

เทคนิควิธีการปรับปรุงสภาพดินอ่อน
SOIL IMPROVEMENT TECHNIQUES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา เทคโนโลยีการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOIL IMPROVEMENT TECHNIQUES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG



1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033382

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ เทคนิควิธีในการปรับปรุงสภาพดินอ่อน
นักศึกษา นายองอาจ หรุษกุล รหัสประจำตัว 33100471
 นายอดิศร วิชัยดิษฐกุล รหัสประจำตัว 33100474
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สุพนธ์ ศรีนิล

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ สุพนธ์ ศรีนิล	
อาจารย์ วิบูลย์ วุฒิภาณ	
อาจารย์ ศิลป์ชัย จานสุวรรณ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(นายสุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

กิตติกรรมประกาศ

การที่รายงานฉบับนี้สามารถสำเร็จลงได้นั้น มิได้เกิดจากผู้ทำการศึกษาเพียงลำพัง จึ่งใคร่ขอกราบขอบพระคุณบุคคล ผู้มีส่วนให้รายงานฉบับนี้บรรลุผลสำเร็จ ดังนี้

อาจารย์ สุปจน์ ศรีนิล อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณ

คุณดุสิต สมสีใส วิศวกรประจำบริษัท GEL
คุณศุภฤกษ์ศักดิ์ แจ่มนิธิกุล วิศวกรประจำบริษัท BKK 1985
คุณสุรชัย วิศวกรประจำบริษัท BKK 1985
คุณประสูร วิศวกรประจำบริษัท TEC
คุณสุรจิตร วิศวกรประจำการทำอากาศยาน แห่งประเทศไทย
ดร. ธงสุทนต์ แท้ลิวิ วิศวกรประจำกรมทางหลวง

รวมถึงบุคคลอื่นๆที่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่ให้ความสะดวกในการติดต่อและประสานงาน

ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณบุคคลเหล่านี้อีกครั้ง และจะระลึกถึงตลอดไป

นางสองอาจ หรุสกุล

นางอดิศร วิชัยดิษฐกุลธร

1 เมษายน 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิควิธีในการปรับปรุงสภาพดินอ่อน

SOIL IMPROVEMENT TECHNIQUES

โดย นายองอาจ หรุษกุล

นายอดิศร วิชัยดิษฐกุลธร

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน มีเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินอยู่มากมาย ซึ่งแต่ละวิธีก็มีเงื่อนไขในการทำงาน และประโยชน์แตกต่างกัน สำหรับในโครงการพิเศษได้ทำการศึกษายู่ 3 วิธี คือ วิธี Pre loading with Vertical Drain, Geogrid และ Grouting โดยจุดประสงค์ของโครงการพิเศษ คือเพื่อหาคุณลักษณะ และลำดับขั้นตอนการทำงานของแต่ละวิธี เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ถึงข้อดี ข้อเสีย ตลอดจนความเหมาะสมต่อการเลือกนำไปใช้งาน

จุดประสงค์ของการปรับปรุงคุณภาพดินนั้น คือ เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับกำลังของดิน และลดปัญหาในเรื่องของการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน โดยวิธี Preloading with Vertical Drain มีจุดประสงค์ ช่วยในการการระบายน้ำออกจากมวลดิน อันเป็นการเร่งอัตราการยุบตัวของมวลดิน และส่งผลต่อการเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงเฉือน สำหรับ Geogrid จะใช้เพื่อกระจายแรงจากน้ำหนักของดินถม และน้ำหนักจาก Load ที่มากกระทำที่ผิวดิน ลงสู่ชั้นของ Geogrid วิธี Grouting จะทำหน้าที่ในการถ่ายแรงผ่าน Soil Cement Columns ลงสู่ชั้นดินที่มีความสามารถในการรับกำลังที่ดีกว่า

ABSTRACT

Now there are many soil improvement techniques which each one has different conditions and applications. In this Special Project had studied in 3 methods which are Preloading with Vertical Drain, Geogrid, and Grouting. The objective of this project is to find the characteristic and process of each method. These will help analysing the advantage, disadvantage, and making appropriate decision to appropriate work.

The objective of soil improvement techniques is to improve bearing capacity and decrease the problem of differential settlement. Preloading with Vertical Drain is used to consolidate soil by draining the water from it which will increase shear strength. Geogrid is used to distribute load from weight of soil and surcharge to the layer of geogrid. Grouting is used to transfer load which will pass through Soil Cement Column to soil layer which has better quality of bearing capacity.

สารบัญ (1)

เรื่อง	หน้า
หน้าอนุมัติ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทนำ	
ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ	I
วัตถุประสงค์ ของโครงการพิเศษ	I
ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	I
ขอบเขตของโครงการพิเศษ	II
วิธีดำเนินการโครงการพิเศษ	II
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	II
วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน	1
โดยวิธีการระจัด	1
โดยวิธีถ่วงน้ำหนัก	2
โดยวิธีการชะลอการเพิ่มน้ำหนัก	3
วิธีใช้น้ำหนักบรรทุก	3
วิธีระบายน้ำในแนวตั้ง	6
วิธีเข็มทรายอัด	6
วิธีเสาหิน	7
วิธีผสมในชั้นดินลึก	8
วิธีเสือกนึ่ง	8
วิธี Electro-Osmosis	

สารบัญ (2)

เรื่อง	หน้า
โดยการใช้แผ่น Geogrid	10
วิธี Grouting	11
ELECTRO-OSMOSIS	17
ทฤษฎีของวิธี Electro-Osmosis	18
Theoretical Development	20
การทรุดตัวของดินเนื่องจากกระบวนการ Electro-Osmosis	21
ผลของกระแสไฟฟ้าต่อลักษณะการทรุดตัวของดิน	25
Electro-Injection	26
การใช้วิธี Electro-Osmosis ในการปฏิบัติกับโครงสร้างดิน	27
Experiment	31
Development of Electro-Osmosis cell	33
การทดสอบกำลังที่เกิดขึ้นเนื่องจาก Electro-Osmotic	34
Case study	41
GEOGRID	65
Tensar Geogrid	67
การควบคุมการพังทลายด้วย Geogrid	67
- Mechanism	68
- การควบคุมการพังทลาย	69
ตัวอย่างการคำนวณ โดยใช้ Design Chart	70
การใช้ Design Chart	72
ลำดับการออกแบบ	73
การใช้ Tensar Geogrid ใน Embankment	76

สารบัญ (3)

เรื่อง	หน้า
VERTICAL DRAINS	95
วิธีระบายน้ำด้วยทราย	95
วิธีระบายน้ำโดยให้แผ่นกระดาษแข็ง หรือโดยวิธีใช้แผ่นพลาสติก	99
วิธีระบายน้ำโดยใช้แถบ PVD	101
- วัสดุที่ใช้	101
- วัสดุและอุปกรณ์ในการติดตั้ง PVD	103
- วิธีติดตั้ง PVD	104
- ข้อควรคำนึงในการติดตั้ง PVD	105
- การควบคุมคุณภาพ PVD	106
- ข้อดีข้อเสียของการใช้ PVD ในการปรับปรุงสภาพดินเหนียวอ่อน	107
GROUTING	117
ความต้องการโดยทั่วไป	118
ความต้องการโดยเฉพาะ	118
วัสดุ Grout	119
- Portland Cement	120
- Clay Grout	122
- Asphalt Grout	124
- Chemical Grout	125
หลุมเจาะสำหรับงาน Grouting	126
- ขนาดของหลุมเจาะ	126
- ทิศทางของหลุมเจาะ	127
- ความลึกของหลุมเจาะ	127
- ระยะห่างระหว่างหลุม	127
กำลังอัด	128

สารบัญ (4)

เรื่อง	หน้า
- C.F.Grundy Formular	129
- Zaruba Formular	129
- The Rule of Thumb	130
การผสมและส่วนผสม	130
วิธีฉีดอัด	131
Cement and Clay Grouting	132
Chemical Grouting	134
คุณสมบัติด้าน Rheological ของ	
- ของผสมที่มีซีเมนต์เป็นพื้นฐาน	137
- Chemicals	139
- Foam Material	140
Grout Work	140
เทคนิคใหม่ในการ Grouting	143
- Deep chemical mixing method	144
- ADG method	150
FINAL REPORT (โครงการ : ปรับปรุงคุณภาพดินสนามบินหนองงูเห่า)	182
Executive Summary :	183
Introduction	183
Design Basis and Design Criteria	185
Possible Alternative Solutions	187
- Floating solution	187
- Excavation of soft soil	
Replacement with firm soil masses	187
- Excavation of soft clay Replacement by light weight fill	188

สารบัญ (5)

เรื่อง	หน้า
- Reduction of permanent surface loads by other means	189
- Consolidation by preloading and/or vertical drains	189
- Recharging of pore water pressure	190
- Injection and grouting	190
- Dynamic consolidation	191
- Granular piles	191
- Relief piles	191
- Pile concrete structure	191
- Thermal method	192
- Soil stabilization using admixtures	192
Assessment of Design Concept for Airfield Areas	192
- Preconsolidation with Vertical Drains	192
Vertical band drains and preloading with soil fill	192
Vertical band drains and preloading with vacuum	194
- Deep Ground Improvement	195
- Driven Piles	196
Piles supporting a free spanning plate	196
Relief piles with caps and soil reinforcement	196
- Light weight fill	197
Assessment of Design Concept for Vehical Areas	198
Comparision of Design Alternative	198
Main Conclusions and Recommendation	202
Preconsolidation with Vertical Drains :	204
Summary	204
Introduction	205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (8)

เรื่อง	หน้า
Effectiveness of Vertical Drains in Soft Plastic Clays	205
- Type of drains	206
- Theories of vertical drain	208
- Experience with vacuum as preload	209
Experience with Vertical Drains in Bangkok CLay	210
Analysis of Consolidation and Settlement	212
- Sand drains	213
- Band drains	215
Evaluations of The Stability of The Preloading Embankment	216
Alternative Types of Preload	217
- Lowering of ground water (dewatering)	217
- Vacuum loading and loading by water in pounds	218
- Loading by soil embankment	218
Recommended Design Concept	219
Principals of Construction Methods and Estimates of Cost - and Schedule	223
Deep Ground Improvement :	231
สมมติฐานในการออกแบบ	231
- Jet Grouted Columns	231
- Deep Cement Mixing	231
Design Evaluations	231
- การคำนวณน้ำหนัก	231
ความเค้นตามแนวนอนของเสาที่เราทำการปรับปรุง	232
การประมาณราคา	233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (7)

เรื่อง	หน้า
ตัวอย่างการวิเคราะห์โครงการ	
ข้อมูลในการก่อสร้าง	259
ข้อมูลดินบริเวณก่อสร้าง	259
รายการคำนวณ Case Study	266
- Design without Soil Improvement	266
- Design by Vertical Drains Technique	269
- Design by Grouting and Geogrid Technique	273
บทวิเคราะห์ Case Study	281
บทวิเคราะห์	283
บรรณานุกรม	288

สารบัญภาพ (1)

หน้า

รูปที่ 1	วิธีการกระจัด	13
รูปที่ 2	วิธีถ่วงน้ำหนัก	13
รูปที่ 3	การเปรียบเทียบอัตราเร็วของการค้ำเนินการ	13
รูปที่ 4	วิธีบรรทุกน้ำหนัก	14
รูปที่ 5	วิธีความดันบรรยากาศ	14
รูปที่ 6	หลักการระบายน้ำในแนวตั้ง	14
รูปที่ 6-1	ประสิทธิภาพของเสาหิน (Engelhardt et al, 1974)	15
รูปที่ 7	เครื่องมือ และขั้นตอนการทำ stone columns	16
รูปที่ 8	เครื่องกลที่ใช้ผสมดิน	16
รูปที่ 9	การผสมและการกวน	16
รูปที่ 10	HULMHOITZ "ทฤษฎี Double Layer"	44
รูปที่ 11	แสดงการกระจายของอิออนใน External Phase (Sodium Clay ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์)	44
รูปที่ 12	สภาวะ Electro-Osmosis ในดินชนิดต่างๆ ตามแนวคิดของ DONNAN	45
รูปที่ 13	Theoretical Porewater Pressure Isocrone fore Initially Uniform Electrol Potential Gradient	45
รูปที่ 14	ประสิทธิผลของ Non-Homogeneous Electrical Potential Gradients ต่อแรงดันในช่องว่าง โดย Electro-Osmosis	46
รูปที่ 15	ทฤษฎีแรงดันในช่องว่างสำหรับการทรุดตัวเนื่องจาก Electro-Osmosis ใน 1 ระบาย โดยที่เป็น Electrode Sealed ทั้ง 2 ขั้ว	47
รูปที่ 16	ทฤษฎีแรงดันในช่องว่างสำหรับการทรุดตัวเนื่องจาก Electro-Osmosis ใน 1 ระบาย โดยเป็น Sealed Anode และ Drained Cathode	47
รูปที่ 17	ค่าดักการทรุดตัว ต่อ Time Factor เนื่องจากกระบวนการ Electro Osmotic ใน 1 ระบาย	48
รูปที่ 18	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ยในช่องว่าง กับค่า Time Factor ในช่วง การทำ Electro-Osmotic พร้อมทั้งการใช้น้ำหนักถ่วง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (2)

หน้า

รูปที่ 19	ค่า Time Factor สำหรับ Zero Average Excess Pore Pressure เนื่องจากคินกัม กับอัตราส่วน U_e/U_o	49
รูปที่ 20	Re-Establishment of Vertical Curve	49
รูปที่ 21	ผลการทำ Electro-Injection ในการทดสอบกับดินเหนียวอ่อน (Caron, 1971)	50
รูปที่ 22	ประสิทธิภาพจากการจัดวางตำแหน่งของขั้ว Electrode แบบต่างๆ	50
รูปที่ 23	การไหลของ Electro-Osmosis ในหลอด Capillary (Casagrande, 1952)	50
รูปที่ 24	อุปกรณ์ Electro-Osmotic Cell	51
รูปที่ 25	คุณสมบัติของสภาพดิน Gloucester	52
รูปที่ 26	การกระจายความต่างศักย์ไฟฟ้าในตัวอย่าง GV-8 ที่เวลาต่างๆภายใต้ความต่างศักย์ a) 3V b) 6V	52
รูปที่ 27	การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในขณะปฏิบัติการภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้า a) 3V b) 6V L = 203.2 มม.	53
รูปที่ 28	ความสัมพันธ์ระหว่าง J/L ต่อระยะของชั้นตัวอย่างที่ภาวะการทดสอบต่างๆ ของตัวอย่าง GV-8 L = 203.2 มม.	53
รูปที่ 29	กราฟแสดงการทรุดตัว และแรงดันในช่องว่างที่เวลาต่างๆ สำหรับตัวอย่าง GV-8 ที่ a) 3V b) 6V	54
รูปที่ 30	การกระจายของแรงดันในช่องว่างที่เวลาต่างๆของตัวอย่าง GV-8 ภายใต้ศักย์ไฟฟ้า a) 3V b) 6V L = 203.2 มม.	54
รูปที่ 31	เปรียบเทียบการกระจายของแรงดันในช่องว่าง จากการคำนวณ และจากผลการทดลอง ของตัวอย่าง GV-8 L = 203.2 มม.	55
รูปที่ 32	ความเค้นเฉือนที่เพิ่มขึ้น กับตัวอย่างทดสอบต่างๆภายหลังการปฏิบัติการ	55
รูปที่ 33	ความชื้นในดินที่ลดลง ในตัวอย่างทดสอบต่างๆภายหลังการปฏิบัติการ	56
รูปที่ 34	การทดสอบ Unconfined Compression ของตัวอย่างดินเหนียว Gloucester ก่อนและหลังการปฏิบัติการ	56
รูปที่ 35	โค้งการทรุดตัวของดินเหนียว Gloucester ก่อนและหลังการปฏิบัติการ	58

สารบัญภาพ (3)

หน้า

รูปที่ 36	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันในช่องว่างสูงสุด กับความต่างศักย์ในดินประเภทต่างๆ	58
รูปที่ 37	แสดงสภาพของพื้นที่ และชั้นดิน ที่ได้นำวิธี Electro-Injection มาใช้ (ท่าเรือ Sembawang , ประเทศสิงคโปร์)	59
รูปที่ 38	การทำ Electro-Injection กับฐานรากของสะพาน Chaine (Caron,1971;Peignaud,1977)	60
รูปที่ 39	กระแสไฟฟ้าที่ลดลงระหว่างการทำ Electro-Injection ที่บริเวณฐานสะพาน Chanie (Caron,1971;Peignaud,1977)	60
รูปที่ 40	Geogrid แบบ Unaxial	81
รูปที่ 41	Geogrid แบบ Biaxial	81
รูปที่ 42	แสดง Interlock ของอนุภาคดินกับ Geogrid	82
รูปที่ 43	Geogrid กับงาน Retaining Wall	82
รูปที่ 44	Geogrid กับงาน Bridge Abutments	83
รูปที่ 45	Geogrid กับงาน Steep Slope	84
รูปที่ 46	Geogrid กับงาน Repair of Slip and Land slides	85
รูปที่ 47	Geogrid กับงาน Embankment Foundation	85
รูปที่ 48	Geogrid กับงาน Road, Railways, Hardstandings และ Air-field Pavement	86
รูปที่ 50	Geogrid กับงานควบคุมการพังทลาย	87
รูปที่ 49	การรับแรงในดินของ Geogrid	87
รูปที่ 51	Chart ที่ใช้ในการหาค่า K (ส.ป.ส.ของแรงกระทำ)	88
รูปที่ 52	Chart ที่ใช้ในการหาค่าความยาวในการวาง Geogrid	89
รูปที่ 53	ตารางแสดง ค่า f_u (ความแข็งแรงเฉพาะตัว)	90
รูปที่ 54	ตารางแสดงค่า γ_u (ค่าความปลอดภัยของ Geogrid)	90
รูปที่ 55	การเสริม Geogrid ในดินคันทาง	91
รูปที่ 58	ชนิดของตัวกั้นผิวหน้า เพื่อกันการพังทะลุและการกัดเซาะจากสิ่งแวดล้อม	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (4)

หน้า

รูปที่ 57	ชนิดของตัวกั้นผิวหน้า เพื่อป้องกันการพังทะลายและการกัดเซาะจากสิ่งแฉล้ม	93
รูปที่ 58	แสดงหลักการระบายน้ำในแนวตั้ง	108
รูปที่ 59	การอัดตัวโศยใช้ท่อทราย	109
รูปที่ 60	โด้งการอัดตัวโศยใช้ท่อทราย (โศย Terzaghi)	109
รูปที่ 61	รูปตัดของ Cardboard drains และ Mandrel	110
รูปที่ 62	รูปตัดของ Plastic Geodrain และ Mandrel	110
รูปที่ 63	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Geodrain กับ Sand drain ขนาด $\phi 0.18$ ม	110
รูปที่ 64	รูปตัดกระดาดแข็ง	111
รูปที่ 65	การติดตั้งแถบกระดาดแข็ง	111
รูปที่ 66	แสดงแถบ PVD (แกนกลาง และแผ่นโศยสังเคราะห์หุ้มด้านนอก)	111
รูปที่ 67	แสดงเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการติดตั้งแถบ PVD	112
รูปที่ 68	แสดงรายละเอียดการติดตั้งแผ่น หรือแกนเหล็กยึดรั้ง (Anchorage) ที่ปลายสุดของแกนนำร่อง	113
รูปที่ 69	แสดงขั้นตอน และวิธีการติดตั้งแถบ PVD	114
รูปที่ 70	แสดงเครื่องปั้นจั่นพร้อมอุปกรณ์ครบชุดในขณะที่ทำการติดตั้งแถบ PVD	115
รูปที่ 71	แสดงขั้นตอนการติดตั้งในขณะฝังแผ่น PVD และขณะตัดแผ่น PVD เมื่อฝังได้ ความลึกตามที่กำหนดแล้ว	116
รูปที่ 72	ส. ป. ส. ความชื้นได้ของดินในแม่น้ำมิสซิสซิปปี	154
รูปที่ 73	โด้งการกระจายขนาดอนุภาคของดินและวัสดุที่ใช้ในการ Grout	154
รูปที่ 74	โด้งแสดงการไหล	155
รูปที่ 75	ช่วงความหนืดของสารที่ใช้ในการ Grout	155
รูปที่ 76	การตกตะกอนของซีเมนต์	156
รูปที่ 77	การตกตะกอนของซีเมนต์เมื่อทำการผสมกับเบนโทไนท์	156
รูปที่ 78	ค่าความแข็งแรงต่อการบดอัดเฉลี่ยของซีเมนต์ผสมแป้ง	156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (5)

หน้า

รูปที่ 79,80	การทำดินให้มั่นคงโดยวิธีการ Grout	157
รูปที่ 81	ผลที่ไม่น่าพอใจที่เกิดขึ้นสำหรับการ Grout	157
รูปที่ 82	การ Grouting ด้วยโฟม	158
รูปที่ 83	การเพิ่มความดันที่เหมาะสม	158
รูปที่ 84	การบันทึกผลในการ Grouting	158
รูปที่ 85	แสดงการบังคับวิธีที่ใช้ที่อู่	159
รูปที่ 86	แสดงการกระจายของอนุภาคที่ใช้ในการ Grouting	159
รูปที่ 87	แสดงวิธีการ Grout โดยวิธี MT	160
รูปที่ 88	แสดงลำดับการทำงาน โดยวิธี JSG method	161
รูปที่ 89	แสดงระดับดินและสภาพดินที่ทำการปรับปรุง	161
รูปที่ 90	แสดงการโก่งตัวของกำแพงกันดินขณะทำการขุด	162
รูปที่ 91	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้งาน DCM	163
รูปที่ 92	แสดงรูปแบบของการทำงานโดยวิธี DCM	163
รูปที่ 93	แสดงคุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนไปเมื่อกำ Grouting	164
รูปที่ 94	แสดงแบบของฐานราก DCM	164
รูปที่ 95	แสดงการวางฐานราก DCM แบบ wall-shaped	165
รูปที่ 96	แสดงลำดับการทำงาน	165
รูปที่ 97	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ ปริมาณซีเมนต์ และปริมาณน้ำเริ่มต้น ของดินที่ทำการปรับปรุง	166
รูปที่ 98	อุปกรณ์ DCM	167
รูปที่ 99	แสดงการกระจายของปริมาณน้ำของตัวอย่างดินที่ได้ทำการปรับปรุงแล้ว	168
รูปที่ 100	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนัก ปริมาณซีเมนต์ และปริมาณน้ำเริ่มต้น สำหรับดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว	168
รูปที่ 101	แสดงการกระจายของหน่วยน้ำหนักของดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว	169
รูปที่ 102	แสดง ส.ป.ส. ของความชื้นได้กับปริมาณซีเมนต์ของดินที่ได้รับการปรับปรุง และก่อนทำการปรับปรุง	169
รูปที่ 103	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความชื้นน้ำ	170

สารบัญภาพ (6)

หน้า

รูปที่ 104	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ Unconfined Compression	170
รูปที่ 105	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี และ Unconfined compressive strength ของดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว	171
รูปที่ 106	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength, q_u ปริมาณซีเมนต์ และระยะเวลาในการบ่ม, T_c ของดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว	172
รูปที่ 107	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength, q_u อุณหภูมิการบ่ม, t และ เวลาในการบ่ม T_c	172
รูปที่ 108	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $t^\circ C / q_u = 20^\circ C$ และระยะเวลาที่ใช้ในการบ่ม	172
รูปที่ 109	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการบ่ม	173
รูปที่ 110	แสดงการเปรียบเทียบค่า Unconfined Compressive Strength แบบ Adiabatic และการบ่มแบบมาตรฐาน	173
รูปที่ 111	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength q_{u1} , q_{u3} , q_{u7} , q_{u30} และ q_{u28}	173
รูปที่ 112	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unconfined Compressive strength, q_u และค่าโมดูลัส E_{50} ของดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว	174
รูปที่ 113	แสดงผลของการทดสอบแบบ 3 แกน ของดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว ($a_w = 5\%$)	174
รูปที่ 114	แสดงผลการทดสอบแบบ 3 แกน ของดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว ($a_w = 15\%$)	175
รูปที่ 115	แสดงวิธีการทดสอบหาแรงดึง	176
รูปที่ 116	แสดงความสัมพันธ์ การรับแรงดึง S_{du} และค่า Unconfined Compressive Strength, q_u ในดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว	176
รูปที่ 117	แสดงการทดสอบดินด้วยสาร Impact Load	176
รูปที่ 118	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength, q_{um} (หลังจากรับ Impact Load)	177
รูปที่ 119	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดินหลังการ ทำ Impact Load	177
รูปที่ 120	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่าง และ log P ของดินที่ทำการปรับปรุง	177

สารบัญภาพ (7)

หน้า

รูปที่ 121	แสดง Gel time ของอุณหภูมิต่างๆ	178
รูปที่ 122	แสดงอัตราส่วนผสมลักษณะความแข็งตัวของกาาร Grout	1789
รูปที่ 123	แสดงชบวนการทำงานโคสวิธี ADG	179
รูปที่ 124	แสดง Aqua-Packer เมื่อนำไปใช้งาน	179
รูปที่ 125	Preloading by soil fill	235
รูปที่ 126	Preloading by vacuum combined with weight of water	236
รูปที่ 127	Propose concepttual design. Deep ground improvement	237
รูปที่ 128	Conceptual design.Free spanning plate supported on piles	238
รูปที่ 129	Reliefpiles with concrete caps and soil reinforcement	239
รูปที่ 130	Design concept light weight fills typical cross section with Leca	240
รูปที่ 131	Type of drains, examples	241
รูปที่ 132	In situ permeability versus depth	242
รูปที่ 133	Degree of horizontal consolidation, U_h (Sand drains)	243
รูปที่ 134	Degree of horizontal consolidation, U_h (Band drains)	244
รูปที่ 135	Design undrained shear strength profile	245
รูปที่ 136	Measured field vane shear strength (after NGI, 1973)	246
รูปที่ 137	Correction factor for field vane shear strength	247
รูปที่ 138	Calculation material coefficient, γ_m as a function of preload and slope angle	248
รูปที่ 139	Relationship between magnitude of preload and length of preload slope to obtain $\gamma_m = 1.5$	249
รูปที่ 140	Preloading by lowering of ground water (dewatering) combined with soil fill	250
รูปที่ 141	Preloading by drainage to aquifer combined with soil fill	251

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (8)

	หน้า
รูปที่ 142 Preloading by vacuum combined with weight of water	252
รูปที่ 143 Preloading by soil fill	253
รูปที่ 144 In situ pore pressures in 1973 and 1983	254
รูปที่ 145 Assumed geometry for calculation of volumes and areas in the cost estimate	255
รูปที่ 146 Construction works for preloading	256
รูปที่ 146-1 Assumed load on the improved soil columns from airplane	257
รูปที่ 147 Distribution of axial stress in soil improved columns	258
รูปที่ 148 Proposed conceptual design. Deep ground improvement	258
รูปที่ 149 มังบริเวณก่อสร้างลานเก็บตู้ Container	260
รูปที่ 150 แสดงข้อมูลดินบริเวณที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพดิน (จาก NACO, Ref, 10)	261
รูปที่ 151 แสดงชั้นดินบริเวณ โรงเรือนบางพลีราษฎร์บำรุง	262
รูปที่ 152 แสดงชั้นดินบริเวณ วัดกิ่งแก้ว	263
รูปที่ 153 แสดงค่าความชื้นเหนืวของอนุภาคดินเหนืวที่ระดับความลึกต่างๆ	264
รูปที่ 154 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักที่ระดับความลึกต่างๆ	265
รูปที่ 155 แสดงค่าอัตราส่วนช่องว่างของดินในบริเวณที่จะทำการปรับปรุง	265

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การทดลองใช้โลหะชนิดต่างๆเป็นขั้ว Electrode	61
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบ Electro-Osmosis	62
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ Unconfined Compression, ความไว และการทรุดตัวของดินตัวอย่าง	63
ตารางที่ 4 สภาพทางฟิสิกส์ และทางเคมีของดินเหนียว Wallaceburg และ Gloucester ก่อนและหลังการปฏิบัติการ	63
ตารางที่ 5 ตัวอย่างการใช้ Electro-Osmosis ในการปรับปรุงสภาพดินอ่อนในอดีต	64
ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการ Grout	180
ตารางที่ 7 แสดงวิธีที่ใช้ในการ Grouting	181
ตารางที่ 10 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชั้นดินเหนียวอ่อน	185
ตารางที่ 11 แสดงค่าการทรุดตัวในชั้น Primary สัมพันธ์กับระดับความลึกของวัสดุที่จะนำมาถมแทนที่	188
ตารางที่ 12 สรุปข้อมูลของราคาและช่วงระยะเวลาที่ต้องการสำหรับวิธีการต่างๆ	199
ตารางที่ 13 แสดงผลการคำนวณค่า Primary Consolidation Settlements	213
ตารางที่ 14 การทรุดตัวที่เกิดขึ้นภายหลังเวลา 8 เดือน (Sand Drains)	214
ตารางที่ 15 การทรุดตัวที่เกิดขึ้นภายหลังเวลา 8 เดือน (Band Drains)	216
ตารางที่ 16 แสดงค่าการทรุดตัวในชั้น Primary เมื่อมีการติดตั้งตัวระบายน้ำถึงระดับชั้นทราย	217
ตารางที่ 17 แสดงค่าการทรุดตัวจากการติดตั้ง Drains ถึงระดับความลึก 16 m และ 12 m โดยใช้น้ำหนักกว้างขนาด 7.5 t/m^2	222

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของเนื้อหา

เนื่องจากในการทำการก่อสร้างบ่อส้วมครั้งจำเป็นที่จะต้องกระทำลงบนชั้นดินอ่อน ซึ่งดินมีความสามารถในการรับกำลังต่ำ และมีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่องอันเป็นผลมาจากน้ำหนักที่กดทับอยู่เหนือมวลดิน อย่างไรก็ตามในการแก้ปัญหาดังกล่าวอาจจำแนกได้เป็นสองลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. โศกการถ่าน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างผ่านเสาเข็ม ลงสู่ชั้นดินที่อยู่ในระดับลึกลงไป ซึ่งมีความสามารถในการรับกำลังได้ดีกว่า
2. โศกการปรับปรุงคุณภาพดินที่มีปัญหาเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับกำลังของมวลดิน และลดการทรุดตัวที่จะมีขึ้นภายหลังการก่อสร้าง

สำหรับแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนนั้น ในปัจจุบันมีเทคนิควิธีการต่างๆมากมายที่นำมาใช้ แต่การที่จะเลือกวิธีหนึ่งวิธีใดมาปฏิบัติเพื่อให้เกิดความเหมาะสมทั้งในเรื่องของผลที่ได้ ตลอดจนค่าใช้จ่ายนั้น เป็นสิ่งที่น่าที่จะได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- ศึกษาและรวบรวมเทคนิควิธีการต่างๆที่มีประสิทธิภาพต่อการปรับปรุงคุณภาพของดินอ่อน
- ศึกษาปัจจัยในการเลือกวิธีการใดวิธีการหนึ่งมาใช้ เพื่อความเหมาะสมกับดินสภาพต่างๆ และลักษณะของพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน
- รวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้น ตลอดจนการแก้ไขในการปฏิบัติการของแต่ละวิธี
- วิเคราะห์ เปรียบเทียบ ประเมินผล ประสิทธิภาพของแต่ละวิธี

ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

ในการก่อสร้างบ่อส้วมครั้งจำเป็นจะต้องกระทำอยู่บนชั้นดินอ่อนซึ่งมีความสามารถในการรับกำลังต่ำ การแก้ปัญหาโดยการตอกเข็มอาจไม่ใช้ทางออกที่เหมาะสมดังเช่นในกรณีของการก่อสร้างถนนหรือลานเก็บ container เป็นต้น ดังนั้นการนำเทคนิควิธีการในการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนมาใช้ในการแก้ปัญหาจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสนใจว่าแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับสภาพดินที่จะทำการปรับปรุง ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงเป็นเช่นใด จะต้องใช้เครื่องมือเครื่องใช้อะไร และจะต้องมีการจัดหาวัสดุที่จะนำมาทำการปรับปรุงมากน้อยเพียงใด เพื่อให้สามารถคาดการณ์และสามารถเลือก

วิธีการที่เหมาะสมได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของโครงการพิเศษ

ในการศึกษาจะมุ่งเน้นในเรื่องของวิธีปฏิบัติการ ที่จำกัดของแต่ละวิธี ตลอดจนข้อดีข้อเสียของวิธีที่นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน รวมถึงค่าใช้จ่ายในส่วนของวัสดุและอุปกรณ์ ค่าเนิ่นการ โดยวิธีที่จะทำการศึกษาละเอียดมี 3 วิธีดังนี้ คือ

- Preloading with Vertical-Drain
- Chemical Stabilization (Grouting)
- โดยการใช้แผ่น Geogrid

วิธีดำเนินโครงการพิเศษ

- รวบรวมข้อมูลทางด้านทฤษฎี ในเรื่องของเทคนิควิธีการต่างๆที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยเฉพาะในวิธี Vertical Drains, Grouting และ Geogrid ทั้งนี้แหล่งของข้อมูลจะได้จาก ตำราวิชาการทางด้าน Soil Mechanic เอกสาร บทความ สิ่งตีพิมพ์ ต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมถึงรายงานโครงการพิเศษ วิทยานิพนธ์ จากห้องสมุดมหาวิทยาลัยต่างๆที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับ

- โดยการติดต่อขอข้อมูล ขอความคิดเห็น จากบริษัทต่างๆที่ดำเนินการทางด้านนี้โดยตรง เพื่อให้มีความชัดเจนในส่วนของวิธีการดำเนินการ ปัญหาอุปสรรคต่างๆ อย่างแท้จริง
- นำข้อมูลต่างๆที่ได้มาสรุปวิเคราะห์ว่า วิธีการใดมีความเหมาะสมกับสภาพการทำงานสภาพของมวลดิน เช่นไร

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถเลือกใช้วิธีในการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนได้อย่างเหมาะสมและสามารถประเมินค่าใช้จ่ายได้อย่างคร่าวๆ เพื่อให้ประกอบในการตัดสินใจเลือกใช้วิธี
- ผลจากรายงานโครงการพิเศษ สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการทำการค้นคว้าได้สะดวก และมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

The seal of the National Library of Thailand is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered stupas (pagodas) arranged in a row. The entire emblem is surrounded by a decorative border. The Thai text 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (King Mongkut's University of Technology Ladkrabang) is inscribed around the perimeter of the seal.

วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน

ดินมีองค์ประกอบอยู่สามส่วนคือ ของแข็ง ของเหลว และอากาศ สองส่วนแรกที่ถูกกล่าวถึงมีบทบาทสำคัญมากต่อพฤติกรรมด้านวิศวกรรมของดินเหนียว ส่วนอากาศนั้นไม่มีความสำคัญมากนัก ส่วนของแข็งในดินเหนียว (solid partical) มีลักษณะเป็นเกล็ดขนาดเล็กมาก ติดเกาะอยู่ด้วยกันอย่างสลับซับซ้อน โดยมีของเหลวแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่าง Solid particals เเปอร์เซ็นต์ของน้ำในดินเหนียวมีผลโดยตรงกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินนั้นทั้งด้านกำลังรับน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งเกี่ยวข้องกับทรุดตัวของดิน กล่าวโดยสรุปแล้วหากปริมาณน้ำในดินมีมากเนื่องใด พฤติกรรมของดินก็จะใกล้เคียงกับของเหลวมากเท่านั้น การก่อสร้างบนชั้นดินเหนียวอ่อนจึงมีปัญหา เพราะดินไม่มีกำลังรับน้ำหนักได้เพียงพอทั้งยังก่อให้เกิดการทรุดตัวมาก

การก่อสร้างบนชั้นดินเหนียวอ่อนสามารถทำได้สองแนวทางหลัก ดังต่อไปนี้ คือ

1. การถ่ายน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างไปสู่ชั้นดินที่ดีที่อยู่ระดับต่ำลงไปโดยใช้เสาเข็ม สำหรับตัวอาคารในโครงการการใช้เสาเข็มเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้และมีความเหมาะสมที่สุด
2. การปรับปรุงคุณภาพดินที่มีปัญหาเพื่อเพิ่มกำลังรับน้ำหนัก และในขณะเดียวกันก็ลดการทรุดตัวเมื่อถึงเวลาใช้งาน

ในการแก้ปัญหาของดินอ่อนโดยการใช้เสาเข็มจะไม่น่ามากกว่าถึงในรายงานฉบับนี้ แต่จะกล่าวถึงวิธีการต่างๆที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน

โดยวิธีกระจัด :

วิธีนี้จะใช้วัสดุคุณภาพดีมาแทนที่ชั้นดินอ่อน เพื่อเป็นการปรับปรุงวิธีสามารถรับแรงฮารของดินฐานราก และลดปริมาณการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดิน วิธีกระจัดอาจทำได้ 2 วิธี คือ วิธีซึ่งหลังจากขุดดินอ่อนออกมาแล้วใช้เครื่องกลหนักชนวัสดุที่มีคุณภาพดีเข้าแทนที่ แล้วทำการบดอัด และอีกวิธีหนึ่งใช้การดันดินอ่อนออกโดยใช้น้ำหนักดินถมซึ่งมีคุณภาพดีผลักออกไป หรือโดยการระเบิด ดังแสดงในรูปที่ 1

ในกรณีที่ใช้การแทนที่โดยการขุดอาจทำได้ 2 อย่าง คือ ขุดลดความกว้างของส่วนที่ถม และการขุดออกเนื่องบางส่วนของความกว้าง อย่างไรก็ตามก็ในการขุดดินอ่อนที่อยู่ใต้ถนนออกนั้นจะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องพิจารณาว่าถ้าจะแก้การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวเป็นสำคัญแล้วจะต้องขุดดินอ่อนที่อยู่ใต้ถนนนั้น ออก แต่ถ้าคำนึงถึงการหนีบค้ำจากการเลื่อนตัวแล้ว ก็จะต้องขุดดินอ่อนใต้ผิวลาดของถนนออก

ในทั้งสองกรณีจะตรวจสอบพิสัยของการขุด และการระมัดระวังด้วยการคำนวณโดยการ พิจารณาค่าความแข็งแรงของดินที่ถูกแทนที่

โดยทั่วไปการขุดดินออกเพื่อใช้วัสดุมีคุณภาพดีแทนที่ จะดีกว่าการใช้กำลังดัน วิธีนี้เหมาะ สำหรับกรณีที่ดินอ่อนอยู่ตื้นกว่าคือหนาไม่เกิน 3 เมตร และต้องการให้การถมเสร็จสิ้นในเวลา อันสั้น

โดยวิธีถ่วงน้ำหนัก :

วัตถุประสงค์ของวิธีการนี้คือการถ่วงน้ำหนักด้านข้างของมูลดินและมุ่งเสถียรภาพของมูลดิน เป็นหลัก เมื่อไม่คิดค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่ต้องการจากการหนีบค้ำด้วยการเลื่อนตัวในระหว่าง การถมดิน

ดังแสดงในรูปที่ 2 เนื่องจากผลที่ได้รับจะเหมือนกันโดยใช้เวลาของมูลดินโดยเฉลี่ย ดังนั้นจากการวิเคราะห์ด้วยวงกลมที่เกิดการเลื่อนตัวที่ให้ตัวประกอบปลอดภัยที่น้อยที่สุด จะได้ moment ด้านเพิ่มขึ้น ทำให้เสถียรภาพของมูลดินดีขึ้น

แต่เนื่องจากวิธีการนี้ต้องการฐานการถมที่กว้างขึ้น ซึ่งจะไม่เป็นการประหยัดถ้าไม่สามารถ หาที่ดินหรือหาซื้อวัสดุที่ใช้ถมในเวลาถูกได้

ไม่จำเป็นต้องกล่าวถึงประสิทธิภาพของวิธีการนี้ในแง่ของการออกแบบ เพราะเป็นวิธีที่ให้ ประโยชน์มากในการป้องกันการหนีบค้ำจากการเลื่อนตัวของดินถมขณะก่อสร้าง หรือการแก้ไขเมื่อเกิด การเลื่อนตัวแล้ว ซึ่งวิธีนี้ใช้กันมากในประเทศญี่ปุ่น

ในการออกแบบวิธีถ่วงน้ำหนัก จะต้องวิเคราะห์หาเสถียรภาพของดินถมก่อน จากนั้นจึงคำนวณหาหน้าหนักที่จะใช้ถ่วงโดยประมาณ จาก moment ด้านที่ไม่ทำให้เกิดการหนีบค้ำของการเลื่อนตัวเป็นวงกลม แล้วจึงหารูปปร่างหน้าตัดของดินถมที่ใช้ถ่วง พร้อมทั้งน้ำหนักด้วย ในกรณีที่ ใช้เป็นมาตรการฉุกเฉินเพื่อแก้ไขการเลื่อนตัวที่เกิดขึ้น จะต้องสำรวจหาค่าแห่งของผิวการเลื่อนที่ เกิดขึ้นจริง แล้วเขียนวงกลมเพื่อวิเคราะห์หาเสถียรภาพของดินถม ซึ่งสุดท้ายจะได้หน้าหนักถ่วง ของดินถมที่ต้องใช้ในการป้องกันการเลื่อนตัว

โดยวิธีชะลอการเพิ่มน้ำหนัก :

เมื่อดินฐานรากมีความแข็งแรงเฉือนไม่เพียงพอต่อการต้านการเคลื่อนตัวเมื่อทำการถมมูลดินสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จะใช้วิธีนี้ในการชะลออัตราเร็วของการถมมูลดินเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวขึ้น

การชะลอการเพิ่มน้ำหนักมีอยู่สองวิธี คือการเพิ่มความสูงของดินถมทีละน้อย และอีกวิธีหนึ่งคือการเพิ่มขึ้นเป็นระยะ (รูปที่ 3) ตามความเป็นจริงแล้วดินฐานรากในแต่ละกรณีจะถูกอัดตัวโดยน้ำหนักของมูลดิน และมูลดินก็จะถูกเสริมขึ้นเรื่อยๆ การอัดตัวของดินจะทำให้ดินแข็งแรงขึ้นตามสภาพ จึงไม่จำเป็นต้องใช้การออกแบบเป็นพิเศษต่ออย่างไร เพียงแต่จะต้องหาอัตราเร็วของการเสริมดินถมจากการวิเคราะห์เสถียรภาพและการทรุดตัวทุกขั้นตอนของการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเท่านั้น

วิธีการนี้ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือก่อสร้างหรือวัสดุพิเศษต่ออย่างไร เวลาเท่านั้นที่จำเป็น วิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพและความประหยัดเมื่อมีช่วงระยะเวลาในการดำเนินงานนานเพียงพอ และโดยทั่วไปมักจะใช้เป็นมาตรการแก้ไขสำหรับชั้นดินอ่อนก่อนวิธีอื่น หรือบางครั้งอาจใช้ร่วมกับวิธีการอื่นด้วย

โดยทั่วไปการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดินจะเกิดขึ้นค่อนข้างเร็ว เมื่อความหนาของชั้นดินอ่อนนั้นน้อย หรือระยะทางในการระบายน้ำออกนั้นสั้นอันเนื่องมาจากชั้นทรายที่แทรกอยู่ในชั้นดินอ่อน

เพื่อให้ทราบความก้าวหน้าในการอัดตัวของดินเมื่อใช้วิธีการนี้ ไม่เพียงแต่จะคำนวณหาเวลาการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดินจากการสำรวจดินที่ทำได้ล่วงหน้าเท่านั้น แต่จะต้องสำรวจความก้าวหน้าในการอัดตัวจากการเปลี่ยนแปลงของการทรุดตัว หรือความดันของน้ำในช่องว่างของดิน โดยใช้เครื่องวัดความทรุดหรือเครื่องวัดความดันน้ำในช่องว่างด้วย

วิธีใช้น้ำหนักบรรทุก :

วิธีนี้ใช้เพื่อเพิ่มการอัดตัวของชั้นดินอ่อน และเพิ่มแรงเฉือนแก่ดินฐานราก ในการเพิ่มอัตรา การอัดตัวจะต้องบรรทุกน้ำหนักด้วยภาระดินเท่ากับน้ำหนักของโครงสร้างเป็นการล่วงหน้าก่อนงานหลัก เมื่อดินเกิดการทรุดตัวดีแล้วจึงค่อยนำน้ำหนักออก แล้วจึงทำการก่อสร้างลงบนดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพแล้ว วิธีนี้เรียกว่าวิธีบรรทุกน้ำหนักก่อน (pre-consolidation method) วิธีบรรทุกน้ำหนักล่วงหน้าเกินกว่าน้ำหนักโครงสร้างที่กำหนดไว้ เรียกว่าวิธีบรรทุกน้ำหนักเกิน (surcharge method)

นอกจากนี้ ยังมีวิธีซึ่งแทนที่จะใช้น้ำหนักดินถมทำให้เกิดการอัดตัวดังกล่าวแล้ว แต่จะใช้การลดระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นการเพิ่มความเค้นประสิทธิภาพของดินฐานราก ทำหน้าที่คล้ายน้ำหนักที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดการอัดตัวของดิน วิธีนี้เรียกว่าวิธีลดระดับน้ำใต้ดิน (GWL lowering method) และอีกวิธีหนึ่งโดยการคลุมผิวดินด้วยแผ่นฟิล์มกันอากาศแล้วดูดอากาศออกทั้งหมด ความดันบรรยากาศจะทำหน้าที่เป็นน้ำหนักที่ทำให้ดินเกิดการอัดตัว วิธีนี้เรียกว่าวิธีความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure method)

เนื่องจากน้ำหนักที่ทำให้ดินเกิดการอัดตัวโดยวิธีลดระดับน้ำใต้ดิน หรือวิธีความดันบรรยากาศนั้นกระทำให้ดินมีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง และนั้นการตรวจสอบเสถียรภาพเนื่องจากการบีบอัดด้วยการเลื่อนตัวของดินฐานรากจึงไม่จำเป็น แต่ในวิธีบรรทุกน้ำหนักก่อนหรือวิธีบรรทุกน้ำหนักเกินนั้นจำเป็นต้องตรวจสอบเสถียรภาพด้วย สำหรับวิธีลดระดับน้ำใต้ดิน หรือวิธีความดันบรรยากาศนั้น เนื่องจากขอบเขตของการปรับปรุงดินฐานรากถูกจำกัดด้วยวิธีปฏิบัติ และนั่นทั้งสองวิธีจึงมีข้อเสียที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

1.) วิธีบรรทุกน้ำหนักก่อน วิธีบรรทุกน้ำหนักเกิน

ดังแสดงในรูป 4 (a) เมื่อบรรทุกน้ำหนักให้แก่ชั้นดินอ่อนจนเกิดการอัดตัวในชั้นดินได้ระดับชั้นหนึ่งแล้วก็จะนำน้ำหนักบรรทุกออก และต่อมาอีกบรรทุกน้ำหนักใหม่เท่าเดิม การวิรูปด้วยการอัดตัวก็ไม่สามารถเปลี่ยนไปจากเดิมได้ ดังนั้นการทรุดตัวที่เหลือจึงน้อย

วิธีนี้อาศัยลักษณะการอัดตัวของดินเหนียวดังที่กล่าวมาแล้ว และได้แสดงดังรูปที่ 4 (b) เป็นการประยุกต์หลักที่ว่าเมื่อบรรทุกน้ำหนักให้มากกว่าน้ำหนักกดจากโครงสร้างตามที่กำหนดในแบบแล้วจะทำให้ปริมาณการทรุดตัวที่ยังเหลืออยู่จะน้อยลง

วิธีบรรทุกน้ำหนักเกินนั้นอาศัยหลักที่ว่า ปริมาณการทรุดตัวที่เกิดจากการอัดตัวโดยน้ำหนักที่แสดงด้วยเส้นทึบในรูปที่ 4 (b) นั้นจะมากกว่าการทรุดตัวที่เกิดจากน้ำหนักที่แสดงด้วยเส้นประ และเมื่อช่วงเวลาที่ผ่านมาไม่เท่ากัน เมื่อนำน้ำหนักบรรทุกเดิมออกแล้วบรรทุกน้ำหนักใหม่แสดงด้วยเส้นประการทรุดตัวที่เกิดขึ้นแล้วจะมากกว่าที่เป็นจริงดังแสดงในรูปเท่ากับ s ฉะนั้นการทรุดตัวที่ยังคงเกิดขึ้นภายหลังจะมีน้อยมาก

ถึงแม้วิธีการนี้จะไม่ทำให้เกิดการบีบอัดด้วยการเลื่อนตัวของดินฐานราก และเหมาะกับงานที่มีช่วงระยะเวลาขายนานพอควรในการทำงาน แต่ถ้าความแข็งแรงของดินฐานรากไม่เพียงพอ ควรใช้วิธีระบายน้ำในแนวตั้ง หรือวิธีชะลอการเพิ่มน้ำหนักร่วมด้วย

การก่อสร้างจะประหยัดได้ถ้าวัสดุที่ใช้เป็นน้ำหนักบรรทุกนั้นสามารถนำไปใช้ในงานอื่นที่อยู่บริเวณใกล้เคียงได้ ฉะนั้นจะต้องทำตารางกำหนดเวลาเกี่ยวกับงานดินที่จะใช้วัสดุเหล่านี้ให้สอดคล้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกันกับวิธีชะลอการเพิ่มน้ำหนัก จะต้องตรวจความก้าวหน้าของการทรุดตัวอันเนื่องจากการอัดตัวของดินที่ได้จากการสำรวจในสนามด้วยมาตรวัดการทรุดตัว หรือเครื่องวัดความดันของน้ำในช่องว่างของดิน

2.) วิธีลดระดับน้ำใต้ดิน

วิธีนี้อาศัยหลักการคือ การลดระดับน้ำใต้ดินจะทำให้ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งเพิ่มขึ้นจาก

$$P_0' = P - \gamma_w \cdot Z \quad (11.1)$$

เป็น

$$\begin{aligned} P_1' &= P - \gamma_w (Z - \Delta Z) \\ &= P_0' + \Delta Z \cdot \gamma_w \end{aligned} \quad (11.2)$$

เมื่อเป็นเช่นนั้น ความเค้นจะเพิ่มขึ้น 1 ตัน/ม² เมื่อระดับน้ำลดลง 1 เมตร ความสูงทางทฤษฎีของการสูบน้ำที่ดูจากบ่อจะได้ 10.3 เมตร แต่เมื่อพิจารณาถึงการสูญเสียกำลังในการสูบแล้ว ระดับน้ำที่ลดในทางปฏิบัติจะได้ประมาณ 5.5-5.6 เมตรเท่านั้น

สำหรับชั้นดินเดิมที่มีชั้นทรายที่มีสัมประสิทธิ์การซึมได้ประมาณ $k=10^{-1} \sim 10^{-4}$ ซม./วินาที กระจายที่ส่วนบนและส่วนกลางของชั้นดินอ่อนแล้ววิธีการนี้จะใช้ได้ผลดีมาก แต่ถ้าเป็นดินซึ่งประกอบด้วยชั้นดินเหนียวแต่มีชั้นทรายในแนวราบหลายแห่งวิธีนี้ก็ยังสามารถใช้ได้ดี

ความเค้นที่เพิ่มขึ้นจะกระจายจากผิวดินสู่ดินฐานราก ซึ่งจะมีค่าลดลงตามระดับความลึกแต่โดยวิธีการนี้ถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเค้นตามความลึก

ถ้ามีแหล่งน้ำใต้ดินเช่นทะเลสาบ ที่ลุ่มหรือแม่น้ำอยู่ในบริเวณ จะต้องทำการสูบน้ำออกเป็นปริมาณมาก เพื่อรักษาระดับน้ำใต้ดินให้ต่ำ และดินเกิดการอัดตัว วิธีนี้จึงเป็นการลงทุนที่ค่อนข้างสูง

3.) วิธีความดันบรรยากาศ

ดังแสดงในรูปที่ 5 วิธีนี้ใช้ทรายถมบนชั้นดินอ่อนและคลุมไว้ด้วยแผ่นฟิล์มกันอากาศรั่วซึมเพื่อเป็นการลดความดันอากาศในชั้นทราย และใช้ความดันบรรยากาศทำให้เกิดการอัดตัวในดิน

ตามทางทฤษฎีจะได้น้ำหนักบรรทุกประมาณ 10 ตัน/ม² แต่เนื่องจากอากาศอาจรั่วไปบ้างในทางปฏิบัติจะได้ประมาณ 5-6 ตัน/ม² นอกจากนั้นก็คล้ายกับวิธีลดระดับน้ำใต้ดิน คือการเพิ่มการอัดตัว ไม่ทำให้เกิดการลดความเค้นตามความลึก แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูบลมจากอากาศค่อนข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง จึงไม่เป็นการประหยัดถ้าต้องสูบน้ำเป็นเวลานาน ซึ่งเป็นข้อเสียประการหนึ่งของวิธีการนี้

วิธีระบายน้ำในแนวดิ่ง :

วิธีระบายน้ำในแนวดิ่งเป็นวิธีในการขจัดระยะทางในการระบายน้ำออกของมวลดิน โดยอาศัยท่อระบายน้ำ (drain column) ที่ทำขึ้นในชั้นดินอ่อน ช่วยให้เกิดการอัดตัวในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียวได้เร็วขึ้น ในการพิจารณาการระบายน้ำตามที่แสดงในรูปที่ 6 ถ้าไม่มีการปรับปรุงชั้นดินเดิม ระยะทางในการระบายน้ำออกจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนาของชั้นดินเหนียว เพราะน้ำสามารถระบายได้ทั้งด้านบนและด้านล่างดังแสดงในรูป (a) ในกรณีที่ได้มีการปรับปรุงดินดังแสดงในรูป (b) โดยทำท่อระบายน้ำในแนวดิ่ง น้ำจะระบายออกได้ในแนวราบ ระยะทางที่น้ำระบายจะเป็นเพียงครึ่งหนึ่งของระยะทางของท่อระบาย ซึ่งจะลดเวลาการระบายน้ำได้เพราะระยะทางในรูป (b) สั้นกว่าในรูป (a)

วิธีการดังกล่าวไม่เพียงพอแต่ทำท่อระบายน้ำในแนวดิ่งเท่านั้น แต่ยังบรรจุหน้าหนักด้วยทรายปูพื้นหน้าและทำมวลดินเพื่อให้ดินฐานรากอัดตัวได้ด้วย ในการบรรจุหน้าหนักนิคมจะใช้วิธีการชะลอการเพิ่มน้ำหนัก ซึ่งเป็นการเพิ่มน้ำหนักทีละน้อย หรือโดยการเพิ่มน้ำหนักเป็นระยะๆ โดยใช้วิธีการถมดินด้วยหน้าหนักรวมเท่ากับน้ำหนักของโครงสร้าง หรือมากกว่าล่วงหน้าก่อนจะเริ่มทำการก่อสร้างจริง

ในการระบายน้ำในแนวดิ่ง มักเรียกชื่อตามวัสดุที่ใช้ เช่น วิธีระบายน้ำด้วยทราย (sand drain) วิธีใช้แผ่นกระดาษแข็ง (card-board wicks) และวิธีระบายน้ำด้วยพลาสติก (plastic board drain)

วิธีเข็มทรายอัด :

โดยวิธีนี้ทรายจะถูกอัดลงไปสู่ชั้นดินอ่อนด้วยแรงกระแทกหรือแรงสั่นสะเทือนเพื่อให้เป็นเข็มทรายอัดแน่น วิธีนี้สามารถใช้ได้กับดินเหนียว และดินทราย

หลักการปรับปรุงดินฐานรากที่เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนนั้น อาศัยแนวความคิดดังต่อไปนี้

เมื่อทำเข็มทรายหลายต้นลงไปดินเหนียวอ่อน ก็จะกลายเป็นฐานรากรวมประกอบด้วยเข็มทรายและดินเหนียว ดังนั้นเมื่อน้ำหนักของโครงสร้างกระทำบนฐานรากรวมนี้ เข็มทรายจะรับน้ำหนักมากกว่าดินเหนียว เนื่องจากความแตกต่างทางกายภาพและทางกล ผลที่ตามมาก็คือความ

แค้นที่เกิดขึ้นในชั้นดินเหนียวจะลดลงทำให้ลดขนาดของการทรุดตัวนั้นสุดท้ายลงได้ อย่างไรก็ตามไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความแข็งแรงเฉือนในทรายมีค่ามากกว่าดินเหนียว ฉะนั้นความแข็งแรงของดินฐานราก โดยส่วนรวมจะเพิ่มขึ้นที่ละน้อยตามปริมาณของทรายที่เข้าไปแทนที่ส่วนของดินเหนียว นอกจากนี้ ยังสามารถระบายออกตามท่อทรายได้เหมือนกับการระบายในแนวตั้ง เป็นผลให้เกิดการเร่งการทรุดตัวของชั้นดินอ่อน

เมื่อใช้วิธีนี้สำหรับดินเหนียว ขณะทำเข็มทรายอัดลงไป ดินจะถูกรบกวนเป็นการชั่วคราว ทำให้ความแข็งแรงของดินลดลง ฉะนั้นจะต้องระวังเป็นพิเศษในการพิจารณาค่าความแข็งแรงของดิน โดยทั่วไปแล้วระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของหลุมทรายจะมีค่าประมาณ 1.2-2.0 เมตร โดยการจัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือจัดแบบรูปสามเหลี่ยม

วิธีเสาหิน :

เทคนิคการทำเสาหิน ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนเริ่มรู้จักเมื่อปี 1960 วิธีการนี้ กระทำโดยการขุดหลุมในแนวตั้งลึกลงไปในพื้นที่ จากนั้นจึงทำการถมด้วยหินให้เต็ม จุดประสงค์ของการกระทำดังกล่าวมี 2 ประการคือ 1.) เพื่อเป็นการเสริมกำลังของดิน และ 2.) เพื่อให้เกิดการระบายน้ำได้ในแนวตั้ง เป็นผลทำให้ดินเกิดการทรุดตัวภายในเวลาที่เร็วขึ้น ภายหลังการทำ loading ที่ผิวดิน ด้วยลักษณะของวิธีดังกล่าว น้ำหนักของโครงสร้างที่ผิวดินจะถ่ายผ่านลงสู่เสาหิน เป็นการลดการรับกำลังของชั้นดินอ่อน ประสิทธิภาพของวิธีดังกล่าวได้มีการทดสอบโดยเปรียบเทียบการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนเมื่อมีการใช้เสาหิน กับกรณีที่ไม่มีการใช้เสาหิน ผลแสดงดังรูปที่ 6-1 (ENGELHARDT et al 1974)

ในการทำเสาหินแบ่งขั้นตอนการทำงานได้ออกเป็น 2 ขั้นตอน กล่าวคือขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนของการขุดหลุมลึกลงไปในพื้นที่ โดยใช้เครื่องเจาะแบบสันสะเทือน (terpedo) ซึ่งมีความยาวประมาณ 2-5 ม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-0.4 ม. (ดังรูปที่ 7a) ด้วยแรงสันสะเทือนในแนวนอน ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยน้ำหนักของตัวเอง และด้วยการฉีดน้ำลงไปสู่กันหลุม (ดังรูปที่ 7b) ขนาดของหลุมโดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.7-0.9 ม. ในการถมหินลงไปหลุมจะใช้เครื่อง terpedo ช่วยในการบดอัดที่ละเอียด

เสาหินที่ได้จะมีความสามารถในการรับกำลังมากขึ้นเพียงใด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเสา และวัสดุที่ใช้ และค่า stiffness ของดิน โดยทั่วไปเสาหินที่ทำได้สามารถรับกำลังได้ประมาณ 100-300 kN

วิธีผสมในชั้นดินลึก :

วิธีนี้ใช้ตัวเสถียรคือปูนดิบ หรือซีเมนต์ กวนผสมกับดินเหนียวในที่ เพื่อให้เกิดการอัดตัวของดิน การผสมในชั้นดินลึกโดยการใช้ปูนดิบนั้น อาศัยหลักการคูดกลืน ทำให้เกิดความร้อน และการขยายตัว ซึ่งผลให้เกิดการผสมระหว่างปูนดิบและดินคล้ายการทำ Grouting

การปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินอ่อนบริเวณกันทะเล สามารถจะทำได้ดังแสดงในรูปที่ 8 ก่อนอื่นใช้ใบพัดหมุนกวนดินลงไปถึงระยะลึกตามที่กำหนด ต่อจากนั้นใส่ปูนดิบลงไปตามท่อดังแสดงในรูปที่ 9 ขณะที่ปูนดิบไหลลงไปใต้ดิน ก็จะทำการหมุนใบพัดไปด้วย ปูนดิบจะถูกกวนและผสมกับดินเหนียวเสร็จแล้วดึงเครื่องมือขึ้น สำหรับใบพัดที่ใช้นี้อาจเป็นชนิด 2 แขน คือมีใบพัด 2 ใบ หรือชนิด 4 แขน คือมีใบพัด 4 ใบก็ได้

โดยวิธีอย่างเดียวกันอาจใช้น้ำปูนซีเมนต์หรือปูนสอ แทนปูนดิบก็ได้ ในกรณีที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวทำให้เกิดการแข็งตัวแล้วไม่เพียงแต่จะใช้กับดินเหนียวเท่านั้น กับดินทรายหรือดินอินทรีย์ก็ใช้ได้ผล

วิธีการนี้ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อปรับปรุงชั้นดินอ่อนของพื้นชายทะเลให้เกิดประโยชน์ แต่อย่างไรก็ดีเท่าที่ผ่านมา ยังไม่ค่อยประสบความสำเร็จกับงานขนาดใหญ่ และยิ่งกว่านั้นพฤติกรรมอันแท้จริงหลังจากทำเสร็จแล้วก็ยังไม่สามารถยืนยันผลระยะยาวได้ คงต้องใช้เวลาต่อไปที่จะหาวิธีปฏิบัติในการออกแบบที่สมรับได้ในแง่ของประเพณีศาสตร์

วิธีเลือกแข็ง :

วิธีการนี้จะใช้กลุ่มของท่อเหล็กที่เรียกว่า "ท่อเลือกแข็ง" ผึงในดินฐานราก ท่อเหล่านี้จะมีของเหลวที่มอดูมิต่ำอยู่ และน้ำในช่องว่างของดินจะแข็งตัวโดยความเค็มในดินฐานรากบริเวณกลุ่มท่อ ดังนั้นน้ำจะไม่สามารถไหลผ่านดิน และสมบัติทางกลของดินฐานรากจะดีขึ้น

วิธีนี้มีลักษณะดีเป็นพิเศษที่สามารถนำไปใช้กับงานชั่วคราวในการทำอุโมงค์รถใต้ดิน ใต้แม่น้ำ โดยมีท่อประปาหรือท่อระบายน้ำเสียฝังอยู่ และแม้แต่ภายใต้สภาพสิ่งแวดล้อมที่เลว เช่นมีน้ำใต้ดิน หรือ ดินที่อยู่ข้างใต้ไม่สามารถทราบคุณสมบัติได้ด้วยวิธีอื่น

ของเหลวอุมมิต่ำ ที่ใช้ในท่อเลือกแข็งได้แก่สารละลายของ แคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งทำให้เส้นถึงลบ 20-30 องศาเซลเซียส ที่เรียกว่าน้ำเกลือ หรือโดยการใช้แก๊สเหลวที่อุมมิต่ำ เช่น ไนโตรเจนเหลว ซึ่งการใช้แก๊สเหลวมักใช้สำหรับงานขนาดเล็กที่มีปริมาตรของดินที่จะต้องให้แข็งตัวน้อยกว่า 200 m³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลักษณะทั่วไปของวิธีดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงทางกลของดินเลือกแข็งนั้นดีมาก ตัวอย่างเช่นในกรณีของดินอ่อนที่มีความแข็งแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดประมาณ 0.3 กก/ซม^2 ความแข็งแรงนี้จะเพิ่มขึ้น 130 เท่า เมื่อดินเลือกแข็งมีอุณหภูมิต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำเป็นกำแพงรับน้ำหนักได้
2. น้ำไม่สามารถผ่านดินเลือกแข็งได้เลย ยิ่งกว่านั้นแรงเลือกแข็งตรงส่วนที่ต่อเนื่องกับเข็มพืดคอนกรีต, ส่วนโค้งของอุโมงค์ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียส จะให้ความเชื่อมแน่นเลือกแข็งมากกว่า 10 กก/ซม^2 โดยมีข้อแม้ว่าจะต้องรักษาอุณหภูมินี้ให้คงที่ตลอดเวลา
3. ความสม่ำเสมอของดินเลือกแข็งนั้นดีมาก ความร้อนจะพยายามไหลจากที่มีอุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิที่ต่ำ หรืออีกนัยหนึ่งจะมีการถ่ายเทอุณหภูมิให้สม่ำเสมอในดินฐานราก ถ้าทำให้เกิดความเย็นต่อเนื่อง ท่อนเลือกแข็งจะเกิดขึ้นโดยสม่ำเสมอ และจะยังคงรักษาความสม่ำเสมอไว้ได้แม้ในชั้นที่ประกอบด้วยดินต่างชนิดกัน
4. ความเร็วในการละลายของดินเลือกแข็งนั้นช้ามาก โดยจะยังคงมีความปลอดภัยเพียงพอแม้ว่าเครื่องทำความเย็นจะเกิดขัดข้อง
5. ไม่ต้องกังวลผลต่อสภาพอากาศที่เป็นพิษ หรือน้ำใต้ดินมีเชื้อโรค แต่เครื่องทำความเย็นจะก่อให้เกิดเสียงดังรบกวนซึ่งสามารถป้องกันได้โดยใช้ผนังป้องกันเสียงในห้องเครื่อง
6. เนื่องจากการขยายตัวของดินเลือกแข็ง และการทรุดตัวเมื่อเวลาอาจมีผลต่อดินข้างเคียง จึงจำเป็นต้องระมัดระวังในการออกแบบและการปฏิบัติงาน ถึงแม้ว่าการขยายตัวของดินเลือกแข็งจะไม่เกิดในทราย หรือกรวด แต่จะเกิดในทรายแป้ง รวมทั้งดินเนื้อละเอียดที่สามารถผ่านตะแกรง 20μ เช่นดินเหนียว และดินร่วน เป็นต้น
7. เมื่อน้ำในดินไหลเร็ว จะมีปัญหาจากดินที่กั้นเป็นกำแพงที่จะให้เลือกแข็ง ซึ่งอาจจะไม่แข็งตัวเพราะการนำความร้อนมาจากน้ำในดิน กล่าวกันว่าขีดจำกัดของน้ำใต้ดินที่ใช้กับกำแพงกันดินเลือกแข็งมาตรฐานนั้นประมาณ 2 เมตร/วัน ในการใช้น้ำเกลือ และประมาณ 10 เมตร/วัน โดยการใช้แก๊สออกซิเจนต่ำ แต่ถ้าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินมีค่าน้อย และความเร็วของการไหลลดลงโดยวิธีนี้ร่วมกับวิธีอัดฉีด ก็จะสามารถใช้ได้แม้ในกรณีที่ความเร็วของการไหลเกินขีดจำกัดนี้

วิธี Electro-Osmosis :

โดยหลักการของวิธีนี้คือการทำการผ่านกระแสไฟฟ้าสู่มวลดินที่อยู่ระหว่างขั้ว electrodes ด้วยกระแสดังกล่าวจะทำให้น้ำในมวลดินเกิดการเคลื่อนที่จากขั้ว anode ไปสู่ขั้ว cathode จากนั้นก็จะได้ทำการสูบน้ำที่ไหลมาสะสมที่ cathode ออก ผลที่ได้คือดินสามารถระบายน้ำออกไปได้ในเวลาที่รวดเร็ว

กระบวนการ Electro-Osmosis เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในช่องว่างภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า electro-drainage โดยจะเกิดขึ้นกับดินเนื้อละเอียด มีผลทำให้เกิดการทรุดตัวของมวลดิน และเป็นการเพิ่มค่า undrain shear strength เทคนิคนี้จะใช้ในการปรับปรุงดินที่อยู่ในสภาพ 'local' ตามธรรมชาติ

กระบวนการ Electro-Osmosis นี้บางครั้งอาจใช้ในการผ่านเอาสารเคมีเข้าสู่มวลดิน โดยอาศัยการซึมผ่านอย่างช้าๆ ทิศทางของสารเคมี ขึ้นอยู่กับทิศทางในการเคลื่อนที่ของอิออนภายใต้สนามไฟฟ้า ในเทอมของ electro-injection หรือ electro-chemical สารเคมีจะผ่านเข้าสู่มวลดินโดยผ่านทางขั้วบวก โดยไม่ทำให้โครงสร้าง และปริมาณของดินเปลี่ยนไป โดยมีผลทำให้กำลังของดินสูงขึ้น

ในเชิงวิศวกรรมการจะนำวิธีการ Electro-Osmosis มาใช้นั้นจะทำการก็ต่อเมื่อวิธีการทาง mechanical of hydraulic ไม่สามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามข้อมูลผลการปฏิบัติการด้วยวิธีนี้ และปัญหาทางด้านเทคนิค ตลอดจนค่าใช้จ่ายยังไม่กระจ่างชัด จึงสมควรดูผลการสำรวจและการวิจัยต่อไป

โดยการใช้น้ำผ่าน Geogrid :

เราใช้ Geogrid เพื่อเสริมแรงของดิน ด้วยคุณสมบัติด้านความเครียดที่มีความสัมพันธ์กับดิน Geogrid จึงมีคุณสมบัติทางกายภาพที่คล้ายกับการผสมผสานกันระหว่างเหล็กกับพลาสติก

โดยทั่วไปเราจะแบ่ง Geogrid ที่มีความสามารถในการรับแรงได้ออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ

1. Geogrid แบบ Unaxial เป็น Geogrid ที่มีความสามารถในการรับแรงได้เพียงทิศทางเดียว คือทางแนวนอน

2. Geogrid แบบ Biaxial เป็น Geogrid ที่มีความสามารถในการรับแรงได้สองทิศ

ทางนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติเฉพาะตัวของ Geogrid คือ

1. คุณสมบัติด้านความสามารถในการรับแรง (Q.C.Strength) เป็นค่าที่บ่งบอกตาม Spec การใช้งานซึ่งได้มาจากการทดสอบในห้อง Lab
2. คุณสมบัติด้านความคงทน (Durability) เนื่องจาก Geogrid เป็นสารที่ทำจาก Polymer ดังนั้น Geogrid จึงมีคุณสมบัติคือ ไม่เกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจาก สารละลายจำพวก กรด ด่าง และเกลือ และไม่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน

การรับแรงของตัว Geogrid อันเนื่องมาจากน้ำหนักที่แผ่ลงมานั้น Geogrid จะใช้แรงเสียดทานของผิวดิน กับตัว Geogrid และการ Interlock ของอนุภาคดินกับช่องของ Geogrid จึงมีการกำหนดขนาดอนุภาคไม่ให้มีขนาดเกิน 125 มม.

Geogrid โดยทั่วไปจะมุ่งเน้นถึงความสามารถในการรักษา Stability ของ Embankment หรือของดินถมเพื่อให้รักษาความชันของ Slope ได้ตามต้องการ และสามารถที่จะรับน้ำหนักที่แผ่ลงมาได้โดยไม่เกิดการพังทลาย

ลักษณะของการนำ Geogrid ไปใช้งาน

- Retaining Wall
- Bridge Abutment
- Steep Slope
- Slope Repair
- Embankment Foundation
- Road, Railways, air Field Pavements
- Erosion Control

วิธี Grouting :

Grouting คือขบวนการอัดฉีดส่วนผสมของวัสดุ Grout ซึ่งเป็นของไหลเข้าไปใน Foundation ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมกับชนิดและคุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของวัสดุ เพื่ออุดรอยต่อ รอยร้าว รอยแตก เชื่อมให้มวลของ Foundation เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นการเพิ่ม Strength, Compressive Strength, Stability ให้แก่ Foundation และลดหรือกั้น Seepage Flow หรือ Leakage ของน้ำที่ไหลผ่าน Foundation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุ Grout โดยทั่วไปแบ่งได้ดังนี้ คือ

- Portland Cement

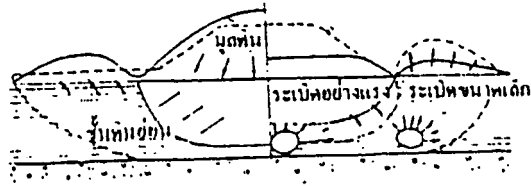
การใช้ Portland Cement ที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนมากจะใช้ในการเพิ่มความสามารถในการรับแรง ซึ่งแสดงออกมาอยู่ในรูป Tensile Strength Compressive Strength และ Stability ซึ่งต้องอัดด้วยความดันสูง โดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนการผสม w/c จะไม่เกิน 2.6 ซึ่งบางครั้งอาจต้องเติมสารบางอย่างลงไปเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

- Chemical Grouting

การใช้ Chemical ในการ Grout นั้นส่วนใหญ่เราจะใช้ในกรณีที่มีงูเน้นในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ ซึ่งโดยส่วนมากเราจะทำการ Grout พวกกรวด และทราย ซึ่งมีความสามารถในการรับกำลังที่คือน้อยแล้ว

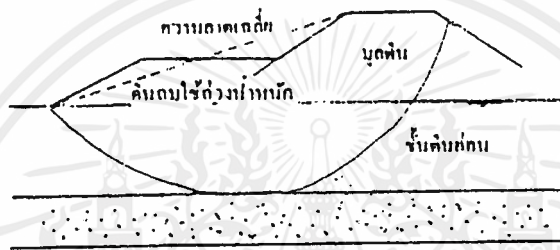


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

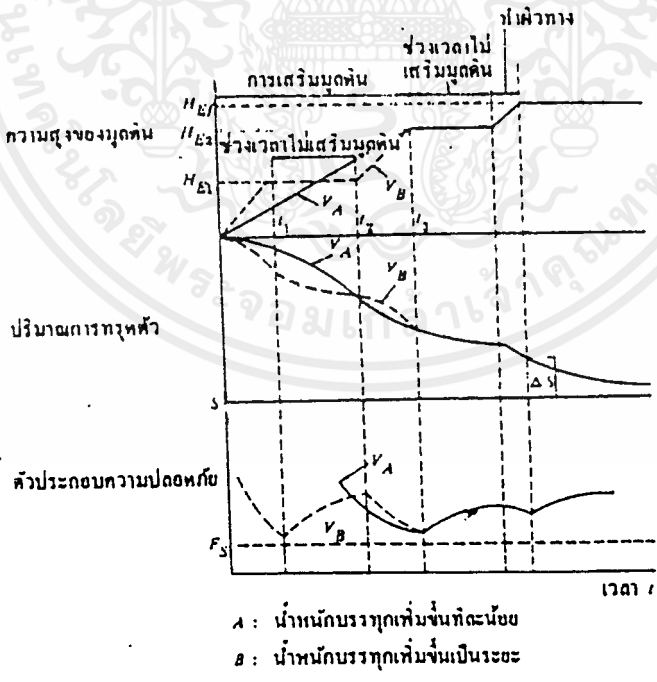


(a) วิธีการจัดโดยใช้น้ำหนักของมุดดินหิน (b) วิธีการจัดโดยการระเบิด

รูปที่ 1 วิธีการกระจัด

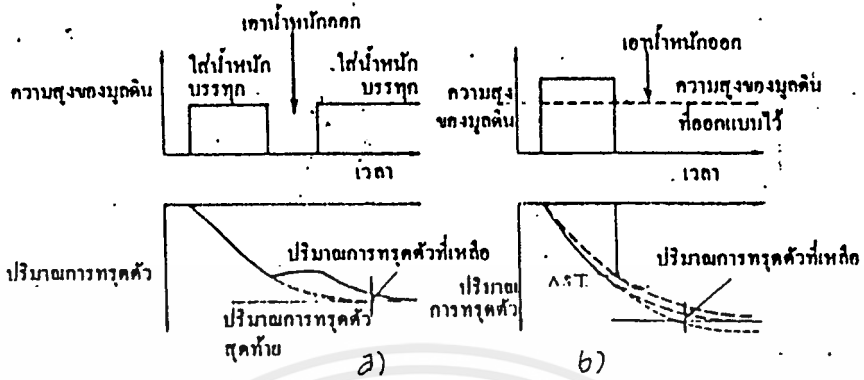


รูปที่ 2 วิธีถ่วงน้ำหนัก

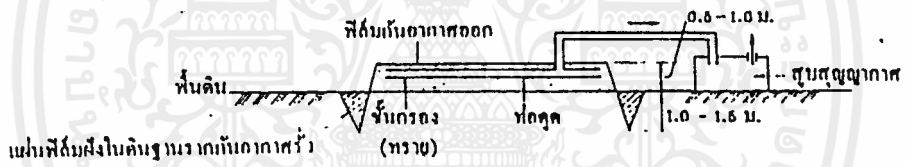


รูปที่ 3 การเปรียบเทียบอัตราเร็วของการดำเนินการ

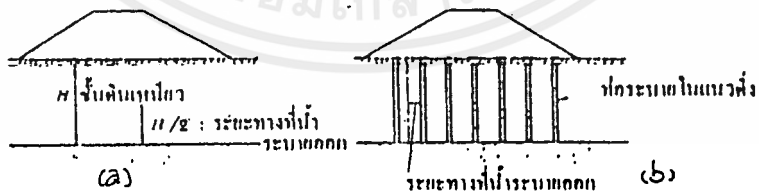
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 วิธีบรรทกน้ำหนัก

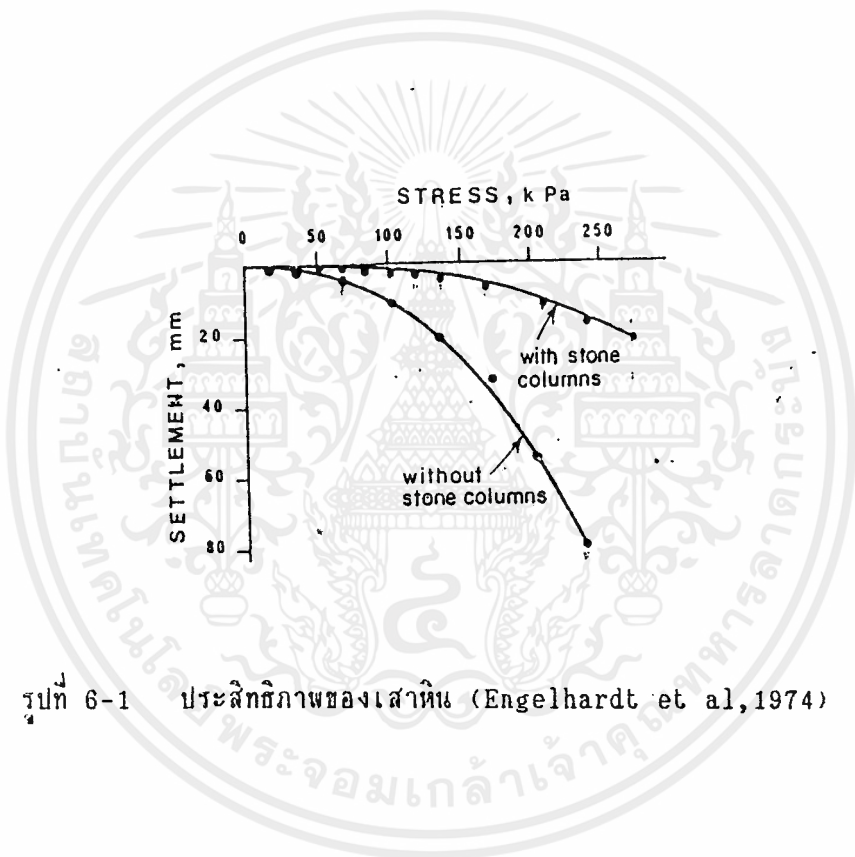


รูปที่ 5 วิธีความดันบรรยากาศ



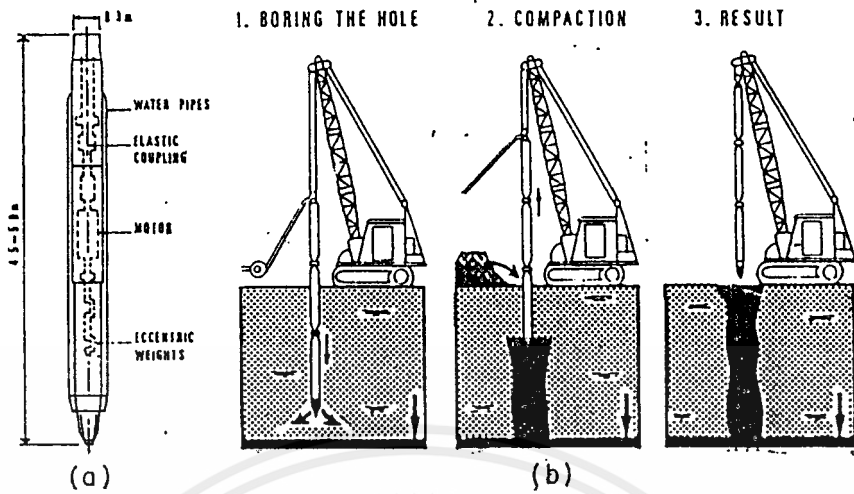
รูปที่ 6 หลักการระบายน้ำในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-1 ประสิทธิภาพของเสาหิน (Engelhardt et al, 1974)

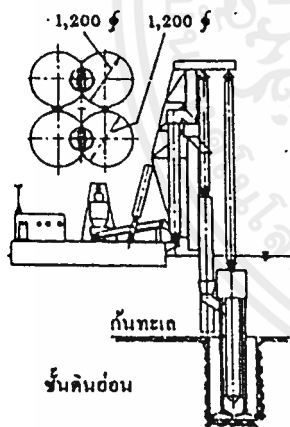
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



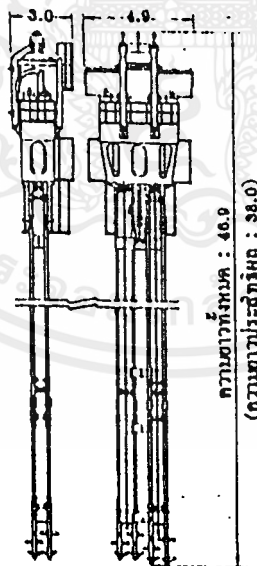
รูปที่ 7 เครื่องมือ และขั้นตอนการทำ stone columns

a) torpedo

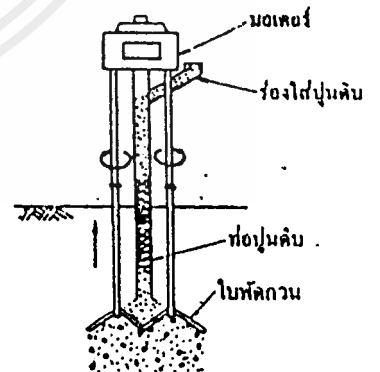
b) การทำเสาหิน



(ก) เครื่องกลไทรหมั่นดินเป็นชั้น



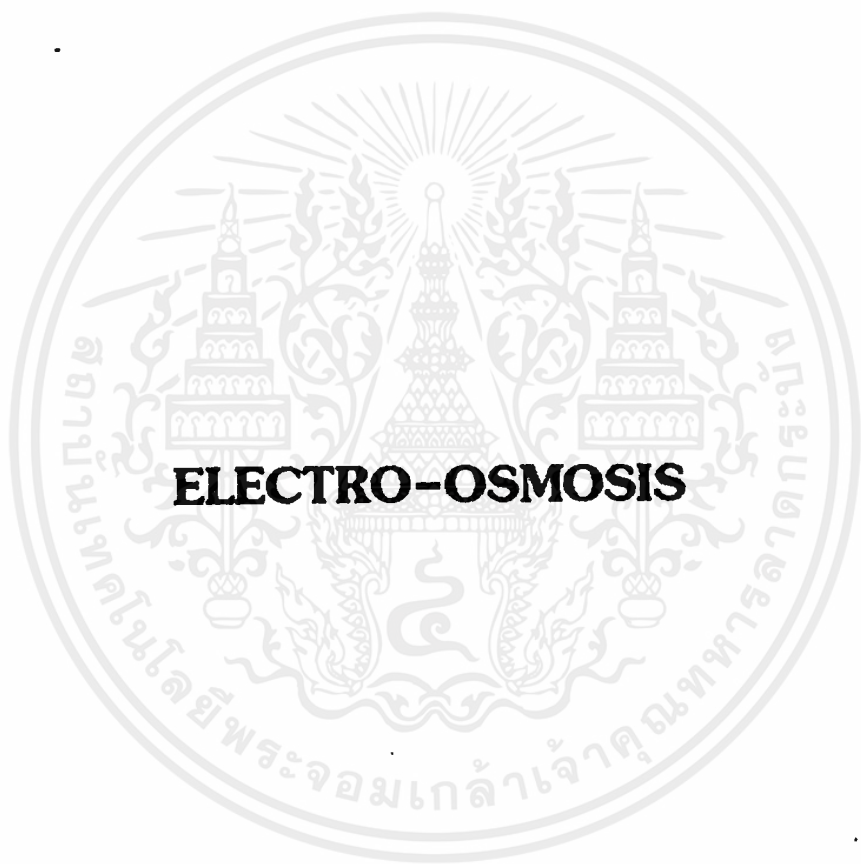
(จ) บริเวณที่ใช้หมั่นดินที่ละเอียด



รูปที่ 8

รูปที่ 9 การผสมและการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRO-OSMOSIS

คำนำ

กว่า 150 ปีมาแล้วที่มีบทความกล่าวเกี่ยวกับการทดลองปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านมวลดิน โดยในภายหลังเริ่มมีการพัฒนาขึ้นโดย CASAGRANDE ในปีค.ศ. 1947 โดยหลักการของวิธีนี้คือการทำ การผ่านกระแสไฟฟ้าสู่มวลดินที่อยู่ระหว่างขั้ว electrodes ด้วยกระแสดังกล่าวจะทำให้ น้ำในมวล ดินเกิดการเคลื่อนที่จากขั้ว anode ไปสู่ขั้ว cathode จากนั้นก็จะได้ทำการสูบน้ำที่ไหลมา สะสมที่ cathode ออก ผลที่ได้คือดินสามารถระบายน้ำออกไปได้ในเวลาที่รวดเร็ว

กระบวนการ Electro-Osmosis เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในช่องว่างภายใต้อิทธิพลของ สนามไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า electro-drainage โดยจะเกิดขึ้นกับดินเนื้อละเอียด มีผลทำให้เกิด การทรุดตัวของมวลดิน และเป็นการเพิ่มค่า undrain shear strength เทคนิคนี้จะใช้ใน การปรับปรุงดินที่อยู่ในสภาพ 'local' ตามธรรมชาติ

กระบวนการ Electro-Osmosis นี้บางครั้งอาจใช้ในการผ่านเอาสารเคมีเข้าสู่มวลดิน โดยอาศัยการซึมผ่านอย่างช้าๆ ทิศทางของสารเคมี ขึ้นอยู่กับทิศทางในการเคลื่อนที่ของอิออนภายใต้สนามไฟฟ้า ในเทอมของ electro-injection หรือ electro-chemical สารเคมีจะผ่าน เข้าสู่มวลดินโดยผ่านทางขั้วบวก โดยไม่ทำให้โครงสร้าง และปริมาตรของดินเปลี่ยนแปลง โดยมีผลทำ ให้กำลังของดินสูงขึ้น

ในเชิงวิศวกรรมการจะนำวิธีการ Electro-Osmosis มาใช้นั้นจะทำก็ต่อเมื่อวิธีการทาง mechanical or hydraulic ไม่สามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามข้อมูลผลการปฏิบัติการด้วยวิธีนี้ และปัญหาทางด้านเทคนิค ตลอดจนค่าใช้จ่าย ยังไม่กระจ่างชัด จึงสมควรดูแลการสำรวจและการวิจัยต่อไป สำหรับรายละเอียดในเรื่องนี้จะได้ กล่าวถึงในลำดับต่อไป

ทฤษฎีของวิธี Electro-Osmosis

ตามทฤษฎี double-layer ของ HELMHOLTZ (รูปที่ 10) การไหลของ Electro Osmosis เกิดขึ้นจากการให้สนามไฟฟ้า แสดงดังสมการ 3.22

$$V_o = DZ\Delta E / 4\eta\Delta L \quad (1)$$

โดย	V_o	=	อัตราการไหลของ Electro-Osmosis
	ΔE	=	ค่าความต่างศักย์
	ΔL	=	ระยะห่างระหว่าง electrode (cm.)
	η	=	ค่าความหนืด
	D	=	ค่าคงที่ dielectric ของน้ำในดิน
	Z	=	zeta potential

ปริมาณของเหลวที่เคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลาโดยการ Electro-Osmosis ในหลอด capillary สามารถคำนวณได้จากการปรับปรุงสมการของ HELMHOLTZ ได้ดังสมการ 1

$$q_o = \Delta E D r^2 Z / 4\eta\Delta L \quad (2)$$

เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นอย่างชัดเจนระหว่างการไหลของ Electro-Osmosis ที่แสดงดังสมการที่ 2 กับการไหลของน้ำ พิจารณาจากโครงสร้างของดินซึ่งมีค่า porosity n ดังนั้นการไหลของกระแสไฟฟ้าจะเป็นดังสมการ 3

$$q = nq_o = k_o E_1 A \quad (3)$$

โดย $k_o = DZn/4\eta$ = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของ Electro-Osmosis ในหน่วย mm/sec ต่อ volt/mm ของ potential gradient

$E_1 = E / L$ = potential gradient

A = discharge area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 3 สามารถนำมาเปรียบเทียบกับ DARCY's form of POISSEVILLE'law สำหรับการไหลที่ไม่เร็วนัก (laminar) ในหลอด capillaries ดังสมการที่ 4

$$q = kiA \quad (4)$$

โดย k = สัมประสิทธิ์การซึมได้ของช่องไหล
 i = hydraulic gradient

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ k_u และค่า k_h ของน้ำไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของ capillary แต่มันจะขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่าง ดังนั้นจากพื้นฐานทฤษฎีของ HELMHOLTZ จึงกำหนดค่า k_u ให้มีค่าเท่ากัน ทั้งในดินทราย ดินร่วน หรือดินเหนียว และให้ค่า D เป็นค่าคงที่

จากการทดสอบกับ material ต่างๆกัน พบว่ามีความแตกต่างของค่าการซึมได้ของน้ำในช่วงกว้าง แต่สำหรับค่า k_u นั้นส่วนใหญ่จะสมมติให้เป็นค่าคงที่ โดยที่มีค่าเป็น 0.5×10^{-4} cm/sec (5×10^{-3} mm²/volt/sec) สำหรับ gradient ขนาด 1 volt/cm และยิ่งพบว่าค่า zeta potential มีความสัมพันธ์กับความหนาของ double-layer โดยในสารละลาย electrolyte ที่มีความเข้มข้นสูงมากๆ จะทำให้ค่า Z ลดลงจนเป็นศูนย์ ดังนั้นการไหลของ Electro-Osmosis จะหยุดลง หรือเกิดการเคลื่อนที่กลับทิศทางของประจุไฟฟ้าใน double-layer ทำให้เกิดการไหลกลับทิศทางของน้ำ

ข้อดีของการใช้วิธี Electro-Osmosis ในการ dewatering กับดินเนื้อละเอียด จะแสดงให้เห็นเข้าใจจากตัวอย่างต่อไปนี้ สมมติให้ดินเหนียวมีค่า $k = 10 \times 10^{-9}$ cm/sec และค่า hydraulic gradient ให้มีอัตราเดียวกับ potential gradient (i_u) = 1 volt/cm เราจะได้ว่า

$$ik = i_u k_u$$

$$i = i_u k_u / k_h = 5000$$

ความแตกต่างของค่า k_h มีสาเหตุมาจากค่าของ hydraulic gradient อย่างไรก็ตาม ภาสได้อธิบายของ แรงดันไฟฟ้าจะมีผลทำให้น้ำในช่องว่างถูกดึงให้เคลื่อนตัวออกมาจากการเคลื่อนที่ของไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Theoretical Development

กระบวนการ Electro-Osmosis จะเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ไอออนซึ่งมีประจุต่างกันวิ่งมาชนกันกับโมเลกุลของน้ำ (รูปที่ 11) ในดินเหนียว และ ion exchanger อื่นๆจะมีความพร้าวมที่จะปรับไอออนบวกให้เกิดความสมดุลกับไอออนลบที่เกาะติดอยู่กับ partical ของดินเหนียว ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเท momentum ต่อโมเลกุลของน้ำมากกว่าที่ให้กับ co-ion ก่อให้เกิดตาข่ายการเคลื่อนที่ของน้ำในทิศทางการเคลื่อนของไอออน อัตราการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับการสนามไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไป แรงต้านการไหลเนื่องจากดิน และแรงเสียดทานระหว่างไอออนต่อโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นพื้นฐานสำคัญต่อการเกิด Electro-Osmosis คือ

- a) การกระจายของ cation และ anion
- b) การกระจายของ water-ion ในดิน

อัตราส่วนของ cation ต่อ anion ในช่องว่างของดิน และ ปริมาณน้ำต่อ cation ซึ่งมีค่ามากเพียงใดประสิทธิภาพของ Electro-Osmosis ก็จะต้องเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันซึ่งมี co-ion เกิดขึ้นมากเพียงใดประสิทธิภาพของ Electro-Osmosis ก็จะต้องลดลงเพียงนั้น

เงื่อนไข 2 ประการที่จะป้องกันการเกิด co-ion คือ

- a) ความหนาแน่นประจุสูง หรือ มีการแลกเปลี่ยนประจุสูง
- b) มีปริมาณน้ำในมวลดินต่ำ

ใน inactive clay ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงประจุต่ำ แต่มีปริมาณน้ำอยู่มาก กระบวนการ Electro-Osmosis ที่เกิดขึ้นจะลดลงอย่างรวดเร็วด้วยการเพิ่มความเข้มข้นเกลือให้กับสารละลาย electrolyte ภายนอก ในดินร่วน และ Kaolin clay ที่มีปริมาณน้ำอยู่มากก็จะแสดงผลการออกมาเช่นเดียวกัน

จาก SPIEGLER'friction model สำหรับการเคลื่อนที่ของ Electro-Osmosis ต่อหน่วยประจุ (w) จะแปรผันกับอัตราส่วนของน้ำต่อ cation ใน internal phase

$$w \propto cH_2O / cNa \quad ; \quad \text{ค่า } c \text{ เป็น molar concentration}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ Electro-Osmosis การเคลื่อนที่ของน้ำจะเนื่องมาจากอัตราส่วนระหว่างน้ำกับอไอออนเป็นสำคัญ ในดินที่มีการเปลี่ยนแปลงประจุสูงและมีปริมาณน้ำต่ำ จะทำให้อัตราส่วนระหว่าง cH_2O/cNa มีค่าต่ำ ดังนั้นปริมาณน้ำต่ออไอออนที่สมดุลจะมีค่าลดลงเช่นกัน มันเป็นการอธิบายว่าทำไมในดินที่มีการแลกเปลี่ยนประจุสูงแต่มีปริมาณน้ำต่ำ จึงมีปริมาณน้ำที่ผ่านได้ต่อหน่วยประจุน้อยกว่าดินที่มีการเปลี่ยนแปลงประจุต่ำแต่มีปริมาณน้ำอยู่มาก

ด้วยการพิจารณาการทำนายบนพื้นฐานจากทฤษฎีของ DONNAN ในน้ำที่มีความเข้มข้นต่อหน่วยอไอออน กับดินเหนียวชนิดต่างๆ และมีปริมาณน้ำแตกต่างกัน สรุปได้ดังนี้ คือ

Inactive low exchange capacity clay ที่ high water content และ low salinity ทั้ง co-ion exclusion และปริมาณน้ำจะมีค่ามาก ดังนั้นการเคลื่อนที่ของ Electro Osmosis ก็จะมีค่าสูงขึ้น

Active high exchange capacity clay แม้ว่า co-ion exclusion จะมีค่าสูงในทุก salt concentration, ความเข้มข้นของน้ำต่ออไอออนที่ต่ำ หมายความว่าปริมาณน้ำที่เคลื่อนที่ต่อหน่วยประจุไฟฟ้าจะมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามการเพิ่มของปริมาณ salt จะมีผลให้ประสิทธิภาพลดลงเพียงเล็กน้อย

จากดินเหนียวทั้งสองประเภทแสดงให้เห็นว่า การลดลงของปริมาณน้ำในดินจะมีผลต่อการลดประสิทธิภาพของ Electro-Osmosis เพราะมันเป็นการลดปริมาณน้ำต่ออไอออนลง ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดัง รูปที่ 12

การทรุดตัวของดินเนื่องจากกระบวนการ Electro-Osmosis

หัวใจสำคัญของทฤษฎีการทรุดตัวโดย Electro-Osmosis ของ ESRIG (1968) คือ "electrical and hydraulic contribution to fluid flow can be superimpose" การทรุดตัวจากกระบวนการ Electro-Osmosis และโดยประสิทธิภาพของ Electro-Osmosis ตลอดจนการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกโดยตรง ได้ถูกวิเคราะห์โดย WAN และ MITCHELL (1976) และโดย JOHNSON & BUTTERFIELD (1977) ได้ทำการวิจัยถึงระยะเวลาในการกระจายแรงดันของน้ำในดิน

ทฤษฎีการทรุดตัวเนื่องจากกระบวนการ Electro-Osmosis โดย ESRIG แสดงถึงการปรับปรุงแรงดันน้ำในช่องว่างในดินสำหรับวิธี Electro-Osmosis ใน one-dimensional ในรูปของค่าคงที่เชิงเส้นของ electric potential gradient สามารถแสดงด้วยสมการ

ต่อไปนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_v \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (5)$$

สมการต่อมาอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า parameters ทางไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงแรงดันของน้ำในช่องว่างเนื่องจาก Electro-Osmosis (JOHNSTON et al, 1977)

(อัตราการใช้)
$$-V = \frac{k_n \cdot \partial u}{\partial x} + k_w \frac{\partial E}{\partial x} \quad (6)$$

(กฎของ Ohm)
$$-i = c \frac{\partial E}{\partial x} \quad (7)$$

(Linear potential gradient)
$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = 0 \quad (8)$$

โดย

V = อัตราการใช้ของน้ำ

k_n = ค่าการซึมได้ของน้ำ

w = ความหนาแน่นของน้ำ

u = แรงดันน้ำในช่องว่าง

E = แรงดันไฟฟ้า

c = conductivity

i = กระแสไฟฟ้า

สองรูปแบบที่มีความสัมพันธ์ต่อ ประสิทธิภาพของวิธี Electro-Osmosis คือ

- 1) Anode sealed and cathode sealed
- 2) Anode sealed and cathode drained

ESRIG (1968) ได้แสดงผลของสมการ 6 ถึง 8 ในรูป uniform potential gradient ที่คงที่ ภายใต้รูปแบบที่ 1 (ASCS) โดยจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{k_n \cdot u(x,T)}{\gamma_w \cdot \partial x} = -k_w \frac{\partial E(x,T)}{\partial x} \quad (9)$$

ค่า $u(x,t)$ แสดงว่า pore-water isochrones มีการ intersect กับ seal-boundary ด้วยมุมที่คงที่ (รูปที่ 13) สำหรับกรณีของรูปแบบที่ 2 โดยค่า γ_w , k_n , k_w และ c จะสมมติให้เป็นค่าคงที่สำหรับกระบวนการ Electro-Osmosis อย่างไรก็ตามปฏิกิริยา electrolysis มักเป็นสาเหตุให้เกิดการกระจายของ gas ที่ขั้ว electrodes รวมถึงการเกิดปฏิกิริยา electro-chemical ในดิน และค่าการนำไฟฟ้า (c) ของดินก็จะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในช่วงของกระบวนการ Electro-Osmosis

จากผลการศึกษาของ JOHNSTON & BUTTERFIELD(1977) แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าจะไม่มีผลต่อการทำให้เกิด uniform electrical gradient สำหรับดินตัวอย่างที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จาก รูปที่ 14 ค่า electrical gradient ที่เกิดจากความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า E_0 ที่ขั้ว seal anode จะมีค่ามากกว่าจุดใดๆ และทำให้เป็นค่าคงที่ดังแสดงด้วยเส้นประ

รูปที่ 14 แสดงให้เห็นว่า pore-water gradient จะ uniform เมื่อ $t =$ ระยะเวลาเอ็คสของเรื่องนี้ได้มีการกล่าวถึงภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยคำตอบจากสมการที่ 5 จะได้ดังนี้

$$u(X,T) = u(X,\alpha) \quad - \text{Sealed electrode} \quad (10)$$

$$u(X,T) = 0 \quad - \text{Drained electrode} \quad (11)$$

โดยจะได้พิจารณาถึงเงื่อนไขทั้งสองดังต่อไปนี้

- 1) Sealed anode and sealed cathode : คำตอบของสมการที่ 5 จากสมการที่ 10 และ 11 จะเป็นดังนี้

$$u(0,T) = + \frac{k_w \cdot E_0 \gamma_w}{k_n \cdot 2} \quad (12)$$

$$u(L,T) = - \frac{k_w \cdot E_0 \gamma_w}{k_n \cdot 2} \quad (13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของแรงดันน้ำในช่องว่างแสดงได้จากสมการที่ 14 ดังนี้

$$u(X, T) = \Omega \frac{k_e E_o \gamma_w}{k_h} \left\{ \frac{y}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \sin \frac{n\pi y}{L} e^{-n^2 \pi^2 T} \right\} \quad (14)$$

โดย $\Omega = 1/2$ และ $y = (L-2X)$ เมื่อ $0 < X < L/2$

$\Omega = -1/2$ และ $y = (2X-L)$ เมื่อ $L/2 < X < L$

สมการที่ 4 แสดง pore-water pressure isochrones สำหรับเงื่อนไขเหล่านี้ และค่าเฉลี่ยของดิกรีการทรคัตวจะเป็นดังสมการที่ 15

$$U_{(T)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{-n^2 \pi^2 T}, \quad n = \text{เป็นค่าบวก} \quad (15)$$

ซึ่งมันมีความผันแปรกับค่าคงที่ของเวลา (T) แสดงดัง รูปที่ 17

2) Sealed anode and drained cathode : เงื่อนไขที่เกิดขึ้นสำหรับกรณีนี้ คือ

$$u(0, T) = 0 \quad (16)$$

$$u(L, T) = - \frac{k_e E_o \gamma_w}{k_h} \quad (17)$$

จากสมการที่ 14 ซึ่งคำตอบสำหรับกรณีของ $\Omega = -1$ และ $Y = X$ และ จาก รูปที่ 16 แสดงถึง pore-water pressure isochrones สำหรับเงื่อนไข ค่าดิกรีการทรคัตวจะเหมือนกับกรณีที่ผ่านมา ซึ่งหาได้จากสมการที่ 15 และ รูปที่ 17

3) Direct loading และ Electro-Osmosis : จากการทำให้ vertical drain ทำ Electro-Osmosis ร่วมกับการถมดิน จะมีผลให้เกิดการระบายน้ำไปสู่ที่ cathode ได้อย่างรวดเร็วขึ้นเป็นการกระจายแรงดันในช่องว่างของมวลดิน

เอกสารนี้คำตอบสำหรับกรณีที่ทั่วไป ของ uniform initial condition ให้นิยามโดยสมมติโยแรงอัด การคำนวณค่าต่างๆ ไม่ควรใช้ทุกสิ่งทุกอย่างที่กล่าวถึงในเอกสารนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของน้ำในช่องว่างในช่วงแรกเป็นผลมาจากน้ำหนักดินโดยตรง สำหรับ close anode และ open cathode ค่าเฉลี่ยของแรงดันน้ำในช่องว่างแสดงดังรูปที่ 18 เวลาที่ต้องการในการระบายแรงดันของน้ำส่วนเกินแสดงดังรูปที่ 19 ภายหลังจากที่แรงดันส่วนเกินดังกล่าวได้ถูกกระจายออกไปแล้ว กระบวนการ Electro-Osmosis ก็จะนำเข้ามาใช้ในการกระจายแรงดันน้ำในช่องว่าง และเป็นการทำให้เกิดการทรุดตัวของดินมากขึ้น

ผลของกระแสไฟฟ้าต่อลักษณะการทรุดตัวของดิน

เนื้อหาต่อไปนี้จะแสดงผลของกระแสไฟฟ้าในกระบวนการ Electro-Osmosis ต่อการทรุดตัวของดิน

1) Re-establishment of virgin curve : MITCHELL และ WAN พบว่า กระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิด negative pore-water pressure ซึ่งมีผลต่อการทรุดตัว และการเพิ่ม stress ของดินโดยตรง รูปที่ 20 แสดง e-log p curve ของดินตัวอย่าง, การทรุดตัวครั้งแรกจาก 0.5 ksc เป็น 1 ksc ด้วยการให้น้ำหนักกระทำโดยตรง จากนั้นทำการผ่านแรงดันไฟฟ้าขนาด 3 volt/cm ผ่านมวลดิน มีผลทำให้ดินเกิดการทรุดตัวเพิ่มขึ้น และภายหลังจากการทรุดตัวหยุดลงจึงหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าพบว่าค่า direct stress เพิ่มเป็น 4 ksc สุดท้ายให้กระแสไฟฟ้าอีก 2.5 volt/cm

2) การทรุดตัวภายหลังจากการกลับหัว Electro-Osmosis : MITCHELL และ WAN พบว่าขณะที่เกิดการทรุดตัวเนื่องจาก Electro-Osmosis ที่หัว anode จะเกิด pore-water tension มากที่สุดและลดลงเป็นศูนย์ที่หัว cathode ทำให้ไม่เกิดการทรุดตัวในบริเวณของ cathode ดังนั้นภายหลังจากที่การทรุดตัวในครั้งแรกสมบูรณ์แล้วจะต้องกลับหัวไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการปรับแรงดันของน้ำในช่องว่างส่วนที่เหลือ

Electro-Chemical effect

ผลจากการเคลื่อนที่ของน้ำเนื่องจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านมวลดิน จะได้ผลตามมาคือ

- 1) เกิดการเปลี่ยนแปลงทางออสโมส
- 2) การกระจายของออสโมส
- 3) การกระจายของ osmotic และค่า pH
- 4) ความร้อนที่เกิดขึ้นที่หัว electrode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) การแยกตัวของแร่ธาตุ
- 6) การตกตะกอนของแร่ธาตุ
- 7) ปฏิกริยา electrolysis
- 8) ปฏิกริยา hydrolysis
- 9) ปฏิกริยา oxidation
- 10) ปฏิกริยา reduction
- 11) สภาพทางกายภาพ และสภาพทางเคมี
- 12) การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของดิน

ซึ่งผลกระทบต่างๆเหล่านี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ strength และ ค่า plasticity ของดิน

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติการ Electro-Osmosis คือที่บริเวณขั้ว cathode จะเกิดก๊าซ hydrogen ขึ้น ก่อให้เกิดการสะสมของ OH^- ทำให้ค่า pH มีค่าสูงขึ้น cation จะเคลื่อนไปยัง cathode ซึ่งมี OH^- จากกระบวนการ hydroxide มาเกาะอยู่ บางครั้งค่า pH อาจมีค่ามากกว่า 11 อันเป็นผลทำให้เกิดการละลายของ silica และ alumina ในดิน

สำหรับที่ขั้ว anode จะเกิดก๊าซ oxygen เนื่องมาจากกระบวนการ hydrolysis และ H^+ ที่เกิดขึ้นจะทำให้ดินบริเวณดังกล่าวมีสภาพเป็นกรด cation บางส่วนในดินเหนียวอาจจะถูกแทนที่ได้ด้วย H^+ รูปแบบของ hydrogen clay จะเป็นรูปแบบที่ไม่เสถียรภาพ และดินเหนียวจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ Al^{3+} ซึ่งมาจากการเคลื่อนที่ของ aluminium ions จาก clay lattice เมื่อมีการใช้ aluminium เป็นขั้ว anode แต่ถ้าใช้ iron เป็น anode ก็จะทำให้เกิดรูปแบบของ iron clay แทน ซึ่งผลที่ได้จากทั้งสองกรณีก็คือ strength ของดินมีค่าเพิ่มขึ้น

Electro-injection

การเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีของดิน โดยอาศัยจากปฏิบัติการทาง Electro-chemical นั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนมาก การออกแบบวิธีในการปฏิบัติการต้องอาศัยการทดสอบซึ่งสามารถทำได้ทั้งจากพื้นที่จริงหรือจากห้องทดลอง ด้วยจุดมุ่งหมายในการปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี และทางไฟฟ้าของดิน

ในปี 1971 CARON ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของวิธี Electro-chemical ในดินเหนียวอ่อนที่เมือง Bordeaux ประเทศฝรั่งเศส โดยใช้กล่องความยาว 300 มม. บรรจุ เอ็กสตรันเป็นเอ็กสตรันที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

remoulded soil (ปริมาณน้ำ 60%) ในการทดลองได้ผ่านแรงดันไฟฟ้าขนาด 12V สุ่มวลดิน ซึ่งใช้ electrode ที่ใช้ทำด้วยกราไฟต์ โดยมีการผ่านสารละลาย sodium silicate เข้มข้น 35% และสารละลาย ammonium chloride เข้มข้น 10% สุ่มวลดินทางขั้ว anode ในการทดลองสองครั้ง ค่า shear strength มาจากการทดสอบโดยวิธี vane test ดังแสดงผลดังกราฟใน รูปที่ 21 ซึ่งเป็นค่าที่ทำการวัดภายหลังจากการปฏิบัติการได้ 15 วัน จากการเปรียบเทียบค่า strength ที่เกิดขึ้นเทียบกับที่ได้จากการทำ Electro-drainage แต่เพียงลำพังพบว่าโดยการใช้ sodium silicate จะให้ค่า strength สูงกว่าวิธีปกติ แต่สิ่งหนึ่งที่จะต้องทราบก็คือค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการนั้นสูงกว่าวิธีธรรมดาถึงสามเท่า

การใช้วิธี Electro-Osmosis ในการปฏิบัติการกับโครงสร้างดิน

จากข้างต้นอาจกล่าวได้ว่าเสถียรภาพของดินที่เกิดขึ้น มาจากการลดแรงดันของน้ำในช่องว่าง โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการเพิ่มน้ำหนักจากภายนอก หลายๆปัจจัยที่จะต้องนำมาพิจารณาในการที่จะเลือกวิธีการนี้ไปใช้ก็คือ

1) Soil parameter :

สมการที่ 14 อธิบายถึงอัตราการปรับปรุงและปริมาณของแรงดันน้ำในช่องว่าง ที่มีผลมาจากกระบวนการ Electro-Osmosis คุณสมบัติที่สำคัญก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำ (The coefficient of hydraulic permeability, k_h) สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การซึมของ Electro-Osmosis (The coefficient of Electro-Osmosis, k_e) ในดินชนิดต่างๆ โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 4×10^{-4} ถึง 70×10^{-4} $\text{mm}^2/\text{volt sec}$ แต่โดยทั่วไปจะใช้ที่ 50×10^{-4} $\text{mm}^2/\text{volt sec}$

จากสมการที่ 14 แสดงให้เห็นว่า ยิ่งค่า k_h มีค่าลดลง การเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำในช่องว่างก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การซึมได้จะลดลง โดยทั่วไปค่า k_e จะมากกว่าค่า k_h 100 ถึง 1000 เท่า (CASAGRANDE 1986)

อย่างไรก็ตามปฏิบัติการดังกล่าวเหตุผลประการที่ทำให้วิธีนี้ไม่เป็นที่ใช้กันอย่างกว้างขวางคือ ข้อแรกชั้นของดินทราย และดินร่วน จะทำให้การระบายน้ำของชั้นดินเหนียวดีขึ้น การเลือกใช้วิธีการอื่นที่ประหยัดได้มากกว่าย่อมเป็นที่น่าสนใจกว่า ข้อต่อมาก็คือ ค่า k_e จะคงที่สำหรับดินบางประเภทเท่านั้น GRAY และ MITCHELL (1967) แสดงให้เห็นว่าค่า k_e จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นของดิน และมีความพหุพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงประจุของไอออน แต่ผลดังกล่าวจะเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปอย่างช้าๆ ในดินที่มีการเปลี่ยนแปลงประจุสูง โดยมันจะลดค่าของ zeta potential และค่าคงที่ dielectric (D) และ $k_u = DZn/4T$ ผลจาก Electro-Osmosis ทำให้เกิดการลดลงของปริมาณน้ำ และเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย electrolyte

Electro-Osmosis เป็นวิธีการ decelerating กับดินทุกประเภท และการแพร่ของก๊าซที่เกิดจาก electrode จะทำให้การไหลช้าลง ใน active and potentially unstable clays อัตราการไหลจะลดลงโดย ปริมาณของ high exchangeable cation และ ความเสถียรเนื่องจากการ dewatering will be limited and reversiable

อัตราของการปรับแรงดันในช่องว่างเป็นเรื่องที่สำคัญ ต่อสัมประสิทธิ์การทรุดตัว C_v อัตราการทรุดตัวหาได้จากสมการ

$$t = TL^2 / C_v \quad (18)$$

$$C_v = k_h / M_v \gamma_w \quad (19)$$

C_v เป็นค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวในแนวตั้ง ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลในแนวราบ

2) ความสำคัญของการทรุดตัว :

ปริมาณการทรุดตัวที่เกิดจากกระบวนการ Electro-Osmosis ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำในช่องว่าง และแรงอัดเนื่องจากมวลดินเอง สำหรับมวลดินที่อยู่ระหว่าง electrode การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในช่องว่าง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ effective stress

$$\Delta \sigma' = - \Delta u \quad (20)$$

ค่า settlement contributed จะได้

$$\Delta \rho = m_v \Delta \sigma' Z \quad (21)$$

ดังนั้นที่ผิวคินจะเกิดการทรุดตัว ได้ดังสมการ

$$\rho = \sum_{z=0}^{z=1} m_v \Delta G' \Delta z \quad (22)$$

เมื่อ 1 เป็นระยะลึกของ electrode

อย่างไรก็ตาม BJERRUM et al.(1967) ชี้ให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงแรงดันของน้ำในช่องว่าง และการเปลี่ยนแปลงของ effective stress นั้นมีขีดจำกัด เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของแรงกดอัดถึงจุดหนึ่งเกินจากนั้นจะกลายเป็นแรงอัดที่ก่อให้เกิดสภาวะสูญญากาศ เมื่อเกิดแรงดันมากๆ เข้าจะเป็นผลทำให้เกิดโพรง ดังนั้นการทํานายการทรุดตัวด้วยสมการที่ 21 จึงมีขีดจำกัดของค่า effective stress ที่ความคืบ 1 บรรยากาศ หรือประมาณ 100 kN/m^2

3) Electrical parameter :

อัตราระหว่างแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสที่ไหลผ่านมวลคิน ได้จากกฎของ Ohm

$$R = E/I \quad (23)$$

โดย

R = ค่าความต้านทาน

E = ค่าแรงดันไฟฟ้า

I = ค่าการไหลกระแสไฟฟ้า

จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าจะเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำในช่องว่างของมวลคินที่อยู่ระหว่างขั้ว electrode ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ คินจะต้องมีค่าความต้านทานสูงเพื่อให้ค่าการไหลของกระแสไฟฟ้า และการใช้กำลังไฟฟ้ามี่ค่าต่ำที่สุด

น้ำที่อยู่ในช่องว่างที่มีความเป็น ionic สูงจะทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของคินลดลง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงกว่าโดยทั่วไป โดยที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 50 volts ค่ากระแสไฟฟ้าอาจขึ้นไปถึง 200 Amps ปัญหาที่ตามมาคือการกระจายความร้อนของแหล่งจ่ายพลังงานเป็นต้น

เนื่องจากค่าความต้านทานของคินขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย ionic ของน้ำในช่องว่าง มันเป็นเรื่องที่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบด้วยความรอบคอบก่อนจะเริ่มกระบวนการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electro-Osmosis จากผลการปฏิบัติงานที่ประสบความสำเร็จพบว่าค่าความเข้มข้นในช่วง 8000 ถึง 14000 ppm กระบวนการ Electro-Osmosis จะเริ่มมีประสิทธิภาพลดลง (JOHNSTON, 1978) จุดสำคัญอีกประการก็คือ ดินมีความต้านทานทางไฟฟ้าในแต่ละชั้นไม่เท่ากัน ยกตัวอย่าง เช่น ดินที่มีชั้น gravel ซึ่งมีปริมาณ ionic สูง อยู่เหนือชั้นดินเหนียวซึ่งมีปริมาณ ionic ต่ำ จะทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้าโดยผ่านชั้นของ gravel ได้

4) วัสดุที่ใช้ทำ electrode ตำแหน่งการวัดวาง ตลอดจนค่าใช้จ่าย :

ในการปฏิบัติงานจริงจะเลือกวิธี sealed anode drained cathode เนื่องจากให้ผลต่อการทรุดตัวของดินที่อยู่ระหว่างขั้ว electrode ได้ดีกว่า

แรงดันของน้ำในช่องว่างจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วสู่ค่าบวกและค่าลบที่ cathode และ anode ตามลำดับในการปฏิบัติการครั้งแรก (สำหรับกรณี sealed cathode และ anode) ทำให้เกิด hydraulic gradient ระหว่างดินที่อยู่ติดกับขั้ว cathode กับผิวดิน นอกจากนั้นก๊าซ hydrogen ที่เกิดที่ cathode จะทำให้ pressure gradient มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยา electrolytic ซึ่งผลสุดท้ายที่ได้คือจะเกิดการไหลของน้ำ และ hydrogen ขึ้นสู่ผิวดินที่บริเวณขั้ว cathode

ในเทอมของ พลังงานที่ใช้ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย จากข้อมูลใน รูปที่ 22 แสดงให้เห็นว่าการจัดตำแหน่งเป็นรูป 6 เหลี่ยมจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ระยะห่างในการจัดตำแหน่งของ electrode จะอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 เมตร และใช้เครื่องชนิดดีเซลในการปั่นไฟ ตัว electrical connections ให้ค่อแบบขนาน

ด้วยระยะเวลาในการปฏิบัติการ และพลังงานที่ต้องใช้ทำให้ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ระดับความลึกของชั้นดินที่สามารถปฏิบัติการได้จะอยู่ในช่วง 10-20 m โอกาสในการใช้วิธี Electro-Osmosis จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อวิธีการอื่น ๆ ไม่สามารถนำมาใช้ได้ อย่างไรก็ตามมันเป็นเรื่องยากในการทำนาบประสิทธิผลของวิธี Electro-Osmosis ได้จากการทดสอบในห้องทดลอง

EXPERIMENTS :

Theoretical background

แบบจำลองการไหลของ Electro-Osmosis ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย HELMHOLTZ ในปี 1879 และได้ถูกกล่าวถึงโดย SMOLUCHOWSKI ในปี 1914 แบบจำลองแสดงให้เห็นว่ามันจะเกิด double layer ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับผนังของหลอด capillary แสดงดัง รูปที่ 23 (CASAGRANDE 1952) โดยจะมี anion ยึดเกาะอยู่ด้านนอกกับผนังของหลอด โดยมี cation ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระอยู่ด้านใน โดยมีน้ำอิสระอยู่ภายในของ double layer ด้วยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป cation จะเคลื่อนเข้าสู่ขั้ว cathode โดยจะดึงโมเลกุลของน้ำอิสระตามไปด้วย เป็นผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากขั้ว anode ไปสู่ขั้ว cathode

สำหรับการไหลใน one-dimensional, ESRIG (1968) ใช้สมการความต่อเนื่อง และ กฎ conservation of mass ทำให้ได้สมการการทรุดตัวใน one-dimensional ด้วยวิธี Electro-Osmosis ภายใต้ง่อนไข closed anode opened cathode ค่าแรงดันของน้ำใน ช่องว่าง $u(x,t)$ ในหน่วย kPa ที่ระยะ x ณ เวลา t จะเป็นดังสมการที่ 24

$$u(x,t) = -\frac{k_c}{k_h} \gamma_w V(x) + \frac{2k_c \gamma_w V}{k_h \pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(n + 1/2)^2} \sin \frac{(n + 1/2)\pi x}{L} \left\{ \exp[-(n + 1/2)^2 \pi^2 T_v] \right\} \quad (24)$$

โดย	$V_{(x)}$	=	ผลต่างแรงดันไฟฟ้าที่ระยะ x กับที่ขั้ว cathode (0 V)
	V	=	ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด
	γ_w	=	หน่วยน้ำหนักน้ำ (kN/ม ³)
	L	=	ความยาวของตัวอย่างทดสอบ
	T_v	=	ค่า Time factor ในการทรุดตัวแบบ one-dimensional
	k_h	=	ค่าการซึมได้ของน้ำ (ม/s)
	k_o	=	ค่าการซึมได้ของ Electro-Osmosis (ม ² /s.V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และที่เวลา $t = \alpha$ จะได้

$$u(x, \alpha) = \frac{-k_w \gamma V_{(x)}}{k_n} \quad (25)$$

สมการที่ 25 แสดงให้เห็นว่า การทรุดตัวเนื่องจากวิธีการ Electro-Osmosis แบบ one dimensional แรงดันของน้ำในช่องว่างที่ตำแหน่งต่างๆในมวลดินในขณะปฏิบัติการจะแปรผันกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

สมการที่ 25 สามารถปรับให้อยู่ในเทอมของ current density และ resistivity ดังนี้

$$E_{(x)} = JP_{(x)} \quad (26)$$

$$V_{(x)} = - \int_0^x E_{(x)} dx \quad (27)$$

โดย

$E_{(x)}$ - ค่าสนามไฟฟ้า (V/m)

J - ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

$P_{(x)}$ - ค่าความต้านทานของดินที่จุด x (.m)

จากสมการที่ 26 และ 27 จะได้

$$P_{(x)} = - \frac{1}{J} \frac{dV(x)}{dx} \quad (28)$$

ดังนั้นสมการที่ 25 จะกลายเป็น

$$u(x, \alpha) = \frac{k_w \gamma}{k_n} J \int_0^x P(x) dx \quad (29)$$

หมายเหตุ : ระยะ x จะมีทิศทางตรงข้ามกับ J (x มีทิศทางจาก cathode ไป anode

ในขณะที่การไหลของกระแสจะไหลจาก anode ไป cathode) ดังนั้นเครื่องหมาย ลบ จะมีผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางวิชาการโดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังจากการอินทิเกรต เพื่อแสดงให้เห็นว่าค่าแรงอัดในช่องว่างเป็นลบ จากสมการที่ 29 แสดงให้เห็นว่า แรงดันของน้ำในช่องว่างที่สมดุลจะเป็นฟังก์ชันของความหนาแน่นของกระแส และความต้านทานของดิน นั้นหมายความว่าไม่ว่าจะมีการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นสูงเพียงใดหากกระแสไฟฟ้าผ่านไม่ได้กระบวนการ Electro-Osmosis ก็จะไม่เกิดขึ้น

Development of Electro-Osmosis cell

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองที่ผ่านมาในการใช้ Electro-Osmosis cell ซึ่งในการปรับปรุงพัฒนาให้ Electro-Osmosis cell นั้นจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. เกิดความสูญเสียความต่างศักย์น้อยที่สุดระหว่าง electrode กับดิน
2. การถ่ายเทของก๊าซที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติการ
3. การกระจายของ แรงดันน้ำในช่องว่าง, และแรงดันไฟฟ้าในดินตัวอย่าง
4. การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของ stress และ การไหล ในสนาม

Electro-Osmosis cell ทำด้วยหลอด Plexiglas มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว และมีความสูง 12 นิ้ว (แสดงดังรูปที่ 24) การที่นำ Plexiglas มาใช้ก็เนื่องมาจากวัสดุดังกล่าวไม่นำไฟฟ้า และน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ใน cell ดังกล่าวจะบรรจุดินตัวอย่างโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 9 นิ้ว ใช้ทองแดงเป็นขั้ว electrode เสียบที่ด้านบนและด้านล่างของดินตัวอย่าง โดยจะต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดพลังงาน และใช้ Dial gage ในการวัดค่าการทรุดตัวของดินโดยจะติดตั้งที่ส่วนบนของ cell การระบายน้ำสามารถควบคุมได้จากปลายทั้งสองของ cell และก๊าซที่สะสมที่ขั้ว electrode ก็สามารถระบายออกโดยผ่านการระบายของน้ำที่ปลายทั้งสองของ cell และด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า O-ring จะติดตั้งที่ด้านข้างของ cell เพื่อให้วัดค่าความต่างศักย์ และแรงดันน้ำในช่องว่าง

จากการทดลองใช้วัสดุชนิดอื่นมาใช้เป็นขั้ว electrode พบว่าการใช้ coal เป็นขั้ว electrode จะทำให้เกิดอันตรายเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของก๊าซ oxygen ซึ่งเกิดจากสารละลาย electrolyte ที่ขั้ว anode ในช่วงของกระบวนการ Electro Osmosis สำหรับวัสดุอื่นเช่น เหล็ก และอลูมิเนียม ยังอยู่ในขั้นของการศึกษา ซึ่งพบว่ามันจะเกิดการหมักที่ขั้ว anode อันเป็นการลดประสิทธิภาพของวิธีการลง สำหรับโลหะพวก silver และ platinum นั้นก็มีราคาแพง ดังนั้นทองแดงจึงถูกเลือกมาใช้เป็นขั้ว electrode โดยจะเกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

copperoxide ที่ขั้ว anode ซึ่งมีผลในการต้านการแพร่กระจายของก๊าซ oxygen และไม่มีผลต่อแรงดันของน้ำในช่องว่างที่ขั้ว anode

แท่งวัดแรงดัน (รูปที่ 24) จะใช้ในการวัดค่าแรงดันของน้ำในช่องว่าง ที่ตำแหน่งต่างๆของตัวอย่างทดสอบ โดยแท่งดังกล่าวทำด้วย stainless steel ที่ปลายซึ่งอยู่ด้านในจะมีรูเล็กขนาด 1.6 มม และที่ปลายด้านนอกจะต่อเข้ากับเครื่องวัดความดัน (pressure transducer) เพื่ออ่านค่าออกมา

ในการผ่านกระแสไฟฟ้าสู่มวลดินมักจะมีปัญหาที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง ดินตัวอย่าง กับ ผนังของ cell โดยแผ่นฟิล์มของน้ำจะเป็นสาเหตุให้เกิดการลัดวงจร ทำให้ประสิทธิภาพของการปฏิบัติการลดลง ดังนั้นช่องว่างดังกล่าว สามารถแก้ไขโดยการอัดด้วยขี้ผึ้ง หรือจารบี (grease) โดยรอบผิวสัมผัส ข้อดีของการกระทำดังกล่าวเป็นการลดแรงเสียดทานของดินกับ cell ในขณะที่ทดสอบ

ปฏิบัติการทดสอบกำลังที่เกิดขึ้นเนื่องจาก electro osmotic

การทดสอบจะดำเนินการเป็นสองขั้นตอน กล่าวคือ ขั้นตอนการทดสอบ และ ขั้นตอนของการระบาย การ Electro-Osmosis ดินตัวอย่างถูกทำให้เกิดการทดสอบเนื่องมาจากการให้แรงอัดจากภายนอกขนาด 100 kPa ในการทดสอบ และขั้นตอนของการทำ Electro-Osmosis จะเริ่มขึ้นหลังจากที่การทดสอบของดินในขั้นตอนแรกเสร็จสิ้นสมบูรณ์ (แรงดันในช่องว่างกระจายไป 95 %) ขณะที่มีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปผ่านมวลดิน จะมีการวัดค่าการทดสอบ, การกระจายของแรงดันไฟฟ้า และแรงดันของน้ำในช่องว่าง จนกว่าจะเกิดภาวะสมดุล ภายหลังจากนั้นจะได้ทำการกลับขั้วไฟฟ้า และดำเนินการทดสอบต่อไปด้วยค่าแรงดันไฟฟ้าเท่าเดิม และถ้าเป็นไปได้ก็อาจจะมีการทดสอบใหม่โดยการเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้า และทันทีที่หยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าแก่มวลดิน จะยังคงต้องทำการวัดค่าการทดสอบ และแรงดันน้ำในช่องว่างต่อไปจนกระทั่งการกระจายของแรงดันเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ภายหลังจากการทดสอบจะทำให้ทราบถึงสภาพทางฟิสิกส์และทางกลที่เปลี่ยนไปของดิน

Description of clay treated

ในการทดสอบครั้งนี้ได้ใช้ดินเหนียวจากสถานที่ต่างกัน 2 แห่ง ดินเหนียว Wallaceburg จาก Darcy Mckeough Floodway และ ดินเหนียว Champlain sea จาก Gloucester

ข้อมูลของดิน Wallaceburg :

The subsoil at the Wallaceburg site consists consecutively
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of 0.15 m of top soil, 2.9 m of stiff to very stiff brown silty clay crust, and 18 m of firm to soft grey silty clay (Lo and Becker 1979). The grey silty clay stratum comprises an upper firm to soft silty clay stratum from 3.05 to 12.2 m and a lower firm silty clay stratum below 12.2 m. Block samples were obtained from the upper firm to soft silty clay stratum. Field vane strength of the clay was about 22 kPa, with an average moisture content of 36%. Average liquid and plastic limits are 44.7 and 20.9% respectively. The sensitivity of the clay is about 5, with an over consolidation ratio of 9.

ข้อมูลของดิน Champlain sea :

ดินชั้นล่างที่ Gloucester test site ดังแสดงใน Fig.16 เกิดจากการทับถมของ Champlain sea clay หนา 20 ม. โดยแบ่งออกเป็น 3 ชั้นตามรูป โดยแบ่งตาม index properties, undrain. shear strength และ pre-consolidation pressure

ชั้นที่ 1 ประกอบด้วย 2.3 m desicated crust overlying

4.7 m soft grey silty clay

ชั้นที่ 2 ประกอบด้วย grey clay หนา 6.1 ม.

ชั้นที่ 3 ประกอบด้วย grey silty clay หนา 5.1 ม. (ไม่ได้แสดงในรูป)

แท่งตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้วบรรจุด้วย grey silty clay จากชั้นที่ 1 ค่า vane strength ของดินตัวอย่างมีค่าประมาณ 12 kPa มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงระหว่าง 60-80% ค่า LL และ PL เฉลี่ยเป็น 48 และ 24 ตามลำดับ ค่าความไวของดินเหนียว (sensitivity) มีค่าประมาณ 10 อัตราของการ overconsolidation เป็น 1.5

ผลการศึกษาจากห้องทดลอง

จากการทดสอบทาง Electro-Osmosis ทั้งสิ้น 10 ครั้ง ในการปฏิบัติกรกับดินเหนียวทั้งสองชนิด ตารางที่ 2 แสดงถึง ความยาวของดินตัวอย่าง, trimming prientation, voltage polarity และค่าแรงดันไฟฟ้า สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดินตัวอย่างกำหนดให้มีขนาด 4 เอกสารเป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำ และในการปฏิบัติการจะใช้เงื่อนไขของ anode closed cathode open ในการระบายน้ำ ในการทดสอบแต่ละครั้งทำการสลับขั้วไฟฟ้าด้วย ซึ่งผลการทดสอบสรุปได้ดังตารางที่ 2

สำหรับ ณ ที่นี้จะได้อธิบายเฉพาะผลการทดสอบกับตัวอย่าง GV-8 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 8 นิ้ว และผ่านแรงดันไฟฟ้าที่ 3 และ 6 volts

แรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้า :

ในรูปที่ 26 แสดงถึงการกระจายของแรงดันไฟฟ้าภายในภาชนะหลังจากที่ผ่านเข้าสู่ดินตัวอย่างที่ เวลาแตกต่างกัน มันดูเหมือนว่าจะมีการกระจายของแรงดันไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดมวลดินโดยไม่เกิดการลดลงทันทีที่ขั้ว electrode ค่าของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติการแสดงดัง รูปที่ 27 ในช่วง 200 นาทีแรกของการทดสอบกระแสที่ผ่านเข้าไปจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากนั้นก็เข้าสู่ระดับการไหลปกติตลอดการปฏิบัติการ

ในช่วงของการปฏิบัติการจะเกิดก๊าซขึ้นที่ขั้ว cathode ซึ่งจะทำการระบายออกทางช่องระบายก๊าซ ด้วยข้อดีจากการใช้ทองแดงเป็นขั้ว electrode ดังนั้นก๊าซที่เกิดขึ้นจึงเป็น copper oxide หรือ hydroxide รวมถึงก๊าซอื่นเล็กน้อย เนื่องจาก copper oxide เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จึงทำให้ไม่เกิดการสูญเสียของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า

โดยใช้สมการที่ 28 และ รูปที่ 26 ความต้านทานของดินที่ตำแหน่งใดๆสามารถคำนวณได้ ในรูปที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\rho J/L$ ที่ระยะต่างๆของดินตัวอย่าง เนื่องจากการไหลของกระแสเป็นในลักษณะ uniform ภาชนะได้เงื่อนไขของตัวนำไฟฟ้า จากรูปแสดงให้เห็นถึงความต้านทานทางไฟฟ้าของดินภายหลังปฏิบัติการจะมีค่าสูงขึ้นในบริเวณที่อยู่ใกล้กับขั้ว electrode ทั้งสอง และมีค่าน้อยที่สุดที่บริเวณจุดกึ่งกลางระหว่างขั้ว electrodes

การทรุดตัวของดิน :

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการทรุดตัวกับเวลา แสดงดังรูปที่ 29a และ 29b ภาชนะได้แรงดันไฟฟ้าขนาด 3 V และ 6 V ตามลำดับ จะเห็นว่าลักษณะของกราฟที่ได้จากวิธี Electro-Osmosis จะมีลักษณะเหมือนกับที่เกิดขึ้นกับการทรุดตัวของดินตามปกติภาชนะได้น้ำหนักมากกระทำ

ในการให้แรงดันไฟฟ้าขนาด 3 V ในช่วง normal test เกิดการทรุดตัว 5.41 มม. (2.61%) เมื่อเวลาผ่านไป 1340 นาที และเมื่อมีการทำ reverse test เกิดการทรุดตัวอีก 2.09 มม. เมื่อเวลาผ่านไป 755 นาที และเมื่อลองเปลี่ยนไปใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 V พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อยู่ที่เผยแพร่ไปยังประชาชน การนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินมีการทรุดตัว 5.71 มม.(2.81%)ที่เวลา 1765 นาที และเมื่อทำ reverse test จะเกิดการทรุดตัว 6.76 มม.(3.33%)ที่เวลา 1600 นาที สำหรับผลของดินตัวอย่างอื่นๆแสดงในตารางที่ 2

แรงดันของน้ำในช่องว่าง :

การปรับค่าของแรงดันของน้ำในช่องว่าง แสดงดังรูปที่ 30 พบว่าแรงดันดังกล่าวจะมีการกระจายออกทันทีที่มีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป และจะมีค่าแรงดันสูงสุดที่ขั้ว anode และจะลดลงจนเป็นศูนย์ที่ขั้ว cathode ในระหว่างการปฏิบัติการอัตราการปรับค่าของแรงดันน้ำในช่องว่างจะลดลงเมื่ออยู่ห่างจาก anode ออกไป โดยที่ขั้ว cathode จะยังคงมีค่าเป็นศูนย์

ค่าแรงดันที่ขั้ว anode ในช่วงของ normal test และ reverse test ให้ค่าออกมาใกล้เคียงกันคือ -26.5 และ -27 kPa ที่แรงดันไฟฟ้า 3 V และวัดได้ -75 และ -67 kPa เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็น 6 V สำหรับการวัดที่ normal test และ reverse test ตามลำดับ

รูปที่ 30 แสดงค่าประมาณของการกระจายแรงดันน้ำในช่องว่างตามความยาวของดินตัวอย่าง จะได้แรงดันสูงสุดที่ขั้ว anode และลดลงเป็นศูนย์ที่ขั้ว cathode ซึ่งเป็นไปตามสมการ 25

ในการเปรียบเทียบระหว่างผลทดสอบที่ได้กับทฤษฎี โดยอาศัยสมการที่ 25 ซึ่งสมมติให้ k_u มีค่าเท่ากับ 2×10^{-6} $\text{cm}^2/\text{s.V}$ และ C_u เท่ากับ 18.1 $\text{m}^2/\text{ปี}$ ซึ่งเป็นค่าประมาณที่ได้จากกราฟการทรุดตัวของ Electro-Osmosis สำหรับค่า k_u เท่ากับ 2.16×10^{-8} cm^2/s จากนั้นทำการคำนวณหาแรงดันน้ำในช่องว่างที่เวลาต่างๆกัน (98, 300 และ 1340 นาที) ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 3 V ค่าที่ได้นำมาพลอตได้กราฟในรูปที่ 31 ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่คำนวณได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง

Shear strength และ ค่าความชื้น :

สภาพของดินตัวอย่างภายหลังการปฏิบัติการผ่านพ้นไป พบว่าปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างมีความแตกต่างกันอยู่ในช่วง $\pm 3\%$ จากค่าเฉลี่ยทั่วไป ค่า Undrain shear strength (ได้จากการทดสอบด้วยวิธี vane shear) และค่าปริมาณความชื้นของดินตัวอย่าง GV-8, WV-8A, WH-6A และ WH-6B นำมาพลอตกราฟได้ดังรูปที่ 32 และ 33 ซึ่งพบว่าภายหลังการปฏิบัติการ ค่า Undrain shear strength มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ ค่าปริมาณความชื้นมีค่าลดลง โดยค่า shear strength มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 172.76 และ 60% สำหรับดินตัวอย่าง GV-8, WV-8A และ WH-6B เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ ที่ระยะเวลาไม่เกิน 2000 นาที สำหรับตัวอย่าง WH-6A ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V โดยไม่ทำ reverse test พบว่าค่า shear strength จะเพิ่มขึ้นที่บริเวณของขั้ว anode และบริเวณขั้ว cathode จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้นค่าเฉลี่ยของการเพิ่ม shear strength ของตัวอย่างนี้จะได้เพียง 20%

จากการทดสอบพบว่าค่า undrain shear strength ที่เกิดกับดินเหนียว Gloucester มีค่ามากกว่าที่เกิดกับดินเหนียว Wallaceburg ถึง 2.5 เท่า

เปรียบเทียบกราฟหมายเลข 1 ใน รูปที่ 28 และกราฟหมายเลข 1 ใน รูปที่ 32 จะสังเกตเห็นว่าลักษณะของกราฟจะมีรูปแบบเหมือนกัน นั้นย่อมแสดงว่าความต้านทานของดินที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเพิ่มของ shear strength

กราฟการทรุดตัวของดิน :

การวัดค่าการทรุดตัวของดินเหนียว Gloucester จะทำทั้งก่อนและหลังการปฏิบัติการ ซึ่งผลออกมาสามารถพลอตได้ดังกราฟในรูปที่ 35 โดยแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างในดิน (void ratio) เมื่อมีการเพิ่มแรงอัดแก่ดิน แรงอัดในช่วงก่อนการปฏิบัติการเป็น 53 kPa และเพิ่มขึ้นเป็น 74, 83 และ 92 kPa สำหรับ GV-4A GV-4B และ GV-8 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นมาจากช่วง preconsolidation ประมาณ 51-88% ซึ่งแรงอัดที่เพิ่มขึ้นมานี้เป็นผลมาจากการกระจายของแรงดันในช่องว่างซึ่งมีค่าเท่ากับค่า effective stress ภายใต้อการทรุดตัวของดิน ดังนั้นดินจะเกิดภาวะ overconsolidation เนื่องจากกระบวนการ Electro-Osmosis

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวกับเวลา โดยปฏิบัติการ Electro-Osmosis ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของ Electro-Osmosis สามารถหาได้จากวิธีการทดสอบทั่วไป จากตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์เพิ่มจาก $0.45 \text{ ๓}^2/\text{ปี}$ จนเป็น $18.1 \text{ ๓}^2/\text{ปี}$ สำหรับตัวอย่าง GV-8 ด้วยแรงดันไฟฟ้า 3 V นี้แสดงให้เห็นว่า soft sensitive clay สามารถทำให้เกิดการทรุดตัวและทำให้เกิด strength ได้ด้วยวิธี Electro-Osmosis ได้ในระยะเวลาที่รวดเร็วกว่าการปฏิบัติการทางกล

การเปลี่ยนแปลงสภาพทางฟิสิกส์ และทางเคมี :

ตารางที่ 4 แสดงค่า LL, PL, pH ปริมาณ carbonate และ ค่า salinity ของดิน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนืว Wallaceburg และ Gloucester ในช่วงก่อนและหลังการปฏิบัติการ

สำหรับดินเหนืว Gloucester ค่า PL และ LL เพิ่มขึ้นจาก 29.5 เป็น 31.2% และจาก 48.4 เป็น 52.8% ตามลำดับ ค่า pH ของดินและจากน้ำที่บริเวณขั้ว cathode เพิ่มขึ้นจาก 8.2 เป็น 10.3 และจาก 8.2 เป็น 11.5 ตามลำดับ ปริมาณ carbonate ในดินเพิ่มขึ้นจาก 2.8 เป็น 3.6% และ ค่า salinity ของดินเพิ่มขึ้นจาก 1.7 เป็น 2.5 g/L ภายหลังการปฏิบัติการ โดยปริมาณ carbonate ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยในการยึดของ partical เล็กๆของดิน ทำให้ค่า shear strength เพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของปริมาณเกลือจะช่วยลดค่า sensitivity ของดิน

สำหรับดินเหนืว Wallaceburg ค่า LL, PL, pH พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ปริมาณ carbonate และ salinity จะเพิ่มขึ้นจาก 5.3 เป็น 7.8% และจาก 2.5 เป็น 7.2 g/L ตามลำดับ

ประสิทธิผลจากการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าต่อแรงดันในช่องว่าง :

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการให้แรงดันไฟฟ้า กับการเพิ่มแรงดันของน้ำในช่องว่าง ได้ผลสรุปออกมาดังกราฟในรูปที่ 36 ดังจะเห็นว่า การกระจายแรงดันน้ำในช่องว่างจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า โดยทั่วไปยิ่งให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น แรงดันของน้ำในช่องว่างก็จะสูงขึ้นตาม

บทสรุป :

จากการทดสอบประสิทธิภาพของวิธี Electro-Osmosis ภายใต้อแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของ strength และคุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนไป โดยสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ในการใช้ electro osmotic cell โดยการเลือก electrode ให้เหมาะสมจะทำให้สามารถป้องกันการสะสมของก๊าซที่เกิดขึ้นบริเวณ electrode และเป็นการทำให้การสัมผัสระหว่างดินกับ electrode ดีขึ้นช่วยลดความสูญเสียแรงดันทางไฟฟ้า

2. ลักษณะของแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยมีค่าสูงสุดที่ขั้ว anode และลดลงจนเป็นศูนย์ที่ขั้ว cathode จากลักษณะดังกล่าวทำให้ทราบว่า แรงดันน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเพิ่มของค่า Undrain shear strength และการลดลงของค่าปริมาณความชื้นในดิน ที่ระยะเวลาไม่เกิน 2000 นาที พบว่าค่า shear strength เพิ่มขึ้นถึง 172% และปริมาณความชื้นจะลดลง 30% ในดินเหนียว Gloucester ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 V

4. จากการสังเกตพฤติกรรมของ stress-strain ใน soft sensitive clay พบว่ากระบวนการ Electro-Osmosis ทำให้เกิดการเพิ่มของ undrain modulus และทำให้เกิดการลดลงของ ดัชนีการแตกหัก (brittleness index) และค่าความไวของดินด้วย นั้นแสดงให้เห็นว่าปฏิบัติการทางไฟฟ้าไม่เพียงแต่จะเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินแล้ว แต่ยังเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของดินอีกด้วย

5. โดสการเปรียบเทียบกราฟแสดงค่าการทรุดตัวของดินเหนียว Gloucester ก่อนและหลังการปฏิบัติการ พบว่าแรงกดอัด preconsolidation เพิ่มขึ้นจาก 49 kPa เป็น 92 kPa เท่ากับว่าเพิ่มขึ้น 88% ทำให้ดินเหนียวเกิดการทรุดตัวแบบ overconsolidation เนื่องจากกระบวนการ Electro-Osmosis

6. แรงดันของน้ำในช่องว่างมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า

7. ดินเหนียวที่นำมาทดสอบทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดขึ้นของ carbonate และ salinity ภายหลังการปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการช่วยยึด partical เล็กๆ ของดินเหนียว ผลที่ตามมาก็คือการเพิ่มขึ้นของค่า shear strength และการลดความไวของดินเหนียวลง

CASE STUDY :

Application of Electro - Osmosis On Sembawang Shipyard - Singapore

รายงานการปฏิบัติการทาง Electro-Osmosis ในการเพิ่มกำลังของดินคันทางที่ประเทศสิงคโปร์ ได้ถูกเขียนขึ้นโดย CHAPPEL และ BURTON ในปี 1975

ที่ประเทศสิงคโปร์ในช่วงปี 1975 ได้มีการสร้างท่าเรือให้รับน้ำหนักคงที่ 4000 MN ซึ่งรับผิดชอบโดยบริษัท Sembawang Shipyard (Pte) Ltd. ท่าเรือนี้ส่วนหนึ่งจะยื่นออกไปนอกชายฝั่ง โดยส่วนที่อยู่นอกชายฝั่งนั้นจะทำการก่อสร้างอยู่ด้านหลังของ cellular cofferdam ขนาดใหญ่ (แสดงดังรูปที่ 37) ในส่วนของงานชั่วคราว ผู้รับเหมาได้ทำการสร้างคันดิน สูง 8 ม.ยาว 60 ม.แทนการใช้ cofferdam ในส่วนที่อยู่ใกล้กับชายฝั่ง ก่อทะเลได้มีการเตรียมการโดยขุดลอกเอาชั้นตะกอน (silt) ออกไป และคันดินถูกทำขึ้นโดยใช้หินแกรนิตนำมาวางเรียงต่อกัน (หินแกรนิตได้มาจากการขุดจากบริเวณก่อสร้าง)

คันดินดังกล่าวสังเกตพบว่ามีความไม่มั่นคงเกิดขึ้นภายหลังจากที่ได้ทำการระบายน้ำออกจาก cofferdam ในความพยายามที่จะแก้ไขนั้น ได้มีการนำ sheet piles มาวางเรียงต่อกันด้านในเพื่อลดการซึมเข้ามาของน้ำ โดยมีการนำหินมาถมที่ด้านหลังบริเวณฐานของ sheet piles เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนได้ อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวก็ไม่ทำให้เป็นที่น่าพอใจ ด้วยเวลาที่จำกัดจึงได้มีการเลือกวิธีการ Electro-Osmosis เข้ามาใช้ และเพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการออกแบบจึงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ ณ สถานที่จริงแทนการทดสอบในห้องทดลอง

การทดสอบภาคสนาม

ผลจากการทดสอบจะใช้ในการกำหนดวิธีปฏิบัติ และตำแหน่งในการติดตั้งขั้ว electrode ในการปฏิบัติงานจริง ได้มีการคำนวณว่าในแต่ละวันจะมีน้ำอย่างน้อย 140 ลิตรจะต้องทำการสูบน้ำออกจากดินจากการกำหนดให้ระยะห่างระหว่าง anode กับ cathode เป็น 3 ม. โดยระดับความลึกที่จะทำการปรับปรุงเป็น 5 ม.

ในการทดลองครั้งแรกที่ระดับความลึก 5 ม. โดยระยะห่างระหว่างขั้ว electrode เป็น 3 ม. และสมมติให้ใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 90 V และให้ค่า $k_u = 0.5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ และให้ค่า $k_n = 0.4 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ซึ่งผลการคำนวณพบว่าจะเกิดการไหลของน้ำประมาณ 180 ลิตรต่อวันซึ่งเพียงพอต่อความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการปฏิบัติการจะทำการเจาะหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ลึก 5 ม., สำหรับขั้ว cathode จะใช้แท่งโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm ใส่เข้าไปโดยมีทรายล้อมรอบ (ในส่วนนี้ต่อมาได้ใช้หลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ซึ่งที่ปลายมีฝาครอบ โดยจะสอดแท่งโลหะผ่านเข้าไปสู่ด้านล่าง) สำหรับขั้ว anode จะติดตั้งในลักษณะเดียวกับขั้ว cathode โดยให้มีระยะห่างกัน 3 ม. จากนั้นจึงทำการให้แรงดันไฟฟ้าขนาด 40 V โดยค่ากระแสไฟฟ้ามักมีค่าในช่วง 25-30 amps ที่ขั้ว anode การทดสอบผ่านไป 24 ชั่วโมง วัดการเคลื่อนตัวของน้ำได้ 550 ลิตรต่อวัน ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าที่ค่าต้องการถึง 4 เท่า

ผลจากการทดสอบได้นำมาออกแบบระยะห่างระหว่างขั้ว electrode ให้มีความเหมาะสม โดยแบบที่ออกมาจะใช้ anode 6 ชุดติดตั้งล้อมรอบ cathode 1 ชุด เป็นรูปแบบ Hexagonal รัศมีเท่ากับ 12 เมตร

อุปกรณ์ Electro-Osmotic cells จะติดตั้งเหนือระดับของน้ำทะเลสูงสุด จากนั้นจะทำการสูบน้ำออกจาก cofferdam (Cells were moved down the dewatered slope, remaining just above water level.) เนื่องมาจากสารละลาย electrolyte ก๊าซ hydrogen จะแพร่ออกมาจากขั้ว cathode และพบว่ามันยังได้นำน้ำขึ้นสู่ผิวดินได้โดยไม่ต้องอาศัย sand drain หรือการใช้ plastic pipe

ผลต่อความมั่นคงแข็งแรง

ผลของการปฏิบัติการทาง Electro-Osmosis แสดงได้จากข้อมูลผลการทดสอบหาค่า shear strength จากห้องทดลอง จากหมุดที่ปักไว้ทำให้ทราบว่าจากเดิมที่มีการเคลื่อนตัวในแนวราบจาก 1 m ต่อวัน ลดลงมาเหลือต่ำกว่า 1 cm ต่อวันภายหลังจากการปฏิบัติการเพียง 9 วัน และภายหลัง 1 เดือนค่า shear strength ที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมกว่าเท่าตัว และยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นของน้ำในดินมีค่าลดลง และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปฏิบัติการ มีค่าประมาณ 0.5 kW.hr/m^3

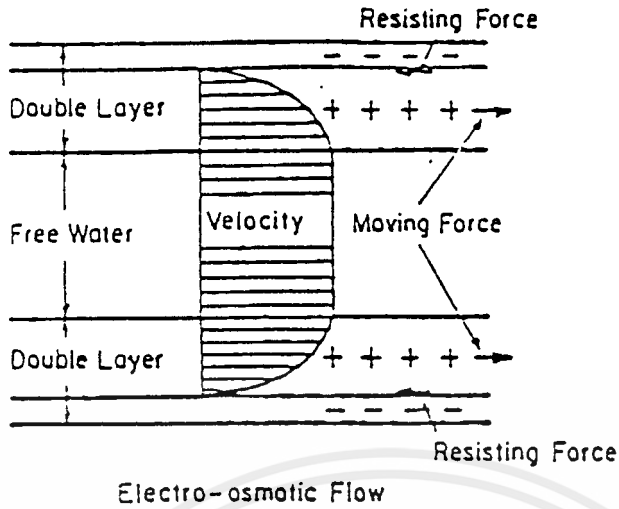
ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลการปฏิบัติการของสถานที่ 9 แห่ง ซึ่งได้มีการนำวิธี Electro-Osmosis ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยมี 3 แห่งที่มีการใช้วิธี electro-injection

มันเป็นการยากที่จะระบุค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ จากรายงานผลการปฏิบัติงานที่ผ่านมา ค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการทำ electro-drainage หรือในการทำ electro injection โดยยังไม่รวมมูลค่าของสารเคมี ดังแสดงในตารางที่ 9.5 ที่สิงคโปร์ใช้ไฟฟ้า 0.5 kW.hr/m^3 และ 17 kW.hr/m^3 ที่ประเทศสวีเดน และหากการปฏิบัติการที่ Auger สมบูรณ์ขาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

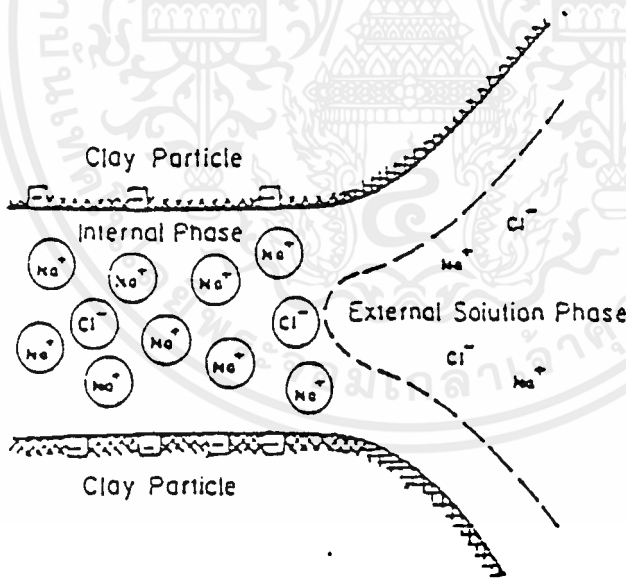
ว่าจะต้องใช้ปริมาณไฟฟ้าสูงถึง 200 kW.hr/m³ ด้วยค่าใช้จ่ายซึ่งมากในส่วนนี้เป็นสาเหตุขัดขวางการพัฒนาต่อไปของวิธี Electro-Osmosis

ในความเป็นจริงแล้วการเลือกใช้วิธี Electro-Osmosis จะทำก็ต่อเมื่อไม่สามารถใช้วิธีการอื่นมาใช้ปรับปรุงคุณภาพดินให้เป็นที่น่าพอใจได้ไม่ว่าจะด้วยเหตุใดก็ตาม

มันเป็นการยากที่จะคาดการณ์ผลการปฏิบัติการล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากการทดสอบในห้องทดลอง เนื่องจากปัญหาในเรื่องของการกำหนดสภาวะเงื่อนไขต่างๆให้ตรงกับสภาพที่จะนำไปปฏิบัติการจริง จากตัวอย่างการปฏิบัติการที่บริเวณตอม่อของสะพาน Basse Chaine ในเมือง Anger ประเทศฝรั่งเศส ตอม่อดังกล่าวสร้างอยู่บนฐานรากแบบดินเหนียวอ่อน ซึ่งมีค่า shear strength ต่ำเพียง 20 kPa (รูปที่ 38) และผลจากการเคลื่อนตัวตามแนวราบของสะพานซึ่งมากกว่า 90 mm ในระยะเวลา 8 ปีภายหลังการใช้งาน จึงได้มีการคิดที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพดินบริเวณนั้น โดยการนำ remould clay มาทำการทดสอบด้วยวิธี electro injection ในห้องทดลอง โดยใช้กราฟไฟต์เป็นขั้ว electrode และมีสารละลาย sodium silicate เข้มข้น 35% สุ่มวลดินผ่านทางขั้ว anode ผลการปฏิบัติการทดสอบประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก แต่เมื่อนำไปปฏิบัติงานในพื้นที่จริงผลกลับไม่เป็นไปตามที่วางไว้ silicate จำนวนมากสูญหายไปกับชั้นทราย และ silica ที่เกาะอยู่ที่ขั้ว anode ซึ่งทำด้วย stainless steel cable มีผลอย่างมากต่อการลดปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านระหว่างขั้ว electrode (รูปที่ 39)

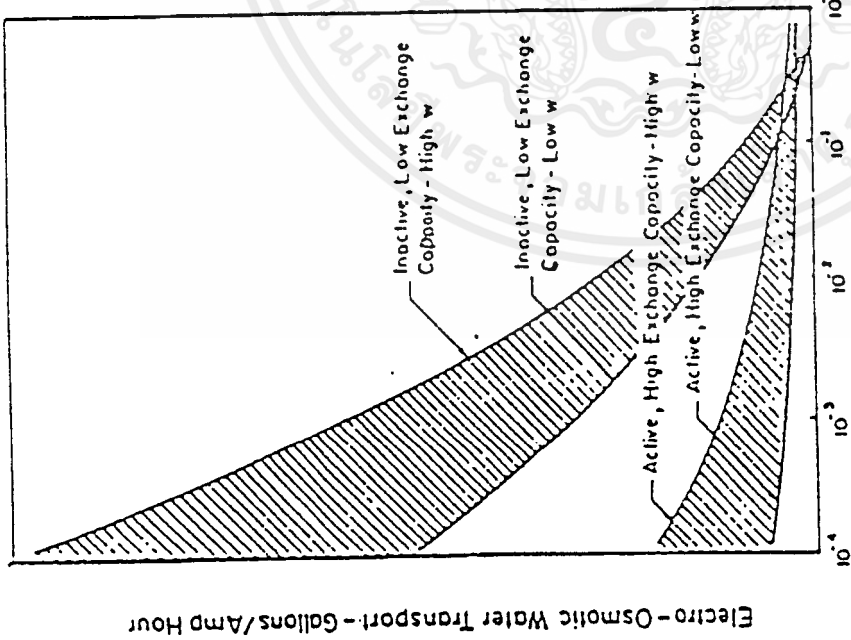


รูปที่ 10 HULMHOLTZ "ทฤษฎี Double Layer"

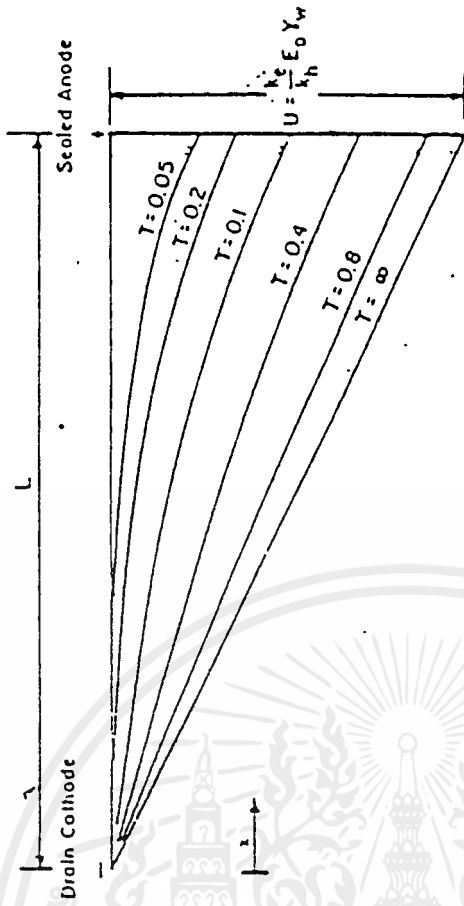


รูปที่ 11 แสดงการกระจายของไอออนใน External Phase (Sodium Clay ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

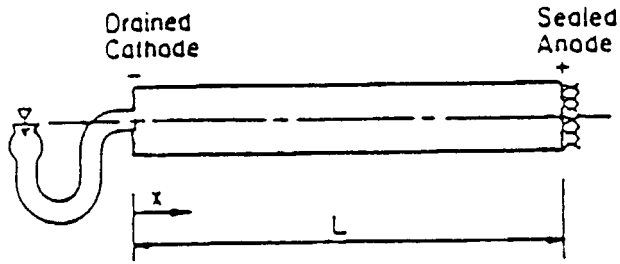


รูปที่ 12 สภาวะ Electro-Osmosis ในดิน
ชนิดต่างๆ ตามแนวคัตของ DONNAN

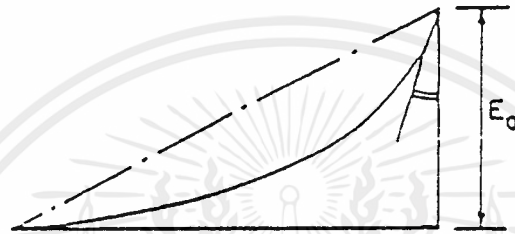


รูปที่ 13 Theoretical Porewater Pressure
Isocrone for Initially Uniform
Electro potential Gradient

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Boundary Condition : Seal Anode and Drained Cathode



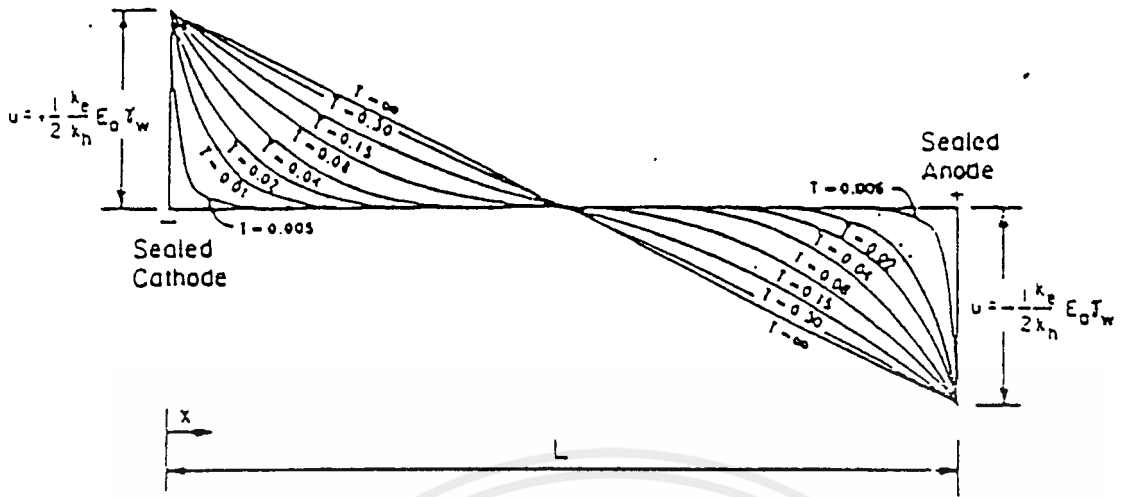
(b) Non-Homogeneous Electrical Potential



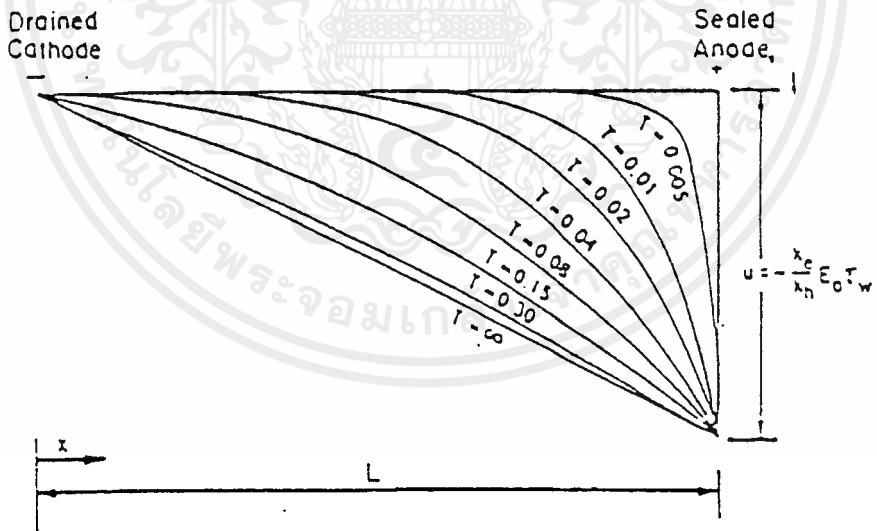
(c) Porewater Pressure Isochrone

รูปที่ 14 ประสิทธิภาพของ Non-Homogeneous Electrical Potential Gradients ต่อแรงดันในช่องว่าง โดย Electro-Osmosis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

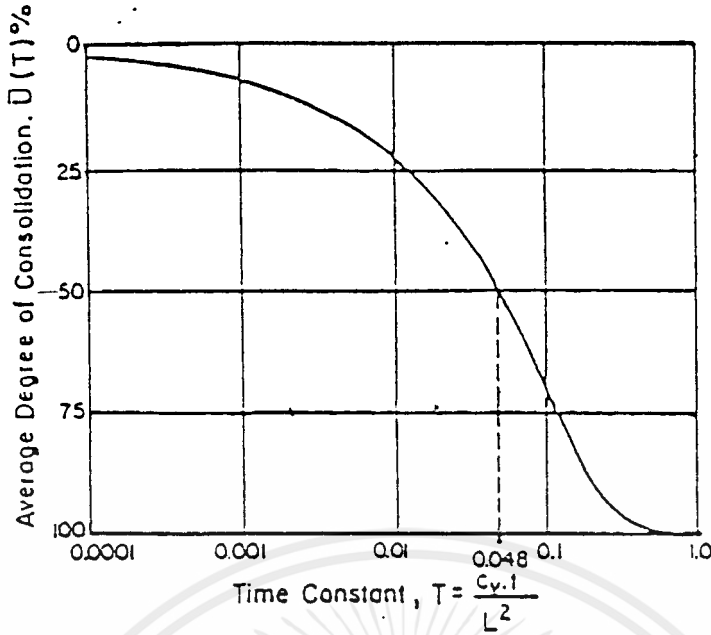


รูปที่ 15 ทฤษฎีแรงดันในช่องว่างสำหรับการทรุดตัวเนื่องจาก Electro-Osmosis ใน 1 ระบาย โดยที่เป็น Electrode Sealed ทั้ง 2 ขั้ว

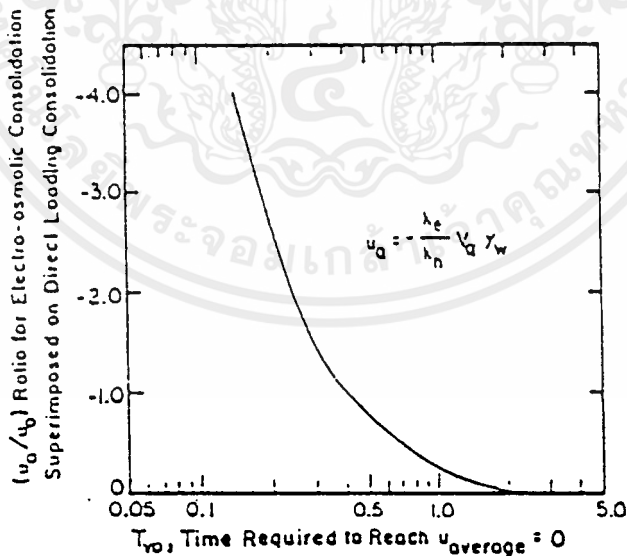


รูปที่ 16 ทฤษฎีแรงดันในช่องว่างสำหรับการทรุดตัวเนื่องจาก Electro-Osmosis ใน 1 ระบาย โดยเป็น Sealed Anode และ Drained Cathode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

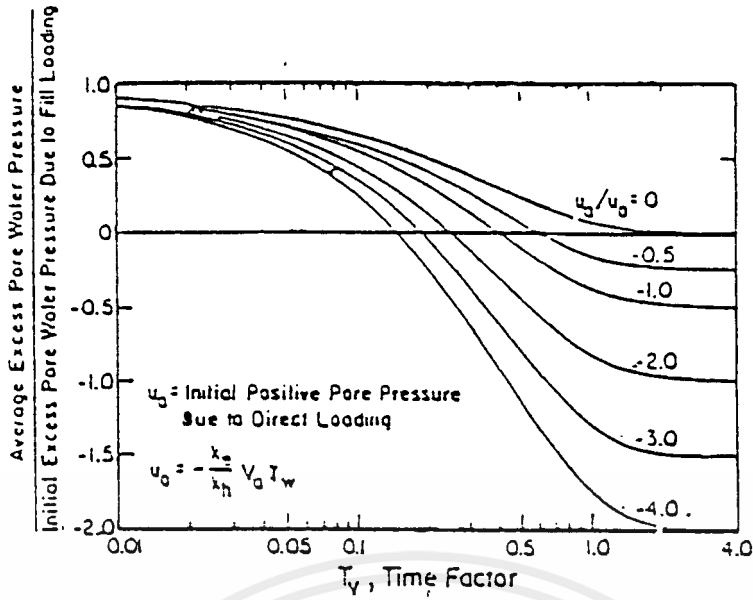


รูปที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัว ต่อ Time Factor เนื่องจากกระบวนการ Electro-Osmotic ใน 1 ระบาย

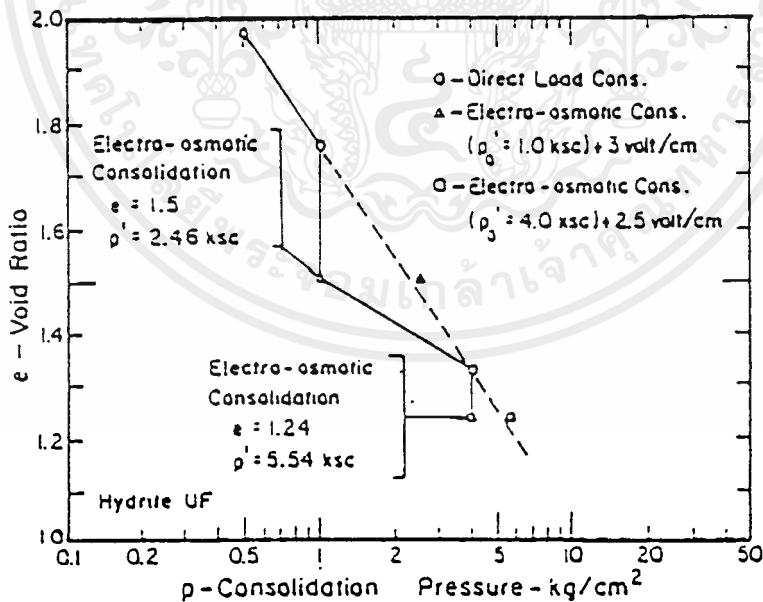


รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ยในช่องว่าง กับค่า Time Factor ในช่วงการทำ Electro-Osmotic พร้อมทั้งการใช้น้ำหนักว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

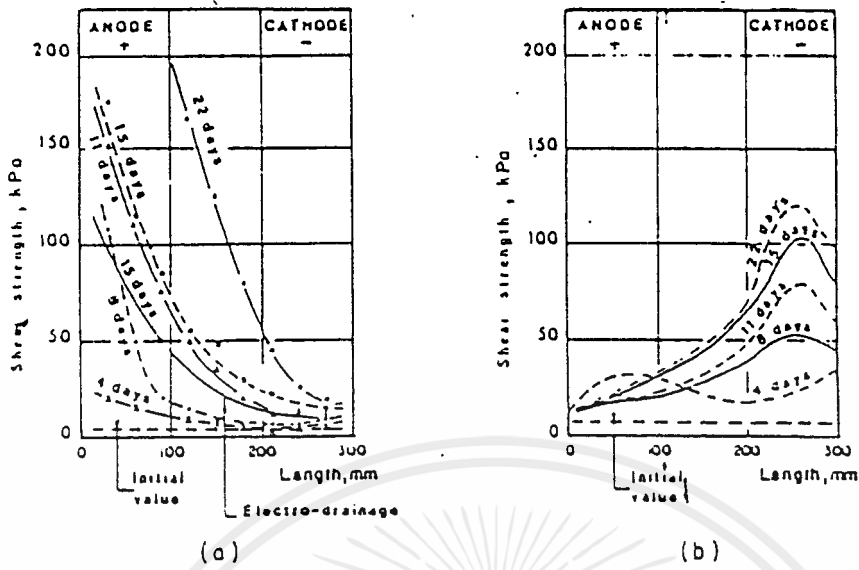


รูปที่ 19 ค่า Time Factor สำหรับ Zero Average Excess Pore Pressure เนื่องจากตีแถม กับอัตราส่วน u_0/u_0



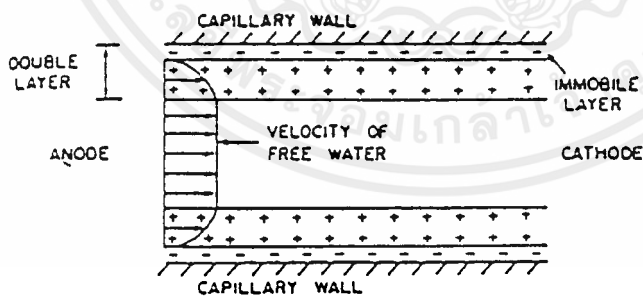
รูปที่ 20 Re-Establishment of Vertical Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



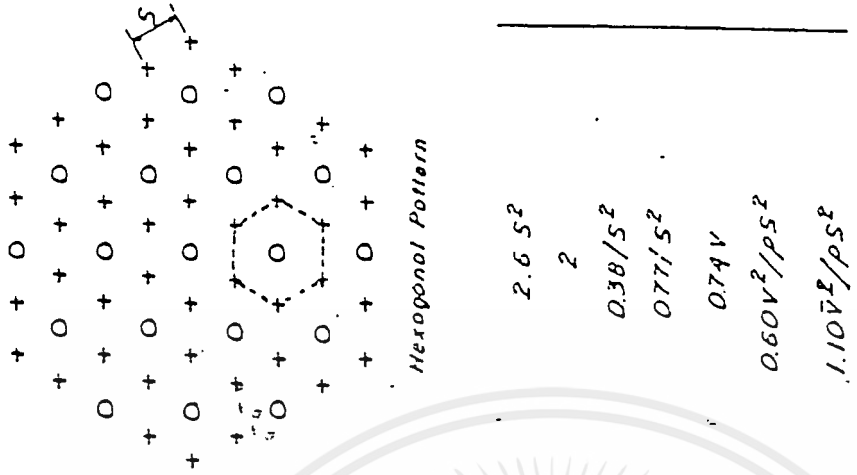
รูปที่ 21 ผลการหา Electro-Injection ในการทดสอบกับดินเหนียวอ่อน (Caron, 1971)

a) โซเดียมซัลเฟต เข้มข้น 35% b) แอมโมเนียมคลอไรด์ เข้มข้น 10%

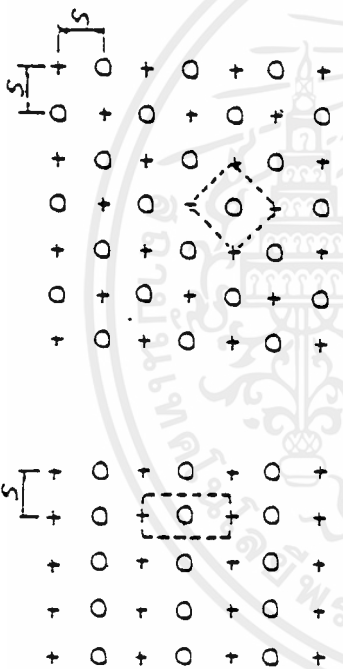


รูปที่ 23 การไหลของ Electro-Osmosis ในหลอด Capillary (Casagrande, 1952)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hexagonal Pattern

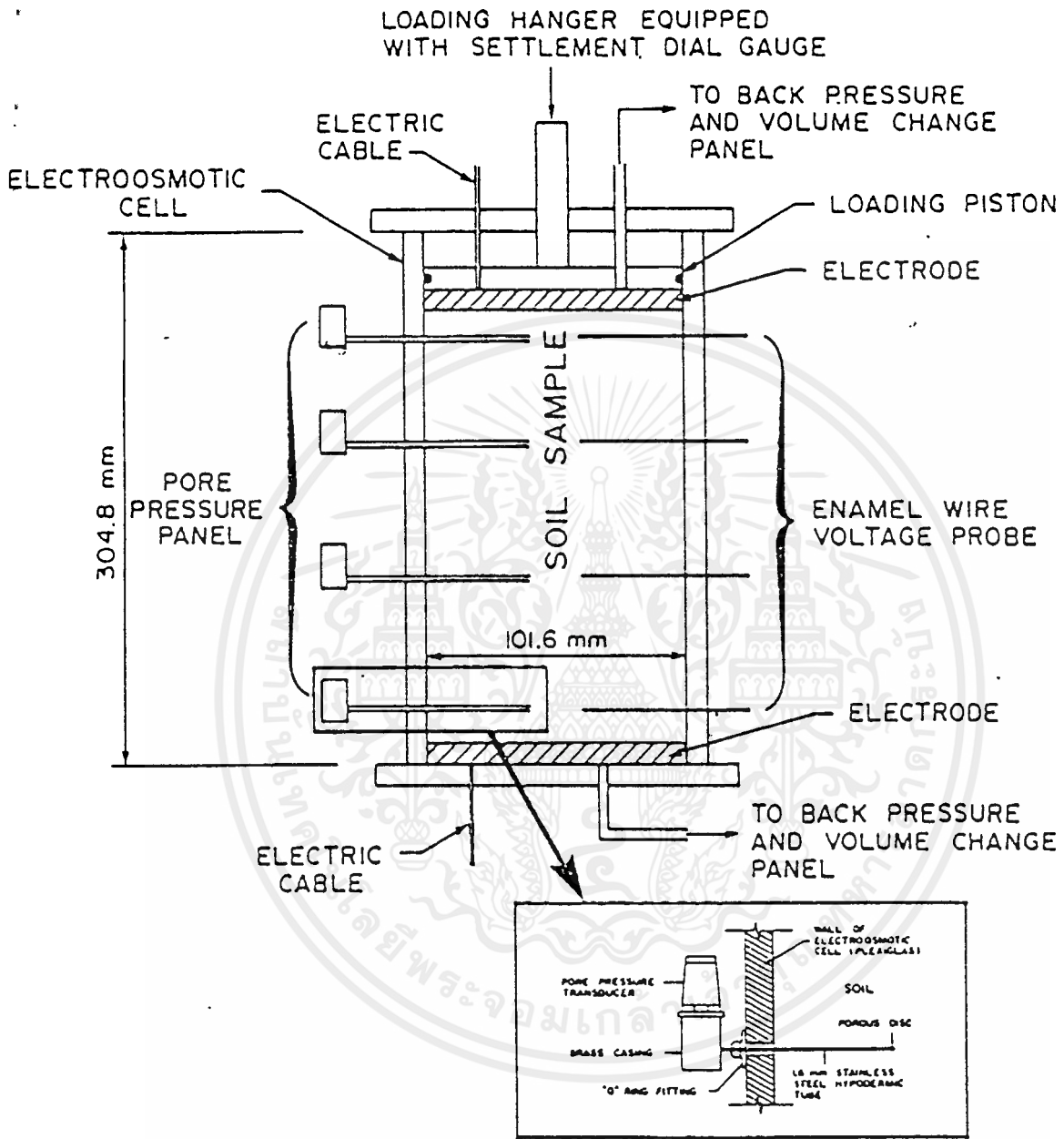


Square Pattern Staggered

Area/Basic Unit	2.5^2	2.5^2	2.65^2
Anodes/Basic Unit	1	1	2
Cathodes/Unit Area	$0.5/5^2$	$0.5/5^2$	$0.38/5^2$
Anodes/Unit Area	$0.5/5^2$	$0.5/5^2$	$0.77/5^2$
Average Voltage, V	0.5V	0.5V	0.74V
Power/Unit Area (for some V)	$0.5V^2/ps^2$	$0.50V^2/ps^2$	$0.60V^2/ps^2$
Power/Unit Area (for some V)	$2.10V^2/ps^2$	$2.40V^2/ps^2$	$1.10V^2/ps^2$

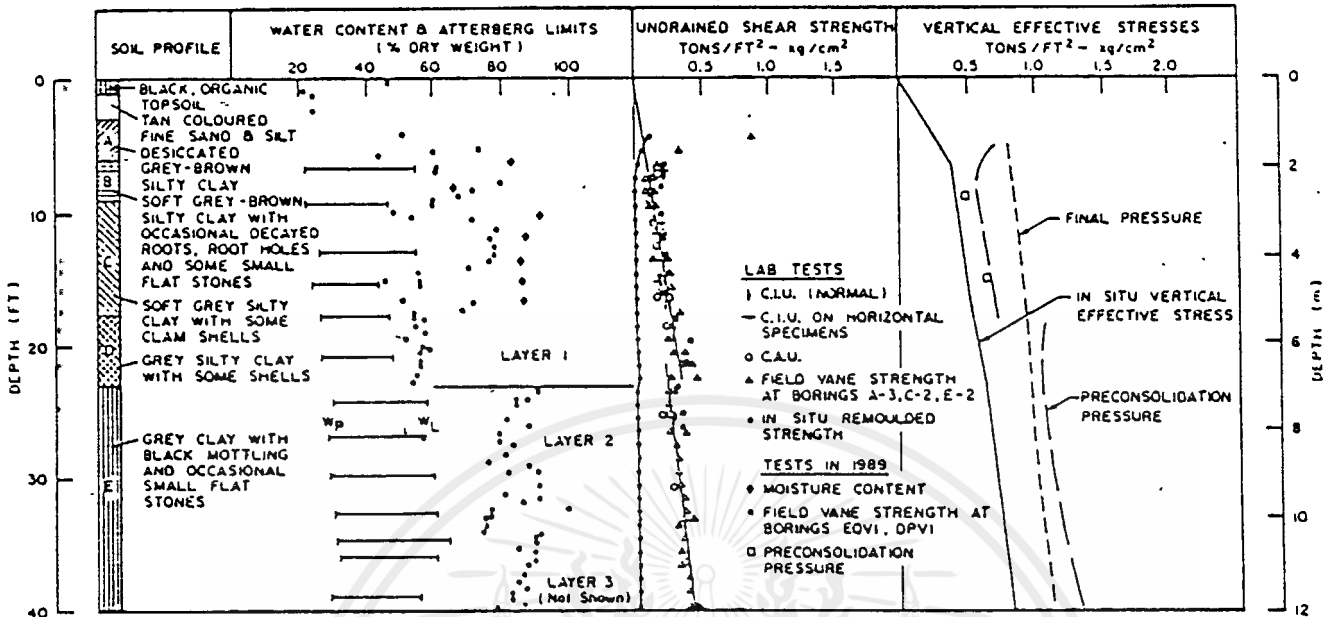
V = Applied Voltage p = Resistivity

รูปที่ 22 ประสิทธิภาพการจ่ายความร้อนแก่ขั้ว Electrode แบบต่างๆ

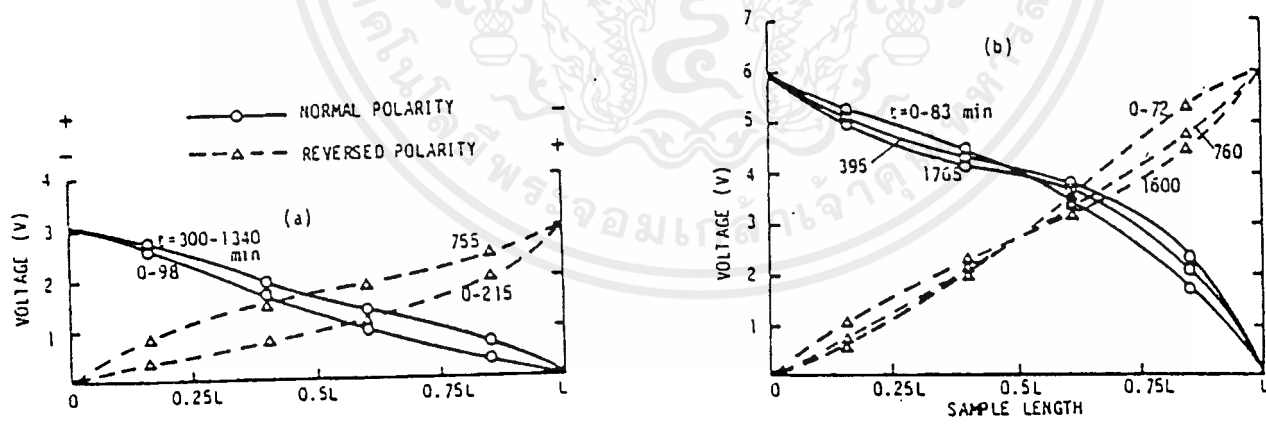


รูปที่ 24 อุปกรณ์ Electro-Osmotic Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

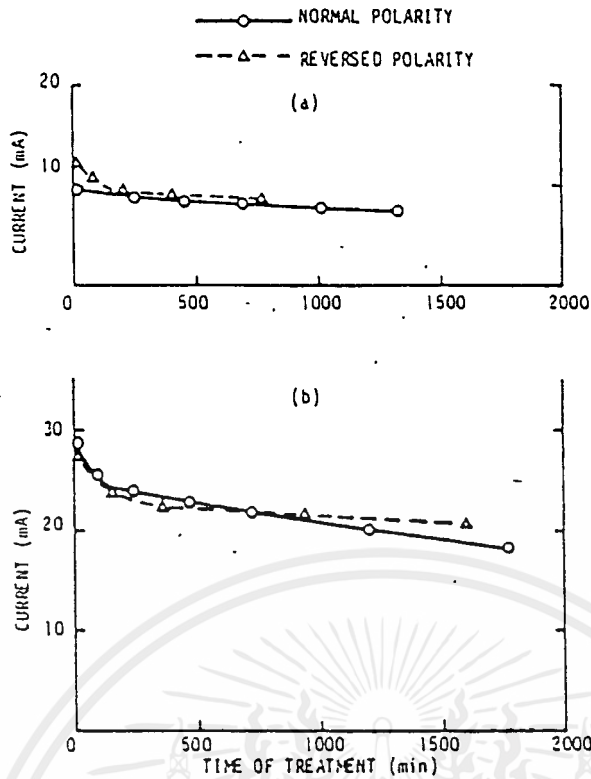


รูปที่ 25 คุณสมบัติของสภาพดิน Gloucester

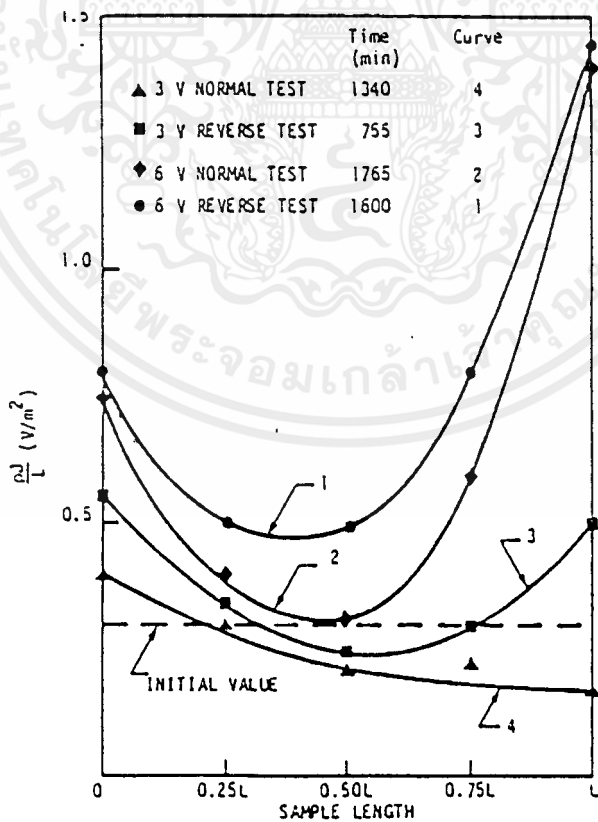


รูปที่ 26 การกระจายความต่างศักย์ไฟฟ้าในตัวอย่าง GV-8 ที่เวลาต่างๆ ภายใต้ความต่างศักย์ a) 3V b) 6V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



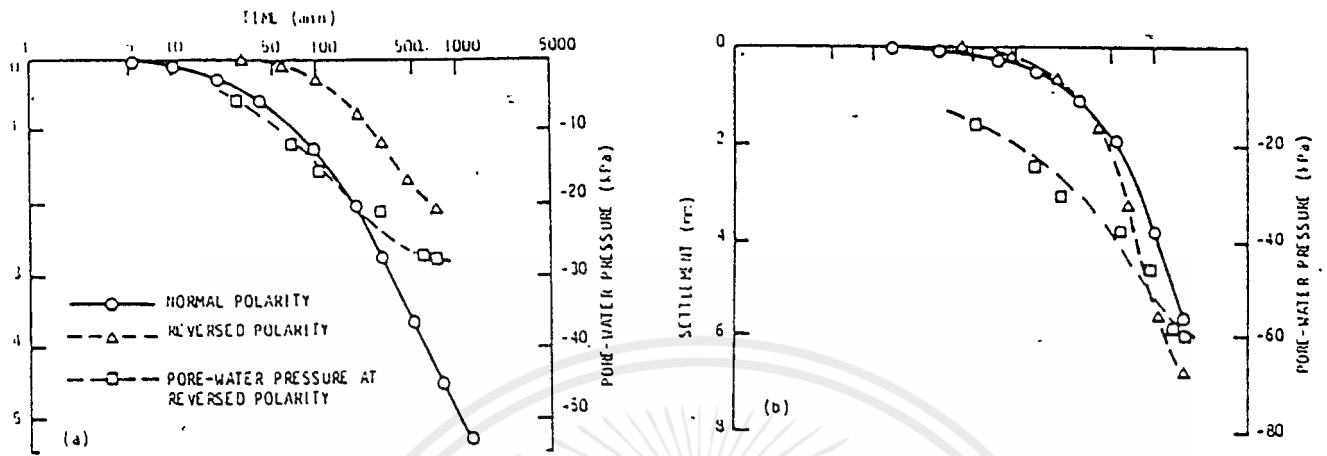
รูปที่ 27 การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในขณะที่ปฏิบัติกาาษาด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้า a) 3V b) 6V L = 203.2 มม.



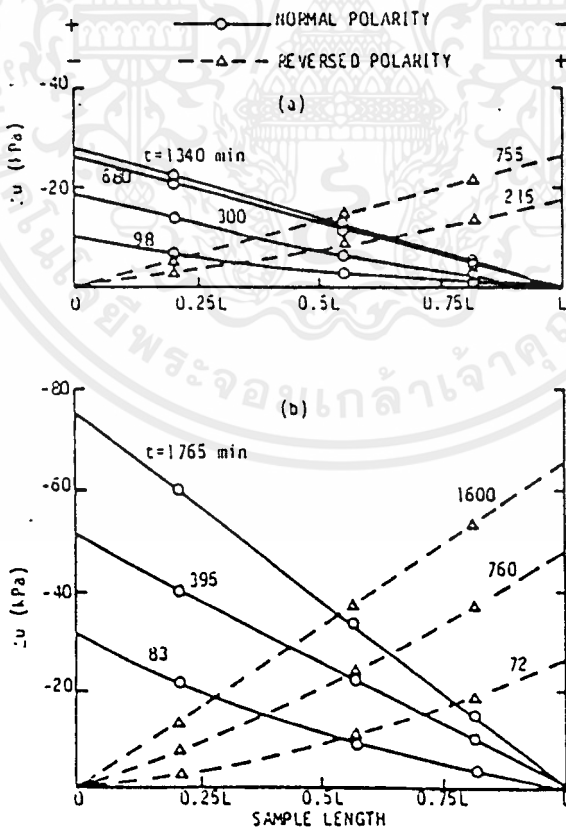
รูปที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่าง J/L ต่อระยะของชิ้นตัวอย่างที่ภาวะการทดสอบต่างๆ

ของตัวอย่าง GV-8 L = 203.2 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

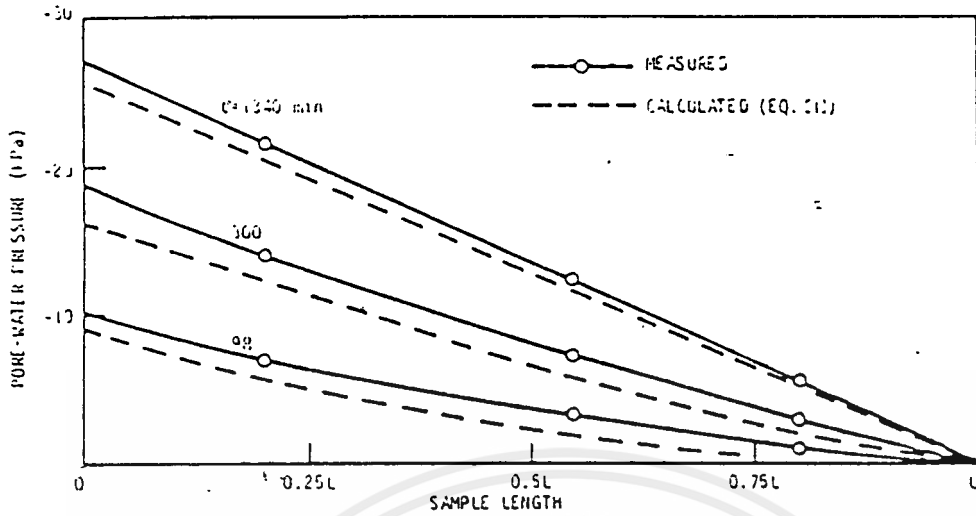


รูปที่ 29 กราฟแสดงการหดตัว และแรงดันในช่องว่างที่เวลาต่างๆ สำหรับตัวอย่าง GV-8 ที่ a) 3V b) 6V

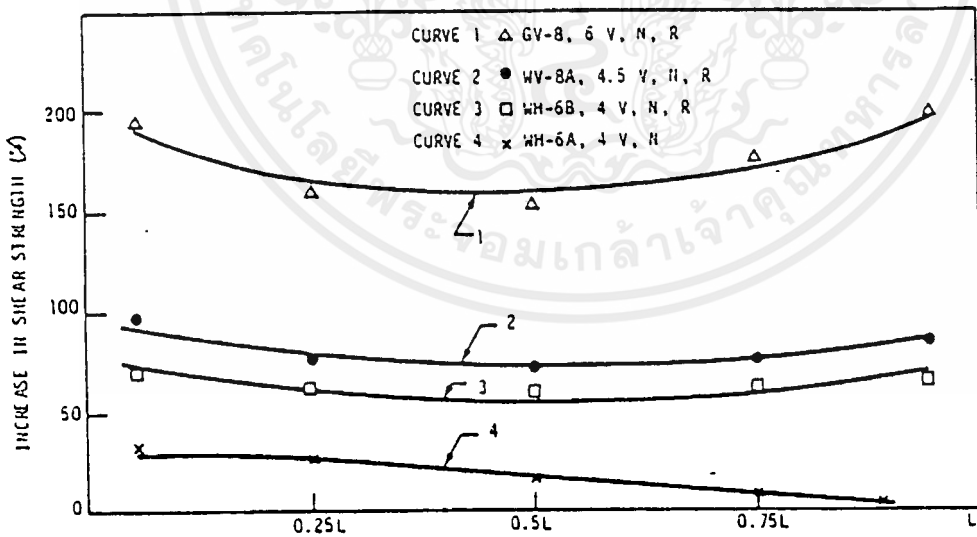


รูปที่ 30 การกระจายของแรงดันในช่องว่างที่เวลาต่างๆของตัวอย่าง GV-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภายใต้งค์ไฟฟ้า a) 3V b) 6V L = 203.2 mm.
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

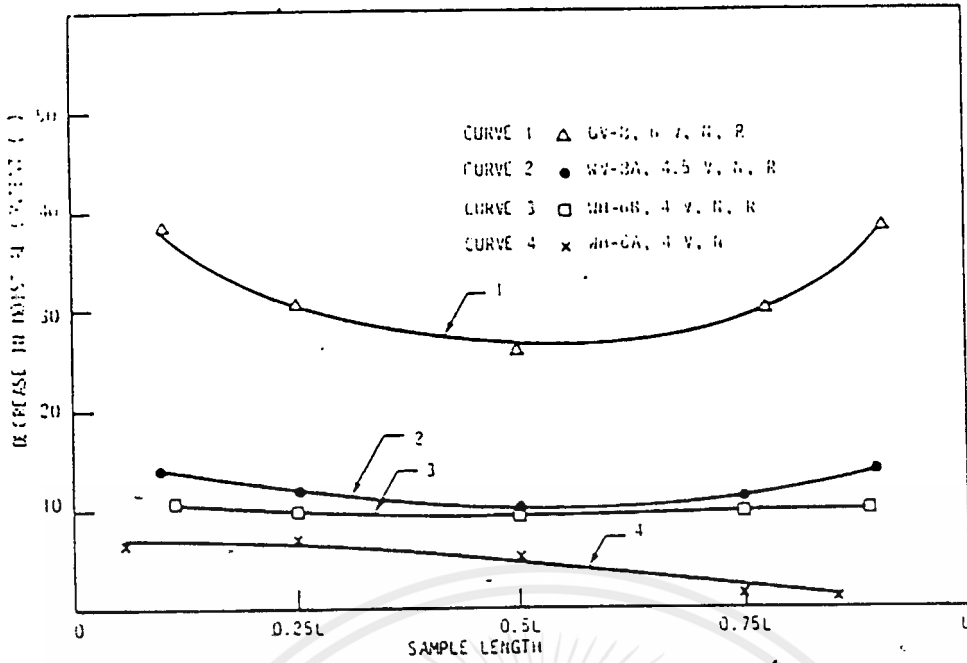


รูปที่ 31 เปรียบเทียบการกระจายของแรงดันในช่องว่าง จากการคำนวณ และ จากผลการทดลอง ของตัวอย่าง GV-8 L = 203.2 มม.

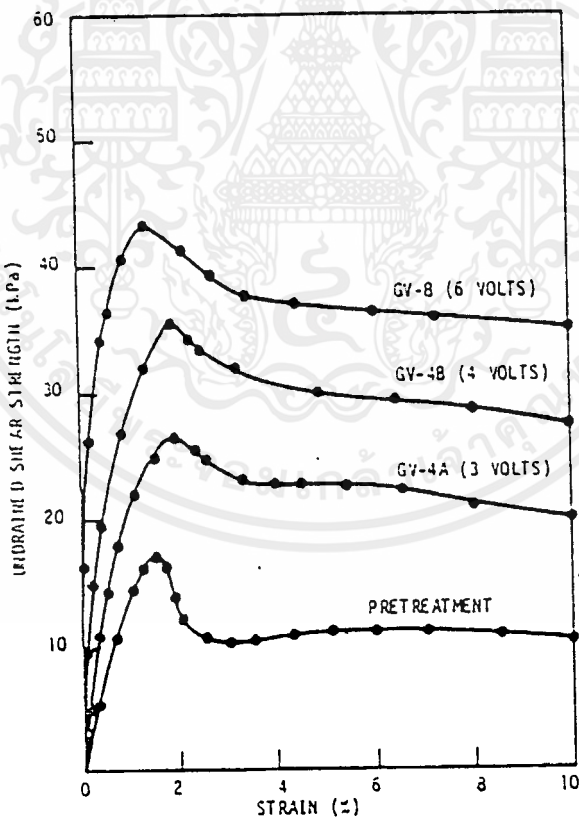


รูปที่ 32 ความเค้นเฉือนที่เพิ่มขึ้น กับตัวอย่างทดสอบต่างๆภายหลังการปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

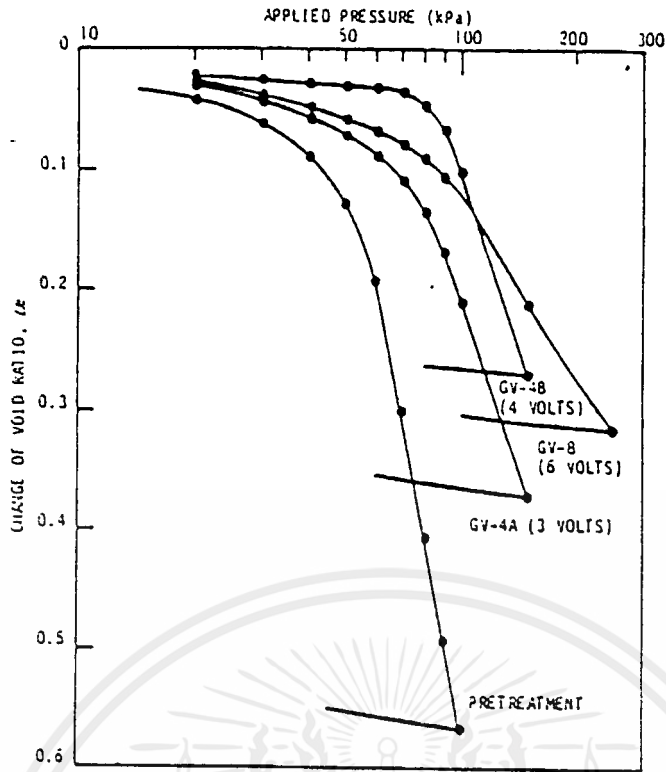


รูปที่ 33 ความชันในคันทัดลง ในตัวอย่างทดสอบต่างๆภายหลังจากการปฏิบัติการ

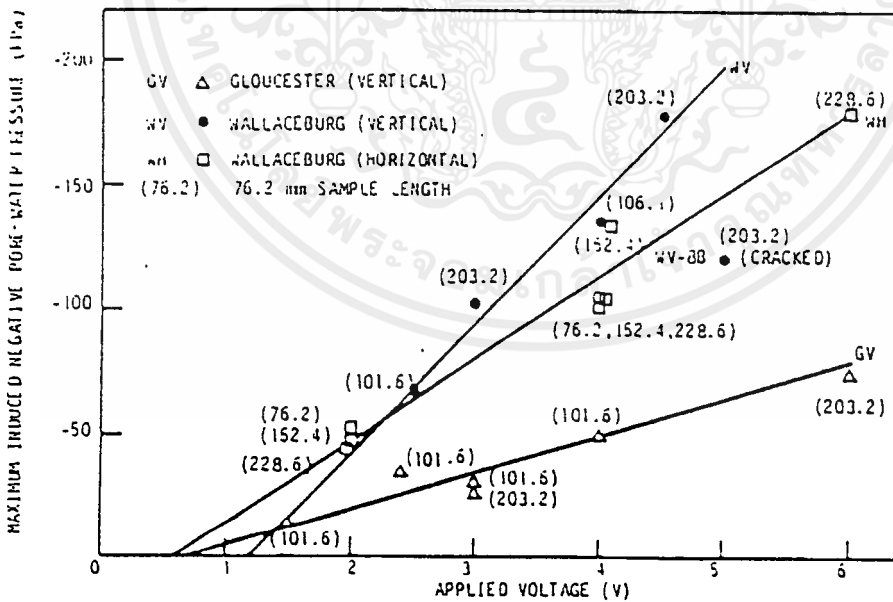


รูปที่ 34 การทดสอบ Unconfined Compression ของตัวอย่างดินเหนียว Glucester ก่อนและหลังการปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

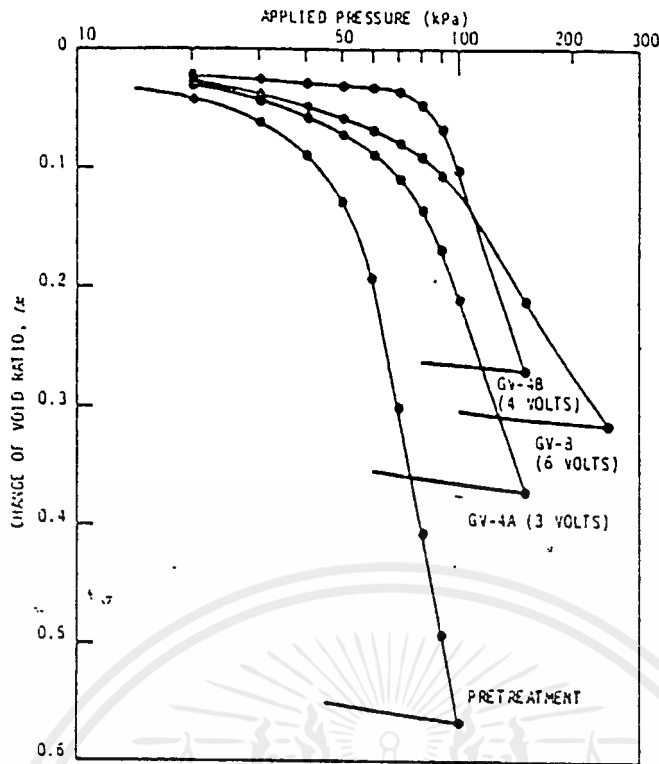


รูปที่ 35 วัฏจักรการหดตัวของดินเหนียว Gloucester ก่อนและหลังการปฏิบัติกา

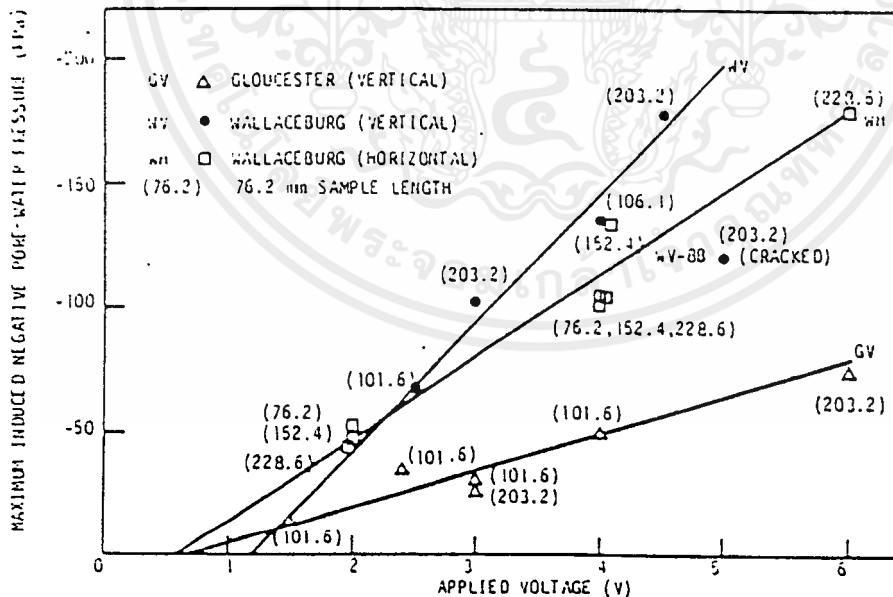


รูปที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันในช่องว่างสูงสุด
กับความต่างศักย์ในดินประเภทต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

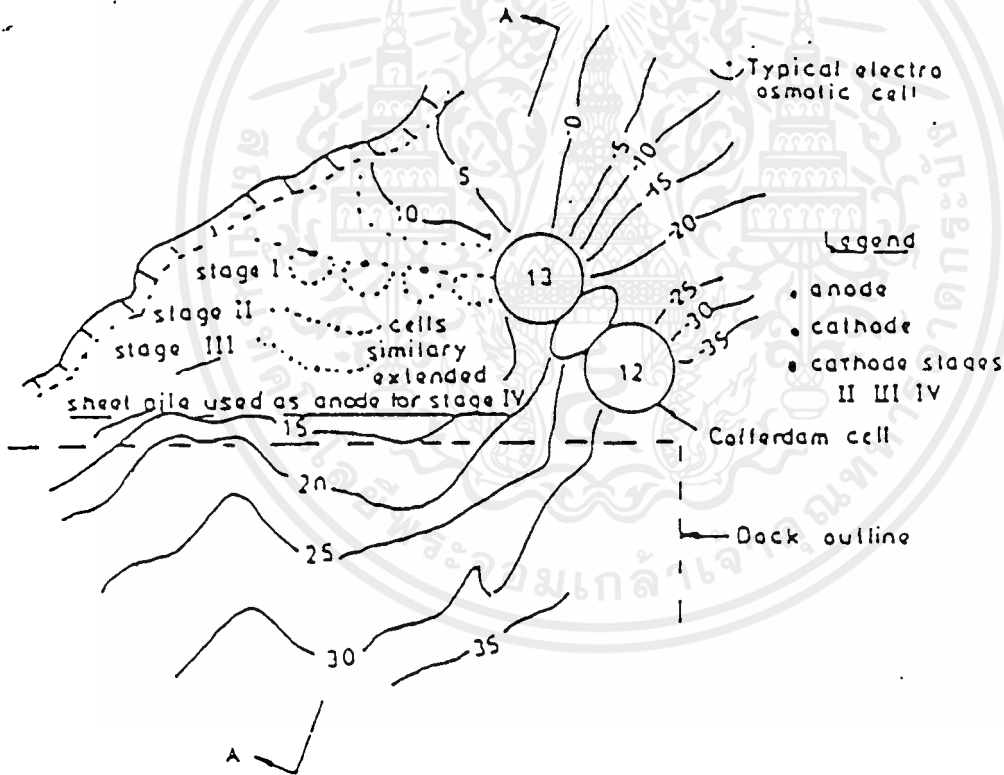
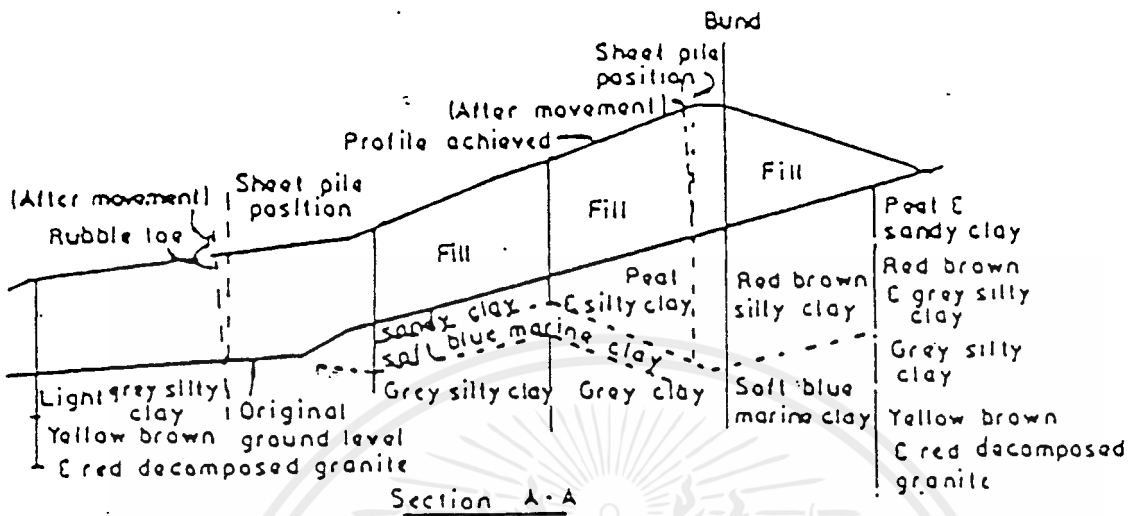


รูปที่ 35 โด่งการทรุดตัวของดินเหนียว Glucester ก่อนและหลังการปฏิบัติกา



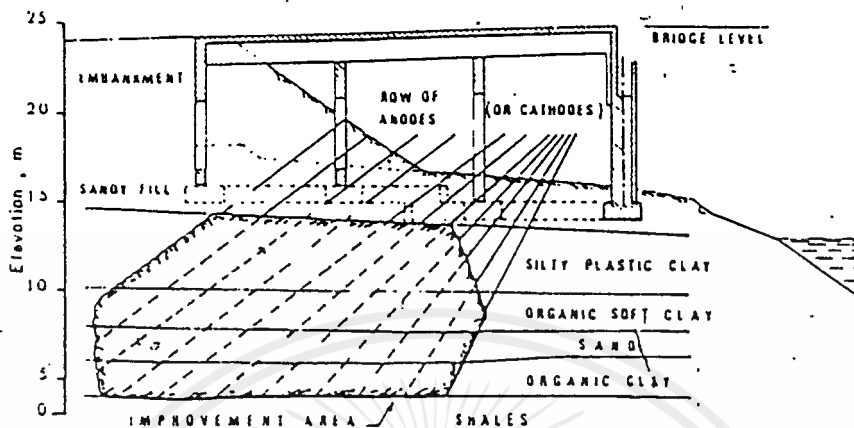
รูปที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันในช่องว่างสูงสุด กับความต่างศักย์ในดินประเภทต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

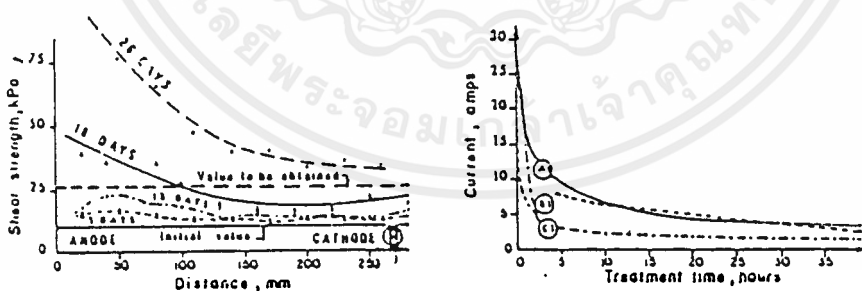


รูปที่ 37 แสดงสภาพของพื้นที่ และชั้นดิน ที่ได้นำวิธี Electro-Injection มาใช้
ที่ท่าเรือ Sembawang , ประเทศสิงคโปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 38 การทำ Electro-Injection กับฐานรากของสะพาน Chaine (Caron, 1971; Peignaud, 1977)



รูปที่ 39 กระแสไฟฟ้าที่ลดลงระหว่างการทำ Electro-Injection ที่บริเวณฐานสะพาน Chanie (Caron, 1971; Peignaud, 1977)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Author(s)	Principal apparatus	Sample size (mm)	Electrode used	Parameters measured during test		
				PWP distribution	Settlement	Voltage distribution reversal
Casagrande 1952	Standard oedometer	Not described	Platinum wire mesh	No	Yes	No
Evans and Lewis 1966	Insulated cylinder	< 38 mm diameter	Platinum gauge	At one electrode only	No	No
Esrig 1967	Lucite tubing	44 x 127	Carbon rod and steel mesh	No	No	No
Johnston and Butterfield 1977	Triaxial cell	102 x 102	Stainless steel mesh	Yes	No	No
Wan and Mitchell 1975	Consolidation flow box (remoulded)	60 x 200 x 200	Silver chloride	No	No	Yes
Mitchell and Wan 1977	Standard oedometer (remoulded)	Not described	Silver chloride	Yes	Yes	No
Casagrande 1983	Plexiglas tube	77 x 250	Stainless steel wood and galvanized wire	No	No	No
Present design	Plexiglas tube	102 x 229	Perforated	Yes	Yes	Yes

NOTE: PWP, pore-water pressure.

ตารางที่ 1 การทดลองใช้หลอดวัดต่าง ๆ เป็นตัว Electrode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. ^a	Sample length (mm)	Voltage polarity (V) ^b	Δu (kPa) ^c	Settlement, δ/L (%)	Average shear strength ^d			Average moisture content		
					Initial (kPa)	After treatment (kPa)	Increase (%)	Initial (%)	After treatment (%)	Decrease (%)
GV-4A	101.6	3.0 N,R	-28	3.35	11.0	18.0	63.6	97.5	82.7	15.2
GV-4B	101.6	1.5 N,R	-15	2.75						
		2.4 N,R	-36	3.74						
GV-8	203.2	4.0 N,R	-53	6.60	11.0	23.5	113.6	69.0	57.1	17.2
		3.0 N,R	-27	3.69						
		6.0 N,R	-75	9.83	11.0	30.0	172.7	97.5	67.8	30.5
WV-4	101.6	2.5 N,R	-68	0.77						
		4.0 N	-136	1.25	22.5	36.5	62.2	38.5	35.6	7.5
WV-8A	203.2	3.0 N,R	-102	1.78						
		4.5 N,R	-178	3.50	23.0	40.5	76.1	38.5	34.2	11.2
WV-8B ^e	203.2	5.0 N,R	-120	1.91	22.0	42.0	90.9	38.5	33.8	12.2
		2.0 N,R	-52	1.20						
WH-3	76.2	4.0 N,R	-105	2.49	23.0	32.5	41.3	37.5	34.5	8.0
		4.0 N	-100	1.57	22.5	27.0	20.0	42.9	40.6	5.4
WH-6A	152.4	2.0 N,R	-41	0.66						
		4.0 N,R	-135	2.44	23.0	37.0	60.9	37.5	33.7	10.1
WH-9	228.6	2.0 N,R	-46	0.47						
		4.0 N,R	-104	2.24						
		6.0 N,R	-180	3.22	22.0	39.0	77.3	37.5	32.8	12.5

^aG, Gloucester clay; W, Wallaceburg clay; H, horizontal trimming; V, vertical trimming.

^bN and R are normal and reversed polarity, respectively.

^c Δu is the maximum induced negative pore-water pressure measured near the anode.

^dUndrained shear strength obtained by laboratory vane test.

^eSample cracked during treatment and pore pressure estimated by extrapolation.

ตาราง 2 ผลการทดลอง Electro-Osmosis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. ^a	Voltage (V) ^b	Peak shear strength (kPa)	Failure strain (%)	f_u	Undrained modulus (kPa)	S_u	ΔS_u (%)	Pre-consolidation pressure (kPa)	Δp_c (%)	Coefficient of consolidation ($m^2/year$)
Pretreatment	—	17.2	1.6	0.39	1 720	-100	—	49.0	—	0.45
GV-4A	3.0 N,R	26.5	2.0	0.25	5 300	76	-24	74.0	51.0	8.9
GV-4B	1.5 N,R									3.6
	2.4 N,R									3.9
	4.0 N,R	35.4	1.9	0.22	8 850	51	-49	83.0	69.4	3.8
	3.0 N,R									18.1
GV-8	6.0 N,R	43.7	1.4	0.20	14 560	38	-62	92.0	87.8	6.5

NOTE: Undrained modulus obtained at half peak strength. f_u , brittle index; S_u , sensitivity.

^aG, Gloucester clay; V, vertical trimming.

^bN and R are normal and reversed polarity, respectively.

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ Unconfined Compression, ความไว และการหดตัวของดินตัวอย่าง

	Gloucester clay		Wallaceburg clay	
	Initial	After treatment	Initial	After treatment
Liquid limit (%)	48.4	52.8	43.7	44.6
Plastic limit (%)	29.5	31.2	20.8	20.9
Soil pH value	8.2	10.3	7.2	7.3
pH of expelled water	8.2	11.5	—	—
Carbonate content (%)	2.8	3.6	5.3	7.8
Soil salinity (g/L)	1.7	2.5	2.5	7.2

ตารางที่ 4 สภาพทางฟิสิกส์ และทางเคมีของดินเหนียว Wallaceburg และ Gloucester ก่อนและหลังการบำบัด

Location and reference	Object of treatment	Soil treated	Procedure	Results and comments
As, Norway. (Bjerrum et al, 1967)	To increase strength prior to earthworks.	Sensitive clay, about 12 m thick.	<i>Electro-drainage</i> : 65 V/m at 250A for 4 months.	Satisfactory treatment of 2700 m ² soil; w dropped from 31 to 17%; s_u increased from 9 to 38 kPa.
Warren, U.S.A. (Fetzer, 1967)	Treatment of West-Branch Dam foundation (under construction).	Fairly soft silty clay; 18 m thick.	<i>Electro-drainage</i> : 8-25 V/m at 40A for 10 to 12 months.	Satisfactory treatment of 580,000 m ² soil; excess pore pressure greatly reduced.
Singapore. (Chippell & Burton, 1975)	Treatment of embankment and its foundation on creeping soil.	Fill and soft clay; 5 m thick.	<i>Electro-drainage</i> with local hardening next to the node: 14 V/m at 25-30A for at least 9 days.	Satisfactory; w of soft clay decreased from 72 to 35%; s_u increased from 50 to 144 kPa.
Bordeaux, France. (Caron, 1968)	Treatment prior to excavation.	Soft clay, 9 m thick.	<i>Electro-drainage</i> : 16-25 V/m at 20A for 3 months.	Satisfactory treatment of 1000 m ² soil.
Tunisia, Tunisia. (Caron, 1968)	Foundation soil treatment prior to construction of reservoirs.	Very soft clay; 15 m thick.	<i>Electro-injection</i> : ammonium chloride.	Satisfactory; s_u increased from 6 to 15 kPa.
Seattle, USA. (Dearstyn & Newman, 1963)	Treatment of foundation soil under existing runway.	Softened clay (through pumping), 1.5 m deep.	<i>Electro-injection</i> : 11,226, with 6 V/m at 4A for 15 days.	Satisfactory.
Antwerp, Belgium. (De Beer & Wallays, 1965)	Treatment prior to excavation.	Very soft clay ($w_p = 120-220\%$), 7 m thick.	<i>Electro-drainage</i> : 10 V/m at 45A for one month.	Satisfactory.
Angers, France. (Caron, 1971; Feignaud, 1977)	To increase soil strength under bridge abutment.	Soft to stiff clay; 10 m thick.	<i>Electro-injection</i> : sodium silicate, with 28 V/m at 30A for maximum 3 months.	Unsatisfactory—major implementation problems.
Dighi, India. (Sridharan, 1972)	To harden soil around a pile.	Soft clay around a test pile 150 mm diameter.	<i>Electro-drainage</i> : 90 V/m at 8A for 72 hours.	Satisfactory.

ตารางที่ 5 ตัวอย่างงานที่ใช้ Electro-Osmosis ในการปรับปรุงสภาพดินอ่อนในเขต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Geogrid

แต่เดิมนั้น เมื่อเราต้องการทำการเสริมแรงในดินโดยให้ดินรับแรงได้พอสมควร เราจะใช้ไม้ไผ่ ซึ่งทำการเสริมแรงในดินไม่มากนัก ต่อมาจึงมีการพัฒนาขึ้น โดยใช้พลาสติก และ เหล็ก มาช่วย แต่ว่าวัสดุทั้ง 2 ต่างก็มีข้อเสีย คือพลาสติกมีความยืดหยุ่นมากเกินไป ทำให้เกิด มีการเปลี่ยนแปลงในด้านความเครียดไม่สอดคล้องกับดิน ส่วนเหล็กก็มีความสามารถในการยึดตัว ได้น้อย มีผลด้านการเปลี่ยนแปลงความเครียดน้อย จึงมีการคิดค้นโดยการนำสมบัติทาง ด้าน ความยืดหยุ่นของพลาสติก และความแข็งแรงของเหล็กมาผสมกัน ทำให้เกิดสารประเภทโพลี เมอร์เกิดขึ้น ซึ่งต่อมาก็ได้ค้นคิดสารโพลีเอทิลีน (Polyethylene) และโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) ขึ้น ซึ่งก็คือ การเกิดขึ้นของวัสดุเสริมแรงที่เรียก Geogrids นั้นเอง

Tensar geogrids เป็น Grids โพลีเมอร์ที่ทำการค้นคิดประดิษฐ์เมื่อปี 1970 ขบวนการผลิตเริ่มต้นโดยการใช้แผ่นโพลีเมอร์ ซึ่งผ่านขบวนการทำให้เป็นช่อง ภาสได้ความร้อน ที่ให้ไปนั้น แผ่นที่ใช้จะถูกทำให้ตรง ซึ่งขบวนการนี้เองที่จะทำให้เกิดความแข็งแรงด้านแรงดึงและ ความแข็งต่อโพลีเมอร์ Geogrids โดยทั่วไปถ้าจะแบ่งตามการรับแรงเราจะแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. แบบ Unaxial geogrid geogrid แบบนี้จะมีรูปแบบตามรูปที่ 40 แบบนี้ จะมีลักษณะการรับแรงแนวทางเดียวคือ ทางแนวยาว แต่จะมีความสามารถในการรับแรงได้ มากกว่า แบบ Biaxial geogrid
2. แบบ Biaxial geogrid geogrid แบบนี้จะมีรูปแบบตามรูปที่ 41 แบบนี้ จะมีลักษณะการรับแรง 2 ทาง คือทางยาวและทางขวาง แต่จะมีความสามารถในการรับแรงได้ ไม่มากนัก

โครงสร้างของ Geogrids จะมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักได้ปานกลาง ซึ่งมา จากโครงสร้างที่มีลักษณะช่องว่าง ระนาบพียงทลสายที่เกิดขึ้น จะมีชั้นที่ขึ้นของ Geogrids โดย การต้านการ Slide อันเกิดขึ้นที่ Grids นั้น โดยที่ Geogrid จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดการยึดติด กันในมวลดิน ดังนั้นความสามารถในการทำงานของ Geogrid จึงขึ้นกับแรงเสียดทานระหว่างตัว Geogrid กับ อนุภาคดิน และแรงในการยึดติดกันระหว่างอนุภาคดินกับ Geogrid ตามรูปที่ 42

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้ Polymer grids อย่างกว้างขวางในโครงสร้าง ทางวิศวกรรม ดังนั้นลักษณะของมันจึงควรพึงเล็งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวัสดุ วัสดุจาก Polymer มีค่าโมดูลัสการเปลี่ยนรูปและความต้านทานต่อแรงดึงที่กว้าง อีกทั้งยังมีการเปลี่ยน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงด้านความเครียดเป็นเส้นตรงที่ระดับต้นๆ และไม่เป็นเส้นตรงที่ระยะสูงขึ้นไปมันจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทดสอบเพื่อที่จะทำความเข้าใจลักษณะของมัน การศึกษาจึงพูดถึงคุณสมบัติด้านกลซึ่งคือความคงทน และศึกษาถึงสภาพของมันในดินเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensar Geogrid

Tensar Geogrid คือ Geogrid ที่ถูกผลิตมาจาก บริษัท Nelton ซึ่งเป็นบริษัทที่ประเทศอังกฤษ มีโรงงานอยู่ที่ Blackburn Lancashire ซึ่งมี Geogrid ที่แบ่งตามประเภทการใช้งานอยู่ 5 อย่าง คือ

1. Reinforced Soil ที่ใช้กับ Retaining Wall Bridge-Abutments Steep Slopes Repair of Slips and Landslides ดังรูปที่ 43-46

2. Reinforced Soil ที่ใช้กับ Embankment Foundations
ดังรูปที่ 47

3. Reinforced Soil ที่ใช้กับ Roads Railways Hard-standings and Air Field Pavement ดังรูปที่ 48

4. การควบคุมการพังทลาย ดังรูปที่ 49

5. Reinforced Soil ประเภท Geocell Mattress

Tensar Geocell Mattress ถูกออกแบบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงแก่ดินกันทางที่สร้างบนดินอ่อน ขณะที่มันตั้งอยู่และถูกกรรกลงไป ด้วยวัสดุ Granular มันเป็นรูปแบบที่แข็งแรงและมันจะทำให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

หลายครั้งที่เราจะทำการก่อสร้างโดยทำการขุดดินอ่อน และแทนที่ด้วยวัสดุที่แข็งแรง วิธีนี้มันมีความประหยัดหากเราใช้ในความลึกที่ตื้น ๆ และอาจจะเป็นปัญหา หากต้องการก่อสร้างในปริมาณที่มีโครงสร้างอื่นใกล้ ๆ หรือมีระดับน้ำใต้ดินมาเกี่ยวข้อง

การใช้ Geogrid Mattress ถูกวางเป็นชั้นหนา 1 เมตร และไม่ต้องทำการขุดใด ๆ เมื่อทำการถมด้วยวัสดุที่เหมาะสม Geocell จะทำหน้าที่เหมือนชั้นระบายน้ำ และมันสามารถใช้กับ vertical wick drain เพื่อเร่งการทรุดตัวของ

การควบคุมการพังทลายด้วย Geogrid

การพังทลายของชั้นอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นบนๆ เป็นปัญหาที่มีอยู่มานาน และมีสาเหตุอันใหญ่หลวง ที่มาจากความไม่สมดุลทางธรณีวิทยา ดินชั้นบนในโครงสร้างทางวิศวกรรมอยู่ในรูป ถนน, ทางรถไฟ, ดินคันทาง, เขื่อน ซึ่งอยู่ในรูป section และไม่สามารถที่จะสูญเสียดินชั้นบนได้ การพังทลายประกอบด้วย การหลอม, การชนย้าย และการเคลื่อนย้ายของอนุภาคดิน

การพังทลายของดินและการลดลงของดิน ตามธรรมชาติขึ้นกับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม ความชื้นเหล่านี้ถูกกักเซาะโดยแรงลมและสันป็น้ำจากผิวน้ำ จากนิทรรศการดินที่ไม่เหมาะสม ขณะที่นิทรรศการชาติใช้ควบคุมการพังทลายเป็นทางเลือก ๗ หนึ่งใน อย่างไรก็ตามสภาพอากาศ, ความก้าวหน้าทางด้านพฤษชาติ อาจจะต้องการคงอยู่ ตามสภาพการเปลี่ยนแปลงสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ต้องการสิ่งปกป้องอันแข็งแรงจากภายนอก Polymer mesh ซึ่งเรียกว่า Geogrid หรือ Geomesh ซึ่ง กับพฤษชาติ ซึ่งช่วยในการควบคุมการพังทลาย โดยช่วยเพิ่มความมั่นคงหนาแน่น อีกทั้งมีส่วนช่วยในการลดความเร็ว

1. การพังทลายจากลม

การเคลื่อนที่ของดินอันเป็นสาเหตุจากลม มีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการทั้งสาม คือ

1. ขบวนการความเค็ม
2. ขบวนการล้าของผิวดิน
3. ขบวนการที่เกี่ยวข้องกับน้ำ

ซึ่งค่อนข้างจะเกิดในเวลาใกล้เคียงกัน ขบวนการทางความเค็ม ซึ่งเกี่ยวข้องกับด้านแข็งแรง และการกระโดดของอนุภาคดิน อนุภาคที่เกี่ยวข้องกับความเค็มมีขนาดอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.5 มิลลิเมตร จากแรงกระเทือน สามารถเคลื่อนที่ได้เอง ขบวนการด้านความเค็ม นั้นมีส่วนเกี่ยวข้องกับขบวนการล้าของผิวดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้าย ๆ ของอนุภาคดินซึ่งมีขนาด 0.5 ถึง 1 มิลลิเมตร และจะนำมาสู่ขบวนการแขวนลอย ซึ่งเกิดจากการกระทำจากลม ต่อเม็ดดินขนาดเล็กกว่า 0.1 มิลลิเมตร

Mechanism

การพังทลายอันเนื่องมาจากลม เกี่ยวข้องโดยตรงกับความเร็ว ทิศทาง ความสับสน และระยะทางระดับพื้นดิน ดังนั้นเมื่อความเร็วลมที่ระดับพื้นดินและเกินระดับความเร็วที่รับได้ของอนุภาคดิน มันมีผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของดิน ความเร็วลมเหนือ 12 ถึง 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เหนือระดับพื้นดินใกล้เข้าสู่ความเร็วสำหรับขนาดอนุภาค 0.1-0.15 มิลลิเมตร

มันมักจะใช้อยู่ในรูปการใช้พืชคลุมดิน สำหรับการปกป้องอันเนื่องมาจากลม ซึ่งจะใช้ประมาณ 90 %

2. การพังทลายจากฝน

การพังทลายของดินเป็นปรากฏการณ์ของการเคลื่อนย้ายของอนุภาคดิน โดยลมหรือน้ำ ปรากฏการณ์การพังทลายจะเกิดขึ้นทันทีที่อนุภาคแรก, ปลิวจากที่เดิมที่มีอยู่ซึ่งขึ้นกับความเอกลักษณะนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบกระเทือนของแรงและความเร็วของการไหล จากสิ่งนี้ ความเร็วเป็นสิ่งที่ควรพิจารณา ความรุนแรงและอัตราความเร็วจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจาก "เล็กๆ" ไปเป็น "ใหญ่ๆ" และแผ่กระจายกว้างและลึกขึ้น การเกิดขึ้นเหล่านี้จะเกิดเป็นคู่กันและจะเกิดการทิ้งทลายอย่างรุนแรง ถ้าไม่ควบคุมก่อน

ความรุนแรงอันเนื่องมาจากน้ำฝน ขึ้นกับสัณฐานการชำระล้าง สำหรับการให้อุณหภูมิเล็กน้อย ถูกปลดปล่อยและเริ่มปรากฏการณ์ ขึ้นอยู่กับพลังงานจากความแรงและสามารถถูกยึดจากเวลาและความเข้มข้น

เนื่องจากความรุนแรงเป็นปรากฏการณ์ของการเคลื่อนย้ายของดิน การควบคุม จำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคและความเร็วของการไหล ต่างจากลม เพราะมันจะสัมพันธ์ความต้านและความแน่น น้ำมีความสามารถที่จะจับอนุภาคดินทางด้านความเร็วที่น้อยกว่าที่ลมสามารถจับได้

เมื่อมันถูกเคลื่อนขึ้นมาบนน้ำ อนุภาคดินจะเดินทางก่อนมันจะจมลง น้ำมีความสามารถที่จะเคลื่อนมวลดินไปรอบ ๆ ก่อนโดยการหมุนมัน ความเร็วของการหมุนจะต่ำกว่าความเร็วในการเคลื่อนมันขึ้น

การควบคุมการทิ้งทลาย

สำหรับงานวิศวกรรมการก่อสร้าง โศกปฏิกจะอยู่ในรูปความชัน ซึ่งเป็นปัญหาที่หนักหน่วงอยู่ การใช้วัสดุท้องถิ่นเป็นสิ่งที่ไม่เหมาะสมกับทุกสถานการณ์ การขาดแคลนเรื่อง การดูแลด้านการควบคุมและคนเป็นตัวเร่งทำให้เกิดปัญหา

การใช้ต้นไม้, หญ้า, พืชอื่น ๆ สำหรับการปกป้องดินจากลม น้ำ มีอยู่นานแล้ว ชาววิชนาบนพื้นดินได้ให้การปกคลุมที่เพียงพอต่อฝนและปกป้องจากความรุนแรงของดิน ในขณะที่ชยะและหินจะมีผลต่อการล้าลงของปริมาณน้ำ และคอสเก็บอนุภาคดินในการที่จะทำให้ขีมน้ำ และกักเก็บน้ำไว้สำหรับให้พืช

นอกจากการปกป้องดิน, หญ้า เป็นส่วนสำคัญในการที่จะจับอนุภาคดิน ด้วยรากของมัน มันเป็นที่แน่นอนว่าจำนวนรากของมันเพิ่มขึ้นตามอายุของมัน, ต่างกันตามสายพันธุ์, ความลึกเพิ่มขึ้นขณะที่จำนวนรากลดลง และความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้น จะถูกลมและน้ำทำให้มันทิ้งทลาย ซึ่งมันต้องการวัสดุในการเสริมสำหรับระบบรากของมัน

Reinforced Vegetation

พืชเสริมแรง รูปแบบใหม่ในการส่งเสริมความมั่นคงขึ้นกับปัจจัยหลาย ๆ ชนิด เช่น การเก็บความชุ่มชื้นในดิน, มุมเอียง, ขนาดของอนุภาค, ชนิดของดิน, ฯลฯ สำหรับ Slope ดิน ๆ อย่างเช่นดินคันทางถนน, ทางรถไฟ, วัสดุที่หาได้ในงานก่อสร้าง, สถานการณ์ Site ไม่สามารถจัดหาสภาพที่ค้ำพอง สำหรับความแน่นที่ต้องการและการค้ำจุนของพืชคลุมดินหรือในกรณีที่มีความชันที่สูง ๆ การปลูกพืชอาจจะขึ้นมาใหม่เพื่อพองหรือมีระบบรากที่ไม่พอง ใน Slope ต่าง ๆ ทั้งหมด Geogrids หรือ Geomeshes ได้ให้ระบบเสริมรากสัมผัสใหม่แทนพืช โดยการยึดและอนุรักษ์ดิน ลดความเร็วของการไหล

Geogrids or Geomeshes

Geogrids หรือ Geomeshes มาจากโครงข่ายโพลีเมอร์ที่มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง โดยขบวนการทางพิเศษ ในรูปแบบของช่องเปิดมันรวมรูปแบบการเชื่อมซึ่งให้ทิศทางที่คงทน และมั่นคง มีค่าโมดูลัสสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ Geosynthetics อื่น ๆ

ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ Design Chart

ในการออกแบบสำหรับการวาง Geogrid ให้ถูกต้องนั้น ควรมีค่ามุม Slope อยู่ที่ 30-80 องศา และทำการสร้างบนฐานที่มีความแน่ใจว่าสามารถรับน้ำหนักได้เพียงพอ

การออกแบบ Design Chart นี้ถูกถ่ายทอดพื้นฐานการวิเคราะห์วิธีทางสมดุล ซึ่งจะทำการอธิบายต่อไป การ Design Chart จะอยู่ภายใต้สมมติฐานดังนี้คือ

- ค่า Slope ของ Embankment อยู่ระหว่าง 30-80 องศา
- Embankment สร้างบนฐานที่มีความสามารถในการรับน้ำหนักอย่างเพียงพอ
- ใช้วัสดุแบบเดียวกันในการถม
- Embankment เป็นตัวช่วยในการกระจายน้ำหนัก

ในการที่เราใช้ Chart นี้ ค่า Shear Strength ของดินที่ใช้ถมจะแสดงในรูปของมุมเสียดทานภายในซึ่งถูกวัดภายใต้ความเค้นประสิทธิผล (ϕ) อันอยู่ระหว่าง 15-40 องศา ค่าความยึดเหนี่ยวของวัสดุถมอาจแสดงอยู่ในรูป c และ C แรงดันภายในจะแสดงอยู่ในรูปแรงดันน้ำ สัมประสิทธิ์ r_u ตามอัตรา 0-0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เมื่อ } r_u = \frac{U}{\gamma z} = \frac{\text{แรงดันน้ำที่ความลึก } z}{\text{แรงดันแนวตั้งที่ความลึก } z}$$

พื้นฐานในการออกแบบ

เมื่อดินถูกได้รับความเค้น การอัดและการดึงจะเกิดขึ้น การเสริมแรงเข้าไปในดินนี้มีขึ้นเมื่อยังคงความสมดุลให้เกิดขึ้นกับความเค้นที่ยอมได้กับการกระจายในแรงดึงภายในดิน ประสิทธิภาพของตัวเสริมแรงจะอยู่ในรูปค่าความแข็งแรง, ความแข็ง, ตำแหน่งภายในมวลดิน และความสามารถของมันในการทำงานกับดิน

การแก้ปัญหาของแรงใน Geogrid

ขึ้นของการเสริมแรงในดิน ต้องการการรวมกันของแรงตามแนวราบ (T) เพื่อให้มีความสมดุลในตามแนวราบ ตามการกระจายหน่วยแรงของแรงดิน แรงดินตามแนวราบอันอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์ค่า k ใช้สมการ

$$T = 1/2 k \gamma H^2$$

Chart ดังรูปที่ 51 ได้ให้ค่าสัมประสิทธิ์ (k) อันมีความเกี่ยวข้องกับ มุม Slope (B) มุมเสียดทานในดิน (ϕ) และสัมประสิทธิ์แรงดันน้ำ (r_u)

การวาง Geogrid

ความยาวที่ใช้โดยปกติความยาวที่ใช้จะถูกตัดโดยใช้เส้นที่วางขนานกับผิว Slope เป็นตัววัด ให้ (L) เป็นความยาวของแผ่น Geogrid ที่ใช้ ซึ่งก็ให้อยู่ใน รูปที่ 52

ระยะตามแนวตั้ง ขึ้นของ Geogrid ที่วางควรมีช่องว่างระหว่างแผ่นตามความชัน เพื่อว่า คงความสมดุลตลอดการเสริมในการที่จะพิจารณาความต้องการที่ยังคงด้านการก่อสร้างไว้ ซึ่งควรมีความห่างตามเท่าของดินถมที่ใช้ในการบดอัด (v) วิธีปกติที่พัฒนาสำหรับการคำนวณความลึกแต่ละ zone จะอยู่ในช่วง $v, 2v, 3v, 4v$ อาจจะเพียงพอ

การวิเคราะห์ใช้ค่า Q เฉพาะในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \frac{\text{Safe Design Strength}}{k \gamma V} \quad \text{ซึ่งจะอธิบายต่อไป}$$

ค่า h จะมีค่าตามชั้นซึ่งเป็นค่าความลึกสูงสุด

$$h = Q/n$$

Embankment กับ แรงดันน้ำ

แรงดันน้ำมีผลต่อความสมดุลของ Slope ค่าแรงดันน้ำที่ใช้และยอมรับน้ำควรถูกคำนวณก่อน แรงดันน้ำแสดงอยู่ใน Design Chart ด้วยสัมประสิทธิ์ r_u

การใช้ Design Chart

วิธีในการออกแบบได้นั้นนำไปว่า เราควรใช้ค่าตัวแปรในการออกแบบร่วมกับกับ Factor of Safety ของ Embankment

a) ความสมมาตรของโครงสร้าง

ความสูง H และมุม slope β เป็นค่าที่นำเอามาใช้สำหรับการออกแบบ

b) น้ำหนัก

ค่าน้ำหนักสูงสุดที่ยอมรับได้ก็สามารถที่จะเกิดขึ้นด้วยในเวลาใกล้เคียงกัน ค่าหน่วยน้ำหนักดิน (γ) ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันน้ำ (r_u) และน้ำหนักแผ่นกระจาย (w_u) ควรมีค่าที่สมดุลกับค่าที่ได้คำนวณไว้

c) ความแข็งแรงของดินและการเสริมแรง

1. ดิน ในการออกแบบมันเหมาะสมที่จะใช้มุมเสียดทาน (ϕ) ซึ่งเป็นตัวแทนค่าความเครียดที่ใหญ่, เมื่อถูกวัดในห้อง Lab

2. การเสริมแรง

ค่าความแข็งแรงเฉพาะตัว (f_u) ของแต่ละ Geogrid ได้ถูกกำหนดไว้ดังรูปที่ 53 การทดสอบน้ำหนัก ค่า Safe Design Strength เป็นค่าน้ำหนักที่ Geogrid สามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย มันได้มาจากลักษณะเฉพาะของ Geogrid โดยตรง ซึ่งค่า Factor of Safety ถูกใช้เพื่อให้มีผลกระทบเกี่ยวกับกิจการก่อสร้าง และชนิดของดินที่ใช้

สำหรับในประเทศอังกฤษ (1) ใช้ลดมุม 10° และวงจรชีวิตที่ใช้ 120 ปี อาจมีความแตกต่างกันในเรื่องลดมุมตามส่วนอื่นๆของโลก ซึ่งจะให้ค่า f_u ที่ต่างกันไป ตาม

รูปที่ 53

จากการทดสอบในสนาม ได้มีการทดสอบใช้กิจกรรมการก่อสร้างตามชนิดของดินที่ใช้
ถม, ขนาด, และวิธีการบดอัดดังรูปที่ 54

$$\text{Safe Design Strength} = \frac{f_u}{\gamma_u \times \text{ค่า Factor of Safety}}$$

γ_u = ค่า Factor of Safety ที่อนุญาตให้มีการก่อสร้าง

ค่า Overall Factor of Safety จะมีความสัมพันธ์กับวิธีในการออกแบบและ
สถานะของดิน ค่า Overall Factor of Safety

ค่าตัวแปรการออกแบบแสดงอยู่ใน a) ถึง c) ควรจะถูกใช้กับ Design Chart
โดยตรง ที่การออกแบบของมุมเสียดทาน ϕ , ค่าความชัน β และสัมประสิทธิ์แรงดันน้ำ u_u , ค่า
สัมประสิทธิ์ของแรง k จากรูปที่ 51 และค่าอัตราส่วน L/H จาก Design Chart รูปที่ 52
ซึ่งนำไปสู่การกำหนดของความยาวในการเสริมแรง

การออกแบบอันมีพื้นฐานจาก a), b) และ c) อยู่ในการจำกัดสภาพความคงทน
การออกแบบดังกล่าวอาจมีความผิดพลาดได้ที่ริม ๆ อันเนื่องมาจากน้ำหนักสูงที่ไม่ได้คิดไว้, ความ
แข็งแรงของดินที่ต่ำกว่าที่คิดไว้ และการไม่เผื่อในวิธีและการออกแบบการก่อสร้าง

วิธีในการออกแบบนั้นมีรูปแบบที่ไม่เหมือนกัน อันเนื่องมาจากความแข็งแรงที่สูง และ
ความมั่นคงของข้อต่อของ Geogrid ภายใน การรับน้ำหนักควรใช้ปัจจัยปลอดภัยอยู่ในค่า 1.2-
1.5 โดยปกติจะใช้ค่า 1.35

ลำดับการออกแบบ

1) ค่ามุม Slope (β) และมุมเสียดทาน (ϕ) ของดิน ซึ่งอาจจะถูกกำหนดโดยใช้
Chart รูปที่ 51 ขึ้นกับสัมประสิทธิ์แรงดันน้ำ

2) ความยาวของการเสริมแรงที่ต้องการ (L) ถูกกำหนดจาก Chart รูปที่ 52
ขึ้นกับสัมประสิทธิ์แรงดันน้ำ (u_u) ในรูปแบบของอัตราส่วน ความยาวต่อความสูงของ Embankment
(L/H) ค่ามุม Slope และมุมเสียดทานมาใช้ในการกำหนดค่า อัตราส่วน L/H

3) ช่องว่างระหว่าง Geogrid ส่วนใหญ่เพิ่มจากฐานจนถึงส่วนชัน วิธีที่ใช้ทำโดย
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือนำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งความสูงของ Slope เข้าไปใน Zone ต่าง ๆ โดยให้ช่องว่างเท่า ๆ กัน ซึ่งทำตามนี้

(a) ความหนาแน่นที่สุด (v) สำหรับชั้น 1 ชั้นให้เลือกใช้ อาจมาจากประสบการณ์ หรือโดยอ้างอิงถึง Code of Practice

(b) การวางมีช่องห่างน้อยที่สุดคือ (v) ซึ่งถูกเลือกหรือเพิ่มตามเท่า เพื่อทำให้แน่ใจว่าชั้นของ Grid สามารถวางโดยให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

(c) สำหรับแต่ละ Grid ค่า Q หาได้จาก

$$Q = \frac{\text{Safe Design Strength}}{k\gamma v}$$

(d) หากทำการเลือกช่วงห่างน้อยสุดซึ่งเลือกใน (a) มากเกินไป ค่าของ Q จะน้อยกว่าความสูงของ Embankment และ Geogrid จะมี Stress มากเกินไป ถ้าเกิดเหตุการณ์นั้นขึ้น ช่วงห่างระหว่าง Grid จำเป็นต้องลดลง และ Slope (a), (b), (c), และ (d) จะทำชั้นอีก Geogrid ที่มีความแข็งแรงสูงจะอยู่ใกล้ ๆ ฐาน

(e) ชั้นแรกของ Geogrid ถูกวางบนฐานของ Embankment จำนวนของ Grid ใน Zone แรกควรมีช่องห่างเท่า ๆ กัน และสามารถถูกคำนวณโดยการแบ่งความหนาของ Zone ออก

ถ้าชั้นบนของ Geogrid มากกว่า 0.75 ม. ใต้ส่วนบน มันควรมีความรอบคอบในการแทรกชั้นเข้าไปอีก ทางเลือกมีอีกคือใช้ Geogrid ที่มีความแข็งแรงต่ำกว่าใช้ใกล้ ๆ กับ Zone นี้ เพื่อลดช่องว่าง

(f) แรงรวมตามแนวราบ ถูกคำนวณโดยการใช้สมการ

$$T = 1/2 k\gamma H^2$$

และตามทฤษฎี คำนวณ Grid ที่น้อยที่สุด ให้โดย

$$N = \frac{T}{\text{Safe Design Strength}}$$

ค่าน้ำหนักที่ทับถมลงมา

Design Chart สามารถถูกใช้เพื่อใช้ในการกระจายน้ำหนัก (w_u) บนยอดของน้ำหนักที่กระทำบน Embankment เปรียบเสมือนกับความหนาของดินเหนียว Embankment

แรงตามแนวราบ (T) และความยาวของ Geogrid ที่ใช้ (L) ได้ถูกเขียนไว้ก่อน ซึ่งค่า H ก็ต้องเปลี่ยนเป็นค่า H ค้ำย $H' = H + \frac{w_u}{\gamma}$

ค่า H จริง ๆ ถูกใช้ เพื่อกำหนดจำนวนชั้นของ geogrid ที่ต้องการ

ค่าแรงดันน้ำ

Design Charts แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงดันน้ำ r_u ซึ่งค่า Chart จะมีค่าสัมประสิทธิ์ประมาณ 0, 0.25 และ 0.5

การใช้ TENSAR GEOGRID ใน EMBANKMENT

เทคนิคการก่อสร้างโดยปกติและอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถถูกใช้ในการก่อสร้าง ชั้นของ Geogrid ตามแนวราบสามารถใช้ร่วมกับอนุภาคดินถม เพื่อให้ Embankment มี Stability ที่ดี

การบดอัดดินถม

เราสามารถใช้อินทรียวัตถุหลายชนิด อาจเป็นหินแตก, กรวด, ดินเหนียว, PFA แต่ขนาดอนุภาคที่มันขนาดใหญ่กว่า 125 มม. ควรหลีกเลี่ยงการวางและการบดอัดควรทำตาม "Specification Per Highway Works" ซึ่งเป็นงานของการขนส่งของอังกฤษระหว่างการก่อสร้าง ผิวของดินถมควรทำให้อยู่ในแนวราบ ความหนาของดินถมในชั้น Geogrid ที่อยู่ใกล้ ๆ กัน ไม่ควรน้อยกว่า 150 มม.

Tensar Geogrid ควรติดตั้งตามแนวราบ ดินถมสามารถใช้เครื่องเกลี่ยให้เรียบ เราควรทำการดูแลควบคุมเวลาอัดการวางดินถม เพื่อให้แน่ใจว่า Geogrid จะไม่ถูกทำลายโดยอุปกรณ์การบดอัดหรือยานพาหนะเหนือ Grogrid

Geogrid

- 1) Tensar แบบ Unaxial เช่น Tensar SR 55 ซึ่งมีความแข็งแรงใน 1 ทิศทาง
- 2) Tensar แบบ biaxial เช่น Tensar SS2 ซึ่งมีความแข็งแรง 2 ทิศทาง แต่มีความแข็งแรงต่ำกว่า การเสริมแรงถูกวางในแนวราบ และตัดตามความยาวที่วางไว้ การวางควรตั้งได้แนวกับผิวความชัน โดยปกติอาจไม่มีข้อต่อหรือเหลื่อมกันระหว่างแผ่น แต่อาจมีเหล็กรูปตัว U เพื่อทำให้เกิดการแน่นขึ้นระหว่าง Geogrid กับดินถมที่ใช้

การวาง Geogrid

a) การวางตามแนวราบ Geogrid ควรถูกวางให้เต็มความยาวจากผิวของ Embankment

b) การวางระหว่างชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ตำแหน่งตามแนวตั้งของ Geogrid แต่ละชั้น ไม่ควรมากกว่า $1 \frac{1}{2}$ ของความหนาของชั้นบดอัดน้อยสุดของดินถม

2) ความแปรป็นในตำแหน่งของ Geogrid ตามแนวตั้ง ไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของความหนาชั้นบดอัดที่น้อยสุด

การกั้น

การกั้นอาจใช้วัสดุแข็งหรือนุ่ม ปลูกใช้เพื่อคงวัสดุดินถมเพื่อป้องกันการเลื่อนไหล

Hard Facing

อาจใช้คอนกรีตบล็อก, กุงปูน ตามรูปที่ 56 และ 57

Soft Facing

โดยปกติอาจใช้โครงไม้เพื่อให้คงความชันไว้ (มากกว่า 45 องศา) อาจใช้วัสดุน้ำหนักเบาก็ได้ เราอาจวาง Geogrid ที่ผิวของ Slope ในที่ ๆ ช่วงห่างมากกว่า 500 มม. Geogrid Biaxial SS ปลูกใช้เพื่อให้มีความมั่นคงขึ้น

สำหรับ Slope < 45 องศา การเชื่อมกันระหว่างดินกับ Geogrid แน่ใจว่าปราศจากการกั้นได้ การใช้ Geogrid ชั้น 2 อาจใช้เพื่อจำกัดระยะทางตามแนวตั้งระหว่างชั้น Geogrid ชั้น 1 อาจใช้ Tensar Mat ช่วยในการปกป้องการพังทลาย โดยการวางระหว่าง Topsoil

การระบายน้ำ

ถ้า Embankment มีแรงดันน้ำเพิ่มขึ้น การรับแรงดึงใน Geogrid จะมีค่าเพิ่มขึ้น ด้านแรงดันน้ำอาจป้องกันโดยการหาชั้นระบายน้ำที่ส่วนหลังของ Geogrid ดังรูปที่ 55

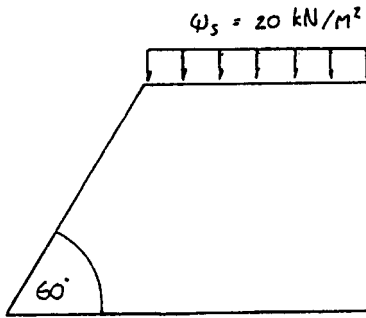
ตัวอย่าง

ออกแบบการวาง Tensar Geogrid อย่างเหมาะสมสำหรับ Steep Embankment โดยใช้ Granular Material ตามสมบัติที่แสดงดังรูป ไม่มีแรงดันน้ำมาเกี่ยวข้องกับ Surcharge 20 กม./ม^2

ค่า Characteristic Strength (f_u) ของ Tensar'SR 55 และ SR 80 ซึ่งมีอายุการใช้งาน 120 ปี ได้จากตาราง

Tensar SR 55 $F_u = 22.0 \text{ กม./ม.}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\text{Tensar SR 80 } F_k = 32.5 \text{ กน./ม.}$$

γ_m จากตาราง ได้ว่า

$$\text{Tensar SR 55 } \gamma_m = 1.25$$

$$\text{Tensar SR 80 } \gamma_m = 1.2$$

$$\text{Safe Design Strength (S.D.S.)} = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

$$\gamma_m \times \text{F.O.S.}$$

$$\text{Tensar SR 55} = \frac{22}{1.25 \times 1.35} = 13 \text{ กน./ม.}$$

$$\text{Tensar SR 80} = \frac{32.5}{1.2 \times 1.35} = 20.1 \text{ กน./ม.}$$

เนื่องจากอิทธิพลของ Surcharge ทำให้ต้องคิดความสูงประสิทธิผล

$$H' = H + \frac{w_u}{\gamma} = 16 + \frac{20}{19} = 17.05 \text{ ม.}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ K ถูกกำหนดจาก Chart โดยใช้ค่า $\phi = 35$ องศา

และ $\beta = 60$ องศา

$$K = 0.12$$

ค่า L/H ถูกกำหนดจาก Chart เช่นกัน

$$L/H = 0.53$$

$$\text{ค่า } L = 0.53 \times 17.05 = 9 \text{ ม.}$$

เริ่มต้นด้วยการสมมติความหนา $v = 0.2$ ม. และทำการคำนวณระยะระหว่าง

Grid ดังสูตร

$$Q = \frac{\text{Safe Design Strength}}{k \times \gamma \times v}$$

$$Q \text{ (SR 80)} = \frac{20.1}{0.12 \times 19 \times 0.2} = 44 \text{ ม.}$$

$$Q \text{ (SR 55)} = \frac{13}{0.12 \times 19 \times 0.2} = 28.5 \text{ ม.}$$

ทำการคำนวณ โดยใช้ Geogrid ทั้ง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะช่องว่างในโซน	ความลึกที่โซนต่ำสุด	
	SR 80	SR 55
$v = 0.2$	$Q = 44$	$Q = 28.5$
$2v = 0.4$	$Q/2 = 22$	$Q/2 = 14.25$
$3v = 0.6$	$Q/3 = 14.67$	$Q/3 = 9.5$
$4v = 0.8$	$Q/4 = 11$	$Q/4 = 7.1$
$5v = 1.0$	$Q/5 = 8.8$	$Q/5 = 5.7$

เพื่อความประหยัดเราจึงทำการวาง Geogrid SR 80 ที่ 2v, 3v, 4v, 5v และใช้ SR 55 ที่ 5v ด้วย

Grid Type	Spacing in zone (ม.)	ความหนา (ม.)	การคำนวณจำนวน Grid	เลือกใช้ Grid	ส่วนที่เหลือ (ม.)
SR80	2v = 0.4	17.05 - 14.67 = 2.38	$\frac{2.38}{0.4} = 5.95$	5	2.38 - 5(0.4) = 0.38
SR80	3v = 0.6	14.67 - 11 + 0.38 = 4.05	$\frac{4.05}{0.6} = 6.75$	6	4.05 - (6 x 0.6) = 0.45
SR80	4v = 0.8	11 - 8.84 + 0.45 = 2.65	$\frac{2.65}{0.8} = 3.31$	3	2.65 - (3 x 0.8) = 0.25
SR80	5v = 1.0	8.8 - 5.7 + 0.25 = 3.35	$\frac{3.35}{1} = 3.35$	3	3.35 - (3 x 1) = 0.35
SR55	5v = 1.0	5.7 - 1.05 + 0.35 = 5	$\frac{5}{1} = 5$	4	5 - (4 x 1) = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

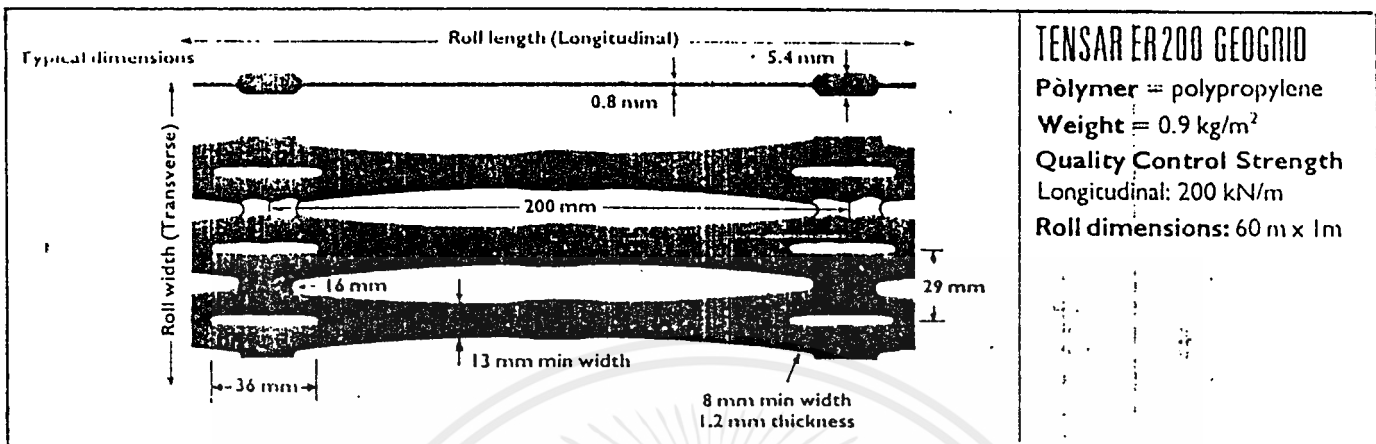
สุดท้ายทำการตรวจสอบแรงรวมตามแนวราบเพื่อดูว่า Geogrid จะสามารถที่จะ
ต้านทานแรงที่เกิดขึ้นหรือเปล่า

$$\begin{aligned} \text{แรงรวมตามแนวราบ, } T &= 122 \text{ k} \cdot H^2 = 1/2 \times 0.12 \times 19 \times (17.05)^2 \\ &= 331.4 \text{ กน./ม.} \end{aligned}$$

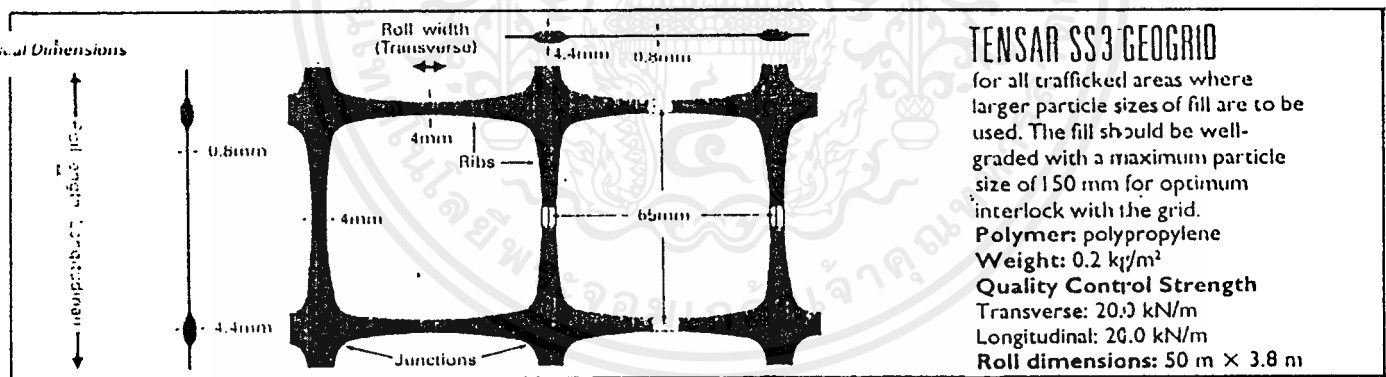
$$\begin{aligned} \text{แรงต้านทานที่เกิดขึ้น, } 18 \text{ NO SR } 80 + 4 \text{ No SR } 55 \\ &= (18 \times 20.1) + (4 \times 13) = 413.8 \text{ กน./ม.} \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

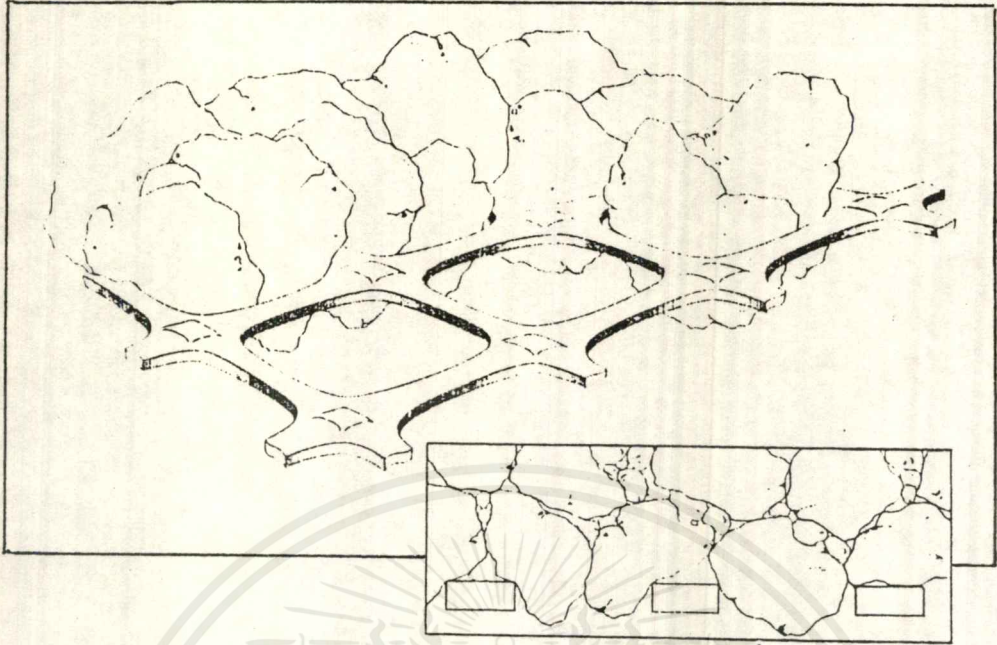


รูปที่ 40 Geogrid แบบ Uniaxial

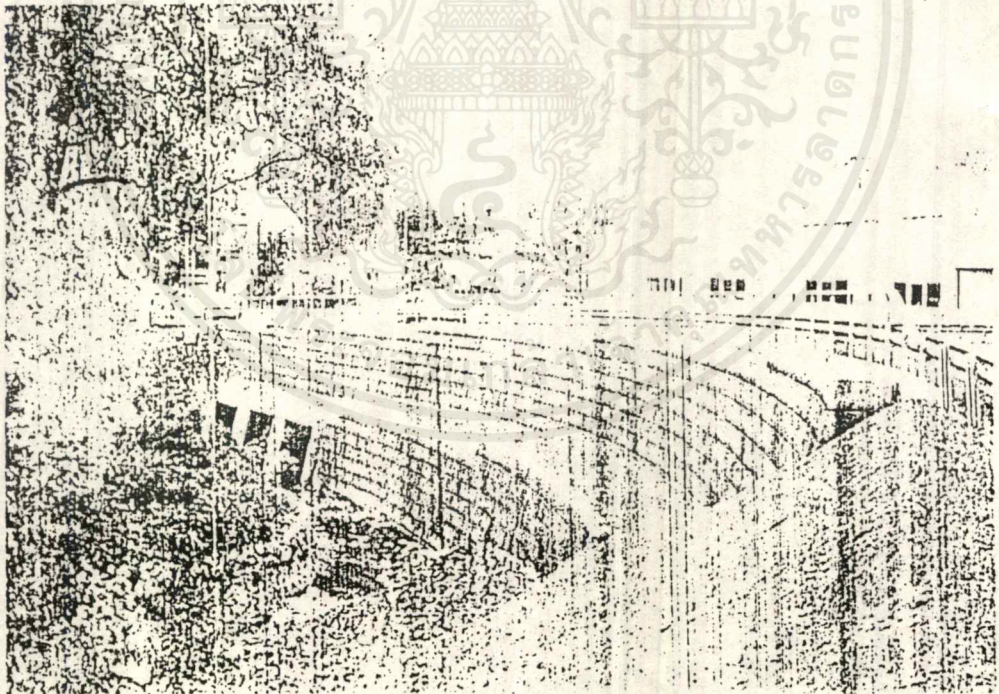


รูปที่ 41 Geogrid แบบ Biaxial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

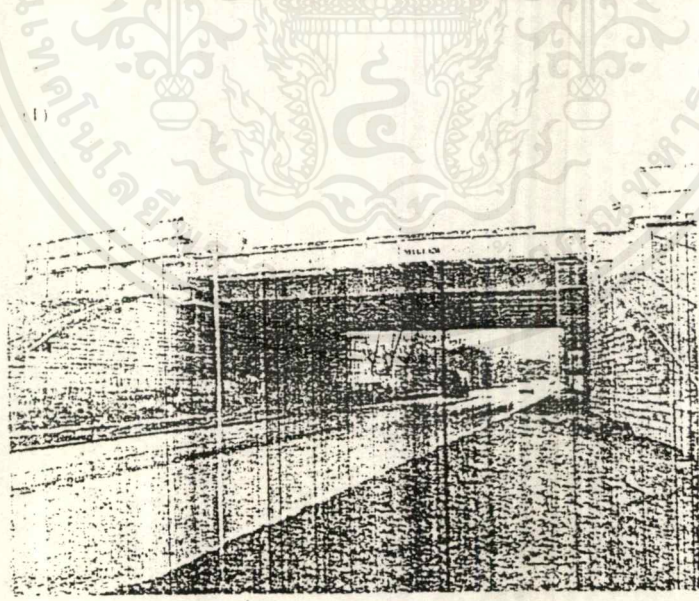
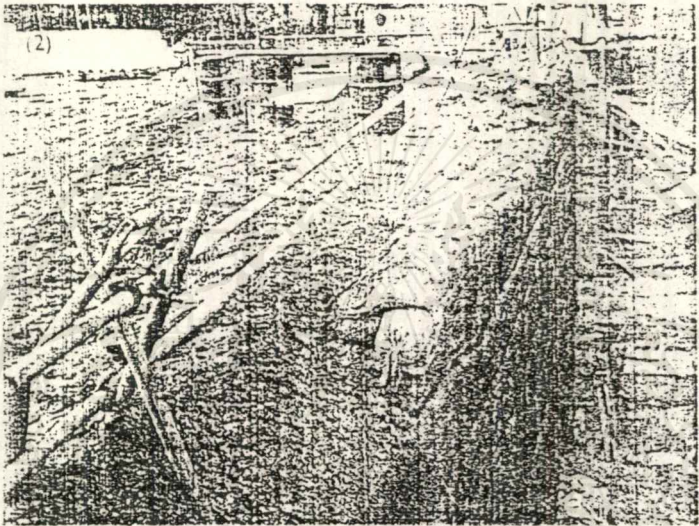
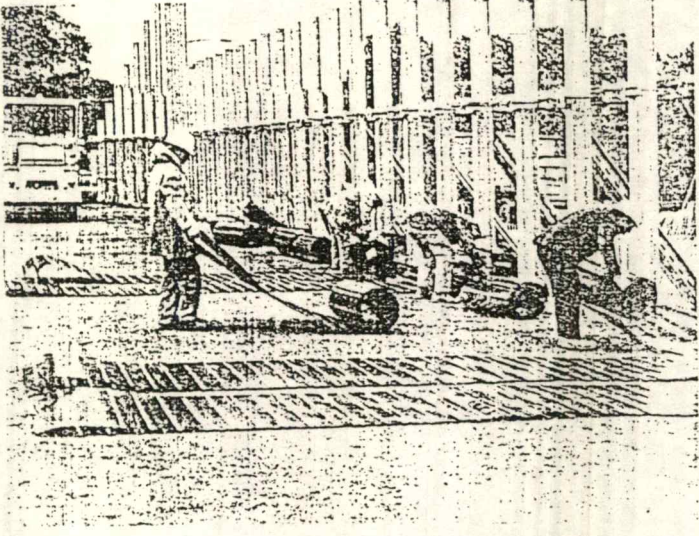


รูปที่ 42 แสดง Interlock ของขนาดดินกับ Geogrid



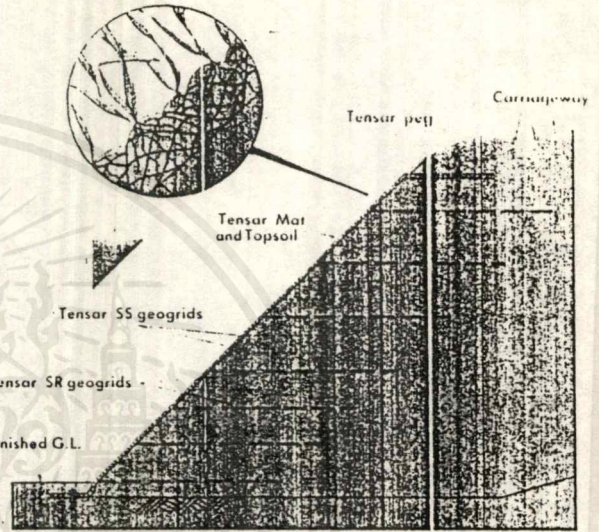
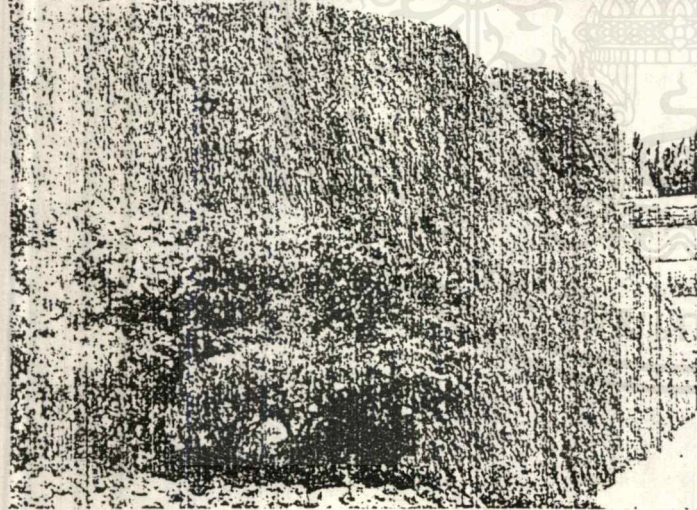
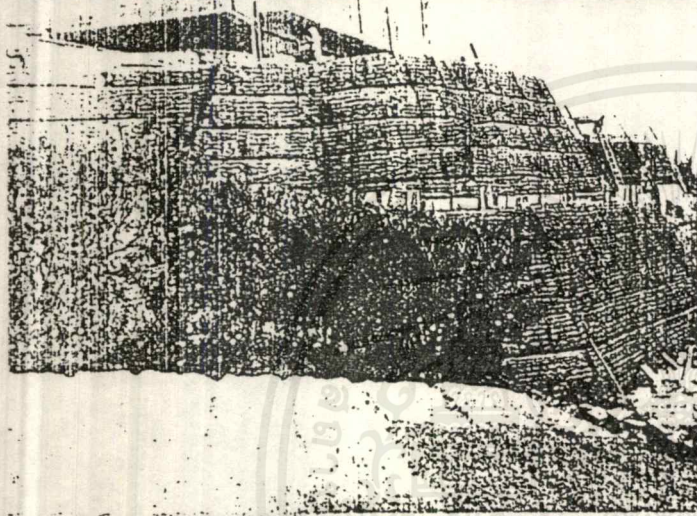
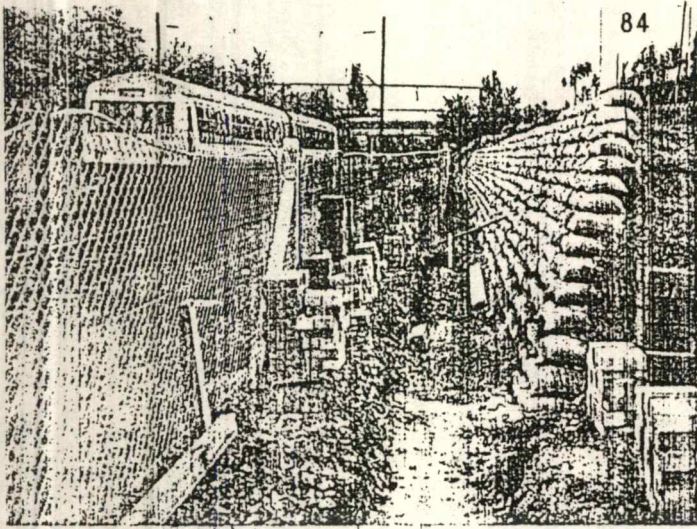
รูปที่ 43 Geogrid กับงาน Retaining Wall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



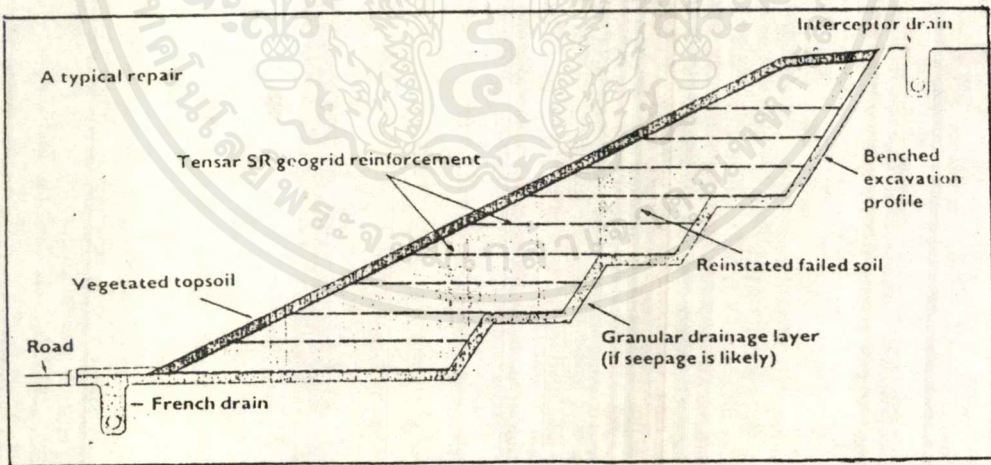
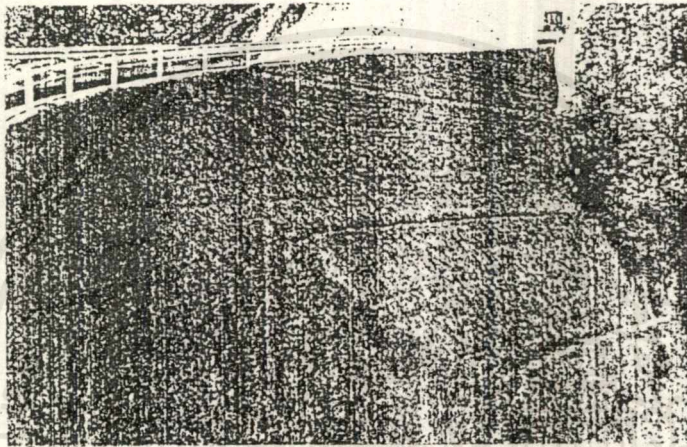
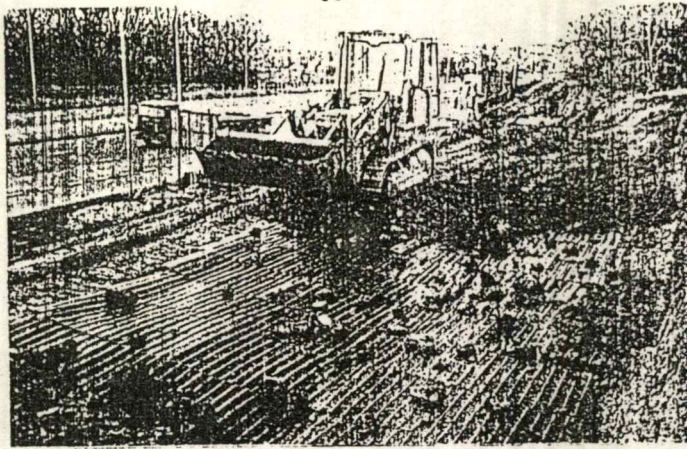
รูปที่ 44 Geogrid กับงาน Bridge Abutments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



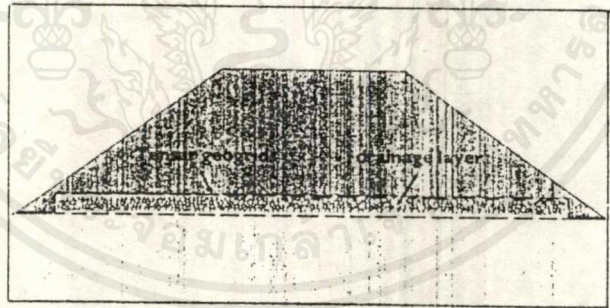
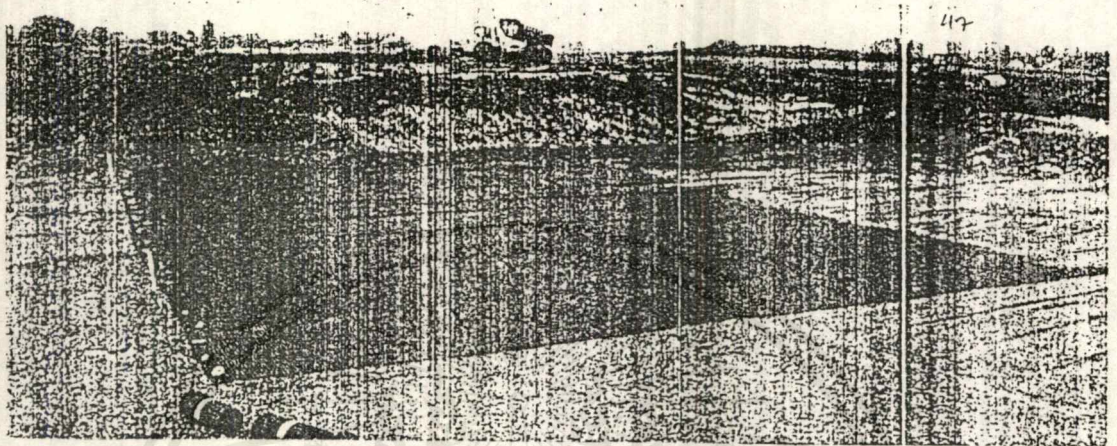
รูปที่ 45 Geogrid กับงาน Steep Slope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



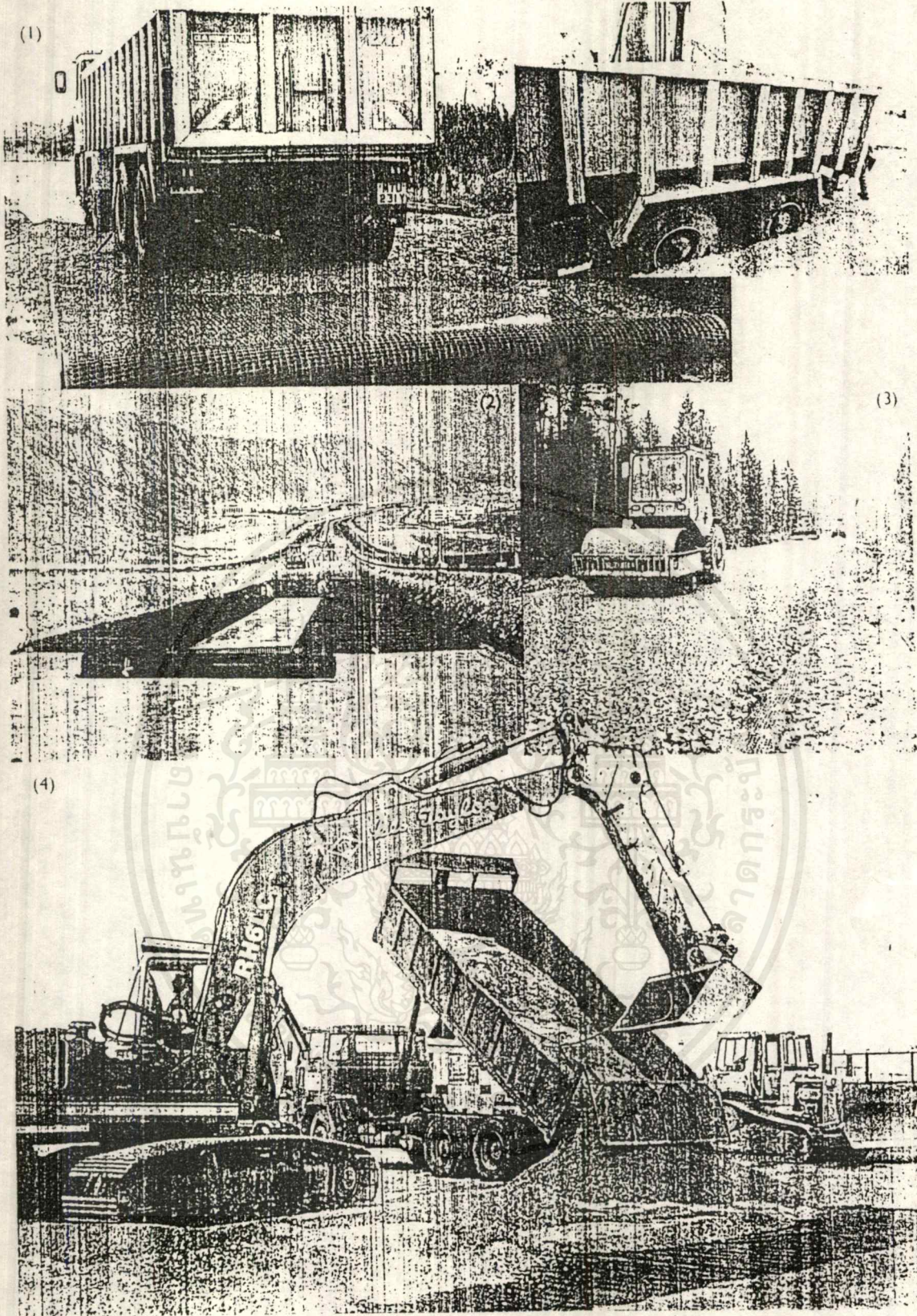
รูปที่ 46 Geogrid กับงาน Repair of Slip and Land slides

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



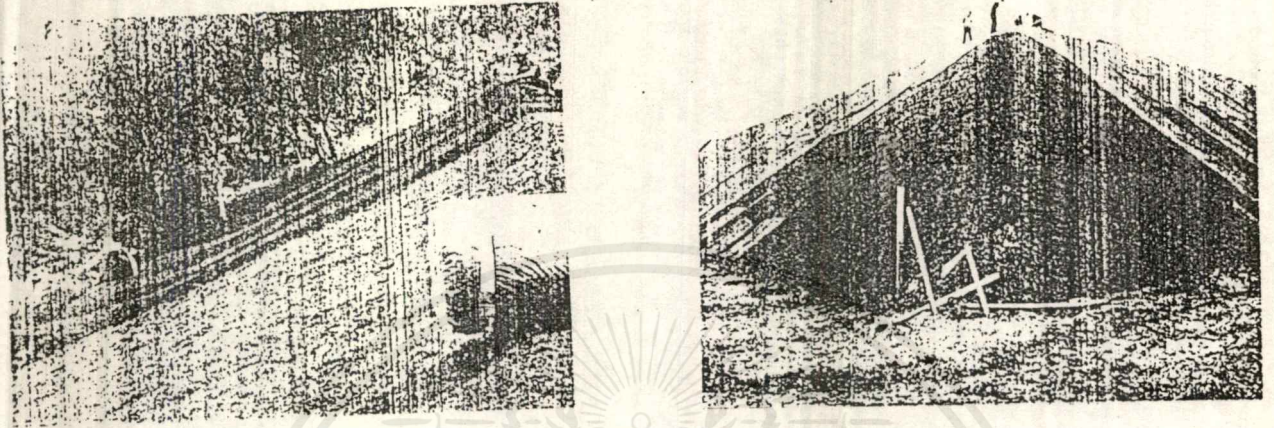
รูปที่ 47 Geogrid กับงาน Embankment Foundation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

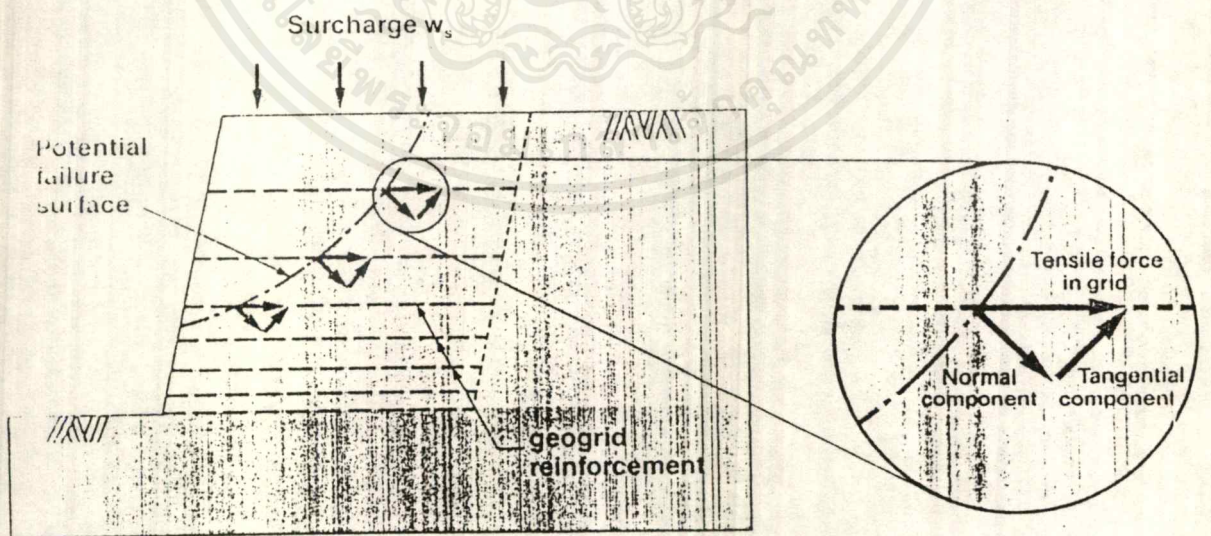


รูปที่ 48 Geogrid กับงาน Road, Railways, Hardstandings และ Air-field Pavement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

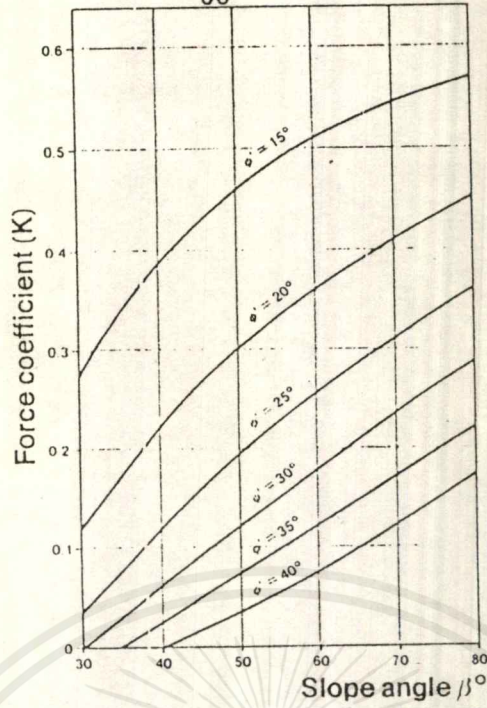


รูปที่ 50 Geogrid กับงานควบคุมการพังทลาย

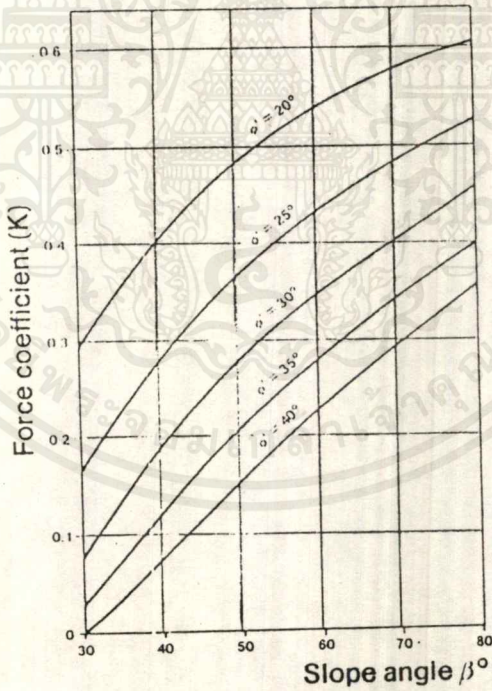


รูปที่ 49 การรับแรงในดินของ Geogrid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



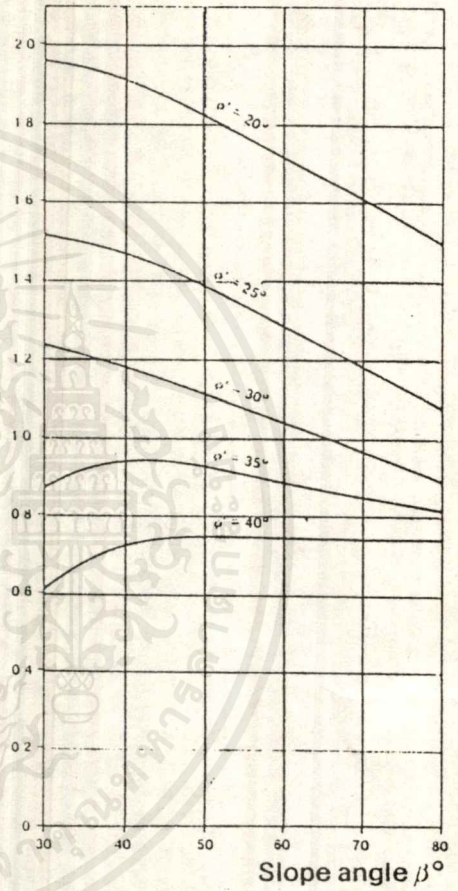
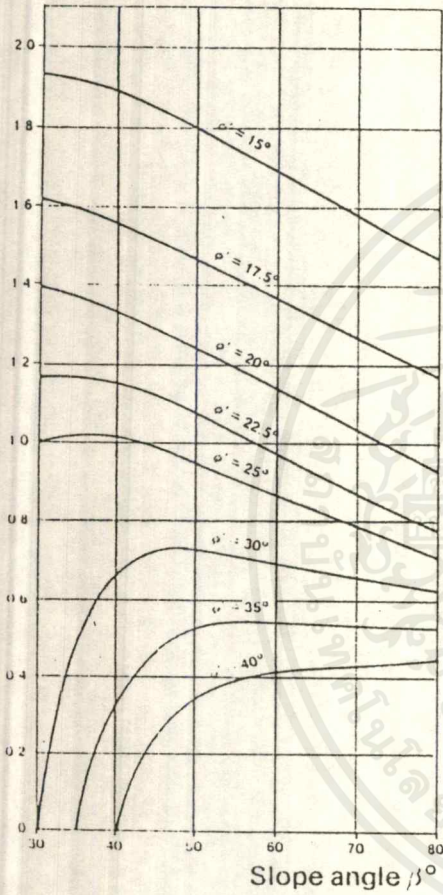
$c' = 0 \quad r_u = 0$



$c' = 0 \quad r_u = 0.25$

รูปที่ 51 Chart ที่ใช้ในการหาค่า K (ส.ป.ส. ของแรงกระทำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$c' = 0 \quad r_u = 0$

$c' = 0 \quad r_u = 0.25$

รูปที่ 52 Chart ที่ใช้ในการหาค่าความยาวในการวาง Geogrid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

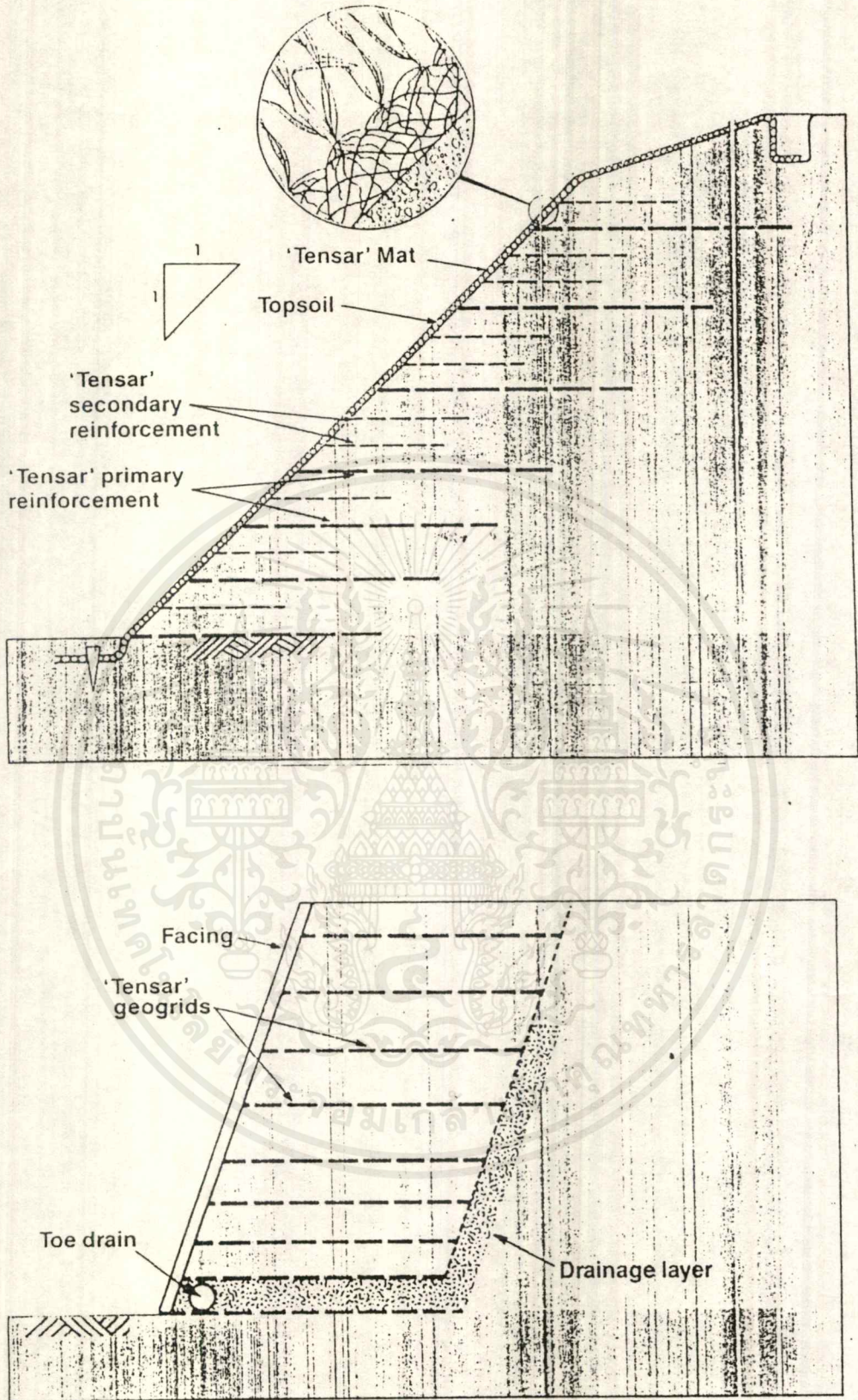
In-soil temperature	Characteristic Strength f_k (kN/m) of 'Tensar' geogrids		
	SR55	SR80	SR110
10°C temperate climates such as the UK*	22.0	32.5	45.0
20°C warm climates	20.5	30.5	42.0

รูปที่ 53 ตารางแสดง ค่า f_k (ความแข็งแรงเฉพาะตัว)

Basic soil type	Well graded fill of maximum particle size	Suggested Partial Factors of Safety γ_m for 'Tensar' geogrids		
		SR55	SR80	SR110
Cobbles	125mm	1.70	1.40	1.40
Gravels and Crushed rocks	75mm	1.45	1.30	1.20
	Coarse 20mm			
	Medium 6mm			
Sands Clays PFA	Fine 2mm	1.25	1.20	1.10
		1.15	1.10	1.05

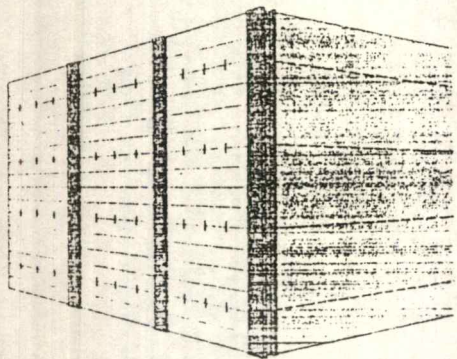
รูปที่ 54 ตารางแสดงค่า γ_m (ค่าความปลอดภัยของ Geogrid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

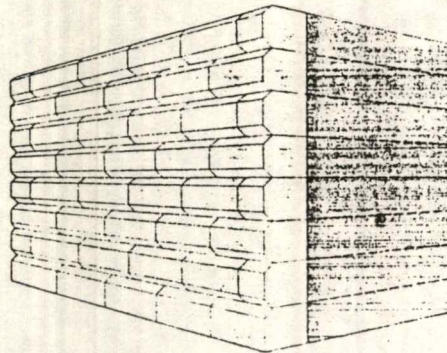


รูปที่ 55 การเสริม Geogrid ในดินคันทาง

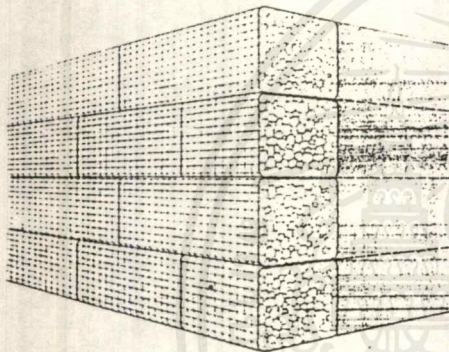
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



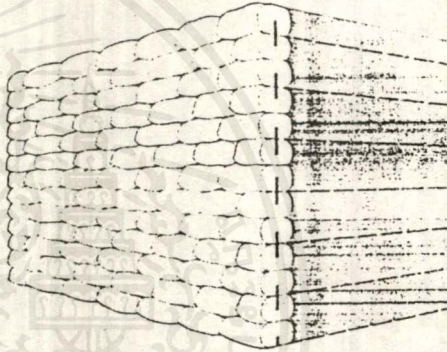
3. Columns and Planks



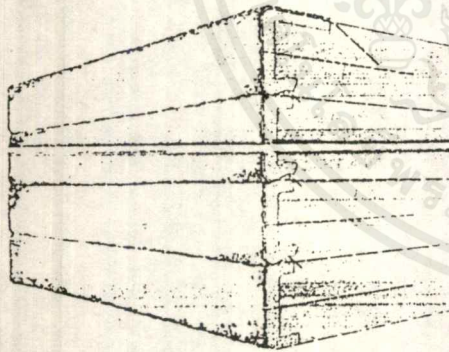
4. Block Facing



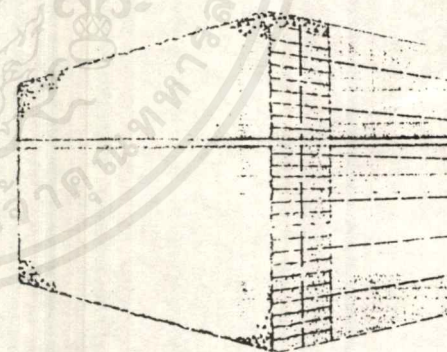
7. Gabion Facing



8. Bagwork Facing



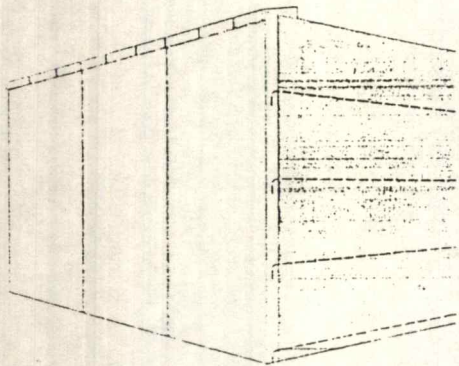
11. Wraparound with turf lining



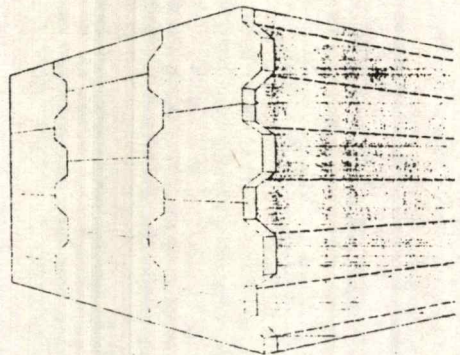
12. Turf Block Facing

รูปที่ 56 ชนิดของตัวกันผิวหน้า เพื่อกันการพังทลายและ
การกัดเซาะจากสิ่งแวดล้อม

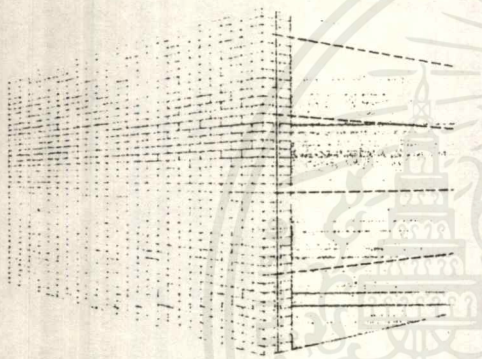
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



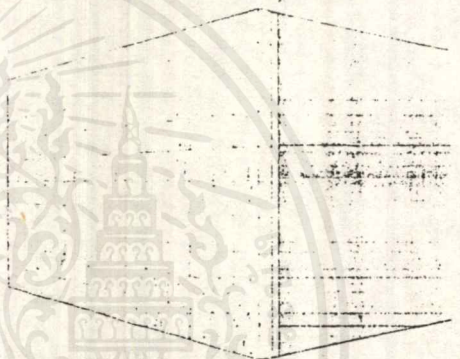
1. Full Height Facing Panels



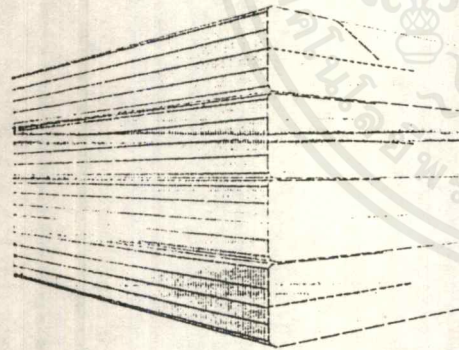
2. Incremental Facing Panels



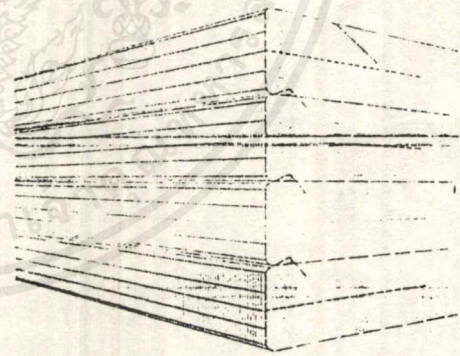
5. Masonry Facing



6. Masonry Cladding with functional facing behind



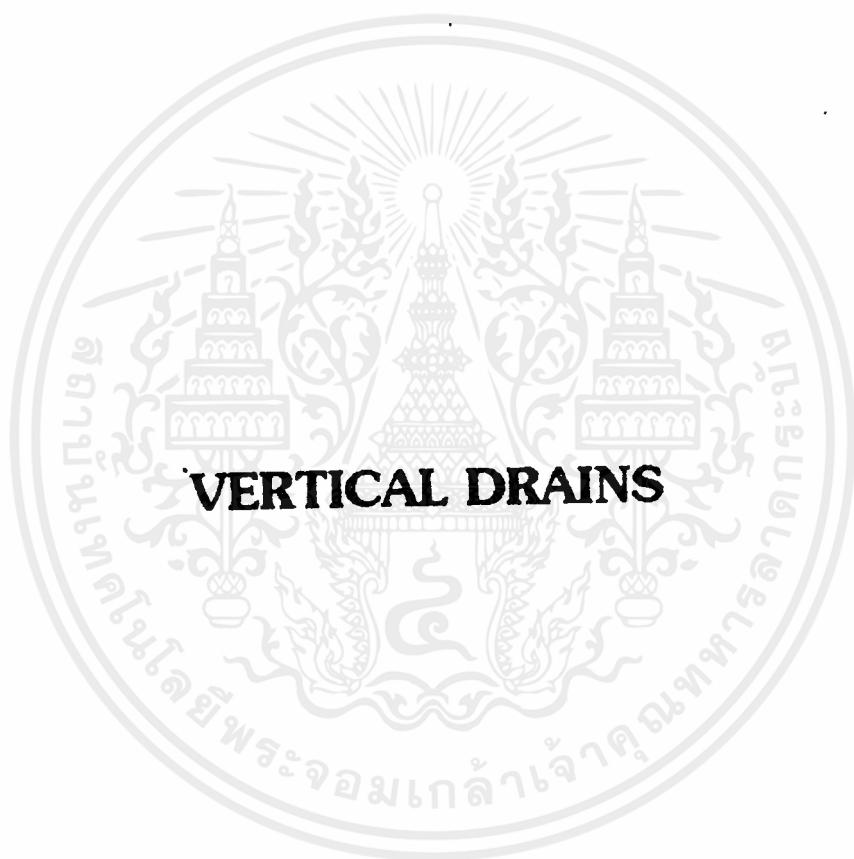
9. Wraparound with anchor lengths



10. Wraparound with bodkin connections

รูปที่ 57 ชนิดของตัวกันผิวหน้า เพื่อกันการพังทลายและ
การกัดเซาะจากสิ่งแวดล้อม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vertical-Drains

วิธีระบายน้ำในแนวดิ่งเป็นวิธีในการช่วยลดระยะทางในการระบายน้ำออกของมวลดิน โดยอาศัยท่อระบายน้ำ (drain column) ที่ทำขึ้นในชั้นดินอ่อน ช่วยให้เกิดการอัดตัวในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียวได้เร็วขึ้น ในการพิจารณาการระบายน้ำตามที่แสดงในรูปที่ 58 ถ้าไม่มีการปรับปรุงชั้นดินเดิม ระยะทางในการระบายน้ำออกจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนาของชั้นดินเหนียวเพราะน้ำสามารถระบายได้ทั้งด้านบนและด้านล่างดังแสดงในรูป (a) ในกรณีที่ได้มีการปรับปรุงดินดังแสดงในรูป (b) โดยทำท่อระบายน้ำในแนวดิ่ง น้ำจะระบายออกได้ในแนวราบ ระยะทางที่น้ำระบายจะเป็นฟังก์ชันของระยะห่างของท่อระบาย ซึ่งจะลดเวลาระบายน้ำได้เพราะระยะทางในรูป (b) สั้นกว่าในรูป (a)

วิธีการดังกล่าวไม่เพียงแต่ทำท่อระบายน้ำในแนวดิ่งเท่านั้น แต่ยังบรรจุหน้าหนักด้วยทรายปูพื้นหน้าและทำมวลดินเพื่อให้ดินฐานรากอัดตัวได้ด้วย ในการบรรจุหน้าหนักนิยมนจะใช้วิธีการชะลอการเพิ่มน้ำหนัก ซึ่งเป็นการเพิ่มน้ำหนักทีละน้อย หรือโดยการเพิ่มน้ำหนักเป็นระยะๆ โดยใช้วิธีการถมดินด้วยหน้าหนักรวมเท่ากับหน้าหนักของโครงสร้าง หรือมากกว่าล่วงหน้าก่อนจะเริ่มทำการก่อสร้างจริง

ในการระบายน้ำในแนวดิ่ง มักเรียกชื่อตามวัสดุที่ใช้ เช่น วิธีระบายน้ำด้วยทราย (sand drain) วิธีใช้แผ่นกระดาษแข็ง (card-board wicks) และวิธีระบายน้ำด้วยพลาสติก (plastic board drain)

1. วิธีระบายน้ำด้วยทราย :

วิธีระบายน้ำด้วยทรายเป็นวิธีที่ใช้ทรายทำเป็นท่อในแนวดิ่งผ่านชั้นดินอ่อน ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี เช่น แบบตอกกระบอกลายปิด แบบเส้นสะเทือน แบบเจาะ แบบฉีคน้ำ ซึ่งขึ้นกับวิธีปฏิบัติ

ในกรณีที่ไม่มีใช้ท่อทราย ระยะเวลา t ที่ต้องการให้เกิดการอัดตัวในชั้นดินเหนียวจะหาได้จากสมการต่อไปนี้ โดยให้ระยะทางที่น้ำระบายออกเป็น $H/2$

$$t = (T_v / C_v) \cdot (H/2)^2 \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เมื่อมีการใช้ท่อทรายดังแสดงในรูปที่ 59 โดยสมมติว่าดินฐานรากถูกแทนด้วยตัวแบบรูปทรงกระบอก ซึ่งน้ำในช่องว่างของมวลดินจะระบายออกตามแนวราบไปยังท่อทรายภายในเวลา t ทำให้ดินเกิดการอัดตัว ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวจะหาได้จากสมการที่ 2

$$t = (T_n / C_n) \cdot d_u^2 \tag{2}$$

โดย t = เวลาที่ดินเกิดการอัดตัว (วัน)

T_n = Time Factor การอัดตัวในแนวราบ

C_n = สัมประสิทธิ์การยุบตัวในแนวราบ (m^2 /วัน)

d_u = ความยาวประสิทธิผล (ม.)

สมมติระยะห่างระหว่างท่อทรายมีค่าเป็น

ในกรณีที่จัดแบบรูปสามเหลี่ยม

ในกรณีที่จัดแบบรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส

d_u

$$d_u = 1.05d$$

$$d_u = 1.13d$$

ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าระยะห่างระหว่างท่อทรายยิ่งน้อย จะทำให้เวลาที่ใช้ในการอัดตัวของดินน้อยลงด้วย

สมมติให้ตัวแปรเสริม $n = d_u / d_v$ ซึ่ง d_u = ความยาวประสิทธิผล d_v = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางท่อทราย และความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัว U_n และค่า Time Factor T_v แสดงได้ด้วยรูปที่ 60

การระบายน้ำในแนวดิ่งโดยทั่วไปมักจะไม่คิดเพราะว่าความยาวประสิทธิผล d_u มักจะมีค่าน้อยกว่าความหนา H ของชั้นดินอ่อน แต่ถ้าความหนาของชั้นดินอ่อนนั้นน้อย ควรคิดการระบายน้ำในแนวดิ่งด้วย โดยให้ U_v เป็นค่าการยุบตัวในแนวดิ่ง ดังนั้นค่าการยุบตัวของชั้นดินเหนียวทั้งหมดจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$U = 1 - (1 - U_n)(1 - U_v) \tag{3}$$

ในการออกแบบท่อทราย ก่อนอื่นจะต้องสมมุติ วิธีการทำ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อทราย

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางท่อ และขอบเขตของการปรับปรุง พร้อมทั้งวิเคราะห์หาเสถียรภาพ เอกสารประกอบแบบแปลนฉบับภาษาอังกฤษเป็นภาษาไทยที่ปรับปรุงใหม่โดยผู้เขียนใบเสนอราคาวิศวกรรมค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการทรุดตัวด้วย เมื่อตัวประกอบความปลอดภัยและปริมาณการทรุดตัวที่เหลือยังไม่เป็นที่น่าพอใจ ก็เปลี่ยนระยะห่างระหว่างท่อทราส และ ขอบเขตของการปรับปรุงหลายครั้ง จนได้เป็นที่น่าพอใจ

ระดับความลึกของท่อทราสนั้นกำหนดด้วยความหนาของชั้นดินเหนียว หรือความลึกของดินฐานรากที่จะต้องปรับปรุงเพื่อเสถียรภาพของโครงสร้าง ในทางปฏิบัติท่อทราสยิ่งลึกความสูงซากในการทำยิ่งมีมาก และเสื่อค่าใช้จ่ายสูง จึงมักทำกันระหว่าง 25-30 ม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d_u ของท่อทราสจะอยู่ระหว่าง 25-50 ซม. แล้วแต่ขนาดของเครื่องกล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d_u ยิ่งเล็กยิ่งได้ประโยชน์ที่ทำได้เร็ว แต่ถ้าชั้นดินเหนียวนั้นอ่อนมาก ซึ่งอาจเกิดการเสื่อรูปได้เนื่องจากแรงเฉือน ท่อทราสอาจถูกตัดขาดในระหว่างทำ จึงไม่สามารถทำท่อทราสมีขนาดเล็กได้ สำหรับขนาดของ d_u หรือค่า $n = d_u/d_w$ ในการออกแบบท่อทราสนั้น ในประเทศญี่ปุ่น มักใช้ d_u ระหว่าง 1.5-3.0 ม.

การทำท่อทราสโดยปกติจะทำในชั้นดินอ่อน ที่มีวิสัยสามารถรับแรงขารของดินฐานรากน้อยกว่าความเค้นจากน้ำหนักของดินถมหรือโครงสร้างที่ตั้งอยู่ ดังนั้นจะบรรทุกน้ำหนักทั้งหมดในคราวเดียวกันพร้อมกันบนดินก็ไม่สามารถทำได้ จึงต้องอาศัยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะๆ ตัวอย่างเช่น ดินที่มีวิสัยสามารถรับแรงขารพอที่จะรับน้ำหนักคิดเป็น $1/3$ ของความสูงของดินถม ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการบรรทุกน้ำหนักแต่ละครั้ง ก็หาได้โดยการแบ่งการถมดินเป็น 3 ระยะๆ ละ $1/3$ ของความสูงของดินถมแล้วหา d_u หรือ n ให้การยุบตัวของดินมีค่าประมาณ 80-90% เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว

โดยที่ค่า d_u นั้นจะใช้ในการคำนวณการยุบตัวในแนวราบ ฉะนั้นจึงคำนวณหา t โดยใช้ค่า T_u ที่ $U_u = 80\%$ หรือ $U_u = 90\%$ ตามสมการที่ 2 และรูปที่ 60 โดยสมมติค่า d_u ก่อนแล้วหาค่า d_u โดยการลองดูจนกระทั่ง t ที่คำนวณได้อาศัยอยู่ในกำหนดเวลาทำงานที่ต้องการ ในกรณีนี้อาจใช้ค่า C_u ที่ได้จากการทดสอบการยุบตัวของดินแทนค่า C_u ได้ในการคำนวณ

เมื่อหา d_u ได้แล้ว ในลำดับต่อไปก็ต้องประมาณว่าความแข็งแรงของดินเหนียวจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียงใด เมื่อได้มีการยุบตัว 80 หรือ 90% ตามที่กำหนดไว้ ในขั้นที่สองจะต้องหาน้ำหนักบรรทุกที่จะทำให้ดินมีค่า shear strength สูงขึ้น แล้วบรรทุกน้ำหนักนั้นบนชั้นดินอ่อนต่อไป

เนื่องจากระยะเวลาที่จะทำให้เกิดการยุบตัวตามสมการที่ 2 นั้น หาได้จาก d_u โดยไม่คำนึงถึงขนาดของน้ำหนักบรรทุก ถ้า C_u ไม่เปลี่ยนแปลง ฉะนั้นค่าคิรีของการยุบตัวที่ต้องการจะเกิดขึ้นภายในเวลาของการบรรทุกน้ำหนักในขั้นที่ 1 ต่อจากนั้นให้ประมาณหาค่า shear strength เฉลี่ยของดินฐานรากที่ได้รับน้ำหนักบรรทุกในขั้นที่ 2 เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาของการยุบตัวอีกครั้งหนึ่ง และหาน้ำหนักบรรทุกในครั้งสุดท้าย

เอกสารนี้เก็บน้ำหนักบรรทุกสุดท้ายเท่ากับน้ำหนักบรรทุกรวม ก็สามารถกล่าวได้ว่าท่อทราสที่ทําไปแล้วการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นใช้ได้ แต่ถ้าน้ำหนักบรรทุกไม่เท่ากับน้ำหนักบรรทุกรวม จะต้องเพิ่มขึ้นตอนของการบรรทุกน้ำหนักมากกว่า 3 ชั้นและปรับค่า d_u เสียใหม่ก่อนเริ่มงานในชั้นต่อไป

จากผลการทดสอบการยุบตัวแบบไม่มีการระบายน้ำ จะสามารถประมาณการเพิ่มขึ้นของค่า undrain shear strength เฉลี่ย ของดินฐานรากพร้อมทั้งอัตราการทรุดตัว ได้จากสมการต่อไปนี้

$$S_u/p = 0.25 \sim 0.35 \quad (4)$$

$$S_u/p = 0.11 + 0.0037I_p \quad (5)$$

โดย S_u = ค่า undrain shear strength
 p = น้ำหนักการอัดตัว
 I_p = ค่า plasticity index

วิธีการหาค่าเพื่อทำ sand-drain ในดินเหนียวอ่อนนั้นสามารถทำได้ในวิธีการต่างๆกันออกไป แต่โดยทั่วไปมีอยู่สองวิธีที่นิยมใช้กันนั่นก็คือ วิธี closed-mandrel และวิธี opened-mandrel

closed-mandrel : วิธีนี้จะใช้ท่อเหล็กกลางปลายมีหมวกครอบ ขยับเคลื่อนสู่ชั้นดินเหนียวอ่อนโดยการตอก หรือโดยการสั่น เมื่อถึงระดับที่ต้องการแล้วก็จะใส่ทรายลงไปในห้องพร้อมกับดิงท่อกลับขึ้นมา ด้วยวิธีการดังกล่าวจะเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการไม่มากและเป็นที่ยอมรับกัน แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจทำให้สภาพของดินถูกรบกวนในขณะขยับเคลื่อนเนื่องจากการแทนที่ดิน ซึ่งมีผลทำให้ strength และประสิทธิภาพในการซึมของดินลดลง แม้ว่าภายหลังดินจะเกิดการทรุดตัวแล้วก็ตาม

opened-mandrel : วิธีการจะคล้ายกับวิธี closed-mandrel เพียงแต่ว่าท่อเหล็กจะไม่มีหมวกครอบที่ปลาย และโดยการฉีดน้ำลงไปผ่านท่อที่กั้นหลุมพร้อมกับการกระแทก หรือหมุนของหัวเจาะ ทำให้ดินกั้นหลุมหลุดไหลตามน้ำขึ้นมาบนผิวดิน จนเมื่อได้ระดับแล้วก็สูบน้ำออกพร้อมทั้งใส่ทรายลงไปในห้อง ด้วยวิธีดังกล่าวจะก่อให้เกิดการรบกวนต่อสภาพของดินน้อยกว่าวิธีแรก แต่อาจมีปัญหาในเรื่องการ smear ของดิน

2. วิธีระบายน้ำด้วยแผ่นกระดาษแข็ง หรือกระดาษพลาสติก :

KJELLMANN (1948) เป็นบุคคลแรกที่แนะนำให้ใช้กระดาษแข็งมาใช้ในการระบายน้ำ (cardboard drain) ซึ่งเขาได้ทำการทดลองอยู่เป็นเวลานานหลายปี แผ่นกระดาษแข็งในครั้งแรกที่ใช้มีความกว้าง 100 มม.หนา 3 มม. (รูปที่ 61) และติดตั้งโดย purpose-made mandrel โดยช่องในกระดาษแข็ง (มีพื้นที่รวม 10% ของพื้นที่หน้าตัด) จะใช้เป็นทางผ่านของน้ำจากมวลดินเคลื่อนสู่ผิวดิน ด้วยกระดาษแข็งขนาด 100x3 มม.จะมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับ sand drain ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม.

สำหรับการระบายน้ำโดยใช้แผ่นพลาสติก (plastic drain) นั้นเป็นการพัฒนาขึ้นมาจากการใช้กระดาษแข็ง โดยรู้จักกันในชื่อของ Geodrain (รูปที่ 62) โดยมีความกว้าง 100 มม.หนา 3 มม. คลุมด้วยกระดาษ polythene ซึ่งมีช่องโดยตลอดทั้งสองด้าน โดยมีพื้นที่ในการระบายน้ำ 200 มม² หรือประมาณ 70% ของพื้นที่หน้าตัด กระดาษด้านนอกจะเคลือบด้วยสารเคมีเพื่อเพิ่มความคงทน และในการติดตั้งจะใช้วิธี mandrel

ประสิทธิภาพของ Geodrain จากการทดสอบในสถานที่ต่างๆ (HANSBO และ TORSTENSON, 1977) โดยการเปรียบเทียบกับ sand drain พบว่าวิธีดังกล่าวจะมีผลกระทบกระเทือนต่อสภาพดินแต่เพียงเล็กน้อย และการทรุดตัวของดินที่เกิดขึ้นไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์แต่อย่างใด Geodrain เมื่อติดตั้งห่างกัน 0.9 ม.พบว่าจะเกิดประสิทธิผลเทียบเท่ากับ sand drain ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.18 ม.ที่ระยะห่างเท่ากัน (รูปที่ 63)

วิธีการทั้งสองนี้อาศัยหลักการเดียวกับวิธี sand drain แต่ต่างกันที่ ในการทำให้เกิดการสูบน้ำในชั้นดินอ่อน แทนที่จะใช้ทรายในท่อระบายน้ำ แต่เปลี่ยนมาใช้กระดาษแข็ง หรือ vinyl chloride เป็นวัสดุที่ช่วยในการระบายน้ำแทน

วิธีใช้กระดาษแข็งที่ได้รับการพัฒนาจากห้องปฏิบัติการของสวีเดน วัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงดินฐานรากโดยการตอกกระดาษแข็งซึ่งมีร่องระบายน้ำแสดงในรูปที่ 64 ลงไปในชั้นดินอ่อนตามวิธีที่แสดงในรูปที่ 65

โดยที่กระดาษแข็งที่ใช้เป็นวัสดุระบายน้ำนั้นมีคุณภาพที่แน่นอน เนื่องจากผลิตจากโรงงานและมีน้ำหนักเบา หนาสม่ำเสมอ ฉะนั้นจึงสามารถเครื่องกลขนาดเล็กในการติดตั้งได้ วิธีการนี้จึงนิยมใช้กับดินซึ่งมีสภาพอ่อนมากๆ แต่อย่างไรก็ตามแผ่นกระดาษแข็งจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ระหว่าง 10^{-3} ถึง 10^{-10} ซม./วินาที ซึ่งน้อยกว่าทราย และที่สำคัญอีกประการคือ แผ่นกระดาษแข็งในสภาพที่เปียกจะอ่อนและอาจขาดจากกัน และถ้ามีวัสดุกีดขวางในชั้นดินจะทำให้การติดตั้งเป็น

เอกไปด้วยความยากลำบาก มีปัญหามากกว่าวิธี sand drain นั้น เพื่อเป็นการขจัดปัญหาต่างๆที่ประสบการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้แผ่นกระดาษแข็ง ปัจจุบันจึงได้หันมาใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยยางสังเคราะห์ หรือที่เรียกว่า แผ่นพลาสติกนั้นเอง (PVD)

ในการออกแบบการระบายน้ำด้วยแผ่นกระดาษแข็ง หรือโดยแผ่นพลาสติก โดยทั่วไปจะสมมุติว่าเป็นการระบายแบบทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 ซม. กล่าวอีกนัยหนึ่งในการออกแบบจะไม่เกิดปัญหาต่ออย่างไร ถ้าสมมุติให้ $d_w = 5$ ซม. ตามวิธีการออกแบบแบบวิธี sand drain ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น



Prefabricated Vertical Geotextile Drains

(แถบโอสั่งเคราะห์ระบายน้ำในแนวดิ่ง)

การติดตั้ง PVD ควบคู่กับการเพิ่มน้ำหนัก (Surcharge) บนดินเหนียวอ่อนเรียกว่า วิธีการ "Preloading" (ดังแสดงในรูปที่ 58) ก็เพื่อจุดประสงค์ในการเร่งระยะเวลาในการยุบอัดตัวของดินเหนียวอ่อนได้คืบทางให้เร็วขึ้น ทั้งยังช่วยป้องกันการวิบัติหรือการเคลื่อนตัวของดินในระหว่างการ Preloading อีกประการหนึ่งด้วย โดยมีหลักการดังนี้คือ จะทำการไล่น้ำหรือระบายน้ำออกจากมวลดินเหนียวอ่อนที่มีปริมาณน้ำตามธรรมชาติค่อนข้างสูง (ในช่วง 80-120%) และมีคุณสมบัติในด้านความซึมน้ำในแนวดิ่ง (k_v) ต่ำกว่าในแนวราบ (k_h) (โดยทั่วไปค่า k_h จะมีค่ามากกว่า k_v ประมาณ 2 ถึง 4 เท่า) การใช้แถบ PVD นี้ก็เพื่อลดความยาว drainage path ของการระบายน้ำในมวลดิน ทำให้ระยะเวลาในการทรุดตัวเร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (Preloading) จะกล่าวอีกแง่ก็คือ เป็นการเร่งปริมาณการทรุดตัวแบบอัดตัวคาน้ำ (Primary consolidation) ให้เกิดมากที่สุดในช่วง Waiting period

ดังนั้นจุดประสงค์หลักที่สำคัญจากกล่าวสรุปได้ 2 ประการ สำหรับการใช้แถบโอสั่งเคราะห์ระบายน้ำแนวดิ่ง (PVD) คือ

1) เป็นการเร่งขบวนการอัดตัวของดินเหนียวอ่อนได้คืบทาง

2) เพื่อให้ดินเหนียวได้คืบทางมีกำลังรับแรงเฉือน (Undrained Shear Strength, S_u)

เพิ่มมากขึ้นหลังจากระบายน้ำออกจากมวลดินแล้ว อันจะเป็นการเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อนตอนล่าง

วัสดุที่ใช้ (Material) :

วัสดุที่ใช้ประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบใหญ่ๆ คือ แกนกลาง (core) ที่มีลักษณะเป็นแถบทำด้วยพลาสติก ขนาดโดยทั่วไปกว้างประมาณ 100 มิลลิเมตร บรรจุอยู่ในช่องโอสั่งเคราะห์ (Geotextile) หนาประมาณ 3-5 มิลลิเมตร (อัตราส่วนของความกว้างต่อความหนาของ PVD ไม่ควรเกิน 50)

แกน (core) : จะเป็นวัสดุประเภทพลาสติกที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ประเภท Polyethylene (PE) หรือ Polyporpylene (PP) ที่ต้องมีความยาวต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อจุดประสงค์ในการให้น้ำสามารถระบายออกได้อย่างสะดวกตามแกนในแนวดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 66

เอกสารนี้เป็นแผ่นโอสั่งเคราะห์หุ้มด้านนอก (Filter/Jacket) : จะเป็นวัสดุโอสั่งเคราะห์ (Synthetic) ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tic geotextile) ที่สามารถต้านทานแรงกระทำในลักษณะต่างๆ เช่น แรงค้ำ, แรงทะลุทะลวง (punching) และแรงดึงที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการติดตั้งและตลอดอายุการใช้งานของ PVD ที่จะต้องฝังตัวในดินตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 66 โดยวัสดุดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก. ต้องมีแรงเพียงพอและสามารถต้านทานความเสียหาย อันจะเกิดจากการทะลุทะลวง (Punching resistance) ผ่านแผ่นโพลีเอทิลีนที่ด้านนอก (Filter) จากวัสดุกรวดและทรายภายนอก

ข. ต้องมีแรงเพียงพอและสามารถต้านทานต่อแรงดันดินด้านข้างจากน้ำหนักกดทับด้านบน (Surcharge) ในขณะที่ PVD ฝังตัวอยู่ในดิน ซึ่งจะไม่ทำให้ PVD เสียรูปร่างไปจนไม่สามารถระบายน้ำใต้ดินได้ตามแนวดิ่ง

ค. ต้องมีคุณสมบัติในการยึดหยุ่นตัวได้อย่างสม่ำเสมอในระหว่างการติดตั้ง และในช่วงที่เกิดการทรุดตัวโดยปราศจากความเสียหายของ PVD

ง. ต้องไม่เกิดการแตกร้าวหรือการลอกตัวของวัสดุในระหว่างการติดตั้ง

จ. ต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมดังต่อไปนี้

คุณสมบัติของ PVD Jacket	หน่วย	มาตรฐานการทดสอบ	ค่าที่ยอมรับ
1. Apparent Opening Size ; AOS	μm	ASTM D 4751-87	< 90
2. Grab Tensile Strength	KN	ASTM D 4632-91	> 0.35
3. Trapezoidal Tear Strength	KN	ASTM D 4533-91	> 0.10
4. Puncture Resistance	KN	ASTM D 4833-88	> 0.20
5. Brust Strength	KPa	ASTM D 3786-80a	> 900
6. Discharge Capacity at 7 Days 200 KN/m ² hydraulic gradient 1	m ³ / year	ASTM D 4716-87	> 500

หมายเหตุ : เป็นตัวอย่างข้อมูลของคุณสมบัติ PVD Jacket ที่ใช้ในโครงการกรุงเทพ-ชลบุรีสายใหม่ และถนนวงแหวนรอบนอกฝั่งตะวันออกเท่านั้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพชั้นดินและการใช้งานอื่นๆ

วัสดุและอุปกรณ์ในการติดตั้ง PVD (PVD Installation Equipment) :

เครื่องจักรและเครื่องมือ (Drain Placer) เครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้ง PVD (ตามรูปที่ 67) ประกอบด้วย เครื่องปั้นจั่นที่สามารถแล่นด้วยตัวเองได้ (Self-movable installation rig) พร้อมแกนเหล็กนำร่อง (steel mandrel) ที่มีลักษณะแบน แต่กว้างเพียงพอที่ PVD จะใส่เข้าไปด้านในได้ ตามรายละเอียดในรูปที่ 67(c) ซึ่งแกนเหล็กนำร่องนี้จะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถกดลงไปในพื้นที่ตำแหน่งตามที่ต้องการ และสามารถที่จะป้องกันไม่ให้ PVD ฉีกขาด หรือถูกเสียดสีให้เสียหายในระหว่างการติดตั้ง

อนึ่ง ปั้นจั่นที่ใช้ในการติดตั้งจะต้องไม่ก่อให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อดินรอบข้างใต้คันทาง หรือเกิดขึ้นให้น้อยที่สุดในระหว่างทำการติดตั้ง และต้องสามารถรักษาแนวตั้งของแกนเหล็กนำร่อง (mandrel) ได้ตลอดเวลาในขณะทำการติดตั้ง PVD

ขนาดของแกนเหล็กนำร่อง (Mandrel/Sleeve) จะต้องมีขนาดเหมาะสมที่จะไม่ทำให้ดินถูกกระทบกระเทือน หรือเกิดการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด ซึ่งจะต้องมีพื้นที่หน้าตัดโดยประมาณไม่เกิน 70 ตารางเซนติเมตร อีกทั้งแกนเหล็กนำร่องดังกล่าวจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะป้องกันการเสีสรูทรงของ PVD ขณะทำการติดตั้งในสนาม

แผ่นหรือแกนเหล็กยึดรั้งปลายของแกนนำร่อง (Anchorage at tip of mandrel) ดังแสดงในรูปที่ 68 เพื่อป้องกันดินไม่ให้เข้าไปบริเวณปลายของแกนนำร่องในระหว่างการติดตั้งแผ่น PVD และเป็นการยึดรั้งแผ่น PVD ให้อยู่ในระดับความลึกที่ต้องการขณะที่ชักแกนนำร่องออก ขนาดของแผ่นยึดรั้ง (Anchor plate) จะต้องมีขนาดเท่าหรือใกล้เคียงกับขนาดของแกนนำร่อง (Mandrel) เพื่อไม่ให้ดินถูกกระทบกระเทือนหรือให้เกิดน้อยที่สุด

วิธีการติดตั้ง PVD (Method of PVD Installation) แสดงดังรูปที่ 69 :

ขั้นตอนการติดตั้ง (Sequence of Installation)

ก. ปูแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งแยกชั้นวัสดุที่นำมาถม คั่นทางกับชั้นดินเดิม (กรณีที่มีการกำหนดในแบบ) เพื่อเป็นการลดการสูญเสียของวัสดุถมคั่นทาง

ข. ถมชั้นทรายระบายน้ำ (drainage blanket) หนาประมาณ 30-50 เซนติเมตร ซึ่ง วัสดุที่ใช้จะต้องมีสัดส่วนมวลละเอียด (Gradation) ที่จะสามารถระบายน้ำออกได้อย่างรวดเร็ว โดยปกติควรมี percent Finer than Sieve #200 (by weight) ไม่เกิน 6% อนึ่งชั้น ทรายระบายน้ำไม่ควรใช้วัสดุหินคลุก เพราะจะเป็นการลำบากต่อการกดแถบ PVD ลงในดิน โดย ใช้แกนนำร่อง

ค. ติดตั้งแถบ PVD ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ใช้เครื่องปั้นจั่น (ตามรูป 67 และ 70) เคลื่อนเข้าไปสู่ตำแหน่งที่จะติดตั้งที่ได้ ทำการกำหนดตำแหน่งด้วยหมุดตามรายละเอียดในแบบก่อสร้าง ซึ่งโดยทั่วไป ระยะห่างในการติดตั้งมีค่าประมาณ 1.2-1.25 เมตร และตำแหน่งในการวาง เป็นแบบสามเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยม
2. ทำการประกอบแผ่นยึดรั้ง (Anchor plate) บริเวณปลายสุดของแถบ PVD ดังแสดงในรูปที่ 68
3. กดเหล็กนำร่อง (Mandrel) ลงไปในดินด้วยอัตรา 15-60 เซนติเมตรต่อวินาที ลงไปที่ระดับความลึกที่ต้องการตามแบบ (ตามรูปที่ 71a)
4. ถอนเหล็กนำร่องออก แถบ PVD จะฝังตัวอยู่ในดินที่ระดับตามต้องการ
5. ทำการตัดแถบ PVD โดยใช้กรรไกร เหนือระดับชั้นทรายระบายน้ำ (ตาม รูปที่ 71b)

ง. ในกรณีที่วัสดุคั่นทางเป็นดินถมเม็ดละเอียดละเอียด (Fine-grained material) อาจจำเป็นต้องใช้แผ่นใยสังเคราะห์ปูเป็น Separator อีกชั้น แต่ถ้าวัสดุคั่นทางเป็นวัสดุเม็ดหยาบ (coarse grained material) ก็ไม่จำเป็นต้องปู Geotextile อีกชั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. ทำการมวัดดินถมคันทางตามแบบจนได้ระดับ Preloading ที่ต้องการตามแบบ

ข้อควรคำนึงในการติดตั้ง PVD :

1. ในการกำหนดตำแหน่ง, จำนวนของแถบ PVD ในโครงการควรจะกำหนดโดยใช้การกำหนดแนวหรือวาง Baseline และหมุดหลักฐาน (Bench mark) ตามหลักการของงานสำรวจทั่วไป เพื่อป้องกันความผิดพลาดและยังง่ายต่อการตรวจสอบในครั้งต่อไป โดยตำแหน่งของ PVD ไม่ควรคลาดเคลื่อนจากที่กำหนดในแบบเกิน 15 เซนติเมตร
2. ก่อนทำการติดตั้งแถบ PVD เพื่อให้ระดับความลึกของ PVD ถูกต้องตามแบบก่อสร้าง ควรตรวจสอบระดับดินเดิม, Work platform ให้ถูกต้องเสียก่อนในแต่ละตอนของการก่อสร้าง (Section) แล้วทำการบันทึกความยาวของแถบ PVD ที่ใช้ก่อนและหลังติดตั้งในแต่ละวัน แล้วตรวจสอบกับจำนวนหลุมที่ฝังแถบ PVD ที่ทำได้ทั้งหมดในแต่ละวัน ซึ่งไม่ควรจะมีความแตกต่างกันเกิน 5-10 เซนติเมตร ในแต่ละตอน (Section) ที่ติดตั้ง
3. เครื่องปั้นดินสำหรับติดตั้งแถบ PVD จะต้องทำการตรวจสอบความโค้งของทั้งตัวเครื่อง และตัวแกนเหล็กนำร่องให้ได้โค้งเสมอตลอดระยะเวลาที่ทำการกดแถบ PVD ลงในดิน โดยที่ความคลาดเคลื่อนต้องไม่เกิน 1:50 (แนวราบ : แนวโค้ง) ในระหว่างการติดตั้งแถบ PVD ในแต่ละหลุม
4. การติดตั้งแถบ PVD ควรจะกระทำด้วยการกด โดยใช้น้ำหนักกดหรือโดยใช้การสั่นสะเทือนในอัตราเร็วที่คงที่และราบเรียบสม่ำเสมออย่างต่อเนื่อง ส่วนการใช้วิธีฉีดน้ำไล่ดินขึ้นมา (Jetting) อนุญาตให้ใช้ได้ในพื้นที่ที่มีดินแข็งมากอยู่ตอนบน แต่ทั้งนี้ควรได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรผู้ควบคุมงานก่อน ไม่ควรใช้วิธีการตอก (Driving) เพื่อกดแถบ PVD ลงในดิน
5. อัตราการกดของแกนเหล็กนำร่อง ในการฝังแถบ PVD ควรอยู่ในช่วงอัตรา 15-60 เซนติเมตรต่อวินาที เพื่อป้องกันการบิด (Bending) และเสียรูปว่าง (Deflection) ของแถบ PVD
6. แผ่น PVD ที่ติดตั้งลงในตำแหน่งและความลึกตามแบบเรียบร้อยแล้ว จะต้องตัดเหนือระดับชั้นที่ราสระบายน้ำประมาณ 25 เซนติเมตร ในลักษณะปลายเรียบเสมอกัน โดยใช้กรรไกร (รูปการตัดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น) อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 71b)

7. การต่อปลายของแถบ PVD โคสวิถีการทาบ (Splice) จะต้องทำการต่อด้วยความประณีต เพื่อมิให้โครงสร้างและคุณสมบัติในการระบายน้ำเสียไป โดยปกติควรจะมีระยะทาบ (Overlap) อย่างน้อย 15-20 เซนติเมตร และไม่ควรจะมีการต่อปลายแถบเกิน 1 จุดต่อ 1 ม้วนของแถบ PVD ที่ใช้

การควบคุมคุณภาพ PVD :

จุดประสงค์ : เพื่อควบคุมคุณภาพของแถบ PVD ที่จะนำมาใช้งานให้ได้คุณภาพและคุณสมบัติสอดคล้องตามรายละเอียดข้อกำหนดประกอบแบบก่อสร้างทุกประการ โดยมีหลักปฏิบัติโดยทั่วไปเป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้

1. ผู้รับจ้างจะต้องส่งรายละเอียดคุณสมบัติทางด้านกายภาพและวิศวกรรมของวัสดุ PVD จากผู้ผลิตที่จะใช้ในการติดตั้งในโครงการ รวมทั้งประวัติการใช้งานของผลิตภัณฑ์ PVD ที่ผ่านมาแล้วในอดีต เพื่อให้วิศวกรผู้ควบคุมงานได้ประกอบการพิจารณาอนุมัติ โดยวิศวกรผู้ควบคุมงานจะพิจารณาและแจ้งผลให้ผู้รับจ้างทราบถึงผลการอนุมัติก่อนที่จะเริ่มทำการติดตั้งในสนาม

2. ผู้รับจ้างต้องกำหนดหรือแจ้งแหล่งที่มาหรือแหล่งผลิตของผลิตภัณฑ์ PVD ที่จะใช้ในโครงการแก่วิศวกรผู้ควบคุมงานก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะถูกนำเข้ามาใช้ติดตั้งในสนาม

3. ในระหว่างการก่อสร้างวิศวกรผู้ควบคุมงาน จะสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ PVD ที่จะใช้ในโครงการ เพื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติต่างๆตามข้อกำหนดโดยจะสุ่มตัวอย่างน้อย 1 ม้วนทุกๆการนำเข้าสินค้าในแต่ละ lot (each shipment) หรือทุกๆความยาว PVD 150,000 เมตร ต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วแต่ว่าปริมาณใดจะน้อยกว่า ตัวอย่างที่สุ่มมาจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 3 เมตรต่อ 1 ตัวอย่าง และมีความกว้างเต็มขนาด (Full width) ของแถบ PVD ใน lot นั้นทั้งหมด

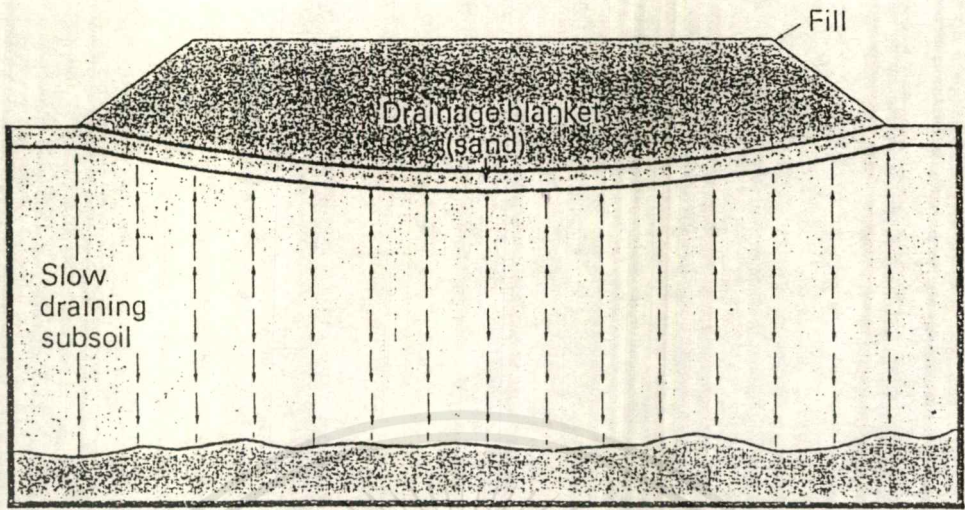
ถ้าตัวอย่างที่สุ่มมาทดสอบไม่ผ่านข้อกำหนดในแบบก่อสร้าง จะต้องทำการสุ่มตัวอย่างใหม่เพิ่มเติมอีก 2 ตัวอย่างจาก 2 ม้วนใหม่ในสินค้า lot เดียวกัน หรือจากความยาวผลิตภัณฑ์ PVD ทุก 150,000 เมตร แล้วแต่ว่าปริมาณใดจะน้อยกว่า ถ้ายังไม่ผ่านอีกก็จะไม่อนุญาตให้ใช้ PVD ใน

elot นั้นทั้งหมด การที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในการควบคุมคุณภาพ PVD ในสนามก่อนการติดตั้งอาจจะสุ่มตัวอย่างอีกครั้งจากผลิตภัณฑ์ PVD ที่ได้อนุมัติให้ใช้แล้วตามข้อ 3 แล้วอย่างน้อย 3 ตัวอย่างต่อผลิตภัณฑ์ 100 ม้วน หรือแถบ PVD แต่ละ lot ที่นำเข้าไปในไซต์งาน แล้วแต่ปริมาณใดจะน้อยกว่า โดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของแถบ PVD ต่อหน่วยความยาว (หน่วยกรัมต่อเมตร) ทุกๆตัวอย่าง โดยจะต้องมีน้ำหนักต่อหน่วยความยาวแตกต่างกันไม่เกิน 5% จึงจะอนุญาตให้ทำการติดตั้งได้

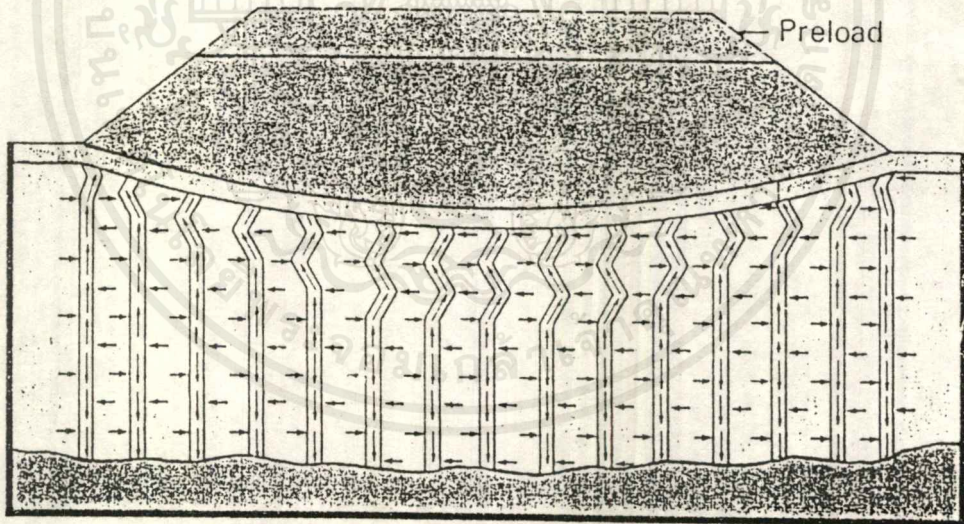
ข้อดีและข้อเสียของการใช้ PVD ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน :

- ข้อดี**
- การติดตั้งรวดเร็ว (เมื่อเทียบกับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Sand Drain) โดยปั้นจั่น 1 ตัวสามารถติดตั้งได้ 4,000-6,000 เมตรใน 1 วัน
 - ความต่อเนื่องของการระบายน้ำมีสูงกว่า (High drain continuity)
 - ความซึมน้ำของ PVD สูงกว่า (High permeability) ทำให้การระบายน้ำได้ปริมาณมากกว่า
 - ดินถูกรบกวนน้อยกว่า (Minimize soil disturbance)
 - เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งมีน้ำหนักเบา (Lightweight installation equipment)
 - สถานที่ปฏิบัติการจะสะอาดเรียบร้อย (Clean site)
 - ราคาค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการค่อนข้างต่ำกว่า เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ
- ข้อเสีย**
- ต้องอาศัยผู้มีประสบการณ์ในการติดตั้ง
 - ต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 6-8 เดือน เป็นอย่างน้อยในการรอให้น้ำระบายออกจากมวลดิน เมื่อเทียบกับการปรับปรุงสภาพดินโดยใช้ Dynamic method of soil improvement
 - ต้องทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางดินถมอย่างต่อเนื่องทั้งก่อน และระหว่างการทำ Preloading เพื่อป้องกันการพังทลายของคันทาง
 - วัสดุที่ใช้เป็น PVD ปัจจุบันยังต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ราคาของวัสดุค่อนข้างแพง โดยราคาค่าใช้จ่ายในส่วนของ PVD และค่าติดตั้งจะตกประมาณ 25 บาทต่อความยาว 1 เมตร



Without vertical drains

a) เมื่อไม่มีการกักตอระบายน้ำในแนวดิ่ง

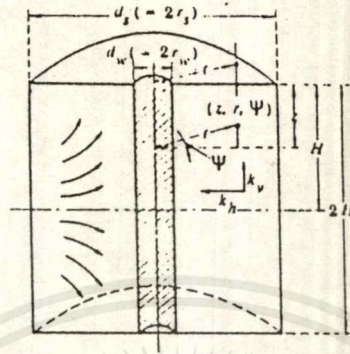


With vertical drains

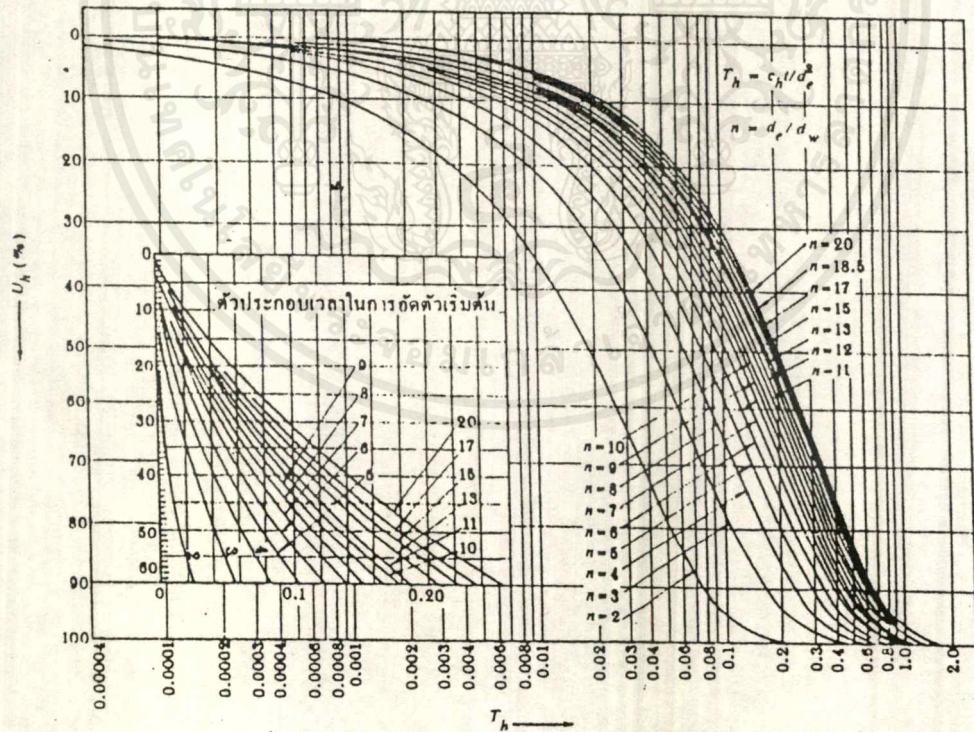
b) เมื่อมีการกักตอระบายน้ำในแนวดิ่ง

รูปที่ 58 แสดงหลักการระบายน้ำในแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



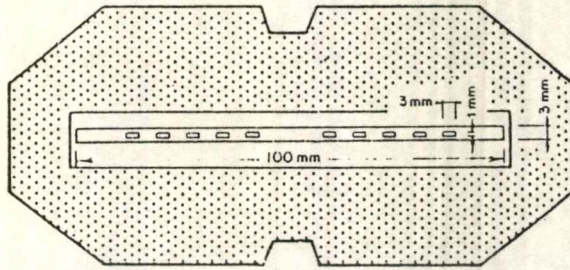
รูปที่ 59 การอัดตัวโดยใช้ท่อทราย



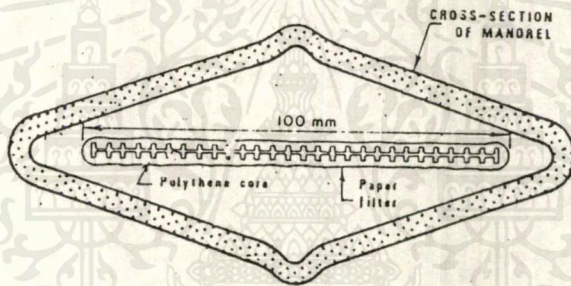
รูปที่ 60 โค้งการอัดตัวโดยใช้ท่อทราย (โดย Terzaghi)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

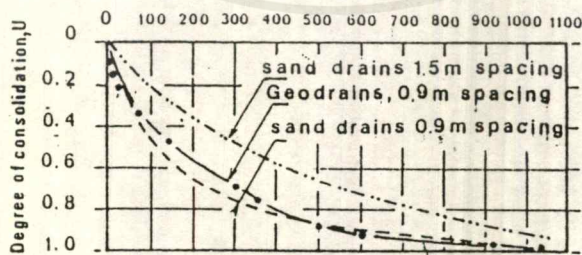
CROSS-SECTION OF MANDREL



รูปที่ 61 รูปตัดของ Cardboard drains และ Mandrel

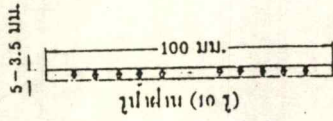


รูปที่ 62 รูปตัดของ Plastic Geodrain และ Mandrel



รูปที่ 63 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Geodrain กับ Sand drain ขนาด $\phi 0.18$ m

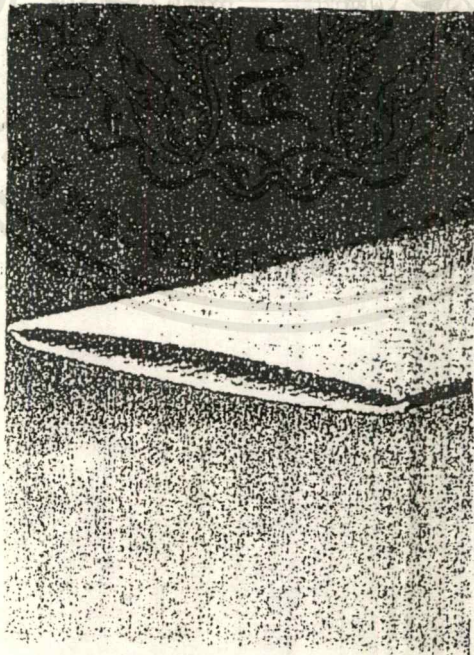
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 64 รูปตัดกระดาษแข็ง

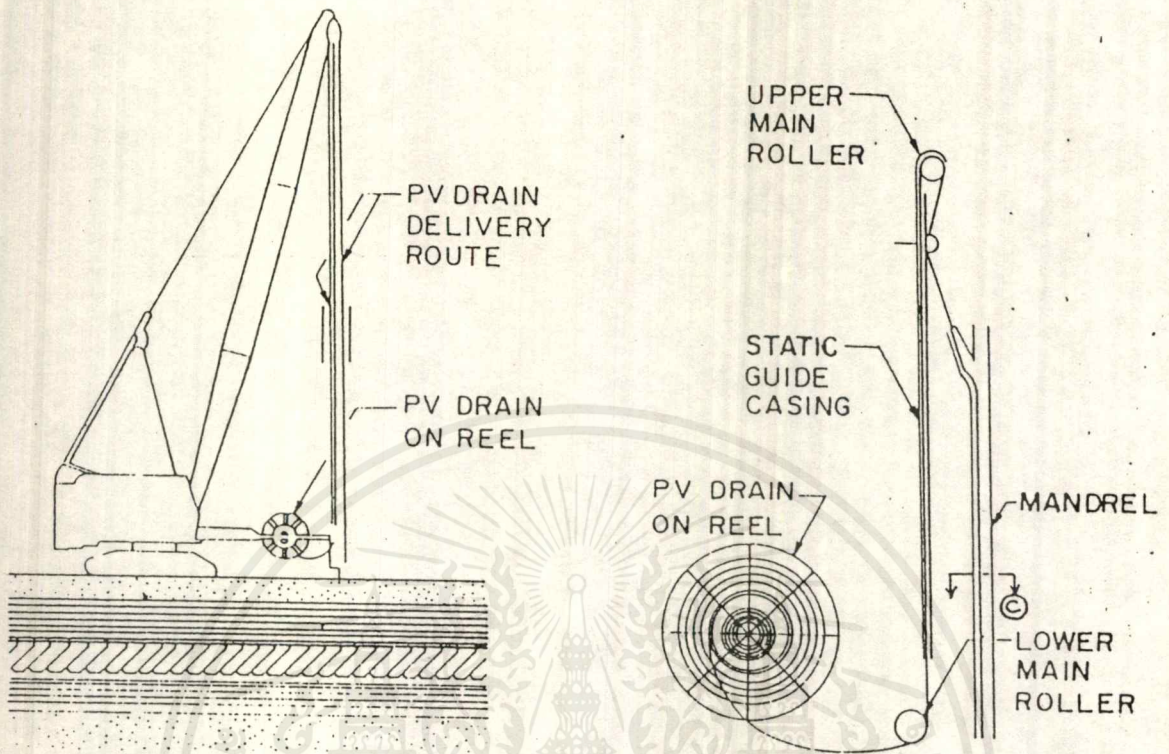
<p>แผนภาพประกอบ</p>	
<p>คำอธิบาย</p>	<p>(ดูเห็นของการฝังแผ่นกระดาษแข็ง)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① ตั้งแผ่นกระดาษแข็งจากม้วน ใต้ลงในแกนหมุนโดยใช้ตุ๊กตอก ② เลื่อนแกนหมุนที่มีแผ่นกระดาษแข็งอยู่ก้นกบในดงไปบนลึงขุ แรก ③ ปัดอูแผ่นกระดาษแข็งไว้บนดินแล้วตั้งแกนหมุนขึ้น ④ ใช้เครื่องมือตัด ตัดแผ่นกระดาษแข็ง
<p>ลักษณะพิเศษ</p>	<ol style="list-style-type: none"> (1) แผ่นกระดาษแข็งมีความสม่ำเสมอ (2) อัตราเร็วในการปฏิบัติงานสูง (3) การตัดแผ่นกระดาษแข็งบางครั้ง อาจทำให้วัสดุสามารถการระบายน้ำได้ดี

รูปที่ 65 การติดตั้งแถบกระดาษแข็ง



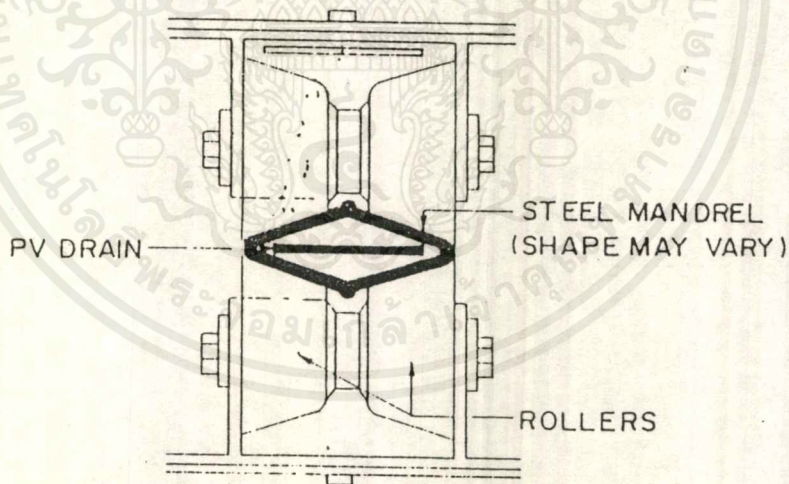
รูปที่ 66 แสดงแถบ PVD (แกนกลาง และแผ่นใยสังเคราะห์ที่หุ้มด้านนอก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A) INSTALLATION RIG

(B) DRAIN DELIVERY ARRANGEMENT

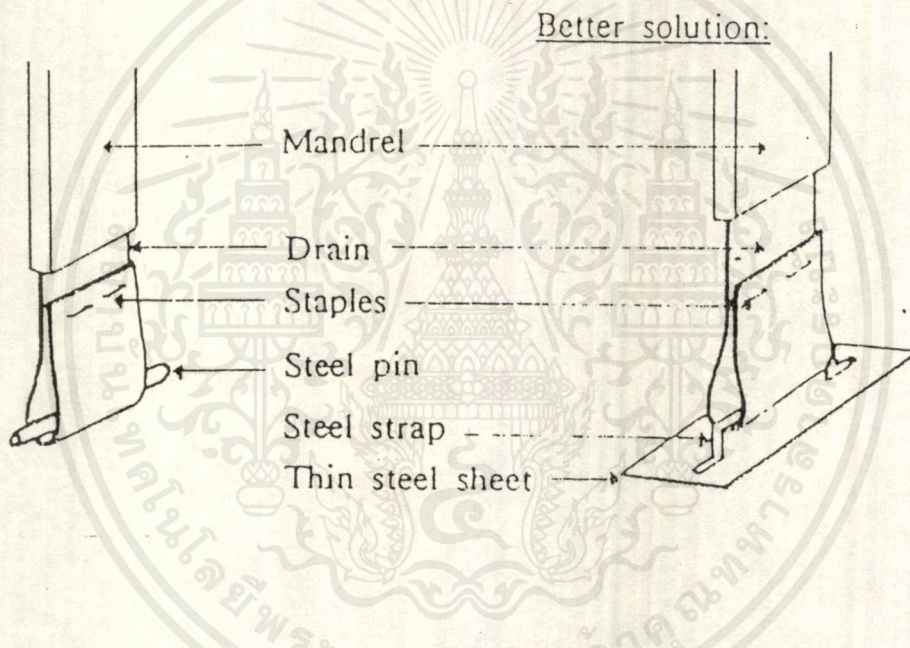


(C) CROSS SECTION OF MANDREL AND DRAIN

TYPICAL PV DRAIN INSTALLATION EQUIPMENT

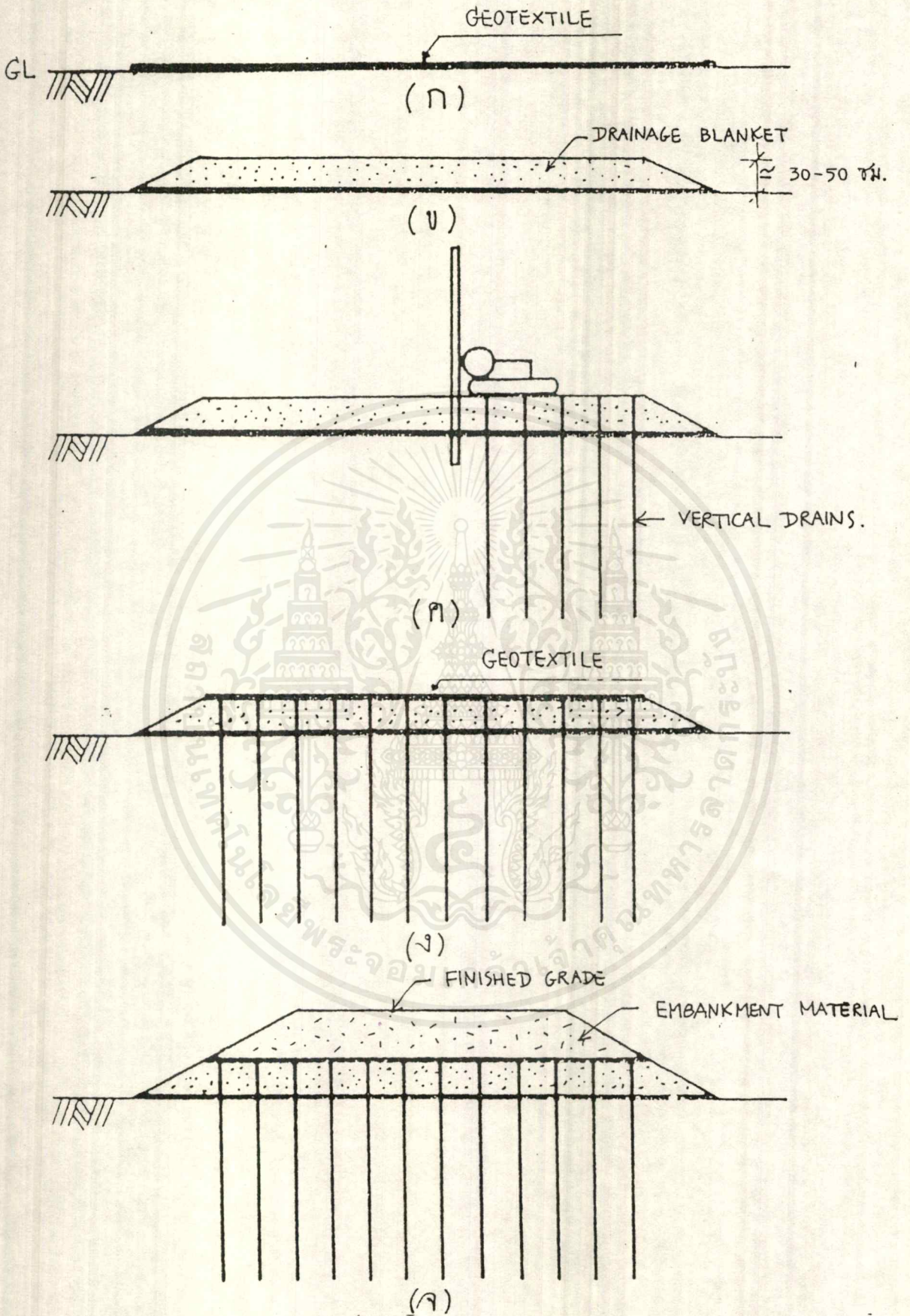
รูปที่ 67 แสดงเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการติดตั้งแถบ PVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



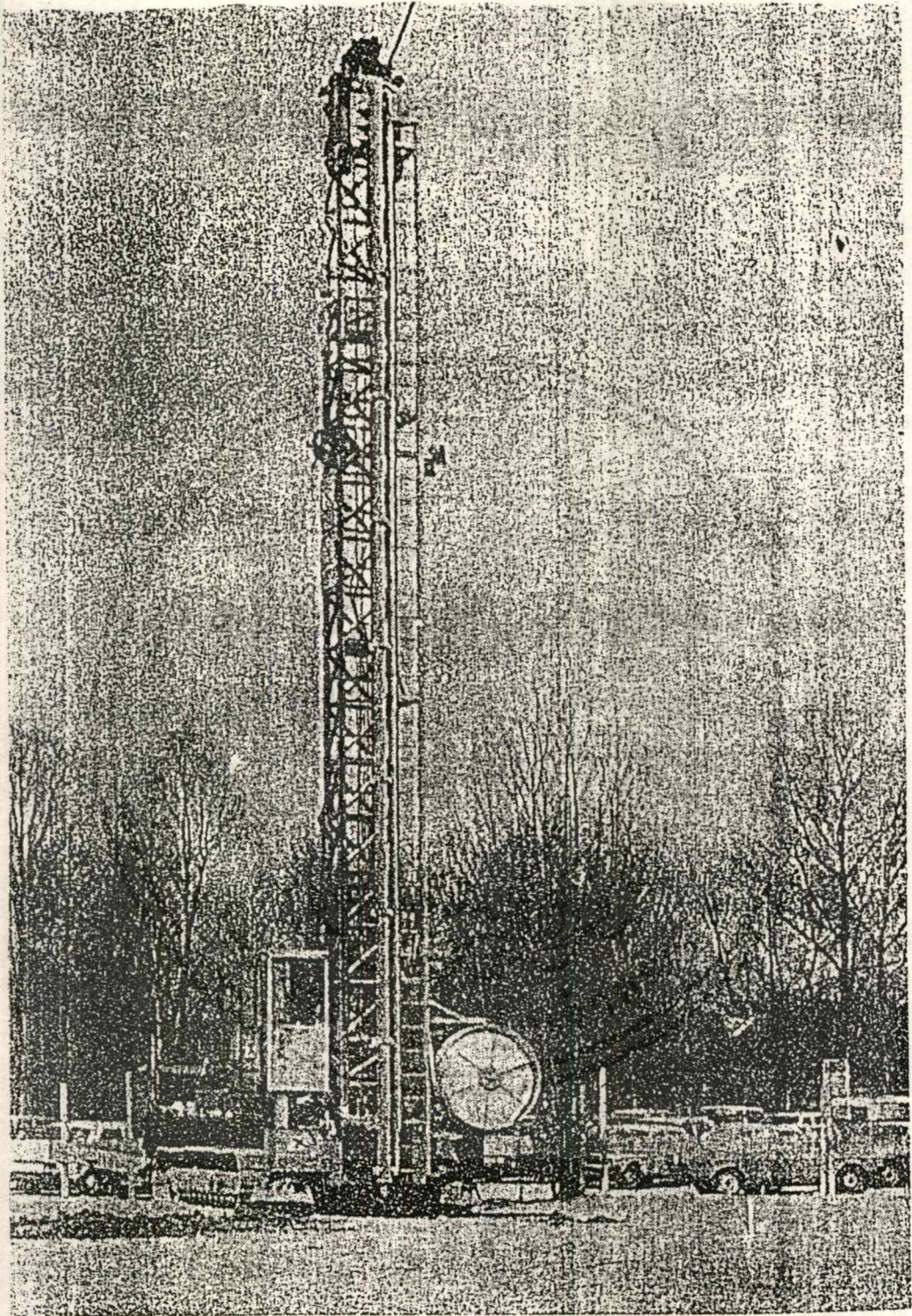
รูปที่ 68 แสดงรายละเอียดการติดตั้งแผ่น หรือแกนเหล็กยึดรั้ง (Anchorage) ที่ปลายสุดของแกนนำร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



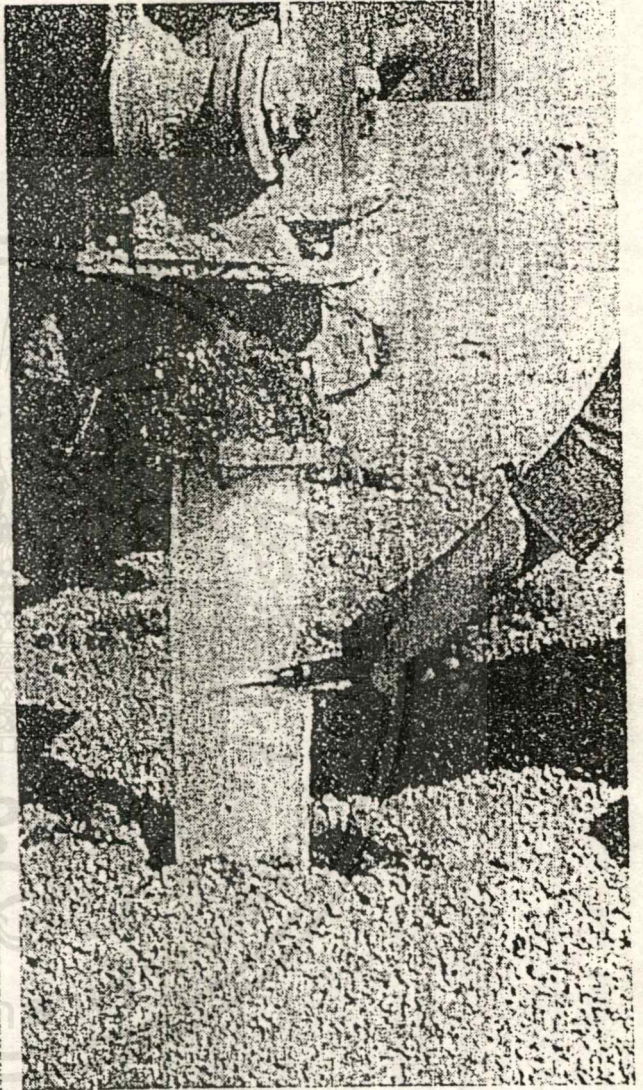
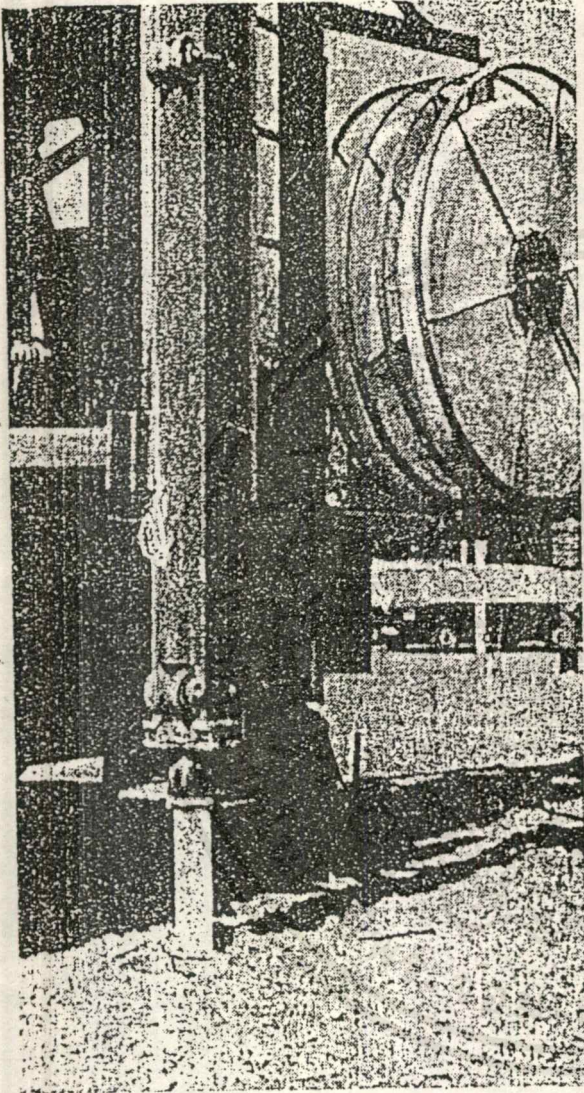
รูปที่ 69 แสดงขั้นตอน และวิธีการติดตั้งแถบ PVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 70 แสดงเครื่องปั้นไฟพร้อมอุปกรณ์ครบชุดในขณะที่ทำการติดตั้งแถบ PVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a) ขณะฝังแผ่น PVD

b) ขณะตัดแผ่น PVD ด้วยกรรไกร

รูปที่ 71(a,b) แสดงขั้นตอนการติดตั้งในขณะฝังแผ่น PVD และขณะตัดแผ่น PVD
เมื่อฝังได้ความลึกตามที่กำหนดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GROUTING

จากประวัติศาสตร์อันยาวนานของมนุษยชาติ เกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน และหินใต้ฐานรากในงานวิศวกรรมนั้น Grouting หรือ Injection Process เพิ่งจะเป็นที่ยอมรับกันเมื่อราว ศตวรรษที่ 19

Charles Pirigny ได้ทำ Injection Process เมื่อปี 1802 โดยนำ Slurries Clay and Hydraulic Line อัดลงไปด้วย Percussion Pump ซึ่งถูกสูบลูกกับลงไปโดย Mallet เครื่องมือนี้ใช้กันมากในฝรั่งเศสระหว่างครึ่งแรกของศตวรรษที่ 19 โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการซ่อม Foundation ที่อยู่ใต้น้ำและนำไปอังกฤษเมื่อ ค.ศ. 1856 โดย W.R. Kinipple ซึ่งเป็นนักประดิษฐ์เกี่ยวกับอุปกรณ์ Grouting Concrete และในที่สุดได้นำไปใช้ที่ Delta Barrage ที่อียิปต์ เมื่อ ค.ศ. 1896

Thomas Hawksley (ค.ศ. 1876) ได้ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ Grout ด้วย Gravity Head เพื่ออุดหินแตกที่อยู่ใต้ฐานรากของเขื่อน Tunstall

Greathead (ค.ศ. 1888) ประดิษฐ์ Compressed Air Grout Pan เพื่อใช้เติมช่องว่างระหว่างที่ Lining กับพื้น สำหรับ Shield-Driven Tunnel และจากเครื่องมือนี้ทำให้พบวิธีการปฏิบัติงานวิศวกรรมใหม่ ๆ ขึ้นอีก

Raumaux, Portier, Saclier และคนอื่น ๆ (ค.ศ. 1886) ซึ่งเป็นวิศวกรเหมืองแร่ ทำงานอยู่ในเหมืองถ่านหินทาง Northern France and Belgium แนะนำให้ฉีดอัด Portland Cement ช่วยในการขุดบ่อลงในชั้นหินแตกและกั้นน้ำด้วยการปรับปรุงเครื่องปั๊มกำลังสูงและการผสมรวมทั้งการ Grout ในไม้ซากก็ได้นำไปใช้ในการทำอุโมงค์ และการเพิ่มความแข็งแรงของฐานรากเขื่อน ปัจจุบันวิศวกรรมทาง Geology และ Soil Mechanics ครอบคลุมกว้างขวางและก้าวหน้ามาก ประสิทธิภาพของการ Grouting จึงเพิ่มมากขึ้นด้วย

ความหมายและวัตถุประสงค์ โดยทั่วไป Grouting หรือ Injection Process เป็นกระบวนการที่อัดฉีดส่วนผสมของวัสดุ Grout ซึ่งเป็นของไหลเข้าไปใน Foundation (ดินหรือหินใต้ฐานราก) ภายหลังความกดดันที่เหมาะสมกับชนิด คุณสมบัติทั้งทางเคมีและฟิสิกส์ของวัสดุ Grout ต่อ Foundations นั้นเพื่ออุดรอยร้าว รอยร้าว รอยแตก เชื่อมให้มวลของ Foundation เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นการเพิ่ม Tensile Strength, Compressive Strength และ Stability ให้แก่ Foundation และลดหรือกั้น Seepage Flow หรือ Leakage ของน้ำที่ไหลผ่านบริเวณ Foundation นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขและปัญหา ในงานก่อสร้างอาคารใหญ่ ๆ ที่ต้องมีการเปิดหน้าดินให้ลึกและกว้างมักมีปัญหาเกี่ยวกับน้ำใต้ดิน ที่อยู่ใกล้เคียงและมีระดับสูงพอ ไหลเข้าท่วมบริเวณนั้นทำให้ไม่อาจทำงานได้ หรือบริเวณนั้นเป็นดินอ่อน เมื่อตัดลงไปลึก ๆ ก็จะมีการพังทะลายเกิดขึ้น เนื่องจากการ Slide ของดิน ซึ่งทำให้เกิดปัญหาว่าไม่อาจจะทำกรก่อสร้างได้ ถึงแม้ว่าจะได้ใช้วิธีการอื่น เช่น ค้ำยัน Sheet Pile แล้ว แต่เนื่องจากน้ำใต้ดินอาจจะลักเข้ามาทางข้างล่างได้ วิธีการดังกล่าวจึงไม่ได้ผล ดังนั้น Chemical Grouting จึงได้ถูกนำมาใช้ในการ Grouted รอบบริเวณและพื้นที่ด้านล่างในลักษณะของกล่องและเป็นการดำเนินงาน ที่ได้ผลแน่นอน ประหยัด และปลอดภัยดี Deep-basements in Cities, Shaft Sinking in Very Fine Sand, Tunnels in Alluvial Deposit and Foundations ต่างก็มีปัญหาเกี่ยวกับการไหลของน้ำในดิน และความแข็งแรงของ Foundation ด้วย ซึ่งจะได้ชี้แจงต่อไป

ความต้องการโดยทั่วไป

การทำกรสำรวจสภาพใต้ผิวดินเป็นสิ่งจำเป็น เช่น การออกแบบฐานราก เพื่อที่จะกำหนดมาตรฐานที่ต้องการ และหาวิธีที่เหมาะสมในการ Grouting การที่เราทำการสำรวจสภาพต่าง ๆ ของสภาพดินเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงวิธีในการพัฒนาปรับปรุงดิน ในระหว่างการเจาะ

ความต้องการโดยเฉพาะ

a) การสำรวจหลุมเจาะ สภาพใต้ดินเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการวางแผนในการทำ Grouting เพื่อที่จะกำหนดสภาวะและการประมาณราคาของการขุดเจาะและกรทำ Grouting เราอาจใช้กล้องใส่เข้าไปเพื่อทำการหาข้อมูล ถ้าเราจะทำการ GROUT ข้อมูลทางด้านความชื้นได้ขนาด, อนุภาค, ความหนาแน่น ต้องอยู่ในภาพที่น่าพอใจ ถ้าการขุดเพื่อทำการสำรวจครั้งแรกไม่สามารถข้อมูลได้อย่างที่พอใจ เราก็ต้องทำการขุดอีก

b) การทดสอบองค์ประกอบด้านอื่น ๆ

1. การทดสอบด้านความดัน การทดสอบด้านความดันโดยการป้อนวัดปริมาณน้ำในหลุมสำรวจ อย่างสมควร ผลของการทดสอบด้านความดัน จะแสดงถึงความชื้นได้ของหินหรือดินของน้ำหรือสารอื่นภายใต้ความหนืดเดียวกัน ทางที่ดีที่สุดในการจะกำหนดรูปแบบในเรื่องการซึมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้ตีพิมพ์เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรั่ว, การพุ่งของน้ำในชั้นดิน การทดสอบดังกล่าวจะทำให้เรารู้ถึงการยอมรับในสารที่ใช้ เช่น Cement หรือ Clay .

2. การทดสอบด้าน Grouting การทดสอบในเรื่อง Grouting นั้น ไม่ใช่เพียงจัดหาข้อมูลทำการ Grout เท่านั้น แต่ใช้ในการหาสารที่เหมาะสมที่จะใช้ในการ Grouting ด้วย การทดสอบการ Grouting ของดิน โดยการใช้สารเคมีควบคุมไปกับการสำรวจ Lab นั้น จะทำให้เราสามารถที่จะทำการประมาณราคาและถ้าเป็นงาน Site ที่ใหญ่แล้วจะทำให้เราสามารถที่จะประหยัดราคาได้อีกด้วย โดยวิธีที่ต่าง ๆ กัน ช่องว่างระหว่างหลุมที่เหมาะสม, และเวลาที่ทำการตั้งไว้ สามารถถูกตรวจสอบด้วย ซึ่งความพอใจจะอยู่ในปริมาณเฉลี่ยที่มีค่าน้อยที่สุด

c) การทดสอบใน Lab

1. ความสามารถในการซึมได้ ลำดับการทดสอบในเรื่องความสามารถในการซึมได้ถูกบรรพชาใน EM 1110-2-1906 ในบางที่ความสามารถในการซึมได้มีค่าน้อยกว่าสถานที่จริง

2. ขนาดอนุภาค ลำดับการทดสอบในเรื่องขนาดอนุภาคในการซึมได้ ขนาดประสิทธิผล (D_{10}) ของดินในแม่น้ำมิสซิสซิปปี ได้ถูกแสดงความสัมพันธ์กันดังในรูปที่ 72

3. ความหนาแน่น ความหนาแน่นและอัตราส่วนของช่องว่างของตัวอย่างที่ไม่ถูกรบกวน จะถูกกำหนดโดยการใช้น้ำหนักและประมาณลักษณะความคงตัวและความสามารถในการซึมได้ของมวลดิน

4. การทดสอบด้านเคมี การวิเคราะห์สารเคมีของตัวอย่างจะถูกทำขึ้นเพื่อกำหนดปฏิกิริยาของซิลิเนียมซิลเฟต, มักเนเซียมซิลเฟต, โซเดียมซิลเฟต, สารอินทรีย์, กรด และด่าง อาจจะทำลายการ Grout ได้ ค่า PH ของน้ำ อาจจะถูกกำหนดด้วย

วัสดุ Grout

ในการวางแผนที่จะทำการ Grouting วิศวกรจำเป็นต้องทราบสมบัติของมัน ซึ่งมีทั้งสารที่ใช้ในการ Grout รวมทั้งสารผสม จะถูกบรรพชาตามข้างล่างนี้ โดยปกติสารที่ทำการใช้คือ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์, ดินเหนียว, สารเคมี, ยางมะตอย ไม่มีสารใดที่เหมาะสมสำหรับทุกสถานการณ์ แต่พื้นฐานของการ Grout อยู่ที่ว่า ขนาดของมันต้องเล็กกว่าช่องว่างเพื่ออุดช่องว่าง ข้อมูลเหล่านี้ขึ้นอยู่กับพื้นฐานของประสพการณ์และการทดสอบ ความสัมพันธ์อีกอย่างคือ อัตราส่วนการ Grout ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{D_{15}}{D_{85}} \quad \text{ขณะที่ ;}$$

D_{15} คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคดิน ซึ่ง 15% ของอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่า

D_{85} คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคดิน ซึ่ง 85% ของอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่า

N โดยปกติจะมากกว่า 25 แต่บางกรณีอาจจะต่ำกว่า เท่ากับ 15 ขึ้นกับสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุที่ใช้ รูป 73 มันแสดงถึงคุณสมบัติทางขนาดอนุภาคของสารที่ใช้ในการ grout และขนาดอนุภาคที่ถูกต้อง

PORTLAND-CEMENT ปอร์ตแลนด์-ซีเมนต์ เป็นส่วนผสมของปอร์ตแลนด์-ซีเมนต์, น้ำ และสารเคมี, สารผสม ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติข้างล่างนี้

a) PORTLAND CEMENTS มีอยู่ 5 ชนิด ตามมาตรฐาน ASTM ที่ใช้ Grout

(1) TYPE 1 เป็นซีเมนต์ที่ใช้โดยทั่วไป

(2) TYPE 2 เป็นซีเมนต์ที่ใช้ในการต่อต้านซัลเฟต และมีความร้อนน้อย และมีการพัฒนาในอัตราต่ำกว่าปูน TYPE 1 มันถูกใช้สลับกับปูน TYPE 1 ในการ Grout เวลา มันถูกใช้ในที่ ๆ ต้องเผชิญกับซัลเฟต

(3) TYPE 3 เป็นซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการ Strength ในช่วงต้นๆของการ Grout ภายในระยะเวลา 10 วัน หรือน้อยกว่า

(4) TYPE 4 เป็นซีเมนต์ที่ไม่ค่อยใช้ในการ Grout เกิดความร้อนน้อยกว่า TYPE 2 และมีการพัฒนาที่ต่ำกว่า

(5) TYPE 5 เป็นซีเมนต์ที่ค่อนข้างใช้ในการต้านทานซัลเฟตในปริมาณที่สูง มันไม่ค่อยถูกใช้ เนื่องจากมันจะใช้ในการที่ต้องใช้ในบริเวณที่น้ำใต้ดินมีปริมาณซัลเฟตสูง

b) น้ำที่ใช้ในการผสม โดยปกติ น้ำที่เหมาะสมสำหรับการค้ำเป็นสิ่งที่เหมาะสมในการ Grout โดยธรรมชาติสารที่ไม่บริสุทธิ์อาจมีอยู่ในน้ำธรรมชาติ (เช่น ค่าง, สารอินทรีย์ และกรด, เกลือ, ดินตะกอน)

c) Fillers Fillers ในการ Grout ถูกใช้เพื่อประหยัด การแทนที่ Cement ต้องทำการตรวจสอบก่อนทำการยอมรับต้องมีการทดสอบใน Lab ก่อน เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของ Filler ที่มีผลต่อเวลาเซตตัว และความแข็งแรงของ Grout หลักในการประหยัดโดยการ ใช้ค่าวัสดุที่ต่ำกว่าอาจจะไม่ใช่ส่วนที่จำเป็นทั้งหมดในการ Grout

1. ทราย ทรายถูกใช้เป็นตัว Filler ในการใช้ซีเมนต์-ปอร์ตแลนด์ มันมีขนาดที่ต่ำกว่า อัตราส่วนผสมทราย 2 ส่วน ต่อ ซีเมนต์ 1 ส่วน ซึ่งจะสามารถนำมาใช้งานได้หาก

ทรายผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และมากกว่าหรือเท่ากับ 15% ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 การใช้ทราย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยาบ หรือการเพิ่มทรายที่ใช้ในการผสมอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดการแยกตัว ซึ่งเราสามารถหลีกเลี่ยงการแยกตัวของสารผสมได้โดยใช้ทรายที่มีความละเอียดมากขึ้น หรือใช้สาร Fly Ashs, หินภูเขาไฟ

2. fly Ash เป็นทรายละเอียดซึ่งแยกออกมาจากผงถ่าน อาจใช้เป็นได้ทั้งตัวเติมลงไปหรือสารผสม อนุภาคส่วนใหญ่มีความละเอียดพอ ๆ กับซีเมนต์ และทำปฏิกิริยาเคมีกับ Cement ด้วย ใช้ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก

3. โดโทไมท์ โดโทไมท์เป็นแร่ธาตุที่ประกอบด้วยซิลิกาเป็นหลัก มันทำจากฟอสซิลของพืชน้ำ ความละเอียดมากกว่า 3-15 เท่าของซีเมนต์ เราใช้โดโทไมท์จำนวนเล็กน้อยที่เป็นสารเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความสามารถในการอุดของการ Grout อย่างไรก็ตามก็เติมโดโทไมท์เป็นจำนวนมากก็จำเป็นต้องเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ด้วย

4. หูมิไซท์ มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีลักษณะคล้ายซีเมนต์ คือช่วยพัฒนาความสามารถในการซึมซับของส่วนของการผสมและมีปฏิกิริยาปอร์ตแลนด์กับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

5. ทรายอื่น ๆ ตะกอน และดินเหนียวหยาบ อาจถูกใช้ในบางครั้ง - ลีธ, ตะกอนดิน ซึ่งมีดินเหนียว 10-25% เป็นสารที่มีความเหมาะสม Rock Flour ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการฟังทลาสของหิน อาจถูกใช้ด้วย ซึ่ง Rock Flour จะผลิตในระหว่างการทำทรายคอนกรีตมีความละเอียด แต่มีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจทำให้เกิดการกักความร้อนสูง อีกทั้งเป็นตัวเพิ่มเวลาในการ Grout ด้วย มันอาจจะต้องเพิ่มสารผสมลงไปเพื่อชดเชยสำหรับสิ่งดังกล่าว

d) สารผสมเพิ่ม

1. ตัวเร่ง ตัวเร่งที่ใช้เป็นสาเหตุให้เกิดการลดลงของเวลา Set ตัวของการ Grout สารนี้ช่วยลดการแผ่กระจายออกไปของสาร Grout ช่วยลดการฟังทลาสโดยเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน และเพิ่มความแข็งแรง โดยปกติจะใช้แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) มันถูกใช้ในการผสมน้ำในปริมาณที่มากกว่า 2% ของน้ำหนักซีเมนต์ การใช้ปอร์ตแลนด์ของแคลเซียมคลอไรด์ที่มากอาจทำให้เกิดอันตราย แต่การ Set ตัวของ ๆ ผสมอลูมิเนียมซีเมนต์ที่สูงซึ่งมีข้อดีเป็นพื้นฐานอาจทำให้เกิดการเซตตัวในเวลาต่างๆกัน ดังนั้นการใช้ตัวเร่งควรได้รับการตรวจสอบอย่างดีก่อนในการผสม

2. สารหล่อลื่น Fly Ash และ Rock Flour ถูกเพิ่มเข้าไปเพื่อเพิ่มความสามารถในการอุด สารเพิ่มความไหลและน้ำถูกเพิ่มเข้าไปหรืออาจลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ขณะที่ความสามารถในการไหลเท่าเดิม ซึ่งสารที่ใช้จะต้องทำการตรวจสอบในห้อง Lab เสียก่อน

3. ทรายอื่น ๆ มีสารอยู่หลายชนิดสามารถเพิ่มเข้าไป เบนโทไนต์ หรือคลอไรด์

อื่น ๆ หรือผงโลหะละเอียดอาจผสมเข้าไปเพื่อเพิ่มความหนืดและความคงตัวให้มากขึ้น ผลโลหะ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับปฏิกิริยาไฮเดรชันของน้ำและส่วนเล็ก ๆ ของไฮโดรเจน ซึ่งใช้ในการเพิ่มความหนืด อาจเป็นเหตุให้เกิดการแผ่กระจายของสาร Grout ที่ละเอียด น้อย ๆ อะลูมิเนียมถูกใช้บ่อยในกรณีนี้ มันถูกใช้ในอัตราส่วน 1 ช้อนชาต่อปูน 1 กุญ

e) ผลกระทบของน้ำใต้ดิน กรวด, ด่าง หรือเกลือ ที่อยู่ในน้ำใต้ดิน อาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายต่อการใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นตัว Grout การเพิ่มขึ้นในการเสี่ยงเป็นผลของดินทรายที่ยอมให้เกิดการกัดเซาะในขณะที่ดินเหนียวช่วยหน่วงการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในดินเหนียวส่วนใหญ่ เกลือซัลเฟตถูกพบในปริมาณน้อย ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ TYPE 5 จะไม่ถูกทำลายเนื่องจากสารเหล่านี้ในปริมาณที่ไม่สูงมาก แต่ถ้าสูงมากก็ใช้ไม่ได้เหมือนกัน แต่ในบริเวณที่เกลือมักเนเซียมและเกลือโซเดียมซัลเฟตที่ปริมาณสูง การ Grout ด้วยสารเคมีต้องนำมาพิจารณาก่อนอื่นเนื่องจากความเหมาะสมกว่า

f) ผลกระทบของน้ำทะเล รอยแตกสลัและแนวเส้นเกิดในการ Grout เพราะเกิดการหดตัว, ความแตกต่างของอุณหภูมิ, และแรงดึงซึ่งอาจเป็นผลจากการแทรกซึมของน้ำทะเล, ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกตัวของสารเคมี ที่ใช้ในการ Grout ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซิลิเกตที่ปริมาณสูง จะเข้าไปในซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีปริมาณต่ำ ผลิตภัณฑ์ของแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะละลายช้าในน้ำ, ซึ่งผลให้มีการพองตัวของอนุภาคปูนซีเมนต์ และการปล่อยปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งเป็นสาเหตุให้ซีเมนต์เสื่อมลง ปูนขาวที่ใช้ในการ Grout จะทำปฏิกิริยากับแมกเนเซียมซัลเฟตในน้ำทะเล และจะอยู่ในรูปแคลเซียมซัลเฟต, อันเป็นสาเหตุให้เกิดการขยายตัวของ รอยแตกของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ที่ต้องใช้เกี่ยวข้องกับน้ำทะเลจะบรรจุฟองอากาศซีเมนต์ (TYPE 2A) และสารนั้นมีอัตราส่วนน้ำ-ซีเมนต์ที่ต่ำ ฟองอากาศในสาร Grout จะเพิ่มความทึบของการ Grout สารที่ใช้ในการกันน้ำ ถูกพบว่าสามารถเพิ่มในระดับต่าง ๆ กันของความซึมได้ในซีเมนต์-พอร์ตแลนด์ คือ ปูนขาว, ดินละเอียด, น้ำมันดิน, ยางมะตอย, โดโทไมท์

CLAY GROUTS ข้อพิจารณาเบื้องต้นของการ Grout วิธีใด ๆ คือ เปลี่ยน, ไปยังระดับที่ต้องการ, คุณสมบัติของการปรับปรุง โดยวิธีที่ประหยัดที่สุด ดังนั้น การที่จะบอกว่าดินเหนียวตามธรรมชาติสามารถจะทำเป็นสารที่ใช้ Grout ได้ จึงต้องมีการพิสูจน์ การทดสอบจะถูกทำขึ้น เพื่อกำหนดความเหมาะสมของดินด้วย

a) วัสดุ ดินใช้เป็นสารเบื้องต้นในการ Grout ได้ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ อันดับแรก เป็นดินธรรมชาติที่พบอยู่ใกล้ ๆ โครงสร้าง หรือมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อย อันดับสอง เป็นขบวนการที่เกี่ยวข้องกับดินเหนียว เช่น เบนโทไนท์ การเลือกดินธรรมชาติหรือวัสดุอื่น ๆ

จะถูกกำหนดโดยวิศวกรศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ (1) คุณสมบัติของการ Grout ต้องตรงตามวัตถุประสงค์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสงค์ของงาน 2) ปริมาณความต้องการของสารที่ใช้ Grout 3) คุณสมบัติที่มีอยู่ของดินตามธรรมชาติ 4) ราคาของดินธรรมชาติ, ถ้าจำเป็นต้องการ 5) ราคาของวัสดุที่ใช้แทน 6) ราคารวมกับวัสดุอื่น ๆ โดยปกติแล้วหากสารที่ใช้ Grout มีปริมาณมาก, วัสดุท้องถิ่นควรมีความประหยัด

b) ดินธรรมชาติ การใช้ดินในธรรมชาติถูกยืนยันว่ามีผลต่อโครงการในระยะยาว ดินที่ใช้มีอยู่ 2 ชนิด 1) ดินอนุภาคละเอียด มีค่าขีดขีดหย่อนต่ำ ที่ไม่มีคุณสมบัติความเหนียว 2) ดินเหนียวอนุภาคละเอียดที่มีขีดขีดหย่อนสูง และมีการเปลี่ยนแปลงของออสอนสูง ซึ่งจะให้คุณสมบัติความเหนียว ดินที่สภาพตรงกับข้อ 1) จะใช้เป็น Filler เท่านั้น แต่ดินที่สภาพตรงกับข้อ 2) จะใช้เป็นได้ทั้ง Filler และสารผสมเพิ่ม แหล่งดินที่ดีมักเป็นอลูมิเนียม, อีโอเลี่ยน หรือตามแม่น้ำ ดิน Residual อาจจะมีคุณสมบัติของดินเป็นส่วนสำคัญในการกำหนด ดินเหนียวปกติมีคาโอลิไนท์ มอนโทลิไนท์, และอิลไลท์ คาโอลิไนท์ และมอนโทลิไนท์ คือสารปกติที่พบในการรวมดินอนุภาคละเอียด เพราะว่าความสามารถในการดูดซับน้ำอย่างมาก, ดังนั้น จึงต้องการดินเหนียวที่มีมอนโทลิไนท์ในเปอร์เซ็นต์ที่สูง

c) ขบวนการทางดินเหนียว คือ เบนโทไนท์ ดินเหนียวที่มีมอนโทลิไนท์มาก ซึ่งอยู่ในรูปแบบ จากการเปลี่ยนแปลงของ โบนิกแร่ เบนโทไนท์ ถูกแยก, แห้ง และ ละเลียดขึ้น เพื่อทำให้อยู่ในรูปสินค้า เบนโทไนท์ส่วนใหญ่จะมีขีดเคลว 350-500 สมบัติทางความเหนียวเป็นสิ่งที่ต้องการ เพื่อสร้างความแข็งแรงอย่างเพียงพอในการฉีดเพื่อต่อต้านการกระทำของน้ำใต้ดินภายใต้ความดัน แต่ก็ต้องทำการควบคุมด้วยเช่นกัน

ค่าการทดสอบดินเหนียวสำหรับการ Grout

1. ขนาดอนุภาค สมบัติสำคัญของดินเหนียวที่ใช้ คือมีการกระจายของขนาด ซึ่งสามารถกำหนดโดยการวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์ (EM 1110-2-1906) ขึ้นส่วนขนาดใหญ่ต้องถูกทำให้เล็กเพื่อที่จะพุ่งไปยังช่องว่างตรงกลาง

2. ขีดจำกัดแอกเทอร์เบอร์รี่ ขีดจำกัดแอกเทอร์เบอร์รี่ ปกติจะชี้ถึงคุณสมบัติของดินเหนียว ขีดจำกัดเหลวสูง และดัชนีไหลเสถิกจะชี้ถึงปริมาณแร่, ความจุในการเปลี่ยนออสอน, ปกติดินเหนียวที่มีขีดจำกัดเหลวน้อยกว่า 60 ไม่เหมาะสมในการ Grout ขณะที่ดินที่มีปริมาณแร่ และความจุในการเปลี่ยนแปลงออสอนสูงเป็นสิ่งที่ต้องการ

3. ความถ่วงจำเพาะ G_s EM 1110-2-1906

e) สารผสมเพิ่ม
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์ที่ใช้ ๆ เพื่อการเพิ่มความแข็งแรง และการเสถียรภาพที่ต้องการ ถูกกำหนดในห้องทดลอง
2. สารเคมี มีสารเคมีมากมายที่ใช้ในการเปลี่ยนคุณสมบัติของดิน ผลกระทบในการเพิ่มสารเคมีในดินขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางแร่และทางเคมีของดิน ตามที่บรรพชาจารย์ใช้ในเปอร์เซ็นต์ที่น้อยกว่า 5% โดยน้ำหนักอาจเขียน

Stabilizing Agent	Flocculating Agent
โปแทสเซียมไนเตรด	อลูมิเนียมซิลิเฟต
โปแทสเซียมคาร์โบเนต	โซเดียมซิลิเฟต
โซเดียมอลูมิเนต	แคลเซียมคลอไรด์
ลิเทียมคาร์โบเนต	คอปเปอร์ซิลิเฟต
โซเดียมไฮดรอกไซด์	เฟอร์รัสซิลิเฟต

3. Filler ทรายอาจถูกใช้เป็น Filler ในที่มีช่องว่างขนาดใหญ่ ในที่ๆ คาดว่าต้องใช้สารในการ Grout มาก และต้องการประหยัด อาจใช้ทรายเป็น Filler ซึ่งปราศจากการลดลงของคุณภาพของการ Grout

4. สัดส่วนของการ Grout ด้วยดินเหนียว ครั้งหนึ่งดินถูกกำหนดว่าเป็นที่เหมาะสม ทำให้มันจำเป็นที่ต้องกำหนดอัตราส่วนในการผสม สาร Grout ต้องมีความสามารถในการไหลที่เพียงพอ และต้องมีการพัฒนาความแข็งแรงตามเวลาดำย ความสามารถในการไหลได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำ-ดินเหนียว เพื่อจัดหาความเหนียวที่เหมาะสม อาจจำเป็นต้องเพิ่มสารเคมี เช่น โซเดียมซิลิเกต เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ในที่ ๆ อัตราส่วนน้ำ-ดินเหนียวสูง เนื่องจากมีความเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีที่มีผลกระทบต่อ การ Grout จึงมีความจำเป็นต้องมีการทดสอบก่อน การทดสอบมีความเกี่ยวข้องกับสัดส่วนของดิน, น้ำ และสารผสมเพิ่ม ซึ่งเกี่ยวข้องกับ ความทรงตัว, ความชื้น, ชัดหดตัว และ ความแข็งแรง และจากการทดสอบต้องทำการกำหนดมาตรฐานในการเปลี่ยนในส่วนผสมเพื่อทำการกำหนดสภาพที่เหมาะสม

Asphalt Grouts การไหลของน้ำ ภายใต้อินดินสามารถที่จะหยุดการ Grout โดยวิธีต่าง ๆ ทำให้มีการใช้ Asphalt ในการ Grout เกิดขึ้น แอสฟัลท์เป็นน้ำมันดินสีดำถึงสีน้ำตาล อยู่ในรูปของแข็งหรือกึ่งของแข็ง มันเกิดตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกลั่นปิโตรเลียม มันละลายระหว่าง 150 - 200 องศาฟาเรนไฮต์ หากใช้จะต้องทำการฉีดที่อุณหภูมิ 400 หรือ 450 องศาฟาเรนไฮต์ หลังจากการฉีดสารผสมจะแตกเพื่อว่าแอสฟัลท์จะสามารถทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็ง เพื่อมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

Chemical Grout การ Grout โดยวิธีนี้สามารถใช้สารและขบวนการที่แตกต่างกัน ประโยชน์เบื้องต้นของการใช้สารเคมีของการ Grout นั้นคือ มันมีความหนืดที่ต่ำและมีเวลาเซกตัวที่ต่ำ ข้อเสียของมันก็คือ มันเป็นพิษต่อธรรมชาติและมีราคาที่สูง

a) การตกตะกอน

ในขั้นตอนนี้ สารเคมีถูกผสมในรูปของเหลวเพื่อใช้ในการฉีดในดิน หลังจากการฉีด, มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นอันเป็นผลจากการตกตะกอนของการไม่ละลายของวัสดุ การเติมลงช่องว่างของดินโดยวัสดุที่ไม่ละลายทำให้สามารถลดความสามารถในการซึมได้ อันเป็นผลให้เพิ่มความแข็งแรง

1) รูปแบบของสารเคมีที่ใช้โดยส่วนใหญ่อยู่ในขบวนการกับสารซิลิเกต, เป็นสารเริ่มต้น โซเดียมซิลิเกต เป็นการรวมของสาร ซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2), โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) และน้ำ ความหนืดของ ๗ เหลว ต่าง ๗ ตามการควบคุมของอัตราส่วน SiO_2 ต่อ Na_2O และโดยปริมาณน้ำ ซิลิเกตสามารถตกตะกอนในรูปแบบของ Gel โดยการทำให้โซเดียม-ซิลิเกตเป็นกลางโดยกรดอ่อน ๆ

2) หนึ่งในปัญหาของการใช้โซเดียมซิลิเกตคือการป้องกันการเป็น Gel ก่อนการฉีด ซึ่งทำได้โดยทำให้ซิลิเกตเจือจางและสร้าง Soft Gel หรือโดยฉีดซิลิเกตและสารที่ทำปฏิกิริยาเข้าไปในดิน วิธีที่ 3 ประกอบด้วยการผสมของ Organic ester กับซิลิเกตก่อนทำการฉีด การใช้ Organic ester เพื่อเป็นผลต่อเวลาเซกตัวเพื่อให้มีการฉีดและความแข็งแรงที่เพียงพอ

3) อีกรูปแบบหนึ่งของประโยชน์ของการตกตะกอน คือการรวมของลิกโนซิลิเฟตและไบโครเมท ลิกโนซิลิเฟต คือผลิตภัณฑ์ของการผลิตเซลลูโลสจากเนื้อไม้ เมื่อลิกโนซิลิเฟตผสมกับไบโครเมท จะมีการรวมของความเหนียว โดยการเซกตัวของไบโครเมทอยู่ระหว่าง 10 นาที ถึง 10 ชั่วโมง ผลของความแข็งแรงของความเหนียว จะแตกต่างกันขึ้นกับธรรมชาติของลิกโนซิลิเฟต ความหนืดเพิ่มขึ้นตามเวลาโมเลกุลของโครเมียมมีพิษและต้องการความระมัดระวังในการผสม หลังจากทำให้เหนียวแล้วผลิตภัณฑ์จะไม่มีพิษ แต่ภายใต้สภาพดังกล่าว น้ำจะชะล้างโมเลกุลของโครเมียมที่มีพิษสูง ดังนั้นการทำงานจึงควรดูแลอย่างใกล้ชิด

b) Polymerized Grouts Polymerization คือปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งโมเลกุลสารอินทรีย์เดี่ยวรวมกันกับโมเลกุลลูกโซ่ ยังผลเกิดการรวมกันทางโมเลกุลซึ่งทำให้เกิดความแข็งแรง ในขบวนการดังกล่าว สารละลายเดี่ยว ๆ ผสมกับตัวคะตะไลส์ที่เหมาะสมจะทำการสร้างและควบคุมขบวนการ Polymerization จะถูกฉีดเพื่ออุดช่องว่าง สารละลายที่ได้จะมี

ความหนืดใกล้เคียงกับน้ำ และคงที่ ๆ ค่านั้น เป็นเวลานาน เนื่องจากความหนืดที่ต่ำ Polymer Grouts สามารถใช้ฉีดในดินได้ซึ่งมีความสามารถในการซึมได้ที่ต่ำ ประมาณ 10^{-5} เซนติเมตร/วินาที ซึ่งจะรวมทั้งตะกอนดิน และตะกอนทราย สสารเดี่ยว ๆ จะมีนิพจน์กระทั่ง ขบวนการ Polymerization จะเกิดขึ้น ซึ่งจะไม่เป็นอันตราย สสารตัวอย่าง เช่น

1) Acrylamide มันมีหลายชื่อสำหรับการใช้งาน มันประกอบด้วย การผสม ของแอสลาไมด์ และเมทิลีนโปซาลาไมด์ ซึ่งทำการสร้างพันธะความเหนียวเมื่อมีการคะตะไลต์ที่เหมาะสม มันมีราคาแพง แต่เพราะมันมีความหนืดต่ำง่ายต่อการฉีดเกาะกับอุปกรณ์ต่าง และ ความคุมการเซทตัว มันมีส่วนผสมที่เป็นพิษและต้องระมัดระวัง แต่ผลิตภัณฑ์สุดท้าย ไม่เป็นพิษและไม่ละลายน้ำ

2) Resorcinol-Formaldehyde สสารชนิดนี้อยู่ในรูปแบบโดยการกลั่นทาง Polymerization ของ Dihydroxybengens กับ Formaldehyde เมื่อค่า PH เปลี่ยนไป ปฏิกริยาอยู่ที่อุณหภูมิปกติ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่มีพิษมีคุณสมบัติทางความยืดหยุ่นและมีความแข็งแรงที่สูง การ Grout มีเวลาเซทตัวที่ดีมีขบวนการ Polymerization เร็ว

3) Calcium Acrylate Calcium Acrylate เป็นสารละลายโมเลกุล เดี่ยว ปฏิกริยา Polymerization ใช้แอมโมเนียเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวคะตะไลต์ และใช้โซเดียม ไทโอซัลเฟตเป็นตัวดำเนินการ อัตราการเกิดปฏิกริยา ขึ้นกับตัวคะตะไลต์และตัวดำเนินการ สารละลายมีความหนืดที่ต่ำทันทีหลังจากการผสมที่เพิ่มตามเวลา

4) Epoxy Resin มีสารประกอบของ Epoxy Resin มากมาย มีการทดลอง โดยให้ Epoxy Resin เกิดขึ้นซึ่งผลที่เกิดขึ้นประสบความสำเร็จพอสมควรในการ Grout หิน เล็ก ๆ Epoxy เพิ่มพันธะที่ดีตามความชื้น ๆ ไม่เปราะ และมีผลต่อการหดตัวระหว่างการบ่ม ช้า ๆ บทสรุปทางเคมีอ่านได้จากตารางซึ่งให้ค่าต่าง ๆ กันออกมา

หลุมเจาะสำหรับ Grouting

หลุมเจาะเพื่อใช้สำหรับงาน Grouting เป็นตัวกำหนดราคาของงาน Grouting อย่างหนึ่ง เพราะค่าการเจาะหลุมแพง ในการออกแบบแม้ว่าจะได้กำหนดลงไปแล้วว่า ก็หลุมที่ใด บ้าง แต่เมื่อทำงานจริง มีปัญหาที่อาจแก้ไขได้ตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนเพื่อการค้าโดยผู้จัดทำขึ้นขึ้นเพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

36 - 46 มิลลิเมตร คือเจาะด้วยหัวเพชร สำหรับ Rock Foundation หรือ Per Cussive Rig with Casing or Drilling Mud for Deposit การเจาะหลุมที่มีขนาดใหญ่ จะทำให้ต้องสิ้นเปลืองวัสดุ Grout สำหรับอุดมาก ขณะที่หลุมเจาะใหญ่ 1 หลุม อาจเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับหลุมเล็กหลายหลุม กรณีนี้อาจเลือกเจาะหลุมเล็กแต่ก็ทำได้ หรือหลุมเจาะขนาดเล็กอาจขึงง่าย ดังนั้นจึงต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพของงาน

2 ทิศทางของหลุมเจาะ ตามหลักสำหรับกรณีทั่ว ๆ ไปมักเจาะในแนวตั้ง และไปในแนวเดียวกันสำหรับ Grout Curtain แต่ถ้าบริเวณ Abutment ซึ่งมีความเอียง (Slope) อาจทำมุม 90 องศา กับพื้นหรือเอียงจากแนวตั้ง เพื่อตั้งฉากกับ Abutment ก็ได้ ตามปกติแล้ว สำหรับพื้นเอียง มักจะเจาะหลุมให้เอียงไปด้วยเพราะให้ผลการ Grout ได้ดีและความลึกน้อยกว่าแนวตั้ง

3 ความลึกของหลุมเจาะเพื่อ Grouting ขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยา ตามปกติจะอยู่ที่ Bed Rock หรือ Hard Pan ที่เชื่อว่าแข็งแรง หรือมีคุณสมบัติที่พอใจแล้ว เช่น เป็นชั้นที่ไม่มีน้ำใต้ดินไหลผ่านได้ เป็นต้น

สำหรับการกักน้ำ ความลึกสูงสุดควรจะเท่ากับ $1/4$ ของ Hydro static head

$$\text{หรือ} \quad D = \frac{1}{a} H + c \quad (\text{Simond 1951})$$

ซึ่ง

H = ความสูงของเขื่อน (เมตร)

C = Constant มีค่าอยู่ระหว่าง 8 - 25 เมตร ขึ้นอยู่กับฐานราก ขนาดของเขื่อนและความมากน้อยของการรั่วซึม

D = 0.2 H หรือ 0.7 H

D = ความลึกของหลุมเจาะสำหรับ Grout

4 ระยะห่างระหว่างหลุม (Spacing of Holes)

ระยะห่างระหว่างหลุมนั้น ออกแบบขึ้นอยู่กับความสามารถในการกระจายของวัสดุ Grout และช่องว่างของมวลสารที่จะ Grout

การเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ฐานราก (Consolidation Grout) กำหนดตำแหน่งของหลุมเจาะเป็นตาราง (Grid) ให้มีระยะห่างก่อนในคอนกรีต เช่น 6 - 10 เมตร

ผลการตรวจสอบถ้าไม่พอใจจึงเพิ่มหลุมเข้าแทรกอีกจนอาจใกล้ถึง 1 เมตร ก็ได้ ดังนั้นย่อมขึ้นอยู่กับ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปเชิงพาณิชย์ การค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับดิน ถ้าช่องว่างมาก เช่น รุขรูนในหินปูนหรือพวก Granular material ระยะที่เชื่อมห่างได้ การลดการรั่วซึมของน้ำด้วยการทำ Cut off หรือ Grout curtain โดยพิจารณาว่ารูที่เจาะเป็นรูปทรงกระบอก และอัดวัสดุ Grout ให้เป็นรูปแผ่นกระจายออกโดยรอบ เมื่อเสร็จแล้วตลอดความลึกเป็นรูปทรงกระบอก แนวหรือแถวของการ Grout อาจเป็น 1, 2 หรือ 3 แถวก็ได้ ซึ่งแถวถัดมาขึ้นอยู่กับแถวต้นว่าเป็นพิดติดต่อกันหรือไม่

ในกรณีที่มีการไหลผ่านของน้ำ การแผ่กระจายที่ดีและการต่อกันของหลุม สำหรับการอัดแถวเดียวเป็นไปได้ยาก จะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในขณะที่วัสดุ Grout ยังไม่แข็งตัว ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมสำหรับ Curtain

การ Grout เป็น 2 แถว ให้แต่ละหลุมของแถวนี้ อยู่กึ่งกลางของหลุมในแถวแรก จะลดช่องเปิดได้ดี แต่ถ้าการวางตำแหน่งของหลุม การฉีดอัดไม่ดีพอ น้ำก็ยังรั่วซึมได้บ้าง สำหรับการฉีดเป็น 3 แถว ๆ นอก 2 แถว จะประกอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีหลุมของแถวกลางอยู่ที่กึ่งกลางของรูปสี่เหลี่ยม จะให้มันที่คิดว่าเพราะหลุมของแถวกลางสามารถที่จะต่อกับแถวนอกได้ทั้งสองด้าน โดยการทำ Grout จะกระทำจาก 2 แถวแรก โดยทำจากหลุมของแถวหนึ่งไปยังอีกแถวหนึ่งเป็นแนวทะแยงมุม เมื่อเสร็จ 2 แถวนอกแล้วจะดำเนินการแถวกลาง

กำลังอัด (Pressure)

กำลังอัดที่ใช้ในการอัดตามปกติต้องการให้สูงสุดเพื่อให้การกระจายของวัสดุ Grout เป็นไปอย่างทั่วถึง แต่ไม่ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุที่ถูก Grout เสียไป เช่น ทำให้เกิดการเคลื่อนที่

จากประสบการณ์ในการ Grouting พบว่า การอัดวัสดุ Grout ให้เข้าไปได้มากที่สุดก็ต่อเมื่อใช้ความดันสูงสุด ในขณะที่ของเหลวเพียงจะไหลเข้าไปในหลุมเจาะ และจะต้องรักษาความดันไว้ให้สูงคงที่อยู่ที่ระดับนี้ตลอดระยะเวลาของการ Grout นั้น

ในทางกลับกัน จำนวนของของเหลวจะเข้าไปได้น้อยที่สุด ถ้าเริ่มทำ Grouting ด้วยความดันต่ำสุด แล้วจึงเพิ่มความดันให้สูงขึ้นภายหลัง

การหาค่าดังที่เหมาะสมอาจทำได้หลายแบบ เช่น แรงอัดในการ Grout มากกว่า Static Head หรือ แรงกระทำเท่ากับแรงต่อต้าน หมายความว่าคำนวณหาความกดที่ความลึกต่าง ๆ ของมวล ที่จะได้รับจากการก่อสร้างแล้วให้ความกดนั้นเป็นกำลังอัดใช้งาน อย่างไรก็ตาม มีผู้คิดสูตรเพื่อช่วยในการคำนวณงานสะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสถาบันพระปกเกล้า หรือสถาบันพระปกเกล้าศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Creager Formular ขึ้นอยู่กับกรณี Foundation

ก. เป็นหินที่ไม่เป็นชั้น (Massive Rock)

$$P = h + 1.33 h \left(\frac{h}{100} + \frac{3Jh}{20} \right)$$

ข. เป็นหินชั้น (Stratified Rock)

$$P = h + 1.33 h \left(\frac{h}{900} + \frac{Jh}{20} \right)$$

ค. เป็นชั้นที่ไม่แน่นอน (Irregular Stratified Rock)

$$P = h + 1.33 h \left(\frac{h}{400} + \frac{3Jh}{40} \right)$$

เมื่อ

$$P = \text{ความดัน (ปอนด์/ตารางนิ้ว)}$$

$$h = \text{ความลึกที่จะทำ Grouting (ฟุต)}$$

2 C.F Grundy Formular

ก. $P = 0.45 h$

เมื่อ

$$P = \text{กำลังอัดสูงสุด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)}$$

$$h = \text{ความลึก (เมตร)}$$

ข. $P = 44 h$

เมื่อ

$$P = \text{กำลังอัด (กิโลนิวตัน/ตารางเมตร)}$$

$$h = \text{ความลึก}$$

3 Zaruba Formular

สำหรับ Sedimentary Rock

ก. Solid rock with steeply inclined fissures

$$P = 24 h + 0.5 h^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h = ความลึก (เมตร)

P = กำลังอัด (กิโลนิวตัน/ตารางเมตร)

4 The Rule of Thumb

กฎนี้กล่าวว่า "ความดันที่ใช้มีค่าเป็น 25 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร ต่อความลึก 1 เมตร" ทั้งนี้ต้องระมัดระวังการใช้อยู่เสมอ ประกอบกับข้อจำกัดอื่น ๆ เช่น ชีตความสามารถของเครื่องปั๊ม

จะเห็นว่าการกำหนดความดันที่เหมาะสมนั้น ทำได้หลายวิธี ซึ่งขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ตามความเหมาะสม แต่วิธีที่เชื่อถือได้คือทำ Grouting Test ที่ระยะความลึกเป็นช่วง ๆ ด้วยการอัดวัสดุด้วยแรงดันต่ำแล้วเพิ่มขึ้น ๆ จนกระทั่งคงที่สำหรับบริเวณหนึ่ง ๆ โดยหลุมหนึ่งจะทำหลายช่วงความลึกที่ความดันหนึ่งของไหลที่อัดเข้าไปตามรอยแตกของมวล อาจทำให้เนื้อของมวลแตกหรือแยกตัวขึ้น อัตราการอัดจะเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้ เราจะได้นำไปใช้พิจารณาหาแรงดันที่เหมาะสมด้วย การทำ Grouting Test จะได้อีกกล่าวต่อไป

การผสมและส่วนผสม (Grout mixing and Mixtures)

1 การผสม

การผสมวัสดุที่ใช้ Grout จะต้องมีเครื่องผสมที่มีความเร็วสูง 1000-2000 rpm. และมีความจุมากพอ เช่น 200 ลิตร เครื่องปั๊มที่มีขีดจำกัดสูงมีเครื่องวัดแรงดันอัตโนมัติ บันทึกการฉีดอัด อัตราการซึมได้

สำหรับงานใหญ่ต้องใช้ที่เก็บวัสดุ มีโรงโม่ โรงซีเมนต์ รวมทั้งท่อส่งนอกจากนี้ยังต้องมีเครื่องมือติดต่อกับสื่อสารที่ดี และห้องทดสอบด้วย

2 ส่วนผสม

ก. ซีเมนต์ จากการทดลองและประสบการณ์ในการทำงานนำค่าของส่วนผสมระหว่างน้ำ : ซีเมนต์ ตั้งแต่เจือจางไปจนถึงเข้มข้น ในอัตรา 6 : 1 ถึง 0.6 : 1 โดยปริมาตรก็ได้ ซึ่งตามปกติมักจะเริ่มต้นด้วยการผสมที่เจือจางก่อน แล้วจึงเพิ่มส่วนผสมที่เข้มข้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการทำ Water Leakage Test

ข. สารเคมี สารเคมีที่จะใช้ทำวัสดุ Grout มีอยู่หลายชนิดดังนี้อัตรา

ส่วนการผสมย่อมแตกต่างกัน ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีฉีดอัด (Injection Method)

ในงานฉีดอัดโดยทั่วไปหลังจากเจาะหลุมแล้ว จะต้องล้างหลุมให้สะอาด โดยอัดน้ำสะอาดลงไปไล่เศษดินหรือหินออก แล้ววัดระดับน้ำใต้ดินทำการทดสอบการรั่วของน้ำซึ่ง "Lugeon" ได้แนะนำว่า ภาสได้ความกดดัน 10 บรรยากาศ ถ้าเสียน้ำไปมากกว่า 1 ลิตร ต่อการรั่วของน้ำ 1 เมตร ของความลึกของหลุมเจาะต่อเวลา 1 นาทีแล้ว บริเวณนั้นต้องมีการทำ Grouting

$$1 \text{ Lugeon} = 1 \text{ litre/min/m/10 atm.}$$

หรือเทียบได้เท่ากับสัมประสิทธิ์ของความซึมได้ (Coefficient of Permeability)

$$K = 1 \times 10^{-5} \text{ cm/sec.}$$

วิธีฉีดอัด ที่ทั่วไปมี 2 วิธี

ก. Stage Grouting

เหมาะสำหรับกรณีที่ดินหรือหินเป็นชั้นวางตัวในแนวราบ และไม่มีการยึดเหนี่ยวคืออาจถูกความดันขณะทำ Grouting ดันให้หลุดออกมาได้จึงเริ่มด้วยการเจาะต้น ๆ ก่อนแล้ว Grouting ที่ระยะแรกนี้ ภาสได้ความดันต่ำ แล้วปล่อยให้วัสดุ Grout แข็งตัว ดังนั้นช่วงบนนี้ก็จะแข็งแรงต่อจากนั้น อ้าหลุมเจาะเดิมแล้วเจาะต่ออีกช่วงต่อไป ภาสได้ความดันที่เหมาะสมจนกระทั่งได้ความลึกตามที่ต้องการ

ข. Packer Grouting วิธีนี้เจาะหลุมครั้งเดียวให้ได้ความลึกสูงสุดที่ต้องการแล้วทำ Grouting ที่ความดันสูงจากกันหลุมขึ้นมาข้างบนโดยใช้ Packer กันไม่ให้มีการรั่วซึมขึ้นมาได้ เสร็จครั้งหนึ่งก็ยก Grout Pipe ให้สูงขึ้นมาอีกแล้วทำการ Grouting ที่ความดันระยะนั้น (ต่ำลง) ทำซ้ำจนถึงปากหลุม

ในวิธี Stage Grouting ก็ยังคงใช้ Packer วัดตรงระดับบนของความลึกแต่ละช่วงที่จะทำการ Grouting เพื่อป้องกันมิให้ส่วนที่ทำ Grouting แล้วถูกความดันใหม่ซึ่งสูงกว่าดันออกไป

นอกจากนี้ยังมีวิธี อื่น ๆ อีก เช่น

Single Grouting โดยเจาะหลุมครั้งเดียวถึงความลึกสูงสุด แล้วล้างหลุมทดสอบน้ำหาอัตราการรั่วแล้วจึงอัดวัสดุ Grout ลงไป วิธีนี้เหมาะสำหรับบริเวณที่มีค่า Permeability เป็นไปโดยสม่ำเสมอ กล่าวคือลดน้อยลงเมื่อลึกลงไป การอัดจะเริ่มต้นด้วยส่วนผสมที่เจือจางที่สุด แล้วจึงเพิ่มให้เข้มข้นมากขึ้นโดยลำดับ

Zone Grouting เป็นการ Grout เฉพาะชั้นของดินที่ความลึกหนึ่ง ๆ เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของ Foundation

วัสดุสำหรับงาน Grouting

Cement and Clay Grouting

1 ซีเมนต์ :

ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ซึ่งใช้กับงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไปมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือไฮดรอลิก คัลเซียม ซิลิเกต เป็นปูนซีเมนต์ที่สามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ทนการกัดกร่อนมีคุณสมบัติอื่น ๆ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

ซีเมนต์ชนิดอื่นที่ใช้ในงาน Grouting ได้มี Slag Cement, Resin Gypsum Cement, Luminite Cement และส่วนผสมของพวกนี้กับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

2 สารผสม (Additives)

เป็นสารใช้สำหรับเพิ่มเข้าไปในซีเมนต์ เพื่อให้ได้คุณสมบัติพิเศษจากการใช้ซีเมนต์ธรรมดาเหมาะสมเฉพาะงาน บางชนิดละลายน้ำบางชนิดไม่ละลายน้ำ

สาร AM - 9 เป็นตัวเร่งให้เกิดการกระจายที่ดี สำหรับช่องเล็ก ๆ นั้นคือเป็นการลดความหนืด ยังมีสารอื่นที่ใช้ อีกดังนี้

ชนิด	จำนวนที่ใช้ กก/ซีเมนต์ 1 ถุง
แคลเซียมคลอไรด์	1.6
เบนโทไนท์	0.8
Plastiment	0.113
Lignasol	0.113

ตัวที่ทำให้ช้าลงคือ Embeco และ Errogrout 5.8 ถึง 7.25 กก/ซีเมนต์ 1 ถุง และขณะที่ Intrapast ใช้ 0.4 กิโลกรัม

3 ทราย

ทรายที่ใช้ผสมกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ใช้สำหรับ Grout พวกวัสดุเม็ดทราย เช่น กรวด และเศษหินแตก ขนาดของทรายที่ใช้เป็น Well Graded ที่ 95 - 100 % ผ่านตะแกรง U.S. Standard * 16 และ * 10 ถึง 30 % ผ่าน * 100 การ Grout จะได้ดีเมื่อวัสดุที่ถูก Grout มี D_{10} ต่ำสุด 1.9 cm.

4 Pozzolans

สารนี้เป็นส่วนประกอบของ Volcanic ash, Opel, Pumicite, Clay เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ข้อมูลเชิงพาณิชย์หรือการดำเนินงานใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

minerals, Zeolites and Hydrated Oxides of Aluminum สามารถต้านทานสภาพความเป็นด่างได้ดี เพิ่ม Tensile Strength ของคอนกรีตแล้วยังถูกกว่าซีเมนต์อีกด้วย

PFA (Pulverised fuel ash) มีปฏิกิริยากับปูนและน้ำ เพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุที่ทำด้วยซีเมนต์ โดยทั่วไปมีขนาดเดียวกับ Silt แต่ก็มีขนาดเท่าดินเหนียวด้วย มีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.9 ถึง 2.4 ต่ำกว่าซีเมนต์ (3.15) และทราย (2.7) ดังนั้นจึงช่วยลดการแยกตัวของซีเมนต์ในระยะเวลารอคอย และฉีดช่วยให้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมันคงหลังจากเต็มที่แล้ว ประการสำคัญคือ น้ำหนักน้อย

ในงานบดอัดสาร PFA ให้กำลังที่ Optimum moisture content, dry density 1100 - 1450 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร หลังจากปล่อยให้เวลาเพิ่มขึ้น จากการทดลอง Unconfined compressive strength ของ PFA ให้ค่า 235 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร เมื่อดินชนิดเดียวกันผสมซีเมนต์ 10 % ค่ากำลังจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากสี่ค่าที่ถึงเดือนระหว่าง 840 - 7600 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร

งาน Grouting ที่ใช้ PFA ผสมกับซีเมนต์ให้คุณสมบัติดังนี้

PFA : ซีเมนต์	น้ำ/มวลผสม	Compressive strength KN/m ²		
		3 วัน	7 วัน	1 เดือน
5 : 1	0.5	1330	2300	4250
10 : 1	0.57	500	1170	2050
20 : 1	0.54	390	760	820

5 Clay

Bentonite clay ได้มาจากการผุพังของฟลูออเฮาไฟ และซีเถ้าที่ตกทับถมกันโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่เหล็ก Clay mineral คือ montmorillonite มีอยู่ตามแถบต่าง ๆ ของโลก เช่น U.S.A (Wyoming) ยุโรปตะวันตก อัฟริกา ญี่ปุ่น และนิวซีแลนด์ มีราคาถูก ตามปกติสายแร่ของ Bentonite เป็น soft rock ทำให้แตกแล้วตากให้แห้งนำไปปนเอกลเช่นเดียวกับซีเมนต์จนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bentonite มีคุณสมบัติค้ำน้ำได้ดี ใช้ผสมกับ Cement เป็น Cement-Bentonite Grout ในกรณีที่เป็น Granular soil หรือ fissure rock เพื่อเพิ่ม strength และลด permeability ในกรณี Bentonite จะเป็นตัวช่วยให้การกระจายตัวของ การตกตะกอนของเม็ดซีเมนต์ช้าลง การใช้ cement-bentonite grout สามารถทำได้ทั้งการผสมแห้ง (เป็นผง) และเป็นสารละลาย

Chemical Grouting

1 Silicates

ตามปกติเราใช้ Sodium silicates สำหรับงาน Grout ซึ่งสารผสมนี้เป็นของเหลว มีส่วนประกอบ คือ silica และ sodium oxide ความหนืดของ sodium silicate ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ความหนืดนี้เป็นตัวสำคัญในการจัดอัดว่าจะได้ผลเพียงใด การเพิ่มสารผสมลงไปในน้ำจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น หรือลดความเหลว ความเหลวที่เหมาะสมในทางปฏิบัติงานจะได้จากการกระจายที่ต่ำที่สุดที่จะทำให้เกิดการแข็งตัวตามที่ต้องการ อัตราของการอัดขึ้นอยู่กับแรงอัดของปั๊มต่อชั้นดินนั้น และพบว่าเป็นส่วนกับกำลังสี่ของปริมาณช่องว่าง (Void Volume)

Chemical grout มีความหนืดน้อยกว่าซีเมนต์ ทำได้เร็วกว่ามากโดยทั่วไปได้ factor ถึง 10 เท่าสำหรับหินตามปกติใช้ pressure ระหว่าง 690 ถึง 20700 KN/m²

Siroc grout เป็นการปรับปรุง Silicate มาใช้โดย Raymend Internatic Inc. Cherry Hill, New Jersey ส่วนประกอบมี 9 อย่าง คือ base material (modifies silicate) เป็นของเหลวสีฟ้าโปร่งแสง มีความหนืดและเป็นด่างอ่อน ๆ reactant เป็นของใส มีกลิ่นแอมโมเนียเป็นตัวต้านทานการสีกกร่อนทางเคมี Chloride Aluminate หรืออย่างอื่นเป็นตัวเร่งที่ควบคุมการ set ตัว ส่วนผสมสุดท้ายคือน้ำอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 24 องศาเซลเซียส

Siroc Grout ใช้สภาพดินที่มีทรายปนตั้งแต่ 20 % ได้ผลในการทำกับ sand stone พบว่าลดค่า permeability ไปได้อย่างมาก ถ้าเป็นการ grout คือ coarse material ซึ่งมี void มากจะต้องผสมให้ gel time สั้น (ระยะเวลา set ตัวเร็ว) การแพร่กระจายสูงจะได้ผลดีในการต้านทานการไหลของน้ำใต้ดิน พบว่า Siroc-Cement สามารถหยุดการไหลของน้ำได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือใช้ขึ้นเพื่อมีประโยชน์เหมาะสมในการใช้งานต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่การคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับคุณสมบัติของส่วนผสม เช่น Siroc No 132, 142 และ 172 ตัวเลขตัวแรกแสดง base material ตัวที่สองแสดงตัวเร่งในการ set ตัว (acceleration) ตัวที่สามคือ reactant จะเห็นว่าทั้ง 3 ชนิดมี base material เหมือนกัน reactant เหมือนกันแต่ต่างกันที่ accelerator, No 132 มี Chloride, No 142 มี Aluminate, No 172 มี Bicarbonate เป็น accelerator

Siroc 132 เหมาะในการใช้งานทั่วไป ให้กำลังรับน้ำหนักสูงควบคุมการไหลของน้ำได้ดี เตรียมได้สะดวกในสนาม

สำหรับ fine grained soils ต้องเตรียมสารละลายให้จาง ระยะเวลาในการ set ตัว สามารถควบคุมได้ตั้งแต่เป็นนาที ถึงนานเป็นชั่วโมงปริมาณของ accelertor จะลดลง เมื่อมีการเพิ่มการกระจาย ซึ่งมีผลต่อการ set ตัว น้ำที่ใช้ต้องสะอาด อุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 49 องศาเซลเซียส

Siroc 142 มีประสิทธิภาพในการควบคุมน้ำ ผสมน้ำได้ในอัตราส่วนต่าง ๆ ถ้าส่วนผสมน้ำน้อยกว่า 50 % ของปริมาตรของสารผสมจะสามารถต้านสภาพความเปื่อยยุ่ยของอากาศและการแข็ง ละลายตัวของน้ำแข็ง

ในการทดลองกับตัวอย่างทดสอบ loose saturated soil พบว่า Siroc ให้ strength สูงถึง 7000 KN/m^2 และในสภาพสนามที่เป็นจริง จะได้ประมาณครึ่งหนึ่งหรือมากกว่า

เครื่องมือในการใช้งาน ประกอบด้วยถัง 2 ถัง ใช้สำหรับผสมขณะส่งอัดฉีดต่อไปยังท่อโดยมีลิ้นปิดเปิด ปัมและมอเตอร์รวมทั้งอุปกรณ์ในการวัด pressure ท่อที่ใช้ฉีดอัดมีหลายขนาด ประมาณ เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25 ถึง 2.5 เซนติเมตร air compressure ประมาณ 690 KN/m^2

2 AM - 9

เนื้อวัสดุประกอบด้วย methylene - bisacrylamide (MBA) กับ Catalysts 2 ชนิด คือ dimethylaminopropionitrile (DMAPN) และ Ammonium persulphate $((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8)$ ซึ่ง Catalysts ทั้ง 2 เป็นสารละลายน้ำ MBA และ Acrylamide $(\text{CH}_2\text{CHCONH}_2)$ สามารถผสมกัน ณ อุณหภูมิค่าได้ ความใกล้เคียงกับน้ำ Ammonium persulphate เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น เพื่อให้เกิดการแข็งตัวหรือจับตัวเร็ว ซึ่งอาจให้ได้เร็วเพียง 2 - 3 วินาทีก็ได้ โดยความเป็นจริงแล้วมวลที่มี Ammonium persulphate อยู่ 0.5-1.0 % ซึ่งโดยน้ำหนักจะให้ระยะเวลาการจับตัว 6 วินาทีถึง 20 นาที การคำนวณคร่าวๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำและดิน

AM - 9 ผลิตขึ้นโดย American Cyanamid Company เป็น elastic resin ซึ่งให้ deformation เป็นสัดส่วนกับน้ำหนักที่กระทำ มีความหนืด 1.2 cP. ใกล้เคียงกับน้ำซึ่งมีความหนืด 1 cP. และให้ strength สูงถึง 2100 KN/m^2 โดยที่สารนี้มีความหนืดต่ำนี้เอง ดังนั้นการบีบจึงพิจารณาได้ว่า ที่ใดก็ตามที่ทำให้หน้าไหลได้ สาร AM. 9 ก็ไหลไปได้เช่นกัน

A.M. - 9 Grouting สามารถใช้ได้กับดินเม็ดละเอียดที่มึขนาดตั้งแต่ 0.1 มิลลิเมตรลงไป

3 สารชนิดอื่น ๆ

สารที่ประกอบด้วย resercinal (metadi hydrougenzene) กับ formal dehyd (HCHO) เป็นสารประกอบที่ให้ผลการรับน้ำหนักคงที่ ที่ต้องการ Strength สูงกว่า AM - 9 มีคุณสมบัติทั้ง elastic และ plastic

Cyanaloc grout No 62 ใช้ในกรณีต้องการปิดกั้นการไหลของน้ำในบริเวณที่เป็นหินแตก มีส่วนประกอบหลัก คือ Sodiumbisulphate ซึ่งจะทำให้มีความเหนียวระหว่าง 8-14 cP. ส่วนผสมที่มีน้ำ 50 % ให้ Strength 3500 KN/m^2

Geoseal grout เป็นผลิตภัณฑ์ของ Borden Chemical Company (U.K) Limited, Geaseal MQ - 4, MQ - 5 มีความหนืดต่ำใช้ grout พวกทราย กรวด MQ - 14 เหมาะสำหรับใช้ดินที่มี Permeability ต่ำ ๆ

Teranier grout เป็นพวกมีโมเลกุลเบา polyphenolic polymer ผงนี้ผสมกับน้ำโดยเครื่องผสม ตามปกติจะใช้ grout กรวดและทราย

epoxy resin ประกอบด้วยสารที่ทำให้แข็งตัว และ resin สำหรับงานรอยต่อของ คอนกรีต เชื่อมให้ได้ดีกับอุณหภูมิทั่วไปจนถึง 20 องศาฟาเรนไฮต์ (หนาว) คุณสมบัติของ epoxy resin จากการทดลองทราบว่า tensile strength สูงมากกว่า 6,000 psi flexural strength ถึง 9,000 psi, compressive strength ถึง 10,000 psi และ elongation 15 %

คุณสมบัติด้าน Rheological

คุณสมบัติด้านการไหลของสาร Grout ระหว่างที่เป็นของเหลว อยู่ในรูปความหนืด และการจำกัดการไหล ทั้ง 2 ค่า ถูกกำหนดภายใต้การทดสอบความหนืด การจำกัดการไหลเป็นรูปแบบที่สำคัญของอนุภาค Grout ความดันที่ต้องการต้องเอาชนะการกักการไหลต้องเพิ่มไปยังความดันสุดท้าย สิ่งเหล่านี้อาจจะมีผลจากชนิดปัม, ท่อ และอุปกรณ์อื่นๆ ในทางปฏิบัติขีดจำกัดไหลไม่ควรจะเกิน 50 นิวตัน/ม.²

การเพิ่มขึ้นของความหนืดสร้างความจำกัดของเวลาระหว่างที่ของผสมขณะ Grout รูป 74 ให้ข้อจำกัดที่เหมาะสมของทางทฤษฎีและทางปฏิบัติและทางยอมรับได้

เมื่อมองสมบัติด้านการไหล ของผสมในทาง "ทฤษฎี" ความหนืดจะไม่เกิน 5 cp ระหว่าง 30 นาที หลังจากการผสม "ทางปฏิบัติ" คือของผสมในช่วงความหนืด 5-100 cp ซึ่งยังคงอยู่เหนือระยะเวลา 30 นาที การใช้การผสมที่เป็นพิเศษ และขบวนการการ Grouting จะผสมที่ค่าความหนืดเริ่มต้น 500 cp ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

Groutmixes

ของผสมที่มีซีเมนต์เป็นพื้นฐาน

จุดประสงค์ของการใช้ของผสมดังกล่าวเพื่อที่จะยึดรอยต่อ และช่องว่างเพื่อที่จะป้องกันการหมุนเวียนและการรั่วของน้ำ น้ำที่ใช้ในการผสมใช้เพื่อเคลื่อนอนุภาคซีเมนต์เข้าไปในช่องว่างและรอยต่อ การอุดรอยต่อประสบความสำเร็จ ถ้า

- อนุภาคซีเมนต์เล็กเพียงพอที่จะเข้าไปยังช่องว่างและรอยต่อ
- น้ำที่เหลือส่วนเกินของของผสม สามารถถูกบีบออกผ่านส่วนอนุภาคเหล่านั้น ซึ่งอยู่ในรอยแตก

ในรอยแตก

ดังนั้น สัดส่วนที่เหมาะสมของน้ำกับซีเมนต์ขึ้นกับความละเอียดของซีเมนต์ ความกว้าง จำกัด ที่ยอมให้อนุภาคซีเมนต์เข้าไปคือ 0.1 มม.

ส่วนด้านความจำกัดของคุณสมบัติการไหล คุณสมบัติถูกสะท้อนออกมาในรูป การตกตะกอน ซึ่งสามารถทดสอบใน Lab การวัดการตกตะกอนใน Lab ใช้ Hydrometer Cylinder ดังที่ปรากฏในปรุพิภพศาสตร์ ค่าที่ออกมาอาจจะมีค่าไม่ใกล้เคียงกับที่ปรากฏในการปรับปรุงคุณภาพของหิน แต่มันน่าให้รูปแบบที่เป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจ ความเหมาะสมของสาร

ในทางปกติ เราจะใช้สารที่ให้ความมั่นคง ซึ่งจะไม่ทำการแยก น้ำ และของแข็งออกจากกัน ส่วนที่ทำให้แยกออกจากกันจะสกัดทางไหลใกล้ๆกับหลุมเจาะและลด ความสามารถในการ Grout ของหิน ปกติแล้วการตกตะกอนของของผสมสามารถเห็นได้จากรูป 75 อัตราการตกตะกอน h/H เช่นปริมาณของน้ำที่ไม่ต้องการอยู่เหนือซีเมนต์ที่ทำการตกตะกอนใน Cylinder ลดลงตามความละเอียดที่เพิ่มขึ้นของซีเมนต์ อัตราการตกตะกอนลดลงกับการลดลงของอัตราส่วน w/c ของสารแขวนลอย เพราะว่ามีจำนวนของอนุภาคของแข็งลดลง รูป 76-78 ถูกสร้างขึ้นจากการทดสอบ

รูปที่แสดงถึงเวลาในการตกตะกอน บอกว่า การตกตะกอนเสร็จสิ้นเมื่อก่อนซีเมนต์เริ่มเซตตัว การตกตะกอนหลังจากการเซตตัวจะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง เนื่องจากส่วนผสมไม่สามารถ Grout ได้ หลังจากการเริ่มเซตตัว หากเราใช้ซีเมนต์ที่ละเอียดมากกว่า $5,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ ระยะเวลาการตกตะกอนและระยะเวลาเริ่มการเซตตัวจะเหลื่อมกัน ซึ่งจะให้มีค่าสูงมาก หากใช้ประยุกต์กับการปรับปรุงคุณภาพหิน

ในการที่จะลดการตกตะกอนเราควรผสมที่อัตราส่วน w/c ต่ำ ในทางปฏิบัติเราจะทำการเพิ่มสารบางตัวเพื่อทำให้เกิดคุณสมบัติด้านการตกตะกอนและคุณสมบัติด้านการไหล โดยปกติเราจะใช้เบนโทไนท์ ผลของมันแสดงอยู่ในรูป 75 อัตราการตกตะกอนลดลง การตกตะกอนของซีเมนต์ที่มีความละเอียดปกติ ($3500 \text{ cm}^2/\text{g}$) แขวนลอยบนน้ำที่อัตราส่วน w/c 1.0 ลดลง 20% เป็น 10% โดยการเพิ่มเบนโทไนท์ 2% ผลกระทบด้านความมั่นคงของการใช้เบนโทไนท์มีค่าน้อยมาก ซึ่งในทางปฏิบัติ จะใช้เบนโทไนท์ 3-4% และค่าความแข็งแรงสุดท้ายจะไม่สูญเสีย หากใช้เบนโทไนท์ไม่เกิน 6% ความหนืดและการจำกัดการไหลเพิ่มตามปริมาณของเบนโทไนท์ ส่วนสมบัติการไหลอยู่ในรูปที่ 75

สำหรับการทดสอบหลายๆ ครั้ง และจากประสบการณ์ ค่า Water-cement สำหรับ Grout หินอาจอยู่ตามนี้

อัตราส่วนผสม w/c

ค่าความละเอียดของซีเมนต์	มากกว่า $3,000 \text{ cm}^2/\text{g}$
ขนาดซีเมนต์	90% ต่ำกว่า 0.05 มม.
เบนโทไนท์	8% ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก
การจำกัดการไหล	$4-6 \text{ N/m}^2$
ความหนืดเริ่มต้น	$0.03-0.05 \text{ N}_u/\text{m}^2$

ค่า w/c ต่างกันอยู่ช่วง 0.2-0.6 เปลี่ยนแปลงตามลำดับการ Grouting มันมี

ความสำคัญในเรื่องการทำให้ราคาลดลง ซึ่งใช้ Water-cement ผสมกับวัสดุอื่น ๆ เช่น Rock เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ไม่่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

flour, Milled slag หรือ Milled day flour ค่าความแข็งแรงหลังจาก 28 วัน ของ การเซตตัวลดลง 1/3 หรือจาก 25 ถึงน้อยกว่า 10 N/mm^2 ซึ่งก็ยอมรับได้ในกรณีทั่ว ๆ ไป ตัวอย่างนี้คือเชื่อนในเยอรมัน ส่วนผสมมีซีเมนต์ 100 kg. วัสดุเดิม 100 kg. น้ำ 200 ลิตร ส่วนผสมทำให้มันคงเพื่อต่อต้านการนั่งทลาย ซึ่งราคาลดลงประมาณ 25% ถ้าราคาของวัสดุเดิม (flour) มีค่าครึ่งหนึ่งของราคาซีเมนต์ น้ำที่ใช้สำหรับปฏิบัติวิธศาสตร์อื่น อยู่ที่ประมาณ 40-50% โดยน้ำหนัก ดังนั้น w/c จะอยู่ที่ 0.4-0.5 น้ำที่เกินจะถูกขับออกโดยซีเมนต์ที่แข็งตัว และจะทำการเคลื่อนที่ต่อไปเป็นระยะทางไกล จึงทำให้เกิดการเสี่ยงในการลดประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพพัฒนาของสารที่ใช้มีลักษณะคล้าย ๆ กัน เช่น เพื่อป้องกันการหนีของสารที่ใช้ ค่า w/c อยู่ที่ประมาณ 0.45 ซึ่งค่าจำกัดความของความสามารถของความชื้นเหลวของซีเมนต์ที่ใช้คือความสามารถในการทะลุกลาง ซึ่งจำเป็นต้องการขบวนการที่เป็นพิเศษ

เราสามารถสรุปกับค่าอัตราส่วนผสม น้ำ-ซีเมนต์ มีอยู่โดย การจำกัดด้านการไหล ค่าที่อมรับได้จะไม่เกินค่า 50 N/mm^2 ค่าความหนืดอยู่ในงานปฏิบัติ ค่า w/c อยู่ที่เกิน 0.6 และเบนโทไนท์ไม่เกิน 3% ค่าความหนืด อยู่ในทางปฏิบัติอยู่ภายใต้ 500 cp การสูญเสียความดันในท่อยาว 50 ม. และเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มม. ไม่ถูกคิดไว้สำหรับค่า w/c เกิน 0.8 การสูญเสียความดันจะเพิ่มขึ้น หากมีการลดลงในค่า w/c

Chemicals

สารที่ใช้ในการ Grout ที่เป็นสารเคมี องค์ประกอบของมันนอกจากที่เป็นของไหล มันยังมีความสามารถในการทะลุกลางไปยังช่องว่าง สมบัติของมันจะแตกต่างจากเริ่มต้นอย่างมาก มันต่อต้านในการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เมื่อถูกผสมเหนื่อหรือใต้พื้นดิน

ค่าความหนืดเริ่มต้นของสารเคมีที่ใช้ในการ Grout อยู่ภายใต้ 0.005 N/mm^2 (5 cp) อยู่ภายใต้ หากใช้ซีเมนต์เป็นส่วนในการผสม ความสามารถในการทะลุกลางไม่ได้มีความจำกัดตามความกว้าง แต่เนื่องจากส่วนประกอบทางเคมีเป็นของเหลวล้วนๆ ปราศจากอนุภาคที่เป็นของแข็ง ซึ่งดังนั้นมันจึงมีราคาแพงกว่าเมื่อใช้ซีเมนต์แทน

ส่วนผสมทางเคมีที่มีพื้นฐานจากโพเดียมซิลิเกต ส่วนใหญ่จะใช้ในการให้ดินจำพวกทราย และกรวด รูป 79 ให้ตัวอย่างของการให้เสถียรภาพของดินข้าง ๆ ดินที่ซูด รูป 80 แสดงระบบการหนุนซึ่งใช้กันมากในกรณีของบ้านและการก่อสร้างทางงานจราจรที่เยอรมัน

ช่องว่างของชั้นทรายถูกเติมด้วยสารเคมี สารเคมีถูกใช้ในการ Grout ในชั้นทราย ซึ่งเราไม่สามารถทำการ Grout ด้วยสารที่ใช้ซีเมนต์เป็นพื้นฐาน เนื่องจากมีช่องว่างที่ไม่กว้าง

เอเลียง นิสสัยพานิชย์ หรือการเรียงชั้นของวัสดุเป็นชั้นฐาน เนื่องจากมีช่องว่างที่ไม่กว้าง การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพอที่ส่วนซีเมนต์จะผ่านไปได้

มีกรณีอื่น ๆ ที่ใช้ในการประยุกต์ใช้กับวิธีในการใช้สารเคมี คือการอุดและปิดช่องว่างและรอยแยกจากการต่อต้านความดันหรือน้ำส่วนเกิน สารเคมีจึงถูกใช้ในซีเมนต์เริ่มต้น แล้วเราจะทำการ Grout ด้วยสารเคมีต่อ ซึ่งจากรูป 81 เราจะเห็นว่าเราใช้ซีเมนต์หลายในการผสม ไม่ได้ผลที่น่าพอใจ จะทำให้ส่วนรองรับเลื่อนและเกิดรอยแยกขึ้น ซึ่งจะทำให้สำเร็จโดยวิธีซีเมนต์อย่างเดียวไม่ได้แต่ว่ายังไม่มียุทธวิธีว่าการผสมรอยแยกอย่างดีเกิดขึ้นแล้ว ราคาจะพอเหมาะหรือไม่

Foam Material

เมื่อเร็ว ๆ นี้ มีการพัฒนาจากสารเคมีเป็นโฟมเกิดขึ้น ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไม่ใช่ทั้งของแข็ง และต่อต้านการพังทลาย มันอาจจะถูกใช้เพื่อที่จะอุดทางที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งทำโดยการฉีดอย่างเดิม เทคนิคดังกล่าวถูกใช้ในหิน Carstic ตัวอย่างเด่น ๆ เช่น คลองในสเปน (Haffen, 1981) เช่นที่เสร็จเมื่อ 1988 วิธีที่ใช้ในการทำงาน โดยการใช้อะซิโตน และฟอร์มมาดิไฮด์ ถูกนำไปยังรอยต่อที่ต้องการโดยใช้ Dual Pipe องค์ประกอบถูกผสมด้วยกันที่ปลายท่อ ซึ่งจะทำให้เกิดโฟม 2-3 วินาที การผสมจะทำที่อุณหภูมิต่ำสุด 10 C°

Grout Mixes and Grout Work

งาน Grouting

ลำดับการทำงาน ส่วนหลัก ๆ ของงาน Grouting คือ

- ขุดหลุมเจาะ
- วางตำแหน่ง PACKER
- ทดสอบแรงดันน้ำ
- ความดันในการ Grouting

ซึ่งขั้นตอนดังกล่าว ต้องใช้บุคลากรที่มีความสามารถและใช้อุปกรณ์ที่ดี

- หลุมเจาะ ต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่เพียงพอ เพื่อที่มีการเชื่อมติดที่พอเพียง ปกติคือ 50 มม. หลุมขุดที่ใหญ่จะมีข้อดีที่มากกว่า แต่ราคาก็จะแพงขึ้นด้วย วิธีการขุด หมุนหรือตอก

แล้วแต่ชนิดของดิน การเลือกวิธีใดๆนั้น จะต้องไม่ให้มีโคลนตมมาคุดในช่องว่าง การตอกจะถูกกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหมุน แต่การหมุนจะใช้ตรวจสอบหลุมเจาะอย่างระมัดระวัง

หลุมที่มั่นคงจะถูกขุดลงจนถึงความลึกสูงสุด และถูก Grout จากข้างล่างถึงข้างบน ถ้าหลุมเจาะไม่มีความมั่นคงจะมีการกำหนดการเจาะขึ้น ก่อนการ Grouting ซึ่งทำการเจาะไป Grout ไป ซึ่งจะใช้เวลาและค่าค่อนข้างมาก ซึ่งวิธีนี้จะใช้เมื่อสารที่ใช้ Grout มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะไม่ถูกชะล้างโดยง่าย และมันง่ายและรวดเร็วและมีการขุดที่ถูกต้องเวลาที่เหมาะสมในการ Grout ในแต่ละโซนคือ 10 ซม. หลังจากการ Grouting

b) ในการวางตำแหน่ง PACKER ตำแหน่งของ PACKER ถูกใช้เพื่อทำการแบ่งหลุมเจาะเป็นส่วน ๆ ของการ Grouting โดยปกติค่าเฉลี่ยสำหรับการ Grouting ขึ้นหิน คือ 5 เมตร สำหรับการ Grouting ดิน ท่อส่วนใหญ่ถูกติดตั้งในที่ ๆ ช่องว่างระหว่างวาล์วเป็น 30-50 ซม. ซึ่งเป็นการกำหนด Section มีชนิดของ PACKER มากมายซึ่งถูกเลือกใช้ อันจะถูกเลือกใช้ขึ้นกับสภาพดินและหิน ในหินความขรุขระน้อยที่สุดในการฉีดอัด 30-50 ซม. ซึ่งเป็นการเลือกชนิดที่สอดคล้องต่อการไหลรอบ ๆ PACKER

c) การทดสอบแรงดันน้ำ ถูกทำขึ้นเพื่อทำการทดสอบ ความสามารถในการซึมได้ ก่อนและหลังการ Grouting การทดสอบแสดงถึงที่ ๆ นำถูกสูบล้างเข้าไปในหลุมใน Section 5 ม. ที่ความดันต่าง กัน เช่น 2-5-10-5-2 บาร์ อัตราการสูญเสียของน้ำจะแสดงถึงความสามารถในการซึมได้ ความดันอื่นทำให้เกิดรอยร้าวจะถูกกำหนดโดยใช้การทดสอบนี้ด้วย

d) ก่อนการทำ Grouting เริ่ม มันต้องล้างหลุมเจาะจากโคลน ซึ่งโคลนมันจะทำการอุดช่องว่าง และป้องกันการ Grouting ไว้เมื่อล้างหลุมแล้วจึงเริ่มต้น ส่วนผสมถูกสูบล้างท่อและ PACKER เข้าไปยังส่วนที่ต้องการ และเข้าไปอุดช่องว่าง การ Grouting จะให้ผลจำกัดโดยสารที่ใช้ในการ Grout ส่วนรอยต่อที่ปกติจะถูกทำให้แน่นขึ้น และถูกจำกัดโดยสารที่ใช้ในการ Grout

มันมีความจำเป็นอย่างมากในการหลีกเลี่ยงรอยร้าว ซึ่งการรบกวนต่อขึ้นหิน จะสร้างรอยต่อให้มากและกว้างขึ้นจนสารที่ใช้ในการ Grout ไม่สามารถที่จะเติมลงไปได้ ดังนั้นมันจึงควรทำการจำกัดความดัน ซึ่งค่าที่เหมาะสมขึ้นกับความแข็งแรงของหินและขึ้นกับความลึกของหลุมเจาะ โดยทั่วไปมันอยู่ระหว่าง

3-5 บาร์ เมื่อใกล้ ๆ กับพื้นผิว

15-20 บาร์ ที่ความลึกต่ำกว่า 25 ม.

ค่า Grouting Pressure จะถูกกำหนดขึ้นภายใต้สารทดสอบแรงดันน้ำ ซึ่งจะทำการให้ประสบความสำเร็จจะเห็นอยู่ในรูปที่ 83 ในการที่จะยังคงค่าแรงดันที่เหมาะสมไว้ได้ และจำเป็นต้องทำการบันทึกความดันที่หลุมเจาะ ในการที่จะปรับปรุง ความเร็วในการไหล เช่น

อัตราการใช้ปูนซีเมนต์ในส่วนปกติ ความเร็วควรจะช้าในช่วงเริ่มต้น และควรเร่งให้เร็วขึ้นเมื่อถึงขบวนการสุดท้าย ความแรงควรจะมีค่าสูงมากขึ้น ถ้าใช้ในรอยต่อที่มีขนาดใหญ่หรือในถ้าที่มีความสูงเมื่อเริ่มต้น ในทางปฏิบัติความเร็วสูง หมายถึงอัตราการใช้ปูน 30-60 ลิตร/นาที และความเร็วช้าอยู่ที่ 2 ลิตร/นาที

รายละเอียดในการชุดและขบวนการ Grouting จะถูกกำหนดก่อนการเริ่มงาน ซึ่งจะทำตามแยกหมวดหมู่ตาม BOQ เนื่องจากราคาในการชุดและตำแหน่งในการวาง PACKER ขึ้นกับความลึก ดังนั้นมันจึงเป็นการที่เป็นประโยชน์ในการตั้งหมวดหมู่ต่าง ๆ ตามชนิดของหิน A, B, C ที่ความลึกต่าง ๆ กัน เช่น ที่ความลึก 10 ม., 50 ม, และ 100 ม, ความยาวของส่วน Grouting, ความดัน, ส่วนผสม และลำดับการชุด และผลทางการ Grouting จะถูกกำหนดลำดับของหลุมเจาะมีผลต่อราคาของอุปกรณ์

จุดที่ควรสนใจอย่างยิ่งในการ Grouting หิน แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ วัสดุที่ใช้ในการ Grout และเวลาที่ใช้ในการ Grout มันควรจะมีการตรวจสอบ ค่าแรงดันสูงสุดที่ยอมรับได้ จะไม่เกินค่าที่เหมาะสม ซึ่งเราสามารถทำได้โดยการลดความเร็ว เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงแรงดันส่วนเกิน มันมีความจำเป็นในการที่จะจ่ายเงินไม่เท่ากันตามความเร็วที่ต่าง ๆ กัน

สำหรับการควบคุมความดันและการใช้ Grout เราสามารถใช้การพล็อตอัตโนมัติ การพล็อตแสดงอยู่ในรูป 84 มันแสดงลำดับการ Grout ที่ความดันสูงสุด 7.5 bar ซึ่งทำงานที่เวลา 25 นาที และการ Grout ลดลง จาก 35 ลิตร/นาที เมื่อเริ่มต้นถึงเกือบจะศูนย์ที่สุดท้าย

สำหรับการทำให้ดินมั่นคง มีวิธีหลากหลายเกิดขึ้น ซึ่งจุดประสงค์คือ ทำให้ดินมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ ยังตาม Unconfined Compressive Strength ที่ต้องการ ดังนั้นมันมีประโยชน์ในการกำหนดความแข็งแรงและโซน และในที่สุดเมื่องานเสร็จแล้ว จึงนำดินเข้าไปสู่ห้อง Lab เพื่อที่จะกำหนดค่าความแข็งแรงทำสูงสุดเพื่อส่งงานต่อไป

เทคนิคใหม่ในการ Grout ด้วยสารเคมี และ Jet Grouting

Grouts ถูกใช้ให้อยู่ในสภาพของแข็ง สารที่ใช้ในการ Grout เริ่มต้นด้วยสภาพของเหลว แล้วจึงถูกทำให้แข็งตัวตามเวลา ในญี่ปุ่นเพราะว่ามีสาเหตุจากน้ำใต้ดินเน่า ดังนั้นผลของการใช้ Acrylamides, การใช้ Polymer จึงต้องเข้มงวดมากขึ้น แม้แต่การใช้ซิลิเกต, ค่า PH ของน้ำใต้ดินรอบ ๆ การฉีดควรน้อยกว่า 8.5 ดังนั้น ซิลิเกตจึงถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งสารใหม่ประสมสารละลายซิลิเกตที่มีค่า PH 1-2 ซึ่งเกิดจากการผสมน้ำกับกรด

ซิลิเกต-ซอล ไม่ได้ใช้ในการเป็นวัสดุ Grout เท่านั้น แต่จะแสดงอยู่ในรูปวัสดุถมกลับด้วย เมื่อ Silica-sol ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ อนุภาคซีเมนต์จะแพร่เป็นกลุ่ม ๆ

Silica-morta ซึ่งเป็นสารละลาย silica ซึ่งทำการผสมกับปูนขาวหรืออนุภาค
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทราบ มันมีความสามารถในการทำงานที่ดี และสามารถถูกบีบภายใต้ความดันเป็นระยะทางที่ไกลได้

ซูร์เทิน เป็นตัว Grout ที่พัฒนาเมื่อ 20 ปีที่แล้ว มีความสามารถในการแข็งตัวเมื่อผสมกับน้ำ ใช้ป้องกันการรั่วของน้ำและมีความสามารถในการแข็งตัวได้ดี

วิธี TPHS ใช้ซูร์เทินในการเพิ่มความแข็งแรงให้ชั้นกรวด-ทราย ซึ่งแสดงอยู่ในรูป 2 ภายใต้ความลึกมากกว่า 26 ม. มีหลุมเจาะเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.6 ม. สูง 2 ม. ถูกสร้างในชั้นทรายกรวด และหลุมเจาะนั้นถูกทำให้แข็งขึ้นโดยการฉีดซูร์เทิน 8 ท่อ ซึ่งการสร้างหลุมดังกล่าว จะทำให้ต่อม่อสำหรับรับน้ำหนักได้ 1,400 tf

เทคนิคใหม่สำหรับการ Grouting

วิธี Tube-a-manchette ถูกใช้อย่างกว้างขวางในยุโรป และวิธี rod ถูกใช้ในญี่ปุ่น เนื่องจากการใช้ High Polymer ถูกต้องห้ามทำให้มีวิธีคิดใหม่ ๆ โดยใช้ซิลิเกตเกิดขึ้นเพื่อทำการพัฒนาชั้นดิน

วิธีดังกล่าวถูกเสนอตามข้อเสนอด่าง ๆ ของเหลว A และของเหลว B มาเชื่อมกันอย่างรวดเร็ว มันถูกสูบไปยังส่วนล่างของท่อและถูกฉีดภายใต้ความดัน ซึ่งรูปที่ 85 จะแสดงการบังคับทั้ง 3 แบบ ของท่อคู่ ซึ่งขณะนี้ใช้วิธีนี้ในการทำงาน และรูปที่ 86 แสดงส่วนตัดของแต่ละส่วนของสารที่ใช้ในการ Grout วัสดุที่ถูกฉีดต่อมาจะอยู่ในลักษณะลายเพื่อเตรียมอยู่ในรูปของแข็งและจะวิ่งผ่านแทรกออกไปจากส่วนที่ถูกทำให้แข็ง ซึ่งจากนี้เราจะเห็นจากรูปที่ 86 ว่า ลายต่างๆ เหล่านี้ซึ่งเกิดจากส่วนของน้ำออสยามที่จะทำให้เกิดการไหล 2 ทิศทาง ในกรณีของการฉีดจากท่อการรั่วของสารที่ใช้ Grout ซึ่งเป็นปัญหาที่ค่อนข้างใหญ่ เพื่อที่จะป้องกันปัญหานี้เราอาจใช้สารที่ทำให้เกิดการแข็งตัวในเวลาอันรวดเร็ว 1 ในวิธีต่าง ๆ คือ วิธี MT ซึ่งใช้ PACKER พิเศษในการป้องกันการรั่ว ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 87

Jet grouting

หลักของการปรับปรุงคุณภาพมีอยู่ดังนี้ : ท่อชุดเจาะจะถูกชุดไปยังความลึกที่ต้องการ ซึ่งสารที่เป็นตัว Grout จะถูกปล่อยไปตามแนวราบจากปลายท่อตามแนวราบ แล้วท่อก็จะถูกหมุนช้า ๆ เพื่อทำการผสมดิน ความคาดหวังของการใช้วิธีนี้คือ มันสามารถที่จะปรับปรุงดินในความลึกที่มีค่าสูง พอ ๆ กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการชุดเจาะ และการใช้ความดันที่สูงสามารถเกิดขึ้นได้แม้ในไม่ช้ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่แคบ ๆ

แต่ก่อนวิธี CCP มีขึ้นในญี่ปุ่น ปี 1970 ซึ่งใช้ท่อแข็งเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-50 ซม. ในวิธี Grouting นั้นเราประสบความสำเร็จในการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อถึง 1.5 ม. โดยการฉีดสารและอากาศในเวลาใกล้เคียงกัน โดยการใช้ท่อคู่

รูป 88 แสดงถึงลำดับการสร้างตามวิธี JSG โดยใช้การ Grout แบบตรงๆ ซึ่งน้ำและซีเมนต์ขึ้นถูกฉีดโดยเวลาใกล้เคียงกันโดยใช้ท่อคู่

ในการทดสอบการก่อสร้างเราจึงทำการสร้างดินที่ทำการปรับปรุงโดยเจาะท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ม. ที่ความลึก 70 ม. ในการก่อสร้างดังกล่าว เราใช้ความดันสูงถึง 600 kgf/cm^2 ที่ปลายท่อ และการขุดจะทำตามขบวนการ และยิ่งไปกว่านั้นเราจะใช้การบั่นทกด้านคลื่นอุลตราโซนิคที่ช่วยในการบังคับควบคุมรูปแบบในการปรับปรุง ซึ่งวิธีนี้จะถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในอนาคต

ในวิธี Jet Grouting จะช่วยในการสร้างความมั่นคงของดินก่อนมีการขุดเกิดขึ้น และหลังจากการขุดแล้วก็จะมีลักษณะของดินตามปกติทั่ว ๆ ไป ซึ่งทำการต่อต้านแรงตามแนวราบทั่ว ๆ ไป และมีการเคลื่อนที่ของดินเกิดขึ้นเล็กน้อย

รูป 90 แสดงผลของการวัดการเสีสรูปของกำแพงกันดินขณะการขุด มันที้ให้เห็นว่ามันที้มีประสิทธิภาพเกิดขึ้นในการขุดโดยให้วิธีนี้มากกว่าวิธีอื่น และอีกทั้งตัวอย่างนี้มีค่า Unconfined Compression Strength เพิ่มขึ้นเป็น $15-40 \text{ kgf/cm}^2$ ซึ่งเพิ่มจากเดิม 30-40 เท่า อีกทั้งค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้นเป็น $5000-10000 \text{ kgf/cm}^2$ เพิ่มถึง 200 เท่า

Deep Chemical Mixing Method Using Cement as Harden Agent

ในการสร้างท่าเรือในญี่ปุ่น ซึ่งต้องทำการสร้างบนชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งมันจะอยู่ลึกถึง 30-50 ม. ซึ่งเราก็จะแก้ไขโดยใช้วิธีดั้งเดิมกล่าวคือ การแทนที่ด้วยทราย และทำโดยวิธี Sand arain เพื่อทำการเร่งการทรุดตัว แต่ก็ยังมีผลเสียเกิดขึ้นในทางสภาพแวดล้อม คือ

- 1) การระบายน้ำของทรายทำให้เกิดการแทนที่ของทราย เพราะมีผลต่อสภาพแวดล้อม และราคาก็จะสูงขึ้นด้วย
- 2) ถ้าเราทำการสร้างโครงสร้างท่าเรือที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ต้องเพิ่มความลึกของการแทนที่ด้วยทราย ทำให้ยากขึ้น

3) ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งคือความชุ่มของน้ำทะเล อันเป็นสาเหตุให้ขุดดินเหนียวอ่อน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อประโยชน์พิเศษให้แก่นิสิตนิสิตผู้ให้ทุนหรือประโยชน์ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังผลให้ดินลดลง

ในวิธีนี้ ดินเหนียวที่วางอยู่ใต้ทะเลถูกผสมด้วยซีเมนต์ในที่ และการทรุดตัวทางเคมีระหว่างมัน มีประโยชน์ในช่วงลึกลงไป 10 ม. รูป 91 แสดงรูปแบบของการทำงานโดยวิธี DCM และในรูป 92 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน และรูป 93 คือลักษณะดินที่ปรับปรุงแล้วต่างจากดินก่อนการปรับปรุง จากนั้นมันชี้ให้เราได้เห็นว่า เราไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงของดินที่ยังไม่ปรับปรุงกับที่ปรับปรุงแล้ว มันจึงมีความสำคัญในการออกแบบ ส่วนที่แข็งแรงในรูปร่างที่เหมาะสมเพื่อที่ใช้การเข้ากันกับลักษณะทางกลของดินที่ปรับปรุงและยังไม่ปรับปรุง

ส่วนพื้นที่แข็งแรงต้องมีแรงกระทำมาจากหลายทิศทาง เช่น แรงในแนวดิ่งและแนวราบ ซึ่งขึ้นกับโครงสร้างเบื้องบน แรงดันดินและแรงดันน้ำจากแรงด้านข้าง แบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมอยู่ในรูป 94 แบบ Pile-shaped สามารถใช้เมื่อมีแรงด้านข้างที่ไม่มาก แต่หากมีแรงด้านข้างที่มาก Block shaped ก็เป็นรูปแบบที่เหมาะสม

หลังจากกำหนดประมาณสารที่ใช้ เรียบร้อย ต่อไปก็เป็นขั้นตอน คือ

- 1) เรือจะอยู่ในตำแหน่งปลอดภัยตามตำแหน่งที่กำหนดให้
- 2) เครื่อง deep Chemical Mixer ขุดดินและฝังลงไปถึงความลึกที่ต้องการ
- 3) ของผสมจะถูกทำให้แข็งตามขบวนการที่ปลายของเครื่อง
- 4) ขณะที่เครื่องกำลังถอนขึ้นจะเกิดการผสมระหว่างซีเมนต์เหลวกับดิน
- 5) เสริมขั้นตอน

ในการที่จะสร้างรูปแบบอื่นทำให้ดินมีเสถียรภาพ เราจะทำให้มันเหลื่อมกันดังรูป 95 จนกระทั่งถึงมันถูกสร้างให้มีรูปร่างเดี่ยว ๆ ปกติแล้วการเหลื่อมกันจะมีความกว้างประมาณ 25 ซม.

เรือ DCM ประกอบด้วย 5 ส่วน ดังกล่าว 1) ซีโวลซีเมนต์ 2) โรงงานผสมซีเมนต์ 3) deep Chemical Mixer 4) หอบังคับการเคลื่อนที่ 5) ศูนย์กลางควบคุมการทำงาน

รูป 98 แสดงชนิดของ Deep Chemical Mixer เครื่องนี้ประกอบด้วย 8 เพลา อุปกรณ์การขุด และปีกปั่น, ท่อเหล็ก 2 อัน เพื่อช่วยในการหมุน, มอเตอร์หมุนเพลลา ระบบเพลลาคู่

การควบคุมโดยวิธี DCM ใช้การควบคุมจากศูนย์กลาง โดยการรวมข้อมูลจากการวัดสำหรับ Deep Chemical Mixer และโรงงาน ข้อมูลที่ทำการควบคุมมีดังนี้ 1. ความลึก 2. rpm 3. ความเร็วในการพุ่งลงและถอนขึ้น 4. ความดันไฮดรอลิกสำหรับการขุดและการปั่น 5. น้ำหนักในการชักออก 6. ปริมาณซีเมนต์เหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในวิธี DCM นั้นประกอบด้วย สารเพิ่มความแข็งแรง, น้ำผสม และสารเพิ่มเติม สำหรับสารที่ทำให้แข็งแรงโดยปกติคือ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ซึ่งขึ้นกับดินที่ใช้และปริมาณของซีเมนต์ที่ใช้ ดินถูกชูดขึ้นมาเพื่อทำให้มันคงก่อนทำงาน และการทดสอบดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ใช้และค่าความแข็งแรง Unconfied Compresssive จะมีขึ้นปริมาณของสารที่ใช้จำเป็นที่จะได้รับการออกแบบค่าความแข็งแรงต่อไป การทดสอบความมั่นคงของดินจะทำให้สำเร็จบนดินที่เลือกใช้โดยการเลือกปริมาณสารตามผลของสมบัติการทดสอบ ภายใต้อุณหภูมิเดียวกับงานจริงๆ จากผลของ Unconfined .Compressive Stressทำให้เราสามารถกำหนดปริมาณสารที่ต้องการ โดยปกติเราจะใช้ 120-210 kg เพิ่มเข้าไปในดิน 2 ม.³

ลักษณะทางวิศวกรรมของดินที่ปรับปรุง

- 1) สำหรับทั้งตัวอย่างใน Lab และตัวอย่างจริง ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เหมือนกัน
- 2) สำหรับทั้งตัวอย่างใน Lab และตัวอย่างจริง อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ในการผสมคือ 60%
- 3) สำหรับทั้งตัวอย่างใน Lab และตัวอย่างจริง ใช้น้ำที่สะอาด
- 4) จำนวนรอบของการหมุนที่ใช้ใน Lab คือ 50 rpm สำหรับระบบเฟือง และ 40 rpm สำหรับระบบการหมุน เวลาในการผสมคือ 10 นาที
- 5) ปริมาณซีเมนต์, a_w คือ เปอร์เซนต์ของน้ำหนักของซีเมนต์ค่อน้ำหนักของดินที่ถูกปรับปรุง ปริมาณซีเมนต์ a (กก./ม³) คือน้ำหนักของซีเมนต์ต่อดิน 1 ม.³
- 6) ปริมาณน้ำ w_w (%) บอถึงปริมาณน้ำในดินที่ปรับปรุง และปริมาณน้ำเริ่มต้น, w_u หมายถึง ปริมาณน้ำของดินที่ถูกปรับปรุงรวมกับปริมาณน้ำในซีเมนต์เหลวรวมกับน้ำหนักของดินแห้งที่ถูกปรับปรุง
- 7) สำหรับการบ่มใน Lab เราใช้อุณหภูมิ 20 C° และความชื้นมากกว่า 90%
- 8) เราใช้ตัวอย่างดินเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 10 ซม. สำหรับการทดสอบ Unconfined Compression, Triaxial Compression, แรงดึง และตัวอย่างดิน เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ซม. สูง 6 ซม. สำหรับ Shear Test
- 9) ความเร็วเฉลี่ยใน Unconfined Copenression Test คือ 1% ของความสูงตัวอย่างต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนลิขสิทธิ์อื่นโดยผู้จัดทำหรือเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรุ้งที่อุณหภูมิมาตรฐาน $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ และเวลาการบ่ม รูปนี้ชี้ถึงผลของการบ่มที่ขึ้นกับ q_u ของดินที่ปรับปรุ้ง คือเพิ่มขึ้นสำหรับการบ่มที่น้อยลง และจะลดลงโดยการเพิ่มเวลาในการบ่ม หากชั้นที่ทำให้มั่นคงอยู่ในรูปของ Block Type, ส่วนศูนย์กลางของมันจะถูกบ่มทันที, หลังจากการผสม รูปที่ 109 แสดงตัวอย่างของการวัดอุณหภูมิของดินที่ทำการปรับปรุ้ง รูปนี้จะแสดงถึงปริมาณซีเมนต์ปกติ, อุณหภูมิจะอยู่ที่ $30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ รูป 110 แสดงถึงผลของความแตกต่างระหว่างการบ่มแบบ Adiabatic และบ่มแบบมาตรฐาน ซึ่งแสดงอยู่ในค่า q_u

รูป 111 แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่าง q_u ของดินที่ทำการปรับปรุ้งที่เวลาการบ่มต่าง ๆ กัน และ q_u ที่เวลาการบ่ม 28 วัน เพื่อที่จะแสดงถึงการเพิ่มขึ้นในค่า q_u ของดินขณะที่เวลาในการบ่มลดลง การพัฒนาในด้านการตั้งแรงมีค่ามากที่เวลาในการบ่มเริ่มต้น

รูป 112 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_u ของดินที่ทำการปรับปรุ้ง และค่าโมดูลัส E_{50} ความสัมพันธ์นี้จะต่างกันไม่มากนักตามชนิดของดิน

(2) ผลต่อแรงเฉือน

ลักษณะของแรงเฉือน ถูกทดสอบโดยใช้การทดสอบแบบ 3 แกน และการทดสอบด้านแรงเฉือน

การทดสอบ 3 แกน

สำหรับการทดสอบแบบ 3 แกนของดินที่ทำการปรับปรุ้ง มีการทดสอบแบบระบายน้ำและไม่ระบายน้ำ ค่าความเปลี่ยนแปลงด้านความเครียด คือ 0.1 มม./นาท สำหรับการทดสอบทั้งสอง ตัวอย่างที่ใช้ใน Lab มีค่า Cement $a_w = 5\%$ และ 15% รูป 113 และรูป 114 แสดงผลการทดสอบ

1) สำหรับปริมาณซีเมนต์ 5% ทั้งแบบระบายน้ำและไม่ระบายน้ำ ค่าความเค้นเฉือนการพังทลายเพิ่มขึ้น, ขณะที่ความดันเพิ่มขึ้น หากทำการสังเกตอย่างใกล้ชิด โค้งความเค้น-ความเครียด ในการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ ชี้ว่า โค้งเพิ่มเป็นเส้นตรงในช่วงแรก, และโค้งลงกระทันหันเมื่อค่าความเค้นเกินค่าแน่นอน

2) สำหรับปริมาณซีเมนต์ 15% ในการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ ค่าความเค้นเฉือนที่การพังทลายอาจจะมีค่ามากหรือน้อยกว่าค่า Confining Pressure และค่านี้อาจมากหรือน้อยกว่า q_u อีกด้านหนึ่ง ค่าความเค้นเฉือนที่การพังทลายในการทดสอบแบบระบายน้ำเพิ่ม ขณะที่ค่า Confining Pressure เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ระบายน้ำ ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก, จนกระทั่งค่าความเค้นเฉือน มากหรือน้อยกว่า q_u เล็กน้อย เมื่อค่าความเค้นเฉือนเกินค่าของ q_u ค่า Stress จะลดลงทันที

ในการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ ค่าแรงดันน้ำเกิดขึ้นตามค่า axial strain ในกรณีของดินที่มี $a_w = 5\%$

ผลของการทดลองแนะนำว่า คุณภาพของดินที่ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงไปตามค่าคงที่ของความเค้น และโค้งความเค้น-ความเครียดของดินที่ปรับปรุง เปลี่ยนตามเวลาการเนือย

ดังนั้นค่าแตกต่างระหว่างโค้งความเค้น-ความเครียด ที่ $a_w = 5\%$ และ 15% จึงไม่ใช่จริงๆ มันถูกคาดหวังไว้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น ความเครียดของดินที่ปรับปรุง $a_w = 5\%$ และ 15% เหมือนกัน ถ้ามีความดันที่เหมือนกันถูกเพิ่มด้วย

(3) ลักษณะอื่น ๆ

ค่าแรงดึงของดินที่ทดสอบใน Lab ใช้อุปกรณ์ที่แสดงในรูป 115 ค่าความเร็วในเรื่องความเครียดของการทดสอบคือ 1% ของความสูงตัวอย่างต่อหน้าที่ รูป 116 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงความเค้นถึง 6_u ในการทดสอบแรงดึงและค่า Unconfined Compressive Strength ถึงแม้ว่าผลแสดงถึงการกระจายอย่างเบา ๆ ค่าความเค้นถึง คือ $10-20\%$ ของ Unconfined Compressive Strength

การเปลี่ยนแปลงในความแข็งแรงและลักษณะการเปลี่ยนรูปร่างของดิน ถูกทดสอบโดยใช้น้ำหนักซ้ำ ๆ กันใน Lab รูป 117 ตัวอย่างของดินที่ปรับปรุงชุบตัวด้วย 6_c และถูกทดสอบกับน้ำหนักเดิม 500 ครั้ง หลังจากน้ำหนักถูกทดสอบเสร็จ ตัวอย่างที่ทดสอบโดย Unconfined Compressive Strength และทำการเปลี่ยนที่ของก่อนและหลังของที่ใช้น้ำหนัก ค่าของความเค้น 6_c , 6_u และ 6_u ถูกตั้งอยู่ที่ค่า 0.400 กน./ม^2 , $0-300 \text{ กน./ม}^2$ และ $100-300 \text{ กน./ม}^2$ ตามลำดับและใช้ความถี่ $3-4 \text{ Herz}$ รูป 118 แสดงค่า q_u หลังจากการใช้ค่าน้ำหนักด้วยค่า $6_{u/2}$ ($6_c + 6_u/3$) รูปนี้แสดงถึงค่า Unconfined Compressive Strength ของดินที่ทำการปรับปรุงก่อนการวางน้ำหนัก รูป 119 ชี้ให้เห็นว่าค่าโมดูลัสของการเปลี่ยนรูปร่างของดินที่ทำการปรับปรุงก่อนการวางน้ำหนัก จาก 2 รูปนี้ มันไม่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านความแข็งแรงและการเปลี่ยนรูปร่างของดินอ่อน

ความสัมพันธ์ของ $e-\log P$ อยู่ในรูป 120 จากรูปนี้จะเห็นว่าค่า Yield Stress ของวิธีการทำต่าง ๆ กัน จะเพิ่มตามปริมาณที่เม้นต์

เทคนิคการ Grout วิธีใหม่ ๆ โดสใช้ท่อ Sleeve Packer (ADG)

มันเริ่มต้นโดยที่แต่เดิมมีพื้นที่มากมายที่เป็นดินอ่อนอยู่รอบ ๆ ภูเขา การปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนเริ่มเป็นสิ่งจำเป็นมากขึ้น เนื่องจากการสร้างอุโมงค์ทะลุภูเขา แต่กลับมีปัญหาเกิดขึ้น ถ้าเราใช้การ Grout โดสวิธีปกติจะทำให้เกิดการรั่วของสารเกิดขึ้น ทำให้ต้องมีการใช้วิธีใหม่ ๆ ซึ่งเราสามารถแก้ไขโดสวิธีใช้ DOUBLE PACKER ดังนั้นปัญหาเรื่องการรั่วของสารจึงแก้ได้ต่อไปจึงเป็นปัญหาเรื่อง ความสามารถในการทำงาน ซึ่งผู้แต่งก็ได้ประสบความสำเร็จโดย ใช้ Inflating PACKER

PACKER ตัวนี้ สามารถรับความดัน 100 kgf/cm^2 และมีความสามารถในการทำงานที่ดี มีความปลอดภัย ตัว PACKER นี้เรียกว่า Aqua PACKER ส่วนวิธีที่ใช้เรียกว่า Aqua Drilling Grouting Method ซึ่งมันเป็นระบบการทำงานแบบ Hydraulic

ขบวนการในการทำงานของ ADG METHOD

Aqua-PACKER มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 2 เท่า โดสใช้แบบความดันไฮดรอลิก เพื่อว่ามันสามารถเชื่อมติดแน่นกับด้านข้างของผนัง สัมพันธ์กับการเปลี่ยนรูปร่างของหลุมเจาะ อีกทั้งป้องกันการรั่วด้วย ยิ่งไปกว่านั้น Aqua-PACKER สามารถติดตั้งได้ในตำแหน่งที่ต้องการ ไม่ว่าในดินอ่อน และสามารถทำการ Grout ได้ง่ายแม้ในส่วนบนใกล้ผิว Aqua-PACKER มีประสิทธิภาพในการเชื่อมกับด้านล่างของผนังที่ความดัน $30-40 \text{ kgf/cm}^2$ แต่สามารถเพิ่ม 100 kgf/cm^2 ในทางปฏิบัติ

เพื่อที่จะให้ได้ผลตามที่ต้องการ มันมีความสำคัญในการที่จะทดสอบการ Grouting ก่อนและระหว่างการทำในและหลังจากการทำงานเสร็จสิ้นแล้ว ในวิธี ADG เราสามารถทดสอบในที่ได้ง่ายโดยใช้ Aqua-PACKER เหมือนกันด้วย

(1) การทดสอบความซึมได้ในที่

ความสามารถในการซึมได้ ถูกวัดโดยการกำหนดความดันในการฉีดเหมาะสม และปริมาณน้ำที่ฉีดหลังการวาง Aqua-PACKER ในที่ ๆ เหมาะสมแล้วทำการฉีดน้ำ

(2) การทดสอบ การพัดของอากาศ

หลังจากการตั้ง Aqua-PACKER ในที่ ๆ เหมาะสม อากาศจะถูกพัดผ่านท่อ ปริมาณของอากาศและความดันก่อนและหลังการฉีดถูกอัด ซึ่งมันสามารถตรวจสอบผลของการฉีด

เนื่องจากการทดสอบ, ความปลอดภัย จะเกิดขึ้นโดยการป้องกันลมโดยกระทันหัน ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การทดสอบแรงดันด้านข้างของหลุมเจาะ

Aqua-PACKER สามารถพองขึ้นเนื่องจากความดัน และความสัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนรูปร่างของดิน และค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นสามารถวัดได้ โดยใช้ค่า ความยืดหยุ่น "E" และสัมประสิทธิ์ของการกระทำของดิน- "K" ถูกกำหนด การเปลี่ยนขนาดของดินถูกวัดได้โดยปริมาณน้ำ ซึ่งใช้ในการเพิ่มขนาด Aqua-PACKER ซึ่งเป็นการอัดโดยใช้ไฮดรอลิก

ปัจจัยที่ประยุกต์กับวิธี ADG

(1) Gel Time มีผลอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ, อัตราส่วนผสม และซีเมนต์ 3 ชนิด รูป 121 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของ ๗ เหลว กับ Gel Time ซึ่งได้รับใน Lab ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ถูกใช้ในการทดสอบ 1, 2, 3 ขณะที่คอลลอยด์ซีเมนต์ถูกใช้ในการทดลองที่ 4, 5, 6 ซึ่งปัจจัยหลัก ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนค่าของ Gel Time คือ อุณหภูมิของ ๗ เหลว, ชนิดของซีเมนต์ที่ใช้และความเข้มข้น การทดลองที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผลกระทบของอุณหภูมิในการทดลองที่ 1 เป็นสิ่งสำคัญ อย่างไรก็ตามในการทดลองที่ 3 ซึ่งใช้คอลลอยด์ซีเมนต์ ผลกระทบของอุณหภูมิมีน้อยกว่า ดังนั้นมันสามารถสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิค่า การเปลี่ยน Gel Time ขึ้นกับชนิดของซีเมนต์ที่ใช้และขึ้นกับความเข้มข้น

(2) ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนผสมของซีเมนต์และโซเดียมซิลิเกต กับ Gel Time

ผลของการเปลี่ยนแปลงในส่วนผสมของซีเมนต์และโซเดียมซิลิเกต มีผลต่อลักษณะของสารที่ใช้ ซึ่งมันขึ้นอยู่กับรูปที่ 122 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การใช้โซเดียมซิลิเกตในปริมาณที่น้อยกว่าจะทำให้มีราคาถูกลง สูญเสียโซเดียมน้อยลง และที่ความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อใช้โซเดียมซิลิเกตสูงขึ้น Gel Time จะสั้นลง และเหมาะที่จะใช้ในการ Grout พวกราย หรือกรวด

มาตรฐานของวิธี ADG

ลำดับการทำงานถูกแสดงอยู่ในรูป 123

1. Pre-boring rod ติดกับส่วนที่ต่ำสุดของ Upper rod และทำการเจาะไปประมาณ 2-3 ม.

2. Pre-boring rod ถูกแทนที่ด้วย ADG rod (มี Aqua-PACKER ด้วย) และมันถูกแทรกเข้าไปในหลุม การอุดช่องว่างมีผลมาจากการขยายเพิ่มของ Aqua-PACKER และการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มน้ำเข้าไปเพื่อเพิ่มความดัน

3. การ Grouting ชั้นแรกเสร็จ ความดันจากน้ำถูกเพิ่มเข้าไป Aqua-PACKER กลับไปมีขนาดเท่าเดิม

4. ทำการขุดเจาะ ณ ความลึกต่อไป

5. ทำไปตามชั้น 2-3

6. ทำต่อไปตามความลึกที่ต้องการ

การทำงานโดยการใช้ซีเมนต์เป็นพื้นฐานในการ Grout

การใช้ซีเมนต์เป็นพื้นฐานในการ Grout อาจใช้ในการ Grout 1) กรวด 2) ดินตะกอน 3) ดินเป็นชั้น ๆ 4) ทรายหลวม ซึ่งจุดประสงค์หลัก ๆ คือ 1) อุดช่องว่างในอุโมงค์ 2) ป้องกันการรั่วของน้ำ 3) ควบคุมอันตรายจากการไหลของน้ำใต้ดิน

ปริมาณที่ใช้ในการ Grout มีความสัมพันธ์กับความดันและเวลาที่ฉีด นั่นคือ ปริมาณถูกควบคุมโดยความดันและเวลา โดยปกติเราจะบอกว่า ความดันที่ใช้ในการฉีดเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณต่อ 1 หน่วยเวลาเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสองคือ $5-6 \text{ kgf/cm}^2$ ในกรณีของ 8 ลิตร/นาที และ $8-10 \text{ kgf/cm}^2$ ในกรณีของ 12 ลิตร/นาที ในกรณีดังกล่าว ขบวนการที่ใช้ซีเมนต์ในการ Grout สามารถแยกเป็น 2 กรณี คือ 1. ทำการอุดช่องว่าง ซึ่งต้องใช้สารที่ฉีดที่มีผลต่อการซึมน้ำ และมี Gel Time พอสมควรที่ความเร็วต่ำ ๆ 2. มันทำให้เกิดโครงสร้างที่ละเอียดมากขึ้น

กรณีศึกษาที่ใช้ ADG METHOD

1) ชั้นดินเหนียวและดินตะกอน

เนื่องจากความซึมได้ในชั้นดินเหนียวมีค่าต่ำ การแพร่กระจายของวัสดุที่ใช้ในการ Grout จะแพร่กระจาย และมีค่าความแข็งแรงพอ ๆ กับความเร็วในการฉีด การประสบความสำเร็จในการฉีด คือป้องกันการทรุดตัวของตึกภายใต้การก่อสร้างบนชั้นดินตะกอน ปกติการทรุดตัวของดินที่เป็นผลจากการก่อสร้างถูกคำนวณแล้วว่าประมาณ 150 มม. ของตึกที่สร้างเสร็จแล้ว การทรุดตัวในปัจจุบันนี้มีค่าประมาณ 90 มม. หลังจากการใช้ Grouting วิธีนี้

2) ดินอันเกิดจากการทับถมของหินภูเขาไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แต่เดิมการรับ Grouting ของดินชั้นนี้ "Shirasu" นั้นไม่สามารถทำได้แต่การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม วิธี ADG การ Grout เพื่อให้ได้ความแข็งแรงตามต้องการสามารถทำได้ ในกรณีของชั้น Shirasu นี้ วัสดุที่ใช้ทำการ Grout สามารถร่วออกได้ง่าย ถึงแม้ว่าจะใช้ช่องว่างที่เล็กที่สุด Shirasu จะถูกอัดลง เพื่อว่าถึงแม้ว่าเมื่อ PACKER เกิดการขยายและ PACKER กระทบกับด้านข้างหลุม มันจะไม่ทำให้เกิดการรั่วใน ADG METHOD Aqua-PACKER จะถูกพองขึ้นในรูปแบบที่ตรงกันกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพื้นผิวภายในของหลุมเจาะจากที่จะทำให้เกิดการรั่ว

สำหรับการทดสอบ, พื้นที่สี่เหลี่ยม 18 x 11 ม. ถูกใช้ในดิน Shirasu หลังจากการ Grouting เสร็จ, เราทำการขุดดินลึกลงไป 4 ม. ในพื้นที่ 16 x 9 ม. ตามรูป เราทำการขุดหลุม 16 x 4 ม. เพื่อทำการทดสอบการพังทลาย เราปล่อยน้ำจากผิวขอนหินที่ขุด เราพบว่าต่ำกว่าระดับพื้น 2 ม. มีการพังทลายเกิดขึ้น ซึ่งเป็นที่ ๆ ปราศจากการ Grouting ซึ่งในระดับที่ต่ำกว่าพื้น 3 ม. จากผิวดิน, มีการ Grouting เกิดขึ้น ซึ่งจะไม่เกิดการพังทลายเกิดขึ้น

3) ชั้นทราย-กรวด

เมื่อซีเมนต์ถูกฉีดในชั้นกรวด, ซีเมนต์ชั้นจะแพร่เข้าไปข้าง และสามารถป้องกันการซึมของน้ำอย่างดีเยี่ยม ส่วนการป้องกันการเสียหายของ PACKER อันเนื่องมาจากกรวด เราสามารถทำการขุดโดยใช้ความเร็วที่เหมาะสม

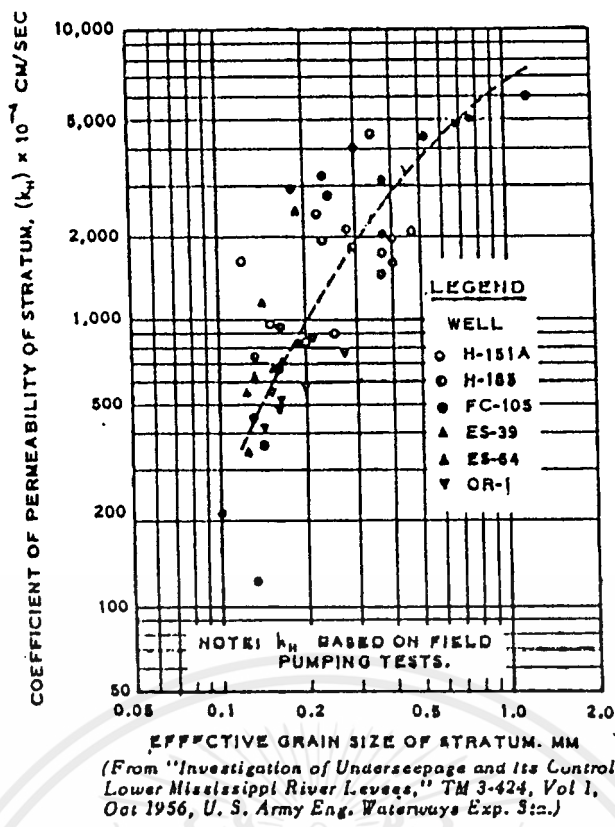
4) ชั้นทราย

Cement Grout ถูกฉีดเข้าไปในชั้นทรายละเอียด ซึ่งเป็นที่ ๆ ระดับน้ำใต้ดินสูง ผลของการทำดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสาร Grout เข้าไปอุดในช่องว่างโดยปราศจากการทำให้จางลงโดยน้ำใต้ดิน, เพราะที่ ซีเมนต์ และโซเดียมซิลิเกตถูกผสมอย่างดี ความดันที่สูงถูกฉีดเข้าไปในชั้นทรายละเอียด ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์น้ำต่ำ

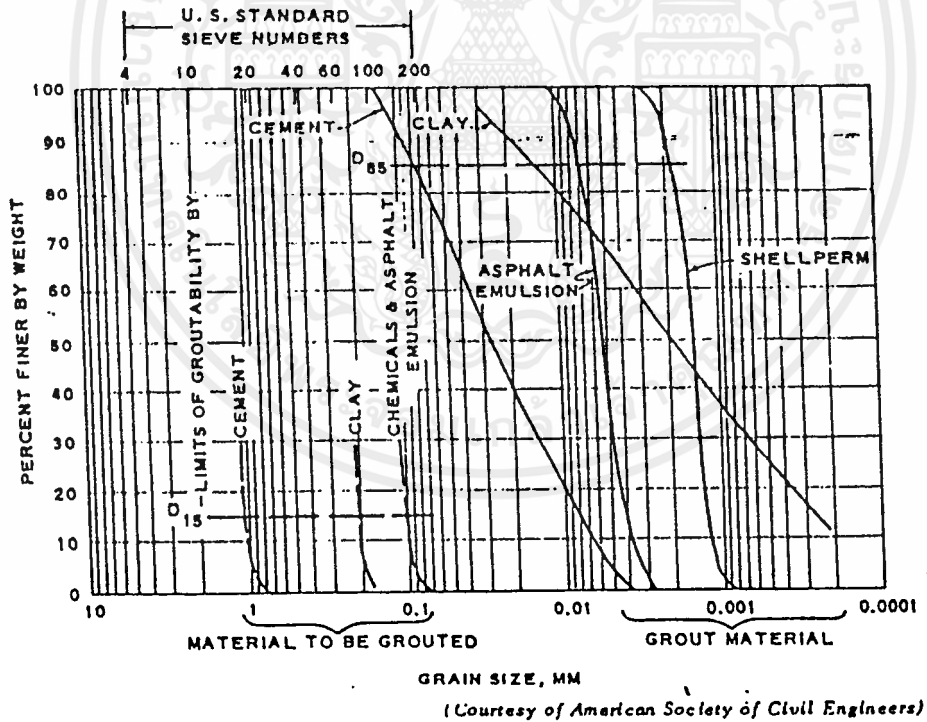
5) ดินอ่อนภายใต้ทางรถไฟ

มีทางมากมายในญี่ปุ่นที่เกี่ยวข้องกับทางรถไฟ ซึ่งต้องใช้แรงงานและคนจำนวนมากในการบำรุงรักษาทาง ทำให้มีการประยุกต์กับวิธี ADG Grout ถูกฉีดเข้าไปภายใต้ทางจากข้างนอก อันมีจุดประสงค์หลักคือต้องการลดการบำรุงรักษา ระหว่างการ Grouting ทางรถไฟ จะถูกตรวจสอบและการฉีด Grout จะทำต่อไปภายใต้การบังคับโดยการควบคุมงานในแนวตั้งและปริมาณสารที่ใช้ฉีดเข้าไปในแต่ละขั้นตอน ผลสามารถพิสูจน์ว่า วิธี ADG การทุดตัวในแนวตั้งง่ายที่จะควบคุมเป็นหน่วยมิลลิเมตร อีกทั้งทำให้แน่ใจว่า การทุดตัวในแนวตั้งมีค่าน้อยกว่าไม่มีการทุดตัวเกิดขึ้น, และมีความต้องการด้านบำรุงรักษาลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

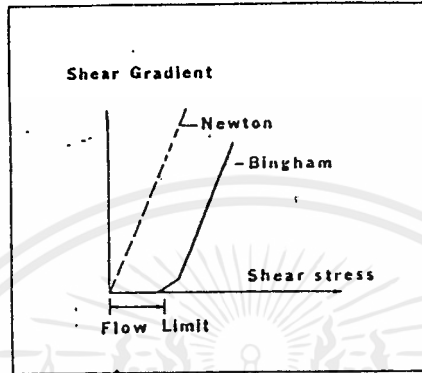


รูปที่ 72 ส.ป.ส. ความซึมได้ของดินในแม่น้ำมิสซิสซิปปี

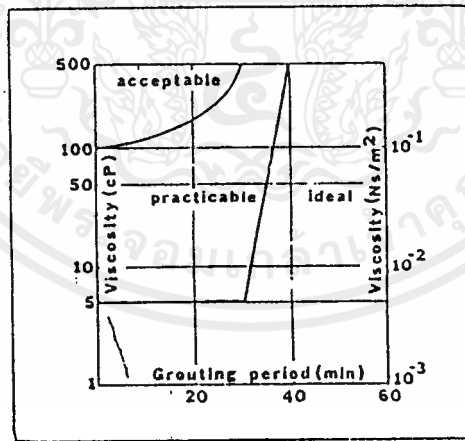


รูปที่ 73 โด่งการกระจายขนาดอนุภาคของดินและวัสดุที่ใช้ในการ Grout

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

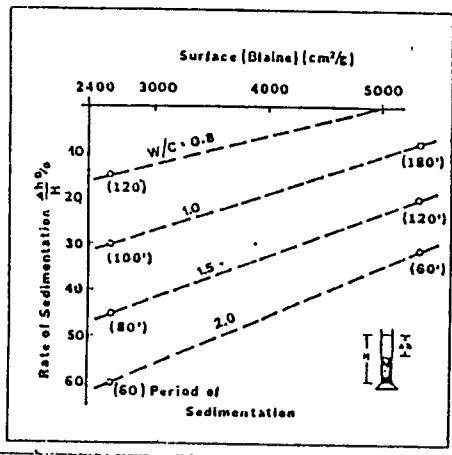


รูปที่ 74 โค้งแสดงการไหล

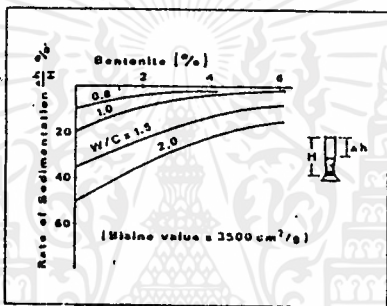


รูปที่ 75 ช่วงความหนืดของสารที่ใช้ในการ Grout

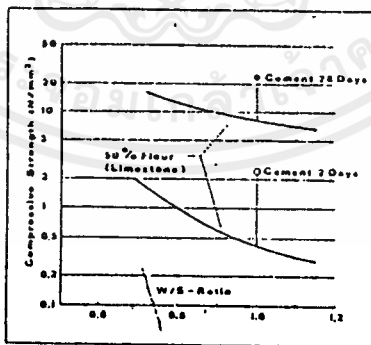
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 76 การตกตะกอนของซีเมนต์

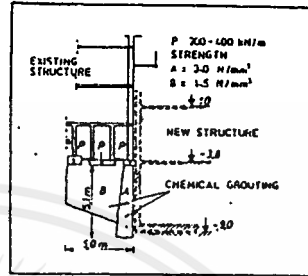
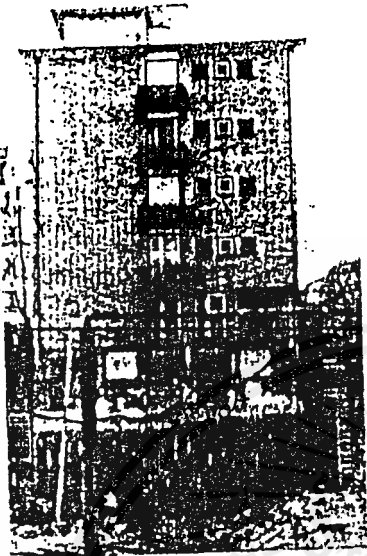


รูปที่ 77 การตกตะกอนของซีเมนต์เมื่อทำการผสมกับเบนโทไนท์

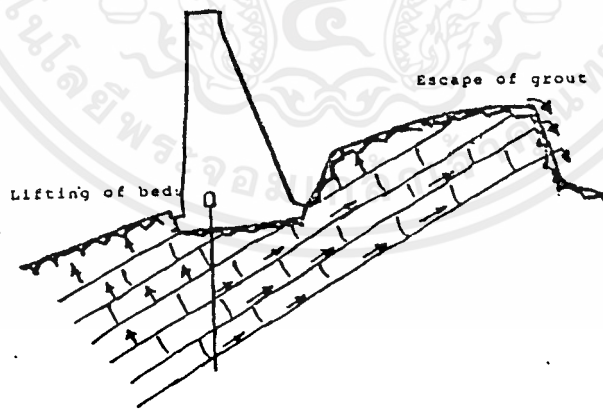


รูปที่ 78 ค่าความแข็งแรงต่อการบดอัดเฉลี่ยของซีเมนต์ผสมแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

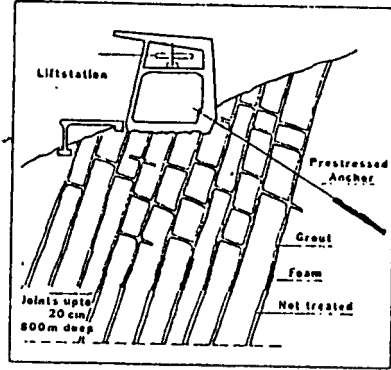


รูปที่ 79 และ 80 การทำดินให้มั่นคงโดยวิธีการ Grout

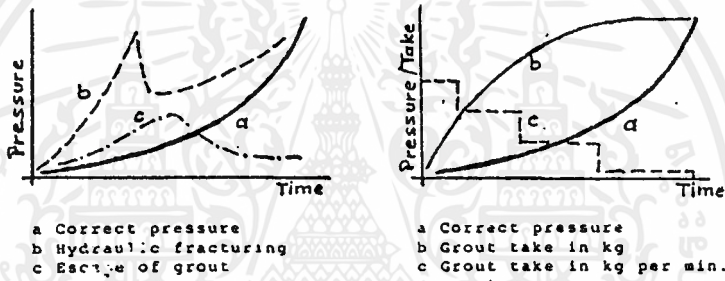


รูปที่ 81 ผลที่ไม่เข้าพอใจที่เกิดขึ้นสำหรับการ Grout

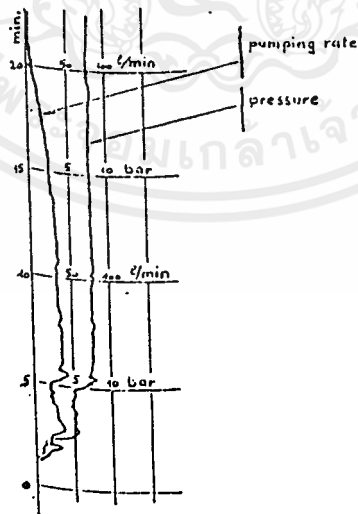
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 82 การ Grouting ด้วยโฟม

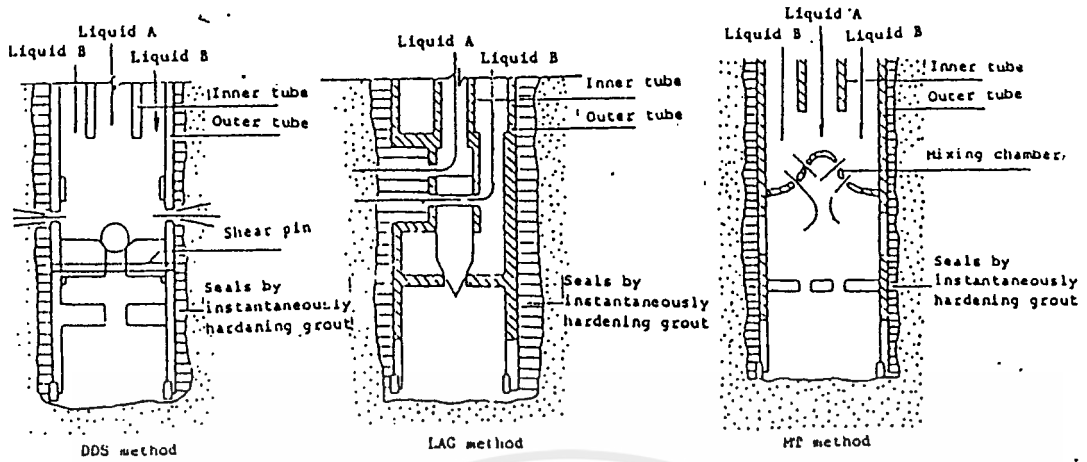


รูปที่ 83 การเพิ่มความดันที่เหมาะสม

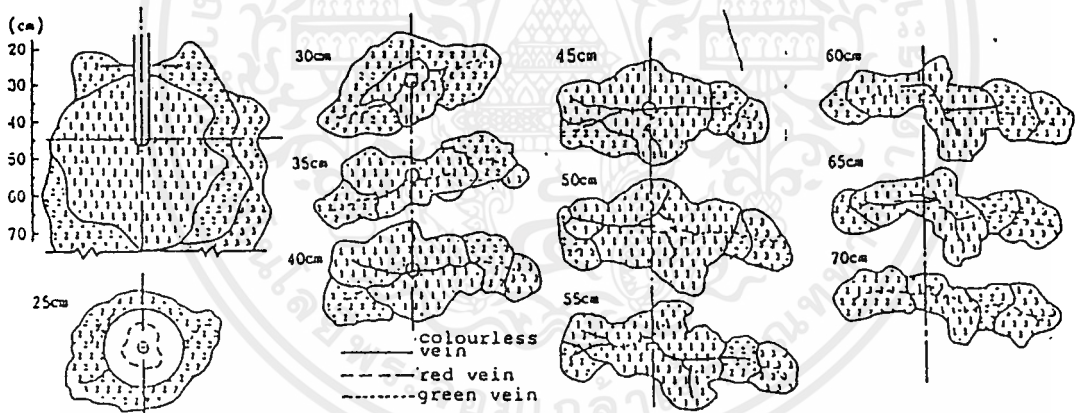


รูปที่ 84 การบันทึกผลในการ Grouting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

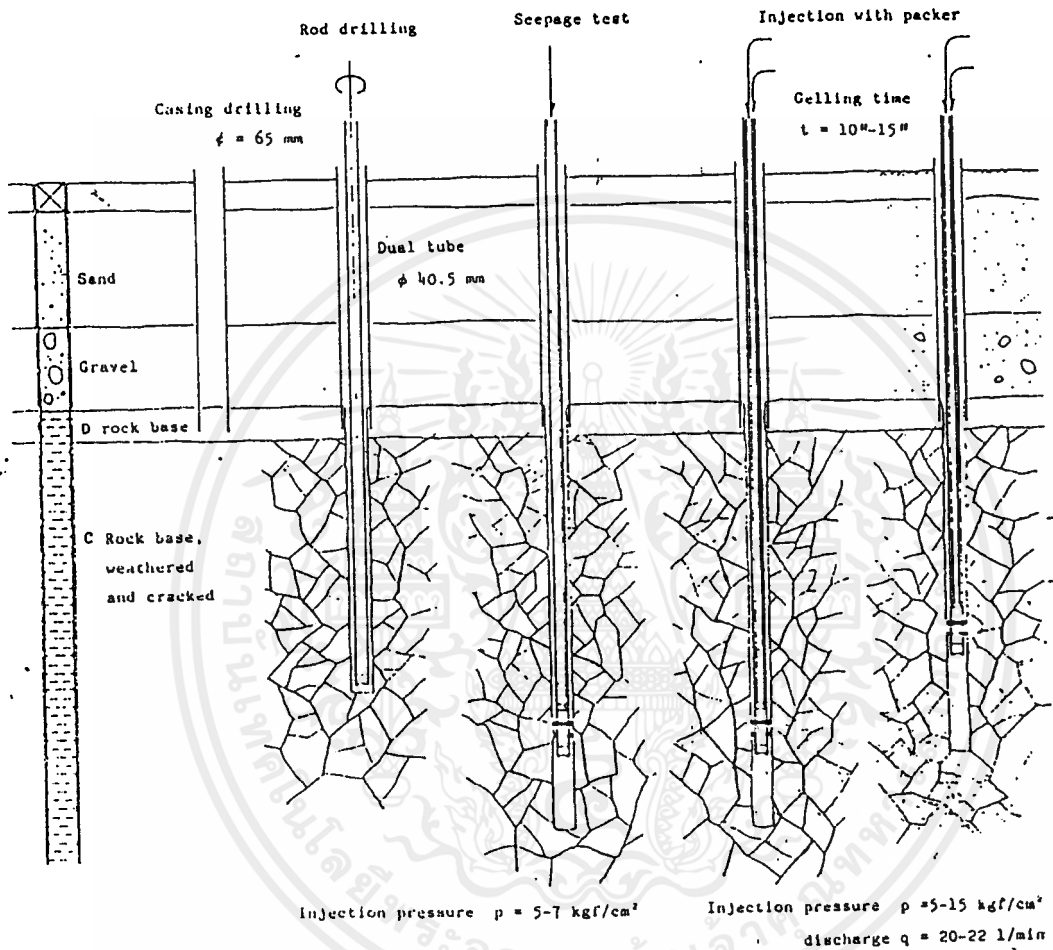


รูปที่ 85 แสดงการบ่งกับวิธีที่ใช้ท่อคู่



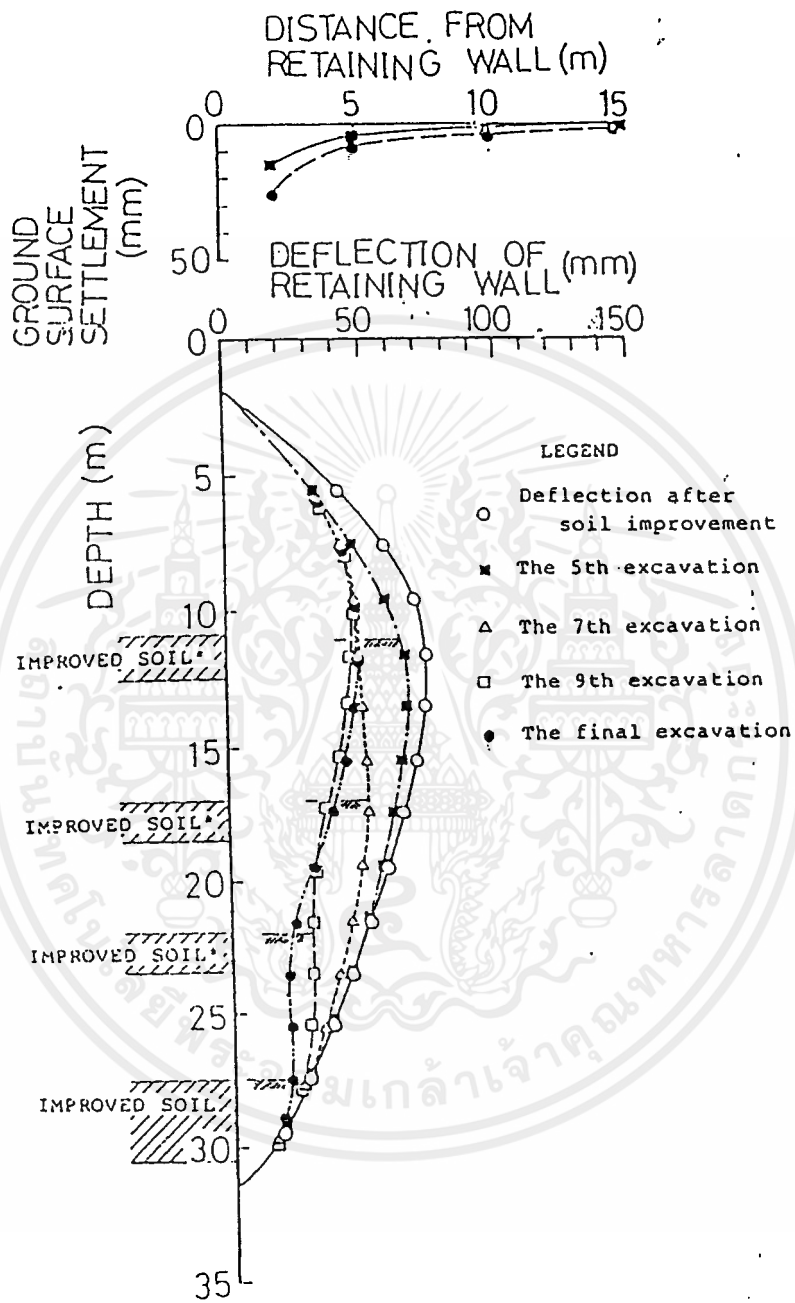
รูปที่ 86 แสดงการกระจายของขนาดที่ใช้ในการ Grouting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



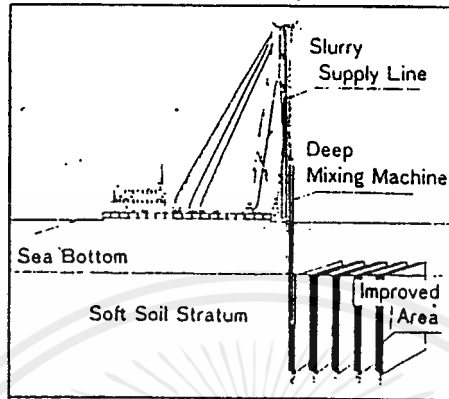
รูปที่ 87 แสดงวิธีการ Grout โดยวิธี MT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

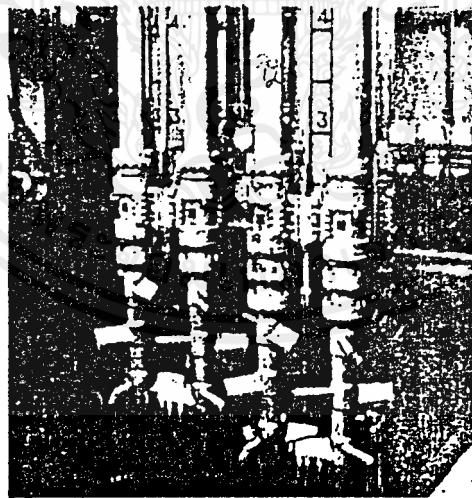


รูปที่ 90 แสดงการโก่งตัวของกำแพงกันดินขณะทำการขุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

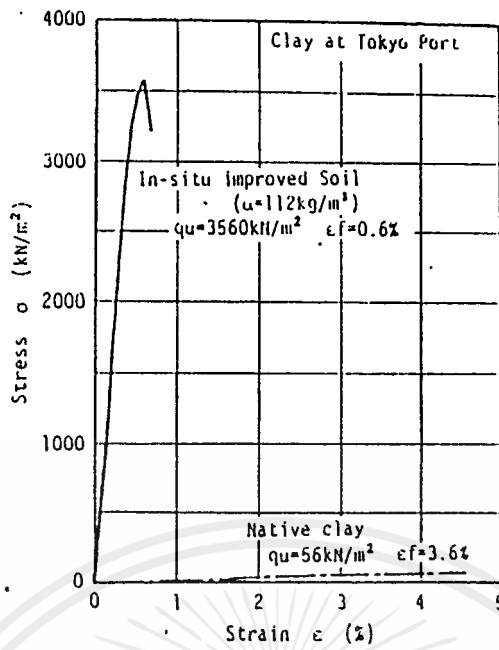


รูปที่ 91 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้งาน DCM

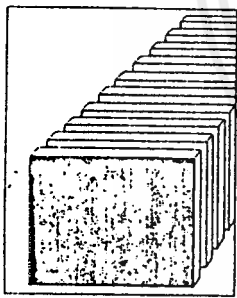


รูปที่ 92 แสดงรูปแบบของการทำงานโดยวิธี DCM

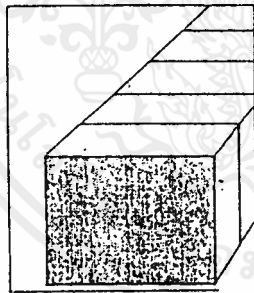
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



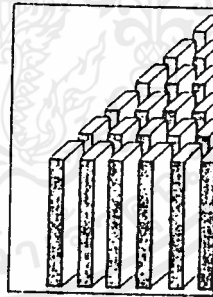
รูปที่ 93 แสดงคุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนไปเมื่อกำ Grouting



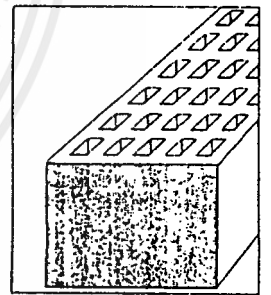
Wall-shaped type



Block-shaped type



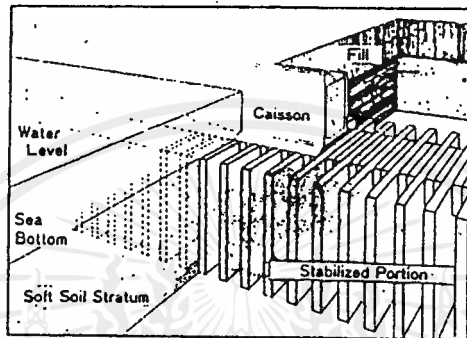
Pile-shaped type



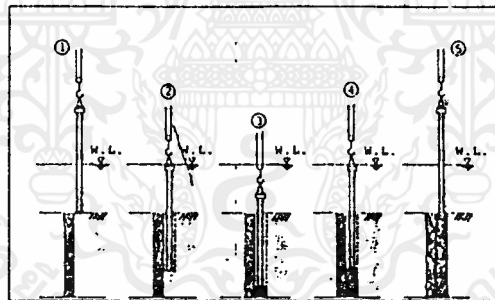
Lattice-shaped type

รูปที่ 94 แสดงแบบของฐานราก DCM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



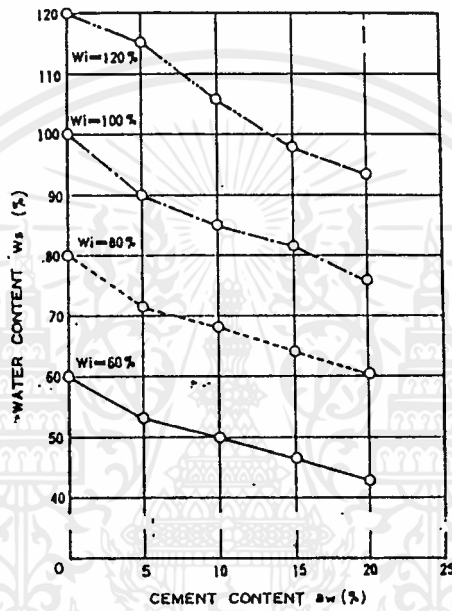
รูปที่ 95 แสดงการวางฐานราก DCM แบบ wall-shaped



- ① Positioning of DCM barge
- ② Penetration of the machine
- ③ Hardening the tip of the improved soil
- ④ Mixing the cement slurry with the soil upon withdrawal of the machine
- ⑤ Completion of withdrawal

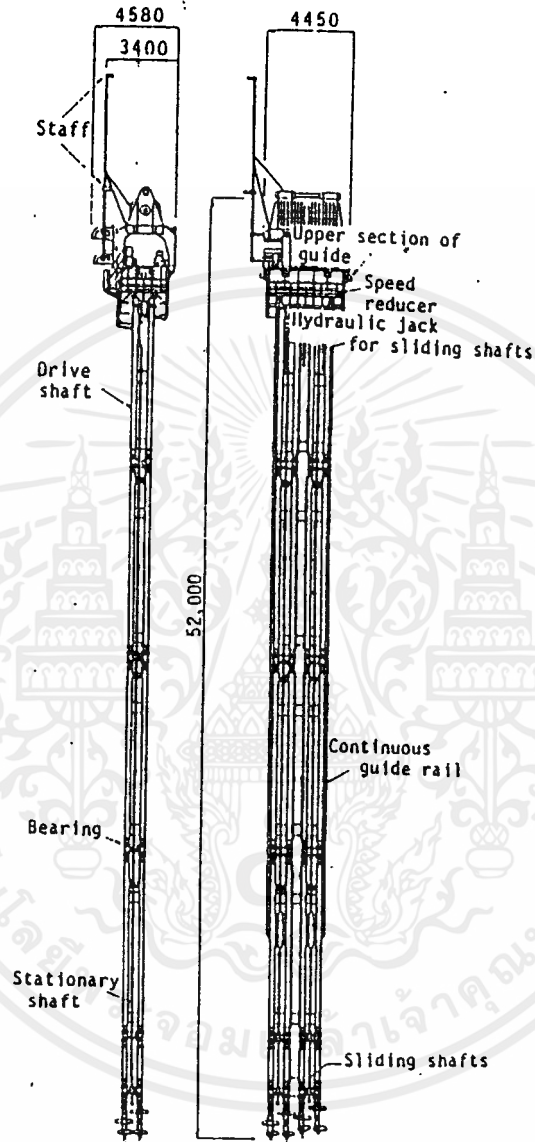
รูปที่ 96 แสดงลำดับการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



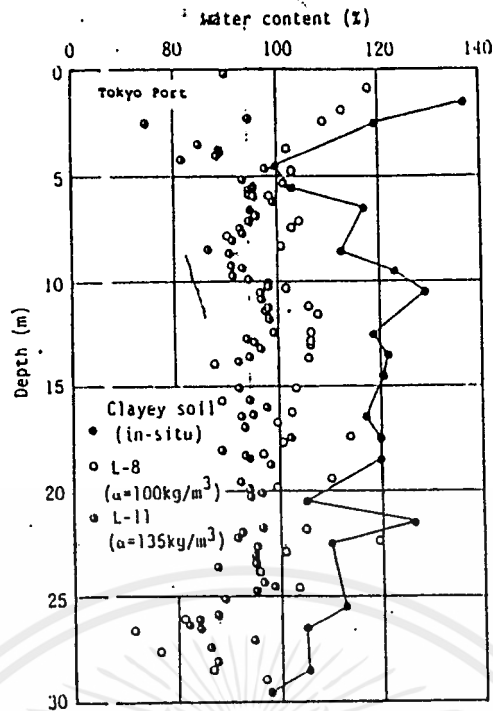
รูปที่ 97 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ ปริมาณซีเมนต์ และ ปริมาณน้ำเริ่มต้นของดินที่ทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

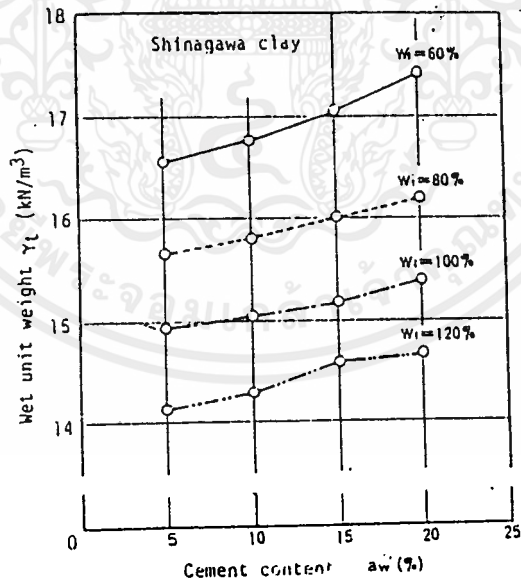


รูปที่ 98 อุปกรณ์ DCM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

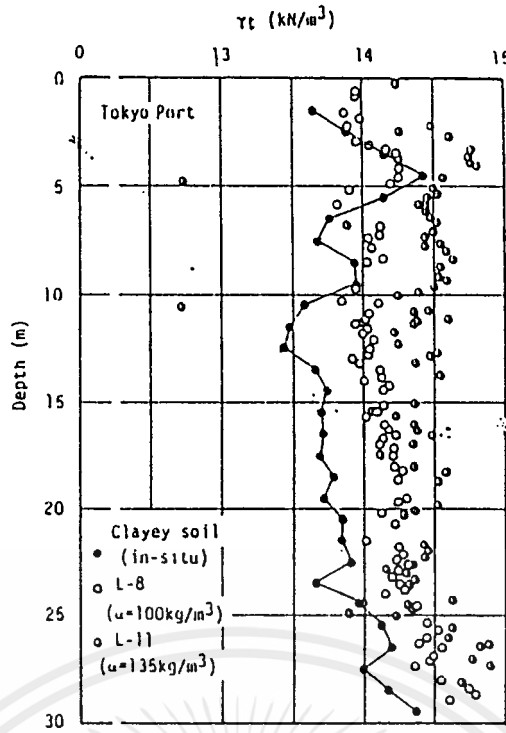


รูปที่ 99 แสดงการกระจายของปริมาณน้ำของตัวอย่างดิน
ที่ได้ทำการปรับปรุงแล้ว

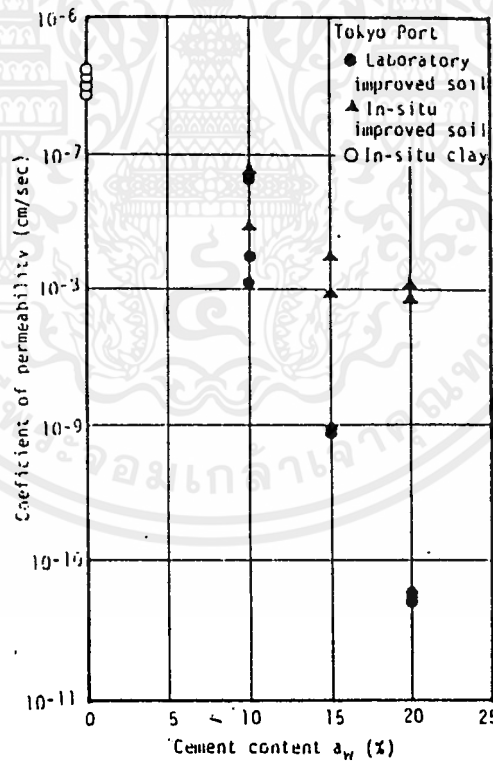


รูปที่ 100 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนัก ปริมาณซีเมนต์ และ
ปริมาณน้ำเริ่มต้น สำหรับดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

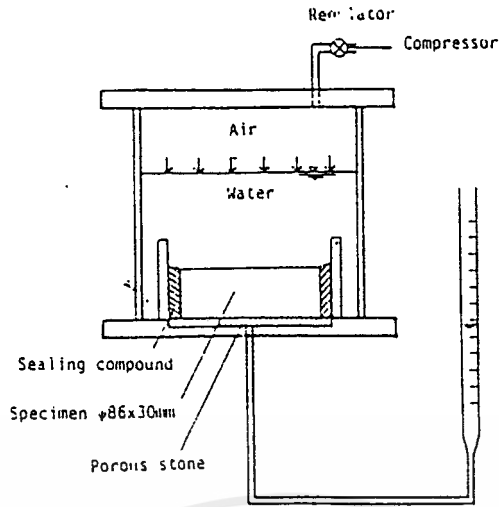


รูปที่ 101 แสดงการกระจายของหน่วยน้ำหนักของดินก่อนทำการปรับปรุงแล้ว

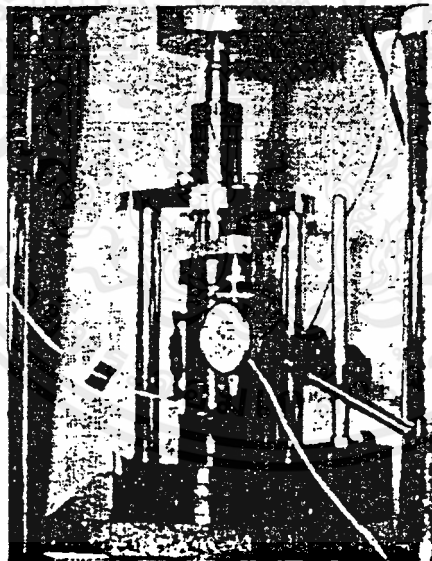


รูปที่ 102 แสดงส.ป.ส. ของความชื้นได้กับปริมาณซีเมนต์ของดิน ที่ได้รับการปรับปรุง และก่อนทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 103 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความชื้นน้ำ



รูปที่ 104 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ Unconfined Compression

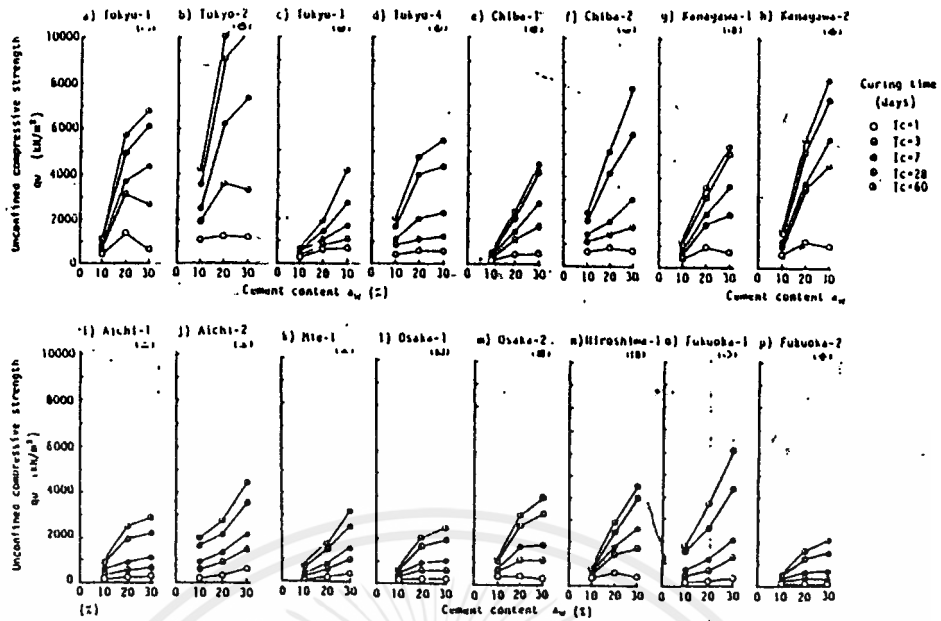
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name	Symbol	Soil Type	Physical Properties										Chemical Properties						
			Grain Size Distribution			Atterberg Limit			Specific Gravity G _s	Natural Water Content W _D (%)	Centrifuge Moisture Equivalent W _C (%)	Organic Matter Content				Chlorides (%)	Sulfates (%)	Water Soluble Component (%)	pH-Value
			Sand (74-2000 μ)(%)	Silt (5-74 μ)(%)	Clay (5 μ)(%)	Liquid Limit W _L (%)	Plastic Limit W _P (%)	Plasticity Index I _p				Ignition Loss (%)	Dichromic Acid Method (%)	Humus Content (%)	Absorbance of Extract				
Aomori-1	(L)	(L)	34.0	43.0	23.0	230.0	72.6	157.4	2.434	305.1	114.8	11.9	11.2	2.90	0.80	0.01	0.31	0.41	4.5
Akita-1	(L)	(L)	5.0	33.0	62.0	100.4	36.2	64.2	2.601	100.1	78.9	9.5	6.6	1.87	1.02	0.00	0.05	0.12	3.4
Ibaragi-1	(L)	(L)	4.0	43.0	53.0	107.8	38.8	69.0	2.625	157.7	90.1	12.3	5.0	0.92	0.79	0.01	0.04	0.10	4.3
Ibaragi-2	(L)	(L)	9.0	33.0	58.0	78.3	31.7	46.6	2.625	92.4	61.9	11.5	6.4	2.37	3.60	0.01	0.02	0.04	4.1
Tokyo-1	(P)	(P)	1.0	41.0	58.0	90.5	35.2	55.3	2.746	99.6	71.0	5.4	4.7	0.39	0.12	0.88	1.48	2.77	7.2
Tokyo-2	(L)	(L)	14.0	55.0	31.0	52.4	28.0	24.4	2.720	62.8	49.7	4.4	3.4	0.30	0.40	0.05	0.20	0.40	7.8
Tokyo-3	(L)	(L)	25.0	61.0	14.0	49.3	21.5	27.8	2.728	58.4	36.9	4.4	3.5	0.37	0.25	0.01	0.50	1.00	3.8
Tokyo-4	(L)	(L)	1.0	45.0	54.0	85.1	29.7	55.4	2.661	86.3	70.6	7.8	4.2	0.26	0.20	0.01	0.15	0.34	5.9
Chiba-1	(P)	(P)	2.0	50.0	48.0	95.7	31.7	64.0	2.749	123.0	72.4	9.0	3.1	0.39	0.08	2.33	0.30	4.58	7.5
Chiba-2	(P)	(P)	44.0	32.0	24.0	55.8	24.0	31.8	2.692	61.0	44.6	9.9	4.1	0.34	0.29	0.04	0.02	0.14	6.6
Kanagawa-1	(P)	(P)	16.0	54.0	30.0	91.0	31.5	59.5	2.739	109.7	87.2	6.3	4.3	0.71	0.04	1.86	0.22	3.46	6.7
Kanagawa-2	(P)	(P)	8.0	45.0	47.0	85.0	33.3	51.7	2.716	97.1	63.9	7.3	3.6	0.28	0.11	1.31	0.21	2.66	7.3
Aichi-1	(P)	(P)	5.0	61.0	34.0	83.4	23.4	60.0	2.724	99.3	62.7	6.6	3.3	0.60	0.02	1.59	0.25	3.12	7.4
Aichi-2	(P)	(P)	22.0	73.0	5.0	46.0	25.4	20.6	2.773	54.4	32.8	5.1	3.6	0.36	0.02	1.45	0.23	2.86	7.2
Mie-1	(P)	(P)	29.0	59.5	11.5	46.9	27.1	19.8	2.741	56.7	28.9	6.4	6.0	0.39	0.03	0.92	0.20	1.87	7.3
Mie-2	(L)	(L)	15.0	61.0	24.0	80.0	32.5	47.5	2.608	122.2	60.4	9.1	6.8	1.58	0.76	0.14	0.00	0.27	3.9
Osaka-1	(P)	(P)	2.0	62.0	36.0	61.2	24.3	36.9	2.695	55.8	49.3	5.6	4.7	0.33	0.06	0.08	0.21	0.58	7.3
Osaka-2	(P)	(P)	5.0	41.0	54.0	95.0	29.9	65.1	2.693	113.5	76.5	9.1	3.8	0.37	0.07	1.94	0.21	3.79	7.5
Hyogo-1	(P)	(P)	3.0	33.0	64.0	116.1	32.5	83.6	2.731	118.0	87.6	9.3	4.5	0.45	0.10	2.25	0.26	4.40	7.4
Hiroshima	(P)	(P)	3.0	61.0	36.0	121.0	36.1	84.9	2.677	136.3	89.9	8.4	4.9	0.54	0.01	1.85	0.35	3.64	7.3
Fukuoka-1	(P)	(P)	24.0	64.5	11.5	41.5	25.5	16.0	2.705	55.8	28.3	5.4	1.2	0.14	0.01	0.92	0.25	2.04	7.1
Fukuoka-2	(P)	(P)	2.0	65.0	33.0	93.1	25.2	67.9	2.664	149.2	87.2	9.0	3.4	0.36	0.02	0.01	0.04	5.75	7.2

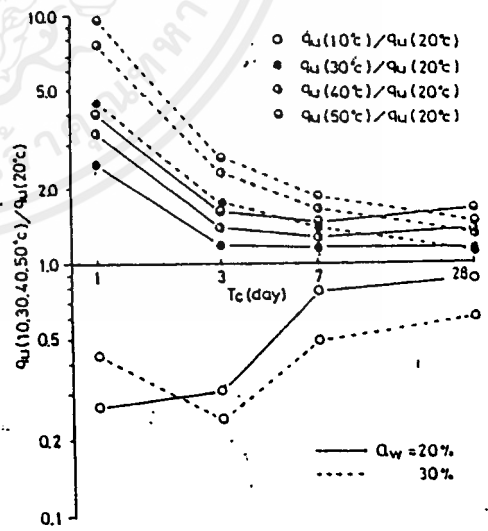
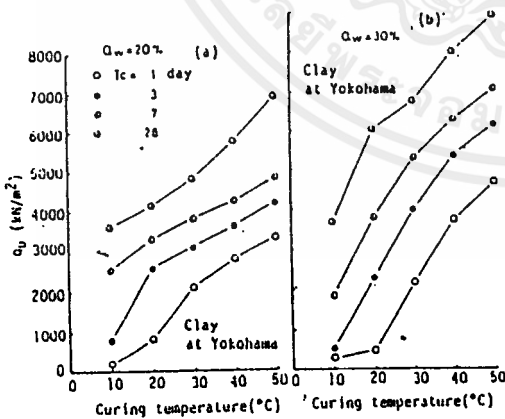
Note: (P)...Soils below sea bottom
(L)...Originally marine soils now on land

รูปที่ 105 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี และ Unconfined compressive strength ของดินที่ทำการปรับปรุแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



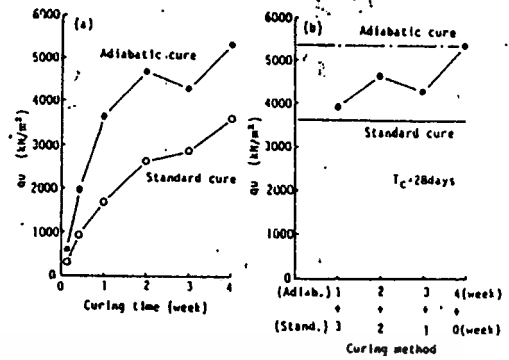
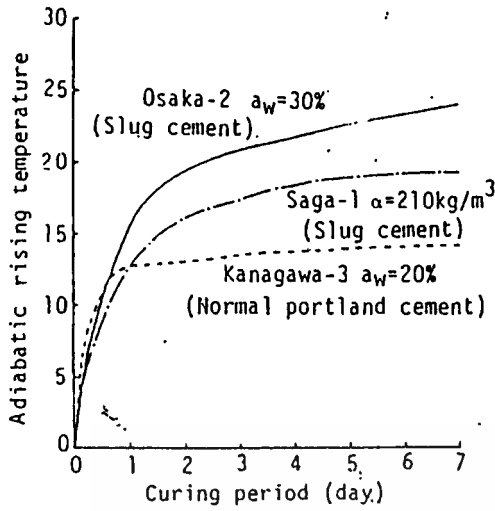
รูปที่ 106 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength, q_u ปริมาณซีเมนต์ และระยะเวลาในการบ่ม, T_c ของดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว



รูปที่ 107 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength, q_u อุณหภูมิการบ่ม, t_c และ

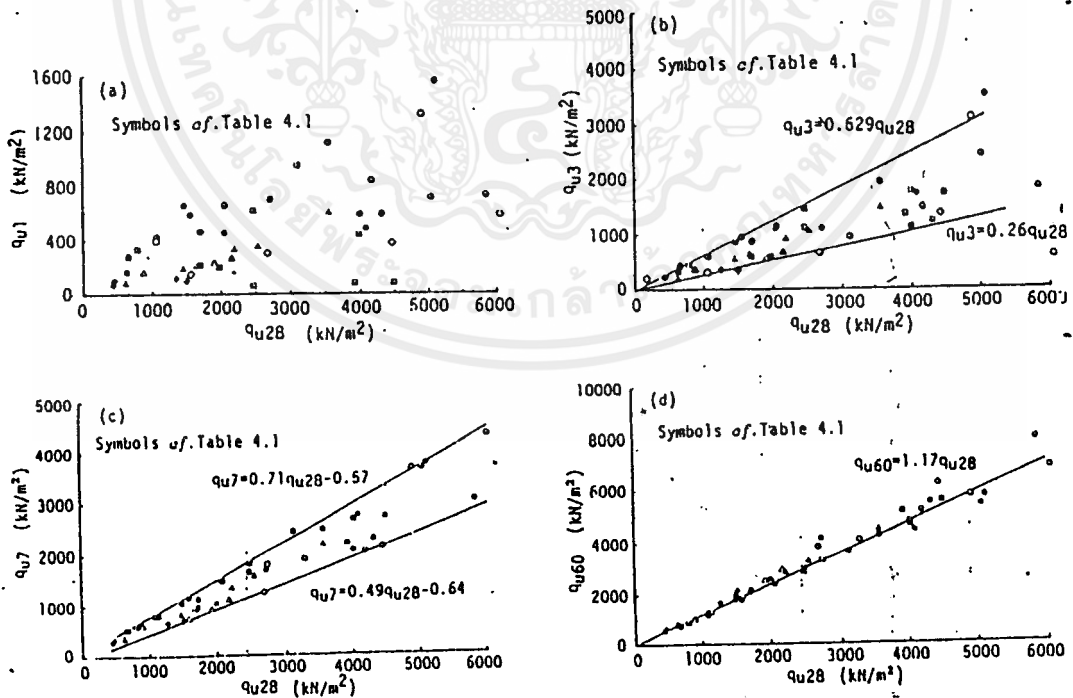
รูปที่ 108 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง t_c / $q_u = 20^\circ C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น ย้ำห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่พิมพ์ขึ้นมาไว้



รูปที่ 109 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการบ่ม

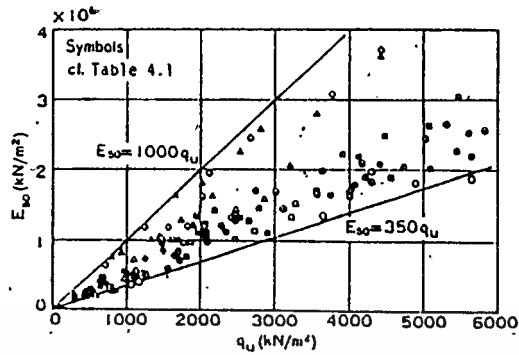
รูปที่ 110 แสดงการเปรียบเทียบค่า Unconfined Compressive Strength แบบ Adiabatic และการบ่มแบบมาตรฐาน



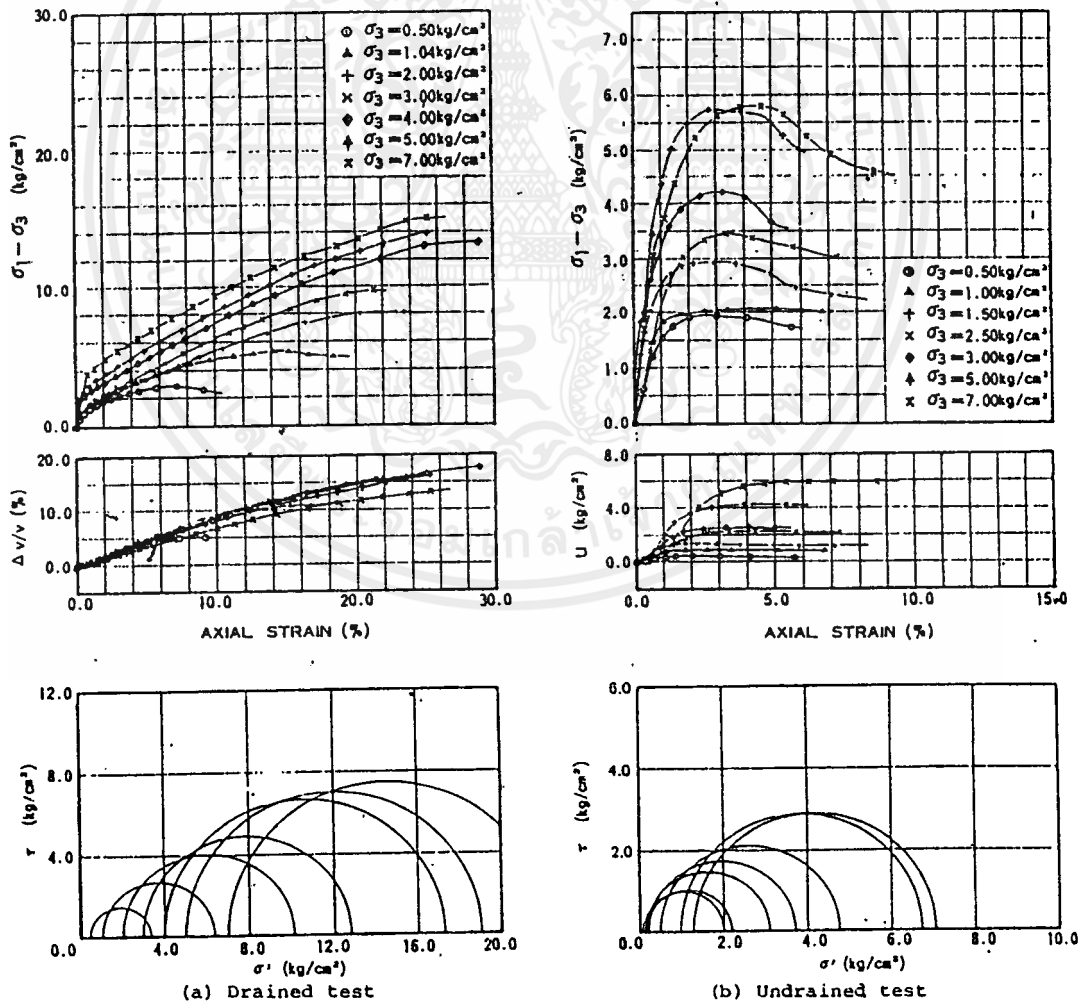
รูปที่ 111 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive

Strength q_{u1} , q_{u3} , q_{u7} , q_{u60} และ q_{u28}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

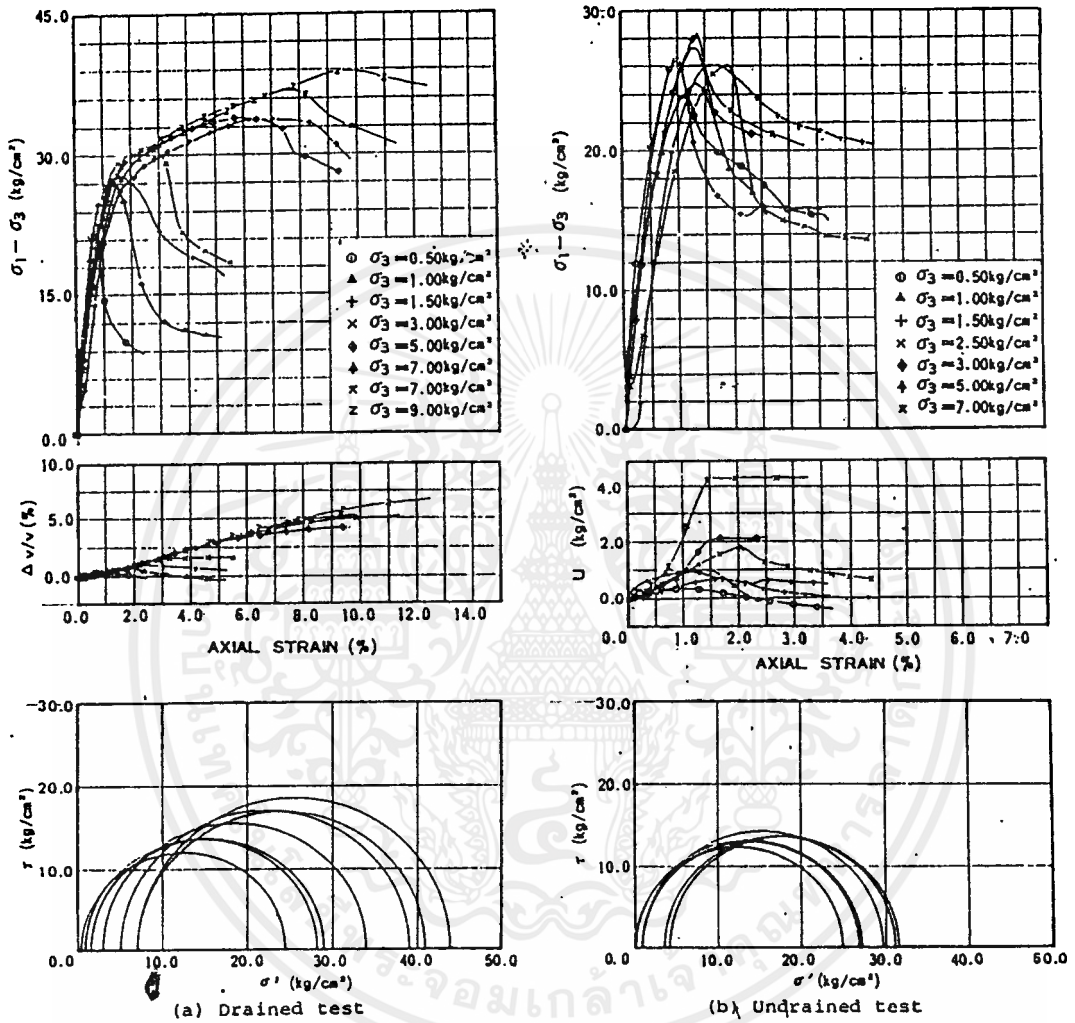


รูปที่ 112 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unconfined Compressive strength, q_u และค่าโมดูลัส E_{50} ของดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว



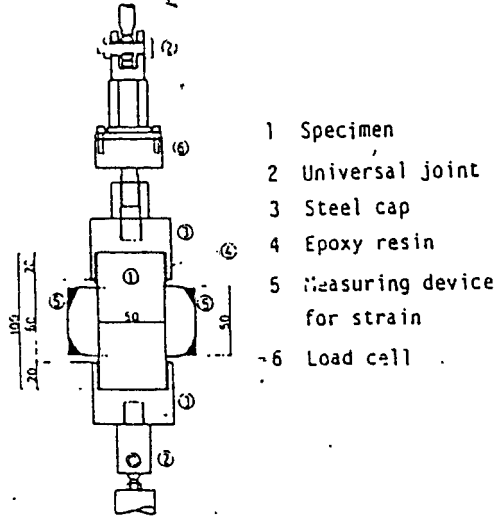
รูปที่ 113 แสดงผลของการทดสอบแบบ 3 แกน ของดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว ($a_v = 5\%$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

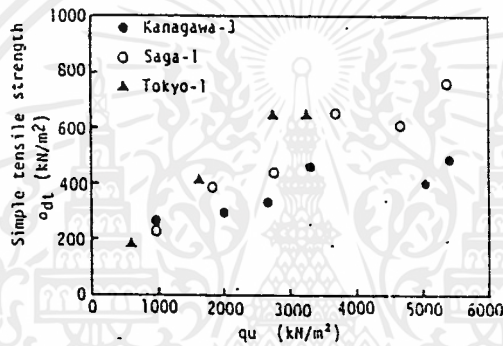


รูปที่ 114 แสดงผลการทดสอบแบบ 3 แกน ของดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว ($a_v = 15\%$)

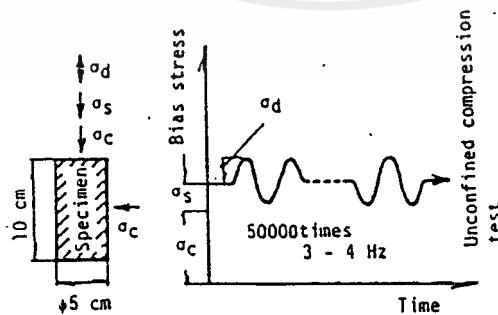
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

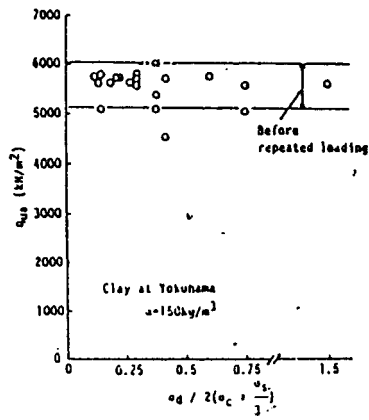


รูปที่ 115 แสดงวิธีการทดสอบหาแรงดึง

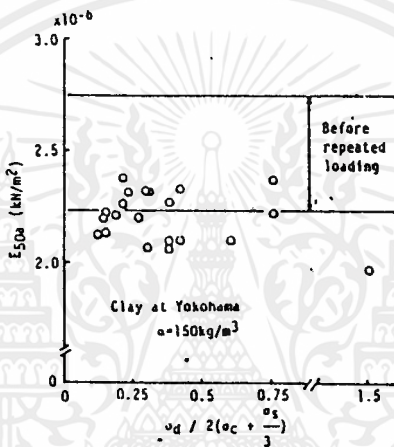


รูปที่ 116 แสดงความสัมพันธ์ การรับแรงดึง σ_{tdt} และค่า Unconfined Compressive Strength, q_u ในดินที่ทำการปรับปรุงแล้ว

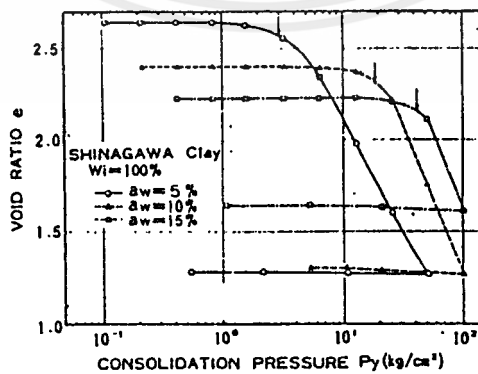




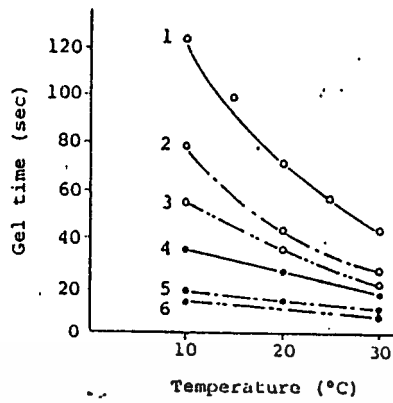
รูปที่ 118 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength, q_u (หลังจากรับ Impact Load)



รูปที่ 119 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดิน หลังการทำ Impact Load



รูปที่ 120 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่าง และ $\log P$ ของดินที่ทำการปรับปรุง ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No.	Liquid A	Liquid B
1	Portland 400 kg/cu.m	40%
2	" 600 "	"
3	" 800 "	"
4	Colloid 400 "	"
5	" 600 "	"
6	" 800 "	"

Liquid A: Cement milk
 Liquid B: Sodium silicate solution
 A : B 1 : 1 by volume

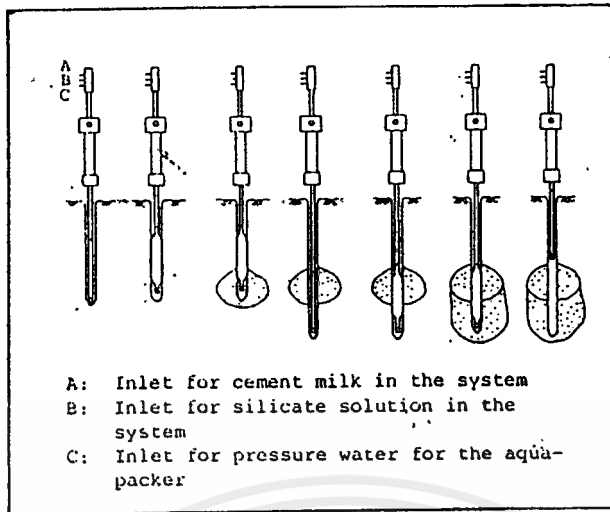
รูปที่ 121 แสดง Gel time ของอุณหภูมิต่างๆ

Table 1. Mixing Ratio - Characteristics of Grout

Cement : Silicate	Gel time	Strength	
		Initial strength	Long-term strength
1 : 1	Standard	Standard	Standard
2 : 1	↓	↓	↓
3 : 1	Short	Weak	Strong
4 : 1			

รูปที่ 122 แสดงอัตราส่วนผสมลักษณะความแข็งแรงตัวของกราวท์ Grout

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 123 แสดงขั้นตอนการทำงานโดยวิธี ADG



รูปที่ 124 แสดง Aqua-Packer เมื่อนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Class	Example	Viscosity Centipoise	Gel Time Range, min	Unconfined	
				Compressive Strength, psi	Strength, psi
Precipitated grouts:					
Silicate (low concentration)	Silicate-bicarbonate	1.5	0.1-300	Under 50	Under 50
Silicate (high concentration)	Silicate-formamide (Siroc)†	4-40	5-300	Over 500	Over 500
Chrome lignin	Silicate-chloride (Joosten)	30-50	0	Over 500	Over 500
	TDM	2.5-4	5-120	50 to 500	50 to 500
	Terra Firma††	2-5	10-300	Under 50	Under 50
	Blox-All†	8	3-90	Under 50	Under 50
	Lignosol††	50	10-1000	---	---
Polymerized grouts:					
Vinyl polymer	AM-9§	1.2-1.6	0.1-1000	50 to 500	50 to 500
Methylol bridge polymer	Urea formaldehyde	6	5-300	Over 500	Over 500
	Herculox†	13	4-60	Over 500	Over 500
	Cyanaloc 62§	13	1-60	Over 500	Over 500
	Resorcinol-formaldehyde	3-5	--	Over 500	Over 500
Oil-based unsaturated fatty acid polymers	Polythixon FRD	10-80	25-360	Over 500	Over 500
Epoxy resin	62E2§§	2-18	--	Over 500	Over 500
† Diamond Alkali Company					
†† Intrusion Prepekt, Inc.					
‡ Halliburton Company					
†† Lignosol Chemical, Ltd.					
§ American Cyanamid Company					
§§ George W. Whitesides Company					

ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้ในงาน Grout

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Injection method	Injection pipe	Injection type	Gel time	Name of injection method
Rod method	Single pipe	1.5 shot	3-10 min.	_____
Strainer method	Single pipe	1.5 shot	3-10 min.	_____
Tube á manchettes method	Outer and inner pipe	1 shot	15-60 min.	Soletanche Sleeve-pipe
Dual pipe method.	Dual pipe	2 shot	3-15 sec.	DDS, LAG, MT
Special dual pipe method	Dual pipe	1, 1.5, 2 shot.	long and very short	Uni-pack, Multi-rizer, Dual-mode shot; Space grout

ตารางที่ 7 แสดงวิธีที่ใช้ในการ Grouting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FINAL REPORT

โครงการ : ปรับปรุงคุณภาพดินสนามบิณฑองงูเห่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Final Report

เรื่อง

Independent Soil Engineering Study for Secondary International Airport Implementation Program

เนื้อหาที่จะกล่าวถึงในส่วนต่อไปนี้ ถอดความ ตัดตอน บางส่วนมาจากรายงานการศึกษา
ความเป็นไปได้ของวิธีการในการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน สำหรับพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้างสนามบิน
หนองงูเห่า ซึ่งเป็นผลการศึกษาโดย บริษัท STS Engineering Consultant Co.,Ltd. in
Cooperation ร่วมกับ บริษัท The Norwegian Geotechnical Institute โดยมี บริษัท
การทำอากาศยานแห่งประเทศไทย เป็นผู้ว่าจ้าง

Executive Summary

สภาพดินบริเวณที่จะทำการก่อสร้างโครงการ The Second Bangkok International Airport จะมีลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนสามารถบดอัดได้ หนา 16 เมตร

วิธีการต่างๆในการปรับปรุงคุณภาพดินจะเป็นเพียงการลดการทรุดตัวที่ผิวดินของดินอ่อนชั้นบนเท่านั้น การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของชั้นดินที่อยู่ลึกกว่าลงไปมักไม่มีผลต่อโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างในกรุงเทพมหานครในแง่ของความแตกต่างในการทรุดตัว

ในความรับผิดชอบที่ได้รับคือการหาความเป็นไปได้ของวิธีการต่างๆในการปรับปรุงสภาพดิน โดยจะต้องแสดงถึงรายละเอียดต่างๆดังนี้ คือ

- ออกแบบคำนวณอย่างคร่าวๆเพื่อให้สามารถยอมรับในหลักการได้
- สรุปคร่าวๆถึงวิธีการปฏิบัติการ ขั้นตอน และเทคนิคพิเศษต่างๆที่เกี่ยวข้อง
- ประเมินราคาค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ
- สรุปให้เห็นถึงวิธีการที่น่าสนใจที่สุด

ได้มีการพิจารณาถึงเทคนิควิธีการต่างๆที่จะนำมาใช้ โดยในที่สุดก็ได้เลือกวิธีการที่มีความเหมาะสมน่าสนใจมากที่สุดออกมา 4 วิธี คือ

- วิธี Preconsolidation ด้วย vertical drains และดินถม
- Deep soil improvement.
- Piles supporting either a free spanning concrete plate of a pave embankment.
- แทนที่ดินเดิมด้วยวัสดุน้ำหนักเบา

การทำ preconsolidation ด้วย vertical drains และ ดินถม พบว่าเป็นวิธีที่มีความน่าสนใจสูงสุดในแง่ของราคาค่าใช้จ่าย และสามารถแก้ไขการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันได้เป็นอย่างดี จุดสำคัญของวิธีการในการออกแบบสามารถทำได้โดยการทดสอบกับพื้นที่จริงโดยการถมดินลงบนพื้นที่ซึ่งมีการทำ vertical sand drains แทนการใช้วัสดุในการระบายชนิดอื่น ระยะเวลาที่ต้องการจะเป็นผลทำให้ระยะเวลาในการก่อสร้างต้องยืดยาวออกไปอย่างน้อย 4 ปี ช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นอันตรายต่อสิ่งก่อสร้างหรือการดำเนินงานที่เกี่ยวเนื่องกัน ซึ่งเมื่อผู้ให้คำแนะนำไปเรียบร้อยแล้ว การดำเนินการก็ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวสามารถทำให้ลดลงได้แต่ก็จะมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นด้วย

วิธีการใช้เข็มเป็นทางเลือกที่ดีเป็นอันดับสองรองลงมา แต่ค่าใช้จ่ายในส่วนของการก่อสร้างจะมากกว่าวิธีการ preloading with drains ไม่ต่ำกว่า 50% มีการพิจารณาถึงประเภทต่างๆของเข็มรวมทั้ง piles supporting a free spanning plate , relief piles with caps and soil reinforcement และ piles supporting a continuous embedded concrete plate ลักษณะของโครงสร้างดินเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณา ซึ่งคาดว่าความแตกต่างทางด้านราคาจะไม่มีผลต่อการตัดสินใจมากนัก ด้วยวิธีการดังกล่าวจะใช้ระยะเวลาในการดำเนินการก่อสร้างสั้นลง อย่างไรก็ตามเทคนิคดังกล่าวจะมีผลต่อรูปร่างลักษณะของโครงสร้างซึ่งยังไม่ได้มีการศึกษาในรายละเอียด จึงไม่สามารถคาดการณ์ค่าใช้จ่ายที่แน่นอนทั้งหมดได้

ในการทำ preloading with vertical drains นั้นจะต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนของการบำรุงรักษาด้วยอันเนื่องมาจากการทรุดตัวของชั้นดินอ่อนซึ่งไม่เท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายดังกล่าวถือว่ามีค่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายของการก่อสร้างโดยใช้เข็ม

ในการเลือกใช้วัสดุน้ำหนักเบาแทนที่ที่มีความน่าสนใจในเรื่องของระดับความสูงของการถม (ประมาณ 2-3 เมตร) และสามารถลดการทรุดตัวให้เป็นที่น่าพอใจได้ วิธีการดังกล่าวจะใช้ styrofoam blocks ในแนวของคันทาง

หมายเหตุ :

Appendix A* - Soil Profile and Properties for Use in Settlement Analyses

Appendix B* - Design Criteria

Appendix C - Preconsolidation with Vertical Drains

Appendix D - Deep Ground Improvement

Appendix E* - Relief Piles

Appendix F* - Light Weight Fills

(* ไม่ได้นำมากล่าวถึงในรายงานฉบับนี้)

DESIGN BASIS AND DESIGN CRITERIA

Soil data

ปัญหาการทรุดตัวของดินเป็นเรื่องแรกที่จะต้องทำการแก้ไข คุณสมบัติของดิน สภาพของชั้นดินจะได้แสดงรายละเอียดใน Appendix A ตารางที่ 10 แสดง ถึงค่าตัวแปรต่างๆอันมีผลต่อลักษณะการทรุดตัวของชั้นดิน

Depth (m)	σ_{vo}' (t/m ²)	p_c' (t/m ²)	$\frac{C_c}{1+e_o}$	Permeability (x10 ⁻⁷ cm/sec)		Typical consol. coeff. (m ² /yr) (at $p' = \sigma_{vo}' + 5$ t/m ²)	
				k_{vo}	k_{ho}	c_v	c_h
1	1.15	5.00	0.48	10.0	10.0	6.00	6.00
2	1.70	5.00	0.67	4.0	6.8	1.50	2.50
4	2.62	5.00	0.67	1.5	2.55	0.45	0.77
7	4.00	5.80	0.67	1.5	2.55	0.45	0.77
11	7.80	8.40	0.42	0.5	1.45	0.65	1.88
14	11.60	11.60	0.36	0.35	0.82	0.75	1.75
16	14.80	14.80	0.27	0.18	0.32	0.75	1.36

ตารางที่ 10 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชั้นดินเหนียวอ่อน

โดย σ_{vo}' = ค่า vertical effective stress

p_c' = ค่า preconsolidation stress

$C_c/1+e_o$ = อัตราส่วนการบดอัด

k_{vo} = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแนวดิ่ง

k_{ho} = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแนวราบ

c_v = ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัวในแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัวในแนวราบ ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงต่อของชั้นดินเหนียวอ่อนชั้นบน กับชั้น stiff clay จะอยู่ที่ระดับความลึก 14 เมตร ถึง 18 เมตร ดังนั้นจะถือค่าเฉลี่ยที่ 16 เมตรเป็นมาตรฐาน

อัตราการทรุดตัวที่ผิวดินในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาพบว่ามีอัตราการทรุดตัวประมาณ 2 - 5 ซม. ต่อปี

Ground elevation

ระดับความสูงเฉลี่ยของพื้นที่ที่จะเฉลี่ยอยู่ในราว 0 ถึง 0.5 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล

Design cross-section and permanent surface loads

รูปตัด และน้ำหนักเนื่องจาก airfield และวัสดุผิวทาง จะได้แสดงใน Appendix B น้ำหนักสูงสุดเนื่องจากอากาศยานจะมีค่าประมาณ 5 ตัน/ม² น้ำหนักเนื่องจากน้ำหนักถนนและลานจอดจะมีค่าประมาณ 2 ตัน/ม² และจะต้องบวกเพิ่มอีก 1 ตัน/ม² สำหรับน้ำหนักของดินถม

NACO (1984) ได้ทำการประมาณพื้นที่ที่จะต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินสำหรับโครงการนี้ไว้ประมาณ 2.4 ล้านตารางเมตร

Settlement criteria

ในส่วนนี้จะได้กล่าวโดยละเอียดใน Appendix B

Design of pavement

ในส่วนของวัสดุที่ใช้ในการทำผิวทางเป็นเรื่องนอกเหนือจากงานที่ได้รับมอบหมาย โดยเรื่องดังกล่าวจะอยู่ในขั้นตอนของการออกแบบ

POSSIBLE ALTERNATIVE SOLUTIONS

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการต่างๆที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยจะได้กล่าวในรายละเอียดสำหรับวิธีการที่มีความน่าสนใจในลำดับต่อไปในส่วนของ Appendix

Floating solution

วิธีนี้จะเป็นการขุดลงไปในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนลึกลงไปประมาณ 2-3 เมตร แล้วสร้างโครงสร้างลักษณะเป็นอ่างขนาดใหญ่ทำด้วยเหล็กหรือคอนกรีตไว้แทนที่ วิธีการดังกล่าวมีความเป็นไปได้ทางเทคนิค แต่ค่าใช้จ่ายเฉพาะส่วนของคอนกรีตเพียงอย่างเดียวก็สูงเป็นสองเท่าของการทำแผ่นคอนกรีตวางบนหัวเสา โดยค่าใช้จ่ายจะตกประมาณ 7,000 บาท/ม² อันเป็นผลทำให้วิธีการดังกล่าวไม่เป็นที่น่าสนใจในแง่ของงบประมาณ

แต่ข้อสังเกตก็คือสนามบินหลายแห่งมักจะมีพื้นที่บางส่วนลุ่มน้ำเข้าไปในทะเล (ดังเช่นสนามบิน Kansai International ในกรุงโตเกียว ซึ่งความลึกของน้ำทะเลประมาณ 20 เมตร วิธีการ floating จึงเป็นวิธีที่มีความเหมาะสม) อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวมักจะไม่ใช้เป็นวิธีหลักในการปรับปรุงคุณภาพดินสำหรับโครงการก่อสร้างสนามบิน สาเหตุเนื่องมาจากค่าใช้จ่ายที่สูงนั่นเอง

Excavation of soft soil. Replacement with firm soil masses.

เป็นวิธีการขุดเอาดินอ่อนออกแล้วถมกลับด้วยดินที่มีความมั่นคง โดยการบดอัดเป็นชั้นๆ โดยการกระทำดังกล่าวเป็นผลทำให้ความหนาของชั้นดินอ่อนลดลง ทำให้ค่าการทรุดตัวทั้งหมดลดลง อย่างไรก็ตามสิ่งดินที่นำมาถมมีความหนาแน่นสูงกว่าสภาพดินเดิมเพียงไร ก็จะเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับกำลังในแนวตั้งของดินชั้นล่างมากขึ้นเท่านั้น ตารางที่ 11 แสดงถึงระดับความลึกที่ทำการขุดแล้วถมกลับ กับค่าการทรุดตัวที่จะเกิดขึ้น

Depth of excavation/replacement (m)	0	0.5	3	6	8
Primary consolidation settlement (m). remaining soft clay	1.12	1.23	1.45	1.23	0.88

ตารางที่ 11 แสดงค่าการทรุดตัวในชั้น primary สัมพันธ์
กับระดับความลึก ของวัสดุที่จะนำมาถมแทนที่

ตัวเลขที่คำนวณได้ดังแสดงในตารางที่ 11 ได้มาจากการสมมติให้วัสดุที่นำมาถมมีหน่วยน้ำหนักเป็น 2 ตัน/ม³

การทรุดตัวในชั้น secondary จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากระยะเวลาที่การทรุดตัวอย่างสมบูรณ์ในชั้น primary จะกินเวลาไปแล้วอย่างน้อย 20 ปี

ข้อดีประการต่อมาของวิธีการนี้ก็คือด้วยวัสดุที่นำมาแทนที่จะช่วยลดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันได้

- ค่าความแตกต่างของการทรุดตัวจะสามารถยอมรับได้ก็ต่อเมื่อมีการขุดและถมด้วยวัสดุที่ต่ำกว่าถึงระดับความลึก 8 เมตร

- ทรายเป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้ถมได้

- การขุดเอาดินเดิมออกจะใช้วิธีการ open cut

ค่าใช้จ่ายในการถมวัสดุลงไปแทนที่เพียงอย่างเดียวจะตกประมาณ 4000 บาท/ม² วิธีนี้จึงจัดว่าเป็นทางเลือกที่เสียค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งค่าใช้จ่ายอาจลดลงได้หากมีการนำวัสดุอื่นที่มีราคาถูกกว่ามาใช้เช่น dry crust of the clay อย่างไรก็ตามด้วยวัสดุดังกล่าวจะเกิดการอัดตัวเนื่องจากน้ำหนักของตัวเองได้ อันจะทำให้พื้นผิวเกิดความไม่มั่นคง แม้แต่จะทำการบดอัดดีเพียงไรก็
จะยังคงเกิดการทรุดตัวอย่างน้อย 1% ของระดับความสูงที่ถม

Excavation of soft clay. Replacement by a light weight fill.

โดยการขุดดินเหนียวอ่อนชั้นบนออกและแทนที่ด้วยวัสดุน้ำหนักเบา เป็นผลทำให้น้ำหนักที่กด
ลงบนชั้นดินอ่อนมีค่าลดลง ซึ่งจะได้มีการกล่าวในรายละเอียดต่อไป
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการแจ้งในหอการค้าขอให้นำขึ้น เสนอญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reduction of permanent surface loads by other means

น้ำหนักเนื่องจากผิวทางและวัสดุรองรับจะต้องออกแบบให้มีน้ำหนักน้อยที่สุด โดยออกแบบให้มีความหนาของทางเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

ตัวอย่างในการพัฒนาการออกแบบดังกล่าวเรียกว่า "Chicken Foot System" โดยการวางแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2-1.5 เมตร) ในแนวดิ่งจนได้ระดับความลึก 1.5 ถึง 3.5 เมตร โดยมีระยะห่างกันประมาณ 2 ถึง 2.5 เมตร หลักการของวิธีดังกล่าวคือให้แท่งคอนกรีตรับแรงค้ำของพื้นทาง ระบบดังกล่าวได้มีการนำมาใช้ในการทำพื้นทางสำหรับอากาศยานที่กรุงจาการ์ ประเทศอินโดนีเซีย

Consolidation by preloading and/or vertical drains

การเพิ่มกำลัง และการบดอัดได้ของดินอ่อน โดยวิธีการ preloading สามารถทำได้โดยอาศัยเทคนิควิธีการต่างๆมากมายในการปรับปรุงคุณภาพดิน

วิธีการต่างๆที่สามารถทำได้สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

- a) โดยการถมดิน
- b) water in lined ponds
- c) โดยวิธีแรงดันสุญญากาศ
- d) โดยการสูบน้ำออกจากชั้นดิน
- e) anchore and jack system
- f) โดยวิธี electro-osmosis

วิธี a) b) c) และ d) เป็นวิธีที่มีความเป็นไปได้ในการทำ และมีความน่าสนใจในแง่ของค่าใช้จ่าย วิธีการต่างๆเหล่านี้จะได้มีการวิเคราะห์ต่อไป

วิธี anchore and jack system ทำได้โดยการติดตั้ง soil enchorage ลงไปในชั้นดินเหนียว หรือชั้นทราย น้ำหนักที่พื้นผิวดินจะส่งผ่าน jack ซึ่งยึดติดกับ tendons น้ำหนักดังกล่าวจะกระจายสู่ plate ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเฉพาะ enchorage อย่างเดียวก็ตกประมาณ 6000 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บาท/ม² เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักขนาด 75 kPa ได้ วิธีการนี้จึงถือว่ามีราคาแพงมากเกินไป

วิธี electro-osmosis เป็นวิธีที่จะทำให้เกิดการทรุดตัวของชั้นดินเสมือนว่ามีภาระน้ำหนักจากภายนอกที่ผิวดิน ต่างกันที่แรงที่ทำให้เกิดการระบายออกไปของน้ำนั้นเป็นผลมาจากสนามไฟฟ้าที่ผ่านสู่มวลดิน ทั่วไฟฟ้าจะถูกติดตั้งลงดินเป็นแถว โดยมีระยะห่างกันประมาณ 2 ถึง 4 เมตร โดยมักจะใช้แท่ง aluminium เป็นขั้ว anodes ในอดีตที่ผ่านมาไม่บ่อยครั้งนักที่ใช้วิธีการนี้ในการแก้ปัญหาดินอ่อน และโดยทั่วไปจะใช้วิธีการดังกล่าวก็ต่อเมื่อไม่สามารถใช้วิธีการอื่นได้แล้ว

ในการใช้วิธี electro-osmosis จะเกิดประสิทธิผล และเกิดความประหยัดในดินตะกอน และดินตะกอนปนดินเหนียวซึ่งอิ่มตัว สำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ นั้นประกอบด้วยดินเหนียวประมาณ 40 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวมีการใช้และประสบความสำเร็จมาแล้วกับดินเหนียวซึ่งมีสภาพผลาสติคในประเทศสิงคโปร์

ที่ผ่านมายังไม่เคยมีการนำมาใช้กับดินในกรุงเทพฯ การประมาณราคาค่าใช้จ่ายจะต้องอาศัยการศึกษาจากห้องทดลอง และจากการทดลองในสนาม เพราะว่ายังไม่มีข้อมูลที่เพียงพอสำหรับผลการปฏิบัติงานกับสภาพดินที่มีความคล้ายคลึงกับสภาพดินเหนียวกรุงเทพฯ จึงทำให้วิธีการนี้ไม่เป็นที่น่าสนใจ

Recharging of pour water pressures

โดยการลดแรงดันน้ำในช่องว่าง จะเป็นการลดการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักกระทำที่ผิวดิน และลดการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดินด้วย

สำหรับวิธีการที่จะนำมาใช้กับดินเหนียวกรุงเทพฯ นั้นจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

ส่วนการใช้ในชั้นของทรายใต้ชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ยังเป็นที่โต้เถียงกัน อย่างไรก็ตามมันเป็นงานที่ยุ่งยากมาก และมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดอุปสรรคขึ้น

Injection and grouting

การใช้เทคนิคของการทำ grouting โดยวิธีอัดสารเคมีเข้าสู่มวลดิน นับเป็นวิธีที่ควิธีหนึ่ง ซึ่งจะได้มีการกล่าวในรายละเอียดในส่วนของ Appendix D แต่อย่างไรก็ตามพบว่าวิธีดังกล่าวจะเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dynamic consolidation

การใช้เครื่องมือในการบดอัดสำหรับดินเหนียวอ่อนซึ่งมีความเป็นพลาสติกสูง จะไม่เกิดประสิทธิภาพต่อการเพิ่มการรับกำลังของดิน ตลอดจนค่า stiffness ก็ไม่เกิดขึ้นด้วย วิธีการดังกล่าวจะใช้กับดินพวก กรวด หินถม หรือ การถมด้วยดินเหนียวที่ไม่อิ่มตัว

Granular piles

เสา ทราย/ดินตะกอน/หิน ซึ่งอัดแน่น สามารถนำมาใช้ในการลดการทรุดตัวได้ แม้แต่ในดินเหนียวอ่อน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของเสาดังกล่าวจะลดลงเมื่อใช้กับดินเหนียวที่มีค่า strength ต่ำ จากประสบการณ์จากการทดลองใช้กับดินเหนียวกรุงเทพฯซึ่งรายงานโดย Bergado ในปี 1992 ชี้ให้เห็นว่าวิธีดังกล่าวจะไม่อำนวยผลเป็นที่น่าพอใจต่อการลดการทรุดตัวของดิน ต่อการปฏิบัติการกับโครงการนี้

ถ้าต้องการให้การทรุดตัวที่เกิดขึ้นเหลือเพียง 0.2-0.3 เมตรโดยวิธีการนี้ อัตราส่วนของพื้นที่ที่ต้องใช้ในการแทนที่ที่มีค่าอย่างน้อย 0.4 เท่าของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้ดินเกิดการ heave ได้ และค่าใช้จ่ายสำหรับวิธีการนี้จะตกประมาณ 8,000 บาท/ม²

ด้วยค่าใช้จ่ายที่สูงมาก และความไม่เหมาะสมในการปฏิบัติการดังกล่าวจึงทำให้วิธีการนี้ไม่เป็นที่น่าสนใจ

Relief piles

วิธีการนี้จัดได้ว่าเป็นวิธีการที่เก่าแก่ที่สุดสำหรับ "soil reinforcement" และจะได้กล่าวถึงในลำดับต่อไป

Pile concrete structure

เสาเข็มสามารถนำมาใช้รองรับพื้นคอนกรีต น้ำหนักที่กระทำที่พื้นผิวจะกระจายผ่านเข็มลงสู่ชั้นดินที่มีความมั่นคงกว่า วิธีการนี้จะได้มีการกล่าวถึงต่อไป

Thermal method

โดยการใช้ความร้อนแก่ดินเหนียว วิธีการนี้ไม่ค่อยมีการใช้กันมากนัก พลังงานที่ต้องการในการให้ความร้อนแก่ดินเหนียวอ่อนเพื่อให้เกิดการระเหยของน้ำในดินต่อการทรุดตัว 2 เมตรตามทฤษฎีจะต้องใช้พลังงาน $2,000 \text{ kWh/m}^2$ ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับเครื่องมือ และการติดตั้ง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเป็นเหตุให้วิธีการนี้ไม่เป็นที่น่าสนใจ อีกทั้งปัญหาในเรื่องของความเหมาะสมในการใช้งานกับดินเหนียวอ่อนซึ่งมีความเป็นพลาสติกสูง

ค่า strength และ stiffness ของดินเหนียวอาจทำให้เพิ่มขึ้นโดยวิธีการทำให้แห้งด้วยความชื้นได้ ค่าใช้จ่ายอย่างหยาบๆจะตกประมาณ 4000 บาท/m^3 ในการทำให้ดินเกิดความเสถียร ค่าใช้จ่ายซึ่งสูงจึงไม่เป็นที่น่าสนใจ วิธีการเลือกแห้งนี้ถือเป็นวิธีการที่ใช้ชั่วคราว ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยพลังงานอย่างเพียงพอ ตลอดอายุการใช้งานของสนามบิน

Soil stabilization using admixtures

มีสารเคมีหลายชนิด และเทคนิควิธีการต่างๆ ที่จะใช้ในการผสมเข้ากับดินเหนียวอ่อน วิธีการที่มีความน่าสนใจ และมีความประหยัด จะได้แสดงรายละเอียดในลำดับต่อไป

ASSESSMENT OF DESIGN CONCEPT FOR AIRFIELD AREAS

Preconsolidation with vertical drains :

(รายละเอียดในการออกแบบได้กล่าวไว้ใน Appendix C)

- Vertical band drains and preloading with soil fill

Concept

Band drains ที่จะนำมาใช้จะคำนึงถึงความประหยัด และวิธีการติดตั้ง โดสนในท้องตลาด

มีวัสดุหลายประเภทที่สามารถนำมาใช้และมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการระบายน้ำจะทำถึงที่ระดับความลึก 12-13 เมตรจากผิวดิน ด้วยระยะห่างกันประมาณ 1 เมตร โดยมีการบรรทุกน้ำหนักที่พื้นผิวขนาด 7.5 ตัน/ม^2 เพื่อให้การทรุดตัวในชั้นที่สองเนื่องจากคันทางที่สร้างขึ้นเหลือน้อยลง โดยกำหนดให้ช่วงระยะเวลาในการบรรทุกน้ำหนักเป็น 8 เดือน

Settlements

การทรุดตัวที่เกิดขึ้นในขณะทำการบรรทุกน้ำหนักจะมีค่าประมาณ 1.75 เมตร ซึ่งหมายความว่าระดับของพื้นทางจะสูงกว่าระดับพื้นดินเดิม 0.6 เมตร เมื่อความหนาของพื้นทางรวมกับชั้นรองพื้นทางเป็น 2.33 เมตร

การทรุดตัวที่เกิดขึ้นภายหลัง 20 ปีคาดว่าจะประมาณ 0.15-0.20 เมตร และจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.3-0.4 เมตรเมื่อเวลาผ่านไป 100 ปี การทรุดตัวในชั้นที่สองนี้สามารถทำให้ลดลงได้ โดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่ผิวดินหรือโดยการเพิ่มช่วงระยะเวลาในการถ่วงน้ำหนักออกไป ซึ่งมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ด้วย การทรุดตัวที่เกิดขึ้น 0.15-0.20 เมตร เชื่อได้ว่าจะเป็นการทรุดตัวแบบคงที่ ซึ่งจะไม่เป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความแตกต่างของการทรุดตัว ทั้งนี้ได้มาจากข้อมูลคุณสมบัติดินของบริเวณดังกล่าวที่ได้ทำการสำรวจไว้ก่อนหน้านี้

การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของชั้นดินซึ่งอยู่ลึกลงไป จะไม่รวมเข้ากับค่าการทรุดตัวที่กล่าวไว้ในข้างต้น

น้ำหนักเนื่องจากตัวอากาศยานจะไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าการทรุดตัว เนื่องจากเป็นน้ำหนักที่มีลักษณะที่กระทำในช่วงเวลาสั้นๆอันไม่มีผลต่อการทรุดตัวของดิน การกระจายของน้ำหนักจรรทั้งหลาจะรวมเข้าไว้ในส่วนของน้ำหนักของพื้นทาง

Cost and schedule

ค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของพื้นที่จะตกประมาณตารางเมตรละ 1,800 บาท หากรวมในส่วน of พื้นทางซึ่งหนา 0.83 เมตรด้วยแล้วจะตกประมาณ 2,980 บาท/ม² การประมาณราคาดังกล่าวอาศัยเงื่อนไขที่ว่าดินที่นำมาถมจะใช้ทั้งหมด 4 ครั้งในการปรับปรุงสภาพดินทั้งหมด ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงสภาพประมาณ 4 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการขนย้ายดินมายังพื้นที่ ซึ่งการที่จะหาดินปริมาณมากๆได้นั้นจะต้องมีการวางแผนอย่างรอบคอบ การที่สามารถหาดินได้จากบริเวณของพื้นที่ใกล้เคียงจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้อย่างน้อย 300 บาท/ม² และเป็นตัวแปร

สำคัญต่อระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Vertical band drains and preloading with vacuum

Concept

รูปที่ 126 แสดงถึงการทำงานด้วยวิธีดังกล่าว. โดยชั้นทรายถมจะถูกปกคลุมด้วย air-tight membrane ซึ่งจะถูกยึดเข้ากับร่องที่เตรียมไว้โดยการถมดินทับเพื่อกันไม่ให้อากาศแพร่ผ่านเข้าไปได้ในชั้นทรายที่นำมาถมนั้นจะเชื่อมต่อกับเครื่องปั๊มสุญญากาศ ภายใต้อากาศความกดดันประมาณ 7 ตัน/ม² จะมีผลทำให้เกิดการระบายของน้ำจากชั้นดินเหนียวผ่านเข้ามาถึง band drains ชั้นมาสู่ผิวดินโดยหลักการดังกล่าวจะเปรียบเสมือนกับว่าเป็นการบรรทุกน้ำหนักโดยวิธีวัสดุหรือดินถมที่ผิวดิน

ข้อดีของวิธีการนี้ก็คือการถ่วงน้ำหนักจะไม่เป็นปัญหาต่อเสถียรภาพการเคลื่อนตัวของชั้นดินแต่อย่างใด ซึ่งปัญหาดังกล่าวจะต้องคอยตรวจสอบและควบคุมเมื่อใช้วิธีการบรรทุกน้ำหนักโดยถมวัสดุลงบนผิวของดินอ่อน จุดที่น่าสนใจอีกประการก็คือการที่สามารถเพิ่มแรงอัดได้โดยการขังน้ำไว้เหนือ membran ดังแสดงในรูปที่ 126 ด้วยความสูงของน้ำ 2-3 เมตรจึงมีผลต่อค่าใช้จ่ายในส่วนของการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายโดยรวม ด้วยการกระทำดังกล่าวน้ำหนักที่บรรทุกที่ผิวดินจะเพิ่มเป็น 10 ตัน/ม² โดยไม่มีผลต่อเสถียรภาพการเคลื่อนตัวของดินแต่อย่างใด

Settlements

การคำนวณค่าการทรุดตัวจะเหมือนกับกรณีของการบรรทุกน้ำหนักโดยการถม อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำหนักสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้อย่างง่ายดาย ดังนั้นวิธีการนี้จึงทำให้เกิดการทรุดตัวเร็วขึ้นกว่าการใช้วิธีการถมดิน

Cost and schedule

ราคาค่าใช้จ่ายที่แน่นอนไม่สามารถกำหนดได้ โดยราคาจะได้มีการเปรียบเทียบให้เห็นในส่วนของ Appendix C อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะมีความน่าสนใจก็ต่อเมื่อการขนย้ายดินจำนวนมากมาสู่พื้นที่ที่จะทำการปรับปรุงสภาพนั้นอาจมีอุปสรรคเกิดขึ้นไม่ว่าจะในเรื่องของการขนย้าย หรือการหาดินให้เพียงพอกับความต้องการ

ระยะเวลาที่ต้องการสามารถลดลงได้โดยวิธีนี้ เนื่องจากการบรรทุกน้ำหนักโดยวิธีสุญญากาศสามารถเพิ่มน้ำหนักได้อย่างรวดเร็ว และไม่มีปัญหาต่อเสถียรภาพของการเคลื่อนตัวของดิน

Technical recommendations, limitations etc

เอกสารนี้เป็นด้วยเทคนิควิธีการแรงดันสุญญากาศได้มีการใช้มากกว่า 50 ปี แต่อย่างไรก็ตามก็ยังไม่เป็นที่ร่ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยมอย่างกว้างขวางนัก และยังมีความไม่แน่ใจในความเหมาะสมในการปรับปรุงสภาพดินกับบริเวณที่มีพื้นที่กว้างมากๆ

Deep Ground Improvement :

(รายละเอียดในการออกแบบได้กล่าวไว้ใน Appendix D)

Concept

รูปที่ 127 แสดงถึงการปฏิบัติการด้วยวิธีดังกล่าว

การปรับปรุงสภาพดินด้วยวิธีดังกล่าวอาศัยการทำเสาเข็มซึ่งมีการปรับสภาพโดยใช้สารเคมี เข้ามวลในสภาพแห้งหรือเหลว โดยเสาเข็มผ่านการปรับปรุงสภาพจะมีค่า strength สูง และความสามารถในการบดอัดต่ำ

Settlements

ค่าการทรุดตัวประมาณว่าจะมีค่าน้อยกว่า 10 ซม. ซึ่งรวมถึงการทรุดตัวเนื่องจากชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปด้วย

Cost and schedule

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพดินจะตกประมาณ 3700 บาท/ม² และเมื่อรวมค่าใช้จ่ายในส่วนของการขุดและพื้นที่ทางด้วยราคาจะตกประมาณ 5150 บาท/ม²

ระยะเวลาในการดำเนินการ 3 ปี กับพื้นที่ที่จะต้องทำการปรับปรุงประมาณ 2,400,000 ตารางเมตร จะต้องใช้ทั้งหมด 40 rigs

Technical recommendations, limitations etc

การออกแบบจะต้องอาศัยการอ้างอิงคุณสมบัติของดินที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพในเรื่องของ strength และ stiffness สำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ การทดสอบในห้องทดลองเป็นสิ่งสำคัญต่อการออกแบบ ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดใน Appendix D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Driven Piles :

(รายละเอียดในการออกแบบได้กล่าวไว้ใน Appendix E)

- Piles supporting a free spanning plateConcept

รูปที่ 128 แสดงถึงการปฏิบัติด้วยวิธีการดังกล่าว โดยเข็มจะเป็นตัวรับน้ำหนักของโครงสร้าง น้ำหนักจรรยาเนื่องจากน้ำหนักของอากาศยาน และจากแรงเสียดทานลบเนื่องจากการทรุดตัวของชั้นดิน

Settlements

จะไม่เกิดการทรุดตัวเมื่อใช้วิธีการนี้ ยกเว้นแต่การทรุดตัวที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปเท่านั้น

Cost and schedule

ค่าใช้จ่ายของวิธีการนี้จะตกประมาณ 4,500 บาท/ม² โดยค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่มีผลมาจากแผ่นคอนกรีตที่ใช้ ซึ่งแผ่นคอนกรีตดังกล่าวจะต้องทำการออกแบบอีกครั้งในขั้นตอนของการออกแบบ ดังนั้นราคาที่จะเปลี่ยนแปลงได้อีก วิธีการนี้จะใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างไม่มากนัก ประมาณ 18-20 rigs สามารถติดตั้งได้ภายในเวลา 2 ปี เทียบกับวิธีการทำ vertical drains จะใช้เวลาถึง 4 ปี

Technical recommendations, limitations etc

ขนาดของเข็มที่ใช้สามารถหาได้จากการศึกษาการรับกำลังของเข็มในพื้นที่จริง ความแตกต่างของการทรุดตัวจะไม่เกิดขึ้นเมื่อใช้วิธีดังกล่าว อย่างไรก็ตามตำแหน่งของเข็มจะต้องคำนึงถึงลักษณะของโครงสร้าง และแนวของคันทางด้วย

- Relief piles with caps and soil reinforcement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 129 แสดงถึงการปฏิบัติด้วยวิธีดังกล่าว

Settlements

การทรุดตัวจะถือว่าเกิดขึ้นน้อยมาก

Cost and schedule

ค่าใช้จ่ายของวิธีการนี้จะตกประมาณ 4410 บาท/ม² วิธีการนี้จะต้องได้รับการวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อโครงสร้างของดินอย่างละเอียด และวิธีการนี้จะใช้เวลาในการดำเนินการไม่นานนัก

Technical recommendations, limitations etc

เพื่อเป็นการรักษาระดับของพื้นทางให้เท่ากับที่ได้จากการปรับปรุงโดยวิธี preloading ด้วย vertical drains ดังนั้นจะต้องมีการขุดดินเดิมออกเพื่อลดระดับลง ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบถึงผลกระทบระหว่างพื้นทางกับเข็มยังไม่เป็นที่ชัดเจนนัก จึงอาจเกิดความไม่แน่นอนในการแทนที่ของพื้นทางขึ้นได้ และวัสดุพวก polyester จะถูกนำมาใช้ในการเสริมกำลังของดิน

LIGHT WEIGHT FILL

(รายละเอียดในการออกแบบได้กล่าวไว้ใน Appendix F)

Concept

รูปที่ 130 แสดงถึงการปฏิบัติการใช้วิธีดังกล่าว โดยดินเดิมจะถูกขุดลึกลงไป 1.9 เมตร แล้วถมกลับด้วย Light Expanded Clay Aggregates (LECA) โดยการใส่ Polystyren Foam เป็น LECA พบว่าจะเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นโดยการใช้ Foam Concrete จะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจกว่า

Settlement

จะไม่เกิดการทรุดตัวเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากน้ำหนักของพื้นทาง แต่การทรุดตัวเนื่องจากชั้นดินเหนียวอ่อนเป็นสิ่งที่ไม่ได้รับการป้องกัน และด้วยค่า bearing capacity และการทรุดตัวอันเนื่องมาจากน้ำหนักจร ควรที่จะได้รับความสนใจเป็นพิเศษ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cost and schedule

ค่าใช้จ่ายดังแสดงในรูปที่ 130 จะตกประมาณ 4,300 บาท/ม² โดยเป็นค่าใช้จ่ายในส่วน
ของ LECA ประมาณ 1,000 บาท/ม³ โดยภาชนะน้ำเข้าจะเป็นสาเหตุทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น อย่าง
ไรก็ตามด้วยวิธีดังกล่าวจะใช้ระยะเวลาในการดำเนินการน้อยที่สุด

Technical recommendations, limitations etc

ด้วยวิธีการนี้จะต้องทำการออกแบบรวมไปถึงส่วนของพื้นผิวทาง โดย LECA จะถูกวางอยู่
บนชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นมันจึงมีความไม่แน่นอนในการนำมาใช้ในโครงการซึ่งมีน้ำหนักจรสูงมาก
เช่นนี้ ดังนั้นการที่จะนำวิธีการนี้มาใช้จะต้องผ่านการทดสอบกับพื้นที่จริง

ASSESSMENT OF DESIGN CONCEPT FOR VEHICAL AREAS

การทรุดตัวของบริเวณสำหรับยานพาหนะจะอยู่ระหว่าง 0.1-0.2 เมตร ภาสได้การสมมุติ
ให้น้ำหนักที่กระทำต่อผิวดินเป็น 1 ตัน/ม² การทรุดตัวที่มากกว่านี้จะเกิดจากการอัดตัวของชั้นดินที่
อยู่ลึกลงไป

การถมด้วยวัสดุน้ำหนักเบาประมาณ 2-3 เมตร เป็นทางเลือกที่น่าจะดีที่สุดซึ่งสามารถลด
การทรุดตัวของชั้นดินให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยการใช้ styrofoam blocks รองรับแนวของ
คันทาง แต่สำหรับพื้นที่ที่กว้างและเน้นถึงผลกระทบจากการทรุดตัวแล้ว วิธีการถมดินพร้อมด้วย
การทำ vertical drains น่าที่จะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า

COMPARISION OF DESIGN ALTERNATIVE

จากตารางที่ 12 ได้สรุปข้อมูลของราคาและช่วงระยะเวลาที่ต้องการสำหรับวิธีการต่างๆ
สำหรับค่าใช้จ่ายของวิธีการต่างๆ ยกเว้นวิธีการถมด้วยวัสดุน้ำหนักเบาจะคำนวณโดยอาศัยข้อมูล
จากผู้รับเหมาในท้องถิ่น ดังนั้นระดับราคาจะต่ำกว่ามาตรฐานยุโรป แต่ก็ก็เป็นราคาที่สมเหตุสมผล

ตารางที่ 12	Costs for soil Improvement B/m ²	Total costs including pavement	construction schedule
Preconsolidation Veritcal drains and soil fill	1800	2980 ⁽⁴⁾	4 years
Deep soil improvement	3700	5150 ⁽⁴⁾	3 years
Piles supporting a free spanning plate	1000 ⁽¹⁾	4500	2 years
Relief piles with caps and soil reinforcement	2945 ⁽²⁾	4410 ⁽⁴⁾	2 years
Light weight fill, LECA	(2223) ⁽³⁾	4300	-

(1) - ราคาในการติดตั้งเสาเข็ม

(2) - ราคาในการติดตั้งเสาเข็ม, caps และ วัสดุที่ใช้ในการเสริมกำลัง

(3) - ราคาในส่วนของ LECA

(4) - ราคาในส่วนของพื้นที่ทางซึ่งหนา 0.83 เมตร (1076 บาท/ม²)

ข้อคิดเห็นสำหรับวิธีการที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน

Preconsolidation with Vertrical drains and soil fill :

เอกสารนี้เปิดเผยราคาที่สามารถลดได้ถ้าดินส่วนใหญ่สามารถหาได้จากบริเวณใกล้เคียง การคำนวณราคา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ราคาที่ระยะเวลาที่ใช้มีความสมเหตุสมผลกัน
- ด้านเวลา - ระยะเวลาในการดำเนินการ 4 ปี โดยการใช้ดินถมทั้งสิ้น 4 ครั้งต่อพื้นที่ทั้งหมด
- การลดระยะเวลาในการดำเนินการโดยไม่ให้มีผลต่อค่าใช้จ่ายเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยอาศัยการเพิ่มน้ำหนักของดินถม
- ด้านเทคนิค - มีความเสี่ยงต่อผลของน้ำจากชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป ดังนั้นจะต้องมีการศึกษาและวางแผนป้องกันต่อความเสี่ยงดังกล่าว
- การทรุดตัวในช่วงอายุการใช้งาน 20 ปี ประมาณ 0.15-0.20 เมตร

Deep soil improvement :

- ด้านราคา - ค่าใช้จ่ายจะสามารถลดลงได้อีก ถ้าสามารถหลีกเลี่ยงการอัดตัวของชั้นดินอ่อนได้
- ด้านเวลา - อาจต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในการหา rigs จำนวนมากให้เพียงพอต่อความต้องการ
- ด้านเทคนิค - มีความไม่แน่นอนในส่วนของ strength และ stiffness ของดินที่ได้รับ การปรับปรุงคุณภาพ ดังนั้นจะต้องมีการทดสอบจากภาคสนามด้วย
- การทรุดตัวที่เกิดขึ้นน้อยกว่า 0.1 เมตร

Piles supporting a free spanning plate :

- ด้านราคา - ไม่สามารถประมาณราคาในส่วนของแผ่นคอนกรีตได้แน่นอน
- ด้านเวลา - สามารถเร่งระยะเวลาในการดำเนินการได้โดยไม่มากนัก
- ด้านเทคนิค - เป็นวิธีที่มั่นใจได้
- การทรุดตัวของชั้นดินอ่อนจะไม่มีผลต่ออย่างไร

Relief piles with caps and soil reinforcement :

- ด้านราคา - ไม่สามารถประมาณราคาในส่วนของ concrete caps ที่แน่นอนได้

เอกสารนี้เปิดเผยโดยกรมโยธาธิการและผังเมือง เพื่อให้ประชาชนได้ทราบข้อมูลและนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ด้านเทคนิค - เป็นวิธีที่มั่นใจได้
 - การทรุดตัวของชั้นดินอ่อนจะไม่มีผลต่ออย่างไร

Light weight fill LECA :

- ด้านราคา - ไม่สามารถกำหนดราคาที่แน่นอนของ LECA ได้
 ด้านเวลา - การถมด้วยวัสดุน้ำหนักเบาถือเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ทางซึ่งใช้เวลาไม่นานนัก
 ด้านเทคนิค - ไม่เหมาะต่อการนำมาใช้ในส่วนของทางสำหรับอากาศยาน

จากข้อมูลการเปรียบเทียบในเบื้องต้นสามารถสรุปได้ดังนี้

Alt A) การทำ Preconsolidation with vertical drains and soil fill มีความน่าสนใจที่สุดในแง่ของราคา โดยจะเห็นว่าราคาสามารถลดลงได้หากสามารถนำดินจากบริเวณข้างเคียงมาใช้ ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ระยะเวลาานาน โดยระยะเวลาสามารถลดลงได้โดยต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม แต่อย่างไรก็ตามยังถือได้ว่าไม่สูงนักเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น

การทำ preconsolidation พร้อมด้วย drains จะทำให้ดินอ่อนเกิดการทรุดตัวขึ้น แต่อย่างไรก็ตามมันมีความเสี่ยงต่อโอกาสที่การทรุดตัวจะไม่เป็นไปตามที่ได้ทำนาสไว้ เนื่องจากเกิดการสัมผัสระหว่างตัวระบายน้ำกับน้ำที่อยู่ในชั้นทรายที่รองรับชั้นดินเหนียวอ่อน

Alt B) วิธีการใช้เข็มเป็นฐานประมาณว่าจะเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าวิธี A 50% ในส่วนของราคาค่าก่อสร้าง การตอกเข็มจะเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนัก ในขณะที่มูลค่าของวัสดุที่ใช้จะมีราคาค่อนข้างแพง วิธีการนี้เป็นที่มั่นใจได้ด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน และเมื่อเทียบกับมูลค่าการลงทุนกับระยะเวลาที่น้อยกว่าวิธีนี้อาจดูเหมือนว่าจะต่ำกว่าวิธี A

Alt C) วิธี deep soil improvement จะเสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากแรงเสียดทานลบของน้ำหนักที่มากกระทำ และไม่มีความแน่นอนสำหรับการเพิ่ม strength และ stiffness ของดิน

Alt D) วิธีการถมด้วยวัสดุน้ำหนักเบา วิธีนี้วัสดุที่ใช้ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศทำให้ค่าใช้จ่ายต้องเพิ่มขึ้น วิธีนี้จะเป็นที่น่าสนใจถ้าสามารถหาวัสดุในท้องถิ่นมาใช้ทดแทนการนำเข้า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการละเมิดลิขสิทธิ์อื่นใด มิใช่ของยูนิฟิเคชันของประเทศไทย
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAIN CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Preconsolidation with vertical drains :

การปรับปรุงสภาพดินโดยวิธีดังกล่าวมีข้อดีดังนี้ :

- เป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด
- สามารถตรวจสอบผลการปรับปรุงคุณภาพดินได้จากพื้นที่จริง
- สามารถทำการออกแบบให้ความแตกต่างของการทรุดตัวอยู่ในระดับที่น่าพอใจได้

ข้อสังเกต และข้อคิดเห็น เพิ่มเติมต่อการปฏิบัติการด้วยวิธีการนี้ จะกล่าวได้ดังต่อไปนี้ :

- จะต้องทำการศึกษาให้ชัดเจนก่อนต่อสมมุติฐานในเรื่องของ ลักษณะเฉพาะของแรงดันในช่องว่าง การทรุดตัว ตลอดจนเงื่อนไขต่างๆ
- จะต้องมีการควบคุมการสูบน้ำไม่ให้แรงดันน้ำจากชั้นทรายมามีผลเสียหายต่อการปฏิบัติการให้ผิดไปจากที่คำนวณไว้
- มันมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการทรุดตัวอย่างมากในพื้นที่บางส่วน ในกรณีที่การติดตั้งตัวระบายน้ำทำให้เกิดการติดต่อรหว่างตัวระบายน้ำกับน้ำที่อยู่ในชั้นทรายที่รองรับชั้นดินเหนียวอ่อน
- ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นสามารถป้องกันได้ในช่วงของการออกแบบ รวมถึงช่วงระหว่างการทำการถ่วงน้ำหนัก

Piles :

โดยวิธีการตอกเสาเข็มจะมีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างโคสส่วนรวม ซึ่งในการศึกษาในชั้นของรายละเอียดดังกล่าวอยู่นอกเหนือหน้าที่ที่ได้รับ อย่างไรก็ตามโดยความเห็นแล้ว ซึ่งมีการออกแบบในรายละเอียดมากขึ้นเพียงใดค่าใช้จ่ายก็จะยิ่งมีความแน่นอนมากขึ้นเท่านั้น การทำการศึกษาดลจดจนการวิเคราะห์สำหรับวิธีการนี้จะต้องทำทั้งในส่วนของดิน และโครงสร้างที่จะทำการก่อสร้างไปพร้อมๆกัน

Deep soil improvement :

ด้วยวิธี deep cement mixing จะมีความน่าสนใจมากกว่าสำหรับงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างสนามบิน ซึ่งจากการผลการทดสอบในห้องทดสอบ และจากการทดสอบภาคสนาม พบว่ายังต้องการข้อมูลบางอย่างเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความมั่นใจใน strength ของดินที่จะเกิดขึ้นโดยวิธีการดังกล่าว

Light weight fill :

การถมด้วยวัสดุน้ำหนักเบาดูเหมือนว่าจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการผลิตวัสดุ โดยอาศัยวัตถุดิบที่สามารถหาได้ภายในประเทศ หรือ จากประเทศเพื่อนบ้านข้างเคียง ด้วยขนาดของโครงการจึงจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการผลิตของโรงงาน อย่างไรก็ตามเทคนิควิธีการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ได้ดีในส่วนทางวิ่งของสนามบินขนาดเล็กทั่วไป



Final Report
(Preconsolidation with Vertical Drains)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preconsolidation with Vertical Drains

Summary

เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการทำให้ดินเกิดการทรุดตัวก่อนหน้าที่จะถึงขั้นตอนของการทำการก่อสร้างจริง

การทำ Vertical drains จะเป็นวิธีการหนึ่งที่มีผลต่อการเร่งอัตราการทรุดตัวของดินเหนียวกรุงเทพฯ

การทำการบรรทุกน้ำหนักที่พื้นผิวโดยการถมดินจะเป็นวิธีพื้นฐานในกรณีนี้ แต่อย่างไรก็ตามการบรรทุกน้ำหนักโดยการอาศัยแรงดันบรรยากาศก็เป็นอีกทางเลือกอีกทางหนึ่งในกรณีที่ไม่สามารถหาดินจำนวนมากมาใช้ในโครงการนี้ได้

Band drains จะถูกนำมาใช้ร่วมกับวิธีการบรรทุกน้ำหนักดังกล่าว ซึ่งความประหยัด และความเหมาะสมในการใช้งานจะต้องได้รับการพิจารณาต่อไป

ตัวระบายน้ำนี้จะทำการติดตั้งถึงระดับความลึก 12-13 เมตรด้วยระยะห่างกันประมาณ 1 เมตร โดยมีการบรรทุกน้ำหนักที่พื้นผิวขนาด 7.5 ตัน/ม^2 เป็นระยะเวลา 8 เดือน ซึ่งจะมีผลทำให้การทรุดตัวในชั้น Secondary สำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯลดเหลือประมาณ 0.15-0.20 เมตรในช่วงเวลา 20 ปีภายหลังทำการก่อสร้าง

การทรุดตัวในชั้น Secondary ภายหลังเวลาผ่านไป 100 ปีจะมีค่าประมาณ 0.3-0.4 เมตร ซึ่งค่าการทรุดตัวนี้สามารถทำให้ลดลงได้อีกโดยการเพิ่มน้ำหนักในการบรรทุกหรือโดยการเพิ่มระยะเวลาในการถ่วงน้ำหนักออกไปอีก แต่อย่างไรก็ตามการกระทำดังกล่าวย่อมส่งผลถึงค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นตาม

ความแตกต่างของการทรุดตัวระหว่างพื้นที่ที่ได้รับการปรับปรุงและที่ไม่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพดิน บางที่อาจจะเกิดการทรุดตัวน้อยกว่าที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพดินทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการทรุดตัวที่เกิดขึ้นของชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นข้อแนะนำในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงการป้องกันดังจะได้กล่าวดังต่อไปนี้

การทรุดตัวประมาณ 0.15-0.20 เมตรเชื่อได้ว่าจะเกิดขึ้นแบบคงที่ ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดความแตกต่างในการทรุดตัวของพื้นผิวจึงเป็นไปได้น้อย ทั้งนี้โดยอาศัยความรู้ทางด้านธรณีวิทยา และจากข้อมูลคุณสมบัติของดิน แต่หากว่าพื้นที่ดังกล่าวมีความแตกต่างทางคุณสมบัติของดินอยู่มากก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์เท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถป้องกันได้โดยการเพิ่มระยะเวลาในการบรทุกน้ำหนัก หรือโดยการเพิ่มน้ำหนักวางให้มากขึ้น หรือโดยการลดระยะห่างของตัวระบายน้ำลง

การประมาณราคาค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการจะตกประมาณ 1800 บาท/ม² โดยไม่รวมค่าใช้จ่ายในการทำพื้นทาง ราคาคงกล่าวจะเป็นไปได้ในกรณีของการนำดินถมมาใช้ทั้งสิ้น 4 ครั้ง สำหรับพื้นที่ทั้งหมด ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินรวมทั้งสิ้นประมาณ 4 ปี การที่นำดินจากบริเวณก่อสร้างมาใช้ในการถมจะมีผลทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้อีก และยังเป็นตัวแปรสำคัญในการลดระยะเวลาในการทำงานลงได้เป็นอย่างมาก

แรงดันของน้ำในช่องว่างจะเป็นตัวแปรในการออกแบบการติดตั้งตัวระบายน้ำ และน้ำหนักที่ใช้ในการบรทุก การกระจายแรงดันในช่องว่างจะเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการออกแบบ แรงดันในช่องว่างของตัวระบายน้ำจะเป็นตัวควบคุมระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้นของน้ำในช่องว่างที่อยู่ใต้แนวคันทาง

การลดความเสี่ยงต่อความผิดพลาดในการทำนาสสามารถทำได้โดย การเพิ่มน้ำหนักบรทุก หรือ โดยการเพิ่มระยะเวลาออกไป

Introduction

เนื้อหาในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินโดยอาศัยการทำให้ดินเกิดการทรุดตัวขึ้นก่อนขั้นตอนของการก่อสร้างจะเริ่มขึ้น การทรุดตัวของดินเหนียวกรุงเทพฯโดยอาศัยการบรทุกน้ำหนักเพียงอย่างเดียวยังจะต้องใช้เวลาหลายสิบปี เนื่องจากสภาพของดินนั้นมีความสามารถในการซึมได้ต่ำ และต้องใช้ระยะทางในการระบายน้ำออกไปมาก ซึ่งเราสามารถทำให้ระยะทางในการระบายของน้ำสั้นลงโดยการติดตั้ง Vertical drains

เทคนิคในการบรทุกน้ำหนัก ชนิดและวิธีในการติดตั้งตัวระบายน้ำ เป็นเรื่องที่จะต้องทำการศึกษา การคำนวณค่าการทรุดตัวในช่วงเวลาของการบรทุกน้ำหนัก และค่าการทรุดตัวในช่วงของการใช้งานจะได้มีการแสดงให้เห็น และเนื่องจากการทำนาดังกล่าวบ่อยครั้งอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นเนื่องจากเหตุผลวิธีซึ่งก็จะได้มีการกล่าวถึงในเรื่องนี้ด้วย

EFFECTIVENESS OF VERTICAL DRAINS IN SOFT PLASTIC CLAYS

General

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อการค้าเท่านั้น มิใช่เผยแพร่ให้สาธารณชนโดยไม่มีการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวในการติดตั้ง และด้วยความรู้ที่มากขึ้นในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับดินเหนียวอ่อนประเภทต่างๆ วิธีการระบายน้ำในแนวตั้งจึงเป็นที่รู้จักและใช้อย่างกว้างขวางในเชิงของวิศวกรรม

การระบายแรงดันส่วนเกินในช่องว่างของดิน เป็นเรื่องหลักของวิธีนี้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน วิธีนี้จะเกิดประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขของการบรรทุกน้ำหนักซึ่งทำให้เกิดการการเพิ่มของแรงดันในช่องว่างดินขึ้น น้ำหนักที่นำมาบรรทุกนั้นจะมีผลโดยตรงต่อการปรับปรุงคุณภาพของชั้นดิน

Types of drains

การระบายน้ำโดยวิธี Sand drains และโดยการใช้ Band drains เป็นสองวิธีที่มีการใช้กันมาก ดังในรูปที่ 131 Sand drains สามารถแยกออกเป็นสองวิธีคือ แบบแทนที่ และ แบบไม่แทนที่ แบบแทนที่ จะติดตั้งโดยการกดหรือขับท่อซึ่งตอนปลายสามารถเปิดได้สู่ชั้นดินที่ระดับความลึกที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการถมทรายลงไปใต้อันในขณะที่ถอนท่อขึ้น (Mandrel method) สำหรับแบบ ไม่แทนที่ จะใช้วิธีการถมทรายลงในหลุมที่ทำการเจาะด้วยสว่าน หรือโดยการเจาะโดยการฉีดน้ำไล่ดินขึ้นมา (augering or jetting) สำหรับการติดตั้ง Band drains นั้นมักใช้วิธี mandrel แต่อย่างไรก็ตามด้วยขนาดหน้าตัดที่เล็กดังนั้นการแทนที่ในดินจึงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

วิธีการ Sand drains แบบที่จะทำให้เกิดการรบกวนต่อสภาพดิน (displacement method) จะไม่นำมาใช้กับดินเหนียวรุนแรง เพราะบริเวณที่ดินเกิดการ smear จะทำให้อัตราของการระบายแรงดันในช่องว่างของดินลดลง

วิธีแบบไม่แทนที่โดยการฉีดน้ำไล่ดินขึ้นมาจากกันหลุม (jetted sand drains) เป็นวิธีซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน และต้องอาศัยประสบการณ์ในการทำงานของผู้รับเหมา

การทำ Sand drains โดยการใช้ Continuous flight hollow stem auger จะไม่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดการรบกวนต่อสภาพดินรุนแรงนัก แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าวิธี Jetted Sand drains จะมีความยุ่งยากซับซ้อนแต่ก็เป็นวิธีที่ไว้ใจได้ จึงมีความเหมาะสมมากกว่า

สำหรับในปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่าวิธี Sand drains แทบจะถูกแทนที่ด้วยการใช้ Prefabricated band shape drains ด้วยระยะเวลาในการติดตั้งที่น้อยกว่า และคุณภาพที่แน่นอน ตลอดจนราคาที่มีค่ากว่าในการติดตั้ง ทำให้วิธีการดังกล่าวมีความน่าสนใจสำหรับโครงการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของ Band drains จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆต่อไปนี้ คือ

- soil retention (pipe)
- permeability
- filtration (clogging)
- durability
- mechanical properties of core and filter
- discharge capacity

The soil retention (piping resistance) :

เกณฑ์ที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับ geotextile สำหรับดินตะกอน ดินเหนียว และ nonwoven geotextile จะได้

$$O_{95} < 1.8D_{85} < 0.3 \text{ มม.}$$

โดย O_{95} คือขนาดช่องเปิดซึ่ง 95% ของช่องเปิดใน geotextile จะมีขนาดเล็กกว่า ในการใช้งานมันจะมีขนาดเท่ากับ apparent opening size (AOS) โดยแสดงเป็น มม. ซึ่งถือเป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุดของ geotextile สำหรับ D_{85} เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ particle ซึ่ง 85% ของ particle จะมีขนาดเล็กกว่า

The permeability :

ในส่วนนี้มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการซึมผ่านของน้ำ โดยหลักการพื้นฐานก็คือมันจะต้องสามารถยอมให้น้ำซึมผ่านได้ดีกว่าที่เป็นอยู่ของดิน

โดยจะยึดเกณฑ์ดังนี้คือ $k_{\text{geotextile}} > 10 k_{\text{soil}}$

หรืออย่างน้อยที่สุดคือ $k_{\text{geotextile}} > k_{\text{soil}}$

โดยค่า k_{soil} แสดงในรูปที่ 132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The filtration (clogging resistance) :

ในการเลือกนำไปใช้งาน ตัว geotextile filter จะถูกเลือกให้มีขนาดช่องว่างเล็กกว่าขนาดของเม็ดดิน และภายใต้ขอบเขตของการซึมได้ตามที่กำหนด

Durability :

ความเสียหายต่อ prefabrication geotextile filters เนื่องจากสภาพทางชีวภาคหรือทางเคมีเป็นเรื่องที่จะต้องให้ความสนใจ โดยเฉพาะกับบริเวณที่มีน้ำมันปนอยู่

Mechanical properties of core and filter :

ในเรื่องของการรับแรงดึงของ core และ filter เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นกับตัวระบายน้ำในขณะติดตั้ง

ตัวอย่างเช่นในการติดตั้งตัวระบายน้ำ (ขนาด 100-350 มม.) โดยการกดด้วยแรงคงที่แต่ค่อนข้างเร็วด้วยอัตราการดึง 10-15% / นาที ในการติดตั้ง จากการกระทำดังกล่าวตัวระบายน้ำจะเกิดแรงดึงขนาด 5 kN/m เป็นอย่างต่ำ และความเครียดที่เกิดขึ้นจะประมาณ 2-10%

Discharge (well) capacity :

ปัญหาในเรื่องนี้คือการหาค่าที่ถูกต้องของ drain discharge capacity q_w มาใช้ในการออกแบบ

จากการที่ได้ทำการทดสอบในช่วงระยะเวลาสั้นๆสำหรับ prefabrication drains นั้นสรุปได้ว่าแรงต้านที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยจึงไม่เป็นปัญหาต่อการติดตั้ง แม้ว่าจะได้มีการใช้ความยาวมากกว่า 50 เมตรก็ตาม โดยค่า q_w จะมีค่ามากกว่า 100-150 m^3 /ปี ภายใต้แรงดันที่กระทำต่อตัวระบายน้ำ

Theories of vertical drain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบในการทำ Vertical drains นั้นจะอาศัยพื้นฐานทางทฤษฎีการทรุดตัวของ Terzaghi โดยจะถือว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆของดิน เช่นค่าการซึมได้ ความสามารถในการบดอัดได้ มีค่าคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาของการปฏิบัติการ โดยค่าการทรุดตัวที่คำนวณจะไม่รวมการทรุดตัวที่เกิดเนื่องจากการ creep ของดิน (Secondary consolidation)

ในปัจจุบันเราสามารถกล่าวได้ว่าผลสืบเนื่องจากการนำเทคนิคดังกล่าวไปใช้จะเกิดผลตามมาคือ

- large strain (geometrical non-linearities)
- variable compressibility
- variable permeability
- secondary consolidation

Experience with vacuum as preload

วิธีการนี้จะได้มีการกล่าวอย่างละเอียดในส่วนต่อไป ซึ่งสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นคือการรั่วของแผ่นวัสดุที่ใช้ในการคลุมผิวดิน ด้วยวิธีการดังกล่าวจะมีความยุ่งยากซับซ้อนมากกว่าการบรรจุทุกหน้าหนักโดยการบรรจุทุกวัสดุที่ผิวดิน อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อดีคือมันจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อเสถียรภาพในการเคลื่อนตัวของดิน ซึ่งเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการนำมาใช้กับโครงการขนาดใหญ่ในประเทศจีน

Tianjin Harbour, China :

Choa ได้เขียนไว้ในปี 1989 ถึงโครงการที่ใช้วิธีแรงดันสุญญากาศร่วมด้วยการใช้ vertical band drains โดยจุดประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวที่นำมาถมรวมทั้งชั้นดินเหนียวอ่อนที่มีอยู่เดิม

วัสดุที่นำมาคลุมผิวดินเป็นลักษณะของ airtight membrane ซึ่งในการปฏิบัติการจะเกิดแรงดันขนาด 9 ตัน/ม² การทรุดตัวที่เกิดขึ้นประมาณ 1.2-1.4 เมตร โดยลักษณะของชั้นดินประกอบด้วย 4 m hydraulic fill ซึ่งรองรับด้วยชั้น silty clay หนา 15 เมตร และชั้นของ clayey, sandy loam หนา 7 เมตร ค่าการทรุดตัวที่วัดได้ที่ระดับต่างๆของชั้นดินทำให้เห็นว่าวิธีการทรุดตัวตามความลึกของตัวระบายน้ำมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Recent experience with vacuum preloading in China :

Tang และ Gao (1989) ได้บรรยายถึงการพัฒนาและประสบการณ์จากการใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยวิธีสุญญากาศซึ่งได้มีการนำมาใช้ในประเทศจีนในช่วงปี 1989 ตามรายงานกล่าวไว้ว่าวิธีสุญญากาศได้มีการนำมาใช้ด้วยกันถึง 7 โครงการ ซึ่งพื้นที่รวมทั้งหมดที่ทำการปฏิบัติการประมาณ 1.1 ล้าน.ม² โดยการใช้วิธีการได้ครั้งละ 26,000 ตารางเมตรภายใต้แรงกดดัน 6.5 ตัน/ม² ซึ่งมันเป็นการพิสูจน์ให้เห็นว่าด้วยการถ่วงน้ำหนักโดยวิธีสุญญากาศสามารถกระทำได้กับบริเวณเนื้อที่ขนาดใหญ่ได้

EXPERIENCE WITH VERTICAL DRAINS IN BANGKOK CLAY

Bangkok-Siracha highway (No.34) :

Eide ได้เขียนรายงานไว้เมื่อปี 1977 แสดงผลการทำ test section บนถนนสายกรุงเทพ-ศรีราชา Sand drains และ jute drains มีผลทำให้อัตราการทรุดตัวเพิ่มขึ้นแต่ยังไม่ถึงระดับที่น่าพอใจ กล่าวคือภายหลังการบรรทุกน้ำหนักเป็นเวลา 1.5 ปี อัตราการทรุดตัวมีค่าเพียง 3 ซม./เดือน และเนื่องมาจากค่า factor ความปลอดภัยของดินต่ำคั้งนั้นพื้นที่บางส่วนอาจเกิดภาวะ undrain creep ด้วย

Pom Prachul Test fill :

ปฏิบัติการ test fill ที่ Naval Dockyard site, Pom Prachul ได้มีการเขียนรายงานโดย Balasubramaniam ในปี 1980 คันทางมีความยาว 90 เมตรกว้าง 33 เมตร โดยแบ่งออกเป็นสามส่วน โดยในส่วนแรกใช้ Sand-wicks (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม.) ติดตั้งห่างกัน 2.5 เมตร และอีกส่วนกำหนดให้มีระยะห่าง 1.5 เมตร สำหรับในส่วนสุดท้ายจะไม่มี vertical drains ผลการบันทึกค่าการทรุดตัวกับเวลาในการทดสอบครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าโดยการใช้ sand-wicks ไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเร่งการทรุดตัว อย่างไรก็ตามค่า vertical stress ของดินก็เพิ่มขึ้นประมาณ 4 ตัน/ม² ซึ่งเป็นผลจาก vertical stress ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า preconsolidation stress เราไม่อาจคาดการณ์ถึงผลของ vertical drains เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้เงื่อนไขในการบรรทุกน้ำหนักหรือการระบายออกไปของน้ำ

AIT Campus Test fill :

Bergado (1988) ได้เขียนรายงานการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวกรุงเทพมหานครโดยการใส่ band drains ซึ่งได้มีการทดสอบอย่างละเอียดโดยคณะของ AIT ซึ่ง ณ สถานที่ดังกล่าวมีความหนาของชั้นดินเหนียวกรุงเทพทั้งสิ้น 8 เมตรโดยการติดตั้ง band drains (Membrane drains) โดยมีระยะห่าง 1.5 เมตรถึงที่ระดับความลึก 8 เมตร ค่าการทรุดตัวที่วัดโดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบกับดินบริเวณเดียวกันในอดีตซึ่งไม่มีการใช้การระบายน้ำเข้าร่วมและจากการหาค่าแรงดันในช่องว่างซึ่งให้เห็นว่าการปฏิบัติการให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ในการคาดการณ์ค่าการทรุดตัวที่ 90% คาดว่าจะใช้เวลา 340 วัน อย่างไรก็ตามการทดสอบดังกล่าวน้ำหนักบรรทุกที่ใช้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำหนักสูงสุดที่ดินบริเวณดังกล่าวได้รับในอดีต นั้นหมายความว่าเรายังไม่สามารถสรุปถึงประสิทธิภาพของการใช้วิธีการระบายน้ำในแนวตั้งได้จากผลการทดสอบในครั้งนี้

ข้อมูลจากการทดสอบของ AIT ได้ถูกนำมากล่าวถึงโดย Bergado et al ในปี 1992 โดยข้อมูลการทรุดตัวจะวัดที่ระยะสุดท้ายภายหลังจากเวลาผ่านไป 3 ปี โดยในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้นำมาซึ่งอัตราความสัมพันธ์ของ $c_h(\text{field})/c_h(\text{lab})$ จะอยู่ในช่วง 1.5-4 จากค่าดังกล่าวนำมาซึ่งสมมุติฐานต่อไปนี้

$$k_n/k_u = 10$$

$$d_u/d_w = 2.5$$

โดย	k_n	=	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแนวราบ
	k_u	=	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในบริเวณที่ดินเกิดการ smear
	d_u	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่ดินเกิดการ smear
	d_w	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวระบายน้ำ

Nong Ngu Hao Test fill :

การทดสอบที่เกี่ยวข้องกับดินเหนียวกรุงเทพในอดีตที่ผ่านมาจะถูกนำมาใช้ประกอบการศึกษา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการปรับปรุงสภาพดินของบริเวณที่จะใช้เป็นที่ก่อสร้าง Second Bangkok International Airport มีการทดสอบโดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นสามส่วน โดยในการทดสอบจะใช้ sand drains ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.27 เมตรติดตั้งถึงระดับความลึก 14.5 เมตร โดยในการขุดหลุมจะใช้วิธี water jetting

ในส่วนแรกมีพื้นที่ 40x40 เมตร การติดตั้ง Sand drains จะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีระยะห่างของแต่ละหลุม 2 เมตร โดยฝั่งที่เล็ก ๆ ซึ่งตอนปลายจะมีไส้กรองติดอยู่ ไว้ในแต่ละหลุมที่ระดับความลึก 3 เมตรและ 11 เมตร ที่เล็ก ๆ เหล่านี้จะรวมเข้าเป็นท่อซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า โดยจะมีการใช้สารละลาย Bentonite ฉีดเข้าไปในบริเวณปากหลุมของ Sand drains ถึงระดับความลึก 1.3 เมตรจากผิวดิน จากนั้นทำการเดินเครื่องปั๊มสุญญากาศให้เกิดแรงกดอัดขนาด 9 ตัน/ม² ผลที่เกิดขึ้นคือเกิดการรั่วของอากาศขึ้นหลายจุด ในที่สุดบางส่วนของพื้นที่ทดสอบต้องนำแผ่นพลาสติกมาคลุมกับเพิ่มเติมที่ผิวดิน

การทดสอบในส่วนที่สองกระทำกับพื้นที่ขนาด 40x42.6 เมตร โดยการติดตั้ง Sand drains ในลักษณะเดียวกับในส่วนแรก แต่การบรรทุกน้ำหนักจะใช้น้ำหนักเนื่องจากดินถม เพื่อทำให้เกิดแรงอัดขนาด 6.6 ตัน/ม²

ในการทดสอบกับพื้นที่ในส่วนที่สามกระทำเช่นเดียวกับในส่วนที่หนึ่ง แต่มีการเพิ่มระยะห่างระหว่างหลุมเป็น 2.4 เมตร ปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นไปในลักษณะเดียวกับที่เกิดขึ้นในส่วนแรกคือเกิดการรั่วของ membrane

แม้ว่าจะมีความแตกต่างในรายละเอียดของการทดสอบในครั้งนี้ แต่มันก็ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าการทำ Sand drains และการบรรทุกน้ำหนักด้วยการถมดิน, วิธีสุญญากาศ หรือการ dewatering เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่อการเร่งอัตราการทรุดตัวของดิน

ANALYSIS OF CONSOLIDATION AND SETTLEMENT

Settlement and consolidation in the preloading period :

ตารางที่ 13 แสดงผลการคำนวณค่า primary consolidation settlement ที่เกิดขึ้นโดย ENKONS ระดับของน้ำใต้ดินสมมุติให้อยู่ที่ระดับผิวดินเดิมภายหลังการทรุดตัวเนื่องจากการบรรทุกน้ำหนักในแต่ละครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applied prelude (t/m ²)	Total consolidation settlement (ม)
5.00	1.12
6.00	1.54
6.50	1.72
6.85	1.84
7.00	1.90
7.50	2.06

ตารางที่ 13 แสดงผลการคำนวณค่า primary consolidation settlements

Sand drains

ได้มีการศึกษาโดยการใช้ Sand drains ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.26 เมตรโดยถือว่าประสิทธิภาพเนื่องจาก well resistance (F_w) และการ smear (F_s) ตัดทิ้งไปได้

ชั้นดินเหนียวอ่อนที่ความลึกระหว่าง 4-7 เมตรซึ่งมีสัมประสิทธิ์การทรุดตัวตามแนวราบเป็น 0.77 ม²/ปี โดยจะถือค่านี้เป็นเกณฑ์ในการหาค่าการทรุดตัวของชั้นดิน รูปที่ 133 แสดงผลการคำนวณค่าดัชนีการทรุดตัวกับเวลา เมื่อมีการใช้ Sand drains ที่ระยะห่างแตกต่างกัน

จากรูปที่ 133 และจากขีดจำกัดภาสได้ความสูงของดินถม และระยะห่างของ drains พบว่าที่ระยะห่างของ drain เท่ากับ 1.5 เมตร และโดยการบรรทุกน้ำหนักเป็นเวลานาน 8 เดือน จะเกิดประสิทธิผลสูงสุดต่อการทรุดตัวของชั้นดิน

โดยจากการประมาณน้ำหนักของพื้นผิวทางและชั้นรองพื้นทางจะมีค่าประมาณ 5.0 ตัน/ม² ทำให้อัตราส่วนระหว่าง $\Delta\sigma_v/\Delta\sigma_c$ มีค่าอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 1.2 ในช่วงระยะเวลาที่ทำการบรรทุกน้ำหนัก โดยกำหนดให้ $\Delta\sigma_v > 6.0$ ตัน/ม² ในช่วงระดับความลึกจากผิวดินลงไป 16 เมตร รูปที่ 133 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของดินถมซึ่งในการปฏิบัติงานจริงจะต้องเพิ่มเป็น $6.0/0.84 = 7.14$ ตัน/ม² จากตารางที่ 13 น้ำหนักกระทำ 7.5 ตัน/ม² ค่าผลการทรุดตัวได้ 2.06 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตร ตารางที่ 14 แสดงถึงดินเหนียวอ่อนในบริเวณก่อสร้างสนามบินซึ่งแบ่งตามระดับชั้นความลึกออกเป็น 6 ชั้น ซึ่งค่า primary consolidation settlement (δ_{tot}) จะมีการกระจายออกไปตามระดับความลึกต่างๆกัน จากผลของการคำนวณด้วยการทรุดตัวในแนวราบ (รูปที่ 133) ทำให้ทราบค่าประมาณของการทรุดตัวที่เกิดขึ้นได้ภายหลังจากการบรรทุกน้ำหนักเป็นเวลา 8 เดือน

Soil unit	Depth (m)	c_h (m ² /yr)	U_h (%)	δ_{tot} (m)	$\Delta\sigma'_{8months}$ (t/m ²)	$\delta_{tot, 8months}$ (m)
1	0-1	6.0	100	0.070	7.500	0.070
2	1-2	4.25	100	0.146	7.500	0.146
3	2-4	1.64	99	0.383	7.425	0.378
4	4-7	0.77	84	0.663	6.300	0.560
5	7-11	1.33	98	0.574	7.350	0.563
6	11-16	1.71	99	0.228	7.425	0.225
				$\Sigma = 2.064$		$\Sigma = 1.942$

ตารางที่ 14 การทรุดตัวที่เกิดขึ้นภายหลังเวลา 8 เดือน (Sand Drains)

ค่าการทรุดตัวในชั้น primary ภายหลังจากเวลาผ่านไป 8 เดือน หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\delta_{tot, 8months} = \delta_{tot} - C_c / (1 + e_o) \cdot \log (G_f / (G_f - \Delta U_{8months})) \cdot \Delta H$$

$$\text{โดย } \Delta U_{8months} = G'_{preload} - \Delta G'_{8months}$$

$$H = \text{ความสูงของชั้นดินที่พิจารณา}$$

- Vertical effective stress reached during preloading

- Final permanent vertical effective stress

ดังแสดงในตารางที่ 14 จะเกิดการทรุดตัวรวมทั้งสิ้น 1.94 เมตรที่ระยะเวลา 8 เดือน ภายใต้น้ำหนักกระทำ 7.5 ตัน/ม² และระยะห่างของ Sand drains เป็น 1.5 เมตร

การทรุดตัว 1.94 เมตรทำให้น้ำหนักลดลงไป 0.44 ตัน/ม² ทำให้การทรุดตัวลดลงไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ- 15 ซม. จากผลการคำนวณในตารางที่ 13 ประสิทธิภาพของการบรรทุกน้ำหนักด้วยการถมดินขนาด 7.2 ตัน/ม² ซึ่งมากกว่าค่าที่ต้องการไว้คือ 7.14 ตัน/ม² โดยค่า $\Delta G_6'$ ยังคงมากกว่า 6.0 ตัน/ม² ในทุกระดับของชั้นดิน

จากการคำนวณข้างต้นทำให้สามารถกล่าวได้ว่า ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมทราย 0.26 เมตรและระยะห่างระหว่างหลุมเป็น 1.5 เมตร พร้อมด้วยการบรรทุกน้ำหนัก 7.5 ตัน/ม² ในช่วงเวลา 8 เดือนจะก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับชั้นดินเหนียวอ่อนซึ่งมีความลึก 16 เมตร โดยจะมีค่า $\Delta G_6'/\Delta G_6'$ มากกว่า 1.2 หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงได้โดยลดขนาดของน้ำหนักบรรทุกลง แต่ให้ระยะห่างของหลุมทรายเป็น และ/หรือ โดยการเพิ่มเวลาออกไป ซึ่งให้ผลเหมือนกับการเพิ่มขนาดของน้ำหนักบรรทุก และให้ระยะห่างของหลุมทรายเป็นเพิ่มขึ้น และ/หรือ ลดระยะเวลาให้สั้นลงโดยยังคงรักษาวิธีการทรุดตัวไว้เท่าเดิม

Band drains

มีวัสดุหลายชนิดที่นำมาใช้เป็น Band drains ซึ่งในการศึกษาเพื่อใช้กับโครงการนี้วิศวกรได้เลือกใช้ Band drains ซึ่งมีความกว้าง 100 มม. และหนา 7 มม.

Hansbo ได้กล่าวไว้ในปี 1979 ว่าไม่จำเป็นต้องคำนึงผลจาก well resistance ในกรณีที่มีอัตราส่วนระหว่าง $q_w/k_h > 3,000 \text{ m}^2$ ซึ่งโดยทั่วไปสำหรับ Band drains แล้วมักจะมีค่าประมาณที่ 60,000 ม²

รูปที่ 134 แสดงผลการคำนวณค่า U_n กับเวลาของชั้นดินที่ระดับความลึก 4-7 เมตร ที่ระยะห่างระหว่าง Band drains ต่างกัน ซึ่งในที่สรุปก็ได้เลือกทำการวิเคราะห์ที่ระยะห่าง 1 เมตรพร้อมกับการบรรทุกน้ำหนักเป็นเวลานาน 8 เดือน

โดยการให้อัตราส่วนของ $\Delta G_6'/\Delta G_6'$ มีค่าอย่างน้อยเป็น 1.2 ในช่วงของการบรรทุกน้ำหนัก รูปที่ 134 แสดงให้เห็นว่าขนาดของน้ำหนักถ่วงที่ต้องการจะมีค่าเท่ากับ $6.0/0.81=7.4 \text{ ตัน/ม}^2$ ดังแสดงในตารางที่ 13 ด้วยน้ำหนักบรรทุก 7.5 ตัน/ม² จากการคำนวณจะสามารถประมาณค่าการทรุดตัวทั้งสิ้น 2.06 เมตร

ตารางที่ 15 แสดงค่าการทรุดตัวทั้งสิ้น 1.87 เมตร ภายใต้น้ำหนักบรรทุก 7.5 ตัน/ม² และโดยการให้ Band drains ที่ระยะห่าง 1 เมตรเป็นเวลา 8 เดือน นั้นแสดงว่าด้วยข้อกำหนดดังกล่าวผลที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ

จากผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 134 แสดงให้เห็นว่าโดยการลดระยะห่างของ Band drains ลงเหลือ 0.75 เมตร จะเป็นการเพิ่มวิธีการทรุดตัวจาก 81% เป็น 96% ซึ่งในกรณีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงอื่นเพื่อการที่ขอใช้ให้ผู้อื่น มิฉะนั้นผู้ให้เห็นชอบจะขอคืนค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Sand drains จะได้ 84% เมื่อกำหนดค่าให้ $\Delta\sigma'_v/\Delta\sigma'_c > 1.2$ ในทุกระดับความลึกของชั้นดิน

Soil unit	Depth (m)	c_h (m ² /yr)	U_h (%)	δ_{tot} (m)	$\Delta\sigma'_{8months}$ (t/m ²)	$\delta_{tot, 8months}$ (m)
1	0- 1	6.0	100	0.070	7.500	0.070
2	1- 2	4.25	100	0.146	7.500	0.146
3	2- 4	1.64	97	0.383	7.275	0.369
4	4- 7	0.77	81	0.663	6.075	0.540
5	7-11	1.33	93	0.574	6.975	0.536
6	11-16	1.71	94	0.228	7.050	0.209
$\Sigma = 2.064$					$\Sigma = 1.870$	

ตารางที่ 15 การทรุดตัวที่เกิดขึ้นภายหลังเวลา 8 เดือน (Band Drains)

EVALUATIONS OF THE STABILITY OF THE PRELOADING EMBANKMENT

ได้มีการศึกษาถึงความมั่นคงของสภาพดิน โดยการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์คำนวณหาความสมดุลต่อแรงเฉือน

ค่าแรงเฉือนแสดงดังรูปที่ 135 ซึ่งอาศัยพื้นฐานมาจากการแสดง Profiles ของ S_u ในปี 1973 โดย NGI และจากปี 1984 โดย NACO Profiles ดังกล่าวได้มาจากการทดสอบโดยวิธี vane shear strength ในสถานที่จริง โดยตัวอย่างผลการทดสอบในปี 1973 ได้แสดงดังรูปที่ 136 ซึ่งทำการทดสอบน้ำหนักของสภาพดิน จนถึงจุดแตกหัก โดยค่า correction factor แสดงในรูปที่ 137 และให้ค่า PL มีค่าเป็น 70 ซึ่งค่า correction factor ถูกกำหนดให้ใช้ที่ $\mu = 0.7$ โดยการใช้ critical slip surface จะถูกสมมุติด้วยค่าน้ำหนักและมุมลาดต่างๆ กันการคำนวณอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง slope angle, และค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุ, (ค่า safety factor) โดยน้ำหนักที่ใช้คือ 6, 7.5 และ 9 ตัน/ม² ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 138

ผลการคำนวณที่ได้จะเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าของน้ำหนักที่จะนำมาถ่วงและ มุมลาด เมื่อกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุเป็นอย่างน้อย 1.5 มันจะเป็นการทำให้สามารถหลีกเลี่ยงต่อการเกิด undrain creep เป็นบริเวณกว้างได้ โดยในรูปที่ 139 ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อสมมุติให้ค่าความหนาแน่นของวัสดุที่นำมาถ่วงเป็น 1.7 ตัน/ม²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ALTERNATIVE TYPES OF PRELOAD

Lowering of ground water (dewatering) :

เป็นวิธีการหนึ่งโดยการสอดท่อซึ่งติดไส้กรองที่ตอนปลายลงไปในแต่ละหลุม คล้ายกับเทคนิคที่ใช้โดย NACO ในการทำ Test Fill 3 โดยในรูปที่ 140 แสดงภาพในการปฏิบัติอย่างคร่าวๆ วิธีการนี้จะใช้ร่วมกับการทำ Sand drains โดยระดับน้ำจะถูกทำให้อยู่ต่ำกว่าระดับของปัมป์ประมาณ 6 เมตร แรงดันของน้ำภายในตัวระบายน้ำจะถูกทำให้ลดลงโดยเพิ่มจาก 0 ถึง 6 T/m^2 ที่ระดับความลึก 6 เมตร และคงที่ไปจนถึงระดับของกันหลุม วิธีการ dewatering นี้มักจะใช้ควบคู่ไปกับการถ่วงน้ำหนักที่พื้นผิวดิน

ด้วยค่าใช้จ่ายในส่วนของการทำ Sand drains การทำระบบการระบายน้ำ ค่อนข้างเสียค่าใช้จ่ายมาก ทำให้ความน่าสนใจในวิธีดังกล่าวลดลง

โดยอาศัยการที่แรงดันในช่องว่างที่ต่ำของชั้นทรายที่อยู่ใต้ชั้นดินเหนียวสามารถทำการติดตั้งตัวระบายน้ำไปยังชั้นดินเหนียว โดยชั้นทรายนั่นบนสุดจะอยู่ที่ระดับความลึกระหว่าง 20-25 เมตร The hydrolics head in the sand layer is probably about 12 m below the hydrostatic level และด้วยน้ำหนักที่เหมาะสมทำให้สามารถปฏิบัติการได้ดังรูปที่ 141 อย่างไรก็ตามน้ำหนักที่จะทำการถ่วงที่ผิวดินจะต้องได้รับการวิเคราะห์ก่อนเสมอ Band drains สามารถนำมาใช้ได้เช่นกัน

การคำนวณค่าการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวในชั้น primary ในการปฏิบัติการตามรูปที่ 1417 สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 16

Assumed phreatic level in the drains (m)	Surface load (t/m^2)	Suction above phreatic level included?	Primary consolidation settlement of the soft clay (m)
-12	0	No	1.35
-12	0	Yes	3.3
-12	7.5	No	3.4
-12	7.5	Yes	4.7

ตารางที่ 16 แสดงค่าการทรุดตัวในชั้น primary เมื่อมีการติดตั้งตัวระบายน้ำถึงระดับชั้นทราย
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vacuum loading and loading by water in pounds :

วิธีการนี้แสดงดังรูปที่ 142 ชั้นทรายจะถูกปกคลุมด้วยแผ่นวัสดุซึ่งอากาศไม่สามารถผ่านได้ (air-tight membrane) แผ่นวัสดุดังกล่าวจะถูกทับด้วยทรายที่ขอบโดยรอบ ชั้นทรายจะต่อเข้ากับพื้นที่สูญญากาศโดยผ่านท่อ ภาสได้แรงอัดขนาด 0.7 bar ซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นในการระบายน้ำในบริเวณของพื้นที่ที่ควบคุมอยู่ ด้วยการกระทำดังกล่าวจะมีผลเหมือนกับการนำน้ำหนักมาวางที่ผิวดิน แต่จะมีความแตกต่างในบางจุดดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

ข้อดีของการปฏิบัติโดยวิธีการดังกล่าวคือมันจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพในการเคลื่อนตัวของชั้นดิน ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญที่เป็นขีดจำกัดของน้ำหนักเมื่อใช้วิธีการวางน้ำหนักด้วยการถมที่ผิวดิน จุดที่น่าสนใจอีกประการก็คือ การเพิ่มน้ำหนักกดเข้าไปโดยการชั่งน้ำไว้เหนือแผ่นวัสดุ ดังแสดงในรูป 142 ด้วยความสูงของระดับน้ำ 2-3 เมตร จะไม่มีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเพิ่มขึ้นมากนัก และจะทำให้น้ำหนักกดสามารถเพิ่มเป็น 10 ตัน/ม² ได้อย่างง่ายดาย โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านของเสถียรภาพของมวลดินแต่อย่างใด

ด้วยข้อดีดังกล่าวมาแล้ว แม้ว่าวิธีการดังกล่าวจะเป็นที่รู้จักกันมากกว่า 50 ปีแล้ว แต่ก็ยังไม่มี การนำไปใช้อย่างกว้างขวางนัก โดยมากจะใช้ในการทดลองวิจัยเสียมากกว่า ปัญหาของมันอยู่ที่ จะทำอย่างไรเมื่อนำไปใช้กับพื้นที่ที่มีบริเวณกว้างมาก ๆ

Loading by soil embankment :

รูปที่ 143 แสดงถึงวิธีการหนึ่งในการปฏิบัติการโดยวิธีการนี้ หลักสำคัญของวิธีการนี้คือ การที่สามารถเคลื่อนย้ายวัสดุที่นำมาวางน้ำหนักออกไปจากพื้นที่ได้ ความผิดพลาดในการประเมินค่าใช้จ่ายจะค่อนข้างต่ำในกรณีที่ดินโดยทั่วไปมีลักษณะใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตามปัญหาหลักก็คือ ในการนำวัสดุมาวางที่ผิวดินนั้นอาจทำให้เกิดปัญหาในเสถียรภาพต่อการเคลื่อนตัวของดินในขณะที่ปฏิบัติการได้ ดังนั้นจะต้องมีการควบคุมน้ำหนักที่ใช้และระยะเวลาในการเพิ่มเติมน้ำหนัก

RECOMMENDED DESIGN CONCEPT

Runways, Taxiways and Aprons :

Type of preloading

การทำ preloading พร้อมด้วยการใช้ตัวระบายน้ำ จะมีความน่าสนใจมากกว่าการทำ preloading โดยการใช้น้ำหนักเนื่องจากดินถมแต่เพียงอย่างเดียว สำหรับการระบายน้ำโดยการติดตั้งถึงชั้นทรายที่ระดับความลึก 20-25 เมตรค่อนข้างจะไม่ใช่เป็นการคุ้มค่าต่อผลที่ได้รับ

ค่าใช้จ่ายมีความสัมพันธ์โดยตรงกับดินที่จะนำมาถม ดังจะได้แสดงในรายละเอียดส่วนต่อไป

ดินถม	683 ล้านบาท
ขุดดิน และ ถมดิน	430 ล้านบาท
	<u>1,110 ล้านบาท</u>

พื้นที่ซึ่งตัวระบายน้ำจะครอบคลุมไปถึงประมาณ 2.33 ล้านตารางเมตร ค่าใช้จ่ายในการ preloading ต่อตารางเมตรสำหรับพื้นที่ที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพ คิดเป็น $1,110/2.33 = 486$ บาท/ม²

ค่าใช้จ่ายดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปฏิบัติการโดยวิธีสุญญากาศ มันเป็นการยากในการประมาณราคาในการติดตั้งแผ่นวัสดุ และการติดตั้งเครื่องปั๊ม อย่างไรก็ตามในปี 1984 NACO ได้ประมาณค่าใช้จ่ายออกมาตกประมาณ $(600+274)/2.4 = 364$ บาท/ม²

แม้ว่าราคาดังกล่าวจะเป็นการประมาณไว้เมื่อปี 1984 แต่มันก็มีเหตุผลเพียงพอที่จะเชื่อได้ว่าการถ่วงน้ำหนักโดยวิธีสุญญากาศเป็นทางเลือกที่มีจุดที่น่าสนใจอยู่ที่ราคา ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการเพิ่มน้ำหนักกดโดยการใช้น้ำจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายโดยรวมจ่ายเพียงเล็กน้อย ด้วยระยะเวลาในการถ่วงน้ำหนักเท่ากันโดยวิธีสุญญากาศสามารถติดตั้งตัวระบายน้ำให้มีระยะห่างกันได้มากกว่าเป็นผลให้จำนวนที่ใช้้นน้อยกว่า ซึ่งผลที่สุดเชื่อได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ทั้งสิ้นในการปฏิบัติการกับพื้นที่ทั้งหมดสามารถทำให้ลดลงได้

อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติการในโครงการสนามบินนี้ได้เลือกการถ่วงน้ำหนักโดยการถมดิน เนื่องจากจะมีความแน่นอนกว่าด้วยเทคโนโลยีที่ใช้กันอยู่ อย่างไรก็ตามการประมาณค่าใช้จ่ายของวิธีการถมดินจะอาศัยสมมุติฐานที่ว่าปริมาณดินทั้งหมดสามารถจัดส่งมาสู่พื้นที่ได้จริง (GEC (1992) การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ประมาณไว้ว่าจะมีดินเหลือหลังจากการสร้างกำแพงของโครงการกว่า 2-3 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยสมมติว่าปริมาณดินดังกล่าวสามารถนำมาใช้ได้ ค่าใช้จ่ายต่อตารางเมตรจะสามารถลดลงได้ประมาณครึ่งหนึ่ง

Type of drain

Band drains ถูกเลือกให้ใช้ในโครงการนี้

มี Band drains ชนิดต่างๆหลายชนิดซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ โดยในการเลือกจะคำนึงถึงคุณภาพในการผลิต และ/หรือ โดยการนำมาทดสอบคุณสมบัติเพิ่มเติม

Spacing of drains

ค่าใช้จ่ายที่ได้ประมาณไว้อาศัยการสมมุติที่ระยะห่างเป็น 1 เมตร ($s=1m$) ซึ่งมีระยะใกล้เคียงกับระยะอย่างน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ในการติดตั้งคือ 0.8 เมตร และด้วยค่าใช้จ่ายในการลำเลียงมวลดินมายังพื้นที่ซึ่งสูง และด้วยการนำดินมาใช้หมุนเวียนให้บ่อยครั้งที่สุด ซึ่งผลการสรุปแสดงออกมาว่าจะมีการนำดินมาหมุนเวียนใช้กับพื้นที่ทั้งหมดรวม 4 ครั้งภายในระยะเวลาทั้งสิ้น 4 ปี

อีกทางหนึ่งอาจจะลดจำนวนครั้งในการหมุนเวียนลงเหลือ 2 ครั้งและเพิ่มระยะเวลาในการถ่วงน้ำหนักจาก 8 เดือนเป็น 16 เดือน ซึ่งผลการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 134 โดยระยะห่างที่เหมาะสมเป็น 1.3 เมตร ต่อค่าค้ำกริการทรุดตัวเท่ากับ 0.8 ซึ่งเป็นผลมาจาก $\Delta\epsilon_r/\Delta\epsilon_f = 1.2$

ค่าใช้จ่ายเมื่อมีการหมุนเวียนใช้ดินเป็นจำนวน 2 ครั้ง

Band drains :	$(2.33 \times 10^6) \times 15 \times 35 / (\pi/4) \times 1.3^2 = 922 \times 10^6$
ดินถม :	$2 \times 683 \times 10^6 = 1366 \times 10^6$
ชุด และ ถม :	$5.77 \times 10^6 \times 2 \times 37 = 427 \times 10^6$

รวม

2,715 ล้านบาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายเมื่อมีการหมุนเวียนใช้ดินเป็นจำนวน 4 ครั้ง
(ที่มาของตัวเลขจะได้กล่าวในรายละเอียดในส่วนต่อไป)

Band drains :	= 1412x10 ^๕
ดินถม :	= 683x10 ^๕
ชุด และ กรม :	= 427x10 ^๕

รวม

2,522 ล้านบาท

จากการเปรียบเทียบดังกล่าวทำให้เห็นว่าการหมุนเวียน 4 ครั้งจะเหมาะสมมากกว่า
ในเรื่องของความประหยัด แต่อย่างไรก็ตามข้อสรุปดังกล่าวอาจเปลี่ยนไปหากว่าสามารถนำดิน
ตามที่ GEC เสนอไว้มาใช้ได้ บางทีอาจมีความเหมาะสมมากกว่าในการลดจำนวนครั้งลง

Length of drains

การระบายน้ำออกในแนวคิงมีจุดประสงค์ดังต่อไปนี้คือ

- ลดระยะทางการระบายของน้ำในการเคลื่อนตัวระหว่างการถ่วงน้ำหนัก
- เป็นเสมือนช่องท่อในการไหลของน้ำ เป็นการลดแรงดันในช่องว่างของดินเหนียว
กรุงเทพ

เพื่อให้เกิดประสิทธิผลเต็มที่ ในการติดตั้งตัวระบายน้ำควรให้ลึกถึงระดับตอนล่างของชั้นดิน
เหนียว ในการคำนวณค่าใช้จ่าย ตลอดจนประสิทธิภาพดังได้แสดงอยู่ตามส่วนต่างๆของเนื้อหา นั้นจะ
สมมุติให้การติดตั้งถึงระดับความลึก 15 เมตร

ในการติดตั้ง Band drains จะมีความแน่นอนกว่าในการควบคุมระดับความลึกเมื่อเปรียบ
เทียบกับการทำ Sand drains อย่างไรก็ตามความผิดพลาดสามารถเกิดได้เสมอเนื่องจาก
การความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติการ

โอกาสในการที่การติดตั้งตัวระบายน้ำลึกเกินไปจนเกิดภาวะที่เรียกว่า aquifer สามารถ
ทำให้ลดลงได้โดยลดระยะความลึกในการติดตั้งลง แต่นั่นจะเป็นการลดประสิทธิภาพในการระบาย
น้ำลงไป ตารางที่ 17 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการทรุดตัวเมื่อทำการติดตั้งถึงที่ระดับความ
ลึก 16 และ 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการคำนวณการทรุดตัวในส่วนที่อยู่เหนือระดับความลึก 12 เมตรขึ้นไป และการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วงระดับความลึก 12 ถึง 16 เมตร สำหรับการติดตั้งตัวระบายถึงที่ระดับ 12 เมตร สามารถกล่าวสรุปได้ดังนี้ คือ

- การระบายน้ำสามารถเกิดได้ในแนวดิ่งและแนวนอนถึงระดับความลึก 12 เมตร
- แรงดันในช่องว่างจะเกิดความสมดุล (ภายหลังผ่านไปหลายปี) โดยสันนิษฐานได้ว่าที่ความลึก 12 เมตรถึง 24 เมตรจะมีแรงดันเกิดขึ้นขนาด 12 ตัน/ม^2 แสดงดังรูปที่ 144

การทรุดตัวของชั้นดินที่อยู่ในช่วงระดับความลึก 12 ถึง 16 เมตร จากการทำการถ่วงน้ำหนักเป็นเวลา 8 เดือน จะเป็นส่วนหนึ่งของการทรุดตัวทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นต่อไปในภายหลังระยะเวลาที่นานกว่าเดิมจะทำให้สามารถถึงจุดสุดท้ายของการทรุดตัวในชั้น primary ได้ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเป็นการลดการทรุดตัวในชั้น secondary ภายหลังการนำน้ำหนักถ่วงออกไป

Length of drain	16 m	12 m
Settlement during 8 months preloading	1.87 m	1.74 m
Post preloading settlement after 20 years	0.13 m	0.18 m
Post preloading settlement after 20 years	0.32 m	0.37 m

ตารางที่ 17 แสดงค่าการทรุดตัวจากการติดตั้ง drain ถึงระดับความลึก 16 m และ 12 m โดยการถ่วงน้ำหนัก 7.5 ตัน/ม^2 เป็นเวลา 8 เดือน $De = 1\text{m}, q_s = 5\text{ตัน/ม}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Roads and Parking Areas :

น้ำหนักที่เกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างในส่วนนี้จะมีค่าประมาณ 1 ตัน/ม² โดยจะหักน้ำหนักเนื่องจากน้ำหนักของดินที่เคลื่อนย้ายออกไป ด้วยน้ำหนักดังกล่าวซึ่งมีค่าไม่มากนักคำนวณค่าการทรุดตัวได้ประมาณ 0.1 ถึง 0.2 เมตร ในการปรับปรุงสภาพดินจึงไม่จำเป็นต้องใช้วิธีระบายน้ำในแนวคิงเข้าช่วย

การประมาณการทรุดตัวของพื้นที่ในส่วนนี้ อาศัยสมมุติฐานว่าแรงดันในช่องว่างในส่วนล่างสุดของชั้นดินเหนียวอ่อน และจากชั้นทรายจะไม่มีผลต่อการทรุดตัวในอนาคต

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION METHODS AND ESTIMATES OF COST AND SCHEDULE

Runways, Taxiways and Aprons :

Key assumptions of geometry

Total pave area = 2,400,000 ม² = 1,500 ไร่

โดยแยกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ได้ดังนี้คือ

Runways	=	500,000 ม ²
Taxiways	=	500,000 ม ²
Aprons	=	900,000 ม ²
Roads, parking	=	500,000 ม ²

การปฏิบัติการด้วยตัวระบายน้ำและการถ่วงน้ำหนักจะอยู่ในส่วนของ Runways, Taxiways และ Aprons ซึ่งรวมพื้นที่เป็น 1,900,000 ม²

โดยในการปฏิบัติจริง การติดตั้งตัวระบายน้ำจะต้องให้เลขออกไปจากแนวของพื้นที่ใช้งาน เป็นระยะทาง 10 เมตร นั้นแสดงว่า ระยะลาดของดินถมจะเลขออกไปอีก 40 เมตรจากแนว

ในการติดตั้งตัวระบายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 145 ซึ่งจะได้ผลตามมาดังนี้ คือ
 เอกราชบัณฑิตยสถาน
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Runways

Area with drains = 1.30 x paved area

Area covered by fill = 2.52 x paved area

Volume of sand and soil fill

Taxiways

Area with drains = 1.43 x paved area

Area covered by fill = 3.17 x paved area

Volume of sand and soil fill

= 2.30 x volume at paved area

Aprons

Area with drains = 1.07 x paved area

Area covered by fill = 1.33 x paved area

Volume of sand and soil fill

= 1.20 x volume at paved area

คิดเป็นพื้นที่รวมทั้งหมดโดยไม่แยกลักษณะของการใช้งาน คือ

Area with drains = 1.23 x total paved area

= $2.33 \times 10^6 \text{ ม}^2$

Area covered by fill = 2.13 x total paved area

= $4.04 \times 10^6 \text{ ม}^2$

Volume of sand and soil fill

= 1.68 x total volume paved area

= $3.19 \times 10^6 \times (h) \text{ ม}^3$

เมื่อ h เป็นความหนาของดินถม

เพื่อที่จะใช้ปริมาณของมวลดินที่จะนำมาถมให้น้อยที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการแบ่งพื้นที่ทั้งหมด ออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน (พื้นที่ A, B, C และ D) ซึ่งมวลดินที่นำมาถมจะใช้ทั้งสิ้น 4 ครั้งกับพื้นที่ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมด โดยในรูปที่ 146 แสดงถึงแผนผังเวลาในการทำงาน

Mobilization

การมobilization จะมีการระดมใช้เครื่องจักรเครื่องมือทั้งหมด ให้เสร็จภายใน 30-60 วัน

Survey

งาน survey จะกระทำในช่วงของ mobilization

Clearing Equipment and time

การเริ่มงานปรับพื้นที่จะทำไปพร้อมกับงาน survey โดยใช้เครื่อง bulldozers และ รถดั้ม ในการเคลื่อนย้ายวัสดุที่ผิวหน้า โดยจะต้องใช้รถดั้มทั้งสิ้น 3 คัน

Sand drains alternative

จำนวนทั้งหมดประมาณ 40 rigs ที่ต้องการใช้ในการทำ Sand drains โดยกำหนดให้ ระยะห่างระหว่างหลุมทรายคือ $s = 1.5$ เมตร นั้นแสดงว่า Sand drains 1 จุดจะครอบคลุมพื้นที่ 1.95 ตารางเมตร

$$\text{จำนวน Sand drains } 145,557 / 1.95 = 74,700$$

Sand drains	=	2 each rig/hr
1 วัน (14 ชั่วโมง)	=	28 each/hr
จำนวน rigs	=	40
1 วัน	=	$28 \times 40 = 1,120$ drains
ประสิทธิภาพการทำงาน	=	90% = 1,008 drains
ระยะเวลาที่ต้องการ	=	$74,700 / 1,008$
	=	74.11 วัน = 2.5 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายในส่วนของ Sand drains จะอยู่ในช่วง 150-350 บาท/เมตร

Band drain alternative

จำนวน Band drains	=	168,074 ชุด
อัตราการติดตั้งต่อ rigs (10 ชม./วัน)	=	230 ชุด/วัน
จำนวน rigs	=	15
1 วัน	=	3,450 ชุด
ระยะเวลาที่ต้องการ	=	48.78 วัน = 1.6 เดือน

ค่าใช้จ่ายในส่วนของ Band drains อยู่ในช่วง 30-35 บาทต่อเมตร

จากการเปรียบเทียบพบว่า Band drains เป็นวิธีที่มีความน่าสนใจสูงกว่า ทั้งในแง่ของความปลอดภัยและในแง่ของเทคโนโลยี แม้ว่าระยะห่างในแต่ละจุดจะน้อยกว่า

Sand blanket

ในช่วงของการทำ Sand drains จะต้องมีการลำเลียงทรายมาขึ้นพื้นที่ในอัตรา 9,720 ม³/วัน ในการขนส่งโดยรถบรรทุก 10 ล้อจำนวนทั้งสิ้น 300 คัน และจะใช้ Bulldozer 15 คัน รถบดล้อสี่ล้อสะเทือนจำนวน 10 คัน

ปริมาณทรายที่ต้องการทั้งหมด (1.5 เมตร)	=	218,335 ม ³
รถบรรทุกสามารถขนได้เที่ยวละ	=	12 ม ³
1 วันจะขนได้	=	12x3 = 36 ม ³
รถบรรทุกทั้งหมด 300 คัน จะขนได้	=	300x36 = 10,800 ม ³ /วัน
ประสิทธิภาพในการทำงาน	=	90% = 9,720 ม ³ /วัน
ระยะเวลาทั้งหมด	=	218,335/9,720
	=	22.46 วัน = 1 เดือน

การบดขึ้นทราย (218,335 ม³)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถบดล้อเหล็ก	=	280 ม ³ /วัน
1 วัน (10 ชั่วโมง)	=	2,600 ม ³
จำนวนรถบดล้อเหล็ก	=	10 คัน
1 วัน บดอัดได้	=	2,600x10 = 26,000 ม ³
ประสิทธิภาพในการทำงาน	=	90% = 23,400 ม ³
ระยะเวลาในการทำงาน	=	218,335/23,400
	=	9.33 วัน = 0.5 เดือน

Soil fill

ภายหลังจากที่ได้ทำการบดอัดชั้นทราย ก็จะมีการดำเลียงมวลดินเข้ามาถมในอัตรา 9,720 ม³/วัน โดยใช้รถบรรทุกจำนวน 300 คัน การบดอัดใช้เครื่อง Bulldozer D7 จำนวน 15 คัน

ดินถม	677,930 ม ³
รถบรรทุกสามารถขนได้ทีละ	= 12 ม ³
1 วันจะขนได้	= 12x3 = 36 ม ³
รถบรรทุกทั้งหมด 300 คัน จะขนได้	= 300x36 = 10,800 ม ³ /วัน
ประสิทธิภาพในการทำงาน	= 90% = 9,720 ม ³ /วัน
ระยะเวลาทั้งหมด	= 677,930/9,720
	= 69.75 วัน = 2 เดือน
บดอัดดินถม	677,930 ม ³

Bulldozer D7	=	180 ม ³ /hr
1 วัน (10 ชั่วโมง)	=	1,800 ม ³
จำนวนรถ Bulldozer D7	=	15 คัน
1 วัน บดอัดได้	=	1,800x15 = 27,000 ม ³
ประสิทธิภาพในการทำงาน	=	90% = 24,300 ม ³
ระยะเวลาในการทำงาน	=	677,930/9,720
	=	27.90 วัน = 1 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preloading period

จะใช้ระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 8 เดือนจากการประมาณ

Sequence of construction

การทำงานจะเริ่มในส่วนต่อไปก็ต่อเมื่อพื้นที่ในส่วนแรกเกิดการทรุดตัวได้ระดับตามที่คำนวณไว้แล้ว โดยตารางแผนการทำงานแสดงดังรูปที่ 146

Excavation of soil fill

ภายหลังจากผ่านช่วงระยะเวลาในการถ่วงน้ำหนักแล้ว รถ Backhoe ขนาดบั้งก็ 1.2 ม³ จะใช้ในการเคลื่อนย้ายดินออกไปสู่พื้นที่ต่อไป ซึ่งจะต้องใช้รถ Backhoe ทั้งสิ้น 25 คัน

ปริมาณดินถมที่ต้องเคลื่อนย้าย = 721,597 ม³ (รวมชั้นทรายหนา 0.3 เมตร)

Backhoe (ขนาด 1.2 ม ³)	=	95 ม ³ /hr
1 วัน (10 ชั่วโมง)	=	950 ม ³ /hr
จำนวนรถ Backhoe	=	25 คัน
1 วัน	=	950x25 = 23,750 ม ³
ประสิทธิภาพในการทำงาน	=	90% = 21,375 ม ³
ระยะเวลาที่ต้องการ	=	721,597 / 21,375
	=	33.76 วัน
	=	1.1 เดือน

Cost estimate

$$1. \text{ งาน clear พื้นที่ } 2,328,906 \text{ ม}^2 \times 2.5 \text{ B/ม}^2 = 5,822,268$$

2. Band drains (ลึก 15 เมตร)

$$2,689,188 \times 15 \times 35 \text{ B/ม} = 1,400,823,700$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทราบถม 3,493,360 ม ³ x 260	=	908,273,600
Material 1 ม ³ x 22	=	22 บาท
Handling 1 ม ³ x 150	=	150 บาท
Compaction 1 ม ³ x 40	=	40 บาท
รวม		<u>212 บาท</u>
คิด Overhead, Tax, Profit		<u>260 บาท</u>
4. ดินถม 2,711,719 ม ³ x 252	=	688,353,188
Material 1 ม ³ x 30	=	30 บาท
Handling 1 ม ³ x 150	=	150 บาท
Compaction 1 ม ³ x 25	=	25 บาท
รวม		<u>205 บาท</u>
คิด Overhead, Tax, Profit		<u>252 บาท</u>
5. งานขุดและงานบดอัด 2,886,388 x 4* x 37	=	427,185,424
งานขุด	=	15 บาท
งานบดอัด	=	15 บาท
รวม		<u>30 บาท</u>
คิด Overhead, Tax, Profit		<u>37 บาท</u>
6. Hual road 240,000 ม ² x 100 x 1.23	=	29,520,000
รวมทั้งสิ้น	=	<u>3,465,978,178</u>

คิดเป็นราคาค่าใช้จ่ายต่อหน่วยพื้นที่เป็น = 3,465,978,178 บาท / 1,900,000
 = 1,824 บาท/ม² หรือ 1,800 บาท/ม²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ และค่าใช้จ่ายเนื่องจากวัสดุ

การปรับปรุงคุณภาพดิน	=	1,824	บาท/ม ²
การถมหน้าด้วยทราย	=	78	บาท/ม ²
ส่วนของวัสดุพื้นทาง	=	1,076	บาท/ม ²
รวม	=	<u>2,978</u>	บาท/ม ²



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Final Report (Deep Ground Improvement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deep Ground Improvement

สมมติฐานในการออกแบบ :

Jet Grouted Columns

- ความแข็งแรงในการบดอัด	50	ตัน/ม ²
- ความดันการฉีด	180-200	bar
- เส้นผ่านศูนย์กลาง	1.6	เมตร
- ปริมาณซีเมนต์ /ม ³	500	กิโลกรัม
- ราคา /ม.	4800	บาท
- การขุดเจาะใต้ดิน	1-1.5	เมตร
- ผลงาน/วัน	20	เมตร

Deep Cement Mixing

- ความแข็งแรงในการบดอัด	>200	ตัน/ม ²
- พ.ท. ในการปรับปรุง	0.8-6	ม ²
- ปริมาณซีเมนต์ /ม ³	100-300	กิโลกรัม
- ราคา /ม ³	1000	บาท
- การขุดเจาะดิน	Surface	
- ผลงาน/วัน	250-400	เมตร (เสา ϕ 1 ม.)

จากการเปรียบเทียบราคาจะเห็นได้ว่า DCM มีความน่าสนใจมากกว่า

การคำนวณน้ำหนัก

สมมติให้น้ำหนักจรรยาจากล้อของเครื่องปั้น มีการกระจายน้ำหนักดังรูปที่ 146-1 เราสมมติว่า น้ำหนักกระจายตามอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง เป็น 2.5:1 ตลอดคันทาง ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักจรรยาบนดินชั้นล่างคือ $q_{\text{table}} = 8.6$ ตัน/ม²

น้ำหนักของทางและทราสทม $q_{\text{table}} = 5$ ตัน/ม²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการทรุดตัวเกิดขึ้น ซึ่งขึ้นกับแรงดันน้ำภายใต้ชั้นดินที่อยู่ลึก หากมีการรั่วที่เลวร้ายเกิดขึ้น การทรุดตัวที่เกิดขึ้น จะมีและจะมีมากขึ้น จากการลดแรงดันน้ำที่ดินเหนียวเหนียว 16 เมตร อาจจะทำให้เพิ่มการทรุดตัว และการทรุดตัวในแนวเอียงของดินเหนียวรอบๆ ดินที่ทำการปรับปรุงจะเพิ่มแรงเสียดทาน negative ต่อเสาและเพิ่มแรงตามแนวแกนขึ้น ช่องว่างของเสาควรจะแคบ น้ำหนักสูงสุดที่เพิ่มไปควรมีค่าเท่ากับหน่วยน้ำหนักของดินที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพ

ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินเหนียวแข็ง

ข้อมูล CPT จาก NACO (1984) กล่าวว่า ความต้านทานของหลุม $q_c > 400-600$ ตัน/ม² ซึ่งได้รับจากชั้นดินเหนียวแข็งที่ 16 เมตร นั่นคือค่า undrain shear strength มากกว่า 20 ตัน/ม²

ค่าการบดอัดสูงสุดในดินที่ทำการปรับปรุงไม่ควรเกิน 130 ตัน/ม² ($q_u = N_c S_n / SF$, SF มากกว่า 1.5 และ $N_c = 8-9$)

ความเค้นตามแนวแกนของเสาที่เรากำการปรับปรุง

$$= (q_{\text{plane}} + q_{\text{fill}} + \sigma'_{v0}) S^2 / A_p \text{ ซึ่ง}$$

- σ_p = ความเค้นตามแนวแกนของเสาดินที่ทำการปรับปรุง 1 ตัน
- q_{plane} = น้ำหนักจากเครื่องปั้น
- q_{fill} = น้ำหนักจากทางและดินถม
- σ'_{v0} = น้ำหนักความเค้นประสิทธิผล
- S = ช่องว่างระหว่างเสาดิน
- A_p = พื้นที่หน้าตัดของเสา

ค่าความเค้นตามแนวแกน ดังรูปที่ 147 เป็น function ของเส้นผ่านศูนย์กลางกับช่องระหว่างเสาดิน การเพิ่มความเค้นตามแนวแกน ตามความลึกขึ้นกับแรงเสียดทาน negative ที่เพิ่มน้ำหนักตามแนวแกน โดยปัจจัยทั้งสอง

เพื่อจะแสดงผลที่ต้องการ ค่าความเค้นตามแนวแกนสูงสุดไม่ควรเกิน 130 ตัน/ม²

ที่ความลึก 16 เมตร การรวมช่องว่างและเส้นผ่านศูนย์กลางตามข้อมูลข้างล่าง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณการทรุดตัว

Attachment 1 ใ้ค่าให้ค่า modulus

$$E_{so} = 400 q_u$$

เสาซีเมนต์ขาว 16 เมตรค่าความบดอัด จะอยู่ที่

$$S_p \approx \frac{0.75 \times 130}{400 \times 200} \times 16 = 0.02 \text{ เมตร}$$

เมื่อ $q_u = 200$ ตัน/ม² น้ำหนักที่ประมาณ 130 ตัน/ม² ซึ่งถ่ายจากส่วนบนของเสาไปสู่ชั้นดินเหนียวแข็ง จะเป็นสาเหตุให้เกิดการทรุดตัวชั้นประมาณดังนี้

$$S_f \approx \frac{\Delta P D_p}{M} = \frac{130}{3000} = 0.04 \text{ เมตร}$$

ค่า modulus ของ $M \approx 150 S_u$ สมมติว่าเป็นของดินเหนียวแข็ง $q_{p, 111}$ จะเป็นน้ำหนักตามแนวดิ่งซึ่งจะย้ายไปยังชั้นดินที่อยู่ลึกกว่า การทรุดตัวจะเกิดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นโดยรวมน้ำหนักจะเกิดการทรุดตัวทั้งสิ้น 10 ซม.

การประมาณราคา

ราคา/ม² ของดินที่ทำการปรับปรุง แสดงตามรูป 148

การปรับปรุงดิน 0.22x16.5x_1000	3630 บาท/ม ²
การเสริมแรงในดิน	30 บาท/ม ²
รวม	<u>3690 บาท/ม²</u>

ราคาทั้งหมดในการออกแบบทาง

การปรับปรุงคุณภาพดิน

3690 บาท/ม²

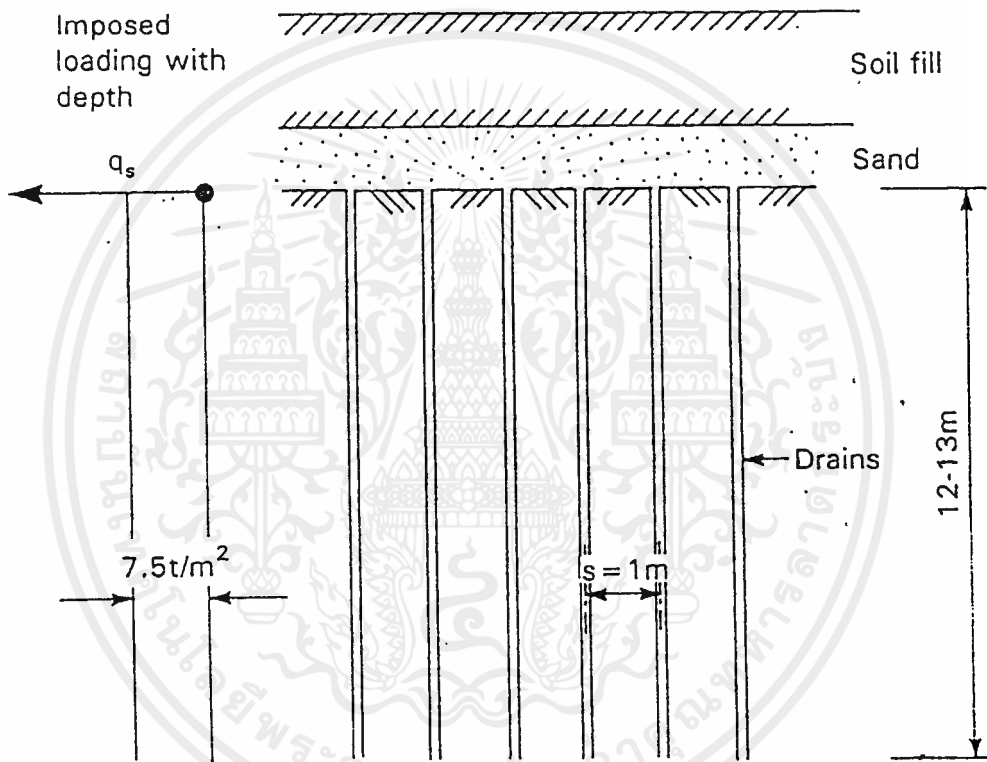
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทราสถ่าง 1.5 ม ² x 260	390 บาท/ม ²
Pavement หนา 0.83 เมตร	1076 บาท/ม ²
รวม	<u>5156</u> บาท/ม ²

ความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯจะมีค่าไม่แน่นอน การทดสอบใน Lab ได้กำหนดปริมาณที่เหมาะสม การบังคับและการควบคุมการทำงานเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งอาจเลือกเสา Cement โดสการสู่ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 125

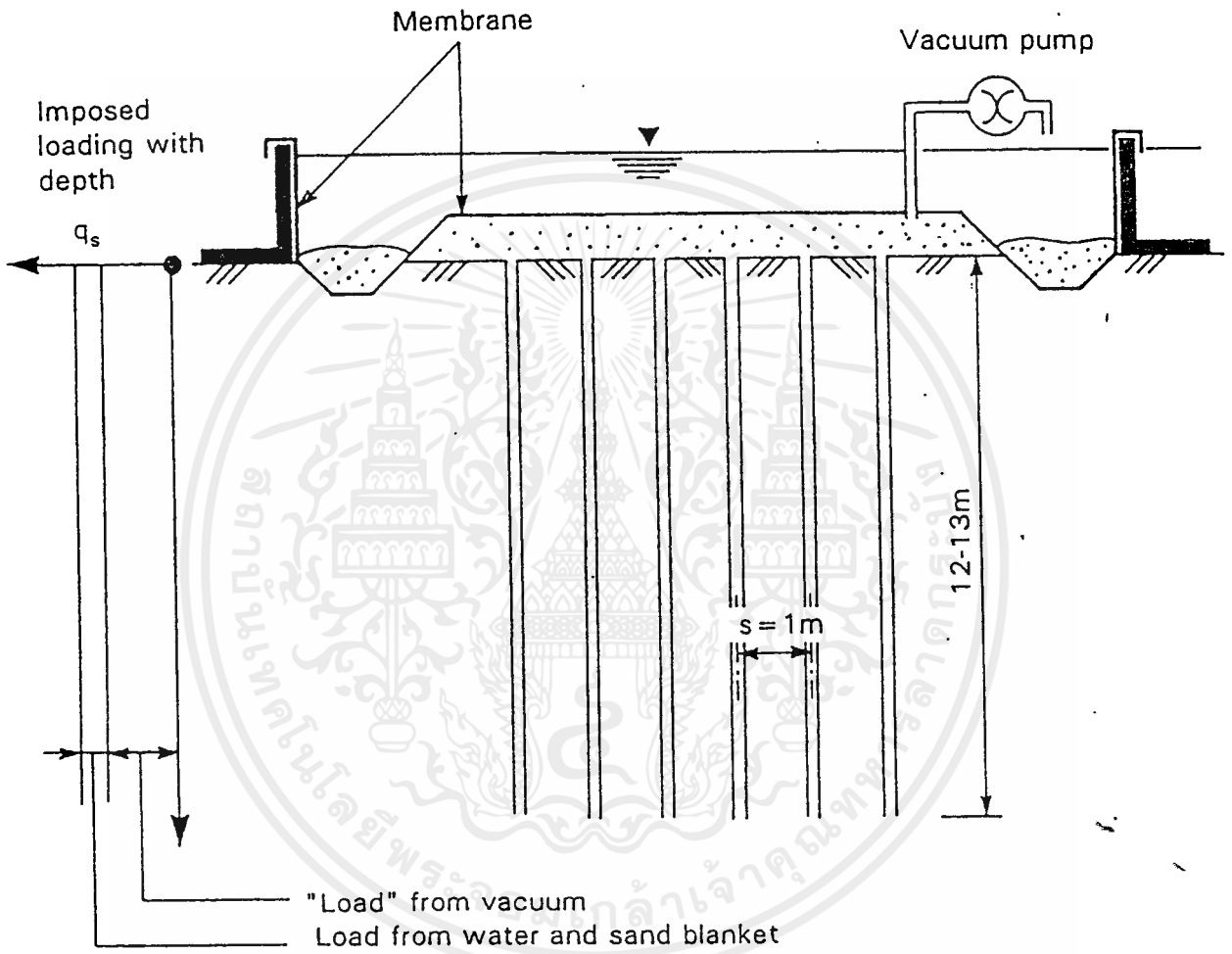
Independent Soil Engineering Study - SBIA

Report No. 920030-1	Figure No. 4.1
Drawn by	Date 92-10-01

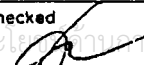

Preloading by soil fill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

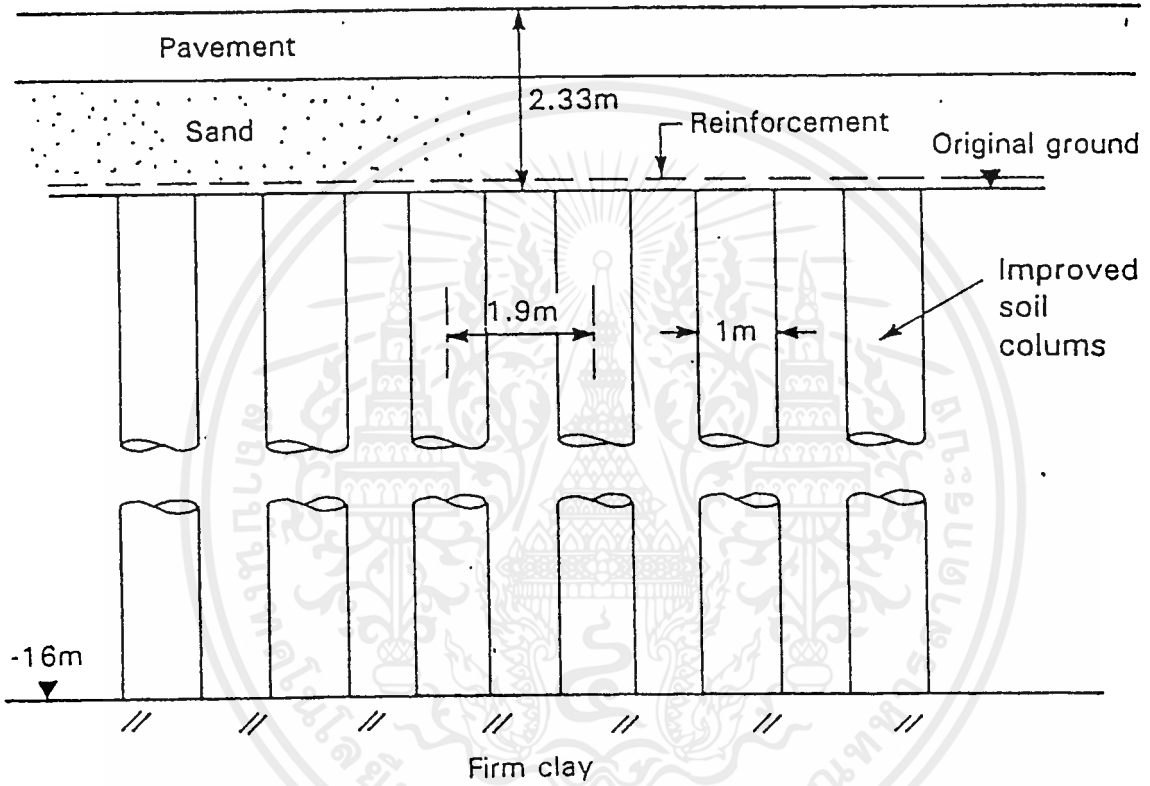
Checked	
Approved	



รูปที่ 126

<p>Independent Soil Engineering Study - SBIA</p>	<p>Report No. 920030-1</p>	<p>Figure No. 4.2</p>
<p>Preloading by vacuum combined with weight of water</p>	<p>Drawn by</p>	<p>Date 92-10-01</p>
<p>ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง</p>	<p>Checked  Approved</p>	

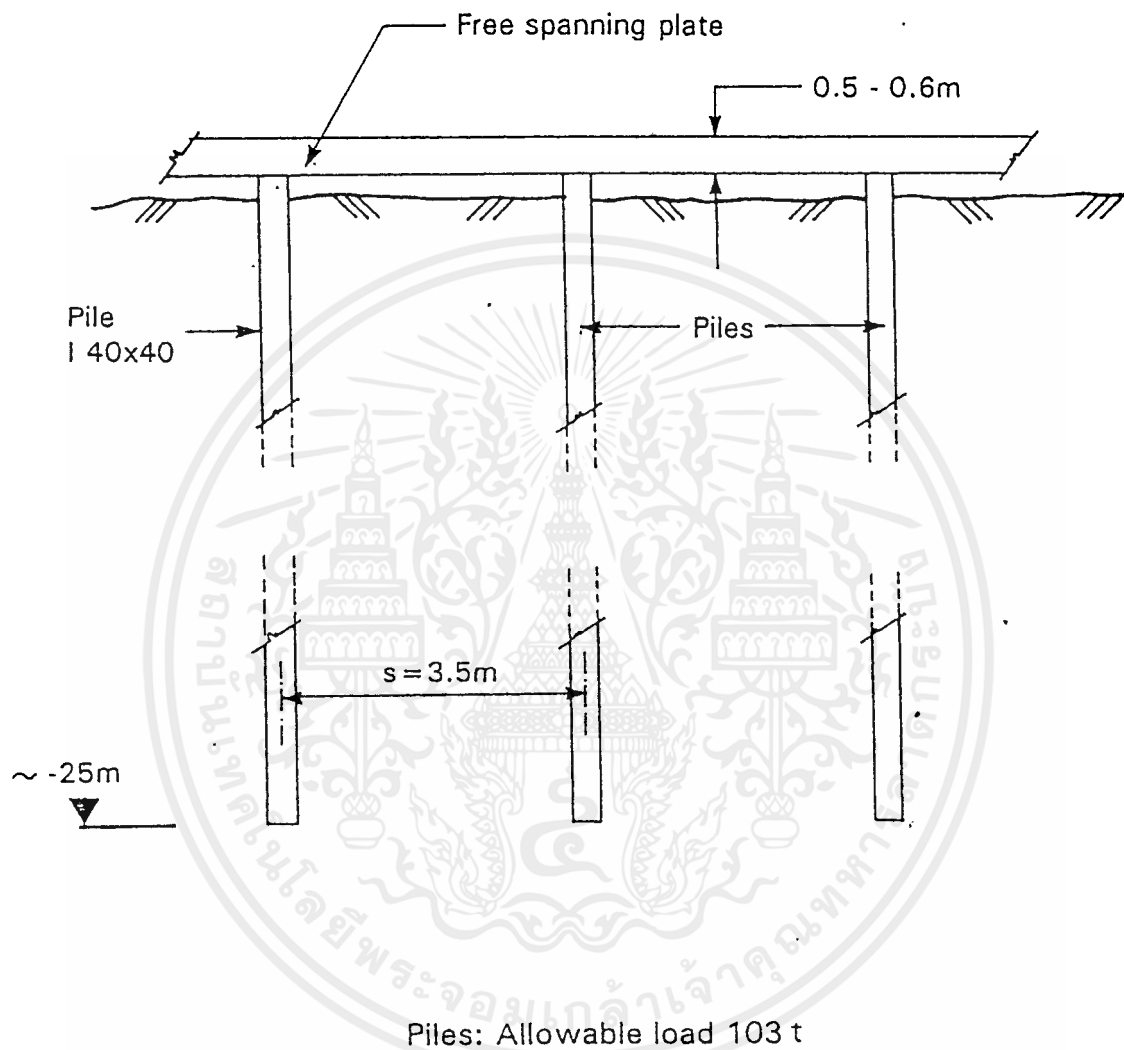
DEEP GROUND IMPROVEMENT PROPOSED CONCEPTUAL DESIGN



Reinforcement: Minimum tension capacity = 10t/m
 Improved soil columns: $q_u \geq 200t/m^2$

รูปที่ 127

<p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">Independent Soil Engineering Study - SBIA</p>	Report No.	920030-1	Figure No.	4.3
	Drawn by	Date	92-10-01	
<p>Proposed conceptual design. Deep ground improvement</p>	Checked			
<p>ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง</p>	Approved			



รูปที่ 128

Independent Soil Engineering Study - SBIA

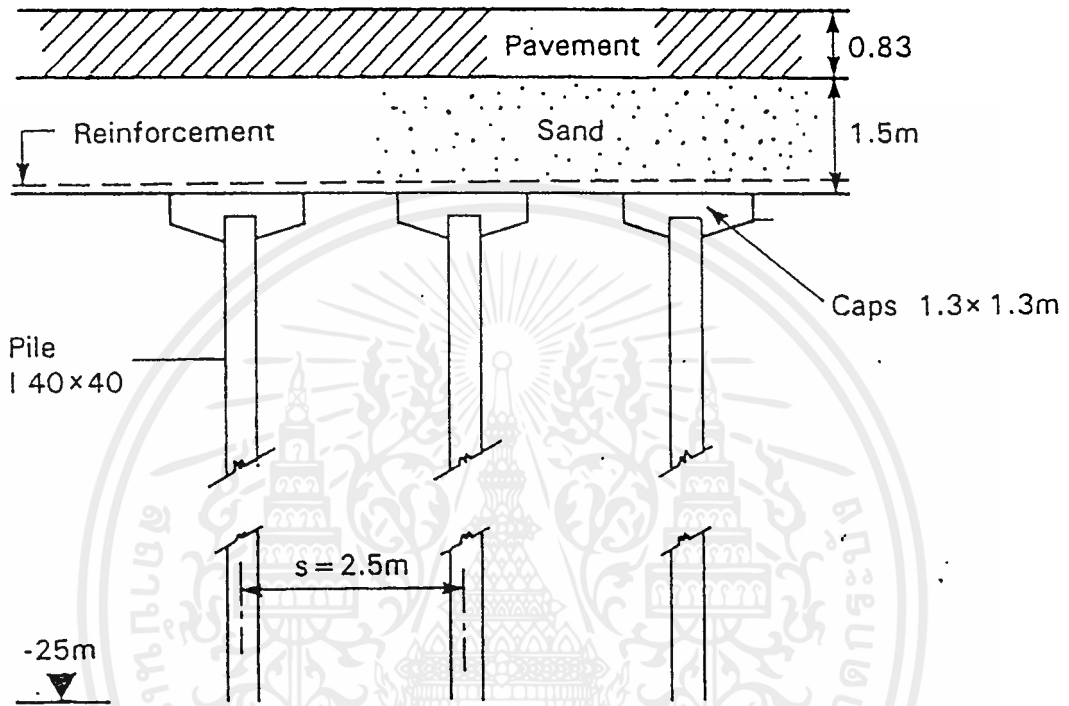
Report No. 920030-1	Figure No. 4.4
Drawn by	Date 92-10-01

Conceptual design.
Free spanning plate supported on piles

Checked
Approved



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง



Piles: Allowable load 103t
 Reinforcement: Woven polyester
 tension capacity 25t/m

รูปที่ 129

Independent Soil Engineering Study - SBIA

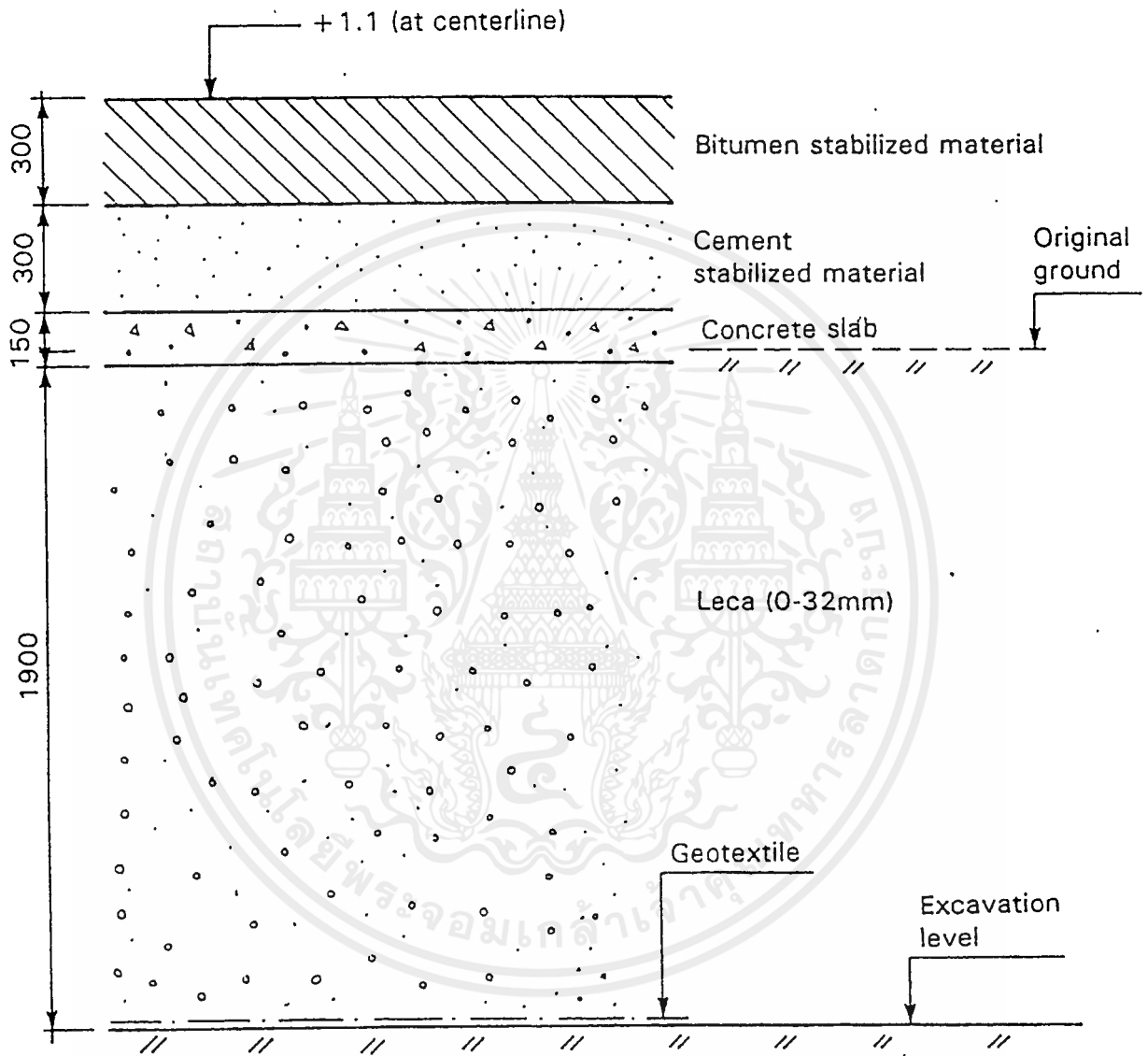
Report No. 920030-1 Figure No. 4.5

Drawn by Date 92-10-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้อนุญาต หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี

Checked Approved





รูปที่ 130

Independent Soil Engineering Study - SBIA

Report No. 920030-1 Figure No. 4.6

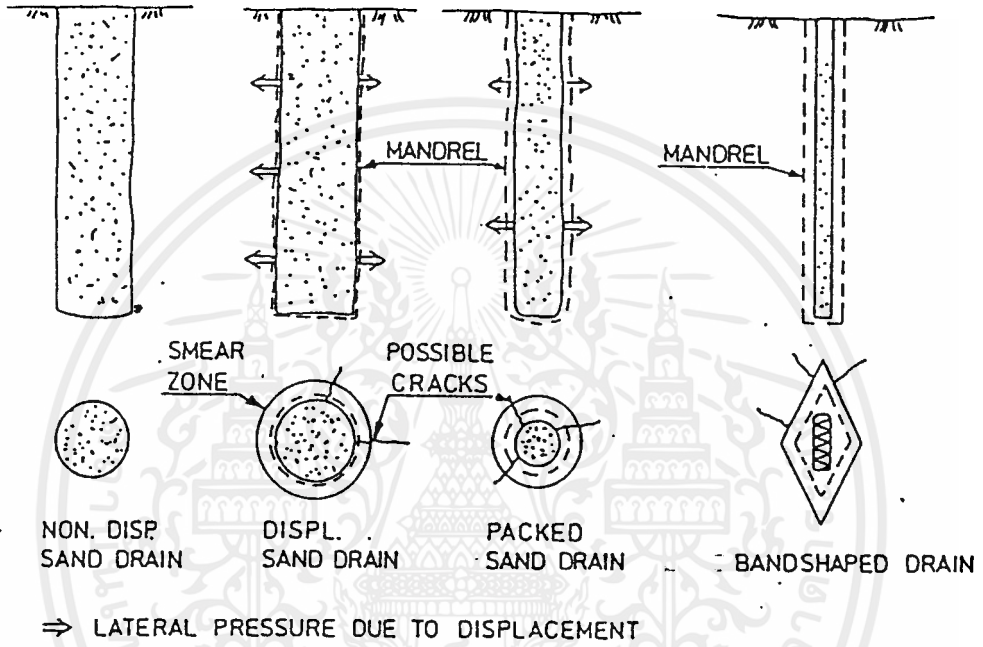
Drawn by Date 92-10-01

Design concept light weight fills typical cross section with Leca


Checked Approved:



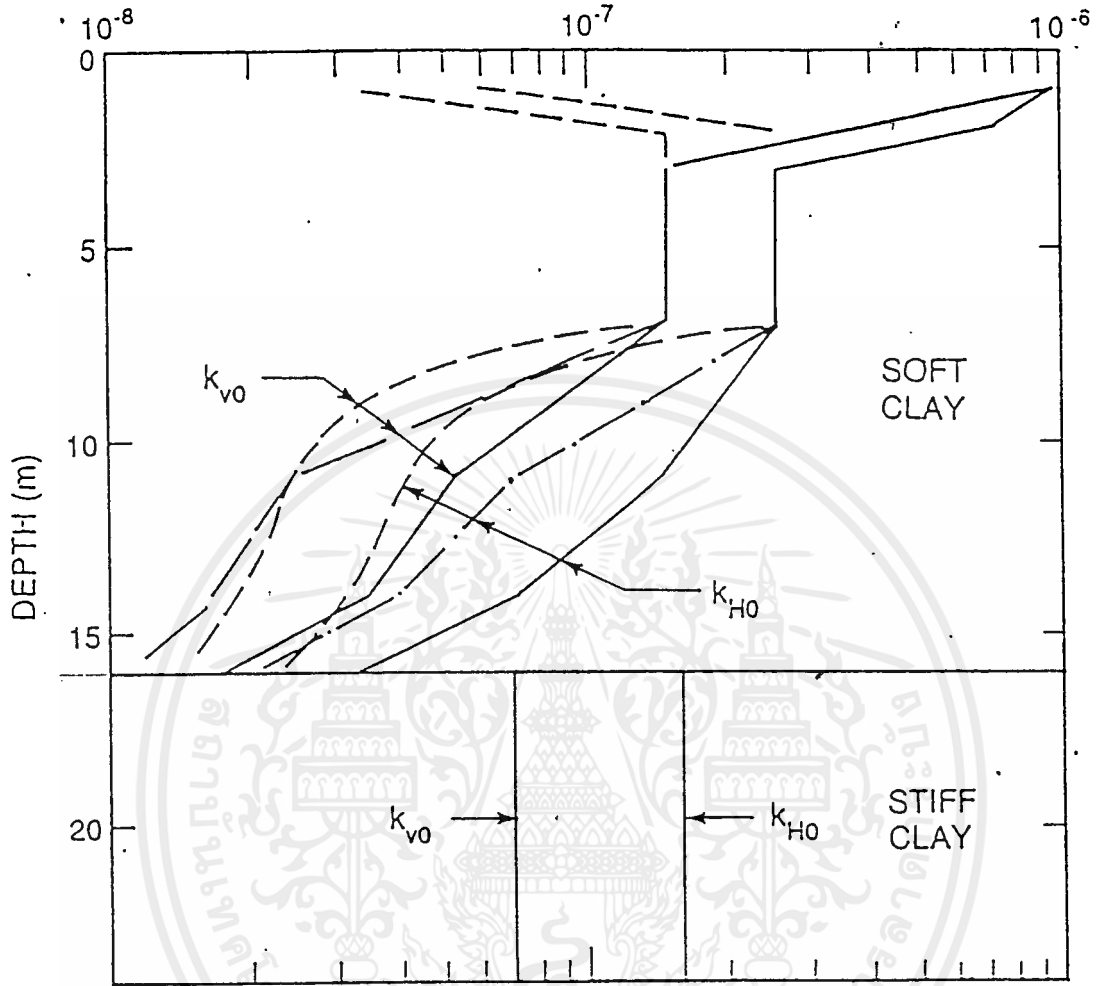
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้ง



รูปที่ 131


<p>Independent Soil Engineering Study - SBIA</p>	<p>Report No. 920030-1</p>	<p>Figure No. C3.1</p>
<p>Type of drains, examples</p>	<p>Drawn by</p>	<p>Date 92-10-01</p>
<p>เอกสารนี้เป็นเอกสารการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ</p>	<p>Checked Approved</p>	

IN-SITU PERMEABILITY, k_{H0} , k_{v0} (cm/sec)



- LEGEND
- Proposed general design basis
 - · - · - Proposed for Test Area
 - Computed from $e_0 - k$ relationships in Fig. A14, using general design value for e_0

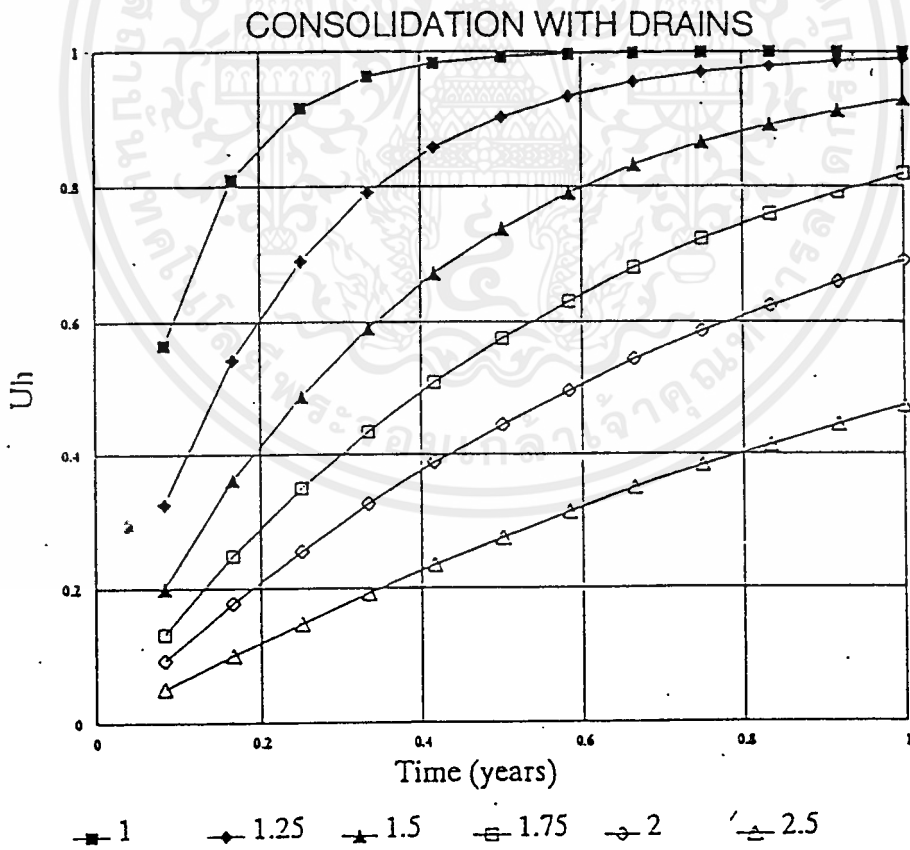
รูปที่ 132

<p>Independent Soil Engineering Study - SBIA</p> <p>In situ permeability versus depth</p>	Report No.	Figure No.
	920030-1	A15
	Drawn by	Date
	ARB	92-10-01
	Checked	 NGI
	Approved	

NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE CONSOLIDATION WITH SAND DRAINS

INPUT: Coefficient of horizontal consolidation, C_h : 0.77 m²/year
 Equivalent diameter of drain, D_w : 0.26 m
 Length of drain, L : 15 m
 Vertical distance from open end of drain, z : 5.5 m
 Horizontal permeability, K_h : 0.0473 m/year
 Discharge capacity of drain, Q_w : 1000 m³/year
 Permeability of disturbed zone, K_s : 0.0473 m/year
 Diameter of smeared zone, D_s : 0.26 m

Time (years)	Degree of horizontal consolidation, U_h					
	De (m) 1	De (m) 1.25	De (m) 1.5	De (m) 1.75	De (m) 2	De (m) 2.5
0.08	0.56	0.32	0.20	0.13	0.09	0.05
0.17	0.81	0.54	0.36	0.25	0.18	0.10
0.25	0.92	0.69	0.49	0.35	0.25	0.15
0.33	0.96	0.79	0.59	0.43	0.32	0.19
0.42	0.98	0.86	0.67	0.51	0.39	0.23
0.50	0.99	0.90	0.74	0.57	0.44	0.27
0.58	1.00	0.94	0.79	0.63	0.50	0.31
0.67	1.00	0.96	0.83	0.68	0.54	0.35
0.75	1.00	0.97	0.87	0.72	0.59	0.38
0.83	1.00	0.98	0.89	0.76	0.62	0.41
0.92	1.00	0.99	0.91	0.79	0.66	0.45
1.00	1.00	0.99	0.93	0.82	0.69	0.47
1.50	1.00	1.00	0.98	0.92	0.83	0.62
2.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.90	0.72
3.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.85
4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.92



รูปที่ 133

Independent Soil Engineering Study - SBIA

Report No. 920030-1 Figure No. C6.4

Drawn by Date 93-01-29

เอก Degree of horizontal consolidation, U_h ศึกษานั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้
 Sand drains ไม่ทำกรณีนี้ที่ ฟังชั่น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

Checked Approved

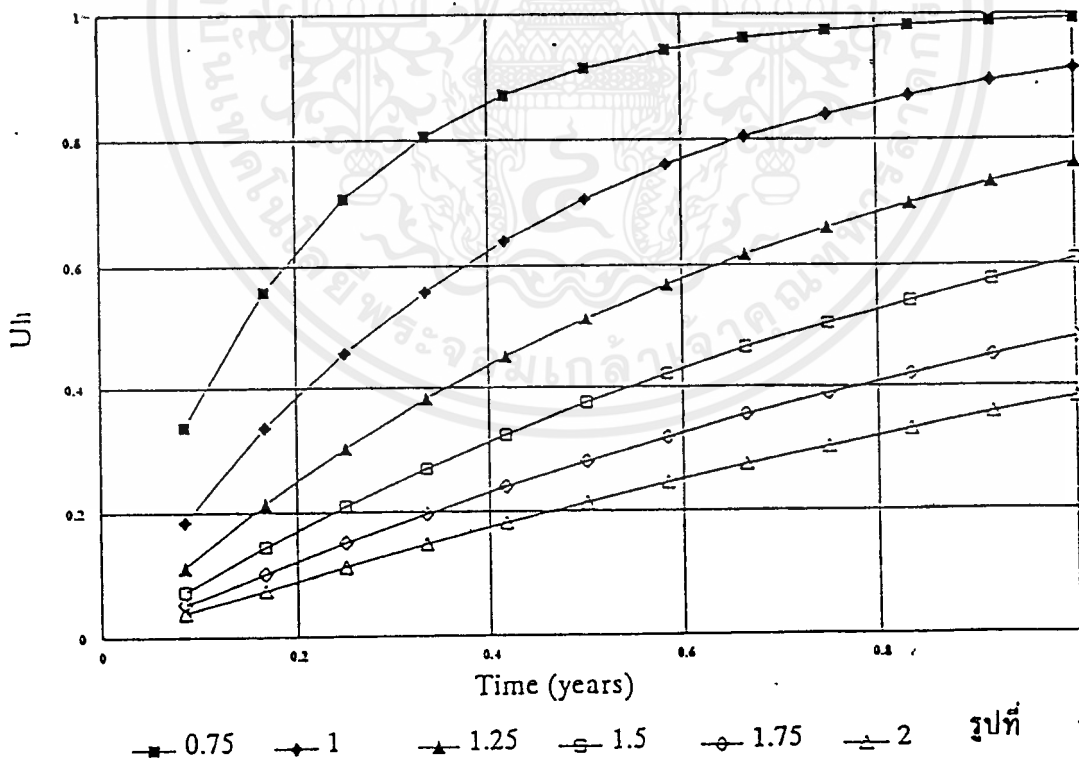


NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE CONSOLIDATION WITH BAND DRAINS

INPUT: Coefficient of horizontal consolidation, C_h : 0.77 m²/year
 Equivalent diameter of drain, D_w : 0.068 m
 Length of drain, L : 15 m
 Vertical distance from open end of drain, z : 5.5 m
 Horizontal permeability, K_h : 0.08 m/year
 Discharge capacity of drain, Q_w : 1500 m³/year
 Permeability of disturbed zone, K_s : 0.047 m/year
 Diameter of smeared zone, D_s : 0.15 m

Time (years)	Degree of horizontal consolidation, U_h					
	De (m) 0.75	De (m) 1	De (m) 1.25	De (m) 1.5	De (m) 1.75	De (m) 2
0.08	0.34	0.18	0.11	0.08	0.05	0.04
0.17	0.56	0.34	0.21	0.14	0.10	0.08
0.25	0.71	0.46	0.30	0.21	0.15	0.11
0.33	0.81	0.56	0.38	0.27	0.20	0.15
0.42	0.87	0.64	0.45	0.32	0.24	0.18
0.50	0.91	0.71	0.51	0.37	0.28	0.21
0.58	0.94	0.76	0.57	0.42	0.32	0.24
0.67	0.96	0.80	0.62	0.46	0.35	0.27
0.75	0.97	0.84	0.66	0.50	0.39	0.30
0.83	0.98	0.87	0.70	0.54	0.42	0.33
0.92	0.99	0.89	0.73	0.58	0.45	0.36
1.00	0.99	0.91	0.76	0.61	0.48	0.38
1.50	1.00	0.97	0.88	0.75	0.63	0.51
2.00	1.00	0.99	0.94	0.85	0.73	0.62
3.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.86	0.76
4.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.93	0.85

CONSOLIDATION WITH DRAINS



รูปที่ 134

Independent Soil Engineering Study - SBIA

Report No.
920030-1

Figure No.
C6.5

Drawn by

Date

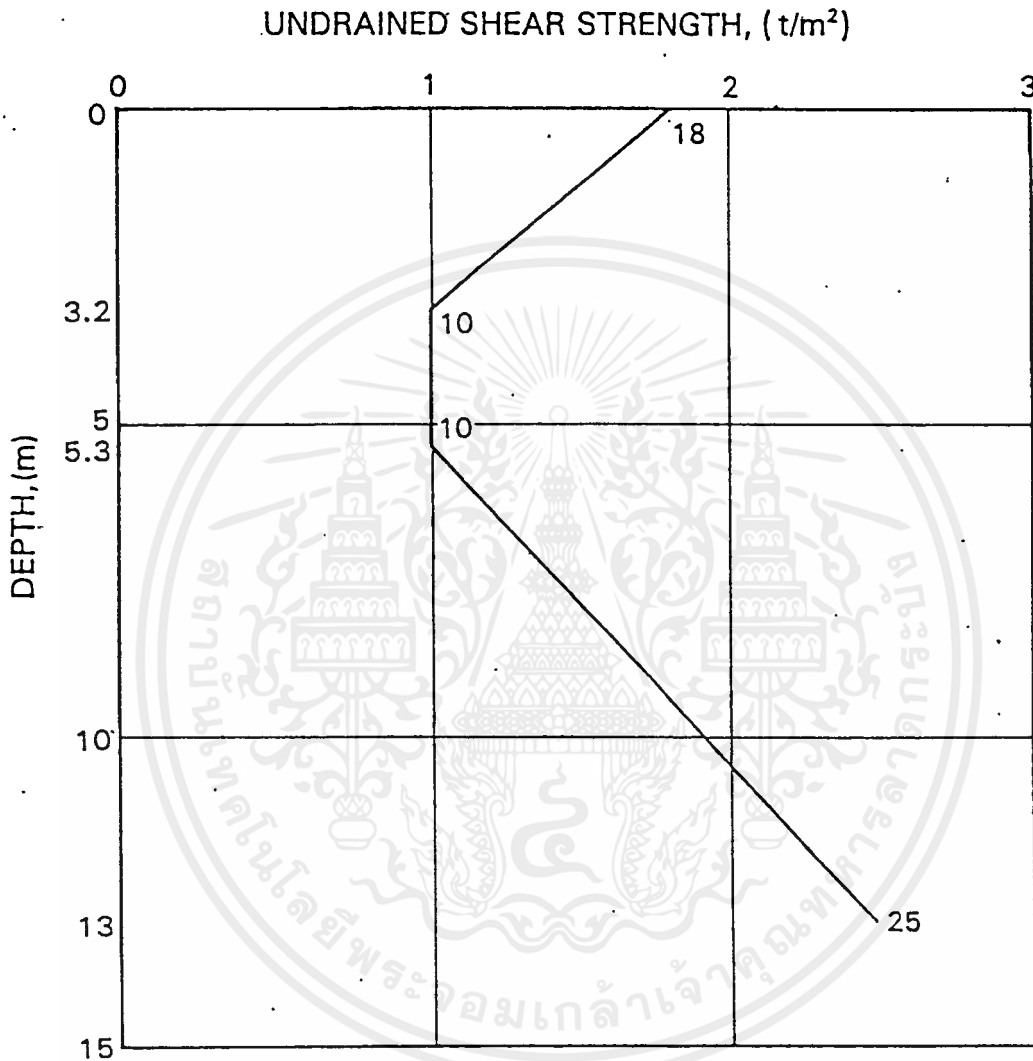
93-01-29

Degree of horizontal consolidation, U_h การศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้
 Band drains อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง


Checked

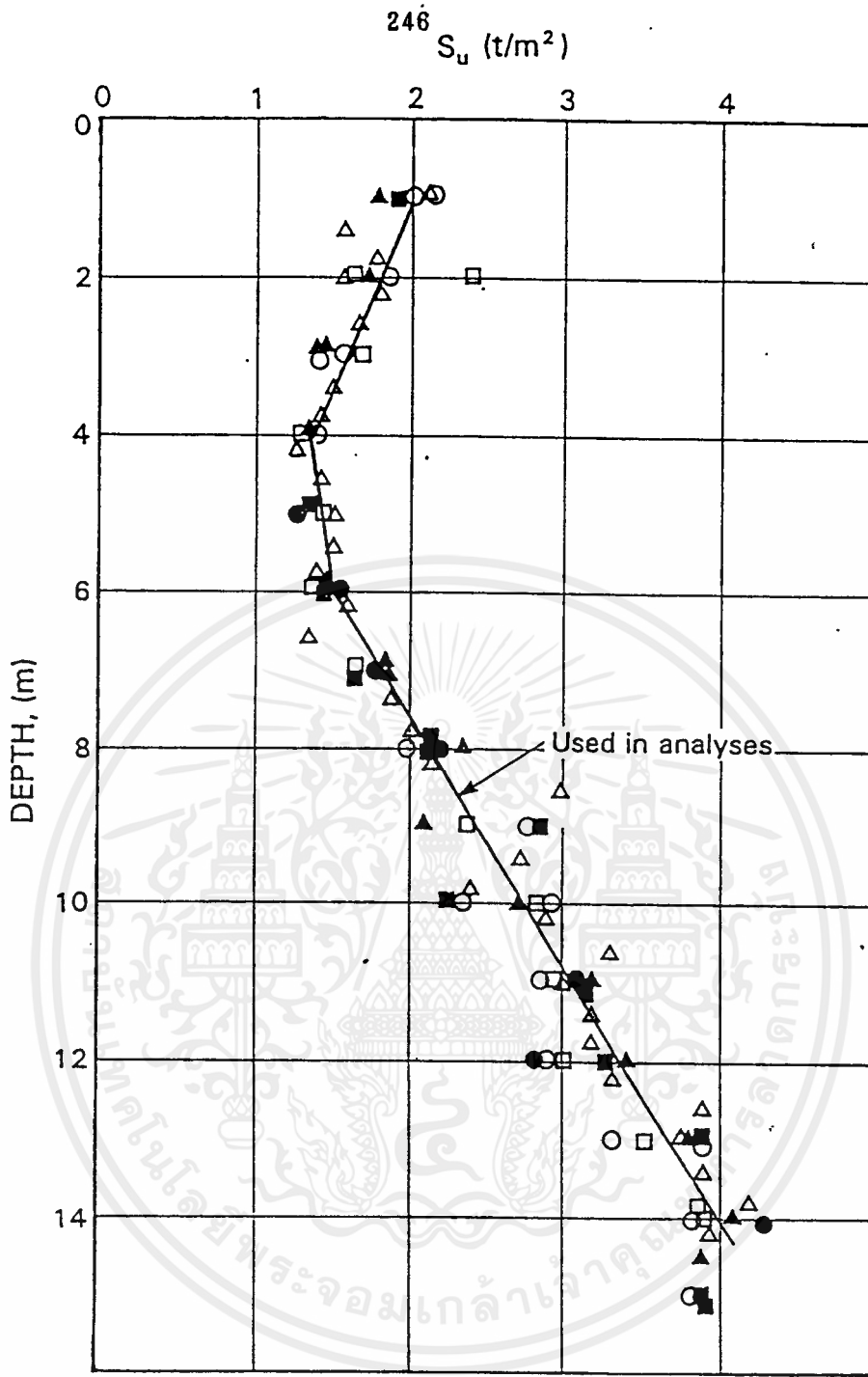
Approved





รูปที่ 135

Independent Soil Engineering Study - SBIA	Report No. 920030-1	Figure No. C7.1
	Drawn by	Date 92-10-01
เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ	Checked	 NGI
	Approved	



- V3.1 * ▲ V3.4
- V3.2 □ V3.5 *
- △ V3.3 ■ V3.6 *

* Geonor Vane

รูปที่ 136

Independent Soil Engineering Study - SBIA

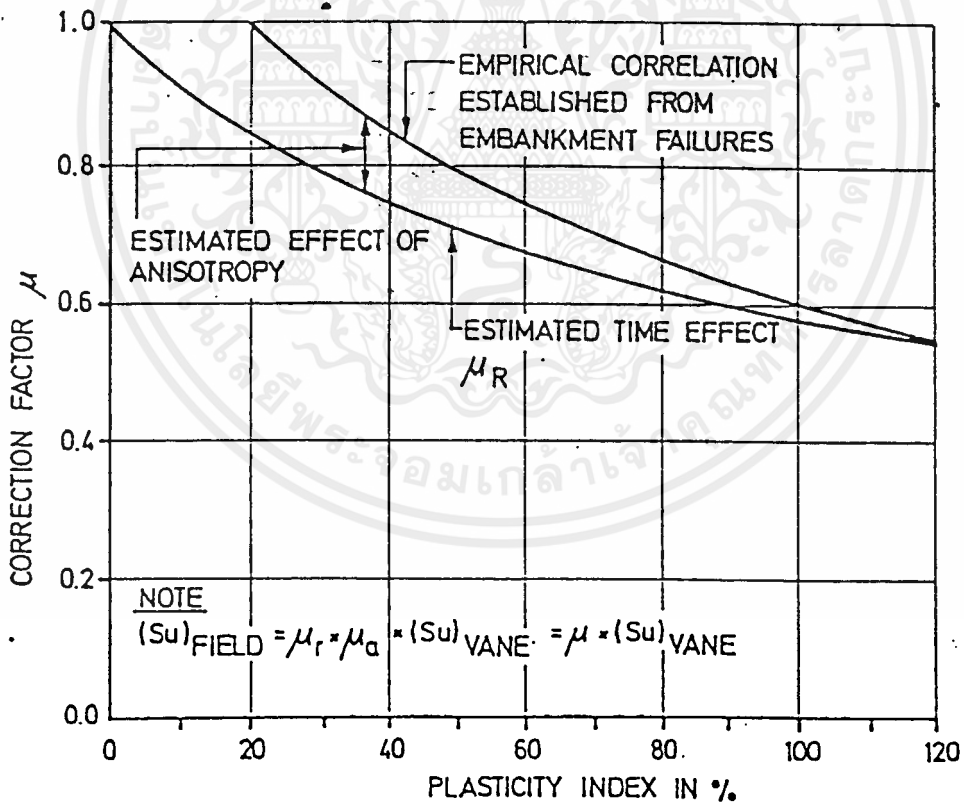
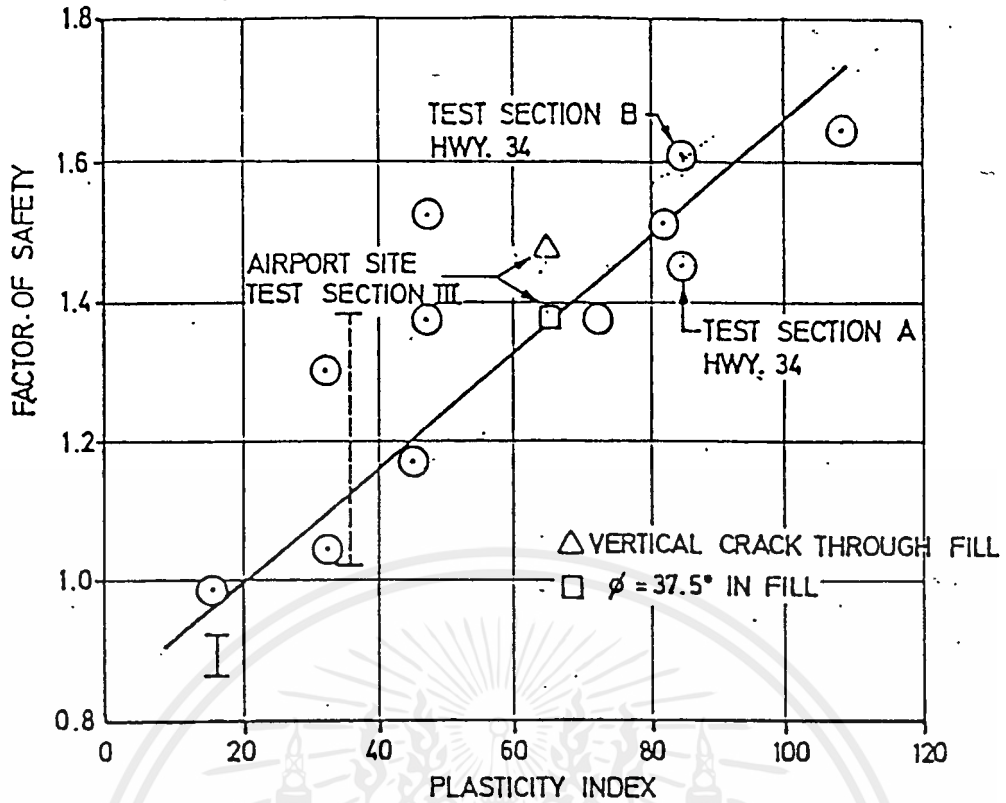
Report No. 920030-1 Figure No. C7.2

Drawn by Date 92-10-01

Measured field vane shear strength เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้
(after NGI, 1973) ไม่มีการรับประกันว่า ผลลัพธ์ที่ออกมาจะถูกต้องและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

Checked Approved





รูปที่ 137

Independent Soil Engineering Study - SBIA

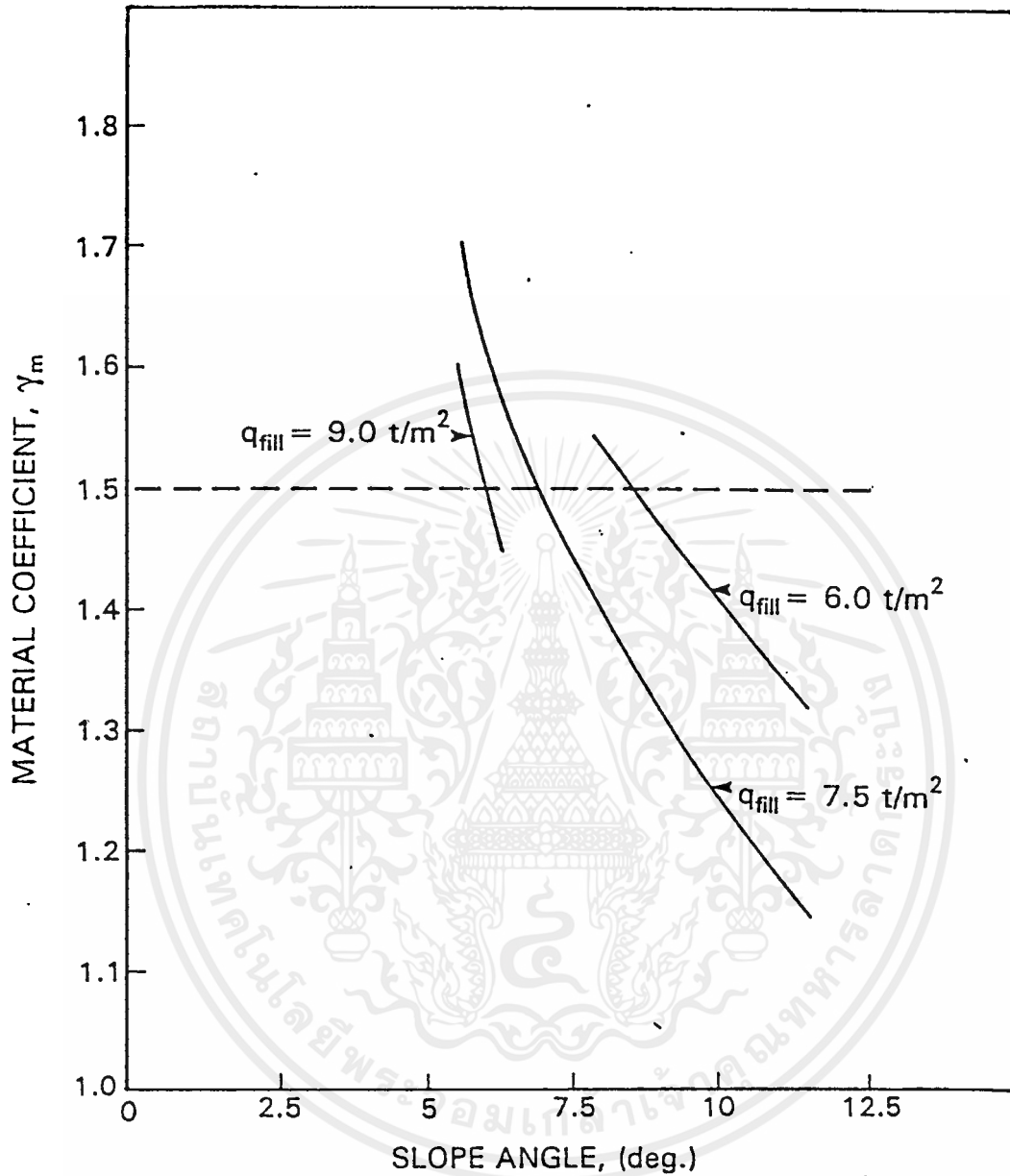
Report No. 920030-1 Figure No. C7.3

Drawn by Date 92-10-01

Checked Approved



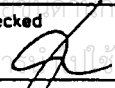

Correction factor for field vane shear strength (after Bjerrum, 1973)

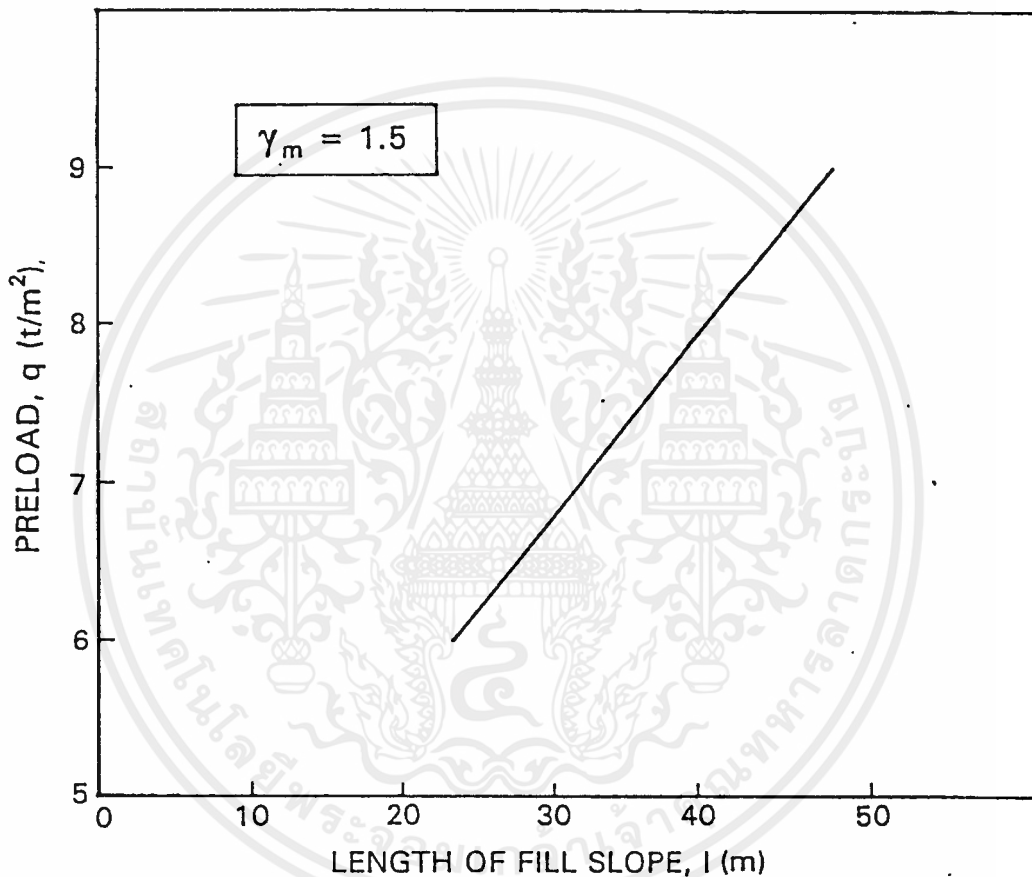
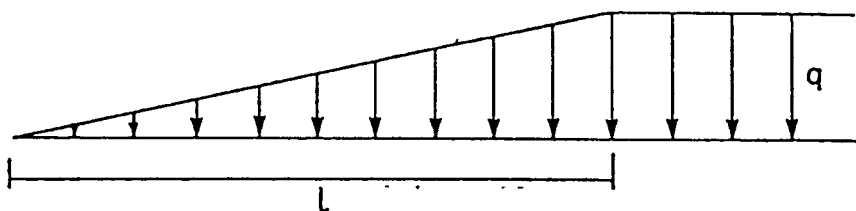


รูปที่ 138


Independent Soil Engineering Study - SBIA	Report No. 920030-1	Figure No. C7.4
---	------------------------	--------------------

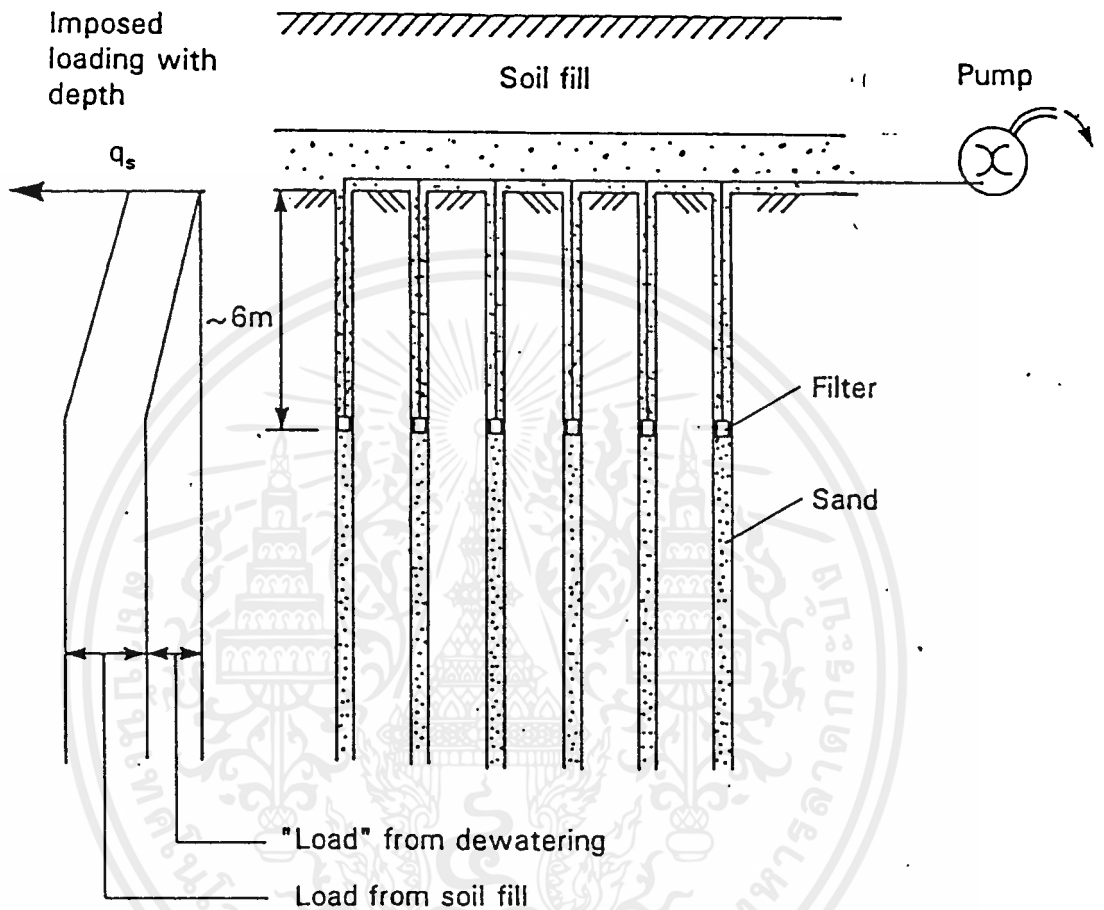
Calculated material coefficient, γ_m as a function of preload and slope angle	Drawn by	Date 92-10-01
--	----------	------------------

เอลูกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ ไม่มีการแก้ไข พจนานุกรมฉบับสงขลานครินทร์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง	Checked 	
	Approved	



รูปที่ 139

<p>Independent Soil Engineering Study - SBIA</p>	<p>Report No. 920030-1</p>	<p>Figure No. C7.5</p>
<p>Relationship between magnitude of preload and length of preload slope to obtain $\gamma_m = 1.5$</p>	<p>Drawn by</p>	<p>Date 92-10-01</p>
<p>ไม่อนุญาตให้นำไปใช้... มิใช่การเปิดเผย... มิใช่การเปิดเผย... มิใช่การเปิดเผย...</p>	<p>Checked <i>[Signature]</i> Approved</p>	



รูปที่ 140

Independent Soil Engineering Study - SBIA

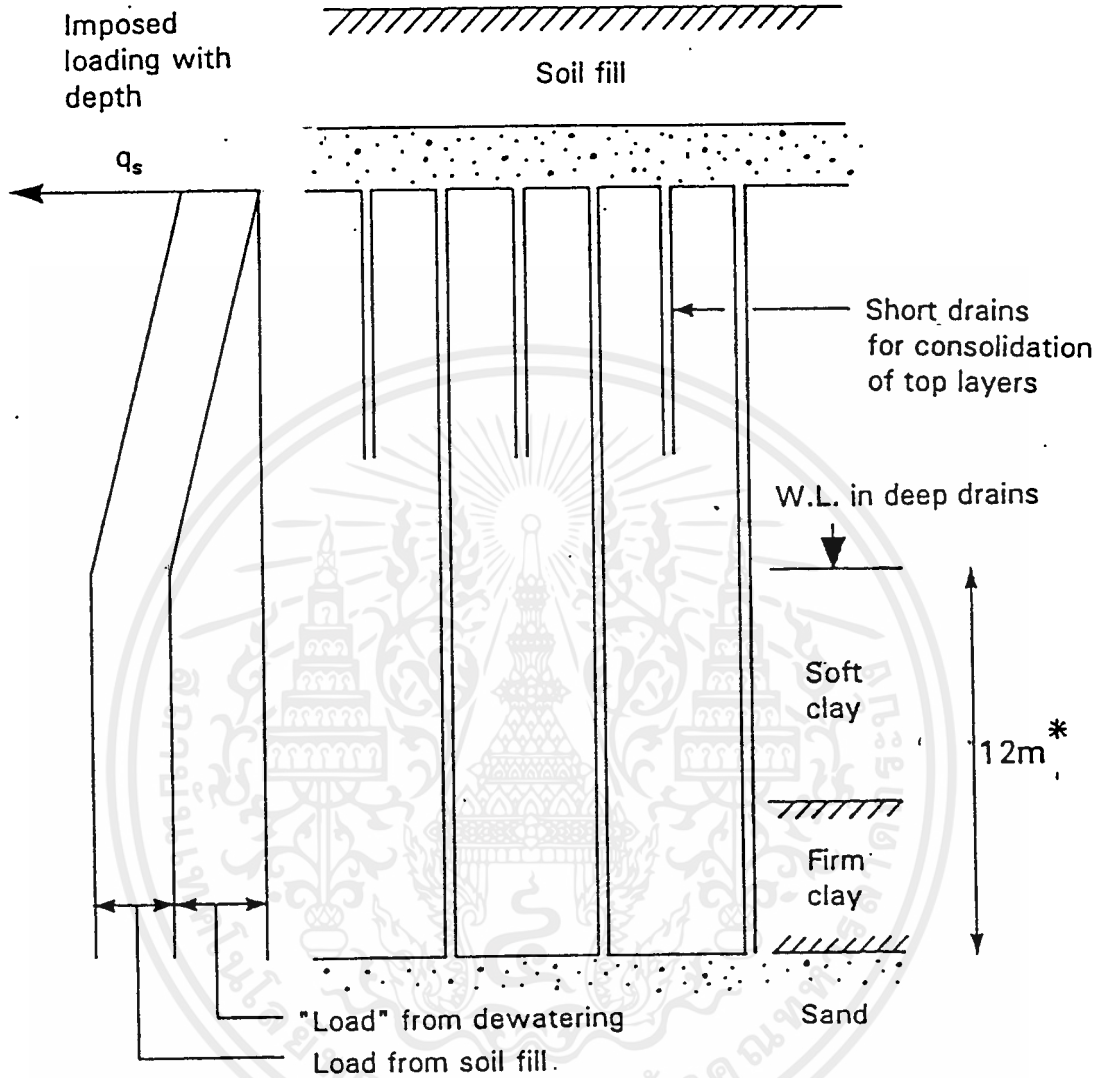
Report No. 920030-1 Figure No. C8.1

Drawn by Date 92-10-01

Preloading by lowering of ground water (dewatering) combined with soil fill

Checked Approved






* Can be decreased by active pumping from wells in the sand layer

รูปที่ 141

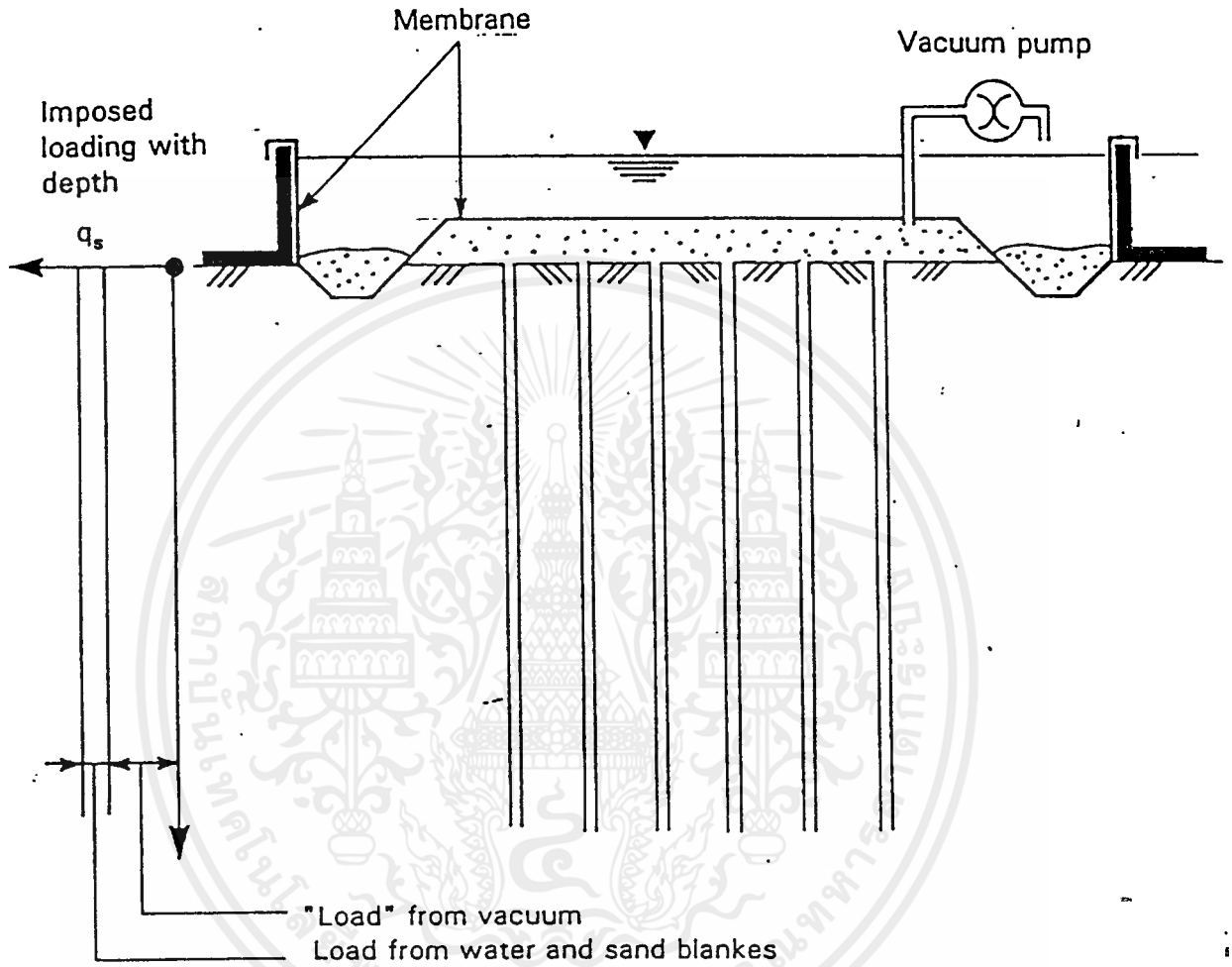
Independent Soil Engineering Study - SBIA

Report No. 920030-1	Figure No. C8.2
Drawn by AKB	Date 92-10-01

Preloading by drainage to aquifer combined with soil fill

Checked <i>[Signature]</i>	 NGI
Approved	

เท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ปร
ไม่ว่าในกรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง



รูปที่ 142

Independent Soil Engineering Study - SBIA

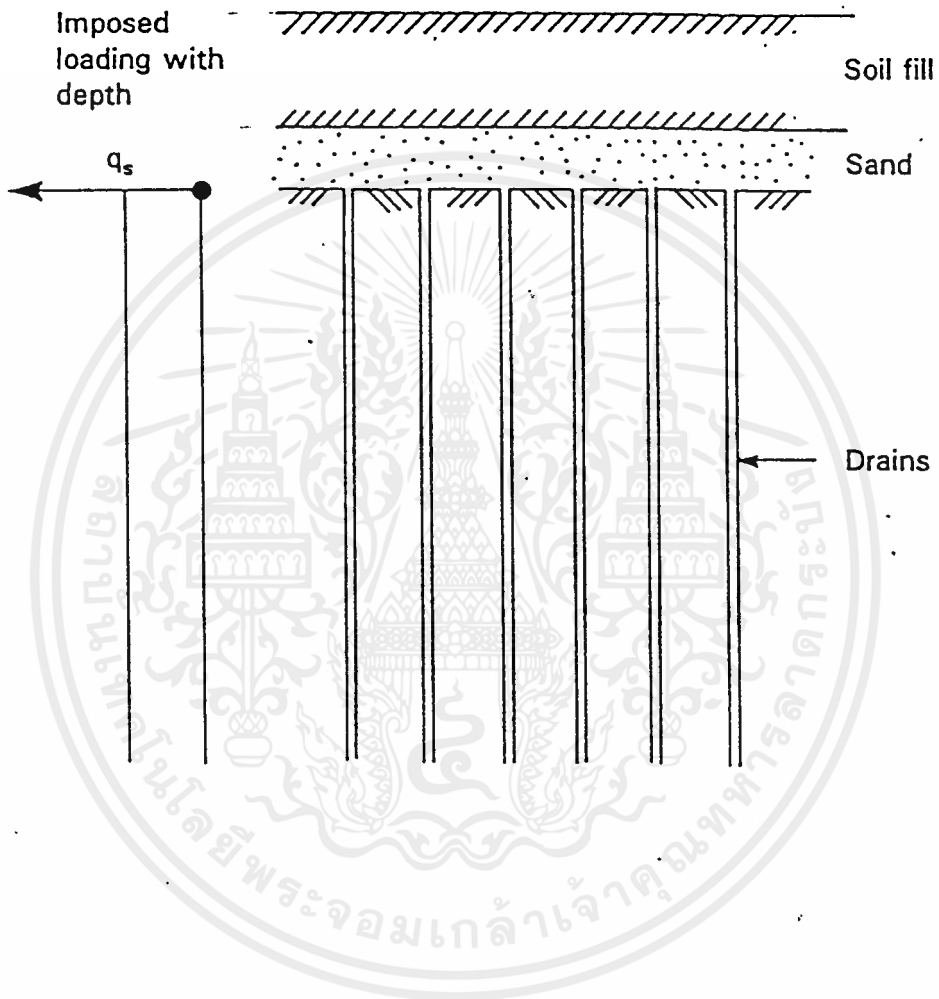
Report No. 920030-1 Figure No. C8.3

Drawn by Date 92-10-01


Preloading by vacuum combined with weight of water.

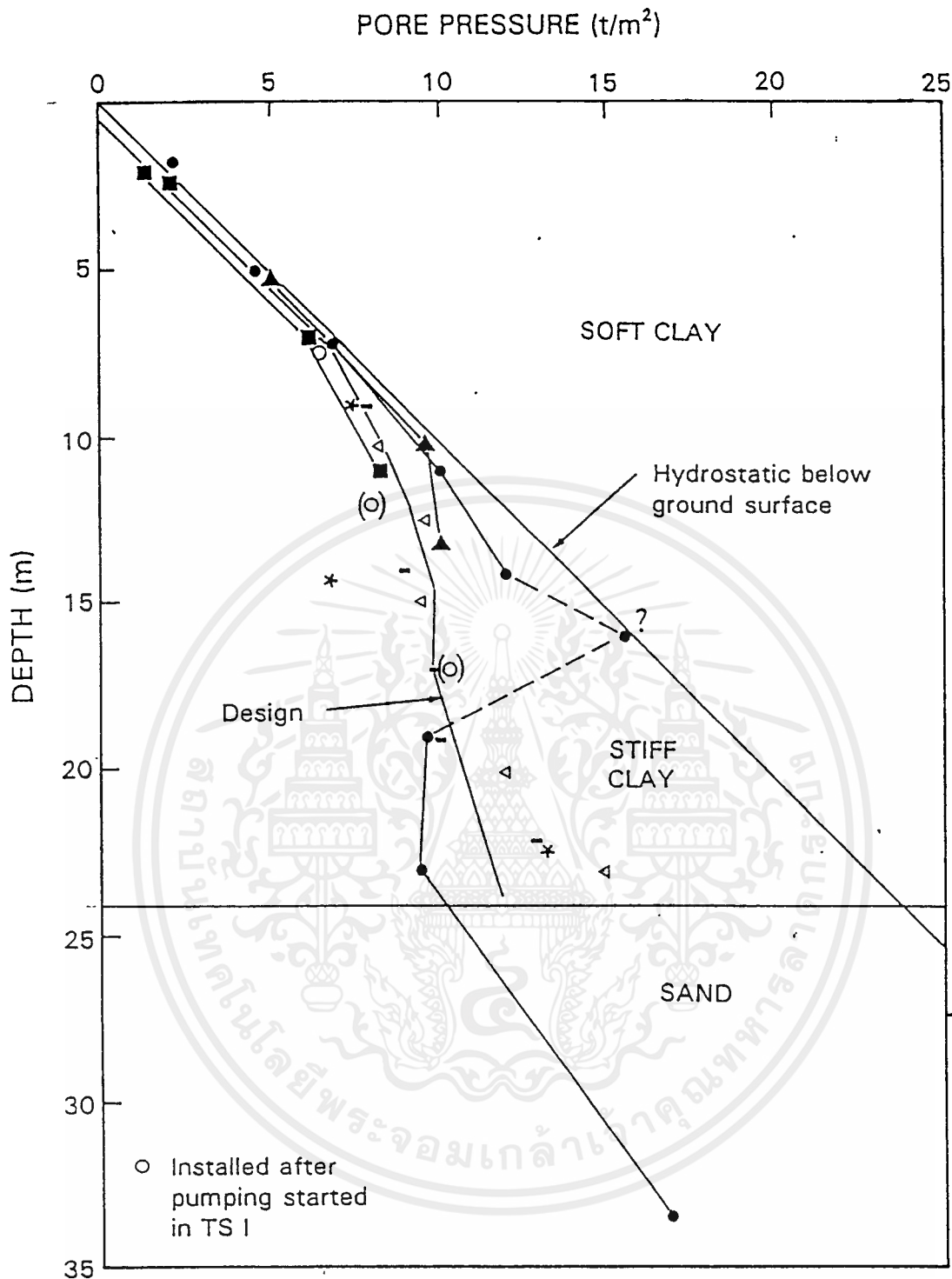
Checked  Approved 





รูปที่ 143

Independent Soil Engineering Study - SBIA	Report No. 920030-1	Figure No. .C8.4
	Drawn by	Date 92-10-01
Preloading by soil fill	Checked	
	Approved	



LEGEND

- Dummy area, Hydraulic
- Dummy area, Pneumatic
- ▲ Near BH-8 (Middle-East)
- Near BH-4 (NW corner)
- ◁ AIT (73)
- SP2 (73), NW corner
- * SP1 (73), SE corner

รูปที่ 144

Independent Soil Engineering Study - SBIA

Report No. 920030-1 Figure No. A5

Drawn by Date 92-10-01

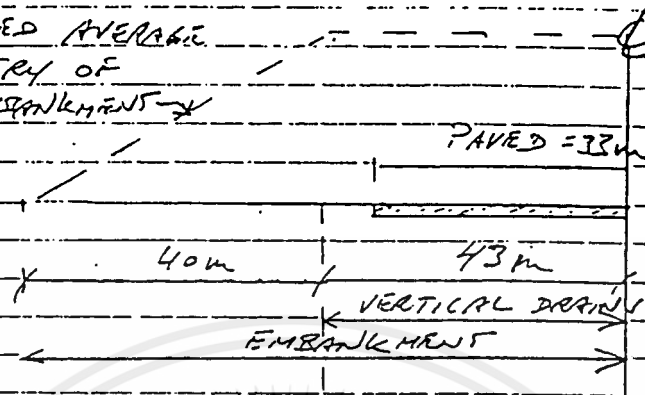
In situ pore pressures in 1973 and 1983 ศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

Checked ๒๒.๖.๗
Approved

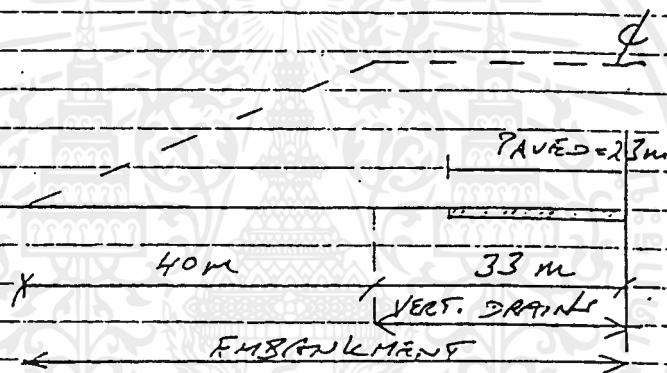


RUNWAYS

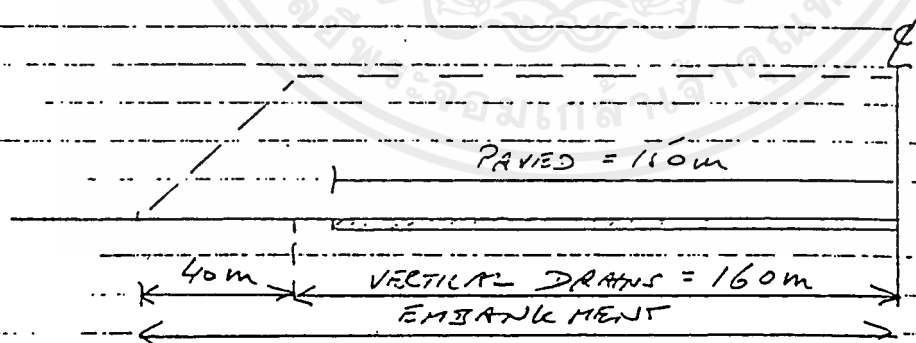
ASSUMED AVERAGE
GEOMETRY OF
THE EMBANKMENT



TAXIWAYS



APRONS



รูปที่ 145

Independent Soil Engineering Study - SBIA

Report No. 920030-1 Figure No. C10.1

Drawn by [Signature] Date 92-10-01

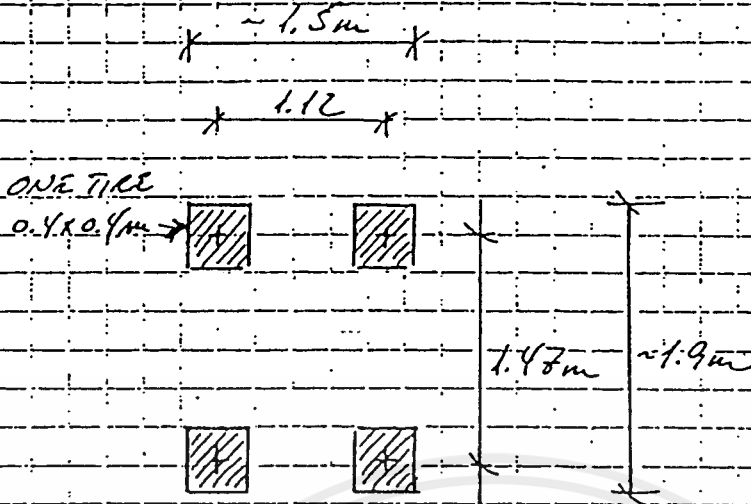
Checked [Signature] Approved [Signature]



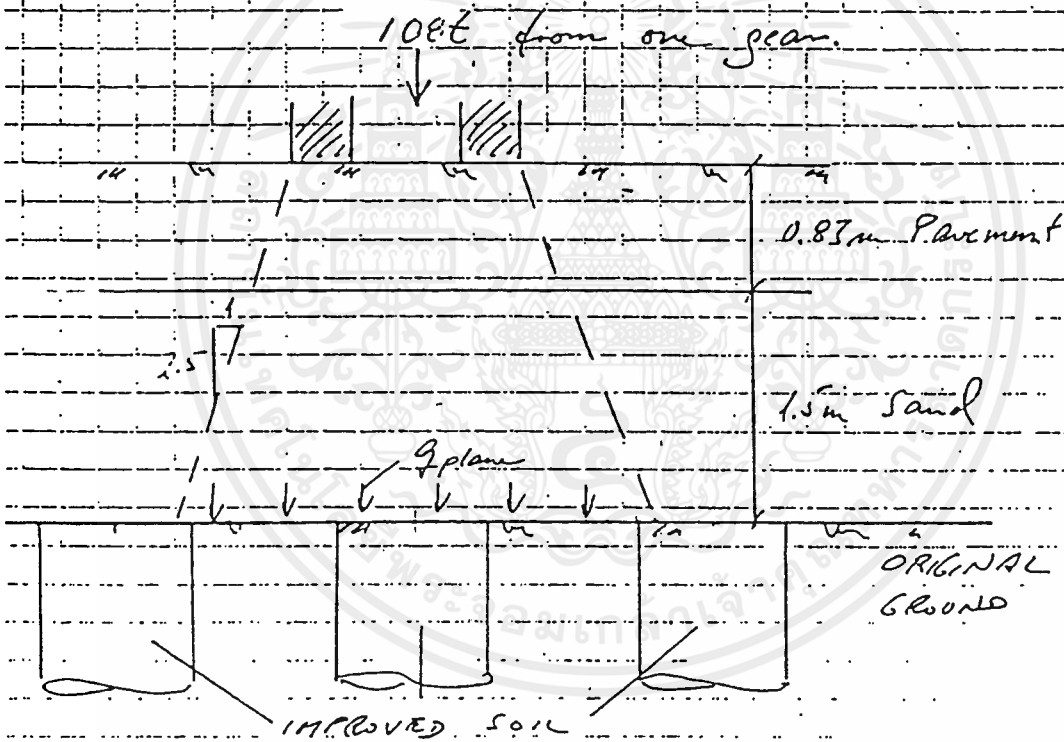
Assumed geometry for calculation of volumes and areas in the cost estimate

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

a) ASSUMED FOOTPRINTS OF ONE GEAR




b) ASSUMED LOAD DISTRIBUTION WITH DEPTH

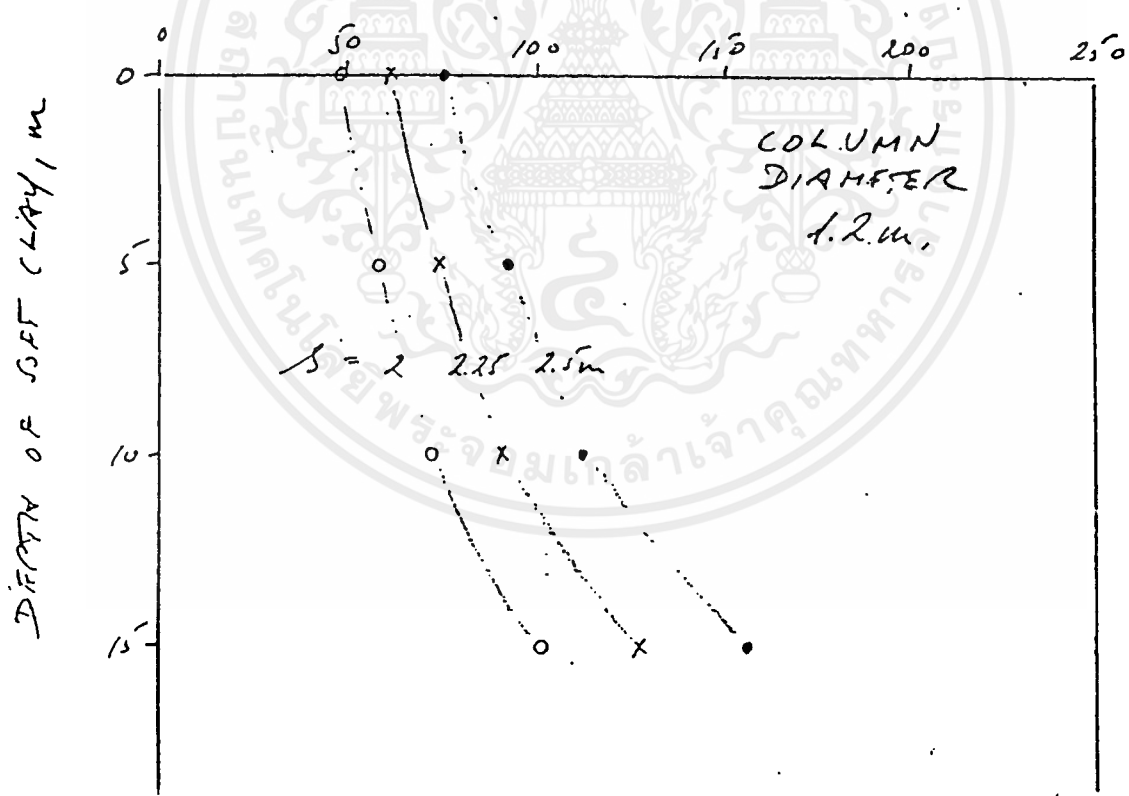
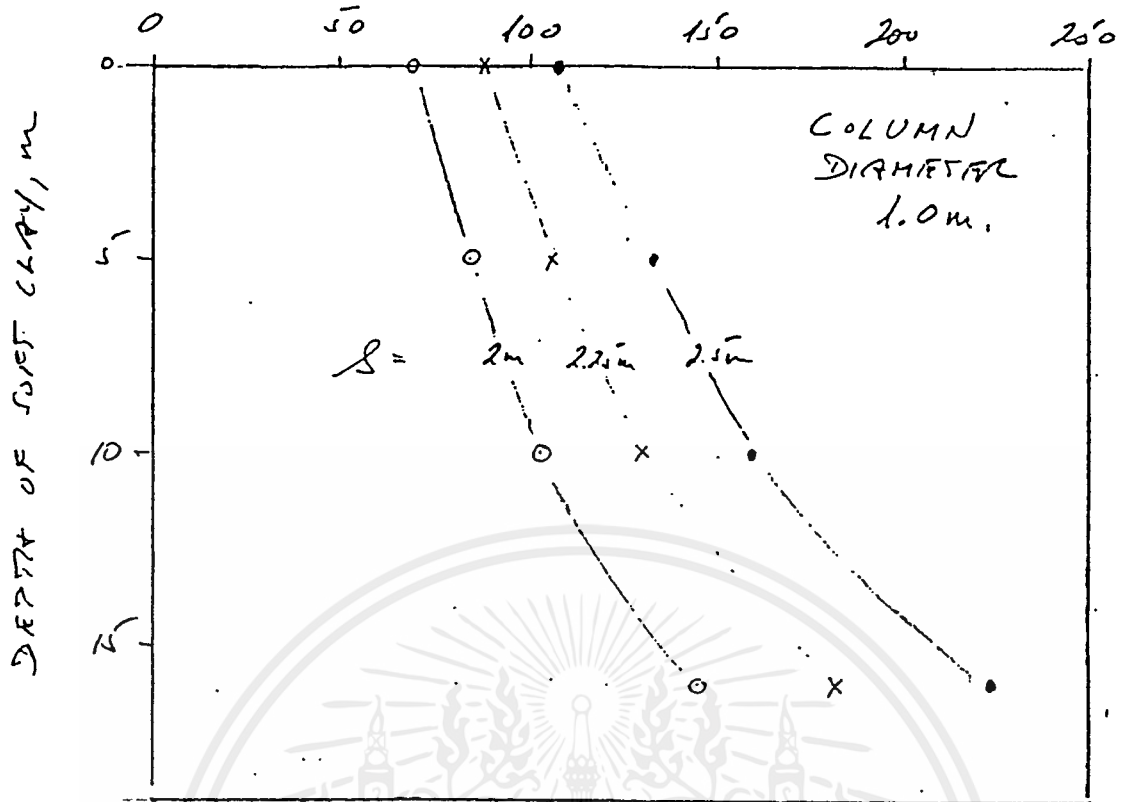


$$q_{plane} = 108t / \left((1.5 + \frac{2}{2.5} \times 2.33) (1.9 + \frac{2}{2.5} \times 2.33) \right) m^2 = 8.6 t/m^2$$

รูปที่ 146-1


<p>Independent Soil Engineering Study - SBIA</p>	<p>Report No 920030-1</p>	<p>Figure No I2</p>
	<p>Drawn by <i>[Signature]</i></p>	<p>Date 92-09-17</p>
<p>Assumed load on the improved soil columns from airplane</p>	<p>Checked <i>[Signature]</i></p>	<p>Approved <i>[Signature]</i></p>
<p>เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง</p>		

AXIAL STRESS IN SOIL IMPROVED COLUMN, t/m^2 .



รูปที่ 147

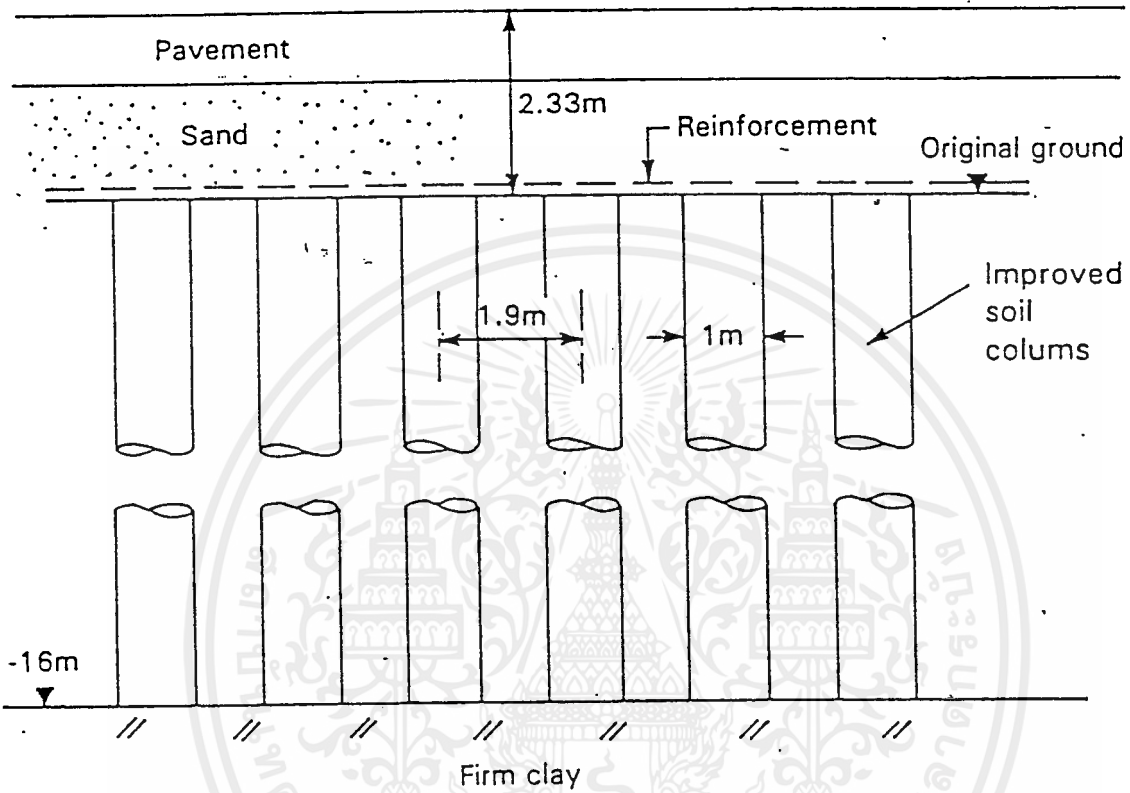
Independent Soil Engineering Study - SBIA

Report No. 920030-1	Figure No D3
Drawn by <i>[Signature]</i>	Date 92 00-17
Checked <i>[Signature]</i>	
Approved <i>[Signature]</i>	

Distribution of axial stress in soil improved columns

งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
 ใช้งานจริงโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก NGI
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุก

DEEP GROUND IMPROVEMENT PROPOSED CONCEPTUAL DESIGN



Reinforcement: Minimum tension capacity = 10t/m
 Improved soil columns: $q_u \geq 200t/m^2$

รูปที่ 148

<p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">Independent Soil Engineering Study - SBIA</p>	Report No	920030-1	Figure No	D-4
	Drawn by		Date	92 10 01
Proposed conceptual design. Deep ground improvement	Checked		Approved	
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้				

The seal of the National Library of Thailand is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The umbrella is flanked by two smaller three-tiered umbrellas. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text around the border reads "กรมหอสมุดแห่งชาติ" at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" at the bottom.

ตัวอย่างการวิเคราะห์โครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการ : ปรับปรุงสภาพดินอ่อนบริเวณก่อสร้างลานเก็บตู้ Container (ลาดกระบัง)

ข้อมูลในการก่อสร้าง :

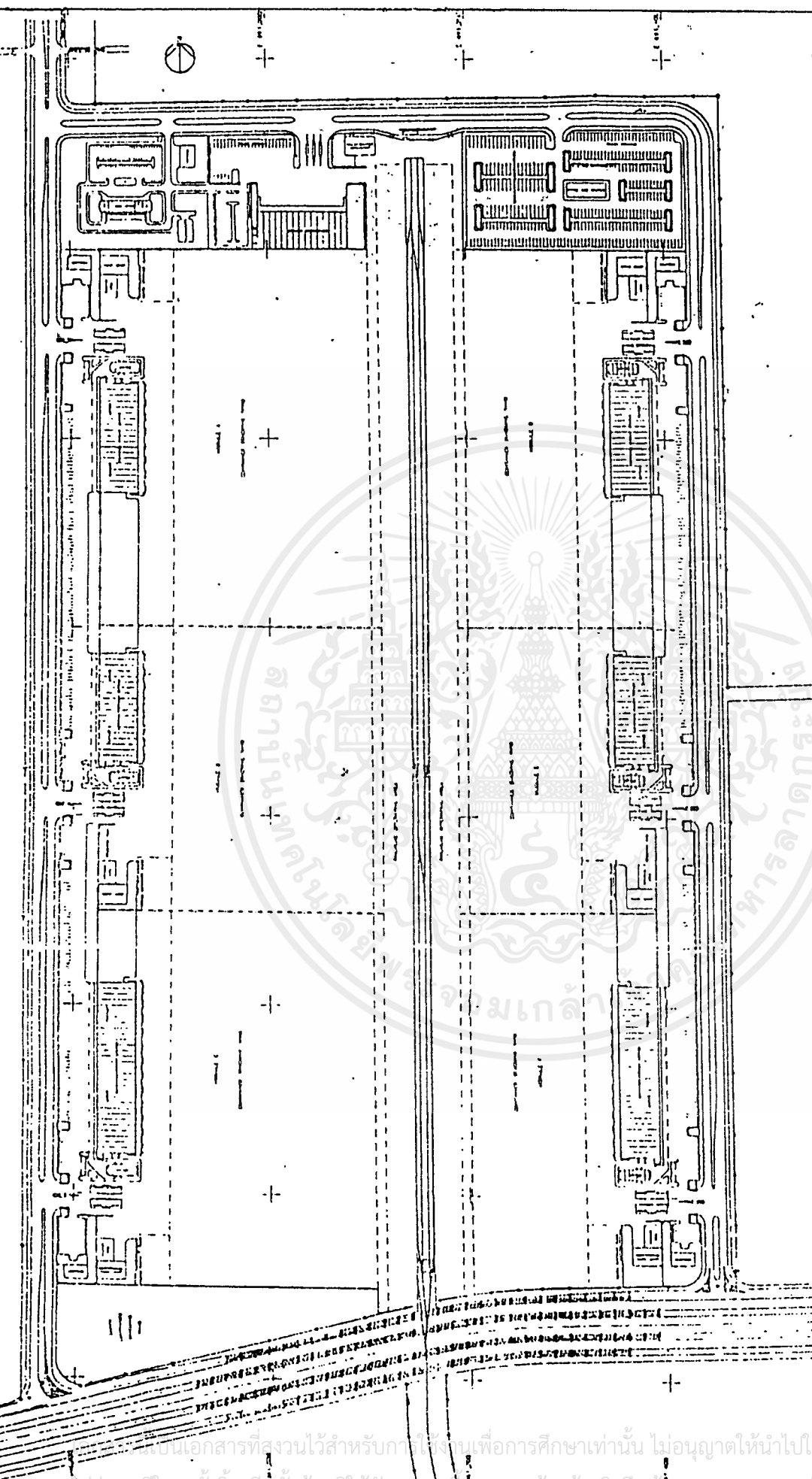
ระดับดินเดิม	+0.20 เมตร
ปรับพื้นที่ Surface	+2.00 เมตร
LL จาก Container	3.00 T/ม ²
DL จาก Concrete (t=0.30)	0.72 T/ม ²
น้ำหนักทั้งหมด คิดเท่ากับ	4.00 T/ม ²


พื้นที่ที่ต้องทำการปรับปรุง 845,000 ม²

ข้อมูลดิน :

Depth (m)	0- 1.5	$\gamma = 1.60$ T/ม ³	$m = 65\%$	$G = 2.72$	LL = 75
	1.5- 8.0	$\gamma = 1.50$ T/ม ³	$m = 110\%$	$G = 2.71$	LL = 100
	8.0-11.0	$\gamma = 1.55$ T/ม ³	$m = 85\%$	$G = 2.71$	LL = 90
	11.0-16.0	$\gamma = 1.60$ T/ม ³	$m = 65\%$	$G = 2.71$	LL = 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



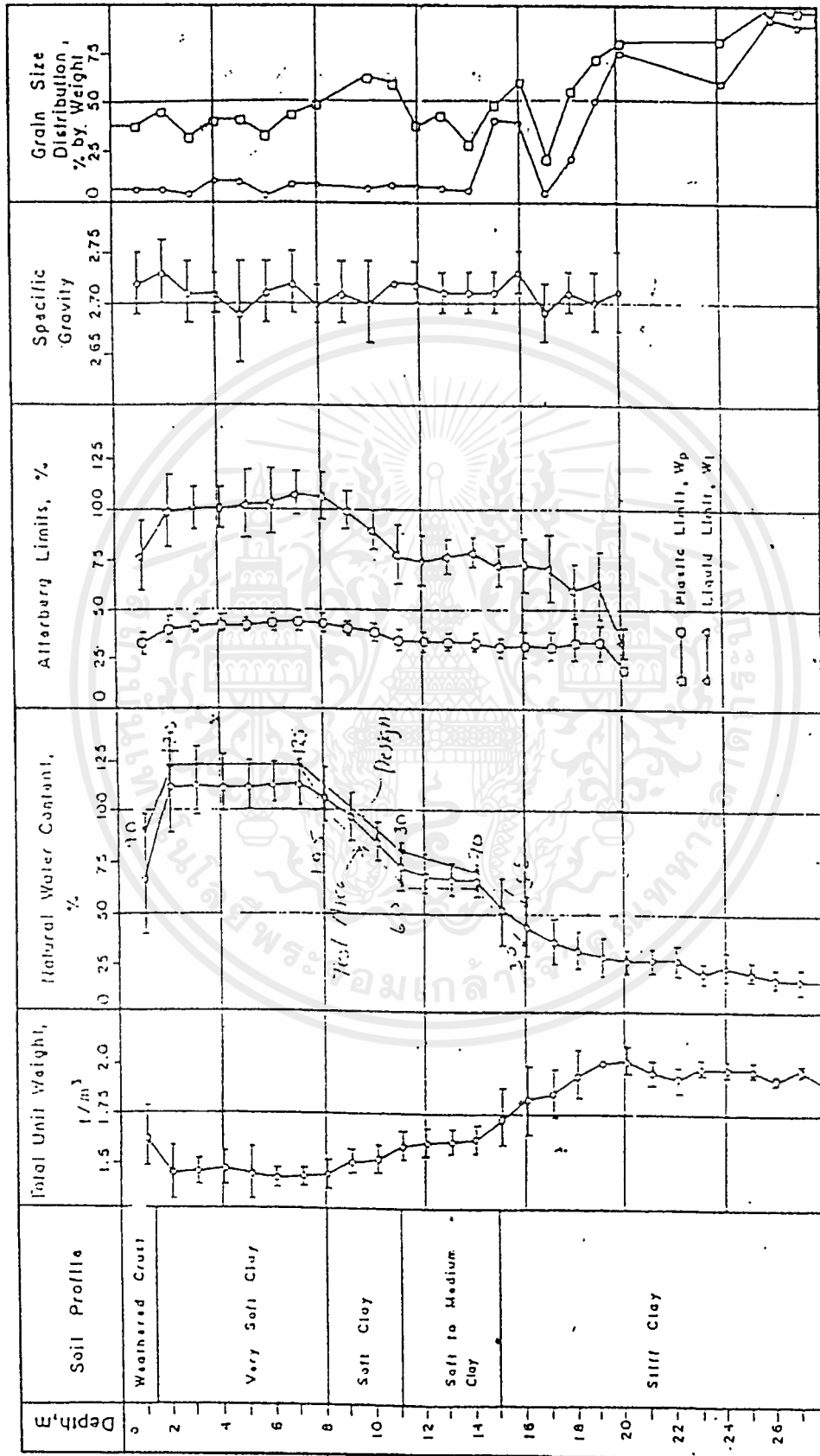

THE STATE RAILWAY OF THAILAND
LICO LAY OUTTING BOUNDARY CONTROL PROJECT
FENCING LAYOUT

Prepared by: *[Signature]*
 Checked by: *[Signature]*
 Date: 11/11/2006

1. รั้วเหล็ก
 2. ถนน
 3. ทางเท้า

รูปที่ 149 ผังบริเวณท่ารถตู้ Container

LEGEND :
 1. รั้วเหล็ก
 2. ถนน
 3. ทางเท้า



รูปที่ 150 แสดงข้อมูลสมบัติเฉพาะที่และการปรับรูปร่างผกาค้น (จาก NACO, Ref, 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WELL DATA

Station No. 17 Location Sanonlisaeburine School Depth 105 m
 Drilled Date from 5/11/81 to 7/11/81 Logged by Jansom & Vicharn



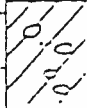












Depth (m)	Log	Soil Description	Remarks
		CLAY (Top Soil), grayish brown, soft, with some rock blades.	
		CLAY, dark gray, very soft.	
10		CLAY, dark greenish gray (Olive), with muscovite and shell fragments, very soft.	
20		CLAY, light brown, moderately stiff, with shell fragments.	
		CLAY, yellowish brown (old), silty, stiff.	
		SAND, light brown, fine grained, clayey.	
		CLAY, light grayish brown, very stiff, fine sand 10%.	
30		SAND, light brown, fine to medium grained, with some Fe-oxides.	
40		SAND, light grayish brown, coarse grained, subrounded.	
		SAND, greenish gray, moderately stiff, with fine sand (~10%).	
50		CLAY, light grayish brown, stiff.	
		SAND, light grayish brown, fine grained.	
60		SAND, light grayish brown, medium to coarse grained, subrounded.	
70		SAND & CLAY, light gray, fine grained, Sand:Clay = 90:10.	
80		SAND, light gray, medium to coarse grained, subrounded.	
100		CLAY, medium gray-light brown, stiff.	
		SAND & GRAVEL, light grayish brown coarse grained, sub-rounded.	

รูปที่ 151 แสดงชั้นดินบริเวณ โรงเรียนบางพลีราษฎร์บำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WELL DATA

Station No 29 Location Uae King Kaeu Depth 85 m
 Drilled Date from 12/10/81 to 14/10/81 Logged by Sumorn & Oona

Depth (m)	Log	Soil Description	Remarks
		CLAY, dark brown, soft, with vesicae products (olastic bees).	
		CLAY, dark gray, very soft, with shell fragments.	
10		CLAY, light grayish brown, moderate stiff with shell fragments.	
20		CLAY and SAND, medium gray, fine sand.	
		SAND, light brown, fine grained.	
30		SAND, light grayish brown, medium to coarse grained subrounded.	
		SAND, grayish brown, coarse grained, subrounded.	
40		CLAY, brown to reddish brown, stiff with some sand (= 10%)	
50		CLAY, olive gray and grayish brown, stiff.	
		CLAY, yellowish brown, soft.	
60		CLAY, yellowish brown - grayish brown, soft-stiff, with some magnetite & quartz pebbles.	
70		CLAY, reddish brown, stiff, and some Fe-oxide. fine sand. bc 71-72 m.	
		SAND, light yellowish brown, fine grained, subrounded and brown-clay.	
85		CLAY, brown - dark gray, soft.	
		SAND, fine grained, subrounded, light brown.	
90			
100			

รูปที่ 152 แสดงชั้นดินบริเวณ วัดกิ่งแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15

10

5

Cu T/m²

1.2

-2.0

1.7

-5.5

2.3

-9.0

2.9

-11.5

3.2

-13.0

3.4

-14.4

5.1

-15.5

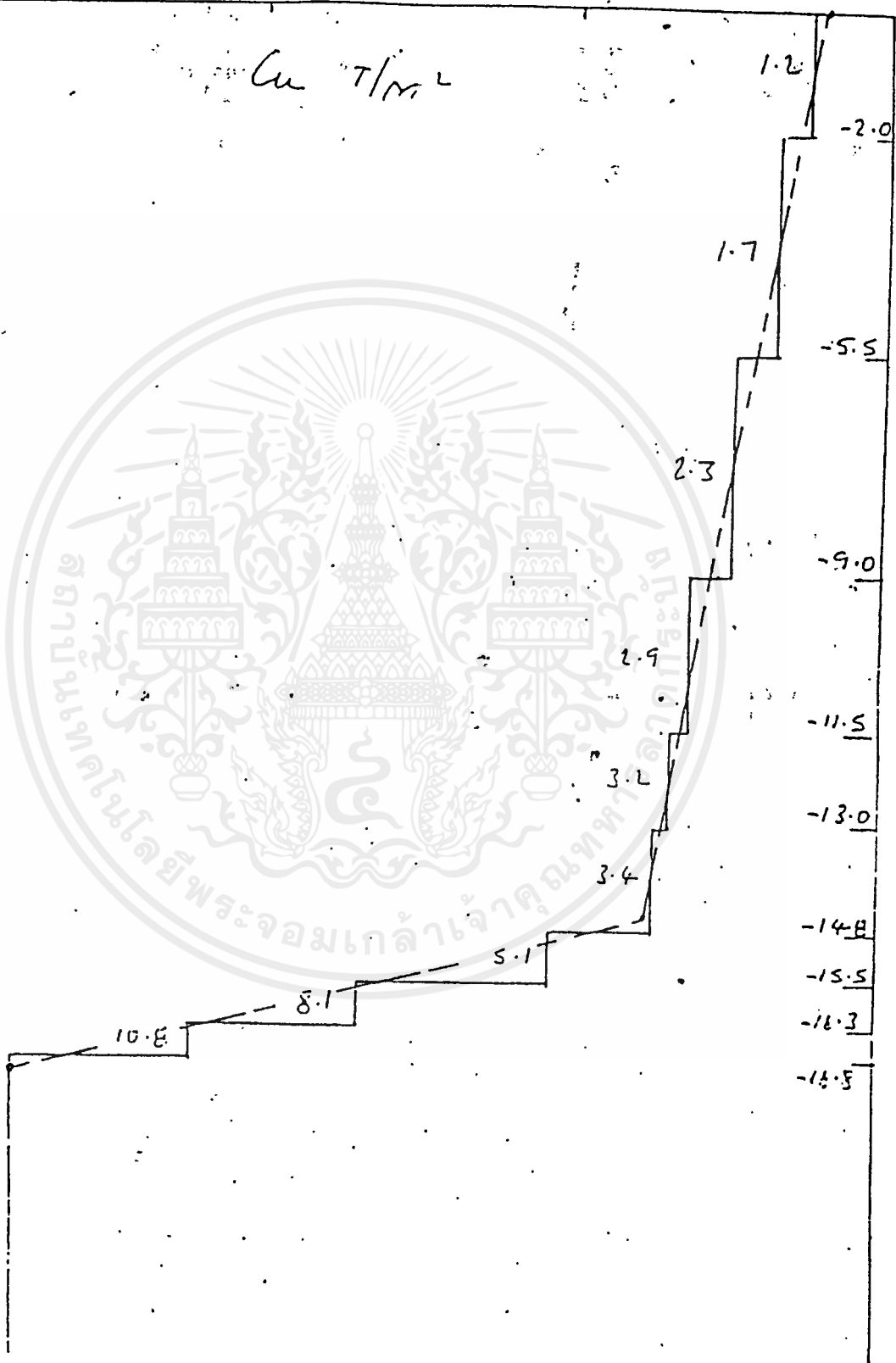
8.1

-16.3

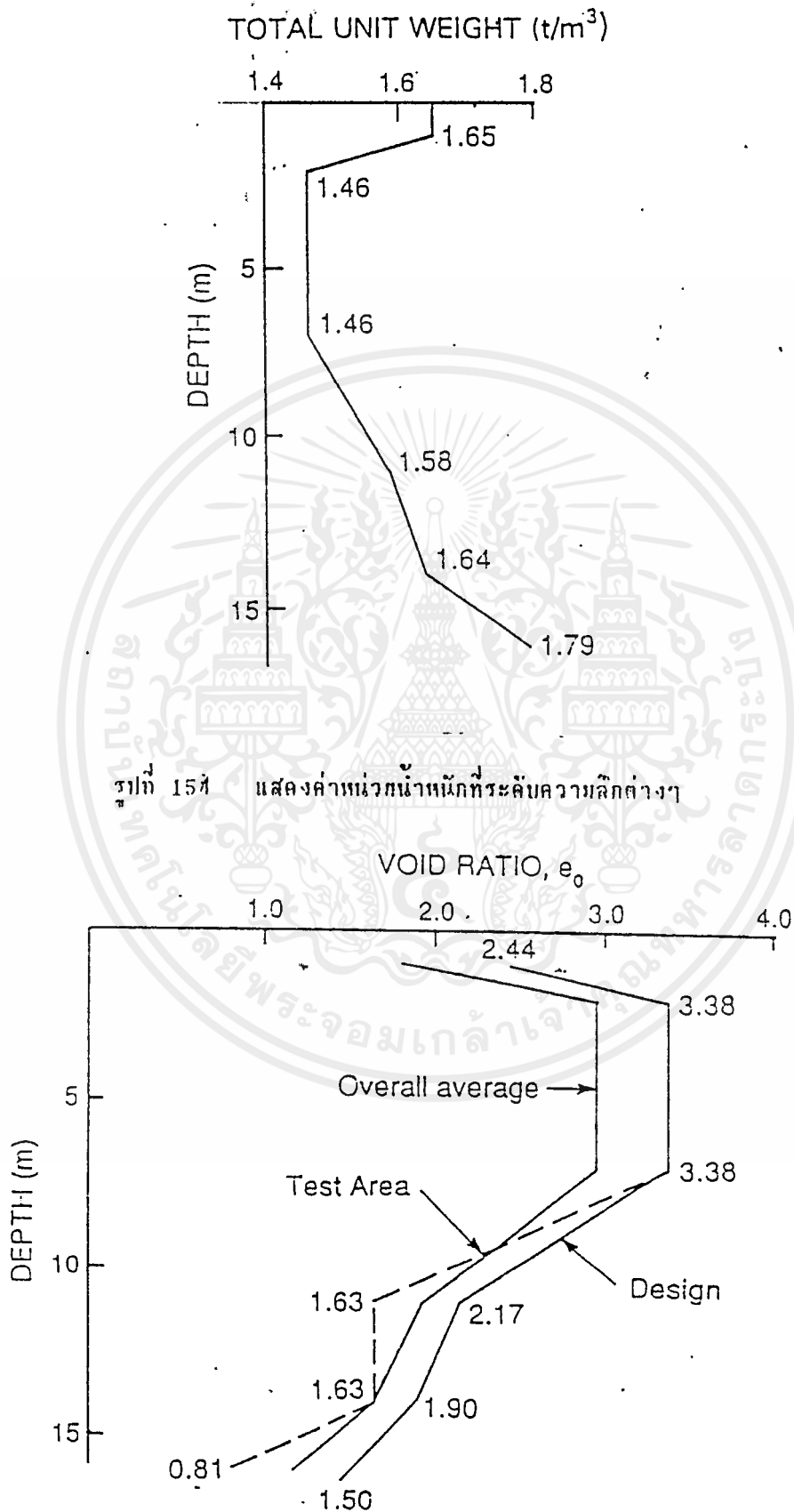
10.8

-16.5

13.5



รูปที่ 153 แสดงค่าแรงยึดเหนี่ยวของอนภาคดินเหนียวที่ระดับความลึกต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 154 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักที่ระดับความลึกต่างๆ

VOID RATIO, e_0

รูปที่ 155 แสดงค่าอัตราส่วนช่องว่างของดินในบริเวณที่ทำการรับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 155 แสดงค่าอัตราส่วนช่องว่างของดินในบริเวณที่ทำการรับแรง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design without Improve Soil :

กำหนด $\gamma_{sat} = 1.8 \text{ T/m}^3$ ค่า $\phi = 30^\circ$

ออกแบบโดยพิจารณาผืนดินสูง 1.8 เมตร คิดเป็นน้ำหนัก = 3.3 T/m^2

ดังนั้นน้ำหนักทั้งหมด = $4 + 3.3 = 7.3 \text{ T/m}^2$

Depth 11-16 ม

$$\begin{aligned}\Delta'_v &= 1.5(1.6-1) + 6.5(1.5-1) + 3(1.55-1) + 5(1.6-1)/2 \\ &= 7.3 \text{ T/m}^2\end{aligned}$$

$$\Delta'_f = 7.3 + 7.3 = 14.60 \text{ T/m}^2$$

$$Se = mG$$

$$e_o = 0.65(2.71) = 1.76$$

$$\begin{aligned}C_c &= 0.009(LL-10) \\ &= 0.009(76-10) = 0.594\end{aligned}$$

$$S_c = \frac{hC_c}{(1+e_o) \log \frac{\Delta'_f}{\Delta'_v}} = 32.4 \text{ cm}$$

Depth 8-11 ม

$$\Delta'_v = 0.9 + 3.25 + 1.65/2 = 4.975 \text{ T/m}^2$$

$$\Delta'_f = 4.975 + 7.3 = 12.28 \text{ T/m}^2$$

$$e_o = 0.85(2.71) = 2.30$$

$$C_c = 0.009(90-10) = 0.72$$

$$S_c = 25.68 \text{ cm}$$

Depth 1.5-8. ม

$$\Delta'_v = 0.9 + 3.25/2 = 2.525 \text{ T/m}^2$$

$$\Delta'_f = 2.525 + 7.3 = 9.825 \text{ T/m}^2$$

$$e_o = 1.1(2.71) = 2.98$$

$$C_c = 0.009(100-10) = 0.81$$

$$S_c = 78.0 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Depth 0-1.5 m

$$\Delta'_s = 0.9/2 = 0.45 \text{ T/m}^2$$

$$\Delta'_f = 0.45 + 7.3 = 7.75 \text{ T/m}^2$$

$$e_o = 0.65(2.72) = 1.77$$

$$C_c = 0.009(75-10) = 0.585$$

$$S_c = 39.16 \text{ cm}$$

Total Settlement = 175.24 cm

- พิจารณาการทรุดตัวที่เกิดขึ้น ภายหลังจากการใช้งาน 1 ปี

จากสูตร $t = T_h d^2 / C_h$ จะได้

$$\text{Depth 0-1.5 m } T_h = 1(6)/1.5^2 = 2.25 \text{ ----- } U = 100\%$$

$$1.5-8 \text{ m } T_h = 1(0.77)/6.5^2 = 0.018 \text{ ----- } U = 15\%$$

$$8-11 \text{ m } T_h = 1(0.77)/3^2 = 0.086 \text{ ----- } U = 32\%$$

$$11-16 \text{ m } T_h = 1(1.71)/5^2 = 0.068 \text{ ----- } U = 29\%$$

$$T_v = -0.933 \log(1-U) - 0.0851$$

- พิจารณาการทรุดตัวที่เกิดขึ้น ภายหลังจากการใช้งาน 2 ปี

$$\text{Depth 0-1.5 m } T_h = 2(6)/1.5^2 = 5.50 \text{ ----- } U = 100\%$$

$$1.5-8 \text{ m } T_h = 2(0.77)/6.5^2 = 0.036 \text{ ----- } U = 22\%$$

$$8-11 \text{ m } T_h = 2(0.77)/3^2 = 0.172 \text{ ----- } U = 47\%$$

$$11-16 \text{ m } T_h = 2(1.71)/5^2 = 0.136 \text{ ----- } U = 42\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พิจารณาการทรุดตัวที่เกิดขึ้น ภายหลังจากการใช้งาน 5 ปี

Depth 0-1.5 m	$T_h = 5(6)/1.5^2 = 11.25$	-----	U = 100%
1.5-8 m	$T_h = 5(0.77)/6.5^2 = 0.09$	-----	U = 34%
8-11 m	$T_h = 5(0.77)/3^2 = 0.43$	-----	U = 74%
11-16 m	$T_h = 5(1.71)/5^2 = 0.34$	-----	U = 65%

- พิจารณาการทรุดตัวที่เกิดขึ้น ภายหลังจากการใช้งาน 10 ปี

Depth 0-1.5 m	$T_h = 10(6)/1.5^2 = 22.5$	-----	U = 100%
1.5-8 m	$T_h = 10(0.77)/6.5^2 = 0.18$	-----	U = 48%
8-11 m	$T_h = 10(0.77)/3^2 = 0.86$	-----	U = 90%
11-16 m	$T_h = 10(1.71)/5^2 = 0.68$	-----	U = 86%

Depth	๖ ๓๐๓	๖ ๑๖๖	๖ ๒๖๖	๖ ๕๖๖	๖ ๑๐๖๖
0-1.5 m	39.16 cm	39.16	39.16	39.16	39.16
1.5-8 m	78.00 cm	11.70	17.16	26.52	37.44
8-11 m	25.68 cm	8.22	12.07	19.00	23.11
11-16 m	32.40 cm	9.40	13.61	21.06	27.86
รวม	175.24 cm	68.48	82.00	105.74	127.57

แสดงว่าภายหลังจากการใช้งาน 1 ปี ระดับวัดที่ผิว Concrete จะทรุดลงมาที่ +1.615 m

แสดงว่าภายหลังจากการใช้งาน 2 ปี ระดับวัดที่ผิว Concrete จะทรุดลงมาที่ +1.480 m

แสดงว่าภายหลังจากการใช้งาน 5 ปี ระดับวัดที่ผิว Concrete จะทรุดลงมาที่ +1.240 m

แสดงว่าภายหลังจากการใช้งาน 10 ปี ระดับวัดที่ผิว Concrete จะทรุดลงมาที่ +1.024 m

Design by Vertical Drain Technique :

กำหนด $\gamma_{sat} = 1.8 \text{ T/m}^3$ ค่า $\phi = 30^\circ$

Preloading = 5 T/m^2 ดังนั้นต้องถมดินสูง 2.8 m (บดอัด)

Depth 11-16 m

$$\begin{aligned} \Delta'_s &= 1.5(1.6-1) + 6.5(1.5-1) + 3(1.55-1) + 5(1.6-1)/2 \\ &= 7.3 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

$$\Delta'_f = 7.3 + 4.85 = 12.15 \text{ T/m}^2$$

$$Se = mG$$

$$e_o = 0.65(2.71) = 1.76$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0.009(LL-10) \\ &= 0.009(76-10) = 0.594 \end{aligned}$$

$$S_c = \frac{hC_c}{(1+e_o)} \log \frac{\Delta'_f}{\Delta'_s} = 24 \text{ cm}$$

Depth 8-11 m

$$\Delta'_s = 0.9 + 3.25 + 1.65/2 = 4.975 \text{ T/m}^2$$

$$\Delta'_f = 4.975 + 4.89 = 9.87 \text{ T/m}^2$$

$$e_o = 0.85(2.71) = 2.30$$

$$C_c = 0.009(90-10) = 0.72$$

$$S_c = 19.5 \text{ cm}$$

Depth 1.5-8. m

$$\Delta'_s = 0.9 + 3.25/2 = 2.525 \text{ T/m}^2$$

$$\Delta'_f = 2.525 + 5 = 7.525 \text{ T/m}^2$$

$$e_o = 1.1(2.71) = 2.98$$

$$C_c = 0.009(100-10) = 0.81$$

$$S_c = 62.7 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Depth 0-1.5 m

$$\Delta'_s = 0.9/2 = 0.45 \text{ T/m}^2$$

$$\Delta'_f = 0.45+5 = 5.45 \text{ T/m}^2$$

$$e_o = 0.65(2.72) = 1.77$$

$$C_c = 0.009(75-10) = 0.585$$

$$S_c = 34.3 \text{ cm}$$

Total Settlement = 140.5 cm

- พิจารณาการทำ preloading น้ำหนัก 5 T/m² เป็นเวลา 9 เดือน
- ติดตั้งแถบ PVD ด้วยระยะห่าง 1.00 ม ถึงระดับความลึก -15 เมตร

จากสูตร $t = T_h d^2 / C_h$ จะได้

Depth 0-1.5 m	$T_h = 0.75(6)/1 = 4.5$	-----	U = 100%
1.5-8 m	$T_h = 0.75(0.77)/1 = 0.58$	-----	U = 81%
8-11 m	$T_h = 0.75(0.77)/1 = 0.58$	-----	U = 81%
11-16 m	$T_h = 0.75(1.71)/1 = 1.28$	-----	U = 97%

$$T_v = -0.933 \log(1-U) - 0.0851$$

Depth	C _h	T _v	U	δ (9 เดือน)	δ _{รวม}
0-1.5 m	6	4.5	100	34.3 cm	34.3 cm
1.5-8 m	0.77	0.58	81	50.8 cm	62.7 cm
8-11 m	0.77	0.58	81	15.8 cm	19.5 cm
11-16 m	1.71	1.32	97	23.3 cm	24.0 cm

9 เดือนจะเกิดการทรุดตัวทั้งสิ้น 124.2 cm จากทั้งหมด 140.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการวัสดุ :

PVD	- ใช้น้กบ PVD ทั้งสิ้น $(845,000/1) \times 15.7$	= 13,266,500 ม
ดินถม	- $845,000(2.8-0.5)(1.4)$	= 2,720,900 ม ³
ทราย	- $845,000(0.5)(1.3) + 845,000(0.1)(1.3)$	= 659,100 ม ³
Concrete	- $845,000(0.3)$	= 253,500 ม ³

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด :

Clearing	= $845,000(2.5)$	= 2.1 ล้านบาท
ค่าทรายถม	= $659,100(130)$	= 85.7 ล้านบาท
ค่า PVD + ค่าติดตั้ง	= $13,266,500(25)$	= 331.7 ล้านบาท
ค่าดินถม (บดอัด)	= $2,720,900(150+15)$	= 448.9 ล้านบาท
ค่า Concrete	= $253,500(1,550)$	= 392.9 ล้านบาท
คิดค่า Over head 10%		
รวมเป็นเงิน	= $1261.26(1.1)$	= <u>1,387.4</u> ล้านบาท

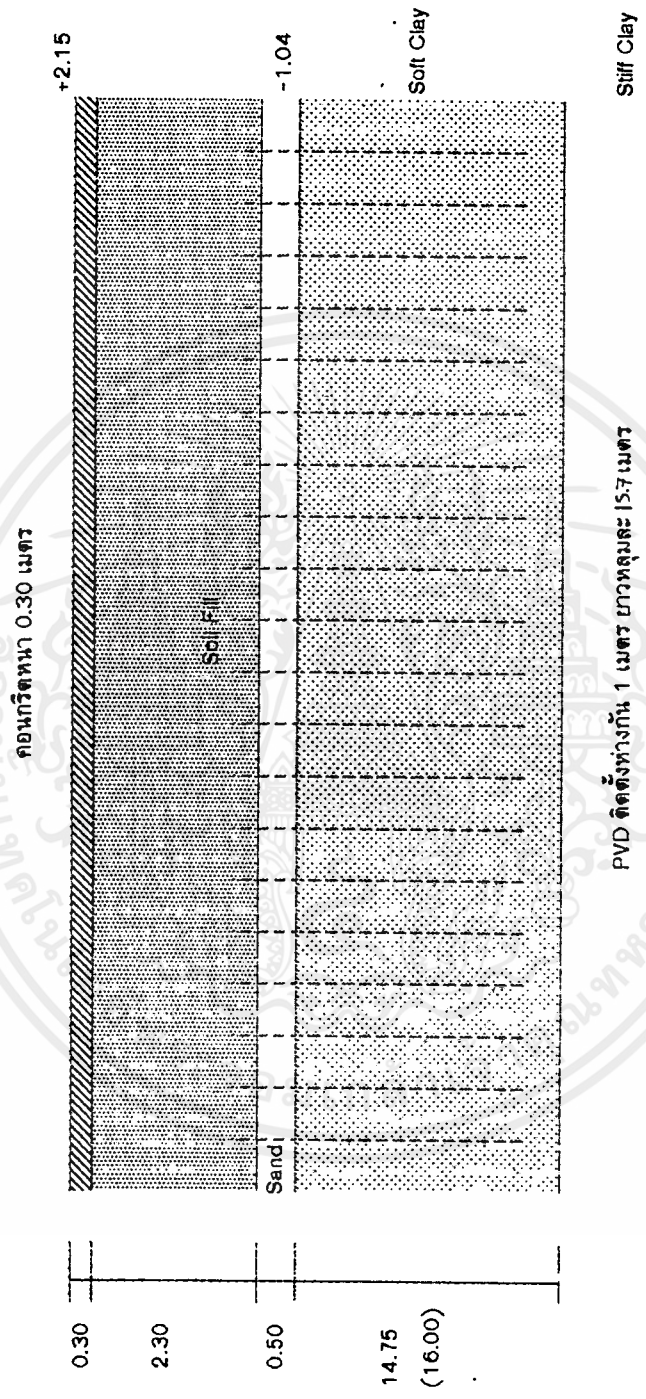
ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน :

Clearing	=	40	วัน	
ถมทราย	= $659,100/3(500)(12)$	=	37	วัน
ติดตั้งน้กบ PVD	= $13,266,500/5,000(25)$	=	107	วัน
ถมดิน	= $2,720,900/3(500)(12)$	=	151	วัน
ระยะเวลาในการ Preloading	=	270	วัน	
เท Concrete	= $253,500/5,000$	=	51	วัน
รวมระยะเวลาปฏิบัติงานทั้งสิ้น	=	<u>540</u>	วัน	

หมายเหตุ : ใช้ รถบรรทุก 500 คัน ขนได้วันละ 3 เที่ยว เที่ยวละ 12 ม³

Rig 25 ตัว (ติดตั้ง PVD ได้วันละ 5,000 ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Improve by Preloading with Vertical Drains (after 9 month)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design by Grouting and Geogrid Technique :

- Design Soil Cement

ถมดินสูง 1.6 ม คิดเป็นน้ำหนัก $1.6(1.8) = 2.88 \text{ T/m}^2$

ดังนั้นน้ำหนักทั้งหมด คือ $2.88+4.00 = 6.88 \text{ T/m}^2$

Design โดสน้ำหนัก 7 T/m^2

→

ออกแบบขนาด ศก.ของ soil cement = 60 ซม

ความลึกจากระดับ +0.20 ลงไปถึงระดับ -17 ม (stiff clay)

Soil cement 1 ต้นรับ load = End bearing + Skin friction

$$\begin{aligned} &= c_u N_c A_b + 0.45c_u A_s \\ &= 13.5(9)(0.28) + 0.45(2.6)(28) \\ &= 34.02+32.76 = 66.78 \text{ Tons/ต้น} \end{aligned}$$

ค่า q_{ult} ของ soil cement = 6.5 ksc

ดังนั้น soil cement 1 ต้นรับกำลังได้ $130^2(6.5) = 18.4 \text{ Tons}$

Design การรับกำลังของ Soil cement = $18.4/1.5 = 12.3 \text{ Tons/ต้น}$

ต้องทำการ Grout ทั้งหมด = $7(845,000)/12.3 = 480,895 \text{ หลุม}$

Design ระยะห่างระหว่างหลุมเป็น 1.3 เมตร (2.2 เท่าของศก.Soil cement)

ต้องทำการ Grout ทั้งหมด $1300(650)/1.3^2 = 500,000 \text{ หลุม}$

(ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการ)

- Design Geogrid

การ Design Geogrid เพื่อทำการรับน้ำหนัก 7 T/m^2

เนื่องจากดินถมเมื่อทำการถมสูง 1.6 m จะมีน้ำหนักเนื่องจาก DL และ LL กระทำ
เหนือดินถมเท่ากับ 4 T/m^2

ซึ่งการ design Geogrid ตามหลักจะมีการสมมติให้เทียบเท่ากับดินถมที่ถมสูงขึ้นไป

$$H' = H + W/\gamma = 1.6 + 4/1.8 = 3.83 \text{ m}$$

$$K = (1 - \sin\phi) / (1 + \sin\phi) ; \phi = 30^\circ$$

$$K = 0.33$$

$$\begin{aligned} \text{พิจารณาแรงดันดินตามแนวราบ } T &= 0.5KH^2 \\ &= 0.5(0.33)(1.8)(9.81)(3.83)^2 \\ &= 43.57 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

เลือกใช้ Geogrid ในการเสริม [เลือกเบอร์ SS2]

$$\text{ค่า strength} = (31.5 + 17.5) / 2 = 24.5 \text{ kN/m}$$

$$\text{จำนวนชั้นที่ต้องการ} = 43.57 / 24.5 = 1.77$$

เลือกใช้ 2 ชั้นวางข้างล่างเพื่อช่วยถ่ายแรงลงมาสู่ Soil cement โดยกำหนดระยะห่าง
ระหว่างชั้นเป็น 30 cm

รายการวัสดุ :

$$\text{ปริมาณ Geogrid ที่ต้องใช้} = 845,000(2) = 1,690,000 \text{ m}^2$$

$$\text{ปริมาณดินถม} = 845,000(1.6)(1.4) = 1,892,800 \text{ m}^3$$

$$\text{ปริมาณ Concrete} = 845,000(0.3) = 253,500 \text{ m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวนหลุมที่ทำการ Grout} &= 500,000 \text{ หลุม} \\
 \text{คิดเป็นปริมาตร} &= 500,000 \pi (0.3)^2 (17+0.2) \\
 &= 2,431,593 \text{ ม}^3 \\
 \text{Soil cement 1 ม}^3 \text{ ใช้ cement ประมาณ 200 kg} \\
 \text{ดังนั้นจะใช้ Cement ทั้งหมด} &= 2,431,593(200) \\
 &= 486,318.6 \text{ Tons}
 \end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด :

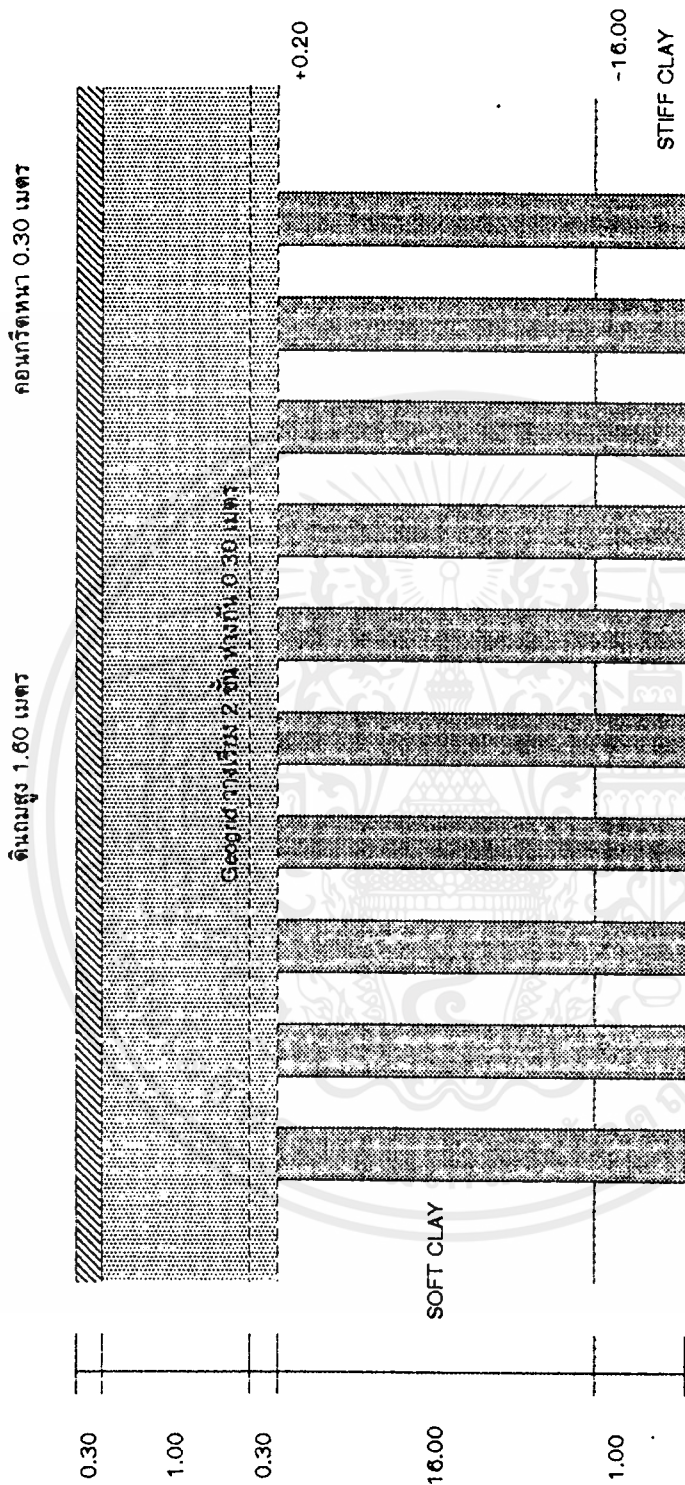
Clearing	= 845,000(2.5)	= 2.1 ล้านบาท
ค่าปูนซีเมนต์	= 486,318.6(1,450)	= 705.0 ล้านบาท
ค่าใช้จ่ายในการ Grout	= 0.1(705)	= 70.5 ล้านบาท
Geogrid (วัสดุติดตั้ง)	= 1,690,000(160)	= 270.4 ล้านบาท
ค่าดินถม (บดอัด)	= 1,892,800(150+15)	= 312.3 ล้านบาท
ค่า Concrete	= 253,500(1,550)	= 392.9 ล้านบาท
คิดค่า Over head 10%		
รวมเป็นเงิน	= 1,753.2(1.1)	= <u>1,928.52</u> ล้านบาท

ระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน :

Clearing	=	40	วัน	
Grouting	= 500,000/57(12)	=	730	วัน
ติดตั้ง Geogrid	=	60	วัน	
ถมดิน	= 1,892,800/3(500)(12)	=	105	วัน
เทคอนกรีต	= 253,500/5,000	=	51	วัน
รวมระยะเวลาในการปฏิบัติการ	=	<u>860</u>	วัน	

หมายเหตุ : ใช้ รถบรรทุก 500 คัน หนึ่งวันละ 3 เที่ยว เที่ยวละ 12 ม³
เครื่องจักรในการ Grouting 57 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soil Cement ๓.๓.๐.60 เมตร ระยะห่างระหว่างหลุม 1.30 เมตร

Improve by Grouting and Geogrid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการ : ปรับปรุงสภาพดินเพื่อทำการก่อสร้างลานเก็บ Container (ลาดกระบ้ง)
 พื้นที่ที่ทำการปรับปรุง : 845,000 ตารางเมตร

	UNIMPROVE	VERTICAL DRAIN	GROUTING
CLEARING	2.1	2.1	2.1
ทรายถม	-	85.7	-
ดินถม (บดอัด)	351.35	448.9	312.3
CONCRETE	392.9	392.9	392.9
PVD	-	331.66	-
GROUTING	-	-	775.5
GEOGRID	-	-	270.4
ค่าใช้จ่าย	746.35	1261.26	1753.2
OVERHEAD 10%			
รวม (ล้านบาท)	820.98	1387.38	1928.52

	ราคา (ล้านบาท)	ระยะเวลา (วัน)	การทรุดตัว (After 2 yrs.)
UNIMPROVE	820.98	180	> 82 cm
VERTICAL DRAIN	1387.38	540	< 18 cm
GROUTING & GEOGRID	1928.52	860	< 10 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติพื้นที่ลดลงมาเหลือ 16,000 ๓^๒ :

โดยวิธี Preloading with Vertical Drain

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด :

Clearing	= 16,000(2.5)	= 0.040	ล้านบาท
ถมทราย	= 16,000(0.5)(1.3)(130)	= 1.352	ล้านบาท
PVD	= 16,000(15.7)(25)	= 6.280	ล้านบาท
ถมดิน (บดอัด)	= (2.8-0.5)(16,000)(1.4)(165)	= 8.501	ล้านบาท
Concrete	= 16,000(0.3)(1,550)	= 7.440	ล้านบาท
คิดค่า Over head 10%			
รวมเป็นเงิน		= <u>25.974</u>	ล้านบาท

ระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน :

Clearing	=	20	วัน
ถมทราย	= 10,400/3(50)(12)	= 6	วัน
ติดตั้ง PVD	= 251,200/5,000(2)	= 25	วัน
ถมดิน	= 51,520/3(50)(12)	= 30	วัน
ระยะเวลาในการ Preloading	=	270	วัน
เท Concrete	= 4,800/500	= 10	วัน
รวมระยะเวลาในการปฏิบัติงาน	=	<u>340</u>	วัน

หมายเหตุ : ใช้ รถบรรทุก 50 คัน ขนได้วันละ 3 เที่ยว เที่ยวละ 12 ๓^๓

Rig 2 ตัว (ติดตั้ง PVD ได้วันละ 5,000 ๓)

สมมุติพื้นที่ลดลงมาเหลือ $16,000 \text{ m}^2$:

โดยวิธี Grouting & Geogrid

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด :

$$\text{Clearing} = 16,000(2.5) = 0.040 \text{ ล้านบาท}$$

$$\text{ค่าปูนซีเมนต์} = 16,000(1,410)/(1.3)^2 = 13.349 \text{ ล้านบาท}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการ Grout} = 0.1(13.349) = 1.34 \text{ ล้านบาท}$$

$$\text{Geogrid} = 16,000(2)(160) = 5.120 \text{ ล้านบาท}$$

$$\text{ดินถม (บดอัด)} = 16,000(1.6)(1.4)(150+15) = 5.914 \text{ ล้านบาท}$$

$$\text{Concrete} = 16,000(0.3)(1,550) = 7.440 \text{ ล้านบาท}$$

คิดค่า Over head 10%

$$\text{รวมเป็นเงิน} = \underline{36.470} \text{ ล้านบาท}$$

ระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน :

$$\text{Clearing} = 20 \text{ วัน}$$

$$\text{Grouting} = 9,468/10(12) = 80 \text{ วัน}$$

$$\text{ติดตั้ง Geogrid} = 5 \text{ วัน}$$

$$\text{ถมดิน} = 35,840/3(50)(12) = 20 \text{ วัน}$$

$$\text{เทคอนกรีต} = 4,800/500 = 10 \text{ วัน}$$

$$\text{รวมระยะเวลาในการปฏิบัติงาน} = \underline{110} \text{ วัน}$$

หมายเหตุ : ใช้ รถบรรทุก 50 คัน ขนได้วันละ 3 เที่ยว เที่ยวละ 12 m^3

เครื่องจักรในการ Grouting 10 เครื่อง

โครงการ : ปรับปรุงสภาพดินเพื่อทำการก่อสร้างลานเก็บ Container (ลาดกระบ้ง)

พื้นที่ที่ทำการปรับปรุง : 16,000 ตารางเมตร

	VERTICAL DRAIN	GROUTING
CLEARING	0.04	0.04
ทรายถม	1.35	-
ดินถม (บดอัด)	8.501	5.914
CONCRETE	7.44	7.44
PVD	6.28	-
GROUTING	-	14.684
GEOGRID	-	5.12
ค่าใช้จ่าย	23.613	33.15
OVERHEAD 10%		
รวม (ล้านบาท)	25.974	36.47

	ราคา (ล้านบาท)	ระยะเวลา (วัน)
VERTICAL DRAIN	25.97	340
GROUTING & GEOGRID	36.47	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทวิเคราะห์ CASE STUDY

โครงการปรับปรุงสภาพดินอ่อนบริเวณก่อสร้างลานเก็บตู้ Container

โครงการดังกล่าวตั้งอยู่ในพื้นที่ของเขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ พื้นที่ของโครงการในส่วนที่จะต้องทำการปรับปรุงสภาพดินประมาณ 845,000 ตารางเมตร โดสระดับผิวดินเดิมอยู่ที่ +0.20 เมตร สภาพชั้นดินฐานรากเป็นลักษณะของชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ซึ่งประกอบด้วยชั้นของดินเหนียวอ่อนหนาประมาณ 16 เมตร อยู่เหนือชั้น Stiff Clay

ในการออกแบบเพื่อทำการปรับปรุงสภาพดินในกรณีนี้ ได้กำหนดน้ำหนักเนื่องจากลานคอนกรีต และน้ำหนักเนื่องจากตู้ Container ไว้ที่ 4 ตัน/ตารางเมตร

โดยวิธีที่เลือกทำการวิเคราะห์หาความเหมาะสมในครั้งนั้น คือ วิธี Preloading with Vertical Drains และวิธี Grouting & Geogrid ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

โครงการดังกล่าวจุดประสงค์หลักในการปรับปรุงคุณภาพดินคือ เพื่อลดการทรุดตัวของชั้นดินเนื่องจากน้ำหนักจากการใช้งานในระยะยาว ซึ่งผลการคำนวณพบว่าหากไม่มีการปรับปรุงคุณภาพดินแล้ว โดสเพียงแต่ถมดินให้ได้ระดับจะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 820.98 ล้านบาท ในขณะที่วิธี Vertical Drain และวิธี Grouting จะเสียค่าใช้จ่ายถึง 1,387.38 และ 1,928.52 ล้านบาทตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ หากไม่มีการปรับปรุงสภาพดินจะใช้เวลาดำเนินการประมาณ 180 วัน โดยวิธี Vertical Drain จะใช้เวลา 540 วัน และวิธี Grouting จะใช้เวลามากถึง 860 วัน แต่ผลที่จะตามมาภายหลังจากการใช้งานเป็นเวลา 2 ปี พบว่าด้วยวิธี Vertical Drain ชั้นดินจะเกิดการทรุดตัวไม่เกิน 18 cm และโดยวิธี Grouting จะเกิดการทรุดตัวไม่เกิน 10 cm ซึ่งหากไม่มีการปรับปรุงคุณภาพดินแล้ว จะเกิดการทรุดตัวมากกว่า 82 cm ภายใน 2 ปี สำหรับการคาดการณ์การทรุดตัวในระยะยาว 5 ปีภายหลังการใช้งานพบว่า โดยวิธี Vertical Drain และวิธี Grouting จะมีการทรุดตัวเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ดินที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพมาก่อนจะเกิดการทรุดตัวเพิ่มขึ้นเป็น 105.74 cm เป็นอย่างน้อย

จากผลการวิเคราะห์สำหรับโครงการนี้ แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้วิธี Vertical Drain จะเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธี Grouting ถึง 541 ล้านบาท โดยในขณะเดียวกันระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการก็น้อยกว่าวิธี Grouting ถึง 320 วัน จึงสามารถสรุปได้ว่าหากมุ่งแก้ปัญหาการทรุดตัวของชั้นดินในระยะยาวแล้วโดยวิธี Vertical Drain จะมีความคุ้มค่ากว่าวิธี Grouting ทั้งในเรื่องของค่าดำเนินการ และระยะเวลาในการปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอาศัยลักษณะของโครงการในลักษณะเดียวกัน โดยลดขนาดของพื้นที่ในการปรับปรุง เหลือเพียง 16,000 ตารางเมตร โดยวิธี Vertical Drain จะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 25.97 ล้านบาท ในขณะที่วิธี Grouting ใช้ประมาณ 36.47 ล้านบาทโดยระยะเวลาในการปฏิบัติงานของ วิธี Vertical Drain และวิธี Grouting ประมาณ 340 และ 110 วันตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าโดยวิธี Grouting แม้จะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธี Vertical Drain ถึง 10.5 ล้านบาท แต่ระยะเวลาในการปฏิบัติงานจะน้อยกว่าถึง 230 วัน ด้วยเวลาที่เร็วขึ้นดังกล่าวหากสามารถให้ผลตอบแทนจากการใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจหรือในด้านอื่น ๆ คิดเป็นมูลค่ามากกว่า 10.5 ล้านบาท แล้ว วิธี Grouting ก็อาจจะเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากกว่าวิธี Vertical Drain

จากการเปรียบเทียบด้วยขนาดพื้นที่ต่างกัน จะสังเกตเห็นว่าด้วย วิธี Vertical Drain ระยะเวลาที่ใช้จะไม่น้อยกว่าช่วงระยะเวลาในการทำ Preloading ไม่ว่าขนาดพื้นที่จะแตกต่างกันมากน้อยอย่างไร นั้นหมายความว่าจำเป็นต้องใช้เวลาอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 8-9 เดือนในการรอให้ชั้นดินเกิดการทรุดตัวก่อนเริ่มทำการก่อสร้าง ในขณะที่วิธี Grouting ระยะเวลาที่ใช้จะสั้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการ Grout ในแต่ละหลุม ดังนั้นพื้นที่ขนาดเล็กจะใช้เวลาในการดำเนินการแล้วเสร็จด้วยเวลาอันสั้นกว่าวิธี Vertical Drain มาก แต่กับพื้นที่ขนาดใหญ่ที่จำนวนหลุมในการ Grout มาก ไม่เพียงแต่จะใช้เวลามากแล้วยังจะต้องเสียค่าดำเนินการสูงมากอีกด้วย



บทวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทวิเคราะห์

วิธี Geogrid

ข้อดี :

1. Geogrid สามารถใช้แก้ปัญหาการเคลื่อนตัวของดินเนื่องมาจาก slope ที่ชันมาก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. Geogrid สามารถช่วยในการถ่ายแรง อันเนื่องมาจากน้ำหนักที่กระทำสู่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาการทรุดตัวในระยะยาวได้ในกรณีที่ดินฐานรากมีสภาพเป็นดินอ่อน
3. Geogrid สามารถใช้ในการป้องกันการกัดเซาะผิวดิน (erosion) เนื่องจากสภาวะแวดล้อมได้
4. เนื่องจาก Geogrid ทำมาจากสารพวก Polymer ดังนั้น Geogrid จึงไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายจำพวก กรด ด่าง และเกลือ
5. Geogrid จะไม่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในดิน
6. Geogrid มีอายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 120 ปี
7. สามารถใช้ Geogrid ในงานผิวทาง Asphalt เพื่อช่วยลดระยะโก่งตัวลงมาได้เมื่อเทียบกับผิวทาง Asphalt ตามปกติ

ข้อเสีย :

1. เนื่องจากในปัจจุบัน Geogrid ยังไม่มีการผลิตภายในประเทศ โดยยังคงต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศ เป็นผลทำให้ราคาต่อหน่วยค่อนข้างสูงเนื่องมาจากภาษีทางการค้า
 2. ด้วยกระบวนการผลิตที่มีความยุ่งยากซับซ้อน ต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิต ประกอบกับ การนำมาใช้งานในประเทศไทยในปัจจุบันยังไม่กว้างขวางมากนัก ดังนั้นการที่จะสร้างโรงงานผลิตภายในประเทศจึงยังคงรอจังหวะต่อไป
 3. การติดตั้งต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญคอยควบคุมดูแล
 4. การใช้ Geogrid ในกรณีของดินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าขนาดของ Grid นั้นจะไม่ก่อให้เกิดประสิทธิผลดีขึ้นเท่าใดนัก
 5. ในการนำ Geogrid มาใช้ในงานผิวทาง Asphalt จะต้องระมัดระวังในเรื่องของความร้อนจาก Asphalt อันอาจส่งผลให้คุณสมบัติของ Geogrid เสื่อมไป (Geogrid เป็นวัสดุที่ทำมาจากสารพวก visco-elastic)
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการควบคุมระดับความดันในการฉีดให้เหมาะสม

8. ควรระมัดระวังการเลือกใช้สารที่ใช้ในการ Grout อันเนื่องมาจากอิทธิพลของน้ำใต้ดิน

Preconsolidation with Vertical Drain

ข้อดี :

1. เป็นการเร่งกระบวนการทรุดตัวของชั้นดินอ่อนให้เกิดขึ้นก่อนจะเริ่มทำการก่อสร้างเพื่อลดปัญหาการทรุดตัวของชั้นดินเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างภายหลังการใช้งาน

2. จากการที่น้ำในช่องว่างของมวลดินระบายออกมา จะเป็นผลต่อการเพิ่มความสามารถในการรับกำลังของมวลดิน

3. โดสวิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ

4. สามารถใช้ได้กับดินเหนียวอ่อนที่มีปริมาณน้ำตามธรรมชาติอยู่ในช่วง 80-120%

5. ใช้ได้กับดินที่มีความชื้นได้ในแนวดิ่ง ต่ำกว่าในแนวราบ

6. การเพิ่มการซับยึดตัวของดินฐานรากเดิม สามารถทำได้โดยการการเพิ่มระยะเวลาในการทำ Preloading หรือโดยการเพิ่มน้ำหนักถ่วงให้มากขึ้น

ข้อเสีย :

1. ต้องใช้เวลาในช่วง Preloading เพื่อให้ดินเกิดการทรุดตัว อย่างน้อย ๕-๘ เดือน

2. การใช้วิธี Vertical Drain จะมีความเหมาะสมกับดินที่มีสภาพเป็นดินเหนียวอ่อนซึ่งมีความสามารถในการรับกำลังต่ำ

ข้อเปรียบเทียบของการเลือกใช้ Soil Fill หรือ Vacuum Loading คือ :

1. จะใช้วิธีแรงดันสุญญากาศในกรณีที่ไม่สามารถหาดินจำนวนมากๆ ได้อย่างเพียงพอ

2. วิธีแรงดันสุญญากาศสามารถเพิ่มน้ำหนักได้โดยทันทีโดยไม่ต้องคำนึงถึงเสถียรภาพการเคลื่อนตัวของดิน ดังนั้นจึงสามารถลดระยะเวลาในการปฏิบัติการให้สั้นลงได้เป็นอย่างมาก

3. การทำ Preloading โดยดินถม จะต้องมีการตรวจสอบเสถียรภาพของดินเพื่อควบคุมน้ำหนักในการถ่วงให้เหมาะสมทั้งในช่วงก่อนหน้า และในระหว่างการปฏิบัติการ

4. โดยการใช้แผ่น membrane มักจะพบปัญหาในเรื่องของการรั่วซึมของอากาศทำให้แรงอัดเกิดขึ้นไม่เต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โดสวิถีการใช้ดินถมั้น จำเป็นที่จะต้องอาศัยการล่ำเลียงวัสดุเป็นจำนวนมากมาสู่พื้นที่ ดั้งนั้นจึงอาจก่อให้เกิดปัญหาตามมาเนื่องจากการขนส่ง เช่นในเรื่องของสภาพถนนที่ใช้เป็นเส้นทาง ล่ำเลียง หรือปัญหาการจราจรที่จะเกิดขึ้น

6. การใช้วิธีดินถมั้น สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการได้ค่อนข้างแน่นอนถ้า สภาพดินโคลนทั่วไปมีลักษณะใกล้เคียงกัน

7. ในปัจจุบัน วิธีแรงดันสูญญากาศยังไม่เป็นที่มั่นใจนักต่อการนำมาใช้กับบริเวณที่มีพื้นที่กว้าง มากๆ

8. ด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในประเทศ และจำนวนของผู้ที่มีความรู้ความชำนาญ ในเรื่องของ วิธีการ Preloading ด้วยวิธี Vacuum ซึ่งมีอยู่น้อย ดั้งนั้นการใช้วิธี Soil Fill น่าที่จะมีความ เหมาะสมกว่า

9. แผ่น Membrain ที่ใช้ปัจจุบันยังไม่มีการผลิตขึ้นในประเทศไทย

ข้อเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้แถบ PVD กับการใช้ Sand Column :

1. การติดตั้งแถบ PVD ทำได้รวดเร็ว เมื่อเทียบกับวิธี Sand Drain
2. ความต่อเนื่องของการระบายน้ำมีสูงกว่า Sand Column
3. ด้วยประสิทธิภาพในการซึมน้ำของ PVD สูงกว่า ทำให้การระบายน้ำได้ปริมาณมากกว่า
4. ในการติดตั้งแถบ PVD ดินจะถูกรบกวนน้อยกว่า การเจาะหลุมเพื่อทำ Sand Column
5. เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งแถบ PVD มีน้ำหนักเบา การเคลื่อนตัวเป็นไป อย่างคล่องตัว

6. สถานที่ปฏิบัติการจะสะอาดเรียบร้อย กว่าการทำ Sand Column

7. วัสดุที่ใช้เป็น PVD ปัจจุบันยังต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ราคาของวัสดุ ค่อนข้างแพง

8. การควบคุมระดับความลึกในการติดตั้งตัวระบายน้ำ โดยการใช้แถบ PVD จะสามารถ ควบคุมได้แน่นอนกว่า

เปรียบเทียบคุณสมบัติทั้งสามวิธีได้ดังนี้ คือ

1. โดยการใช้ Geogrid จะไม่เป็นการมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาการทรุดตัวเนื่องมาจากดินฐานรากเดิม แต่จะเป็นการมุ่งในการพัฒนาเสถียรภาพ และความสามารถในการรับกำลังของมูลดินถม
2. Geogrid สามารถนำมาใช้กับดินประเภทต่างๆได้เป็นอย่างดี
3. ด้วยคุณสมบัติของ Geogrid สามารถนำมาใช้ในการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าดินในบริเวณที่เป็น slope ซึ่งอีกสองวิธีไม่มีคุณสมบัติทางด้านนี้
4. ในการแก้ปัญหาการเลื่อนตัวของดินเนื่องจาก slope ที่มาก สามารถใช้ Geogrid หรือวิธี Grouting ในการแก้ไขได้
5. วิธี Preloading with Vertical Drains จำเป็นต้องรอเวลาให้ดินฐานรากเดิมเกิดการยุบอัดตัวอย่างน้อย 6-8 เดือน ดังนั้นในงานที่ต้องการ Grout เป็นจำนวนหลุมไม่มากนัก ระยะเวลาในการดำเนินการโดยวิธี Preloading with Vertical Drains อาจจะใช้เวลาในการดำเนินการมากกว่าการทำ Grouting มาก แต่ในขณะเดียวกันกับพื้นที่ที่ต้องทำการ Grout เป็นจำนวนมากระยะเวลาในการ Grout จะมากกว่าการทำ Preloading with vertical Drains ทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการนำมาใช้งานทั้งในเรื่องของเวลา และค่าใช้จ่าย
6. โดยวิธี Vertical Drains จะมีความเหมาะสมกับชั้นดินที่มีลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน และไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการใช้งานในลักษณะที่แตกต่างออกไปได้ เช่นการ Grouting
7. วิธี Preloading with Vertical Drains กล่าวได้ว่าเป็นวิธีที่ปรับปรุงคุณภาพดินในเรื่องของการเพิ่มความสามารถในการรับกำลัง และผลในระยะยาว ที่ประหัตที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ
8. ด้วยคุณสมบัติของ Soil Cement Columns จะทำหน้าที่ในการถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างผ่านชั้นดินอ่อนลงสู่ชั้นดินที่มีความสามารถในการรับกำลังที่ดีกว่า
9. การ Grout จะไม่มีผลทำให้ปริมาตรของดินเดิมลดลง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มกำลังของดินโดยตรง จึงไม่ต้องมีการเพื่อปริมาณดินถมเนื่องจากการทรุดตัวของดินฐานรากเดิม ดังนั้นในการปฏิบัติการโดยวิธีนี้จึงต้องการปริมาณดินถมน้อยกว่าการทำ Preloading โดย Soil Fill เป็นอย่างมาก
10. ประโยชน์จากการ Grouting นอกจากจะใช้ในการเพิ่มการรับกำลังของดินแล้ว ยังสามารถนำมาใช้ในการทำเป็น ผนังกันดิน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องทำ Bracing เช่นในการฝึชอง Sheet Piles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ดร.ชัย มุกตพันธ์, ดร.กาชโศ นากาชาวา
ปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก
: สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ พ.ศ.2526
2. ศ.วิไลนา ธรรมมงคล, ศ.ดร.วินิต ช่อวิเชียร
ปฐพีกลศาสตร์
: หจก.ป.สัมพันธ์พาณิชย์ พ.ศ.2532
3. ผศ.มานะ อภิพัฒนะมนตรี
วิศวกรรมปฐพี และฐานราก
: หจก.ธรรมกลการพิมพ์ พ.ศ.2533
4. มณฑิเตอร์ กังศศิเทียม
กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม
: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์
5. EDWARD WILLIAM BRAND, ROLF PETER BRENNER
SOFT CLAY ENGINEERING
: ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY 1981
6. AS BALASUBRAMANIAM, SCMANDRA, D.T BERGADO,
J.S YOUNGER, F.PRINZL
RECENT DEVELOPMENTS IN GROUND IMPROVEMENT TECHNIQUES
AA.BA LKEMA, ROTTERDAM, BOSTON 1985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. JOSEP E. BOWLES
FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN
Mc GRAW HILL BOOK COMPANY

8. NELTON'S CIVIL ENGINEERING
TENSAR
SHANLEY, BOLTON 5K.8/1990

9. W.F.VANIMPE
SOIL IMPROVEMENT TECHNIQUES AND THEIR EVOLUTION
AA.BALKEMA, ROTTERDAM, BROOKFIELD 1989

10. DEPARTMENT OF THE AIR FORCE MANUAL
GROUTING METHODS AND EQUIPMENT
DEPARTMENT OF THE ARMY AND THE AIR FORCE, FEBRUARY 1970

11. K.Y.LO, I.I.INCULET, K.S.HO
CANADIAN GEOTECHINICAL JOURNAL, Vol.28 1991
(Electroosmotic Strengthening of Soft Soil Sensitive Clays)

12. STS ENGINEERING CONSULTANT Co.,Ltd. in Cooperation with
THE NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE
FINAL REPORT : Independent Soil Engineering Study for Second
Bangkok International Airport Implementation Program