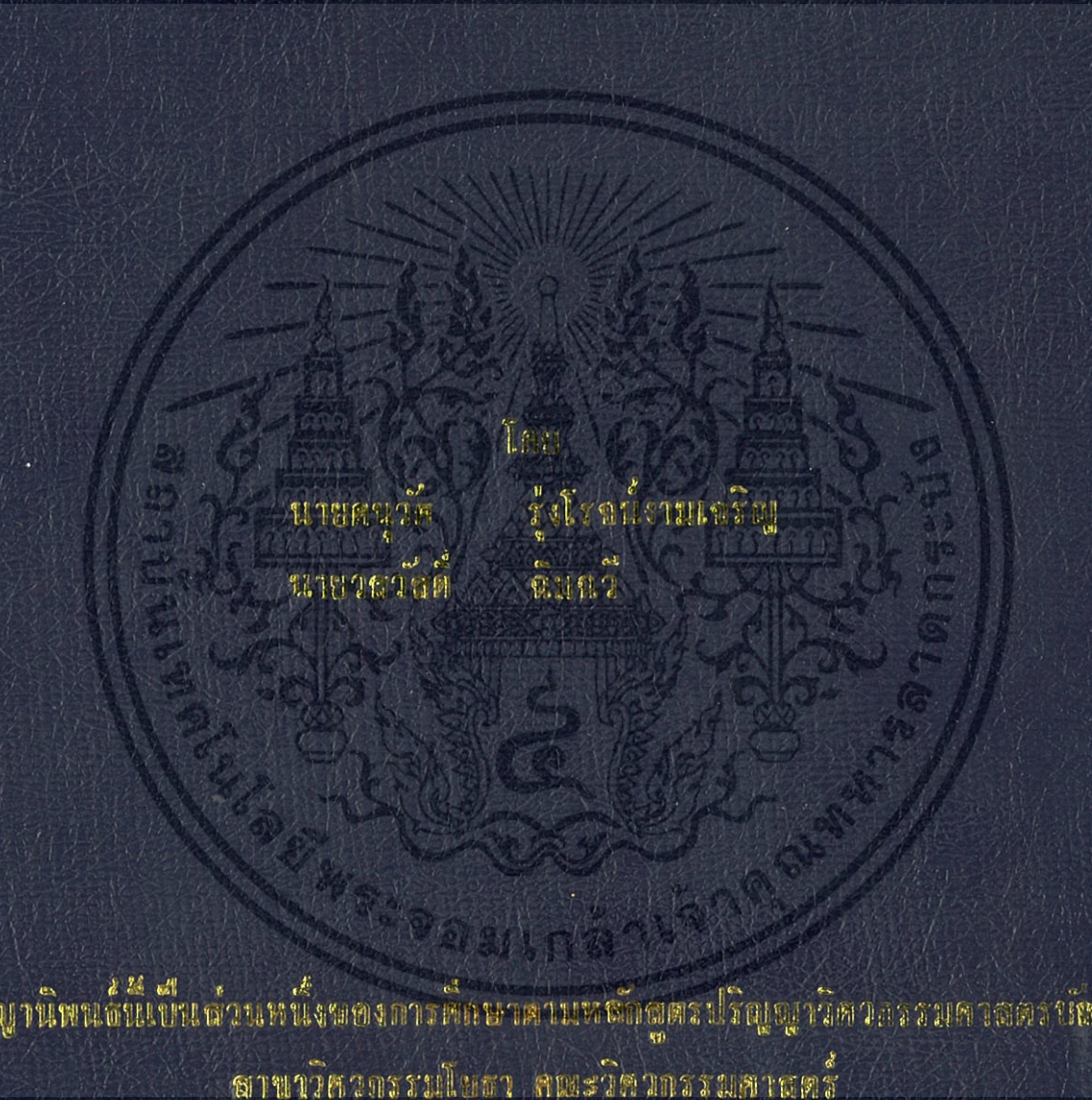


การศึกษาดผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ต่อเสถียรภาพข้างเคียงในการก่อสร้างอาคาร  
ภายในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ  
EFFECT OF PVD ON ADJACENT PILE CONSTRUCTED IN THE  
SUARNABHUMI AIRPORT



โดย  
นายศุภวัตร รุ่งโรจน์งามเจริญ  
นายวศวัตต์ ฉิมแก้ว

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยPVDต่อเสาเข็มข้างเคียงในการก่อสร้างอาคาร

ภายในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ

**EFFECT OF PVD ON ADJACENT PILE CONSTRUCTED IN THE  
SUVARNABHUMI AIRPORT**



โดย  
นาย อนุวัศ รุ่งโรจน์งามเจริญ  
นาย วสวัตต์ ทิมฉวี

รฟพ.  
๑ 124 17  
2546

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....58567  
วัน,เดือน,ปี...25...ค.ศ...2549

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

b. 11470 975 /  
.....  
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EFFECT OF PVD ON ADJACENT PILE CONSTRUCTED IN THE  
SUARNABHUMI AIRPORT**

MR.DANUWAT RUNGROJNGAMCHAROEN  
MR.WASAWAT CHIMCHAWEE



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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อ โครงการพิเศษ การศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยPVDต่อเสาเข็มข้างเคียงในการก่อสร้างอาคารภายในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ

นักศึกษา นายคณวิศ รุ่งโรจน์งามเจริญ รหัสประจำตัว 43010631  
นายวสวัตต์ ฉิมฉวี รหัสประจำตัว 43010757

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

| คณะกรรมการสอบหัวข้อ โครงการพิเศษ | ลายมือชื่อ   |
|----------------------------------|--|
| ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์       |   |
| ผศ.สุพจน์ ศรีนิล                 |  |
| ผศ.ดร.จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง          |  |
| รศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ              |  |
| อาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง            |  |

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ. 2547

|                    |   |          |  |
|--------------------|---|----------|--|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยPVDต่อเสาเข็มข้างเคียงในการก่อสร้างอาคารภายในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ |          |  |
| นักศึกษา           | นายคุณวัศ รุ่งโรจน์งามเจริญ รหัสประจำตัว  | 43010631 |  |
|                    | นายวสวัตต์ นิมฉวี รหัสประจำตัว  | 43010757 |  |
| อาจารย์ที่ปรึกษา   | ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์  |          |  |
| ระดับการศึกษา      | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  |          |  |
| ภาควิชา            | วิศวกรรมโยธา  |          |  |
| ปีการศึกษา         | 2546  |          |  |

## บทคัดย่อ

งานปรับปรุงคุณภาพดินด้วย Prefabricated Vertical Drain (PVD) มักจะใช้ใน งานก่อสร้างถนน และทางวิ่งของยานยนต์ที่มีขนาดใหญ่ รับน้ำหนักบรรทุกมาก เช่นงานก่อสร้างลานบินสำหรับเครื่องบิน (run way) ถนนHighway เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงผลกระทบของการปรับปรุงดินด้วย PVD ที่มีต่อเสาเข็มข้างเคียงที่มีอยู่ในงานก่อสร้างอาคารที่อยู่ภายในส่วน Airport Maintenance Facility และถนนโดยรอบอาคารในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ โดยผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย Prefabricated Vertical Drain (PVD) ต่อเสาเข็มเกิดเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินในส่วนที่เป็นถนนทางวิ่งของเครื่องบินพร้อมด้วยการก่อสร้างอาคารในเวลาเดียวกัน แนวของ PVD ที่ล้าเข้ามาภายในตึกจะส่งผลกระทบต่อเสาเข็ม โดยผลกระทบที่คำนึงคือ 1.แรงดูดให้เสาเข็มลง (Negative Skin Friction) 2.แรงกระทำด้านข้างเสาเข็มทำให้เสาเข็มเคลื่อนตัวเนื่องจากการเคลื่อนตัวของมวลดิน และจากผลกระทบดังกล่าวทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบกราฟสำหรับประมาณค่า Negative Skin Friction ที่เกิดขึ้นจากการทรุดตัว และกราฟสำหรับประมาณค่าแรงกระทำด้านข้าง ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดิน จากการศึกษาพบว่า ค่า Negative Skin Friction ที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มเดี่ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 ม.ที่อยู่ในแนวการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD มีค่าเป็น 3.58% ของ Safe Working Load ของเสาเข็ม สำหรับอาคาร Administration และ Main Store และคิดเป็น 3.22% ของ Safe Working Load สำหรับอาคาร Material Shed Workshop จากการศึกษาการเคลื่อนตัวของดินพบว่าความต้านทานการเคลื่อนตัวของดินมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.73 และค่าการเคลื่อนตัวของเสาเข็มในแนวราบก่อนที่จะมีการก่อสร้างโครงสร้างเท่ากับ 6.584 ซม. โดยที่การเคลื่อนที่จริงในสนามมีค่าโดยเฉลี่ยไม่เกิน 10 ซม. ทั้งนี้เสาเข็มที่อยู่ในแนวการปรับปรุงคุณภาพดินมีทั้งเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่มทั้งกลุ่ม 2 ต้น และกลุ่ม 4 ต้นทางคณะผู้วิจัยได้ใช้เสาเข็มต้นเดียวในการคำนวณทั้งค่า Negative Skin Friction

และค่าการเคลื่อนตัวของเสาเข็มและใช้ในการสร้างกราฟ เนื่องจากเสาเข็มต้นเดียวมีความปลอดภัยมากกว่าเสาเข็มกลุ่ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : EFFECT OF PVD ON ADJACENT PILE CONSTRUCTED IN  
THE SUVARNABHUMI AIRPORT  
Name : MR.DANUWAT RUNGROJNGAMCHAROEN  
MR.WASAWAT CHIMCHAWEE  
Field : CIVIL ENGINEERING  
Faculty : ENGINEERING  
Advisor : DR.SUCHATVEE SUWANSAWAT

### ABSTRACT

The ground improvement by Prefabricated Vertical Drain (PVD) tends to be used in the road construction and large automotive way which bare heavy load such as the runway construction or highway. This research reported the effect of ground improvement by PVD on adjacent piles in building inside Airport Maintenance Facility section and the road around the building in the Suvarnabhumi Airport. The considered effects were 1.Negative Skin Friction 2.Force, which make the lateral movement of pile due the ground movement. Designed chart were developed for estimate the Negative Skin Friction occurred from settlement and lateral load due to ground movement. It was found that the Negative Skin Friction (from designed chart) occurred on single pile, 0.4 m. diameter, in the PVD zone was 3.58% of safe working load for Administration and Main Store and 3.22% of safe working load for Material Shed Workshop. From the study of ground improvement found the safe working value of landslide was 2.73 and lateral movement value of pile before constructed was 6.584 cm. While the actual moving value was not excess 10 cm. Since there were single pile and pile group, 2 piles and 4 piles, in the PVD zone. The single pile was selected to calculate the Negative Skin Friction value and the lateral pile movement because the single pile is more conservative in term of capability than pile group.

# กิตติกรรมประกาศ

ไม่มีคำกล่าวใดที่สามารถใช้บ่งบอกถึงความกรุณา และความอนุเคราะห์ของอาจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานพิเศษนี้ได้ ตลอดระยะเวลาของงานศึกษานี้ท่านได้ ให้ คำแนะนำและการสั่งสอนที่มีค่ามากมายนอกเหนือจากขอบข่ายทางวิศวกรรม ท่านได้เน้นให้ ประพฤติ ตน โดยอุทิศให้กับงานและการปรับปรุงเกี่ยวกับภาษาและการนำเสนองาน ซึ่งถือเป็นสิ่งอันมีค่าที่ผู้ ประพันธ์ได้จากการศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นอกเหนือจาก ปริญาอันสูงส่ง ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างซาบซึ้งและนับถือแด่ อาจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

ถือเป็นเกียรติอันสูงส่งแก่ผู้ประพันธ์ที่ได้รับจากคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่าน ด้วยคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่ กระจ่างชัดของท่านถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับความสำเร็จในงานนี้ ผู้ประพันธ์ได้เรียนรู้สิ่งต่าง ๆ มาก มายจากท่าน ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างยิ่ง สำหรับความเข้าใจ ข้อคิดเห็น และคำชี้แนะที่ท่านมอบให้ สำหรับโครงการนี้ในฐานะกรรมการสอบ โครงการงานพิเศษ

ขอขอบคุณอย่างซาบซึ้ง สำหรับความร่วมมือ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้ ประพันธ์ได้รับจากท่านผู้ซึ่งช่วยให้โครงการงานพิเศษนี้ได้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ ซึ่งท่านเหล่านั้น ได้แก่ บริษัท สยามชินเทค จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ขอขอบคุณท่าน เหล่านี้อย่างยิ่ง ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมชั้นเรียนที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจแก่ผู้ประพันธ์อย่างดี เสมอมา

ท้ายที่สุดแต่ไม่ใช่่น้อยที่สุดสำหรับคำขอบคุณอันพิเศษสุดที่มอบให้แก่สมาชิกครอบครัวทุกคนที่มอบความรัก ความห่วงใยและให้การช่วยเหลืออย่างต่อเนื่องตลอดการศึกษาของผู้ประพันธ์ และขอบคุณห้องสมุด KMITL สำหรับหนังสือและแหล่งข้อมูลอันทรงค่าสำหรับงานศึกษานี้

นายคุณวัศ รุ่งโรจน์งามเจริญ

นายสวัสดิ์ ฉิมฉวี

ผู้ประพันธ์

# สารบัญ

| บทที่ | เรื่อง   | หน้า |
|-------|--|------|
|       | ปกใน (ภาษาไทย)                                   | ก    |
|       | ปกใน (ภาษาอังกฤษ)                                | ข    |
|       | หน้าอนุมัติ                                      | ค    |
|       | บทคัดย่อภาษาไทย                                  | ง    |
|       | บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                               | จ    |
|       | กิตติกรรมประกาศ                                  | ช    |
|       | สารบัญ   | ฅ    |
|       | สารบัญตาราง                                      | ฉ    |
|       | สารบัญรูป  | ฐ    |
|       | คำอธิบายสัญลักษณ์                                | ณ    |
|       | คำย่อ  | ด    |
|       | ภาคผนวก  | ถ    |
|       | บรรณานุกรม                                       | ท    |
| 1     | บทนำ   |      |
|       | 1.1. กล่าวนำ                                     | 1    |
|       | 1.2. ความจำเป็นและปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำ PVD    | 2    |
|       | 1.3. จุดประสงค์ในการศึกษา                        | 3    |
|       | 1.4. ขอบเขตของโครงการพิเศษ                       | 3    |
|       | 1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ                         | 3    |
| 2     | ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                    |      |
|       | 2.1. กล่าวนำ                                     | 4    |
|       | 2.2. การปรับปรุงคุณภาพดิน                        | 4    |
|       | 2.3. การปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีใช้น้ำหนักบรรทุก | 4    |

# สารบัญ

| บทที่ เรื่อง  | หน้า      |
|---|-----------|
| 2.4. การปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีบรรทุกน้ำหนักก่อนหรือการให้แรงบีบอัดชั่วคราว (Preloading) | 5         |
| 2.5. การปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีระบายน้ำในแนวดิ่ง (Vertical Drain)                        | 7         |
| 2.5.1. ลักษณะของแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่ง (PVD)   | 7         |
| 2.5.2. Smear effect   | 11        |
| 2.5.3. เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ประกอบกับการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี PVD  | 11        |
| 2.5.1.1. Settlement Plate   | 11        |
| 2.5.1.2. Deep Settlement Gauge  | 12        |
| 2.5.1.3. Observation Well   | 12        |
| 2.5.1.4. Pneumatic Piezometer   | 13        |
| 2.5.1.5. Inclinator   | 13        |
| 2.6. เสถียรภาพความลาดของดิน (Slope Stability)   | 14        |
| 2.6.1. แบบของการพังทลาย (Type of Failure)   | 15        |
| 2.6.2.1. การหาเสถียรภาพความลาดของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น                            | 15        |
| 2.6.2.2. การหาเสถียรภาพความลาดของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น                               | 16        |
| 2.6.2.3 Slices method   | 17        |
| 2.7. Negative skin friction   | 19        |
| 2.7.1. การทรุดตัวของดินถม   | 19        |
| 2.7.2. การทรุดตัวของดินใต้ดินถม   | 21        |
| 2.8. การหาค่าการเคลื่อนตัวของทางด้านข้างของเสาเข็มเดี่ยว                                  | 24        |
| <b>3 PVD ในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ</b>   | <b>30</b> |
| 3.1 . กล่าวนำ   | 30        |
| 3.2. การดำเนินงาน   | 31        |

# สารบัญ

| บทที่ | เรื่อง   | หน้า |
|-------|--|------|
|       | 3.2.1. สำรวจชั้นดิน  | 31   |
|       | 3.2.2. งานปรับพื้นที่  | 31   |
|       | 3.2.3. งานถมทรายรองพื้น(Sand Blanket) และงานติดตั้งระบบระบายน้ำ<br>(Drainage System) | 31   |
|       | 3.2.4. งานติดตั้งแถบระบายน้ำ(PVD) และงานถมทรายกรองน้ำ<br>(Sand Drainage Layer)       | 31   |
|       | 3.2.5. งานถมน้ำหนักรกคดทับ(Surcharge Fill)   | 32   |
|       | 3.2.6. งานติดตั้งเครื่องมือวัด(Instrumentation)                                      | 32   |
|       | 3.2.7. ขั้นตอนการก่อสร้าง PVD  | 34   |
|       | 3.3. ปัญหาของการทำ PVD ภายในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ                         | 36   |
|       | 3.3.1. การทรุดตัวไม่เท่ากันของดินบริเวณตัวอาคารและถนน                                | 36   |
|       | 3.3.1.1. สาเหตุของปัญหา  | 36   |
|       | 3.3.1.2. ผลเสียจากการทรุดตัวไม่เท่ากัน   | 37   |
|       | 3.3.1.3. ข้อเสนอแนะแนวทางป้องกันและแก้ไข   | 37   |
|       | 3.3.2. การทรุดตัวไม่ตรงตามคำนวณ  | 37   |
|       | 3.3.2.1. สาเหตุของปัญหา  | 37   |
|       | 3.3.2.2. ผลเสียจากการทรุดตัวไม่ตรงตามคำนวณ   | 38   |
|       | 3.3.2.3. ข้อเสนอแนะแนวทางป้องกันและแก้ไข   | 38   |
|       | 3.3.3. ผลกระทบต่อโครงสร้างข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น                                    | 38   |
|       | 3.3.3.1. Negative Skin Friction  | 38   |
|       | 3.3.3.2. แรงจากการเคลื่อนตัวของดิน   | 39   |
| 4     | ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย   | 41   |
|       | 4.1. กล่าวนำ   | 41   |
|       | 4.2. รวบรวมข้อมูล  | 41   |
|       | 4.2.1. รวบรวมข้อมูลของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD                                   | 41   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

| บทที่ | เรื่อง  | หน้า |
|-------|---|------|
|       | ในการก่อสร้างอาคารในส่วน Airport Maintenance Facility             | 41   |
|       | 4.2.1.1. รายละเอียดของการออกแบบ PVD                               | 41   |
|       | 4.2.2.2. ข้อมูลดิน ( Boring Log)                                  | 46   |
|       | 4.2.2. รวบรวมข้อมูลของเสาเข็มของอาคารที่มีแนว PVD ล้ำเข้าไป       | 49   |
|       | 4.3. Slope stability  | 49   |
|       | 4.3.1. แนวคิดการวิเคราะห์ข้อมูล                                   | 49   |
|       | 4.3.2. การคำนวณและสร้างกราฟ                                       | 50   |
|       | 4.4. Negative Skin Friction                                       | 51   |
|       | 4.4.1. แนวคิดการวิเคราะห์ข้อมูล                                   | 51   |
|       | 4.2.2. การคำนวณและสร้างกราฟ                                       | 51   |
|       | 4.5. การหาการเคลื่อนตัวด้านข้างของเสาเข็มที่เกิดจากแรงดันด้านข้าง | 52   |
| 5     | ผลการวิจัยและการวิเคราะห์   | 54   |
|       | 5.1. กล่าวนำ  | 54   |
|       | 5.2. ผลเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดิน                               | 54   |
|       | 5.3. การเกิด Negative Skin Friction เนื่องจากการทรุดตัว           | 56   |
| 6     | สรุปผลและข้อเสนอแนะ   | 59   |

# สารบัญตาราง

ตารางที่ ชื่อตาราง

หน้า

5.1. ตารางเปรียบเทียบค่า Negative Skin Friction กับ Safe working load

58



# สารบัญรูป

| รูปที่ | ชื่อรูป  | หน้า |
|--------|--|------|
| 1.1.   | แสดงภาพรวมของปัญหาที่เกิดขึ้น  | 2    |
| 2.1.   | แสดงรูปแบบทั่วไปของการติดตั้งแผ่นระบายน้ำในแนวตั้งและเครื่องมือต่างๆ   | 5    |
| 2.2.   | แสดงความสัมพันธ์ของการทรุดตัวทั้งสามแบบ  | 6    |
| 2.3.   | แสดงถึง initial effective stress และ final effective stress ภายใต้อุณหภูมิของเนินดินทดสอบ เปรียบเทียบกับ maximum past pressure | 6    |
| 2.4.   | วิธีบรรทุกน้ำหนัก  | 8    |
| 2.5.   | ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ PVD  | 8    |
| 2.6.   | รายละเอียดของแกนระบายน้ำ   | 9    |
| 2.7.   | รูปร่างของ Prefabricated vertical drain (PVD)  | 10   |
| 2.8.   | รูปแสดงความสัมพันธ์ของระยะห่างของการระบายน้ำกับขอบเขตของการระบายน้ำ  | 11   |
| 2.9.   | Settlement plate   | 11   |
| 2.10.  | Deep Settlement Gauge  | 12   |
| 2.11.  | Observation Well   | 12   |
| 2.12.  | Pneumatic Piezometer   | 13   |
| 2.13.  | Inclinometer   | 13   |
| 2.14.  | แบบของการพังทลาย   | 14   |
| 2.15.  | แรงที่เกี่ยวข้องในลาดของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น  | 15   |
| 2.16.  | แบบของการพังทลายในดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น   | 16   |
| 2.17.  | รูปตัดผิวการเลื่อนตัวของดิน  | 16   |
| 2.18.  | รูปตัดผิวการเลื่อนตัวของดินวิธี Slices method  | 17   |
| 2.19.  | ผิวการต้านทานเมื่อมีผลของรอยแยกเนื่องจากแรงดึง   | 18   |
| 2.20.  | Negative skin friction ของดินถม  | 20   |
| 2.21.  | แสดงการเกิด Negative Skin Friction กรณีดินถมประเภทดินอ่อนบนดินแข็ง   | 20   |
| 2.22.  | Negative และ Positive skin friction ใต้ดินถม   | 21   |
| 2.23.  | แสดงการเกิด Negative Skin Friction กรณีดินถมประเภทดินแข็งและมี Soft Clay ในชั้นดินถัดไป  | 22   |

# สารบัญรูป

| รูปที่ | ชื่อรูป  | หน้า |
|--------|--|------|
| 2.24.  | Adhesion Factor for Clays  | 23   |
| 2.25.  | พฤติกรรมของเสาเข็มตามสมมุติฐานของ Winkler (1867)   | 24   |
| 2.26.  | ความสัมพันธ์ระหว่าง p-y  | 26   |
| 2.27.  | ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_s$ กับความลึก (x)   | 26   |
| 2.28.  | สัมประสิทธิ์สำหรับเสาเข็มแบบ free-hand ในดินที่มี $E_s=kx$ สำหรับกรณีที่แรงกระทำที่หัวเสาเข็ม (Matlock & Reese, 1956)          | 28   |
| 2.29.  | สัมประสิทธิ์สำหรับหัวเสาเข็มแบบ free-hand ในดินที่มี $E_s=kx$ สำหรับกรณีที่มีโมเมนต์กระทำที่หัวเสาเข็ม (Matlock & Reese, 1956) | 29   |
| 3.1.   | settlement plate   | 32   |
| 3.2.   | Deep Settlement Gauge  | 33   |
| 3.3.   | Pneumatic Piezometer   | 33   |
| 3.4.   | Inclinometer   | 34   |
| 3.5.   | Observation Well   | 34   |
| 3.6.   | แสดงขั้นตอนที่ 1 ของการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD  | 35   |
| 3.7.   | แสดงขั้นตอนที่ 2 ของการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD  | 35   |
| 3.8.   | แสดงขั้นตอนที่ 3 ของการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD  | 36   |
| 3.9.   | แสดงขั้นตอนที่ 4 ของการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD  | 36   |
| 3.10.  | แสดงขั้นตอนที่ 5 ของการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD  | 36   |
| 3.11.  | แสดงถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจาก Negative Skin Friction  | 39   |
| 4.1.   | กราฟค่าการทรุดตัวเนื่องจากการปรับปรุงดินด้วย PVD   | 41   |
| 4.2.   | แสดงแนวการปรับปรุงคุณภาพดินที่ลำเข้าไปในตึก Administration ที่อยู่ในส่วนอาคาร Airport Maintenance Facility                     | 42   |
| 4.3.   | แสดงแนวการปรับปรุงคุณภาพดินที่ลำเข้าไปในตึก Main Store ที่อยู่ในส่วนอาคาร Airport Maintenance Facility                         | 43   |
| 4.4.   | แสดงแนวการปรับปรุงคุณภาพดินที่ลำเข้าไปในตึก Material Shed ที่อยู่ในส่วนอาคาร Airport Maintenance Facility                      | 44   |

# สารบัญรูป

| รูปที่ | ชื่อรูป  | หน้า |
|--------|--|------|
| 4.5.   | แสดงแนวการปรับปรุงคุณภาพดินที่ลำเข้าไปในตึก Work Shop ที่อยู่ในส่วนอาคาร Airport Maintenance Facility              | 45   |
| 4.6.   | แสดงจุดที่ทำการเจาะสำรวจดินในสนามบินสุวรรณภูมิ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลหลุมเจาะที่ 3                              | 46   |
| 4.7.   | รายงานการเจาะสำรวจดิน (Boring Log) แผ่นที่ 1 ของหลุมเจาะที่ 3  | 47   |
| 4.8.   | รายงานการเจาะสำรวจดิน (Boring Log) แผ่นที่ 2 ของหลุมเจาะที่ 3  | 48   |
| 4.9.   | รูปตัดผิวการเคลื่อนตัวของดิน   | 50   |
| 4.10.  | Negative และ Positive skin friction ใต้ดินถม   | 52   |
| 5.1.   | แรงกระทำเนื่องจากความหนาแน่นของดินและความสูงของคันดินที่ต่างกัน  | 54   |
| 5.2.   | การเคลื่อนตัวด้านข้างของเสาเข็ม spun ขนาด 0.4 ม. ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้จริงในโครงการ ที่ความลึกระดับต่างๆในชั้นดิน     | 55   |
| 5.3.   | กราฟการประมาณค่า Negative Skin Friction จากค่าการทรุดตัวของดินที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD               | 56   |
| 5.4.   | ค่า Negative Skin Friction ที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มเดี่ยวในอาคารส่วน Airport Maintenance Facility ในสนามบินสุวรรณภูมิ | 57   |
| 6.1.   | แรงกระทำเนื่องจากความหนาแน่นของดินและความสูงของคันดินที่ต่างกัน  | 59   |
| 6.2.   | กราฟแรงต้านการเคลื่อนตัวของดิน   | 60   |
| 6.3.   | กราฟประมาณค่า Negative Skin Friction   | 61   |
| ผ1     | ชั้นที่ 1  | ผ1   |
| ผ1     | ชั้นที่ 2  | ผ1   |
| ผ2     | ชั้นที่ 3  | ผ2   |
| ผ3     | ชั้นที่ 4  | ผ3   |
| ผ4     | ชั้นที่ 5  | ผ4   |
| ผ5     | ชั้นที่ 6  | ผ5   |

# คำอธิบายสัญลักษณ์

## สัญลักษณ์

## ความหมาย

|             |  |
|-------------|--|
| W           | น้ำหนักของมวลดินเหนือวงการเคลื่อนตัว               |
| N           | แรงตั้งฉากกับส่วนโค้งของการเคลื่อนตัว              |
| T           | แรงสัมผัสกับส่วนโค้งของการเคลื่อนตัว               |
| $\beta$     | มุมลาดเอียง  |
| $\phi$      | มุมเสียดทานภายในของดิน(Angle of internal friction) |
| c           | แรงยึดเหนี่ยวหรือแรงเชื่อมแน่น                     |
| $\gamma$    | หน่วยน้ำหนัก                                       |
| H           | ความหนาของชั้นดินถม                                |
| P           | เส้นรอบรูปของเสาเข็ม                               |
| K           | coefficient of lateral earth pressure              |
| $K_0$       | $(1 - \sin\phi)$ สำหรับดินเหนียว                   |
| $\delta$    | friction angle ระหว่างเสาเข็มและดิน                |
| $\bar{q}_0$ | Effective Overburden Pressure ที่ผิวดินอ่อน        |
| $\gamma'_f$ | Effective Unit Weight ของดินถม                     |
| $\gamma'_o$ | Effective Unit Weight ของดินอ่อน                   |
| P           | Perimeter ของเสาเข็ม                               |
| $\alpha$    | Empirical Adhesion Factor                          |
| $C_u$       | Undrained Cohesion                                 |
| p           | Soil Pressure                                      |
| y           | ระยะ โคง่ตัวของเสาเข็ม                             |
| $K_h$       | Coefficient of subgrade reaction                   |
| E           | Young's Modulus                                    |
| I           | moment of inertia                                  |
| EI          | Pile Stiffness                                     |
| $E_s$       | Soil Modulus                                       |
| H           | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม                    |
| x           | ความลึกจากผิวดิน                                   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำอธิบายสัญลักษณ์

## สัญลักษณ์

## ความหมาย

- L ความยาวของเสาเข็ม
- $P_l$  แรงกระทำด้านข้างที่หัวเสาเข็ม (Lateral Load)
- $M_l$  โมเมนต์ที่หัวเสาเข็ม
- Z Depth Coefficient
- $A_y, B_y$  Deflection Coefficients for free head



# คำอธิบายคำย่อ

| คำย่อ | ชื่อเต็ม  |
|-------|---|
| PVD   | Prefabricated Vertical Drains                     |
| NGF   | Negative Skin Friction                            |
| KMITL | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| SBIA  | Second Bangkok International Airport              |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลตต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. กล่าวนำ

ความแตกต่างกันของสภาพทางธรณีวิทยาเป็นเหตุผลหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการวางแผนและเลือกใช้เทคนิคการก่อสร้าง เนื่องจากในหลายพื้นที่ของประเทศไทยเป็นพื้นที่ราบลุ่มและที่ราบ ดินที่อยู่บริเวณนี้เป็นดินที่เกิดจากการพัดพาทับถมกันของตะกอนทำให้มีความหนาแน่นน้อย มีปริมาณความชื้นสูง ดังนั้นจึงเป็นผลให้กำลังของดินต่ำ

ในงานก่อสร้างที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกมากๆ เช่น ถนน ลานบินในสนามบิน ในพื้นที่ดังกล่าวจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อให้มีกำลังของดินเพิ่มขึ้น ตัวอย่างปัญหาการทรุดตัวของถนนเนื่องจากดินไม่มีความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักได้และการทรุดตัวไม่เท่ากันมีให้เห็นอยู่บ่อยครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรุงเทพมหานคร ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนและบ่อยครั้ง เช่น บริเวณคอสะพาน จะมีการกระโดด การทรุดตัวไม่เท่ากันของถนนในกรุงเทพมหานคร เป็นต้น

การปรับปรุงคุณภาพดินในเชิงวิศวกรรมปฐพีนั้นหมายถึงการเพิ่มความสามารถในการรับแรงเฉือนของดิน การลดความสามารถในการยุบอัดตัว และลดความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ แบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่คือ

- เทคนิคที่เกี่ยวกับดิน เช่น การบดอัด(Compaction)
- เทคนิคที่ใช้วัสดุพิเศษ เช่น การใช้ทรายระบายน้ำในแนวดิ่ง (Sand Drains) เส้าเข็มหิน (Granular Piles) การบีบอัดชั่วคราว (Preloading) แผ่นระบายน้ำในแนวดิ่ง (Prefabricated Vertical Drain หรือ PVD)

การบดอัดเป็นกระบวนการที่ง่ายที่สุดทำโดยใช้แรงบดอัดเพื่อให้เม็ดดินแน่นขึ้น ลดช่องว่างในมวลดิน ทำให้ดินมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ต้องใช้ระยะเวลาาน

การใช้ทรายระบายน้ำในแนวดิ่ง(Sand Drains) เป็นการทำงานที่ประยุกต์ใช้กันในยุคแรกๆ โดยเติมทรายลงในหลุมเจาะแบ่งเป็นแบบแทนที่ (Displacement Type) และแบบไม่แทนที่ (Non-displacement Type)

เส้าเข็มหิน(Granular Piles) ประกอบไปด้วยทราย หรือก้อนกรวดที่ถูกใส่เพิ่มเข้าไปในดินเหนียวอ่อนโดยการแทนที่ คำว่า “Granular Piles” ในที่นี้หมายถึงส่วนประกอบของเส้าเข็มกรวดหรือทรายที่ถูกบดอัดแน่นและหมายความรวมถึงเส้าเข็มหิน (Stone Column) ด้วย วิธีนี้ถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าพื้นดินประกอบ เมื่อเส้าเข็มถูกให้น้ำหนักเส้าเข็มหินจะยุบตัวลงและถ่ายแรงลงสู่ชั้นดินที่

ด้านล่าง ดังนั้นดินจึงมีค่า bearing capacity เพิ่ม และเนื่องจากเสาเข็มง่ายต่อการซึมผ่านของน้ำทำให้  
เร่งการทรุดตัว

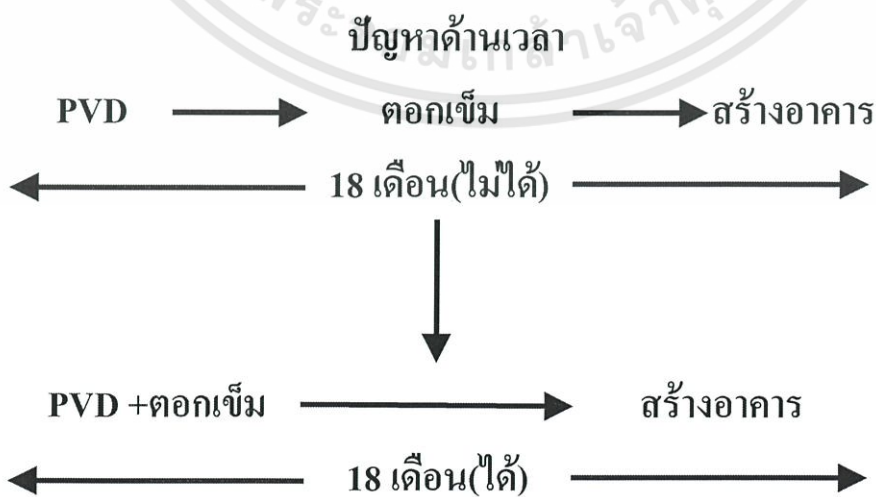
การบีบอัดชั่วคราว (Preloading) เป็นขั้นตอนการสร้างแรงบีบชั้นดินเหนียวอ่อนโดย  
การให้ความเค้นในแนวตั้งก่อนที่จะมีการเกิดความเค้นจริงจากการก่อสร้างอาคาร ถ้าน้ำหนักที่ให้  
แบบชั่วคราวมีค่ามากกว่าน้ำหนักจากการก่อสร้างอาคาร ปริมาณส่วนเกินนี้เรียกว่า Surcharge load

แผ่นระบายน้ำในแนวตั้ง (PVD) มีคุณสมบัติในการนำน้ำไหลเข้าไปในแผ่นระบายน้ำ  
สะสมแล้วส่งไปตามความยาวของแผ่นระบายน้ำการทำ PVD โดยจะทำการร่วมกับการ Preloading เพื่อ  
ให้น้ำถูกขจัดออกไปได้เร็วขึ้น

## 1.2. ความจำเป็นและปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำ PVD

ปัจจุบันประเทศไทยมีงานก่อสร้างที่จำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินเนื่องจากดั่ง  
ที่กล่าวไปแล้วว่าพื้นที่ของประเทศไทยหลายพื้นที่เป็นดินอ่อน ที่เห็นได้ชัดและที่ยังมีการก่อสร้างอยู่ใน  
ขณะนี้ก็คืองานก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ การทำ PVD ได้ถูกเลือกมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเนื่อง  
จากสามารถทำให้เกิดการทรุดตัวขึ้นต้นได้เร็ว ติดตั้งง่าย รวดเร็ว วัสดุมีคุณภาพสม่ำเสมอ ขนส่งสะดวก  
การบำรุงรักษาต่ำ นั่นทำให้ราคาโดยรวมถูกและคุ้มค่ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น

ความน่าสนใจในงาน โครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิเกี่ยวกับ PVD ที่เราศึกษา  
คือ เนื่องจากความจำเป็นในเรื่องระยะเวลาในการก่อสร้างจึงมีความจำเป็นที่โครงการก่อสร้างนี้จะต้อง  
ทำ PVD ในส่วนของพื้นที่ทาง ไปพร้อมๆกับการก่อสร้างตัวอาคารในส่วนพื้นที่ที่ใกล้กับส่วนพื้นที่ที่มี  
การทำ PVD โดยที่การทำ PVD ยังไม่เสร็จ เราจึงสนใจที่จะศึกษาเรื่องผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น  
จากการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี PVD ต่อเสาเข็มของอาคารข้างเคียงปัญหาที่เกิดขึ้น เนื่องจาก  
การศึกษาในกรณีดังกล่าวในประเทศไทยยังมีน้อย



รูปที่ 1.1. แสดงภาพรวมของปัญหาที่เกิดขึ้น

### 1.3. จุดประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี PVD ต่อการรับแรงของเสาเข็มข้างเคียงเนื่องจาก Negative Skin Friction และสร้างกราฟสำหรับประมาณค่า Negative Skin Friction
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี PVD ต่อการรับแรงของเสาเข็มข้างเคียงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดิน และสร้างกราฟสำหรับประมาณค่าแรงกระทำเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดิน

### 1.4. ขอบเขตของโครงการพิเศษ

ศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี PVD ต่อเสาเข็มของอาคารข้างเคียงที่มีแนว PVD อยู่ใกล้หรือล้าอยู่ในแนวเสาเข็มของอาคารที่อยู่ภายในบริเวณส่วนของอาคาร Airport Maintenance Facility ประกอบด้วยอาคารดังต่อไปนี้

- อาคาร Administration
- อาคาร Main Store
- อาคาร Material Shed
- อาคาร Workshop

### 1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทาง แบบอย่างในการศึกษาและทำงานเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ในกรณีที่ระยะเวลาทำงานมีความคาบเกี่ยวกันกับการก่อสร้างโครงสร้างอาคาร
2. ให้ผู้ที่จะใช้ PVD ในการทำงานต่อไปได้ทราบลักษณะแรงและผลอันเนื่องมาจาก Negative Skin Friction และการเคลื่อนตัวของดิน จากกราฟที่ทางคณะผู้วิจัยได้สร้างขึ้น
3. เผยแพร่แนวทางการแก้ไขจากกรณีศึกษาที่ได้เสนอไว้ในรูปเล่ม เพื่อที่ผู้สนใจหรือทำงานในด้านนี้ต่อไปจะได้มีการพัฒนาแนวทางแก้ไขต่อไป

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1. กล่าวนำ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย Prefabricated Vertical Drains (PVD) และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ในบทนี้เราจะเป็นการอธิบายถึงลักษณะต่างๆ ประโยชน์ ความสำคัญ และความจำเป็นของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD รวมทั้งอธิบายถึงขั้นตอนการก่อสร้างและเครื่องมือการวัดค่าต่างๆที่ต้องใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD และจะอธิบายถึงสูตรการคำนวณที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาผลกระทบจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD

### 2.2. การปรับปรุงคุณภาพดิน

การทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนทำให้เกิดปัญหา มากทางงานวิศวกรรมและงาน สาธารณูปโภคการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนแบบ Primary consolidation ใช้เวลานานมากกว่าจะหยุดการทรุดตัว เนื่องจากค่าความสามารถในการไหลผ่านของน้ำมีค่าต่ำ (low permeability) ดังนั้น เพื่อให้ระยะเวลาการทรุดตัวเป็นไปอย่างรวดเร็ว การระบายน้ำในแนวดิ่งจึงถูกนำมาใช้พร้อมกับการให้น้ำหนักในการกดอัดที่ผิวดิน โดยการทำเนินดินหรือการให้แรงดันแบบสูญญากาศ การระบายน้ำแนวดิ่ง เป็นการเพิ่มทางระบายน้ำในแนวราบโดยรอบเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งสามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบ รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบทั่วไปของการติดตั้งแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่งสำหรับการทำเนินดินถนนทางด่วน ด้วยวิธีการนี้ แรงดันน้ำได้ถูกบีบและหนีออกในระหว่างการทรุดตัวของดินเหนียวเนื่องจากแรงดันน้ำถูกเพิ่มสูงขึ้นจากการให้น้ำหนักบีบอัด (Preloading) น้ำใต้ดินสามารถไหลได้อย่างรวดเร็วในแนวราบเข้าสู่แผ่นระบายน้ำในแนวดิ่งนี้ จึงเป็นการลดความยาวในการระบายน้ำและช่วยลดระยะเวลาในขั้นตอนของการทรุดตัว ค่าการซึมผ่านได้ของน้ำในแนวราบ (Horizontal permeability) ยิ่งมากขึ้นเท่าใดยิ่งได้เปรียบมากขึ้นเท่านั้น โดยทั่วไปการระบายน้ำของชั้นดินในแนวราบจะสามารถระบายได้ไวกว่าการระบายน้ำในแนวดิ่งอันเนื่องมาจากธรรมชาติของการเกิดตะกอนชั้นดินนั่นเอง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการติดตั้งวัสดุระบายน้ำในแนวดิ่งนี้ก็เพื่อเร่งการทรุดตัวอย่างรวดเร็วและเพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของชั้นดินที่ทำการปรับปรุง

### 2.3. การปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีใช้น้ำหนักบรรทุก

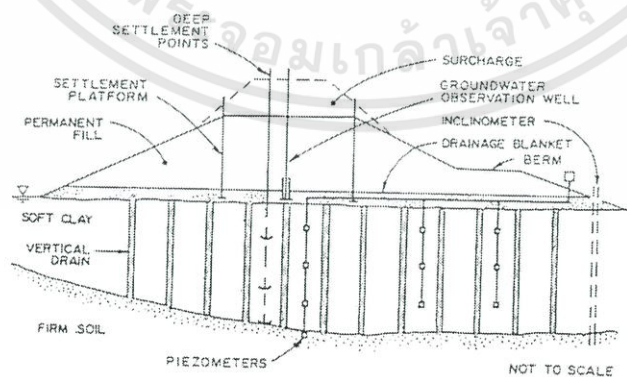
วิธีนี้ใช้เพื่อเพิ่มการอัดตัวของชั้นดินอ่อน และเพิ่มแรงเฉือนแก่ดินฐานราก ในการเพิ่มอัตราการอัดตัวจะต้องบรรทุกน้ำหนักด้วยการถมดินเท่ากับน้ำหนักของโครงสร้างล่วงหน้าของงานหลัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทรุดตัวดีแล้วก็ให้นำน้ำหนักออกก่อนและลงมือทำโครงสร้างบนชั้นดินอ่อนที่ปรับปรุงแล้ว วิธีนี้เรียกว่าบรรทุกน้ำหนักก่อนหรือการให้แรงบีบอัดชั่วคราว (Preloading method) ส่วนวิธีบรรทุกน้ำหนักล่วงหน้าเกินกว่าน้ำหนักโครงสร้างที่กำหนดไว้เรียกว่าวิธีบรรทุกน้ำหนักเกิน (Surcharge method)

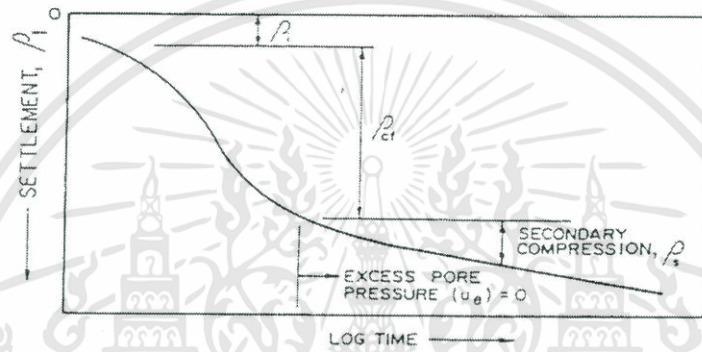
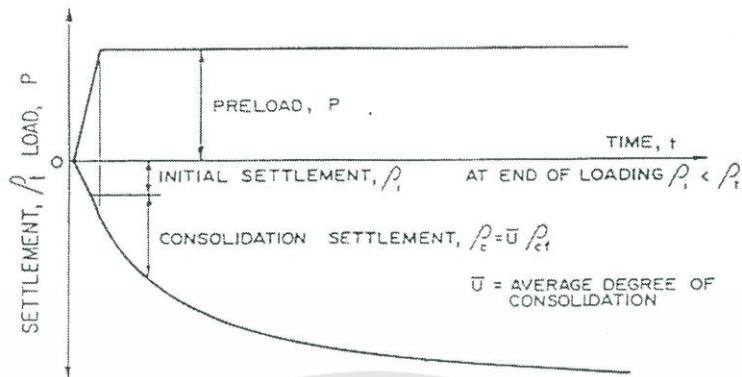
#### 2.4. การปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีบรรทุกน้ำหนักก่อนหรือการให้แรงบีบอัดชั่วคราว (Preloading)

การให้แรงบีบอัดชั่วคราว (Preloading) เป็นขั้นตอนการสร้างแรงบีบชั้นดินเหนียวอ่อน โดยให้ความเค้นในแนวดิ่งก่อนที่จะแทนที่ด้วยน้ำหนักผิวการก่อสร้างถาวร ถ้าน้ำหนักที่ให้แบบชั่วคราวมีค่ามากกว่าน้ำหนักผิวการก่อสร้างถาวร ปริมาณส่วนเกินนี้เรียกว่า Surcharge load เมื่อมีการให้แรงบีบอัดชั่วคราว สำหรับชั้นดินเหนียวอ่อน จะทำให้เกิดการทรุดตัวแบบ immediate, primary และ secondary consolidation ตามลำดับ ในสภาพความเป็นจริงการทรุดตัวมีพฤติกรรมที่ซับซ้อนมากมาย รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์การทรุดตัวทั้งสามแบบ โดยทั่วไป primary consolidation จะเป็นการทรุดตัวหลัก ดังนั้นบางโครงการการทำ preloading อาจพิจารณาการทรุดตัวเฉพาะ primary consolidation เพียงอย่างเดียวการทำ preloading จะต้องใช้ความเค้นการบีบอัดที่มากกว่า maximum past pressure รูปที่ 2.3 แสดงถึง initial effective stress และ final effective stress ภายใต้ศูนย์กลางของเนินดินทดสอบ เปรียบเทียบกับ maximum past pressure ที่ได้มาจาก Casagrande method (Bergado et al.1991) วิธีของ Poulos (1976) สูงกว่า 35% เมื่อเทียบกับการทำนายของ Janbu et al.(1956)

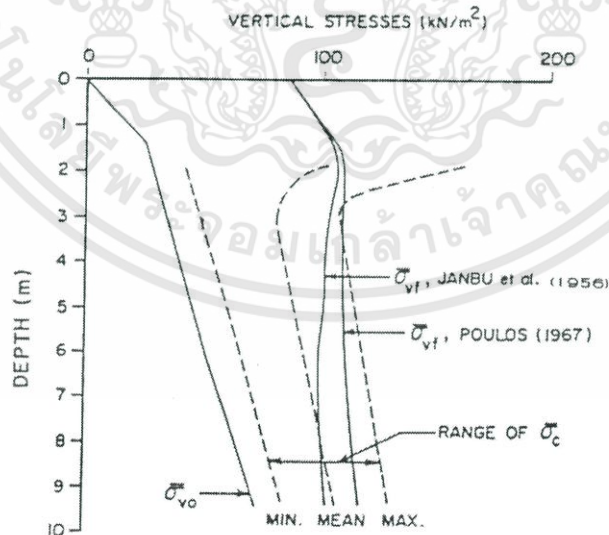
ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะไม่ทำให้เกิดการพิบัติด้วยการเลื่อนตัวของดินฐานราก และเหมาะสมแก่งานซึ่งมีช่วงเวลาที่ยาวนานพอควรในการทำงาน แต่ถ้าความแข็งแรงของดินฐานรากไม่เพียงพอ ควรใช้วิธีระบายน้ำในแนวดิ่งร่วมด้วย



รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบทั่วไปของการติดตั้งแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่งและเครื่องมือต่างๆ



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของการทรุดตัวทั้งสามแบบ



รูปที่ 2.3 แสดงถึง initial effective stress และ final effective stress ภายใต้อุณหภูมิกลางของเนินดินทดสอบ เปรียบเทียบกับ maximum past pressure

## 2.5. การปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีระบายน้ำในแนวดิ่ง (Vertical Drain)

วิธีนี้ช่วยลดระยะทางการระบายน้ำออกเพื่อให้เกิดการอัดตัวในดิน โดยอาศัยท่อระบาย (drain column) ที่ทำขึ้นในชั้นดินอ่อน ช่วยให้เกิดการอัดตัวในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียวได้เร็วขึ้น ในการพิจารณาการระบายน้ำตามที่แสดงในรูปที่ 2.4 ถ้าไม่มีการปรับปรุงชั้นดินเดิม ระยะทางที่ระบายน้ำออกจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนาของชั้นดินเหนียว เพราะน้ำสามารถระบายได้ทั้งด้านบนและด้านล่างดังแสดงในรูป (ก) ในกรณีที่มีการปรับปรุงดินดังแสดงในรูป (ข) โดยทำท่อระบายในแนวดิ่ง น้ำก็จะระบายออกในแนวราบ ระยะทางที่น้ำระบายจะเป็นฟังก์ชันของระยะห่างของท่อระบาย ซึ่งจะลดเวลาระบายน้ำได้เพราะระยะทางในรูป (ข) สั้นกว่ารูป (ก)

ในวิธีการนี้ไม่เพียงแต่ทำท่อระบายในแนวดิ่งเท่านั้น แต่ยังบรรจุท่อน้ำหนักด้วยทรายปูพื้นหน้าและทำมุดดินเพื่อให้ดินฐานรากอัดตัวได้ด้วย ในการบรรจุท่อน้ำหนักนิยมใช้ควบคู่กับวิธีการใช้น้ำหนักบรรจุท่ (รูปที่ 2.4)

ในการระบายน้ำในแนวดิ่ง มักเรียกชื่อตามวัสดุที่ใช้ เช่น วิธีระบายน้ำด้วยทราย (Sand drain) วิธีใช้แผ่นกระดาษแข็ง (card-board wicks) วิธีใช้แผ่นพลาสติกหุ้มด้วยแผ่นกรองใยสังเคราะห์ (prefabricated drain)

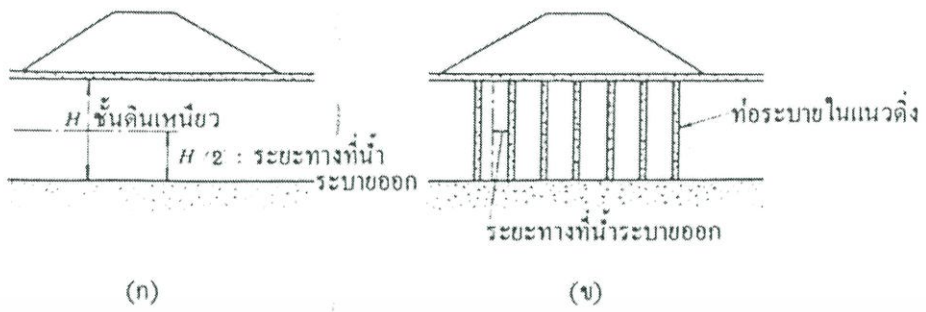
ในบทนี้จะกล่าวถึง วิธีใช้แผ่นพลาสติกหุ้มด้วยแผ่นกรองใยสังเคราะห์ (Prefabricated drain) เท่านั้น

### 2.5.1. ลักษณะของแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่ง (PVD)

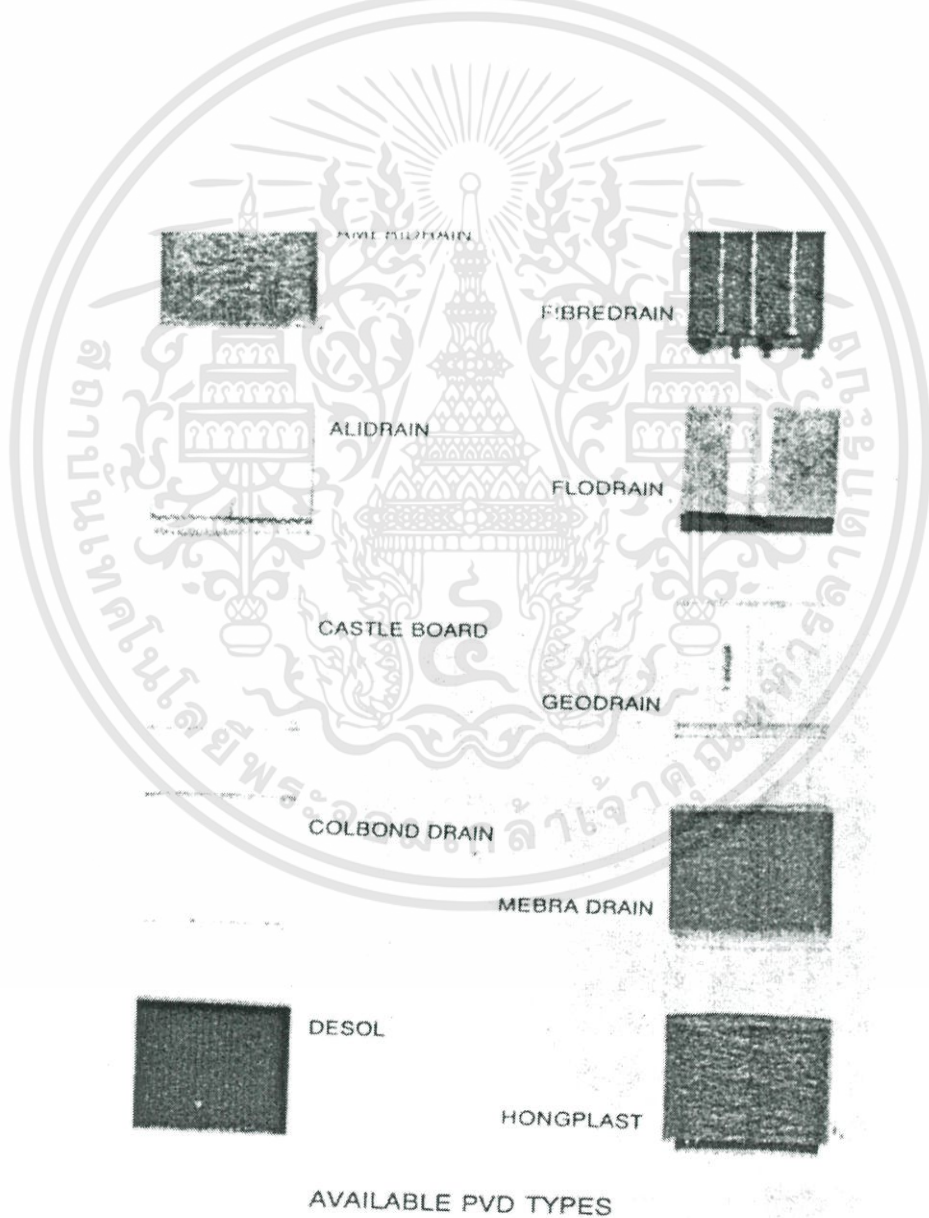
แผ่นระบายน้ำในแนวดิ่งคือแผ่นที่ใช้วัสดุหล่อสำเร็จประกอบด้วย แผ่นผ้าใยสังเคราะห์ (Synthetic filter jacket) หุ้มรอบแกนพลาสติก มีคุณลักษณะดังนี้

- มีความสามารถในการให้น้ำไหลเข้าในแผ่นระบายน้ำได้
- สะสมน้ำให้น้ำส่งผ่านไปตามความยาวของแผ่นระบายน้ำ

วัสดุหุ้มประกอบด้วย non-woven polyester หรือ polypropylene geotextiles หรือ synthetic paper ซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวกั้นทางกายภาพไม่ให้อนุภาคเม็ดดินผ่านเข้าไปในแกนพลาสติก เพื่อให้ น้ำไหลผ่านแกนพลาสติกได้สะดวก แกนพลาสติกทำหน้าที่สองอย่าง 1) เพื่อเป็นตัวรองรับตัวกรองหุ้ม 2) เพื่อเป็นทางให้น้ำไหลผ่านตามแนวยาว รูปแบบทั่วไปของ PVD เป็นดังรูปที่ 2.5 ส่วนรายละเอียดของแกนระบายน้ำได้แสดงดังรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 ได้แสดงถึงรูปแบบที่แตกต่างกันของ PVD แกนของ PVD สามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ คือ 1. แกนแบบแคบยาว (grooved core) 2. แกนแบบกระจาย (studded core) 3. แกนแบบเส้นใยละเอียด (filament core)

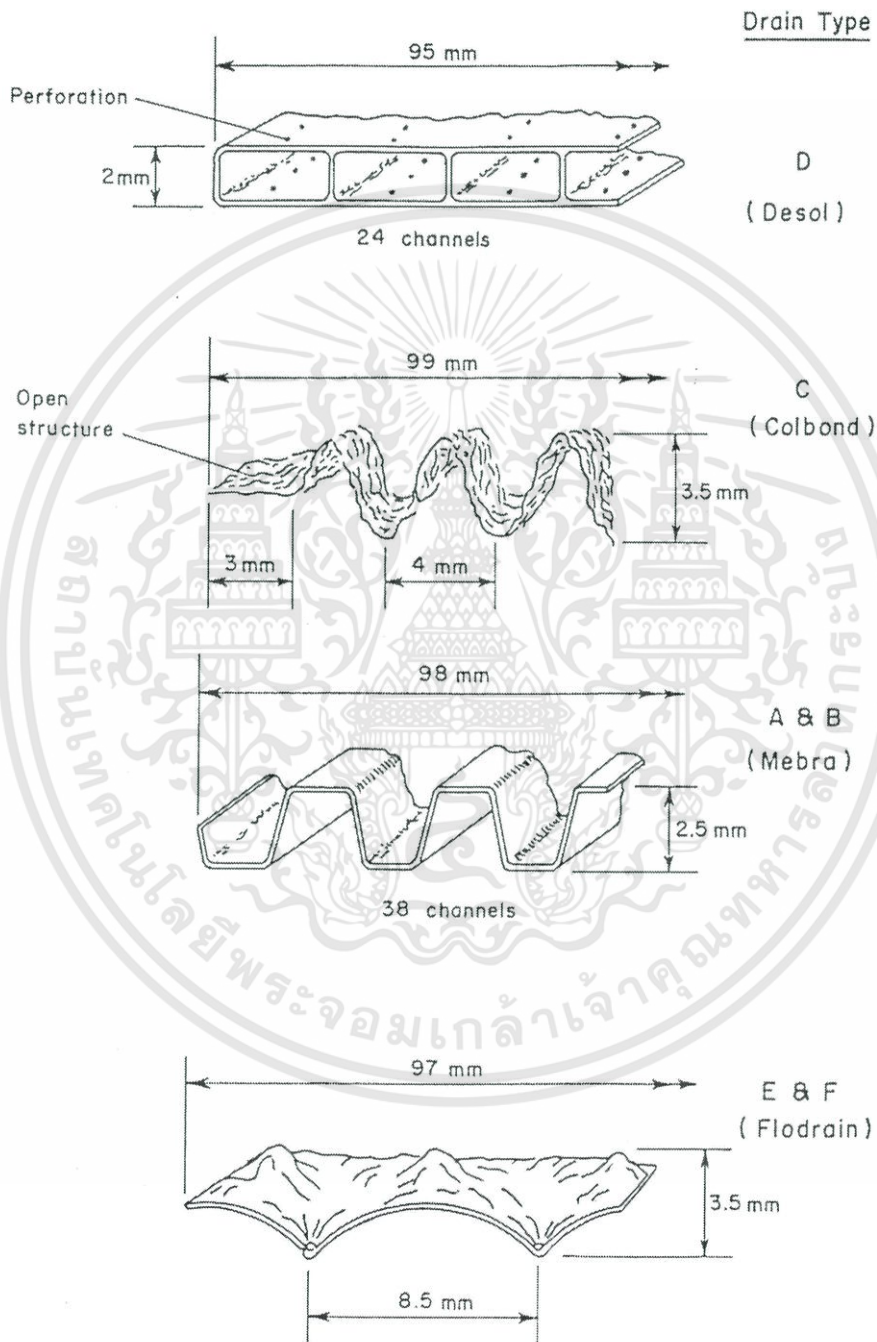


รูปที่ 2.4. วิธีบรรทุกน้ำหนัก



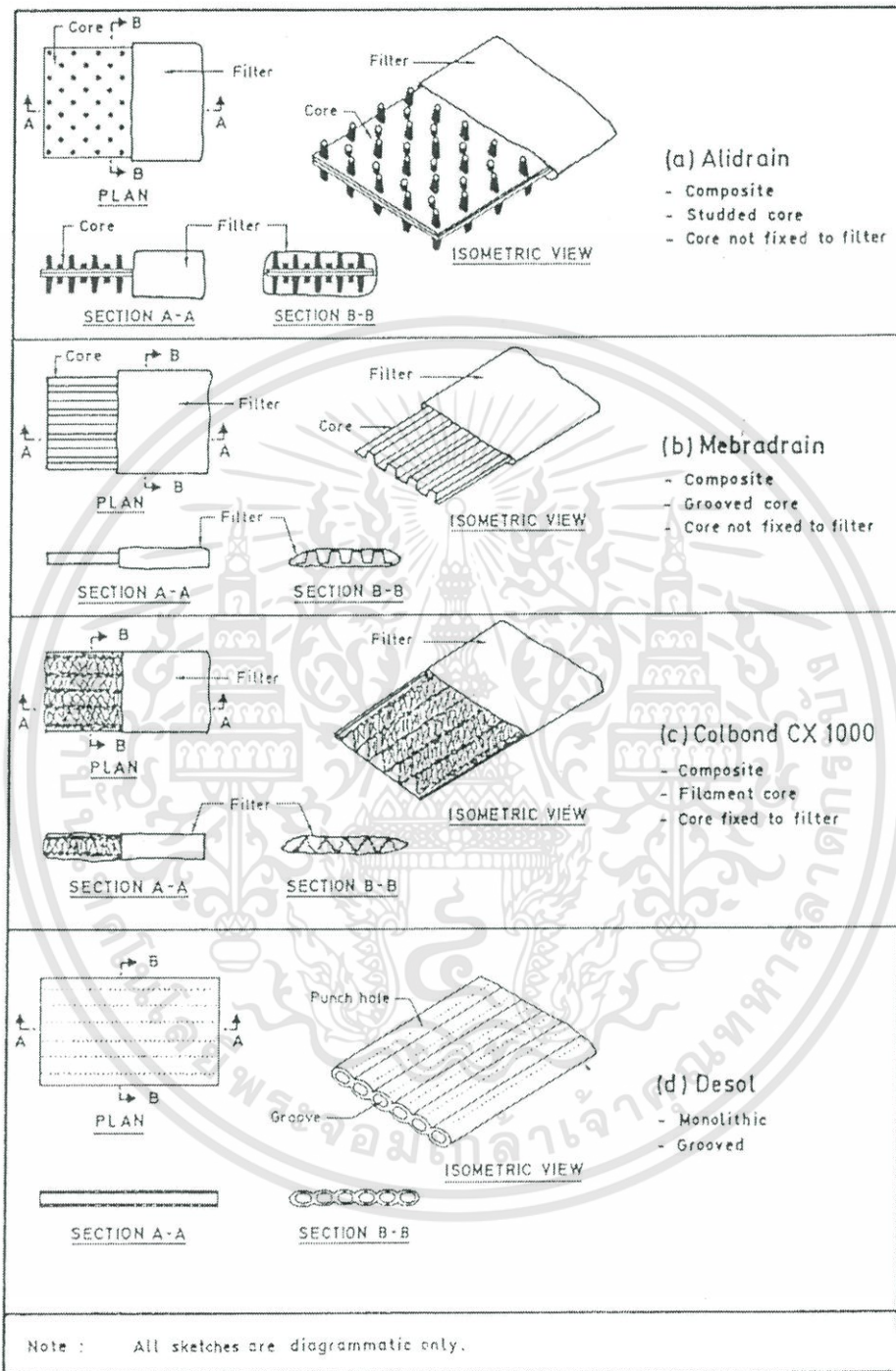
รูปที่ 2.5. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ PVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6. รายละเอียดของแกนระบายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

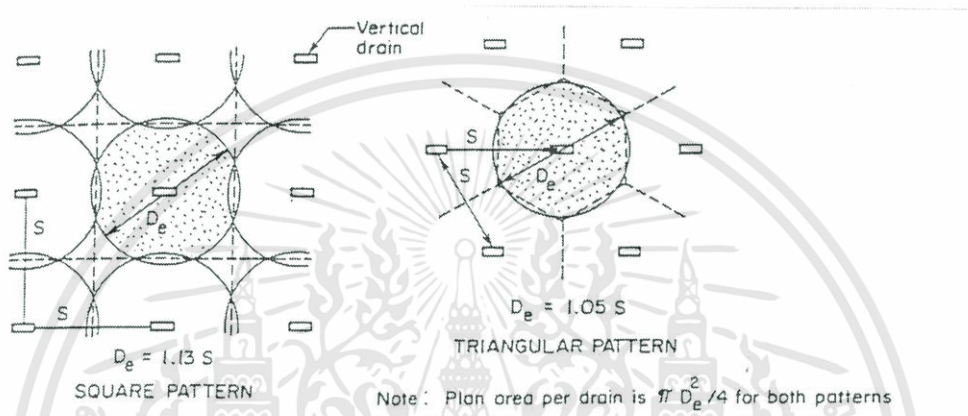


รูปที่ 2.7. รูปร่างของ Prefabricated vertical drain (PVD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2. Smear effect

ในการติดตั้งแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่ง ต้องมีระยะห่างระหว่างแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่งที่เหมาะสม มิฉะนั้นแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่งจะระบายน้ำได้ไม่เต็มประสิทธิภาพเนื่องจากแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่งแต่ละอันจะมีขอบเขตหรืออิทธิพลของการระบายน้ำอยู่ถ้าขอบเขตหรืออิทธิพลของแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่งซ้อนทับกันก็จะทำให้เกิดการระบายน้ำไม่เต็มประสิทธิภาพได้ การระบายน้ำได้ไม่เต็มประสิทธิภาพเนื่องมาจากสาเหตุที่กล่าวไปแล้วเราเรียก “smear effect”



รูปที่ 2.8. รูปแสดงความสัมพันธ์ของระยะห่างของการระบายน้ำกับขอบเขตของการระบายน้ำ

### 2.5.3. เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ประกอบกับการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี PVD

ในการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Prefabricated vertical drain (PVD) จะต้องมี การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัดค่าต่างๆ เพื่อให้เราสามารถรู้ค่าต่างๆว่าเป็นไปตามที่คำนวณหรือไม่ เช่น ระยะเวลากับการทรุดตัว เครื่องมือต่างๆที่ต้องติดตั้งในการทำ PVD มีดังนี้

#### 2.5.3.1. Settlement Plate

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดระดับการทรุดตัวของผิวดิน

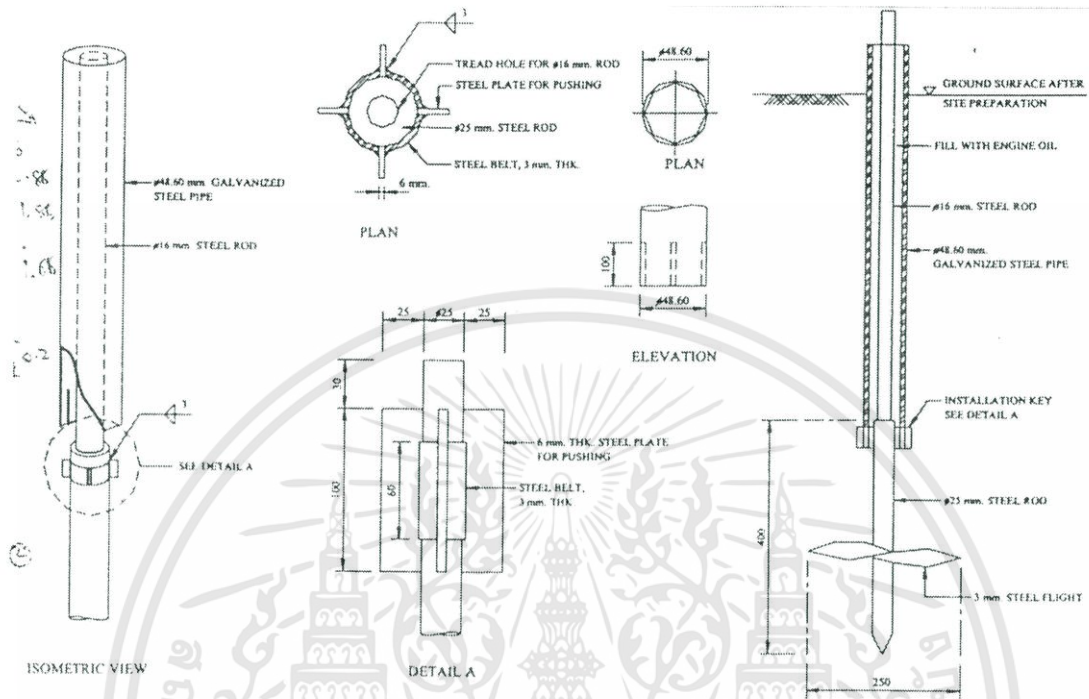


รูปที่ 2.9. Settlement plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.3.2. Deep Settlement Gauge

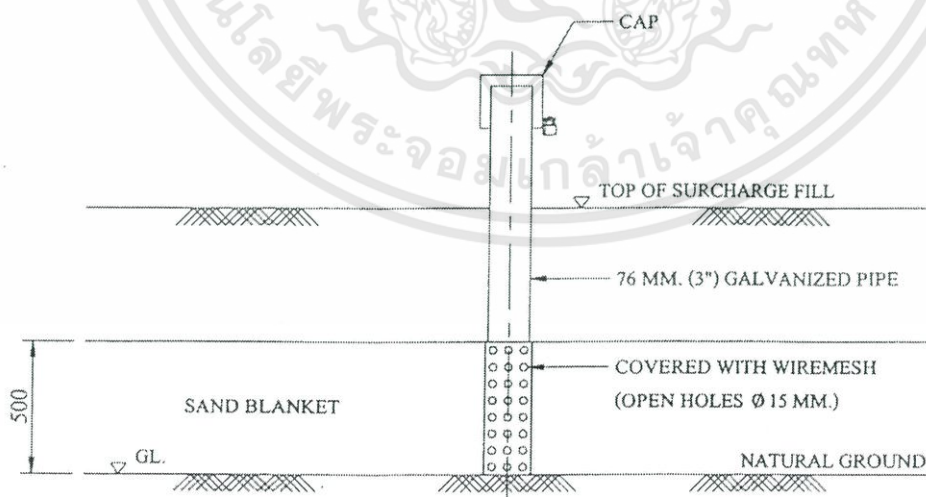
เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดระดับการทรุดตัวของชั้นดินใต้ผิวดิน



รูปที่ 2.10. Deep Settlement Gauge

### 2.5.3.3. Observation Well

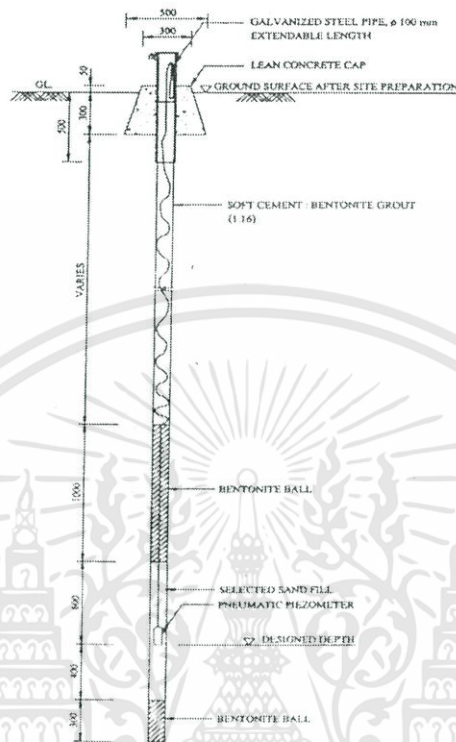
เป็นบ่อที่ใช้สำรวจดูระดับน้ำใต้ดิน



รูปที่ 2.11. Observation Well

### 2.5.3.4. Pneumatic Piezometer

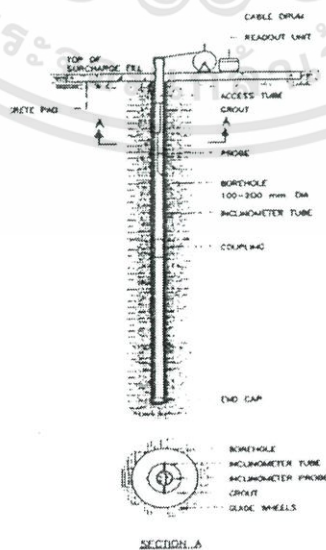
เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับค่าแรงดันน้ำที่ชั้นดินใต้ผิวดิน



รูปที่ 2.12. Pneumatic Piezometer

### 2.5.3.5. Inclinator

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าการเคลื่อนตัวของดิน



รูปที่ 2.13. Inclinator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

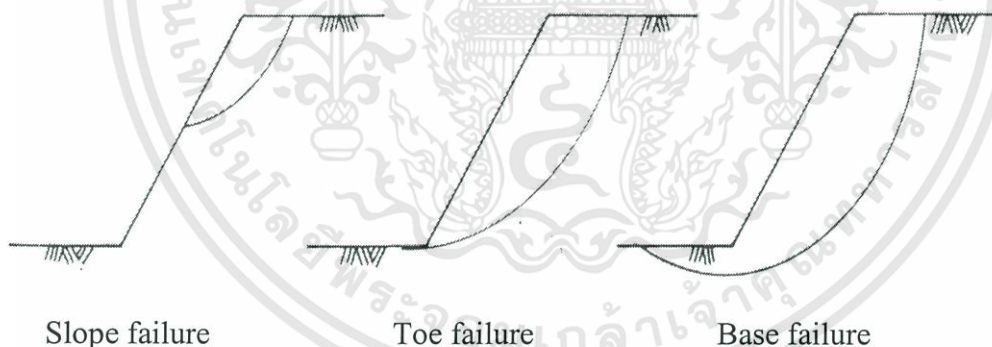
## 2.6. เสถียรภาพความลาดของดิน (Slope Stability)

ความลาดนั้นอาจจะเกิดจากการขุดหรือการถม เมื่อดินมีความลาดเอียงก็จะมีแรงซึ่งพยายามจะทำให้ดินที่อยู่สูงเคลื่อนที่ลงมายังจุดต่ำกว่า แรงกระทำเหล่านี้ได้แก่ แรงดึงดูดของโลก และแรงที่เกิดจากการไหลซึมของน้ำ ซึ่งทำให้ในดินเกิดหน่วยแรงเพิ่มขึ้น โดยปกติในดินก็จะมีแรงต้านทานต่อแรงเฉือนของดินซึ่งที่สำคัญได้แก่ แรงเสียดทานภายในและแรงเชื่อมแน่นของดิน

ถ้าแรงต้านทานมากกว่าแรงกระทำดินก็จะไม่เกิดการเคลื่อนตัวและพังทลายเสถียรภาพความลาดของดินก็คือการหาส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) ต่อการพังทลายของดิน

### 2.6.1. แบบของการพังทลาย (Type of Failure)

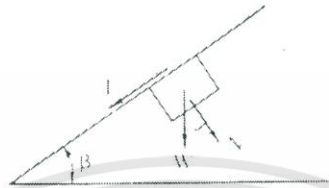
การเคลื่อนตัวและการพังทลายของดินบนพื้นลาดของดินที่ไม่อยู่ในแนวตั้ง ส่วนใหญ่แนวการเคลื่อนตัวจะเป็นส่วนโค้งของวงกลม(Circular arc) ส่วนโค้งนี้อาจตัดผ่านความลาดของดินเรียกว่า Slope failure หรือตัดที่ผิวล่างเรียกว่า Toe failure หรืออาจตัดลึกลงไปใต้ฐานรากเรียกว่า Base failure



รูปที่ 2.14. แบบของการพังทลาย

## 2.6.2. การหาเสถียรภาพความลาดของดิน

### 2.6.2.1. การหาเสถียรภาพความลาดของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น



ลาดของดิน

รูปสามเหลี่ยมของแรง

รูปที่ 2.15. แรงที่เกี่ยวข้องในลาดของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น

จากรูปพิจารณาส่วนดินก้อนหนึ่งหนัก  $W$

$$\text{แรงตั้งฉากกับลาด} \quad N = W \cos \beta \quad (2.1.)$$

$$\text{แรงขนานกับลาด} \quad T = W \sin \beta \quad (2.2.)$$

$$\therefore \text{ส่วนปลอดภัย} = \frac{\text{แรงต้านทาน}}{\text{แรงกระทำ}} \quad (2.3.)$$

$$\text{F.S.} = \frac{N \tan \phi}{T} \quad (2.4.)$$

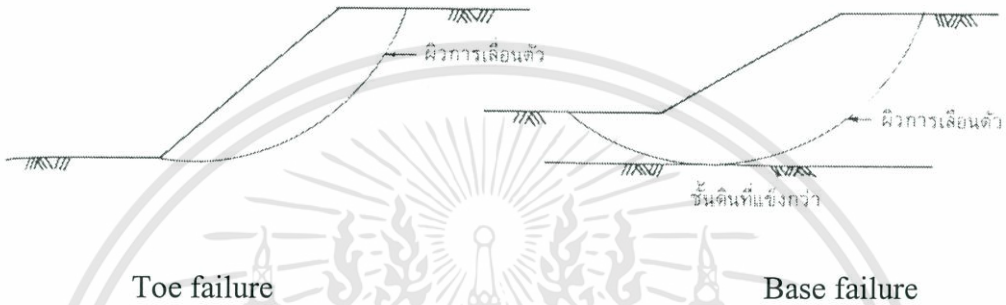
$$= \frac{W \cos \beta \tan \phi}{W \sin \beta} \quad (2.5.)$$

$$\text{F.S.} = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad (2.6.)$$

จะเห็นว่าลาดของดินชนิดที่ไม่มี ความเชื่อมแน่น จะมีเสถียรภาพมั่นคง ต่อเมื่อมุมลาดเอียง( $\beta$ ) มีค่าน้อยกว่ามุมเสียดทานภายในของดิน( $\phi$ )

### 2.6.2.2. การหาเสถียรภาพความลาดของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

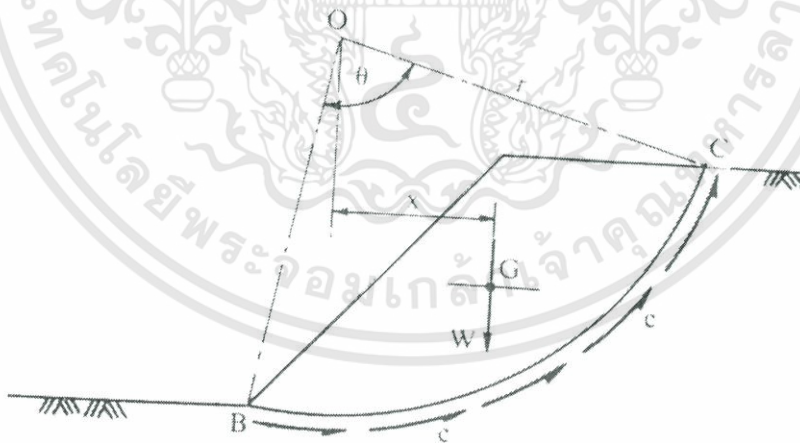
เสถียรภาพของดินชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น แรงเชื่อมแน่น มุมต้านทานแรงเฉือนของดิน ความสูงและความลาดชันของลาด ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเกิดกับ Toe failure หรือ Base failure



รูปที่ 2.16. แบบของการพังทลายในดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

- สำหรับดินประเภท  $\phi = 0$

พิจารณาตามรูป โดยมีความหนา 1 หน่วย



รูปที่ 2.17. รูปตัดผิวการเคลื่อนตัวของดิน

สมมติว่าผิวของการเคลื่อนตัวเป็นตามส่วนโค้งวงกลม BC โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ O รัศมี r

แรงกระทำเนื่องจากมวลดิน W ที่ผิวเหนือของการเคลื่อนตัวจะกระทำผ่านจุดศูนย์กลาง G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \therefore \text{โมเมนต์ของแรงกระทำรอบจุด O} &= \text{น้ำหนักดิน} \times \text{ระยะ} x \\ &= Wx \end{aligned} \quad (2.7.)$$

$$\begin{aligned} \text{แรงต้านทานรอบจุด O} &= c \times \text{ส่วนโค้ง BC} \\ &= cr\theta \end{aligned} \quad (2.8.)$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{โมเมนต์ของแรงต้านทานรอบจุด O} &= cr\theta \times \text{รัศมี} r \\ &= cr^2\theta \end{aligned} \quad (2.9.)$$

$$\therefore \text{ส่วนปลอดภัย F.S.} = \frac{cr^2\theta}{Wx} \quad (2.10.)$$

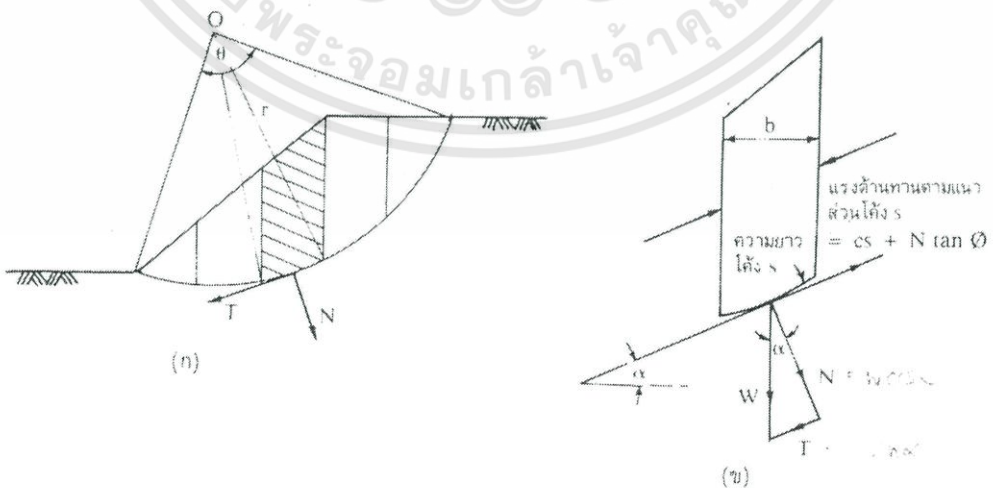
• สำหรับดินประเภท C -  $\phi$

ดินที่มีทั้งค่า c และ  $\phi$  กำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของดินตามแนวผิวของการเคลื่อนตัวจะประกอบไปด้วยแรงเชื่อมแน่นและแรงเสียดทาน ตามผิวของการเคลื่อนตัวนั้น

การวิเคราะห์นั้นสามารถทำได้หลายวิธีเช่น Slices method,  $\phi$  - circle method, Simplified Bishop แต่ในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะวิธีที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบ คือ Slices method เท่านั้น

2.6.2.3. Slices method

สมมติผิวของการเคลื่อนตัวเป็นส่วนโค้งของวงกลม แบ่งส่วนที่อยู่เหนือผิวของการเคลื่อนตัวนี้เป็นส่วนๆ ในแนวตั้งจำนวนหนึ่งให้มีความกว้างเท่ากันดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18. รูปตัดผิวการเคลื่อนตัวของดินวิธี Slices method

พิจารณาส่วนหนึ่งดังรูป 2.18. คิดความหนา 1 หน่วย  
นำหนักในแนวตั้ง  $W$  แยกแรงได้เป็นสองแรงดังนี้

- $N = W \cos \alpha$  ตั้งฉากกับส่วน โค้งของการเคลื่อนตัว
- $T = W \sin \alpha$  สัมผัสกับส่วน โค้งของการเคลื่อนตัว

สำหรับ 1 ส่วนโมเมนต์ของแรงกระทำรอบจุด O  $= T \times r$  (2.11.)

สำหรับพื้นที่ทั้งหมด โมเมนต์ของแรงกระทำ  $= r \Sigma(T)$  (2.12.)

แรงต้านทานบนพื้นที่ 1 ส่วนประกอบด้วย แรงเชื่อมแน่น  $C$  คูณด้วยความยาวของส่วน โค้งของการเคลื่อนตัว  $s$  และแรงเสียดทาน  $N \tan \phi$

สำหรับ 1 ส่วนโมเมนต์ของแรงต้านทานรอบจุด O  $= (cs + N \tan \phi)r$  (2.13.)

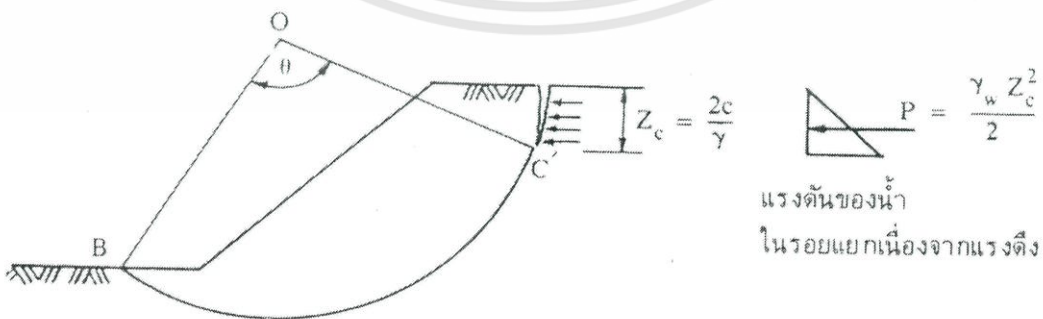
สำหรับพื้นที่ทั้งหมด โมเมนต์ของแรงต้านทาน  $= r(cr\theta + \Sigma N \tan \phi)$  (2.14.)

$$\therefore \text{ส่วนปลอดภัย F.S.} = \frac{cr\theta + \Sigma N \tan \phi}{\Sigma T} \quad (2.15.)$$

• ผลของรอยแยกเนื่องจากแรงดึง

โดยปกติในดินที่มีความเชื่อมแน่น รอยแยกจากแรงดึงจะเกิดได้ที่ผิวด้านบนของลาดของดิน ความลึกของรอยแยกเท่ากับ  $\frac{2c}{\gamma}$  และผิวของการเลื่อนจะผ่านรอยแยกนี้ แรงต้านจากความเชื่อมแน่นของดินจะไม่เกิดที่ความลึกของรอยแยกดังนั้นผิวของการต้านทานจะลดลงเป็นดังรูป 2.19. ทำให้แรงต้านทานลดลง

อาจมีน้ำไหลเข้ามาในแนวราบทำให้เกิดแรงดันขึ้นบนส่วนที่อยู่เหนือผิวของการเคลื่อนตัว ทำให้ความปลอดภัยลดลง



รูปที่ 2.19. ผิวการต้านทานเมื่อมีผลของรอยแยกเนื่องจากแรงดึง

## 2.7. Negative skin friction

เป็นแรงที่เสาเข็มต้องรับมากขึ้นอันเนื่องมาจากการทรุดตัวของดินรอบเสาเข็ม บางครั้งเราเรียก Drag-down force โดยจะมีผลมากต่อ end-bearing pile ของทั้งเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ โดยทำให้ส่วนลดสำหรับความปลอดภัยมีค่าลดลง การทรุดตัวของดินนี้ไม่เกิดขึ้นทันทีทันใดแต่จะเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนตามเวลา (consolidation settlement) และเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่นการถมดิน น้ำหนักบรรทุกกระทำที่ผิวดิน การลดลงของระดับน้ำใต้ดิน การตอกเข็มในดินอ่อน เป็นต้น แต่ที่พบบ่อยมากและมีผลกระทบต่อเสาเข็มค่อนข้างสูงมากก็คือการถมดิน ขนาดของแรงจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ

- ชนิดและขนาดของเสาเข็ม วิธีการตอกหรือเจาะ การเคลือบผิวเสาเข็ม
- คุณสมบัติของดิน เช่น ความแข็งแรง ความหนาชั้นดิน ความยุบตัวของดิน
- สาเหตุของการทรุดตัวและปริมาณการเคลื่อนที่ของดิน
- ระยะเวลาหลังจากฝังหรือตอกเสาเข็ม

สิ่งที่น่าสนใจและควรที่จะนำมาพิจารณาก็คือ การทรุดตัวของดินอันเนื่องมาจากการถมดินซึ่งอาจจะมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับพื้นที่หรือทำถนนหรืออื่นๆ ทั้งนี้ได้แบ่งสาเหตุของการทรุดตัวดังกล่าวไว้ดังนี้

### 2.7.1. การทรุดตัวของดินถม

เป็นการใช้ดินอ่อน (เช่นดินเหนียวหรือ Cohesive fill) ถมลงบนดินที่ไม่มีการทรุดตัวหรือมีแต่น้อยมาก การทรุดตัวของดินถมจะทำให้เกิดแรงกดลงรอบผิวของเสาเข็มดังแสดงไว้ในรูป 2.20. จะเห็นได้ว่าขนาดของแรงนั้นขึ้นอยู่กับเวลาและการเคลื่อนที่ของดิน โดยมากจะเกิดขึ้นในช่วงล่าง ทั้งนี้สามารถประเมินได้โดยสังเขปดังนี้คือ

$$Pnf = \int_0^H P.K.\bar{\sigma}_V \cdot \tan \delta \cdot dh \quad (2.16.)$$

H = ความหนาของชั้นดินถม

P = เส้นรอบรูปของเสาเข็ม

K = coefficient of lateral earth pressure

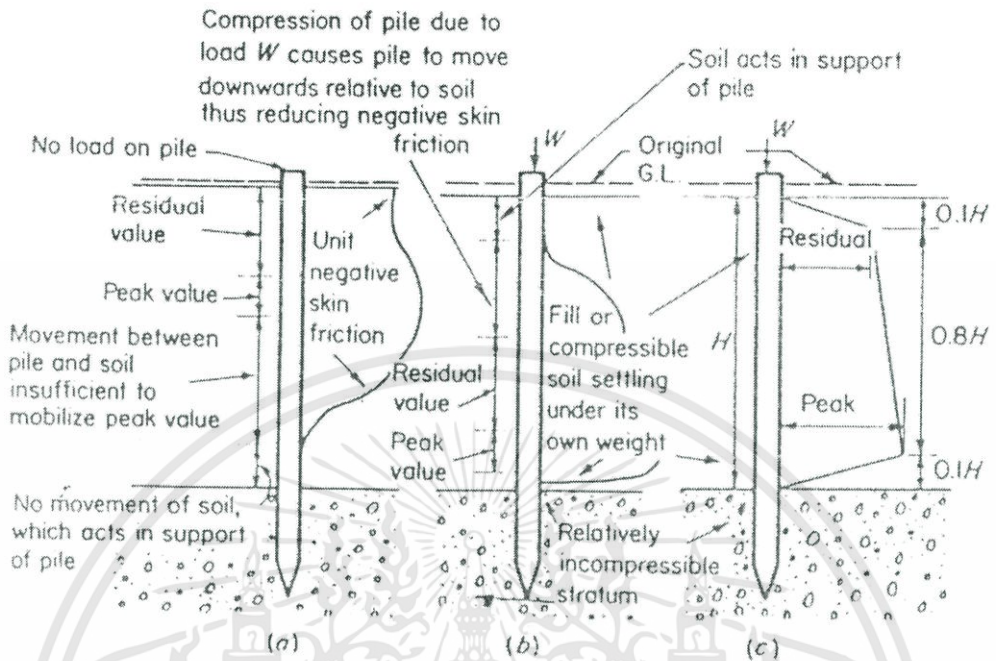
$\approx K_0 = (1 - \sin\phi)$  สำหรับดินเหนียว

$\bar{\sigma}_V$  = vertical effective stress (overburden pressure)

$\delta$  = friction angle ระหว่างเสาเข็มและดิน

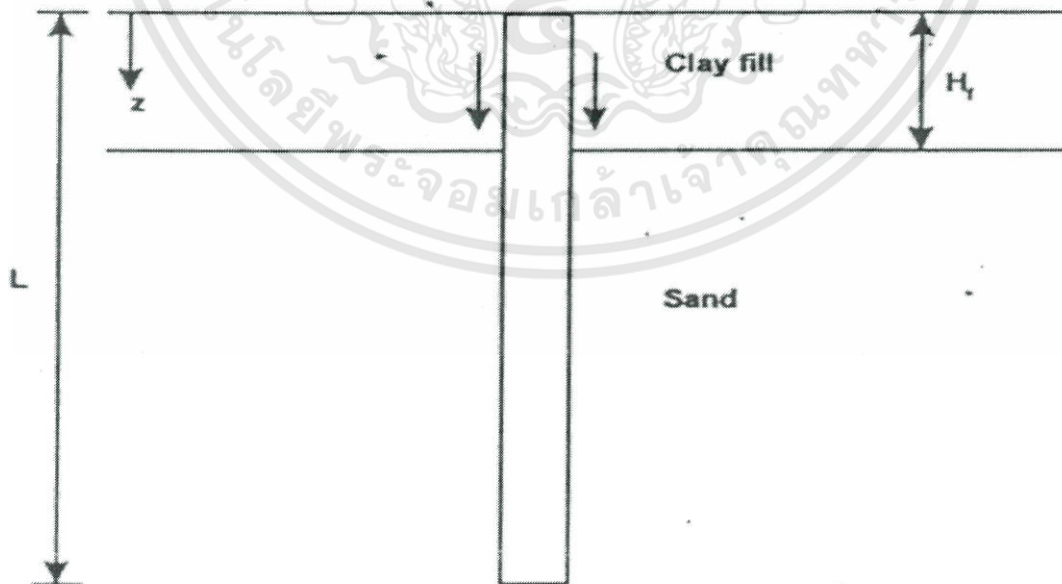
= 0.5 ถึง 0.9 $\phi$

$K \tan \delta \approx 0.2$  สำหรับ soft to medium stiff marine clay



รูปที่ 2.20. Negative skin friction ของดินถม

- (a) ระยะแรกของการทรุดตัว (b) ระยะสุดท้ายเมื่อทำยเมื่อการทรุดตัวเสร็จสิ้นไปแล้ว
- (c) การกระจายของแรงโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการออกแบบ



รูปที่ 2.21. แสดงการเกิด Negative Skin Friction กรณีดินถมประเภทดินอ่อนบนดินแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

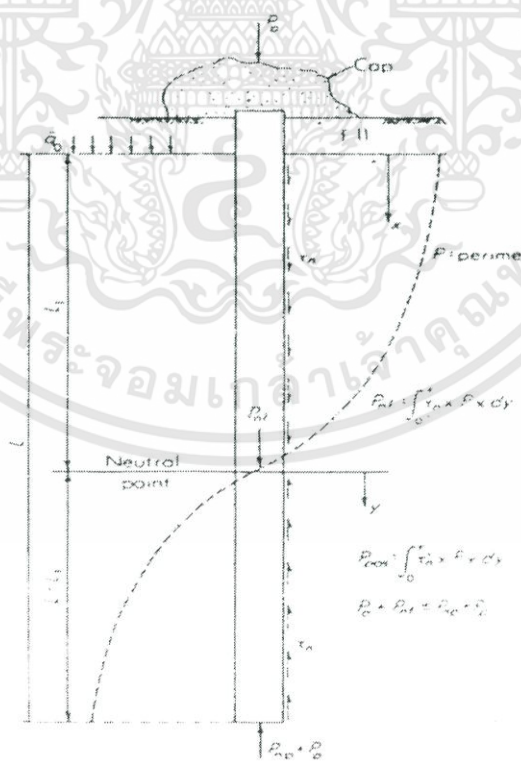
เนื่องจากสมการ (2.16.) ให้ทำการกระจายแบบเส้นตรง ดังนั้นจึงควรหาค่าสูงสุดที่  $0.9H$  แล้วหาปริมาณของแรงดังกล่าวไว้ในรูปที่ 2.20. (c)

### 2.7.2. การทรุดตัวของดินใต้ดินถม

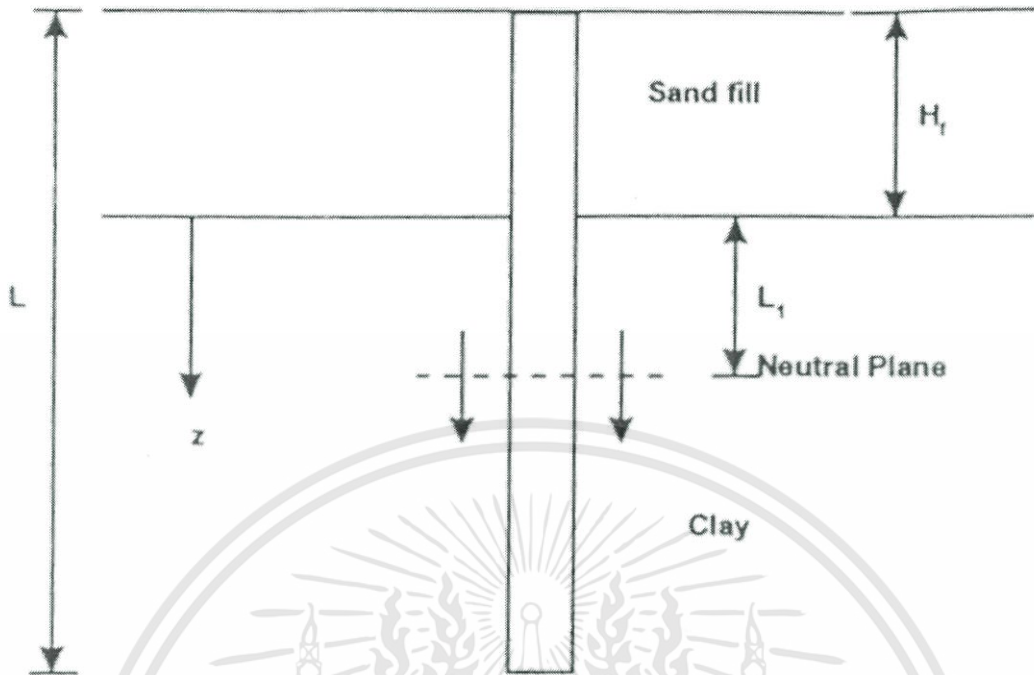
เป็นการใช้ดินที่มีลักษณะเป็นเม็ดเช่นทรายถมลงบนชั้นดินเหนียวอ่อนที่มีการทรุดตัวมาก หรือ High Compressibility Soil การทรุดตัวของดินเหนียวจะทำให้ดินถมทั้งชั้นทรุดลงตามไปด้วย แรงที่กระทำต่อเสาเข็มจึงมีทั้ง Negative skin friction ซึ่งเป็นส่วนบนและ positive skin friction ที่เกิดใต้ neutral point ลงไปซึ่งเราจะต้องประมาณค่าจุดสมดุลย์ในชั้นดินอ่อนนั้น สำหรับแรงในชั้นดินถมนี้มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นจึงตัดทิ้งได้ หากพิจารณารูปที่ 2.22. และ 2.23. แล้วจะพบว่า

$$\text{ค่า } L_1 = \left( \frac{L}{L_1} \right) \left( \frac{L}{2} + \frac{\bar{q}_0}{\gamma} \right) - \left( \frac{2\bar{q}}{\gamma} \right) \quad (2.17)$$

$$Pnf = \int_0^{L_1} p f dz$$



รูปที่ 2.22. Negative และ Positive skin friction ใต้ดินถม



รูปที่ 2.23. แสดงการเกิด Negative Skin Friction กรณีดินถมประเภทดินแข็ง และมี Soft Clay ในชั้นดินถัดไป

- พิจารณาแบบ Drained Condition

$$Pnf = \int_0^{L_1} pK \left( \bar{q}_0 + \gamma' z \right) \tan \delta dz$$

$$= \int_0^{L_1} pK \left( \gamma'_f H_f + \gamma' z \right) \tan \delta dz$$

$$Pnf = pK \gamma'_f H_f \tan \delta L_1 + \frac{L_1^2 pK \gamma' \tan \delta}{2} \quad (2.18)$$

$\bar{q}_0$  = Effective Overburden Pressure ที่ผิวดินอ่อน  
 $= \gamma'_f H_f$

$\gamma'_f$  = Effective Unit Weight ของดินถม

$\gamma'$  = Effective Unit Weight ของดินอ่อน

P = Perimeter ของเสาเข็ม

$K = K_0 = 1 - \sin \phi$

$\delta = 0.3\phi - 0.7\phi$

$\phi$  = Drained Friction Angle of Soft Soil

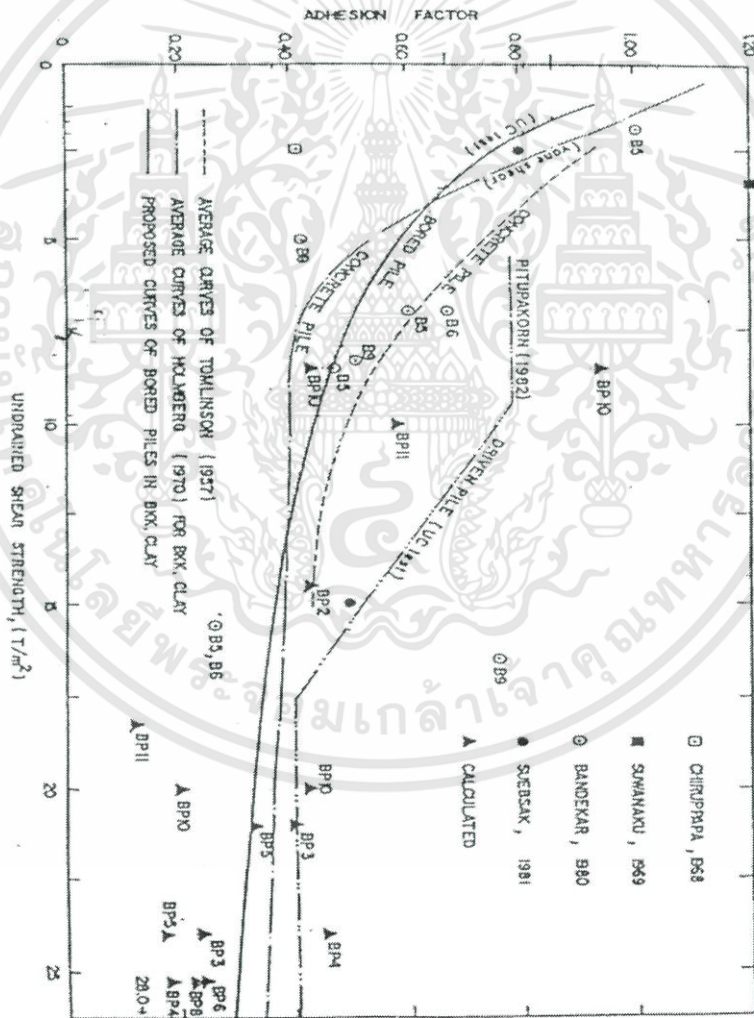
ถ้าทั้งดินถมและดินอ่อนอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน ค่า Unit Weight จะไม่ใช่ Effective หรือ Submerge Unit Weight

- พิจารณาแบบ Undrained Condition ( $\phi = 0^\circ$ ) ค่ามากที่สุดของ  $P_{nf}$

$$P_{nf} = pL_1(\alpha C_u) \quad (2.19.)$$

$\alpha$  = Empirical Adhesion Factor จากรูปที่ 2.24

$C_u$  = Undrained Cohesion ของ Soft Clay

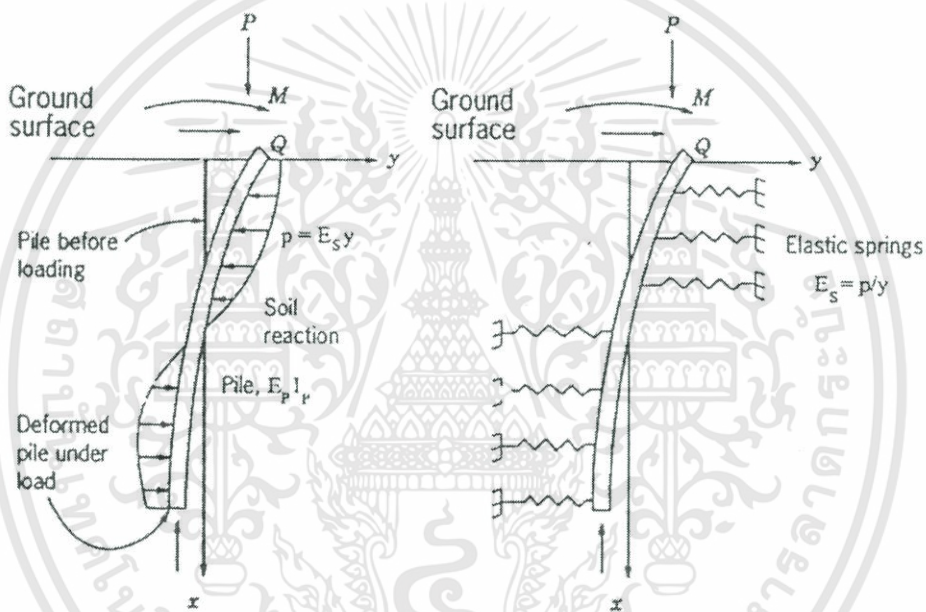


รูปที่ 2.24 Adhesion Factor for Clays

## 2.8. การหาค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็มเดี่ยว

- วิธีคานบนฐานรากยืดหยุ่น (Beam on elastic foundation , BEF)

ในการวิเคราะห์เสาเข็มที่ได้รับแรงกระทำด้านข้าง อาจพิจารณาเป็นคานบนฐานรากยืดหยุ่น (Beam on foundation , BEF) โดย Winkler (1867) มีสมมุติฐานว่าปฏิกิริยาของดินที่มีต่อเสาเข็มเสมือนแถวของสปริงยืดหยุ่นจำนวนอนันต์เรียงกันอยู่ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของเสาเข็ม โดยสปริงเหล่านี้เป็น “Isolate spring” ที่จะเกิดการยุบตัวเมื่อมีแรงกระทำบนมัน โดยตรงเท่านั้นซึ่งไม่ว่าสปริงนี้ยุบตัวไปเท่าใดก็จะไม่ส่งผลต่อสปริงรอบๆมัน และเสาเข็มเองก็เป็นเสมือนคานยืดหยุ่น (Elastic Beam) ดังรูปที่ 2.25.



รูปที่ 2.25. พฤติกรรมของเสาเข็มตามสมมุติฐานของ Winkler (1867)

ที่นี้ Winkler (1867) เสนอความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{p}{y} = \text{Conatant} = K_h \quad (2.20.)$$

โดยที่ p = soil Pressure

y = ระยะ โกงตัวของเสาเข็ม

$K_h$  = Coefficient of subgrade reaction

และ Elastic curve equation of straight beam สำหรับคานยืดหยุ่นคือ

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = p \quad (2.21.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรวมสมการที่ 2.20. กับสมการที่ 2.21. ก็จะได้สมการพื้นฐานสำหรับปัญหาคานบนฐานรากยึดหยุ่นทั่วๆไปคือ

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = K_h \times y \quad (2.22.)$$

จากสมการที่ 2.3. Chang (1937) ได้สมมติว่าค่า  $K_h$  มีค่าคงที่ตลอดความลึกและหาคำตอบออกมาได้คือ

$$y = e^{\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \quad (2.23.)$$

โดย  $\beta = \sqrt[4]{\frac{K_h}{4EI}}$  และค่า A,B,C,D เป็นค่าคงที่ตัวหนึ่งที่จะได้จากเงื่อนไขที่ขอบเขต (Boundary Condition) ของปัญหา ซึ่งเป็นวิธีที่นำไปใช้งานได้ลำบาก จึงไม่นิยมใช้กัน

ต่อจากนั้นก็มีการกำหนดโมดูลัสของดิน (Soil Modulus,  $E_s$ ) โดย McClelland and Foch (1985) คือ

$$E_s(x, y) = \frac{P}{y} = K_h \times D \quad (2.24.)$$

โดยที่  $p$  = soil reaction per unit length of pile

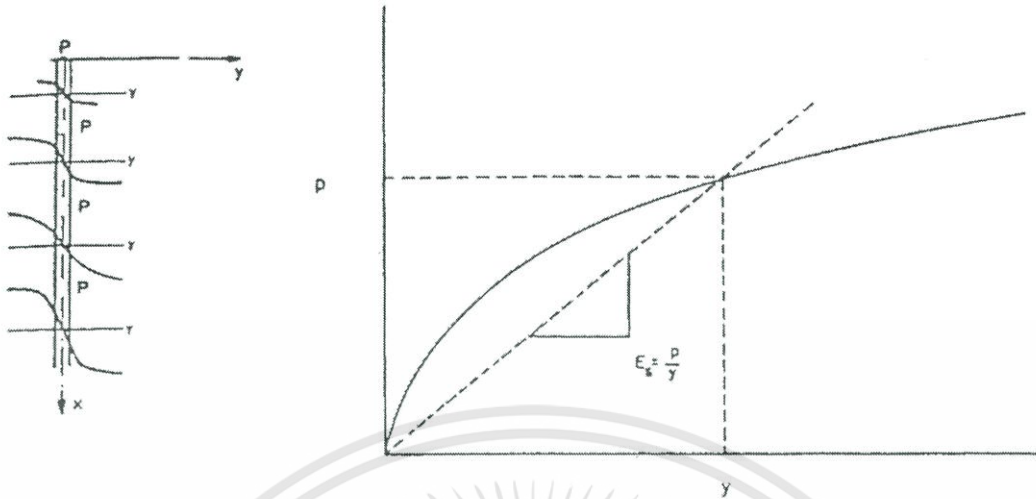
$y$  = ระยะ โกงตัวของเสาเข็ม

$x$  = ความลึกจากผิวดิน

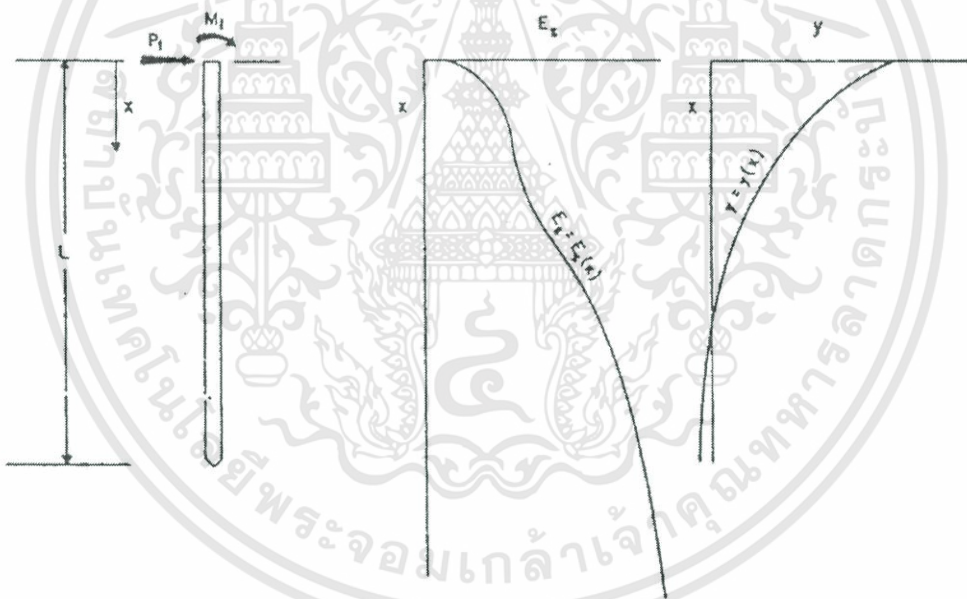
$K_h$  = Coefficient of subgrade reaction

$D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

เนื่องจากที่ความลึกต่างๆของดิน ความสัมพันธ์ระหว่าง  $p$  กับ  $y$  ไม่เป็นเส้นตรง (nonlinearity of  $p$ - $y$  relation) ดังรูปที่ 2.27.  $E_s$  จึงต้องเป็นฟังก์ชันของความลึก ( $x$ ) และระยะ โกงตัวของเสาเข็ม ( $y$ ) ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง  $E_s$  กับความลึก ( $x$ ) ในรูปที่ 2.36. ก็จะมีค่าเปลี่ยนไปเมื่อค่าของแรงกระทำเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามก็มักที่จะให้  $E_s$  เป็นฟังก์ชันของความลึกเพียงอย่างเดียวเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาของสมการ Non Linear Differential



รูปที่ 2.26. ความสัมพันธ์ระหว่าง p-y



รูปที่ 2.27. ความสัมพันธ์ระหว่าง  $E_s$  กับความลึก (x)

และเมื่อกำหนดให้  $E_s = f(x)$  จึงยังผลทำให้ค่า  $E_s$  vs. x ยังมีค่าเท่าเดิมถึงแม้การโก่งตัวของเสาเข็มหรือแรงกระทำเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม ซึ่งช่วงที่  $E_s$  คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามแรงที่มากระทำหรือการโก่งตัวของเสาเข็ม ก็จะเป็นช่วงยึดหยุ่นของดินเท่านั้น ดังนั้นคำตอบในรูปชาร์ตของทั้ง Matlock and Reese (1956), Davisson and Gill (1963) ที่ใช้  $E_s = f(x)$  จะใช้ได้ในกรณีที่แรงกระทำอยู่ในช่วงยึดหยุ่นของดินหรือในช่วงหน่วยแรงใช้งาน (working load) เท่านั้น หากต้องการ

ทราบคำตอบของปัญหาเสาเข็มรับแรงด้านข้างที่มีแรงกระทำเกินช่วงหน่วยแรงใช้งาน ก็สามารถทำได้ โดยวิธี p-y curve

Matlock and Reese (1956) ได้เสนอชาร์ตไร้มิติ (Non dimension Chart) สำหรับกรณี  $E_s = kx$  โดยสมมุติให้คำตอบอยู่ในรูป

$$y = y(x, T, L, E_s, E_p I_p, P_t, M_t)$$

โดย  $T = \text{Stiffness Factor}$

$$= \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{k}} \quad (\text{ในกรณีที่ } E_s = kx) \quad (2.25.)$$

$L = \text{ความยาวของเสาเข็ม}$

$P_t = \text{แรงกระทำด้านข้างที่หัวเสาเข็ม (Lateral Load)}$

$M_t = \text{โมเมนต์ที่หัวเสาเข็ม}$

$EI = \text{Pile Stiffness}$

$k = \text{Constant}$

ในกรณีที่แรงกระทำอยู่ในช่วงยึดหยุ่นของดินหรือแรงที่มากระทำยังอยู่ในช่วงหน่วยแรงใช้งาน ค่าการโค้งงอของเสาเข็มจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับขนาดเข็ม ดังนั้นพฤติกรรมของเข็มต้องอยู่ในช่วงยึดหยุ่นด้วย จึงสามารถใช้ทฤษฎี super position ได้ ซึ่งก็จะสามารถแยกคิดผลจากแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อเสาเข็มได้คือ

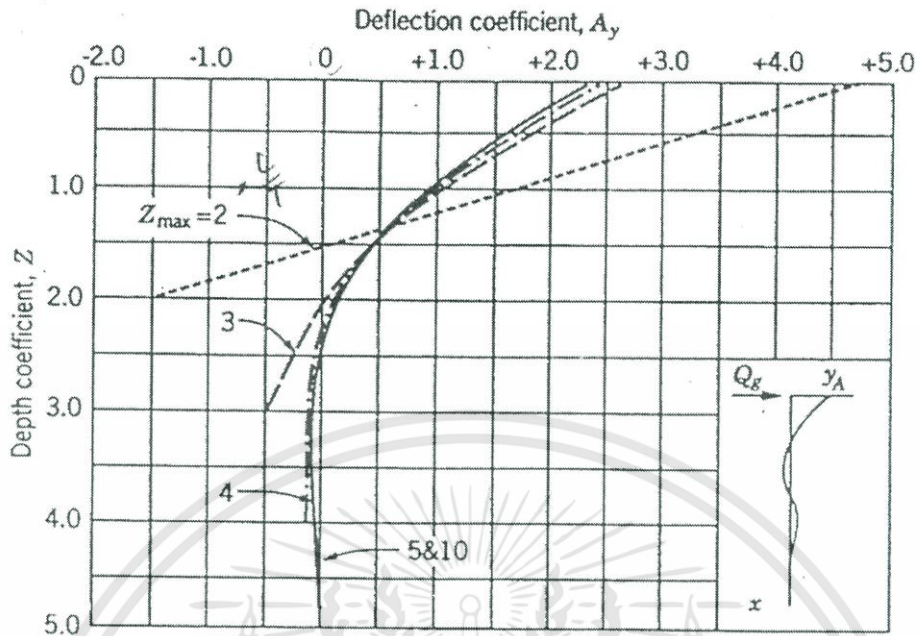
$$y = y_A + y_B$$

โดย  $y_A, y_B$  เป็นระยะโค้งตัวของเสาเข็มเนื่องจากแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อเสาเข็มตามลำดับ และจาก Non-dimension analysis จะได้

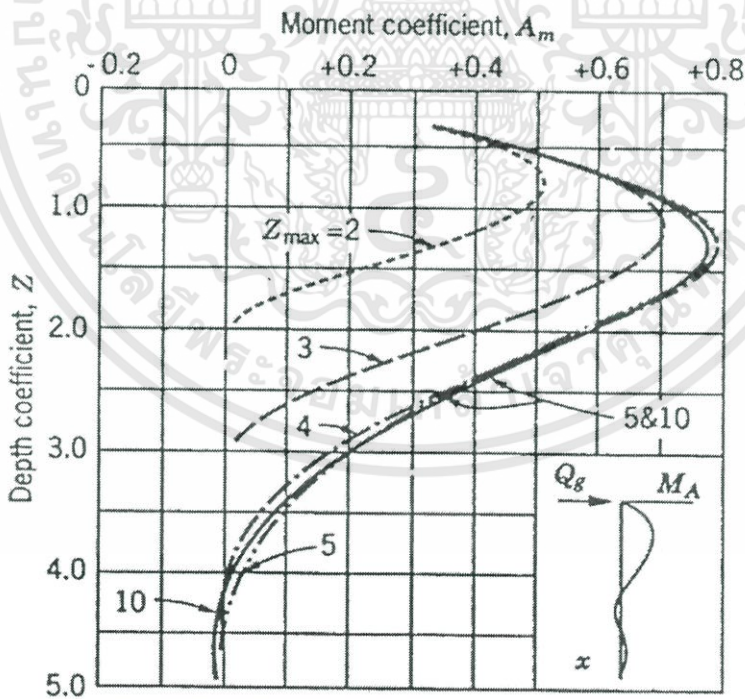
$$\text{Deflection } y = y_A + y_B = \left[ \frac{P_t T^3}{E_p I_p} \right] A_y + \left[ \frac{M_t T^2}{E_p I_p} \right] B_y \quad (2.26.)$$

และ Depth Coefficient  $Z = \frac{x}{T}$ , Max depth coefficient  $Z_{\max} = \frac{L}{T}$

โดย  $A_y, B_y = \text{Deflection Coefficients for free head}$



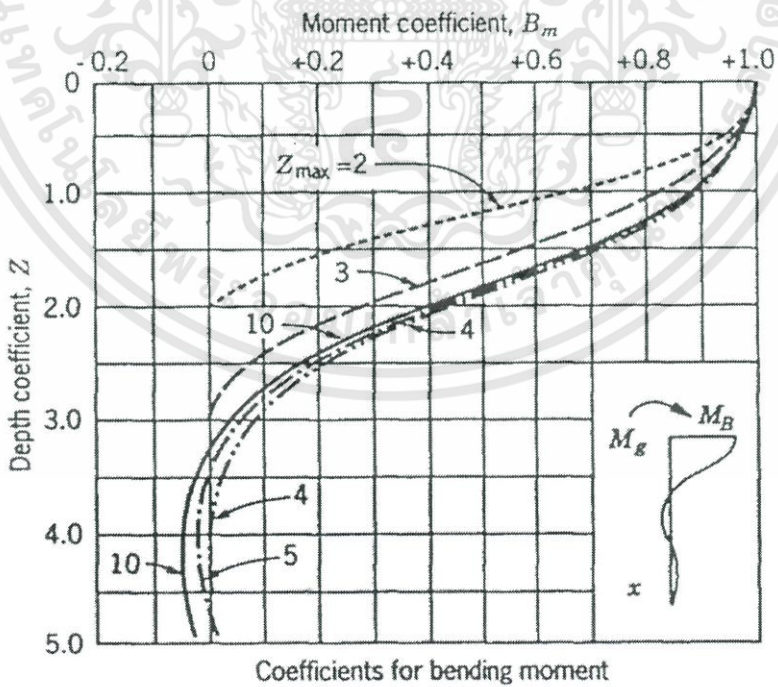
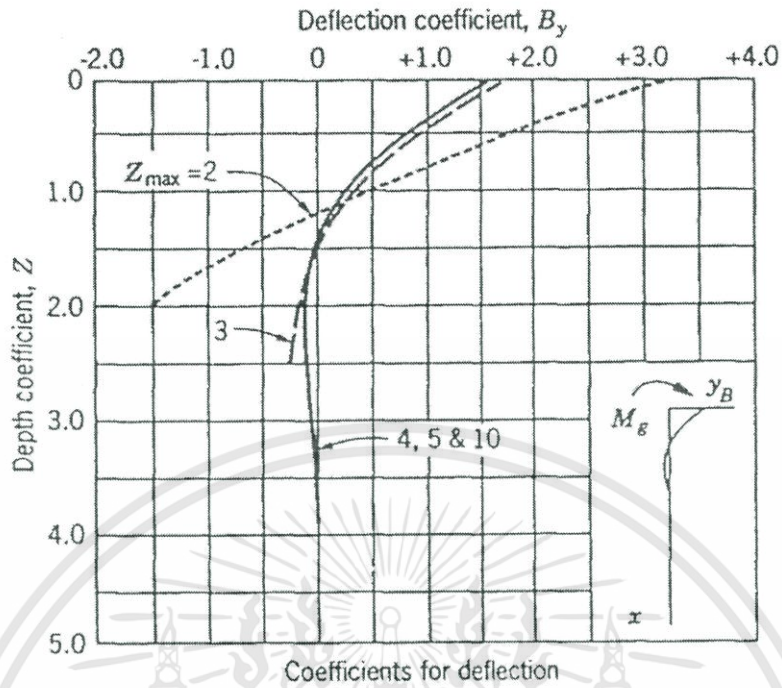
Coefficients for deflection



Coefficients for bending moment

รูปที่ 2.28. สัมประสิทธิ์สำหรับเสาเข็มแบบ free-hand ในดินที่มี  $E_s=kx$  สำหรับกรณีที่แรงกระทำที่หัวเสาเข็ม (Matlock & Reese, 1956)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29. สัมประสิทธิ์สำหรับหัวเสาเข็มแบบ free-hand ในดินที่มี  $E_s = kx$  สำหรับกรณีที่มีโมเมนต์กระทำที่หัวเสาเข็ม (Matlock & Reese, 1956)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 29 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# PVD ในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ

### 3.1. กล่าวนำ

หากนึกถึงสนามบินส่วนสิ่งที่เราจะนึกถึงก็คงจะเป็น โครงสร้างของอาคารขนาดใหญ่ และส่วนของพื้นทางซึ่งแบ่งได้อีกเป็น ส่วนพื้นทางสำหรับเครื่องบิน และส่วนพื้นทางสำหรับคนและรถโดยสาร

- ส่วนพื้นทางสำหรับเครื่องบินประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ทางวิ่ง(Runways) ทางขับ (Taxiways) และลาดจอด (Aprons)
  - ทางวิ่ง(Runways) เป็นเหมือนถนนขนาดใหญ่ใช้สำหรับเครื่องบินขึ้น (Take Off) หรือร่อนลง (Landing)
  - ทางขับ(Taxiways) ใช้สำหรับเครื่องบินขับเคลื่อน (Taxi) ไปจอดรอการบินขึ้นที่ หรือจากการบินลงไปสู่อาคารผู้โดยสาร
  - ลาดจอด(Aprons) เป็นพื้นที่สำหรับรับ-ส่งผู้โดยสารหรือสินค้าและจอดพักเครื่องบิน

- ส่วนพื้นทางสำหรับคนและรถโดยสารจะเป็นพื้นทางส่วนที่อยู่ภายในและระหว่างอาคารต่างๆ ส่วนของพื้นทางนั้นจำเป็นที่จะต้องออกแบบและเลือกใช้วัสดุอย่างพิถีพิถันเพราะสนามบินเป็นสถานที่ที่สาธารณะ มีผู้ใช้งานมาก มีน้ำหนักกระทำสูง ส่วนฐานรากของพื้นทางก็คือคันทาง (Embankment) ที่ปรับระดับแล้ว (Subgrade) ในที่นี้คือชั้นทรายหนาประมาณ 60 ถึง 80 ซม. ได้คันทางลงไปจะเป็นชั้นดินเดิมซึ่งในพื้นที่ของโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมินี้เป็นดินอ่อนจึงมีความจำเป็นต้องขุดออกหรือปรับปรุงคุณภาพดิน แต่เนื่องจากโครงการมีขนาดใหญ่มากวิธีการขุดดินออกจึงไม่สามารถทำได้เพราะต้องใช้ค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อให้ดินแข็งแรงขึ้นมีกำลังที่จะรับน้ำหนักจากการใช้งานได้โดยไม่เกิดการทรุดตัวที่จะทำให้พื้นทางมีความเสียหาย

ในพื้นที่โครงการท่าอากาศยานสากลแห่งที่ 2 ได้มีการพิจารณาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้เสาเข็ม (Pile) และเสาดินผสมซีเมนต์หรือปูนขาว (Cement or Lime Columns) เปรียบเทียบกับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยแผ่นระบายน้ำ (PVD) พร้อมน้ำหนักกดทับ (Surcharge Loading) ผลสรุปคือการใช้เสาเข็มหรือเสาดินผสมซีเมนต์หรือปูนขาวนั้นมีราคาแพงกว่าประมาณ 2 เท่าของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD และการใช้น้ำหนักกดทับ

### 3.2. การดำเนินงาน

การปรับปรุงคุณภาพดินภายในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

#### 3.2.1. สำรวจชั้นดิน

เพื่อเป็นการตรวจชั้นดินในการกำหนดเงื่อนไขและค่าที่ต่างๆในการออกแบบและเพื่อทำนายผลกระทบที่จะเกิดในการติดตั้ง PVD

- Piezometer Penetrometer Test : Max Depth 20 m.
- Vane Shear Test : Max Depth 15 m.
- Undisturbed Sampling : Max Depth 15 m.
- Standard Penetration Test (STP) : Max Depth 30 m.

#### 3.2.2. งานปรับพื้นที่

ปรับพื้นที่เดิมซึ่งส่วนใหญ่เป็นบ่อปลา คูคลองโดยการสูบน้ำออกและขุดลอกดินเลน ต้นไม้แล้วพืชต่างๆออกให้หมดแล้วปรับพื้นที่ให้ราบเรียบเมื่อคันดินผิวหน้าแห้ง ความลึกของบ่อปลา และคูคลองจะถมด้วยทรายและดินตามความลึกที่กำหนดไว้

#### 3.2.3. งานถมทรายรองพื้น(Sand Blanket) และงานติดตั้งระบบระบายน้ำ (Drainage System)

ก่อนงานถมทรายพื้นที่จะต้องปูด้วยแผ่นใยสังเคราะห์(Filter Fabric) เพื่อแยกทรายไม่ให้ปนดินจากนั้นจะถมทรายพร้อมบดอัดชั้นแรกหนา 0.50 ม. ที่ระดับ 0.00 ม. ถึง +0.50 ม.(MSL) และวางระบบ Subdrainage System ที่ประกอบด้วย Subdrainage Pipe, Collector Piles และ Manholes ตามตำแหน่งและระดับที่กำหนดไว้ แล้วถมทรายพร้อมบดอัดต่อในชั้นที่สองหนา 0.50 ม. ที่ระดับ +0.50 ม. ถึง +1.00 ม. (MSL)

#### 3.2.4. งานติดตั้งแถบระบายน้ำ(PVD) และงานถมทรายรองน้ำ (Sand Drainage Layer)

ทรายสองชั้นแรกที่ระดับ 0.00 ถึง +1.00 ม. (MSL) ของชั้นรองพื้น (Sand Blanket) นี้จะเป็นพื้นรองรับ (Platform) เครื่องจักรติดตั้ง PVD ซึ่งเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จจะถมทรายพร้อมบดอัดเป็นชั้นที่สาม ที่ระดับ +1.00 ถึง +1.50(MSL) พร้อมปูแผ่นใยสังเคราะห์เพื่อแยกชั้นทรายและหินคลุกที่เป็นน้ำหนักกดทับ

#### 3.2.5. งานถมน้ำหนักกดทับ(Surcharge Fill)

น้ำหนักกดทับเพื่อเพิ่มแรงดันของน้ำในดินให้พุ่งขึ้นมาขึ้นนั้นจะใช้วัสดุใดก็ได้เช่น ดิน ทราย หิน แต่สำหรับโครงการนี้พิจารณาแล้วว่าควรจะเป็นหินคลุกที่มีขนาดละเอียด(Gradation) ที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างทางวิ่ง ทางขับ และลานจอดได้เมื่อเสร็จงาน

### 3.2.5.1. ขั้นตอนแรก(Stage I)

ถมหินคลุกพร้อมบดอัดหนา 1.30 ม. จากระดับดิน + 1.50 ถึง +2.80 ม. (รทก.) แล้วทิ้งไว้ 3 เดือน เพื่อให้น้ำในดินออกและมีการยุบตัวระดับหนึ่งที่ทำให้เนื้อดินมีกำลังเพิ่มขึ้น สามารถรองรับน้ำหนักของหินคลุกที่จะถมเพิ่มขึ้นอีกใน Stage II โดยหลังจากถมแล้วต้องมีอัตราความปลอดภัย (Factor of Safety) อย่างน้อย 1.4

### 3.2.5.2. ขั้นตอนหลัง (Stage II)

ถมหินคลุกพร้อมบดอัดหนา 1.00 ม. จากระดับ +2.80 ถึง +3.80 ม. (รทก.) สำหรับพื้นที่ที่ใช้น้ำหนักกดทับ 75 กน/ม<sup>2</sup> และความหนา 1.50 ม. จากระดับ +2.80 ถึง +4.30 ม. (รทก.) สำหรับพื้นที่ที่ใช้น้ำหนักกดทับ 85 กน/ม<sup>2</sup> ทิ้งไว้ 6-14 เดือน

### 3.2.6. งานติดตั้งเครื่องมือวัด(Instrumentation)

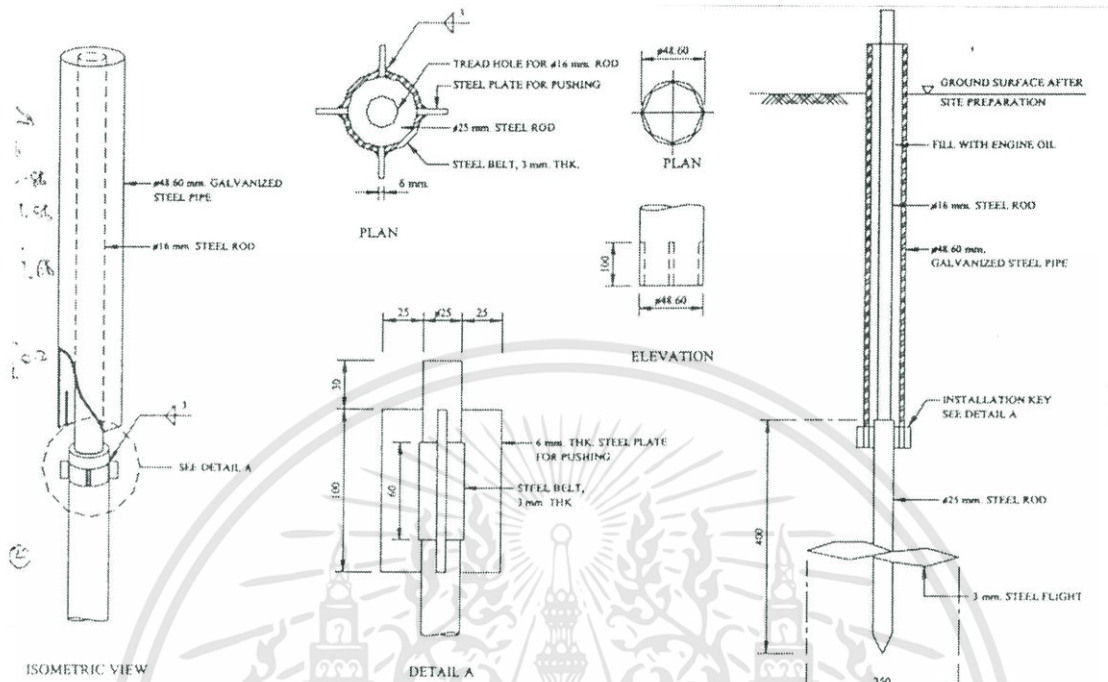
หลังงานปรับพื้นที่จะติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดตามตำแหน่งและระดับความลึกตามที่กำหนดเครื่องมือวัดต่างๆประกอบด้วย

- แผ่นวัดการทรุดตัวที่พื้นผิวดิน(Surface Settlement Plate)



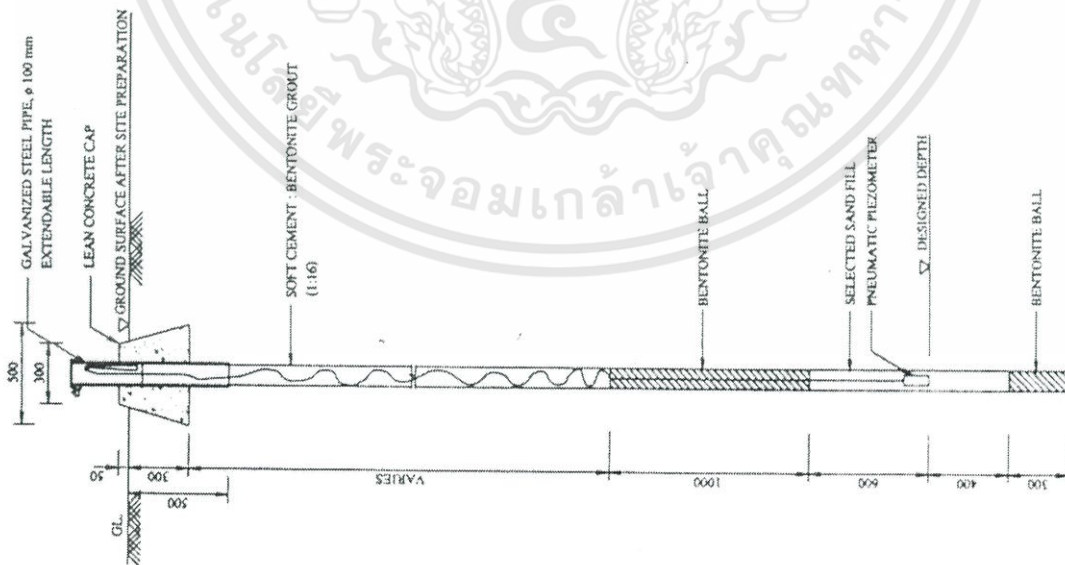
รูปที่ 3.1. settlement plate

- เครื่องวัดการทรุดตัวตามความลึก (Deep Settlement Gauge)



รูปที่ 3.2. Deep Settlement Gauge

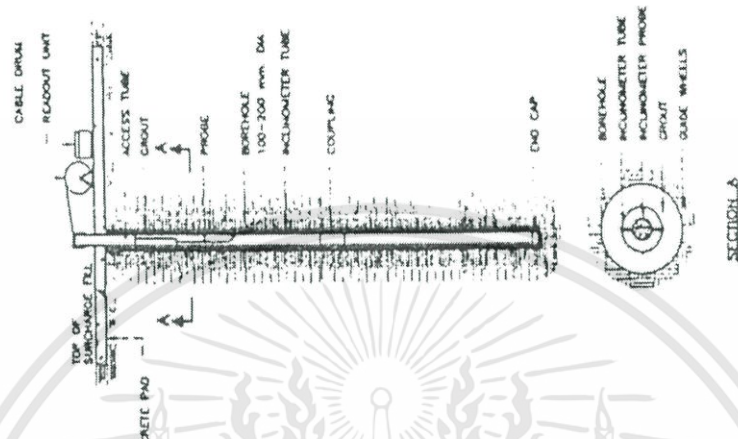
- เครื่องวัดแรงดันน้ำ (Piezometer)



รูปที่ 3.3.. Pneumatic Piezometer

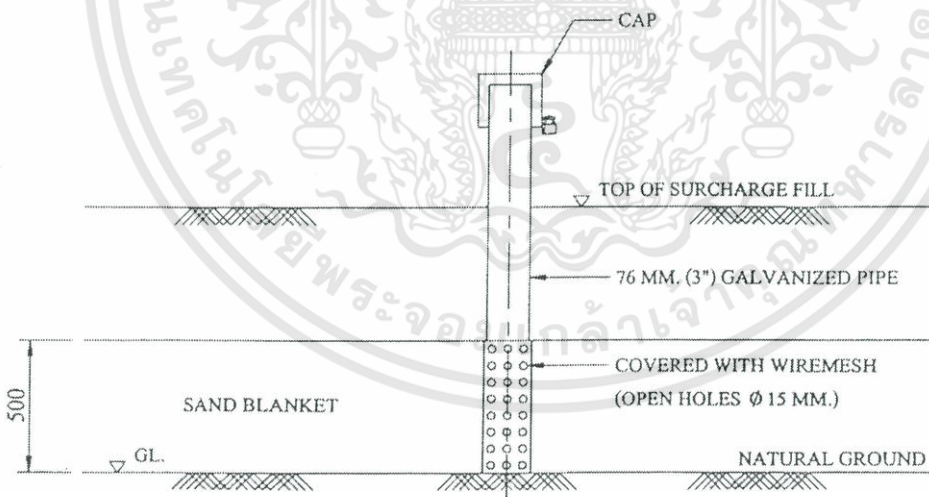
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องมือวัดแรงดันด้านข้าง(Inclinometer)



รูปที่ 3.4. Inclinometer

- บ่อตรวจระดับ(Observation Well)



รูปที่ 3.5. Observation Well

### 3.2.7. ขั้นตอนการก่อสร้าง PVD

ขั้นตอนการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Prefabricated Vertical Drain (PVD) สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 34 อ่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นที่ 1

1. ขุดร่องระบายน้ำยาวตลอดทั้งสองข้างของคันดินที่ใช้เป็นน้ำหนักรัดทับ
2. ติดตั้งเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าต่างๆ

### ขั้นที่ 2

1. นำทรายล้างมาถมโดยให้มีความหนาตามที่กำหนดประมาณ 50-70 ซม. ทรายนี้จะทำหน้าที่สำหรับระบายน้ำและบดอัดไม่น้อยกว่า 90%

### ขั้นที่ 3

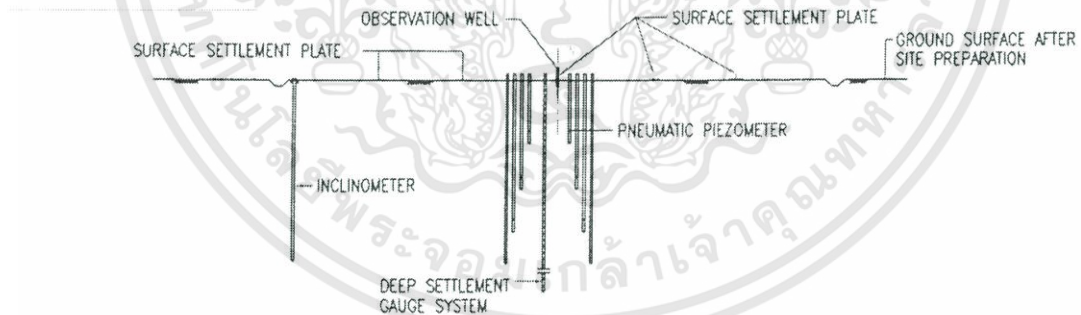
1. ติดตั้งแผ่น Prefabricated Vertical Drain

### ขั้นที่ 4

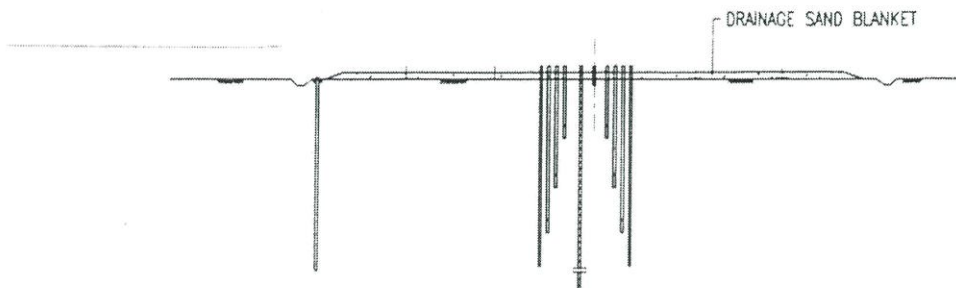
1. นำดินหรือทรายมาถมโดยให้มีความหนาตามที่กำหนดและให้บดอัดไม่น้อยกว่า 95%

### ขั้นที่ 5

1. เมื่อปริมาณการทรุดตัวเป็นไปตามที่ต้องการก็นำดินถมหรือทรายถมออกเพื่อจะได้พร้อมสำหรับเริ่มการก่อสร้าง

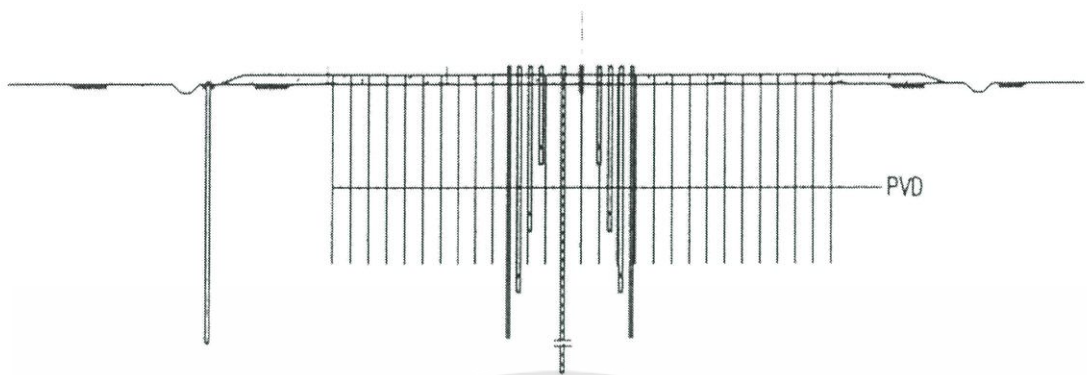


รูปที่ 3.6. แสดงขั้นตอนที่ 1 ของการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD

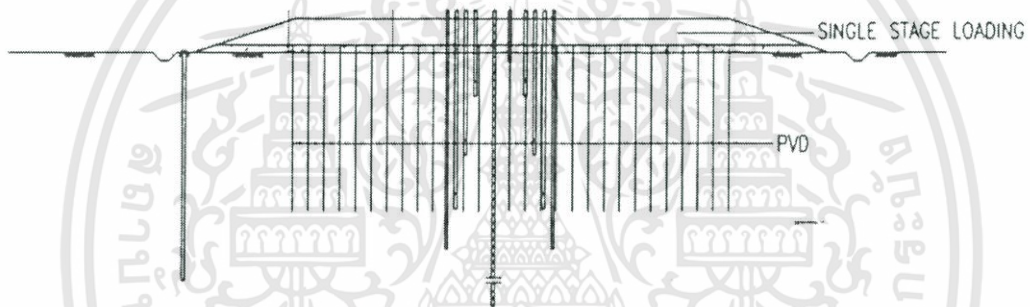


รูปที่ 3.7. แสดงขั้นตอนที่ 2 ของการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 35 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8. แสดงขั้นตอนที่ 3 ของการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD



รูปที่ 3.9. แสดงขั้นตอนที่ 4 ของการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD



รูปที่ 3.10. แสดงขั้นตอนที่ 5 ของการทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD

### 3.3. ปัญหาของการทำ PVD ภายในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ

#### 3.3.1. การทรุดตัวไม่เท่ากันของดินบริเวณตัวอาคารและถนน

##### 3.3.1.1. สาเหตุของปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความจำเป็นในเรื่องระยะเวลาในการก่อสร้างจึงมีความจำเป็นที่โครงการก่อสร้างนี้จะต้องทำ PVD ในส่วนของพื้นที่ทาง ไปพร้อมๆกับการก่อสร้างตัวอาคารในส่วนพื้นที่ที่ใกล้กับส่วนพื้นที่ที่มีการ PVD โดยที่การทำ PVD ยังไม่เสร็จ การทรุดตัวในบริเวณที่มีการทำ PVD จะทรุดตัวมากกว่าเนื่องจากน้ำสามารถถูกกำจัดออกไปจากมวลดินได้มากกว่า

### 3.3.1.2. ผลเสียจากการทรุดตัวไม่เท่ากัน

เมื่อดินบริเวณถนนมีการทรุดตัวมากกว่าดินในบริเวณใต้โครงสร้างอาคารอาจเกิดแรงกระทำต่อเสาเข็มอันเนื่องมาจาก Negative Skin Friction และ Slope Stability ซึ่งจะทำให้ค่าความปลอดภัยของเสาเข็มและความปลอดภัยของเสถียรภาพดินลดลง

### 3.3.1.3. ข้อเสนอแนะแนวทางป้องกันและแก้ไข

บ.สยามซินเทค จำกัด(Siam Syntech Construction Public Company Limit) ได้เสนอวิธีการแก้ไขเพื่อเป็นแนวทางการทำงาน (ดูรูปในภาคผนวก) โดยใช้วิธีนำน้ำหนักสมดุลภายในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ทำ PVD (Balance Load at Building Nearly PVD Area) มีกระบวนการดังนี้

ขั้นที่ 1 ตอกเสาเข็ม

ขั้นที่ 2 ติดตั้ง Inclinometer เพื่อสังเกตการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม แล้วเทกรอกด้วยปูนทรายที่มี bentonite ผสมเพื่อให้มีความสามารถในการเทได้

ขั้นที่ 3 ก่อสร้าง pile cap

ขั้นที่ 4 ถมและบดอัดทรายหนา 0.5 ม. โดยให้มีความลาดชัน 1:3

ขั้นที่ 5 ขุดคูและวางท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ตลอดความยาวทั้ง 2 ฝั่ง ฝั่งละ 2 ท่อ

ขั้นที่ 6 ถมทรายในส่วนพื้นที่ก่อสร้างอาคารเพื่อสมดุลน้ำหนัก ทำจนถึงระดับผิวล่างของแผ่นพื้น โดยความหนาชั้นทรายควรหนาประมาณ 0.25 ม.

ขั้นที่ 7 ถมทรายและบดอัดจนถึงระดับ +2.10 ม. แต่ละชั้นควรหนา 0.25 ม.

ขั้นที่ 8 ปรับระดับพื้นที่เพื่อเตรียมงานก่อสร้างเมื่อผ่านไป 180 วัน หรือการทรุดตัวน้อยกว่า ชม.

ในระยะเวลา 30 วันหลังจาก Full preloading

## 3.3.2. การทรุดตัวไม่ตรงตามคำนวณ

### 3.3.2.1. สาเหตุของปัญหา

สาเหตุของปัญหาที่สำคัญคือไม่สามารถระบายน้ำได้ตามที่ออกแบบเอาไว้ในตอนต้น

เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ท่อระบายน้ำตกร่องข้าง ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำได้
- ท่อระบายน้ำมีดิน ทราศกีดขวางอุดตันทำให้การระบายน้ำเป็นไปไม่สะดวก

เมื่อการระบายน้ำทำได้น้อยลง น้ำภายในดินจะถูกระบายออกไปได้ช้าและน้อยลงทำให้การทรุดตัวเกิดขึ้นน้อยกว่าที่คำนวณเอาไว้

ระยะเวลาในการทำ PVD ที่ออกแบบไว้คือ 180 วันหรือเมื่อการทรุดตัวเกิดขึ้นน้อยกว่า 3 เซนติเมตรภายในช่วงระยะเวลา 30 วันก็ให้หยุดทำได้ แต่หากการระบายน้ำและการทรุดตัวน้อยลงจนการทรุดตัวต่ำกว่าที่กำหนดไว้โดยมีสาเหตุมาจากปัญหาการระบายน้ำ การทรุดตัวจะยังไม่เสร็จสิ้นถึงความต้องการที่แท้จริงซึ่งจะเกิดผลเสียตามมาภายหลัง

### 3.3.2.2. ผลเสียจากการทรุดตัวไม่ตรงตามคำนวณ

หากหยุดทำ PVD ก่อนการทรุดตัวที่ควรจะเป็น หลังจากทำการปรับพื้นที่ ทำการก่อสร้างถนนและมีการใช้งานจริง จะมีน้ำหนักจากรยานพาหนะที่ใช้ถนนเป็นแรงกระทำอยู่ตลอดเวลา ซึ่งนั่นจะเป็นสาเหตุให้เกิดการทรุดตัวในเวลาต่อมา อันจะเป็นต้นเหตุให้เกิดความเสียหายแก่ถนนทำให้เป็นหลุมเป็นบ่อการใช้ประโยชน์ไม่คุ้มค่า ต้องเสียงบประมาณในการซ่อมแซมก่อนกำหนด

### 3.3.2.3. ข้อเสนอแนะแนวทางป้องกันและแก้ไข

ควรทำบ่อพักน้ำที่บริเวณกลางพื้นที่เพื่อรวมน้ำก่อนที่จะต่อท่อไประบายออกเพื่อลดความยาวของท่อ เนื่องจากในพื้นที่ใหญ่เมื่อใช้ท่อที่มีความยาวมากการทรุดตัวในแต่ละบริเวณจะอาจไม่เท่ากันทำให้เกิดการตกร่องข้างได้

### 3.3.3. ผลกระทบต่อโครงสร้างข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น

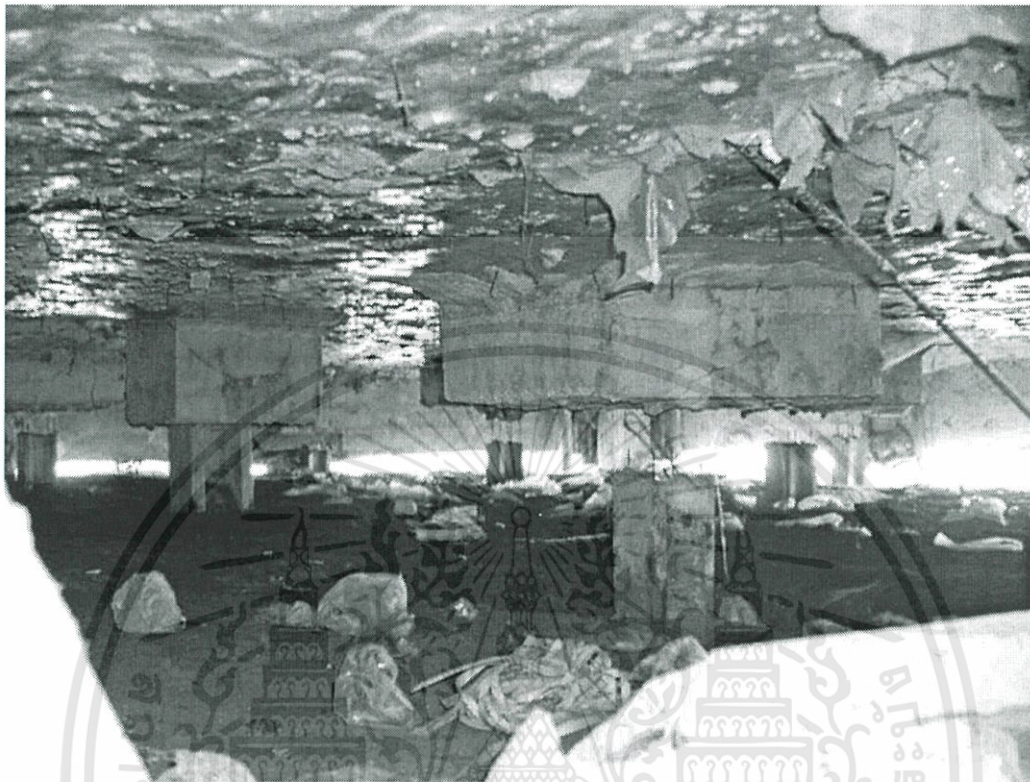
#### 3.3.3.1. Negative Skin Friction

- สาเหตุของปัญหา

เมื่อเกิดการทรุดตัวของชั้นดินอ่อนมากดินรอบเสาเข็มก็จะทำให้เกิดแรงดูดลงรอบเสาเข็ม การทรุดตัวของชั้นดินอ่อนอาจเกิดจาก น้ำหนักบรรทุกกดทับ น้ำในมวลดินถูกระบายออกไป หรือการกระทบกระเทือนจากการตอกเข็ม

- ผลเสียจากการทรุดตัวไม่ตรงตามคำนวณ

แรงมุดดังกล่าวอาจส่งผลแค่เพียงจะทำให้เสาเข็มต้องรับแรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ถึงทำให้เสาเข็มหลุดออกจากฐานรากได้



รูปที่ 3.11. แสดงถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจาก Negative Skin Friction

#### ข้อเสนอแนะแนวทางป้องกันและแก้ไข

การป้องกันอาจทำตาม 3.3.1.3.

ควรจะต้องคำนวณค่าแรงส่วนเหล่านี้เพื่อที่จะเพื่อเพิ่มเข้าไปในการออกแบบเสาเข็ม

#### 3.3.3.2. แรงจากการเคลื่อนตัวของดิน

- สาเหตุของปัญหา

วงการเคลื่อนตัวจะเกิดขึ้นเมื่อแรงต้านทานของดินมีค่าน้อยกว่าแรงกระทำอันเป็นผลมาจากการเสียดสีรภาพความลาดของดิน

- ผลเสียจากการทรุดตัวไม่ตรงตามคำนวณ

แรงที่กระทำอาจส่งผลให้เสาเข็มมีการเคลื่อนตัว ปริมาณการเคลื่อนตัวนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำต่อเสาเข็มคือแรงด้านข้างและ โมเมนต์

#### ข้อเสนอแนะแนวทางป้องกันและแก้ไข

การป้องกันอาจทำตาม 3.3.1.3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างคันดิน โดยคำนึงถึงความชันและสัดส่วนความปลอดภัย เพื่อให้เกิดเสถียรภาพ  
หากเกิดการเอียงศูนย์มากต้องทำการปรับปรุงฐานราก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 4.1. กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนที่จะใช้ในการดำเนินงานวิจัย รายละเอียดของข้อมูลที่ทำมา ทำการศึกษา กล่าวถึงแนวคิดของงานวิจัยนี้

#### 4.2. รวบรวมข้อมูล

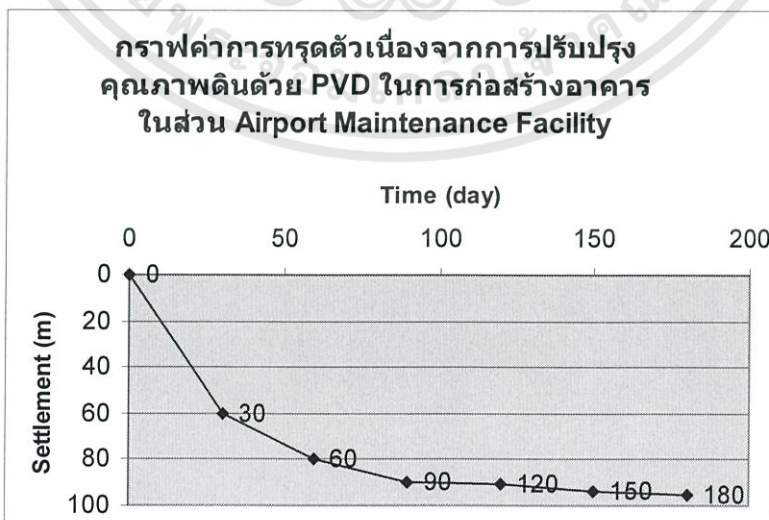
##### 4.2.1. รวบรวมข้อมูลของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย Prefabricated Vertical Drains (PVD) ในการก่อสร้างอาคารในส่วน Airport Maintenance Facility

การรวบรวมข้อมูลเป็นการนำข้อมูลจากการทำงานจริงมาทำการวิเคราะห์โดยข้อมูลที่นำมามีรายละเอียดดังนี้

##### 4.2.1.1. รายละเอียดของการออกแบบ PVD

การออกแบบ PVD ที่นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินในส่วนนี้มีค่าต่างๆ ดังนี้

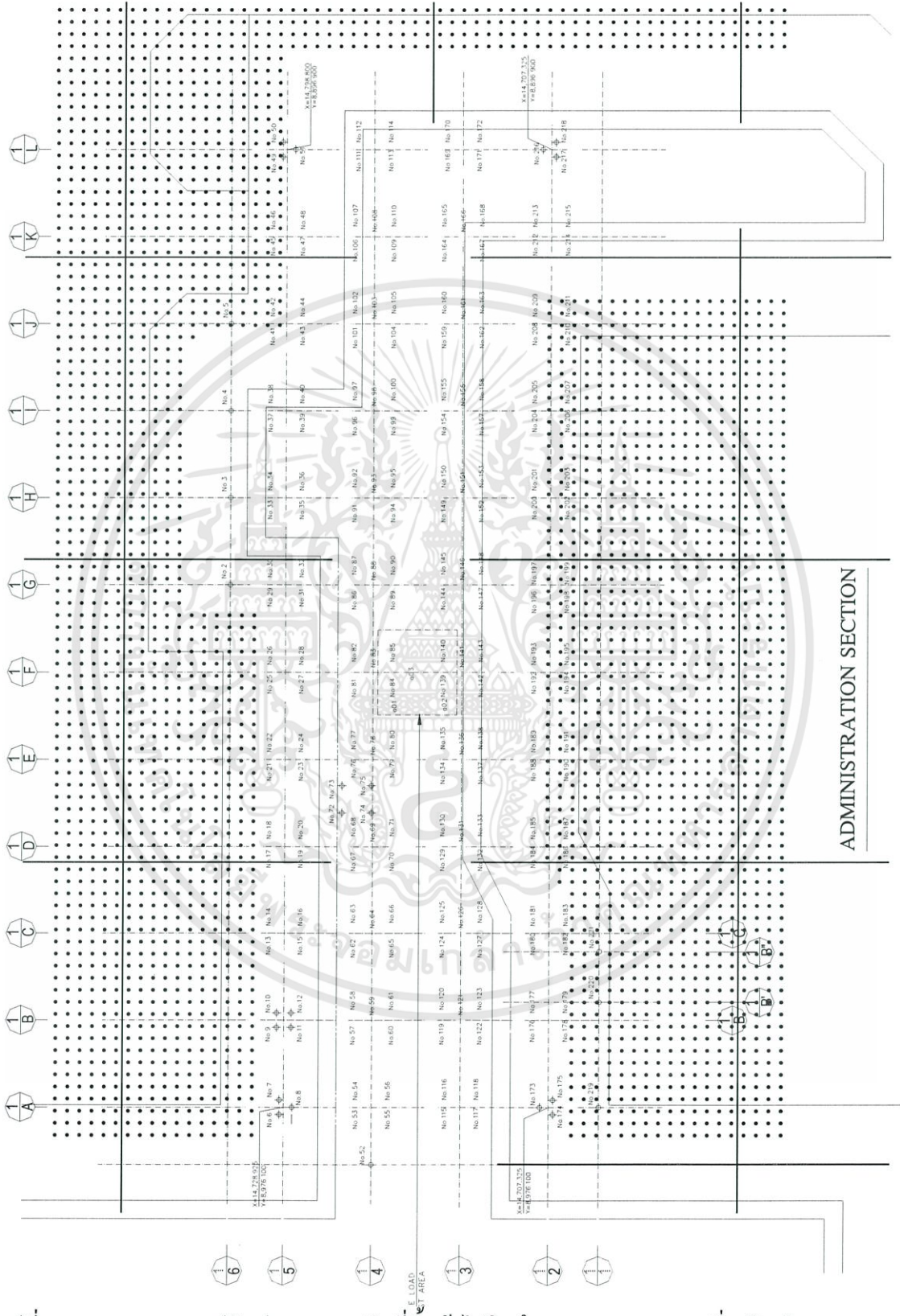
- แผ่น Prefabricated Vertical Drains กว้าง 10 ซม.หนา 5 มม.
- ความยาวของ PVD 10 ม. ระยะห่างระหว่าง PVD 1 ม.(ปักเป็นแนว สี่เหลี่ยมจตุรัส)
- Surcharge หนัก 75 KN/m<sup>2</sup>
- การทรุดตัวกับเวลาตามกราฟข้างล่าง



รูปที่ 4.1. กราฟค่าการทรุดตัวเนื่องจากการปรับปรุงดินด้วย PVD

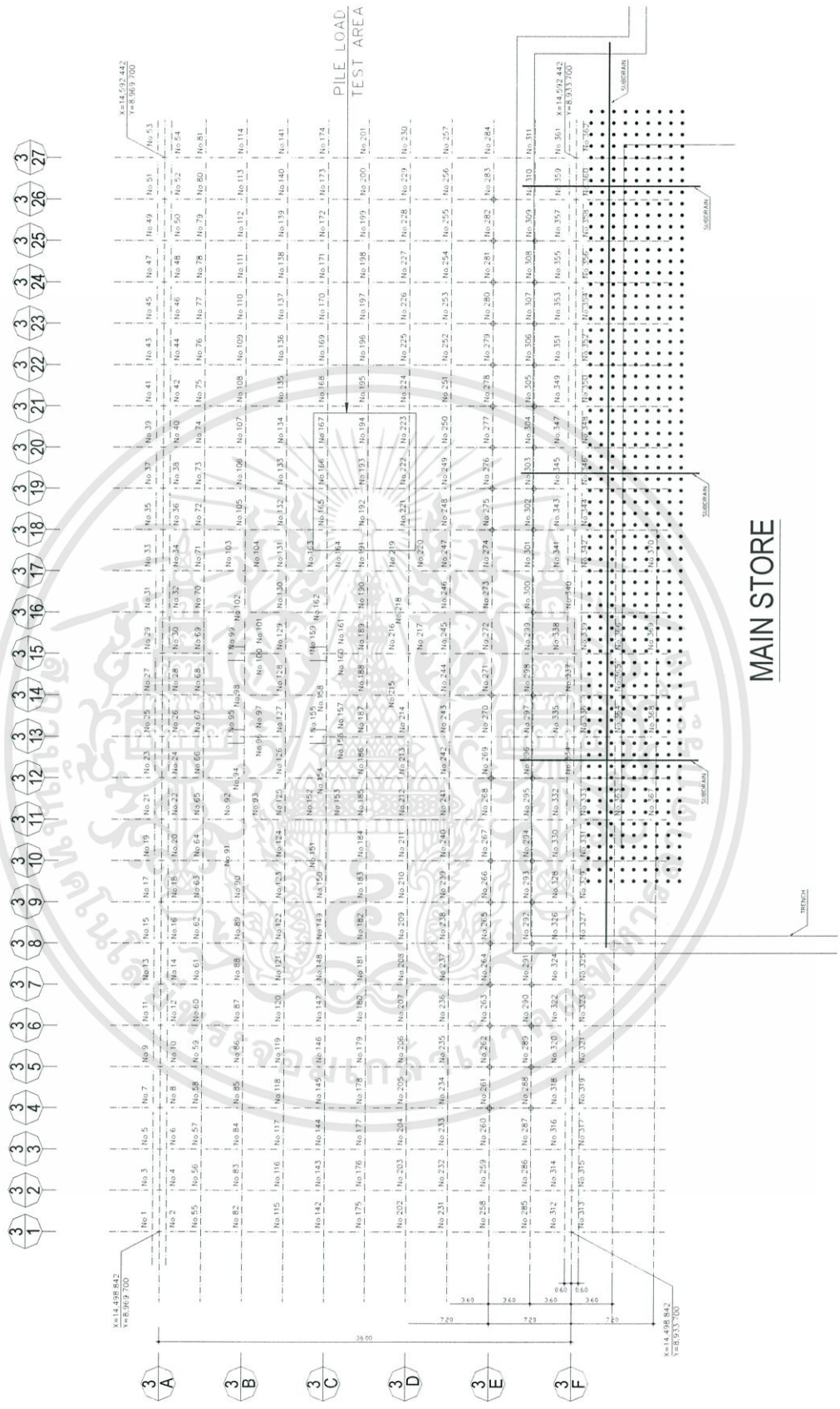
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แนวการทำ PVD ที่ลึกลงไปในอาคารส่วน Airport Maintenance Facility ดังรูป



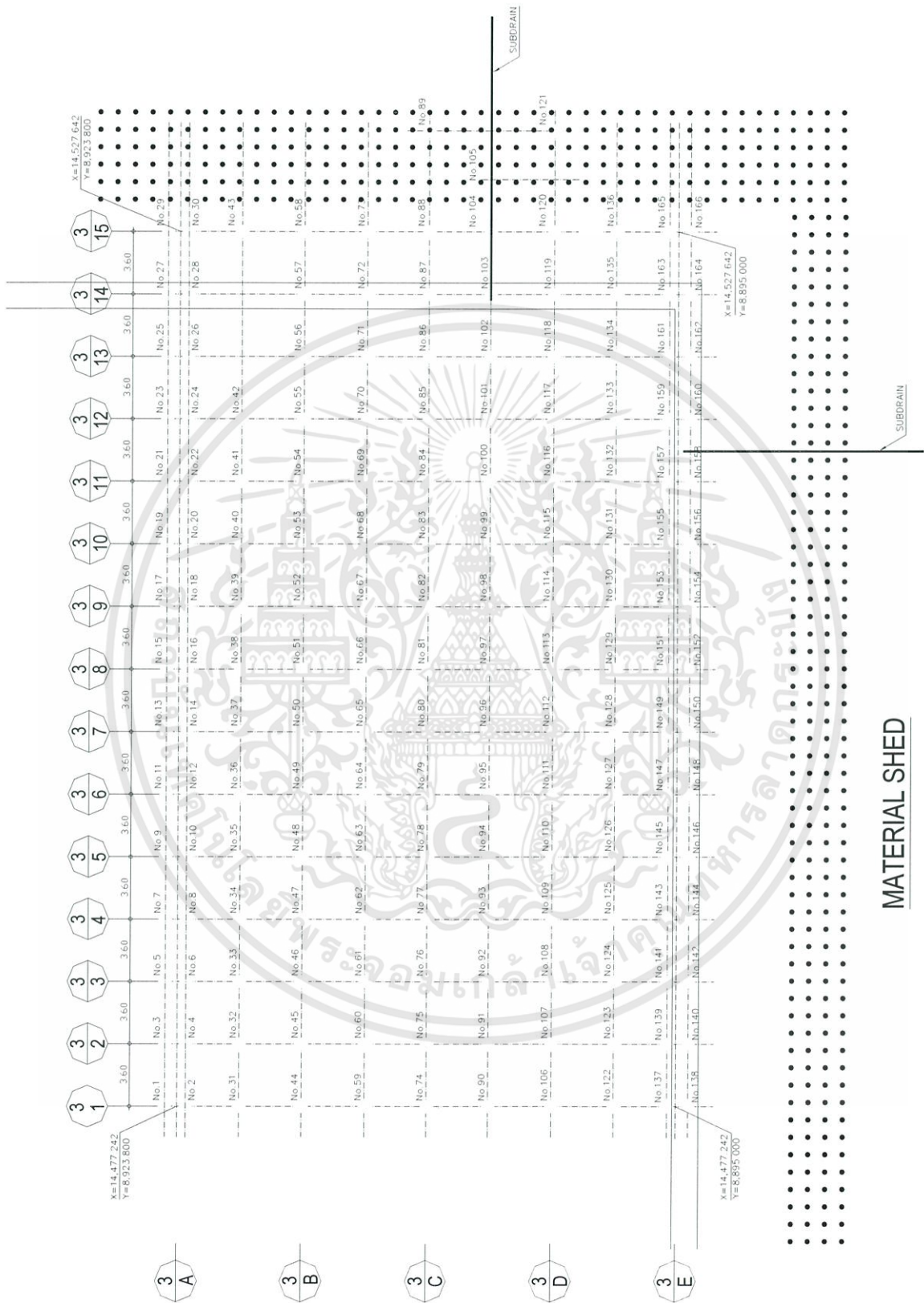
รูปที่ 4.2. แสดงแนวการปรับปรุงคุณภาพดินที่ลึกลงไปในตึก Administration ที่อยู่ในส่วนอาคาร Airport Maintenance Facility

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



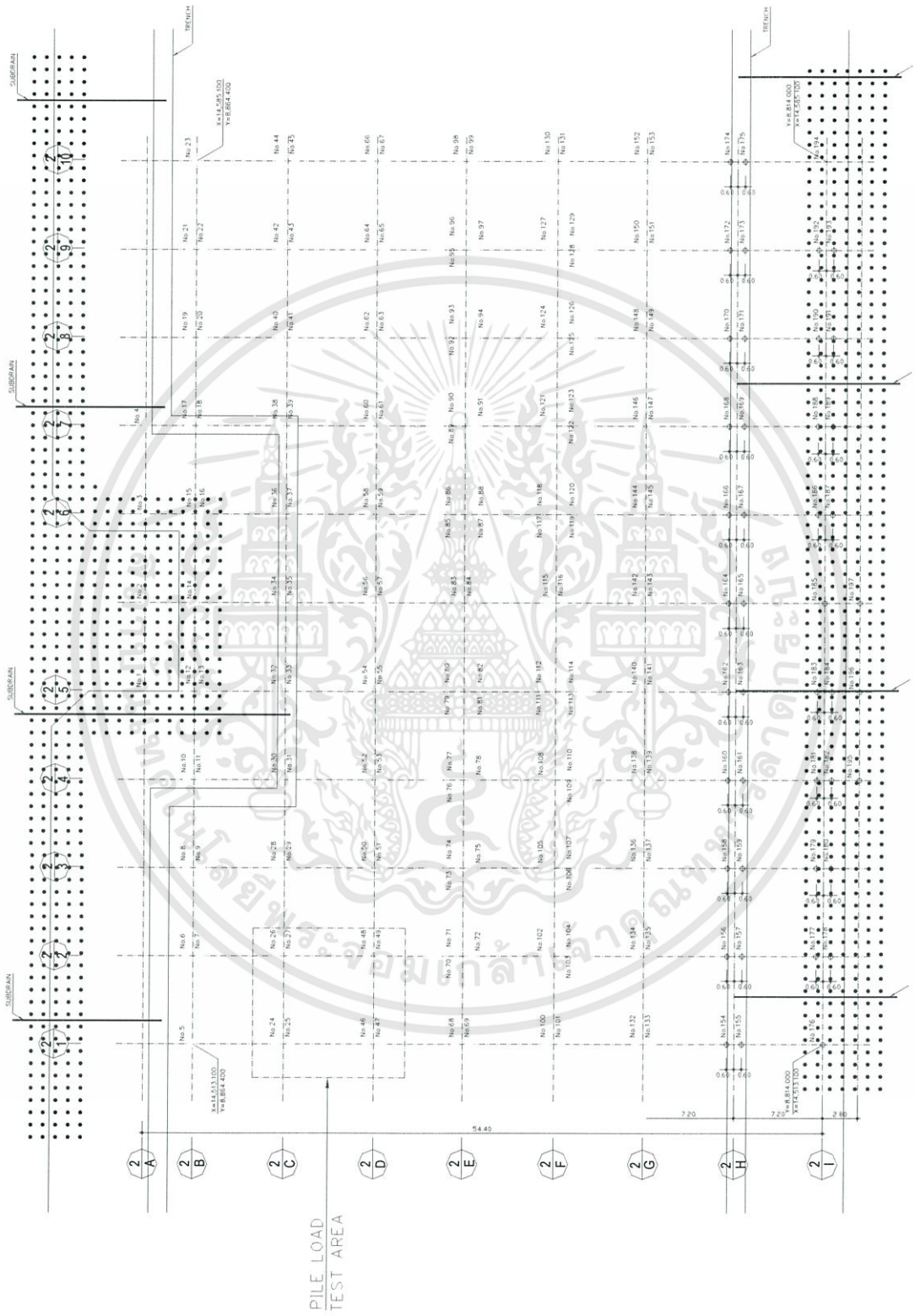
รูปที่ 4.3. แสดงแนวการปรับปรุงคุณภาพดินที่ลำเข้าไปในตึก Main Store ที่อยู่ในส่วนอาคาร Airport Maintenance Facility

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4. แสดงแนวการปรับปรุงคุณภาพดินที่ลำเข้าไปในตึก Material Shed ที่อยู่ในส่วนอาคาร Airport Maintenance Facility

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5. แสดงแนวการปรับปรุงคุณภาพดินที่ลำเข้าไปในตึก Work Shop ที่อยู่ในส่วนอาคาร Airport Maintenance Facility

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2.2. ข้อมูลดิน ( Boring Log)

ข้อมูลดินของอาคารต่างๆภายในส่วนอาคาร Airport Maintenance Facility จะแทนด้วย Boring Log จากการเจาะทำการสำรวจหลุมที่ 3 จาก 7 หลุม ที่เจาะสำรวจทั้งหมดภายในโครงการสนามบินสุวรรณภูมิ

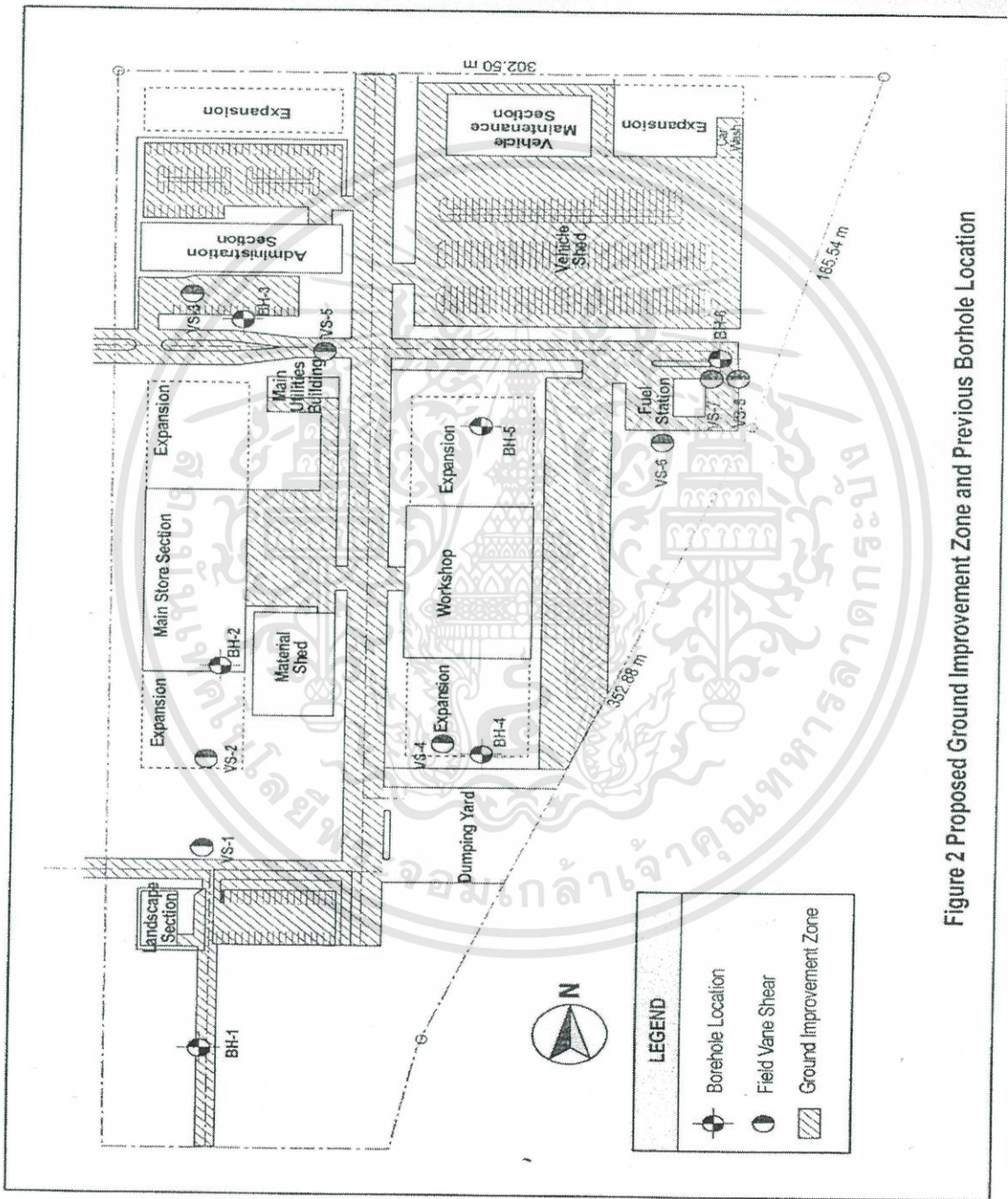
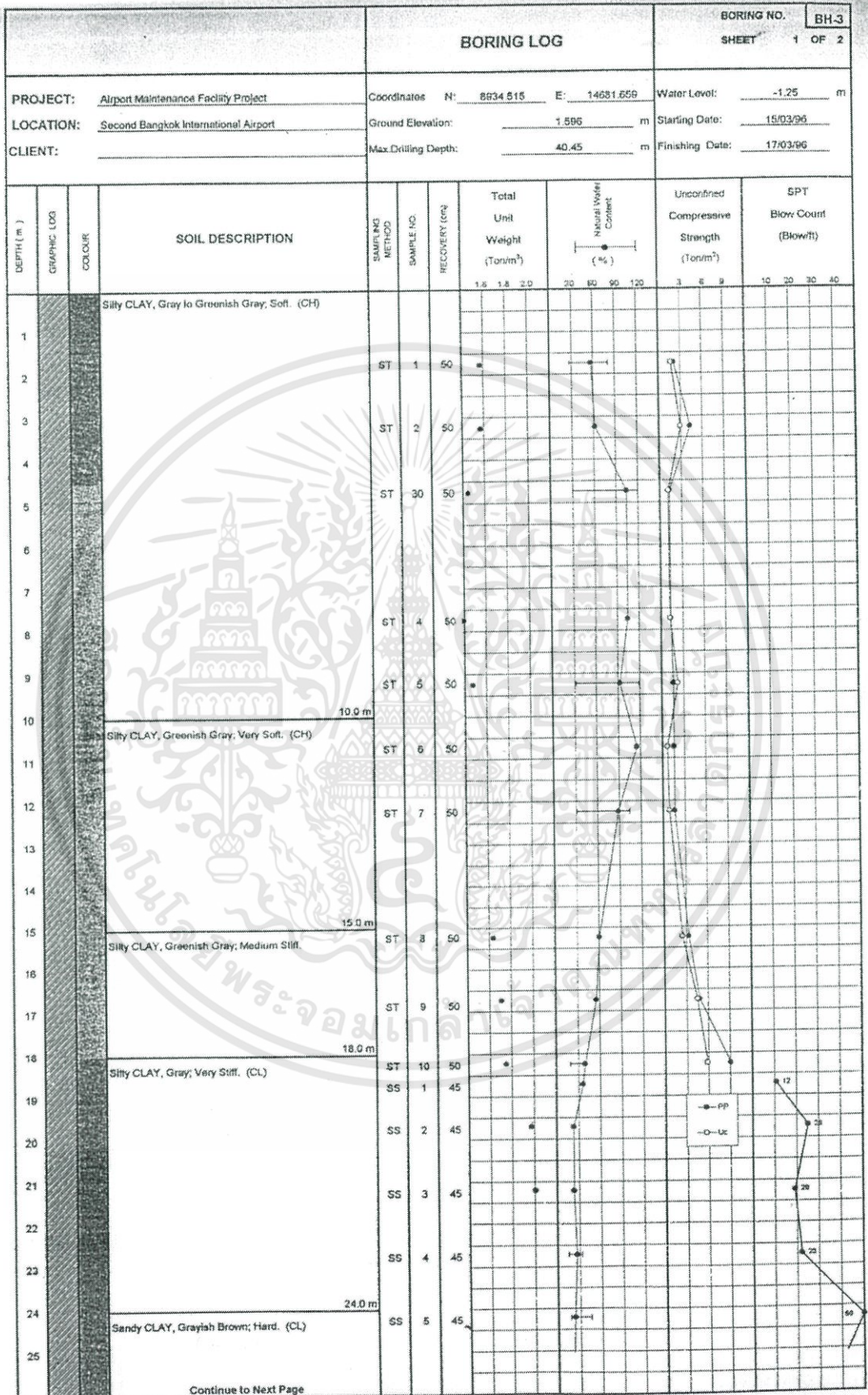


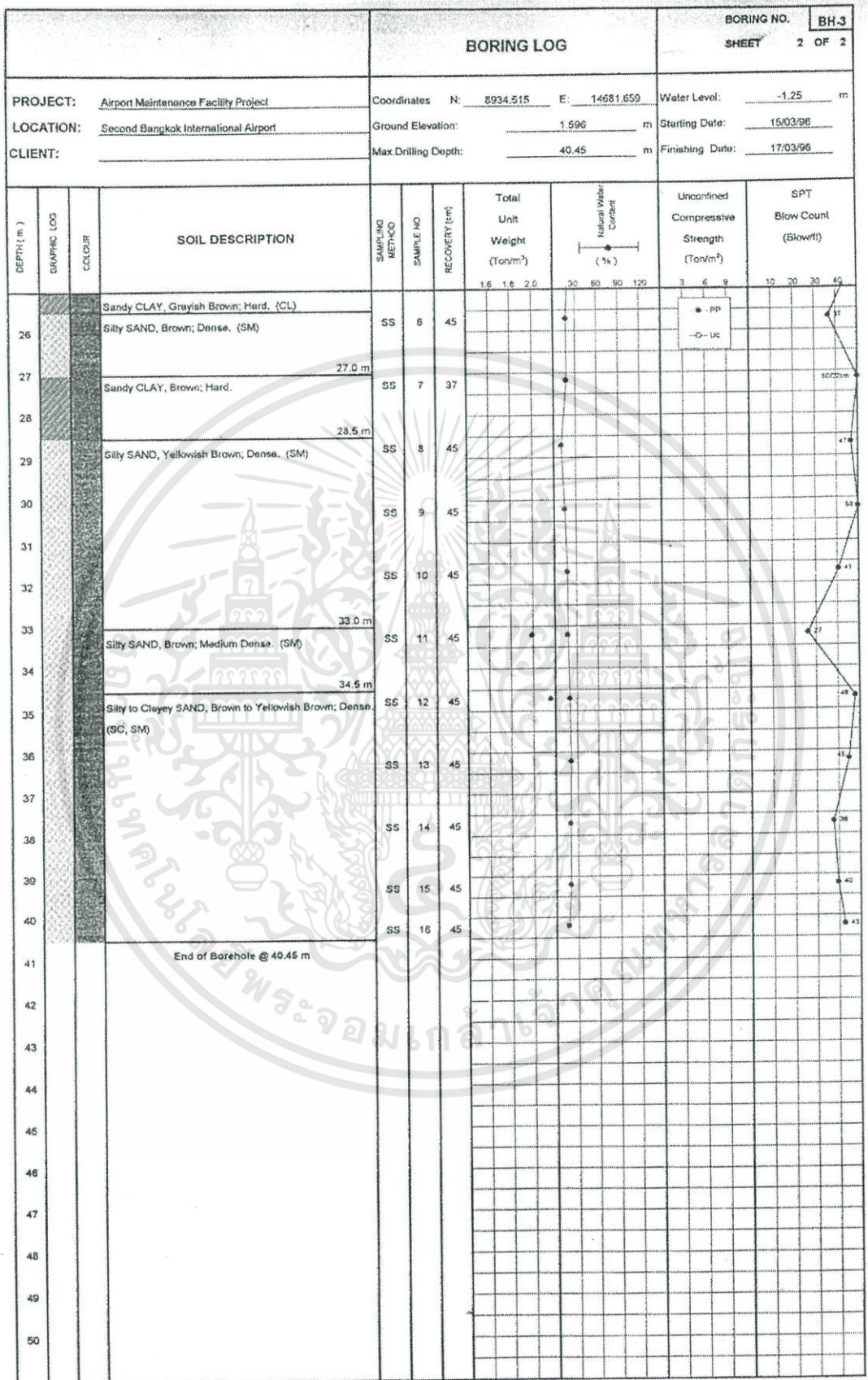
Figure 2 Proposed Ground Improvement Zone and Previous Borhole Location

รูปที่ 4.6. แสดงจุดที่ทำการเจาะสำรวจดินภายในสนามบินสุวรรณภูมิ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลหลุมเจาะที่ 3



รูปที่ 4.7.รายงานการเจาะสำรวจดิน (Boring Log) แผ่นที่ 1 ของหลุมเจาะที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8.รายงานการเจาะสำรวจดิน (Boring Log) แผ่นที่ 2 ของหลุมเจาะที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 48 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2. รวบรวมข้อมูลของเสาเข็มของอาคารที่มีแนว PVD ล้ำเข้าไป

อาคารที่มีแนว PVD ล้ำเข้าไปมีทั้งหมด 4 อาคาร ได้แก่ 1.อาคาร Ministration 2 .อาคาร Main Store 3.อาคาร Material Shed 4.อาคาร Work Shop

##### 4.2.2.1. อาคาร Ministration

แนวของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ตัดผ่านแนวเสาเข็มเดี่ยวจำนวน 4 ต้น และแนวเสาเข็มกลุ่ม 4 ต้น จำนวน 9 กลุ่ม และแนวเสาเข็มกลุ่ม 3 ต้น จำนวน 1 กลุ่ม ซึ่งที่อาคารนี้จะใช้เสาเข็ม Spun Pile ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มม.ระยะ Pile Tip - 23.5 ม. รับ Safe Load 45 ton ใช้เสาเข็มนี้ทั้งเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่ม

##### 4.2.2.1. อาคาร Main Store

แนวของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ตัดผ่านแนวเสาเข็มเดี่ยวจำนวน 11 ต้น และแนวเสาเข็มกลุ่ม 2 ต้น จำนวน 15 กลุ่ม ซึ่งที่อาคารนี้จะใช้เสาเข็ม Spun Pile ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มม.ระยะ Pile Tip - 25 ม. รับ Safe Load 45 ton ใช้เสาเข็มนี้ทั้งเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่ม

##### 4.2.2.1. อาคาร Material Shed

แนวของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ตัดผ่านแนวเสาเข็มเดี่ยวจำนวน 10 ต้น และแนวเสาเข็มกลุ่ม 2 ต้น จำนวน 2 กลุ่ม ซึ่งที่อาคารนี้จะใช้เสาเข็ม Spun Pile ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มม.ระยะ Pile Tip - 26 ม. รับ Safe Load 50 ton ใช้เสาเข็มนี้ทั้งเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่ม

##### 4.2.2.1. อาคาร Work Shop

แนวของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ตัดผ่านแนวเสาเข็มเดี่ยวจำนวน 10 ต้น และแนวเสาเข็มกลุ่ม 2 ต้น จำนวน 10 กลุ่ม ซึ่งที่อาคารนี้จะใช้เสาเข็ม Spun Pile ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มม.ระยะ Pile Tip - 26 ม. รับ Safe Load 50 ton ใช้เสาเข็มนี้ทั้งเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่ม

### 4.3. Slope stability

#### 4.3.1. แนวคิดการวิเคราะห์ข้อมูล

วงการเคลื่อนตัวและพังทลายของดินจะทำให้เกิดแรงและโมเมนต์ของแรงกระทำรอบจุดศูนย์กลางส่วนโค้ง เสาเข็มของอาคารที่อยู่ภายในวงของการเคลื่อนตัวและผิวดินใต้วงของการเคลื่อนตัวต้องรับแรงกระทำที่เกิดจากการเคลื่อนตัวนั้น ในการพิจารณาถึงพฤติกรรมการรับแรงกระทำจากการเคลื่อนตัวเป็นไปได้อย่างไรที่จะพิจารณาว่าเสาเข็ม และดินจะมีส่วนแบ่งในการทำหน้าที่รับแรงอย่างไร

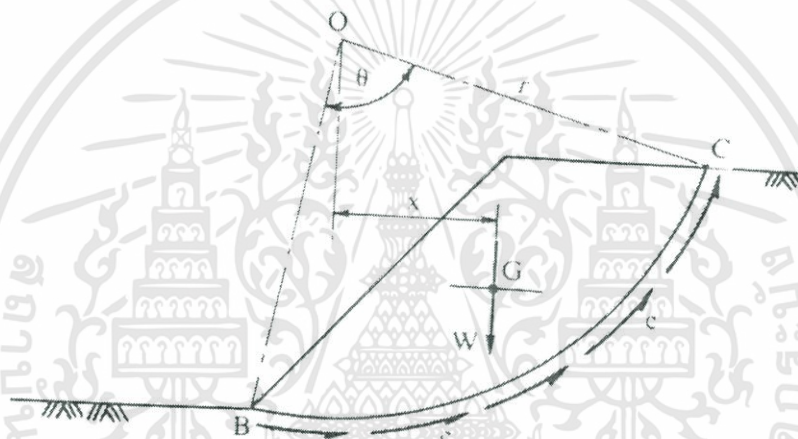
อะไรรับก่อน-หลัง และมีค่าเป็นเท่าไร ซึ่งสมการในการคำนวณดังกล่าวอาจหาได้จากการสร้างแบบ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำลองและทดลองต่อไป การคำนวณในงานวิจัยเล่มนี้จะคำนวณหาแรงกระทำเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินและจัดทำกราฟความสัมพันธ์ของแรงกระทำเนื่องจากการเคลื่อนตัวในกรณีต่างๆกันที่ความชันของคันดินเท่ากับ 1 ต่อ 3 ซึ่งเป็นค่าความชันที่ใช้ภายในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิและนิยมใช้มาก เพื่อประโยชน์ในการนำไปหาค่าความปลอดภัยต่อการเคลื่อนตัวของดินต่อไป

### 4.3.2. การคำนวณและสร้างกราฟ

#### 4.3.2.1. กรณีทั่วไป พิจารณาด้วย Slice Method (อย่างง่าย)

สมมติผิวของการเคลื่อนตัวเป็นส่วนโค้งของวงกลม แบ่งส่วนที่อยู่เหนือผิวของการเคลื่อนตัวนี้เป็นส่วนๆ ในแนวตั้งจำนวนหนึ่งให้มีความกว้างเท่ากันดังรูป 4.6



รูปที่ 4.9. รูปตัดผิวการเคลื่อนตัวของดิน

พิจารณาสliceหนึ่งดังรูป 4.6 คิดความหนา 1 หน่วย

น้ำหนักในแนวตั้ง  $W$  แยกแรงได้เป็นสองแรงดังนี้

- $N = W \cos \alpha$  ตั้งฉากกับส่วนโค้งของการเคลื่อนตัว
- $T = W \sin \alpha$  สัมผัสกับส่วนโค้งของการเคลื่อนตัว

$$\text{สำหรับ 1 ส่วน โมเมนต์ของแรงกระทำรอบจุด O} = T \times r \quad (4.1.)$$

$$\text{สำหรับพื้นที่ทั้งหมด โมเมนต์ของแรงกระทำ} = r \Sigma(T) \quad (4.2.)$$

แรงต้านทานบนพื้นที่ 1 ส่วนประกอบด้วย แรงเชื่อมแน่น  $C$  คูณด้วยความยาวของส่วนโค้งของการเคลื่อนตัว  $s$  และแรงเสียดทาน  $N \tan \phi$

$$\text{สำหรับ 1 ส่วน โมเมนต์ของแรงต้านทานรอบจุด O} = (cs + N \tan \phi)r \quad (4.3.)$$

$$\text{สำหรับพื้นที่ทั้งหมด โมเมนต์ของแรงต้านทาน} = r(cr\theta + \Sigma N \tan \phi) \quad (4.4.)$$

ใช้สูตรคำนวณปริมาณและสร้างกราฟแรงกระทำและแรงต้านทานเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินในกรณีต่างๆกัน โดยจะพิจารณาค่า  $\gamma$  เป็นค่าเฉลี่ย

#### 4.3.2.2. กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ พิจารณาด้วย Slice Method เช่นกัน

เนื่องจากคุณสมบัติของดินภายในโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิชั้นบนเป็นดินเหนียว ดังนั้นค่า  $\phi = 0^\circ$  คำนวณและสร้างกราฟแรงกระทำและแรงต้านทานเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินในกรณีต่างๆ

$$\therefore \text{ส่วนปลอดภัย F.S.} = \frac{cr\theta}{\Sigma T} \quad (4.5.)$$

โดยจะพิจารณาค่า  $\gamma$  เป็นค่าจริงจากสนาม

คำนวณค่าการเคลื่อนตัวของเสาเข็มเนื่องมาจากแรงที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดิน พิจารณาในเวลาก่อนที่จะมีการก่อสร้างโครงสร้างโดยวิธีคานบนฐานรากยึดหยุ่น

### 4.4. Negative Skin Friction

#### 4.4.1. แนวคิดการวิเคราะห์ข้อมูล

การปรับปรุงคุณภาพดินด้วย Prefabricated Vertical Drains (PVD) จะทำให้เกิดการทรุดตัวของดินเป็นไปในอัตราทรุดตัวที่สูง การทรุดตัวของดินจะเกิดในชั้นดินอ่อนถึงอ่อนมาก ในงานวิจัยนี้ได้มีการตอกเสาเข็มลงไปก่อนแล้วจึงมีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ดังนั้นเมื่อดินเกิดการทรุดตัวจึงเกิด Negative Skin Friction ขึ้นกับเสาเข็ม และทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำกราฟที่จะประมาณค่าของ Negative Skin Friction จากค่าการทรุดตัวเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD จากข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD และจากเสาเข็มที่เกิด Negative Skin Friction มีทั้งเสาเข็มเดี่ยวและกลุ่มแต่ในการคิดค่า Negative Skin Friction และสร้างกราฟทางคณะผู้วิจัยจะใช้เสาเข็มเดี่ยวเท่านั้นเป็นตัวที่จะนำมาคำนวณและสร้างกราฟเนื่องจากเสาเข็มเดี่ยวมีความปลอดภัยมากกว่าเสาเข็มกลุ่ม

#### 4.2.2. การคำนวณและสร้างกราฟ

ค่า Negative Skin Friction ที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD จะเป็นการทรุดตัวของดินอ่อนเนื่องจากดินถมจากการปรับปรุงคุณภาพดิน จะสามารถคำนวณได้จากสูตร

- พิจารณาแบบ Undrained Condition ( $\phi = 0$ ), ค่ามากที่สุดของ  $P_{nf}$

$$P_{nf} = pL_1(\alpha C_u) \quad (4.6.)$$

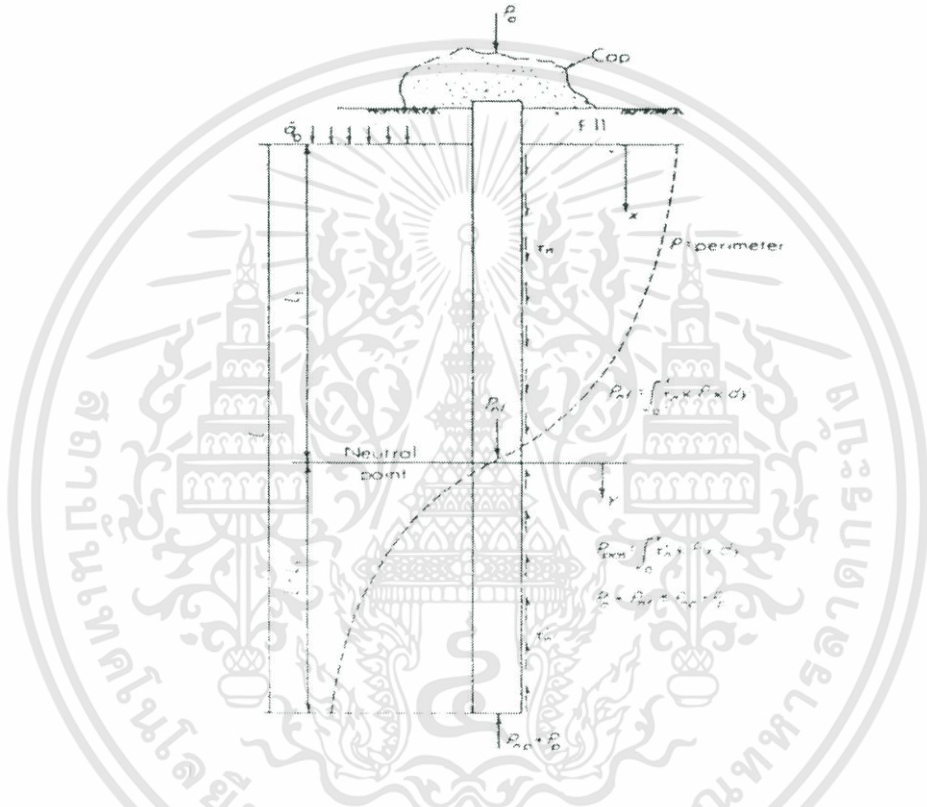
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\alpha$  = Empirical Adhesion Factor

$C_u$  = Undrained Cohesion ของ Soft Clay (ton/m<sup>2</sup>)

$$L_1 = \left( \frac{L}{L_1} \right) \left( \frac{L}{2} + \frac{\bar{q}_0}{\gamma'} \right) - \left( \frac{2\bar{q}}{\gamma'} \right) \quad (\text{m})$$

P = Perimeter ของเสาเข็ม (m)



รูปที่ 4.10. Negative และ Positive skin friction ได้ดินถม

โดยค่าตัวแปรต่างๆให้ใช้ดังนี้ จากข้อมูลดิน (Boring Log) จะคิดที่ชั้นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมาก มีระยะ 0 - 15 ม. ค่า  $\phi = 0^\circ$  (เนื่องจากเป็นดินเหนียว) ค่า  $C_u$  ใช้ตามข้อมูลดิน

ในการสร้างกราฟประมาณค่า Negative Skin Friction ทางคณะผู้วิจัยได้เปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อให้สามารถประมาณค่าได้ในสภาพดินที่ต่างกกัน

#### 4.5. การหาการเคลื่อนตัวด้านข้างของเสาเข็มที่เกิดจากแรงดันด้านข้าง

ในการหาค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของเสาเข็มเราจะใช้ทฤษฎีวิธีคานบนฐานรากยึดหยุ่นมาใช้ในการคำนวณโดยมีใจความดังนี้ ในกรณีที่แรงกระทำอยู่ในช่วงยึดหยุ่นของดินหรือแรงที่กระทำยังอยู่ในช่วงหน่วยแรงใช้งาน ค่าการโก่งของเสาเข็มจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับขนาดเข็ม ดังนั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมของเข็มต้องอยู่ในช่วงยืดหยุ่นด้วย จึงสามารถใช้ทฤษฎี super position ได้ ซึ่งก็จะสามารถแยกคิดผลจากแรงและ โมเมนต์ที่กระทำต่อเสาเข็มได้คือ

$$y = y_A + y_B$$

โดย  $y_A, y_B$  เป็นระยะโก่งตัวของเสาเข็มเนื่องจากแรงและ โมเมนต์ที่กระทำต่อเสาเข็มตามลำดับ และจาก Non-dimension analysis จะได้

$$\text{Deflection } y = y_A + y_B = \left[ \frac{P_l T^3}{E_p I_p} \right] A_y + \left[ \frac{M_l T^2}{E_p I_p} \right] B_y \quad (4.7.)$$

(รายละเอียดดูในบทที่ 2)



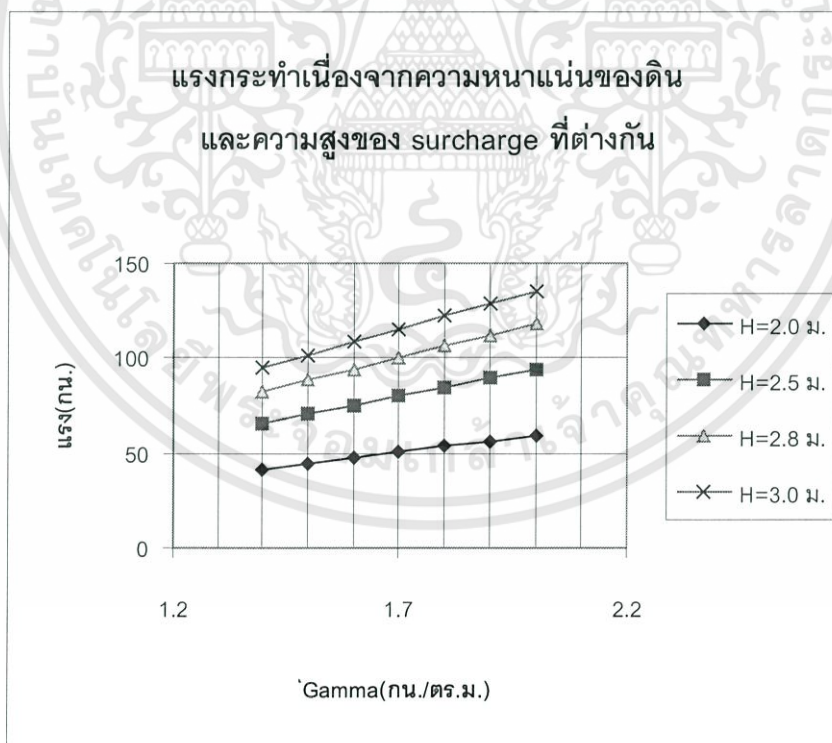
## บทที่ 5

### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

#### 5.1. กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นผลการวิจัยจากผลกระทบต่อเสาเข็มข้างเคียงที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ผลกระทบต่อเสาเข็มทั้งสองคือ 1.ผลกระทบเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินทำให้เกิดแรงดันเสาเข็มด้านข้างจะนำผลกระทบที่เกิดขึ้นไปทำการคำนวณหาค่าการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม และ 2.ผลกระทบเนื่องจากการทรุดตัวของดินจะเป็นผลทำให้เกิดค่า Negative skin Friction ต่อเสาเข็ม และจะนำค่า Negative Skin Friction ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่า Safe working load ของเสาเข็มเพื่อที่จะได้ทราบถึงความสำคัญของ Negative Skin Friction ที่มีต่อเสาเข็ม

#### 5.2. ผลเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดิน



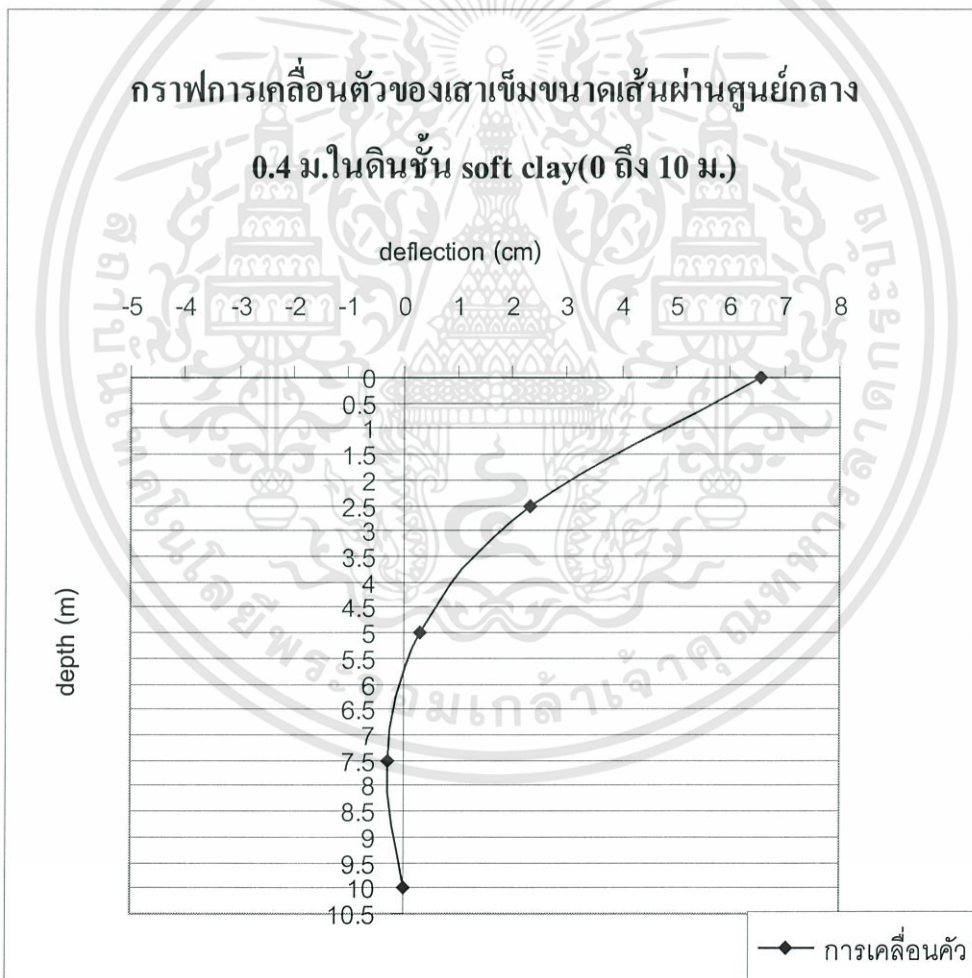
รูปที่ 5.1.แรงกระทำเนื่องจากความหนาแน่นของดินและความสูงของคันดินที่ต่างกัน

จากกราฟที่สร้างขึ้นทำให้เห็นความสัมพันธ์ของแรงกระทำเนื่องจากค่าต่างๆที่เปลี่ยนไปดังนี้

ที่ความสูงเดียวกันค่าแรงที่กระทำจะมากขึ้นเป็นแบบเส้นตรงเมื่อค่าหน่วยน้ำหนักเฉลี่ยมากขึ้นและที่ค่าหน่วยน้ำหนักเฉลี่ยเดียวกันค่าแรงที่กระทำจะมากขึ้นเป็นแบบเส้นตรงเมื่อความสูงของดินคันทางมากขึ้น นั่นก็หมายความว่าแรงที่กระทำจะมากขึ้นตามน้ำหนักที่กดทับอยู่นั่นเอง

กรณีหนองงูเห่า ดูกราฟเส้นที่ความสูง 2.8 เมตร(ความสูงของคันดินจริง) ค่า  $\gamma_{เฉลี่ย} = 1.5$  กน./ตร.ม. จะได้ค่าแรงประมาณ 90 กน.

นำค่าแรงที่อ่านได้จากกราฟไปคำนวณการเคลื่อนที่ของเสาเข็มโดยวิธีวิเคราะห์บนคานฐานรากยืดหยุ่น (Beam on elastic foundation, BEF) ยืดหยุ่น จะได้ค่าการเคลื่อนที่ตัวที่ตำแหน่งต่างๆในชั้นดินดังรูปที่ 5.2.



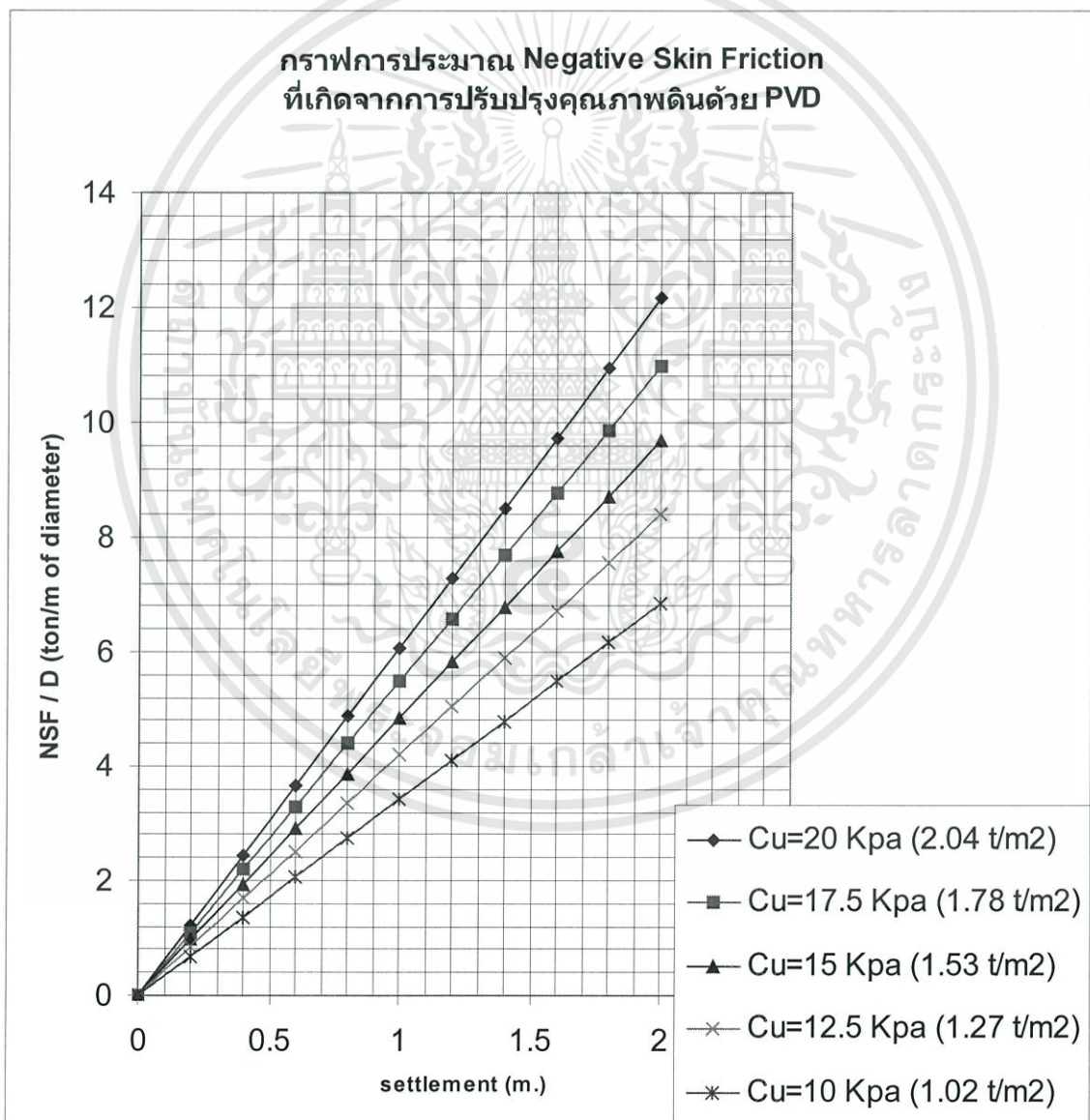
รูปที่ 5.2. การเคลื่อนที่ตัวด้านข้างของเสาเข็ม spun ขนาด 0.4 ม. ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้จริงในโครงการ ที่ความลึกระดับต่างๆในชั้นดิน

$$\text{จากรูปและสูตรการคำนวณ Deflection } y = y_A + y_B = \left[ \frac{P_l T^3}{E_p I_p} \right] A_y + \left[ \frac{M_l T^2}{E_p I_p} \right] B_y$$

เราทราบได้ว่าค่าการเคลื่อนตัวขึ้นอยู่กับแรงดัดข้างและโมเมนต์ที่กระทำ ค่าEIของเสาเข็มและเหล็ก และค่า Modulus ของดิน

จากรูปเราจะได้ค่าการเคลื่อนตัวของดินที่หัวเสาเข็มก่อนทำโครงสร้างฐานรากและอื่นๆ ประมาณ 6.6 ซม. ซึ่งค่าในสนามจริงมีค่าการเคลื่อนตัวมากที่สุดไม่เกิน 10 ซม.

### 5.3. การเกิด Negative Skin Friction เนื่องจากการทรุดตัว



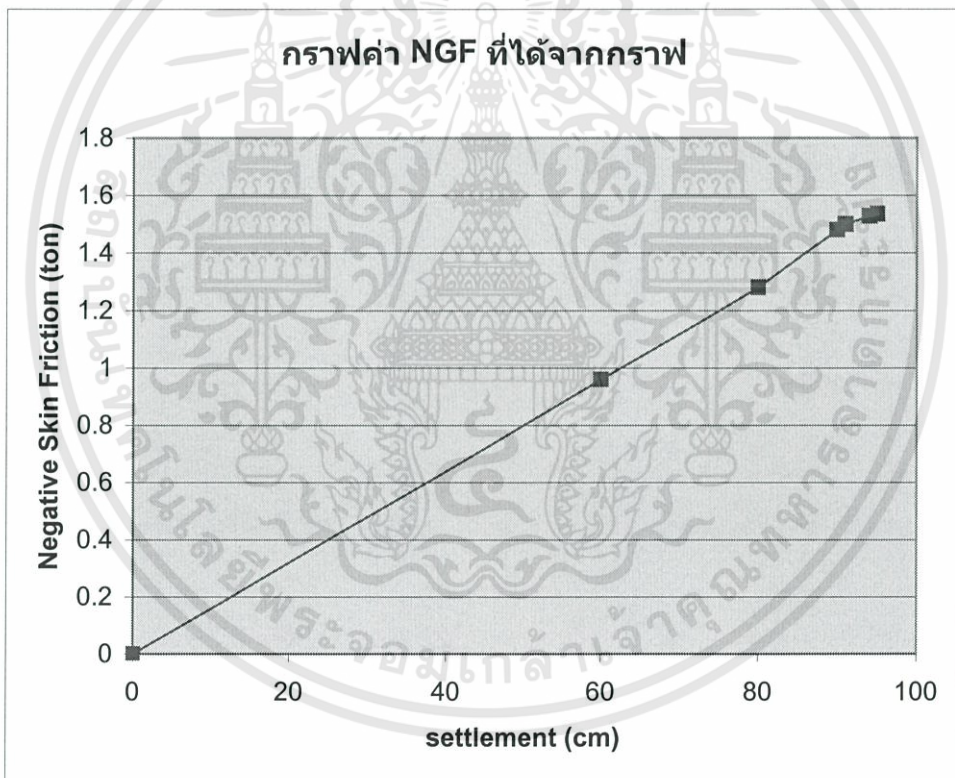
รูปที่ 5.3. กราฟการประมาณค่า Negative Skin Friction จากค่าการทรุดตัวของดินที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่สร้างขึ้นทำให้เห็นความสัมพันธ์ค่า Negative Skin Friction กับค่าการทรุดตัวที่เปลี่ยนไป ดังนี้

ค่า Negative Skin Friction จะมีค่ามากขึ้นตามค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม และค่าการทรุดตัว และขึ้นอยู่กับสภาพดินที่เกิดการทรุดตัว

กรณีเสาเข็มที่คาดว่าจะเกิด Negative Skin Friction ในอาคารส่วน Airport Maintenance Facility ในสนามบินสุวรรณภูมิ เราจะประมาณค่า Negative Skin Friction จากกราฟ โดยใช้ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นภายในอาคารส่วน Airport Maintenance Facility (ข้อมูลในบทที่ 4) และใช้ค่า  $C_u$  จากรายงานข้อมูลดิน (ข้อมูลในบทที่ 4) ได้ค่าการทรุดตัวเท่ากับ 95 ซม. ค่า  $C_u=1.25$  t/m<sup>2</sup> และอาคารต่างๆที่เกิดผลกระทบใช้เสาเข็มเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.4 ม. จากกราฟได้ Negative Skin Friction ดังรูป



รูปที่ 5.4.ค่า Negative Skin Friction ที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มเดี่ยวในอาคารส่วน Airport Maintenance Facility ในสนามบินสุวรรณภูมิ

เราได้ค่า Negative Skin Friction = 1.54 ton ที่การทรุดตัว 95 ซม. นำค่า Negative Skin Friction ไปเปรียบเทียบกับค่า Safe working load เป็นดังตาราง

| อาคาร         | Safe working load (ton) | ผลจาก Negative Skin Friction (คิดเป็น % ของ Safe load) |
|---------------|-------------------------|--|
| Ministration  | 45                      | 3.57%  |
| Main Store    | 45                      | 3.57%  |
| Material Shed | 50                      | 3.22%  |
| Work Shop     | 50                      | 3.22%  |

ตารางที่ 5.1. ตารางเปรียบเทียบค่า Negative Skin Friction กับ Safe working load

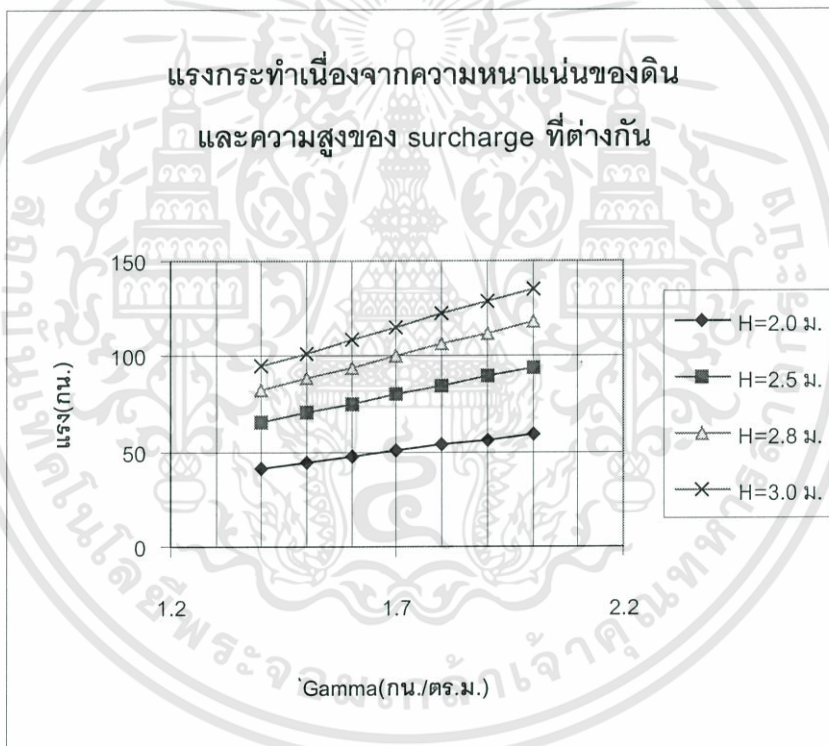


# บทที่ 6

## สรุป

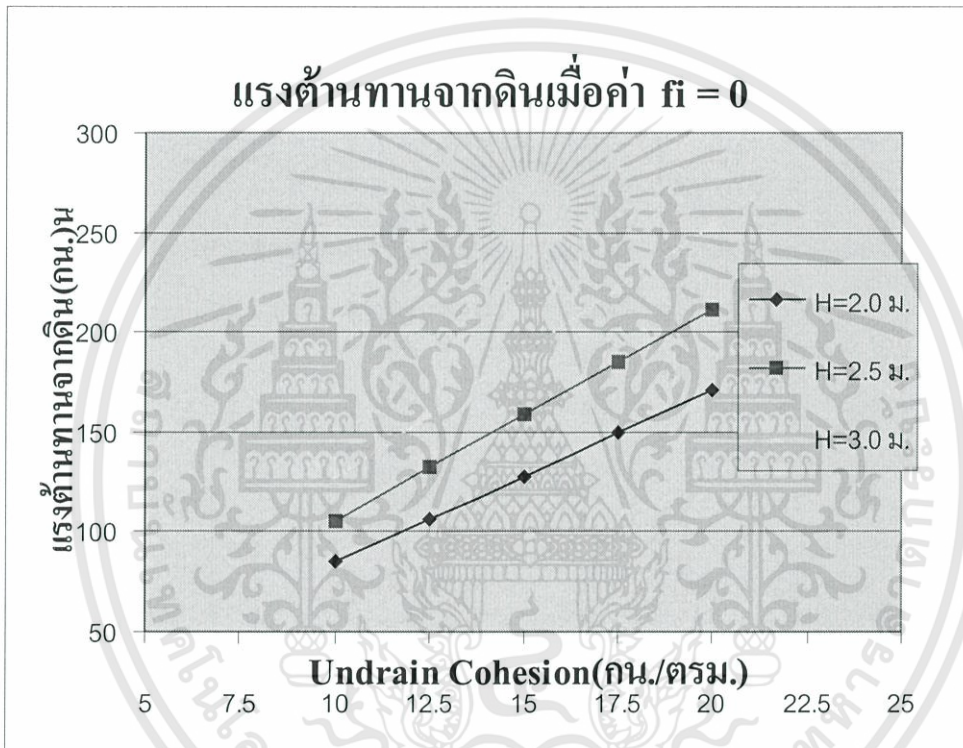
จากกราฟ ต่างๆที่สร้างขึ้นจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์หาค่าแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ซึ่งมีค่า  $\phi = 0$  กราฟที่ได้คือ

- 6.1.กราฟคำนวณหาแรงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินที่มีความชัน 1:3 ที่มีความสูงและคุณสมบัติต่างๆ
- 6.1.1.กราฟแรงกระทำเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดิน เพื่อนำไปใช้หาค่าการเคลื่อนตัวของเสาเข็มได้



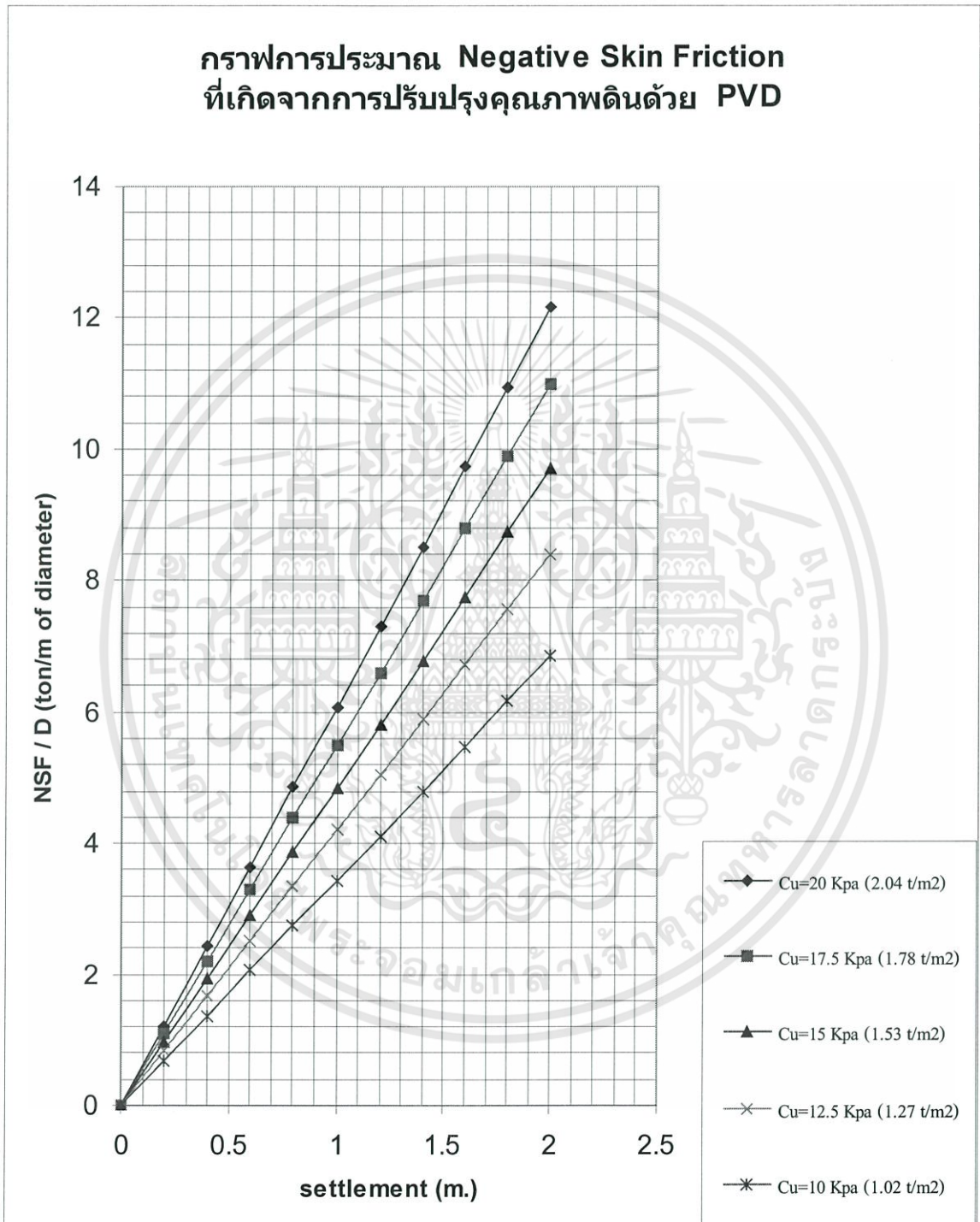
รูปที่ 6.1.แรงกระทำเนื่องจากความหนาแน่นของดินและความสูงของคันดินที่ต่างกัน

6.1.2.กราฟแรงต้านการเคลื่อนตัวของดินเพื่อไปหาค่าความปลอดภัยของการเคลื่อนตัวของดินที่ค่าความสูงและคุณสมบัติดินต่างๆ



รูปที่ 6.2. กราฟแรงต้านการเคลื่อนตัวของดิน

6.2.กราฟประมาณค่า Negative Skin Friction เนื่องจากการทรุดตัวของดิน จากคุณสมบัติดินต่างๆ



รูปที่ 6.3.กราฟประมาณค่า Negative Skin Friction

จากการที่ได้ใช้กราฟที่สร้างขึ้นทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่างๆที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD ค่าที่ได้จากกราฟอาจจะยังมีความแม่นยำไม่มากเนื่องจากโครงการใช้ที่การศึกษาของงานวิจัยนี้มีเพียง 1 โครงการและยังไม่มีกรณีติดตั้งเครื่องมือวัดค่าที่เกิดขึ้นจริงในสนาม เลยไม่สามารถทำการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความแม่นยำของกราฟที่สร้างได้ แต่กราฟที่ได้นี้น่าจะเป็นตัวบอกแนวโน้มหรือค่าของผลกระทบต่างๆแบบประมาณได้ เพื่อเป็นข้อมูลหนึ่งที่จะใช้ประกอบในการพิจารณาถึงผลกระทบของเสาเข็มที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD

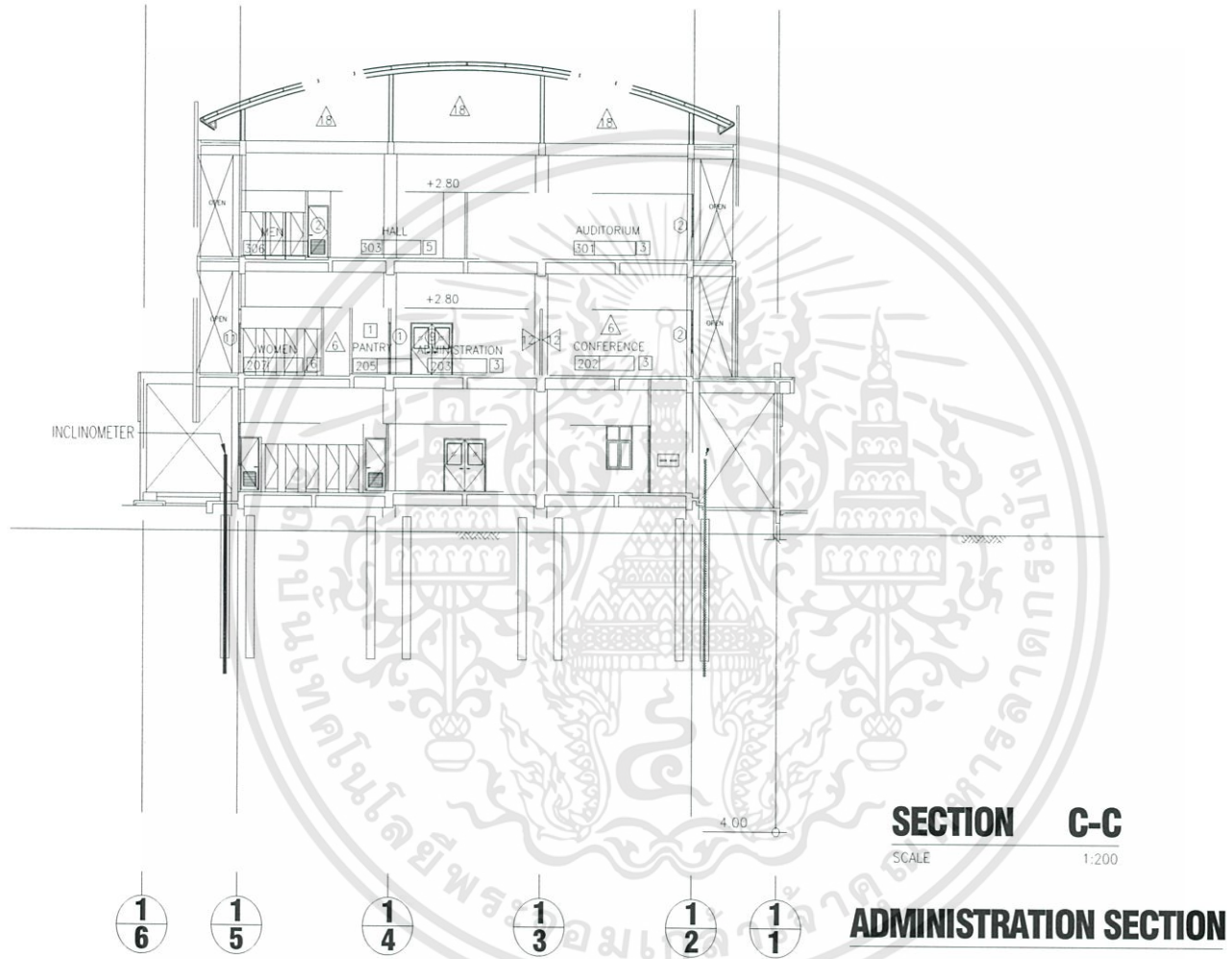


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

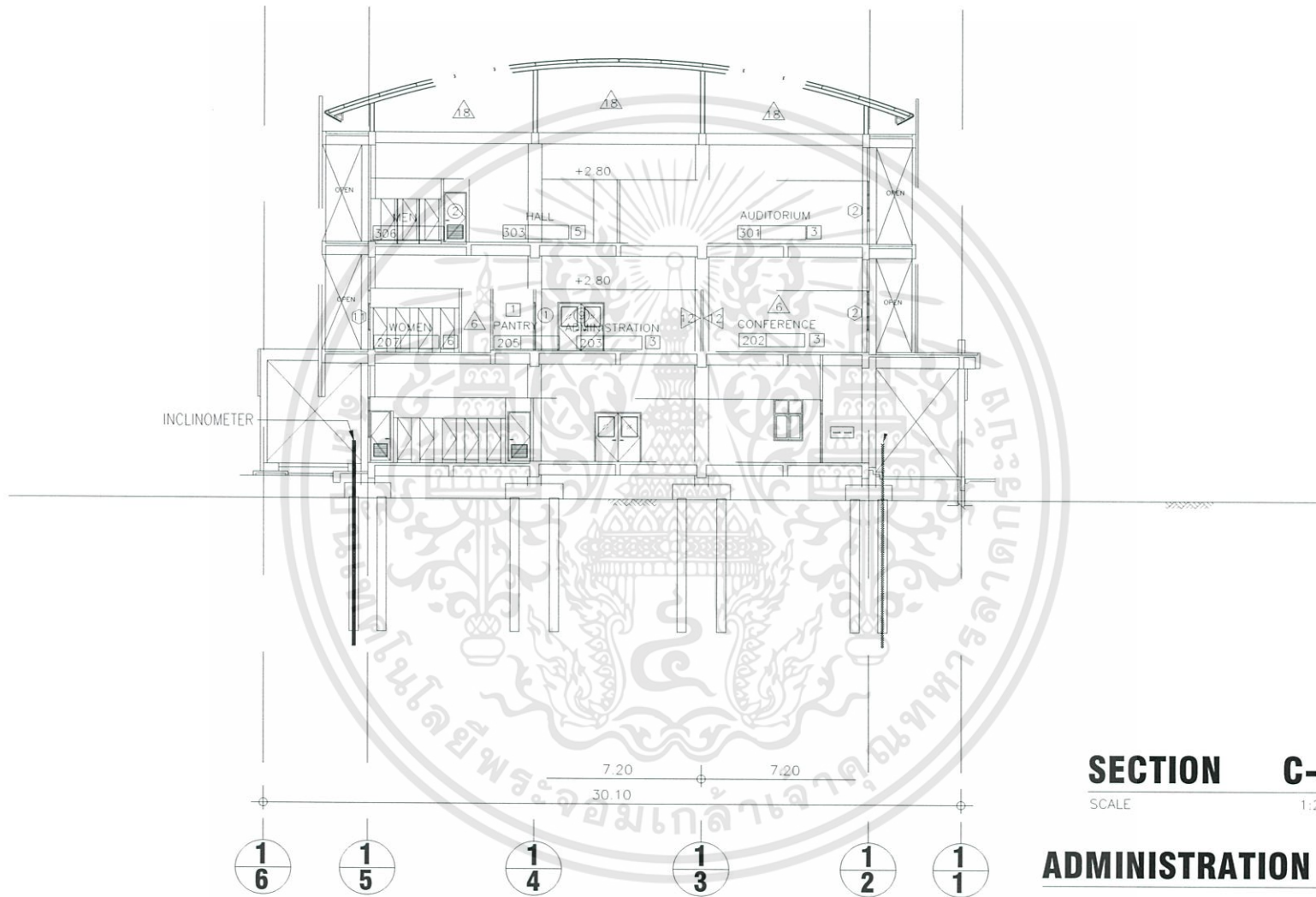


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**STEP-1** DRIVEN SPUN PILE

**STEP-2** INSTALL INCLINOMETER WITHIN PILE

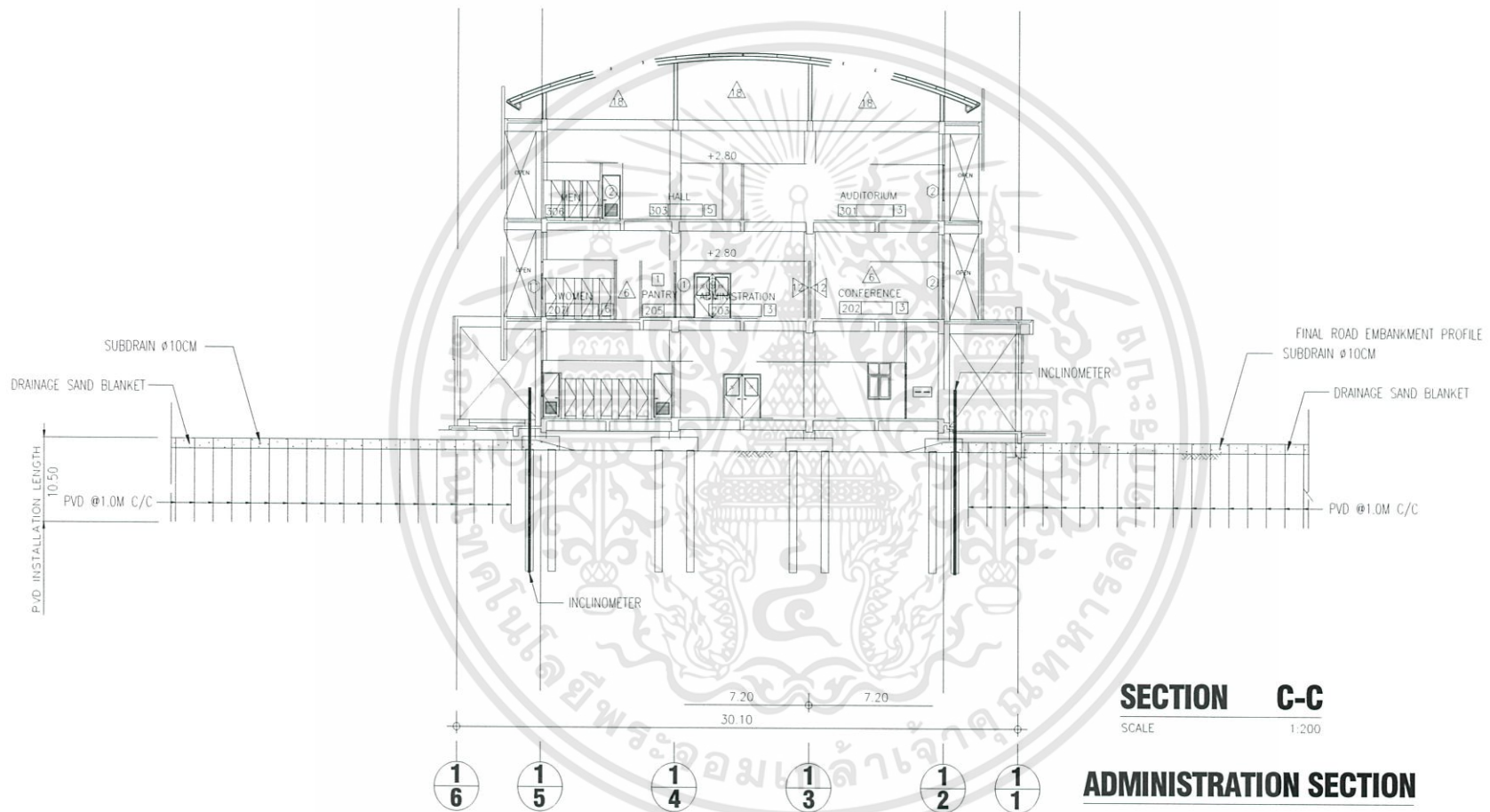


**SECTION C-C**

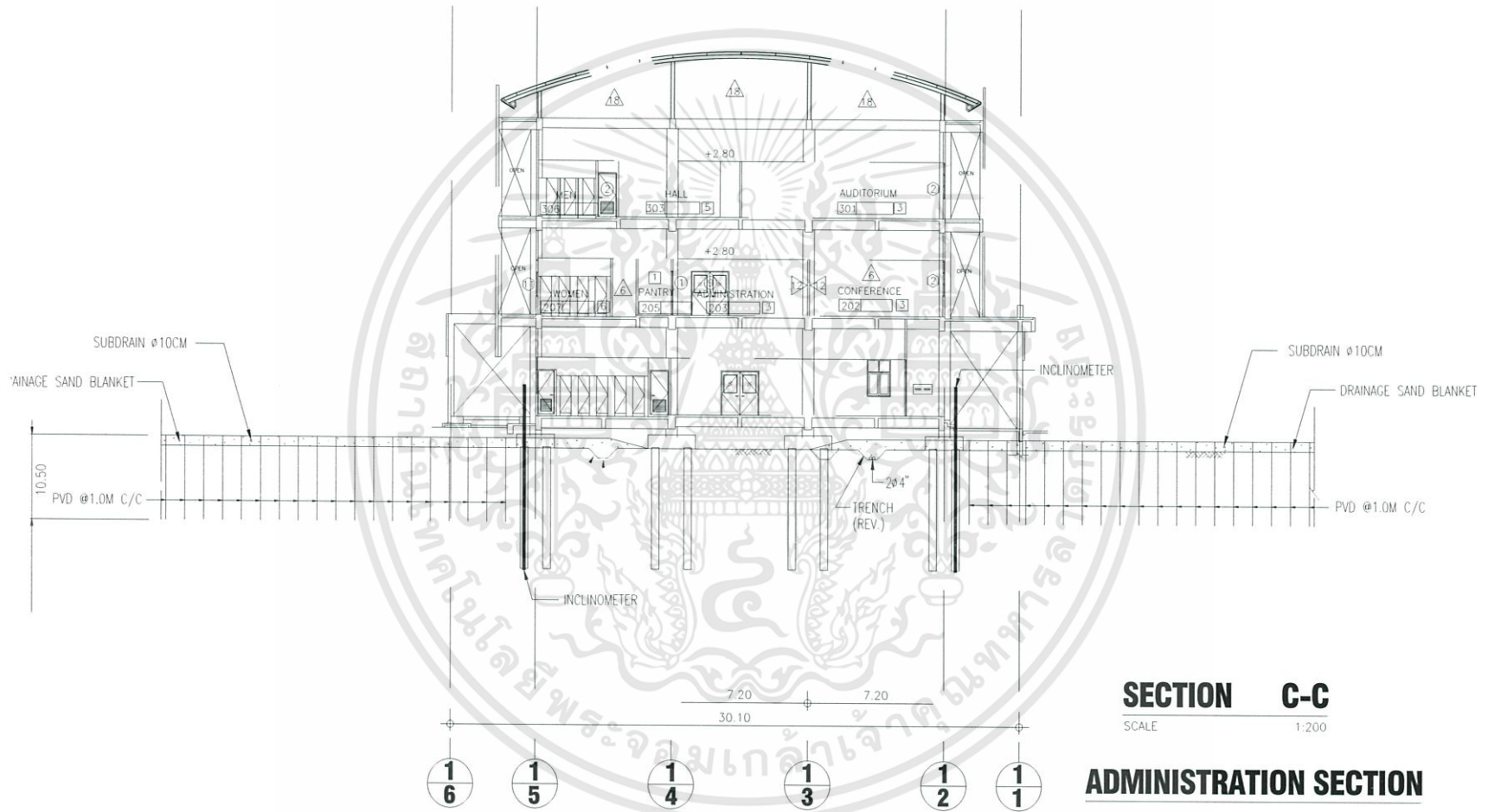
SCALE 1:200

**ADMINISTRATION SECTION**

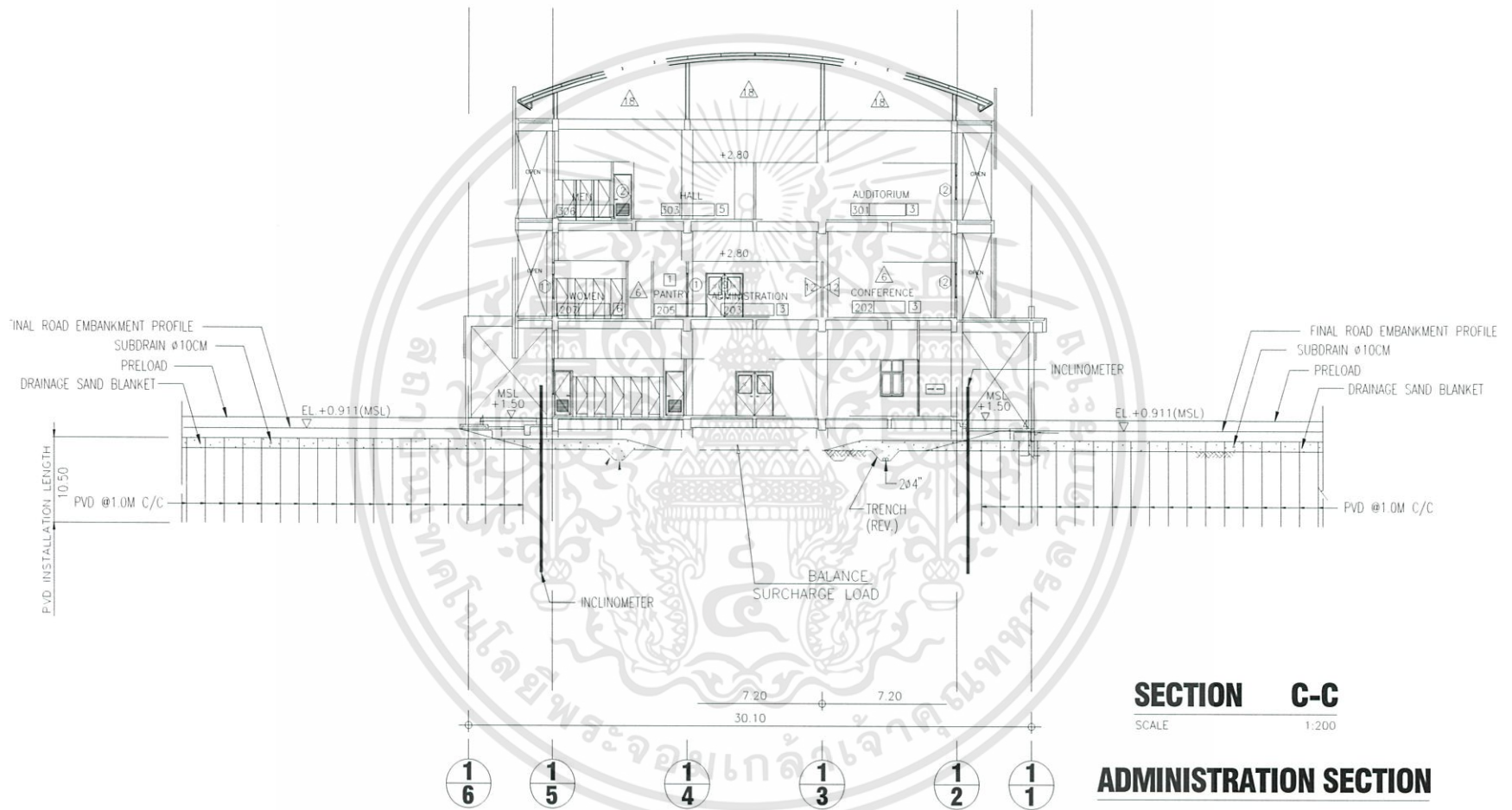
**STEP-3** PILE CAP



**STEP-4** PLACE AND COMPACT 0.50 M.THICK DRAINAGE SAND BLANKET , INSTALL PVD



**STEP-5** EXCAVATE TRENCHES AND LAY SUBDRAINAGE PIPE(2)φ4"



**STEP-6** PLACE THE SAND FILL BALANCE SURCHARGE LOAD CONCURRENTLY WITH SAND BLANKET AND SAND EMBANKMENT

## บรรณานุกรม

- ชลิต อินทร์ตันชัยกิจ, 2544. การทำนายผลของแรงกระทำด้านข้างที่มีต่อการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็มในแนวดิ่งโดยใช้ทฤษฎีคานบนฐานรากยัดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ชัย มุกตพันธุ์ และนากาฮาวา กาชูโตะ, 2526. ปฏิพิภคศาสตร์ และวิศวกรรมฐานราก. : สมาคม  
ส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ.
- มณเฑียร กังศศิเทียม, 2543. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 9. : สมาคมศิษย์เก่า  
วิศวกรรมชลประทานในพระบรมชูปถัมภ์
- วรากร ไม้เรียง, เอกสารประกอบการสอนวิชา วิศวกรรมฐานราก. : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สมเกียรติ ขวัญพุกษ์, เอกสารประกอบการสอนวิชา วิศวกรรมฐานราก. : ภาควิชาวิศวกรรม  
โยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- Bergardo, D.T. 1996, Soft Ground Improvement in lowland and other  
environments.ASCE
- Bowles, J.E 1988, Foundation Analysis and Design. 4<sup>th</sup> ed., Mc Graw-Hill Book  
Co., New York
- Das, Braja M.1990, Principles of Foundation Engineering. 2<sup>nd</sup> ed., PWS Kent  
Publishing Company, Boston
- Lambe, T.W.1982, Soil Testing for Engineer. John Wiley & Sons Inc., New York
- Peck, R.B.;Hanson, W.E and ThornBurn, T.H.(1974), Foundation Engineering. 2<sup>nd</sup>  
ed., John Wiley & Son Inc., New York
- Poulos, H.G., E.H. Davis 1980, Pile Foundation Analysis and Design. John Wiley  
and Sons Inc
- Tomlinson, M.J.1980, Foundation Design and Construction. 4<sup>th</sup> ed.,E.L.B.S. and  
Pitman
- Tomlinson, M.j.1977, Pile Design and Construction Practice. Cement and  
Concrete Association