



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง Post-Surcharge Secondary Settlement ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ : กรณีศึกษา
โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 7
Post-Surcharge Secondary Settlement of Soft Bangkok Clay: A Case Study of
Bangkok-Chonburi Highway Construction

นามผู้วิจัย นายอรุณ ปราบมาก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์บารเมศ วรธนะภูติ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงกูร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์จุฑา สุนิตย์สกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

Post-Surcharge Secondary Settlement ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ : กรณีศึกษาโครงการก่อสร้าง
ทางหลวงหมายเลข 7

Post-Surcharge Secondary Settlement of Soft Bangkok Clay: A Case Study of
Bangkok-Chonburi Highway Construction

โดย

นายอรุณ ปราบมาก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2552

อรุณ ปรามมาก 2552: Post-Surcharge Secondary Settlement ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ :
กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 7 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรม
โยธา) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์
บารเมศ วรธนะภูติ, Ph.D. 229 หน้า

การก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 7 [กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)] โดยใช้ Prefabricated Vertical Drain (PVD) ร่วมกับ Surcharge นั้นเป็นการเร่งการทรุดตัวของ Primary Settlement (S_p) ให้หมดไปในระหว่างก่อสร้าง แต่ประสิทธิภาพของการใช้เทคนิค Surcharge ร่วมกับ PVD สำหรับดินเหนียวอ่อนในประเทศไทยยังไม่เป็นที่ชัดเจน ซึ่งถ้าหากว่า σ'_{vf} มีค่าใกล้กับ σ'_{vs} อาจทำให้ดินมีการทรุดตัวเนื่องจาก Secondary Settlement (S_s) สูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาพฤติกรรมทรุดตัวของดินและค่าพารามิเตอร์ในการทำ Surcharge ที่เหมาะสมการศึกษาการใช้เทคนิค Surcharge ร่วมกับ PVD ได้มีการทดสอบในสนาม ประกอบด้วย การทดสอบ SPT, Field Vane Shear, ติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำใต้ดินกิโลเมตรที่ 6+650 และวัดค่าระดับของผิวถนนเพื่อหาค่าการทรุดตัวกิโลเมตรที่ 16+516 - 17+100 ส่วนการทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย การทดสอบ Engineering Index และ Oedometer Surcharging เพื่อหาค่า Effective Surcharge Ratio (R'_s) ที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบที่ $R'_s = 0, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 มีค่า $\sigma'_{vs} = 95-306$ kPa และ $\sigma'_{vf} = 85-255$ kPa ตามลำดับ

ผลการศึกษาวิจัยพบว่าค่า $C_c = 0.4 - 2$, $C_\alpha/C_c = 0.036$, $c_v = 0.3 - 2$ m²/year, $c_{vs} = 2 - 30$ m²/year, ค่าการทรุดตัวที่วัดได้ในสนามในระยะเวลา 12 ปี เท่ากับ 0.65-0.80 m และผลการตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดินในระยะเวลา 1 ปี นั้นไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นดินเหนียวอ่อน ผลวิเคราะห์การทรุดตัวภายหลังเปิดให้บริการเป็นระยะเวลา 25 ปี กรณีที่ 1 ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge และ PVD มีปริมาณการทรุดตัวสูงสุด ($c_{v(field)} = 10c_{v(lab)}$) เท่ากับ 1.20 m เกิดจาก $S_p = 94\%$ (1.13 m) และ $S_s = 6\%$ (0.07 m), ปริมาณการทรุดตัวน้อยสุด ($c_{v(field)} = 26c_{v(lab)}$) เท่ากับ 0.74 m เกิดจาก $S_p = 78.4\%$ (0.58 m) และ $S_s = 21.6\%$ (0.16 m) ปริมาณการทรุดตัวส่วนใหญ่เกิดจาก S_p ในชั้นดิน Very Soft Clay และ Soft Clay, กรณีที่ 2 มีการใช้ PVD แต่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge ($R'_s = 0$) ปริมาณการทรุดตัวสูงสุด ($c_{v(field)} = c_{v(lab)}$) เกิดจาก $S_p = 75\%$ (0.45 m) และ $S_s = 25\%$ (0.15 m) ปริมาณการทรุดตัวส่วนใหญ่เกิดจาก S_p ของชั้นดินที่อยู่ใต้ PVD สำหรับปริมาณการทรุดตัวน้อยสุด ($c_{v(field)} = 26c_{v(lab)}$) เกิดจาก $S_p = 26.4\%$ (0.10 m) และ $S_s = 73.6\%$ (0.28 m) โดยที่ปริมาณการทรุดตัวส่วนใหญ่เกิดจาก S_s ในทุกชั้นดิน และกรณีที่ 3 มีการใช้ PVD ร่วมกับเทคนิค Surcharge ($R'_s = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0) มีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 0.15 - 0.26 m ($c_{v(field)} = c_{v(lab)}$) เกิดจาก S_p ในชั้นดินที่ลึกกว่า PVD แต่กรณีที่ $c_{v(field)} = 10, 18$ และ $26c_{v(lab)}$ ดินแทบไม่มีการทรุดตัวทุก R'_s

Arun Prabmak 2009: Post-Surcharge Secondary Settlement of Soft Bangkok Clay : A Case Study of Bangkok-Chonburi Highway Construction. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Mr. Barames Vardhanabhuti, Ph.D. 229 pages.

The construction of Highway 7 (Bangkok–Chonburi) by using Prefabricated Vertical Drain (PVD) together with surcharge has accelerated the rate of primary settlement (S_p) during construction. But the efficiency of surcharge technique with PVD with soft clay in Thailand is still unclear. If σ'_{vf} has value that is closed to σ'_{vs} , may result in the continuous settlement of clay because of high secondary settlement (S_s), therefore, further study on the long term settlement behavior and the parameter values are needed for suitable surcharge. The study of using surcharge technique with PVD has been studied in the field by SPT and field vane shear test. Piezometers were installed at kilometer 6+650 and elevated road surfaces were measured to determine the settlement value at kilometers 16+516 to 17+100. As for laboratory test, engineering index test and oedometer surcharging test were used to find the suitable effective surcharge ratio (R'_s) by performing at $R'_s = 0, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ and 1.0 with value of $\sigma'_{vs} = 95 - 306$ kPa and $\sigma'_{vf} = 85 - 255$ kPa.

The result of the research has unveiled that, for soft Bangkok clay, the value $C_c = 0.4 - 2$, $C_{\alpha}/C_c = 0.036$, $c_v = 0.3-2$ m²/year, $c_{vs} = 2 - 30$ m²/year. Settlement observation after 12 years construction resulted at 0.65-0.80 m. Data from piezometers within 1 year found no change in pore water pressure in the soft clay layer. The settlement analysis after the highway has been opened for 25 years; in the first case where surcharge technique and PVD have not been used, has the highest settlement magnitude ($c_{v(field)} = 10c_{v(lab)}$) equals 1.20 m, resulted from $S_p = 94$ % (1.13 m) and $S_s = 6$ % (0.07 m), where as the lowest settlement magnitude ($c_{v(field)} = 26c_{v(lab)}$) is equals to 0.74 m, resulting from $S_p = 78.4$ % (0.58 m) and $S_s = 21.6$ % (0.16 m). The majority of the settlement resulted from S_p of the very soft clay and soft clay layer. In the second case, where PVD was used but without the surcharge technique ($R'_s = 0$), the highest settlement magnitude ($c_{v(field)} = c_{v(lab)}$) resulted from $S_p = 75$ % (0.45 m) and $S_s = 25$ % (0.15 m); the majority of settlement occurred from S_p of the clay layer underneath the PVD. The lowest settlement magnitude ($c_{v(field)} = 26c_{v(lab)}$) resulted from $S_p = 26.4$ % (0.10 m) and $S_s = 73.6$ % (0.28 m); the majority of settlement caused by S_s in every clay layers. In the third case, where PVD has been used with surcharge technique ($R'_s = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ and 1.0), the highest settlement magnitude ranges from 0.15 to 0.26 m ($c_{v(field)} = c_{v(lab)}$) resulting from S_p of the clay layer underneath the PVD, but in the case where at $c_{v(field)} = 10, 18$ and $26c_{v(lab)}$, there is hardly no settlement of clay in every R'_s

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ บารเมศ วรรณระภูติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในหลายๆเรื่องมาโดยตลอด รวมทั้งท่าน รศ.ดร. ก่อโชค จันทวารางกูร, ดร. จุฬา สุนิตย์สกุล, ดร. อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช และดร. ธนภณ พันธเสน ที่ได้ให้คำแนะนำ ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง, สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยและช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนอาจารย์กษิณี โชติสังกาศ ที่ได้ช่วยเหลือทั้งเรื่องของอุปกรณ์การทดสอบและการตรวจวัด รวมทั้งอาจารย์และพี่ๆ ในศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา เป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้กำลังใจและทุนสนับสนุนในการศึกษามาโดยตลอด รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคน ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอบมอบให้กับ บิดา มารดา อาจารย์ทุกท่าน และทุกท่านที่เกี่ยวข้องจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี

อรุณ ปราบมาก

ตุลาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการศึกษา	40
ผลและวิจารณ์	60
สรุปและข้อเสนอแนะ	125
สรุป	125
ข้อเสนอแนะ	128
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	129
ภาคผนวก	134
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	229

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่า C_α ของดินเหนียว	10
2	แสดงค่า C_α/C_C สำหรับดินประเภทต่างๆ	10
3	แสดงค่า T_v ที่แต่ละเปอร์เซ็นต์การยุบอัดตัวคายน้ำ	14
4	ค่า C_c และ c_v ของดินเหนียว	20
5	ค่าการทรุดตัวและการเคลื่อนตัวด้านข้างของทางหลวงหมายเลข 7	35
6	จำนวนตัวอย่างดินอ่อนที่เก็บได้จากหลุมเจาะสำรวจ	43
7	การทดสอบโปรแกรมที่ 1	59
8	การทดสอบ โปรแกรมที่ 2	59
9	ผลการตรวจวัดค่าการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7	66
10	ผลการคำนวณการทรุดตัวกรณีที่ 1 ไม่มีการใช้ PVD และเทคนิค Surcharge	90
11	แสดงค่า U (%) ในการวิเคราะห์กรณีที่ 1 ใช้ค่า c_v เท่ากับ c_{vlab}	90
12	แสดงค่า U (%) ในการวิเคราะห์กรณีที่ 1 ใช้ค่า c_v เท่ากับ $10c_{vlab}$	91
13	แสดงค่า U (%) ในการวิเคราะห์กรณีที่ 1 ใช้ค่า c_v เท่ากับ $18c_{vlab}$	91
14	แสดงค่า U (%) ในการวิเคราะห์กรณีที่ 1 ใช้ค่า c_v เท่ากับ $26c_{vlab}$	92
15	การทรุดตัวแบบ Secondary Settlement ในกรณีที่ 1 ใช้ $c_{v(field)}$ เท่ากับ $c_{v(lab)}$	93
16	การทรุดตัวแบบ Secondary Settlement ในกรณีที่ 1 ใช้ $c_{v(field)}$ เท่ากับ $10c_{v(lab)}$	93
17	การทรุดตัวแบบ Secondary Settlement ในกรณีที่ 1 ใช้ $c_{v(field)}$ เท่ากับ $18c_{v(lab)}$	94
18	การทรุดตัวแบบ Secondary Settlement ในกรณีที่ 1 ใช้ $c_{v(field)}$ เท่ากับ $26c_{v(lab)}$	94
19	แสดง U (%) สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD ในการวิเคราะห์กรณีที่ 2 และ 3 ใช้ค่า $c_{v(field)}$ เท่ากับ c_{vlab}	101
20	แสดง U (%) สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD ในการวิเคราะห์กรณีที่ 2 และ 3 ใช้ค่า $c_{v(field)}$ เท่ากับ $10c_{vlab}$	101
21	แสดง U (%) สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD ในการวิเคราะห์กรณีที่ 2 และ 3 ใช้ค่า $c_{v(field)}$ เท่ากับ $18c_{vlab}$	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
22	แสดง U (%) สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD ในการวิเคราะห์กรณีที่ 2 และ 3 ใช้ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$	102
23	ผลการคำนวณการทรุดตัวของถนนกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$	103
24	ผลการคำนวณการทรุดตัวของถนนกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$	103
25	ผลการคำนวณการทรุดตัวของถนนกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$	104
26	ผลการคำนวณการทรุดตัวของถนนกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$	104
27	ผลการคำนวณ t_e ที่ $R'_s = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0	110
28	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.2$	111
29	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.2$	111
30	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.2$	112
31	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.2$	112
32	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.3$	113
33	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.3$	113
34	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.3$	114
35	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.3$	114
36	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.4$	115
37	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.4$	115
38	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.4$	116
39	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.4$	116
40	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.6$	117
41	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.6$	117
42	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.6$	118
43	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.6$	118
44	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.8$	119
45	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.8$	119
46	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.8$	120

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
47	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.8$	120
48	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 1.0$	121
49	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 1.0$	121
50	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 1.0$	122
51	ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 1.0$	122

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีการยุบอัดตัว	7
2	ความสัมพันธ์ระหว่าง Compression Index และ Plasticity Index	8
3	การหาค่า Secondary Settlement จากผลการทดสอบ 1-D Consolidation	11
4	ความสัมพันธ์ระหว่าง C_α และ C_c ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	12
5	ความสัมพันธ์ระหว่าง c_v และ w_L	13
6	รูปแบบการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินเริ่มต้นในมวลดิน	15
7	การหาค่า Coefficient of Consolidation โดยวิธี Asaoka	16
8	ชั้นดินอ่อนมากกว่า 1 ชั้นอยู่ระหว่างชั้นดินที่สามารถระบายน้ำได้ดี	19
9	ความหนาของชั้นดินใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า c_v	19
10	ค่า c_{vs} ของดินเหนียวและ Shale	21
11	แสดงสัญลักษณ์และนิยามของหน่วยแรงและปริมาณการทรุดตัวในการศึกษา Surchage	23
12	พฤติกรรมทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนภายหลังจากการทำ Surchage	24
13	การทรุดตัวภายหลังจากการทำ Surchage ที่ t_{50}	26
14	เปรียบเทียบการทรุดตัวภายหลังจากการทำ Surchage ของเปอร์เซ็นต์การระบายน้ำที่ 50, 75 และ 100 %	27
15	แผนที่แสดงเส้นทางหลวงหมายเลข 7 [กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)]	28
16	ลักษณะชั้นดินของทางหลวงหมายเลข 7	30
17	ลักษณะคุณสมบัติของดิน Section 1-A/2 กิโลเมตรที่ 5+100 ถึง 10+100	31
18	ลักษณะคุณสมบัติของดิน Section 1-C/2 กิโลเมตรที่ 15+700 ถึง 19+600	32
19	ข้อมูลการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7 กิโลเมตรที่ 24 + 000	36
20	อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล	38
21	ผลการตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดินในกรุงเทพฯ	39
22	แผนผังการดำเนินงาน	41
23	แสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดินกิโลเมตรที่ 6+650 ถึง 46+175	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

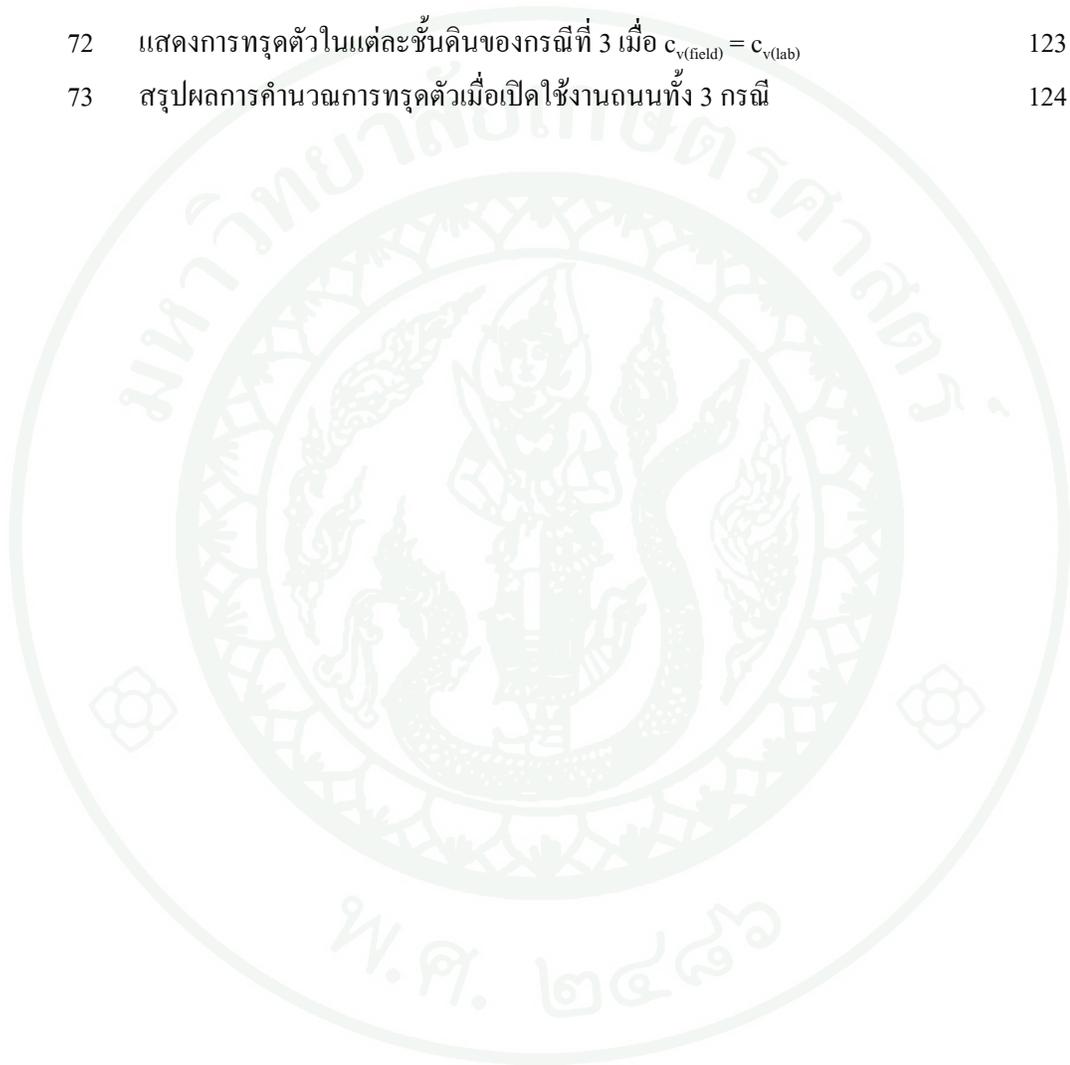
ภาพที่		หน้า
24	แสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดินซึ่งอยู่ติดกับคันทาง	45
25	แสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดินซึ่งอยู่ห่างจากคันทาง	46
26	การทดสอบ Standard Penetration Test ของหลุมเจาะสำรวจ BH1 ถึง BH6	47
27	การทดสอบ In-Situ Field Vane Shear ของหลุมเจาะสำรวจ BH1 ถึง BH6	48
28	แสดงอุปกรณ์ของ Electric Piezometer (KU-Type)	50
29	แสดงอุปกรณ์ของ Standpipe Piezometer	50
30	ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำใต้ดินกิโลเมตรที่ 6+650	51
31	การติดตั้งอุปกรณ์ Electronic Piezometer (KU-Type) และ Standpipe Piezometer	52
32	Profile ของสะพานข้ามคลองลำปลาทิว	54
33	ค่าความหนาของ Asphaltic Concrete ที่ลาดเพิ่มเติมหลังจากเปิดใช้งาน	55
34	แสดงหน้าตัดของถนนก่อนมีการขยายช่องจราจร	55
35	แสดงการตรวจวัดค่าระดับกิโลเมตรที่ 16+516 ด้าน ขาออกของทางหลวงหมายเลข 7	56
36	ลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจที่ BH1 ถึง BH6 บริเวณทางหลวงหมายเลข 7	61
37	ผลการทดสอบ SPT และ $S_{U(FV)}$ ของหลุมเจาะสำรวจ BH1 ถึง BH6	63
38	ผลการตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดินเปรียบเทียบกับแรงดัน Hydrostatic	64
39	ผลการตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดินในระยะเวลา 1 ปี	65
40	แสดงผลการตรวจวัดค่าการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7	67
41	ผลการทดสอบ Engineering Index สำหรับหลุมเจาะสำรวจ BH2	70
42	ผลการทดสอบ Engineering Index สำหรับหลุมเจาะสำรวจ BH4	71
43	ผลการทดสอบ Sieve and Hydrometer ของหลุมเจาะสำรวจ BH2	72
44	ผลการทดสอบ Sieve and Hydrometer ของหลุมเจาะสำรวจ BH4	72
45	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_c กับ w_n	73
46	ความสัมพันธ์ระหว่าง C_α กับ C_c ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	74
47	เปรียบเทียบค่า c_v กับ w_l ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯกับดินเหนียวต่างประเทศ	76
48	เปรียบเทียบค่า c_{vs} กับ OCR ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯกับดินต่างประเทศ	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
49	ผลการทดสอบดินตัวอย่างที่ 1	78
50	ผลการทดสอบดินตัวอย่างที่ 2	79
51	พฤติกรรมทรุดตัวของดินกรณีที่ $R'_s = 0$	80
52	ความสัมพันธ์ระหว่าง t_ℓ / t_{pr} กับ R'_s ของดินเหนียวอ่อนประเทศไทยกับต่างประเทศ	81
53	ความสัมพันธ์ระหว่าง C''_α / C_α กับ t/t_ℓ ของดินเหนียวอ่อนประเทศไทย	82
54	พฤติกรรมทรุดตัวของดินกรณีที่ $R'_s = 0.2$	83
55	พฤติกรรมทรุดตัวของดินกรณีที่ $R'_s = 0.3$	83
56	พฤติกรรมทรุดตัวของดินกรณีที่ $R'_s = 0.4$	84
57	พฤติกรรมทรุดตัวของดินกรณีที่ $R'_s = 0.6$	84
58	พฤติกรรมทรุดตัวของดินกรณีที่ $R'_s = 0.8$	865
59	พฤติกรรมทรุดตัวของดินกรณีที่ $R'_s = 1.0$	85
60	แสดงลักษณะชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัว	87
61	แสดงการกระจายของ Stress ในชั้นดิน	88
62	แสดงความหนาของชั้นดินภายหลังปรับเปลี่ยน c_v สำหรับวิเคราะห์กรณีที่ 1	95
63	แสดงการทรุดตัวภายหลังการเปิดใช้งานกรณีที่ 1	96
64	แสดงการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรณีที่ 1 เมื่อ $c_{v(field)} = 10c_{v(lab)}$	96
65	แสดงการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรณีที่ 1 เมื่อ $c_{v(field)} = 26c_{v(lab)}$	97
66	วิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่มีการใช้ PVD แต่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge	99
67	ความหนาของชั้นดินใหม่กรณีที่มีปรับเปลี่ยนค่า c_v ให้มีค่าเท่ากันสำหรับกรณีที่ 2 และ 3	100
68	การทรุดตัวของถนนภายหลังเปิดใช้งานในกรณีที่ 2	105
69	แสดงการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(field)} = c_{v(lab)}$	105
70	แสดงการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(field)} = 26c_{v(lab)}$	106
71	ผลการคำนวณการทรุดตัวเมื่อเปิดใช้งานถนนกรณีที่ 3	123

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
72	แสดงการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรณีที่ 3 เมื่อ $c_{v(\text{field})} = c_{v(\text{lab})}$	123
73	สรุปผลการคำนวณการทรุดตัวเมื่อเปิดใช้งานถนนทั้ง 3 กรณี	124



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a_v	Coefficient of Compressibility
C_c	ดัชนีการยุบอัดตัวในช่วง Compression
C_r	ดัชนีการยุบอัดตัวในช่วง Recompression
c_v	สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวคายน้ำ
c_{vs}	Coefficient of Expansion
C_α	Secondary Compression Index
C'_α	Post-Surcharge Secondary Compression Index
C''_α	ดัชนีการยุบอัดตัวภายหลังการทำ Surcharge
E	Undrained Young's Modulus ของดิน
e_o	อัตราส่วนช่องว่างในมวลดินเริ่มต้น
G_s	Specific Gravity
H_s	ความสูงของเนื้อดินตัวอย่างเริ่มต้น
k	คุณสมบัติการไหลซึม
k_v	คุณสมบัติการไหลซึมผ่านในแนวตั้ง
PVD	Prefabricated Vertical Drain
q_{net}	ขนาดของแรงกระทำภายนอก
R_s	Total Surcharge Ratio
R'_s	Effective Surcharge Ratio
SPT	Standard Penetration Test
S_p	ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากการระบายออกของแรงดันน้ำ
S_s	ปริมาณการทรุดตัวของ Secondary Settlement
$S_{U(FV)}$	In Situ Field Vane Shear
T_v	Time Factor
t_ℓ	เวลา ณ จุดที่ Secondary Compression ปรากฏ
t_p	เวลาที่การทรุดตัวแบบ Primary Settlement หหมดไป

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

t_{pr}	เวลา ณ จุดที่สิ้นสุด Primary Rebound
t_{50}	เวลาที่แรงดันน้ำมีการระบายออก 50 %
t_{75}	เวลาที่แรงดันน้ำมีการระบายออก 75 %
t'_{ps}	เวลา ณ จุด End Of Primary ภายใต้การทำ Surcharge
t'_s	เวลาในการทำ Surcharge
w_l	Liquid Limit
w_n	Natural Water Content
w_p	Plastic Limit
γ	Total Unit Weight
σ'_p	Maximum Part Pressure
σ'_{vo}	In Situ Effective Vertical Stress
σ'_{vf}	Final Effective Vertical Stress
Δu	แรงดันน้ำส่วนเกิน
$\Delta \sigma_v$	ความเค้นในแนวตั้งเนื่องจากน้ำหนักภายนอก

**Post-Surcharge Secondary Settlement ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ : กรณีศึกษา
โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 7**

**Post-Surcharge Secondary Settlement of Soft Bangkok Clay: A Case Study of
Bangkok-Chonburi Highway Construction**

คำนำ

เนื่องจากการก่อสร้างถนนบนดินเหนียวอ่อนที่ผ่านมานั้น พบว่ามีปัญหาการทรุดตัวของถนนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในบริเวณที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยา รวมทั้งพื้นที่กรุงเทพฯ ทำให้เกิดความเสียหายต่อผู้ใช้ถนนและสูญเสียงบประมาณในการซ่อมบำรุงเป็นจำนวนมาก ทางหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงได้นำเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินมาใช้ในการก่อสร้างถนนเพื่อลดปัญหาดังกล่าว เช่น การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ในการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 34 (บางนา-บางปะกง) เมื่อปี พ.ศ. 2512 การใช้ Prefabricated Vertical Drain (PVD) ร่วมกับการใช้เทคนิค Surcharge ในการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 7 [กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)] เมื่อปี พ.ศ. 2538 เป็นต้น แต่ประสิทธิภาพของเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินและพฤติกรรมทรุดตัวของถนนในระยะยาวยังไม่ทราบแน่ชัด

การใช้ PVD ร่วมกับเทคนิค Surcharge นั้นเป็นการเร่งการทรุดตัวแบบ Primary Settlement ให้หมดไปในระหว่างก่อสร้าง ซึ่งทำให้เมื่อเปิดใช้งานถนนมีการทรุดตัวที่น้อยลงแต่ประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยการใช้เทคนิค Surcharge ร่วมกับ PVD เพื่อลดการทรุดตัวของถนนในระยะยาว และพฤติกรรมทรุดตัวในช่วง Secondary Compression ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จำเป็นต้องทำการวิจัยเพื่อหาความเหมาะสมของการใช้เทคนิค Surcharge ร่วมกับ PVD

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวเนื่องจาก Secondary Settlement ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ภายหลังจากการทำ Surcharge และเปรียบเทียบกับดินเหนียวต่างประเทศ
2. ศึกษาคุณสมบัติการยุบอัดตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ในช่วง Primary Settlement และ Secondary Settlement
3. ศึกษาค่า Effective Surcharge Ratio ที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยเทคนิค Surcharge
4. สร้างความสัมพันธ์ Empirical Relationship สำหรับใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ภายหลังจากการปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้เทคนิค Surcharge
5. เสนอแนวทางการวิเคราะห์พฤติกรรมการทรุดตัวในระยะยาวของการก่อสร้างถนนบนดินเหนียวอ่อนซึ่งมีการปรับปรุงคุณภาพดินโดยเทคนิค Surcharge

ขอบเขตของการวิจัย

1. พฤติกรรมการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement และ Secondary Settlement และค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการวิเคราะห์การทรุดตัวของดินในระยะยาวได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบ Engineering Index เช่น Specific Gravity, Sieve และ Hydrometer และการทดสอบ Oedometer เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เช่น C_c , c_v , C_α และ C''_α เป็นต้น โดยตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่นำมาทดสอบนั้นนำมาจากบริเวณทางหลวงหมายเลข 7
2. ศึกษาอิทธิพลของ Effective Surcharge Ratio (R'_s) ต่อพฤติกรรมการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ภายหลังจากการปรับปรุงคุณภาพดินโดยเทคนิค Surcharge โดยการทดสอบ Oedometer Surcharging Test ที่ค่า R'_s เท่ากับ 0, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0

3. ศึกษาพฤติกรรมทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯในสนามภายหลังจากการปรับปรุงคุณภาพดินโดยเทคนิค Surcharge ร่วมกับ PVD โดยการทดสอบดินในสนาม, ติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำใต้ดิน และตรวจวัดระดับผิวทางบนทางหลวงหมายเลข 7

3.1 การทดสอบดินในสนามประกอบด้วย In Situ Field Vane Shear Test ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯบริเวณใต้คันทางซึ่งได้รับอิทธิพลจากการปรับปรุงคุณภาพดิน และบริเวณห่างจากคันทางซึ่งไม่ได้รับอิทธิพลจากการปรับปรุงคุณภาพดิน

3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ Electronic Piezometer เพื่อวัดแรงดันน้ำในชั้นดินเหนียวอ่อน ดำเนินการติดตั้งที่ระดับ 2.5, 7 และ 11 m จากระดับดินเดิม

3.3 ดำเนินการตรวจวัดระดับผิวทางโดยเทียบกับระดับมาตรฐานของกรมทางหลวงบริเวณ กิโลเมตรที่ 16+516 ถึง กิโลเมตรที่ 17+100 และตรวจสอบประวัติการซ่อมบำรุง (ความหนาของ Overload) เพื่อเทียบกับค่าระดับผิวทางจากแบบก่อสร้าง

4. วิเคราะห์ปริมาณและอัตราการทรุดตัวระยะยาวภายหลังจากการทำ Surcharge ซึ่งใช้ข้อมูลผลการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการและเปรียบเทียบกับทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดค่าระดับของทางหลวงหมายเลข 7

การตรวจเอกสาร

1. ทฤษฎีการยุบอัดตัวของมวลดินแบบ 1 มิติ (One Dimensional Consolidation)

ทฤษฎี One Dimensional Consolidation เสนอโดย Terzaghi (1943) นั้นใช้วิเคราะห์อัตราและปริมาณการยุบอัดตัวของมวลดินเมื่อมวลดินมีหน่วยน้ำหนักประสิทธิภาพ (Effective Stress) กระทำเพิ่มขึ้น โดยมีสมมุติฐานดังนี้

1. มวลดินที่พิจารณาต้องเป็นเนื้อเดียวกัน และคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง (Homogenous and Isotropic)

2. มวลดินอยู่ในสภาวะอิ่มน้ำ (Saturated Condition)

3. เม็ดดินและน้ำต้องเป็นวัสดุที่ไม่มีการยุบอัดตัว (Incompressible Material)

4. สามารถใช้กฎของ Darcy's Law ได้

5. เมื่อมีแรงมากระทำต่อมวลดิน น้ำไหลออกในทิศทางเดียวเท่านั้น

6. แรงที่กระทำต่อมวลดินเกิดขึ้นแบบทันทีทันใด

7. ค่า Coefficient of Permeability ของดินมีค่าคงที่ในช่วงของการเพิ่มน้ำหนักที่กระทำต่อมวลดิน

8. ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลง Void Ratio (Δe) และ Effective Stress ($\Delta \sigma'$) ในมวลดินระหว่างกระบวนการ Consolidation หรือ Coefficient of Compressibility ($a_v = \Delta e / \Delta \sigma'$) เป็นค่าคงที่และไม่เกี่ยวข้องกับระยะเวลา

ในมวลดินธรรมชาตินั้นประกอบด้วยช่องว่างของอากาศ, น้ำ และอนุภาคของดิน แต่ดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated) จะมีน้ำอยู่เต็มช่องว่างในมวลดิน สำหรับดินเหนียวซึ่งมีการไหลซึมต่ำ

เมื่อมีน้ำหนักร่างนอกมากระทำ น้ำไม่สามารถระบายออกจากมวลดินได้ทันทีทันใด ในระยะเริ่มต้นน้ำในมวลดินจึงแบกรับน้ำหนักที่กระทำทั้งหมดไว้ ทำให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดิน ซึ่งเรียกว่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Porewater Pressure) เมื่อแรงดันน้ำส่วนเกินมีการระบายออกจากมวลดิน ทำให้ช่องว่างในมวลดินมีค่าลดลง ดินมีค่าการทรุดตัวเพิ่มมากขึ้น การทรุดตัวที่เกิดขึ้นประกอบด้วย การทรุดตัวขณะที่แรงดันน้ำส่วนเกินมีการระบายออกจากมวลดิน (Primary Settlement) และการทรุดตัวขั้นทุติย (Secondary Settlement) ซึ่งเกิดขึ้นต่อจากการทรุดตัวแบบ Primary Settlement หมดไป

1.1 Primary Settlement

สำหรับดินในสภาวะธรรมชาตินั้นดินจะมีน้ำหนักมากกดทับโดยเป็นหน่วยแรงประสิทธิผลจากน้ำหนักดินชั้นบน หรือเรียกว่า In Situ Effective Vertical Stress (σ'_{vo}) เมื่อมีหน่วยแรงจากภายนอกมากระทำ ($\Delta\sigma'_v$) สำหรับดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated) และมีค่าความชื้นน้ำต่ำ ทำให้น้ำไม่สามารถไหลออกจากมวลดินในทันทีที่มีแรงมากระทำ จึงเกิดแรงดันน้ำขึ้นในมวลดินหรือเรียกว่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Porewater Pressure, Δu) ซึ่งมีค่าเท่ากับหน่วยแรงที่กระทำ ($\Delta u = \Delta\sigma'_v$) เมื่อแรงดันน้ำส่วนเกินมีการระบายออกจากมวลดิน ทำให้ช่องว่างของมวลดินลดลง ทำให้เกิดการทรุดตัวในชั้นดิน สำหรับดินที่เคยถูกน้ำหนักกดทับมาแล้วในอดีต (Overconsolidated Soil) และค่า Final Effective Vertical Stress (σ'_{vf}) มีค่าน้อยกว่า Preconsolidation Pressure (σ'_p) หรือเรียกว่าการทรุดตัวในช่วง Recompression Range ค่าการทรุดตัวสามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$S_p = \left(\frac{C_r}{1 + e_0} \right) H \log \left(\frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_{vo}} \right) \quad (1)$$

โดยที่

$$\sigma'_{vf} = \sigma'_{vo} + \Delta\sigma'_v$$

S_p = ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากการระบายออกของแรงดันน้ำ (Primary Settlement)

H = ความหนาของชั้นดินที่พิจารณา

C_r = คoefficient of recompression ในช่วง Recompression

e_0 = อัตราส่วนช่องว่างในมวลดินเริ่มต้น (Initial Void Ratio)

σ'_{vo} = ความเค้นในแนวตั้งประสิทธิผลเนื่องจากน้ำหนักดินกดทับ ณ ปัจจุบัน (Initial Effective Vertical Stress)

$\Delta\sigma_v$ = ความเค้นในแนวตั้งที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักภายนอก

สำหรับในกรณีที่ $\sigma'_{vf} > \sigma'_p$ หรือเรียกว่าการทรุดตัวในช่วง Compression Range สามารถหาค่าการทรุดตัวได้จากสมการที่ 2

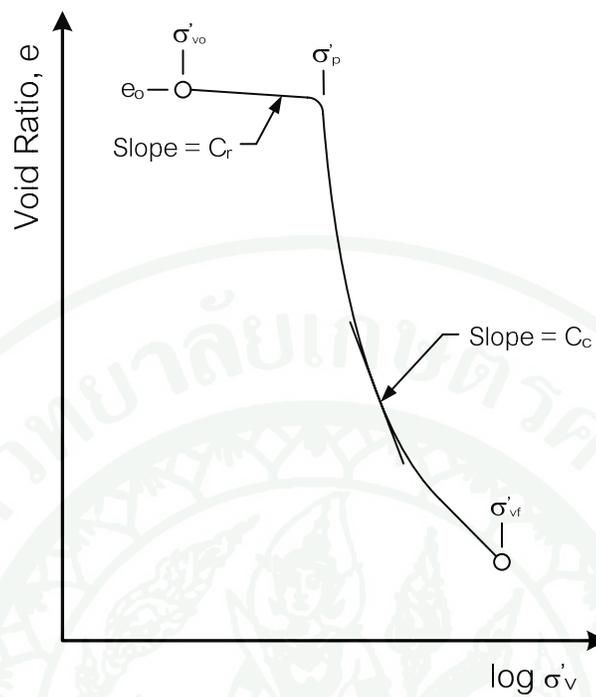
$$S_p = \frac{H}{1+e_o} \left[C_r \times \log\left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}}\right) + C_c \times \log\left(\frac{\sigma'_{vo} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_p}\right) \right] \quad (2)$$

โดยที่

σ'_p = ความเค้นประสิทธิผลที่กระทำสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure)

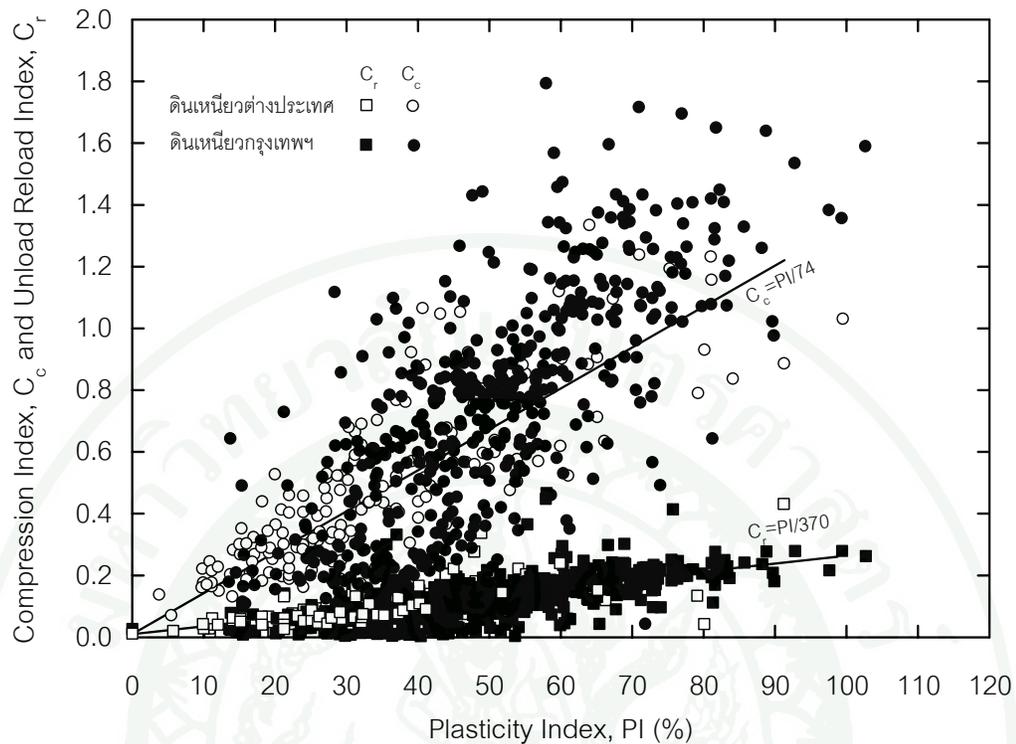
C_c = ดัชนีการยุบอัดตัวในช่วง Compression

ดัชนีการยุบอัดตัวในช่วง Recompression (Recompression Index, C_r) คือความชันส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $e-\log \sigma'_v$ Curve จาก σ'_{vo} ถึง σ'_p ดังแสดงในภาพที่ 1 ดัชนีการยุบอัดตัวในช่วง Compression (Compression Index, C_c) คือความชันส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $e-\log \sigma'_v$ Curve จาก σ'_p ถึง σ'_{vf} ดังแสดงในภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัว (C_r และ C_c) กับ Plastic Index (PI) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ กับดินเหนียวต่างประเทศแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีการยุบอัดตัว

ที่มา: บารเมศ และคณะ (2552)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Compression Index และ Plasticity Index

ที่มา: บารเมศ และคณะ (2552)

1.2 Secondary Settlement

Secondary Settlement เป็นการลดปริมาตรของมวลดินลง เมื่อมีน้ำหนักคงที่มากระทำ เป็นระยะเวลานาน ถึงแม้ว่าแรงดันน้ำส่วนเกินในมวลดินมีการระบายออกจากมวลดินทั้งหมด แต่การทรุดตัวก็ยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปริมาณการทรุดตัวจะมีค่าน้อยลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พฤติกรรมของดินเหนียวขณะเกิด Secondary Settlement ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ปริมาณของ Organic ในมวลดิน, เวลาที่พิจารณา, อุณหภูมิ, ขนาดของเม็ดดิน เป็นต้น (Bing, 1983) ปริมาณการทรุดตัวของดินแบบ Secondary Settlement ได้จากสมการที่ 3

$$S_s = \frac{H}{1 + e_0} (C_\alpha \cdot \log \frac{t}{t_p}) \quad (3)$$

เมื่อ

S_s = ปริมาณการทรุดตัวของ Secondary Settlement

C_α = สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวของ Secondary Settlement

t = เวลาที่ต้องการในการคำนวณการทรุดตัว

t_p = เวลาที่สิ้นสุด Primary Settlement

Peck *et al.* (1974) เสนอสมการสำหรับการหาค่า C_α ดังสมการที่ 4 ซึ่งสามารถหาได้จาก การทดสอบ 1-D Consolidation แสดงในภาพที่ 3

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\Delta \log t} \quad (4)$$

โดยที่

Δe = การเปลี่ยนแปลงของช่องว่างในมวลดินภายหลังจาก Primary Consolidation ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\Delta H/H_s$

ΔH = ปริมาณการทรุดตัวช่วง Secondary Compression

H_s = ความสูงของเนื้อดินตัวอย่างเริ่มต้น

$\Delta \log t$ = ช่วงเวลาที่พิจารณาในช่วง Secondary Consolidation

ค่า Secondary Compression Index (C_α) สามารถอธิบายโดยใช้หลักการ C_α/C_c สำหรับการทรุดตัวของดินในช่วง Secondary Compression ณ (e, σ'_v, t) ใด ๆ นั้น การทรุดตัวที่เกี่ยวข้องกับเวลาซึ่งแสดงโดย Secondary Compression Index ($C_\alpha = \Delta e / \Delta \log t$) มีความสัมพันธ์กับการทรุดตัวที่เกี่ยวข้องกับ Effective Stress ซึ่งแสดงโดย Compression Index ($C_c = \Delta e / \Delta \log \sigma'_v$) ดังสมการที่ 5 สำหรับดินเหนียวนั้น ค่า C_α เสนอโดย Lambe and Whitman (1979) แสดงในตารางที่ 1 Terzaghi *et al.* (1996) เสนอหลักการ C_α/C_c ซึ่งกล่าวว่าถ้าหากดินมีค่า Compression Index (C_c) สูง ทำให้ค่า C_α นั้นสูงตามไปด้วยโดยเฉพาะในดิน Organic Clay และ Peat ค่า C_α/C_c ของดินประเภทต่างๆ แสดงในตารางที่ 2 สำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯบริเวณหนองจอกนั้น ค่า C_α/C_c เท่ากับ 0.05 (NGI, 1992) ดังแสดงในภาพที่ 4

$$C_{\alpha} = \alpha C_c \quad (5)$$

ค่า α เป็นค่าคงที่ อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.08 (Mesri and Godlewski, 1977; Mesri and Castro, 1987; Terzaghi *et al.*, 1996) แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ค่า C_{α} ของดินเหนียว

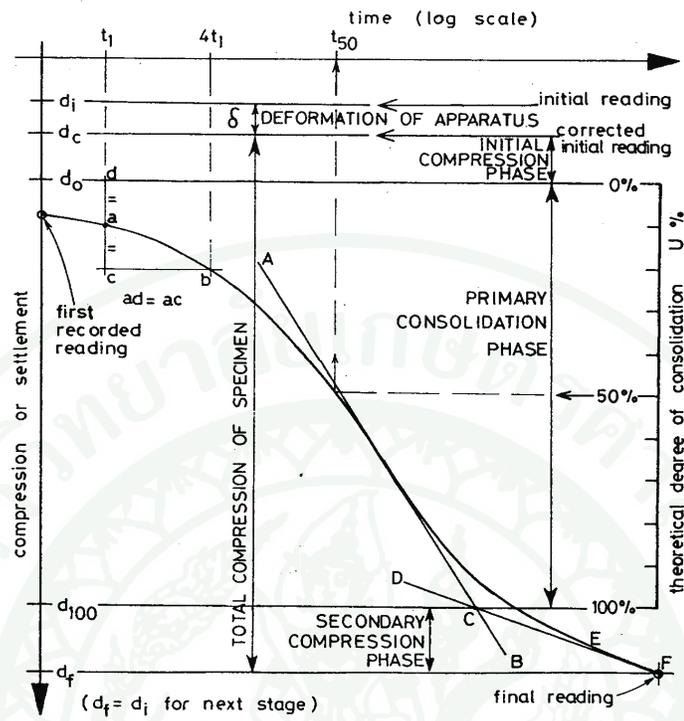
ชนิดของดิน	C_{α}
Normally Consolidation Clays	0.0005 - 0.02
Very Plastic Clays	0.03 หรือมากกว่า
Organic Clays	0.03 หรือมากกว่า
Overconsolidation Clays (Overconsolidation Ratio > 2)	น้อยกว่า 0.001

ที่มา: Lambe and Whitman (1979)

ตารางที่ 2 แสดงค่า C_{α}/C_c สำหรับดินประเภทต่างๆ

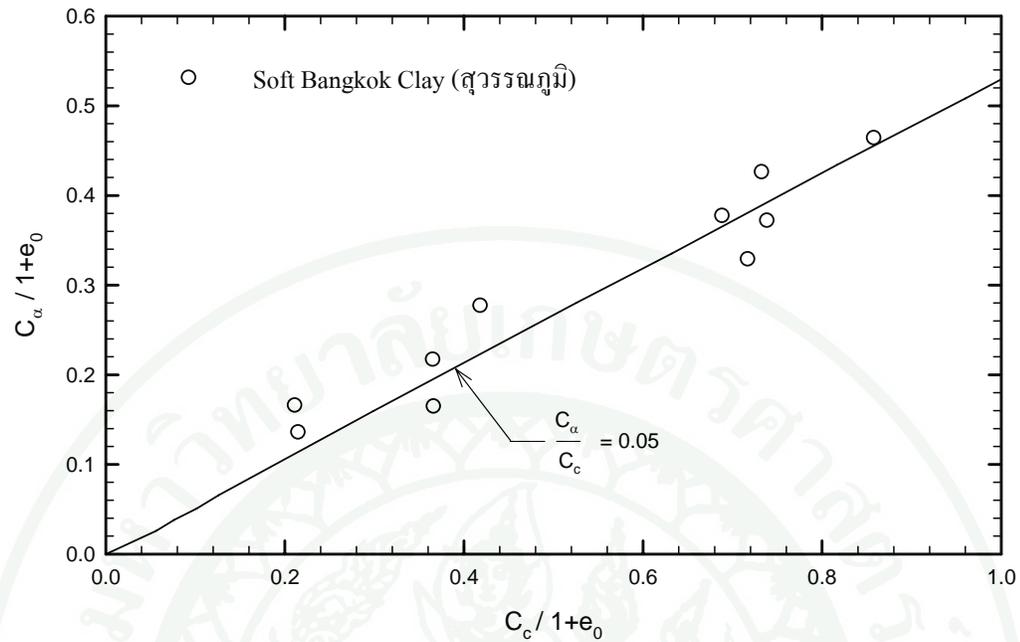
ชนิดดิน	C_{α}/C_c
Granular Soils Including Rockfill	0.02 ± 0.01
Shale and Mudstone	0.03 ± 0.01
Inorganic Clays and Silts	0.04 ± 0.01
Organic Clays and Silts	0.05 ± 0.01
Peat and Musket	0.06 ± 0.01

ที่มา: Terzaghi *et al.* (1996)



ภาพที่ 3 การหาค่า Secondary Settlement จากผลการทดสอบ 1-D Consolidation

ที่มา: Head (1984)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_α และ C_c ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

ที่มา: NGL (1992)

1.3 อัตราการทรุดตัวและบวมตัวของดิน

อัตราการทรุดตัวของดินเนื่องจากกระบวนการอัดตัวคายน้ำสามารถแสดงโดยค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of Consolidation, c_v) ดังแสดงในสมการที่ 6

$$c_v = \frac{k_v}{\gamma_w} \frac{1+e}{a_v} \quad (6)$$

เมื่อ

a_v = Coefficient of Compressibility

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ

k_v = สัมประสิทธิ์การไหลซึมในแนวตั้ง

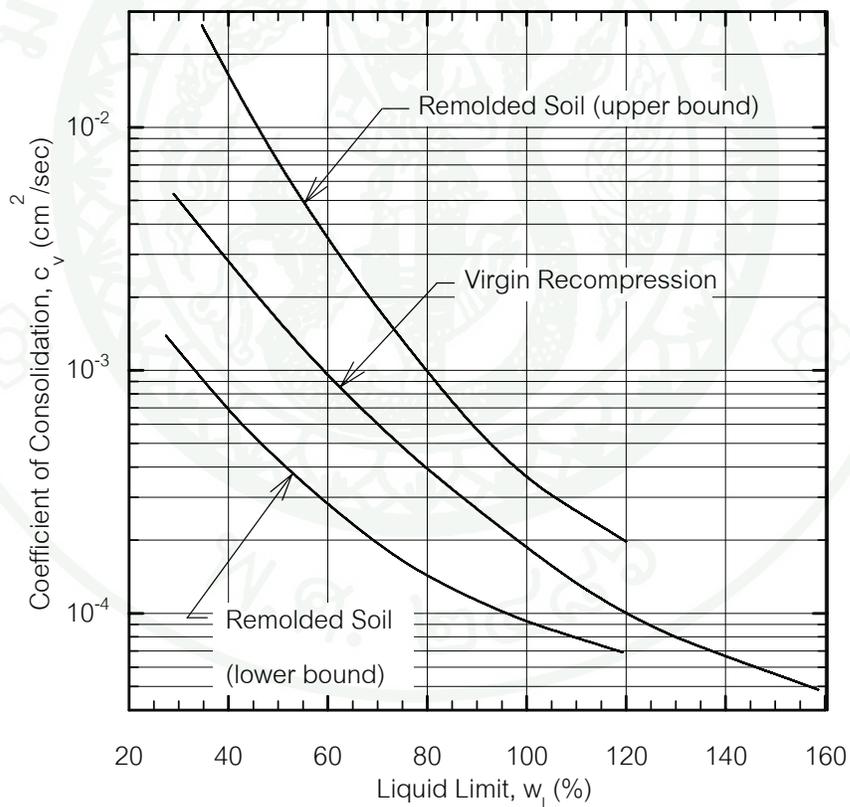
ค่า c_v ของดินเหนียวต่างๆแสดงในภาพที่ 5 นอกจากนี้ Terzaghi (1943) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง c_v และ Time Factor (T_v), ระยะทางการระบายน้ำ (Maximum Drainage Distance, H) และ เวลาใดๆ (t) ดังแสดงในสมการที่ 7

$$c_v = \frac{T_v H^2}{t} \quad (7)$$

T_v = Time Factor ที่ Degree of Consolidation เท่ากับ 50 % แสดงในตารางที่ 3

t = เวลา ณ ที่แรงดันน้ำระบายออก เท่ากับ 50 % หรือ t_{50}

H = ครึ่งหนึ่งของความหนาของดินตัวอย่างในกรณีที่ระบายน้ำออกสองทาง ณ ที่ t_{50}



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง c_v และ w_l

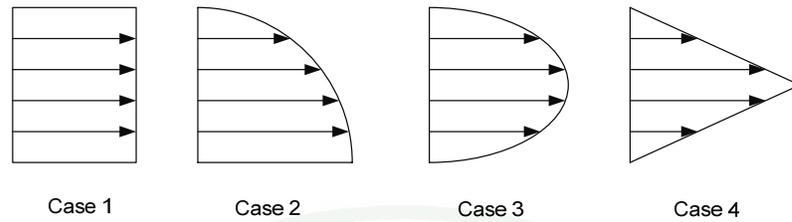
ที่มา: NAVFAC (1986)

เมื่อ T_v มีค่าแปรเปลี่ยนไปตามแรงดันน้ำส่วนเกินในมวลดินตามรูปแบบของการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินเมื่อมีแรงมากกระทำดังภาพที่ 6

ตารางที่ 3 แสดงค่า T_v ที่แต่ละเปอร์เซ็นต์การยุบอัดตัวคายน้ำ

Average Degree of Consolidation U (%)	Time Factor (T_v)			
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0020	0.0030	0.0208	0.0250
10	0.0078	0.0111	0.0427	0.0500
15	0.0177	0.0238	0.0659	0.0753
20	0.0314	0.0405	0.0904	0.1010
25	0.0491	0.0608	0.1170	0.1280
30	0.0707	0.0874	0.1450	0.1570
35	0.0962	0.1120	0.1750	0.1870
40	0.1260	0.1430	0.2070	0.2200
45	0.1590	0.1770	0.2420	0.2550
50	0.1970	0.2150	0.2810	0.2940
55	0.2390	0.2570	0.3240	0.3360
60	0.2860	0.3050	0.3710	0.3840
65	0.4030	0.3590	0.4250	0.4380
70	0.4320	0.4220	0.4880	0.5010
75	0.4770	0.4950	0.5620	0.5750
80	0.5670	0.5860	0.6520	0.6650
85	0.6840	0.7020	0.7690	0.7820
90	0.8480	0.8670	0.9330	0.9460
95	1.1290	1.1480	1.2140	1.2270
100	-	-	-	-

ที่มา: Perloff (1976)



ภาพที่ 6 รูปแบบการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินเริ่มต้นในมวลดิน

ที่มา: Perloff (1976)

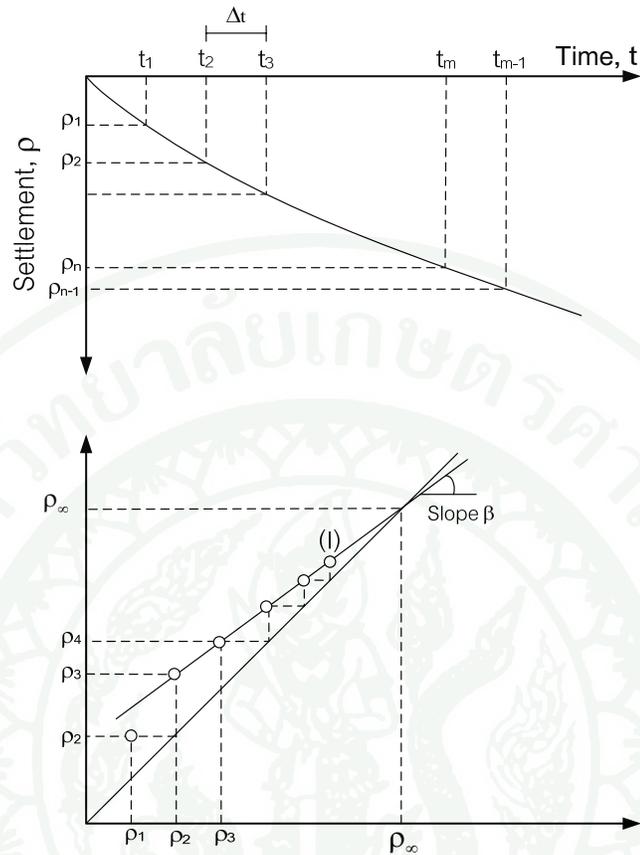
ค่า c_v สามารถวิเคราะห์จากผลการทดสอบดินตัวอย่างแบบคงสภาพโดย One Dimensional Consolidation ในห้องปฏิบัติการและสมการที่ 7 หรือได้จากวิเคราะห์ข้อมูลการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงในสนาม เสนอโดย Asaoka (1978) ข้อมูลการทรุดตัว (p_1, p_2, \dots) แสดงในแกน Y ถูกนำมาแสดงมาตราส่วนปกติกับค่า p_{i-1}, p_i บนแกน X โดยแบ่งช่วงเวลาเท่าๆกัน แล้วลากเส้น 45° ($p_i = p_{i-1}$) ตัดกับเส้นตรงที่เชื่อมจุด จุดตัดคือจุดที่สิ้นสุดกระบวนการ Consolidation ดังแสดงในภาพที่ 7 ค่า c_v หาได้จากสมการ 8

$$c_v = -\frac{5}{12} H^2 \frac{\ln \beta}{\Delta t} \quad (8)$$

โดยที่

β = ความชันของเส้นตรงเชื่อมกราฟ

Δt = ช่วงเวลาที่แบ่งดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การหาค่า Coefficient of Consolidation โดยวิธี Asaoka

ที่มา: Asaoka (1978)

สำหรับกรณีที่ชั้นดินมีลักษณะมากกว่า 1 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นมีค่า c_v ต่างกันนั้น การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของมวลดินดังกล่าวสามารถคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยของ c_v ซึ่ง Barden and Younan (1969) ได้สรุปวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยของ c_v ที่นิยมมี 3 วิธี ดังนี้

1 วิธีการประมาณอย่างหยาบ (Crude Approximations)

วิธีนี้เป็น การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวซึ่งสามารถทำได้รวดเร็วโดยสามารถคำนวณได้
ดังนี้

1.1 ถ้ามีชั้นดินอ่อนมากกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั้นซึ่งประกอบด้วย Free Drainage Boundary Layer แล้วนั้น ให้สมมุติให้ชั้นดินที่มีค่า Permeability สูงสามารถระบายน้ำออกได้ทันที และชั้นดินที่มีค่า Permeability ที่ต่ำจะเป็นตัวกำหนดอัตราการทรุดตัวของชั้นดินอ่อนทั้งหมด (หรือใช้ค่า c_v ที่ต่ำที่สุด และความหนาของชั้นดินนั้น ในการคำนวณอัตราการทรุดตัว)

1.2 สมมุติให้ชั้นดินอ่อนทั้งหมดมีค่า c_v เท่ากับชั้นดินที่มี Permeability ต่ำที่สุด และความหนาของชั้นดินเท่ากับผลรวมของความหนาของแต่ละชั้น

1.3 ถ้ามีชั้นดินอ่อนเท่ากับ 2 ชั้นซึ่งประกอบด้วย Free Drainage Boundary ให้พิจารณาอัตราการทรุดตัวของดินแต่ละชั้นแยกกัน และมี Drainage Boundary ประเภท Single Drainage

2 วิธีการหาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวคายน้ำ (Average Soil Properties)

คำนวณค่าเฉลี่ยของค่า $[c_v]_{avg}$ ดังนี้

$$[c_v]_{avg} = \frac{[k_v]_{avg}}{\gamma_w m_{avg}} \quad (9)$$

โดยที่

$$m_{avg} = \sum_{j=1}^n \frac{H_j}{H} m_j$$

$$H = \sum_{j=1}^n H_j$$

$$k_{avg} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{H_j}{H} \frac{1}{k_j}}$$

โดยที่

$$m_j = a_j / (1 + e_j)$$

a_j = Coefficient of Compressibility ในชั้นดิน j

e_j = ช่องว่างในชั้นดิน j

H_j = ความหนาของชั้นดิน j

k_j = ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมในชั้นดิน j

H = ความหนาของชั้นดินทั้งหมด

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ

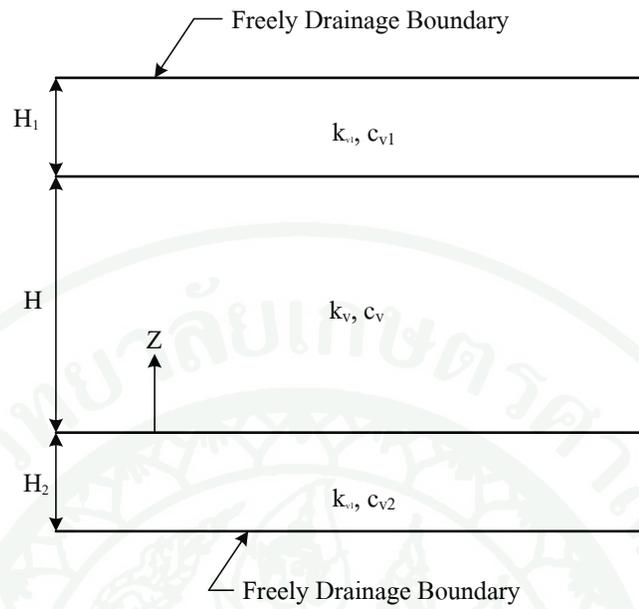
3 วิธีการหาค่าสมมูลย์ของชั้นดิน (Transforming Soil Properties)

วิธีนี้เป็นการกำหนดให้ชั้นดินหนึ่งชั้นมีค่า c_v และ ความหนา H ไม่เปลี่ยนแปลง และเปลี่ยนความหนาของชั้นดินอื่นๆ ตามสมการที่ 10 กำหนดให้ใช้ชั้นดินอื่นๆมีค่า c_v เท่ากับ ค่า c_v ของชั้นดินที่ไม่ได้เปลี่ยนความหนา เช่น มีลักษณะชั้นดินตามภาพที่ 8 เมื่อกำหนดให้ค่า c_v เท่ากับ c_{v1} ทำให้ความหนาของชั้นดินเปลี่ยนแปลงเท่ากับ H' ดังภาพที่ 9

$$H' = \sqrt{c_{v1}} \sum_{j=1}^n \frac{H_j}{\sqrt{c_{vj}}} \quad (10)$$

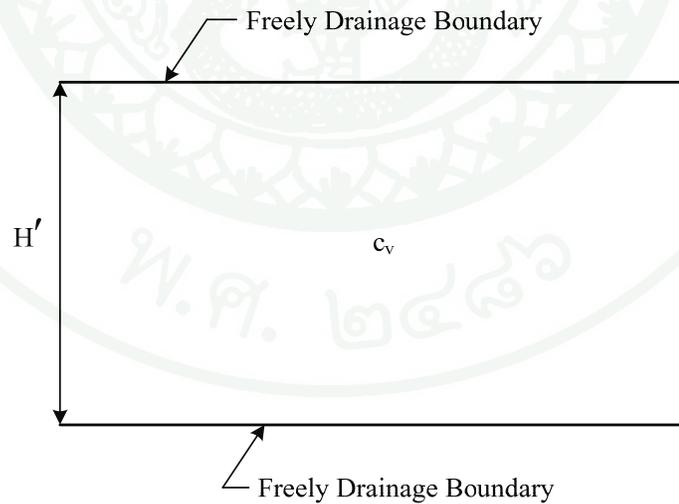
หรือคำนวณอัตราการทรุดตัวจากค่า $[c_v]_{\text{apparent}}$ ดังสมการที่ 11 และใช้ความหนาเท่ากับ ผลรวมของความหนาของดินทุกชั้น

$$[c_v]_{\text{apparent}} = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{H_j}{H} \frac{1}{\sqrt{c_{vj}}}} \right) \quad (11)$$



ภาพที่ 8 ชั้นดินอ่อนมากกว่า 1 ชั้นอยู่ระหว่างชั้นดินที่สามารถระบายน้ำได้ดี

ที่มา: Mesri (1973)



ภาพที่ 9 ความหนาของชั้นดินใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า c_v

Bergado *et al.* (1992) ทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of Consolidation, c_v) ได้เสนอเป็นความสัมพันธ์ไว้ดังนี้ค่า c_v ในสนามมีค่าเท่ากับ 26 เท่าของ c_v ในห้องปฏิบัติการ ธีรชาติ และจอม (2545) ได้คำนวณย้อนกลับการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 34 พบว่า ค่า c_v ในสนามมีค่าเท่ากับ 10-16 เท่าของ c_v ในห้องปฏิบัติการ Likitwanagarn (1996) ได้ทำการคำนวณย้อนกลับโดยวิธี Asaoka ของทางหลวงหมายเลข 7 พบว่ามีค่า c_v เท่ากับ 48-226 $m^2/year$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 137 $m^2/year$ Lambe and Whitman (1979) ได้เสนอค่า C_c และ c_v ของดินเหนียวกับ Plasticity ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า C_c และ c_v ของดินเหนียว

ชนิดของดิน	I_p	c_v ($m^2/year$)		C_c
		Undisturbed	Remolded	
High Plasticity	> 25	0.1 - 1.0	20 - 25%	0.0 - 2.6
Medium Plasticity	25 - 5	1.0 - 10.0	ของ	0.8 - 0.2
Low Plasticity	<= 15	10.0 - 100.0	Undisturbed	0.8 - 0.2

ที่มา: Lambe and Whitman (1979)

อัตราการบวมตัวของดินเมื่อ Effective Vertical Stress ลดลงแสดงโดยค่าสัมประสิทธิ์การบวมตัว (Coefficient of Expansion; c_{vs}) ค่า c_{vs} ของดินเหนียวและ Shale แสดงในภาพที่ 10

$$c_{vs} = \frac{k_v}{\gamma_w m_{vs}} \quad (12)$$

เมื่อ

$m_{vs} = \Delta \epsilon / \Delta \sigma'$ หาได้จาก End Of Primary Rebound ของกราฟการบวมตัว

หรือสามารถหาค่า c_{vs} ได้จากสมการที่ 13

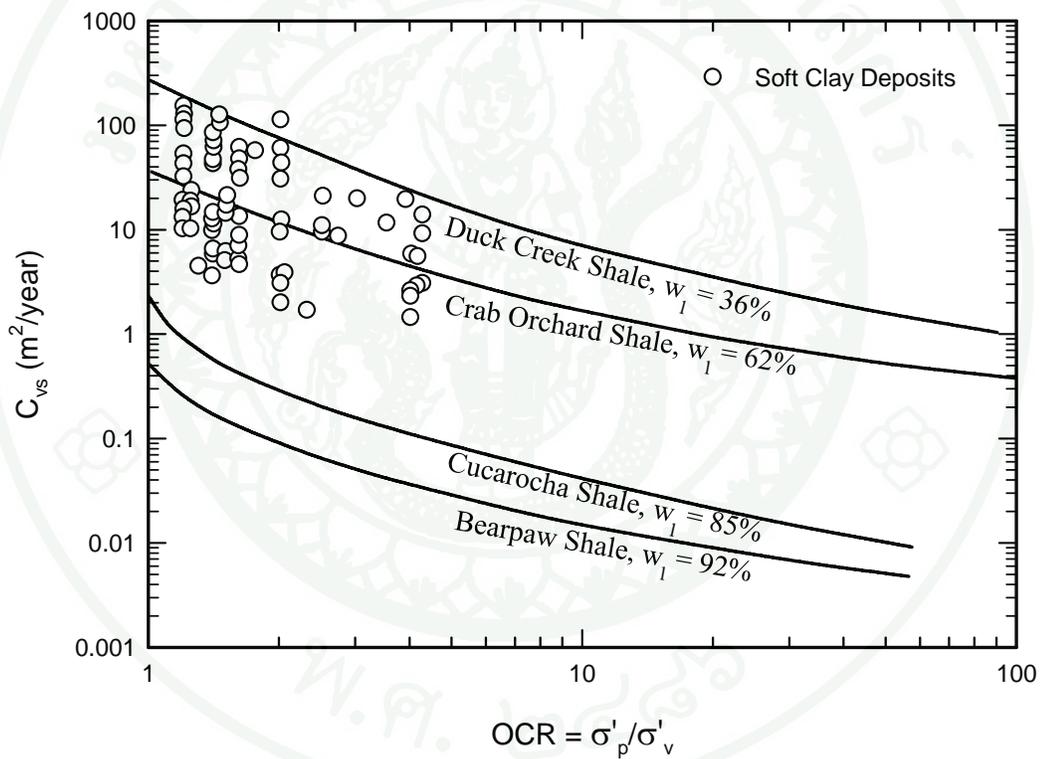
$$c_{vs} = \frac{TH^2}{t} \tag{13}$$

โดยที่

T = Time Factor ใช้ที่ค่า Degree of Consolidation เท่ากับ 50% หรือ T_{50}

H = เท่ากับความหนาของดินตัวอย่าง ณ เวลาที่ดินมีการระบายน้ำออก 50% หรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของดินตัวอย่าง ณ เวลาที่ t_{pr} เท่ากับ 50% ในกรณีที่มีการระบายน้ำออกสองทาง

t = ระยะเวลาที่อัตราการบวมตัวเท่ากับ 50% ในช่วง Primary Rebound หรือ $[t_{pr}]_{50}$



ภาพที่ 10 ค่า c_{vs} ของดินเหนียวและ Shale

ที่มา: Terzaghi *et al.* (1996)

2. เทคนิคการทำ Surcharge เพื่อลดการทรุดตัวในดินอ่อน

2.1 ประสิทธิภาพการทำ Surcharge

ประสิทธิภาพของการทำ Surcharging นั้นสามารถแสดงในรูปแบบของ Total Surcharge Ratio (R_s) และ Surcharge Time Ratio เสนอโดย Mesri and Feng (1991) ดังสมการที่ 14 และ 15

$$R_s = \left(\frac{\sigma_{vs}}{\sigma'_{vf}} \right) - 1 \quad (14)$$

$$\text{Surcharge Time Ratio} = \frac{t'_s}{t'_{ps}} \quad (15)$$

เมื่อ

$$\sigma_{vs} = \sigma'_{vf} + \Delta\sigma_{vs}$$

σ'_{vf} = Final Effective Vertical Stress

$\Delta\sigma_{vs}$ = Total Surcharge Pressure

t'_s = เวลาในการทำ Surcharge

t'_{ps} = เวลา ณ จุด End Of Primary ภายใ้การทำ Surcharge

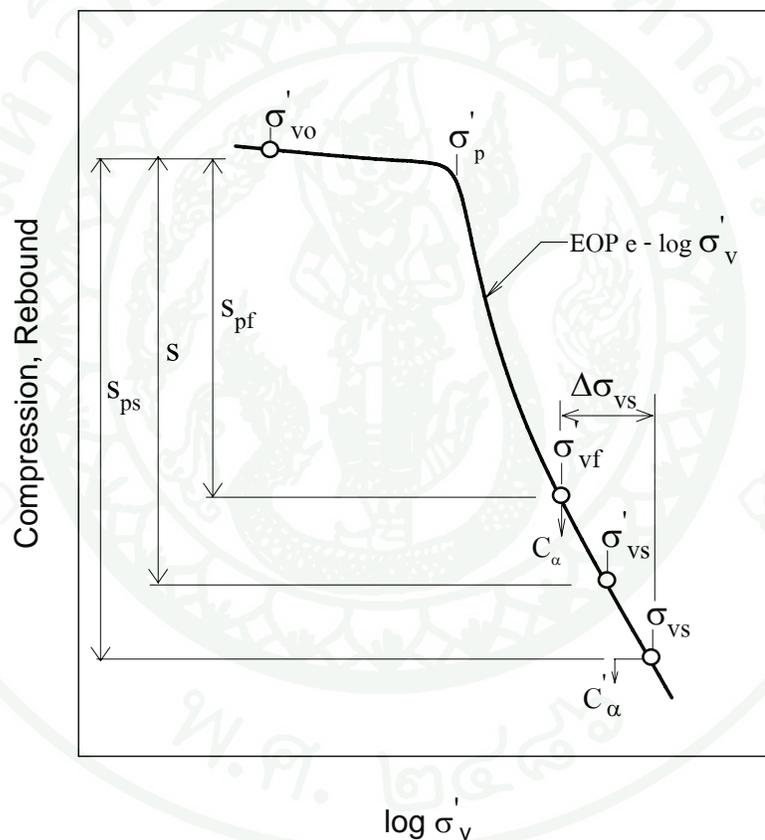
ประสิทธิภาพของการทำ Surcharge นั้นสามารถแสดงในอีกรูปแบบหนึ่งได้คือ Effective Surcharge Ratio (R'_s) (Mesri and Feng, 1991) ดังสมการที่ 16

$$R'_s = \frac{\sigma'_{vs}}{\sigma'_{vf}} - 1 \quad (16)$$

เมื่อ

σ'_{vs} = Effective Vertical Stress ก่อนการนำ Surcharge ออกดังแสดงในภาพที่ 11

Johnson (1970); Mesri *et al.* (1996) กล่าวว่า การทำ Surcharge นั้นจะไม่ช่วยแก้ปัญหาเรื่องการทรุดตัวได้ ถ้า $R_s < 1$ ($R'_s = 0$) สำหรับกรณีที่ $R'_s > 0$ นั้นดินมีพฤติกรรมแบบ Recompression ซึ่งมีค่าการทรุดตัวน้อย Terzaghi (1945) กล่าวว่า การใช้ Surcharge เพื่อลดการทรุดตัวควรมีค่า $R_s > 0.5$ หรือน้ำหนักสุดท้ายก่อนมีการนำน้ำหนักออกควรมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของน้ำหนักใช้งาน และ Degree of Consolidation ควรมีค่ามากกว่า 75 % Simon (1965) กล่าวว่า ควรมีการนำน้ำหนักออกเท่ากับ 20 %, 15 % และ 10 % เมื่อดินมี Degree of Consolidation เท่ากับ 80 %, 100 % และมี Secondary Compression เท่ากับ 20 % ของ Primary Consolidation ตามลำดับ



ภาพที่ 11 แสดงสัญลักษณ์และนิยามของหน่วยแรงและปริมาณการทรุดตัวในการศึกษา Surcharge

ที่มา: Mesri and Feng (1991)

2.2 พฤติกรรม Post-Surcharge Secondary Settlement

พฤติกรรม Post-Surcharge Secondary Settlement แสดงโดยภาพที่ 12 เมื่อมีการทำ Surcharge ทำให้ดินมีการทรุดตัวจนกระทั่งถึง t'_s จากนั้นมีการเอา Surcharge บางส่วนออก ดินมีอัตราการบวมตัวเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งถึง t_{pr} และอัตราการบวมตัวของดินมีค่าลดลงจนหยุดนิ่งซึ่งเป็นการบวมตัวที่สูงสุดเมื่อถึง t_ℓ จากนั้นดินเริ่มปรากฏการทรุดตัวอีกครั้งโดยอัตราการทรุดตัวค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆนับจาก t_ℓ ไปจนกระทั่งมีอัตราการทรุดตัวคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป การทรุดตัวจากการทำ Post-Surcharge Secondary Settlement แสดงโดยค่า Post-Surcharge Secondary Compression Index (C'_α) ซึ่งมีค่าน้อยและค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ค่า C'_α สามารถหาได้จาก Slope ณ เวลาที่ต้องการ (t) หรือแสดงโดยค่า C''_α สามารถหาได้จากเวลาที่เริ่มปรากฏการทรุดตัวภายหลังการทำ Surcharge (t_ℓ) ไปจนกระทั่งถึงเวลาที่ต้องการ (t)

การคำนวณค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำ Surcharge หรือเรียกว่า Post-Surcharge Secondary Compression นั้นใช้สมการที่ 17 เสนอโดย Mesri and Feng (1991) ซึ่งใช้ค่า Secant Secondary Compression Index (C''_α)

$$S = \frac{C''_\alpha}{1 + e_0} H \log \frac{t}{t_\ell} \quad (17)$$

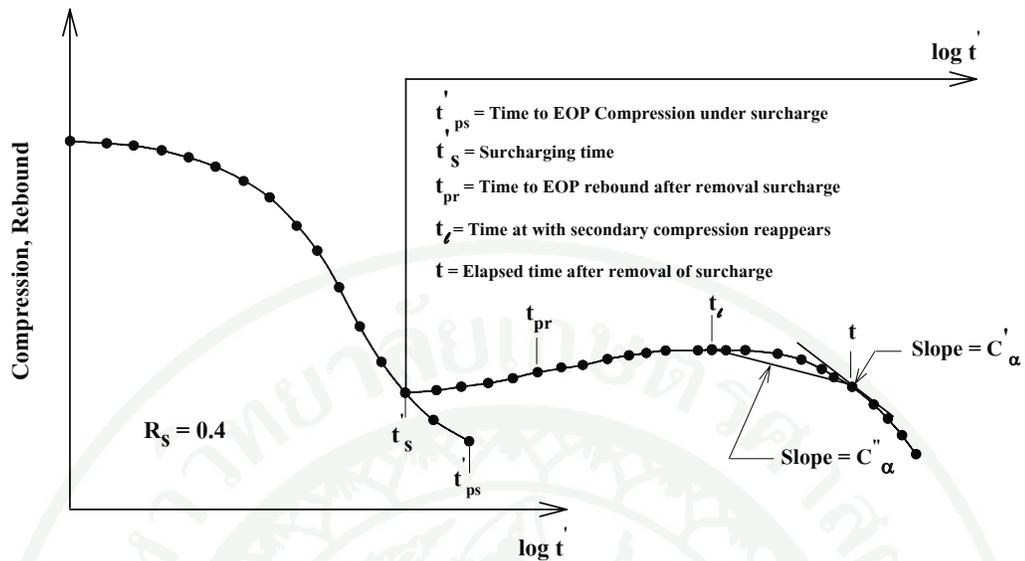
โดย

C''_α = ดัชนีการยุบอัดตัวภายหลังการทำ Surcharge

t = เวลาหลังจากมีการนำ Surcharge ออก

t_ℓ = เวลา ณ จุดที่ Secondary Compression ปรากฏ

Johnson (1970), Choi (1982) และ Mesri and Feng (1991) กล่าวว่าการใช้ Surcharge เพื่อลดการทรุดตัวนั้นถ้าหากว่า R'_s มีค่าใกล้กับ 0 การทรุดตัวเนื่องจาก Secondary Compression อาจมีค่าสูงเนื่องจาก C'_α มีค่าสูงที่ R'_s เข้าใกล้ 0 ดังนั้นการทำ Surcharge ที่ R'_s สูงๆทำให้ค่า C'_α มีค่าต่ำ แต่การทำ Surcharge ที่ R'_s สูงๆนั้น ทำให้ราคาค่าก่อสร้างเพิ่มมากขึ้นและการก่อสร้างทำได้ยากขึ้นในบริเวณที่มีดินเหนียวอ่อนมาก

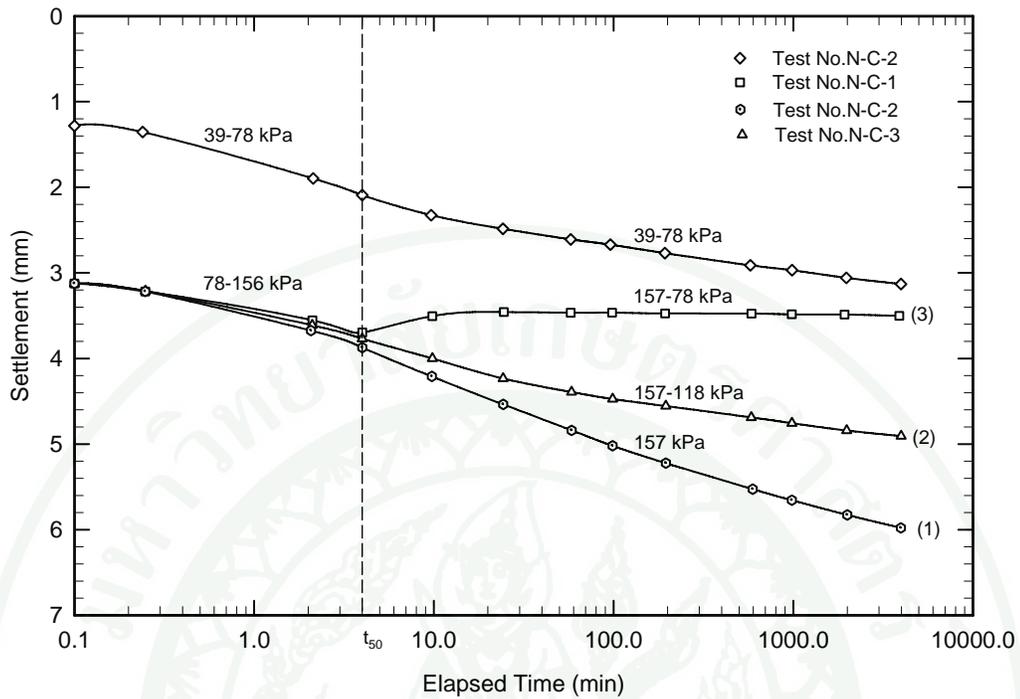


ภาพที่ 12 พฤติกรรมการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนภายหลังจากการทำ Surchage

ที่มา: Mesri and Feng (1991)

Bing (1983) ได้นำดินบริเวณหนองงูเห่าและบางปะกงมาทดสอบ ได้ทำการทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง โดยมีค่าน้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 157 kPa เมื่อผ่านเวลาที่แรงดันน้ำมีการระบายออก 50 % ผลการทดสอบดินตัวอย่างที่ 1 (1) คงค่าน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 157 kPa ดินตัวอย่างที่ 2 (2) มีการนำน้ำหนักออกให้เหลือเท่ากับ 118 kPa และดินตัวอย่างที่ 3 (3) มีการนำน้ำหนักออกให้เหลือเท่ากับ 78 kPa ปรากฏว่าดินตัวอย่างที่ 1 มีการทรุดตัวต่อเนื่องทันทีและทรุดตัวต่อไปเรื่อยๆ ดินตัวอย่างที่ 2 มีการทรุดตัวลดลงเล็กน้อยเมื่อผ่าน t_{50} ไปแต่อัตราการทรุดตัวยังคงเพิ่มขึ้น สำหรับดินตัวอย่างที่ 3 นั้น มีการบวมตัวขึ้นในระยะแรกของการนำน้ำหนักออกและมีอัตราการทรุดตัวคงที่หรือมีปริมาณการทรุดตัวน้อยมากเมื่อผ่าน t_{50} ไปดังแสดงในภาพที่ 13

จากการประมาณค่า t_{ℓ} ของผลการทดสอบของดินตัวอย่างที่ 3 (3) ในภาพที่ 13 พบว่ามีค่า t_{ℓ} ประมาณ 15 นาที, t_{pr} ประมาณ 5 นาที ได้อัตราส่วน t_{ℓ}/t_{pr} เท่ากับ 3 สามารถคำนวณหาค่า R'_s ได้เท่ากับ 0.5

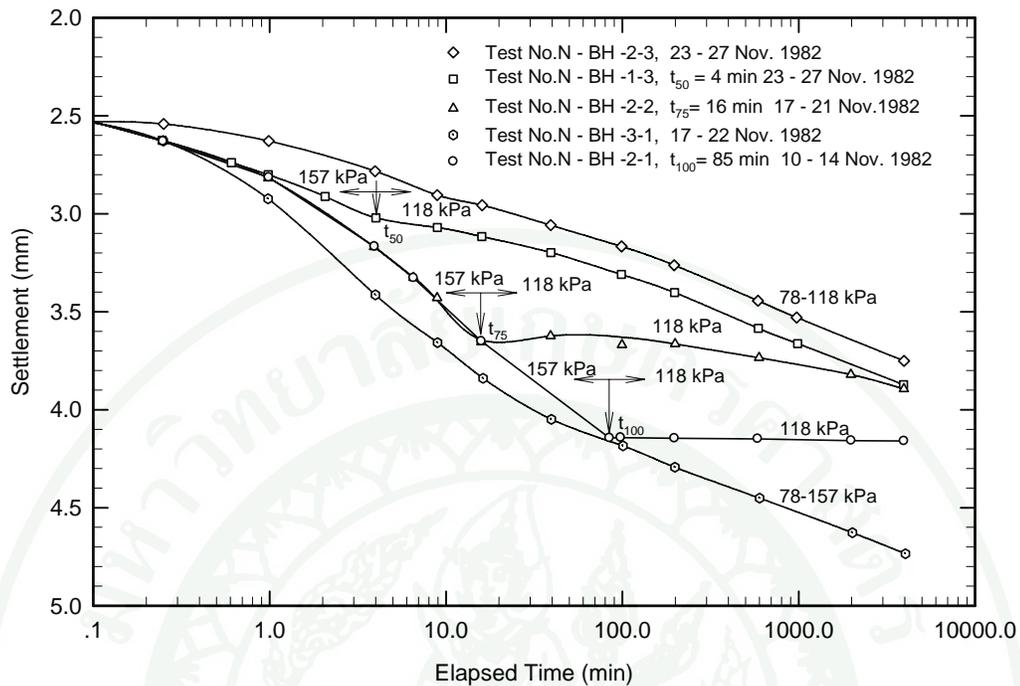


ภาพที่ 13 การทรุดตัวภายหลังจากการทำ Surcharge ที่ t_{50}

ที่มา: Bing (1983)

ภาพที่ 14 แสดงผลการทดสอบเมื่อใส่ น้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 157 kPa เมื่อผ่านเวลาที่ t_{50} , t_{75} และ t_{100} แล้วนำน้ำหนักออกโดยคงค้างไว้ที่ 118 kPa ผลการทดสอบที่เวลา t_{50} นั้นเกิดอัตราการทรุดตัวลดลงเล็กน้อยหลังจากมีการนำน้ำหนักออก แต่เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการทรุดตัวเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบที่ t_{75} เมื่อมีการนำน้ำหนักออกทำให้ดินเกิดการบวมตัวขึ้นเล็กน้อย เมื่อผ่านเวลา ณ ที่มีการบวมตัวสูงสุด ดินตัวอย่างจึงมีอัตราการทรุดตัวเพิ่มขึ้นอีกครั้ง และผลการทดสอบที่ t_{100} เมื่อมีการนำน้ำหนักออก ดินตัวอย่างมีอัตราการทรุดตัวน้อยมากหรือแทบจะไม่มีทรุดตัว จากผลการทดสอบของ Bing (1983) ถ้าแรงดันน้ำในมวลดินมีการระบายออกจนเกือบหมดและมีการใช้เทคนิค Surcharge ในการก่อสร้างนั้น สามารถช่วยลดการทรุดตัวในระยะยาวลงได้

จากการประมาณค่า t_c ของผลการทดสอบของดินตัวอย่างที่ t_{75} ในภาพที่ 14 พบว่ามีค่า t_c ประมาณ 60 นาที, t_{pr} ประมาณ 23 นาที ได้อัตราส่วน t_c/t_{pr} เท่ากับ 2.6 สามารถคำนวณหาค่า R'_s ได้เท่ากับ 0.25



ภาพที่ 14 เปรียบเทียบการทรุดตัวภายหลังจากการทำ Surcharge ของเปอร์เซ็นต์การระบายน้ำที่ 50, 75 และ 100 %

ที่มา: Bing (1983)

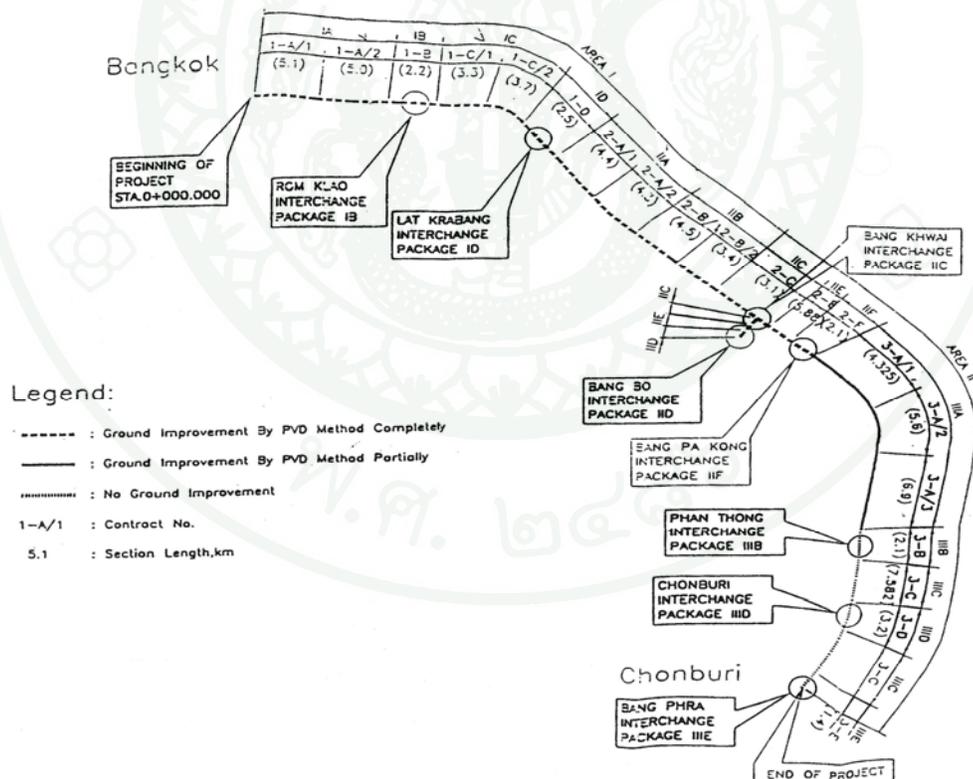
3. โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 7 [กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)]

3.1 ลักษณะของโครงการ

ทางหลวงหมายเลข 7 เริ่มมีการศึกษาความเหมาะสมในการก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2530-2532 โดยคณะผู้เชี่ยวชาญจากประเทศญี่ปุ่น ได้ระบุว่าควรมีทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองเพื่อรองรับปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น จึงได้มีการริเริ่มสร้างทางหลวงหมายเลข 7 เนื่องจากโครงการตั้งอยู่ในบริเวณที่มีดินเหนียวอ่อนหนา กรมทางหลวงจึงได้นำวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินโดย PVD ร่วมกับเทคนิค Surcharge มาใช้ในโครงการ เพื่อเร่งการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนให้เร็วขึ้นในระหว่างการก่อสร้างถนน และลดการทรุดตัวของถนนเมื่อเปิดใช้งาน ในต่างประเทศได้มีการใช้ PVD ร่วมกับเทคนิค Surcharge เพื่อลดการทรุดตัวของดินอ่อนในการก่อสร้างต่างๆเช่น สนามบิน Kansai

International Airport (ญี่ปุ่น), Changi East Reclamation Project (สิงคโปร์) สำหรับในประเทศไทย กรมทางหลวงได้นำเทคนิคนี้มาใช้กับทางหลวงหมายเลข 7 เป็นแห่งแรก

ทางหลวงหมายเลข 7 มีจุดเริ่มต้นที่ถนนศรีนครินทร์และสิ้นสุดที่ถนนชลบุรี-พิทยา มีระยะทางยาวประมาณ 82 กิโลเมตร มีทางแยกต่างระดับ 8 แห่ง ดังแสดงในภาพที่ 15 ลักษณะโครงการเป็นถนน 4 ช่องจราจรผิวทางเป็น Asphaltic Concrete ไหล่ทางข้างละ 2.5 m มี Frontage Road ขนานไปกับถนน มีความกว้างของผิวคั่นทาง 44 m สูง 2.70 m ความกว้างของ Beam เท่ากับ 14 m และสูง 1.5 m ความลาดของคันทาง 1:2 มีการติดตั้ง PVD ในชั้นดินอ่อน (MEBRA MD7007, $k = 6.5 \times 10^{-4}$ m/sec) ความยาวของ PVD อยู่ในช่วง 8-14 m โดยเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะชั้นดิน ระยะห่างของ PVD เท่ากับ 1.2 m ติดตั้งแบบสามเหลี่ยม มีพื้นที่หน้าตัด 100×5.3 mm Mandrel มีพื้นที่หน้าตัด 120×58 mm, พารามิเตอร์ในการออกแบบ $c_v = 4 \times 10^{-4}$ cm²/sec, $c_h = 8 \times 10^{-4}$ cm²/sec ใช้งบประมาณ 12,750 ล้านบาท เปิดให้บริการเมื่อ พ.ศ. 2540 (ขงยุทธ และคณะ, 2541)



ภาพที่ 15 แผนที่แสดงเส้นทางหลวงหมายเลข 7 [กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)]

ที่มา: Likitwanagam (2539)

3.2 ลักษณะชั้นดินของทางหลวงหมายเลข 7

ลักษณะชั้นดินของทางหลวงหมายเลข 7 จาก Final Report ของ Lin (1999) แสดงในภาพที่ 17 และ 18 ซึ่งประกอบด้วย Weathered Crust, Very Soft to Soft Clay, Medium Stiff Clay และ Stiff to Hard Clay

Weathered Crust มีความลึกของชั้นดินตั้งแต่ 1-2 m มีค่าความชื้นในดินประมาณ 40-80 %, ซีดจํากัดเหลวประมาณ 60-80 %, ซีดจํากัดพลาสติกประมาณ 25-30 % และหน่วยน้ำหนักประมาณ 1.6-1.8 ตัน/ลูกบาศก์ม

Very Soft to Soft Clay สำหรับโซนที่ 1, 4 และ 5 มีความหนาประมาณ 10 m สำหรับโซนที่ 2 และ 3 และมีความหนาประมาณ 15 m แสดงในภาพที่ 16 มีค่าความชื้นประมาณ 60-120 %, ซีดจํากัดเหลวประมาณ 70-140 %, ซีดจํากัดพลาสติกประมาณ 30-60 % และหน่วยน้ำหนักประมาณ 137-147 kN/m³

Medium Stiff Clay มีความหนาประมาณ 2-5 m มีค่าความชื้นประมาณ 40-60 %, ซีดจํากัดเหลวประมาณ 40-80 %, ซีดจํากัดพลาสติกประมาณ 30-40 % และหน่วยน้ำหนักประมาณ 157-176 kN/m³

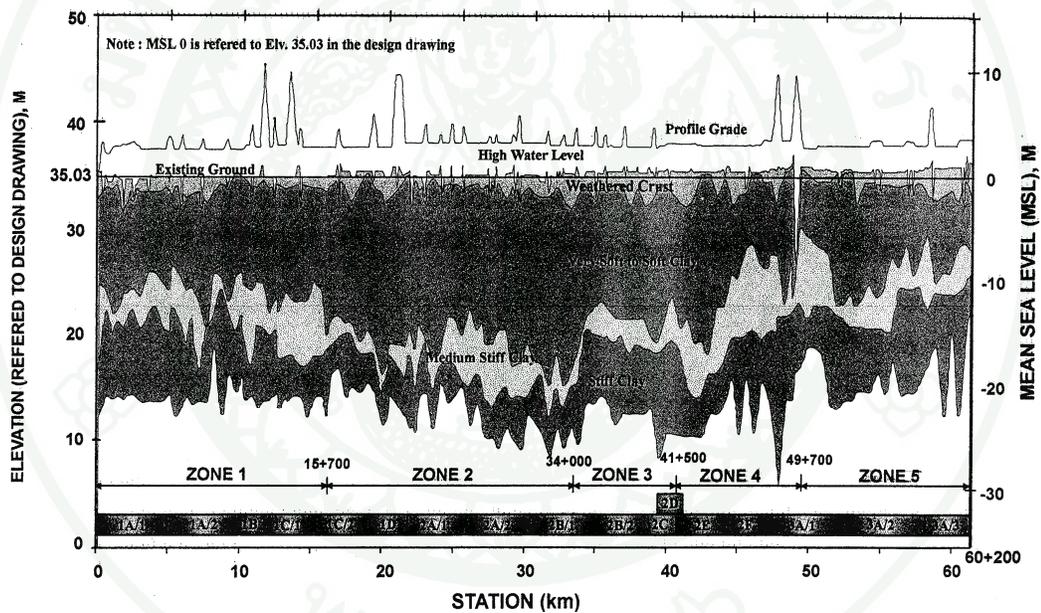
Stiff to Hard Clay มีความลึกประมาณ 20 m ลงไปมีค่าความชื้น, ซีดจํากัดเหลว และ ซีดจํากัดพลาสติกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินชั้น Medium Stiff Clay หน่วยน้ำหนักประมาณ 176-196 kN/m³

คุณสมบัติของดินบริเวณทางหลวงหมายเลข 7 สำหรับ Section 1A/2 กิโลเมตรที่ 5+100 – 10+100 ซึ่งอยู่ในบริเวณที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำใต้ดิน และ Section (1-C/2) กิโลเมตรที่ 15+700 – 19+600 ซึ่งอยู่ในบริเวณที่ทำการวัดค่าการทรุดตัวของถนนแสดงในภาพที่ 17 และ 18

Very Soft to Soft Clay มีค่าความชื้นประมาณ 60-120 %, หน่วยน้ำหนักประมาณ 147 kN/m^3 , ผลการทดสอบ Unconfined Compression Test (s_u) ประมาณ 9.8 kPa และค่า Compression Ratio ($C_c/1 + e_0$) เท่ากับ 0.4

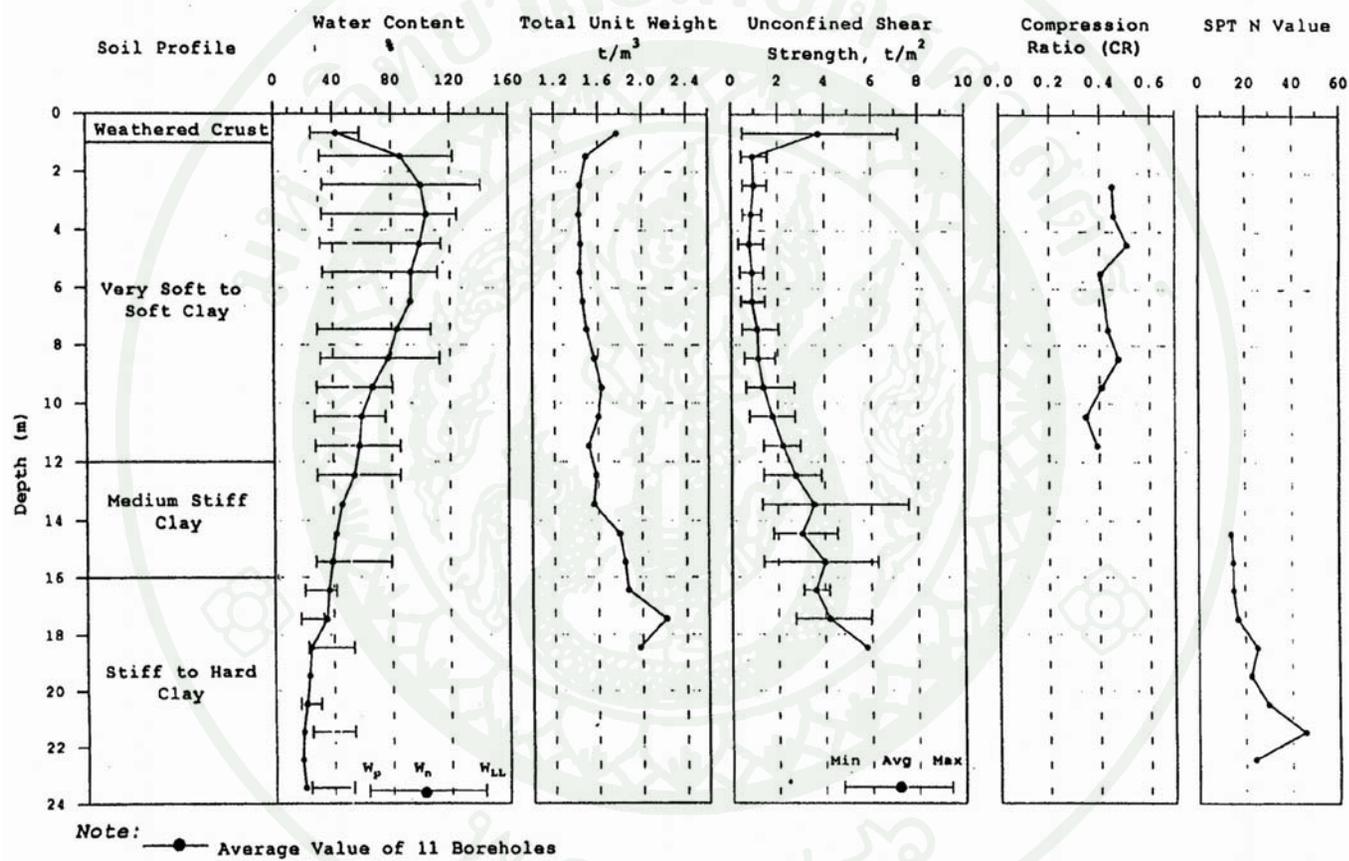
Medium Stiff Clay มีค่าความชื้นประมาณ 40-70 %, หน่วยน้ำหนักประมาณ 157 kN/m^3 , ผลการทดสอบค่า s_u ประมาณ 19.6-39.2 kPa และค่า SPT เท่ากับ 15 blow/ft

Stiff to Hard Clay มีค่าความชื้นประมาณ 10-30 %, หน่วยน้ำหนักประมาณ 176-196 kN/m^3 , ผลการทดสอบค่า s_u ประมาณ 39-59 kPa และค่า SPT เท่ากับ 20-40 blow/ft



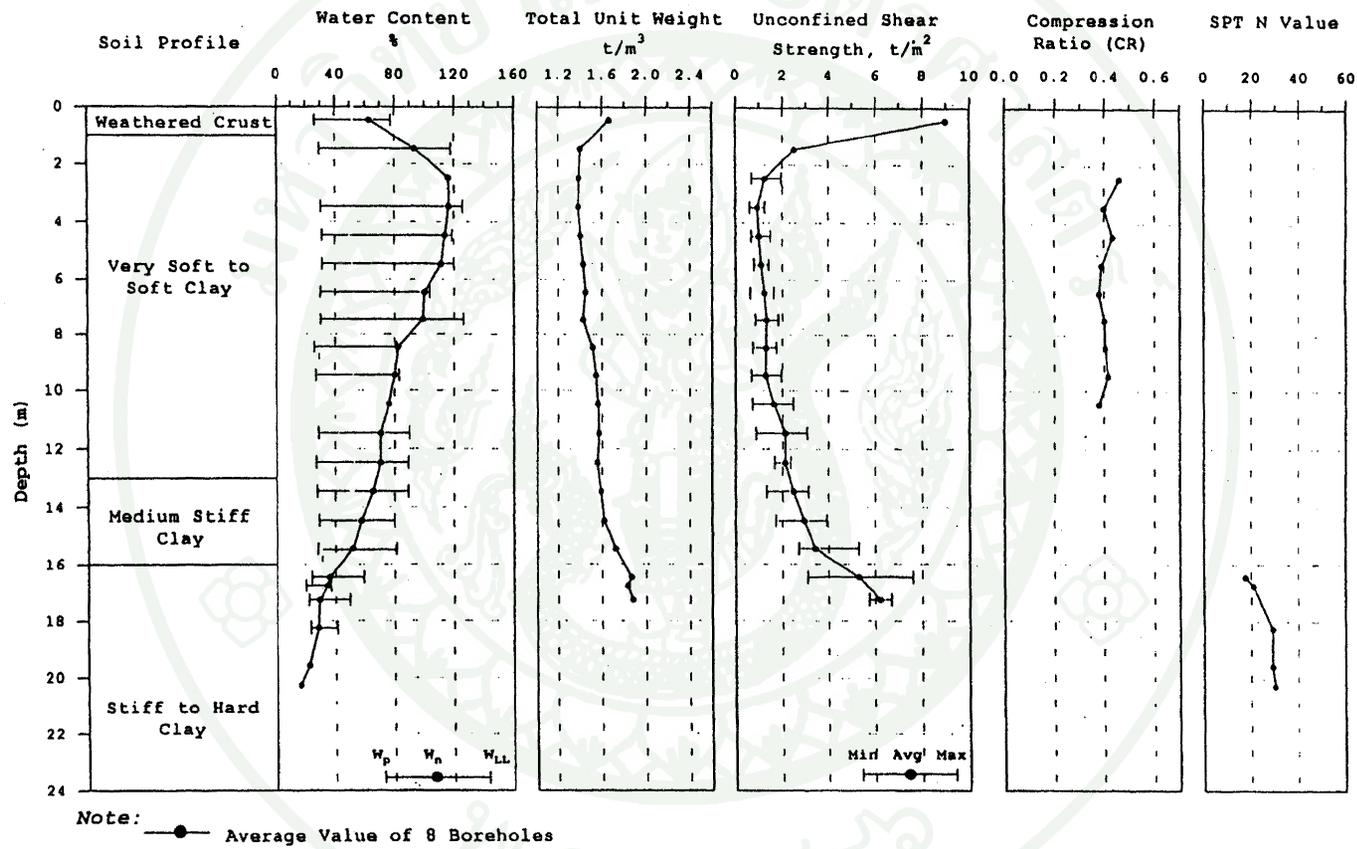
ภาพที่ 16 ลักษณะชั้นดินของทางหลวงหมายเลข 7

ที่มา: Lin (1999)



ภาพที่ 17 ลักษณะคุณสมบัติของดิน Section 1-A/2 กิโลเมตรที่ 5+100 ถึง 10+100

ที่มา: Lin (1999)



ภาพที่ 18 ลักษณะคุณสมบัติของดิน Section 1-C/2 กิโลเมตรที่ 15+700 ถึง 19+600

ที่มา: Lin (1999)

3.3 พฤติกรรมการทรุดตัวของระหว่างการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 7

ธีรชาติ (2541) ได้รายงานผลการตรวจวัดการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7 ในระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งมีอัตราการทรุดตัว 2 cm/month ที่ระยะเวลา 960 วัน มีค่าการทรุดตัวสูงสุดประมาณ 1.6 m สำหรับบริเวณที่ดินใต้คันทางเป็นดินเหนียวอ่อนที่หนาไม่เกิน 14 m ส่วนบริเวณที่มีดินเหนียวอ่อนหนามาก ประมาณ $16\text{-}20 \text{ m}$ การทรุดตัวจะมีค่ามากกว่า 2 m และอัตราการทรุดตัวประมาณ 5 cm/month ปริมาณการทรุดตัวน้อยสุดอยู่ที่ Section 1-B, 2-F, และ 3-A/3 (ดูภาพที่ 15) มีค่าการทรุดตัวเท่ากับ 72 cm ปริมาณการทรุดตัวมากที่สุดอยู่ที่ Section 2-B/1 มีค่าการทรุดตัวเท่ากับ 2.39 m

การเคลื่อนตัวด้านข้างของทางหลวงหมายเลข 7 ในระหว่างการก่อสร้าง กำหนดให้ การเคลื่อนตัวด้านข้างไม่เกิน $1/3$ เท่าของความสูง Surchage แต่ในบางช่วงของถนน ที่ดินเหนียวอ่อนมีกำลังต่ำมาก จึงกำหนดให้การเคลื่อนตัวด้านข้างไม่เกิน $1/4$ เท่าของความสูง Surchage การเคลื่อนตัวด้านข้างน้อยที่สุดอยู่ที่ Section 1-A/1 มีค่าการเคลื่อนตัวเท่ากับ 8.6 cm การเคลื่อนตัวด้านข้างมากที่สุดอยู่ที่ Section 2-B/1 มีค่าการเคลื่อนตัวเท่ากับ 57.8 cm แสดงในตารางที่ 5

การระบายแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Porewater Pressure) ออกจากมวลดิน สำหรับทางหลวงหมายเลข 7 นั้นพบว่า การระบายแรงดันน้ำส่วนเกินออกจากมวลดินเป็นไปอย่างช้า เนื่องจากสาเหตุของขั้นตอนการก่อสร้าง โดยเฉพาะในการถมชั้นทรายระบายน้ำในช่วงความสูง 1 m ซึ่งอาจจะรบกวนดินเหนียวอ่อนทำให้ค่าการไหลซึม (Permeability) มีค่าน้อยลงกว่าที่ออกแบบไว้ ดินที่ถูกรบกวนจะทำให้ค่า Permeability ลดลงได้ $2 - 3$ เท่า

สำหรับ Section 1-C/2 (กิโลเมตรที่ $15+700$ ถึง $19+600$) ซึ่งอยู่ในบริเวณที่ทำการวัดค่าการทรุดตัวของถนนนั้นจาก Final Report ของ Lin (1999) พบว่ามีการออกแบบให้ถม Surchage เป็นระยะเวลา 9-12 เดือน แต่ใช้เวลาในการถมจริง 12-14 เดือน มีค่าออกแบบการทรุดตัวเท่ากับ $1.52\text{-}1.85 \text{ m}$ มีการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงเท่ากับ 1.74 m หรือเท่ากับ 94% แต่มีการคาดการณ์ว่าจะมีการทรุดตัวถึง 2.10 m

จากข้อมูลการทรุดตัวของ นพพร (2545) กิโลเมตรที่ $24+000$ ซึ่งมีการเก็บข้อมูลเริ่มตั้งแต่มีการถมดินจนกระทั่ง Surchage มีความสูงเท่ากับ 1.95 m แล้วทิ้งไว้รอการทรุดตัวเป็น

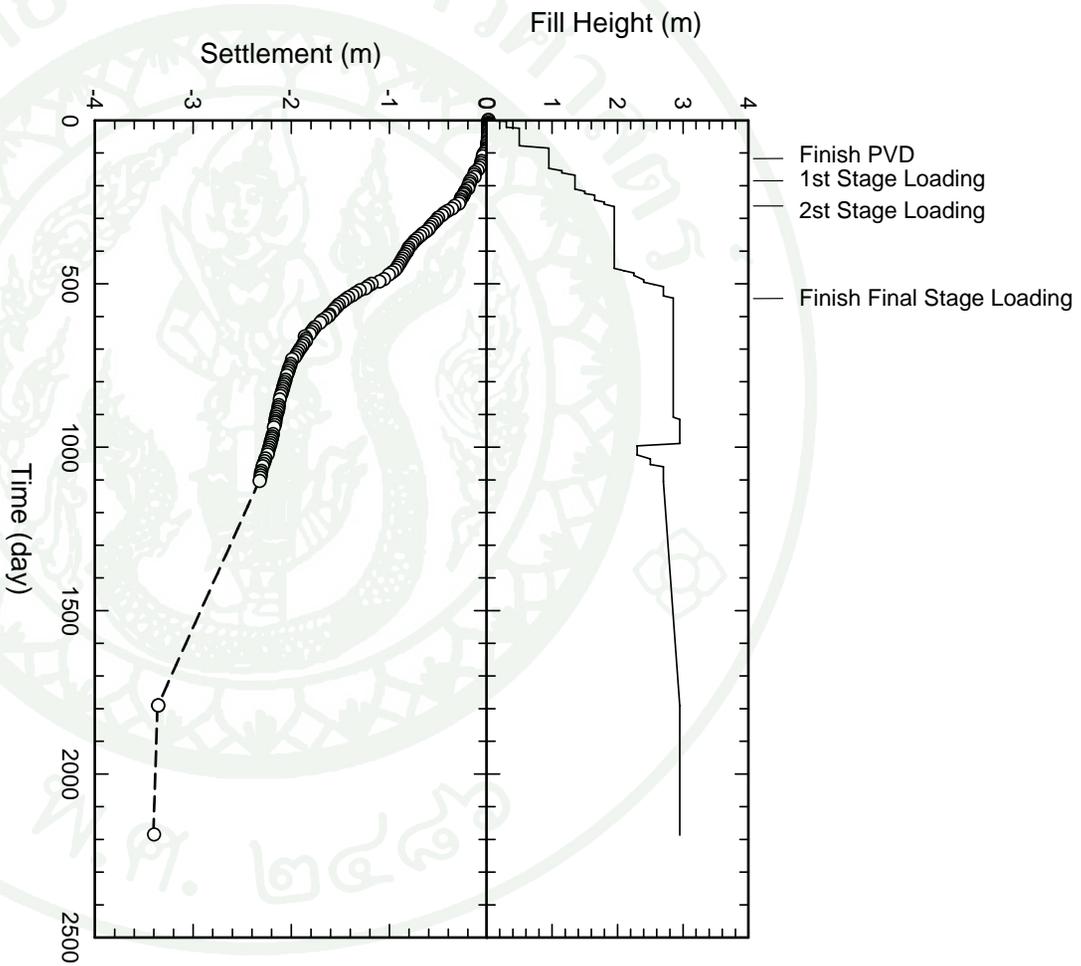
ระยะเวลา 189 วัน มีค่าการทรุดตัว 0.932 m จึงทำการถม Surcharge อีกครั้งมีค่าความสูงเท่ากับ 2.85 m มีค่าการทรุดตัว 2.162 m แล้วทิ้งไว้เป็นระยะเวลาเท่ากับ 1 ปี จึงทำการถม Surcharge สูงสุดเท่ากับ 2.95 m เป็นระยะเวลา 81 วัน มีค่าการทรุดตัว 2.22 m จึงมีการนำ Surcharge ออกเหลือเท่ากับ 2.3 m จากนั้นมีการทำถนนทำให้ความสูงของดินถมเพิ่มขึ้นเป็น 2.5 และ 2.7 m รวมระยะเวลาทั้งหมดเท่ากับ 1,105 วัน หรือประมาณ 3 ปี มีค่าการทรุดตัว 3.407 m นับจากวันที่เริ่มมีการถมดินแสดงในภาพที่ 19



ตารางที่ 5 ค่าการทรุดตัวและการเคลื่อนตัวด้านข้างของทางหลวงหมายเลข 7

Section	Fill Height (m)	PVD Finish	Settlement at PVD Finish (cm)	Time after PVD Installation (day)	Settlement after PVD (cm)	Settlement Rate after PVD (mm/day)	Total Settlement (cm)	Current (date)	Soil Lateral Movement (cm)
1-A/1	2.70	3/1/1995	8.1	755	104.4	1.38	112.5	25/3/1997	8.60
1-A/2	2.00	24/11/1995	3.0	407	162.0	3.98	165.0	1/4/1997	12.55
1-B	2.70	4/8/1995	13.5	709	59.3	0.84	72.8	17/3/1997	9.71
1-C/1	2.00	20/11/1994	4.5	861	146.5	1.70	151.0	30/3/1997	25.82
1-C/2	3.00	1/5/1995	3.1	812	138.9	1.71	142.0	27/3/1997	18.17
1-D	2.25	5/12/1995	2.3	686	136.9	2.00	139.2	28/3/1997	14.93
2-A/1	2.95	8/12/1994	6.8	843	214.1	2.54	220.9	30/3/1997	17.10
2-A/2	2.95	13/1/1995	6.9	801	190.6	2.38	197.5	24/3/1997	51.31
2-B/1	2.70	12/10/1994	7.4	814	231.5	2.84	238.9	3/3/1997	57.78
2-B/2	2.85	16/2/1995	5.9	740	154.2	2.08	160.1	25/2/1997	32.84
2-C	2.85	20/5/1995	3.5	928	125.4	1.35	128.9	12/3/1997	34.50
2-D	2.85	17/6/1995	1.5	647	133.5	2.06	135.0	25/3/1997	21.26
2-E(43+950)	2.5	22/11/1995	2.5	Surcharge Removed			122.4	19/2/1997	12.30
2-E(1+600)	2.35	16/1/1995	9.0				175.9	18/2/1997	35.11
2-F	2.2	31/1/1995	2.5				73.5	19/2/1997	12.17
2-F	Settlement after Installation of Inclinometer								
3-A/1	2.25	3/10/1995	4.0	Surcharge Removed			203.9	5/2/1997	27.67
3-A/2	2.25	10/5/1994	11.0				155.5	14/1/1997	16.96
3-A/3	2.25	14/2/1995	4.4				72.2	22/12/1997	13.05

ที่มา: ชีรชาติ (2541)



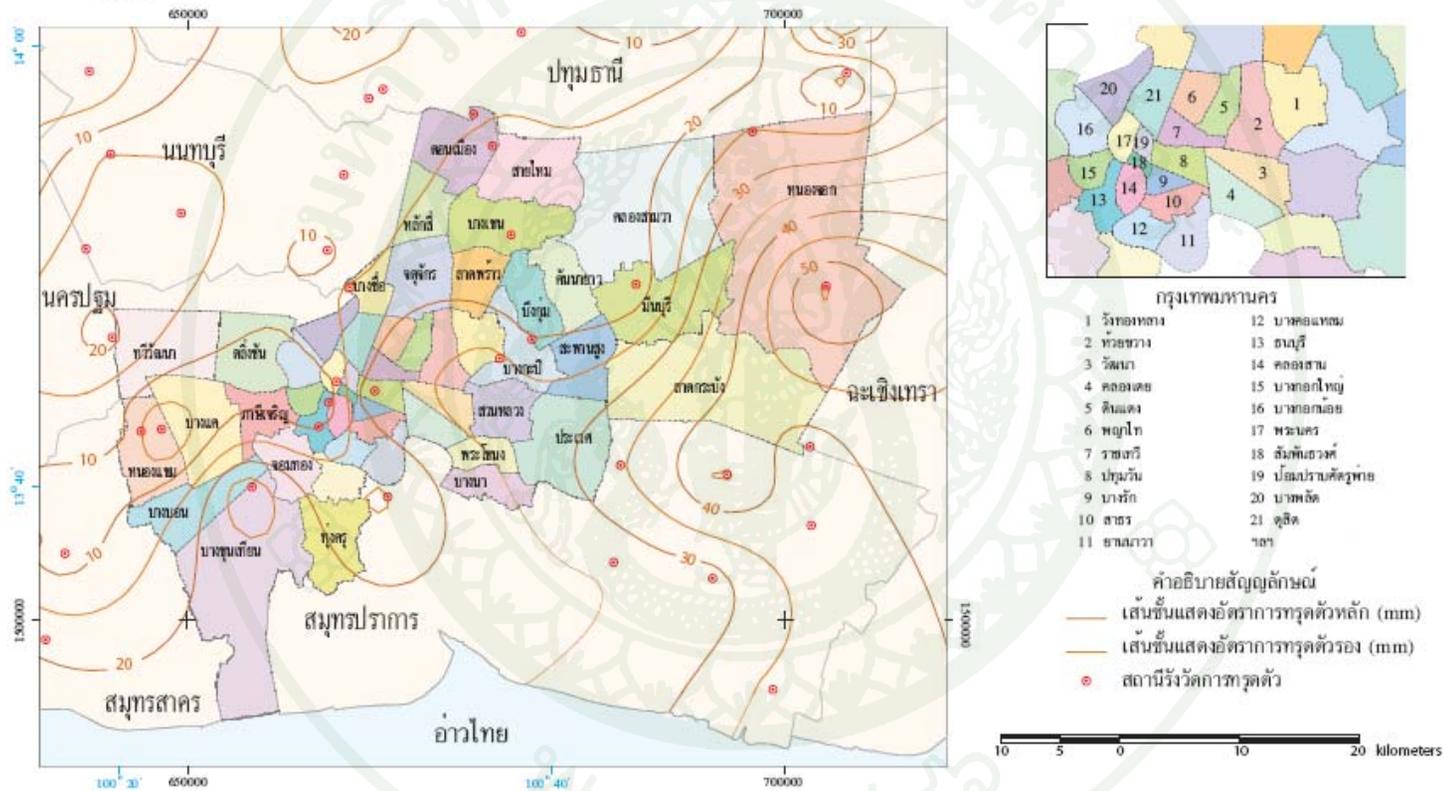
ภาพที่ 19 ข้อมูลการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7 กิโลเมตรที่ 24 + 000
ที่มา: นพพร (2545)

3.4 แรงดันน้ำใต้ดิน

ปัญหาเรื่องการทรุดตัวเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล มีมาอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน โดยเฉพาะเขตบางกะปิ มีปริมาณการทรุดตัวสะสมสูงสุดเท่ากับ 1.05 m ส่วนบริเวณที่ทางหลวงหมายเลข 7 ตัดผ่าน โดยเฉพาะในเขตลาดกระบัง มีการทรุดตัวสะสมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 ถึง 2548 ประมาณ 60-90 cm มีอัตราการทรุดตัวอยู่ที่ 3-4 cm/year ดังแสดงในภาพที่ 20 จากปัญหานี้ทำให้มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการวัดค่าแรงดันน้ำใต้ดินเช่น Shibuya *et al.* (1998) และ Itou *et al.* (2002) ทำการตรวจวัดที่ Asian Institute of Technology (AIT), เอกชัย (EC), สนามบินหนองงูเห่า (NNH), ถนนวงแหวนรอบนอก (OBRR) และ สุทธิสาร (SUT) เป็นต้น ปรากฏว่า แรงดันน้ำใต้ดินมีค่าเท่ากับแรงดันน้ำนิ่ง (Hydrostatic) ในช่วงความลึกประมาณ 7 m จากผิวดิน ที่ระดับความลึก 8-20 m จากผิวดิน แรงดันน้ำค่อยลดน้อยลง และที่ระดับความลึกชั้นทรายชั้นที่ 1 (ระดับความลึก 21-25 m) แรงดันน้ำใต้ดินมีค่าลดลงอย่างมากเนื่องมาจากการสูบน้ำบาดาล ดังแสดงในภาพที่ 21

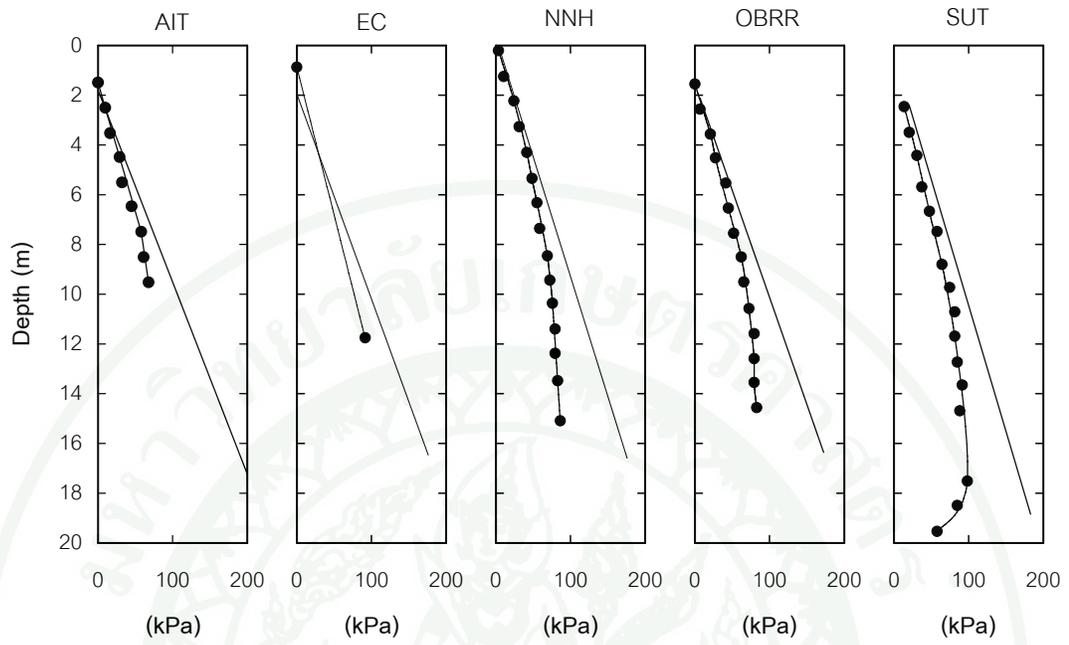


อัตราการทรุดตัวของพื้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ระหว่างปี พ.ศ.2547 - พ.ศ.2548



ภาพที่ 20 อัตราการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล

ที่มา: กรมแผนที่ทหาร (2549)



ภาพที่ 21 ผลการตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดินในกรุงเทพฯ

ที่มา: Shibuya and Tamrakar (2003)

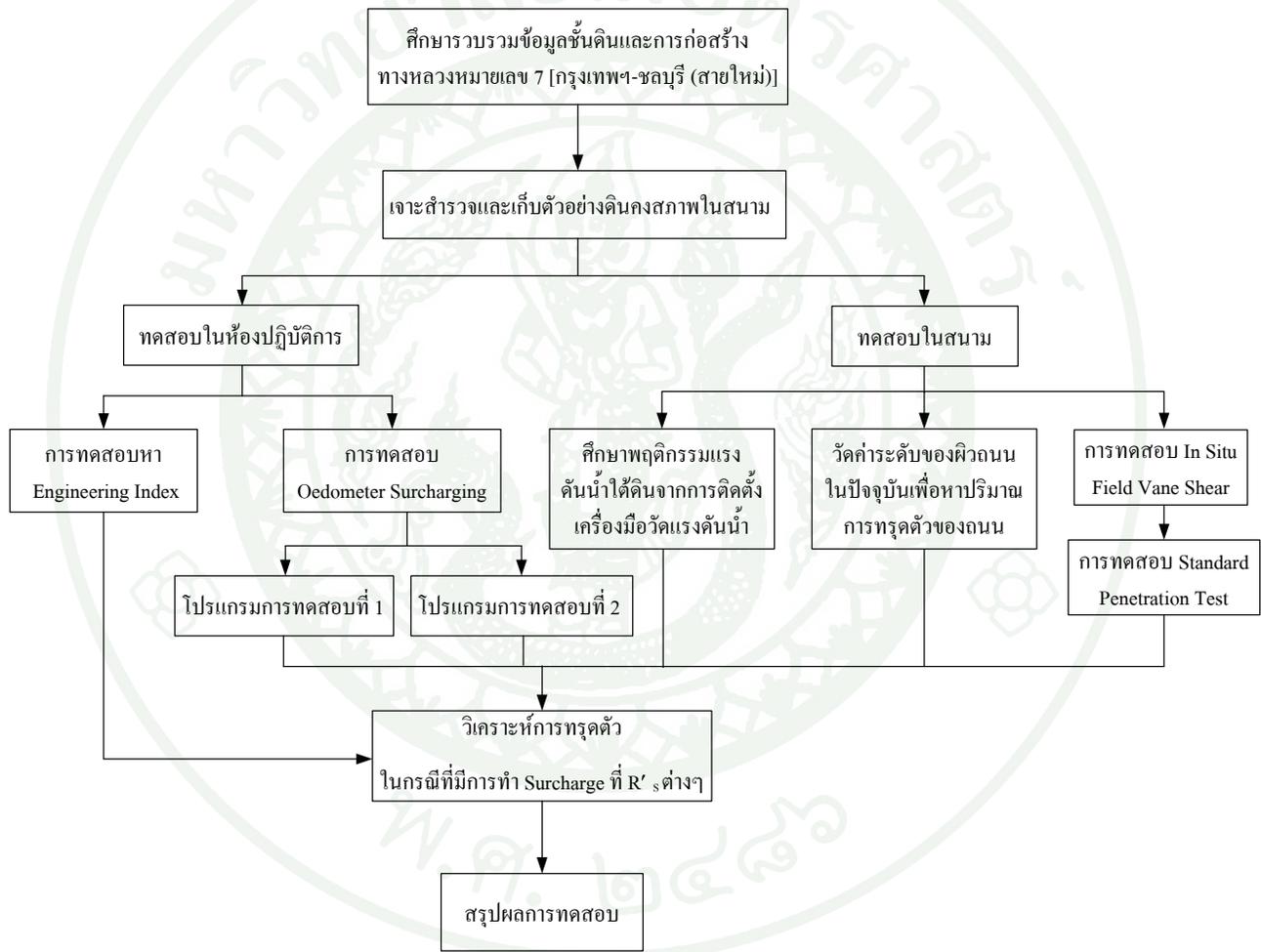
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

- 1 ชุดเครื่องมือเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินภาคสนาม ได้แก่ In Situ Field Vane Shear Test และ Standard Penetration Test
- 2 ชุดเครื่องมือการทดสอบ Engineering Index ได้แก่ ชุดการทดสอบ Natural Water Content, Total Unit Weight, Atterberg's Limit, Specific Gravity และ Sieve and Hydrometer
- 3 ชุดเครื่องมือการทดสอบ Oedometer Surcharging
- 4 อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำใต้ดินดังแสดงในภาพที่ 28 และ 29
- 5 อุปกรณ์ในการสำรวจหาค่าระดับ

วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาเริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลชั้นดินและการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 7 จากหน่วยงานต่างๆ อาทิเช่น สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง, ผลการศึกษาของนักวิจัยที่ผ่านมา และรายงานสรุปการก่อสร้าง เป็นต้น มีการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ จำนวน 6 หลุม และการทดสอบในสนามซึ่งได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ดังแสดงในภาพที่ 24 ถึง 27 สำหรับการทดสอบนั้นได้แบ่งออกเป็น การทดสอบในสนามประกอบด้วย การทดสอบ Standard Penetration Test และ In Situ Field Vane Shear Test, การติดตั้งเครื่องมือวัดค่าแรงดันน้ำใต้ดินบริเวณกิโลเมตรที่ 6+650 และการวัดค่าการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7 การทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย การทดสอบ Engineering Index และการทดสอบ Oedometer Surcharging ซึ่งขั้นตอนต่างๆ ได้แสดงไว้ในแผนผังการดำเนินงานในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 แผนผังการดำเนินงาน

1. การเจาะสำรวจดินและทดสอบในสนาม

การเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดินในสนามได้เริ่มทำการเจาะสำรวจเมื่อวันที่ 9 ตุลาคม 2550 ถึงวันที่ 15 ตุลาคม 2550 โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง การทดสอบในสนามประกอบด้วย Standard Penetration Test (SPT), In Situ Field Vane Shear [$S_{U(FV)}$] การติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำใต้ดิน และการวัดค่าการทรุดตัวที่ผิวทางของทางหลวง หมายเลข 7

1.1 การเจาะสำรวจเก็บดินตัวอย่าง

การเจาะสำรวจดินบริเวณทางหลวงหมายเลข 7 ในการดำเนินการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดินพร้อมทั้งทำการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) และ In Situ Field Vane Shear [$S_{U(FV)}$] โดยมีการเจาะสำรวจทั้งหมด 6 หลุม แบ่งออกเป็นหลุมเจาะที่อยู่ในบริเวณที่มีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD จำนวน 3 หลุม ได้แก่หลุมเจาะที่ 1 (ภาพที่ 24ก และ ข), 3 (ภาพที่ 24ค และ ง) และ 5 (ภาพที่ 24จ และ ฉ) ซึ่งเจาะสำรวจติดกับบริเวณคันทาง และหลุมเจาะสำรวจที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการปรับปรุงคุณภาพดินจำนวน 3 หลุม ได้แก่ หลุมเจาะสำรวจที่ 2 (ภาพที่ 25ก และ ข), 4 (ภาพที่ 25ค และ ง) และ 6 (ภาพที่ 25จ และ ฉ) ซึ่งเจาะสำรวจห่างจากคันทางประมาณ 100 m โดยหลุมเจาะสำรวจที่ 1 และ 2 อยู่บริเวณด้านทับข้าง Interchange ซึ่งเป็นทางแยกระหว่างทางหลวงหมายเลข 7 กับทางหลวงหมายเลข 9 (มอเตอร์เวย์บางนา-บางปะอิน) กิโลเมตรที่ 6+650, หลุมเจาะสำรวจที่ 3 และ 4 อยู่บริเวณทางแยกระหว่างทางหลวงหมายเลข 7 กับถนนหลวงแพ่ง กิโลเมตรที่ 21+175 และหลุมเจาะสำรวจที่ 5 และ 6 อยู่บริเวณแม่น้ำบางปะกง กิโลเมตรที่ 46+175 ดังภาพที่ 23 ความลึกของหลุมเจาะ BH1 ถึง BH6 เท่ากับ 24.5 ถึง 30.5 m ซึ่งเป็นชั้นทราย

ระหว่างการเจาะสำรวจได้มีการเก็บตัวอย่างดินแบบ Undisturbed ในชั้นดินเหนียวอ่อนมาก และดินเหนียวอ่อน (Very Soft to Soft Clay) โดยใช้กระบอกชนิดเปลือกบาง (Thin Wall Tube) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 in (7.62 cm) ยาว 23 in (ประมาณ 60 cm) โดยเก็บดินตัวอย่างทุกความลึก 1.5 m และสามารถเก็บตัวอย่างดินเหนียวอ่อนได้ทั้งหมด 54 กระบอก ดังสรุปในตารางที่ 6 ดินตัวอย่างทั้งหมดได้นำมาเก็บไว้ที่ห้องควบคุมความชื้น ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

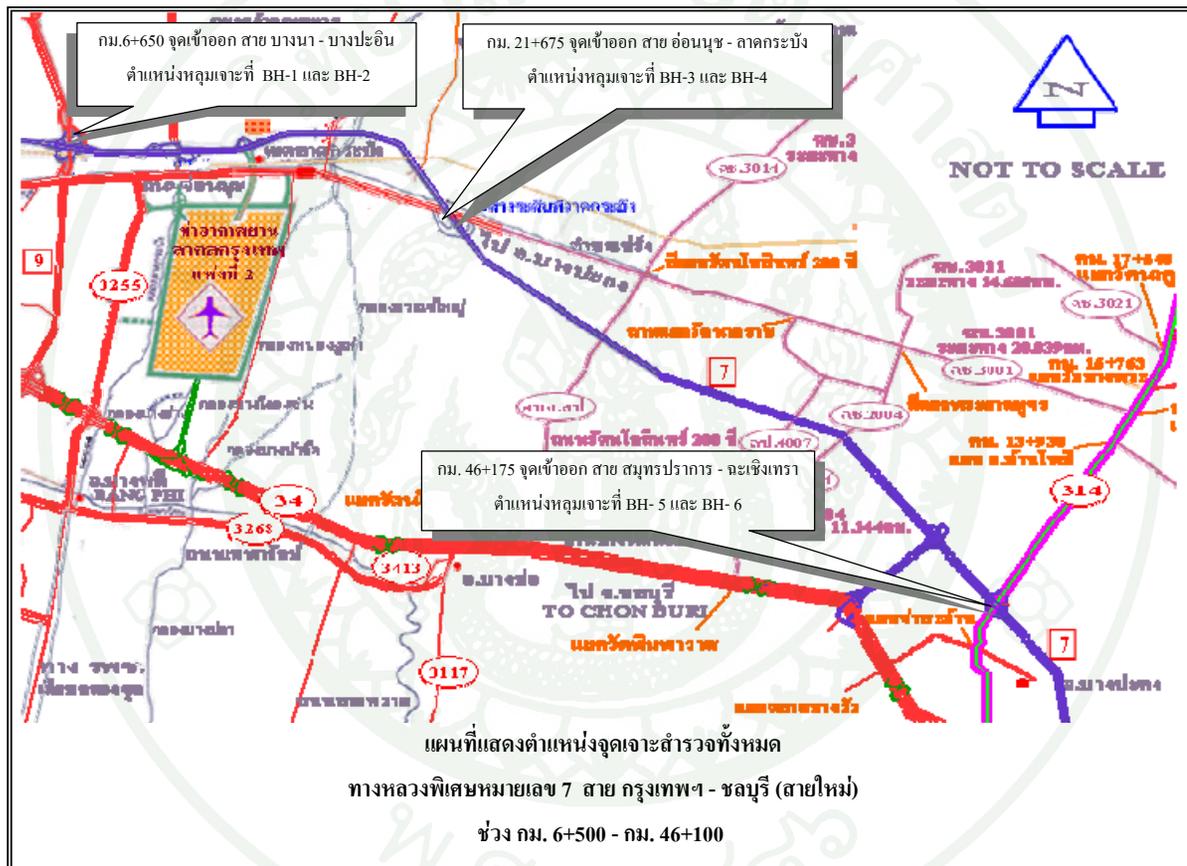
ตารางที่ 6 จำนวนตัวอย่างดินอ่อนที่เก็บได้จากหลุมเจาะสำรวจ

หลุมเจาะสำรวจ	ความลึก (m)	จำนวนตัวอย่างดินอ่อนที่เก็บได้จากหลุมเจาะ (กระบอก)
1	24.5	8
2	30.5	9
3	30.5	9
4	30.5	10
5	29.0	9
6	30.5	9
รวม		54

1.2 การทดสอบ Standard Penetration Test และ In Situ Field Vane Shear

การทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) ทำการทดสอบทุกๆความลึก 1.5 m และหยุดการทดสอบเมื่อ SPT > 50 ครั้ง/ฟุต โดยใช้ค้อนเหล็กหนัก 140 lb ยกสูง 30 in ตอกกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2 in จมไปในดินจนครบ 18 in (แบ่งเป็นช่วงละ 6 in จำนวน 3 ช่วง) นับค่าของช่วงที่ 2 และ 3 รวมกันตามมาตรฐาน ASTM D 1586-67 การปฏิบัติงานดังแสดงในภาพที่ 26

การทดสอบ In Situ Field Vane Shear [$S_{U(FV)}$] ทำการทดสอบในชั้นดินเหนียวอ่อนมากและดินเหนียวอ่อนทุกๆความลึก 1.5 m จนกระทั่งสิ้นสุดชั้นดินเหนียวอ่อนหรือเครื่องมือไม่สามารถทดสอบได้ (ความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนมากกว่า 15 m) ใช้เครื่องมือดังภาพที่ 27ก และ ข, การทดสอบ $S_{U(FV)}$ ของหลุมเจาะสำรวจ BH1-BH6 แสดงในภาพที่ 27ค, ง, จ, ฉ, ช และ ซ



ภาพที่ 23 แสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดินกิโลเมตรที่ 6+650 ถึง 46+175

ที่มา: สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2551)



ภาพที่ 24 แสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดินซึ่งอยู่ติดกับคันทาง



ภาพที่ 25 แสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดินซึ่งอยู่ห่างจากคันทาง



ภาพที่ 26 การทดสอบ Standard Penetration Test ของหลุมเจาะสำรวจ BH1 ถึง BH6



ภาพที่ 27 การทดสอบ In-Situ Field Vane Shear ของหลุมเจาะสำรวจ BH1 ถึง BH6

1.3 การติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำใต้ดินในสนาม

งานวิจัยนี้ได้มีการดำเนินการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำในชั้นดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ ได้ค้นทาง เพื่อศึกษาแรงดันน้ำในชั้นดินเหนียวอ่อนภายหลังจากการก่อสร้างและเปิดบริการ เพื่อใช้สำหรับประกอบการวิเคราะห์การทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7 โดยใช้ Electric Piezometer (KU-Type) จำนวน 3 ชุด และ Standpipe Piezometer จำนวน 1 ชุด ที่ผลิตจากศูนย์นวัตกรรมของภาควิชาวิศวกรรมโยธา

Electric Piezometer (KU-Type) ประกอบด้วย Pressure Sensor, หินพรุน (Low Air Entry Porous Stone) และชุดทองเหลือง (วิญญพงศ์ และคณะ, 2550) ดังภาพที่ 28 ซึ่ง Pressure Sensor ทำหน้าที่เปลี่ยนความดันน้ำเป็นสัญญาณไฟฟ้า ทำให้มีความไวในการอ่านค่าเมื่อความดันน้ำเปลี่ยนแปลง, หินพรุนทำหน้าที่กรองน้ำให้ไหลเข้าสู่ Pressure Sensor แต่จะปิดกั้นอนุภาคของดินไม่ให้ไหลเข้ามาด้วย หินพรุนจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าชุดทองเหลืองเล็กน้อย เพื่อป้องกันมิให้เกิดแรงเสียดทานขณะทำการกดเครื่องมือลงในชั้นดินอ่อน

Standpipe Piezometer ประกอบด้วยหินพรุนและแท่งเหล็กปลายแหลมดังภาพที่ 29 โดยหินพรุนจะอยู่ภายในท่อเหล็กที่เจาะรูทำหน้าที่กรองน้ำให้ไหลเข้าสู่ท่อเหล็ก ซึ่ง Standpipe Piezometer ใช้ในการวัดค่าระดับน้ำใต้ดิน

ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำอยู่บริเวณกิโลเมตรที่ 6+650 (ด่านทับช้าง Interchange) Electric Piezometer ติดตั้งห่างจากไหล่ทางของทางหลวงหมายเลข 7 ประมาณ 3 m จำนวน 3 ตัว ประกอบด้วย P1, P2 และ P3 ที่ความลึก 2.5, 7 และ 11 m จากผิวดิน ตามลำดับ ตำแหน่งการติดตั้ง Standpipe Piezometer จำนวน 1 ตัว คือ S1 ติดตั้งห่างจากทางหลวงหมายเลข 7 ประมาณ 6 m ที่ระดับความลึก 7 m จากผิวดิน ดังแสดงในภาพที่ 30 โดยเริ่มทำการติดตั้งเมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม 2551 แสดงในภาพที่ 31 และทำการตรวจวัดแรงดันน้ำไปจนกระทั่งถึงวันที่ 23 พฤษภาคม 2552 รวมระยะเวลาทำการตรวจวัด 1 ปี

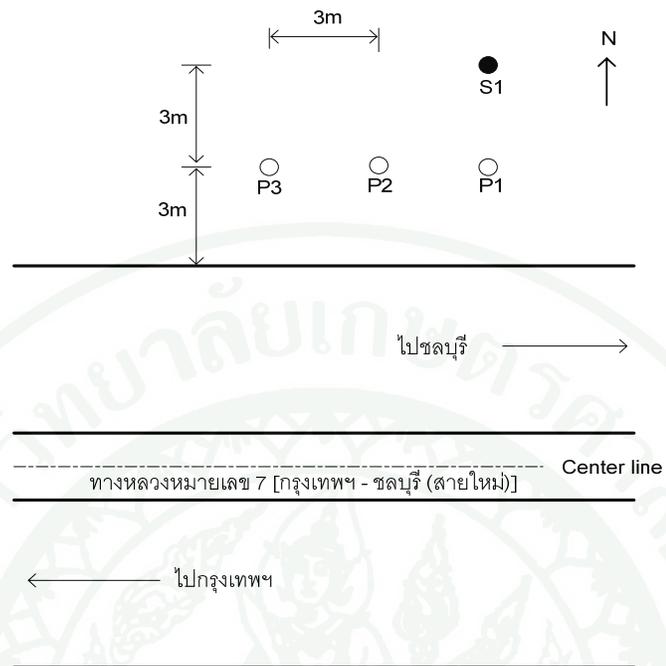


ภาพที่ 28 แสดงอุปกรณ์ของ Electric Piezometer (KU-Type)

ที่มา: วิษณุพงษ์ และคณะ (2550)



ภาพที่ 29 แสดงอุปกรณ์ของ Standpipe Piezometer



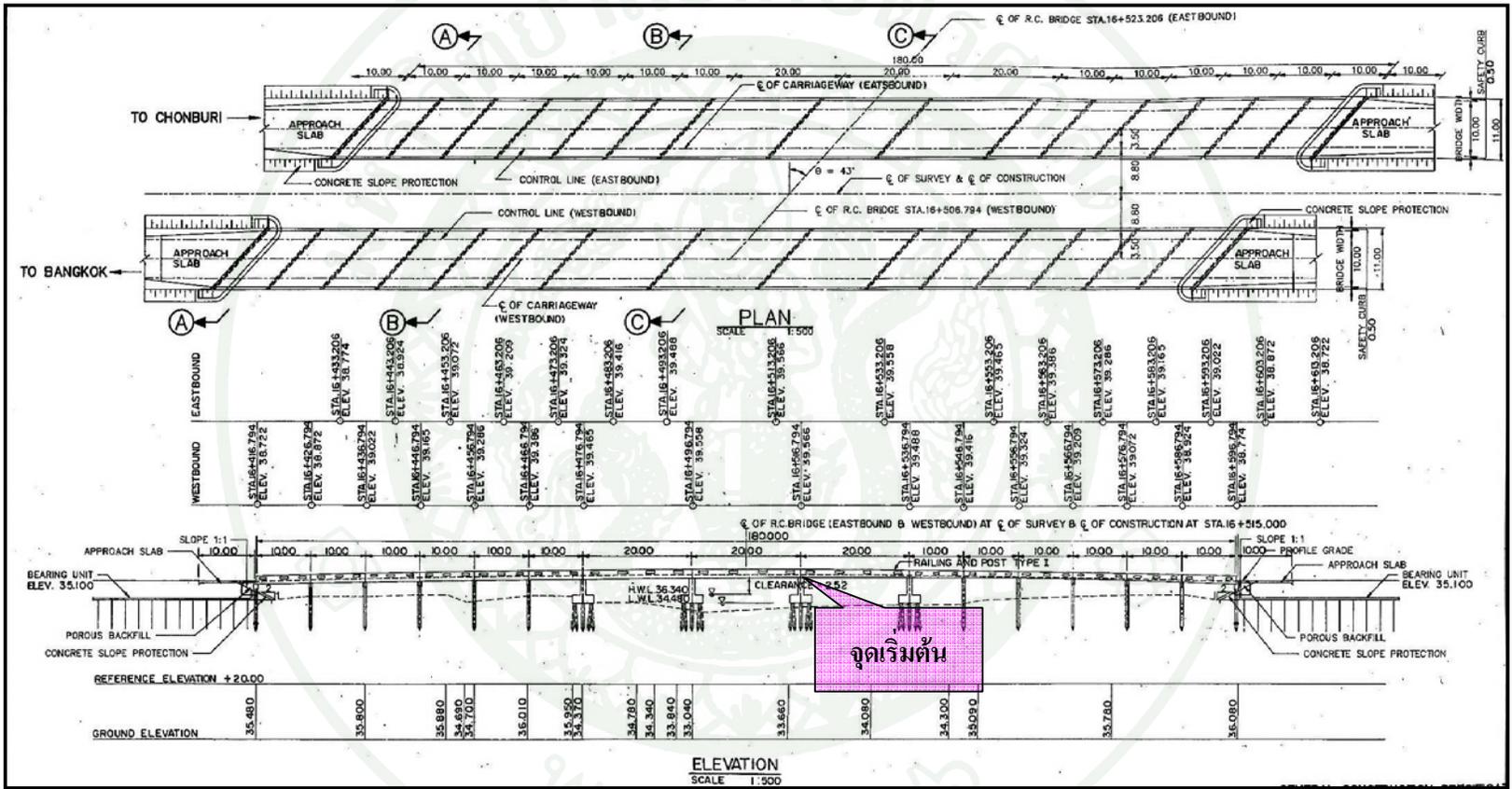
ภาพที่ 30 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำใต้ดินกิโลเมตรที่ 6+650



ภาพที่ 31 การติดตั้งอุปกรณ์ Electronic Piezometer (KU-Type) และ Standpipe Piezometer

1.4 การตรวจวัดค่าการทรุดตัวในสนาม

การวิจัยนี้ได้ดำเนินการตรวจวัดปริมาณการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7 และประสิทธิภาพของเทคนิค Surcharge และ PVD เพื่อลดปัญหาการทรุดตัวภายหลังการก่อสร้างทาง โดยกล้องระดับและหมุดมาตรฐานทางหลวงเมื่อเดือน พฤษภาคม 2552 (ภายหลังจากเปิดใช้งาน ประมาณ 12 ปี) โดยทำการวัดค่าระดับตามยาวของถนน (Profile) ณ ปัจจุบันใช้มาตรฐานการวัดค่า การทรุดตัวตามกรมแผนที่ทหาร มีความละเอียดเท่ากับลำดับขั้นของการสำรวจแบบ Control Survey โดยอ้างอิงจากระดับของผิวทางคอนกรีตที่อยู่บนสะพานกิโลเมตรที่ 16+516.794 (คลองลำ ปลายาว ด้านขาออกกรุงเทพฯ) ดังภาพที่ 32 จุดเริ่มต้นการวัดค่าการทรุดตัวที่ผิวคอนกรีตบนสะพาน ลำปลายาว มีค่าระดับเท่ากับ 39.566 m (ทำการวัดค่าระดับไปตามเส้นจราจรสีขาว) ไปจนกระทั่งถึง กิโลเมตรที่ 17+100 รวมระยะทางเท่ากับ 584 m จากนั้นทำการวัดค่าระดับทุกระยะ 50 m แบบไป และกลับมาถึงที่จุดเดิมเพื่อปรับแก้ค่า Error จากการวัดค่าระดับ แต่เนื่องจากที่ผิวของถนนมีการลาด Asphaltic Concrete เพิ่มเติมหลังจากเปิดใช้งานมีความหนา 10 cm ดังแสดงในภาพที่ 33 และค่า ระดับจากแบบก่อสร้างนั้นเป็นค่าระดับผิวคอนกรีตที่อยู่ ณ จุดกึ่งกลางของผิวจราจร จึงต้องมีการ ปรับแก้ค่ามุมลาดเอียงของถนน (มุมลาดเอียงมีค่าเท่ากับ 2.5%) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.5 cm เพราะฉะนั้น ค่าระดับที่อ่านได้จากแบบ จะต้องนำมาลบด้วยความหนาของผิว Asphaltic Concrete และการ ปรับแก้ค่ามุมลาดเอียงของถนนถึงจะได้ค่าระดับ ณ บริเวณไหล่ทาง (เส้นจราจรสีขาว) ขั้นตอนการ ดำเนินการนั้นได้แสดงไว้ในภาพที่ 35ก, ข, ค, ง และ จ แต่เนื่องจากกรมทางหลวงได้มีการขยายช่อง จราจรของทางหลวงหมายเลข 7 เมื่อประมาณ พ.ศ. 2550 โดยขยายด้านในเท่ากับ 1.5 ช่องจราจร และด้านนอก 0.5 ช่องจราจร ทำให้บริเวณเส้นจราจรสีขาวในปัจจุบันนั้นอยู่ในคันทางของถนนเดิม (ก่อนมีการขยายช่องจราจร) ดังแสดงในภาพที่ 34

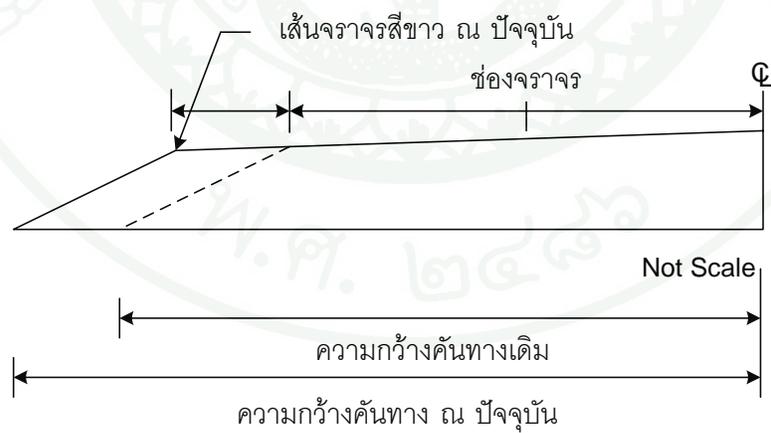


ภาพที่ 32 Profile ของสะพานข้ามคลองลำปลาทิว

ที่มา: สำนักก่อสร้างสะพาน (2551)



ภาพที่ 33 ค่าความหนาของ Asphaltic Concrete ที่ลาดเพิ่มเติมหลังจากเปิดใช้งาน



ภาพที่ 34 แสดงหน้าตัดของถนนก่อนมีการขยายช่องจราจร



ภาพที่ 35 แสดงการตรวจวัดค่าระดับกิโลเมตรที่ 16+516 ด้านขาออกของทางหลวงหมายเลข 7

2. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบดินตัวอย่างในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย การทดสอบ Engineering Index เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมเช่น Liquid Limit (w_L), Plastic Limit (w_p), Specific Gravity (G_s) และการทดสอบ Oedometer Surcharging เพื่อศึกษาคุณสมบัติการยุบตัวของดิน ทั้งการทรุดตัวแบบ Primary Settlement, Secondary Settlement และการทรุดตัวภายหลังจากการทำ Surcharge ได้แก่ C_c , c_v , C_α , t_e/t_{pr} และ C''_α เป็นต้น ดินตัวอย่างที่นำมาทดสอบจากหลุมเจาะสำรวจที่อยู่ห่างจากคันทาง (ไม่ได้รับอิทธิพลจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD) ประกอบด้วยหลุมเจาะสำรวจ BH2 และ BH4

2.1 การทดสอบ Engineering Index

การทดสอบ Engineering Index ประกอบด้วย การทดสอบ Natural Water Content (w_n), Total Unit Weight (γ), Atterberg's Limit, Specific Gravity (G_s) และ Sieve and Hydrometer ตามมาตรฐาน ASTM D2216, D854, D4318, D792 และ D422 ตามลำดับ โดยทำการทดสอบทุกๆ 1.5 m ในชั้นดินอ่อนมาก และชั้นดินอ่อน สำหรับ G_s ทำการทดสอบที่ระดับความลึก 3.0-3.6, 9.0-9.6, 13.5-14.1, 16.5-17.1 m สำหรับ BH2 และ 7.5-8.1, 10.5-11.1, 15.6-15.6, 18.0-18.6 m สำหรับ BH4, การทดสอบ Sieve and Hydrometer ทดสอบที่ระดับความลึก 7.5-8.1, 3.0-3.6 m สำหรับ BH2 และ 7.5-8.1, 9.0-9.6 m สำหรับ BH4

2.2 การทดสอบ Oedometer Surcharging

การทดสอบ Oedometer Surcharging ในห้องปฏิบัติการประกอบด้วยโปรแกรมการทดสอบ 2 โปรแกรม คือ

การทดสอบโปรแกรมที่ 1 : ได้ดำเนินการทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง ใช้ดินตัวอย่างจากหลุมเจาะสำรวจ BH4 ที่ความลึก 7.5-8.1 m มีค่า σ'_{vo} เท่ากับ 33 kPa ดัง สำหรับดินตัวอย่างที่ 1 และ 2 ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2435 มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัวในช่วง Primary Settlement และ Secondary Settlement การทดสอบดินตัวอย่างที่ 1 และ 2 ดินตัวอย่างถูกเพิ่มน้ำหนักจาก 10, 20, 40 kPa,จนกระทั่งมีค่า σ'_{vf} เท่ากับ 796 และ 771 kPa ตามลำดับ

จากนั้นจึงมีการนำน้ำหนักออกเหลือเท่ากับ 200, 60, 30 และ 10 kPa จึงหยุดการทดสอบ ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 12 วัน และดินตัวอย่างที่ 3 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทรุดตัวในกรณีที่ไม่มีการใช้เทคนิค Surchage ในการทดสอบดินตัวอย่างที่ 3 ดินตัวอย่างถูกเพิ่มน้ำหนักจาก 9, 17, 30, 40 และสูงสุดเท่ากับ 95 kPa (σ'_{vf}) ซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำหนักที่ใช้ถมในการก่อสร้างคันทางร่วมกับน้ำหนักจราจร (กำหนดให้คันทางสูง 2.7 m มีค่า DL เท่ากับ 85 kPa และ LL เท่ากับ 10 kPa) จากนั้นคงค้ำน้ำหนักที่ σ'_{vf} ไว้เป็นเวลาประมาณ 3 เดือน จึงหยุดการทดสอบตารางที่ 7

การทดสอบโปรแกรมที่ 2 : มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน t_e/t_{pr} ในแต่ละ R'_s และความสัมพันธ์ของ C''_{α}/C_{α} กับ t/t_e มีปริมาณการทดสอบจำนวน 29 ตัวอย่าง แบ่งเป็นการทดสอบที่ R'_s เท่ากับ 0.2 จำนวน 5 ตัวอย่าง, R'_s เท่ากับ 0.3 จำนวน 4 ตัวอย่าง, R'_s เท่ากับ 0.4 จำนวน 4 ตัวอย่าง, R'_s เท่ากับ 0.6 จำนวน 4 ตัวอย่าง, R'_s เท่ากับ 0.8 จำนวน 6 ตัวอย่าง, และ R'_s เท่ากับ 1.0 จำนวน 6 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 29 ตัวอย่าง ดังสรุปในตารางที่ 8 โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ชุดคือ

- ชุดการทดสอบที่ R'_s เท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ใช้ดินตัวอย่างจากหลุมเจาะสำรวจ BH2 และ BH4 ที่ความลึก 3.0-10.5 m สำหรับ BH2 และ 7.5-9.6 m สำหรับ BH4 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วน t/t_e กับ R'_s และ C''_{α}/C_{α} กับ t/t_e มีค่า σ'_{vs} เท่ากับ 102-170 kPa และ σ'_{vf} เท่ากับ 85 kPa (ซึ่งประมาณเท่ากับน้ำหนักที่ใช้ถมในการก่อสร้างคันทางโดยคันทางมีความสูง 2.7 m) ในการทดสอบนั้น ดินตัวอย่างถูกเพิ่มน้ำหนักจาก 10, 20, 40, 80 kPa และ σ'_{vs} (σ'_{vs} มีค่าเท่ากับ 102, 111, 119, 136, 153 และ 170 kPa สำหรับ R'_s เท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ตามลำดับ) จากนั้นจึงมีการนำน้ำหนักออกเหลือเท่ากับ σ'_{vf} เท่ากับ 85 kPa แล้วคงค้ำน้ำหนักที่ σ'_{vf} ไว้ประมาณ 2-3 เดือน จึงหยุดการทดสอบ

- ชุดการทดสอบที่ R'_s เท่ากับ 0.2 แต่เพิ่ม σ'_{vs} เท่ากับ 204 kPa (2 เท่าของกรณี σ'_{vs} เท่ากับ 102 kPa) และ 306 kPa (3 เท่ากรณี σ'_{vs} เท่ากับ 102 kPa) มีค่า σ'_{vf} เท่ากับ 170 และ 255 kPa เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วน t/t_e ในกรณีที่มีค่า σ'_{vf} เพิ่มมากขึ้นแต่มีค่า R'_s เท่าเดิม ทำการทดสอบจำนวน 2 ตัวอย่าง โดยใช้ดินชั้น Very Soft Clay ของหลุมเจาะสำรวจ BH2 ที่ความลึก 3.0-3.6 m

ตารางที่ 7 การทดสอบโปรแกรมที่ 1

R'_s	ความลึก (m)	σ'_{vf} (kPa)	ปริมาณการทดสอบ
0	7.5 - 8.1	796	1
0	7.5 - 8.1	771	1
0	7.5 - 8.1	95	1
รวมปริมาณการทดสอบ			3

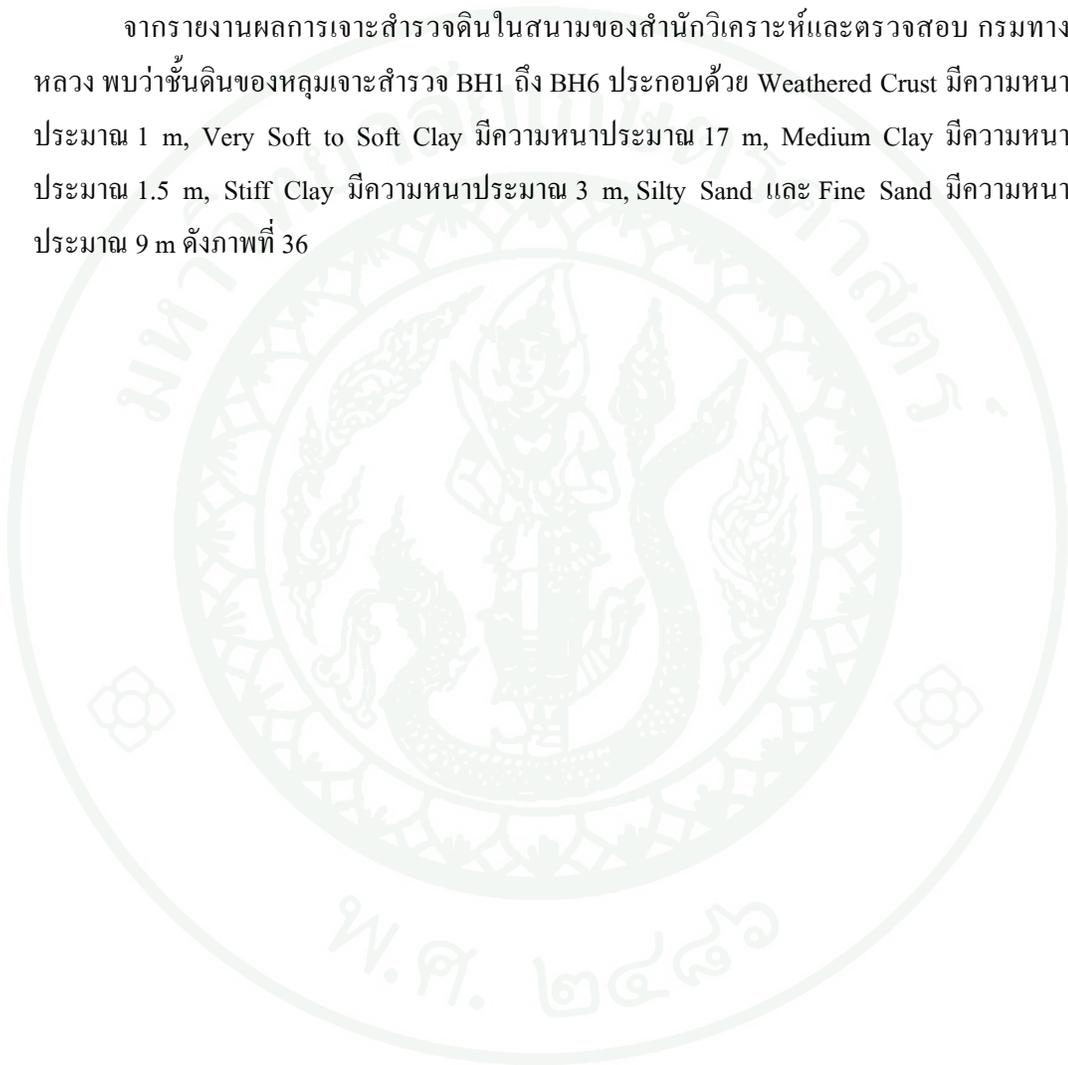
ตารางที่ 8 การทดสอบโปรแกรมที่ 2

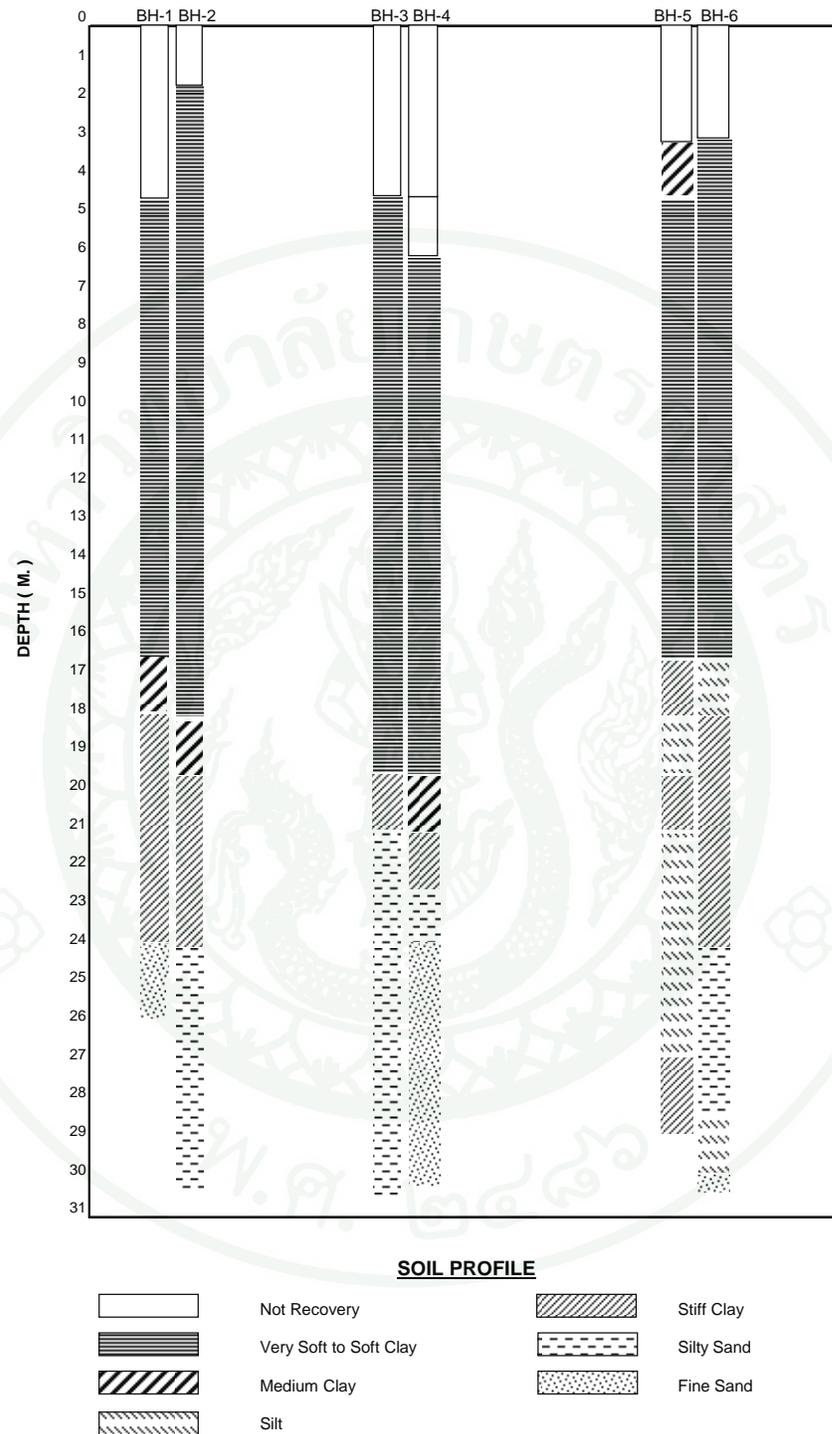
R'_s	ความลึก (m)	σ'_{vf} (kPa)	σ'_{vs} (kPa)	ปริมาณการทดสอบ
0.2	7.5 - 9.6	85	102	3
0.2	3.0 - 3.6	170	204	1
0.2	3.0 - 3.6	255	306	1
0.3	7.5 - 9.6	85	111	4
0.4	7.5 - 9.6	85	119	4
0.6	7.5 - 9.6	85	136	4
0.8	7.5 - 9.6	85	153	6
1.0	7.5 - 9.6	85	170	6
รวมปริมาณการทดสอบ				29

ผลและวิจารณ์

1. ลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจ

จากรายงานผลการเจาะสำรวจดินในสนามของสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง พบว่าชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจ BH1 ถึง BH6 ประกอบด้วย Weathered Crust มีความหนาประมาณ 1 m, Very Soft to Soft Clay มีความหนาประมาณ 17 m, Medium Clay มีความหนาประมาณ 1.5 m, Stiff Clay มีความหนาประมาณ 3 m, Silty Sand และ Fine Sand มีความหนาประมาณ 9 m ดังภาพที่ 36





ภาพที่ 36 ลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจที่ BH1 ถึง BH6 บริเวณทางหลวงหมายเลข 7

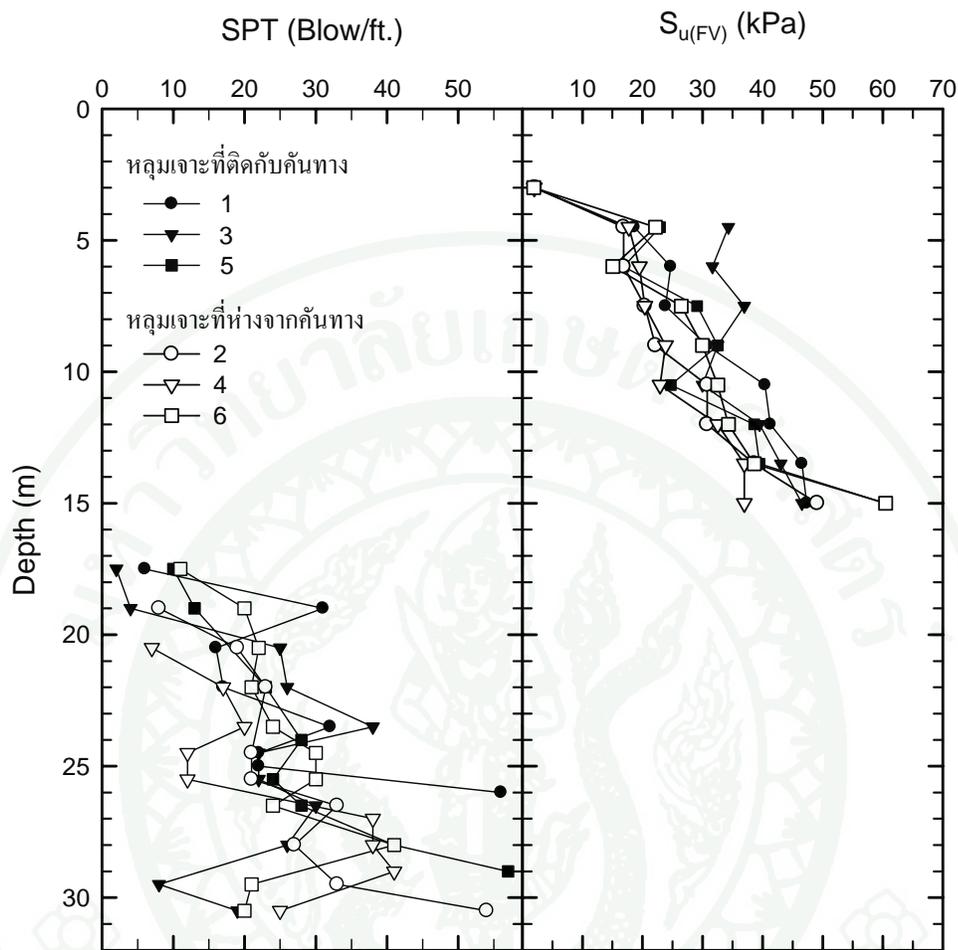
ที่มา: สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2551)

2. ผลการทดสอบ In-Situ Field Vane Shear Test [$S_{U(FV)}$] และ Standard Penetration Test (SPT)

ผลการทดสอบ $S_{U(FV)}$ สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการปรับปรุงคุณภาพดินในชั้น Very Soft Clay ที่ความลึก 2 ถึง 10 m มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 15 ถึง 25 kPa และในชั้น Soft Clay ที่ความลึก 10 ถึง 15 m มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 25 ถึง 45 kPa แสดงในภาพที่ 37

ผลการทดสอบ $S_{U(FV)}$ สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่อยู่ติดกับคันทางได้รับอิทธิพลจากการปรับปรุงคุณภาพดินในชั้น Very Soft Clay ที่ความลึก 2 ถึง 10 m มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 20 ถึง 35 kPa และในชั้น Soft Clay ที่ความลึก 10 ถึง 15 m มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 35 ถึง 50 kPa แสดงในภาพที่ 37

จากการเปรียบเทียบค่า $S_{U(FV)}$ ของหลุมเจาะสำรวจที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการปรับปรุงคุณภาพดินพบว่ามิต่ำน้อยกว่า $S_{U(FV)}$ ของหลุมเจาะสำรวจที่อยู่ในบริเวณที่มีการปรับปรุงคุณภาพดินประมาณ 1.17 เท่า (บารเมศ และคณะ, 2551)

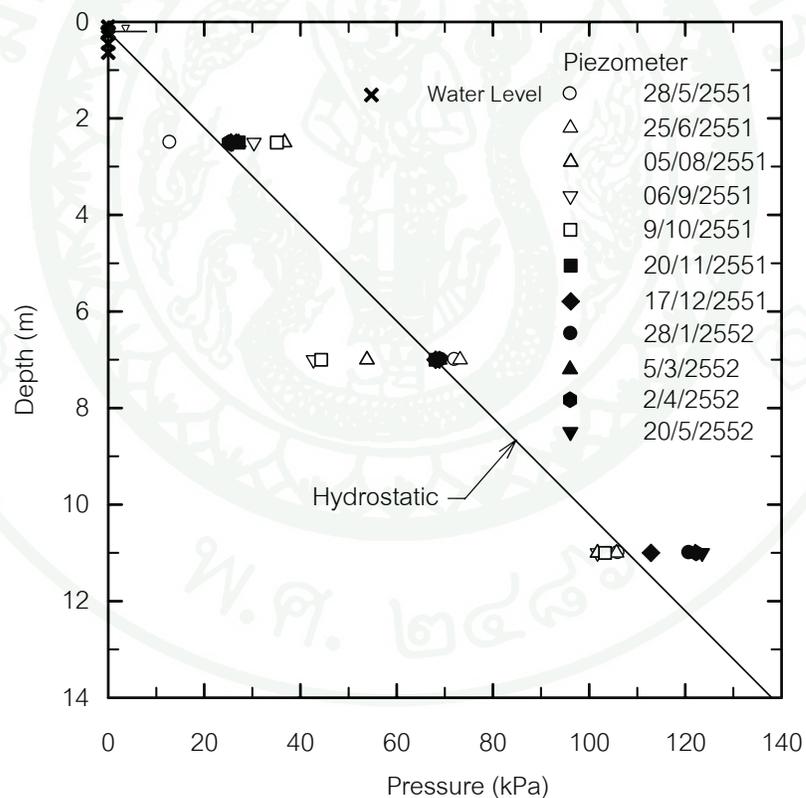


ภาพที่ 37 ผลการทดสอบ SPT และ $S_{u(FV)}$ ของหลุมเจาะสำรวจ BH1 ถึง BH6

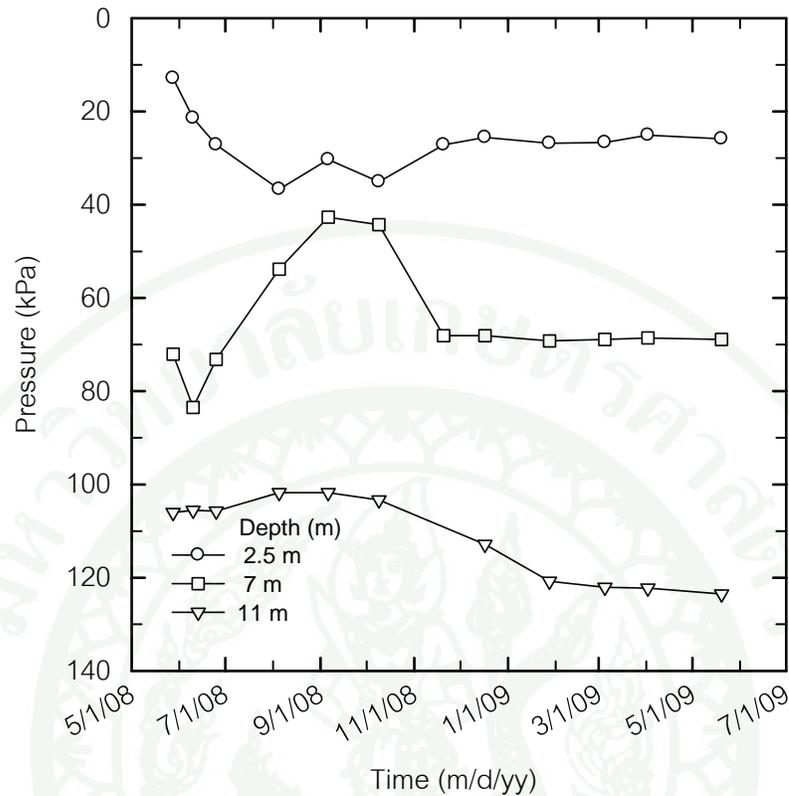
3. ผลการวัดแรงดันน้ำใต้ดิน

จากการติดตั้ง Electronics Piezometer และ Standpipe Piezometer กิโลเมตรที่ 6+650 (ด้านทับข้าง) เพื่อทำการตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นดินเหนียวอ่อนเป็นระยะเวลา 1 ปี จากผลการตรวจวัดระดับน้ำผิวดินโดยใช้ Standpipe Piezometer พบว่าระดับน้ำอยู่ที่ 0 ถึง 0.4 m จากผิวดิน ผลการตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดินโดยใช้ Electronics Piezometer ที่ความลึก 2.5 m แรงดันน้ำใต้ดินมีค่าเท่ากับ 25 ถึง 37 kPa, ที่ระดับความลึก 7 m ค่าเท่ากับ 40 ถึง 70 kPa และที่ความลึก 11 m แรงดันน้ำใต้ดินมีค่าเท่ากับ 100 ถึง 125 kPa ถ้าหากว่าพิจารณาในช่วงระยะเวลา 5 เดือนแรก หรือตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2551 ถึง กันยายน 2551 ภายหลังจากการติดตั้งเครื่องมือ (ดูสัญลักษณ์ไปรงในภาพที่ 38)

ค่าแรงดันน้ำใต้ดินมีค่าไม่คงที่คาดว่าเกิดจากขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้วิธีการกด Electronics Piezometer ลงไปในชั้นดินอ่อนทำให้เกิดแรงดันน้ำขณะกด Electronics Piezometer แต่เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาผ่านไปมากกว่า 5 เดือน หรือตั้งแต่เดือนตุลาคม 2551 ถึง พฤษภาคม 2552 (ดูสัญลักษณ์ทึบในภาพที่ 39) หลังจากการติดตั้งค่าแรงดันน้ำใต้ดินมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักที่ระดับความลึกเดียวกัน ดังนั้นหากพิจารณาแรงดันน้ำใต้ดินที่ระยะเวลาผ่านไปมากกว่า 5 เดือน ที่ความลึก 2.5 m มีค่าเท่ากับ 22 ถึง 28 kPa ซึ่งมีความมากกว่าแรงดันน้ำ Hydrostatic เล็กน้อย ที่ความลึก 7 m มีค่าเท่ากับ 70 kPa ซึ่งมีความเท่ากับแรงดันน้ำ Hydrostatic และค่าแรงดันน้ำใต้ดินที่ความลึก 11 m มีค่าเท่ากับ 110 ถึง 125 kPa ค่ามากกว่าแรงดันน้ำ Hydrostatic ประมาณ 15 kPa ดังแสดงในภาพที่ 38 และภาพที่ 39 จากผลการวัดแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นดินเหนียวอ่อนในบริเวณทางหลวงหมายเลข 7 สรุปว่าไม่พบการลดลงของแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นดินเหนียวอ่อน



ภาพที่ 38 ผลการตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดินเปรียบเทียบกับแรงดัน Hydrostatic



ภาพที่ 39 ผลการตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดินในระยะเวลา 1 ปี (พ.ค. 51 – พ.ค. 52)

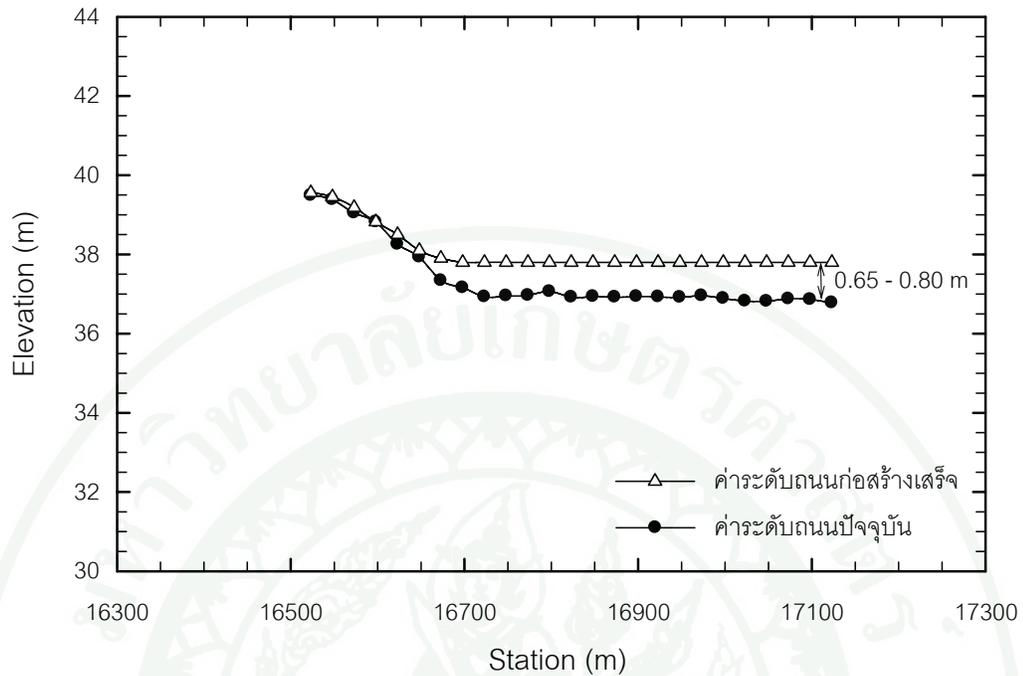
4. ผลการวัดค่าการทรุดตัวในสนาม

ผลการตรวจวัดค่าการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7 โดยเทียบกับระดับ BMA กิโลเมตรที่ 16+500 ถึง 17+100 จุดเริ่มต้นนั้นอยู่บนกึ่งกลางสะพานข้ามคลองลำปลาทิวซึ่งมีปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทราย และสมมุติให้มีค่าการทรุดตัวน้อยมาก ($S \approx 0$) ผลการตรวจวัดสรุปในตารางที่ 9 ข้อมูลการตรวจวัดระดับถูกนำมาวิเคราะห์และแสดงเป็นค่าระดับ BMA โดยเปรียบเทียบกับค่าระดับจากแบบก่อสร้าง (As-Built Drawing) ดังในภาพที่ 32 แล้วนำมาลบด้วยความหนาของ Asphaltic Concrete เท่ากับ 10 cm และมุมลาดเอียงของถนนอีก 7.5 cm เพราะค่าระดับที่วัดได้จากสนามเป็นค่า ณ ขอบเส้นจราจรสีขาว แต่ค่าระดับที่อ่านได้จากแบบก่อสร้างเป็นค่าระดับที่จุดกึ่งกลางของผิวจราจร ผลการวัดค่าการทรุดตัวในสนาม ในช่วงเริ่มต้น (กิโลเมตรที่ 16+532) ซึ่งอยู่บนเสาเข็มของสะพานนั้นไม่มีการทรุดตัว จนกระทั่งถึงกิโลเมตรที่ 17+723 ถนนมีปริมาณการทรุดตัวถึง 0.697 m

มีค่าการทรุดตัวมากที่สุดอยู่ที่ 17+123 มีปริมาณการทรุดตัวเท่ากับ 0.843 m แต่ปริมาณการทรุดตัวส่วนใหญ่อยู่ที่ 0.65-0.80 m ดังแสดงในภาพที่ 40

ตารางที่ 9 ผลการตรวจวัดค่าการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7

ตำแหน่ง	Backside m	Foreshide m	ค่าระดับเครื่องมือ	ค่าการอ่านเบื้องต้น	BM.	Sta. km	Elev. m	Elev. ก่อสร้างเสร็จ m	การทรุดตัว (m)
B.M.กลางสะพาน	0.070		10.070		10	16+523.00	39.488	39.488	0.000
A1(50 เมตร)		0.442		9.628		16+573.00	39.046	39.046	0.000
A2(100เมตร)		1.301		8.769		16+623.00	38.257	38.500	0.068
A3(150 เมตร)		2.218		7.852		16+673.00	37.340	37.900	0.385
A4(200 เมตร)		2.630		7.440		16+723.00	36.928	37.800	0.697
A5(250 เมตร)		2.593		7.477		16+773.00	36.965	37.800	0.660
B.M. -1		2.610		7.460		16+773.00	36.948	37.800	0.677
B.M. -1	1.371		8.831		7.460		36.948		
B7(300 เมตร)		1.374		7.457		16+773.00	36.945	37.800	0.680
B8(350 เมตร)		1.398		7.433		16+823.00	36.921	37.800	0.704
B9(400 เมตร)		1.400		7.431		16+873.00	36.919	37.800	0.706
B10(450 เมตร)		1.390		7.441		16+923.00	36.929	37.800	0.696
B.M-2		1.361		7.470		16+973.00	36.958	37.800	0.667
B.M-2	1.089		8.559		7.470		36.958		
B11(500 เมตร)		1.223		7.336		17+023.00	36.824	37.800	0.801
B12(550 เมตร)		1.169		7.390		17+073.00	36.878	37.800	0.747
B13(600 เมตร)		1.265		7.294		17+123.00	36.782	37.800	0.843
A1(575 เมตร)		1.186		7.373		17+098.00	36.861	37.800	0.764
A1(525 เมตร)		1.229		7.330		17+048.00	36.818	37.800	0.807
A1(475 เมตร)		1.158		7.401		16+998.00	36.889	37.800	0.736
B.M-2	1.328		8.798		7.470		36.958		
A1(425 เมตร)		1.369		7.429		16+948.00	36.917	37.800	0.708
A1(375เมตร)		1.350		7.448		16+898.00	36.936	37.800	0.689
A1(325 เมตร)		1.349		7.449		16+848.00	36.937	37.800	0.688
A1(275 เมตร)		1.291		7.507		16+798.00	36.995	37.800	0.630
A1(225 เมตร)		1.405		7.393		16+748.00	36.881	37.800	0.744
B.M-1	2.611		10.071		7.460		36.948		
A1(175 เมตร)		2.471		7.600		16+698.00	37.088	37.800	0.537
A1(125 เมตร)		1.698		8.373		16+648.00	37.861	38.100	0.064
A1(75 เมตร)		0.808		9.263		16+598.00	38.751	38.821	0.000
A1(25 เมตร)		0.175		9.896		16+548.00	39.384	39.384	0.000
B.M.กลางสะพาน		0.071		10.000		16+523.00	39.488	39.488	0.000



ภาพที่ 40 แสดงผลการตรวจวัดค่าการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7

5. ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดสอบ Engineering Index ในชั้นดิน Very Soft Clay และ Soft Clay ซึ่งมีค่าการยุบอัดตัวสูง และอัตราการระบายน้ำต่ำ เพื่อนำไปประกอบการวิเคราะห์การทรุดตัวของถนน โดยนำหลุมเจาะสำรวจที่อยู่นอกคันทางซึ่งไม่ได้รับอิทธิพลจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย PVD (BH2, 4 และ 6) แต่เนื่องจากหลุมเจาะสำรวจ BH6 มีการใช้พื้นที่ในการก่อสร้างที่ปักอาศัยชั่วคราวทำให้ชั้นดิน Very Soft Clay และ Soft Clay อาจจะได้รับอิทธิพลของการใช้พื้นที่จึงมิได้นำหลุมเจาะสำรวจดังกล่าวมาทดสอบ การทดสอบประกอบด้วย Natural Water Content, Total Unit Weight, Atterberg's Limit, Specific Gravity และ Sieve and Hydrometer ตามลำดับ ดังสรุปในภาพที่ 41 ถึง

5.1 ผลการทดสอบ Engineering Index หลุมเจาะสำรวจ BH2

ลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจ BH2 ประกอบด้วย Weathered Crust หนาประมาณ 2 m, Very Soft Clay หนาประมาณ 8.5 m, Soft Clay หนาประมาณ 6 m, Medium Clay หนาประมาณ 3.5 m, Very Stiff Clay หนาประมาณ 4 m, Medium Silty Sand หนาประมาณ 2 m, Dense Silty Sand หนาประมาณ 4 m และ Very Dense Silty Sand หนาประมาณ 2 m ดังภาพที่ 41

ผลการทดสอบ Total Unit Weight (γ) ในชั้น Very Soft Clay มีค่า γ เท่ากับ 14 ถึง 16 kN/m^3 และชั้น Soft Clay มีค่า γ เท่ากับ 16 ถึง 17 kN/m^3 ผลการทดสอบ Specific Gravity (G_s) มีค่าเท่ากับ 2.67 ถึง 2.75

ผลการทดสอบ Atterberg's Limit และ Natural Water Content (w_n) ในชั้น Very Soft Clay มีค่า w_n เท่ากับ 90 ถึง 110 %, Liquid Limit (w_L) เท่ากับ 90 ถึง 120 %, และ Plastic Limit (w_p) เท่ากับ 20 ถึง 50 % และในชั้น Soft Clay มีค่า w_n เท่ากับ 50 ถึง 60 %, w_L เท่ากับ 60 ถึง 90 % และ w_p เท่ากับ 10 ถึง 30 % จากผลการทดสอบพบว่าดินมีค่า w_L ในชั้น Very Soft Clay มีค่าใกล้เคียงกับ w_n จำแนกได้ว่าเป็นดินประเภท Normally Consolidation

ผลการทดสอบ Sieve and Hydrometer ซึ่งเมื่อจำแนกดินด้วยระบบ USCS พบว่าผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50 % จัดเป็นดินเม็ดละเอียดจึงจำแนกด้วยกราฟความสัมพันธ์ของ Plastic Index กับ Liquid Limit พบว่าอยู่ในกลุ่มของ CH ดังภาพที่ 43

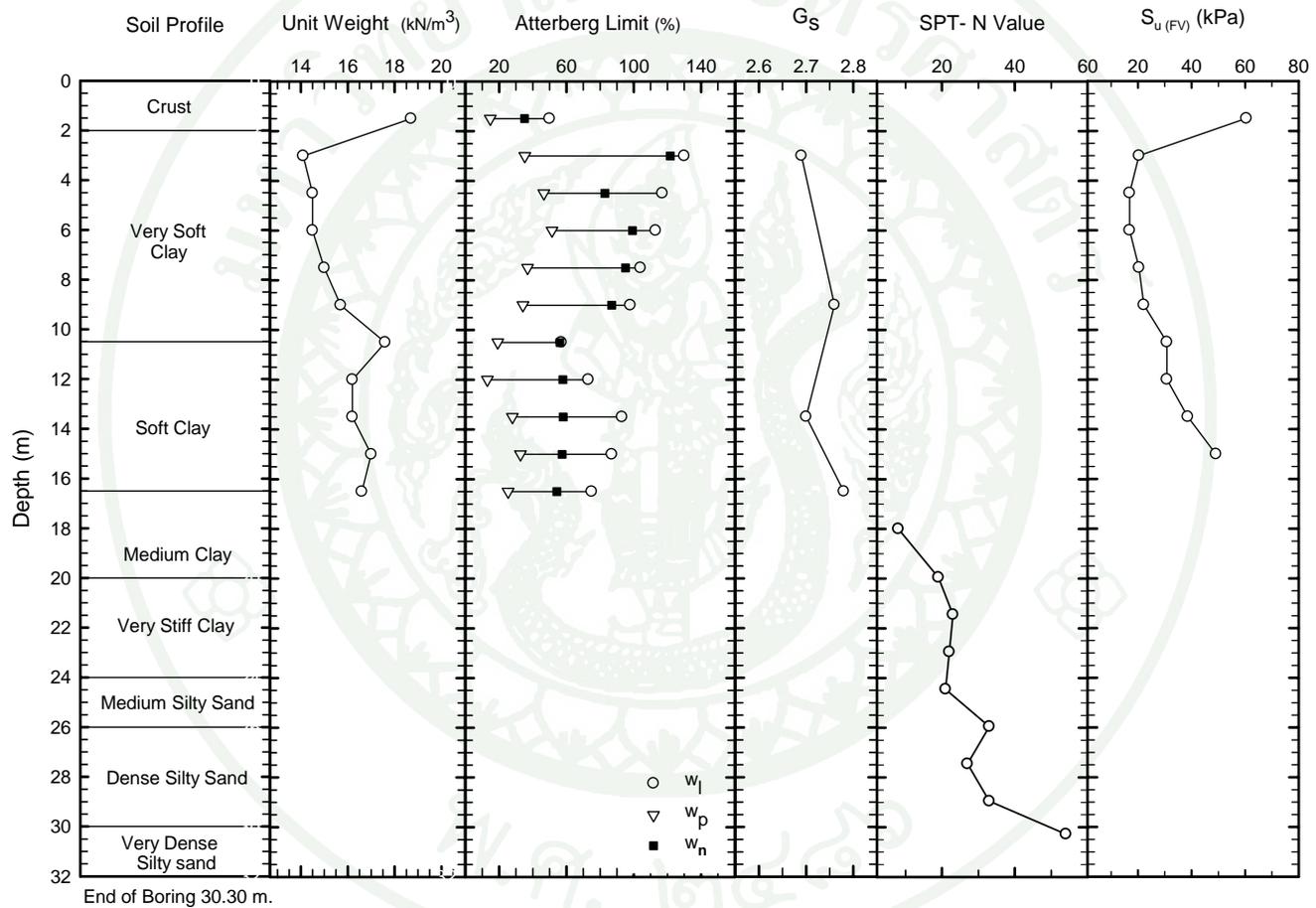
5.2 ผลการทดสอบ Engineering Index สำหรับหลุมเจาะสำรวจ BH4

ลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจ BH4 ประกอบด้วย Weathered Crust หนาประมาณ 2 m, Very Soft Clay หนาประมาณ 7.5 m, Soft Clay หนาประมาณ 9.5 m, Medium Clay หนาประมาณ 2 m, Very Stiff Clay หนาประมาณ 2 m, Medium Dense Fine Sand หนาประมาณ 3 m, Dense Fine Sand หนาประมาณ 4 m และ Medium Dense Fine Sand หนาประมาณ 2 m ดังภาพที่ 42

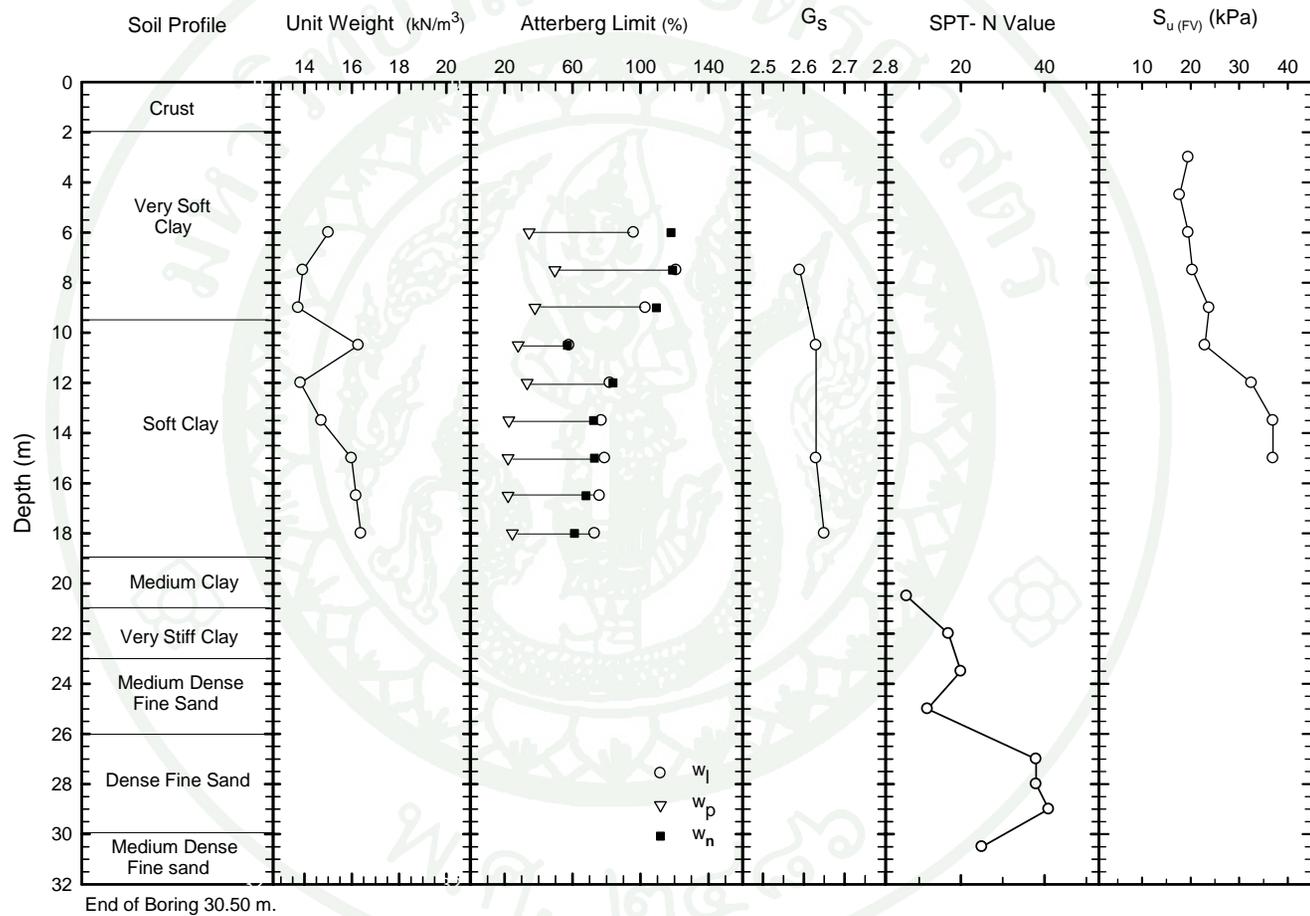
ผลการทดสอบ γ ในชั้น Very Soft Clay มีค่า γ เท่ากับ 14 ถึง 15 kN/m³ และชั้น Soft Clay มีค่า γ เท่ากับ 15 ถึง 17 kN/m³ ผลการทดสอบ G_s มีค่าเท่ากับ 2.60 ถึง 2.65

ผลการทดสอบ Atterberg's Limit และ w_n ในชั้น Very Soft Clay มีค่า w_n เท่ากับ 100 ถึง 115 %, w_l เท่ากับ 110 ถึง 120 % และ w_p เท่ากับ 30 ถึง 50 % และในชั้น Soft Clay มีค่า w_n เท่ากับ 60 ถึง 80 %, w_l เท่ากับ 70 ถึง 80 % และ w_p เท่ากับ 20 ถึง 30 % จากผลการทดสอบพบว่าดินมีค่า w_l ในชั้น Very Soft Clay และ Soft Clay มีค่าใกล้เคียงกับ w_n จำแนกได้ว่าเป็นดินประเภท Normally Consolidation

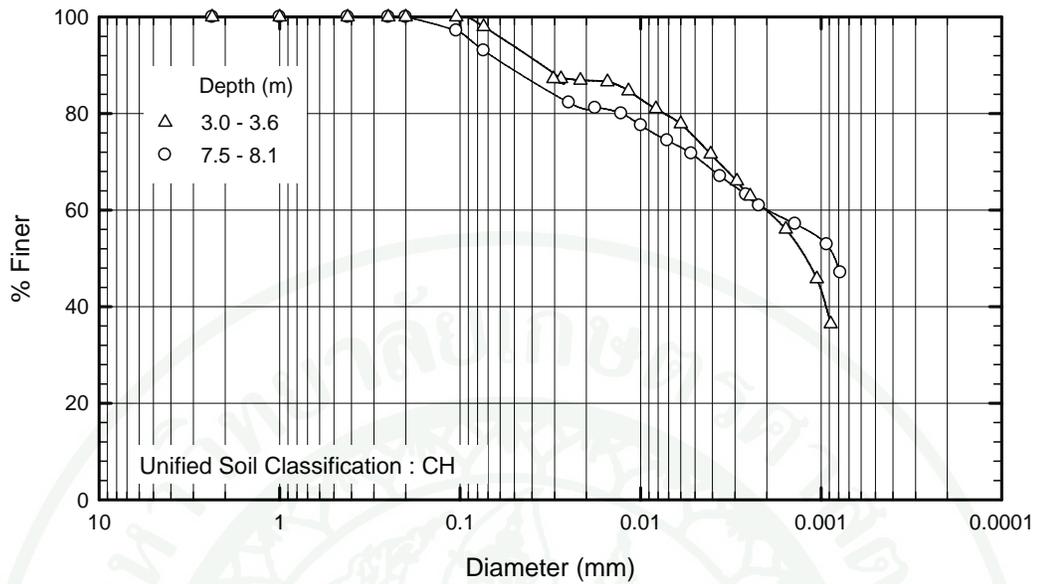
ผลการทดสอบ Sieve and Hydrometer ซึ่งเมื่อจำแนกดินด้วยระบบ USCS พบว่าผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50 % จัดเป็นดินเม็ดละเอียดจึงจำแนกด้วยกราฟความสัมพันธ์ของ Plastic Index กับ Liquid Limit พบว่าอยู่ในกลุ่มของ CH ดังภาพที่ 44



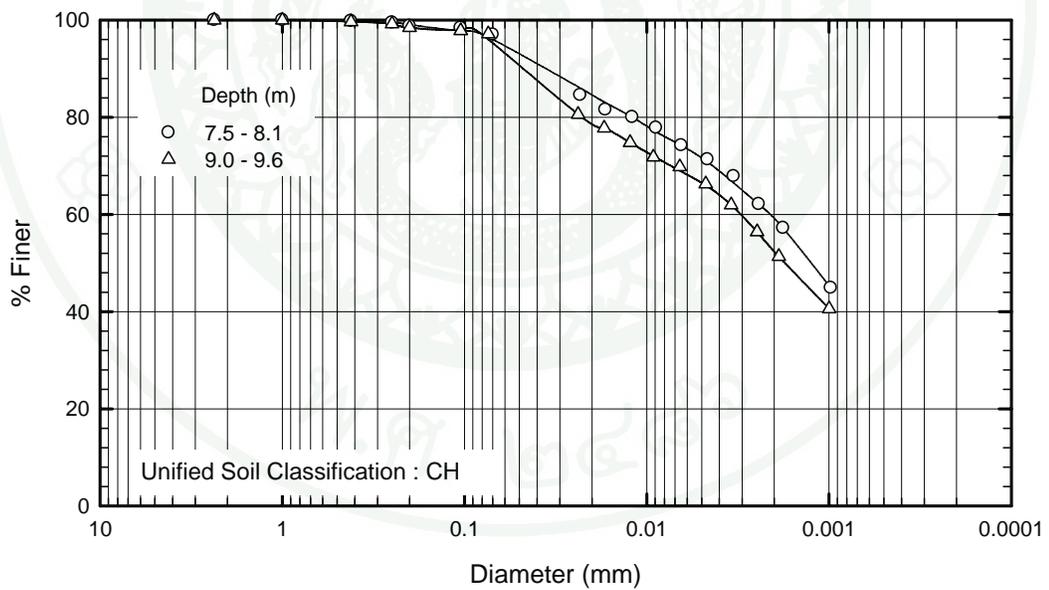
ภาพที่ 41 ผลการทดสอบ Engineering Index สำหรับหลุมเจาะสำรวจ BH2



ภาพที่ 42 ผลการทดสอบ Engineering Index สำหรับหลุมเจาะสำรวจ BH4



ภาพที่ 43 ผลการทดสอบ Sieve and Hydrometer ของหลุมเจาะสำรวจ BH2

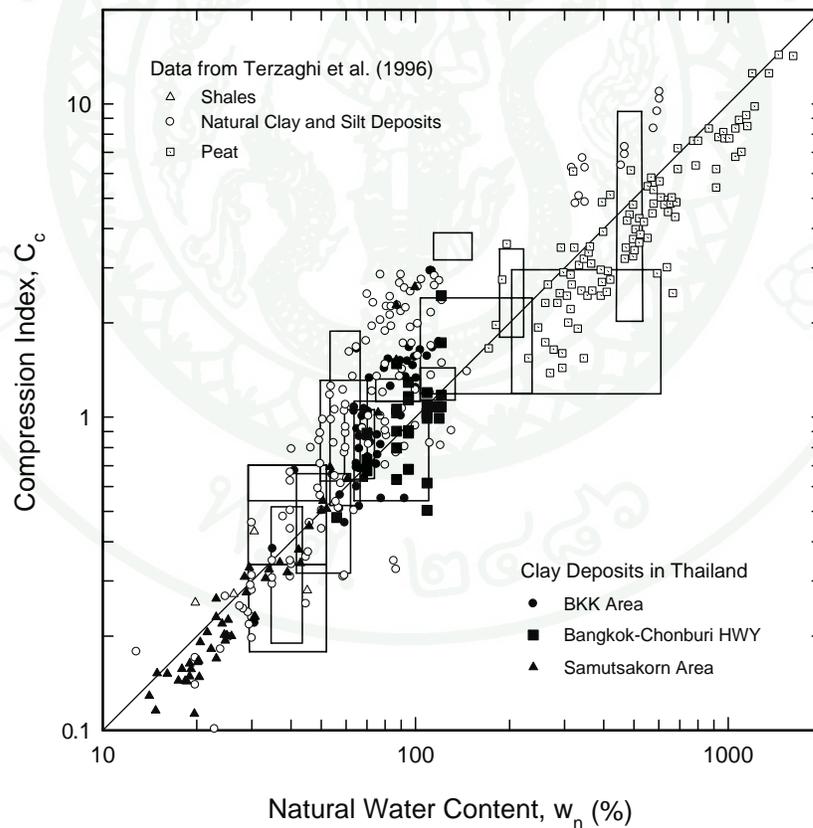


ภาพที่ 44 ผลการทดสอบ Sieve and Hydrometer ของหลุมเจาะสำรวจ BH4

5.3 ผลการทดสอบ Oedometer Surcharging

5.3.1. คุณสมบัติการยุบอัดตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ Compression Index (C_c)

ความสัมพันธ์ของ Compression Index (C_c) กับ Natural Water Content (w_n) ของดินที่นำมาทดสอบ ในบริเวณทางหลวงหมายเลข 7 กับ ดินในประเทศไทย, ต่างประเทศ, Peat และ Shales พบว่า ดินจากทางหลวงหมายเลข 7 มีค่า C_c อยู่ในช่วง 0.4 ถึง 2 สำหรับ w_n เท่ากับ 80 ถึง 120% (แสดงโดยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมทึบ) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์สูง เมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียวต่างประเทศที่รวบรวมโดย Terzaghi *et al.* (1996) ซึ่งมีค่า C_c อยู่ในช่วง 0.2 ถึง 3 (แสดงโดยสัญลักษณ์โปร่ง) นอกจากนี้ได้รวบรวมค่า C_c และ w_n ของดินเหนียวกรุงเทพฯ โดย ศาสตรา และ คณะ (2550) อยู่ในช่วง C_c 0.5 ถึง 3 (แสดงโดยสัญลักษณ์วงกลมและสามเหลี่ยมทึบ) ดังภาพที่ 45

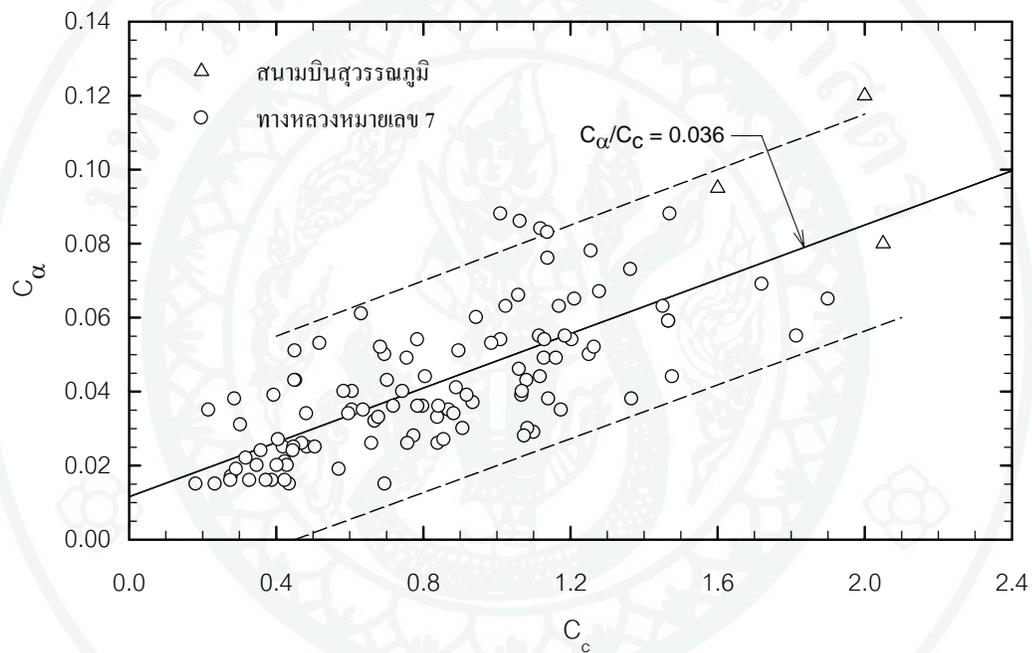


ภาพที่ 45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_c กับ w_n

ที่มา: ข้อมูลดินต่างประเทศรวบรวมโดย Terzaghi *et al.* (1996)

5.3.2. Secondary Compression Index (C_α)

ค่า C_α ของดินตัวอย่าง ถูกนำมาพล็อตกับค่า C_c ณ σ'_v เดียวกันดังแสดงในภาพที่ 46 (โดยสัญลักษณ์วงกลมโปร่ง) และได้แสดงค่า C_α กับ C_c ของสนามบึงสุวรรณภูมิ (NGI, 1992) แสดงโดยสัญลักษณ์โปร่งสามเหลี่ยม ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.036 ซึ่งสอดคล้องกับ Terzaghi *et al.* (1996) ที่ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง C_α กับ C_c ของดินเหนียวประเภท Inorganic Clay มีค่าเท่ากับ 0.04 ± 0.01



ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_α กับ C_c ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

5.3.3. Coefficient of Consolidation (c_v) และ Coefficient of Expansion (c_{vs})

ผลการทดสอบ Oedometer Surcharging Test ถูกนำมาวิเคราะห์หาค่า Coefficient of Consolidation (c_v) และ Coefficient of Rebound (c_{vs}) ดังสมการที่ 18 และ 19

$$c_v = \frac{T_{50} H_{50}^2}{t_{50}} \quad (18)$$

$$c_{vs} = \frac{T_{50} H_{50[pr]}^2}{t_{50[pr]}} \quad (19)$$

T_{50} = Time Factor ใช้หาค่า Degree of Consolidation เท่ากับ 50 %

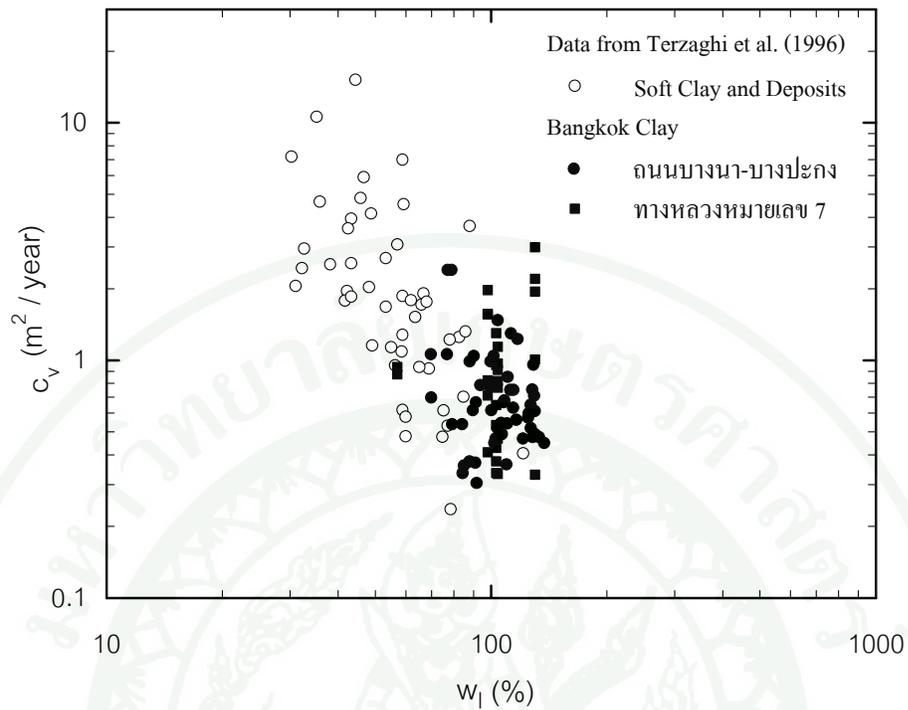
H_{50} = เท่ากับความหนาครึ่งหนึ่งของดินตัวอย่าง ณ เวลาที่มีการระบายน้ำออก 50 %

t_{50} = เวลาที่แรงดันน้ำระบายออก เท่ากับ 50 %

$H_{50[pr]}$ = เท่ากับความหนาครึ่งหนึ่งของดินตัวอย่างบวมที่ตัวเท่ากับ 50 % ในช่วง Primary Rebound ($t_{pr[50]}$)

t = ระยะเวลาที่ดินตัวอย่างบวมตัวเท่ากับ 50 % ในช่วง Primary Rebound หรือ $t_{pr[50]}$

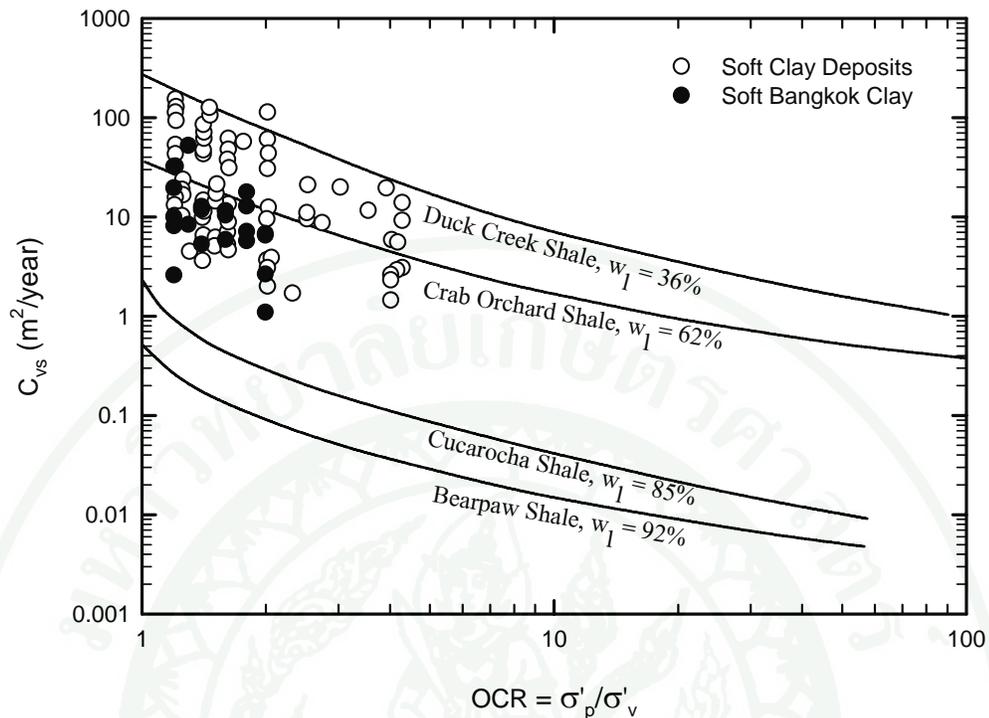
ผลการวิเคราะห์ค่า c_v แสดงในภาพที่ 47 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.3 ถึง 3.0 $m^2/year$ (แสดงโดยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมทึบ) และมีค่า w_L ในช่วง 90 ถึง 110 % สำหรับสัญลักษณ์วงกลมโปร่งแสดงค่า c_v ของดินเหนียวต่างประเทศรวบรวมโดย Terzaghi *et al.* (1996) และสัญลักษณ์วงกลมทึบแสดงค่า c_v ของดินเหนียวกรุงเทพฯ รวบรวมโดย ศาสตรา และคณะ (2550)



ภาพที่ 47 เปรียบเทียบค่า c_v กับ w_l ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯกับดินเหนียวต่างประเทศ

ที่มา: ข้อมูลดินต่างประเทศรวบรวมโดย Terzaghi *et al.* (1996)

ค่า c_{vs} ของดินเหนียวที่นำมาทดสอบมีค่าเท่ากับ 2 ถึง 30 $m^2/year$ (แสดงโดยสัญลักษณ์วงกลมทึบ) ปรากฏว่ามีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียวต่างประเทศ และ Shales ซึ่งมีค่าประมาณ 2 ถึง 200 $m^2/year$ (แสดงโดยสัญลักษณ์วงกลมโปร่งและ เส้น) ดังภาพที่ 48

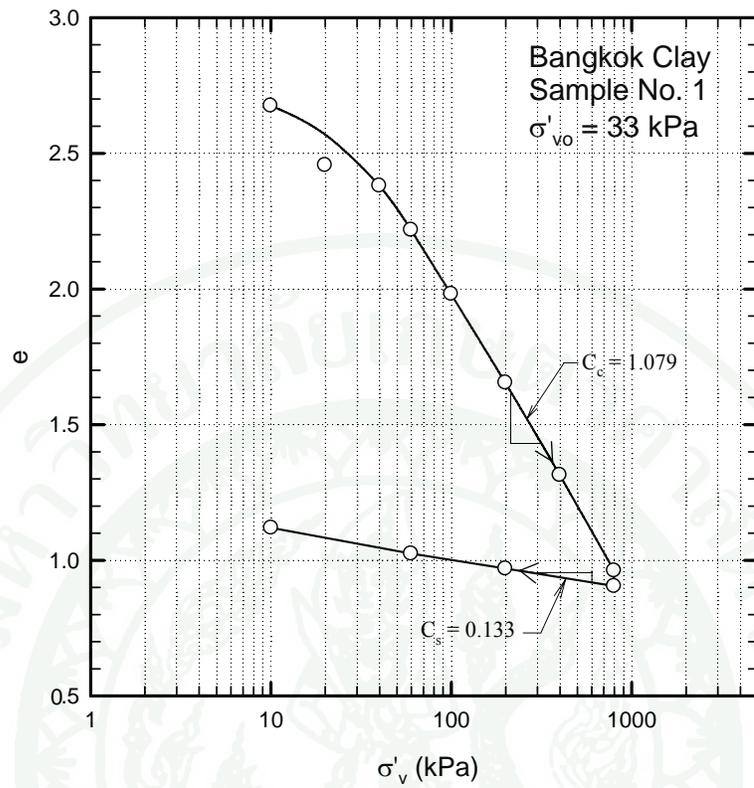


ภาพที่ 48 เปรียบเทียบค่า c_{vs} กับ OCR ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯกับดินต่างประเทศ

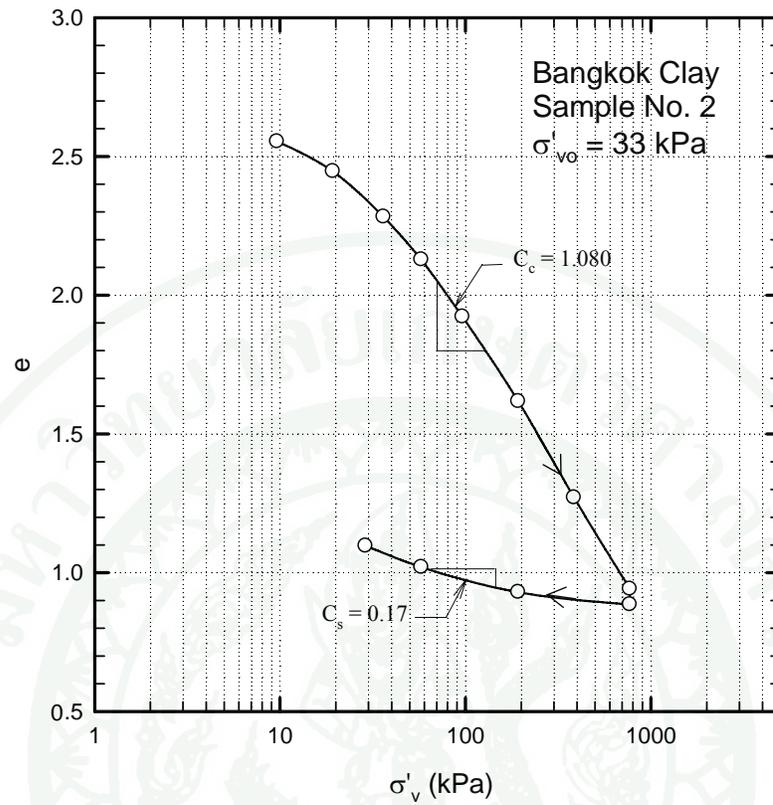
ที่มา: ข้อมูลดินต่างประเทศรวบรวมโดย Terzaghi *et al.* (1996)

5.4 โปรแกรมการทดสอบที่ 1

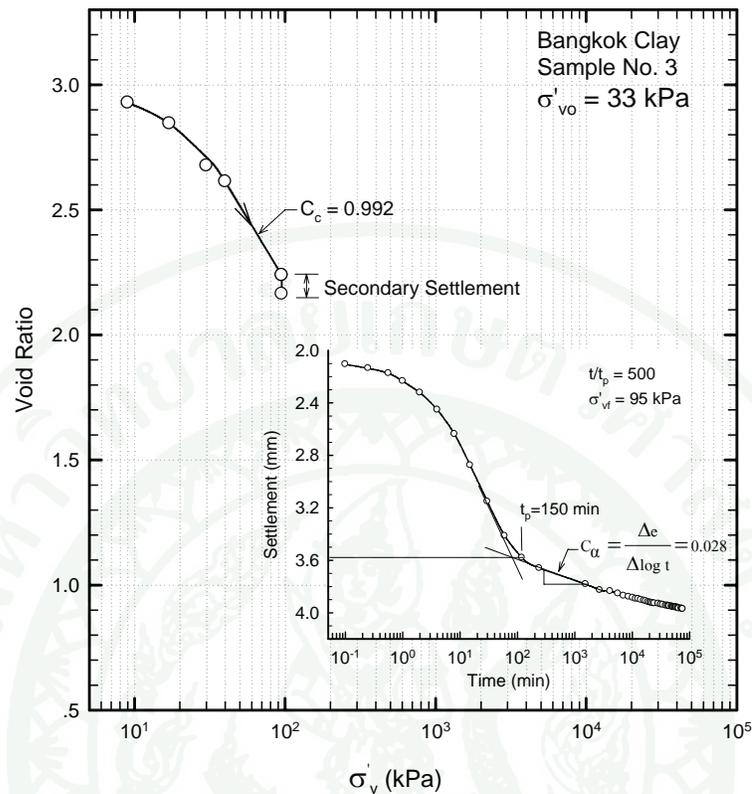
ผลการทดสอบ Oedometer Surcharging ด้วยโปรแกรมการทดสอบที่ 1 นั้น สำหรับดินตัวอย่างที่ 1 และ 2 ได้ทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวต่างๆโดยดินตัวอย่างถูกเพิ่มน้ำหนักจาก 10, 20, 40, 796 (สำหรับดินตัวอย่างที่ 1) และ 771 kPa (สำหรับดินตัวอย่างที่ 2) จากนั้น นำน้ำหนักออกผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 49 และ 50 มีค่า C_c เท่ากับ 1.079 และ 1.08 C_c เท่ากับ 0.133 และ 0.17 สำหรับการทดสอบในกรณีที่มี Effective Surcharge Ratio เท่ากับ 0 (ดินตัวอย่างที่ 3) ดินตัวอย่างถูกเพิ่มน้ำหนักจาก 9, 17, 30, 40 และ 95 kPa แล้วคงค้ำน้ำหนักไว้จนกระทั่งระยะเวลาประมาณ 2 เดือน พบว่าเมื่อดินมีการทรุดตัวแบบ Primary Settlement (t_p เท่ากับ 150 นาที) หดไป ดินมีพฤติกรรมทรุดตัวอย่างต่อเนื่องจาก Secondary Settlement (C_α เท่ากับ 0.028) ทันทีและอัตราการทรุดตัวมีค่าน้อยลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 51



ภาพที่ 49 ผลการทดสอบดินตัวอย่างที่ 1 ความลึก 7.5 – 8.1 m



ภาพที่ 50 ผลการทดสอบดินตัวอย่างที่ 2 ความลึก 7.5 – 8.1 m



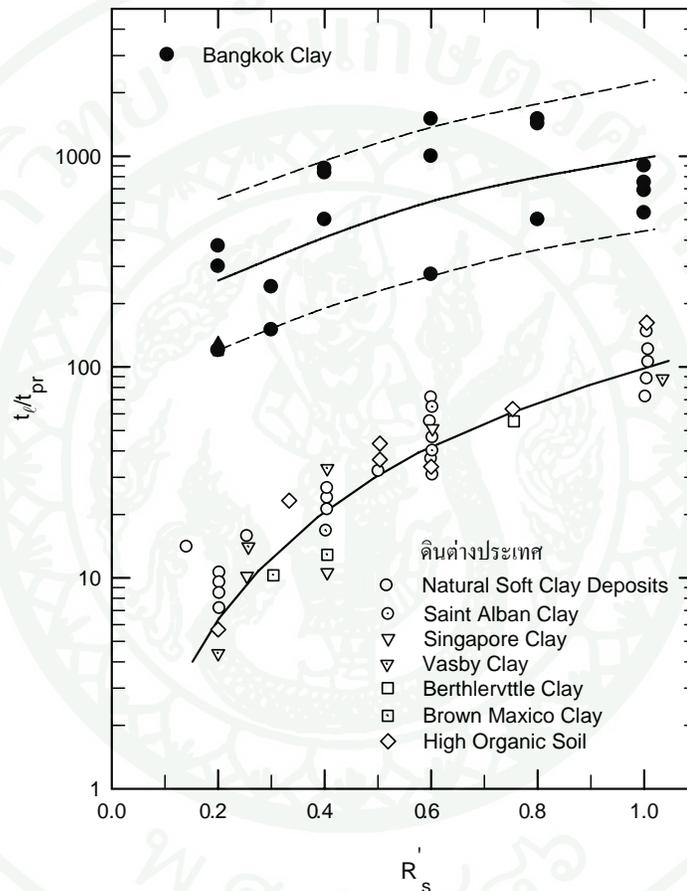
ภาพที่ 51 พฤติกรรมการทรุดตัวของดินกรณีที่มี $R'_s = 0$ ความลึก 7.5 – 8.1 m

5.5 โปรแกรมการทดสอบที่ 2

ผลการทดสอบ Oedometer Surcharging โปรแกรมการทดสอบที่ 2 นั้น ที่ Effective Surcharge Ratio เท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ดินตัวอย่างถูกเพิ่มน้ำหนักจาก 10, 20, 40, 80 kPa และ σ'_{vs} เท่ากับ 102 ถึง 170 kPa จากนั้นน้ำหนักออกจนกระทั่งเหลือ 85 kPa (สำหรับดินตัวอย่างลึก 7.5-9.6 m) แล้วคงค้างไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 2 เดือน และการทดสอบที่ R'_s เท่ากับ 0.2 ใช้ดินตัวอย่างลึก 3.0-3.5 m มีค่า σ'_{vs} เท่ากับ 204 ถึง 306 kPa แล้วน้ำหนักออกจนกระทั่งเหลือ 170 และ 255 kPa แล้วคงค้างไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 2 เดือน

ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง t_p/t_{pr} กับ R'_s ของดินเหนียวอ่อนประเทศไทยกับต่างประเทศ พบว่าดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯมีค่าสูงของของดินเหนียวอ่อนต่างประเทศประมาณ 15 เท่า เช่นที่ R'_s เท่ากับ 0.2 ดินเหนียวต่างประเทศมีค่า t_p/t_{pr} เท่ากับ 6 แต่ผล

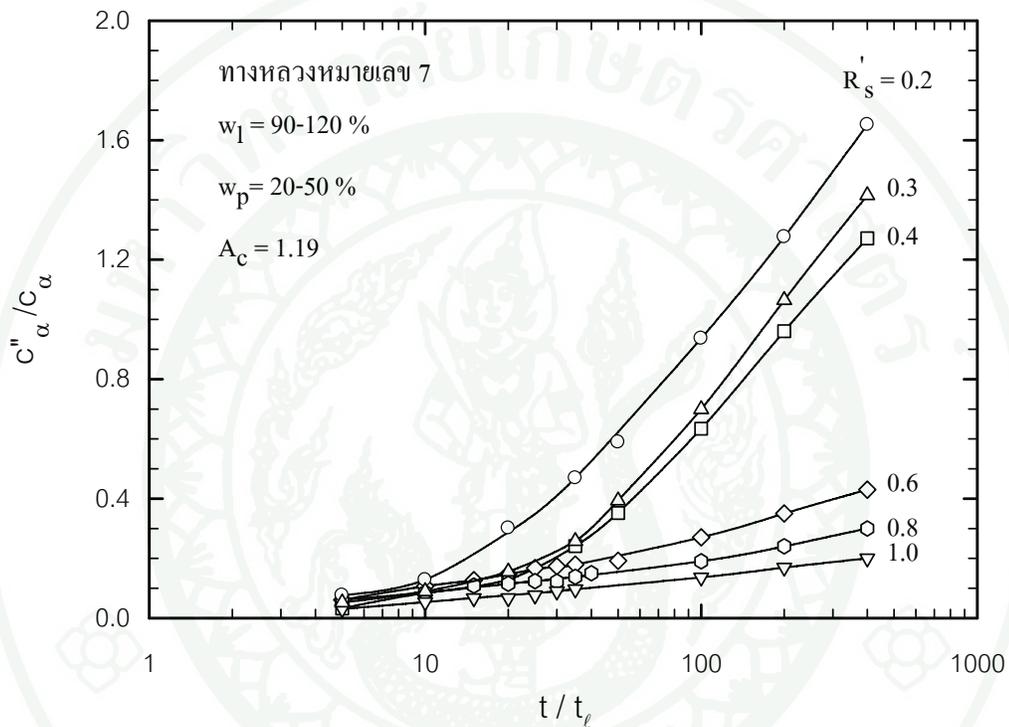
การทดสอบของดินเหนียวอ่อนประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 230 ดังแสดงในภาพที่ 52 ซึ่งพบว่าค่า t_ℓ ของดินเหนียวประเทศไทยนั้นมีความสูงส่งผลให้อัตราส่วน t_ℓ / t_{pr} นั้นมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งได้มีการทดสอบเพิ่มเติมโดยการเพิ่ม σ'_{vs} เท่ากับ 204 และ 306 kPa สำหรับชุดการทดสอบที่ R'_s เท่ากับ 0.2 (สัญลักษณ์สามเหลี่ยมทึบ) พบว่าการเพิ่ม σ'_{vs} นั้นไม่มีผลต่อความสัมพันธ์ของอัตราส่วน t_ℓ / t_{pr}



ภาพที่ 52 ความสัมพันธ์ระหว่าง t_ℓ / t_{pr} กับ R'_s ของดินเหนียวอ่อนประเทศไทยกับต่างประเทศ

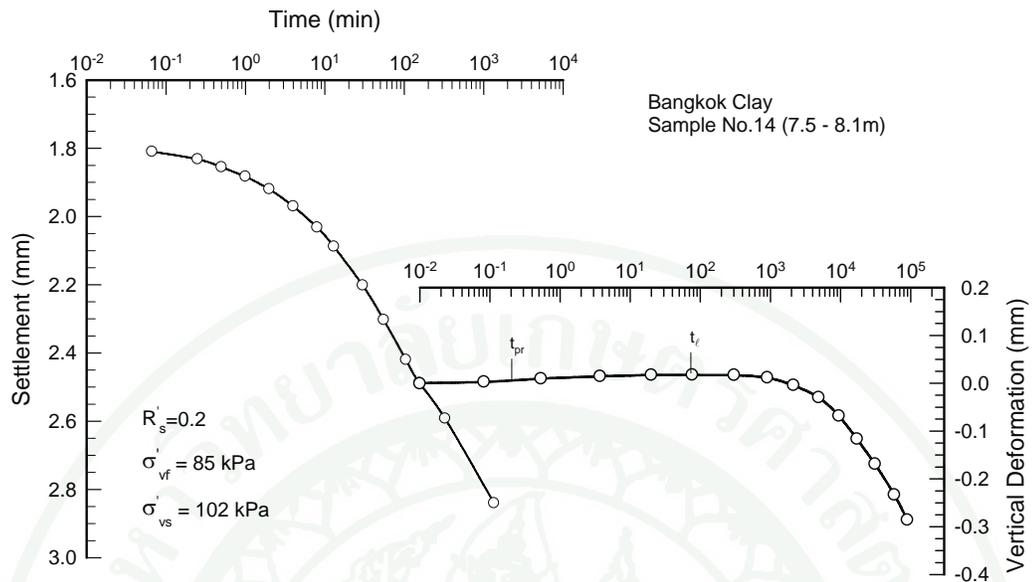
ที่มา: ข้อมูลดินต่างประเทศรวบรวมโดย Terzaghi *et al.* (1996)

ความสัมพันธ์ระหว่าง C''_{α}/C_{α} กับ t/t_{ℓ} ของดินเหนียวอ่อนประเทศไทยสำหรับ w_l เท่ากับ 90-120 % และ w_p เท่ากับ 20-50 % พบว่าที่ R'_s เท่ากับ 0.2, 0.3 และ 0.4 นั้นมีปริมาณการทรุดตัวในระยะยาวสูง ส่วน R'_s เท่ากับ 0.6, 0.8 และ 1.0 นั้น มีค่าปริมาณการทรุดตัวในระยะยาวไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในภาพที่ 53

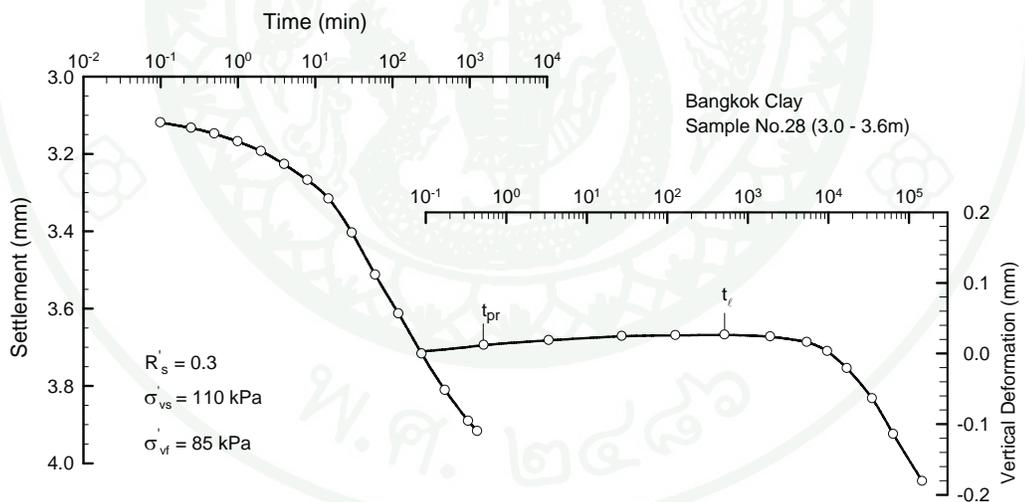


ภาพที่ 53 ความสัมพันธ์ระหว่าง C''_{α}/C_{α} กับ t/t_{ℓ} ของดินเหนียวอ่อนประเทศไทย

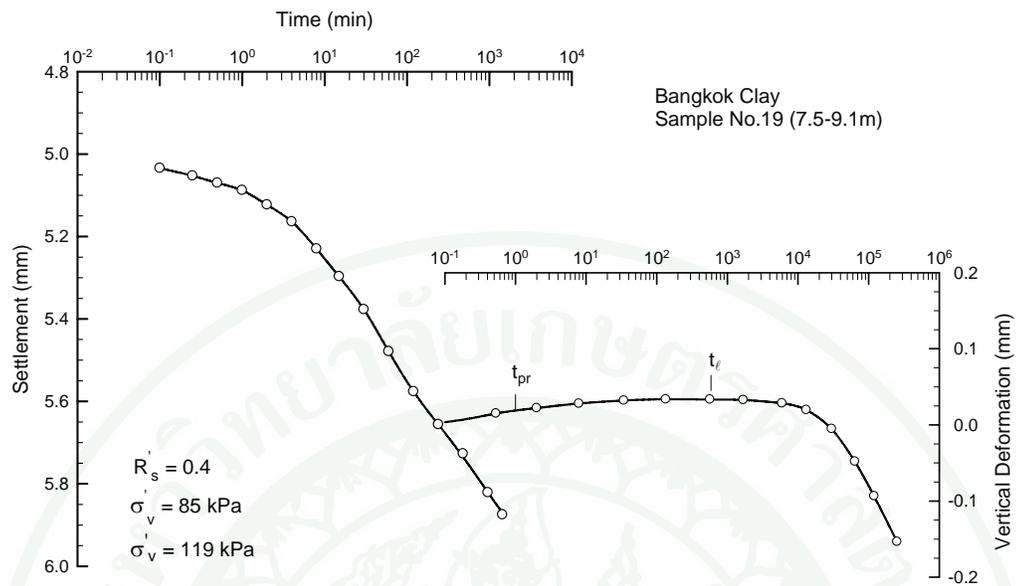
พฤติกรรมทรุดตัวภายหลังการใช้เทคนิค Surcharge เมื่อนำผลการทดสอบแต่ละ R'_s มาหาค่าเฉลี่ย (ข้อมูลในรูปแบบแสดงค่าเฉลี่ยอย่างน้อย R'_s ละ 2 ตัวอย่าง) พบว่าดินมีพฤติกรรมอัตราการบวมตัวสูงขึ้นในระยะเวลาแรกจนกระทั่งถึง t_{pr} จากนั้นอัตราการบวมตัวลดลงจนกระทั่งหยุดนิ่งที่ t_{ℓ} แล้วเริ่มมีอัตราการทรุดตัวเพิ่มมากขึ้นในระยะเวลาใกล้ t_{ℓ} เมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นอัตราการทรุดตัวมีค่าน้อยลง โดยค่า t_{ℓ} และ t_{pr} ของดินมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อ R'_s มากขึ้น และอัตราการทรุดตัวของดินมีค่าน้อยลงเมื่อ R'_s มีค่ามากขึ้นเช่นที่ R'_s เท่ากับ 0.2 อัตราการทรุดตัวมีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับที่ R'_s เท่ากับ 0.6 ดังแสดงในภาพที่ 54 ถึง 59



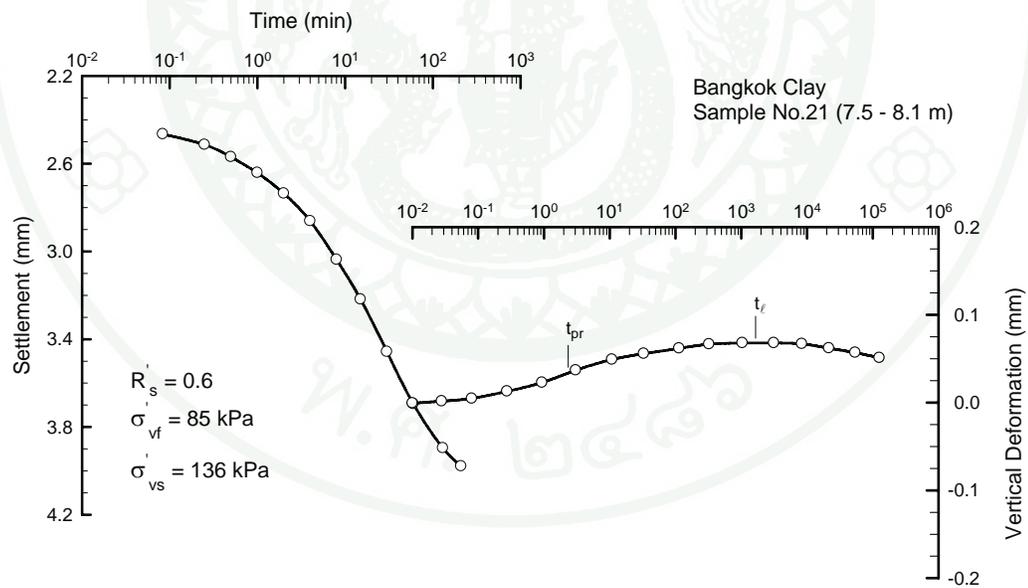
ภาพที่ 54 พฤติกรรมการทรุดตัวของดินกรณีที่มี $R'_s = 0.2$



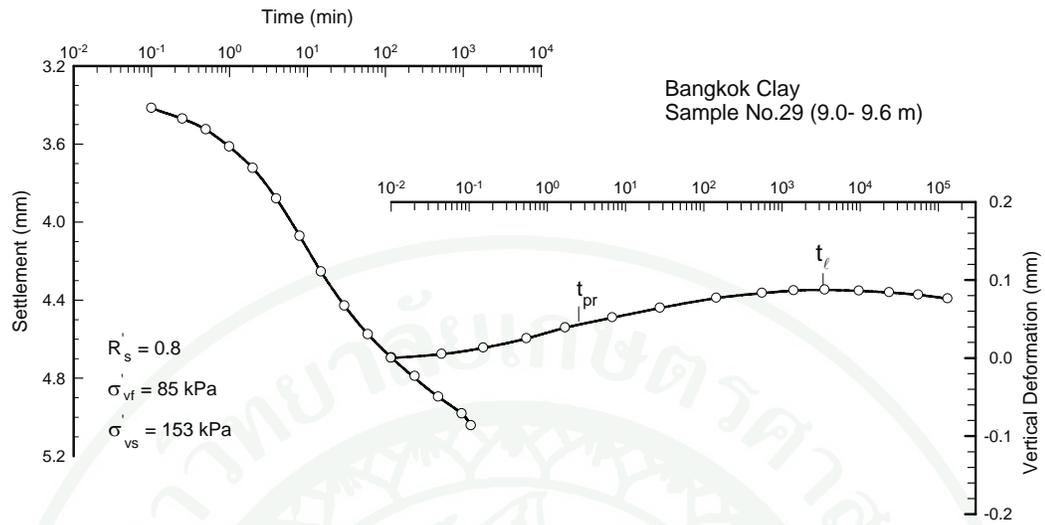
ภาพที่ 55 พฤติกรรมการทรุดตัวของดินกรณีที่มี $R'_s = 0.3$



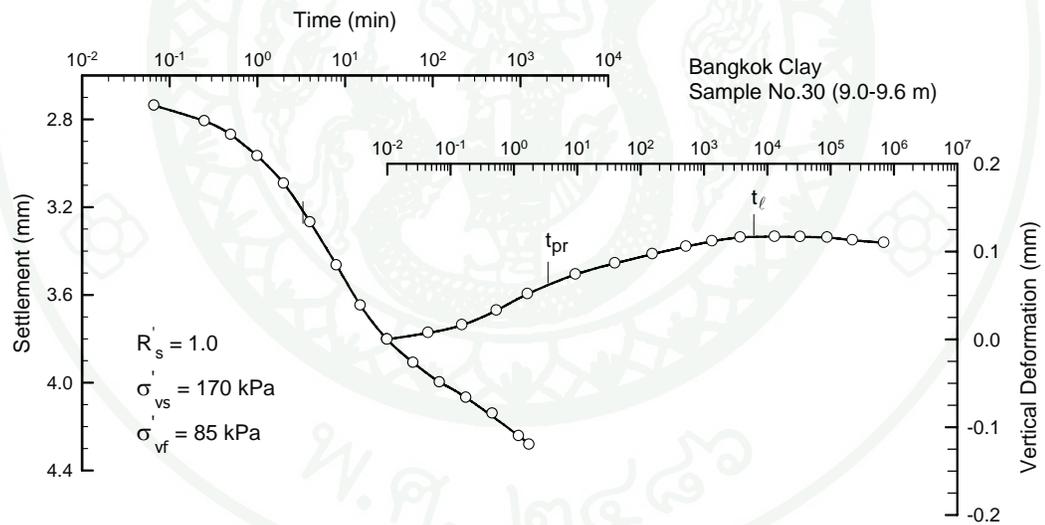
ภาพที่ 56 พฤติกรรมการทรุดตัวของดินกรณีที่มี $R'_s = 0.4$



ภาพที่ 57 พฤติกรรมการทรุดตัวของดินกรณีที่มี $R'_s = 0.6$



ภาพที่ 58 พฤติกรรมการทรุดตัวของดินกรณีที่มี $R'_s = 0.8$



ภาพที่ 59 พฤติกรรมการทรุดตัวของดินกรณีที่มี $R'_s = 1.0$

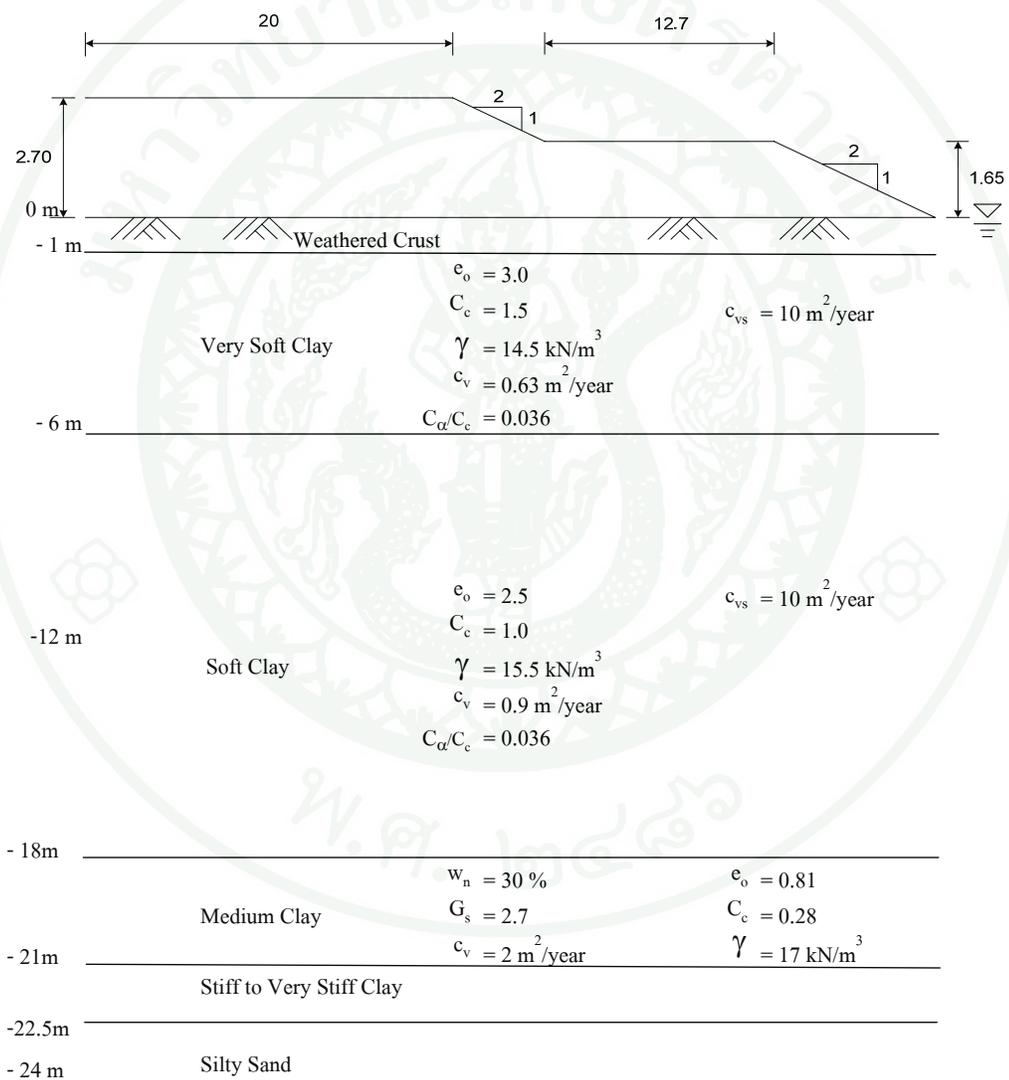
6 วิเคราะห์การทรุดตัว

ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของกรณีศึกษาทางหลวงหมายเลข 7 นั้นใช้ข้อมูลชั้นดินและคุณสมบัติของดินบริเวณกิโลเมตรที่ 16+650 ซึ่งอยู่ใกล้กับหลุมเจาะสำรวจดิน BH4 และเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริง ลักษณะชั้นดินในบริเวณดังกล่าวประกอบด้วย Weathered Crust, Very Soft Clay, Soft Clay, Medium Clay, Stiff to Very Stiff Clay และ Silty Sand และค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ที่แสดงในภาพที่ 60 การวิเคราะห์การทรุดตัวมีการพิจารณา 4 กรณี คือ (1) $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$, (2) $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$, (3) $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ และ (4) $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$

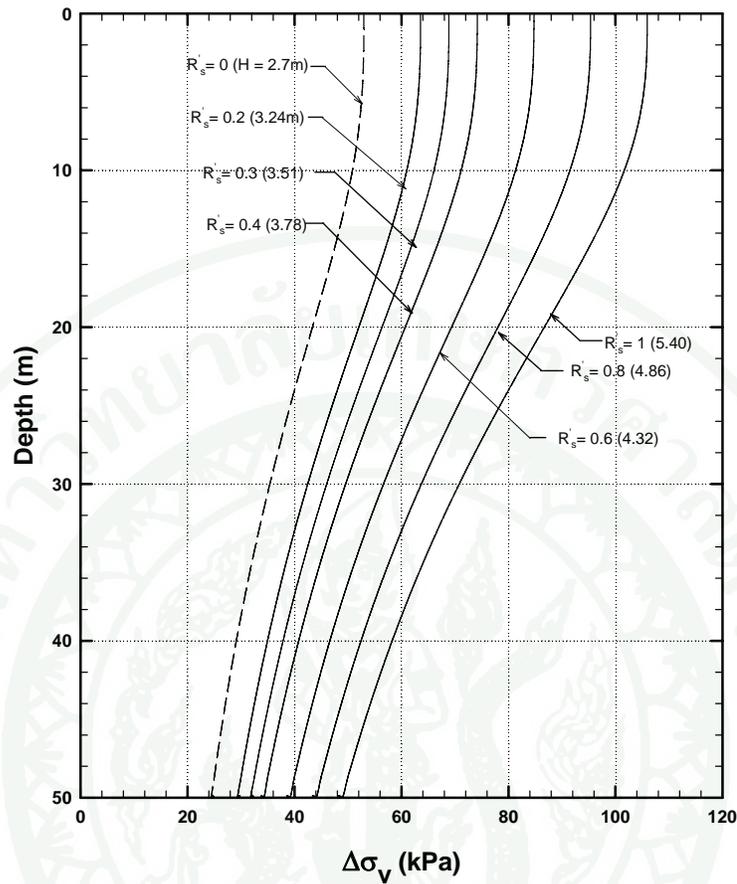
สมมติฐานของการคำนวณการทรุดตัวมีดังนี้

- γ ของดินถมเท่ากับ 20 kN/m^3
- ค่า e_0 ชั้น Medium Clay และ Stiff to Very Stiff Clay คำนวณจาก $w_n \times G_s$ โดยค่า w_n ได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลชั้นดิน (รายงานโดย Lin, 1999) ในช่วงความลึก 18 ถึง 21 m
- ค่า C_c ชั้น Medium Clay จากข้อมูลการวิเคราะห์ในภาพที่ 45 โดย w_n เท่ากับ 30 %
- ค่า c_v ของชั้นดิน Very Soft Clay และ Soft Clay เฉลี่ยจากผลการทดสอบทั้งหมดจากข้อมูลในภาพที่ 47
- ค่า c_{vs} ของชั้นดิน Soft Clay และ Medium Clay ได้จากการเฉลี่ยผลการทดสอบ Oedometer Test ซึ่งเท่ากับ $10 \text{ m}^2/\text{year}$
- มีการทรุดตัวในชั้น Weathered Crust และ Silty Sand น้อยมากและไม่นำมาพิจารณา
- ให้บริเวณที่ติดตั้ง PVD และชั้น Silty Sand เป็นชั้นระบายน้ำ (Drainage Layer) สำหรับวิเคราะห์การทรุดตัวในชั้นดิน Soft Clay, Medium Clay และ Stiff to Very Stiff Clay กรณีที่มีการติดตั้ง PVD
 - เนื่องจากชั้น Stiff to Very Stiff Clay มีความหนาเพียง 1.5 m ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ในชั้น Stiff to Very Stiff Clay ใช้เท่ากับชั้น Medium Clay
 - ไม่พิจารณาการทรุดตัวเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล
 - ไม่พิจารณาการบวมตัวของดินฐานรากเมื่อนำ Surchage ออก เนื่องจากค่า C_u มีค่าน้อย
 - ภาพที่ 61 แสดง $\Delta\sigma_v$ กับความลึกที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวที่ $R'_s = 0, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8,$ และ 1.0 เทียบเท่ากับความสูงของการถมดินเท่ากับ 2.70, 3.24, 3.51, 3.78, 4.32, 4.86 และ 5.40 m

การวิเคราะห์การทรุดตัวนั้นออกเป็น 3 กรณีคือ (1) กรณีที่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge และ PVD, (2) กรณีที่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge แต่มีการใช้ PVD ($R'_s = 0$) และ (3) มีการใช้เทคนิค Surcharge ร่วมกับ PVD ($R'_s = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0) โดยแต่ละกรณีดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงค่า c_v ในการวิเคราะห์โดยใช้ c_v เท่ากับ 1, 10, 18 และ 26 เท่าของการทดสอบในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 60 แสดงลักษณะชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัว



ภาพที่ 61 แสดงการกระจายของ Stress ในชั้นดิน

6.1 กรณีที่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge และ PVD

ผลการคำนวณการทรุดตัวในกรณีที่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge และ PVD พบว่าการทรุดตัวทั้งหมด 2.19 m แสดงในตารางที่ 10 ซึ่งใกล้เคียงกับการคาดการณ์ในรายงานสรุปผลของ Lin (1999) ที่คาดการณ์ว่าจะมีการทรุดตัวเกิดขึ้นทั้งหมด 2.10 m

ในการคำนวณระยะเวลาในการทรุดตัวนั้น เนื่องจากชั้นดินมีค่า c_v ไม่เท่ากันทั้ง Very Soft Clay (c_v เท่ากับ $0.63 \text{ m}^2/\text{year}$), Soft Clay (c_v เท่ากับ $0.9 \text{ m}^2/\text{year}$) และ Medium Clay (c_v เท่ากับ $2.0 \text{ m}^2/\text{year}$) จึงได้ทำการปรับความหนาของชั้นดินและใช้ค่า c_v มีค่าเท่ากัน (สมการที่ 8) ทำให้ได้ความหนาของชั้นดินทั้งหมดเท่ากับ 17.6 m มีค่า c_v เท่ากับ $0.63 \text{ m}^2/\text{year}$ โดยวิธี Transforming

Soil Properties ดังแสดงในภาพที่ 62 ผลการวิเคราะห์โดยใช้ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$, $10 c_{v(\text{lab})}$, $18 c_{v(\text{lab})}$ และ $26 c_{v(\text{lab})}$ พบว่าใช้ระยะเวลาในการระบายแรงดันน้ำออกทั้งหมด (t_p) เท่ากับ 140, 14, 7.8 และ 5.4 ปี แสดงในตารางที่ 11 ถึง 14

เนื่องจากระหว่างการก่อสร้าง (ประมาณ 2 ปี) นั้นดินฐานรากมีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Consolidation ไปบางส่วนดังนั้น การทรุดตัวเมื่อเปิดใช้งาน Degree of Consolidation (U %) มีค่าเท่ากับ 11.9, 47.8, 61.8, และ 73.2 % สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$, $10 c_{v(\text{lab})}$, $18 c_{v(\text{lab})}$ และ $26 c_{v(\text{lab})}$ ตามลำดับ ผลวิเคราะห์การทรุดตัวภายหลังเปิดใช้งานในปีที่ 1, 4, 12 และ 25 พบว่ากรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ดินมีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 0.09, 0.22, 0.51 และ 0.85 m ดังแสดงในตารางที่ 15 กรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10 c_{v(\text{lab})}$ ดินมีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement ในปีที่ 1, 4, 12 เท่ากับ 0.13, 0.66, 1.14 m และ Primary Settlement ร่วมกับ Secondary Settlement ในปีที่ 25 เท่ากับ 1.20 m ดังแสดงในตารางที่ 16 กรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18 c_{v(\text{lab})}$ ดินมีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement ในปีที่ 1 และ 4 เท่ากับ 0.28, 0.70, และ Primary Settlement ร่วมกับ Secondary Settlement ในปีที่ 12 และ 25 เท่ากับ 0.89 และ 0.95 m ดังแสดงในตารางที่ 17 กรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26 c_{v(\text{lab})}$ ดินมีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement ในปีที่ 1 และ 4 เท่ากับ 0.26, 0.59 m และ Primary Settlement ร่วมกับ Secondary Settlement ในปีที่ 12 และ 25 เท่ากับ 0.68 และ 0.74 m ดังแสดงในตารางที่ 18 และสรุปการทรุดตัวทั้งหมดแสดงในภาพที่ 63

ภาพที่ 64 แสดงปริมาณการทรุดตัวในกรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10 c_{v(\text{lab})}$ (เนื่องจากมีปริมาณการทรุดตัวในระหว่างการใช้งานสูงสุดของกรณีที่ 1) ในระยะเวลา 25 ปี ชั้นดิน Very Soft Clay มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 52.5 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 1.7 %, Soft Clay มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 38.3 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 3.3 % และ Medium and Stiff Clay มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 5 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 0.83 % พบว่าการทรุดตัวทั้งหมดเกิดขึ้นเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 94 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 6 %

ภาพที่ 65 แสดงปริมาณการทรุดตัวในกรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26 c_{v(\text{lab})}$ (เนื่องจากมีปริมาณการทรุดตัวในระหว่างการใช้งานต่ำสุดของกรณีที่ 1) ในระยะเวลา 25 ปี ชั้นดิน Very Soft Clay มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 43.2 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 6.7 %, Soft Clay มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 31.1 % และ Secondary

Settlement เท่ากับ 12.2 % และ Medium and Stiff Clay มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 4 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 2.7 % การทรุดตัวทั้งหมดเกิดขึ้นเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 78.4 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 21.6 %

ตารางที่ 10 ผลการคำนวณการทรุดตัวกรณีที่ 1 ไม่มีการใช้ PVD และเทคนิค Surcharge

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	e_o	C_c	Settlement (m)
Very Soft Clay	5.0	14.5	16	53	3.0	1.5	1.20
Soft Clay	12.0	15.5	66	53	2.5	1.0	0.87
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	51	0.8	0.3	0.12
Total Settlement							2.19

ตารางที่ 11 แสดงค่า U (%) ในการวิเคราะห์กรณีที่ 1 ใช้ค่า c_v เท่ากับ $c_{v,lab}$

t (year)	T_v	U (%)
1	0.008	10.6
3	0.025	18.4
7	0.057	28.2
15	0.123	41.9
30	0.245	58.3
60	0.490	78.5
90	0.735	90.6
$t_p = 140$	1.143	95.0

ตารางที่ 12 แสดงค่า U (%) ในการวิเคราะห์กรณีที่ 1 ใช้ค่า c_v เท่ากับ $10c_{v,lab}$

t (year)	T_v	U (%)
1	0.082	33.8
2	0.163	47.8
3	0.245	58.3
5	0.408	72.1
7	0.572	82.7
10	0.817	90.9
$t_p = 14$	1.148	95.0

ตารางที่ 13 แสดงค่า U (%) ในการวิเคราะห์กรณีที่ 1 ใช้ค่า c_v เท่ากับ $18c_{v,lab}$

t (year)	T_v	U (%)
1	0.147	42.5
2	0.294	61.8
3	0.441	74.4
5	0.735	88.3
$t_p = 7.8$	1.148	95.0

ตารางที่ 14 แสดงค่า U (%) ในการวิเคราะห์กรณีที่ 1 ใช้ค่า c_v เท่ากับ $26c_{v,lab}$

t (year)	T_v	U (%)
1	0.212	52.3
2	0.425	73.2
3	0.637	85
$t_p = 5.4$	1.148	95.0

ตารางที่ 15 การทรุดตัวแบบ Secondary Settlement ในกรณีที่ 1 ใช้ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ $t_p = 140$ ปี

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	e_o	C_c	C_{α}/C_c	t_p (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
											S_p	S_s	S_p	S_s	S_p	S_s	S_p	S_s
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	16	53	3.0	1.5	0.036	140	1.20	0.14	0.05	0	0.12	0	0.28	0	0.47	0
Soft Clay	12.0	15.5	66	53	2.5	1.0	0.036	140	0.87	0.10	0.04	0	0.09	0	0.20	0	0.34	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	51	0.8	0.3	0.036	140	0.12	0.01	0.00	0	0.01	0	0.03	0	0.04	0
Total Settlement									2.20	0.26	0.09		0.22		0.51		0.85	

ตารางที่ 16 การทรุดตัวแบบ Secondary Settlement ในกรณีที่ 1 ใช้ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ $t_p = 14$ ปี

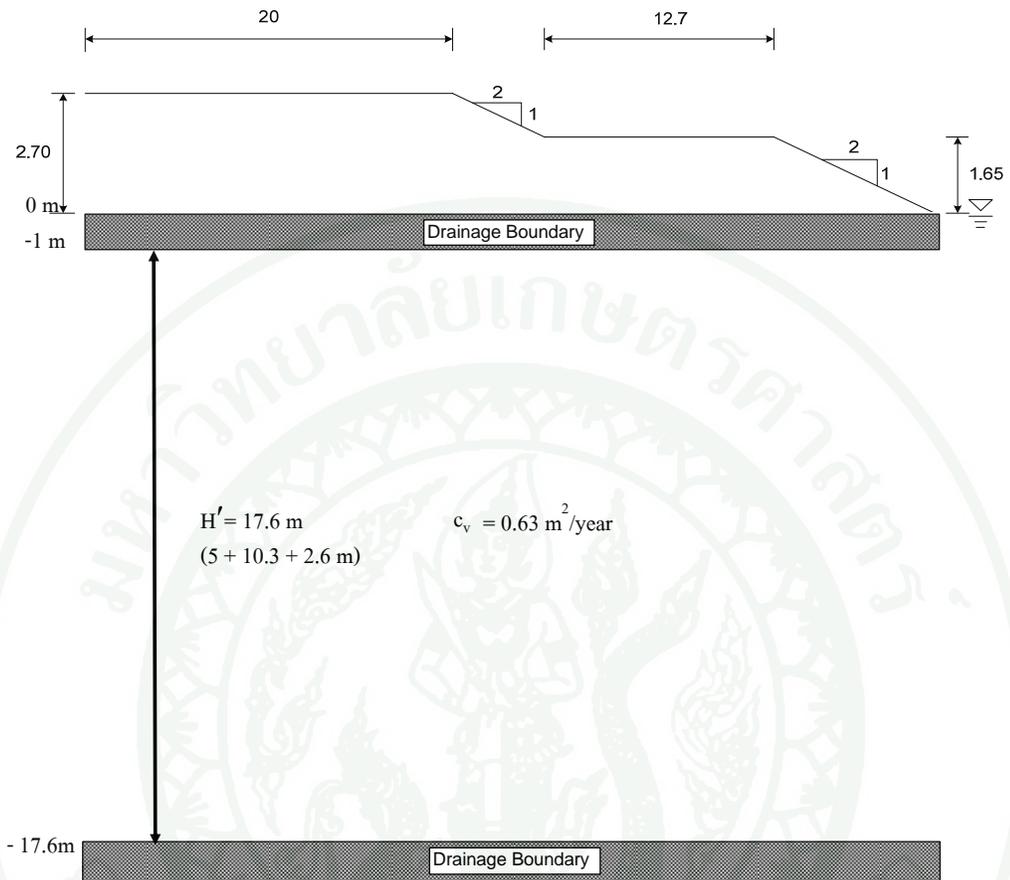
Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	e_o	C_c	C_{α}/C_c	t_p year	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
										S_p	S_s	S_p	S_s	S_p	S_s	S_p	S_s
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	16	53	3.0	1.5	0.036	14.0	0.57	0.07	0	0.36	0	0.63	0	0.63	0.02
Soft Clay	12.0	15.5	66	53	2.5	1.0	0.036	14.0	0.42	0.05	0	0.26	0	0.46	0	0.46	0.04
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	51	0.8	0.3	0.036	14.0	0.06	0.01	0	0.03	0	0.06	0	0.06	0.01
Total Settlement									1.05	0.13		0.66		1.14		1.20	

ตารางที่ 17 การทรุดตัวแบบ Secondary Settlement ในกรณีที่ 1 ใช้ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ 18 $c_{v(\text{lab})}$ $t_p = 7.8$ ปี

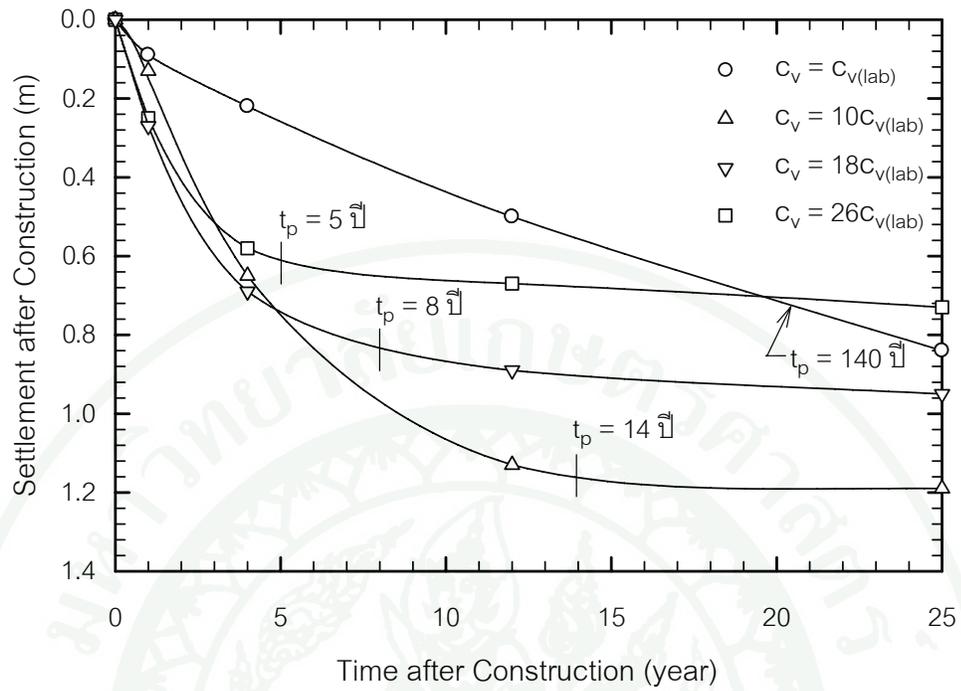
Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	e_o	C_c	C_α/C_c	t_p year	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
										S_p	S_s	S_p	S_s	S_p	S_s	S_p	S_s
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	16	53	3.0	1.5	0.036	7.8	0.74	0.15	0	0.39	0	0.46	0.02	0.46	0.04
Soft Clay	12.0	15.5	66	53	2.5	1.0	0.036	7.8	0.54	0.11	0	0.28	0	0.33	0.03	0.33	0.07
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	51	0.8	0.3	0.036	7.8	0.08	0.01	0	0.04	0	0.04	0.01	0.04	0.01
Total Settlement									1.36	0.28		0.70		0.89		0.95	

ตารางที่ 18 การทรุดตัวแบบ Secondary Settlement ในกรณีที่ 1 ใช้ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ 26 $c_{v(\text{lab})}$ $t_p = 5.4$ ปี

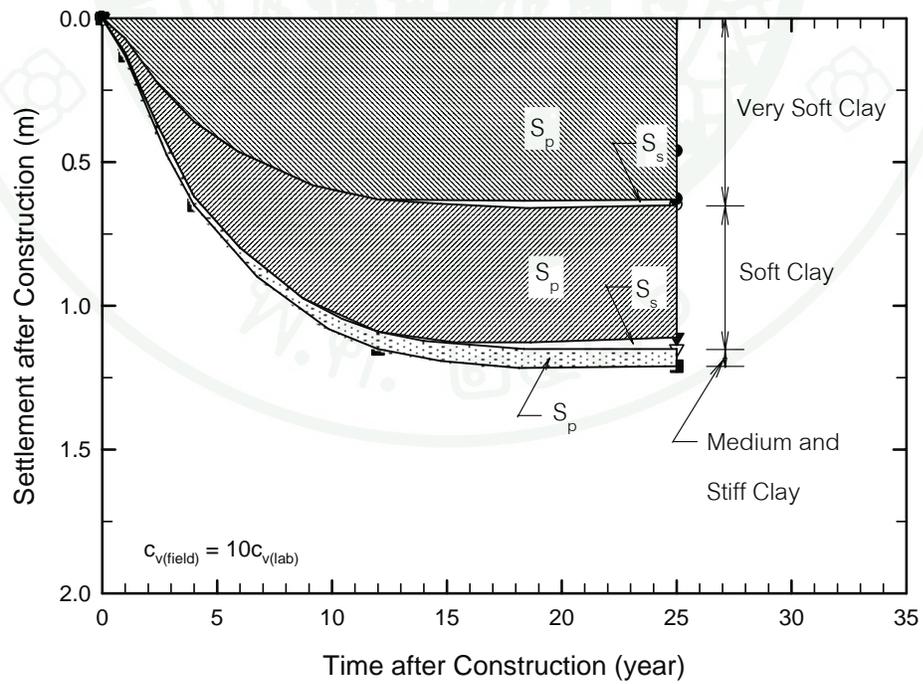
Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	e_o	C_c	C_α/C_c	t_p year	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
										S_p	S_s	S_p	S_s	S_p	S_s	S_p	S_s
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	16	53	3.0	1.5	0.036	5.4	0.88	0.14	0	0.32	0	0.32	0.03	0.32	0.05
Soft Clay	12.0	15.5	66	53	2.5	1.0	0.036	5.4	0.64	0.10	0	0.23	0	0.23	0.05	0.23	0.09
Medium and Stiff Clay	4.5	18.0	110	51	0.8	0.3	0.036	5.4	0.09	0.01	0	0.03	0	0.03	0.01	0.03	0.02
Total Settlement									1.61	0.26		0.59		0.68		0.74	



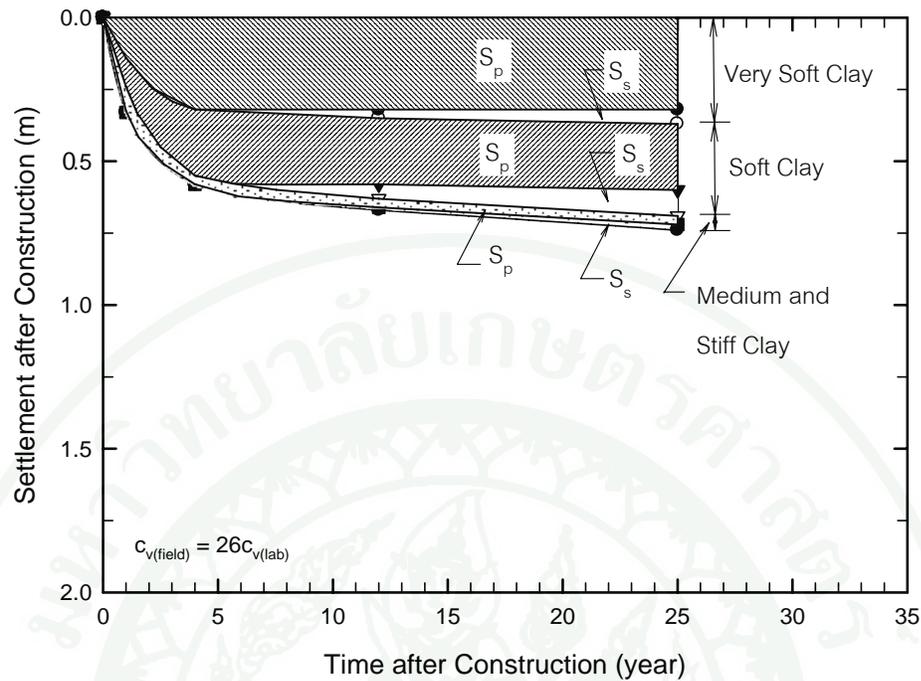
ภาพที่ 62 แสดงความหนาของชั้นดินภายหลังปรับเปลี่ยน c_v สำหรับวิเคราะห์กรณีที่ 1



ภาพที่ 63 แสดงการทรุดตัวภายหลังการเปิดใช้งานกรณีที่ 1



ภาพที่ 64 แสดงการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรณีที่ 1 เมื่อ $c_{v(field)} = 10c_{v(lab)}$



ภาพที่ 65 แสดงการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรณีที่ 1 เมื่อ $c_{v(\text{field})} = 26c_{v(\text{lab})}$

6.2 กรณีที่ 2 มีการใช้ PVD แต่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge หรือ Effective Surcharge Ratio (R'_s) = 0

ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข 7 กรณีที่มีการใช้ PVD (ยาว 12 m) แต่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge หรือ $R'_s = 0$ นั้น ได้แบ่งชั้นดินที่พิจารณาเป็น 5 ชั้นคือ (1) Very Soft Clay (หนา 5 m) มีการติดตั้ง PVD, (2) Soft Clay (หนา 6 m) มีการติดตั้ง PVD, (3) Soft Clay (หนา 6 m) ไม่มีการติดตั้ง PVD, (4) Medium Clay (หนา 3 m) ไม่มีการติดตั้ง PVD และ (5) Stiff to Very Stiff Clay (หนา 1.5 m) ไม่มีการติดตั้ง PVD ดังแสดงในภาพที่ 66 จากข้อมูลการทรุดตัวระหว่างการก่อสร้างโดย นพพร (2545) พบว่า ชั้นดินได้ค้นทางมีการทรุดตัวทั้งสิ้น 94 % ของการออกแบบ และอีก 6 % ที่เหลือจะสิ้นสุดภายในระยะเวลาประมาณ 27 วัน และจากการคำนวณย้อนกลับโดยวิธี Asaoka (1978) เพื่อหาค่า c_v จากผลการตรวจวัดการทรุดตัวในสนามขณะก่อสร้าง โดย Wasu (1998) พบว่ามีค่า c_v เฉลี่ยเท่ากับ $137 \text{ m}^2/\text{year}$ (ใช้ค่า Maximum Drainage Distance = 8 m) ดังนั้นการวิเคราะห์การทรุดตัวหลังจากการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 7 เกิดจาก (1) Primary Settlement อีก 6 % ของชั้นดิน Very Soft Clay (หนา 5 m) และ Soft Clay (หนา 6 m), (2)

Primary Settlement ของชั้นดิน Soft Clay (หนา 6 m) Medium Clay (หนา 3 m) และ Stiff to Very Stiff Clay (หนา 1.5 m) ไม่มีการติดตั้ง PVD, (3) Secondary Settlement ของชั้นดิน Very Soft Clay, Soft Clay, Medium Clay และ Stiff to Very Stiff Clay

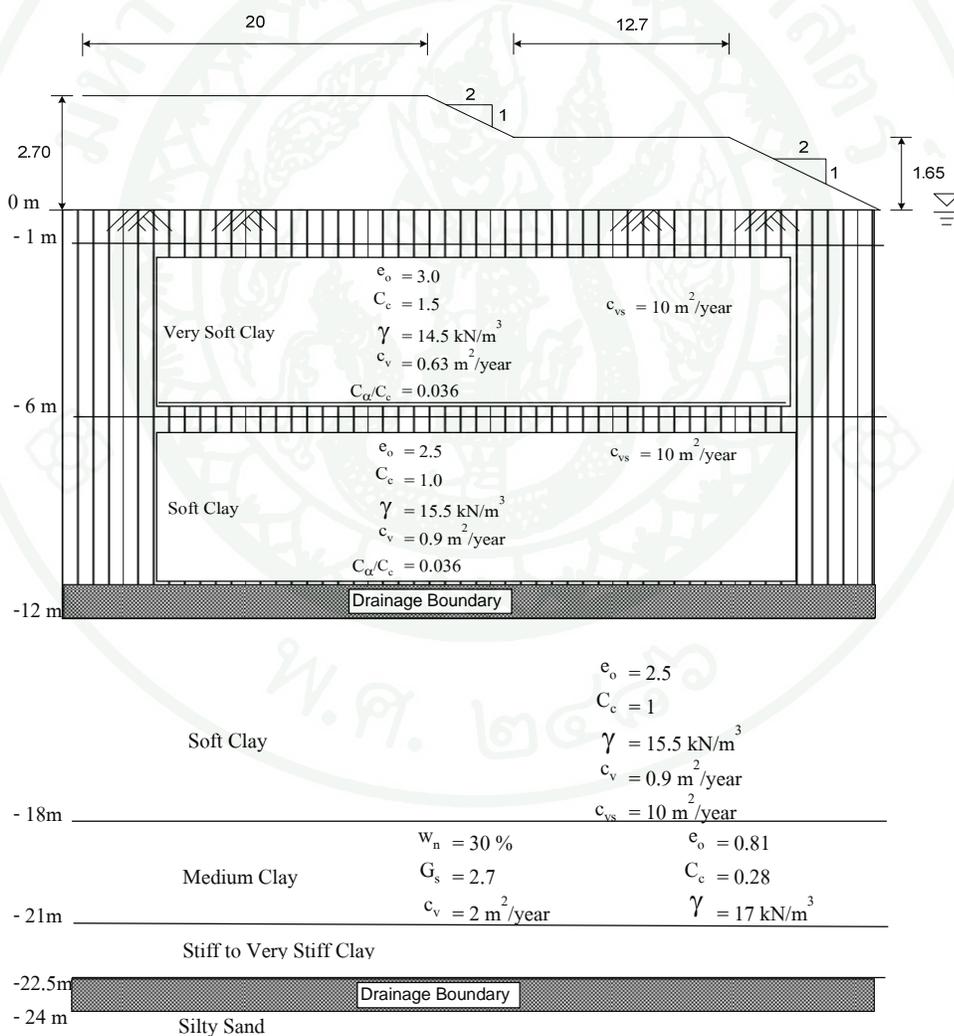
กำหนดให้ดินชั้นที่มีการติดตั้ง PVD และชั้น Silty Sand เป็น Drainage Boundary Layer เนื่องจากดินที่อยู่ต่ำกว่าการติดตั้ง PVD มีค่า c_v ในแต่ละชั้นไม่เท่ากัน ในชั้น Soft Clay มีค่า c_v เท่ากับ $0.9 \text{ m}^2/\text{year}$ และชั้น Medium กับ Stiff Clay มีค่าเท่ากับ c_v เท่ากับ $2 \text{ m}^2/\text{year}$ ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้ c_v มีค่าเท่ากันทำให้ได้ความหนาของชั้นดินใหม่ดังภาพที่ 67

ผลการวิเคราะห์ Degree of Consolidation สำหรับชั้นดินที่ต่ำกว่าระดับการติดตั้ง PVD (มากกว่า 12 m) พิจารณา 4 กรณี คือ (1) $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ใช้เวลา (t_p) เท่ากับ 26 ปี, (2) $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ใช้เวลา (t_p) เท่ากับ 2.6 ปี, (3) $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ใช้เวลา (t_p) เท่ากับ 1.4 ปี, และ (4) $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ใช้เวลา (t_p) เท่ากับ 1 ปี ดังแสดงในตารางที่ 19 ถึง 22

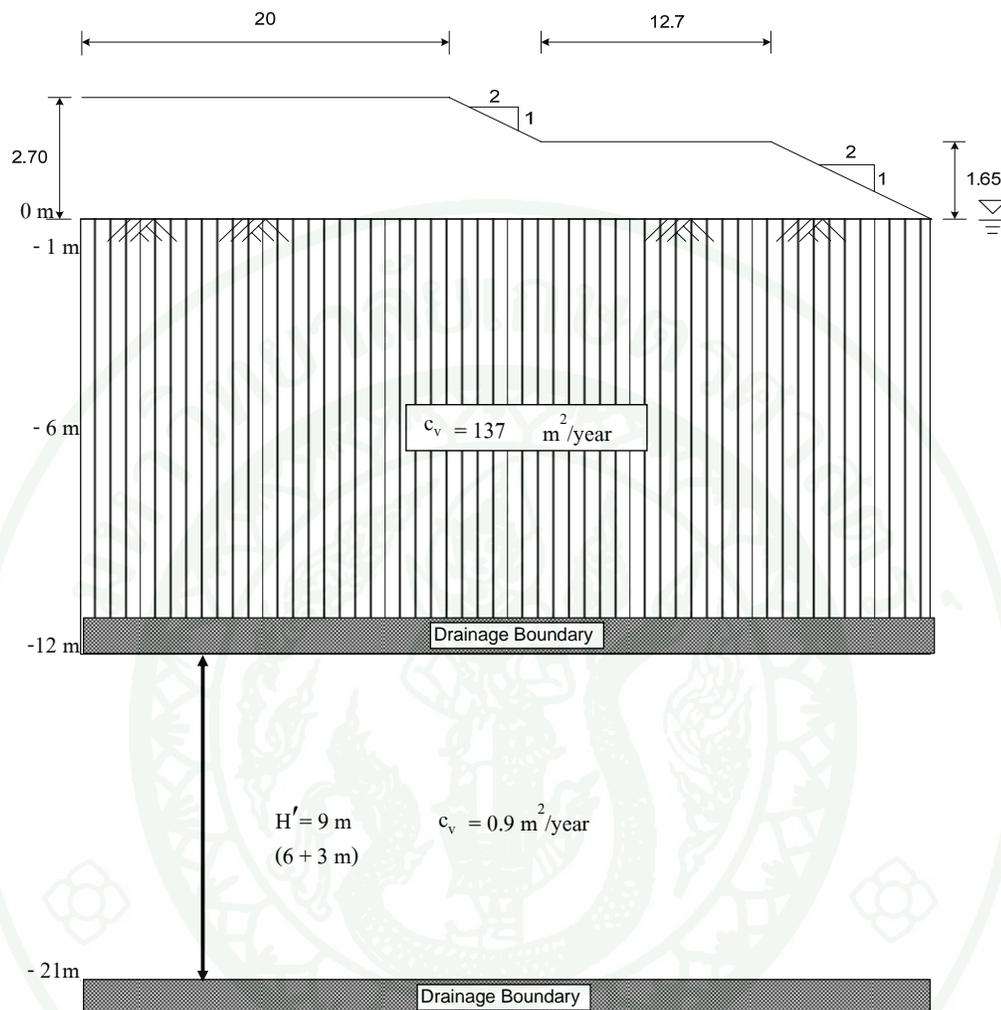
ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement และ Secondary Settlement ในระหว่างการก่อสร้างเท่ากับ 1.73, 2.04, 2.09 และ 2.12 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$, $10 c_{v(\text{lab})}$, $18 c_{v(\text{lab})}$ และ $26 c_{v(\text{lab})}$ ตามลำดับ และภายหลังเปิดใช้งานในปีที่ 1, 4, 12 และ 25 ในกรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ มีค่าการทรุดตัวเท่ากับ 0.14, 0.30, 0.47 และ 0.60 m, $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10 c_{v(\text{lab})}$ มีค่าการทรุดตัว 0.15, 0.24, 0.30 และ 0.35 m, $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ มีค่าการทรุดตัว 0.13, 0.22, 0.30 และ 0.36 m และ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ มีค่าการทรุดตัว 0.14, 0.23, 0.32 และ 0.38 m และสรุปไว้ในภาพที่ 68

ภาพที่ 69 แสดงปริมาณการทรุดตัวในกรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ (เนื่องจากมีปริมาณการทรุดตัวในระหว่างการใช้งานสูงสุดของกรณีที่ 2) ในระยะเวลา 25 ปี ชั้นดิน Very Soft Clay มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 11.7 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 13.3 %, Soft Clay (มีการติดตั้ง PVD) มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 5 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 11.7 %, Soft Clay (ไม่มีการติดตั้ง PVD) มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 45 % และ Medium and Stiff Clay มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 15 % พบว่าการทรุดตัวทั้งหมดเกิดขึ้นเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 75 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 25 %

ภาพที่ 70 แสดงปริมาณการทรุดตัวในกรณีที่มี $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26 c_{v(\text{lab})}$ (เนื่องจากมีปริมาณการทรุดตัวในระหว่างการใช้งานต่ำสุดของกรณีที่ 2) ในระยะเวลา 25 ปี ชั้นดิน Very Soft Clay มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 18.4 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 21 %, Soft Clay (มีการติดตั้ง PVD) มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 7.9 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 18.4 %, Soft Clay (ไม่มีการติดตั้ง PVD) มีการทรุดตัวเนื่องจาก Secondary Settlement เท่ากับ 23.7 % และ Medium and Stiff Clay มีการทรุดตัวเนื่องจาก Secondary Settlement เท่ากับ 10.5 % พบว่าการทรุดตัวทั้งหมดเกิดขึ้นเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 26.4 % และ Secondary Settlement เท่ากับ 73.6 %



ภาพที่ 66 วิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่มีการใช้ PVD แต่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge



ภาพที่ 67 ความหนาของชั้นดินใหม่กรณีที่มีปรับเปลี่ยนค่า c_v ให้มีค่าเท่ากันสำหรับกรณีที่ 2 และ 3

ตารางที่ 19 แสดง U (%) สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD ในการวิเคราะห์กรณีที่ 2 และ 3 ใช้
ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v\text{lab}}$

t (year)	T_v	U (%)
1	0.044	21
2	0.089	30
3	0.133	38
4	0.177	45
6	0.266	56
14	0.620	81
$t_p = 26$	1.148	95

ตารางที่ 20 แสดง U (%) สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD ในการวิเคราะห์กรณีที่ 2 และ 3 ใช้
ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v\text{lab}}$

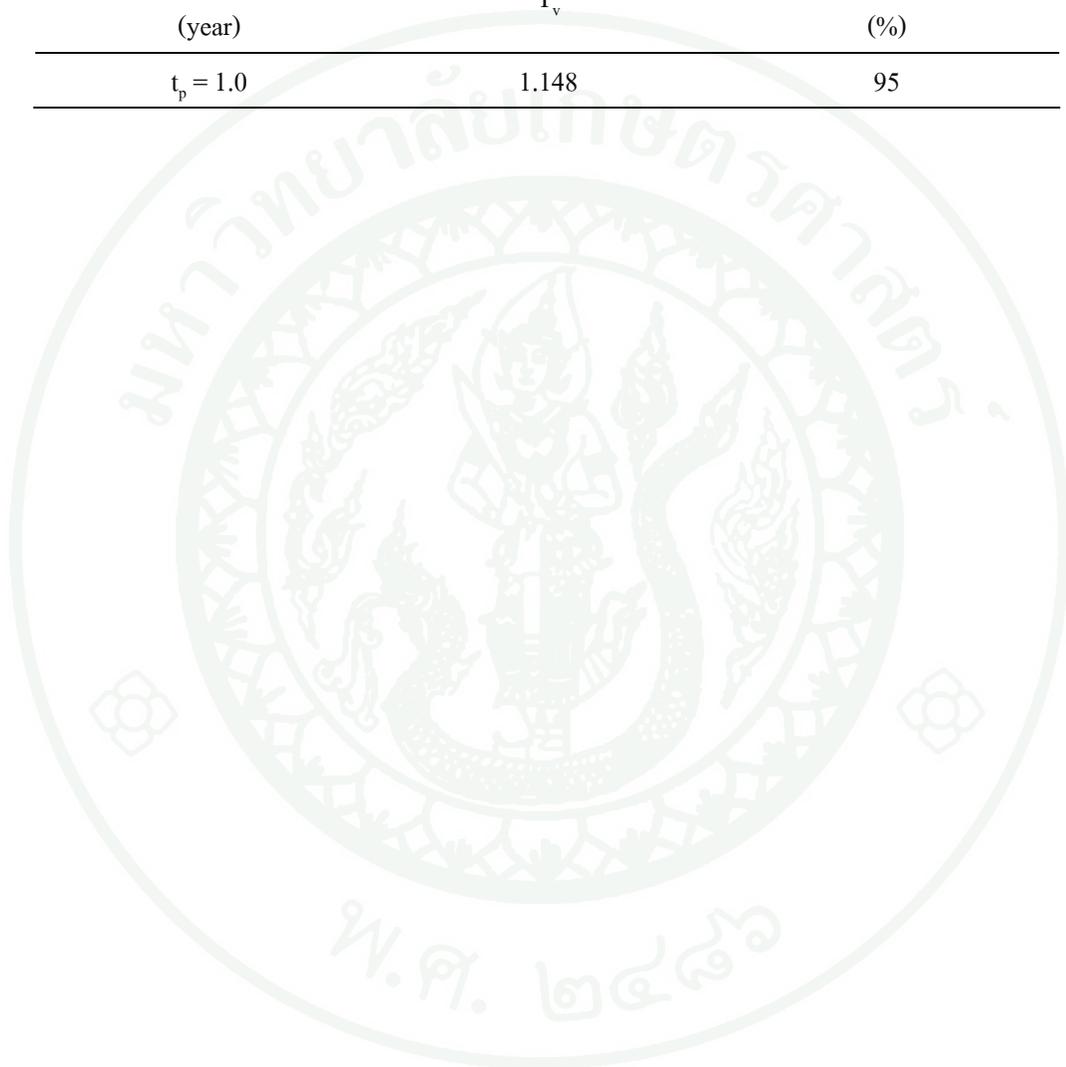
t (year)	T_v	U (%)
1	0.443	71
2	0.885	90
$t_p = 2.6$	1.148	95

ตารางที่ 21 แสดง U (%) สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD ในการวิเคราะห์กรณีที่ 2 และ 3 ใช้
ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v\text{lab}}$

t (year)	T_v	U (%)
1	0.797	88
$t_p = 1.4$	1.148	95

ตารางที่ 22 แสดง U (%) สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD ในการวิเคราะห์กรณีที่ 2 และ 3 ใช้
ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$

t (year)	T_v	U (%)
$t_p = 1.0$	1.148	95



ตารางที่ 23 ผลการคำนวณการทรุดตัวของถนนกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	e_o	C_c	C_α/C_c	t_p (year)	$[S_p]\sigma'_{vs}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
										ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	53.0	3.0	1.5	0.036	2	1.07	0.07	0	0.07	0.03	0.07	0.06	0.07	0.08
Soft Clay	6.0	15.5	50	52.6	2.5	1.0	0.036	2	0.51	0.03	0	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.07
Soft Clay	6.0	15.5	78	52.6	2.5	1.0	0.036	26	0.12	0.03	0	0.10	0	0.20	0	0.27	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	51.4	0.81	0.3	0.036	26	0.04	0.01	0	0.03	0	0.06	0	0.09	0
Total Settlement									1.73	0.14		0.30		0.47		0.60	

ตารางที่ 24 ผลการคำนวณการทรุดตัวของถนนกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$

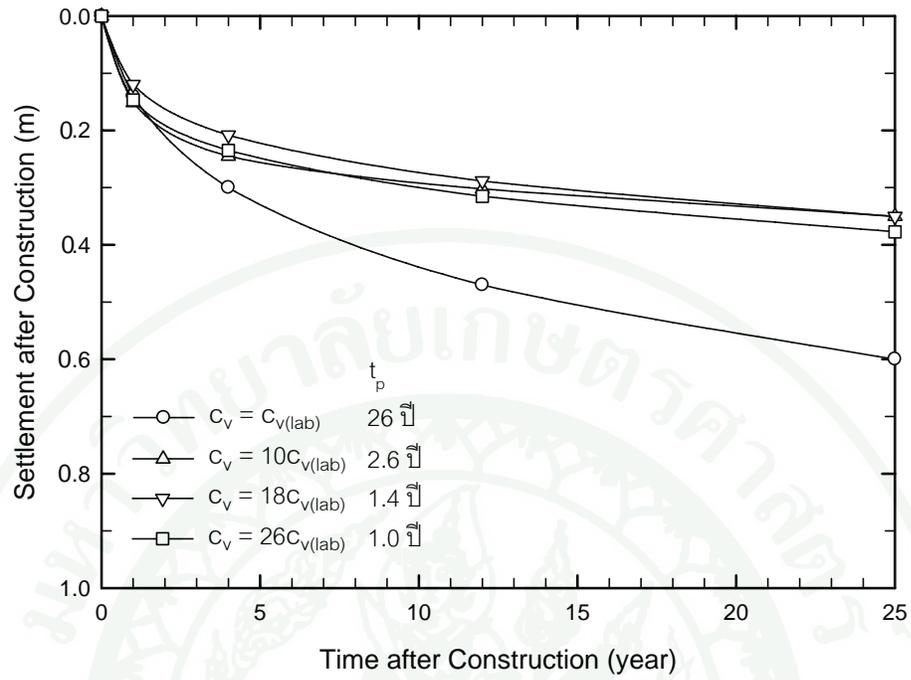
Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	e_o	C_c	C_α/C_c	t_p (year)	$[S_p]\sigma'_{vs}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
										ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	53.0	3.0	1.5	0.036	2	1.07	0.07	0	0.07	0.03	0.07	0.06	0.07	0.08
Soft Clay	6.0	15.5	50	52.6	2.5	1.0	0.036	2	0.51	0.03	0	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Soft Clay	6.0	15.5	78	52.6	2.5	1.0	0.036	2.6	0.35	0.04	0	0.04	0.02	0.04	0.05	0.04	0.06
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	51.4	0.81	0.3	0.036	2.6	0.11	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03
Total Settlement									2.04	0.15		0.24		0.30		0.35	

ตารางที่ 25 ผลการคำนวณการทรุดตัวของถนนกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$

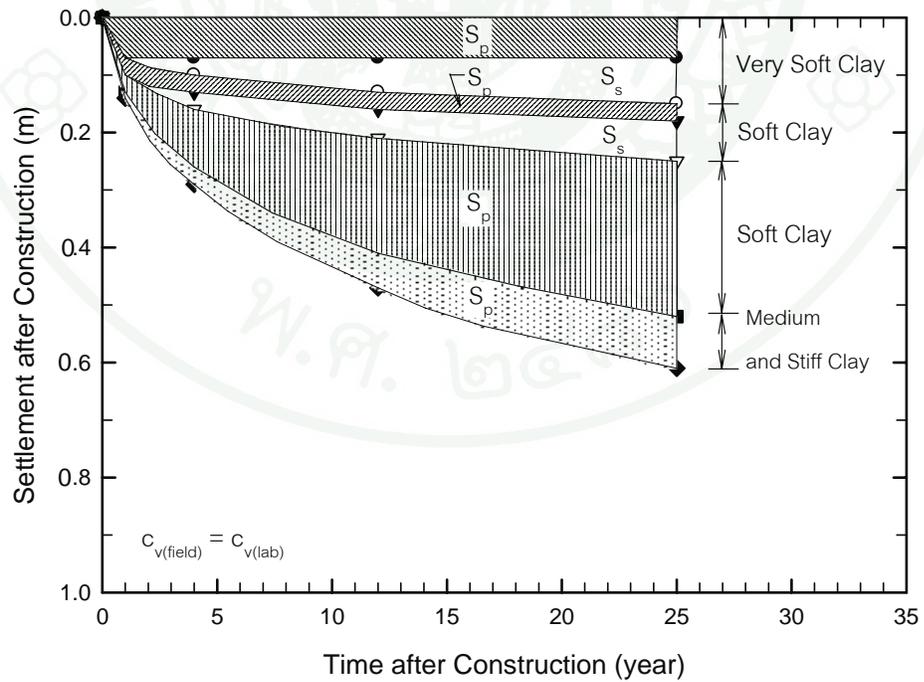
Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	e_o	C_c	C_{α}/C_c	t_p (year)	$[S_p]\sigma'_{vs}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
										ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	53.0	3.0	1.5	0.036	2	1.07	0.07	0	0.07	0.03	0.07	0.06	0.07	0.08
Soft Clay	6.0	15.5	50	52.6	2.5	1.0	0.036	2	0.51	0.03	0	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.07
Soft Clay	6.0	15.5	78	52.6	2.5	1.0	0.036	1.4	0.38	0	0.02	0	0.04	0	0.06	0	0.08
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	51.4	0.81	0.3	0.036	1.4	0.12	0	0.01	0	0.02	0	0.03	0	0.03
Total Settlement									2.09	0.13		0.22		0.30		0.36	

ตารางที่ 26 ผลการคำนวณการทรุดตัวของถนนกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$

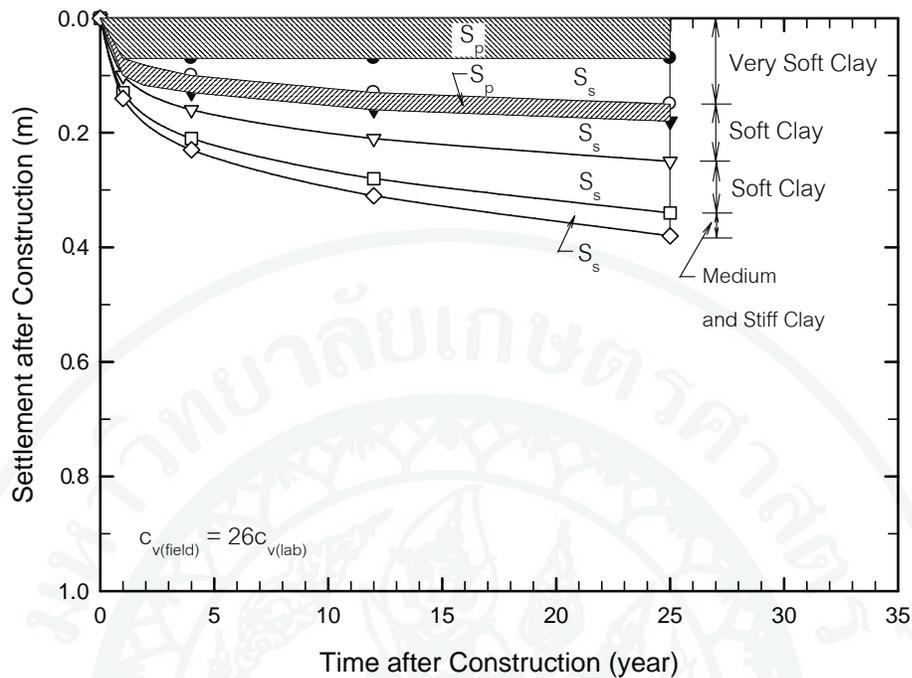
Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	e_o	C_c	C_{α}/C_c	t_p (year)	$[S_p]\sigma'_{vs}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
										ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	53.0	3.0	1.5	0.036	2	1.07	0.07	0	0.07	0.03	0.07	0.06	0.07	0.08
Soft Clay	6.0	15.5	50	52.6	2.5	1.0	0.036	2	0.51	0.03	0	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.07
Soft Clay	6.0	15.5	78	52.6	2.5	1.0	0.036	1	0.38	0	0.03	0	0.05	0	0.07	0	0.09
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	51.4	0.81	0.3	0.036	1	0.12	0	0.01	0	0.02	0	0.03	0	0.04
Total Settlement									2.09	0.14		0.23		0.32		0.38	



ภาพที่ 68 การทรุดตัวของถนนภายหลังเปิดใช้งานในกรณีที่ 2



ภาพที่ 69 แสดงการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(field)} = c_{v(lab)}$



ภาพที่ 70 แสดงการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรณีที่ 2 เมื่อ $c_{v(\text{field})} = 26c_{v(\text{lab})}$

6.3 กรณีที่ 3 มีการใช้ PVD ร่วมกับเทคนิค Surcharge

การวิเคราะห์การทรุดตัวของกรณีนี้ $R'_s = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 เทียบเท่ากับมีการถมดินเพื่อทำ Surcharge สูง 3.24, 3.51, 3.78, 4.32, 4.86 และ 5.40 m ตามลำดับโดยมีการแบ่งชั้นดินในการวิเคราะห์ดังกรณีที่ 2 ในภาพที่ 66 และ 67 สำหรับการหาค่า $c_{v(\text{field})}$ นั้นกำหนดให้ $(c_v/c_{vs})_{\text{lab}} = (c_v/c_{vs})_{\text{field}}$ และสำหรับดิน Very Soft Clay นั้นค่า $c_{v(\text{lab})} = 0.63 \text{ m}^2/\text{year}$, $c_{vs(\text{lab})} = 10 \text{ m}^2/\text{year}$ และ $c_{v(\text{field})} = 137 \text{ m}^2/\text{year}$ ดังนั้น

$$\begin{aligned} c_{vs(\text{field})} &= c_{v(\text{field})} \times \frac{c_{vs(\text{lab})}}{c_{v(\text{lab})}} \\ &= 2,183 \text{ m}^2/\text{year} \end{aligned}$$

สำหรับค่า $t_{pr(\text{field})}$ ของดิน Very Soft Clay ซึ่งมีการติดตั้ง PVD ประมาณการจากค่า $t_p = 2$ ปี กำหนดให้ค่า Time Factor (T) ณ เวลา t_p และ t_{pr} เท่ากัน และสมมติให้ $H_p = H_{pr}$ ดังนั้น

$$\frac{c_v t_p}{H_p^2} = \frac{c_{vs} t_{pr}}{H_{pr}^2}$$

$$t_{pr} = \frac{137 \times 2}{2,183} = 0.126 \text{ ปี}$$

เมื่อ

$c_{v(\text{field})}$ = อัตราการทรุดตัวของดินในสนาม

$c_{vs(\text{field})}$ = อัตราการบวมตัวของดินในสนาม

$t_{p(\text{field})}$ = ระยะเวลาการทรุดตัวของดินในสนาม

$t_{pr(\text{field})}$ = ระยะเวลาการบวมตัวของดินในสนาม

H_p = ความหนาของชั้นดินที่ระบายน้ำที่ EOP

H_{pr} = ความหนาของชั้นดินที่ Primary Rebound

จากภาพที่ 52 สามารถนำมาหาค่า t_ℓ / t_{pr} ณ R'_s ต่างๆดังแสดงในตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์ค่า t_ℓ ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่ $R'_s = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 มีค่าเท่ากับ 33, 40, 53, 76, 98 และ 125 ปี หมายความว่าถ้าหากถนนมีอายุ 25 ปี ยังไม่เกิดการทรุดตัวของชั้นดิน Very Soft Clay และ Soft Clay ซึ่งมีการติดตั้ง PVD ทุกๆ R'_s และเนื่องจากค่า $c_{vs} = 0.17 \text{ m}^2/\text{year}$ ซึ่งมีค่าน้อยดังนั้น จึงไม่พิจารณาปริมาณการบวมตัวของดินฐานรากและจากการนำ Surchage ออก

ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวที่ $R'_s = 0.2$ มีค่าการทรุดตัวในระหว่างการก่อสร้างเท่ากับ 1.98-2.33 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ และภายหลังเปิดใช้งาน 1, 4, 12 และ 25 ปี มีค่าการทรุดตัวเท่ากับ 0.10, 0.15, 0.22 และ 0.26 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ และไม่มีการทรุดตัวกรณี $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ ดังแสดงในตารางที่ 28 ถึง 31

ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวที่ $R'_s = 0.3$ มีค่าการทรุดตัวในระหว่างการก่อสร้างเท่ากับ 2.08-2.51 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ และภายหลังเปิดใช้งาน 1, 4, 12 และ 25 ปี มีค่าการทรุดตัวเท่ากับ 0.10, 0.14, 0.21 และ 0.24 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ และไม่มีการทรุดตัวกรณี $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ ดังแสดงในตารางที่ 32 ถึง 35

ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวที่ $R'_s = 0.4$ มีค่าการทรุดตัวในระหว่างการก่อสร้างเท่ากับ 2.18-2.56 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ และภายหลังเปิดใช้งาน 1, 4, 12 และ 25 ปี มีค่าการทรุดตัวเท่ากับ 0.09, 0.14, 0.20 และ 0.23 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ และไม่มีการทรุดตัวกรณี $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ ดังแสดงในตารางที่ 36 ถึง 39

ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวที่ $R'_s = 0.6$ มีค่าการทรุดตัวในระหว่างการก่อสร้างเท่ากับ 2.35-2.77 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ และภายหลังเปิดใช้งาน 1, 4, 12 และ 25 ปี มีค่าการทรุดตัวเท่ากับ 0.08, 0.12, 0.18 และ 0.20 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ และไม่มีการทรุดตัวกรณี $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ ดังแสดงในตารางที่ 40 ถึง 43

ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวที่ $R'_s = 0.8$ มีค่าการทรุดตัวในระหว่างการก่อสร้างเท่ากับ 2.51-2.96 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ และภายหลังเปิดใช้งาน 1, 4, 12 และ 25 ปี มีค่าการทรุดตัวเท่ากับ 0.07, 0.10, 0.15 และ 0.18 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ และไม่มีการทรุดตัวกรณี $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ ดังแสดงในตารางที่ 44 ถึง 47

ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวที่ $R'_s = 1.0$ มีค่าการทรุดตัวในระหว่างการก่อสร้างเท่ากับ 2.66-3.14 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ และภายหลังเปิดใช้งาน 1, 4, 12 และ 25 ปี มีค่าการทรุดตัวเท่ากับ 0.06, 0.09, 0.13 และ 0.15 m สำหรับค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ และไม่มีการทรุดตัวกรณี $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ ดังแสดงในตารางที่ 48 ถึง 51

ภาพที่ 71 สรุปผลการวิเคราะห์การทรุดตัวในกรณีที่ 3 พบว่ากรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ($R'_s = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0) มีค่าการทรุดตัวมากที่สุดเนื่องจาก Primary Settlement ของดินเหนียวอ่อนที่อยู่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD มีการทรุดตัวที่ 25 ปี เท่ากับ 0.15-0.26 m ส่วนกรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$, $18c_{v(\text{lab})}$ และ $26c_{v(\text{lab})}$ มีเปิดใช้งาน ไม่มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement ของดินเหนียวอ่อนที่อยู่ใต้ PVD มีการทรุดตัวในช่วงก่อสร้าง

ภาพที่ 72 แสดงการทรุดตัวในในกรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ และ $R'_s = 0.2$ (เนื่องจากมีปริมาณการทรุดตัวในระหว่างการใช้งานสูงสุดของกรณีที่ 3) ในระยะเวลา 25 ปี ชั้นดิน Very Soft Clay และ Soft Clay (มีการติดตั้ง PVD) ไม่พบการทรุดตัว, Soft Clay (ไม่มีการติดตั้ง PVD) มีการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 77 % และ Medium and Stiff Clay มีการทรุดตัว

เนื่องจาก Primary Settlement เท่ากับ 23 % พบว่าการทรุดตัวทั้งหมดเกิดขึ้นเนื่องจาก Primary Settlement ของชั้นดินที่อยู่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD



ตารางที่ 27 ผลการคำนวณ t_ℓ ที่ $R'_s = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0

Soils Layer	H (m)	$c_{v(\text{field})}$ (m^2/year)	$c_{vs(\text{field})}$ (m^2/year)	t_p (year)	t_{pr} (year)	$R'_s = 0.2$		$R'_s = 0.3$		$R'_s = 0.4$		$R'_s = 0.6$		$R'_s = 0.8$		$R'_s = 1$	
						t_ℓ/t_{pr}	t_ℓ										
Weathered Crust	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft to Soft Clay	12.0	137.5	2183	2	0.13	260	33	320	40	420	53	600	76	780	98	990	125

ตารางที่ 28 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.2$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs}/t=2\eta)$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^e (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_S							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	63	81	60	77	70	3.0	1.5	0.036	2	33	1.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	62	111	58	107	101	2.5	1.0	0.036	2	33	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	57	135	17	95	126	2.5	1.0	0.036	26	-	0.15	0.21	0.08	0	0.12	0	0.17	0	0.20	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	53	163	16	126	153	0.8	0.3	0.036	26	-	0.04	0.06	0.02	0	0.04	0	0.05	0	0.06	0	0
Total Settlement														1.98	0.27	0.10		0.15		0.22		0.26		

ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.2$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs}/t=2\eta)$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^e (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_S							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	63	81	60	77	70	3.0	1.5	0.036	2	33	1.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	62	111	58	107	101	2.5	1.0	0.036	2	33	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	57	135	51	129	126	2.5	1.0	0.036	3	600	0.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	53	163	47	158	153	0.81	0.3	0.036	3	600	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.29	0	0		0		0		0		

ตารางที่ 30 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.2$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^v (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	63	81	60	77	70	3.0	1.5	0.036	2	33	1.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	62	111	58	107	101	2.5	1.0	0.036	2	33	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	57	135	57	135	126	2.5	1.0	0.036	2	600	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	53	163	53	163	153	0.81	0.3	0.036	2	600	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.33	0	0		0		0		0		

ตารางที่ 31 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.2$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^v (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	63	81	60	77	70	3.0	1.5	0.036	2	33	1.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	62	111	58	107	101	2.5	1.0	0.036	2	33	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	57	135	57	135	126	2.5	1.0	0.036	1	600	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	53	163	53	163	153	0.81	0.3	0.036	1	600	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.33	0	0		0		0		0		

ตารางที่ 32 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.3$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs}/t=2]$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_{\alpha}C_c$	t_p (year)	t^r (year)	$[S_p]\sigma'_{vs}$ (m)	$[S_p]\sigma'_{vf}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	69	86	65	82	70	3.0	1.5	0.036	2	40	1.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	67	116	63	112	101	2.5	1.0	0.036	2	40	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	62	140	19	97	126	2.5	1.0	0.036	26	-	0.16	0.20	0.07	0	0.11	0	0.16	0	0.19	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	57	167	17	127	153	0.8	0.3	0.036	26	-	0.05	0.06	0.02	0	0.03	0	0.05	0	0.06	0	0
Total Settlement														2.08	0.26	0.10		0.14		0.21		0.24		

ตารางที่ 33 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.3$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs}/t=2]$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_{\alpha}C_c$	t_p (year)	t^r (year)	$[S_p]\sigma'_{vs}$ (m)	$[S_p]\sigma'_{vf}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	69	86	65	82	70	3.0	1.5	0.036	2	40	1.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	67	116	63	112	101	2.5	1.0	0.036	2	40	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	62	140	56	134	126	2.5	1.0	0.036	3	739	0.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	57	167	51	162	153	0.81	0.3	0.036	3	739	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.40	0	0		0		0		0		

ตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.3$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^r (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	69	86	65	82	70	3.0	1.5	0.036	2	40	1.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	67	116	63	112	101	2.5	1.0	0.036	2	40	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	62	140	62	140	126	2.5	1.0	0.036	2	739	0.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	57	167	57	167	153	0.81	0.3	0.036	2	739	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.45	0	0	0	0	0	0	0			

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.3$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^r (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	16	69	84	65	80	69	3.0	1.5	0.036	2	40	1.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	67	116	63	112	101	2.5	1.0	0.036	2	40	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	62	140	62	140	126	2.5	1.0	0.036	1	739	0.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	57	167	57	167	153	0.81	0.3	0.036	1	739	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.51	0	0	0	0	0	0				

ตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.4$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2T}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^r (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		
																ΔS_p	S_s	ΔS_p	S_s	ΔS_p	S_s	
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	74	91	70	87	70	3.0	1.5	0.036	2	53	1.32	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	72	121	68	117	101	2.5	1.0	0.036	2	53	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	66	144	20	98	126	2.5	1.0	0.036	26	-	0.17	0.19	0.07	0	0.10	0	0.15	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	61	171	18	129	153	0.8	0.3	0.036	26	-	0.05	0.06	0.02	0	0.03	0	0.05	0	0
Total Settlement														2.18	0.24	0.09		0.14		0.20		

ตารางที่ 37 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.4$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2T}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^r (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
																ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	74	91	70	87	70	3.0	1.5	0.036	2	53	1.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	72	121	68	117	101	2.5	1.0	0.036	2	53	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	66	144	60	138	126	2.5	1.0	0.036	3	970	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	61	171	55	166	153	0.81	0.3	0.036	3	970	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.51	0	0		0		0			

ตารางที่ 38 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.4$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^v (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	74	91	70	87	70	3.0	1.5	0.036	2	53	1.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	72	121	68	117	101	2.5	1.0	0.036	2	53	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	66	144	66	144	126	2.5	1.0	0.036	2	970	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	61	171	61	171	153	0.81	0.3	0.036	2	970	0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.56	0	0	0	0	0	0	0			

ตารางที่ 39 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.4$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^v (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	74	91	70	87	70	3.0	1.5	0.036	2	53	1.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	72	121	68	117	101	2.5	1.0	0.036	2	53	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	66	144	66	144	126	2.5	1.0	0.036	1	970	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	61	171	61	171	153	0.81	0.3	0.036	1	970	0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.56	0	0	0	0	0	0				

ตารางที่ 40 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.6$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	C_α/C_c	t_p (year)	t_r (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
																ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	85	102	79	97	70	3.0	1.5	0.036	2	76	1.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	82	132	77	127	101	2.5	1.0	0.036	2	76	0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	76	154	23	101	126	2.5	1.0	0.036	26	-	0.19	0.16	0.06	0	0.09	0	0.13	0	0.16	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	70	180	21	131	153	0.8	0.3	0.036	26	-	0.06	0.05	0.02	0	0.03	0	0.04	0	0.05	0
Total Settlement														2.35	0.21	0.08		0.12		0.18		0.20	

ตารางที่ 41 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.6$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	C_α/C_c	t_p (year)	t_r (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
																ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	85	102	79	97	70	3.0	1.5	0.036	2	76	1.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	82	132	77	127	101	2.5	1.0	0.036	2	76	0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	76	154	69	147	126	2.5	1.0	0.036	3	1385	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	70	180	63	173	153	0.81	0.3	0.036	3	1385	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.72	0	0		0		0		0	

ตารางที่ 42 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.6$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^e (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	85	102	79	97	70	3.0	1.5	0.036	2	76	1.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	82	132	77	127	101	2.5	1.0	0.036	2	76	0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	76	154	76	154	126	2.5	1.0	0.036	2	1385	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	70	180	70	180	153	0.81	0.3	0.036	2	1385	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.77	0	0		0		0		0		

ตารางที่ 43 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.6$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^e (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	85	102	79	97	70	3.0	1.5	0.036	2	76	1.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	82	132	77	127	101	2.5	1.0	0.036	2	76	0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	76	154	76	154	126	2.5	1.0	0.036	1	1385	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	70	180	70	180	153	0.81	0.3	0.036	1	1385	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.77	0	0		0		0		0		

ตารางที่ 44 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.8$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs/t=2})$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_{\alpha}C_c$	t_p (year)	t^u (year)	$[S_p]\sigma'_{vs}$ (m)	$[S_p]\sigma'_{vf}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	95	112	89	107	70	3.0	1.5	0.036	2	98	1.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	92	142	87	136	101	2.5	1.0	0.036	2	98	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	85	163	26	104	126	2.5	1.0	0.036	26	-	0.21	0.14	0.05	0	0.08	0	0.12	0	0.14	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	79	189	24	134	153	0.8	0.3	0.036	26	-	0.06	0.04	0.02	0	0.02	0	0.04	0	0.04	0	0
Total Settlement														2.51	0.19	0.07		0.10		0.15		0.18		

ตารางที่ 45 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.8$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs/t=2})$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_{\alpha}C_c$	t_p (year)	t^u (year)	$[S_p]\sigma'_{vs}$ (m)	$[S_p]\sigma'_{vf}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	95	112	89	107	70	3.0	1.5	0.036	2	98	1.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	92	142	87	136	101	2.5	1.0	0.036	2	98	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	85	163	77	155	126	2.5	1.0	0.036	3	1801	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	79	189	71	181	153	0.81	0.3	0.036	3	1801	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.91	0	0		0		0		0		

ตารางที่ 46 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.8$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\tau}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^r (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
																ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	95	112	89	107	70	3.0	1.5	0.036	2	98	1.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	92	142	87	136	101	2.5	1.0	0.036	2	98	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	85	163	85	163	126	2.5	1.0	0.036	2	1801	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	79	189	79	189	153	0.81	0.3	0.036	2	1801	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.96	0	0	0	0	0	0			

ตารางที่ 47 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 0.8$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\tau}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^r (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
																ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	95	112	89	107	70	3.0	1.5	0.036	2	98	1.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	92	142	87	136	101	2.5	1.0	0.036	2	98	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	85	163	85	163	126	2.5	1.0	0.036	1	1801	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	79	189	79	189	153	0.81	0.3	0.036	1	1801	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														2.96	0	0	0	0	0				

ตารางที่ 48 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 1$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^u (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
																ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	106	123	99	117	70	3.0	1.5	0.036	2	125	1.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	103	152	97	146	101	2.5	1.0	0.036	2	125	0.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	95	173	28	106	126	2.5	1.0	0.036	26	-	0.23	0.12	0.05	0	0.07	0	0.10	0	0.12	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	88	198	26	137	153	0.8	0.3	0.036	26	-	0.07	0.04	0.01	0	0.02	0	0.03	0	0.04	0
Total Settlement														2.66	0.16	0.06		0.09		0.13		0.15	

ตารางที่ 49 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 1$

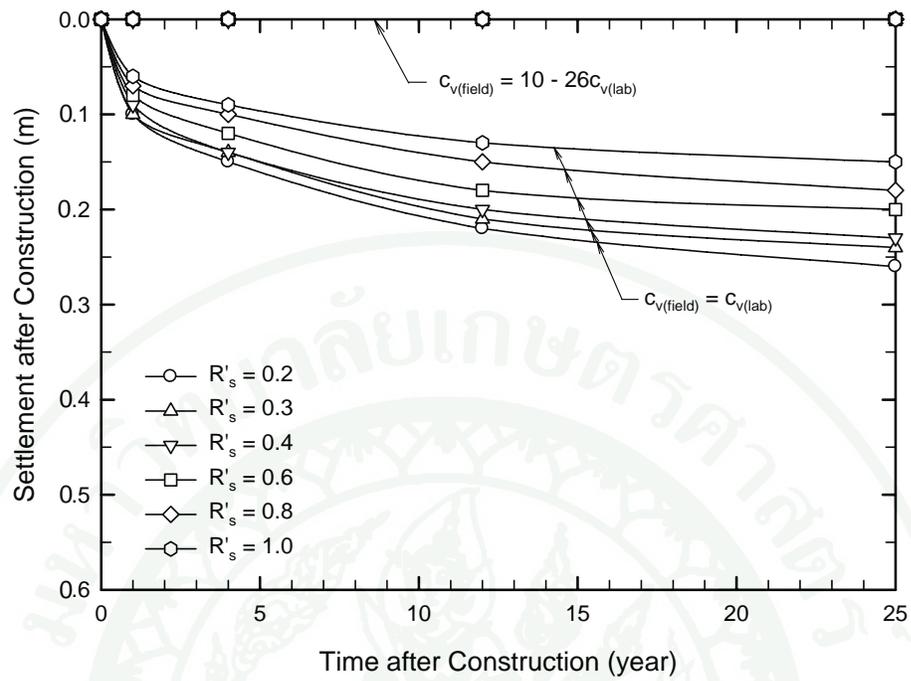
Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^u (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25	
																ΔS_p	S_s						
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	106	123	99	117	70	3.0	1.5	0.036	2	125	1.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	103	152	97	146	101	2.5	1.0	0.036	2	125	0.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	95	173	86	164	126	2.5	1.0	0.036	3	2285	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	88	198	79	189	153	0.81	0.3	0.036	3	2285	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														3.09	0	0		0		0		0	

ตารางที่ 50 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $18c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 1$

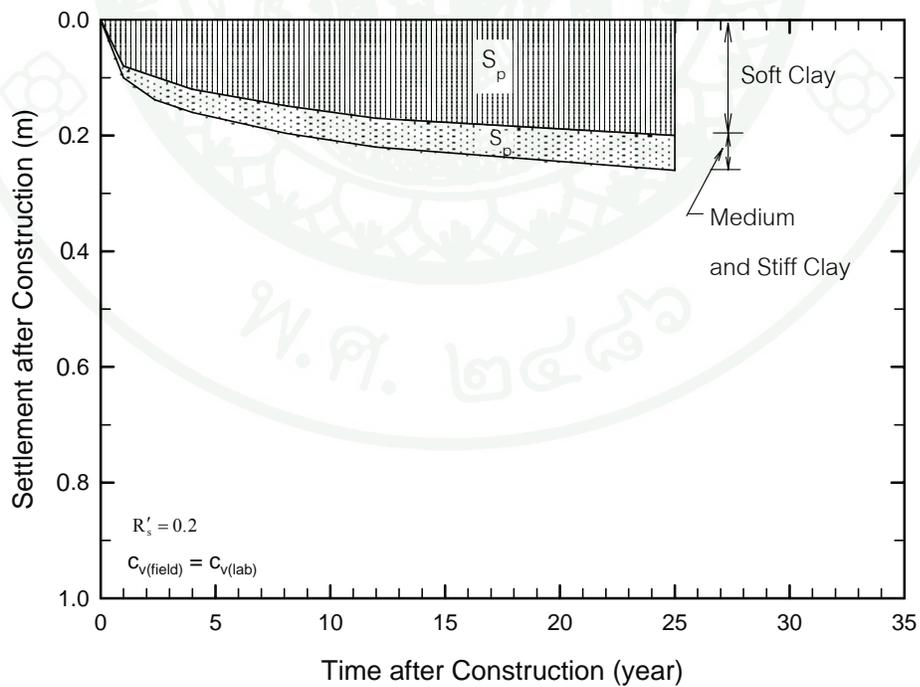
Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^r (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	106	123	99	117	70	3.0	1.5	0.036	2	125	1.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	103	152	97	146	101	2.5	1.0	0.036	2	125	0.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	95	173	95	173	126	2.5	1.0	0.036	2	2285	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	88	198	88	198	153	0.81	0.3	0.036	2	2285	0.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														3.14	0	0	0	0	0	0				

ตารางที่ 51 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ 3 ค่า $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$ ที่ $R'_s = 1$

Soils Layer	H (m)	γ (kN/m ³)	σ'_{vo} (kN/m ²)	$\Delta\sigma_v$ (kN/m ²)	σ_{vs} (kN/m ²)	$(\Delta\sigma'_{vs})_{t=2\bar{t}}$ (kN/m ²)	σ'_{vs} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	e_o	C_c	$C_\alpha C_c$	t_p (year)	t^r (year)	$[S_p]_{\sigma'_{vs}}$ (m)	$[S_p]_{\sigma'_{vf}}$ (m)	t = 1		t = 4		t = 12		t = 25		
																ΔS_p	S_s							
Weathered Crust	1.0	16.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Very Soft Clay	5.0	14.5	17	106	123	99	117	70	3.0	1.5	0.036	2	125	1.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	50	103	152	97	146	101	2.5	1.0	0.036	2	125	0.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soft Clay	6.0	15.5	78	95	173	95	173	126	2.5	1.0	0.036	1	2285	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medium and Stiff Clay	4.5	17.0	110	88	198	88	198	153	0.81	0.3	0.036	1	2285	0.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Settlement														3.14	0	0	0	0	0					

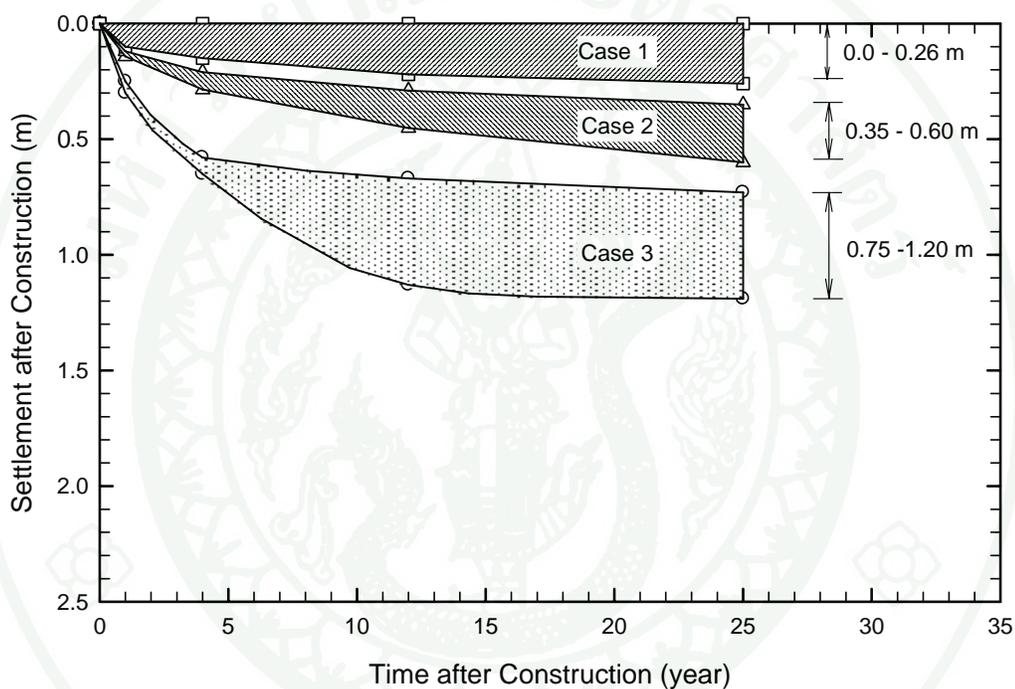


ภาพที่ 71 ผลการคำนวณการทรุดตัวเมื่อเปิดใช้งานถนนกรณีที่ 3



ภาพที่ 72 แสดงการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรณีที่ 3 เมื่อ $c_{v(\text{field})} = c_{v(\text{lab})}$

ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวทั้ง 3 กรณี สรุปในภาพที่ 73 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการทรุดตัวที่วัดได้ในสนาม (มีค่าเท่ากับ 0.65-0.80 m) โดยกรณีที่ 1 มีค่าการทรุดตัวที่ระยะเวลา 12 ปี ประมาณ 0.65-1.15 m (แสดงโดยสัญลักษณ์วงกลมโปร่ง) มากกว่าที่วัดได้ในสนามประมาณ 0-0.60 m กรณีที่ 2 มีค่าการทรุดตัว 0.30-0.45 m (แสดงโดยสัญลักษณ์สามเหลี่ยมโปร่ง) น้อยกว่าที่วัดได้ในสนามประมาณ 0.30-0.35 m และกรณีที่ 3 มีค่าการทรุดตัวประมาณ 0-0.26 m (แสดงโดยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมโปร่ง) น้อยกว่าที่วัดได้ในสนามประมาณ 0.35-0.65 m



ภาพที่ 73 สรุปผลการคำนวณการทรุดตัวเมื่อเปิดใช้งานถนนทั้ง 3 กรณี

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของต่างประเทศพบว่าผลการทดสอบ C_c มีค่าเท่ากับ 0.4 ถึง 2 (ภาพที่ 45) พบว่าอยู่ในเกณฑ์สูง, C_α/C_c มีค่าเท่ากับ 0.036 (ภาพที่ 46), c_v มีค่าเท่ากับ 0.3 ถึง 3 $m^2/year$ (ภาพที่ 47), c_{vs} มีค่าเท่ากับ 2 ถึง 30 $m^2/year$ (ภาพที่ 48) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ส่วน t_e/t_{pr} มีค่าสูงกว่าของดินเหนียวอ่อนต่างประเทศประมาณ 15 เท่า (ภาพที่ 52) เนื่องจาก t_e ของดินที่ทดสอบมีค่าสูง และความสัมพันธ์ระหว่าง C''_α/C_α ต่อ t/t_e แสดงในภาพที่ 53

2. จากการติดตั้งเครื่องมือ KU-Piezometer และ Standpipe Piezometer เพื่อวัดแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นดินเหนียวอ่อนที่ กิโลเมตรที่ 6+650 นั้นค่าแรงดันน้ำโดยเฉลี่ยใน 1 ปี มีค่าระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ 0.2 – 0.4 m จากผิวดิน ค่าแรงดันน้ำใต้ดินที่ระดับความลึก 2.5 m มีค่าเท่ากับ 23 kPa ความลึก 7 m มีค่าเท่ากับ 68 kPa และความลึก 11 m มีค่าเท่ากับ 112–122 kPa มากกว่าแรงดันน้ำ Hydrostatic ประมาณ 10–20 kPa และไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นดินเหนียวอ่อน

3. ผลวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge และ PVD และกำหนดให้น้ำระบายออกในชั้น Weathered Crust และ Silty Sand พบว่าค่า t_p เท่ากับ 140, 14, 7.8 และ 5.4 ปี สำหรับ $c_{v(field)}$ เท่ากับ $c_{v(lab)}$ ถึง $26c_{v(lab)}$ ตามลำดับ ค่า Primary Settlement (S_p) มีค่าสูงถึง 2.20 m

3.1 เนื่องจากสมมติให้การทรุดตัวแบบ Primary Settlement เกิดขึ้นทันทีระหว่างการก่อสร้าง ดังนั้นภายหลังการก่อสร้างเสร็จ ดินฐานรากมีการทรุดตัวเท่ากับ 0.26-1.61 m ($[S_p]_{c'_{vs}}$, $U = 12-73\%$) สำหรับ $c_{v(field)}$ เท่ากับ $c_{v(lab)}$ และ $26c_{v(lab)}$ ตามลำดับ

3.2 ภายหลังการเปิดใช้งานเป็นเวลา 12 ปี ถนนมีปริมาณการทรุดตัวเนื่องจาก Primary Settlement และ Secondary Settlement เท่ากับ 0.51 ถึง 0.68 m สำหรับ $c_{v(field)}$ เท่ากับ $c_{v(lab)}$ ถึง $26c_{v(lab)}$

3.3 ปริมาณการทรุดตัวสูงสุดในระหว่างการใช้งานของกรณีที่ 1 ($c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$) เกิดจาก Primary Settlement เท่ากับ 94 % (1.13 m) และ Secondary Settlement เท่ากับ 6 % (0.07 m) ปริมาณการทรุดตัวต่ำสุดในระหว่างการใช้งานของกรณีที่ 1 ($c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$) เกิดจาก Primary Settlement เท่ากับ 78.4 % (0.58 m) และ Secondary Settlement เท่ากับ 21.6 % (0.16 m) โดยที่ปริมาณการทรุดตัวส่วนใหญ่เกิดจาก Primary Settlement ในชั้นดิน Very Soft Clay และ Soft Clay

4. ผลวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่มีการติดตั้ง PVD (ลึก 12 m ในชั้นดิน Very Soft Clay และ Soft Clay) แต่ไม่มีการใช้เทคนิค Surcharge ($R'_s = 0$) นั้น PVD ช่วยเร่งการทรุดตัว Primary Settlement ในระหว่างการก่อสร้างถึง 94 % และดินที่ไม่มีการติดตั้ง PVD มีการเกิด Primary Consolidation ระหว่างการก่อสร้างเท่ากับ 30 – 95 % เมื่อก่อสร้างเสร็จดินมีการทรุดตัวเท่ากับ 1.73 – 2.19 m ($[S_p]_{\sigma'_{vs}}$) สำหรับ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ และ $26c_{v(\text{lab})}$

4.1 เมื่อกำหนดให้ Free Drainage Boundary อยู่ในชั้น Soft Clay ซึ่งมีการติดตั้ง PVD และชั้น Silty Sand ชั้นดินที่อยู่ใต้ PVD มีค่า t_p เท่ากับ 26, 2.6, 1.4 และ 1 ปี สำหรับ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$, $10c_{v(\text{lab})}$, $18c_{v(\text{lab})}$ และ $26c_{v(\text{lab})}$

4.2 ปริมาณการทรุดตัว ณ เวลา 12 ปี ของถนนหลังจากการเปิดใช้งาน มีค่าเท่ากับ 0.30 - 0.47 m สำหรับ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$ ตามลำดับ ซึ่งประกอบด้วยทรุดตัวแบบ Primary Settlement และ Secondary Settlement

4.3 ผลวิเคราะห์การทรุดตัวภายหลังเปิดใช้งานที่ 25 ปี ปริมาณการทรุดตัวสูงสุดของกรณีที่ 2 ($c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$) เกิดจาก Primary Settlement เท่ากับ 75 % (0.45 m) และ Secondary Settlement เท่ากับ 25 % (0.15 m) ปริมาณการทรุดตัวส่วนใหญ่เกิดจาก Primary Settlement ของชั้นดินที่อยู่ใต้ PVD สำหรับปริมาณการทรุดตัวต่ำสุดในระหว่างการใช้งานของกรณีที่ 2 ($c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $26c_{v(\text{lab})}$) เกิดจาก Primary Settlement เท่ากับ 26.4 % (0.10 m) และ Secondary Settlement เท่ากับ 73.6 % (0.28 m) โดยที่ปริมาณการทรุดตัวส่วนใหญ่เกิดจาก Secondary Settlement ในทุกชั้นดิน

5. ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวกรณีที่มีการใช้เทคนิค Surcharge ร่วมกับ PVD ($R'_s = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0) ในชั้นดินที่มีการติดตั้ง PVD สมมติให้มีการทรุดตัวแบบ Primary

Settlement หมดไปในระหว่างการก่อสร้าง 2 ปี และดินที่ไม่มีการติดตั้ง PVD มีการเกิด Primary Consolidation ระหว่างการก่อสร้างเท่ากับ 30 – 100 % เมื่อก่อสร้างเสร็จดินมีการทรุดตัวเท่ากับ 1.98 – 2.66 m ($[S_p]_{\sigma'_{vs}}$) สำหรับ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ถึง $26c_{v(\text{lab})}$

5.1 ในการคำนวณหาค่า t_c ในสนามนั้นใช้ค่า c_v ในสนามจากค่าเฉลี่ยที่คำนวณโดย Wasu (1998) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 137 m²/year พบว่ามีค่า c_{vs} ในสนามเท่ากับ 2,182 m²/year และ t_{pr} เท่ากับ 0.13 ปี เมื่อนำมาหาค่า t_c ที่ $R'_s = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ดินมีค่า t_c เท่ากับ 33, 40, 53, 76, 98 และ 125 ปี ซึ่งถ้าถนนมีอายุการใช้งาน 25 ปี ซึ่งดินมีการติดตั้ง PVD จะไม่เกิดการทรุดตัว ทุกๆ R'_s

5.2 กำหนดให้ Free Drainage Boundary อยู่ในชั้น Soft Clay (ซึ่งมีการติดตั้ง PVD) และชั้น Silty Sand ชั้นดินที่อยู่ใต้ PVD มีค่า t_p เท่ากับ 26, 2.6, 1.4 และ 1 ปี สำหรับ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$, $10c_{v(\text{lab})}$, $18c_{v(\text{lab})}$ และ $26c_{v(\text{lab})}$

5.3 สำหรับกรณี $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ปริมาณการทรุดตัวในระยะเวลา 12 ปี ภายหลังเปิดใช้งานมีปริมาณการทรุดตัวเท่ากับ 0.13-0.24 m สำหรับ R'_s ในช่วง 0.2-1.0 ส่วนกรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$, $18c_{v(\text{lab})}$ และ $26c_{v(\text{lab})}$ ไม่เกิดการทรุดตัวในระยะเวลา 12 ปี ทุกๆ R'_s

5.4 ปริมาณการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้งาน เกิดจาก Primary Settlement ของชั้นดินที่อยู่ลึกกว่าการติดตั้ง PVD มีค่าเท่ากับ 0.15 – 0.26 m สำหรับ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $c_{v(\text{lab})}$ ส่วนกรณีที่ $c_{v(\text{field})}$ เท่ากับ $10c_{v(\text{lab})}$, $18c_{v(\text{lab})}$ และ $26c_{v(\text{lab})}$ นั้น ไม่มีการทรุดตัว เนื่องจาก Primary Settlement หมดไปในระหว่างการก่อสร้าง และดินมีค่า t_c สูงทำให้ไม่เกิด Secondary Settlement ในช่วงเวลาระหว่างการใช้งาน

6. ค่า Effective Surcharge Ratio ที่เหมาะสมต่อดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เท่ากับ 0.6 เนื่องจากการทรุดตัวในระยะยาวนั้นมีค่าไม่แตกต่างจากกรณีที่ R'_s เท่ากับ 0.8 และ 1.0 แต่กรณีที่ R'_s เท่ากับ 0.2, 0.3 และ 0.4 นั้น ในระยะยาวแนวโน้มการทรุดตัวมีค่าสูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยที่ทำให้ค่าความสัมพันธ์ของ t_e/t_{pr} กับ R'_s ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ทั่วๆ ไปถึงมีค่าสูงกว่าดินเหนียวอ่อนต่างประเทศ
2. ควรศึกษาถึงวิธีการลดค่า c_v ของดินในสนาม เพื่อลดอัตราการทรุดตัว เช่น วิธีการเพิ่มแรงดันน้ำใต้ดิน
3. การใช้ PVD ร่วมกับเทคนิค Surcharge นั้น มีราคาค่าก่อสร้างสูงจึงเป็นข้อจำกัดในการก่อสร้าง ดังนั้นอาจจะมีการนำไปใช้ในงานก่อสร้างเฉพาะที่ เช่น ลดการทรุดตัวของบริเวณคอสะพาน เป็นต้น
4. ผลการคำนวณนี้ใช้พารามิเตอร์จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้นจึงควรมีการทดสอบ Full Scale Test ในสนามเพิ่มเติมเนื่องจากอาจมีปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องซึ่งไม่สามารถหาได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเช่น ประสิทธิภาพการระบายน้ำของ PVD ภายหลังจากมีการนำ Surcharge ออก, Dynamic Load ของรถบรรทุก เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กองชื้ออเดซีและชื้ออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร. 2549. รายงานผลการสำรวจระดับการทรุดตัวของ
พื้นดินโครงการสำรวจระดับการทรุดตัวของพื้นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
ถนนกัลยาณไมตรี เขตพระนคร กรุงเทพฯ [http://kmcenter.rid.go.th/kcsurvey/pdf/
land_subsidence.pdf](http://kmcenter.rid.go.th/kcsurvey/pdf/land_subsidence.pdf). 20 October 2549.
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2541. การปรับปรุงดินในงานทางหลวง. **สัมมนาการปรับปรุงคุณภาพดิน 41**
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: 1-108.
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และจอม จันทร์หิรัญ. 2545. การวิเคราะห์พฤติกรรมของถนนบนดินอ่อน
ปรับปรุงคุณภาพด้วย Cement Column ของทางหลวงหมายเลข 34 ตอน บางนา-ชลบุรี.
รายงานวิจัยฉบับที่ วพ. 197 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง: 265.
- นพพร สิตวรเวทย์. 2545. พฤติกรรมของคันทางถนนสายกรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่) ก่อนและหลัง
การติดตั้ง PVD. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: 193.
- บารเมศ วรธนะภูติ, ลลนา คงสุขประเสริฐ และอรุณ ปราบมาก. 2551. โครงการศึกษาการลดการ
ทรุดตัวของถนนบนดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯโดยวิธี Surcharging. สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง.
- บารเมศ วรธนะภูติ, วิชาญ ภูพัฒน์, อภินิติ โชติสังกาศ, สรศักดิ์ เชื้อศิริกุล, อรุณ ปราบมาก,
สุรยุทธ ช่วงโอภาส และอรุณี เรือนคารา. 2552. การจัดทำร่างคู่มือการแปลผลคุณสมบัติ
ของดินและหินที่ใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรมงานทาง. สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง,
กรมทางหลวง.
- ยงยุทธ แต่ศิริ และ ไพฑูรย์ พงษ์ชวลิต. 2541. การทรุดตัวของคันทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแผ่นใย
สังเคราะห์กรองน้ำ. ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง.

- วิญญพงศ์ พ่อติละ และสุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์. 2550. การศึกษาและพัฒนา KU - Piezometer โดยการใช้ประยุกต์ใช้ MEMS Pressure sensor study and development of KU - Piezometer by MEMS pressure sensor การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12 โรงแรมอมรินทร์ลาดูน จ.พิษณุโลก 2-4 พฤษภาคม 2550.
- ศาสตรา สวันตร์จัน, สารีษฐ์ ยกสำน และสุรยุทธ ช่วงโอกาส. (2550). การศึกษาคุณสมบัติการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯในช่วงการทรุดตัวขั้นต้นและขั้นที่สอง. โครงการงานวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2550.
- สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ. 2550. รายงานผลการเจาะสำรวจฐานรากทางหลวงหมายเลข 7. โครงการสายกรุงเทพฯ-ชลบุรี กม. 6+650 - 46+775 กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม.
- สำนักก่อสร้างสะพาน. 2551. แบบก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 7. กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม.
- Asaoka, A. 1978. **Observational procedure of settlement prediction**. Soils and Foundations: 87-101.
- Barden, L. and N.A. Younan. 1969. Consolidation of layered clays. **Canadian Geotechnical Journal**: 413-429.
- Bergado, D.T., J.C. Chai, M.C. Alfaro and A.S. Balasubramaniam. 1992. **Improvement techniques of soft ground in subsiding and lowland environment**. Asian Institute of Technology: 152.
- Bing, O. 1983. **Behavior of secondary settlement under preconsolidation**. M. Eng. Thesis Asian Institute of Technology: 76-79.
- Choi, Y.K. 1982. **Consolidation behavior of natural clay**. Ph.D. Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign: 422.

- Head, K.H. 1984. **Manual of soil laboratory testing**. ELE. International Ltd. : 342.
- Itou, Y., M. Tanaka, Y. Watabe, K. Mizuno and T. Tani. 2002. **Engineering properties of Bangkok clay**. Proc. of 37th Annual Convention of JGS, Ozaka, Japan: 199-200.
- Johnson, S.J. 1970. Precompression for improving foundation soil. **Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE**, (96), No. SMI: 557-560.
- Lambe, T.W. and R.B. Whitman. 1979. **Soil mechanics**. SI Version. John Wiley & Sons, New York.
- Lin P. 1999. **Final report of ground improvement work for construction supervision of Bangkok-Chonburi new highway project**. Volume 1 Kingdom of Thailand ministry of Transport and Communication Department of Highway.
- Mesri, G. 1973. Coefficient of secondary compression. **Journal Soil Mechanics and Foundation. ASCE**: 123-137.
- Mesri, G. 1986. Discussion of “New design procedure for stability of soft clays” by C.C. Ladd, and R. Foott. **Journal of Geotechnical Engineering, ASCE**: 101, 409-412.
- Mesri, G. 1987. **Fourth law of soil mechanics**. Proc. International Symposium on Geotechnical Engineering of Soft Soils, Mexico City: 179-187.
- Mesri, G. and P.M. Godlewski. 1977. Time and stress-compressibility interrelationship. **Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE**, (103), No. GT5: 417-430.
- Mersi, G. and A. Castro. 1987. **The C_{α}/C_c concept and K_0 during secondary compression**. **Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE**, (113), No. GT3, March: 230-247.

Mesri, G. and T.W. Feng. 1991. **Surcharging to reduce secondary settlement**. : 359-363.

NAVFAC. (1986). **Soil mechanics: Design Manual 7.01**. Naval Facilities Engineering Command, Alexandria: 355.

Norwegian Geotechnical Institute 1992. **Independent soil engineering study for the second Bangkok international Airport**, Draft.

Peck, R.B., W.E. Hanson and T.H. Thornburn. 1974. **Foundation engineering**. New York, John Wiley & Sons, Inc.

Perloff, W.H. 1976. **Soil mechanics**. Principles and Applications.

Simons, N.E. 1965. **Consolidation investigation on undisturbed fornebu clay**. NGI Report, No. 62: 1-9.

Shibuya S., L.T. Hanh, K. Wilailak, T.N. Lohani, H. Tanaka and K. Hamouche. 1998. **Characterizing stiffness and strength of soft Bangkok clay from in-situ and laboratory test**. Geotechnical Site Characterization (Robertson, P.K. and Mayne, P.W. eds), Atlanta Balkema, Vol.2: 1361-1366.

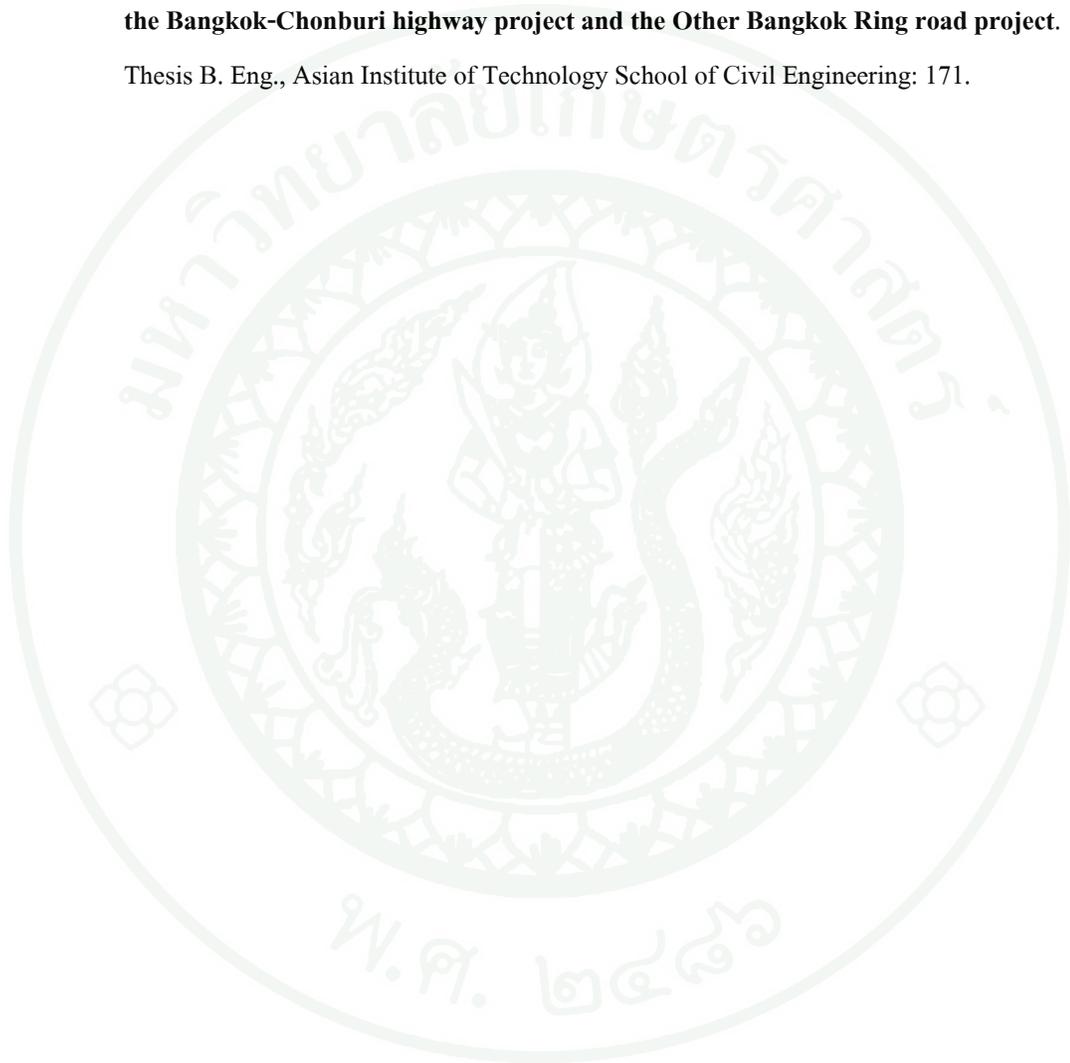
Shibuya, S. and S.B. Tamrakar. 2003. **Engineering properties of Bangkok clay**. Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils, Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN. : 4-5.

Terzaghi, K. 1943. **Theoretical soil mechanics**. John Willey and Sons, New York.

Terzaghi, K. 1945. **Stress condition for the failure of saturated concrete and rock**. Proc. Am. Soc. Test Mater.: 777-801.

Terzaghi, K., R.B. Peck and G. Mesri. 1996. **Soil mechanics in engineering practice, 3rd**. John Wiley & Sons, Inc.: 549.

Wasu Likitwanagarn. 1996. **Reanalysis of preloading with prefabricated vertical drains for the Bangkok-Chonburi highway project and the Other Bangkok Ring road project.** Thesis B. Eng., Asian Institute of Technology School of Civil Engineering: 171.





ตารางผนวกที่ 1 ผลการทดสอบ Field Vane Shear Test หลุมเจาะที่ 1

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

Field Vane Shear

ทางหลวงหมายเลข 7 กรุงเทพฯ - ชลบุรี

หลุมที่ 1 กม. 6+600

วันที่ 16 ตุลาคม 2550

ชนิดเครื่องมือ GEONOR VANE No. 1628

Depth	Soil Description	Intact	Remolded	Undrained Shear Strength (t/m^2)		Sensitivity
		p. max	p	Intact, CV1	Remolded, CV2	CV1/CV2
0.0						
1.5	ทรายถมคันทาง					
3.0	ทรายถมคันทาง					
4.5		22	6	1.90	0.48	3.96
6.0		29	7	2.52	0.57	4.42
7.5		28	7	2.43	0.57	4.26
9.0		36	11	3.14	0.92	3.41
10.5		47	13	4.12	1.10	3.75
12.0		48	13	4.21	1.10	3.83
13.5		54	15	4.75	1.28	3.71
15.0		55	17	4.83	1.28	3.77

ตารางผนวกที่ 2 ผลการทดสอบ Field Vane Shear Test หลุมเจาะที่ 2

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

Field Vane Shear

ทางหลวงหมายเลข 7 กรุงเทพฯ - ชลบุรี

หลุมที่ 2 กม. 6+600

วันที่ 17 ตุลาคม 2550

ชนิดเครื่องมือ GEONOR VANE No. 1628

Depth	Soil Description	Intact	Remolded	Undrained Shear Strength (t/m^2)		Sensitivity
		p. max	p	Intact, CV1	Remolded, CV2	CV1/CV2
0.0						
1.5		70	0	6.17		
3.0		24	8	2.08	0.66	3.15
4.5		20	7	1.72	0.57	3.02
6.0		20	4	1.72	0.30	5.73
7.5		24	6	2.08	0.48	4.33
9.0		26	6	2.26	0.48	4.71
10.5		36	7	3.14	0.57	5.51
12.0		36	9	3.14	0.74	4.24
13.5		45	14	3.94	1.19	3.31
15.0		57	14	5.01	1.19	4.21

ตารางผนวกที่ 3 ผลการทดสอบ Field Vane Shear Test หลุมเจาะที่ 3

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

Field Vane Shear

ทางหลวงหมายเลข 7 กรุงเทพฯ - ชลบุรี

หลุมที่ 3 กม. 21+600

วันที่ 18 ตุลาคม 2550

ชนิดเครื่องมือ GEONOR VANE No. 1628

Depth	Soil Description	Intact	Remolded	Undrained Shear Strength (t/m^2)		Sensitivity
		p. max	p	Intact, CV1	Remolded, CV2	CV1/CV2
0.0						
1.5	ทรายถมคันทาง					
3.0	ทรายถมคันทาง					
4.5		40	15	3.50	1.28	2.73
6.0		37	11	3.23	0.92	3.51
7.5		43	15	3.77	1.28	2.95
9.0		38	9	3.32	0.74	4.49
10.5		35	10	3.06	0.83	3.69
12.0		46	15	4.03	1.28	3.15
13.5		50	14	4.39	1.19	3.69
15.0		54	15	4.75	1.28	3.71

ตารางผนวกที่ 4 ผลการทดสอบ Field Vane Shear Test หลุมเจาะที่ 4

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

Field Vane Shear

ทางหลวงหมายเลข 7 กรุงเทพฯ - ชลบุรี

หลุมที่ 4 กม. 21+200

วันที่ 19 ตุลาคม 2550

ชนิดเครื่องมือ GEONOR VANE No. 1628

Depth	Soil Description	Intact	Remolded	Undrained Shear Strength (t/m^2)		Sensitivity
		p. max	p	Intact, CV1	Remolded, CV2	CV1/CV2
0.0						
1.5	วัสดุคูกรังถม					
3.0		23	4	1.99	0.30	6.63
4.5		21	4	1.81	0.30	6.03
6.0		23	4	1.99	0.30	6.63
7.5		24	6	2.08	0.48	4.33
9.0		28	12	2.43	1.01	2.41
10.5		27	12	2.34	1.01	2.32
12.0		38	14	3.32	1.19	2.79
13.5		43	14	3.77	1.19	3.17
15.0		43	14	3.77	1.19	3.17

ตารางผนวกที่ 5 ผลการทดสอบ Field Vane Shear Test หลุมเจาะที่ 5

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

Field Vane Shear

ทางหลวงหมายเลข 7 กรุงเทพฯ - ชลบุรี

หลุมที่ 5 กม. 47+715

วันที่ 22 ตุลาคม 2550

ชนิดเครื่องมือ GEONOR VANE No. 1628

Depth	Soil Description	Intact	Remolded	Undrained Shear Strength (t/m^2)		Sensitivity
		p. max	p	Intact, CV1	Remolded, CV2	CV1/CV2
0.0						
1.5	ทรายถมคันทาง					
3.0	ทรายถมคันทาง					
4.5		27	5	2.34	0.39	6.00
6.0		20	4	1.72	0.30	5.73
7.5		34	8	2.97	0.66	4.50
9.0		38	8	3.32	0.66	5.03
10.5		29	5	2.52	0.39	6.46
12.0		45	10	3.94	0.88	4.48
13.5		46	12	4.03	1.01	3.99
15.0		70		6.17		

ตารางผนวกที่ 6 ผลการทดสอบ Field Vane Shear Test หลุมเจาะที่ 6

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

Field Vane Shear

ทางหลวงหมายเลข 7 กรุงเทพฯ - ชลบุรี

หลุมที่ 6 กม. 46+700

วันที่ 20 ตุลาคม 2550

ชนิดเครื่องมือ GEONOR VANE No. 1628

Depth	Soil Description	Intact	Remolded	Undrained Shear Strength (t/m^2)		Sensitivity
		p. max	p	Intact, CV1	Remolded, CV2	CV1/CV2
0.0						
1.5	ดินถม					
3.0		22	9	1.90	0.74	2.57
4.5		26	9	2.26	0.74	3.05
6.0		18	4	1.54	0.3	5.13
7.5		31	6	2.70	0.48	5.63
9.0		35	6	3.06	0.57	5.37
10.5		38	8	3.32	0.66	5.03
12.0		40	12	3.50	1.01	3.47
13.5		45	12	3.94	1.01	3.90
15.0		70		6.17		

FIELD LOG.									
ทางหลวงหมายเลข 7					หลุมเจาะที่ BH - 1				
กม. 6+650					ตำแหน่งหลุมเจาะ คั่นทางด้านซ้าย (ชิดไหล่ทาง)				
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)					วิธีการเจาะ Power Auger				
ผู้ควบคุม กิติ , ชาณุวิทย์					ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว				
คำพิภัก 47 P 0684164E 1518819N					ระดับน้ำ 1.32 ม. ภายหลังจากเจาะเสร็จ 24 ชม.				
SAMPLE NO.	DEPTH		SAMPLING METHOD	STANDARD PENETRATION TEST					SAMPLING
	FROM M	TO M		6"	6"	6"	6"	N	
									SS SIZE 1 3/8 " ID 2" OD HAMMER 140 lbs DROP 30" ST SIZE _____ CASING SIZE _____
									SAMPLE DESCRIPTION
-	0.00	3.25	PA	-	-	-	-	-	MATERIALS FILL.
1	4.50	5.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	5.10	6.00	PA	-	-	-	-	-	
2	6.00	6.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	6.60	7.50	PA	-	-	-	-	-	
3	7.50	8.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	8.10	9.00	PA	-	-	-	-	-	
4	9.00	9.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	9.60	10.50	PA	-	-	-	-	-	
5	10.50	11.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH
-	11.10	12.00	PA	-	-	-	-	-	GRAY.
6	12.00	12.60	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	12.60	13.50	PA	-	-	-	-	-	
7	13.50	14.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	14.10	15.00	PA	-	-	-	-	-	
8	15.00	15.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	15.60	16.50	PA	-	-	-	-	-	
9	16.50	16.95	SS	3	3	3	-	6	MEDIUM, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	16.95	18.00	PA	-	-	-	-	-	
10	18.00	18.45	SS	4	15	16	-	31	VERY STIFF, CLAY SOME OF GRAVEL, BROWNISH
-	18.45	19.50	PA	-	-	-	-	-	GRAY.
11	19.50	19.95	SS	9	9	7	-	16	VERY STIFF, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	19.95	21.00	PA	-	-	-	-	-	
12	21.00	21.45	SS	5	7	10	-	17	VERY STIFF, CLAY, BROWN.
-	21.45	22.50	PA	-	-	-	-	-	
13	22.50	22.95	SS	12	16	16	-	32	-DITTO-
-	22.95	24.00	PA	-	-	-	-	-	
14	24.00	24.45	SS	4	8	14	-	22	MEDIUM, FINE SAND, BROWN.
-	24.45	25.50	PA	-	-	-	-	-	
หมายเหตุ รายงานฉบับนี้รับรองผลเฉพาะหลุมที่ทำการทดลองเท่านั้น									
PA = POWER AUGER			ST = SHELBY TUBE			SS = SPLIT SPOON		WO = WASH OUT	
RB = ROCK BIT			DB = DIAMOND BIT			FT = FISH TAIL			

ภาพผนวกที่ 1 ผลการเจาะสำรวจดินในสนามหลุมเจาะที่ 1

FIELD LOG.									
ทางหลวงหมายเลข 7					หลุมเจาะที่ BH - 2				
กม. 6+700					ตำแหน่งหลุมเจาะ ซ้ายทาง (ในสวนหย่อม)				
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)					วิธีการเจาะ Power Auger				
ผู้ควบคุม กิติ, ชาญวิทย์					ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว				
คำพิภัก 47 P 064193E 1518896N					ระดับน้ำ 0.95 ม. ภายหลังจากเจาะเสร็จ 24 ชม.				
SAMPLE NO.	DEPTH		SAMPLING METHOD	STANDARD PENETRATION TEST					SAMPLING
	FROM M	TO M		6"	6"	6"	6"	N	
									SS SIZE 1 3/8 " ID 2" OD HAMMER 140 lbs DROP 30" ST SIZE _____ CASING SIZE _____
									SAMPLE DESCRIPTION
-	0.00	0.25	PA	-	-	-	-	-	MATERIALS FILL.
1	1.50	2.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	2.10	3.00	PA	-	-	-	-	-	
2	3.00	3.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	3.60	4.50	PA	-	-	-	-	-	
3	4.50	5.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	5.10	6.00	PA	-	-	-	-	-	
4	6.00	6.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	6.60	7.50	PA	-	-	-	-	-	
5	7.50	8.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	8.10	9.00	PA	-	-	-	-	-	
6	9.00	9.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	9.60	10.50	PA	-	-	-	-	-	
7	10.50	11.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	11.10	12.00	PA	-	-	-	-	-	
8	12.00	12.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	12.60	13.50	PA	-	-	-	-	-	
9	13.50	14.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH
-	14.10	15.00	PA	-	-	-	-	-	GRAY.
10	15.00	15.60	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	15.60	16.50	PA	-	-	-	-	-	
11	16.50	17.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	17.10	18.00	PA	-	-	-	-	-	
12	18.00	18.45	SS	3	3	5	-	8	MEDIUM, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	18.45	19.50	PA	-	-	-	-	-	
13	19.50	19.95	SS	5	8	11	-	19	STIFF, CLAY, BROWN.
-	19.95	21.00	PA	-	-	-	-	-	
14	21.00	21.45	SS	8	10	13	-	23	VERY STIFF, CLAY, BROWN.
-	21.45	22.50	PA	-	-	-	-	-	
หมายเหตุ รายงานฉบับนี้รับรองผลเฉพาะหลุมที่ทำการทดลองเท่านั้น									
PA = POWER AUGER			ST = SHELBY TUBE			SS = SPLIT SPOON			WO = WASH OUT
RB = ROCK BIT			DB = DIAMOND BIT			FT = FISH TAIL			

ภาพผนวกที่ 2 ผลการเจาะสำรวจดินในสนามหลุมเจาะที่ 2

FIELD LOG.									
ทางหลวงหมายเลข 7					หลุมเจาะที่ BH - 3				
กม. 21+675					ตำแหน่งหลุมเจาะ คั่นทางด้านซ้าย(ชิดไหล่ทาง)				
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)					วิธีการเจาะ Power Auger				
ผู้ควบคุม กิติ, ชาญวิทย์					ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว				
ค่าพิกัด 47P 0697187E 1515731N					ระดับน้ำ 1.20 ม. ภายหลังจากเจาะเสร็จ 24 ชม.				
SAMPLE NO.	DEPTH		SAMPLING METHOD	STANDARD PENETRATION TEST					SAMPLING
	FROM M	TO M		6"	6"	6"	6"	N	
									SS SIZE 1 3/8 " ID 2" OD HAMMER 140 lbs DROP 30" ST SIZE CASING SIZE _____
									SAMPLE DESCRIPTION
-	0.00	3.80	PA	-	-	-	-	-	MATERIALS FILL.
1	4.50	5.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	5.10	6.00	PA	-	-	-	-	-	
2	6.00	6.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	6.60	7.50	PA	-	-	-	-	-	
3	7.50	8.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	8.10	9.00	PA	-	-	-	-	-	
4	9.00	9.60	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.
-	9.60	10.50	PA	-	-	-	-	-	
5	10.50	11.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	11.10	12.00	PA	-	-	-	-	-	
6	12.00	12.60	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	12.60	13.50	PA	-	-	-	-	-	
7	13.50	14.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	14.10	15.00	PA	-	-	-	-	-	
8	15.00	15.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	15.60	16.50	PA	-	-	-	-	-	
9	16.50	16.95	SS	2	1	1	-	2	-DITTO-
-	16.95	18.00	PA	-	-	-	-	-	
10	18.00	18.45	SS	2	2	2	-	4	SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	18.45	19.50	PA	-	-	-	-	-	
11	19.50	19.95	SS	9	12	13	-	25	VERY STIFF, CLAY, BROWN.
-	19.95	21.00	PA	-	-	-	-	-	
12	21.00	21.45	SS	10	12	14	-	26	MEDIUM, SILTY SAND, BROWN.
-	21.45	22.50	PA	-	-	-	-	-	
13	22.50	22.95	SS	14	17	21	-	38	DENSE, SILTY SAND, BROWN.
-	22.95	24.00	PA	-	-	-	-	-	
14	24.00	24.45	SS	7	11	11	-	22	MEDIUM, SILTY SAND, LIGHT BROWN.
-	24.45	25.50	PA	-	-	-	-	-	
หมายเหตุ รายงานฉบับนี้รับรองผลเฉพาะหลุมที่ทำการทดลองเท่านั้น									
PA = POWER AUGER			ST = SHELBY TUBE			SS = SPLIT SPOON		WO = WASH OUT	
RB = ROCK BIT			DB = DIAMOND BIT			FT = FISH TAIL			

ภาพผนวกที่ 3 ผลการเจาะสำรวจดินในสนามหลุมเจาะที่ 3

FIELD LOG.									
ทางหลวงหมายเลข 7					หลุมเจาะที่ BH - 4				
กม. 21+675					ตำแหน่งหลุมเจาะ บริเวณสถานีตำรวจทางหลวง 1				
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)					วิธีการเจาะ Power Auger				
ผู้ควบคุม กิติ, ชาญวิทย์					ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว				
คำพิภักดิ์ 47P 0696850E 1516189N					ระดับน้ำ 1.42 ม. ภายหลังจากเจาะเสร็จ 24 ชม.				
SAMPLE NO.	DEPTH		SAMPLING METHOD	STANDARD PENETRATION TEST					SAMPLING
	FROM M	TO M		6"	6"	6"	6"	N	
									SS SIZE 1 3/8 " ID 2" OD HAMMER 140 lbs DROP 30" ST SIZE CASING SIZE _____
									SAMPLE DESCRIPTION
-	0.00	2.30	PA	-	-	-	-	-	MATERIALS FILL.
1	3.00	3.60	ST	-	-	-	-	-	-NO RECOVERY-
-	3.60	4.50	PA	-	-	-	-	-	
2	4.50	5.10	ST	-	-	-	-	-	-NO RECOVERY-
-	5.10	6.00	PA	-	-	-	-	-	
3	6.00	6.60	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	6.60	7.50	PA	-	-	-	-	-	
4	7.50	8.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	8.10	9.00	PA	-	-	-	-	-	
5	9.00	9.60	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH
-	9.60	10.50	PA	-	-	-	-	-	GRAY.
6	10.50	11.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	11.10	12.00	PA	-	-	-	-	-	
7	12.00	12.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	12.60	13.50	PA	-	-	-	-	-	
8	13.50	14.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	14.10	15.00	PA	-	-	-	-	-	
9	15.00	15.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	15.60	16.50	PA	-	-	-	-	-	
10	16.50	17.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH
-	17.10	18.00	PA	-	-	-	-	-	GRAY.
11	18.00	18.60	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	18.60	19.50	PA	-	-	-	-	-	
12	19.50	19.95	SS	3	3	4	-	7	MEDIUM,CLAY SOME OF GRAVEL, BROWNISH GRAY.
-	19.95	21.00	PA	-	-	-	-	-	
13	21.00	21.45	SS	4	7	10	-	17	VERY STIFF, CLAY, MOTTLED GRAY AND BROWN.
-	21.45	22.50	PA	-	-	-	-	-	
14	22.50	22.95	SS	7	10	10	-	20	MEDIUM, SILTY SAND, BROWN.
-	22.95	24.00	PA	-	-	-	-	-	
หมายเหตุ รายงานฉบับนี้รับรองผลเฉพาะหลุมที่ทำการทดลองเท่านั้น									
PA = POWER AUGER			ST = SHELBY TUBE			SS = SPLIT SPOON			WO = WASH OUT
RB = ROCK BIT			DB = DIAMOND BIT			FT = FISH TAIL			

ภาพผนวกที่ 4 ผลการเจาะสำรวจดินในสนามหลุมเจาะที่ 4

FIELD LOG.									
ทางหลวงหมายเลข 7					หลุมเจาะที่ BH - 5				
กม. 46+175					ตำแหน่งหลุมเจาะ คั่นทางด้านซ้าย(ชิดไหล่ทาง)				
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)					วิธีการเจาะ Power Auger				
ผู้ควบคุม กิติ, ชาญวิทย์					ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว				
คำพิภักดิ์ 47P 0716057E 1499309N					ระดับน้ำ 2.10 ม. ภายหลังกะเจาะเสร็จ 24 ชม.				
SAMPLE NO.	DEPTH		SAMPLING METHOD	STANDARD PENETRATION TEST					SAMPLING
	FROM M	TO M		6"	6"	6"	6"	N	
									SS SIZE 1 3/8 " ID 2" OD HAMMER 140 lbs DROP 30" ST SIZE CASING SIZE _____
									SAMPLE DESCRIPTION
-	0.00	2.25	PA	-	-	-	-	-	MATERIALS FILL.
1	3.00	3.45	SS	2	2	3	-	5	MEDIUM, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	3.45	4.50	PA	-	-	-	-	-	
2	4.50	5.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	5.10	6.00	PA	-	-	-	-	-	
3	6.00	6.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	6.60	7.50	PA	-	-	-	-	-	
4	7.50	8.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.
-	8.10	9.00	PA	-	-	-	-	-	
5	9.00	9.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	9.60	10.50	PA	-	-	-	-	-	
6	10.50	11.10	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	11.10	12.00	PA	-	-	-	-	-	
7	12.00	12.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	12.60	13.50	PA	-	-	-	-	-	
8	13.50	14.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	14.10	15.00	PA	-	-	-	-	-	
9	15.00	15.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	15.60	16.50	PA	-	-	-	-	-	
10	16.50	16.95	SS	5	4	6	-	10	STIFF, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	16.95	18.00	PA	-	-	-	-	-	
11	18.00	18.45	SS	5	6	7	-	13	MEDIUM, SILT, GRAY.
-	18.45	19.50	PA	-	-	-	-	-	
12	19.50	19.95	SS	5	7	12	-	19	VERY STIFF, CLAY, LIGHT BROWN.
-	19.95	21.00	PA	-	-	-	-	-	
13	21.00	21.45	SS	8	10	13	-	23	MEDIUM, SILT, LIGHT BROWN.
-	21.45	22.50	PA	-	-	-	-	-	
14	22.50	22.95	SS	12	14	14	-	28	-DITTO-
-	22.95	24.00	PA	-	-	-	-	-	
หมายเหตุ รายงานฉบับนี้รับรองผลเฉพาะหลุมที่ทำการทดลองเท่านั้น									
PA = POWER AUGER			ST = SHELBY TUBE			SS = SPLIT SPOON			WO = WASH OUT
RB = ROCK BIT			DB = DIAMOND BIT			FT = FISH TAIL			

ภาพผนวกที่ 5 ผลการเจาะสำรวจดินในสนามหลุมเจาะที่ 5

FIELD LOG.									
ทางหลวงหมายเลข 7					หลุมเจาะที่ BH - 6				
กม. 46+175					ตำแหน่งหลุมเจาะ บริเวณสำนักงานโครงการฯ				
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)					วิธีการเจาะ Power Auger				
ผู้ควบคุม กิติ, ชาญวิทย์					ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว				
คำพิภัด 47P 0715728E 1499538N					ระดับน้ำ 1.80 ม. ภายหลังจากเจาะเสร็จ 24 ชม.				
SAMPLE NO.	DEPTH		SAMPLING METHOD	STANDARD PENETRATION TEST					SAMPLING
	FROM M	TO M		6"	6"	6"	6"	N	
									SS SIZE 1 3/8 " ID 2" OD HAMMER 140 lbs DROP 30" ST SIZE CASING SIZE _____
									SAMPLE DESCRIPTION
-	0.00	2.10	PA	-	-	-	-	-	MATERIALS FILL.
1	3.00	3.60	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	3.60	4.50	PA	-	-	-	-	-	
2	4.50	5.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.
-	5.10	6.00	PA	-	-	-	-	-	
3	6.00	6.60	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	6.60	7.50	PA	-	-	-	-	-	
4	7.50	8.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.
-	8.10	9.00	PA	-	-	-	-	-	
5	9.00	9.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	9.60	10.50	PA	-	-	-	-	-	
6	10.50	11.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	11.10	12.00	PA	-	-	-	-	-	
7	12.00	12.60	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.
-	12.60	13.50	PA	-	-	-	-	-	
8	13.50	14.10	ST	-	-	-	-	-	VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.
-	14.10	15.00	PA	-	-	-	-	-	
9	15.00	15.60	ST	-	-	-	-	-	-DITTO-
-	15.60	16.50	PA	-	-	-	-	-	
10	16.50	16.95	SS	4	5	6	-	11	MEDIUM, SILT, GRAY.
-	16.95	18.00	PA	-	-	-	-	-	
11	18.00	18.45	SS	7	9	11	-	20	VERY STIFF, CLAY, BROWN.
-	18.45	19.50	PA	-	-	-	-	-	
12	19.50	19.95	SS	7	10	12	-	22	VERY STIFF, CLAY, MOTTLED BROWN AND GRAY.
-	19.95	21.00	PA	-	-	-	-	-	
13	21.00	21.45	SS	9	10	11	-	21	VERY STIFF, CLAY, BROWN.
-	21.45	22.50	PA	-	-	-	-	-	
14	22.50	22.95	SS	7	11	13	-	24	VERY STIFF, CLAY, GRAY.
-	22.95	24.00	PA	-	-	-	-	-	
หมายเหตุ รายงานฉบับนี้รับรองผลเฉพาะหลุมที่ทำการทดลองเท่านั้น									
PA = POWER AUGER			ST = SHELBY TUBE			SS = SPLIT SPOON		WO = WASH OUT	
RB = ROCK BIT			DB = DIAMOND BIT			FT = FISH TAIL			

ภาพผนวกที่ 6 ผลการเจาะสำรวจดินในสนามหลุมเจาะที่ 6

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข	7	หลุมเจาะที่	BH - 1
กม.	6+650	ตำแหน่งหลุมเจาะ	คั่นทางด้านซ้าย(ชิดไหล่ทาง)
ตอน	สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)	วิธีการเจาะ	Power Auger
ผู้ควบคุม	กิติ , ชาญวิทย์	ตุ้มหนัก	140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว
ค่าพิกัด	47 P 0684164E 1518819N	ระดับน้ำ	1.32 ม. ภายหลังกะเจาะเสร็จ 24 ชม.
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
0			
1			
2			
3		MATERIALS FILL.	
4			
5			
6			
7			
8		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
9			
10			
11			
12		VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY	
13			
14		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
15			
16			
17			
18		MEDIUM, CLAY, BROWNISH GRAY.	6
19		VERY STIFF, CLAY SOME OF GRAVEL, BROWNISH GRAY	31
20			
21		VERY STIFF, CLAY, BROWNISH GRAY.	16
22			
23		VERY STIFF, CLAY, BROWN.	17
24			
25		MEDIUM, FINE SAND, BROWN.	32
			22

ภาพผนวกที่ 7 ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 1

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข 7		หลุมเจาะที่ BH - 1	
กม. 6+650		ตำแหน่งหลุมเจาะ คั่นทางด้านซ้าย (ชิดไหล่ทาง)	
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)		วิธีการเจาะ Power Auger	
ผู้ควบคุม กิติ , ชาญวิทย์		ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว	
คำพิภัด 47 P 0684164E 1518819N		ระดับน้ำ 1.32 ม. ภายหลังก่อเสร็จ 24 ชม.	
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
25			
26		MEDIUM, FINE SAND, BROWN.	22
26		VERY DENSE, SAND, GRAY.	56
27		END OF BORING 25.95 M.	
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

ภาพผนวกที่ 7 (ต่อ) ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 1

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข	7	หลุมเจาะที่	BH - 2
กม.	6+700	ตำแหน่งหลุมเจาะ	ซ้ายทาง (ในสวนหย่อม)
ตอน	สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)	วิธีการเจาะ	Power Auger
ผู้ควบคุม	กิติ, ชาญวิทย์	ตุ้มหนัก	140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว
ค่าพิกัด	47 P 064193E 1518896N	ระดับน้ำ	0.95 ม. ภายหลังกะเจาะเสร็จ 24 ชม.
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
0			
1		MATERIALS FILL.	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
9			
10			
11			
12			
13			
14		VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY	
15			
16		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
17			
18			
19		MEDIUM, CLAY, BROWNISH GRAY.	8
20			
21		STIFF, CLAY, BROWN.	19
22		VERY STIFF, CLAY, BROWN.	23
23			
24		VERY STIFF, CLAY, MOTTLED BROWN AND GRAY.	22
25		MEDIUM, SILTY SAND, GRAY.	21

ภาพผนวกที่ 8 ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 2

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข 7		หลุมเจาะที่ BH - 2	
กม. 6+700		ตำแหน่งหลุมเจาะ ช้ายทาง (ในสวนหย่อม)	
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)		วิธีการเจาะ Power Auger	
ผู้ควบคุม กิติ , ชาญวิทย์		ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว	
คำพิภัด 47 P 064193E 1518896N		ระดับน้ำ 0.95 ม. ภายหลังกะเจาะเสร็จ 24 ชม.	
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
25		MEDIUM, SILTY SAND, GRAY.	21
26		DENSE, SILTY SAND, MOTTLED BROWN AND GRAY.	33
27			
28		MEDIUM, SILTY SAND, GRAY.	27
29		DENSE, SILTY SAND, GRAY.	33
30		VERY DENSE, SILTY SAND, GRAY.	54/5"
31		END OF BORING 30.28 M.	
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

ภาพผนวกที่ 8 (ต่อ) ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 2

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข 7		หลุมเจาะที่ BH - 3	
กม. 21+675		ตำแหน่งหลุมเจาะ คั่นทางด้านซ้าย(ชิดไหล่ทาง)	
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)		วิธีการเจาะ Power Auger	
ผู้ควบคุม กิติ, ชาญวิทย์		ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว	
ค่าพิกัด 47P 0697187E 1515731N		ระดับน้ำ 1.20 ม. ภายหลังกะเจาะเสร็จ 24 ชม.	
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
0			
1			
2			
3		MATERIALS FILL.	
4			
5			
6			
7		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
8			
9			
10			
11		VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GARY	
12			
13			
14			
15		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
16			
17			
18		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	2
19		SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	4
20			
21		VERY STIFF, CLAY, BROWN.	25
22		MEDIUM, SILTY SAND, BROWN.	26
23		DENSE, SILTY SAND, BROWN.	38
24			
25		MEDIUM, SILTY SAND, LIGHT BROWN.	22

ภาพผนวกที่ 9 ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 3

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข 7		หลุมเจาะที่ BH - 3	
กม. 21+675		ตำแหน่งหลุมเจาะ คั่นทางด้านซ้าย(ชิดไหล่ทาง)	
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)		วิธีการเจาะ Power Auger	
ผู้ควบคุม กิติ, ชาณวิทย์		ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว	
ค่าพิกัด 47P 0697187E 1515731N		ระดับน้ำ 1.20 ม. ภายหลังกะเจาะเสร็จ 24 ชม.	
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
25		MEDIUM, SILTY SAND, LIGHT BROWN.	22
26		DENSE, SILTY SAND, LIGHT BROWN.	30
27			
28		MEDIUM, SILTY SAND, LIGHT BROWN.	26
29			
30		LOOSE, SILTY SAND, LIGHT BROWN.	8
31		MEDIUM, SILTY SAND, LIGHT BROWN.	19
32		END OF BORING 30.45 M.	
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

ภาพผนวกที่ 9 (ต่อ) ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 3

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข 7		หลุมเจาะที่ BH - 4	
กม. 21+675		ตำแหน่งหลุมเจาะ บริเวณสถานีตำรวจทางหลวง 1	
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)		วิธีการเจาะ Power Auger	
ผู้ควบคุม กิติ, ชาณวิทย์		ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว	
ค่าพิกัด 47P 0696850E 1516189N		ระดับน้ำ 1.42 ม. ภายหลังเจาะเสร็จ 24 ชม.	
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
0			
1			
2			
3		MATERIALS FILL.	
4			
5			
6		-NO RECOVERY-	
7			
8		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
9			
10		VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.	
11			
12			
13			
14		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
15			
16			
17			
18		VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.	
19		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
20			
21		MEDIUM, CLAY SOME OF GRAVEL, BROWNISH GRAY.	7
22		VERY STIFF, CLAY, MOTTLED GRAY AND BROWN.	17
23			
24		MEDIUM, SILTY SAND, BROWN.	20
25		MEDIUM, FINE SAND, GRAY.	12

ภาพผนวกที่ 10 ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 4

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข 7		หลุมเจาะที่ BH - 4	
กม. 21+675		ตำแหน่งหลุมเจาะ บริเวณสถานีตำรวจทางหลวง 1	
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)		วิธีการเจาะ Power Auger	
ผู้ควบคุม กิติ, ชาญวิทย์		ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว	
ค่าพิกัด 47P 0696850E 1516189N		ระดับน้ำ 1.42 ม. ภายหลังเจาะเสร็จ 24 ชม.	
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
25		MEDIUM, FINE SAND, GRAY.	12
26		DENSE, FINE SAND, GRAY.	38
27			38
28			41
29			25
30			END OF BORING 30.45 M.
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

ภาพผนวกที่ 10 (ต่อ) ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 4

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข 7		หลุมเจาะที่ BH - 5	
กม. 46+175		ตำแหน่งหลุมเจาะ คั่นทางด้านซ้าย(ชิดไหล่ทาง)	
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)		วิธีการเจาะ Power Auger	
ผู้ควบคุม กิติ, ชาณวิทย์		ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว	
ค่าพิกัด 47P 0716057E 1499309N		ระดับน้ำ 2.10 ม. ภายหลังเจาะเสร็จ 24 ชม.	
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
0			
1			
2		MATERIALS FILL.	
3			
4		MEDIUM, CLAY, BROWNISH GRAY.	5
5			
6		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
7			
8			
9			
10			
11		VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.	
12			
13			
14			
15		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
16			
17		STIFF, CLAY, BROWNISH GRAY.	10
18			
19		MEDIUM, SILT, GRAY.	13
20			
21		VERY STIFF, CLAY, LIGHT BROWN.	19
22			
23		MEDIUM, SILT, LIGHT BROWN.	23
24			
25			28

ภาพผนวกที่ 11 ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 5

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข 7		หลุมเจาะที่ BH - 5	
กม. 46+175		ตำแหน่งหลุมเจาะ คั่นทางด้านซ้าย(ชิดไหล่ทาง)	
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)		วิธีการเจาะ Power Auger	
ผู้ควบคุม กิติ, ชาณวิทย์		ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว	
ค่าพิกัด 47P 0716057E 1499309N		ระดับน้ำ 2.10 ม. ภายหลังเจาะเสร็จ 24 ชม.	
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
25			
26		MEDIUM, SILT, LIGHT BROWN.	24
27		MEDIUM, SILT, MOTTLED GRAY AND BROWN.	28
28		VERY STIFF, CLAY, GRAY.	41
29		VERY STIFF, CLAY, MOTTLED BROWN AND GRAY.	57
30		END OF BORING 28.95 M.	
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

ภาพผนวกที่ 11 (ต่อ) ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 5

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข	7	หลุมเจาะที่	BH - 6
กม.	46+175	ตำแหน่งหลุมเจาะ	บริเวณสำนักงานโครงการฯ
ตอน	สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)	วิธีการเจาะ	Power Auger
ผู้ควบคุม	กิติ, ชาณวิทย์	ตุ้มหนัก	140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว
ค่าพิกัด	47P 0715728E 1499538N	ระดับน้ำ	1.80 ม. ภายหลังเจาะเสร็จ 24 ชม.
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
0			
1			
2		MATERIALS FILL.	
3			
4		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
5		VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.	
6			
7		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
8			
9		VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.	
10			
11		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
12			
13		VERY SOFT, CLAY SOME OF SHELL, BROWNISH GRAY.	
14			
15		VERY SOFT, CLAY, BROWNISH GRAY.	
16			
17		MEDIUM, SILT, GRAY.	11
18			
19		VERY STIFF, CLAY, BROWN.	20
20			
21		VERY STIFF, CLAY, MOTTLED BROWN AND GRAY.	22
22			
23		VERY STIFF, CLAY, BROWN.	21
24			
25		VERY STIFF, CLAY, GRAY.	24
		DENSE, SILTY SAND, BROWN.	30

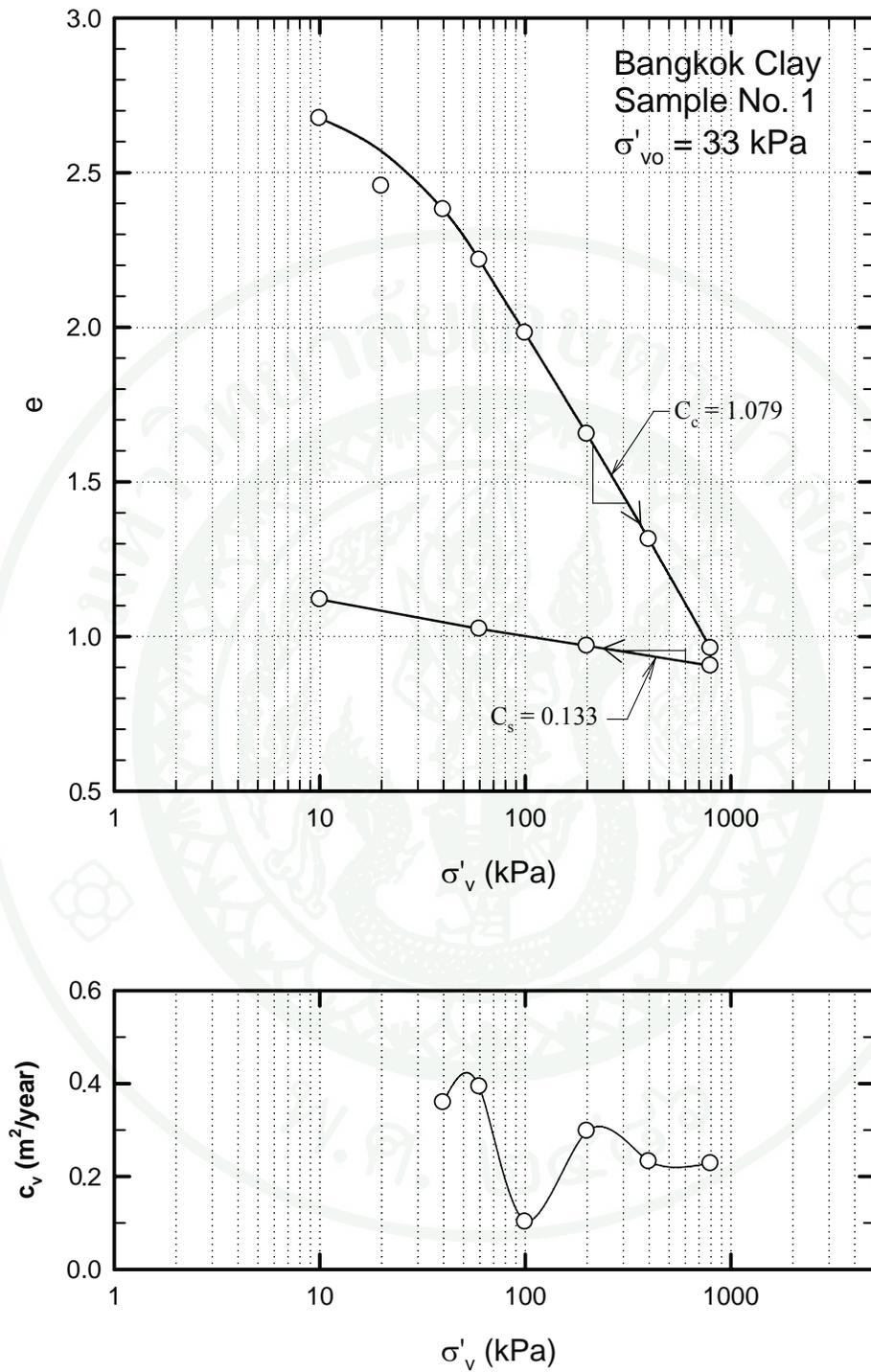
ภาพผนวกที่ 12 ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 6

BORING LOG.			
ทางหลวงหมายเลข 7		หลุมเจาะที่ BH - 6	
กม. 46+175		ตำแหน่งหลุมเจาะ บริเวณสำนักงานโครงการฯ	
ตอน สาย กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)		วิธีการเจาะ Power Auger	
ผู้ควบคุม กิติ, ชาญวิทย์		ตุ้มหนัก 140 ปอนด์, ยกสูง 30 นิ้ว	
ค่าพิกัด 47P 0715728E 1499538N		ระดับน้ำ 1.80 ม. ภายหลังเจาะเสร็จ 24 ชม.	
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG.	SOIL DESCRIPTION	SPT (blows/ft)
25		DENSE, SILTY SAND, BROWN.	30
26		MEDIUM, SILTY SAND, BROWN.	24
27			
28		DENSE, SILTY SAND, BROWN.	41
29		MEDIUM, SILT, BROWN.	21
30		MEDIUM, SAND, BROWN.	20
31		END OF BORING 30.45 M.	
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

ภาพผนวกที่ 12 (ต่อ) ลักษณะชั้นดินหลุมเจาะสำรวจที่ 6

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 4		DEPTH 7.5 - 8.1 m	
TEST NO. 1		SPECIMEN DIMENSIONS HT. <u>19.2</u> mm DIA. <u>50.1</u> mm AREA <u>19.7136</u> cm ² VOL. <u>37.85</u> cm ³			METERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. <u>19.2</u> mm I.D. METERIAL _____			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.585
LIQUID LIMIT, % 121	PLASTIC LIMIT, % 50	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 13.93		DRY UNIT WEIGHT kPa	COMPUTED _____ CHECKED _____
				DATE 17/11/2007	TEST BY อรุณ ปรามมาก
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	22	16	
WT WET SHALE + CONTAINER, g	111.48		37.87	23.21	
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			31.76	19.95	
WT WATER, g	111.48		6.11	3.26	
WT CONTAINER, g	67.79		26.54	17.23	
WT DRY SHALE, g			5.22	2.72	
WATER CONTENT%			117.05	119.85	
			118.45		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	37.850				
WT OF SOLID, gm	24.604				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	9.624				
VOLUME OF VOID, cm ³	28.226				
VOID RATIO	2.933				
VOLUME OF WATER cm ³	28.226				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.488				

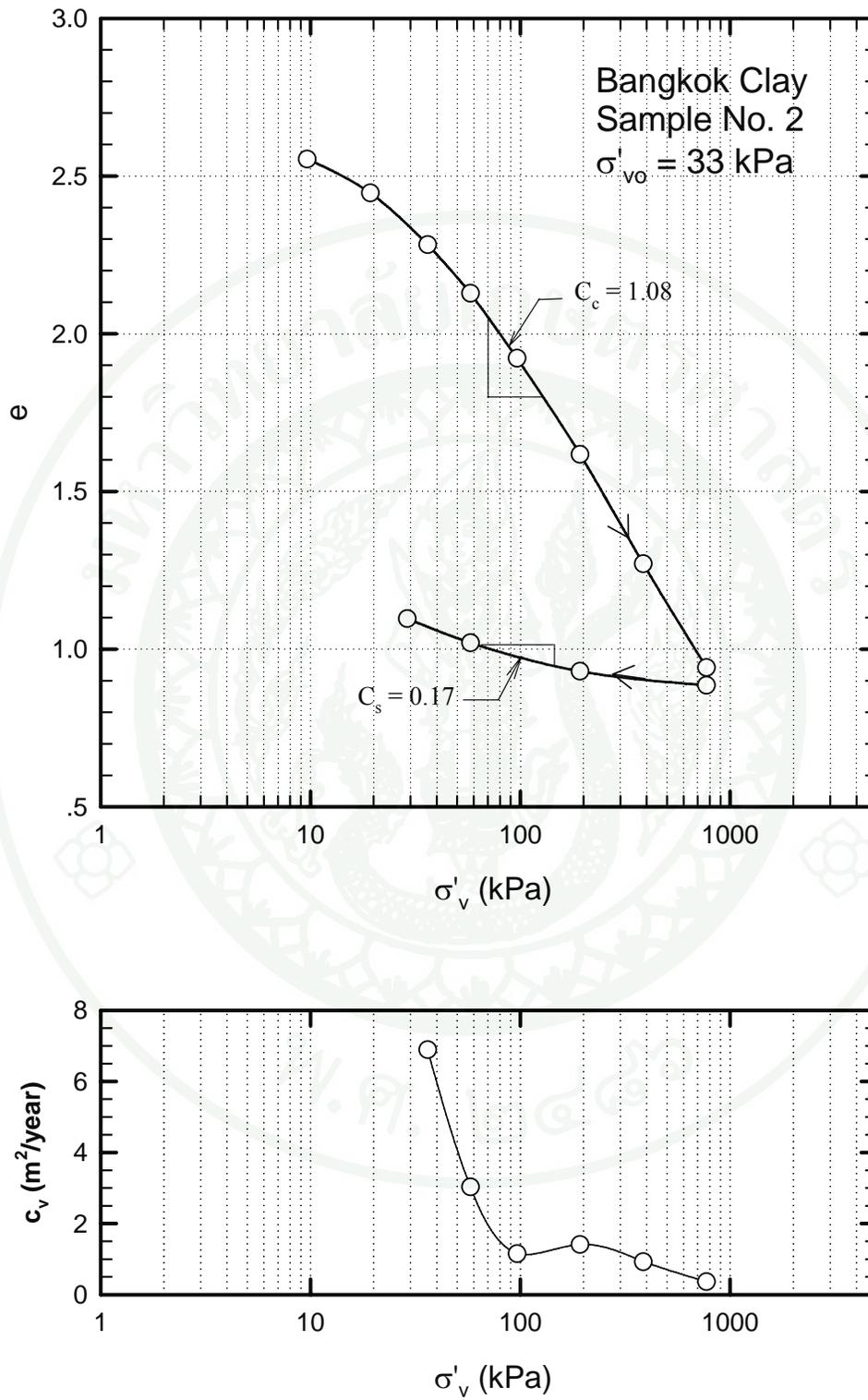
ภาพผนวกที่ 13 Sample No. 1



ภาพผนวกที่ 14 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No. 1

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 4		DEPTH 7.5 - 8.1 m	
TEST NO. 2		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 19.3 mm DIA. 50.9 mm AREA 20.3482 cm ² VOL. 39.272 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.585
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.3 mm I.D. MATERIAL _____			COMPUTED _____ CHECKED _____
LIQUID LIMIT, % 121	PLASTIC LIMIT, % 50	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 13.93	DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 6/12/2007 TEST BY อรุณ ปราบมวก	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	107.19	62.57	21.16	19.3	19.36
WT DRY SHALE + CONTAINER, g		46.71	16.69	16	15.46
WT WATER, g	107.19	15.86	4.47	3.3	3.9
WT CONTAINER, g	50.81	21.39	12.98	13.16	12.08
WT DRY SHALE, g			3.71	2.84	3.38
WATER CONTENT%	117.36	37.36	120.49	116.20	115.38
			117.36		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	39.272				
WT OF SOLID, gm	25.939				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.146				
VOLUME OF VOID, cm ³	29.13				
VOID RATIO	2.871				
VOLUME OF WATER cm ³	29.13				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.499				

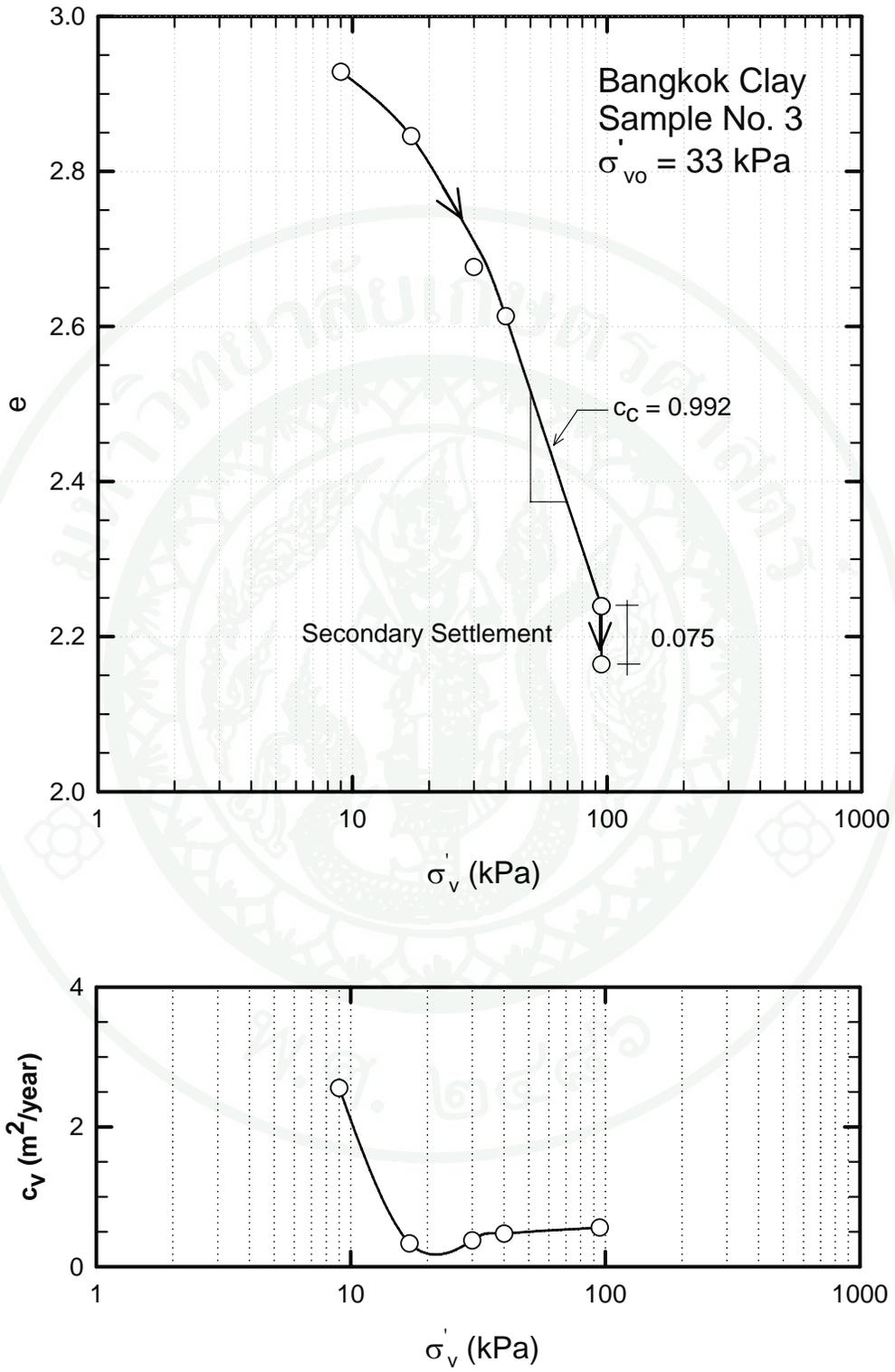
ภาพผนวกที่ 15 Sample No. 2



ภาพผนวกที่ 16 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No. 2

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 4		DEPTH 7.5 - 8.1 m	
TEST NO. 3		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 18.87mm DIA. 63.09mm AREA 31.26 cm ² VOL. 58.99 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.3 mm I.D. MATERIAL _____			COMPUTED _____ CHECKED _____
LIQUID LIMIT, % 103	PLASTIC LIMIT, % 38	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14	DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 6/1/2551 TEST BY อรุณ ปรานพาท	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	164.63				
WT DRY SHALE + CONTAINER, g	118.89				
WT WATER, g	45.74				
WT CONTAINER, g	80.61				
WT DRY SHALE, g	38.28				
WATER CONTENT%	119.5				
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	58.991				
WT OF SOLID, gm	38.280				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	14.717				
VOLUME OF VOID, cm ³	44.27				
VOID RATIO	3.008				
VOLUME OF WATER cm ³	44.274				
DEGREE OF SATURATION, %	100.00				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.471				

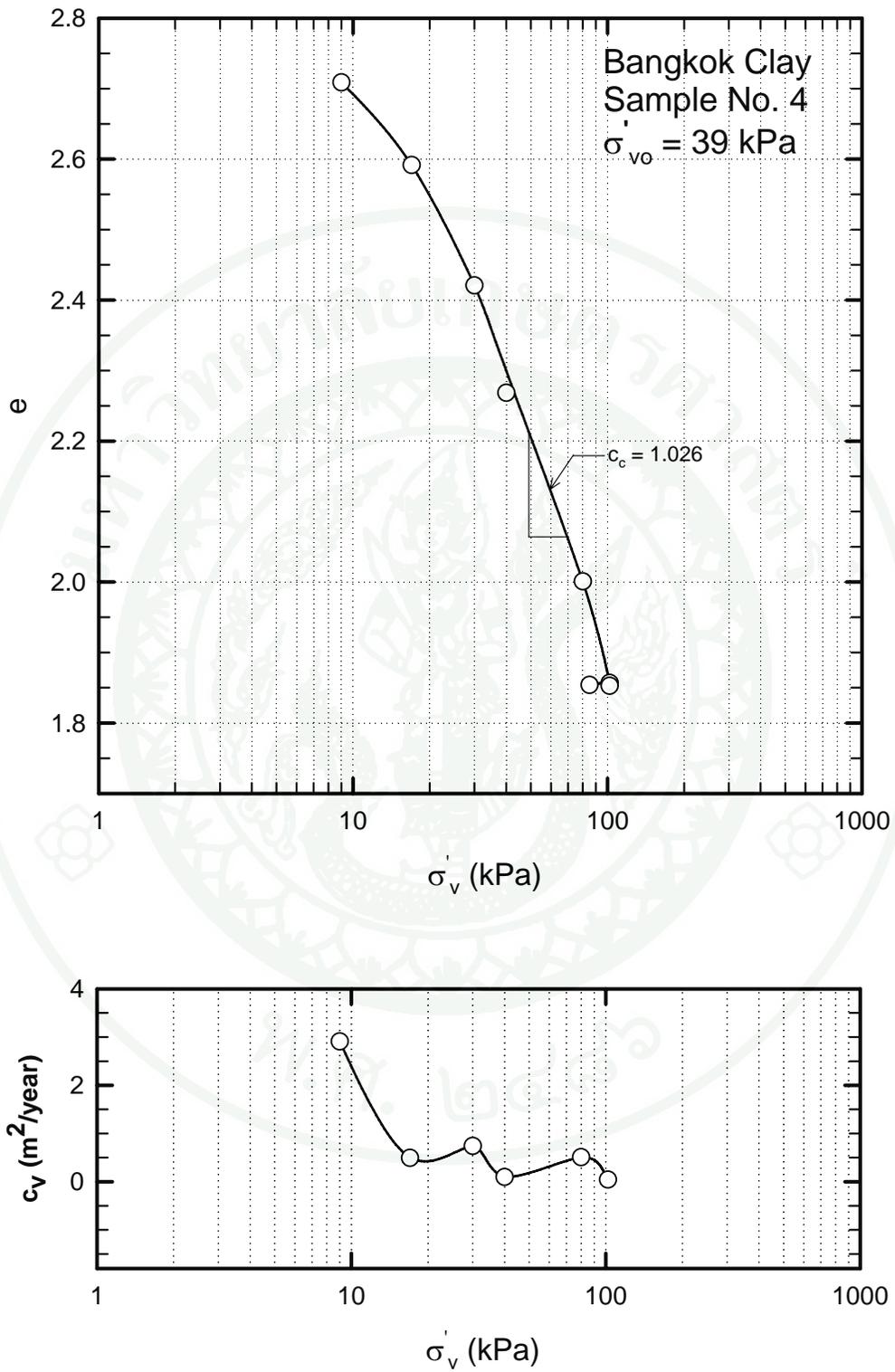
ภาพผนวกที่ 17 Sample No. 3



ภาพผนวกที่ 18 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.3

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 4		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 4		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 18.9 mm DIA. 49.91 mm AREA 19.564 cm ² VOL. 36.977 cm ³			MATERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.3 mm I.D. MATERIAL _____			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LIQUID LIMIT, % 103	PLASTIC LIMIT, % 38	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14	DRY UNIT WEIGHT kPa	COMPUTED _____ CHECKED _____	
				DATE 6/1/2551	
				TEST BY อรุณ ปรามมภัก	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	111.8		48.79	56.22	63.95
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			36.43	39.79	44.76
WT WATER, g	111.8		12.36	13.43	19.19
WT CONTAINER, g	60.52		24.87	22.1	27.07
WT DRY SHALE, g			11.56	15.39	17.69
WATER CONTENT%	107.38		106.92	106.75	108.48
			107.38		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	36.977				
WT OF SOLID, gm	24.727				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	9.507				
VOLUME OF VOID, cm ³	27.47				
VOID RATIO	2.89				
VOLUME OF WATER cm ³	27.470				
DEGREE OF SATURATION, %	97.74				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.486				

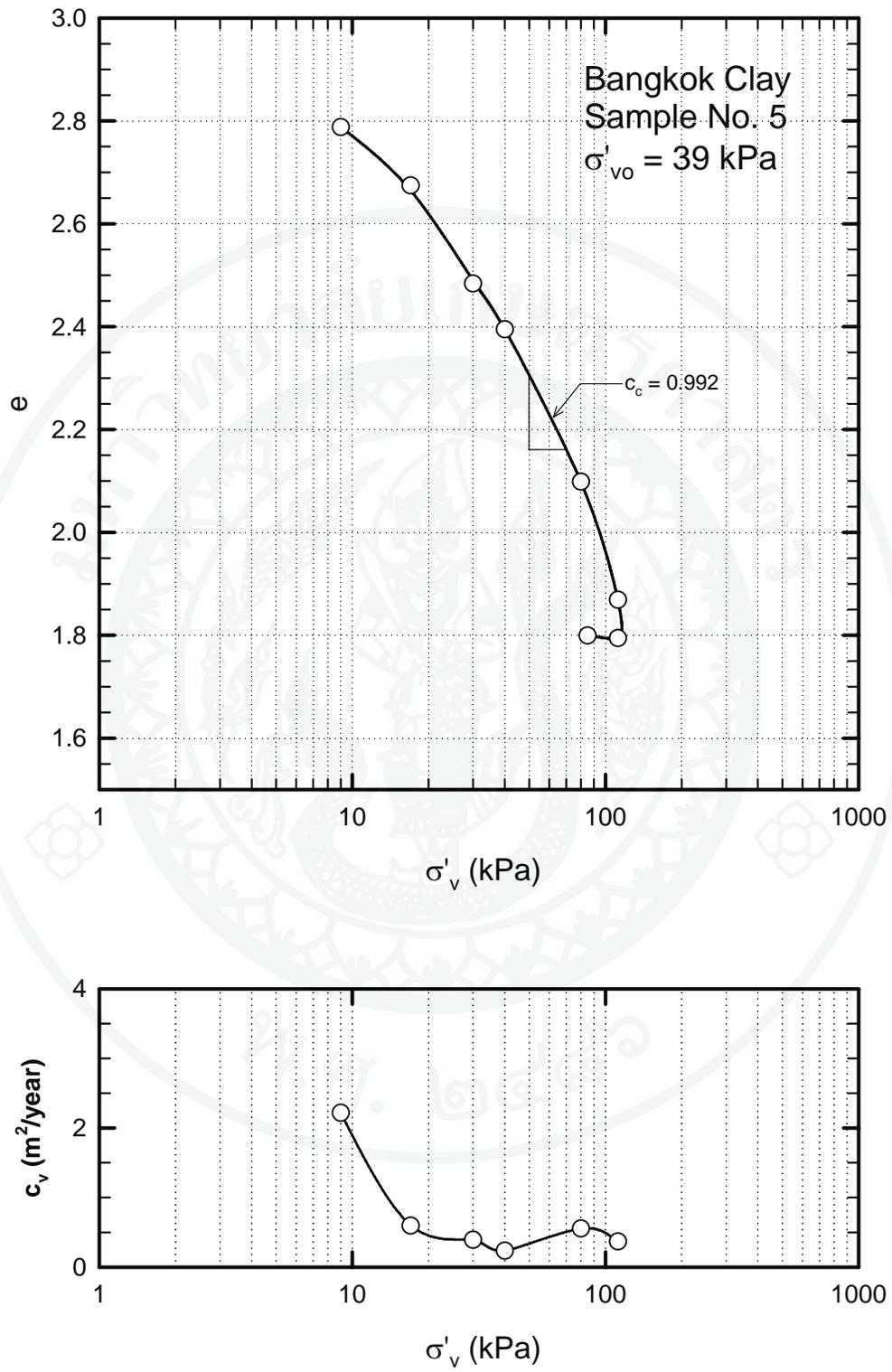
ภาพผนวกที่ 19 Sample No. 4



ภาพผนวกที่ 20 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No. 4

PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 4	DEPTH 9.0 - 9.6 m	MATERIAL Bangkok Clay	
TEST NO. 5		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 18.87 mm DIA. 50.2 mm AREA 31.40 cm ² VOL. 59.253 cm ³		SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63	
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.3 mm I.D. MATERIAL _____		COMPUTED _____ CHECKED _____	
LIQUID LIMIT, % 103	PLASTIC LIMIT, % 38	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14	DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 6/1/2551	TEST BY อรุณ ปรามมาก
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	164.51		43.67	33.17	41.06
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			34.63	24.93	33.06
WT WATER, g	164.51		9.04	8.24	8.00
WT CONTAINER, g	79.65		26.62	17.50	26.47
WT DRY SHALE, g			8.01	7.43	6.59
WATER CONTENT%	115.05		112.86	110.90	121.40
			115.05		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	59.253				
WT OF SOLID, gm	39.460				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	15.171				
VOLUME OF VOID, cm ³	44.08				
VOID RATIO	2.906				
VOLUME OF WATER cm ³	44.082				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.483				

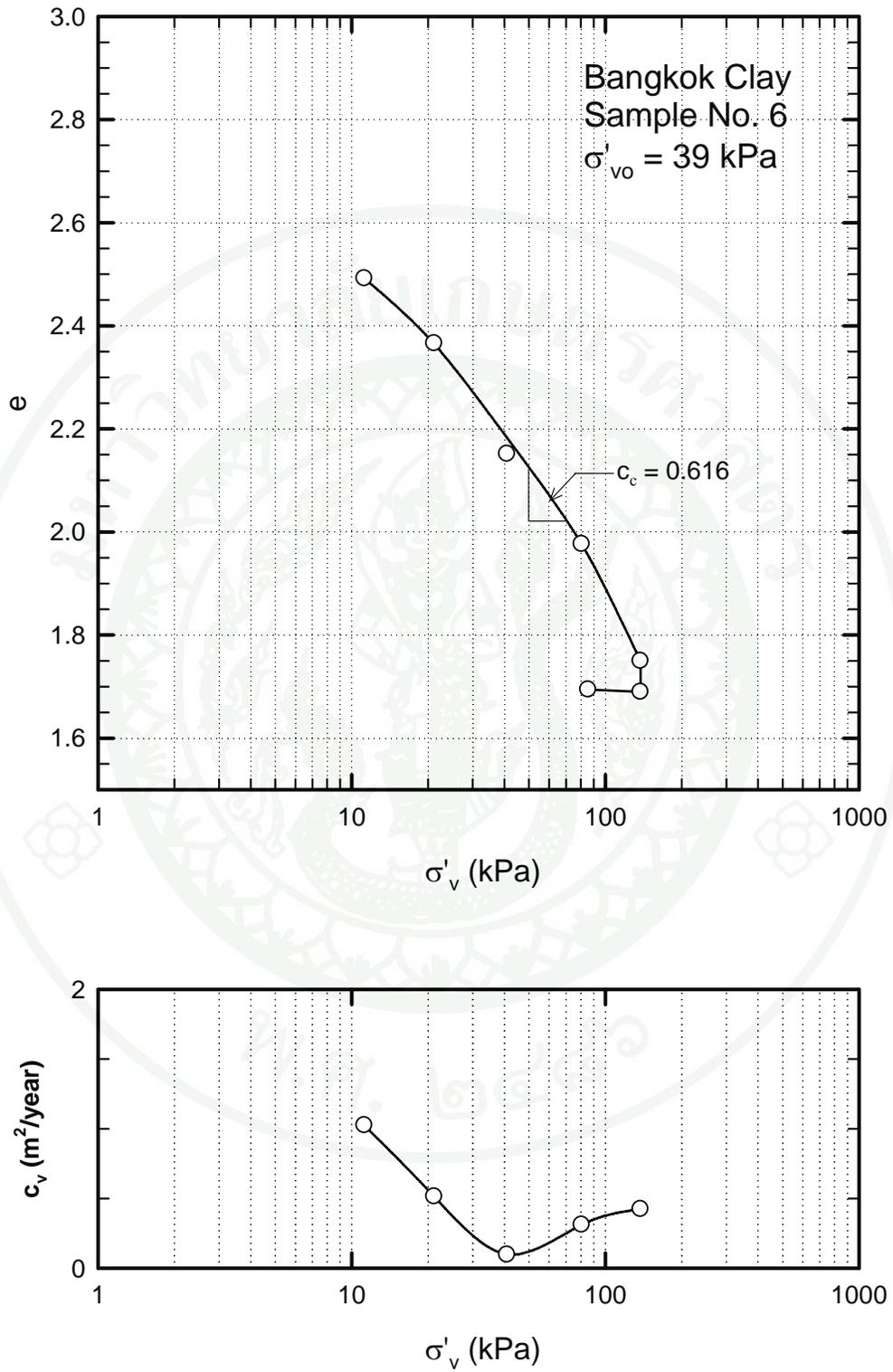
ภาพผนวกที่ 21 Sample No. 5



ภาพผนวกที่ 22 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No. 5

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 4		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 6		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 19.7 mm DIA. 50.2 mm AREA 20.3482 cm ² VOL. 39.272 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.3 mm I.D. MATERIAL _____			COMPUTED _____
LIQUID LIMIT, % 103	PLASTIC LIMIT, % 38	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14		DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 19/1/2551
				TEST BY อรุณ ปราบมาท	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	107.32		23.19	18.95	21.31
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			17.68	15.86	16.96
WT WATER, g	107.32		5.51	3.09	4.35
WT CONTAINER, g	50.84		12.96	13.04	12.97
WT DRY SHALE, g			4.72	2.82	3.99
WATER CONTENT%	111.78		116.74	109.57	109.02
			111.78		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	38.991				
WT OF SOLID, gm	26.669				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.253				
VOLUME OF VOID, cm ³	28.74				
VOID RATIO	2.803				
VOLUME OF WATER cm ³	28.738				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.518				

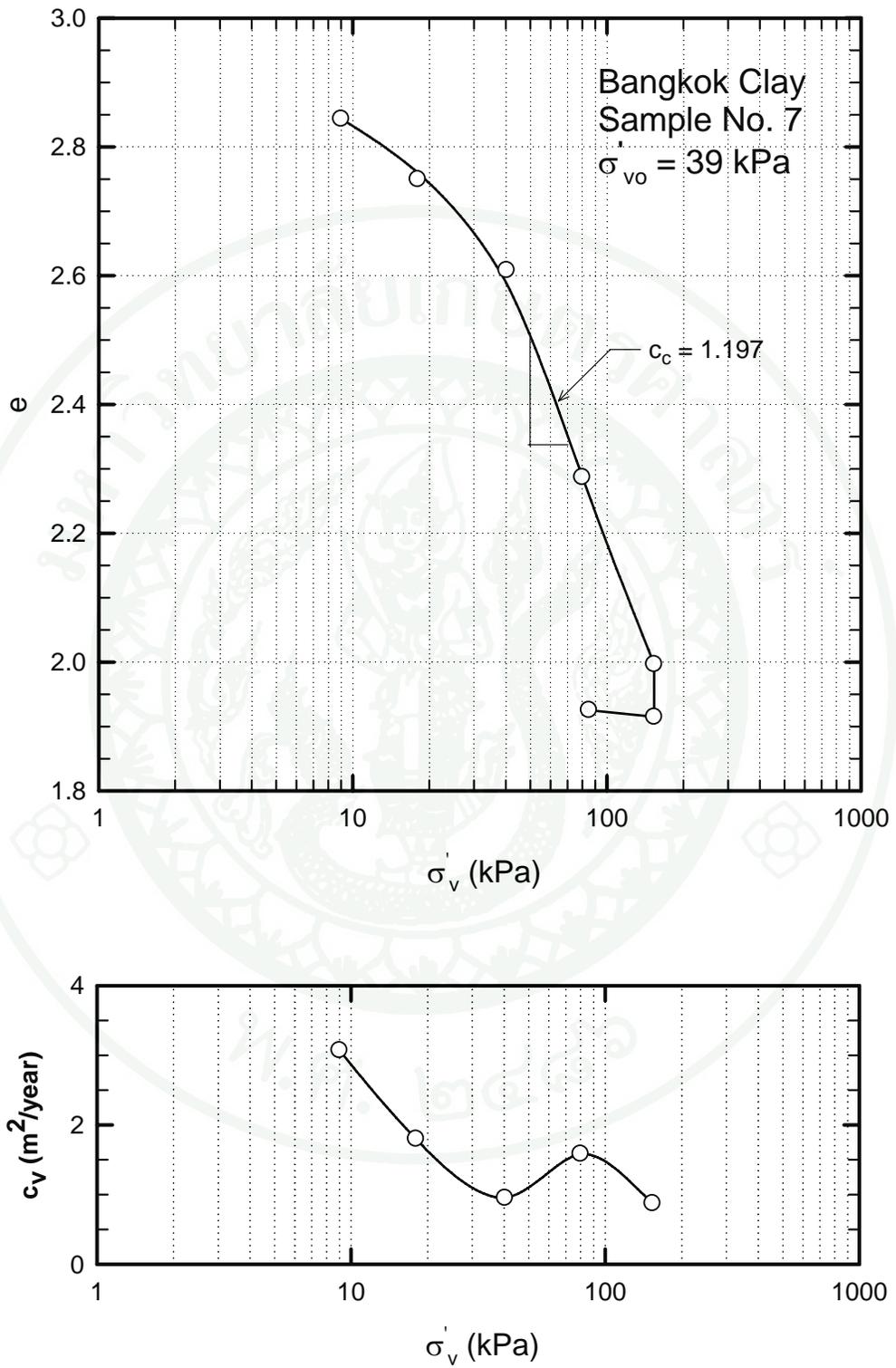
ภาพผนวกที่ 23 Sample No. 6



ภาพผนวกที่ 24 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No. 6

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 4		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 7		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 19.0 mm DIA. 63.3 mm AREA 31.26 cm ² VOL. 59.793 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.0 mm I.D. MATERIAL _____			COMPUTED _____
LIQUID LIMIT, % 103	PLASTIC LIMIT, % 38	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14		DRY UNIT WEIGHT kPa	
					DATE 12/3/2551
					TEST BY อรุณ ปราบมาท
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	164.88		23.41	25.76	22.75
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			18.07	18.97	17.66
WT WATER, g	164.88		5.34	6.79	5.09
WT CONTAINER, g	80.88		12.97	12.85	13.21
WT DRY SHALE, g			10.85	9.43	15.51
WATER CONTENT%	110.0		104.71	110.95	114.38
			110.01		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	59.793				
WT OF SOLID, gm	39.998				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	15.377				
VOLUME OF VOID, cm ³	44.42				
VOID RATIO	2.889				
VOLUME OF WATER cm ³	44.416				
DEGREE OF SATURATION, %	100.00				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.489				

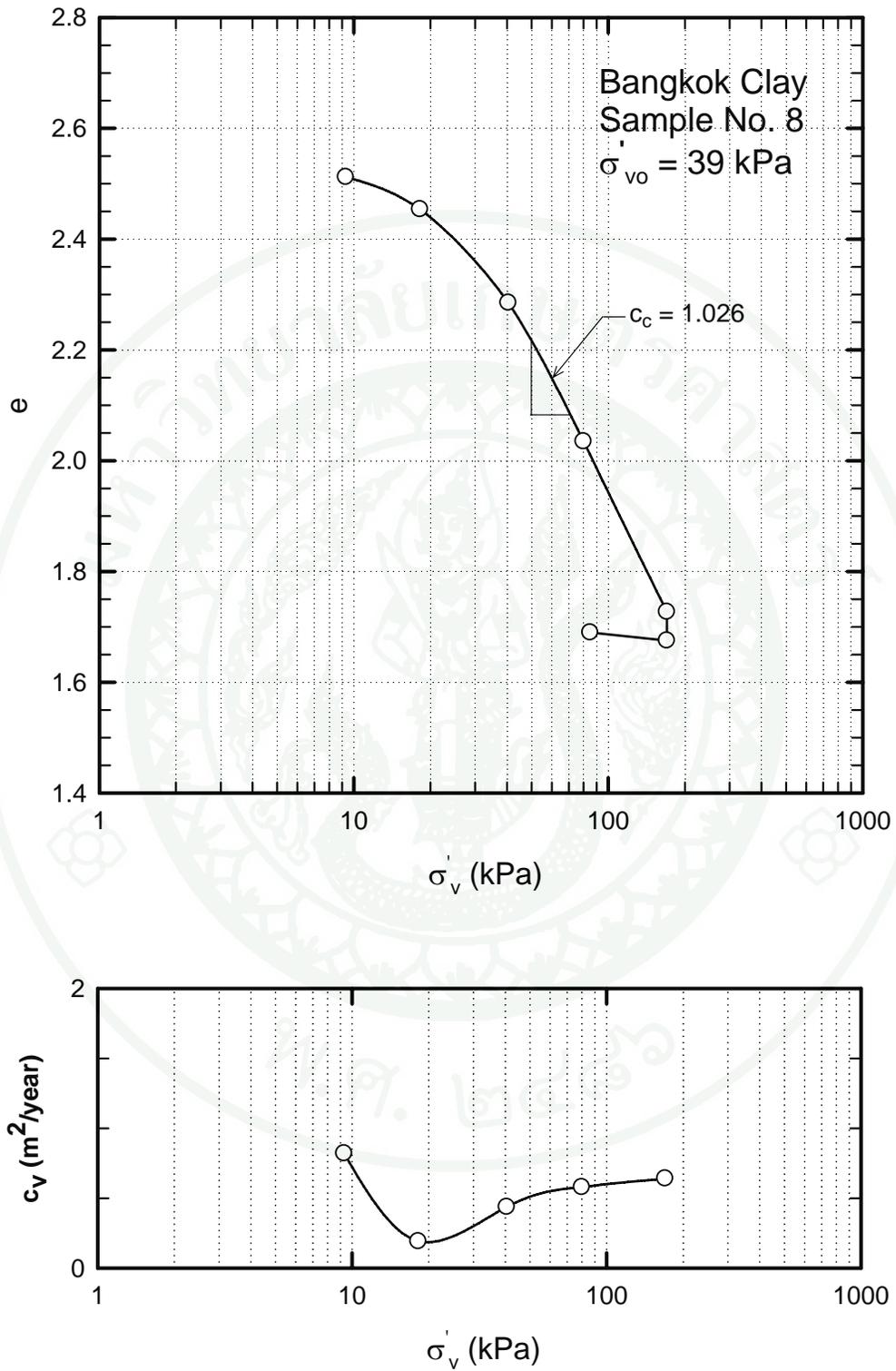
ภาพผนวกที่ 25 Sample No. 7



ภาพผนวกที่ 26 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No. 7

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 4		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 8		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 18.9 mm DIA. 63.3 mm AREA 31.47 cm ² VOL. 59.478 cm ³			MATERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 18.9 mm I.D. MATERIAL _____			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LIQUID LIMIT, % 103	PLASTIC LIMIT, % 38	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14	DRY UNIT WEIGHT kPa		COMPUTED _____ CHECKED _____ DATE 12/3/2551 TEST BY อรุณ ปรามมาก
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	165.97		22.14	19.5	20.96
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			17.54	16.16	16.92
WT WATER, g	165.97		4.6	3.34	4.04
WT CONTAINER, g	79.66		12.97	12.77	12.97
WT DRY SHALE, g			10.85	9.43	15.51
WATER CONTENT%	100.5		100.66	98.53	102.28
				100.49	
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	59.478				
WT OF SOLID, gm	43.050				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	16.551				
VOLUME OF VOID, cm ³	42.93				
VOID RATIO	2.594				
VOLUME OF WATER cm ³	42.927				
DEGREE OF SATURATION, %	100.0				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.526				

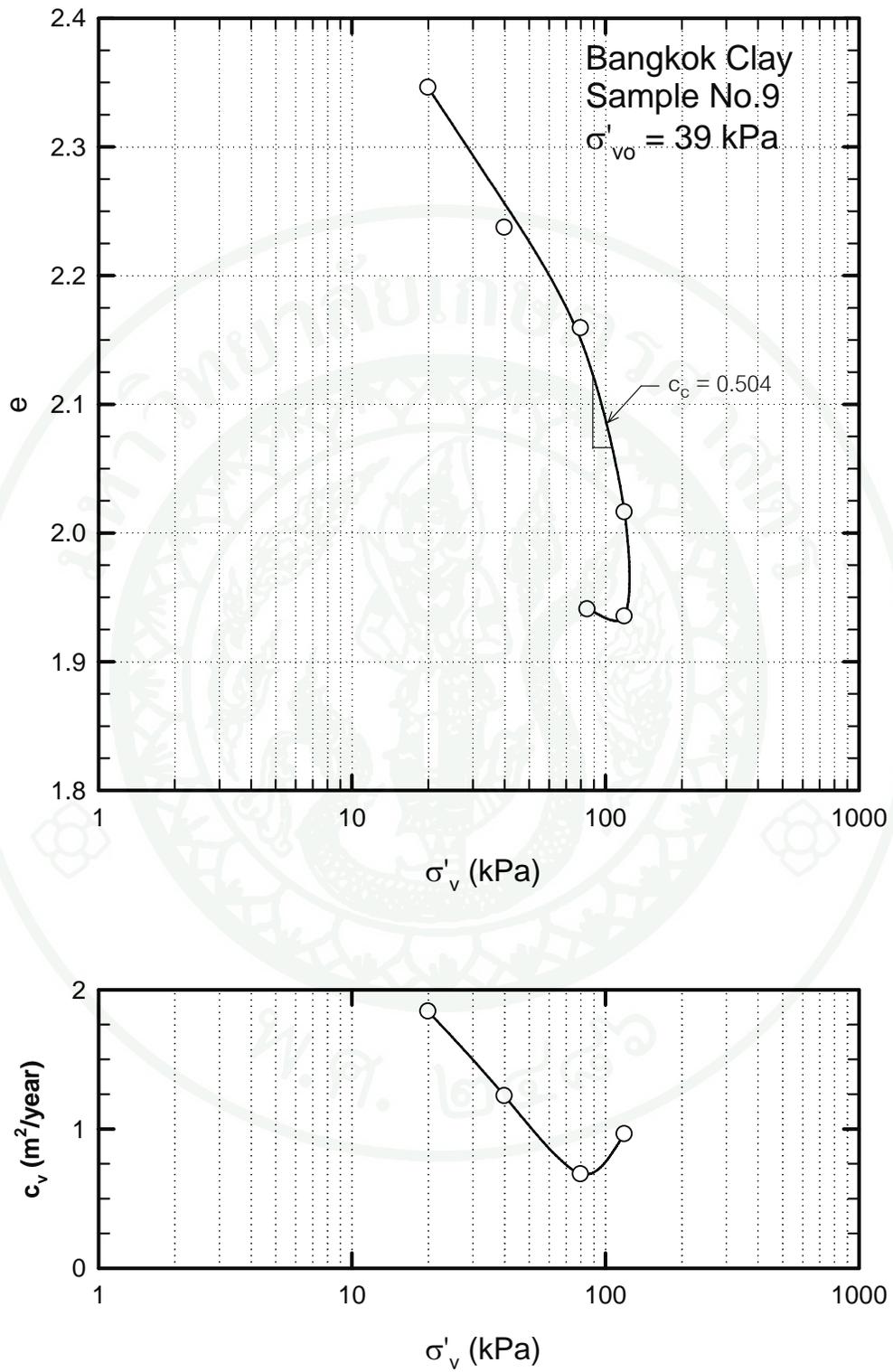
ภาพผนวกที่ 27 Sample No. 8



ภาพผนวกที่ 28 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No. 8

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 4		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 9		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 18.87 mm DIA. 50.2 mm AREA 31.40 cm ² VOL. 59.253 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.3 mm I.D. MATERIAL _____			COMPUTED _____ 0 CHECKED _____ 0
LIQUID LIMIT, % 103	PLASTIC LIMIT, % 38	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14	DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 9/4/2551 TEST BY อรุณ ปรามมวก	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	123.05		39.40	40.77	42.07
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			27.84	27.30	27.84
WT WATER, g	123.05		11.56	13.47	14.23
WT CONTAINER, g	67.79		12.92	12.82	12.76
WT DRY SHALE, g			14.92	14.48	15.08
WATER CONTENT%	93.69		77.48	93.02	94.36
			93.69		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	37.850				
WT OF SOLID, gm	28.530				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.968				
VOLUME OF VOID, cm ³	26.88				
VOID RATIO	2.451				
VOLUME OF WATER cm ³	26.882				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.556				

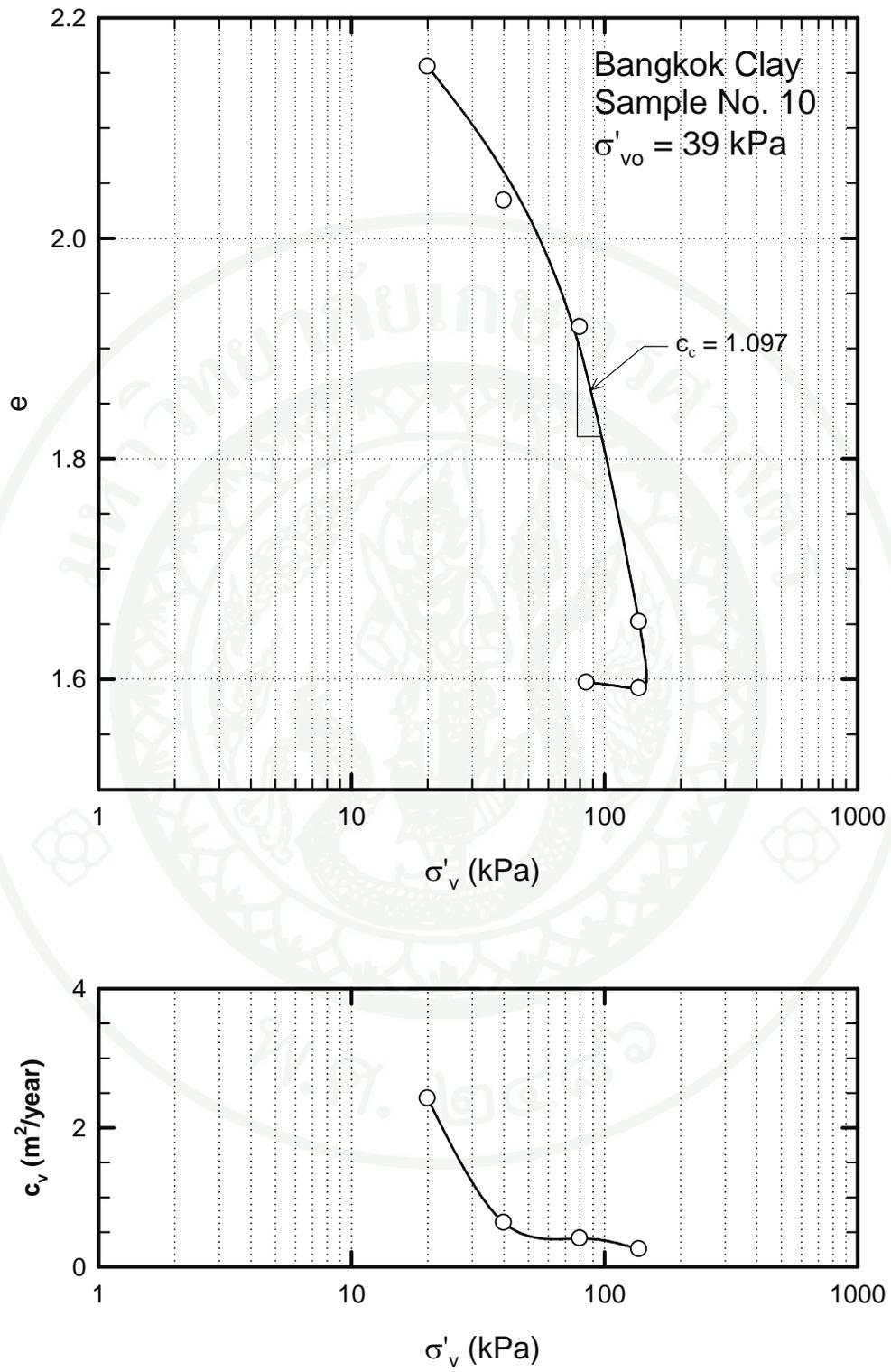
ภาพผนวกที่ 29 Sample No. 9



ภาพผนวกที่ 30 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No. 9

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 4		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 10		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 18.87 mm DIA. 50.2 mm AREA 31.40 cm ² VOL. 59.253 cm ³			METERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.3 mm I.D. METERIAL _____			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LIQUID LIMIT, % 103	PLASTIC LIMIT, % 38	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14		DRY UNIT WEIGHT kPa	COMPUTED _____ CHECKED _____
				DATE 9/4/2551	TEST BY อรุณ ปรามมาก
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	109.8		29.56	31.79	26.73
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			22.55	22.82	19.99
WT WATER, g	109.8		7.01	8.97	6.74
WT CONTAINER, g	50.84		13.05	13.00	12.67
WT DRY SHALE, g			9.50	9.82	7.32
WATER CONTENT%	91.71		73.79	91.34	92.08
			91.71		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	38.991				
WT OF SOLID, gm	30.755				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	11.824				
VOLUME OF VOID, cm ³	27.17				
VOID RATIO	2.298				
VOLUME OF WATER cm ³	27.167				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.597				

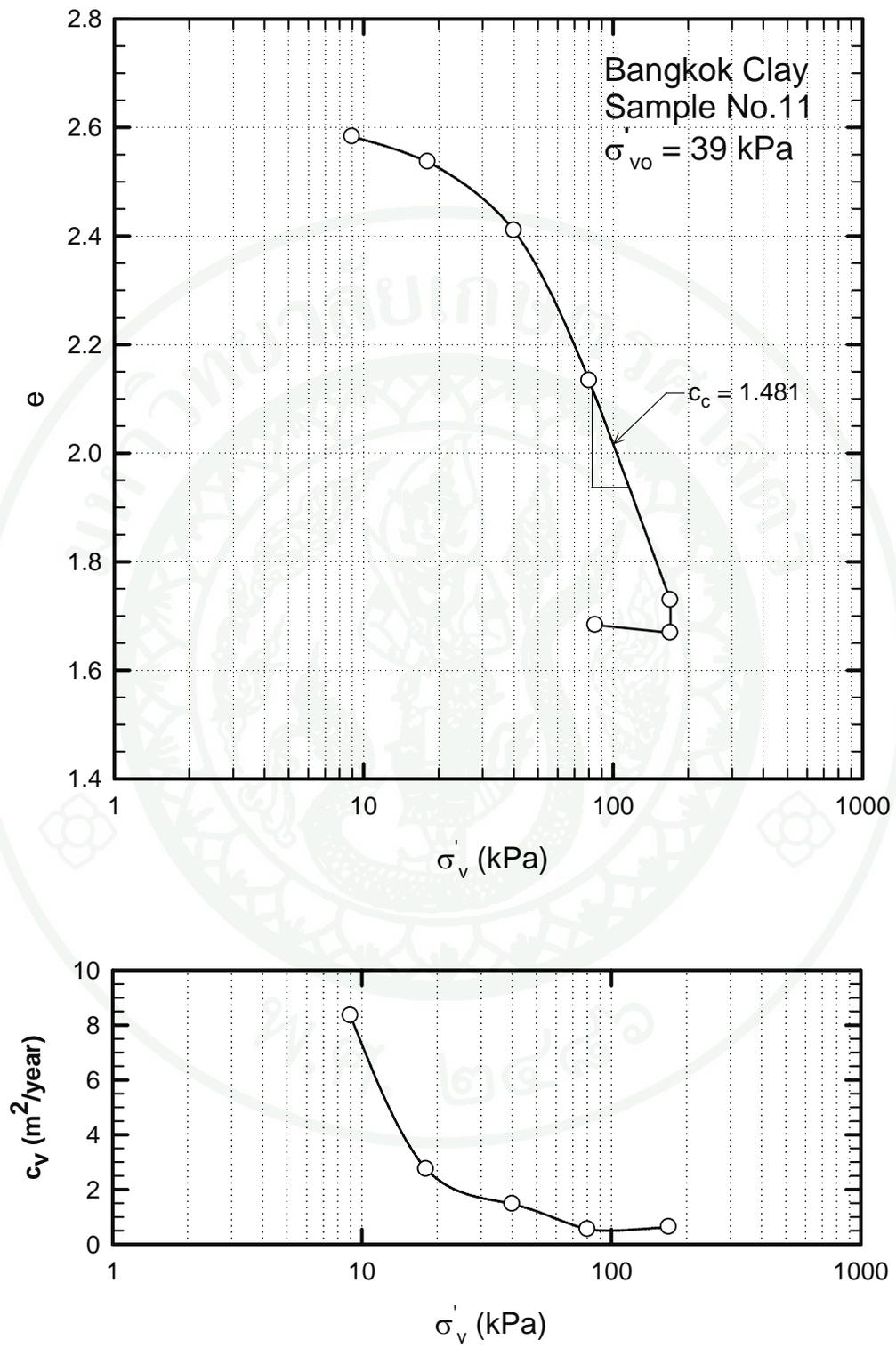
ภาพผนวกที่ 31 Sample No. 10



ภาพผนวกที่ 32 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No. 10

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 11		SPECIMEN DIMENSIONS HT. <u>19.7</u> mm DIA. <u>50.2</u> mm AREA 20.3482 cm ² VOL. 39.272 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. <u>19.3</u> mm I.D. METEERIAL _____			COMPUTED _____
LIQUID LIMIT, % 90	PLASTIC LIMIT, % 32	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14.4		DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 5/4/2551
					TEST BY อรุณ ปราบนภ
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	113.91		50.16	48.38	101.45
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			33.1	32.8	63.78
WT WATER, g	113.91		17.06	15.58	37.67
WT CONTAINER, g	60.52		15.31	17.36	26.83
WT DRY SHALE, g			17.79	15.44	36.95
WATER CONTENT%	99.58		95.90	100.91	101.95
			99.58		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	37.095				
WT OF SOLID, gm	26.751				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.284				
VOLUME OF VOID, cm ³	26.81				
VOID RATIO	2.607				
VOLUME OF WATER cm ³	26.811				
DEGREE OF SATURATION, %	100.0				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.524				

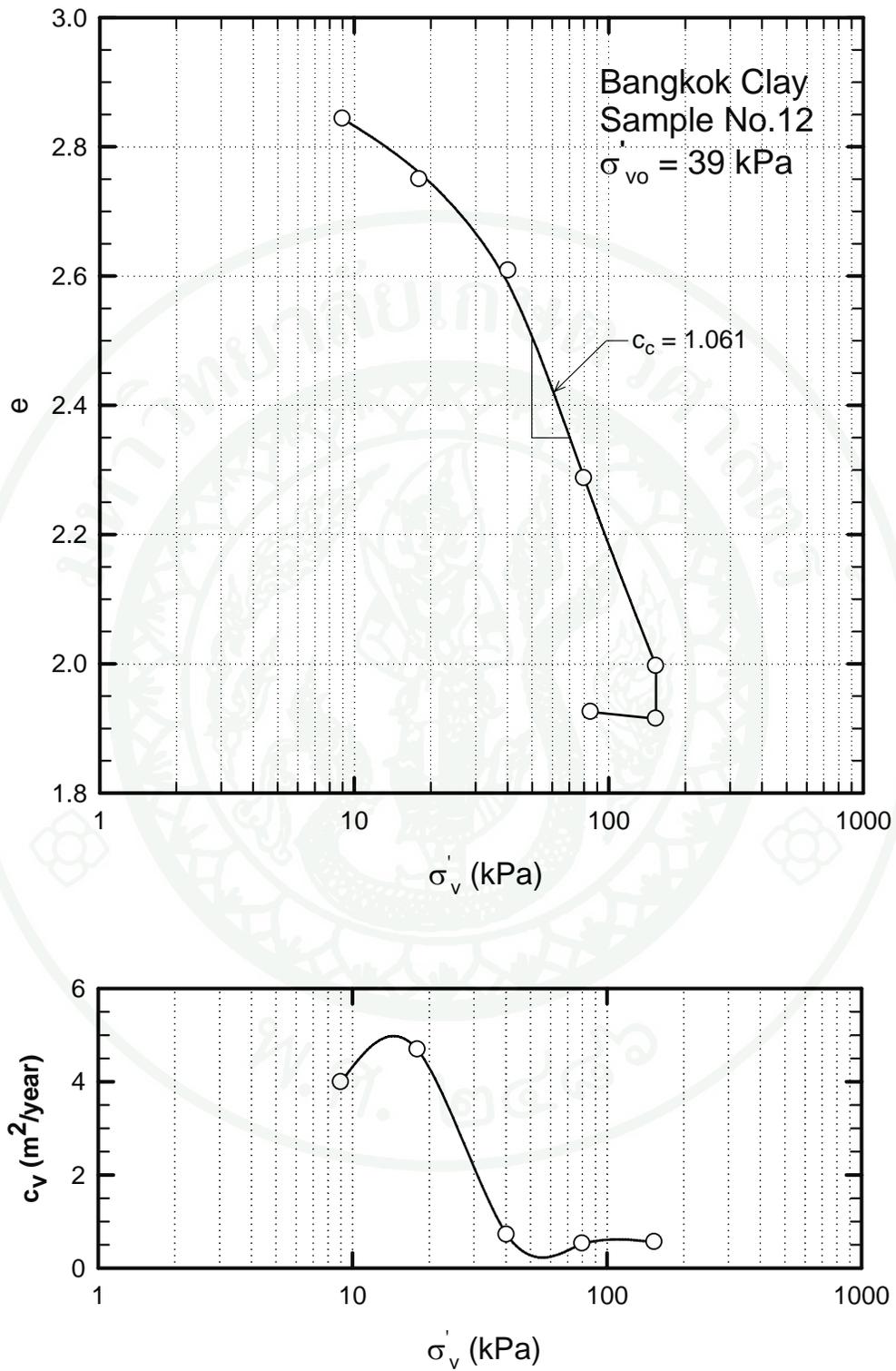
ภาพผนวกที่ 33 Sample No. 11



ภาพผนวกที่ 34 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No. 11

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 12		SPECIMEN DIMENSIONS HT.19.0 mm DIA.63.3 mm AREA 31.26 cm ² VOL.59.793 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.0 mm I.D. MATERIAL _____			COMPUTED _____
LIQUID LIMIT, % 90	PLASTIC LIMIT, % 32	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14.4		DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 21/4/2551
					TEST BY อรุณ ปรามมาก
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	169.8		38.06	44.72	57.3
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			26.4	31.73	38.87
WT WATER, g	169.8		11.66	12.99	18.43
WT CONTAINER, g	80.88		13.01	17.3	17.8
WT DRY SHALE, g			10.85	9.43	15.51
WATER CONTENT%	88.2		87.08	90.02	87.47
			88.19		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	59.793				
WT OF SOLID, gm	47.250				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	18.166				
VOLUME OF VOID, cm ³	41.63				
VOID RATIO	2.292				
VOLUME OF WATER cm ³	41.627				
DEGREE OF SATURATION, %	100.00				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.577				

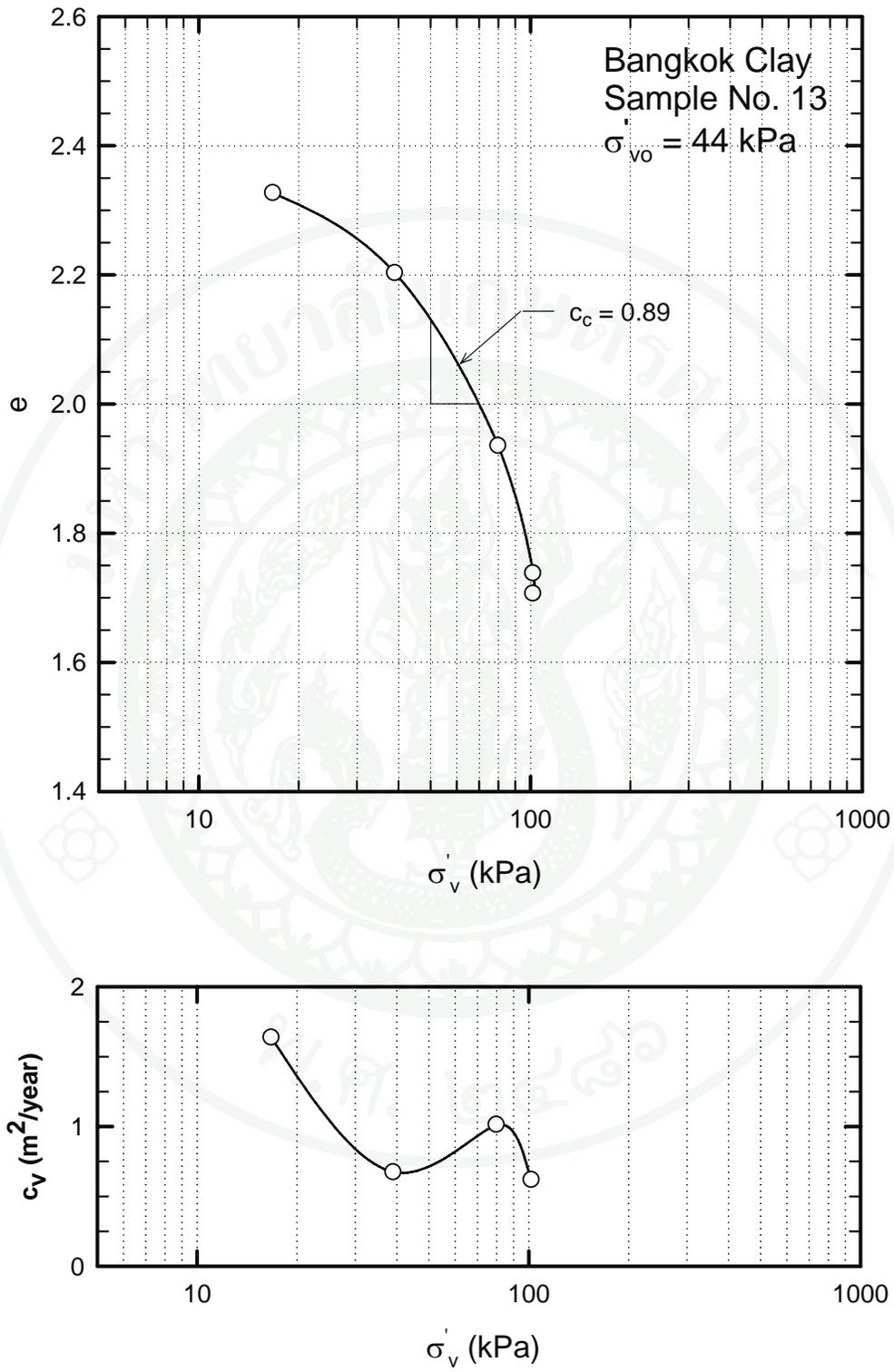
ภาพผนวกที่ 35 Sample No. 12



ภาพผนวกที่ 36 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.12

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2	DEPTH 7.5 - 8.1 m	MATERIAL Bangkok Clay	
TEST NO. 13		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.89 cm, DIA. 4.96 cm AREA 19.64cm ² VOL.37.11 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.89 cm I.D. METERIAL		COMPUTED 0	CHECKED 0
LIQUID LIMIT, % 104	PLASTIC LIMIT, % 26	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15	DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 28/6/2551	TEST BY อรุณ ปราบนภ
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	115.4		44.28	54.01	52.40
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			31.13	40.33	35.17
WT WATER, g	115.4		13.15	13.68	17.23
WT CONTAINER, g	60.52		17.30	26.08	17.23
WT DRY SHALE, g			13.83	14.25	17.94
WATER CONTENT%	96.02		95.08	96.00	96.04
			96.02		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	36.33				
WT OF SOLID, gm	28.00				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.76				
VOLUME OF VOID, cm ³	25.56				
VOID RATIO	2.375				
VOLUME OF WATER cm ³	25.56				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.557				

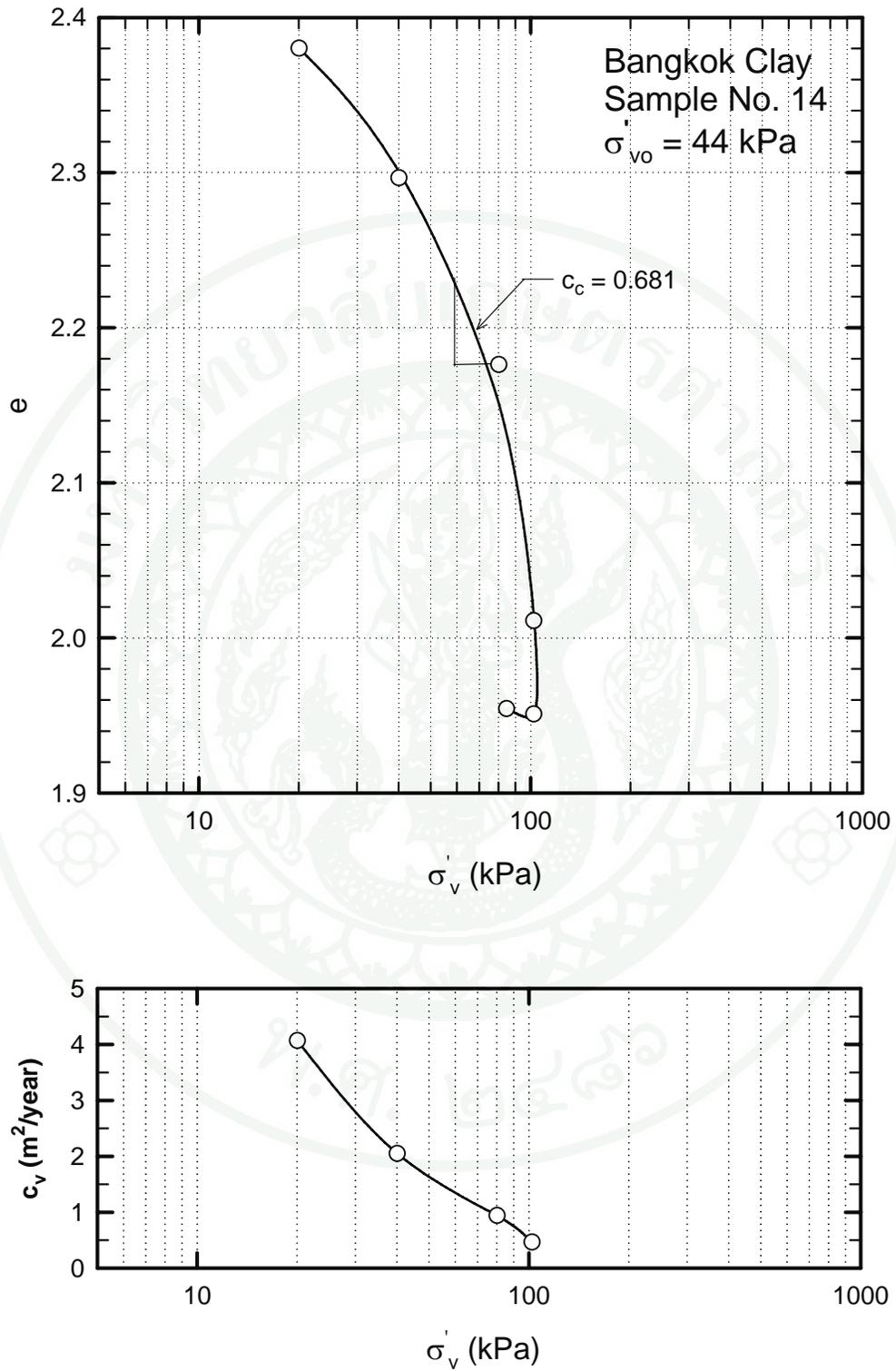
ภาพผนวกที่ 37 Sample No. 13



ภาพผนวกที่ 38 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.13

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 7.5 - 8.1 m	
TEST NO. 14		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 2.00 cm DIA. 4.98 cm AREA 19.49 cm ² VOL. 38.99 cm ³			MATERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 2.00 cm I.D. MATERIAL _____			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.76
LIQUID LIMIT, % 104		PLASTIC LIMIT, % 37		TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15	
				DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 12/7/2551	
				TEST BY อรุณ ปราณมาภ	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g			30.83	43.70	36.75
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			21.61	28.20	24.89
WT WATER, g			9.22	15.50	11.86
WT CONTAINER, g			12.30	13.04	13.06
WT DRY SHALE, g			9.31	15.16	11.83
WATER CONTENT%			99.03	102.24	100.25
				101.25	
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	38.99				
WT OF SOLID, gm	29.49				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.80				
VOLUME OF VOID, cm ³	28.19				
VOID RATIO	2.61				
VOLUME OF WATER cm ³	28.19				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.554				

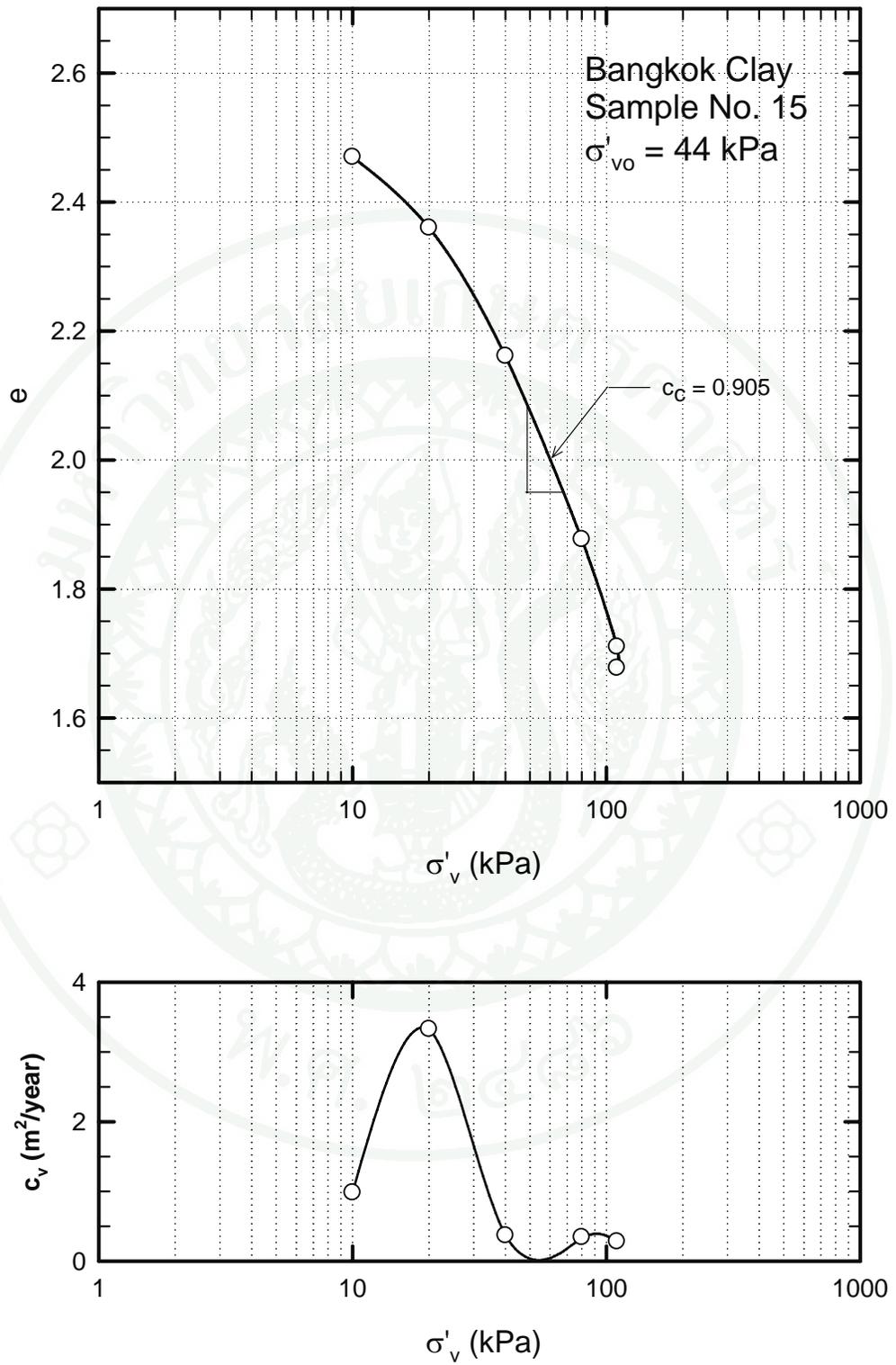
ภาพผนวกที่ 39 Sample No. 14



ภาพผนวกที่ 40 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.14

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2	DEPTH 7.5 - 8.1 m		MATERIAL Bangkok Clay
TEST NO. 15		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 18.90mm DIA. 50.00 mm AREA 19.63 cm ² VOL. 37.11 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.76
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 18.9 mm I.D. MATERIAL _____		COMPUTED _____ CHECKED _____	
LIQUID LIMIT, % 104	PLASTIC LIMIT, % 37	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15	DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 14/10/2551 TEST BY อรุณ ปราณภัก	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	123.39		39.35	44.87	44.98
WT DRY SHALE + CONTAINER, g	118.89		27.6	30.62	30.23
WT WATER, g			11.75	14.25	14.75
WT CONTAINER, g			15.38	15.51	15.00
WT DRY SHALE, g			12.22	15.11	15.23
WATER CONTENT%	95.77		96.15	94.31	96.85
			95.77		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	37.11				
WT OF SOLID, gm	28.29				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.37				
VOLUME OF VOID, cm ³	26.74				
VOID RATIO	2.58				
VOLUME OF WATER cm ³	26.74				
DEGREE OF SATURATION, %	100.00				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.528				

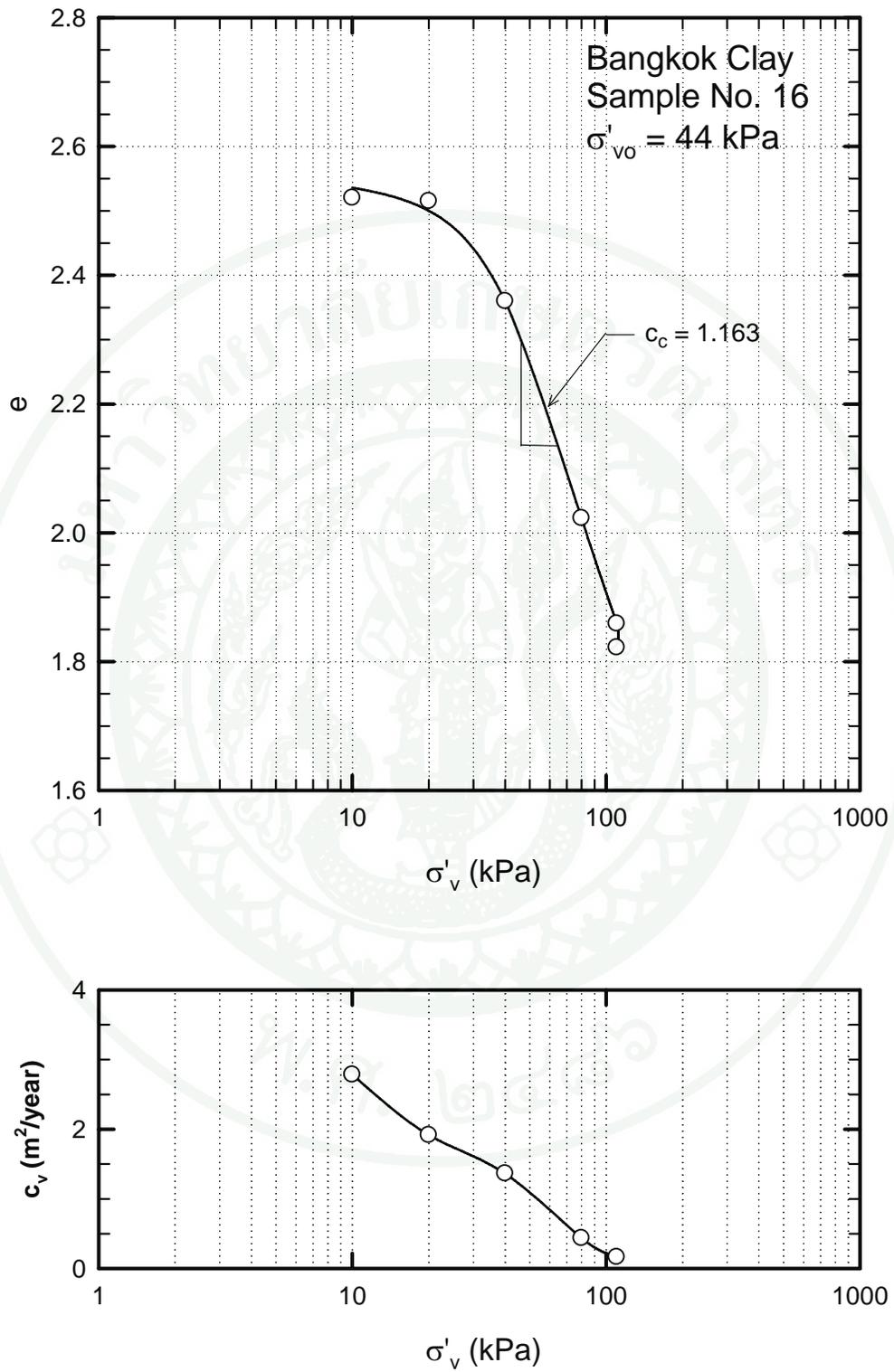
ภาพผนวกที่ 41 Sample No. 15



ภาพผนวกที่ 42 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.15

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 7.5 - 8.1 m	
TEST NO. 16		SPECIMEN DIMENSIONS HT.19.5mm DIA.49.66mm AREA 19.37 cm ² VOL.37.77 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.76
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.5 mm I.D			METERIAL _____
LIQUID LIMIT, % 104		PLASTIC LIMIT, % 37		TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15	
				DRY UNIT WEIGHT kPa	
				COMPUTED _____	
				CHECKED _____	
				DATE 11/11/2551	
				TEST BY อรุณ ปราบนภก	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g		68.5	45.68	50.51	56.75
WT DRY SHALE + CONTAINER, g		46.03	36.05	34.28	37.78
WT WATER, g		22.47	9.63	16.23	18.97
WT CONTAINER, g		17.66	26.02	17.45	17.34
WT DRY SHALE, g		28.37	10.03	16.83	20.44
WATER CONTENT%		79.20	96.01	96.43	92.81
				95.09	
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	37.77				
WT OF SOLID, gm	29.03				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.64				
VOLUME OF VOID, cm ³	27.13				
VOID RATIO	2.551				
VOLUME OF WATER cm ³	27.13				
DEGREE OF SATURATION, %	85.69				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.549				

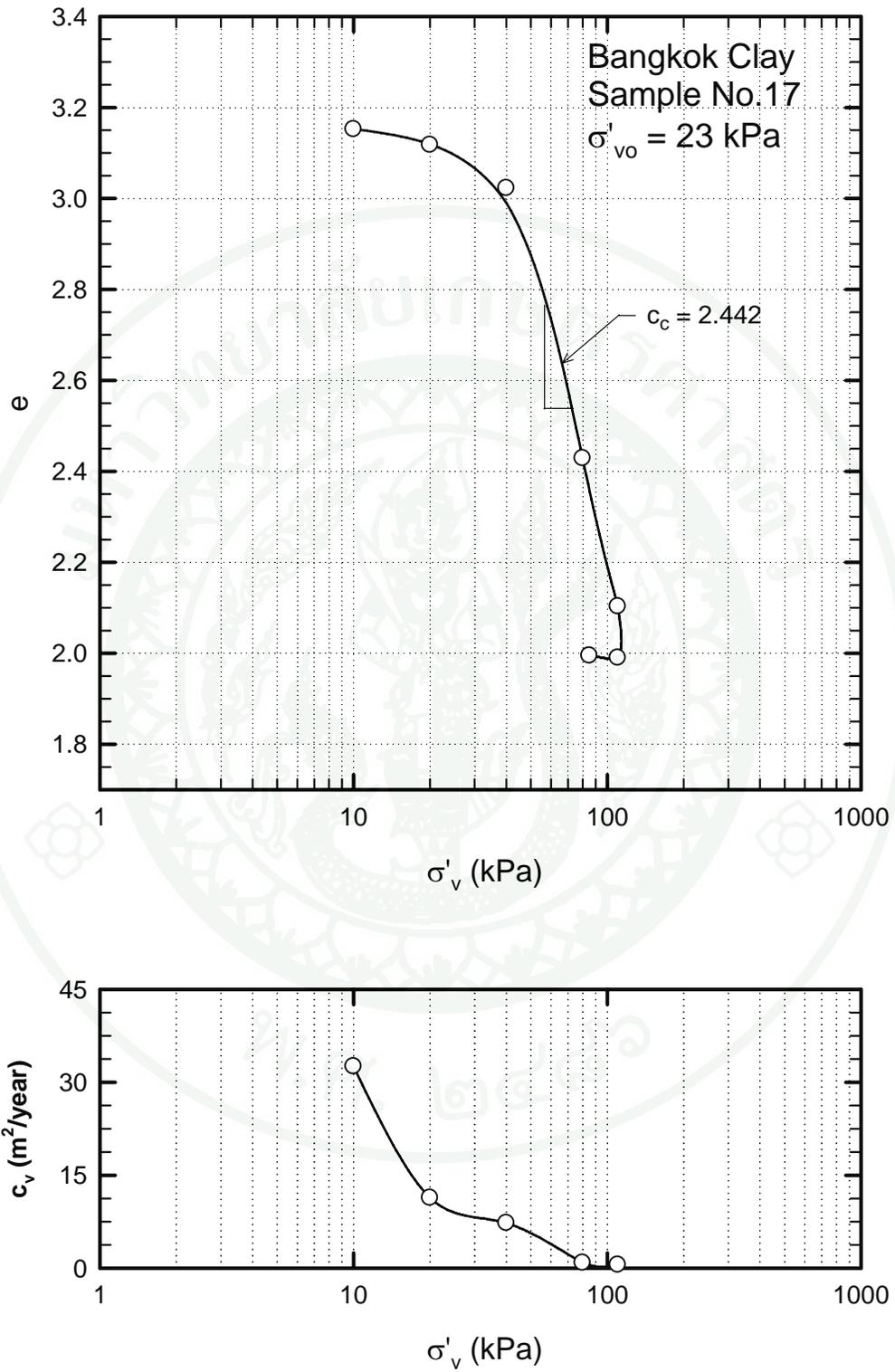
ภาพผนวกที่ 43 Sample No. 16



ภาพผนวกที่ 44 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.16

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 3.0 - 3.6 m	
TEST NO. 17		SPECIMEN DIMENSIONS HT.19.5mm DIA.49.66mm AREA 19.37 cm ² VOL.37.77 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.69
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.5 mm I.D			METERIAL _____
LIQUID LIMIT, % 130		PLASTIC LIMIT, % 35		TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14.1	
				DRY UNIT WEIGHT kPa	
				COMPUTED _____	
				CHECKED _____	
				DATE 16/11/2551	
				TEST BY อรุณ ปราบนภ	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g		71.44	48.82	45.30	44.60
WT DRY SHALE + CONTAINER, g		49.86	31.46	30.10	29.80
WT WATER, g		21.58	17.36	15.20	14.80
WT CONTAINER, g		26.58	17.31	17.55	17.60
WT DRY SHALE, g		23.28	14.15	12.55	12.20
WATER CONTENT%		92.70	122.69	121.12	121.31
				121.70	
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	37.77				
WT OF SOLID, gm	24.04				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	9.04				
VOLUME OF VOID, cm ³	28.73				
VOID RATIO	3.179				
VOLUME OF WATER cm ³	28.73				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.467				

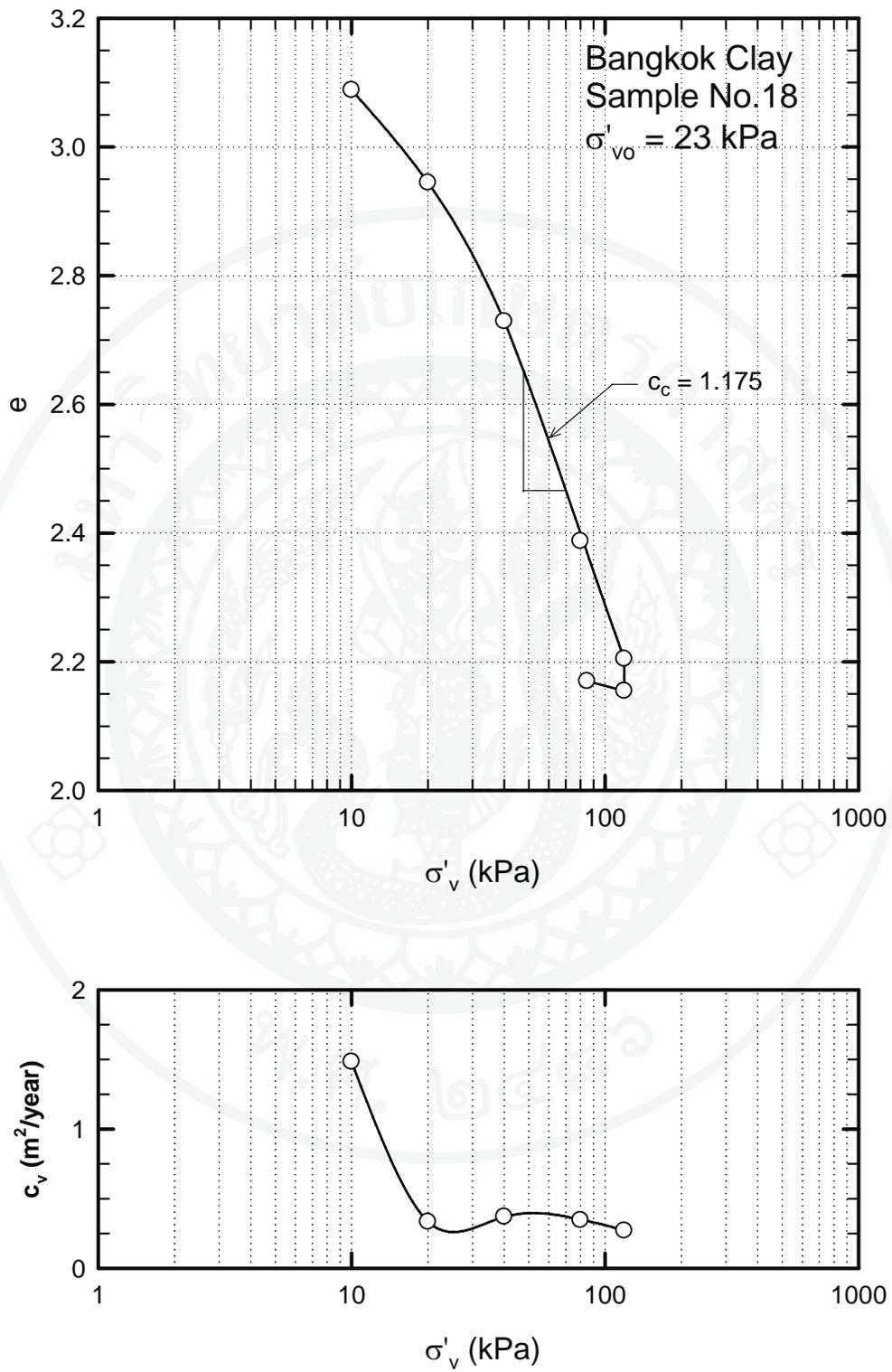
ภาพผนวกที่ 45 Sample No. 17



ภาพผนวกที่ 46 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.17

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 3.0 - 3.6 m	
TEST NO. 18		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.89 cm DIA. 5.02 cm AREA 19.63 cm ² VOL. 37.10 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.93 cm I.D. METERIAL _____			COMPUTED CHECKED
LIQUID LIMIT, % 130	PLASTIC LIMIT, % 35	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14.1		DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 16/11/2551 TEST BY อรุณ ปราบนภ	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g		59.71	51.87	51.94	43.19
WT DRY SHALE + CONTAINER, g		39.90	32.96	33.81	30.56
WT WATER, g		19.81	18.91	18.13	12.63
WT CONTAINER, g		17.40	17.41	18.96	20.06
WT DRY SHALE, g		22.50	15.55	14.85	10.50
WATER CONTENT%		88.04	121.61	122.09	120.29
				121.19	
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	37.11				
WT OF SOLID, gm	22.88				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	8.80				
VOLUME OF VOID, cm ³	28.31				
VOID RATIO	3.218				
VOLUME OF WATER cm ³	28.31				
DEGREE OF SATURATION, %	99.03				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.448				

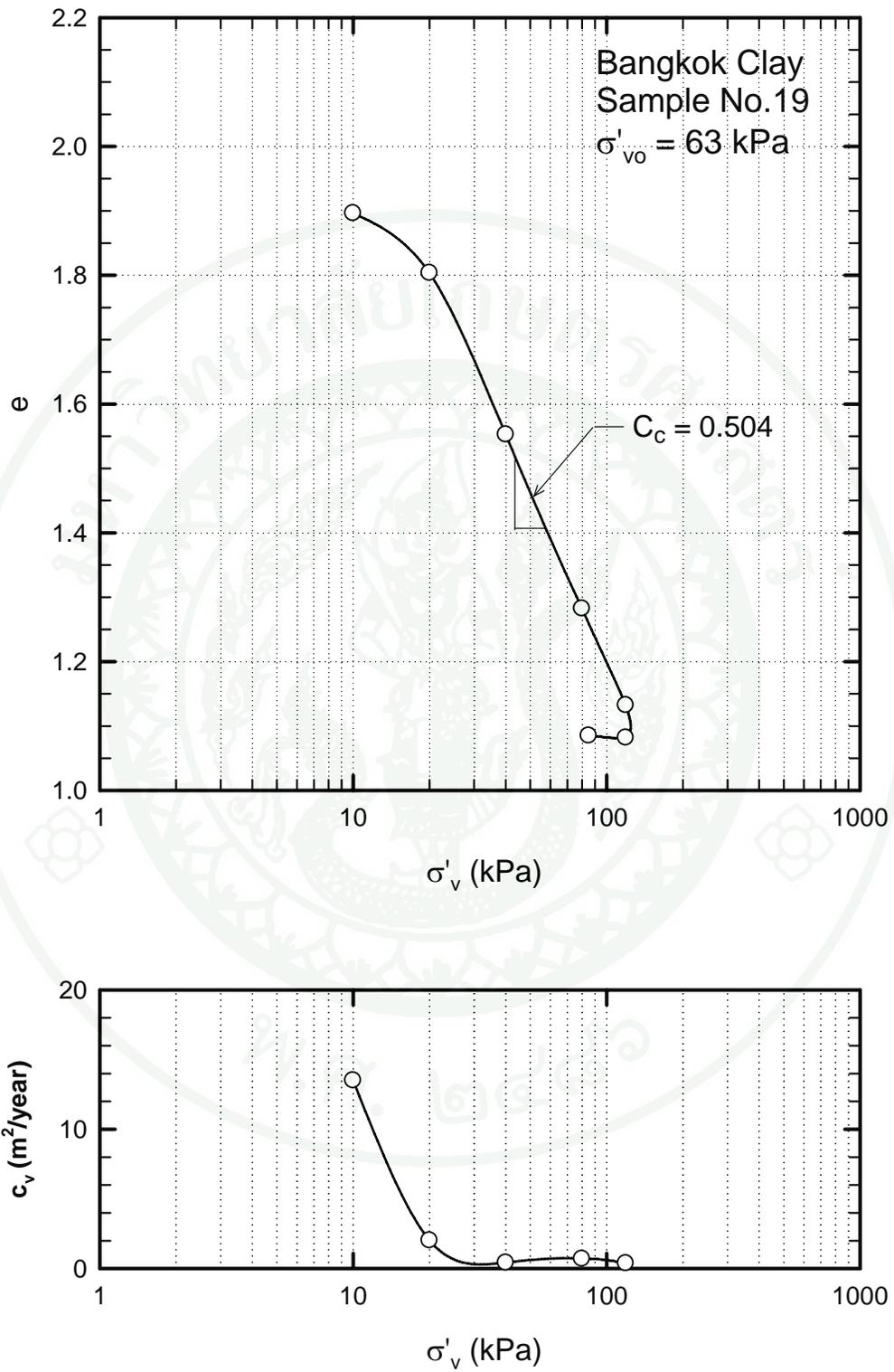
ภาพผนวกที่ 47 Sample No. 18



ภาพผนวกที่ 48 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.18

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 10.5 - 11.1 m	
TEST NO. 19		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.88 cm DIA. 5.0 cm AREA 19.640 cm ² VOL. 37.10 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.76
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.93 cm I.D. METERIAL _____			COMPUTED CHECKED
LIQUID LIMIT, % 57	PLASTIC LIMIT, % 19	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 17.6		DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 11/11/2551	
				TEST BY อรุณ ปราบนภ	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g		90.28	47.40	49.69	45.35
WT DRY SHALE + CONTAINER, g		72.63	36.60	37.78	35.57
WT WATER, g		17.65	10.80	11.91	9.78
WT CONTAINER, g		32.99	17.44	17.38	17.37
WT DRY SHALE, g		39.64	19.16	20.40	18.20
WATER CONTENT%		44.53	56.37	58.38	53.74
				56.06	
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	37.11				
WT OF SOLID, gm	33.53				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	12.28				
VOLUME OF VOID, cm ³	24.83				
VOID RATIO	2.021				
VOLUME OF WATER cm ³	24.83				
DEGREE OF SATURATION, %	76.56				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.626				

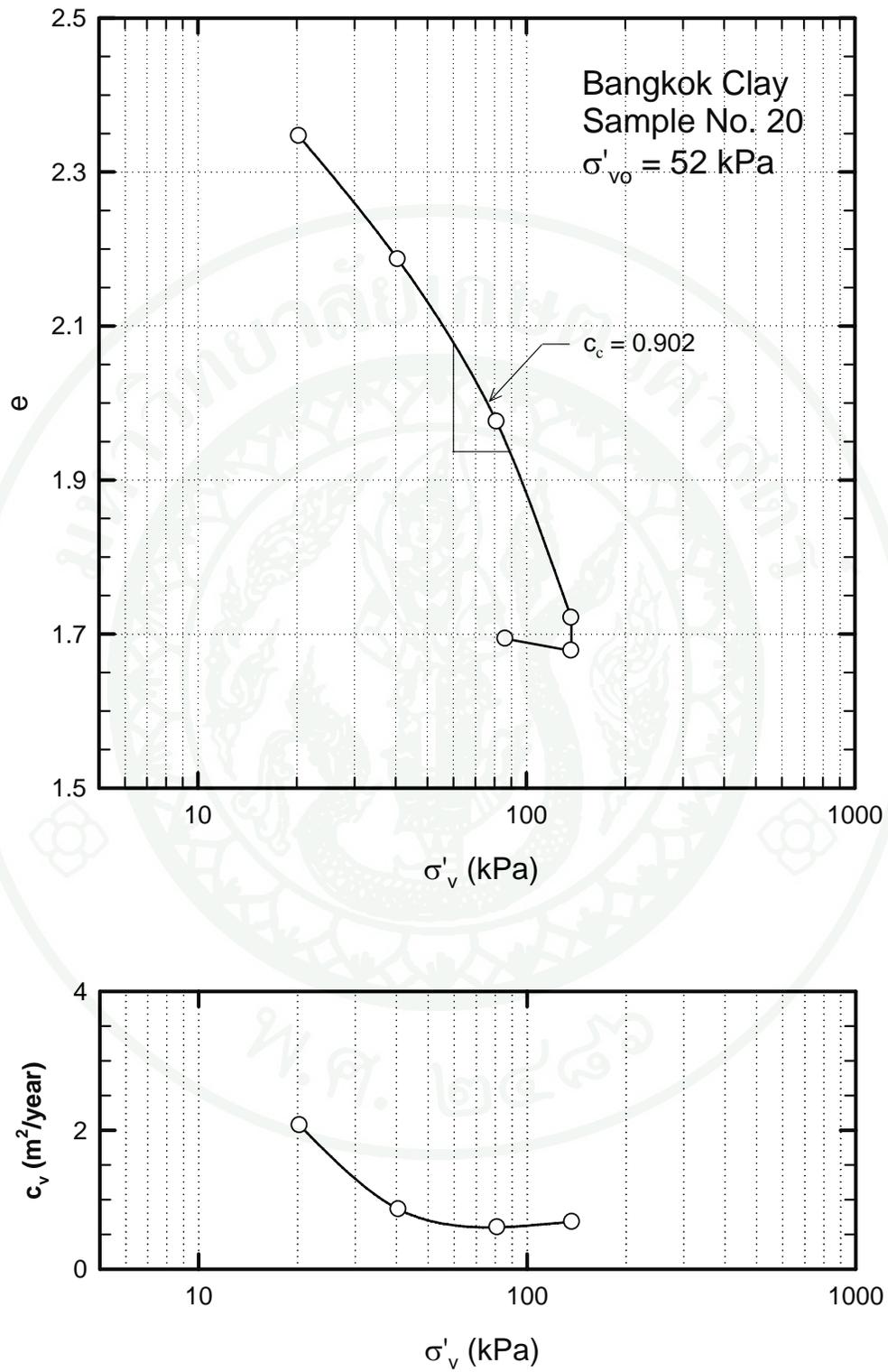
ภาพผนวกที่ 49 Sample No. 19



ภาพผนวกที่ 50 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.19

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2	DEPTH 9.0-9.6 m		MATERIAL Bangkok Clay
TEST NO. 20		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.87 cm DIA. 4.96 cm AREA 19.32cm ² VOL.36.17 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.76
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.87 cm I.D. MATERIAL		COMPUTED 0 CHECKED 0	
LIQUID LIMIT, % 98	PLASTIC LIMIT, % 34	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15.7	DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 12/7/2551	TEST BY อรุณ ปราบนภ
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g			39.78	35.07	31.11
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			27.21	24.78	22.50
WT WATER, g			12.57	10.29	8.61
WT CONTAINER, g			13.08	13.17	12.97
WT DRY SHALE, g			14.13	11.61	9.53
WATER CONTENT%			88.96	88.63	90.35
			89.49		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	36.17				
WT OF SOLID, gm	28.99				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.62				
VOLUME OF VOID, cm ³	25.55				
VOID RATIO	2.405				
VOLUME OF WATER cm ³	25.55				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.550				

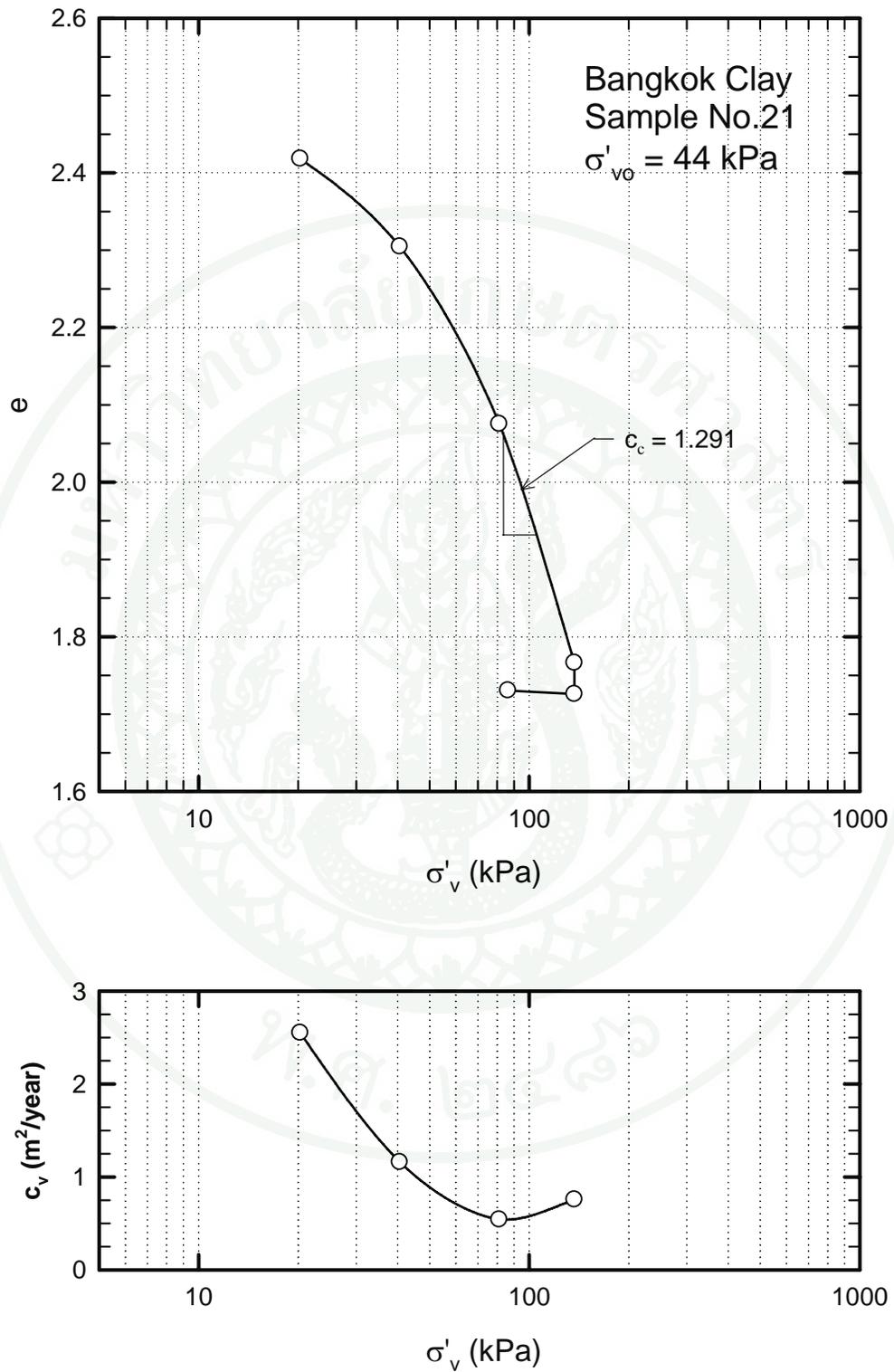
ภาพผนวกที่ 51 Sample No. 20



ภาพผนวกที่ 52 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.20

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 7.5 - 8.1 m	
TEST NO. 21		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.87 cm DIA. 4.96 cm AREA 19.32cm ² VOL.36.17 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.76
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.87 cm I.D. METERIAL _____			COMPUTED _____ CHECKED _____
LIQUID LIMIT, % 104	PLASTIC LIMIT, % 37	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15		DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 21/7/2551 TEST BY อรุณ ปราบนภ	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g		66.2	34.67	50.84	45.53
WT DRY SHALE + CONTAINER, g		45.33	26.52	38.89	35.99
WT WATER, g		20.87	8.15	11.95	9.54
WT CONTAINER, g		17.22	17.16	26.06	25.98
WT DRY SHALE, g		28.11	9.36	12.83	10.01
WATER CONTENT%		74.24	87.07	93.14	95.30
				94.22	
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	36.17				
WT OF SOLID, gm	28.51				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.45				
VOLUME OF VOID, cm ³	25.72				
VOID RATIO	2.462				
VOLUME OF WATER cm ³	25.72				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.541				

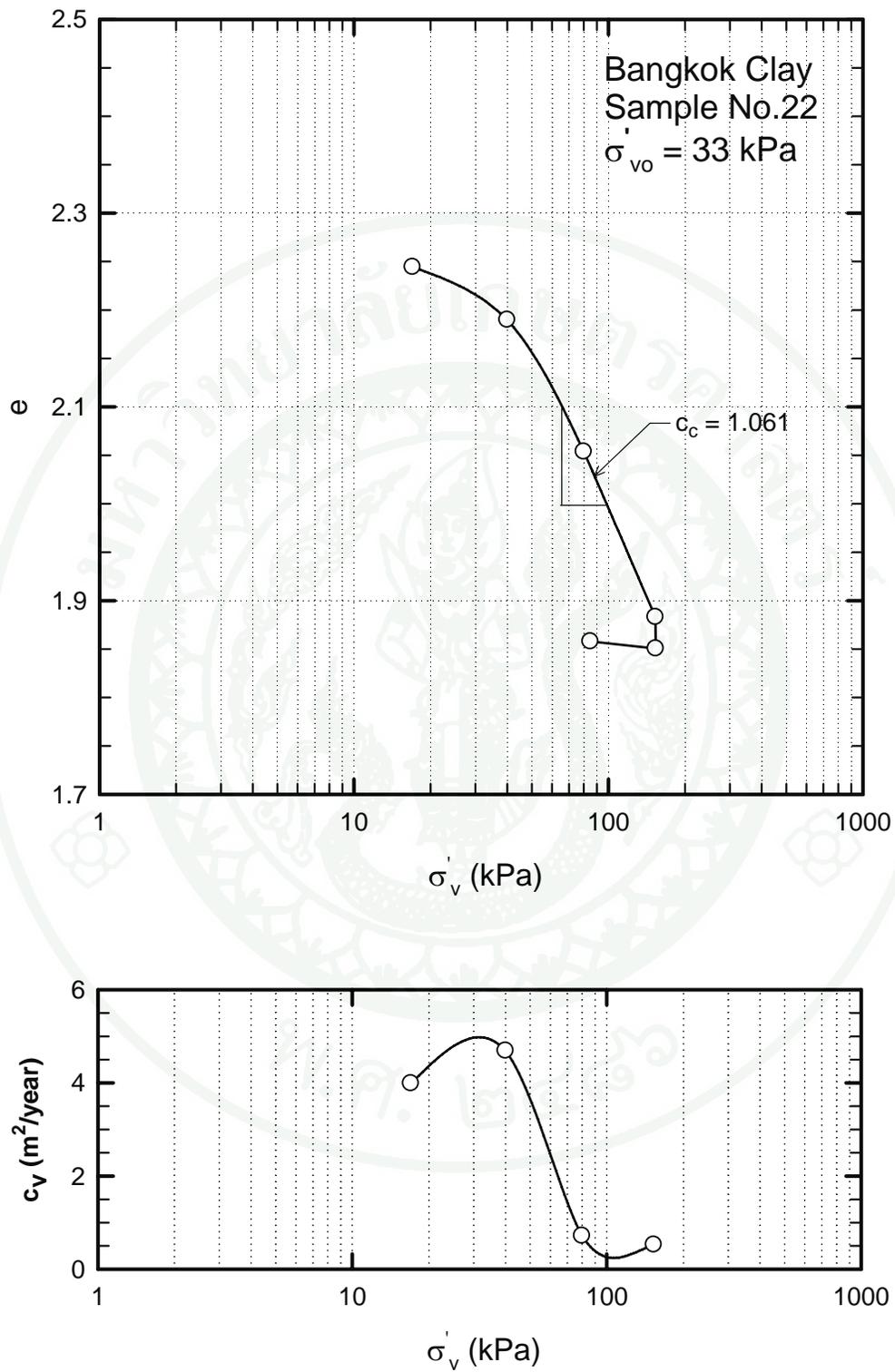
ภาพผนวกที่ 53 Sample No. 21



ภาพผนวกที่ 54 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.21

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 22		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.9 cm DIA. 6.33 cm AREA 31.26 cm ² VOL. 59.793 cm ³			MATERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.9 cm I.D. METEIRAL			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LIQUID LIMIT, % 98		PLASTIC LIMIT, % 34		TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15.7	
				DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 11/11/2008	
				TEST BY อรุณ ปราบมาท	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	169.80		38.06	44.72	57.30
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			26.40	31.73	38.87
WT WATER, g	169.80		11.66	12.99	18.43
WT CONTAINER, g	80.88		13.01	17.30	17.80
WT DRY SHALE, g			10.85	9.43	15.51
WATER CONTENT%	88.19		87.08	90.02	87.47
			88.19		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	59.793				
WT OF SOLID, gm	47.250				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	18.166				
VOLUME OF VOID, cm ³	41.63				
VOID RATIO	2.292				
VOLUME OF WATER cm ³	41.627				
DEGREE OF SATURATION, %	100.00				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.577				

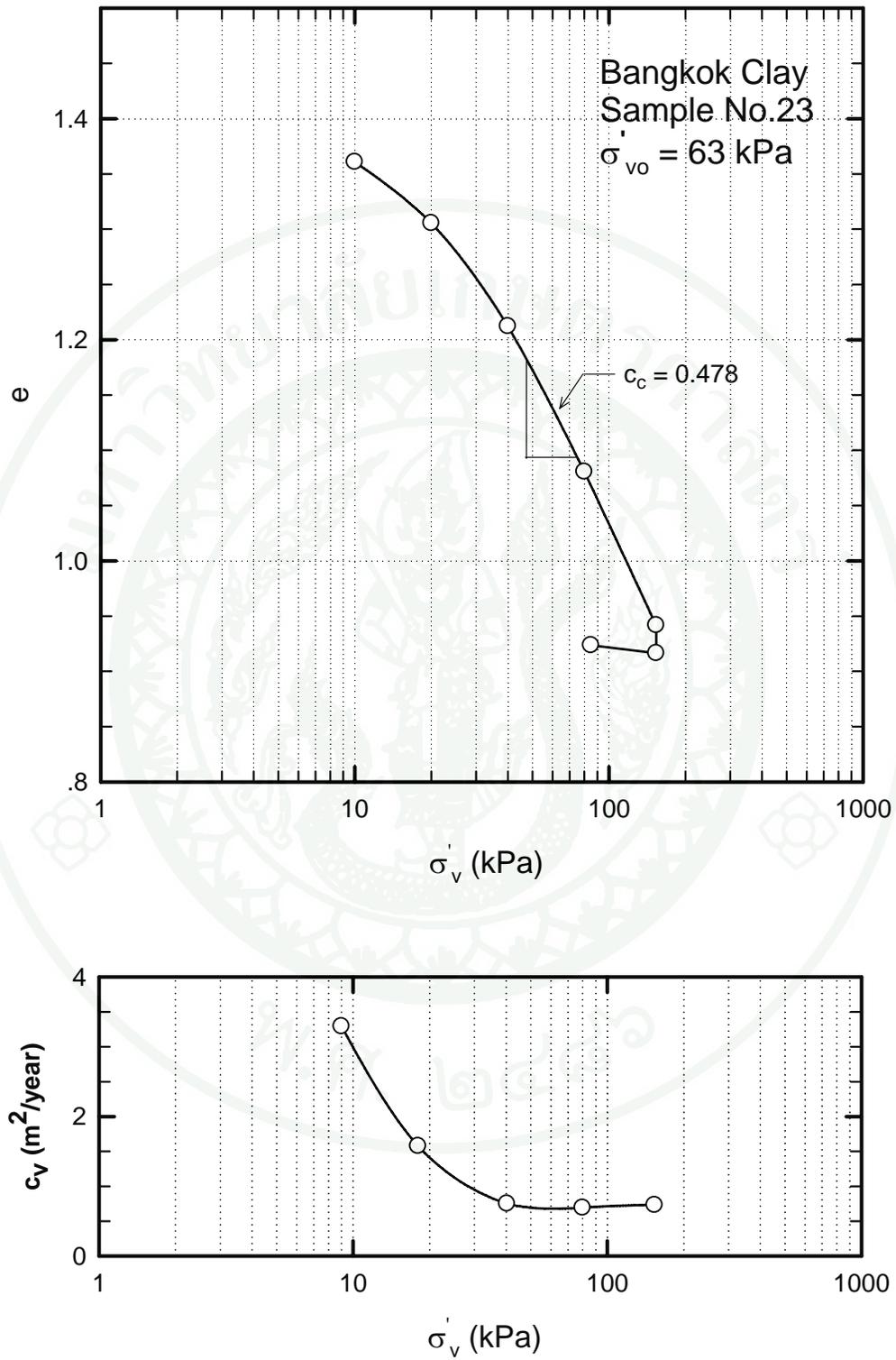
ภาพผนวกที่ 55 Sample No. 22



ภาพผนวกที่ 56 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.22

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 10.5 - 11.1 m	
TEST NO. 23		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 19.0 mm DIA 4.99 mm AREA 19.56 cm ² VOL. 38.72 cm ³			MATERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.0 mm I.D. MATERIAL _____			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.76
LIQUID LIMIT, % 57		PLASTIC LIMIT, % 19		TOTAL UNIT WEIGHT kPa 17.6	
				COMPUTED _____ 0	
				CHECKED _____ 0	
				DATE 3/12/2551	
				TEST BY อรุณ ปรามภัก	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g			28.63	33.09	32.94
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			23.06	28.45	25.95
WT WATER, g			5.57	4.64	6.99
WT CONTAINER, g			12.92	19.71	13.26
WT DRY SHALE, g			10.14	8.74	12.69
WATER CONTENT%			54.93	53.09	55.08
			54.37		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	38.722				
WT OF SOLID, gm	43.811				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	16.050				
VOLUME OF VOID, cm ³	22.67				
VOID RATIO	1.412				
VOLUME OF WATER cm ³	22.672				
DEGREE OF SATURATION, %	100.00				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.821				

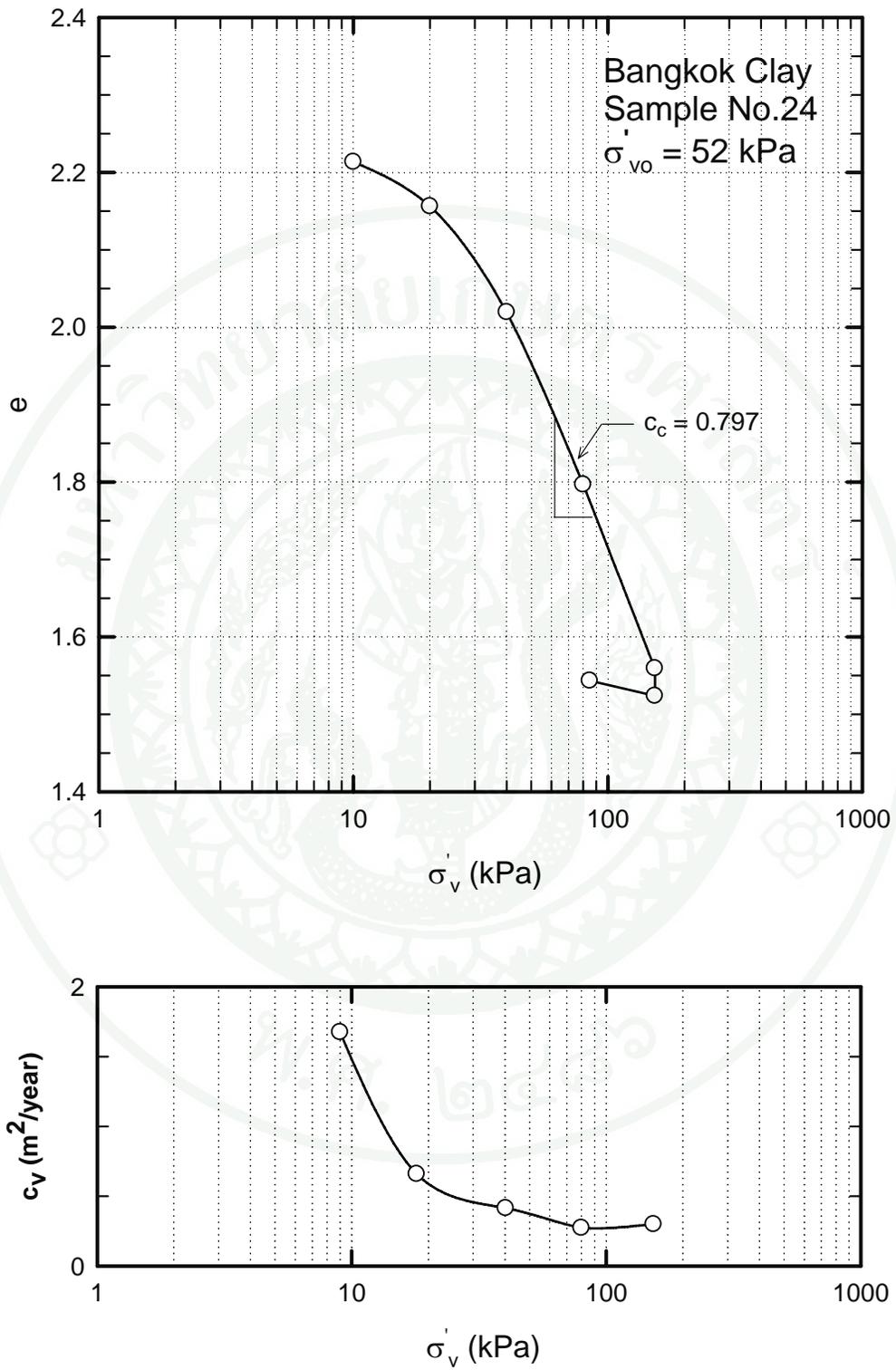
ภาพผนวกที่ 57 Sample No. 23



ภาพผนวกที่ 58 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.23

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 24		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 19.0 mm DIA. 49.9 mm AREA 19.57 cm ² VOL. 38.72 cm ³			MATERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 19.0 mm I.D. MATERIAL _____			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.76
LIQUID LIMIT, % 98		PLASTIC LIMIT, % 34		TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15.7	
				COMPUTED _____ 0 CHECKED _____ 0	
				DATE 11/11/2551 TEST BY อรุณ ปราบมวก	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g			39.43	33.95	45.59
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			29.70	26.18	36.73
WT WATER, g			9.73	7.77	8.86
WT CONTAINER, g			18.35	17.30	26.60
WT DRY SHALE, g			11.35	8.88	10.13
WATER CONTENT%			85.73	87.50	87.46
			86.90		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	38.722				
WT OF SOLID, gm	32.606				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	11.945				
VOLUME OF VOID, cm ³	26.78				
VOID RATIO	2.242				
VOLUME OF WATER cm ³	26.777				
DEGREE OF SATURATION, %	100.00				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.611				

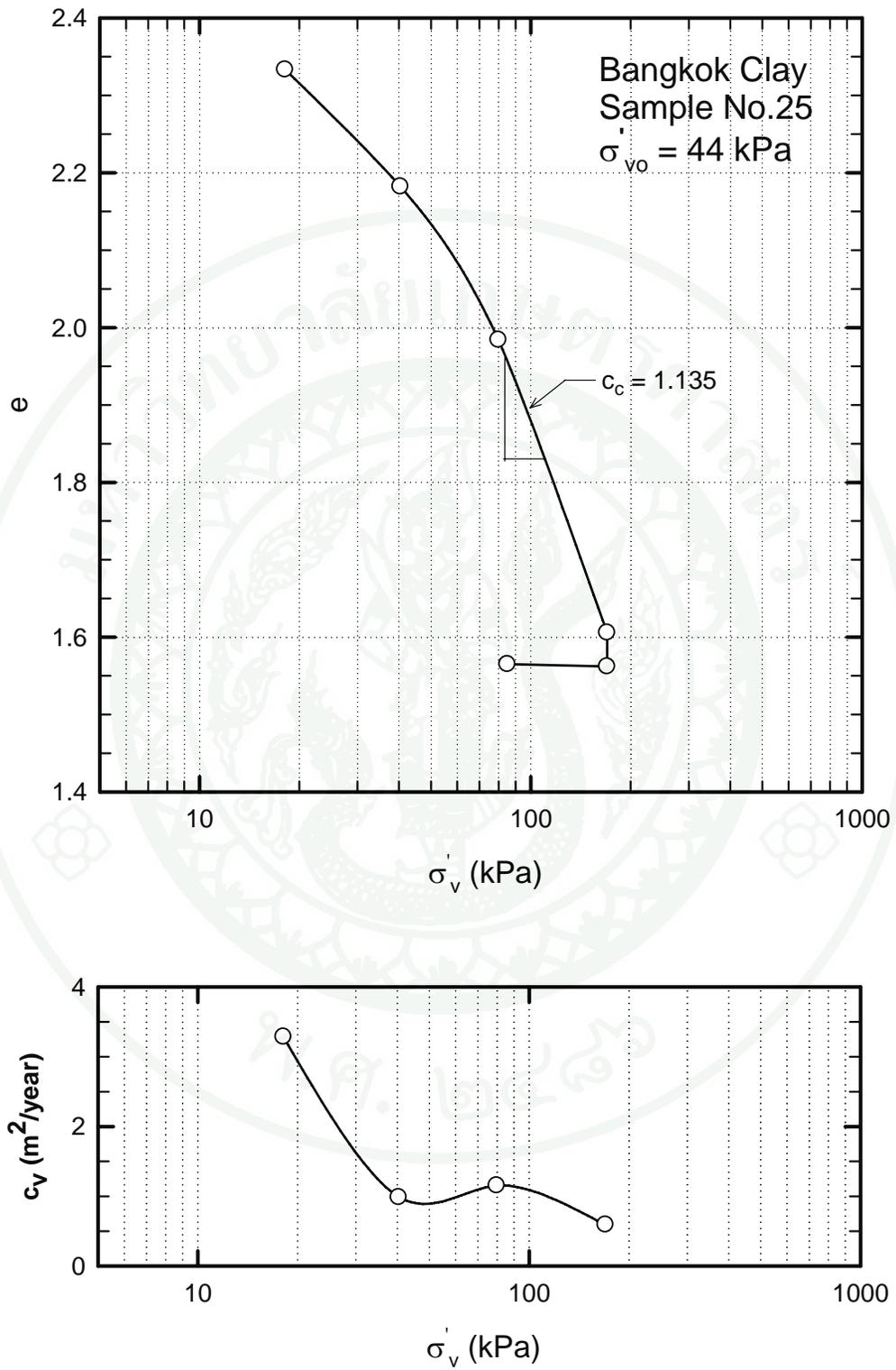
ภาพผนวกที่ 59 Sample No. 24



ภาพผนวกที่ 60 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.24

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 7.5 - 8.1 m	
TEST NO. 25		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.9 cm DIA. 6.33 cm AREA 31.47 cm ² VOL. 59.79 cm ³			MATERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.9 cm I.D. MATERIAL			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LIQUID LIMIT, % 104		PLASTIC LIMIT, % 36		TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15	
				DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 28/6/2551	
				TEST BY อรุณ ปรามมาก	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g			56.03	44.53	75.70
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			41.47	30.83	51.73
WT WATER, g			14.56	13.70	23.97
WT CONTAINER, g			26.65	17.52	27.04
WT DRY SHALE, g			14.82	13.31	24.69
WATER CONTENT%			98.25	102.93	97.08
			99.42		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	59.79				
WT OF SOLID, gm	43.23				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	16.19				
VOLUME OF VOID, cm ³	43.61				
VOID RATIO	2.694				
VOLUME OF WATER cm ³	43.61				
DEGREE OF SATURATION, %	99.6				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.514				

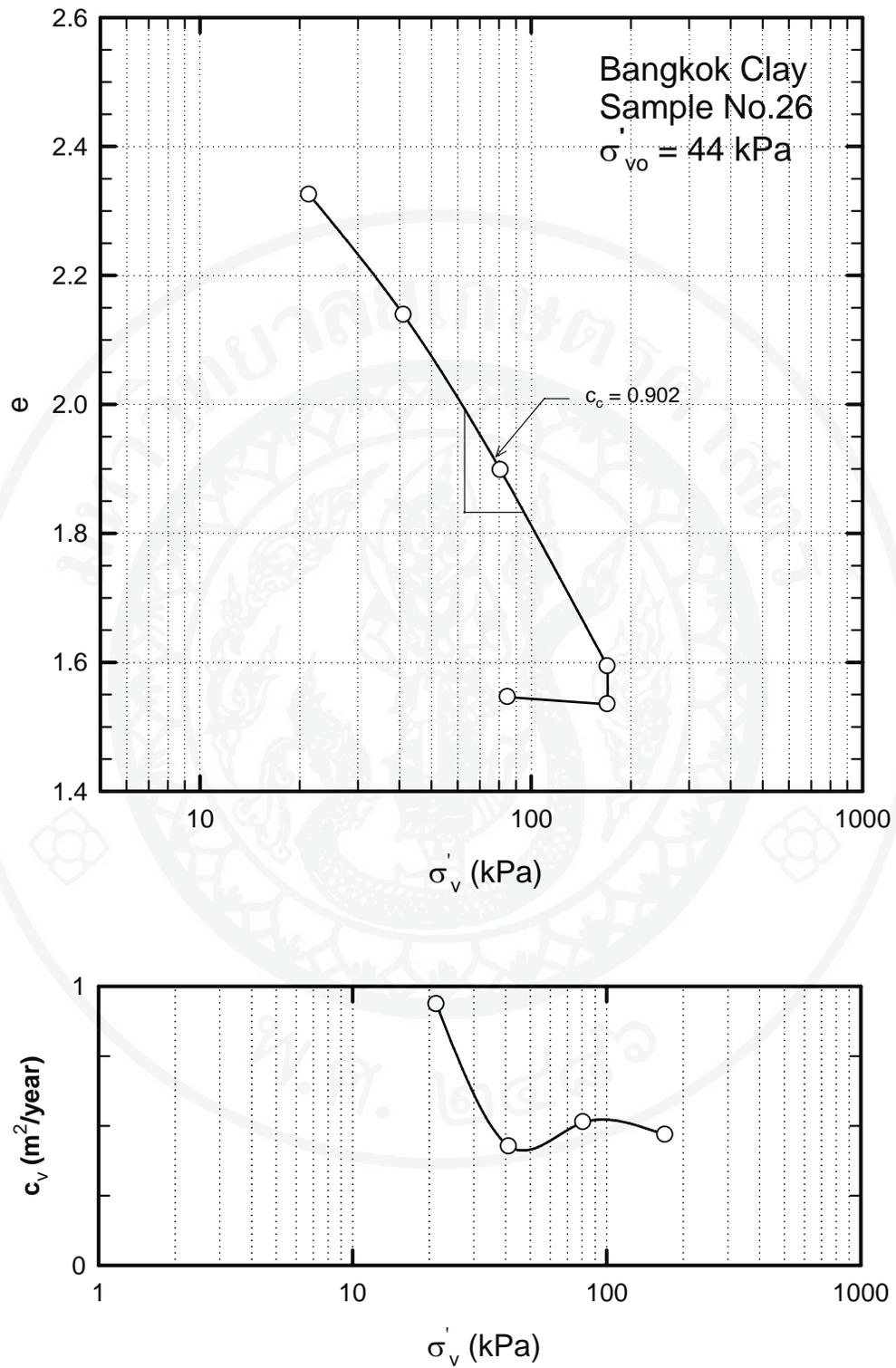
ภาพผนวกที่ 61 Sample No. 25



ภาพผนวกที่ 62 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.25

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 7.5 - 8.1 m	
TEST NO. 26		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.9 cm DIA. 5.02 cm AREA 19.79 cm ² VOL. 38.99 cm ³			MATERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.9 cm I.D. MATERIAL			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LIQUID LIMIT, % 104		PLASTIC LIMIT, % 36		TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15	
				DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 12/7/2551	
				TEST BY อรุณ ปราบนภ	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g	108.87		36.45	46.71	40.42
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			24.4	29.63	26.37
WT WATER, g	108.87		12.05	17.08	14.05
WT CONTAINER, g	50.81		12.92	13.04	12.93
WT DRY SHALE, g			11.48	16.59	13.44
WATER CONTENT%	104.15		104.97	102.95	104.54
				104.15	
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	38.991				
WT OF SOLID, gm	28.440				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	10.419				
VOLUME OF VOID, cm ³	28.57				
VOID RATIO	2.742				
VOLUME OF WATER cm ³	28.572				
DEGREE OF SATURATION, %	100.0				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.526				

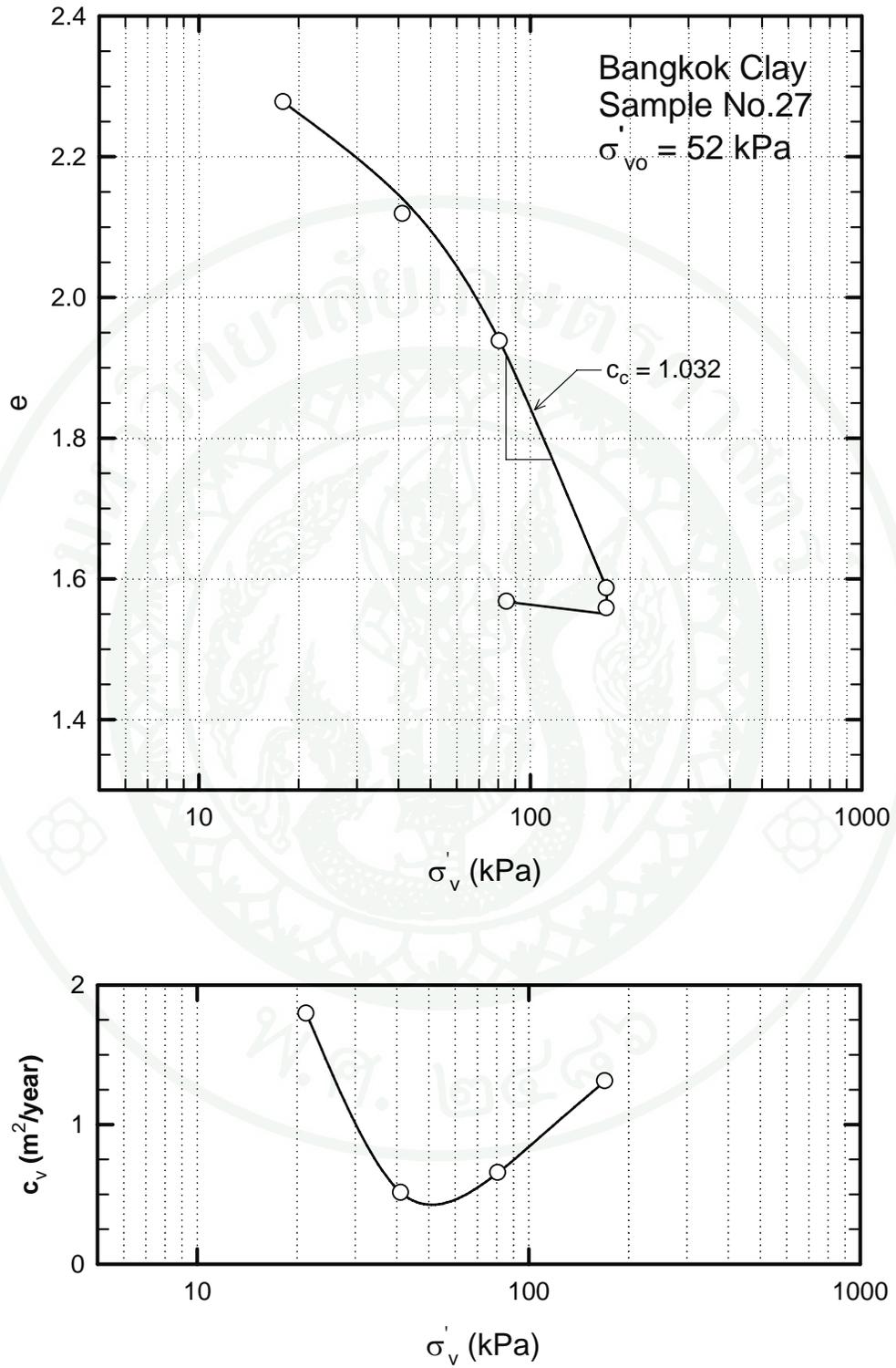
ภาพผนวกที่ 63 Sample No. 26



ภาพผนวกที่ 64 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.26

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 27		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.88 cm DIA. 6.35 cm AREA 31.67 cm ² VOL. 59.38 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.63
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.88 cm I.D. METERIAL _____			COMPUTED _____ CHECKED _____
LIQUID LIMIT, % 98	PLASTIC LIMIT, % 34	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 15.7		DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 21/7/2551 TEST BY อรุณ ปราบนภ	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g		94.4	51.04	28.21	36.00
WT DRY SHALE + CONTAINER, g		62.83	32.83	20.93	24.99
WT WATER, g		31.57	18.21	7.28	11.01
WT CONTAINER, g		17.49	12.38	12.96	13.07
WT DRY SHALE, g		45.34	20.45	7.97	11.92
WATER CONTENT%		69.63	89.05	91.34	92.37
				90.92	
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	59.5				
WT OF SOLID, gm	46.4				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	17.9				
VOLUME OF VOID, cm ³	41.7				
VOID RATIO	2.335				
VOLUME OF WATER cm ³	41.7				
DEGREE OF SATURATION, %	100.0				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.564				

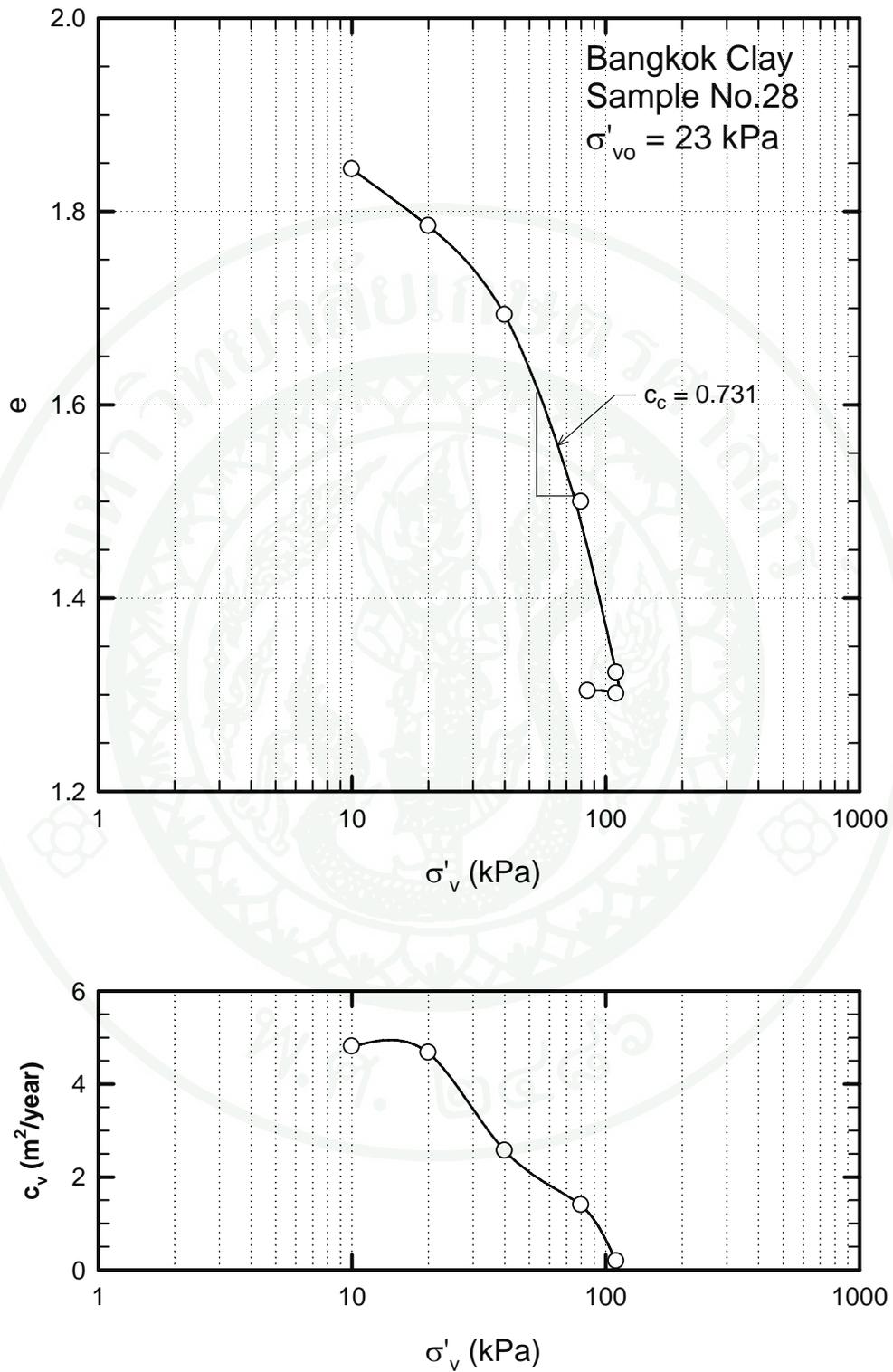
ภาพผนวกที่ 65 Sample No. 27



ภาพผนวกที่ 66 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.27

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 3.0-3.6 m	
TEST NO. 28		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 19.4 mm DIA. 50.00 mm AREA 19.63 cm ² VOL. 38.09 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.69
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 18.9 mm I.D. MATERIAL _____			COMPUTED _____ CHECKED _____
LIQUID LIMIT, % 130	PLASTIC LIMIT, % 35	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14.1		DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 5/2/2552 TEST BY อรุณ ปราบมาก	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g			29.91	31.28	41.25
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			22.65	23.69	29.27
WT WATER, g			7.26	7.59	11.98
WT CONTAINER, g			13.14	12.88	12.30
WT DRY SHALE, g			9.51	10.81	16.97
WATER CONTENT%			76.34	70.21	70.60
			72.38		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	38.09				
WT OF SOLID, gm	35.15				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	13.21				
VOLUME OF VOID, cm ³	24.88				
VOID RATIO	1.883				
VOLUME OF WATER cm ³	24.88				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.673				

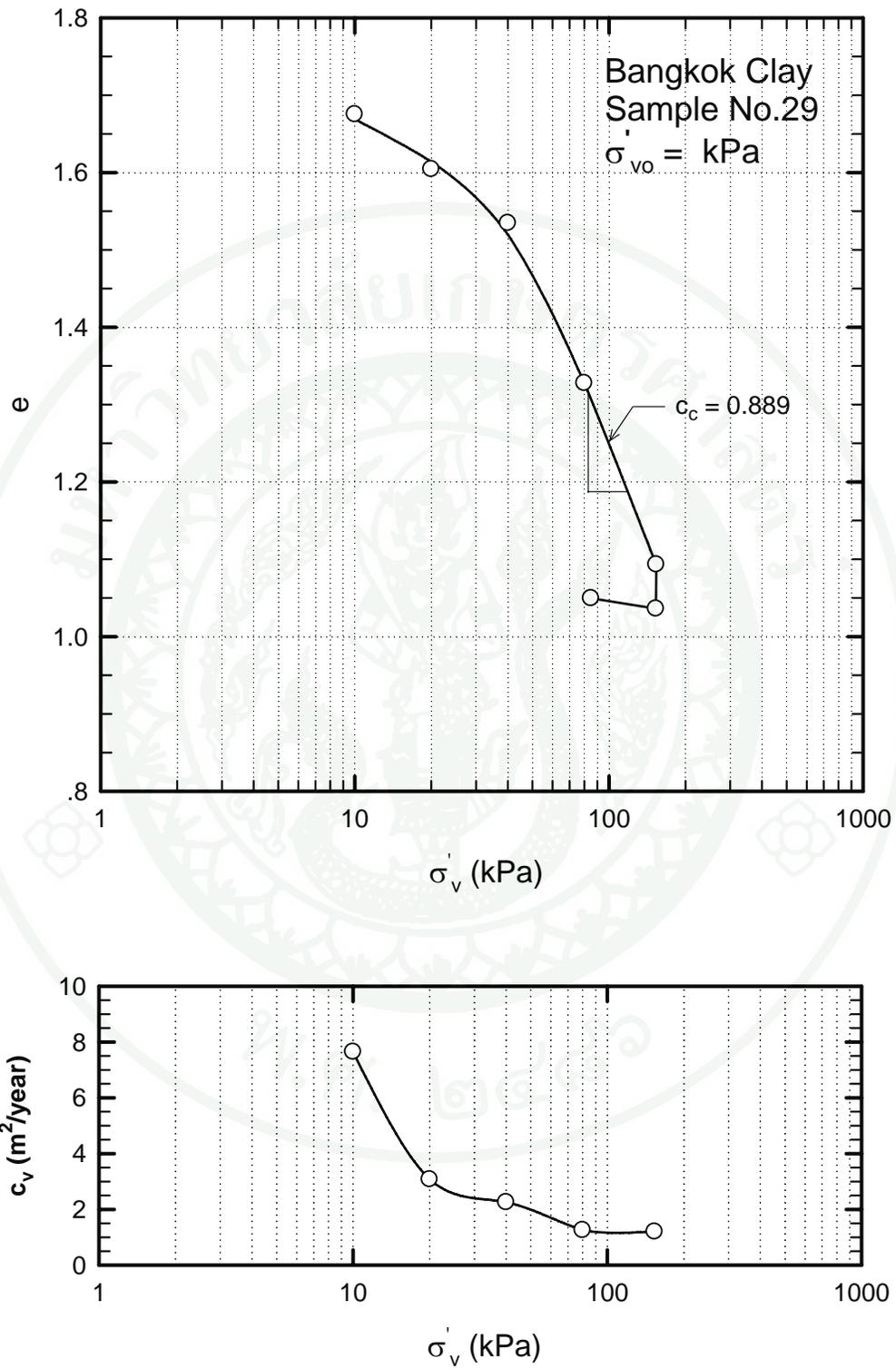
ภาพผนวกที่ 67 Sample No. 28



ภาพผนวกที่ 68 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.28

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 9.0 - 9.6 m	
TEST NO. 29		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.98 cm DIA. 5.0 cm AREA 19.63 cm ² VOL. 38.87 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.69
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.98 cm I.D. METERIAL _____			COMPUTED _____ CHECKED _____
LIQUID LIMIT, % 130	PLASTIC LIMIT, % 35	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14.1		DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 5/2/2009 TEST BY อรุณ ปราบนภ	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g			34.81	35.43	41.65
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			26.21	26.64	30.03
WT WATER, g			8.60	8.79	11.62
WT CONTAINER, g			13.23	13.08	13.07
WT DRY SHALE, g			10.85	9.43	15.51
WATER CONTENT%			66.26	64.82	68.51
			66.53		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	38.88				
WT OF SOLID, gm	37.86				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	14.23				
VOLUME OF VOID, cm ³	24.65				
VOID RATIO	1.732				
VOLUME OF WATER cm ³	24.65				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.725				

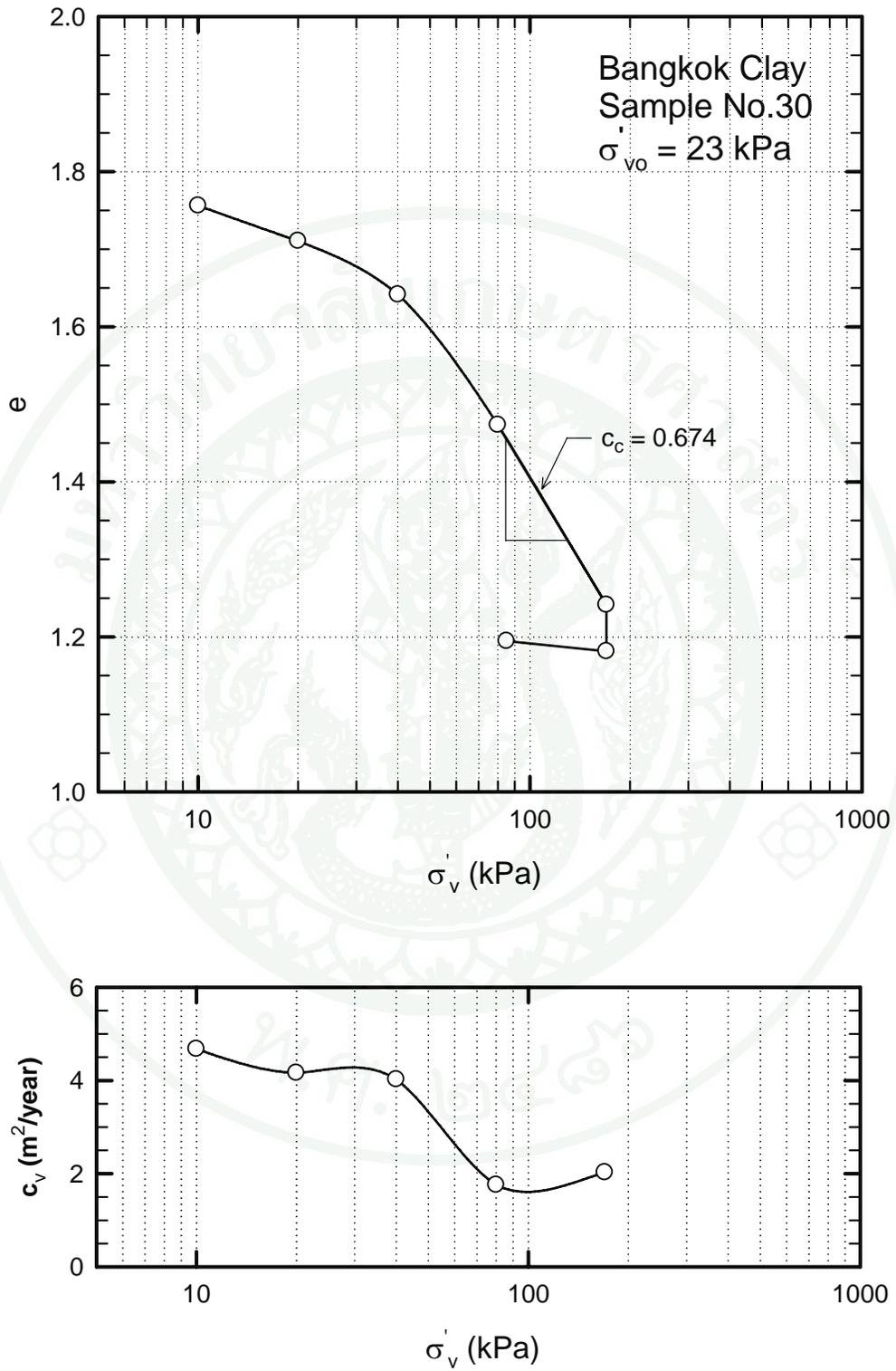
ภาพผนวกที่ 69 Sample No. 29



ภาพผนวกที่ 70 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.29

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2	DEPTH 9.0 - 9.6 m	MATERIAL Bangkok Clay	
TEST NO. 30		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.96 cm DIA. 5.06 cm AREA 320.11 cm ² VOL. 39.41 cm ³			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.69
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.96 cm I.D. METEIRAL _____		COMPUTED _____ 0	CHECKED _____ 0
LIQUID LIMIT, % 130	PLASTIC LIMIT, % 35	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14.1	DRY UNIT WEIGHT kPa	DATE 5/2/2552	TEST BY อรุณ ปราบมาก
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g			57.07	63.35	57.99
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			44.36	48.2	43.04
WT WATER, g			12.71	15.15	14.95
WT CONTAINER, g			26.75	26.21	21.03
WT DRY SHALE, g			17.61	21.99	22.01
WATER CONTENT%			72.17	68.89	67.92
				69.66	
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	39.4				
WT OF SOLID, gm	37.6				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	14.1				
VOLUME OF VOID, cm ³	25.3				
VOID RATIO	1.791				
VOLUME OF WATER cm ³	25.3				
DEGREE OF SATURATION, %	100.0				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.702				

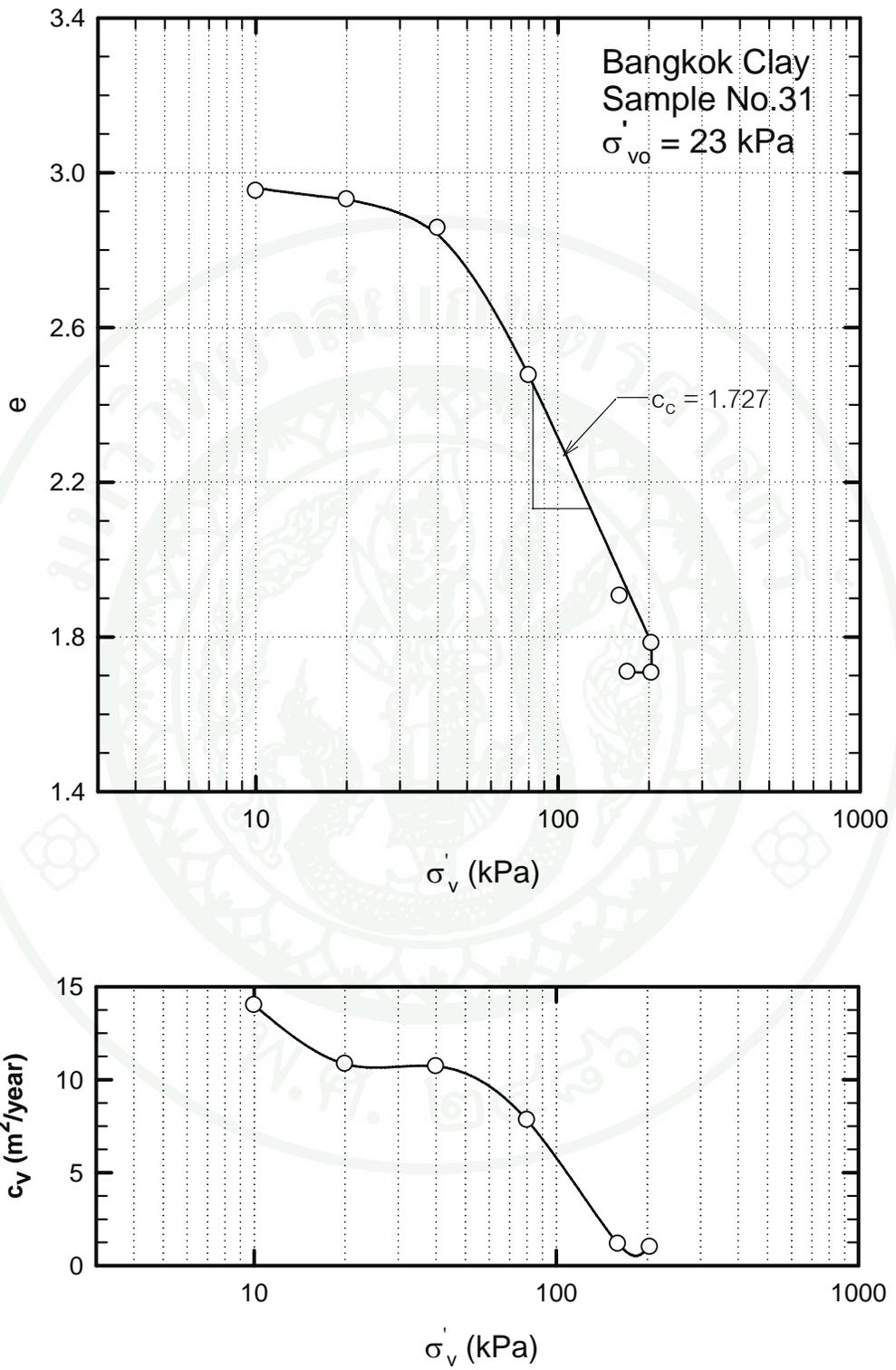
ภาพผนวกที่ 71 Sample No. 30



ภาพผนวกที่ 72 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.30

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 3.0 - 3.6 m	
TEST NO. 31		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.95 cm DIA. 4.96 cm AREA 19.36 cm ² VOL. 37.77 cm ³			MATERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.95 cm I.D. MATERIAL			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.69
LIQUID LIMIT, % 130		PLASTIC LIMIT, % 35		TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14.1	
				DRY UNIT WEIGHT kPa	
				DATE 19/12/2551	
				TEST BY อรุณ ปราบนภ	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g			44.27	42.44	42.8
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			29.33	33.99	29.26
WT WATER, g			14.94	8.45	13.54
WT CONTAINER, g			17.2	26.45	17.32
WT DRY SHALE, g			12.13	7.54	11.94
WATER CONTENT%			123.17	112.07	113.40
			112.73		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	37.77				
WT OF SOLID, gm	25.31				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	9.51				
VOLUME OF VOID, cm ³	28.25				
VOID RATIO	2.969				
VOLUME OF WATER cm ³	28.25				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.491				

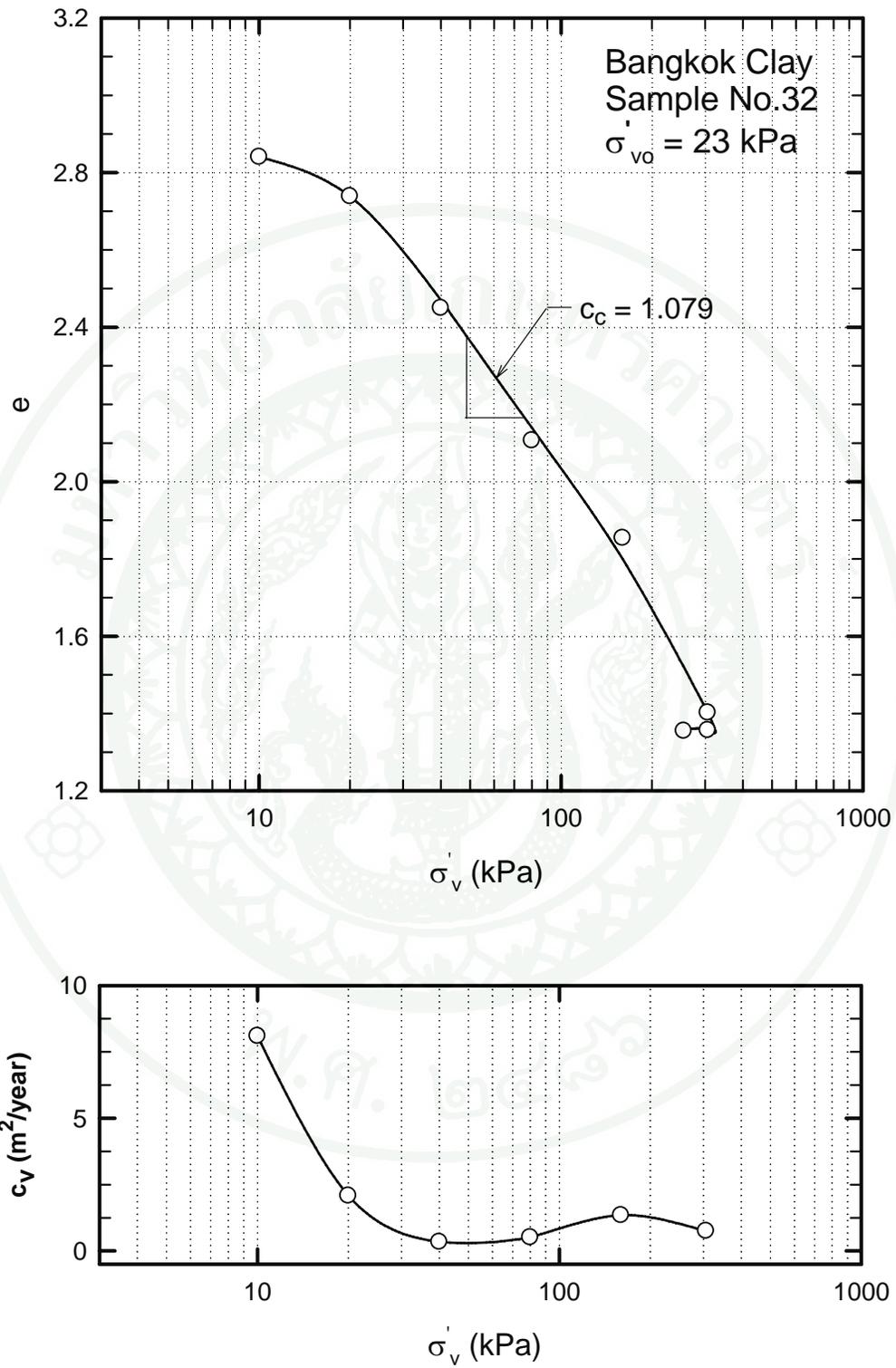
ภาพผนวกที่ 73 Sample No. 31



ภาพผนวกที่ 74 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.31

OEDOMETER TEST					
PROJECT Bangkok - Chonburi Highway		BORING 2		DEPTH 3.0 - 3.6 m	
TEST NO. 32		SPECIMEN DIMENSIONS HT. 1.89 cm DIA.5.0 cm AREA 19.64 cm ² VOL.37.11 cm ³			METERIAL Bangkok Clay
LOADING SYSTEM		CONFINING RING DIMENSIONS HT. 1.89 cm I.D. METERIAL _____			SPECIFIC GRAVITY Gs 2.69
LIQUID LIMIT, % 130	PLASTIC LIMIT, % 35	TOTAL UNIT WEIGHT kPa 14.1		COMPUTED _____ CHECKED _____	
		DRY UNIT WEIGHT kPa		DATE 19/12/2551	
				TEST BY อรุณ ปราบมาท	
WEIGHT VOLUME AND WATER CONTENT DATA					
	SPECIMEN		AUXILIARY		
	Initial	Final	A	B	C
WT WET SHALE + CONTAINER, g			24.58	33.79	31.89
WT DRY SHALE + CONTAINER, g			18.59	22.67	22.01
WT WATER, g			5.99	11.12	9.88
WT CONTAINER, g			13.10	13.40	12.9
WT DRY SHALE, g			5.49	9.27	9.11
WATER CONTENT%			109.11	119.96	108.45
			112.51		
INITIAL VOID RATIO AND DEGREE OF SATURATION					
VOLUME OF SAMPLE, cm ³	37.11				
WT OF SOLID, gm	24.85				
VOLUME OF SOLIDS cm ³	9.34				
VOLUME OF VOID, cm ³	27.77				
VOID RATIO	2.973				
VOLUME OF WATER cm ³	27.77				
DEGREE OF SATURATION, %	100				
HEIGHT OF SOLID, cm	0.476				

ภาพผนวกที่ 75 Sample No. 32



ภาพผนวกที่ 76 ผลการทดสอบ e , c_v และ σ'_v ของ Sample No.32

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นาย อรุณ ปรามมาก
วัน เดือน ปี ที่เกิด	23 ธันวาคม 2523
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลท่าแซะ จังหวัด ชุมพร
ประวัติการศึกษา	-ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขา ช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคชุมพร พ.ศ. 2542 -ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขา ช่างก่อสร้าง สถาบัน เทคโนโลยีราชมงคลนันทบุรี พ.ศ. 2544 -วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์ พ.ศ. 2547
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-