

การออกแบบการพัฒนากำลังของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดิน
ด้วยวิธีการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ
DESIGN OF SOIL STRENGTH IMPROVEMENT BY DYNAMIC COMPACTION AND
VACUUM SYSTEM METHOD



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

การออกแบบการพัฒนากำลังของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดิน
ด้วยวิธีการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ
DESIGN OF SOIL STRENGTH IMPROVEMENT BY DYNAMIC COMPACTION AND
VACUUM SYSTEM METHOD



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2555

การออกแบบการพัฒนากำลังของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดิน
ด้วยวิธีการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ
DESIGN OF SOIL STRENGTH IMPROVEMENT BY DYNAMIC COMPACTION AND
VACUUM SYSTEM METHOD



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2555

DESIGN OF SOIL STRENGTH IMPROVEMENT BY DYNAMIC COMPACTION AND
VACUUM SYSTEM METHOD



BY

MISS NATCHAYA

SAWATDEEPOL

MR.NATTAPONG

SINTUSIRI

MR.DETCHAPON

THONGKHAM

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

2012

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบการพัฒนากำลังของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ
Design of Soil strength improvement by Dynamic Compaction and Vacuum System Method

นักศึกษา

1. นางสาวณัฐชยา	สวัสดีผล	รหัส	52010317
2. นายณัฐพงษ์	สินธุศิริ	รหัส	52010335
3. นายเดชพล	ทองคำ	รหัส	52010387

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สุพจน์ ศรีนิล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤษ์

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สกุล	ท่อนโยธาน	
ผศ.ดร.ธนาดล	คงสมบูรณ์	
ผศ.สุพจน์	ศรีนิล	
ผศ.สมเกียรติ	ขวัญพฤษ์	
อ.ปรีชานันท์	ศรีแก้ว	
อ.อุษะ	ศิริแก้ว	

สถานที่สอบ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 21 มีนาคม 2556 เวลา 09.00 น.

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(..........)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ (ผศ.สุพจน์ ศรีนิล) านการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 21 เดือน มีนาคม พ.ศ.2556

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบการพัฒนากำลังของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ		
นักศึกษา	1. นางสาวณัฐชยา	สวัสดีผล	รหัส 52010317
	2. นายณัฐพงษ์	สินธุศิริ	รหัส 52010335
	3. นายเดชพล	ทองคำ	รหัส 52010387
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.สุพจน์	ศรีนิล	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.สมเกียรติ	ขวัญฤกษ์	
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

ในอดีตจนถึงปัจจุบันปัญหาการทรุดตัวของดินถือเป็นปัญหาสำคัญของงานก่อสร้างวิศวกรรมที่ได้พยายามปรับปรุงคุณภาพของดินโดยการเร่งการทรุดตัวเพื่อเพิ่มกำลังของดิน ด้วยเหตุนี้คณะทำงานจึงได้ศึกษาวิธีการเพิ่มกำลังของดินโดยวิธี DCVM (Dynamic Compaction and Vacuum Method) ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ วิธีการนี้ได้ประยุกต์มาจากวิธี HVDM (High Vacuum Densification Method) โดยคิดค้นขึ้นที่ประเทศจีน ซึ่งมีผลเป็นที่ยอมรับว่าสามารถเพิ่มกำลังของดิน และสามารถลดระยะเวลาในการทรุดตัวของดินได้

ในโครงการพิเศษนี้จะศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ (DCVM) ทำการออกแบบและติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ปฏิบัติการจริง รวมไปถึงการเก็บค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินก่อนการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการเร่งการทรุดตัวของดินด้วยวิธี DCVM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title DESIGN OF SOIL STRENGTH IMPROVEMENT BY DYNAMIC COMPACTION AND VACUUM SYSTEM METHOD

Name MISS NATCHAYA SAWATDEEPOL
MR.NATTAPONG SINTUSIRI
MR.DETCHAPON THONGKHAM

Field CIVIL ENGINEERING

Department CIVIL ENGINEERING

Advisor Asst. Supot srinil
Asst. somkiat khwanpruk

Abstract

In the past until the present, soil settlement is still a very big problem in construction work. Many geotechnical engineering tried to improve soil's quality by increasing the settlement's rate to make soil's strength goes greater. So the research team has studied about the way to increase soil's strength by DCVM (Dynamic Compaction and Vacuum Method) that was the procedure to improve soil's quality by using compaction and vacuum system together. This method was developed from the HVDM (High Vacuum Densification) in China. It was acceptable as it is able to increase the soil's strength and it can also reduce the time of settlement.

This project will study the theories related to soil compaction by DYNAMIC COMPACTION AND VACUUM SYSTEM METHOD (DCVM) to design and install equipment and accessories in the area of operations. To record data of the soil shear strength before improving soil quality by accelerating the settlement of DCVM.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

อันดับแรก ทางผู้ประพันธ์ขอขอบพระคุณอาจารย์สุพจน์ ศรีนิล ที่ได้ให้การปรึกษาเรื่องต่างๆในโครงการพิเศษเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณอาจารย์สมเกียรติ ขวัญพุกษ์ อาจารย์อุเบ ศิริแก้ว ที่ช่วยให้คำปรึกษาคำแนะนำต่างๆด้านวิศวกรรมและข้อคิดเห็นที่กระจ่างชัดในบางเรื่อง ผู้ประพันธ์จะพึงระลึกเสมอ ในฐานะผู้ทรงคุณวุฒิ

ขอขอบพระคุณ พี่ลุย (นายหลุยส์ ฟูบอล) และ พี่เปียร์ (นางสาวมาฤชา ชูนาวา) ที่คอยช่วยเหลือในเรื่องข้อมูลต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญมากในการประกอบการใช้ทำโครงการพิเศษของผู้ประพันธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการการสอบโครงการพิเศษนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำและชี้แนวทางที่เกี่ยวกับโครงการพิเศษให้กระจ่างแจ้งแก่ผู้ประพันธ์มากขึ้น ทำให้ผู้ประพันธ์สามารถทำโครงการพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและคณาจารย์ที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้ประพันธ์มาตลอด 4 ปี

ขอขอบคุณเพื่อนๆของผู้ประพันธ์ที่ได้ สละเวลามาช่วยทำงาน ทำให้ผู้ประพันธ์ทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณสมาชิกครอบครัวทุกคนของผู้ประพันธ์ที่คอยให้ความช่วยเหลือเสมอมา ทั้งทางด้านกำลังใจ กำลังใจ ที่ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวณัฐชยา สวัสดิ์ผล

นายณัฐพงษ์ สิริศิริ

นายเดชพล ทองคำ

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	ก
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอำนวยการ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญ (ต่อ)	ซ
	สารบัญ (ต่อ)	ฌ
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฎ
	สารบัญรูป(ต่อ)	ฏ
1	บทนำ	
	1.1 ที่มาของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
	1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
	1.4 วิธีการศึกษา	2
	1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1 การศึกษาการบดอัดแบบกระแทกของ Menard (1970)	3
	2.2 การหาเวลาการระบายน้ำในพื้นที่อิทธิพลของท่อระบายน้ำในแนวตั้ง	6
	2.3 การจัดวางระยะห่างของท่อระบายน้ำแนวตั้ง	6
	2.4 อิทธิพลของ smear effect	10
	2.5 ทฤษฎีการยุบอัดตัวคายน้ำ	10
	2.6 การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี HVDM	15
	2.7 การทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด (Field Vane Shear Test, FVT)	16
	2.8 การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)	17
	2.9 ซีดพิกต์อัตรเบร์ก (Atterberg's Limits)	18
	2.10 การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
2.11 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of soil)	20
3 ขั้นตอนการทดลอง	
3.1 พื้นที่ทำการทดลอง	22
3.2 การเจาะสำรวจดินในสนาม	24
3.2.1 ตำแหน่งการเจาะสำรวจดิน	24
3.2.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน	24
3.3 การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ	25
3.3.1 การทดสอบขีดพิกต์แอดเตอร์เบิร์ก (Atterberg's Limits)	25
3.3.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน	27
3.3.3 การทดสอบการอัดคายน้ำ (Consolidation Test)	28
3.3.4 การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด	29
3.3.5 การหาความชื้น (Water Content)	32
3.3.6 การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)	32
3.4 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง	34
3.5 ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์/เครื่องจักร	34
3.5.1 รายการวัสดุ/อุปกรณ์หลัก	34
3.5.2 รายการระบบสุญญากาศ	38
3.5.3 อุปกรณ์/เครื่องจักร ในงานบดอัดกระแทก	39
3.6 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์	41
3.6.1 การติดตั้งท่อระบายน้ำแนวตั้ง	41
3.6.2 การติดตั้งระบบสุญญากาศ	42
3.7 ขั้นตอนการวัดผล	43
3.7.1 การวัดแรงดันน้ำในดิน	43
3.7.2 การวัดการทรุดตัว	45
3.8 ขั้นตอนการดำเนินการ	46
3.9 แผนดำเนินการทั้งหมด	50

4 ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นให้ผิดแบบสงวนสิทธิ์และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การออกแบบการทดลอง DCVM ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ 52

4.1.1 ความยาวท่อแนวตั้ง อิทธิพลความลึกและพลังงานเนื่องจากการบดอัด 52

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
4.1.1.1 ความยาวท่อแนวตั้ง	52
4.1.1.2 อิทธิพลความลึก	54
4.1.1.3 พลังงานเนื่องจากการบดอัด	54
4.1.2 การจัดวางระยะห่างของท่อระบายน้ำแนวตั้ง	55
4.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมกำลังรับแรงเฉือนของดินที่เปลี่ยนแปลงไป ของดินเนื่องจากการปรับปรุง คุณภาพดินด้วยวิธี DCVM	57
4.2.1 พิจารณากำลังรับแรงเฉือนของดินระหว่างก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง	57
4.2.1.1 พิจารณากำลังรับแรงเฉือนของดินก่อนการทดลอง	57
5 สรุปผล	
5.1 การออกแบบการทดลองและการติดตั้งเครื่องมือในสนาม	60
5.2 ข้อมูลดินพื้นฐานก่อนการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการ DCVM	61
บรรณานุกรม	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

บทที่ ๒	เรื่อง	
3	ขั้นตอนการทดลอง	
	3.1 ตารางการดำเนินงาน	51
4	ผลการทดสอบ	
	4.1 รายงานผลการสำรวจชั้นดินทางขับ (TAXIWAY) ทำอากาศยานสุวรรณภูมิ	52
	4.2 LOG OF BORING	53
	4.3 รายงานสรุปผลการทดลอง	57
	4.4 แสดงผลข้อมูลการเจาะสำรวจดิน	58
	4.5 รายงานสรุปผลการทดลอง	59
	4.6 Pocket Vane Shear Test	59
5	สรุปผล	
	5.1 ผลข้อมูลการเจาะสำรวจดิน	61
	5.2 สรุปผลการเบื้องต้น	62
	5.3 ผลการทดสอบ Pocket Vane Shear	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

บทที่ เรื่อง	หน้า	
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
2.1	ระยะประสิทธิผลของการบดอัดแบบกระแทก (ที่มา : Menard 1970)	4
2.2	การทำเวลาการระบายน้ำในพื้นที่อิทธิพลของท่อระบายน้ำในแนวดิ่ง	6
2.3	แนวคิดพื้นฐานของท่อระบายน้ำแนวดิ่ง (barron,1948)	7
2.4	รูปแบบการติดตั้งท่อระบายน้ำแนวดิ่ง	9
2.5	อิทธิพลของ smear effect	10
2.6	แสดงความสัมพันธ์ของกราฟ	11
2.7	Consolidation Ratio as Function of Depth and Time Factor : Uniform Initial Excess Pore Pressure	14
2.8	Schematics of HVDM method.	16
2.9	วิธีการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด	17
2.10	สถานะภาพต่าง ๆ ของมวลดินเหนียว	18
2.11	กราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน	19
2.12	ลักษณะของเม็ดดินแบบต่างๆ	20
3	ขั้นตอนการทดลอง	
3.1	ประชุมร่วมกับสนามบินสุวรรณภูมิเพื่อขอความอนุเคราะห์พื้นที่	22
3.2	ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณพื้นที่วิจัย	23
3.3	ตำแหน่งการทาวิจัย 20x20 ตร.ม.	23
3.4	ตำแหน่งการเจาะสำรวจดิน	24
3.5	กระบอกเก็บตัวอย่างดิน	24
3.6	ตัวอย่างดินหลังผ่านการบั่นแล้ว	26
3.7	เครื่องมือการทดลองที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว	28
3.8	แสดงรอยการวิบัติแบบเฉือนหลังการทดสอบ	31
3.9	กระบอกน้ำโคลน	33
3.10	ท่อเหล็ก	34
3.11	ฝาครอบหัวท่อเหล็ก	35
3.12	เหล็กหางปลาไหล	35
3.13	สายยางที่เชื่อมต่อระหว่างท่อระบายน้ำแนวดิ่งกับแนวราบ	36
3.14	ข้อต่อสามทาง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
3.15 ท่อ PVC ที่ใช้ทำเป็นท่อระบายน้ำแนวราบ	37
3.16 แผ่นผ้าใยสังเคราะห์(Geotextile)	37
3.17 บั้มสูญญากาศ	38
3.18 ถังความดัน	38
3.19 ตั้มน้ำหนักคอนกรีตหนัก 8 ตัน	39
3.20 รถเครนตีนตะขาบ (Crawler Crane)	40
3.21 ผังแสดงการติดตั้งท่อระบายน้ำแนวตั้ง	41
3.22 การฝังท่อระบายน้ำในสนาม	41
3.23 แบบจำลองการติดตั้งระบบ Vacuum Pump	42
3.24 การติดตั้งสายยางระหว่างท่อแนวตั้งและแนวราบในสนาม	42
3.25 ระดับของการติดตั้งอุปกรณ์	43
3.26 Piezometer	43
3.27 การติดตั้ง Piezometer ในสนาม	44
3.28 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ภายในแปลงทดสอบทั้ง 2 แปลง	44
3.29 Surface Settlement Plate	45
3.30 Surface Settlement Plate	45
3.31 หลักการทำงานของเทคนิค HVDM	46
3.32 ผังระบบการทำงานของเทคนิค HVDM (Liang and Xu, 2010)	48
3.33 แนวโน้มของความดันน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไป ในการปรับปรุงคุณภาพดินของโครงการก่อสร้างท่าเรือนิ่งโบ ด้วยเทคนิค HVDM (Liang and Xu, 2012)	49
3.34 แผนผังการทำงาน	50
4 ผลการทดสอบ	
4.1 รูปแบบการจัดท่อแนวตั้ง	55
4.2 แปลงการทดลองที่ออกแบบ	56
5 สรุปผล	
5.1 ผังการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือในสนาม	60
5.2 แบบจำลองการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี DCVM	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

ในอดีตจนถึงปัจจุบันปัญหาการทรุดตัวของดินบริเวณปากแม่น้ำริมชายฝั่งถือเป็นปัญหาสำคัญของงานก่อสร้าง วิศวกรปฐพีได้พยายามปรับปรุงคุณภาพของดินโดยการเร่งการทรุดตัวและเพิ่มกำลังของดินโดยวิธีการต่างๆ แต่มีวิธีการอีกหลายวิธีที่ยังไม่ได้มีการศึกษาทดลองและปฏิบัติอย่างจริงจัง ทั้งที่เป็นวิธีที่น่าจะให้ผลดียิ่งกว่าวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน ด้วยเหตุที่ต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้งบประมาณเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้คณะทำงานจึงได้สนใจที่จะดำเนินการศึกษาวิธีการเพิ่มกำลังและเร่งการทรุดตัวของดินโดยวิธี DCVM (Dynamic Compaction and Vacuum Method)ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศซึ่งพัฒนามาจากการเร่งการทรุดตัวด้วยวิธีการ Preload ร่วมกับ PVD และระบบ Vacuum Pumpซึ่งคาดว่าจะสามารถเพิ่มกำลังของดิน และสามารถลดระยะเวลาในการทรุดตัวของดินได้

ในโครงการพิเศษนี้จะศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ (DCVM) ทำการออกแบบและติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ปฏิบัติการจริง รวมไปถึงการเก็บค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินก่อนการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการเร่งการทรุดตัวของดินด้วยวิธี DCVM

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.ออกแบบการทดลอง DCVM ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

- อิทธิพลความลึกและพลังงานเนื่องจากการบดอัด
- การจัดวางระยะห่างของท่อระบายน้ำแนวตั้ง

2.ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการ DCVM ในพื้นที่ปฏิบัติงานจริง

3.เก็บข้อมูลค่ากำลังของดินในสนามก่อนการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการ DCVM เพื่อเตรียมใช้เปรียบเทียบข้อมูลค่ากำลังของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธี DCVM

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการศึกษาในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ขนาดพื้นที่ 200×200 เมตร
2. ทำการศึกษาภายในระยะเวลา 1 ปี

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. การกำหนดหัวข้อการวิจัย (Problem Identification)
2. การแจกแจงประเด็น (วัตถุประสงค์การวิจัย) (Objective of Study)
3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)
4. การตั้งสมมติฐาน, การกำหนดขอบเขต (Scope of Study)
5. การออกแบบวิจัย (Methodology)
6. การจัดเตรียมพื้นที่ และอุปกรณ์ในการวิจัย (Area and Instrument Preparation)
7. การทดลองหรือการเก็บข้อมูล (Data Gathering)
8. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)
9. การตีความของการวิเคราะห์นั้น (Data Interpretation)
10. การสรุปและการเผยแพร่ (Conclusion and Recommendation)

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ศึกษาและออกแบบการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการ DCVM
2. ได้ปฏิบัติงานจริงในสนาม โดยติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการ DCVM
3. ได้ทราบถึงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในสนามก่อนการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการ DCVM เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินหลังจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการ DCVM ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 การศึกษาการบดอัดแบบกระแทกของ Menard (1970)

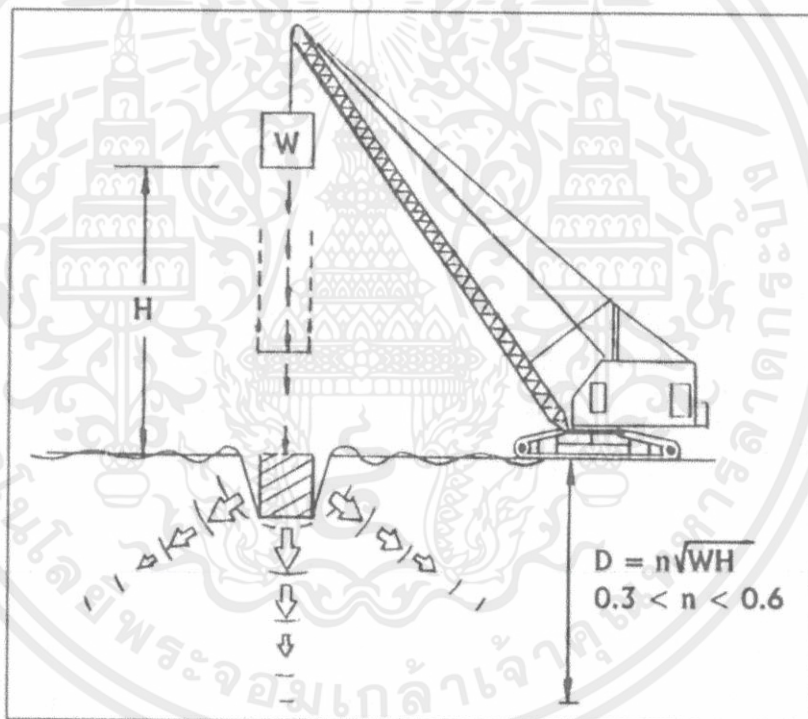
การบดอัดแบบกระแทก (Dynamic compaction) เป็นรูปแบบที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินมานานแล้ว การทิ้งน้ำหนักลงบนผิวดินเป็นที่กล่าวถึงและนำทฤษฎีไปใช้งานในยุค 1970 เป็นเทคนิคของ Menard เทคนิคนี้ประกอบไปด้วยการทิ้งน้ำหนักลงบนพื้นดินอ่อนอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีความอัดแน่นบนบริเวณผิวหน้าของดิน น้ำหนักที่ใช้ในการบดอัดอยู่ในช่วง 5 – 30 ตัน และความสูงในการยกกระแทกประมาณ 12 – 30 เมตร

การประยุกต์ใช้การบดอัดแบบกระแทก มีประเภทและวัสดุที่ใช้แตกต่างกันออกไป ตามการใช้งานและพิจารณาตามเงื่อนไขของการใช้งาน โดยปกติแล้วดินที่จะนำมาพิจารณาในการใช้การบดอัดแบบกระแทก หรือการถ่วงน้ำหนักจะใช้กับทรายตามธรรมชาติหรือดินที่เป็นกรวดเท่านั้น เพราะว่าโดยทั่วไปมักจะเกี่ยวข้องกับเศรษฐศาสตร์ในการใช้ การบดอัดแบบกระแทกจะขึ้นอยู่กับประเภทวัสดุอุปกรณ์ เช่น การใช้ Hydraulic กับพื้นที่ที่เป็นตะกอนทราย ดินเหนียว หรือดินเหนียวเม็ดละเอียด เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพมากสำหรับดินที่มีความชื้น หรือกรวด

ปัจจัยที่เหมาะสมมากที่สุดที่จะปรับปรุงโดยวิธีการบดอัดแบบกระแทก จะเป็นดินที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้กับระดับพื้นดิน ซึ่งมีความสามารถในการกระจายตัวของแรงดันน้ำส่วนเกิน ทั้งนี้เพราะว่าดินที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินจะมีสัดส่วนของการถ่ายเทพลังงานจลน์เปลี่ยนแปลงไปเป็นแรงดันน้ำส่วนเกินได้มากกว่า ถ้ามีการกระแทกอย่างต่อเนื่องแรงดันน้ำส่วนเกินจะหายไป แรงดันส่วนเกินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเหลว ในกรณีนี้การบดอัดมีผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตุ้มในการตอก ซึ่งการกระทำดังกล่าวไม่คุ้มกับค่าใช้จ่าย ทำให้การทำนายผลเป็นความจำเป็นในการเพิ่มขึ้นของแรงดันน้ำใต้ดินที่มีผลมาจากการตอก โดยเฉพาะในชั้นที่น้ำซึมผ่านได้ แบบจำลองในการพยากรณ์ ความแปรผันกันระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกิน กับแรงที่กระทำของตุ้ม ซึ่งแบบจำลองได้นำไปใช้กับโครงการสร้างถนนจากดินเหนียว และได้รับการพิสูจน์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งขั้นตอนการบดอัดแบบกระแทก เหล่านี้ ได้รับการศึกษาแล้วว่า ระหว่างมุมและความลึกในการปรับปรุงคุณภาพดินนี้ มีความสัมพันธ์กัน และเกี่ยวพันไปถึงตัวแปรอื่นๆ ขั้นตอนในการออกแบบกระบวนการ การบดอัดแบบกระแทก ถูกค้นพบในบทความเรื่อยมา โดยวิศวกรจะเป็นผู้ตัดสินใจในการนำทฤษฎีมาใช้ ในปัจจุบันไม่มีกระบวนการออกแบบการปรับปรุงดินในชั้นดินที่อิ่มตัว เนื่องจากในดินที่อิ่มตัวมีค่าตัวแปรมากมาย ในกรณีที่ดินอิ่มตัวต้องพิจารณาถึง จุดอิ่มตัว ค่าสัมประสิทธิ์การบดอัดตัว ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ ค่าเหล่านี้ควรศึกษาควบคู่กันกับแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการบดอัดแบบกระแทก การปรับปรุงดินที่มีเม็ดขนาดเล็กๆ หรือดินเหนียวที่อิ่มตัวมีความต้องการพลังงานที่ใช้ในการบดอัดที่สูง เพื่อประสิทธิภาพในการส่งถ่ายพลังงานลงสู่ดินในระดับลึกโดยพิจารณา ระยะประสิทธิผลของการบดอัดแบบกระแทกจากรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระยะประสิทธิผลของการบดอัดแบบกระแทก (ที่มา : Menard 1970)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mernard ได้ทำการทดลองแล้วตั้งทฤษฎีไว้ว่า ระยะลึกประสิทธิผลของการบดอัดแบบ กระทบ จะขึ้นอยู่กับรากที่สองของพลังงานที่เกิดจากความสูงและน้ำหนักของวัสดุที่จะนำมาทำการบดอัด หรือนำมากระทบ และคูณด้วยค่าคงที่ซึ่งมีค่าประมาณ 0.3-0.5 สำหรับดินเหนียว 0.5 – 1 สำหรับดิน ทราย ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน หากดินมีความหนาแน่นมาก ก็จะมีค่าคงที่ที่มากกว่าเพราะมีการส่งถ่าย พลังงานที่ดีกว่า จากทฤษฎีดังกล่าวนำมาเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D = n\sqrt{M \times H} \quad (2.1)$$

โดยที่ D = ระยะลึกประสิทธิผล , เมตร

n = ค่าคงที่ 0.3-0.5 สำหรับดินเหนียว, 0.5 – 1 สำหรับดินทราย

M = น้ำหนักของตุ้ม, ตัน

H = ความสูงของตุ้มจากพื้นดิน, เมตร

ในการพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการบดอัด เพื่อที่จะนำไปออกแบบตัวแปรเบื้องต้นสำหรับการปรับปรุง คุณภาพดิน จะใช้ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$AE = \frac{NWHP}{S^2} \quad (2.2)$$

เมื่อ AE = พลังงานที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่, ตัน/ม.

N = จำนวนครั้งที่ปล่อยตุ้มน้ำหนักต่อจุด

W = น้ำหนักของตุ้ม, ตัน

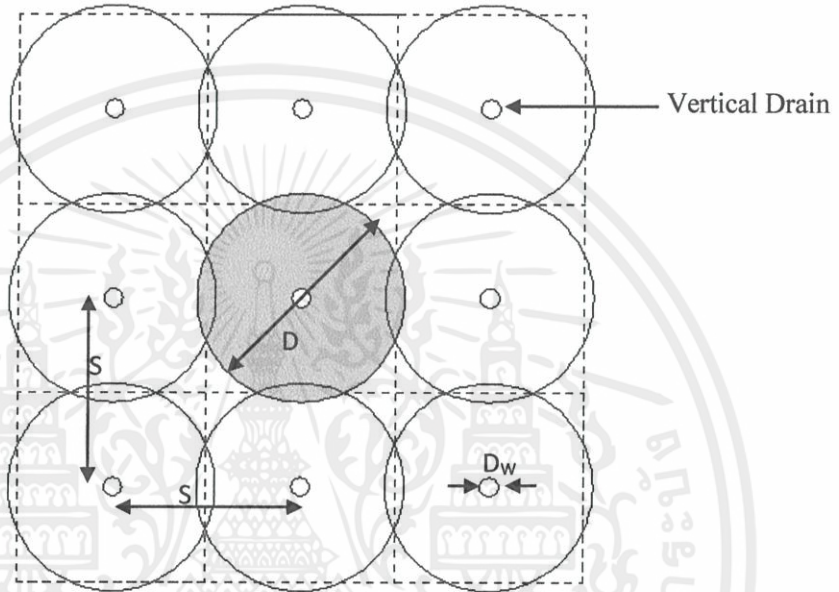
H = ความสูงที่ยกตุ้มน้ำหนัก, ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลข้างต้นไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P = Number of Passes =1

S = ระยะห่างระหว่างท่อระบายน้ำแนวดิ่ง, ตร.ม.

2.2 การหาเวลาการระบายน้ำในพื้นที่อิทธิพลของท่อระบายน้ำในแนวดิ่ง



รูปที่ 2.2 การหาเวลาการระบายน้ำในพื้นที่อิทธิพลของท่อระบายน้ำในแนวดิ่ง

จาก

$$t = \frac{D^2}{8C_n} \left[\ln \left(\frac{D}{D_w} \right) - \frac{3}{4} \right] \cdot \ln \left(\frac{1}{1-u_n} \right) \quad (2.3)$$

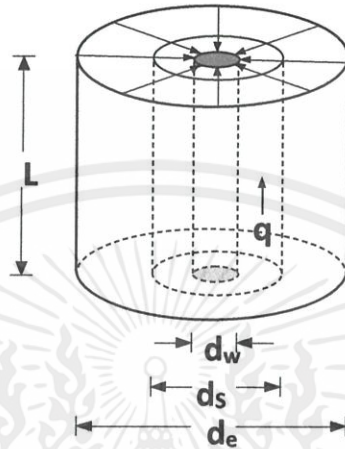
D = 1.13S; Square pattern

D = 1.05S; Triangular pattern

2.3 การจัดวางระยะห่างของท่อระบายน้ำแนวดิ่ง

การจัดวางระยะห่างของท่อระบายน้ำในแนวดิ่งจะพิจารณาจากกรณีที่ระบายน้ำในแนวเอกสารรีรีซีมี ภายใต้เงื่อนไขอุดมคติ โดยใช้ทฤษฎีของ barron(1948) ตามรูปที่ 2.3 ซึ่งต่อมาถูกปรับปรุงรูปแบบ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหาโดย Hansbo (1979) สร้างสมการความสัมพันธ์สำหรับค่าระดับการอัดตัวคายน้ำเนื่องจากการระบายน้ำในแนวราบ ได้ตั้งสมการที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แนวคิดพื้นฐานของท่อระบายน้ำแนวตั้ง (barron,1948)

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{F}\right) \quad (2.4)$$

โดย $T_h = \frac{C_h t}{D_e^2} \quad (2.5)$

$$F = F_n + F_s + F_r \quad (2.6)$$

เมื่อ U_h = ระดับการอัดตัวคายน้ำเนื่องจากการระบายน้ำในแนวราบ

T_h = Coefficient of Consolidation Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 C_h = สัมประสิทธิ์การยุบตัวของดิน สำหรับการไหลในแนวราบ
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

t = เวลาที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการ
คำนวณการทรุดตัว ณ เวลาการทรุดตัวใดๆ ดังนี้

$$t = \frac{D_e^2}{8C_h} [F_n + F_s + F_r] \quad (2.7)$$

F = Factor ที่ขึ้นอยู่กับผลกระทบจากระยะห่างระหว่างท่อระบายน้ำแนวดิ่ง (Drain Spacing Effect, F_n), ผลกระทบจากการถูกรบกวนของดินระหว่างการติดตั้ง (Smear Effect, F_s) และผลกระทบจากความต้านทานการไหลของท่อระบายน้ำแนวดิ่ง (Well Resistance, F_r) ซึ่งหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

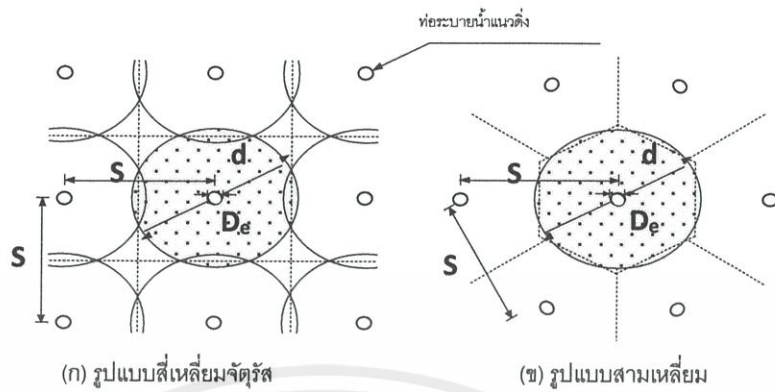
$$F_n = \ln \left(\frac{D_e}{d_w} \right) - \frac{3}{4} \quad (2.8)$$

$$F_s = \left(\frac{K_h}{K_s} - 1 \right) \cdot \ln \left(\frac{d_s}{d_w} \right) \quad (2.9)$$

$$F_r = \frac{2}{3} \pi L^2 \frac{K_h}{q_w} \quad \text{สำหรับการระบายน้ำทางเดียว} \quad (2.10)$$

D_e = เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ที่น้ำระบายเข้าสู่ท่อระบายน้ำแนวดิ่ง โดยแบ่งเป็นดินรูปทรงกระบอก (Equivalent Diameter of Soil Cylinder) โดยทั่วไปจะเลือกติดตั้งท่อระบายน้ำแนวดิ่งจาก 2 รูปแบบ คือ รูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และรูปแบบสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 รูปแบบการติดตั้งท่อระบายน้ำแนวตั้ง

$$D_e = 1.13 S \text{ (กรณีติดตั้งแบบ สี่เหลี่ยมจัตุรัส)}$$

$$D_e = 1.05 S \text{ (กรณีติดตั้งแบบ สามเหลี่ยม)}$$

เมื่อ S = ระยะห่างการติดตั้งท่อระบายน้ำแนวตั้ง

d_w = เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลของท่อระบายน้ำแนวตั้ง (Equivalent Diameter of Drain)

K_h = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดิน สำหรับการไหลในแนวราบ

K_s = สัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านในแนวราบของดินในบริเวณที่ถูกรบกวน (Smear Zone)

d_s = เส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่ถูกรบกวนรอบๆ ท่อระบายน้ำแนวตั้ง

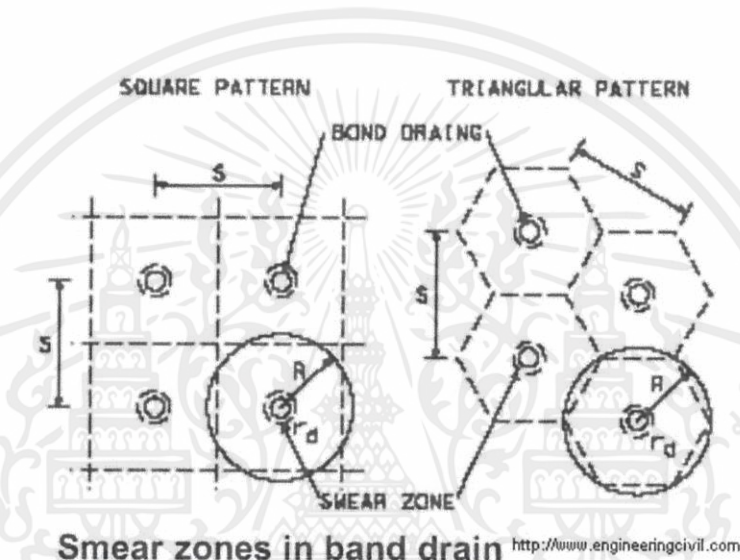
L = ความยาวที่ติดตั้งของท่อระบายน้ำแนวตั้ง

q_w = ความสามารถการระบายน้ำของท่อระบายน้ำแนวตั้งเมื่อ Hydraulic Gradient เท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อิทธิพลของ smear effect

ในการติดตั้งท่อระบายน้ำในแนวดิ่ง ต้องมีระยะห่างระหว่างท่อระบายน้ำในแนวดิ่งที่เหมาะสม เพราะว่าท่อระบายน้ำในแนวดิ่งแต่ละอันจะมีขอบเขตหรืออิทธิพลของการระบายน้ำอยู่ ถ้าขอบเขตหรืออิทธิพลของท่อระบายน้ำในแนวดิ่งซ้อนทับกันก็จะทำให้เกิดการระบายน้ำไม่เต็มประสิทธิภาพได้ การระบายน้ำได้ไม่เต็มประสิทธิภาพเนื่องมาจากสาเหตุที่กล่าวไปแล้วเรียกว่า " smear effect "



รูปที่ 2.5 อิทธิพลของ smear effect

2.5 ทฤษฎีการยุบอัดตัวคายน้ำ

ก) การประมาณค่าการทรุดตัวทั้งหมด

สาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาในการก่อสร้างสิ่งต่างๆบนดินเหนียวอ่อน คือ การทรุดตัวเนื่องจาก Primary Consolidation ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของทฤษฎีที่ใช้คำนวณการทรุดตัวนี้

จากทฤษฎีการยุบอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ (One-dimension Consolidation Theory) ของ Terzaghi (1943) ปริมาณการทรุดตัวของชั้นดินเมื่อสิ้นสุดกระบวนการยุบอัดตัวคายน้ำ (Total Consolidation Settlement) สามารถคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับดิน Normally Consolidated Clay ($\sigma'_{v0} = \sigma'_{vm}$)

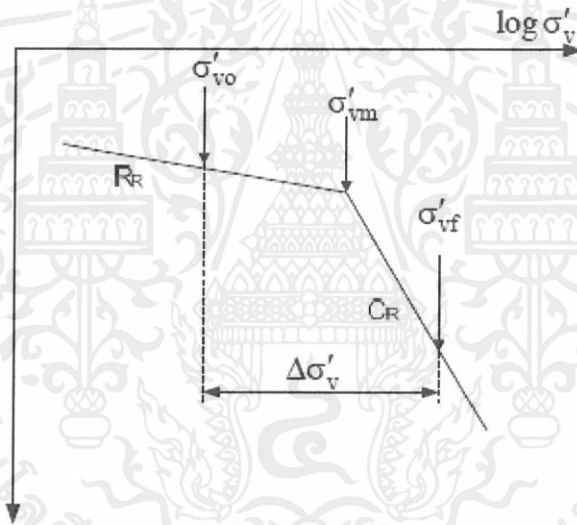
$$S_c = C_R * \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_{v0}} \right) * H \quad (2.11)$$

สำหรับดิน Overconsolidated Clay ($\sigma'_{v0} < \sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v = \sigma'_{vf} \leq \sigma'_{vm}$)

$$S_c = R_R * \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_{v0}} \right) * H \quad (2.12)$$

สำหรับดิน Overconsolidated Clay ($\sigma'_{vf} = \sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v = \sigma'_{vf} \geq \sigma'_{vm} > \sigma'_{v0}$)

$$S_c = R_R * \log \left(\frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{v0}} \right) * H + C_R * \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_{vm}} \right) * H \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของกราฟ e และ $\log \sigma'_v$

โดยค่า σ'_{v0} , $\Delta\sigma'_v$ และ σ'_{vm} จะพิจารณาที่กึ่งกลางชั้นดิน ส่วนค่า $R_R = \frac{C_r}{1+e_0}$ และ $C_R = \frac{C_c}{1+e_0}$

เป็นค่าเฉลี่ยตลอดชั้นดิน ดังนั้นการแบ่งชั้นดินเพื่อคำนวณปริมาณการทรุดตัวด้วยวิธีนี้ จึงพิจารณาแบ่งช่วงชั้นดินด้วยค่า R_R และ C_R ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

เมื่อ $S_c =$ Total Consolidation Settlement
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น $C_c =$ Recompression Index หรือ Swelling Index ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_c = Compression Index

R_r = Recompression Ratio

C_r = Compression Ratio

σ'_{v0} = หน่วยแรงประสิทธิผลจากน้ำหนักมวลดิน

$\Delta\sigma'_v$ = หน่วยแรงประสิทธิผลที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงกระทำจากภายนอก

σ'_{vm} = หน่วยแรงกดทับสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure)

H = ความหนาของชั้นดินที่พิจารณาการทรุดตัว

ข) อัตราการทรุดตัว (Degree of Consolidation)

สำหรับอัตราการทรุดตัวใน One-Dimensional สามารถหาสมการทั่วไปสำหรับค่าแรงดันน้ำที่ความลึกต่างๆ ได้จาก

$$u = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{H} \int_0^{2H} u_i \cdot \sin \frac{n\pi z}{2H} dz \right) \cdot \sin \frac{n\pi z}{2H} \exp \frac{-n^2 \pi^2 T_v}{4} \quad (2.14)$$

เมื่อกำหนดให้ค่าแรงดันน้ำเริ่มต้น, u_i คงที่ตลอดความลึก จะสามารถคำนวณหาค่าแรงดันน้ำ, u ที่ความลึกต่างๆ และ Degree of Consolidation, U_v

$$u = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2u_i}{M} \sin \frac{MZ}{H} \exp(-M^2 T_v) ; M = (2m+1) \cdot (\pi / 2) \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด (2.16) การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U_z = \frac{\text{excess pore water pressure dissipated}}{\text{initial pore water pressure}} \quad (2.17)$$

$$= \frac{u_i - u}{u_i}$$

$$= 1 - \frac{u}{u_i}$$

ดังนั้น

$$U_z = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M} \sin \frac{MZ}{H} \exp(-M^2 T_v) \quad (2.18)$$

เมื่อ U_z = Degree of Consolidation ที่ความลึก Z ใดๆ, เวลา t ใดๆ

u = Pore Water Pressure ที่ความลึก Z ใดๆ, เวลา t ใดๆ

u_i = Initial Pore Water Pressure

H = Drainage Length เท่ากับความหนาชั้นดินเมื่อระบายน้ำด้านเดียว และเป็น

ครึ่งหนึ่งของชั้นดินเมื่อระบายน้ำสองด้าน

$m = 0, 1, 2, \dots$

C_v = Coefficient of Consolidation ในแนวตั้ง

T_v = Time Factor

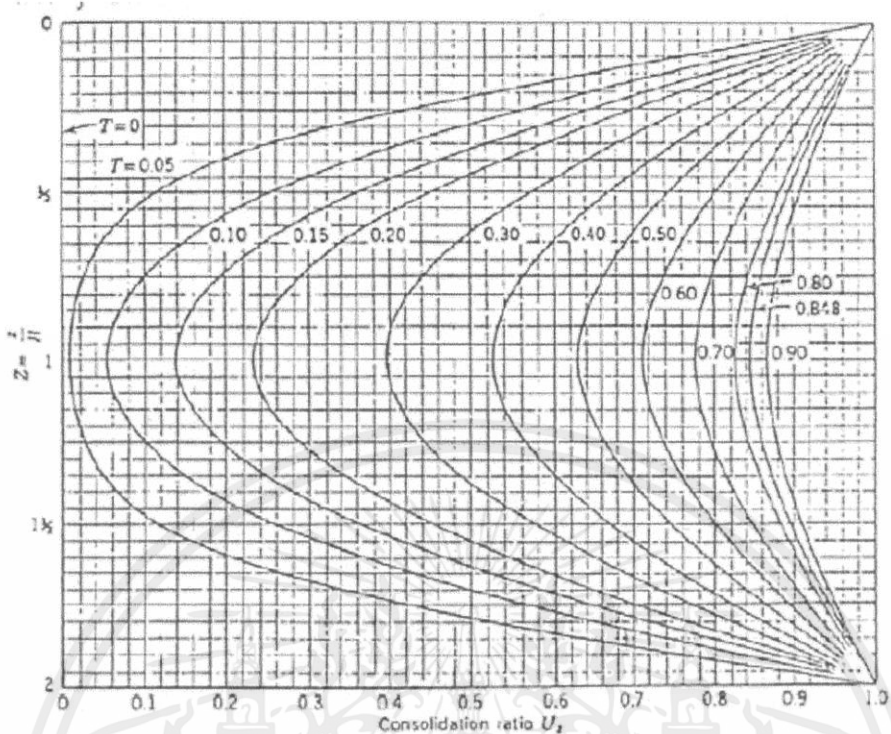
ค่าเฉลี่ยของดีกรีการยุบอัดตัวคายน้ำ (Degree of Consolidation) ตลอดความลึกที่เวลา สามารถหาได้จาก

$$U(\%) = \frac{\sum u_i}{s} \times 100\% \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารเมื่อ S_t = ค่าการทรุดตัวที่เวลา t ใดๆ ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S = ค่าการทรุดตัวทั้งหมด



รูปที่ 2.7 Consolidation Ratio as Function of Depth and Time Factor: Uniform Initial Excess Pore Pressure

ค่า T_v ที่ตีกริการยุบอัดตัวคายน้ำใดๆ สามารถคำนวณจาก

สำหรับ $U < 60\%$

$$T_v = \frac{\pi \left(\frac{U\%}{100} \right)^2}{4}$$

สำหรับ $U > 60\%$

$$T_v = 1.781 - 0.933 \cdot \log(100 - U\%)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี HVDM

การพัฒนาของเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี High Vacuum Densification Method (HVDM) มีการเริ่มต้นในปี ค.ศ. 2000 เมื่อผู้คิดค้น (ผู้ถือสิทธิบัตร) Mr. Shi-Long of Shanghai Geoharbour Group ได้ทำการทดลองด้วยแนวคิด การทำให้ดินหนาแน่นด้วยสุญญากาศกำลังสูง (HVDM) แล้วประยุกต์ไปใช้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ของหลายโครงการที่เป็นที่รู้จักกันรอบเขียงไฮ้ ภายหลังจาก Mr. Xu ได้ยื่นขอจดสิทธิบัตร และได้ทำสนธิสัญญาสิทธิบัตรร่วมกัน (Patent Cooperation Treaty) และได้รับการแยกสิทธิบัตรออกมา แต่จะต้องมีความเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการปรับปรุงดินเหนียวอ่อน ในบรรดาสามสิทธิบัตรหลักๆ มีดังต่อไปนี้

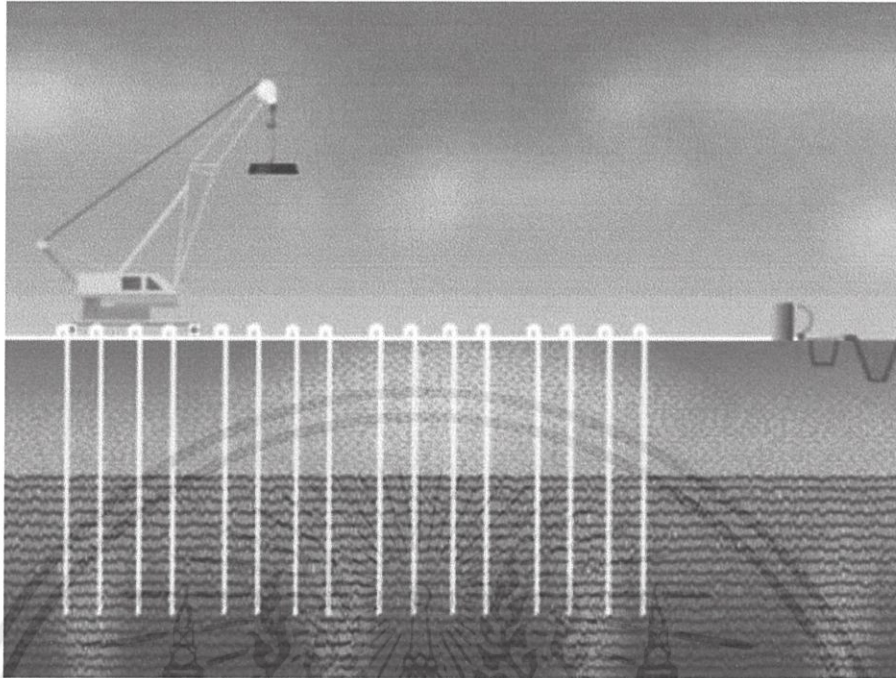
(ก) สิทธิบัตรหมายเลข ZL01127046.2 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ระบบสุญญากาศกำลังสูงและการใช้การบดอัดแบบกระแทก (Dynamic Compaction) หรือการบดอัดด้วยเครื่องจักร ทำให้ ปริมาณความชื้นในมวลดินเหนียวอ่อนลดลง

(ข) สิทธิบัตรหมายเลข ZL200410014257.9 เกี่ยวกับการทำงานร่วมกันของการใช้น้ำหนักกดทับร่วมกับการใช้ปั๊มสุญญากาศ แล้วตามด้วยวิธี HVDM

(ค) สิทธิบัตรหมายเลข ZL200510134966.5 เกี่ยวกับการใช้วิธี HVDM แล้วตามด้วย stone column หรือ ส่วนประกอบของฐานรากประเภทอื่นๆ หลังจากประสบความสำเร็จในช่วงเริ่มแรกที่เซียงไฮ้ ก็ได้มีการใช้ HVDM ในพื้นที่อื่นๆ ในเมืองจีนและประเทศอื่นๆ ในเอเชีย เช่น เวียดนาม มาเลเซีย และอินโดนีเซีย และในขณะนี้ HVDM ก็ได้กลายมาเป็นกระบวนการหลักที่ใช้ในโครงการที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพดินตามแนวชายฝั่งทะเลในประเทศจีนโดยปรับปรุงไปแล้วกว่า 6 ล้านตารางเมตรเมื่อ 7-8 ปีที่ผ่านมา

การพัฒนาของเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี High Vacuum Densification Method (HVDM) เป็นการปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวอ่อนอย่างรวดเร็วโดยใช้เทคนิคการระบายน้ำออกทางท่อระบายน้ำในแนวตั้ง ทำให้ดินยุบอัดตัวกันเป็นหลักการทำให้ดินแน่นตัวขึ้น ในการดำเนินงานของ HVDM จะอยู่ในการควบคุมดูแลตามลักษณะงาน และมีการตรวจวัดข้อมูลโดยอาศัยทั้ง QA/QC รูปที่ 1 แสดงถึงแผนผังของ HVDM ใช้ที่สุญญากาศและการบดอัดแบบกระแทก ลักษณะการทำงานจะแสดงไว้ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



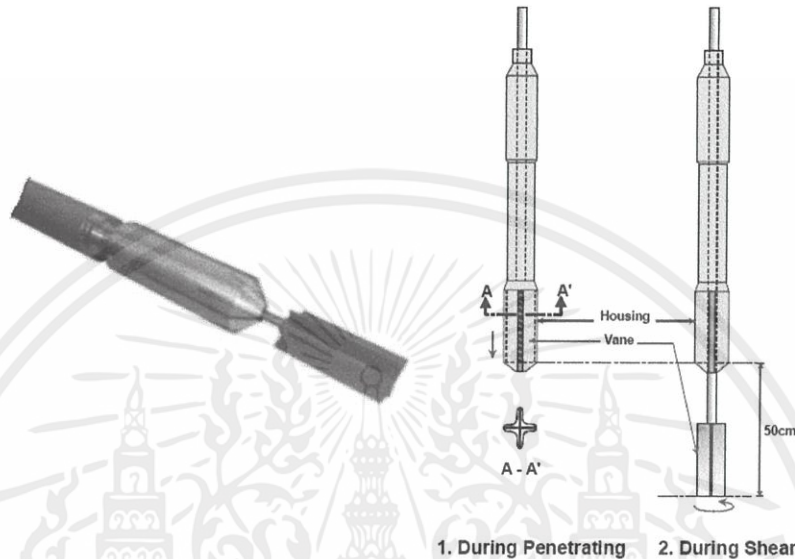
รูปที่ 2.8 Schematics of HVDM method.

2.7 การทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด (Field Vane Shear Test, FVT)

ASTM D 2573-67 T

สำหรับดินเหนียวอ่อน-ถึงอ่อนมาก (Soft to Very Soft Clay) วิธีการทดสอบเพื่อหาแรงเฉือนของดินจากตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) เก็บด้วยกระบอกบาง (Thin Wall Tube) ที่ใช้ยู่ทั่วไปอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากตัวอย่างดินอาจจะถูกรบกวน (Disturbed) ในระหว่างการเก็บด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น ผลกระทบจากเครื่องมือเก็บตัวอย่าง และการขนส่งตัวอย่างไปยังห้องปฏิบัติการ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดผลกระทบดังกล่าว จึงมักนิยมใช้การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนในที่ ด้วยการทดสอบโดยใช้ใบพัด ลักษณะของใบพัดจะเป็นรูปกากบาท (Cross Blade) ซึ่งในการทดสอบจะทำการกดลงไปดินแล้วหมุนก้านที่ต่อบนผิวดินและวัดแรงบิด (Torque) ที่จะทำให้นดินวิบัติ (Fail) รอบใบพัด (Vane) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จากค่าแรงบิดที่วัดได้และขนาดของใบพัดสามารถนำมาคำนวณค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ของดินได้ วิธีการทดสอบนี้เป็นที่ยอมรับว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับทดสอบหาแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อน เพราะเป็นการทดสอบในที่ (In Situ Test) ไม่ต้องทำการเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงการที่ดินอ่อนจะถูกรบกวนในขณะที่เก็บตัวอย่าง และจากลักษณะใบพัดที่กระทำต่อดินรอบๆ ให้วิบัติ สามารถจะอ่านค่าแรงบิดได้ละเอียด ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาแรงเฉือนของดินเหนียวที่มีกำลังต่ำๆ ได้โดยละเอียดถูกต้อง ค่าแรงเฉือนที่ทดสอบสูงสุดด้วยวิธีนี้ประมาณ 5-6 ตัน/ม²

การทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด จากอดีตตั้งแต่ได้มีการเริ่มใช้ มาจนถึงปัจจุบัน ถือได้ว่าเป็นวิธีหาแรงเฉือนดินเหนียวอ่อน (แบบไม่ระบายน้ำ) ที่ถูกต้องที่สุดและนิยมใช้ค่าแรงเฉือนในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดคันทาง (Slope Stability Analysis) โดยระยะความลึกที่ทดสอบได้สามารถทดสอบในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง (Soft to Medium Clay)



รูปที่ 2.9 วิธีการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด

2.8 การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

ASTM D 2166

การทดสอบแรงอัดดินโดยปราศจากแรงดันข้างเป็นการทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินโดยไม่มีแรงดันด้านข้างมากระทำต่อผิวตัวอย่างดินทำให้สภาพของตัวอย่างดินที่ทดสอบแตกต่างจากสภาพดินในธรรมชาติการทดสอบนี้สามารถให้ผลได้รวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบเป็นเพียงค่าโดยประมาณเท่านั้นแต่ก็สามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยจึงเป็นวิธีที่แพร่หลาย

ความแข็งแรงหรือกำลังของดินเหนียว (Cohesive soil) จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Cohesion ซึ่งเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า-เคมี (Electro chemical bonds) ระหว่างเม็ดดิน Friction ซึ่งเกิดขึ้นจากการขัดตัวของเม็ดดิน (Particle interlocking) และความฝืดระหว่างผิวของเม็ดดิน (Surface friction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

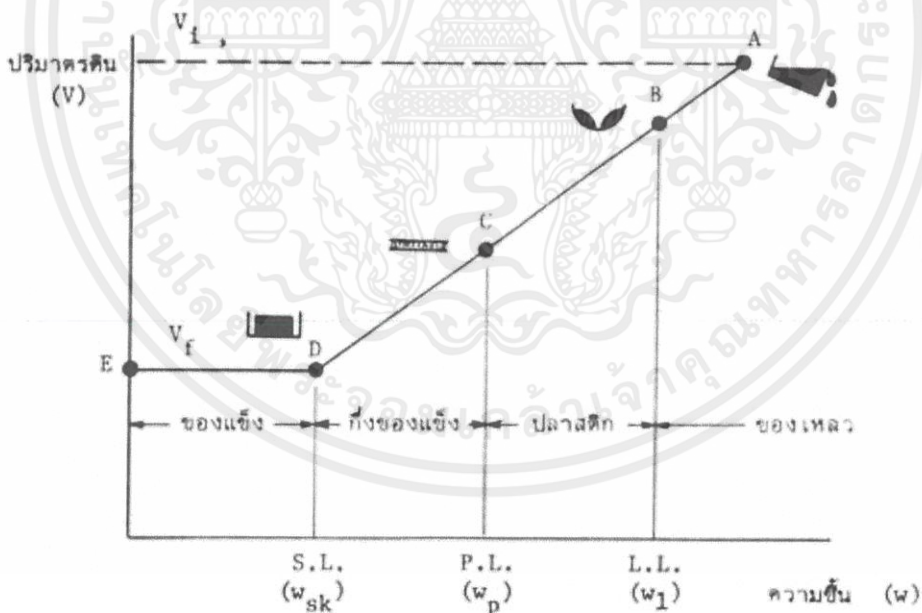
2.9 ขีดจำกัดแอตเตอร์เบิร์ก (Atterberg's Limits)

ASTM D 423 – 66, ASTM D 424 – 59, ASTM D 427 – 61

จุดเปลี่ยนสถานะภาพ หรือ ลิมิตของมวลดิน ถูกเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ชื่อ A. Atterberg โดยมีอยู่ด้วยกัน 5 ลิมิต คือ Cohesion limit, Sticky limit, Shrinkage limit, Plastic limit, และ liquid limit แต่ภายหลังกนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านปฐพีกลศาสตร์เพียงสามลิมิตสุดท้ายเท่านั้น

ถ้าเรานำดินเหนียวมาผสมน้ำจนมีความชื้นสูง ดินจะมีสภาพคล้ายของเหลว เช่น ที่จุด A ในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณของมวลดินอิมตัว และความชื้นในดินจากจุด A ถ้าเราทำให้ความชื้นค่อยๆ ลดลงไป ปริมาณของมวลดินก็จะลดลงเป็นปฏิกิริยากัน มวลดินจะเปลี่ยนสถานะภาพไป จากของเหลวเป็นพลาสติก, กึ่งของแข็งตามลำดับ

1. Liquid Limit (W_L หรือ L.L.) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลว (Viscous Fluid) ไปเป็นสารหนืดตัวในสถานะภาพพลาสติก (Plastic State) ที่จุด B



รูปที่ 2.10 สถานะภาพต่าง ๆ ของมวลดินเหนียว

2. Plastic Limit (W_p หรือ P.L.) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่เปลี่ยนสถานะภาพจากพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง (Semi - solid state) ที่จุด C
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Shrinkage Limit (Wsk หรือ S.L.) คือ ความชื้น ณ.ที่จุด D ซึ่งดินเปลี่ยนจากสภาพกึ่งของแข็งเป็นของแข็ง และจะไม่มี การหดตัวต่อไปอีกแล้ว แต่เมื่อความชื้นยังลดลงไป ฟองอากาศจะเริ่มแทรกเข้าไปในมวลดิน และทำให้เกิดสภาวะไม่อิ่มตัวเกิดขึ้น จนกระทั่งไม่มีความชื้นอยู่เลย

ค่าความชื้นในสถานภาพพลาสติกของดิน เราเรียกว่า Plasticity Index (P.L. หรือ Ip) คือผลต่างของ L.L และ P.L มักเป็นตัวแสดงถึงความเหนียวของดินและยังแสดงความไวต่อการเปลี่ยนสถานภาพต่อความชื้นของมวลดินนั้น จึงเป็นค่าที่สำคัญใช้มากในการจำแนกมวลดิน ซึ่งจุดประสงค์ในการทำการทดลองมีดังนี้

1. เพื่อหาพิกัดเหลว(Liquid Limit) พิกัดพลาสติก(Plastic Limit) และพิกัดหดตัว

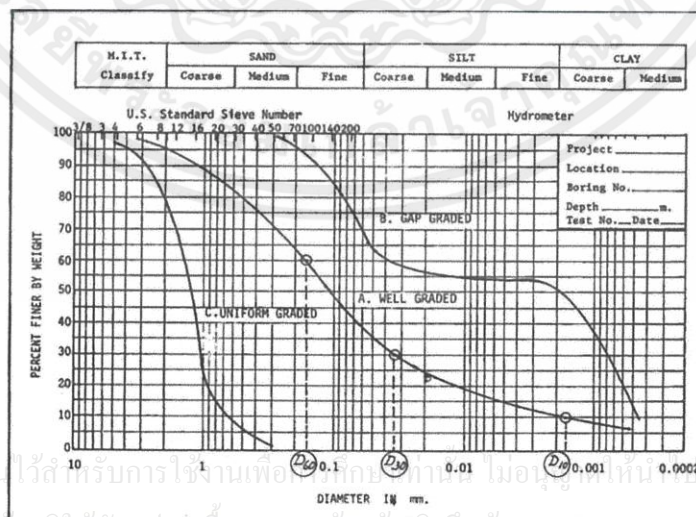
(Shrinkage Limit)

2. เพื่อนำค่าพิกัดต่างๆที่ได้จากการทดลองมาจำแนกประเภทของดิน

2.10 การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)

ASTM D 422 – 63

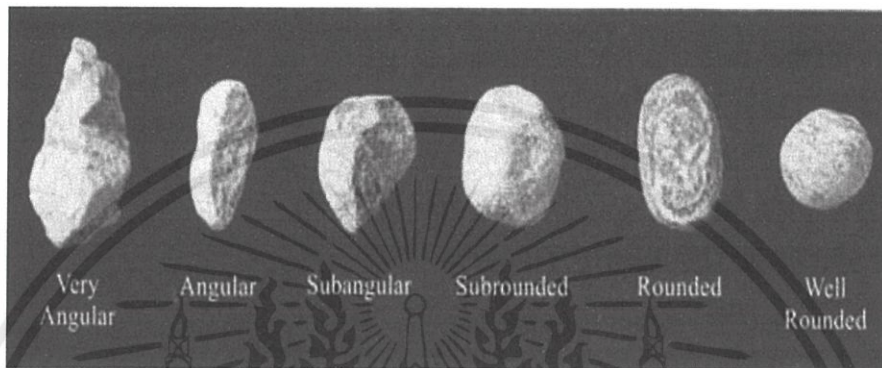
การกระจายของขนาดเม็ดดิน มักแสดงด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดในสเกลลอการิทึม (Logarithmic Scale) และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่าที่ระบุ (Percent Finer) ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.11 กราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน

ขนาดที่ระบุในกราฟนั้นแท้ที่จริงแล้วเป็นเพียงขนาดประมาณ (Equivalent Diameter) เท่านั้น ทั้งนี้ เพราะเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ขนาดช่องของตะแกรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แต่ขนาดเม็ดดินอาจมีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น ยาวรี, แผ่น, กลม หรืออื่น ๆ ได้



รูปที่ 2.12 ลักษณะของเม็ดดินแบบต่างๆ

2. ในการตกตะกอนอาจมีอิทธิพลของเม็ดดินเอง และผนังภาชนะบรรจุมาเกี่ยวข้อง ทำให้การตกตะกอนไม่เป็นอิสระอย่างแท้จริง
3. รูปร่างของเม็ดดินเหนียวมักเป็นแผ่น มิใช่ทรงกลมตามสมมติฐานของการตกตะกอน ดังนั้น การตกตะกอนของเม็ดดินจริงจึงคล้ายใบไม้หล่นจากต้น จึงทำให้การคำนวณความเร็วตกตะกอนผิดไปจากที่เป็นจริง
4. ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินในการคำนวณการตกตะกอนถือเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งความจริงดินแต่ละเม็ดอาจจะมีธาตุสารไม่เหมือนกัน ทำให้ความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันมากก็ได้

2.11 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of soil)

ASTM D 854 – 00

ความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) ของวัตถุใดๆ คือ อัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของเนื้อวัตถุนั้นต่อน้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิ 4°C ที่มีปริมาตรเท่าวัตถุนั้น ในมวลดินจะประกอบด้วยธาตุสารหลายอย่าง ดังนั้นความถ่วงจำเพาะในมวลดินก็คือ ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของธาตุสารเหล่านั้น ดังจะเห็นได้ว่า

ดินลูกรังบางชนิดมีธาตุเหล็กอยู่มากจึงทำให้มีความถ่วงจำเพาะสูงถึง 3.00 หรือมากกว่า ในทางตรงกันข้ามถ้ามีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสำคัญ ก็จะทำให้มี ถ.พ. ต่ำถึงประมาณ 2.00 แต่ค่าเฉลี่ยจะอยู่ในระหว่าง 2.60 ถึง 2.70 สำหรับดินทั่วไป

ความถ่วงจำเพาะ จะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานสำคัญอีกค่าหนึ่ง ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตรช่องว่าง (Void Volume) ความอิ่มตัว (Degree of Saturation) ความพรุน (Porosity) และอื่น ๆ ได้ ทั้งยังจะทำให้คาดได้ว่ามวลดินนั้นๆ ประกอบด้วยธาตุสารอะไรเป็นองค์ประกอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 พื้นที่ทำการทดลอง

เกณฑ์ในการเลือกพื้นที่สำหรับการทดลองคือ พื้นที่นั้นจะต้องไม่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพดินมาก่อน และเป็นพื้นที่ที่มีการยุบอัดคายตัวปกติ(Normal Consolidation) มีคุณสมบัติดินเป็นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ(Soft Bangkok Clay)

ในการทดลองครั้งนี้ที่มิวจียได้รับการอนุเคราะห์พื้นที่สำหรับงานวิจัยจากบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)(ทอท.) ในเขตพื้นที่ของสนามบินสุวรรณภูมิ การทดลองจะมี 3 แปลง ขนาดแปลงละ 20x20 ตร.ม. โดยแปลงที่ 1 จะใช้สำหรับทดสอบใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการทุบอัด ส่วนแปลงที่ 2 จะใช้เป็นการทุบอัดเพียงอย่างเดียว ส่วนแปลงที่ 3 จะใช้เป็นพื้นที่อ้างอิง(Dummy Area)

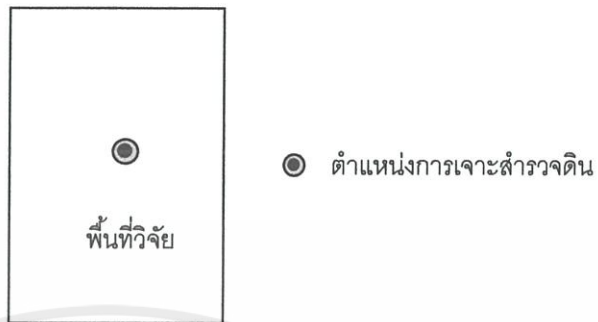


รูปที่ 3.1 ประชุมร่วมกับสนามบินสุวรรณภูมิเพื่อขอความอนุเคราะห์พื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเจาะสำรวจดินในสนาม

3.2.1 ตำแหน่งการเจาะสำรวจดิน



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการเจาะสำรวจดิน

3.2.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

การเจาะสำรวจชั้นดินกระทำโดยวิธีการฉีดล้าง (Wash Boring) เก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ (Undisturbed Sample) โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างแบบกระบอกบาง (Thin Wall Tube Sampler) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 29.5 นิ้ว ในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง และเก็บตัวอย่างดินที่ไม่คงสภาพ (Disturbed Sample) โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างแบบกระบอกผ่ามาตรฐาน (Split Spoon Sampler) ในชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นทรายพร้อมกับการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) ตามมาตรฐาน ASTM D1586 เพื่อให้ได้ค่าความแน่นหรือกำลังของดิน



รูปที่ 3.5 กระบอกเก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ

3.3.1 การทดสอบขีดพิกต์อัครเบอร์เบิร์ก (Atterberg's Limits)

1.) Liquid Limit

อุปกรณ์

1. เครื่องเคาะดิน
2. มีดปาดร่องดิน (Grooving Tool)
3. มีดปาดดิน (Spatula)
4. ขวดฉีดน้ำ

วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างดินผสมน้ำให้เข้ากัน โดยเติมน้ำจากกระบอกฉีดเพียงเล็กน้อย คลุกเคล้าดินให้เข้ากัน แล้วใช้มีดตัดปาดดินลงบนกระทะทองเหลือง ให้มีความหนาของดินตรงกลาง ประมาณ 1 ซม. แล้วปาดด้วยมีดปาดร่องตรงกลาง แล้วเริ่มทำการเคาะ
2. หมุนเคาะถ้วยด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้ง/วินาที จนดินเคลื่อนที่มาบรรจบกันได้ระยะ 1.3 ซม. แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งการเคาะไว้
3. ปาดแต่งดินแล้วบากด้วยมีดปาดร่องดิน เพื่อทำการเคาะซ้ำ และใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนการเคาะทั้งสองรอบเป็นค่าจริง และนำดินที่ทำการเคาะประมาณ 15 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น
4. เติมน้ำในตัวอย่างดินเล็กน้อย ทำซ้ำข้อ 1-3 จนได้จำนวนการเคาะ ประมาณ 5 ค่า จากนั้นนำผลไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) Plastic Limit

อุปกรณ์

1. แผ่นกระจกสำหรับปั้นดิน
2. เหล็กโลหะขนาด 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ไว้เปรียบเทียบขนาดเส้นดินที่ปั้น
3. ขวดฉีดน้ำ

วิธีการทดสอบ

1. ปั้นดินให้เป็นก้อนกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ซม.
2. คลึงดินให้เป็นเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.2 มม. ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 นาที ถ้าหากยังสามารถคลึงเส้นดินได้เล็กกว่า 3.2 มม. โดยที่ดินไม่มีรอยแตก แสดงว่าดินยังมีความชื้นสูงกว่าค่า Plastic Limit
3. หากปั้นเส้นดินจนมีขนาดประมาณ 3.2 มม. ภายในเวลา 2 นาทีแล้ว ดินเริ่มมีรอยแตก แต่ยังสามารถปั้นให้เล็กลงกว่า 3.2 มม. ได้ ที่สถานะความชื้นนี้จะเรียกว่า Plastic Limit
4. นำเส้นดินที่ปั้นใส่กระป๋องเก็บตัวอย่าง เพื่อนำไปหาปริมาณความชื้น



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างดินหลังผ่านการปั้นแล้ว

5. ทดลองซ้ำข้อ 1-4 เพื่อหาค่าเฉลี่ย และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil Test)

อุปกรณ์

1. Pycnometer แบบขวดแก้วคอรวยกันปอง (Volumetric flask)
2. เตาแผ่นร้อน (Hot Plate)
3. เทอร์โมมิเตอร์ ความละเอียด 0.5 – 1.0 °C
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด 0.1 g
5. น้ำกลั่น
6. เครื่องกวนดิน
7. ตู้อบ
8. ชั้นอะลูมิเนียม
9. อ่างแก้วดูดความชื้น

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างดินที่แห้ง ประมาณ 50 กรัม ไปใส่น้ำกลั่นแล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นดินประมาณ 10 นาที
2. เทส่วนผสมของดินและน้ำลงในขวด Pycnometer ถึงประมาณ $\frac{3}{4}$ ของคอขวด โดยใช้กรวยก้านยาว และใช้กระบอกฉีดยาน้ำกลั่นล้างดินที่ติดอยู่ที่หมด
3. ไล่ฟองอากาศด้วยการต้มให้เดือดบน Hot Plate ประมาณ 10 นาที แล้วนำขวดแก้วออกมาปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องทดลอง หรือแช่ในอ่างน้ำเย็น
4. หลังจากนั้นปรับระดับน้ำดินให้เท่ากับขีดบอกปริมาตร 250 หรือ 500 cm³ วัดอุณหภูมิของน้ำดินในขวด เช็ดขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
5. เทแล้วล้างส่วนผสมในขวดลงในภาชนะเพื่อนำไปอบให้แห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักดินแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การทดสอบการอัดคายน้ำ (Consolidation Test)

อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบแบบคานงัด พร้อม Dial Gauge
2. แผ่นเหล็กขนาด 10 kg ,5 kg ,2 kg ,1 kg และ 0.5 kg
3. Consolidation Cell สำหรับบรรจุตัวอย่างดิน
4. เลื่อยแต่งดิน
5. เวอร์เนียคาลิปเปอร์

วิธีการติดตั้งเครื่องมือทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนัก Cutting Ring แล้วนำตัวอย่างดินมาตกแต่งให้ได้ขนาด จากนั้นนำดินที่เหลือไปหา Water Content
2. วัดขนาด และชั่งน้ำหนัก Cutting Ring และดิน เพื่อหาความหนาแน่นและ Initial void ratio
3. ติดตั้งตัวอย่างดินใน Consolidation Cell ซึ่งมีแผ่นหินปูน และแผ่นกระดาษกรองประกบ ตัวอย่างดินทั้งบนและล่าง
4. นำ Consolidation Cell ติดตั้งใน Loading Frame และ Dial Gauge เพื่อวัดการทรุดตัวของตัวอย่างดิน และใส่น้ำใน Consolidation Cell ให้น้ำอยู่เหนือระดับตัวอย่างดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.7 เครื่องมือการทดลองที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบตัวอย่างดิน

1. ปรับหมุน Counterbalance Weight พยายามให้แนวคาน สมดุลกับแนวราบ จากนั้นหมุน Beam Support Jack ให้ไปยืนกับด้านล่างของคาน
2. ทำการแขวนน้ำหนักลงบนที่แขวน ตรวจสอบความเรียบร้อยของ Dial Gauge ให้ยันกับ Loading Beam พร้อมปรับเข็มบนหน้าปัดให้เป็นศูนย์
3. หมุนคลาย Beam Support Jack ลงให้สุด พร้อมเริ่มจับเวลา บันทึกค่าที่อ่านได้จาก Dial Gauge วัดการทรุดตัวที่เวลาต่างๆ จนถึง 24 ชม.
4. ทำการเพิ่มน้ำหนักในขั้นต่อไป แล้วทำซ้ำข้อ 1-3 และบันทึกค่าการทรุดตัว
5. เมื่อทำการบันทึกน้ำหนักขั้นสุดท้ายแล้ว ทำการถอนน้ำหนักออก ซึ่งการถอนน้ำหนักดูในส่วนของกรคำนวณผล ซึ่งทิ้งไว้ประมาณ 6-8 ชม. ในแต่ละขั้นของการถอน บันทึกค่าบวมตัวที่เวลาต่างๆ จากนั้นก็ทำการถอนน้ำหนักลงต่อไปจนหมด
6. นำตัวอย่างดินออกมา ทำการวัดขนาดตัวอย่างดิน เพื่อหาปริมาตรหลังการยุบตัว และนำตัวอย่างดินไปหาปริมาณความชื้นหลังจากการทดสอบ

3.3.4 การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

อุปกรณ์

1. เครื่องกดตัวอย่าง
2. วงแหวนวัดแรง
3. Dial Gauge อ่านละเอียด 0.025 มม.
4. แผ่นพลาสติกประกบหัวท้ายตัวอย่าง 2 แผ่น
5. อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

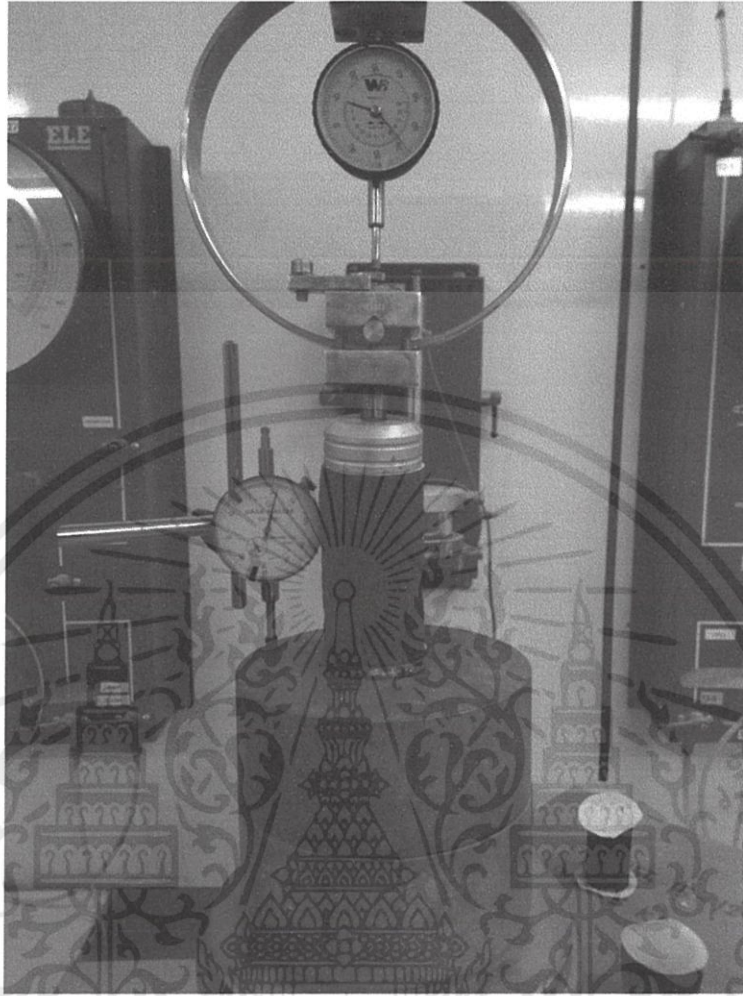
วิธีการเตรียมตัวอย่างดิน

1. นำตัวอย่างดินคงสภาพวางลงบนโครงแต่งตัวอย่างโดยให้ดินที่วางมีความยาวกว่าขนาดที่ต้องการเล็กน้อย จากนั้นทำการแต่งตัวอย่างดิน ปาดให้เป็นทรงกลมเรียบ
2. นำตัวอย่างดินใส่ลงในแบบผ่าที่ขนาดเท่าตัวอย่างดิน จากนั้นใช้เลื่อยเส้นลวดแต่งดินให้เป็นทรงกระบอก
3. นำเศษดินไม่น้อยกว่า 100 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น
4. ใช้เวอร์เนียวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงโดยวัน 2-3 ครั้ง รอบตัวอย่าง
5. นำดินไปชั่งน้ำหนัก ถ้าดินอ่อนจะใช้แบบผ่าซึ่งพร้อมตัวอย่างดินเลย

วิธีการทดสอบ

1. ตั้งตัวอย่างดินตรงกลางฐานเครื่องกด ถอดแบบผ่าออก นำพลาสติกทา Grease วางบนตัวอย่าง ดิน ปรับแป้นกดของเครื่องให้สัมผัสตัวอย่างพอดี
2. จัด Dial Gauge ให้ปลายสัมผัสกับแป้นฐานของเครื่องกด ปรับหน้าปัด Proving Ring และ Dial Gauge ให้เท่ากับ ศูนย์
3. เริ่มทดสอบ โดยกดตัวอย่างดินด้วยอัตรา 0.5 ถึง 2.0 % ของความสูงตัวอย่าง ต่อหน้าที่
4. บันทึกค่าแรงกดจาก Proving Ring ทุกๆ การยุบตัว 0.1 – 0.25 มม.
5. เมื่อใส่แรงจนค่าแรงกดเริ่มลดลง แสดงว่าถึงจุดสูงสุดของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินแล้ว ให้บันทึกผลต่อไปจนเห็นแนวเฉือนบนตัวอย่างดินอย่างชัดเจน จึงหยุดการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงรอยการวิบัติแบบเฉือนหลังการทดสอบ

6. นำตัวอย่างดินขึ้นซึ่งและนำดินบางส่วนไปหาปริมาณความชื้นหลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การหาความชื้น (Water Content)

อุปกรณ์

1. ครอบใส่ดิน
2. ตู้อบ
3. ตาชั่งความละเอียด 0.01 กรัม

วิธีการทดลอง

ผล

ชม.

1. นำตัวอย่างดินมาใส่ครอบ ซึ่งน้ำหนัก ให้ได้ประมาณ 150 – 200 กรัม บันทึก
2. นำตัวอย่างดินไปอบในตู้อบ ความร้อนประมาณ 100 – 150 °C เป็นเวลา 24 ชม.
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินหลังอบ บันทึกค่า แล้วนำไปคำนวณ

3.3.6 การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)

วิธีการทดลองแบบ Hydrometer Analysis

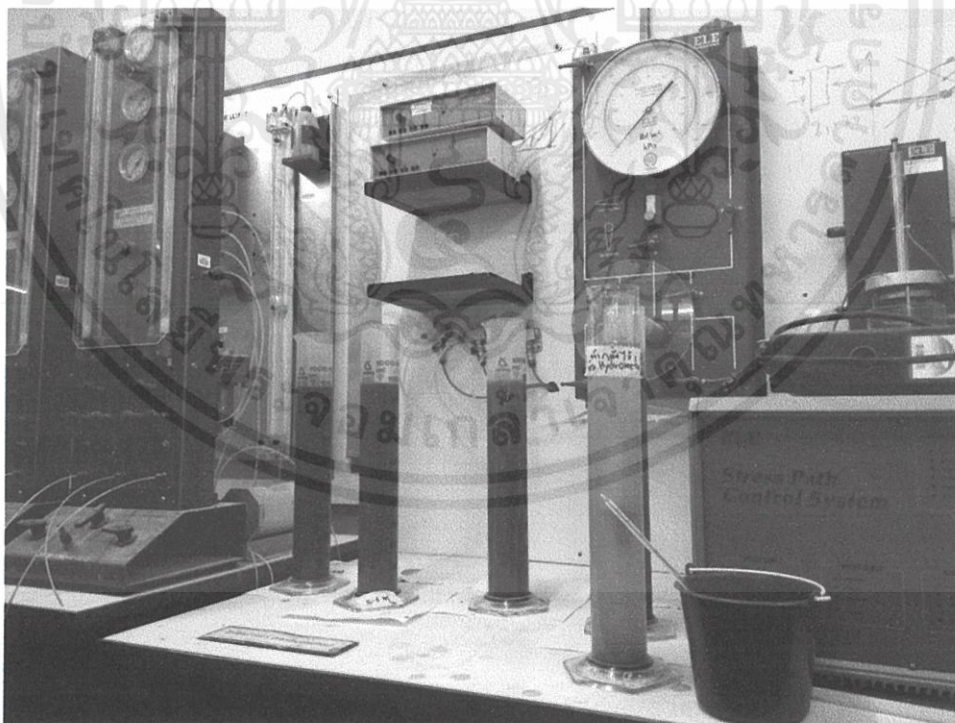
อุปกรณ์

1. Hydrometer
2. เครื่องปั่นดิน
3. สารช่วยเม็ดดินให้กระจายตัว
4. กระจบอไฮโดรมิเตอร์ ขนาด 1000 cm³ 2 ใบ
5. น้ำกลั่น
6. ภาชนะผสมดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างดินประมาณ 50 กรัม ผสมกับสารช่วยกระจายตัวเม็ดดิน แล้วเติมน้ำจนได้ส่วนผสมประมาณ $300 - 500 \text{ cm}^3$
2. ปั่นส่วนผสมให้เข้ากันประมาณ 10 นาที แล้วเทลงในกระบอกสำหรับตกตะกอนใช้น้ำกลั่นชนิดล้าง เศษดินออกจากเครื่องผสม แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 1000 cm^3
3. ใส่ น้ำกลั่นลงในกระบอกแก้วอีกใบเพื่อใช้ล้างน้ำโคลนที่ติดตัว Hydrometer หลังจากการวัด
4. ใช้จุกยางปิดปากกระบอก แล้วเขย่าส่วนผสมให้เข้ากัน
5. หย่อน Hydrometer ลงในน้ำโคลนเพื่ออ่านค่า R ที่เวลา $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1 และ 2 นาที ตามลำดับ (15, 30, 60 และ 120 วินาที) โดยไม่ต้องยก Hydrometer ออกขณะอ่านค่าที่เวลาต่างๆ เมื่ออ่านค่า ครบแล้วจึงทำการยก Hydrometer ออก และทำการวัดอุณหภูมิน้ำโคลน
6. เขย่ากระบอกอีกครั้ง แล้ววัดค่า R ที่ระยะเวลาต่างๆกัน จนกระทั่งค่า R คงที่โดยประมาณ จึงหยุดการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.9 กระบอกน้ำโคลน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำตัวอย่างดินไปอบหาค่าน้ำหนักดินแห้ง

3.4 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

3.4.1 พิจารณาความยาวท่อในแนวดิ่ง

3.4.2 พิจารณาระยะห่างระหว่างท่อระบายน้ำในแนวดิ่ง

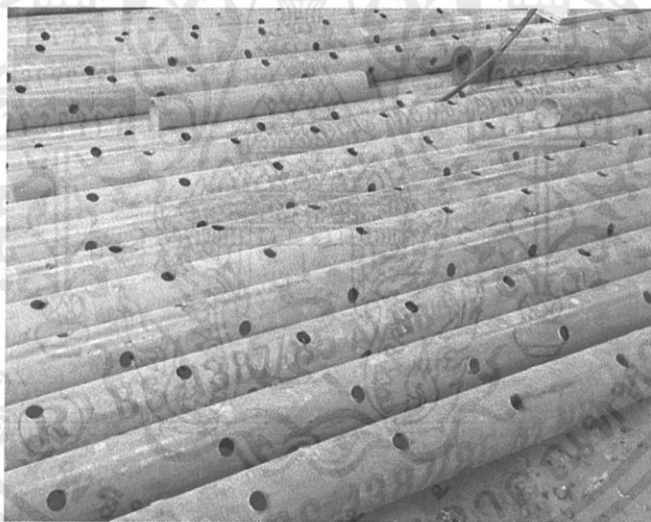
3.4.3 พิจารณาพลังงานในการบดอัดกระแทก (จำนวนการปล่อยต่อจุด, ระยะห่างระหว่างจุดปล่อย)

3.4.4 พิจารณาพลังงานงานของระบบสุญญากาศ

3.5 ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์/เครื่องจักร

3.5.1 รายการวัสดุ/อุปกรณ์หลัก

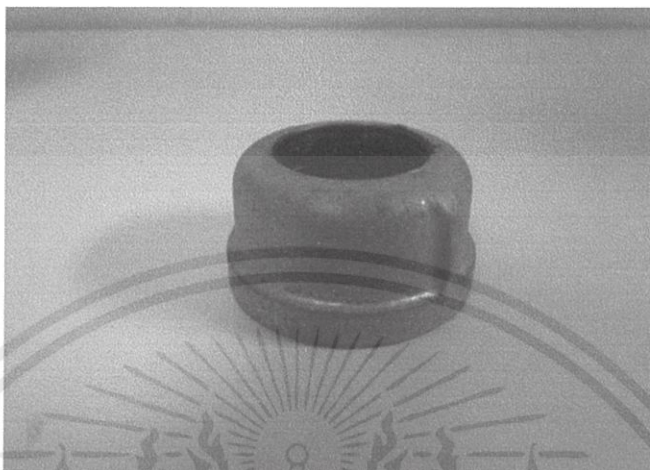
- ท่อเหล็กประปา สำหรับใช้เป็นท่อระบายน้ำในแนวดิ่ง เส้นผ่าศูนย์กลาง 1¹/₄" หนา 2 มิลลิเมตร ยาว 6 เมตร เจาะรูด้วยสว่าน ขนาด 10 มิลลิเมตร โดยรอบเว้นระยะห่างจากปลายท่อ 30 เซนติเมตรเพื่อป้องกันอากาศภายนอกเข้าไประหว่างขั้นตอนดูดด้วยสุญญากาศ จำนวน 96 ท่อ



รูปที่ 3.10 ท่อเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฝาครอบหัวท่อเหล็ก ชุดที่ 1 จำนวน 96 ชิ้น และชุดที่ 2 มีการทำเกลียว เพื่อนำไปต่อกับชุดเหล็กหางปลาไหล จำนวน 96 ชิ้น



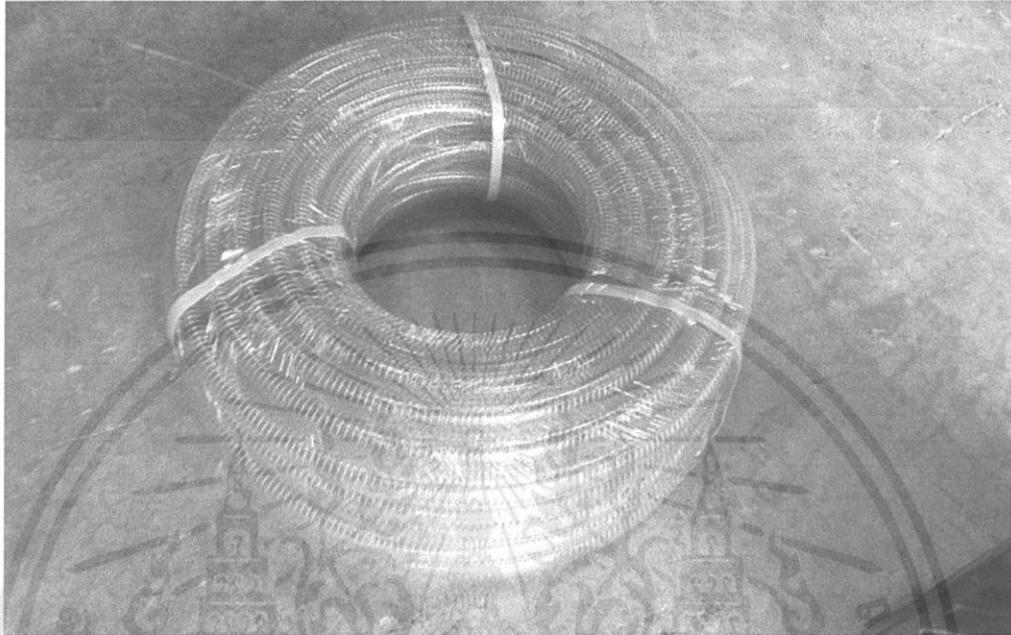
รูปที่ 3.11 ฝาครอบหัวท่อเหล็ก
- เหล็กหางปลาไหล จำนวน 96 ชิ้น



รูปที่ 3.12 เหล็กหางปลาไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สายยาง ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว ยาว 40 เซนติเมตร จำนวน 96 เส้น สำหรับเชื่อมต่อระหว่างท่อระบายน้ำแนวดิ่งกับท่อระบายน้ำแนวนราบ โดยคุณสมบัติต้องทนต่อแรงสุญญากาศได้และไม่เกิดการเสียรูป



รูปที่ 3.13 สายยางที่เชื่อมต่อระหว่างท่อระบายน้ำแนวดิ่งกับแนวนราบ
- ข้อต่อสามทาง ขนาด 40x20 PVC 13.5



รูปที่ 3.14 ข้อต่อสามทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ท่อพีวีซีและข้อต่อ ขนาด 40 มิลลิเมตร สำหรับใช้เป็นท่อระบายน้ำในแนวราบ ความยาวขึ้นอยู่กับการจัดรูปแบบการระบายน้ำ



รูปที่ 3.15 ท่อ PVC ที่ใช้ทำเป็นท่อระบายน้ำแนวราบ

- แผ่นผ้าใยสังเคราะห์(Geotextile) ชนิด TS 30 โดยนำมาตัดและเย็บลักษณะคล้ายถุงสำหรับใช้สวมท่อระบายน้ำในแนวตั้ง เพื่อป้องกันอนุภาคของเม็ดดินเข้าไปในท่อระหว่างการใส่ระบบสุญญากาศ



รูปที่ 3.16 แผ่นผ้าใยสังเคราะห์(Geotextile)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 รายการระบบสุญญากาศ

- บั้มสุญญากาศ



รูปที่ 3.17 บั้มสุญญากาศ

- ถังอัดความดัน



รูปที่ 3.18 ถังความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 อุปกรณ์/เครื่องจักร ในงานบดอัดกระแทก

- ต้มน้ำหนัก(เหล็ก/คอนกรีต) ขนาด 8 ตัน(ขึ้นอยู่กับกรอกแบบพลังงานที่ให้ในสนาม)



รูปที่ 3.19 ต้มน้ำหนักคอนกรีตหนัก 8 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องจักรขนาดใหญ่

- รถเครนตีนตะขาบ(Crawler Crane) ขนาดรถขึ้นอยู่กับตมน้ำหนักที่เลือกใช้ และ
เครื่องจักรแบกรับไหว



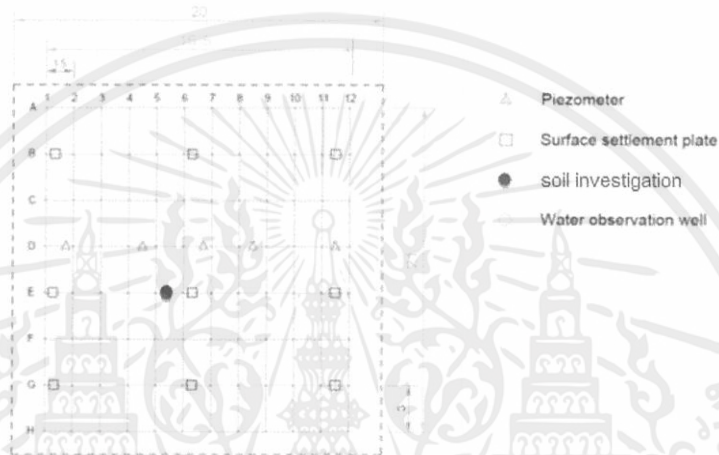
รูปที่ 3.20 รถเครนตีนตะขาบ(Crawler Crane)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์

3.6.1 การติดตั้งท่อระบายน้ำแนวดิ่ง

ออกแบบระยะห่างระหว่างท่อ จากนั้นวางผังในสนามตามที่ออกแบบแล้วจึงดำเนินการฝังท่อระบายน้ำแนวดิ่ง



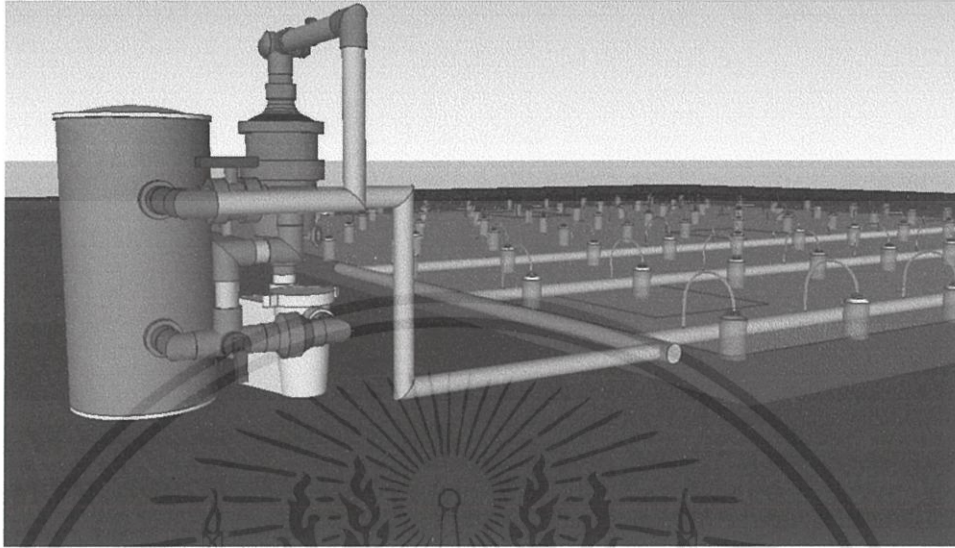
รูปที่ 3.21 ผังแสดงการติดตั้งท่อระบายน้ำแนวดิ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 การฝังท่อระบายน้ำในสนาม

3.6.2 การติดตั้งระบบสุญญากาศ



รูปที่ 3.23 แบบจำลองการติดตั้งระบบ Vacuum Pump



รูปที่ 3.24 การติดตั้งสายยางระหว่างท่อแนวดิ่งและแนวราบในสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ขั้นตอนการวัดผล

3.7.1 การวัดแรงดันน้ำในดิน

- Piezometer

การติดตั้ง Piezometer นั้นจะติดตั้งที่ระดับ 2,4 และ 6 เมตร ต่อหนึ่งจุดสังเกต

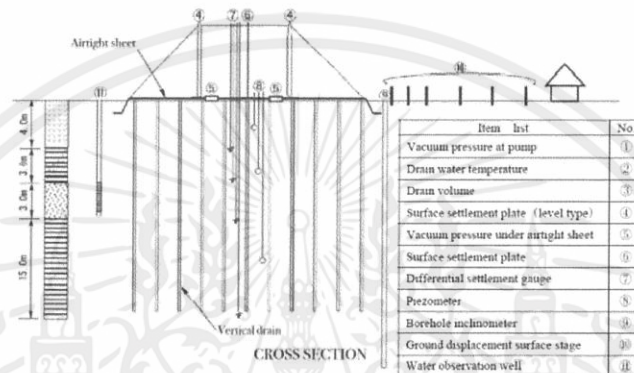


Figure 10 Schematic layout of full scale monitoring instrumentation

รูปที่ 3.25 ระดับของการติดตั้งอุปกรณ์

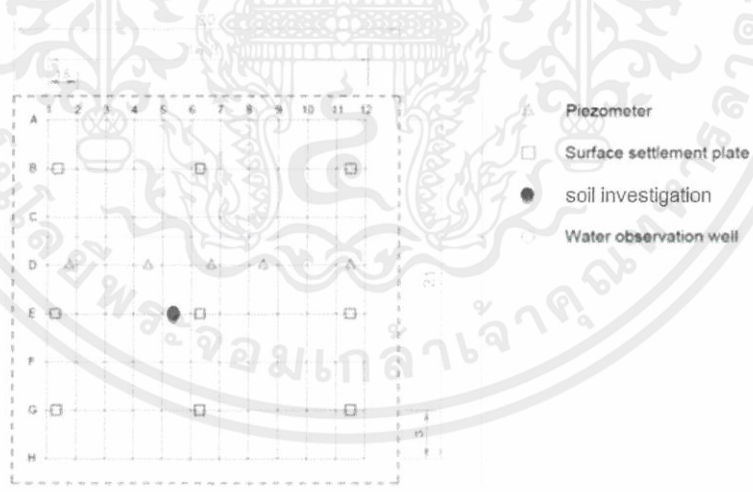


รูปที่ 3.26 Piezometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 การติดตั้ง Piezometer ในสนาม



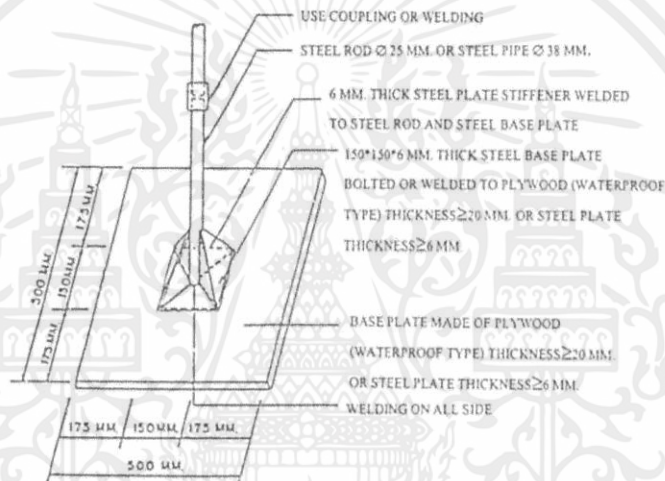
รูปที่ 3.28 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ภายในแปลงทดสอบทั้ง 2 แปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 การวัดการทรุดตัว

- Plate Settlement

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดการทรุดตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นของชั้นดิน ประกอบด้วยแผ่นเหล็กฐาน (Base Plate) และท่อเหล็กเชื่อมต่อติดกับแผ่นเหล็กฐาน การติดตั้งทำโดยวาง Base Plate บนผิวของชั้นทรายปรับระดับรองรับการถล่มดิน และก่อนที่จะทำการถล่มดินแต่ละชั้นจะต้องวัดค่าเริ่มต้น (Initial Elevation) ก่อนเสมอ เพื่อนำมาเป็นฐานข้อมูลเริ่มต้น และเปรียบเทียบกับผลการวัดค่าการทรุดตัวจากการถล่มดินแต่ละชั้น



รูปที่ 3.29 Surface Settlement Plate



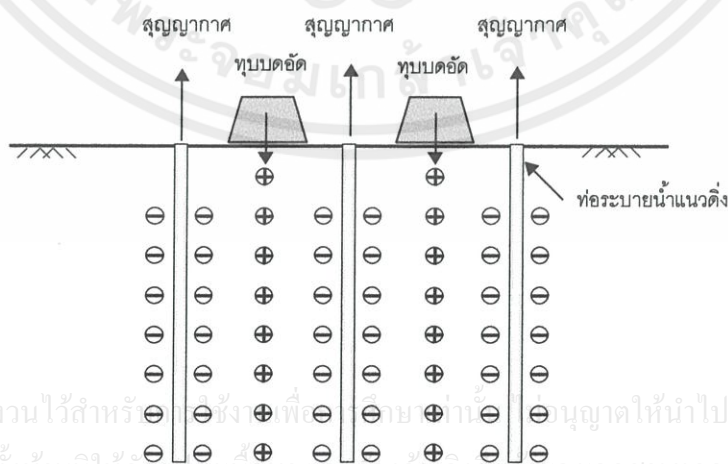
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.30 Surface Settlement Plate

3.8 ขั้นตอนการดำเนินการ

HVDM เป็นเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการเร่งระบายน้ำออกจากมวลดินได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้หลักการการยุบอัดคายตัว และการเพิ่มความหนาแน่นให้แก่ดิน ซึ่งเทคนิค HVDM จะมีการควบคุมและติดตามความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานเพื่อให้ได้ทั้งประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามที่ออกแบบไว้ แสดงหลักการทำงานของเทคนิค HVDM ที่ใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการบดอัดแบบไดนามิก โดยวิธีการ HVDM ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : สำรวจคุณสมบัติของดินในบริเวณโครงการ เพื่อประเมินความลึกและความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งจะพิจารณาได้จากความสัมพันธ์เส้นกราฟของ ชิดจำกัดของอัตรเตอร์เบอร์ก(Atterberg's limit) ปริมาณน้ำในดิน (Water content) สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำไหลผ่าน (hydraulic conductivity) และความสามารถในการบีบอัดตัวของดิน (Compressibility) ส่วนการทดสอบในพื้นที่โครงการ เช่น CPT หรือ STP เพื่อตรวจสอบหาค่าคุณสมบัติเริ่มต้นของดินก่อนการทำงานในสนาม จากนั้นจะรวบรวมข้อมูลเพื่อออกแบบวิธีการปรับปรุงคุณภาพดิน ตั้งแต่การกำหนดระยะห่างและความลึกที่เหมาะสมของท่อสุญญากาศ พลังงานของการบดอัดแบบไดนามิก จำนวนและระยะห่างของการทุบ รอบเวลาสำหรับการใช้ระบบสุญญากาศกับการบดอัดแบบไดนามิกและอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามแผนที่ได้วางไว้ในขั้นแรกจะต้องมีการปรับแก้ตามปัญหาที่เกิดขึ้นในหน้างาน จนกว่างานจะสำเร็จเรียบร้อย



รูปที่ 3.31 หลักการทำงานของเทคนิค HVDM

ขั้นตอนที่ 2 : ติดตั้งท่อสุญญากาศในแนวดิ่งและท่อระบายน้ำในแนวราบ ท่อสุญญากาศในแนวดิ่งสามารถติดตั้งได้หลายวิธี เช่น ใช้ตัวกดสั้นสะเทือน การใช้วิธีจับปลายท่อแล้วกดลงไป หรือการใช้ระบบ ไฮดรอลิกเพื่อนำท่อสุญญากาศกดลงไปในดิน โดยทั่วไปแล้วจะใช้ท่อสุญญากาศเป็นท่อเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1-1.25 นิ้ว และมีความหนา 1/8 นิ้ว ท่อสุญญากาศจะถูกเจาะรูและท่อรอบโดยผ้าใยสังเคราะห์(Geotextile fabric) เพื่อช่วยกรองดินที่จะเข้าไปในท่อ ส่วนท่อระบายน้ำในแนวราบจะใช้ท่อพีวีซี(PVCs pipe) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับท่อเหล็กสุญญากาศผ่านข้อต่อ

ขั้นตอนที่ 3 : ดำเนินการใช้สุญญากาศในรอบแรกเพื่อลดปริมาณน้ำในพื้นที่ที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สุญญากาศช่วยระบายน้ำ(dewatering)ในดินเหนียว จนปริมาณน้ำในดินเหนียวเหลือเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวประมาณ 85-90% กระบวนการนี้จะทำให้ความดันน้ำในดินเป็นลบ สำหรับเวลาในรอบวงจรของระบบสุญญากาศจะขึ้นกับระยะห่างในการจัดท่อระบายน้ำในแนวดิ่งและค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำไหลผ่าน(hydraulic conductivity)ของดิน และผลกระทบจากการถูกรบกวนของดิน(Smearing effects) ที่เกิดจากการติดตั้งท่อสุญญากาศก็ควรที่จะนำมาพิจารณาด้วย โดยปกติแล้วกระบวนการนี้จะทำภายใน 7 วันก่อนที่จะดำเนินการขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 : ใช้การบดอัดแบบไดนามิกเพื่อทำให้ความดันน้ำในดินเป็นบวก โดยการใช้ตุ้มน้ำหนักกระแทกลงบนผิวดิน ทำให้อัตราส่วนช่องว่างภายในมวลดินลดลง(การทำเกิดความแน่นโดยตรง) ตัวแปรควบคุมที่สำคัญของการบดอัดแบบไดนามิกคือ น้ำหนัก ขนาด ความสูงที่ยก ระยะห่างที่ตุ้มกระแทก และจำนวนครั้งที่ตุ้มน้ำหนักกระแทกต่อจุด การตัดสินใจเลือกใช้ตัวแปรเหล่านี้จะต้องพิจารณาจากผลการสำรวจพื้นที่ทดลอง เพื่อให้แน่ใจว่าดินที่อยู่ข้างล่างของตำแหน่งการปล่อยตุ้มน้ำหนักจะไม่ถูกผลกระทบจากแรงเฉือนในดินที่ไม่มีการระบายน้ำ(undrained shear failure) หรือเรียกสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ว่า “rubber soil” โดยปกติตุ้มน้ำหนักที่ใช้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ถึง 1.5 เมตรและน้ำหนักอยู่ที่ 20-70 ตัน ความสูงในการยกตุ้มน้ำหนัก 10-20 เมตร โดยระยะเวลาดำเนินการของขั้นตอนนี้สามารถทำได้ภายใน 7 วันต่อพื้นที่ 10,000 ตารางเมตร

ขั้นตอนที่ 5 : ใช้ระบบสุญญากาศรอบที่สองเพื่อช่วยการกระจายความดันอย่างรวดเร็ว และลดปริมาณน้ำรวมทั้งอัตราส่วนช่องว่างของดินในเขตพื้นที่อิทธิพล สองผลกระทบที่เกิดขึ้นคือ

จากการใช้สัญญาณทำให้เกิดความดันน้ำในดินเป็นลบ และการบดอัดกระแทกแบบไดนามิกก็จะช่วยให้มีความดันน้ำในดินเป็นบวก ทำให้เกิดผลต่างในของความดันสูงมาก ซึ่งจะกระจายความดันน้ำส่งผลให้ปริมาณน้ำในดินลดลงได้ ระยะเวลาของขั้นตอนนี้โดยทั่วไปประมาณ 7 วันหรือน้อยกว่านี้ต่อพื้นที่ 10,000 ตารางเมตร

ขั้นตอนที่ 6 : ตรวจสอบคุณสมบัติของดินหลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนที่ 5 โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำในดิน(water content) ความดันน้ำในดิน(pore pressures) ระดับน้ำใต้ดิน(ground water elevation) ระดับการทรุดตัวของดิน(ground subsidence) และการตรวจสอบในสนาม เช่น ค่า CPT หรือ ค่า N จาก STP ซึ่งจำเป็นมากที่จะพิจารณาและประเมินผลจากการดำเนินการในรอบแรก (ขั้นตอนที่ 4 และ 5) ของกระบวนการ HVDM การประเมินผลของผลของการปรับปรุงดินในขั้นตอนนี้จะช่วยให้การปรับแก้ค่าตัวแปรในการดำเนินงาน (ระยะห่างและความลึกของท่อสัญญาณ พลังงานที่ใช้ในการบดอัดแบบไดนามิก และระยะห่างของจุดปล่อยน้ำหนักกระแทก ฯลฯ) ในรอบต่อไปของกระบวนการ HVDM

ขั้นตอนที่ 7 : ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 ถึง 6 จนกว่าผลที่ออกมาที่มีความพึงพอใจ และผลที่ออกมาควรจะทำให้เห็นว่าเมื่อผ่านกระบวนการ HVDM ไปแล้ว 2 รอบ จะต้องเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของคุณสมบัติดินตามที่ได้คาดการณ์ไว้ เช่น ความแข็งแรงที่เกิดขึ้นจากการวัด CPT หรือ SPT และเกิดการทรุดตัวที่สังเกตได้



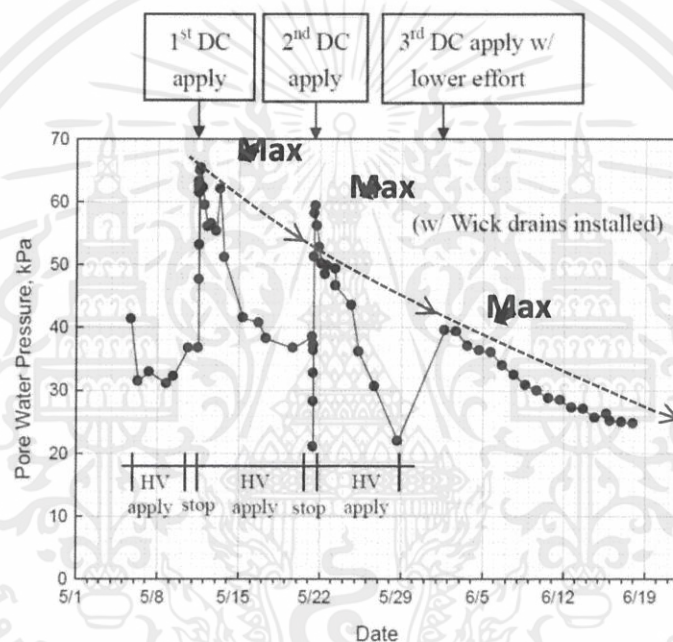
*CPT : การทดสอบด้วยหัวกดปลายกรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น (Cone Penetration Test) ไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.32 ผังระบบการทำงานของเทคนิค HVDM (Liang and Xu, 2010)

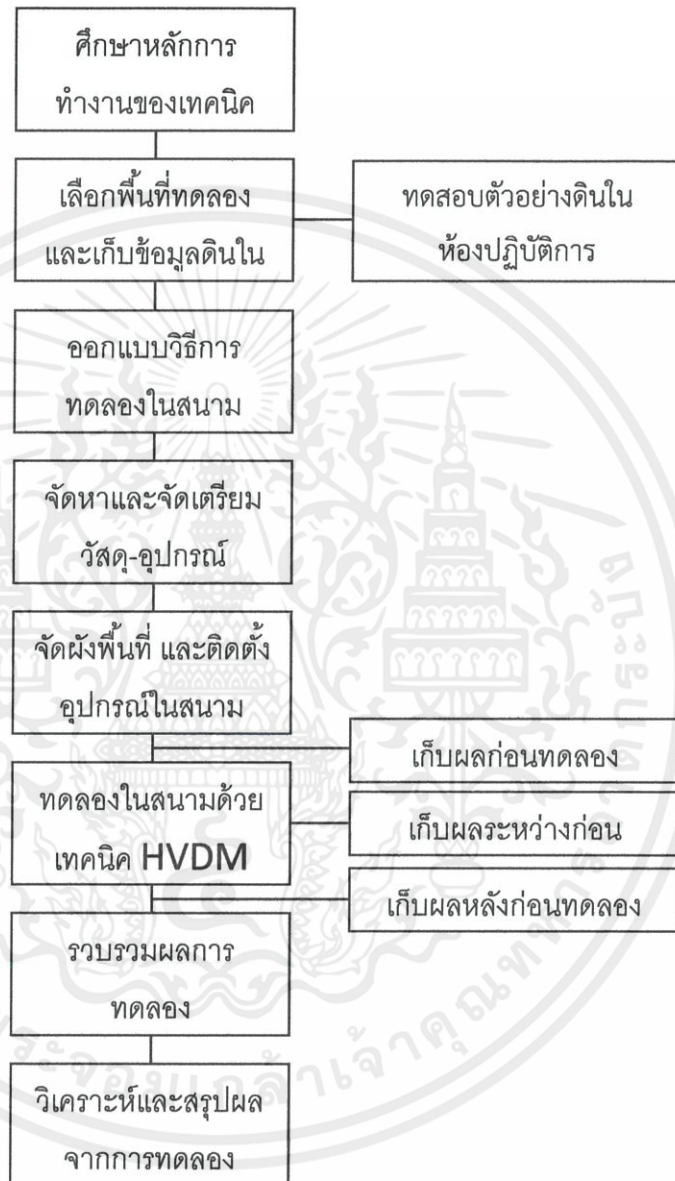
จากรูปที่ 3.24 เป็นกราฟแสดงผลระหว่างเวลากับความดันน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อได้รับการปรับปรุงคุณภาพดินของโครงการก่อสร้างท่าเรือ Ningbo ในประเทศจีน ด้วยเทคนิค HVDM ซึ่งชี้ให้เห็นแนวโน้มของความดันน้ำในดินสูงสุดที่ลดลงเมื่อการดำเนินการด้วยเทคนิค HVDM ผ่านไป 3 รอบ (ขั้นตอนที่ 4 ถึง 6) โดยระหว่างขั้นตอนการใช้สุญญากาศจะมีการดูดและระบายน้ำออกจากดินทำให้ปริมาณน้ำในดินลดลง เกิดความดันน้ำในดินเป็นลบ และทิ้งเวลาประมาณ 2 วัน ก่อนจะทำการบดอัดกระแทกแบบไดนามิกซึ่งจะช่วยให้มีความดันน้ำในดินเป็นบวก เกิดผลต่างของความดันสูงระหว่างขั้นตอนข้างต้นทำให้การระบายน้ำออกจากดินได้เร็วมากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 3.33 แนวโน้มของความดันน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไป ในการปรับปรุงคุณภาพดินของโครงการก่อสร้างท่าเรือ Ningbo ด้วยเทคนิค HVDM (Liang and Xu, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 แผนดำเนินการทั้งหมด



รูปที่ 3.34 แผนผังการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการ	ปี 2555							ปี 2556		
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาโครงการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	████████████████████				████████████████					
ร่างรูปแบบโครงการ		████████████████████			████████████████████					
สำรวจหาพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง				████████		████████				
จัดหาเครื่องมือและเครื่องจักร					████████████████████			████████████████████		
ทำการทดลองเก็บตัวอย่างดินและบันทึกผล							████████		████████	
นำตัวอย่างดินมาทดสอบและบันทึกผล								████████		████████
นำข้อมูลมาวิเคราะห์และจัดทำเอกสาร								████████		████████

ตารางที่ 3.1 ตารางการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 การออกแบบการทดลอง DCVM ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

4.1.1 ความยาวท่อแนวตั้ง อิทธิพลความลึก และพลังงานเนื่องจากการบดอัด

4.1.1.1 ความยาวท่อแนวตั้ง

ในการพิจารณาความยาวท่อแนวตั้ง ในเบื้องต้นได้ใช้ข้อมูลจากรายงานผลการสำรวจชั้นดินโครงการทางขับ (TAXIWAY) ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับแปลงทดลองมาใช้ในการพิจารณาออกแบบความยาวท่อแนวตั้ง

STS INSTRUMENTS COMPANY LIMITED																							
SUMMARY OF TEST RESULTS																							
PROJECT ทางขับ (Taxiway) ส่วนขยาย C2										LOCATION ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ													
DATE	23/09/10		BORING No.	BH-1		JOB No.	13373		BY	vch		OBSERVED W.L.	-0.50 m.										
SAMPLE No.	DEPTH M.		WATER CONTENT %	ATTERBERG LIMIT %			WET UNIT WEIGHT kg/m^3	SIEVE ANALYSIS % FINER					CLASSIFICATION	UNDRAINED SHEAR STRENGTH, t/m^2					STANDARD PENETRATION (N) (blow/ft)	AASHTO			
	FROM	TO		LL.	PL.	PI.		No. 3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200		UNCONFINED SHEAR		FIELD VANE SHEAR		UU TEST			POCKET PENETRATION		
	Qu/2	Qu'/2		Qv	Qv'	Su		1/2 Q _p															
SS-01	1.00	1.45	7.70				2.36	96	93	86	63	34	SC								21	A-2-4	
SS-02	1.50	1.95	13.00					100	97	87	61	33	SC/CH								7	A-2-4/A-7-5	
ST-03	3.00	3.50	104.50				1.44						CH	1.39									A-7-5
ST-04	4.50	5.00	114.00				1.43						CH	1.03									A-7-5
ST-05	6.00	6.50	96.40	107.40	34.80	72.60	1.47						CH	1.92									A-7-5
ST-06	7.50	8.00	96.30				1.48						CH	2.38									A-7-5
ST-07	9.00	9.50	75.60				1.56						CH	3.02					1.3				A-7-5
ST-08	10.50	11.00	78.30				1.56						CH	2.90					1.3				A-7-5
ST-09	12.00	12.50	66.50				1.63						CH	3.34					2.5				A-7-5
ST-10	13.50	14.00	66.90				1.62						CH	3.16					2.5				A-7-5
ST-11	15.00	15.50	56.70				1.67						CH	4.71					2.5				A-7-5
ST-12	16.50	17.00	27.30	59.90	22.30	37.60	1.97						CH	7.10					11.3				A-7-6
SS-13	17.00	17.45	23.80				2.21				100	74	CH						15.0		17		A-7-6
SS-14	18.00	18.45	25.10										CH						12.5		12		A-7-6
SS-15	19.50	19.95	24.80								100	79	CH/SH								18	A-7-6/A-3	
SS-16	21.00	21.45	25.40				2.02				100	99	CH						12.5		19		A-7-6
SS-17	22.50	22.95	18.80										SC								39		A-2-4
SS-18	24.00	24.45	27.80								100	98	CH/SH						11.3		35		A-7-6/A-3
SS-19	25.50	25.95	19.50								100	99	SH-SP								84		A-7-6/A-3
SS-20	27.00	27.45	16.20										SH-SP								74		A-3
SS-21	28.50	28.95	17.80								100	98	70	9	SH-SP						66		A-3

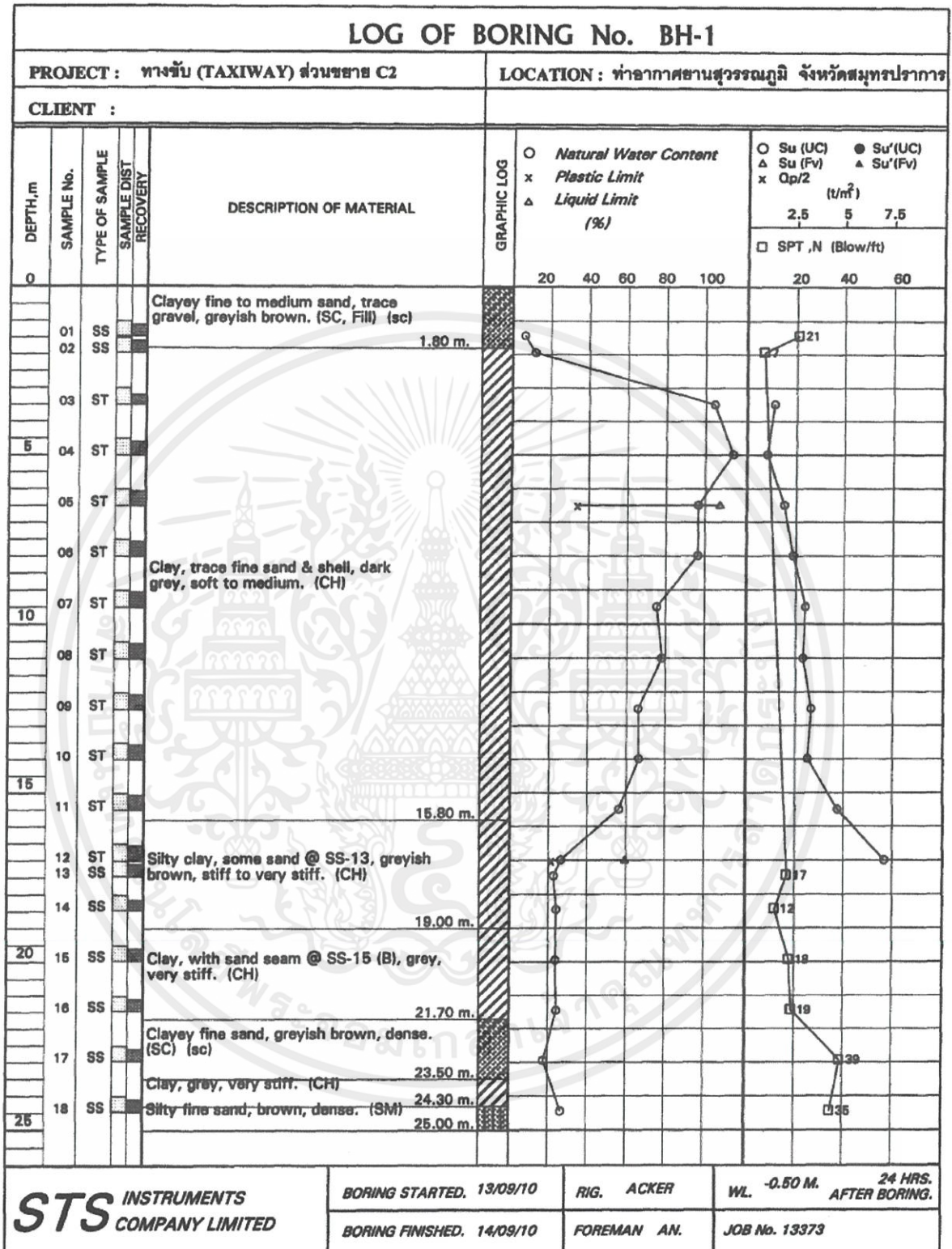
ตารางที่ 4.1 รายงานผลการสำรวจชั้นดินทางขับ (TAXIWAY) ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

จากรายงานผลการสำรวจชั้นดินข้างต้น สังเกตได้ว่า ชั้นดินที่ความลึก 3-6 เมตร จะมีปริมาณ

ความชื้นที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นที่อยู่เหนือและต่ำลงไป ซึ่งถ้าสามารถดึงน้ำในชั้นดินนี้ออกมาได้

ก็จะทำให้ดินเกิดการยุบอัดตัวคายน้ำเป็นการเร่งการทรุดตัวของดินได้ คณะทำงานได้พิจารณาใช้ท่อ

ประปาเหล็กขนาด 1¼ นิ้ว ความยาว 6 เมตร (มีชายในท้องตลาด) มาใช้เป็นท่อแนวตั้ง



ตารางที่ 4.2 LOG OF BORING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 อิทธิพลความลึก

ในการพิจารณาอิทธิพลความลึกเนื่องจากการบดอัด ต้องคำนึงถึงน้ำหนักและความสูงที่ยกตึ่มน้ำหนัก Lukas (1986) ได้ปรับปรุงสมการของ Menard and Broise (1975) ได้ตั้งสมการที่ 4.1

$$D_{\max} = n\sqrt{WH} \quad (4.1)$$

เมื่อ	D	=	อิทธิพลความลึกเนื่องจากการบดอัด ,เมตร
	W	=	น้ำหนักของตึ่ม ,ตัน
	H	=	ความสูงที่ยกตึ่มน้ำหนัก ,เมตร
	n	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของดิน (0.3-0.5 สำหรับดินเหนียว ,0.5-1 สำหรับดินทราย)

ขั้นตอนการออกแบบ

1. ตึ่มคอนกรีตขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1.5 \times 2.4 = 8.1$ ตัน
2. ความสูงที่ยกตึ่ม = 15 เมตร
3. ค่าสัมประสิทธิ์ของดิน = 0.5 (สำหรับดินเหนียว)

ดังนั้น จากสมการที่ (4.1) จะได้

$$D_{\max} = 0.5\sqrt{8.1 \times 15}$$
$$D_{\max} = 5.5 \text{ m}$$

4.1.1.3 พลังงานเนื่องจากการบดอัด

ในการพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการบดอัด เพื่อที่จะนำไปออกแบบตัวแปรเบื้องต้นสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดิน จะใช้ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$AE = \frac{NWHP}{S^2} \quad (4.2)$$

เมื่อ AE = พลังงานที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่, ตัน/ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพียงอย่างเดียวและไม่ควรนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- W = น้ำหนักของตุ้ม, ตัน
- H = ความสูงที่ยกตุ้มน้ำหนัก, ม.
- P = Number of Passes=1
- S = ระยะห่างระหว่างท่อระบายน้ำแนวดิ่ง, ตร.ม.

ขั้นตอนการออกแบบ

1. จำนวนครั้งที่ปล่อยตุ้มน้ำหนักต่อจุด = 3 ครั้ง
2. น้ำหนักของตุ้ม = 8.1 ตัน
3. ความสูงที่ยกตุ้ม = 15 เมตร
4. Number of Passes = 1
5. ระยะห่างระหว่างท่อระบายน้ำแนวดิ่ง = 3 เมตร

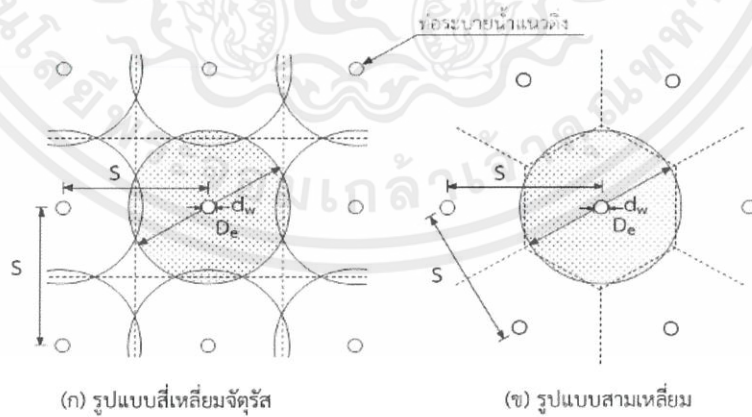
ดังนั้น จากสมการที่ (4.2) จะได้

$$AE = \frac{3 \times 8.1 \times 15 \times 1}{3^2}$$

$$AE = 40.5 \text{ ตัน/ม.}$$

4.1.2 การจัดวางระยะห่างของท่อระบายน้ำแนวดิ่ง

การจัดวางระยะห่างของท่อระบายน้ำในแนวดิ่งจะพิจารณาจากกรณีท่อระบายน้ำในแนวรัศมี ภายใต้เงื่อนไขอุดมคติ โดยใช้ทฤษฎีของ barron(1948) ตามรูปดังแสดงข้างล่าง



รูปที่ 4.1 รูปแบบการจัดท่อแนวดิ่ง

$$D_e = 1.13 S \text{ (กรณีติดตั้งแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส)}$$

$$D_e = 1.05 S \text{ (กรณีติดตั้งแบบสามเหลี่ยม)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อมูลนี้และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

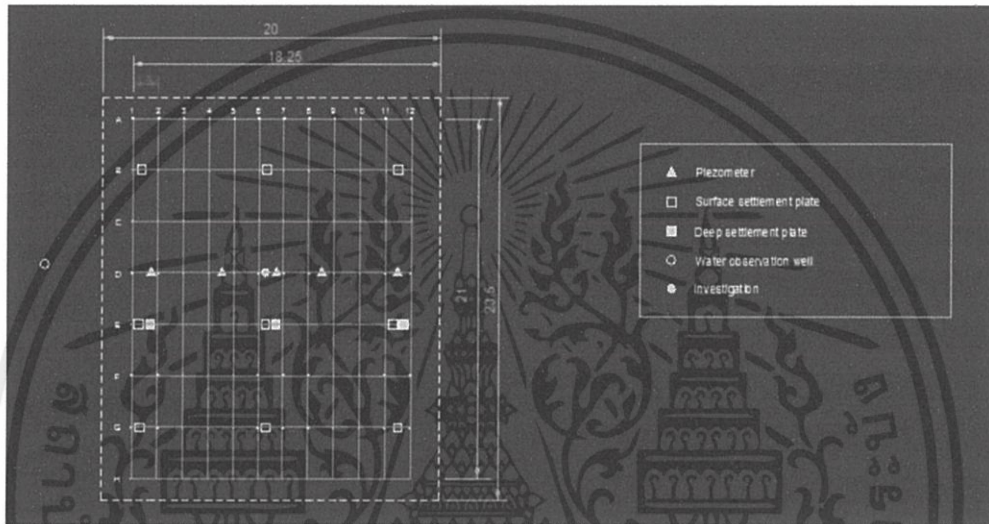
ขั้นตอนการออกแบบ

1. คัดกรณีติดตั้งแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส
2. ระยะห่างระหว่างท่อแนวดิ่ง ใช้ระยะไกลสุด = 3 เมตร

ดังนั้น จากสมการจะได้

$$D_e = 1.13 \times 3$$

$$D_e = 3.39 \text{ เมตร}$$



รูปที่ 4.2 แปลงการทดลองที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมกำลังรับแรงเฉือนของดินที่เปลี่ยนแปลงไปของดินเนื่องจากการปรับปรุง
คุณภาพดินด้วยวิธี DCVM

4.2.1 พิจารณากำลังรับแรงเฉือนของดินระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลอง

4.2.1.1 พิจารณากำลังรับแรงเฉือนของดินก่อนการทดลอง

SUMMARY OF TEST RESULTS															
PROJECT :		HVDM				LOCATION :									
DATE		BORING NO.		BH-1		OBSERVED WL. -8.00									
						Sovarnabhumii									
SAMPLE No.	DEPTH (m)		WATER CONTENT (%)	ATTERBERG LIMITS (%)			WET UNIT WEIGHT (k/m ³)	SIEVE ANALYSIS					CLASSIFICATION	UNCONFINED SHEAR STRENGTH (t/3q m.)	SPT (N) (blows/ft)
	FROM	TO		LL	PL	PI		%FINER							
							NO.	NO.	NO.	NO.	NO.				
SS-01	0.00	1.00	23.51				3.8"	4	10	40	200			5	
SS-02	1.00	2.00	51.53											3	
ST-03	2.00	3.00	113.16	53.473	32.537	20.936	1.469						MH-OH	-	
ST-04	3.00	4.00	111.50	67.964	23.012	44.952							CH-OH	-	
ST-05	4.00	5.00	114.25	59.295	34.533	24.762	1.458						MH-OH	-	
ST-06	5.00	6.00		63.778	40.954	22.824							MH-OH	-	
ST-07	6.00	7.00	118.44	55.903	39.060	16.843	1.444						MH-OH	-	
ST-08	7.00	8.00	107.01	53.184	29.308	23.876							MH-OH	-	
ST-09	8.00	9.00		50.885	31.946	18.939	1.564						MH-OH	-	
ST-10	9.00	10.00	71.04	58.588	23.466	35.122							CH-OH	-	
SS-11	10.00	11.00	100.84											1	
SS-12	11.00	12.00	75.75											2	
SS-13	12.00	13.00	73.93											4	
SS-14	13.00	14.00	68.83											5	
SS-15	14.00	15.00	63.20											7	
SS-16	15.00	16.00	33.47											18	
SS-17	16.00	17.00	27.41											32	
SS-18	17.00	18.00	21.22											37	
SS-19	18.00	19.00	20.43											41	
SS-20	19.00	20.00	19.94											43	
SS-21	20.00	21.00	17.42											46	

ตารางที่ 4.3 รายงานสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลข้อมูลการเจาะสำรวจดิน						
วัน เดือน ปี	ระดับ	ระยะ	N	รายละเอียด	WT	
5 มีค. 56		0.00		ระดับผิวดิน	1.7 m	
	0.40		3, 2, 3	ดินถม		
		1.00	1, 1, 2	ดินเหนียว, ตะกอน, ทรายละเอียดสีน้ำตาล		
	2.00	2.00				
6 มีค. 56		3.00	0.66 ซม.		1.50 m	
		4.00	0.54 ซม.			
		5.00	0.76 ซม.			
		6.00	0.70 ซม.			
		7.00	0.57 ซม.			
		8.00	0.73 ซม.			
		9.00	0.40 ซม.			
		10.00	10.00	0.54 ซม.		
		11.00	11.00	1, 0, 1		
		12.00	12.00	1, 1, 1		
		13.00	13.00	1, 2, 2		ตะกอน มีความเหนียว สีเทา
7 มีค. 56		14.00	14.00	1, 2, 3	0.5 m	
	14.60	14.60	3, 3, 4			
		15.00	5, 8, 10			
		16.00	12, 15, 17	ดินเหนียวปนตะกอน ปนทรายละเอียด สีน้ำตาลปนเหลือง		
		17.00	13, 17, 20			
		18.00	16, 19, 22			
		18.05	18.05	14, 19, 24		ตะกอนปนทรายละเอียดมีความเหนียวสีน้ำตาล
	20.00	20.00	15, 20, 26			
	20.45	20.45		ก้นหลุม		
		21.00				

ตารางที่ 4.4 แสดงผลข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUMMARY OF TEST RESULTS															
PROJECT : HVDM			LOCATION : Suvarnabhumi												
DATE		BORING NO. BH-1		OBSERVED WL. -8.00 m.											
SAMPLE No.	DEPTH (m)		WATER CONTENT (%)	ATTERBERG LIMITS (%)			WET UNIT WEIGHT (kN/m ³)	SIEVE ANALYSIS					CLASSIFICATION	UNCONFINED SHEAR STRENGTH (t/sq.m.)	SPT (N) (blows/ft)
	FROM	TO		LL	PL	PI		%FINER							
								NO. 3 8"	NO. 4	NO. 10	NO. 40	NO. 200			
SS-01	0.00	1.00	23.51												5
SS-02	1.00	2.00	51.53												3
ST-03	2.00	3.00	113.16	53.473	32.537	20.936	1.469						MH-OH		-
ST-04	3.00	4.00	111.50	67.964	23.012	44.952							CH-OH		-
ST-05	4.00	5.00	114.25	59.295	34.533	24.762	1.458						MH-OH		-
ST-06	5.00	6.00		63.778	40.954	22.824							MH-OH		-
ST-07	6.00	7.00	118.44	55.903	39.060	16.843	1.444						MH-OH		-
ST-08	7.00	8.00	107.01	53.184	29.308	23.876							MH-OH		-
ST-09	8.00	9.00		50.885	31.946	18.939	1.564						MH-OH		-
ST-10	9.00	10.00	71.04	58.588	23.466	35.122							CH-OH		-
SS-11	10.00	11.00	100.84												1
SS-12	11.00	12.00	75.75												2
SS-13	12.00	13.00	73.93												4
SS-14	13.00	14.00	68.83												5
SS-15	14.00	15.00	63.20												7
SS-16	15.00	16.00	33.47												18
SS-17	16.00	17.00	27.41												32
SS-18	17.00	18.00	21.22												37
SS-19	18.00	19.00	20.43												41
SS-20	19.00	20.00	19.94												43
SS-21	20.00	21.00	17.42												46

ตารางที่ 4.5 รายงานสรุปผลการทดลอง

Pocket Vane Shear Test							No.A044562	
ชั้นดิน (m.)	ขนาดใบพัด (in)	อ่านค่าครั้งที่ 1 ksc	อ่านค่าครั้งที่ 2 ksc	อ่านค่าครั้งที่ 3 ksc	อ่านค่าครั้งที่ 4 ksc	ค่าเฉลี่ย ksc	ปรับแก้ค่า ksc	
2 - 3	1+(7/8)	4.90	3.00	3.50	5.30	4.18	0.61	
4 - 5	1	1.00	1.60	1.60	1.70	1.48	1.09	
6 - 7	1+(7/8)	3.50	3.20	3.40	3.20	3.33	0.48	

ตารางที่ 4.6 Pocket Vane Shear Test

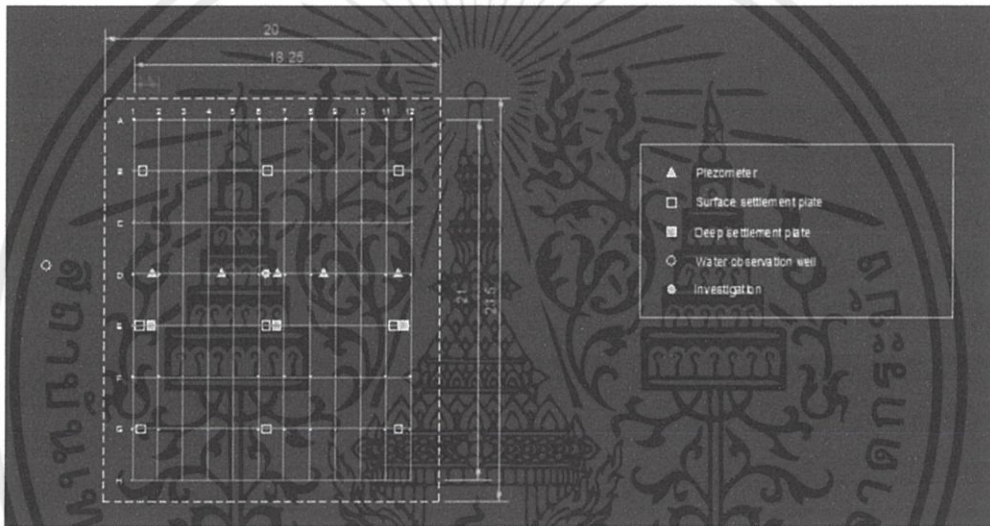
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

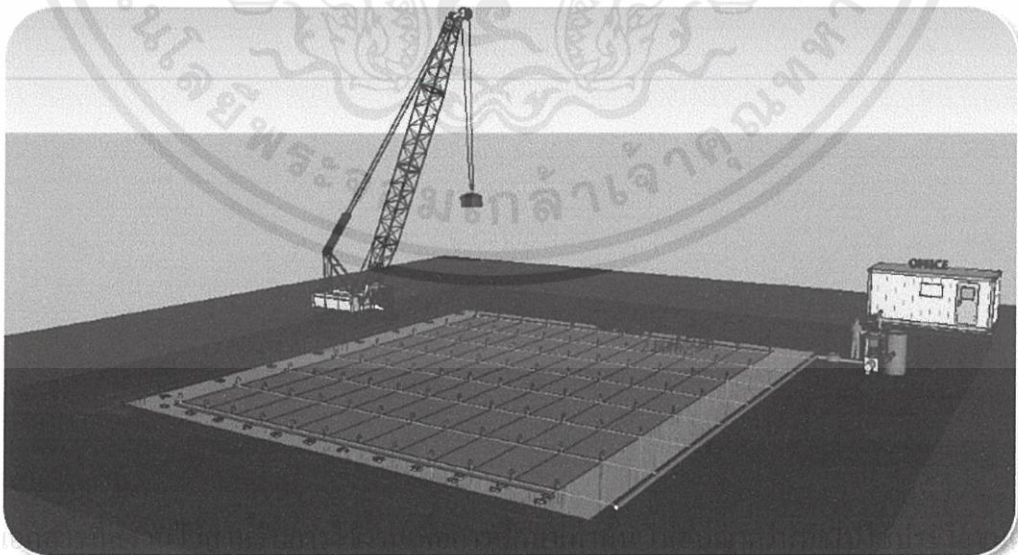
สรุปผล

5.1 การออกแบบการทดลองและการติดตั้งเครื่องมือในสนาม

- ความลึกของท่อแนวตั้ง 6 เมตร
- ระยะห่างของท่อแนวตั้ง 1.5×3 เมตร
- ตั้มน้ำหนัก (คอนกรีตเสริมเหล็ก) $1.5 \times 1.5 \times 1.5 \times 2.4 = 8.1$ ตัน
- ความสูงของการยกตั้มน้ำหนัก 15 เมตร



รูปที่ 5.1 แผนผังติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือในสนาม



เอกสารนี้เป็น

งานการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 5.2 แบบจำลองการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี DCVM รังที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อมูลดินพื้นฐานก่อนการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการ DCVM

ผลข้อมูลการเจาะสำรวจดิน						
วัน เดือน ปี	ระดับ	ระยะ	N	รายละเอียด	WT	
5 มี.ค. 56		0.00		ระดับผิวดิน	1.7 m	
	-0.40		3, 2, 3	ดินถม		
		1.00				
	2.00	2.00	1, 1, 2	ดินเหนียว, ตะกอน, ทรายละเอียดสีน้ำตาล		
6 มี.ค. 56		3.00	0.66 ซม.		1.50 m	
		4.00	0.54 ซม.			
		5.00	0.76 ซม.			
		6.00	0.70 ซม.			
		7.00	0.57 ซม.			
		8.00	0.73 ซม.			
		9.00	0.40 ซม.			
		10.00	10.00	0.54 ซม.		
		11.00	1, 0, 1			
		12.00	1, 1, 1			
7 มี.ค. 56		13.00	1, 2, 2	ตะกอน มีความเหนียว สีเทา	0.5 m	
		14.00	1, 2, 3			
	-14.60	3, 3, 4				
		15.00	5, 8, 10			
		16.00	12, 15, 17	ดินเหนียวปนตะกอน ปนทรายละเอียด สีน้ำตาลปนเหลือง		
		17.00	13, 17, 20			
		18.00	16, 19, 22			
	-18.05	14, 19, 24	ตะกอนปนทรายละเอียดมีความเหนียวสีน้ำตาล			
	20.00	15, 20, 26				
	20.45		ก้นหลุม			
	21.00					

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

SUMMARY OF TEST RESULTS																
PROJECT :		HVDM					LOCATION :									
DATE		BORING NO. BH-1					OBSERVED WL. -8.00 m.									
SAMPLE No.	DEPTH (m)		WATER CONTENT (%)	ATTERBERG LIMITS (%)			WET UNIT WEIGHT (lbm ³)	SIEVE ANALYSIS					CLASSIFICATION	UNCONFINED SHEAR STRENGTH (t.sq.m.)	SPT (N) (blows/ft)	
	FROM	TO		LL	PL	PI		%FINER								
						NO. 3/8"		NO. 4	NO. 10	NO. 40	NO. 200					
SS-01	0.00	1.00	23.51													5
SS-02	1.00	2.00	51.53													3
ST-03	2.00	3.00	113.16	53.473	32.537	20.936	1.469							MH-OH		-
ST-04	3.00	4.00	111.50	67.964	23.012	44.952								CH-OH		-
ST-05	4.00	5.00	114.25	59.295	34.533	24.762	1.458							MH-OH		-
ST-06	5.00	6.00		63.778	40.954	22.824								MH-OH		-
ST-07	6.00	7.00	118.44	55.903	39.060	16.843	1.444							MH-OH		-
ST-08	7.00	8.00	107.01	53.184	29.308	23.876								MH-OH		-
ST-09	8.00	9.00		50.885	31.946	18.939	1.564							MH-OH		-
ST-10	9.00	10.00	71.04	58.588	23.466	35.122								CH-OH		-
SS-11	10.00	11.00	100.84													1
SS-12	11.00	12.00	75.75													2
SS-13	12.00	13.00	73.93													4
SS-14	13.00	14.00	68.83													5
SS-15	14.00	15.00	63.20													7
SS-16	15.00	16.00	33.47													18
SS-17	16.00	17.00	27.41													32
SS-18	17.00	18.00	21.22													37
SS-19	18.00	19.00	20.43													41
SS-20	19.00	20.00	19.94													43
SS-21	20.00	21.00	17.42													46

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการเบื้องต้น

จากรายงานผลการสำรวจชั้นดินข้างต้น สังเกตได้ว่า ชั้นดินที่ความลึก 3-6 เมตร จะมีปริมาณความชื้นที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นที่อยู่เหนือและต่ำลงไป ซึ่งถ้าสามารถระบายน้ำในชั้นดินนี้ออกมาได้ก็จะทำให้ดินเกิดการยุบตัวด้วยน้ำเป็นการเร่งการทรุดตัวของดินได้

Pocket Vane Shear Test							No.A044562
ชั้นดิน (m.)	ขนาดใบพัด (in)	อ่านค่าครั้งที่ 1 ksc	อ่านค่าครั้งที่ 2 ksc	อ่านค่าครั้งที่ 3 ksc	อ่านค่าครั้งที่ 4 ksc	ค่าเฉลี่ย ksc	ปรับแก้ค่า ksc
2 - 3	1+(7/8)	4.90	3.00	3.50	5.30	4.18	0.61
4 - 5	1	1.00	1.60	1.60	1.70	1.48	1.09
6 - 7	1+(7/8)	3.50	3.20	3.40	3.20	3.33	0.48

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบ Pocket Vane Shear

จากการนำดินในสนามมีทำการทดสอบการรับกำลังแรงเฉือนของดินดังแสดงในตารางจะเห็นว่า ชั้นดินในช่วง 3-6 เมตร มีกำลังรับแรงเฉือนที่น้อยมากซึ่งยังไม่เหมาะสมต่อการรับแรงแบกทานของสิ่งปลูกสร้างที่จะมีขึ้นในอนาคต จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดินก่อนการก่อสร้าง ซึ่งการการศึกษาจากทฤษฎี บทความต่างๆที่เกี่ยวข้องและจากการได้ออกแบบการทดลองและได้ปฏิบัติงานในพื้นที่จริง คณะทำงานเห็นถึงความจำเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำเอาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการเพิ่มกำลังและเร่ง

การทรุดตัวของดินโดยวิธี DCVM (Dynamic Compaction and Vacuum Method) มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพซึ่งจะสามารถลดระยะเวลาในการปรับปรุงคุณภาพดินลงได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมที่เคยใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินในประเทศไทย เช่น PVD , PRE-LOAD เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] D.T. Bergado, J. Saowapakpiboon, N. Kovittayanon and T.P. De Zwart, "BeauDrain-S PVD Vacuum System in Soft Bangkok Clay : A Case Study of the Suvarnabhumi Airport Project," The 6th Symposium on Soil/Ground Improvement and Geosynthetics, Bangkok, 2006
- [2] W. Kjellman, "Consolidation of Clay Soil by means of Atmospheric Pressure," Proceeding of the Conference on Soil Stabilization, Massachusetts Institute of Technology, pp. 258-263, 1952
- [3] Menard, L. (1975). "Theoretical and practical aspect of dynamic consolidation." Geotechnique, 25(1), 3-17.
- [4] Mostafa, K. (2010). "Numerical modeling of dynamic compaction in cohesive soils." Thesis (PhD). University of Akron, Akron, Ohio.
- [5] R. Y. Liang, and S. Xu. 2010. "Innovative Soft Clay Improvements Using Vacuum and Dynamic Compaction," Proc. Indian Geotechnical Conference- 2010, GEOTrendz, Vol. III, Invited Papers, IIT Bombay, 133-141.
- [6] R. Y. Liang, and S. Xu. 2012. "High Vacuum Densification Method for Soft Soil Improvement," GeoCongress 2012 © ASCE 2012, 1928-1937.
- [7] Lukas, R.G. [1986]. "Dynamic compaction for highway construction." Vol. 1, Design and construction guidelines, Rep. No. FHWA/RD86/133, U.S. Federal Highway Administration, Washington, D. C.
- [8] Barron, R.A. 1948. Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells, Trans. ASCE. Vol. 113 : 718-754.
- [9] Hansbo, s. 1979. Consolidation of Clay by Band - Shaped Prefabricated Drains. Ground Eng. 5 : 16-25.
- [10] R. Y. Liang, and S. Xu. (2011). Innovative Soft Clay Improvements Using Vacuum and Dynamic Compaction, 2011 Pan-Am CGS Geotechnical Conference.
- [11] R. Y. Liang. Innovative Soft Ground Construction Techniques, Ohio Transportation Engineering Conference (OTEC).

[12] สุพจน์ ศรีนิล, แหลมทอง เหล่าคงถาวร, ชลธี เร่บ้านเกาะ. (2555). คู่มือปฏิบัติการทดลองปรุพี
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
กลศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มิน เซอร์วิส ซัพพลาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้