การปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธี

SOIL CEMENT COLUMNสำหรับ ดิน SOFT MARINE CLAY

(บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร)

โดย

นายธรรมฤทธิ์ คุณหิรัญ

นายภูมิพงศ์ บูรณวนิช

นางสาววรติกร ไทรงาม

นายวุฒิชัย ชุษณะโยธิน

วัน เดือน ปี 1 ส.ค. ๒๕๔๐.

เลขทะเบียน ๐๓๗๒๐๒

เลขเรียกหนังสือ T 38295 ธ331ก

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสา[illegible]นำไปใช้

037202

SOIL IMPROVEMENT BY SOIL CEMENT COLUMN FOR SOFT MARINE CLAY (KMITL AREA,BANGKOK)

BY

MR. THAMMARIT KOONHIRUN

MR. POOMPONG BURANAWANICH

MISS RATIKORN SAINGAM

MR. WOODTICHAI JUSHNAYOTHIN

A SPECIAL PROJECT SUBMITED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE

BACHELOR FOR CONSTRUCTION ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธี SOIL CEMENT COLUMN สำหรับดิน SOFT MARINE CLAY (บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร)
นักศึกษา	นายธรรมฤทธิ์ คุณหิรัญ รหัสประจำตัว 35104181
	นายภูมิพงศ์ บูรณวนิช รหัสประจำตัว 35104319
	นางสาวรติกร ไทรงาม รหัสประจำตัว 35104339
	นายวุฒิชัย ชุษณะโยธิน รหัสประจำตัว 35104408
หลักสูตร	วิศวกรรมโยธา **สาขาวิชา** วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล
	อาจารย์ แหลมทอง เหล่าคงถาวร

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล	
อาจารย์ สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	
อาจารย์ คมสัน มาลีสี	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(นาย อำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พศ. 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOIL IMPROVEMENT BY SOIL CEMENT COLUMN FOR SOFT MARINE CLAY

(KMITL AREA , BANGKOK)

BY

MR. THAMMARIT KOONHIRUN

MR. POOMPONG BURANAWANICH

MISS RATIKORN SAI-NGAM

MR. WOODTICHAI JUSHNAYOTHIN

ADVISOR

MR. SUPOJ SRINIL

MR. LAMTHONG LAOKONGTHAWORN

ABSTRACT

SOIL IMPROVEMENT BY SOIL CEMENT COLUMN FOR SOFT MARINE CLAY (KMITL AREA,BANGKOK),THIS SPECIAL PROJECT IS CONCERNED ABOUT SOIL CEMENT STABILIZATION , APPLYING AS SOIL CEMENT COLUMN METHOD TO SOLVE SOFT MARINE CLAY PROBLEM WHICH IS ONE IMPORTANT PROBLEM AND HAS VIOLENTLY EFFECT TO CIVIL ENGINEERING WORKS. THIS SPECIAL PROJECT ATTEMPT TO STUDY IN THREE PART AS FOLLOW :

1) STUDY ABOUT SOIL CEMENT COLUMN CONCEPTS : INTEND TO STUDY STRENGTH DEVELOPMENT OF SOIL CEMENT STABILIZATION, PROPERTIES AND BEHAVIORS OF SOFT MARINE CLAY WHEN MIXED WITH PORTLAND CEMENT TYPE I AND SOIL CEMENT COLUMN PROCESS, SUCH AS JET GROUTING, ROTARY MIXING , WET MIXING OR DRY MIXING METHOD.

2)LABORATORICAL TEST : TO TEST PROPERTIES AND BEHAVIORS OF SOFT MARINE CLAY WHEN MIXED WITH PORTLAND CEMENT TYPE I IN VARIOUS MIXED DESIGNS . UNCONFINED COMPRESSION TESTING AND VERTICAL STRESS TESTING ARE TWO LABORATICAL TEST. THIS RESULTS WILL BE USED IN SOIL CEMENT COLUMN DESIGN TO SOLVE SETTLEMENT PROBLEM IN ROAD CONSTRUCTION.

3) CASE STUDY : WHICH ARE CIVIL ENGINEERING PROJECTS IN THAILAND, THAT USED SOIL CEMENT COLUMN METHOD TO SOLVE SOIL ENGINEERING PROBLEMS.

FROM OUR STDYING , WE FINDED THAT SOIL CEMENT COLUMN WILL BE A NEW CHOICE FOR SOIL ENGINEERING WORKS IN THAILAND. BECAUSE THIS CONCEPT AND PROCESS OF THE METHOD ARE EASY TO UNDERSTAND, AND CAN BE APPLIED TO VARIOUS KIND OF SOIL ENGINEERING WORKS . NOWADAY IT WAS USED IN VARIOUS PROJECTS , SHOULD BE WIDELY STUDIED IN THE FUTURE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

ในการศึกษาโครงงานพิเศษเรื่องนี้ ทางคณะผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณ **อาจารย์ ดร. แดง เหรียญสุวรรณ** และ **อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล** ที่กรุณาให้คำแนะนำที่มีคุณค่า ซึ่งจุดประกายความคิดให้เกิดประเด็นการศึกษาในเรื่องนี้ ตลอดระยะเวลาการศึกษาโครงงานพิเศษ ทางคณะผู้ศึกษาได้มีโอกาสรับฟังความคิดเห็น คำแนะนำตลอดจนข้อมูลต่างๆ จากนักวิชาการและผู้เชี่ยวชาญหลายๆท่าน ดังรายนามต่อไปนี้

- ดร. ยงยุทธ แต้ศิริ กรมทางหลวง
- คุณยุทธนา คุวารนันท์เจริญ รองกรรมการผู้จัดการ TACE Ltd .
- ผศ. พินิต ตั้งบุญเติม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สจธ .
- คุณสมชัย กกกำแหง ประธานอนุกรรมการวิศวกรรมปฐพี วสท .
  (ประจำปี 2537 - 2538)
- คุณอนุวัตร ทองคำ วิศวกร บ. ไฮโดแฟลบ จำกัด
- พ.ต. แดง ประมวญรัตน ผู้จัดการ โครงการ SCB PARK PLAZA
- ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง
- คุณสุชาติ ลีรคมสัน กรมทางหลวง
- คุณอุเทศ แมวโสภี วิศวกร บ. เจษฎ์ไทยคอนสตรั้คชั่น จำกัด

นอกจากผู้มีพระคุณข้างต้นแล้ว ทางคณะผู้ศึกษายังได้รับความอนุเคราะห์ ทางด้านข้อมูลจากหน่วยงานและองค์กรต่าง ๆ ดังรายนามต่อไปนี้

- บัณฑิตวิทยาลัย มก.
- ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ สำนักหอสมุดกลาง มก.
- สำนักหอสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
- ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ
- ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจธ.
- ห้องสมุดวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
- ห้องสมุดกองวิเคราะห์และ วิจัย กรมทางหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บ. รวมนครก่อสร้าง จำกัด
- บ. เจ แอนด์ เจ คอนสตรั้คชั่น จำกัด
- กองบรรณาธิการวารสาร โยธาสาร และ ข่าวช่าง
- หน่วยปฏิบัติงานก่อสร้าง ถ. บางนา - บางปะกง (กม. 30) กรมทางหลวง

นอกจากบุคคลและองค์กรต่าง ๆ ข้างต้น ทางคณะผู้ศึกษายังได้รับคำแนะนำที่ดีจากคณาจารย์ภายในภาควิชาโดยเฉพาะอย่างยิ่ง **อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล , อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร** ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และ **อาจารย์ ดร. แดง เหรียญสุวรรณ** ซึ่งกรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนให้ข้อมูลเพิ่มเติมอย่างสม่ำเสมอ คณะผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุกท่าน ทุกหน่วยงาน ไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คุณลุงจำลอง คุณลุงฉะอ้อน และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติ**การภาควิชาวิศวกรรมโยธา สจธ.** ที่กรุณาอำนวยความสะดวก ในการใช้ห้องปฏิบัติการและอาคารสถานที่ ขอขอบคุณและขอบใจเพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกคน ที่ได้ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้ข้อมูลเพิ่มเติม ให้ยืมวัสดุอุปกรณ์ และให้กำลังใจด้วยดีตลอดระยะเวลาในการศึกษาโครงงานพิเศษ

สุดท้ายนี้ ขอมอบความดี และคุณประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาโครงงานพิเศษในครั้งนี้ ให้กับบุคคลผู้มีพระคุณอันยิ่งใหญ่ต่อคณะผู้ศึกษา อันได้แก่ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีอุปการะคุณ และเงินภาษีอากรของประชาชนที่ได้รับการจัดสรรเพื่อสนับสนุนการศึกษาในระดับอุดมศึกษา ขอมอบคุณประโยชน์เหล่านี้ เพื่อน้อมรำลึกถึงพระคุณอันยิ่งใหญ่ของบุคคลดังกล่าวข้างต้น ที่ได้กรุณามอบความรัก ความผูกพัน ความอบอุ่น ตลอดจนให้การอบรม สั่งสอน และการศึกษาแก่คณะผู้ศึกษา จนได้รับความสำเร็จในขั้นต้น มีโลกทรรศน์ที่เปิดกว้าง , ตระหนักถึงคุณค่าของการดำรงชีวิต เพื่อทำหน้าที่เป็นสมาชิกส่วนเล็กๆของสังคมอันแสนกว้างใหญ่ ณ เวลาปัจจุบันของชีวิต

นายธรรมฤทธิ์ คุณหิรัญ
นายภูมิพงศ์ บูรณวนิช
นางสาวรติกร ไทรงาม
นายวุฒิชัย ชุษณะโยธิน

27 เมษายน 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
1.3 แนวคิดที่ใช้ในการศึกษาโครงงานพิเศษ	2
1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	4
1.5 วิธีการที่ใช้ในการดำเนินงานโครงงานพิเศษ	6
1.6 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินงานโครงงานพิเศษ	7
บทที่ 2 SOIL CEMENT COLUMN	
2.1 SOIL CEMENT STABILIZATION	8
2.1.1 กลวิธีพัฒนากำลังของ SOIL CEMENT STABILIZATION	8
2.1.2 คุณสมบัติของดินเมื่อผสมด้วยซีเมนต์	11
2.2 SOIL CEMENT COLUMN	12
2.2.1 แนวคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับ SOIL CEMENT COLUMN	13
2.2.2 วิธี JET GROUTING	15
2.2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ JET GROUTING TECHNIQUE	15
2.2.2.2 เทคนิคในการก่อสร้าง SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี JET GROUTING	15
2.2.2.3 การศึกษาแนวคิดในการทำ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้งาน	18
2.2.3 วิธี ROTARY MIXING	25
2.2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการทำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี ROTARY MIXING	25
2.2.3.2 ลักษณะของเครื่องจักรและอุปกรณ์ประกอบการทำงาน	26
2.2.3.3 ลำดับขั้นตอนการทำงาน	32
2.2.3.4 การควบคุมคุณภาพในการทำ SOIL CEMENT COLUMN	33
2.2.3.5 ตัวอย่าง SOIL CEMENT COLUMN ในดินชนิดต่าง ๆ	38
2.2.3.6 ตัวอย่างการนำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี ROTARY MIXING ไปประยุกต์ใช้งาน	40
2.2.4 การจำแนก SOIL CEMENT COLUMN ตามลักษณะของสารผสมที่ใช้	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า

บทที่ 3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.1 ประเด็นที่ต้องการศึกษา 44

3.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ 44

3.3 สรุปตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ 45

3.4 ผลการทดสอบ 47

3.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ 50

3.5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ UNCONFINED COMPRESSTION TEST 50

3.5.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบความสามารถรับแรงอัดในแนวดิ่ง 50

บทที่ 4 การออกแบบและการใช้งานของ SOIL CEMENT COLUMN

4.1 การออกแบบ SOIL CEMENT COLUMN 65

4.1.1 IMEDIATE SETTLEMENT 65

4.1.2 การทรุดตัวเนื่องจาก LOCAL YIELD (FLOW) และ UNDRAINED CREEP 66

4.1.3 การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการอัดตัวคายน้ำ 66

4.1.4 การทรุดตัวเนื่องจาก การจัดเรียงกันใหม่ของอนุภาคดิน 66

4.2 หลักการของ SOIL CEMENT COLUMN 67

4.2.1 การรับน้ำหนักของ SOIL CEMENT COLUMN 67

4.2.2 การทรุดตัว 72

4.3 แนวคิดในการปรับปรุงฐานรากถนนบริเวณสจล. 75

4.3.1 ข้อมูลชั้นดิน 75

4.3.2 วิเคราะห์การทรุดตัวซึ่งพิจารณาจากการทรุดตัวแบบ CONSOLIDATION SETTLEMENT 78

4.3.3 การออกแบบเสาเข็มดินซีเมนต์ 82

บทที่ 5 กรณีศึกษา (CASE STUDY)

5.1 การศึกษาแนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากถนนสายบางนา - บางปะกง โดยวิธี SOIL CEMENT COLUMN 90

5.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า

5.1.2 แนวคิดในการนำเอาหลักการ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ในโครงการ 92

5.1.3 ลักษณะของเครื่องมือและขั้นตอนการทำงาน 96

5.1.4 แนวโน้มและอายุการใช้งานในอนาคต 98

5.2 การศึกษาแนวคิดในการใช้ SOIL CEMENT COLUMN ป้องกันปัญหา SLIDE FAILURE สำหรับการก่อสร้างถนน สายรังสิต - นครนายก ช่วงองครักษ์ - นครนายก 100

5.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ 100

5.2.2 แนวคิดในการนำเอาหลักการ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ในโครงการ 100

5.2.3 ลักษณะของเครื่องมือและวิธีการทำงาน 103

5.3 การศึกษาแนวคิดในการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้ทำ RETAINING WALL สำหรับอาคาร SCB HEAD OFFICE BUILDING PHASE I 110

5.3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ 110

5.3.2 แนวคิดหลักในการนำเอา SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ในโครงการ 112

5.3.3 ลักษณะของเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงาน 121

5.4 การศึกษาแนวคิดในการนำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี JET GROUTING มาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างฐานรากโครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพฯ แห่งที่ 2(หนองงูเห่า) 125

5.4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ 125

5.4.2 แนวคิดหลักในการนำเอา SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ในโครงการ 128

5.4.3 การออกแบบ SOIL CEMENT COLUMN 128

5.4.4 ลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง 135

5.4.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและแนวโน้มการใช้งานในอนาคต 137

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะจากโครงงานพิเศษ

บทสรุปและข้อเสนอแนะจากโครงงานพิเศษ 140

บรรณานุกรม 142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก	144
ก) ประมวลภาพขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินเหนียวอ่อนผสมปูนซีเมนต์-ปอร์ตแลนด์ที่ 1 ในอัตราส่วนต่าง ๆ	145
ข) ประมวลภาพงานปรับปรุงดินด้วยวิธี SOIL CEMENT COLUMN ถนนสายบางนา - บางปะกง (ขาเข้า) กม. 14 + 177 - กม. 41 + 000	152
ค) ประมวลภาพการปฏิบัติงานปรับปรุงดินโดยวิธี DRY MIXING เพื่อป้องกันปัญหา SLIDE FAILURE ถนนสายองครักษ์ - นครนายก	158
ง) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดินในเชิงวิศวกรรม	163
จ) การปรับปรุงคุณภาพดิน	172
ฉ) ข้อกำหนดพิเศษการก่อสร้าง deep stabilization ทางสายบางนา - ชลบุรี (ขาเข้า) กม. 14 + 177 - กม. 41 + 000	222

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงลักษณะ HOMOGENEOUS MIXING ที่เกิดขึ้นใน SOIL CEMENT COLUMN 10
2.2 แสดงโครงสร้างของ SOIL CEMENT COLUMN 11
2.3 แสดงตัวอย่าง SOIL CEMENT COLUMN 12
2.4 แสดงตัวอย่างของ SOIL CEMENT COLUMN 13
2.5 แสดงขั้นตอนกาาทำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี JET GROUTING 16
2.6 แสดงแนวคิดการปรับปรุงดินเพื่อเสริมความแข็งแรงให้ผนังกำแพงกันดินริมแม่น้ำ โดยวิธี SOIL CEMENT COLUMN 21
2.7 แสดงการทำกำแพง SOIL CEMENT COLUMN เป็นกำแพงทึบน้ำสำหรับงานเขื่อนปิดกั้นน้ำชั่วคราว 22
2.8 แสดงการทำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี ROTATY MIXING 25
2.9 แสดงชุดเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการทำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี ROTATY MIXING 26
2.10 แสดงตัวอย่างเครื่องจักรในการทำ SOIL CEMENT COLUMN ขนาด 40 ตัน 27
2.11 แสดงตัวอย่างเครื่องจักรในการทำ SOIL CEMENT COLUMN ขนาด 80 ตัน 28
2.12 แสดงตัวอย่างเครื่องจักรในการทำ SOIL CEMENT COLUMN ขนาด 100 ตัน ขนาด 2 จังหวะ 29
2.13 แสดงหัวเจาะและฉีดน้ำปูน 30
2.14 แสดงตัวอย่างของ MIXING PLAN 31
2.15 แสดงการเคลื่อนย้ายชุดอุปกรณ์ 31
2.16 แสดงขั้นตอนการทำSOIL CEMENT COLUMN 32
2.17 แสดงการเก็บตัวอย่างดินในบริเวณที่จะทำ SOIL CEMENT COLUMN 33
2.18 แสดงการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยผสมดินเดิมกับปูนซีเมนต์ในปริมาณต่าง ๆ 33
2.19 แสดงการบรรจุวัสดุผสมที่ได้ลงใน MOULD เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ต่อไป 34
2.20 แสดงตัวอย่างทดสอบคุณสมบัติ UNCONFINED COMPRESSTION TEST ของวัสดุผสม 34
2.21 แสดงการควบคุมปริมาณของปูนซีเมนต์ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ หน้า

2.22 แสดงการควบคุมปริมาณของน้ำที่จะใช้ผสม 35

2.23 แสดงการติดตั้งชุดหัวเจาะและฉีดน้ำปูนให้ได้ตำแหน่งตามต้องการซึ่งจะมีชุดควบคุมเพื่อที่จะแสดงตำแหน่งและทิศทางของหัวเจาะ 35

2.24 แสดงการทำงานของ FLOW METER ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมการไหลของน้ำปูนให้เป็นไปตามอัตราควบคุมที่ต้องการ 36

2.25 แสดงตัวอย่างในการทดสอบ LOAD TEST ของ SOIL CEMENT COLUMN ที่ได้อายุตามกำหนด 37

2.26 แสดงการ CORING SOIL CEMENT COLUMN เพื่อนำมาทดสอบ UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH 38

2.27 แสดงการทำ SOIL CEMENT COLUMN ในดินทราย โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 250 kg/m^3 W/C 1.2 :1 38

2.28 แสดงการทำ SOIL CEMENT COLUMN ในดินทราย โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 226 kg/m^3 W/C 1 :1 39

2.29แสดงการทำ SOIL CEMENT COLUMN ในดิน ORGANIC SOIL โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 350 kg/m^3 W/C 0.6 :1 39

2.30 แสดงตัวอย่างการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในงาน CUT OFF WALL 40

2.31 ตัวอย่างการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในงานก่อสร้างอาคารในส่วนของเสาเข็ม 41

2.32 แสดงตัวอย่างการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในงานฐานรากสำหรับ RETAINING WALL 42

3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่ W/C 1:1 51

3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่ W/C 1.5:1 52

3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่ W/C 2:1 53

3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ W/C ที่ 8% ซีเมนต์ 54

3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ W/C ที่ 10% ซีเมนต์ 55

3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ W/C ที่ 12% ซีเมนต์ 56

3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ W/C ที่ 15% ซีเมนต์ 57

3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่ W/C ต่าง ๆ อายุการบ่ม 3 วัน 58

3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่ W/C ต่าง ๆ อายุการบ่ม 7 วัน 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ **หน้า**

3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่ W/C ต่าง ๆ อายุการบ่ม 14 วัน 60

3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่ W/C ต่าง ๆ อายุการบ่ม 28 วัน 61

3.12 ค่า VERTICAL STRESS ที่ 28 วัน ของทุกปริมาณการผสมซีเมนต์ W/C 1:1 62

3.13 ค่า VERTICAL STRESS ที่ 28 วัน ของปริมาณการผสมซีเมนต์ 8 % ที่ W/C ต่าง ๆ 63

3.14 ค่า VERTICAL STRESS ที่ปริมาณการผสมซีเมนต์ W/C 1:1 64

4.1 ASSUMED FAILURE DIAGRAM OF SOIL CEMENT COLUMN 69

4.2 ASSUMED STRESS -STRAIN RELATIONSHIP OF SOIL CEMENT COLUMN 69

4.3 FAILURE MODES OF SOIL CEMENT COLUMN FOUNDATIONS 71

4.4 CALCULATION SETTLEMENT OF SOIL CEMENT COLUMN 73

4.5 CALCULATION OF DIFFERENTIAL SETTLEMENT 74

4.6 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำเป็นแบบบรรทุกของดินถม 78

4.7 แผนภูมิอิทธิพลออสเตอร์เบิร์ก 80

4.8 แสดงเส้นรอบรูปกลุ่มเข็ม 85

5.1 สภาพถนนบางนา - บางปะกง ที่จะทำการปรับปรุง 90

5.2 แสดงปริมาณการทรุดตัวตามแนวถนนบางนา - บางปะกง ที่เกิดขึ้นภายในระยะเวลา 10 ปี 91

5.3 การออกแบบใช้เสาเข็ม SOIL CEMENT รับถนนขาเข้าบางนา - บางปะกงในโครงการก่อสร้างปรับปรุง 94

5.4 รูปตัดแสดงแบบของการปรับปรุงคุณภาพดินชั้นฐานรากของถนนสายบางนา - บางปะกง 95

5.5 แสดงลักษณะชุดเครื่องจักรที่จะใช้ทำ SOIL CEMENT COLUMN ในถนนสายบางนา - บางปะกง 96

5.6 แสดงลักษณะหัวเจาะบริเวณใบมีดกวนดินซีเมนต์ 97

5.7 การเจาะเสาเข็ม SOIL CEMENT ใช้ระบบ COMPUTER ควบคุมและบันทึกข้อมูล 97

5.8 อัตราการทรุดตัวของชั้นดินเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากโดยใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ของถนนสายบางนา - บางปะกง กม. 30 99

5.9 แสดงข้อกำหนดพิเศษการก่อสร้าง DEEP STABILIZATION ทางหลวงหมายเลข 305 ดอนธัญบุรี - องครักษ์ นครนายก 101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ หน้า

5.10 แสดง SECTION ทางหลวงหรมายเลข 305 ดอนธัญบุรี - องครักษ์ นครนายก (SECTION II) ในส่วนที่ทำ SOIL CEMENT COLUMN 102

5.11 ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรในการติดตั้ง SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี DRY MIXING 105

5.12 แสดงรายละเอียดเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ทำSOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี DRY MIXING 106

5.13 แสดง REPORT (COMPUTER PRINTOUT) จากเครื่องจักรแบบ ROTARY MIXING แบบ DRY MIXING 107

5.14 ตัวอย่างที่แสดงจำนวนต้นและความลึกของ SOIL CEMENT COLUMN ที่ทำได้แต่ละวัน 109

5.15 แสดงพื้นที่ในส่วน SCB HEAD OFFICE BUILDING PHASE I 111

5.16 แสดงการนำ SOIL CEMENT COLUMN มาประยุกต์ใช้งานกำแพงกันดินชั่วคราว 112

5.17 แสดง LAYOUT PLAN ของกำแพงกันดินชั่วคราว 113

5.18 แสดงลักษณะของกำแพงกันดินชั่วคราวชนิด A และ B 114

5.19 แสดงลักษณะของกำแพงกันดินชั่วคราวชนิด C 115

5.20 แสดง SOIL IMPROVEMENT ZONE I 116

5.21 แสดง SOIL IMPROVEMENT ZONE II 117

5.22 แสดงการเจาะทำ SOIL CEMENT COLUMN 120

5.23 แสดงการกำหนดระดับความลึก ณ จุดปลายของ SOIL CEMENT COLUMN ซึ่งใช้ทำกำแพงกันดินชั่วคราว 120

5.24 แสดงชุดอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำงาน 121

5.25 แสดง LAYOUT PLAN ในส่วนของชุดอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำงาน 122

5.26 แสดงขั้นตอนในการก่อสร้าง SOIL CEMENT COLUMN 123

5.27 แสดงตำแหน่งที่ตั้งโครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพฯ แห่งที่ 2 (หนองงูเห่า) 126

5.28 แสดงสภาพชั้นดินอ่อนบริเวณหนองงูเห่า 127

5.29 แสดงค่าของ α ที่เปลี่ยนตามค่า UNDRAINED COHESION ของ CLAY 130

5.30 ลักษณะชั้นดินที่ใช้ในการออกแบบ 130

5.31 UNCONFINED COMPRESSION TEST RESULTS 133

5.32 UNCONFINED COMPRESSION TEST RESULTS (ต่อ) 134

5.33 แสดงแนวคิดในการนำSOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในงานฐานรากสนามบิน 136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่	หน้า

ภาคผนวก

ก) ประมวลภาพขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินเหนียวอ่อนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่หนึ่งและ WATER CEMENT RATIO ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

-ผ1: การเก็บตัวอย่างดิน (DISTURB SAMPLE) ที่ขุดในระดับความลึก 3.20-4.00 เมตร 146

-ผ2: การเตรียมส่วนผสมต่างๆก่อนทำการผสมกับดิน 146

-ผ3: การปั่นดินผสมน้ำปูน (UNCONFINED COMPRESSION TESTING) 147

-ผ4: สภาพของดินเหนียวอ่อน เมื่อปั่นผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 147

-ผ5: การปั่นดินผสมน้ำปูนในปริมาณต่างๆกัน (การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดในแนวดิ่ง) 148

-ผ6: สภาพดินเหนียวเมื่อปั่นผสมกับน้ำปูน 148

-ผ7: สภาพดินเหนียวเมื่อปั่นผสมกับน้ำปูน (ก่อนจะบรรจุลง MOULD) 149

-ผ8: การเตรียม MOULD สำหรับ UNCONFINED COMPRESSION TESTING 149

-ผ9: การบรรจุดินเหนียวที่ปั่นผสมกับน้ำปูนลง MOULD 150

-ผ10: การบรรจุตัวอย่างที่มีอัตราส่วนต่างๆ ลงในถุงพลาสติคที่ปิดสนิทเพื่อนำไปบ่มชื้น โดยนำกระสอบชุ่มน้ำคลุมทับ 150

-ผ11: วิธีการบ่มชื้น 151

ข) ประมวลภาพการปฏิบัติงานปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธี ถนนสายบางนา-ชลบุรี (ขาเข้า) กม.14+177-41+000

-ผ12,ผ13: ส่วนรถขุดเจาะงาน SOIL CEMENT COLUMN 153

-ผ14: ภาพโดยรวมของตัวขุดเจาะและก้านขุดเจาะ 154

-ผ15: การเคลื่อนย้ายตัวรถโดยใช้ตีนตะขาบ 154

-ผ16: ลักษณะกล่อง ELECTRONICS ที่ติดกับตัวรถคอยควบคุมอัตราการไหลและ ปริมาณน้ำปูน 155

-ผ17: ส่วนของท่อลำเลียง SLURRY 155

-ผ18: ลักษณะของตัวรถขุดเจาะ 156

-ผ19: ลักษณะของใบพัดเมื่อทำการติดตั้งเข้ากับก้านเจาะ 156

-ผ20: ส่วนประกอบของใบพัดซึ่งจะทำการติดตั้งที่ส่วนปลายของก้านเจาะ 157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ **หน้า**

ค.) ประมวลภาพการปฏิบัติงานก่อสร้าง SOIL CEMENT COLUMNเพื่อป้องกันปัญหา SLIDE FAILURE สำหรับการก่อสร้างถนนหมายเลข 305 ตอนองครักษ์-นครนายก ด้วยวิธี SOIL CEMENT COLUMN แบบ DRY MIXING

-ผ21,ผ22: ลักษณะของรถขุดเจาะ SOIL CEMENT COLUMN แบบ DRY MIXING 159

-ผ23: SILO เก็บปูนซีเมนต์ 160

-ผ24,ผ25: ส่วนของก้านขุดเจาะ SOIL CEMENT COLUMN แบบ DRY MIXING 161

-ผ26,ผ27: ตัวอย่าง SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี DRY MIXING 162

ง) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดินในเชิงวิศวกรรม

-ผ28: รูปหน้าตัดของดินสามเหลี่ยมของที่ราบลุ่มในแอ่งแม่น้ำเจ้าพระยา 164

-ผ29: หน้าตัดชั้นดินบริเวณ อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ถึง อ.เมือง จ.ชลบุรี 165

-ผ30: เขตดินชั้นบนสุดในประเทศไทย 166

-ผ31: บริเวณแหล่งดินตะกอนในประเทศไทย 167

จ) การปรับปรุงคุณภาพดิน

-ผ32: วิธีการปรับปรุงคุณภาพดิน 174

-ผ33: การจัดรางระบายในวิธีระบายน้ำที่พื้นผิว 183

-ผ34: วิธีใช้แผ่นรอง 185

-ผ35: PRE LOADING 186

-ผ36: วิธีลดระดับน้ำใต้ดิน 186

-ผ37: วิธีความดันบรรยากาศ 187

-ผ38: แสดงวิธีระบายน้ำในแนวดิ่ง 188

-ผ39: วิธีทำท่อระบาย 189

-ผ40: SAND DRAIN 190

-ผ41: LAYOUT OF SAND DRAIN 191

-ผ42: รูปตัดของกระดาษแข็ง 192

-ผ43: การฝังแผ่นกระดาษแข็ง 192

-ผ44: TYPICAL CROSS-SECTION OF PLASTIC BAND DRAINS 193

-ผ45: PLACEMENT OF BAND DRAINS 193

-ผ46: แผนภาพแสดงการรวมจุดของความเค้น 195

-ผ47: แรงเฉือนเฉลี่ยของฐานรากรวม 196

-ผ48: ตัวอย่างของวิธีเข็มทรายอัดแน่น 197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ หน้า

-ผ49: VIBROFLOTATION TECHNIQUE 198

-ผ50: แสดงเครื่องมือ VIBROFLOTATION 199

-ผ51: TREATMENT OF MIXED CLAYS AND SANDS 200

-ผ52: CONSTRUCTION SEQUENCE OF VIBRATED CONCRETE COLUMN 201

-ผ53: DROP PATTERN 202

-ผ54: DEPTH OF INFLUENCE AS FUNCTION OF IMPACT ENERGY FOR DYNAMIC COMPACTION 203

-ผ55: TREATMENT OF SUSPECT GROUND BY DYNAMIC 203

-ผ56: วิธีกระจัด 204

-ผ57: วิธีถ่วงน้ำหนัก 205

-ผ58: GROUND FREEZING WITH LIQUID NITROGEN 206

-ผ59: GROUND FREEZING LAYOUT FOR AN EXCAVATION 207

-ผ60: ตัวอย่างวิธีอัดฉีดสารละลายและแบบรูปของหลุมฉีด 212

-ผ61: แสดงเทคนิคในการติดตั้งเสาเข็มปูนขาว เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินในกรณีต่าง ๆ 216

-ผ62: แสดงลักษณะการทำงานของหัวเจาะและเครื่องปั่นในการผลิตเสาเข็มปูนขาว 218

-ผ63: ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรในการติดตั้งเสาเข็มปูนขาว 219

-ผ64: แสดงวิธีปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินอ่อนบริเวณก้นทะเล 221

-ผ65: การผสมและการกวน 221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการจำแนกการทำ DEEP STABILIZATION ตามลักษณะของสารผสม	43
3.1 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ UNCONFINED COMPRESSION TEST	45
3.2 แสดงจำนวนและลักษณะตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความสามารถรับกำลังในแนวดิ่ง	46
3.3 แสดงผลการทดสอบ UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH	48
3.4 แสดงผลการทดสอบความสามารถรับแรงอัดในแนวดิ่ง	49
4.1 ผลการเจาะสำรวจทางปฐพีกลศาสตร์จากหลุมเจาะบริเวณริมคลองประเวศน์ - บุรีรมย์ ภายใน สจล.	75
5.1 แสดงการผสมทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมสำหรับการทำ SOIL CEMENT COLUMN เพื่อป้องกันปัญหา SLIDE FAILURE	104
5.2 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างปริมาณซีเมนต์กับปริมาณดินที่ใช้ผสม 1 m^3	118
5.3 แสดงความเร็วของการขุดเจาะทำ SOIL CEMENT COLUMN	119
5.4 แสดงอัตราการเจาะและฉีดน้ำปูน	124
5.5 แสดงคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของตัวอย่างที่เจาะเก็บจาก SOIL CEMENT COLUMN ที่สร้างโดยวิธี JET GROUTING	132
5.6 แสดงการคาดคะเนการทรุดตัวของลานบินที่ก่อสร้างบนชั้นดินอ่อนหนา 23 ม.	138
5.7 แสดงการคาดคะเนการทรุดตัวของลานบินซึ่งรองรับด้วยกลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN 15 ม.	139

ภาคผนวก

-ผ1: ปัญหาต่างๆในกรณีที่ต้องกระทำบนชั้นดินอ่อน	175
-ผ2: ระเบียบวิธีปรับปรุงฐานราก	178
-ผ3: ความหนามาตรฐานของทรายรองพื้น	184
-ผ4: แสดงวัตถุประสงค์และงานที่ต้องใช้วิธีฉีดน้ำปูน	217
-ผ5: ปริมาณสารผสมที่ใช้ในการทำ DEEP STABILIZATION	223
-ผ6: ปริมาณของสารผสมที่ใช้ในการทำผสมทดลอง	226
-ผ7: ลักษณะของสารผสมที่จะใช้ทำผสมทดลอง	226

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ

ปัญหาเรื่องดินเหนียวอ่อน เป็นปัญหาสำคัญ ที่มีผลกระทบต่อการก่อสร้าง เนื่องจากดินมีความสามารถ ในการรับกำลังต่ำ และมีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลเนื่องมาจากน้ำหนักที่กดทับอยู่เหนือมวลดิน แนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวอาจจำแนกได้เป็นสองลักษณะใหญ่ ๆ คือ

1) การแก้ปัญหาโดยวิธีการยอมรับสภาพดินเดิม กล่าวคือจะไม่แก้ปัญหาเกี่ยวกับคุณสมบัติของดินอ่อน ข้อดีสำหรับกรณีนี้คือ ค่าก่อสร้างราคาถูก

2) การแก้ปัญหาโดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพของดินเดิม(ที่มีปัญหา) เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับกำลังของมวลดิน และลดการทรุดตัวที่จะเกิดขึ้นภายหลังการก่อสร้าง

สำหรับ SOIL CEMENT COLUMN เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวอ่อนอีกวิธีหนึ่ง ที่เริ่มจะนำเข้ามาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมโยธาในประเทศไทย แต่การศึกษาวิธีการดังกล่าว ยังเป็นการศึกษาในวงแคบ ทั้งยังขาดการสรุปข้อมูลทางวิชาการที่เป็นมาตรฐาน ดังนั้นควรจะมีการศึกษาวิธีการดังกล่าวในประเด็นรายละเอียดต่าง ๆ มากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1)เพื่อเป็นการศึกษาหลักการ ข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนโดยวิธี SOIL CEMENT COLUMN

2)เพื่อเป็นการศึกษาการพัฒนาความสามารถในการรับกำลังของดินเหนียวอ่อน เมื่อผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 ในปริมาณต่าง ๆกัน

3)เพื่อเป็นการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์(WATER CEMENT RATIO) ที่มีผลต่อความสามารถในการรับกำลังของดินเหนียวที่ผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ในปริมาณต่างๆกัน

4) เพื่อเป็นการศึกษาความสามารถรับแรงอัดในแนวดิ่งของดินเหนียวอ่อน เมื่อผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่หนึ่งในปริมาณต่างๆ และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (WATER CEMENT RATIO) ต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5) เพื่อเป็นการศึกษาอิทธิพลของวิธีการบ่มตัวอย่างที่มีผลต่อการพัฒนาความสามารถในการรับกำลังของดินเหนียวอ่อนผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ในปริมาณต่างๆกัน

6) เพื่อเป็นการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มตัวอย่าง ที่มีผลต่อการพัฒนาความสามารถในการรับกำลังของดินเหนียวอ่อนผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ในปริมาณต่างๆ กัน

7) เพื่อเป็นการศึกษาแนวคิดในการนำวิธีการ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในการแก้ปัญหาในการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน

8) เพื่อเป็นการแนวคิดของกรณีตัวอย่าง (โครงการทางด้านวิศวกรรมโยธาในประเทศไทย)ที่นำเอาหลักการของ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้ในงานปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน

1.3 แนวคิดที่ใช้ในการศึกษาโครงงานพิเศษ

1.3.1. SOIL CEMENT COLUMN

การปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวอ่อน โดยวิธี SOIL CEMENT COLUMN เป็นการปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้เครื่องจักร เจาะดินลงไปจนได้ระดับที่ต้องการแล้วทำการปั่นดินเดิมผสมกับน้ำซีเมนต์ที่ฉีดลงไป เพื่อให้ดินเดิมและน้ำซีเมนต์ทำปฏิกริยาต่อกัน จนกลายเป็นเสาเข็มดินซีเมนต์ (SOIL CEMENT COLUMN) ซึ่งจะต้องมีการควบคุมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความลึกของ SOIL CEMENT COLUMN ดินใน SOIL CEMENT COLUMN จะมีความแข็งแรงสูงขึ้น ทำให้เพิ่มความสามารถในการรับกำลัง และจะช่วยลดอัตราการทรุดตัวของดินเดิมลงได้

ในซีเมนต์จะมีสารประกอบหลัก 4 ชนิด คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaOSiO_2$) ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaOSiO_2$) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์($4CaOAl_2O_3Fe_2O_3$) โดยสารเหล่านี้จะทำปฏิกริยากับน้ำ อลูมินาและซิลิกาในดิน เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอะลูมิเนียมไฮเดรต (CAH) ซึ่งสารดังกล่าวจะเป็นตัวเชื่อมยึดอนุภาคของดินเข้าด้วยกันเป็นมวลที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น

ผลจากปฏิกริยาเคมีดังกล่าว จะทำให้เม็ดดินจับตัวเป็นก้อน ช่วยลดค่าความเหนียวของดิน (PLASTICITY) แล้วยังเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดินอีกด้วย ช่วยทำให้ลดการทรุดตัวในระยะยาว ซึ่งจากการศึกษาพบว่า มีการนำแนวคิดนี้ไปใช้ปรับปรุงคุณภาพดินของถนนสายบางนา-บางปะกง ซึ่งคาดคะเนว่าบางจุดจะมีการทรุดตัวของดินเดิมสูงถึง 2 เมตร ได้มีการออกแบบทำ SOIL CEMENT COLUMN ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ลึกประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 เมตร ระยะห่างระหว่างเข็ม 1.5 เมตร (จากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลาง) จากการคาดคะเนพบว่า SOIL CEMENT COLUMN จะทำให้การทรุดตัวเหลือเพียงประมาณ 35 เซนติเมตร ในระยะ 20 ปี

นอกจากนี้ SOIL CEMENT COLUMN ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ เช่น

- ทำเป็น RETAINING WALL
- เพิ่มเสถียรภาพให้กับ EMBANKMENT
- ทำเป็น SHEET PILE และ DIAPHRAM WALL
- เป็นฐานรากของโครงสร้างขนาดเบา

1.3.2 ข้อได้เปรียบของ SOIL CEMENT COLUMN

- สามารถทำงานติดตั้ง SOIL CEMENT COLUMN ได้รวดเร็ว (จากข้อมูลเครื่องจักร ในต่างประเทศ SOIL CEMENT COLUMN ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ลึก 15 เมตร สามารถติดตั้งได้ภายในเวลา 30 นาที ต่อต้น)
- ไม่ทำให้เกิดเสียงดังและการสั่นสะเทือน
- ราคาถูกเมื่อเทียบกับการใช้เสาเข็ม
- ทำให้เวลาโดยรวมของงานลดลง
- เนื่องจากวิธีนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพดิน จึงไม่มีผลกระทบกับสภาพดินเดิมและดินข้างเคียงมากเหมือนวิธีการใช้เข็มตอก

1.3.3 ข้อจำกัดของ SOIL CEMENT COLUMN

- เครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ทำงานมีราคาแพง
- ยังไม่มีมาตรฐานกำหนด สำหรับการนำแนวคิดนี้ไปใช้งาน
- เป็นแนวคิดใหม่สำหรับประเทศไทย เป็นเหตุให้ขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้
- การทำ SOIL CEMENT COLUMN จะต้องศึกษาสภาพข้อมูลของดินเดิมอย่างละเอียด เพื่อจะนำมาออกแบบ SOIL CEMENT COLUMN ให้เหมาะสมกับสภาพงานที่ใช้และสภาพพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

ในการศึกษาโครงงานพิเศษหัวข้อนี้ ได้วางแนวทางการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้

1.4.1) การศึกษาหลักการของ SOIL CEMENT COLUMN ซึ่งจะแยกเป็น 2 ประเด็น ดังนี้

1) การศึกษาทฤษฎี หรือแนวคิดเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนโดยวิธี SOIL CEMENT COLUMN ศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆของดินเหนียวอ่อนเมื่อผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1(ในอัตราส่วนผสมต่างๆกัน) เช่น คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางวิศวกรรม ศึกษาจุดเด่นและขีดจำกัด ตลอดจนแนวทางในการนำหลักการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งาน

2) การศึกษาแนวคิดในการนำเอาวิธีการ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในการแก้ปัญหาการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน

1.4.2) การทดสอบในห้องปฏิบัติการ จะทำการทดสอบคุณสมบัติของ SOIL CEMENT ใน 2 ลักษณะ คือ

1) UNCONFINED COMPRESSION TESTING (ASTM 2116)

2) การทดสอบความสามารถรับแรงอัดในแนวดิ่งของ SOIL CEMENT

โดยในการทดสอบมีตัวแปรที่ควบคุมดังต่อไปนี้

- ใช้ดินตัวอย่าง (DISTURB SAMPLE) ที่เก็บจากบริเวณก่อสร้างริมคลองประเวศบุรีรมย์ ภายในบริเวณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 3.20-4.00 เมตร
- ใช้ข้อมูลดินคงสภาพ (UNDISTURB SAMPLE) จากรายงานผลการเจาะสำรวจทางปฐพีกลศาสตร์ จากหลุมเจาะบริเวณริมคลองประเวศบุรีรมย์ ภายในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 ในการผสมกับดินเหนียวอ่อน โดยใช้ปริมาณ 8 %, 10 % , 12 % และ 15 % ของน้ำหนักดินเหนียวอ่อน
- อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 (WATER CEMENT RATIO หรือ W/ C) ใช้อัตราส่วนที่จะศึกษา 3 อัตราส่วน คือ 1:1, 1.5:1, 2:1

- อายุในการบ่มตัวอย่าง ได้แบ่งออกเป็น 4 ช่วงอายุดังนี้ คือ อายุการบ่ม 3 วัน, 7 วัน, 14 วัน, 28 วัน

- วิธีการบ่ม มี 2 วิธี คือ

1) **วิธีการบ่มชื้น** โดยใส่ตัวอย่างที่ผสมในอัตราส่วนต่างๆกันในถุงพลาสติคที่ปิดสนิท โดยนำกระสอบชุ่มน้ำคลุมทับ เก็บในห้องที่มีความชื้น แล้วพรมน้ำทุกวัน (ตลอดอายุการบ่ม)

2). **วิธีการแช่น้ำ** โดยแช่ตัวอย่างที่ผสมในอัตราส่วนต่างๆกัน ลงในน้ำตลอดอายุการบ่ม

สำหรับประเด็นที่ต้องการจะศึกษา คือ คุณสมบัติการรับกำลังอัดในแนวดิ่งของดินเหนียวอ่อนเมื่อผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 ในปริมาณต่างๆกัน โดยจะศึกษาใน 5 เรื่องหลัก ๆ ดังนี้

1) ความสามารถในการรับกำลังอัดในแนวดิ่ง
2) แนวโน้มของคุณสมบัติในการพัฒนากำลัง
3) อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่มีผลต่อความสามารถในการรับกำลังอัดในแนวดิ่ง
4) อิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างที่มีผลต่อความสามารถในการรักำลังอัดในแนวดิ่ง
5) อิทธิพลของวิธีบ่มตัวอย่าง ที่มีผลต่อความสามารถในการรับกำลังอัดในแนวดิ่ง

1.4.3) การศึกษากรณีตัวอย่าง(โครงการทางด้านวิศวกรรมโยธาในประเทศไทย) ที่นำเอาหลักการของ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้ในงานปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน โดยจะทำการศึกษาในประเด็นหลักๆดังต่อไปนี้

- แนวคิดหลักและลักษณะงานที่นำSOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้งาน
-วัสดุ,อุปกรณ์และเครื่องมือสำคัญๆที่ใช้ในงาน SOIL CEMENT COLUMN
- ขั้นตอนและวิธีการทำงาน SOIL CEMENT COLUMN
- งบประมาณและระยะเวลาในการทำงานในส่วนของ SOIL CEMENT COLUMN
- ปัญหาในการปฏิบัติงานและแนวทางแก้ไข
- แนวโน้มและอายุการใช้งานในอนาคตของ SOIL CEMENT COLUMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 วิธีการที่ใช้ในการดำเนินงานโครงงานพิเศษ

1.5.1 การเก็บรวบรวมและศึกษาข้อมูล

- ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากรายงานการวิจัย , บทความทางวิชาการ จากวารสารทางด้านการก่อสร้าง เนื้อหาทางทฤษฎีจากหนังสือต่างประเทศ ตลอดจนคำแนะนำและมุมมองความคิดเห็นจากนักวิชาการ, ผู้เชี่ยวชาญที่ได้มีการศึกษาและมีประสบการณ์เกี่ยวกับงาน SOIL CEMENT COLUMN

- ทำการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่อง SOIL CEMENT COLUMN ตลอดจนเนื้อหาที่เกี่ยวข้องด้านอื่นๆอย่างละเอียด

1.5.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทำการทดสอบ 2 เรื่อง คือ

-UNCONFINED COMPRESSION TESTING โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 2116

-การทดสอบความสามารถรับแรงอัดในแนวดิ่งของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมต่างๆกัน โดยทำการทดสอบตามแนวทางการศึกษาจากเอกสารทางวิชาการของกรมโยธาธิการและหนังสือ "เทคโนโลยีดินซีเมนต์ - แนวทางในการพัฒนาการอยู่อาศัยในชนบท" ของ ดร.วิชาญ ภู่พัฒน์ และ ผศ. จิรพัฒน์ โชติกไกร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (โดยบรรจุตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมต่างๆลงในแบบทรงกระบอกขนาด 15 เซนติเมตร คูณ 30 เซนติเมตร นำไปบ่มตามอายุ แล้วนำมาทดสอบหาความสามารถในการรับแรงอัดในแนวดิ่ง

1.5.3) การศึกษาแนวคิดของกรณีตัวอย่าง

เป็นการศึกษาแนวคิดของกรณีตัวอย่าง โครงการทางด้านวิศวกรรมโยธาในประเทศไทย ที่นำเอาหลักการของ SOIL CEMENT COLUMN มาประยุกต์ใช้งานโดยมีขอบเขตที่ต้องการศึกษาทั้งหมด 6 ประเด็นหลักๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วใน 1.4 (ขอบเขตโครงงานพิเศษ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.4) การวิเคราะห์วิจารณ์และสรุปผลที่ได้จากกระบวนการศึกษาทั้งหมด

เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการศึกษา ในขั้นตอนที่ 1.5.1 , 1.5.2 และ 1.5.3 มาวิเคราะห์ วิจารณ์และสรุปผลตามแนวทางการศึกษาที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น เพื่อจะได้เสนอแนวคิดที่ได้จากการศึกษา ซึ่งจะเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในประเด็นรายละเอียดอื่นๆ ที่น่าสนใจและน่าศึกษา ตลอดจนเป็นแนวทางในการประยุกต์หลักการของ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ประโยชน์ในงานด้านวิศวกรรมโยธาในประเทศไทยต่อไป

1.6 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการดำเนินงานโครงงานพิเศษ

1.6.1) ทำให้ทราบถึงหลักการของ SOIL CEMENT COLUMN

1.6.2)ทำให้ทราบถึงแนวโน้มเกี่ยวกับคุณสมบัติของ SOIL CEMENT COLUMN ในประเด็นต่างๆ 3 ประเด็นคือ

1) ความสามารถในการรับกำลังอัดในแนวดิ่ง
2) คุณสมบัติในการพัฒนากำลัง
3) อิทธิพลของ WATER CEMENT RATIO , ระยะเวลาในการบ่มและวิธีการบ่มที่มีผลต่อความสามารถในการรับกำลังอัดในแนวดิ่ง

1.6.3) ทำให้ทราบถึงแนวคิดในการนำเอาวิธีการ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในการแก้ปัญหาการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน

1.6.4) ทำให้ทราบถึงแนวทางในการนำเอาวิธี SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมโยธา (ในงานลักษณะอื่นๆ)

1.6.5) เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในประเด็นอื่นๆที่น่าสนใจและน่าศึกษา เกี่ยวกับเรื่อง SOIL CEMENT COLUMN อันที่จะทำให้เกิดการศึกษารายละเอียดมากยิ่งขึ้น จนกลายเป็นมาตรฐานสำหรับเรื่อง SOIL CEMENT COLUMN ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ ในการนำเอาหลักการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

SOIL CEMENT COLUMN

2.1 SOIL CEMENT STABILIZATION

2.1.1 กลวิธีพัฒนากำลังของSOIL CEMENT STABILIZATION

รศ. เกษม เพชรเกตุ และผศ. พินิต ตั้งบุญเติม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้นำเสนอเกี่ยวกับกลวิธีการพัฒนากำลังของSOIL- CEMENT STABILIZATION ไว้ในเอกสารประกอบการสัมนาเรื่อง " การปรับปรุงดินด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยวิธีผสมลึก " (SOIL CEMENT STABILIZATION BY DEEP MIXING METHOD) ดังต่อไปนี้

หลักการพัฒนากำลังรับแรงอัดของSOIL CEMENT เกิดจากปฏิกริยาCEMENT HYDRATION เป็นปฏิกริยา CEMENT HYDRATION ที่เกิดในSOIL CEMENT ก็จะคล้ายๆกับปฏิกริยา CEMENT HYDRATION ที่เกิดในคอนกรีต กล่าวคือเมื่ออนุภาคซีเมนต์สัมผัสกับน้ำ ซีเมนต์จะทำปฏิกริยากับน้ำ ได้ปฏิกริยาCEMENT HYDRATION ผลของปฏิกริยาเคมีดังกล่าว จะก่อให้เกิดสาร CALCIUM SILICATE HYDRATE (CSH) สาร CALCIUM ALUMINATE HYDRATE (CAH) และ CALCIUM HYDROXIDE ($Ca(OH)_2$) สาร CSH และ CAH จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเกาะยึด โดยสามารถเกาะยึดมวลเม็ดดินเข้าด้วยกันทำให้รวมตัวกันเป็นมวลดินขนาดใหญ่ที่มีความแข็งแรงสูงขึ้น

$Ca(OH)_2$ ที่เกิดจะทำปฏิกริยากับ SOIL SILICA และ SOIL ALUMINAในดินต่อไปอีก ทำให้เกิดสารCSH และCAH เพิ่มเติมจากปฏิกริยาที่เกิดจากซีเมนต์โดยตรง

ปฏิกริยาCEMENT HYDRATION สามารถจะเขียนออกมาในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้

CEMENT+H_2O-----------> CSH+CAH+$Ca(OH)_2$ -------- (1)

$Ca(OH)_2$-------------------> Ca^{--}+2(OH)

Ca^{++}+2(OH)+SOIL SILICA(SiO_2)---------->CSH -------- (2)

Ca^{++}+2(OH)+SOIL ALUMINA(AL_2O_3)------>CAH -------- (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลของปฏิกริยา CEMENT HYDRATION ในดินจะก่อให้เกิดสาร CSH และ CAH ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวเกาะยึดดังแสดงในสมการที่ (1) , (2) และ (3)

สมการที่ (1) เป็นสมการที่แสดงว่า CSH และ CAH เกิดจาก CEMENT HYDRATION โดยตรง ดังนั้น CSH และ CAH ที่เกิดจาก CEMENT HYDRATION โดยตรงนี้จะเรียกว่าเป็นปฏิกริยาแรก

สมการที่ (2) และ (3) เป็นสมการที่แสดงว่า CSH และ CAH เกิดจากกปฏิกริยาที่ต่อเนื่องระหว่าง $Ca(OH)_2$ กับ SILICA และ ALUMINAในดิน ดังนั้นจึงเรียกปฏิกริยาดังกล่าวว่าเป็นปฏิกริยาที่ 2

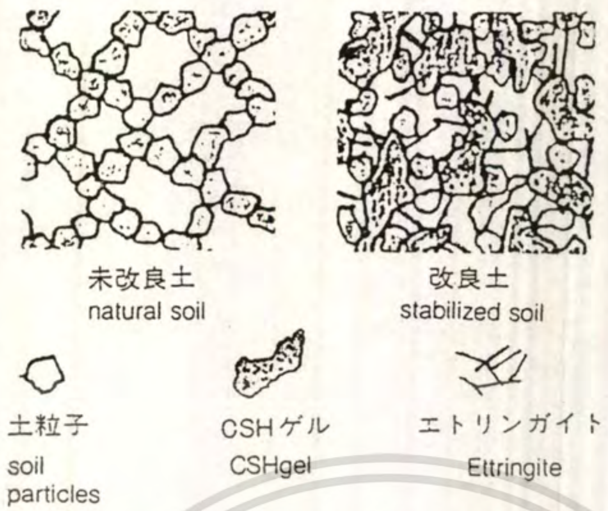
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะ HOMOGENEOUS MIXING ที่เกิดขึ้นใน SOIL CEMENT COLUMN

เอกสาร ... ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic picture of structure



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของ SOIL CEMENT COLUMN

2.1.2 คุณสมบัติของดินเมื่อผสมด้วยซีเมนต์

จากการศึกษาวิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เรื่อง " การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯโดยวิธีผสมซีเมนต์ " (CEMENT STABILIZATION OF SOFT BANGKOK CLAY) ซึ่งศึกษาวิจัยโดย คุณ อนุวัตร ทองคำ (พ.ศ.2536) ได้นำเสนอเรื่อง คุณสมบัติของดินเมื่อผสมด้วยซีเมนต์ ไว้ดังต่อไปนี้

1) ความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่าง เนื่องจากปฏิกริยาซีเมนต์ไฮเดรชัน จะทำให้เกิดแคลเซียมอิออน แล้วมีการแลกเปลี่ยนหรือรวมตัวกันของประจุไฟฟ้ารอบเม็ดดิน ทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างกัน เม็ดดินจึงจับตัวกันเป็นก้อน

2) การยึดประสาน ในการบดอัดดินซีเมนต์ ส่วนประกอบต่างๆของซีเมนต์จะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นในเวลาต่างกันไป เม็ดดินจะเกิดการเกาะยึดกันเป็นก้อนและสามารถรับแรงอัดได้ การยึดเกาะกันนี้จะเกิดขึ้นทั้งระหว่างเม็ดดินกับซีเมนต์ และซีเมนต์กับซีเมนต์เอง และเม็ดดินกับซีเมนต์ ซึ่งแยกประเภทสำหรับดินเม็ดละเอียดและดินเม็ดหยาบ ดังนี้

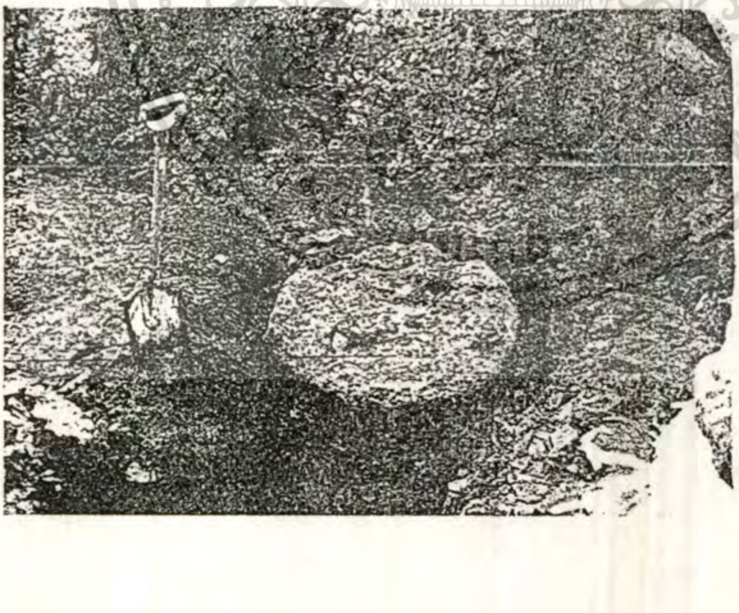
2.1) ดินเม็ดละเอียด การผสมซีเมนต์กับเม็ดดินละเอียดนั้น ทำได้ทั้งชนิด CLAYEY และ SILTY SOIL แต่ต้องใช้ปริมาณซีเมนต์สูงกว่าดินชนิดเม็ดหยาบ เพราะว่าดินชนิดเม็ดละเอียดมีพื้นที่ผิวและจุดสัมผัสมากกว่าชนิดเม็ดหยาบ โดยซีเมนต์จะเป็นตัวช่วยในการเกาะตัวกันของเม็ดดินให้แข็งแรงขึ้น ดังนั้นนอกจากซีเมนต์จะเป็นตัวช่วยลดค่าความเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(PLASTICITY) แล้ว ยังช่วยในการเพิ่มค่ากำลังรับแรงเฉือน (SHEAR STRENGTH) ของดินอีกด้วย ทั้งนี้เพราะปฏิกริยาเคมีของซีเมนต์จะเข้าไปแทนที่ ทำให้ลดการบวมและอ่อนตัวของดินเมื่อมีน้ำภายนอกซึมเข้าไปอีก

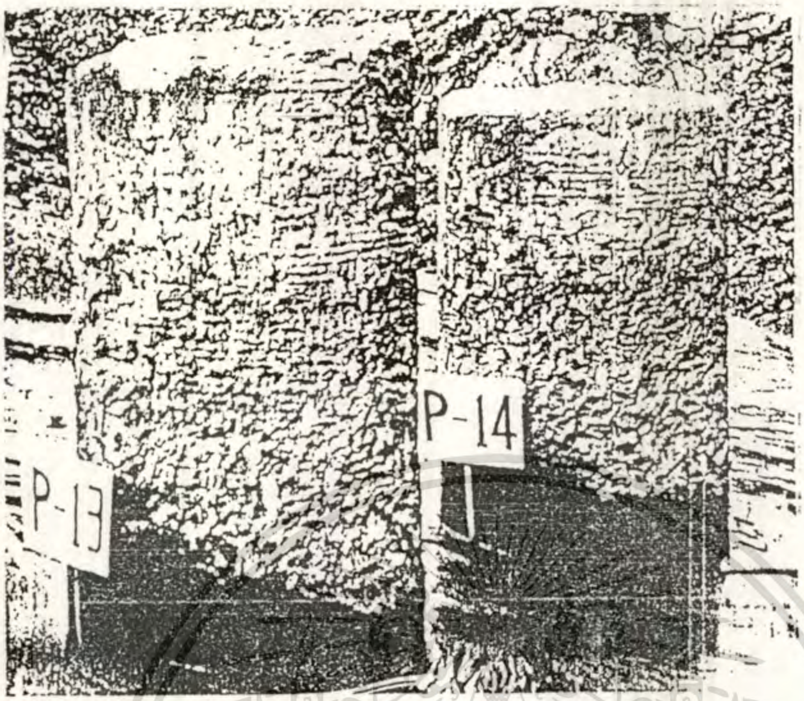
2.2) ดินเม็ดหยาบ ในกรณีของดินชนิดเม็ดหยาบ ปฏิกริยาของซีเมนต์จะทำหน้าที่คล้ายกับการผสมคอนกรีต เว้นแต่ว่าซีเมนต์เพสท์ (CEMENT PASTE) จะไม่ไปช่วยอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน การยึดเกาะกันก็จะมีทั้งการเกาะกันทาง MECHANICAL INTERLOCK และ CHEMICAL CEMENTATION กรณีของทราย การยึดเกาะกันจะเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัส เมื่อทรายมีการบดอัดแน่น ช่องว่างระหว่างเม็ดทรายจะมีน้อย พื้นที่ผิวสัมผัสมาก การยึดเกาะกันก็จะแข็งแรงขึ้น แต่ถ้าเป็นทรายชนิดเม็ดขนาดเดียวกันตลอด (UNIFORM GRADE)พื้นที่ผิวสัมผัสจะมีน้อย การใช้ซีเมนต์จึงต้องมีปริมาณมากขึ้นกว่าชนิดที่มีขนาดคละกันดี (WELL GRADED)

2.2 SOIL CEMENT COLUMN



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่าง SOIL CEMENT COLUMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของ SOIL CEMENT COLUMN

2.2.1 แนวคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับ SOIL CEMENT COLUMN

-แนวคิดในการทำ SOIL CEMENT COLUMN ได้มีการพัฒนามาจากเทคนิคการปรับปรุงคุณสมบัติดินรองพื้นถนนด้วยการผสมซีเมนต์ แนวคิดนี้นิยมใช้กันแพร่หลายในต่างประเทศ อาทิเช่น ประเทศญี่ปุ่น , จีนหรือยุโรป

- ลักษณะในการทำ SOIL CEMENT COLUMN คล้ายกับการทำเข็มเจาะแต่จะไม่เจาะเอาดินขึ้นมา แต่มีใบมีดตัด และกวนดินให้เข้ากับน้ำปูนที่ฉีดลงไปจากหัวเจาะ SOIL CEMENT COLUMN จะมีขนาดสม่ำเสมอ ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของดินข้างเคียง ซึ่งจะเกิดขึ้นมาในงานเข็มตอก ทั้งยังไม่ต้องเจาะเอาดินขึ้นมา จึงทำให้ลดเวลาในการทำงานลง

- การทำ SOIL CEMENT COLUMN มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินเดิม ซึ่งอาจจะมีคุณภาพต่ำหรือไม่เหมาะสมกับการที่จะใช้ในงานก่อสร้าง โดยปรับเปลี่ยนสภาพให้ดินแข็งแรง มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปมากขึ้น ทั้งยังมีความทึบน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของวัสดุผสมที่เกิดขึ้นใน SOIL CEMENT COLUMN เกิดขึ้นจากขบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในมวลดินไปอย่างถาวร และจะไม่ย้อนกลับไปสู่สภาพดินเดิมอีกต่อไป (IRREVERSIBLE PROCESS)

- แนวคิดในการนำ SOIL CEMENT COLUMNไปประยุกต์ในการใช้งานนั้น สามารถนำไปใช้งานได้ในหลายๆลักษณะ ยกตัวอย่างเช่น งานก่อสร้างกำแพงกันดินชั่วคราว (TEMPORARY EARTH RETAINING STRCTURE) งานเสริมความแข็งแรงของดินที่ก้นบ่อขุดเพื่อต้านทานการยกตัวในงานขุดดิน งานปรับปรุงดินฐานรากซึ่งเป็นชั้นดินอ่อนที่หนามากเพื่อรองรับคันดินถม (FOUNDATION IMPROVEMENT FOR EARTH EMBANKMENTS) งานเสริมความมั่นคงให้กับดินตลิ่งริมแม่น้ำทั้งที่มีหรือยังไม่มีโครงสร้างกำแพงคอนกรีตป้องกันตลิ่ง หรืองานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำผ่านเข้าไปในบริเวณที่ต้องการป้องกัน(IMPERVIOUS CUT-OFF)

- ในการศึกษาโครงงานพิเศษในเรื่องนี้ ได้ศึกษาบทความทางวิชาการ งานวิจัย หนังสือวิชาการที่เกี่ยวข้องทั้งในและนอกประเทศ ตลอดจนการรับฟังความคิดเห็นในมุมมองต่างๆจากผู้เชี่ยวชาญ , นักวิชาการ , นักวิจัย , วิศวกร ตลอดจนผู้ที่เคยควบคุมการก่อสร้างในส่วน SOIL CEMENT COLUMN โดยพอจะสรุปและจำแนกลักษณะของ SOIL CEMENT COLUMN ได้เป็น 2 ลักษณะดังต่อไปนี้

1)การจำแนก SOIL CEMENT COLUMN ตามลักษณะการทำงานของเครื่องมือ เครื่องจักร ในการทำงาน ซึ่งมี 2 ชนิด คือ

- วิธีJET GROUTING (ศึกษาตามแนวคิดของคุณ สมชัย กกกำแหง วิศวกรระดับ 10 ฝ่ายสำรวจ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (วย.867) ประธานคณะอนุกรรมการวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมปฐพี วสท. ประจำปี 2537-2538)

- วิธี ROTARY MIXING (ศึกษาตามลักษณะเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการทำ SOIL CEMENT COLUMN ในการทำกำแพงกันดินชั่วคราว โครงการ SCB HEAD OFFICE BUILDING PHASE I)

2) การจำแนก SOIL CEMENT COLUMN ตามลักษณะของสารผสมที่ใช้ (โดยยึดตามแนวทางการทำ DEEP STABILIZATION ของกรมทางหลวง) ซึ่งจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- WET MIXING
- DRY MIXING

(รายละเอียดของวิธีทั้งหมดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป)

2.2.2 วิธี JET GROUTING

2.2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ JET GROUTING TECHNIQUE

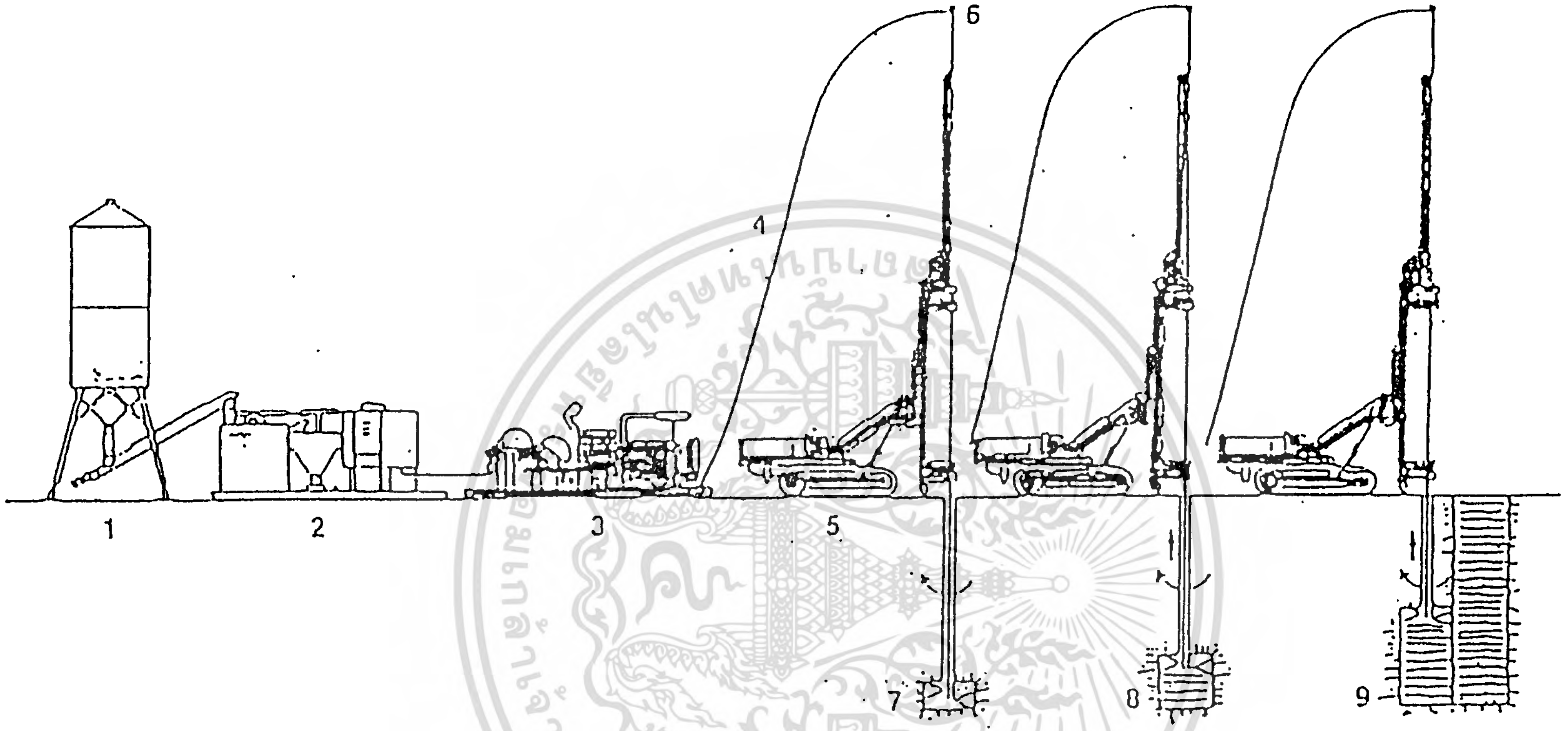
- JET GROUTING เป็นเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินโดยอาศัยการฉีดน้ำปูนซีเมนต์ด้วยความดันสูง (HIGH PRESSURE)ในระดับ 200 - 400 BAR เข้าไปกวนผสมกับดินเดิมจนเป็นเนื้อเดียวกัน และเกิดการเชื่อมประสานทางเคมี (CHEMICAL BOND)ขึ้นระหว่างอนุภาคของดินกับซีเมนต์

- JET GROUNTING คิดค้นขึ้นมาใช้ในงานวิศวกรรมปฐพีเป็นครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น และแพร่หลายเป็นอย่างมากในยุโรป สำหรับในประเทศไทย เพิ่งจะนำเข้ามาใช้ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา แต่ในระยะแรกยังไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง (ประมาณ 2,500-3,000 บาท ต่อลูกบาศก์เมตร) ประกอบกับการขาดผู้เชี่ยวชาญ และเทคนิคในการทำงานที่ดีพอ แต่ในปัจจุบันนี้ ได้มีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และค่าใช้จ่ายโดยรวมลดต่ำลงเหลือประมาณ 1,200 - 1,500 บาทต่อลูกบาศก์เมตร จึงเริ่มได้รับการยอมรับ และนำไปประยุกต์ใช้งานมากยิ่งขึ้น

2.2.2.2 เทคนิคในการก่อสร้าง SOIL CEMENT STABILIZATION ด้วยวิธี JET GROUNTING

- JET GROUNTING เป็นวิธีการทำให้ดินแข็งแรงขึ้นโดยการฉีดน้ำปูนเข้าไปผสมรวมกับดินด้วยความดันในระดับสูง ผ่านรูเล็กๆซึ่งมีขนาดประมาณ 1.8 - 3.5 มิลลิเมตร และเรียงตัวอยู่ในแนวนอนรอบส่วนปลายล่างของก้านเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. Cement silo
2. Mixing plant
3. High pressure pump
4. High pressure hose
5. Jetting drilling rig
6. High pressure swivel head
7. Drilling step
8. Lifting back and injection step
9. Process cycle finishing and repeating

รูปที่ 2.5 แสดงขั้นตอนการทำ SOIL CEMENT COLUMN
โดยวิธี JET GROUTING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในขณะทำงาน เครื่องเจาะฉีดน้ำปูน จะหมุนและกดก้านเจาะที่มีปลายล่างปิด เจาะแหวกดินลงไปช้าๆ พร้อมทั้งฉีดน้ำตัดดินลงไปด้วยความดันสูง เมื่อถึงชั้นความลึกที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพดินจะหมุนก้านเจาะพร้อมทั้งดึงก้านเจาะช้าๆในขณะเดียวกันจะฉีดน้ำปูนซีเมนต์ด้วยความดันสูงในระดับ 200 - 400 BAR ผ่านรูเล็กๆออกไปกวนผสมกับดิน (กระแสน้ำปูนที่มีความเร็วประมาณ 200เมตรต่อวินาทีหรือสูงกว่า) น้ำปูนจะทำงานในลักษณะคล้ายใบพัดของเหลวที่มีกำลังทะลุทะลวงสูงตัดย่อยดินเดิมให้ผสมกับน้ำปูนเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่หมุนดึงก้านเจาะขึ้นช้าๆ วัสดุผสมจะก่อตัวเป็นรูปทรงกระบอกในลักษณะที่เรียกว่า SOIL CEMENT COLUMN (ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ผสมกับดินขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และความแข็งแรงของวัสดุผสมที่ต้องการ ส่วนใหญ่ปริมาณซีเมนต์จะอยู่ระหว่าง200-300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเมตรของวัสดุผสม อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ของน้ำปูนที่ฉีดระหว่าง 1:1 - 2:1 ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตามธรรมชาติที่มีอยู่ในดินและความข้นเหลวของวัสดุผสมที่ต้องการ)

- พลังงานจลน์ของน้ำปูนจะลดลงเนื่องจากถูกแรงเสียดทานภายในมวลดิน จนสลายหมดไปในช่วงระยะทางหนึ่งที่น้ำปูนแหวกผ่านเนื้อดินออกไป ระยะรัศมีของการฉีดน้ำปูน จะขึ้นอยู่กับการอัดตัวแน่นของเนื้อดิน ระยะเวลาที่คงที่ของการฉีดน้ำปูน ไว้ในช่วงความลึกหนึ่งๆ ความดันของน้ำปูนและขนาดของรูเล็กๆที่ปล่อยน้ำปูนออกไปจากก้านเจาะ

- วัสดุผสมที่เกิดขึ้นใน SOIL CEMENT COLUMN จะกลายเป็นของผสมที่มีเนื้อผสมสม่ำเสมอ และในชั่วระยะเวลาเพียง 1-2 สัปดาห์ ความแข็งแรงของ SOIL CEMENT COLUMN จะพัฒนาสูงขึ้นถึงระดับที่ได้คำนวณออกแบบความแข็งแรงเอาไว้ (*STIFF CLAY*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 การศึกษาแนวคิดในการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้งาน

จากการศึกษาพบว่าได้มีการนำเสนอกรณีตัวอย่าง ในการทำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธีไปประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมปฐพีในประเทศไทย สามารถจัดแบ่งกลุ่มได้ตามลักษณะการใช้งานเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1) ใช้ปรับปรุงดินฐานราก (FOUNDATION SOIL) เพื่อเพิ่ม BEARING CAPACITY ของชั้นดินอ่อน และเพื่อลดการทรุดตัวของคันดินถมที่จะก่อสร้างบนชั้นดินอ่อนนั้น

กรณีตัวอย่าง

ลักษณะโครงการ

งานก่อสร้างสถานีบริการเติมน้ำมันแห่งหนึ่งที่บางบ่อ

(PETROLIUM FUEL STATION : BANG BO)

ข้อมูลดิน

ชั้นดินอ่อนหนาประมาณ 20 เมตร ความชื้นตามธรรมชาติสูงประมาณ 80-100% พื้นที่เดิมมีผิวดินอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งน้ำท่วมได้ง่าย

ลักษณะงานก่อสร้าง

เนื่องจากพื้นที่เดิมอยู่ในระดับต่ำ จึงมีการวางแผนที่จะถมดินขึ้นมาให้สูงประมาณ 1.5 เมตร และจะเทลานคอนกรีตหนาประมาณ 0.2 เมตร ทั่วบริเวณที่จะให้บริการ

การคาดคะเนการทรุดตัว

-จากการคาดคะเนการทรุดตัวของผิวลานดินเฉพาะที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก(ดินถม)จะเกิดการทรุดตัวไม่น้อยกว่า 1.70 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ตัวอาคาร และจุดบริการเติมน้ำมันวางอยู่บนเสาเข็มยาวที่หยั่งลงไปถึงชั้นดินแข็ง ด้วยเหตุนี้จึงคาดคะเนว่าน่าจะเกิดการทรุดตัวที่แตกต่าง (DIFFERENTIAL SETTLEMENT) ขึ้นในปริมาณสูง ระหว่างทางวิ่งของรถที่จะเข้ามาใช้บริการกับฐานแท่นบริการเติมน้ำมัน

ปัญหาอื่นๆ

ปัญหาที่พบอีกปัญหาหนึ่ง คือขณะที่ถมดินยังไม่ถึงระดับที่กำหนดคันดินถมในส่วนที่ใกล้กับขอบของบริเวณที่ถมดินเกิดการยุบตัวลง และไม่สามารถจะ ถมดินให้สูงขึ้นมาถึงระดับที่ต้องการได้ในช่วงเวลาที่กำหนด งานก่อสร้างจึงหยุดชะงักไปบางส่วน

การใช้ SOIL CEMENT COLUMN เพื่อแก้ปัญหา

- จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ได้มีแนวคิดในการทำ SOIL CEMENT COLUMN เพื่อช่วยลดการทรุดตัวในระยะยาว และเพื่อป้องกันการวิบัติ ในขณะก่อสร้าง
- ในการแก้ปัญหาดังกล่าว ได้มีการจัดทำ SOIL CEMENT COLUMN ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เมตร ยาว 15.0 เมตร วางห่างกัน 2.0 เมตร ทั้ง 2 ทิศทาง ปูพรมทั่วทั้งบริเวณลานดินถม โดยก่อสร้าง SOIL CEMENT COLUMN ทั้งหมดจำนวน 1,250 ต้น สามารถทำสำเร็จได้ภายในเวลาเพียง 1 เดือน โดยใช้เครื่องจักรเจาะฉีดน้ำปูน 2 ชุด

2) ใช้ปรับปรุงคุณภาพดินที่มีคุณภาพต่ำ เพื่อเพิ่มความมั่นคงให้ผนังบ่อขุด สำหรับต้านแรงดันดินก่อนที่จะเริ่มงานขุด หรือปรับปรุงดินเพื่อเสริมความแข็งแรงให้ผนังกำแพงกันดินริมแม่น้ำที่มีแนวโน้มจะชำรุดเสียหาย

กรณีตัวอย่าง

ลักษณะโครงการ

เขื่อนริมแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ และเขื่อนริมแม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา

037202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะปัญหา

การก่อสร้างเขื่อนกันดินโดยทั่วไป ปกติจะใช้แผงคอนกรีตเสียบระหว่างเสาเข็มคอนกรีต ปัญหามักจะเกิดจากกระแสน้ำกัดเซาะดินในส่วนท้องลำน้ำด้านหน้าเขื่อน จนทำให้แรงดันด้านข้างของดินที่ตีนเขื่อนด้านหน้า (PASSING RESISTANCE) ลดลง เสาคอนกรีตส่วนล่างเคลื่อนตัวออกไปทางแม่น้ำ แผ่นคอนกรีตที่เสียบกันดินระหว่างเสาเคลื่อนจากตำแหน่งเดิมและอาจแตกหัก ดินอ่อนและดินถมจากด้านในไหลลอดใต้แผงคอนกรีตลงไปในแม่น้ำและถูกกระแสน้ำพัดพาไป ขบวนการนี้จะเกิดต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆและเมื่อเขื่อนกันดินส่วนล่างขยับตัวออกไปทางด้านแม่น้ำมากถึงระดับหนึ่ง จะส่งผลให้เกิดแรงดัดสูงจนคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ดึงรั้งหัวเสาทนรับแรงดึงไม่ไหว คานยึดรั้งจะแตกหัก และหมดสภาพการใช้งานทำให้เขื่อนกันดินส่วนนั้นเคลื่อนตัวมากขึ้น จนพังทลายในท้ายที่สุด

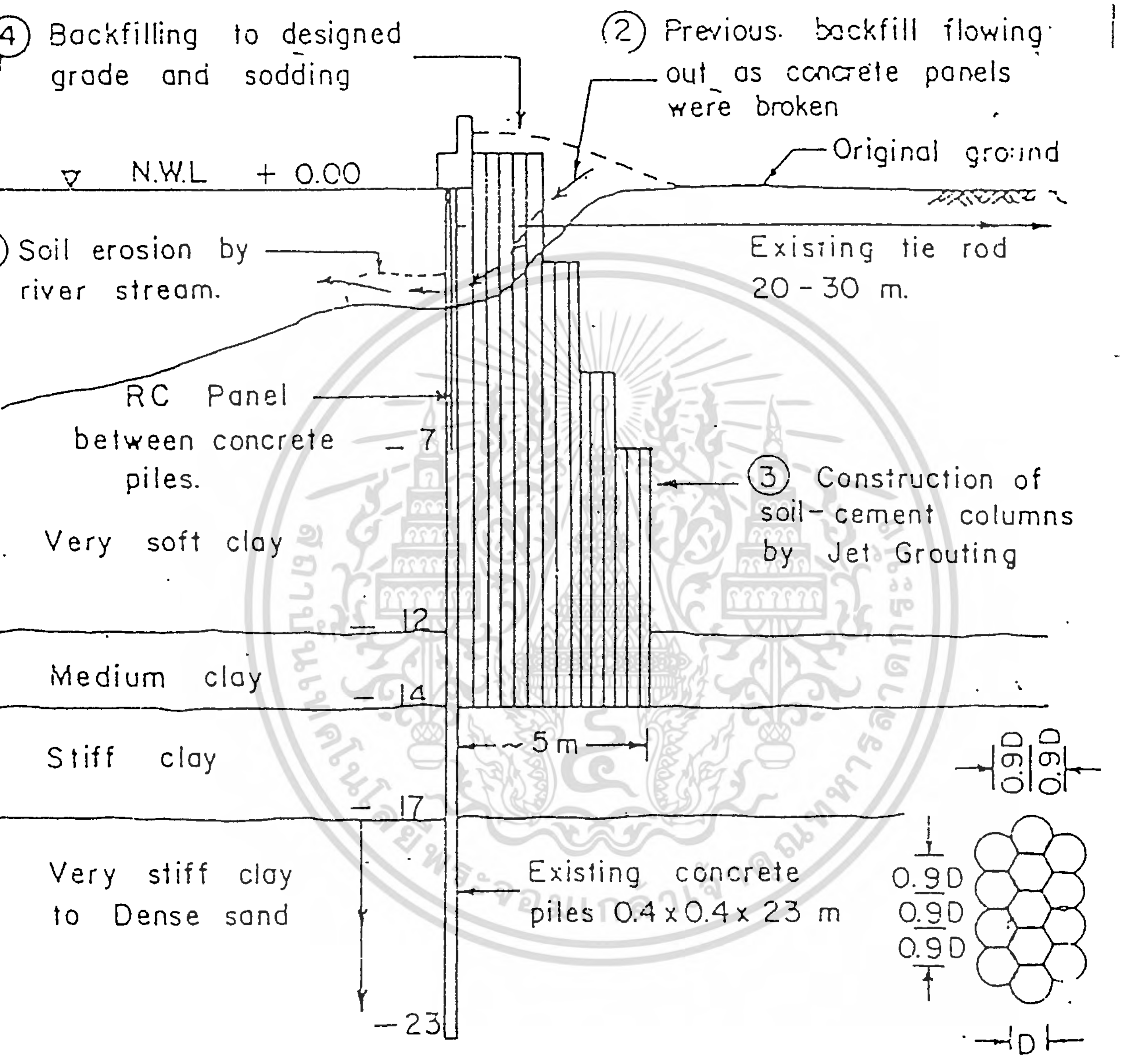
แนวคิดหลักในการนำ SOIL CEMENT COLUMN แก้ปัญหา

จากปัญหาดังกล่าว เราสามารถใช้ SOIL CEMENT COLUMN เสริมความแข็งแรงให้กำแพงเขื่อนคอนกรีต ในลักษณะเป็นกำแพงต่อเนื่องซ้อนกันหลายๆชั้น จนเพียงพอที่จะต้านรับแรงดันดินด้านข้าง (ACTIVE EARTH PRESSURE) และป้องกันไม่ให้ดินอ่อนหรือดินถมกลับไหลลอดกำแพง และสูญหายไปกับกระแสน้ำ ดังรูปที่ 2.6

ลักษณะของ SOIL CEMENT ที่ใช้งาน

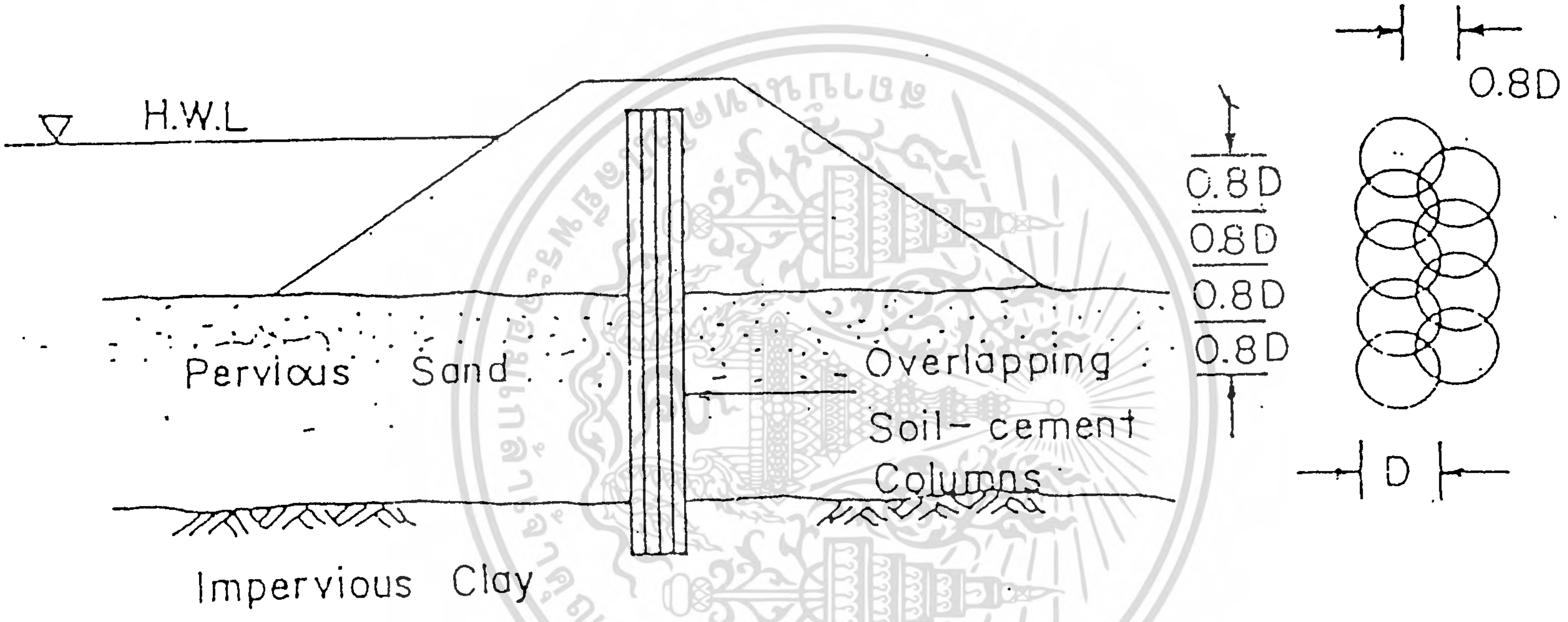
ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทำได้โดยออกแบบ SOIL CEMENT COLUMN ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 เมตร ยาวประมาณ 11-15 เมตร โดยวางห่างกันประมาณ 0.9-1.0 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง ปลายล่างของเสาเข็มทั้งหมดจะหยั่งลงไปถึงชั้น STIFF CLAY แต่ความยาวของเสาเข็มในแถวที่ห่างจากแนวกำแพงเดิมเข้าไปในฝั่งสามารถลดหลั่นให้สั้นลงกว่าแถวที่ประชิดด้านนอก เนื่องจากไม่มีความจำเป็นที่จะใช้ต้านรับแรงดันดินในส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงแนวคิดการปรับปรุงดินเพื่อเสริมความแข็งแรงให้ผนังกำแพงกันดินริมแม่น้ำโดยวิธี SOIL CEMENT COLUMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงการทำกำแพง SOIL CEMENT COLUMN เป็นกำแพงทึบน้ำ (CUT-OFF WALL) สำหรับงานเขื่อนปิดกั้นน้ำชั่วคราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ใช้ SOIL CEMENT COLUMN เป็นกำแพงทึบน้ำ (CUT-OFF WALL)

ป้องกันการรั่วซึมของน้ำไม่ให้ไหลผ่านเข้าไปสู่บริเวณที่ต้องการป้องกัน

กรณีตัวอย่าง

ลักษณะโครงการ

การทำเขื่อนปิดกั้นน้ำชั่วคราว เพื่อก่อสร้างอาคารเพาะเลี้ยงพันธุ์ปลาทะเล ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยแถบอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

แนวคิดพื้นฐาน

- ในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่นในยุโรปสหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น นิยมประยุกต์ใช้วิธี JET GROUTING ในงานก่อสร้างส่วนที่เป็นกำแพงทึบน้ำของเขื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขื่อนที่ก่อสร้างเหนือฐานรากที่เป็นชั้นทรายซึ่งน้ำสามารถไหลลอดใต้เขื่อนไปได้อย่างง่ายดายถ้าปราศจากการป้องกันที่ดีพอ
- จากเหตุผลดังกล่าว เราอาจใช้ SOIL CEMENT COLUMN ต่อเนื่องกันเป็นกำแพงทึบน้ำอย่างน้อย 1 แถว หรือปลายแถวประชิดกัน ระยะห่างระหว่างเสาเข็มในแต่ละแถวควรอยู่ระหว่าง 0.8 - 0.9 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม ปลายเสาเข็มควรฝังหยั่งลงไปในชั้นทึบน้ำที่หนาพอสมควร
- การสร้าง SOIL CEMENT COLUMN ให้ซ้อนเหลื่อมกันเพื่อให้มั่นใจได้ว่าน้ำจะไม่สามารถซึมผ่าน CEMENT COLUMN เข้าไปสู่บริเวณที่ต้องการป้องกันได้

ลักษณะปัญหาและข้อมูลเพิ่มเติมประกอบการพิจารณา

- เนื่องจากการก่อสร้างอาคารเพาะเลี้ยงพันธุ์ปลาทะเล ซึ่งต้องการให้น้ำทะเลท่วมท้นเข้ามาถึงอาคารในระหว่างใช้งาน แต่ในช่วงงานก่อสร้างจำเป็นต้องป้องกันบริเวณ ซึ่งมีขนาดกว้าง 20 เมตร ยาว 40 เมตร ไม่ให้น้ำไหลซึมเข้าไปได้

-ข้อมูลระดับน้ำทะเลในช่วงก่อสร้างระบุว่าน้ำทะเลขึ้นสูงสุดถึง + 3.5 เมตร (จากระดับน้ำทะเลปานกลาง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

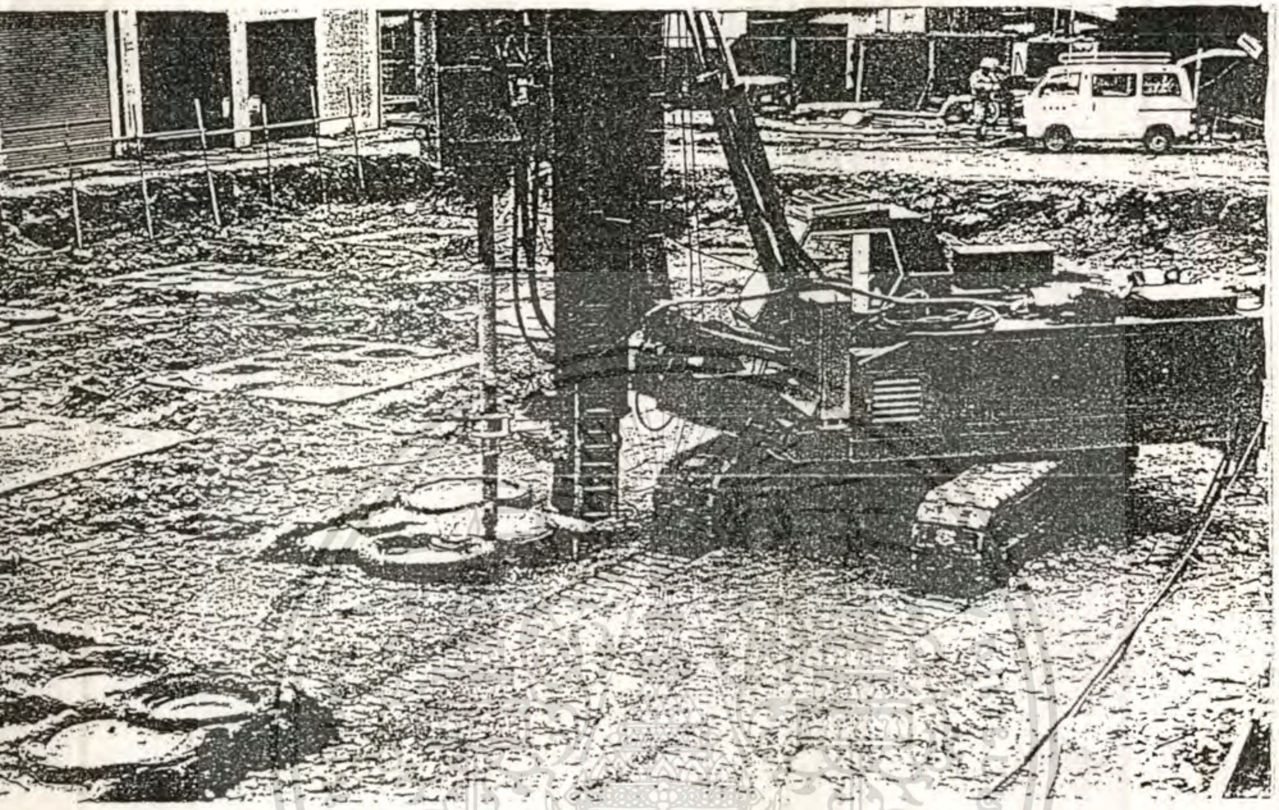
- ข้อมูลการเจาะสำรวจดินพบว่า ดินช่วงบนของชายหาดเป็นชั้น SILTY SAND ที่หลวมหนาประมาณ 9 เมตร ทับอยู่บนชั้นดิน SANDY CLAY ที่มีความเหนียวในระดับปานกลาง

ลักษณะการใช้ SOIL CEMENT COLUMN ในการแก้ปัญหา

- จากรูปที่ 2.7ในการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ โดยใช้ SOIL CEMENT COLUMN ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร โดยใช้ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 0.6 เมตร เพื่อให้ระยะเหลื่อมซ้อนกันมีมากพอที่จะก่อรูปกำแพงทึบน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสร้าง SOIL CEMENT COLUMN จากระดับน้ำสูงสุด + 3.5 เมตร (จากระดับน้ำทะเลปานกลาง) หยั่งลงไปถึงระดับ - 5.5 เมตร (จากระดับน้ำทะเลปานกลาง) เพื่อให้ปลายล่างของเสาเข็มหยั่งเข้าไปในชั้นดินที่ทึบน้ำ โดยวิธีการก่อสร้างทึบน้ำแบบนี้ใช้เวลาทั้งสิ้น ประมาณ 3 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วิธี ROTARY MIXING



รูปที่ 2.8 แสดงการทำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี ROTARY MIXING

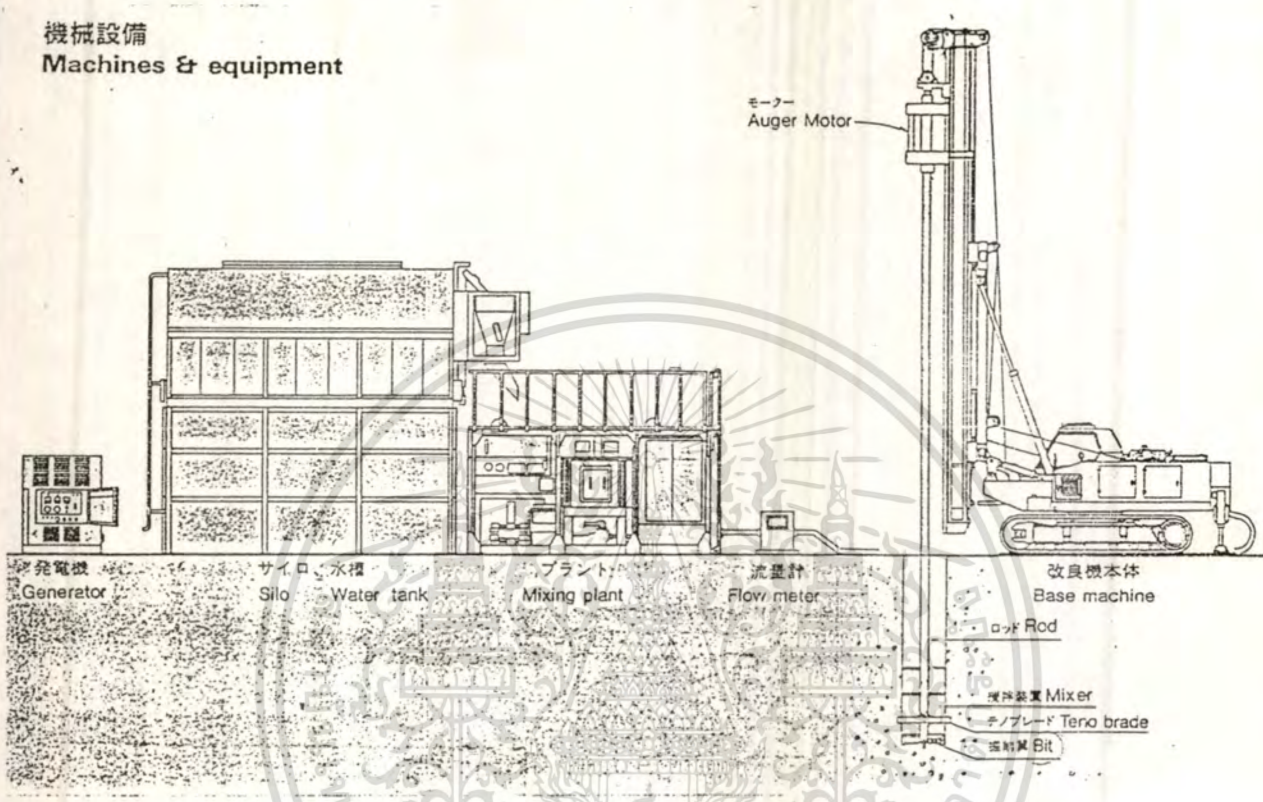
2.2.3.1 ความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวกับการทำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี ROTARY MIXING

- เทคนิคการทำ SOIL CEMENT COLUMNโดยวิธี ROTARY MIXINGได้เริ่มขึ้นครั้งแรกเมื่อราว 20 กว่าปีมาแล้วในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีปัญหาดินอ่อนมาก ตามแนวพื้นที่ชายฝั่งทะเล จนกระทั่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย จนถึงขนาดก่อตั้งเป็นสมาคมทางด้านนี้ (DEEP CEMENT MIXING ASSOCIATION)

-วิธีการนี้จะมีลักษณะการก่อสร้างโดยการเจาะดินด้วยสว่านแต่ไม่เจาะเอาดินขึ้นมา แต่มีใบมีดตัดและกวนดินให้เข้ากับน้ำปูนที่ฉีดลงไปจากหัวเจาะที่มีใบมีดกวนดินติดตั้งอยู่ ซึ่งเรียกว่า DEEP CEMENT METHOD วิธีการนี้จะใช้ความดันในการฉีดน้ำปูนต่ำกว่าวิธี JET GROUTING ซึ่งขึ้นอยู่กับสมรรถนะของเครื่องจักรที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 ลักษณะของเครื่องจักรและอุปกรณ์ประกอบการทำงาน



รูปที่ 2.9 แสดงชุดเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการทำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี ROTARY MIXING

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าชุดเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการทำ SOIL CEMENT COLUMN มีองค์ประกอบหลักๆดังต่อไปนี้

1) **GENERATOR** (ห้องส่งกำลังไฟฟ้าทำหน้าที่ส่งกำลังไฟฟ้าให้เครื่องจักรและอุปกรณ์อื่นๆ)

2) **SILO** (เป็นSILO บรรจุ CEMENT PORTLAND TYPE I)

3) **WATER TANK** (บรรจุน้ำเตรียมผสมกับซีเมนต์เป็นน้ำปูน)

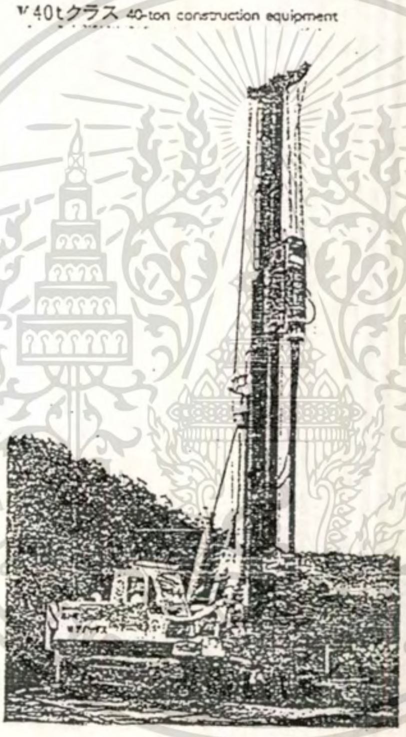
4) **MIXING PLANT** (ทำหน้าที่ผสมน้ำปูน)

5) **FLOW METER** (ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำปูน)

6) **ชุดอุปกรณ์ขุดเจาะและฉีดน้ำปูน** (ทำหน้าที่ในการขุดเจาะเพื่อทำ SOIL CEMENT COLUMN ให้ได้ขนาดตามต้องการ และทำหน้าที่ฉีดน้ำปูน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) BASE MACHINE (ทำหน้าที่ในการควบคุมชุดอุปกรณ์ขุดเจาะและฉีดน้ำปูน และเคลื่อนย้ายตำแหน่งในการทำงาน)



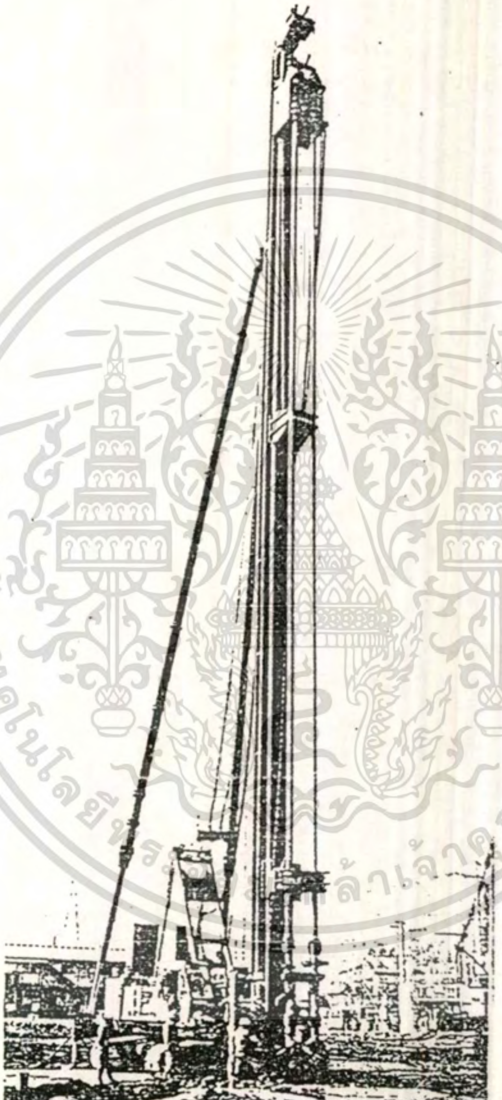
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างเครื่องจักรในการทำ SOIL CEMENT COLUMN ขนาด 40 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างเครื่องจักรในการทำ SOIL CEMENT COLUMN ขนาด 80 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

▼100tクラス2軸機 100-ton biaxial machine



รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างเครื่องจักรในการทำ SOIL CEMENT COLUMN ขนาด 100 ตัน ชนิด 2 หัวเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.รูปหัวเจาะและฉีดน้ำปูน

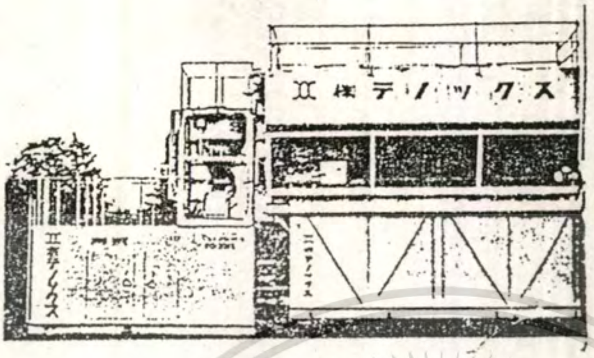
ข. รูปขณะเริ่มวางตำแหน่งเจาะ

ค.รูปขณะเจาะลงไปในดิน

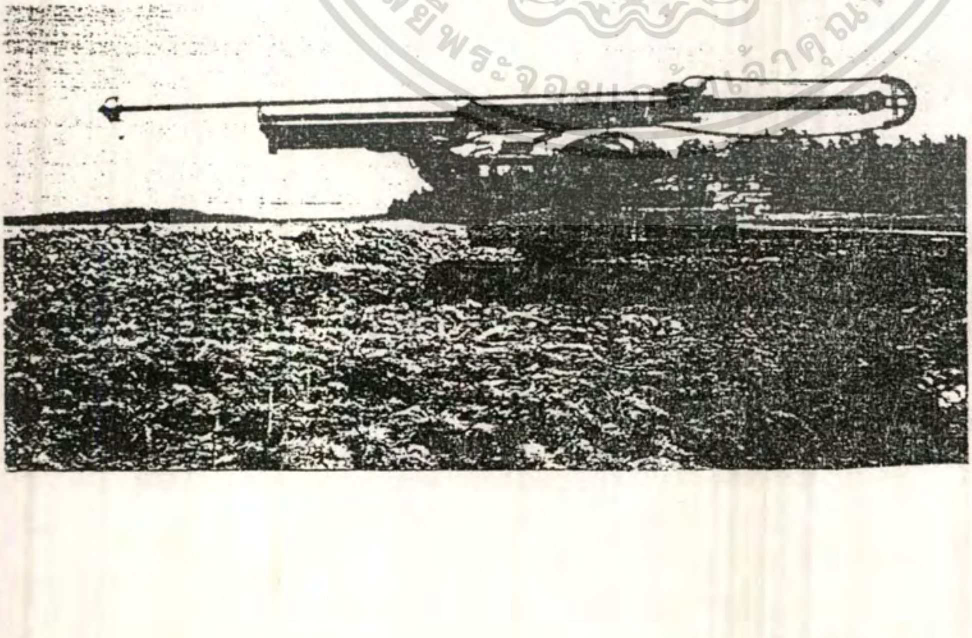
รูปที่ 2.13 แสดงหัวเจาะและฉีดน้ำปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

▼プラント Plant



รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างของ MIXING PLAN



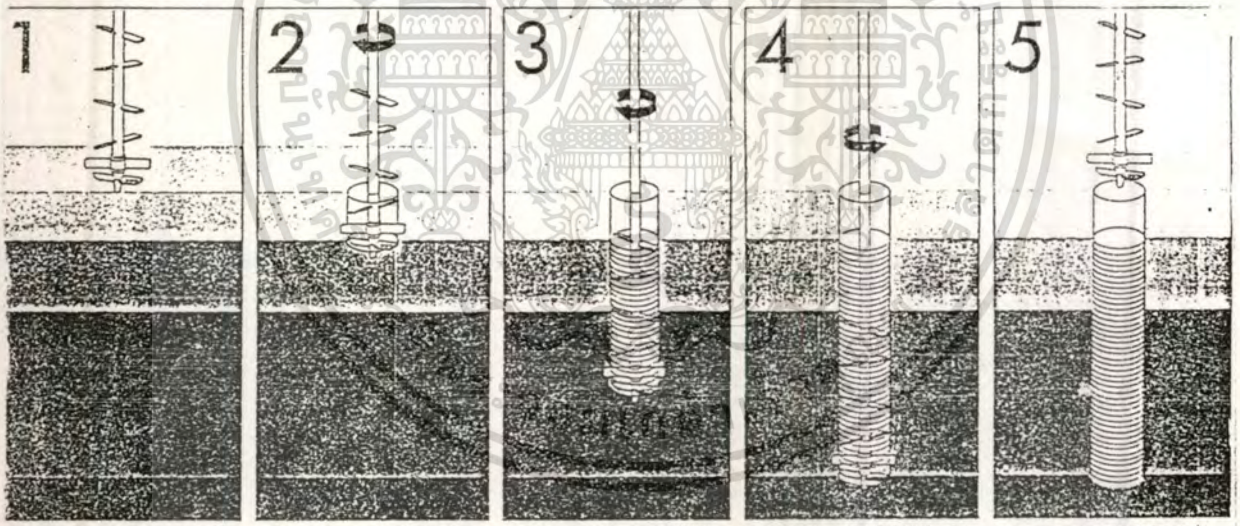
รูปที่ 2.15 แสดงเคลื่อนย้ายชุดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.3 ลำดับขั้นตอนการทำงาน

จากรูปที่ 2.16 พอจะสรุปขั้นตอนการทำงานโดยย่อได้ดังต่อไปนี้

1) ติดตั้งชุดหัวเจาะและฉีดน้ำปูนให้ได้ตำแหน่งตามที่กำหนดเอาไว้
2) เริ่มทำการขุดเจาะ
3) เมื่อขุดเจาะถึงชั้นดินหรือระดับที่ต้องการทำ SOIL CEMENT COLUMN ให้เริ่มฉีดน้ำปูน
4) เมื่อปฏิบัติงานได้ระดับความลึกที่ต้องการแล้ว ให้ถอนชุดหัวเจาะขึ้น
5) จะได้ SOIL CEMENT COLUMN ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและขนาดความลึกตามที่ต้องการ



1.撹拌装置をコラム芯にセットし、回転させます。

2.所定空掘り深度まで掘進します。(空掘掘進工程)

3.固化材液を吐出しながら掘進します。(注入掘進工程　混合撹拌・改良)

4.注入掘進工程(混合撹拌一改良)が完了したら、固化材液の吐出を停止し、ロッドの回転方向を逆転した後、引き上げ工程(混合撹拌)を開始します。

5.テノコラムの施工を完了します。

1. Set the mixer at the center of a column for start of rotation.

2. The mixer starts drilling down to the preset area (drilling without using grout).

3. It continues with jetting of the grout (grout – jetting – mixing – soil improvement)

4. After the above procedures, stop grout-jetting, turn in reverse the rod rotational direction, and lift the rod together with mixing.

5. Now the end of the TENOCOLUMN process

รูปที่ 2.16 แสดงขั้นตอนการทำ SOIL CEMENT COLUMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.4 การควบคุมคุณภาพในการทำ SOIL CEMENT COLUMN

การควบคุมคุณภาพในการทำ SOIL CEMENT COLUMN สามารถทำได้ใน 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาอัตราส่วนผสมของ SOIL CEMENT ที่เหมาะสม เพื่อที่จะใช้ในการออกแบบ SOIL CEMENT COLUMN สำหรับการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมปฐพีในรูปแบบต่างๆ

รูปที่ 2.17 แสดงการเก็บตัวอย่างดินในบริเวณที่จะทำ SOIL CEMENT COLUMN

รูปที่ 2.18 แสดงการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมโดยผสมดินเดิม (UNDISTURB SAMPLE) กับปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

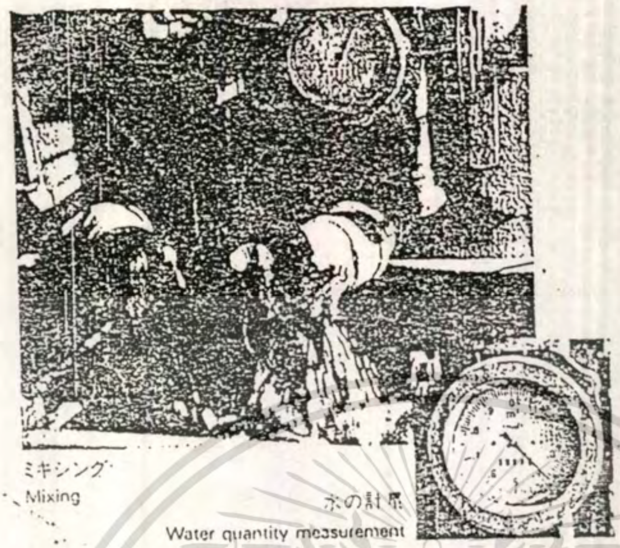
รูปที่ 2.19 แสดงการบรรจุวัสดุผสมที่ได้ลงใน MOULD เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างทดสอบคุณสมบต UNCONFINED COMPRESSION TEST ของวัสดุผสม

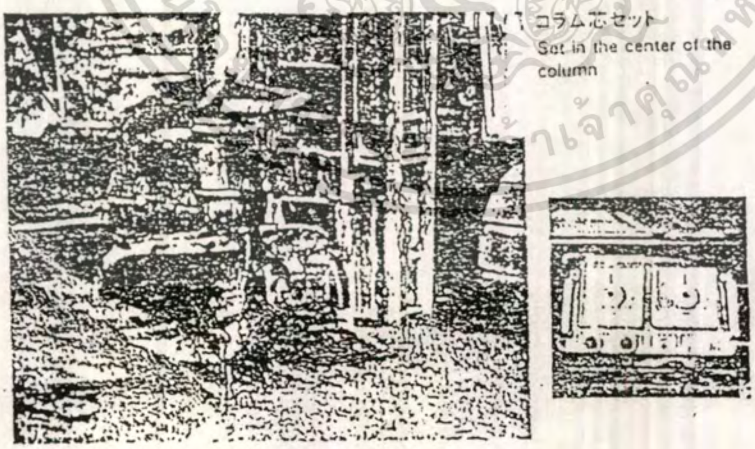
2) ขั้นตอนการควบคุมการทำ SOIL CEMENT COLUMN ในบริเวณที่ปฏิบัติงานจริง (SITE CONSTRUCTION CONTROL) ซึ่งในขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนสำคัญ ดังนั้น นอกจากจะอาศัยความเชี่ยวชาญของผู้ควบคุมและปฏิบัติงานแล้ว ความสมบูรณ์ของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการทำงาน ตลอดจนสมรรถนะของเครื่องจักร ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญ ตรวจสอบ ควบคุมดูแลเป็นอย่างดี

รูปที่ 2.21 แสดงการควบคุมปริมาณของปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

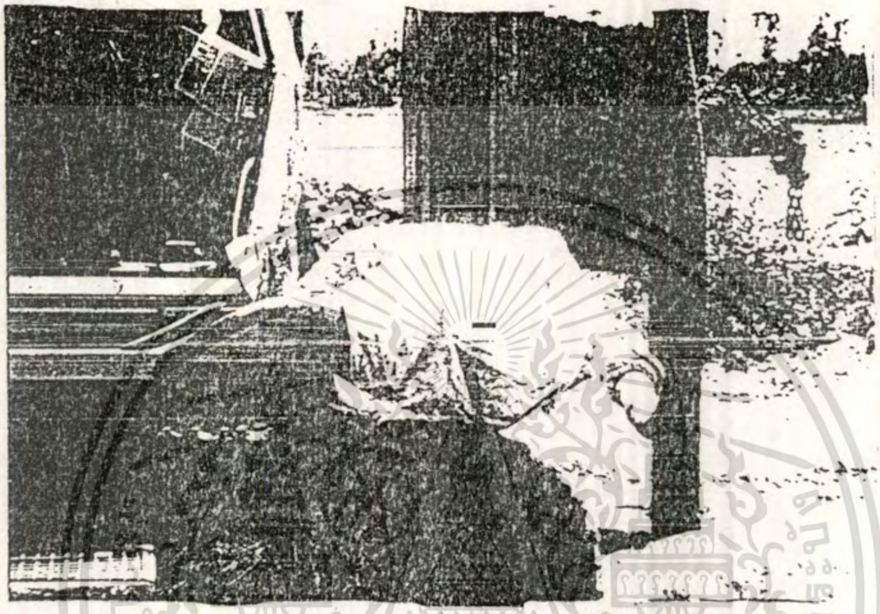


รูปที่ 2.22 แสดงการควบคุมปริมาณของน้ำที่จะใช้ผสม



รูปที่ 2.23 แสดงการติดตั้งชุดหัวเจาะและฉีดน้ำปูนให้ได้ตำแหน่งตามที่ต้องการ ซึ่งจะมีชุดควบคุมเพื่อที่จะแสดงตำแหน่งและทิศทางของหัวเจาะ

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

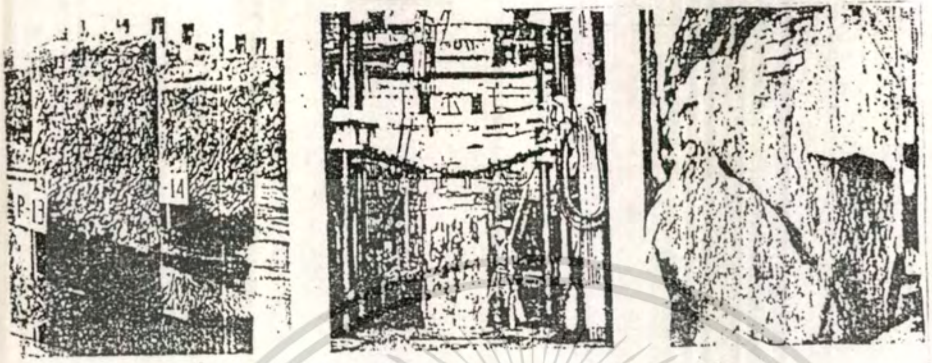


รูปที่ 2.24 แสดงการทำงานของ FLOW METER ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมการไหลของน้ำปูนให้เป็นไปตามอัตราควบคุมที่ต้องการ

3) SOIL CEMENT COLUMN TEST

เป็นขั้นตอนภายหลังจากการทำ SOIL CEMENT COLUMN เสร็จสิ้นลง เมื่อได้อายุตามที่กำหนดแล้วจะมีการสุ่มตัวอย่าง SOIL CEMENT COLUMN เพื่อที่จะนำมาทดสอบหาค่า BEARING LOAD หรือ STRENGTH ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



実大載荷試験 Loading test by the actual size

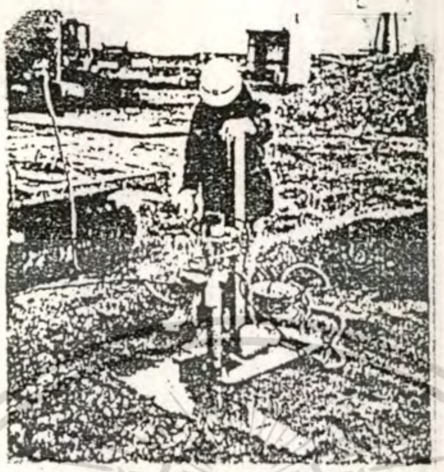
ก. ตัวอย่าง SOIL CEMENT COLUMN ข. การทดสอบ LOAD TEST ที่บริเวณงานสนามภาพ ค.สภาพ SOIL CEMENT COLUMN หลังการทดสอบ

鉛直載荷試験 Loading test

ง. แสดงการทดสอบ LOAD TEST ที่บริเวณงานสนามอีกรูปแบบหนึ่ง

รูปที่ 2.25 แสดงตัวอย่างในการทดสอบ LOAD TEST ของ SOIL CEMENT COLUMN ที่ได้อายุตามกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

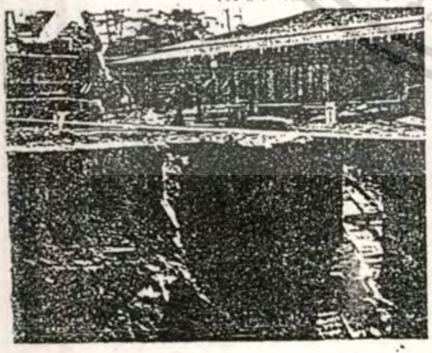


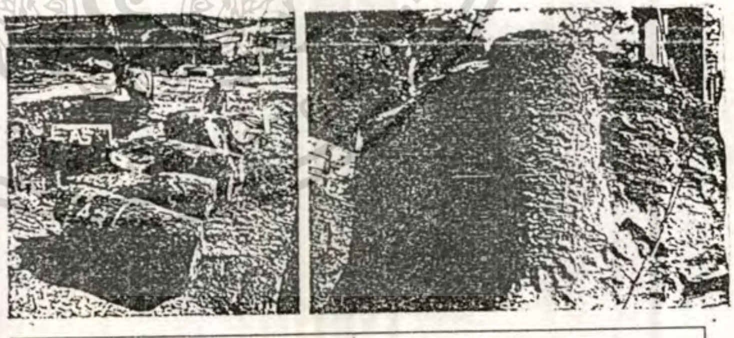
強度確認のためのコアー採取
Core-collection for strength cofirmation

รูปที่ 2.26 แสดงการ CORING SOIL CEMENT COLUMN เพื่อนำมาทดสอบ UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH

2.2.3.5 ตัวอย่าง SOIL CEMENT COLUMN ในดินชนิดต่างๆ

(現場平均強度15－40kg/cm²)





固化材	grout	TL-3＋ベントナイト
添加量	amount	250kg/m³
水固化材比	water-grout ratio	W/C＝120%、B/C＝5%
現場平均強度	on-site average strength	quf＝41.8kg/cm²

รูปที่ 2.27 แสดงการทำ SOIL CEMENT COLUMN ในดินทราย โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 250 Kg/M^3 W/C =1.2: 1 ได้ q_u (average) = 41.8 T/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

固化材	grout	TL-3
添加量	amount	226kg/m³
水固化材比	water-grout ratio	W/C＝100%
現場平均強度	on-site average strength	$\bar{q}_{uf}$＝30.0kg/cm²

รูปที่ 2.28 แสดงการทำ SOIL CEMENT COLUMN ในดิน โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 226 Kg/m^3 W/C= 1:1 ได้ $\bar{q}_u$(average) = 30.0 T/m^3

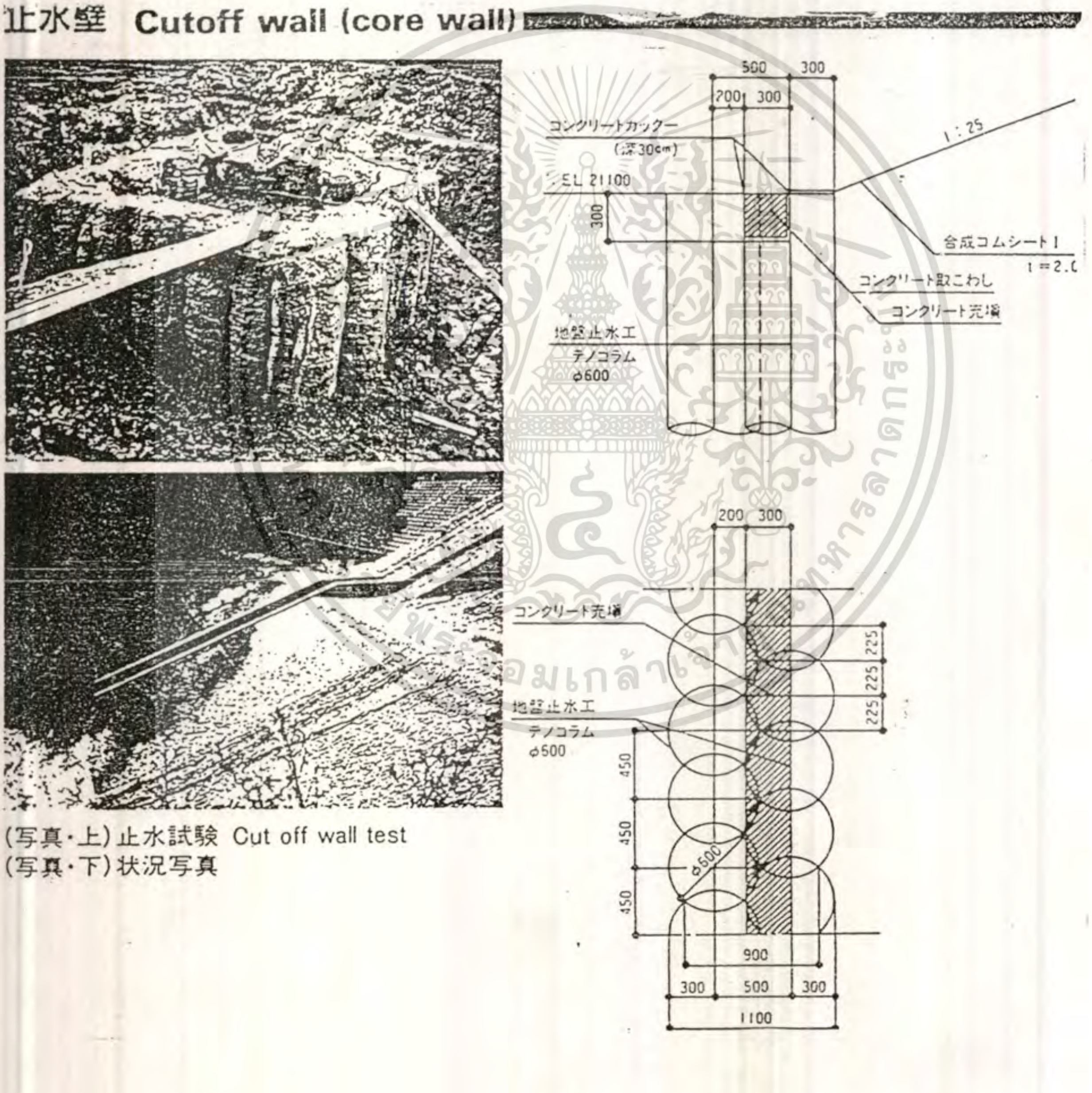
固化材	grout	TL-6
添加量	amount	350kg/m³
水固化材比	water-grout ratio	W/C＝60%
現場平均強度	on-site average strength	$\bar{q}_{uf}$＝15.7kg/cm²

รูปที่ 2.29 แสดงการทำ SOIL CEMENT COLUMN ในดินORGANIC SOIL โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 350 Kg/m^3 W/C= 0.6: 1 ได้ $\bar{q}_u$ (average) = 15.7 T/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

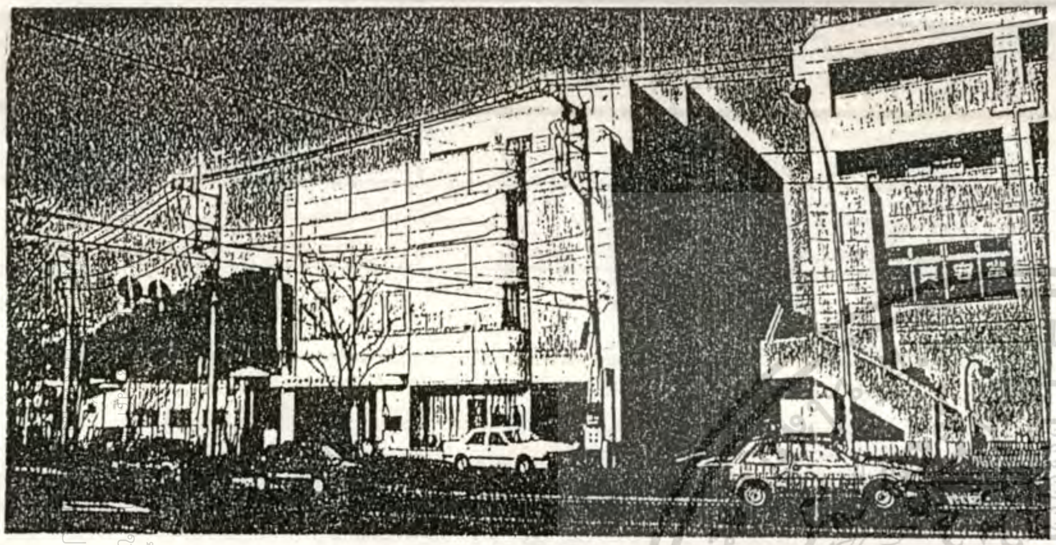
2.2.3.6 ตัวอย่างการนำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี ROTARY MIXING ไปประยุกต์ใช้งาน

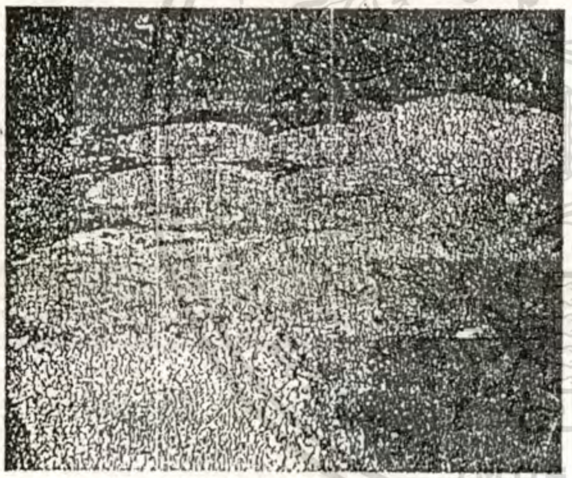
ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.1 จะเห็นได้ว่าเราสามารถจะนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมปฐพีในหลายๆลักษณะ ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้งานในญี่ปุ่น ใน 3 ลักษณะ ซึ่งแสดงไว้ดังรูป ต่อไปนี้

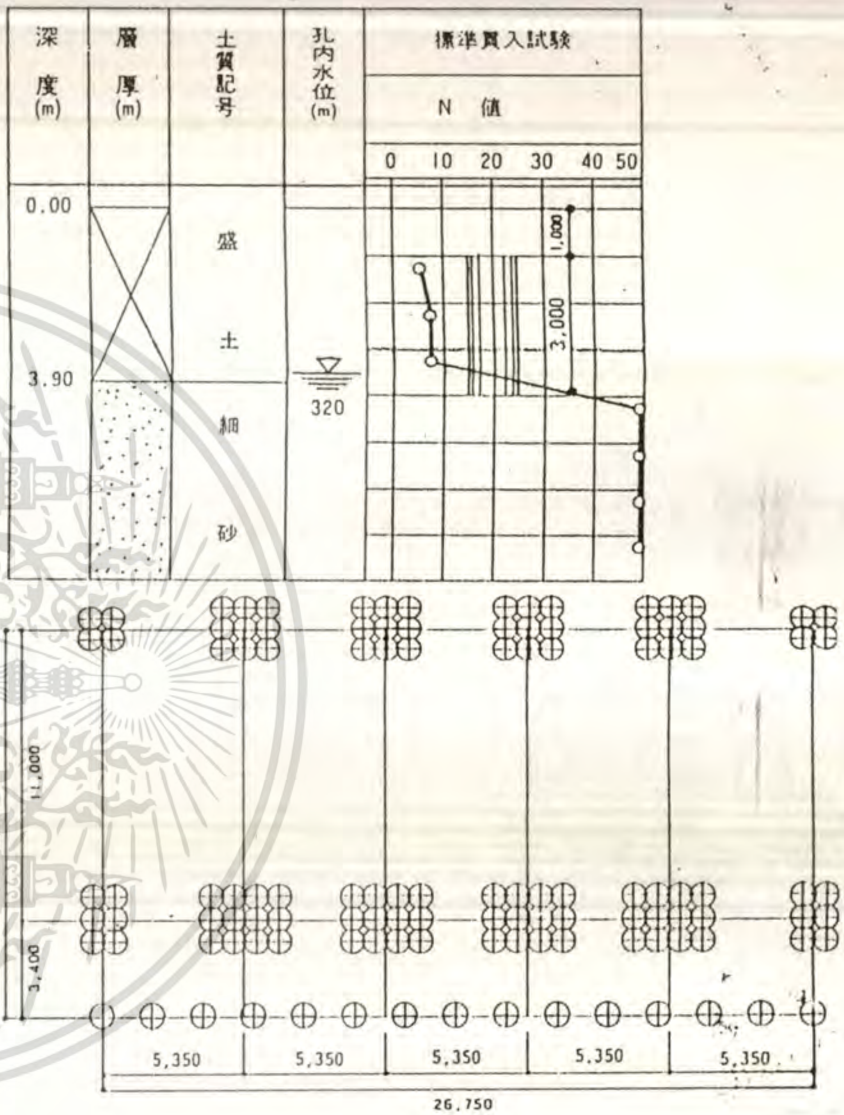


รูปที่ 2.30 แสดงตัวอย่างการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในงาน CUT OFF WALL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



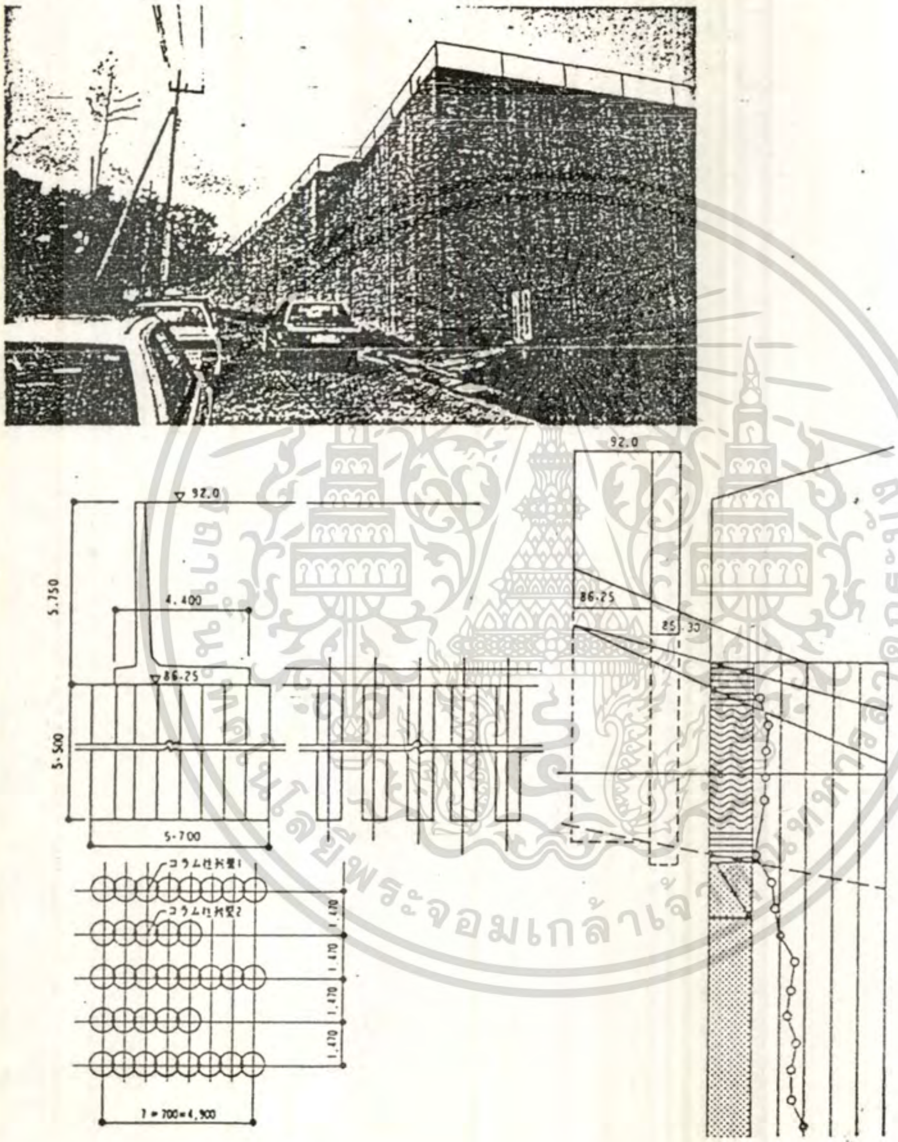




改良径	Improved diameter	φ1000%
改良長	Improved length	3.0 m
空堀長	Dry excavation length	1.5m
本 数	Number of Column	119本

รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในงานก่อสร้างอาคาร ในส่วนของเสาเข็ม

擁壁基礎 Foundation of retaining wall



รูปที่ 2.32แสดงตัวอย่างการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในงานฐานรากสำหรับ RETAINING WALL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การจำแนก SOIL CEMENT COLUMN ตามลักษณะของสารผสมที่ใช้ (โดยยึดตามแนวทาง การทำ DEEP STABILIZATION ของกรมทางหลวง)

- จากการศึกษาข้อกำหนดพิเศษ การก่อสร้าง DEEP STABILIZATION ทางสายองครักษ์-นครนายก ช่วงที่เกิด SLIDE FAILURE กม.51-62 และข้อกำหนดพิเศษ การก่อสร้าง DEEP STABILIZATION ทางสายบางนา - ชลบุรี (ขาเข้า) กม.14+177 กม.41+000 ทำให้สามารถจำแนกวิธีก่อสร้างแบบ DEEP STABILIZATION โดยอาศัยการจำแนกตามลักษณะของสารผสมได้ดังตารางที่ 2.1

วิธีการก่อสร้าง	ลักษณะของสารผสม
WET MIXING	นำ SLURRYของสารผสมตามอัตราส่วนของน้ำต่อสารผสมที่จะใช้จริงในสนามมาผสมกับดินเดิม
DRY MIXING	นำสารผสมมาผสมกับดินเดิม

ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกการทำ DEEP STABILIZATION ตามลักษณะของสารผสม

- สำหรับวิธี WET MIXING สามารถใช้เครื่องมือเครื่องจักรในการทำงานได้ทั้งวิธี JET GROUTING และวิธี ROTARY MIXING ส่วนวิธี DRY MIXING จะใช้เครื่องมือเครื่องจักรในแบบ ROTARY MIXING

- ในกรณีศึกษาของโครงงานพิเศษเรื่องนี้ ได้มีการศึกษาการทำ SOIL CEMENT STABILIZATION ทั้งวิธี WET MIXING และวิธี DRY MIXING ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดในบทที่ 5 กรณีศึกษา อีกครั้งหนึ่ง

-สำหรับรายละเอียดของข้อกำหนดพิเศษ สามารถศึกษาได้ในภาคผนวก ของโครงงานพิเศษนี้ ในเรื่องข้อกำหนดพิเศษการก่อสร้าง DEEP STABILIZATION ทางสายบางนา - ชลบุรี(ขาเข้า) กม.14 + 177 - กม.41 + 000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.1 ประเด็นที่ต้องการจะศึกษา

สำหรับประเด็นที่ต้องการจะศึกษา คือ คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนเมื่อผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 ในปริมาณต่างๆกัน โดยจะศึกษาใน 5 เรื่องหลักๆ ดังนี้

1) ความสามารถในการรับกำลังอัดในแนวดิ่ง
2) แนวโน้มของคุณสมบัติในการพัฒนากำลัง
3) อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่มีผลต่อความสามารถในการรับกำลังอัดในแนวดิ่ง
4) อิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างที่มีผลต่อความสามารถในการรับกำลังอัดในแนวดิ่ง
5) อิทธิพลของวิธีบ่มตัวอย่าง ที่มีผลต่อความสามารถในการรับกำลังอัดในแนวดิ่ง

3.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ จะทำการทดสอบคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 ในปริมาณต่างๆกัน 2 การทดสอบ คือ

1) UNCONFINED COMPRESSION TESTING (ASTM 2116)
2)การทดสอบความสามารถรับแรงอัดในแนวดิ่งของ

โดยในการทดสอบมีตัวแปรที่ควบคุมดังต่อไปนี้

- ใช้ดินตัวอย่าง (DISTURB SAMPLE) ที่เก็บจากบริเวณก่อสร้างริมคลองประเวศบุรีรมย์ ภายในบริเวณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 3.20-4.00 เมตร
- ใช้ข้อมูลดินคงสภาพ จากรายงานผลการเจาะสำรวจทางปฐพีกลศาสตร์ จากหลุมเจาะบริเวณริมคลองประเวศบุรีรมย์ ภายในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 ในการผสมกับดินเหนียวอ่อน โดยใช้ปริมาณ 8 %,10 % ,12 %และ15 % ของน้ำหนักดินเหนียวอ่อน
- อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(WATER CEMENT RATIO หรือ W/C) ใช้อัตราส่วนที่จะศึกษา 3 อัตราส่วน คือ 1: 1, 1.5 : 1, 2 : 1

- อายุในการบ่มตัวอย่าง ได้แบ่งออกเป็น 4 ช่วงอายุดังนี้ คือ อายุการบ่ม 3 วัน , 7 วัน , 14 วัน , 28 วัน

- วิธีการบ่ม มี 2 วิธี คือ

1) **วิธีการบ่มชื้น** โดยใส่ตัวอย่างที่ผสมในอัตราส่วนต่างๆกันในถุงพลาสติคที่ปิดสนิท โดยนำกระสอบชุ่มน้ำคลุมทับ เก็บในห้องที่มีความชื้น แล้วพรมน้ำทุกวัน (ตลอดอายุการบ่ม)

2) วิธีการแช่น้ำ โดยแช่ตัวอย่างที่ผสมในอัตราส่วนต่างๆกัน ลงในน้ำตลอดอายุการบ่ม

3.3 สรุปตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

สำหรับตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ชนิดการบ่ม: บ่มชื้น		จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง		
อายุการบ่ม	%CEMENT	WATER / CEMENT (W/C)		
		W/C = 1:1	W/C = 1.5:1	W/C = 2:1
3 วัน	8%	3	3	3
	10%	3	3	3
	12%	3	3	3
	15%	3	3	3
7 วัน	8%	3	3	3
	10%	3	3	3
	12%	3	3	3
	15%	3	3	3
14 วัน	8%	3	3	3
	10%	3	3	3
	12%	3	3	3
	15%	3	3	3
28 วัน	8%	3	3	3
	10%	3	3	3
	12%	3	3	3
	15%	3	3	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ 3.1 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ UNCONFINED COMPRESSION TEST

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดการบ่ม	อายุการบ่ม	%CEMENT	จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง		
			WATER / CEMENT (W/C)		
			W/C = 1:1	W/C = 1.5:1	W/C = 2:1
บ่มชื้น	3 วัน	8%	3	–	–
		10%	–	–	–
		12%	–	–	–
		15%	–	–	–
	7 วัน	8%	3	–	–
		10%	–	–	–
		12%	–	–	–
		15%	–	–	–
	14 วัน	8%	3	–	–
		10%	–	–	–
		12%	–	–	–
		15%	–	–	–
	28 วัน	8%	3	3	3
		10%	3	–	–
		12%	3	–	–
		15%	3	–	–
แช่น้ำ	3 วัน	8%	3	–	–
		10%	–	–	–
		12%	–	–	–
		15%	–	–	–
	7 วัน	8%	3	–	–
		10%	–	–	–
		12%	–	–	–
		15%	–	–	–
	14 วัน	8%	3	–	–
		10%	–	–	–
		12%	–	–	–
		15%	–	–	–
	28 วัน	8%	3	3	3
		10%	3	–	–
		12%	3	–	–
		15%	3	–	–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนและลักษณะตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความสามารถรับกำลังอัดในแนวดิ่ง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ผลการทดสอบ ภายหลังจากการผสม,การบ่มโดยวิธีการต่างๆ(บ่มชื้น,แช่น้ำ) และบ่ม
ตัวอย่างตามระยะเวลาต่างๆแล้ว เมื่อนำตัวอย่างมาทดสอบ ได้ผลการทดสอบดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ่มชื้น		จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง											
อายุการบ่ม	%CEMENT	WATER / CEMENT RATIO											
		W/C=1:1				W/C=1.5:1				W/C=2:1			
3 วัน	8%	1.21	0.77	0.75	0.91	1.04	1.77	0.82	1.21	0.73	0.14	0.80	0.56
	10%	0.66	0.00	0.00	0.66	0.53	0.26	0.20	0.33	0.65	0.14	0.32	0.37
	12%	0.80	1.53	0.36	0.90	1.55	0.49	1.29	1.11	0.88	1.17	1.02	1.03
	15%	0.70	1.21	1.00	0.97	0.61	0.53	0.88	0.67	0.39	0.83	1.04	0.75
7 วัน	8%	0.60	0.73	1.19	0.84	0.85	1.67	1.02	1.18	1.94	1.55	1.77	1.75
	10%	1.53	0.85	1.33	1.24	0.46	0.39	0.32	0.39	0.88	1.19	0.92	1.00
	12%	2.07	1.50	1.87	1.81	1.87	2.18	0.75	1.60	1.19	1.22	1.22	1.21
	15%	2.62	2.04	2.11	2.26	1.09	0.92	0.71	0.91	1.43	1.05	0.68	1.05
14 วัน	8%	1.77	0.71	1.33	1.27	1.87	2.99	3.13	2.66	2.55	2.35	2.21	2.37
	10%	1.73	1.63	2.01	1.79	0.95	0.43	0.85	0.74	0.90	0.85	0.85	0.87
	12%	2.47	1.62	0.75	1.61	2.19	2.07	1.39	1.88	0.94	1.09	0.99	1.00
	15%	2.31	3.57	0.19	2.02	1.11	1.16	0.71	0.99	0.27	1.26	1.68	1.07
28 วัน	8%	2.21	1.12	1.84	1.72	3.13	3.26	3.60	3.33	2.79	2.28	2.65	2.57
	10%	1.77	1.19	2.72	1.89	1.43	0.88	0.95	1.09	1.36	1.87	1.19	1.47
	12%	2.75	2.65	1.60	2.34	2.86	2.48	0.00	2.67	1.33	1.39	0.00	1.36
	15%	1.97	2.92	2.62	2.51	1.46	1.87	1.84	1.72	2.52	0.95	1.73	1.73

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการทดสอบ UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดการบ่ม	อายุการบ่ม	%CEMENT	ผลที่ได้จากการทดลอง (Kg/sq.cm)								
			WATER / CEMENT (W/C)								
			W/C=1:1			W/C=1.5:1			W/C=2:1		
บ่มชื้น	3 วัน	8%	1.87	1.51	1.29	–	–	–	–	–	–
		10%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		12%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		15%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	7 วัน	8%	6.07	2.75	3.06	–	–	–	–	–	–
		10%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		12%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		15%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	14 วัน	8%	5.4	6.99	4.84	–	–	–	–	–	–
		10%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		12%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		15%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	28 วัน	8%	6.4	4.75	6.03	6.88	6.21	6.48	4.75	4.84	5.36
		10%	6.21	5.18	9.76	–	–	–	–	–	–
		12%	9.01	9.85	9.98	–	–	–	–	–	–
		15%	9.98	10.7	13.1	–	–	–	–	–	–
แช่น้ำ	3 วัน	8%	2.43	2.5	2.26	–	–	–	–	–	–
		10%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		12%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		15%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	7 วัน	8%	3.57	3.4	4.75	–	–	–	–	–	–
		10%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		12%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		15%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	14 วัน	8%	5.66	6.76	4.1	–	–	–	–	–	–
		10%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		12%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		15%	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	28 วัน	8%	4.12	4.73	3.73	5.43	6.76	6.49	6.24	4.99	5.62
		10%	6.13	9.64	7.39	–	–	–	–	–	–
		12%	7.67	8.44	7.49	–	–	–	–	–	–
		15%	12.2	12.9	11.5	–	–	–	–	–	–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการทดสอบความสามารถรับแรงอัดในแนวดิ่ง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สรุปและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ UNCONFINED COMPRESSION TEST

จากการทดลองพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH (q_u)กับดินผสมซีเมนต์ตามอัตราส่วน CEMENT RATIO 8 % 10 % 12 % และ15 %โดยน้ำหนักดินรวม ซึ่งมีอัตราส่วน W/C (WATER CEMENT RATIO)ที่ 1: 1,1.5 : 1, 2 : 1 (ตัวเลขแสดงปริมาณน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก) และที่อายุการบ่ม 3 วัน ,7วัน, 14 วัน และ 28 วัน เป็นไปตามกราฟรูปที่3.1-3.11

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมดสรุปออกมาได้ดังนี้

- ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะการบ่มที่เพิ่มขึ้น
- ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น(ที่ W/C 1: 1)
- แนวโน้มของอัตราส่วน W/C ที่เหมาะสมจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณซีเมนต์ที่ผสมเพิ่มมากขึ้นโดยพบว่า

ที่ 8 % CEMENT W/C ที่เหมาะสม คือ 1.5 : 1

ที่ 10% CEMENT W/C ที่เหมาะสม คือ 1 : 1

ที่ 12% CEMENT W/C ที่เหมาะสม คือ 1.5 : 1 และ 1 : 1

ที่ 15% CEMENT W/C ที่เหมาะสม คือ 1: 1

โดยค่า W/C 2 : 1 ไม่เหมาะสมกับทุกปริมาณการผสมซีเมนต์ที่ทำการทดลอง

3.5.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบความสามารถรับแรงอัดในแนวดิ่ง

จากการทดลองพบว่า ค่า ที่ได้จากดินผสมซีเมนต์ตามอัตราส่วน 8 %,10 %,12 % และ 15 %โดยน้ำหนักดินรวม โดย

-ที่ปริมาณ CEMENT RATIO 8 %ได้ทำการทดสอบโดยใช้ W/C 1: 1 ,1.5 : 1 ,และ 2 : 1 ที่อายุการบ่ม 3 วัน 7วัน 14 วัน และ 28 วัน ที่วิธีการบ่มชื้นและบ่มแช่น้ำ

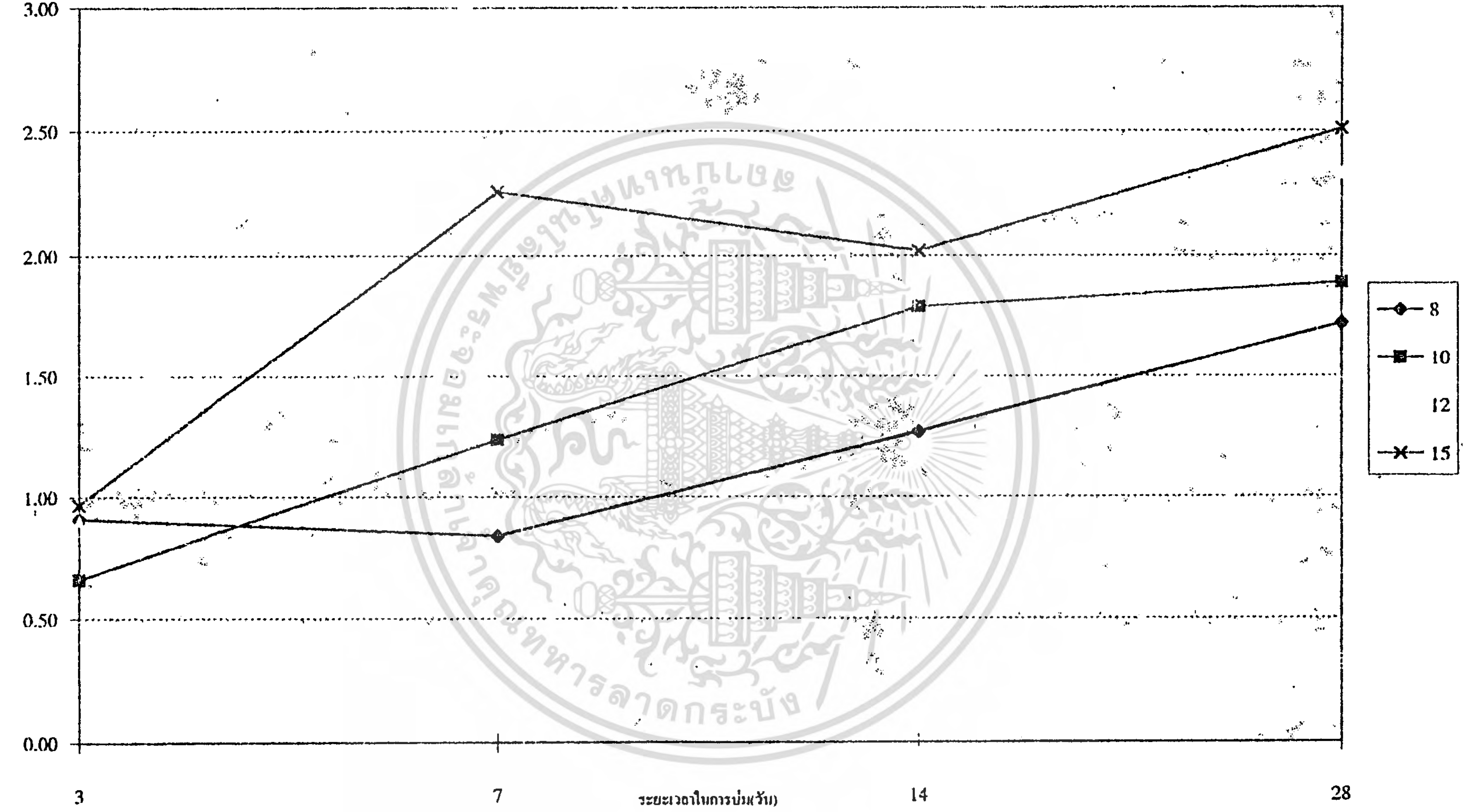
-ที่ปริมาณ CEMENT RATIO 10 %,12% และ15 % ทำการทดสอบโดยใช้ W/C 1 : 1 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ที่วิธีการบ่มชื้นและแช่น้ำ มีค่าเป็นไปตามกราฟ รูปที่ 3.12-3.14

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ดังนี้

- ค่า VERTICAL STRESS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะการบ่มที่เพิ่มขึ้น
- ค่า VERTICAL STRESS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น
- ที่ W/C 1.5 : 1 จะทำให้ดินผสมซีเมนต์ 8 %โดยน้ำหนักดินรวม มีค่า VERTICAL STRESS สูงที่สุด
- การบ่มแช่น้ำจะทำให้ค่า VERTICAL STRESS ออกมาสูงกว่าค่า VERTICAL STRESS ที่ได้จากการบ่มชื้น ในช่วง 7 วันแรก หลังจากนั้นค่า VERTICAL STRESSที่ได้จากการบ่มทั้ง 2 วิธีมีแนวโน้มเท่ากัน

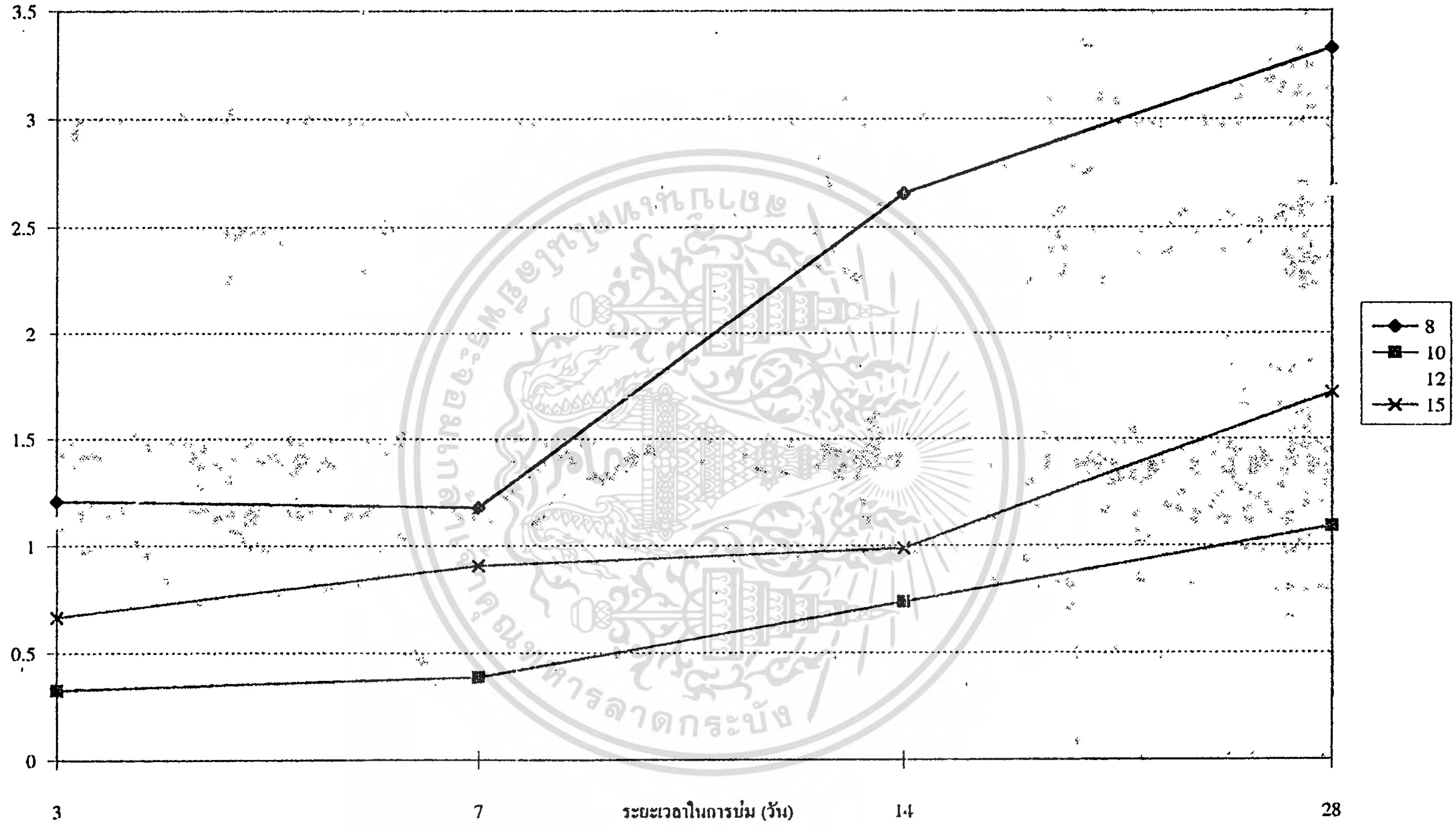
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มีลิขสิทธิ์ อนุญาตให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่W/C 1:1



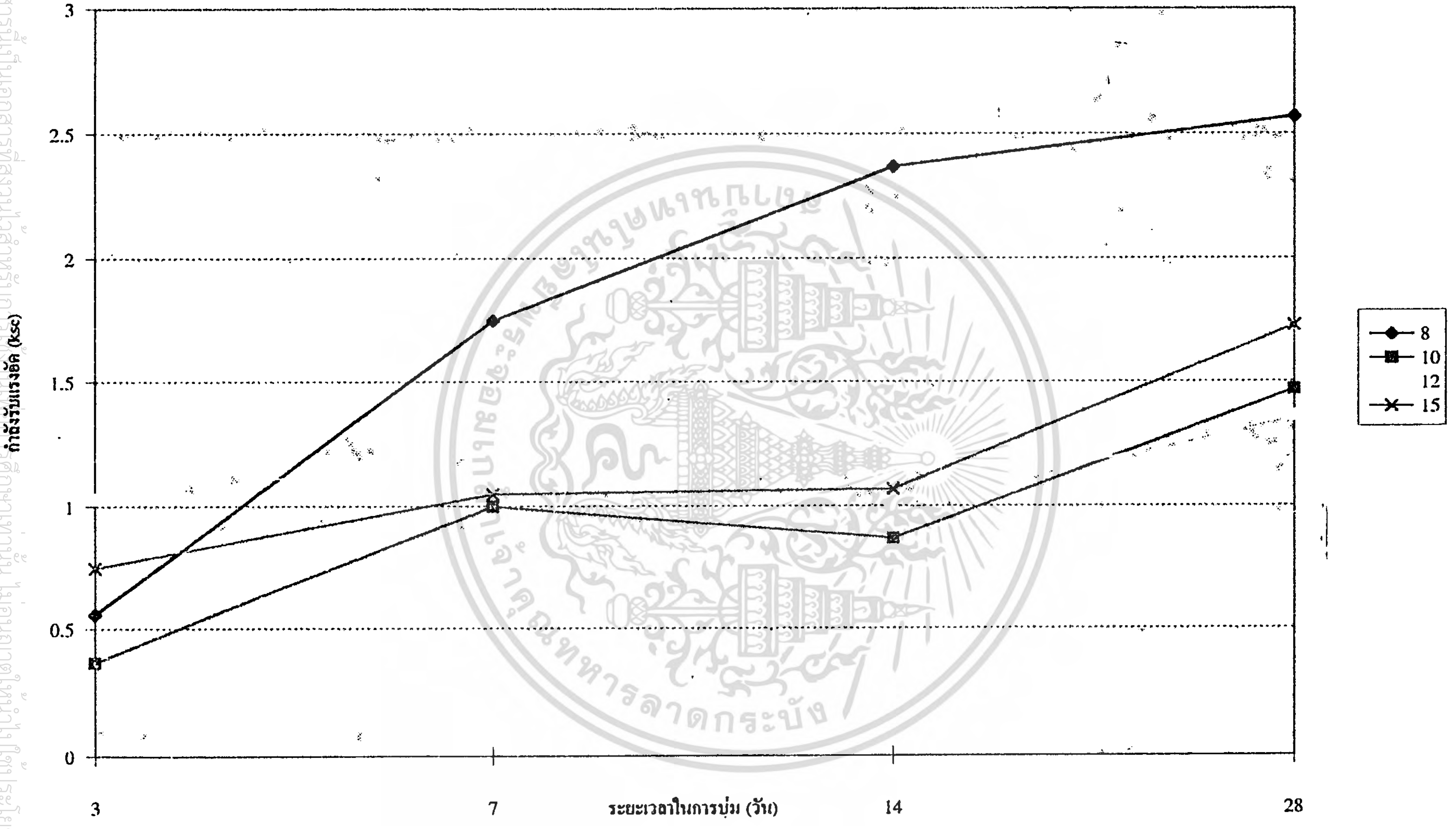
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ ที่ W/C 1.5:1



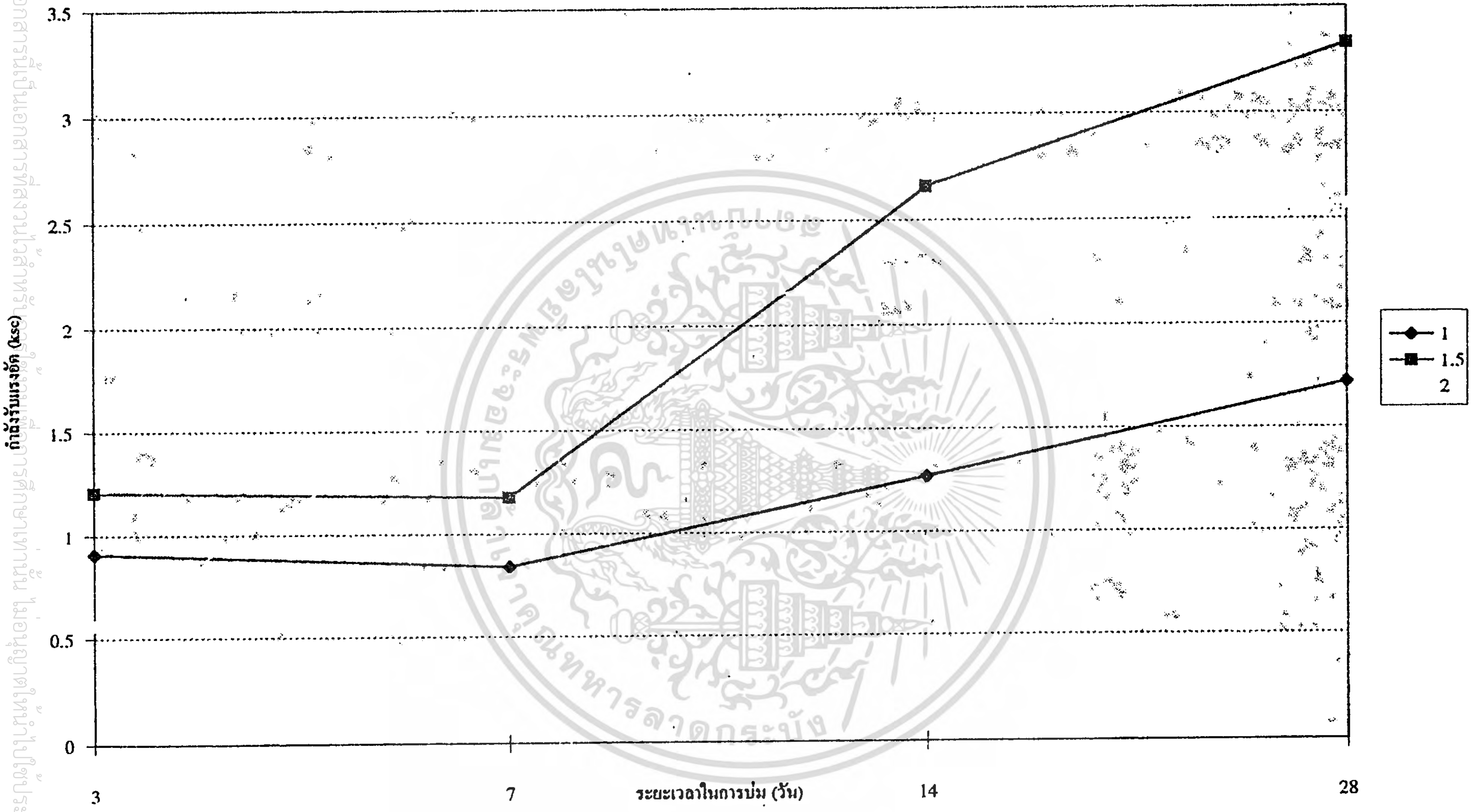
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ ที่ W/C 2:1



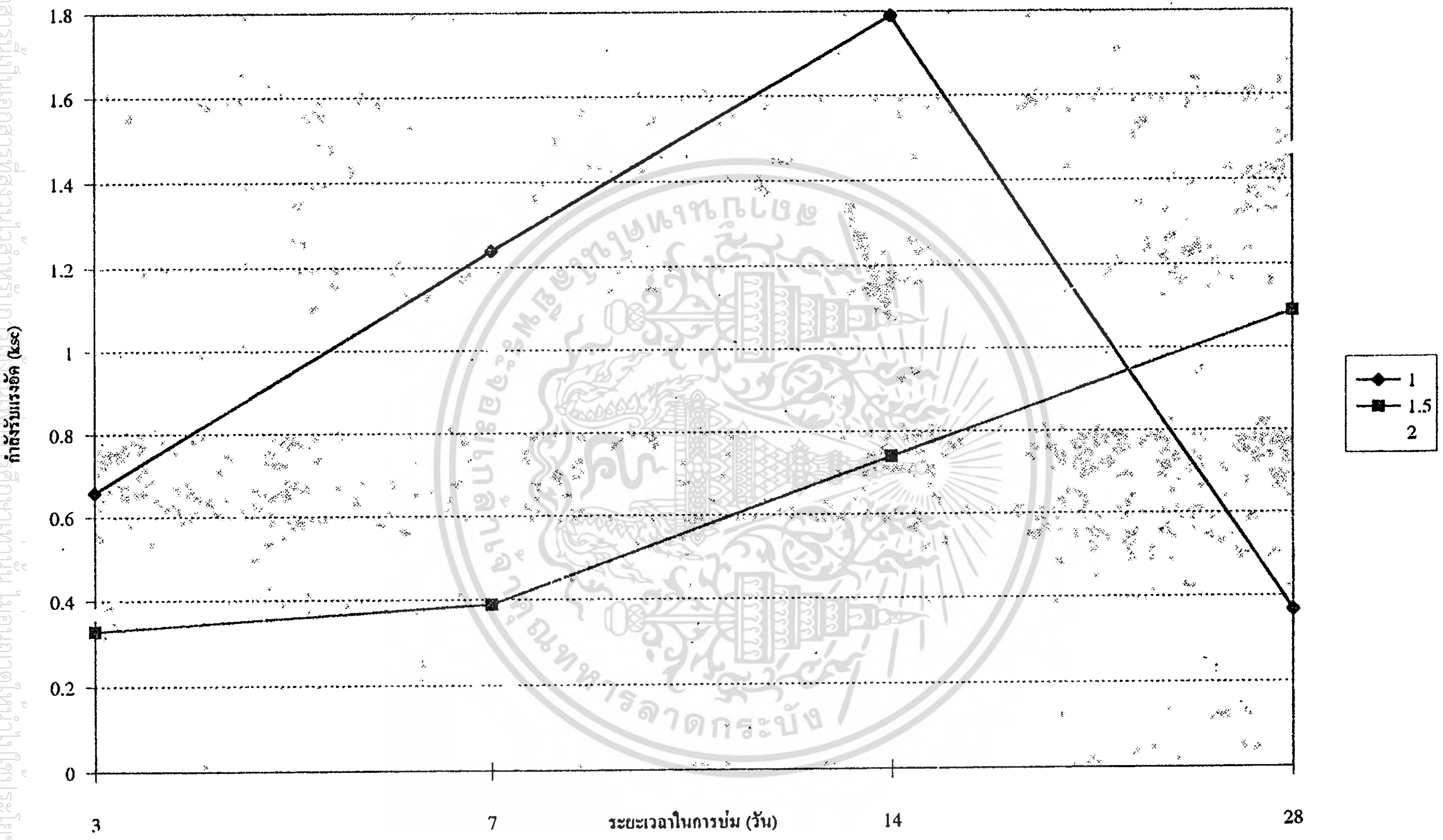
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและW/C ที่ 8%ซีเมนต์



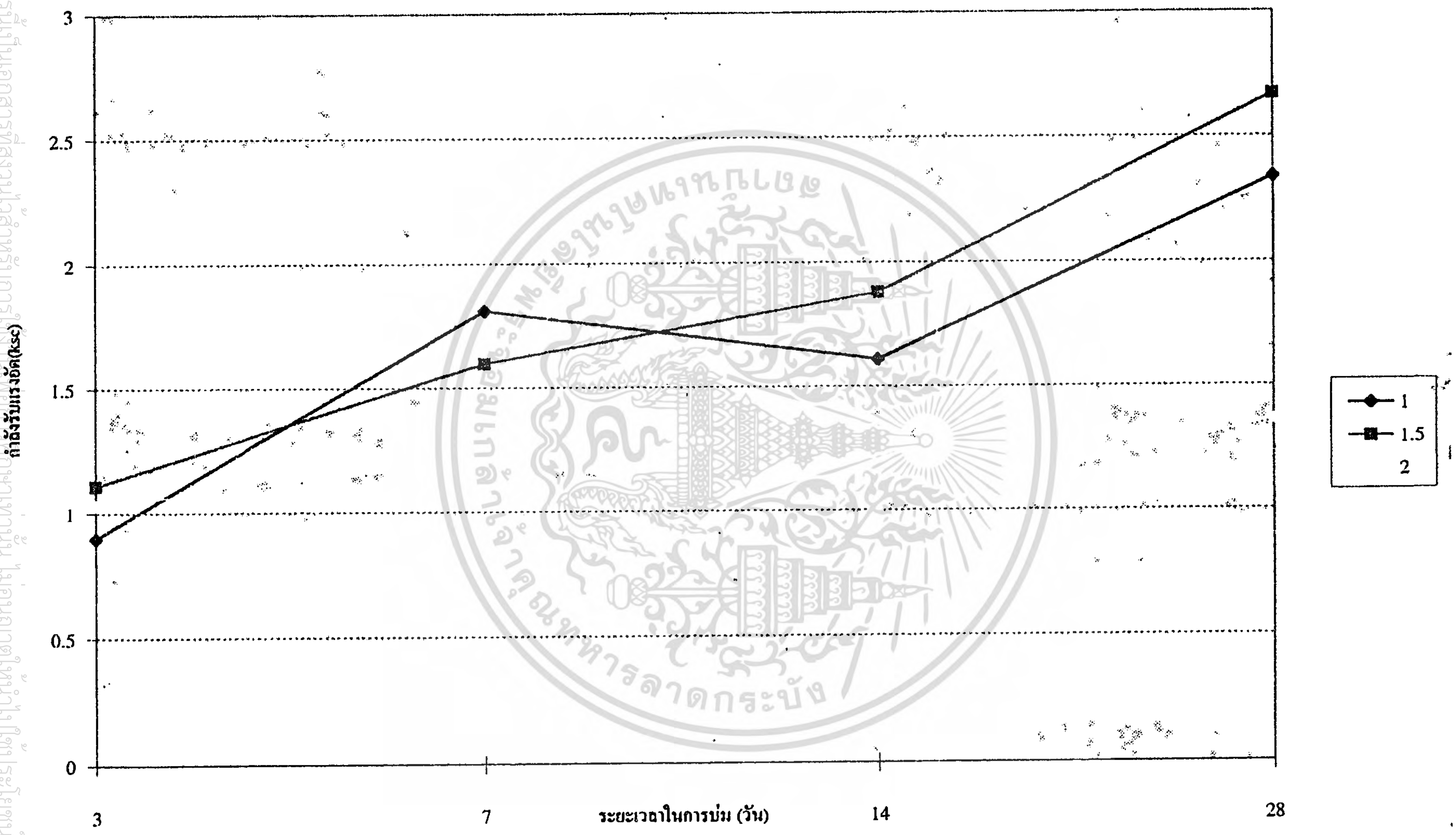
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ W/C ที่10% ซีเมนต์



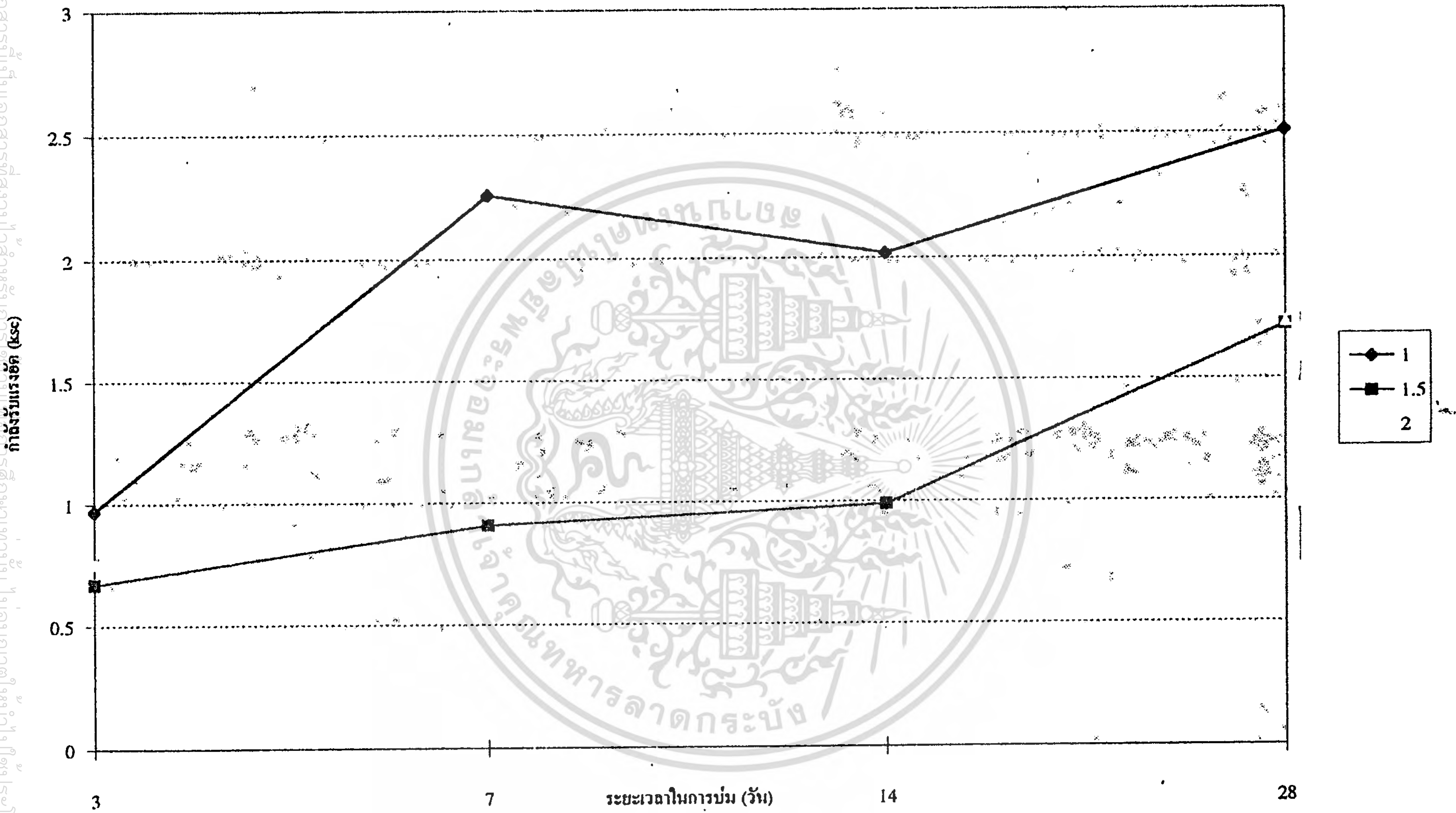
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ W/C ที่12% ซีเมนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและW/C ที่15%ซีเมนต์

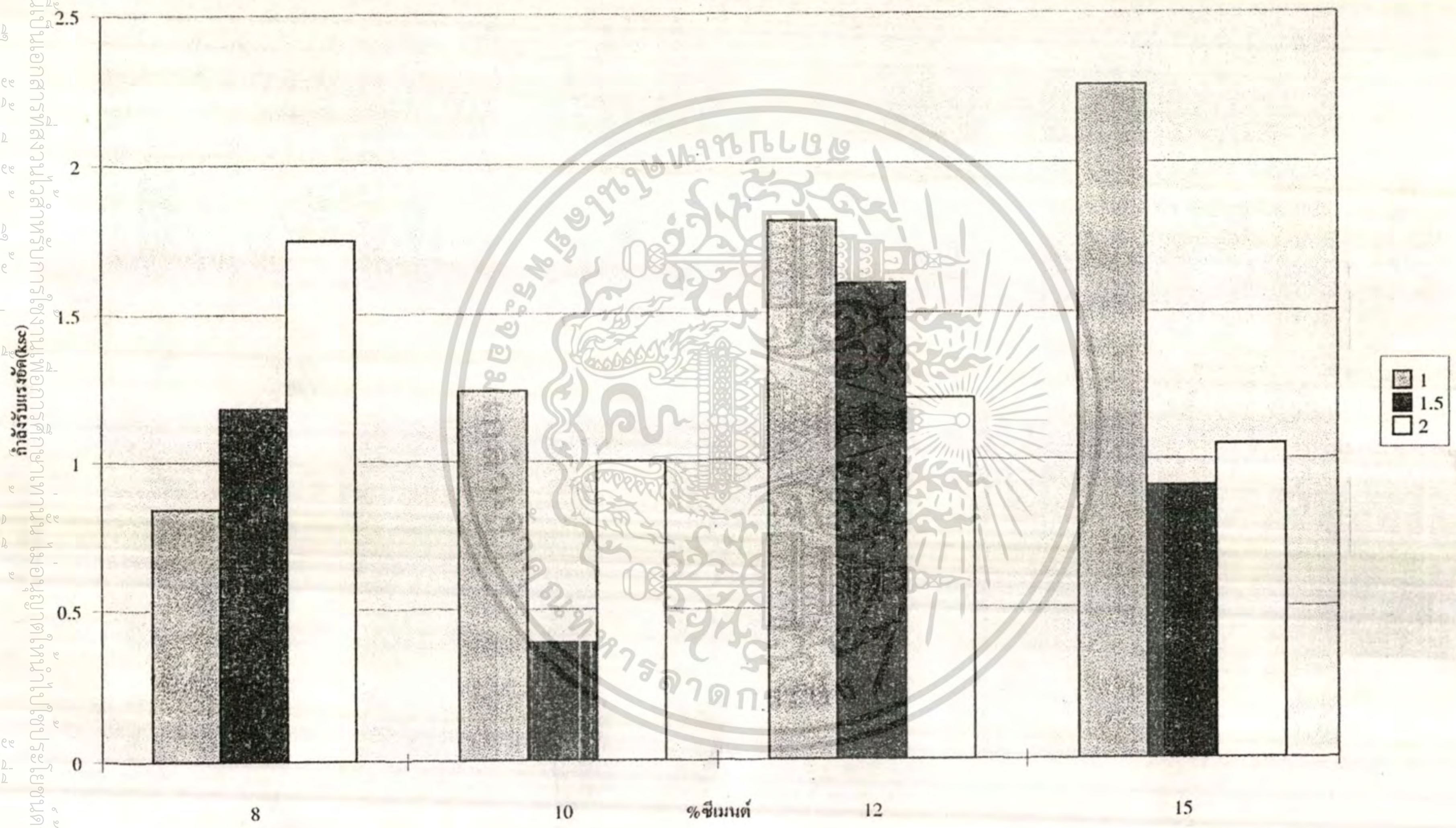


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่W/C ต่างๆ อายุการบ่ม 8 วัน

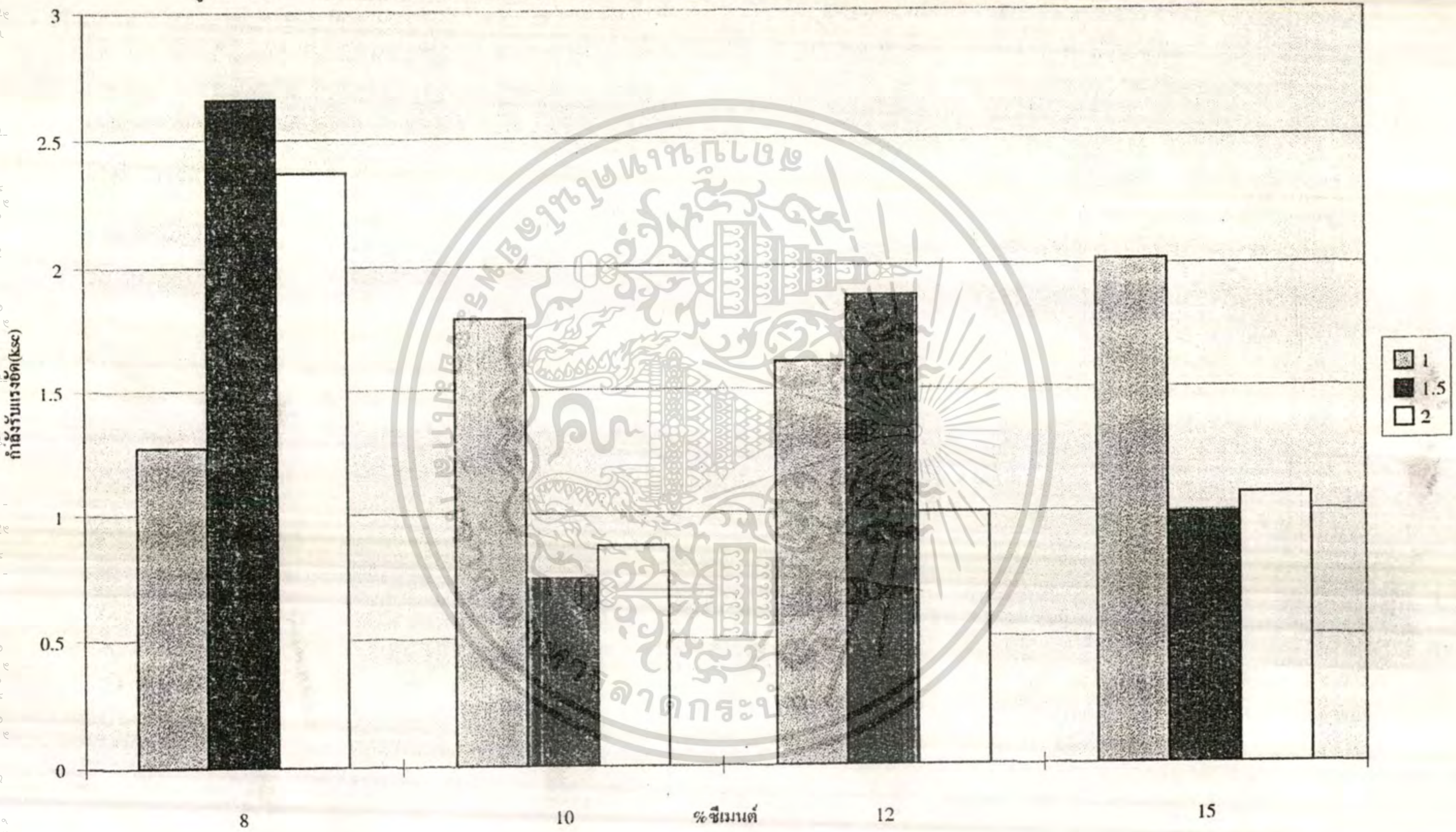
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่W/C ต่าง ๆ อายุการบ่ม 7 วัน



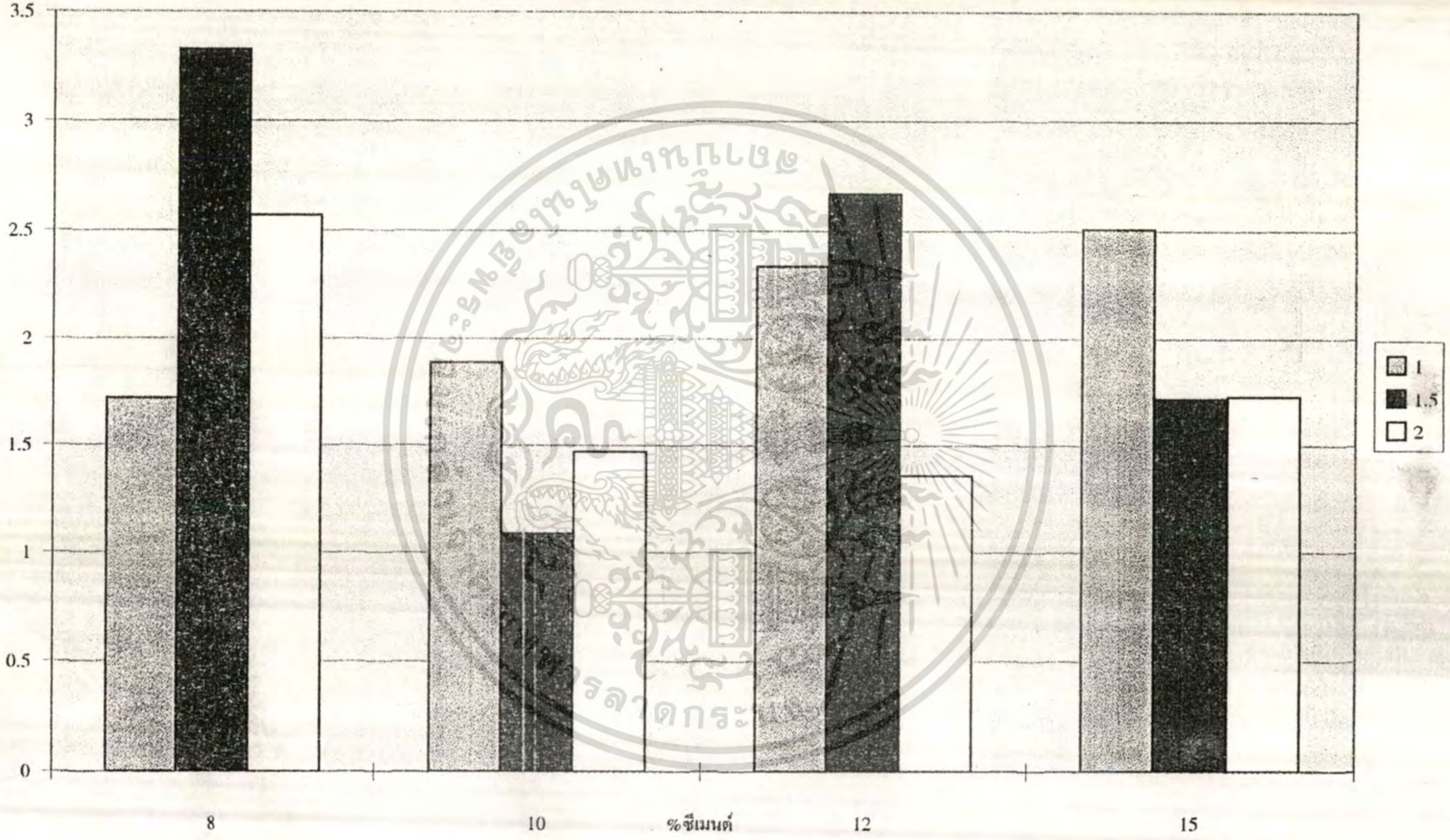
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่W/C ต่าง ๆ อายุการบ่ม 14 วัน



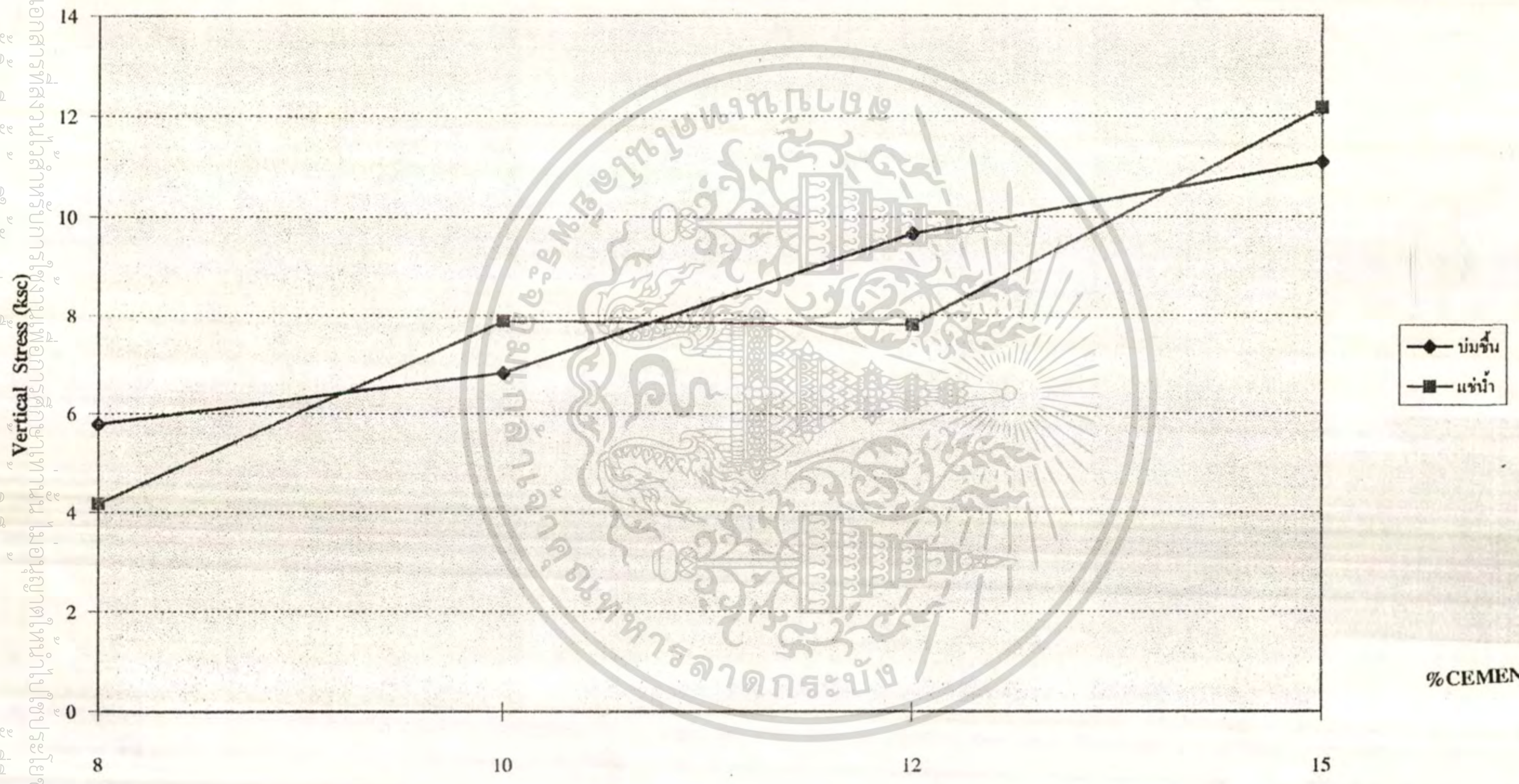
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและ%ซีเมนต์ที่ W/C ต่าง ๆ อายุการบ่ม 28 วัน



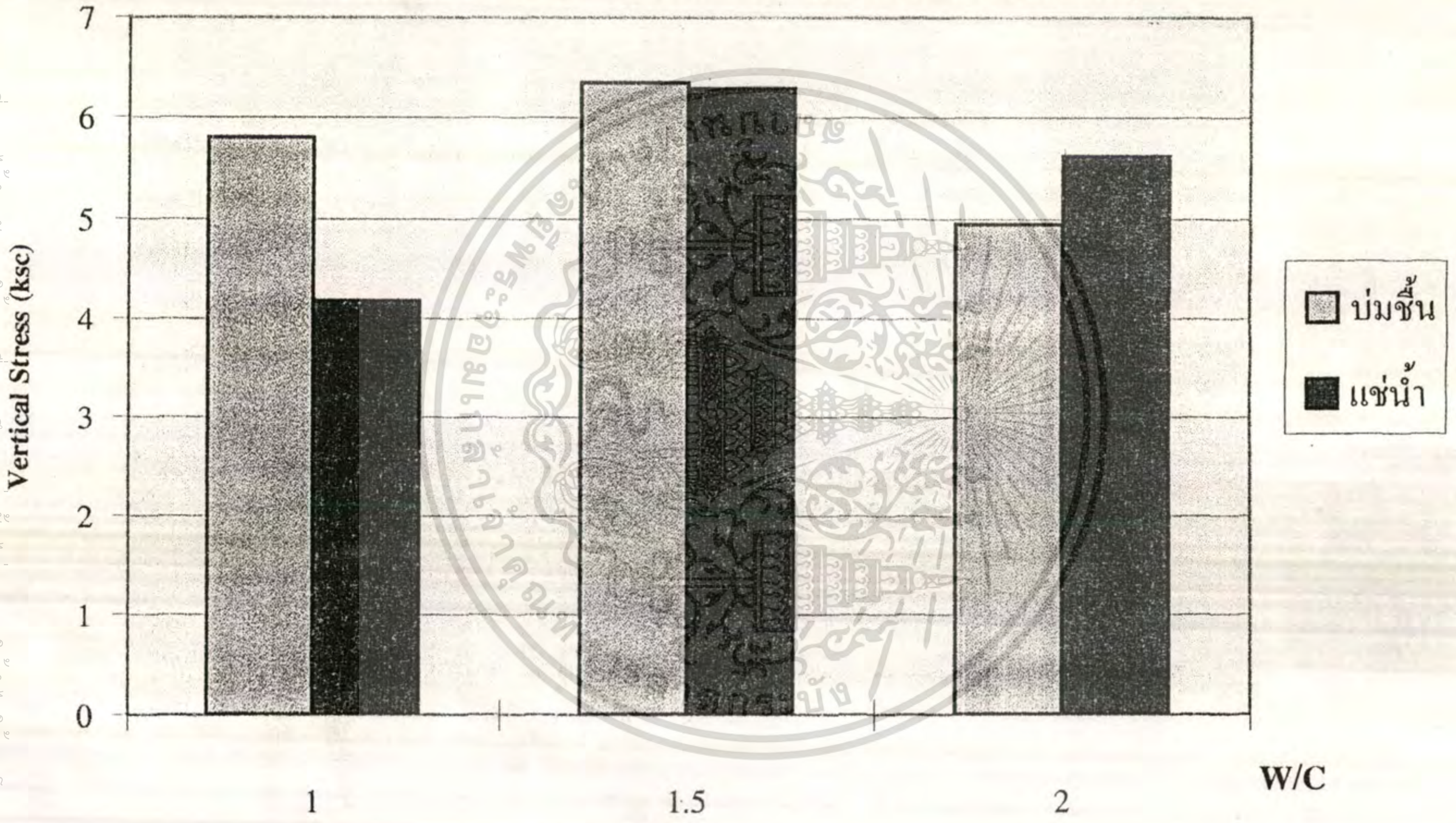
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ค่า Vertical Stress ที่ 28 วัน ของทุกปริมาณการผสมซีเมนต์ ,W/C 1:1



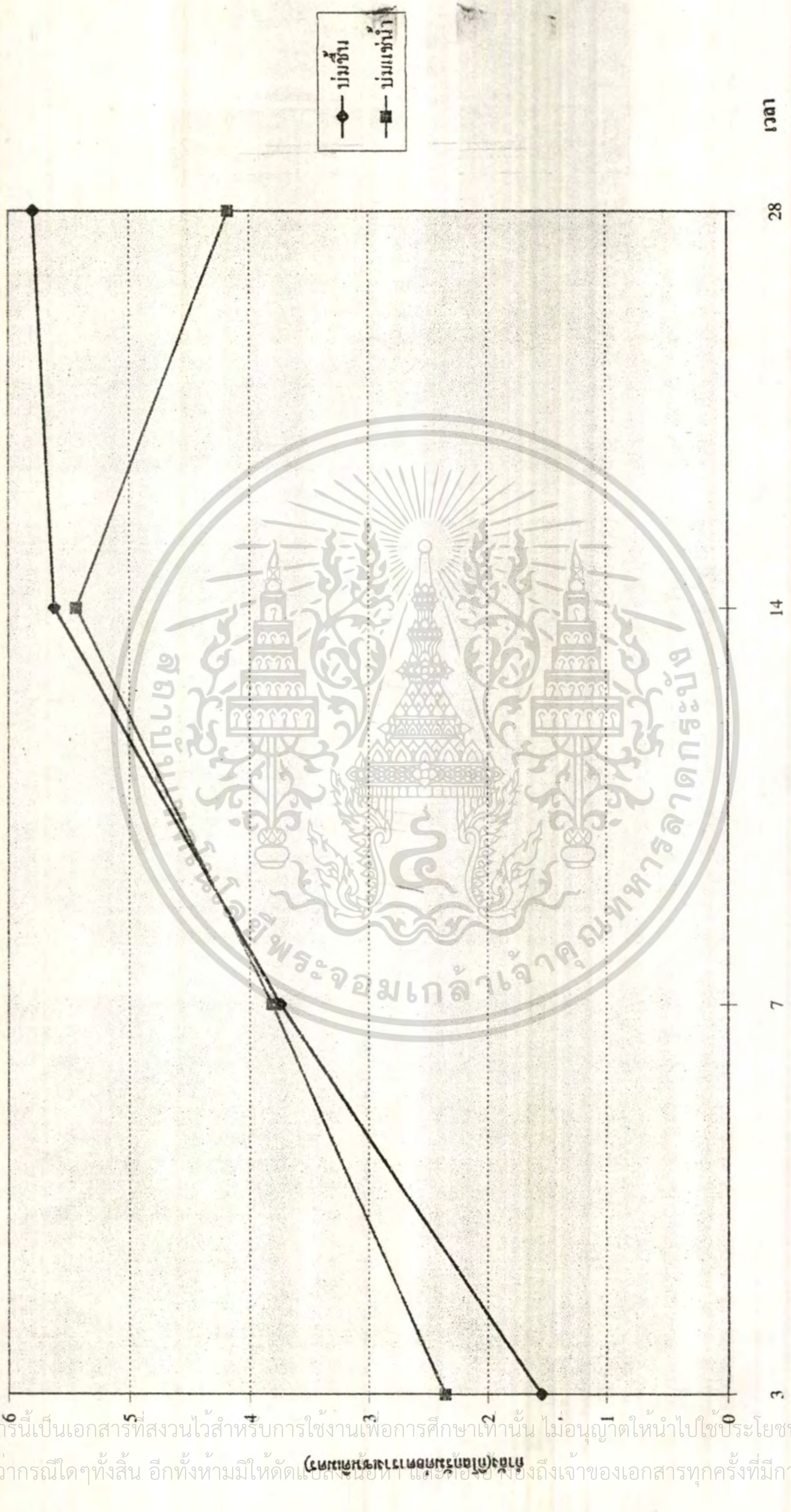
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 ค่า Vertical Stress ที่ 28วัน ของปริมาณการผสมซีเมนต์ 8% ที่ W/C ต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 ค่าVertical Stress ที่ปริมาณการผสมซีเมนต์ W/C 1:1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบและการใช้งานของ SOIL CEMENT COLUMN

4.1 การออกแบบ SOIL CEMENT COLUMN

สภาพของชั้นดินอ่อนในเขตกรุงเทพมหานครและเขตปริมณฑลได้สร้างปัญหาในการก่อสร้างและการใช้งานในโครงสร้างต่างๆ เป็นอย่างมาก เนื่องจากในชั้นดินอ่อนนั้นมีความสามารถในการยุบอัดตัวสูง (HIGH COMPRESSIBILITY) การทรุดตัวในชั้นดินอ่อนสามารถแยกออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

$$St = Si + Su + Sc + Ss$$

เมื่อ St = ผลรวมของการทรุดตัว (TOTAL SETTLEMENT)

Si = การทรุดตัวทันทีเมื่อได้รับแรงกดดัน (IMMEDIATE SETTLEMENT)

Su = การทรุดที่เกิดขึ้นเนื่องจาก LOCAL YIELD FLOW และ UNDRAIN CREEP

Sc = การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการอัดตัวคายน้ำ (PRIMARY CONSOLIDATION)

Ss = การทรุดตัวเนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ของอนุภาคดิน

การทรุดตัวลักษณะแรกเป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันที โดยไม่ขึ้นกับเวลา ส่วนการทรุดตัวในสามลักษณะหลัง เป็นการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป

4.1.1 IMEDIATE SETTLEMENT (Si)

เป็นการทรุดเนื่องจากคุณสมบัติยืดหยุ่นของดินจะเกิดขึ้นทันทีที่ได้รับแรงกดอัด มักเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในชั้นดินอ่อน เนื่องจากดินอ่อนสามารถขยายตัวหรือเคลื่อนตัวออกไปทางด้านข้างได้ง่ายเมื่อมีน้ำหนักกดทับ พฤติกรรมที่เกิดขึ้นเพราะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และมีความทึบน้ำสูง ดังนั้นขณะที่ได้รับน้ำหนักบรรทุก น้ำจะยังไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากมวลดินได้ทันทีที่รับแรงกด มวลดินทั้งก้อนจะยุบอัดตัวลงไปบนแนวดิ่งและขยายตัวออกทางแนวราบ โดยรักษาปริมาตรรวมไว้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดเก็บไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทรุดตัวเนื่องจาก LOCAL YIELD (FLOW) และ UNDRAINED CREEP,Su

การทรุดตัวในลักษณะนี้ เกิดขึ้นในกรณีที่มีแรงกระทำจากภายนอกสูงจนทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนในมวลดินสูงเกินกว่าหน่วยต้านแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (UNDRAINED SHEAR STRENGTH) ทำให้มวลดินเกิดพฤติกรรมการไหล (FLOW) ขึ้นมาได้ในลักษณะคล้ายโคลนเหลว

4.1.3 การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการอัดตัวคายน้ำ ,Sc

เมื่อมวลดินเหนียวอิ่มตัวได้รับแรงกดทับจะทำให้แรงดันน้ำส่วนเกินในมวลดิน เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนที่ได้รับแรงกระทำความดันน้ำส่วนเกินนี้จะทำให้น้ำไหลออกจากมวลดินจนกระทั่งความดันน้ำส่วนเกินทั้งหมดปรับเข้าสู่สภาวะสมดุลย์กับความดันน้ำสถิตย์โดยรอบ การไหลออกของน้ำจากมวลดินนี้ทำให้อนุภาคมวลดินเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ชิดกันมากขึ้น ปริมาตรมวลดินลดลงทำให้เกิดการทรุดตัวในชั้นดิน

4.1.4 การทรุดเนื่องจากการจัดเรียงกันใหม่ของอนุภาคดิน,Ss

เป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นหลังจากการยุบอัดตัวของดินสิ้นสุด อนุภาคของดินจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ ในสภาวะนี้จะมีการระบายน้ำออกจากดินอย่างช้าๆ แต่ไม่มีความดันน้ำส่วนเกินเกิดขึ้นในโพรงดิน สภาวะนี้เรียกได้ว่า DRAINED CREEP

จากคุณสมบัติของชั้นดินอ่อนกรุงเทพดังกล่าว สร้างปัญหาให้กับงานก่อสร้างโดยเฉพาะในงานถนน งานถมพื้นที่ งานคันดิน และงานขุดดิน ถนนหลายสายในทุกพื้นที่ที่รอบกรุงเทพ เช่น ถนนบางนา-บางปะกง , ถนนธนบุรี-ปากท่อ , ถนนสุขุมวิท , ถนนฉลองกรุง , ถนนศรีนครินทร์ ฯลฯ เมื่อสร้างได้ไม่นานก็ประสบปัญหาการทรุดตัวเสียหายอย่างมาก เช่น ในกรณีของถนนสายบางนา-บางปะกง ซึ่งมีชั้นดินอ่อนค่อนข้างมาก ส่งผลให้เกิดการทรุดตัวสูง ในบางช่วงที่มีชั้นดินอ่อนค่อนข้างมาก เช่น บริเวณ กม.30 มีการทรุดตัวใน 10 ปี ถึงกว่า 2 เมตร

แนวทางในการแก้ปัญหาการก่อสร้างบนชั้นดินอ่อน สามารถแยกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ยอมรับสภาพดินอ่อน โดยมิได้แก้ปัญหาเกี่ยวกับดินอ่อน ในกรณีของถนน สามารถทำได้โดยเพิ่มความสูงของดินคันทางซึ่งอาจจะต้องก่อสร้าง BERM ด้วย ข้อดีสำหรับวิธีนี้ ค่าก่อสร้างราคาถูก

2) ไม่ยอมรับสภาพดินอ่อน อาจทำได้โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน ซึ่งจะเป็นการแก้ปัญหาหรือชะลอปัญหา เช่น การใช้วัสดุช่วยระบายน้ำในแนวดิ่ง (PREFABRICATED VERTICAL DRAIN) ใช้เสาเข็มหินหรือทราย , การตอกเข็ม ,การใช้แผ่นใยหรือตาข่ายสังเคราะห์ (GEOTEXTILE OR GEOGRID) วิธีเสาเข็มดินซีเมนต์หรือปูนขาว

4.2 หลักการของ SOIL CEMENT COLUMN

4.2.1 การรับน้ำหนักของ SOIL CEMENT COLUMN

1. ULTIMATE BEARING CAPACITY ของเสาเข็มเดี่ยว

ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มขึ้นอยู่กับค่า SHEAR STRENGTH ของดินรอบๆเสาเข็ม และค่า SHEAR STRENGTH ของตัว COLUMN เอง การต้านรับแรงกดในแนวดิ่งของตัวเข็มแต่ละต้นสามารถคำนวณได้คล้ายกรณีเสาเข็มเจาะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือแรงต้านทานจากความเสียดทานรอบผิวเสา(SKIN FRICTION) และแรงต้านจากปลายเสาเข็ม (END BEARING)

$$Q_{ult,soil} = (\pi d H_{col} + 2.25\pi d^2)C_u \quad \text{-----------} \quad (1)$$

เมื่อ d = DIAMETER ของ SOIL-CEMENT COLUMN

H_{col} = ความยาวของ SOIL-CEMENT COLUMN

C_u = ค่าเฉลี่ยของ UNDRAINED SHEAR STRENGTH ของดินรอบๆเข็ม

จากสมการที่ 1 เราประมาณค่าแรงเสียดทานของดินเท่ากับค่า C_u และค่า END BEARING ใช้เท่ากับ 9 C_u แต่ตามสภาพความเป็นจริงแล้ว ค่า END BEARING ของเข็มจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนาขึ้นถึงระดับสูงสุดเมื่อเสาเข็มเคลื่อนตัวไปมากกว่า 5-10 % ของเส้นผ่าศูนย์กลางเข็ม ในขณะที่แรงเสียดทานระหว่างผิวเสาเข็มจะพัฒนาขึ้นระดับสูงสุดเมื่อ เสาเข็มเคลื่อนตัวไปเพียง 0.5 % ของเส้นผ่าศูนย์กลางเข็มเท่านั้น จึงเห็นได้ว่าในกรณีเสาเข็มขนาดยาวและจมอยู่ในเนื้อดินเนื้อเดียวกัน กำลังรับน้ำหนักส่วนใหญ่ได้มาจากแรงเสียดทานรอบ ๆ เสาเข็ม ในการคำนวณค่า END BEARING จึงควรใช้เพียง 1/3 ของค่า END BEARING จากสูตร ในกรณีที่ปลายเสาเข็มหยั่งถึงชั้นดินที่แข็งแรงขึ้นค่า END BEARING จะเพิ่มมากขึ้น ขึ้นกับความแข็งแรงของดินชั้นนั้น โดยกำลังที่นำมาใช้ต้องไม่เกินกำลังรับแรงกดของตัว SOIL CEMENT COLUMN เอง

การคำนวณกำลังแบกทานของ SOIL CEMENT COLUMN อีกกรณีคือ คิดที่การ FAIL ขึ้นที่ตัวเสาเข็มเอง โดยมองสภาพของSOIL CEMENT COLUMN เป็น STIFF FISSURE CLAY พิจารณาค่า SHEAR STRENGTH ของตัวเข็มเอง ซึ่งได้มาจากการทดลองแบบ UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH เป็นสมการดังนี้

$$Q_{ult,\,col} = A_{col}\,(3.5C_{col} + 3\sigma_h) \qquad (2)$$

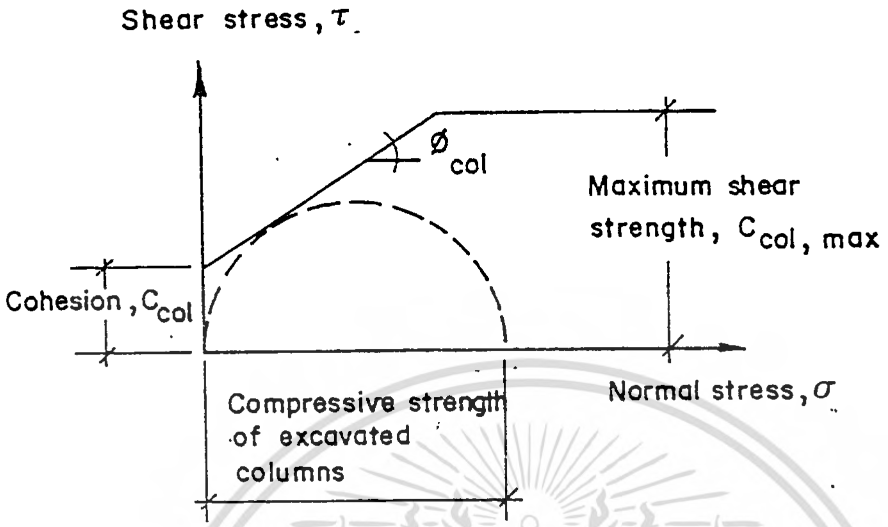
เมื่อ C_{col} = ค่า COHESION ของ SOIL CEMENT COLUMN

σ_h = ค่าแรงดันด้านข้างของดินรอบๆเสาเข็ม

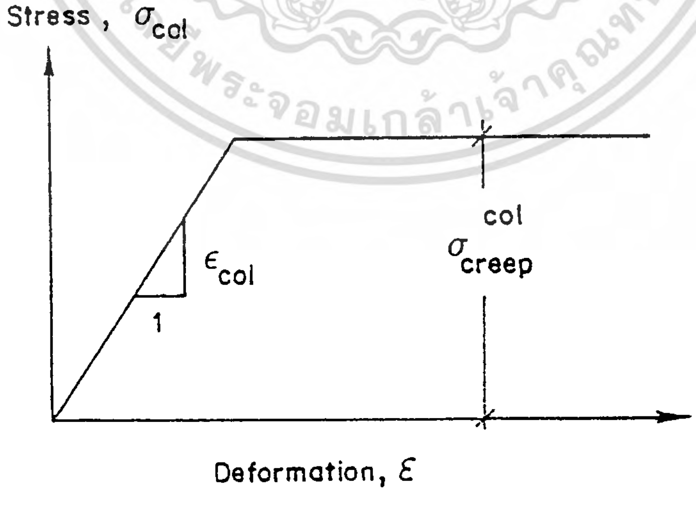
ในการรับกำลังระยะยาวของเสาเข็มควรคำนึงถึงการ CREEP ของตัวเสาเข็มด้วยปรกติ

$Q_{creep,col}$ จะมีค่าประมาณ 65% ถึง 85% ของ $Q_{ult,\,col}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ASSUMED FAILURE DIAGRAM OF SOIL CEMENT COLUMN



รูปที่ 4.2 ASSUMED STRESS - STRAIN RELATIONSHIP OF SOIL CEMENT COLUMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ULTIMATE BEARING CAPACITY กรณีเข็มกลุ่ม

การก่อสร้างกลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN เพื่อรองรับน้ำหนักและป้องกันไม่ให้เกิดการทรุดตัวเกินเกณฑ์ที่กำหนด โดยทั่วไปควรให้เข็มมีระยะห่างระหว่างเข็มประมาณ 2-3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็มเพื่อให้การรับน้ำหนักอยู่ในรูปของเสาเข็มกลุ่ม ซึ่งจะทำให้มวลดินจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและมีพฤติกรรมในการวิบัติเป็นแบบ กล่องดินแข็ง(BLOCK FAILURE)ซึ่งค่าแรงต้านรับส่วนใหญ่ของกลุ่มเสาเข็มจะขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานรอบรูปกล่องเสาเข็มนั้นและแรงต้านที่ปลายเข็ม ดังสมการที่ 3

$$Q_{ult,group} = 2\,C_uH(B+L)+(6 \text{ ถึง } 9)C_uBL \qquad \text{---------} \qquad (3)$$

เมื่อ B = ความกว้างของกลุ่มเข็ม

L,H = ความยาวและความสูงของกลุ่มเข็ม

FACTOR 6 สำหรับเสาเข็มกลุ่ม สี่เหลี่ยมผืนผ้า L>>B

FACTOR 9 สำหรับเสาเข็มกลุ่ม สี่เหลี่ยมจตุรัส

ค่าแรงต้านที่ปลายเข็มกลุ่ม ควรใช้ไม่เกิน 10 % ของค่า ULTIMATE END BEARING จากที่คำนวณได้

อีกกรณีหนึ่งของเสาเข็มกลุ่มที่มีการคำนวณ คือ การพังทลายของกลุ่มเข็มในลักษณะของLOCAL FAILURE ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$q_{ult} = 5.5\,C_{av}\,(\,1 + 0.2B/L\,) \qquad \text{---------} \qquad (4)$$

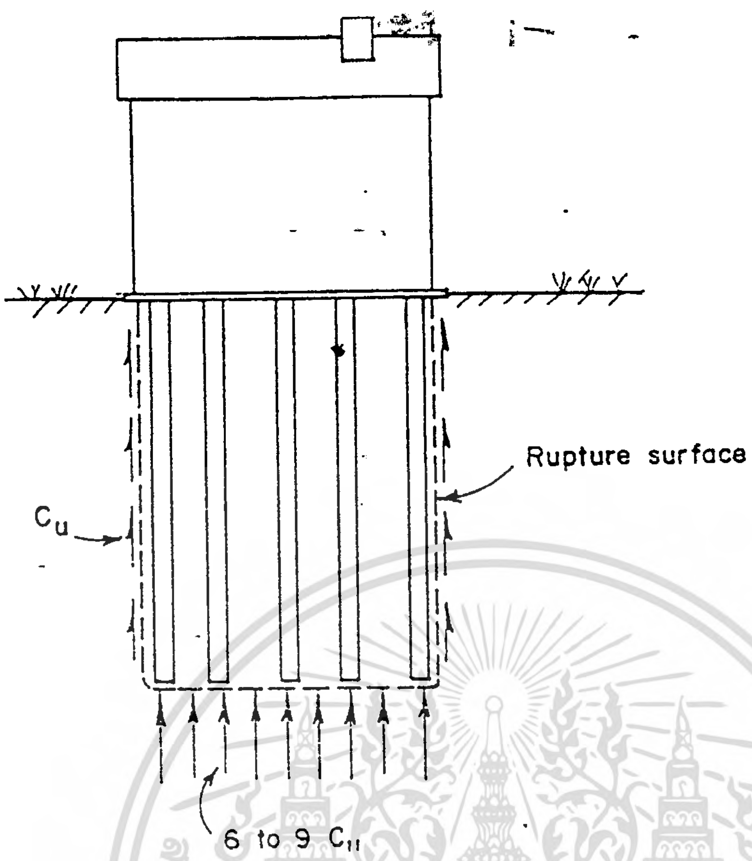
เมื่อ B,L = ความกว้างและความยาวของกลุ่มเข็ม

C_{av} = ค่ากำลังเฉือนเฉลี่ยของดินตามแนวที่คาดว่าจะวิบัติ

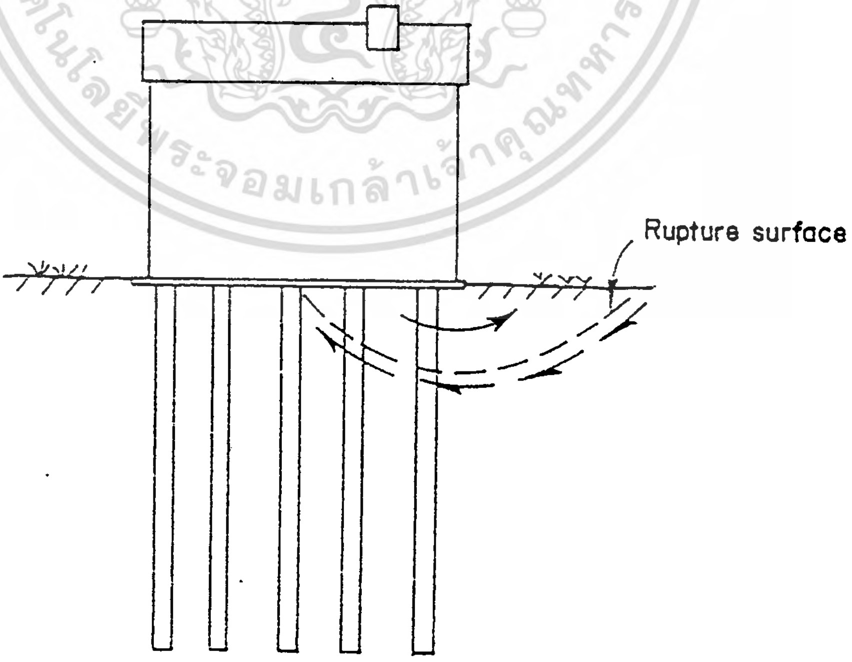
$= C_u(1-a)+C_{col}\,a$

$a = [\,N\,A_{col}\,]\,/\,[\,B{*}L\,]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) BLOCK FAILURE



(b) LOCAL SHEAR FAILURE

รูปที่ 4.3 FAILURE MODES OF SOIL CEMENT COLUMN FOUNDATIONS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทรุดตัว

1) การทรุดตัวทั้งหมด

การทรุดตัวทั้งหมดใน SOIL CEMENT COLUMN เราสามารถประมาณค่าออกมาได้ดังนี้

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$$

เมื่อ Δh_1=การทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดการยุบตัว ใน SOIL CEMENT COLUMN และดินที่อยู่ระหว่างเสาเข็ม สามารถคำนวณได้จาก

$\Delta h_1 = qH / \{a E_{col} + (1-a)E_{soil}\}$

$a = NA_{col} / BL$ (อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดรวมของ SOIL CEMENT COLUMN ต่อพื้นที่ทั้งหมดของดินในขอบเขตที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพ)

E_{col} = ค่าโมดูลัสของ SOIL CEMENT COLUMN

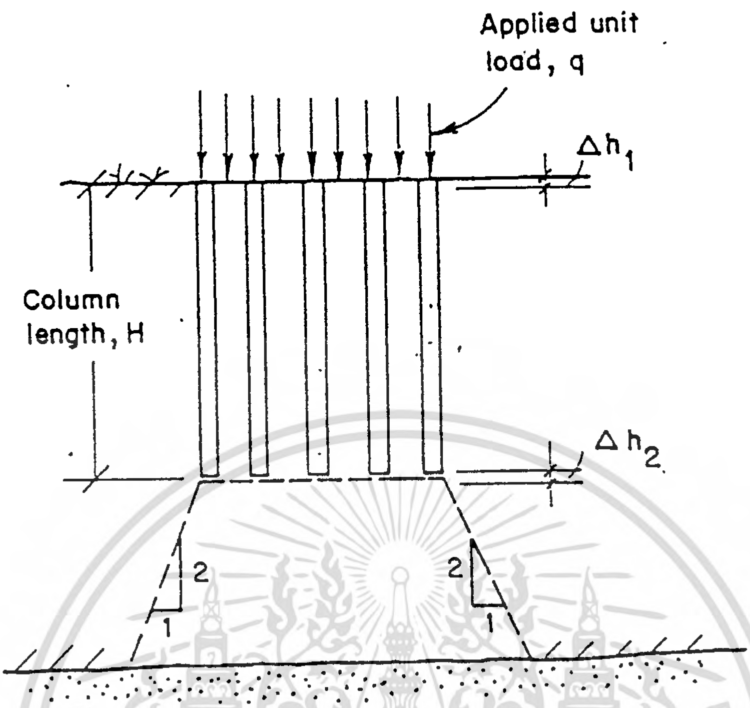
E_{soil} = ค่าโมดูลัสของดินเดิม

H = ความยาวของ SOIL CEMENT COLUMN

Δh_2 = การทรุดตัวของดินใต้กลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN เมื่อแบกรับน้ำหนักจากสิ่งก่อสร้าง ถ่ายผ่านปลายกลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN ลงมา ซึ่งสามารถประเมินได้ตามมาตรฐานทั่วไป

* ค่า E_{col} และE_{soil} สามารถหาได้จากการทดสอบ OEDOMETER TEST แต่ถ้าไม่มีผลการทดสอบดังกล่าว อาจใช้ค่า TANGENT MODULUS ที่ 50% ของ q_u มาใช้หรือใช้ค่าประมาณ 50 - 100 C_{col}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 CALCULATION SETTLEMENT OF SOIL CEMENT COLUMN

2 การทรุดตัวที่แตกต่าง (DIFFERENTIAL SETTLEMENT)

การทรุดตัวที่แตกต่างสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$\alpha = \tau_{ave} / G_{ave} \qquad (6)$$

เมื่อ α = ค่ามุมแตกต่างระหว่างเข็ม

τ_{ave} = ค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ยของดินรอบกลุ่มเข็ม

$= W_g / [\,2(B+L)\,H\,] \leq C_u / 1.5$

$$G\ ave = \frac{BG_{soil}}{(B - md)}$$

โดย G_{ave} = ค่า Shear Modulus ของดิน

B = ความกว้างของบริเวณกลุ่มเข็มที่ติดตั้ง

m = จำนวนแถวของเสาเข็มที่ติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มดินซีเมนต์

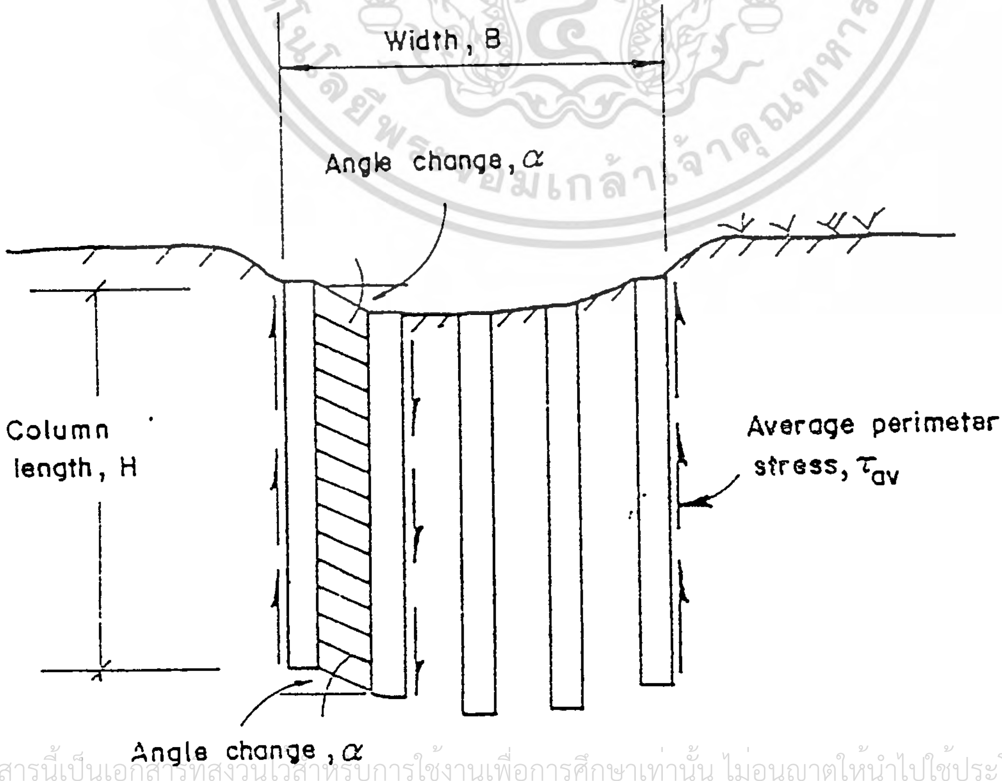
G_{soil} = ค่า Shear Modulus ของดินรอบ ๆ ระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 100 C_u โดย C_u คือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินบริเวณรอบ ๆ

ในกรณีที่ต้องการควบคุมการทรุดตัวแตกต่างของเสาเข็มไม่ให้มากเกินไป ให้ควบคุมอัตราส่วนระหว่าง Cu / τ_{ave} ประมาณ 1.5-3.0 ขึ้นอยู่กับจะยอมให้การทรุดตัวแตกต่างมากน้อยเท่าไร เราอาจประมาณความยาวของกลุ่มเข็มขั้นต่ำเพื่อไม่ให้เกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกันมากเกินไปได้จาก

$$H = (\tau_{ave} qBL) / [2 (B+L) \alpha G_{ave}] \text{ ------- } (7)$$

เมื่อ τ_{ave} = อัตราส่วนของน้ำหนักถ่ายผ่านเส้นรอบรูปของกลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN

α = เกณฑ์การทรุดตัวแตกต่างสูงสุดที่ยอมรับได้มีหน่วยเป็น (RADIAN)



รูปที่ 4.5 CALCULATION OF DIFFERENTIAL SETTLEMENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 แนวคิดในการปรับปรุงฐานรากถนนบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.3.1 ข้อมูลชั้นดิน

จากรายงานผลการเจาะสำรวจทางปฐพีกลศาสตร์ จากหลุมเจาะบริเวณริมคลองประเวศ - บุรีรมย์ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สรุปเป็นข้อมูลได้ดังนี้

Depth (From-To)	Group Sym	γ_t	LL	PL	PI	e	U_c	$\frac{C_c}{(1+e)}$
1.5 - 2	CL	1.81	46.55	26.69	19.86	1.080	0.46	0.158
3 - 3.5	MH-OH	1.47	50.85	31.80	19.05	2.692	0.09	0.010
4.5 - 5	MH-OH	1.43	54.80	30.75	24.05	2.933	0.21	0.103
6 - 6.5	CH	1.44	63.25	31.23	32.03	2.797	0.18	0.126
7.5 - 8	CL	1.44	49.8	31.62	18.18	2.966	0.23	0.090
9 - 9.5	CL	1.49	43.95	31.66	12.29	2.554	0.37	0.086
10.5 - 11	CL	1.58	34.16	20.77	13.39	1.951	0.32	0.074
12 - 12.5	CL	1.71	34.68	19.43	15.25	1.464	0.46	0.054
13.5 - 14	CL	1.65	41.40	22.50	18.90	1.606	0.63	0.108
15 - 15.5	CL	1.66	45.30	24.71	20.59	1.674	0.59	0.119
16.5 - 17	CL	1.65	47.27	24.57	22.70	1.682	0.60	0.125
18 - 18.5	CL	1.72	35.72	18.30	17.42	1.287	0.73	0.101
19.5 - 20	CL	2.10	32.20	14.35	17.85	0.493	1.22	0.073
21 - 21.45	CL	2.13	30.80	14.60	16.20	0.564	-	0.070
22.5-22.95	CL	2.00	41.60	16.78	24.82	0.670	3.60	0.065
24 - 24.45	CL	2.04	41.27	17.15	24.12	0.653	1.9	0.066
25.5-25.95	CH	2.15	51.25	22.07	29.18	0.552	-	0.070

ตารางที่ 4.1 ผลการเจาะสำรวจทางปฐพีกลศาสตร์ จากหลุมเจาะบริเวณริมคลองประเวศ -บุรีรมย์ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LL = LIQUID LIMIT

PL = PLASTIC LIMIT

PI = PLASTIC INDEX

e = VOID RATIO

U_c = UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH (KSC)

C_C = COMPRESSION INDEX

γ_t = TOTAL UNIT WEIGHT

C_C หาได้จากการทดสอบยุบอัดตัวของดินหรือประมาณจาก $C_C = 0.009 (LL. - 10)$

จากตารางที่ 4.1 นำค่าข้อมูลดินมาเฉลี่ยเป็นข้อมูลของดินแต่ละชั้นได้ดังนี้

ที่ระดับ 0 - 0.6 ม. จากผิวดินเป็นชั้น FILL SOIL

ที่ระดับ 0.6 - 2.40 เป็นดินชนิด CL มีค่า

γ_t = 1.81 t / m^3

C_u = 2.3 t / m^2

C_c / [1+ e] = 0.158

ที่ระดับ 2.4 - 19.6 ม. เป็นดินชนิด MH - OH , CH & CL มีค่า

γ_t = 1.61 t / m^3

C_u = 2.35 t / m^2

C_c / [1+ e] = 0.103

ที่ระดับ 19.6 - 26.3 ม. เป็นดินชนิด CL & CH มีค่า

γ_t = 2.13 t / m^3

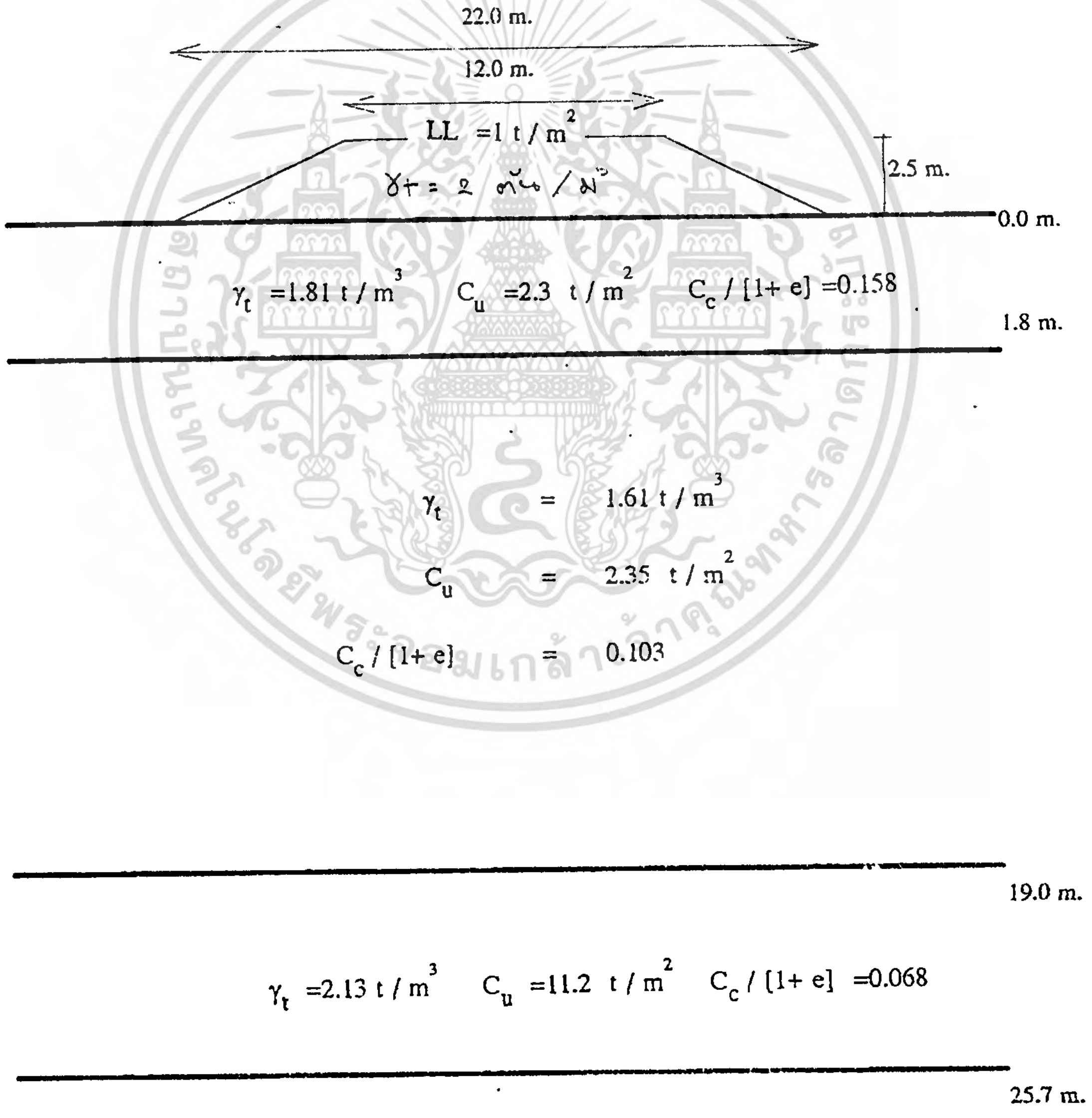
C_u = 11.2 t / m^2

C_c / [1+ e] = 0.068

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับน้ำใต้ดินตรวจพบหลังจากเจาะสำรวจ 24 ชั่วโมงมีระดับอยู่ที่ 0.15 จากผิวดิน ระดับน้ำนี้อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาลขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน การซึมซับลงในดิน และการไหลลงสู่แม่น้ำ

กรณีก่อสร้างถนนบนชั้นดินโดยตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 วิเคราะห์ค่าการทรุดตัวซึ่งพิจารณาจากการทรุดตัวแบบ CONSOLIDATION SETTLEMENT

ค่าการทรุดตัว Δh สามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta h = h \frac{C_C}{1+e_0} \log \frac{P_0 + \Delta\sigma_Z}{P_0}$$

โดย

Δh = การทรุดตัว

h = ความหนาชั้นดินแต่ละชั้น

C_C = COMPRESSION INDEX

P_0 = ค่า EFFECTIVE OVERBURDEN PRESSURE ของชั้นดินมีค่า

= $(\gamma_T - \gamma_W) Z$

โดย

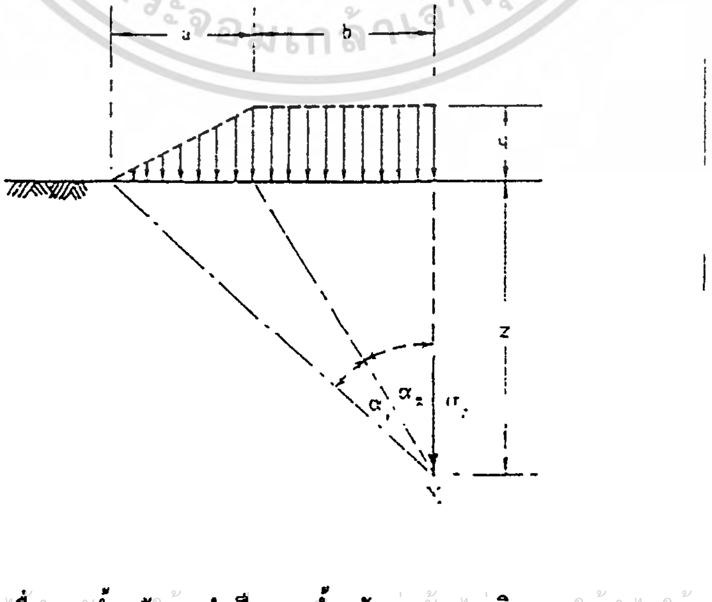
γ_T = หน่วยน้ำหนักรวมของดิน

γ_W = หน่วยน้ำหนักรวมของน้ำ

Z = ความลึกของชั้นดินที่พิจารณา

$\Delta\sigma_Z$ = ค่าหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นในชั้นดินที่พิจารณา

เราสามารถหาค่า $\Delta\sigma_Z$ ในกรณีดินถมได้ดังนี้



รูปที่ 4.6 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำเป็นแบบน้ำหนักบรรทุกของดินถม

เอกสารนี้เ... ...ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\sigma_Z = \frac{q}{\pi}\left\{\frac{(a+b)}{a}(\alpha_1+\alpha_2) - \frac{(\alpha_2 b)}{a}\right\}$$

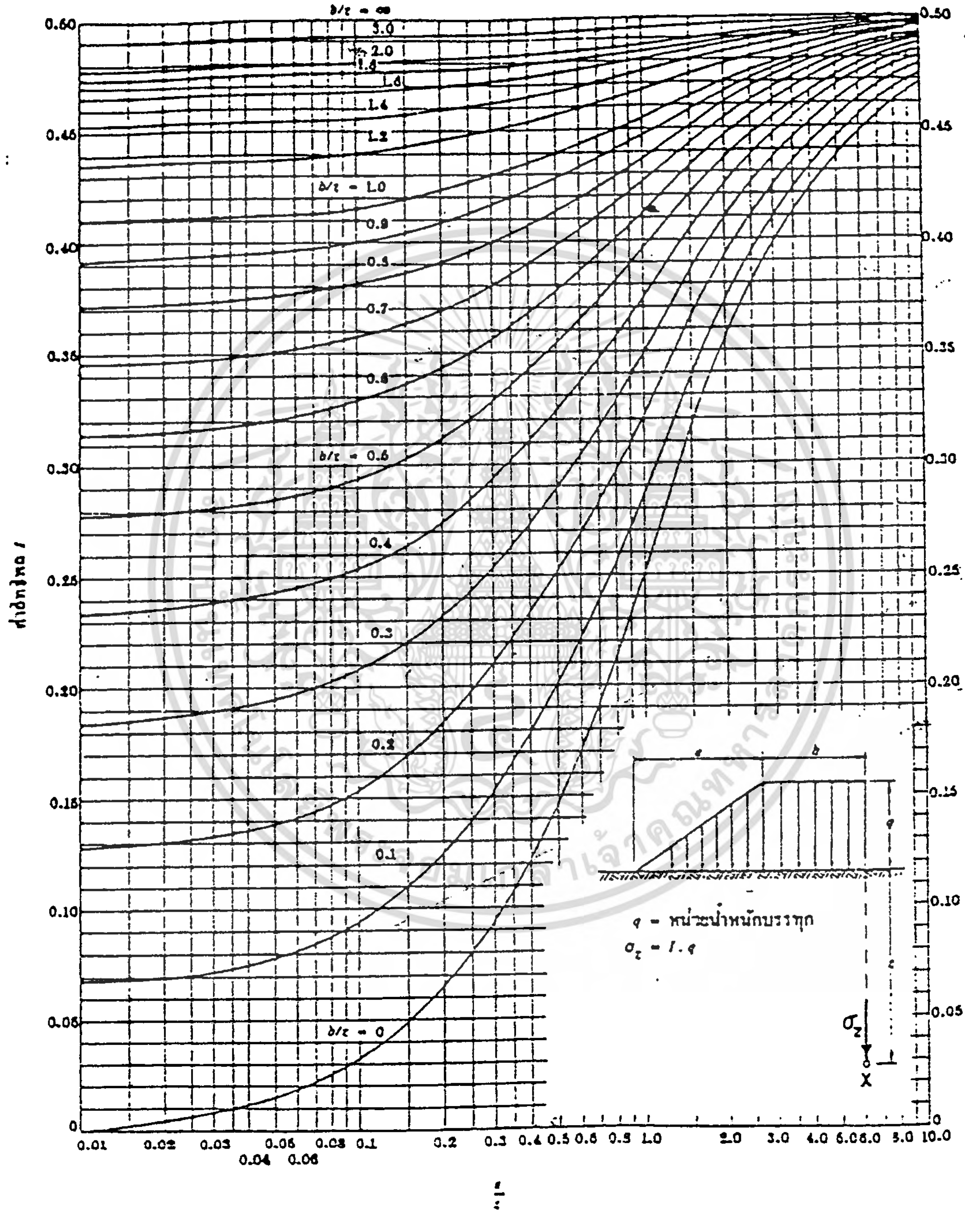
$$= qI$$

ในเมื่อ

$$I = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{(a+b)}{a}(\alpha_1+\alpha_2) - \frac{(\alpha_2 b)}{a}\right\}$$

ค่า I ซึ่งแปรไปตาม a / Z และ b / Z หาได้จากรูปที่ 4.7 แผนภูมิอิทธิพลของออสเตอร์เบิร์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แผนภูมิอิทธิพลของออสเตอร์เบิร์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าการทรุดตัวของชั้นดินแต่ละชั้น

ค่าที่ใช้ในการคำนวณ

$a = 5$ m.

$b = 6$ m.

$q = 6\ T/m^2$

$\alpha_1 = \tan^{-1}(11/Z) - \tan^{-1}(6/Z)$

$\alpha_2 = \tan^{-1}(6/Z)$

$\alpha_1 + \alpha_2 = \tan^{-1}(11/Z)$

ดินชั้นแรก

ค่า P_0 กึ่งกลางดินชั้นแรก $= (1.81 - 1)\ 0.9$

$= 0.729\ T/m^2$

$\Delta\sigma_Z$ กึ่งกลางดินชั้นแรก $= \frac{2*6}{\pi}\{(5+6)(\tan^{-1} 11/0.9) - \frac{6}{5}(\tan^{-1} 6/0.9)\}$

$= 3\ T/m^2$

$\Delta h = (1.8)*(0.158) \log\{(0.729 + 6) / 0.729\}$

$= 0.275$ m.

ดินชั้นที่ 2

ค่า P_0 กึ่งกลางดินชั้นที่ 2 $= (1.81 - 1)1.8 + (1.6 - 1)6$

$= 6.704\ T/m^2$

$\Delta\sigma_Z$ กึ่งกลางดินชั้นที่ 2 $= \frac{2*6}{\pi}\{(5+6)(\tan^{-1} 11/10.4) - \frac{6}{5}(\tan^{-1} 6/10.4)\}$

$= 4.44\ T/m^2$

$\Delta h = (17.2)*(0.103) \log\{(6.704 + 4.44) / 6.704\}$

$= 0.391$ m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินชั้นที่ 3

ค่า P_0 กึ่งกลางดินชั้นที่ 3 = $(1.81 - 1)1.8 + (1.61 - 1)17.2 + (2.13 - 1)3.35$

= $15.736\ T/m^2$

$\Delta\sigma_Z$ กึ่งกลางดินชั้นที่ 3 = $\frac{2*6}{\pi}\{\frac{(5+6)}{5}(\tan^{-1} 11/22.35) - 6/5(\tan^{-1} 6/22.35)\}$

= $2.64\ T/m^2$

Δh = $(6.7)*(0.068)\log\{(15.736 + 2.640)/15.736\}$

= 0.031 m.

การทรุดตัวทั้งหมดของชั้นดิน = $0.275 + 0.391 + 0.031$

= 0.697 m.

4.3.3 การออกแบบเสาเข็มดินซีเมนต์

เราสามารถประมาณค่ากำลังต้านรับแรงสูงสุดของเข็มได้จาก ค่า FRICTION และ END BEARING ของเข็มจากสูตร

$$Q_{ult,soil} = (\pi dH + 2.25\pi d^2)C_u$$

แต่จากสภาพความเป็นจริงควรใช้

$$Q_{ult,soil} = (\pi dH + 2.25\pi d^2/3)C_u$$

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม

H = ความยาวของเสาเข็มดินซีเมนต์

C_u = ค่าเฉลี่ยของ UNDRAIN SHEAR STRENGTH ของดิน

ถ้าเราใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ม. ยาว 15 ม. จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Q_{ult,soil}$ = (0.5*1.8*2.3) +(0.5*13.2*2.35) +(2.25/3*0.5^2/4*2.35)

= 56.61 T

แต่ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มดินซีเมนต์ ควรมีค่าไม่เกินกว่าค่าน้ำหนักบรรทุกของตัวเสาเข็มเอง

$Q_{ult-col}$ = A_{col} (3.5 C_{col} + 3σ'_h)

ในที่นี้ค่า C_{col} ใช้ = q_u / 2 ของดินซีเมนต์ 10% ที่ 28 วัน

= 35 T /m^2

σ'_h = $k_p \gamma' H$

โดย k_p = ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินแบบ PASSIVE PRESSURE

= $\tan^2 (45° + \phi/2)$

ϕ = มุมเสียดทานภายในเสาเข็มดินซีเมนต์มีค่าอยู่ระหว่าง 30° - 40° ในที่นี้ใช้ 30°

ดังนั้น σ'_h = 3{(0.81*1.8) + (0.61*13.2)}

= 28.53 T/m^2

$Q_{ult-col}$ = 0.196 {(3.5*35) + (3*28.53)

= 40.78 T

จะเห็นว่าค่า $Q_{ult-col}$ น้อยกว่า $Q_{ult,soil}$ ดังนั้นใช้ค่า $Q_{ult-col}$ มาคำนวณโดยให้ FACTOR SAFETY = 2.0

เสาเข็มดินซีเมนต์ 1 ต้นจะรับน้ำหนักได้ = 40.78 / 2

= 20.39 T

ค่าน้ำหนักกดทับสูงสุดจากถนน = 6 T/m^2

เสาเข็มดินซีเมนต์ 1 ต้นจะรับน้ำหนักคิดเป็นพื้นที่ได้ = 20.39 / 6

= 3.39 m^2

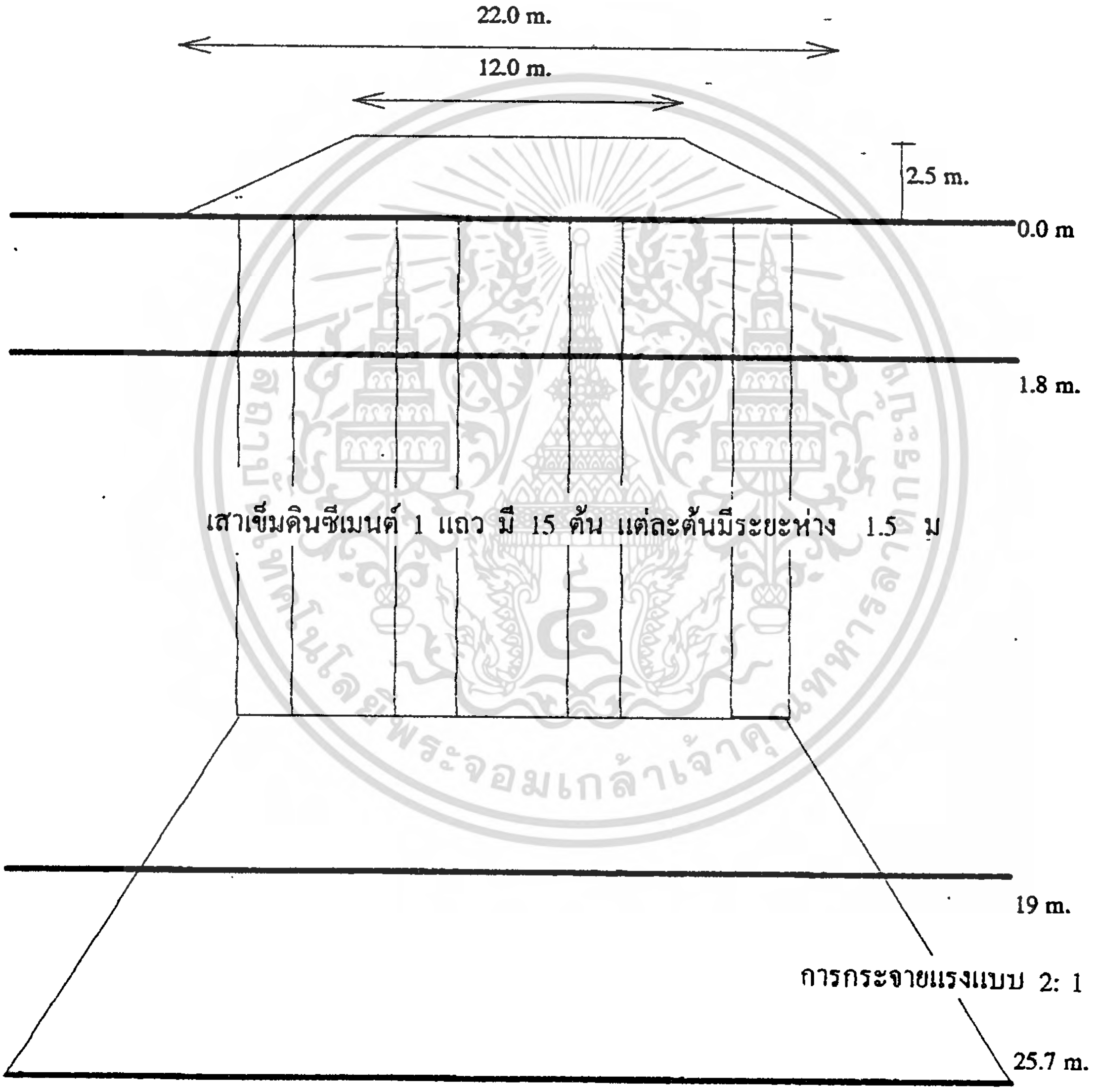
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างมากที่สุดของเสาเข็มดินซีเมนต์ $= \sqrt{3.39}$

$= 1.84$ m.

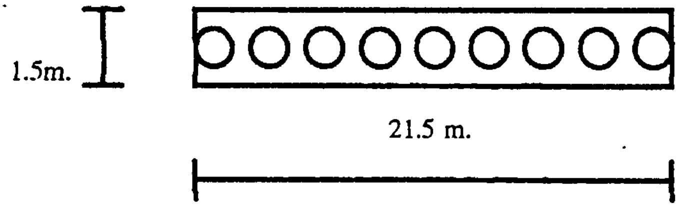
ดังนั้นใช้ระยะห่าง $= 1.5$ m.

คำนวณหาค่าการทรุดตัวของชั้นดินหลังจากทำการปรับปรุงแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาเข็มดินซีเมนต์ 1 แถว มี 15 ต้น แต่ละต้นมีระยะห่าง 1.5 ม. คำนวณในรูปของเสาเข็มกลุ่ม ได้ค่า B = 1.5 m. , L = 21.5 m.



○ จำนวนเสาเข็มดินซีเมนต์จำนวน 15 ต้นต่อแถว

รูปที่ 4.8 แสดงเส้นรอบรูปของกลุ่มเข็ม

เสาเข็มกลุ่มจะรับน้ำหนักที่ถ่ายจากคินถมและน้ำหนักจร = DL + LL

$$DL = 2*1/2\ (22 + 12) * \frac{2.5*1.5}{1.5*21.5}$$

$$= 3.95\ T/m^2$$

$$LL = \frac{1*22*1.5}{1.5*21.5}$$

$$= 1.02\ T/m^2$$

เพราะฉะนั้น น้ำหนักที่ถ่ายลงกลุ่มเสาเข็มประมาณ 5 T/m^2

จาก $$\Delta h = h \frac{C_C}{1+e_0} \log \frac{P_0 + \Delta\sigma_Z}{P_0}$$

$\Delta\sigma_Z$ คำนวณจากน้ำหนักที่ถ่ายเทจากปลายเข็มสู่ชั้นดินโดยการกระจายแรงแบบ 2: 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณการทรุดตัวของดินชั้นที่ 2

$\Delta\sigma_Z$ กึ่งกลางดินชั้นที่ 2 $= \dfrac{5*21.5}{21.5+2}$

$= 4.57\ T/m^2$

P_0 กึ่งกลางดินชั้นที่ 2 $= (0.81*1.8) + (0.61*15.2)$

$= 10.73\ T/m^2$

$\Delta h = 4*(0.103) \log \dfrac{4.57 + 10.73}{10.73}$

$= 0.063$ m.

คำนวณการทรุดตัวของดินชั้นที่ 3

$\Delta\sigma_Z$ กึ่งกลางดินชั้นที่ 3 $= \dfrac{5*21.5}{21.5+7.35}$

$= 3.737\ T/m^2$

P_0 กึ่งกลางดินชั้นที่ 3 $= (0.81*1.8) + (0.61*17.2) + (1.13*3.35)$

$= 15.736\ T/m^2$

$\Delta h = 6.7*(0.068) \log \dfrac{15.736+3.73}{15.736}$

$= 0.042$ m.

การทรุดตัวของชั้นดินรวม $= 0.063 + 0.042$

$= 0.105$ m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณการทรุดตัวของกลุ่มเสาเข็มดินซีเมนต์

จากสมการ $\Delta h = \dfrac{qH}{E_{col}\, a + E_{soil}\,(1-a)}$

ในที่นี้

$q = 5\ T/m^2$

$H = 15\ m.$

$E_{col} = 100\ C_{col}$

$= 3500\ T/m^2$

$a = (15*\pi/4*0.5^2) / (1.5*21.5)$

$= 0.091$

$E_{soil} = 150C_u$

$$\Delta h = \frac{5*1.8}{3500(0.091) + 345(0.909)} + \frac{5*13.2}{3500(0.091) + 352.5(0.909)}$$

$= 0.014 + 0.103$

$= 0.117\ m.$

การทรุดตัวทั้งหมด $= 0.117 + 0.105$

$= 0.222\ m.$

คำนวณค่า DIFFENTIAL SETTLEMENT ของเสาเข็ม

จาก $\alpha = \tau_{ave} / G_{ave}$

โดย α = ค่ามุมแตกต่างระหว่างการทรุดตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์แต่ละต้น

τ_{ave} = ค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงเฉือนตามเส้นรอบรูปของกลุ่มเสาเข็ม

$= \dfrac{Wg}{2(B+L)H}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wg = น้ำหนักที่ถ่ายสู่กลุ่มเข็ม

$$G_{ave} = \frac{BG_{soil}}{(B - md)}$$

โดย G_{ave} = ค่า SHEAR MODULUS ของดิน

B = ความกว้างของบริเวณกลุ่มเข็มที่ติดตั้ง

m = จำนวนแถวของเสาเข็มที่ติดตั้ง

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มดินซีเมนต์

G_{soil} = ค่า SHEAR MODULUS ของดินรอบ ๆ ระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 100 C_u โดย C_u คือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินบริเวณรอบ ๆ

$$G_{ave} = \frac{21.5*235}{\{21.5 - 15(0.5)\}}$$

$$= 360.89 \text{ t / m}^2$$

$$\tau_{ave} = \frac{5*1.5*21.5}{2*(1.5+21.5)*15}$$

$$= 0.23 \text{ t / m}^2$$

$$\alpha = \tau_{ave} / G_{ave}$$

$$= 0.23 / 360.89$$

$$= 0.0006 \text{ เรเดียน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma_t = 2 \text{ t / m}^3$$

ผลการออกแบบเสาเข็มดินซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ม. ระยะห่างระหว่างเข็ม 1.5 ม.

เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม	0.5	ม.
จำนวนเสาเข็ม	15	ต้น / แถว
ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม	1.5	ม.
น้ำหนักตายตัว (DL)	11.25	ตัน / ต้น
น้ำหนักจร (LL)	2.25	ตัน / ต้น
น้ำหนักตายตัว + น้ำหนักจร (DL + LL)	13.5	ตัน / ต้น
น้ำหนักตายตัว + น้ำหนักจร (DL + LL)	160.5	ตัน / แถว
หน่วยน้ำหนัก (q)	5.10	ตัน / ตรม. / แถว
ความสัมพันธ์ของพื้นที่เสาเข็ม (a)	0.091	

ความยาวเสาเข็ม (ม.)	$Q_{ult, soil}$ (ตัน)	$Q_{ult, col}$ (ตัน)	Q_{allow} F.S. = 2 (ตัน)	Different Settlement (เรเดียน)	ค่าทรุดตัว h_1 (ม.)	ค่าทรุดตัว h_{2-1} (ม.)	ค่าทรุดตัว h_{2-2} (ม.)	ค่าทรุดตัวทั้งหมด (ม.)
10	38.14	35.45	19.07	0.00100	0.080	0.149	0.037	0.265
11	41.82	36.53	20.91	0.00091	0.088	0.131	0.038	0.256
12	45.51	37.61	22.76	0.00083	0.096	0.113	0.039	0.248
13	49.20	38.68	24.60	0.00077	0.104	0.096	0.040	0.240
14	52.89	39.76	26.45	0.00071	0.111	0.079	0.041	0.232
15	56.58	40.84	28.29	0.00067	0.119	0.063	0.043	0.225
16	60.27	41.92	30.14	0.00063	0.127	0.047	0.044	0.219
17	63.96	42.99	31.98	0.00059	0.135	0.031	0.046	0.212
18	67.65	44.07	33.83	0.00056	0.143	0.016	0.047	0.206
19	71.34	45.15	35.67	0.00053	0.151	0.000	0.049	0.200
20	94.14	47.14	47.07	0.00050	0.154		0.041	0.195

<u>หมายเหตุ</u> h_1 เป็นค่าการทรุดตัวของเสาเข็มและชั้นดินระหว่างกลุ่มเข็ม

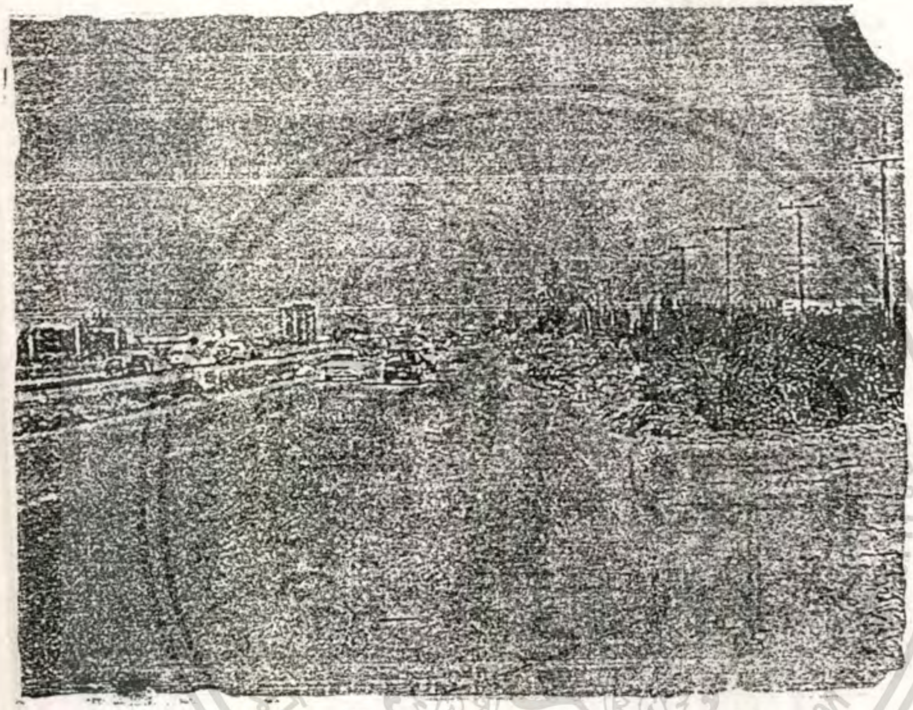
h_{2-1} และ h_{2-2} เป็นค่าการทรุดตัวของชั้นดินใต้กลุ่มเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

กรณีศึกษา (CASE STUDY)

5.1)การศึกษาแนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพดินฐานราก ถนนสาย บางนา - บางปะกง โดยวิธี SOIL CEMENT COLUMN



รูปที่ 5.1 สภาพถนนบางนา-บางปะกง ที่จะทำการปรับปรุง

5.1.1) ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ

1) กรณีศึกษาในเรื่องนี้ ได้ศึกษาจากแนวคิดของนักวิชาการหลายๆท่าน ดังนี้

- ดร.ยงยุทธ แต้ศิริ กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง
  (จากเอกสารประกอบการสัมนาเรื่องการปรับปรุงคุณภาพดินฐานราก ถนนสายบางนา-บางปะกงโดยวิธีเสาเข็มดิน-ซีเมนต์)
- รศ.ดร. นพดล เพียรเวช สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเซีย
  (จากบทความเรื่องการปรับปรุงถนนสายบางนา-บางปะกง ด้วยวิธี SOIL CEMENT COLUMN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

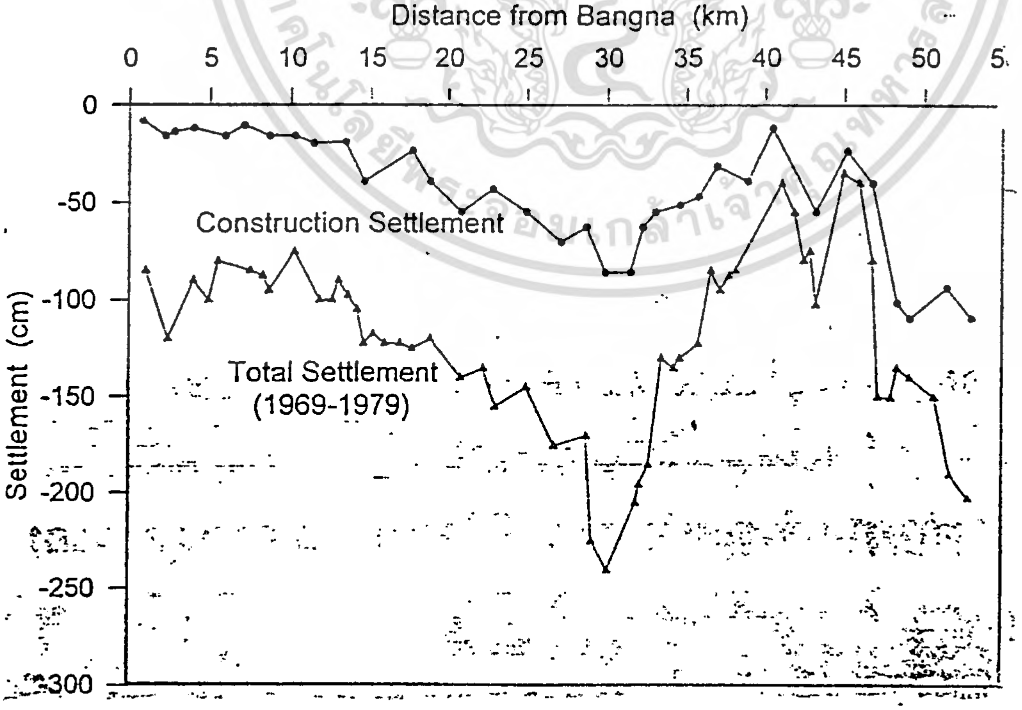
- **คุณ อนุวัตร ทองคำ**

(จากวิทยานิพนธ์เรื่อง **การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยวิธีผสมซีเมนต์**)

2) ถนนสาย บางนา-บางปะกงเป็นถนนสายหลักอีกสายหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อการคมนาคมขนส่งระหว่างภาคกลางกับภาคตะวันออก ด้วยเหตุผลดังกล่าว ถนนสายนี้จึงมีการใช้งานอย่างสม่ำเสมอ มีปริมาณการจราจรสูง มีการบรรทุกเกินพิกัดเป็นประจำ ประกอบกับถนนสายนี้ตัดผ่านบริเวณดินเดิมที่มีลักษณะค่อนข้างอ่อนถึงอ่อนมาก ซึ่งจะสามารถแยกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- บริเวณที่ดินอ่อนมาก คือช่วง กม. 20 - 35 และ กม. 50-55
- บริเวณที่ดินอ่อนปานกลาง คือช่วง กม.10-20 และ กม.35-40
- บริเวณที่ดินค่อนข้างดี คือช่วง กม.0-10 และ กม.40-50

3) จากข้อมูลในข้อ 2) ปัญหาเรื่องการทรุดตัวอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานในปริมาณมาก และปัญหาการวิบัติเนื่องจากเสถียรภาพไม่ดีพอเพราะกำลังดินต่ำ จึงเป็นปัญหาสำคัญโดยเฉพาะปัญหาเรื่องการทรุดตัว จากการวัดค่าการทรุดตัวของถนนภายในระยะเวลา 10 ปี หลังจากก่อสร้างเสร็จ ได้ค่าการทรุดตัวดังรูป



รูปที่ 5.2 แสดงปริมาณการทรุดตัวตามแนวถนนบางนา-บางปะกง ที่เกิดขึ้นภายในระยะเวลา 10 ปีหลัง จากเปิดใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเพื่อใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป จะเห็นได้ว่า บริเวณ กม.30 มีการทรุดตัวเกินกว่า 2 เมตร ซึ่งเป็นการทรุดตัวสูงสุดเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 10 ปี หลังจากเปิดใช้งาน

4) การออกแบบปรับปรุงถนนสายบางนา-บางปะกง ในโครงการนี้เป็นการออกแบบเพื่อก่อสร้างครั้งที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยการออกแบบในส่วนของ MAIN ROAD และถนนคู่ขนาน ในส่วนของ MAIN ROAD เป็นการเพิ่มช่องทางจราจร จาก 2 เลน เป็น 3 เลน ส่วนถนนคู่ขนานเป็นการทำถนน 2 เลน ซึ่งจะก่อสร้างใหม่

5) ในการออกแบบก่อสร้างถนนสายบางนา-บางปะกงมีข้อจำกัดเกี่ยวกับปัญหาการจราจร จึงจำเป็นต้องก่อสร้างถนนคู่ขนานให้เสร็จก่อน แล้วจึงทำการเปลี่ยนช่องจราจร จากนั้นจึงทำการปรับปรุง MAIN ROAD ซึ่งสำหรับบริเวณที่ดินอ่อนมาก จำเป็นจะต้องออกแบบเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพและการทรุดตัวของคันทาง ข้อที่พิจารณาคือ การทรุดตัวของถนนที่จะเกิดขึ้นในระยะยาวต้องไม่สูงจนเกินไป เพื่อจะได้มีอายุการใช้งานเป็นเวลานานและการบำรุงรักษาต่ำ

5.1.2 แนวคิดในการนำเอาหลักการ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ในโครงการ

1) จากข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ จะเห็นได้ว่าปัญหาเรื่องดินอ่อน ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาการทรุดตัว และปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของดินคันทาง ในการแก้ปัญหาดังกล่าว สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เข็มตอก,การทำเข็มเจาะ แต่เหตุผลสำคัญที่เลือกใช้ SOIL CEMENT COLUMN ในการแก้ปัญหาคือ

- ช่วยลดปัญหาการเคลื่อนตัวของดินด้านข้าง ซึ่งจะเกิดมากในกรณีใช้เข็มตอก
- มีลักษณะการก่อสร้างคล้ายๆเข็มเจาะ แต่ไม่มีการเจาะเอาดินเดิมออกมา ทำให้ทำงานได้เร็วกว่า
- สามารถควบคุม SOIL CEMENT COLUMN ให้สม่ำเสมอได้

2)สรุปผลการออกแบบในการปรับปรุงถนนสายบางนา-บางปะกงโดยวิธี SOIL CEMENT COLUMN ตลอดทั้งสายโดยกำหนดให้ใช้ SOIL CEMENT COLUMN ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร ระยะห่างระหว่างเข็ม 1.50 เมตร หยั่งปลายเสาเข็มที่ระดับความลึก 10-16 เมตร ในช่วงเส้นทางที่เป็นดินอ่อนถึงอ่อนมาก โดยรับน้ำหนักจากคันทางสูง 2.50 เมตร และกว้าง 12.00 เมตร ออกแบบให้ใช้ค่าหน่วยแรงเฉือนของ SOIL CEMENT COLUMN

C_{col} เท่ากับ 30 ตันต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความลึกของปลายเสาเข็มที่เหมาะสมในแต่ละกิโลเมตร มีดังนี้

กม. 14+000 - กม. 20+000 ระดับความลึกของปลาย SOIL CEMENT COLUMN เท่ากับ 14 เมตร

กม. 20+000 - กม. 41+000 ระดับความลึกของปลาย SOIL CEMENT COLUMN เท่ากับ 16 เมตร

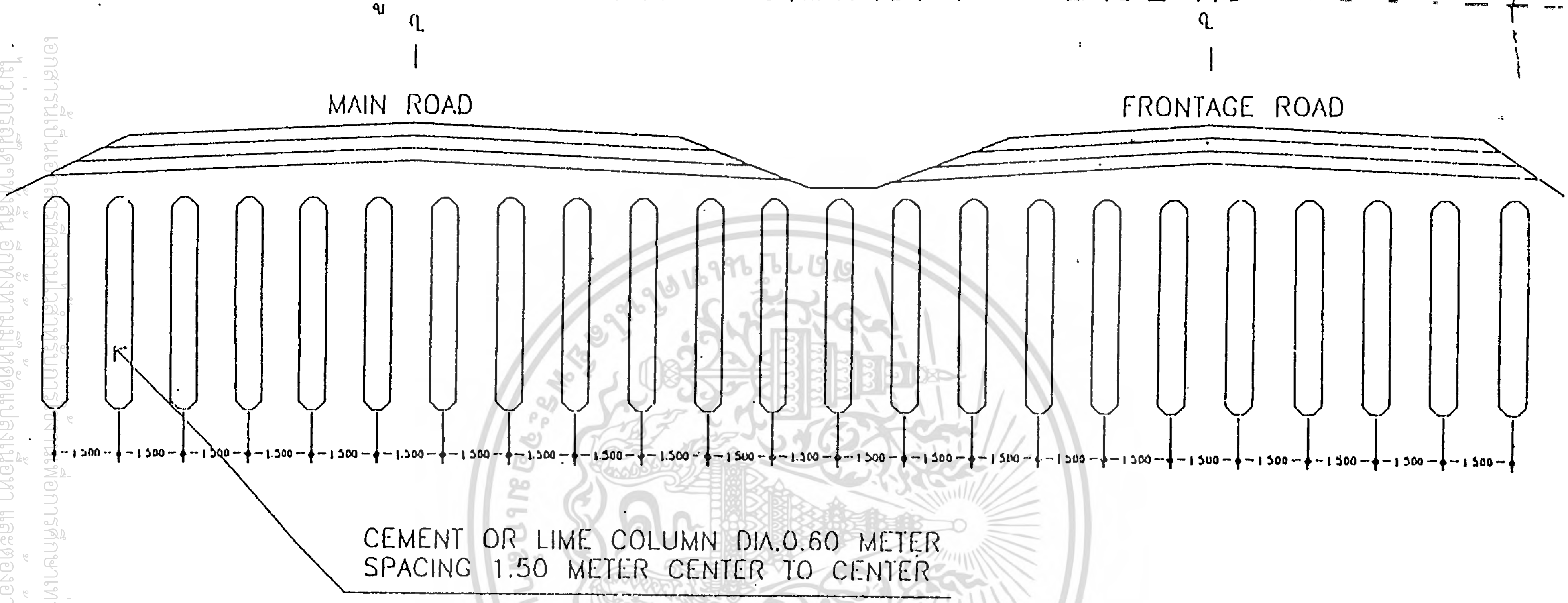
กม. 41+000 - กม. 46+700 ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพดินชั้นฐานราก

กม. 46+700 - กม. 51+000 ระดับความลึกของปลาย SOIL CEMENT COLUMN เท่ากับ 12 เมตร

กม. 51+000 - กม. 57+000 ระดับความลึกของปลาย SOIL CEMENT COLUMN เท่ากับ 10 เมตร

กม. 57+000 - กม. 58+000 ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพดินชั้นฐานราก

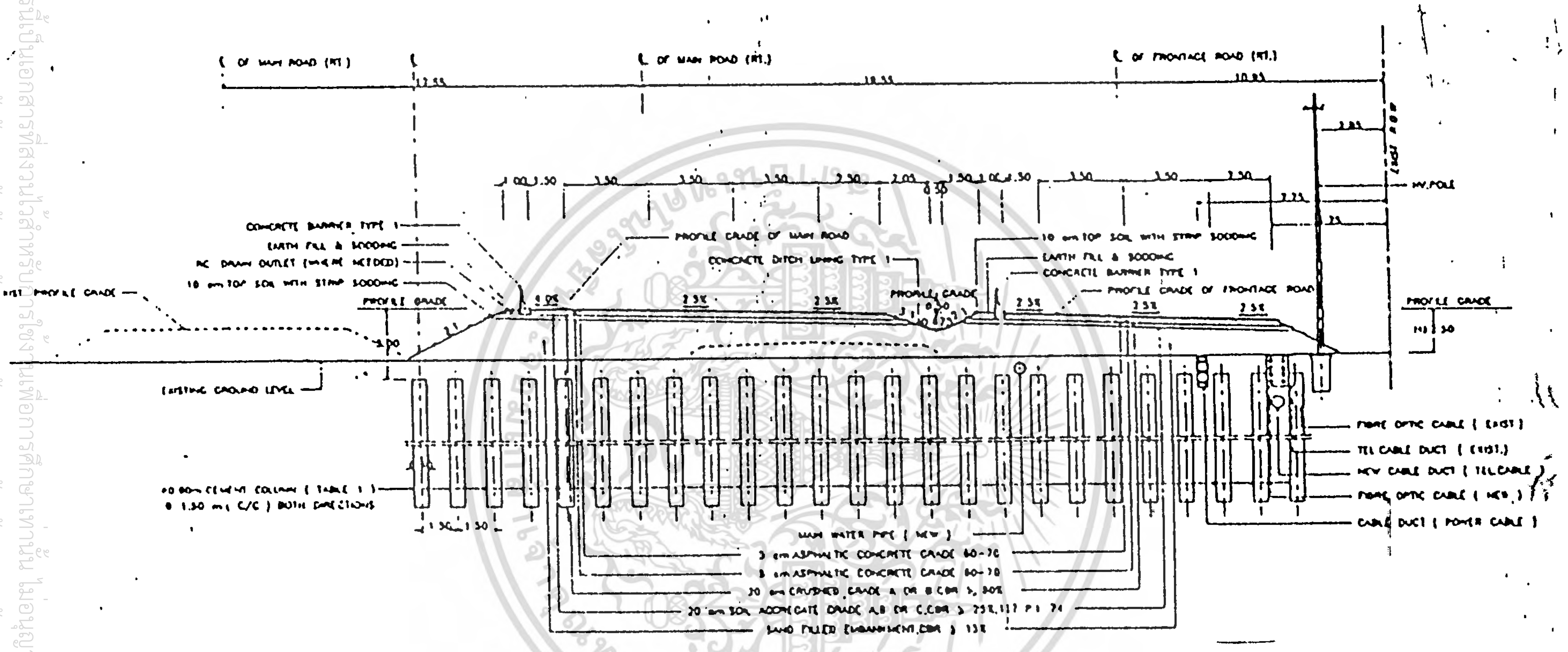
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



STATION	CEMENT OR LIME COLUMN
14+000 - 20+000	14
20+000 - 41+000	16
41+000 - 46+700	NO TREATMENT
46+700 - 51+000	12
51+000 - 57+000	10
57+000 - 58+000	NO TREATMENT

รูปที่ 5.8 การออกแบบใช้เสาเข็ม SOIL CEMENT รับถนนขาเข้าบางนา-บางปะกง ในโครงการ ก่อสร้าง ปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



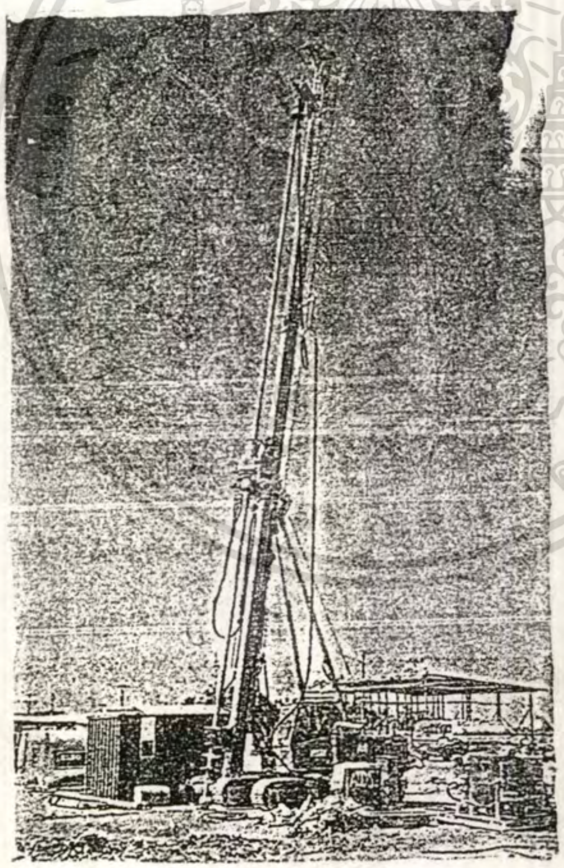
รูปที่ 5.4 รูปตัดแสดงแบบของการปรับปรุงคุณภาพดินชั้นฐานรากของถนนสายบางนา-บางปะกง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ลักษณะของเครื่องมือและขั้นตอนการทำงาน

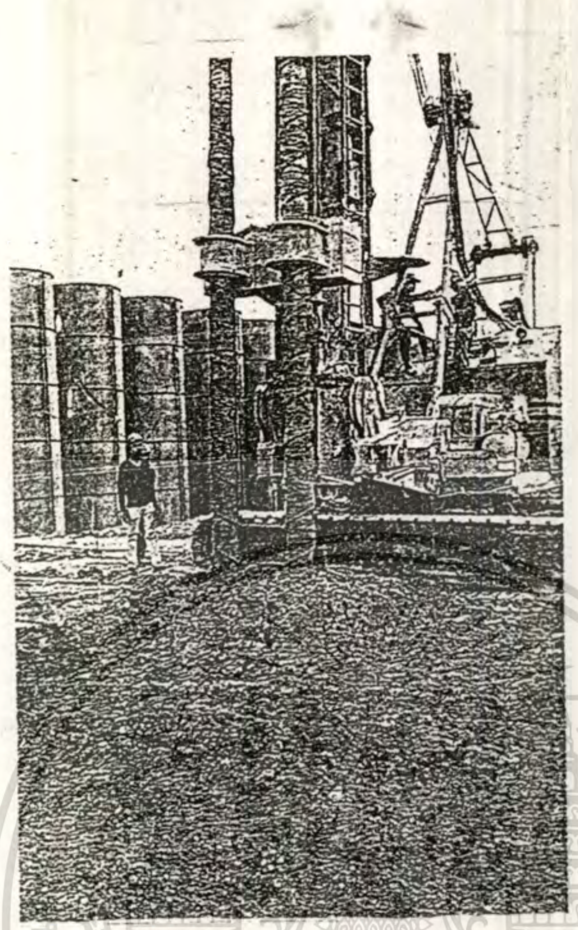
1) ลักษณะของเครื่องมือ

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการทำ SOIL CEMENT COLUMN บริษัทผู้รับเหมาของโครงการ เลือกใช้เครื่องมือแบบ ROTARY MIXED โดยอาศัยวิธีการฉีดสารผสมเข้าผสมกับดินที่ระดับความลึกที่เรียกว่า DEEP CEMENT MIXING METHOD

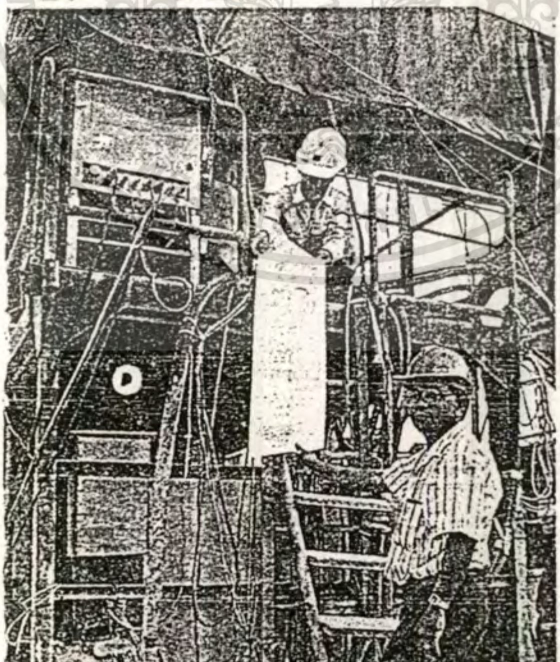


รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะชุดเครื่องจักรที่จะใช้ทำ SOIL CEMENT COLUMN ในถนนสายบางนา - บางปะกง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะหัวเจาะบริเวณใบมีดกวนดินซีเมนต์



รูปที่ 5.7 การเจาะเสาเข็ม SOIL CEMENT ใช้ระบบ COMPUTER ควบคุมและบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2)ขั้นตอนการทำงาน

ลักษณะการก่อสร้างของโครงการนี้ใช้ระบบ WET MIXING มีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

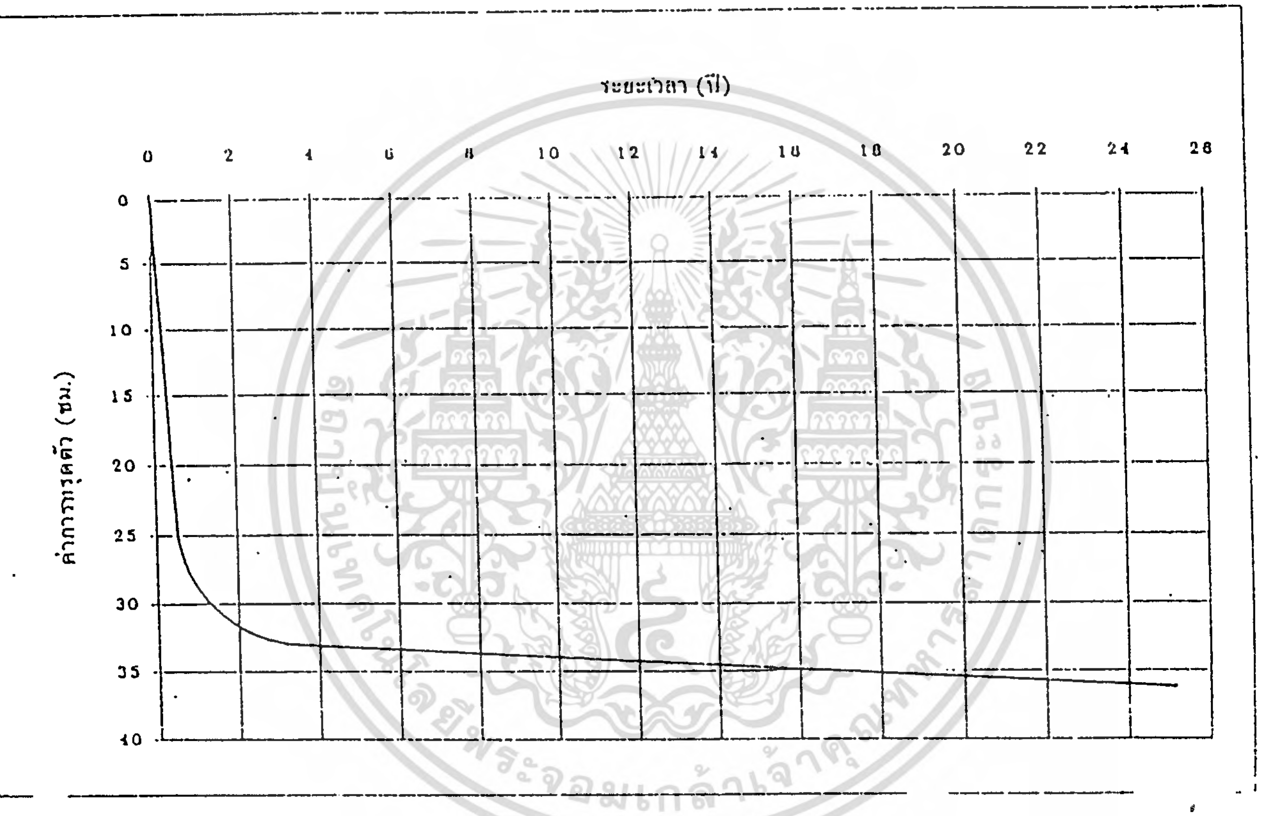
เริ่มต้นจากการเจาะดินโดยใช้สว่านแต่ไม่เจาะเอาดินขึ้นมา แต่มีใบมีดตัดและกวนให้เข้ากับน้ำปูนที่ฉีดลงไปจากหัวเจาะที่มีใบมีดกวนดินติดตั้งอยู่ น้ำปูนที่ใช้มีอัตราส่วนผสมน้ำต่อ CEMENT ประมาณ 0.75:1 ถึง 1:1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมดิน จะมีปริมาณต่ำเพียง 150 - 200 กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร (ข้อกำหนดพิเศษของกรมทางหลวงสำหรับวิธี WET MIXING กำหนดให้W/C ไม่เกิน 1.5:1 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้อยู่ในช่วง150-250 กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)

5.1.4 แนวโน้มและอายุการใช้งานในอนาคต

-ผลการประมาณปริมาณและอัตราการทรุดตัวของชั้นดินของถนนสายบางนา-บางปะกง หลังจากมีการใช้ SOIL CEMENT COLUMN ซึ่งรวมถึงการทรุดตัวของกลุ่มเข็ม , ชั้นดินระหว่างกลุ่มเข็มและการทรุดตัวของชั้นดินใต้กลุ่มเข็ม จะเห็นว่าการทรุดตัวของถนน กม.30 (ซึ่งเป็นจุดที่มีการทรุดตัวมากที่สุด ภายหลังจากเปิดใช้งานมากว่า 10 ปี กรณีที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพดิน) จะมีการทรุดตัวของถนนเหลือเพียงประมาณ 35 เซนติเมตร อีกประการหนึ่ง การทรุดตัวส่วนใหญ่กว่า 85 % เกิดภายในระยะเวลา 1 ปีเท่านั้น หลังจากนั้นอัตราการทรุดตัวจะมีปริมาณต่ำมาก.

-การใช้ SOIL CEMENT COLUMN รองรับคันทางของถนนสามารถลดปริมาณการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนให้อยู่ในระดับต่ำเหมาะกับสภาพการใช้งานตามต้องการ ช่วยเพิ่มอายุการใช้งาน ไม่ต้องเสียเวลาในการรอการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน เหมือนวิธีการเก่าๆ และลดงบประมาณในการซ่อมแซมถนนได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 อัตราการทรุดตัวของชั้นดิน เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากโดยใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ ของถนนสายบางนา-บางปะกง กม.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2) การศึกษาแนวคิดในการใช้ SOIL CEMENT COLUMN ป้องกันปัญหา SLIDE FAILURE สำหรับการก่อสร้างถนนสายรังสิต-นครนายก ช่วง องครักษ์-นครนายก

5.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ

- ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาโครงการนี้ นำมาจากรายงานเรื่อง " การก่อสร้าง DEEP STABILIZATION โดย CEMENT COLUMN ด้วยระบบ DRY MIXING โครงการฯ รังสิต - นครนายก ตอน องครักษ์ - นครนายก " ซึ่งเสนอโดย บริษัท เอ็ม. ซี. คอนสตรัคชั่น (1993) จำกัด จัดทำโดย บริษัท จีโอเซ็มเทคโนโลยี จำกัด

- กองสำรวจและออกแบบกรมทางหลวง ได้นำแนวคิดเรื่อง DEEP STABILIZATION ซึ่งอาจใช้ LIME หรือ CEMENT มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการพังทลายจากการเลื่อนตัวของดิน (SLIDE FAILURE) ในช่วง กม. 51 - กม. 62

5.2.2 แนวคิดหลักในการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้ในโครงการ

- จากรูปที่ 5.9 และ รูปที่ 5.10 สภาพถนนสายนี้ในช่วง กม. 51- 62 มีปัญหาการ SLIDE ตัวของดินด้านข้างถนน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวอยู่ติดกับคลองชลประทาน ดังนั้นจึงมีการออกแบบ SOIL CEMENT COLUMN เป็นแนวยาว ในลักษณะดังรูปที่ 5.9 และ รูปที่ 5.10 เพื่อป้องกันการ SLIDE FAILURE และก่อให้เกิดเสถียรภาพของดินเพิ่มขึ้น

- ผู้ออกแบบได้กำหนดให้ทำ DEEP STABILIZATION โดยวิธี LIME หรือ CEMENT STABILIZATION จนถึงชั้นดินเหนียวแข็ง และปลายของ COLUNMN จะต้องอยู่ลึกลงไปในดินเหนียวแข็ง ไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

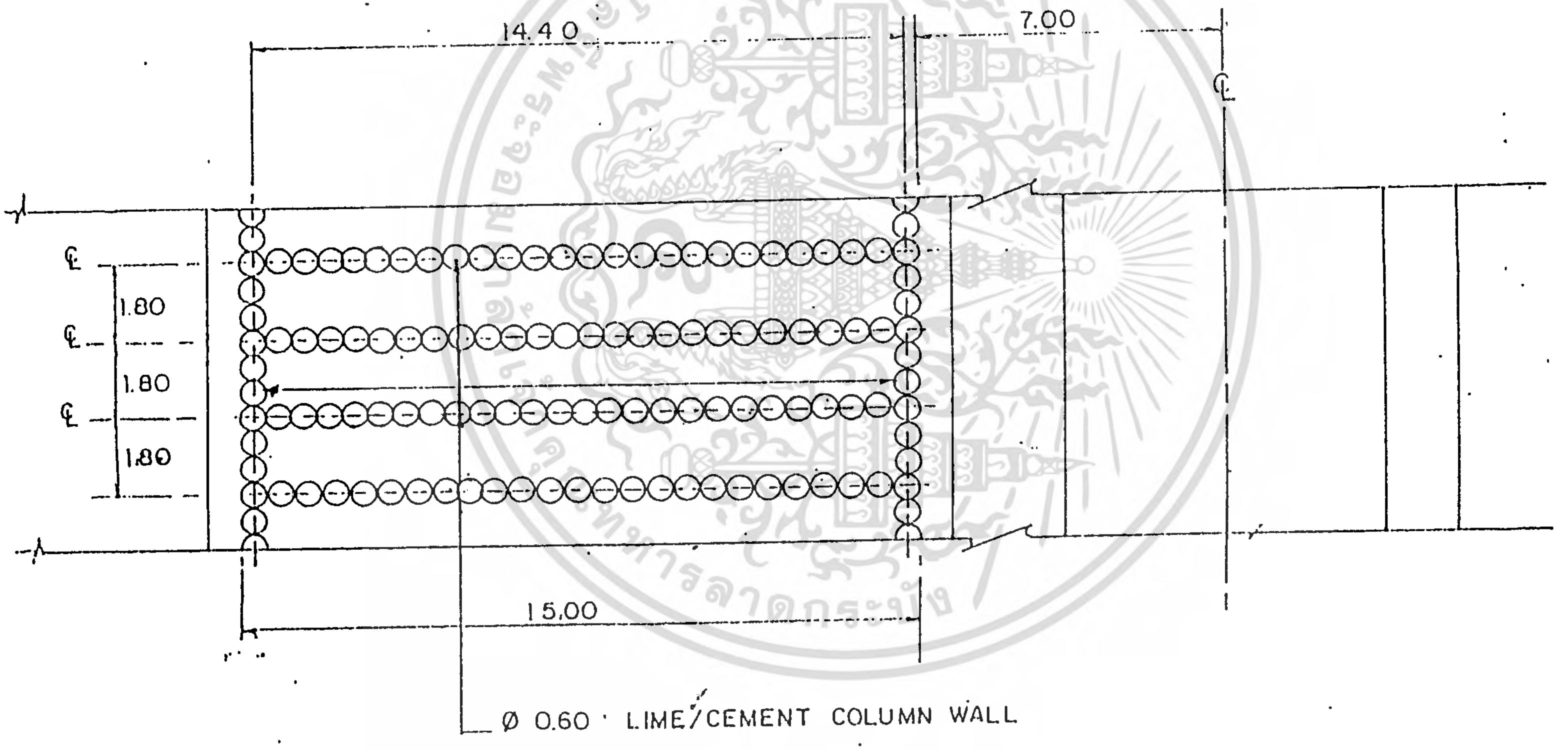
กองสำรวจและออกแบบ

สำนักงานทางหลวง ที่	จะหัสควบคุม	แผ่นที่
11 (กรุงเทพ ฯ)	305	G-22

ข้อกำหนดพิเศษ

การก่อสร้าง DEEP STABILIZATION

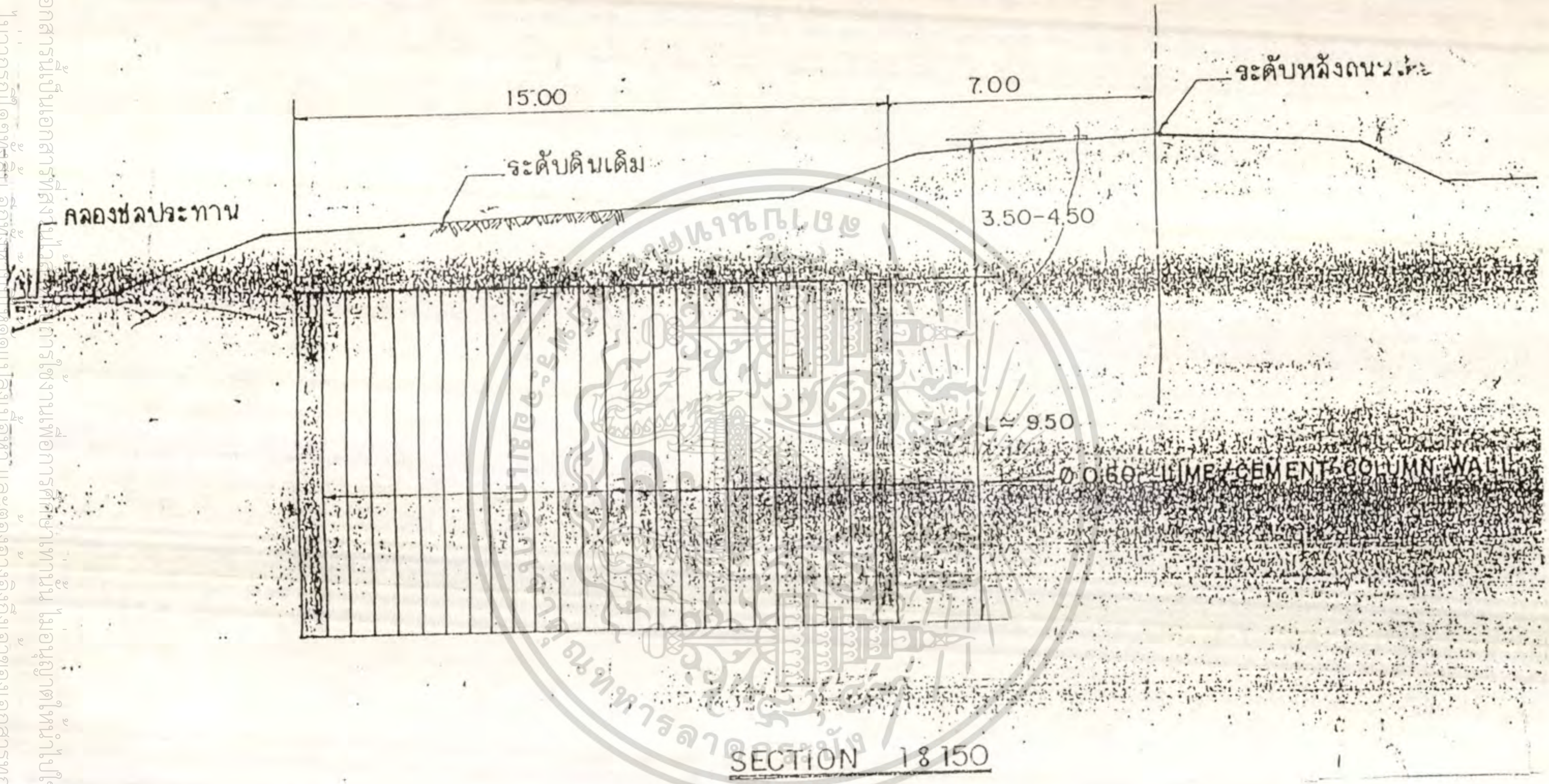
ทางหลวงหมายเลข 305 ตอน ธัญบุรี-องครักษ์-นครนายก (SECTION II)



PLAN 1 : 150

รูปที่ 5.9 แสดงข้อกำหนดพิเศษ การก่อส. ง DEEP STABILIZATION ทางหลวงหมายเลข 305 ตอนธัญบุรี - องครักษ์ นครนายก (SECTION II)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดง SECTION ทางหลวงหมายเลข 305 ตอนธัญบุรี-องครักษ์ นครนายก
(SECTION II) ในส่วนที่ทำ SOIL CEMENT COLUMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ลักษณะของเครื่องมือและวิธีการทำงาน

1) การผสมทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสม มีขั้นตอนดังนี้

- ทำการเจาะเก็บตัวอย่างดินชนิด DISTURB SAMPLE ที่กม.57+800 ทุกระดับความลึก และนำตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกและปิดปากถุงให้แน่น เลือกตัวอย่างดินที่เป็นดินอ่อน 2 ระดับคือ ที่ 1.00 และ 8.00 เมตร และตัวอย่างดินเหนียวแข็งที่ระดับ 11.00 เมตร มาทำการผสมทดลองโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 150 , 200 , 253 และ 300 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ก่อนทำการผสมดินกับซีเมนต์ จะหา MOISTURE CONTENT ของดินเดิมไว้ก่อน
- การผสมดินเหนียวกับซีเมนต์กระทำได้โดยใช้เครื่องมือผสม ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยกวนผสมให้ดินเหนียวกับซีเมนต์ผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกัน โดยใช้เวลาในการกวนผสมประมาณ 15 นาที จากนั้นจึงนำดินเหนียวกับส่วนผสมที่คลุกเคล้ากันดีแล้ว อัดลงใน MOULD ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2 นิ้ว สูง 4 นิ้ว เพื่อทำแท่งตัวอย่าง นำแท่งตัวอย่างใส่ถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้แน่น นำไปบ่มในน้ำและคลุมด้วยกระสอบชื้น ทำการบ่มไว้ 1, 3 , 7 , 14 และ 28 วัน ตามลำดับ แล้วนำตัวอย่างที่มีอายุการบ่มตามกำหนด มาทดสอบ UNCONFINED COMPRESSION TEST ตาม ASTM 2116 ต่อไป
- เลือกอัตราส่วนผสมตามที่ผู้ออกแบบต้องการ แล้วนำไปใช้ในการก่อสร้างต่อไป

2) เครื่องจักรและเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับทำ SOIL CEMENT COLUMN

ลักษณะของเครื่องจักรขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ DIESEL บนตีนตะขาบ มีเหล็กแกนและใบกวนที่ปลายซึ่งจะทำการผสมดินด้วย CEMENT พร้อมกันก็ได้ เนื่องจากมี STORAGE TANK สำหรับบรรจุสารผสมอยู่บนตัวเครื่องจักรจำนวน 2 ถัง แกนเหล็กสามารถหมุนได้ด้วยความเร็วสูงถึง 200 รอบ/นาที การอัดสารผสมลงในดิน จะใช้แรงดันลมอัดลงไปในดิน โดยมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆติดตั้งอยู่ รวมทั้งจะใช้ระบบ COMPUTER ควบคุมในการทำงาน และยังสามารถทำ REPORT เป็น PRINT OUT ผลจากการทำ CEMENT COLUMN แต่ละต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Soil - Cement Mixing and Unconfined Compression Test Schedules In 1996

For Ongkarak - Nokornnayok at Slide Failure KM 51 - 62

Mixing Schedule

28/02/96	29/02/96	01/03/96
1A(15)	1B(15)	1C(15)
2A(15)	2B(15)	2C(15)
3A(15)	3B(15)	3C(15)
4A(15)	4B(15)	4C(15)

Code X.Y.Z(T)

(T) = Total of Samples

X = Cement Content /Wet Soil
1 = 150Kg/m³
2 = 200Kg/m³
3 = 250Kg/m³
4 = 300Kg/m³

Y = Depth of Sampling
A = 1 metre
B = 8 metre
C = 11 metre

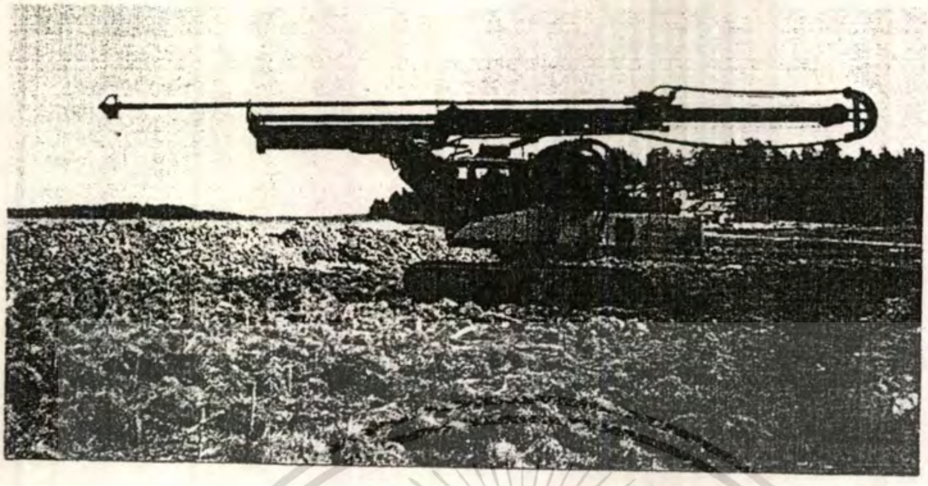
Z = Curing Time
1 = 1 Day
3 = 3 Days
7 = 7 Days
14 = 14 Days
28 = 28 Days

Unconfined Compression Testing Schedule

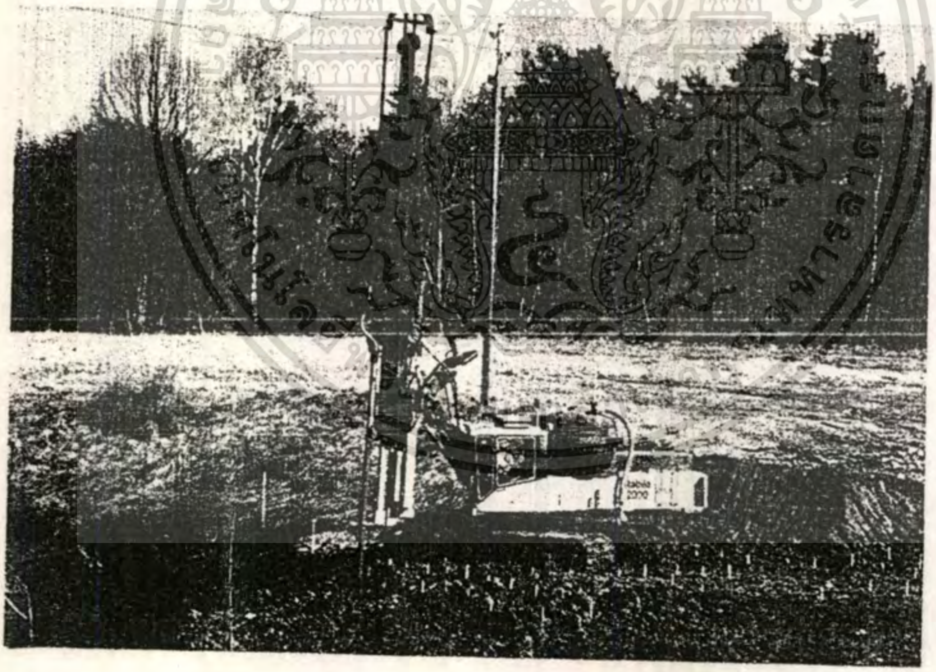
28/02/96	29/02/96	01/03/96	02/03/96	03/03/96	04/03/96	05/03/96	06/03/96	07/03/96	08/03/96	09/03/96	10/03/96	11/03/96	12/03/96	13/03/96	14/03/96	15/03/96	16/03/96	17/03/96	18/03/96	19/03/96	20/03/96	21/03/96	22/03/96	23/03/96	24/03/96	25/03/96	26/03/96	27/03/96	28/03/96	29/03/96
	1A1(3)	1B1(3)	1C1(3)	1B3(3)	1C3(3)		1A7(3)	1B7(3)	1C7(3)					1A14(3)	1B14(3)	1C14(3)												1A28(3)	1B28(3)	1C28(3)
	2A1(3)	2B1(3)	2C1(3)	2B3(3)	2C3(3)	FREE	2A7(3)	2B7(3)	2C7(3)	FREE	FREE	FREE	FREE	2A14(3)	2B14(3)	2C14(3)	FREE	FREE	FREE	FREE	FREE	FREE	FREE	FREE	FREE	FREE	FREE	2A28(3)	2B28(3)	2C28(3)
	3A1(3)	3B1(3)	3C1(3)	3B3(3)	3C3(3)		3A7(3)	3B7(3)	3C7(3)					3A14(3)	3B14(3)	3C14(3)												3A28(3)	3B28(3)	3C28(3)
	4A1(3)	4B1(3)	4C1(3)	4B3(3)	4C3(3)		4A7(3)	4B7(3)	4C7(3)					4A14(3)	4B14(3)	4C14(3)												4A28(3)	4B28(3)	4C28(3)
			1A3(3)																											
			2A3(3)																											
			3A3(3)																											
			4A3(3)																											

All Test Run At Geotechnical Lab
Civil Engineering Department By Ms. Wanee Suksart
Faculty of Engineering Chief of Civil Engineering Department
Rangsit University

ตารางที่5.1 แสดงการผสมทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมสำหรับการทำSOIL CEMENT COLUMN เพื่อป้องกันปัญหา SLIDE FAILURE



(a) ระหว่างการเคลื่อนย้าย



(b) ระหว่างการเจาะปั่นผลิตเสาเข็มดินซีเมนต์หรือปูนขาว

รูปที่ 5.11 ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรในการติดตั้ง SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี DRY MIXING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดเครื่องจักร

เครื่องจักรทำ Cement Column ที่ใช้ในงานนี้ จะมี 2 รุ่นคือ

1. Stabila 3000
2. Stabila 2000

Type	Stabila 3000	Stabila 2000
SERIAL NUMBER	60000, 60001, 60002, 60003	50007, 50008, 50009, 50010
WIEGHT (TON)	40	35
HIGHT (m)	22	17
lENGTH (m)	8.5	8.5
WIDTH (m)	132 kw 6 cyl. VALMET	112 kw 6 cyl. VOLVO
HYDRAULIC PUMPS	LINDE	HYDROMATIC-REXROTH AND LINDE
SYSTEM	Automatic, Computerised	Automatic, Computerised
MAX INSTALL DEPTH	20 m.	15 m.
REPORT	Computer Print Out	Computer Print Out

อุปกรณ์ต่าง ๆ

1. อุปกรณ์วัดปริมาณสารผสม (Lime หรือ Cement) ที่เหลืออยู่ในถัง
2. อุปกรณ์วัดความดันลง (Pressure guage)
3. อุปกรณ์วัดความเร็วรอบของแกนเหล็ก และใบผสม (rpm)
4. อุปกรณ์วัดการยกขึ้นของแกนเหล็ก
5. อุปกรณ์แสดงตำแหน่งใบผสม
6. อุปกร์วัดแนวดิ่ง

รูปที่ 5.12 แสดงรายละเอียดเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ทำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี DRY MIXING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

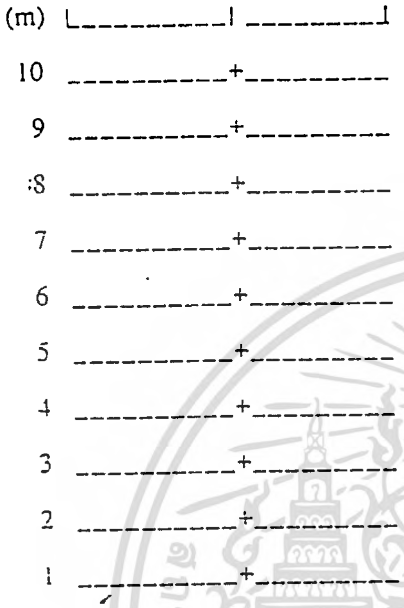
Report (Computer Print Out)

Pile : A Length : B

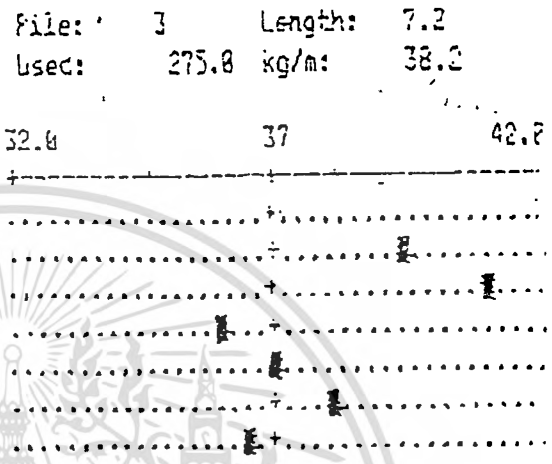
Used: C kg / m : D

P , Q , R = Scale Of Cement Content, kg/m

Installed Depth P Q R



Example

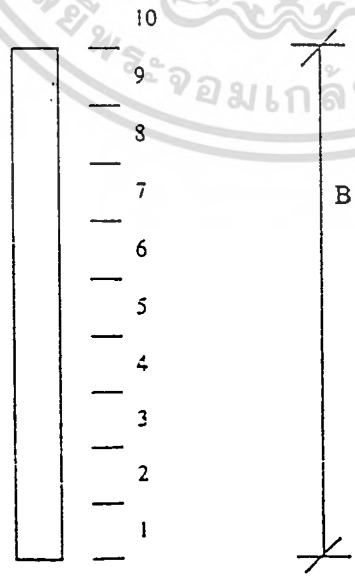


A = Pile No.

B = Length of Pile in m

C = Cement Consumption of Each Column in kg

D = Cement Content in kg/m



รูปที่ 5.13 แสดง REPORT (COMPUTER PRINT OUT) จากเครื่องจักรแบบ ROTARY MIXING แบบ DRY MIXING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มหาวิทยาลัยสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วิธีก่อสร้าง

- ทางบริษัทผู้รับเหมาจะทำ LAYOUT PLAN ของ CEMENT COLUMN ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร และความลึกตามที่กรมทางหลวงกำหนด ปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะใช้ จะได้จากการทดสอบหาอัตราส่วนผสม การก่อสร้าง CEMENT COLUMN ทุกต้นจะมี COMPUTER PRINT OUTโดยจำนวนต้นและความยาวของ COLUMN ที่ทำได้ในแต่ละวันจะถูกบันทึกลงใน LAYOUT PLAN

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

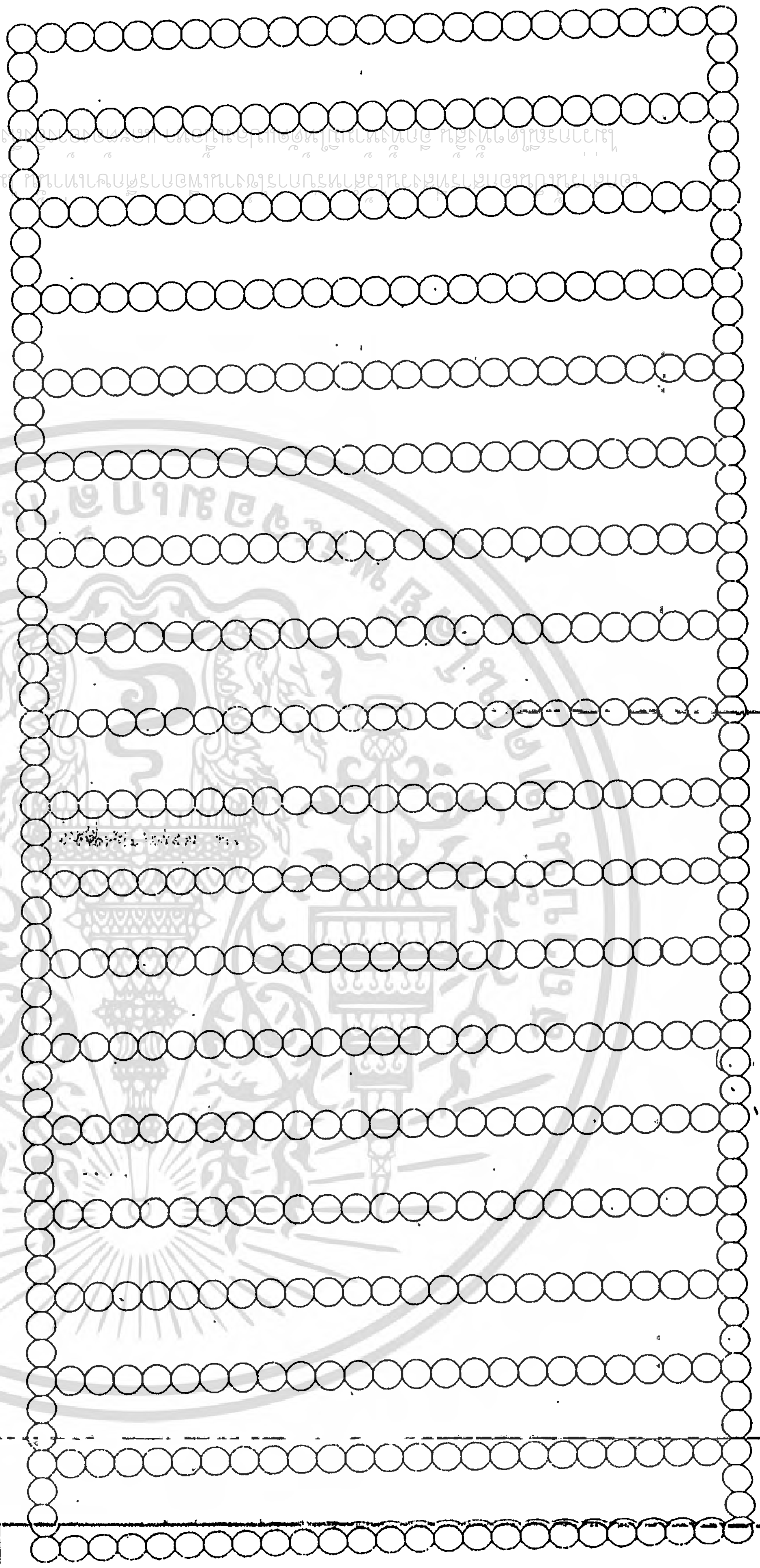
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Example

Cement Column Location Plan

Project Ongkarak - Nakonnayok

Total (m)	NOS of Column	Depth of Install	Finish ELE.	Start ELE.
250	25	10	-12	-2
18	2	9	-11	-2
16	2	8	-10	-2
284	Sum			



Station
18 + 000.00
18 + 000.60
18 + 001.20
18 + 001.80
18 + 002.40
18 + 003.00
18 + 003.60
18 + 004.20
18 + 004.80
18 + 005.40
18 + 006.00
18 + 006.60
18 + 007.20
18 + 007.80
18 + 008.40
18 + 009.00
18 + 009.60
18 + 010.20
18 + 010.80
18 + 011.40
18 + 012.00
18 + 012.60
18 + 013.20
18 + 013.80
18 + 014.40
18 + 015.00
18 + 015.60
18 + 016.20
18 + 016.80
18 + 017 '0.
18 + 018.00
18 + 018.60
18 + 019.20
18 + 019.80
18 + 020.40
18 + 021.00
18 + 021.60
18 + 022.20
18 + 022.80
18 + 023.40
18 + 024.00
18 + 024.60
18 + 025.20
18 + 025.80
18 + 026.40
18 + 027.00
18 + 027.60
18 + 028.20
18 + 028.80
18 + 029.40
18 + 030.00
18 + 030.60
18 + 031.20
18 + 031.80

Installation Date ______________________

Start Time ________________ to ____________

Start Time ________________ to ____________

Start Time ________________ to ____________

Start Time ________________ to ____________

Cement Content = ____ ______________ kg/m³

Cement Content - ____________________ kg/m

Machine No. ____________________ Contractor

Operator 1 ____________________ Supervisor 1 ____________________ ( )

Operator 2 ____________________ Supervisor 2 ____________________ ( )

Operator 3 ____________________ Supervisor 3 ____________________ ( )

Operator 4 ____________________ Supervisor 4 ____________________ ( )

Highway

Supervisor 1 ____________________ ( )

Supervisor 2 ____________________ ( )

Supervisor 3 ____________________ ( )

Supervisor 4 ____________________ ( )

R.F

รูปที่ 5.14 ตัวอย่างที่แสดงจำนวนต้นและความลึกของ SOIL-CEMENT COLUMN ที่ทำได้ในแต่ละวัน ซึ่งบันทึกลงใน LAYOUT PLAN

5.3 การศึกษาแนวคิดในการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้ทำ RETAINING WALL สำหรับอาคาร SCB HEAD OFFICE BUILDING PHASE I

5.3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ

สถานที่ตั้ง ถนนรัชดาภิเษก ใกล้สี่แยกรัชโยธิน (ช่วงระหว่างถนนวิภาวดีรังสิต - รังสิต กับถนนรัชโยธิน) แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพ ฯ

เนื้อที่ ประมาณ 55 ไร่

ตัวอาคาร ประกอบด้วยอาคาร 3 อาคารหลัก อาคารสูง 37 ชั้น หนึ่งอาคาร และอาคารสูง 22 ชั้น 2 อาคาร ส่วนที่เป็น PODIUM จะเป็นที่ตั้งของ AUDITORIUM ซึ่งจุคนได้ 750 คน ส่วนชั้นใต้ดินเป็นสถานที่จอดรถ ซึ่งสามารถจอดรถได้ประมาณ 1,700 คัน

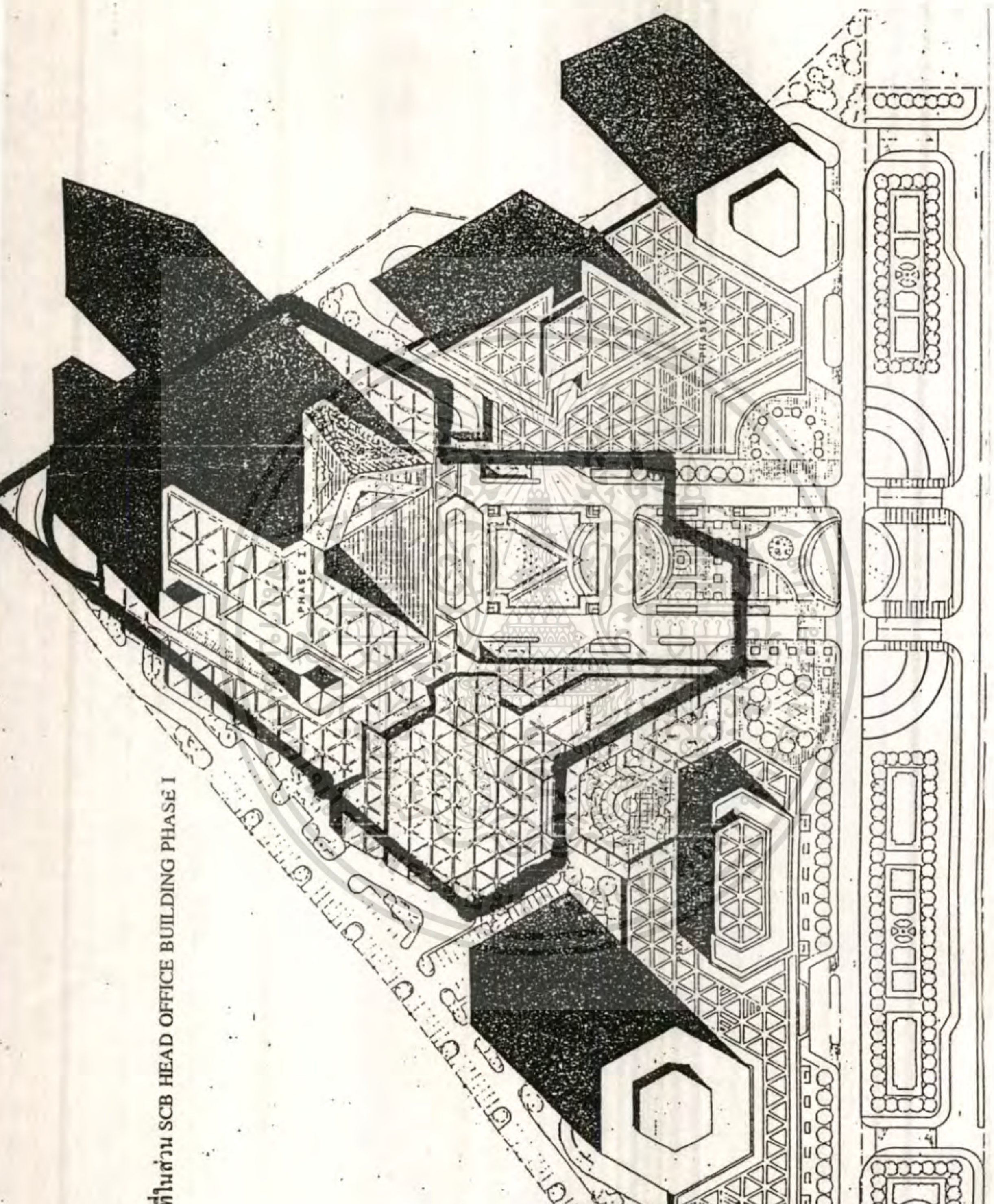
ระยะเวลาก่อสร้าง 40 เดือน (3 ปี 4 เดือน)
ระหว่างวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2535 - 3 มิถุนายน 2538

งบประมาณก่อสร้าง ประมาณ 9,000 ล้านบาท ประกอบด้วยที่ดินและค่าก่อสร้างอาคาร

ขอบเขตสำหรับงาน SOIL CEMENT COLUMN

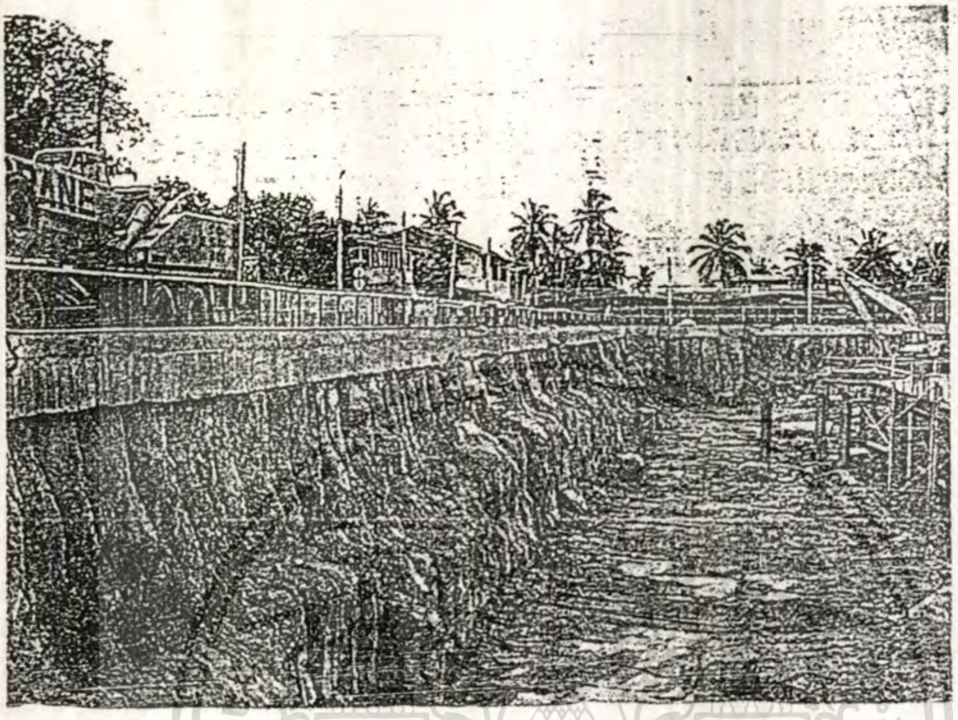
ใช้ SOIL CEMENT COLUMN ทำกำแพงกันดินชั่วคราว (TEMPORARY SOIL RETAINING WALL) ในเฟส 1 ของโครงการ SCB HEAD OFFICE BUIDING บริษัทที่รับผิดชอบในการก่อสร้างส่วนนี้ คือ บริษัท **THAI TENOX จำกัด**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แสดงพื้นที่ในส่วน SCB HEAD OFFICE BUILDING PHASE I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



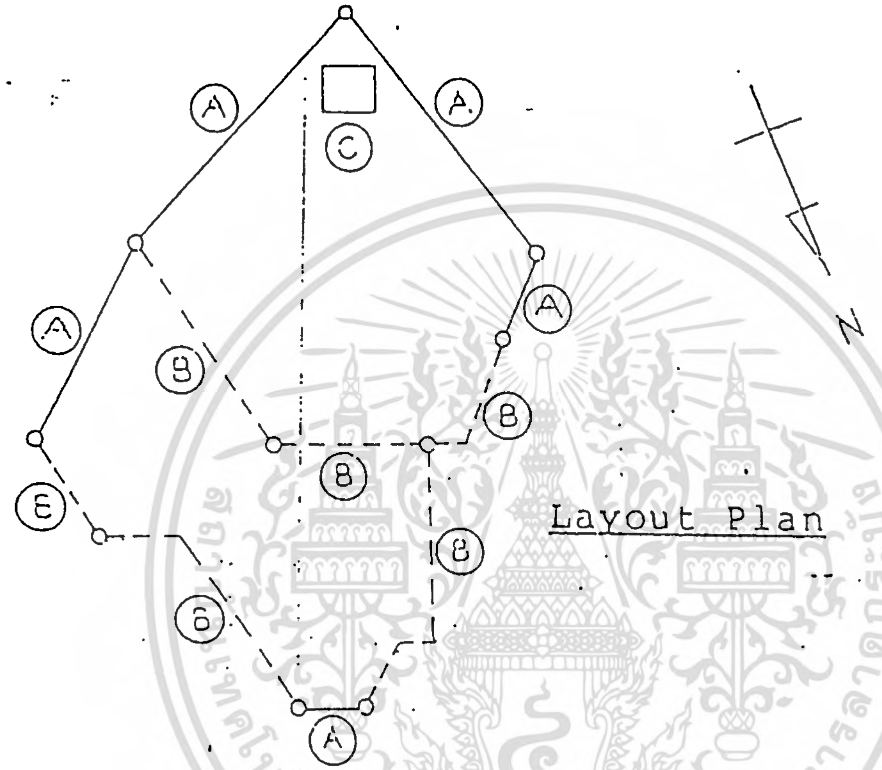
รูปที่ 5.16 แสดงการนำ SOIL CEMENT COLUMN มาประยุกต์ใช้งานกำแพงกันดินชั่วคราว (TEMPORARY SOIL RETAINING WALL) สำหรับ SCB HEAD OFFICE BUILDING PHASE I

5.3.2 แนวคิดหลักในการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้งานในโครงการ

1) ในโครงการนี้ได้นำเอาหลักการของ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะของกำแพงกันดินชั่วคราว (TEMPORARY SOIL RETAINING WALL) เพื่อช่วยในงานขุดดิน เพื่อทำชั้นใต้ดินของอาคาร ซึ่งใช้เป็นสถานที่สำหรับจอดรถประมาณ 1,700 คัน และพื้นที่ด้านข้างกำแพงกันดินชั่วคราว (ในส่วนที่ไม่ได้ขุดดินออก) ยังสามารถใช้เป็นถนนเพื่อให้รถแล่นผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

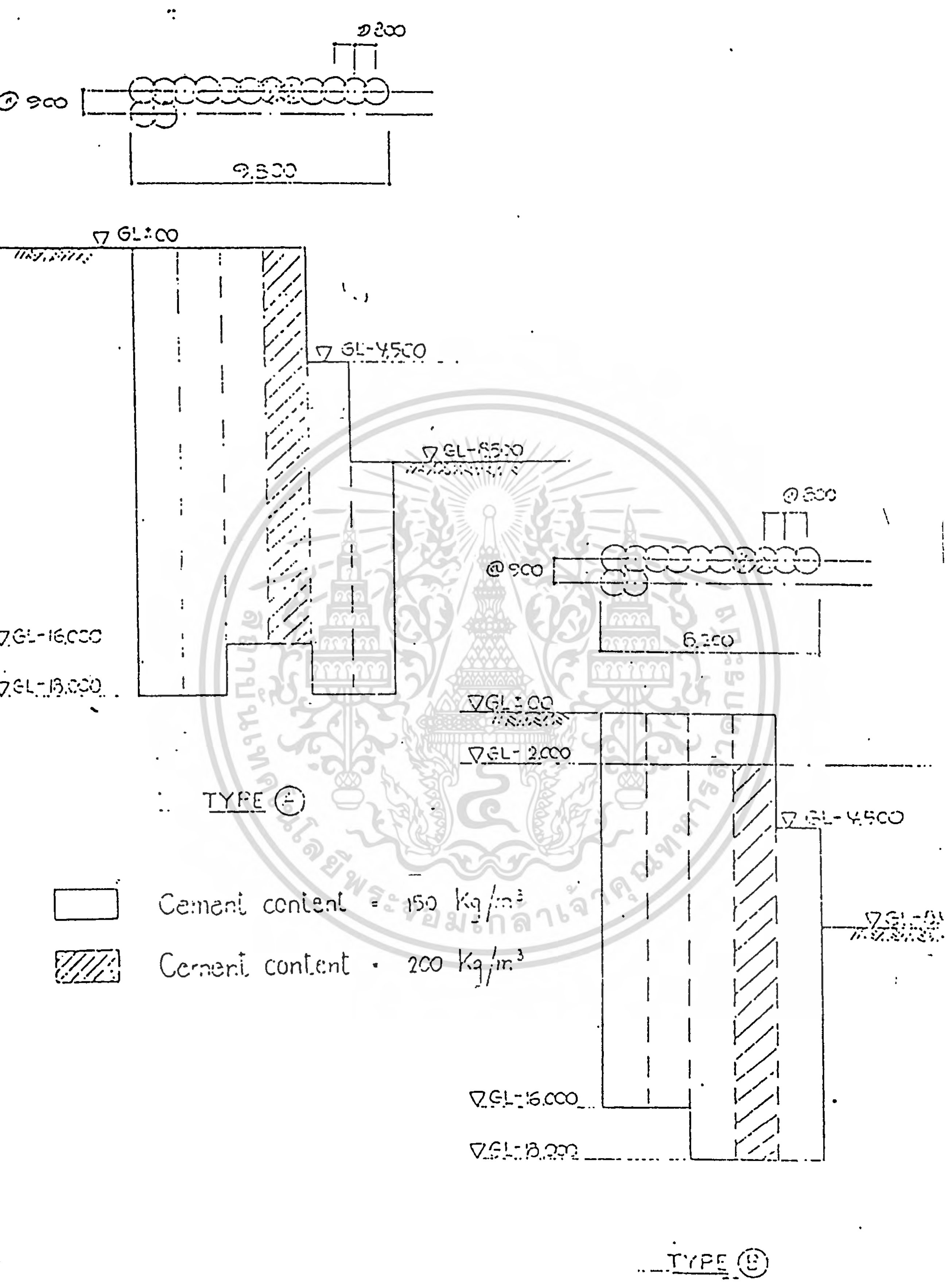
2) ในการสร้างกำแพงกันดินชั่วคราว (TEMPORARY SOIL RETAINING WALL) สำหรับโครงการนี้จะสร้างโดยรอบพื้นที่เฟส 1 ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 แสดง LAYOUT PLAN ของกำแพงกันดินชั่วคราว (TEMPORARY RETAINING WALL)

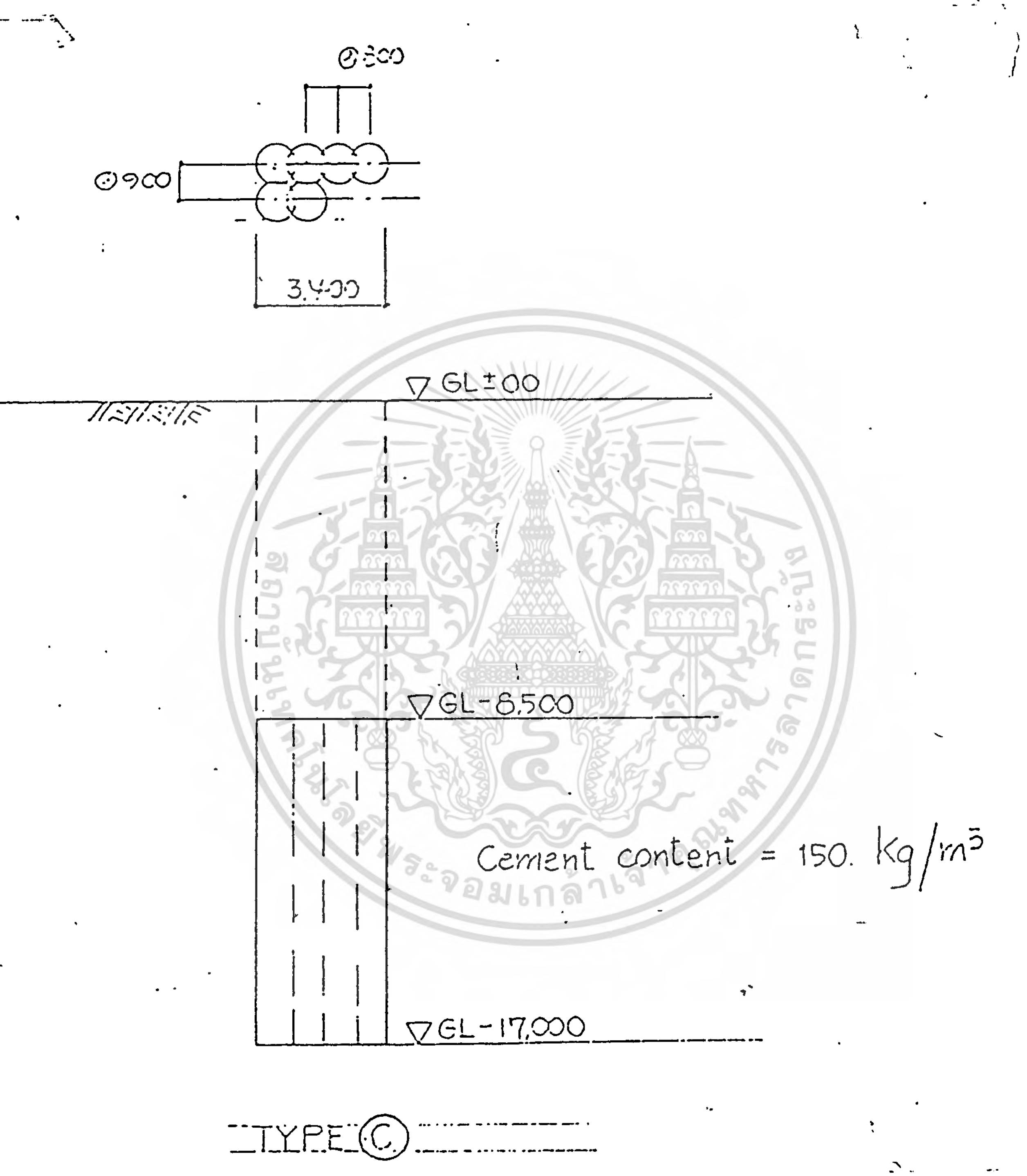
3) ลักษณะของกำแพงกันดินชั่วคราว ที่ออกแบบเพื่อใช้ในโครงการนี้ มี 3 ชนิด ซึ่งออกแบบตามความจำเป็นที่จะใช้งาน และลักษณะชั้นดิน ดังรูปที่ 5.18 และรูปที่ 5.19 (ชนิดA , ชนิดB , ชนิดC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 แสดงลักษณะของกำแพงกันดินชั่วคราว ชนิด A และ ชนิด B

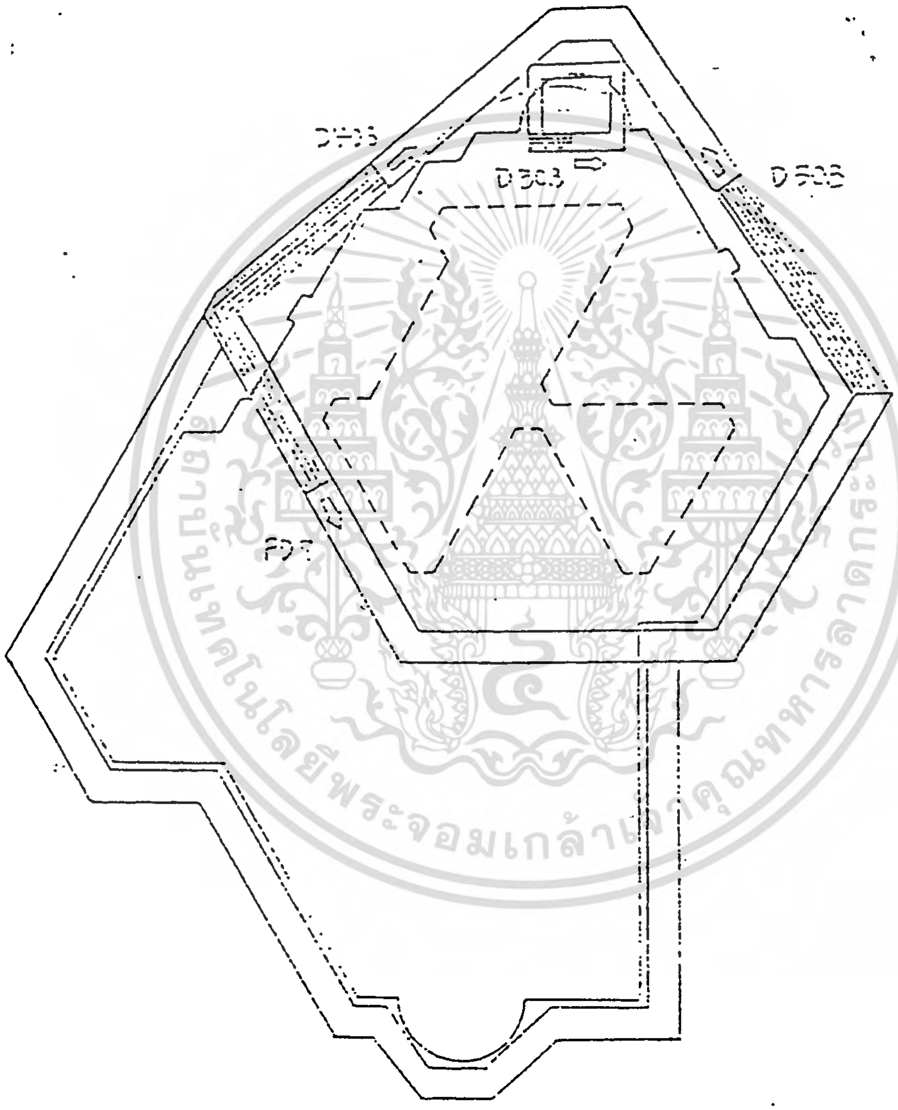
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 แสดงลักษณะกำแพงชั่วคราว ชนิด C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ... นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

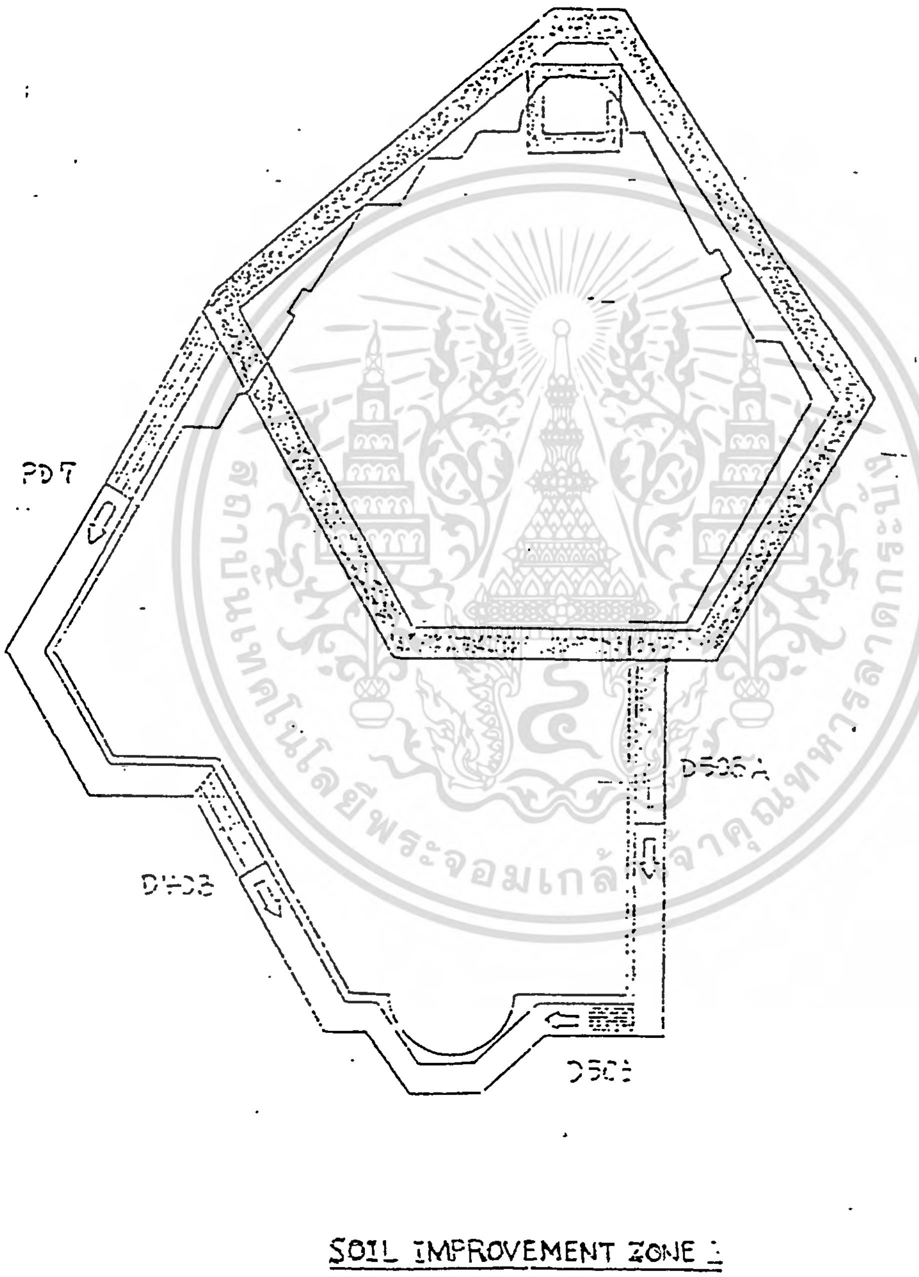
4) ในการดำเนินงานก่อสร้างกำแพงกันดินชั่วคราว แบ่งช่วงการทำงาน ออกเป็น 2 ช่วง ในลักษณะของวงรอบปิด 2 วง (SOIL IMPROVEMENT ZONE 1และ SOIL IMPROVEMENT ZONE 2) เมื่อสร้างวงรอบปิดวงที่ 1 เสร็จแล้ว ก็สามารถใช้พื้นที่ในวงรอบปิดที่ 1 ดำเนินการขุดดินทำห้องใต้ดินหรือก่อสร้างในส่วนอื่น ๆ ก็ได้



SOIL IMPROVEMENT ZONE 1

รูปที่ 5.20 แสดง SOIL IMPROVEMENT ZONE I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 แสดง SOIL IMPROVEMENT ZONE II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการออกแบบ

ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการออกแบบ ได้จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมและข้อมูลจำเพาะอื่นๆ จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งพอจะสรุปข้อมูลที่ใช้ได้ดังนี้

-มาตรฐานความสามารถในการรับกำลังของเสา

1) $q_u \geq 30\ T/m^2$ (สำหรับ SOIL CEMENT COLUMN แต่ละต้น)

2) $q_u \geq 60\ T/m^2$ (ค่าเฉลี่ยของ SOIL CEMENT COLUMN ทั้งหมด)

-อัตราส่วนผสมต่อดินที่ใช้ผสม 1 ลูกบาศก์เมตร เป็นไปตามตารางที่ 5.2

ปริมาณ (CEMENT)	วัสดุ (MATERIAL)	SPECIFIC GRAVITY	ปริมาณ (QUANTITY)
150 Kg/m^3	PORTLAND CEMENT TYPE I	3.15	150 Kg
	WATER	1.00	150 L
	CEMENT SLURRY	1.518	198 L
200 Kg/m^3	PORTLAND CEMENT TYPE I	3.15	200 Kg
	WATER	1.00	200 L
	CEMENT SLURRY	1.518	264 L

ตารางที่ 5.2 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างปริมาณซีเมนต์ ต่อปริมาณดินที่ใช้ผสม 1 ลูกบาศก์เมตร

- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ คือ W/C = 1: 1

- วิธีการฉีดพ่นน้ำปูนที่ผสมตามอัตราส่วน ลงในดินจะฉีดออกจากส่วนหัวเจาะ โดยฉีดในระหว่างการขุดเจาะลงไป

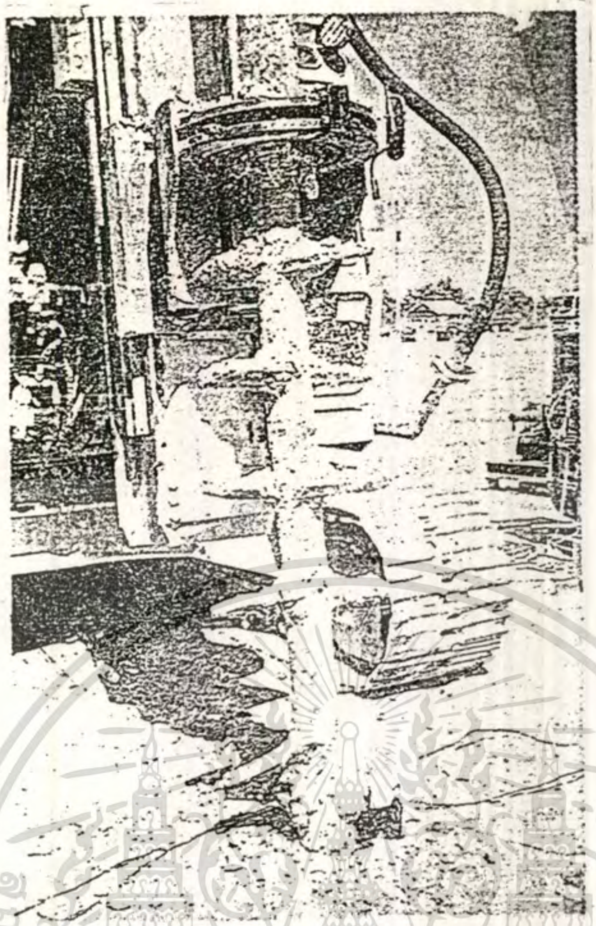
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเร็วของการขุดเจาะเป็นไปตามตารางที่ 5.3

ขั้นตอนการทำงาน	ความลึก	ความเร็ว (m./min)
เมื่อเจาะลงไปในดิน	เริ่มเจาะจากผิวดินไปจนถึงชั้นดินอ่อน (SOFT SOIL)	≤ 0.75
	เมื่อเจาะลงไปในชั้นดินแข็ง (STIFF SOIL)	≤ 0.40
เมื่อดึงหัวเจาะขึ้นมา เมื่อได้ระดับที่ต้องการ	เมื่อดึงหัวเจาะขึ้นมาจากดินที่ผสมน้ำปูนแล้วมีความลึกเท่ากับความยาวของSOIL CEMENT COLUMN ที่ออกแบบไว้	≤ 1.20

ตารางที่ 5.3 แสดงความเร็วของการขุดเจาะทำ SOIL CEMENT COLUMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



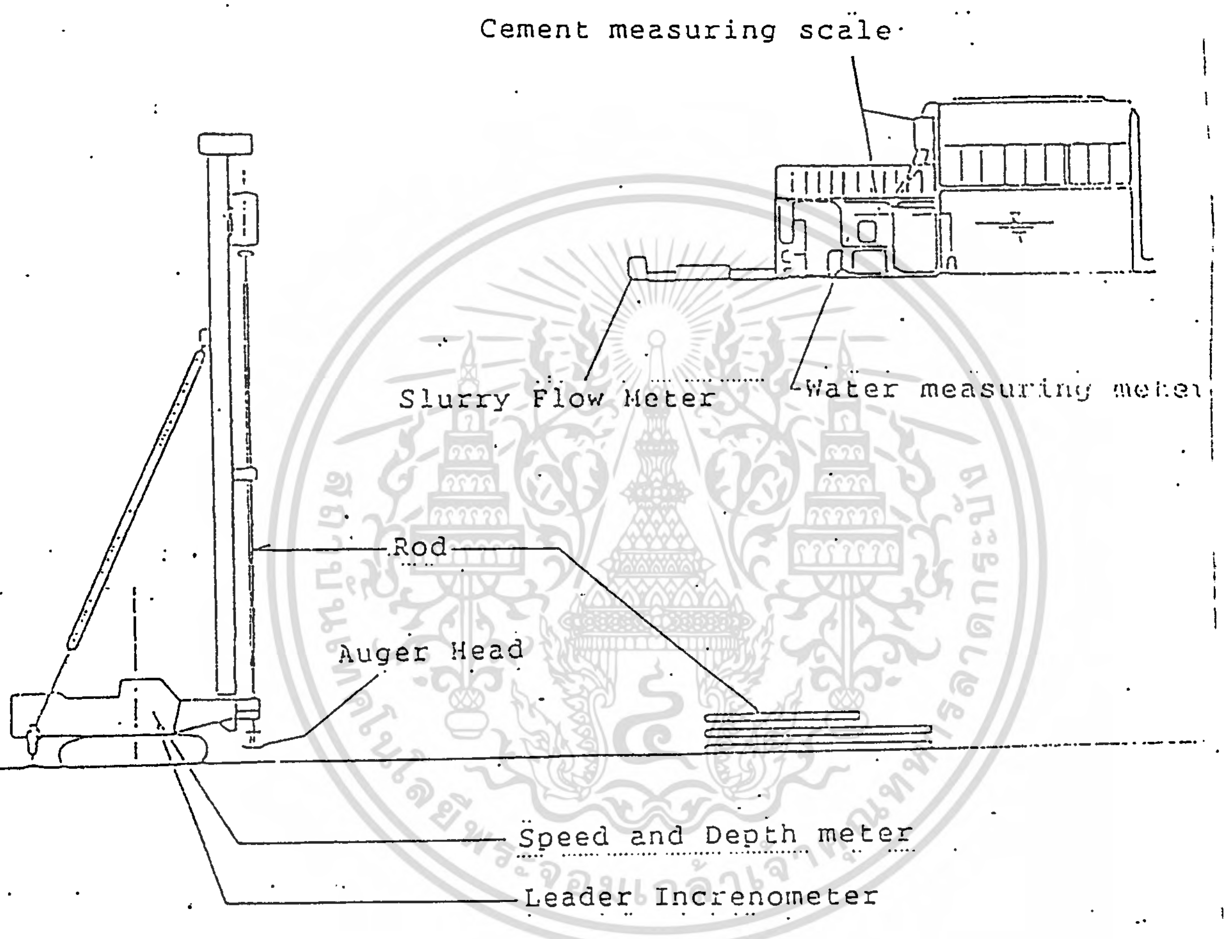
รูปที่ 5.22 แสดงการเจาะทำ SOIL CEMENT COLUMN

- การกำหนดระดับความลึก ณ จุดปลายของ SOIL CEMENT COLUMN ที่ใช้ทำกำแพงกันดินชั่วคราว ชนิดต่างๆ เป็นไปตามรูปที่ 5.23

รูปที่ 5.23 แสดงการกำหนดระดับความลึก ณ จุดปลายของ SOIL CEMENT COLUMN ซึ่งใช้ทำกำแพงกันดินชั่วคราว

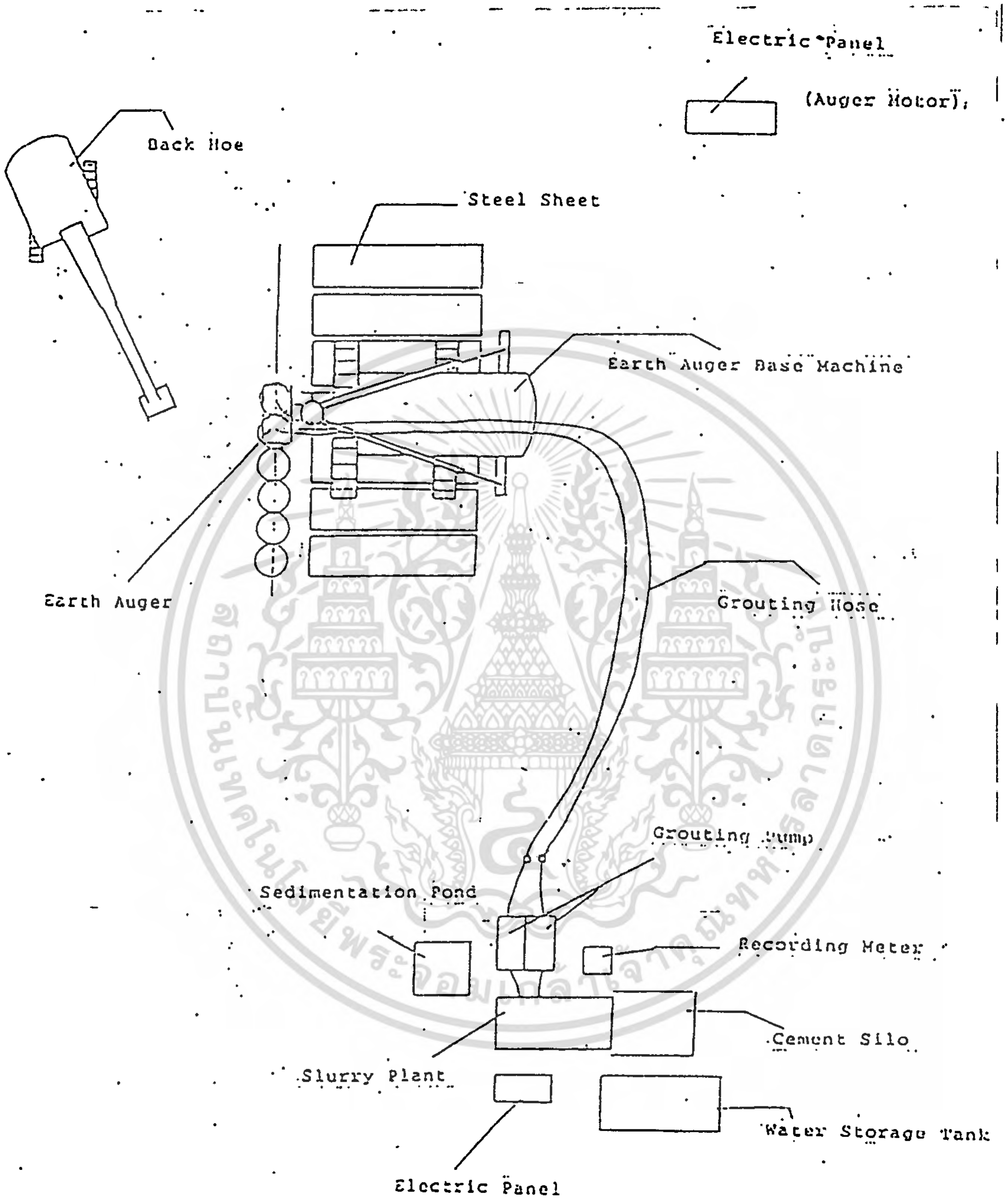
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 ลักษณะของชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงาน



รูปที่ 5.24 แสดงชุดอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



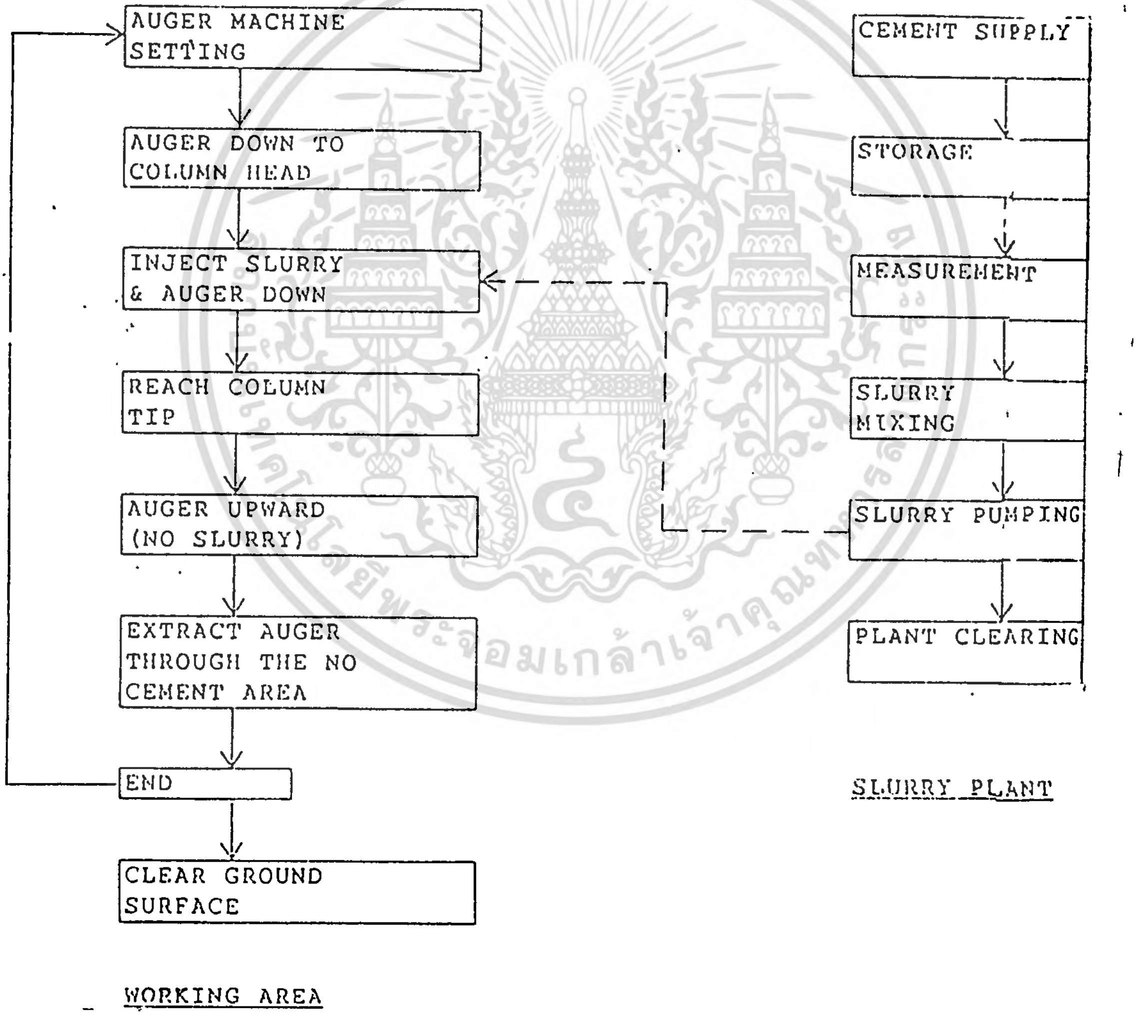
รูปที่ 5.25 แสดง LAYOUT PLAN ในส่วนของชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลักษณะการทำงานโดยย่อ มีดังนี้

จะมีการลำเลียงซีเมนต์ และน้ำมาผสมเป็นน้ำปูนที่ SLURRY PLANT โดยมีการควบคุมอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้น GROUTING PUMP จะส่งน้ำปูนไปตาม GROUTING HOSE โดยมีบ่อแยกตะกอนออกทิ้งไป น้ำปูนจะลำเลียงไปที่ EARTH AUGER BASE MACHINE จากนั้นหัวเจาะจะขุดเจาะดินลงไปในระดับที่ออกแบบเอาไว้ พร้อมกับฉีดน้ำปูนตามไปด้วย เมื่อได้ขนาดที่ต้องการก็ดึงหัวเจาะขึ้นมา

5.3.4.1) ขั้นตอนการก่อสร้าง เป็นไปตามขั้นตอนการทำงานข้างล่างนี้



รูปที่ 5.26 แสดงขั้นตอนการก่อสร้าง SOIL CEMENT COLUMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) **อัตราการเจาะและฉีดน้ำปูน** (AUGERING AND SLURRY INJECTION)

อัตราการเจาะและฉีดน้ำปูนจะเป็นไปตามตารางที่ 5.4 อาจมีการปรับแก้ไขให้เหมาะสมกับสภาพงาน (JOB SITE) ต่อไป

DESCRIPTION	DESCENDING		ASCENDING	
	SOFT SOIL	STIFF SOIL	COLUMN	NON-COLUMN
AUGER SPEED	0.75 m/min	0.40 m/min	1.20 m/min	2.0 m/min
SLURRY (150 Kg/m^3)	112 l/min	60 l/min	0 l/min	0 l/min
SLURRY (200 Kg/m^3)	149 l/min	80 l/min	0 l/min	0 l/min

ตารางที่ 5.4 แสดงอัตราการเจาะและฉีดน้ำปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4) การศึกษาแนวคิดในการนำ SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี JET GROUTING มาประยุกต์ ใช้ในงานก่อสร้างฐานรากโครงการ ท่าอากาศยานสากลกรุงเทพฯ แห่งที่ 2(หนองงูเห่า)

5.4.1) ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ

1) การศึกษากรณีตัวอย่างในเรื่องนี้ เป็นการศึกษาตามแนวคิดของคุณสมชัย กกกำแหง (วิศวกรระดับ 10 ฝ่ายสำรวจ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ประธานคณะอนุกรรมการวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมปฐพี วสท. (ประจำปี พศ.2537 - 2538) ซึ่งได้นำเสนอไว้ในบทความเรื่อง"ทางเลือกใหม่สำหรับงานก่อสร้างฐานรากสนามบินนานาชาติที่หนองงูเห่า " และบทความเรื่อง " การประยุกต์ใช้ JET GROUTING สำหรับงานวิศวกรรมปฐพีในประเทศไทย ")

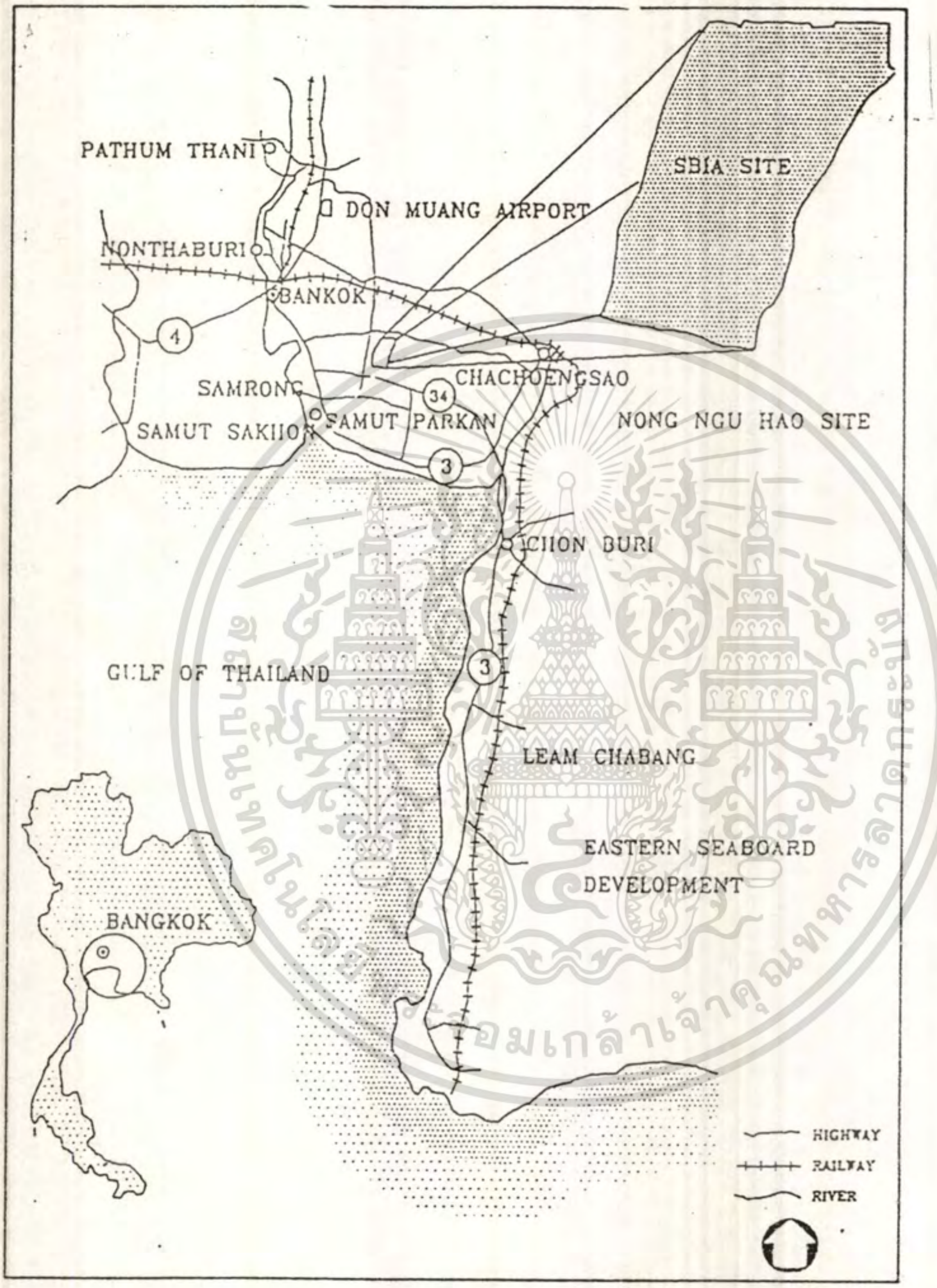
2) สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับโครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพ ฯ แห่งที่ 2 (หนองงูเห่า) ศึกษาจากบทความเรื่อง " โครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพ ฯ แห่งที่ 2 หนองงูเห่า "ซึ่งนำเสนอโดย รศ. ดร. นพดล เพียรเวช สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

3) ที่ตั้งของโครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพฯแห่งที่2 (หนองงูเห่า) มีพื้นที่ประมาณ 18,500 ไร่ ขนาดกว้าง 4กิโลเมตร (แนวตะวันตก - ตะวันออก) ยาว 8 กิโลเมตร (แนวเหนือ - ใต้) อยู่ห่างจากศูนย์กลางกรุงเทพฯ ประมาณ 30 กิโลเมตร

4) สภาพพื้นที่เป็นพื้นที่ต่ำ ต้องมีระบบป้องกันน้ำท่วมที่ดี พื้นที่ในบริเวณดังกล่าว มีลักษณะชั้นดินเหนียวอ่อนหนาประมาณ 12-15 เมตร ซึ่งดินมีกำลังต่ำมาก และจะต้องปรับปรุงแก้ไขเพื่อป้องกันปัญหาการทรุดตัว

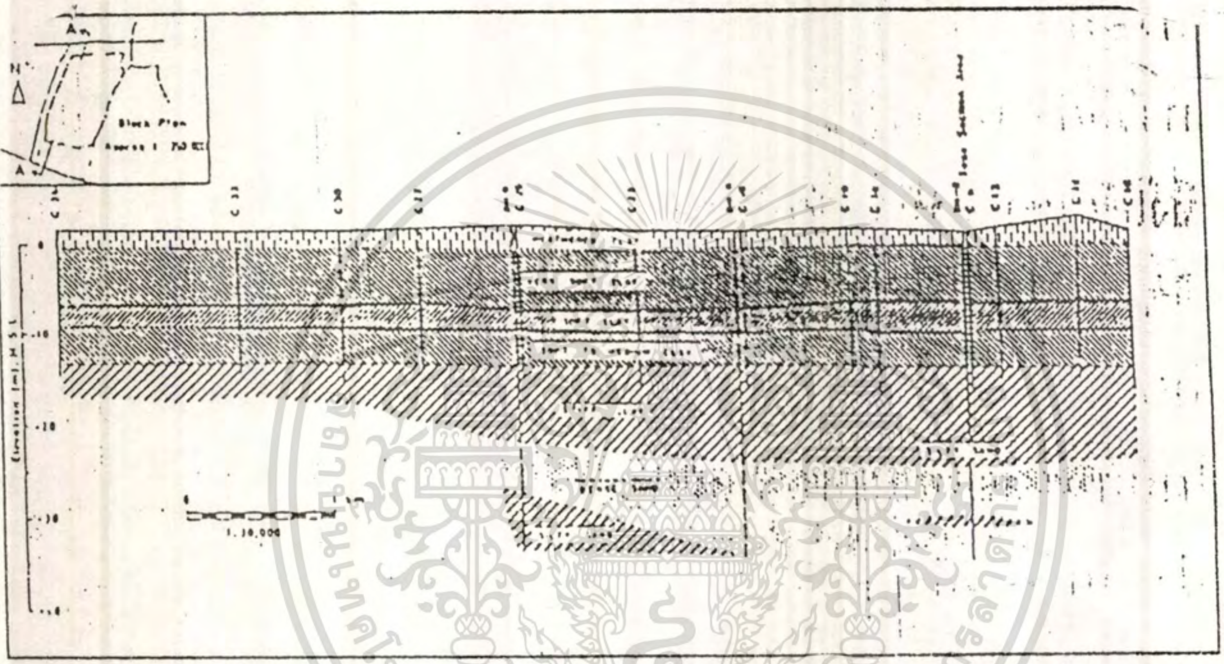
5) ตาม MASTER PLAN เมื่อพัฒนาโครงการได้เต็มที่ โครงการจะมีทางวิ่ง 4 ทาง วางขนานแนวเหนือใต้ ซึ่งสามารถรองรับการขึ้นลงเครื่องบินได้ 112 เครื่อง/ชั่วโมง รองรับปริมาณผู้โดยสาร 100 ล้านคน/ปี รองรับปริมาณสินค้า 6.4 ล้านตัน/ปี ทางวิ่งจะมีความกว้าง 60 เมตร ยาว 3,700 เมตร ในระยะเริ่มต้น จะก่อสร้าง 2 ทางวิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.27 แสดงตำแหน่งที่ตั้งโครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพฯแห่งที่ 2 (หนองงูเห่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 แสดงสภาพชั้นดินอ่อนบริเวณหนองงูเห่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2) แนวคิดหลักในการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปประยุกต์ ในโครงการ

1)ทำการก่อสร้าง SOIL CEMENT COLUMN โดยใช้ JET GROUNTING TECHNLQUE โดยก่อสร้างในลักษณะกลุ่มของ SOIL CEMENT COLUMN เพื่อให้กลุ่มเสาเข็มนี้ทำหน้าที่เหมือนตัวยึดเสริมเพิ่มความแข็งแรงขึ้นในมวลดินอ่อน (SOIL REINFORCEMENT)

2) กลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN จะทำหน้าที่ยึดดินอ่อนเสมือนกล่องดินเหนียวแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งมีพฤติกรรมเหมือนแพรับน้ำหนักที่ลอยอยู่ในเลน ซึ่งสามารถแบกรับน้ำหนักบรรทุกจากวัสดุถมลานบินและเครื่องบิน พร้อมทั้งสามารถถ่ายน้ำหนักบรรทุก ผ่านลงสู่ชั้นดินส่วนล่างได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะส่งผลให้การทรุดตัวในระยะยาวของผิวลานบินเกิดขึ้นน้อยลง และเป็นไปอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น

3) บดอัดคอนกรีตแห้งซึ่งใช้ซีเมนต์เป็นหลัก (ในปริมาณต่ำ) เพื่อเชื่อมประสานมวลคอนกรีตให้เป็นชั้นวัสดุที่แข็งแรงอยู่เหนือชั้นทรายถมและกลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN ชั้นวัสดุคอนกรีตบดอัดจะมีลักษณะเป็นแผ่นวัสดุที่หนาและแข็งแรงเพียงพอที่จะกระจายน้ำหนักบรรทุกลงสู่เสาเข็มเบื้องล่างอย่างสม่ำเสมอในลักษณะฐานรากแพ (MAT FOUNDATION) และช่วยยึดให้กลุ่มเสาเข็มเหล่านั้นมีพฤติกรรมในการรับแรงเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากยิ่งขึ้น

5.4.3) <u>การออกแบบ SOIL CEMENT COLUMN</u>

ตัวอย่างการออกแบบสามารถคำนวณได้ตามแนวทางดังต่อไปนี้

1) การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกโดยเฉลี่ยเหนือกลุ่ม

<u>สมมุติ</u>

ให้มีน้ำหนักบรรทุกโดยเฉลี่ย ประมาณ		≈	2	ตัน/ตารางเมตร
ทรายถมสูงขึ้นจากผิวดิน 60 เซนติเมตร	= (0.6*1.47)	=	0.882	ตัน/ตารางเมตร
		≈	1	ตัน/ตารางเมตร
น้ำหนักลานคอนกรีตหนา 0.50 เมตร	= (0.5* 2.4)	=	1.2	ตัน/ตารางเมตร
น้ำหนักบรรทุกรวม	= (2+1+1.2)	=	4.2	ตัน/ตารางเมตร

<u>ดังนั้น</u> น้ำหนักบรรทุกโดยเฉลี่ยเหนือกลุ่ม ที่ใช้ในการออกแบบ โดยประมาณ

= 5 ตัน/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2)ข้อมูลชั้นดินอ่อน

ค่าเฉลี่ย UNDRAIN SHEAR STRENGHT ของชั้นดินอ่อนแต่ละชั้นซึ่งหนาประมาณ 8 เมตร , 3เมตร และ 4เมตร ตามลำดับ มีค่า 1 ตัน/ตารางเมตร 1.5 ตัน/ตารางเมตร และ 2.5 ตัน/ตารางเมตร ตามลำดับ

3)การคำนวณหากำลังรับน้ำหนักโดยปลอดภัย Qa

$$Qu_{(net)} = [Qb_{(net)} / F.S._b] + Q_f$$

$$= (n1 * n2) [(9Cu' Ab / F.S._b) + \sum \alpha p Cu \Delta L]$$

$$Q_{(all)} = Qu_{(net)} / F.S._{(all)}$$

ซึ่ง $Qu_{(net)}$ = กำลังต้านทานน้ำหนักประลัยสุทธิ

$Qb_{(net)}$ = กำลังรับน้ำหนักประลัยที่ปลายเสาเข็ม

Q_f = กำลังรับน้ำหนักประลัยจากความเสียดทานระหว่างเสาเข็มและดิน

(n1*n2) = จำนวนเสาเข็ม

Cu' = UNDRAIN COHESION ของดินที่ปลายเสาเข็ม

Ab = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มแต่ละต้น

$F.S._b$ = ส่วนปลอดภัยสำหรับน้ำหนักประลัยที่ปลายเสาเข็มใช้เท่ากับ 3.0

p = เส้นรอบรูปของเสาเข็มแต่ละต้น

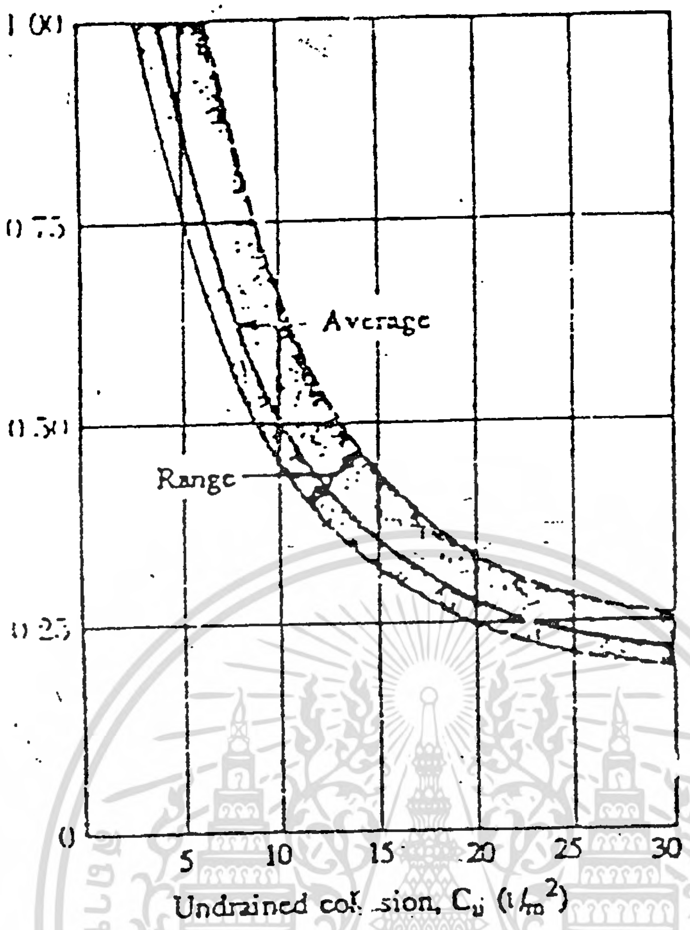
$F.S._{(all)}$ = ส่วนปลอดภัยสำหรับกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกโดยปลอดภัย 2.0

Cu = UNDRAIN COHETIONของดินตามความยาวเสาเข็ม

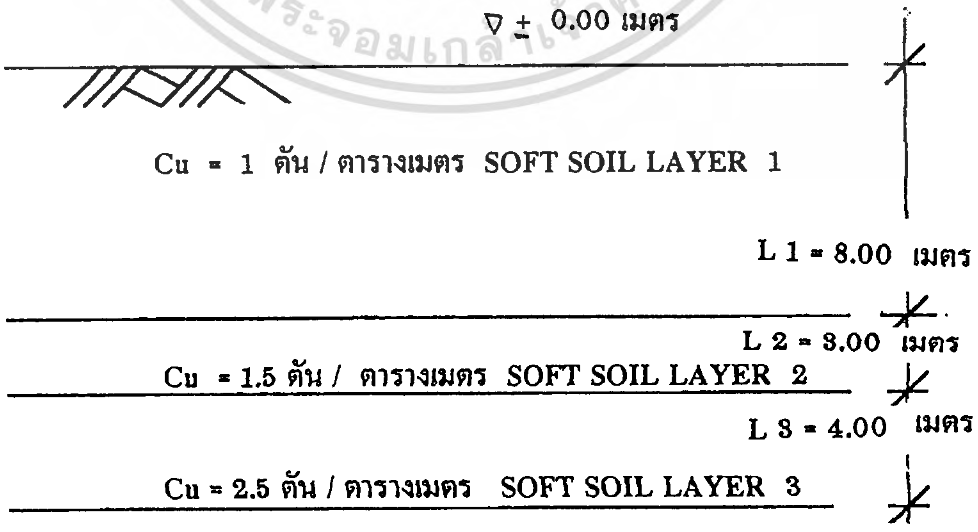
ΔL = ช่วงความหนาของชั้นดินที่กำลังพิจารณาค่าQ_f

α = EMPIRICAL ADHESION FACTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 แสดงค่าของ α ที่เปลี่ยนตามค่า UNDRAINED COHESION ของ CLAY



รูปที่ 5.30 ลักษณะชั้นดินที่ใช้ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในการคำนวณ ให้คิดสำหรับSOIL CEMENT COLUMN ดังนั้น(n1*n2) = 1
- ให้ระดับปลายของSOIL CEMENT COLUMNวางอยู่ใน SOFT LAYER 3 ดังนั้นCu′ = 2.5 ตัน/ตารางเมตร
- ใช้SOIL CEMENT COLUMN ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร
- $F.S._b$ = 3.0
- ค่า EMPIRICAL ADHESION FACTOR = 1.0 หาได้จาก รูปที่ 5.29

$Qu_{(net)}$ = (1){[(9*2.5*π0.6^2/4) / 3]} + (1) *π(0.6)[(1*8.0)+(1.5*3.0)+(4.0*2.5)

= 42.41 + 2.12

= 44.53 ตัน

Q_{all} = $Qu_{(net)}$ / $F.S._{(all)}$

= 44.53 / 2

= 22.27 ตัน/ต้น

ดังนั้น เสาเข็มแต่ละต้นจะแบกรับภาระจากพื้นที่ลานบินได้ประมาณ

22.27/5 = 4.45 ตารางเมตร

= 2.11*2.11 ตารางเมตร

∴ ระยะห่างของ SOIL CEMENT COLUMN แต่ละต้น = 2.00 เมตร ทั้งสองทิศทางโดยปลอดภัย

ในกรณีนี้ SOIL CEMENT COLUMN แต่ละต้นจะรับน้ำหนักจริงประมาณ

= 2.00*2.00*5

= 20 ตัน

ดังนั้น กำลังอัดสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นใน SOIL CEMENT COLUMN คือ

q = 20 ตัน/ (π0.6^2/4)

= 70.77 ตัน/ ตารางเมตร

ถ้าใช้อัตราส่วนปลอดภัย ของ SOIL CEMENT COLUMN = 2

ดังนั้น จะต้องสร้าง SOIL CEMENT COLUMN ให้มีค่า q_uที่อายุ 28 วัน ไม่น้อยกว่า (70.77*2) = 141.54 ตัน/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของตัวอย่างที่เจาะเก็บจากเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ซึ่งสร้างขึ้นด้วยวิธี Jet Grouting

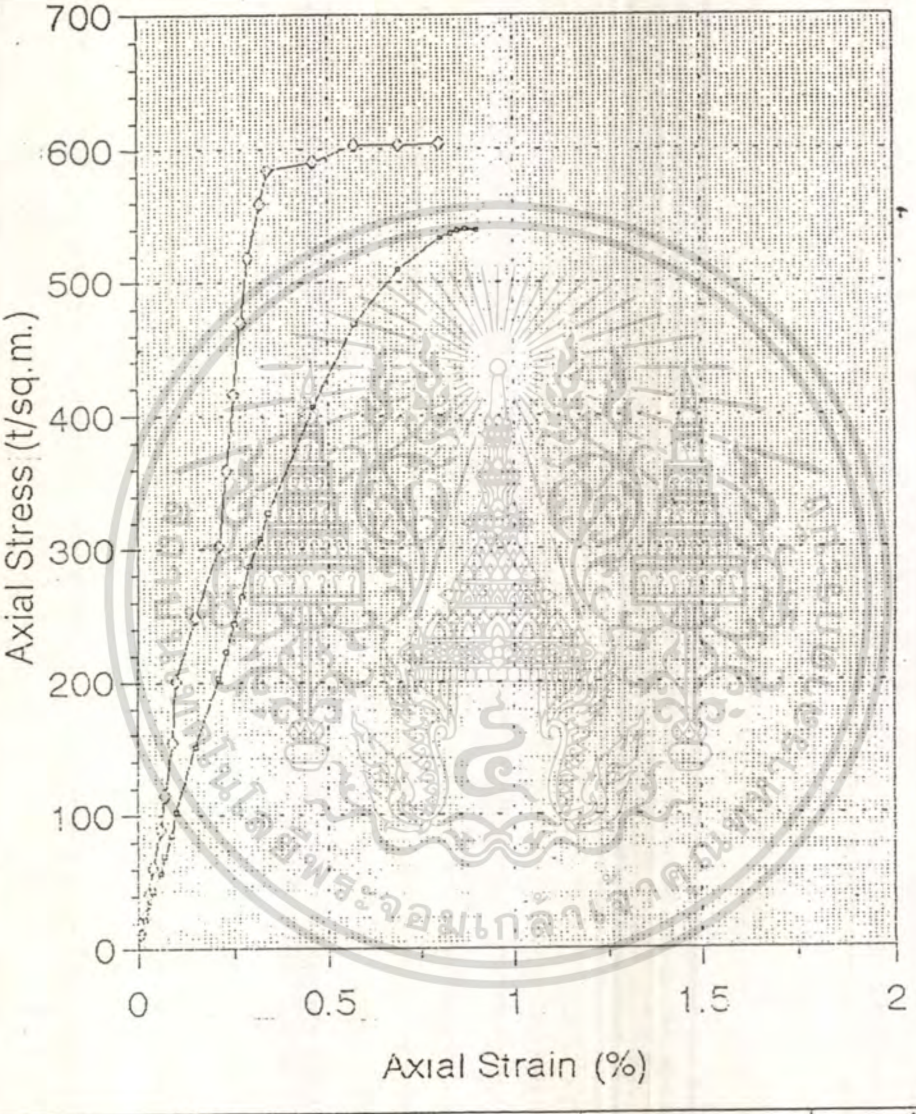
Location	Soil Type	Age Days	Wn %	Dry Unit Weight t/cu.m	qu t/sq.m.	Tangent Modulus at 50 % qu t/sq.m.	Strain at peak %
Nakornrajsima	Sandy Silt	15	11	1.47	542	88500	0.9
Rayong	Silty Sand	9	14	1.82	604	82000	0.9
Samutprakarn	Very Soft Clay	14	106-116	0.63-0.6	50-66	3370-5510	2.2-3.4
Rangsit	Very Soft Clay	28	101	0.67	60	6900	1.5
Nong Jok	Very Soft Clay	7	88	0.79	49	7820	0.7
Bang Bo	Very Soft Clay	13	162	0.48	48	4790	2.0
(golf club)		20	173	0.48	55	8530	1.2
		31	147	0.52	43	12440	1.0
		41	123	0.54	55	7240	1.2
		77	123	0.56	80	6830	1.6
Bang Son	Very Soft Clay	28	97	0.72	104	24210	0.8
		28	113	0.65	76	22970	0.4
		28	122	0.60	61	14670	0.6
		28	132	0.57	91	11410	1.4
Bang Pakong	Very Soft Clay	27	93	0.74	166	45440	0.9
		27	103	0.68	106	21670	0.6
Bang Bo	Very Soft Clay	73	127	0.58	99	19746	0.8
(petroleum fuel station)		79	136	0.56	94	13929	1.1
		81	131	0.58	147	41575	0.8

ตารางที่5.5 แสดงคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของตัวอย่างที่เจาะเก็บจาก SOIL CEMENT COLUMN ที่สร้างโดยวิธี JET GROUTING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNCONFINED COMPRESSION TEST RESULTS

CORED SPECIMENS : SOIL-CEMENT STABILIZATION BY JET GROUTING ON COHESIONLESS SOIL, SANDY SILT & SAND

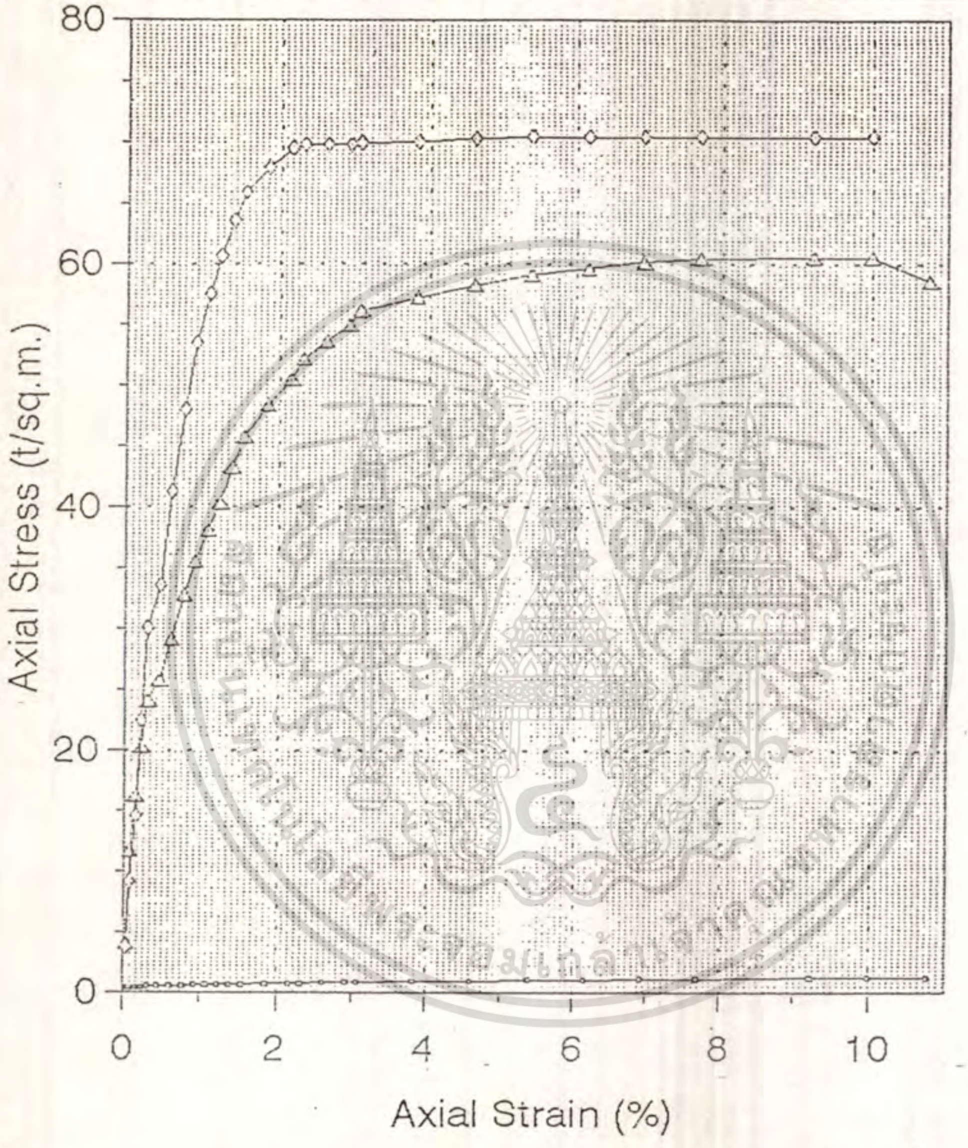


MATERIAL COHESIONLESS SOIL	DRY DENSITY (t/cu.m.)	Wn (%)	qu at 14 days (t/sq.m.)	Es at 50 % qu at 14 days (t/sq.m.)
◻ STABILIZED FINE SANDY SILT NAKORNRAJSIMA	1.47	11	542	98280
◊ STABILIZED SAND RAYONG	1.82	14	604	97690

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NCONFINED COMPRESSION TEST RESULTS

ORED SPECIMENS : SOIL-CEMENT STABILIZATION BY JET GROUTING ON COHESIVE SOIL, SOFT BANGKOK CLAY.



MATERIAL (BANGKOK CLAY)	DRY DENSITY (t/cu.m.)	Wn (%)	qu (t/sq.m.)	Es at 50 % qu (t/sq.m.)
VERY SOFT CLAY depth 4 m.	0.83	83	1.2	50
STABILIZED CLAY depth 3 m. 28 days	0.67	101	60.5	8140
STABILIZED CLAY depth 6 m. 28 days	0.71	72	70.4	19900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.5 แสดงคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของตัวอย่างที่เจาะเก็บจาก SOIL CEMENT COLUMN ซึ่งสร้างโดยวิธี JET GROUNTING จะเห็นได้ว่าอยู่ในวิสัยที่สามารถสร้าง SOIL CEMENT COLUMN ให้มีความแข็งแรงในระดับดังกล่าวได้ไม่ยาก แต่จุดที่สำคัญจุดหนึ่งคือการทดลองหาอัตราส่วนผสมในห้องปฏิบัติงาน โดยอาศัยดินตัวอย่าง (DISTURB SAMPLE) จากสถานที่จริงที่สุ่มเก็บตัวอย่างในระดับความลึกต่างๆ จากนั้นนำมาทดลอง UNCONFINED COMPRESSION TESTINS ตามมาตรฐาน ASTM 2166 โดยจะต้องควบคุมการทดลองเพื่อให้เกิดความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลที่จะนำมาออกแบบ SOIL CEMENT COLUMN ต่อไป

4)การคาดคะเนปริมาณการพองตัวของผิวดินที่เกิดจาก SOIL CEMENT COLUMN

-ในการปรับปรุงดินด้วยวิธีการทำ SOIL CEMENT COLUMN น้ำปูนที่ฉีดเข้าไปในดินจะทำให้ปริมาตรมวลดินฟูเพิ่มขึ้นประมาณ 30 เปอร์เซนต์ ของปริมาตร SOIL CEMENT COLUMN ที่ออกแบบไว้ เนื่องจากปริมาตรของน้ำปูนที่ฉีดเข้าไปในมวลดิน จะเปลี่ยนไปเป็นปริมาตรของมวลดินแข็งที่เพิ่มขึ้น

SOIL CEMENT COLUMN แต่ละต้นจะทำให้ปริมาตรมวลดินเพิ่มขึ้นประมาณ $= [(\pi 0.6^2/4) * 15 * 0.3] = 1.272$ ลูกบาศก์เมตร

ถ้า SOIL CEMENT COLUMN แต่ละต้นแบกรับภาระจากพื้นที่ลานบินประมาณ 4 ตารางเมตร ดังนั้นการฟูตัวของผิวดินต่อพื้นที่ 4 ตารางเมตร = 1.272/4 = 0.32 เมตร ดังนั้นการสร้างกลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN ขนาด 0.60 เมตร * 15.0 เมตร ปูพรมทั่วบริเวณลานบิน จะทำให้ผิวดินโดยเฉลี่ยยกตัวขึ้นสูงประมาณ 30 เซนติเมตร

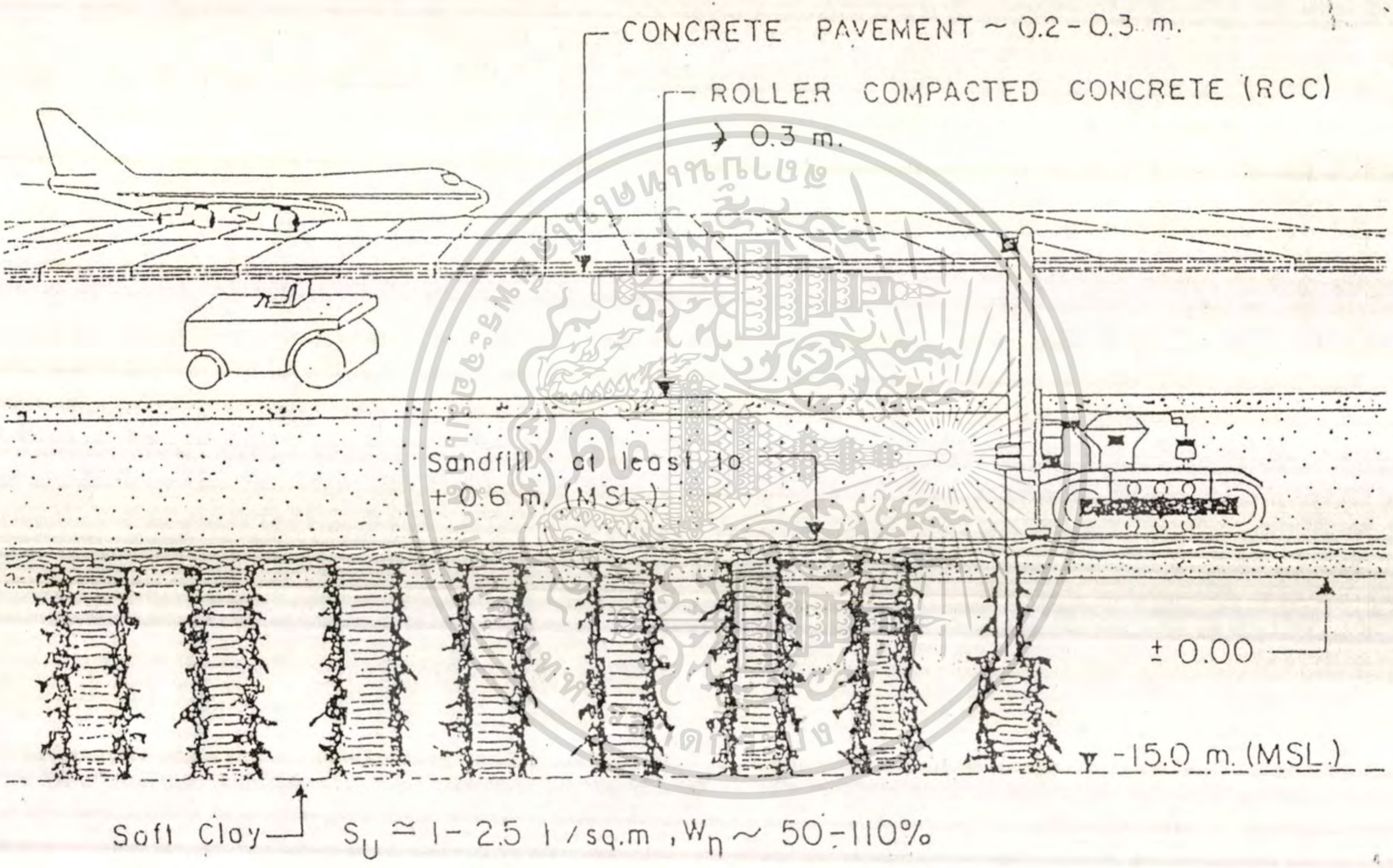
5.4.4) ลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง

ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างโดยสังเขป สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1)บดอัดทรายถมกลับพื้นที่ ปรับระดับทั่วทั้งบริเวณที่จะก่อสร้างลานบิน และลานจอดเครื่องบิน ขึ้นมาจนกระทั่งมีระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง ประมาณ 60 เซนติเมตร

2) สร้าง SOIL CEMENT COLUMN โดยวิธี JET GROUNTING ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.6 เมตร ลึก 15 เมตร เว้นระยะระหว่างเสา 2.0 เมตร ทั้ง 2 ทิศทาง ฉีดน้ำปูนให้ต่อเนื่องกันขึ้นมาในชั้นทรายถมโดยแผ่ขยายส่วนบนสุด 30 เซนติเมตร ให้น้ำปูนกระจายติดต่อถึงกันเต็มพื้นที่ ระหว่างเสาแต่ละต้นเพื่อสร้างชั้นทรายแข็ง เป็นแผ่นหนาเหนือกลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN เต็มทั้งบริเวณ ที่จะรองรับลานบินและลานจอดเครื่องบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.33 แสดงแนวคิดในการนำ SOIL CEMENT COLUMN ไปใช้ในงานฐานรากสนามบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) บดอัดคอนกรีต(ROLLER COMPACTION CONCRETE) เป็นชั้นเดียวหนาประมาณ 30 เซนติเมตร

4) สร้างลานบินคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือลานแอสฟัลท์เหนือชั้นคอนกรีตบดอัดให้ได้คุณสมบัติสอดคล้องตามมาตรฐานการก่อสร้างผิวจราจรลานบิน

5.4.5) ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และแนวโน้มการใช้งานในอนาคต

1) ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง เนื่องจาก JET GROUTING TECHNIQUE สามารถทำ SOIL CEMENT COLUMN ได้ประมาณ 40 ต้น/วัน ในเวลาทำงานปกติเพียง 10 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องจักรเจาะฉีดน้ำปูน 1 ชุด ในระยะเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ หลังจากการทำ SOIL CEMENT COLUMN พื้นดินในบริเวณดังกล่าว จะสามารถพัฒนากำลัง ในระดับที่เพียงพอจะดำเนินการก่อสร้างในส่วนอื่นๆต่อไป

2) ปริมาตรมวลดินในบริเวณที่มีการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนจะเพิ่มขึ้นประมาณเท่าๆกับปริมาตรของน้ำปูนที่ฉีดเข้าไปปรับปรุงดิน เนื่องจากน้ำปูนหลังจากผสมกับดินแล้ว จะเปลี่ยนสภาพวัสดุผสมจากของเหลวให้กลายเป็นของแข็งคงตัวเมื่อเวลาผ่านไป แต่ยังมีปริมาตรใกล้เคียงกับปริมาตรของวัสดุผสมในขณะที่เหลวอยู่ จึงมักส่งผลให้พื้นที่ผิวของลานดินถมโดยเฉลี่ยสูงขึ้นจากระดับดินเดิม จากการคาดคะเนปริมาณการพองตัวที่เกิดจะมีค่าประมาณ 30 เซนติเมตร

3) ปริมาณการทรุดตัวทั้ง TOTAL SETTLEMENT และ DIFFENTIAL SETTLEMENT ของลานบินในระยะยาวจะน้อยมาก เพราะ SOIL CEMENT COLUMN ที่สร้างขึ้นจะถ่ายน้ำหนักลงไปถึงชั้นดินที่เริ่มแน่น

4) จากการคาดคะเนการทรุดตัวของลานบินซึ่งรองรับด้วยกลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร ลึก 15.00 เมตร โดยคิดจากน้ำหนักบรรทุกกดทับเหนือกลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN ด้วยน้ำหนักประมาณ 2.4 ตัน / ตารางเมตร จะช่วยลดการทรุดตัวของผิวลานบินในระยะยาวลงเหลือเพียงประมาณ 0.54 เมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการทรุดตัวของชั้นดินอ่อนที่ไม่มีการเสริม SOIL CEMENT COLUMN ที่ประมาณไว้ 4.33 เมตร ดังตารางที่ 5.6 และตารางที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 คาดคะเนการทรุดตัวของลานบินที่ก่อสร้างบนชั้นดินอ่อนหนา 23 เมตร โดยตรง

SETTLEMENT PREDICTION

By : SOMCHAI KOKKAMHAENG
Reported on : 03-Mar-94

Project : SOIL-CEMENT STABILIZED BLOCK BY JET GROUTING METHOD AT NONG NGU HAO AIR PORT

Surcharge : 24.0 kN/sq.m, Soil Type : 1 = Cohesionless Soil, Soil Type : 2 = Cohesive Soil Ground Water = 1.00 m. (below Ground Surface)

Load is Transferred to Soil at : 0.00 m. below Ground Surface (uniformly distributed)

Ref. At Depth m	SPT (Fld) N/ft	Soil Type	SPT (Crt) N/ft	Mv sq.m/kN	Wn %	Cc --- 1+e0	Total Unit Wt. kN/cu.m	Eff. Unit Wt. kN/cu.m	Eff. Overbdn kN/sq.m	P1' kN/sq.m	delta P kN/sq.m	P1'+ delta P kN/sq.m	log(P1'+ delta P) −log(P1')	Settlement (cm) in layers of Sand	Clay	Ground Settlement cm
													Sum =	0.99	432.95	433.93
−0.10	1	2	1.0		133		12.8	12.8	1.28							
−2.00	1	2	1.0		133	0.741	12.8	2.8	6.60	3.94	24.00	27.94	0.651		119.84	119.84
−3.50	1	2	1.0		133	0.741	12.8	2.8	10.80	8.70	24.00	32.70	0.575		63.95	183.79
−5.00	1	2	1.0		139	0.776	12.8	2.8	15.00	12.90	24.00	36.90	0.456		53.14	236.93
−6.50	1	2	1.0		109	0.602	13.3	3.3	19.95	17.48	24.00	41.48	0.375		33.91	270.84
−8.00	1	2	1.0		109	0.602	13.3	3.3	24.90	22.43	24.00	46.43	0.316		28.55	299.38
−9.50	1	2	1.0		100	0.550	13.3	3.3	29.85	27.38	24.00	51.38	0.273		22.56	321.94
−11.00	1	2	1.0		125	0.695	13.3	3.3	34.80	32.33	24.00	56.33	0.241		25.14	347.08
−12.50	1	2	1.0		94	0.515	12.9	2.9	39.15	36.98	24.00	60.98	0.217		16.79	363.87
−14.00	1	2	1.0		94	0.515	12.9	2.9	43.50	41.33	24.00	65.33	0.199		15.37	379.24
−15.50	1	2	1.0		81	0.440	12.9	2.9	47.85	45.68	24.00	69.68	0.183		12.10	391.34
−17.00	1	2	1.0		81	0.440	13.4	3.4	52.95	50.40	24.00	74.40	0.169		11.16	402.49
−18.50	1	2	1.0		91	0.498	13.4	3.4	58.05	55.50	24.00	79.50	0.156		11.65	414.15
−20.00	5	2	5.0		48	0.248	16.8	6.8	68.25	63.15	24.00	87.15	0.140		5.21	419.36
−21.50	6	2	6.0		48	0.248	16.8	6.8	78.45	73.35	24.00	97.35	0.123		4.58	423.94
−23.00	8	2	8.0		43	0.219	16.8	6.8	88.65	83.55	24.00	107.55	0.110		3.61	427.55
−24.50	10	2	10.0		30	0.144	18.9	8.9	102.00	95.33	24.00	119.33	0.098		2.11	429.66
−25.50	14	2	14.0		24	0.109	17.5	7.5	109.50	105.75	24.00	129.75	0.089		0.97	430.63
−27.00	18	2	18.0		24	0.109	17.5	7.5	120.75	115.13	24.00	139.13	0.082		1.35	431.97
−28.50	25	2	25.0		20	0.086	17.7	7.7	132.30	126.53	24.00	150.53	0.075		0.97	432.95
−30.00	37	1	32.0	0.000053	20		17.7	7.7	143.85	136.08	24.00	162.08		0.19		433.14
−31.50	28	1	23.5	0.000069	20		17.4	7.4	154.95	149.40	24.00	173.40		0.25		433.38
−33.00	15	1	12.3	0.000115	20		17.4	7.4	166.05	160.50	24.00	184.50		0.41		433.80
−34.50	58	1	46.2	0.000038	20		17.4	7.4	177.15	171.60	24.00	195.60		0.14		433.93

ตารางที่ 5.6 แสดงการคาดคะเนการทรุดตัวของลานบินที่ก่อสร้างบนชั้นดินอ่อนหนา 23 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 คาดคะเนการทรุดตัวของลานบินซึ่งรองรับด้วยกลุ่มเสาเข็มดิน - ซีเมนต์ ถึงระดับความลึก 15 เมตร

SETTLEMENT PREDICTION

By : SOMCHAI KOKKAMHAENG

Reported on : 03–Mar–94

Project : SOIL–CEMENT STABILIZED BLOCK BY JET GROUTING METHOD AT NONG NGU HAO AIR PORT

Surcharge : 24.0 kN/sq.m, Soil Type : 1 = Cohesionless Soil, Soil Type : 2 = Cohesive Soil Ground Water = 1.00 m. (below Ground Surface)

Load is Transferred to Soil at : 15.00 m. below Ground Surface (uniformly distributed)

Ref. At Depth m	SPT (Fld) N/ft	Soil Type	SPT (Crt) N/ft	Mv sq.m/kN	Wn %	Cc --- 1+e0	Total Unit Wt. kN/cu.m	Eff. Unit Wt. kN/cu.m	Eff. Overbdn kN/sq.m	P1' kN/sq.m	delta P kN/sq.m	P1'+ delta P kN/sq.m	log(P1'+ delta P) −log(P1')	Settlement (cm) in layers of Sand	Clay	Ground Settlement cm
													Sum =	0.99	53.18	54.16
−0.10	1	2	1.0		133		12.8	12.8	1.28							
−2.00	1	2	1.0		133	0.741	12.8	2.8	6.60	3.94						
−3.50	1	2	1.0		133	0.741	12.8	2.8	10.80	8.70						
−5.00	1	2	1.0		139	0.776	12.8	2.8	15.00	12.90						
−6.50	1	2	1.0		109	0.602	13.3	3.3	19.95	17.48						
−8.00	1	2	1.0		109	0.602	13.3	3.3	24.90	22.43						
−9.50	1	2	1.0		100	0.550	13.3	3.3	29.85	27.38						
−11.00	1	2	1.0		125	0.695	13.3	3.3	34.80	32.33						
−12.50	1	2	1.0		94	0.515	12.9	2.9	39.15	36.98						
−14.00	1	2	1.0		94	0.515	12.9	2.9	43.50	41.33						
−15.50	1	2	1.0		81	0.440	12.9	2.9	47.85	45.68	24.00	69.68	0.183		12.10	12.10
−17.00	1	2	1.0		81	0.440	13.4	3.4	52.95	50.40	24.00	74.40	0.169		11.16	23.26
−18.50	1	2	1.0		91	0.498	13.4	3.4	58.05	55.50	24.00	79.50	0.156		11.65	34.91
−20.00	5	2	5.0		48	0.248	16.8	6.8	68.25	63.15	24.00	87.15	0.140		5.21	40.12
−21.50	6	2	6.0		43	0.219	16.8	6.8	78.45	73.35	24.00	97.35	0.123		4.05	44.17
−23.00	8	2	8.0		43	0.219	16.8	6.8	88.65	83.55	24.00	107.55	0.110		3.61	47.78
−24.50	10	2	10.0		30	0.144	18.9	8.9	102.00	95.33	24.00	119.33	0.098		2.11	49.89
−25.50	14	2	14.0		24	0.109	17.5	7.5	109.50	105.75	24.00	129.75	0.089		0.97	50.86
−27.00	18	2	18.0		24	0.109	17.5	7.5	120.75	115.13	24.00	139.13	0.082		1.35	52.20
−28.50	25	2	25.0		20	0.086	17.7	7.7	132.30	126.53	24.00	150.53	0.075		0.97	53.18
−30.00	37	1	32.0	0.000053	20		17.7	7.7	143.85	138.08	24.00	162.08		0.19		53.36
−31.50	28	1	23.5	0.000069	20		17.4	7.4	154.95	149.40	24.00	173.40		0.25		53.61
−33.00	15	1	12.3	0.000115	20		17.4	7.4	166.05	160.50	24.00	184.50		0.41		54.02
−34.50	58	1	46.2	0.000038	20		17.4	7.4	177.15	171.60	24.00	195.60		0.14		54.16

ตารางที่ 5.7 แสดงการคาดคะเนการทรุดตัวของลานบินซึ่งรองรับด้วยกลุ่ม SOIL CEMENT COLUMN 15เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะจากโครงงานพิเศษ

1.การพัฒนากำลังของ soil cement column จะเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มและปริมาณซีเมนต์ผสมที่เพิ่มขึ้น โดยต้องพิจารณาที่อัตราส่วน w/c (water cement ratio)ที่เหมาะสม ซึ่งจากการทดสอบพบว่าที่ ปริมาณซีเมนต์ 8% อัตราส่วน w/c (water cement ratio)ที่เหมาะสมคือ 1.5 : 1 ขณะที่ปริมาณซีเมนต์ผสม 10% ,12%,15%อัตราส่วน w/c (water cement ratio)ที่เหมาะสมคือ 1: 1

2. เนื่องจากอัตราส่วน w/c (water cement ratio) ที่ใช้ในการทดลองนี้อยู่ใน range ที่สูงกว่า 1: 1 ขึ้นไป ดังนั้นจากแนวโน้มแล้วน่าจะมีการทดลองโดยใช้ อัตราส่วน w/c (water cement ratio) ที่ต่ำกว่า1 : 1 มาทำการทดลองต่อไปด้วย

3. ในการทดลองนี้ไม่ได้ทำการทดลองในแง่ของ water content ที่เปลี่ยนไปในดินว่าจะมีผลต่อการรับกำลังของ soil cement column อย่างไร ค่าของ water content ที่ใช้นั้นเป็นการสรุปข้อมูลจาก boring log เท่านั้น ไม่ได้ทดสอบ ณ สภาวะที่ทำการ mixedดินกับซีเมนต์ว่าขณะนั้นดินมี water content เป็นเท่าไหร่ ทำให้การสรุปเรื่อง w/c (water cement ratio) ที่เหมาะสมอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้

4. ในการปั่นผสมดินกับซีเมนต์เข้าด้วยกันจะเกิดปัญหาในเรื่องเครื่องมือที่ใช้ในการปั่นผสมดินกับซีเมนต์ดังนี้ คือ ในกรณีของการทดลอง unconfined compresstive test การปั่นผสมดินกับซีเมนต์ใช้เครื่องมือปั่น คือ เครื่องปั่นน้ำสลัด 2 หัวปั่น ซึ่งไม่สามารถจะใช้งานได้ตลอดการทดลองเพราะเครื่องปั่นเกิดการชำรุดเสียหายเนื่องจากใช้งานหนักจนเกินไป เมื่อเปลี่ยนมาใช้เครื่องผสมปูนขาวหรือ เครื่องทำเซรามิต มาใช้ในการทดลองพบว่าขณะที่ผสมซีเมนต์ลงไปกับดินเดิมนั้น ดินที่ผสมกับซีเมนต์แล้วจะค่อย ๆ มีความหนืดสูงขึ้นจนเครื่องไม่สามารถทำการปั่นต่อไปได้ ต้องใช้แรงคนช่วยในการปั่นทำให้เนื้อของดินซีเมนต์ไม่ uniform ตามที่ต้องการ จึงน่าจะมีการแก้ปัญหาในเรื่องนี้สำหรับผู้ที่จะทำการทดลองต่อไปด้วย

5. การออกแบบและใช้งาน soil cement column สามารถทำได้โดยใช้หลักการเดียวกันกับเสาเข็มเจาะทั่ว ๆ ไป ทั้งในแง่ของการรับน้ำหนักและการถ่ายแรง แต่ในตัวของ soil cement column

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความแข็งแรงเทียบเท่ากับ stiff fissure clay ดังนั้นการทรุดตัวเข็มเองจะมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มเจาะในการออกแบบจึงควรพิจารณาประเด็นนี้ด้วย

6. การปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธี soil cement column เพื่อแก้ปัญหาการทรุดตัวและเสถียรภาพ ในชั้นดินอ่อนมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกรุงเทพมหานครเพราะเป็นการแก้ปัญหาในระยะยาว สามารถทำได้รวดเร็วและด้านราคามีแนวโน้มว่าจะถูกลงในอนาคต อีกทั้งในปัจจุบันได้มีผู้ที่ทำการศึกษาและนำวิธีของ soil cement column มาประยุกต์ใช้งานในกรณีต่าง ๆ อย่างได้ผล (ศึกษาได้จาก case study) ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธี soil cement column น่าจะเป็นทางเลือกใหม่ที่เหมาะสมกับสภาพชั้นดินในเขตกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชัย มุกตาพันธุ์ และ กาซุโต นากาซาวา . ปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพมหานคร :สมาคมส่งเสริมความรู้ทางด้านเทคนิคระหว่างประเทศ,2526.

สง่า ตั้งชวาล . ธรณีวิศวกรรมขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2537.

Ingles , O.G. and Metcalf,J.B. Soil Stabilization Principles and Practice. Australia : Butterworths,1972.

สมชัย กกกำแหง. "ทางเลือกใหม่สำหรับการก่อสร้างเขื่อนหรือทำนบปิดลำน้ำบนชั้นดินอ่อนด้วย Jet Grouting Technique .", โยธาสาร,7,4 (เมษายน,2538),19-24.

นพดล เพียรเวช . "โครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพแห่งที่ 2 หนองงูเห่า",โยธาสาร,8,1 (มกราคม,2539),17-21.

ศิลป์ชัย ถิรวัฒน์."สนามบินหนองงูเห่า",โยธาสาร,8,1(มกราคม,2539),39-40

ยงยุทธ แต้ศิริ และ นพดล เพียรเวช." การปรับปรุงถนนสายบางนา-บางปะกง ด้วยวิธี Soil Cement Column ",โยธาสาร,8,1(มกราคม,2539),22-26.

วรรณี ศุขสาตร. วิศวกรรมฐานราก.พิมพ์ครั้งที่ 2.กรุงเทพมหานคร :โฟร์เพซ,2538.

มณเฑียร กังศศิเทียม.กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพมหานคร : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์,2535.

จิรพัฒน์ โชติกไกร . วิศวกรรมการทาง.กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์เซนเตอร์ ,2531

สมชัย กกกำแหง ."ทางเลือกใหม่สำหรับงานก่อสร้างฐานรากสนามบินนานาชาติแห่งที่ 2 หนองงูเห่า",วิศวกรรมสาร,47,2 (กุมภาพันธ์,2537),53-58.

Bowles,Joseph E.Foundation Analysis and Design.4th ed. United States of America : McGraw-Hill ,1988.

วิชาญ ภู่พัฒน์ และ จิรพัฒน์ โชติกไกร . เทคโนโลยีดินซีเมนต์. กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์เซนเตอร์.

วินิต ช่อวิเชียร.คอนกรีตเทคโนโลยี.พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร : 2529.

วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และ ประทีป ดวงเดือนปฐพีกลศาสตร์ทฤษฎีและปฏิบัติการ,กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2525

Bowles , Joseph E. Engineering Properties of Soil and Ther Measurement. 3 rd ed.Singapore :McGraw-Hill ,1988.

สราวุธ จริตงาม " Jet Grouting ประสิทธิภาพในงานขุดใต้ดินขนาดลึกในชั้นดินเหนียวอ่อน,"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Construction Leader,2,17(25 พย.-15 ธค.),8-9.

ม เพชรเกตุ."การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ป้องกันน้ำท่วมกรุงเทพฯ",โยธาสาร,7,(พฤศจิกายน,37), 41-45.

ม เพชรเกตุ และพินิต ตั้งบุญเติม."การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนทางเคมี", ข่าวช่าง,ธันวาคม,2534,30-37.

rgado, D.T. and others.Improvement Technique of Soft Ground in Subsiding and Lowland Environment.

ngkok : Asian Institute of Technology ,1992.

oms,B.Stabilization of Soft Clay with lime column .

partment of Soil and Rock Mechanics,Royal Institute of Technology ,1984.

ulos , H.G. and Davis E.H. Pile Foundation Analysis and Design.

Newyork ,USA, 1980.

non , N. and Menzies,B. A Short Couse in Foundation

Engineering . IPC Science and Technology Press, 1976.

LL,F.G. Engineering Treatment of Soils . Great Britain : E and FN SPON 1993.

ารบดอัดและการปรับปรุงคุณภาพดินในการก่อสร้าง",เอกสารประกอบการสัมนาทางวิชาการ, กรุงเทพมหานคร ว.ส.ท.,สิงหาคม,2531.

วัตร ทองคำ.การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯโดยวิธีผสมซีเมนต์. กรุงเทพมหานคร บัณฑิตวิทยาลัย มก.,2538.

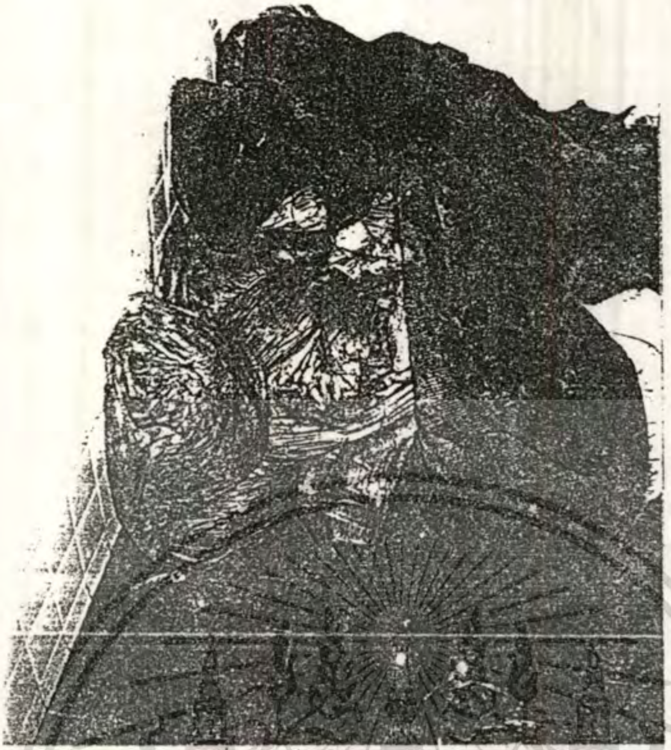
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) ประมวลภาพขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินเหนียวอ่อน ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่หนึ่งในอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

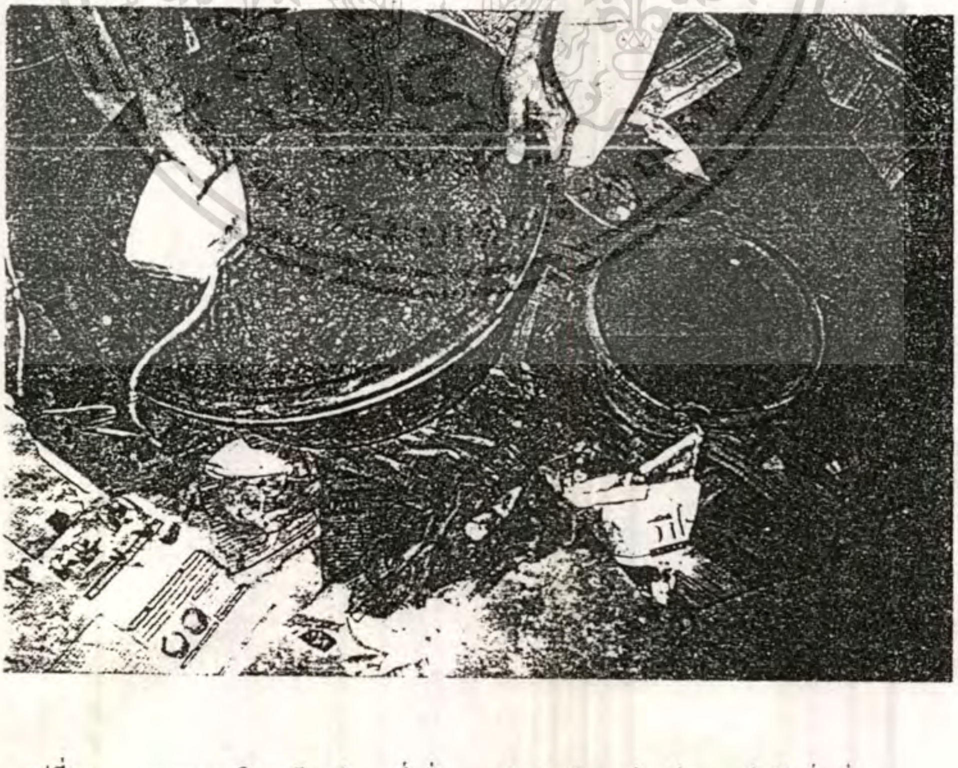


รูปที่ ผ1 : การเก็บตัวอย่างดิน (DISTURB SAMPLE)
ที่ขุดเก็บในระดับความลึก 3.20 - 4.00 เมตร

รูปที่ ผ2 : การเตรียมส่วนผสมต่างๆ
ก่อนทำการผสมกับดิน
(DISTURB SAMPLE)

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ... อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ผ3 : การปั่นดินผสมน้ำปูน (UNCONFINED COMPRESSION TESTING)

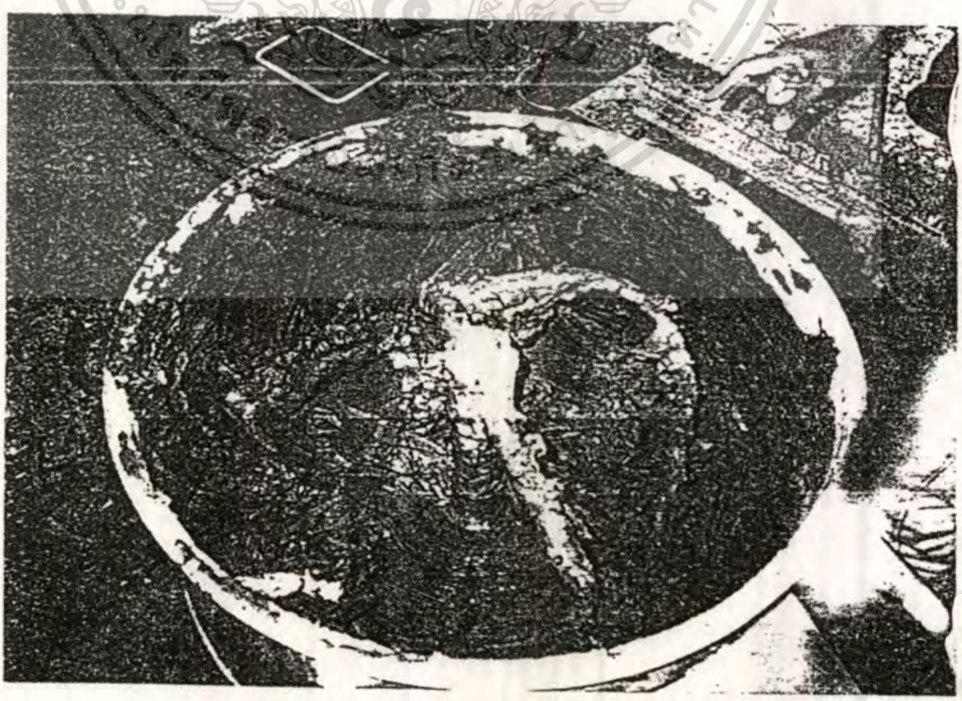


รูปที่ผ4 : สภาพของดินเหนียวอ่อน เมื่อปั่นผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

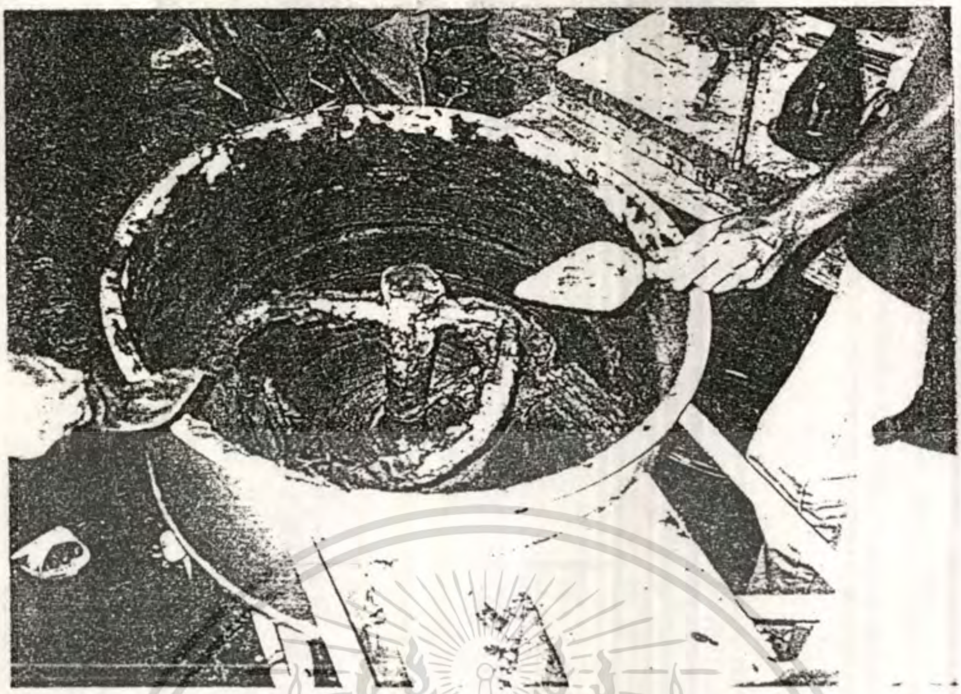
รูปที่ ผ5 : การปั้นดิน(DISTURB SAMPLE) กับน้ำปูนในปริมาณของอัตราส่วนต่างๆกัน

การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดในแนวดิ่ง



รูปที่ ผ6 : สภาพดินเหนียวเมื่อปั้นผสมกับน้ำปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ผ7 : สภาพดินเหนียวเมื่อปั่นผสมกับน้ำปูน (ก่อนบรรจุลง MOULD)

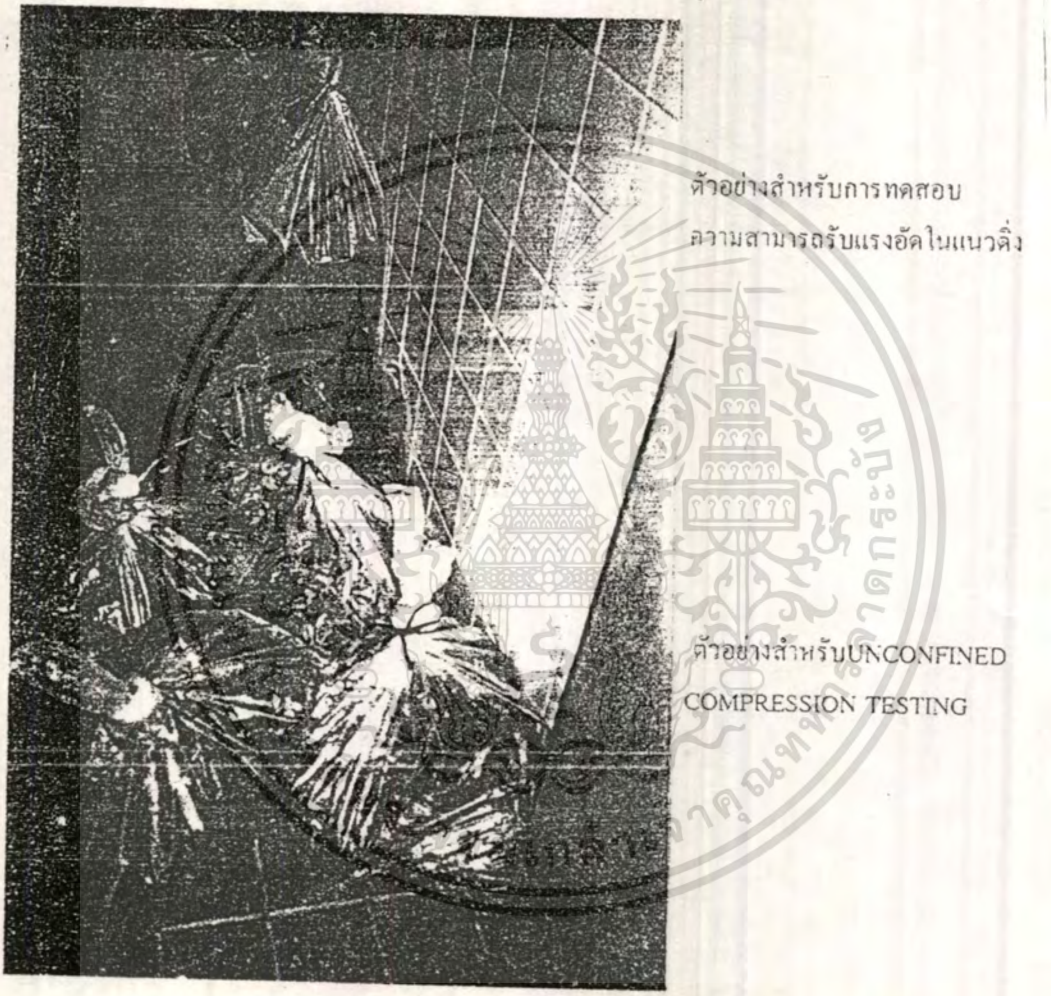
รูปที่ ผ8 : การเตรียม MOULD สำหรับ UNCONFINED COMPRESSION TESTING

...ไว้...การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
...และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ผ9 : การบรรจุดินเหนียวที่ปั่นผสมกับน้ำปูนลง MOULD

รูปที่ผ10 : การ บรรจุตัวอย่างที่มีอัตราส่วนต่างๆลงในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท
เพื่อนำไปบ่มชื้นโดยนำกระสอบชุ่มน้ำคลุมทับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ11 : วิธีการบ่มชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

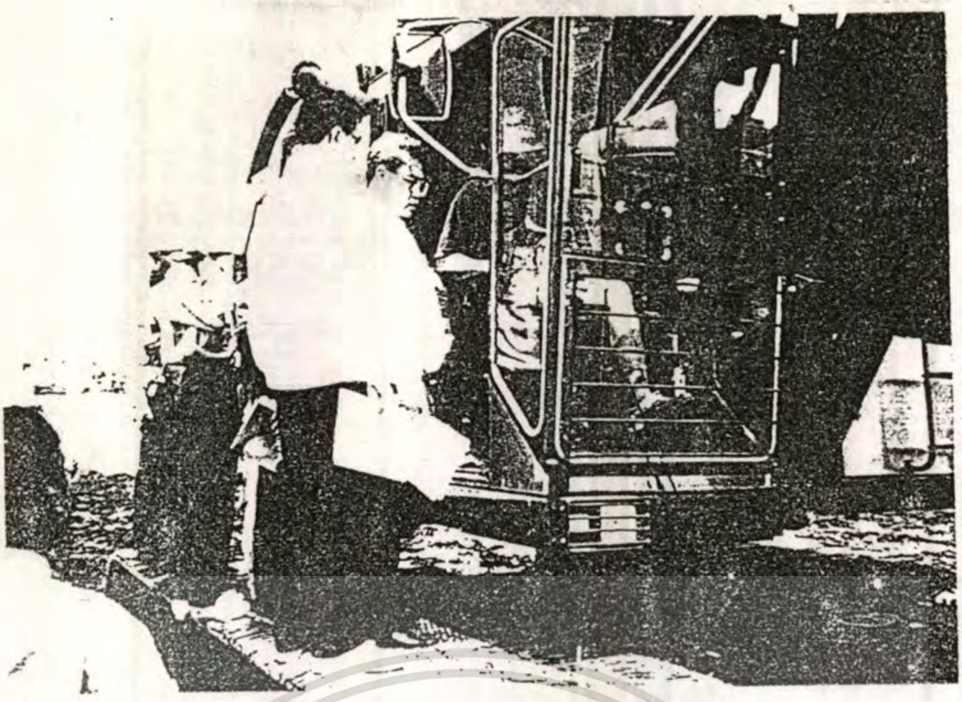
ข) ประมวลภาพการปฏิบัติงานปรับปรุงดินโดยวิธี

SOIL CEMENT COLUMN

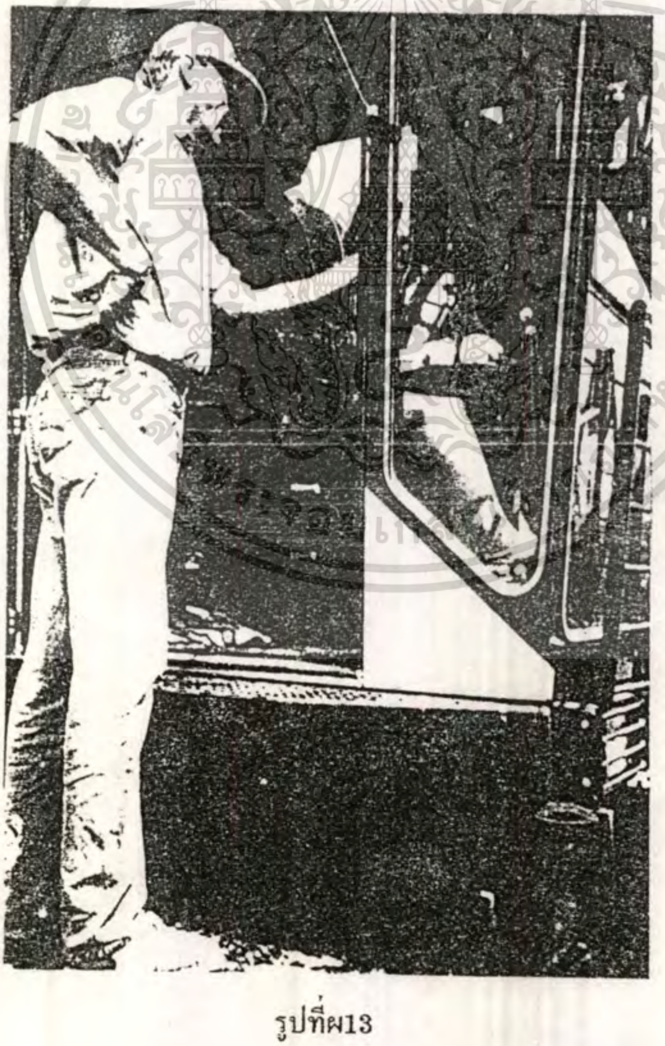
ถนนสายบางนา -ชลบุรี (ขาเข้า)

กม. 14 + 177 - กม. 41 + 000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



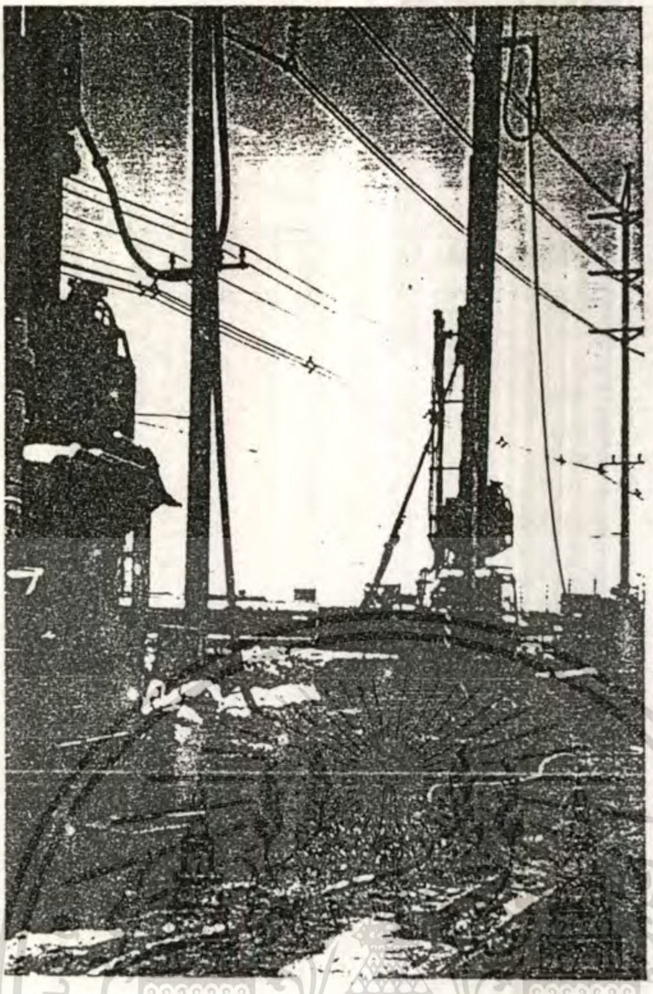
รูปที่ผ12



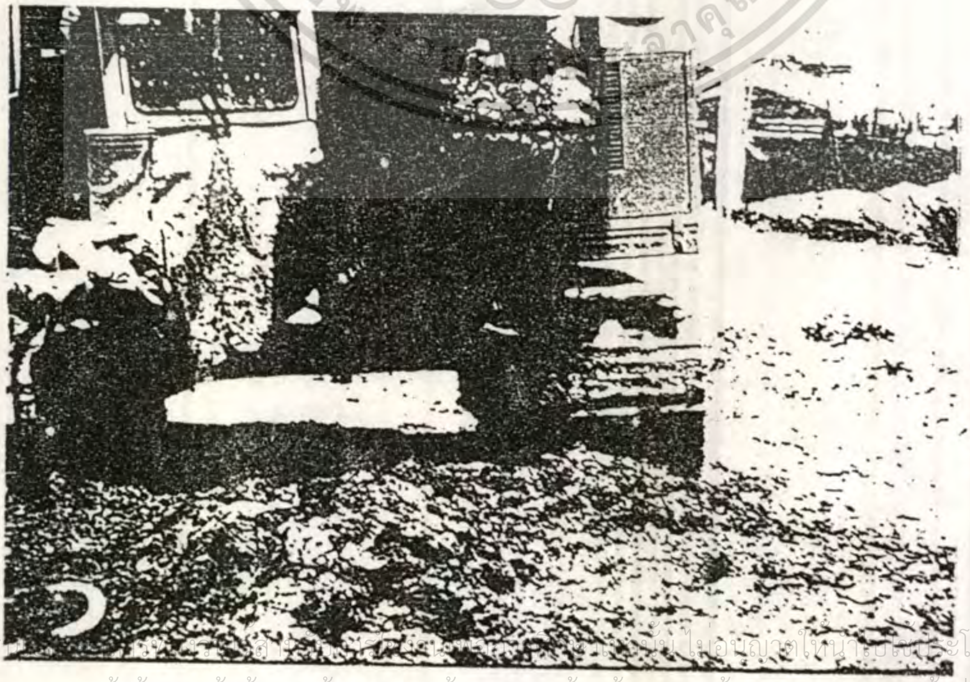
รูปที่ผ13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ผ12 และรูปที่ ผ13 : ส่วนรถขุดเจาะงาน SOIL CEMENT COLUMN แรกๆจะมี TRAINER จากเยอรมันคอยสอนเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องจักรและการควบคุมอุปกรณ์ทาง ELECTRONICS

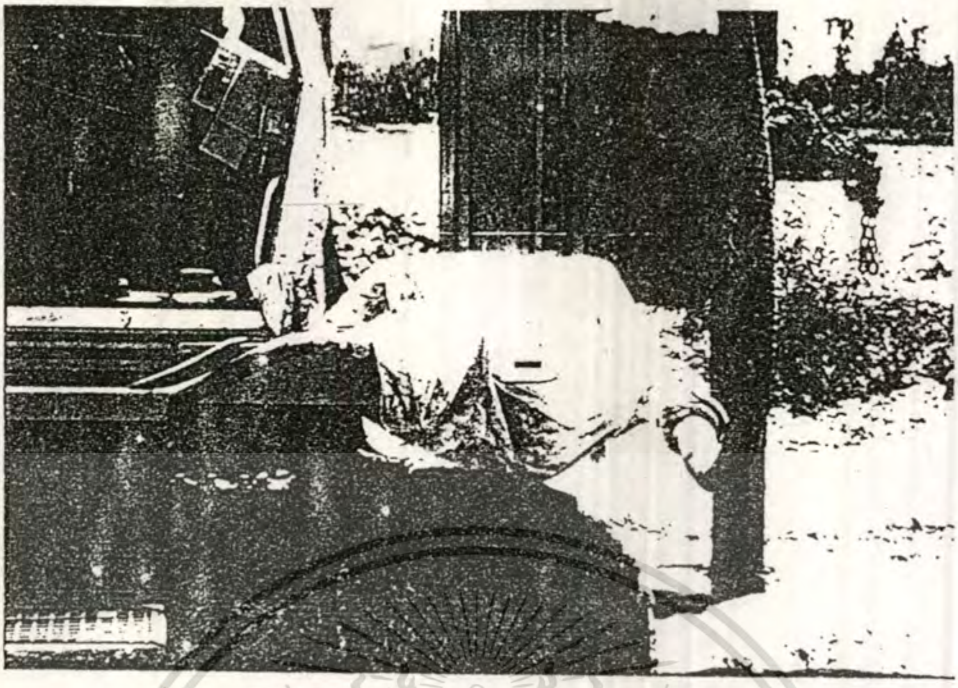


รูปที่ผ14 : ภาพโดยรวมของตัวรถขุดเจาะและก้านขุดเจาะ SOIL CEMENT COLUMN แบบ ROTARY MIXING วิธี WET MIXING ยาวประมาณ 20 เมตร ซึ่งจะมีท่อลำเลียง SLURRY (น้ำปูน) จาก PLANT MIX มายังตัวรถ

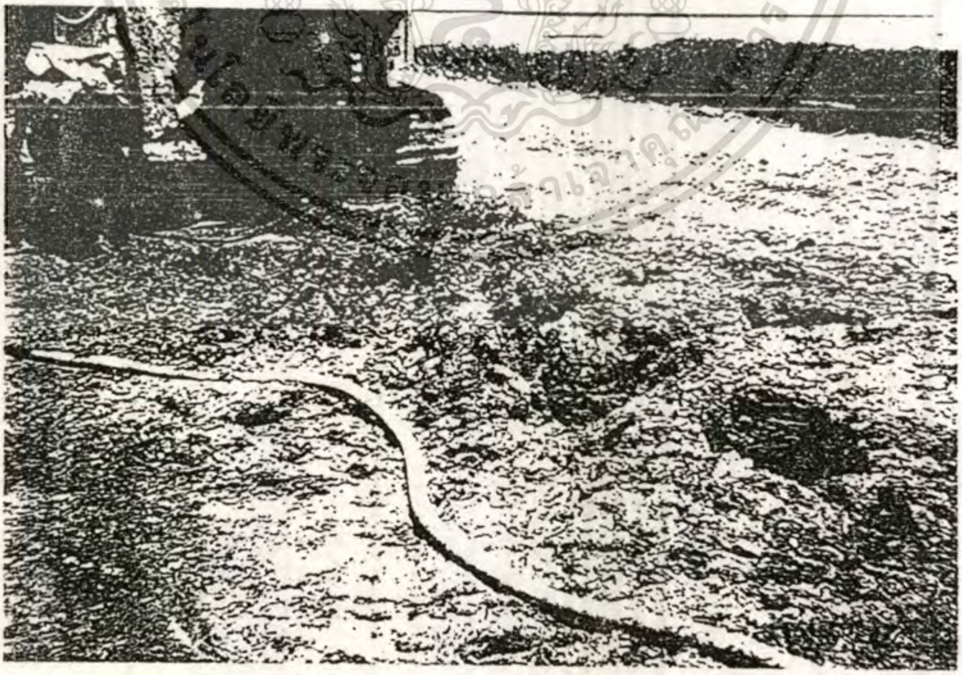


เอกสาร ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ผ15 : การเคลื่อนย้ายตัวรถโดยใช้ตีนตะขาบเนื่องจากบริเวณ



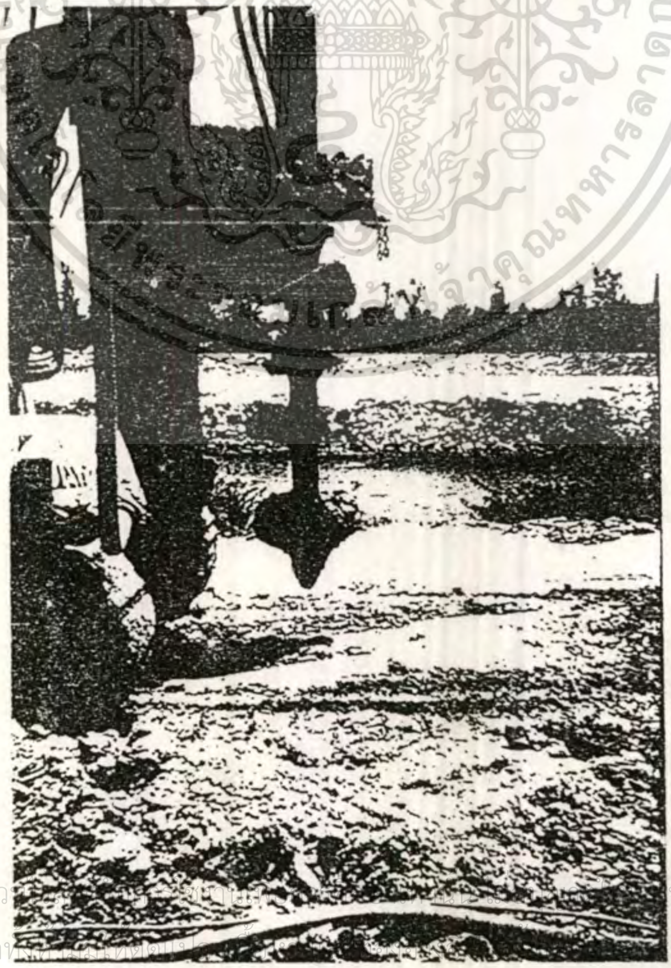
รูปที่ผ16 : ลักษณะกล่อง ELECTRONICS ที่ติดกับตัวรถคอยควบคุมอัตราการไหลและปริมาณน้ำปูน และแรงดันน้ำปูนจะสังเกตเห็นท่อลำเลียง SLURRY ที่เชื่อมจากตัวรถไปยังแท่นขุดเจาะด้านบน



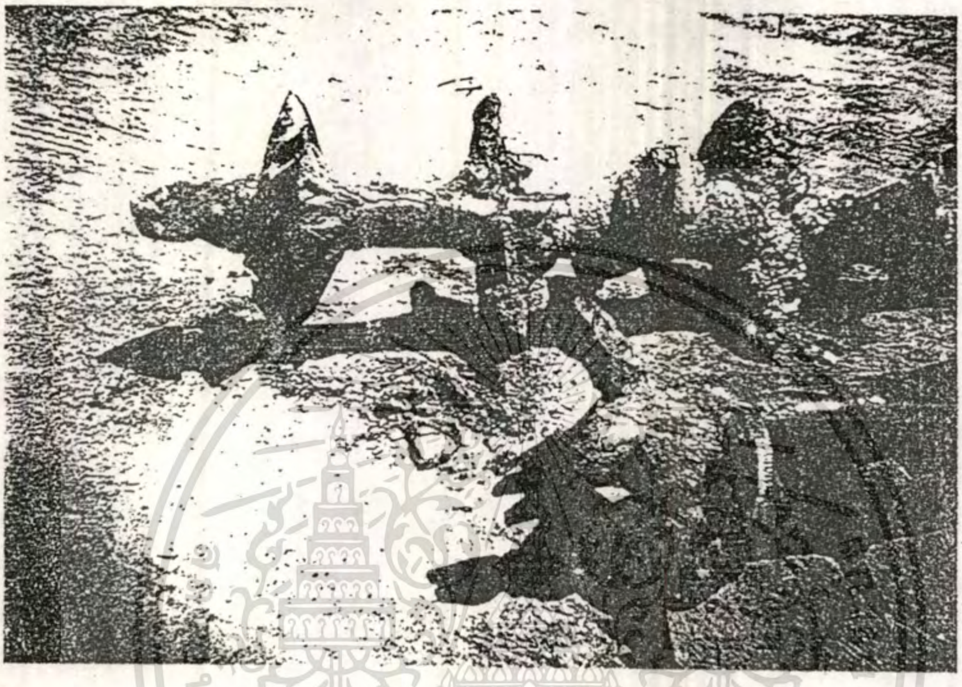
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ผ17 : ส่วนของท่อลำเลียง SLURRY พาดผ่านไปตามเส้นทางการเดินรถ ขณะทำงานขุดเจาะ ตัว

รูปที่ผ18 : ลักษณะและ SPEC.ของตัวรถขุดเจาะ SOIL CEMENT COLUMN เป็นเทคโนโลยีนำเข้า จากเยอรมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงว ... ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง ... ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ผ20 : ส่วนประกอบของใบพัดซึ่งจะทำการติดตั้งที่ส่วนปลายของก้านเจาะ บริเวณก้านของใบพัด จะมีรูอยู่ 6 รู ฉีด SLURRYหรือฉีดน้ำ (เมื่อต้องการทำความสะอาดรูเจาะเพื่อลดการอุดตันของน้ำปูน) แต่ที่ SITE โครงการนี้จะใช้งานเพียง 2 รู เพื่อลดความรุนแรงของน้ำปูนที่ปล่อยออกมาเนื่องจากมีความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) ประมวลภาพการปฏิบัติงานปรับปรุงดินโดยวิธี

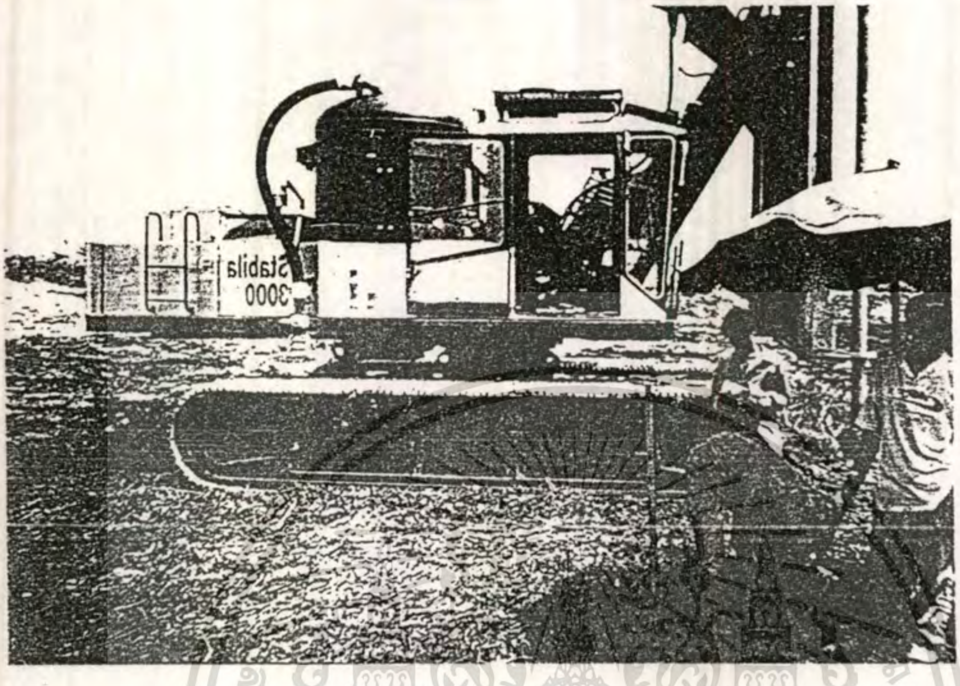
SOIL CEMENT COLUMN แบบ DRY MIXING

เพื่อป้องกันปัญหา SLIDE FAILURE

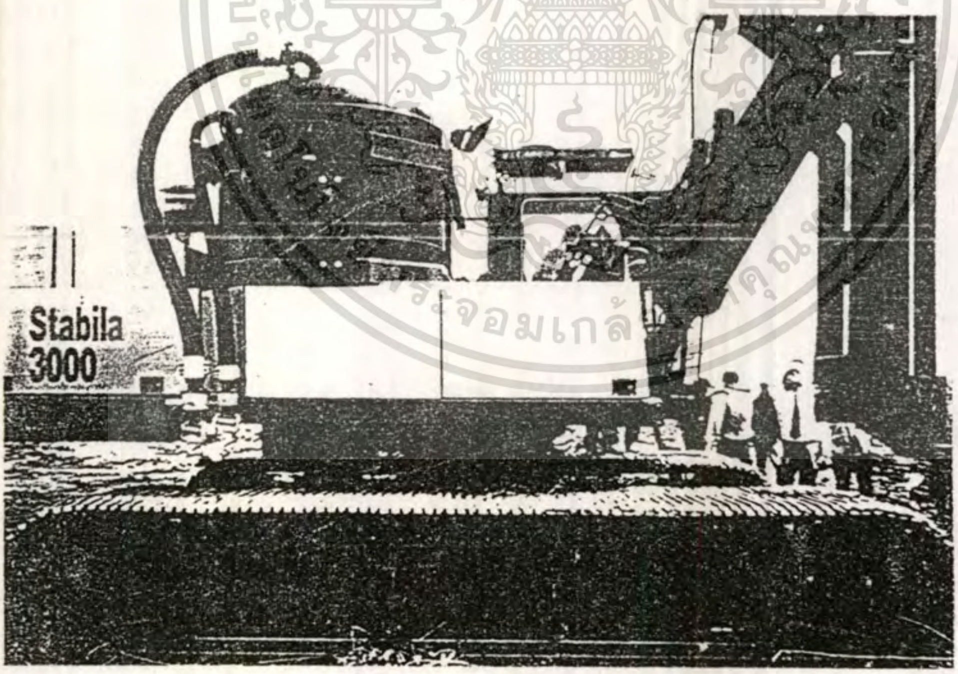
ถนนสาย องครักษ์ - นครนายก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



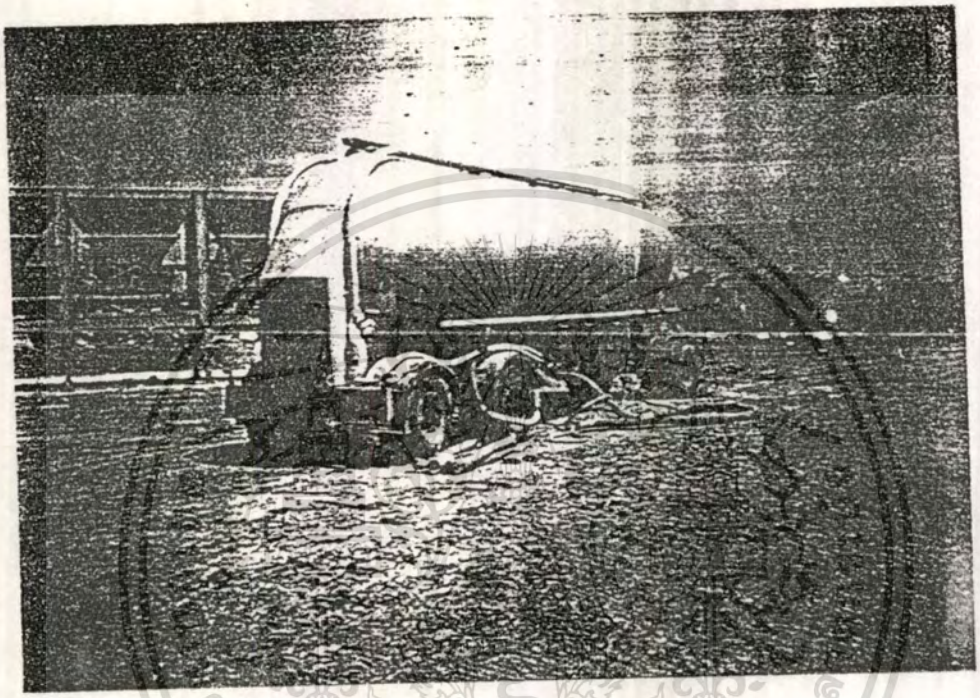
รูปที่ผ21



รูปที่ผ22

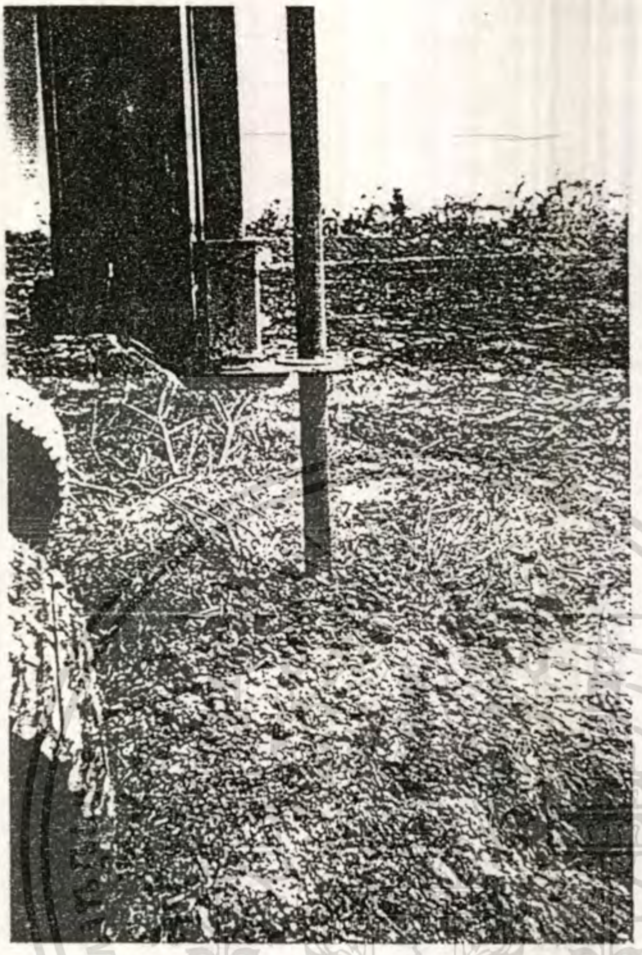
รูปที่ผ21และรูปที่ผ22 : ลักษณะของรถขุดเจาะ SOIL CEMENT COLUMN แบบ DRY MIXING ซึ่งเป็นเทคโนโลยีนำเข้าจากสวีเดน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

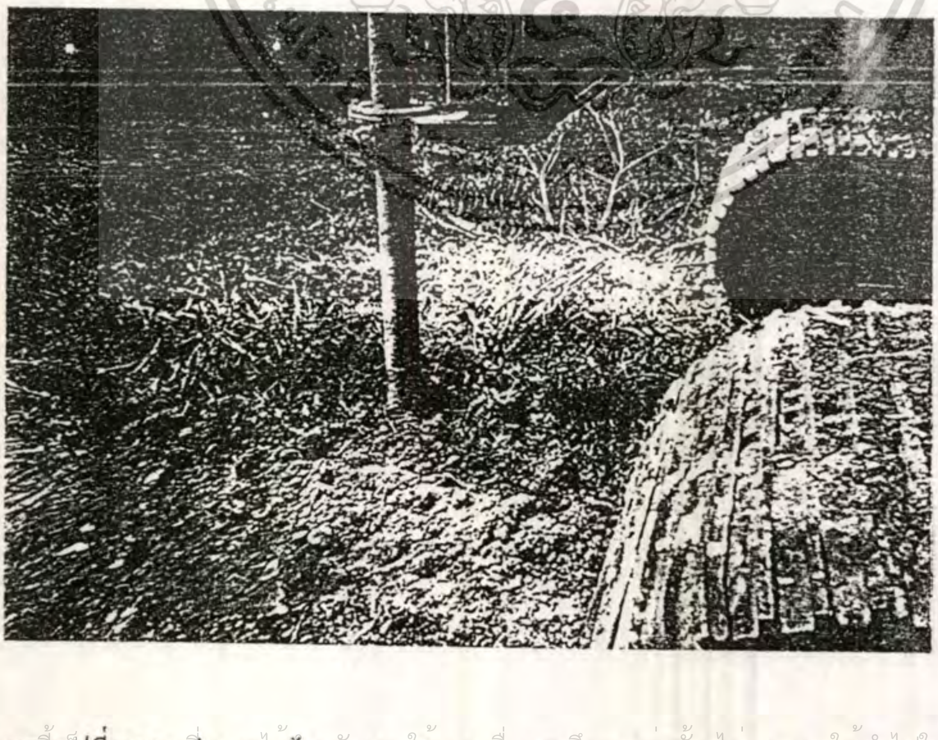


รูปที่ผ23 : SILO เก็บปูนซีเมนต์ ซึ่งจะมีท่อลำเลียงซีเมนต์ไปยังรถขุดเจาะ สังเกตเห็นว่าจะติดล้อเพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายไปตามรถขุดเจาะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ผ24



รูปที่ผ25

รูปที่ผ24 และรูปที่ผ25 : ส่วนของก้านขุดเจาะทำ SOIL CEMENT COLUMN แบบ DRY MIXING
ที่เจาะลงไปยังผิวดิน สังเกตว่าบริเวณ SITE งานจะเลอะเทอะน้อยกว่าวิธี WET MIXING

...เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
...ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ26 และ รูปที่ ผ27 แสดงตัวอย่าง SOIL CEMENT COLUMN แบบ DRY MIXING

รูปที่ผ26

เอกสารนี้เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ผ27

ง) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดินในเชิงวิศวกรรม

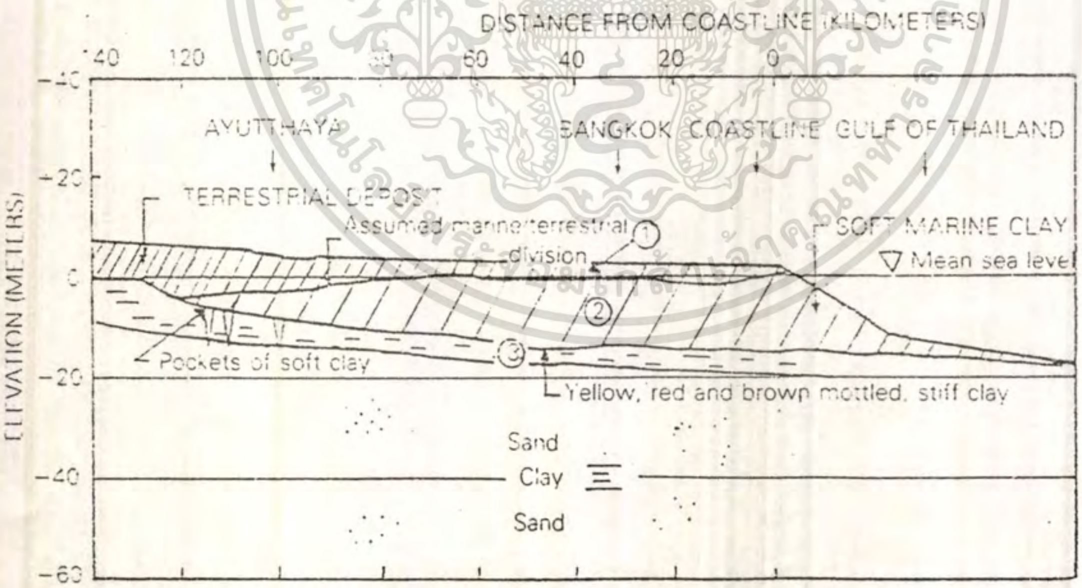
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดินในเชิงวิศวกรรม

1 ลักษณะชั้นดินเหนียวอ่อนบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา

ที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา มีเทือกเขาและภูเขาล้อมรอบ 3 ด้าน ด้านตะวันตกถูกล้อมรอบ ด้วยเทือกเขาตะนาวศรี ด้านเหนือถูกล้อมรอบด้วยเทือกเขาและที่ราบสูงภาคเหนือ ด้านตะวันออกถูกล้อมรอบด้วยที่ราบสูงโคราช ทิศเหนือจรดจังหวัดอุตรดิตถ์ ทิศใต้จรดอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรปราการ

ลักษณะของชั้นดินเหนียวอ่อนบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นดินตะกอนเนื้อนิ่มในทะเล (SOFT MARINE CLAY) แทรกตัวหรือวางทับบนชั้นดินเหนียวอัดแน่น มีความหนาประมาณ 15-20 เมตร เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล อายุของดินชั้นนี้ประมาณไม่เกิน 10,000 ปี ดินมีสภาพที่นิ่มถึงนิ่มมากพร้อมที่จะไหลและยุบตัวได้มาก เมื่อมีแรงมากระทำ ส่วนในเนื้อดินมีปริมาณน้ำปนอยู่ในอัตราส่วนที่สูงมาก ทั้งยังมีแนวโน้มจะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการทรุดตัวค่อนข้างสูง



รูปที่ ผ28 รูปหน้าตัดของดินสามเหลี่ยมของที่ราบลุ่มในแอ่งแม่น้ำเจ้าพระยาชั้นดินตอนบนจะสลับชั้นกันระหว่างดินส่วนที่เกิดตกตะกอนบนพื้นดิน (TERRESTRIAL DEPOSIT) กับดินส่วนที่ตกตะกอนในทะเล (MARINE DEPOSIT) ในบางบริเวณอาจมีชั้นดินชั้นใดชั้นหนึ่ง

(จาก ว.ส.ท. ข้อมูลสภาพดินบริเวณลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง , 2520)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ29 รูปหน้าตัดชั้นดิน บริเวณอำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี ถึงอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี แนวตัดขวางอยู่ในแนวตะวันตกถึงตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ30 เขตดินชั้นบนสุดในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ31 บริเวณแหล่งดินตะกอนในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ลักษณะชั้นดินกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ตอนล่างของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา มีลักษณะปกคลุมด้วยดินตะกอน ประกอบด้วยดินหลายๆชนิด เช่น ดินอ่อนมากถึงดินอ่อน ดินอ่อนปานกลาง ดินแข็ง และทราย ซึ่งพอจะสรุปลักษณะชั้นดินได้ดังนี้

2.1 ชั้นเปลือก เกิดจากขบวนการสลายตัวจากสภาพแวดล้อม (WEATHERED CRUST) เป็นชั้นดินบนสุดหนาประมาณ 1-2 เมตร เป็นดินสีเทาอ่อนร่วน มีอินทรียวัตถุปนมาก เป็นดินอายุอ่อนและไม่มีกำลังรับน้ำหนัก

2.2 ชั้นดินเหนียวอ่อนทะเล(UPPER SOFT MARINE CLAY LAYER)

เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนหนาประมาณ 15 เมตร สีเทาเข้ม อาจมีชั้นทรายหรือดินตะกอนปะปนอยู่ทั่วไป

2.3 ชั้นดินเหนียวแข็ง (THE STIFF CLAY LAYER)

เป็นชั้นดินที่วางตัวใต้ชั้นดินอ่อน สีน้ำตาลถึงน้ำตาลอ่อน มีความหนาประมาณ 10 เมตร การเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นดินเหนียวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งยังไม่มีรูปแบบที่แน่นอน และมีการทรุดตัวต่ำมาก มีระดับชั้นดินไม่ลึกมากเกินไป ประมาณ 25 เมตร

2.4 ชั้นทรายชั้นที่หนึ่ง (THE UPPER BANGKOK SAND)

เป็นชั้นดินที่วางตัวอยู่ใต้ชั้นดินเหนียวแข็ง สีเทาอ่อนถึงน้ำตาลอ่อน หนาประมาณ 5-15 เมตร มีความลึกประมาณ 27 เมตร อาจมีชั้น SANDY CLAY หรือ CLAYEY SAND คั่นอยู่ระหว่างชั้นของดินเหนียวแข็งกับชั้นทรายชั้นที่หนึ่งในบางแห่ง

2.5 ชั้นดินเหนียวแข็งมาก (THE HARD CLAY LAYER)

เป็นชั้นดินเหนียวแข็งมาก อยู่ใต้ชั้นทรายชั้นแรก มีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทา มีความแข็งมาก มีความหนาประมาณ 2-12 เมตร โดยทั่วไปแล้ว ชั้นดินนี้จะอยู่ในระดับความลึกประมาณ 20-30 เมตร

2.6 ชั้นทรายชั้นที่สอง (THE SECOND SAND LAYER)

ชั้นทรายชั้นนี้มีความหนาประมาณ 12 เมตร มีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเหลืองอมเทา พบที่ระดับความลึกประมาณ 43-53 เมตร ความลึกโดยเฉลี่ยประมาณ 45 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ATTERBERG LIMITS (%)

	RANGE		AVERAGE	
	L.L	P.L	L.L	P.L
ชั้น A:	34.15-66.80	16.65-31.80	50.93	23.33
ชั้น B:	26.00-65.50	14.35-26.35	51.49	20.35
ชั้น B1:	-	N.P.	-	N.P.

3.) SPECIFIC GRAVITY

	RANGE	AVERAGE
ชั้น A:	2.51-2.64	2.58
ชั้น B:	2.59-2.66	2.62
ชั้น B1:	2.60-2.62	2.61

4)_BULK DENSITY (ตันต่อตารางเมตร)

	RANGE	AVERAGE
ชั้น A:	1.38-1.81	1.57
ชั้น B:	1.96-2.22	2.11
ชั้น B1:	2.02-2.31	2.19

5) STRENGTH PARAMETERS

PARAMETER	RANGE			AVERAGE		
	ชั้น A	ชั้นB	B1	ชั้นA	ชั้น B	B1
N, BLOWS/30 CM	-	21-80	38-127	-	44.6	79.8
UC, Ksc	0.09-0.73	1.07-7.74	-	0.38	4.62	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ลักษณะของดินบริเวณริมคลองประเวศบุรีรมย์

การทดสอบในห้องปฏิบัติการของการศึกษาโครงงานพิเศษในครั้งนี้ ใช้ดินที่เก็บมาจากบริเวณริมคลองประเวศบุรีรมย์ ภายในบริเวณของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.1 ลักษณะชั้นดิน

จากรายงานผลการเจาะสำรวจทางปฐพีกลศาสตร์ บริเวณสถานที่ก่อสร้างที่ใกล้กับริมคลองประเวศบุรีรมย์ ซึ่งดำเนินการโดย บริษัท วรมัน แอนด์ แอสโซซิเอทคอนซัลแทนส์ จำกัด ซึ่งเจาะสำรวจจำนวน 2 หลุม ได้ความลึกสูงสุดเท่ากับ 40.95 เมตร สำรวจพบดินถมหนาประมาณ 0.70 เมตร ดินบริเวณนี้แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

<u>ดินชั้น A</u>: เริ่มจากใต้ดินถมลงไปจนถึงความลึกประมาณ 19.60 เมตร และ 19.50 เมตร จากผิวดินขณะเจาะสำรวจในบริเวณหลุมที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ดินประกอบด้วย SILTY CLAY แทรกปนในบางระดับด้วย VERY FINE SAND และ DRAYED WOOD มีสีเปลี่ยนแปลงระหว่าง BROWN และ DARK GREY มีค่า CONSISTENCY ซึ่งตรวจวัดโดยใช้ VANE DEVICES อยู่ในช่วงVERY SOFT ถึง SOFT CONSISTENCY ดินชั้นนี้จำแนกอยู่ในกลุ่ม CL ,MH-OH และ CH

<u>ดินชั้น B</u>: เริ่มจากใต้ดินชั้น A ลงไปจนถึงก้นหลุมที่ความลึกประมาณ 40.95 เมตรจากผิวดิน ดินประกอบด้วย SILTY CLAY ดินประกอบด้วย SILTY CLAY แทรกบนที่บางระดับด้วย VERY FINE SAND และ DECOMPOSED ROCK มีสีเปลี่ยนแปลงระหว่าง LIGHT GREY , YELLOW , RED และ BROWN มีค่า CONSISTENCY ซึ่งตรวจวัดได้โดยใช้ POCKET PENETROMETER ได้ค่าอยู่ในช่วง STIFF ถึง HARD CONSISTENCY ดินชั้นนี้จำแนกอยู่ในกลุ่ม CL,ML-OL และ CH

ระหว่างความหนาของชั้นดินนี้ มีดินชั้นบางๆ แทรกอยู่ ได้แก่ดิน DENSE TO VERY DENSE BROWISH YELLOW AND GREYISH BROWN SILTY VERY FINE TO FINE SAND (B1) ดินชั้นนี้จำแนกอยู่ในกลุ่ม SM

3.2 คุณสมบัติของชั้นดิน

1.) NATURAL WATER CONTENT (%)

	RANGE	AVERAGE
ชั้น A:	45.33 -119.42	81.49
ชั้น B:	19.13- 30.37	24.23
ชั้น B1:	15.61-23.87	21.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ผลสรุปการทดสอบCONSOLIDATION TESTS

SOIL LAYERS	Cc	Cv * 10 E- 04 cm^2 /sec
19.50-20.00	0.0175-0.1090	27-98
34.50-35.00	0.0900-0.0540	67-95

3.3 ระดับน้ำใต้ดิน

ระดับน้ำใต้ดินตรวจพบหลังการเจาะสำรวจ 24 ชั่วโมง มีระดับอยู่ที่ 0.15 เมตร และ 0.50 เมตร จากผิวดินขณะเจาะสำรวจในบริเวณหลุมเจาะที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ระดับน้ำนี้อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาล ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน การซึมซับลงในดิน และการไหลลงแม่น้ำ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ) การปรับปรุงคุณภาพดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ) การปรับปรุงคุณภาพดิน

1. ทั่วไป

ชั้นดินที่เรียกโดยทั่วไปว่าชั้นดินอ่อนนั้นจะเป็นดินเหนียว หรือทรายแข็ง (SILT) ซึ่งมีค่า N จากการทดสอบแบบการทะลวงมาตรฐานน้อยกว่า 4 หรือ เป็นดินที่มีอินทรียสาร ซึ่งมีปริมาณน้ำตามธรรมชาติอยู่มาก ในกรณีของชั้นดินทราย ถ้าเป็นดินทรายร่วน มีค่า N น้อยกว่า 10 ก็ถือว่าเป็นชั้นดินอ่อนเหมือนกัน

เมื่อจำเป็นจะต้องก่อสร้างโครงสร้างชั้นดินอ่อน ปัญหาทางเทคนิคที่จะต้องตรวจสอบก่อนอื่น คือ วิสัยสามารถรับแรงธาร และการทรุดตัว ในบางครั้งก็ไม่จำเป็นต้องหาวิสัยสามารถรับแรงธาร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโครงสร้าง อย่างไรก็ตามข้อเท็จจริง โดยเฉพาะในเรื่องการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันก็อาจทำฐานรากใช้เข็มให้ปลายเข็มลงไปถึงชั้นรับแรงธารแทนฐานรากแผ่ได้ อย่างไรก็ดีการเลือก และการใช้ฐานรากดังกล่าวก็ถือได้ว่าเป็นการป้องกันการทรุดตัวในชั้นดินอ่อนอย่างหนึ่ง ซึ่งในที่นี้จะไม่กล่าวถึงการป้องกันโดยวิธีนี้

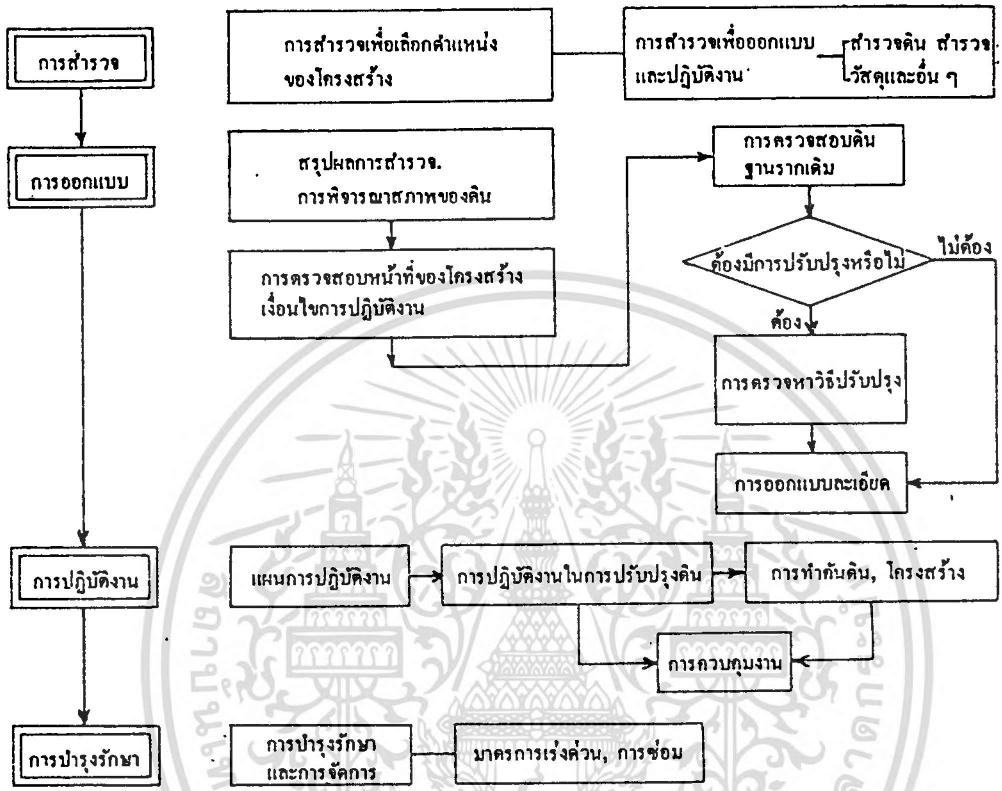
ในการปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะกรณีที่มีน้ำหนักบรรทุกบนดินฐานรากเป็นดินจากแม่น้ำ หรือ ดินทางที่มีการวิรูปน้อยมาก และมีการทรุดตัวที่ยอมให้ได้

ชั้นดินเหนียวอ่อนนั้นจะสังเกตุได้จากดินที่มีค่าแรงเฉือนต่ำ มีการอัดตัวต่ำมาก และมีสัมประสิทธิ์ความซึมได้น้อย ดังนั้นเมื่อน้ำหนักของโครงสร้างมากเกินวิสัยสามารถรับแรงธารของดิน การพังทลายอาจเกิดจากการเลื่อนตัวก็อาจเกิดขึ้นได้ และถือแม้ว่าความเข้มของน้ำหนักบรรทุกจะไม่เกินวิสัยสามารถรับแรงธารวิกฤต แต่การทรุดตัวก็จะเพิ่มขึ้นในระยะเวลานาน หรือในที่สุดเป็นเหตุให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา

ปรากฏการณ์ของการพิบัติด้วยการเลื่อนตัว หรือการทรุดตัวไม่เพียงแต่จะทำความเสียหายแก่ตัวโครงสร้างเท่านั้น แต่ยังอาจทำให้เกิดการอูด, การทรุดตัวในดินฐานรากบริเวณข้างเคียง, ทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลง หรืออาจทำให้เกิดน้ำท่วมขึ้นในบริเวณก่อสร้างได้ ฉะนั้นจึงไม่ควรให้เกิดความเสียหายเนื่องจากสาเหตุเหล่านี้ขึ้นได้

วิธีดำเนินการโดยทั่วไปในมาตราการแก้ไขชั้นดินอ่อนนั้นจะปฏิบัติตามแผนผังที่แสดงในรูปที่ ผ32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ32 วิธีดำเนินการในการปรับปรุงคุณภาพดิน

2 การแยกประเภทวิธีปรับปรุงคุณภาพดิน

ปัญหาต่างๆในกรณีที่ต้องทำงานบนชั้นดินอ่อน พอจะสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ผ1 วัตถุประสงค์ของการปรับปรุงดินฐานราก อี่เพื่อปรับปรุงสภาพของดินและมีมาตราการป้องกัน ที่เหมาะสมกับปัญหาต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ ผ1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	การทรุดตัว	วิสัยรับแรงธาร , เสถียรภาพ	อื่น ๆ
น้ำหนักบรรทุก	1) การทรุดตัวทั้งหมดหรือการทรุดตัวไม่เท่ากันเนื่องจากน้ำหนักโครงสร้าง, ดินถมและส่วนประกอบอื่น ๆ 2) ความเสียดทานทางลบที่ฐานรากได้รับ 3) การทรุดตัวของดินที่อยู่ชิดกับดินถมหรืออาคาร เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของดินถมหรืออาคาร 4) พื้นดินทรุดเป็นบริเวณกว้าง	1) การพิบัติของดินถมเนื่องจากแรงเฉือนของดินฐานรากไม่เพียงพอ 2) วิสัยสามารถรับแรงธารของดินฐานรากไม่เพียงพอ 3) การกระจัดและการแตกสลายของโตรงสร้าง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเยื้องศูนย์และความดันดิน 4) ดินข้างเคียงมีระดับสูงขึ้น เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของดินถมหรือโครงสร้าง	1) การสั่นสะเทือนของดินรอบฐานรากเนื่องจากการจราจรหรืออื่น ๆ 2) ดินฐานรากมีลักษณะคล้ายของเหลวเมื่อรับแรงแผ่นดินไหว 3) น้ำซึมลอดใต้ดินฐานรากของทำนบหรือเขื่อน 4) ความสามารถในการรับน้ำหนักจร
การขุดดิน	1) การทรุดตัวของดินข้างเคียง เนื่องจากการขุด 2) การทรุดตัวของดินฐานราก เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินลดลง	1) การพังทลายของความลาดที่ขุด 2) การอูดของดินที่ก้นบ่อที่ขุด 3) ความดันดินเพิ่มขึ้นพร้อมกับการคลายความเค้น, ความดันเยื้องศูนย์, การร่วนและการขยายตัว	1) การซึมของน้ำใต้ดิน 2) ทรายดูด, น้ำปุดขึ้น

ตารางที่ ผ1 ปัญหาต่าง ๆในกรณีที่ต้องกระทำบนชั้นดินอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการตรวจสอบเมื่อได้พบปัญหาดังแสดงในตารางที่ ผ1 ก็จะมีการปรับปรุงทางวิศวกรรมของดิน ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

1. การปรับปรุงกำลังเฉือน มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการวิบัติจากการเลื่อนตัว ป้องกันการวิรูปด้วยแรงเฉือน และลดความดันดิน

2. การเพิ่มกำลังอัด มีวัตถุประสงค์เพื่อตัดทอนเวลาการทรุดตัวอันเกิดจากการอัดตัว และป้องกันการทรุดตัวที่เหลืออยู่ ฯลฯ

3. การปรับปรุงสมบัติการซึมผ่าน มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการรั่วซึม

4. การปรับปรุงสมบัติจากแรงจลน์ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสั่นสะเทือนและป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพเหลวในระหว่างแผ่นดินไหว

ในการเพิ่มแรงเฉือนให้แก่ดิน จะต้องปรับปรุงอนุภาคของดินให้มีความต้านทานในการเสียดทานและความเชื่อมแน่นสูงขึ้น โดยวิธีดังต่อไปนี้

- สำหรับดินเหนียว เพิ่มความหนาแน่นของดินโดยการระบายน้ำออก ซึ่งจะเพิ่มความเชื่อมแน่นเป็นส่วนใหญ่ ตรงกันข้ามกับทรายร่วน การเพิ่มแรงเฉือนกระทำได้โดยการเพิ่มความหนาแน่นด้วยวิธีอัด ซึ่งจะมีความต้านทานในการเสียดทานของดิน

- สำหรับการปรับปรุงกำลังเฉือนแก่ชั้นดินตื้นๆ ที่มีขนาดคละไม่เพียงพอ ก็ต้องปรับขนาดคละของเม็ดดิน เพื่อให้ความหนาแน่นสูงขึ้น หรือเติมสารที่ทำให้เสถียร

ในการเพิ่มกำลังอัดของดิน จะต้องเพิ่มความแข็งแกร่งของเม็ดดิน หรือลดช่องว่างระหว่างเม็ดดินลง การอัดแน่นหรือระบายน้ำออกเพื่อเพิ่มกำลังให้ดินมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงการอัดตัวของดิน และช่องว่างในเนื้อดินซึ่งลดลงโดยการอัดแน่น หรือระบายน้ำออกไม่สามารถคืนตัวสู่สภาพเดิมได้ แม้ว่าแรงที่ทำให้เกิดการวิรูปนั้นจะเคลื่อนย้ายไปแล้วด้วยเหตุนี้ ชั้นดินเหนียวถ้าใช้น้ำหนักบรรทุกมากมากดเสียก่อน จนเกิดการวิรูปจากการอัดตัวนั้น ก็สามารถจะลดการทรุดตัวส่วนที่ยังเหลืออยู่หลังจากการก่อสร้างเสร็จแล้ว

ในการเพิ่มความแข็งแกร่งของเม็ดดิน โดยใช้สารยึดเหนียวด้วยการเติม และฉีดสารช่วยให้ดินคงตัวนั้นได้มีการใช้วิธีดังกล่าวในการยึดอนุภาคของดินเข้าด้วยกัน หรือทำให้น้ำในช่องว่างของดินแข็งตัว

นอกจากนี้ เพื่อร่นเวลาการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดินลง โดยการลดระยะทางที่น้ำจะระบายออกก็อาจทำชั้นให้น้ำซึมได้แทน หรือใช้แรงไฟฟ้า-เคมีก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติมและฉีดสารช่วยให้ดินลงตัวเพื่อเพิ่มกำลังอัดแก่ดินหรือวิธีเยือกแข็งก็มีประโยชน์ในการป้องกันการรั่วซึม หรือทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเนื่องจากค่าความซึมได้ถูกลดลงแล้ว

หลักการพื้นฐานของการปรับปรุงดิน ประกอบด้วยการปรับปรุงคุณสมบัติของดินดังกล่าวมาแล้วตอนต้นและวิถีทางที่จะใช้ปรับปรุงดินฐานรากอาจแยกออกเป็น 2 วิธี คือวิธีหนึ่งเพิ่มความหนาแน่นของดิน โดยการอัดแน่นหรือระบายน้ำออกจากดิน และอีกวิธีหนึ่งคือการทำให้เกิดการอัดตัวโดยการเติมหรือฉีดสารเคมีให้ดินคงตัววิธีการสองอย่างนี้เป็นวิธีที่ใช้แพร่หลายในปัจจุบัน

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการปรับปรุงดิน วิธีการที่ใช้กับดินชั้นตื้นๆ บริเวณพื้นลงจะมีความแตกต่างจากวิธีที่ใช้กับดินลึก ถึงแม้ว่าทั้งสองวิธีจะมีความแตกต่างกันบ้างในทางปฏิบัติ แต่ในหลักการแล้วก็เหมือนกัน กล่าวคือ ในการช่วยให้ดินคงตัวนั้นจะทำได้ทั้งการเพิ่มความหนาแน่น หรือการอัดตัวของดิน ในที่นี้จะได้กล่าวถึงวิธีปรับปรุงดินชั้นลึก

ในวิธีที่ใช้ปรับปรุงดินฐานรากนอกจากวิธีปรับปรุงคุณสมบัติของดินแล้ว ก็มีวิธีใช้วัสดุที่มีคุณภาพดีแทนวัสดุเลว หรือใช้แผ่น หรือตะแกรงเสริมชั้นดิน อีกวิธีหนึ่งใช้หลักการบริหารการก่อสร้าง คือใช้น้ำหนักดินถมเป็นเครื่องก่อหรือยืดเวลาการปฏิบัติงานในการเสริมมูลดิน เพื่อป้องกันการเลื่อนตัวของมูลดินบนชั้นดินอ่อน

เนื่องจากวิธีการทางวิศวกรรมเหล่านี้สัมพันธ์กับวิธีแก้ไขและปรับปรุง จึงแตกต่างตามสภาพในผลที่ได้แต่ละวิธี ฉะนั้นจำเป็นต้องเลือกวิธีให้เหมาะสมกับลักษณะของชั้นดินอ่อน,โครงสร้างและวิธีการก่อสร้างด้วย

อย่างไรก็ตามผลของการแก้ไขไม่ได้เกิดอย่างเดียว มักมีผลรองติดตามมาด้วยหลายกรณี ยกตัวอย่างการระบายน้ำในแนวดิ่ง เป็นวิธีทางวิศวกรรมอย่างหนึ่งถ้าการทรุดตัวซึ่งมีจุดมุ่งหมายหลักที่เร่งการอัดตัวโดยลดระยะทางที่น้ำระบายออก แต่ขณะเดียวกันก็สามารถเพิ่มความแข็งแรงเมื่อดินเกิดการอัดตัวขึ้นในลักษณะนี้ คือได้ว่าเป็นวิธีการที่ปลอดภัย

เราจึงได้แสดงทั้งผลหลักและผลรองได้อย่างชัดเจนในตารางที่ ผ2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ2 ระเบียบวิธีปรับปรุงฐานราก

ระเบียบวิธี	รายละเอียดของวิธีต่าง ๆ	วิธีทำ	ผลของการปรับปรุง						
			การป้องกันการทรุดตัว		การป้องกันด้านเสถียรภาพ				
			เร่งการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดิน	ลดปริมาณการทรุดตัวทั้งหมด	จำกัดการวิรูปด้วยแรงเฉือน	จำกัดการลดความแข็งแรง	ส่งเสริมการเพิ่มความแข็งแรง	เพิ่มความต้านทานการเลื่อนตัว	ป้องกันการกลายเป็นสภาพเหลว
การปฏิบัติที่พื้นผิว	วิธีระบายน้ำที่พื้นผิว วิธีใช้ทรายรองพื้น วิธีใช้แผ่นรอง, วิธีใช้สารบางอย่าง	ช่วยในการปรับปรุงดินอ่อนหรือมูลดินโดยใช้ทรายปูพื้นไม้ขัดปูบนผิวของดินฐานรากเป็นบริเวณกว้าง, ใช้ปูนขาวหรือปูนซีเมนต์คลุกกับดินชั้นบนของดินฐานราก หรือช่วยให้การระบายน้ำออกได้เร็วขึ้น วิธีที่ใช้การปูทรายบนดินฐานราก เพื่อระบายน้ำในแนวราบนั้นจะแตกต่างกับวิธีอื่น จึงมักจะใช้ร่วมกับวิธีระบายน้ำในแนวดิ่ง			©	○	○	○	
การกระจัด	วิธีขุดเพื่อให้เกิดการกระจัด วิธีกระจัดโดยใช้แรงดัน	ขุดดินอ่อนออกทั้งหมดหรือบางส่วนแล้วใช้วัสดุคุณภาพดีกระจัด การกระจัดจะเพิ่มความต้านทานแรงเฉือน ความปลอดภัยจะเพิ่มขึ้นและการทรุดตัวจะลดลงตามส่วนของการกระจัด , ชื่อที่เรียกจะเปลี่ยนไปตามวิธีกระจัด เช่น โดยการขุดหรือดันด้วยน้ำหนักของดินถม หรือโดยการระเบิด		○	○			©	

การถ่วงน้ำหนัก	วิธีถ่วงน้ำหนักด้วยดินถม วิธีลดความลาด	ป้องกันมูลดินเพิบัติด้วยการเลื่อนตัว โดยการถ่วงน้ำหนักด้วยดินถมข้างมูลดิน หรือเพิ่มโมเมนต์ต้านการเลื่อนตัว โดยการทำให้มูลดินมีความลาดน้อยลง. เนื่องจากด้านข้างของมูลดินไม่ค่อยสูง การที่จะเลื่อนตัวทางด้านข้างจึงมีโอกาสน้อย. หลังจากที่เกิดการอัดตัว ความแข็งแรงของดินจะเพิ่มขึ้น ดินถมที่ใช้ถ่วงน้ำหนักก็เอาออกได้			O			©	
การเพิ่มน้ำหนักอย่างช้า ๆ	วิธีเพิ่มน้ำหนักทีละน้อย วิธีเพิ่มน้ำหนักเป็นระยะ ๆ	การเพิ่มมูลดินให้สูงขึ้นช้า ๆ ต้องใช้เวลานาน แต่ก็คาดได้ว่าความแข็งแรงของดินจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการอัดตัวของดิน ดังนั้นถึงแม้จะเพิ่มมูลดินให้สูงขึ้นในเวลาอันสั้นความปลอดภัยก็ยังเพียงพอ แม้จะไม่ใช่วิธีทำให้เสถียร, ชื่อเรียกแตกต่างไปตามวิธีที่บรรทุกน้ำหนัก เช่น เพิ่มความสูงของมูลดินช้า ๆ หรือเสริมดินให้มากขึ้นหลังจากที่หยุดไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของดินฐานราก มีหลายกรณีที่ใช้ร่วมกับวิธีระบายน้ำในแนวดิ่ง			O	©			
วิธีบรรทุกน้ำหนัก	วิธีบรรทุกน้ำหนักด้วยมูลดิน, ด้วยบรรยากาศ, ด้วยการลดระดับน้ำใต้ดิน	หลังจากบรรทุกน้ำหนักไว้ล่วงหน้าบนดินฐานราก เพื่อให้เกิดการทรุดตัวก่อนมีการสร้างโครงสร้างใด ๆ และส่วนที่สร้างใหม่ก็จะทรุดตัวน้อย น้ำหนักบรรทุกโดยทั่วไปใช้มูลดินนำไปกองไว้ หรือใช้วิธีความเค้นประสิทธิผลที่เพิ่มขึ้นโดยลดระดับน้ำในดิน, ความดันบรรยากาศ, หรือสูบน้ำในระยะลึก	©				O		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีระบายน้ำในแนวดิ่ง	วิธีระบายน้ำโดยใช้ทราย วิธีใช้แผ่นระบายน้ำ	ทำท่อทรายหรือฝังแผ่นปลาสติกตามแนวดิ่งในดินฐานรากด้วยระยะห่างที่เหมาะสมเพื่อลดระยะทางที่น้ำจะระบายออกทำให้เกิดการทรุดตัวเร็วขึ้น เป็นการเพิ่มความแข็งแรง. ในการทำท่อทราย (Sand Col.) อาจตอกกระบอกเหล็กปลายปิดลงไปในดินจนได้ระยะลึก แล้วถอนกระบอก และใส่ทรายลงไปจนเต็ม หรืออีกวิธีหนึ่งตอกกระบอกเหล็กลงไปและฉีดน้ำไล่ดินออกแล้วใส่ทรายลงไปแทนจนเต็ม	©		o		o		
วิธีอัดทรายแน่น	วิธีอัดทรายแน่นเหมือนเสาเข็ม	ทำท่อทรายอัดแน่นลงไปในดินอ่อนฐานรา เพื่อเพิ่มเสถียรภาพโดยอาศัยวิสัยสามารถรับแรงธารของท่อทรายซึ่งจะนำไปสู่การลดปริมาณการทรุดตัว จะมีผลทำให้เกิดการทรุดตัว เนื่องจากการอัดตัวเช่นเดียวกับวิธีท่อทราย , วิธีปฏิบัติอาจใช้การตอก , การสั่นสะเทือนหรือใช้กรวดแทนทราย	o	©	o			©	©
การทำให้แน่นโดยการสั่น	วิธีสั่น	ใช้เครื่องสั่นรูปทรงกระบอกใส่ลงไปในดินทราย ดินฐานรากจะถูกอัดแน่นเนื่องจากผลของการสั่น และน้ำที่ถาคลงไปในส่วนที่มีการสั่น , ขณะเดียวกันเมื่อเททรายหรือกรวดลงไปในบริเวณที่มีการสั่นก็จะเกิดเข็มทราย (Sand Pile) ขึ้นซึ่งจะเปลี่ยนชั้นทรายร่วนเป็นชั้นทรายอัดแน่น. วิธีดังกล่าวนี้อาจใช้เครื่องสั่นขนาดใหญ่วางบนผิวดินหรือใช้ดินปืนวางเป็นตาราง เมื่อจุดระเบิดจะทำให้ทรายร่วนเกิดการแน่นตัวขึ้น		o				o	©

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้แข็งตัว	วิธีใช้ไฟฟ้าให้ของเหลวกระจายผ่านแผ่นเยื่อ วิธีใช้น้ำปูนถึด	ดินฐานราก , ปูนดิบจะทำปฏิกิริยากับน้ำในดินกลายเป็นวัสดุแข็ง , ดินฐานรากจะมีความเข็งแรงขึ้น และลดการทรุดตัวลง ในบางกรณีก็ใช้ปูนซีเมนต์แทนปูนขาว							
การใช้โครงสร้าง	วิธีใช้เข็มพืด, การตอกเข็ม , ท่อ , หรือพื้นรอง	ตอกเข็มพืดลงไปในดินด้านข้างชิดกับคันดิน เพื่อลดการกระจัดด้านข้างของดินฐานราก ทำให้เสถียรภาพดีขึ้น การทรุดตัวจะลดลง ในบางกรณีก็ใช้เข็มตอกเพื่อหวังผลอย่างเดียวกัน ในกรณีนี้จะตอกเข็มลงไปในส่วนล่างของมูลดิน ให้ทำหน้าที่เป็นเข็มรับแรงธารหรือรับแรงเสียดทานเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของมูลดินและลดการทรุดตัว วิธีทำพื้นวางบนเข็มรับแรงธารเพื่อปรับปรุงมูลดิน เรียกว่า วิธีใช้พื้นรอง ซึ่งบางครั้งก็ใช้รองมูลดินหลังคอม่อ, เมื่อน้ำหนักบรรทุกมีปริมาณมากและไม่เสถียร มีการทรุดตัวมากมักใช้ท่อแทน ยิ่งกว่านั้นในบางวิธีก็ใช้เข็มมีด้านนอกเป็นลูกฟูกแทนท่อ เมื่อค่าใช้จ่ายในการป้องกันค่อนข้างสูง อาจใช้โครงสร้างชนิดยกแทนก็ได้		◎	◎			◎	

◎ ผลหลัก O ผลรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การปรับปรุงชั้นดินเหนียวอ่อน

สำหรับวิธีปรับปรุงชั้นดินอ่อนทางวิศวกรรมนั้นแยกแยะออกไปมากจึงเป็นของธรรมดาที่ว่าวิธีต่างๆเหล่านี้มีชื่อเรียกต่างกัน แม้ใช้หลักการเดียวกัน แต่ต่างกันในวัสดุหรือเครื่องกลทำงาน และวิธีปฏิบัติด้วยเหตุนี้จึงอธิบายรวมกันไปสำหรับวิธีที่ใช้หลักการอย่างเดียวกันแทนที่จะอธิบายเป็นเอกเทศ

3.1. วิธีปฏิบัติพื้นผิว

สำหรับวิธีปฏิบัติพื้นผิวจะใช้ในกรณีที่ดินพื้นผิวอ่อนมาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ดินบริเวณพื้นผิวโดยการระบายน้ำออก ใช้แผ่นวัสดุและสารเติม ป้องกันดินฐานรากเกิดการวิรูปด้วยแรงเฉือนเฉพาะที่ช่วยให้เครื่องกลขนาดหนักทำงานบนดินอ่อนได้ และในขณะเดียวกันก็กระจายน้ำหนักดินถมลงสู่ดินฐานรองให้สม่ำเสมอมากที่สุด สำหรับวิธีการเหล่านี้ จะมีวิธีระบายน้ำพื้นผิว, วิธีใช้ทรายรองพื้น, วิธีใช้สารเติมและวิธีใช้แผ่นรอง ฯลฯ

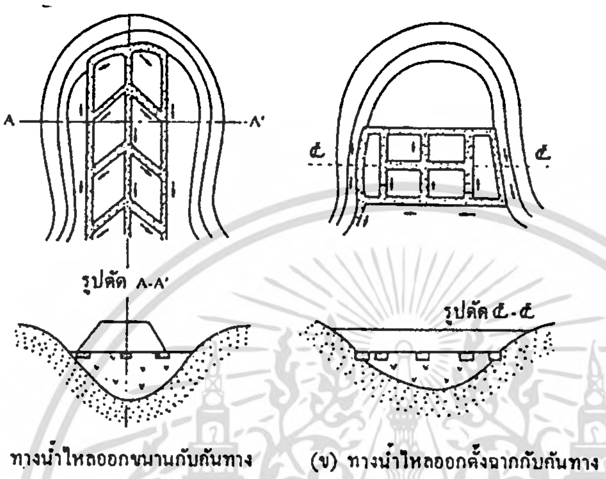
3.1.1.) วิธีระบายน้ำพื้นผิว

วิธีนี้ได้แก่การขุดรางระบายบนผิวดิน ก่อนทำคันทางเพื่อระบายน้ำบนผิวดินออกไปเสียก่อนและขณะเดียวกันก็ลดปริมาณน้ำในดินเพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้เครื่องจักรขุดดินสามารถทำงานได้ คูที่ขุดส่วนมากจะถมกลับด้วยกรวดที่มีความพรุนสูง เพื่อให้น้ำระบายออกได้ในระหว่างการสร้าง

ในการจัดทำรางระบายดังแสดงในรูปที่ ผ33 จะต้องพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงความลาดชันควบคู่กับการทรุดตัวจากน้ำหนักดินถมด้วย จะต้องระมัดระวังมิให้น้ำผิวดินหรือน้ำซึมไหลจากการตัดดินในบริเวณข้างเคียงกันมา

รางระบายน้ำโดยทั่วไปกว้างประมาณ 0.5 เมตร และลึกประมาณ 0.5 - 1.0 เมตร ถมด้วยทรายหรือกรวดที่มีคุณภาพดีก่อนทำกับดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ33 การจัดรางระบายในวิธีระบายน้ำที่พื้นผิว

3.1.2.) วิธีใช้ทรายรองพื้น

ในวิธีนี้ชั้นดินอ่อนจะถมด้วยทราย มีความหนาประมาณ 0.5 - 1.2 เมตร เพื่อให้น้ำระบายออกได้ที่ส่วนบน การทรุดตัวไปในชั้นดินอ่อนจะได้เกิดขึ้น ทำให้ดินแน่นตัว และเครื่องกลสามารถทำงานได้บนชั้นดินดังกล่าว โดยทั่วไปมักจะทำร่วมกับวิธีระบายน้ำในแนวดิ่งบ่อย ๆ แต่ถ้าชั้นดินอ่อนอยู่ที่ส่วนบนของดินฐานราก และมีชั้นบาง ๆ การปรับปรุงก็สามารถทำได้โดยการเตรียมทำชั้นทรายรองพื้น

สำหรับทรายที่ใช้ทำเป็นชั้นรองพื้นจะต้องผ่านตะแกรง 0.074 มม. น้อยกว่า 3% เพื่อให้มีการไหลซึมได้ดีเกิดการยุบตัวจากการระบายน้ำออก แล้วจะต้องระวังไม่ให้มีน้ำหนักบรรทุกเฉพาะที่มากเกินไป ยิ่งกว่านั้นถ้าใช้ทรายแป้ง (SILT) ซึ่งน้ำผ่านได้ยากเป็นคันทางก็จะต้องระวังผลสุดท้ายที่ทรายแป้งที่อยู่บนชั้นทรายจะทำให้น้ำไม่สามารถไหลผ่านชั้นทรายที่อยู่ข้างล่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับความหนาของชั้นทราย ที่จะให้เครื่องกลหนักสามารถทำงานได้บนชั้นทรายดังกล่าว ให้ดูจากตารางที่ ผ3 เนื่องจากชั้นทรายเป็นสาเหตุทำให้เกิกการไหลซึมของน้ำในคันทาง จึงห้ามใช้ทรายที่หนามาก หรือใช้วัสดุเม็ดหยาบ เช่น กรวด เป็นต้น

วิสัยรับแรงธารรูปกรวยของพื้นผิว (กก./ซม.^{2})		ความหนาของทรายรองพื้น (ซม.)
ตั้งแต่	2.0	50
	2.0 - 1.0	50 - 80
	1.0 - 0.75	80 - 100
	0.75 - 0.5	100 - 120
น้อยกว่า	0.5	120

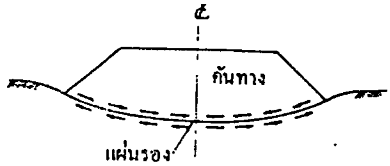
ตารางที่ ผ3 ความหนามาตรฐานของทรายรองพื้น

3.1.3.) วิธีใช้แผ่นรอง

สำหรับวิธีนี้เป็นวิธีซึ่งใช้แผ่นใยเคมี หรือตาข่ายยาววางบนชั้นดินอ่อนแล้วจึงทำคันทางทับข้างบนวัตถุประสงค์ก็เพื่อให้เครื่องกลหนักสามารถทำงานได้บนชั้นดินอ่อน โดยอาศัยแรงดึงของแผ่นวัสดุที่วางอยู่บนชั้นดินเดิม หรือเพื่อเพิ่มวิสัยสามารถรับแรงธารของดินฐานราก ดังแสดงในรูปที่ ผ34

วัสดุแผ่นจะช่วยให้เกิดการกระจายน้ำหนักของดินถมสม่ำเสมอ ไม่ทำให้เกิดการทรุดตัวเป็นหย่อมและแรงดึงของแผ่นวัสดุจะต้านการไหลออกทางข้างของคันทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ34 วิธีใช้แผ่นรอง

3.2. วิธีใช้น้ำหนักบรรทุก

เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนที่ใช้ เพื่อเพิ่มการอัดตัวของชั้นดินอ่อน และเพื่อเพิ่มแรงเฉือนแก่ดินฐานราก แบ่งได้เป็นชนิด ดังนี้

3.2.1.) การใช้น้ำหนักกดทับดินล่วงหน้า (PRELOADING METHOD)

เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน ที่มีการยุบตัวมากรับน้ำหนักได้น้อย ใช้ได้ดีกับดินพวกตะกอนทราย (SILT) ดินเหนียว (CLAY) และดินอินทรีย์ (ORGANIC SOIL) ที่มีการอัดตัวปกติ ทำได้โดย บรรทุกนำวัสดุมากองทับบนชั้นดินอ่อนก่อนการก่อสร้าง เพื่อเร่งการทรุดตัวอัตราส่วนช่องว่างก็จะลดลง ทำให้ดินมีความหนาแน่นมากขึ้น สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น

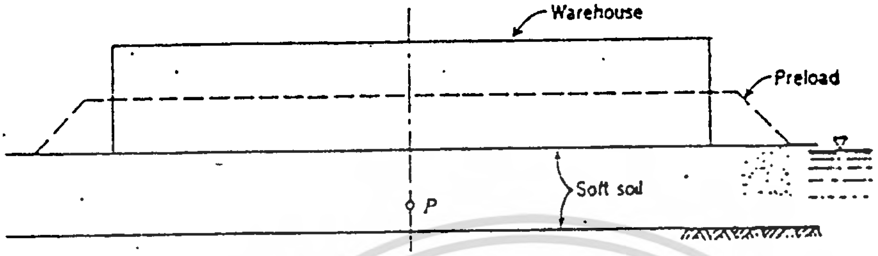
วัสดุที่นำมากองทับอาจจะเป็นดินหรือวัสดุอื่นอีกไม่ใช่พวกกรวดทราย จะต้องมีชั้นที่ระบายน้ำได้รองใต้วัสดุที่กองทับ และมีพวกสิ่งทอปูรองชั้นระบายน้ำ เพื่อป้องกันการจมแทรกลงไปในชั้นดินอ่อน

น้ำหนักกองวัสดุที่นำมากองทับบนชั้นดินอ่อนควรจะมากกว่าน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างเพื่อว่าการทรุดตัวหลังการก่อสร้างแล้วจะมีปริมาณน้อยมาก และเวลาที่ใช้เพื่อเร่งการทรุดตัวจะสั้นลง

อัตราเร็วของการทรุดตัวจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่กดทับ และความสามารถในการระบายน้ำของดินฐานรากนั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางที่น้ำไหลออกจากดินและสัมประสิทธิ์ของการยุบอัดตัว (COEFFICIENT OF CONSOLIDATION)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะไม่ทำให้เกิดการพิบัติด้วยการเลื่อนตัวของดินฐานราก และเหมาะกับงานซึ่งมีช่วงเวลาที่ยาวนานพอควรในการทำงาน แต่ถ้าความแข็งแรงของดินฐานรากไม่เพียงพอ ควรใช้วิธีระบายน้ำในแนวดิ่งร่วมด้วย



รูปที่ ผ35 PRELOADING

3.2.2.) การลดระดับน้ำใต้ดิน (GWL LOWERING METHOD)

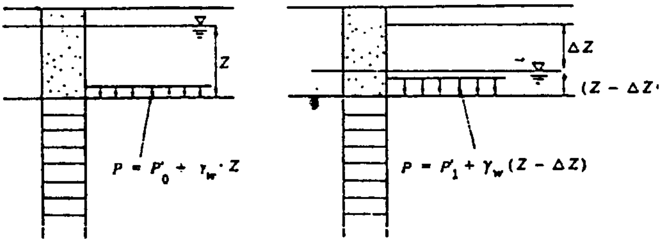
เป็นวิธีซึ่งแทนที่จะใช้น้ำหนักดินถมทำให้เกิดการอัดตัวดังวิธี PRELOADING แต่ใช้การลดระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งจะเพิ่มความเค้นประสิทธิผลของดินฐานรากที่ทำหน้าที่คล้ายน้ำหนักที่ทำให้เกิดการอัดตัวของดินดังรูปที่ ผ36 การลดระดับน้ำใต้ดินจะทำให้ความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่งเพิ่มจาก

$$P'0 = P - \gamma_{\omega} * Z \quad \text{.... (1)}$$

เป็น

$$P'1 = P - \gamma_{\omega} * (Z - \Delta Z)$$

$$= P'0 + \Delta Z * \gamma_{\omega} \quad \text{.... (2)}$$



รูปที่ผ36 วิธีลดระดับน้ำใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเป็นเช่นนี้ ความเค้นเพิ่มขึ้น 1 ตัน / ตารางเมตร เมื่อระดับน้ำลดลง 1 เมตร ความเค้นที่เพิ่มขึ้นนี้ จะถ่ายลงที่ผิวดิน และ กระจายไปในดินฐานราก ซึ่งจะน้อยลงความลึก แต่ในวิธีนี้ถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเค้นตามความลึก

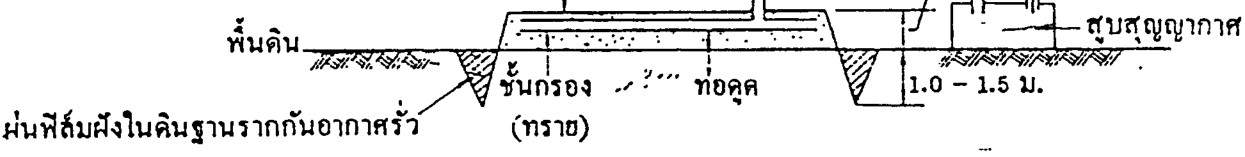
สำหรับชั้นดินเดิมที่มีชั้นทรายที่มีสัมประสิทธิ์การซึมได้ประมาณ $k = 10^{-1} - 10^{-4}$ ซ.ม. / วินาที กระจายอยู่ที่ส่วนบนและส่วนกลางของชั้นดินอ่อนแล้ว วิธีการนี้จะใช้ได้ผลดีมาก แต่ถ้าเป็นดินที่ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวที่ส่วนบนและมีชั้นทรายอยู่ในแนวราบหลายแห่ง วิธีนี้ก็ยังใช้ได้

ถ้ามีแหล่งน้ำใต้ดิน เช่น ทะเลสาบ , ที่ลุ่มหรือแม่น้ำอยู่ในบริเวณ ก็ต้องสูบน้ำเป็นปริมาณมาก เพื่อรักษาระดับน้ำใต้ดินให้ต่ำ และให้ดินเกิดการอัดตัว วิธีนี้จึงเป็นการลงทุนค่อนข้างสูง การลดระดับในดินนี้ยากที่จะกำหนดขอบเขตของการลดระดับน้ำให้อยู่ภายในขอบเขตที่ดินของตน อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่อาคารสิ่งก่อสร้างข้างเคียงได้ จึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ

3.2.3.) วิธีความดันบรรยากาศ (ATMOSOHEOIC PRESSURE METHOD)

สำหรับวิธีนี้ใช้ทรายบนชั้นดินอ่อนและคลุมไว้ด้วยแผ่นฟิล์มกันอากาศรั่วซึม เพื่อลดความดันอากาศในชั้นทราย และใช้ความดันบรรยายกาศทำให้เกิดการอัดตัวในดิน

ตามทางทฤษฎีจะได้น้ำหนักบรรทุกประมาณ 10 ตัน / ตารางเมตร แต่เนื่องจากอากาศรั่วไปบ้างในทางปฏิบัติจะใช้ประมาณ 5 - 6 ตัน / ตารางเมตร นอกจากนั้นก็คล้ายกับวิธีลดระดับน้ำใต้ดิน คือ การเพิ่มการอัดตัว ไม่ทำให้เกิดการลดความเค้นทางลึก แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูบสูญญากาศค่อนข้างสูง จึงไม่เป็นการประหยัดถ้าใช้สูบเป็นเวลานาน ซึ่งเป็นข้อเสียประการหนึ่งของวิธีนี้



รูปที่ ผ37 วิธีความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. วิธีระบายน้ำในแนวดิ่ง

สำหรับวิธีนี้ช่วยลดระยะทางการระบายน้ำออกเพื่อให้เกิดการอัดตัวในดิน โดยอาศัยท่อระบาย (DRAIN COLUMN) ที่ทำขึ้นในชั้นดินอ่อน ช่วยให้เกิดการอัดตัวในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียวได้เร็วขึ้น ในการพิจารณาการระบายน้ำตามที่แสดงในรูปที่ 3.7 ถ้าไม่มีการปรับปรุงชั้นดินเดิม ระยะทางที่ระบายน้ำออกจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนาของชั้นดินเหนียว เพราะน้ำสามารถระบายได้ทั้งด้านบนและด้านล่างดังรูป (ก.) ในกรณีที่มีการปรับปรุงดังรูป (ข.) โดยทำท่อระบายในแนวดิ่ง น้ำก็จะระบายออกในแนวราบ ระยะทางที่น้ำระบายจะเป็นฟังก์ชันของระยะห่างของท่อระบาย ซึ่งลดเวลาระบายน้ำได้ เพราะระยะทางในรูป (ข.)สั้นกว่าในรูป (ก.)

ในวิธีการนี้ไม่เพียงแต่ทำท่อระบายน้ำในแนวดิ่งเท่านั้น แต่ยังบรรทุกน้ำหนักด้วยทรายปูพื้นหน้าและทำมูลดิน เพื่อให้ดินฐานรากอัดตัวได้ด้วย ในการบรรทุกน้ำหนักนิยมใช้ควบคู่วิธีชะลอการเพิ่มน้ำหนักหรือวิธีใช้น้ำหนักบรรทุก

ในการระบายน้ำในแนวดิ่ง มักเรียกชื่อตามวัสดุที่ใช้ เช่น วิธีระบายน้ำด้วยทราย (SAND DRAIN) วิธีใช้แผ่นกระดาษแข็ง (CARD-BOARD WICKS) และวิธีระบายน้ำด้วยแผ่นพลาสติก (PLASTIC BOARD DRAIN)

(ก) (ข)

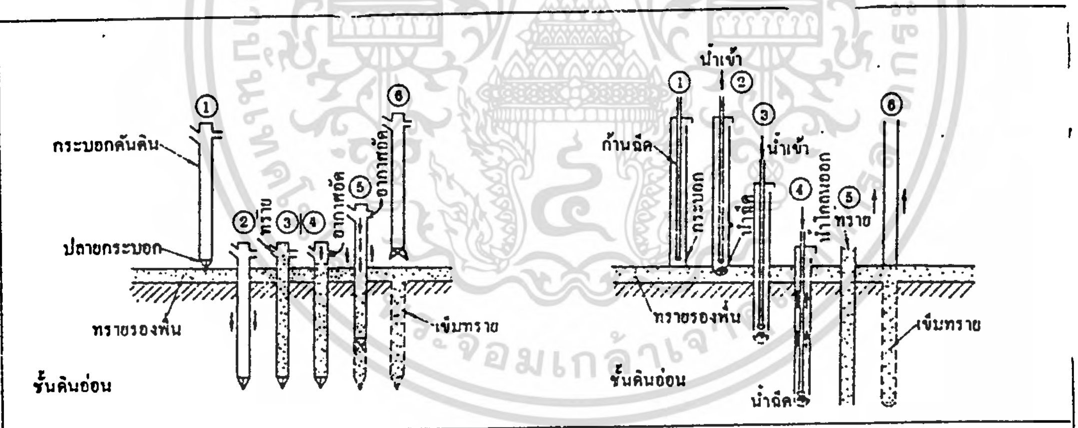
รูปที่ ผ38 แสดงวิธีระบายน้ำในแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.) วิธีระบายน้ำด้วยทราย (SAND DRAIN)

เป็นวิธีลดระดับน้ำในดินวิธีหนึ่งด้วยการให้น้ำระบายออกจากดินโดยเร็ว โดยการลดระยะทางที่น้ำออกจากดินเหมาะกับงานปรับปรุงฐานรากที่เป็นดินเหนียวอ่อนเมื่อน้ำในดินลดลง ความดันดินก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้ดินเกิดการทรุดตัวและอัดตัวกันแน่นขึ้น วิธีนี้จะใช้ได้ผลดีต่อเมื่อมีน้ำหนักกดทับดินด้านบนนั่นคือใช้ร่วมกับวิธีใช้น้ำหนักกดทับดินล่วงหน้า (PRELOADING)

ทำได้โดยการตอกกระบอกเหล็กปลายปิดลงไปในดินตลอดความลึกของชั้นดินอ่อนแล้วถอนกระบอกเหล็กขึ้น เปิดปลายกระบอกออกและเททรายลงไปจนเต็ม วิธีนี้จะทำให้ดินในบริเวณใกล้เคียงกับกระบอกกระทบกระเทือนมากกว่าวิธีที่ใช้การตอกกระบอกลงไปในดิน แล้วสูบน้ำในดินออกจากกระบอกจนถึงระดับที่ต้องการจึงเททรายลงในกระบอกขณะถอนกระบอกขึ้น

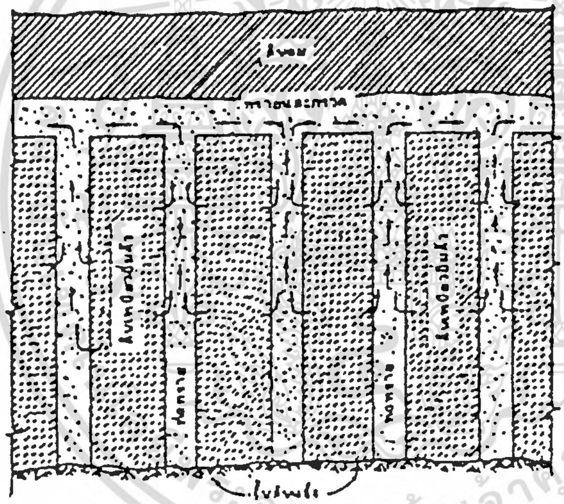


คำอธิบาย	(อันดับการทำเข็มทรายโดยใช้กระบอกดันดิน) ① ปิดปลายกระบอก แล้วปรับให้เข้าที่ ② ตอกกระบอกลงโดยใช้การสั่น ③ ใส่ทรายลงในกระบอก ④ ⑤ เมื่อใส่ทรายเต็มแล้วก็อัดอากาศ ⑥ ดึงกระบอกขึ้น	(อันดับการทำเข็มทรายโดยใช้น้ำฉีด) ① ปรับกระบอกให้เข้าที่ ② ③ ใส่ท่อน้ำธีดลงในกระบอก ④ เมื่อกระบอกได้จมลงไปถึงระยะหนึ่ง ดินในกระบอกจะถูกน้ำฉีดกลายเป็นน้ำโคลนพุ่งออกไป ⑤ เติมทรายให้เต็มกระบอก ⑥ ดึงกระบอกขึ้น
ลักษณะพิเศษ	(1) เนื่องจากมีการตอกกระบอก ผลที่ได้สู้วิธีสั่นไม่ได้	(1) เนื่องจากมีการระบายน้ำโคลนออกอย่างต่อเนื่อง ดินฐานรากจะถูกกระทบกระเทือนน้อยมาก (2) ในการนำน้ำโคลนออก จะต้องมีการประดิษฐ์เครื่องมือช่วย

รูปที่ ผ39 วิธีทำท่อระบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

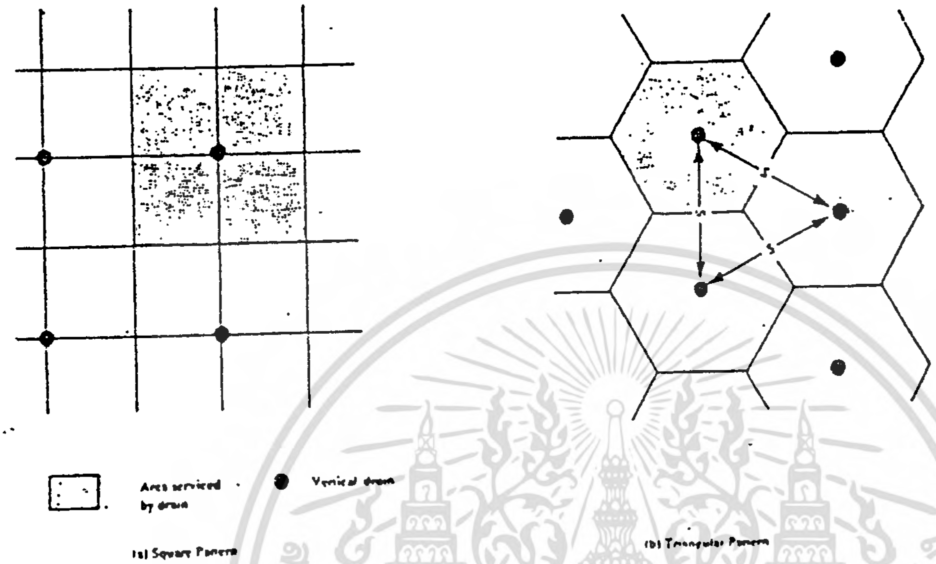
เมื่อทำท่อทรายเสร็จหมดแล้วก็เกลี่ยทรายทับทั่วบริเวณหนาประมาณ 30 ซ.ม. ถึง 1 ม. เป็นชั้นระบายน้ำใต้ชั้นวัสดุที่จะกดทับ เพื่อให้น้ำในดินที่ไหลเข้าท่อทราย และไหลออกไปยังชั้นระบายน้ำด้านบนได้เร็วทำให้เกิดการทรุดตัวของชั้นดินขึ้น ก่อนที่จะได้รับน้ำหนักจากการก่อสร้าง ดังรูปที่ ผ40



รูปที่ ผ40 SAND DRAIN

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทรายอยู่ระหว่าง 300-600 ม.ม. ขนาดที่เล็กกว่า 300 ม.ม. จะทำยาก ระยะห่างระหว่างหลุมขึ้นอยู่กับขนาดของดิน อยู่ระหว่าง 1.5 - 4.5 ม. การระบายน้ำด้วยท่อทรายนี้จะได้ผลดี เมื่อระยะห่างระหว่างหลุมน้อยกว่าความหนาของชั้นดินอ่อนที่ต้องปรับปรุง รูปแบบของหลุมอาจจะเป็นสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมก็ได้ดังรูปที่ ผ41 รูปแบบสามเหลี่ยมจะประหยัดกว่า ชนิดของทรายที่ใช้ควรจะสะอาดและระบายน้ำได้ดี ความลึกของท่อทรายนั้นกำหนดด้วยความหนาของชั้นดินเหนียว หรือความลึกของดินฐานรากที่จะต้องการปรับปรุงเพื่อเสถียรภาพของโครงสร้าง ในทางปฏิบัติท่อทรายยิ่งลึกจะยิ่งทำยากและเสียค่าใช้จ่ายสูงจึงมักทำระหว่าง 25-30 ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

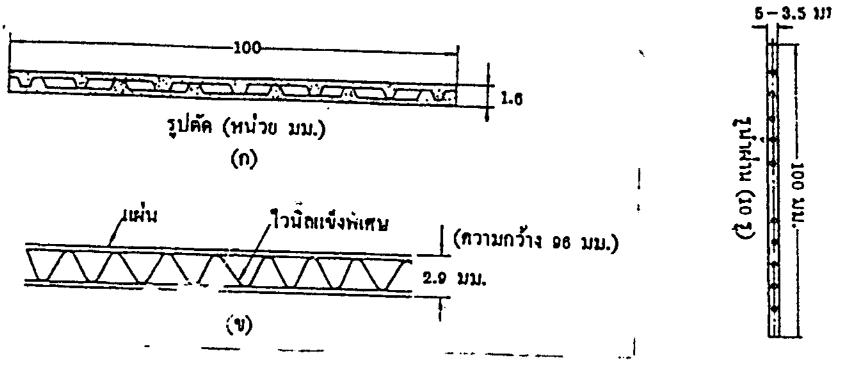


รูปที่ ผ41 LAYOUT OF SAND DRAIN

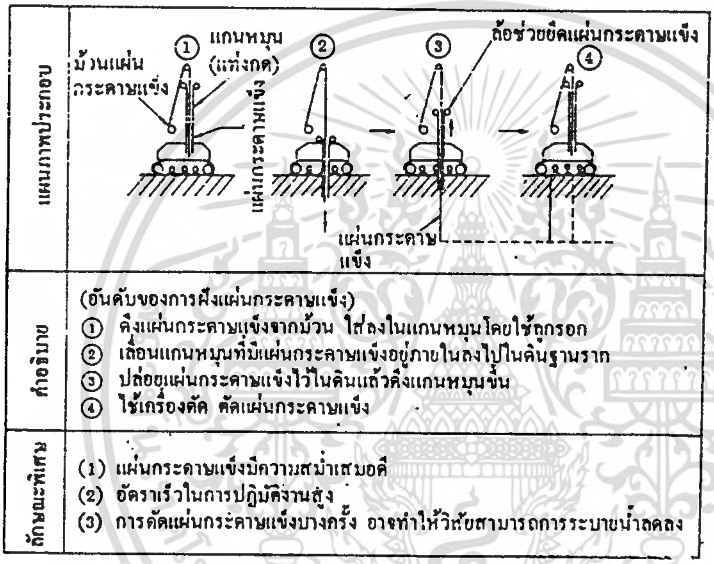
3.3.2 วิธีระบายใช้แผ่นกระดาษแข็ง, วิธีระบายใช้แผ่นพลาสติก (PVD)

วิธีการทั้งสองนี้อาศัยหลักการเดียวกับวิธีท่อทราย แต่ต่างกันที่ในการทำให้เกิดการอัดตัวในชั้นดินอ่อน แทนที่จะให้ทรายในท่อระบาย แต่ใช้กระดาษแข็งหรือไวนิลคลอไรด์ เป็นวัสดุที่ช่วยให้น้ำระบายได้ แทนวิธีใช้กระดาษแข็งมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงดินฐานรากโดยตอกกระดาษแข็งมีร่องระบายดังรูปที่ ผ42 ลงไปในชั้นดินอ่อนตามวิธีที่แสดงในรูปที่ ผ43 โดยที่กระดาษแข็งที่ใช้เป็นวัสดุระบายน้ำนั้นมีคุณภาพแน่นอน เนื่องจากผลิตจากโรงงาน และมีน้ำหนักเบา ขนย้ายสะดวก ฉะนั้นเครื่องกลในการกดแผ่นกระดาษแข็ง ถึงแม้จะมีขนาดเล็กก็สามารถใช้ได้ วิธีการนี้จึงนิยมใช้กับดินอ่อนมากๆ แม้แผ่นกระดาษแข็งจะมีสัมประสิทธิความซึมได้ระหว่าง $k = 10^{-3} - 10^{-10}$ ซ.ม. / วินาที ซึ่งเลวกว่าทราย ที่สำคัญก็คือ แผ่นกระดาษแข็งในสภาพเปียกจะอ่อนและอาจขาดจากกัน ถ้ามีอุปสรรคอยู่ในชั้นดิน จะทำให้การทำงานยากลำบากมีปัญหามากกว่า SAND DRAIN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ42 รูปตัดของกระดาษแข็ง

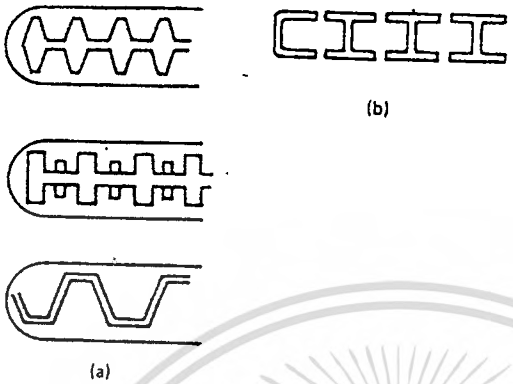


รูปที่ ผ43 การฝังแผ่นกระดาษแแข็ง

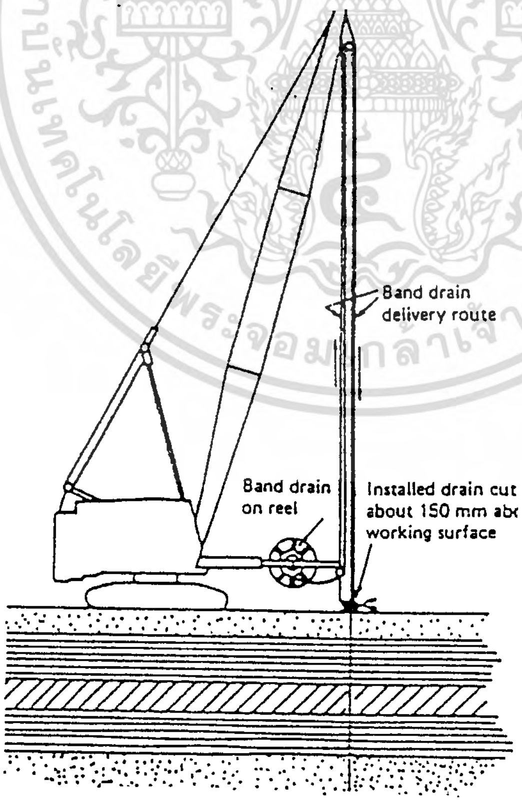
3.3.3.) การระบายน้ำโดยใช้แผ่นวัสดุสิ่งทอ (PREFABRICATED DRAIN)

เป็นวิธีลดระดับน้ำในดินวิธีหนึ่ง เช่นเดียวกับวิธี SAND DRAIN แต่ใช้วัสดุพวกสิ่งทอแทน ซึ่งมีต่างกันหลายชนิด เช่น CALBONDDRAIN, GEODRAIN, ENKADRAIN มีลักษณะเป็นแผ่นหนาประมาณ 4 ม.ม. กว้าง 100 ม.ม. มีร่องเล็กๆ ตลอดความยาว และมีกระดาษหุ้มรอบแผ่นวัสดุนี้ เพื่อกันมิให้ดินผ่านแต่ยอมให้น้ำในดินไหลผ่านได้ การฝังแผ่นวัสดุลงไปในดินใช้เครื่องดันลงไปจนถึงความลึกที่ต้องการ แล้วตัดปลายให้โผล่ขึ้นมาเหนือเล็กน้อย เกลี่ยทรายทับบนพื้นดินให้ทั่วบริเวณเพื่อเป็นชั้นระบายน้ำ แล้วนำวัสดุอื่นมากองทับเพื่อเพิ่มน้ำหนักกดบนดิน น้ำในดินก็ถูกบีบให้ไหลไปตามแนวนอนไปยังแผ่นวัสดุสิ่งทอนี้ และไหลออกไปยังชั้นระบายน้ำด้านบนได้เร็ว ชั้นดินก็เกิดการทรุดตัวลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ44 TYPICAL CROSS-SECTIONS OF PLASTIC BAND DRAIN
(a) WITH FILTER SLEEVE ;
(b) WITHOUT FILTER SLEEVE



รูปที่ ผ45 PLACEMENT OF BAND DRAINS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4. วิธีเข็มทรายอัด (SAND COLUMN)

วิธีนี้ทรายถูกอัดลงไปสู่ชั้นดินอ่อน ด้วยแรงกระแทกหรือแรงสั่นสะเทือน ทำให้เป็นเข็มทรายอัดแน่น อาศัยแนวคิดดังนี้ คือ เมื่อทำเข็มทรายอัดหลายต้น ก็กลายเป็นฐานรากรวมประกอบด้วยเข็มทรายและดินเหนียว ดังนั้นเมื่อน้ำหนักของโครงสร้างกระทำบนฐานรากส่วนนี้ เข็มทรายจะรับน้ำหนักมากกว่าดินเหนียว เนื่องจากความแตกต่างทางกายภาพและกล ผลที่ตามมาก็คือความเค้นในชั้นดินเหนียวลดลง ทำให้ลดการทรุดตัวสุดท้ายลงได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความแข็งแรงเฉือนในทรายจะมากกว่าในดินเหนียว ทำให้ความแข็งแรงของดินฐานรากโดยส่วนรวมจะเพิ่มขึ้นทีละน้อยตามปริมาณของทรายที่นำไปแทนที่ดินเหนียว นอกจากนี้น้ำยังสามารถระบายออกตามท่อระบายได้เหมือนกับการระบายน้ำในแนวดิ่ง จึงมีการทรุดตัวเพิ่มขึ้น

ในการออกแบบวิธีนี้ในชั้นดินเหนียวนั้น จะต้องมีการตรวจสอบการทรุดตัวและเสถียรภาพบนพื้นฐานหลักการที่จะกล่าวดังนี้ คือ ความเค้นของน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยที่กดทำบนพื้นที่ A สมมุติให้ความเค้นของเข็มทรายและดินเหนียวเป็น σ_s และ σ_c ตามลำดับ และถ้าพื้นที่หน้าตัดของเข็มทรายเป็น A_s

$$\sigma A = \sigma_s A_s + \sigma_c (A - A_s) \qquad .... 3.1$$

สมมุติให้

$$\sigma_s / \sigma_c = \eta ;$$

$$A_s / A = a_s ;$$

$$\sigma_c / \sigma = \mu_c$$

ผลคือ

$$\mu_c = \sigma_c / \sigma$$

$$= 1/[1 + (\eta - 1) a_s] \qquad .... 3.2$$

เมื่อ η เป็นอัตราส่วนความเค้น

a_s เป็นอัตราการแทนที่ด้วยเข็มทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

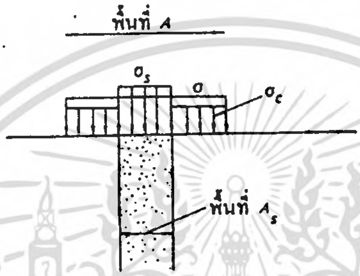
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

μ_c เป็นอัตราส่วนของความเค้นของดินฐานราก ซึ่งเป็นดินเหนียว กับน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยเรียกว่า ตัวประกอบของความเค้นที่ลดลง

ดังนั้นเมื่อทำเข็มทรายอัดในดินฐานราก ความเค้นของดินเหนียวฐานรากจะลดลงเป็นปริมาณตามตัวประกอบของตวามเค้นที่ลดที่กำหนดในสมการ 3.2 เพราะฉะนั้น ปริมาณการทรุดตัวสุดท้ายของดินฐานรากจะสมมุติให้เป็น

$$S_c = \mu_s S \quad ....3.3$$

(S = ปริมาณการทรุดตัวสุดท้ายของดินฐานรากที่ไม่ได้ปรับปรุง)



รูปที่ ผ46 แผนภาพแสดงการรวมจุดของความเค้น

การวิเคราะห์หาเสถียรภาพของการเลื่อนตัวของฐานรากรวมที่มีเข็มทรายอัดแน่นจะวิเคราะห์โดยใช้ค่าแรงเฉือนเฉลี่ยตามผิวเลื่อนตัวในดินฐานราก จากสมการ

$$\bar{S} = a_s \{\Upsilon_s' z + [(\sigma*\eta) / (1+(\eta-1)a_s)]\} \cos^2 \alpha \tan \phi$$

$$+(1 - a_s)\{C_u + m[p_0 - p_c + [\sigma / (1 +(n - 1)a_s)]]$$

$U_l\}$

เมื่อ $\bar{S}$: ความแข็งแรงเฉือนเฉลี่ย

Z : ความลึกของผิวเลื่อนตัว

a_s : อัตราการแทนที่ของเข็มทราย

Υ_s' : น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของเข็มทรายในน้ำ

ϕ : มุมเสียดทานของเข็มทราย

C_u : ความเชื่อมแน่นแริ่มต้นของดินเหนียว

m : อัตราการเพิ่มความแข็งแรงในดินเหนียว

p_0 : ความดันดินในส่วนที่ฝังจมดิน

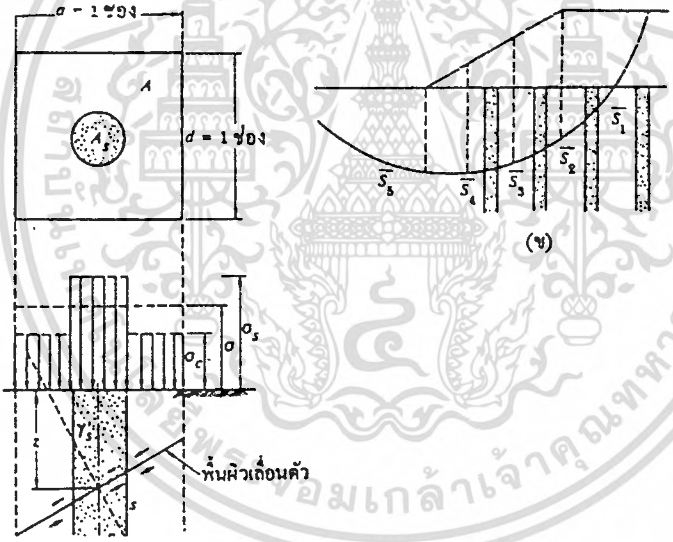
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

p_c : การอัดตัวในอดีต

U_1 : ระดับชั้นการอัดตัวของส่วนที่เป็นดินเหนียว

η : อัตราส่วนความเค้นระหว่างความเค้นของเข็มทราย ต่อความเค้นของดินเหนียว (สมมุติให้เป็นค่าคงที่ระหว่าง 3-5)

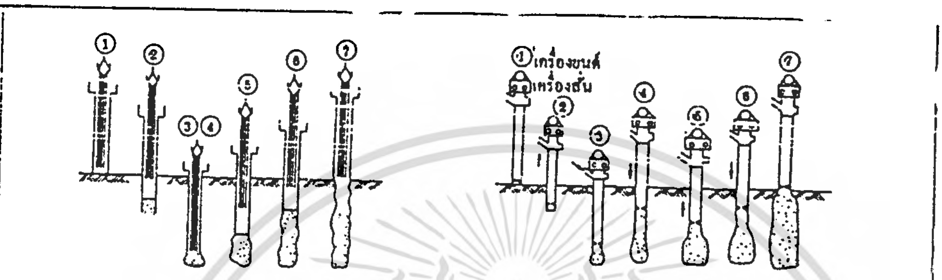
ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของดินถม จะแบ่งดินฐานราก ดังรูปที่ ผ47(ข) ออกเป็นชิ้น ๆ และหาความเค้นที่เพิ่มขึ้นของแต่ละชิ้น ตลอดจนค่าแรงเฉือนเฉลี่ย ต่อจากนั้นหาตัวประกอบความปลอดภัยที่ต้องการจากการจัดเรียงเข็มทราย



รูปที่ ผ47 แรงเฉือนเฉลี่ยของฐานรากรวม

เมื่อใช้วิธีนี้สำหรับดินเหนียว ขณะทำเข็มทรายอัดลงไป ดินจะได้รับการรบกวนชั่วคราวและความแข็งแรงของดินก็จะลดลง ฉะนั้นจะต้องระวังเป็นพิเศษในการสมมุติค่าความแข็งแรงของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพประกอบ		
คำอธิบาย	(อันดับของการอัดทรายให้แน่นโดยการตอก) ① ติดตั้งท่อในท่อนอกแล้ว ใส่ทรายลงไปในปลายล่างของท่อนอก ② ท่อในทำหน้าที่อัดทรายตรงขอบ แล้วเคลื่อนท่อนอกลงไปในดิน ③, ④ ยึดท่อนอกให้แน่นและทรายที่ปลายท่อจะถูกดันออกโดยการกระทุ้งของท่อใน ⑤ ใส่ทราย ดึงท่อนอกขึ้นทีละน้อย แล้วใช้ท่อในดันทรายลงไปในดิน ⑥, ⑦ ทำอย่าง ⑤ ซ้ำอีก แล้วดึงท่อนอกออก	(อันดับของการอัดทรายให้แน่นโดยการสั่น) ① อุดปลายท่อด้วยทราย ② ดันท่อลงไปในดินโดยการสั่นที่ส่วนบนของท่อ ③ ใส่ทราย, สั่นท่อ และเคลื่อนขึ้นลง แล้วดันทรายที่อุดปลายท่อออก ④, ⑤, ⑥ สั่นท่อและเคลื่อนขึ้นลง แล้วดันท่อลงไปในดินทราย ⑦ ดึงท่อขึ้น จะได้ท่อทรายที่อัดแน่น
ลักษณะพิเศษ	(1) หวังได้ว่าเข็มทรายที่อัดแน่นจะทำหน้าที่ได้ดี (2) เป็นการยากที่จะทำเข็มทรายในชั้นดินอ่อน (3) ประสิทธิภาพในการทำงานจะต่ำกว่าวิธีสั่น	(1) เหมือนกับชนิดตอก (2). เหมือนกับชนิดตอก (3) ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานดีมาก แต่การสั่นสะเทือนจะรุนแรง

รูปที่ ผ48 ตัวอย่างของวิธีเข็มทรายอัดแน่น

3.5. การบดอัดดิน (COMPACTION)

วัตถุประสงค์ของการอัดดิน ก็เพื่อต้องการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมดินถม เพื่อให้มีค่าดีขึ้นตามความต้องการในการใช้งาน คุณสมบัติหลักของดินที่ต้องการปรับปรุงคือ SHEAR STRENGTH , COMPRESIBILITY และ PERMEABILITY ซึ่งโดยทั่วไป SHEAR STRENGTH จะเป็นคุณสมบัติประการสำคัญที่ต้องการปรับปรุง

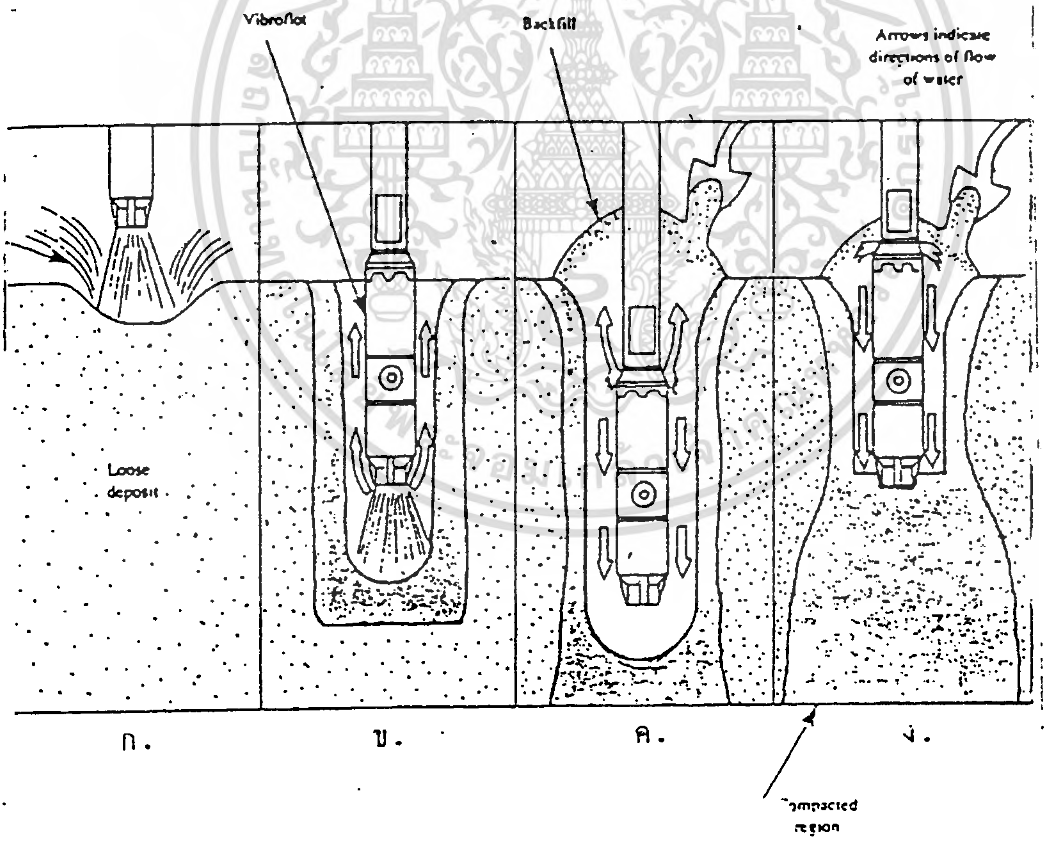
การบดอัดดิน คือ การทำให้ดินแน่นโดยใช้แรงหรือน้ำหนักจากเครื่องมือกล เพื่อไล่อากาศออกไปจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินอัดตัวกันแน่นขึ้น กำลังของดินก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น ทรุดตัวน้อยลง และน้ำไหลซึมผ่านดินได้น้อยลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1) การบดอัดโดยใช้เครื่องมือสั่น (VIBRO - COMPACTION)

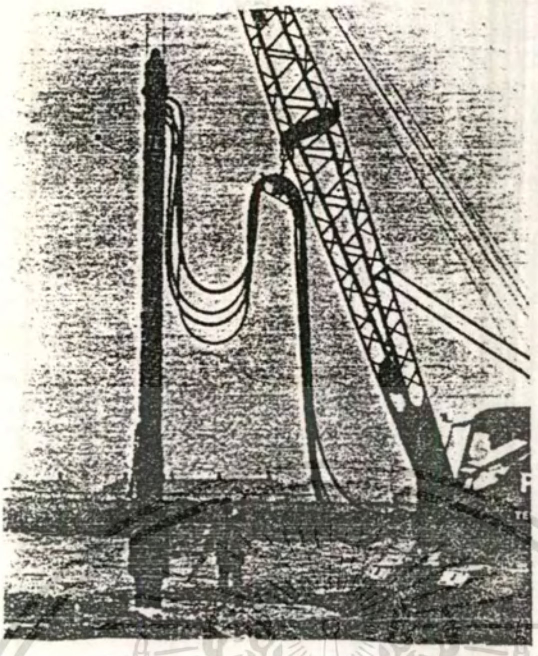
เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพดินที่ใช้ได้ดีกับดินพวกไม่มีความเชื่อมแน่น เหมาะกับงานที่ดินฐานรากเป็นชั้นดินทรายหลวมหนา เครื่องมือมีลักษณะคล้ายท่อทรงกระบอก (PROBE) ขณะแหย่ลงไปในชั้นดินทรายจะสั่นและเมื่อถอนตัวขึ้นจะทำให้ทรายอัดตัวกันแน่น PROBE ที่ใช้มีหลายแบบ ถ้าใช้แบบ VIBROFLOT เรียกว่าวิธี VIBROFLOTATION มีเครื่องมือประกอบดังรูป ที่ ผ50

กระบอก Vibroflot จะถูกแขวนอิสระด้วย Crane ซึ่งตัวกระบอกจะฉีดน้ำออกได้ทั้งส่วนบนและล่าง น้ำหนักที่หนีศูนย์ภายในกระบอกจะทำให้เกิดการเหวี่ยงและสั่นสะเทือนในแนวราบ ขั้นตอนการทำงานมีดังนี้ คือ เมื่อตัวกระบอกสั่นและฉีดน้ำออก (รูปที่ ผ49 ก) ตัวกระบอกจะเลื่อนลงไปในพื้นทราย (รูปที่ ผ49 ข) เมื่อถึงระยะลึกที่ต้องการแล้ว จะปิดน้ำที่ฉีดจากส่วนล่าง และฉีดน้ำจากส่วนบนแทน (รูปที่ ผ49 ค) โดยที่กระบอกจะถูกเลื่อนขึ้นอย่างช้า ๆ และเติมทรายลงที่ปากหลุม ซึ่งตัวกระบอกจะยังสั่นตลอดเวลา ทรายจะไหลลงไปและอัดตัวกันจนแน่น (รูปที่ ผ49 ง)

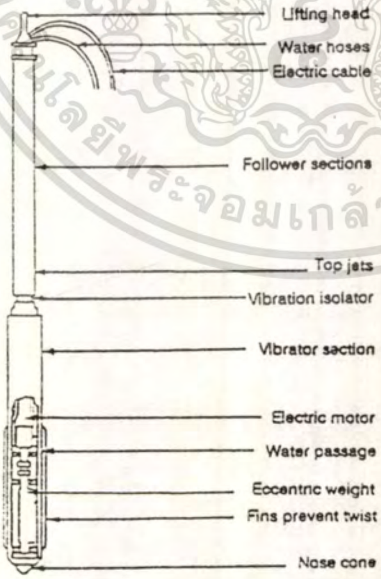


รูปที่ ผ49 VIBROFLOTATION TECHNIQUE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) VIBROFLOT SUSPENDED FROM A CRAWLER CRANE



(b) ESSENTIAL FEATURES OF A VIBROFLOT

รูปที่ ผ50 แสดงเครื่องมือ VIBROFLOTATION

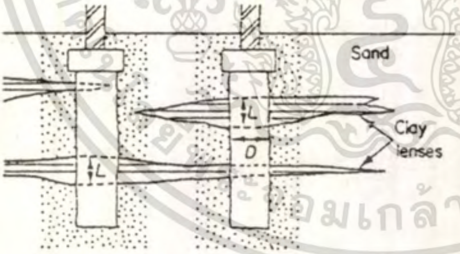
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

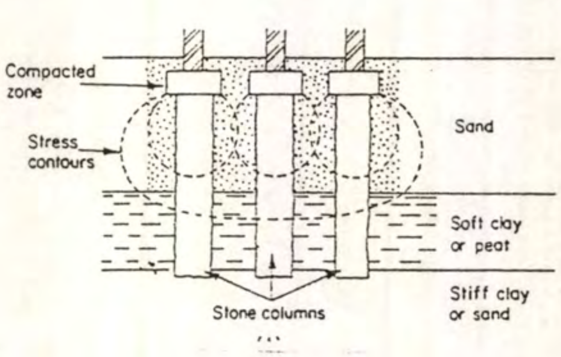
เราอาจประยุกต์วิธีนี้ ให้เป็นเทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนได้อีก 2 วิธี คือ

1. **วิธีเสาหิน (STONE COLUMNS)**

จุดประสงค์ของวิธีเสาหิน มี 2 ประการ คือ เพื่อเป็นการเสริมกำลังของดิน และเพื่อให้เกิดการระบายน้ำได้ในแนวดิ่ง เป็นผลทำให้ดินเกิดการทรุดตัวภายในเวลาที่เร็วขึ้น ภายใต้การทำ LOADING ที่ผิวดิน

ขั้นตอนในการทำเสาหิน มีดังนี้ คือ ขั้นแรกเป็นการขุดหลุมในแนวดิ่ง โดยใช้เครื่องเจาะแรงสั่นสะเทือน (TERPEDO) ซึ่งมีความยาว 2-5 ม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-0.4 ม. ด้วยแรงสั่นสะเทือนในแนวนอน ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยน้ำหนักของตัวมันเอง และด้วยการฉีดน้ำลงไปสู่ก้นหลุม ขนาดของหลุมมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.7-0.9 ม. ในการถมหินลงไปในหลุมจะใช้เครื่อง TERPEDO ช่วยในการบดอัดทีละชั้นๆ ด้วยลักษณะวิธีดังกล่าวน้ำหนักของโครงสร้างที่ผิวดินจะถ่ายผ่านลงสู่เสาหิน เป็นการลดการรับกำลังของชั้นดินอ่อน เสาหินที่ได้จะมีความสามารถในการรับกำลังประมาณ 100-300 KN ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเสา, วัสดุที่ใช้และค่า STIFFNESS ของดิน



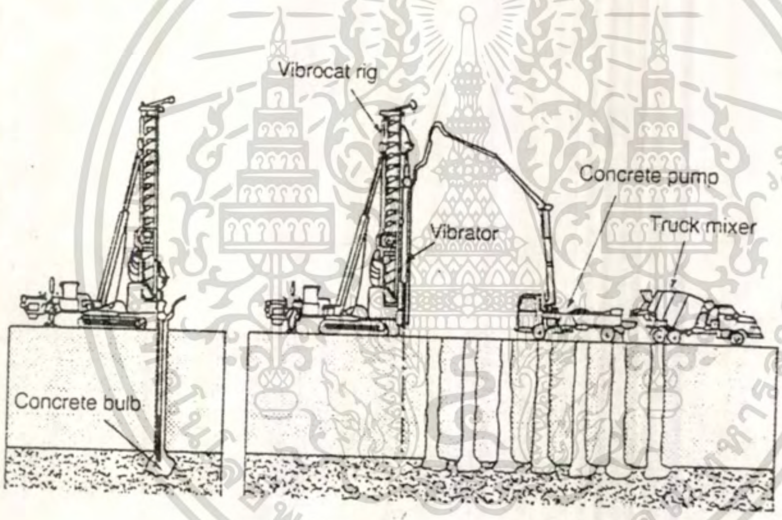


รูปที่ ผ51 TREATMENT OF MIXED CLAYS AND SANDS : (a) STONE COLUMNS STIFFENING CLAY LENSES : (b) COMPACTED SAND RAFT OVER SOFT CLAY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.วิธีเสาคอนกรีต (CONCRETE COLUMNS)

ขั้นตอนการทำเสาคอนกรีต เราจะใช้ VIBROFLOT ซึ่งมีหลักการทำงานดังรูปที่ ผ50 แต่แทนที่จะเติมทรายลงไปที่ปากหลุม เราเติม CONCRETE ขนาดของเสา มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 400 ม.ม.

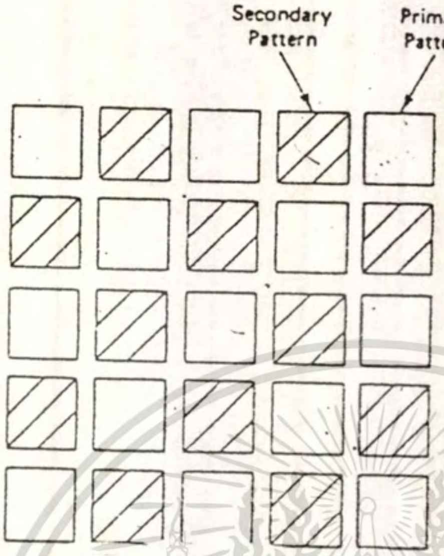


รูปที่ ผ52 CONSTRUCTION SEQUENCE OF VIBRATED CONCRETE COLUMN

3.5.2 การบดอัดโดยใช้น้ำหนักตกกระแทก (DYNAMIC COMPACTION)

เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพของดินที่ใช้ได้กับดินทั้งที่มีและไม่มีความเชื่อมแน่น ทำได้โดยการใช้ CRANE ยกลูกตุ้มน้ำหนัก (2-40 ตัน) ให้สูง (5-30 ม.) แล้วปล่อยลงมาให้ตกกระแทกชั้นดิน (5-10 ครั้ง) น้ำหนักยิ่งมากและระยะตกกระทบยิ่งสูงจะได้พลังงานในการบดอัดเพิ่มขึ้นด้วยระยะห่างระหว่างแต่ละจุดที่ปล่อยน้ำหนักตกกระแทกจะต้องมีรูปแบบ เพื่อให้ครอบคลุมได้ทั้งบริเวณที่ต้องทำการปรับปรุง (ดังรูปที่ ผ53)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ53 DROP PATTERN

ระยะห่างระหว่างจุด น้ำหนัก , ความสูง และจำนวนครั้งของน้ำหนักที่ปล่อยให้กระแทก จะต้องทำการทดสอบ ณ บริเวณที่จะทำการปรับปรุงก่อน โดยปกติจำนวนครั้งของแต่ละจุดจะอยู่ระหว่าง 5-10 ครั้ง ถ้าจำนวนครั้งเกินนี้จะไม่มีผลหรือมีผลต่อคุณภาพดินน้อยมาก

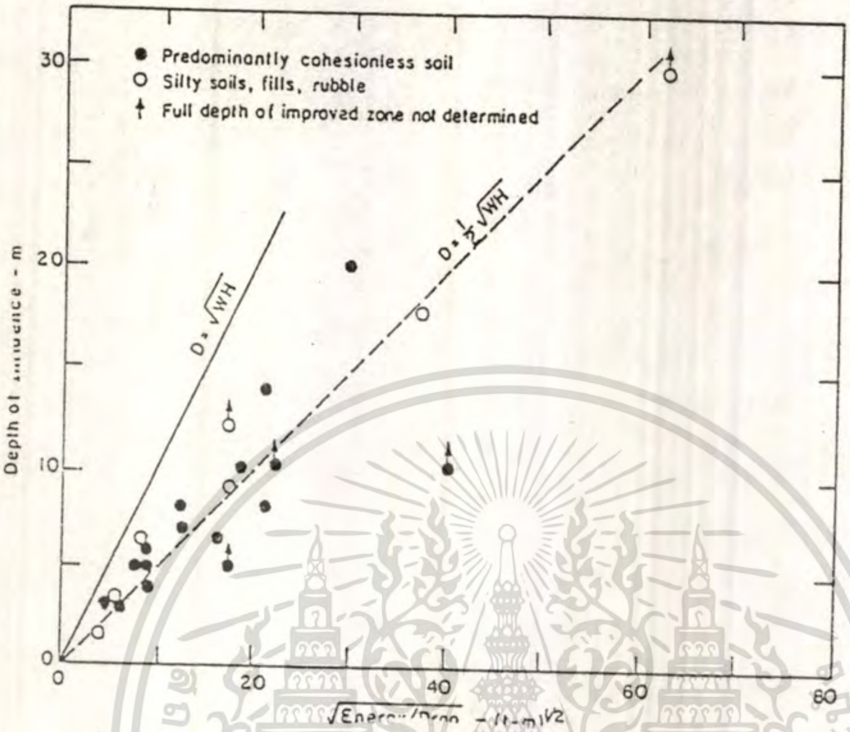
ความลึกของดินที่ได้รับอิทธิพลจากการอัดแบบนี้ สามารถคำนวนจากสมการ

$D = 0.5\sqrt{Wh}$ สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น

$D = \sqrt{Wh}$ สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น

เมื่อ	D	:	บริเวณความลึกของดินที่ได้รับอิทธิพล	(ม.)
	W	:	น้ำหนักลูกตุ้ม	(ตัน)
	h	:	ความสูงของระยะตกกระแทก	(ม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ54 DEPTH OF INFLUENCE AS A FUNCTION OF IMPACT ENERGY FOR DYNAMIC COMPACTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ ผ55 TRETEMENT OF SUSPECT GROUND BY DYNAMIC COMPACTION

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

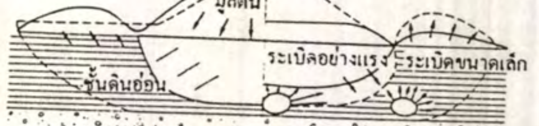
3.6. วิธีกระจัด

สำหรับวิธีนี้จะใช้วัสดุคุณภาพดีมาแทนที่ชั้นดินอ่อน เพื่อเป็นการปรับปรุงวิสัยสามารถรับแรงธารของดินฐานราก และลดปริมาณการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดิน วิธีกระจัดอาจทำได้ 2 วิธี คือ วิธีซึ่งหลังจากการขุดดินอ่อนออกแล้วใช้เครื่องกลหนักขนวัสดุที่มีคุณภาพดีเข้าแทนที่แล้วทำการบดอัด หรืออีกวิธีหนึ่งใช้การดันดินอ่อนออกโดยใช้ดินหนักดินถมซึ่งมีคุณภาพดีผลักออกไป หรือโดยการระเบิดดังแสดงในรูปที่ ผ56

ในกรณีที่ใช้การแทนที่ โดยการขุดอาจทำได้ 2 อย่าง คือ ขุดตลอดความกว้างของส่วนที่ถมและขุดออกเพียงบางส่วนของความกว้าง อย่างไรก็ดีในการขุดดินอ่อนที่อยู่ใต้ถนนออกนั้นต้องพิจารณาว่าถ้าจะแก้การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวเป็นสำคัญ แล้วก็จะต้องขุดดินอ่อนที่อยู่ใต้ถนนนั้นออก แต่ถ้าคำนึงถึงการพิบัติจากการเลื่อนตัวแล้ว ก็จะต้องขุดดินอ่อนใต้ผิวลาดของถนนออก

ในทั้งสองกรณีจะต้องตรวจสอบพิสัยของการขุด และการกระจัดได้ด้วยการคำนวนตามแบบฉบับ โดยพิจารณา ค่าคงตัวของความแข็งแรงของดินที่ถูกแทนที่

โดยทั่วไปการขุดดินออกเพื่อใช้วัสดุมีคุณภาพดีแทนที่ จะดีกว่าการใช้กำลังดัน วิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ชั้นดินอ่อนอยู่นั้นมีความหนาน้อยกว่า 3 ม. และต้องการให้ถมเสร็จสิ้นในเวลาสั้น



(ก) วิธีกระจัดโดยใช้น้ำหนักของมูลดินดัน (ข) วิธีกระจัดโดยการระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ ผ56 วิธีกระจัด

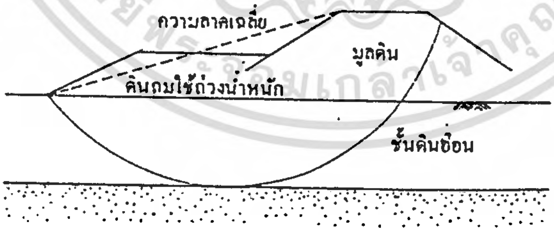
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7. วิธีถ่วงน้ำหนัก

วัตถุประสงค์ของวิธีนี้ คือ ถ่วงน้ำหนักด้านข้างของมูลดินและมุ่งที่เสถียรภาพของมูลดินเป็นหลักเมื่อไม่คิดตัวประกอบความปลอดภัยที่ต้องการจากการพิบัติด้วยการเลื่อนตัวในระหว่างถมดิน

ดังแสดงในรูปที่ ผ57 เนื่องจากผลที่ได้รับจะเหมือนกันโดยใช้ความลาดของมูลดินโดยเฉลี่ย ดังนั้นจากการวิเคราะห์ด้วยวงกลมที่เกิดการเลื่อนตัวที่ให้ตัวประกอบความปลอดภัยที่น้อยที่สุด จะได้โมเมนต์ต้านเพิ่มขึ้น ทำให้เสถียรภาพของมูลดินดีขึ้น แต่เนื่องจากวิธีนี้ต้องการฐานการถมที่กว้างขึ้น ซึ่งจะไม่เป็นการประหยัดถ้าไม่สามารถหาที่ดิน หรือ หาซื้อวัสดุที่ใช้ถมในราคาถูกไม่ได้

ในการออกแบบวิธีถ่วงน้ำหนัก จะต้องวิเคราะห์หาเสถียรภาพของดินถมก่อน จากนั้นจึงคำนวนหาน้ำหนักที่จะใช้ถ่วงโดยประมาณจากโมเมนต์ต้านที่จะไม่ทำให้เกิดความพิบัติของดินถม ด้วยการเลื่อนตัวเป็นวงกลม แล้วจึงหารูปร่างหน้าตัดของดินถมที่ใช้ถ่วง พร้อมทั้งน้ำหนักด้วย



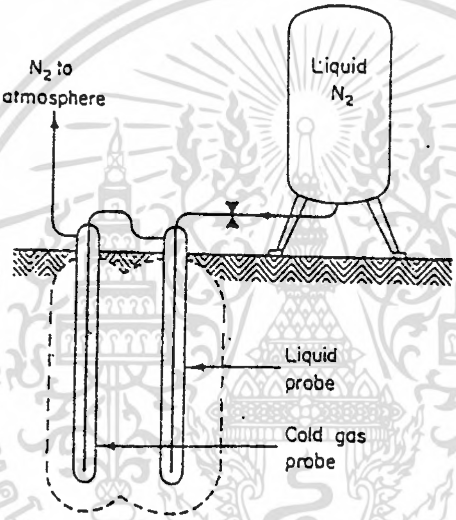
รูปที่ ผ57 วิธีถ่วงน้ำหนัก

3.8. วิธีเยือกแข็ง (GROUND FREEZING)

เป็นวิธีที่ใช้ท่อเหล็กกลุ่มหนึ่งเรียกว่า ท่อเยือกแข็งผิวในดินฐานราก ท่อเหล่านี้มีของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำอยู่ และช่องว่างของน้ำในดินจะแข็งโดยความเย็นในดินฐานรากบริเวณกลุ่มท่อ ดังนั้นน้ำจะไม่สามารถไหลผ่านดิน และสมบัติทางกลับของดินฐานรากจะดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวอุณหภูมิต่ำที่ใช้ในท่อเยือกแข็ง ได้แก่สารละลายของแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งทำให้เย็นถึง 20-30 °C ที่เรียกว่าน้ำเกลือ หรือ ใช้แก๊สเหลวมีอุณหภูมิต่ำ เช่น ไนโตรเจนเหลว วิธีที่ใช้แก๊สเหลวมีอุณหภูมิต่ำ มักจะใช้สำหรับงานขนาดเล็กที่มีปริมาณของดินที่ต้องให้แข็งตัวน้อยกว่า 200 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ ผ58 GROUND FREEZING WITH LIQUID NITROGEN

ลักษณะทั่วไปของวิธีดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงทางกลของดินเยือกแข็งนั้นดีมาก เช่น ดินอ่อนที่มีความสามารถในการรับแรงอัดประมาณ 0.3 ksc ความแข็งแรงนี้จะเพิ่มขึ้น 130 เท่า เมื่อดินเยือกแข็งมีอุณหภูมิ -10 °C ซึ่งสามารถทำเป็นกำแพงรับน้ำหนักได้ (รูปที่ ผ59)

2. ความสม่ำเสมอของดินเยือกแข็งนั้นดีมาก คือ มีการถ่ายเทอุณหภูมิให้สม่ำเสมอในดินฐานราก ถ้าทำให้เกิดความเย็นต่อเนื่อง ท่อนเยือกแแข็งจะเกิดขึ้นโดยสม่ำเสมอ และจะยังคงรักษาความสม่ำเสมอนี้ไว้ได้แม้ในชั้นที่ประกอบด้วยดินต่างชนิดกัน

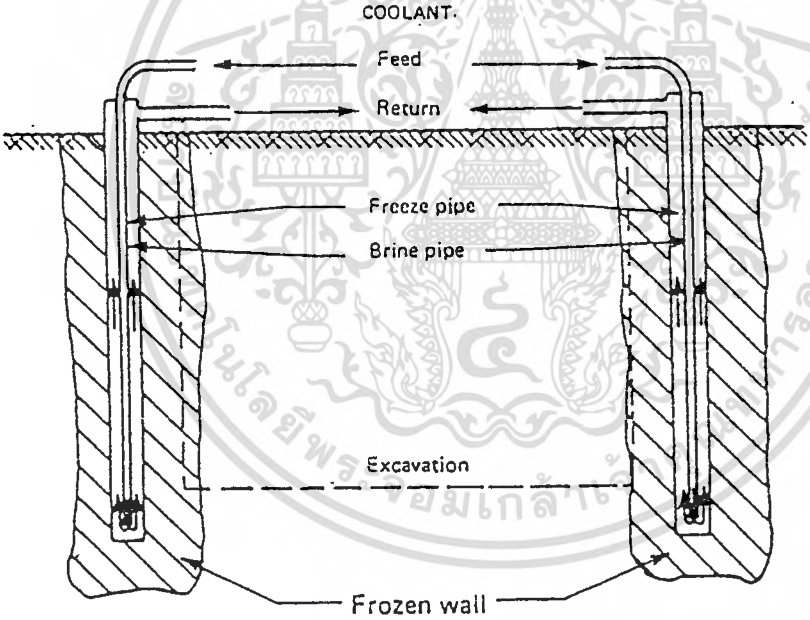
3. ความเร็วในการละลายของดินเยือกแข็งนั้นน้อยมาก ยังคงมีความปลอดภัยเพียงพอแม้เครื่องทำความเย็นจะเกิดขัดข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไม่ทำให้อากาศเป็นพิษ หรือ น้ำใต้ดินมีเชื้อโรค แแต่เครื่องทำความเย็นทำให้เกิดเสียง ซึ่งป้องกันโดยใช้ผนังป้องกันเสียงในห้องเครื่อง

5. น้ำไม่สามารถผ่านดินเยือกแข็งได้เลย

6. เนื่องจากการขยายตัวขณะเยือกแข็ง และการทรุดตัวเมื่อละลายอาจมีผลต่อดินข้างเคียง.จึงจำเป็นต้องระมัดระวังในการออกแบบและการปฏิบัติงาน เพราะการขยายตัวขณะเยือกแข็งจะเกิดในทรายแป้ง รวมทั้งดินเนื้อละเอียดที่ผ่านตะแกรง 20 μ เช่น ดินเหนียว, ดินร่วน



รูปที่ ผ59 GROUND FREEZING LAYOUT FOR AN EXCATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9. วิธี ELECTRO - OSMOSIS

โดยหลักการของวิธีนี้ คือ การทำการผ่านกระแสไฟฟ้าสู่มวลดินที่อยู่ระหว่างขั้ว ELECTRODES ด้วยกระแสดังกล่าวจะทำให้น้ำในมวลดินเกิดการเคลื่อนที่จากขั้ว ANODE ไปสู่ขั้ว CATHODE จากนั้นก็จะได้ทำการสูบเอาน้ำที่ไหลมาสะสมที่ CATHODE ออก ผลที่ได้คือดินสามารถระบายน้ำออกไปได้ในเวลาที่รวดเร็ว

กระบวนการ ELECTRO - OSMOSIS เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในช่องว่างภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า ELECTRO - DRAINGE โดยจะเกิดขึ้นกับดินเนื้อละเอียด มีผลทำให้เกิดการทรุดตัวของมวลดิน และเป็นการเพิ่มค่า UNDRAIN SHEAR STRENGTH เทคนิคนี้จะใช้ในการปรับปรุงดินที่อยู่ในสภาพ LOCAL ตามธรรมชาติ

กระบวนการ ELECTRO - OSMOSIS นี้บางครั้งอาจใช้ในการผ่านของสารเคมีเข้าสู่มวลดิน โดยอาศัยการซึมผ่านอย่างช้าๆ ทิศทางของสารเคมีขึ้นอยู่กับทิศทางในการเคลื่อนที่ของอิออนภายใต้สนามไฟฟ้า ในเทอมของ ELECTRO - INJECTION หรือ ELECTRO - CHEMICAL สารเคมีจะผ่านสู่มวลดิน โดยผ่านทางขั้วบวก โดยไม่ทำให้โครงสร้าง และปริมาณของดินเปลี่ยนไป โดยมีผลทำให้กำลังของดินสูงขึ้น

ในเชิงวิศวกรรมการนำวิธีการ ELECTRO - OSMOSIS มาใช้นั้นจะทำก็ต่อเมื่อวิธีการทาง MECHANICAL OF HYDRAULIC ไม่สามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการทดสอบประสิทธิภาพของวิธี ELECTRO - OSMOSIS ภายใต้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของ STRENGTH และคุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนไป โดยสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยมีค่าสูงสุดที่ขั้ว ANODE และลดลงจนเป็นศูนย์ที่ขั้ว CATHODE จากลักษณะดังกล่าวทำให้ทราบว่า แรงดันน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดนั้นๆ

2. การเพิ่มค่าของ UNDRAIN SHEAR STRENGTH และลดลงของค่าปริมาณความชื้นในดิน ที่ระยะเวลาไม่เกิน 2000 นาที พบว่าค่า SHEAR STRENGTH เพิ่มขึ้นถึง 172% และปริมาณความชื้นจะลดลง 50% ในดินเหนียว GLOUCESTER ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 V.

3. จากการสังเกตุพฤติกรรม STRESS - STRAIN ใน SOFT SENSITIVE DAY พบว่ากระบวนการ ELECTRO - OSMOSIS ทำให้เกิดการเพิ่มของ UNDRAIN MODULUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทำให้เกิดการลดลงของ ดัชนีการแตกหักและค่าความไวของดินนั้นแสดงให้เห็นว่าปฏิบัติการทางไฟฟ้าไม่เพียงแต่จะเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของดินอีกด้วย

4. การเพิ่มขึ้นของค่า STEAR STRENGTH และการลดความไวของดินเหนียวลงเป็นผลที่เกิดจากการช่วยยึด PARICAL เล็กๆของดินเหนียว เนื่องจากมีการเกิดขึ้นของ CARBONATE และ SALINITY จากกระบวนการ ELECTRO - OSMOSIS

ในความเป็นจริง การน
สามารถใช้วิธีการอื่นมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินให้เป็นที่น่าพอใจได้ว่าจะด้วยเหตุผลก็ตาม

3.10. GROUTING หรือ INJECTION PROCESS

เป็นกระบวนการที่อัดฉีดส่วนผสมของวัตถุ GROUT ซึ่งเป็นของไหลเข้าไปใน FOUNDATION (ดิน หรือ หินใต้ฐานราก) ภายใต้ความดันที่เหมาะสมกับชนิด คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของวัสดุ GROUT ต่อ FOUNDATIONS นั้น เพื่ออุดรอยต่อ รอยรั่ว รอยแตก เชื่อมให้มวลของ FOUNDATION เป็นเนื้อเดคียวกัน เป็นการเพิ่ม STRENGTH และ STABILITY ให้แก่ FOUNDATION และลดหรือกันไม่ให้น้ำไหลซึมผ่านบริเวณ FOUNDATION นั้น

ในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่ต้องมีการเปิดหน้าดินให้ลึกและกว้าง น้ำใต้ดินอาจจะไหลเข้าท่วมบริเวณนั้นทำให้ไม่สามารถทำงานได้ หรือบริเวณพื้นดินอ่อน เมื่อตัดลงไปลึกๆ ก็จะเกิดการพังทลาย เนื่องจากการ SLIDE ของดิน ทำให้ไม่สามรถทำการก่อสร้างได้แม้ว่าจะได้ใช้วิธีการอื่น เช่น ค้ำยัน SHEET PILE แล้ว แต่เนื่องจากน้ำใต้ดินอาจทะลักเข้าทางข้างล่างได้ วิธีการดังกล่าวจึงไม่ได้ผล ดังนั้น CHEMICAL GROUING จึงได้ถูกนำมาใช้ในการ GROUTED รอบ ๆ บริเวณและพื้นที่ด้านล่างในลักษณะของกล่อง และเป็นการดำเนินงานที่ได้ผลแน่นอน ประหยัด และปลอดภัย

ในการวางแผนที่จะทำการ GROUTING จะต้องทราบคุณสมบัติของวัสดุ GROUT ซึ่งมีทั้งสารที่ใช้ในการ GROUT คือ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ , ดินเหนียว ,สารเคมี ,ยางมะตอย รวมทั้งสารผสม ไม่มีสารใดเหมาะสมสำหรับทุกสถาณการณ์ แต่พื้นฐานของการ GROUT คือ ขนาดของมันต้องเล็กกว่าช่องว่างเพื่ออุดช่องว่าง

ลักษณะการทำงานโดยสรุป คือ เจาะหลุมลงไปในชั้นดินอ่อนแล้วใช้ความดันสูงในระดับ 200 - 400 บาร์ ฉีดน้ำปูนซีเมนต์ที่มีความเข้มข้นพอเหมาะ (ในที่นี้สมมุติให้วัสดุ GROUT คือ น้ำปูนซีเมนต์) เข้าไปผสมกับดินอ่อนในส่วนที่รองรับคันดินถม โดยฉีดผ่านรูเล็ก ๆ ที่เจาะไว้ในแนวนอนใกล้ปลายล่างของก้านเจาะในขณะที่หมุนก้านเจาะขึ้นช้า ๆ เพื่อทำให้การกวนผสมน้ำปูนซีเมนต์กับดินเกิดขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

พฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปฏิกิริยาเคมี HYDRATION ระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ นอกจากจะทำให้เกิดสารเคมีชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะสูงชื่อ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ซึ่งสามารถเชื่อมเกาะเม็ดดินเข้าด้วยกันแล้ว ยังทำให้เกิดสารเคมีอีกชนิดหนึ่งชื่อ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งสามารถเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับเม็ดดินบางส่วนที่มีสารจำพวกซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบได้ต่อไปอีก ปฏิกิริยาเคมีส่วนหลังนี้เรียกว่า POZZOLANIC REACTION จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และมีผลทำให้เกิดสารซึ่งมีคุณสมบัติเชื่อมเกาะเม็ดดินเพิ่มขึ้นอีกส่วนหนึ่งชื่อ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรตซึ่งสาร 2 ตัวนี้จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างเม็ดดินให้สูงยิ่งขึ้น (จากผลการวิจัยของ HERZOG, A. และ MITCHEL.T.K. (1963))

HYDRATION OF CEMENT (TRICALCIUM SILICATE, $3CaO.SiO_2$)

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

POZZOLANIC REACTION

$$3Ca(OH)_2 + 2SiO_2 \rightarrow 3CaO.2SiO_2\ 3H_2O$$

$$3Ca(OH)_2 + Al_2O_3 + 3H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$$

$$CSH = 3CaO.2SiO_2\ 3H_2O$$

$$CAH = 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$$

- มวลดินอ่อนที่อนุภาคของดินมีการจับยึดกันน้อย จะเปลี่ยนสภาพมาเป็นมวลดินแข็ง ซึ่งอนุภาคของดินจับยึดตัวกันแข็งแรงยิ่งขึ้นภายในเวลาเพียง 2 - 4 สัปดาห์

- เมื่อฉีดน้ำปูนเข้าไปในดิน นอกจากจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับชั้นดินอ่อนแล้ว ยังสามารถเพิ่มปริมาตรให้มวลดินส่วนรวมได้อีก 6% โดยประมาณด้วย (เมื่อควบคุมให้ระยะห่างระหว่างจุดที่ฉีดน้ำปูนเป็น 2 เท่าของขนาดเสาเข็มดิน - ซีเมนต์) ปริมาตรส่วนที่เพิ่มขึ้นนี้ ถ้าหากไม่ต้องการกำจัดทิ้งไปจะสามารถใช้ประโยชน์ยกผิวดินในบริเวณที่ได้รับการปรับปรุงได้อีกอย่างน้อย 6 % ของความหนาของชั้นดินที่ปรับปรุงคุณภาพ เช่น ถ้าปรับปรุงคุณภาพชั้นดินอ่อนหนาประมาณ 12 ม. จะยกผิวดินได้สูงขึ้นมาอย่างน้อย 72 ซม. ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในงานถมดินยกระดับถนนลงไปได้อีกมาก

- ค่ากำลังต้านทานรับแรงเฉือนของชั้นดินอ่อน ได้รับการปรับปรุงให้สูงขึ้นถึงระดับดินเหนียวปานกลางถึงแข็งจึงช่วยเพิ่มความมั่นคงของเชิงลาดต่อการวิบัติของโครงสร้างเนื่องจากมีชั้นดินอ่อนใต้ฐานรากขึ้นอีกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

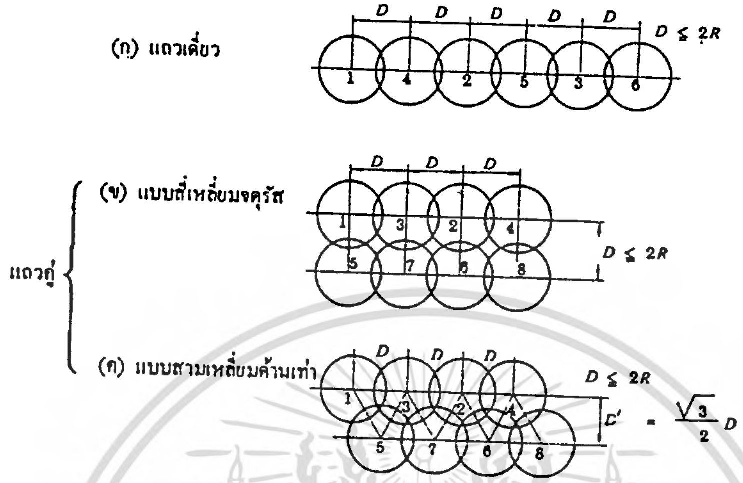
- น้ำหนักของมวลดินซีเมนต์ที่ได้รับการปรับปรุงสภาพขึ้นนี้ จะเบากว่าน้ำหนักของดินก่อนการปรับปรุงประมาณ 10 % จึงมีผลให้น้ำหนักกดทับต่อชั้นดินใต้ส่วนที่ปรับปรุงคุณภาพมีปริมาณต่ำกว่ากรณีที่ถมดินเพื่อยกระดับคันทางตามวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม นอกจากนั้นตัวเสาเข็มดินซีเมนต์ซึ่งแข็งแรงกว่าจะแบ่งรับแรงกดทับไว้เป็นส่วนใหญ่และมีการยุบตัวน้อย ส่วนดินอ่อนที่อยู่ระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์จะรับแรงแต่เพียงส่วนน้อยจึงเกิดการยุบตัวน้อย ดังนั้นปริมาณการยุบตัวของมวลดินโดยรวมในกรอบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วจึงเกิดขึ้นน้อย ด้วยเหตุที่มวลดินในส่วนที่ได้รับการปรับปรุงมีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติการยุบตัวต่ำเมื่อได้รับแรงกระทำจึงส่งผลให้การทรุดตัวโดยรวมของคันดินถมมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในปริมาณที่น้อยมาก โอกาสที่จะเกิดความเสียหายแก่โครงสร้างเนื่องจากการทรุดตัวแตกต่างกันในระยะยาวจึงลดลงมาก

- ผลงานในขั้นสุดท้ายคือ จะได้ดินซีเมนต์ที่มีน้ำหนักเบามีค่า DRY DENSITY ต่ำในระดับเพียง 0.7 - 0.8 ตัน / ลบ.ม. แต่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนถึงระดับ 10 - 30 ตัน /.ตร.ม. ซึ่งเป็นความแข็งแรงที่สูงในระดับ VERY STIFF CLAY ภายในระยะเวลาเพียง 2 - 4 สัปดาห์

- ดินซีเมนต์ที่สร้างขึ้นนี้จะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกตามอายุ และสามารถรักษาความแข็งแรงนี้ไว้ได้อย่างคงทนแม้ว่าส่วนที่ปรับปรุงคุณภาพนี้จะต้องจมอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินภายหลัง

- การอัดฉีดโดยปกติกระทำในแนวดิ่งและในรูปที่ ผ60 ได้แสดงตัวอย่างการจัดแบบหลุมฉีดและวิธีการอัดฉีดให้ดูประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ

R : รัศมีของพิสัยที่สารละลายซึมซาบ

D, D' : ระยะทางระหว่างศูนย์กลางของหลุมอัดฉีด

รูปที่ ผ60 ตัวอย่างวิธีอัดฉีดสารละลายและแบบรูปของหลุมฉีด

เราอาจประยุกต์วิธีนี้ให้เป็นเทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนได้อีกมากมาย เช่น

1. วิธีเสาเข็มปูนขาวหรือเสาเข็มดินซีเมนต์

วิธีเสาเข็มปูนขาว

สำหรับวิธีนี้อาศัยหลักการใส่ปูนดิบ (QUICK LIME) ลงไปในรูที่ทำไว้ในดินเหนียวอย่างเดียวกับเข็มทราย ปริมาณน้ำในดินจะลดลง โดยการย่อยและดูดกลืนของปูนดิบ ทำให้เกิดไฮเดรต และการดูดกลืนตามรูเล็กๆ ยังผลให้ดินฐานรากและลดการทรุดตัว

หลักการ เมื่อปูนขาวผสมกับดินเหนียวที่มีเนื้อละเอียด และมีความชื้นสูงพอสมควรจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า POZZLANIC REACTION ระหว่างปูนขาว (CaO) กับ SILICATE และ ALUMINATE ในดินเหนียว ซึ่งปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดสารใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติยึดเกาะ(CEMENTITIOUS) ขึ้นในดินเหนียว และทำให้มวลรวมของดินมีกำลังต้านทานรับแรงเฉือน(SHEAR STRENGTH) สูงขึ้นด้วย โดยปกติภายหลังที่ผสมดินเหนียวอ่อนเข้ากับปูนขาวแล้วเพียง 1 - 2 ชม. กำลังต้านรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อน (SOFT CLAY) ผสมปูนขาวจะอยู่ในระดับเท่าเทียม หรือสูงกว่ากำลังต้านรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนคงสภาพ (UNDISTURBED STRENGTH) ก่อนผสมกับปูนขาว และกำลังต้านรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนผสมปูนขาวนี้จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไปนานนับปีจนสูงขึ้นกว่ากำลัง

ของดินเหนียวอ่อนปกติไม่น้อยกว่า 10 เท่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ากำลังต้านทานรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนคงสภาพก่อนผสมปูนขาวมีค่าต่ำในขนาด 1 - 1.5 ตัน / ตร.ม. กำลังต้านรับแรงเฉือนก็จะยิ่งเพิ่มในอัตราส่วนที่สูงขึ้น

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนผสมปูนขาวในด้านกำลังต้านรับแรงเฉือนและการเปลี่ยนรูปทรงเมื่อได้รับแรงกระทำ (DEFORMABILITY) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับของดินเหนียวแข็งที่เคยผ่านการกดทับด้วยความกดดันสูงและมีรอยแตกแยกกระจายทั่วไปในมวลดิน (OVERCONSOLIDATION STIFF FISSURED CLAY) ของดินเหนียวผสมปูนขาวยังสูงขึ้นกว่าของดินเหนียวอ่อนปกติประมาณ 100 เท่าด้วย จึงสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุช่วยระบายน้ำออกจากมวลดินได้เป็นอย่างดี

ทำโดยการเจาะสว่าน ซึ่งปลายใบสว่านมีลักษณะคล้ายที่ตีไข่ตีดินเหนียวอ่อนให้เละลงไปจนถึงระดับที่ต้องการ ต่อจากนั้นจะหมุนหัวสว่านกลับทาง พร้อมทั้งดึงขึ้นช้า ๆ ในอัตราประมาณ 2.5 ซม. ต่อการหมุน 1 รอบ และในขณะเดียวกันกับการดึงก้านเจาะขึ้นในอัตราประมาณ 1 เมตร / นาที จะฉีดน้ำปูนขาวข้น ๆ ซึ่งผสมรอไว้ก่อนแล้วลงไปตามรูกลางแกนเจาะแล้วกวนน้ำปูนขาวให้เข้ากับดินเหนียวอ่อนที่ตีไว้จนเละ ปริมาณปูนขาวที่ใช้ผสมดินเหนียวอยู่ระหว่าง 8 - 11 % ของดินเหนียวแห้งโดยน้ำหนัก และการผสมปูนขาวกับน้ำจะผสมในอัตราส่วนประมาณ 1: 1 โดยน้ำหนักก่อนจะฉีดลงไปผสมกับดินเหนียวอ่อน ดังแสดงในรูปที่ ผ60และรูปที่ ผ61

ถึงแม้วิธีการดังกล่าวจะมีข้อดีในแง่ที่ว่า ไม่จำเป็นต้องใช้น้ำหนักบรรทุกในการเพิ่มคุณภาพของดินฐานราก และสามารถให้ผลในระยะสั้น แต่ถ้าเข็มผ่านชั้นทรายมีน้ำ ผลก็จะลดลงอย่างมาก ยิ่งกว่านั้น เมื่อปูนดิบผสมกับน้ำจะปล่อยความร้อนสูงออกมา จึงต้องระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายและเก็บรักษาเป็นพิเศษ

สำหรับวิธีการนี้อาจใช้ปูนดิบอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับทราย หรือวัสดุอื่นเป็นเข็มผสมก็ได้

ปูนดิบจะทำให้เกิดปฏิกิริยาดูดกลืนน้ำ 0-32 เท่า โดยอัตราส่วนน้ำหนัก ในการเปลี่ยนเป็นปูนสุก (SLAKED LIME) ดังสมการ

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2 + 15.6 \text{ K cal / mol}$$

กรรมวิธีของปฏิกิริยาทางเคมีนี้จะทำให้เกิดความร้อนถึง 280 แคลอรี่ต่อกก. และจะขยายตัวโดยปริมาตรถึง 1.99 เท่า แต่ผลที่ได้จากพฤติกรรมดังกล่าว ปูนดิบจะต้องดูดกลืนน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.08 เท่าของอัตราส่วนปริมาตรของดินเหนียวและด้วยเหตุนี้ ตราบเท่าที่ปูนดิบดูดกลืนน้ำจากดินเหนียวเพียงอย่างเดียว จะไม่มีความแตกต่างในปริมาตรทั้งหมด แต่อย่างใด

ปูนสุกทำปฏิกิริยากับแร่มอนต์มอรัลโลไนต์ (MONTMONLLONILE) หรือ ฮัลลอยไซต์ (HALLOYSITE) ในดินเหนียวซึ่งจะทำให้แร่แข็งตัว นอกจากนั้นในช่องว่างของปูนสุกการดูดกลืนน้ำจากดินตามรูเล็กๆ ในบริเวณรอบๆก็จะทำให้ปริมาณน้ำในดินลดลง

สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มปูนขาว ที่ใช้กันมากในปัจจุบันมีขนาดประมาณ 30 - 50 ซม. และลึกมากที่สุดประมาณ 30 ม.ในหลายกรณี ระยะห่างระหว่างต้นมักจะเลือกให้อยู่ในพิสัยประมาณ 0.75 - 1.5 ม.

ในการออกแบบเข็มปูนขาว จำเป็นต้องทราบความดันในการพองตัว , สัมประสิทธิการขยายตัว , ผลการดูดกลืน และความแข็งแรงของเข็มปูนขาว ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของดินภายหลังการปรับปรุงแล้ว

ในการทำเข็มปูนขาว ระยะหัวเข็มประมาณ 1 ม. จะเว้นไว้เปล่าๆ แล้วกลบด้วยดินเหนียว หรือทราย เพื่อป้องกันการลอยตัวของดินเดิม เนื่องจากแรงขยายตัวในแนวดิ่งของเข็มและในขณะเดียวกันเพื่อป้องกันน้ำจากผิวดินไหลลงไปด้วย เนื่องจากปูนดิบปล่อยความร้อนจากปฏิกิริยาการดูดกลืน ดังกล่าวมาแล้ว จึงต้องใช้ถุงมือในระหว่างการทำงานด้วย และจะต้องระมัดระวังอย่างเต็มที่กับอุบัติเหตุที่ปูนขาวจะพ่นความร้อน ขณะดึงกระบอกขึ้น

คำแนะนำเกี่ยวกับเทคนิคที่จะใช้งานเสาเข็มดินผสมปูนขาว

1.วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพดีเมื่อดินมีปริมาณดินเหนียว (CLAY CONTENT) ไม่น้อยกว่า 20% SILT และ CLAY รวมกันควรมีปริมาณมากกว่า 35% และ PLASTICITY INDEX ไม่ควรต่ำกว่า 10%

2. ปฏิกิริยาเคมี POZZOLANIC REACTION จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อค่าความเป็นกรดด่างในดินสูงเกิน 12 และอุณหภูมิค่อนข้างร้อน ซึ่งความร้อนนี้จะช่วยให้เกิดขึ้นได้เมื่อใช้ปริมาณปูนขาวผสมระหว่าง 10 -20 % ของน้ำหนักดินแห้ง แต่ปฏิกิริยานี้จะถูกลดประสิทธิภาพลงถ้ามีก๊าซ CO_2 ผสมอยู่ในดินและจะทำให้กำลังของเสาเข็มที่สร้างลดลงไปด้วย

3. ปูนขาวที่ใช้ผสมกับดิน ควรมีเม็ดละเอียดขนาดไม่โตเกินกว่า 0.2 มม. โดยเฉพาะอย่างยิ่งควรมีปริมาณปูนขาวแท้ (CaO + MgO)ผสมอยู่ในปูนขาวไม่ต่ำกว่า 85%

4. ในกรณีที่ดินมีสารอินทรีย์ผสมอยู่มาก การใช้ปูนขาวก่อนกวนผสมกับดินเหนียวอ่อนอาจไม่ได้ผลดีนัก เพราะสารอินทรีย์ในดินมีส่วนทำให้การพัฒนากำลังแข็งแรงของดินผสมปูนขาวเกิดขึ้นได้น้อย ทางแก้ไขที่พิสูจน์แล้วว่าได้ผลดีคือใช้ GYPSUM ผสมเข้าไปกับปูนขาวก่อนกวนผสมกับดินในอัตราส่วน GYPSUM ต่อปูนขาวอยู่ระหว่าง 1: 1 ถึง 1: 3 แต่ในกรณีนี้พึงควรระวังด้วยว่าถ้ามีโครงสร้างคอนกรีตอื่นอยู่ประชิดบริเวณที่ใช้ GYPSUM กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

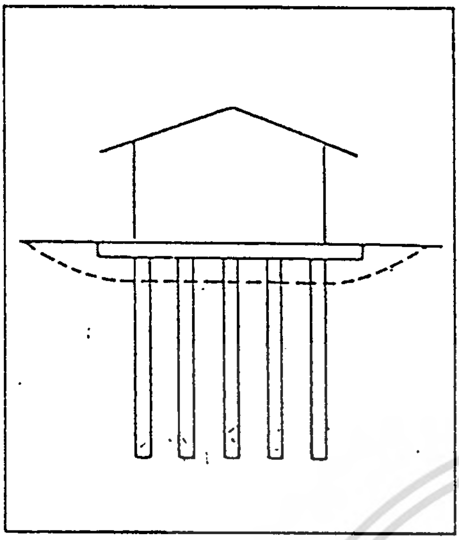
ของคอนกรีตจะตกลงตามเวลาได้ถ้าใช้ซีเมนต์ธรรมดาก่อสร้าง ในกรณีจำเป็นต้องใช้ SULPHATE RESISTANT CEMENT สำหรับโครงสร้างคอนกรีตดังกล่าว ถ้ามีการเติม GYPSUM ลงในปูนขาว

วิธีเสาเข็มดินซีเมนต์

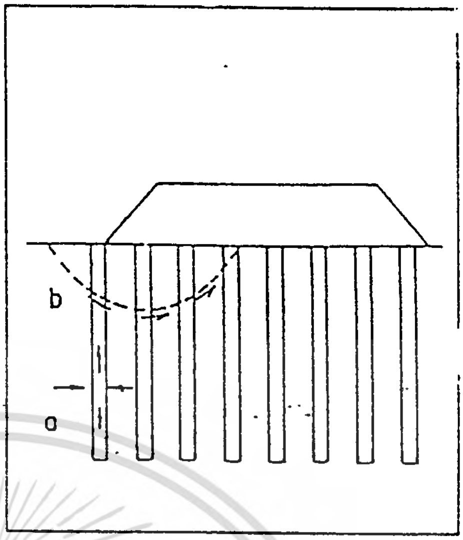
วิธีเสาเข็มดินซีเมนต์มีหลักการคล้ายคลึงกับวิธีเสาเข็มปูนขาว ต่างกันที่เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำงาน และวัสดุที่ใช้ วัสดุที่ได้จากการผสมซีเมนต์กับดินตามธรรมชาติโดยทั่วไปจะเรียกว่าดินผสมซีเมนต์คือใช้ซีเมนต์เป็นตัวทำให้เสถียร

ในการเพิ่มเสถียรภาพของดินด้วยซีเมนต์นั้น ก่อนที่จะออกแบบหาสัดส่วนที่ใช้ผสมจะต้องสำรวจความชื้นในดิน ขนาดเม็ด และความแนบนัยของดิน จากนั้นจึงหาปริมาตรของซีเมนต์ที่จะใช้ผสม จากการหากำลังอัดของดินซีเมนต์ตัวอย่างที่แช่น้ำไว้ ตัวอย่างเหล่านี้ได้จากการบดอัดดินที่ผสมซีเมนต์ด้วยปริมาตรต่าง ๆ กัน โดยใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะที่สุดผสม ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทต่อไป

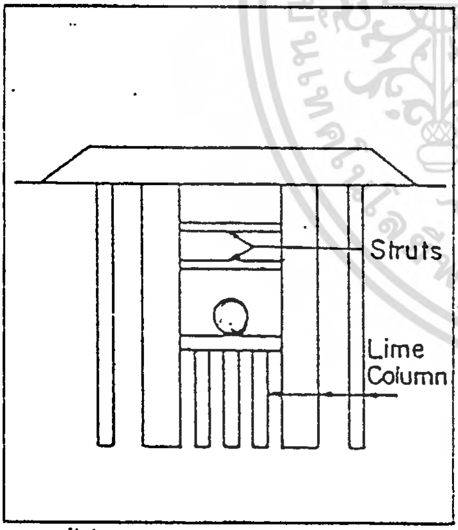
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



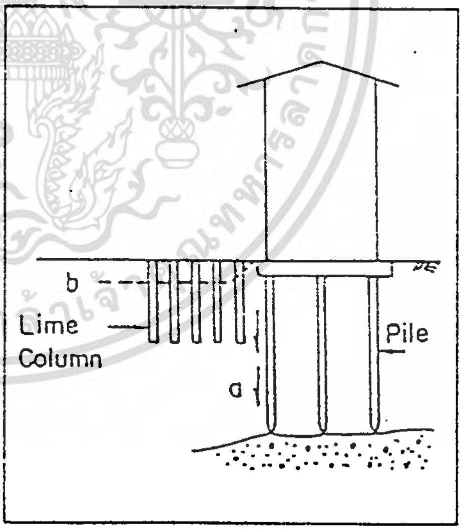
(a) แสดงการติดตั้งเสาเข็มดินซีเมนต์หรือปูนขาว เพื่อช่วยลดค่าการทรุดตัวทั้งหมด และค่าทรุดตัวแตกต่างของอาคาร



(b) แสดงการติดตั้งเสาเข็มดินซีเมนต์หรือปูนขาว เพื่อลดเวลาการทรุดตัว และเพิ่มเสถียรภาพความลาดของคันดินถม



(c) แสดงการติดตั้งเสาเข็มดินซีเมนต์หรือปูนขาว เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพความลาดชันของร่องชุดและงานชุดลึก



(d) แสดงการติดตั้งเสาเข็มดินซีเมนต์หรือปูนขาว เพื่อลดค่า Negative Skin Friction และค่าการทรุดตัวแตกต่างของเสาเข็มหลัก

รูปที่ ผ61 แสดงเทคนิกในการติดตั้งเสาเข็มปูนขาว เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินในกรณีต่าง ๆ

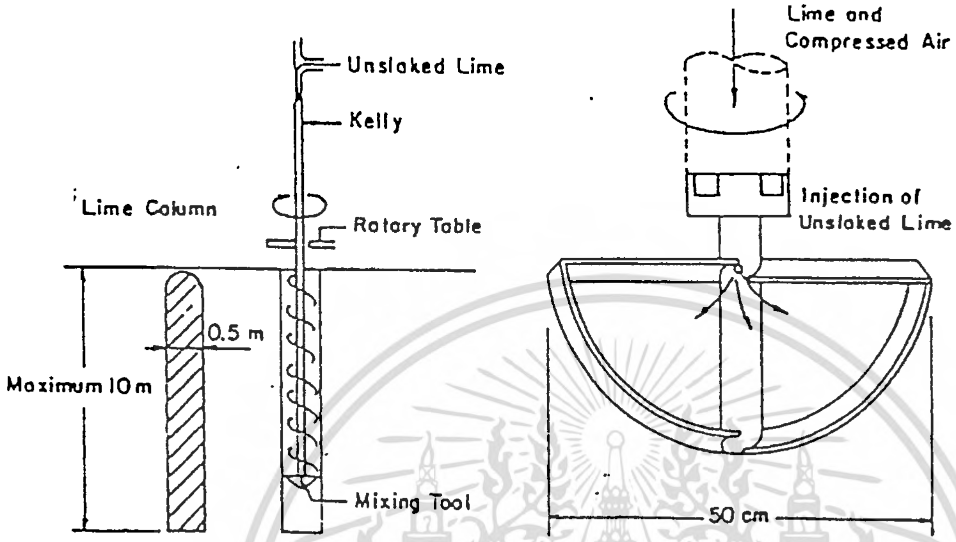
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	วัตถุประสงค์	งานที่ต้องใช้การฉีดน้ำปูน
	การป้องกันน้ำพุในการขุดปล่อง	รอยแตกของหินพื้น, ชั้นที่น้ำซึมได้
	การป้องกันน้ำพุในการขุดอุโมงค์	รอยแตกของหินพื้น, ชั้นที่น้ำซึมได้
การสกัดน้ำ	การป้องกันดินฐานรากและด้านหน้าพังทลาย	ส่วนที่ปิดเปิด, หินที่น้ำซึมได้
	การเจาะทะลุส่วนของอุโมงค์ที่ทลาย	หรือหินกรวดที่ทลาย
	การจำกัดความเร็วของการไหลของน้ำใต้ดิน	ดินฐานรากที่น้ำซึมได้
การปรับปรุงดินฐานราก	การป้องกันน้ำปุด, เดือด และการอูดในการขุดดินฐานราก	ชั้นที่น้ำซึมน้อย
	การเสริมวิสัยสามารถรับแรงชารของดินฐานราก, การกระจายน้ำหนักบรรทุก	ชั้นดินอ่อน
	การลดความดันดินที่มีต่อโครงสร้าง	ชั้นดินอ่อน
การป้องกันการรบกวน	การป้องกันโครงสร้างที่ประกอบขึ้นในบริเวณดินฐานรากที่ถูกขุดออก, การป้องกันส่วนที่เสียหายของแผง	ใต้โครงสร้างที่ประกอบขึ้นและในบริเวณเส้นรอบวงของดินฐานราก
	การป้องกันน้ำรั่วไหลจากโครงสร้าง	ร่องน้ำภายในโครงสร้าง
	การเสริมโครงสร้างเก่า	ส่วนที่ไม่ต่อเนื่องกันของรอยร้าวของโครงสร้าง
	การอุดอุโมงค์ (การอุดช่องว่างหลังอุโมงค์คอนกรีต)	ช่องว่างระหว่างดินฐานรากและอุโมงค์
	การป้องกันดินเลื่อน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

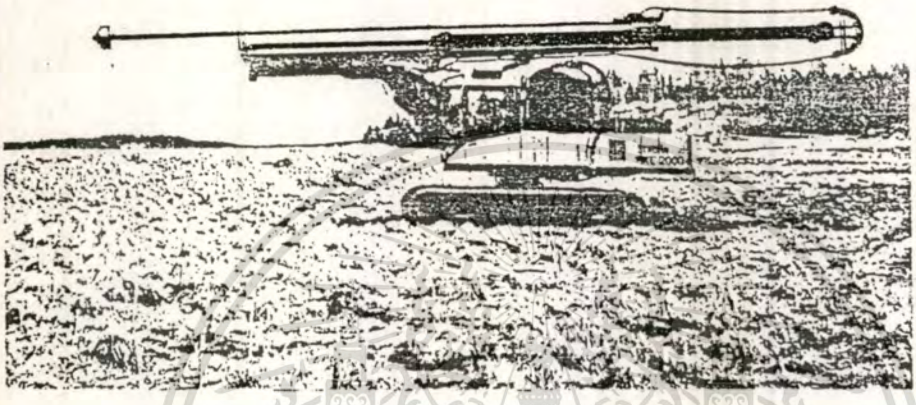
ตารางที่ ผ4 แสดงวัตถุประสงค์และงานที่ต้องใช้วิธีฉีดน้ำปูน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

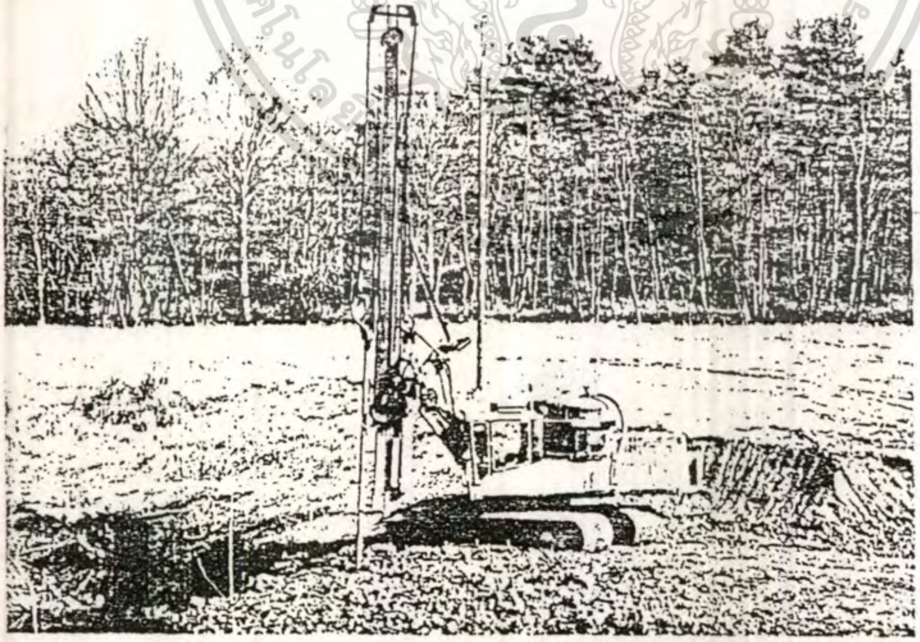


รูปที่ ผ62 แสดงลักษณะการทำงานของหัวเจาะและเครื่องปั่นในการผลิตเสาเข็มปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ระหว่างการเคลื่อนย้าย



(b) ระหว่างการเจาะปั่นผลิตเสาเข็ม

รูปที่ ผ63 ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรในการติดตั้งเสาเข็มปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีผสมในชั้นดินลึก

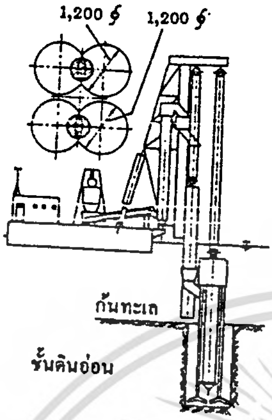
วิธีนี้ใช้ตัวเสถียรคือปูนดิบ หรือ ซีเมนต์กวนผสมกับดินเหนียวในที่ เพื่อให้เกิดความร้อน และการขยายตัว ยังผลให้เกิดการผสมระหว่างปูนดิบและดินคล้ายกับวิธีเข็มปูนขาว

การปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินอ่อนบริเวณก้นทะเล สามารถทำได้ดังแสดงในรูปที่ ผ64 ก่อนอื่นใช้ใบพัดหมุนกวนดินลงไปถึงระยะลึกตามที่กำหนด ต่อจากนั้นใส่ปูนดิบลงไปตามท่อดังแสดงในรูปที่ ผ65 ขณะที่ปูนดิบจำนวนที่ต้องการไหลลงไปใต้ดิน ก็หมุนใบพัด ปูนดิบก็จะถูกกวนและผสมกับดินเหนียว เสร็จแล้วดึงเครื่องมือขึ้น สำหรับใบพัดที่ใช้นั้นอาจเป็นชนิด 2 แกน มีใบพัด 2 ใบ หรือชนิด 4 แกน มีใบพัด 4 ใบก็ได้

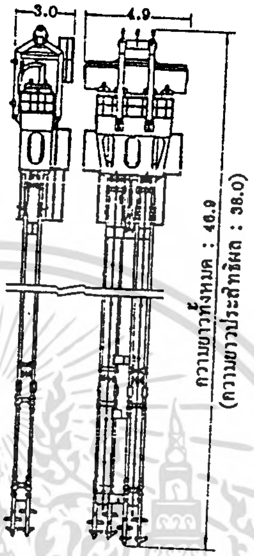
โดยอาศัยวิธีการทำอย่างเดียวกัน อาจใช้น้ำปูนซีเมนต์ หรือ ปูนสอ แทนปูนดิบก็ได้ ในกรณีที่ใช้น้ำปูนซีเมนต์ เป็นตัวทำให้เกิดการแข็งตัวแล้ว ไม่เพียงแต่ดินเหนียวเท่านั้น แม้แต่ดินทรายหรือดินอินทรีย์ก็ใช้ได้ผล

วิธีการนี้ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อปรับปรุงชั้นดินอ่อนของพื้นที่ชายทะเลให้เกิดประโยชน์ แต่อย่างไรก็ดีเท่าที่ทำมาในอดีต ยังไม่ค่อยประสบผลสำเร็จในงานขนาดใหญ่ และยิ่งกว่านั้นพฤติกรรมอันแท้จริงหลังจากทำเสร็จแล้วก็ยังไม่ได้รับการยืนยันสำหรับผลในระยะยาว คงจะต้องใช้เวลานานพอสมควร ที่จะหาวิธีปฏิบัติในการออกแบบที่ยอมรับในแง่ของปฐพีกลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

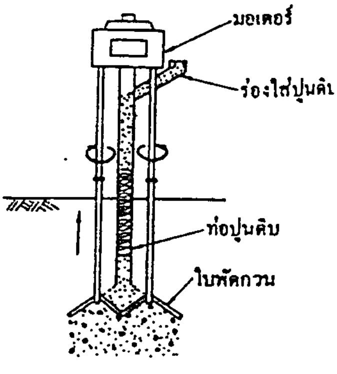


(ก) เครื่องกลใช้ผสมดินเป็นชั้น



(ข) บริภัณฑ์ใช้ผสมดินที่ระยะลึก

รูปที่ ผ64 แสดงวิธีปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินอ่อนบริเวณกันทะเล



รูปที่ ผ65 การผสมและการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ) ข้อกำหนดพิเศษ

การก่อสร้าง DEEP STABILIZATION

ทางสาย บางนา - ชลบุรี (ขาเข้า)

กม. 14 + 177 - กม. 41 + 000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ) ข้อกำหนดพิเศษ
การก่อสร้าง DEEP STABILIZATION
ทางสาย บางนา - ชลบุรี (ขาเข้า) กม. 14 + 177 - กม. 41 + 000

การก่อสร้าง DEEP STABILIZATION เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของดินเหนียวซึ่งเป็นดินเดิม โดยนำสารผสมจำพวกปูนขาวและปูนซีเมนต์ หรือปูนขาวและปูนซีเมนต์รวมกันผสมกับดินเดิม การก่อสร้าง DEEP STABILIZATION นี้จะใช้วิธี WET MIXING หรือ DRY MIXING ก็ได้ ทั้งนี้การ กวนหรือผสมดินกับสารผสมดินที่ระดับต่างๆ ของดินต้องทำให้ดินเหนียวซึ่งเป็นดินเดิมเกิดเป็นแท่งดิน (COLUMN) ที่มีความแข็งแรง มีขนาด และความลึกตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบและข้อกำหนดนี้

1. สารที่ใช้ผสมกับดินเดิม

สารผสมที่ใช้กับดินเดิมจะเป็นปูนขาวหรือปูนซีเมนต์ หรือปูนขาวและปูนซีเมนต์รวมกันก็ได้ ปริมาณของสารผสมนี้จะต้องเป็นไปตามที่แสดงไว้ในตารางที่ ผ5

ตารางที่ ผ5 ปริมาณสารผสมที่ใช้ในการทำDEEP STABILIZATION

สารผสม	ปริมาณที่ใช้ต่อลูกบาศก์เมตรของดินเดิม (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
ปูนขาว	100 - 200
ปูนซีเมนต์	150 - 250
ปูนขาว + ซีเมนต์	150 - 250

1.1 ปูนขาว

ปูนขาวที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

- ปริมาณ CALCIUM OXIDE (CaO) และ MAGANESIUM OXIDE (MgO) รวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 85
- IGNITION LOSS ไม่มากกว่าร้อยละ 10
- อนาคตของเม็ดปูนขาวต้องผ่านตะแกรง ขนาด0.425 มม. (# 40) ร้อยละ 100

1.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ท่ใช้จะต้องเป็นปอร์ตแลนซีเมนต์ประเภท 1 ตามมาตรฐาน มอก.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารผสมจะต้องเก็บไว้ในถังที่มิดชิด ความชื้นไม่สามารถเข้าไปทำให้สารผสมเสียหายหรือเสื่อมสภาพหรือแข็งตัวก่อนที่จะใช้งาน

2. การเจาะสำรวจและการผสมทดลอง

ก่อนเริ่มลงมือทำการก่อสร้างไม่น้อยกว่าหนึ่งเดือน ผู้รับจ้างจะต้องส่งรายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดินเดิมทุกระยะประมาณ 500 เมตร ตามแนวทางขนาน และรายงานผลการผสมทดลองให้ผู้ว่าจ้างพิจารณาเพื่ออนุมัติให้ดำเนินการต่อไปนี้

2.1 การเจาะสำรวจชั้นดินเดิม

การเจาะสำรวจชั้นดินเดิมต้องเจาะสำรวจทุกระยะประมาณ 500 เมตร ตามแนวทางขนาน แต่ละหลุมเจาะมีความลึกไม่น้อยกว่า 20 เมตร และลึกลงไปในชั้นดินแข็ง (ดินเหนียวแข็งหรือชั้นทราย) ไม่น้อยกว่า 3 เมตร ทำการเก็บตัวอย่าง UNDISTURBED SAMPLE โดยใช้ PISTON SAMPLE ทุกระยะ 1.50 เมตร เมื่อดินเดิมเป็นชั้นดินอ่อน (Soft to Medium Clay) และเก็บตัวอย่างพร้อมทั้งหาค่า STANDARD PENETRATION TEST (SPT) โดยใช้ SPLIT SPOON SAMPLER ทุกระยะ 1.50 เมตร เมื่อดินเดิมเป็นดินแข็ง

การทดสอบตัวอย่างดินในแต่ละหลุมเจาะ เป็นดังนี้

- หา NATURAL MOISTURE CONTENT , UNDRAIN SHEAR STRENGTH จาก POCKET PENETROMETER TEST (เฉพาะดินเหนียว) และ SIEVE ANALYSIS สำหรับตัวอย่างดินทุกตัวอย่าง

- หา UNDRAIN SHEAR STRENGTH และ MODULUS OF ELASTICITY จาก UNCONFINED COMPRESSION TEST รวมทั้ง UNIT WEIGHT ของตัวอย่างดินทุกตัวอย่างที่เก็บแบบ UNDISTURBED SAMPLE

- หา LIQUID LIMIT , PLASTIC LIMIT , และ PLASTICITY INDEX จำนวน 4 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดินที่เก็บแบบ UNDISTURBED SAMPLE และ 1 - 2 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดินที่เป็นดินเหนียวแข็ง

- ทำ CONSOLIDATION TEST จำนวน 2 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดินที่เก็บแบบ UNDISTURBED SAMPLE

- หาปริมาณ SODIUM CHLORIDE (NaCl) ของตัวอย่างดิน จำนวน 4 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดินที่เก็บแบบ UNDISTURBED SAMPLE

- หาปริมาณ ORGANIC CONTENT ในตัวอย่างดิน จำนวน 4 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดินที่เก็บแบบ UNDISTURBED SAMPLE

การรายงานผลการเจาะสำรวจดิน ให้แสดงไว้เป็นตารางสรุปผลของการเจาะและทดสอบดินและเป็น BORING LOG ของชั้นดินซึ่งจะแสดงผลของค่าต่าง ๆ ในรูปกราฟของแต่ละหลุมเจาะ พร้อมทั้งแนบผลการทดสอบมาไว้ในรายงานด้วย รายงานนี้จะต้องวิเคราะห์หา

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทรุดตัว อัตราการทรุดตัวและความมั่นคงของคันทางทรายถมเมื่อยังไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพดินเดิม และเมื่อได้ปรับปรุงคุณภาพดินเดิมโดย DEEP STABILIZATION ตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบด้วย คันทางที่ใช้วิเคราะห์จะมีความสูง 2.5 เมตร ต้นทางกว้าง 12.0 เมตร SIDE SLOPE ของคันทาง 2:1 (H : V) และมี LIVE LOAD 10 kPa อยู่บนคันทาง ข้อมูลการสำรวจดินเดิมจากการทำ VANE SHEAR TEST

2.2 การผสมทดลอง

รายงานการผสมทดลองประกอบด้วย การทดสอบเพื่อหา UNDRAIN SHEAR STRENGTH และ MODULUS OF ELASTICITY จาก UNCONFINED COMPRESSION TEST สำหรับของผสม (MIXTURE) ซึ่งได้จากดินเหนียวซึ่งเป็นดินเดิมผสมกับปูนขาว หรือปูนซีเมนต์ หรือปูนขาวและปูนซีเมนต์ รายงานนี้จะต้องอธิบายถึงสารผสมที่ใช้ผสมกับดินเดิม วิธีการผสม ปริมาณสารผสมที่ใช้ วิธีการบ่ม วิธีการทดสอบและให้แนบผลของการทดสอบมาในรายงานด้วย

ผลการทดลองจะต้องแสดงไว้ในตารางและรูปกราฟดังนี้

- ตารางสรุปผลการทดลองประกอบด้วย NATURAL WATER CONTENT ของดินเดิมก่อนทำการผสม WATER CONTENT หลังจากผสมกับสารผสม UNDRAIN SHEAR STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY และ UNIT WEIGTH ของตัวอย่างดินที่ผสมกับสารผสมแล้ว

- กราฟแสดงค่าUNDRAIN SHEAR STRENGTH ของของผสมกับปริมาณสารผสม กราฟแสดงค่าUNDRAIN SHEAR STRENGTH ของของผสมกับเวลาที่ใช้ในการบ่ม

ดินเดิมที่ใช้ผสมกับสารผสมจะต้องเป็นดินเหนียวซึ่งเป็นดินเดิมในสายทางนี้ มีสภาพเช่นเดียวกับในสนาม ให้นำดินเดิมที่ระดับความลึก 3 เมตร 6 เมตร 12 เมตร และ 15 เมตร มาทำการผสมกับสารผสมเพื่อทดลองหาคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ

สารผสมจะต้องเป็นสารซึ่งผู้รับจ้างจะใช้ในการทำ DEEP STABILIZATION ปริมาณสารผสมที่ใช้ในการทำผสมทดลองเป็นดังที่แสดงไว้ในตารางที่ ผ6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ6 ปริมาณของสารผสมที่ใช้ในการทำผสมทดลอง

สารผสม	ปริมาณสารผสมที่ใช้ (kg/m^3)			
ปูนขาว	75	100	150	200
ปูนซีเมนต์	125	150	200	250
ปูนขาวและปูนซีเมนต์	125	150	200	250

ผู้รับจ้างจะทำการผสมทดลองโดยใช้ปริมาณสารผสมแตกต่างที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ ผ6 ก็ได้ แต่อย่างน้อยจะต้องมีการทดลองโดยใช้ปริมาณสารผสมตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ ผ6

การผสมสารทดลองให้ทำเป็นชุดตัวอย่างเป็นชุด ๆ สำหรับปริมาณที่ใช้สารผสมที่ต่างกัน แต่ละชุดตัวอย่างต้องทำไม่น้อยกว่า 15 ตัวอย่าง และนำมาทดสอบ UNCONFINED COMPRESSION TEST เมื่อบ่มตัวอย่างไว้ 1 , 3 , 7 , 14 และ 28 วัน ให้ทดสอบ UNCONFINED COMPRESSION TEST ที่เวลาต่าง ๆ กัน ครั้งละไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง การทำผสมทดลองนี้จะต้องใช้ดินเดิมผสมกับสารผสม สารผสมจะต้องเป็นชนิดและลักษณะเดียวกับที่จะใช้ผสมจริงในสนามดังแสดงไว้ในตารางที่ ผ7

ตารางที่ ผ7 ลักษณะของสารผสมที่จะใช้ทำผสมทดลอง

วิธีการก่อสร้างในสนาม	การทำตัวอย่างผสมทดลอง
WET MIXING	นำ SLURRY ของสารผสมตามอัตราส่วนของน้ำต่อสารผสมที่จะใช้จริงในสนามมาผสมกับดิน
DRY MIXING	นำสารผสมมาผสมกับดินเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมทดลองนี้เพื่อใช้ในการพิจารณาหาปริมาณของสารผสมที่ใช้ในสนาม ค่า UNDRAIN SHEAR STRENGTH ที่หาจาก UNCONFINED COMPRESSION TEST ต้องไม่น้อยกว่า 500 kPa ที่ 28 วัน อย่างไรก็ดีปริมาณสารผสมที่ใช้จริงในสนามจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้ในตารางที่ ผ5

วิธีการทดลอง UNCONFINED COMPRESSION TEST ให้ทำตามวิธีการทดลอง ASTM D 2166 - 85 สำหรับการเตรียมตัวอย่างของการผสมทดลองจะต้องใช้แบบซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 30 มม. สูงไม่น้อยกว่า 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง แบบที่ใช้จะต้องเป็นชนิดซึ่งสามารถถอดจากกันได้โดยที่ไม่รบกวนตัวอย่างดิน การบ่มตัวอย่างดินให้บ่มโดยการคลุมด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำออกจากดินตัวอย่าง

3.วิธีการก่อสร้าง

การก่อสร้าง DEEP STABILIZATION จะต้องใช้เครื่องจักรเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ COLUMN ที่ดีตามที่กำหนดไว้ในแบบ และข้อกำหนด จะต้องมี COMPUTER ควบคุมจากการทำงานจะต้องมีรายงานการทำ COLUMN แต่ละต้นให้ทราบ โดยต้องมี PRINTOUR จากCOMPUTER ที่ใช้ควบคุมรายงาการทำ COLUMN ที่ได้จาก PRINTOUR ในแต่ละต้นจะต้องได้ผลออกมาทันทีที่ทำต้นนั้นๆ แล้วเสร็จจะต้องแสดงความยาวและความลึกของ COLUMNปริมาณสารผสมที่ใช้จริง และปริมาณสารผสมที่เหลือในถังเก็บสารผสม กราฟแสดงปริมาณสารผสมที่ความลึกต่างๆใน PRINTOUT ด้วย

ผู้รับจ้างจะต้องเสนอชื่อเครื่องจักร,เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทำDEEP STABILIZATION ตลอดจน อธิบายวิธีการทำงานของเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้กรมทางหลวงพิจารณาอนุมัติก่อนที่จะดำเนินการไม่น้อยกว่า 2 สัปดาห์ เมื่อผู้รับจ้างได้รับอนุมัติแล้วจะต้องทดลองทำการก่อสร้างในสนามจริงไม่น้อยกว่า 4 ต้นติดต่อกัน ขนาด และความลึกให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบจำนวนไม่น้อยกว่า 3 ต้นเพื่อตรวจสอบความสามารถของเครื่องจักรเครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งวิธีการก่อสร้างด้วย และอีกไม่น้อยกว่า 1 ต้น โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามแบบและความยาวไม่น้อยกว่า 8.0 ม. ปริมาณสารผสมและชนิดของสารผสมที่ใช้จริงจะต้องได้รับการอนุมัติให้ใช้ก่อนดำเนินการซึ่งอาจหาได้จากการทำผสมทดลอง อย่างไรก็ดีปริมาณสารผสมจะต้องไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้ในตารางที่ ผ5 ให้ทำการทดสอบค่า UNDRAIN SHEAR STRENGTH ของ COLUMN ที่ระดับต่าง ๆ เมื่ออายุครบ 3 วันหรือ 14 วัน หรือ 28 วัน ค่าUNDRAIN SHEAR STRENGTH ของ COLUMN ทุกระดับจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 150 kPa หรือ 200 kPa หรือ 300 kPa ตามลำดับ (กรณีใดกรณีหนึ่ง) ให้ถือว่าใช้ได้ นอกจากนี้จะต้องทดสอบหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกของCOLUMN ว่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 95% ของที่กำหนดไว้ในแบบ และความลึกหรือความยาวไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบจึงจะถือว่าใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 WET MIXING

การทำ DEEP STABILIZATION โดยวิธี WET MIXING นั้นจะต้องมีถังสำหรับเก็บสารผสม ถังเก็บน้ำ ปั๊มน้ำ เครื่องผสมและเครื่องสารผสมกับน้ำให้เป็น SLURRY เครื่องเจาะ / ฉีด และผสม SLURRY ลงไปในดิน รวมทั้งอุปกรณ์วัดปริมาณสารผสมที่ใช้ และวัดความดันของ SLURRY ที่ฉีดลงไปผสมในดิน นอกจากนี้จะต้องมีอุปกรณ์วัดอัตราความเร็วของการหมุนและการยกขึ้นของก้านเจาะ หรือท่อเหล็กที่ใช้สำหรับลำเลียง SLURRY ลงไปผสมในดินด้วย

ก้านเจาะ หรือท่อเหล็กที่ใช้สำหรับลำเลียง SLURRY ลงไปฉีดผสมกับดินเดิมนี้จะต้องเป็นท่อนยาวต่อเนื่องเป็นท่อนเดียว มีความยาวไม่น้อยกว่าความลึกของการทำ DEEP STABILIZATION ที่กำหนดไว้ในแบบ อัตราความเร็วในการหมุนของก้านเจาะ และฉีดและการยกขึ้นจะต้องกำหนดในระหว่างการทดลองก่อสร้างจริงในสนาม

สารผสมที่ผสมกับน้ำจะต้องถูกกวนตลอดเวลาเพื่อให้ได้ความข้นสม่ำเสมอ น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำสะอาดปราศจากสารอินทรีย์ ไขมัน และไม่เป็นอันตรายต่อสารผสมที่ใช้ ปริมาณสารผสมต่อน้ำต้องไม่เหลวเกินกว่า 1 : 1.5 และต้องเป็นอัตราส่วนที่ใช้ทำการผสมทดลองและได้อนุมัติให้ใช้ได้แล้วจากผู้ควบคุมงาน ผู้ควบคุมงานจะต้องเก็บตัวอย่าง SLURRY ของสารผสมเพื่อตรวจสอบอัตราส่วนของสารผสมกับน้ำเพื่อให้เป็นไปตามที่ได้อนุมัติให้ใช้ทำงานเมื่อใดก็ได้

สารผสมเมื่อผสมกับน้ำแล้วต้องใช้ให้หมดภายใน 2 ชม. SLURRY ของสารผสมที่ผสมไว้เกินกว่าที่กำหนดห้ามนำมาใช้ ยกเว้นจะใช้สารผสมเพิ่มเพื่อหน่วงเวลาการ SET ตัวของสารผสม แต่ทั้งนี้ต้องได้รับการอนุมัติจากผู้ควบคุมงานก่อน

ปั๊มสำหรับอัดฉีด SLURRY ลงไปในดินจะต้องมีความดันที่สูงพอที่จะฉีด SLURRY ลงไปในดินได้อย่างต่อเนื่อง อัตราการฉีด SLURRY นี้ ต้องไม่น้อยกว่า 100 ลิตรต่อนาที

ถังเก็บสารผสมจะต้องเป็นถังที่มีฝาปิดมิดชิด เพื่อมิให้ความชื้นเข้าไปทำให้สารผสมเสื่อมคุณภาพก่อนที่จะนำไปใช้งาน

มาตรวัดสารผสมและปริมาณ SLURRY ของสารผสมจะต้องมีความละเอียดอ่านได้ถึง 2 กก.

3.2 DRY MIXING

การทำ DEEP STABILIZATION โดยวิธี DRY MIXING นั้นจะต้องมีถังสำหรับเก็บสารผสม ปั๊มลม เครื่องจักรสำหรับหมุนแกนเหล็กที่มีใบผสมที่ปลายรวมทั้งอุปกรณ์วัดปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารผสมที่ใช้อุปกรณ์วัดความดันลม อุปกรณ์วัดความเร็วของการหมุนแกนเหล็ก และใบผสม และอุปกรณ์วัดการยกขึ้นของแกนเหล็กด้วย

เครื่องจักรสำหรับหมุนแกนเหล็กและใบผสมจะต้องสามารถหมุนแกนเหล็กในขณะผสมสารผสมกับดินเดิมด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 140 รอบต่อนาที และอัตราการยกขึ้นของแกนเหล็กและใบผสมจะต้องกำหนดในระหว่างการทดลองก่อสร้างจริง ในสนาม

ใบผสมจะต้องเป็นแบบซึ่งสามารถผสมและกวนดินกับสารผสมให้เข้ากันได้อย่างดี แกนเหล็กซึ่งมีใบผสมอยู่ที่ปลายจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่าความลึกของการทำDEEP STABILIZATION ขนาดของใบผสมจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกไม่น้อยกว่าขนาดของ COLUMN ที่กำหนดไว้ในแบบ ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบผสมต้องไม่มากกว่า 5%

ปั๊มลมจะต้องสามารถให้ความดันลมเพียงพอที่จะฉีดผงสารผสมให้ไหลเข้าไปผสมกับดินเดิมได้อย่างต่อเนื่อง

ถังเก็บสารผสมจะต้องปิดมิดชิดเพื่อป้องกันความชื้นเข้าไปทำให้สารผสมเสื่อมคุณภาพก่อนที่จะงาน ถังเก็บสารผสมจะต้องมีมาตรวัดปริมาณสารผสมที่เหลืออยู่ในถัง และสามาถอ่านได้ละเอียดถึง 2 กก.

4. การทดสอบในสนาม

โดยปกติจะต้องมีการทดสอบหาค่า UNDRAIN SHEAR STRENGTH ของ COLUMN ที่ระดับต่าง ๆและหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของCOLUMN อย่างไรก็ดีการทดสอบหาค่า UNDRAIN SHEAR STRENGTH ของ COLUMN ในกรณีที่ไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร อาจจำเป็นต้องทำ PILE LOAD TEST เพื่อหากำลังรับน้ำหนัก ของ COLUMN ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ควบคุมงาน ในกรณีเช่นนี้ผู้รับจ้างจะต้องทำการตรวจสอบหากำลังรับน้ำหนักของ COLUMN โดยวิธีทำ PILE LOAD TEST เมื่อ COLUMN มีอายุครบ 28 วัน

4.1 การทดสอบหา UNDRAIN SHEAR STRENGTH ของ COLUMN

การทดสอบหา UNDRAIN SHEAR STRENGTH ของ COLUMN กระทำโดยทดสอบทุกระยะไม่มากกว่า 1.0 ม. ตามความลึกของ COLUMN การทดสอบหา UNDRAIN SHEAR STRENGTH นี้ให้ทำเมื่อCOLUMN มีอายุครบ 3 วันหรือ 14 วัน หรือ 28 วัน UNDRAIN SHEAR STRENGTH ของ COLUMN จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 150 หรือ 200 หรือ 300 kPa ตามลำดับ (กรณีใดกรณีหนึ่ง) ให้ถือว่าใช้ได้ อย่างไรก็ดี ที่ทำการทดลองก่อสร้างในสนามจำนวน 1 ต้น เพื่อทดสอบ UNDRAIN SHEAR STRENGTH นั้น จะต้องทำการหาที่ 3 วัน 14 วัน และ 28 วัน โดยค่า UNDRAIN SHEAR STRENGTH ที่ 28 วัน จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องไม่น้อยกว่า 300 kPa จึงจะถือว่าใช้ได้ เกณฑ์ในการปฏิบัติงานกรณีที่มีปัญหา กรมทางหลวงจะเป็นผู้พิจารณาตัดสิน

4.2 การทดสอบหาขนาดของ COLUMN

การทดสอบหาขนาดของ COLUMN จะเป็นการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกหรือความยาวของ COLUMN ที่ทำขึ้นในสนาม เพื่อให้ได้ขนาดตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบ

ผู้รับจ้างจะต้องเสนอวิธีการทดสอบ UNDRAIN SHEAR STRENGTH เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวหรือความลึกของ COLUMN มาให้กรมทางหลวง พิจารณาอนุมัติก่อนที่จะเริ่มก่อสร้างค่าใช้จ่ายสำหรับการทดสอบนี้เป็นภาระของผู้รับจ้าง

ในการหา UNDRAIN SHEAR STRENGTH ของ COLUMN นั้นอาจใช้วิธีต่าง ๆ อาทิ การ Coring เก็บตัวอย่างของผสมขึ้นมาและทดลองหา UNDRAIN SHEAR STRENGTH จากการทำ UNCONFINED COMPRESSION TEST การใช้แผ่นโลหะเพื่อเฉือน COLUMN ให้ขาดตามแนวยาวของ COLUMN และหา UNDRAIN SHEAR STRENGTH การใช้ NON - DESTRUCTIVE TEST เช่น การใช้ SONIC PULSE เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของ COLUMN ซึ่งจำเป็นต้องมี CORRELATION ระหว่างค่าที่วัดได้จากเครื่องมือกับ UNDRAIN SHEAR STRENGTH เป็นต้น สำหรับการหาขนาดของCOLUMN อาจใช้วิธีการต่าง ๆ อาทิ การ CORING เก็บตัวอย่างตลอดความลึกจำนวนไม่น้อยกว่า 4 จุด ในCOLUMN ต้นใดต้นหนึ่ง การดึงCOLUMN ขึ้นมาทั้งต้นเพื่อตรวจสอบการใช้ NON - DESTRUCTIVE TEST เช่น SONIC PULSE เพื่อหาขนาดของ COLUMN เป็นต้น วิธีการหา UNDRAIN SHEAR STRENGTH และขนาดของ COLUMN นั้นจะใช้วิธีอื่นอีกก็ได้ แต่ทั้งนี้จะต้องเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือว่าสามารถนำมาใช้กับ DEEP STABILIZATION และได้รับอนุมัติจากกรมทางหลวงให้ใช้ได้

ผู้ควบคุมงานมีสิทธิที่จะให้ทดสอบหา UNDRAIN SHEAR STRENGTH และขนาดของ COLUMN ต้นใดก็ได้ตามที่จะเห็นสมควร หากมีปัญหาในเรื่องการทดสอบหา UNDRAIN SHEAR STRENGTH แล้วผู้รับจ้างมีสิทธิที่จะขอทำ PILE LOAD TEST ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นได้

4.3 การทดสอบ COLUMN ทดลอง

การทดสอบต่าง ๆ ใน COLUMN ทดลองที่ได้ทำในสนามเป็นดังนี้

- ทดสอบหาขนาดของ COLUMN จำนวน 1 ต้น ตามวิธีการที่ผู้รับจ้างเสนอ
- ทดสอบหาค่า UNDRAIN SHEAR STRENGTH โดยวิธีการที่ผู้รับจ้างเสนอจำนวนไม่น้อยกว่า 1ต้น
- ทดสอบ PILE LOAD TEST จำนวน 1 ต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้