

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการทรุดตัวของชั้นดินฐานรากของคันดินถมรอบสนามบินสุวรรณภูมิ

THE STUDY OF FOUNDATION SETTLEMENT OF THE EMBANKMENT AROUND SUVARNABHUMI AIRPORT



T117599

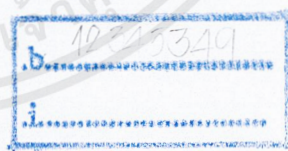
โดย

นายมงคลเฉลิม คุณสมบัติ

นายสรณีย์ เกียรติโชควิวัฒน์

นายสุชัย แซ่ลี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **117599**
วัน,เดือน,ปี.....- 9 ต.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE STUDY OF FOUNDATION SETTLEMENT OF THE EMBANKMENT
AROUND SUVARNABHUMI AIRPORT**

BY

**MR.MONGKOLCHALERM KOONSOMBUT
MR.SARUN KIATCHOKWIWAT
MR.SUCHAI SAEZHU**

**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**

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการทรุดตัวของชั้นดินฐานรากของคันดินถมรอบสนามบินสุวรรณภูมิ

นักศึกษา นายมงคลเฉลิม คุณสมบัติ รหัส 50011205

นายศรัณย์ เกียรติโชควิวัฒน์ รหัส 50011528

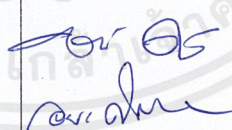
นายสุชัย แซ่ลี รหัส 50011702

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ปรีชานันท์ ศรีแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.อุบะ ศรีแก้ว

คณะกรรมการสอบ โครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.สุพจน์ ศรีนิล	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤษย์	
รศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์	
อ.ปรีชานันท์ ศรีแก้ว	
อ.อุบะ ศรีแก้ว	

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(.....)

อาจารย์ นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช
ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 8 เดือน เมษายน พ.ศ.2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการทรุดตัวของชั้นดินฐานรากของคันดินถมรอบสนามบินสุวรรณภูมิ
นักศึกษา	นายมงคลเฉลิม คุณสมบัติ นายศรัณย์ เกียรติโชควิวัฒน์ นายสุชัย แซ่ลี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ปรีชานันท์ ศรีแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.อุษะ สิริแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

คันดินถมถูกสร้างขึ้นล้อมรอบสนามบินสุวรรณภูมิเพื่อป้องกันน้ำท่วมจากภายนอกเข้าสู่พื้นที่ของสนามบิน หลังจากการก่อสร้างคันดินถมบดอัดแน่นแล้วเสร็จ จะเกิดการทรุดตัวของชั้นดินฐานรากของคันดินถม อันเนื่องมาจากน้ำหนักของคันดินที่สร้างขึ้นกดทับบนชั้นดินฐานรากนั้น การทรุดตัวของชั้นดินฐานรากประกอบด้วย การทรุดตัวแบบทันทีทันใด ซึ่งเกิดขึ้นขณะทำการก่อสร้าง น้ำในมวลดินจะถูกขับออกไปทันที และการทรุดตัวแบบการอัดตัวคายน้ำของมวลดินเหนียว เมื่อกระบวนการทั้งสองได้สิ้นสุดลง ดินใต้ฐานรากของคันดินดังกล่าวจะไม่เกิดการทรุดตัวอีก จะอยู่ตัวคงที่อย่างถาวร

โครงการวิจัยพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทรุดตัวระยะยาวของชั้นฐานรากของคันดินถมโดยการตรวจวัดระดับน้ำใต้ดินและทำการสำรวจค่าระดับของสันคันดินถม สามารถนำข้อมูลที่ได้มาทำการรวบรวมและวิเคราะห์เพื่อเข้าใจถึงลักษณะการทรุดตัวของชั้นฐานรากของคันดินถมของสนามบินสุวรรณภูมิ ผลการศึกษาวิจัยพบว่า ค่าการทรุดตัวของชั้นดินฐานรากของคันดินถมบดอัดแน่นของสนามบินสุวรรณภูมิในแต่ละปีมีค่าประมาณ 2.25 เซนติเมตร/ปี ค่าแรงดันน้ำใต้ดินนั้นมีค่าไม่เท่ากับ ไฮโดรสแตติก เฮด แสดงให้เห็นว่า ยังคงมีการทรุดตัวระยะยาวของชั้นดินฐานรากของคันดินถมอีกต่อไป

Title : THE STUDY OF FOUNDATION SETTLEMENT OF THE
EMBANKMENT AROUND SUVARNABHUMI AIRPORT

Name : MR.MONGKOLCHALERM KOONSOMBUT
MR.SARUN KIATCHOKWIWAT
MR.SUCHAI SAEZHU

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : MR.PRECHANUN SRIKAEW

Co-Advisor : MISS.UBA SIRIKAEW

ABSTRACT

The earth embankment encircling Suvarnabhumi Airport was constructed to protect the airport against floodwater from the outside. After the construction was completed, consolidation settlements of the soil foundation owing to its embankment weight began to develop. These processes could be chronologically characterized as: an immediate settlement, a primary settlement that occurs during a construction period while the excess pore water is extruded, and the long-term settlement; a secondary settlement that occurs after the excess pore pressure has substantially dissipated. When all these processes were complete, the soil foundation might be expected no more settlement permanently.

The special project aims to determine the long-term settlements of the embankment foundation by monitoring of the groundwater level and to perform a ground survey of the embankment's crest as well. The obtained and collected data were then analyzed to understand the behavior of the embankment's foundation of Survarnabhumi Airport. This study leads to conclude that the embankment has been completed its long-term settlements and its soil foundation has experienced settlements of about 2.25 cm/yr. The groundwater pressure has no reach to the hydrostatic head implied the long-term settlements of the foundation of the earth embankment still be developed.

กิตติกรรมประกาศ

อันดับแรก ขอขอบพระคุณอาจารย์ ปรีชาพันธ์ ศรีแก้ว ที่ได้ให้การปรึกษาเรื่องต่างๆ ในโครงการวิจัยเป็นอย่างดี และที่สำคัญจะไม่กล่าวขอบพระคุณอาจารย์ท่านนี้ก็ไม่ได้ คือ อาจารย์ อุเบ ศิริแก้ว ที่ทุ่มเทแรงกายและแรงใจอย่างมากที่สุด ทั้งเรื่องเกี่ยวข้องกับงานด้านวิศวกรรมและการชี้แนะแนวทางต่างๆทางด้านวิศวกรรม ผู้ประพันธ์จะพึงระลึกเสมอ ในฐานะผู้ทรงคุณวุฒิ

ขอขอบพระคุณ พี่ สัจจาวิทย์ วิศวกรโยธา แห่งท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ พี่เฟิร์น พี่ไอซ์ แห่ง AIT ที่คอยช่วยเหลือในเรื่องข้อมูลต่างๆ ซึ่งมีสำคัญอย่างมากในการประกอบจัดทำโครงการวิจัยของผู้ประพันธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สกุศล ห่อวโนทยาน และ ผศ.สมเกียรติ ขวัญพุกภัย ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่กระจ่างชัดในบางเรื่อง และขอขอบพระคุณแค่ คณะกรรมการสอบ โครงการพิเศษนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำและชี้แนวทางที่เกี่ยวกับโครงการวิจัยให้กระจ่างแจ้งแก่ผู้ประพันธ์มากขึ้น ทำให้ผู้ประพันธ์สามารถทำโครงการพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี และขอขอบคุณเพื่อนๆของผู้ประพันธ์ นาย ภาสกร ทองผิว และ นาย วรุต กุมภพันธ์ ที่ได้สละเวลามาช่วยในการลงพื้นที่ทำงาน ทำให้ผู้ประพันธ์ทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ท้ายที่สุด สำหรับคำขอบคุณอันพิเศษขอบอบแด่สมาชิกครอบครัวของผู้ประพันธ์ที่ให้ความช่วยเหลือเสมอมา ทั้งด้านกำลังใจ คำปลอบใจ ตลอดจนการศึกษาของผู้ประพันธ์ ที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายมงคลเฉลิม คุณสมบัติ

นายศรัณย์ เกียรติโชควิวัฒน์

นายสุชัย แซ่สี

ผู้ประพันธ์

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกนอก (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญรูป	ฌ
	สารบัญตาราง	ญ
1	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
	1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
2.1	หน่วยแรงต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทрудตัว	3
2.2	ปัจจัยที่มีผลต่อการทрудตัว	6
2.3	การทрудตัวของดินโดยทั่วไป	11
2.4	การจำแนกชนิดการทрудตัวของดิน	12
2.5	การวิเคราะห์การทрудตัวของดินเหนียวอ่อน	22
2.6	ข้อมูลท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	30
2.7	การสำรวจทрудของพื้นดินเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	34
3	การดำเนินการวิจัย	
3.1	แผนและระยะเวลาการดำเนินงาน	38
3.2	การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	40
3.3	สำรวจภาคสนาม	40
3.4	วิเคราะห์ข้อมูล	41
3.5	จัดทำรายงานรูปเล่ม	41

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
4	ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล	
4.1	ที่มาของข้อมูลการศึกษาเรื่องการทุจริต	42
4.2	ค่าการทุจริตของแผ่นดินสำรวจโดยกรมแผนที่ทหาร	43
4.3	ข้อมูลจากการทดสอบคันดินของ AIT	46
4.4	ผลการศึกษาในภาคสนาม	53
5	สรุปผลการวิจัย	
5.1	สรุปผลการวิจัย	65
5.2	ข้อเสนอแนะ	66
	บรรณานุกรม	67
	ภาค ผนวก ก.	
	- แสดงข้อมูล Consolidation ของ AIT	ผก 1
	- ตาราง ก-1 Data for Settlement Analysis	ผก 1
	- ตาราง ก-2 (a) Amount of Primary Consolidation Settlement of Each Sub layer and Time Required for 100% Consolidation Location A	ผก.4
	- ตาราง ก-2 (a) Amount of Primary Consolidation Settlement of Each Sub layer and Time Required for 100% Consolidation ³	ผก.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ภาค ผนวก ก.	
	- ตาราง ก-3 Summary of Amount of Primary Settlement	ผก.6
	- ตาราง ก-4 Calculation of Secondary Settlement: Location A	ผก 9
	ภาค ผนวก ข	
	- แสดงค่าระดับที่ได้จากภาคสนาม	ผข 1
	- ตาราง ข-1 แสดงข้อมูลการวัดระดับ	ผข 2
	ภาค ผนวก ค	
	- แสดงผลการทดสอบจากการเก็บตัวอย่างดินในคันดิน	ผค 1
	- ตาราง ค-1 แสดงผลการทดสอบ Field Density	ผค 1
	ภาค ผนวก ง	
	- แสดงผลการวัดค่าระดับน้ำใน Inclinator	ผง 1
	- แสดงการวัดค่าระดับน้ำใน Inclinator ในวันต่างๆ	ผง 1
	ภาค ผนวก จ	
	- รูปที่ จ-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำขึ้น-ลง ที่วัดได้จากท่อ Inclinator ใน Station ต่างๆ	ผจ 1

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	ความเค้นรวมในดิน	3
2.2	ความดันน้ำ	4
2.3	ความเค้นประสิทธิผล	5
2.4	การคำนวณหาความเค้นประสิทธิผล	6
2.5	อิทธิพลของชนิดของดินต่อความเค้นใต้พื้นดินที่รับน้ำหนัก	7
2.6	อิทธิพลของความแข็งของฐานรากต่อการทรุดตัวและความเค้น	8
2.7	หลักการ Superposition	10
2.8	ลักษณะการกระจายความเค้นใต้ดินถม	10
2.9	น้ำหนักที่ถ่ายลงสู่เม็ดดินเริ่มแรกถูกค้ำด้วย pore water	11
2.10	เม็ดดินที่เริ่มมีการรับ Load เนื่องจากน้ำเริ่มไหลออกจากมวลดิน	11
2.11	แสดงกระบวนการยุบตัวแบบ consolidation การระบายแบบสองทิศทาง	12
2.12	พื้นที่ของการกระจายหน่วยแรงบนพื้นดิน	13
2.13	นิยาม โมดูลัสของความยืดหยุ่น	14
2.14	รายละเอียดของสภาพมวลดินตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความยุบอัดตัว	17
2.15	แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินกับหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น	17
2.16	แสดงระยะเวลาไหลออกของน้ำจากดิน	20
2.17	การคำนวณหาพารามิเตอร์การอัดตัวหุติยภูมิ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.18	แสดงการทรุดตัวของฐานรากดินเหนียว	23
2.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain	24
2.20	แสดงการหาค่า Influence Factor	25
2.21	แสดงตัวอย่างการคำนวณการทรุดตัวในแต่ละชั้น	26
2.22	แสดงการทดสอบดินตามทฤษฎีของ Terzaghi ก็คือ Oedometer Test หรือ 1-D Consolidation Test	27
2.23	แสดงค่าการปรับแก้ค่า μ	29
2.24	สถานีสูบน้ำและคันดินถมก้นน้ำ บริเวณโดยรอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	32
2.25	ภาพตัดขวางของคันดินถมบดอัดแข็ง	33
2.26	พื้นที่แสดงตำแหน่งหมุดหลักฐานในแผนที่ของกรมแผนที่ทหาร	34
2.27	พื้นที่แสดงตำแหน่งหมุดหลักฐานในแผนที่ของกรมแผนที่ทหาร	36
2.28	หมุดหลักฐาน CI (COMPRESSION INDICATORS)	37
3.1	Flow chart แผนการดำเนินงาน	39
4.1	แสดงสถานีตรวจวัดการทรุดตัวของ สผ. รอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	44
4.2	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการทรุดตัวในแต่ละสถานีจากหมุดที่ต่างกัน	45
4.3	ลักษณะหน้าตัดทั่วไปใต้คันดินถมของชั้นฐานราก	46
4.4	รูปแปลนแสดงตำแหน่งที่มีการทดสอบวัดค่าต่างๆ บนแบบจำลองดินถม	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.5	Locations for Settlement Analysis and Pressure intensity for Stress Analyses	49
4.6	Soil Profile with Consolidation Tests	50
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงการทรุดตัวระยะยาว	51
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำที่วัดได้ในแต่ละวันกับความดันน้ำใต้ดิน	52
4.9	ตัวแทนค่าความดันน้ำที่วัดจาก Dummy Piezometer ของสนามบินสุวรรณภูมิ	51
4.10	เปรียบเทียบค่าระดับของตัวแทนหน้าตัดที่ทำการวัดค่าระดับได้	54
4.11	แสดงตำแหน่งหลุม Inclinomater ที่สำรวจเจอรอบสนามบินสุวรรณภูมิ	58
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกและ Pore Pressure ใน Location A	61
4.13	แสดงการกระจายของความดันของคันดินถม ณ ได้ฐานรากที่ระยะความลึกต่างๆ	64

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	อัตราส่วนพัทธ์ของ (μ , Poisson's Ratio) ของดินชนิดต่างๆ	15
2.2	ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของดินชนิดต่างๆ	15
2.3	ปัจจัยของรูปร่างและความแข็งแกร่งสำหรับคำนวณการทรุดตัว (C_d)	16
2.4	แสดงค่า Time Factor (T_v) เมื่อทราบค่า Percent of consolidation (U_v)	20
3.1	แสดงระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย	38
4.1	ข้อสังเกตเปรียบเทียบการศึกษาการทรุดตัว	42
4.2	แสดงตำแหน่งสถานีแสดงค่าระดับของหมุดในแต่ละปี	43
4.3	ค่าเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลสถานีตรวจวัดกับข้อมูลของกรมแผนที่ทหาร	45
4.4	ค่าเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากค่าการทำนายกับข้อมูลที่วัดได้จริงในสนามจากการทำระดับ	51
4.5	แสดงค่าความดันเฉลี่ย ณ Location ต่างๆ	53
4.6	แสดงค่าระดับน้ำเฉลี่ยที่วัดได้จาก Inclinator	57
4.7	แสดงการเปรียบเทียบจากกราฟที่เขียนได้ดังรูปที่ 4.12	63
4.8	แสดงการคำนวณค่าการทรุดตัวที่ระดับชั้นต่างๆของฐานรากใต้คันดินถม	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สนามบิณสุวรรณภูมิ เป็นสนามบิณแห่งชาติของประเทศไทยและยังเป็นศูนย์รวมเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ อีกทั้งถือได้ว่าเป็นประตูภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากสภาพภูมิศาสตร์ของสนามบิณตั้งอยู่บริเวณเขตลุ่มแม่น้ำ ทำให้มีโอกาศเกิดน้ำท่วมเข้ามายังสนามบิณได้ วิศวกรได้คำนึงถึงปัญหาตรงส่วนนี้จึงได้แก้ปัญหาคโดยการสร้างคันดินกั้นไว้รอบตัวสนามบิณสุวรรณภูมิ ให้มีระดับที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 3.50 เมตร แต่เนื่องจากดินที่นำมาถมนั้นเป็นดินเหนียวอ่อนที่เกิดจากการขุดคลองรอบสนามบิณ เมื่อระยะเวลาผ่านไป คันดินดังกล่าวมีสภาพที่เสื่อมโทรมไปตามกาลเวลา หากไม่ได้มีการบำรุงรักษาหรือปรับปรุงสภาพคันดินแต่อย่างใด เมื่อมีการเกิดฝนหนักหรือฝนหนึ่นปี หรือมีช่วงระยะเวลาหนึ่งปริมาณความชื้นของฝน ฝน ตรงนั้นสูงมาก น้ำบริเวณรอบนอกสนามบิณไม่สามารถระบายออกสู่อ่าวไทยได้ทัน ผลที่อาจเกิดขึ้นคือ น้ำจากภายนอกอาจไหลเข้าท่วมตัวสนามบิณได้ ซึ่งอาจสร้างความเสียหายต่อตัวสนามบิณและยังมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของชาติด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทรุดของคันดินถมและได้ฐานรากของคันดินถม บริเวณรอบสนามบิณสุวรรณภูมิ
- 2.) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อทรุดตัวของระยะยาวและคุณสมบัติด้านวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทรุดตัวของคันดินถมรอบสนามบิณสุวรรณภูมิ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.) ศึกษาเฉพาะคันดินถมและฐานรากของคันดินถม รอบสนามบินสุวรรณภูมิเท่านั้น
- 2.) ทำการตรวจวัดค่าระดับบนคันดินถมซึ่งมีค่าความถูกต้องเป็นแบบชั้น 3 และตรวจวัดค่าความดันน้ำใต้ดิน(Pore Pressure) รอบๆสนามบินที่ถูกติดตั้งไว้ก่อนอยู่แล้วในสนามบินสุวรรณภูมิเท่านั้น
- 3.) เปรียบเทียบค่าการทรุดตัวระยะยาว (Long term Settlement) จากค่าความดันน้ำใต้ดิน (Pore Pressure) ที่วัดได้จากภาคสนาม แล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ AIT เคยทำการศึกษามาที่ความลึกสูงสุดเพียง 15.40 เมตร เท่านั้น
- 4.) สุ่มตรวจสอบคุณสมบัติในกรณีที่มีข้อมูลทุติยภูมิ หากข้อมูลบางอย่างไม่มีความละเอียดเพียงพอ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.) สามารถทราบและจำแนกการทรุดตัวของคันดินถมรอบสนามบินสุวรรณภูมิได้
- 2.) เสริมสร้างประสบการณ์การทำงานภาคสนามในอนาคต
- 3.) รวบรวมข้อมูลที่ได้อีกขึ้นมาเพื่อให้ผู้ที่สนใจได้นำไปศึกษาหรือสามารถนำไปเป็นข้อมูลอ้างอิงได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.) ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาถึงหัวข้อที่จะทำการศึกษา
- 2.) ทบทวนวรรณกรรม พร้อมหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 3.) ออกสำรวจสถานที่จริง วัดค่าระดับบนคันดิน และวัดค่าความดันน้ำใต้ดินจาก Inclinometer
- 4.) วิเคราะห์ข้อมูลนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลทุติยภูมิ
- 5.) สรุปผลการวิจัย และจัดทำรูปเล่ม

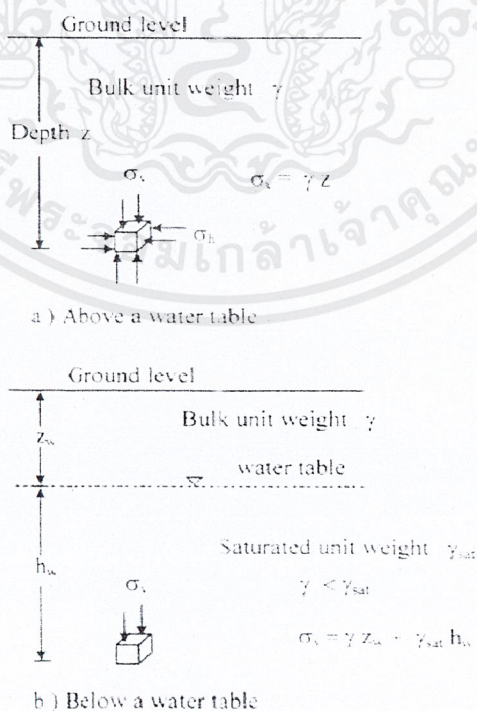
บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 หน่วยแรงต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทรุดตัว

2.1.1 ความเค้นรวม (Total Stress)

ความเค้นรวม คือหน่วยแรงที่กระทำบนระนาบโดยสมมติว่าดินเป็นวัสดุแข็ง สำหรับมวลดินก้อนหนึ่งในสภาวะเสถียร (ปราศจากการยุบอัดตัว และการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือน) ที่ความลึก z ได้ระดับดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ความเค้นรวมในแนวดิ่ง (σ_v) คือหน่วยแรงที่กระทำต่อพื้นที่ผิวในแนวดิ่งของมวลดิน และมีความเค้นรวมในแนวราบ (σ_h) กระทำต่อพื้นที่ผิวในแนวดิ่งของมวลดิน ความเค้นรวมในแนวดิ่งที่จุดใดๆสามารถหาได้จากผลคูณของหน่วยน้ำหนักดินกับความลึกจากผิวดินถึงจุดพิจารณา



รูปที่ 2.1 ความเค้นรวมในดิน

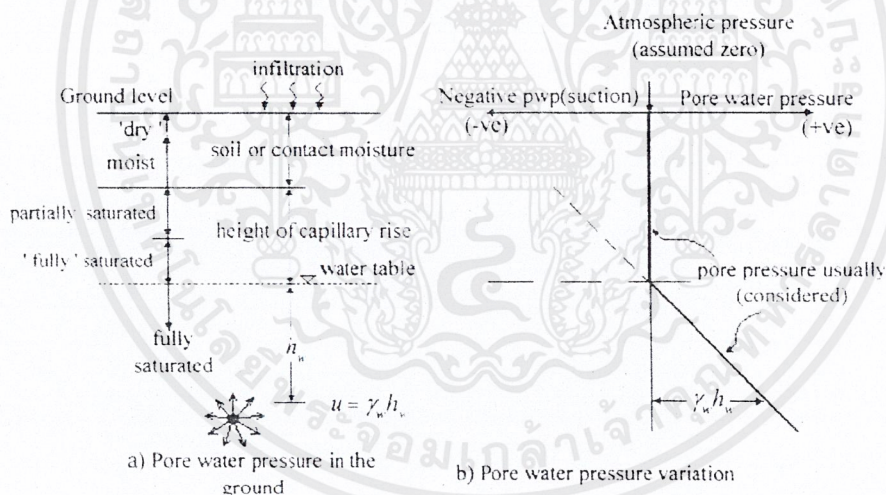
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ความดันน้ำในโพรง (Pore Water Pressure)

ความดันน้ำ คือความดันของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างหรือรอบเม็ดดิน ระดับที่ความดันน้ำเท่ากับความดันบรรยากาศ เรียกว่าระดับน้ำใต้ดิน (Ground water table) ถ้านำมาตรวัดความดันน้ำ (Piezometer) แทรกลงในดินที่ระดับต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน น้ำจะพุ่งขึ้นมาที่ระดับน้ำใต้ดิน ช่องว่างของน้ำในดินในระดับนี้จะอึดตัวด้วยน้ำ ดังนั้น ดินที่ระดับดังกล่าวสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นดินอึดตัวด้วยน้ำ (Saturated soil) ความดันน้ำที่จุดใดๆ สามารถคำนวณได้โดยสมการที่ 2.1 และการกระจายของความดันน้ำกับความลึกแสดงดังรูปที่ 2.2

$$u = \gamma_w h_w \quad (2.1)$$

เมื่อ h_w คือความลึกใต้ระดับน้ำใต้ดิน และ u คือความดันน้ำซึ่งมีขนาดเท่ากันทุกทิศทาง

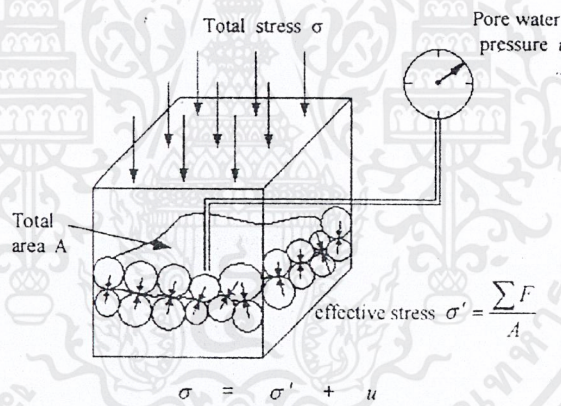


รูปที่ 2.2 ความดันน้ำ

2.1.3 ความดันประสิทธิผล (Effective Stress)

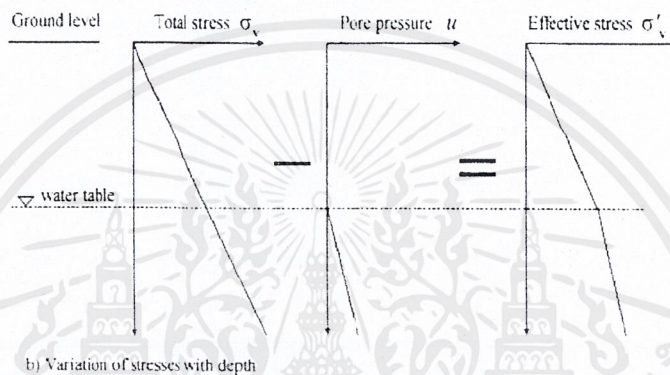
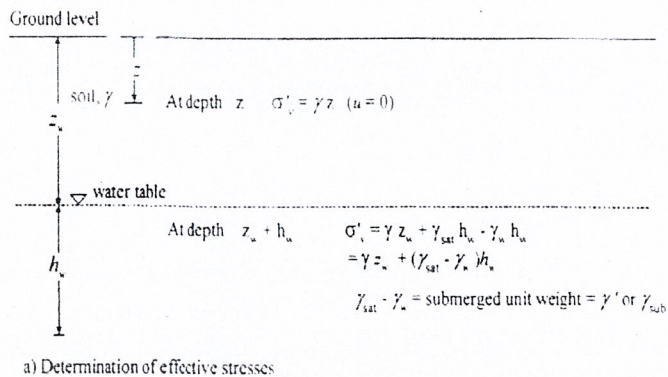
หลักการของความดันประสิทธิผล (Effective Stress Concept) สร้างขึ้นโดย Terzaghi ในปี ค.ศ. 1936 Terzaghi (1936) กล่าวว่าความดันรวมสามารถเปรียบได้กับหน่วยแรงภายนอกที่กระทำต่อมวลดินประกอบด้วยแรงสองส่วน ได้แก่ หน่วยแรงระหว่างเม็ดดิน ที่เรียกว่าความดันประสิทธิผล และความดันน้ำในช่องว่างของเม็ดดิน (ดังรูปที่ 2.3)

ความดันประสิทธิผล คือหน่วยแรงที่เกิดขึ้นภายใน โครงสร้างของดิน ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญควบคุมลักษณะทางวิศวกรรมของดิน อันได้แก่ การซึมผ่านได้ของน้ำ กำลังต้านทางแรงเฉือน และการอัดตัวคายน้ำ เป็นต้น ความดันประสิทธิผลนี้ไม่ใช่หน่วยแรงที่กระทำที่จุดสัมผัสของเม็ดดิน โดยตรง แต่เป็นตัวแทนหน่วยแรงที่ได้จาก โครงสร้างของดินเพื่อต้านความดันรวม



รูปที่ 2.3 ความดันประสิทธิผล

เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับความดันประสิทธิผลในดินมากยิ่งขึ้น พิจารณารูปที่ 2.4 ที่ระดับเหนือระดับน้ำใต้ดิน ความดันน้ำมีค่าเท่ากับศูนย์ (ในกรณีที่ไม่เกิดปรากฏการณ์คาพิลลารี) ดังนั้น ความดันรวมเท่ากับความดันประสิทธิผล ที่ระดับต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ความดันประสิทธิผลหาได้จากความดันรวมลบความดันน้ำหรือหาโดยตรงจากหน่วยน้ำหนักจมน้ำ (Submerged unit weight)



รูปที่ 2.4 การคำนวณหาความเค้นประสิทธิผล

หลักการของความเค้นประสิทธิผลสำหรับดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

- 1) กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเค้นประสิทธิผล
- 2) การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำเกิดขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้ง

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทรุดตัว

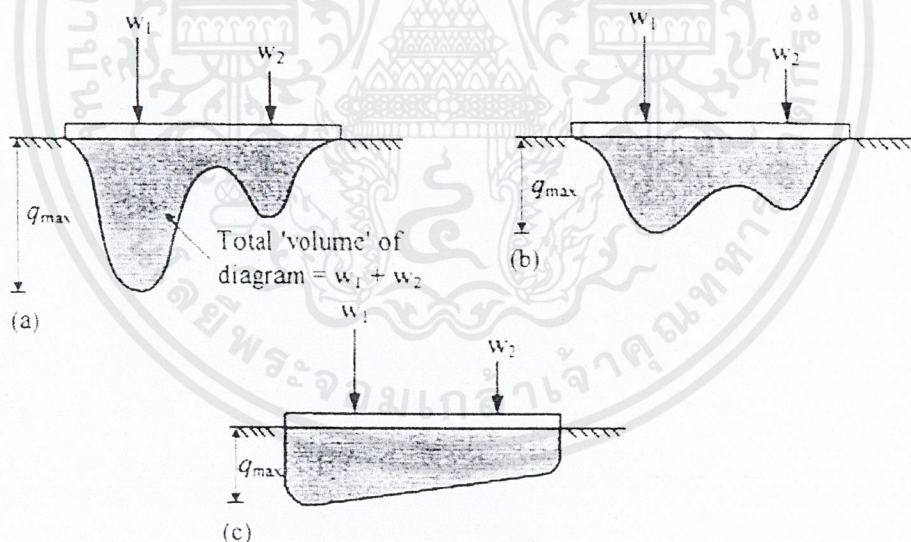
2.2.1 ความเค้นที่เกิดในมวลดิน

น้ำหนักบรรทุกบนฐานรากก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเค้นในมวลดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของความเค้น ความเค้นที่เพิ่มขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก พื้นที่ของฐานราก ความลึกได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานราก และอื่นๆ การประมาณการเพิ่มขึ้นของความเค้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากในการคำนวณการทรุดตัวของฐานราก ในที่นี้จะอธิบายการคำนวณความเค้นที่เพิ่มขึ้นในดินซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกในลักษณะต่างๆ โดยอาศัยทฤษฎียืดหยุ่น (Elastic theory) ถึงแม้ว่าดินไม่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น (Non-elastic) และมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอ (Non-homogeneous) แต่การประมาณการเพิ่มขึ้นของความเค้นโดยวิธีนี้ให้คำตอบที่เหมาะสมและยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

2.2.2 ความเค้นที่จุดสัมผัสระหว่างดินและฐานราก (Contact Pressure)

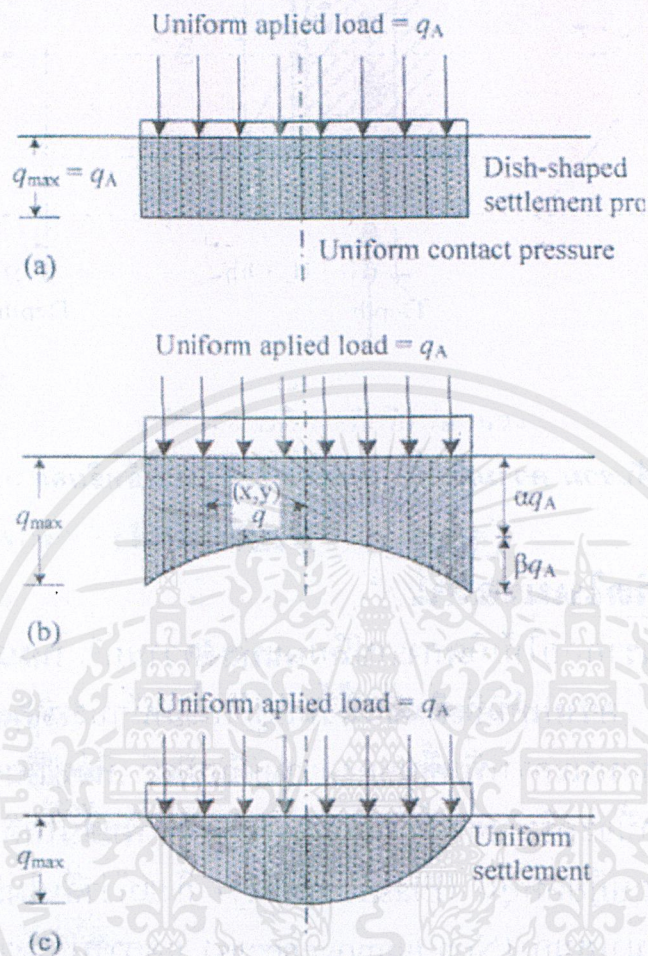
การกระจายความเค้นใต้ฐานรากขึ้นอยู่กับความแข็ง (Rigidity) ของฐานราก และสติฟเนส (Stiffness) ของดินฐานราก พิจารณาฐานรากซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกจากเสาสองแรง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เมื่อดินฐานรากเป็นดินแข็งหรือหินซึ่งมีค่าโมดูลัสสูงความเค้นที่กระจายใต้ฐานรากจะมีความไม่สม่ำเสมอสูง โดยที่ความเค้นใต้ฐานรากมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่งซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกที่มาก ดังรูปที่ 2.5a การกระจายความเค้นมีความสม่ำเสมอมากขึ้นตามการลดลงของค่าโมดูลัสของดิน ดังรูปที่ 2.5b และ 2.5c



รูปที่ 2.5 อิทธิพลของชนิดของดินต่อความเค้นใต้พื้นดินที่รับน้ำหนัก a) หิน b) ดินแข็ง c) ดินอ่อน

สำหรับชั้นดินอัดตัวได้ที่หนาอยู่ใต้ฐานรากค้ำค้ำ (Flexible footing) ซึ่งรับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ การทรุดตัวจะมีลักษณะคล้ายงาน และการกระจายความเค้นจะมีความสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.6a สำหรับฐานรากค้ำรูป (Rigid footing) บนชั้นดินอ่อน การทรุดตัวใต้ฐานรากจะมีความสม่ำเสมอ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ริมของฐานรากจะเกิดความเค้นสูงสุด ดังรูปที่ 2.6b สำหรับทราย ความเค้นใต้ฐานรากคงรูปจะมีค่าต่ำมากที่ริม และมีค่ามากที่กึ่งกลาง ดังรูปที่ 2.6c



รูปที่ 2.6 อิทธิพลของความแข็งของฐานรากต่อการทรุดตัวและความเค้น

a) ฐานรากค้ำค้ำ b) ฐานรากคงรูปบนดินเม็ดละเอียด c) ฐานรากคงรูปบนดินเม็ดหยาบ

ในความเป็นจริง ฐานรากจะมีความแข็งอยู่ระหว่างฐานรากค้ำค้ำและฐานรากคงรูป ดังนั้นลักษณะการกระจายของความเค้นและการทรุดตัวจะมีลักษณะอยู่ระหว่างฐานรากทั้งสองแบบ พึงตระหนักว่าลักษณะการกระจายความเค้นใต้ฐานรากมีผลต่อโมเมนต์ค้ำค้ำที่เกิดขึ้นในฐานราก วิธีที่นิยมและเหมาะสมสำหรับการคำนวณความเค้นและการทรุดตัว คือการสมมติให้การกระจายของทั้งความเค้นและการทรุดตัวเป็นแบบสม่ำเสมอ

2.2.3 ความเค้นที่เกิดจากแรงภายนอกแบบต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงของความเค้นและความเครียดในมวลดินขึ้นอยู่กับรูปแบบของน้ำหนักบรรทุก ความหนาของชั้นดิน และหน่วยน้ำหนักของดินในแต่ละชั้น (Ahlvin and Ulery, 1962; Giroud, 1970; Newmark, 1942; Polous and Davis, 1974) ซึ่งมีความซับซ้อนอย่างมาก วิธีที่ง่ายและให้ผลคำตอบที่ยอมรับได้อันหนึ่งเสนอโดย Boussinesq (1885) เขาได้เสนอวิธีการหาความเค้นที่กระจายในดินใต้แรงกระทำแบบจุด โดยมีสมมติฐานว่าดินมีคุณสมบัติดังนี้

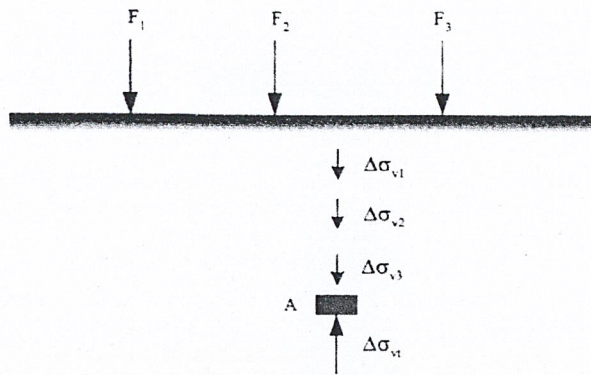
- มีลักษณะกึ่งอนันต์ (Semi-infinite) ซึ่งหมายความว่าดินได้น้ำหนักบรรทุกมีความหนาไม่จำกัด
- มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ (Homogenous)
- มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic)
- มีคุณสมบัติยืดหยุ่น (Elastic) โดยมีความสัมพันธ์เส้นตรงระหว่างความเค้นและความเครียด

เนื่องจากทฤษฎีที่ใช้ในการหาความเค้นที่เพิ่มขึ้นเป็นทฤษฎียืดหยุ่น ดังนั้น หลักการของ Superposition สามารถใช้ได้ หลักการนี้กล่าวว่าความเค้นที่เพิ่มขึ้น ณ จุดใดๆ เป็นผลรวมของความเค้นย่อยที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.7 $\Delta\sigma_{v1}$, $\Delta\sigma_{v2}$ และ $\Delta\sigma_{v3}$ เป็นความเค้นที่เพิ่มขึ้นที่จุด A เนื่องจากแรง F_1 , F_2 และ F_3 ตามลำดับ โดยอาศัยหลักการ Superposition ความเค้นในแนวตั้งที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดที่จุด A ($\Delta\sigma_{vt}$) เท่ากับ

$$\Delta\sigma_{vt} = \Delta\sigma_{v1} + \Delta\sigma_{v2} + \Delta\sigma_{v3} \quad (2.2)$$

ความเค้นรวม (Total stress) ในแนวตั้งที่จุด A เนื่องจากน้ำหนักกดทับ (Overburden pressure, σ_{v0}) และแรงภายนอก F_1 , F_2 และ F_3 เท่ากับ

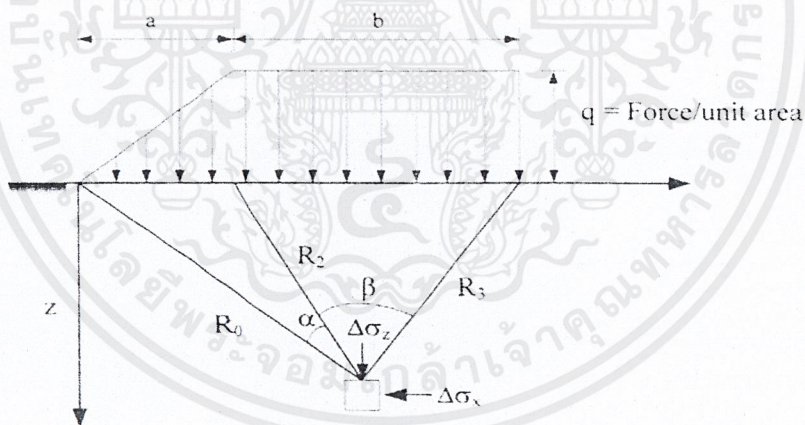
$$\sigma_v = \sigma_{v0} + \Delta\sigma_{vt} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.7 หลักการ Superposition

2.2.4 ความเค้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากดินถม

รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการกระจายความเค้นใต้ดินถม ความเค้นที่เพิ่มขึ้นในแนวตั้งและแนวนอนคำนวณได้โดยการอินทิเกรตความเค้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบจุด ดังนี้



รูปที่ 2.8 ลักษณะการกระจายความเค้นใต้ดินถม

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left[\beta + \frac{x\alpha}{a} + \frac{z}{R_3^2} (a + b - x) \right] = I_E q \quad (2.4)$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi} \left[\beta + \frac{x\alpha}{a} + \frac{z}{R_3^2} (x - a - b) + \frac{2z}{a} \ln \left(\frac{R_2}{R_0} \right) \right] \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

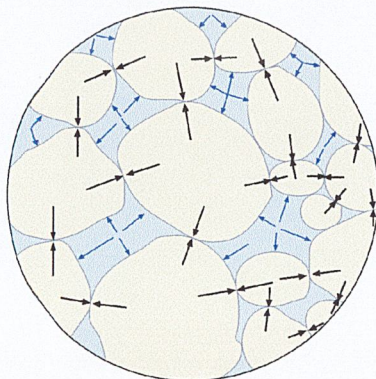
เมื่อ I_E คือตัวประกอบ (Influence factor) สำหรับความเค้นที่เพิ่มขึ้นในแนวดิ่งเนื่องจากดินถม

2.3 การทรุดตัวของดินโดยทั่วไป

ดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำได้รับแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เริ่มแรกน้ำหนัก นั้นจะถูกต้านทานโดย pore water ในมวลดิน(รูปที่ 2.9) เนื่องจากมวลน้ำไม่สามารถจะถูกบีบอัดได้ แรงดันในน้ำเนื่องจากน้ำหนัก ที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า “hydrostatic excess pressure” หลังจากนั้นน้ำจะเริ่มไหลออกจากมวลดินน้ำหนัก ที่เพิ่มขึ้น ก็จะถ่ายแรงสู่เม็ดดิน(รูปที่ 2.10) แรงดันน้ำ pore water pressure จะลดลง เพราะน้ำหนัก จะถ่ายแรงสู่เม็ดดินมากขึ้นแทนการถ่ายแรงสู่ pore water ผลจากปรากฏการณ์นี้ จะทำให้ปริมาตรของมวลดินลดลง ปริมาตรมวลดินที่ลดลงจะเท่ากับปริมาตรของน้ำที่ไหลออกจากมวลดิน กระบวนการเหล่านี้เรียกว่าการยุบตัว “consolidation” (รูปที่ 2.11)

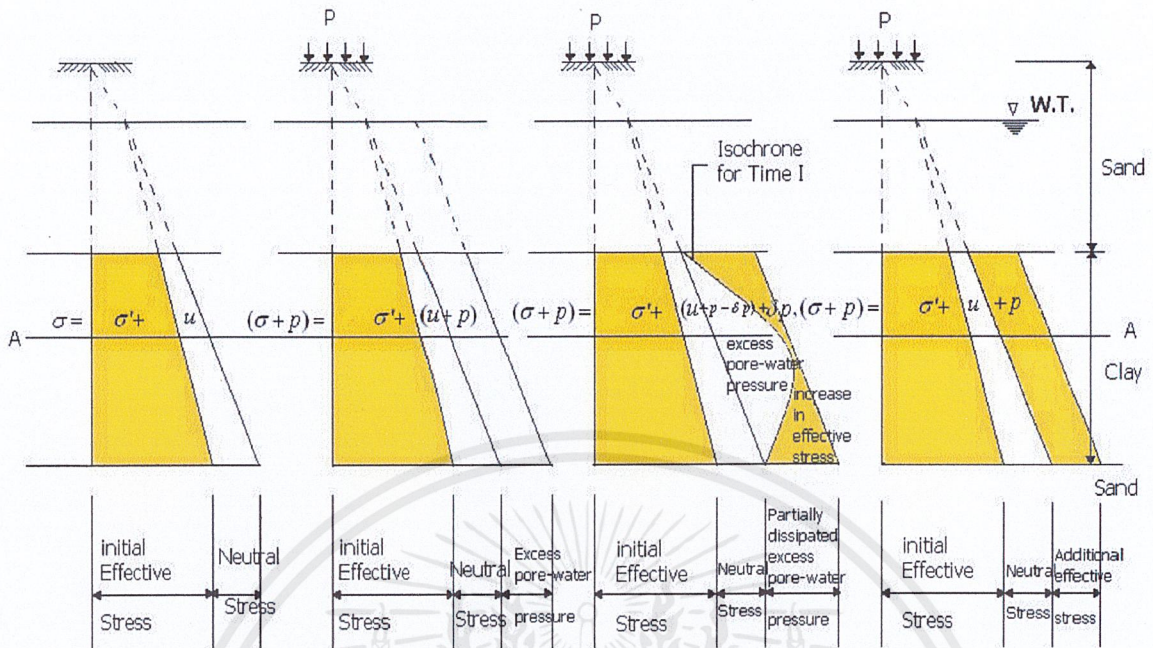


รูปที่ 2.9 น้ำหนักที่ถ่ายลงสู่เม็ดดินเริ่มแรกถูกต้านด้วย pore water



รูปที่ 2.10 เม็ดดินที่เริ่มมีการรับน้ำหนัก เนื่องจากน้ำเริ่มไหลออกจากมวลดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงกระบวนการยุบตัวแบบ consolidation การระบายแบบสองทิศทาง

ความสามารถที่น้ำ (pore water) ในมวลดินจะไหลผ่านออกจากมวลดินว่าสะดวกและเร็วเพียงใด หากน้ำไหลออกจากมวลดินได้สะดวกการยุบตัวก็จะเร็ว การรับแรงมวลดินจะเขียนเป็นสมการได้คือ

$$\text{Total applied stress} = \text{effective stress} + \text{pore water pressure}$$

แรงที่กระทำทั้งหมด = แรงที่รับ โดยเม็ดดิน + แรงที่รับ โดยน้ำ water

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.6)$$

2.4 การจำแนกชนิดการทรุดตัวของดิน

การทรุดตัวสูงสุดของชั้นดินเหนียวที่เกิดจากน้ำหนักที่วางบนพื้นผิวดินธรรมชาติ ทำให้หน่วยแรงที่กระทำต่อชั้นดินเหนียวเพิ่มขึ้น การทรุดตัวสูงสุดจะประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน กล่าวคือ การทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันทีทันใด (Immediate Settlement) การทรุดตัวส่วนที่น้ำในมวลดินถูกขับออกไป (Primary Settlement) และการทรุดตัวส่วนที่เกิดจากการสลายของมวลดิน (Secondary Settlement or Creep Settlement)

$$\Delta H_t = \Delta H_i + \Delta H_c + \Delta H_s \quad (2.7)$$

ในที่นี้ ΔH_t = การทรุดตัวสูงสุดของชั้นดินเหนียว (Total Settlement)

ΔH_i = การทรุดตัวส่วนที่เกิดขึ้นทันทีทันใด (Immediate Settlement)

ΔH_c = การทรุดตัวส่วนที่น้ำในมวลดินถูกขับออกไป (Primary Settlement)

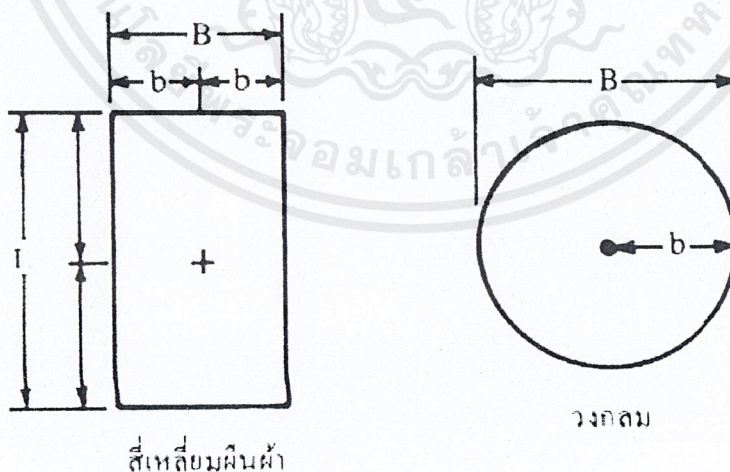
ΔH_s = การทรุดตัวส่วนที่เกิดจากการล่าของมวลดิน

(Secondary Settlement or Creep Settlement)

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 การทรุดตัวส่วนที่เกิดขึ้นทันทีทันใด (Immediate Settlement)

การยุบตัวจะเกิดขึ้นในทันทีและรวดเร็วอาจใช้เวลาภายใน 1 ชม. หรือ ภายใน 1 วัน หลังจากรับน้ำหนักที่กระทำ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ elastic ของมวลดิน โดยที่ปริมาณ water content ไม่เปลี่ยนแปลง ในชั้นดินเหนียวหาได้จากกระบวนการบนพื้นฐานทฤษฎีของความยืดหยุ่น (Theory of Elasticity) หน่วยแรงที่กระทำต่อชั้นดิน โดยพื้นผิวดินรับน้ำหนักบรรทุกทุกเพิ่มขึ้นเป็นหน่วยแรงรวม (Total Stress) Schleicher (1926) ได้หาการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวที่เกิดจากการกระจายหน่วยแรงบนพื้นที่ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 พื้นที่ของการกระจายหน่วยแรงบนพื้นดิน

$$\Delta H_i = C_d \cdot q \cdot B \left(\frac{1-\mu^2}{E} \right) \quad (2.8)$$

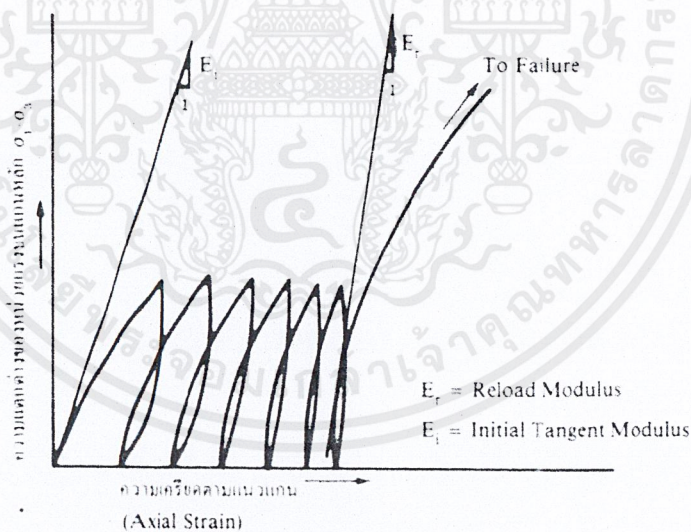
ในที่นี้ q = หน่วยแรงบนพื้นที่สี่เหลี่ยมหรือวงกลม

B = ความยาวด้านแคบของพื้นที่หน่วยแรง

μ = อัตราส่วน (Poisson's Ratio) ซึ่งดินเหนียวสภาพอิ่มตัว (Saturated Clay)

ค่า $\mu = 0.5$ อนึ่ง Terzaghi ได้พิจารณาอัตราส่วนพัทธ์ของของบนพื้นฐานความยืดหยุ่น $\mu = 0.3$ สำหรับทราย และ $\mu = 0.40 - 0.43$ สำหรับดินเหนียว ซึ่งรายละเอียดอัตราส่วนพัทธ์ของของดินชนิดต่างๆดังตารางที่ 2.1

E = โมดูลัสของความยืดหยุ่นของดิน หาได้จากเส้นสัมผัสเริ่มต้นของ ของเส้นกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดจากการทดลองแรงอัดสามแกนหรือแรงแกนเดียว ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 นิยามโมดูลัสของความยืดหยุ่น

อนึ่ง Bjerrum (1964) , Hanna And Adams (1968) , Soderman et al (1968) , Leonards and Bozozok (1972) ได้ประมาณค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นจาก E เท่ากับ 250 ถึง 500 ของ $(\sigma_1 - \sigma_3)$ ซึ่ง $(\sigma_1 - \sigma_3)$ เป็นค่าความต่างของหน่วยแรงบนแกนหลัก ณ จุดพิบัติ ด้วยการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับแรงอัดของตัวอย่างดินในสภาพไม่ให้น้ำไหลออกจากดิน (Undrained Compression Test) Schmertmann (1970) ได้หาโมดูลัสของความยืดหยุ่นจากหน่วยแรงของมวลดินที่ด้านการเคลื่อนที่ของดักซ์โคนจาก $E = 2Q_c$ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของดินชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

C_d = ปัจจัยของรูปร่างและความแข็งแกร่ง (Shape and Rigidity) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนพัทธ์ของ (μ , Poisson's Ratio) ของดินชนิดต่างๆ

ชนิดของดิน	อัตราส่วนพัทธ์ของ
ดินเหนียว สภาพอิมตัว	0.4 – 0.5
ดินเหนียว สภาพไม่อิมตัว	0.1 – 0.3
ดินเหนียวเป็นทราย (Sandy Clay)	0.2 – 0.3
ดินตะกอน (Silt)	0.3 – 0.35
ทรายสภาพแน่น	0.2 – 0.4
เม็ดหยาบ (อัตราส่วน โพรง 0.4 - 0.7)	0.15
เม็ดละเอียด (อัตราส่วน โพรง 0.4 - 0.7)	0.25
หิน	0.1 – 0.4

ตารางที่ 2.2 ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของดินชนิดต่างๆ

ชนิดของดิน	E (กก. / ซม ²)
ดินเหนียวอ่อนมาก (Very Soft Clay)	3.5 – 28
ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)	17.5 – 42
ดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Clay)	42 – 84
ดินเหนียวแข็ง (Hard Clay)	70 – 175
ดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay)	280 – 420
ดินตะกอนปนทราย (Silty Sand)	70 - 210
ทรายสภาพหลวม (Loose Sand)	105 - 245
ทรายสภาพแน่น (Dense Sand)	490 - 840
ทรายสภาพแน่นและกรวด (Dense Sand and Gravel)	980 - 1960
ชั้นดินสีเทาปนเหลือง (Loess)	980 - 1260

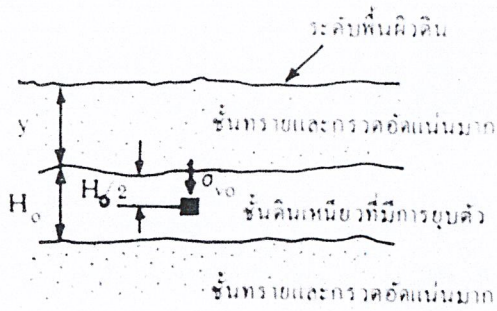
ตารางที่ 2.3 ปัจจัยของรูปร่างและความแข็งแรงสำหรับคำนวณการทรุดตัว (C_d)

รูปร่าง	ศูนย์กลาง	มุม	กึ่งกลางของด้านกว้าง	กึ่งกลางของด้านยาว	ค่าเฉลี่ย
วงกลม	1.00	0.64	0.64	0.64	0.85
วงกลม(แข็งแรง)	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	1.12	0.56	0.76	0.76	0.95
สี่เหลี่ยมจัตุรัส(แข็งแรง)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
สี่เหลี่ยมผืนผ้า(ความลึก / ด้านกว้าง)					
1.5	1.36	0.67	0.89	0.97	1.15
2	1.52	0.76	0.98	1.12	1.30
3	1.78	0.88	1.11	1.35	1.52
5	2.10	1.05	1.27	1.68	1.83
10	2.53	1.26	1.49	2.12	2.25
100	4.00	2.00	2.20	3.60	3.70
1,000	5.47	2.75	2.94	5.03	5.15
10,000	6.90	3.50	3.70	6.50	6.60

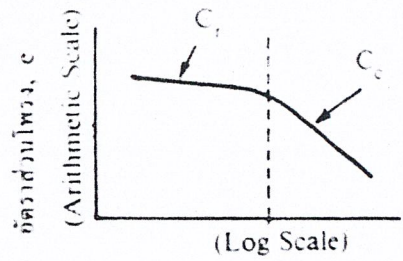
2.4.2 การทรุดตัวส่วนที่น้ำในมวลดินถูกขับออกไป (Primary Settlement)

การยุบตัวนี้จะทำให้ดินมีการทรุดตัวมากที่สุด เนื่องจากน้ำไหลจากมวลดิน water content และ ปริมาตรของมวลดินจะลดลง ระยะเวลาในการยุบตัวค่อนข้างนาน

สมมุติว่าอาคารถูกก่อสร้างขึ้นในพื้นที่ที่สภาพดินดังรูปที่ 2.14 (ก) ผลการทดสอบความยุบอัดตัวของมวลดินอย่างที่เก็บจากกึ่งกลางของชั้นดินดังปรากฏรูปที่ 2.14 (ข) หน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักทับถมของชั้นดินมีค่าเท่ากับ $(\gamma_{sand} \times y) + \gamma_{clay} (H_0 / 2)$ เมื่อ γ_{sand} และ γ_{clay} คือหน่วยน้ำหนักของมวลดินชั้นทรายหนา y และชั้นดินเหนียวหนา H_0



(ก) ลักษณะของชั้นดินและแหล่งเก็บตัวอย่างทดลอง

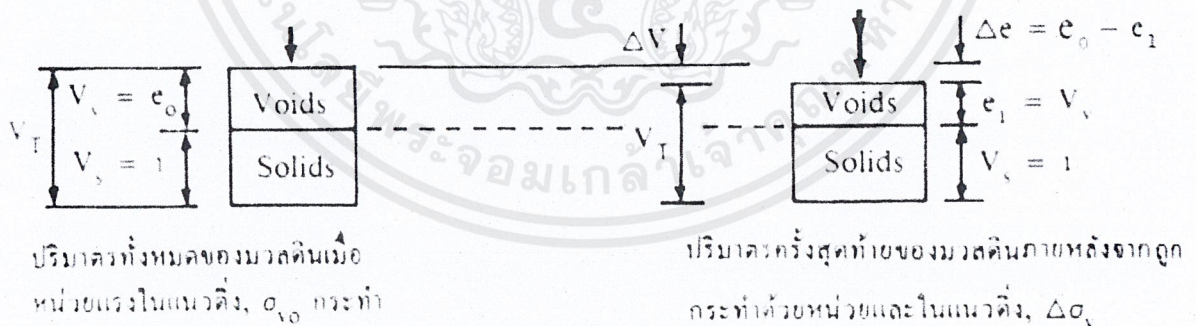


(ข) ผลการทดลองความยุบตัวของดินตัวอย่าง หน่วยแรงในแนวตั้ง, σ_v

รูปที่ 2.14 รายละเอียดของสภาพมวลดินตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความยุบอัดตัว

น้ำหนักของอาคารที่ฐานรากรองรับจะถ่ายลงสู่ชั้นดินได้ฐานราก ทำให้มวลดินในชั้นดินเหนียวดังกล่าวมีหน่วยแรงกระทำเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรมวลดินเหนียวเนื่องจาก ศึกษาได้จาก รูปที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจะมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน โพร่ง ซึ่งความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงจากปริมาตรเดิมคือ

$$\frac{\Delta V}{V_T} \text{ หรือ } \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.15 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินกับหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น

ถ้ามวลดินเหนียวมีปริมาตรเปลี่ยนแปลง โดยเฉลี่ยเกิดขึ้นตลอดความหนาชั้นดินเหนียว รูปที่ 2.14 (ก) อัตราส่วนความสัมพันธ์มีดังต่อไปนี้

$$\frac{\Delta H_c}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \quad (2.10)$$

H_0 คือ ความหนาเดิมของชั้นดินเหนียว และ ΔH_c คือความยุบอัดตัวของชั้นดินเหนียว การทรุดตัวของฐานรากอาคารที่อยู่เหนือชั้นดินเหนียวจะมีค่าเท่ากับความยุบอัดตัวของชั้นดินเหนียวที่ได้ อุบัติขึ้น

$$\text{การทรุดตัวของชั้นดิน} = \Delta H_c = H_0 \left(\frac{\Delta e}{1+e_0} \right) \quad (2.11)$$

อนึ่งความชันของเส้นกราฟจากการทดลองความยุบอัดตัวของมวลดิน สำหรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น มีค่ามากกว่าหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักของชั้นดินทับถมตามธรรมชาติ คือค่า C_c

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma_v} \quad (2.12)$$

$$\Delta e = C_c [\Delta \log \sigma_v] \quad (2.13)$$

แทนค่าในสมการทรุดตัวของชั้นดิน :

$$\Delta H_c = \frac{H_0}{1+e_0} (C_c \Delta \log \sigma_v) \quad (2.14)$$

หรือ

$$\Delta H_c = \frac{H_0}{1+e_0} C_c (\log \sigma_{vf} - \log \sigma_{vo}) \quad (2.15)$$

หรือ

$$\Delta H_c = \frac{H_0}{1+e_0} C_c \log \left[\frac{\sigma_{vo} + \Delta \sigma_v}{\sigma_{vo}} \right] \quad (2.16)$$

ในที่นี้

ΔH_c = ระยะการทรุดตัวของชั้นดิน

H_0 = ความหนาของชั้นดิน

C_c = ดัชนีความยุบอัดตัว

σ_{vo} = หน่วยแรงในแนวดิ่งที่เกิดจากน้ำหนักของชั้นดินทับถม

$\Delta\sigma_v$ = หน่วยแรงในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักที่ถ่ายจากน้ำหนักที่ถ่าย
จากฐานรากของโครงสร้าง

ค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวของดิน (Coefficient of Consolidation, C_v)

ค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวของดิน (Coefficient of Consolidation, C_v) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำในดิน และความสามารถในการยุบอัดตัวของดิน ซึ่งหาได้ดังนี้

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} \quad (2.17)$$

เมื่อ T_v = Time Factor ดูค่าจากตารางที่ 2.4 เมื่อทราบค่า U_v

$$U_v = \frac{\text{Settlement after time } t}{\text{Total final settlement}} \times 100\%$$

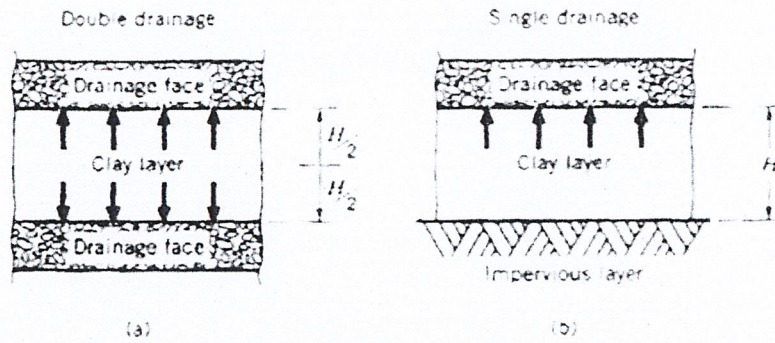
= เปอร์เซ็นต์การยุบอัดตัว

H = ระยะที่มากที่สุดที่ให้น้ำระบายหนีออกไปได้ (Drainage Path)

จากในรูปที่ 2.16 (a) $H = H/2$, (b) $H = H$

ในการทดสอบ H = ความสูงของตัวอย่างดิน / 2

t = ระยะเวลาที่ใช้ในการยุบอัดตัวของดิน



รูปที่ 2.16 แสดงระยะการไหลออกของน้ำจากดิน (JOHN N.CERNICA, 1995)

ตารางที่ 2.4 แสดงค่า Time Factor (T_v) เมื่อทราบค่า Percent of consolidation (U_v)

Percentage of Consolidation, U	Time Factor, T		
	CASE I	CASE II	CASE III
0	0	0	0
5	0.0020	0.0030	0.0208
10	0.0078	0.0111	0.0427
15	0.0177	0.0238	0.0659
20	0.0314	0.0405	0.0904
25	0.0491	0.0608	0.1280
30	0.0707	0.0847	0.1450
35	0.0962	0.1120	0.1870
40	0.1200	0.1430	0.2070
45	0.1590	0.1770	0.2420
50	0.1970	0.2150	0.2810
55	0.2390	0.2570	0.3240
60	0.2880	0.3050	0.3710
65	0.3420	0.3590	0.4350
70	0.4030	0.4220	0.4880
75	0.4770	0.4950	0.5620
80	0.5670	0.5860	0.6520
85	0.6740	0.7020	0.7690
90	0.8480	0.8670	0.9330
95	1.1290	1.1480	1.2140
100	∞	∞	∞

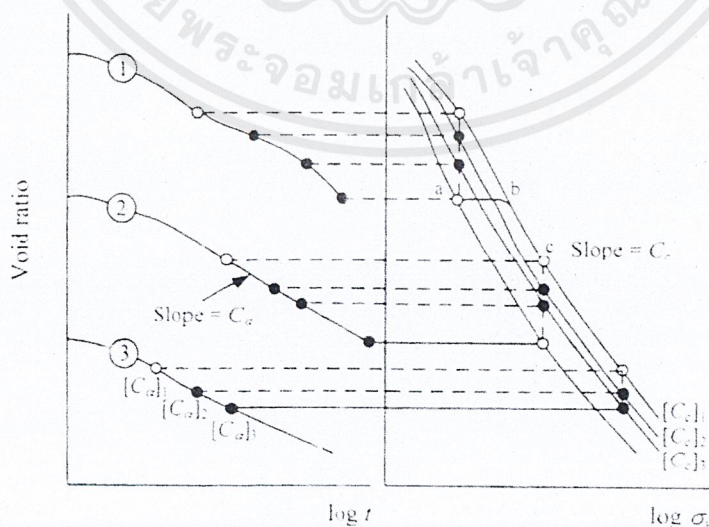
2.4.3 การทรุดตัวส่วนที่เกิดจากการล่าของมวลดิน (Secondary or Creep Settlement)

ปกติจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการยุบตัวขั้นแรก จะเกิดขึ้นเมื่อการยุบตัวหลักเสร็จสมบูรณ์แล้ว ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของมวลดิน เช่น colloid องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดดิน ความถี่ของมวลดิน ความดันน้ำที่ยังหลงเหลืออยู่บ้างเล็กน้อย (some small residual excess pore pressure) และสาเหตุอื่นๆ

จากการทดสอบในสนาม (Lo, 1961; Mesri, 1973) แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าความดันน้ำส่วนเกินจะสลายไปหมดแล้วก็ตาม แต่การทรุดตัวก็ยังไม่สิ้นสุด กลับพบว่าการทรุดตัวยังเกิดอย่างต่อเนื่อง ภายใต้ความเค้นประสิทธิผลคงที่ การทรุดตัวประเภทนี้ เรียกว่าการทรุดตัวทุติยภูมิ

ขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูปที่ 2.17 ที่ความเค้นในแนวตั้งสามค่า ค่าพารามิเตอร์การทรุดตัวทุติยภูมิของแต่ละความเค้นในแนวตั้งคำนวณได้จากความชันของกราฟ $-\log t$ ในช่วงหลังจุดเปลี่ยนผันจากการอัดตัวคายน้ำปฐมภูมิเป็นการอัดตัวคายน้ำทุติยภูมิ พารามิเตอร์การอัดตัวทุติยภูมิ (Secondary compression index, C_a) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับดัชนีการอัดตัว (Compression Index) โดยที่พารามิเตอร์การอัดตัวทุติยภูมิสามารถคำนวณได้จาก

$$C_a = \frac{\Delta e}{\Delta \log t} \quad (2.18)$$



รูปที่ 2.17 การคำนวณหาพารามิเตอร์การอัดตัวทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mesri And Godlewski (1977) กล่าวว่าอัตราส่วนระหว่าง C_α และ C_c มีค่าอยู่ระหว่าง 0.025 ถึง 0.10 Sridharan et al (1986) เสนอความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทั้งสองดังนี้

$$\log C_\alpha = 0.7847 \log C_c - 2.0431 \quad (2.19)$$

การทรุดตัวทุติยภูมิสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\Delta H_s = C_\alpha H_0 \frac{\Delta \log t}{(1 + e_{100})} \quad (2.20)$$

เมื่อ e_{100} คืออัตราส่วนโพรงที่เกิดการอัดตัวคายน้ำปฐมภูมิ 100 เปอร์เซ็นต์

2.5 การวิเคราะห์ทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน

2.5.1 บทนำ

การออกแบบฐานรากนอกจากการคำนวณการรับน้ำหนักของดินให้ถูกต้องแล้ว บรรทัดฐานที่สำคัญในการออกแบบคือ การควบคุมการทรุดตัวของฐานรากจะเกี่ยวเนื่องกับน้ำหนักที่กระทำเพิ่มขึ้นของฐานรากสู่ดินธรรมชาติ การทรุดตัวของฐานรากส่วนมากคือ การทรุดตัวในแนวตั้ง ผลกระทบของการทรุดตัวจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับขนาดของฐานราก และลักษณะงานทางวิศวกรรม (เช่นรูปแบบโครงสร้าง) โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างที่ตั้งอยู่บนชั้นดินธรรมชาติที่สม่ำเสมอ (Uniform Soil Profile) การทรุดตัวในแต่ละจุดของโครงสร้างควรมีค่าเท่ากันหรือแตกต่างกันน้อย แต่ในทางตรงกันข้าม การทรุดตัวแบบไม่เท่ากัน (Differential Settlement) สามารถเกิดขึ้นได้ในแต่ละตำแหน่งของโครงสร้างซึ่งสาเหตุหลักมาจากชั้นดินใต้โครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ชนิดหรือความลึกของฐานรากที่ไม่เหมือนกัน และ ระยะเวลาก่อสร้างที่แตกต่างกัน ก็จะเป็นสาเหตุอีกอย่างที่ทำให้เกิด การทรุดตัวแบบไม่เท่ากัน และ นำพาไปสู่การแตกร้าวของโครงสร้าง เพราะฉะนั้น โครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นน้อยเช่น โครงสร้างอาคารแบบคอนกรีตเสริมเหล็กก็จะยิ่งได้รับผลกระทบมากจากการทรุดตัวแบบนี้

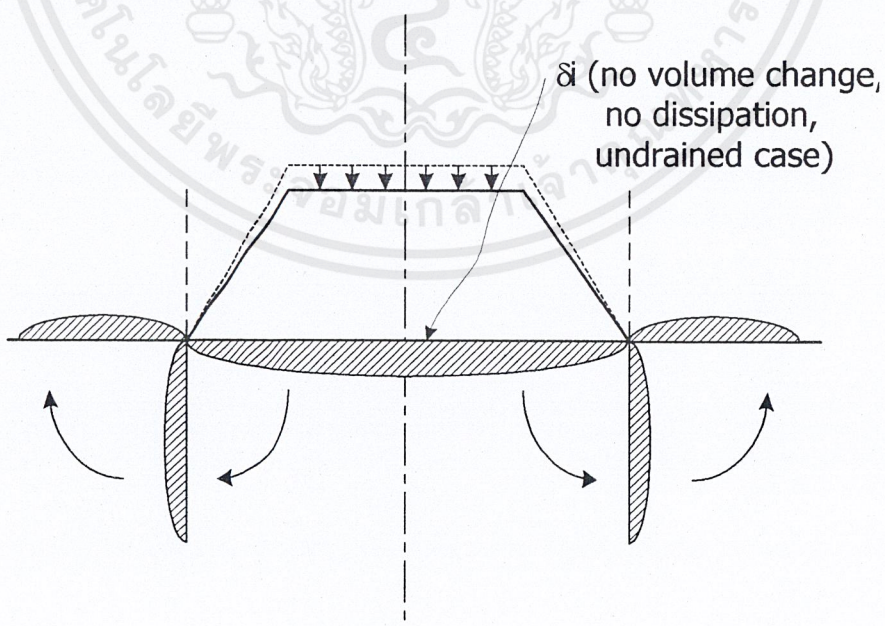
สำหรับการคำนวณการทรุดตัวนั้น อุปสรรคสำคัญมีด้วยกัน 2 อย่างที่พบบ่อยและเป็นตัวทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณ คือ

- a) ความไม่แน่นอนและความผิดพลาดในการทดสอบหาค่า parameters ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการทรุดตัว เช่น การรบกวนดินของตัวอย่างดิน ความผิดพลาดจากการทดสอบ ฯลฯ
- b) การคำนวณการกระจายของแรงดัน (Stress) ทั่วชั้นต่างๆ ของดิน (Stress Distribution) ที่ไม่แน่นอน

ดังนั้นการทรุดตัวเนื่องจากการล้าของดิน และกินระยะเวลานานมาก และไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน

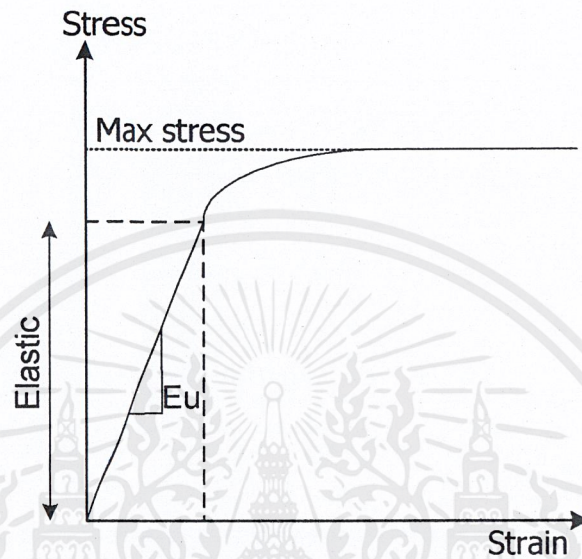
2.5.2 Immediate Settlement

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว Immediate Settlement เป็นการทรุดตัวทันทีที่ทันใด แบบน้ำในช่องว่าง (pore water) ไม่ทันมีการเปลี่ยนแปลง (เนื่องจากระยะเวลาสั้น) ซึ่งจัดว่าเป็นการทรุดตัวของสภาพไม่ระบายน้ำ (Undrained) ซึ่งดินดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโดยรวม ดังนั้นดินที่ทรุดตัวจะพยายามผลักดันดินรอบข้างต่อไป ดังรูปข้างล่าง เนื่องจากการทรุดตัวนี้เกิดในช่วงแรกของการให้น้ำหนัก ซึ่งจะเป็นช่วง Elastic (ยืดหยุ่น) ของดิน ดังนั้นจึงใช้ทฤษฎี Elastic ในการคำนวณ



รูปที่ 2.18 แสดงการทรุดตัวของฐานรากดินเหนียว

ดังนั้น การคำนวณ Settlement จึงต้องใช้ค่าโมดูลัสในช่วง Elastic หรือ Undrained Modulus , E_u (สมมติให้คงที่) ดังรูปข้างล่าง และค่า Poisson Ratio , ν ที่คงที่เช่นกัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.5 สำหรับ Undrained condition



รูปที่ 2.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain

2.5.2.1 Elastic Settlement and Undrained (Immediate) Settlement

สูตรทั่วไปของ Elastic Settlement โดยใช้ Elastic Theory คือ

$$\delta_z = \sum [\Delta \epsilon_z \Delta H] \quad (2.21)$$

โดย δ_z = ค่าการทรุดตัวที่ชั้น z
 $\Delta \epsilon_z$ = การเปลี่ยนแปลง Strain ที่ชั้น z
 ΔH = ความหนาของชั้นดิน z

เมื่อใช้ Influence Factor Chart ช่วยและคำนวณค่า $\Delta \epsilon$ จาก q และ E สามารถเขียนสูตรที่นำไปใช้ได้โดยสะดวก คือ

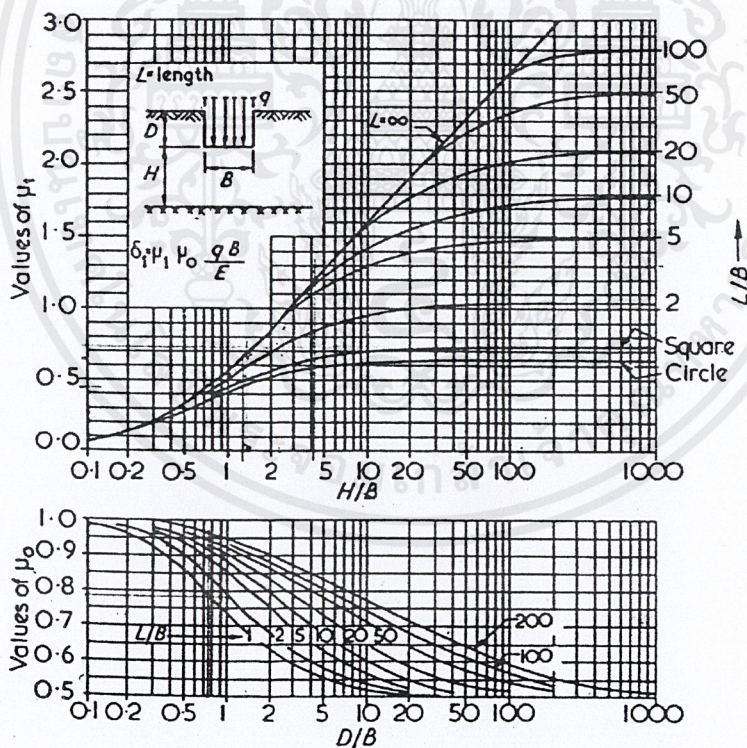
สูตรทั่วไป
$$\delta_z = \frac{qBI}{E} \quad (2.22)$$

โดย q = Net Foundation Pressure
 B = Width
 I = $\mu_0\mu_1$ (Influence Factor)

ถ้าการทรุดตัวเกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (pore water ยังกักอยู่ระหว่างเม็ดดิน) เช่น ใน Saturated Clay เนื่องจากมี ค่าการซึมผ่านได้น้อย (Low Permeability Coefficient) หรืออยู่ในสภาพ Undrained condition เพราะฉะนั้นจึงควรใช้ค่า parameters แบบ undrain คือ

สูตรสำหรับดินเหนียว $\delta_i = \delta_z = \frac{qBI_u}{E_u}$ (2.23)

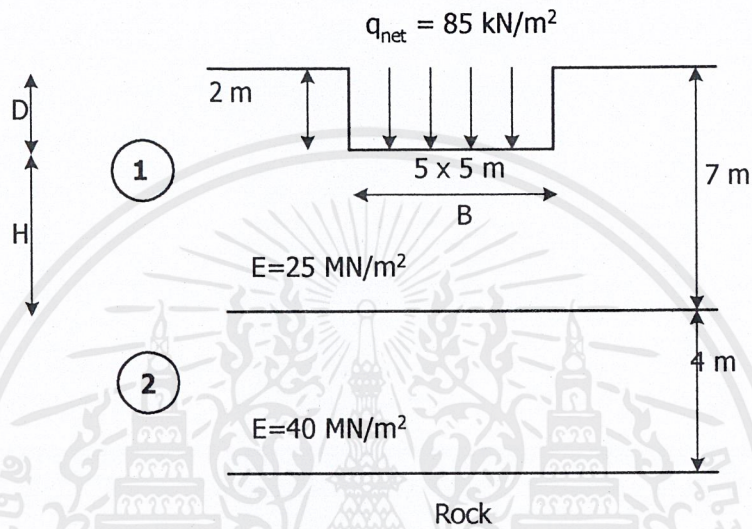
โดย I_u = Influence Factor ของ undrained condition
 E_u = Modulus ที่ได้จากการทดสอบ Triaxial test แบบ undrain



Diagrams for the factors μ_0 and μ_1 used in the calculation of the immediate average settlement of uniformly loaded flexible areas on homogeneous isotropic saturated clay, after Janbu, Bjerrum and Kjaemsli (1956)

รูปที่ 2.20 แสดงการหาค่า Influence Factor

เนื่องจากการคำนวณโดย Chart ของ Janbu, Bjerrum and Kjaernsli จะใช้ค่า E จากการเฉลี่ยของชั้นดินแต่ละชั้นแยกจากกัน สำหรับธรรมชาติของค่า E (Modulus) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกมากขึ้น (ชั้นดินด้านล่างจะแน่นมากกว่า) ดังนั้น Butler (1974) จึงพัฒนา Chart ที่ค่า E แปรผันตามความลึก หรือ การนำรูปแบบของการแปรผันของค่า E มาคำนวณด้วย จงพิจารณาตัวอย่างข้างล่าง



รูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่างการคำนวณการทรุดตัวในแต่ละชั้น

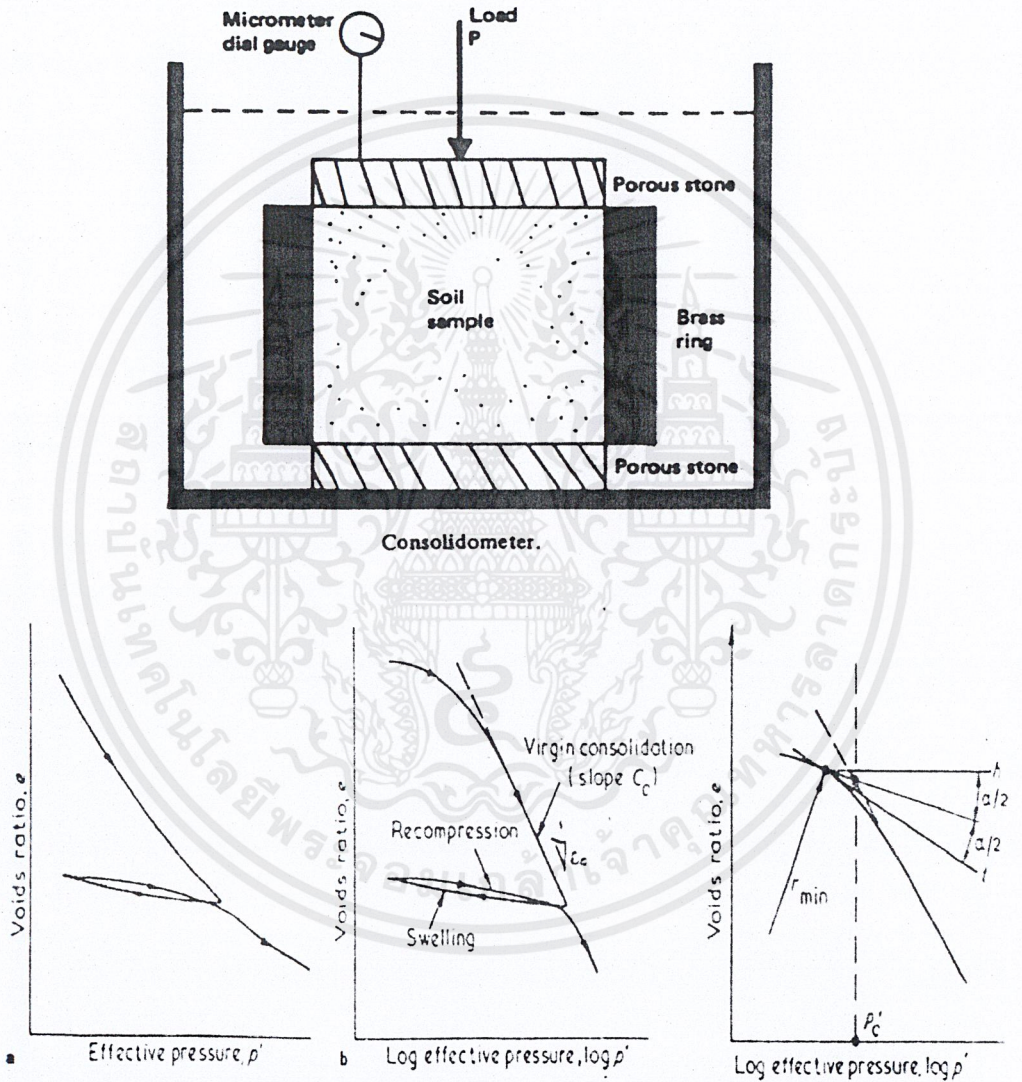
1st layer
$$\delta_{(1)_{25}} = \frac{qBI_{(1)}}{E_{25}} \quad (2.24)$$

2nd layer
$$\begin{aligned} \delta_{(2)_{40}} &= \delta_{(1,2)_{40}} - \delta_{(1)_{40}} \quad (2.25) \\ &= \frac{qBI_{(1,2)}}{E_{40}} - \frac{qBI_{(1)}}{E_{40}} \end{aligned}$$

Total
$$\delta_i = \delta_{(1)_{25}} + \delta_{(2)_{40}} \quad (2.26)$$

2.5.2.2 Consolidation Settlement of clay

Consolidation Settlement คือการทรุดตัวของ Saturated Cohesive Soil ซึ่งมีเม็ดดินละเอียด เช่น ดินเหนียว (clay) การทรุดตัวชนิดนี้เกี่ยวข้องเนื่องกับการขับน้ำออกจากช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทฤษฎี Consolidation ของ Terzaghi (1-D Consolidation) เป็นทฤษฎีที่นิยมใช้กันมากที่สุด แต่อาจจะมีการดัดแปลงบ้างเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้นและใกล้เคียงกับค่าในสนาม



(a) Relationship between voids ratio and effective pressure; (b) relationship between voids ratio and the logarithm of effective pressure

Construction for determining the preconsolidation pressure, p'_c , after Casagrande (1936)

รูปที่ 2.22 แสดงการทดสอบดินตามทฤษฎีของ Terzaghi ก็คือ Oedometer Test หรือ 1-D

Consolidation Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Consolidation Settlement สามารถคำนวณได้จากการใช้สมการ

$$\delta_c = \Delta\varepsilon \times H = m_v \times \Delta p \times H \quad (2.27)$$

$$\delta_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \times H \quad (2.28)$$

$$\delta_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \times H \times \log_{10} \frac{P'_0 + \Delta P}{P'_0} \quad (2.29)$$

โดย $m_v = \frac{\Delta V}{V} \times \frac{1}{\Delta P} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \times \frac{1}{\Delta p} \quad (1\text{-D consolidation}) \quad (2.30)$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log P} \quad m_v \quad (2.31)$$

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \quad (2.32)$$

m_v = Coefficient of volume compressibility (นิยมใช้กับ Overconsolidated clay)

C_c = Compressibility Index (นิยมใช้กับ Normally consolidated clay)

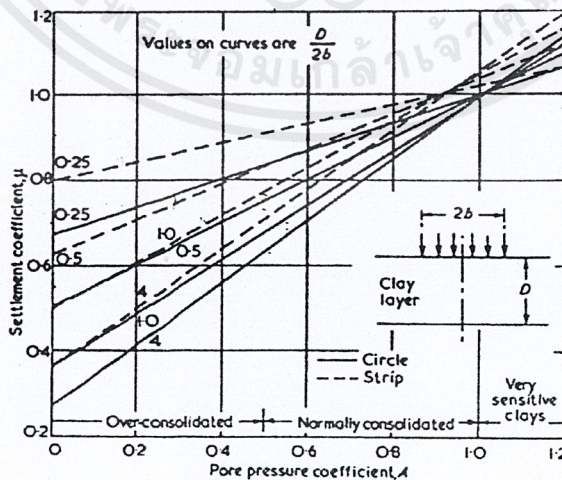
C_v = Coefficient of consolidation

2.5.2.3 Prediction of Primary consolidation settlement

นอกจากการคำนวณการทรุดตัวแบบ Consolidation แล้ว ยังมีปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการทำนายการทรุดตัวแบบนี้ อีก โดยสามารถแยกเป็นปัจจัยหลักๆ ได้ดังนี้

- Net increase in stress (stress เพิ่มสุทธิ)
- Sample disturbance (การรบกวนตัวอย่างทดสอบ)
- Induced pore-water pressure (การเพิ่มแรงดันน้ำในช่องว่างดิน)
- Net increase in stress การเพิ่มสุทธิของ Stress จะมีผลต่อการทำนายค่าการทรุดตัวแบบ Consolidation นั่นคือ การให้ Stress ใหม่ (reloading) ไม่เกินค่าที่เคยให้มาแล้ว ค่า Settlement ก็จะใกล้เคียงกับการบวมของดิน (Heave) ที่เกิดจากการลดน้ำหนัก (Unloading) ที่เคยผ่านมา

- **Sample disturbance** การรบกวนดินขณะเก็บตัวอย่าง , การขนส่ง , เวลาในการเก็บตัวอย่างไว้ในห้องเก็บความชื้น และ ฯลฯ มีผลทำให้ Compression curve (ในกราฟ $\Delta e - \log \sigma'_v$) เปลี่ยนแปลงบิดเบี้ยวไปจากความเป็นจริงในสนาม ดังนี้
 - ค่าการคำนวณ Consolidation ของดิน NC (Normally consolidation clay) ต่ำกว่าความเป็นจริงในสนาม
 - ค่าการคำนวณ Consolidation ของดิน OC (Overconsolidated clay) มากกว่าความเป็นจริง
 - ค่า P'_m (maximum past pressure) จากการทดสอบมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง
- **Induced pore-water pressure** ลักษณะการเกิดแรงดันในช่องว่างของการทดสอบในห้องทดลอง (Oedometer) เกิดจากแรงดันในแนวตั้งเพียงอย่างเดียว แต่ในความเป็นจริง แรงดันด้านข้าง (Lateral stress) จะมีส่วนช่วยในการก่อให้เกิด pore-water pressure เพราะฉะนั้นผลการทดสอบจะมากเกินความเป็นจริงนอกจากนี้ ค่า A value $[\Delta u = B(\Delta \sigma_h + A(\Delta \sigma_v - \Delta \sigma_h))]$ ซึ่งเป็น excess pore pressure parameter จะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละที่ เพราะฉะนั้นในการคำนวณค่าการทรุดตัว (consolidation) อันใด อันหนึ่งควรพิจารณาค่า A ประกอบสำหรับการคำนวณด้วย
 โดยทั่วไปแล้ว อิทธิพลของค่า A และ รูปแบบ (Geometry) ของการจัดวางฐานราก จะทำให้ค่าการทรุดตัวใน Lab มากกว่าในสนาม จึงควรมีการปรับแก้โดย factor ตัวหนึ่ง นั่นคือ, μ ซึ่งจะทำให้การทำนายค่าการทรุดตัวใน Lab ใกล้เคียงของค่าจริงในสนาม



Correction factor for pore pressures set up under a foundation, after Skempton and Bjerrum (1957)

รูปที่ 2.23 แสดงค่าการปรับแก้ค่า μ

2.5.2.4 Secondary Consolidation Settlement

การทรุดตัว Secondary Consolidation ซึ่งจะเกิดหลังจาก Primary Consolidation ได้สิ้นสุดลงแล้ว ปัจจุบันยังไม่สามารถหาวิธีการคำนวณที่สมบูรณ์แบบได้ แม้ว่าจะสามารถหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นได้โดยไม่ยาก แต่เนื่องจากมีหลายปัจจัยอื่นๆอีกเข้ามาเกี่ยวเนื่อง เช่น อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (load increment ratio) หรือ ผลจากเวลา ดังนั้นผลการประเมินจึงขึ้นอยู่กับพื้นฐานของ Empirical Method โดยปกติแล้วการทรุดตัว Secondary Consolidation จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ Primary Consolidation แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยที่มีผลต่อการทรุดตัวนี้คือ

- ถ้าเป็น Organic soil จะมีการทรุดตัวในแบบนี้มาก
- ผลของการเคลื่อนตัวด้านข้างต่อการเคลื่อนตัวในแนวตั้งในบริเวณที่เกี่ยวข้อง
- การเปรียบเทียบผลการทดสอบจาก Triaxial Test และ Oedometer Test

2.6 ข้อมูลท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเป็นสนามบินพาณิชย์ที่ออกแบบให้สามารถรองรับผู้โดยสาร 45 ล้านคนต่อปี ตั้งอยู่ที่อำเภอบางพลี (หนองงูเห่า) จังหวัดสมุทรปราการ ห่างจากศูนย์กลางกรุงเทพฯ ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 25 กิโลเมตร ซึ่งประกอบด้วยอาคารขนาดใหญ่หลายอาคาร อาคารที่ใหญ่ที่สุดเป็นอาคารผู้โดยสาร และอาคารคลังสินค้าพัสดุภัณฑ์ ท่าอากาศยานมีพื้นที่ประมาณ 32 ตารางกิโลเมตรเพียงพอที่จะขยายกิจการในอนาคต

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิสร้างอยู่ภายในพื้นที่ปิดล้อมด้วยคันดินถมบดอัดรอบท่าอากาศยานเพื่อป้องกันน้ำท่วมจากภายนอกโดยการท่าอากาศยาน (AOT) ได้ดำเนินการก่อสร้างคันดินรอบๆ สนามบินสุวรรณภูมิ เพื่อป้องกันอุทกภัยในพื้นที่สนามบินสุวรรณภูมิ ข้อมูลน้ำท่วมในอดีตที่ถูกนำมาพิจารณา ได้แก่

พ.ศ. 2523 : ฝนตกชุกทั่วกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทำให้มีน้ำท่วมขังนาน

พ.ศ. 2526 : เกิดอุทกภัยสร้างความเสียหายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลด้านตะวันออกเป็นบริเวณกว้าง สภาพน้ำท่วมรุนแรงกว่าปี 2523

พ.ศ. 2533 : พายุโซนร้อน “อีระ” ก่อตัวในทะเลจีนใต้ ขึ้นฝั่งเวียดนามเป็นพายุดีเปรสชัน (4 ต.ค.) เข้าไทยที่อุบลราชธานี พาดผ่านภาคกลาง เกิดฝนตกหนักที่กรุงเทพมหานคร และทุกจังหวัดภาคกลาง

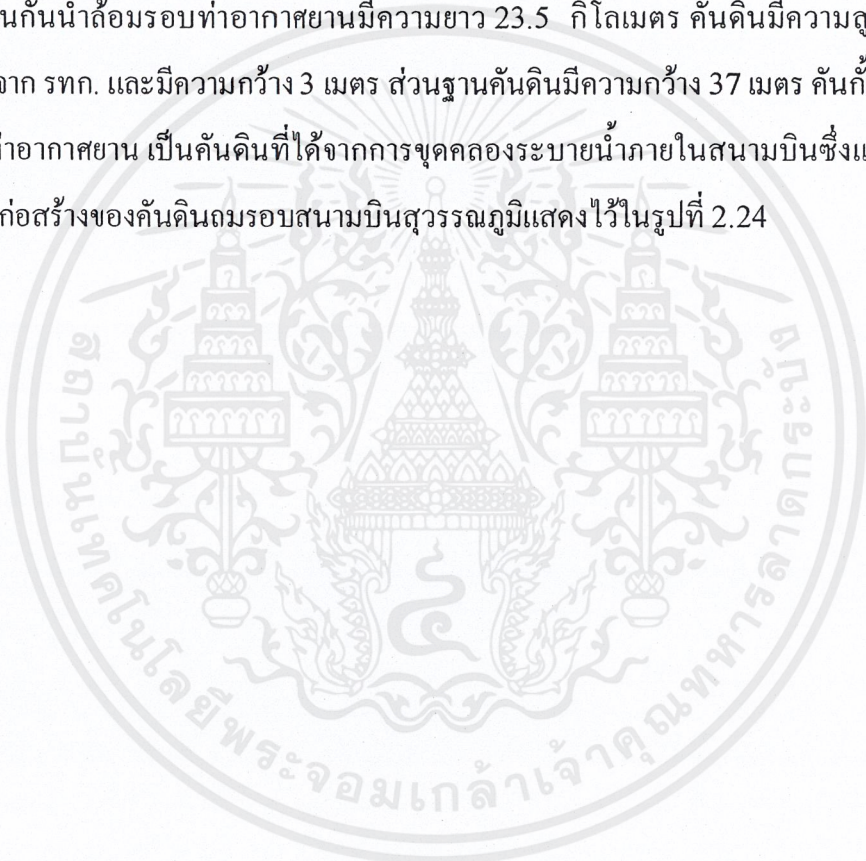
พ.ศ. 2538 : กรุงเทพมหานครและปริมณฑลเกิดปัญหาอุทกภัยอย่างหนักเพราะมีพายุดีเปรสชันเข้าประเทศไทยหลายลูก พื้นที่ลุ่มบริเวณจะสร้างนครสุวรรณภูมิ น้ำท่วมลึก 1-2 เมตร คลองธรรมชาติ

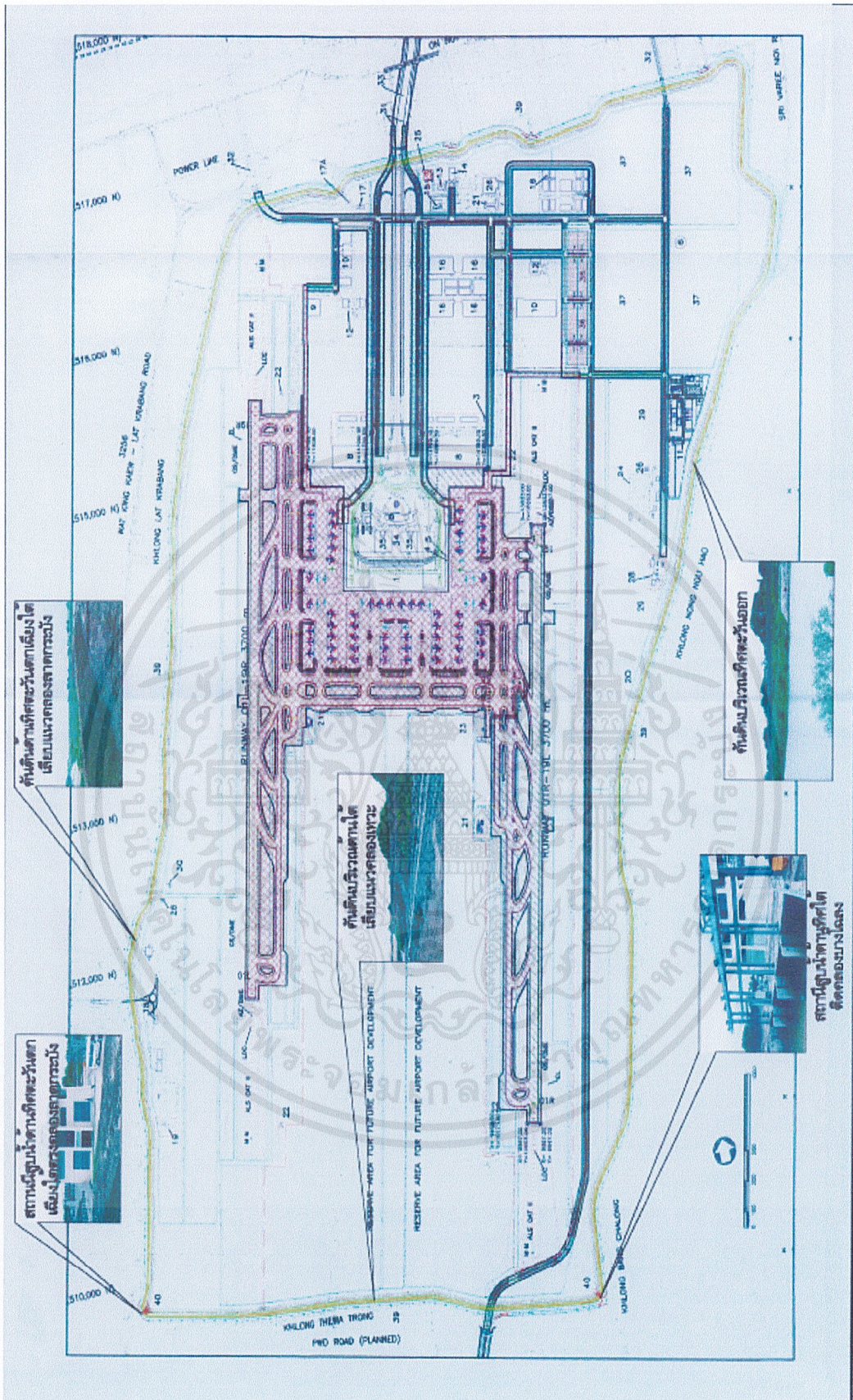
ในเขตพื้นที่และเครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่จำนวนมากที่มีไม่สามารถสูบน้ำระบายออกสู่อ่าวไทยให้หมด
โดยเร็ว สภาพน้ำท่วมรุนแรงกว่าปี 2533

มีระบบระบายน้ำและระบบสูบน้ำเพื่อควบคุมและปรับระดับน้ำภายในพื้นที่ท่าอากาศยาน ขั้นตอนการ
ก่อสร้างได้เริ่มสร้างคันดินป้องกันน้ำท่วมก่อนเป็นลำดับแรกในปี พ.ศ. 2535

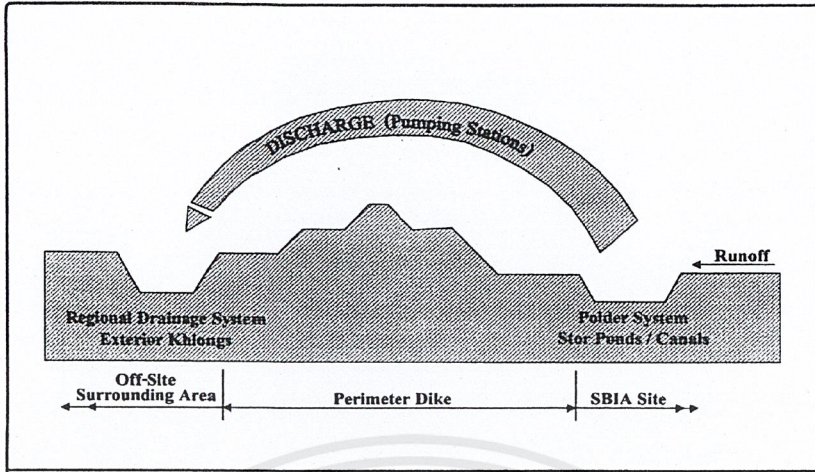
2.6.1 ข้อมูลคันดิน

คันดินกั้นน้ำล้อมรอบท่าอากาศยานมีความยาว 23.5 กิโลเมตร คันดินมีความสูงอยู่ที่ระดับ
+3.50 เมตร จาก รทก. และมีความกว้าง 3 เมตร ส่วนฐานคันดินมีความกว้าง 37 เมตร คันกั้นน้ำสร้างอยู่
ภายในพื้นที่ท่าอากาศยาน เป็นคันดินที่ได้จากการขุดคลองระบายน้ำภายในสนามบินซึ่งแสดงในรูปที่
4.1 ส่วนแบบก่อสร้างของคันดินกรมรอบสนามบินสุวรรณภูมิแสดงไว้ในรูปที่ 2.24

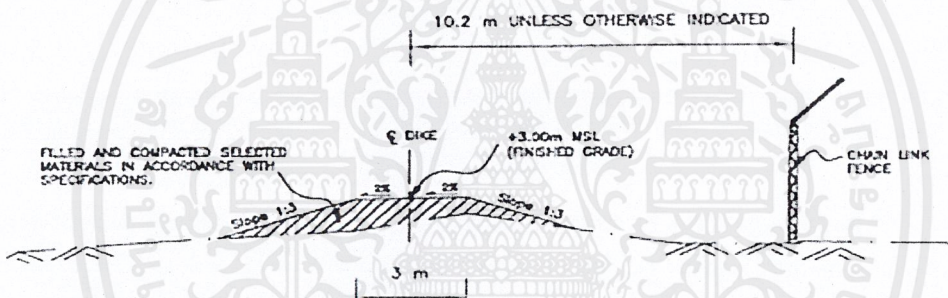




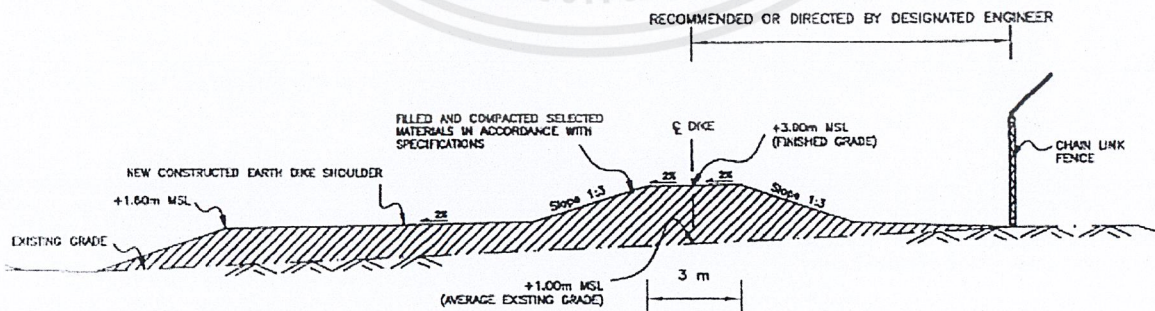
รูปที่ 2.24 สถานีสูบน้ำและคั่นดินถมกั้นน้ำ บริเวณโดยรอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) หน้าตัดตลอดทั้งโครงการของแบบก่อสร้าง



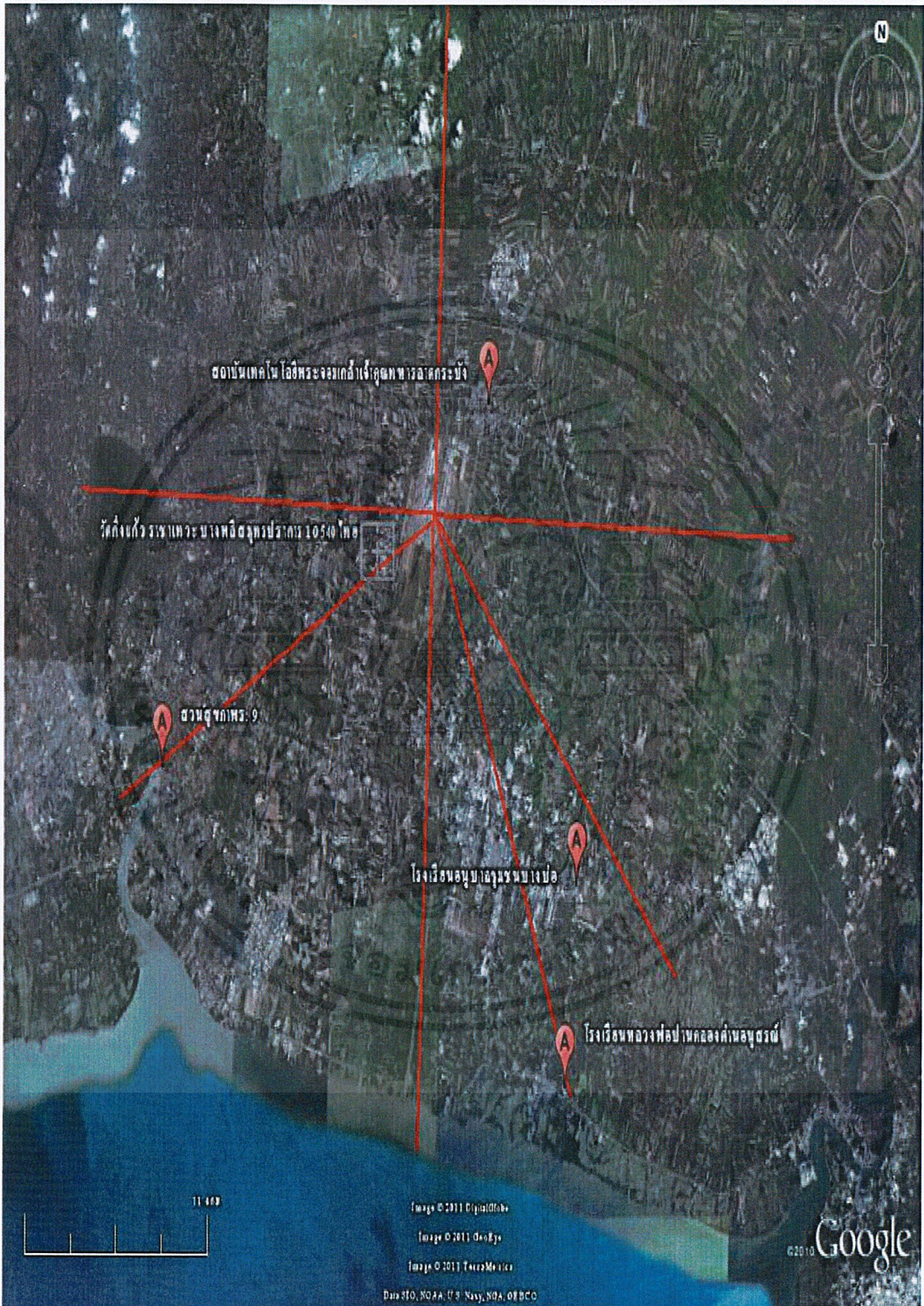
(ข) หน้าตัดทั่วไปของแบบก่อสร้าง



(ค) หน้าตัดถึงแนวเขื่อนของแบบก่อสร้าง

รูปที่ 2.25 ภาพตัดขวางของคันดินถมบดอัดเขื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 พื้นที่แสดงตำแหน่งหมวดหลักฐานในแผนที่ของกรมแผนที่ทหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

รายละเอียดหมวดหลักฐาน

1.หมวดหลักฐานสถานที่วัดแผ่นดินทรุด

สถานที่วัดแผ่นดินทรุดแต่ละสถานที่ที่มีหมวดหลักฐาน(รูปที่ 2.28) หลายชนิด แตกต่างกันตามความลึกของหมวดดังนี้

BM. มีความลึกระดับชั้นทราย (ประมาณ 20 เมตร)

CI.-1 มีความลึก 1 เมตร

CI.-2 มีความลึก 10 เมตร

CI.-3 มีความลึก ประมาณ 15 เมตร หรือมากกว่า

CI.-4 มีความลึก 100-200 เมตร พร้อมติดตั้งเครื่องวัดอัตโนมัติ และมีแขนยื่นสำหรับตั้งไม้ตั้งระดับ

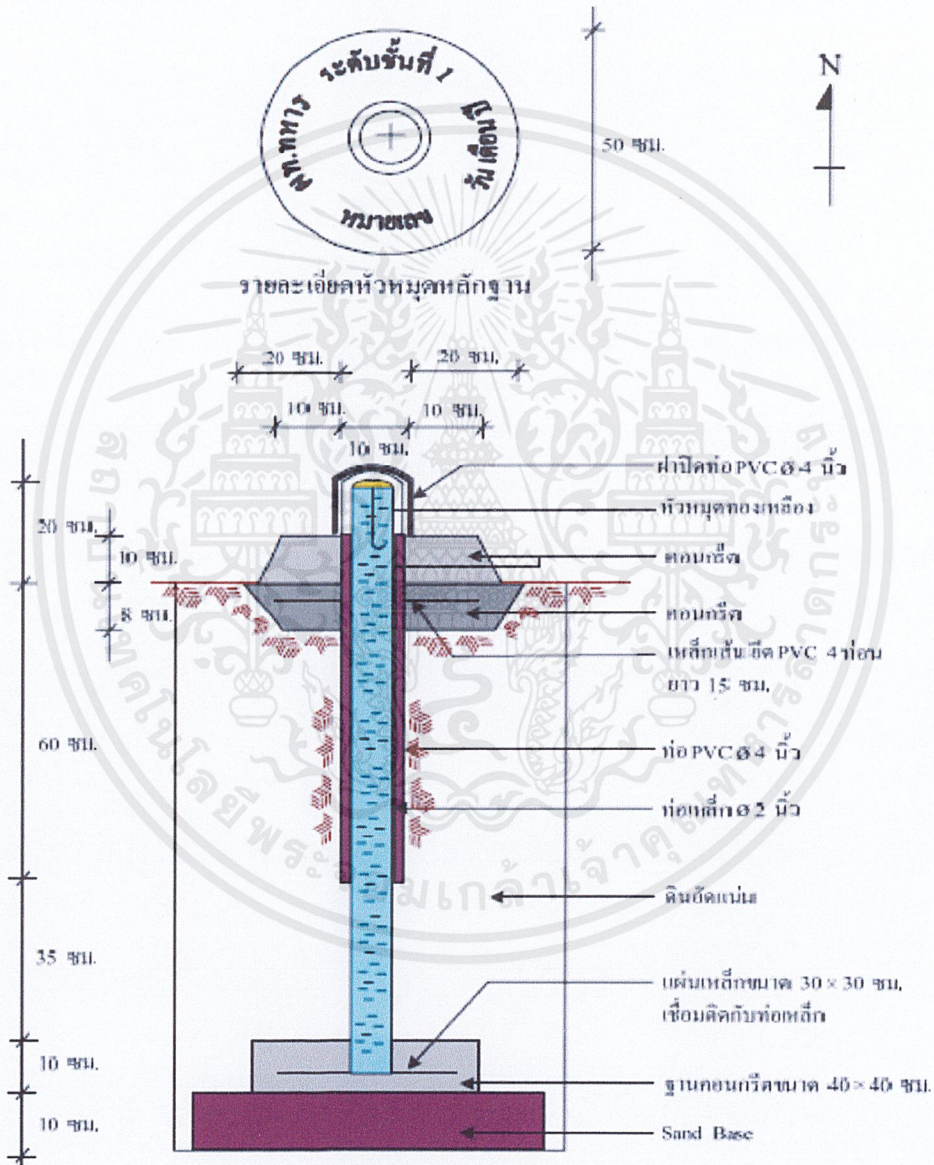
หมวดหลักฐานสถานีวิัดแผ่นดินทรุด ได้เริ่มก่อสร้างตั้งแต่ปี พ.ศ.2521 สรุปได้ดังนี้

ช่วงปี พ.ศ. 2520 – 2525 สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (A.I.T.) ได้ออกแบบและก่อสร้างสถานีวิัดแผ่นดินทรุดจำนวน 31 สถานี คือ สถานีที่ 1 ถึง สถานีที่ 31 โดยมีหมวดหลักฐานทุกแบบตามที่ได้กล่าวมา แต่ปัจจุบันจะมีไม่ครบสมบูรณ์ เนื่องจากถูกทำลายและสูญหาย (สถานีที่ 26 ถึง สถานีที่ 31 หมวด BM. จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ CI.-4 ของกลุ่มสถานีที่ 1 ถึง สถานีที่ 25)

ช่วงปี พ.ศ.2526 – 2538 สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นผู้ดำเนินการก่อสร้างสถานีวิัดแผ่นดินทรุดจำนวน 14 สถานี คือ สถานีที่ 31 ถึง สถานีที่ 41 และ สถานีที่ 46 ถึง สถานีที่ 49 โดยสร้างเฉพาะหมวดหลักฐานแบบ BM. ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับ CI.-4 ของกลุ่มสถานีที่ 1 ถึง สถานีที่ 25 ส่วน CI.- 1 กรมแผนที่ทหาร รับผิดชอบเป็นผู้ดำเนินการสร้างโดยใช้หมวดหลักฐานของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งมีความลึกประมาณ 1 เมตร

- 1.) ช่วงปี พ.ศ.2539 – 2540 สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้ดำเนินการก่อสร้างสถานีวิัดแผ่นดินทรุดเพิ่มเติมอีก 10 สถานี คือ สถานีที่ 42 ถึง สถานีที่ 45 และ สถานีที่ 50 ถึง สถานีที่ 55 โดยสร้างในลักษณะเดียวกับ ปี พ.ศ. 2526 – 2538 สำหรับ CI. -1 กรมแผนที่ทหาร ได้ดำเนินการสร้างโดยออกแบบหมวดหลักฐานใหม่

- 2.) ช่วงปี พ.ศ. 2541 สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้ดำเนินการก่อสร้างสถานีวัดแผ่นดินทรุดเพิ่มเติมอีก 4 สถานี คือ สถานีที่ 56 ถึง สถานีที่ 59 โดยสร้างในลักษณะเดียวกับปี พ.ศ. 2539 และ ปี พ.ศ. 2540 สำหรับ CI -1 กรมแผนที่ทหารรับผิดชอบเป็นผู้ดำเนินการสร้าง โดยสร้างในลักษณะเดียวกับ ปี พ.ศ.2539 – 2540



รูปที่ 2.28 หมุดหลักฐาน CI (COMPRESSION INDICATORS)

บทที่ 3

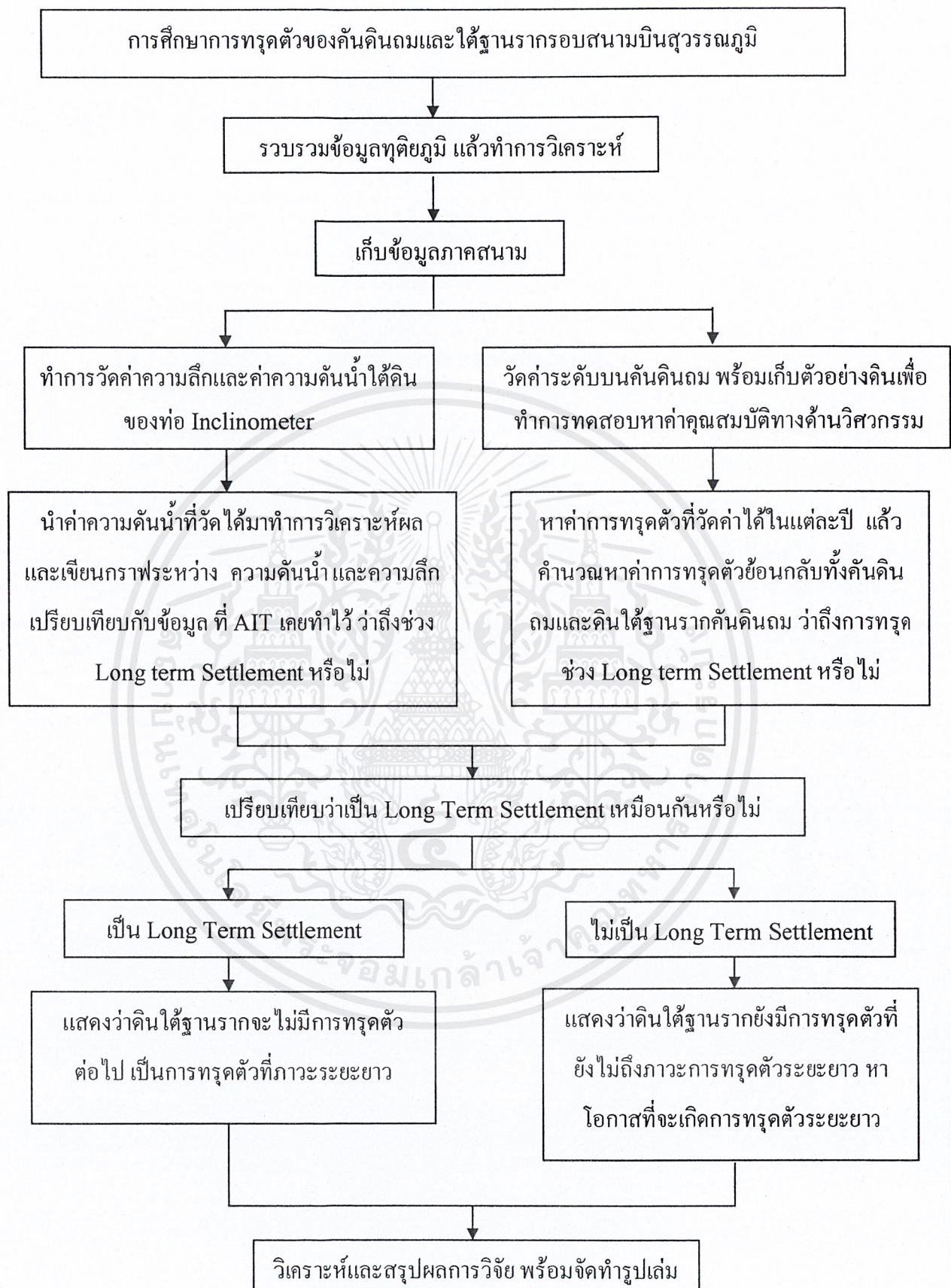
การดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนและระยะเวลาการดำเนินงาน

ในการศึกษาการหลุดตัวได้ฐานรากของคันดินรอบสนามบึงสุวรรณภูมิได้ดำเนินการตั้งแต่เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2553 จนถึงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ใช้เวลาทั้งหมด 36 สัปดาห์โดยแบ่งการทำงาน เป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1 และ Flow chart แสดงแผนการดำเนินงานในรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

แผนงานการวิจัย	ช่วงระยะเวลาดำเนินงานวิจัย									หมายเหตุ
	พ.ศ. 2553						พ.ศ. 2554			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	
การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ ของสนามบึงสุวรรณภูมิ	↔									
ออกสำรวจพื้นที่สนามบึง สุวรรณภูมิ		↔	↔					↔		ปิดซ่อมคันดินช่วง เดือน ต.ค.- ม.ค.
สุ่มพื้นที่ทดสอบและ ปฏิบัติการวัดค่าต่างๆ			↔							
วิเคราะห์ข้อมูล ตรวจสอบความถูกต้อง					↔			↔		
สรุปผลการวิจัยและเขียน รูปเล่ม								↔		



รูปที่ 3.1 Flow chart แผนการดำเนินงาน

3.2 การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ศึกษาโดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ข้อมูลจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ข้อมูลจากกรมแผนที่ทหาร เอกสารอ้างอิงการทรุดตัวจากการศึกษาของAIT และใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจาก website ต่างๆเช่น

- Kevin J Tuttle & Erik N. Skeredsvig., 2003. Rmz Meters and Geoenvionment, Norway
<http://www.rmz-mg.com/letniki/rmz50/rmz50_0391-0394.pdf>
- Won Pyo Hong & Jae Ho Lee., 2006. The International Society of offshore and Polar Engineers, Chung-Ans University of Korea
<http://www.isopec.org/publications/proceedings/ISOPE/ISOPE%202006/papers/2006_JS_C_241.pdf>
- Malek Smadi, Ph.D., Geotechnical Directory.
<http://www.geotechnicaldirectory.com/page/Software/Settlement_analysis.html>
- United States Geological Survey Earthquake Information Engineering .,1991, United States
<<http://www.civiltechsoftware.com/software/liquefy.php>>

3.3 สํารวจภาคสนาม

ทำการสำรวจภาคสนาม โดยการศึกษาจากภาพถ่ายทางอากาศรอบบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ และลงพื้นที่ตรวจสอบคันดินรอบสนามบินสุวรรณภูมิ ดูได้จากตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางรายการสำรวจในภาคสนาม

รายการสำรวจ	เพื่อ	จำนวน
1. รั้ววัดตลอดแนวคันดินถม สูงสุด	ตรวจสอบระดับ Critical ที่ +2.77 ม.	ตลอดแนวคันดินทุกๆ 100m 23km
2. สุ่มตรวจสอบรูปตัด	ให้มีความถูกต้องแม่นยำตามการ ออกแบบ	5 section
3. ตรวจสอบตำแหน่งบ่อ สังเกตการณ์ระดับน้ำใต้ดิน	วัดแรงดันน้ำใต้ดิน	15 บ่อสังเกตการณ์
4. ศึกษาคุณสมบัติของคันดิน (field density)	ตรวจสอบคุณสมบัติทางด้าน วิศวกรรม	5 จุด
5. USC, Su โดยเครื่องมือ Torvane	หา Undrained shear stress	2 จุด (Sta. 4+500 และ Sta. 8+800)

3.4 วิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบข้อมูลต่างๆ จากข้อมูลหัตถ์ภูมิ ข้อมูลการตรวจวัด และการคำนวณ เพื่อศึกษาการ
ทรุดของชั้นฐานราก โดยมุ่งประเด็นการทรุดตัวระยะยาว

3.5 จัดทำรายงานรูปเล่ม

- 3.5.1 การจัดรูปเล่มจัดตามมาตรฐานของปริญญาโท โดยหลักดังนี้มีความถูกต้องและ
เป็นไปได้ในแงุ่มทางวิชาการ
- 3.5.2 นำเสนออย่างเป็นขั้นตอนและง่ายต่อการทำความเข้าใจ
- 3.5.3 ใช้ภาษาที่สละสลวยถูกต้องตามหลักไวยากรณ์
- 3.5.4 นำทฤษฎีพื้นฐานที่เรียนมาอธิบายหรือประยุกต์ใช้งานได้
- 3.5.5 ส่งเสริมให้มีการขยายผลการศึกษาหรือการวิจัยเพิ่มเติมในภายหลัง

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

4.1 ที่มาของข้อมูลการศึกษาเรื่องการทรุดตัว

เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมได้นำข้อมูลจากกรมแผนที่ทหาร AIT และการวิจัยในตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 ข้อสังเกตเปรียบเทียบการศึกษาการทรุดตัว

เปรียบเทียบข้อมูลจาก	ข้อมูลที่น่ามาใช้	ลักษณะของข้อมูล
กรมแผนที่ทหาร	ค่าระดับจากหมุดหลักฐาน BM และ CI ของสถานีที่ 20,29 และ30 ข้อมูลการวัดค่าระดับจากอดีตที่เคยทำไว้จนถึงปัจจุบัน ซึ่งเป็นการศึกษาในบริเวณรอบๆสนามบินสุวรรณภูมิ	หมุดต่างๆใกล้กับสนามบินสุวรรณภูมิซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 สถานี ซึ่งเป็นบริเวณที่ค่อนข้างกว้างใหญ่มาก ซึ่งมีการวัดค่าระดับต่อเนื่อง ณ ตำแหน่งเดิม
AIT	ผลงานวิจัยทดสอบได้แก่ 1)ค่าความดันน้ำใต้ดิน 2)ค่าคุณสมบัติต่างๆชั้นดินใต้ฐานราก 3)ค่า Stress Distribution ของชั้นดินใต้ฐานราก 4)ค่า $e, e_0, C_r, C_c, C_v, C_\alpha$ (จากการทดสอบทั้งหมด 4 series (SL, LSC, PC, SSC) 5)ค่าการทรุดตัวในชั้น Primary ,Secondary	เป็นการจำลองคันดินถมบริเวณ AIT ซึ่งมีสภาพของดินใกล้เคียงกับดินในสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งเริ่มทดสอบในปี พ.ศ. 2517 ก่อนที่จะมีการถมดินในปี พ.ศ. 2535
งานวิจัยของผู้วิจัย	ค่าระดับที่ได้จากภาคสนาม เทียบกับค่าที่ได้จากบริษัท อนุวัฒน์พัฒนาก่อสร้าง และค่าระดับนำใต้ดินที่วัดได้จาก Inclinometer	ทำในคันดินถมปัจจุบันที่มีการถมคันดินกลับไปแล้ว ไม่ได้กำหนดจุดที่แน่นอนและวัดค่าจากระดับน้ำจากท่อ Inclinometer ที่เคยมีการสร้างเอาไว้ ที่สำรวจได้ทั้งสิ้น 15 หลุม รอบสนามบินสุวรรณภูมิ

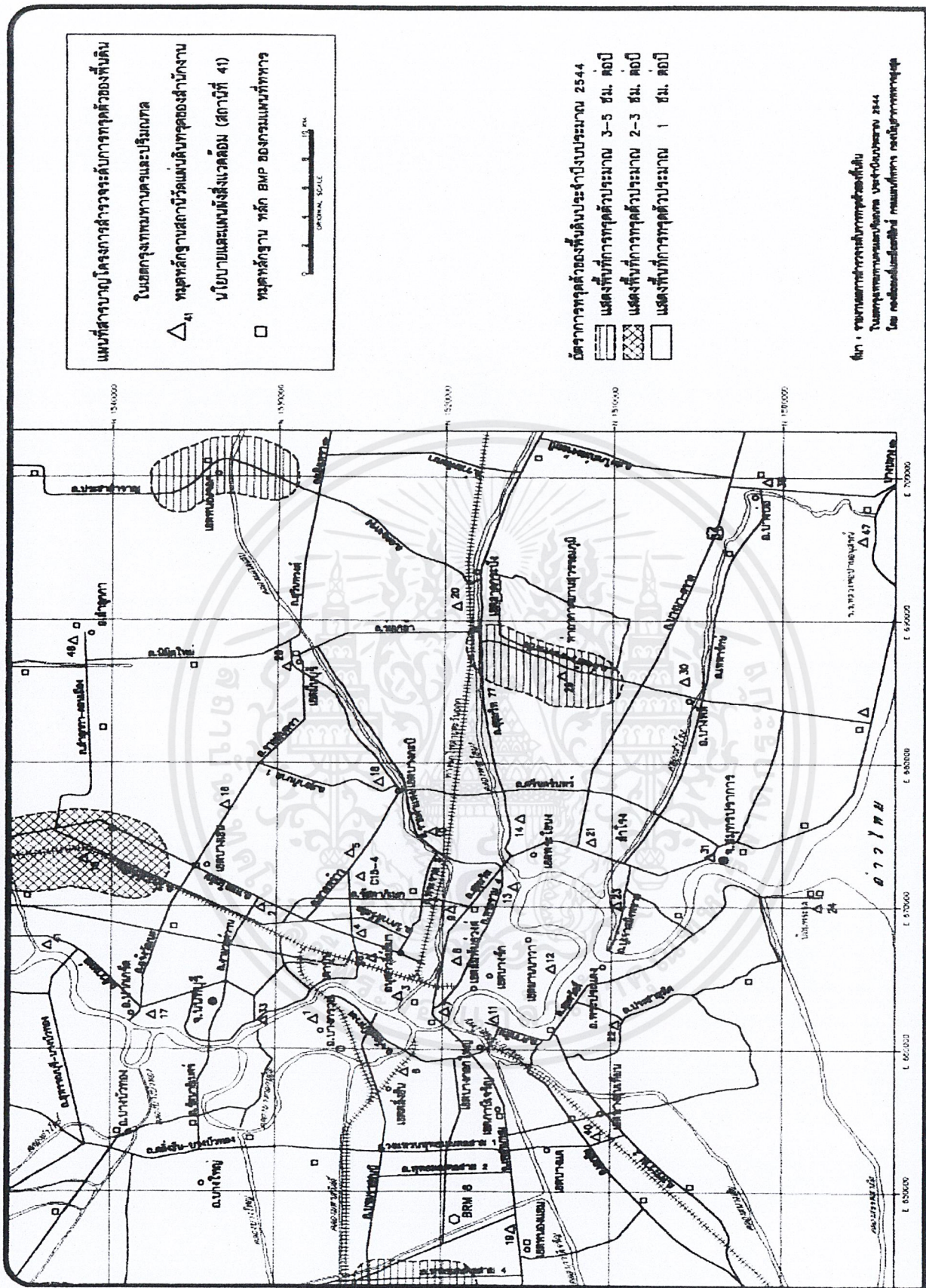
4.2 ค่าการทรุดตัวของแผ่นดินสำรวจโดยกรมแผนที่ทหาร

จากการรวบรวมข้อมูลสำรวจจริงวัดชั้นที่ 1 ณ หมุดหลักฐานในพื้นที่ใกล้เคียงกับสนามบินสุวรรณภูมิ ประกอบด้วยหมุดหลักฐานต่างๆ 3 สถานี ได้แก่ สถานีที่ 20 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (4 หมุดหลักฐาน ประกอบด้วยหมุด BM20 , CI.20-2 , CI.20-3,CI.20-4) สถานีที่ 29 ใกล้เคียงโบสถ์วัดกิ่งแก้วริมเขื่อน (หมุดหลักฐาน ประกอบด้วย BM29 , CI.29-1) และสถานี 30 โรงเรียนบางพลีราษฎร์บำรุง (3 หมุดหลักฐาน ประกอบด้วย BM30 ,CI.30-1,CI.30-4) CI.-1 ลึก 1 เมตร, CI.-2 ลึก 10 เมตร, CI.-3 ลึก 20 เมตร และ CI.-4 ลึก 100-200 เมตร ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งสถานีแสดงค่าระดับของหมุดในแต่ละปี

สถานีที่	ชื่อหมุดหลักฐาน	สถานีที่ตั้งหมุดหลักฐาน	ค่าระดับสูงปี 2543 (ม.)	ค่าระดับสูงปี 2544 (ม.)	ค่าระดับสูงปี 2549 (ม.)	ค่าระดับสูงปี 2553 (ม.)	ทรุดตัวปี 53 (มม./ปี)	ค่า Slope
20	BM 20	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	1.6438	1.6402	1.64337	1.52603	4.7	-2.79
	CI20-2		1.5037	1.4932	1.46142	1.32624	-18	
	CI20-3		1.6331	1.6281	1.61977	1.4983	-0.8	
	CI20-4		1.7662	1.7685	1.77761	1.6614	1.2	
29	BM 29	ใกล้เคียงโบสถ์วัดกิ่งแก้วริมเขื่อน	1.5915	1.5898	1.59561	1.46761	9.3	-3.4
	CI29-1		1.22	1.1982	1.09388	0.91453	-0.1	
30	BM 30	โรงเรียนบางพลีราษฎร์บำรุง	1.3851	1.3803	1.3792	1.3602	19	-0.53
	CI30-1		1.425	1.4151	1.4102	1.4012	9	
	CI30-4		0.3245	0.2971	0.2913	0.2719	19.4	

ข้อมูลในอดีตที่กรมแผนที่ทหารเคยนำมา นำมาวิเคราะห์การทรุดตัวของหมุดหลักฐาน แสดงในรูปที่ 4.1



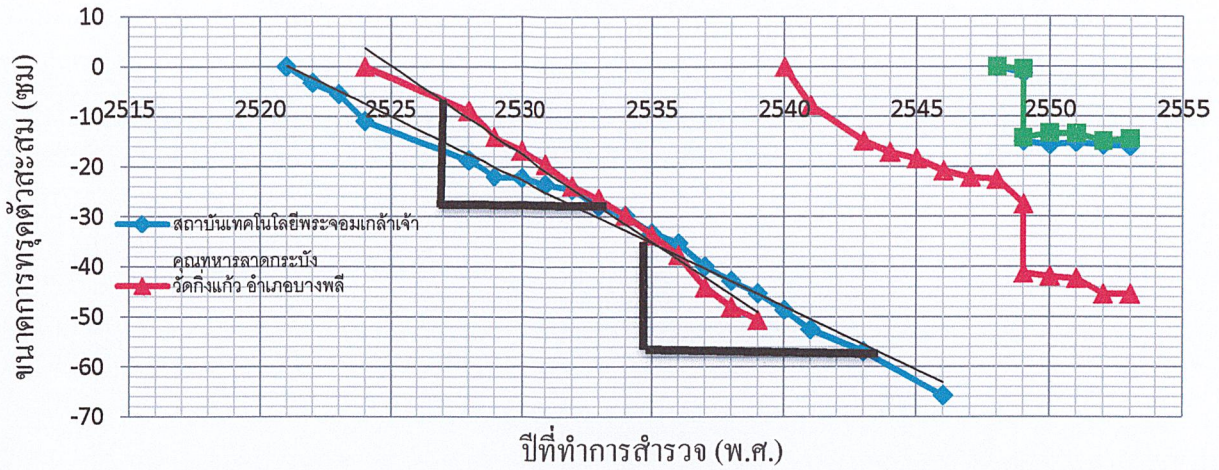
แผนที่สำเนาโครงการสำรวจระดับการทุดตัวของพื้นดิน
 ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
 △₄₁ พหลพิสัยสถานสถานีวัดแผ่นดินทุดของสำนักงาน
 นโยบายและแผนผังสิ่งแวดล้อม (สถานีที่ 41)
 □ พหลพิสัยฐาน พหล BIMP ของกรมแผนที่ทหาร

ข้อมูลการทุดตัวของพื้นดินประจำปีงบประมาณ 2544
 ■ แสดงพื้นที่การทุดด้วยประมาณ 3-5 ซม. ต่อปี
 ▨ แสดงพื้นที่การทุดด้วยประมาณ 2-3 ซม. ต่อปี
 □ แสดงพื้นที่การทุดด้วยประมาณ 1 ซม. ต่อปี

ที่มา : รายงานผลการดำเนินงานการทุดตัวของพื้นดิน
 ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ประจำปีงบประมาณ 2544
 โดย สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย กรมแผนที่ทหาร และกรมการทหารช่าง

รูปที่ 4.1 แสดงสถานีตรวจวัดการทุดตัวของ สผ. รอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการทรุดตัวในแต่ละสถานีจากหมุดที่ต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 เมื่อเทียบกับตารางที่ 4.2 กับรูป 4.1 และจากข้อมูลเก่าที่เคยทำการศึกษาสถานีตรวจวัดการทรุดตัวของ สผ. รอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ดังรูปที่ 4.2 นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากกรมแผนที่ทหาร ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลสถานีตรวจวัดกับข้อมูลของกรมแผนที่ทหาร

สถานี	ค่าการทรุดตัวจากการศึกษา (cm./ปี)	ค่าการทรุดตัวจากกรมแผนที่ทหาร (cm./ปี)	ผลการศึกษา
20	1	2.79	ค่าการทรุดตัวจากกรมแผนที่ทหารมีค่ามากกว่า
29	3 - 5	3.4	มีค่าสอดคล้องกัน
30	1	0.5	มีค่าใกล้เคียงกัน

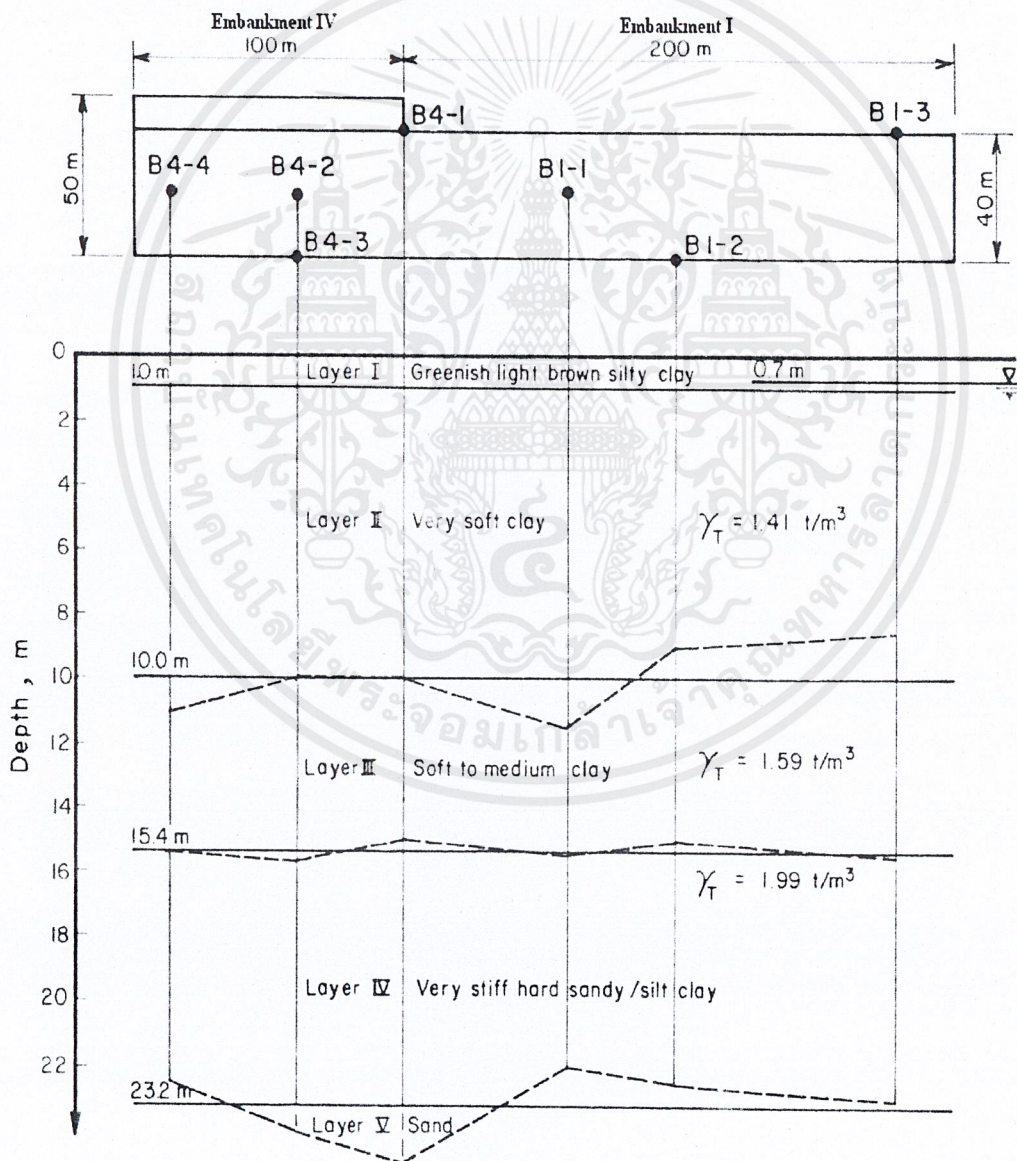
จากค่าการทรุดตัวที่ได้จากการศึกษาเป็นข้อมูลในบริเวณกว้างบริเวณรอบๆสนามบินสุวรรณภูมิ แต่ข้อมูลจากกรมแผนที่ทหารเป็นข้อมูลเฉพาะจุด ค่าที่ได้จึงมีความแตกต่างกัน

4.3 ข้อมูลจากการทดสอบคันดินของ AIT

จากการศึกษาคันดินถมในสนามบินสุวรรณภูมิ ทาง AIT ได้เคยทำการศึกษาไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2516 (AIT, 1973) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้

4.3.1 ลักษณะหน้าตัดคันดินถมของชั้นฐานราก

ดินที่อยู่ใต้พื้นดินในสุวรรณภูมิมีลักษณะคล้ายคลึงกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ซึ่งเกิดจากตะกอนที่แม่น้ำพัดพามาทับถม มีกำลังต่ำและสามารถที่จะบดอัดได้ง่ายมีความสม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ลักษณะหน้าตัดทั่วไปใต้คันดินถมของชั้นฐานราก

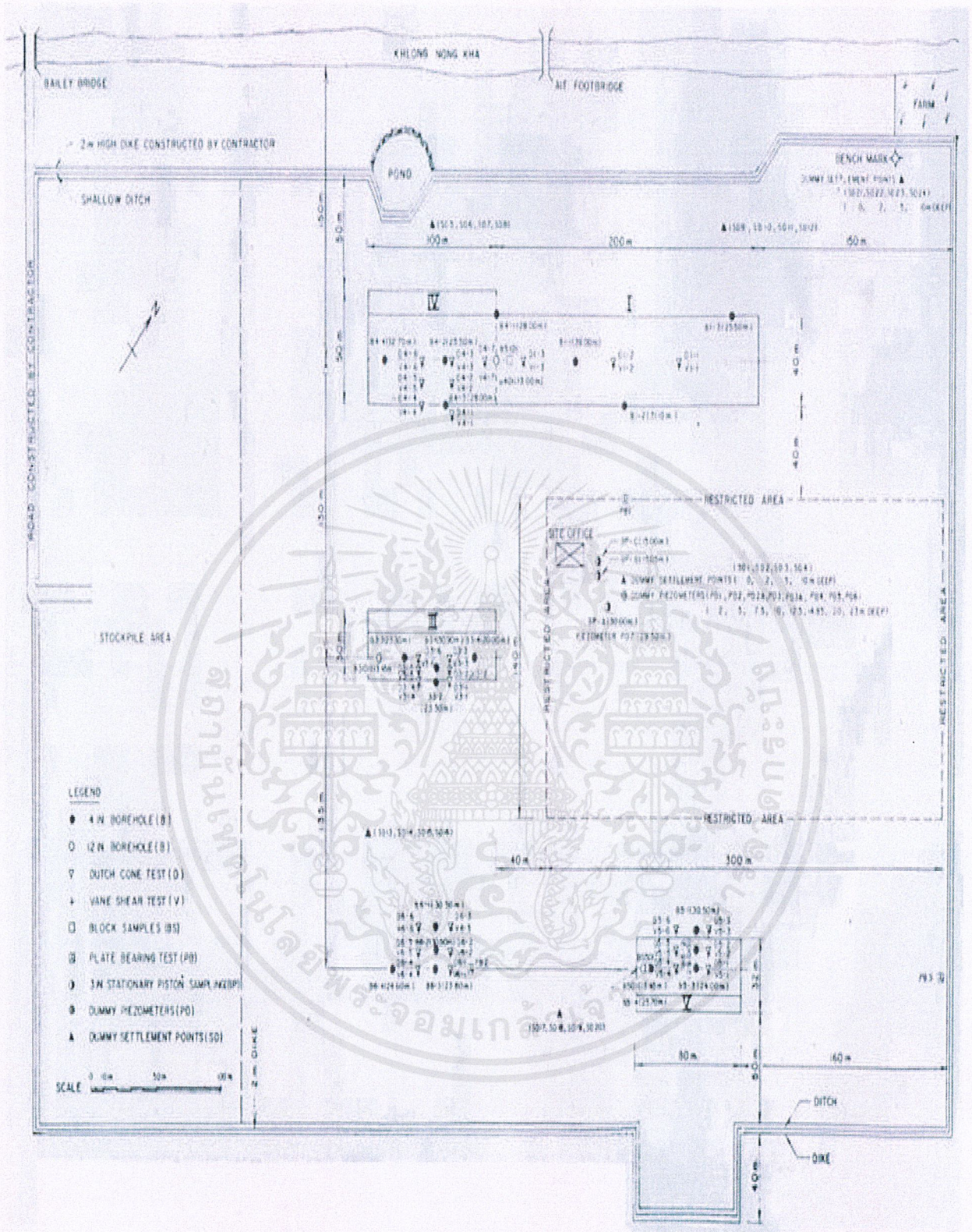
4.3.2 ลักษณะหน้าตัดคันดินถม

สนามบินนานาชาติสุวรรณภูมิได้ถูกสร้างขึ้นบนพื้นที่หนองงูเห่า การศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวของคันดินถมบดอัดก่อนมีการก่อสร้างจริง ทาง AIT (1973a) ได้ทำการสร้างแบบจำลองคันดินเพื่อใช้ในการสังเกตการณ์ในพื้นที่ดังกล่าวอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 ชนิด คือ

- (ก) การสังเกตการณ์ความสูงของคันดินในเชิงการทรุดตัวระยะยาว
- (ข) การสร้างคันดินขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อพิจารณาถึงค่าความปลอดภัยสูงสุดเมื่อเกิดการวิบัติ
- (ค) คันดินถูกสร้างขึ้นที่ความสูงคงที่ เพื่อสังเกตการณ์ในการทรุดตัวแบบการถ้ำของมวลดิน และการทรุดตัวระยะยาว
- (ง) การทำหลุมเจาะถูกสร้างขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อพิจารณาถึงขอบเขตความปลอดภัยของการวิบัติ

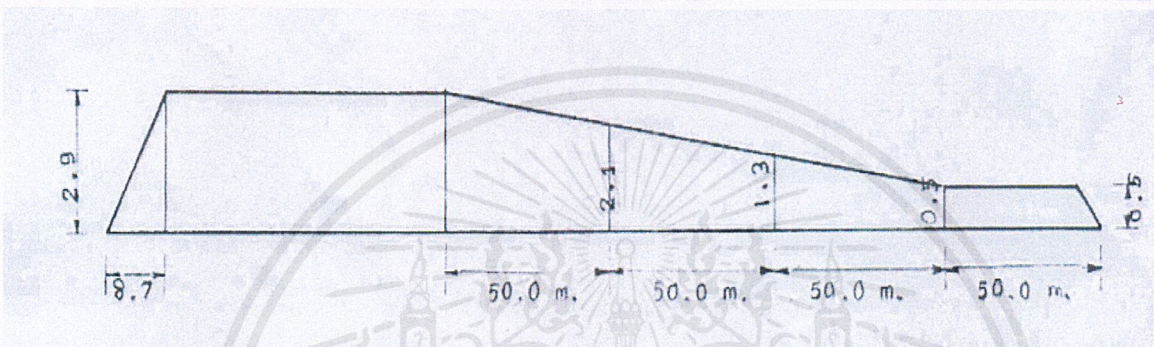
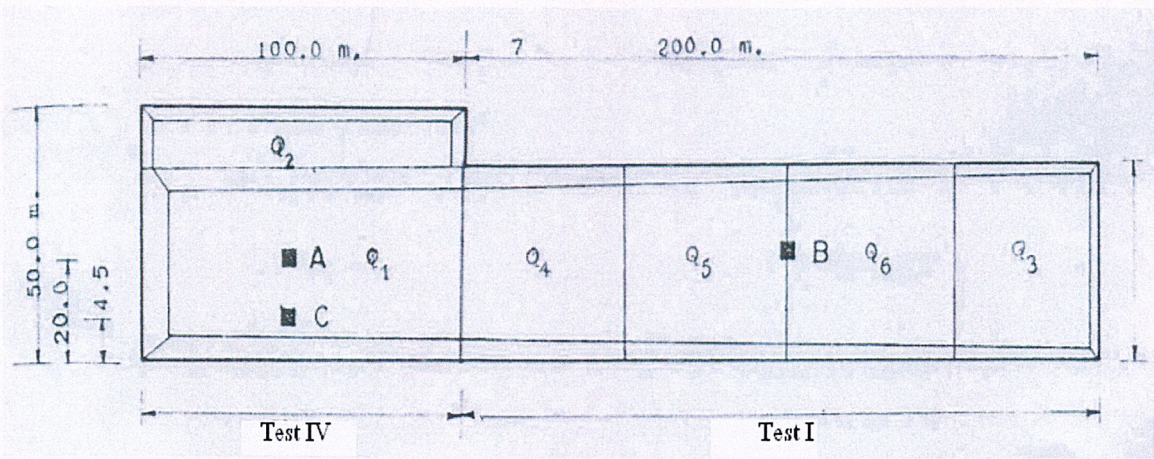
การทดสอบวิธีที่ (ก) และ (ค) ถูกนำมาพิจารณาในการทำวิจัยในครั้งนี้

การทดสอบคันดินวิธี (ก) ถูกสร้างขึ้นที่ขนาด 200×40 เมตร ที่ค่าความสูงมากที่สุด 2.90 เมตร และต่ำสุดที่ 0.50 เมตร ซึ่ง ส่วนการทดสอบวิธีที่ (ค) มีสร้างขึ้นที่ขนาด 100×40 เมตร และมีคันดินเล็กๆที่สร้างเชื่อมติดกัน ขนาดความกว้าง 10 เมตร ก่อนการก่อสร้างนั้นได้มีการเจาะหลุมเพื่อฝังอุปกรณ์หรือวัดค่าลงไปยังคันดินที่สร้างขึ้นได้แก่ Settlement Plates , Lateral Movement Stakes. และมีการติดตั้ง Piezometers ในการติดตามวัดค่าต่างๆซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งค่าคันดินถมของสนามบินสุวรรณภูมิมีค่า $\bar{C} = 0$, $\phi = 37.5$ สร้างสูงสุดได้ไม่เกิน 3.4 m และมีค่า $N_c = 4.5$ และ factor of safety อยู่ในช่วงระหว่าง 1.20 – 1.35

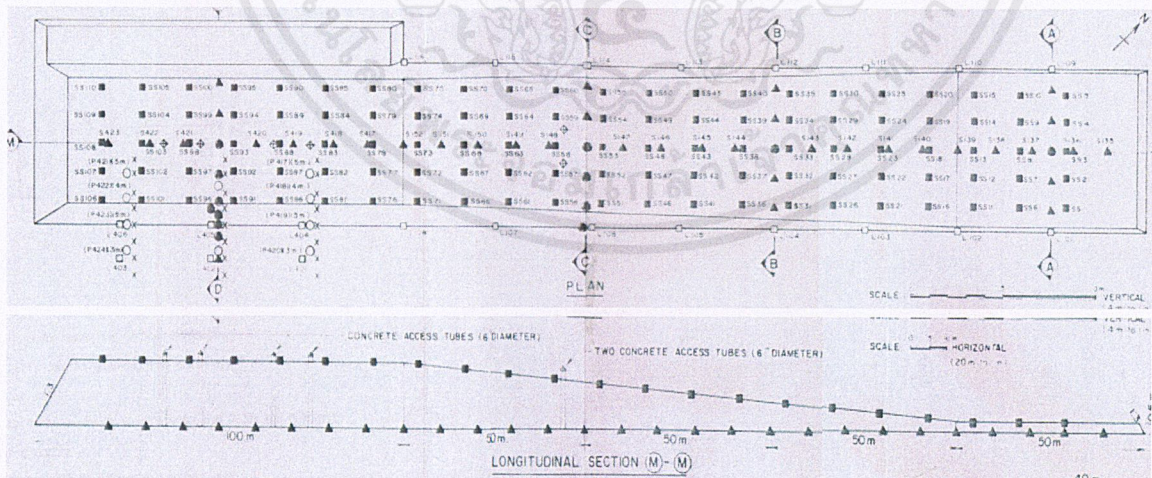


รูปที่ 4.4 รูปแปลนแสดงตำแหน่งที่มีการทดสอบวัดค่าต่างๆ บนแบบจำลองดินถม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 48
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Load	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
Height (m.)	2.9	0.8	0.5	2.5	1.7	0.9
Pressure (t/m ²)	5.05	1.39	0.87	4.35	2.96	1.57



รูปที่ 4.5 Locations for Settlement Analysis and Pressure intensity for Stress Analyses

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 งานวิจัยการศึกษาพฤติกรรมทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน เนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ

การทรุดตัวแบบน้ำในมวลดินถูกขับออกไป (Primary settlement) ในสนามบินสุวรรณภูมิเป็นการทดสอบในหนึ่งทิศทาง (One-Dimensional Settlement Analysis of the Nong Ngoo Hao Clay) ประกอบด้วยกัน 4 กระบวนการ ได้แก่

- 1) Standard Consolidation test (SC-Series)
- 2) Long term Standard Consolidation test (LSC-Series)
- 3) Consolidation test with pore pressure measurement (PC-Series)
- 4) Single – Step Consolidation test (SSC-Series)

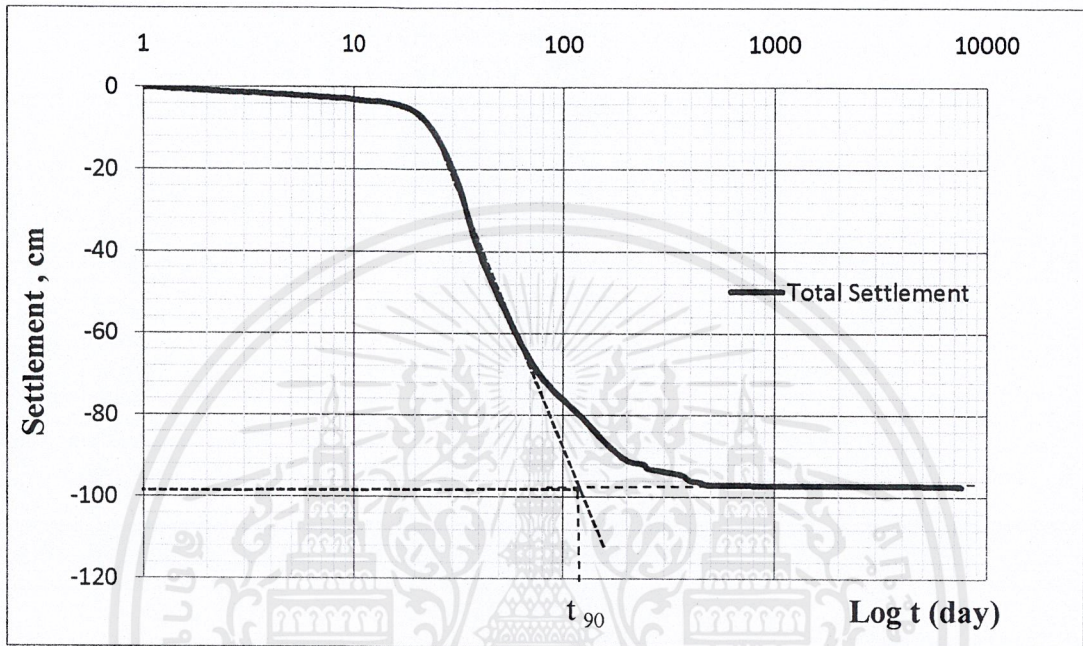
การทรุดตัวประกอบด้วยกันสามกระบวนการ คือ การทรุดตัวส่วนที่เกิดขึ้นทันทีทันใด (Initial Settlement) การทรุดตัวส่วนที่น้ำในมวลดินถูกขับออกไปหรือการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Primary Settlement or Consolidation Settlement) การทรุดตัวส่วนที่เกิดจากการถ้ำของมวลดิน (Secondary Settlement or Creep Settlement) ลักษณะของชั้นดินที่นำมาทำการทดสอบหาค่าการทรุดตัวแสดงไว้ในรูป 4.6

Depth, m	Soil Description		Drainage Path	Consolidation Test Series			
				SC	LSC	PC	SSC
0	weathered clay	brownish grey clay with grass	1 0.85 Sand Layer			● (0.65)	
1			2 2.35 Silt Seam	○ (1.15)	○ (1.45)	● (1.15)	○ (1.10)
2	very soft clay	Greenish grey clay	3 5.50 Silt Layer	○ (4.25)	○ (4.15)	● (4.15)	○ (4.10)
3			4 with trace of shell fragments			● (6.10)	○ (5.30)
4	soft clay	with plenty of large shell fragments	5 8.15 Sand Layer	○ (7.25)	○ (7.35)		
5			6 9.25 Sand Layer	○ (8.90)		● (8.55)	○ (8.70)
6	medium clay	grey silty clay	7 10.95 Sand Layer	○ (10.20)		● (10.20)	
7			8 12.50 Silt Seam	○ (11.70)	○ (11.60)	● (11.60)	○ (11.05)
8	stiff clay	greenish grey medium clay	9 15.90	○ (13.30)		● (14.10)	○ (14.20)
9			10 brownish grey stiff clay				

รูปที่ 4.6 Soil Profile with Consolidation Tests

ผลการวิจัยจากการศึกษาการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวอ่อน แสดงใน ภาคผนวก ก

จากการทดสอบชุด LSC-Series เพื่อหาค่าการทรุดตัวระยะยาว เพื่อทำนายการทรุดตัวในอนาคต ตัวแทนข้อมูลที่ใช้ในการทำนายแสดงค่าการทรุดตัวในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงการทรุดตัวระยะยาว

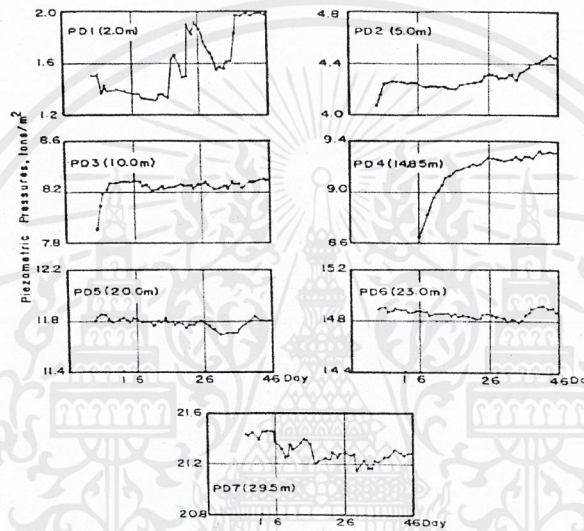
จากรูปที่ 4.7 ได้ค่า t_{90} ประมาณ 0.980 เมตรซึ่งสามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่เกิดจากการวัดได้จริงในสนามกับค่าที่มีการทำนายไว้ได้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากค่าการทำนายกับข้อมูลที่วัดได้จริงในสนามจากการทำระดับ

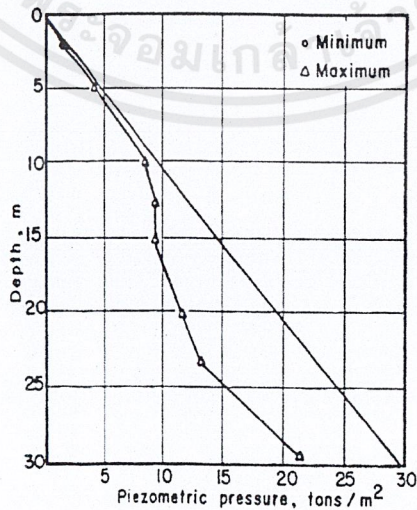
ข้อมูล	Settlement (cm)	Remark
ค่าจากการทำนาย	98	จากการทดสอบชุด LSC-Series ดังรูปที่ 4.7
ค่าที่วัดได้จริงในสนามจากการทำระดับ	97.5	จากรูปตัดคันดิน Sta 6+800 ดังรูปที่ 4.10

4.3.4 ข้อมูลค่าความดันน้ำใต้ดิน

การตรวจวัดค่าการทรุดตัวระยะยาว (Longterm settlement) ทาง AIT ได้ทำการติดตั้งมาตรวัดความดัน (Piezometer) เพื่อวัดค่าความดันน้ำใต้ดิน โดยทำการหาค่าตัวแทนความดันน้ำที่แท้จริงของดินเดิมที่ยังไม่มีน้ำหนักมากคทับ (Dummy Piezometer) ในสนามบินสุวรรณภูมิได้ถูกติดตั้งเพื่อวัดค่าที่ความลึกต่างๆ ได้แก่ 2 เมตร , 5 เมตร , 7.5 เมตร , 10 เมตร , 12.5 เมตร , 14.85 เมตร , 20 เมตร , 23 เมตร และ 30 เมตร แสดงผลการวัดค่าดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำที่วัดได้ในแต่ละวันกับความดันน้ำใต้ดิน



รูปที่ 4.9 ตัวแทนค่าความดันน้ำที่วัดจาก Dummy Piezometer ของสนามบินสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายของความดัน (Stress Distribution, σ_v) ได้มีการทดสอบ ณ ที่ตำแหน่ง Location A, B, C ซึ่งได้คำนวณจากทฤษฎีดังนี้ MB(Burmister's Chart), G(Gray's Formula), PL(Poulos' Chart), FM (Finite Element Method) ซึ่งค่าความดันทั้งสี่วิธีดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ที่ดีที่สุด จึงหาค่าความดันเฉลี่ยที่ใช้ทดสอบ ณ Location ต่างๆ สรุปได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความดันเฉลี่ย ณ Location ต่างๆ

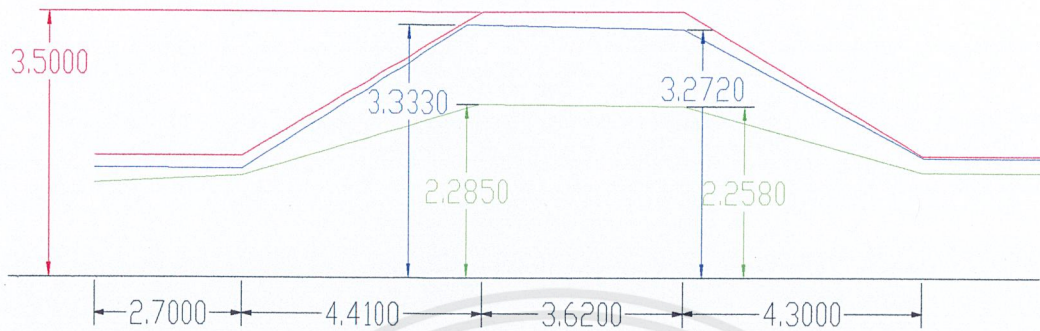
Layer No.	Depth (m)	Thickn ess (m)	Average Stress Distribution at Location ($\bar{\sigma}_v$, t/m ²)			Pore Pressure at Location (t/m ²)		
			A	B	C	A	B	C
1	0 - 0.85	0.85	5.36	3.38	5.21	0.31	1.11	0.16
2	0.85 - 2.35	1.50	6.35	3.56	5.95	1.30	1.29	0.90
3	2.35 - 5.50	3.15	7.46	4.67	6.75	2.41	2.38	1.70
4	5.50 - 8.15	2.65	8.55	5.78	7.27	3.50	3.51	2.22
5	8.15 - 9.25	1.10	9.87	7.09	8.37	4.82	4.82	3.32
6	9.25 - 10.95	1.70	11.04	8.31	9.41	5.99	6.04	4.36
7	10.95 - 12.50	1.55	12.82	10.10	10.87	7.77	7.83	5.82
8	12.50 - 15.40	2.90	15.87	13.20	14.00	10.82	10.93	8.15

4.4 ผลการศึกษาในภาคสนาม

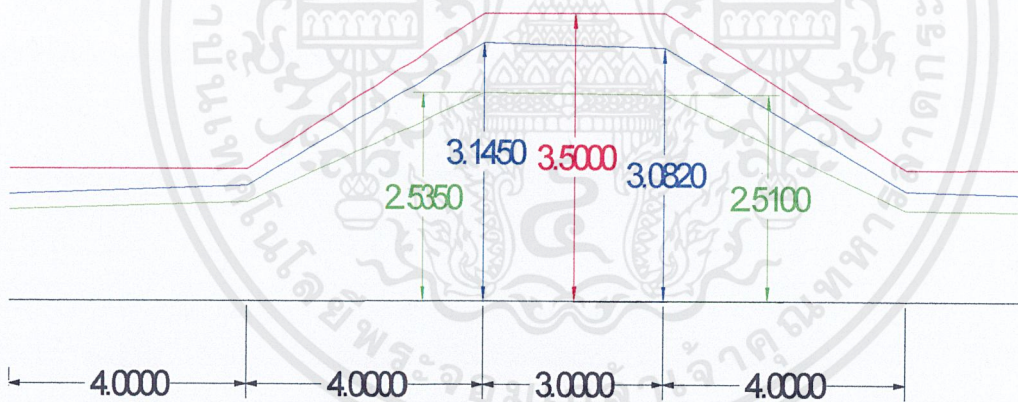
4.4.1 เปรียบเทียบหน้าตัดจากกันดินถม

ค่าระดับที่ทำการวัดค่าได้แสดงในภาคผนวก ข การตรวจวัดระดับตั้งแต่ Station 0+000 ถึง Station 23+500 ซึ่งเป็นการหาค่าเฉลี่ยของระดับคันดินตรงขอบบนซ้ายและขอบบนขวา แล้วตรวจวัดค่าระดับที่วัดได้มากที่สุดอยู่ที่ Sta 12+200 มีค่าเท่ากับ 1.774 ซึ่งค่าการทรุดตัวทุก Station จึงถูกเทียบจาก Station นี้ จากการเก็บข้อมูลภาคสนามขาดข้อมูลตรง Sta 14+900 เนื่องจากเกิดข้อผิดพลาดในการเก็บข้อมูลตรง Station นี้ ค่าการทรุดตัว ณ ตำแหน่ง Station ใดๆบนคันดินถมรอบสนามบินสุวรรณภูมิแสดงดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

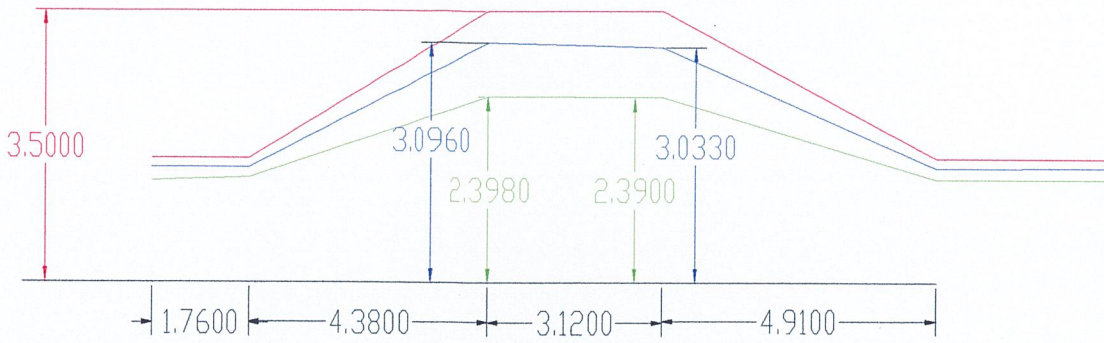


รูปตัดคันดิน Sta 4+500

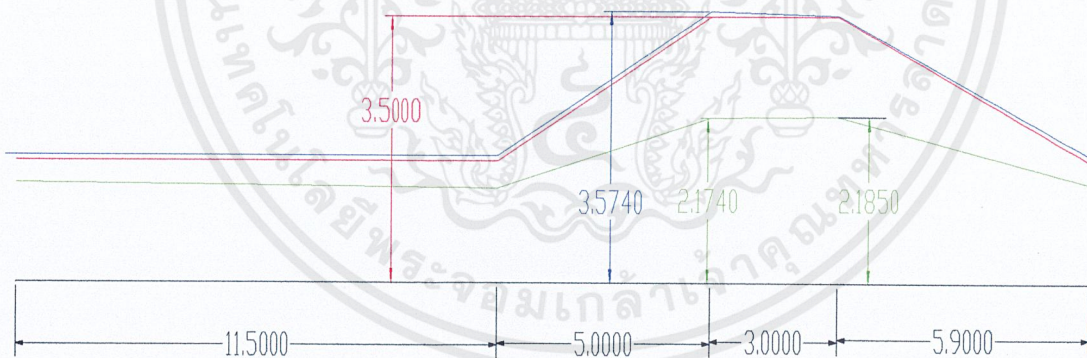


รูปตัดคันดิน Sta 6+800

รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าระดับของตัวแทนหน้าตัดที่ทำการวัดค่าระดับได้

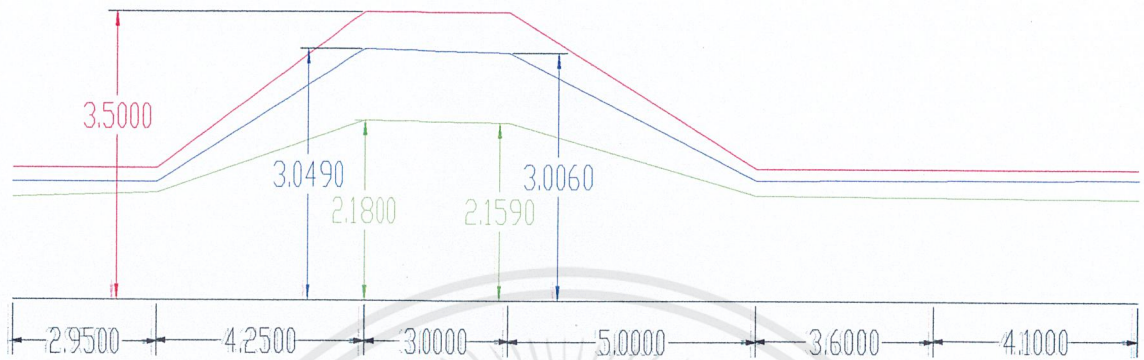


รูปตัดคันดิน Sta 8+800



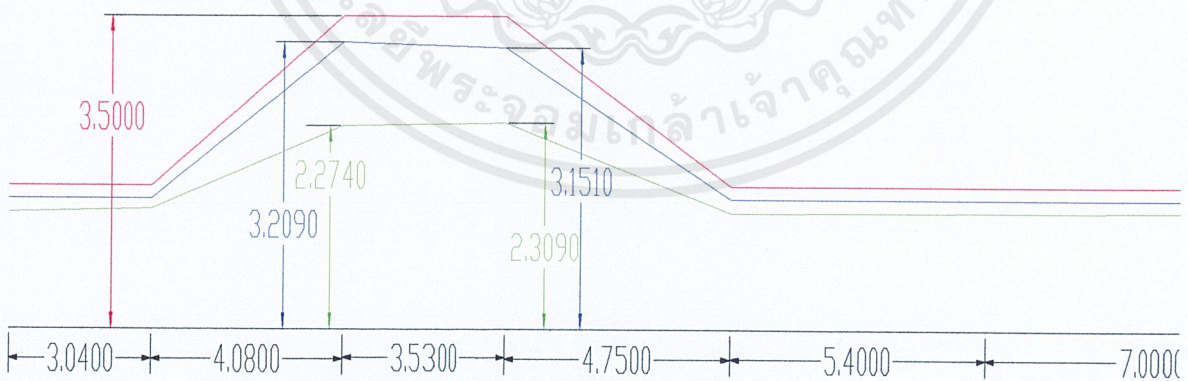
รูปตัดคันดิน Sta 11+950

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปตัดคันดิน Sta 16+000




รูปที่ 4.10 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าระดับของตัวแทนหน้าตัดที่ทำการวัดค่าระดับได้



รูปตัดคันดิน Sta 22+500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าระดับของตัวแทนหน้าตัดที่ทำการวัดค่าระดับได้

- หมายเหตุ :
-  แสดงค่าระดับบนคันดินถมตามแบบก่อสร้าง
 -  แสดงค่าระดับบนคันดินถมที่วัดได้ในปี พ.ศ. 2553
 -  แสดงค่าระดับบนคันดินถมที่วัดได้ในปี พ.ศ. 2552

จากค่าระดับที่ทำการวัดค่าได้ พิจารณาถึงการทรุดตัวที่เกิดขึ้นรอบสนามบิณสูวรรณภูมิแบ่งออกเป็น สี่ทิส ได้แก่ ทิสเหนือ เริ่มจาก Station 21+800 Station 2+700 มีค่าการทรุดตัวเฉลี่ยอยู่ที่ 0.998 เมตร และทิสตะวันออกเริ่มจาก Station 2+700 ถึง Station 13+300 มีค่าการทรุดตัวอยู่ที่ 0.942 เมตร และทิสใต้เริ่มจาก Station 11+300 ถึง Station 15+000 มีค่าการทรุดตัวอยู่ที่ 1.066 เมตร และทิสตะวันตกเริ่มจาก Station 15+000 ถึง Station 21+800 มีอัตราการทรุดตัวอยู่ที่ 0.912 เมตร ซึ่งค่าการทรุดตัวเฉลี่ยที่ได้ทั้งสี่ทิส เมื่อนำไปหาค่าการทรุดตัวทั้งหมดของคันดินถมรอบสนามบิณสูวรรณภูมิเพื่อเป็นตัวแทนการทรุดตัว สามารถหาอัตราการทรุดตัวแตกต่างระหว่างปี พ.ศ. 2552 และ ปี พ.ศ. 2553 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.946 เมตร ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นที่ได้จากการทำระดับ

จากตัวแทนหน้าตัดคันดินถมที่ Sta 6+800 มีค่าใกล้เคียงกับค่าการทรุดตัวที่ทางบริษัทอนุวัฒน์ พัฒนาก่อสร้างมีการบันทึกข้อมูลไว้ (พ.ศ. 2540) มากที่สุด คือการทรุดตัวช่วง Primary Settlement ทรุดตัวอยู่ที่ 0.588 เมตร และช่วง Secondary Settlement ทรุดตัวอยู่ที่ 0.387 เมตร รวมการทรุดทั้งสิ้น 0.975 เมตร ถือว่าใกล้เคียงกับการทรุดตัวที่เกิดขึ้น ณ ปัจจุบัน และสอดคล้องกับค่าการทรุดตัวดังรูปที่ 4.7 ที่มีการทรุดตัวช่วง Secondary Settlement อยู่ที่ประมาณ 0.980 เมตร

4.4.2 การวัดค่าระดับน้ำใต้ดิน

ตำแหน่งหลุมที่มีท่อ Inclinator ติดตั้งไว้ได้แสดงดังรูปที่ 4.11 ประกอบด้วยกันอยู่ทั้งสิ้น 15 หลุม ซึ่งกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการวัดค่าระดับน้ำในหลุมในวันต่างๆซึ่งได้แสดงในภาคผนวก ง



รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งหลุม Inclinator ที่สำรวจเจอร์อบสนามบินสุวรรณภูมิ

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าระดับน้ำเฉลี่ยที่วัดได้จาก Inclinator

station	ความลึกหลุม (m)	ค่าระดับน้ำทั้งหมด (m) ในวันต่างๆ										ระดับน้ำเฉลี่ย (m)
		30/11/2010	3/12/2010	9/12/2010	11/1/2011	26/1/2011	28/1/2011	17/2/2011	22/2/2011			
1+100	8.45	4.78	5.51	4.86	3.78	4.56	4.80	5.44	4.73	4.81		
2+500	1.78	0.94	0.75	0.83	0.83	0.88	0.98	0.64	0.99	0.86		
3+100	3.80	2.84	2.76	2.58	2.7	0.78	1.33	2.06	1.56	2.08		
4+600	18.41	10.29	10.98	5.55	8.19	7.4	11.39	6.83	4.89	8.19		
5+470	21.25	13.37	7.83	10.55	3.14	4.15	4.11	9.13	12.59	8.11		
6+480	21.28	12.05	10.58	5.17	1.65	8.55	2.56	12.76	15.04	8.55		
7+450	21.69	8.29	14.21	7.44	5.25	5.31	4.92	11.74	9.4	8.32		
10+450	2.37	0.94	0.89	0.77	0.68	0.63	0.82	0.89	0.86	0.81		
11+450	6.60	1.65	4.87	3.13	2.20	2.34	3.28	3.41	3.87	3.09		
15+200	15.28	3.58	5.4	8.78	11.2	10.55	6.48	4.71	1.13	6.48		
18+200	22.20	16.8	10.55	8.74	4.75	6.34	5.62	8.91	14.28	9.50		
19+200	5.33	1.5	3.55	3.78	2.49	1.86	1.98	3.60	2.48	2.66		
20+200	23.00	9.31	5.88	10.88	8.36	4.67	5.72	12.8	10.69	8.54		
23+200	19.40	10.64	5.88	9.25	7.15	4.95	5.6	3.21	10.51	7.15		
23+500	20.95	5.49	11.28	10.5	7.5	3.1	7.06	10.07	10.72	8.22		

4.4.3 ค่าความดันน้ำใต้ดิน

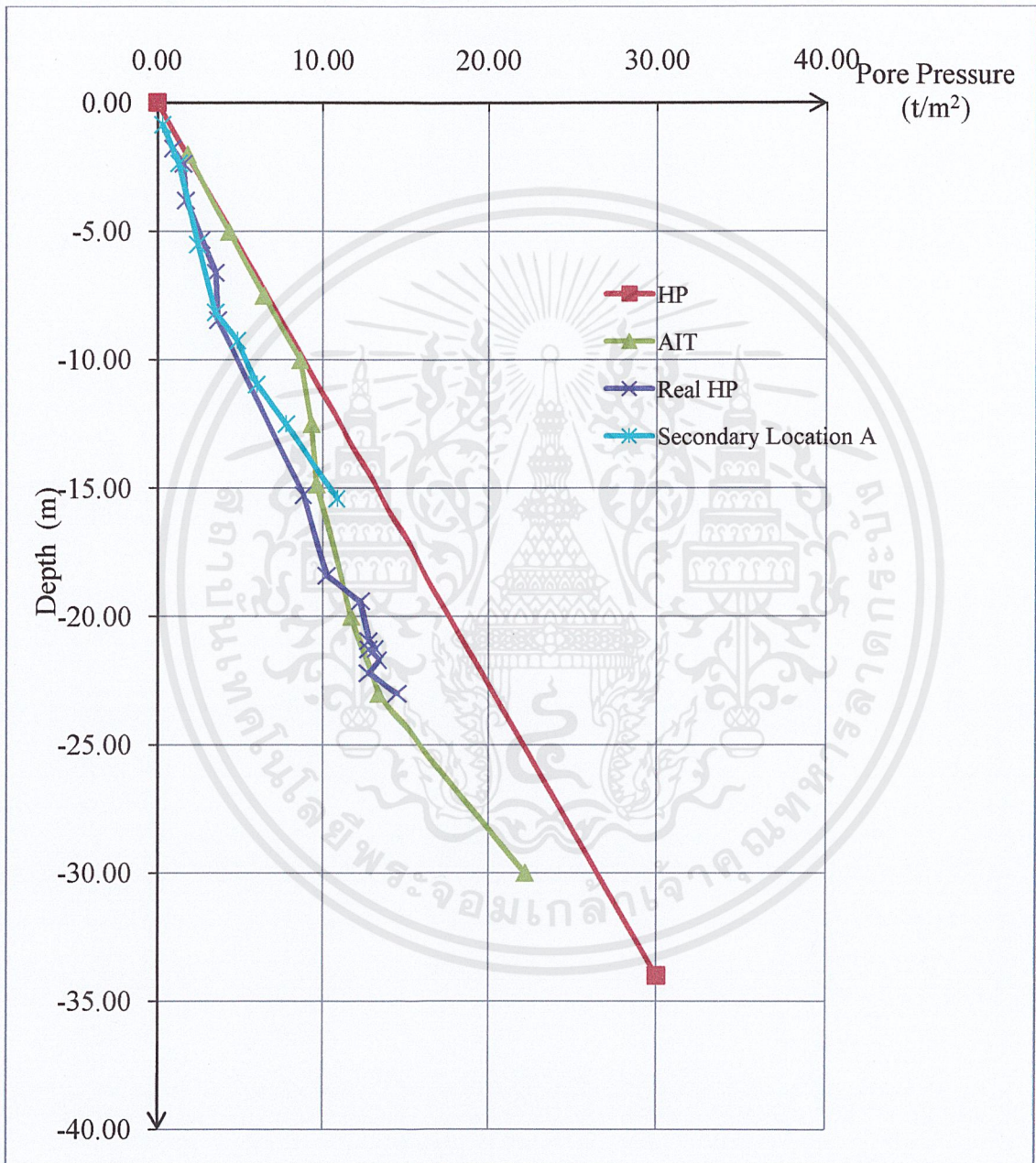
หลังจากได้ค่าความดันน้ำใต้ดินเดิมจากรูปที่ 4.9 ซึ่งถือเป็นค่า Hydro Statics Pressure และค่าความดันเฉลี่ย (Pore Pressure) ณ Location A เนื่องจากมีสภาพคันดินใกล้เคียงกับสภาพปัจจุบันมากที่สุดดังตารางที่ 4.5 ถือเป็นค่าความดันการทรุดตัวระยะยาว และค่าความดันที่วัดค่าได้ตามตารางที่ 4.6 เป็นค่าความดันน้ำปัจจุบันเพื่อใช้พล็อตเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวใต้ฐานรากของคันดินถม

จากรูปที่ 4.5 พบว่าค่าความดันของคันดินที่กดทับลงไปบนดินเดิมจะมีค่าดังตารางที่แสดง ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็นค่าความเค้นประสิทธิผล ซึ่งจากรูปที่ 2.11 เราจะพบว่าความเค้นที่กระทำจากผิวดินซึ่งถ่ายลงสู่ฐานรากใต้ดินเดิมนั้น เมื่อได้ผ่านช่วง Primary Settlement ไป ค่าความเค้นประสิทธิผลที่เพิ่มขึ้นก็จะมีค่าเท่ากับค่าความเค้นที่กระทำจากผิวดิน ซึ่งจากผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Apichart, AIT, 1976) ภาคผนวก ก และภาคผนวก ง พบว่าการทรุดตัวขั้นแรกส่วนใหญ่ได้ผ่านช่วงเวลาดังกล่าวมาแล้ว (19 ปีหลังก่อสร้างคันดินถม) หมายความว่า ค่าความดันแรกเริ่มที่คันดินเดิมถูกกดทับจากคันดินถมนั้นเปลี่ยนไปเป็นค่าความดันประสิทธิผลไปแล้ว ซึ่งค่า Pore Pressure ณ Location ต่างๆเกิดจากการนำค่าเฉลี่ยการกระจายของความดัน (Average Stress Distribution) ลบด้วยค่าความดันของคันดินถมดังกล่าวในภาคผนวก ง ซึ่งถูกเลือกมาทำการเปรียบเทียบ ซึ่งค่า Pore Pressure ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.5

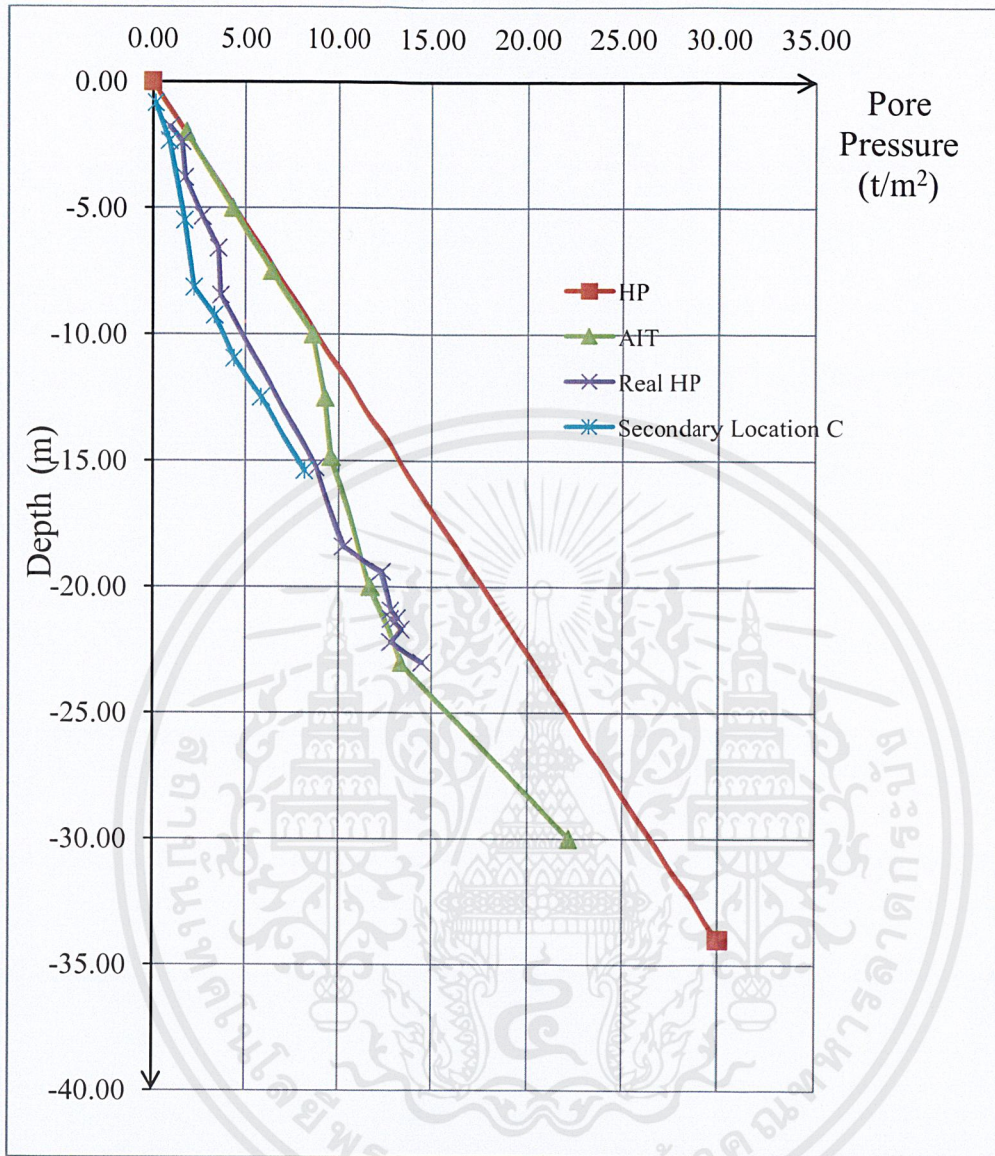
เนื่องจากการทดสอบเรื่องการทรุดตัวในช่วงระยะต่างๆ จากห้องปฏิบัติการมีค่าถูกจำกัดไว้เพียงที่ความลึก 15.40 เมตร ขอบเขตงานวิจัยครั้งนี้จึงสามารถเปรียบเทียบการทรุดตัวระยะยาวได้เพียงแค่ระยะความลึกดังกล่าว กราฟแสดงผลการวิจัยจึงแสดงดังรูปที่ 4.12 อธิบายสัญลักษณ์ได้ดังนี้

- HP คือ ความดันน้ำสถิตย์ (Hydrostatic Pressure) ของน้ำตามธรรมชาติ
- AIT คือ ความดันน้ำใต้ดิน (Pore Pressure) ของดินในสุวรรณภูมิ ที่ทางสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียได้ทำการศึกษาวัดค่าไว้ ซึ่งค่าดังกล่าวเกิดจากสภาพดินเดิมที่ไม่มีคันดินถมมากทับ ซึ่งถือได้ว่าเป็น ความดันน้ำสถิตย์ (Hydrostatic Pressure) ของดินในสุวรรณภูมิ
- Real HP คือ ค่าความดันน้ำใต้ดิน (Pore Pressure) ที่วัดค่าได้จากท่อ Inclinometer ในสนามบินสุวรรณภูมิ

Secondary Location (A,B,C) คือ ค่าความดันน้ำใต้ดิน (Pore Pressure) หลังจากเกิดการทรุดตัวของดินใต้ฐานรากของคันดินถม ตั้งแต่เริ่มมีการก่อสร้าง ณ Location A,B,C



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกและ Pore Pressure ใน Location A



รูปที่ 4.12 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกและ Pore Pressure ใน Location C

จากภายใต้สมมติฐานที่ให้การทรุดระยะที่สองผ่านมาแล้วนั้น จากกราฟเส้น Secondary Settlement Location ใดๆในช่วงความลึกสูงสุด 15.40 เมตรจะต้องแนบชิดกับกราฟ Real HP ถึงจะบ่งบอกได้ว่าการทรุดตัวของฐานรากได้ค้นดินถมเกิดการทรุดตัวระยะยาวแล้ว Location A ก่อนข้างมีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพคันดินถมปัจจุบัน จึงนำมาเปรียบเทียบร่วมกัน ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบจากกราฟที่เขียนได้ดังรูปที่ 4.12

Location	ช่วงความลึก (เมตร)	ผลที่เกิดขึ้น
A	0 – 5	กราฟมีความแนบชิดกันมาก แสดงว่าช่วงความลึกเกิดการทรุดตัวถึงขั้นระยะยาวแล้ว
	5 – 8	การทรุดตัวในช่วงนี้ยังไม่สิ้นสุดการทรุดตัวถึงขั้นระยะที่สอง จากกราฟการทรุดตัวยังสามารถเกิดขึ้นได้
	8 – 15.40	เกิดการทรุดตัวในระยะที่สองที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ คือเกิดความเค้นประสิทธิผลมากกว่าเดิม ซึ่งทำให้เกิดการทรุดตัวของดินมากกว่าที่คาดการณ์ไว้
C	0 – 15.40	การทรุดตัวยังไม่ถึงช่วงการทรุดตัวที่สอง

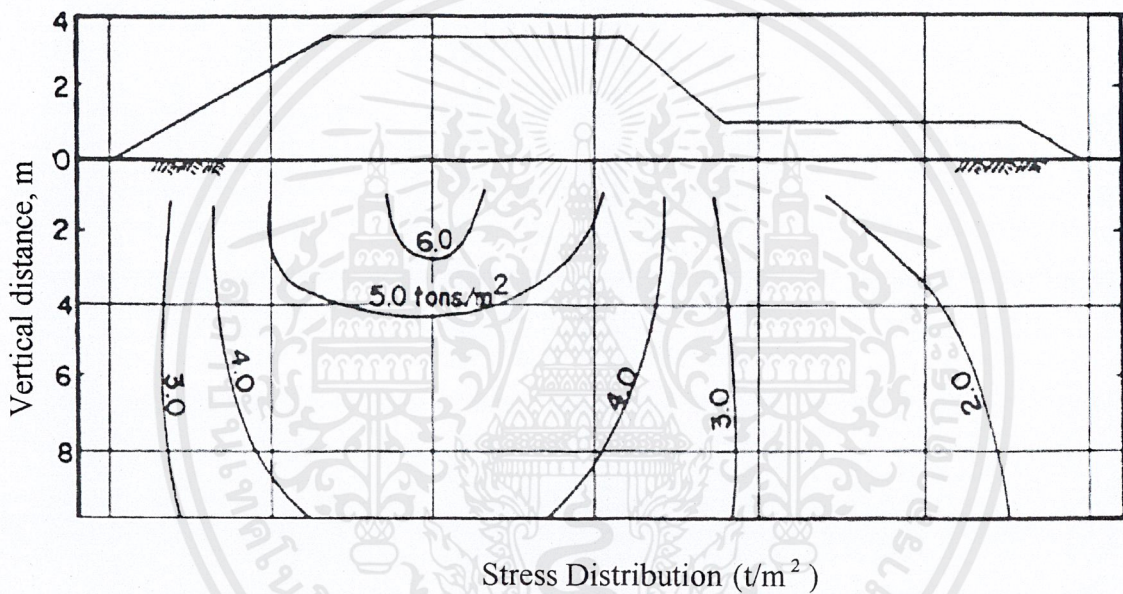
4.4.4 ค่าการทรุดตัวของฐานราก

ค่าการทรุดตัวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.28 ซึ่งค่า $(e_0 - e)/(1 + e_0)$ ได้จากการวิจัยจาก AIT ตามตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงการคำนวณค่าการทรุดตัวที่ระดับชั้นต่างๆของฐานรากใต้คันทันดินถม

Layer No	Depth m	Thick-ness m	$(e_0 - e)/(1 + e_0), \%$		Settlement (cm)		Settlement comulative (cm)		Total Sett (cm)
			Primary	Secon-dary	Primary	Secon-dary	Primary	Secon-dary	
1	0.85	0.85	10.0	3.0	8.5	2.6	8.5	2.6	11.1
2	2.35	1.50	12.6	3.9	18.9	5.9	6.9	21.5	28.4
3	5.50	3.15	4.5	4.0	14.2	12.6	10.9	35.7	46.6
4	8.15	2.65	12.3	3.4	32.6	9.0	14.3	68.3	82.6
5	9.25	1.10	8.9	10.6	9.8	11.7	24.9	78.1	103.0
6	10.95	1.70	2.6	1.9	4.4	3.2	26.8	82.5	109.3
7	12.50	1.55	2.4	1.7	3.7	2.6	28.5	86.2	114.7
8	15.40	2.90	2.3	1.7	6.7	4.9	30.2	92.9	123.1
Summation					98.8	52.5	98.8	52.5	151.3

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าระดับเฉลี่ยที่ 94.6 เซนติเมตร ที่วัดค่าได้ หากเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.8 พบว่าจะทรุดตัวจะอยู่ช่วงระยะความลึกระหว่าง 8.15 – 9.25 เมตร ซึ่งยังมีโอกาสทรุดตัวต่อไปอีก 56.7 เซนติเมตร ที่ความลึกจากนี้ไปการทรุดตัวยังไม่ถึงขั้นระยะยาว เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.12 Location A ได้ผ่านการทรุดตัวระยะยาวไปแล้วและทรุดมากกว่าที่คาดการณ์จากการวิจัยของ AIT แต่มีความสอดคล้องกับรูป 4.7 ณ ปัจจุบัน (พ.ศ. 2554) การทรุดตัวอยู่ที่ประมาณ 98 เซนติเมตร และการทรุดตัวจะทรุดต่อไป อีก 3.4 เซนติเมตร ซึ่งค่า Stress Distribution แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงการกระจายของความดันของคันดินถม ณ ใต้ฐานรากที่ระยะความลึกต่างๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

- **ชั้นฐานรากใต้คันดินถมบดอัดรอบสนามบิสุวรรณภูมิ ในช่วงความลึก 0 – 8 เมตร ณ Location A** ถือได้ว่าผ่านช่วงเวลาของการทรุดตัวในลักษณะต่างๆมาเรียบร้อยแล้ว ได้แก่ ส่วนที่เกิดขึ้นทันทีทันใด (Initial Settlement) การทรุดตัวส่วนที่น้ำในมวลดินถูกขับออกไป หรือการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Primary Settlement or Consolidation Settlement) การทรุดตัวส่วนที่เกิดจากการล้าของมวลดิน (Secondary Settlement or Creep Settlement) คันดินถมรอบสนามบิสุวรรณภูมิเกิดการทรุดตัวในระยะยาว (Long term settlement) ซึ่งจะไม่เกิดการทรุดตัวในชั้นดินดังกล่าวต่อไป ถึงแม้จะถมคันดินถมเพิ่มมาใหม่ก็ตาม จะไม่มีผลทำให้ชั้นดินดังกล่าวเกิดการทรุดตัวอีกต่อไป แต่ในช่วงความลึก 8 – 15.40 เมตร เกิดการทรุดตัวระยะที่สองที่ได้จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ หากอ้างอิงตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการถือว่า คินใต้ฐานรากของคันดินถมเป็นการทรุดตัวระยะยาว ซึ่งถือได้ว่าเร็วกว่าที่คาดการณ์ไว้
- **ชั้นฐานรากใต้คันดินถม ณ Location C** การทรุดตัวยังไม่ถึงช่วงระยะยาว ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อเท็จจริงจากผลการทำสอบ Consolidation – Test ช่วงนี้ควรที่จะผ่านการทรุดตัวมาแล้ว เพราะการทรุดตัวระยะแรกใช้เวลาน้อยกว่า 19 ปี ดังภาคผนวก ก-2
- ข้อมูลจากกรมแผนที่ทหารทำให้ทราบว่า แผ่นดินบริเวณใกล้เคียงสนามบิสุวรรณภูมิมีการทรุดตัวต่อปีเฉลี่ยอยู่ที่ 2.25 เซนติเมตรต่อปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

- การทรุดตัวที่ยังพบเจอในปัจจุบันนั้นอาจเกิดจากการ Deformation ของตัวคันดินถมเอง จากการสำรวจคันดินถมบางแห่งไม่มีหุ้ยาปกคลุม ซึ่งเมื่อถึงฤดูฝนอาจเกิดการชะล้างของน้ำฝนได้ หรืออาจเกิดจากการสัณจรของรถในทิศใต้ของสนามบินสุวรรณภูมิก็อาจมีผลต่อการทรุดตัวของคันดินถม ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงได้จากการวัดค่าระดับบนคันดินดังกล่าวภาคผนวก ข ซึ่งจะไม่กล่าวถึงเพราะไม่ได้อยู่ในขอบเขตที่ต้องการศึกษา
- เมื่อย้อนกลับไปพิจารณาผลการทดสอบของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) พบว่า สิ่งแวดล้อมที่ใช้ทดสอบหาค่าความดันน้ำดั้งเดิม (Original Pressure) จากตัวแทนมาตรวัดความดันน้ำ (Dummy Piezometer) นั้น มีความแตกต่างจากสภาพปัจจุบันที่เป็นอยู่ คือคันดินถมถูกสร้างขึ้นพร้อมกับมีคลองระบายน้ำล้อมรอบทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของคันดินถม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวอาจส่งผลให้ความดันน้ำใต้ดิน (Pore Pressure) ใต้ฐานรากของคันดินถมเพิ่มขึ้นดังที่ได้จากการทดสอบ หรืออาจเกิดจากรถตัดหญ้าหรือรถถมดินสัญจรไปมา สร้างความเสียหายต่อท่อ Inclinator หากท่อ Inclinator มีรอยแตกร้าวที่ความลึกของท่อระยะต่างๆ ก็จะส่งผลให้น้ำใต้ดินซึมผ่านมายังรอยแตกของท่อ Inclinator ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความดันน้ำที่เป็นความดันน้ำดั้งเดิม (Original Pressure) ของคันดินถมเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นเพียงข้อสมมติฐานและไม่ได้กล่าวถึงในการทำวิจัยครั้งนี้ เพราะอยู่นอกเหนือจากขอบเขตที่ต้องการศึกษาทำการวิจัย

บรรณานุกรม

บริษัท ทำอากาศยานไทย จำกัด(มหาชน) . พ.ศ. 2551 . รายงานผลการปฏิบัติตามมาตรการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและมาตรการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม โครงการทำอากาศยานสุวรรณภูมิช่วงดำเนินการ(ช่วงเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2550)

บริษัท ทำอากาศยานไทย จำกัด(มหาชน) . พ.ศ. 2552 . รายงานผลการปฏิบัติตามมาตรการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและมาตรการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม โครงการทำอากาศยานสุวรรณภูมิช่วงดำเนินการ(ช่วงเดือนมกราคม-มิถุนายน 2552)

ประเสริฐ บุญธรรกา สุรัชย์, สุนันทพงษ์ศักดิ์ และ สติศย์พงษ์ อภิเมธีธำรง .2544. การคาดคะเนเสถียรภาพของคันทางบนดินอ่อนระหว่างการก่อสร้าง. กรุงเทพฯ .โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์ (ร.ส.พ.)

สุขสันต์ หอพิบูลสุข , รุ่งลาวัลย์ ราชัน .2547. ปรฐพีกลศาสตร์.กรุงเทพฯ.บริษัทสำนักพิมพ์ท็อป จำกัด

สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ “Foundation Engineering and Designs(วิศวกรรมฐานรากและการออกแบบ).ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Prapote Boonsinsook . 1974 . Stability analysis of a test embankment on Nong Ngoo Hao clay . Thesis 696 . Asian Institute of Technology . Bangkok.

Apichart Dharmasaroja . 1976 . One-dimensional settlement analysis of the Nong Ngoo Hao test embankments. Thesis 896 . Asian Institute of Technology . Bangkok .

Jamshed Akhtar Danish. 1975 . In situ and laboratory permeability of Bangkok clay at Nong Ngoo Hao and Rangsit . Thesis 765 . Asian Institute of Technology . Bangkok .

Ho Yui-Man . 1975 . A re-analysis of Nong Ngoo Hao test embankment . Thesis 906 . Asian Institute of Technology . Bangkok .

Chana Towan . 1976 . Consolidation characteristics of stiff Nong Ngoo Hao clay . Thesis 902 . Asian Institute of



ภาคผนวก ก

แสดงข้อมูล Consolidation ของ AIT

ตาราง ก-1 Data for Settlement Analysis

Layer No.	Thick-ness m.	$\bar{\sigma}_{vo}$ t/m ²	$\bar{\sigma}_{vt}$, tons/m ² .				Test Series	e_0	$\bar{\sigma}_{vm}$ t/m ² .	C_r $\Delta e / \Delta \log \sigma$	C_c $\Delta e / \Delta \log \sigma$	C_v 10 ⁻⁴ cm ² ./sec.
			Stress Distribution									
			Location	BM	G	PL						
1	0.85	0.45	A	5.5	5.48	5.45	5.0	SC	3.2	0.2	2.25	1.70
			B	2.67	2.56	2.7	2.58	LSC	3.8	0.15	2.25	90.0
			C	5.49	5.49	5.49	4.37	PC	0.9	0.49	0.5	190
2	1.5	1.35					SSC	2.42			18.1	
			A	6.4	6.39	6.35	6.25	SC	3.2	0.2	2.25	110
			B	3.5	3.46	3.6	3.68	LSC	3.8	0.15	2.25	80.0
3	3.15	2.46	C	6.3	6.31	6.3	4.9	PC	5.1	0.17	0.96	120.0
								SSC	2.42			18.1
			A	7.51	7.49	7.46	7.36	SC	3.3	0.23	2.65	14.0
			B	4.59	4.56	4.71	4.81	LSC	5.7	0.23	0.75	3.0
			C	6.91	7.16	7.1	5.81	PC	3.2	0.54	1.7	1.5
								SSC	3.41		4.75	

ตาราง ก-1 (ต่อ) Data for Settlement Analysis

Layer No.	Thick-ness m.	$\bar{\sigma}_{vo}$ t/m ²	$\bar{\sigma}_{vt}$ tons/m ² .				Test Series	e_0	$\bar{\sigma}_{vm}$ t/m ² .	C_r $\Delta e / \Delta \log \sigma$	C_c $\Delta e / \Delta \log \sigma$	C_v 10^{-4} cm ² ./sec.
			Stress Distribution									
			Location	BM	G	PL						
4	2.65	3.56	A	8.66	8.54	8.58	8.40	SC	3.11	0.2	1.6	10.0
			B	5.79	5.65	5.81	5.87	LSC	3.14	0.4	2.4	20.0
			C	7.01	7.76	7.66	6.64	PC	2.95	0.11	1.76	7.0
5	1.1	4.91	A	9.91	9.84	9.96	9.77	SSC	3.22	0.2	1.8	2.85
			B	7.08	6.96	7.11	7.19	LSC	3.14	0.4	2.4	10.0
			C	7.99	8.85	8.78	7.86	PC	2.65	0.17	2.46	21.0
6	1.7	6.14	A	11.09	11.02	11.14	10.9	SSC	3.03	0.8	1.06	8.97
			B	8.29	8.16	8.39	8.39	LSC	1.7	0.16	0.67	10.0
			C	8.99	9.91	9.81	8.94	PC	1.85	0.23	1.0	3.8
								SSC	1.69			41.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-2 (a) Amount of Primary Consolidation Settlement of Each Sub layer and Time Required for 100% Consolidation: Location A

Layer No.	Depth ,m.		Thick-ness m.	SC-Series			LSC-Series			PC-Series			SSC-Series		
	from	to		Settlement cm.	Time yrs.	Terza-ghi	Bjerr-um	Time yrs.	Settlement cm.	Terza-ghi	Bjerr-um	Time yrs.	Settlement cm.	$\bar{\sigma}_{v0}C_{v\alpha t}$	$\bar{\sigma}_{vt}C_{v\alpha t}$
1	0.0	0.85	0.85	11.1	12.5	0.006	8.5	8.8	0.01	9.5	14.6	0.005	6.5	0.04	0.06
2	0.85	2.35	1.5	24.6	23.7	0.03	18.9	18.1	0.37	9.6	8.1	0.03	11.5	0.10	0.18
3	2.35	5.50	3.15	56.7	65.4	0.95	14.2	13.4	5.04	43.1	43.5	9.23	35.3	0.26	3.45
4	5.5	8.15	2.65	23.9	16.1	1.04	32.6	38.4	0.5	13.4	8.0	1.53	28.4	0.14	3.5
5	8.15	9.25	1.1	8.6	6.5	7.33	9.8	18.6	19.0	10.5	11.4	9.0	11.3	0.96	19.0
6	9.25	10.95	1.7	13.6	14.9	0.43	4.4	3.1	1.18	12.8	10.7	1.6	4.0	0.04	0.11
7	10.95	12.5	1.65	7.6	8.0	3.3	3.7	4.0	1.2	3.3	4.9	0.4	3.7	0.04	0.09
8	12.5	15.4	2.9	10.4	8.9	9.6	6.7	12.9	20.3	11.8	8.6	26.2	4.5	2.04	1.95
Total Primary Settlement				156.5	156.0		98.8	117.3		114.0	109.8		105.2		

*On the basis of stress distribution by Gray's formula

ตาราง ก-2 (b) Amount of Primary Consolidation settlement of Each Sub layer and Time Required for 100% Consolidation

ayer No.	Depth ,m		Location B												Location C								
			SC-Series				LSC-Series				PC-Series				SC-Series			LSC-Series			PC-Series		
			Sett. cm.	Time Yrs.	Sett. cm.	Time Yrs.	Sett. cm.	Time Yrs.	Sett. cm.	Time Yrs.	Sett. cm.	Time Yrs.	Sett. cm.	Time Yrs.	Sett. cm.	Time Yrs.	Sett. cm.	Time Yrs.	Sett. cm.	Time Yrs.			
1	0.0	0.65	85	0.007	0.6	0.013	0.50	0.041	0.013	0.60	0.006	11.10	0.007	8.70	0.001	0.006	9.50	0.006					
2	0.85	2.35	150	11.4	6.6	3.0	7.90	5.19	0.041	3.9	0.03	24.0	0.028	18.6	0.04	0.03	9.40	0.03					
3	2.35	5.5	315	1.03	28.7	7.90	1.1	8.2	0.54	17.4	9.97	52.30	0.96	12.90	5.18	9.32	40.50	9.32					
4	5.5	8.15	265	7.37	1.0	7.80	1.18	2.10	1.18	3.30	1.58	18.00	1.06	26.5	0.53	1.55	10.00	1.55					
5	8.15	9.25	110	0.44	5.6	2.00	19.07	0.60	9.13	0.60	9.13	5.40	7.36	13.2	19.05	9.13	9.90	9.13					
6	9.25	10.95	170	3.41	2.8	2.00	1.22	1.8	0.42	5.40	1.65	8.80	0.44	3.70	1.17	1.61	9.50	1.61					
7	10.95	12.5	155	9.66	2.5	2.25	20.44	2.8	26.55	1.8	0.42	5.00	3.4	2.30	1.20	0.42	2.20	0.42					
8	12.5	15.40	290	33.8	51.9	33.8	35.8	35.8	35.8	35.8	35.8	128.9	90.50	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00					
Total Primary Sett.																							

*On the basis of stress distribution by Gray's formula

ตาราง ก-3 Summary of Amount of Primary Settlement

Test Series	Layer No.	Settlement , cm											
		Location A				Location B				Location C			
		Stress Distribution				Stress Distribution				Stress Distribution			
BM	G	PL	FM	BM	G	PL	FM	BM	G	PL	FM		
SC	1	11.1	11.1	11.1	9.3	0.7	0.6	0.8	0.4	11.1	11.1	11.1	7.1
	2	24.6	24.6	24.6	24.0	8.3	6.6	9.8	9.0	24.0	24.0	24.0	16.5
	3	56.7	56.7	56.7	55.1	19.0	28.7	31.2	30.9	52.0	52.3	52.3	42.8
	4	23.9	23.9	23.9	22.5	4.8	4.1	4.8	4.5	11.1	18.0	17.8	9.3
	5	8.7	8.6	8.8	8.1	1.1	1.0	1.3	1.1	2.2	5.4	5.3	2.0
	6	13.6	13.6	13.6	11.4	5.6	5.6	5.7	5.6	7.3	8.8	8.5	6.8
	7	8.1	7.6	8.1	7.3	3.1	2.8	3.4	3.0	3.3	5.0	5.1	3.6
	8	10.7	10.4	10.7	8.1	3.0	2.5	2.8	2.8	4.1	4.4	4.4	4.1
Total		157.40	156.50	157.50	146.80	55.60	51.90	59.80	57.30	98.10	110.00	113.50	92.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-3 (ต่อ) Summary of Amount of Primary Settlement

Test Series	Layer No.	Settlement , cm												
		Location A				Location B				Location C				
		Stress Distribution				Stress Distribution				Stress Distribution				
		BM	G	PL	FM	BM	G	PL	FM	BM	G	PL	FM	
LSC	1	8.5	8.5	8.5	7.4	0.6	0.5	0.6	0.4	8.7	8.7	8.7	8.7	4.9
	2	18.9	18.9	18.8	18.5	3.5	3.0	3.8	3.5	18.6	18.6	18.6	18.6	12.0
	3	14.2	14.2	13.9	13.9	8.2	7.9	8.7	8.2	11.9	12.9	12.9	12.9	8.2
	4	32.6	32.6	32.6	32.6	8.5	8.3	8.5	8.2	19.1	26.5	25.2	25.2	15.6
	5	9.9	9.8	9.8	9.8	8.0	7.8	8.0	7.9	10.8	13.2	13.0	13.0	10.2
	6	4.4	4.4	4.4	4.4	2.2	2.1	2.5	2.2	2.9	3.7	3.7	3.7	2.7
	7	3.9	3.7	3.9	3.9	1.7	2.0	1.7	1.7	2.0	2.3	2.3	2.3	2.2
	8	7.0	6.7	7.0	7.0	2.5	2.3	2.5	2.5	3.5	4.6	4.6	4.6	4.1
Total		99.40	98.80	98.90	98.90	35.20	33.90	36.30	34.60	77.50	90.50	89.00	89.00	59.90

ตาราง ก-3 (ต่อ) Summary of Amount of Primary Settlement

Test Series	Layer No.	Settlement , cm																			
		Location A					Location B					Location C									
		Stress Distribution					Stress Distribution					Stress Distribution									
		BM	G	PL	FM	BM	G	PL	FM	BM	G	PL	FM	BM	G	PL	FM				
PC	1	9.5	9.5	9.7	9.3	0.6	0.6	0.6	0.5	9.5	9.6	9.6	9.4	3.9	3.9	4.5	3.6	9.5	9.5	9.5	8.4
	2	9.6	9.6	9.6	9.4	3.9	3.9	4.5	3.6	9.6	9.6	9.6	9.4	3.9	3.9	4.5	3.6	9.4	9.4	9.4	6.3
	3	43.1	43.1	43.1	42.0	18.1	17.4	19.8	19.5	43.1	43.1	43.1	42.0	18.1	17.4	19.8	19.5	39.0	40.5	40.5	30.0
	4	14.7	13.4	13.4	12.7	4.2	3.3	4.2	3.4	13.4	13.4	13.4	12.7	4.2	3.3	4.2	3.4	6.7	10.0	10.0	6.0
	5	10.5	10.5	10.8	13.3	0.6	0.6	0.9	0.9	10.5	10.5	10.8	13.3	0.6	0.6	0.9	0.9	6.0	9.9	9.9	2.4
	6	13.1	12.8	13.1	12.8	6.1	5.4	6.8	6.0	13.1	12.8	13.1	12.8	6.1	5.4	6.8	6.0	7.4	9.5	9.5	7.2
	7	3.8	3.3	3.8	3.3	2.4	1.8	1.8	1.6	3.8	3.3	3.8	3.3	2.4	1.8	1.8	1.6	2.2	2.2	2.2	2.2
	8	11.8	11.8	11.8	11.3	3.7	2.8	3.7	3.7	11.8	11.3	11.8	11.3	3.7	2.8	3.7	3.7	5.4	7.0	7.0	5.4
Total		116.10	114.00	115.30	114.00	39.60	35.80	42.30	39.10	98.00	98.00	98.00	98.00	69.60	98.00	98.00	98.00	67.90			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและผูกอย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-4 Calculation of Secondary Settlement: Location A

Layer No.	Thickness m.	Test Series	e_0	e		$(e_0 - e)/(1 + e_0)$, %		Settlement, cm			C_α %/ $\Delta \log t$	Secondary Settlement, cm
				Total	Primary	Total	Primary	Total	Primary	Secondary		
1	0.85	LSC	3.70	**	**	13.00	10.00	11.00	8.50	2.50	1.20	1.00
		SSC	2.41	2.08	2.15	9.70	7.60	8.20	6.50	1.70	0.99	0.80
2	1.50	LSC	3.63	**	**	16.50	12.60	24.80	18.90	5.90	1.20	1.80
		SSC	2.41	2.08	2.15	9.70	7.60	14.00	11.40	3.10	0.99	1.50
3	3.15	LSC	2.76	**	**	8.50	4.50	26.80	14.20	12.60	0.46	1.50
		SSC	3.34	2.69	2.85	15.00	11.30	47.20	35.60	11.60	2.94	9.30
4	2.65	LSC	3.14	**	**	15.70	12.30	41.60	32.60	9.00	1.34	4.20
		SSC	3.16	2.50	2.71	15.90	10.80	42.00	28.70	13.30	2.43	6.40
5	1.10	LSC	3.14	**	**	19.50	8.90	24.50	9.80	11.70	2.14	2.40
		SSC	2.98	2.32	2.57	16.60	10.30	18.30	11.30	7.00	3.40	3.70
6	1.70	LSC	1.70	**	**	4.50	2.60	2.70	4.40	3.30	0.42	0.70
		SSC	1.65	1.52	1.59	4.90	2.30	8.30	3.80	4.50	1.20	2.00
7	1.55	LSC	1.70	**	**	4.10	2.40	6.40	3.70	2.70	0.48	0.70
		SSC	1.65	1.52	1.59	4.90	2.30	7.60	3.60	4.00	1.20	1.90
8	2.9	LSC	1.70	**	**	4.00	2.30	11.60	6.70	4.90	0.70	2.00
		SSC	1.62	1.55	1.58	2.70	1.50	7.75	4.40	3.30	0.38	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ ผก 9 ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แสดงค่าระดับที่ได้จากภาคสนาม

ตาราง ข-1 แสดงข้อมูลการวัดระดับ

STA	ค่าระดับคันดินก่อนถม พ.ศ. 2552		ค่าระดับคันดินหลังถม พ.ศ. 2553		ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ	ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ	ค่าระดับ แตกต่าง เฉลี่ย	ค่าการทรุดตัว เทียบกับ STA 12+200
	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา	บนซ้าย (ปี53-ปี52)	บนขวา (ปี53-ปี52)		
0+000	2.171	2.160	3.278	3.220	1.107	1.060	1.084	-0.69
0+100	2.163	2.174	3.245	3.187	1.082	1.013	1.048	-0.73
0+200	2.173	2.176	3.222	3.169	1.049	0.993	1.021	-0.75
0+300	2.203	2.186	3.198	3.140	0.995	0.954	0.975	-0.80
0+400	2.153	2.105	3.200	3.142	1.047	1.037	1.042	-0.73
0+500	2.054	2.086	3.239	3.131	1.185	1.045	1.115	-0.66
0+600	2.218	2.200	3.296	3.138	1.078	0.938	1.008	-0.77
0+700	2.174	2.158	3.393	3.335	1.219	1.177	1.198	-0.58
0+800	2.304	2.248	3.426	3.366	1.122	1.118	1.120	-0.65
0+900	2.143	2.100	3.311	3.253	1.168	1.153	1.161	-0.61
1+000	2.063	2.055	3.381	3.328	1.318	1.273	1.296	-0.48
1+100	2.048	2.095	3.360	3.315	1.312	1.220	1.266	-0.51
1+200	2.152	2.144	3.310	3.231	1.158	1.087	1.123	-0.65
1+300	2.195	2.186	3.351	3.309	1.156	1.123	1.140	-0.63
1+400	2.185	2.186	3.384	3.319	1.199	1.133	1.166	-0.61
1+500	2.290	2.285	3.312	3.264	1.022	0.979	1.001	-0.77
1+600	2.262	2.288	3.271	3.231	1.009	0.943	0.976	-0.80
1+700	2.263	2.273	3.267	3.227	1.004	0.954	0.979	-0.80
1+800	2.285	2.264	3.317	3.244	1.032	0.980	1.006	-0.77
1+900	2.273	2.294	3.258	3.218	0.985	0.924	0.955	-0.82
2+000	2.221	2.224	3.201	3.161	0.980	0.937	0.959	-0.82
2+100	2.173	2.175	3.162	3.122	0.989	0.947	0.968	-0.81
2+200	2.265	2.238	3.127	3.044	0.862	0.806	0.834	-0.94
2+300	2.234	2.284	3.165	3.125	0.931	0.841	0.886	-0.89
2+400	2.253	2.238	3.208	2.168	0.955	-0.070	0.443	-1.33
2+500	2.114	2.138	3.216	3.165	1.102	1.027	1.065	-0.71
2+600	2.100	2.138	3.202	3.162	1.102	1.024	1.063	-0.71
2+700	2.115	2.097	3.259	3.219	1.144	1.122	1.133	-0.64
2+800	1.953	1.940	3.337	3.228	1.384	1.288	1.336	-0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนวก 1
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STA	ค่าระดับคันดินก่อนถม พ.ศ. 2552		ค่าระดับคันดินหลังถม พ.ศ. 2553		ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ บนซ้าย (ปี53-ปี52)	ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ บนขวา (ปี53-ปี52)	ค่าระดับ แตกต่าง เฉลี่ย	ค่าการทรุดตัว เทียบกับ STA 12+200
	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา				
2+900	1.984	1.993	3.259	3.219	1.275	1.226	1.251	-0.52
3+000	1.940	1.996	3.221	3.181	1.281	1.185	1.233	-0.54
3+100	1.943	1.930	3.229	3.189	1.286	1.259	1.273	-0.50
3+200	2.023	2.075	3.253	3.203	1.230	1.128	1.179	-0.60
3+300	2.092	2.075	3.302	3.240	1.210	1.165	1.188	-0.59
3+400	2.084	2.072	3.310	3.270	1.226	1.198	1.212	-0.56
3+500	2.131	2.051	3.340	3.136	1.209	1.085	1.147	-0.63
3+600	2.063	2.084	3.290	2.233	1.227	0.149	0.688	-1.09
3+700	2.104	2.092	3.249	3.184	1.145	1.092	1.119	-0.66
3+800	2.025	2.093	3.219	3.151	1.194	1.058	1.126	-0.65
3+900	2.038	2.068	3.165	3.125	1.127	1.057	1.092	-0.68
4+000	2.118	2.155	3.171	3.131	1.053	0.976	1.015	-0.76
4+100	2.188	2.132	3.168	3.128	0.980	0.996	0.988	-0.79
4+200	2.200	2.215	3.254	3.176	1.054	0.961	1.008	-0.77
4+300	2.252	2.208	3.274	3.203	1.022	0.995	1.009	-0.77
4+400	2.214	2.258	3.306	3.242	1.092	0.984	1.038	-0.74
4+500	2.285	2.241	3.333	3.272	1.048	1.031	1.040	-0.73
4+600	2.207	2.175	3.105	3.084	0.898	0.909	0.904	-0.87
4+700	2.285	2.263	3.074	3.063	0.789	0.800	0.795	-0.98
4+800	2.340	2.352	3.112	3.152	0.772	0.800	0.786	-0.99
4+900	2.385	2.341	3.179	3.141	0.794	0.800	0.797	-0.98
5+000	2.114	2.185	3.178	3.176	1.064	0.991	1.028	-0.75
5+100	2.253	2.230	3.149	3.023	0.896	0.793	0.845	-0.93
5+200	2.202	2.210	3.111	3.020	0.909	0.810	0.860	-0.91
5+300	2.183	2.194	3.191	3.104	1.008	0.910	0.959	-0.82
5+400	2.208	2.245	3.112	3.145	0.904	0.900	0.902	-0.87
5+500	2.285	2.263	3.181	3.095	0.896	0.832	0.864	-0.91
5+600	2.305	2.281	3.112	3.081	0.807	0.800	0.804	-0.97
5+700	2.347	2.328	3.152	3.128	0.805	0.800	0.803	-0.97
5+800	2.292	2.285	3.098	3.085	0.806	0.800	0.803	-0.97
5+900	2.369	2.351	3.173	3.104	0.804	0.753	0.779	-1.00
6+000	2.430	2.380	3.197	3.115	0.767	0.735	0.751	-1.02
6+100	2.385	2.405	3.096	3.005	0.711	0.600	0.656	-1.12
6+200	2.315	2.300	3.123	3.047	0.808	0.747	0.778	-1.00
6+300	2.310	2.301	3.121	3.058	0.811	0.757	0.784	-0.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผช 2
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STA	ค่าระดับคันดินก่อนถม พ.ศ. 2552		ค่าระดับคันดินหลังถม พ.ศ. 2553		ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ	ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ	ค่าระดับ แตกต่าง เฉลี่ย	ค่าการทรุดตัว เทียบกับ STA 12+200
	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา	บนซ้าย (ปี53-ปี52)	บนขวา (ปี53-ปี52)		
6+400	2.292	2.268	3.112	3.049	0.820	0.781	0.801	-0.97
6+500	2.366	2.347	3.122	3.059	0.756	0.712	0.734	-1.04
6+600	2.480	2.495	3.153	3.090	0.673	0.595	0.634	-1.14
6+700	2.485	2.463	3.094	3.031	0.609	0.568	0.589	-1.19
6+800	2.535	2.510	3.145	3.082	0.610	0.572	0.591	-1.18
6+900	2.502	2.488	3.114	3.051	0.612	0.563	0.588	-1.19
7+000	2.404	2.422	3.108	3.045	0.704	0.623	0.664	-1.11
7+100	2.395	2.384	3.123	3.060	0.728	0.676	0.702	-1.07
7+200	2.348	2.361	3.138	3.075	0.790	0.714	0.752	-1.02
7+300	2.345	2.338	3.132	3.069	0.787	0.731	0.759	-1.02
7+400	2.239	2.230	3.132	3.069	0.893	0.839	0.866	-0.91
7+500	2.290	2.285	3.192	3.129	0.902	0.844	0.873	-0.90
7+600	2.245	2.238	3.135	3.072	0.890	0.834	0.862	-0.91
7+700	2.228	2.256	3.113	3.050	0.885	0.794	0.840	-0.93
7+800	2.193	2.174	3.192	3.129	0.999	0.955	0.977	-0.80
7+900	2.254	2.238	3.083	3.020	0.829	0.782	0.806	-0.97
8+000	2.207	2.193	3.155	3.092	0.948	0.899	0.924	-0.85
8+100	2.190	2.205	3.097	3.034	0.907	0.829	0.868	-0.91
8+200	2.263	2.247	3.096	3.033	0.833	0.786	0.810	-0.96
8+300	2.263	2.247	3.074	3.011	0.811	0.764	0.788	-0.99
8+400	2.325	2.347	3.092	3.029	0.767	0.682	0.725	-1.05
8+500	2.420	2.415	3.096	3.033	0.676	0.618	0.647	-1.13
8+600	2.408	2.415	3.072	3.009	0.664	0.594	0.629	-1.15
8+700	2.415	2.400	3.053	2.990	0.638	0.590	0.614	-1.16
8+800	2.398	2.390	3.096	3.033	0.698	0.643	0.671	-1.10
8+900	2.450	2.463	3.063	3.000	0.613	0.537	0.575	-1.20
9+000	2.409	2.352	3.113	3.050	0.704	0.698	0.701	-1.07
9+100	2.208	2.198	3.115	3.052	0.907	0.854	0.881	-0.89
9+200	2.215	2.210	3.096	3.033	0.881	0.823	0.852	-0.92
9+300	2.290	2.299	3.193	3.130	0.903	0.831	0.867	-0.91
9+400	2.238	2.247	3.130	3.067	0.892	0.820	0.856	-0.92
9+500	2.174	2.185	3.176	3.113	1.002	0.928	0.965	-0.81
9+600	2.215	2.209	3.116	3.053	0.901	0.844	0.873	-0.90
9+700	2.183	2.158	3.183	3.120	1.000	0.962	0.981	-0.79
9+800	2.178	2.168	3.178	3.115	1.000	0.947	0.974	-0.80
9+900	2.163	2.147	3.166	3.103	1.003	0.956	0.980	-0.79
10+000	2.163	2.196	3.186	3.123	1.023	0.927	0.975	-0.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนจ 3
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STA	ค่าระดับคันดินก่อนถม พ.ศ. 2552		ค่าระดับคันดินหลังถม พ.ศ. 2553		ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ บนซ้าย (ปี53-ปี52)	ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ บนขวา (ปี53-ปี52)	ค่าระดับ แตกต่าง เฉลี่ย	ค่าการทรุดตัว เทียบกับ STA 12+200
	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา				
	10+100	2.174	2.165	3.286				
10+200	2.185	2.195	3.185	3.122	1.000	0.927	0.964	-0.81
10+300	2.185	2.205	3.189	3.126	1.004	0.921	0.963	-0.81
10+400	2.205	2.190	3.205	3.142	1.000	0.952	0.976	-0.80
10+500	2.215	2.252	3.219	3.156	1.004	0.904	0.954	-0.82
10+600	2.253	2.238	3.253	3.190	1.000	0.952	0.976	-0.80
10+700	2.258	2.268	3.252	3.189	0.994	0.921	0.958	-0.82
10+800	2.374	2.394	3.374	3.311	1.000	0.917	0.959	-0.82
10+900	2.302	2.310	3.314	3.251	1.012	0.941	0.977	-0.80
11+000	2.291	2.221	3.247	3.184	0.956	0.963	0.960	-0.81
11+100	2.265	2.255	3.236	3.173	0.971	0.918	0.945	-0.83
11+200	2.395	2.385	3.395	3.332	1.000	0.947	0.974	-0.80
11+300	2.127	2.147	3.248	3.185	1.121	1.038	1.080	-0.69
11+400	2.181	2.170	3.452	3.389	1.271	1.219	1.245	-0.53
11+500	2.174	2.195	3.496	3.433	1.322	1.238	1.280	-0.49
11+600	2.140	2.151	3.546	3.483	1.406	1.332	1.369	-0.41
11+700	2.110	2.125	3.510	3.447	1.400	1.322	1.361	-0.41
11+800	2.147	2.152	3.553	3.490	1.406	1.338	1.372	-0.40
11+900	2.174	2.185	3.574	3.511	1.400	1.326	1.363	-0.41
12+000	2.160	2.117	3.588	3.525	1.428	1.408	1.418	-0.36
12+100	2.138	2.158	3.537	3.474	1.399	1.316	1.358	-0.42
12+200	1.585	1.574	3.385	3.322	1.800	1.748	1.774	0.00
12+300	2.335	2.318	3.382	3.319	1.047	1.001	1.024	-0.75
12+400	2.439	2.431	3.315	3.252	0.876	0.821	0.849	-0.93
12+500	2.428	2.442	3.323	3.260	0.895	0.818	0.857	-0.92
12+600	2.456	2.448	3.256	3.193	0.800	0.745	0.773	-1.00
12+700	2.375	2.395	3.372	3.309	0.997	0.914	0.956	-0.82
12+800	2.415	2.390	3.415	3.352	1.000	0.962	0.981	-0.79
12+900	2.325	2.320	3.329	3.266	1.004	0.946	0.975	-0.80
13+000	2.294	2.283	3.308	3.245	1.014	0.962	0.988	-0.79
13+100	2.258	2.238	3.251	3.188	0.993	0.950	0.972	-0.80
13+200	2.248	2.254	3.248	3.185	1.000	0.931	0.966	-0.81
13+300	2.206	2.210	3.215	3.152	1.009	0.942	0.976	-0.80
13+400	2.271	2.262	3.271	3.208	1.000	0.946	0.973	-0.80
13+500	2.284	2.271	3.293	3.230	1.009	0.959	0.984	-0.79
13+600	2.230	2.192	3.230	3.167	1.000	0.975	0.988	-0.79
13+700	2.193	2.176	3.196	3.133	1.003	0.957	0.980	-0.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนข 4
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STA	ค่าระดับคันดินก่อนถม		ค่าระดับคันดินหลังถม		ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ บนซ้าย (ปี53-ปี52)	ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ บนขวา (ปี53-ปี52)	ค่าระดับ แตกต่าง เฉลี่ย	ค่าการทรุดตัว เทียบกับ STA 12+200
	พ.ศ. 2552		พ.ศ. 2553					
	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา				
13+800	2.184	2.193	3.184	3.121	1.000	0.928	0.964	-0.81
13+900	2.284	2.265	3.287	3.224	1.003	0.959	0.981	-0.79
14+000	2.092	1.854	3.116	3.073	1.024	1.219	1.122	-0.65
14+100	2.054	2.067	3.050	3.007	0.996	0.940	0.968	-0.81
14+200	2.258	2.105	3.082	3.039	0.824	0.934	0.879	-0.90
14+300	1.965	2.198	3.050	3.007	1.085	0.809	0.947	-0.83
14+400	2.039	2.202	3.074	3.031	1.035	0.829	0.932	-0.84
14+500	2.151	2.044	3.070	3.027	0.919	0.983	0.951	-0.82
14+600	2.105	2.079	3.065	3.022	0.960	0.943	0.952	-0.82
14+700	2.071	2.224	3.094	3.051	1.023	0.827	0.925	-0.85
14+800	2.207	2.028	3.119	3.076	0.912	1.048	0.980	-0.79
14+900	-	-	-	-	-	-	-	-
15+000	2.105	2.053	3.072	3.029	0.967	0.976	0.972	-0.80
15+100	2.204	2.026	3.036	2.993	0.832	0.967	0.900	-0.87
15+200	2.041	2.060	3.075	3.032	1.034	0.972	1.003	-0.77
15+300	2.104	2.221	3.054	3.011	0.950	0.790	0.870	-0.90
15+400	2.065	2.219	3.032	2.989	0.967	0.770	0.869	-0.91
15+500	2.210	2.219	3.050	3.007	0.840	0.788	0.814	-0.96
15+600	2.084	2.071	3.045	3.002	0.961	0.931	0.946	-0.83
15+700	2.181	2.145	3.040	2.997	0.859	0.852	0.856	-0.92
15+800	2.152	2.123	3.064	3.021	0.912	0.898	0.905	-0.87
15+900	2.160	2.156	3.080	3.037	0.920	0.881	0.901	-0.87
16+000	2.180	2.159	3.049	3.006	0.869	0.847	0.858	-0.92
16+100	1.942	1.962	3.075	3.032	1.133	1.070	1.102	-0.67
16+200	2.185	2.177	3.064	3.021	0.879	0.844	0.862	-0.91
16+300	2.036	2.033	3.046	3.003	1.010	0.970	0.990	-0.78
16+400	2.061	2.063	3.038	2.995	0.977	0.932	0.955	-0.82
16+500	2.083	2.081	3.057	3.014	0.974	0.933	0.954	-0.82
16+600	1.974	1.923	3.036	2.993	1.062	1.070	1.066	-0.71
16+700	2.049	2.013	3.092	3.049	1.043	1.036	1.040	-0.73
16+800	2.176	2.147	3.096	3.053	0.920	0.906	0.913	-0.86
16+900	2.031	2.010	3.036	2.993	1.005	0.983	0.994	-0.78
17+000	2.223	2.059	3.065	3.022	0.842	0.963	0.903	-0.87
17+100	2.083	2.162	3.087	3.044	1.004	0.882	0.943	-0.83
17+200	2.210	2.131	3.037	2.994	0.827	0.863	0.845	-0.93
17+300	2.171	2.088	3.066	3.023	0.895	0.935	0.915	-0.86
17+400	2.193	2.105	3.103	3.060	0.910	0.955	0.933	-0.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ฝข 5
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STA	ค่าระดับคันดินก่อนถม พ.ศ. 2552		ค่าระดับคันดินหลังถม พ.ศ. 2553		ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ บนซ้าย (ปี53-ปี52)	ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ บนขวา (ปี53-ปี52)	ค่าระดับ แตกต่าง เฉลี่ย	ค่าการทรุดตัว เทียบกับ STA 12+200
	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา				
	17+500	2.069	2.138	3.045				
17+600	2.182	2.079	3.099	3.056	0.917	0.977	0.947	-0.83
17+700	2.256	2.181	3.111	3.068	0.855	0.887	0.871	-0.90
17+800	2.286	2.234	3.046	3.003	0.760	0.769	0.765	-1.01
17+900	2.305	2.265	3.085	3.042	0.780	0.777	0.779	-1.00
18+000	2.126	2.198	3.097	3.054	0.971	0.856	0.914	-0.86
18+100	2.021	2.085	3.046	3.003	1.025	0.918	0.972	-0.80
18+200	2.021	2.085	3.084	3.041	1.063	0.956	1.010	-0.76
18+300	2.044	2.124	3.099	3.056	1.055	0.932	0.994	-0.78
18+400	2.180	2.194	3.029	2.986	0.849	0.792	0.821	-0.95
18+500	2.180	2.089	3.086	3.043	0.906	0.954	0.930	-0.84
18+600	2.114	2.089	3.067	3.024	0.953	0.935	0.944	-0.83
18+700	2.154	2.108	3.039	2.996	0.885	0.888	0.887	-0.89
18+800	2.185	2.147	3.086	3.043	0.901	0.896	0.899	-0.88
18+900	2.225	2.237	3.125	3.082	0.900	0.845	0.873	-0.90
19+000	2.162	2.121	3.067	3.024	0.905	0.903	0.904	-0.87
19+100	2.183	2.174	3.075	3.032	0.892	0.858	0.875	-0.90
19+200	2.035	2.054	3.080	3.037	1.045	0.983	1.014	-0.76
19+300	1.983	2.003	3.053	3.010	1.070	1.007	1.039	-0.74
19+400	2.056	2.038	3.084	3.041	1.028	1.003	1.016	-0.76
19+500	2.083	2.108	3.075	3.032	0.992	0.924	0.958	-0.82
19+600	2.028	2.043	3.047	3.004	1.019	0.961	0.990	-0.78
19+700	2.183	2.172	3.085	3.042	0.902	0.870	0.886	-0.89
19+800	2.198	2.143	3.097	3.054	0.899	0.911	0.905	-0.87
19+900	2.192	2.207	3.046	3.003	0.854	0.796	0.825	-0.95
20+000	2.347	2.359	3.100	3.057	0.753	0.698	0.726	-1.05
20+100	2.368	2.333	3.121	3.078	0.753	0.745	0.749	-1.03
20+200	2.325	2.384	3.053	3.010	0.728	0.626	0.677	-1.10
20+300	2.456	2.389	3.115	3.072	0.659	0.683	0.671	-1.10
20+400	2.293	2.178	3.098	3.055	0.805	0.877	0.841	-0.93
20+500	2.183	2.104	3.047	3.004	0.864	0.900	0.882	-0.89
20+600	2.197	2.178	3.127	3.084	0.930	0.906	0.918	-0.86
20+700	2.205	2.210	3.113	3.070	0.908	0.860	0.884	-0.89
20+800	2.239	2.238	3.137	3.094	0.898	0.856	0.877	-0.90
20+900	2.308	2.290	3.169	3.126	0.861	0.836	0.849	-0.93
21+000	2.211	2.224	3.146	3.103	0.935	0.879	0.907	-0.87
21+100	2.128	2.133	3.113	3.055	0.985	0.922	0.954	-0.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนวก 6
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STA	ค่าระดับคันดินก่อนถม พ.ศ. 2552		ค่าระดับคันดินหลังถม พ.ศ. 2553		ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ บนซ้าย (ปี53-ปี52)	ค่าระดับแตกต่าง ระหว่างขอบ บนขวา (ปี53-ปี52)	ค่าระดับ แตกต่าง เฉลี่ย	ค่าการทรุดตัว เทียบกับ STA 12+200
	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา	ขอบบน ด้านซ้าย	ขอบบน ด้านขวา				
21+100	2.128	2.133	3.113	3.055	0.985	0.922	0.954	-0.82
21+200	2.157	2.163	3.136	3.078	0.979	0.915	0.947	-0.83
21+300	2.185	2.174	3.217	3.159	1.032	0.985	1.009	-0.77
21+400	2.286	2.238	3.208	3.150	0.922	0.912	0.917	-0.86
21+500	2.242	2.238	3.173	3.110	0.931	0.872	0.902	-0.87
21+600	2.258	2.263	3.206	3.148	0.948	0.885	0.917	-0.86
21+700	2.187	2.171	3.219	3.161	1.032	0.990	1.011	-0.76
21+800	2.180	2.175	3.233	3.175	1.053	1.000	1.027	-0.75
21+900	2.172	2.189	3.199	3.141	1.027	0.952	0.990	-0.78
22+000	2.219	2.284	3.120	3.046	0.901	0.762	0.832	-0.94
22+100	2.193	2.203	3.207	3.149	1.014	0.946	0.980	-0.79
22+200	2.208	2.186	3.277	3.219	1.069	1.033	1.051	-0.72
22+300	2.218	2.231	3.319	3.268	1.101	1.037	1.069	-0.71
22+400	2.283	2.328	3.272	3.214	0.989	0.886	0.938	-0.84
22+500	2.274	2.309	3.209	3.151	0.935	0.842	0.889	-0.89
22+600	2.256	2.248	3.201	3.143	0.945	0.895	0.920	-0.85
22+700	2.245	2.218	3.177	3.069	0.932	0.851	0.892	-0.88
22+800	2.258	2.274	3.199	3.141	0.941	0.867	0.904	-0.87
22+900	2.235	2.251	3.206	3.148	0.971	0.897	0.934	-0.84
23+000	2.141	2.204	3.211	3.153	1.070	0.949	1.010	-0.76
23+100	2.192	2.203	3.204	3.146	1.012	0.943	0.978	-0.80
23+200	2.245	2.312	3.194	3.136	0.949	0.824	0.887	-0.89
23+300	2.268	2.299	3.274	3.229	1.006	0.930	0.968	-0.81
23+400	2.209	2.248	3.224	3.166	1.015	0.918	0.967	-0.81
23+500	2.179	2.190	3.257	3.199	1.078	1.009	1.044	-0.73
ค่าเฉลี่ย	2.207	2.202	3.182	3.119	0.975	0.917	0.946	-0.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนจ 7
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

แสดงผลการทดสอบจากการเก็บตัวอย่างดินในชั้นดิน

ตาราง ค-1 แสดงผลการทดสอบ Field Density

FIELD DENSITY TEST

Test NO. 2 Date 09/01/54

Location : Sta 4+500

WEIGHT IF WET SOIL (W_t)		
Test Hole No.	1	2
WT. of Wet Soil + Pan ,g	2715	2383
WT. of Pan ,g	1265	1275
Wt. of Wet Soil (W_t) ,g	1450	1108
VOLUME OF HOLE		
Initial WT. of Sand + Jar + Cone(W_1) ,g	8862	8682
Final WT. of Sand + Jar + Cone(W_2) ,g	5630	5744
WT. of Sand in Cone and Base Plate(W_3) ,g	1652	1659
WT. Of Sand in Hole = $W_1 - W_2 - W_3$,g	1580	1279
Density of Sand ,g/cm ³	1.609	1.609
Volume of Hole = wt. sand/density ,cm ³	981.976	794.904
SUMMARY		
Wet Unit in Field , g/cm ³	1.48	1.39

FIELD DENSITY TEST

Test NO. 1 Date 09/01/54

Location : Sta 8+800

WEIGHT IF WET SOIL (W_t)		
Test Hole No.	1	2
WT. of Wet Soil + Pan ,g	2597	2805
WT. of Pan ,g	1278	1256
Wt. of Wet Soil (W_t) ,g	1319	1549
VOLUME OF HOLE		
Initial WT. of Sand + Jar + Cone(W_1) ,g	8773	8707
Final WT. of Sand + Jar + Cone(W_2) ,g	5681	5403
WT. of Sand in Cone and Base Plate(W_3) ,g	1665	1702
WT. Of Sand in Hole = $W_1 - W_2 - W_3$,g	1427	1602
Density of Sand ,g/cm ³	1.609	1.609
Volume of Hole = wt. sand/density ,cm ³	886.886	995.649
SUMMARY		
Wet Unit in Field , g/cm ³	1.49	1.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนวก 1
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-2 แสดงค่าความชื้นในตัวอย่างดินจากคันดิน

Date 08/01/54

Sta 4+500					
TRIAL NO.		1	2	3	4
CAN NO.		1	2	3	4
WET SOIL + CAN	,g	80.9	77.6	114.7	89.8
DRY SOIL + CAN	,g	72.8	71.3	97.1	78
WT. OF CAN	,g	17.4	24.4	17.8	17.3
WT. OF WATER	,g	8.1	6.3	17.6	11.8
WT. OF DRY SOIL	,g	55.4	46.9	79.3	60.7
% WATER CONTENT		11.13	8.84	18.13	15.13
AVERAGE		13.30			

Date 08/01/54

Sta 8+800					
TRIAL NO.		1	2	3	4
CAN NO.		1	2	3	4
WET SOIL + CAN	,g	90.4	98.6	131.7	94.5
DRY SOIL + CAN	,g	80.7	89	121.8	87.1
WT. OF CAN	,g	17.7	17.3	28.6	17.2
WT. OF WATER	,g	9.7	9.6	9.9	7.4
WT. OF DRY SOIL	,g	63	71.7	93.2	69.9
% WATER CONTENT		12.02	10.79	8.13	8.50
AVERAGE		9.86			

ภาคผนวก ง

แสดงผลการวัดค่าระดับน้ำใน Inclinator

ตาราง ง-1 แสดงการวัดค่าระดับน้ำใน Inclinator ในวันที่ต่างๆ

station	ความลึกหลุม (m)	ระดับผิวน้ำถึงผิวดิน (m)	ความสูงระดับน้ำ (m)	ค่าความดันน้ำ (t/m ²)
1+100	8.45	4.78	3.67	3.67
2+500	1.78	0.94	0.84	0.84
3+100	3.80	2.84	0.96	0.96
4+600	18.41	10.29	8.12	8.12
5+470	21.25	13.37	7.88	7.88
6+480	21.28	12.05	9.23	9.23
7+450	21.69	8.29	13.40	13.40
10+450	2.37	0.94	1.43	1.43
11+450	6.60	3.64	2.96	2.96
15+200	15.28	3.58	11.70	11.70
18+200	22.20	16.80	5.40	5.40
19+200	5.33	3.77	1.56	1.56
20+200	23.00	9.31	13.69	13.69
23+200	19.40	10.64	8.76	8.76
23+500	20.95	5.49	15.46	15.46

ตาราง ง-1(ต่อ) แสดงการวัดค่าระดับน้ำใน Inclinometer ในวันที่ต่างๆ

3/12/2010				
station	ความลึกหลุม (m)	ระดับผิวน้ำถึงผิว ดิน (m)	ความสูงระดับน้ำ (m)	ค่าความดันน้ำ (t/m ²)
1+100	8.45	5.51	2.94	2.94
2+500	1.78	0.75	1.03	1.03
3+100	3.80	2.76	1.04	1.04
4+600	18.41	10.98	7.43	7.43
5+470	21.25	7.83	13.42	13.42
6+480	21.28	10.58	10.70	10.70
7+450	21.69	14.21	7.48	7.48
10+450	2.37	0.89	1.48	1.48
11+450	6.60	4.87	1.73	1.73
15+200	15.28	5.40	9.88	9.88
18+200	22.20	10.55	11.65	11.65
19+200	5.33	3.55	1.78	1.78
20+200	23.00	5.88	17.12	17.12
23+200	19.40	5.88	13.52	13.52
23+500	20.95	11.28	9.67	9.67

9/12/2010				
station	ความลึกหลุม (m)	ระดับผิวน้ำถึงผิว ดิน (m)	ความสูงระดับน้ำ (m)	ค่าความดันน้ำ (t/m ²)
1+100	8.45	4.86	3.59	3.59
2+500	1.78	0.83	0.95	0.95
3+100	3.80	2.58	1.22	1.22
4+600	18.41	5.55	12.86	12.86
5+470	21.25	10.55	10.70	10.70
6+480	21.28	5.17	16.11	16.11
7+450	21.69	7.44	14.25	14.25
10+450	2.37	0.77	1.60	1.60
11+450	6.60	3.13	3.47	3.47
15+200	15.28	8.78	6.50	6.50
18+200	22.20	8.74	13.46	13.46
19+200	5.33	3.78	1.55	1.55
20+200	23.00	10.88	12.12	12.12
23+200	19.40	9.25	10.15	10.15
23+500	20.95	10.50	10.45	10.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผน 2
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-1 (ต่อ) แสดงการวัดค่าระดับน้ำใน Inclinator ในวันต่างๆ

11/1/2011				
station	ความลึกหลุม (m)	ระดับผิวน้ำถึงผิว ดิน (m)	ความสูงระดับน้ำ (m)	ค่าความดันน้ำ (t/m ²)
1+100	8.45	3.78	4.67	4.67
2+500	1.78	0.83	0.95	0.95
3+100	3.80	2.70	1.10	1.10
4+600	18.41	8.19	10.22	10.22
5+470	21.25	3.14	18.11	18.11
6+480	21.28	1.65	19.63	19.63
7+450	21.69	5.25	16.44	16.44
10+450	2.37	0.68	1.69	1.69
11+450	6.60	2.2	4.40	4.40
15+200	15.28	11.2	4.08	4.08
18+200	22.20	4.75	17.45	17.45
19+200	5.33	2.49	2.84	2.84
20+200	23.00	8.36	14.64	14.64
23+200	19.40	7.15	12.25	12.25
23+500	20.95	7.5	13.45	13.45

26/1/2011				
station	ความลึกหลุม (m)	ระดับผิวน้ำถึงผิว ดิน (m)	ความสูงระดับน้ำ (m)	ค่าความดันน้ำ (t/m ²)
1+100	8.45	4.56	3.89	3.89
2+500	1.78	0.88	0.90	0.90
3+100	3.80	0.78	3.02	3.02
4+600	18.41	7.4	11.01	11.01
5+470	21.25	4.15	17.10	17.10
6+480	21.28	8.55	12.73	12.73
7+450	21.69	5.31	16.38	16.38
10+450	2.37	0.63	1.74	1.74
11+450	6.60	2.34	4.26	4.26
15+200	15.28	10.55	4.73	4.73
18+200	22.20	6.34	15.86	15.86
19+200	5.33	1.86	3.47	3.47
20+200	23.00	4.67	18.33	18.33
23+200	19.40	4.95	14.45	14.45
23+500	20.95	3.1	17.85	17.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-1 (ต่อ) แสดงการวัดค่าระดับน้ำใน Inclinator ในวันต่างๆ

28/1/2011				
station	ความลึกหลุม (m)	ระดับผิวน้ำถึงผิว ดิน (m)	ความสูงระดับน้ำ (m)	ค่าความดันน้ำ (t/m ²)
1+100	8.45	4.80	3.65	3.65
2+500	1.78	0.98	0.80	0.80
3+100	3.80	0.33	3.47	2.47
4+600	18.41	11.39	7.02	7.02
5+470	21.25	4.11	17.14	17.14
6+480	21.28	2.56	18.72	18.72
7+450	21.69	4.92	16.77	16.77
10+450	2.37	0.82	1.55	1.55
11+450	6.60	3.28	3.32	3.32
15+200	15.28	6.48	8.80	8.80
18+200	22.20	5.62	16.58	16.58
19+200	5.33	1.98	3.35	3.35
20+200	23.00	5.72	17.28	17.28
23+200	19.40	5.6	13.80	13.80
23+500	20.95	7.06	13.89	13.89

17/2/2011				
station	ความลึกหลุม (m)	ระดับผิวน้ำถึงผิว ดิน (m)	ความสูงระดับน้ำ (m)	ค่าความดันน้ำ (t/m ²)
1+100	8.45	5.44	3.01	3.01
2+500	1.78	0.64	1.14	1.14
3+100	3.80	2.06	1.74	1.74
4+600	18.41	6.83	11.58	11.58
5+470	21.25	9.13	12.12	12.12
6+480	21.28	12.76	8.52	8.52
7+450	21.69	11.74	9.95	9.95
10+450	2.37	0.89	1.48	1.48
11+450	6.60	3.41	3.19	3.19
15+200	15.28	4.71	10.57	10.57
18+200	22.20	8.91	13.29	13.29
19+200	5.33	3.60	1.73	1.73
20+200	23.00	12.8	10.20	10.20
23+200	19.40	3.21	16.19	16.19
23+500	20.95	10.07	10.88	10.88

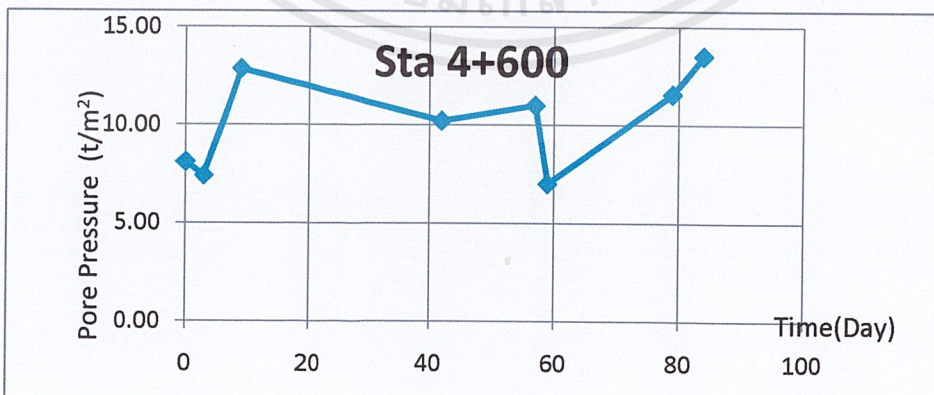
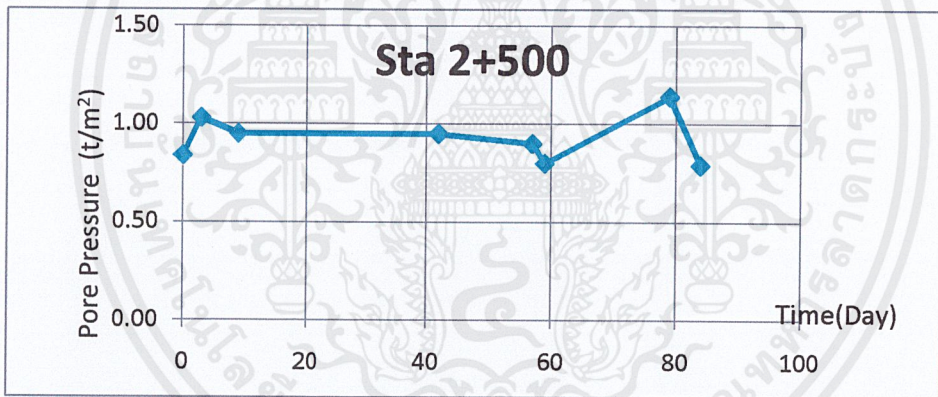
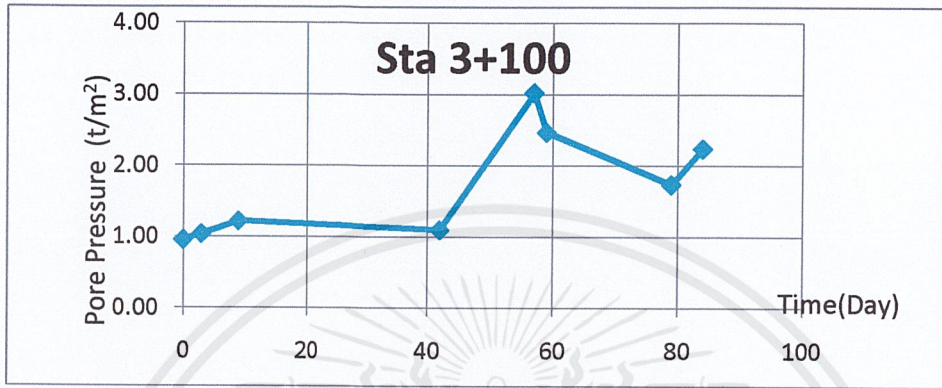
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผน 4
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

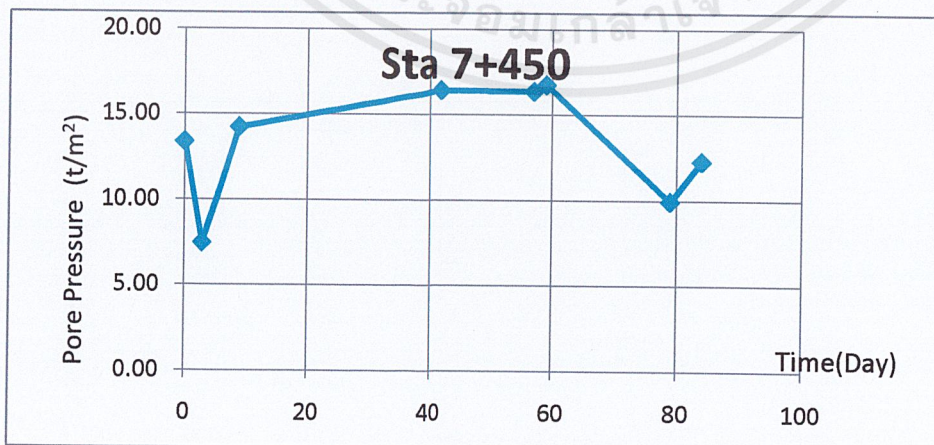
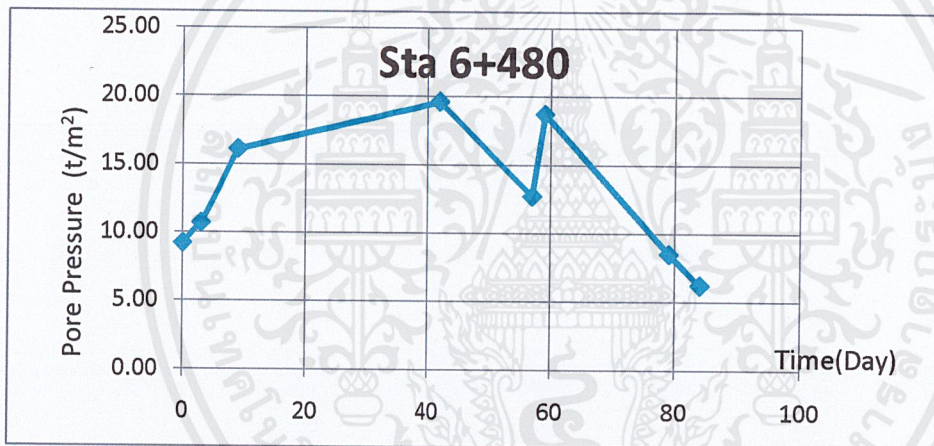
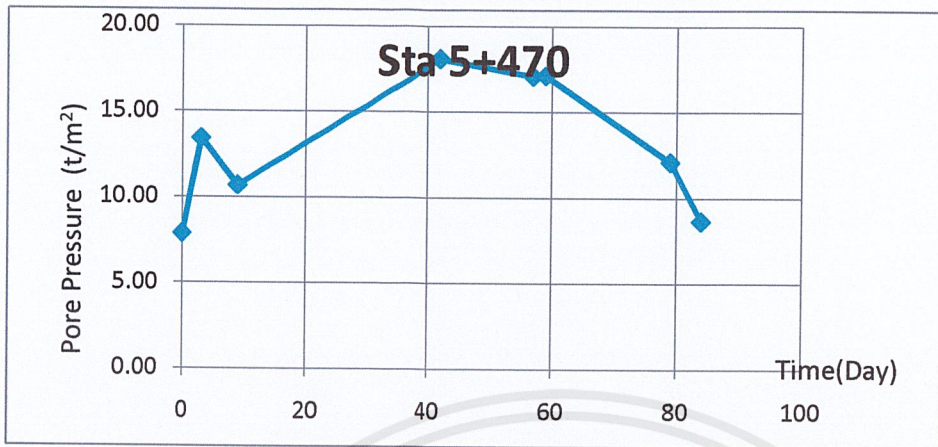
ตาราง ง-1 (ต่อ) แสดงการวัดค่าระดับน้ำใน Inclinator ในวันต่างๆ

22/2/2011				
station	ความลึกหลุม (m)	ระดับผิวน้ำถึงผิว ดิน (m)	ความสูงระดับน้ำ (m)	ค่าความดันน้ำ (t/m ²)
1+100	8.45	4.73	3.72	3.72
2+500	1.78	0.99	0.79	0.79
3+100	3.80	1.56	2.24	2.24
4+600	18.41	4.89	13.52	13.52
5+470	21.25	12.59	8.66	8.66
6+480	21.28	15.04	6.24	6.24
7+450	21.69	9.4	12.29	12.29
10+450	2.37	0.86	1.51	1.51
11+450	6.60	3.87	2.73	2.73
15+200	15.28	1.13	14.15	14.15
18+200	22.20	14.28	7.92	7.92
19+200	5.33	2.48	2.85	2.85
20+200	23.00	10.69	12.31	12.31
23+200	19.40	10.51	8.89	8.89
23+500	20.95	10.72	10.23	10.23

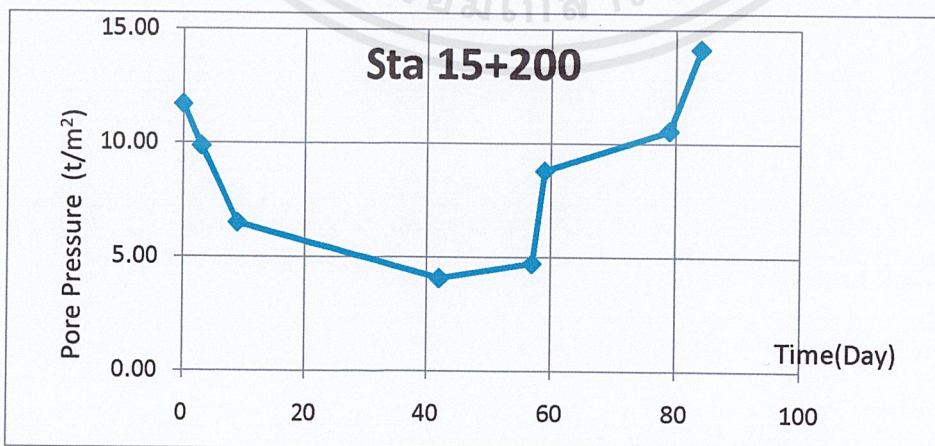
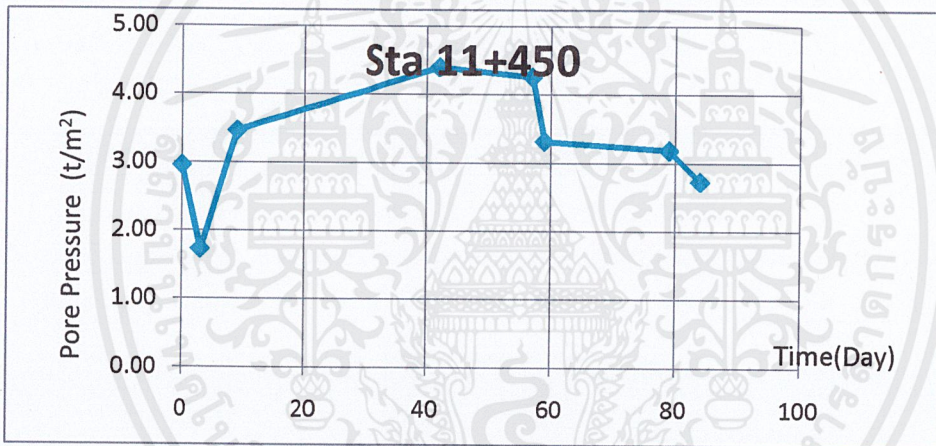
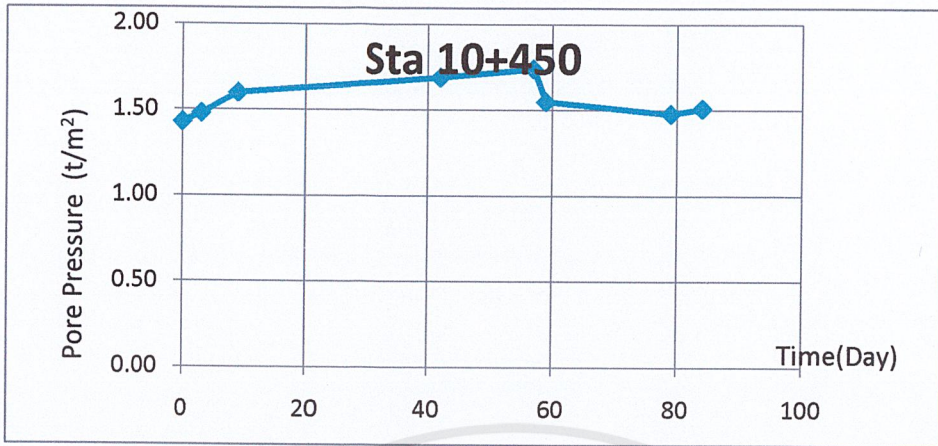
ภาคผนวก จ

รูปที่ จ-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำขึ้น-ลง ที่วัดได้ จากท่อ Inclinometer ใน Station ต่างๆ

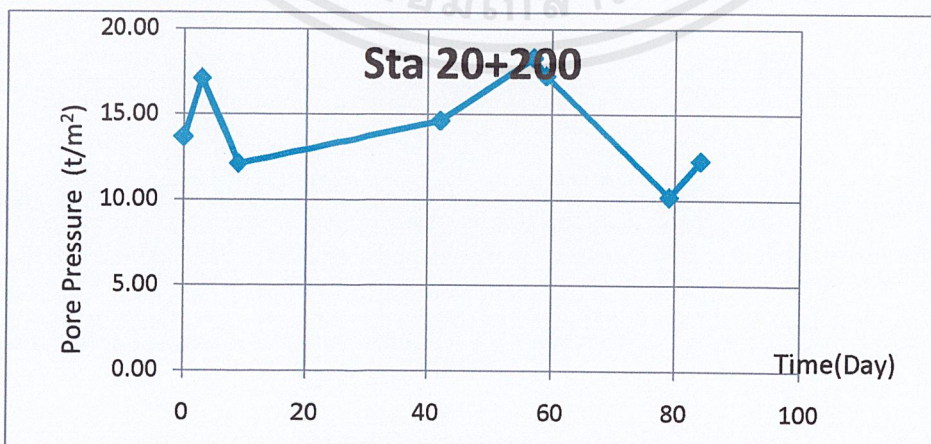
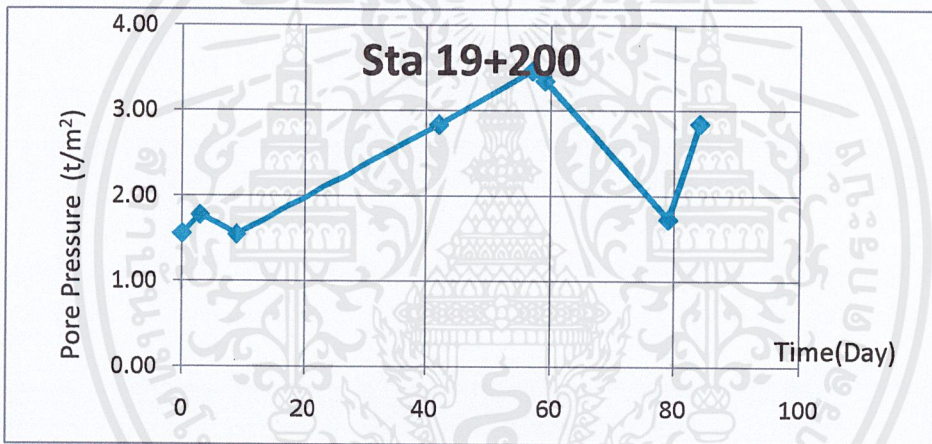
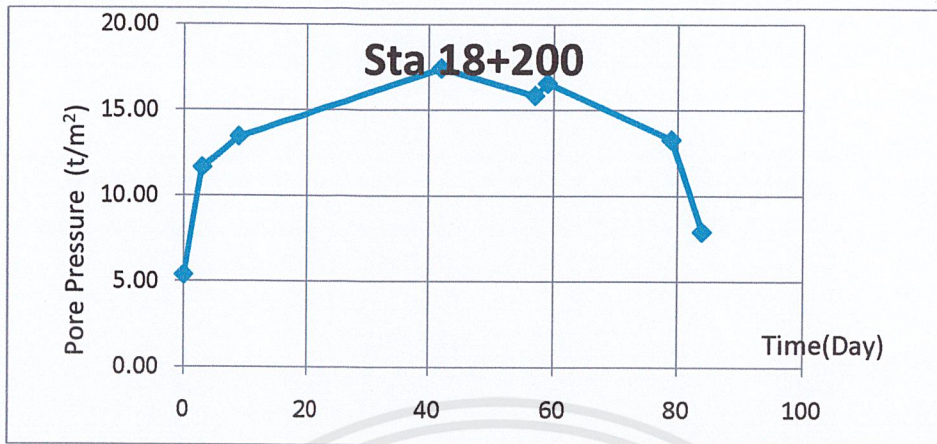




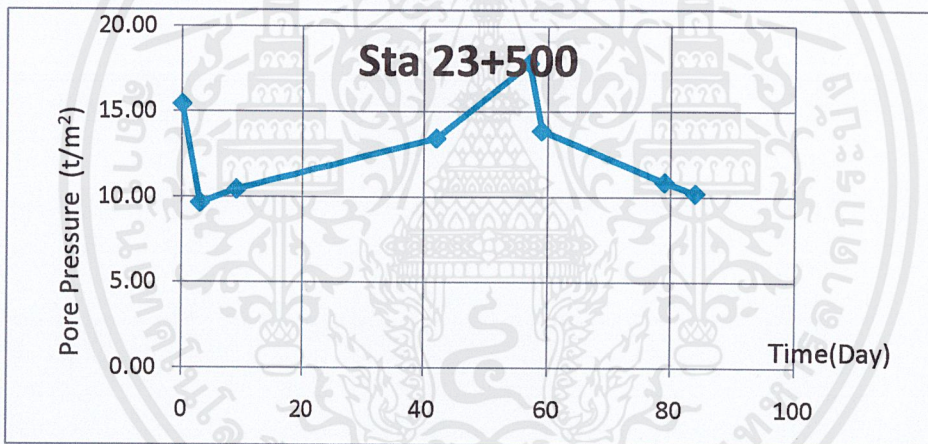
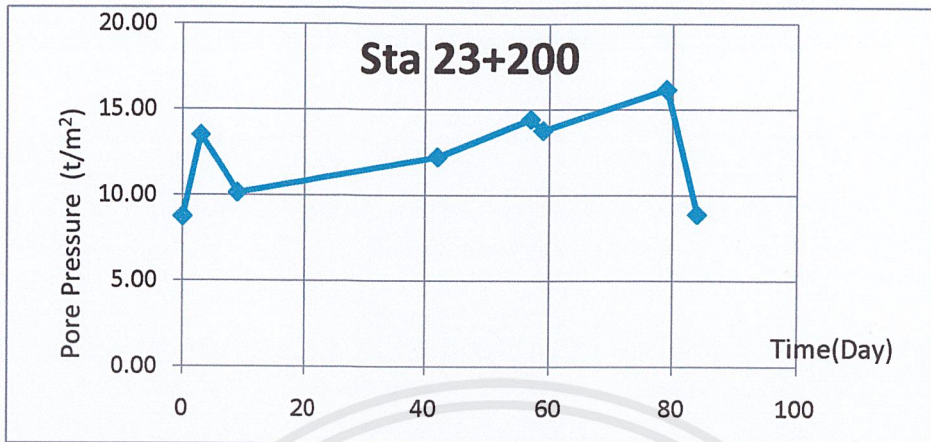
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนจ 2
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผจ 3
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ฃจ 4
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ฅจ 5
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้