

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

การคาดคะเนการทรุดตัววิธีต่างๆจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบในสนาม ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบที่ได้จากโครงการก่อสร้าง และผลการตรวจวัดการทรุดตัว ผลของข้อมูลสามารถแสดงได้ตามลำดับดังนี้

#### 4.1 ผลการทดสอบในสนาม

##### 4.1.1 ลักษณะสภาพชั้นดิน

จากการเจาะสำรวจชั้นดิน กม. 0+800, 1+000 และ 1+100 ลักษณะสภาพชั้นดินมีแนวโน้มที่คล้ายกันสามารถสรุปลักษณะสภาพชั้นดินได้ดังนี้

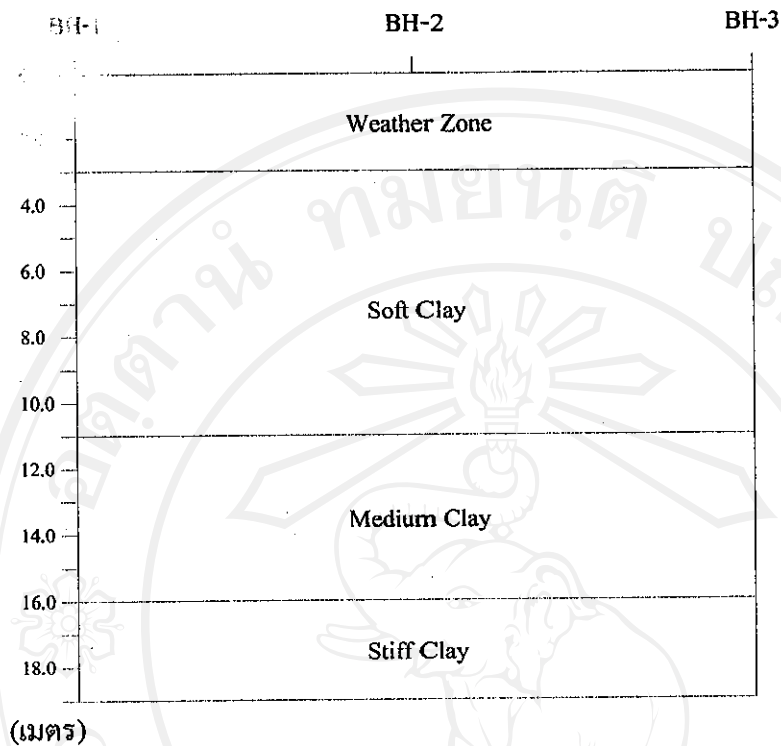
1. ชั้น Weather Zone มีความลึก 0 - 3.0 เมตร จากผิวดิน ลักษณะมีสีน้ำตาล
2. ชั้น Soft Clay มีความลึก 3.0 - 11.0 เมตร จากผิวดิน ลักษณะมีสีเทาเขียว
3. ชั้น Medium Clay มีความลึก 11.0 - 16.0 เมตร จากผิวดิน ลักษณะมีสีเทาเขียวเป็นดินเหนียวที่มีเปลือกหอยปะปนอยู่

4. ชั้น Stiff Clay มีความลึก 16.0 - 19.0 เมตร จากผิวดิน ลักษณะมีสีเทา

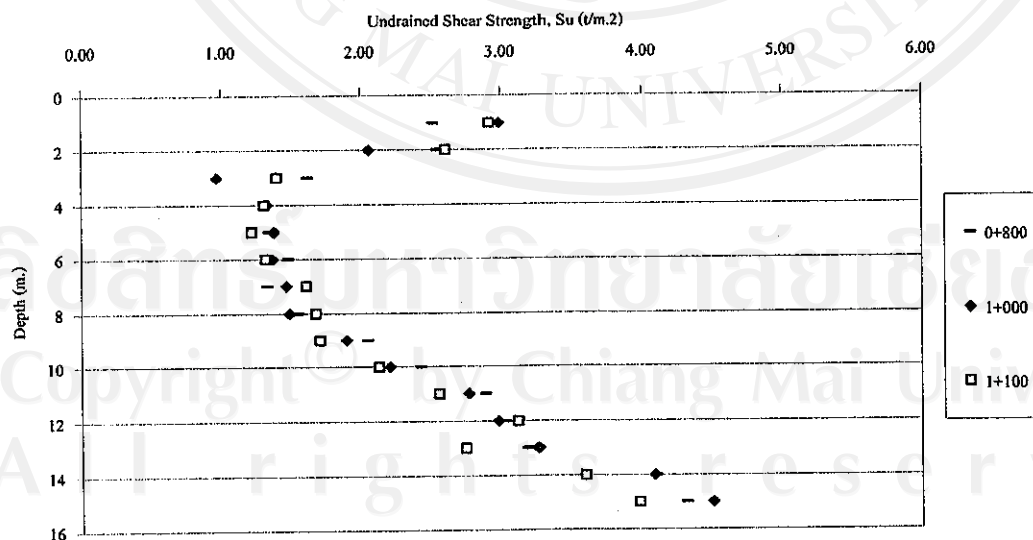
ลักษณะสภาพชั้นดินแสดงดังรูปที่ 4.1 รายละเอียดผลการเจาะสำรวจดินบริเวณโครงการที่ศึกษา แสดงในภาคผนวก ก.

##### 4.1.2 ผลการทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด

จากรายงานการทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด (Field Vane Shear Test) สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง พบว่าค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) บริเวณ กม. 0+800, 1+000 และ 1+100 ช่วงความลึก 0 - 12.0 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.01, 1.91 และ 1.97 ตัน/ตร.ม. ตามลำดับ ผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต (ประเสริฐ (2535), พลัง (2542), จอม (2543) และ Thanapol Teerana Co., Lt d. (2001)) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9 - 1.99 ตัน/ตร.ม. ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำตามระดับความลึกแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 รายละเอียดผลการทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัดบริเวณใกล้เคียงแสดงในภาคผนวก ข.



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะสภาพชั้นดินบริเวณที่ทำการศึกษา



รูปที่ 4.2 แสดงค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด บริเวณ กม. 0+800 - 1+100

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด บริเวณ กม. 0+800 - 1+100

ความลึก (เมตร)	กำลังรับแรงเฉือนสภาพไม่ระบายน้ำ (ตัน/ตร.ม.)		
	กม. 0+800	กม. 1+000	กม. 1+100
0.00 - 1.00	2.52	2.99	2.92
1.00 - 2.00	2.55	2.06	2.61
2.00 - 3.00	1.62	0.97	1.40
3.00 - 4.00	1.32	1.33	1.31
4.00 - 5.00	1.34	1.38	1.22
5.00 - 6.00	1.48	1.37	1.32
6.00 - 7.00	1.33	1.47	1.61
7.00 - 8.00	1.55	1.49	1.68
8.00 - 9.00	2.05	1.90	1.71
9.00 - 10.00	2.43	2.21	2.13
10.00 - 11.00	2.89	2.77	2.56
11.00 - 12.00	3.03	2.98	3.12
ค่าเฉลี่ย	2.01	1.91	1.97

## 4.2 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

### 4.2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติดินชั้นพื้นฐาน

จากการเจาะสำรวจดิน กม. 0+800, 1+000 และ 1+100 นำตัวอย่างดินที่ได้มาทำการทดสอบหาคุณสมบัติดินชั้นพื้นฐาน พบว่าคุณสมบัติดินชั้นพื้นฐานในแต่ละชั้นดินมีความคล้ายคลึงกันสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ชั้น Weather Zone มีความชื้นในดินร้อยละ 63.8 – 73.2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.8 Liquid Limit ร้อยละ 60.5 – 65.9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.0 และ Plastic Index ร้อยละ 35.2 – 41.8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.2

2. ชั้น Soft Clay มีความชื้นในดินร้อยละ 85.1 – 95.7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.6 Liquid Limit ร้อยละ 63.4 – 76.9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.1 และ Plastic Index ร้อยละ 40.5 – 46.9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.8

3. ชั้น Medium Clay มีความชื้นในดินร้อยละ 70.9 – 92.3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85.2 Liquid Limit ร้อยละ 54.9 – 65.7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.1 และ Plastic Index ร้อยละ 25.9 – 39.0 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.2

4. ชั้น Stiff Clay ข้อมูลการเจาะสำรวจ โดยบริษัท Thanapol Teerana Co., Lt d. (2001) พบว่ามีความชื้นในดินร้อยละ 15.2 – 17.5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.5 Liquid Limit ร้อยละ 42.6 – 56.2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.9 และ Plastic Index ร้อยละ 19.7 – 27.9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.1

สามารถสรุปค่าความชื้นในดิน ค่า Liquid Limit และค่า Plastic Index ได้ดังตารางที่ 4.2 นอกจากนี้พบว่าในหลุมเจาะทั้ง 3 มีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1.47 - 1.59 ตัน/ลบ.ม. ขนาดคละของเม็ดดินมีเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ # 200 อยู่ในช่วงระหว่าง 97.3 - 98.7 % สามารถจัดจำแนกเป็นดินเหนียวอยู่ในกลุ่ม CH ผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต (พลึง (2542), จอม (2543) และ Thanapol Teerana Co., Lt d. (2001))

รายละเอียดผลการทดสอบค่า Water Content, Liquid Limit, Plastic Limit, Plastic Index และ Grain Size Analysis แสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความชื้นในดิน ค่า Liquid Limit และค่า Plastic Index

บริเวณ กม. 0+800 - 1+100

ชั้นดิน	ช่วงความลึก (เมตร)	$w_n$ (%)	Atterberg Limit (%)	
			LL.	PI.
1. Weather Zone	0 - 3	63.8 – 73.2 (69.8)	60.5 – 65.9 (64.0)	35.2 – 41.8 (39.2)
2. Soft Clay	3 - 11	85.1 – 95.7 (88.6)	63.4 – 76.9 (71.1)	40.5 – 46.9 (42.8)
3. Medium Clay	11 - 16	70.9 – 92.3 (85.2)	54.9 – 65.7 (60.1)	25.9 – 39.0 (33.2)
4. Stiff Clay	16 - 19	15.2 – 17.5 (16.5)	42.6 – 56.2 (8.9)	19.7 – 27.9 (23.1)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บเป็นค่าเฉลี่ย

#### 4.2.2 ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) จำนวน 12 ตัวอย่าง พบว่าความถ่วงจำเพาะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.722 อัตราส่วนช่องว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.490  $C_c$ ,  $C_r$  และ OCR มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.694, 0.161 และ 1.40 ตามลำดับ ผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต (พลึง (2542), จอม (2543) Pongsakorn (2000) และ Thanapol Teerana Co., Lt d. (2001)) ซึ่ง  $C_c$ ,  $C_r$  และ OCR มีค่าอยู่ระหว่าง 0.466 – 1.68, 0.032 – 0.3 และ 0.954 – 2.898 ตามลำดับ

ตัวแปรที่ได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ แสดงดังตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำจากตัวอย่างดิน กม. 0+800 – 1+100 แสดงดังรูปที่ 4.3 – 4.5 รายละเอียดผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแสดงในภาคผนวก ก.

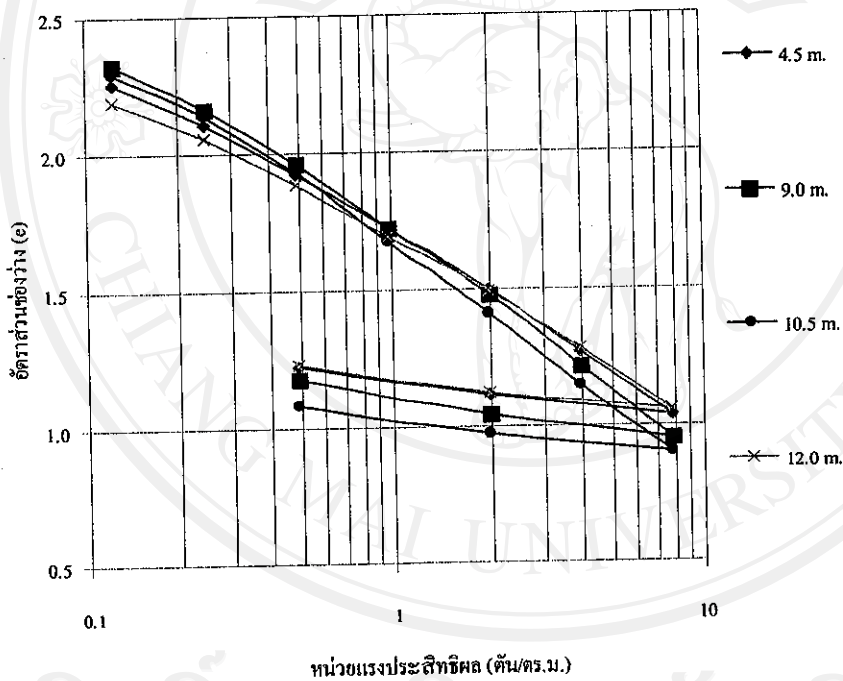
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าตัวแปรดินที่ได้จากการทดสอบ Consolidation Test บริเวณที่ทำการศึกษากม.0+800, 1+000 และ 1+100

กม.	ความลึก (ม.)	$G_s$	$e_0$	$C_c$	$C_r$	$\sigma'_m$ (ตัน/ตร.ม.)	OCR.
0+800	4.5 - 5.0	2.714	2.466	0.493	0.119	5.4	2.11
	9.0 - 9.5	2.727	2.550	0.746	0.187	8.2	1.71
	10.5 - 11.0	2.716	2.505	0.809	0.150	6.9	1.23
	12.0 - 12.5	2.722	2.369	0.619	0.141	7.9	1.24
1+000	10.5 - 11.0	2.724	2.709	0.786	0.214	7.24	1.32
	12.0 - 12.5	2.721	2.485	0.625	0.109	7.2	1.15
	13.5 - 14.0	2.724	2.448	0.751	0.198	7.9	1.12
	15.0 - 15.5	2.733	1.938	0.535	0.119	9.0	1.14
1+100	6.0 - 6.5	2.718	2.890	0.802	0.176	7.1	2.18
	10.5 - 11.0	2.725	2.680	0.781	0.179	7.1	1.32
	12.0 - 12.5	2.727	2.716	0.777	0.170	7.1	1.15
	15.0 - 15.5	2.711	2.121	0.605	0.164	8.9	1.14
ค่าเฉลี่ย	-	2.722	2.490	0.694	0.161	-	1.40

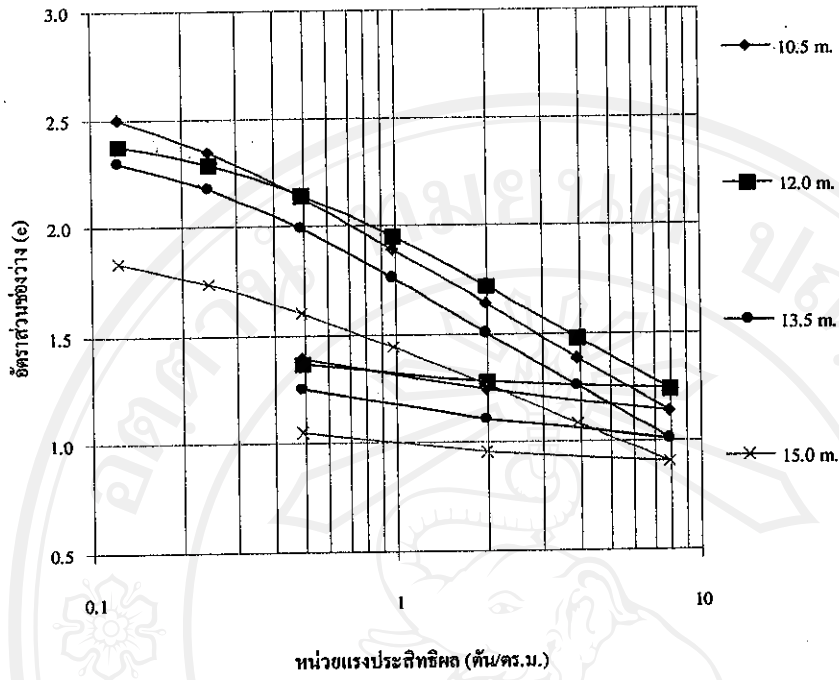
ค่า  $c_v$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0.004608 – 0.00936 ตร.ม./วัน เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธี Taylor ( $t_{90}$ ) และวิธี Casgrande ( $t_{50}$ ) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงหน่วยแรงประสิทธิผลที่ใช้ในการคำนวณ ผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต (พลึง (2542), จอม (2543) Pongsakorn (2000) และ Thanapol Teerana Co., Lt d. (2001)) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0011 – 0.0068 ตร.ม./วัน ผลของค่า  $c_v$  ที่ได้จากการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลค่า  $c_v$  เฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

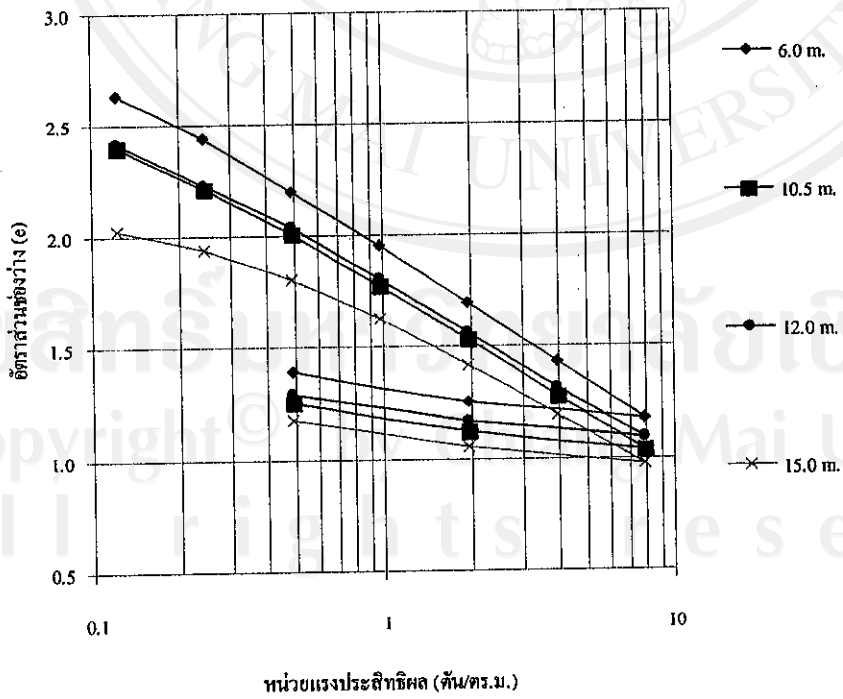
กม. 0+800		กม. 1+000		กม. 1+100	
ความลึก (ม.)	$c_v$ (ตร.ม./วัน)	ความลึก (ม.)	$c_v$ (ตร.ม./วัน)	ความลึก (ม.)	$c_v$ (ตร.ม./วัน)
4.5 - 5.0	0.007344	10.5 - 11.0	0.007488	6.0 - 6.5	0.006192
9.0 - 9.5	0.009360	12.0 - 12.5	0.007632	10.5 - 11.0	0.006912
10.5 - 11.0	0.007488	13.5 - 14.0	0.006192	12.0 - 12.5	0.005328
12.0 - 12.5	0.004752	15.0 - 15.5	0.004608	15.0 - 15.5	0.004752



รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำจากตัวอย่างดิน กม. 0+800



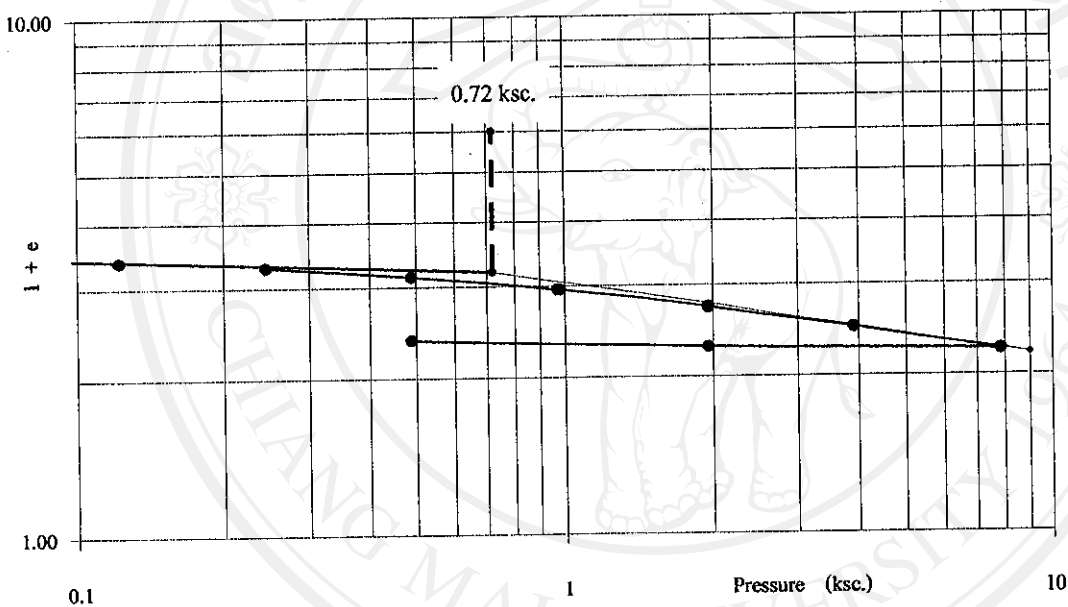
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำจากตัวอย่างดิน กม. 1+000



รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำจากตัวอย่างดิน กม. 1+100



เนื่องจากการพิจารณาความโค้งที่มากที่สุดของเส้นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างในดิน ( $e$ ) กับ หน่วยแรงประสิทธิผลตามวิธี Casagrande (1936) เพื่อใช้ในการหาค่าหน่วยแรงกดทับสูงสุดในอดีตของดิน (Preconsolidation Test,  $P_c$ ) พิจารณาได้ยาก ผู้วิจัยจึงใช้วิธีของ Sridharan et al. (1991) เพื่อหาค่าหน่วยแรงกดทับสูงสุดในอดีตของดิน โดยการพล็อตข้อมูลระหว่าง ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) กับหน่วยแรงประสิทธิผล ในมาตราส่วน Logarithm ทั้งสองแกน ตัวอย่างการหาค่าหน่วยแรงกดทับสูงสุดในอดีตของดินแสดงดังรูปที่ 4.6 ผลของค่าหน่วยแรงกดทับสูงสุดในอดีตของดินแสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.6 แสดงการหาค่าหน่วยแรงกดทับสูงสุดในอดีตของดินวิธี Sridharan et al. (1991)

ของตัวอย่างดิน กม. 1+000 ระดับความลึก 12.0 – 12.5 เมตร

#### 4.2.3 ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน

จากการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) แบบ Consolidation Undrained Triaxial Compression Test นำมาวาดรูปวงกลมมอร์พบวาค่าความเชื่อมแน่น ( $c'$ ) อยู่ระหว่าง 0.32 – 0.65 ตัน/ตร.ม. และค่ามุมเสียดทาน ( $\phi'$ ) อยู่ระหว่าง 25 – 30 องศา ผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต (Ail (1981), เผ่าพงศ์ (2526) และ ประเสริฐ (2535)) ซึ่งมีค่าความเชื่อมแน่น ( $c'$ ) อยู่ระหว่าง 0.12 – 2.14 ตัน/ตร.ม. และค่ามุมเสียดทาน ( $\phi'$ ) อยู่ระหว่าง 17.2 – 24.0 องศา ผลการทดสอบสามารถสรุปค่า  $c'$  และค่า  $\phi'$  ได้ดังตารางที่ 4.5

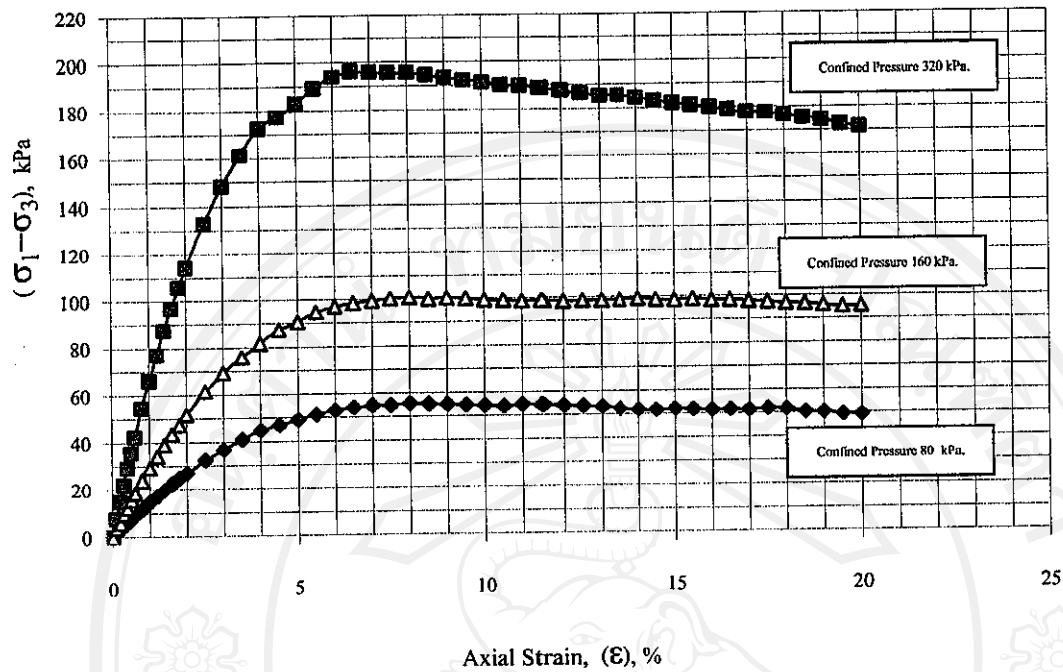


รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Diviator Stress กับ Axial Strain และรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Excess Pore Pressure กับ Axial Strain จากการทดสอบแรงอัดสามแกน แสดงดังรูปที่ 4.7 – 4.18 และรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mohr' Circle กับ Strength Envelope จากการทดสอบแรงอัดสามแกน แสดงดังรูปที่ 4.19 – 4.24

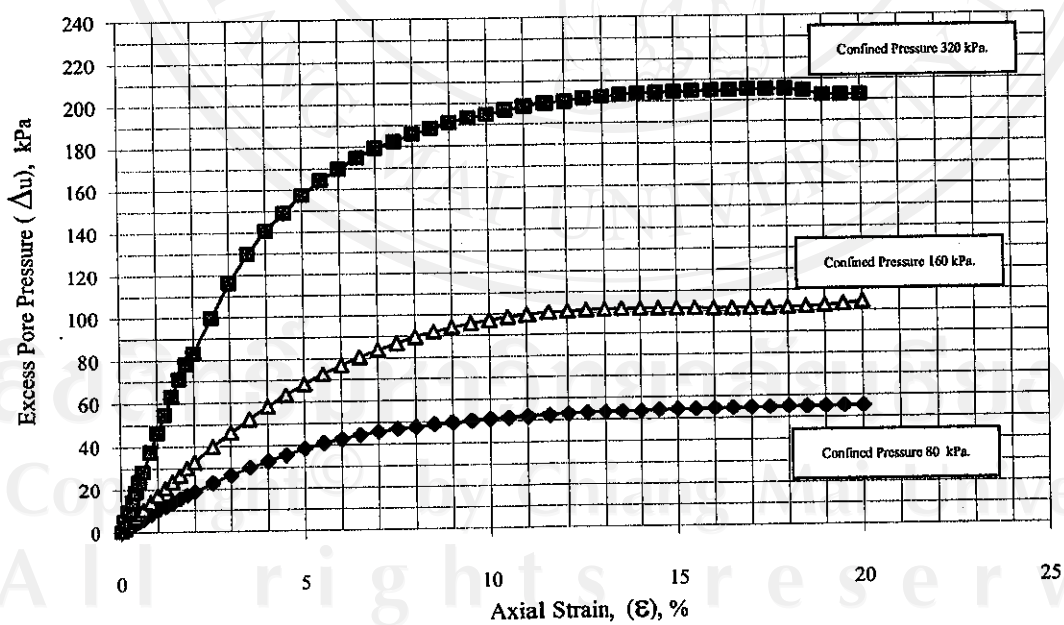
ตารางที่ 4.5 แสดงค่า  $c'$  และ  $\phi'$  จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression

Test บริเวณที่ทำการศึกษา กม. 0+800, 1+000 และ 1+100

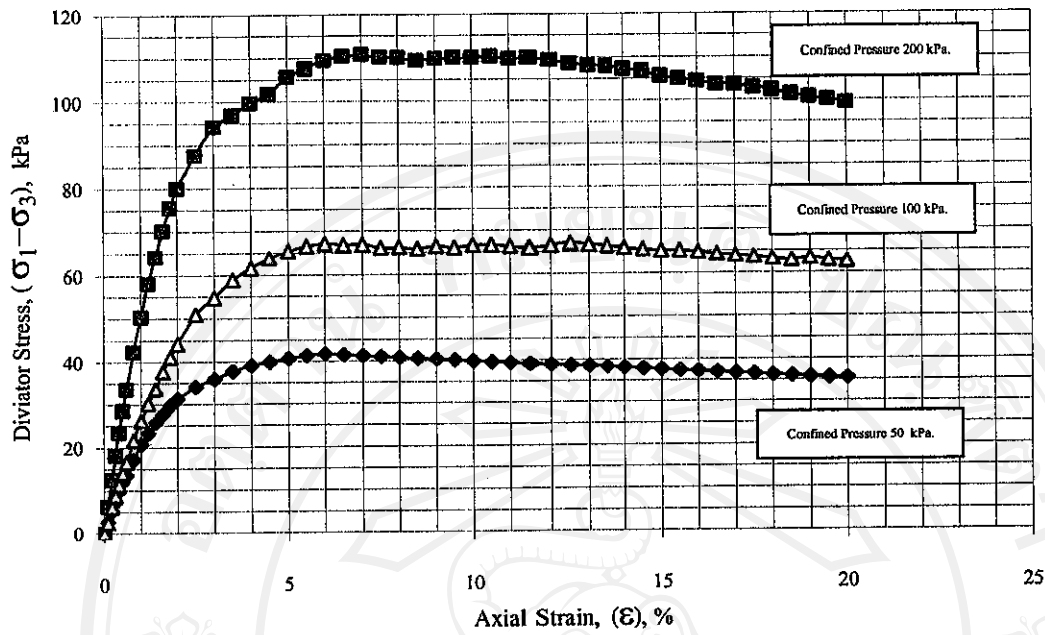
กม.	ความลึก (m.)	$c'$ (kN./m. <sup>2</sup> )	$\phi'$
0+800	9.0	6.17	19.7
	13.5	3.58	22.9
1+000	6.0	1.95	25.6
	13.5	0.66	20.5
1+100	7.5	3.84	21.3
	15.0	3.39	21.1
Avg.	-	3.265	21.85



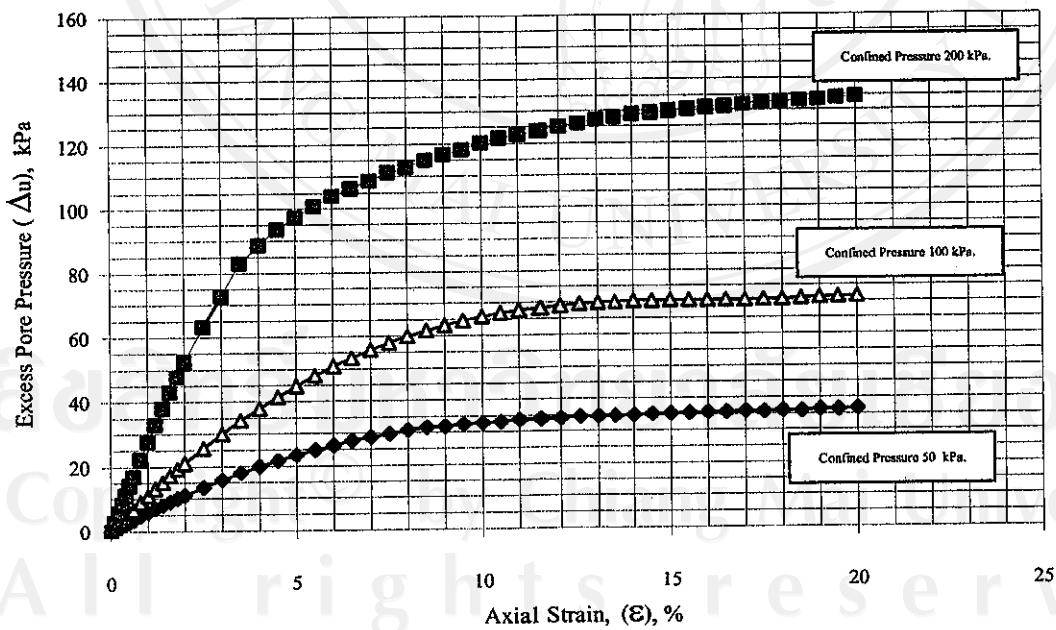
รูปที่ 4.7 แสดงค่า Deviator Stress กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 0+800 ความลึก 9.0 เมตร)



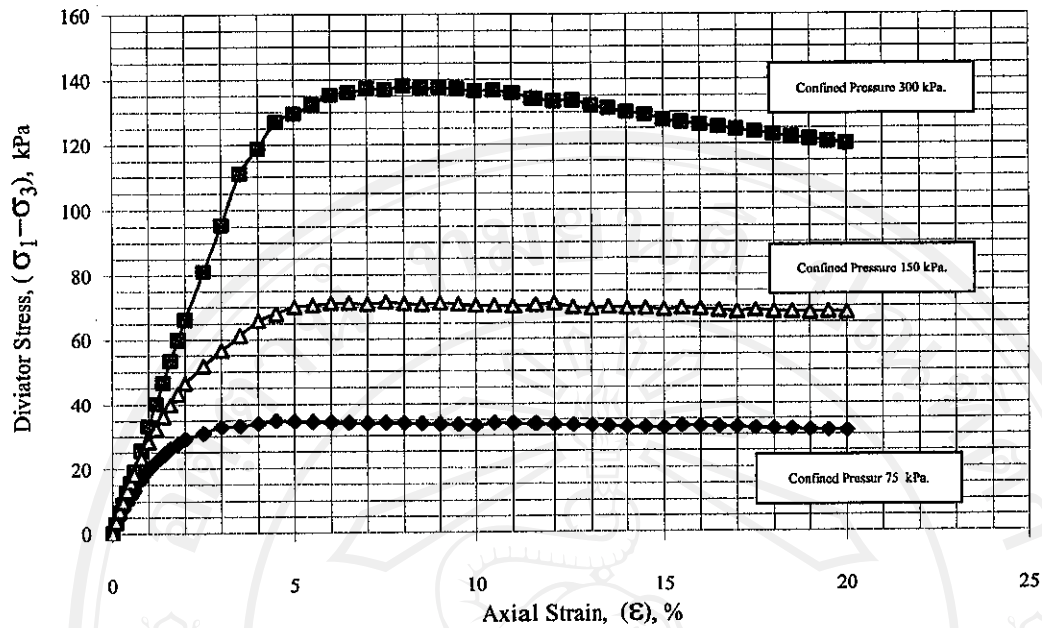
รูปที่ 4.8 แสดงค่า Excess Pore Pressure กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 0+800 ความลึก 9.0 เมตร)



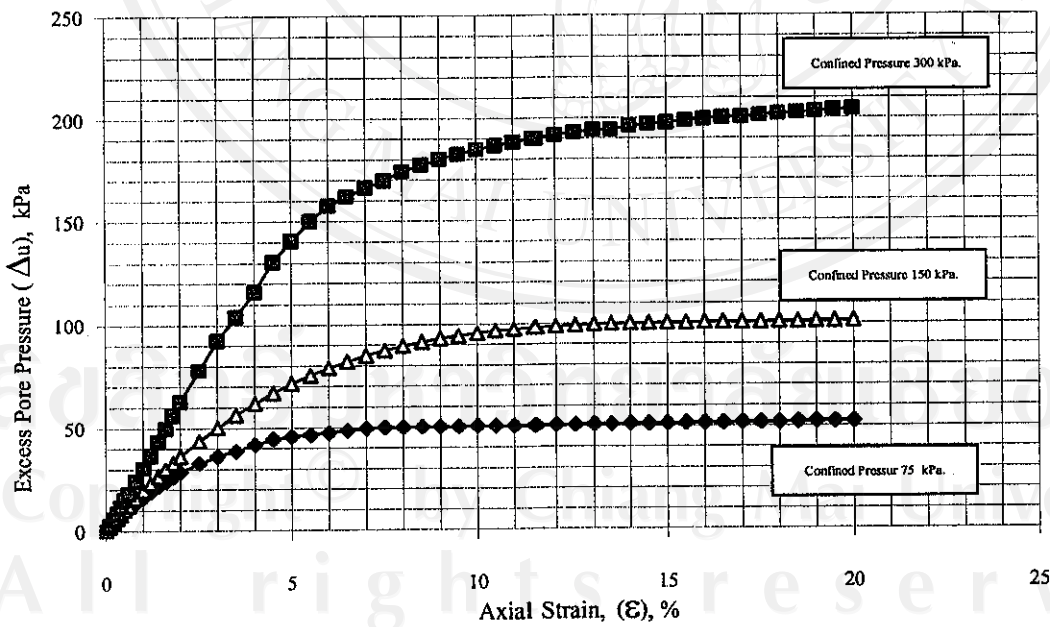
รูปที่ 4.9 แสดงค่า Diviator Stress กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 0+800 ความลึก 13.5 เมตร)



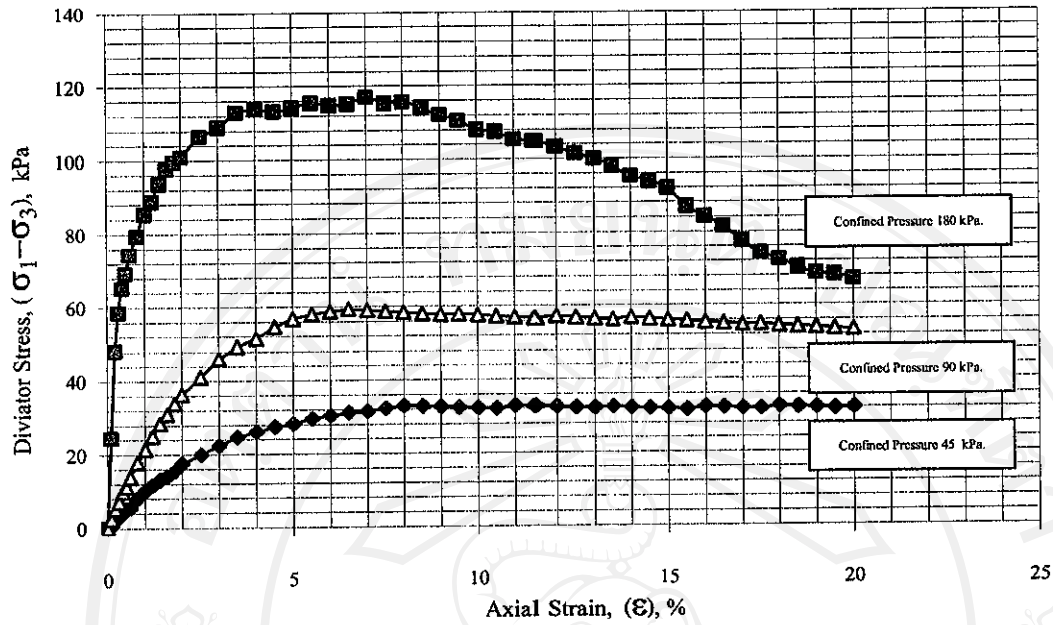
รูปที่ 4.10 แสดงค่า Excess Pore Pressure กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 0+800 ความลึก 13.5 เมตร)



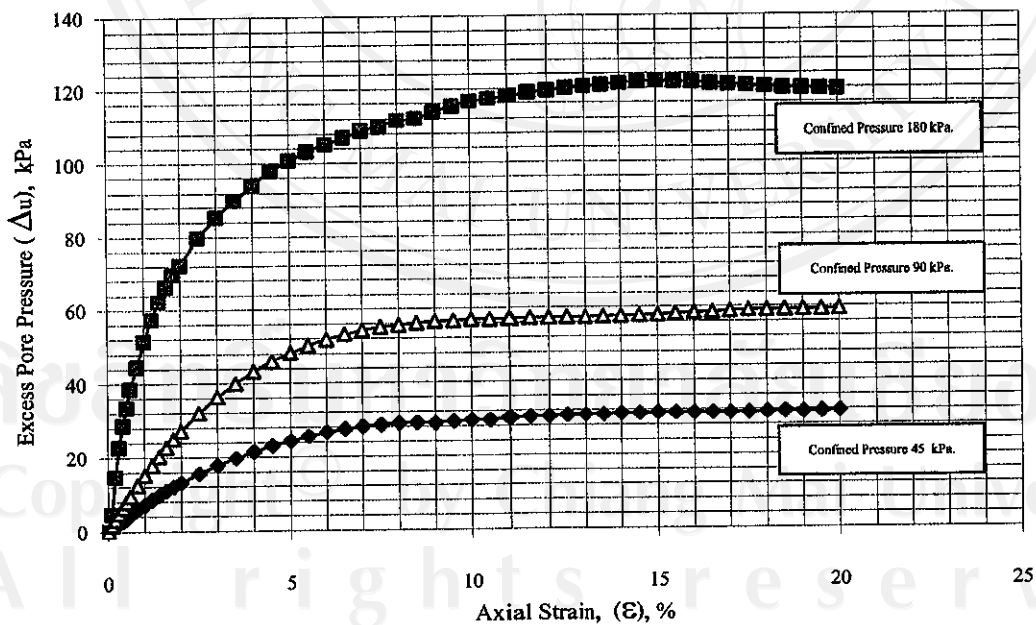
รูปที่ 4.11 แสดงค่า Deviator Stress กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+000 ความลึก 6.0 เมตร)



รูปที่ 4.12 แสดงค่า Excess Pore Pressure กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+000 ความลึก 6.0 เมตร)

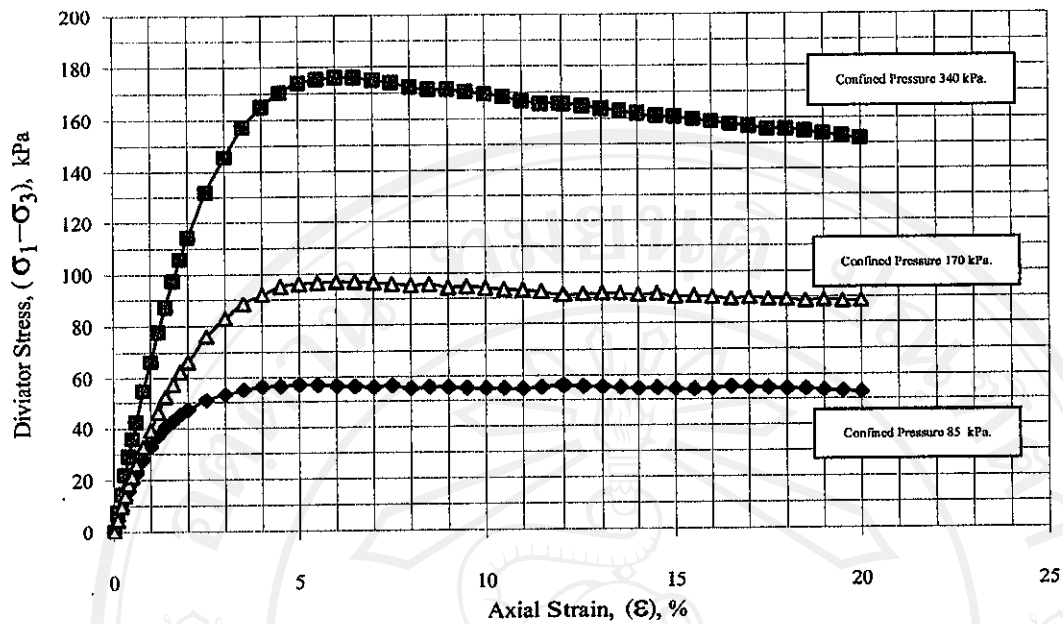


รูปที่ 4.13 แสดงค่า Deviator Stress กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+000 ความลึก 13.5 เมตร)

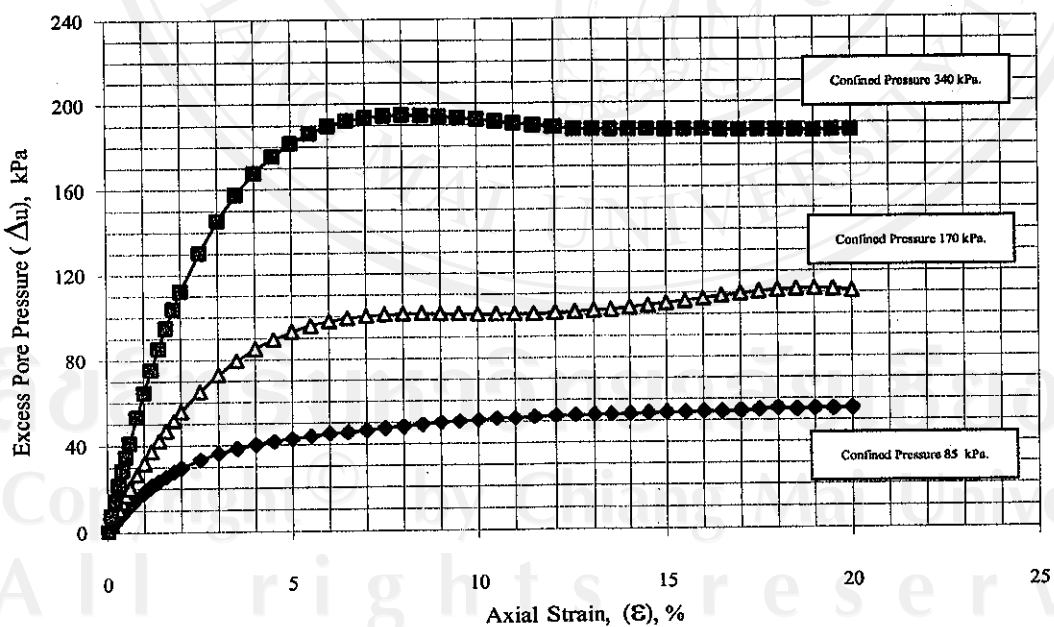


รูปที่ 4.14 แสดงค่า Excess Pore Pressure กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+000 ความลึก 13.5 เมตร)



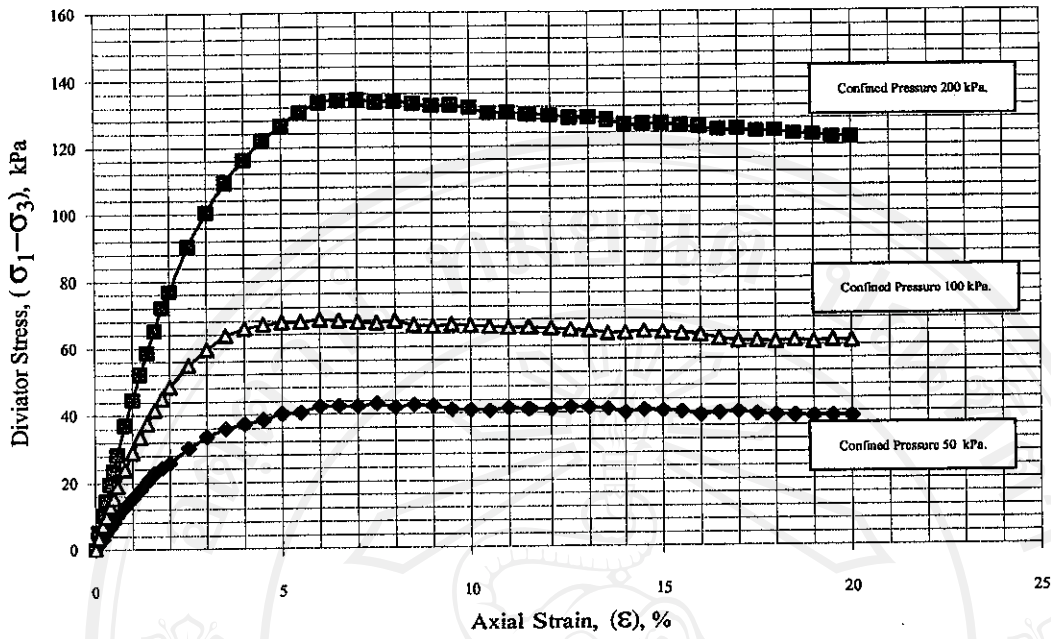


รูปที่ 4.15 แสดงค่า Deviator Stress กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+100 ความลึก 7.5 เมตร)

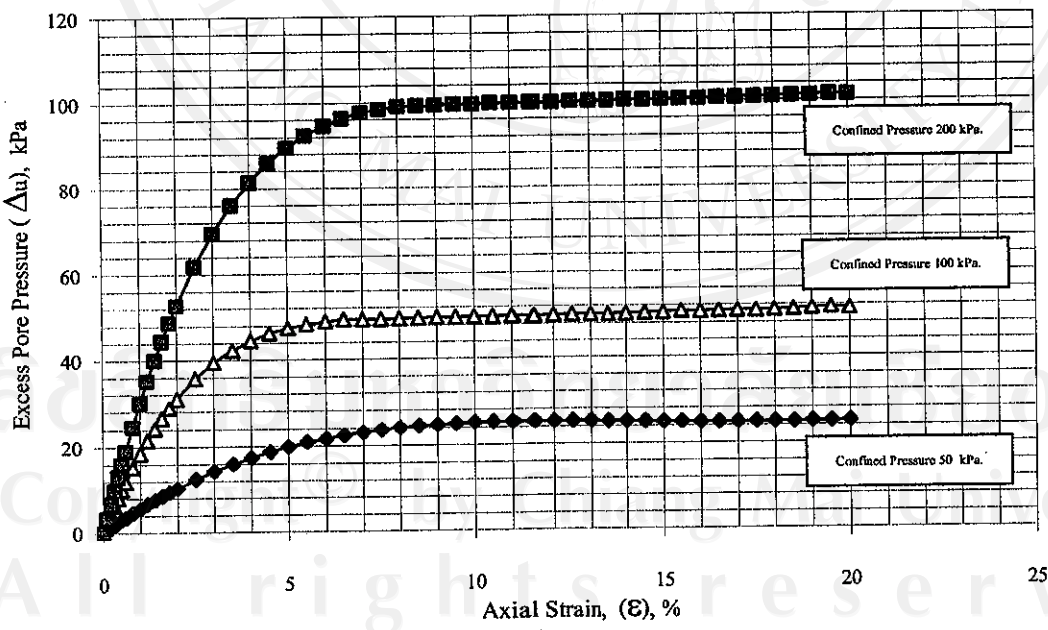


รูปที่ 4.16 แสดงค่า Excess Pore Pressure กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+100 ความลึก 7.5 เมตร)

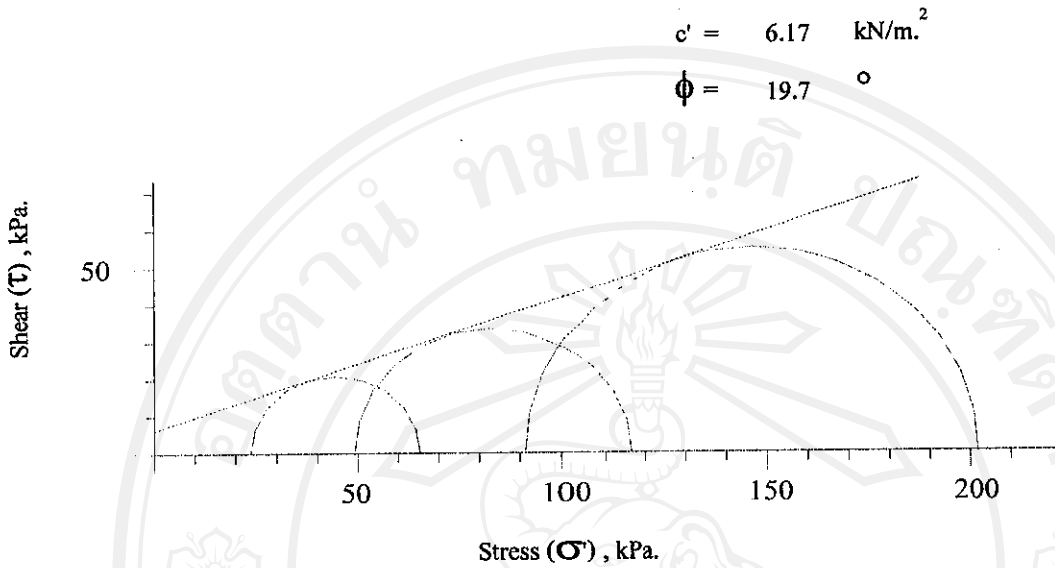




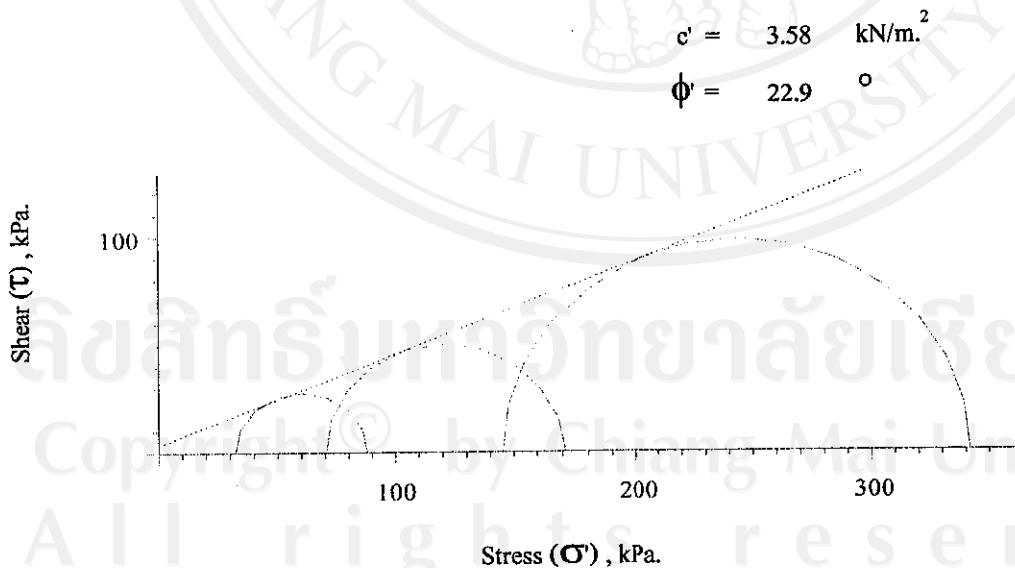
รูปที่ 4.17 แสดงค่า Deviator Stress กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+100 ความลึก 15.0 เมตร)



รูปที่ 4.18 แสดงค่า Excess Pore Pressure กับ Axial Strain จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+100 ความลึก 15.0 เมตร)



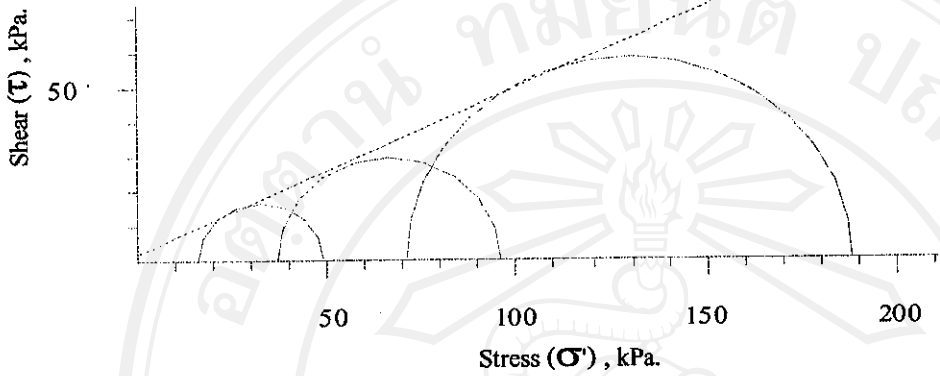
รูปที่ 4.19 แสดงรูป Mohr' Circle และ Strength Envelope จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 0+800 ความลึก 9.0 เมตร)



รูปที่ 4.20 แสดงรูป Mohr' Circle และ Strength Envelope จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 0+800 ความลึก 13.5 เมตร)

$$c' = 1.95 \text{ kN/m}^2$$

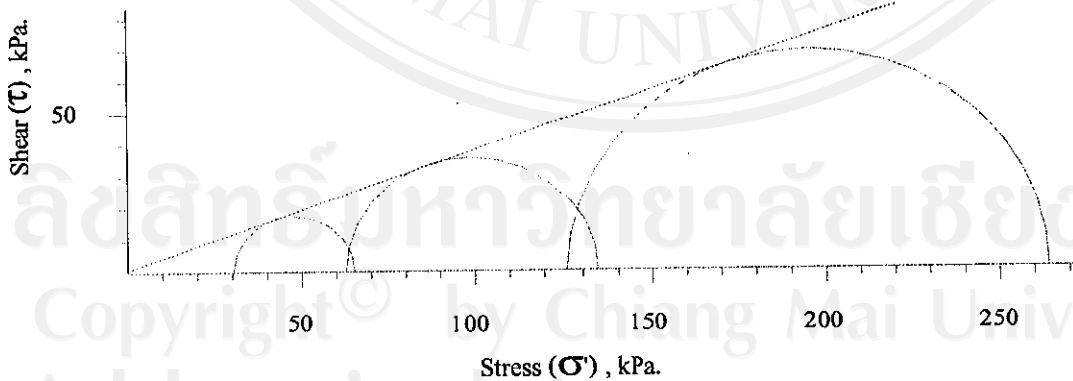
$$\phi = 25.6^\circ$$



รูปที่ 4.21 แสดงรูป Mohr' Circle และ Strength Envelope จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+000 ความลึก 6.0 เมตร)

$$c' = 0.66 \text{ kN/m}^2$$

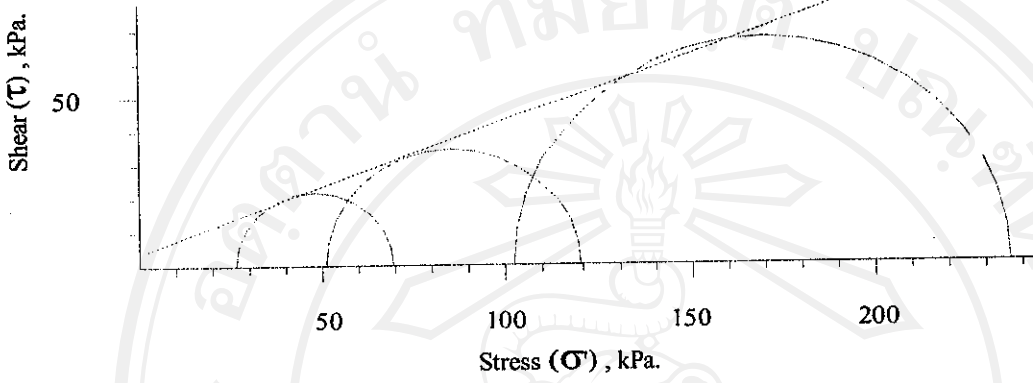
$$\phi = 20.5^\circ$$



รูปที่ 4.22 แสดงรูป Mohr' Circle และ Strength Envelope จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+000 ความลึก 13.5 เมตร)

$$c' = 3.84 \text{ kN/m}^2$$

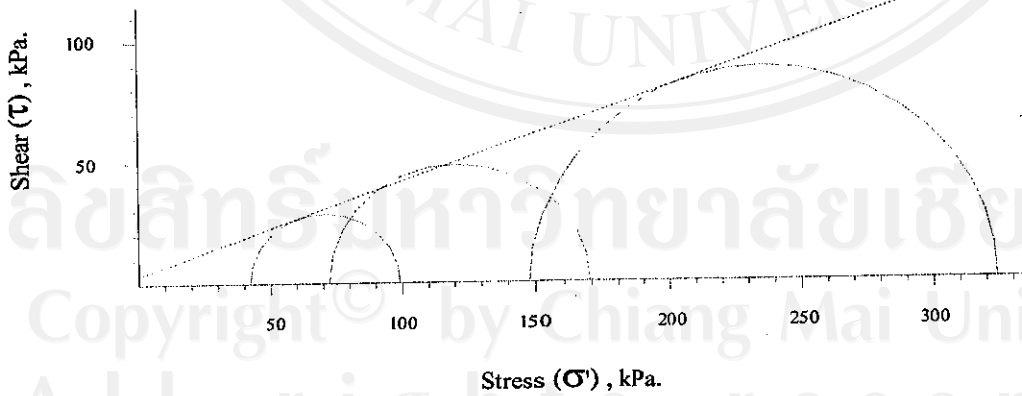
$$\phi = 21.3^\circ$$



รูปที่ 4.23 แสดงรูป Mohr' Circle และ Strength Envelope จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+100 ความลึก 7.5 เมตร)

$$c' = 3.39 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 21.1^\circ$$



รูปที่ 4.24 แสดงรูป Mohr' Circle และ Strength Envelope จากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test (ตัวอย่างดิน Sta. 1+100 ความลึก 15.0 เมตร)

### 4.3 ข้อมูลการทดสอบที่ได้จากโครงการก่อสร้าง

#### 4.3.1 ข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติดินถมคันทาง

การรวบรวมข้อมูลการทดสอบวัสดุดินถมคันทางจากโครงการก่อสร้าง ช่วง กม. 0+800 - 1+100 มีความหนารวม 2.5 เมตร พบว่าวัสดุคันทางมีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 2.058 – 2.400 ตัน/ลบ.ม. ความชื้นที่ OMC. ประมาณ 4.2 – 6.2 % ค่า CBR. อยู่ระหว่าง 27.3 – 104 % สามารถสรุปคุณสมบัติต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติของดินถมคันทางที่ได้จากการทดสอบในสนาม

ชั้นโครงสร้างคันทาง	ความหนา (เมตร)	$\gamma_{wet}$ (ตัน/ลบ.ม.)	OMC. (%)	CBR. (%)
ทรายถม	2.0	2.058-2.162	6.0	27.3-42.0
ดินลูกรัง	0.2	2.236-2.250	5.2-6.2	31.3-34.3
หินคลุก	0.2	2.340-2.362	4.2	104
แอสฟัลต์คอนกรีต	0.1	2.40	-	-

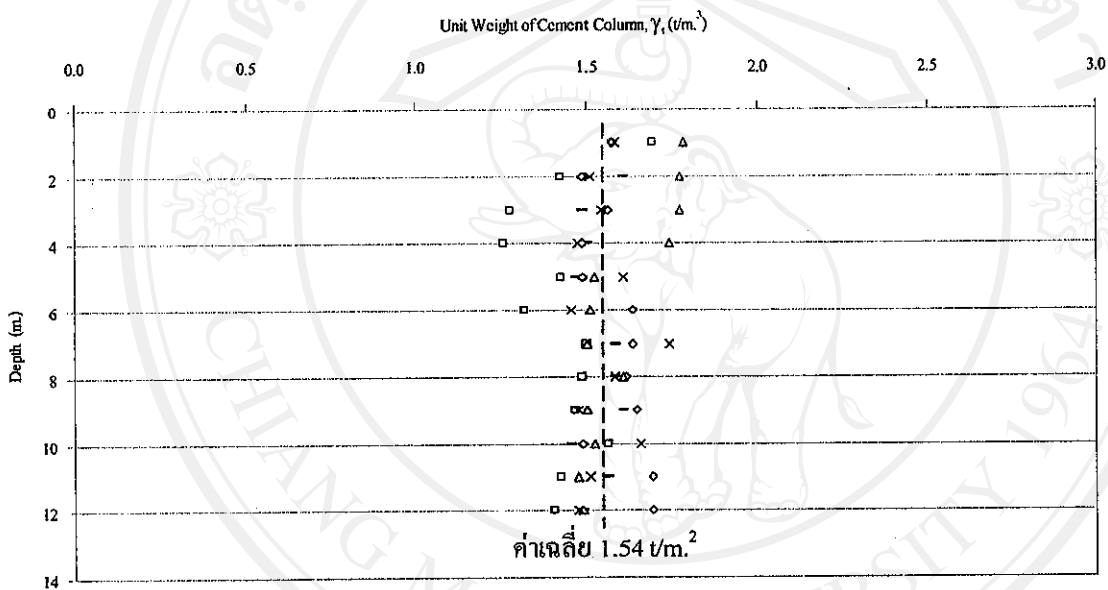
#### 4.3.2 ข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติของเสาดินซีเมนต์

การก่อสร้างเสาดินซีเมนต์บริเวณที่ทำการศึกษาระบบเปียก (Wet Mixing) ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เท่ากับ 160 กก./ลบ.ม. อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ไม่เกิน 0.8 : 1 อัตราการเจาะขึ้นและลงเท่ากับ 1 เมตร/นาที อัตราการหมุนของหัวเจาะเท่ากับ 50 รอบ/นาที ความคุมอัตราการฉีดน้ำปูนในการเจาะขาลง 95.26 ลิตร/นาที แรงดันไม่เกิน 5 บาร์ ซึ่งในการก่อสร้างจะทำการแท่งเสาความยาว 12 เมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 เมตร

ข้อมูลจากรายงานการทดสอบตัวอย่างดินซีเมนต์ ระหว่าง พ.ศ. 2544 - 2546 ในช่วง กม. 0+538.50 - 1+406.500 พบว่าค่าเฉลี่ยของหน่วยน้ำหนัก, ความชื้น, ค่า Undrained Compressive Strength และค่าโมดูลัสของเสาดินซีเมนต์ ( $E_{50}$ ) มีค่าเท่ากับ 15.4 กิโลปาสกาล, 68.94 %, 723.6 กิโลปาสกาล และ 47141.3 กิโลปาสกาล ตามลำดับ คุณสมบัติทั่วไปและคุณสมบัติด้านกำลังของเสาดินซีเมนต์ของโครงการฯที่ทำวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.7 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความลึกกับหน่วยน้ำหนัก, ความชื้น, ค่า Undrained Compressive Strength และค่าโมดูลัสของเสาดินซีเมนต์ ( $E_{50}$ ) แสดงดังรูปที่ 4.25 – 4.28 ตามลำดับ รายละเอียดของข้อมูลการทดสอบตัวอย่างดินซีเมนต์บริเวณที่ศึกษาแสดงในภาคผนวก ง.

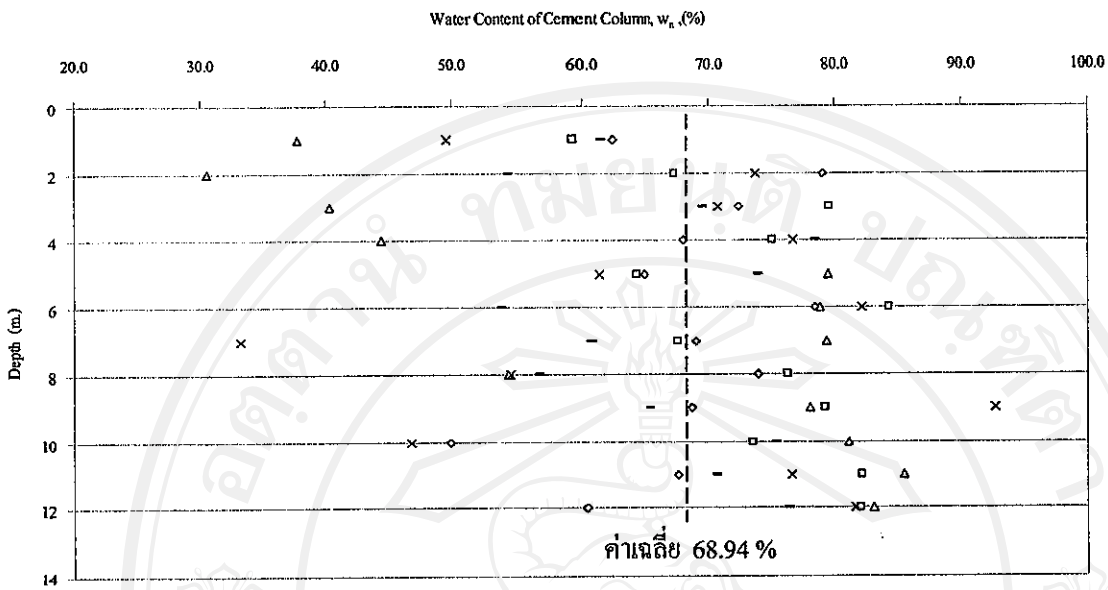
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของเสาเข็มซีเมนต์จากการทดสอบ Unconfined Compression  
Test ที่อายุ 28 วัน

Sta. – Sta.	ความลึก (m.)	$\gamma_t$ ( $t/m.^3$ )	$w_n$ (%)	$S_u$ ( $t/m.^2$ )	$E_{50}$ ( $t/m.^2$ )
0+000.00-2+742.120	0.0-12.0	1.54	63.95	36.99	5352.54
0+538.500-1+406.500	0.0-12.0	1.54	68.94	36.18	4724.99

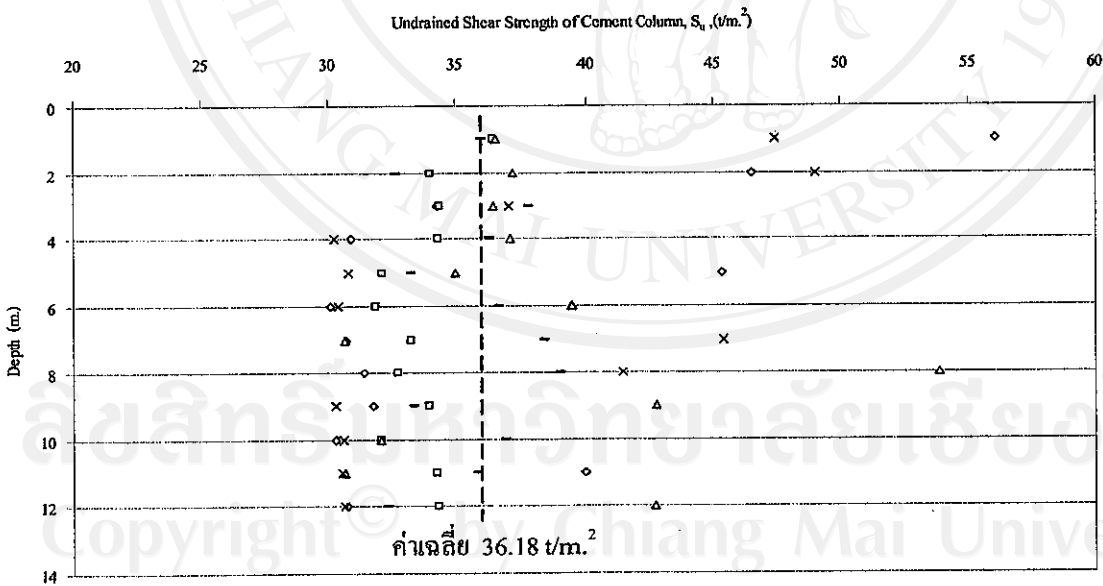


รูปที่ 4.25 แสดงรูปของ Unit Weight ของ Cement Column บริเวณ กม. 0+538.500 - 1+406.500

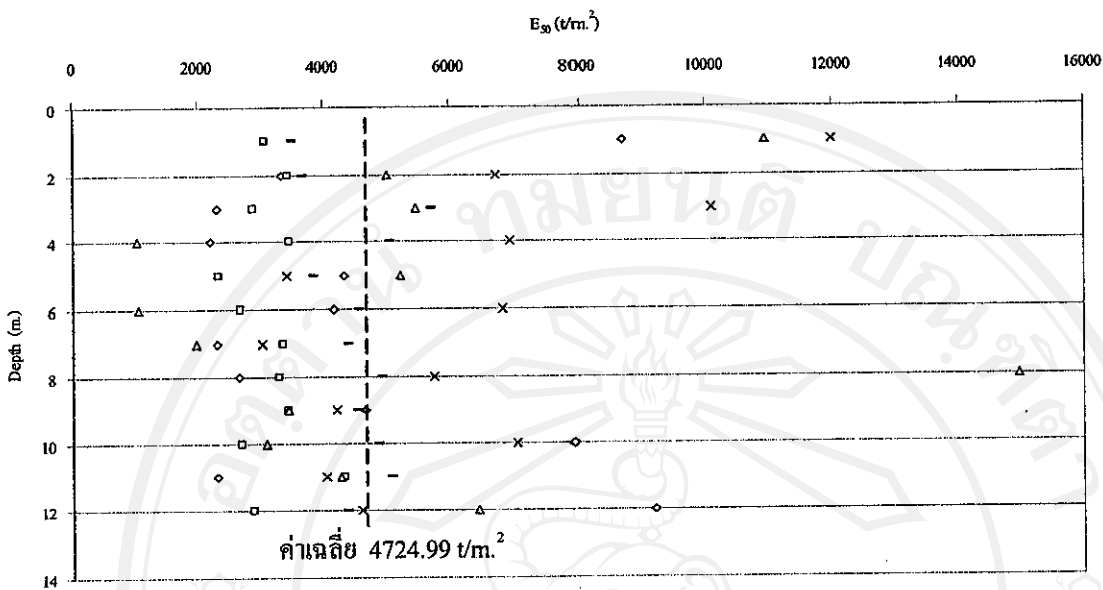




รูปที่ 4.26 แสดงค่า Water Content ของ Cement Column บริเวณ กม. 0+538.500 - 1+406.500



รูปที่ 4.27 แสดงค่า Undrained Shear Strength ของ Cement Column บริเวณที่ทำการศึกษา  
กม. 0+538.500 - 1+406.500



รูปที่ 4.28 แสดงรูปค่าของ  $E_{50}$  ของ Cement Column บริเวณที่ทำการศึกษา  
กม. 0+538.500 - 1+406.500

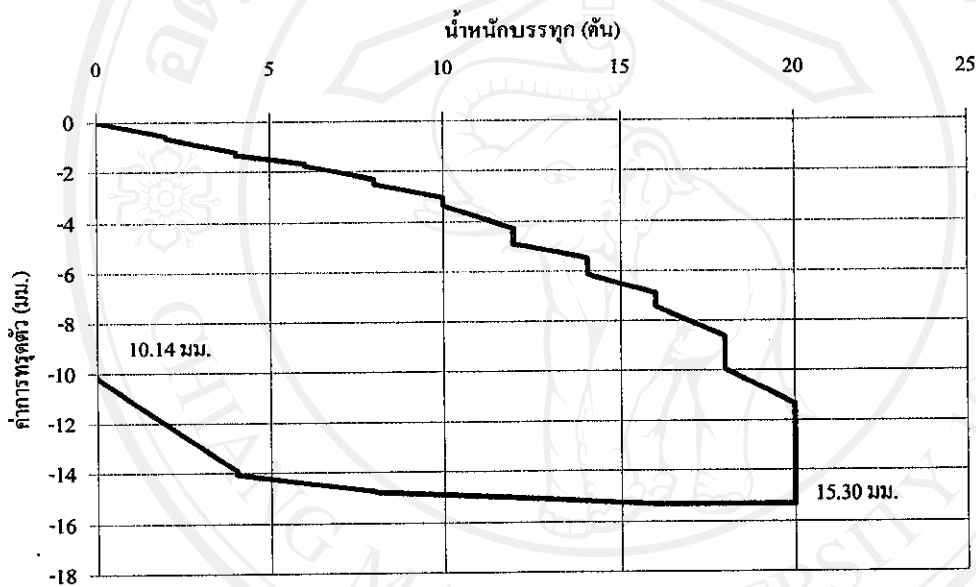
#### 4.3.3 ข้อมูลผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

กรณีที่ผลทดสอบค่า Undrained Shear Strength ของเสาเข็มซีเมนต์ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดทางโครงการจะทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile Load Test) เสาเข็มซีเมนต์อายุ 28 วัน โดยใช้น้ำหนักบรรทุกไม่น้อยกว่า 20 ตัน โดยการทดสอบที่หัวเสาเข็มซีเมนต์ไม่เกิน 10% ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มซีเมนต์ (6 ซม.)

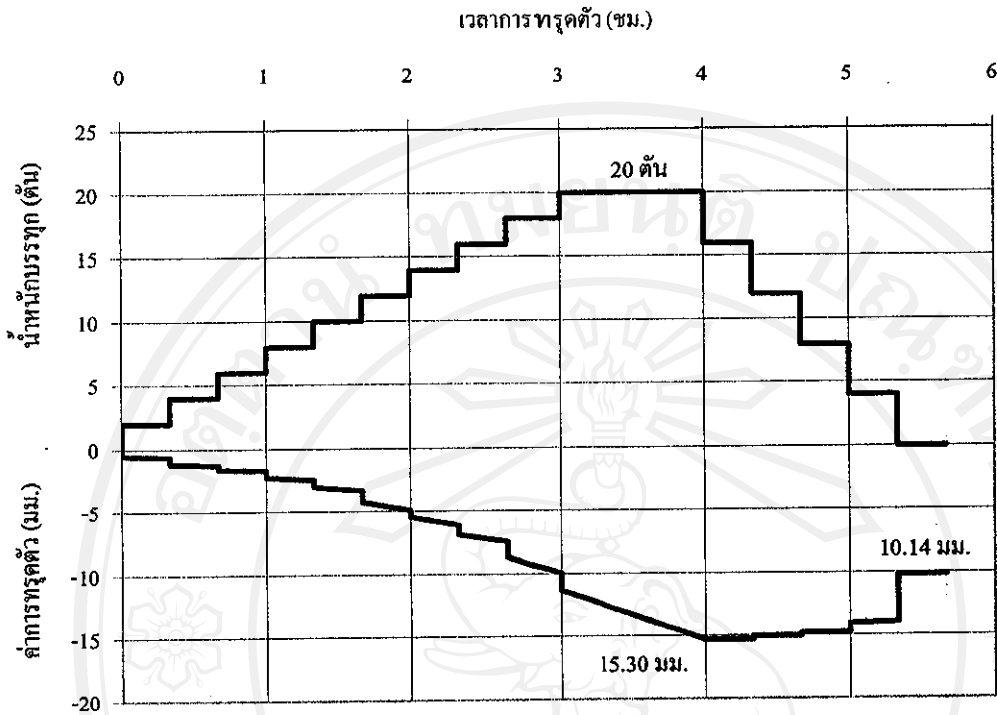
การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน Modified ASTM D 1143 - 81 หัวข้อที่ 5.6 "Quick Load Test Method" โดยใช้น้ำหนักทดสอบสูงสุด 20 ตัน โดยใช้แม่แรงไฮดรอลิกเป็นเครื่องมือเพิ่มน้ำหนักทดสอบคั่นกับโครงเหล็กที่ถูกยึดตรึงแน่นกับระบบแรงปฏิกิริยา

วิธีการเริ่มต้นทำการ Preload เพิ่มน้ำหนักกระทำไปที่ 2 ตัน ค้างไว้ 15 นาที แล้วนำน้ำหนักบรรทุกออกจนเท่ากับ 0 ตัน จากนั้นเพิ่มน้ำหนักบรรทุก 0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0, 16.0, 18.0 และ 20.0 ตัน ตามลำดับโดยในแต่ละครั้งที่เพิ่มน้ำหนักจะค้างไว้ 20 นาที ยกเว้นน้ำหนักบรรทุก 20 ตัน ค้างน้ำหนักไว้ 60 นาที จากนั้นทำการลดน้ำหนักบรรทุกเป็น 16.0, 12.0, 8.0, 4.0 และ 0 ตัน ตามลำดับโดยในแต่ละครั้งใช้เวลา 20 นาที ยกเว้นน้ำหนัก 0 ตัน ใช้เวลา 60 นาที โดยบันทึกการทรุดตัวที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 40 และ 60 นาที

การทดสอบ Pile Load Test เสาเข็มดินซีเมนต์บริเวณ กม. 0+546.767 ด้านซ้ายทาง ด้วย น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 20 ตัน ตามมาตรฐาน Modifield ASTM D 1143 – 81 หัวข้อที่ 5.6 “Quick Load Test Method” พบว่ามีการทรุดตัวเท่ากับ 15.3 มิลลิเมตร รูปความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการทรุดตัวกับน้ำหนักบรรทุก และรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัว, น้ำหนักบรรทุก กับ เวลา จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม แสดงดังรูปที่ 4.29 และ 4.30 รายละเอียดผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแสดงในภาคผนวก จ.



รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวกับน้ำหนักบรรทุก  
จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม



รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัว, น้ำหนักบรทุก กับเวลาจากการทดสอบการรับน้ำหนักบรทุกของเสาเข็ม

#### 4.4 ข้อมูลผลการตรวจวัดการทรุดตัว

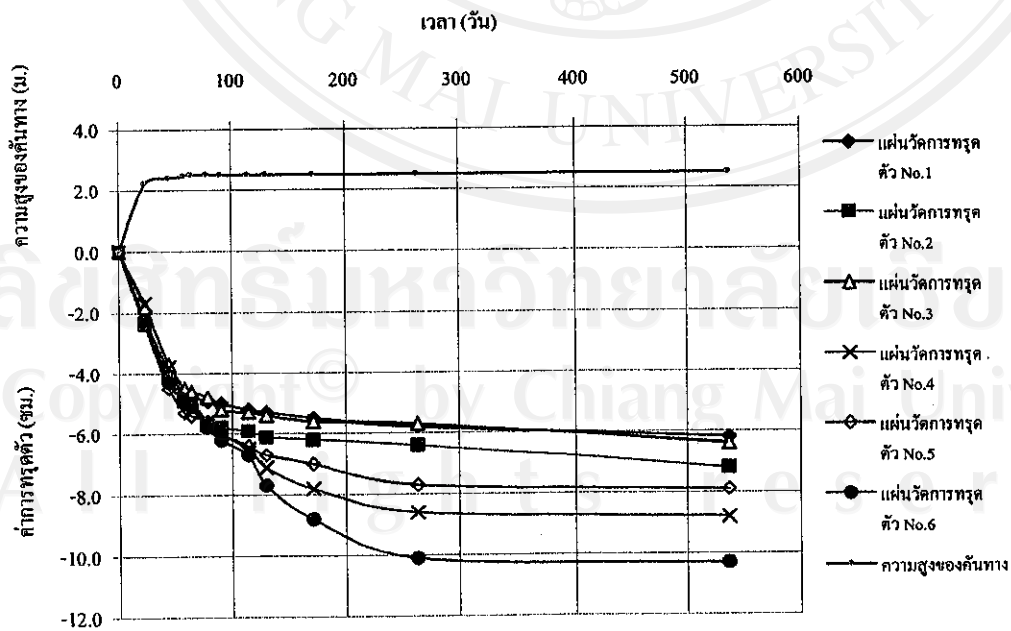
การเก็บข้อมูลการทรุดตัวในสนามเริ่มตั้งแต่วันที่ 30 ม.ค. 47 ถึง วันที่ 30 มิ.ย. 48 รวมเวลา 537 วัน วันที่และขั้นตอนการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางแสดงดังตารางที่ 4.8 ผลการตรวจวัดการทรุดตัวในสนามแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงวันที่และขั้นตอนการก่อสร้าง โครงสร้างชั้นทาง

ว./ค./ป.	ขั้นตอนการก่อสร้าง
30/01/47	เริ่มก่อสร้างโครงสร้างชั้นทรายถม
23/02/47	ก่อสร้างโครงสร้างชั้นดินลูกรังเสร็จ
16/03/47	ก่อสร้างโครงสร้างชั้นหินคลุกเสร็จ
30/03/47	ก่อสร้างโครงสร้างชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นที่ 1 เสร็จ
05/04/47	ก่อสร้างโครงสร้างชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นที่ 2 เสร็จและเปิดการจราจร

ตารางที่ 4.9 แสดงวันที่และผลการทรุดตัวของเสาเข็มซีเมนต์ในสนาม

ว./ค./ป.	จำนวนวัน	ค่าการทรุดตัวของแผ่นวัดการทรุดตัว (ซม.)					
		กม. 0+800		กม. 1+000		กม. 1+100	
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
30/01/47	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/02/47	23	2.2	2.4	1.8	1.7	2.4	2.2
16/03/47	44	3.9	4.1	3.7	3.8	4.5	4.3
30/03/47	58	4.7	4.9	4.5	4.7	5.3	4.9
05/04/47	64	4.8	5.0	4.6	4.9	5.4	5.1
19/04/47	78	4.9	5.7	4.8	5.6	5.6	5.8
01/05/47	90	5.0	5.8	5.2	6.0	6.0	6.2
25/05/47	114	5.2	5.9	5.3	6.5	6.4	6.7
10/06/47	130	5.3	6.1	5.4	7.1	6.7	7.7
21/07/47	171	5.5	6.2	5.6	7.8	7.0	8.8
21/10/47	263	5.8	6.4	5.7	8.6	7.7	10.1
30/06/48	537	6.2	7.2	6.4	8.8	7.9	10.3



รูปที่ 4.31 แสดงค่าการทรุดตัวที่เวลาต่างๆจากการตรวจวัดในสนาม

จากการเก็บข้อมูลการทรุดตัววันที่ 537 พบว่าค่าการทรุดตัวมีความแตกต่างจากวันที่ 286 (ระยะเวลาแตกต่างเท่ากับ 251 วัน) อยู่ระหว่าง 2 – 8 มม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 4 มม. ซึ่งมีค่าการทรุดตัวน้อยมาก จากรูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวกับเวลาพบว่าค่าการทรุดตัวมีแนวโน้มจะลึกลง

การทรุดตัวช่วง 64 วันแรก (ระหว่างการก่อสร้าง) พบว่าการทรุดตัวเสาเข็มดินซีเมนต์มีค่าอยู่ระหว่าง 4.6 – 5.4 ซม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.0 ซม. หลังจากการก่อสร้างคันทางเสร็จ 473 วัน พบว่ามีค่าการทรุดตัวอยู่ระหว่าง 1.4 – 5.2 ซม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.8 ซม. จากการเก็บข้อมูลการทรุดตัวในสนามช่วง 537 วัน พบว่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้างมีค่าการทรุดตัวมากกว่าหลังจากการก่อสร้างเสร็จ 2.2 ซม. ซึ่งค่าการทรุดตัวในวันที่ 537 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.8 ซม. เมื่อคิดเป็นการทรุดตัวระหว่างการก่อสร้างเท่ากับ 64.1 % และเป็นการทรุดตัวหลังการก่อสร้างเท่ากับ 35.9 % ค่าการทรุดตัวในช่วงเวลาต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าการทรุดตัวของแผ่นวัดการทรุดตัวจากการตรวจวัดในสนาม

แผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข	ค่าการทรุดตัวช่วงเวลา (ซม.)		
	ระหว่างการก่อสร้าง	หลังการก่อสร้าง 473 วัน	รวมทั้งหมด 537 วัน
No.1	4.8	1.4	6.2
No.2	5.0	2.2	7.2
No.3	4.6	1.8	6.4
No.4	4.9	3.9	8.8
No.5	5.4	2.5	7.9
No.6	5.1	5.2	10.3
ค่าเฉลี่ย	5.0	2.8	7.8

การทรุดตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์จากการเก็บข้อมูลในสนามพบว่าการทรุดตัวของแผ่นวัดการทรุดตัวบริเวณใกล้ทางเท้ามีค่ามากกว่าบริเวณไกลทางเท้า มีค่าอยู่ระหว่าง 1.0 – 2.4 ซม. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.9 ซม. เมื่อพิจารณาจากแบบก่อสร้างพบว่าการก่อสร้างบริเวณใต้ทางเท้าไม่มีการปรับปรุงดินฐานรากด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์ ดังนั้นการทรุดตัวที่มีค่ามากขึ้น อาจเกิดจากน้ำหนักโครงสร้างของทางเท้ามีผลทำให้มีน้ำหนักกดทับต่อเสาเข็มดินซีเมนต์ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง