



กระบวนการศึกษาการออกแบบและคำนวณหาอายุของถนนบนดินอ่อน
 Design and Life Calculate of Embankment on Soft Foundation



น.ส.ปนัดดา กสิกิจวิวัฒน์
 Ms. PANATDA KASIKITWAT
 นายยรรยง โพธิ์สุธน
 Mr. YANYONG POTHASUTHON

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
 ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ประจำปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีใช้

034708

Design and Life Calculate of Embankment on Soft Foundation



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

1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

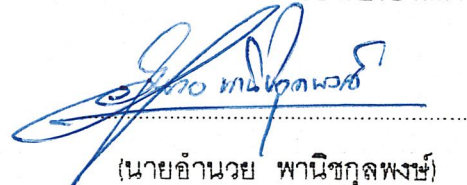
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ กระบวนการศึกษาการออกแบบและคำนวณหาอายุของถนนบนดินอ่อน
(Design and Life Calculate of Embankment on Soft Foundation)

นักศึกษา น.ส.ปนัดดา กลกิจวิวัฒน์ รหัสประจำตัว 34104197
นายบรรยง โปธสุธน รหัสประจำตัว 34105274
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล	
อาจารย์ วิบูลย์ วุฒิญาณ	
อาจารย์ ศิลป์ชัย จานสุวรรณ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


(นายอำนาจ พานิชกุลพงษ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันท เดือน พ.ศ. 2538
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษา และค้นคว้าโครงการพิเศษในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ และช่วยเหลือจากบุคคลหลาย ๆ ท่าน หน่วยงานหลายหน่วยงาน ผู้จัดทำใคร่จะขอนำนามของท่านเหล่านั้นมาปรากฏไว้ ณ ที่นี้ เพื่อเป็นการขอบพระคุณ และระลึกถึง

1. อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และคณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- ให้คำปรึกษา และชี้แนะในการค้นคว้า
2. ดร.ยงยุทธ แต่ศิริ
- กรรณำให้คำปรึกษา แนะนำด้านข้อมูลในการศึกษาค้นคว้า
3. คุณสุชาติ สิริคมลัน
- กรรณำให้คำปรึกษา แนะนำในด้านทฤษฎี และวิธีการวิเคราะห์
4. คุณไพฑูรย์ เกษมสุขภิญโญ
- กรรณำให้ความช่วยเหลือในด้านซอฟต์แวร์
5. กรมทางหลวง เจ้าหน้าที่กรมทางหลวงทุกท่านที่กรรณำเชื้อเพื่อ และอำนวยความสะดวก
สะดวกเป็นอย่างดี

ตลอดจนบุคคลอื่น ๆ ที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่ให้ความสะดวก และช่วยเหลือ
ในด้านต่าง ๆ และที่ขาดเสียมิได้คือบุพการีผู้ให้ความช่วยเหลือในด้านการเงิน และกำลังใจ
ด้วยดีตลอดมา

น.ส.ปนัดดา กลกิจวิวัฒน์

นายयरรอง โภธสุน

5 เมษายน 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	กระบวนการศึกษาการออกแบบและคำนวณหาอายุของถนนบนดินอ่อน
นักศึกษา	น.ส.ปณิตตา กลกิจวิวัฒน์ นายบรรยง โปธสุธน
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2537

บทคัดย่อ

ปัญหาของการก่อสร้างถนนบนดินอ่อน ซึ่งมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ และมีการทรุดตัวสูง สามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบคันทาง ด้วยวิธีการปรับปรุงดินฐานรากให้ดีขึ้น และเร่งการทรุดตัวในช่วงก่อนและระหว่างการก่อสร้าง

ถนนบนดินอ่อนมีการทรุดตัวสูงอยู่ตลอดเวลา อายุถนนจึงถูกจำกัดเนื่องจากการทรุดตัว โดยหากถนนทรุดตัวจนระดับน้ำสูงสุดเท่ากับระดับใต้พื้นทางแล้ว จะถือว่าอายุของถนนนั้นสิ้นสุดลง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องยกระดับถนนให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อยืดอายุถนนให้ยาวนานขึ้น แต่การยกระดับของถนนให้สูงขึ้นทำให้มีแรงกระทำ (เนื่องจากน้ำหนักของดินถม) ต่อดินเดิมสูงขึ้น อัตราการทรุดตัวของถนนก็สูงขึ้นด้วย และหากน้ำหนักที่เกิดขึ้นเกินความสามารถที่ชั้นดินจะต้านทานได้ ก็จะทำให้เกิดการพิบัตหรือเคลื่อนพังในที่สุด การออกแบบอย่างถูกต้อง คือการเลือกความสูงของดินถม และออกแบบระดับก่อสร้างให้เหมาะสม

อายุของถนนบนดินอ่อนนี้ นอกจากจะถูกจำกัดโดยการทรุดตัวของระดับใต้พื้นทางจนถึงระดับน้ำสูงสุดแล้ว การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันมีผลทำให้ความลาดของผิวจราจรจากบริเวณกึ่งกลางไปสู่ไหล่ถนน (Crown Slope) สูญเสียไปอย่างรวดเร็ว มีผลทำให้เกิดน้ำกักขังบนผิวจราจร และซึมลงไปในโครงสร้างของถนน ทำให้ความแข็งแรงของถนนลดลง และอายุของถนนก็สั้นลงเกินกว่าที่ควรจะเป็น

Project Title Design and Life Calculate of Embankment on Soft Foundation
Student Ms. PANATDA KASIKITWIWAT
 Mr. YANYONG POTHASUTHON
Project Advisor Mr. SUPOJ SRINIL
Level of Study Bachelor of Engineering in Construction Engineering
Department Civil Engineering Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year 1994

ABSTRACT

The problem of roads on soft foundation which have low shear strength and high settlement rate can be eased by design the embankment , soil improvement and accelerate the settlement of subsoil before and during construction.

The roads on soft foundation have high settlement rate. Their life are limited by the settlement. If the base level of the roads is settled until it equals to the high water level , it means that the life of roads end. Thus it is necessary to lift up the height of the embankment of the roads to extend their lifes. The more level the roads are lifted up , the higher the settlement rate of the roads are. And if the weight of the embankment is greater than the shear strength of subsoil , the embankment failure will occur. A lot more investigations are needed to set up criteria in designing , construction and maintenance.

สารบัญ (1)

เรื่อง	หน้า
หน้าอนุมติ	ก
กิติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	1
ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ	2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ปัญหาของถนนบนดินอ่อน	3
ปัญหาขณะก่อสร้าง	4
ปัญหาภายหลังการก่อสร้าง	6
3 แนวคิดการออกแบบก่อสร้างถนนบนดินอ่อน	16
คุณสมบัติของดินอ่อน	16
การออกแบบและข้อกำหนดที่ใช้ในการก่อสร้าง	18
ค่าใช้จ่ายสำหรับถนนบนดินอ่อน	21
อายุของถนน	22
ลิมิตของความสูงมากที่สุดของดินถม	22
ลิมิตของความสูงน้อยที่สุดของดินถม	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (2)

เรื่อง	หน้า
ความสูงที่เหมาะสมกับแรงกด	25
ความสูงที่ประหยัด และการเลือกความสูงสำหรับการออกแบบ	26
4 แนวทางการแก้ไข	30
การปรับปรุงคุณภาพของดินฐานราก	30
คุณสมบัติของดินฐานรากที่จะต้องทำการปรับปรุง	30
Geosynthetics	30
Soil Cement	33
แถบใยสังเคราะห์ระบายน้ำในแนวดิ่ง	33
การข่มน้ำรู	40
5 ทฤษฎีและเทคนิคในการวิเคราะห์การทรุดตัวของชั้นดิน	43
ลักษณะการทรุดตัว	43
Immediate Settlement	44
Primary Consolidation Settlement	47
Secondary Consolidation Settlement	53
6 ข้อมูลที่ใช้และการคำนวณหาอายุของถนนบนดินอ่อน	56
อุปกรณ์และวิธีการใช้	56
การทดสอบหาคุณสมบัติของดินด้านกายภาพ และด้านวิศวกรรม	65
การคำนวณ และคาดคะเนพฤติกรรมของดิน	68
ผลการเก็บตัวอย่างดินซึ่งนำมาทดสอบคุณสมบัติของดิน	69
ขั้นตอนการคำนวณ	94
7 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณการทรุดตัว	99
คำแนะนำ	99
ข้อกำหนดด้าน Hardware	99
ประสิทธิภาพของโปรแกรม	99
การทำงาน	99

สารบัญ (3)

เรื่อง	หน้า
8 สรุปผลการคำนวณและการวิเคราะห์	114
ผลการคำนวณการทรุดตัว	114
สรุปผลและวิเคราะห์	123
บรรณานุกรม	127
ภาคผนวก	129



สารบัญภาพ (1)

	หน้า	
ภาพที่ 2.1	แสดงองค์ประกอบโครงสร้างถนน	3
ภาพที่ 2.2	แสดงการเกิด Embankment Failure จากการทรุดของถมดินอย่างรวดเร็ว	5
ภาพที่ 2.3	แสดงข้อมูลการเกิดร่องล้อ (Rut Depth) ของถนนธนบุรี - ปากท่อ	7
ภาพที่ 2.4	แสดงข้อมูลการแบนลงของ Crown slope ของถนนธนบุรี - ปากท่อ	8
ภาพที่ 2.5	แสดงการปรับปรุงผิวถนนให้ระบายน้ำดีขึ้น	9
ภาพที่ 2.6	แสดงการเกิด Tensile Stress ในดินถม	10
ภาพที่ 2.7	แสดงการทรุดตัวของถนน	12
ภาพที่ 2.8	แสดงการทรุดแอ่นตัวของ Crown Slope	13
ภาพที่ 2.9	แสดงรอยร่องล้อที่เกิดจากน้ำหนักรถยนต์	14
ภาพที่ 3.1	แสดงค่าใช้จ่ายของแต่ละช่วงเวลาของถนน	21
ภาพที่ 3.2	แสดงกราฟ Fellenius Chart	23
ภาพที่ 3.3	แสดงความสูงต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณหา Lower Limit Height	24
ภาพที่ 3.4	แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในการคำนวณอายุของถนนที่จะ Design	27
ภาพที่ 3.5	แสดงกราฟผลจากการคำนวณโดยคิด Consolidation Settlement จากน้ำหนักตัวถนนเพียงอย่างเดียว	27
ภาพที่ 3.6	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของอายุถนน และความสูงของดินถม	28
ภาพที่ 4.1	แสดงการทรุดตัวเมื่อไม่ติดตั้ง PVD การระบายน้ำออก ในมวลดินเป็นอย่างช้า ๆ	35
ภาพที่ 4.2	แสดงการ Preload บนชั้นดินเหนียวอ่อน เมื่อใช้ Vertical Drain และใช้แถบ PVD	35
ภาพที่ 4.3	แสดงลักษณะของแผ่นใยสังเคราะห์ (PVD)	36
ภาพที่ 4.4	แสดงขั้นตอนและวิธีการติดตั้ง PVD	38
ภาพที่ 5.1	กราฟ e - log p ของ Soft Clays	49
ภาพที่ 5.2	แสดงค่า C_R , C_o , c_o'	49
ภาพที่ 5.3	การหาค่า C_v โดยใช้วิธี Log - time Fitting	51
ภาพที่ 5.4	การหาค่า C_v โดยวิธี Square - root - time Fitting	52

สารบัญภาพ (2)

	หน้า
ภาพที่ 5.5 การแบ่งช่วง Primary และ Secondary Consolidation Stages (Mesri and Choi , 1985)	54
ภาพที่ 6.1 Surface Settlement Plate และการติดตั้ง	57
ภาพที่ 6.2 Deep Settlement Plate และการติดตั้ง	58
ภาพที่ 6.3 Open Stand - Pipe Piezometer และการติดตั้ง	59
ภาพที่ 6.4 บ่อดักน้ำ (Observation Well)	60
ภาพที่ 6.5 หมุดหลักฐาน (Bench Mark)	61
ภาพที่ 6.6 ชุดเครื่องมือทดสอบ Field Vane Shear Test	62
ภาพที่ 6.7 ชุดเครื่องมือทดสอบ Dutch Cone Penetration Test	63
ภาพที่ 6.8 การหาค่า Young 's Modulus	67
ภาพที่ 6.9 Soil Boring Log	70
ภาพที่ 6.10 ค่า Intact Strength ของชั้นดินจาก Vane Shear Test	72
ภาพที่ 6.11 ค่า Remolded Strength ของชั้นดิน Vane Shear Test	72
ภาพที่ 6.12 ค่า Sensitivity ของชั้นดินจาก Vane Shear Test	73
ภาพที่ 6.13 ค่า Cone Resistance , Q_c ของชั้นดินจาก Cone Penetration Test	74
ภาพที่ 6.14 ค่า Friction Resistance , Q_f ของชั้นดินจาก Cone Penetration Test	75
ภาพที่ 6.15 ค่า Friction - Ratio ของชั้นดินจาก Cone Penetration Test	75
ภาพที่ 6.16 เปรียบเทียบหน่วยแรงที่เกิดจากการจราจร และจากตัวถนน	78
ภาพที่ 6.17 Plastic Chart of Bangkok Clay in the softest area on the Bangkok-Sriracha Highway	86
ภาพที่ 6.18 Vane Shear Strength of the Softest Area	87
ภาพที่ 6.19 Vane Shear Strength of the Softest Area	88
ภาพที่ 6.20 Effective Overburden Pressure and Consolidation Pressure VS. Depth	89
ภาพที่ 6.21 Compression Ratio of Bangkok Clay	90
ภาพที่ 6.22 Coefficient of Consolidation of Pressure above P_c (Holmberg 1977)	91
ภาพที่ 6.23 Coefficient of Consolidation and Permeability VS. Depth	92
ภาพที่ 6.24 Young's Modulus and Shear Modulus VS. Depth	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (3)

	หน้า
ภาพที่ 7.1	แสดงตัวแปรของข้อมูลดิน 100
ภาพที่ 7.2	การเรียกโปรแกรม 101
ภาพที่ 7.3	แสดงหน้าจอเมื่อเข้าสู่โปรแกรม 102
ภาพที่ 7.4	แสดง Menu 103
ภาพที่ 7.5	แสดงหน้าจอเมื่อจะรับข้อมูลใหม่ทั้งหมด 104
ภาพที่ 7.6	แสดงส่วน Data Mode 104
ภาพที่ 7.7	แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Data Mode 105
ภาพที่ 7.8	แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Thickness 105
ภาพที่ 7.9	แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Compression Index 106
ภาพที่ 7.10	แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Void Ratio 106
ภาพที่ 7.11	แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Overburden Pressure 107
ภาพที่ 7.12	แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Preconsolidation Pressure 107
ภาพที่ 7.13	แสดง Menu เพื่อเลือกแสดงผล 108
ภาพที่ 7.14	แสดงผลการทรุดตัวที่กึ่งกลางของถนน 108
ภาพที่ 7.15	แสดงผลการทรุดตัวที่ริมถนน 109
ภาพที่ 7.16	แสดงผลอัตราการทรุดตัว 110
ภาพที่ 7.17	แสดงผล Menu เมื่อสั่งพิมพ์ผลการคำนวณ 111
ภาพที่ 7.18	แสดง Menu เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม 111
ภาพที่ 7.19	แสดง Menu เมื่อเลือกการนำข้อมูลเก่ามาใช้ 112
ภาพที่ 7.20	แสดงข้อมูลจาก Data file 113
ภาพที่ 8.1	แสดงอัตราการทรุดตัวที่บริเวณกึ่งกลางถนน และริมถนนสายธนบุรี - สมุทรสาคร 115
ภาพที่ 8.2	แสดงอัตราการทรุดตัวที่บริเวณกึ่งกลางถนน และริมถนนสายบางนา - บางปะกง 117
ภาพที่ 8.3	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวเมื่อปรับค่า k 122

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3-1	ความแข็งแรงของดินเหนียว	17
ตารางที่ 4-1	แนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายกับถนน	41
ตารางที่ 6-1	คุณสมบัติด้าน Compressibility	76
ตารางที่ 6-2	ผลการทดสอบ Triaxial CIU Test	76
ตารางที่ 6-3	ผลการทดสอบ Field Strength Test	77
ตารางที่ 6-4	ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชั้นดิน	77
ตารางที่ 6-5	เปรียบเทียบค่า Young's Modulus	79
ตารางที่ 6-6	Summary of results from simple shear tests (after Holmberg 1977)	83
ตารางที่ 6-7	Summary of result from triaxial test. (after Holmberg 1977)	84
ตารางที่ 6-8	Summary of Consolidation Test (after Holmberg 1977)	85
ตารางที่ 6-9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า U_v และ T_v	98

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในประเทศไทย ศูนย์กลางความเจริญจะอยู่บริเวณภาคกลางของประเทศซึ่งจะเป็นบริเวณที่มีสิ่งก่อสร้างมากมายรวมทั้งการก่อสร้างถนน ดินในบริเวณภาคกลางนี้เป็นชั้นดินตะกอนที่เกิดใหม่ และยังอ่อนตัวอยู่มาก การพิจารณาปัญหาของการก่อสร้างถนนบนดินอ่อนจึงเป็นสิ่งจำเป็น ปัญหาของถนนบนดินอ่อนที่เกิดขึ้นก็คือ ความเสียหายของโครงสร้างถนน เนื่องจากการทรุดตัวอย่างรวดเร็ว และขณะเดียวกันก็เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันบนถนนด้วยการทรุดตัวจนถึงระดับน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในโครงสร้างของชั้นดิน ทำให้ผิวทางบนถนนแตกร้าวเสียหาย จนถนนใช้การไม่ได้ เสมือนหมดอายุการใช้งาน และหาก Crown Slope แบนลง (ความชันลดลง) เนื่องจากการยุบตัวของดินเดิมไม่เท่ากัน จะทำให้การระบายน้ำบนบริเวณผิวถนนไม่ดี น้ำที่ขังจะซึมลงไปทำความเสียหายในตัวถนน ซึ่งก็ถือว่าถนนหมดอายุเช่นกัน

วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เนื่องจากปัญหาการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของดินอ่อน และการสูญเสียกำลังของถนนในอัตราที่รวดเร็ว ทำให้อายุของถนนสั้นกว่าถนนที่ก่อสร้างบนดินฐานรากที่แข็งแรงมาก การศึกษาในเรื่องนี้ก็เพื่อที่จะได้ทราบถึงแนวทางการคำนวณหาอายุของถนนบนดินอ่อน คุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน การออกแบบถนนบนดินอ่อน เพื่อจะได้รู้ถึงระยะเวลาที่จะต้องทำการบำรุงรักษาถนนให้มีความสะดวกและปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ เพราะหากบนถนนมีน้ำขังอยู่เนื่องจากการระบายน้ำไม่ดี และเนื่องจากน้ำที่ซึมจากใต้ดิน อาจเป็นอันตรายต่อการขับขี่ได้ โดยเฉพาะถนนที่กำหนดความเร็วไว้สูง

ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และวิธีการก่อสร้างถนนบนดินอ่อนเพื่อนำมาวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ที่จะ เกิดขึ้นกับถนนบนดินอ่อน
2. ทฤษฎีการทรุดตัวของดิน วิธี One-dimensional Consolidation Settlement (Terzaghi, 1925)
3. การศึกษาถึงวิธีการคำนวณหาอายุของถนน

ขอบเขตของโครงการพิเศษ

เนื่องจากว่าข้อมูลที่จะต้องใช้ในการวิเคราะห์ต้องใช้เวลายาวนานในการเก็บรวบรวม จึงเลือกถนนตัวอย่างที่จะทำการศึกษาเป็นถนนที่ก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อที่จะได้สะดวกในการนำข้อมูลที่ถูกรวบรวมได้แล้วมาทำการวิเคราะห์ต่อไป ถนนที่เลือกไว้ก็คือถนนบางนา-บางปะกง กม.ที่ 30 และถนนพระรามที่ 2 สายธนบุรี-สมุทรสาคร กม.ที่ 8

วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ

1. รวบรวมข้อมูลดินของถนนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการศึกษา
2. ศึกษาแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบ
3. ใช้โปรแกรม Computer ช่วยคำนวณหาการหลุดตัว และเวลาของการหลุดตัว
4. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณการหลุดตัวที่เกิดขึ้น และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาอายุของถนน
5. ศึกษาถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับถนนบนดินอ่อน

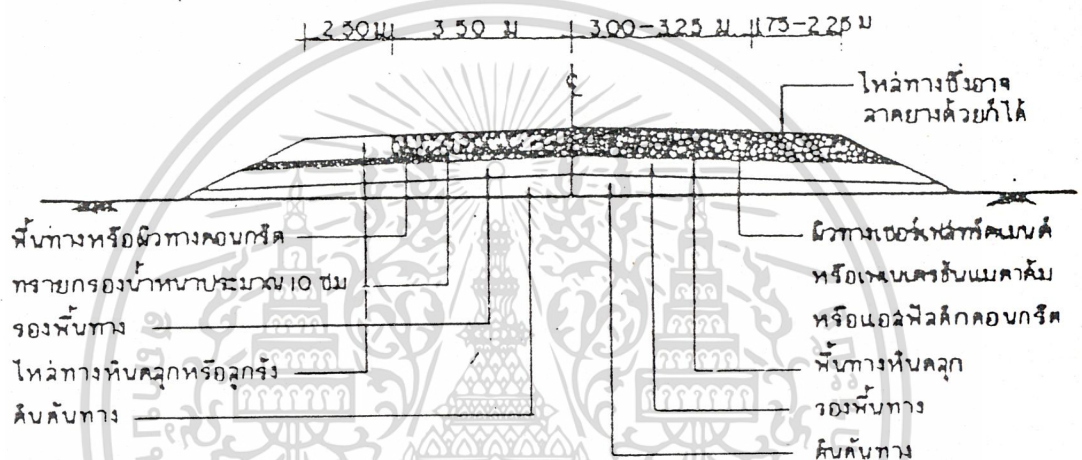
ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปัญหาของถนนบนดินอ่อนและวิธีการแก้ไข
2. ทราบถึงแนวคิดและเทคนิควิธีในการออกแบบถนนบนดินอ่อน
3. ทราบแนวคิดและวิธีการคำนวณหาอายุของถนนบนดินอ่อน

บทที่ 2

ปัญหาของถนนบนดินอ่อน

ปัญหาของถนนบนดินอ่อนมีตั้งแต่เริ่มทำการออกแบบก่อสร้างจนกระทั่งเปิดการจราจรแล้ว การพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างถนน (หมายถึง ดินถมคันทางจนถึงผิวถนน)



ภาพที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบโครงสร้างถนน

หลักใหญ่ในทางด้านกลศาสตร์ก็คือ จะต้องพิจารณาออกแบบให้ทุก ๆ องค์ประกอบในโครงสร้างของถนนมี factor of safety เท่ากันหมด factor of safety ในที่นี้หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังของวัสดุในองค์ประกอบใด ๆ ต่อแรง (stress) ที่เกิดขึ้นในองค์ประกอบนั้น ๆ โดยปกติแล้ว ถ้าดินเดิมเป็นดินที่แข็ง ดังเช่นดินในบริเวณภาคเหนือและภาคอีสานของประเทศไทย การออกแบบเพื่อให้ทุกองค์ประกอบมี factor of safety เท่ากัน ทำได้โดยไม่มีปัญหามากนัก แต่สำหรับการออกแบบถนนบนดินเดิมที่อ่อนตัวมาก เช่น บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางโดยเฉพาะแถวปากอ่าวไทยนี้ ยังมีปัญหาอยู่บ้าง เนื่องจากกำลังของดินต่ำมากทำให้ factor of safety ในชั้นดินเดิมต่ำกว่า factor of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

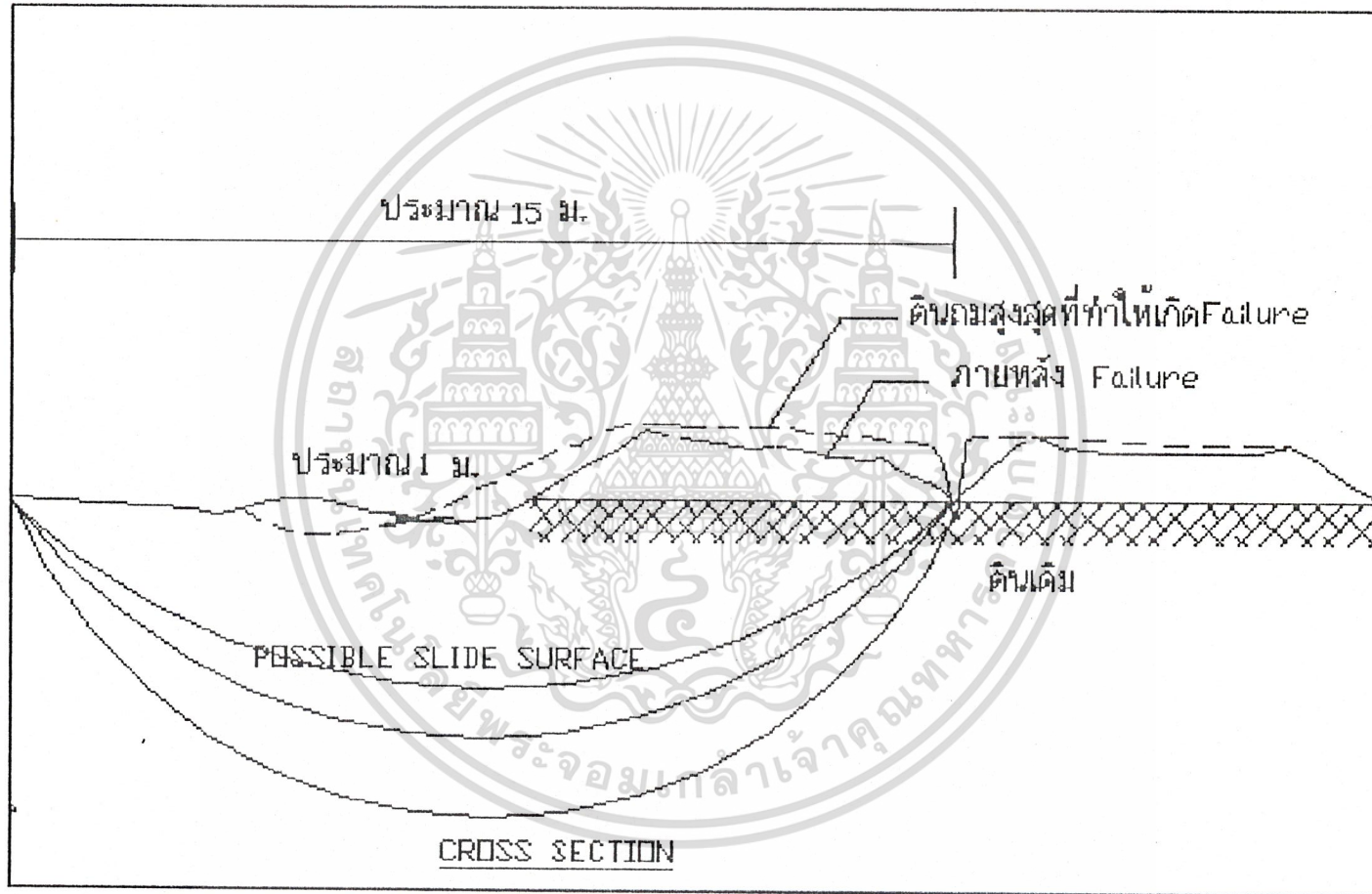
safety ที่คำนวณได้จากองค์ประกอบอื่น ๆ ของถนน และโดยส่วนใหญ่แล้ว factor of safety ที่คำนวณได้อยู่ต่ำกว่าค่าปลอดภัยที่ควรจะเป็น แสดงว่าถนนที่ก่อสร้างบนดินอ่อนส่วนใหญ่จะมีจุดอ่อนอยู่ที่ดินเดิม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือความเสียหายของถนนจะเกิดที่ดินเดิมก่อน แต่เนื่องจากดินเดิมเป็นฐานรากของโครงสร้างถนนทั้งหมด ความเสียหายในดินเดิมนี้อาจส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วย

ปัญหาอันต่อไปก็คือ ปัญหาขณะก่อสร้าง ถ้าการออกแบบเป็นไปอย่างถูกต้อง คือการเลือกความสูงของดินถมและออกแบบระดับการก่อสร้างให้เหมาะสม ปัญหาที่จะเกิดขึ้นในการก่อสร้างก็อาจจะมีบ้างเช่น

1. ปัญหาในการ clear บริเวณก่อสร้างก่อนทำการถมดินเนื่องจากดินเดิมอ่อนมากและระดับน้ำใต้ดินจะขึ้นสูงอยู่เสมอ ไม่สามารถนำเครื่องจักรที่มีน้ำหนักมาก ๆ ลงไปทำงานได้สะดวก และถ้าใช้เครื่องจักรขนาดหนักลงไปทำงานอาจทำให้ดินเดิมบริเวณนั้นถูกกระทบกระเทือนจนกำลังของดินลดลงได้ (เพราะดินบริเวณนั้นส่วนใหญ่เป็น soft clay)

2. ในขณะทำการถมดิน ดินถมในชั้นแรก ๆ ไม่สามารถบดอัดได้เต็มที่ ดินถมในชั้น subgrade ส่วนใหญ่จึงมักถูกกำหนดให้เป็นทราย ซึ่งการบดอัดไม่ต้องใช้เครื่องมือขนาดหนัก เพราะสามารถใช้น้ำรดช่วยการบดอัดได้ แต่การใช้ทรายเป็นดินถม subgrade นี้มีข้อเสีย คือ บริเวณใกล้หน้า slope ของถนนทั้งสองข้าง ดินทรายที่บดอัดแล้วอาจหลวมตัว และถูกกัดกร่อนได้ง่ายเมื่อถูกแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากรถยนต์ และมีฝนตกลงบริเวณผิวหน้า slope โดยมากแล้วจะใช้ดินเหนียวปิดหน้า slope และปลูกหญ้าเพียงเพื่อป้องกันการกร่อนของผิวหน้าเท่านั้น

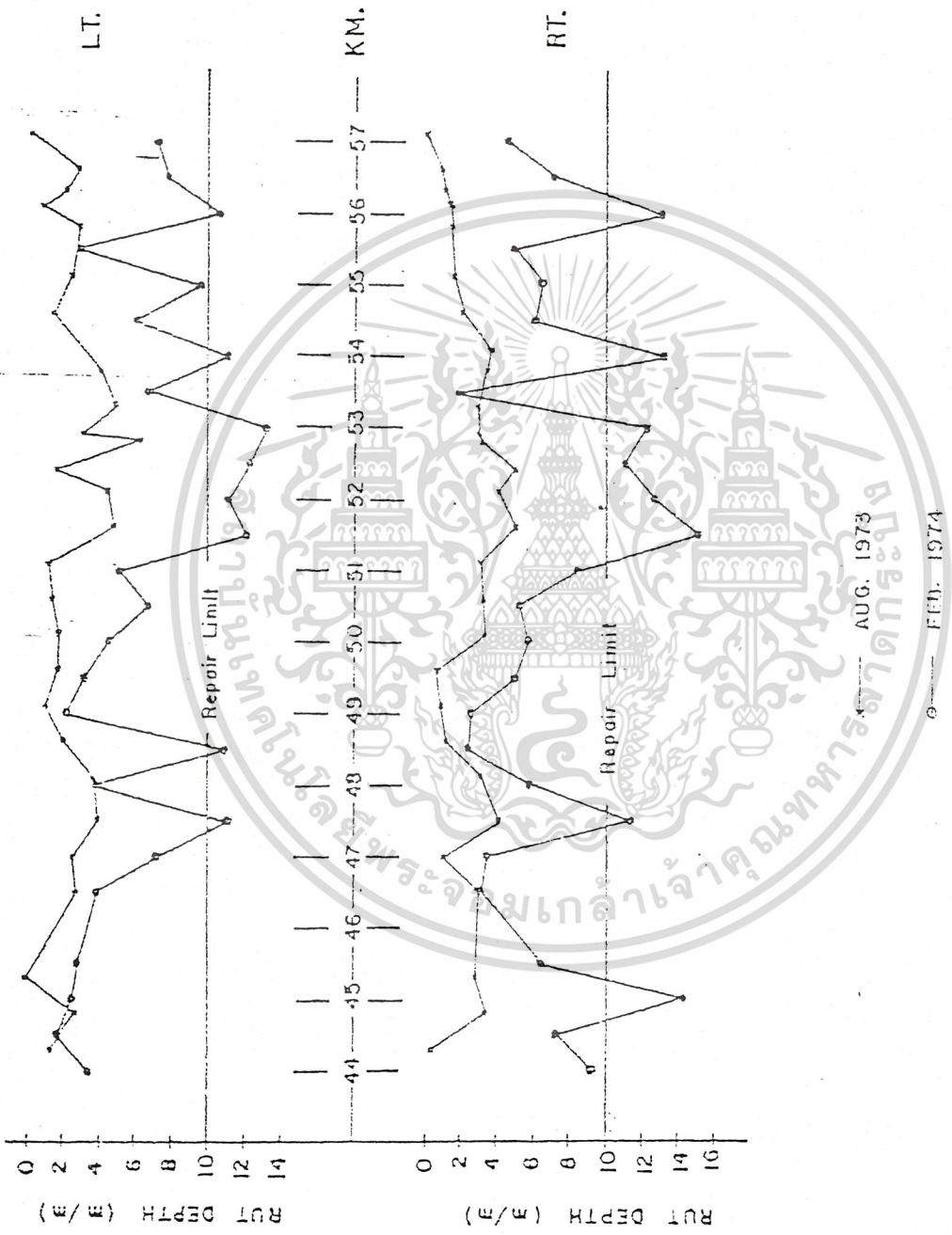
3. ขณะก่อสร้าง ถ้ามิได้ระมัดระวังพอบปล่อยให้มีรถบรรทุกวัสดุวิ่งผ่านหรือกองวัสดุสูงเกินไป หรือทำการไถหน้าเลนในคูข้างถนนไม่ถูกต้อง หรือจัดระดับก่อสร้างผิดพลาด หรือในบางบริเวณดินเดิมอ่อนตัวมากกว่าบริเวณอื่นทั่ว ๆ ไป อาจเกิด slide failure ขึ้นได้ ตัวอย่างของ slide failure ที่เกิดขึ้นในขณะก่อสร้างเนื่องจากสาเหตุดังกล่าวแสดงไว้ในภาพที่ 2.2 เป็นเพียงบางส่วนของ failure ที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2.2 แสดงการเกิด Embankment Failure จากการทรุดลงของดินอย่างรวดเร็ว

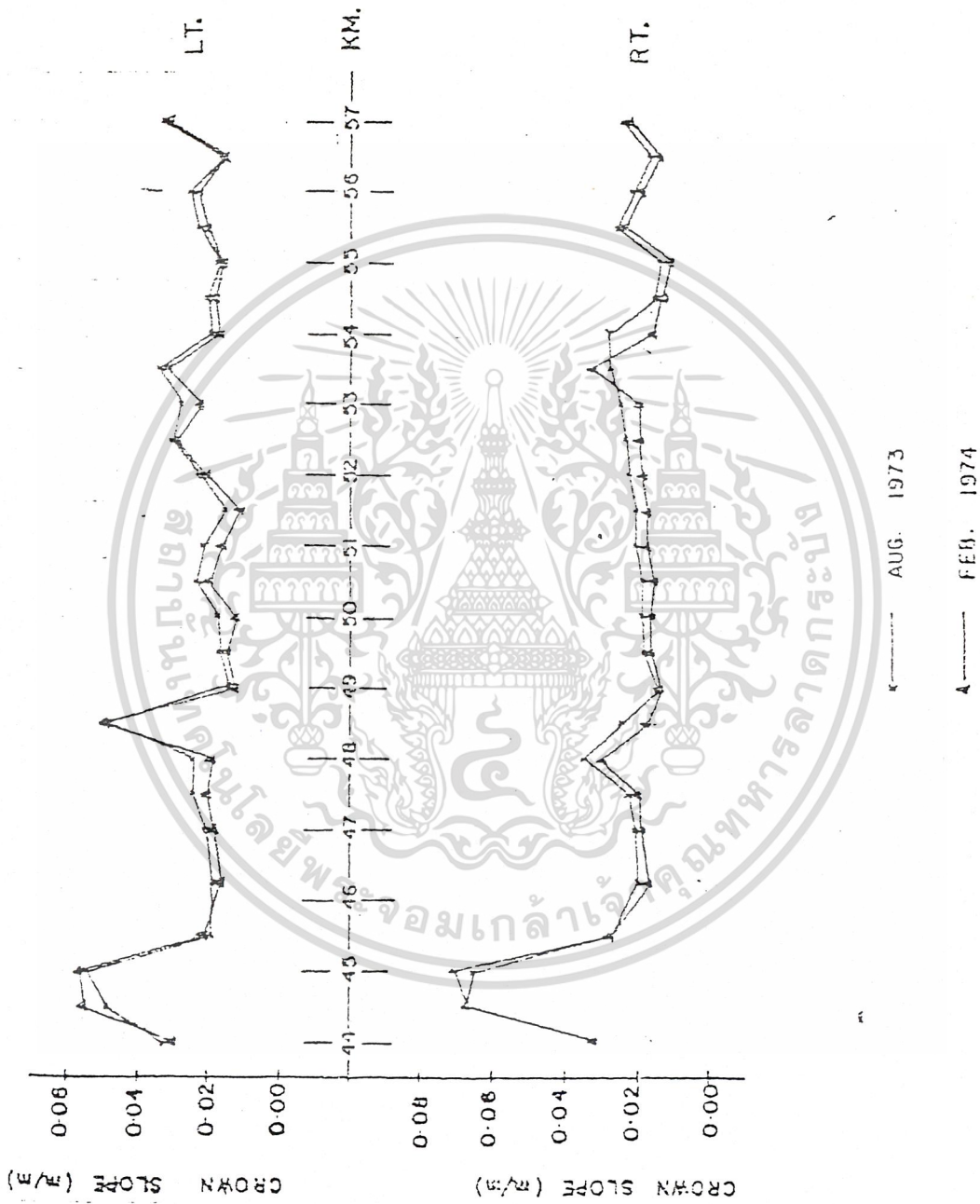
ปัญหาขั้นต่อไปซึ่งเกิดขึ้นภายหลังจากการก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว และเปิดให้มีการจราจรบนถนนแล้ว จะเกิดร่องล้อขึ้นเนื่องมาจากแรงกระทำจากล้อรถบนผิวถนน ทำให้เกิดการยุบและเคลื่อนตัวในดินเดิม (เสียส่วนใหญ่) ถ้าความสูงของดินถมน้อยร่องล้อก็จะปรากฏในอัตราเร็ว แต่ถาดินถมสูง (ความสูงของดินถมที่พอเหมาะจะกล่าวในตอนต่อไป) ร่องล้อก็อาจเกิดขึ้นช้า แต่ปัญหาใหม่ก็จะเกิดขึ้นคือ crown slope จะแบนลงเนื่องมาจากการยุบตัวของดินเดิมไม่เท่ากัน (ตอนกลางยุบมากกว่า) และบางครั้งดินเดิมไหลออกทางด้านข้างถาดินถมสูงมาก ๆ การเกิดของร่องล้อและการแอ่นตัวของ crown slope นี้ ทำให้การระบายน้ำฝนบนผิวถนนไม่ดี บางครั้งมีน้ำฝนขังอยู่ในขณะฝนตก หรือหลังจากฝนตกใหม่ ๆ เป็นอันตรายต่อการขับขี่ (โดยเฉพาะถนนที่กำหนดความเร็วไว้สูง) เป็นอย่างมาก ทั้งน้ำที่ขังสามารถซึมลงไปทำความเสียหายในตัวของถนนได้ การบำรุงรักษาจึงเป็นความจำเป็นจะต้องปรับระดับผิวถนนอยู่เสมอ ตัวอย่างการเกิดร่องล้อ และการแอ่นตัวของ crown slope ที่วัดได้บนถนนสายธนบุรีปากท่อ แสดงไว้ในภาพที่ 2.3 และ 2.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพียงช่วง 1 ปีครึ่ง หลังจากเปิดการจราจรต้องทำการปรับระดับผิวถนนตามแบบดังแสดงในภาพที่ 2.5

จากผลการวัดกำลังของถนนโดยใช้ Benkelman's Beam Deflection Method ปรากฏว่าหลังจากก่อสร้างแล้ว กำลังของถนนที่ก่อสร้างที่ก่อสร้างบนดินอ่อนลดลงในอัตราที่รวดเร็วมาก ผลของการทำ stress analysis โดยใช้ Finite element method ปรากฏว่าการเคลื่อนตัวของดินเดิมออกไปทางด้านข้าง เป็นสาเหตุให้เกิดแรงดึง (tensile-stress) ในตัวดินถม (ดังแสดงในภาพที่ 2.6) เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำถนนส่วนใหญ่รับแรงดึงได้น้อยมาก จึงเกิดความเสียหายขึ้นในองค์ประกอบต่าง ๆ ของถนน กำลังของถนนจึงลดลงในอัตราเร็วกว่าปกติ การซ่อมแซมเพื่อเสริมกำลังของถนนแต่ละครั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการปรับระดับผิวถนนมาก อย่างไรก็ตามการซ่อมแซมโดยการปรับระดับผิวถนนแต่ละครั้งก็สามารถช่วยเสริมกำลังถนนได้บ้าง



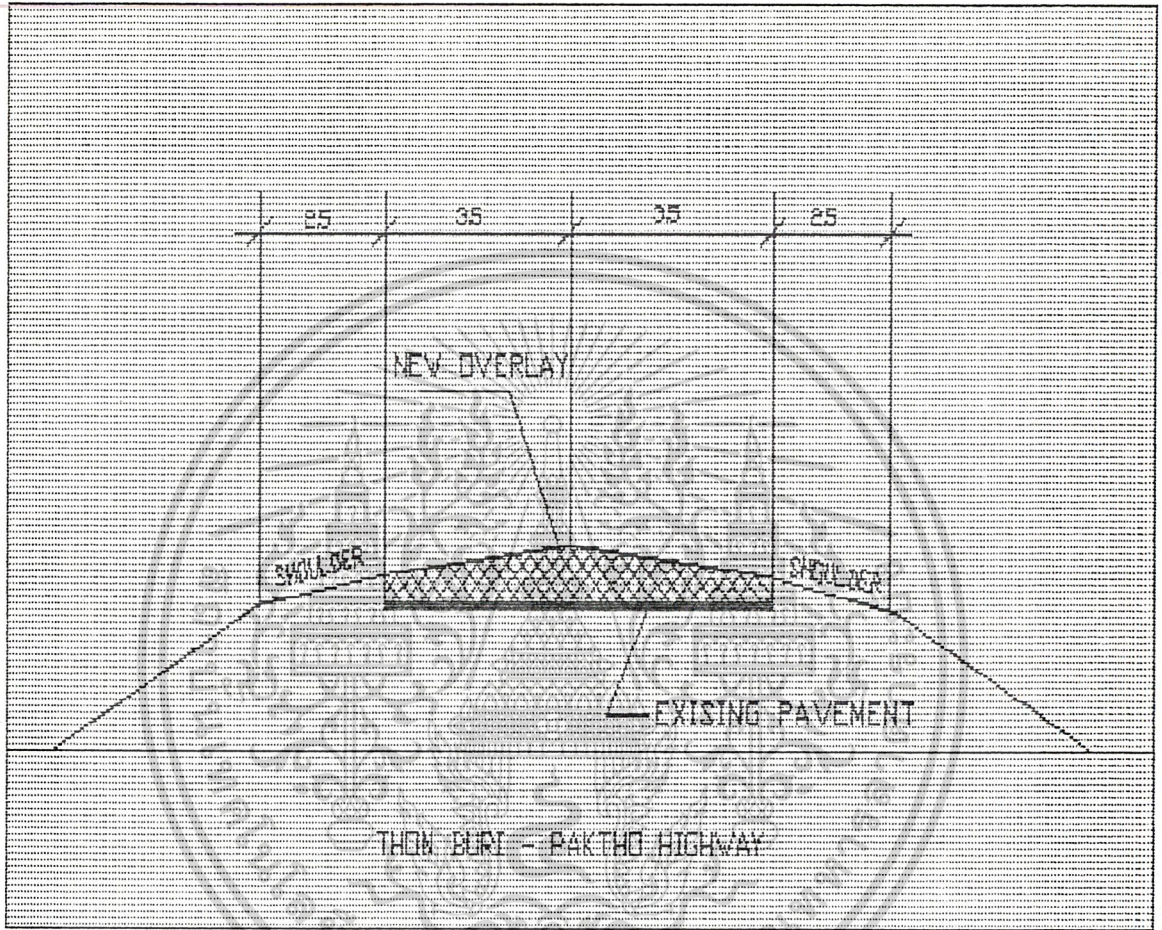
ภาพที่ 2.3 แสดงข้อมูลการเกิดร่องลึก (Rut Depth) ของถนนธนบุรี - ปากท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

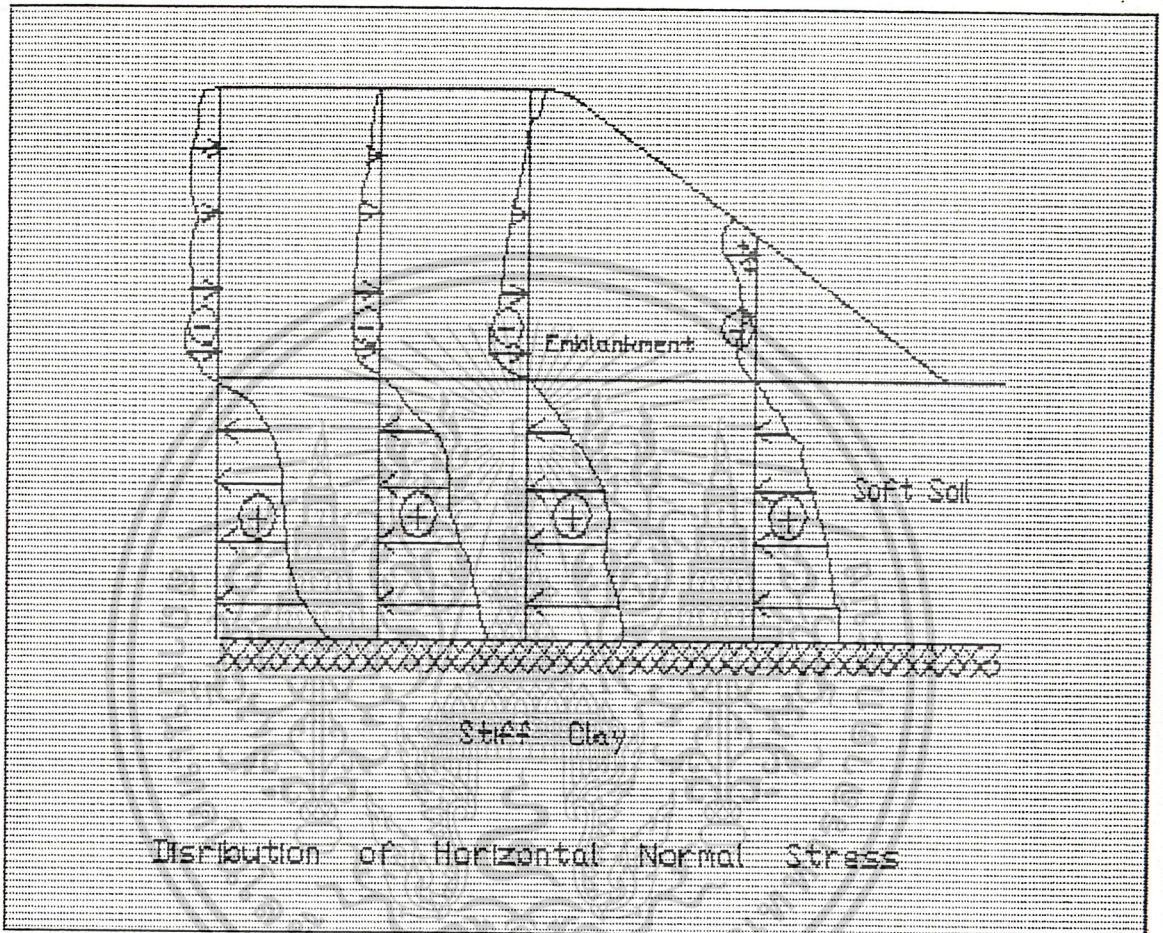


ภาพที่ 2.4 แสดงข้อมูลการแบนตงของ Crown slope ของถนนธนบุรี - ปากท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 25 แสดงการปรับปรุงผิวถนนให้ระบายนํ้าดีขึ้น



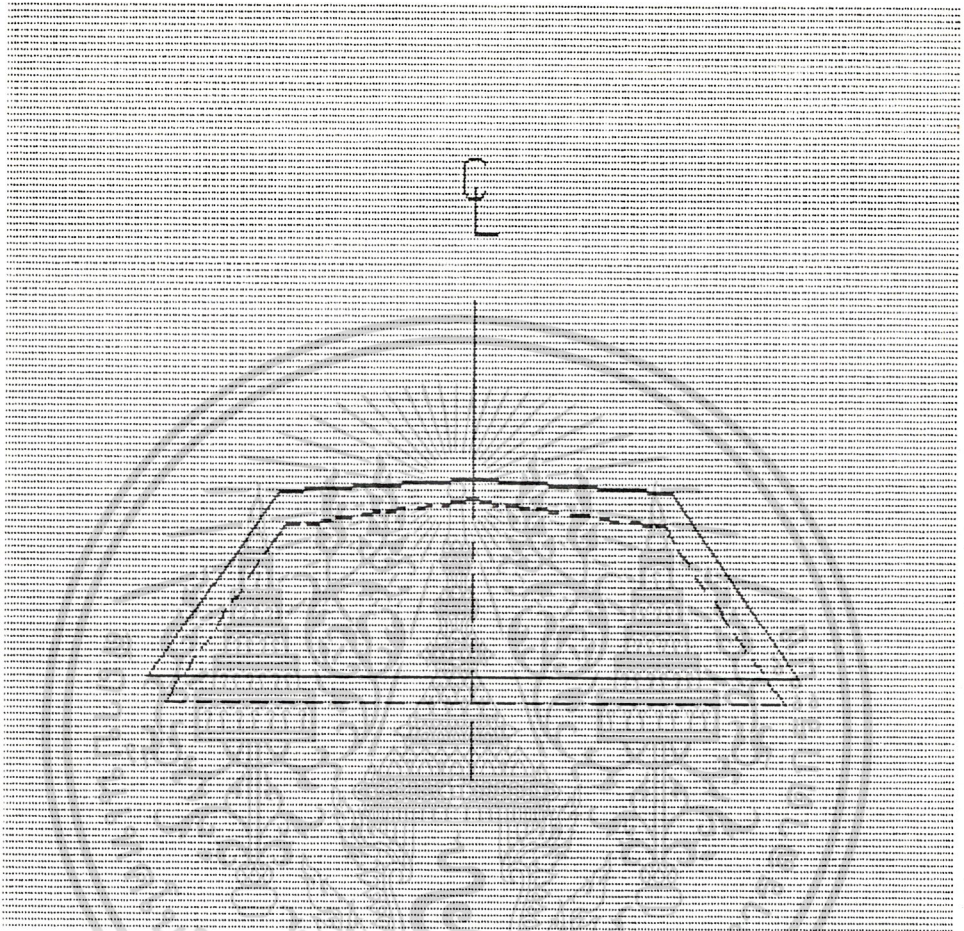
ภาพที่ 2.6 แสดงการเกิด Tensile Stress ในดินถม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่เกิดขึ้นภายหลังการก่อสร้างก็คือ การทรุดตัวของถนนเป็นไปในอัตราสูง อัตราการทรุดตัวมีได้มีที่ต่ำว่าจะลดลง แม้ว่ากากรก่อสร้างจะเสร็จมานานแล้วก็ตาม ทั้งนี้เพราะการทรุดตัวในภายหลังเป็นการทรุดตัวจากแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของรถยนต์รวมกับน้ำหนักของดินถม การทรุดตัวของถนนในอัตราสูงนี้ ทำให้ระดับหลังถนนลดต่ำลงอยู่เสมอ ในที่สุดก็จะทรุดลงต่ำกว่าระดับน้ำที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากความสูงของดินถมไม่สามารถยกขึ้นไปได้สูงจนเกินไปนัก อายุของถนนบนดินอ่อน (ซึ่งมักจะสิ้นสุดเมื่อระดับน้ำสูงเท่าระดับใต้พื้นทาง) จึงน้อยกว่าถนนในลักษณะเดียวกันที่ก่อสร้างบนดินแข็งมาก

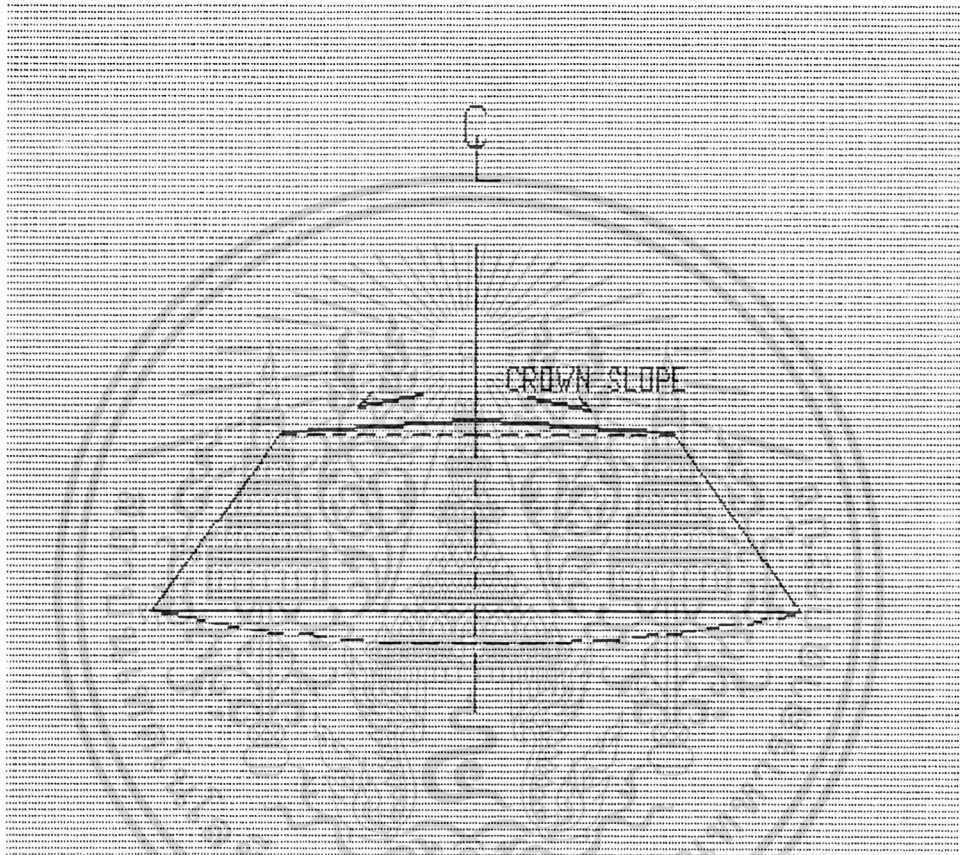
ความเสียหายของตัวถนนที่เกิดขึ้นบนดินอ่อนอันก่อให้เกิดปัญหาแก่ผู้ที่มีหน้าที่บำรุงรักษา และผู้ออกแบบ สรุปได้มีอยู่ 3 ประการ คือ

1. การทรุดตัวของถนน อันทำให้ระดับของหลังถนนลดต่ำลง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเมื่อระดับหลังถนนลดลงมาอยู่ใต้ระดับน้ำในฤดูน้ำท่วม (ดังแสดงในภาพที่ 2.7) อันเป็นการจำกัดอายุของถนน ทำให้อัตราค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนบนดินอ่อนสูงกว่าถนนบนดินแข็ง
2. การทรุดแอนตัวของ Crown Slope อันเนื่องมาจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของตัวถนนในแนวขวางถนน (ดังแสดงในภาพที่ 2.8) ซึ่งโดยปกติแล้วบริเวณที่อยู่ใกล้ Center Line ของถนนจะทรุดตัวมากกว่าบริเวณด้านข้าง การทรุดแอนตัวของ Crown Slope ทำให้การระบายน้ำบนผิวถนนไม่ดี ถ้าเกิดแอนตัวมากจนกระทั่ง Crown Slope กลับทางกับที่เคยก่อสร้าง ว่าจะเป็นการเอียงเก็บน้ำได้ เมื่อฝนตกมีน้ำขังเป็นอันตรายแก่ผู้ใช้ถนน ทั้งยังทำให้น้ำฝนบางส่วนซึมลงไปได้ผิวถนน ทำให้โครงสร้างของถนนบางส่วนเสียหายได้ โดยเฉพาะผิวทางและชั้นพื้นทาง
3. รอยร่องล้อ (Rutting) อันเกิดจากการยุบตัวเนื่องจากแรงกระทำของ Live Load (ดังแสดงในภาพที่ 2.9) ร่องล้อของถนนบนดินอ่อนมักจะเกิดเป็นแอ่งใหญ่ และไม่ก่อให้เกิดการแตกตัวที่ผิวถนนมากนัก แต่จะเป็นที่ขังน้ำได้เป็นอย่างดี ผลเสียก็เช่นเดียวกับข้อ 2.



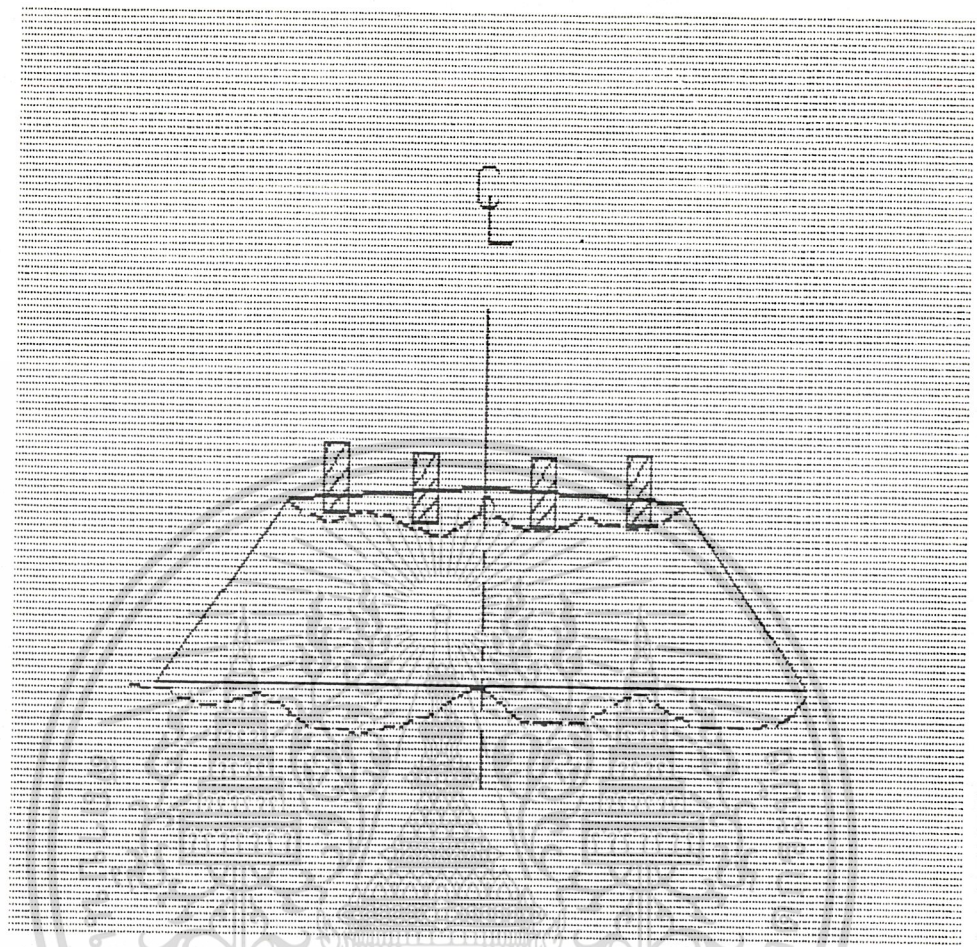
ภาพที่ 2.7 แสดงการทรุดตัวของถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 แสดงการทรุดตัวของ Crown Slope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 แสดงรอยร่องลั่วที่เกิดจากน้ำหนักถยนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังของโครงสร้างถนนส่วนบนลดลงในอัตราที่รวดเร็วมากในระยะแรก การทรุดตัวของถนนในข้อ 1 และ 2 ส่วนใหญ่เป็นการทรุดตัวเพราะน้ำหนักของตัวถนนเหนือระดับดินเดิม หรือ Dead Load มีเพียงบางส่วนของทรุดตัวทั้ง 2 ประเภทเกิดขึ้นเพราะน้ำหนักกระทำจาก Live Load แต่การทรุดตัวในข้อที่ 3 เกิดขึ้นเพราะน้ำหนักกระทำจาก Live Load เพียงอย่างเดียว การทรุดตัวทั้ง 3 ประเภท มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพรังของมวลในดินเดิม 2 อย่าง คือ Shear Deformation และ Consolidation Deformation

ในที่นี้จะศึกษาถึงการหมดอายุของถนนเนื่องจากการเกิดการทรุดตัว และการหมดไปของ Crown Slope เท่านั้น เพราะการเกิดร่องล้อนั้นไม่สามารถจะคาดคะเนได้ว่าจะเกิดขึ้นเมื่อไร เนื่องจากว่าร่องล้อจะเกิดขึ้นจากน้ำหนักของรถยนต์เท่านั้น

ที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นว่า ถนนที่ก่อสร้างบนดินอ่อนส่วนใหญ่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าถนนบนสภาพดินที่ดีกว่า ทั้งนี้เพราะเริ่มตั้งแต่การออกแบบซึ่งต้องการความละเอียดละออและ ผู้มีความรู้ความชำนาญเพื่อทำการสำรวจและออกแบบ เพื่อให้ได้แบบก่อสร้างที่เหมาะสมทั้งราคา และไม่มีข้อเสียมากนัก ถึงกระนั้นก็ตามค่าก่อสร้างก็จะสูงกว่าเช่นกัน เพราะจะต้องมีวิธีการและ รายการพิเศษต่าง ๆ หลายประการ เมื่อก่อสร้างจนใช้บริการได้แล้วต่อมาก็คือบำรุงรักษาซึ่งสูงกว่าปกติมาก นอกจากนี้อายุของถนนก็ยังสั้นกว่าถนนทั่วไป (ประมาณ 1/2 เท่าของถนนบนดินแข็ง) จึงพอประมวลได้ว่าถ้าผลประโยชน์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการสร้างทางบนดินอ่อนแต่ละสายมีไม่มากพอ การลงทุนเพื่อสร้างทางเหล่านั้นอาจจะไม่คุ้มกับทุนที่ลงไปก็ได้

บทที่ 3

แนวคิดการออกแบบก่อสร้างถนนบนดินอ่อน

ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย เป็นที่ราบลุ่มซึ่งเกิดจากดินเม็ดเล็กๆ เช่นพวก Silk และ Clay ตกตะกอนในน้ำทะเลและทับถมกันมาเป็นเวลานานนับเป็นหมื่น ๆ ปี เมื่อระดับน้ำทะเลลดลงก็เกิดผืนแผ่นดินขึ้น ผืนแผ่นดินที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะเป็นชั้นของดินอ่อน ความหนาของชั้นดินอ่อนนี้จะหนามาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับความสูงต่ำของท้องน้ำในอดีตกาล โดยปกติความหนาของชั้นดินอ่อนจะบาง เมื่ออยู่ไกลจากชายฝั่งทะเล และหนามากเมื่ออยู่ใกล้กับชายฝั่งทะเล ทั้งนี้เนื่องจากท้องน้ำลาดต่ำลงสู่ท้องทะเล ดินอ่อนที่เกิดขึ้นนี้จะมีปริมาณน้ำในดินสูง 60-140 เปอร์เซ็นต์ การสร้างถนนบนดินอ่อนซึ่งมีน้ำในดินมากจึงมักประสบปัญหาต่างๆ ตามมา เช่นการทรุดตัวที่สูง การพังทลายของถนน เป็นต้น

ดินอ่อนที่เกิดขึ้นดังได้กล่าวมาแล้วนี้ จะมีเปลือกที่ค่อนข้างแข็งอยู่ด้านบนเปลือกที่แข็งนี้เกิดจากการระเหยของน้ำผิวดินพาเอาแร่ธาตุออกจากมวลดิน การแห้งและการเป็ยกและการขึ้นลงของระดับน้ำใต้ดิน การเจาะสำรวจชั้นดินพบว่า ความหนาของเปลือกที่แข็งนี้จะหนามากขึ้นตามลำดับเมื่ออยู่ไกลจากชายฝั่งทะเลออกไป แสดงว่าดินอ่อนจะมีอายุมากเมื่ออยู่ห่างจากชายฝั่งทะเล เนื่องจากถูกกระทำโดยธรรมชาติ เป็นระยะเวลาานกว่า

คุณสมบัติของดินอ่อน

ดินอ่อนที่เกิดขึ้นนี้จะมีกำลังรับน้ำหนักมากในเปลือกของชั้นดินอ่อน และมีกำลังรับน้ำหนักน้อยที่สุดใต้เปลือกของดินอ่อน หลังจากนั้นกำลังรับน้ำหนักของดินจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความลึก กำลังรับน้ำหนักของดินเหนียวซึ่งหาจาก Unconfined Compressive Strength มักกำหนดไว้ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ความแข็งแรงของดินเหนียว

UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH (T_k)	ความแข็งแรงของดินเหนียว
≤ 2.5	อ่อนมาก
2.5 - 5.0	อ่อน
5.0 - 10.0	ปานกลาง
10.0 - 20.0	แข็ง
20.0 - 40.0	แข็งมาก
> 40.0	แข็งที่สุด

โดยปกติเรามักจะกล่าวถึงกำลังรับน้ำหนักของดินเหนียวเป็นกำลังรับแรงเฉือน (Undrained Shear Strength) ซึ่งจะหาได้โดยการหารค่า Unconfined Compressive Strength ด้วย 2.0 การหาลำกำลังรับแรงเฉือนของดินอ่อนอาจทำได้หลายวิธี เช่น Vane Shear Test, Unconfined Compressive Test, Direct Shear Test, Triaxial Test เป็นต้น ดินอ่อนที่พบมักมีค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit) 25-60 % ค่าขีดเหลว (Liquid Limit) 70-160 % และค่าดัชนีพลาสติก Plastic Index 80-100 % ดินอ่อนมักถูกจัดอยู่ในพวก Clay with High Plasticity (CH) หรือ Organic Clay of High Plasticity(OH)

ดินอ่อนในบริเวณภาคกลางจะมีค่า Preconsolidation Pressure ประมาณ 1.5 เท่าของความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักที่มันถูกกดทับอยู่ การเพิ่มน้ำหนักที่กดทับไปบนดินอ่อนฐานรากนี้ จะเกิดการทรุดตัวมาก เมื่อความเค้นเกิน Preconsolidation Pressure ค่า Compression Ratio ของชั้นดินอ่อนมีค่ามากคือ 0.4-0.9 และค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่านของน้ำ (Coefficient of Permeability) มีค่าต่ำมากคือ 0.005-0.02 เมตรปี ซึ่งแสดงว่าการทรุดตัวของคันทางที่วางอยู่บนดินอ่อน จะมีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลาานาน ค่าคุณสมบัติการทรุดตัวเหล่านี้หาได้จากการทดลอง Consolidation Test ในห้องทดลอง ทฤษฎีเกี่ยวกับการทรุดตัวแบบ Consolidation อธิบายได้คือ เมื่อมี

น้ำหนักกดทับบนดินอ่อน ในขั้นแรก น้ำจะรับน้ำหนักที่กดทับดินไว้ทั้งหมด และจะมีการถ่ายความเค้นที่เกิดขึ้นในน้ำให้กับเม็ดดิน เมื่อน้ำไหลออกไปจากดินทำให้เกิดการทรุดตัวขึ้น การทรุดตัวนี้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องจนความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักกดทับถ่ายไปให้เม็ดดินหมด นั่นคือการไหลออกของน้ำสิ้นสุดลง การทรุดตัวแบบที่เกิดจาก Consolidation นี้ทั้งหมดลงด้วย

คุณสมบัติของดินอ่อนอีกอันหนึ่งที่จะกล่าวในที่นี้คือ Sensitivity ปกติดินอ่อนในภาคกลาง จะมีค่า Sensitivity 4-8 ซึ่งหมายถึงว่าหากมีการรบกวนดินอ่อน จะทำให้ดินอ่อนสูญเสียกำลังรับน้ำหนักไปจากเดิม 4-8 เท่า การปล่อยให้ดินที่ถูกรบกวนทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง ดินอ่อนนั้นจะมีกำลังเพิ่มขึ้นตามเวลาได้ แต่การจะให้มียกกำลังเท่าเดิมดังเช่นที่เป็นอยู่ในธรรมชาตินั้น จะต้องใช้เวลานานมากทีเดียว

การออกแบบและข้อกำหนดที่ใช้ในการก่อสร้าง

การพิจารณาในการออกแบบถนนที่ก่อสร้างบนดินอ่อนมีจุดสำคัญ ๆ ดังนี้

1. ความสูงหรือระดับคันทาง ควรให้ระดับของโครงสร้างทางอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุดไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร และต้องพิจารณาถึงความมั่นคงของคันทางที่จะก่อสร้างที่จะก่อสร้างบนชั้นดินอ่อน
2. ความจำเป็นที่จะต้องให้มีการทิ้งระยะเวลาไว้ เพื่อให้คันทางเกิดการทรุดตัวได้มากที่สุด ในช่วงของการก่อสร้างและเพื่อให้มีการทรุดตัวของคันทาง ภายหลังจากการก่อสร้างแล้วน้อยลง
3. ในกรณีที่คาดว่าจะมีปัญหาเรื่องการพังทลายของคันทางในขณะก่อสร้าง ควรให้ติดตั้งเครื่องมือต่าง ๆ เช่น Piezometer, Settlement Plate, Movement Stake เป็นต้น เพื่อช่วยให้สามารถตรวจสอบ และเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงความมั่นคงของคันทางในขณะก่อสร้างคันทางขึ้นเป็นชั้น ๆ
4. การเปลี่ยนแปลงของ Crown Slope ซึ่งจำเป็นต้องมีการเผื่อ Crown Slope ไว้เท่าที่เคยทำได้คือไม่เกิน 6.5 %
5. ในบริเวณคอสะพาน ควรมีการปรับปรุงคุณสมบัติของดินอ่อน เช่นการตอกเข็มที่เรามักเรียกกันว่า Bearing Unit เพื่อให้การทรุดตัวที่เกิดขึ้นมีน้อยมากที่คอสะพาน และเพิ่มมากขึ้นเพื่อไกลจากคอสะพานออกไปจนเท่ากับบริเวณที่ไม่มีการตอกเข็ม ความยาวของ Bearing Unit จะต้องมากพอเพื่อให้การทรุดตัวมากขึ้นตามลำดับเมื่อไกลจากสะพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การก่อสร้างจะต้องให้มีการรบกวนดินอ่อนน้อยที่สุด โดยการจำกัดน้ำหนักของรถบด หรือเครื่องจักรที่ใช้ทำงานทั้งนี้เพื่อมิให้กำลังรับน้ำหนักของดินอ่อนลดลง ซึ่งจะเป็นอันตรายถึงขั้นที่ คันทางทรุดตัวผิดปกติหรือพังทะลายได้ นอกจากนี้การกองวัสดุบนคันทางสูงเกินไป จะทำให้เกิด การทรุดตัวที่มากเกินไป หรือเกิดการพังทะลายตามมาได้

7. การขุดคูในบริเวณใกล้กับคันทาง จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบด้วย

ดินถมคันทาง (EMBANKMENT)

EMBANKMENT (ดินถมคันทาง) หมายถึง วัสดุอะไรก็ตามที่ยกมาถมบนดินเดิมเพื่อ ให้เป็นรากฐานของพื้นผิวถนน การวัดความสูงของดินถมคันทางจะวัดได้จากระดับผิวดินเดิมจนถึง ระดับผิวถนน

ดินฐานราก (FOUNDATION)

ดินฐานรากของถนนในบริเวณ flat area สามารถแบ่งเป็น 2 อย่างตามความแข็งแรง และความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หนึ่งก็คือดินฐานรากที่แข็งจะเปลี่ยนรูปร่างอย่างช้า ๆ และอีกอย่างหนึ่งก็คือดินที่อ่อนตัวถึงอ่อนตัวมาก จะสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย โดยปกติ แล้วความหนาของชั้นดินอ่อนจะหนาประมาณ 20 ถึง 30 เมตร หรือมากกว่านั้น ดินฐานรากอ่อน สามารถใช้งานได้อย่างดินฐานรากที่แข็ง ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับพิจารณาทางด้านค่าใช้จ่าย โดยกรณี ทั่ว ๆ ไปค่าใช้จ่ายในการใช้งานจะสูงมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อชั้นดินอ่อนนั้นหนามาก

ดินถมคันทางบนฐานรากที่อ่อน

(EMBANKMENT ON SOFT FOUNDATION)

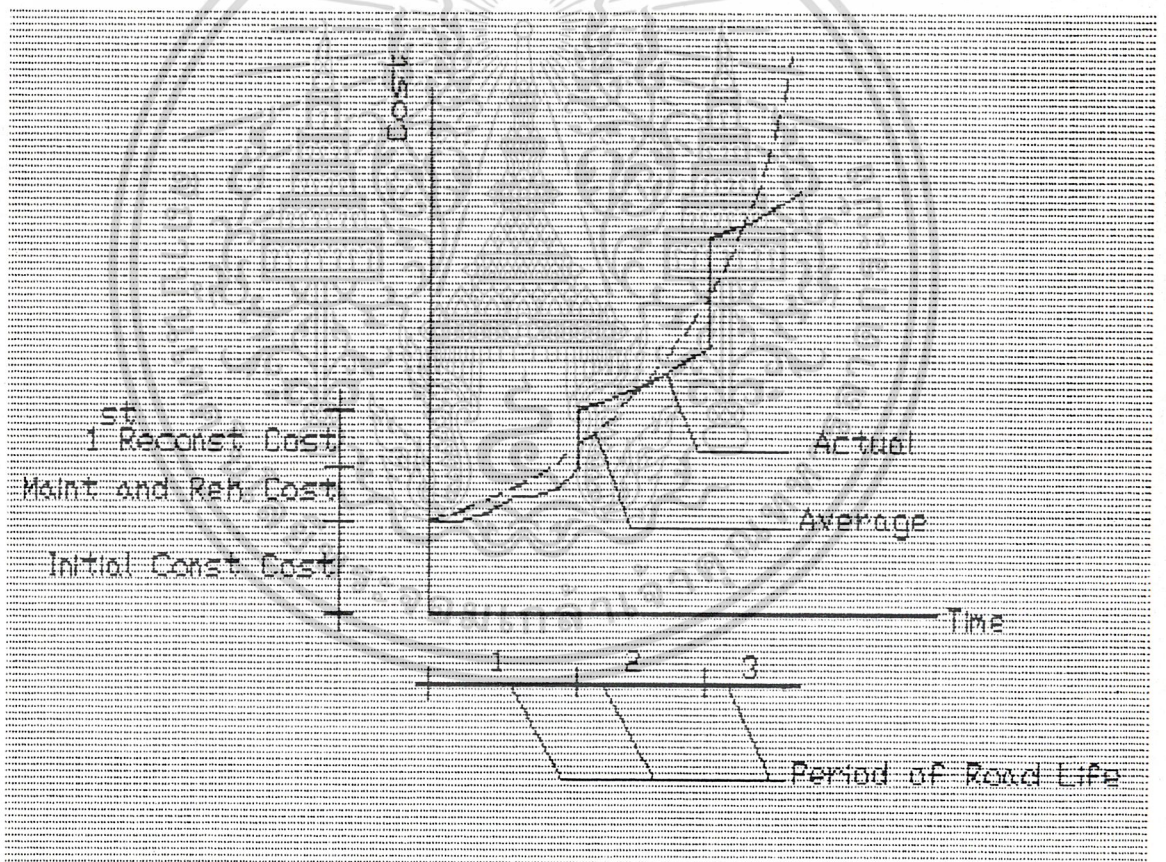
คุณสมบัติของดินฐานรากจะเป็นตัวจำกัดความสูงของดินถมคันทาง (Embankment) และอายุของถนน ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ภายใต้น้ำหนักกระทำต่าง ๆ เช่น น้ำหนักจากการจราจร น้ำหนักจากดินถม มีผลถึงการออกแบบความสูงของดินถมให้เสียค่าใช้จ่ายในอัตราที่ให้ผลดีที่สุด จากการก่อสร้างที่ผ่านมาพบว่าผลกระทบของฐานรากบนดินอ่อนในการออกแบบดินถมคันทาง ก็คือ Deformation และ Creep ของดินเดิม (Soft Subsoil) และพฤติกรรมยืดหดตัวของมัน การ Deformation และ Creep จะทำให้เกิดการทรุดตัวของดินถมคันทางหรือพื้น

ผิวดินเนื่องจากขบวนการยุบอัดตัว และ Shear Deformation ของ Subsoil (ดินชั้นล่าง) และ Tensile Stress ที่เกิดขึ้นในแนวราบในดินถมคันทาง และพื้นถนน (Pavement) เนื่องจากการ Deformation ตามแนวแกนของดินอ่อนชั้นล่าง (Soft Subsoil) การทรุดตัวของดินถมจะค่อย ๆ ทรุดตัวต่ำลงโดยจะมีลิมิตให้ทรุดได้มากที่สุดถึงระดับน้ำที่ได้ออกแบบไว้ หรือ Design Flood-Level หรืออีกนัยหนึ่งก็จะเป็นส่วนหนึ่งในการจำกัดอายุของถนน ซึ่งนอกเหนือไปจากการจำกัดอายุเนื่องจากความเสียหายของโครงสร้างถนนการเกิด Deformation ซึ่งก่อให้เกิดการทรุดตัวของผิวดินจะมีผลให้เกิดรอยร่องล้อลึก และกว้างบนผิวดินแบบ Flexible Pavement และการต่ำลง Crown Slope สำหรับทั้ง Flexible และ Rigid Pavement Road การปรับปรุงสภาพพื้นถนนเป็นสิ่งจำเป็นเสมอเพื่อที่จะรักษาพื้นผิวของถนนให้อยู่ในสภาพที่สามารถระบายน้ำได้ต่อไป Tensile Stress ที่เกิดขึ้นในดินถมคันทางของถนนสามารถเป็นเหตุให้เกิดการลดความแข็งแรงของโครงสร้างถนนในอัตราที่รวดเร็ว Tensile Stress นี้จะเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของดินถมและน้ำหนักจากล้อของรถยนต์ ความเค้นที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักของดินถม จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ การทรุดตัวของถนนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออายุของถนนจริง ๆ แล้วมันเป็นปัจจัยหลักเลยทีเดียว และสิ่งนี้ยังเกี่ยวพันถึงอัตราค่าใช้จ่ายในการเลือกความสูงของดินถมให้เหมาะสมในการก่อสร้างด้วย อย่างไรก็ตามการลดลงของความแข็งแรงของถนนจะพบว่ามันจะเกิดขึ้นในระหว่างช่วงเวลาเริ่มต้นของถนนที่ได้เปิดใช้การจราจร ถ้าน้ำหนักที่เกิดจากการจราจรไม่ได้ไปรบกวนดินชั้นล่าง (Subsoil) เกินกว่าลิมิตของมันในช่วงเวลาหนึ่ง ความแข็งแรงของ Subsoil ก็จะไม่เพิ่มขึ้นเนื่องจากขบวนการยุบอัดตัว และความแข็งแรงของถนนก็จะเพิ่มขึ้นในขณะหนึ่งและก็จะค่อย ๆ ลดลงในเวลาต่อมา

พฤติกรรมการทรุดตัวนี้สามารถนำมาคำนวณหาความสูงของดินถมที่ใช้ในการก่อสร้างที่มีค่าก่อสร้างที่ประหยัดที่สุด (Economic Height) ความสูงนี้โดยปกติแล้วจะอยู่ต่ำกว่าความสูงมากที่สุดที่ยอมให้ เพราะว่า Local Plastic Zone นี้จะเกิดที่ความสูงต่ำกว่าความสูงที่สุดสำหรับดินฐานรากที่อ่อน สรุปได้ว่าความสูงของดินถมคันทางของถนนบนดินอ่อนควรจะออกแบบให้ยกขึ้นสูงเหนือระดับ Capillary Water รวมความสูงของการทรุดตัวด้วย ความสูงนี้จะต้องถูกตรวจสอบว่าอยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและสูงสุด ถ้าช่วงลิมิตแคบมาก และการออกแบบความสูงไม่ได้อยู่ในช่วงนี้ ก็ต้องใช้วิธีบางอย่างปรับปรุงคุณภาพของดินฐานรากให้ใช้ได้

ค่าใช้จ่ายสำหรับถนนบนดินอ่อน

ค่าใช้จ่ายในที่นี่จะพิจารณาเฉพาะส่วนของถนนที่เป็นดินถมคันทาง ซึ่งรวมถึง subgrade จนถึงผิวถนน มันจะถูกพิจารณาเหมือนกับเป็นค่าใช้จ่ายในระยะยาวซึ่งอาจแบ่งเป็น ค่าใช้จ่ายตั้งแต่ก่อสร้างเริ่มแรก ค่าบำรุงรักษา การก่อสร้างใหม่ครั้งที่หนึ่ง ครั้งที่ 2 ครั้งที่ 3 และต่อ ๆ ไป ค่าใช้จ่ายสำหรับแต่ละช่วงอายุของถนนประกอบด้วย ค่าก่อสร้าง และค่าบำรุงรักษา อายุของถนนแต่ละช่วงจะถูกจำกัดโดยความสูงของถนนเหนือระดับน้ำใต้ดิน (Design Flood Level) และ อัตราการทรุดตัว ค่าใช้จ่ายของถนนที่ถูกเขียนลงในกราฟเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา แสดงใน ภาพ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงค่าใช้จ่ายของแต่ละช่วงเวลาของถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุของถนน (THE ROAD LIFE)

ในทางปฏิบัติแล้วอายุของถนนจะถูกจำกัดโดยอัตราการจราจร ลักษณะความ สะดวกสบายของผู้ขับขี่ ลักษณะหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาถึงอายุของถนนก็คือพฤติกรรมของผิว การจราจร (Road Surface) การเสื่อมและการพังทลาย (Failures) ของโครงสร้างถนนส่งผลกระทบต่อ พื้นผิวของถนนด้วย ผลกระทบนี้จะมีผลมากขึ้นกับผิวถนนหากการพังทลาย (Failures) นี้เกิดขึ้นที่ ส่วนบนของโครงสร้างถนนส่วนที่อยู่เหนือ Subgrade Embankment ช่วงอายุของถนนก็จะถูกจำกัด โดย Failure ของโครงสร้างถนน Failure นี้เกิดขึ้นในเวลารวดเร็วถ้าเกิดความชื้นในวัสดุที่ทำ Pavement เพิ่มขึ้นสูงกว่า Optimum Moisture Content การเพิ่มขึ้นนี้จะเกิดจากระดับน้ำใต้ดิน (Flood Level or Capillary Water) ระดับน้ำใต้ดินที่มีผลต่อ Pavement Failure นี้โดยปกติจะใช้ในการออกแบบระดับน้ำสูงสุด (High Water Level) เพราะว่าอายุของถนนบนดินอ่อนจะเกี่ยวข้องกับการทรุดตัวของดินถมคันทาง อายุของถนนจึงถูกกำหนดโดยระยะเวลาที่ใช้ถนนภายหลังจากก่อสร้างจนกระทั่ง ส่วนล่างของ Pavement (ระดับความสูงได้ชั้น Base) สูงเท่ากับส่วนบนสุดของระดับน้ำใต้ดิน (Capillary Water)

ลิมิตของความสูงที่สุดของดินถม (STABLE HEIGHT or Upper Limit Height)

ความสูงที่ถูกพิจารณาเป็น upper limit ในการออกแบบเป็นความสูงที่เมื่ออยู่ภายใต้ Sustained Load แล้วการพังทลาย (Collapse Mechanism) จะไม่เกิดขึ้น ความสูงนี้จะหาได้โดยการ ใช้ Plasticity Theory Methods , Effective Stress Analysis ด้วย factor of safety ที่เหมาะสม สภาพ แวดล้อมก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องสนใจอันหนึ่งในการคำนวณ สำหรับ Undrained Total Stress Analysis ซึ่งโดยปกติใช้หา Stability ของดินถมคันทางบนดินเหนียวที่อิ่มตัว ความสูงนี้สามารถหาได้ อย่างง่ายดายโดยใช้ Fellenius Chart

ลิมิตของความสูงน้อยที่สุด (LOWER LIMIT HEIGHT)

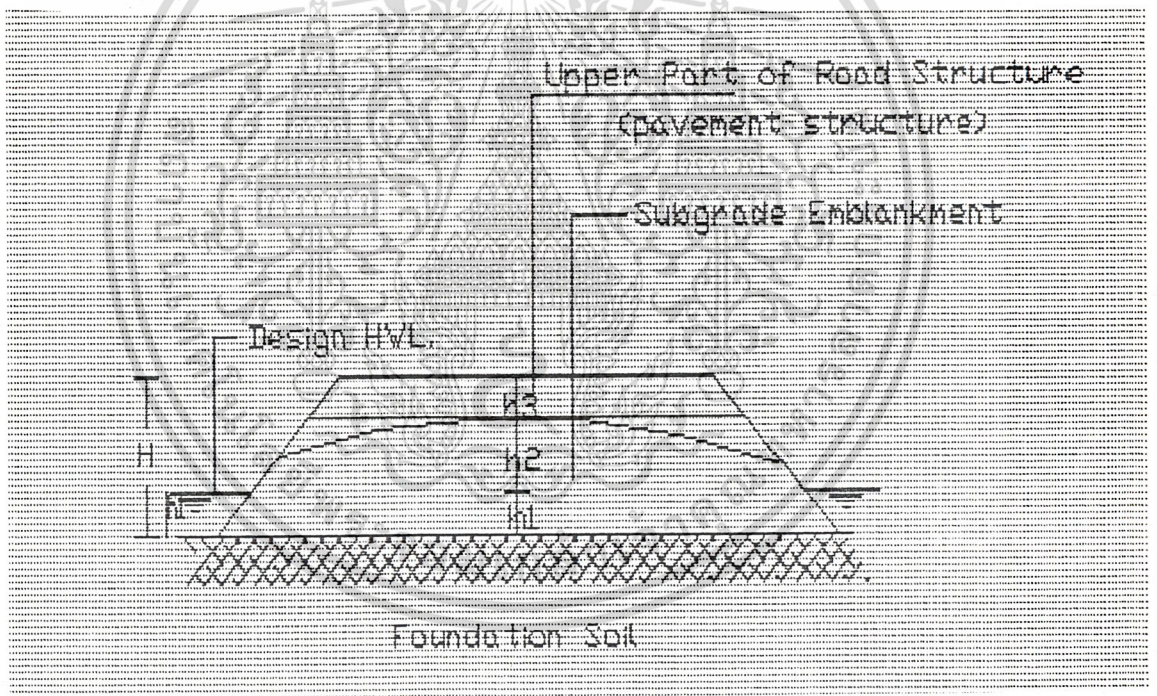
ความสูงนี้จะเท่ากับความสูงที่ใช้ในการออกแบบดินถมบนดินฐานรากที่แข็งแรง
ความสูงนี้จะเท่ากับความสูงที่ผิวบนของระดับน้ำใต้ดิน (Capillary Water) เนื้อผิวดินเดิมบวกด้วย
ความหนาของโครงสร้าง Pavement ซึ่งเท่ากับ

$$H = h_1 + h_2 + h_3$$

h_1 = ความสูงเฉลี่ยของระดับน้ำใต้ดินที่อ้างอิงกับผิวดินฐานราก

h_2 = ความสูงของระดับน้ำใต้ดิน (Capillary Height)

h_3 = ความหนาของ Pavement Structure



ภาพที่ 3.3 แสดงความสูงต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณหา Lower Limit Height

ความสูงที่เหมาะสมกับแรงกด (OPTIMUM PRESSURE HEIGHT)

เนื่องด้วยอายุของถนนบนดินอ่อนจะสัมพันธ์กับการทรุดตัว และลักษณะดิน ความสูงที่ยอมให้น้อยที่สุดซึ่งเกิดจากแรงกดเนื่องจากน้ำหนักล้อรถยนต์ และน้ำหนักดินถมบนดินเดิม สามารถพิจารณาให้เป็นความสูงที่มีค่าใช้จ่ายเหมาะสมที่สุด โดยการพิจารณาถึงอิทธิพลของน้ำหนักที่เกิดจากการจราจรเหมือนกับคิดกับน้ำหนักดินถม ความสูงที่เหมาะสมนี้ (Optimum Height) มักจะถูกใช้เป็น lower limit สำหรับการออกแบบความสูง Optimum Height สามารถคำนวณได้จาก

$$H_o = \frac{1}{\tan \theta} \left\{ \left(\frac{2W \tan \theta}{\pi \gamma} \right)^{\frac{1}{3}} - r \right\} \dots \dots \dots (1)$$

H_o = Optimum Height

W = น้ำหนักของล้อรถที่ออกแบบ (design single wheel load)

γ = หน่วยน้ำหนักเฉลี่ยของวัสดุที่ใช้ทำดินถม

r = รัศมีที่หน้ายางสัมผัสกับพื้น

θ = มุมของการกระจายแรงกด อยู่ระหว่าง 30-50 องศา
(มีค่าสูงขึ้นถ้าใช้สำหรับ rigid pavement ที่แข็งมากขึ้น)

แรงกดทั้งหมด (total pressure) จะสามารถคำนวณจาก

$$P_t = \gamma H + \left\{ \frac{W}{\pi * (r + H \tan \theta)^2} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

P_t = total or combined pressure

H = height of the embankment

W = design single wheel load

r = รัศมีที่หน้ายางสัมผัสกับพื้น

θ = มุมของการกระจายแรงกด

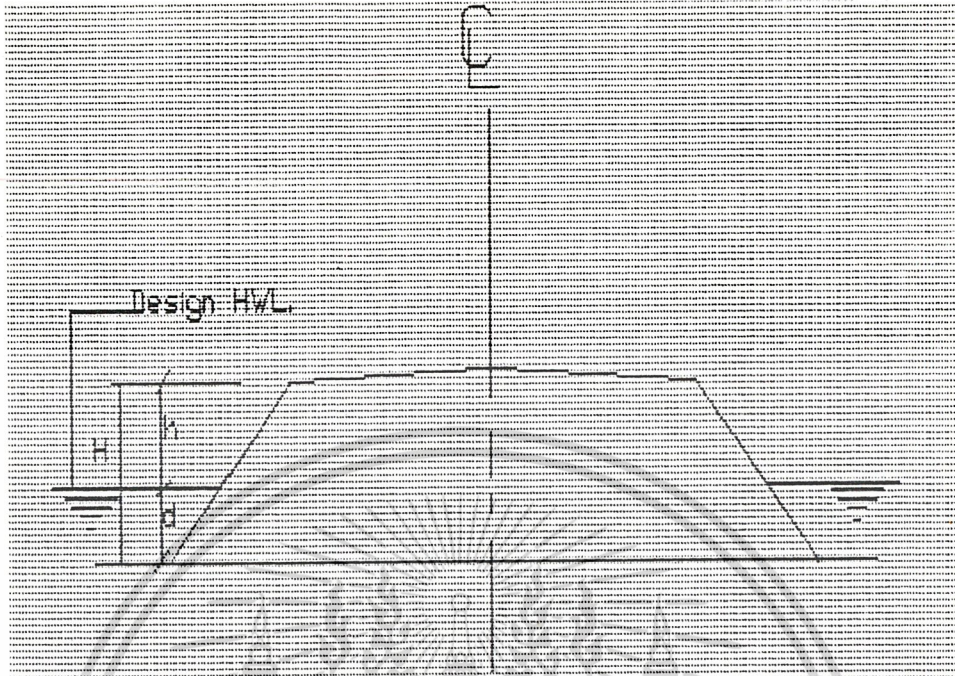
จากการทดลองแทนค่าในสมการนี้ โดยให้ $\theta = 30$ องศา และ 45 องศา Optimum Height จะเพิ่มขึ้นเมื่อ θ ลดลง และแรงกดจะเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เมื่อเปลี่ยนความสูงภายใต้ Optimum height มากกว่าเมื่อเปลี่ยนความสูงให้สูงกว่า Optimum Height มันเป็นที่น่าสังเกตว่าในขณะที่ความสูงของดินถมที่สูงกว่า Optimum Height น้ำหนักของดินถมจะมีอิทธิพลต่อ total pressure มากกว่าน้ำหนักที่เกิดจากล้อรถเมื่อความสูงของดินถมสูง เป็นที่คาดการณ์ได้ว่า ถ้าหากความสูงของดินถมต่ำกว่า Optimum Height ก็จะทำให้เกิดรอยร่องล้อเนื่องจากน้ำหนักของล้อรถยนต์ (wheel load) และหากความสูงของดินถมสูงกว่า Optimum Height ก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อกrown Slope ให้มีความชันลดลง อย่างไรก็ตามผลกระทบที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักล้อรถเป็นสิ่งสำคัญที่โดยปกติจะให้กับถนนที่มีการจราจรสูง (heavy traffic) การออกแบบความสูงของดินถมไม่ควรจะให้ต่ำกว่า Optimum height ความสูงนี้ในบางครั้งก็จะเป็น Lower Limit ในการออกแบบ

ความสูงที่ประหยัดและการเลือกความสูงสำหรับการออกแบบ (ECONOMIC HEIGHT AND SELECTION OF THE DESIGN HEIGHT)

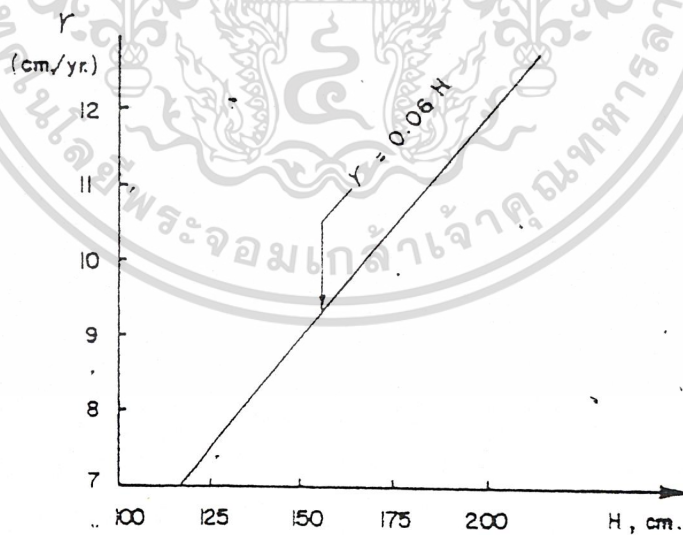
สำหรับถนนที่ใช้ในการจราจรอย่างสูง (Heavy Traffic) ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างจะสูง ในกรณีนี้ความสูงที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจมากที่สุด (Economic Height) ของดินถมจะขึ้นอยู่กับอัตราการทรุดตัวหรืออายุของถนน ถ้าระดับน้ำใต้ดินที่ออกแบบไว้สูงกว่าผิวดินเดิมเท่ากับ d และผิวถนนถูกยกขึ้นสูงเหนือระดับน้ำเท่ากับ h และการออกแบบการจมน้ำของผิวถนน อายุถนนเท่ากับ t มีความสัมพันธ์กับความสูงของดินถมดังนี้

$$t = \frac{h}{s} = \frac{H-d}{s} \dots \dots \dots (3)$$

s คือ อัตราการทรุดตัวซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของดินถม หรือ เป็น function ของความสูง



ภาพที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในการคำนวณอายุของถนนที่จะ Design



ภาพที่ 3.5 แสดงกราฟผลจากการคำนวณโดยคิด Consolidation Settlement จากน้ำหนักตัวถนนเพียงอย่างเดียว

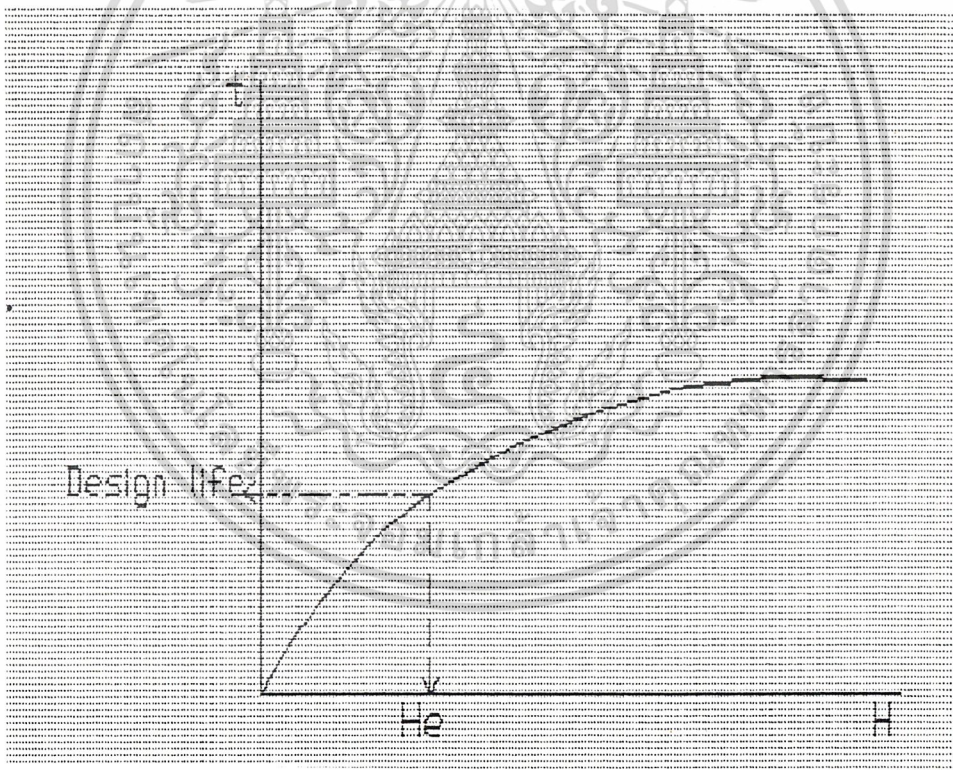
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของอัตราการทรุดตัว และ ความสูงของดินถม ควรจะได้รับการสังเกตการทรุดตัวของถนนภายใต้สภาวะที่คล้ายกัน เช่น สภาพของ Subsoil, โครงสร้างของถนน การจราจร ด้วยความสูงต่าง ๆ ของดินถม หรือการทรุดตัวที่มีความสูงต่าง ๆ จะหาได้จากการคำนวณ Consolidation settlement เมื่อแทน s ด้วย f(H)

จะได้สมการเป็น

$$t = \frac{(H-d)}{f(H)}$$

จากสมการความสัมพันธ์ของอายุถนน และ ความสูงของดินถม จะได้แสดงได้โดยการพล็อตกราฟระหว่าง t และ h จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของอายุถนน และ ความสูงของดินถม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูงทางเศรษฐกิจ (Economic Height) จะถูกเลือกจากจุดบนความสัมพันธ์ของกราฟ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความชันของมุมของเส้น tangent มากที่สุด ค่านี้จะอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุด ถ้าค่านี้ต่ำกว่าค่าต่ำสุด การออกแบบจะเลือกให้เท่ากับค่าต่ำสุด (lower limit) สำหรับถนนที่มีการจราจรสูง และจะเท่ากับ Economic Height สำหรับถนนที่มีการจราจรน้อย (light traffic) สำหรับค่าที่ได้มากกว่าค่าสูงสุด (upper limit) ค่าใดค่าหนึ่งจะถูกเลือกให้เป็นความสูงในการออกแบบ ด้วยเงื่อนไขที่ว่าที่ความสูงที่ถูกเลือกนั้น over-stressing ในดินชั้นล่าง (subsoil) ได้ดินถมที่เกิดเนื่องจากน้ำหนักดินถมต้องไม่มากเกินไปเกินค่า Shearing Stress ของดินเดิมที่ศูนย์กลางถนน และต้องถูกตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับการคำนวณ maximum shearing stress ภายใต้อุณหภูมิศูนย์กลางของถนน กับ subsoil strength ถ้า over stressing เกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้าง ความสูงของถนนควรจะลดลง ถ้าจะไม่สามารถลดความสูงของดินถมลงก็ต้องใช้วิธีอื่นเข้ามาช่วย เช่น การปรับปรุงความแข็งแรงของ subsoil โดยการ Preloading การใช้ side beams เพื่อเพิ่ม confining pressure และควรจำไว้ว่าการออกแบบอายุของ pavement เพื่อรับ wheel load ควรจะเท่ากับอายุของถนน (๒)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 แนวทางการแก้ไข

การปรับปรุงคุณภาพของดินฐานราก

Hausmann (1990) แนะนำวิธีการแก้ไขของ โครงการก่อสร้างที่มีดินฐานรากเป็น ดินอ่อน มีคุณสมบัติรับน้ำหนักได้น้อย เกิดการทรุดตัวได้มาก และไม่มีควมมั่นคง ดังนี้

1. ทำการขุด ขนย้าย วัสดุดินเดิมที่มีคุณภาพไม่เหมาะสมออกไป แล้วนำวัสดุที่เหมาะสมมาถมแทนที่ หาได้ง่ายและอยู่ใกล้ แต่ถ้ามีปริมาณมากๆ อาจจะไม่เหมาะสม เพราะค่าใช้จ่ายสูงมาก เช่น โครงการก่อสร้างถนนยาวหลายสิบกิโลเมตรบนชั้นดินฐานรากอ่อน ที่มีชั้นดินอ่อนลึกมาก (10- 20 เมตร)
2. ออกแบบอาคาร สิ่งก่อสร้างให้สอดคล้องกับสภาพดินฐานราก โดยคำนึงถึงงบประมาณ ระยะเวลา ประสิทธิภาพการทำงาน เช่น การออกแบบอาคารสูงโดยใช้ฐานรากเสาเข็มยาวช่วยถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ชั้นดินแข็งที่อยู่ลึกลงไป
3. ปรับปรุงคุณสมบัติของดินฐานรากเดิม ให้สอดคล้องกับสิ่งก่อสร้าง วิธีนี้อาจเรียกว่า Soil Treatment , Soil Improvement หรือ Soil Stabilization

การปรับปรุงลักษณะของดินฐานรากจะขึ้นกับ ลักษณะ ชนิดของสิ่งก่อสร้าง ว่า ต้องการคุณสมบัติอะไรบ้าง ที่ดินเดิมมีไม่เพียงพอ และวิธีการปรับปรุงก็มีหลายวิธีการด้วยกัน จำเป็นต้องพิจารณา ศึกษา เปรียบเทียบให้เหมาะสมตรงกับความต้องการ

คุณสมบัติของดินฐานรากที่จะต้องทำการปรับปรุง ได้แก่

1. **Volume Stability** ซึ่งดินบางแห่งมีลักษณะเฉพาะที่จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้มาก ในเวลารวดเร็ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน โดยอาจจะมีการขยายตัวหรือหดตัวมาก ซึ่งจะมีผลต่อโครงการก่อสร้าง หรือ อาคารที่มีน้ำหนักเบา เกิดการเคลื่อนตัวเสียหายได้

2. **Strength** ของดินให้มีค่าสูงขึ้น สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดียิ่งขึ้น

3. **Permeability** ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการทำงาน เช่นงานแกนเขื่อนดินจะปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นาไปขอประโยชน์ทางการค้า ให้มีค่าต่ำลง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. **Stress- Strain Modulus** ให้มีค่าสูงขึ้น เพื่อความมั่นคงของดินฐานราก
5. **Compressibility** ให้มีค่าลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่จะยอมรับได้
6. **Durability** จากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมีจากสภาวะแวดล้อม
7. **Liquifaction** การสูญเสียกำลังเนื่องจากแผ่นดินไหว หรือมี Excess Pore Pressure มากเกินไป
8. **Uniformity** โดยลดความแปรเปลี่ยน ความไม่เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเดียวกันของ วัสดุที่มาจากแหล่งเดียวกัน

Hausmann (1990) แบ่งวิธีการปรับปรุงคุณภาพของดินฐานราก ออกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1. **Mechanical Modification** เป็นการทำให้ดินแน่นขึ้นโดยใช้ แรงกระทำ เช่นการใช้ เครื่องจักรกล บดอัดดิน ซึ่งเป็นการลด Air Void ในมวลดินลง โดยที่ปริมาตรของเนื้อดินและ Water Content ยังคงเดิม เป็นต้น มักจะมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่ม Shear Strength ลด Compressibility ลด Permeability ลดสภาวะ Liquifaction ควบคุม Volumn Stability และเพิ่ม Durability ของดินฐานราก

2. **Physical and Chemical Modification** เป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมี ของชั้นดินฐานราก เช่นโดยการผสมสาร Admixtures ประเภทปูนซีเมนต์ ปูนขาว รวมทั้งวัสดุอื่นๆ การให้ความร้อน หรือ การทำให้ดินเย็นจัดโดยน้ำในมวลดินแข็งตัว ซึ่งใช้กับการขุดอุโมงค์ในชั้นดินเหนียวอ่อนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ การ Grouting ซึ่งเป็นการอัดฉีดวัสดุที่อยู่ในสถานะของเหลว เข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน รอยแตกของหินโดยความดันสูง เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และลด Permeability ของดินหรือหิน

3. **Inclusions and Confinement Modifications** ได้แก่การทำ Soil Reinforcement โดยใช้วัสดุสังเคราะห์ Geosynthetics ต่างๆ การใช้สมอยึด สำหรับงาน Slope Stability ซึ่งหลักการก็เป็นการเพิ่ม Internal Friction การช่วยเสริมตัวรับแรง Tensile Stresses ช่วยเพิ่ม Stability เพิ่ม Bearing Capacity , ลด Settlement และการเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน

4. **Hydraulic Modification** เป็นการไล่น้ำออกจากมวลดินหรือการ Redirecting Seepage สำหรับมวลดินชนิดเม็ดหยาบ อาจทำได้ง่ายๆ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ให้ระบายน้ำในมวลดินลงสู่ที่ต่ำกว่า แต่สำหรับดินชนิดเม็ดละเอียด การไหลของน้ำออกจากมวลดินโดยแรง โน้มถ่วงของโลกเป็นไปได้ยากจะใช้น้ำหนักบรรทุกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินโดยแรง โน้มถ่วงของโลกเป็นไปอย่างเชิงซ้ำมากมักจะใช้แรงกระทำหรือน้ำหนักบรรทุกเป็นแบบ Force Consolidation ได้แก่วิธี Preloading , Electroosmosis มักจะมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้บริเวณก่อสร้างแห้ง , เพิ่มเสถียรภาพของลาดทาง , ลดแรงดันด้านข้างของดินต่อกำแพงดิน , ลด Compressibility ของ Granular Soils , เพิ่ม Bearing Capacity , ป้องกันสภาวะ Liquifaction , ป้องกันการพัดพาเม็ดดินโดยน้ำใต้ดินหรือ Piping , ป้องกันการกัดเซาะดินผิวน้ำ , ลดอันตรายจาก Frost Heave

Geosynthetics

วัสดุสังเคราะห์นี้ขึ้นมาเพื่อใช้ร่วมกับดิน หรือแทนดินบางส่วน มักจะทำจากอุตสาหกรรมพลาสติก โดยเฉพาะพวก Polymers และอาจทำจาก ยาง , Fiberglass หรืออื่นๆ ก็ได้ (Koerner, 1990) เรียกว่า Geosynthetics มักจะนำมาใช้เนื่องจากวัตถุประสงค์หลัก 5 ประการคือ

1. **Separation** แยกชั้นวัสดุออกจากกัน
2. **Reinforcement** เสริมกำลังรับแรงของดินให้แข็งแรงยิ่งขึ้น
3. **Filtration** ช่วยกรองวัสดุ
4. **Drainage** ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำ
5. **Micosture Barrier** ปิดกั้นความชื้น

Koerner (1990) ได้แบ่งกลุ่มประเภทของ Geosynthetics ดังนี้

1. **Geotextiles** มีคุณสมบัติยอมให้น้ำซึมผ่านได้ มีความเหนียว ยืดหยุ่นได้
2. **Geogrids** มักจะนำคุณสมบัติทางด้าน Reinforcement มาใช้มาก
3. **Geonets** ใช้เกี่ยวกับการระบายน้ำ
4. **Geomembranes** เป็นแผ่นบาง ๆ น้ำซึมผ่านไม่ได้ ป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้
5. **Geocomposites** เป็นการนำ Geosynthetics ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาใช้ร่วมกัน เช่น Geocells ประกอบด้วย Geogrids ทำเป็นกล่องบรรจุด้วยหินย่อย ช่วยเพิ่ม Bearing Capacity ของดินฐานราก

6. **Geo - Others** ใช้ในกรณีที่ต้องการประสิทธิภาพการใช้งานที่สูงขึ้นไปอีก เช่น ใช้ในการ Threaded Soil Masses, Polymer Anchors และ Encapsulater Soil Cells

Soil Cement

เป็นการปรับปรุงคุณภาพของดินให้มีคุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยการผสมปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับดิน จะเกิดปฏิกิริยา Hydration ทำให้ดินจับตัวกันเป็นเม็ดใหญ่ มีความแข็งแรงสูงขึ้น (Ingles และ Metcalf , 1972) ในราคาที่เหมาะสม สาร CHS (Calcium Silicate Hydrate) และ CAH (Calcium Aluminate Hydrate) มีคุณสมบัติเป็นตัวยึด สามารถยึดเกาะเม็ดดินเข้าด้วยกัน ทำให้รวมตัวกันเป็นมวลดินขนาดใหญ่ ที่มีความแข็งแรงสูง ในการนำมาใช้เป็นแผ่นพื้นรองรับคันทาง จะช่วยกระจายแรงที่กระทำต่อดินฐานรากลงได้ ทำให้การทรุดตัวลดลง (DAS ,1985) อีกทั้งจะมีผลทำให้การทรุดตัวเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ การทรุดตัวบริเวณแนวค้ำกลางลดลง แต่บริเวณขอบไหล่ทางจะมีค่ามากขึ้น เพราะช่วยเพิ่ม Stiffness ให้แก่คันทาง (Madhav และ Miura, 1992)

แถบใยสังเคราะห์ระบายน้ำในแนวตั้ง

(Prefabricated Vertical Geotextile Drains)

การก่อสร้างถนนบนดินอ่อนในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างอันประกอบด้วยดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมากหนา 13.0 - 14.0 เมตร ตอนบนถัดลงไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรกหนา 6 - 8 เมตร แทรกด้วยชั้นดินทรายชั้นแรกซึ่งมีความหนาไม่สม่ำเสมอจาก 1.0 - 5.0 เมตร สลับไปมาด้วยชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมากและชั้นทรายแน่นแทรกตัวไปมาจนถึงระดับความลึก 60 เมตรจากระดับดิน

จากลักษณะที่กล่าวมาข้างต้น ดินเหนียวอ่อนตอนบนจะมีผลกระทบต่อนปัญหาในการก่อสร้างถนนบนชั้นดินอ่อนนี้เป็นอย่างมาก เนื่องจากคุณสมบัติในการยุบอัดตัว (Compressibility) ได้ง่ายเมื่อมีน้ำหนักบรรทุก และมีค่าความซึมน้ำ (Permeability) ต่ำมาก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาด้านการทรุดตัว และระยะเวลายาวนานในการสิ้นสุดการทรุดตัว เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การใช้แถบใยสังเคราะห์ระบายน้ำในแนวตั้ง (Prefabricated Vertical Geotextile Drain หรือ PVD) ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงสภาพดินวิธีหนึ่งในหลาย ๆ วิธีได้ถูกนำมาทดลองใช้ในงานของกรมทางหลวงแผ่นดินเป็นครั้งแรก (อย่างเป็นทางการ) ในโครงการก่อสร้างถนนวงแหวนรอบนอกฝั่งตะวันออก (OBRR) และโครงการก่อสร้างทางสายกรุงเทพ ๙ - ชลบุรีสายใหม่ (Bangkok Chonburi New Highway)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วัตถุประสงค์และหลักการโดยทั่วไป (Objective & General Concept)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การติดตั้ง PVD ควบคู่กับการเพิ่มน้ำหนัก (Surcharge) บนดินเหนียวอ่อน หรือที่เรียกว่าการ “Preloading” (ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2) ก็เพื่อจุดประสงค์ในการเร่งระยะเวลาในการยุบอัดตัวของดินเหนียวอ่อนได้คั้นทางให้เร็วขึ้น ทั้งยังช่วยป้องกันการวิบัติหรือเคลื่อนตัวของดินในระหว่างการ Preloading อีกประการหนึ่งด้วย โดยมีหลักการดังนี้คือ จะทำการไล่น้ำหรือระบายน้ำออกจากมวลดินเหนียวอ่อนที่มีปริมาณน้ำตามธรรมชาติค่อนข้างสูง (ในช่วง 80 - 120%) และมีคุณสมบัติในด้านความซึมน้ำในแนวตั้ง (k_v) ต่ำกว่าในแนวราบ (k_h) การใช้แถบ PVD นี้ ก็เพื่อลดความยาว Drainage path ของการระบายน้ำในมวลดิน ทำให้ระยะเวลาในการทรุดตัวเร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (Preloading) จะกล่าวอีกแง่หนึ่งก็คือ เป็นการเร่งปริมาณการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Primary Consolidation) ให้เกิดขึ้นมากที่สุดในช่วง Waiting period

ดังนั้นจุดประสงค์หลักที่สำคัญจากกล่าวสรุปได้ 2 ประการสำหรับการใช้แถบใยสังเคราะห์ระบายน้ำแนวตั้ง (PVD) คือ

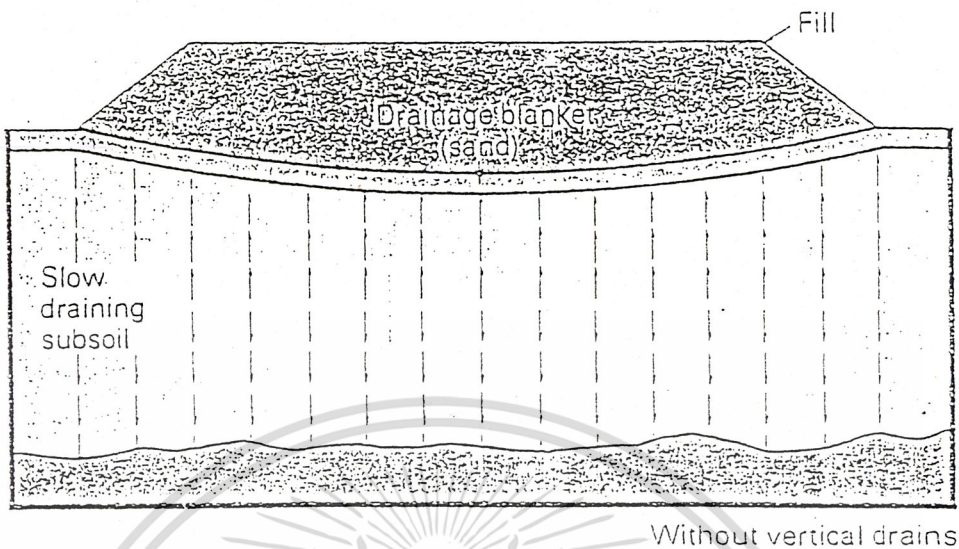
1. เป็นการเร่งขบวนการอัดตัวของดินเหนียวอ่อนได้คั้นทาง
2. เพื่อให้ดินเหนียวได้ทางที่กำลังรับแรงเฉือน (Undrained Shear Strength, S_u) เพิ่มมากขึ้นหลังจากระบายน้ำออกจากมวลดินแล้ว อันจะเป็นการเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อนตอนล่าง

2. วัสดุที่ใช้ (Material)

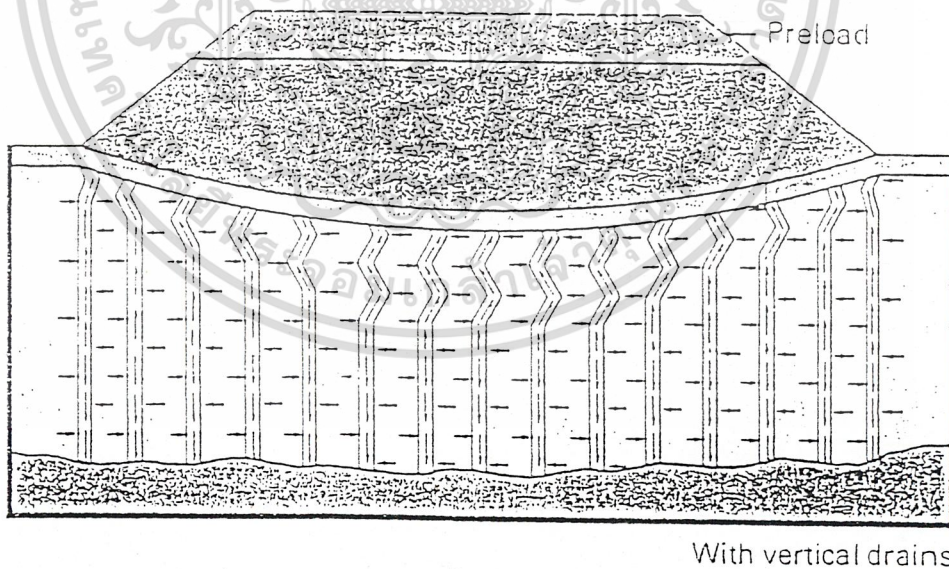
วัสดุที่ใช้จะประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบใหญ่ ๆ คือ แกนกลาง (Core) ที่มีลักษณะเป็นแถบทำด้วยพลาสติก ขนาดโดยทั่ว ๆ ไปกว้างประมาณ 100 มิลลิเมตร บรรจุอยู่ในซองใยสังเคราะห์ (Geotextile) หนาประมาณ 3 - 6 มิลลิเมตร (อัตราส่วนของความกว้างต่อความหนาของ PVD ไม่ควรเกิน 50)

2.1 แกน (Core) จะเป็นวัสดุประเภทพลาสติกที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ประเภท Polyethylene (PE) หรือ Polypropylene (PP) ที่ต้องมีความยาวต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อจุดประสงค์ในการให้น้ำสามารถระบายออกได้อย่างสะดวกตามแกนในแนวระนาบดัง ดังแสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

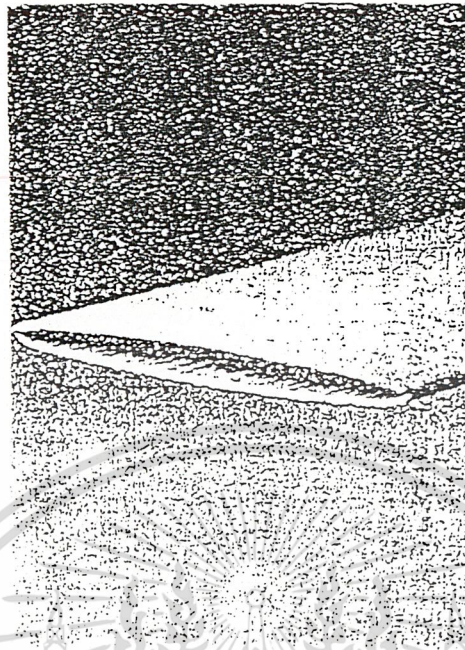


ภาพที่ 4.1 แสดงการทรุดตัวเมื่อไม่ติดตั้ง PVD การระบายน้ำออกในมวลดินเป็นอย่างช้า ๆ



ภาพที่ 4.2 แสดงการ Preload บนชั้นดินเหนียวอ่อน เมื่อใช้ Vertical Drain และใช้แถบ PVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะของแผ่นใยสังเคราะห์ (PVD)

2.2 แผ่นใยสังเคราะห์หุ้มด้านนอก (Filter/Jacket) จะเป็นวัสดุใยสังเคราะห์ (Synthetic Geotextile) ที่สามารถต้านทานแรงกระทำในลักษณะต่าง ๆ เช่น แรงตัด, แรงทะลุทะลวง (Punching) และแรงดึงที่เกิดขึ้นในระหว่างการติดตั้งและตลอดอายุการใช้งานของ PVD ที่จะต้องฝังตัวในดินตลอดเวลา (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) โดยวัสดุดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก. ต้องแข็งแรงเพียงพอและสามารถต้านทานความเสียหาย อันจะเกิดจากการทะลุทะลวง (Punching resistance) ผ่านแผ่นใยสังเคราะห์ด้านนอก (Filter) จากวัสดุกรวดและทรายภายนอก

ข. ต้องแข็งแรงเพียงพอและสามารถต้านทานต่อแรงดันดินด้านข้างจากน้ำหนักกดทับด้านบน (Surcharge) ในขณะที่ PVD ฝังตัวอยู่ในดิน ซึ่งจะไม่ทำให้ PVD เสียรูปร่างไปจนไม่สามารถระบายน้ำได้ดินได้ในแนวตั้ง

ค. ต้องมีคุณสมบัติในการยึดหยุ่นตัวได้อย่างสม่ำเสมอในระหว่างการติดตั้ง และในช่วงเกิดการทรุดตัวโดยปราศจากความเสียหายของ PVD

ง. ต้องไม่เกิดการแตกร้าวหรือการลอกตัวของวัสดุในระหว่างการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการติดตั้ง PVD (Method of PVD Installation) ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ขั้นตอนการติดตั้ง (Sequence of Installation)

3.1 ปูแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งชั้นวัสดุ หรือ Separator (ถ้าปรากฏในแบบ) ในการป้องกันมิให้วัสดุถมคั่นทางผสมกับดินเดิม เพื่อลดการสูญเสียของวัสดุถมคั่นทาง

3.2 ถมชั้นทรายระบายน้ำ (Drainage blanket) หนาประมาณ 30 - 60 เซนติเมตร ซึ่งวัสดุที่ใช้จะต้องมีสัดส่วนมวลลละเอียด (Gradation) ที่จะสามารถระบายน้ำออกได้อย่างรวดเร็ว โดยปกติควรจะมี % finer than sieve #200 (by weight) ไม่เกิน 6% อนึ่ง ชั้นทรายระบายน้ำไม่ควรใช้วัสดุหินคลุก เพราะจะเป็นการลำบากต่อการกดแถบ PVD ลงในดิน โดยใช้แกนนำร่อง (Mandrel)

3.3 ติดตั้งแถบ PVD ตามขั้นตอนดังนี้

1 ใช้เครื่องปั้นจั่นเคลื่อนเข้าไปในตำแหน่งที่จะติดตั้งที่ได้ทำการกำหนดตำแหน่งด้วยหมุดตามรายละเอียดในแบบก่อสร้างแล้ว

2 ทำการประกอบแผ่นยึดรั้ง (Anchor plate) บริเวณปลายสุดของแถบ PVD

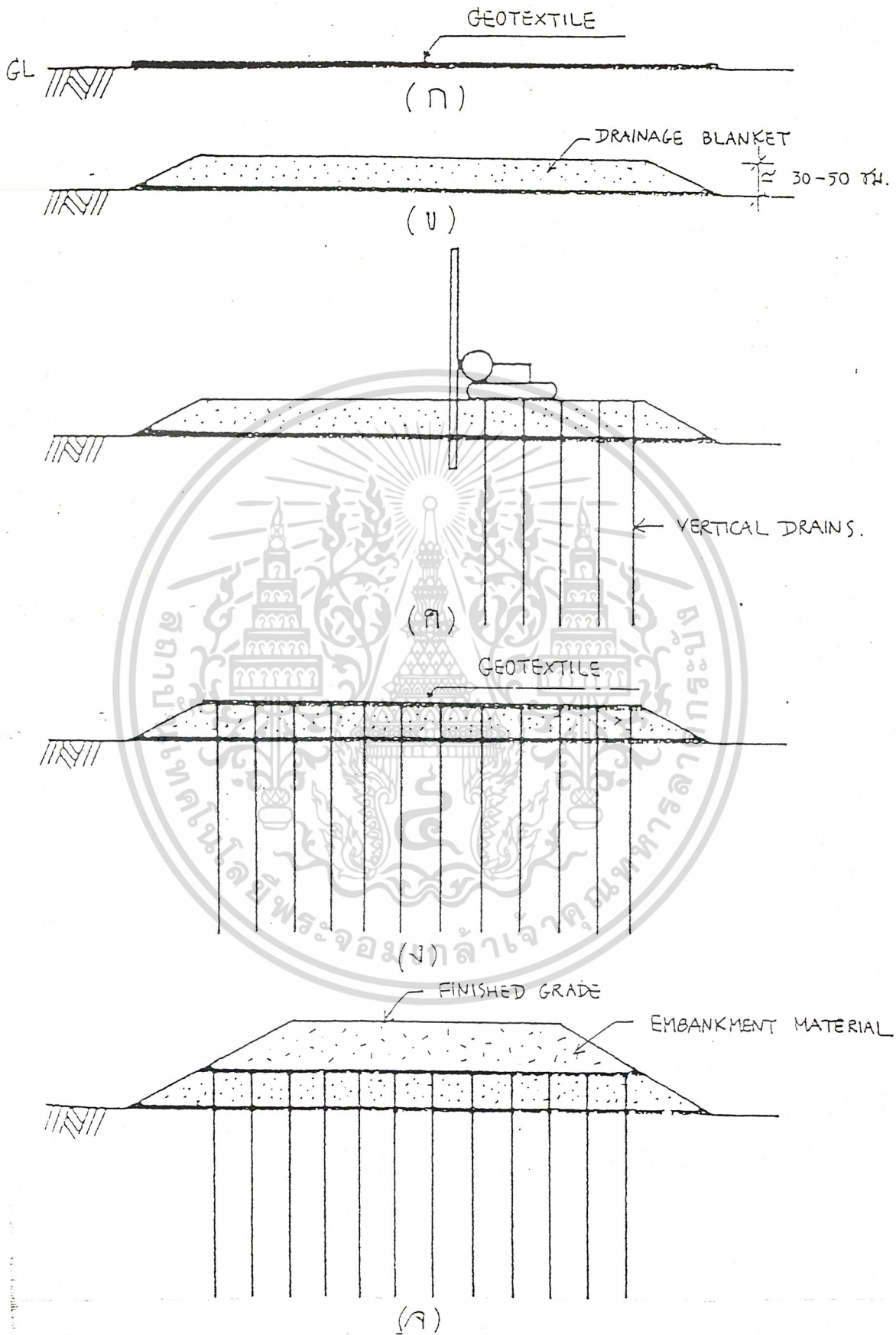
3 กดเหล็กนำร่อง (Mandrel) ลงไปในดินด้วยอัตรา 15 - 60 เซนติเมตรต่อวินาที ลงไปที่ระดับความลึกที่ต้องการตามแบบ

4 ถอนเหล็กนำร่องออก แถบ PVD จะฝังตัวอยู่ในดินที่ระดับตามต้องการ

5 ทำการตัดแถบ PVD โดยใช้กรรไกรเหนือระดับชั้นทรายระบายน้ำ

3.4 ในกรณีที่วัสดุคั่นทางเป็นดินถมเม็ดละเอียด (Fine-grained material) อาจจำเป็นต้องใช้แผ่นใยสังเคราะห์ปูเป็น Separator อีกชั้นหนึ่ง แต่ถ้าวัสดุคั่นทางเป็นวัสดุเม็ดหยาบ (Coarse-grained material) ก็ไม่จำเป็นต้องปู Geotextile อีก

3.5 ทำการถมวัสดุดินถมคั่นทางตามแบบจนได้ระดับ Preloading ที่ต้องการตามแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 4.4 แสดงขั้นตอนและวิธีการติดตั้ง PVD
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สรุปผลดีและผลเสียของการใช้ PVD ในงานก่อสร้างถนนและคันทางดินถมบนดินเหนียวอ่อน

4.1 ผลดี ที่อาจจะสรุปได้มีดังนี้

- 4.1.1 การติดตั้งรวดเร็ว (เมื่อเทียบกับการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธี ๗ Sand drain)
- 4.1.2 ความต่อเนื่องของการระบายน้ำมีสูงกว่า (High drain continuity)
- 4.1.3 ความซึมน้ำของ PVD สูงกว่า (High permeability) ทำให้การระบายน้ำได้ประมาณมากกว่า
- 4.1.4 ดินถูกรบกวนน้อยกว่า (Minimize soil disturbance)
- 4.1.5 เครื่องจักรและอุปกรณ์ติดตั้งมีน้ำหนักเบา (Lightweight installation equipment)
- 4.1.6 สถานที่ทำงานจะสะอาดกว่า (Clean site)
- 4.1.7 ราคาค่าก่อสร้างต่ำกว่า (เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Sand drain)

4.2 ผลเสีย ที่พอจะสรุปได้ มีดังนี้คือ

- 4.2.1 ต้องอาศัยผู้มีประสบการณ์ในการติดตั้งมากกว่าวิธีอื่นที่มักจะเป็นวิธีธรรมดา โดยทั่วไป
- 4.2.2 ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 6 - 8 เดือนเป็นอย่างน้อยในการรอเพื่อให้น้ำระบายออกจากมวลดิน เมื่อเทียบกับการปรับปรุงสภาพดินโดยใช้ Dynamic method of soil improvement
- 4.2.3 ต้องทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางดินถมอย่างต่อเนื่องทั้งก่อนและระหว่าง Preloading เพื่อป้องกันการพังทลายของคันทาง

การซ่อมบำรุง

การซ่อมบำรุงทางบนดินอ่อน ซึ่งมีมาตรการในการพิจารณาผิดไปจากถนนที่มีดินฐานรากแข็งหลายประการ ทั้งนี้เพราะความเสียหายที่เกิดขึ้น และจำเป็นต้องซ่อมแซมนั้นผิดแผกกันไป ถนนบนดินแข็งโดยทั่วไปความเสียหายระยะแรกเกิดเนื่องจากกำลังของถนนซึ่งจะลดลงเพราะน้ำหนักล้อรถกระทำซ้ำ ๆ กันเป็นจำนวนมาก น้ำจากธรรมชาติ (น้ำฝนและน้ำใต้ดิน) ซึมเข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างในองค์ประกอบต่าง ๆ ถูก oxidization จาก oxygen ในอากาศและน้ำ ถูกแปรสภาพเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ผิวถนนถูกแรงเสียดสี ทำให้ความผิดลดลงและอื่น ๆ อย่างใดอย่างหนึ่งโดยที่ความเสียหายเหล่านี้มักอยู่ในองค์ประกอบที่อยู่เหนือชั้นดินฐานรากขึ้นไปก่อน การวัดกำลังของโครงสร้างถนนที่ลดลงจึงมักจะอาศัยการยุบตัวที่ผิวถนนเมื่อมีน้ำหนักจากล้อมากระทำ เช่น วิธี Benkelman's Beam Deflection และตรวจสอบสภาพของผิวถนนว่ามีรอยแตกและถูก oxidization มากน้อยเพียงไร ความเสียหายของถนนที่เกิดจากสาเหตุเหล่านี้จะถึงกำหนดในการซ่อมบำรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในด้านกำลังของถนนเป็นเวลาประมาณ 5-10 ปี แล้วแต่มาตรฐานการออกแบบ ก่อสร้างและการซ่อมบำรุงเพื่อรักษาสภาพส่วนถนนบนดินฐานรากที่อ่อน ความเสียหายที่เกิดขึ้นจนทำให้ต้องมีการซ่อมบำรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถนน มีสาเหตุมาจากการยุบตัวของดินฐานรากเสียส่วนใหญ่ เป็นสาเหตุให้เกิดการแอ่นตัวของ crown slope และเกิดร่องล้อ ทำให้ประสิทธิภาพการระบายน้ำบนผิวถนนไม่ดีพอ เป็นอันตรายแก่ผู้ขับขี่อย่างมาก และน้ำที่ขังอยู่บนผิวถนนก็ยังมีเวลาพอที่จะซึมลงไปทำ ความเสียหายให้กับองค์ประกอบอื่น ๆ ได้ผิวถนนได้ในขณะเดียวกันที่ประสิทธิภาพทางด้านการระบายน้ำลดลงนี้ ประสิทธิภาพทางด้านกำลังของถนนบนดินอ่อนก็ลดลงเร็วด้วยทั้ง ๆ ที่อายุบริการของถนนยังน้อยและคุณภาพของวัสดุในองค์ประกอบยังดีอยู่ก็ตาม สาเหตุที่ทำให้กำลังของถนนบนดินอ่อนลดลงอย่างรวดเร็วนี้ ไม่ใช่เป็นเพราะถูก compressive stress จากน้ำหนักล้อรถ หรือเนื่องจากมีน้ำอยู่ในช่องว่างขององค์ประกอบต่าง ๆ ดังเช่นถนนบนดินฐานรากที่แข็ง (เพราะสิ่งเหล่านั้นยังไม่ควรเกิดขึ้นในช่วงเวลาอันสั้นเช่นนี้) แต่เป็นเพราะเกิด tensile stress ในองค์ประกอบของโครงสร้างที่อยู่เหนือดินเดิมอันเนื่องมาจากการไหลตัวของดินฐานรากออกไปทางด้านข้างได้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างถนนส่วนใหญ่สามารถรับ tensile stress ได้น้อยมาก (มีเฉพาะส่วนที่เป็นผิวเท่านั้นที่รับได้มากกว่า) กำลังของถนนจึงลดลงอย่างรวดเร็ว ความเสียหายของถนนบนดินอ่อนเกิดขึ้นรวดเร็วมากประมาณ 1 ปีภายหลังการก่อสร้างเสร็จหรือภายหลังการซ่อมบำรุงเสร็จใหม่ ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1

	ถนนบนดินฐานรากที่แข็ง	ถนนบนดินฐานรากที่อ่อน
ความเสียหายที่แนวโน้มจะเกิดขึ้นก่อน	<ul style="list-style-type: none"> - กำลังถนนลดลงเพราะสภาพของวัสดุในองค์ประกอบต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงเนื่องจาก <ul style="list-style-type: none"> • ความผิ่ดที่ผิวลดลง • ผิวถนนหมดอายุทำให้ผิวถนนแตก • ผิวถนนแตกเพราะกำลังถนนลด 	<ul style="list-style-type: none"> - ความสามารถในการระบายน้ำบนผิวถนนลดลง - กำลังลดเพราะการแปรสภาพของวัสดุในองค์ประกอบเนื่องจากการไหลตัวของออกทางด้านข้างของดินเดิม
ช่วงเวลาในการซ่อมแซม	5 - 10 ปี	1 - 2 ปี

จะเห็นข้อเปรียบเทียบอย่างชัดเจนระหว่างความเสียหายของถนนบนดินฐานรากที่ต่างกัน ถึงแม้ว่าถนนบนดินฐานรากแข็ง จะมีสาเหตุของความเสียหายอยู่หลายประการ แต่แต่ละการมีอายุของการเกิดยาวกว่าอายุของสาเหตุความเสียหายของถนนบนดินอ่อนมาก ถ้าการออกแบบและก่อสร้างเป็นไปอย่างถูกต้องเหมือนกันแล้ว ถนนบนดินอ่อนจะมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูงมาก และการซ่อมแซมส่วนใหญ่ก็จะเป็นไปเพื่อปรับผิวถนนให้มีการระบายน้ำที่เหมาะสม การซ่อมบำรุงเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายน้ำนี้โดยมากแล้วจะกระทำโดยการเสริมผิวขึ้นมาบางที่สุดเท่าที่จะบางได้จึงไม่เป็นการเพิ่มกำลังของถนนมากนัก การเสริมถนนเพื่อจุดประสงค์ใน

การเพิ่มกำลังของถนนซึ่งต้องเสริมผิวขึ้นไปหนากว่าการปรับผิวถนนดังกล่าวมาแล้ว จะเป็นการเสียค่าใช้จ่ายโดยเปล่าประโยชน์ เพราะในระยะเวลานานสู่การแอ่นตัวของ crown slope และร่องล้อก็จะเกิดขึ้นมาอีก ในขณะเดียวกันกำลังของถนนก็จะยังคงลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดิม เพราะ tensile stress ยังคงเกิดขึ้นอยู่เสมอ เมื่อมีน้ำหนักจราจรมากกระทำ ฉะนั้นการซ่อมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายน้ำของผิวถนนจึงจะเป็นเพียงจุดประสงค์ใหญ่อันเดียวที่ทำให้ต้องซ่อมแซมถนนบนดินอ่อน การซ่อมแซมโดยเสริมผิวไปที่ละน้อยนี้เป็นผลพลอยได้ที่ทำให้กำลังของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น มิใช่สัญญาใด ๆ เป็นเงื่อนไขของราคา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถนนค้อย ๆ เพิ่มขึ้นจนในที่สุดจะเป็นชั้น asphalt concrete ที่หนาทำหน้าที่เป็นพื้นทาง (base) ไปในตัว และเมื่อถนนทรุดตัวลงไปจนกระทั่งระดับน้ำ และ capillary rise ขึ้นถึงชั้น granular base ได้ก็ตาม เป็นการยืดอายุของถนนต่อไป และเมื่อถนนอยู่ในสภาพที่มีผิวถนนหนาเช่นนี้ ความเสียหายต่าง ๆ ที่จะตามมาเนื่องจากความเสียหายในองค์ประกอบอื่น ๆ ของถนนก็จะลดน้อยลงมากด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ทฤษฎีและเทคนิคในการวิเคราะห์การทรุดตัวของชั้นดิน

เมื่อดินได้รับความเค้นจากแรงกระทำภายนอกจะต้องเกิดการเคลื่อนตัว และการเคลื่อนตัวนั้นเกิดขึ้นได้ทั้งในแนวตั้งและในแนวนอน การเคลื่อนตัวนี้ ถ้าเกิดขึ้นมากเกินไปก็ทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างหรือทำให้สิ่งก่อสร้างไม่ทำหน้าที่ตามที่ผู้ออกแบบต้องการได้ ผู้ออกแบบก่อสร้างจึงมีความจำเป็นต้องออกแบบสิ่งก่อสร้างให้มีการเคลื่อนตัวอยู่ในพิสัยที่สมควร การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดิน และ สิ่งก่อสร้างจึงเป็นสิ่งสำคัญ ในงานทางด้านวิศวกรรมโยธาส่วนมากปัญหาการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง (การทรุดตัว) มักจะเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสิ่งก่อสร้างต้องอยู่บนดินเหนียวอ่อน เช่น การก่อสร้างถนนบนดินอ่อน เป็นต้น

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีรากฐานการวิเคราะห์ที่ไม่เหมือนกัน และมีสมมุติฐานที่ไม่เหมือนกันด้วย ทฤษฎีเหล่านี้จึงให้คำตอบที่ไม่เหมือนกัน เนื่องจากดินเป็นสารที่ธรรมชาติสร้างขึ้นมา จึงมีคุณสมบัติที่ Complex มาก และทำให้ทฤษฎีต่างๆ ที่มีอยู่ไม่สามารถที่จะ simulate พฤติกรรมของดินได้ทั้งหมด ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์ด้านปฐพีวิศวกรรมที่ใช้ในภาคปฏิบัติ จึงใช้วิธีวิเคราะห์ที่ง่าย แต่ต้องหา correction factor มาใช้เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ใกล้เคียงกับความจริง ซึ่ง correction factor เหล่านี้ต้องได้มาจากข้อมูลในสนามในบริเวณที่สนใจด้วย การใช้ทฤษฎีขั้นสูงมาก จะมีผลทำให้มี complication มากขึ้น เพราะการใช้ทฤษฎีสูงๆ จำเป็นต้องใช้คุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด และด้วยขีดจำกัดของเครื่องมือในการทดลอง ทำให้ผู้วิเคราะห์ไม่สามารถได้คุณสมบัติของดินที่แท้จริง มาทำการวิเคราะห์ได้

ลักษณะการทรุดตัว

การทรุดตัวในดินอาจแยกออกเป็นลักษณะใหญ่ๆ ได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันทีเมื่อดินได้รับแรงเค้นจากแรงภายนอกมากกระทำ
2. การทรุดตัวที่เป็นฟังก์ชันกับเวลา กล่าวคือเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น การทรุดตัวก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่อัตราการทรุดตัวจะลดลงไปเรื่อยๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนในที่สุด อัตราการทรุดตัวจะช้ามาก จนกระทั่งในทางปฏิบัติถือว่า การทรุดตัวได้หยุดลงแล้ว

ในการออกแบบทางด้านวิศวกรรมปฐพี ผู้ออกแบบจำเป็นต้องคำนวณปริมาณ การทรุดตัวของอาคารทรุดตัวทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว และอัตราการทรุดตัวในกรณีที่มีการทรุดตัวเป็นฟังก์ชัน เวลา ทั้งนี้เพราะอายุของสิ่งก่อสร้างอาจสั้นกว่าระยะเวลาที่มีการทรุดตัวที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะหมดไป

การที่จะต้องวิเคราะห์ปริมาณการทรุดตัวหรืออัตราการทรุดตัว ก็เพราะวิศวกรจำเป็นต้อง ออกแบบสิ่งก่อสร้างให้มีปริมาณการทรุดตัว หรือปรับการทรุดตัวที่แตกต่างกันให้อยู่ในพิสัยที่กำหนดขึ้น

ผู้วิเคราะห์จะทำการคำนวณการทรุดตัวได้แม่นยำและได้ต่อกันเมื่อผู้วิเคราะห์มีความเข้าใจใน mechanism ของการทรุดตัวและขีดจำกัดของวิธีการใช้ ตลอดจน factor ต่างๆ ที่ต้องเอามาคิดในการวิเคราะห์ ทั้งนี้เพราะดินเป็นวัสดุที่ธรรมชาติสร้างขึ้นมาจึงมีคุณสมบัติที่ Complex มากเกินกว่าที่จะมีทฤษฎีใดสามารถ simulate ความเป็นจริงตามธรรมชาติได้

มวลดินตามธรรมชาติ ประกอบไปด้วยเม็ดดินขนาดต่างๆ กันจัดเรียงตัวกันในภาพลักษณะที่ไม่แน่นอนมีช่องว่างอยู่ระหว่างเม็ดดิน สำหรับดินที่มีความชื้น จะมีน้ำแทรกอยู่ในช่องว่างดังกล่าวเป็นบางส่วน ส่วนในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ จะมีน้ำอยู่เต็มในช่องว่างทั้งหมด เมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอก จะทำให้มวลดินยุบตัว มีปริมาตรลดลงจากเดิม อันเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน จากการลดลงของช่องว่างระหว่างเม็ดดินและจากการที่มีน้ำไหลออกไปจากมวลดิน (Skempton and Bjerrum, 1957) แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. Immediate Settlement (S_i) เป็นการยุบตัวของมวลดินที่เกิดขึ้นในทันทีทันใด ที่ได้รับแรงกระทำ โดยปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง ไม่มีการไหลของน้ำออกจากมวลดิน ซึ่งจะขึ้นกับคุณสมบัติในการรับแรงของดินเช่น Modulus of Elasticity (E_u), Poisson Ratio (μ) และแรงกระทำ ขณะที่ดินบริเวณนั้นทรุดตัวลง จะมีผลทำให้ดินบริเวณใกล้เคียงพอง ปูดขึ้นมาแทนที่ สำหรับดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ จะเกิดเนื่องจากการลดของปริมาตรของช่องว่างอย่างรวดเร็ว โดย Compressive Stresses มีผลทำให้ Effective Stresses เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนดินที่อิ่มตัวเพียงบางส่วน เมื่อถูกกดอัดค่า Degree of Saturation จะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มถึงประมาณ 90 % จะทำให้เกิดแรงดันของ น้ำเพิ่มขึ้น ถ้าแรง Compression เกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเป็นขบวนการ Consolidation

การคำนวณหาปริมาณการทรุดตัวกระทำได้หลายวิธีได้แก่

1.1 ใช้หลักการของ Theory of Elasticity คือ

$$S_i = \frac{qB(1-\nu^2) \cdot I}{E_u}$$

โดยที่ S_i = ระยะการทรุดตัวที่แนวศูนย์กลาง

q = Pressure ที่กระทำต่อดิน

E_u = Undrained Young's Modulus

ν = Poisson's Ratio

= 0.5 เนื่องจากปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง

B = ความกว้างของน้ำหนักบรรทุก

I = Influence Factor

ค่า I จะขึ้นอยู่กับ Shape of Loaded Area และความลึกของชั้นดินเหนียวซึ่ง Steinbrenner (1934) ได้สร้างเป็นสมการไว้ต่อมา Fox (1948) ได้เสนอค่า Correction Factor สำหรับกรณีพื้นฐานรากอยู่ลึกจมลงไปดินด้วย เช่นเดียวกับ Janbu และคณะ (1956) ซึ่งได้เสนอสมการสำหรับ Uniform Loaded Flexible Footings ไว้ ต่อมา Christian และ Carrier (1978) ได้รวบรวมปรับปรุงสร้างเป็น Chart สำหรับหาค่า Correction Factor ดังกล่าว ส่วน Rigid Footings จะเกิด Uniform settlement มีค่าลดลงประมาณ 7 % (Schleicher, 1926) เนื่องจากลด Loading Intensity ที่จะส่งผลไปถึงชั้นดินฐานรากลงได้ด้วย (Jones, 1985) Madhav และ Miura (1992) ยังได้กล่าวว่ามีผลทำให้การทรุดตัวที่เกิด จะเป็นลักษณะ Uniform มากขึ้น โดยบริเวณกึ่งกลางจะมีค่าลดลง และเพิ่มขึ้นที่บริเวณขอบไหล่

1.2 วิธี Finite Element จะนำค่าคุณสมบัติของดิน พฤติกรรมที่เกิดขึ้น ตลอดจนสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น Material Anisotropy , Nonhomogeneity, ภาพทรงและสภาวะของน้ำหนักบรรทุก มาพิจารณาในการคำนวณค่า Stress-strain ที่เกิดขึ้นบริเวณต่างๆ ด้วย ส่วนวิธีการก็พิจารณาไปถึงขั้นเกิด Local Yield เลย (D'Appolonia และคณะ, 1971)

1.3 วิธีของ Leroueil และคณะ (1978) ได้เสนอวิธีการคาดคะเนสำหรับในกรณีที่มีการก่อสร้างงานดินถมไม่ได้ทำงานแบบครั้งเดียวเสร็จ จะมีผลทำให้เกิด Consolidated Settlement รวมด้วย โดยมีค่าเป็น

$$S_c = \frac{C_s}{1+e_o} H \log \frac{p'_o + \Delta p}{p'_o}$$

ถ้า $(p'_o + \Delta p) > p_c$ ใช้ค่า p_c แทน

โดยที่ C_s = Recompression Index

H = ความหนาของชั้นดิน

p'_o = Overburden Vertical Effective Stress

Δp = Incremental Vertical Stress

p_c = Maximum Past Pressure

e_o = In Situ Void Ratio

Cox (1981) ได้นำหลักการดังกล่าว มาใช้กับโครงสร้างก่อสร้างทางหลวงสายบางนาบางปะกง กรุงเทพฯ ปรากฏว่าได้ผลใกล้เคียงกับที่วัดได้จริงในสนาม โดยใช้สมการ

$$S_i = \frac{qB(1-\mu^2) \cdot I}{E_s / S_R} + C_s \cdot H \log \frac{p_c}{p'_o}$$

2. Primary Consolidation Settlement (S_c) เป็นการยุบตัวของมวลดินเมื่อเวลาผ่านไป Excess Pore Water Pressure ที่เกิดจากแรงกระทำจากภายนอก ไหลซึม กระจาย ออกไปสู่บริเวณข้างเคียง จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการยุบตัวของดิน ความสามารถในการยอม ให้น้ำซึมผ่านออกไปได้ (Terzaghi and Peck, 1967) การทรุดตัวในช่วงนี้จะเกิดขึ้นทันทีภายหลังจาก Immediate Compression และเสร็จสิ้นเมื่อแรงดันน้ำลดลงจนหมดไป (Stamatopoulos และ Kotzias, 1985)

การคำนวณหาปริมาณการทรุดตัวกระทำได้หลายวิธี ได้แก่

2.1 วิธี One-dimensional Consolidation Settlement โดยใช้ผลจาก Oedometer Test (Terzaghi, 1925)

$$S_c = \text{Primary Consolidation Settlement} \\ = \frac{\Delta e}{1+e_0} H$$

โดยที่ e_0 = Initial Void Ratio

Δe = Void Ratio ที่เปลี่ยนแปลงไป

H = ความหนาของชั้นดิน

สำหรับ Normally Consolidated Clays

$$\Delta e = C_c \log \frac{p_o + \Delta p}{p_o}$$

โดยที่ C_c = Compression Index

Δp = Induced Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Over Consolidated Clays

$$p_o + \Delta p \leq p_c$$

$$\Delta e = C_R \log \frac{p_o + \Delta p}{p_o}$$

โดยที่ C_R = Recompression Index

$$p_o < p_c < p_o + \Delta p$$

$$\Delta e = C_R \log \frac{p_c}{p_o} + C'_c \log \frac{p_o + \Delta p}{p_c}$$

นอกจากนี้ยังมีวิธีคำนวณหา Consolidation ของงานดินถมบนดินเหนียวอ่อน โดยใช้การวิเคราะห์ จาก e-log p Curve โดยตรงซึ่งเสนอโดย Mesri และ Choi (1985)

$$S_c = \frac{H}{1 + e_o} \left[C_R \log \frac{p_c}{p'_o} + C'_c \log \frac{p_f}{p_c} \right]$$

โดยที่ H = ความหนาของชั้นดิน

e_o = In Situ Void Ratio

C_R = Recompression Index

p_c = Preconsolidation Pressure

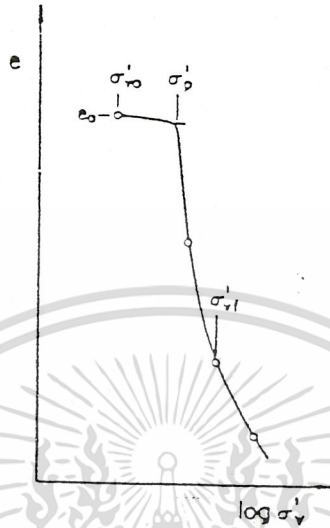
p'_o = Initial Effective Overburden Pressure

C'_c = Modified Compression Index

p_f = Final Consolidation Pressure

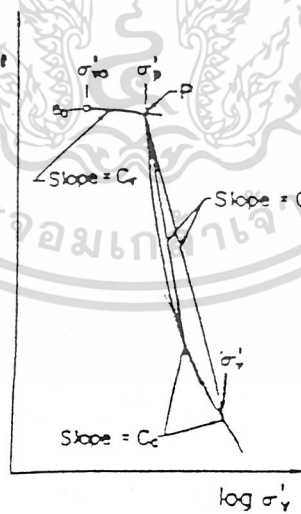
เนื่องจากกราฟ e-log p โดยทั่ว ๆ ไป มักจะไม่เป็นเส้นตรงเช่นตามภาพที่ 5.1 อาจจะไม่ สามารถใช้ค่า Compression Index, C_c เพียงค่าเดียวได้ จึงใช้ค่า Modified Compression Index, C'_c ซึ่งได้จาก Slope ของเส้นตรงที่ลากเชื่อมต่อระหว่างจุด P (Preconsolidation Pressure) ไปยังจุดบน เส้นโค้งตามต้องการดังในภาพที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.1 กราฟ $e - \log p$ ของ Soft Clays

ในที่นี้ $\sigma'_{v0} = p'_0$, $\sigma'_p = p_c$, $\sigma'_{vf} = p_f$



ภาพที่ 5.2 แสดงค่า C_r , C_c , C'_c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการทรุดตัวของชั้นดินฐานราก จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่กระทำ การกระจายตัวของน้ำหนัก ความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำในดิน ระยะทางที่น้ำไหลออกจากดิน และปริมาณการทรุดตัวด้วย (มณฑะียร, 2531) หาได้จาก

$$t = \frac{T_v d^2}{C_v}$$

โดย t = ระยะเวลาที่เกิดการทรุดตัว

T_v = the nondimensional Time Factor (Das, 1985)

$$\begin{aligned} & \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{U_{AV} \%}{100} \right)^2 \\ &= \left[1 - \left(\frac{U_{AV} \%}{100} \right)^{5.6} \right]^{0.357} \end{aligned}$$

U_{AV} = Average Degree of Consolidation at any time

d = the Length of the Longest Drainage Path

C_v = Coefficient of Consolidation

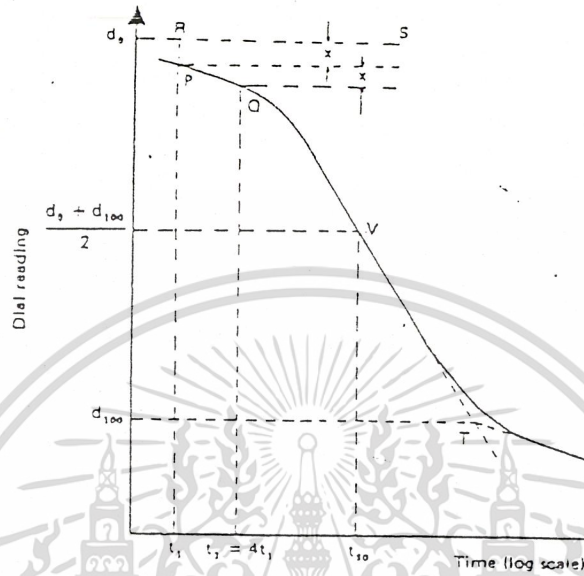
จากสมมติฐานของทฤษฎี Time Rate of one-dimensional Consolidation (Terzaghi, 1925) จะถือว่าค่า C_v คงที่ตลอดระยะเวลาของการทรุดตัว แต่ในความเป็นจริงแล้วมิได้เป็นเช่นนั้น สามารถหาค่า C_v ได้หลายวิธี เช่น

1. วิธี Log - time Fitting (Casagrande และ Fadum, 1940) ตามภาพที่ 5.3

$$C_v = \frac{0.197d^2}{t_{50}}$$

โดยที่ d = the Length of the Longest Drainage Path

t_{50} = ระยะเวลาที่เกิดการทรุดตัว 50 %



ภาพที่ 5.3 การหาค่า C_v โดยวิธี Log - time Fitting

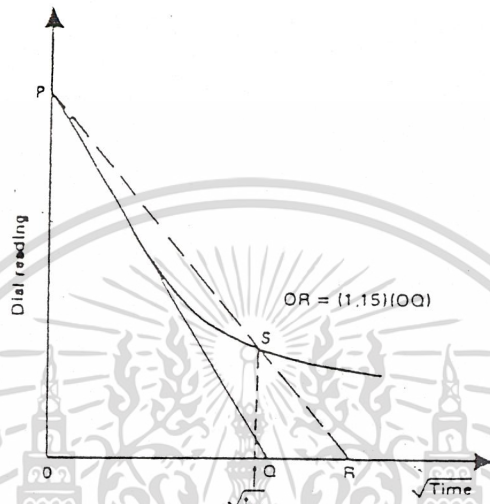
2. วิธี Square - root - time Fitting (Taylor, 1942) ตามภาพที่ 5.4

$$C_v = \frac{0.848d^2}{t_{90}}$$

โดยที่ d = the Length of the Longest Drainage Path

t_{90} = ระยะเวลาที่เกิดการทรุดตัว 90 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.4 การหาค่า C_v โดยวิธี Square - root - time Fitting

3. วิธีของ **Asaoka** (Asaoka, 1978 : Magnan และ Deroy, 1980)

$$C_v = \frac{-\left[\left(\frac{5}{12}\right)H^2 \ln \beta_1\right]}{\Delta t}$$

โดยที่ H = ความหนาของชั้นดิน

β_1 = Slope ของเส้นกราฟจากวิธีของ Asaoka

Δt = ช่วงระยะเวลาที่แบ่งไว้ (Time Interval)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Secondary Consolidation Settlement (S_s) เป็นการยุบตัวของมวลดิน เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ โดยที่ไม่แรงกระทำภายนอกเพิ่มขึ้น ไม่มี Excess Pore Water Pressure แต่มีการไหลออกของน้ำในมวลดิน ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงเม็ดดินเท่านั้น จะขึ้นกับคุณสมบัติเฉพาะของดินเอง เช่น Atterberg's Limit (PI สูงจะทรุดตัวมาก) , องค์ประกอบของสารอินทรีย์ , Sensitivity (สุรฉัตร, 2527) จะเริ่มเมื่อค่าแรงดันน้ำมีค่าเกือบเท่าศูนย์ และจะเกิดขึ้นตลอดไป เป็นปรากฏการณ์ที่ช่องว่างระหว่างมวลดินค่อย ๆ ลดลง เล็กกลง แต่ดินประเภท Sands และดินที่มีมวลหยาบอื่น ๆ ถือว่าไม่มี Secondary Compression (Stamatopoulos และ Kotzias, 1985)

การคำนวณหาปริมาณการทรุดตัวกระทำได้หลายวิธี ได้แก่

3.1 วิธีของ Terzaghi(1925) โดยใช้ข้อมูลจาก e-log p Curve

S_s = Secondary Consolidation Settlement

$$= C_\alpha H_{TS} \log \frac{t_s}{t_p}$$

โดยที่ H_{TS} = ความหนาของชั้นดินเมื่อเริ่ม Secondary Consolidation

$$= H - S_c$$

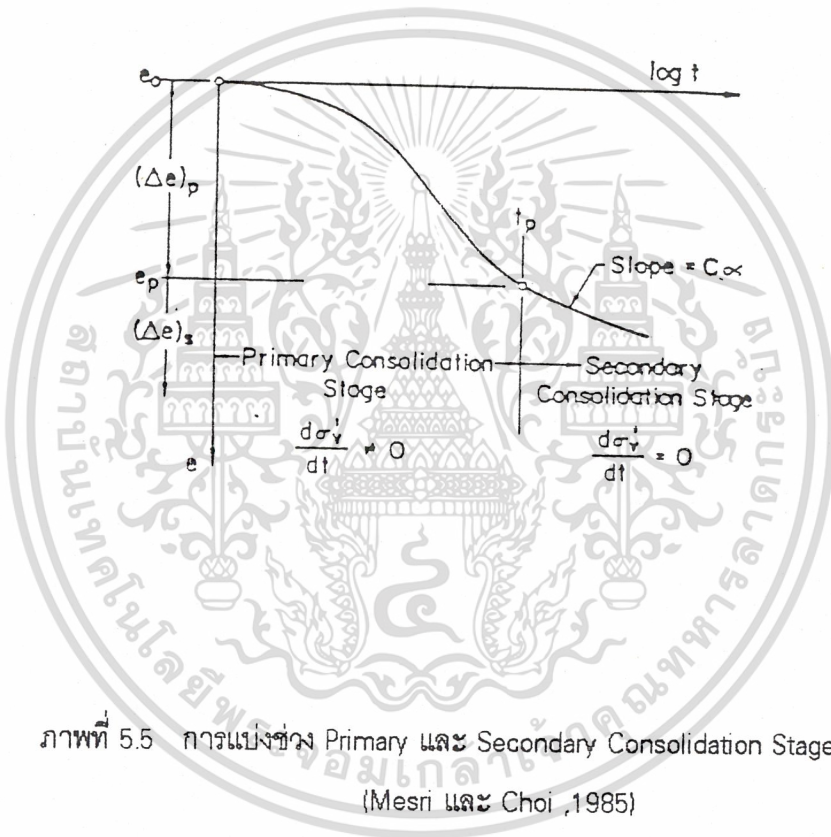
t_s = ระยะเวลาในการเกิด Secondary Compression

t_p = ระยะเวลาที่เสร็จสิ้น Primary Consolidation

3.2 วิธีของ Mesre และ Choi (1985) โดยการปรับแก้ จาก e-log p Curve เพื่อใช้กับงานดินถมบนดินอ่อนโดยตรง

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1+e_o} H_{TS} \log \frac{t_s}{t_p}$$

ค่า Secondary Compression Index, $C_{\alpha} = \frac{\Delta e}{\Delta \log t}$ ในภาพที่ 5.3 อาจจะใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบ หรือจะใช้จากความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{C_{\alpha}}{C_c}$ ซึ่งมีค่าคงที่สำหรับ Soft Clay ใด ๆ ก็ได้ (Mesri และ Godewski, 1977; Mesri และ Choi, 1984) ดังนี้



ภาพที่ 5.5 การแบ่งช่วง Primary และ Secondary Consolidation Stages
(Mesri และ Choi, 1985)

สำหรับ Inorganic Soft Clays

$$\frac{C_{\alpha}}{C_c} = 0.04 \pm 0.01$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Highly Organic Clays

$$\frac{C_{\alpha}}{C_c} = 0.05 \pm 0.01$$

สำหรับ Bangkok Clay (Bergado, 1992)

$$\frac{C_{\alpha}}{C_c} = 0.04$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ข้อมูลที่ใช้ และการคำนวณหาอายุของถนนบนดินอ่อน

6.1 อุปกรณ์และวิธีการใช้

อุปกรณ์

ภาคสนาม

ประกอบด้วย

1. Surface Settlement Plate ใช้วัดค่าการทรุดตัวของระดับผิวดิน
2. Deep Settlement Plate ใช้วัดค่าการทรุดตัวที่ระดับต่าง ๆ
3. Open Stand-pipe Piezometer ใช้วัดค่าแรงดันน้ำที่ระดับต่าง ๆ
4. Observation Well ใช้วัดค่าระดับน้ำที่ผิวดิน เพื่ออ้างอิง
5. Bench Mark ใช้เป็นค่าระดับมาตรฐาน
6. ชุดเครื่องมือทดสอบ Field Vane Shear Test ใช้ทดสอบหาค่ารับรับแรงเฉือนของ

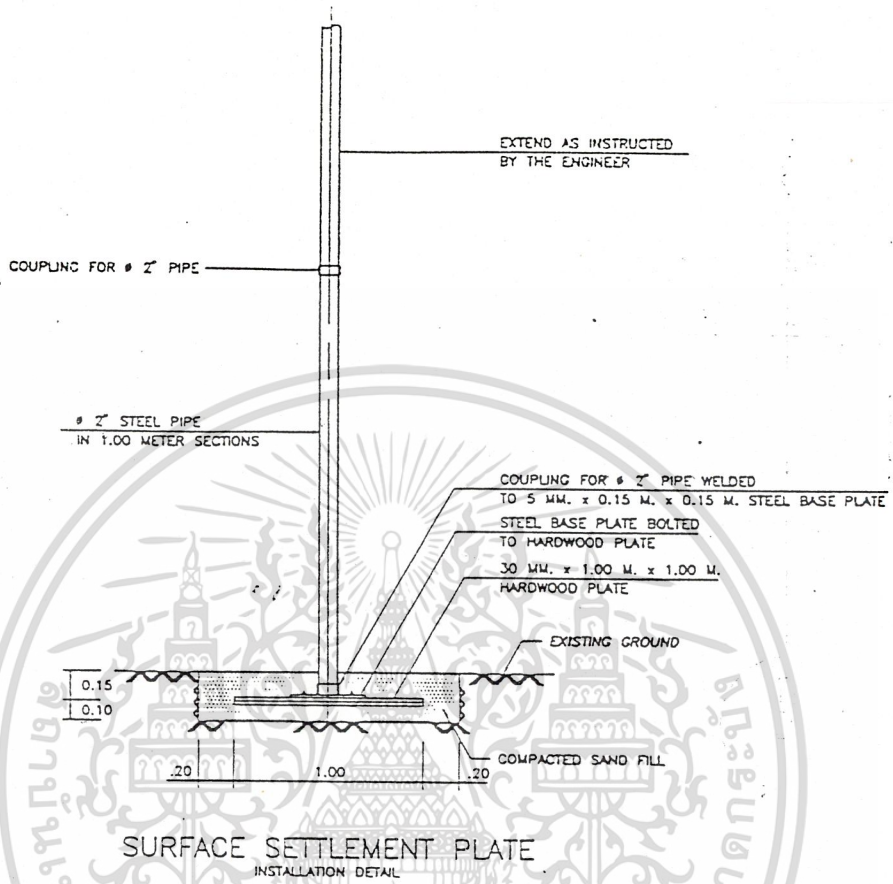
ชั้นดิน

7. ชุดเครื่องมือทดสอบ Dutch Cone Penetration Test ใช้ทดสอบหาค่า Point Resistance และ Friction Ratio ของชั้นดิน
8. ชุดเครื่องมือเจาะสำรวจชั้นดินแบบ Power Auger เก็บตัวอย่างด้วยกระบอกเปลือกบางและกระบอกผ่า

ภาคห้องปฏิบัติการ

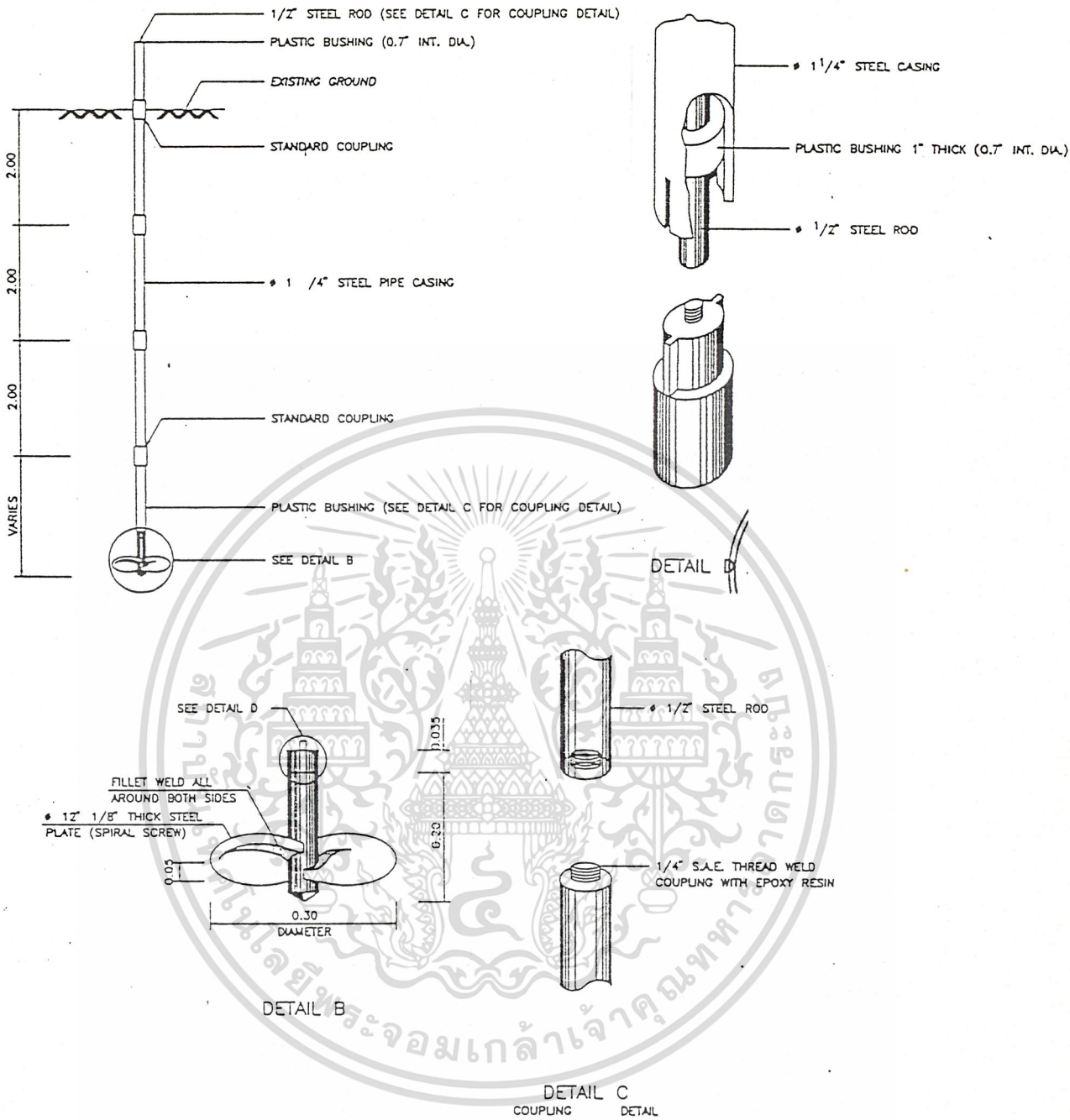
ประกอบด้วย

1. ชุดเครื่องมือทดสอบ Atterberg's Limits
2. ชุดเครื่องมือทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ
3. ชุดเครื่องมือทดสอบ Consolidation Test (Odometer Test)
4. ชุดเครื่องมือทดสอบ Triaxial Test



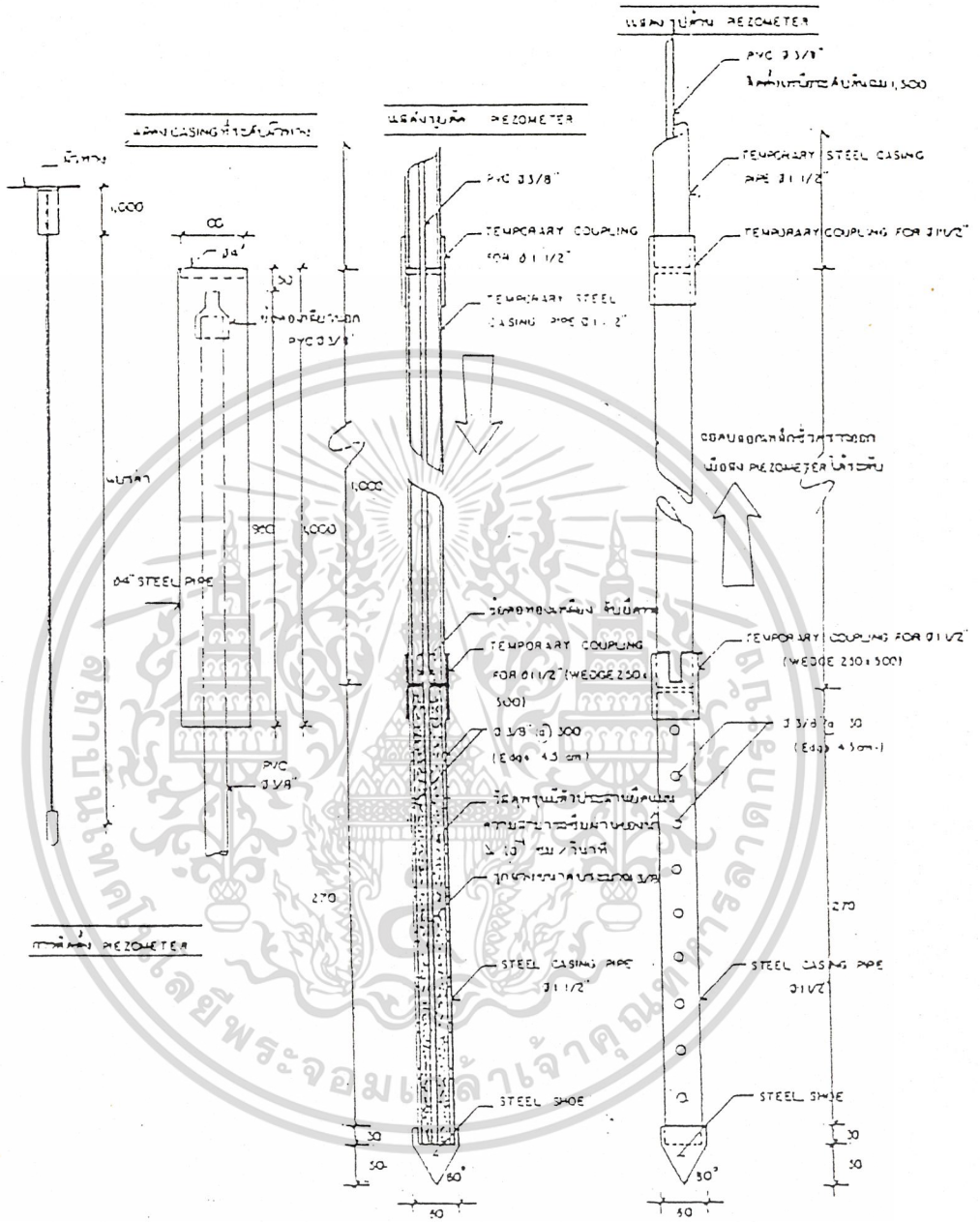
ภาพที่ 6.1 Surface Settlement Plate และการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



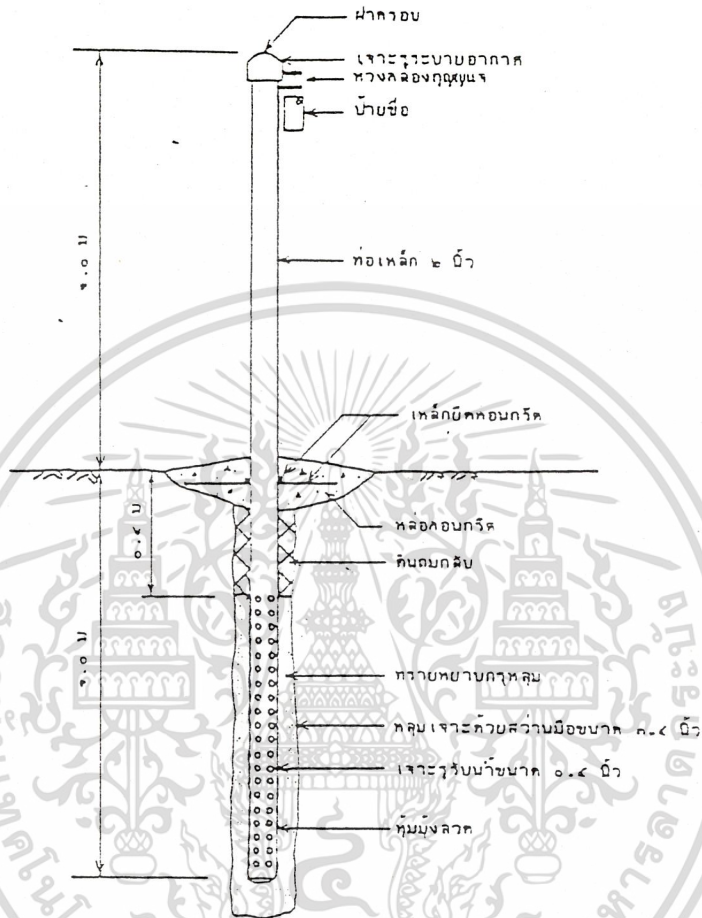
ภาพที่ 6.2 Deep Settlement Plate และการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



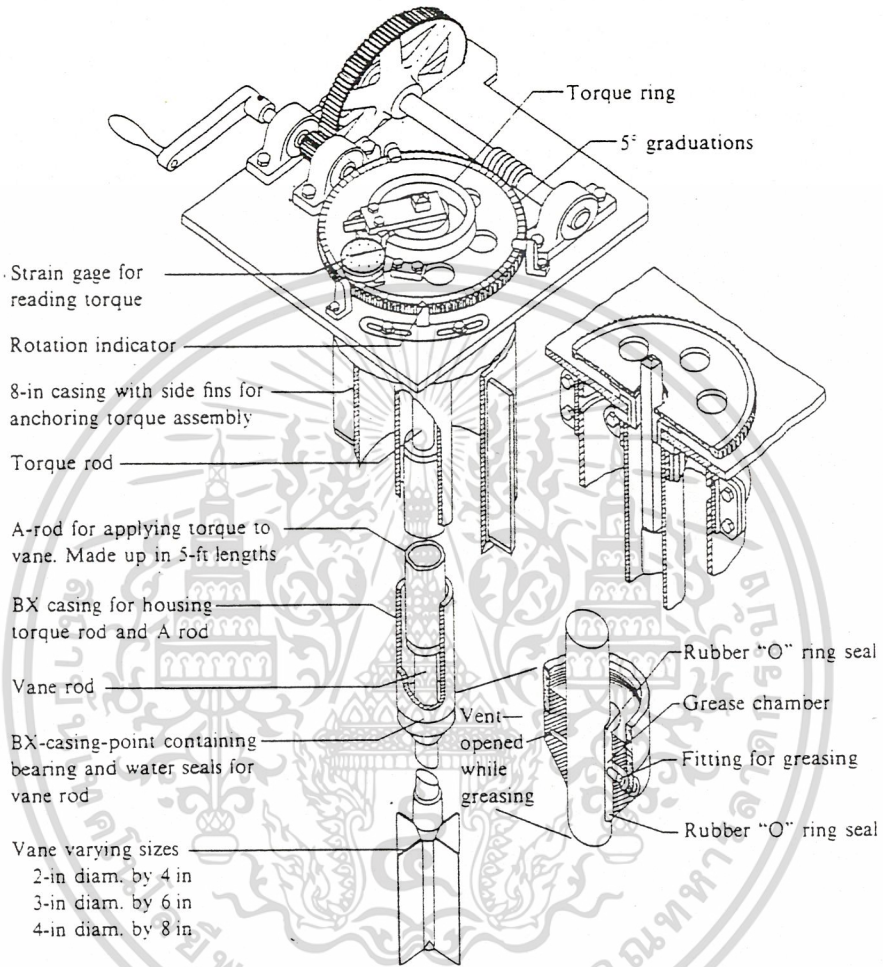
ภาพที่ 6.3 Open Stand - Pipe Piezometer และการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีควรรนำไปใช้



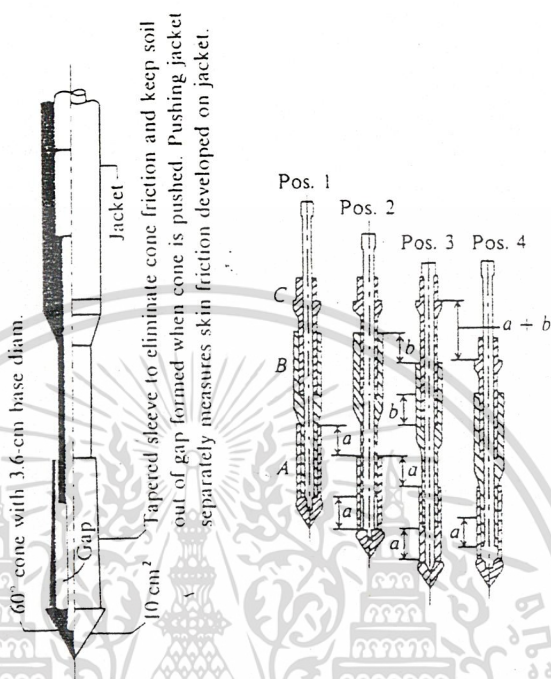
ภาพที่ 6.4 บ่อวัดน้ำ (Observation Well)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.6 ชุดเครื่องมือทดสอบ Field Vane Shear Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.7 ชุดเครื่องมือทดสอบ Dutch Cone Penetration Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคสนาม

ประกอบด้วย

1. การติดตั้งอุปกรณ์มาตรวัด จะทำการติดตั้งเป็นระบบเหมือน ๆ กัน สำหรับทุก ๆ Test Section ดังนี้

1.1 Surface Settlement Plate ติดตั้งที่ระดับผิวดินเดิม บริเวณกึ่งกลางถนน และที่บริเวณขอบไหล่ทางทั้ง 2 ข้าง

1.2 Deep Settlement Plate ติดตั้งที่ระดับความลึก 2.50, 5.00 และ 10.00 เมตร จากดินเดิมในแนวกลางถนน

1.3 Dummy Piezometer ติดตั้งที่ระดับความลึก 1.0, 2.5, 5.0, และ 10.0 เมตร จากผิวดินเดิม ที่แนวห่างออกไปจากกึ่งกลางถนน ประมาณ 5.0 เมตร ทางด้านขวามือของถนน

1.4 Open Stand-Pipe Piezometer ติดตั้งที่ระดับความลึก 1.0 (หรือ 1.50), 2.5, 5.0 และ 10.0 เมตร จากดินเดิมในแนวกึ่งกลางถนน และบริเวณขอบไหล่ทางทั้ง 2 ข้าง

1.5 Observation Well ติดตั้งที่ระยะใกล้เคียงกับ Dummy Piezometer

1.6 Bench Mark ติดตั้งที่ระยะใกล้เคียงกับ Dummy Piezometer

2. การตรวจวัดผล จะทำการอ่านค่าระดับของ Settlement Plate และ Piezometer เป็นระยะ ๆ ไป โดยเฉพาะช่วงที่มีการถมดิน พร้อมทั้งมีการบันทึกค่าความสูงของการถมดินค้นทางในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ เปรียบเทียบกันไว้ด้วย

2.1 Settlement Plate จะใช้กล้องระดับอ่านค่าจาก Bench Mark โดยตรง

2.2 Piezometer จะวัดระดับน้ำภายในท่อด้วยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าชนิด Milli Ampere Meter แล้ววัดระดับด้วยกล้องระดับจากค่าของ Bench Mark เปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำที่วัดได้จาก Dummy Piezometer และ Observation Well อีกครั้งหนึ่ง

3. การเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน ทำการเจาะดิน ด้วยเครื่อง Power Auger เก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกเปลือกบางสำหรับดินอ่อน และด้วยกระบอกผ่าสำหรับชั้นดินแข็ง การเจาะเก็บตัวอย่างเก็บตั้งแต่ ระดับดินเดิมลงไปจนถึงชั้นดินแข็งที่ความลึกประมาณ 23 เมตร

4. การสำรวจหยั่งชั้นดินในสนาม กระทำ 2 วิธีคือ

4.1 Field Vane Shear Test ใช้ได้กับชั้นดินเหนียวอ่อนโดยการกดใบมีดแบบ 4 ใบ ลงไปในชั้นดิน แล้วหมุนก้านต่อเพื่อวัดแรงต้านการหมุนของชั้นดินนั้น ทุกระยะประมาณ 1.00 เมตร จนถึงระดับความลึกประมาณ 15.00 เมตร จะสามารถหาค่า Undrained Shear Strength ของดินได้

4.2 Dutch Cone Penetration Test ใช้ได้กับดินทั่ว ๆ ไปโดยการกดแท่งโลหะลงไป ในชั้นดิน ทุกระยะประมาณ 2.00 เมตร จนถึงระดับความลึกประมาณ 22.00 เมตร จะสามารถ หาค่าความต้านทานของชั้นดินอันเนื่องมาจากปลายแท่งและบริเวณผิวได้

6.2 การทดสอบหาคุณสมบัติของดินด้านกายภาพ และด้านวิศวกรรม ภาคปฐพีปฏิบัติกร

จากตัวอย่างดินคงสภาพ จะนำมาแบ่งเก็บไว้เป็นชั้นเล็ก ๆ ยาวชั้นละประมาณ 10 ซม. เขียนรายละเอียดปิดผนึกด้วยซีเมนต์โดยรอบเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำในมวลดิน แล้วนำไปเก็บ ไว้ในห้องควบคุมความชื้นรอการทดสอบต่อไป (วรากร และคณะ, 2525) ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ประกอบไปด้วยการทดสอบหาค่า Natural Water Content, Water Content, Unit Weight, Specific Gravity, Atterberg's Limits เพื่อให้ทราบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน ให้ประกอบการพิจารณาจำแนกชนิดของดิน ตลอดจนคุณสมบัติอื่น ๆ ได้ (วรากร และคณะ, 2525)

1.1 Water Content ตาม ASTM.D 2216 โดยการหาความชื้นในมวลดินภายหลัง การอบในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง น้ำหนักของน้ำ ในดินที่ระเหยไปจะเป็นปริมาณความชื้นในมวลดินเดิม

1.2 Unit Weight โดยการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างดิน แล้ววัดหาปริมาตรของดิน ตัวอย่างนั้น ๆ

1.3 Specific Gravity ตาม ASTM.D 854 โดยใช้ขวดแก้ว Pycnometer เป็นขวดหา ความถ่วงจำเพาะของดินตัวอย่าง

1.4 Atterberg's Limits ตาม ASTM.D 424 ได้แก่ ปริมาณความชื้นของดินที่สภาวะ ต่าง ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความชื้นที่สภาวะต่าง ๆ คือ

1.4.1 Liquid Limit โดยใช้ถ้วยเคาะเมื่อเตรียมดินลงในถ้วยเคาะ ทำให้มีรอยบากมาตรฐานแล้วเคาะ 25 ครั้ง รอยบากนั้นเคลื่อนมาบรรจบกันยาวประมาณ 1 ซม. พอดี

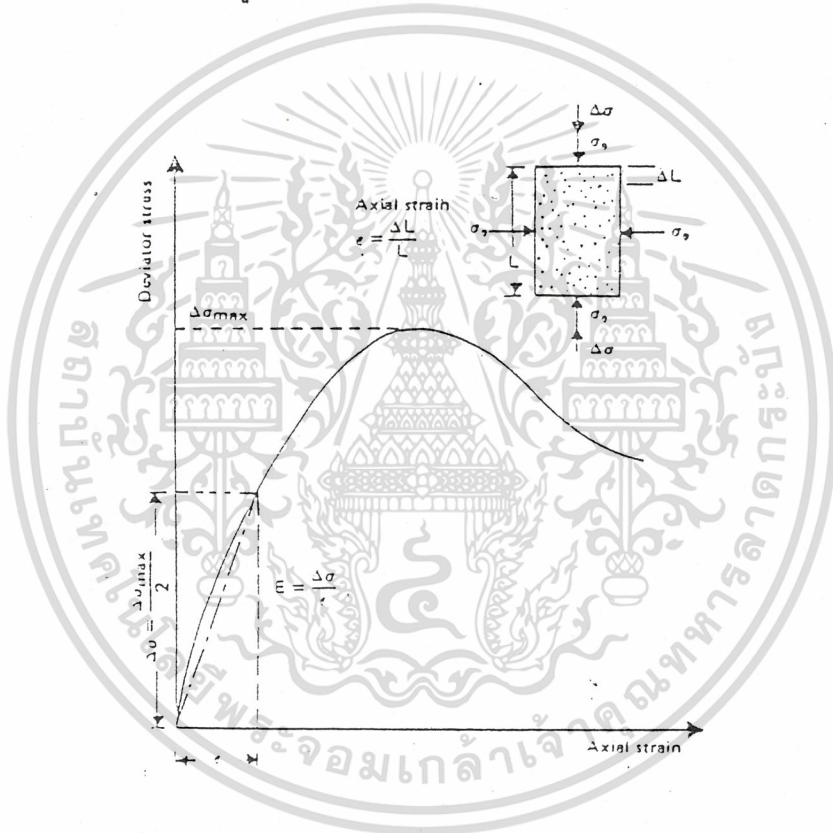
1.4.2 Plastic Limit โดยนำดินตัวอย่างมาคลึงเป็นแท่งยาว ขนาดประมาณ 3.2 มิลลิเมตร. (1/8 นิ้ว) แล้วเกิดรอยแตกพอดี

2. การทดสอบหาคุณสมบัติของดินทางด้านวิศวกรรม ประกอบด้วย

2.1 Consolidation Test ตาม ASTM.D 2435 โดยนำตัวอย่างดินมาใส่ใน Consolidometer ทำการบรรทุกน้ำหนักเป็นชุด ๆ จะสามารถหาค่า C_c , C_v , P_c ได้ การใส่น้ำหนักบรรทุกจะเริ่มจากที่ปริมาณน้อย ๆ ต่ำกว่า In Situ Overburden Pressure แล้วค่อย ๆ เพิ่มน้ำหนักบรรทุกหลังจากเกิดการหยุดตัว ผ่านพ้นช่วง Primary Consolidation Settlement ไปแล้ว โดยการนำค่าที่อ่านได้มาเขียนลงในกราฟ Settlement-time Curve เพื่อตรวจสอบทุกระยะ ในช่วงแรก ๆ นี้การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจะมีค่าเพิ่มจากเดิมไม่เกินเท่าตัว เพื่อให้ได้จุดโค้งของกราฟ Void Ratio-log p Curve ชัดเจน สะดวกต่อการหาค่า Preconsolidation Pressure ด้วย และ เมื่อแนวของเส้นกราฟเริ่มหักโค้งลงแล้ว จึงเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 2 เท่าอีกประมาณ 2-3 ครั้ง (ต้องมีค่า Pressure มากกว่าที่คำนวณได้เมื่อรวมน้ำหนักจากดินคันทางแล้ว) จากนั้นจะทำการถอนคือน้ำหนักออก 1-2 ครั้งด้วย ซึ่งจากผลของการทดสอบจะสามารถนำค่า Parameters ไปใช้ในการคำนวณค่าการหยุดตัว และยังสามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณาแบ่งชั้นดินตามกลุ่มของ P_c ได้ด้วย โดยจะทำการทดสอบกับดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน

2.2 Stress Path จาก Triaxial CK_D Test เพื่อจำลองสภาพดินฐานรากของช่วง Control Section ในสภาวะต่าง ๆ ขณะรับน้ำหนักก่อสร้าง ซึ่งเป็นลักษณะของการถมที่ละช่วง ความสูง เมื่อใส่น้ำหนักตามลักษณะของการก่อสร้างที่ละชั้น แล้วจะทำการตรวจวัดค่า Undrained Strain ก่อน แล้วจึงระบายน้ำออกเข้าสู่ชุดกระเปาะวัดประมาตร อันจะทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินตัวอย่าง และใช้ในการคำนวณค่าการหยุดตัวของดิน เมื่อน้ำระบายออกจากตัวอย่างเสร็จสิ้นแล้ว จึงทำการเพิ่ม ΔP_v และ ΔP_h ต่อไป โดยจะทำการทดสอบกับตัวอย่างดินที่จะเป็นตัวแทนของชั้นดินต่าง ๆ

2.3 Triaxial CIU Test โดยจะทำการวัดค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นด้วย ทำให้สามารถหาค่ากำลังของตัวอย่างดินได้ ทั้ง Total และ Effective Strength สามารถนำไปวิเคราะห์ Stability ของคันทางได้ ในการทดสอบจะนำตัวอย่างดิน มาทำการกดอัดด้วยแรงดันที่ In Situ Overburden Pressure แล้วจึงทำการกดตัวอย่าง จนกระทั่งตัวอย่างพังทลาย โดยไม่สามารถรับแรงกดได้มากกว่านี้อีกแล้ว หรือจนกระทั่งตัวอย่างยุบตัวลงมากกว่า 15% ของความสูงของตัวอย่างเดิม เมื่อเริ่มการทดลอง แล้วจึงนำข้อมูลมาเขียน Mohr Circles เพื่อหาค่า Strength Parameters ต่อไป ส่วนค่า E_u จะได้จากวิธีการตามภาพที่ 6.8



ภาพที่ 6.8 การหาค่า Yong 's Modulus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การคำนวณและคาดคะเนพฤติกรรมของดิน

1. การคำนวณหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชั้นดิน อันเนื่องมาจากน้ำหนักของดินชั้นทาง และจากการจราจร โดยวิธีดังต่อไปนี้

1.1 In Situ Stress จากน้ำหนักกดทับตามธรรมชาติ

$$\sigma_z = \gamma * Z$$

$$\sigma_x = K_o * \sigma_z$$

โดยที่ γ = หน่วยน้ำหนักของดิน

Z = ความลึก

K_o = Coefficient of Earth Pressure at Rest

1.2 โดยวิธีของ Gray (1936) เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้น เนื่องจากน้ำหนักดินชั้นทาง

$$\sigma_z = p (a\beta + b\alpha) / \pi a$$

$$\sigma_x = (p / \pi \alpha) \{ \alpha \beta + X\alpha + 2Z \ln (R_2 / R_1) \}$$

1.3 Boussinesq (1885) เพื่อหาความเค้นที่เกิดการจราจรในลักษณะของ Point Load จากล้อรถ

$$\sigma_z = (3/2) p Z^3 / (\pi R^5)$$

2. การทรุดตัว โดยวิธี

2.1 Theory of Elasticity (Das, 1985) ในการหาค่า Immediate Settlement

$$S_i = q B (1 - \nu^2) / E$$

2.2 One - Dimensional Consolidation Settlement จาก Oedometer Test โดยวิธีของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Terzaghi (1925)

$$S_c = \sum \frac{C_c}{1+e_0} h \cdot \log \frac{p'_0 + \Delta p}{p_c}$$

2.3 อัตราการทรุดตัว โดยหาค่า C_v จาก

- Square-root-of-time ตามวิธีของ Taylor (1942)

6.4 ผลการเก็บตัวอย่างดินซึ่งนำมาทดสอบหาคุณสมบัติของดิน

6.4.1 ถนนสายธนบุรี - สมุทรสาคร (พระรามที่ 2)

ตัวอย่างดิน สถานที่ โครงการทางหลวงพิเศษหมายเลข 35 สายธนบุรี - สมุทรสาคร (พระรามที่ 2) กม. 8+121 ถึง กม. 8+371 ผลของการเจาะสำรวจ เก็บตัวอย่างดิน การทดสอบคุณสมบัติของดิน ทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนการคำนวณและวิเคราะห์ผล มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

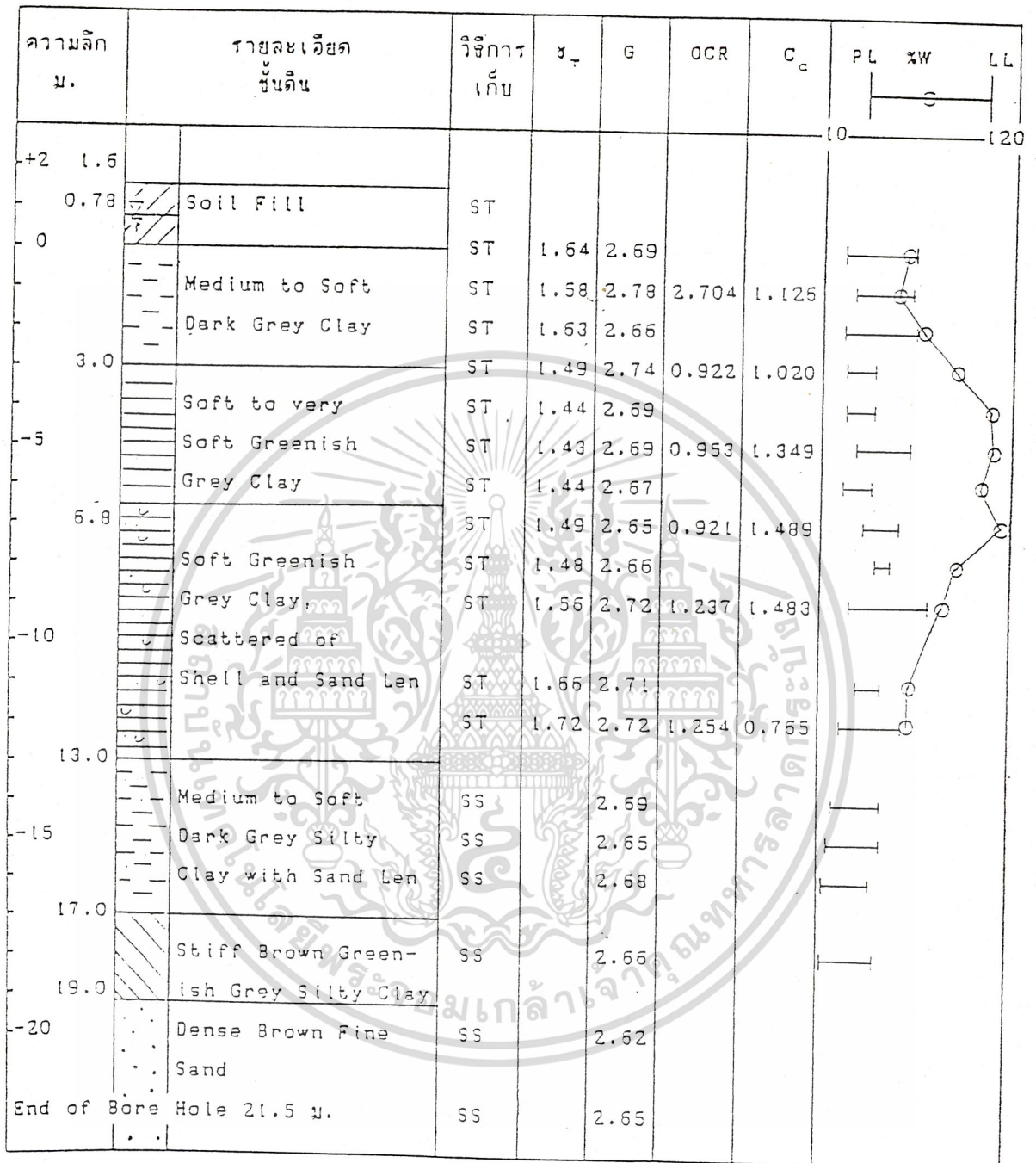
1. การเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างได้กระทำเป็นจำนวน 3 หลุมโดยใช้เครื่อง Power Auger ที่บริเวณด้านนอกเขตทางที่ กม. 8+180 , 8+340 และ 8+356 เริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่ระดับ 0+000 โดยใช้กระบอกลูกกลิ้งกลาง จนกระทั่งถึงระดับความลึกประมาณ 13 เมตร จะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งจะใช้กระบอกลูกกลิ้งเก็บตัวอย่างจนถึงระดับประมาณ 19 เมตร ถัดจากนั้นจะเป็นชั้นทรายละเอียดอัดแน่น ไปจนถึงสิ้นสุดความลึกของหลุมที่ระดับประมาณ 21.5 เมตร พบว่าชั้นดินแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ตามภาพที่ 6.9 Soil Boring log ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1.1 ความลึก 0.000 - 3.000 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวสีเทาเข้ม แข็งปานกลาง จนถึงอ่อนที่ความลึก 3.000 เมตร

1.2 ความลึก 3.000+ 6.800 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมาก มีสีเทาอมเขียว

1.3 ความลึก 6.800 - 13.000 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน สีเทาอมเขียวมีเศษเปลือกหอยอยู่กระจัดกระจายกัน มีชั้นของทรายละเอียดสีน้ำตาลแดงแทรกเป็นริ้ว ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.9 Soil Boring Log

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ความลึก 13.000 - 17.000 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวสีเทาเข้ม มีความแข็งตัวปานกลาง มีชั้นของทรายละเอียดสีน้ำตาลแดงแทรกเป็นริ้ว ๆ

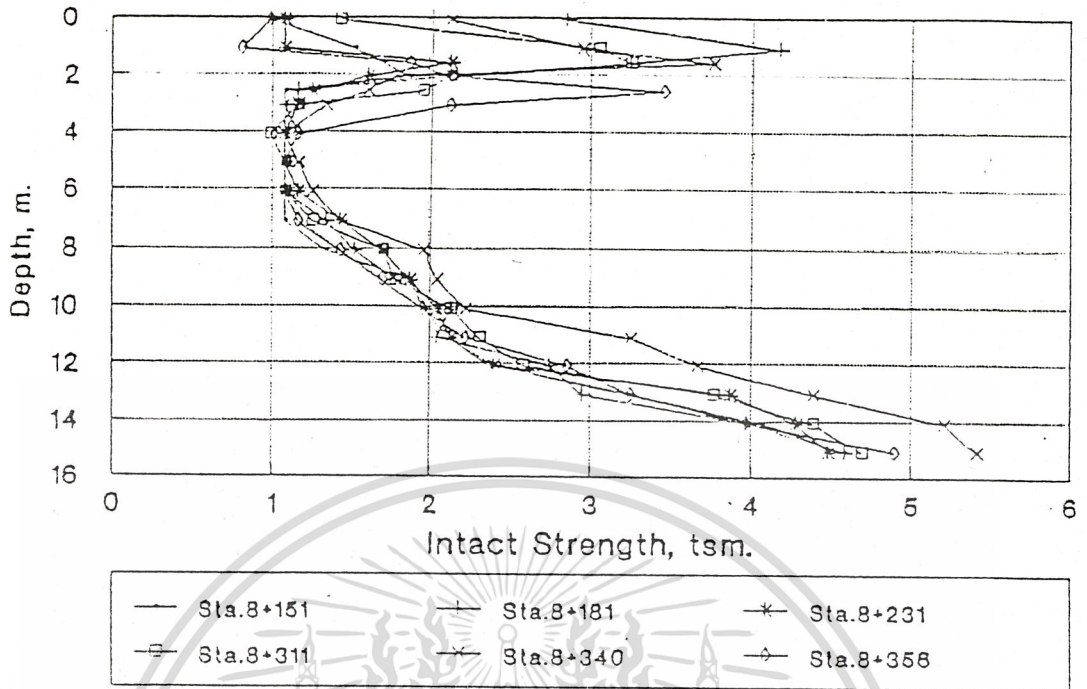
1.5 ความลึก 17.000 - 19.000 เมตร เป็นชั้นดินเหนียว สีเทาอมเขียวค่อนข้างแข็งชั้นบ้าง

1.6 ความลึก 19.000 - 21.5000 เมตร เป็นชั้นทรายเม็ดละเอียดอัดแน่นสีน้ำตาล

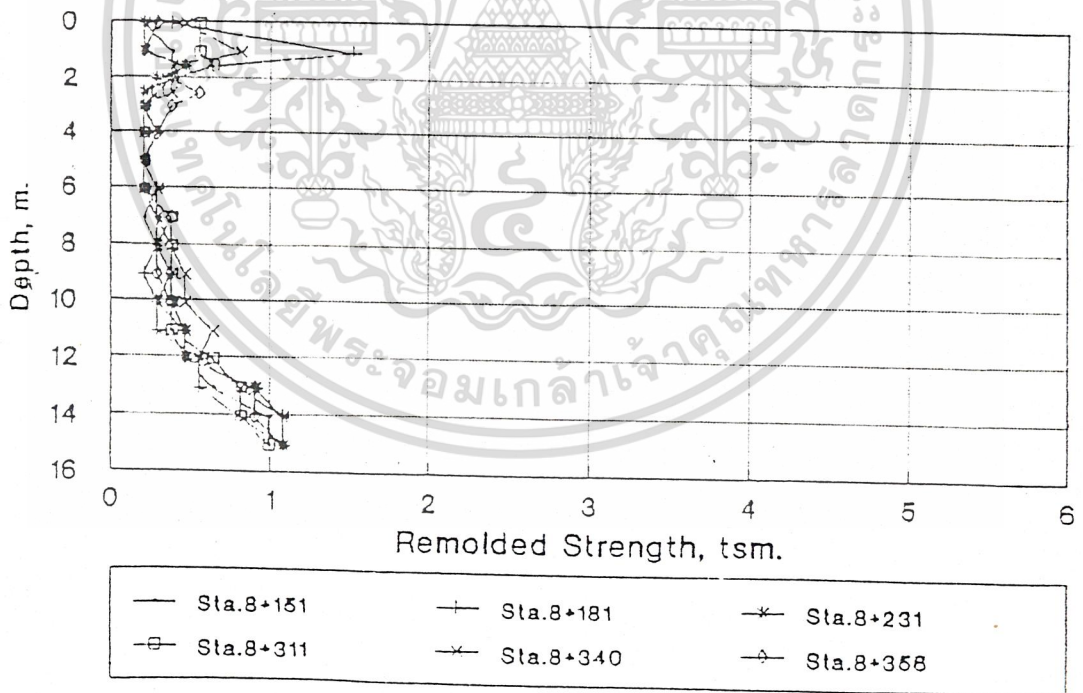
จากลักษณะของชั้นดินดังกล่าว จะเป็นลักษณะโดยทั่วไปของ Bangkok Clay (Cox, 1971 : Balasubramaniam และคณะ, 1979) โดยที่ชั้นบนสุดจะเป็นชั้นเปลือก (Crust) เกิดจากการกัดกร่อนตามธรรมชาติ การระเหยของน้ำ ถูกแสงแดดเผา เป็นต้น ทำให้มีลักษณะแข็งหนาประมาณ 3 - 5 เมตร ถัดจากนั้นจะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน บางแห่งอาจจะเหลว และเป็นเลน หนาประมาณ 0.5 - 1.0 เมตร และได้ชั้นดินเลนนี้ลงไปจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นดินเหนียว ซึ่งจะมีความหนาตั้งแต่ 12 - 15 เมตร ไม่แน่นอน และได้ชั้นดินแข็งปานกลางนี้ลงไปจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง จนถึงระดับความลึกประมาณ 18 - 23 เมตร แล้วจะเป็นชั้นดินทรายอัดแน่นชั้นแรก ความหนาไม่แน่นอน ต่อจากชั้นทรายชั้นแรกจะเป็นชั้นดินเหนียวแน่นมาก และชั้นทรายอัดแน่น สลับกันไป

2. ผลจากการทดสอบ Field Test ได้แก่การทดสอบ Field Vane Shear Test และ Come Penetration Test พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของชั้นดินตามที่ได้แบ่งไว้ ในหัวข้อข้างต้น โดย

2.1 Field Vane Shear Test ทำการทดสอบจนถึงระดับความลึกประมาณ 15 เมตร พบว่ามีค่า Undrained Shear Strength สูงบริเวณชั้นเปลือกโดยมีค่าประมาณ 3.22 ตัน/ตร.เมตร ถัดจากนั้นจะลดลงมาก เป็นที่ประมาณ 0.95 ตัน/ตร.เมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 5 เมตร แล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มตามความลึก จนเป็น 2.62 ตัน/ตร.เมตร ที่ความลึก 15 เมตร ตามภาพที่ 6.10, 6.11 และ 6.12

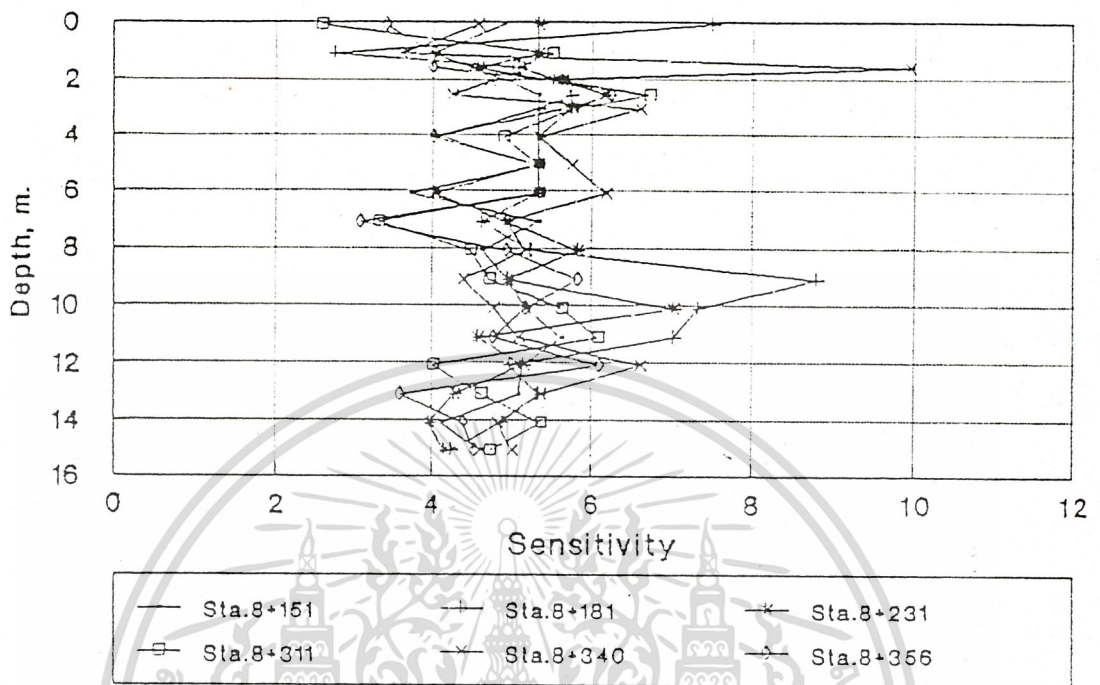


ภาพที่ 6.10 ค่า Intact Strength ของชั้นดินจาก Vane Shear Test



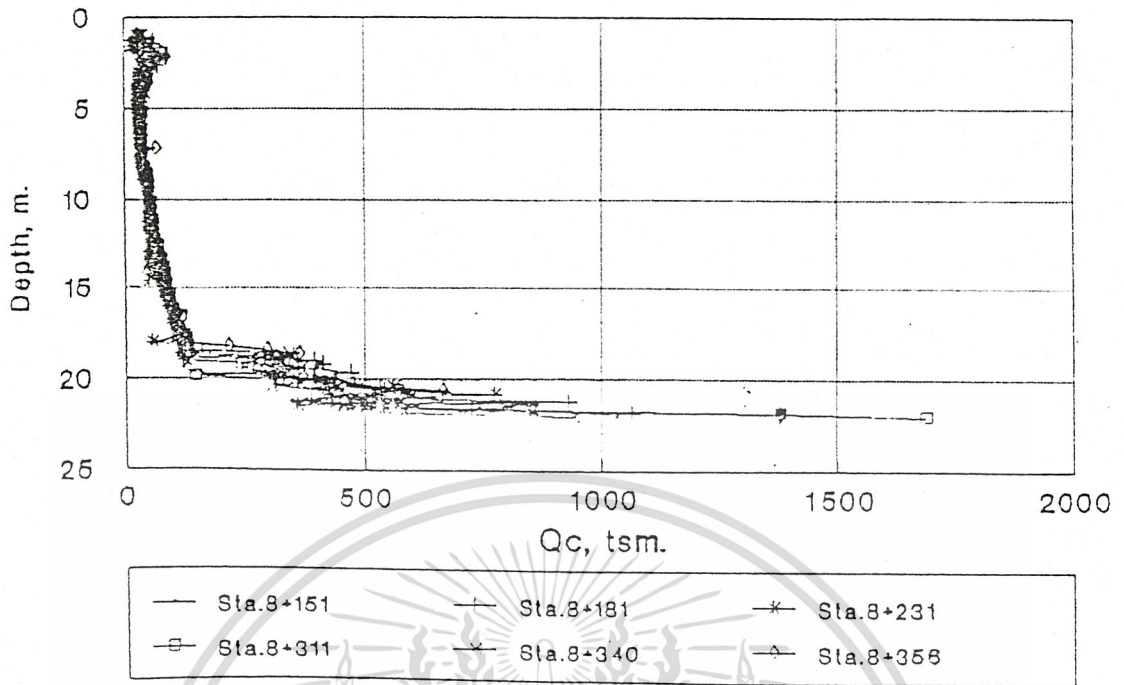
ภาพที่ 6.11 ค่า Remolded Strength ของชั้นดิน Vane Shear Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

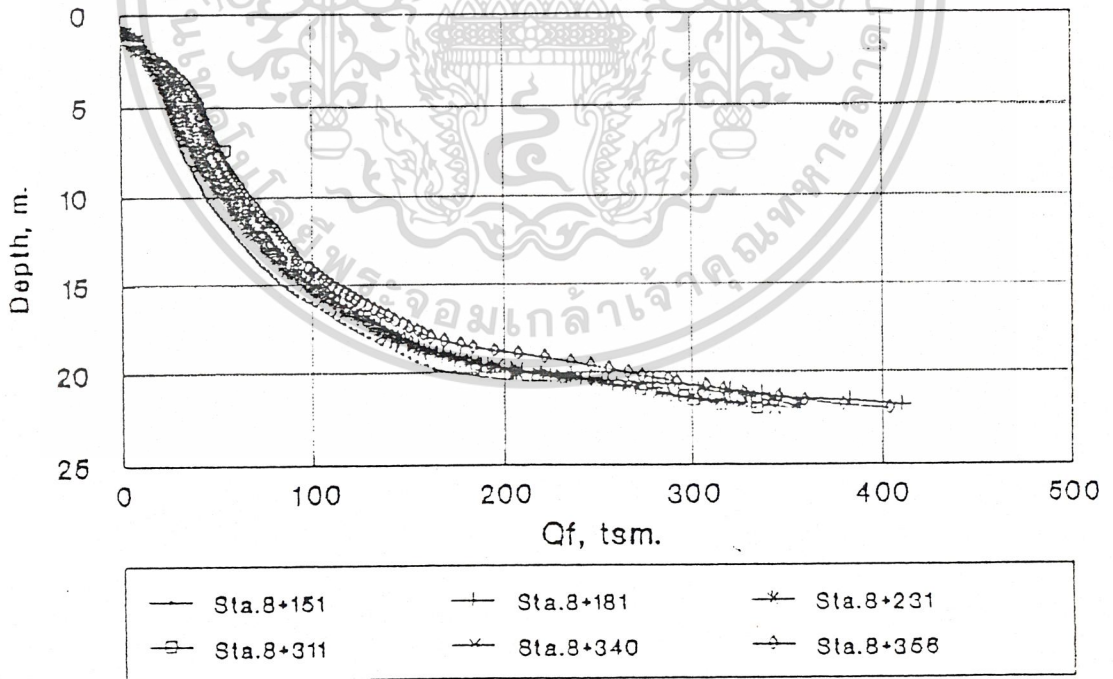


ภาพที่ 6.12 ค่า Sensitivity ของชั้นดินจาก Vane Shear Test

2.2 Cone Penetration Test ทำการทดสอบจนถึงระดับความลึกประมาณ 22 เมตร ค่า Cone Resistance พบว่ามีลักษณะของเส้นกราฟเช่นเดียวกับผลจาก Vane Shear Test โดยจะมีค่าสูงที่บริเวณชั้นเปลือก โดยมีค่า Q_c ประมาณ 23 ตัน/ตร.เมตร ที่ความลึกประมาณ 1.5 เมตร จากนั้นจะลดลงเป็น 1.01 ตัน/ตร.เมตร ที่ความลึกประมาณ 5 เมตร แล้วจึงค่อยเพิ่มตามความลึก จนกระทั่งที่มีค่า 55 ตัน/ตร.เมตร ที่ความลึกประมาณ 15 เมตร ส่วนค่า Friction Ratio จะเกาะกลุ่มกันอยู่ในช่วงกลาง ๆ ประมาณ 3 ตามภาพที่ 6.13 , 6.14 และ 6.15

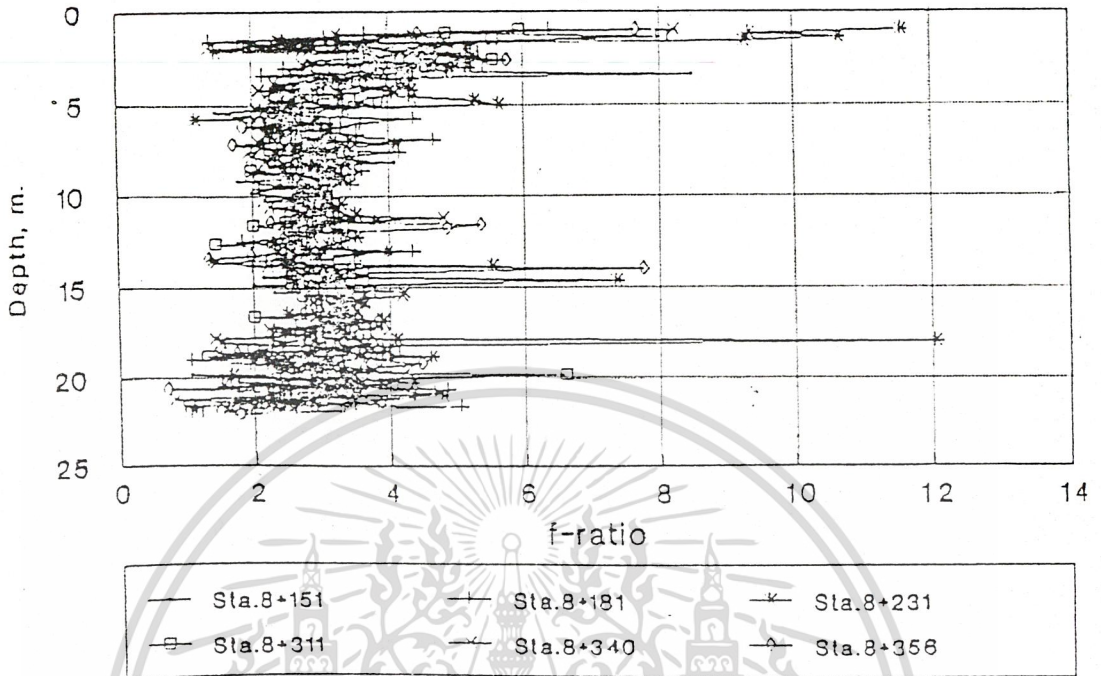


ภาพที่ 6.13 ค่า Cone Resistance, Q_c ของชั้นดินจาก Cone Penetration Test



ภาพที่ 6.14 ค่า Friction Resistance, Q_f ของชั้นดินจาก Cone Penetration Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.15 ค่า Friction - Ratio ของชั้นดินจาก Cone Penetration Test

3. ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ ดังมีรายละเอียดใน Boring Log ได้แก่

3.1.1 Atterberg's Limits และความสัมพันธ์ตามธรรมชาติค่า PL และ LL ไม่กระจายมากนัก จะมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน โดยมีค่า PI ประมาณ 10 - 30 % ส่วนความชื้นในมวลดินปรากฏว่าในช่วงความลึก 0 - 3 เมตร จะมีค่าใกล้เคียงกับ LL ถัดจากนั้นจะมีค่าสูงกว่า LL โดยเฉพาะในช่วงความลึก 3 - 6.8 เมตร แสดงว่ามีความเหลวมาก และเมื่อความลึกมากขึ้นก็มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ามีความแข็งตัวมากขึ้นตามลำดับ

3.1.2 ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ประมาณ 2.6 - 2.7

3.1.3 ค่าหน่วยน้ำหนักของดิน ประมาณ 1.4 - 1.7 ตันต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม

3.2.1 Compressibility จากการทดสอบ Consolidation Test พบว่ามีค่า $e_0 = 1.43 - 2.81$ ค่า $c_c = 0.765 - 1.489$ ค่า $c_r = 0.0261 - 0.1711$ และ c_v ประมาณ 0.001 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ตามตารางที่ 6-1 และมีผล $e - \log P$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่ 6 (ความลึก 12.2 เมตร) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Void Ratio ต่ำที่สุด

ตารางที่ 6-1 คุณสมบัติด้าน Compressibility

ที่	ลึกเฉลี่ย เมตร	e_0	C_c	C_r พม. วินาที	C_v	P_c	OCR
1	1.3	2.24	1.126	0.1554	0.0029	7.00	2.622
2	3.3	2.39	1.020	0.0745	0.00064	3.40	0.903
3	5.3	2.81	1.394	0.1266	0.00148	4.30	0.937
4	7.3	2.51	1.489	0.1711	0.00118	5.00	0.908
5	9.3	2.32	1.483	0.0261	0.00111	8.00	1.223
6	12.2	1.43	0.765	0.1288	0.00118	10.50	1.243

ตารางที่ 6-2 ผลการทดสอบ Triaxial CIU Test

ที่	ช่วงความลึก เมตร	หนา เมตร	E_u ตัน/เมตร ²	EH/C ตัน/เมตร ²	Φ องศา	C ตัน/เมตร ²	ϕ องศา
1	0.0 - 3.0	3.0	576	1.00	16.04	1.40	10.41
2	3.0 - 6.8	3.8	11.04	1.23	8.03	0.87	8.05
3	6.8 - 13	6.2	1416	0.27	23.27	0.40	13.39
4	13 - 17	4.0	832	0.86	19.26	0.97	10.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6-3 ผลการทดสอบ Field Strength Test

ที่	ลึกเจตย เมตร	Field Vane Shear		Cone Penetration Test	
		C_u (vane)	C_u (field)	Q_c	C_u
1	1.5	3.5	3.22	23	3.56
2	4.9	1.0	0.95	31	1.01
3	9.9	1.8	1.62	46	1.87
4	15	2.7	2.62	55	2.35

4. การวิเคราะห์ข้อมูลและพฤติกรรมของดินฐานราก

4.1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในมวลดิน สำหรับค่า Geostatic Stress จะพิจารณาเป็นดินประเภท Anisotropy โดยมีค่า $K_0 = 0.68$ (Supachai, 1982) ส่วน Induced Stress จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ จากน้ำหนักของดินคันทางเอง ซึ่งมีภาพร่างเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู จึงหาค่าโดยวิธีของ Gray (1936) และจากการสัญจรไปมาของยานพาหนะขนาดน้ำหนักบรรทุก 30 ตัน ซึ่งจะพิจารณาแรงกระทำลงล้อเป็นจุด จึงหาค่าโดยวิธีของ Boussinesq (1885) ซึ่งจากการก่อสร้างจริง ลักษณะ ระยะเวลา และวัสดุก่อสร้างคันทางก็ไม่เหมือนกัน คือ

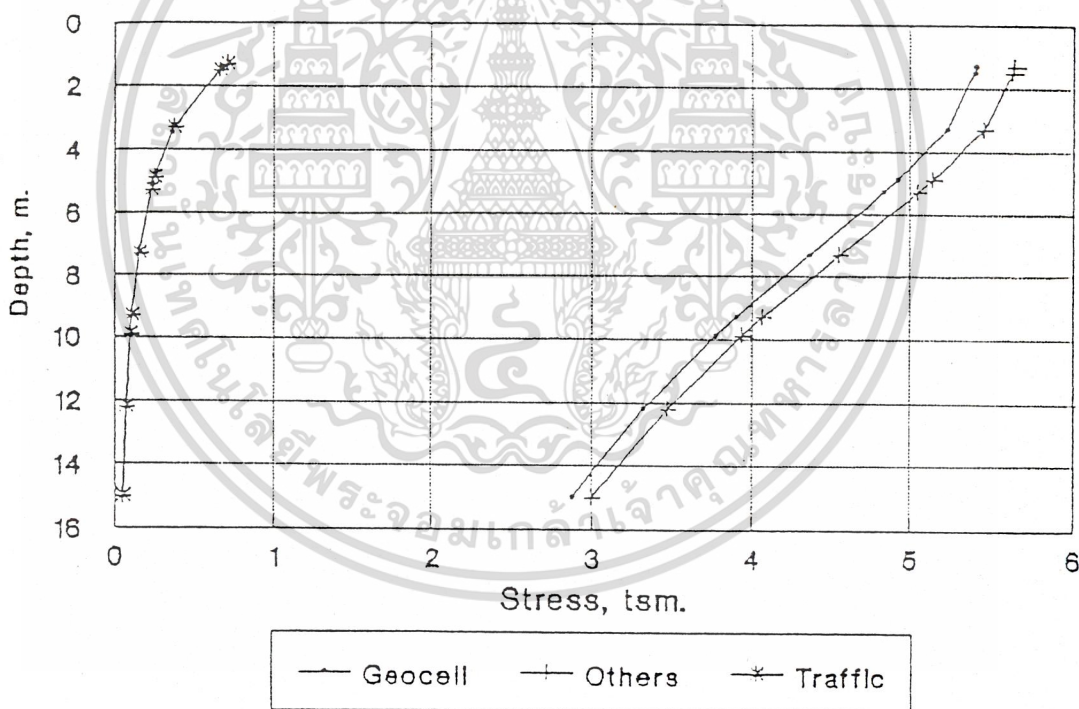
ตารางที่ 6-4 ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชั้นดิน

ที่	ช่วงความลึก เมตร	เฉลี่ย เมตร	Geostatic Stress		Embankment Stress		Traffic Stress
			P_0 ตัน/เมตร ²	P_0 ตัน/เมตร ²	Geocell ตัน/เมตร ²	Others ตัน/เมตร ²	
1	0.0 - 3.0	1.5	2.792	7.00	5.404	5.643	0.938
2	3.0 - 6.8	4.9	4.374	4.30	4.925	5.143	0.352
3	6.8 - 13	9.9	6.853	8.00	3.770	3.937	0.138
4	13 - 17	15	9.978	10.50	2.869	2.996	0.071

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าหน่วยแรงที่เกิดจากการจราจร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักของโครงสร้างถนน, Geostatic Stress และ P_0 แล้วมีค่าน้อยมาก ตามภาพที่ 6.16 ดังนั้นการออกแบบให้ความสูงของตัวถนนในกรณีนี้ คือ 2.70 เมตร จึงมีความสูงมากเพียงพอที่จะมีผลกระทบจากแรงกระทำของการจราจรน้อยมาก และในช่วงความลึกที่ 4 คือตั้งแต่ความลึกตั้งแต่ 13 เมตรลงไป จะสังเกตเห็นว่า Induced Stress มีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ Geostatic Stress และ P_0 ดังนั้นอิทธิพลของ Induced Stress จึงมีผลกระทบมากในช่วงความลึกไม่เกิน 13 เมตรเท่านั้น

4.2 Young's Modulus สามารถหาค่าได้จากการทดสอบ Triaxial CIU Test ในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 6.16 เปรียบเทียบหน่วยแรงที่เกิดจากการจราจร และจากตัวถนน

ตารางที่ 6-5 เปรียบเทียบค่า Young's Modulus

ที่	ช่วงความลึก	หนา	E _u ตัน/ตารางเมตร	
	เมตร		CU	7Q
1	0.0-3.0	3.0	576	161
2	3.0-6.8	3.8	1104	217
3	6.8-13	6.2	1416	322
4	13-17	4.0	832	385
เฉลี่ย			1131	254

4.3 การทรุดตัวของถนนใน Section ต่างๆ ประกอบกับการพิจารณาจากข้อมูล การทรุดตัวของ Deep settlement Plate พบว่า ที่ระดับลึก 10 ม. มีค่าการทรุดตัวน้อย ดังนั้นการ พิจารณาชั้นดินที่จะเกิดการทรุดตัวจึงพิจารณาเพียงความลึกไม่เกิน 13 ม.

6.4.2 ถนนสายบางนา - บางปะกง (กม. 25 - 33)

ใช้คุณสมบัติของดินอ่อนส่วนใหญ่จาก กม. 28 เนื่องจากว่าได้มีการตรวจสอบ คุณสมบัติของดินบนทางสายบางนา-บางปะกง เมื่อครั้งที่บริษัท Kampsax เป็นวิศวกรที่ปรึกษา ออกแบบทางสายนี้ โดยได้จ้าง NGI (Norwegian Geotechnical Institute) เป็นที่ปรึกษาทางด้าน ปรุพีกลศาสตร์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดิน และได้ทดสอบดินถมที่ กม. 28 ไว้ด้วย

ดินอ่อนที่บริเวณ กม. 25 - 33 นั้นเป็นช่วงที่มีดินอ่อน และหนามากที่สุด ระดับ ผิวดินของพื้นที่ดังกล่าวอยู่ที่ 0.2 - 0.5 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ปกติน้ำจะท่วมใน หน้าน้ำ และพื้นดินจะแห้งในหน้าแล้ง ระดับน้ำใต้ดินแปรเปลี่ยนจาก 1.0 เมตรเหนือระดับพื้น ดิน และ 0.50 เมตร ใต้ระดับผิวดิน ดินอ่อนถึงค่อนข้างแข็งอยู่ที่ความลึก 20 - 25 เมตร โดยมี ชั้นดินเหนียวแข็งและทรายอยู่ได้ล่างตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินอ่อนมีขีดพลาสติก (Plastic Limit) 25 - 60% ค่าขีดเหลว (Liquid Limit) 10 - 160% ในชั้นดินอ่อนนี้ (ยกเว้นที่เปลือกของดินอ่อน) ค่าเหล่านี้ค่อย ๆ ลดลงตามความลึก ค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity Index) ของดินอ่อนประมาณ 80 - 100 % ที่ความลึกถึง 12 เมตร (ยกเว้นที่เปลือก) และประมาณ 50 - 60 % ที่ความลึกมากกว่า 12 เมตร ปริมาณน้ำในมวลดินจะค่อย ๆ ลดลงตามความลึก และมีค่ามากกว่า 100 - 160 % ในช่วง 12 เมตรแรก และลดลงเหลือ 30 % ซึ่งเกือบเท่ากับพลาสติกที่ชั้นดินเหนียวแข็ง จาก Plastic Chart ภาพที่ 6.17

กำลังของดินอ่อนได้วิเคราะห์ในห้องทดลองอย่างละเอียดโดย Holmberg (1977) มีการทดลอง Undrained Simple Shear Test และ Undrained Triaxial Compression and extension Test ส่วนใหญ่ทดลองแบบ Strain-Controlled แต่มีการใช้ Stress-Controlled Triaxial Test ด้วย ค่ากำลังของดินอ่อนโดยวิธีต่าง ๆ ดูได้จากตาราง 6-6 และ 6-7 Holmberg ได้สรุปไว้ว่าในการทำ Stress-Controlled Test นั้น ดินอ่อนพังทะลายที่ความเค้นต่ำกว่าดินตัวอย่างใน Strain-Controlled Test เวลาที่ตัวอย่างดินพังทะลายใน Stress-Controlled Test นั้นยาวกว่า ดังนั้นการพังทะลายของดินกรุงเทพฯ จึงขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วในการเพิ่มน้ำหนักให้กับดิน กำลังของดินอ่อนที่หาจาก Field Vane Test ในบริเวณที่อ่อนมาก และลึกที่สุดได้แสดงไว้ในภาพที่ 6.18 และ 6.19

Triaxial Extension Test ของเปลือกดินที่หนองงูเห่าซึ่งใกล้กับ กม. 15 ของทางสายบางนา-บางปะกง มีผลดังรายงานของ Balasubramaniam & Wageed-Uddin (1977) ดังนี้

Natural water Content	133 %
Natural void ratio	3.86
Degree of saturation	95 %
Specific gravity	2.73
Liquid Limit	123 %
Plasticity index	82 %
Dry density	0.576 Mg/m ³
Soluble salt content	7.0 g/l
Organic matter	4 %
pH	8.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Grain size distribution	
Sand	7.5 %
Silt	23.5 %
Clay	69 %
Color	dark gray
มุมต้านแรงเฉือนประสิทธิผล (ϕ')	มีค่า 28.9 องศา

ผลจากการทำ Consolidation Test ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6-8 ได้เปลือกของดินอ่อน Preconsolidation Pressure (p_o) มีค่าประมาณ 1.5 เท่าของค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักที่มันถูกกดทับอยู่ (ภาพที่ 6.20) ค่า Compression Ratio $C_R = \frac{C_c}{1+e_o}$ สำหรับความเค้นที่เกินค่า p_o ดูได้จากภาพ 6.21 จะเห็นว่า C_R มีค่ามากถึง 0.9 ซึ่งแสดงว่าดินนี้เมื่อถูกความเค้นเกินค่า p_o แล้วจะมีการทรุดตัวอย่างมาก ค่า Coefficient of Consolidation (C_v) ดูได้จากภาพ 6.22 ซึ่งหาโดยวิธีของ Taylor ค่า C_v นี้จะลดลงอย่างรวดเร็วจาก 6.30 เป็น 0.16 $m^2/year$ เมื่อความเค้นเกินค่า p_o ค่า C_v และ Coefficient of Permeability (k) ที่ความเค้นเกิน p_o นั้นได้แสดงไว้ในภาพที่ 6.23 ค่า Coefficient of Earth Pressure at Rest (k_o) ในปัจจุบันประมาณว่ามีค่า 0.8 - 0.9

ในกรุงเทพ ฯ และบริเวณใกล้เคียง แรงดันน้ำในระดับต่าง ๆ โดยเฉพาะที่ความลึกมาก ๆ แรงดันน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัด การลดลงของแรงดันน้ำทำให้เกิดปัญหาเรื่องกรุงเทพทรุด LEA & TEC (1981) คาดว่าในบริเวณที่จะทำการวิเคราะห์นี้การทรุดตัวจากสาเหตุเดียวกับกรุงเทพ ฯ ทรุดนี้มีน้อยมาก และมีได้นำมาคิดในที่นี้

ค่า Young's Modulus (E_u) หาได้จาก Shear Modulus ที่ 50 % ของความเค้นที่ทำให้ดินตัวอย่างพังทะลาย (G_{50}) ดูค่า G_{50} จากตารางที่ 6-6 และ 6-7 กราฟของค่า G_{50} และ E_u ของแต่ละความลึกได้แสดงไว้ในภาพที่ 6.24 ได้สมมติให้ค่า Poisson's Ratio (μ) เท่ากับ 0.5

ในการวิเคราะห์การยุบตัวของดินอ่อนภายใต้คันทางนี้ได้วิเคราะห์โดยวิธี
 One-Dimensional Consolidation Method ซึ่งวิธีนี้ได้สมมุติว่าดินที่ถูกน้ำหนักกระทำไม่เกินค่า p_0
 ไม่มีการยุบตัวเกิดขึ้น ค่า p_0 ที่ความลึกต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในกราฟภาพที่ 6.20 คุณสมบัติของ
 ดินที่ใช้ในการคำนวณการยุบตัวได้ใช้ค่าจากตารางที่ 6-8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 6 - 6 Summary of results from simple shear tests (after Holmberg 1977)

Test No	Sample Depth, m	Initial Conditions				Consolidation				Failure Conditions						
		w, %	w _L , %	w _p , %	I _p , %	p _c , t/m ²	P _c , t/m ²	U _{vc} , t/m ²	e _{vc} , %	V _h , t/m ²	$\frac{V_h}{p_c}$	$\frac{\Delta\sigma_v}{p_c}$	$\frac{V_h}{\sigma_v}$	γ, %	γ, %/h _v	C ₅₀ , t/m ²
S1E1	2.45	149.4	150.5	63.3	87.2	1.10	2.7	1.15	1.01	0.68	0.62	-0.21	0.73	3.4	3.5	75
S1E2	2.50	145.9	156.5	67.7	86.8	1.10	2.7	1.12	0.92	0.66	0.59	-0.13	0.67	2.0	2.5	450
S2E1	3.35	140.2	146.2	59.1	87.1	1.40	2.0	1.53	2.38	0.82	0.58	-0.17	0.64	4.2	2.8	62
S2E2	3.40	131.4	132.7	53.6	79.1	1.40	2.0	1.46	1.37	0.76	0.54	-0.17	0.62	4.1	2.4	51
S2E3	3.80	142.8	146.0	63.0	83.0	1.50	2.2	1.54	3.30	0.70	0.47	-0.11	0.51	4.2	3.1	76
S3E2	4.40	154.7	152.9	66.7	86.2	1.70	2.6	1.66	2.42	0.64	0.38	-0.33	0.57	4.0	3.1	53
S3E1	5.20	141.9	147.6	68.6	79.0	2.00	3.0	1.94	1.17	1.09	0.54	-0.19	0.70	3.9	3.1	108
S4E2	5.45	138.4	153.4	66.3	87.1	2.05	3.2	1.94	1.58	0.92	0.45	-0.20	0.60	2.8	3.1	70
S5E1	7.55	145.1	153.1	75.8	77.3	2.75	4.3	2.75	1.85	1.18	0.43	-0.24	0.57	2.6	2.3	110
S5E3	7.80	140.0	147.0	61.6	85.4	2.85	4.5	2.85	1.53	1.10	0.39	-0.22	0.70	3.3	2.3	88
S6E1	8.80	134.0	151.6	69.3	82.3	3.25	5.1	3.12	2.18	1.29	0.40	-0.19	0.51	2.8	2.3	115
S6E2	8.85	134.1				3.25	5.1	3.28	0.96	1.38	0.42	-0.20	0.47	2.4	2.3	250
S9E1	12.85	96.5	107.3	48.5	58.8	4.75	8.2	4.74	2.26	1.75	0.37	-0.36	0.58	4.4	2.9	168
S3E1	4.20	138.7				1.65	2.5	4.63	19.70	1.41	0.30	-0.37	0.49	9.3	4.2	155
S3E4	4.90	138.4				1.85	2.9	4.63	15.45	1.21	0.26	-0.34	0.38	7.5	3.8	107
S4E3	5.85	141.4	148.3	61.8	86.5	2.70	3.4	6.72	23.50	1.87	0.28	-0.33	0.42	8.2	3.8	114
S5E2	7.60	141.6	156.3	67.1	89.2	2.80	4.3	8.40	24.60	2.09	0.25	-0.38	0.40	9.0	2.3	103
S8E2	12.90	95.6	118.7	55.8	62.9	4.80	8.2	11.70	18.20	3.01	0.26	-0.38	0.41	9.4	4.9	210

$1 \text{ t/m}^2 = 9.81 \text{ kPa}$

ตาราง 6 - 7 Summary of result from triaxial test (after Holmberg 1977)

Test No.	Type of Test	Sample Depth, m	Sample Dimensions A _o , H _o , cm ² cm	Initial Conditions				Consolidation					Conditions at Max $\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)$					
				w, %	w _L , %	w _p , %	I _p , %	p' _o , t/m ²	σ _{1c} , t/m ²	σ _{3c} , t/m ²	e _{vc} , %	(Δv/v) _c , %	τ, t/m ²	$\frac{\tau}{p'_o}$	γ, %	γ̇, %/hr	$\frac{\Delta u}{p'_o}$	G ₅₀ , t/m ²
1E1	CAU	2.30	50 13	143.7	153.7	70.0	83.7	1.0	1.0	0.6	0.38	0.25	0.88	0.88	2.4	0.8	0.41	74
1E2	CAU(E)	2.55	50 13	142.0	158.8	53.9	103.9	1.2	1.2	0.9	0.44	1.18	-0.62	-0.51	-4.3	0.9	-0.24	56
1E2	CAU	2.55	50 13	142.0	158.8	53.9	101.9	1.2	1.2	0.9	0.44	1.18	0.91	0.76	2.4	0.9	0.76	-
1E3	CAU(d)	2.80	20 10	142.1	152.4	61.9	90.5	1.2	1.2	0.6	0.79	0.57	0.76	0.60	(2.2)	-	(0.37)	-
2E2	CAU	3.50	50 13	136.1	145.0	67.8	77.2	1.4	1.35	0.9	0.64	1.85	1.07	0.76	2.8	0.9	0.59	67
2E3	CAU(d)	3.70	50 13	137.8	165.5	53.3	112.2	1.5	1.5	0.9	0.94	2.11	1.01	0.67	(2.1)	-	(0.60)	-
3E1	CAU(d)	4.25	50 13	146.3	145.6	63.7	81.9	1.7	1.7	0.9	0.78	1.73	1.05	0.59	(5.5)	-	(0.73)	-
3E2	CAU(d)(E)	4.45	50 13	156.6	175.0	68.9	106.1	1.75	1.75	0.9	0.74	2.51	-0.74	-0.42	-6.8	-	(0.97)	-
3E3	CAU	4.65	50 13	133.9	154.2	66.5	87.7	1.8	1.8	0.9	0.71	1.66	1.18	0.65	3.0	1.2	0.70	92
4E1	CAU	5.40	50 13	142.6	154.1	60.9	93.2	2.0	2.0	0.6	1.07	1.88	1.44	0.72	1.9	0.8	0.38	100
4E2	CAU	5.60	20 9	136.6	153.4	66.3	87.1	2.1	2.1	0.9	0.72	2.05	1.65	0.79	3.0	1.3	0.55	121
4E3	CAU(E)	5.80	50 13	141.6	-	-	-	2.15	2.15	0.6	0.93	1.22	-0.80	-0.37	-4.3	0.9	-0.24	73
5E2	CAU	7.45	50 13	127.1	147.5	63.6	83.9	2.7	2.2	0.9	0.67	1.66	1.70	0.63	2.6	1.0	0.60	127
5E3	CAU	7.70	20 10	136.9	154.1	63.8	90.3	2.8	2.8	0.6	0.81	1.17	1.96	0.70	2.0	1.0	0.45	168
6E2	CAU	8.50	50 13	134.1	154.6	60.2	94.4	3.1	3.1	0.9	0.78	1.74	2.17	0.70	2.3	0.9	0.61	167
6E3	CAU(E)	8.70	50 13	138.6	154.8	63.7	91.1	3.15	3.15	0.9	0.66	1.41	-1.31	-0.41	8.7	0.9	-0.04	119
7E1	CAU	9.85	50 13	118.8	146.1	54.2	91.9	3.55	3.55	0.6	0.88	1.33	2.15	0.61	1.4	0.8	0.28	262
7E2	CAU	10.10	50 13	119.6	143.6	64.9	78.7	3.65	3.65	0.9	0.83	1.59	2.37	0.65	1.8	0.11	0.52	285
8E2	CAU	12.60	50 13	113.4	130.1	56.7	73.4	4.65	4.65	0.9	0.97	1.93	3.15	0.68	2.4	0.9	0.63	256
8E3	CAU(d)	12.85	20 10	112.2	125.5	62.1	63.4	4.70	4.70	0.9	0.99	2.14	2.59	0.55	(1.5)	-	(0.48)	-

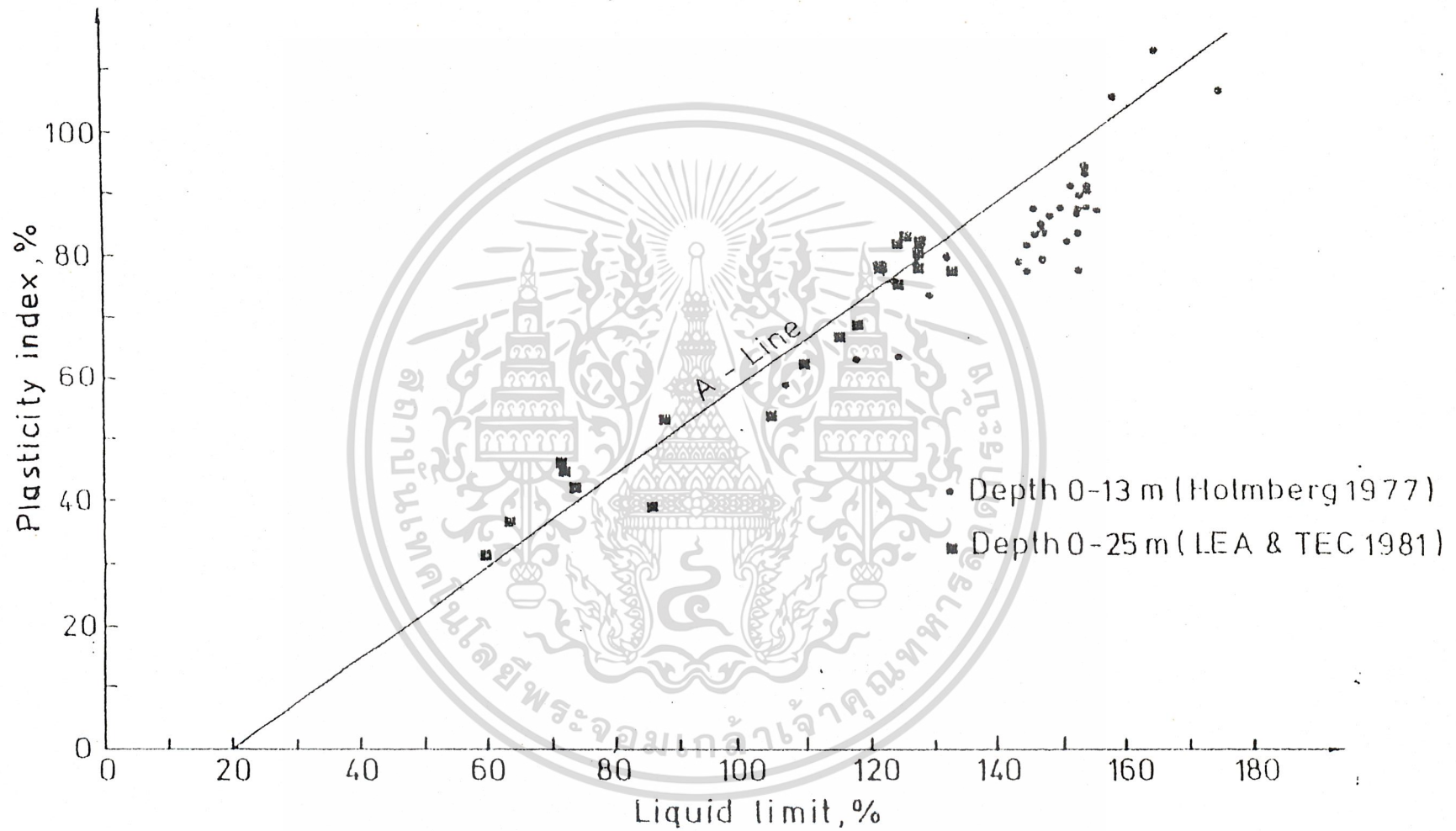
1 t/m² = 9.81 kPa

ตาราง 6 - 8 Summary of Consolidation Test (after Holmberg 1977)

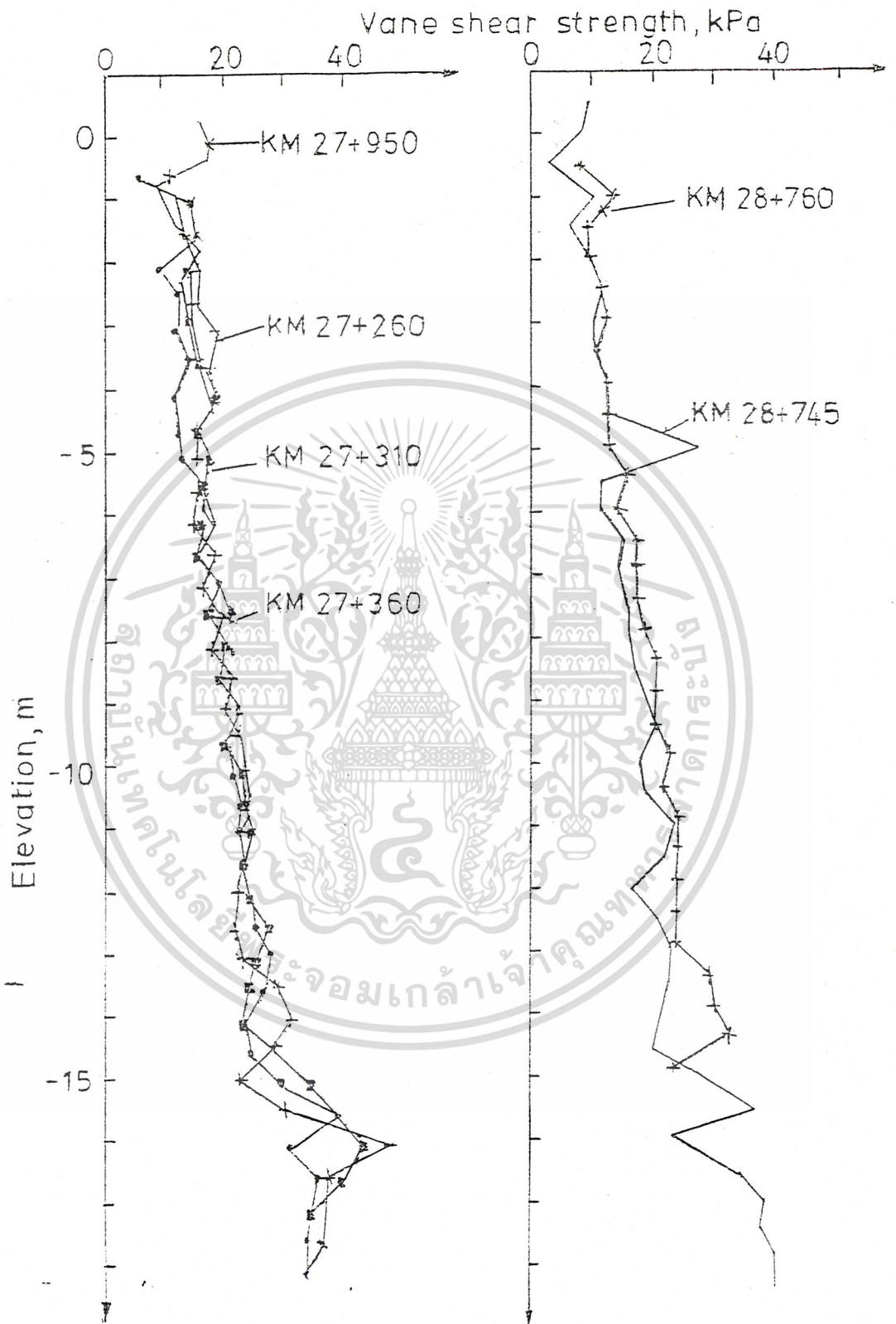
Test No.	Sample Depth, m	Water Content, %	p'_0 , t/m ²	p_c , t/m ²	$\frac{p_c}{p'_0}$	$\frac{C_c}{1+e_0}$	Remarks
1E1	2.40	153.9	1.05	2.2	2.1	0.46	Standard consolidation test
1E2	2.55	142.7	1.10	3.5	3.2	0.64	..
2E1	3.30	146.0	1.35	2.0	1.5	0.64	..
2E2	3.60	149.6	1.45	2.2	1.5	0.47	..
3E1	4.55	152.4	1.75	2.6	1.5	0.74	..
4E1	5.55	133.0	2.10	3.7	1.8	0.87	..
5E1	7.50	134.1	2.75	4.4	1.6	0.88	..
5E2	7.85	140.9	2.85	4.5	1.6	0.90	..
6E3	8.90	129.3	3.25	5.2	1.6	0.69	..
8E1	12.30	112.7	4.50	8.1	1.8	0.66	..
OG-6E1	8.25	137.9	3.10	3.6	1.2	0.54	Long-term test
OG-6E2	8.30	140.7	3.10	4.3	1.4	0.78	..
OG-8E1	12.25	121.2	4.50	7.3	1.6	0.79	..
S 3E1	4.20	138.7	1.65	2.5	1.5	0.60	Simple shear test
S 4E3	5.85	141.4	2.20	3.6	1.6	0.78	..
S 5E2	7.60	141.6	2.80	4.5	1.5	0.79	..

$$1 \text{ t/m}^2 = 9.81 \text{ kPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

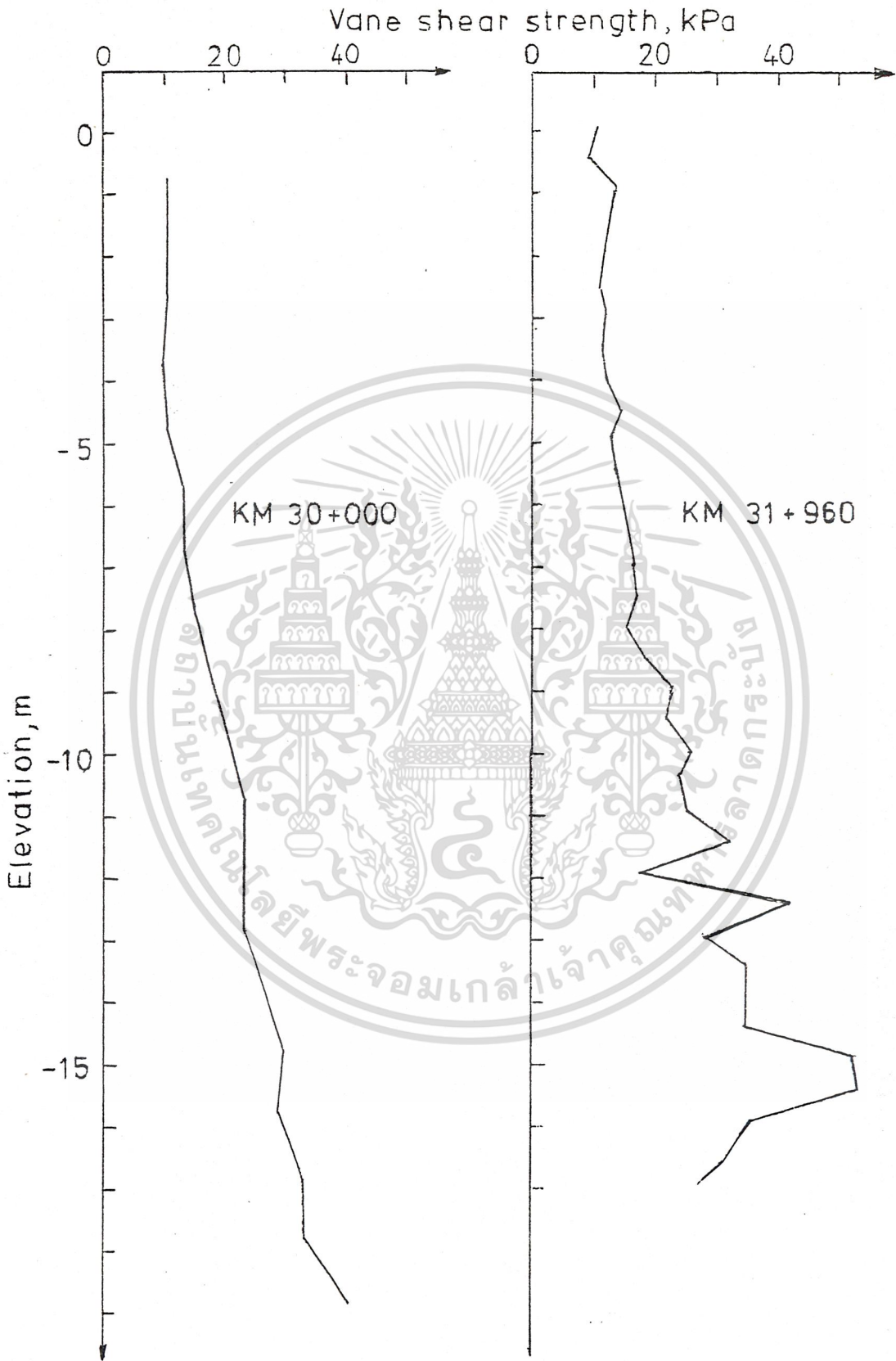


ภาพที่ 6.17 Plastic Chart of Bangkok Clay in the Softest area on the Bangkok - Sriracha Highway

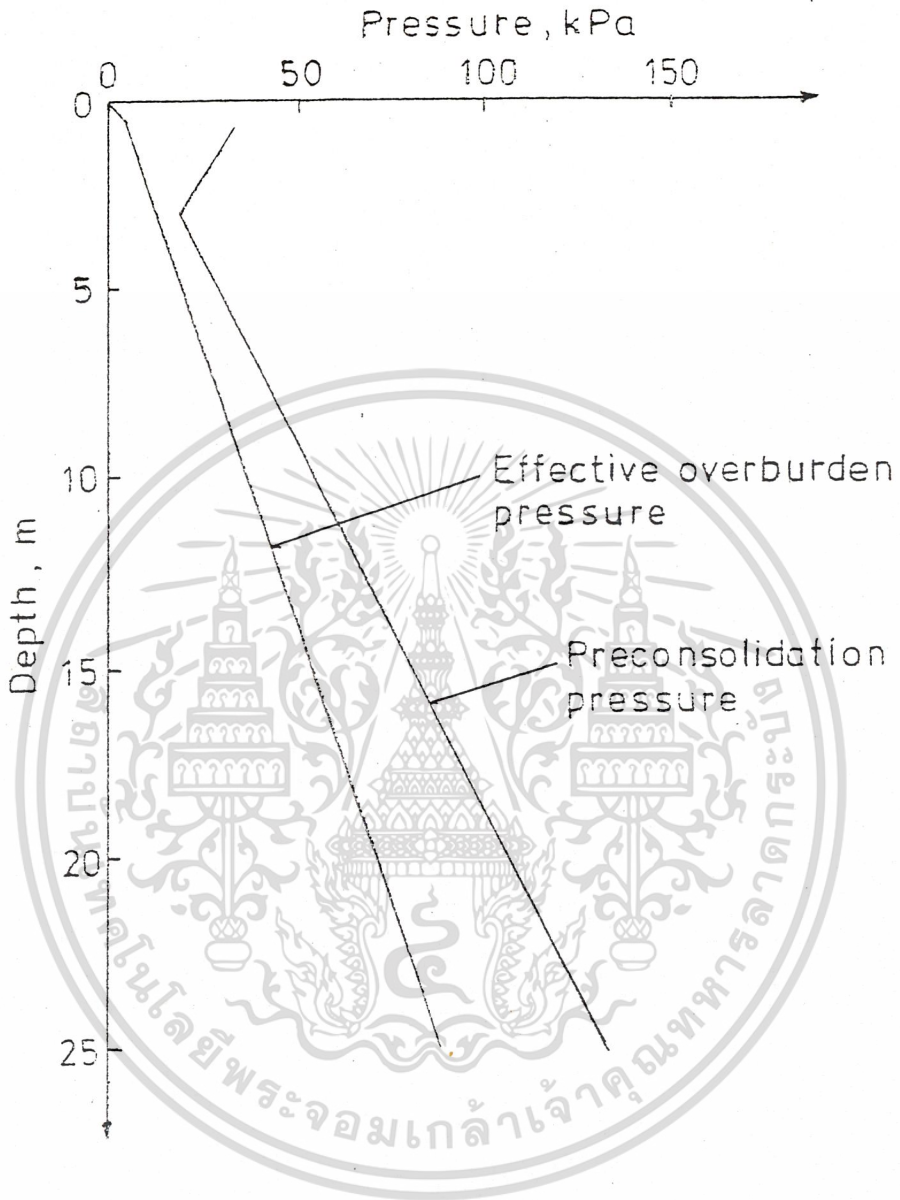


ภาพที่ 6.18 Vane Shear Strength of the Softest Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

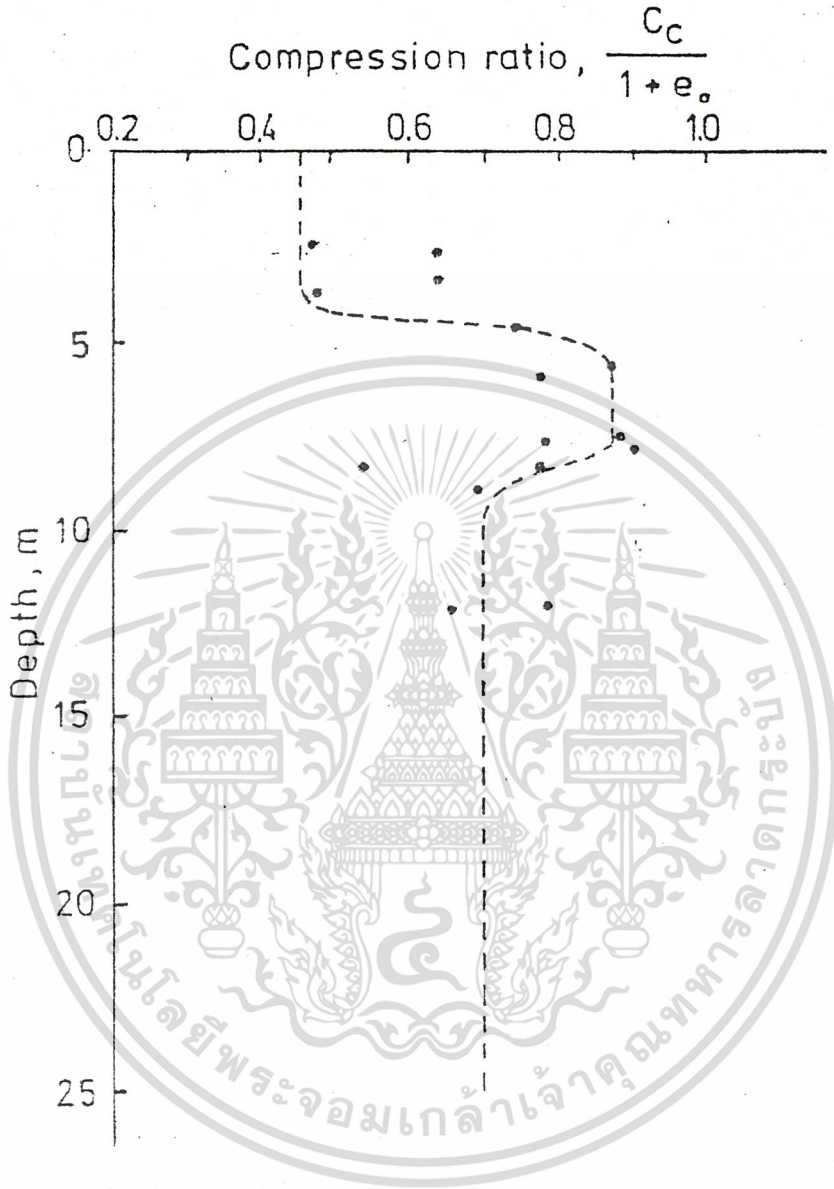


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาพที่ 6.19 Vane Shear Strength of the Softest Area
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



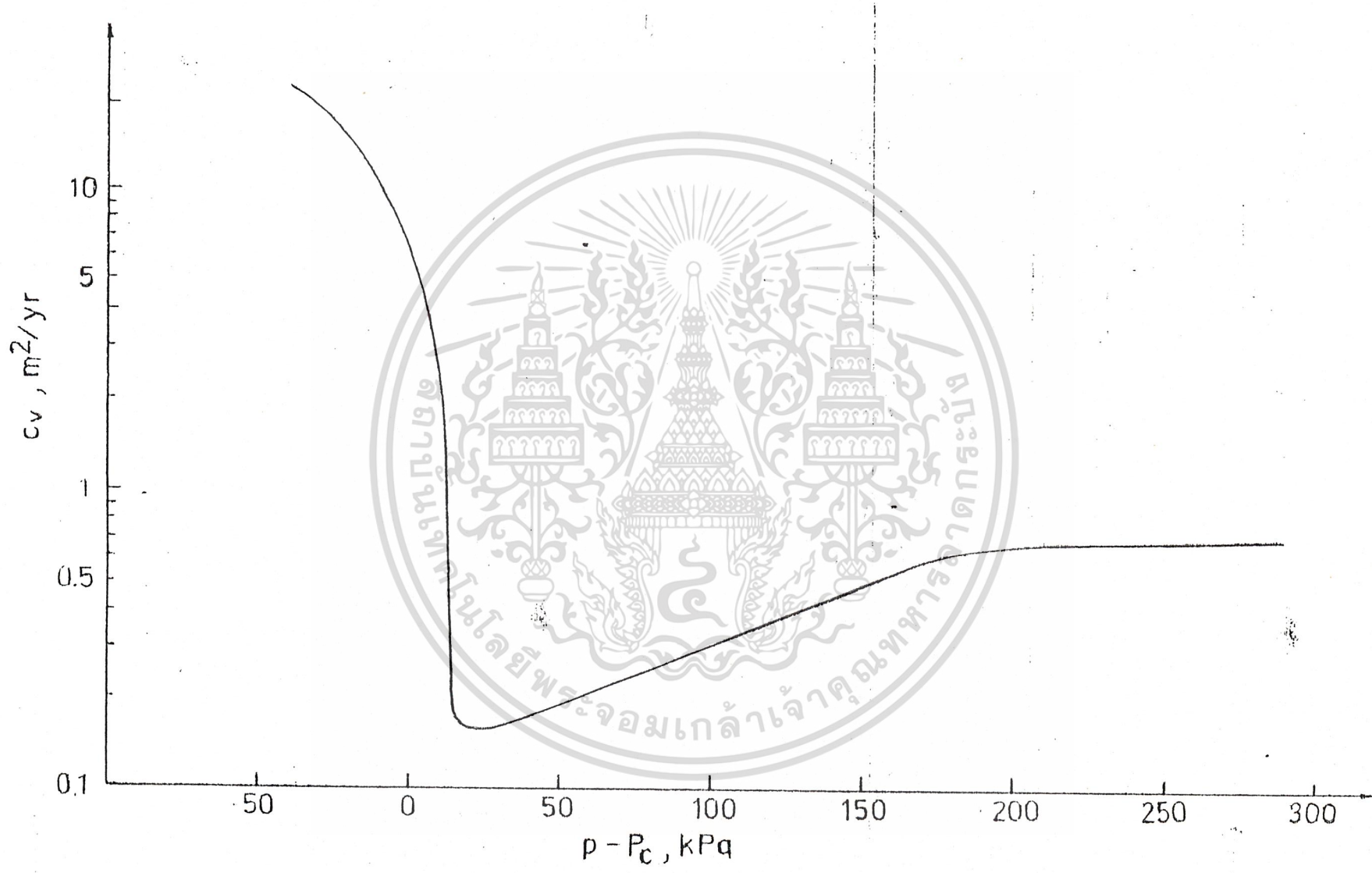
ภาพที่ 6.20 Effective Overburden Pressure and Consolidation Pressure VS. Depth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

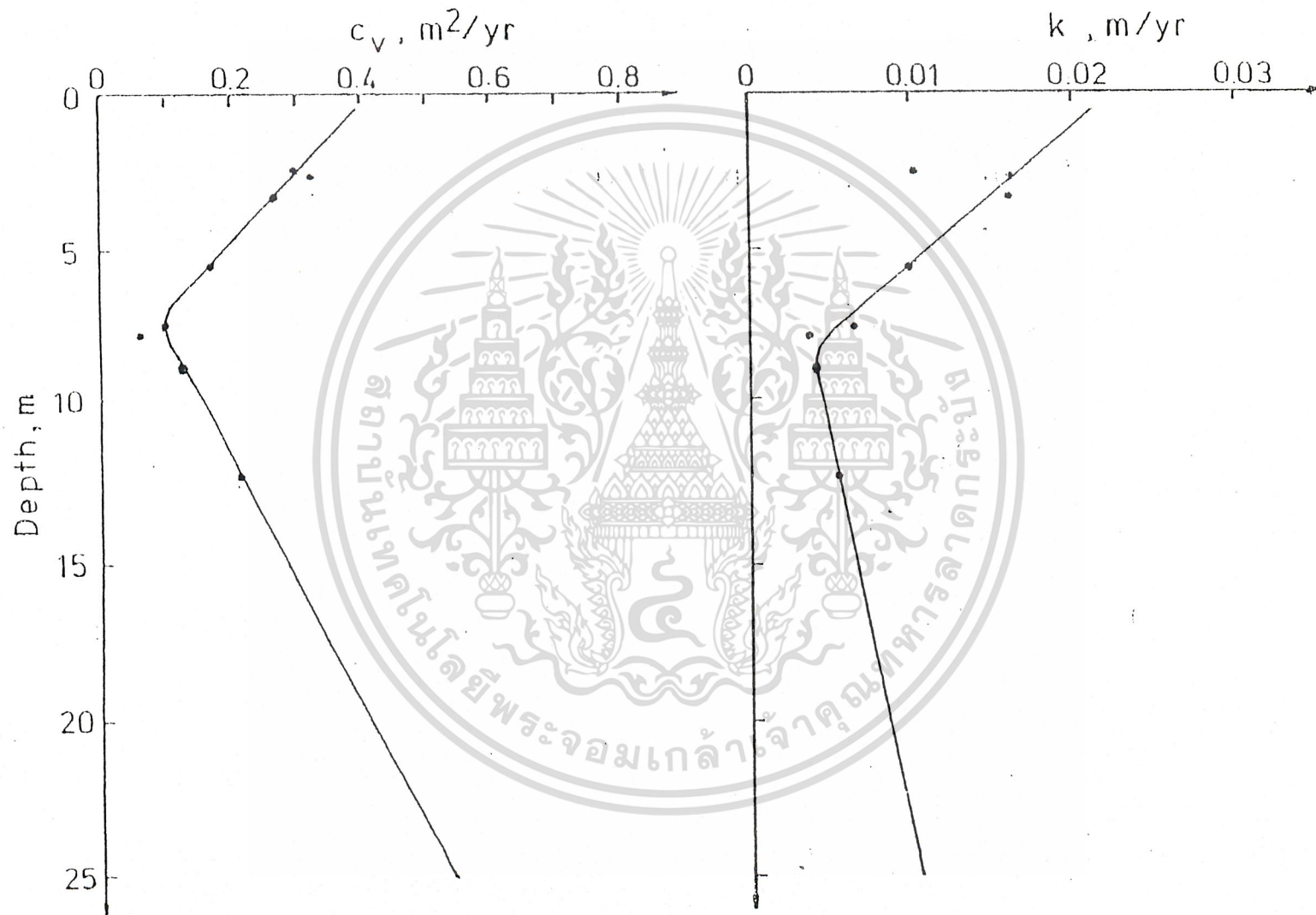


ภาพที่ 6.21 Compression Ratio of Bangkok Clay

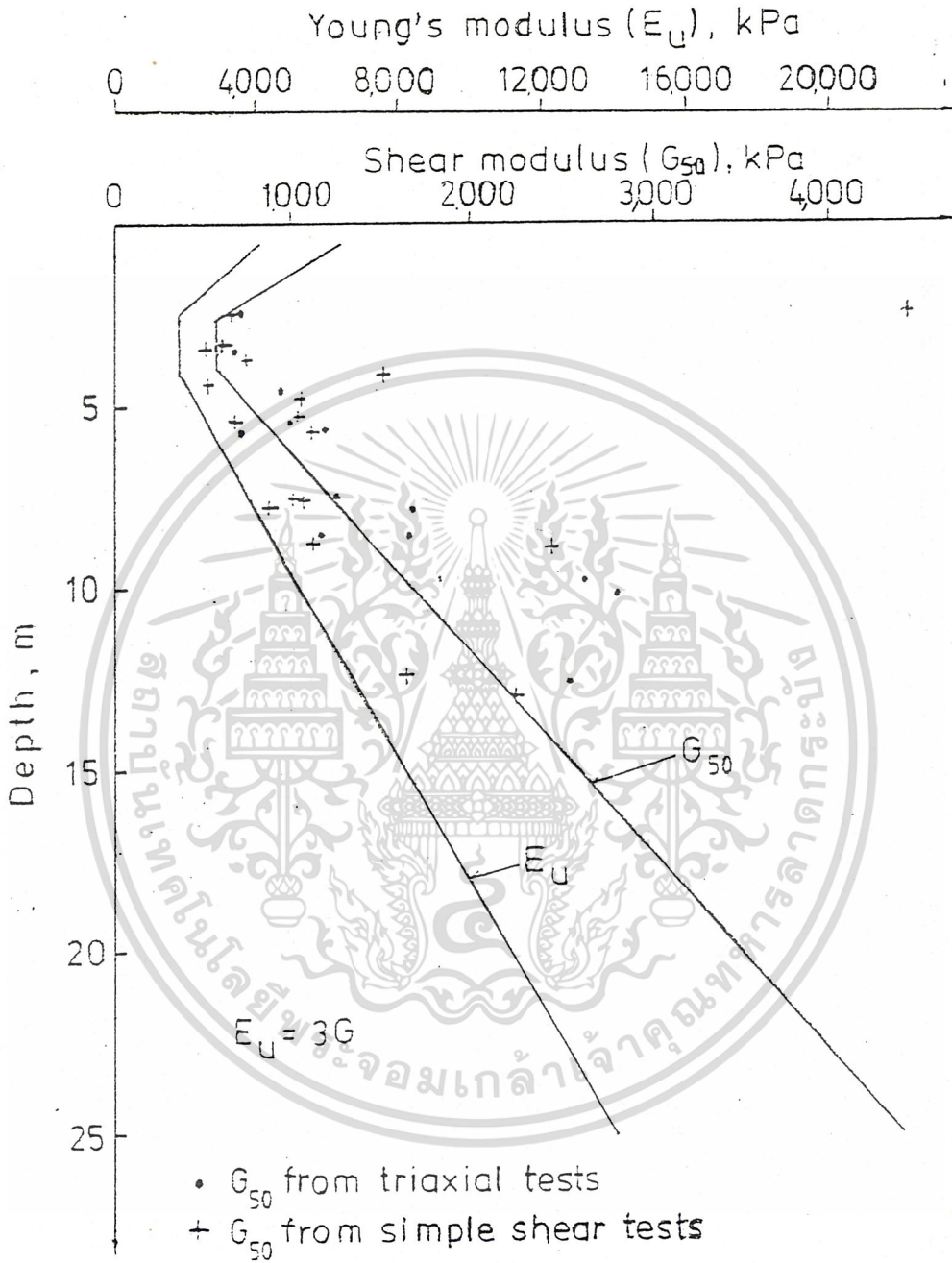
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.22 Coefficient of Consolidation of Pressure above P_c . (Holmberh 1977)



ภาพที่ 6.23 Coefficient of Consolidation and Permeability VS. Depth



ภาพที่ 6.24 Young's Modulus and Shear Modulus VS. Depth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 ขั้นตอนการคำนวณ

1. หาแรงกระทำรวมที่ผิวหน้าของดินฐานราก (Contact Pressure) ซึ่งเกิดจากน้ำหนักดินถม และน้ำหนักจากล้อรถยนต์ ให้แทนด้วย q

ให้แรงกระทำที่เกิดจากน้ำหนักดินถมเป็น P_1

$$P_1 = \gamma H$$

โดยที่ γ = Average density of embankment materials
= 2,000 kg/m³

(วิชาญ ภูพัฒน์, วร. 43 Design for Road Embankment)

ให้แรงที่กระทำที่เกิดจากน้ำหนักจากล้อรถยนต์เป็น P_2

$$P_2 = \frac{W}{\left[\pi(r + H \tan \theta)^2 \right]}$$

โดยที่ W = น้ำหนักจากล้อรถยนต์

r = รัศมีของวงกลมที่วางรถแตะกับผิวถนน
(ในที่นี้ใช้ $r = 0.143$ เมตร)

H = ความสูงของดินถม

θ = มุมของการกระจายน้ำหนักจากล้อรถ

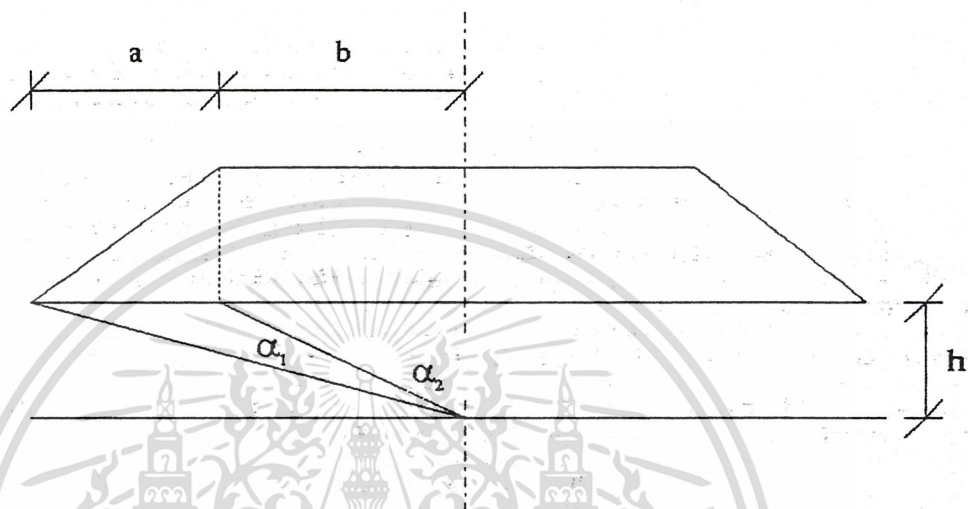
น้ำหนักของล้อรถนี้แผ่กระจายผ่านชั้นดินถมออกไปเป็นรูปทรงกรวยโดยมีมุมลง การกระจายเท่ากับ θ ค่าของมุมนี้ให้ใช้อยู่ระหว่าง 30 - 50 องศา โดยพิจารณาจากชนิดของ Pavement ถ้าเป็นประเภท Flexible Pavement ให้ใช้ค่ามุมใกล้เคียงไปทาง 30 องศา และถ้าเป็น Rigid Pavement ใช้ใกล้เคียงไปทาง 45 องศา

ดังนั้นจะได้แรงกระทำรวมที่ผิวหน้าของดินฐานราก (q) เป็น $P_1 + P_2$

หรือ จะได้ว่า $q = P_1 + P_2$

2. ทา Vertical Stress (Stress Distribution)

2.1 ที่แนวศูนย์กลางของถนน



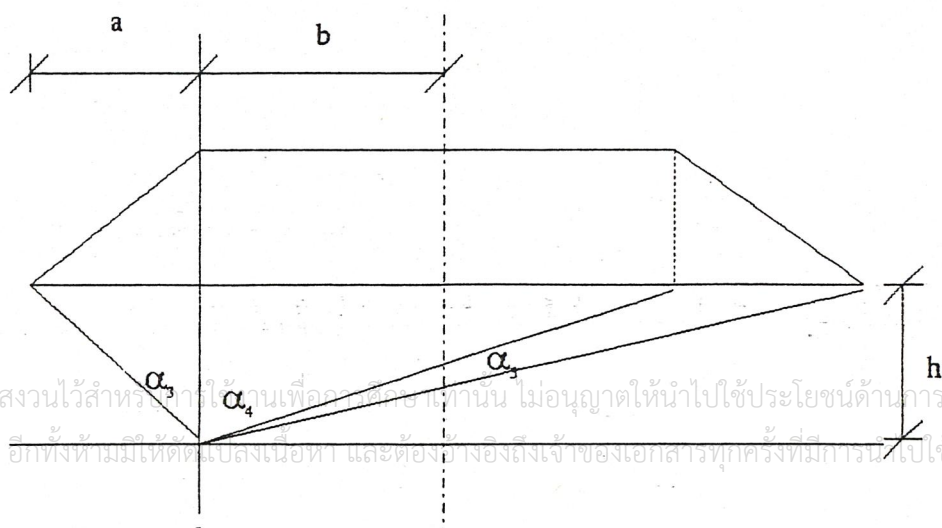
$$(\alpha_1 + \alpha_2) = \arctan \left\{ \frac{(b+a)}{h} \right\}$$

$$\alpha_2 = \arctan \left(\frac{b}{h} \right)$$

Vertical Stress

$$\Delta P = 2 \left\{ \frac{q}{\pi} \left[\left(\frac{a+b}{a} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \left(\frac{b}{a} \right) \alpha_2 \right] \right\}$$

2.2 ที่ด้านริมของถนน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha_3 = \arctan (a/h)$$

$$\alpha_4 = \arctan (2b/h)$$

$$(\alpha_4 + \alpha_3) = \arctan \left(\frac{2b+a}{h} \right)$$

Vertical Stress

$$\Delta P = q / \pi \left[\alpha_3 + \left(\frac{a+b}{a} \right) (\alpha_4 + \alpha_3) - \left(\frac{b}{a} \right) \alpha_4 \right]$$

3. หา Immediate Settlement (S_i)

$$S_i = \frac{qB(1-\nu^2)I}{E_u}$$

โดยที่ S_i = ระยะการทรุดตัวแบบทันทีทันใด

q = Pressure ที่กระทำต่อดิน

E_u = Undrained Young's Modulus

ν = Poisson's Ratio

B = ความกว้างของน้ำหนักบรรทุก

I = Influence Factor

4. หา Consolidation Settlement วิธี One-dimensional consolidation method ของ

Terzaghi (วว. 99 การวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนเดิมบนสายบางนา - บางปะกง กม. 25 - 33)

$$S_o = \sum_{i=1}^n h \frac{C_c}{1+e_o} \log \frac{p'_o + \Delta p}{p_c}$$

โดยที่ n = จำนวนชั้นของดินที่พิจารณา

h = ความหนาของดินแต่ละชั้น

C_c = Compression Index

e_o = In Situ Void Ratio

p_o = Overburden Vertical Effective Stress

(ความดันประสิทธิผลที่เกิดจากน้ำหนักของดินที่ทับอยู่ด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δp = Incremental Vertical Stress

(ความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของดินถม)

p_0 = Preconsolidation Pressure หรือ Maximum Past Pressure

(ความดันสูงสุดในอดีต)

5. หาอัตราการทรุดตัว

$$t = \frac{T_v d^2}{c_v}$$

โดยที่ C_v = สัมประสิทธิ์ของการยุบอัดตัว

d = ระยะไกลที่สุดที่น้ำไหลออกจากดิน

= $h/2$ กรณีที่น้ำไหลออกได้ 2 ทาง

= h ในกรณีที่น้ำไหลออกได้ทางเดียว

h = ความหนาของชั้นดิน

T_v = Time Factor

ตารางที่ 6-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า U_v และ T_v

Degree of Consolidation, U_v %	Time Factor, T_v
0	0
10	0.0078
20	0.00314
30	0.0207
40	0.1260
50	0.1970
60	0.2860
70	0.4030
80	0.5670
90	0.8480

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณการทรุดตัว

7.1 คำแนะนำ (Introduction)

CALSETTLE เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณการทรุดตัว โดยจะคำนวณทั้งส่วนที่เป็น การทรุดตัวในทันทีทันใด และ การทรุดตัวแบบยุบอัดตัว และแสดงถึงความแตกต่างของการทรุดตัว ระหว่างที่จุดกึ่งกลางของคันดินถมกับที่ขอบของดินถมของแต่ละชั้น และ ค่ารวมทั้งหมด ตลอดจนวิเคราะห์หาอัตราทรุดตัวของถนน

7.2 ข้อกำหนดด้าน ฮาร์ดแวร์ (Hardware Requirement)

- PC 80386-SX ขึ้นไป
- ฮาร์ดดิสก์ หน่วยความจำไม่น้อยกว่า 2 เมกะไบต์ และ เครื่องขับดิสก์
- จอภาพ
- เครื่องพิมพ์ (Optional Hardware)

7.3 ประสิทธิภาพของโปรแกรม CALSETTLE

- วิเคราะห์ค่า Stress Distribute ของดินในแต่ละชั้นที่เกิดขึ้นเนื่องจาก Embankment และ Vehicle Load
- วิเคราะห์ค่า Immediate Settlement และ Consolidation Settlement
- วิเคราะห์ค่า Rate of Settlement (อัตราการทรุดตัว) โดยเทียบจากค่า Time Factor

และ U_v

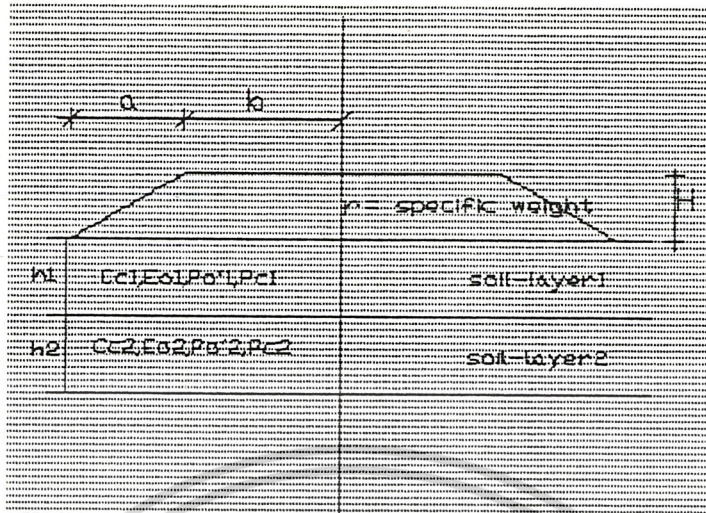
7.4 การทำงาน

7.4.1 คำแนะนำในการเตรียมข้อมูล (Information for Input data)

ข้อมูลที่ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องเตรียมก่อนใช้โปรแกรม CALSETTLE ประกอบด้วยตัวแปร ดังนี้

$$a, b, H, \gamma, h, W, n, C_o, e_o, v, p_o', p_o, l, E_v, C_v, d$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.1 แสดงตัวแปรของข้อมูลดิน

- a = ความกว้างของลาดดินถมเพียงด้านเดียว มีหน่วยเป็นเมตร
- b = ความกว้างครึ่งหนึ่งของคันดินถม มีหน่วยเป็นเมตร
- γ = Average Specific Weight of the Embankment Materials
มีหน่วยเป็นตันต่อลูกบาศก์เมตร
- H = ความสูงของดินถม มีหน่วยเป็นเมตร
- h_1 = ความลึกของชั้นดินแต่ละชั้น มีหน่วยเป็นเมตร
- W = Vehicle Load มีหน่วยเป็นเมตร
- n = จำนวนชั้นดิน
- d = ความลึกรวมของทุกชั้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร
- C_c = Compression Index
- e_o = Void Ratio
- ν = Poisson's Ratio
= 0.5 เนื่องจากปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง
- p_o' = Initial Effective Overburden Pressure มีหน่วยเป็นตันต่อตารางเมตร
- P_o = Preconsolidation Pressure มีหน่วยเป็นตันต่อตารางเมตร
- I = Influence Factor
- B = ความกว้างของน้ำหนักบรรทุกทุก มีหน่วยเป็นเมตร
- C_v = Coefficient of Consoliation มีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อปี
- E_u = Undrained Young's Modulus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.2 เริ่มใช้โปรแกรม

- เปิดเครื่อง ใส่แผ่นดิสก์ ซึ่งมีโปรแกรมเป็นดังนี้ และเรียกโปรแกรมตามรูป

```
a:\project>dir
```

```
Volume in drive A is POM          Serial number is 0B5D:15F1
```

```
Directory of a:\project\*.*
```

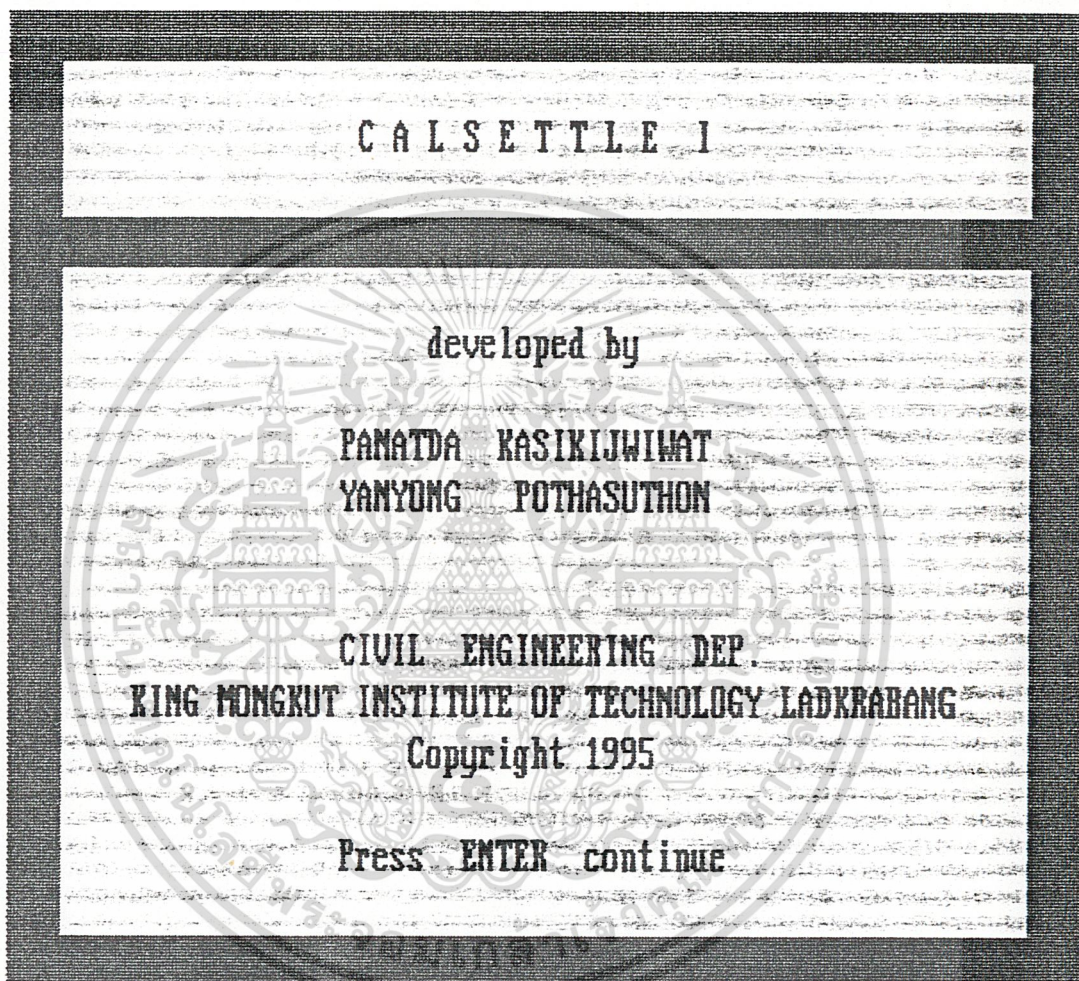
.	<DIR>	12-19-93	2:00p
..	<DIR>	12-19-93	2:00p
data.dbf	1562	12-27-93	2:01p
inper.idx	1024	12-27-93	2:02p
main.exe	37901	12-20-93	12:51a
main.pjt	29502	12-20-93	12:51a
main.pjx	1434	12-20-93	12:51a
main.prg	623	12-10-93	4:31a
no layer.idx	1024	12-27-93	2:02p
percent.dbf	518	12-16-93	4:52p
pro.bak	34001	12-22-93	1:35a
pro.prg	34001	12-22-93	4:04p
project	4	12-18-93	10:41a
result.dbf	1378	12-27-93	2:02p
result1.dbf	1074	12-27-93	2:02p
		144,206 bytes in 15 file(s)	147,968 bytes allocated
		937,472 bytes free	

```
a:\project>main
```

ภาพที่ 7.2 การเรียกโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

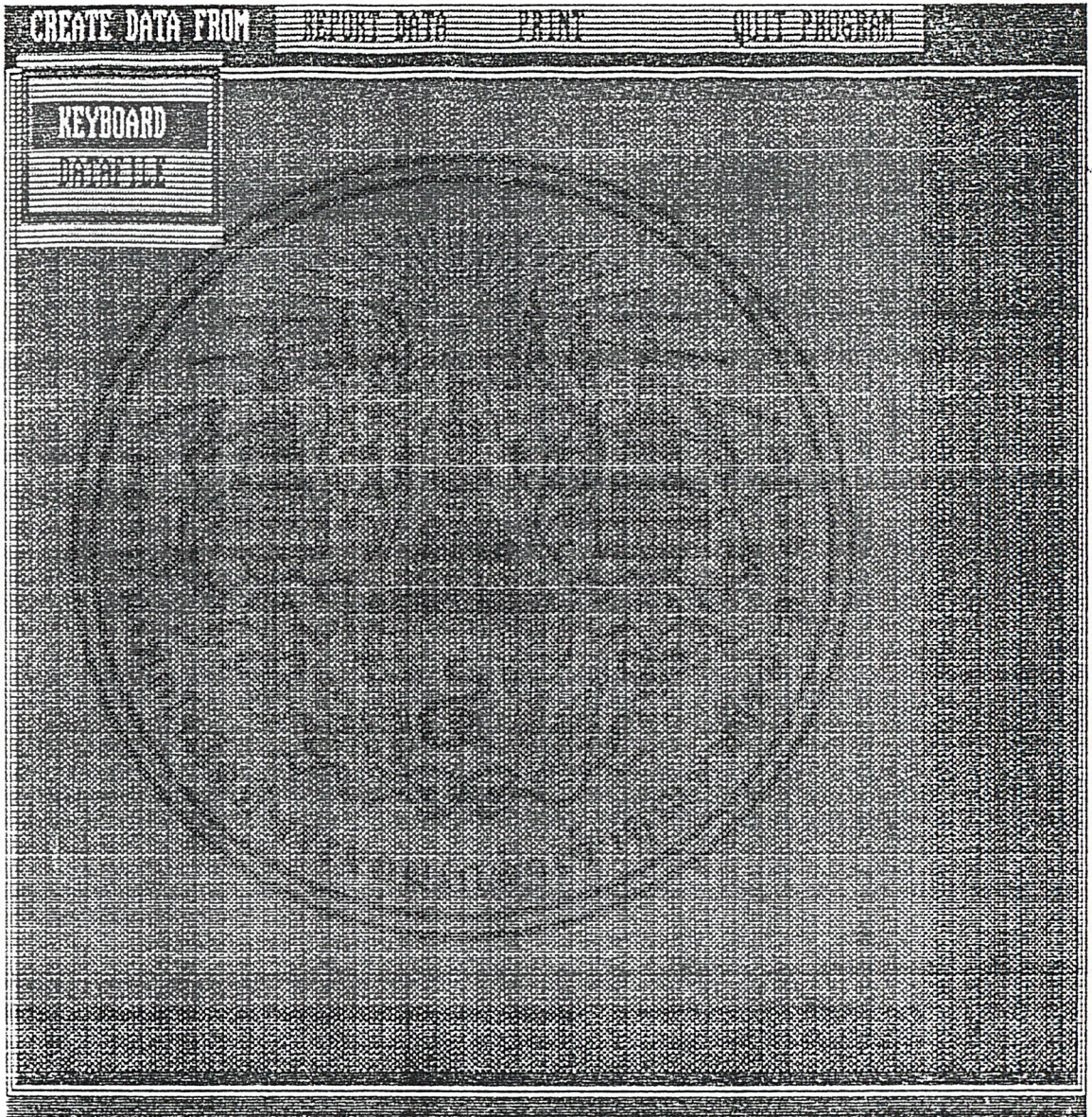
- หลังจากเรียกโปรแกรม จอภาพจะปรากฏดังรูป



ภาพที่ 7.3 แสดงหน้าจอเมื่อเข้าสู่โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

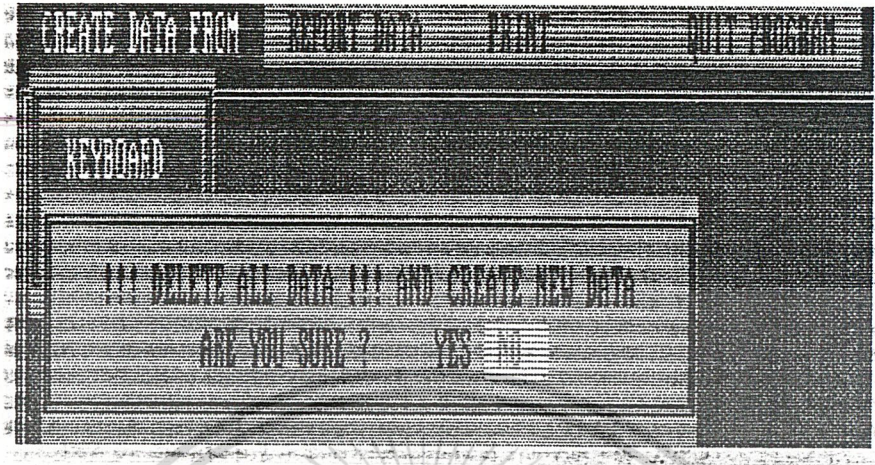
- เมื่อกด Enter 1 ครั้ง จะเข้าสู่ Menu



ภาพที่ 7.4 แสดง Menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หากกด Enter เล็ก Keyboard ซึ่งคือการใส่ข้อมูลใหม่ทั้งหมด จอภาพจะเป็นดังรูป



ภาพที่ 7.5 แสดงหน้าจอเมื่อจะรับข้อมูลใหม่ทั้งหมด

- เลือก Yes และกด Enter จะเข้าสู่ Data Mode

<<< DATA MODE >>>
GENERAL

ENTER SLOPE-LENGTH OF THE EMBANKMENT IN HORIZONTAL AXIS	=	0.000
ENTER HALF-WIDTH OF THE EMBANKMENT (b) IN METRE	=	0.000
ENTER VALUE (r)	=	0.000
ENTER VALUE (H)	=	0.000
ENTER VALUE (W)	=	0.000
ENTER VALUE (B)	=	0.000
ENTER VALUE (I)	=	0.000
ENTER VALUE (U)	=	0.000
ENTER VALUE (Eu)	=	0.000
ENTER VALUE (Cv)	=	0.000
ENTER VALUE (d)	=	0.000
ENTER AMOUNT OF SOIL-LAYER BENEATH THE EMBANKMENT	=	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 7.6 แสดงส่วน Data Mode

- จากนั้นใส่ข้อมูลใน Data Mode

<<< DATA MODE >>>
GENERAL

ENTER SLOPE-LENGTH OF THE EMBANKMENT IN HORIZONTAL AXIS	=	1.000
ENTER HALF-WIDTH OF THE EMBANKMENT (b) IN METRE	=	6.000
ENTER VALUE (r)	=	2.000
ENTER VALUE (H)	=	2.700
ENTER VALUE (W)	=	3.000
ENTER VALUE (B)	=	16.000
ENTER VALUE (I)	=	1.010
ENTER VALUE (U)	=	0.500
ENTER VALUE (Ea)	=	1131.000
ENTER VALUE (Co)	=	1.480
ENTER VALUE (d)	=	11.200
ENTER AMOUNT OF SOIL-LAYER BENEATH THE EMBANKMENT	=	6

ภาพที่ 7.7 แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Data Mode

- เมื่อใส่ข้อมูลครบแล้ว จะเข้าสู่ Data Mode ส่วน Thickness, Compression Index, Void Ratio, Po' และ Pc

<<< DATA MODE >>>
THICKNESS (h)

ENTER THE THICKNESS OF SOIL-LAYER NO. 1	=	1.300
ENTER THE THICKNESS OF SOIL-LAYER NO. 2	=	2.000
ENTER THE THICKNESS OF SOIL-LAYER NO. 3	=	2.000
ENTER THE THICKNESS OF SOIL-LAYER NO. 4	=	2.000
ENTER THE THICKNESS OF SOIL-LAYER NO. 5	=	2.000
ENTER THE THICKNESS OF SOIL-LAYER NO. 6	=	1.900

ภาพที่ 7.8- แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Thickness

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<<< DATA MODE >>>
COMPRESSION INDEX (Cc)

ENTER COMPRESSION INDEX OF SOIL-LAYER NO. 1	=	1.126
ENTER COMPRESSION INDEX OF SOIL-LAYER NO. 2	=	1.020
ENTER COMPRESSION INDEX OF SOIL-LAYER NO. 3	=	1.349
ENTER COMPRESSION INDEX OF SOIL-LAYER NO. 4	=	1.489
ENTER COMPRESSION INDEX OF SOIL-LAYER NO. 5	=	1.483
ENTER COMPRESSION INDEX OF SOIL-LAYER NO. 6	=	0.765

ภาพที่ 7.9 แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Compression Index

<<< DATA MODE >>>
VOID RATIO (E_o)

ENTER VOID RATIO OF SOIL-LAYER NO. 1	=	2.740
ENTER VOID RATIO OF SOIL-LAYER NO. 2	=	2.390
ENTER VOID RATIO OF SOIL-LAYER NO. 3	=	2.810
ENTER VOID RATIO OF SOIL-LAYER NO. 4	=	2.510
ENTER VOID RATIO OF SOIL-LAYER NO. 5	=	2.320
ENTER VOID RATIO OF SOIL-LAYER NO. 6	=	1.430

ภาพที่ 7.10 แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Void Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<<< DATA MODE >>>
VALUE (Po')

ENTER VALUE (Po') OF SOIL-LAYER NO 1	=	0.754
ENTER VALUE (Po') OF SOIL-LAYER NO 2	=	1.734
ENTER VALUE (Po') OF SOIL-LAYER NO 3	=	2.594
ENTER VALUE (Po') OF SOIL-LAYER NO 4	=	3.554
ENTER VALUE (Po') OF SOIL-LAYER NO 5	=	4.674
ENTER VALUE (Po') OF SOIL-LAYER NO 6	=	5.928

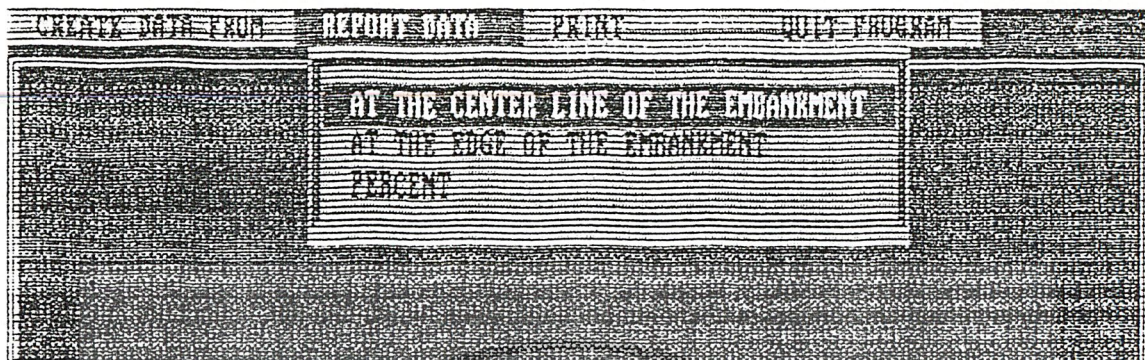
ภาพที่ 7.11 แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Overburden Pressure

<<< DATA MODE >>>
VALUE (Pc)

ENTER VALUE (Pc) OF SOIL-LAYER NO. 1	=	7.000
ENTER VALUE (Pc) OF SOIL-LAYER NO. 2	=	3.100
ENTER VALUE (Pc) OF SOIL-LAYER NO. 3	=	4.100
ENTER VALUE (Pc) OF SOIL-LAYER NO. 4	=	5.000
ENTER VALUE (Pc) OF SOIL-LAYER NO. 5	=	8.000
ENTER VALUE (Pc) OF SOIL-LAYER NO. 6	=	10.500

ภาพที่ 7.12 แสดงการใส่ข้อมูลในส่วน Preconsolidation Pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.13 แสดง Menu เพื่อเลือกแสดงผล

- เมื่อกดข้อมูลครบแล้ว โปรแกรมจะกลับสู่ Menu เมื่อเลือก Report Data โปรแกรมจะแสดงผล ดังรูป ตามลำดับที่เลือก

AT THE CENTER LINE OF THE EMBANKMENT					
Layer	Alpha1Z	Alpha2	Delta p1	Sc1	
1	1.471	1.406	4.430	0.393	
2	1.373	1.249	4.403	0.430	
3	1.279	1.107	4.341	0.447	
4	1.190	0.983	4.237	0.299	
5	1.107	0.876	4.105	0.153	
6	1.030	0.785	3.947	0.046	
7	0.960	0.709	3.774	0.071	

$$\begin{aligned}
 S_c &= \sum Sc1 &= & 1.839 \\
 S_i & &= & 0.349 \\
 S &= S_c + S_i &= & 2.188
 \end{aligned}$$

ภาพที่ 7.14 แสดงผลการทรุดตัวที่กึ่งกลางของถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AT THE EDGE OF THE ARRANGEMENT					
Layer	Alpha3	Alpha4	Alpha45	Delta_p2	Sc2
1	1.326	1.488	1.508	1.044	0.361
2	1.107	1.406	1.446	3.690	0.373
3	0.927	1.326	1.385	3.390	0.318
4	0.785	1.249	1.326	3.144	0.186
5	0.675	1.176	1.268	2.938	0.038
6	0.588	1.107	1.212	2.764	0.000
7	0.519	1.043	1.158	2.612	0.000

$$\begin{aligned}
 Sc &= \Sigma Sc2 &= & 1.276 \\
 Si & &= & 0.349 \\
 S &= Sc+Si &= & 1.625
 \end{aligned}$$

ภาพที่ 7.15 แสดงผลการทรุดตัวที่ริมถนน

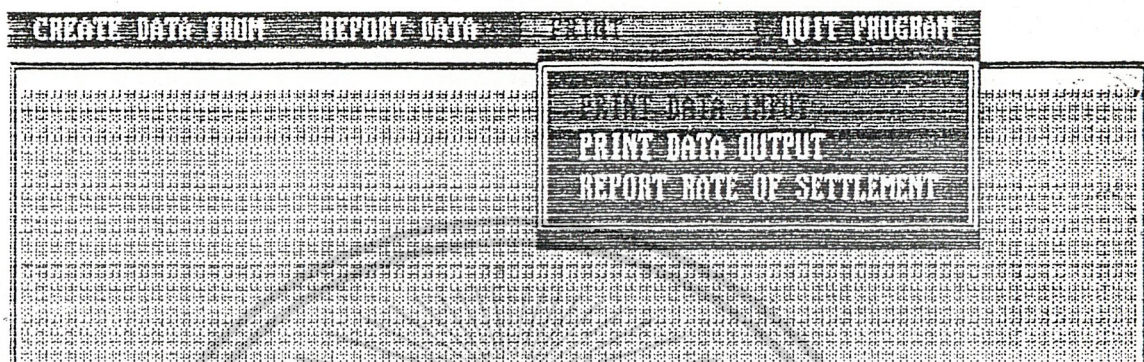
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Percent	Time_tv	Time	Sc1	Sc2
0				
5	0.0020	1.9600	0.092	0.064
10	0.0078	7.6440	0.184	0.128
15	0.0177	17.3460	0.276	0.191
20	0.0314	30.7720	0.368	0.255
25	0.0491	48.1180	0.460	0.319
30	0.0707	69.2860	0.552	0.383
35	0.0962	94.2760	0.644	0.447
40	0.1260	123.4800	0.736	0.510
45	0.1590	155.8200	0.828	0.574
50	0.1970	193.0600	0.920	0.638
55	0.2390	234.2200	1.011	0.702
60	0.2860	280.2800	1.103	0.766
65	0.3420	335.1600	1.195	0.829
70	0.4030	394.9400	1.287	0.893
75	0.4770	467.4600	1.379	0.957
80	0.5670	555.6600	1.471	1.021
85	0.6740	660.5200	1.563	1.085
90	0.8480	831.0400	1.655	1.148

ภาพที่ 7.16 แสดงผลอัตราการทำงาน

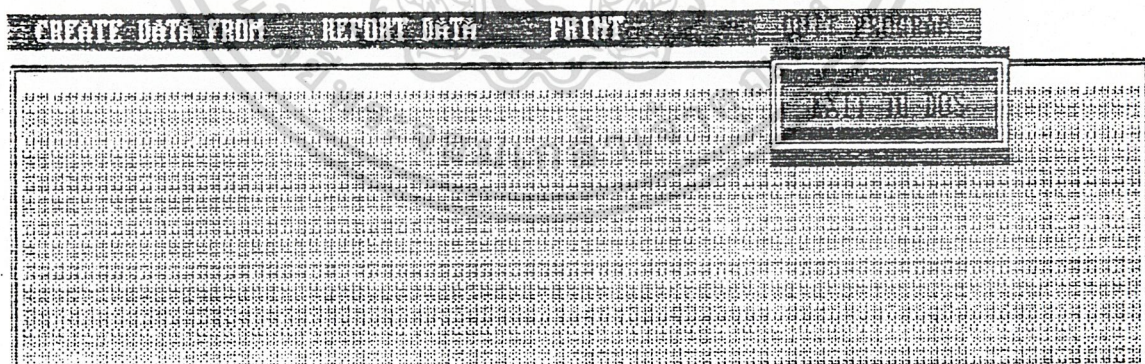
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หากผู้ใช้จะพิมพ์ข้อมูล Input , Output ออกทางเครื่องพิมพ์ เลือกไปที่ Menu Print



ภาพที่ 7.17 แสดงผล Menu เมื่อสั่งพิมพ์ผลการคำนวณ

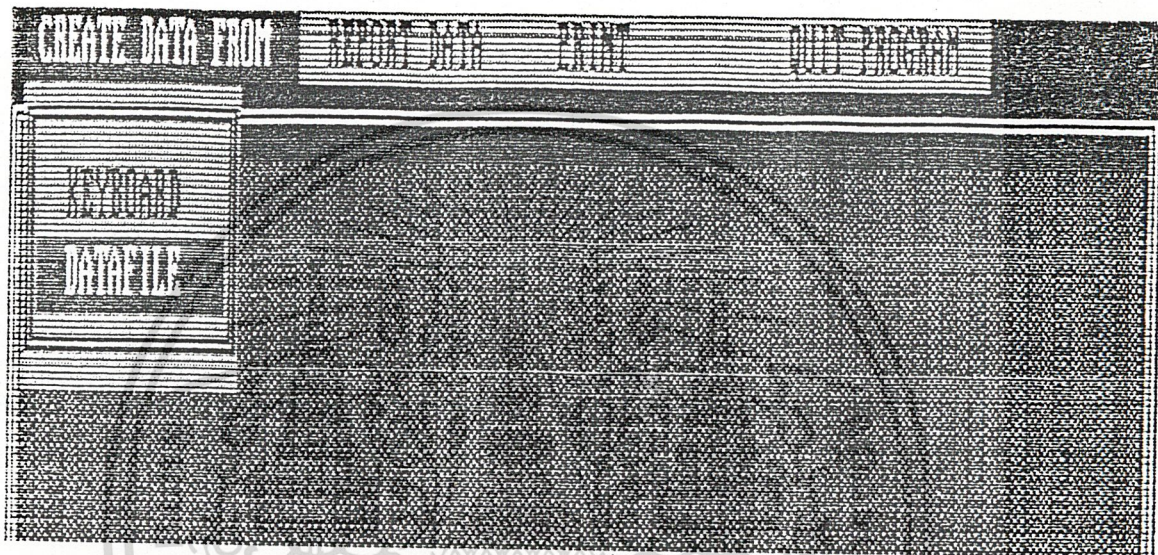
- และเมื่อสิ้นสุดการใช้ Program เลือกไปที่ Menu Quit Program



ภาพที่ 7.18 แสดง Menu เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในกรณีที่ผู้ใช้เลือก Data File ดังรูป



ภาพที่ 7.19 แสดง Menu เมื่อเลือกการนำข้อมูลเข้ามาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ภาพจะแสดงข้อมูลที่เค็บไว้ ผู้ใช้สามารถเข้าไปแก้ไขได้

CREATE SOURCE OF DATA FROM DATAFILE

a = 4.000 H = 1.910 I = 4.010 d = 14.000
 b = 6.000 W = 3.000 U = 0.500 Cv = 0.2000
 r = 2.000 B = 16.000 Eu = 612.000 n = 7

LAYER	THICK	Cc	Eo	Po	Pc
1	2.000	1.349	2.137	1.050	2.200
2	2.000	1.342	1.982	1.580	2.300
3	2.000	1.934	1.302	2.300	3.900
4	2.000	1.925	1.830	2.900	4.600
5	2.000	1.926	1.752	3.600	6.200
6	2.000	1.966	1.891	4.500	7.900
7	2.000	1.926	1.752	5.300	8.200

ภาพที่ 7.20 แสดงข้อมูลจาก Data file

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปผลการคำนวณและการวิเคราะห์

8.1 ผลการคำนวณการทรุดตัว

ถนน ธนบุรี-สมุทรสาคร

REPORT INPUT DATA									
a =	4.000	H =	2.700	I =	0.200	n =	6		
b =	6.000	W =	3.000	V =	0.500	Cv =	4.480		
r =	2.000	B =	16.000	Eu =	1131.000	d =	11.200		

LAYER	THICK	Cc	Eo	Po	Pc
1	1.300	1.126	2.240	0.754	7.000
2	2.000	1.020	2.390	1.734	3.400
3	2.000	1.349	2.810	2.594	4.300
4	2.000	1.489	2.510	3.554	5.000
5	2.000	1.483	2.320	4.674	8.000
6	1.900	0.765	1.430	5.928	10.500

REPORT OUTPUT DATA									
Sc1 =	0.829	Si =	0.012	S1 =	0.841				
Sc2 =	0.570	Si =	0.012	S2 =	0.582				

LAYER	ALPHA12	ALPHA2	ALPHA3	ALPHA4	ALPHA45	DELTA_P1	DELTA_P2	SC1	SC2
1	1.471	1.406	1.326	1.488	1.508	5.722	5.224	0.000	0.000
2	1.373	1.249	1.107	1.406	1.446	5.687	4.766	0.235	0.195
3	1.279	1.107	0.927	1.326	1.385	5.607	4.378	0.229	0.171
4	1.190	0.983	0.785	1.249	1.326	5.474	4.061	0.251	0.179
5	1.107	0.876	0.675	1.176	1.268	5.302	3.796	0.099	0.025
6	1.030	0.785	0.588	1.107	1.212	5.098	3.570	0.015	0.000

Immediate Settlement (Si) = 1.2 เซนติเมตร

Center Consolidation Settlement (Sc1) = 82.9 เซนติเมตร

Edge Consolidation Settlement (Sc2) = 50 เซนติเมตร

ถนนหมดอายุเนื่องจากการทรุดตัวจนระดับใต้พื้นทางเท่ากับระดับน้ำใต้ดิน ที่การทรุดตัว 88 %

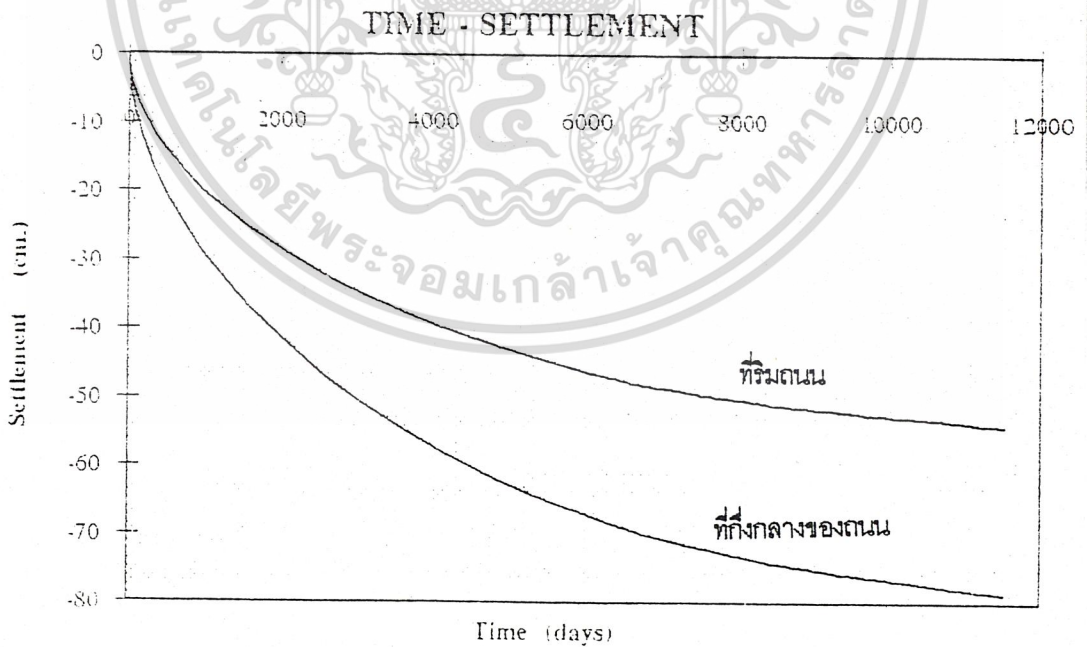
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงาน ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการทรุดตัว

REPORT RATE OF SETTLEMENT

DEGREE OF CONSOLIDATION	TIME FACTOR	TIME	PERCENT OF S _{C1}	PERCENT OF S _{C2}
0	0.0000	0.0000	0.000	0.000
5	0.0020	0.0560	0.041	0.029
10	0.0073	0.2184	0.083	0.057
15	0.0177	0.4956	0.124	0.086
20	0.0314	0.8732	0.155	0.114
25	0.0491	1.3748	0.207	0.143
30	0.0707	1.9736	0.243	0.171
35	0.0952	2.6936	0.290	0.200
40	0.1260	3.5280	0.332	0.228
45	0.1590	4.4520	0.370	0.257
50	0.1970	5.5160	0.415	0.285
55	0.2390	6.6920	0.456	0.314
60	0.2850	7.9800	0.497	0.342
65	0.3420	9.5760	0.539	0.371
70	0.4030	11.2840	0.580	0.399
75	0.4770	13.3560	0.622	0.428
80	0.5670	15.8760	0.663	0.456
85	0.6740	19.3720	0.705	0.485
90	0.8000	23.7440	0.746	0.513
95	1.0000	29.5120	0.788	0.542



ภาพที่ 8.1 แสดงอัตราการทรุดตัวที่บริเวณกึ่งกลางถนน และริมถนนสายธนบุรี - สมุทรสาคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถนน บางนา-บางปะกง

REPORT INPUT DATA

a =	4.000	H =	1.910	I =	0.253	n =	7
b =	6.000	W =	3.000	V =	0.500	Cv =	0.200
r =	2.000	B =	16.000	Eu =	612.000	d =	14.000

LAYER	THICK	Cc	Eo	Po	Pc
1	2.000	1.349	2.137	1.050	2.200
2	2.000	1.342	1.982	1.580	2.300
3	2.000	1.934	1.302	2.300	3.900
4	2.000	1.925	1.830	2.900	4.600
5	2.000	1.926	1.752	3.600	6.200
6	2.000	1.966	1.891	4.500	7.900
7	2.000	1.926	1.752	5.300	8.200

REPORT OUTPUT DATA

Sc1 =	1.839	Si =	0.022	S1 =	1.861
Sc2 =	1.276	Si =	0.022	S2 =	1.298

LAYER	ALPHA12	ALPHA2	ALPHA3	ALPHA4	ALPHA45	DELTA_P1	DELTA_P2	SC1	SC2
1	1.471	1.406	1.326	1.488	1.508	4.430	4.044	0.393	0.361
2	1.373	1.249	1.107	1.406	1.446	4.403	3.690	0.430	0.373
3	1.279	1.107	0.927	1.326	1.385	4.341	3.390	0.447	0.318
4	1.190	0.983	0.785	1.249	1.326	4.237	3.144	0.299	0.186
5	1.107	0.876	0.675	1.176	1.268	4.105	2.938	0.153	0.038
6	1.030	0.785	0.588	1.107	1.212	3.947	2.764	0.046	0.000
7	0.960	0.709	0.519	1.043	1.158	3.774	2.612	0.071	0.000

Immediate Settlement (Si) = 2.2 เซนติเมตร

Center Consolidation Settlement (Sc1) = 183.9 เซนติเมตร

Edge Consolidation Settlement (Sc2) = 127.6 เซนติเมตร

ถนนหมดอายุเนื่องจากการทรุดตัวต่างกัน (Differential Settlement) ทำให้ Crown Slope หมุด

ลง ซึ่งเกิดขึ้นที่การทรุดตัว 35 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

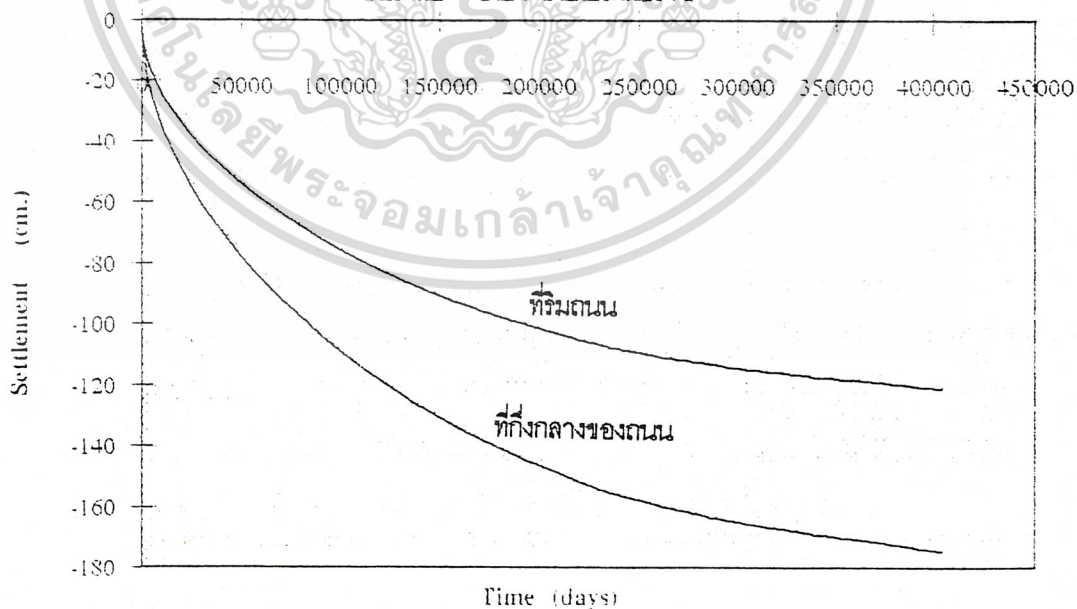
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการทรุดตัว

REPORT RATE OF SETTLEMENT

DEGREE OF CONSOLIDATION	TIME FACTOR	TIME	PERCENT OF SC1	PERCENT OF SC2
0	0.0000	0.0000	0.000	0.000
5	0.0020	1.9600	0.092	0.064
10	0.0079	7.6440	0.134	0.120
15	0.0177	17.3460	0.276	0.131
20	0.0314	30.7720	0.353	0.255
25	0.0491	48.1130	0.450	0.319
30	0.0707	69.2360	0.550	0.393
35	0.0962	94.2760	0.644	0.447
40	0.1250	122.4000	0.736	0.510
45	0.1590	155.8200	0.823	0.574
50	0.1970	193.0500	0.900	0.638
55	0.2390	234.2200	1.011	0.702
60	0.2860	280.2300	1.103	0.766
65	0.3420	335.1600	1.195	0.829
70	0.4050	394.8900	1.287	0.893
75	0.4770	467.4600	1.379	0.957
80	0.5670	555.6500	1.471	1.021
85	0.6740	660.5200	1.563	1.085
90	0.8120	801.0400	1.655	1.148
95	1.1200	1105.4000	1.747	1.212

TIME - SETTLEMENT



ภาพที่ 8.2 แสดงอัตราการทรุดตัวที่บริเวณกึ่งกลางถนน และริมถนนสายบางนา - บางปะกง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการหดตัวเมื่อปรับค่า C_v โดยการคูณค่า C_v ด้วยค่าคงที่ k

$$k = 10$$

REPORT RATE OF SETTLEMENT

DEGREE OF CONSOLIDATION	TIME FACTOR	TIME	PERCENT OF SC_1	PERCENT OF SC_2
0	0.0000	0.0000	0.000	0.000
5	0.0020	0.1950	0.092	0.064
10	0.0073	0.7644	0.134	0.128
15	0.0177	1.7346	0.276	0.191
20	0.0314	3.0772	0.368	0.255
25	0.0491	4.3113	0.460	0.319
30	0.0707	6.9286	0.552	0.383
35	0.0962	9.4276	0.644	0.447
40	0.1260	12.3480	0.736	0.510
45	0.1590	15.5320	0.828	0.574
50	0.1970	19.3060	0.920	0.638
55	0.2390	23.4220	1.011	0.702
60	0.2860	28.0280	1.103	0.766
65	0.3420	33.5160	1.195	0.829
70	0.4030	39.4940	1.287	0.893
75	0.4770	46.7460	1.379	0.957
80	0.5670	55.5660	1.471	1.021
85	0.6740	66.0520	1.563	1.085
90	0.8480	83.1040	1.655	1.148
95	1.1290	110.6420	1.747	1.212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

k = 20

REPORT RATE OF SETTLEMENT

DEGREE OF CONSOLIDATION	TIME FACTOR	TIME	PERCENT OF SC1	PERCENT OF SC2
0	0.0000	0.0000	0.000	0.000
5	0.0020	0.0980	0.092	0.064
10	0.0078	0.3822	0.134	0.128
15	0.0177	0.8673	0.276	0.191
20	0.0314	1.5386	0.363	0.255
25	0.0491	2.4059	0.460	0.319
30	0.0707	3.4643	0.562	0.383
35	0.0952	4.7133	0.644	0.447
40	0.1250	6.1740	0.736	0.510
45	0.1590	7.7910	0.828	0.574
50	0.1970	9.6530	0.920	0.638
55	0.2390	11.7110	1.011	0.702
50	0.2860	14.0140	1.103	0.766
65	0.3420	16.7580	1.195	0.829
70	0.4030	19.7470	1.287	0.893
75	0.4770	23.3730	1.379	0.957
80	0.5670	27.7830	1.471	1.021
85	0.6740	33.0250	1.563	1.085
90	0.8480	41.5520	1.655	1.149
95	1.1290	55.3210	1.747	1.212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

k = 40

REPORT RATE OF SETTLEMENT

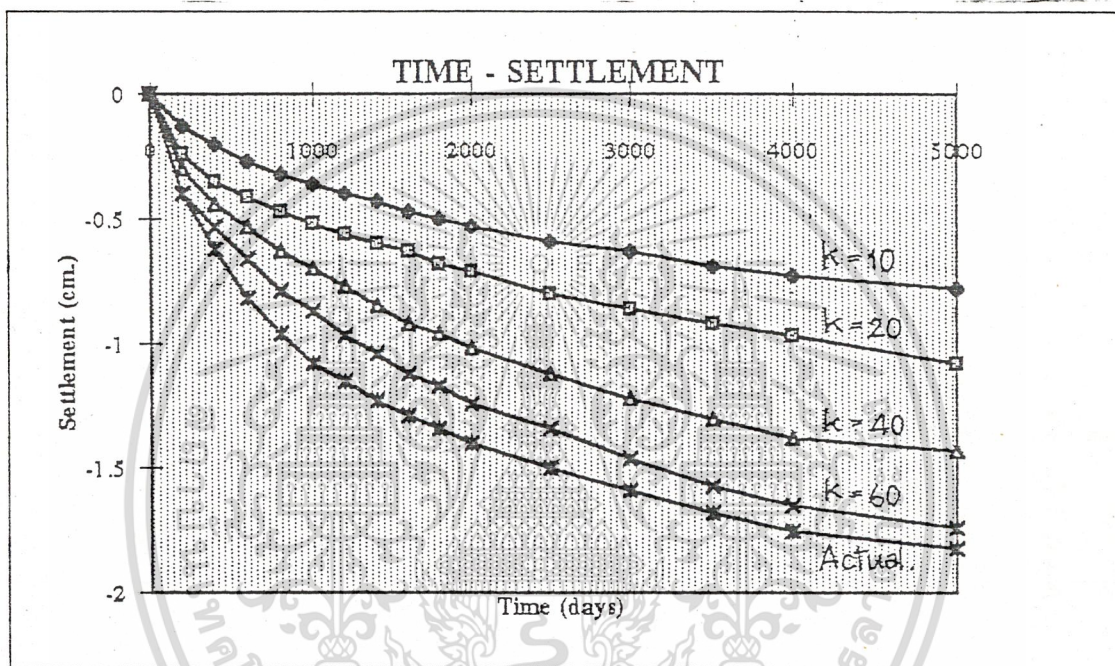
DEGREE OF CONSOLIDATION	TIME FACTOR	TIME	PERCENT OF SC1	PERCENT OF SC2
0	0.0000	0.0000	0.000	0.000
5	0.0020	0.0490	0.092	0.064
10	0.0078	0.1911	0.184	0.128
15	0.0177	0.4337	0.276	0.191
20	0.0314	0.7693	0.368	0.255
25	0.0491	1.2030	0.460	0.319
30	0.0707	1.7322	0.552	0.383
35	0.0962	2.3559	0.644	0.447
40	0.1260	3.0070	0.736	0.510
45	0.1590	3.8955	0.828	0.574
50	0.1970	4.8255	0.920	0.638
55	0.2390	5.8555	1.011	0.702
60	0.2960	7.0070	1.103	0.766
65	0.3420	8.3790	1.195	0.829
70	0.4030	9.8735	1.287	0.893
75	0.4770	11.6865	1.379	0.957
80	0.5670	13.8915	1.471	1.021
85	0.6740	16.5130	1.563	1.085
90	0.8400	20.7760	1.655	1.148
95	1.1290	27.6605	1.747	1.212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

k = 60

Percent	Time tv	Time	Sc1	Sc2
0				
5	0.0020	0.0327	0.080	0.064
10	0.0070	0.1274	0.177	0.128
15	0.0177	0.2891	0.265	0.191
20	0.0314	0.5129	0.354	0.255
25	0.0491	0.8020	0.442	0.319
30	0.0707	1.1548	0.530	0.383
35	0.0962	1.5713	0.619	0.447
40	0.1260	2.0500	0.707	0.510
45	0.1590	2.5970	0.796	0.574
50	0.1970	3.2177	0.884	0.638
55	0.2390	3.9037	0.972	0.702
60	0.2860	4.6713	1.061	0.766
65	0.3420	5.5860	1.149	0.829
70	0.4030	6.5823	1.238	0.893
75	0.4770	7.7910	1.326	0.957
80	0.5670	9.2610	1.414	1.021
85	0.6740	11.0007	1.503	1.085
90	0.8400	13.8507	1.591	1.148

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8.3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราทรุดตัวเมื่อปรับค่า C_v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 สรุปผลและวิเคราะห์

1. **ลักษณะทั่วไปของชั้นดินของถนนสายธนบุรี - สมุทรสาคร (ถนนพระรามที่ 2)** คือ ชั้นบนสุดจะเป็นชั้นเปลือก (Weathered clay) เกิดจากการกัดกร่อนตามธรรมชาติ การระเหยของน้ำ ถูกแสงแดดเผา หรือ อาจเนื่องมาจากการลดตัวของระดับน้ำใต้ดิน ทำให้ดินชั้นนี้มีลักษณะแห้งแข็ง หนาประมาณ 3-5 เมตร ถัดจากนั้นเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน บางแห่งจะอ่อนมาก หนาประมาณ 0.5-1.0 เมตร และได้ชั้นดินเลนนี้ลงไปจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นตามความลึกจนสิ้นสุดชั้นดินเหนียว ซึ่งมีความหนาตั้งแต่ 12-15 เมตร ไม่แน่นอน และได้ชั้นดินแข็งปานกลางลงไปจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งจนถึงระดับความลึกประมาณ 18-23 เมตร จะเป็นชั้นทราย

ส่วนชั้นดินของถนนสายบางนา - บางปะกง จะมีชั้นเปลือก (Weathered clay) ลึกจากผิวดินไม่เกิน 1.00 เมตร มีชั้นดินอ่อนที่ระดับความลึกประมาณ 15-25 เมตร ซึ่งเป็นชั้นดินอ่อนที่หนา ได้ชั้นดินอ่อนจะเป็น Stiff Clay ซึ่งมีความหนา 4-10 เมตร และมีชั้นทรายสลับกันไป

2. **แรงเค้นที่เกิดขึ้น**เนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างถนนเป็นแรงเค้นที่ทำให้เกิดการทรุดตัว ส่วนผลกระทบเนื่องจากการจราจรมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับแรงเค้นที่เกิดจากน้ำหนักดินถม ซึ่งไม่ค่อยมีผลกับการทรุดตัว แต่กรณีที่ดินมีการจราจรคับคั่งมาก หรือมีรถบรรทุกหนัก ๆ วิ่งผ่าน ผลกระทบเนื่องจากการจราจรก็จะมีผลกับการทรุดตัวด้วย และการที่มีการจราจรคับคั่งหรือรถบรรทุกหนัก ๆ วิ่งผ่าน อาจมีผลทำให้ถนนเสียหาย และอาจหมดอายุอันเนื่องมาจากรอยร่องล้อได้

3. การทรุดตัว

3.1 Immediate Settlement

จากการคำนวณ ถนนสายธนบุรี - สมุทรสาคร มีค่า Immediate Settlement น้อยกว่าถนนสายบางนา - บางปะกง เหตุผลหนึ่งก็คือค่า E_u (Undrained Young's Modulus) ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติในการรับแรงของดินตัวอย่างถนนสายธนบุรี - สมุทรสาคร มีค่ามากกว่าดินตัวอย่างถนนบางนา - บางปะกง

3.2 Consolidation Settlement

ถนนสายบางนา - บางปะกง มีการทรุดตัวมากกว่าถนนสายธนบุรี - สมุทรสาคร มีสาเหตุมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในชั้นดินแรกของถนนสายธนบุรี - สมุทรสาคร เป็นชั้นดินเปลือกหนา 3-5 เมตร มีค่า P_0 หรือ P_m (Maximum Past Pressure) สูงมาก ซึ่งเป็นดินแข็งมี Strength สูง จึงมีการทรุดตัวในชั้นแรกน้อยมาก หรือแทบไม่มีเลย

- ค่า C_c (Compressibility Index) ซึ่งหาได้จากปริมาตรดินที่เปลี่ยนไปต่อแรงที่เปลี่ยนไป ดินที่มีค่า C_c มาก จะมีความแข็งแรงน้อย เปลี่ยนรูปร่างไปได้มาก มีการทรุดตัวมาก จากผลการทดสอบ ดินตัวอย่างของถนนบางนา - บางปะกง มีค่า C_c มีค่ามากกว่าดินตัวอย่างของถนนธนบุรี - สมุทรสาคร จึงมีการทรุดตัวมากกว่า

3.3 การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัว

การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวเป็นสิ่งจำเป็นในกรณีที่อยู่ของสิ่งก่อสร้างสันักว่าระยะเวลาที่การทรุดตัวจะเกิดขึ้นทั้งหมด ความยุ่งยากในการวิเคราะห์หาอัตราการทรุดตัว มีสาเหตุมาจากการที่ชั้นดินไม่เป็นเนื้อเดียวกันหมด และมีสภาพการระบายน้ำที่สลับซับซ้อนมากรวมทั้งค่า C_v (Coefficient of Consolidation) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งได้จากการทดสอบ Consolidation มีค่าต่ำกว่าที่เกิดขึ้นจริงมาก ทำให้อัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงในสนามมากกว่าผลที่วิเคราะห์ได้จากทฤษฎีเสมอ ฉะนั้นจึงใช้วิธีคูณ C_v ด้วยค่าคงที่ต่าง ๆ เพื่อให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับอัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริง ข้อสังเกตที่มีผลทำให้ค่าที่เกิดขึ้นจริงแตกต่างไปจากผลการคำนวณที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการคือ

- ในการก่อสร้าง อาจมีการถมทรายลงไปบนชั้นดินเหนียวอ่อน เกิดการคลุกเคล้าผสมกับบางส่วน ทำให้คุณสมบัติในการยอมให้น้ำซึมผ่านเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลทำให้ระยะทางในการระบายน้ำ (Drainage Path) มีค่าสั้นลง น้ำระบายออกได้เร็วขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทรุดตัวจริงจะลดลง

- ชั้นดินที่เกิดการทรุดตัว มีชั้นของทรายเป็นริ้ว ๆ แต่ไม่ต่อเนื่องในช่วงดินเหนียวอ่อน มีผลทำให้เกิดการระบายน้ำได้เร็วขึ้นบ้าง ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการทรุดตัวเร็วขึ้นด้วย

3.4 การคำนวณหาอายุของถนน

ก. อายุถนนจะสิ้นสุดเมื่อระดับน้ำใต้ดินสูงเท่ากับระดับใต้พื้นทาง (Base)

□ ถนนสายบางนา - บางปะกง

$$\text{ระดับก่อสร้าง} = 2.70 \text{ เมตร}$$

$$\text{ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต หนา} \quad 0.05 \text{ เมตร}$$

$$\text{รองพื้นทางแอสฟัลท์คอนกรีต หนา} \quad 0.05 \text{ เมตร}$$

$$\text{พื้นทางหินคลุก หนา} \quad 0.20 \text{ เมตร}$$

$$\therefore \text{ระดับใต้พื้นทาง} = 2.70 - 0.30 = 2.40 \text{ เมตร}$$

$$\text{ระดับน้ำใต้ดินสูงสุดที่ กม. 28} = 1.124 \text{ เมตร}$$

$$\therefore \text{ถนนจะทรุดตัวได้} = 2.40 - 1.124 = 1.276 \text{ เมตร}$$

□ ถนนสายธนบุรี - สมุทรสาคร (ถนนพระรามที่ 2)

$$\text{ระดับก่อสร้าง} = 2.70 \text{ เมตร}$$

$$\text{ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต หนา} \quad 0.05 \text{ เมตร}$$

$$\text{รองพื้นทางแอสฟัลท์คอนกรีต หนา} \quad 0.05 \text{ เมตร}$$

$$\text{พื้นทางหินคลุก หนา} \quad 0.20 \text{ เมตร}$$

$$\therefore \text{ระดับใต้พื้นทาง} = 2.70 - 0.30 = 2.40 \text{ เมตร}$$

$$\text{ระดับน้ำใต้ดินสูงสุดที่ กม. 8} = 1.671 \text{ เมตร}$$

$$\therefore \text{ถนนจะทรุดตัวได้} = 2.40 - 1.671 = 0.729 \text{ เมตร}$$

ข. อายุถนนหมดไปเนื่องจาก Crown Slope ลดลง

□ ถนนสายบางนา - บางปะกง

$$\text{Crown Slope } 3.5 \% \text{ ในช่วงผิวถนน } 3.5 \text{ เมตร}$$

$$\text{Crown Slope } 5 \% \text{ ในช่วงไหล่ทาง } 2.5 \text{ เมตร}$$

$$\therefore \text{ความสูงที่ขอบถนนจะต่างกับที่ระดับ Center Line ของถนนเท่ากับ } 0.2475 \text{ เมตร}$$

ดังนั้น จะทรุดตัวต่างกันได้ 0.2475 เมตร จึงจะถือว่าถนนหมดอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

□ ถนนสายธนบุรี - สมุทรสาคร (ถนนพระรามที่ 2)

Crown Slope 4 % ในช่วงผิวถนน 3.5 เมตร

Crown Slope 6 % ในช่วงไหล่ทาง 2.5 เมตร

∴ ความสูงที่ขอบถนนจะต่างกับที่ระดับ Center Line ของถนนเท่ากับ 0.290 เมตร
ดังนั้น จะทรุดตัวต่างกันได้ 0.290 เมตร จึงจะถือว่าถนนหมดอายุ

ถนนสายธนบุรี - ปากท่อ ถนนจะทรุดตัว 0.729 เมตร (อายุถนนหมดไปเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินสูงเท่ากับระดับใต้พื้นทาง) ใช้เวลา 21.77 ปี เนื่องจากค่า C_v ของถนนสายนี้มีค่ามาก และอายุถนนไม่ขึ้นอยู่กับการที่ Crown Slope หมด เพราะการทรุดตัวที่ 95 % นั้นมีการทรุดตัวต่างกัน โดยที่ Crown Slope ยังไม่แบนลงไปจนถึงว่าถนนหมดอายุ

ถนนสายบางนาบางปะกง ถนนจะทรุดตัว 1.276 เมตร (อายุถนนหมดไปเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินสูงเท่ากับระดับใต้พื้นทาง) ใช้เวลา 387.8 ปี และ Crown Slope หมดเมื่อมีการทรุดตัวถึง 35 % ที่เวลา 94.27 ปี

จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการทรุดตัวของถนนสายบางนา - บางปะกง มีค่าต่างจากที่เกิดขึ้นจริงมาก เนื่องจากค่า C_v ที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าที่ต่ำ การทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงมีมากเมื่อมีรับค่า C_v โดยการคูณค่า C_v ด้วยค่าคงที่ต่าง ๆ ค่าคงที่ที่ทำให้อัตราการทรุดตัวใกล้เคียงกับการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงคือ 60

บรรณานุกรม

1. กองวิเคราะห์ และวิจัย , ถนนบนดินอ่อน : รายงานฉบับที่ วว. 10 , กรมทางหลวง , 2517.
2. กองวิเคราะห์ และวิจัย , สำรวจและออกแบบขั้นต้น ยกกระดับทางสาย 34 ช่วง บางนา-บางปะกง : รายงานฉบับที่ วว. 29 , กรมทางหลวง , 2520.
3. กองวิเคราะห์ และวิจัย , IN SITU STRENGTH AND TOTAL STRESS ANALYSIS FOR AN EMBANKMENT ON A SOFT FOUNDATION : รายงานฉบับที่ วว. 31 , กรมทางหลวง , 1977.
4. กองวิเคราะห์ และวิจัย , DESIGN FOR ROAD EMBANKMENT OF SOFT FOUNDATION : รายงานฉบับที่ วว. 43 , กรมทางหลวง , 1979.
5. กองวิเคราะห์ และวิจัย , การวิเคราะห์ถนนบนดินอ่อน ภายหลังจากการจราจร : รายงานฉบับที่ วว. 49 , กรมทางหลวง , 2523.
6. กองวิเคราะห์ และวิจัย , การวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนเดิมบนสายบางนา - บางปะกง กม. 25 - 33 : รายงานฉบับที่ วว. 99 , กรมทางหลวง , 2528.
7. ปราโมทย์ ยานอม , การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการทรุดตัวของคันทางทดลองบนถนนพระรามที่ 2 : ปริญาวิทยาศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา , 2536.
8. มณฑิร กังคศิเทียม , กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม , สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์ , 2535.
9. มานะ อภิพัฒนะมนตรี , วิศวกรรมปฐพีและฐานราก , สมาส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น) , 2533.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. วีรยุทธ เลิศนที , รวมการใช้งาน FoxPro 2.5 , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , 2537.
11. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ , การอบรมทางวิชาการ เทคนิคการวิเคราะห์ และการวัดการทรุดตัวของพื้นดิน , 2527.
12. Bowles, Joseph E. Foundation Analysis and Design. New York : McGraw - Hill Book Company. , 1968.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*****PROGRAM MAIN PROGRAM FOR ACCOUNT SYSTEM*****

```
set talk off
set clock off
set safety off
set confirm on
set heading off
set logerrors off
set cursor on
set escape off
set delete on
set score off
set mouse off
set color to
set carry off
set sysmenus off
set help off
set lock off
set notify off
set exclusive on
set date to british
set hours to 24
set function 1 to '
set function 2 to '
set function 3 to '
set function 4 to '
set function 5 to '
set function 6 to '
set function 7 to '
set function 8 to '
set function 9 to '
set function 10 to '
DO PRO
return
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BT TALK OFF
BT CURSOR OFF
CLEAR

BT COLOR TO /B
@ 3,10,21,70 BOX REPLICATE(CHR(219),0)

BT COLOR TO
@ 4,13 SAY SPACE(55)
@ 5,13 SAY '
@ 6,13 SAY SPACE(55)
@ 8,13 SAY SPACE(55)
@ 9,13 SAY '
@ 10,13 SAY SPACE(55)

C A L S E T T L E I

developed by

PANATDA KASIKIJWIWAT
YANYONG POTHASUTHON

@ 11,13 SAY '
@ 12,13 SAY '
@ 13,13 SAY SPACE(55)
@ 14,13 SAY SPACE(55)
@ 15,13 SAY '
@ 16,13 SAY '
@ 17,13 SAY '
@ 18,13 SAY SPACE(55)
@ 19,13 SAY '
@ 20,13 SAY SPACE(55)

CONSTRUCTION TECHNOLOGY DEP.
KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
Copyright 1995

Press ENTER continue

WAIT ''
BT CURSOR ON

WHILE .T.
CLEAR

rowmnu = 1
colmnu = 1
yn = 2
DIMENSION hmnu(4,2)
DIMENSION opt1(3)
DIMENSION opt2(3)
DIMENSION opt3(3)
DIMENSION opt4(1)
hmnu(1,1) = ' CREATE DATA FROM '
hmnu(2,1) = ' REPORT DATA '
hmnu(3,1) = ' PRINT '
hmnu(4,1) = ' QUIT PROGRAM '
hmnu(1,2) = ' '
hmnu(2,2) = ' '
hmnu(3,2) = ' '
hmnu(4,2) = ' '

opt1(1) = ' KEYBOARD '
opt1(2) = ' DATAFILE '

opt2(1) = ' AT THE CENTER LINE OF THE EMBANKMENT '
opt2(2) = ' AT THE EDGE OF THE EMBANKMENT '
opt2(3) = ' PERCENT '

opt3(1) = ' PRINT DATA INPUT '
opt3(2) = ' PRINT DATA OUTPUT '
opt3(3) = ' REPORT RATE OF SETTLEMENT '

opt4(1) = ' EXIT TO DOS '

@ 02,00 to 21,78 box replicate(CHR(176),9) และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
@ 01,00 to 22,79 double
MENU BAR hmnu,4

```

MENU 1,opt1,2,2
MENU 2,opt2,3,3
MENU 3,opt3,3,3
MENU 4,opt4,1,1
READ MENU BAR TO colmnu,rowmnu SAVE

```

```

DO CASE
CASE LASTKEY() = 27
EXIT
CASE colmnu = 1
DO CASE
CASE rowmnu = 1
DO WHILE .T.
SET COLOR TO /BG
@ 03,02 TO 06,54 double
@ 04,03 SAY SPACE(51)
@ 05,03 SAY SPACE(51)
@ 04,07 SAY '!!! DELETE ALL DATA !!! AND CREATE NEW DATA'
@ 05,15 SAY 'ARE YOU SURE ?'
@ 05,33 PROMPT ' YES '
@ 05,38 PROMPT ' NO '
MENU TO yn
SET COLOR TO
IF LASTKEY() <> 13
DO CASE
CASE LASTKEY() = 27
yn = 3
EXIT
CASE LASTKEY() = 89
yn = 1
EXIT
CASE LASTKEY() = 78
yn = 2
EXIT
OTHERWISE
LOOP
ENDCASE
ELSE
EXIT
ENDIF
ENDDO
DO CASE
CASE yn = 3

CASE yn = 2

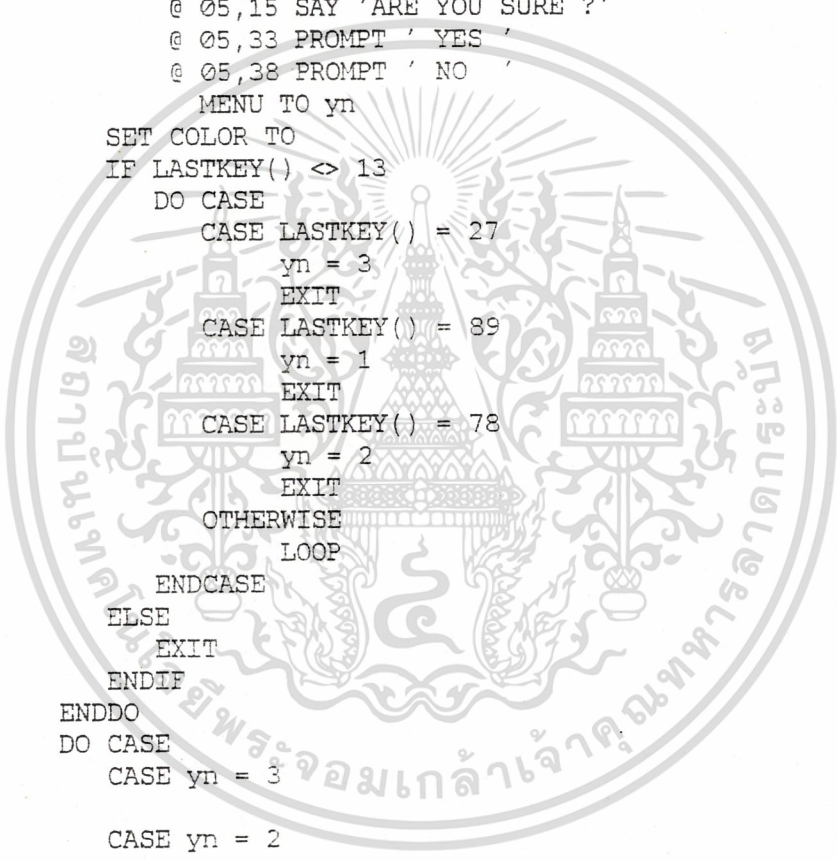
CASE yn = 1
do INPUT
ENDCASE

CASE rowmnu = 2
DO FILE
ENDCASE

CASE colmnu = 2
DO CASE
CASE rowmnu = 1
DO OUTPUT1
CASE rowmnu = 2
DO OUTPUT2
CASE rowmnu = 3
DO OUTPUT3
ENDCASE

CASE colmnu = 3

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DO CASE
CASE rowmnu = 1
DO REPIN
CASE rowmnu = 2
DO REPOUT
CASE rowmnu = 3
DO REPOUT1

```

ENDCASE

```

CASE colmnu = 4
EXIT

```

```

OTHERWISE
LOOP

```

ENDCASE

```

SET COLOR TO
ENDDO
RETURN

```

```

*****
*
*           CREATE SOURCE OF DATA FROM  KEYBOARD
*           *** NEW DATA ***
*
*****

```

PROCEDURE INPUT

```

a1 = 0
b1 = 0
r1 = 0
h1 = 0
w1 = 0
bb1 = 0
i1 = 0
v1 = 0
Eu1 = 0
n1 = 1
Cv1 = 0
d1 = 0

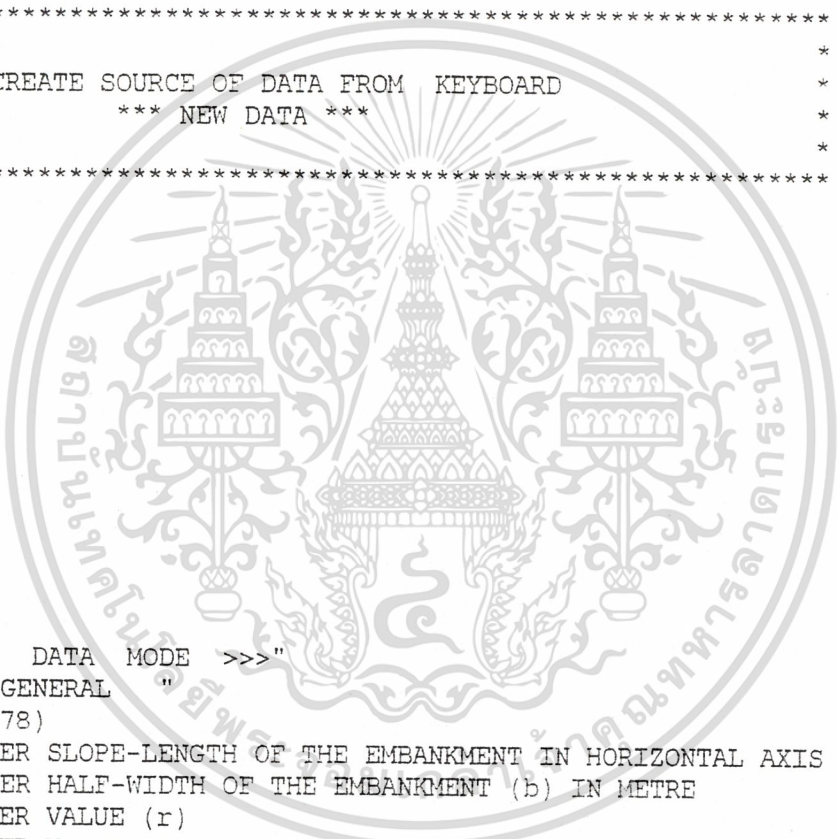
```

CLEAR

```

@ 01,30 SAY "<<< DATA MODE >>>"
@ 02,34 SAY " GENERAL "
? REPLICATE('-',78)
@ 05,02 SAY "ENTER SLOPE-LENGTH OF THE EMBANKMENT IN HORIZONTAL AXIS = "
@ 06,02 SAY "ENTER HALF-WIDTH OF THE EMBANKMENT (b) IN METRE = "
@ 07,02 SAY "ENTER VALUE (r) = "
@ 08,02 SAY "ENTER VALUE (H) = "
@ 09,02 SAY "ENTER VALUE (W) = "
@ 10,02 SAY "ENTER VALUE (B) = "
@ 11,02 SAY "ENTER VALUE (I) = "
@ 12,02 SAY "ENTER VALUE (V) = "
@ 13,02 SAY "ENTER VALUE (Eu) = "
@ 14,02 SAY "ENTER VALUE (Cv) = "
@ 15,02 SAY "ENTER VALUE (d) = "
@ 16,02 SAY "ENTER AMOUNT OF SOIL-LAYER BENEATH THE EMBANKMENT = "
@ 05,67 GET a1 PICT '99999.999'
@ 06,67 GET b1 PICT '99999.999'
@ 07,67 GET r1 PICT '99999.999'
@ 08,67 GET h1 PICT '99999.999'
@ 09,67 GET w1 PICT '99999.999'
@ 10,67 GET bb1 PICT '99999.999'
@ 11,67 GET i1 PICT '99999.999'
@ 12,67 GET v1 PICT '99999.999'
@ 13,67 GET Eu1 PICT '99999.999'
@ 14,67 GET Cv1 PICT '99999.999'

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมการมาตรฐานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 การแปลเอกสารฉบับนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

@ 15,67 GET d1 PICT '99999.999'

@ 16,67 GET n1 PICT '999'

READ

DIMENSION thick1(n1),Cc1(n1),Eo1(n1),Po1(n1),Pc1(n1)

thick1 = 0

Cc1 = 0

Eo1 = 0

Po1 = 0

Pc1 = 0

CLEAR

@ 00,30 SAY "<<< DATA MODE >>>"

@ 01,33 SAY " THICKNESS (h) "

? REPLICATE('-',78)

j = 1

FOR i = 1 TO n1

@ 03+j,02 SAY "ENTER THE THICKNESS OF SOIL-LAYER NO. "

@ 03+j,39 SAY i PICT '999'

@ 03+j,47 SAY "= "

@ 03+j,60 GET thick1(i) PICT '99999.999'

READ

j = j + 1

IF j = 21

j = 1

@ 4,0 CLEAR TO 23,79

ENDIF

ENDFOR

CLEAR

@ 00,30 SAY "<<< DATA MODE >>>"

@ 01,28 SAY " COMPRESSION INDEX (Cc) "

? REPLICATE('-',78)

j = 1

FOR i = 1 TO n1

@ 03+j,02 SAY "ENTER COMPRESSION INDEX OF SOIL-LAYER NO. "

@ 03+j,43 SAY i PICT '999'

@ 03+j,51 SAY "= "

@ 03+j,65 GET Cc1(i) PICT '99999.999'

READ

j = j + 1

IF j = 21

j = 1

@ 4,0 CLEAR TO 23,79

ENDIF

ENDFOR

CLEAR

@ 00,30 SAY "<<< DATA MODE >>>"

@ 01,32 SAY " VOID RATIO (Eo) "

? REPLICATE('-',78)

j = 1

FOR i = 1 TO n1

@ 03+j,02 SAY "ENTER VOID RATIO OF SOIL-LAYER NO. "

@ 03+j,36 SAY i PICT '999'

@ 03+j,47 SAY "= "

@ 03+j,60 GET Eo1(i) PICT '99999.999'

READ

j = j + 1

IF j = 21

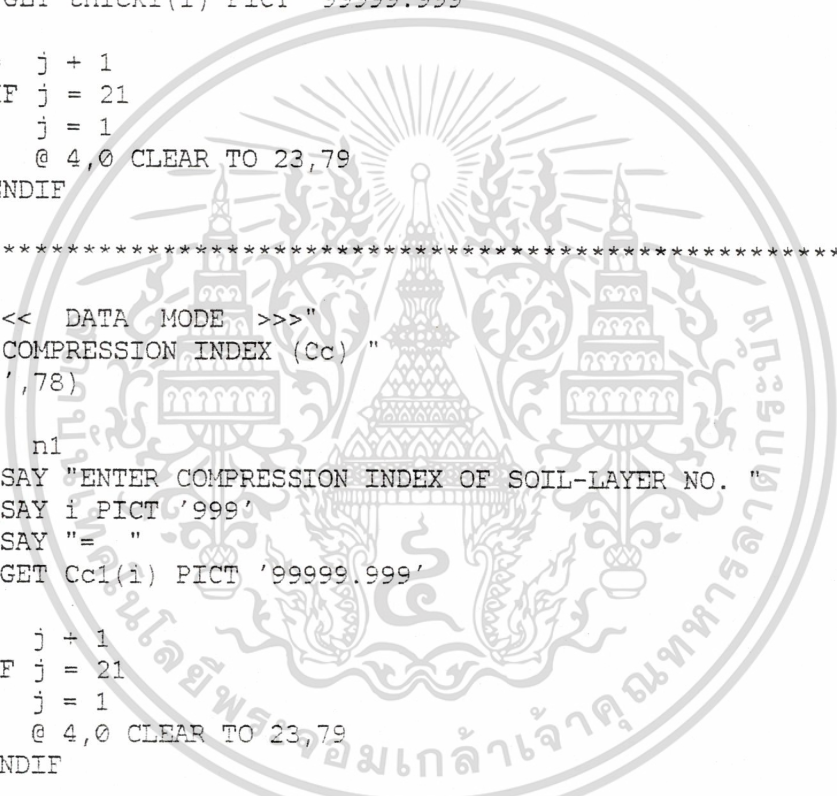
j = 1

@ 4,0 CLEAR TO 23,79

ENDIF

ENDFOR

CLEAR



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สงวนลิขสิทธิ์ไว้ด้วย อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

i = 0
@ 00,30 SAY "<<< DATA MODE >>>"
@ 01,30 SAY " VALUE (Po' ) "
? REPLICATE('-',78)
j = 1
FOR i = 1 TO n1
@ 03+j,02 SAY "ENTER VALUE (Po') OF SOIL-LAYER NO. "
@ 03+j,36 SAY i PICT '999'
@ 03+j,47 SAY "= "
@ 03+j,60 GET Po1(i) PICT '99999.999'
READ
j = j + 1
IF j = 21
j = 1
@ 4,0 CLEAR TO 23,79
ENDIF
ENDFOR
*****
CLEAR
@ 00,30 SAY "<<< DATA MODE >>>"
@ 01,30 SAY " VALUE (Pc) "
? REPLICATE('-',78)
j = 1
FOR i = 1 TO n1
@ 03+j,02 SAY "ENTER VALUE (Pc) OF SOIL-LAYER NO. "
@ 03+j,36 SAY i PICT '999'
@ 03+j,47 SAY "= "
@ 03+j,60 GET Pc1(i) PICT '99999.999'
READ
j = j + 1
IF j = 21
j = 1
@ 4,0 CLEAR TO 23,79
ENDIF
ENDFOR
*****
SELECT 1
USE DATA
ZAP
FOR i = 1 TO n1
m = MIN(a1,b1,r1,h1,w1,bb1,i1,v1,Eu1,thick1(i),Cc1(i),Eo1(i),Po1(i),Pc1(i))
IF m = 0
EXIT
ENDIF
APPEND BLANK
REPLACE LAYER WITH i,AA WITH a1
REPLACE BB WITH b1,RR WITH r1
REPLACE HH WITH h1,WW WITH w1
REPLACE B WITH bb1,II WITH i1
REPLACE VV WITH v1,EU WITH Eu1
REPLACE Cv WITH Cv1,DD WITH d1
REPLACE H WITH thick1(i),CC WITH Cc1(i)
REPLACE EO WITH Eo1(i),PO WITH Po1(i)
REPLACE PC WITH Pc1(i)
ENDFOR
SELECT 1
USE
DO CAL
RETURN
*****
*
* เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากท่านใดต้องการนำข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
*
* *****
PROCEDURE FILE

```

```

SET CURSOR ON
CLEAR
SELECT 1
USE DATA
GO BOTTOM
n1 = RECNO()
n = n1
GO TOP
DIMENSION thick1(n1), Cc1(n1), Eo1(n1), Po1(n1), Pc1(n1)
a1 = 0
b1 = 0
r1 = 0
h1 = 0
w1 = 0
bb1 = 0
i1 = 0
v1 = 0
Eu1 = 0
d1 = 0
Cv1 = 0
thick1 = 0
Cc1 = 0
Eo1 = 0
Po1 = 0
Pc1 = 0
n2 = 0
i = 0

a1 = Aa
b1 = Bb
r1 = Rr
h1 = Hh
w1 = Ww
bb1 = B
i1 = Ii
v1 = Vv
Eu1 = Eu
d1 = Dd
Cv1 = Cv
i = i + 1
DO WHILE .NOT. EOF()
    thick1(i) = H
    Cc1(i) = Cc
    Eo1(i) = Eo
    Po1(i) = Po
    Pc1(i) = Pc
    i = i + 1
SKIP
ENDDO
@ 01,25 SAY 'CREATE SOURCE OF DATA FROM DATAFILE'
@ 03,01 SAY 'a = '
@ 03,22 SAY 'H = '
@ 03,43 SAY 'I = '
@ 03,64 SAY 'd = '
@ 04,01 SAY 'b = '
@ 04,22 SAY 'W = '
@ 04,43 SAY 'V = '
@ 04,64 SAY 'Cv = '
@ 05,01 SAY 'r = '
@ 05,22 SAY 'B = '
@ 05,43 SAY 'Eu = '
@ 05,64 SAY 'n1 = '
@ 06,00 TO 06,79
@ 07,02 SAY 'LAYER'
@ 07,14 SAY 'THICK'

```

© 2015 บริษัท สยามคอมพิวติ้ง จำกัด. สงวนลิขสิทธิ์. ห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต. สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

© 2015, 43 SAY 'Eu = ' อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

@ 06,00 TO 06,79

@ 07,02 SAY 'LAYER'

@ 07,14 SAY 'THICK'

```

@ 07,31 SAY 'Cc'
@ 07,45 SAY 'Eo'
@ 07,59 SAY 'Po'
@ 07,73 SAY 'Pc'
@ 08,00 TO 8,79
  SET COLOR TO /W
@ 24,00 SAY SPACE(12)+'ENTER' = CONFIRM'+SPACE(25)+'Esc' = EXIT '+SPACE(15)
  SET COLOR TO
@ 03,08 GET a1 PICT '99999.999'
@ 04,08 GET b1 PICT '99999.999'
@ 05,08 GET r1 PICT '99999.999'
@ 03,29 GET h1 PICT '99999.999'
@ 04,29 GET w1 PICT '99999.999'
@ 05,29 GET bb1 PICT '99999.999'
@ 03,50 GET i1 PICT '99999.999'
@ 04,50 GET v1 PICT '99999.999'
@ 05,50 GET Eu1 PICT '99999.999'
@ 03,70 GET d1 PICT '99999.999'
@ 04,70 GET Cv1 PICT '9999.9999'
@ 05,76 GET n1 PICT '999'
  READ

```

```

n2 = n1
n1 = n

```

```

IF n1 > n2
  n1 = n2
ELSE

```

```

  IF n1 < n2
    n3 = n2 - n1

```

```

  DIMENSION thick1(n2),Cc1(n2),Eo1(n2),Po1(n2),Pc1(n2)

```

```

  FOR i = n1+1 TO n2

```

```

    thick1(i) = 0
    Cc1(i) = 0
    Eo1(i) = 0
    Po1(i) = 0
    Pc1(i) = 0

```

```

  ENDFOR

```

```

  n1 = n2

```

```

ELSE

```

```

  n1 = n2

```

```

ENDIF

```

```

ENDIF

```

```

  j = 1

```

```

FOR i = 1 TO n2

```

```

  @ 8+j,02 SAY i PICT '999'
  @ 8+j,12 GET thick1(i) PICT '99999.999'
  @ 8+j,26 GET Cc1(i) PICT '99999.999'
  @ 8+j,40 GET Eo1(i) PICT '99999.999'
  @ 8+j,54 GET Po1(i) PICT '99999.999'
  @ 8+j,68 GET Pc1(i) PICT '99999.999'

```

```

  j = j + 1

```

```

  IF j = 15

```

```

    READ

```

```

    j = 1

```

```

    @ 9,0 CLEAR TO 22,79

```

```

  ENDFIF

```

```

ENDFOR

```

```

  READ

```

```

SELECT 1

```

USE สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

*****กรุณาดู ฟังสั้น ออกทิ้งห้ามมั่วเด็ดขาดเลยสงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SELECT 1

```

```

USE DATA

```

ZAP

FOR i = 1 TO n1

m = MIN(a1,b1,r1,h1,w1,bb1,i1,v1,Eu1,thick1(i),Cc1(i),Eo1(i),Po1(i),Pc1(i))

IF m = 0

EXIT

ENDIF

APPEND BLANK

REPLACE LAYER WITH i,AA WITH a1

REPLACE BB WITH b1,RR WITH r1

REPLACE HH WITH h1,WW WITH w1

REPLACE B WITH bb1,II WITH i1

REPLACE VV WITH v1,EU WITH Eu1

REPLACE DD WITH d1,Cv WITH Cv1

REPLACE H WITH thick1(i),CC WITH Cc1(i)

REPLACE EO WITH Eo1(i),PO WITH Po1(i)

REPLACE PC WITH Pc1(i)

ENDFOR

SELECT 1

USE

DO CAL

RETURN

```

*****
*
*
*
*****

```

CALCULATION

PROCEDURE CAL

SELECT 2

USE RESULT

ZAP

INDEX ON LAYER TO NOLAYER

SELECT 2

USE

SELECT 1

USE DATA

GO BOTTOM

n1 = RECNO()

GO TOP

DIMENSION a1(n1),b1(n1),r1(n1),h1(n1),w1(n1),bb1(n1),i1(n1),v1(n1),Eu1(n1)

DIMENSION thick1(n1),Cc1(n1),Eo1(n1),Po1(n1),Pc1(n1)

DIMENSION alp12(n1),alp2(n1),alp3(n1),alp4(n1),alp45(n1)

DIMENSION delp1(n1),delp2(n1),Si1(n1),Sc11(n1),Sc22(n1)

DIMENSION per(20),time1(20),time2(20),persc1(20),persc2(20)

- a1 = 0
- b1 = 0
- r1 = 0
- h1 = 0
- w1 = 0
- bb1 = 0
- i1 = 0
- v1 = 0
- Eu1 = 0
- thick1 = 0
- sthick1 = 0
- Cc1 = 0
- Eo1 = 0
- Po1 = 0
- Pc1 = 0
- alp12 = 0
- alp2 = 0
- alp3 = 0
- alp4 = 0
- alp45 = 0
- delp1 = 0

สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 4. ถ้ากรณีใด ๆ หนึ่ง อื่นทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delp2 = 0
Si1 = 0
Sc11 = 0
Sc22 = 0
d1 = 0
Cv1 = 0
per = 0
time1 = 0
time2 = 0
persc1 = 0
persc2 = 0
sumsc1 = 0
sumsc2 = 0
pi = 3.1415927

```

```

dimension aa(n1)
aa = 0

```

```

a1 = AA
b1 = BB
r1 = RR
h1 = HH
w1 = WW
bb1 = B
i1 = II
v1 = VV
Eu1 = EU
d1 = DD
Cv1 = Cv

```

```

GO TOP
i = 1

```

```

DO WHILE .NOT. EOF()
  thick1(i) = 1
  Cc1(i) = CC
  Eo1(i) = EO
  Po1(i) = PO
  Pc1(i) = PC
  i = i + 1

```

```

SKIP

```

```

ENDDO

```

```

FOR i = 1 TO n1

```

```

  m = MIN(a1,b1,r1,h1,w1,bb1,i1,v1,Eu1,thick1(i),Cc1(i),Eo1(i),Po1(i),Pc1(i))

```

```

  IF m = 0

```

```

    RETURN

```

```

  ENDIF

```

```

ENDFOR

```

```

FOR i = 1 TO n1

```

```

  sthick1 = sthick1 + thick1(i)

```

```

  sthick1 = ROUND(sthick1,3)

```

```

  alp12(i) = ATAN((b1+a1)/sthick1)

```

```

  alp12(i) = ROUND(alp12(i),3)

```

```

  alp2(i) = ATAN(b1/sthick1)

```

```

  alp2(i) = ROUND(alp2(i),3)

```

```

  alp3(i) = ATAN(a1/sthick1)

```

```

  alp3(i) = ROUND(alp3(i),3)

```

```

  alp4(i) = ATAN((2*b1)/sthick1)

```

```

  alp4(i) = ROUND(alp4(i),3)

```

```

  alp45(i) = ATAN(((2*b1)+a1)/sthick1)

```

เอกalp45(i) = ROUND(alp45(i),3) คือการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ทำการมีใครจะนำข้อมูลนี้ไปทำมามีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

  p = ((a1+b1)/a1)

```

```

  p = ROUND(p,3)

```

```

  p1 = r1*h1

```

```

p1 = ROUND(p1,3)
p2 = w1/(pi*((0.143+(0.577*h1))^2))
p2 = ROUND(p2,3)
q = p1+p2
q = ROUND(q,3)
delp1(i) = 2*((q/pi)*((p*alp12(i))-(b1/a1*alp2(i))))
delp1(i) = ROUND(delp1(i),3)
delp2(i) = (q/pi)*((p*alp45(i))+alp3(i))-(b1/a1*alp4(i)))
delp2(i) = ROUND(delp2(i),3)
Si1(i) = (q*bb1*i1*(1-v1(i)^2))/Eu1
Si1(i) = ROUND(Si1(i),3)
s = (Cc1(i)/(1+Eo1(i)))*thick1(i)
s = ROUND(s,3)
c11 = (Po1(i)+delp1(i))/Pc1(i)
c11 = ROUND(c11,3)
c22 = (Po1(i)+delp2(i))/Pc1(i)
c22 = ROUND(c22,3)

```

```

IF c11 <= 1
  c11 = 1
ENDIF

```

```

IF c22 <= 1
  c22 = 1
ENDIF

```

```

c1 = log(c11)
c1 = ROUND(c1,3)
c2 = log(c22)
c2 = ROUND(c2,3)
Sc11(i) = s*c1
Sc11(i) = ROUND(Sc11(i),3)
Sc22(i) = s*c2
Sc22(i) = ROUND(Sc22(i),3)
sumsc1 = sumsc1+Sc11(i)
sumsc1 = ROUND(sumsc1,3)
sumsc2 = sumsc2+Sc22(i)
sumsc2 = ROUND(sumsc2,3)

```

```

ENDFOR

```

```

sum1 = sumsc1 + Si1(1)
sum1 = ROUND(sum1,3)
sum2 = sumsc2 + Si1(1)
sum2 = ROUND(sum2,3)

```

```

*****

```

```

SELECT 2
USE RESULT
INDEX ON LAYER TO NOLAYER
USE RESULT INDEX NOLAYER
FOR i = 1 TO n1
  APPEND BLANK
  ii = STR(i,3,0)
  REPLACE LAYER WITH ii,ALPHA12 WITH alp12(i)
  REPLACE ALPHA2 WITH alp2(i),ALPHA3 WITH alp3(i)
  REPLACE ALPHA4 WITH alp4(i),ALPHA45 WITH alp45(i)
  REPLACE DELTA_P1 WITH delp1(i),DELTA_P2 WITH delp2(i)
  REPLACE SI WITH Si1(i),SC1 WITH Sc11(i)
  REPLACE SC2 WITH Sc22(i),SSC11 WITH sumsc1
  REPLACE SSC22 WITH sumsc2,TOTAL1 WITH sum1
  REPLACE TOTAL2 WITH sum2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ENDFOR กรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 SELECT 2
 USE


```

ACTIVATE WINDOW w_res
BROWSE FIELDS layer:5,alpha12:15,alpha2:15,delta_p1:15,sc1:15;
FREEZE layer nomenu noappend noedit nodelete nolgrid norgrid normal;
title head window w_res
RELEASE WINDOW w_res
SELECT 2
USE
SET CURSOR ON
RETURN

```

```

*****
*
*                               OUTPUT 2
*          AT THE EDGE OF THE EMBANKMENT
*
*****

```

```

PROCEDURE OUTPUT2
SET CURSOR OFF
SELECT 2
USE RESULT INDEX NOLAYER
CLEAR
tot2 = 0
ttot2 = 0
DO WHILE .NOT. EOF()
  tot2 = tot2 + sc2
  SKIP
ENDDO
GO TOP
  ttot2 = tot2 + si

```

```

@ 20,20 SAY 'Sc = ,Sc2 = '
@ 20,45 SAY tot2 PICT '99999.999'
@ 21,20 SAY 'Si = '
@ 21,45 SAY si PICT '99999.999'
@ 22,20 SAY 'S = Sc+Si = '
@ 22,45 SAY ttot2 PICT '99999.999'
SELECT 2
USE

```

```

head = ' AT THE EDGE OF THE EMBANKMENT '
DEFINE WINDOW w_res FROM 01,00 TO 16,79
SELECT 2
USE RESULT INDEX NOLAYER
ACTIVATE WINDOW w_res
BROWSE FIELDS layer:5,alpha3:12,alpha4:12,alpha45:12,delta_p2:12,sc2:12;
FREEZE layer nomenu noappend noedit nodelete nolgrid norgrid normal;
title head window w_res
RELEASE WINDOW w_res
SELECT 2
USE
SET CURSOR ON
RETURN

```

```

*****
*
*                               OUTPUT 3
*          DEGREE OF CONSOLIDATION
*
*****

```

```

PROCEDURE OUTPUT3
SET CURSOR OFF
CLEAR
head = ' DEGREE OF CONSOLIDATION Uv '
DEFINE WINDOW w_res FROM 01,00 TO 23,79
SELECT 4
USE RESULT1 INDEX INPER
ACTIVATE WINDOW w_res

```



```
BROWSE FIELDS percent:7,time_tv:15,time:15,sc1:15,sc2:15;
FREEZE percent nomenu noappend noedit nodelete nolgrid norgrid normal
title head window w_res
```

```
RELEASE WINDOW w_res
```

```
SELECT 4
```

```
USE
```

```
SET CURSOR ON
```

```
RETURN
```

```
*****
*
*          REPORT INPUT DATA
*
*****
```

```
PROCEDURE REPIN
```

```
SET CURSOR OFF
```

```
SET DEVICE TO PRINTER
```

```
DO WHILE PRINTSTATUS() = .F.
```

```
    SET DEVICE TO SCREEN
```

```
        SET COLOR TO /BG
```

```
        @ 09,20 TO 13,60 double
```

```
        @ 10,21 SAY SPACE(39)
```

```
        @ 11,21 SAY SPACE(39)
```

```
        @ 12,21 SAY SPACE(39)
```

```
        @ 11,26 SAY 'PLEASE CHECK TO PRINTER !'
```

```
        SET COLOR TO BG/BG
```

```
        WAIT ''
```

```
        SET COLOR TO
```

```
    IF LASTKEY() = 27
```

```
        SET DEVICE TO SCREEN
```

```
        RETURN
```

```
    ENDIF
```

```
    SET DEVICE TO PRINTER
```

```
ENDDO
```

```
SELECT 1
```

```
USE DATA
```

```
GO BOTTOM
```

```
n1 = RECNO()
```

```
n = n1
```

```
GO TOP
```

```
DIMENSION thick1(n1),Cc1(n1),Eo1(n1),Po1(n1),Pc1(n1)
```

```
a1 = 0
b1 = 0
r1 = 0
h1 = 0
w1 = 0
bb1 = 0
i1 = 0
v1 = 0
Eu1 = 0
Cv1 = 0
d1 = 0
thick1 = 0
Cc1 = 0
Eo1 = 0
Po1 = 0
Pc1 = 0
n2 = 0
i = 1
```

```
a1 = Aa
b1 = Bb
r1 = Rr
h1 = Hh
w1 = Ww
bb1 = B
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

i1      =      Ii
v1      =      Vv
Eu1     =      Eu
Cv1     =      Cv
d1      =      DD

```

```
DO WHILE .NOT. EOF()
```

```

thick1(i) = H
Cc1(i)    = Cc
Eo1(i)    = Eo
Po1(i)    = Po
Pc1(i)    = Pc
i         = i + 1

```

```
SKIP
```

```
ENDDO
```

```
@ 01,38 SAY 'REPORT INPUT DATA'
```

```

@ 03,05 SAY 'a  ='
@ 03,11 SAY a1 PICT '99999.999'
@ 03,31 SAY 'H  ='
@ 03,37 SAY h1 PICT '99999.999'
@ 03,57 SAY 'I  ='
@ 03,63 SAY i1 PICT '99999.999'
@ 03,82 SAY 'n  ='
@ 03,88 SAY n1 PICT '999'
@ 04,05 SAY 'b  ='
@ 04,11 SAY b1 PICT '99999.999'
@ 04,31 SAY 'W  ='
@ 04,37 SAY w1 PICT '99999.999'
@ 04,57 SAY 'V  ='
@ 04,63 SAY v1 PICT '99999.999'
@ 04,82 SAY 'Cv ='
@ 04,85 SAY Cv1 PICT '99999.999'
@ 05,05 SAY 'r  ='
@ 05,11 SAY r1 PICT '99999.999'
@ 05,31 SAY 'B  ='
@ 05,37 SAY bb1 PICT '99999.999'
@ 05,57 SAY 'Eu ='
@ 05,63 SAY Eu1 PICT '99999.999'
@ 05,82 SAY 'd  ='
@ 05,85 SAY d1 PICT '9999.999'
@ 06,03 SAY REPLICATE('-',90)

```

```

@ 07,07 SAY 'LAYER'
@ 07,21 SAY 'THICK'
@ 07,38 SAY 'Cc'
@ 07,53 SAY 'Eo'
@ 07,68 SAY 'Po'
@ 07,82 SAY 'Pc'
@ 08,03 SAY REPLICATE('-',90)

```

```
n2 = n1
```

```
n1 = n
```

```
IF n1 > n2
```

```
    n1 = n2
```

```
ELSE
```

```
    IF n1 < n2
```

```
        n3 = n2 - n1
```

```
        DIMENSION thick1(n2),Cc1(n2),Eo1(n2),Po1(n2),Pc1(n2)
```

```
        FOR i = n1+1 TO n2
```

```
            thick1(i) = 0
```

```
            Cc1(i)    = 0
```

```
            Eo1(i)    = 0
```

```
            Po1(i)    = 0
```

```
            Pc1(i)    = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง Po1(i) ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENDFOR

n1 = n2

ELSE

n1 = n2

ENDIF

ENDIF

FOR i = 1 TO n2

```

@ PROW()+1,07 SAY i PICT '999'
@ PROW(),17 SAY thick1(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),32 SAY Cc1(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),47 SAY Eo1(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),62 SAY Po1(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),76 SAY Pc1(i) PICT '99999.999'

```

IF PROW() > 35

```

@ PROW()+1,03 SAY REPLICATE('-',90)
EJECT
@ 01,38 SAY 'REPORT INPUT DATA'
@ 03,03 SAY REPLICATE('-',90)
@ 04,07 SAY 'LAYER'
@ 04,21 SAY 'THICK'
@ 04,38 SAY 'Cc'
@ 04,53 SAY 'Eo'
@ 04,68 SAY 'Po'
@ 04,82 SAY 'Pc'
@ 05,03 SAY REPLICATE('-',90)

```

ENDIF

ENDFOR

@ PROW()+1,03 SAY REPLICATE('-',90)

EJECT

SET DEVICE TO SCREEN

SELECT 1

USE

RETURN

```

*****
*
*          REPORT OUTPUT DATA
*
*****

```

PROCEDURE REPOUT

SET DEVICE TO PRINTER

SET CURSOR OFF

DO WHILE PRINTSTATUS() = .F.

SET DEVICE TO SCREEN

SET COLOR TO /BG

@ 09,20 TO 13,60 double

@ 10,21 SAY SPACE(39)

@ 11,21 SAY SPACE(39)

@ 12,21 SAY SPACE(39)

@ 11,26 SAY 'PLEASE CHECK TO PRINTER !'

SET COLOR TO BG/BG

WAIT ''

SET COLOR TO

IF LASTKEY() = 27

SET DEVICE TO SCREEN

RETURN

ENDIF

SET DEVICE TO PRINTER

ENDDO

SELECT 2

USE INDEX NOLAYER สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

GO BOTTOM

n1 = RECNO() ไม่เอาการ () ล้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GO TOP

DIMENSION alp12(n1),alp2(n1),alp3(n1),alp4(n1),alp45(n1)

```

DIMENSION delp1(n1),delp2(n1),Sc11(n1),Sc22(n1)
alp12 = 0
alp2 = 0
alp3 = 0
alp4 = 0
alp45 = 0
delp1 = 0
delp2 = 0
Si1 = 0
Sc11 = 0
Sc22 = 0
sumsc1 = 0
sumsc2 = 0
sum1 = 0
sum2 = 0
i = 1

```

```

si1 = SI
sumsc1 = SSC11
sumsc2 = SSC22
sum1 = TOTAL1
sum2 = TOTAL2

```

```
@ 01,38 SAY 'REPORT OUTPUT DATA'
```

```

@ 03,10 SAY 'Sc1 ='
@ 03,18 SAY sumsc1 PICT '99999.999'
@ 03,38 SAY 'Si ='
@ 03,46 SAY Si1 PICT '99999.999'
@ 03,66 SAY 'S1 ='
@ 03,74 SAY sum1 PICT '99999.999'

```

```

@ 04,10 SAY 'Sc2 ='
@ 04,18 SAY sumsc2 PICT '99999.999'
@ 04,38 SAY 'Si ='
@ 04,46 SAY Si1 PICT '99999.999'
@ 04,66 SAY 'S2 ='
@ 04,74 SAY sum2 PICT '99999.999'

```

```

@ 05,00 SAY REPLICATE('-',96)
@ 06,01 SAY 'LAYER'
@ 06,08 SAY 'ALPHA12'
@ 06,19 SAY 'ALPHA2'
@ 06,29 SAY 'ALPHA3'
@ 06,39 SAY 'ALPHA4'
@ 06,49 SAY 'ALPHA45'
@ 06,60 SAY 'DELTA_P1'
@ 06,71 SAY 'DELTA_P2'
@ 06,83 SAY 'SC1'
@ 06,91 SAY 'SC2'
@ 07,00 SAY REPLICATE('-',96)

```

```
i = 1
```

```

DO WHILE .NOT. EOF()
  alp12(i) = ALPHA12
  alp2(i) = ALPHA2
  alp3(i) = ALPHA3
  alp4(i) = ALPHA4
  alp45(i) = ALPHA45
  delp1(i) = DELTA_P1
  delp2(i) = DELTA_P2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำที่ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Sc11(i) = SC1
Sc22(i) = SC2

```

```

@ PROW()+1,01 SAY i PICT '999'
@ PROW(),05 SAY alp12(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),16 SAY alp2(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),26 SAY alp3(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),36 SAY alp4(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),46 SAY alp45(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),58 SAY delp1(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),69 SAY delp2(i) PICT '99999.999'

@ PROW(),78 SAY Sc11(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),86 SAY Sc22(i) PICT '99999.999'

```

```

IF PROW() > 35
  @ PROW()+1,00 SAY REPLICATE('-',96)
  EJECT

```

```

  @ 01,38 SAY 'REPORT OUTPUT DATA'

```

```

  @ 03,00 SAY REPLICATE('-',96)
  @ 04,01 SAY 'LAYER'
  @ 04,08 SAY 'ALPHA12'
  @ 04,19 SAY 'ALPHA2'
  @ 04,29 SAY 'ALPHA3'
  @ 04,39 SAY 'ALPHA4'
  @ 04,49 SAY 'ALPHA45'
  @ 04,60 SAY 'DELTA_P1'
  @ 04,71 SAY 'DELTA_P2'
  @ 04,83 SAY 'SC1'
  @ 04,91 SAY 'SC2'
  @ 05,00 SAY REPLICATE('-',96)

```

```

ENDIF

```

```

i = i + 1

```

```

SKIP

```

```

ENDDO

```

```

  @ PROW()+1,00 SAY REPLICATE('-',96)

```

```

EJECT
SELECT 2
USE
SET CURSOR ON
SET DEVICE TO SCREEN
RETURN

```

```

*****
*
*          REPORT OUTPUT DATA1
*
*****

```

```

PROCEDURE REPOUT1
SET DEVICE TO PRINTER
SET CURSOR OFF
DO WHILE PRINTSTATUS() = .F.
  SET DEVICE TO SCREEN
  SET COLOR TO /BG
  @ 09,20 TO 13,60 double
  @ 10,21 SAY SPACE(39)
  @ 11,21 SAY SPACE(39)
  @ 12,21 SAY SPACE(39)
  @ 11,26 SAY 'PLEASE CHECK TO PRINTER !'
  SET COLOR TO BG/BG
  WAIT ''
  SET COLOR TO
  IF LASTKEY() = 27
    SET DEVICE TO SCREEN
    RETURN
  ENDIF
  SET DEVICE TO PRINTER

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SELECT 4
USE RESULT1 INDEX INPER
GO BOTTOM
n1 = RECNO()
GO TOP
DIMENSION per(n1),time1(n1),time2(n1),persc1(n1),persc2(n1)
per = 0
time1 = 0
time2 = 0
persc1 = 0
persc2 = 0

```

```

@ 01,35 SAY 'REPORT RATE OF SETTLEMENT'
@ 03,00 SAY REPLICATE('-',96)
@ 04,02 SAY "DEGREE OF CONSOLIDATION"
@ 04,32 SAY "TIME FACTOR"
@ 04,46 SAY "TIME"
@ 04,55 SAY "PERCENT OF SC1"
@ 04,74 SAY "PERCENT OF SC2"
@ 05,00 SAY REPLICATE('-',96)

```

```

i = 1
DO WHILE .NOT. EOF()

```

```

per(i) = PERCENT
time1(i) = TIME_TV
time2(i) = TIME
persc1(i) = SC1
persc2(i) = SC2

```

```

@ PROW()+1,13 SAY per(i) PICT '999'
@ PROW(),30 SAY time1(i) PICT '99999.9999'
@ PROW(),43 SAY time2(i) PICT '99999.9999'
@ PROW(),55 SAY persc1(i) PICT '99999.999'
@ PROW(),75 SAY persc2(i) PICT '99999.999'

```

```

IF PROW() > 35
@ PROW()+1,00 SAY REPLICATE('-',96)
EJECT

```

```

@ 01,38 SAY 'REPORT RATE OF SETTLEMENT'
@ 03,00 SAY REPLICATE('-',96)
@ 04,02 SAY "DEGREE OF CONSOLIDATION"
@ 04,32 SAY "TIME FACTOR"
@ 04,46 SAY "TIME"
@ 04,55 SAY "PERCENT OF SC1"
@ 04,74 SAY "PERCENT OF SC2"
@ 05,00 SAY REPLICATE('-',96)

```

```

ENDIF

```

```

i = i + 1

```

```

SKIP

```

```

ENDDO

```

```

@ PROW()+1,00 SAY REPLICATE('-',96)

```

```

EJECT

```

```

SELECT 2

```

```

USE

```

```

SET CURSOR ON

```

```

SET DEVICE TO SCREEN

```

```

RETURN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้