บทที่ 3
การทดลองและการวิจัย

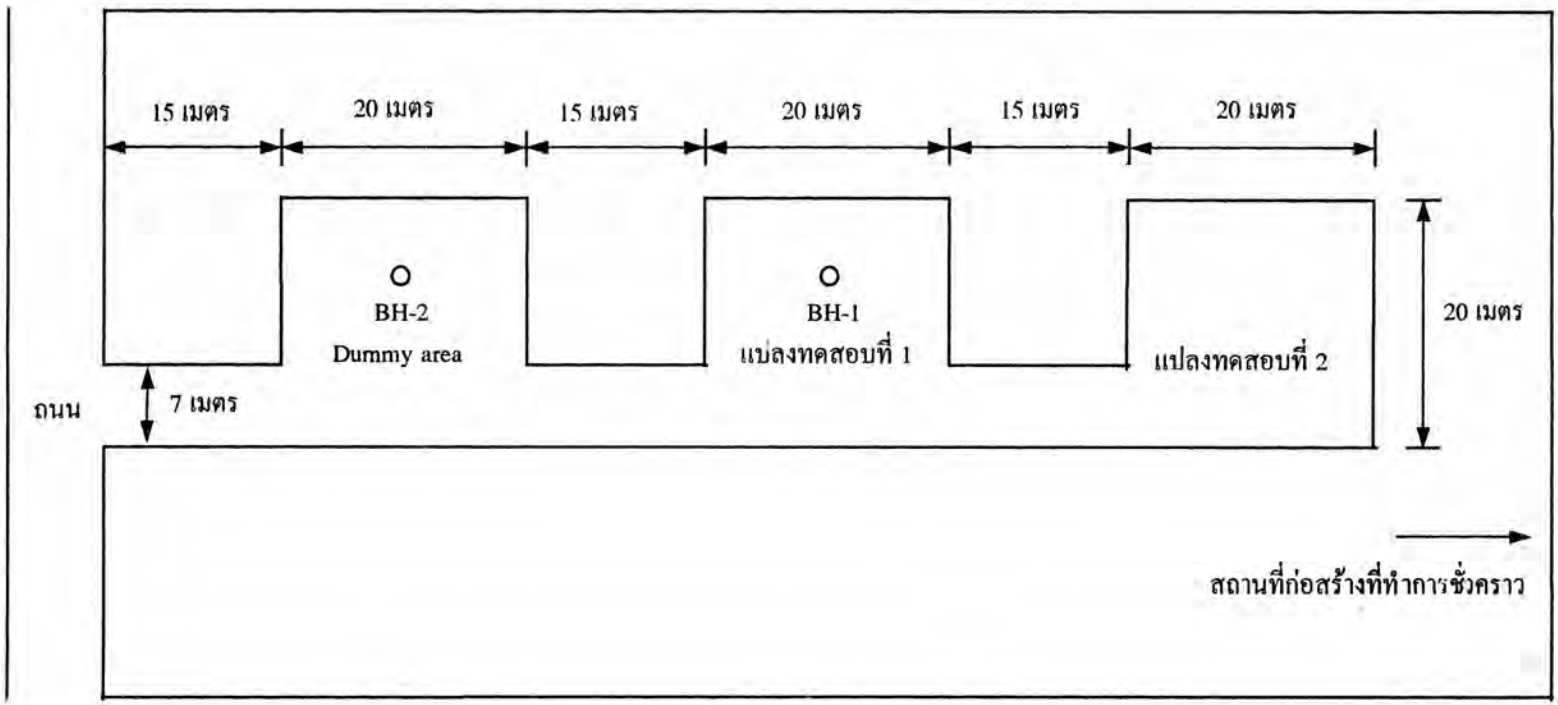
การวิจัยเราจะศึกษาดินเหนียวอ่อนหนองงูเห่า บริเวณเขตตำบลราชาเทวะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่โครงการก่อสร้างท่าอากาศยานสากลกรุงเทพฯ แห่งที่ 2 และบริเวณที่ศึกษาวิจัยเดิมเป็นพื้นที่บ่อปลาลึกประมาณ 1 เมตร โดยจะทำการสูบน้ำออกจนหมด แล้วทำ Dike โดยรอบพื้นที่บริเวณที่ทำการทดสอบเพื่อป้องกันน้ำท่วมแปลงที่จะทดสอบ จากนั้นก็จะทำการถมทรายเข้าไปที่บ่อปลา เพื่อทำเส้นทางขนย้ายเครื่องมือเจาะสำรวจและติดตั้งเข็มปูนขาว โดยถมทรายปนดินเหนียวสูงประมาณ 0.70 เมตร ขนาด 20.0 x 20.0 เมตร ทั้งหมด 3 แปลงแต่ละแปลงห่างกัน 15.0 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.1

แปลงที่ทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 แปลง ดังนี้ คือ

- แปลง Dummy area จะใช้เป็นแปลงอ้างอิง (Dummy Area) สำหรับศึกษาพฤติกรรมของดินตามธรรมชาติเพื่อใช้เปรียบเทียบกับแปลงทดสอบที่ 1 และแปลงทดสอบที่ 2 โดยจะไม่มีการปรับปรุงคุณภาพดินแต่อย่างใด
- แปลงทดสอบที่ 1 จะปรับปรุงดินโดยวิธี Placing Lime Columnโดยใช้เข็ม ∅ 0.40 เมตร ลึก 16.0 เมตร spacing 1.2 เมตร ติดตั้งด้วย Rotary Machine พร้อมทั้งทำ Soil-Lime Mixing ปิดทับหัวเข็มทั้งหมดโดยใช้ดินเหนียวภายในแปลง มีความหนา 1.0 เมตร
- แปลงทดสอบที่ 2 จะปรับปรุงดินโดยวิธี Placing Lime Column โดยใช้เข็ม ∅ 0.40 เมตร ลึก 16.0 เมตร spacing 1.5 เมตร ติดตั้งด้วย Vibrating Machine พร้อมทำ Soil-Lime Mixing เช่นเดียวกับแปลงที่ 1

ก่อนการปรับปรุงได้ทำการเจาะเก็บตัวอย่างดินก่อน เพื่อศึกษาลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นดิน (Soil Profiles) และทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม รวมทั้งความต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ของดินด้วย ในห้องปฏิบัติการ ส่วนในสนามได้มีการทดสอบ Cone Penetration test ด้วย

การติดตั้งเข็มปูนขาวโดยใช้วิธี Placing Lime Column นี้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีการติดตั้ง 2 วิธี ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งแปลงทดสอบบริเวณพื้นที่ปรับปรุง

1. ติดตั้งโดยใช้ Rotary Machine ที่แปลงทดสอบที่ 1 การติดตั้งจะใช้ Casing ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.40 เมตร ลักษณะบริเวณภายนอกเฉพาะส่วนปลายจะมีแผ่นเหล็กพันเป็นเกลียวอยู่โดยรอบ Casing คล้าย Auger และที่บริเวณปลาย Casing จะมีฝาที่สามารถเปิดปิดเองได้ โดยขั้นตอนการติดตั้งเครื่องจะค่อยๆหมุน Casing ลงไปในดินในลักษณะแทนที่จนถึงระดับความลึก 16.0 เมตร จากนั้นจะเทถุงที่บรรจุผงปูนขาวลงไปจนเต็ม จากนั้นจะใช้แรงดันอากาศอัดเข้าไปใน Casing จนแน่น แล้วค่อยๆหมุน Casing ถอนออก โดยขณะที่ถอนปลาย Casing จะเปิดออกเหลือเฉพาะเสาเข็มปูนขาวแทนที่ดินเหนียว หลังจากนั้นก็ทำตัวต่อไปโดยใช้ระยะห่างระหว่างเข็ม 1.20 เมตร

การติดตั้งเข็มปูนขาว เริ่มตั้งแต่วันที่ 27 มิถุนายน 2539 เสร็จวันที่ 6 กรกฎาคม 2539 รวมเวลาทั้งสิ้น 10 วัน ติดตั้งเข็มเสร็จจะมีขนาดแปลง 14.0 x 14.0 เมตร จำนวน 144 ต้น เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.40 เมตรและมีความยาว 15 เมตร โดยหัวเข็มอยู่ที่ระดับ -1.0 เมตร

2. ติดตั้งโดยใช้ Vibrating Machine ที่แปลงทดสอบที่ 2 โดยจะใช้ Casing ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.40 เมตร ลักษณะเหมือนกับที่ใช้กับเครื่อง Rotary Machine แต่ขั้นตอนการติดตั้งจะใช้เครื่อง Vibro จับที่ส่วนบนของ Casing แล้วสั่น และกดลงไปในดินในลักษณะแทนที่ดิน จนกระทั่งถึงความลึก 16.0 เมตร จากนั้นก็จะเทถุงผงปูนขาวลงไปใน Casing จนเต็มแล้วก็อัดอากาศลงไปจนแน่น แล้วค่อยๆถอน Casing ออกโดยการสั่น ในขณะที่ถอน Casing ปลายจะเปิดออกเหลือเข็มปูนขาวแทนที่ดินเหนียว จากนั้นก็ติดตั้งตัวต่อไปโดยใช้ระยะห่างระหว่างเข็ม 1.5 เมตร

การติดตั้งเข็มปูนขาว เริ่มตั้งแต่วันที่ 16 มิถุนายน 2539 เสร็จวันที่ 12 กรกฎาคม 2539 รวมเวลาทั้งสิ้น 27 วัน ติดตั้งเข็มเสร็จจะมีขนาดแปลง 14.0 x 15.5 เมตร จำนวน 110 ต้น มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.40 เมตร และมีความยาว 15.0 เมตร โดยหัวเสาเข็มอยู่ที่ -1.0 เมตร สาเหตุที่ขนาดแปลงมีความกว้างและยาวไม่เท่ากันเนื่องจากทางผู้รับเหมาทำได้เพียงเท่านี้

หลังจากติดตั้งเข็มเรียบร้อยแล้วทั้ง 2 แปลง ก็จะมีการทำ Soil-Lime Mixing ปิดทับหัวเข็มหนาประมาณ 1.0 เมตร หลังจากนั้นประมาณ 160 วัน จะทำการเจาะเก็บตัวอย่างดินระหว่างเข็มปูนขาว เพื่อมาทดสอบคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงของดิน เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณค่าการทรุดตัว ส่วนในสนามก็มีการทำ Cone Penetration test ด้วยเช่นกัน และเริ่มทำการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิคที่แปลง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักจากทรายถมสูง 2 เมตร โดยจะทำการถมทรายที่แปลงทดสอบที่ 1 และ 2 สูงขึ้นจากเดิมอีก 2.0 เมตร และจะถมทรายโดยถมทรายลาดชันจากขอบแปลงที่ติดตั้งเข็มออกไปข้างละ 2.50 เมตร ซึ่งเท่ากับความลาดชัน 1 : 1.25

3.1. คุณสมบัติดินบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา

3.1.1 คุณสมบัติดินก่อนการปรับปรุง

จากการเจาะสำรวจดินบริเวณที่ทำการทดสอบก่อนการปรับปรุงคุณภาพดิน จะมีการเจาะสำรวจ 2 หลุม ที่แปลงทดสอบที่ 1 และที่ Dummy area ตำแหน่งที่เจาะสำรวจแสดงดังรูปที่ 3.1

หลุมเจาะที่ 1 (BH1) ซึ่งเจาะสำรวจที่แปลงทดสอบที่ 1 บริเวณกลางแปลงพบว่า ชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อนลึกประมาณ 11.0 เมตร มีค่า Undrained Shear Strength ประมาณ 1.8 ตันต่อตารางเมตร มีความหนาแน่นประมาณ 1.45 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จากความลึก 11.0-15.5 เมตร เป็นดินแข็งปานกลาง มีค่า Undrained Shear Strength ประมาณ 3 ตันต่อตารางเมตร มีความหนาแน่นประมาณ 1.5 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จากความลึก 15.5-20.0 เมตรเป็นชั้นดินแข็ง มีค่า SPT ประมาณ 18 และจาก 20.0-30.0 เมตรเป็นชั้นทรายชั้นที่ 1 มีค่า SPT ประมาณ 40 โดยรายละเอียดดูได้ที่ตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ส่วนรูปที่ 3.4 แสดงผลการทดสอบ Consolidation ตามความลึก โดยที่ชั้นดินอ่อนมีค่า Compression Ratio ประมาณ 0.50 ค่า OCR ประมาณ 1.6 ส่วนที่ชั้นดินแข็งปานกลางมีค่า Compression Ratio ประมาณ 0.40 ค่า OCR ประมาณ 1.2 โดยใช้ความดันน้ำในดินจาก Dummy area ในรูปที่ 3.5

เนื่องจากการติดตั้ง Piezometer ติดตั้งหลังจากถมทราย 0.70 เมตรแล้ว ดังนั้นค่าความดันน้ำเริ่มต้นที่วัดใน Dummy area จะมีค่าความดันน้ำส่วนเกินเนื่องจากการถมทราย 0.70 เมตรอยู่ ฉะนั้นเพื่อเอาค่าความดันน้ำนี้มาใช้ในการคาดคะเน $\overline{\sigma}_{vo}$ ที่มีจึงนำค่าความดันน้ำหลังจากถมทรายสูง 2.0 เมตรที่เวลา 80 วันมาใช้ ซึ่งดูได้จากค่าการทรุดตัวในแปลง Dummy area ที่ 80 วัน การทรุดตัวค่อนข้างคงที่นั่นคือ ค่าความดันน้ำส่วนเกินของการถมทราย 0.70 เมตร เริ่มลดลง ในรูปที่ 3.5 ค่าความดันน้ำที่วัดได้ที่ 3.0 เมตร ยังคงมีค่าความดันน้ำส่วนเกินจาก Hydrostatic condition อยู่บ้าง และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความดันน้ำที่วัดได้จากวิทยานิพนธ์ ของสาธิต(2528) ที่วัดค่าในพื้นที่โครงการเช่นเดียวกัน ก็ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าความดันน้ำที่ได้นี้จะเรียกว่า Equilibrium Pore Water Pressure ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวนค่า $\overline{\sigma}_{vo}$ ในดินจะทำให้เป็นค่าที่ถูกต้องกว่า

หลุมเจาะที่ 2 (BH2) ซึ่งเจาะสำรวจที่แปลง Dummy area ที่กลางแปลง ชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อนลึกประมาณ 12.5 เมตร มีค่า Undrained Shear Strength ประมาณ 1.7 ตันต่อตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการเจาะสำรวจแปลงทดสอบที่ 1

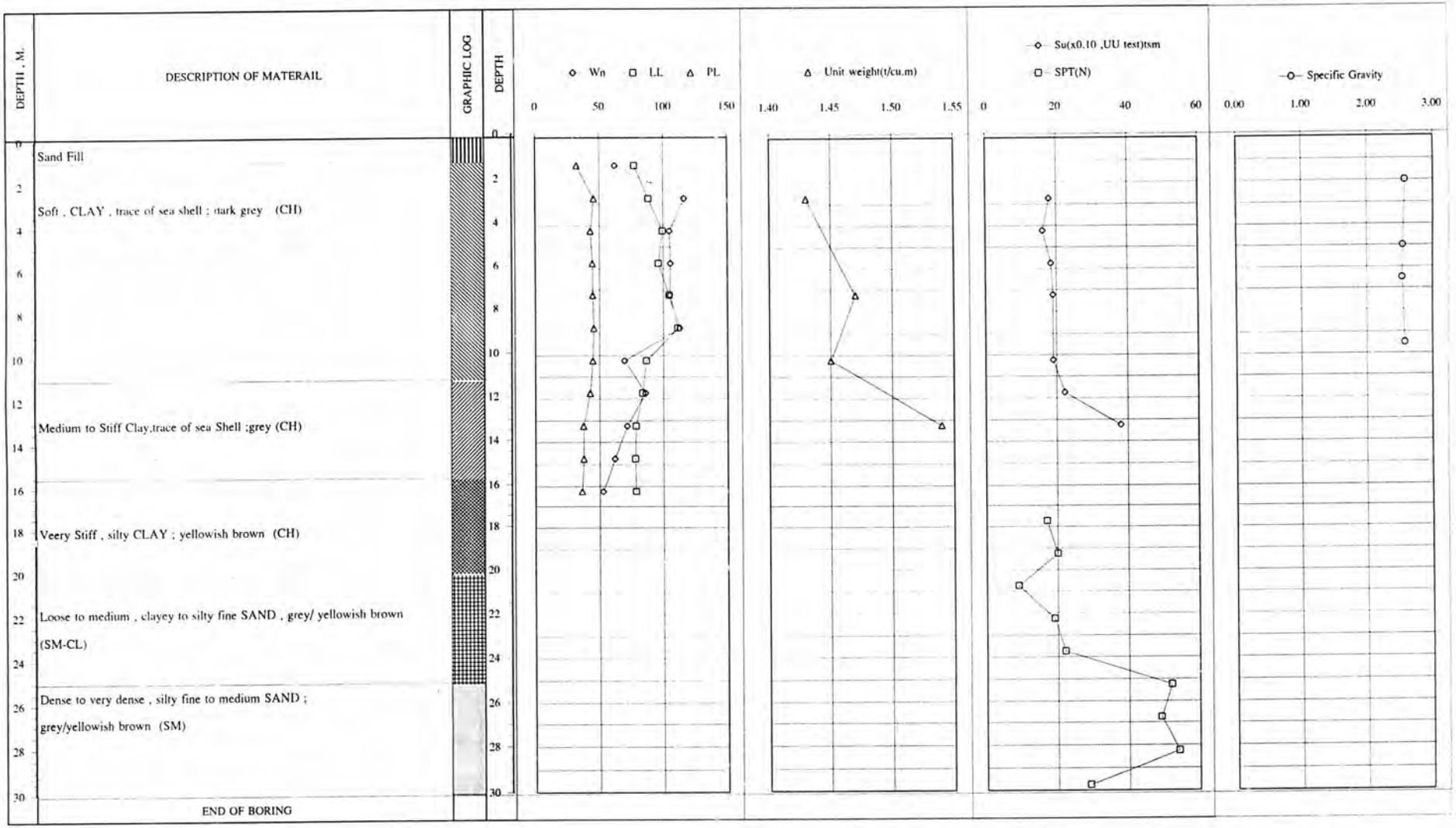
Summary of Test Results

PROJECT : Full Scale Field Test of Chemico Pile for SBIA														LOCATION : TS-1(Initial)									
DATE : 22-Jul-96				BORING NO. BH-1				JOB NO.						CHECKED BY Sirichai & Viroj					OBSERVED W.L. -3.00				
Sample No.	DEPTH (m.from Surface)			Water Content	ATTERBERG LIMIT (%)			Wet Unit wegth (t/m³)	SIEVE ANALYSIS					Classification	UNDRAINED SHEAR STRENGTH t/m2						SPT,N		
															Unconfined Shear		Field Vane Shear		UU Test	QP/2Pocket	blows/ft.		
	From	AVG	To	(%)	LL	PL	PI		3/8"	#4	#10	#40	#200		$Q_u/2$	$Q_u'/2$	Q_v	Q_v'	Su	Penetration			
ST-1	1.00	1.25	1.50	62.02	77.23	32.32	44.91							CH						5.00			
ST-2	2.50	2.75	3.00	116.32	88.55	45.51	43.04	1.43						OH					1.80	2.00			
ST-3	4.00	4.25	4.50	104.75	99.38	42.81	56.57							OH					1.62	2.50			
ST-4	5.50	5.75	6.00	105.54	96.14	44.51	51.63							OH					1.85	2.50			
ST-5	7.00	7.25	7.50	105.01	104.47	44.54	59.93	1.47						OH					1.90	2.50			
ST-6	8.50	8.75	9.00	112.62	111.24	45.42	65.82							CH						2.50			
ST-7	10.00	10.25	10.50	69.46	86.60	44.62	41.98	1.45						OH					1.90	2.50			
ST-8	11.50	11.75	12.00	85.85	83.48	42.50	40.98							CH					2.22	4.50			
ST-9	13.00	13.25	13.50	71.36	78.32	37.26	41.06	1.54						OH					3.80	5.00			
ST-10	14.50	14.75	15.00	61.72	77.66	37.43	40.23							OH						5.00			
ST-11	16.00	16.25	16.50	52.55	78.22	36.16	42.06							CH						7.50			
SS-1	17.50	17.75	18.00											CH							17		
SS-2	19.00	19.25	19.50											CH							20		
SS-3	20.50	20.75	21.00							99.09	97.52	93.03	39.15	SM							9		
SS-4	22.00	22.25	22.50							99.65	93.56	80.09	50.27	SC							19		
SS-5	23.50	23.75	24.00											SM							22		
SS-6	25.00	25.25	25.50											SM							52		
SS-7	26.50	26.75	27.00							97.43	90.02	48.50	15.57	SM							49		
SS-8	28.00	28.25	28.50											SM							54		
SS-9	29.50	29.75	30.00							99.70	97.30	80.76	34.21	SM							29		

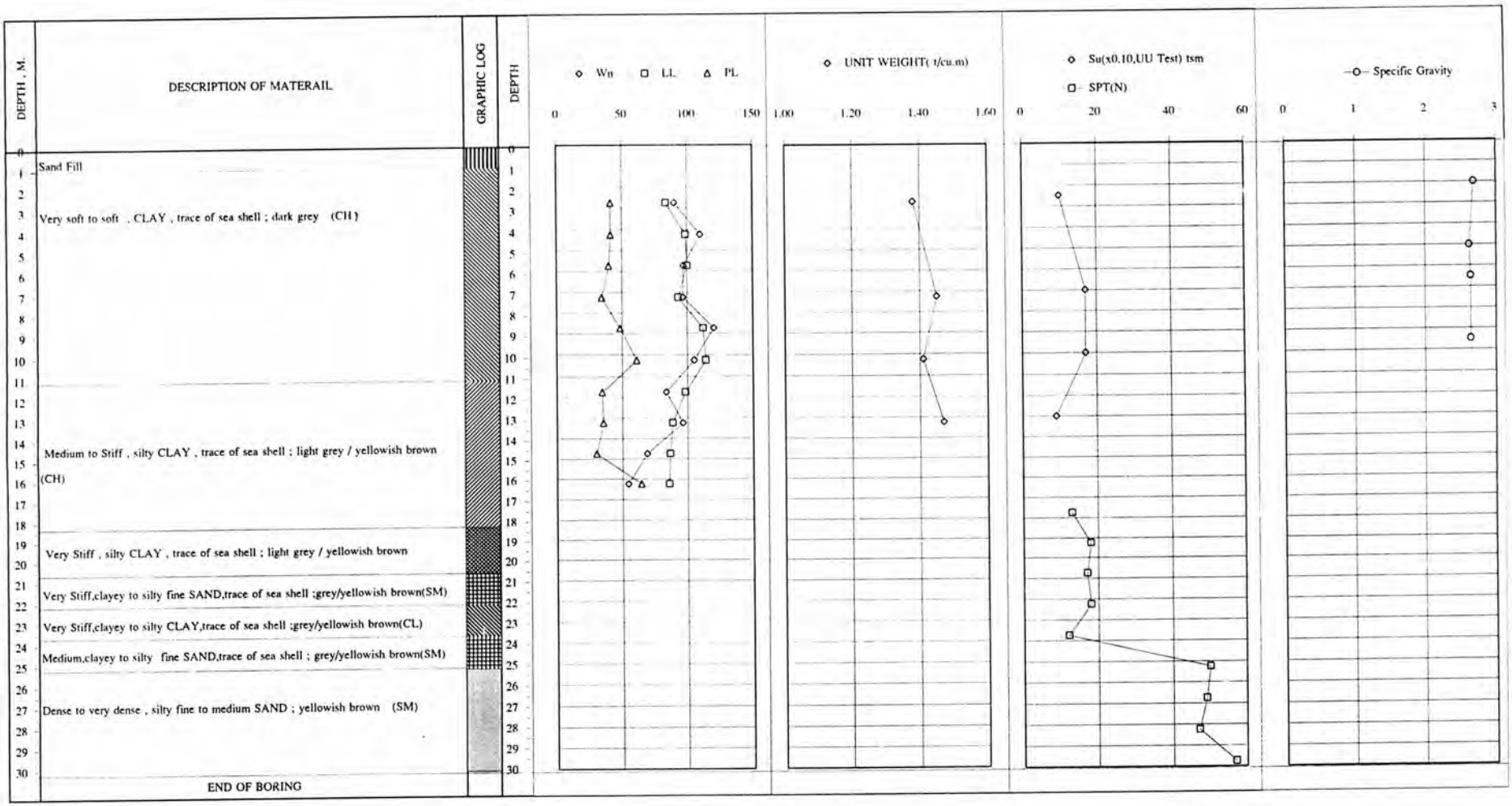
ตารางที่ 3.2 แสดงผลการเจาะสำรวจของ Dummy area

Summary of Test Results

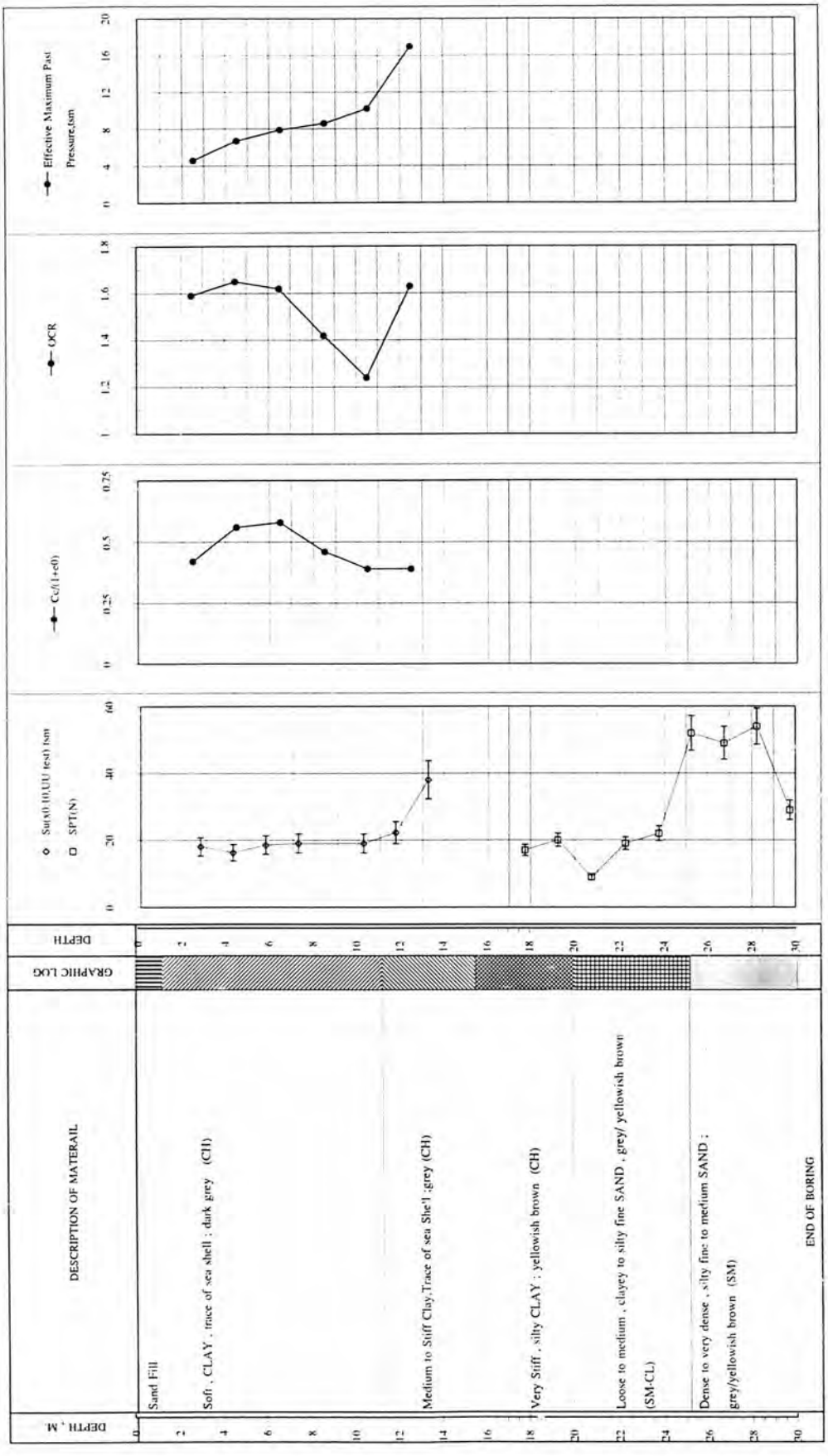
PROJECT : Full Scale Field Test of Chemico Pile for SBIA														**LOCATION** Dummy Area (Initial)								
DATE : 22-Jul-96				**BORING NO.** BH-2				**JOB NO.**						**CHECKED BY** Siri chai						**OBSERVED W.L.**		
Sample No.	DEPTH (m.from Surface)			Water Content	ATTERBERG LIMIT (%)			Wet Unit vgth (t/m^3)	SIEVE ANALYSIS					Classification	UNDRAINED SHEAR STRENGTH t/m2						SPT.N	
									No.	No.	No.	No.	No.		Unconfined Shear		Field Vane Shear		UU Test	QP/2Pocket	blows/ft.	
	From	AVG	To	(%)	LL	PL	PI		3/8"	#4	#10	#40	#200		$Q_U/2$	$Q_U'/2$	Q_V	Q_V'	Su	Penetration		
ST-1	1.00	1.25	1.50	54.82										CH								
ST-2	2.50	2.75	3.00	90.35	83.97	41.46	42.51	1.38						OH					1.00	4.00		
ST-3	4.00	4.25	4.50	109.91	98.78	41.28	57.50							CH						0.50		
ST-4	5.50	5.75	6.00	97.3	99.92	39.74	60.18							CH						0.50		
ST-5	7.00	7.25	7.50	96.91	93.11	34.54	58.57	1.45						CH					1.70	1.50		
ST-6	8.50	8.75	9.00	120.13	111.98	48.42	63.56							OH						2.00		
ST-7	10.00	10.25	10.50	105.05	113.95	60.99	52.96	1.41						OH					1.70	2.50		
ST-8	11.50	11.75	12.00	83.82	98.27	34.45	63.82							CH						2.60		
ST-9	13.00	13.25	13.50	96.22	88.39	35.34	53.05	1.47						CH					1.24	2.50		
ST-10	14.50	14.75	15.00	68.75	86.52	30.22	56.30							CH						5.00		
ST-11	16.00	16.25	16.50	54.31	85.60	64.30	21.30							OH						6.50		
SS-1	17.50	17.75	18.00											CH							13	
SS-2	19.00	19.25	19.50											CH							18	
SS-3	20.50	20.75	21.00							90.04	89.82	84.05	32.72	SM							17	
SS-4	22.00	22.25	22.50							97.83	96.56	87.68	70.11	CL							18	
SS-5	23.50	23.75	24.00							99.07	91.78	69.74	36.21	SM							12	
SS-6	25.00	25.25	25.50							99.69	95.69	65.35	9.78	SM							50	
SS-7	26.50	26.75	27.00											SM							49	
SS-8	28.00	28.25	28.50											SM							47	
SS-9	29.50	29.75	30.00											SM							57	
SS-10	30.00	30.25	30.50											SM							80	



รูปที่ 3.2 แสดงผลการเจาะสำรวจของแปลงทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.3 แสดงผลการเจาะสำรวจของ Dummy Area



รูปที่ 3.4 แสดงผลการทดสอบ Consolidation ตามความลึกของแปลงทดสอบที่ 1

เมตร มีความหนาแน่นประมาณ 1.42 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จากความลึก 12.5-15.5 เมตร เป็นดินเหนียวแข็งปานกลาง ค่า Undrained Shear Strength ประมาณ 1.2 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าต่ำเกินไปอาจเป็นได้ว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบถูกรบกวนจึงทำให้มีค่าต่ำผิดปกติไป มีความหนาแน่นประมาณ 1.45 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จากความลึก 15.5-20.0 เมตรเป็นชั้นดินแข็ง มีค่า SPT ประมาณ 18 และจาก 20.0-30.0 เมตรเป็นชั้นทรายชั้นที่ 1 มีค่า SPT ประมาณ 40 โดยรายละเอียดดูได้ที่ตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 เนื่องจากดินที่เก็บมาถูกรบกวนมากจึงมีตัวอย่างดินที่ทดสอบ Consolidation เพียงที่ความลึก 2.0 และ 7.0 เมตร โดยได้ค่า Compression Ratio ประมาณ 0.49 ค่า OCR ประมาณ 1.6

ดังนั้นสามารถแบ่งชั้นดินอย่างคร่าวๆ ได้ดังนี้

- ชั้นดินเหนียวอ่อน อยู่ที่ระดับความลึก - 1.50 เมตร ถึง -11.0 เมตร
- ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง ต่อเนื่องกับดินเหนียวแข็ง อยู่ที่ระดับความลึก - 11.0 เมตร ถึง -15.5 เมตร
- ชั้นดินเหนียวแข็งมาก อยู่ที่ระดับความลึก - 15.5 เมตร ถึง -20.0 เมตร
- ชั้นทรายชั้นแรก อยู่ที่ระดับความลึก - 20.0 เมตร ถึง -30.0 เมตร

3.1.2 <u>คุณสมบัติดินภายหลังการปรับปรุง</u>

หลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพดินบริเวณที่ทดสอบแล้ว ก็มีการเก็บข้อมูลดินอีกครั้งโดยจะเก็บตัวอย่างดินที่ระยะ 1ใน 3 และ1ใน 2 ระหว่างเข็ม หลังการติดตั้งเข็มประมาณ 160 วัน โดยตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 3.3 โดยค่าในตารางเป็นคุณสมบัติของดินที่กึ่งกลางระหว่างเข็ม และมีแนวโน้มที่จะพบว่าดินมีค่า Water Content ลดลงประมาณ 20-30% ค่า Plastic Index ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากดินไม่ผสมกับปูนขาว ค่า Undrained Shear Strength จาก Triaxial(UU) Test ลดลง ส่วนค่า Undrained Shear Strength ที่ได้จากการทำ Cone Penetration Test ค่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงแต่มีค่าลดลงหลังจากความลึก 9.0 เมตร ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการที่ดินมีค่า Sensitivity สูงประมาณ 12-16 และดินถูกรบกวนเนื่องจากการติดตั้งเข็มและการขยายตัวของเสาเข็ม เนื่องจาก Chemical reaction จึงทำให้ Strength ของดินลดลง

จากผลการทดสอบ Consolidation Test เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณการทรุดตัวพบว่า แนวโน้มค่า Compression Ratio ของดินมีค่าลดลง รวมทั้งค่า Maximum Past Pressure ก็มีค่า

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติดินจากการทดสอบ

คุณสมบัติดินก่อนปรับปรุงของ BH-1

Depth ,m.	%Wn	PI	Cu(UU),tsm.	Cu(CPT),tsm.
2.00-2.50	116.32	43.04	1.8	2.66
5.00-5.50	105.54	51.63	1.85	1.93
7.00-7.50	105.01	59.93	1.9	2.07
9.00-9.50	112.62	65.82	1.9	4.73
12.00-12.50	-	-	-	7.44
15.00-15.50	-	-	-	11.01

คุณสมบัติดินหลังการปรับปรุงเป็นเวลา 160 วัน ที่กึ่งกลางระหว่างเข็ม

Depth ,m.	%Wn		PI		Cu(UU),tsm.		Cu(CPT),tsm.	
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2
2.00-2.50	80.24	76.15	39.54	47.56	1.60	1.74	2.66	3.11
5.00-5.50	83.55	83.46	42.15	61.62	1.02	1.54	3.67	2.82
7.00-7.50	95.40	88.25	57.84	67.14	1.33	1.50	2.92	2.07
9.00-9.50	82.69	93.52	50.27	72.78	2.56	1.86	3.88	3.02
12.00-12.50	-	-	-	-	-	-	4.88	4.03
15.00-15.50	-	-	-	-	-	-	13.46	5.89

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการทดสอบ Oedometer Test

คุณสมบัติดินก่อนปรับปรุงของBH-1

Depth (m.)	e_0	C_c	$\overline{\sigma}p$ (tsm.)	$C_c/1+e_0$
2.00-3.00	2.42	1.43	4.60	0.42
4.00-5.00	2.68	2.06	6.70	0.56
6.00-7.00	2.56	2.08	7.90	0.58
8.00-9.00	2.64	1.66	8.60	0.46
10.00-11.00	2.61	1.42	10.20	0.39
12.00-13.00	1.35	0.92	17.00	0.39

คุณสมบัติดินก่อนปรับปรุงของBH-2

Depth (m.)	e_0	C_c	$\overline{\sigma}p$ (tsm.)	$C_c/1+e_0$
2.00-3.00	2.30	1.53	5.80	0.46
6.00-7.00	2.52	1.80	7.10	0.51

คุณสมบัติดินหลังปรับปรุงที่แปลงทดสอบที่ 1

Depth (m.)	e_0		C_c		$\overline{\sigma}p$ (tsm.)		$C_c/1+e_0$	
	90 d *	160 d *	90 d *	160 d *	90 d *	160 d *	90 d *	160 d *
2.00-3.00	1.93	2.32	0.84	1.03	4.20	4.20	0.29	0.31
4.00-5.00	1.98	2.01	0.83	0.90	6.20	6.00	0.28	0.30
6.00-7.00	2.27	2.39	0.90	1.49	7.10	8.30	0.28	0.44
8.00-9.00	2.01	2.37	0.88	1.21	8.20	8.00	0.29	0.36

คุณสมบัติดินหลังปรับปรุงที่แปลงทดสอบที่ 2

Depth (m.)	e_0		C_c		$\overline{\sigma}p$ (tsm.)		$C_c/1+e_0$	
	90 d *	160 d **	90 d *	160 d **	90 d *	160 d **	90 d *	160 d **
2.00-3.00	2.52	2.12	0.83	0.78	4.50	4.00	0.24	0.25
4.00-5.00	2.42	1.99	1.33	0.83	5.40	4.10	0.39	0.28
6.00-7.00	2.75	2.52	1.16	1.57	5.80	8.00	0.31	0.45
8.00-9.00	2.42	2.64	1.19	1.44	8.00	7.50	0.35	0.40

หมายเหตุ * ระยะ 1/3 ระหว่างเข็ม

** ระยะ 1/2 ระห่างเข็ม

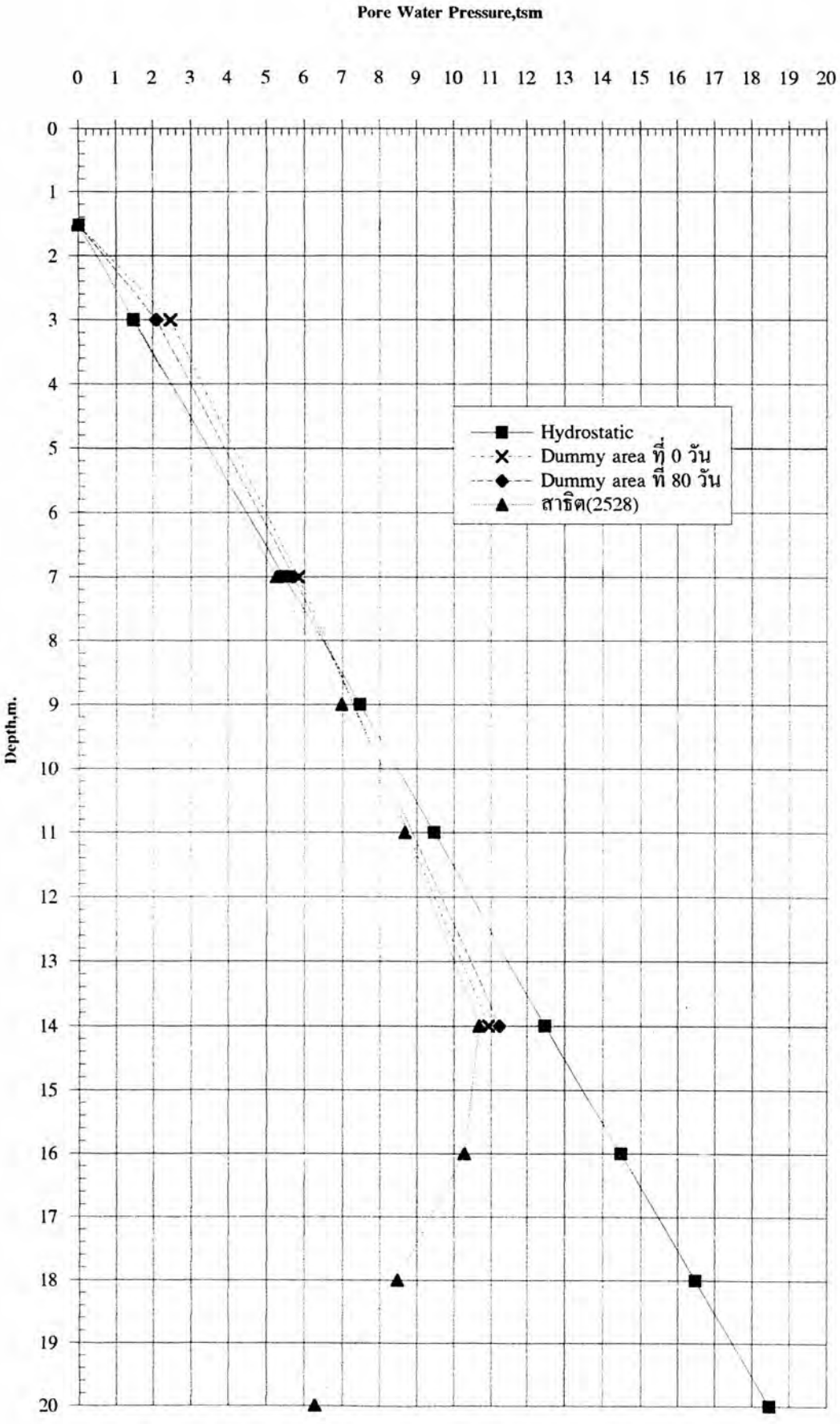
ตารางที่ 3.5 แสดงค่า Compressibility Ratio

Depth (m.)	$C_c/(1+e_0)$					
	BH-1	BH-2	แปลงทดสอบที่ 1		แปลงทดสอบที่ 2	
			90 d	160 d	90 d	160 d
2.00-3.00	0.42	0.46	0.29	0.31	0.24	0.25
4.00-5.00	0.56		0.28	0.30	0.39	0.28
6.00-7.00	0.58	0.51	0.28	0.44	0.31	0.45
8.00-9.00	0.46		0.29	0.36	0.35	0.40
10.00-11.00	0.39					
12.00-13.00	0.39					

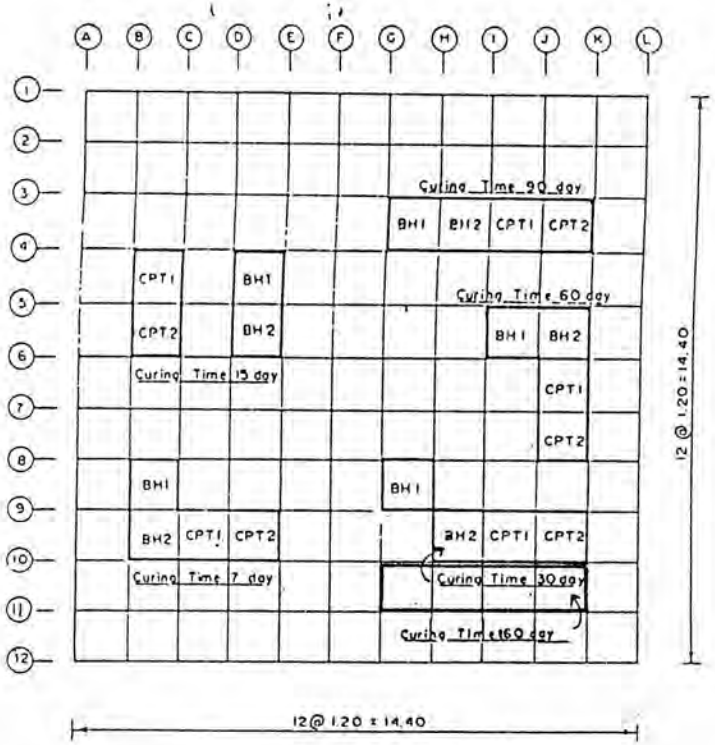
ตารางที่ 3.6 แสดงค่า Coefficient of Consolidation

(At Stress level $=\overline{\sigma}=\overline{\sigma}$vo T/M^2)

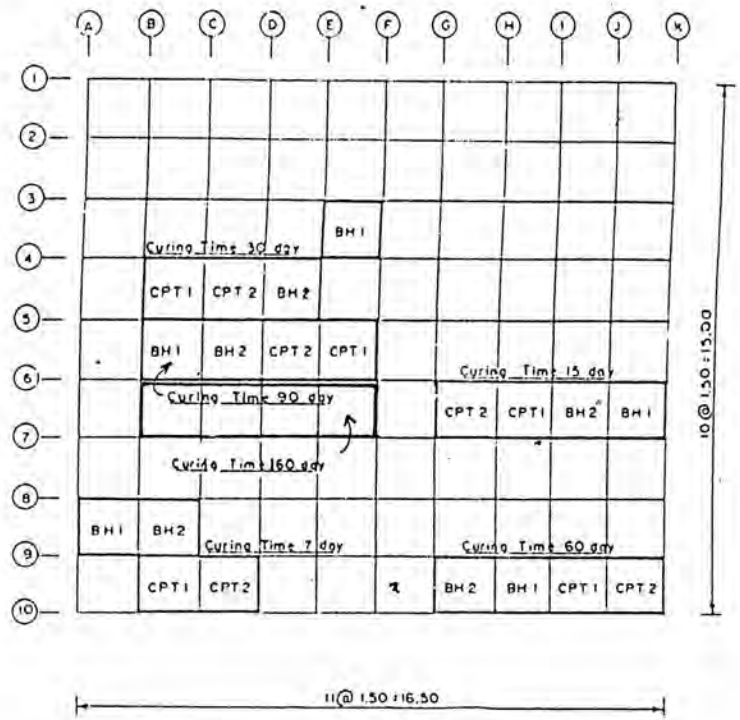
Depth (m.)	C_v (m^2/yr)					
	BH-1	BH-2	แปลงทดสอบที่ 1		แปลงทดสอบที่ 2	
			90 d	160 d	90 d	160 d
2.00-3.00	7.57	4.42	1.58	2.05	2.68	3.78
4.00-5.00	3.78		1.26	1.26	1.58	0.79
6.00-7.00	2.52	5.05	2.84	2.21	1.26	8.20
8.00-9.00	2.52		1.26	1.89	0.95	3.78
10.00-11.00	1.26					
12.00-13.00	3.78					



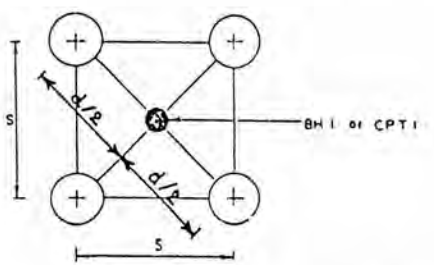
รูปที่ 3.5 แสดงค่าความดันน้ำในดินจาก Dummy area

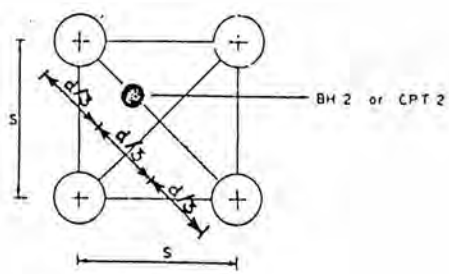


TS-1



TS-2



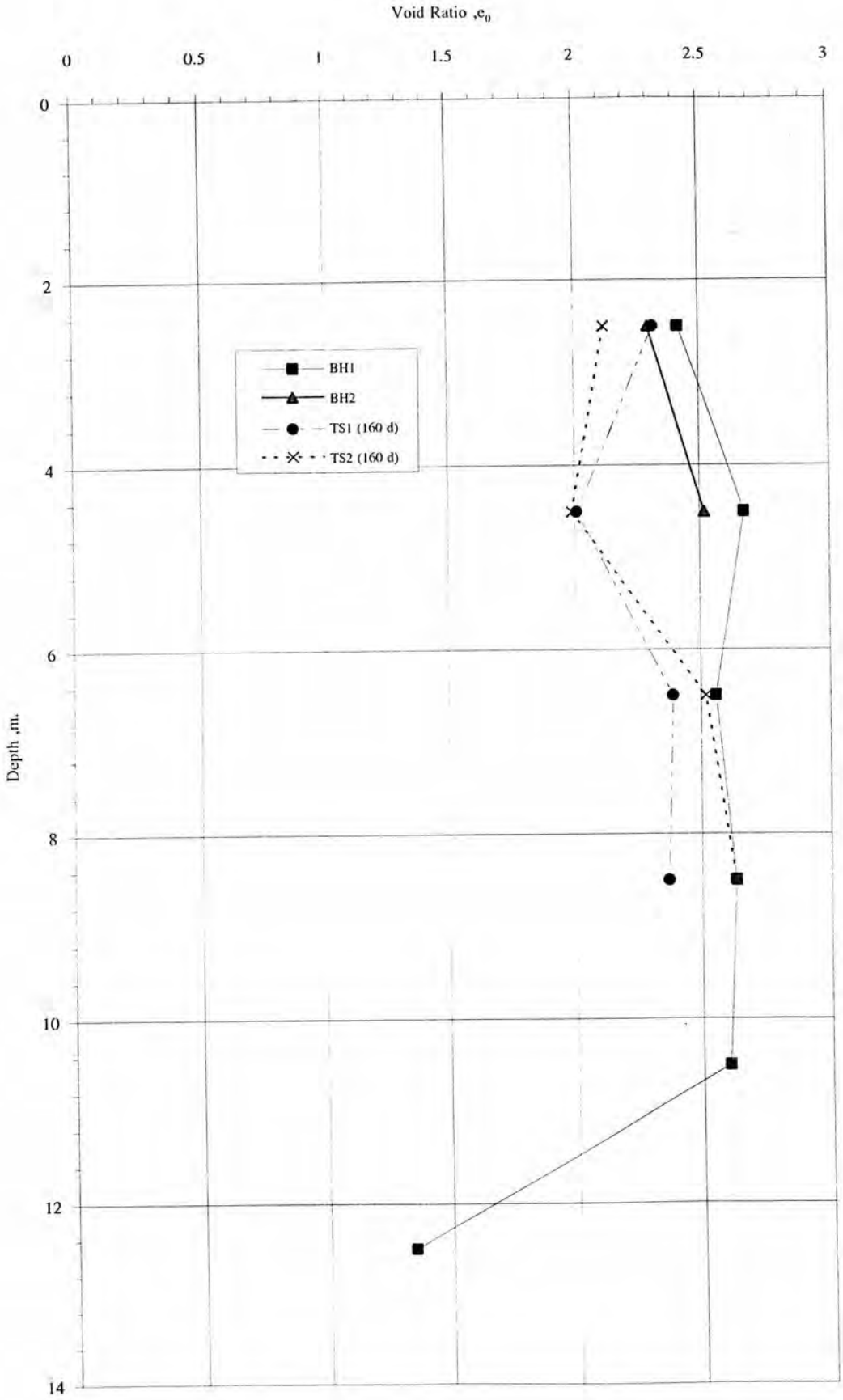


Detail of BH and CPT

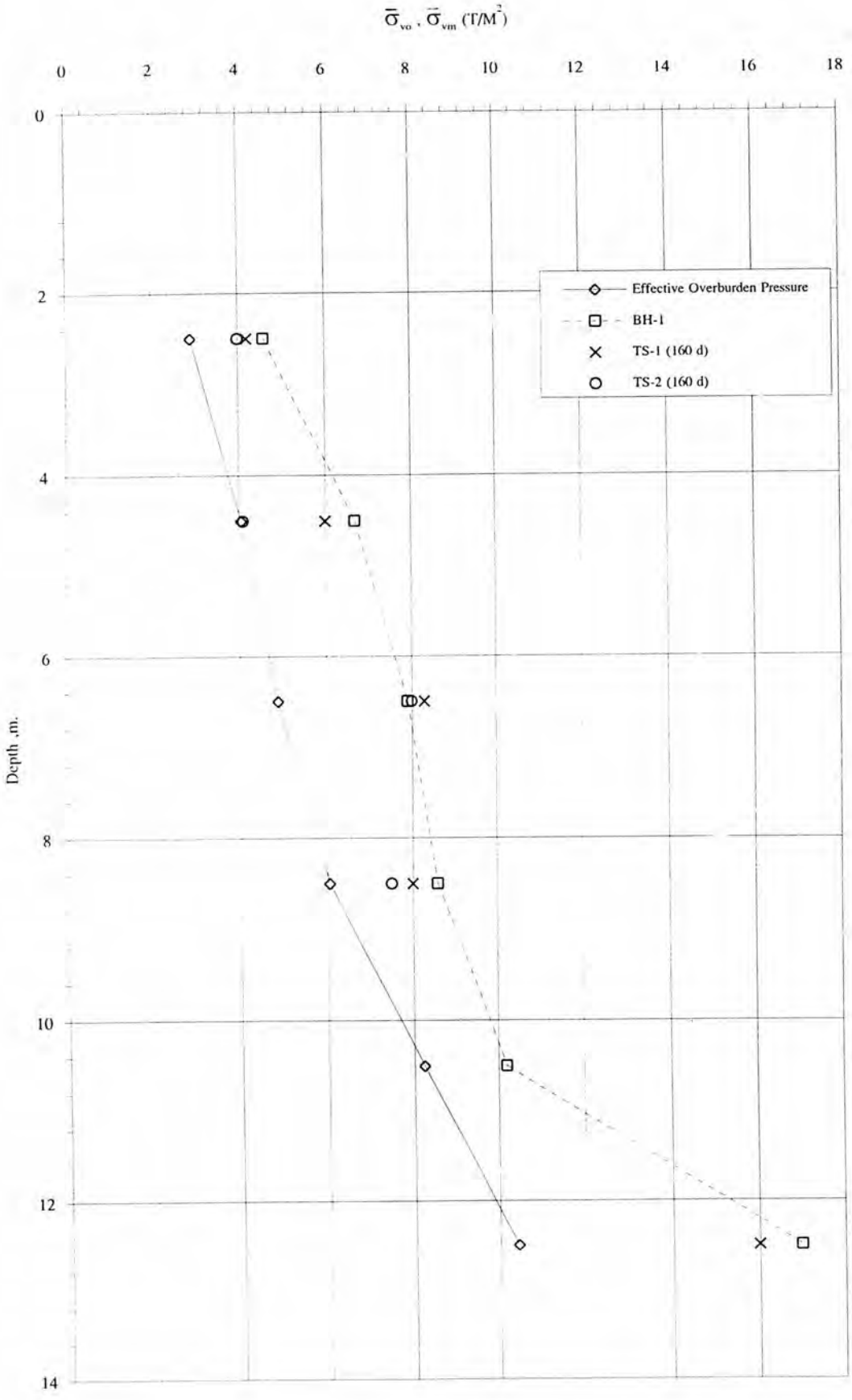
Note

1) BH — Boring and Sampling
2) CPT — Dutch Cone Penetration Test
3) S — Spacing of Chemico Pile Installation

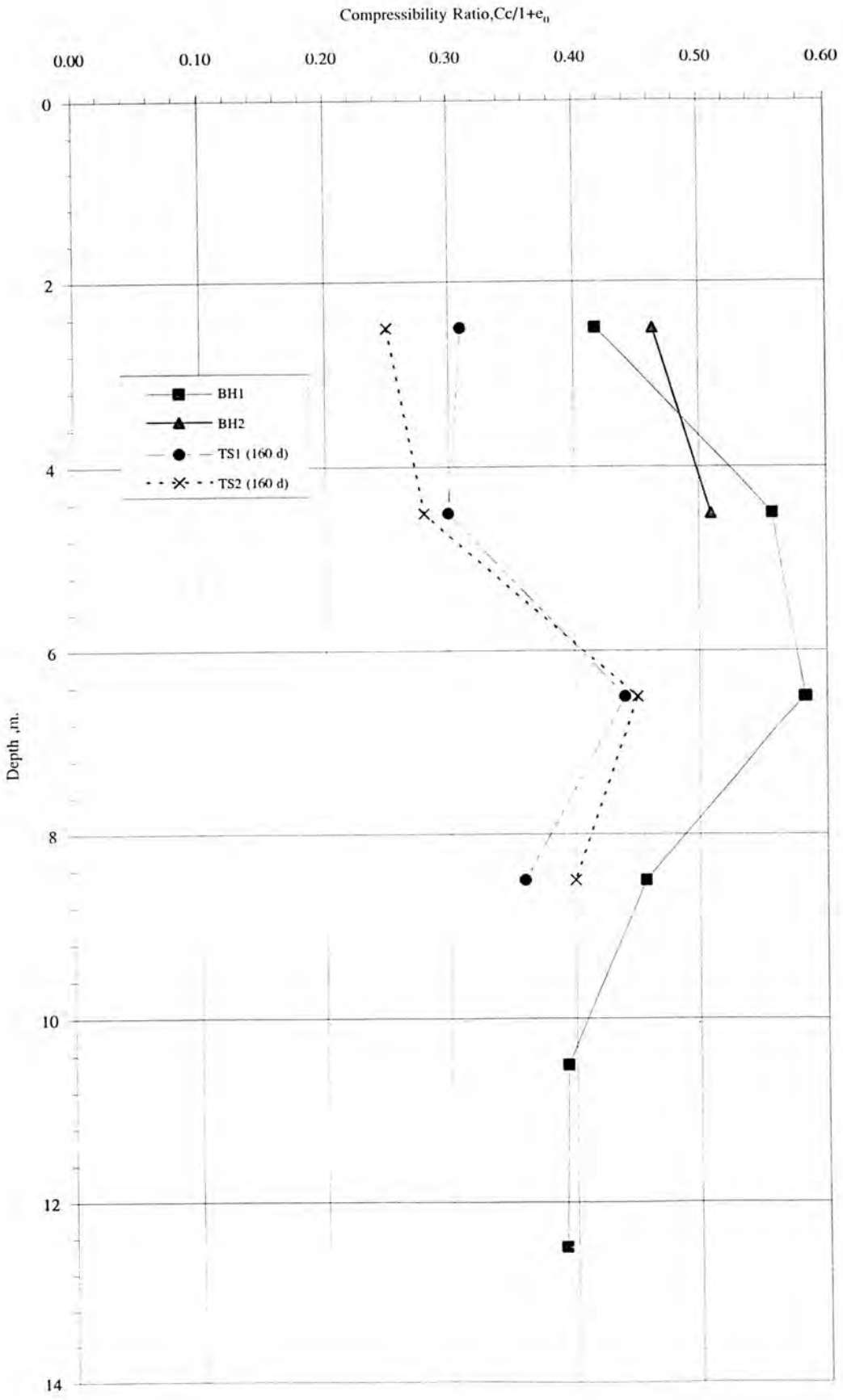
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินและทดสอบ Cone Penetration Test



รูปที่ 3.7 แสดงค่า Void Ratio กับความลึก



รูปที่ 3.8 แสดงค่าEffective Overburden Pressure และMaximum Past Pressure กับความลึก



รูปที่ 3.9 แสดงค่า Compressibility Ratio กับความลึก

ลดลง นั่นคือดินได้ถูกรบกวนเนื่องจากการติดตั้งเข็ม ซึ่งมีผลทำให้ค่า Coefficient of Consolidation มีค่าลดลงด้วย รายละเอียดแสดงตารางที่ 3.4-3.6 และจากการเขียนกราฟค่า Void Ratio ที่ 160 วันเทียบกับความลึกพบว่า Void Ratio มีค่าลดลง ดังรูปที่ 3.7 ส่วนค่า Maximum Past Pressureก็มีค่าลดลงดังรูปที่ 3.8 และค่า Compression Ratio ก็มีค่าลดลงเช่นกัน ดังรูปที่ 3.9

3.2. การทดสอบ Field CBR ในแปลงทดสอบ

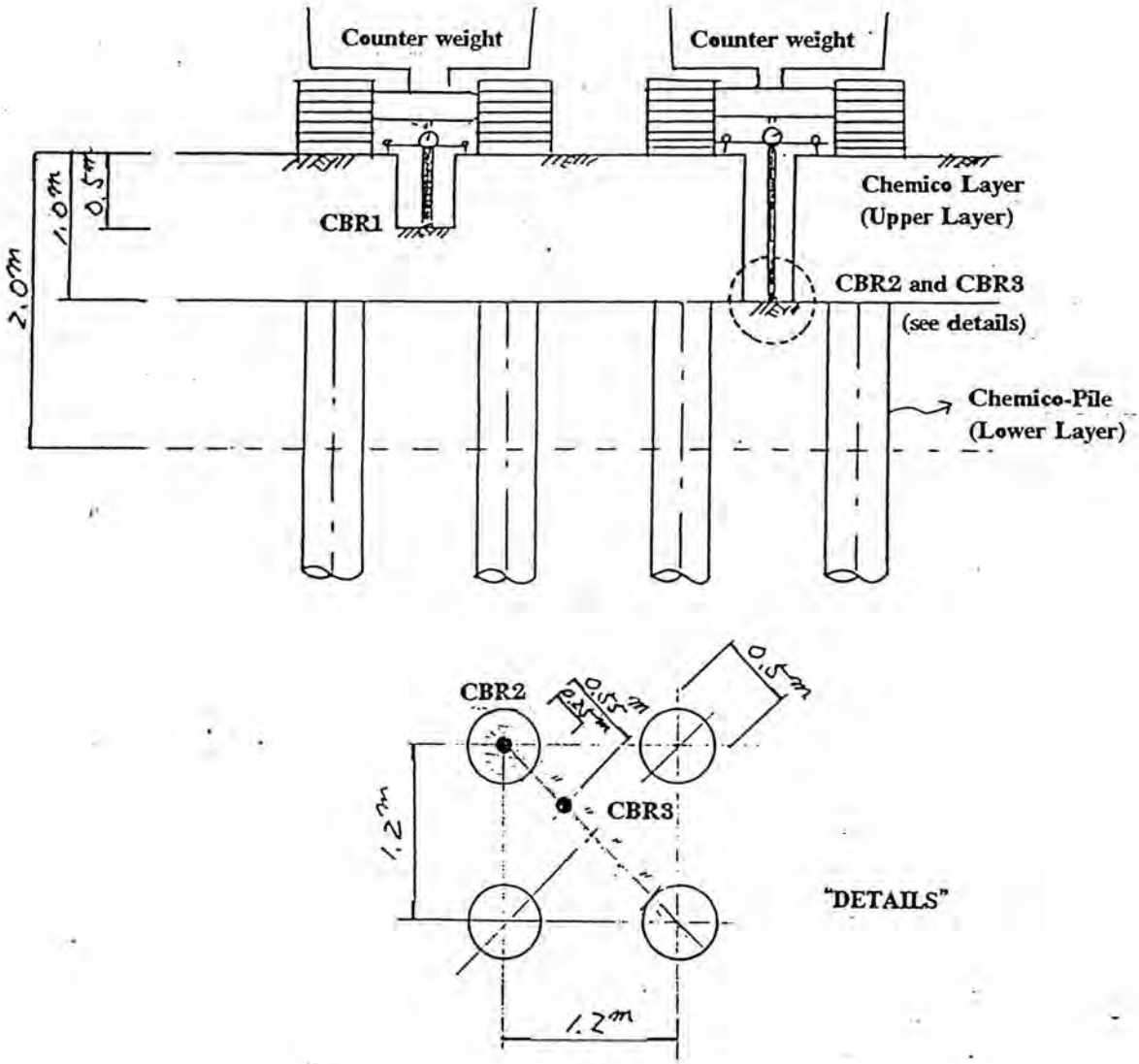
ในการทดสอบครั้งนี้มีการทดสอบหาค่า CBR ในสนามที่แปลงทดสอบที่ 1 เพื่อใช้ในการประเมินหาค่า CBR เฉลี่ย เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางบน Lime mixing ที่จะใช้เป็นชั้น Subgrade โดยการทดสอบนี้จะทดสอบบริเวณที่ปรับปรุงดิน

ขั้นตอนการทดสอบ Field CBR ในสนาม

ในการทดสอบเราจะทดสอบบริเวณแปลงทดสอบที่ 1 โดยจะใช้รถบรรทุกทรายเป็น Counter Weight ในการทดสอบ จากนั้นก็จะทำการติดตั้งชุดทดสอบ Field CBR ที่รถบรรทุก หลังจากนั้นก็เริ่มทำการทดสอบโดยการทดสอบจะแบ่งการทดสอบเป็น 3 จุด คือ

1. ทำการทดสอบที่ชั้น Lime Mixing โดยขุดลงไปประมาณ 0.50 เมตร เพื่อหาค่า CBR_1
2. ขุดดินลงไปอีกจนพบหัวเข็มปูนขาว แล้วทำการทดสอบหาค่า CBR_2 บนเข็ม
3. เปิดหน้าดินออกไปด้านข้างเพื่อทดสอบดินระหว่างเข็มเพื่อหาค่า CBR_3

โดยรายละเอียดตำแหน่งที่ทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ตำแหน่งการทดสอบ Field CBR

3.3. การติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค (Geotechnical Instrument)

เมื่อติดตั้งเข็มปูนขาวเสร็จแล้วและทิ้งระยะเวลาไว้ประมาณ 160 วันจากนั้นก็จะเริ่มทำการเตรียมการทำ Test Embankment โดยเริ่มทำการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค (Geotechnical Instruments) ซึ่งจะเริ่มติดตั้งวันที่ 16 ธันวาคม 2539 เสร็จวันที่ 24 ธันวาคม 2539 รายละเอียดเครื่องมือที่ติดตั้งและจำนวน แสดงดังตารางที่ 3.7 และตารางที่ 3.8 จะแสดงรายละเอียดของสัญญลักษณ์ที่ใช้แทนอุปกรณ์แต่ละชนิด ส่วนตำแหน่งที่ติดตั้งแสดงดังรูปที่ 3.11-3.12

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดจำนวนเครื่องมือทางธรณีเทคนิคที่ติดตั้ง.

เครื่องมือทางธรณีเทคนิค	จำนวน		
	Dummy Area	แปลงทดสอบที่ 1	แปลงทดสอบที่ 2
Observation well (OW)	1	-	-
Settlement Plate วางที่ 0.50 เมตร จากผิว Lime mixing	2	5	5
Piezometer ที่กึ่งกลางระหว่างเข็มระดับความลึก 3.0, 7.0 และ 14.0 เมตร	3	3	3
Inclinometer ที่ขอบแปลง ลึก 22.0 เมตร	-	2	2
Extensometer ที่กึ่งกลางระหว่างเข็มระดับความลึก 3.0, 7.0 และ 14.0 เมตร ปลายอยู่ที่ความลึก 22.0 เมตร	-	1	1
Deep Settlement Point ทำในเสาเข็มระดับความลึก 8.0 เมตร	-	1	-

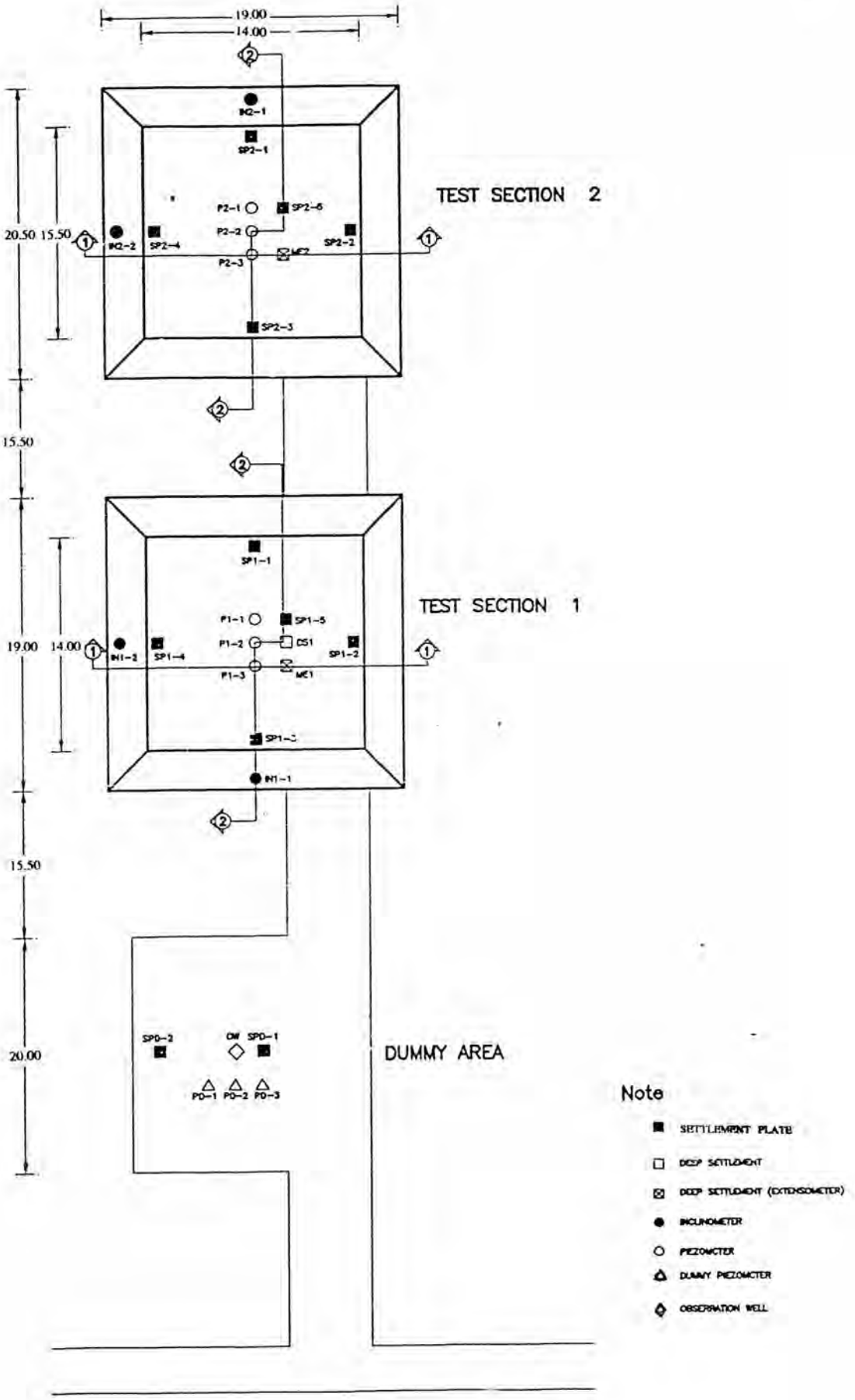
ตารางที่ 3.8 รายละเอียดของเครื่องมือธรณีเทคนิคกับความลึก

เครื่องมือธรณีเทคนิค	Dummy area		แปลงทดสอบที่ 1		แปลงทดสอบที่ 2	
	สัญญลักษณ์	ความลึก(เมตร.)	สัญญลักษณ์	ความลึก(เมตร.)	สัญญลักษณ์	ความลึก(เมตร.)
Observation Well	OW	-2.0	-	-	-	-
Settlement Plate	SPD-1	-0.5	SP1-1	-0.5	SP2-1	-0.5
	SPD-2	-0.5	SP1-2	-0.5	SP2-2	-0.5
	-	-	SP1-3	-0.5	SP2-3	-0.5
	-	-	SP1-4	-0.5	SP2-4	-0.5
	-	-	SP1-5	-1.0	SP2-5	-1.0
Piezometer	PD-1	-3.0	P1-1	-3.0	P2-1	-3.0
	PD-2	-7.0	P1-2	-7.0	P2-2	-7.0
	PD-3	-14.0	P1-3	-14.0	P2-3	-14.0
Inclinometer	-	-	IN1-1	-22.0	IN2-1	-22.0
	-	-	IN1-2	-22.0	IN2-2	-22.0
Extensometer ปลายอยู่ที่ -22.0 ม.	-	-	ME1	-3.0,-7.0,-14.0	ME2	-3.0,-7.0,-14.0
Deep Settlement Point ที่ตัวเข็ม	-	-	DS1	-8.0	-	-

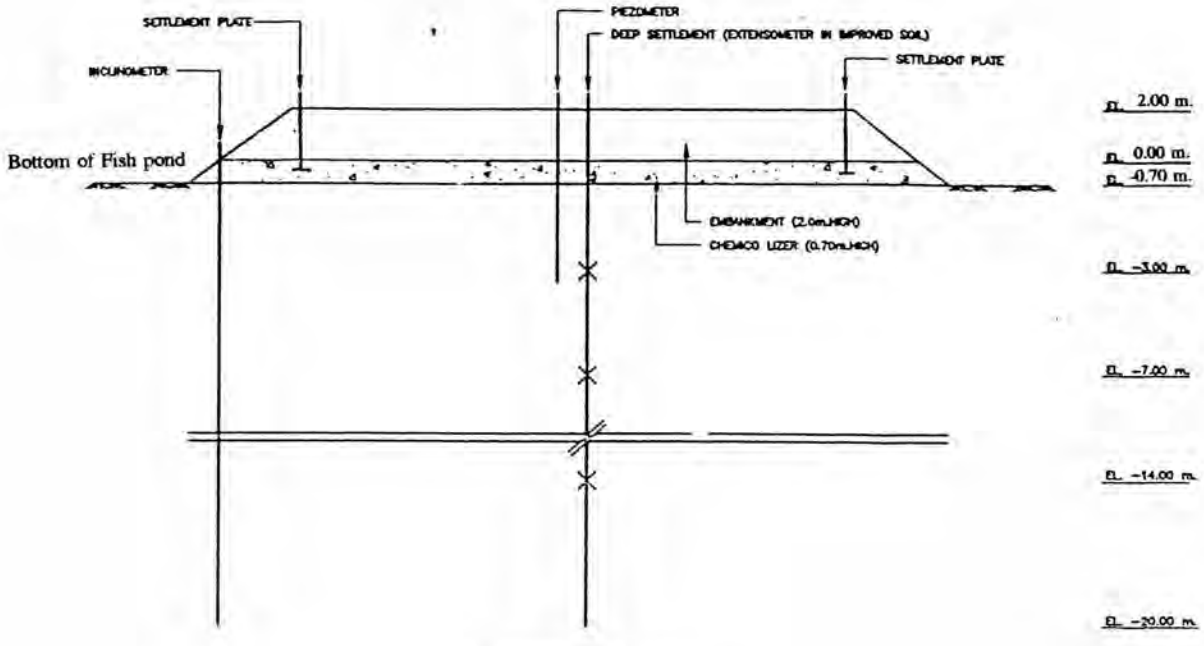
หมายเหตุ : (1) Inclinometer ปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งมากที่ระดับ -22.0 เมตร

(2) Extensometer ระดับที่ Fix ตอนล่างอยู่ที่ระดับ -22.0 เมตร

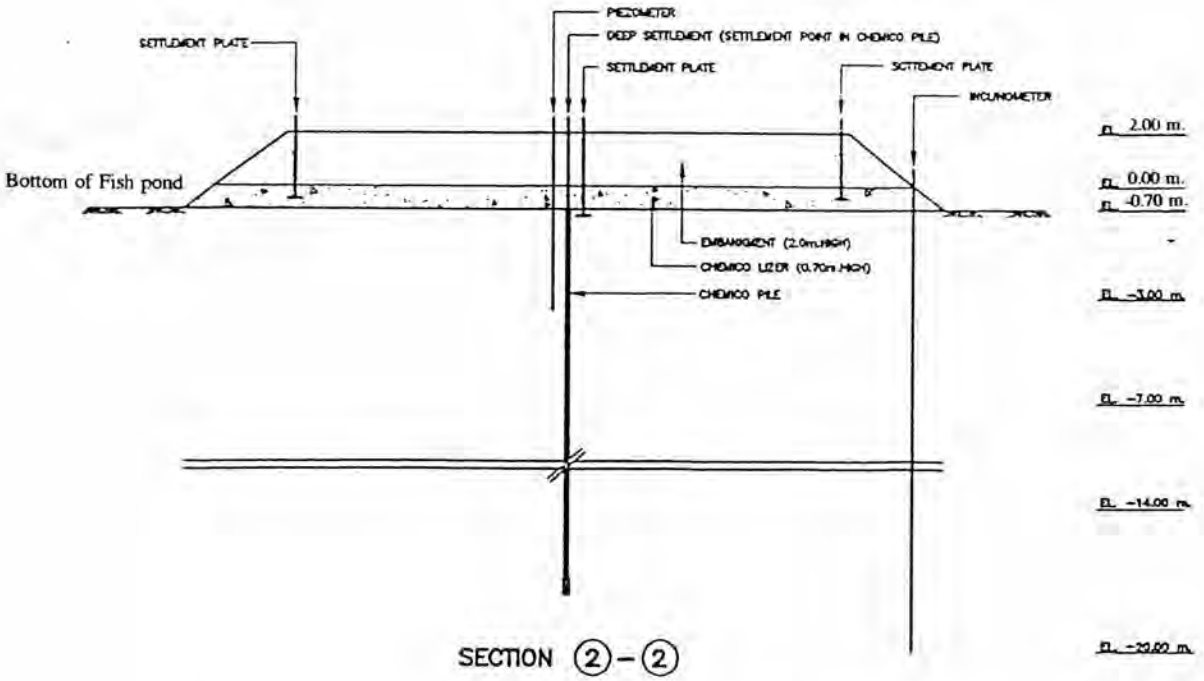
(3) ตำแหน่งของเครื่องมือแสดงอยู่ในรูปที่ 3.11 และ 3.12



รูปที่ 3.11 รายละเอียดการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิก (Plan View)



SECTION (1)–(1)



SECTION (2)–(2)

รูปที่ 3.12 รายละเอียดการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิก (X-Section)

3.3.1. ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค

Standpipe Piezometers

เป็นอุปกรณ์การวัด Pore Pressures ของดินเหนียวแต่ละชั้นดิน โดยอุปกรณ์จะมีท่อ PVC Ø1/2" ต่อติดกับหัว filter ซึ่งเป็นแท่งเหล็กเจาะรูโดยรอบ และมี Porous Stone อยู่ภายในเพื่อให้น้ำผ่านได้เท่านั้น โดยเราจะติดตั้งfilter กับท่อ PVC แล้วหย่อนลงภายในหลุมเจาะจนถึงระดับที่ต้องการจากนั้นก็จะกรอกทรายละเอียด โดยรอบหัว filter สูงประมาณ 30 cm และก็จะทิ้งเม็ด Bentonite ลงไปต่อโดยรอบๆ หลุมจนสูงประมาณ 30 cm ก็ Grout หลุมด้วย Cement Bentonite (1:1) ลงไปจนเต็มหลุม และเราก็จะวัด Pore Pressure โดยวัดจากระดับน้ำที่อยู่ภายในท่อ PVC

วิธีติดตั้ง

1. เจาะหลุม (Boring) ลงไปจนถึงระดับที่ต้องการ
2. ต้มหัว filter ให้ Saturated เพื่อไล่อากาศออกมา
3. ต่อหัว filter กับท่อ PVC หย่อนลงไปถึงระดับที่ต้องการ
4. โรยทรายละเอียดโดยรอบๆท่อ PVC สูงประมาณ 30 cm
5. ทิ้งเม็ด Bentonite โดยรอบๆ ท่อPVC สูงประมาณ 30 cm
6. Grout หลุมเจาะด้วย Cement Bentonite (1:1) จนเต็มหลุม
7. ทิ้งไว้ 24 ช.ม. ทำการวัดระดับน้ำที่อยู่ภายในท่อ ก็จะทราย Pore Pressures ของชั้นดิน
8. ปิดฝาเพื่อป้องกันมิให้ เศษสิ่งของตกลงไป

การอ่านค่าจากเครื่องมือ

หลังจากทิ้งเอาไว้ 24 ช.ม. แล้ว นำสายไฟที่ต่อกับเครื่องวัดระดับน้ำหย่อนลงภายในท่อ PVC เมื่อสายไฟแตะถูกน้ำก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าครบวงจรมีเสียงร้องและไฟติด เราก็จะทราบความสูงของระดับน้ำเทียบกับปลายท่อจากนั้นก็นำไปวิเคราะห์และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Pore Pressure กับเวลา

Deep Settlement Point

เป็นอุปกรณ์การวัดการทรุดตัวของชั้นดินประกอบด้วยท่อนเหล็ก(Pipe) ∅1/4" ต่อติดกับหัวBorros Archor ซึ่งที่ปลายจะมีเหล็กเส้น (Prongs Extended) จำนวน 3 เส้น ซ่อนอยู่ภายในหัว Borros Archor นี้ หลักการทำงานเราจะต่อตัวอุปกรณ์นี้ลงในชั้นดินที่ต้องการจากนั้นก็จะดอกที่ปลาย Pipe จนกระทั่ง เหล็กเส้นที่อยู่ที่ปลายกางออกฝังตัวในชั้นดินที่เราต้องการ ทำให้เราทราบการเคลื่อนตัวของชั้นดินนั้นๆ

วิธีติดตั้ง

1. เจาะหลุม (Boring) ในที่นี้เราจะเจาะที่หัวเข็มปูนขาว (Chemico-pile) เพื่อต้องการทราบการเคลื่อนตัวของเข็ม จนถึงระดับที่ต้องการในที่นี้จะลึกประมาณ 8 m

2. ต่อ Pipe กับหัว Borros Archor และหย่อนลงในหลุมเจาะ และต่อ Pipeลงไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงระดับที่ต้องการ

3. ทำการดอก Pipe เพื่อให้เหล็กเส้น (Prongs Extended) ภายในหัวกางออกมาและฝังตัวอยู่ในเข็ม

4. กรอกเศษดินที่ขุดคืนลงหลุมลงไปรอบๆหลุมจนถึงปากหลุมเพื่อปิดหลุม

5. ใช้กล้องระดับวัดระดับของRod เพื่อเก็บเป็นค่าเริ่มต้น

การอ่านค่าจากเครื่องมือ

หลังจากติดตั้งเครื่องมือเสร็จ เราจะวัดค่าระดับด้วยกล้องระดับ โดยวางสต๊าฟบน Rod check การเคลื่อนตัวของเข็มหลังจากใส่น้ำหนักบรรทุก นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟเทียบระหว่างการทรุดตัวกับเวลา

Magnetic Extensometer

หลักการ จะทำการติดตั้งตัว spider magnets ซึ่งมีขาเป็นอลูมิเนียมเหมือนแมงมุมซึ่งขานี้จะกางออกฝังตัวอยู่ใต้ดิน เมื่อชั้นดินมีการเคลื่อนตัว Magnet นี้ก็จะเคลื่อนตัวตามชั้นดิน ทำให้เราสามารถทราบการเคลื่อนตัวของดินที่เราติดตั้ง Magnet ไว้ โดยทั่วไปเราจะติดตัว Magnet นี้ที่ชั้นดินแต่ละชั้นๆละ 1 ตัว และที่ตัว Magnet นี้จะมีแม่เหล็กอยู่ภายในซึ่งเมื่อเราหย่อนหัววัดลงไปก็จะ

ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น เมื่อผ่านตัว Magnet ทำให้เราทราบตำแหน่งของ Magnet โดยที่ปลายท่อก็จะมีตัว Magnet เป็นตัว Datum เทียบกับ Magnet แต่ละช่วงเรียกว่า Datum Magnet

วิธีติดตั้ง

1. เจาะหลุม(Boring) ขนาด 4" ลงไปจนถึง ระดับความลึกที่ต้องการ 3,7,14 m
2. นำท่อ PVC 1" หย่อนลงภายในหลุมเจาะ โดยที่ปลายท่อติดตัว Magnet Datum ไว้
3. ต่อท่อ PVC ลงไปเรื่อยๆจนถึงระดับที่ต้องการ
4. นำหัว Magnet ตัวที่ 1 สวมครอบท่อ PVC และรัดปลายขาด้วยเอ็นพลาสติก
5. หย่อนหัว Magnet ลงไปเรื่อยๆ จนถึงระดับที่ต้องการแล้วปล่อยเอ็นพลาสติกออกขาอลูมิเนียมก็จะกางออกยึดติดกับชั้นดินที่ต้องการ
6. ทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆจนครบทุกตัว
7. ทำการวัดและอ่านค่าเริ่มต้นของ Magnet แต่ละตัวและเทียบกับ Magnet Datum
8. ปิดฝาเพื่อป้องกันมิให้เศษสิ่งของตกลงในท่อ

การอ่านค่าจากเครื่องมือ

หลังจากเราติดตั้งเครื่องมือเสร็จแล้ว ทำการอ่านค่าเริ่มต้นของ Magnet แต่ละตัวเทียบกับ Magnet Datum โดยหย่อนหัววัดลงภายในท่อ PVC 1"ที่ถูกสวมด้วยMagnet เราจะวัดระยะจากปากท่อจนถึงตัว Magnet โดยที่สายวัดจะมีตัวเลขบอกความยาวไว้นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ และเขียนกราฟความสัมพันธ์ของการทรุดตัวของชั้นดินแต่ละชั้นกับเวลา

Inclinometer

Inclinometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินใช้สำหรับตรวจสอบพฤติกรรมและความปลอดภัยของโครงสร้าง ในที่นี้คือ Embankment เครื่องมือประกอบด้วยท่อที่บากร่องภายใน (Grooved Casing) , Sensors , Indicators และ Cable หลักการทำงานมีดังนี้ เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้วหย่อน Sensors ลงในช่องที่บากในท่อ Sensors จะเปลี่ยแปลงและส่งค่ามาที่ Indicators ทำให้ทราบถึงการเคลื่อนตัวของดินข้างใต้

วิธีติดตั้ง

1. เจาะหลุม ∅ 4" ลึกจนถึงระดับดินที่ต้องการซึ่งจะประมาณชั้น Stiff Clay ทำความสะอาดหลุมเจาะ

2. หย่อนท่อ(Grooved Casing)ที่ปิดปลายท่อแล้วลงในหลุมวางให้อยู่ในแนวดิ่ง โดยจะกรอกน้ำลงในท่อเพื่อป้องกันมิให้ท่อลอยขึ้นมา

3. ต่อท่อท่อนต่อไปด้วยข้อต่อจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ เมื่อเสร็จแล้วก็ทำการฉีด Cement - Bentonite (1:3) ลงไปรอบท่อจนเต็ม

4.ปิดฝาท่อป้องกันมิให้เศษสิ่งของตกลงไป

5. วัดและอ่านค่าเริ่มต้นของการติดตั้ง

การอ่านค่าจากเครื่องมือ

เมื่อติดตั้งและอ่านค่าเริ่มต้นเสร็จแล้ว หลังการใส่น้ำหนักบรรทุก ชั้นดินก็จะมีการเคลื่อนตัวเราจึงต้องทำการวัด และทำการแปลผลวิเคราะห์ หาขนาดการเคลื่อนตัวของชั้นดินเทียบกับเวลา

Surface Settlement Plate

เป็นอุปกรณ์การวัดการทรุดตัวของผิวดิน เป็นท่อนเหล็กกลวงยึดติดกับแผ่นคอนกรีตหนา 10 cm ใช้วัดอัตราการทรุดตัวของชั้นดินที่อยู่ใต้แปลงทดสอบ การติดตั้งจะฝังอยู่ใต้แปลงทดสอบ และจะโผล่ปลายท่อเหล็กเหนือแปลงทดสอบ และจะมีปลอกเป็นท่อเหล็กขนาดใหญ่กว่าท่อในสวมครอบเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการยึดเกาะของดินกับท่อนเหล็กกลวงข้างใน ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ

วิธีติดตั้ง

1. ประกอบเครื่องมือ โดยติดตั้งท่อเหล็กขนาด ∅1/2" กับ แผ่นคอนกรีต ขนาด 40x40x10 cm.

2. ขุดดินให้เป็นบ่อ(pit) ใต้ผิวChemico-lizer ลึกประมาณ 50 cm กว้างพอที่จะวางแผ่น Concret ได้

3. เทคอนกรีตหยาบที่ก้นหลุม ปล่อยให้ Set ตัวแล้ววาง Plate ลงบนคอนกรีตหยาบ

4. สวมท่อเหล็กที่ใช้ป้องกันท่อนเหล็กกลวง

5. ทำการถมบ่อด้วยดินเดิมที่ขุดออกมา และบดอัด

6. อ่านระดับของท่อเหล็กกลวงภายใน(ค่าที่อ่านได้เป็นค่าเริ่มต้นการวัดการทรุดตัว)

การอ่านค่าจากเครื่องมือ

ใช้กล้องระดับ (ความละเอียดของการอ่านค่าระดับ 1 มม) อ่านค่าโดยการวางไม้สต๊าฟบนท่อนเหล็กกลวงที่โผล่ขึ้นมา นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเขียนกราฟการทรุดตัวกับเวลา

Observation well

Open Tube Observation well ใช้สำหรับวัดระดับน้ำใต้ดิน (Ground water table) ในพื้นที่ โดยปกติจะติดตั้ง ประมาณ 1 ถึง 2 เมตร ใต้ผิวดิน

วิธีติดตั้ง

1. เจาะดินด้วย Hand Auger จากผิวดินลงไปลึกประมาณ 2 เมตร

2. นำท่อ PVCขนาด ∅ 3.5" ที่ปลายเจาะรู 1 cm โดยรอบประมาณ 1 เมตร วัดจากปลายท่อ

3. หย่อนปลายท่อลงในหลุมที่เจาะไว้แล้ว โดยโผล่ปลายท่อขึ้นจากผิวดิน 1 เมตร

4. โรยเศษกรวด (fine gravel) ลงรอบๆท่อเพื่อป้องกันมิให้รูที่เจาะเอาไว้ถูกดินเหนียวอุดตัน

5. เมื่อเสร็จแล้วปิดฝาท่อด้านบนด้วยฝาเพื่อป้องกันมิให้เศษสิ่งของตกลงในท่อและอุดตัน

การอ่านค่าจากเครื่องมือ

การอ่านค่าระดับน้ำใต้ดินสามารถอ่านได้โดยการหย่อนสายไฟที่ต่อกับอุปกรณ์การวัดระดับน้ำแล้ววัดความยาวของสายไฟจากปากท่อจนถึงระดับน้ำ จากนั้นก็สามารถนำผลการวัดที่ได้มาวิเคราะห์ สรุปผลออกมาในรูปของกราฟ ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดินกับเวลา

3.4 วิธีการเก็บตัวอย่างดินในสนาม

การเก็บตัวอย่างดินในสนามจะใช้วิธี Wash Boring และเก็บตัวอย่างดินทุกระยะ 1.50 m. และเก็บตัวอย่างตั้งแต่ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) จนถึงชั้นดินแข็ง (Stiff Clay)หรือชั้นทราย (Sand) การเก็บตัวอย่างดินอ่อนจะเก็บด้วยกระบอกบาง (Shelby tube) ซึ่งจะมีการใส่ Casing นำจนพ้นช่วง Soft Clay ส่วนตัวอย่างดินแข็งจะเก็บด้วยกระบอกผ่า (Split spoon Sampler)พร้อมกับทำ Standard Penetration Test (SPT)ด้วย

3.5 การทดสอบ Dutch Cone Penetration

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength; S_u) ในสนามซึ่งสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินถมได้

การทดสอบจะใช้ Static Cone Penetrometer มีขนาด Cone Base Area เท่ากับ 10 ซม^2 และมี friction Area เท่ากับ 150 ซม^2 ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ติดตั้งเครื่องมือซึ่งกดด้วย Hydraulic ยึดฐานด้วยสว่าน ทั้ง 4 ด้าน เพื่อเป็นตัวต้านทานแรงถอนระหว่างทดสอบ

2. ติดตั้งชุด Cone แบบ friction - Cone ซึ่งประกอบด้วยปลอกวัดความฝืด (friction Sleeve) และปลายกรวย (Cone Base Area)

3. กดปลายกรวยลงในชั้นดินทุกระยะ 0.20 เมตร ด้วยอัตราเร็ว 10 ม.ม./วินาที ซึ่งมีท่อเหล็กกลมกับดิน(Casing) หุ้มอยู่ ทำการอ่านบันทึกค่าที่วัดได้

4. ทำการทดสอบจนถึงชั้นทราย

ค่า q_c ที่ได้จากการทำ Dutch Cone Penetration นี้จะต้องมีการปรับแก้ให้เป็นค่า S_u(FV) ก่อน ดร. สุรฉัตร(1989) ได้เสนอสมการปรับแก้ค่าดังนี้

$$q_c = 20.11\ S_u(FV)$$

หลังจากปรับแก้แล้วก็ต้องปรับแก้ค่า $S_u(FV)$ ที่ได้ด้วยกราฟของ Bjerrum (1972) เช่นเดียวกันอีกครั้ง

3.6. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

หลังจากเก็บตัวอย่างดินมาเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำมาทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

3.6.1 คุณสมบัติพื้นฐาน (Basic Preperties)

คุณสมบัติพื้นฐานที่ทดสอบจะทดสอบตามมาตราฐานของ American Society for testing and Materials (ASTM) ซึ่งประกอบด้วย

1. ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural water Content)
2. Atterberg's Limits
3. ความหนาแน่นรวม (Total Density)

3.6.2. การทดสอบ Consolidation

การทดสอบ Consolidation เพื่อที่จะหาค่าการยุบอัดตัว (Compressibity) ของดิน โดยจะทำการทดสอบด้วยเครื่อง Oedometer แบบใช้ Pressure โดยตัวอย่างดินจะถูกใส่ในวงแหวนแล้วชั่งน้ำหนัก หาความหนาแน่น และปริมาณความชื้น โดยการทดสอบนี้จะใช้การทดสอบแบบวิธีมาตราฐาน โดยใช้เวลาของการใส่น้ำหนักเท่ากับ 24 ช.ม. และสัดส่วนการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 1 ($\frac{\Delta P}{Po} = 1.0$) บันทึกค่าการยุบตัวและเวลาอย่างต่อเนื่อง

3.6.3. การทดสอบกำลังแรงเฉือนแบบ Unconsolidation Undrained Triaxial Compression test:UU test

การทดสอบนี้ทำขึ้นเพื่อหาค่าโมดูลัสแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Modulus) และค่า Undrained Shear Strength ของดิน เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณคาดคะเนการวิเคราะห์การทรุดตัว ซึ่งวิธีและเครื่องมือทดสอบดูจากวิทยานิพนธ์ของดำรงค์ (2526) โดยเพิ่มแรงอัดด้วยอัตราความเครียดประมาณ 10% ต่อชั่วโมง

3.7 การก่อสร้างเสาเข็มปูนขาวแบบ Placing Method และการถมทราย

การก่อสร้างเสาเข็มปูนขาวได้ทำหลังจากการปรับพื้นที่ ประมาณ 30 วัน ในแปลงทดสอบที่ 2 การทำเข็มปูนขาว(ดูบทที่ 2) ได้ใช้ระบบ Vibration ในการเอาปลอกเหล็ก(Casing) กดลงไปในดินก่อนเทปูนขาวและบดอัดให้แน่นจากหัวเข็มด้วยความดันอากาศ แล้วจึงถอนปลอกเหล็กขึ้น

ส่วนในแปลงทดสอบที่ 1 การทำเสาเข็มปูนได้ทำโดยใช้ระบบ Rotary ในการดันปลอกเหล็กลงไปในดินเทปูนขาวแล้วอัดอากาศ และเอาปลอกเหล็กขึ้นมา

จากการก่อสร้างจะเห็นได้ว่าการก่อสร้างที่แปลงทดสอบที่ 2 จะทำให้ดินรอบเสาเข็มถูกรบกวนมากกว่า ซึ่งจะทำให้พฤติกรรมทางด้านการทรุดตัวและความดันน้ำที่เพิ่มขึ้นมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน(ดูบทที่ 4)

การก่อสร้างเสาเข็มปูนขาวได้ทำที่แปลงทดสอบที่ 2 ก่อนใช้เวลาทั้งหมด 27 วัน ระหว่างนั้นก็ทำเข็มปูนขาวที่แปลงทดสอบที่ 1 ใช้เวลา 10 วัน เสาเข็มมีทั้งหมด 144 ต้นในแปลงทดสอบที่ 1 (ระยะระหว่างเข็ม 1.2 เมตรความยาวเสาเข็ม 15 เมตรและมีปลายอยู่ที่ -16.0 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.40 เมตร) ส่วนในแปลงทดสอบที่ 2 จำนวนเสาเข็มทั้งหมด 110 ต้น โดยใช้เสาเข็มขนาดเดียวกันแต่มีระยะห่างเข็ม 1.5 เมตร ระยะเวลาก่อสร้างทั้งหมด 27 วัน หลังจากการก่อสร้างเสาเข็ม ได้ทำ Lime Stabilizing ชั้นทรายถมและดินเหนียวหนาประมาณ 1.0 เมตร บนหัวเสาเข็มเพื่อไม่ให้เสาเข็มลอยขึ้นเนื่องจากขนาดเสาเข็มจะขยายตัวทางด้านข้าง หลังจากการก่อสร้างเข็มและ Stabilized Layer แล้ว 160 วันจึงมีการขุดเพื่อดูขนาดเสาเข็มโดยใช้ Back hole และคนงานทั้งสองแปลงพบว่ามีขนาดประมาณ 0.50 เมตร และได้ทำการเจาะเก็บตัวอย่างดินที่ แปลงทดสอบที่ 1 และ 2 รวมทั้งทำ CPT เพื่อดูผลกระทบของการก่อสร้างที่มีต่อดินอ่อนเนื่องจากการทำเข็มปูนขาว ตำแหน่งของเสาเข็มแต่ละตัวอยู่ที่ Gridline แต่ละจุดแสดงในรูปที่ 3.6

ก่อนการถมทรายเพื่อทำการทดสอบพฤติกรรมของเสาเข็มได้ทำการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิคก่อน(ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 3.3)และทำการอ่าน Initial reading ประมาณ 200 วัน หลังการปรับพื้นที่

ค่า Initial Reading อ่านในวันที่ 24 ธันวาคม ดังนั้นเวลาเท่ากับศูนย์เริ่มที่วันนี้ การถมทรายได้เริ่มขึ้นเมื่อวันที่ 25 ธันวาคมพร้อมทั้งอ่านค่าเครื่องมือธรณีเทคนิค การถมทรายทำด้วยอัตรา 1 เมตรต่อ1วัน แล้วพัก 1 วันก่อนถมต่อไปจนถึง 2 เมตร รวมเวลาถมทรายทั้งสิ้น 4 วัน

3.8 การวัดข้อมูลทางธรณีเทคนิคในสนาม

การวัดค่าการทรุดตัวจำเป็นที่จะต้องมีหมุดแสดงระดับ(Benchmark) ในที่นี้ใช้ค่าหมุดที่ทางหน่วยทหารช่างทำไว้ที่สะพานข้ามคูน้ำภายในพื้นที่สนามบิน ซึ่งอยู่ห่างออกไปจากบริเวณพื้นที่ทดสอบประมาณ 300 เมตร นั่นคือ BM-26 Sta06+116.70 ,+3.070 m.(MSL) การติดตั้งเครื่องมือได้ทำขึ้นหลังจากการทำเสาเข็มปูนขาว และ Lime mixing layer เรียบร้อยแล้ว

การวัดค่าการทรุดตัวนั้นจะใช้ในอุปกรณ์ 3 อย่าง คือ

1. Settlement Plate จะใช้วัดค่าการทรุดตัวของผิวดิน (Surface Settlement) โดยจะใช้ไม้ Staff วางบนปลายท่อ Settlement Plate เทียบกับ ระดับที่วัดจาก BM-26 ที่สะพานก็จะได้ค่าการทรุดตัวของผิวดินในแต่ละจุดโดยวัดค่าแรกก่อนการถมทรายสูง 2 เมตร 1 วัน

2. Extensometer จะใช้วัดค่าการทรุดตัวของดินที่ระดับความลึก -3.0, -7.0 และ-14.0 เมตร โดยมีปลายอยู่ที่ -22.0 เมตร ในการวัดค่าการเคลื่อนตัวจะวัดการเคลื่อนตัวของ Magnet ที่ติดในระดับ-3.0, -7.0 และ-14.0 เมตร แต่ละจุดเทียบกับ Datum Magnet ที่อยู่บริเวณปลาย -22.0 เมตร ก็จะได้ค่าการทรุดตัวในแต่ละชั้นดิน

3. Deep Settlement Point ติดในตัวเข็มที่ระดับ 8.0 เมตร ดังนั้นเมื่อวัดการทรุดตัวก็จะได้ค่าการทรุดตัวของเข็มที่ -8.0 เมตรลงไป ในการวัดจะใช้ไม้ Staff วางบนปลายท่อของ Deep Settlement Point แล้วใช้กล้องระดับวัดค่าระดับเทียบกับที่ BM-26 เช่นเดียวกัน ก็จะได้ค่าการทรุดตัวของเข็มที่ -8.0 เมตร ลงไป

ตำแหน่งของเครื่องมือได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.11 และ 3.12 ในการติดตั้งเครื่องมือค่าระดับศูนย์อยู่ที่ผิวบนทรายที่ถม

เนื่องจากมีการถมทรายขึ้นมาก่อน 0.70 เมตรก่อนการติดตั้งเครื่องมือทางธรณี เทคนิค ซึ่งประกอบด้วย Settlement Plate, Piezometer และ Observation Well ที่ Dummy area จึงไม่ได้อ่านค่าความดันน้ำในสภาพสมดุลย์ การทรุดตัวของ Surface Settlment Plate และค่าความดันน้ำจาก

Piezometer ที่เวลาใดๆที่อ่านได้จะเป็นค่าอันเนื่องมาจากการทรุดตัวที่เหลืออยู่จากการถมทราย 0.70 เมตร และการทรุดตัวเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลตลอดจนผลกระทบจากการก่อสร้างคันดินใกล้เคียงกัน

3.9 ระยะเวลาและขั้นตอนการทำงานในสนาม

ในการศึกษาครั้งนี้เริ่มทำการถมทรายในบ่อปลา เพื่อทำเส้นทางขนย้ายเครื่องมือเจาะสำรวจและติดตั้งเข็ม รวมทั้งสร้างแปลงทั้ง 3 แปลงด้วยการถมทรายสูงประมาณ 0.70 เมตร ซึ่งเริ่มถมประมาณ เดือนพฤษภาคม 2539 หลังจากนั้นก็ทำการเจาะสำรวจดินเพื่อศึกษาชั้นดินก่อนการปรับปรุงที่แปลงทดสอบที่ 1 (BH-1) และที่แปลง Dummy area (BH-2)

การติดตั้งเข็มจะเริ่มทำที่แปลงทดสอบที่ 2 ก่อนในวันที่ 16 มิถุนายน 2539 เสร็จวันที่ 12 กรกฎาคม 2539 รวม 27 วัน ส่วนในแปลงทดสอบที่ 1 เริ่มทำวันที่ 27 มิถุนายน 2539 เสร็จวันที่ 6 กรกฎาคม 2539 รวม 10 วัน

ทำการทดสอบ Field CBR test ในแปลงทดสอบที่ 1 ในวันที่ 6 ตุลาคม 2539 จากนั้นประมาณ 160 วัน หลังจากติดตั้งเข็มเสร็จ ได้ทำการเจาะสำรวจดินอีกครั้งเพื่อหาคุณสมบัติดินหลังปรับปรุงคุณภาพ และเริ่มทำการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิคในวันที่ 16 ธันวาคม 2539 เสร็จวันที่ 24 ธันวาคม 2539 และทำการวัดค่าเริ่มต้นของเครื่องมือที่ติดตั้งทั้งหมดเป็นค่าเริ่มต้นก่อนการถมทราย หลังจากนั้นในวันที่ 25 ธันวาคม 2539 ก็เริ่มถมทราย ในการถมทรายจะถมสลับกันไปมาระหว่างแปลงทดสอบที่ 1 และ 2 โดยถมทีละ 1 เมตร ซึ่งเริ่มถมที่แปลงทดสอบที่ 2 ก่อน ทำการถมทรายจนกระทั่งสูงประมาณ 2 เมตร ทั้ง 2 แปลง โดยใช้ระยะเวลาถมทรายทั้งสิ้น 4 วัน

ในการวัดค่าจากเครื่องมือที่ติดตั้งในสนามจะเริ่มวัดก่อนการถมทราย 1 วัน และในช่วงระหว่างถมทรายก็ทำการวัดค่าจากเครื่องมือด้วย การวัดค่าจากเครื่องมือในช่วงแรกจะวัดทุกวันหลังจากนั้นจะเว้นระยะการวัดห่างออกไปเป็นเดือนละครั้ง และใช้ระยะเวลาการวัดทั้งสิ้น 227 วัน

3.10 การแปลข้อมูลจากเครื่องมือธรณีเทคนิคในสนาม

การแสดงพฤติกรรมของการถมดินในแปลงที่ 1 และ 2 จำเป็นต้องเสนอเพียงผลของการก่อสร้างคันดินเนื่องจากการถมทรายสูง 2 เมตร ทั้งนี้เนื่องจากการปรับพื้นที่เพื่อการทำงานโดยใช้ทรายถมสูง 0.70 เมตรนั้นได้ทำก่อนการถมดินเพื่อก่อสร้างคันดินเป็นเวลาประมาณ 200 วัน ซึ่งการทรุดตัวของทรายที่ปรับพื้นที่ได้เกิดขึ้นแล้วและยังไม่หมด การทรุดตัวและค่าความดันน้ำ

ส่วนที่เหลือเนื่องจากการถมทรายเพื่อปรับพื้นที่หาได้จากข้อมูลใน Dummy area ซึ่งไม่ได้แสดงผลของการปรับพื้นที่ทั้งหมดเนื่องจากการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิคและการวัดค่าครั้งแรกได้ทำขึ้นที่เวลาประมาณ 200 วันหลังการปรับพื้นที่ ดังนั้นการทรุดตัวจากการถมทรายปรับพื้นที่จึงได้เกิดขึ้นแล้วก่อนการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิคและการอ่านข้อมูลครั้งแรก

การอ่านข้อมูลครั้งแรก(นับเวลาว่าเป็นศูนย์)ได้ทำขึ้นเมื่อเวลาประมาณ 200 วันหลังการปรับพื้นที่ และการทรุดตัวเนื่องจากการถมทราย 0.70 เมตรยังไม่หมดและมีค่าความดันน้ำที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลจากการปรับพื้นที่ยังเหลืออยู่ การเขียนข้อมูลต่างๆและการแปลข้อมูลได้กระทำดังนี้

1. การเสนอค่าความดันน้ำที่เพิ่มขึ้นที่เวลาเท่ากับศูนย์คือค่า Excess Pore Water Pressure ซึ่งเกิดจากผลของการก่อสร้างเสาเข็มและผลของปฏิกิริยาเคมีของเสาเข็มปูนขาวกับน้ำในดิน หาได้โดยนำค่าที่อ่านจาก Piezometer ในคันดินลบกับค่าที่ได้จาก Dummy area ที่ความลึกเดียวกัน และการหาค่า Excess Pore Water Pressure ในเวลาต่อมาก็ทำเช่นเดียวกัน การทำเช่นนี้จะตัดผลของการปรับพื้นที่และผลของการสูบน้ำบาดาลออก ค่า Excess Pore Water Pressure ที่นำมาเขียนกราฟในกรณีที่เวลามากกว่าศูนย์ คือผลของการถมทรายสูง 2.0 เมตร

2. ค่าการทรุดตัวทำโดยการเอาข้อมูล Settlement Plate จากคันดินและ Dummy area มาลบกัน ข้อมูลการทรุดตัวส่วนใหญ่จึงมาจากการถมคันดินขึ้นมา 2.0 เมตร

3. ข้อมูลการทรุดตัวจากระดับที่ 8.0 เมตรลงไปหาได้จากข้อมูล Extensometer และ Deep Settlement Point ในเข็ม ข้อมูลนี้จะรวมผลของการทรุดตัวเนื่องจากการปรับพื้นที่ การสูบน้ำบาดาลและการทรุดตัวเนื่องจากการก่อสร้างคันดินข้างเคียง

4. การหาค่า Relative Movement ของเสาเข็มกับดินที่ระดับ 8.0 เมตร ทำได้โดยการนำเอาค่าการทรุดตัวที่ได้จากข้อที่ 3 ของ Extensometer และ Deep Settlement Point ในเข็ม มาลบกันจะให้ค่า Relative Movement ของดินและเสาเข็ม จาก -8.0 เมตร ถึงปลายเข็ม อันเนื่องมาจากการถมทรายสูง 2.0 เมตร เพียงอย่างเดียว

5. การอ่านค่า Inclinometer จะแสดงผลของการถมดินสูง 2.0 เมตร และรวมผลกระทบของคันดินข้างเคียง

จากข้อมูลในบทที่ 4 ค่าการทรุดตัวและความดันน้ำใน Dummy area พบว่าการทรุดตัวแทบไม่เปลี่ยน หลังจาก 80 วันไปแล้ว นอกจากนี้ความดันน้ำหลังจาก 80 วันไม่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน ข้อมูลเหล่านี้แสดงว่าผลของการปรับพื้นที่และผลของการสร้างคันดินข้างเคียงได้หมดลงหลังจากถมดินไปได้ 90 วัน จึงถือว่าเป็นความดันน้ำสมดุลย์สำหรับการคำนวนผลของการทรุดตัวเนื่องจากการก่อสร้างคันดินสูง 2.0 เมตร และค่าความดันน้ำที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย สาธิต(2528) ดังแสดงในรูปที่ 3.5