

บทที่ 4

คุณสมบัติของดินทางด้านการออกแบบและผลการคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง

4.1 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาและวิจัย มีขั้นตอนและวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย ประกอบด้วยข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Soil Investigation), ข้อมูลเทคนิคการก่อสร้าง, ข้อมูลวัดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืดด้วยเครื่องมือ Inclinator ของโครงการก่อสร้างอาคารที่ใช้ระบบกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และยังได้เก็บข้อมูลแรงดันด้านข้างของโครงการโรงพยาบาลเปาโล
- 2) คัดเลือกและเสนอค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ตามระดับความลึกของโครงการก่อสร้างที่อยู่ในขอบเขตการวิจัย โดยอาศัยข้อมูลการเจาะสำรวจดิน วิธีการและผลลัพธ์แสดงอยู่ในหัวข้อ 4.2
- 3) ประเมินค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต โดยอาศัยข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน ซึ่งได้แก่ค่า PI และ OCR, ค่ากำลังเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ตามระดับความลึก, พารามิเตอร์จากผลการวิจัยของ Ladd (1977), Moh และ Wong (1966) วิธีการและผลลัพธ์แสดงในหัวข้อ 4.3

4.2 การคัดเลือกและเสนอค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ของดินที่ความลึกต่างๆ

ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดินที่ใช้ในการประเมินค่า S_u มีสามชนิด คือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compressive Test: $S_{u(UC)}$), ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบเวนในสนาม (Field Vane Shear Test: $S_{u(FV)}$) และค่าทดสอบทะลุทะลวงแบบมาตรฐาน (N ; SPT) ค่า S_u ที่ได้จากข้อมูลทั้งสามชนิดนี้มีความเหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานต่างกัน

หลักการพิจารณาเลือกค่า S_u ของดินที่ความลึกต่างๆ จะคัดเลือกจากชนิดข้อมูลที่ได้คุณภาพของผลการทดสอบค่า S_u ที่ดีที่สุด เพื่อหาค่าคุณสมบัติของดินในการวิเคราะห์หากการเคลื่อนตัวของกำแพงในแต่ละโครงการ ซึ่งในชั้นดินแต่ละประเภท (ดินเหนียวอ่อน, ดินเหนียวแข็งปานกลาง, ดินเหนียวแข็ง และดินทราย) จะใช้ชนิดของข้อมูลการเจาะสำรวจดินที่มีความเหมาะสมจะแตกต่างกัน

ในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง (Soft to Medium Clay) ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบแบบเวนในสนาม ($S_{u(FV)}$) หลังจากปรับแก้แล้วจะให้ค่า S_u ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ มีค่าความไวกสูง การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสนามมีผลกระทบของการรบกวนตัวอย่างดิน น้อยกว่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่ก็มีข้อเสีย คือ ถ้า S_u ของดินสูงเกิน $4-5 \text{ t/m}^2$ ผลการทดสอบค่า $S_{u(FV)}$ จะให้ค่าสูงเกินความเป็นจริง ทำให้กรณีนี้ค่าทดสอบกำลังรับแรงเฉือน $S_{u(UC)}$ เหมาะสมกว่า ในกรณีที่บางหน่วยงานก่อสร้างไม่มีข้อมูล $S_{u(FV)}$ สำหรับนำมาใช้คัดเลือก เป็นผลให้ต้องนำค่า $S_{u(UC)}$ มาใช้ในการวิเคราะห์เพียงอย่างเดียว

ในชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมาก (Stiff to Very stiff Clay) คุณภาพค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิด $S_{u(UC)}$ ให้ค่า S_u ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นค่าทดสอบโดยตรง ส่วนค่า S_u ที่ได้จากความสัมพันธ์แบบ Empirical ของพารามิเตอร์ N จากการทดสอบค่าทะลุทะลวงแบบมาตรฐาน ($S_{u(SPT)}$) เหมาะสมรองลงมา โดยเฉพาะกรณีที่ดินเหนียวแข็งอยู่ในระดับลึก มีความยากลำบากในการเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดสอบ และมีความประสงค์จะหาค่า S_u เพียงอย่างเดียว ความสัมพันธ์ระหว่าง N และค่า S_u ของชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรกที่นำมาใช้ เสนอโดย วีรพันธ์ (2526) มีรายละเอียดดังนี้

สำหรับดินเหนียวที่มีพลาสติกสูง (CH)

$$S_u = 0.687N \text{ (t/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.12)$$

สำหรับดินเหนียวที่มีพลาสติกต่ำถึงปานกลาง (CL)

$$S_u = 0.5175N \text{ (t/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.13)$$

การหาค่ากำลังรับแรงเฉือน (S_u) นี้ มีความจำเป็นสองประการ คือ

- i) ใช้เป็นการตรวจสอบ Local yield

ii) ใช้กับความสัมพันธ์แบบ Empirical ระหว่าง $\frac{E_v}{S_v}$ เพื่อใช้วิเคราะห์การเคลื่อนตัวใน Soil model

ในการทำวิจัยใช้ค่า S_u มาจากค่า Corrected vane strength ซึ่งทางด้าน Practice มีค่าประมาณ S_u จากการทดสอบ Uncosolidate undrained (UU) หรือ Unconfined compressive strength (UC) สำหรับดินเหนียวอ่อน ส่วนในดินเหนียวแข็งปานกลางนั้นใช้ค่า $S_{u(UC)}$ เพราะเป็นค่าเดียวที่ใช้ทางด้านปฏิบัติในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

ตามความจริงแล้วค่า $\frac{E_v}{S_v}$ จะต้องพิจารณาจาก Stress level และปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ในดินเหนียวอ่อนนั้น ค่า $\frac{E_v}{S_v}$ ของดินเหนียวกรุงเทพฯ สำหรับการขุดโดยใช้เข็มพืด (Sheet pile) มักใช้ค่าประมาณ 70 ถึง 250 (Balasubramaniam and Brenner)

ค่า $\frac{E_v}{S_v}$ ของชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff clay) ซึ่ง S_u มาจาก Correlation ระหว่าง S_u กับ N ก็หาลำบากมากขึ้น การหา Relation จึงจำเป็นต้องใช้ Trial and Error ของค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Lateral movement) จากโครงการที่ได้ทำการศึกษา (Case study) ที่มี Inclimometer ฝังยาวเพียงพอ เพื่อให้การเคลื่อนตัวที่ปลายนั้นเป็นศูนย์จริงๆ

4.3 วิธีคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต (K_o)

สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต (K_o , $K_o = \frac{\sigma'_{ho}}{\sigma'_{vo}}$) เป็นฟังก์ชันของค่า OCR สามารถประเมินค่า K_o ด้วยสมการดังนี้

$$K_{o(OC)} = K_{o(NC)} (OCR)^m \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

$K_{o(OC)}$: สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างสถิตของดินเหนียวชนิดอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidated Clay)

- $K_{O(NC)}$: สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างสถิตของดินเหนียวชนิดอัดแน่นปกติ (Normally Consolidated Clay) สำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ใช้ค่าเท่ากับ 0.62 เสนอโดย Moh และ Wang (1966)
- m : ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับ PI ของดินเสนอโดย Ladd(1977) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.32 ถึง 0.42 ดังแสดงในรูปที่ 2.2
- OCR : สัดส่วนอัดแน่นเกินตัวของดิน (Overconsolidated Ratio)

สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างสถิตที่ใช้ในการทำการวิจัยสำหรับดินเหนียว จะใช้ค่า K_{OTotal} เนื่องจากการทำการวิจัยจะใช้กรณี Total Stress ซึ่งจำเป็นต้องหาค่า σ_{ho} โดยไม่จำเป็นต้อง input ค่า U_0 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างจึงจำเป็นต้องใช้ K_{OTotal} ในการวิเคราะห์ โดยหาได้จาก

$$K_{OTotal} = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$K_{OTotal} = \frac{K_0\sigma'_{vo} + U_0}{\sigma'_{vo} + U_0} \dots\dots\dots(4.3)$$

สัดส่วนค่าอัดแน่นเกินตัวของดิน (OCR) เป็นค่าสัดส่วนระหว่าง σ'_{vm} (Preconsolidation Pressure) กับค่า σ'_{vo} (Effective Overburden Pressure) ตามปกติ σ'_{vm} หาได้จากการทดสอบ Consolidation แต่ในกรณีที่เป็ดินเหนียวอ่อน สามารถประมาณค่าจากความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Trak et al.(1979) ดังนี้

$$\sigma'_{vm} = \frac{\mu S_{U(FV)}}{0.22} \dots\dots\dots(4.4)$$

- μ : ค่าปรับแก้กำลังเฉือนของการทดสอบแบบเวนในสนาม เสนอโดย Bjerrum ดังแสดงในรูปที่ 2.12
- $S_{U(FV)}$: ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียว จากการทดสอบแบบเวนในสนาม

ในกรณีที่ข้อมูลจากโครงการไม่มีผลทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบเวนในสนาม จะอนุโลมให้ใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบรับแรงอัดแบบไม่จำกัด ($S_{U(UC)}$) แทนนั้นคือ

$$\sigma'_{vm} = \frac{Su(uc)}{0.22} \dots\dots\dots(4.4)$$

รายละเอียดการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต ของโครงการอาคารโรงพยาบาล เปาโล, โครงการโบสถ์ 2, โครงการพณินชูลา และโครงการศาลาแดง ดังแสดงในตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 และรูปที่ 4.1

4.4 คุณสมบัติของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด และค้ำยัน

กำแพงกันดินชนิดเข็มพืด และค้ำยันที่เลือกใช้ คุณสมบัติดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด และค้ำยัน

ก.) กำแพงกันดินชนิดเข็มพืด, $E_{steel} = 2.04 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$

ชนิดของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด	พื้นที่หน้าตัด (cm^2/m)	Moment of Inertia (cm^4/m)	น้ำหนัก ($\text{kN}/\text{m}/\text{m}$)
FSP III	191.0	16,800	1.50
FSP IV	242.0	38,600	1.90
PU-20	180.0	39,970	1.80

ข.) คุณสมบัติของค้ำยัน, $E_{steel} = 2.04 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$

ขนาดของค้ำยัน	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	Moment of inertia (Ix) (cm^4)	น้ำหนัก (kN/m)
W 300x300	119.8	20,400	0.94
W 350x350	173.9	40,300	1.37

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง สำหรับโครงการโรงพยาบาลเปาโล สูง 25 ชั้น

Depth m.	$\mu S_{u(FV)}$ KN/m. ²	γ_i KN/m. ³	σ_{vo} KN/m. ²	U_0 KN/m. ²	σ'_{ve} $\sigma_{vo}-U_0$	σ'_{vm} $\mu S_{u(FV)}/0.22$	OCR $\sigma'_{vm}/\sigma'_{ve}$	Estimate K_0	K_0 Total
0.0	30.0	0	0	0	0	136.36			
0.5	30.0	17.0	8.5	0	8.5	136.36	16.04	1.88	1.88
1.0	30.0	17.0	17.0	0	17.0	136.36	8.02	1.43	1.43
1.5	30.0	17.0	25.5	5.0	20.5	136.36	6.65	1.32	1.26
2.0	30.0	17.0	34.0	10.0	24.0	136.36	5.68	1.24	1.17
2.5	13.5	17.0	42.5	15.0	27.5	61.36	2.23	0.85	0.91
3.0	13.5	17.0	51.0	20.0	31.0	61.36	1.98	0.81	0.89
3.5	15.0	16.0	59.0	25.0	34.0	68.18	2.01	0.82	0.90
4.0	16.0	16.0	67.0	30.0	37.0	72.73	1.97	0.81	0.90
4.5	17.0	16.0	75.0	33.9	41.1	77.27	1.88	0.80	0.89
5.0	18.0	16.0	83.0	37.7	45.3	81.82	1.81	0.79	0.88
5.5	21.0	16.0	91.0	42.0	49.0	95.45	1.96	0.81	0.90
6.0	22.0	16.0	99.0	46.0	54.0	100.00	1.85	0.79	0.89
6.5	23.0	16.0	107.0	50.0	57.0	104.55	1.83	0.79	0.89
7.0	25.0	16.0	115.0	54.1	60.9	113.64	1.87	0.80	0.89
7.5	26.0	16.0	123.0	58.0	65.0	118.18	1.82	0.79	0.89
8.0	28.0	16.0	131.0	62.1	68.9	127.27	1.85	0.79	0.89
8.5	29.5	16.0	139.0	65.3	73.7	134.09	1.82	0.79	0.89
9.0	31.0	16.0	147.0	68.4	78.6	140.91	1.79	0.78	0.88
9.5	32.0	16.0	155.0	71.5	83.5	145.45	1.74	0.77	0.88
10.0	33.0	16.0	163.0	74.0	89.0	150.00	1.69	0.76	0.87
10.5	34.5	16.0	171.0	77.0	94.0	156.82	1.67	0.76	0.87
11.0	36.0	16.0	179.0	79.3	99.7	163.64	1.64	0.76	0.86
11.5	40.0	17.0	187.5	81.0	106.5	181.82	1.71	0.77	0.87
12.0	50.0	17.0	196.0	82.7	113.3	227.27	2.01	0.82	0.90
12.5	55.0	18.0	205.0	83.2	121.8	250.00	2.05	0.83	0.90
13.0	55.0	18.0	214.0	83.7	130.3	250.00	1.92	0.80	0.88
13.5	55.0	19.0	223.5	82.8	140.7	250.00	1.78	0.78	0.86
14.0	55.0	19.0	233.0	81.9	151.1	250.00	1.65	0.76	0.84
14.5	55.0	19.0	242.5	78.2	164.3	250.00	1.52	0.73	0.82
15.0	55.0	19.0	252.0	74.4	177.6	250.00	1.41	0.71	0.80
15.5	60.0	19.0	261.5	57.4	204.1	272.73	1.34	0.70	0.76
16.0	68.0	20.0	271.5	40.3	231.2	309.09	1.34	0.70	0.74
16.5	75.0	20.0	281.5	26.7	254.8	340.91	1.34	0.70	0.73
17.0	85.0	20.0	291.5	21.8	269.7	386.36	1.43	0.72	0.74
17.5	93.0	20.0	301.5	20.4	281.1	422.73	1.50	0.73	0.75
18.0	96.0	20.0	311.5	22.2	289.3	436.36	1.51	0.73	0.75
18.5	98.0	20.0	321.5	26.2	295.3	445.45	1.51	0.73	0.75
19.0	102.0	20.0	331.5	29.9	301.6	463.64	1.54	0.74	0.76
19.5	105.0	20.0	341.5	33.6	307.9	477.27	1.55	0.74	0.76
20.0	108.0	20.0	351.5	37.4	314.2	490.91	1.56	0.74	0.77
20.5	110.0	20.0	361.5	41.1	320.4	500.00	1.56	0.74	0.77
21.0	115.0	20.0	371.5	44.8	326.7	522.73	1.60	0.75	0.78
21.5	113.0	20.0	381.5	48.6	332.9	513.64	1.54	0.74	0.77
22.0	115.0	20.0	391.5	52.3	339.2	522.73	1.54	0.74	0.77
22.5	117.0	20.0	401.5	56.0	345.5	531.82	1.54	0.74	0.77
23.0	120.0	20.0	411.5	59.8	351.7	545.45	1.55	0.74	0.78
23.5	113.0	20.0	421.5	63.5	358.0	513.64	1.43	0.72	0.76
24.0	115.0	20.0	431.5	67.2	364.3	522.73	1.43	0.72	0.76

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง สำหรับโครงการอาคารโมดก 2

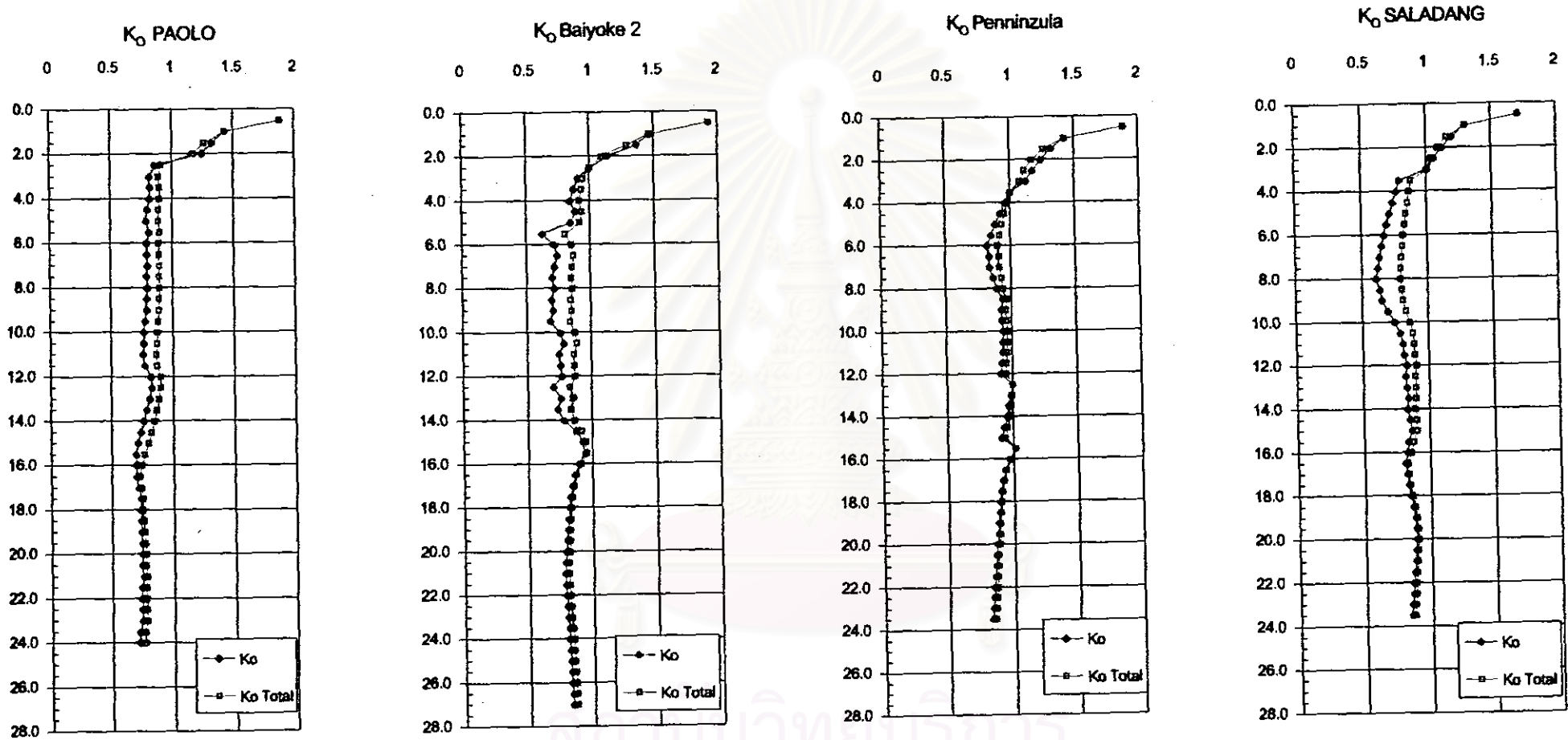
Depth m.	$\mu S_{u(r)}$ KN/m ²	γ_i KN/m ³	σ_{vo} KN/m ²	U_0 KN/m ²	σ'_{vo} $\sigma_{vo} - U_0$	σ'_{vm} $\mu S_{u(r)}/0.22$	OCR $\sigma'_{vm}/\sigma'_{vo}$	Estimate K_0	$K_{0\text{ Total}}$
0.0	30.0	0	0	0	0	136.36			
0.5	30.0	18.0	8.0	0	8.0	136.36	17.05	1.93	1.93
1.0	30.0	18.0	16.0	0	16.0	136.36	6.52	1.46	1.46
1.5	30.0	18.0	24.0	5.0	19.0	136.36	7.18	1.36	1.29
2.0	22.0	18.0	32.0	10.0	22.0	100.00	4.55	1.14	1.09
2.5	18.0	18.0	40.0	15.0	25.0	81.82	3.27	1.00	1.00
3.0	16.0	18.0	48.0	20.0	28.0	72.73	2.80	0.91	0.95
3.6	16.0	15.8	55.9	25.0	30.9	72.73	2.35	0.87	0.93
4.0	16.0	15.8	63.8	30.0	33.8	72.73	2.15	0.84	0.92
4.5	20.0	15.8	71.8	33.9	37.7	80.91	2.41	0.86	0.94
5.0	20.0	15.8	79.4	37.7	41.7	80.91	2.18	0.85	0.92
5.5	10.0	15.8	87.2	42.0	45.2	45.45	1.01	0.82	0.80
6.0	16.0	15.8	95.0	45.0	50.0	72.73	1.45	0.72	0.85
6.5	18.0	15.8	102.8	50.0	52.8	81.82	1.55	0.74	0.87
7.0	18.0	15.8	110.6	54.1	56.5	81.82	1.45	0.72	0.86
7.5	18.0	15.8	118.4	58.0	60.4	81.82	1.35	0.70	0.85
8.0	20.0	15.8	126.2	62.1	64.1	90.91	1.42	0.71	0.85
8.5	20.0	15.8	134.0	65.3	68.7	90.91	1.32	0.69	0.84
9.0	22.0	15.8	141.8	68.4	73.4	100.00	1.36	0.70	0.85
9.5	22.0	15.8	149.7	71.5	78.2	100.00	1.26	0.68	0.83
10.0	30.0	15.8	157.6	74.0	83.6	136.36	1.63	0.75	0.87
10.5	35.0	15.8	165.5	77.0	88.5	159.09	1.80	0.76	0.88
11.0	33.0	15.9	173.5	79.3	94.2	150.00	1.59	0.75	0.86
11.5	36.0	15.9	181.4	81.0	100.4	163.64	1.63	0.75	0.86
12.0	40.0	15.9	189.4	82.7	106.7	181.82	1.70	0.77	0.87
12.5	34.0	15.9	197.3	83.2	114.1	154.55	1.35	0.70	0.83
13.0	44.0	17.8	208.2	83.7	122.5	200.00	1.63	0.75	0.85
13.5	44.0	17.8	215.1	82.8	132.3	200.00	1.51	0.73	0.83
14.0	55.0	17.8	224.0	81.9	142.1	250.00	1.76	0.78	0.86
14.5	60.0	17.8	232.9	78.2	154.7	363.64	2.35	0.87	0.92
15.0	100.0	17.8	241.8	74.4	167.4	454.55	2.72	0.92	0.95
15.5	120.0	17.8	250.7	57.4	193.3	545.45	2.82	0.94	0.95
16.0	120.0	17.8	259.6	40.3	219.3	545.45	2.49	0.89	0.91
16.5	120.0	17.8	268.5	26.7	241.8	545.45	2.26	0.88	0.87
17.0	120.0	19.4	278.2	21.8	256.4	545.45	2.13	0.84	0.85
17.5	120.0	19.4	287.9	20.4	267.5	545.45	2.04	0.82	0.84
18.0	120.0	19.4	297.6	22.2	275.4	545.45	1.86	0.81	0.83
18.5	120.0	19.4	307.3	26.2	281.1	545.45	1.94	0.81	0.82
19.0	120.0	19.4	317.0	29.9	287.1	545.45	1.90	0.80	0.82
19.5	120.0	19.4	326.7	33.8	293.1	545.45	1.86	0.79	0.82
20.0	120.0	19.4	336.4	37.4	299.1	545.45	1.82	0.79	0.81
20.5	120.0	20.1	346.4	41.1	305.4	545.45	1.79	0.78	0.81
21.0	120.0	20.1	356.5	44.8	311.7	545.45	1.75	0.78	0.80
21.5	125.0	20.8	366.9	48.6	318.3	568.18	1.78	0.78	0.81
22.0	130.0	20.8	377.3	52.3	325.0	590.91	1.82	0.79	0.82
22.5	135.0	20.8	387.7	56.0	331.7	613.64	1.85	0.79	0.82
23.0	140.0	20.8	398.1	59.8	338.3	636.36	1.86	0.80	0.83
23.5	145.0	20.8	408.5	63.5	345.0	659.09	1.91	0.80	0.83
24.0	150.0	20.8	418.9	67.2	351.7	681.82	1.94	0.81	0.84
24.5	155.0	20.8	429.3	71.0	358.3	704.55	1.97	0.81	0.84
25.0	160.0	20.8	439.7	74.7	365.0	727.27	1.99	0.82	0.85
25.5	165.0	20.8	450.1	78.4	371.8	750.00	2.02	0.82	0.85
26.0	170.0	20.8	460.5	82.2	378.3	772.73	2.04	0.83	0.86
26.5	175.0	20.8	470.9	85.9	385.0	795.45	2.07	0.83	0.86
27.0	180.0	20.8	481.3	89.6	391.6	818.18	2.09	0.83	0.86

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง สำหรับโครงการพนมเปญ

Depth m.	$\mu_{s(u/v)}$ KN./m. ²	γ_t KN./m. ³	σ_{vo} KN./m. ²	U_0 KN./m. ²	σ_{vo} $\sigma_{vo}-U_0$	σ_{vm} $\mu_{s(u/v)}/0.22$	OCR σ_{vm}/σ_{vo}	Estimate K_0	K_{oTotal}
0.0	30.0	0	0	0	0	136.36			
0.5	30.0	17.0	8.5	0	8.5	136.36	16.04	1.88	1.88
1.0	30.0	17.0	17.0	0	17.0	136.36	8.02	1.43	1.43
1.5	30.0	17.0	25.5	5.0	20.5	136.36	6.65	1.32	1.26
2.0	30.0	17.0	34.0	10.0	24.0	136.36	5.68	1.24	1.17
2.5	30.0	17.0	42.5	15.0	27.5	136.36	4.96	1.18	1.11
3.0	30.0	17.0	51.0	20.0	31.0	136.36	4.40	1.12	1.07
3.5	25.0	17.0	59.5	25.0	34.5	113.64	3.29	1.00	1.00
4.0	25.0	17.0	68.0	30.0	38.0	113.64	2.99	0.98	0.98
4.5	25.0	17.0	76.5	33.9	42.6	113.64	2.67	0.92	0.95
5.0	25.0	17.0	85.0	37.7	47.3	113.64	2.40	0.88	0.93
5.5	25.0	17.0	93.5	42.0	51.5	113.64	2.21	0.85	0.92
6.0	25.0	17.0	102.0	45.0	57.0	113.64	1.99	0.82	0.90
6.5	28.0	17.0	110.5	50.0	60.5	127.27	2.10	0.83	0.91
7.0	30.0	17.0	119.0	54.1	64.9	136.36	2.10	0.83	0.91
7.5	35.0	17.0	127.5	58.0	69.5	159.09	2.29	0.86	0.93
8.0	40.0	17.0	136.0	62.1	73.9	181.82	2.46	0.89	0.94
8.5	48.0	17.0	144.5	65.3	79.2	218.18	2.75	0.93	0.96
9.0	50.0	17.0	153.0	68.4	84.6	227.27	2.69	0.92	0.96
9.5	54.0	17.0	161.5	71.5	90.0	245.45	2.73	0.93	0.96
10.0	59.0	17.0	170.0	74.0	96.0	268.18	2.79	0.94	0.96
10.5	62.0	18.0	179.0	77.0	102.0	281.82	2.76	0.93	0.96
11.0	66.0	18.0	188.0	79.3	108.7	300.00	2.76	0.93	0.96
11.5	68.0	18.0	197.0	81.0	116.0	309.09	2.66	0.92	0.95
12.0	72.0	18.0	206.0	82.7	123.3	327.27	2.65	0.92	0.95
12.5	95.0	18.0	215.0	83.2	131.8	431.82	3.28	1.00	1.00
13.0	98.0	18.0	224.0	83.7	140.3	445.45	3.18	0.98	0.99
13.5	100.0	18.0	233.0	82.8	150.2	454.55	3.03	0.97	0.98
14.0	103.0	18.0	242.0	81.9	160.1	468.18	2.92	0.95	0.97
14.5	105.0	18.0	251.0	78.2	172.8	477.27	2.76	0.93	0.95
15.0	107.0	18.0	260.0	74.4	185.6	486.36	2.62	0.91	0.94
15.5	160.0	18.0	269.0	57.4	211.6	727.27	3.44	1.02	1.01
16.0	160.0	18.0	278.0	40.3	237.7	727.27	3.06	0.97	0.97
16.5	160.0	18.0	287.0	26.7	260.3	727.27	2.79	0.94	0.94
17.0	160.0	18.0	296.0	21.8	274.2	727.27	2.65	0.92	0.92
17.5	160.0	18.0	305.0	20.4	284.6	727.27	2.56	0.90	0.91
18.0	160.0	18.0	314.0	22.2	291.8	727.27	2.49	0.89	0.90
18.5	160.0	19.0	323.5	26.2	297.3	727.27	2.45	0.89	0.90
19.0	160.0	19.0	333.0	29.9	303.1	727.27	2.40	0.88	0.89
19.5	160.0	19.0	342.5	33.6	308.9	727.27	2.35	0.87	0.89
20.0	160.0	19.0	352.0	37.4	314.7	727.27	2.31	0.87	0.88
20.5	160.0	20.0	362.0	41.1	320.9	727.27	2.27	0.86	0.88
21.0	160.0	20.0	372.0	44.8	327.2	727.27	2.22	0.85	0.87
21.5	160.0	20.0	382.0	48.6	333.4	727.27	2.18	0.85	0.87
22.0	160.0	20.0	392.0	52.3	339.7	727.27	2.14	0.84	0.86
22.5	160.0	20.0	402.0	56.0	346.0	727.27	2.10	0.83	0.86
23.0	160.0	20.0	412.0	59.8	352.2	727.27	2.06	0.83	0.85
23.5	160.0	20.0	422.0	63.5	358.5	727.27	2.03	0.82	0.85

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง สำหรับโครงการศาลากลาง

Depth m.	$S_{u(uc)}$ KN./m. ²	γ_i KN./m. ³	σ_{vo} KN./m. ²	U_0 KN./m. ²	σ'_{vo} $\sigma_{vo}-U_0$	σ'_{vm} $S_{u(UC)}/0.22$	OCR $\sigma'_{vm}/\sigma'_{vo}$	Estimate K_0	K_0 Total
0.0	25.0	0.0	0.0	0	0	113.64			
0.5	25.0	18.0	9.0	0	9.0	113.64	12.63	1.71	1.71
1.0	25.0	18.0	18.0	0	18.0	113.64	6.31	1.30	1.30
1.5	25.0	18.0	27.0	5.0	22.0	113.64	5.17	1.20	1.16
2.0	25.0	18.0	36.0	10.0	26.0	113.64	4.37	1.12	1.09
2.5	25.0	18.0	45.0	15.0	30.0	113.64	3.79	1.08	1.04
3.0	25.0	18.0	54.0	20.0	34.0	113.64	3.34	1.00	1.00
3.5	15.0	16.0	62.0	25.0	37.0	68.18	1.84	0.79	0.88
4.0	15.0	16.0	70.0	30.0	40.0	68.18	1.70	0.77	0.87
4.5	15.0	16.0	78.0	33.9	44.1	68.18	1.55	0.74	0.85
5.0	15.0	16.0	86.0	37.7	48.3	68.18	1.41	0.71	0.84
5.5	15.0	16.0	94.0	42.0	52.0	68.18	1.31	0.69	0.83
6.0	15.0	16.0	102.0	45.0	57.0	68.18	1.20	0.67	0.81
6.5	15.0	16.0	110.0	50.0	60.0	68.18	1.14	0.65	0.81
7.0	15.0	16.0	118.0	54.1	63.9	68.18	1.07	0.64	0.80
7.5	15.0	16.0	126.0	58.0	68.0	68.18	1.00	0.62	0.80
8.0	15.0	16.0	134.0	62.1	71.9	68.18	0.95	0.61	0.79
8.5	18.0	16.0	142.0	65.3	76.7	81.82	1.07	0.64	0.80
9.0	20.0	16.0	150.0	68.4	81.6	90.91	1.11	0.65	0.81
9.5	25.0	16.0	158.0	71.5	86.5	113.64	1.31	0.69	0.83
10.0	32.0	16.0	166.0	74.0	92.0	145.45	1.58	0.74	0.86
10.5	38.0	16.0	174.0	77.0	97.0	172.73	1.78	0.78	0.88
11.0	43.0	16.0	182.0	79.3	102.7	195.45	1.90	0.80	0.89
11.5	47.0	17.0	190.5	81.0	109.5	213.64	1.95	0.81	0.89
12.0	53.0	17.0	199.0	82.7	116.3	240.91	2.07	0.83	0.90
12.5	55.0	17.0	207.5	83.2	124.3	250.00	2.01	0.82	0.89
13.0	60.0	17.0	216.0	83.7	132.3	272.73	2.06	0.83	0.89
13.5	66.0	17.0	224.5	82.8	141.7	300.00	2.12	0.84	0.90
14.0	70.0	20.0	234.5	81.9	152.6	318.18	2.09	0.83	0.89
14.5	80.0	20.0	244.5	78.2	166.3	363.64	2.19	0.85	0.90
15.0	90.0	20.0	254.5	74.4	180.1	409.09	2.27	0.86	0.90
15.5	95.0	20.0	264.5	67.4	207.1	431.82	2.09	0.83	0.87
16.0	105.0	20.0	274.5	40.3	234.2	477.27	2.04	0.82	0.85
16.5	110.0	20.0	284.5	26.7	257.8	500.00	1.94	0.81	0.83
17.0	120.0	20.0	294.5	21.8	272.7	545.45	2.00	0.82	0.83
17.5	130.0	20.0	304.5	20.4	284.1	590.91	2.08	0.83	0.84
18.0	140.0	20.0	314.5	22.2	292.3	636.36	2.18	0.85	0.86
18.5	150.0	20.0	324.5	26.2	298.3	681.82	2.29	0.86	0.87
19.0	160.0	20.0	334.5	29.9	304.6	727.27	2.39	0.88	0.89
19.5	165.0	20.0	344.5	33.6	310.9	750.00	2.41	0.88	0.89
20.0	170.0	20.0	354.5	37.4	317.2	772.73	2.44	0.89	0.90
20.5	170.0	20.0	364.5	41.1	323.4	772.73	2.39	0.88	0.89
21.0	170.0	20.0	374.5	44.8	329.7	772.73	2.34	0.87	0.89
21.5	170.0	20.0	384.5	48.6	335.9	772.73	2.30	0.87	0.88
22.0	170.0	20.0	394.5	52.3	342.2	772.73	2.28	0.86	0.88
22.5	170.0	20.0	404.5	56.0	348.5	772.73	2.22	0.85	0.87
23.0	170.0	20.0	414.5	59.8	354.7	772.73	2.18	0.85	0.87
23.5	170.0	20.0	424.5	63.5	361.0	772.73	2.14	0.84	0.86



รูปที่ 4.1 ค่า K_o ที่ใช้ในการคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเข็มพืด ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล, โครงการไพบย 2, โครงการพนินซูลา และโครงการศาลาแดง

4.5 โมดูลัสของดิน (Undrained Young's Modulus, E_U) ที่ใช้ในการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด

สำหรับโครงการโรงพยาบาลเปาโล, โครงการโบหยก 2, โครงการเพนนินซูลา และโครงการศาลาแดง เป็นการวิเคราะห์แบบ Total Stress Analysis สำหรับดินเหนียว ส่วนโครงการโบหยก 2 และโครงการเพนนินซูลานั้นมีส่วนของดินที่เป็นดินทรายจะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Effective Stress Analysis โดยใช้โมดูลัสของชั้นดินทราย $E' = 40N$ (DM7-1) และ $\phi' = 33^\circ$ สำหรับโครงการโบหยก 2 และ 32.8° สำหรับโครงการเพนนินซูลา

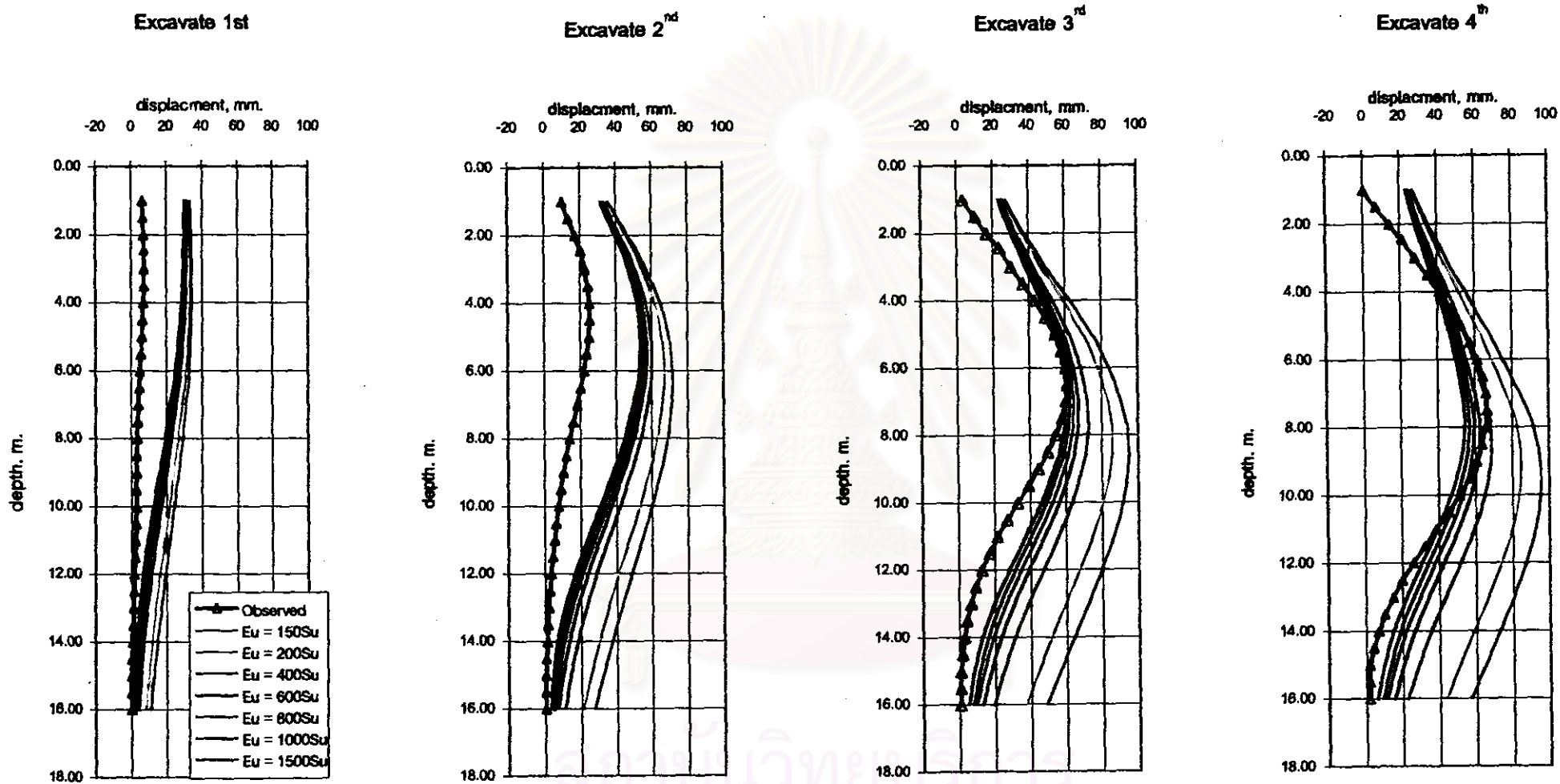
ได้ทำการ Back Analysis เพื่อหาค่าโมดูลัสในชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff clay) โดยคำนวณจากโมดูลัสของดินสำหรับโครงการโรงพยาบาลเปาโล เนื่องจากเป็นโครงการที่ได้เข้าไปเก็บข้อมูลด้วยตนเอง ซึ่งปลายของเข็มพืดอยู่ที่ Interface ของชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium clay) และชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff clay) โดยใช้โมดูลัสสำหรับดินเหนียวอ่อนเท่ากับ $150S_U$ และทำการเปลี่ยนค่าโมดูลัสสำหรับชั้นดินเหนียวแข็ง ตั้งแต่ $E_{U \text{ Stiff clay}} = 150 S_U, 200S_U, 400 S_U, 600 S_U, 800 S_U, 1000 S_U$ และ $1500S_U$ ผลการคาดคะเนดังรูปที่ 4.2 ในรูปแสดงให้เห็นว่าค่า $\frac{E_U}{S_U}$ ที่ใช้อาจต่ำเกินไปในชั้น Crust

จากผลการคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด พบว่าเมื่อใช้ค่าโมดูลัสของชั้นดินเหนียวแข็งต่ำ จะทำให้เข็มพืดมีการเคลื่อนตัวสูง และเมื่อใช้ค่าโมดูลัสของดินเหนียวสูงขึ้น พบว่าค่าการเคลื่อนตัวของเข็มพืดจะลดลง ดังรูปที่ 4.2 จากรูปพบว่าค่าโมดูลัสของชั้นดินเหนียวแข็ง $E_{U \text{ Stiff clay}} = 1000 * S_U$ และ $1500 * S_U$ จะให้ค่าใกล้เคียงกับการวัดจริงในสนาม แต่ที่ระดับประมาณ 8.0 เมตร จะเห็นว่าค่าโมดูลัสของชั้นดินเหนียวแข็ง $E_{U \text{ Stiff clay}} = 1000 * S_U$ จะใกล้เคียงกับการวัดจริงในสนามมากกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าโมดูลัสของชั้นดินเหนียวแข็ง $E_{U \text{ Stiff clay}} = 1000 * S_U$ (ค่านี้คาดว่าอาจจะสูงไปเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเชื่อว่าความจริงแล้ว การเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่ปลายของเข็มพืดต้องเกิดขึ้นแต่ไม่ทราบว่าปริมาณเท่าใด)

สำหรับการวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่าโมดูลัสของดินดังนี้

$$E_{U(\text{Soft clay})} = 150S_U$$

$$E_{U(\text{Medium clay})} = 250S_U$$



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างงานขุดจริงกับการประมาณโดยใช้โปรแกรม Plaxis โดยเปลี่ยนค่า $E_{U \text{ Stiff Clay}}$ ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล
 (โดยใช้ $E_{U \text{ Soft Clay}} = 150S_u$)

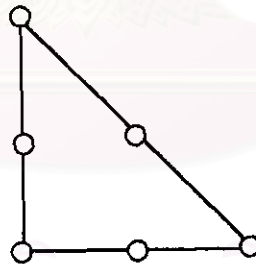
$$E_{U(\text{stiff clay})} = 1000S_u$$

เนื่องจากโครงการที่ทำการวิจัยทุกโครงการ อยู่ในบริเวณใจกลางเมืองกรุงเทพฯ และค่าคุณสมบัติชั้นพื้นฐานของชั้นดินเหนียวแต่ละชั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ค่า $\frac{E_v}{S_v}$ ของดินเหนียวที่แสดงอยู่ด้านบนจึงนำมาใช้ในทุกโครงการที่ทำการศึกษา

4.6 ผลการวิเคราะห์

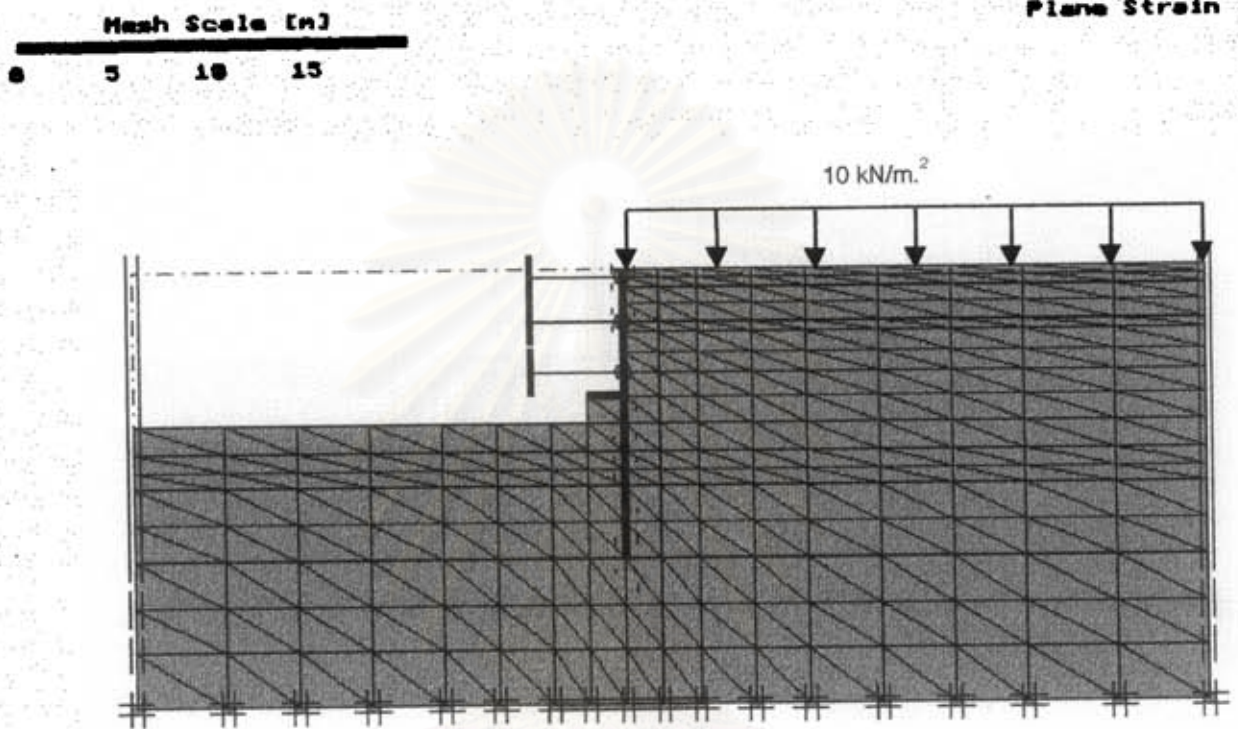
4.6.1 การคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด จากการวัดจริงในสนามเปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรม PLAXIS

สำหรับการคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด จากการวัดจริงในสนามเปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรม PLAXIS ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล, โครงการโบหยก 2, โครงการพนนินชูลา และโครงการศาลาแดง จะทำการแบ่งกริดดินดังรูปที่ 4.3 ถึง 4.6 โดยในแต่ละกริดจะมีจำนวนโหนด 6 โหนด (noded) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และวิธีดำเนินการก่อสร้างเป็นลำดับขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3.2, 3.6, 3.10 ก และ 3.15



รูปที่ 4.7 แสดงโหนดจำนวน 6 โหนด (noded) ในแต่ละเอลิเมนต์ (Element)

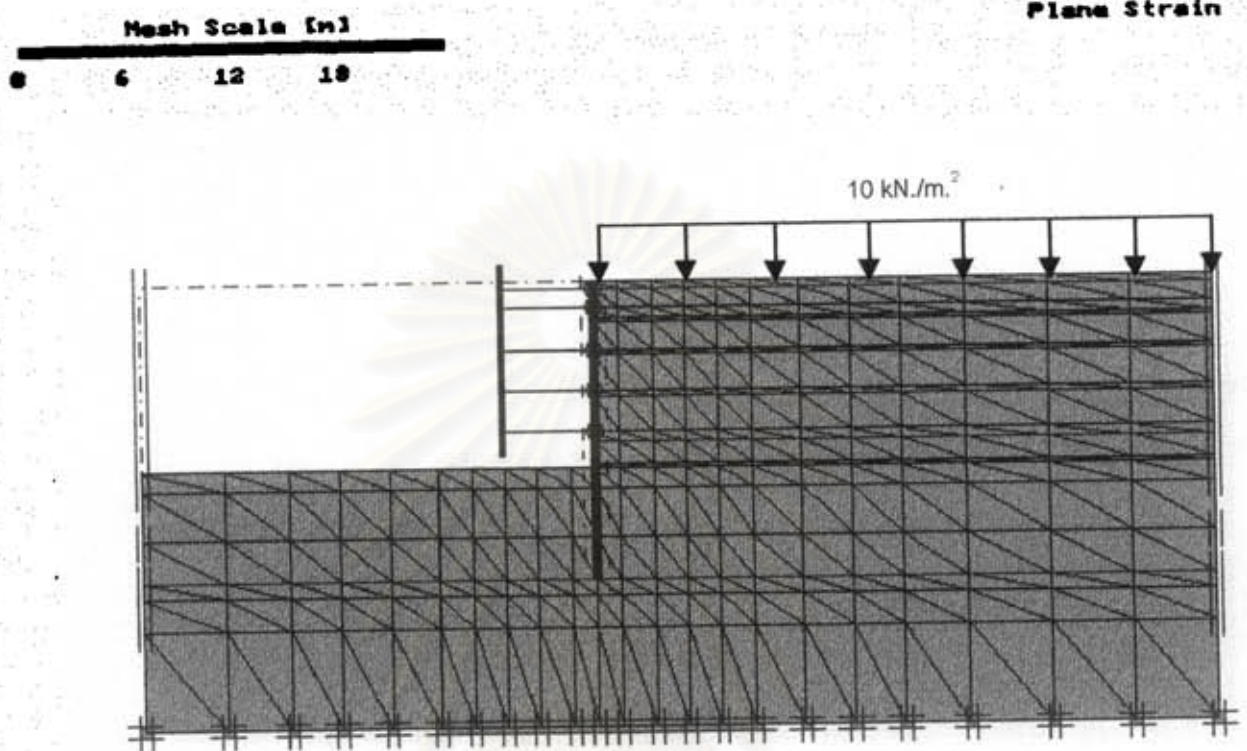
การคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด จากการวัดจริงในสนามเปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรม PLAXIS ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล, โครงการโบหยก 2, โครงการพนนินชูลา และโครงการศาลาแดง แสดงดังในรูปที่ 4.8, 4.11, 4.14 และ 4.17



รูปที่ 4.3 แสดงการแบ่งกริดดินสำหรับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล

โดย || แสดง Roller

≡≡ แสดง Fixed

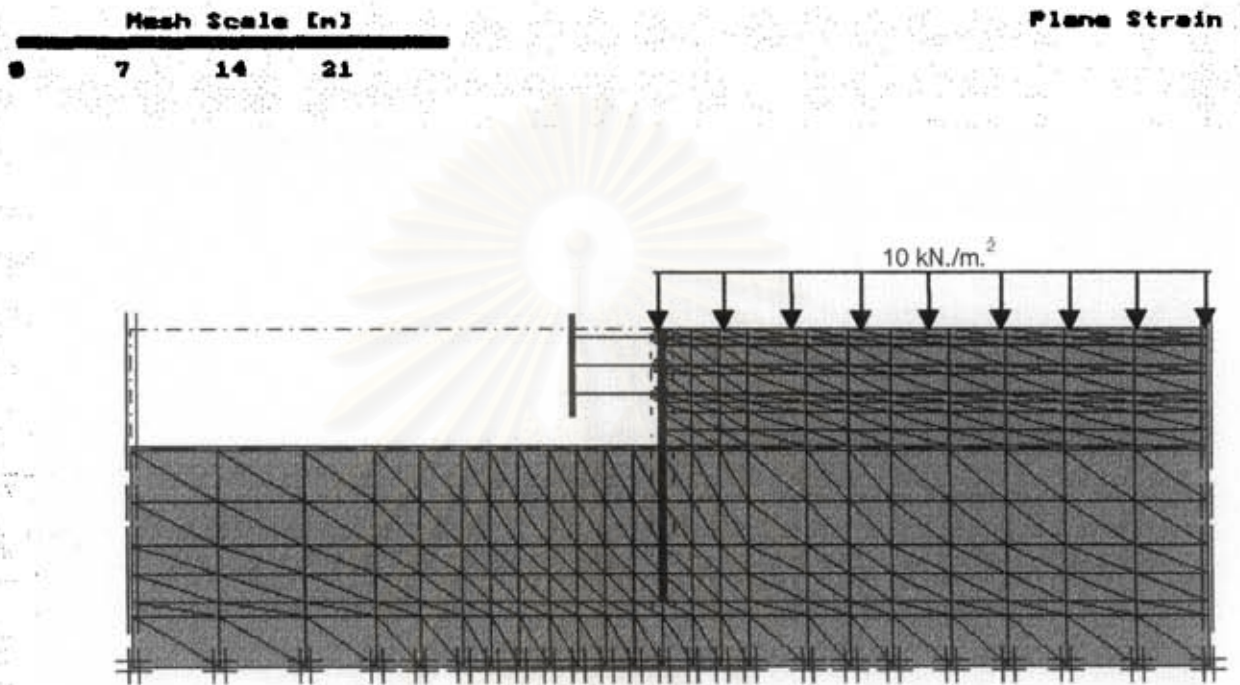


รูปที่ 4.4 แสดงการแบ่งกริดดินสำหรับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการโมยอก 2

โดย || แสดง Roller

≡≡ แสดง Fixed

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

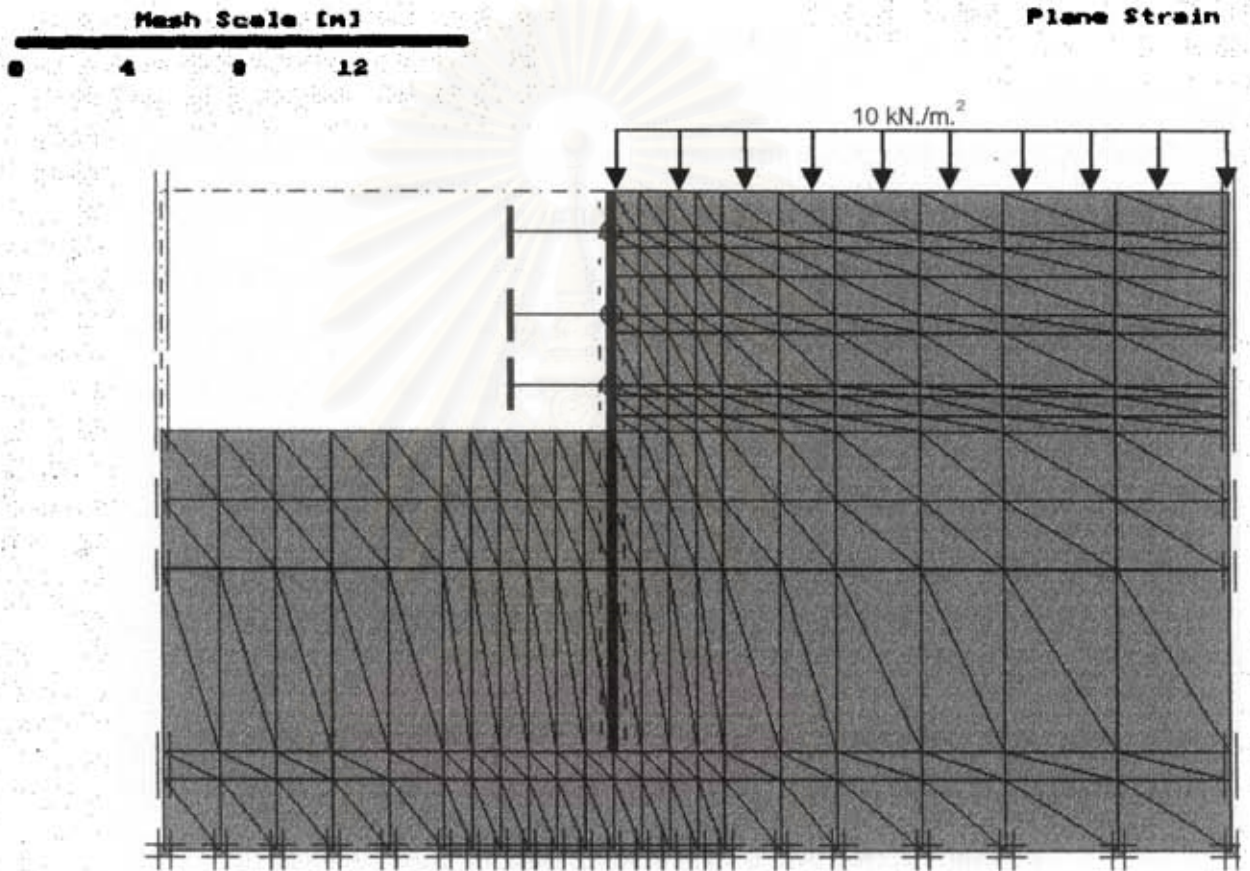


รูปที่ 4.5 แสดงการแบ่งกริดดินสำหรับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการเพนนิชูลา

โดย || แสดง Roller

≡≡≡ แสดง Fixed

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 แสดงการแบ่งกริดดินสำหรับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการศาลาแดง

โดย || แสดง Roller

≡ แสดง Fixed

โครงการโรงพยาบาลเปาโล เป็นการวิเคราะห์แบบ Total Stress Analysis โดยในการทำการวิเคราะห์ใช้ Surcharge เท่ากับ 10 kN/m^2 พบว่าการคาดคะเนในระยะแรก คือ ช่วงการขุดชั้นที่ 1, ติดตั้งค้ำยันและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 ด้วยแรง 34 kN/m ., ขุดดินในชั้นที่ 2, ติดตั้งค้ำยันและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 2 ด้วยแรง 167 kN/m . โปรแกรม PLAXIS ยังคงทำการคาดคะเนห่างจากการวัดจริงในสนาม เนื่องจากการใช้ E_p ที่ให้พิจารณา แต่สำหรับระยะหลัง คือ ช่วงการขุดในชั้นที่ 3 ไปจนถึงชั้นสุดท้าย คือการขุดเอาคันดิน (Berm) ออก การใช้โปรแกรม PLAXIS ก็จะใกล้เคียงกับการวัดจริงในสนามมากขึ้น โดยปลายของเข็มพืดที่อยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางหรือชั้นดินแข็ง จากการใช้โปรแกรม PLAXIS คำนวณจะเคลื่อนตัวประมาณ 1.0 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และมีโมเมนต์ไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 4.9 อีกทั้งยังได้ประมาณค่า Plastic Mohr-Coulomb point (Yield Point) แสดงดังรูปที่ 4.10 โดยจุดที่แสดง Tension cut off คือ จุดที่ Stress ติดลบ โปรแกรม Plaxis จะคิดให้เป็นศูนย์ แสดงโดยจุดสีขาวที่เกิดที่ระดับลึกสุดของการขุด

ส่วนในพฤติกรรมของเข็มพืด (Sheet pile) นั้นอาจสรุปได้ดังนี้

- 1.) การขุดถึงระดับ 1.0 เมตร การเคลื่อนตัวอยู่ในลักษณะของ Cantilever sheet pile โดยมีการเคลื่อนตัวของเข็มพืด (Sheet pile) เท่ากับ 30 มิลลิเมตร
- 2.) เมื่อใส่ Strut และ Preload การเคลื่อนตัวที่ Top ของ Sheet pile ลดลง และเมื่อขุดลึกลงไปอีก การเคลื่อนตัวที่ Top ของ Sheet pile ลดลงทุกทีจนกระทั่งเป็นศูนย์ในขั้นตอนการขุดชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 ส่วนความลึกที่มีการเคลื่อนตัวสูงสุดอยู่ที่ระดับประมาณ 6.0 เมตร และเคลื่อนตัวลงมายัง 7.0 เมตร ที่ความลึกสุดท้าย
- 3.) FS. สำหรับปัญหา Upheave มีค่าต่ำมากที่ระดับ 8.5 เมตร ดังตารางที่ 4.6 (คิดกรณีที Sheet pile ไม่ลงถึงดินแข็งมาก) โดย FS. มีค่าเท่ากับ 1.32 โดยคันดิน (Berm) มีส่วนช่วยให้ Factor of safety against upheave สูงขึ้น แต่ดินเหนียวเกิด Local yield
- 4.) ค่า Maximum Bending Moment ที่คำนวณได้จากการใช้โปรแกรม PLAXIS (รูปที่ 4.9) อยู่ที่ระดับ 8.5 เมตร มีค่าเท่ากับ $280 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$. ซึ่งค่านี้จะต่ำผิดปกติ ถ้าปลายของเข็มพืดอยู่ในดินเหนียวที่แข็งที่ไม่เกิด Local yield จริงจนปลายไม่มีการเคลื่อนตัว ในกรณีค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Movement) ที่ปลายของเข็มพืดมี

ถึง 1.0 เซนติเมตร (จากการใช้โปรแกรม PLAXIS ในการคำนวณ) ทำให้ Curvature ที่เกิดขึ้นไม่มาก และลดค่า Maximum Bending Moment ลง

- 5.) ดินเหนียวแข็งได้ระดับปลายของเข็มพืด (Sheet pile) ก็อาจเกิด Local yield ได้ ด้วยปัญหาที่มาจาก FS.ที่ต่ำมากจากการเกิด Upheave

ส่วนการคาดคะเนค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง มีข้อผิดพลาดประมาณ 20 มิลลิเมตร (ที่หัวของ Sheet pile) จากการเคลื่อนตัวสูงสุดที่วัดได้ 65 มิลลิเมตร (เป็นอย่างน้อย) ที่ความลึกประมาณ 7.5 เมตร การที่คาดคะเนสูงเกินไป เกิดจากการใช้ E_u ที่ต่ำเกินไปในชั้น Crust ซึ่งมีค่า OCR ค่อนข้างสูง

โครงการโบหยก 2 เป็นการวิเคราะห์แบบ Total Stress Analysis สำหรับชั้นดินที่เป็นดินเหนียว และวิเคราะห์แบบ Effective Stress Analysis สำหรับชั้นดินทราย โดยในการทำการวิเคราะห์ให้ Surchage เท่ากับ 10 kN./m.^2 พบว่าการคาดคะเนในขั้นตอนการขุดชั้นที่ 1 ซึ่งขุดลงไปลึกถึง 2.3 เมตร การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเข็มพืด เมื่อคาดคะเนโดยใช้โปรแกรม PLAXIS จะเกิดการเคลื่อนตัวแบบ Cantilever มากถึง 11 เซนติเมตร แต่จากการวัดจริงจะวัดได้เพียง 3.0-4.0 เซนติเมตร ซึ่งการใช้โปรแกรมน่าจะเกิดความผิดพลาดมากในขั้นตอนแรก ส่วนหนึ่งของการคาดคะเนซึ่งให้ค่ามากเกินไป อาจเกิดจากเพราะ Parameter ของดินที่เป็นชั้น Crust อาจต่ำเกินไป

การติดตั้ง Strut ครั้งแรก ที่ความลึก 1.65 เมตร มีผลมากต่อการเคลื่อนตัวถ้าไม่เอา Strut ที่อยู่ในลักษณะเฉียงมาเพิ่มในขั้นตอนการขุดชั้นที่ 1

ข้อมูลจากการขุดดินลึก 11.3 เมตร ที่โครงการโบหยก 2 (PU Sheet pile, $EI=8.16 \times 10^4 \text{ kN./m.}^2/\text{m.}$) มีการ Preload และปลายของเข็มพืด (Sheet pile) Penetrate ลงไปในดินเหนียวแข็ง ($S_u=120 \text{ kN./m.}^2$) ถึง 5.5 เมตร สามารถทำให้การเคลื่อนตัวอยู่ประมาณ 8.0 เซนติเมตร (พิจารณาความผิดพลาดของการติดตั้ง Inclinomater ที่สั้นไปแล้ว) การขุดที่ไม่ใช้ Preload และ Sheet pile penetrate น้อยกว่าอาจทำให้การเคลื่อนตัวเป็น 10-15 เซนติเมตร ได้

แต่หลังจากการติดตั้งค้ำยันและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 ด้วยแรง 136 kN./m. แล้ว พบว่าค่าการคาดคะเนจากโปรแกรม PLAXIS ตีขึ้นและจะใกล้เคียงกับการวัดจริงในสนามมากขึ้น จนถึงขั้นสุดท้ายของการขุดและติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 4 พบว่าการเคลื่อนตัวที่ปลายเข็มพืดประมาณ 2.0 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.11 (ทั้งๆ ที่ใช้ค่า $E_p=120,000$ kN./m.² ซึ่งค่อนข้างจะสูงมากแล้ว) แสดงว่าการขุดครั้งนี้มีการเคลื่อนตัวที่ปลายจริง

โมเมนต์ไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 4.12 ซึ่งการเคลื่อนตัวที่ปลายด้านล่างทำให้ค่า Bending Moment ต่ำลงไปด้วยในลักษณะเดียวกันกับที่โรงพยาบาลเปาโล โดยค่า Maximun Bending Moment อยู่ที่ประมาณ 10-11 เมตร โดยโปรแกรมคำนวณค่าได้ 200 kN.-m./m.

ทำการคำนวณค่า Plastic Mohr-Coulomb point (Yield Point) ซึ่งพบว่าโครงการไบนยอก 2 นี้ จะไม่เกิด Yield zone ทั้งนี้เพราะเข็มพืด (Sheet pile) ยาวถึง 18.0 เมตร และ Penetrate ลงไปในชั้นดินเหนียวแข็ง (ถึง 5.5 เมตร) ที่มีกำลังรับแรงเฉือนถึง 120 kN./m.² และชั้นทรายอยู่ที่ 19.0 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.13 จุดที่แสดง Tension cut off คือ จุดที่ Stress ติดลบ โปรแกรม Plaxis จะคิดให้เป็นศูนย์ แสดงโดยจุดสีขาวที่เกิดที่ระดับลึกสุดของการขุด

โครงการเพนินซูลา เป็นการวิเคราะห์แบบ Total Stress Analysis สำหรับชั้นดินที่เป็นดินเหนียว และวิเคราะห์แบบ Effective Stress Analysis สำหรับชั้นดินทรายที่ระดับ 8.0-15.0 เมตร โดยใช้ค่า $E' = 40N$ (DM7-1) คาดคะเนโดยใช้โปรแกรม PLAXIS ได้ใกล้เคียงกับการวัดจริงในสนาม โดยปลายของเข็มพืดอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง จากการที่ใช้โปรแกรม PLAXIS คำนวณจะเคลื่อนตัวที่ปลายประมาณ 0.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และมีโมเมนต์ไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 4.15 อีกทั้งยังได้ประมาณค่า Plastic Mohr-Coulomb point (Yield Point) แสดงดังรูปที่ 4.16 โดยจุดที่แสดง Tension cut off คือ จุดที่ Stress ติดลบ โปรแกรม Plaxis จะคิดให้เป็นศูนย์

ใน Project นี้ ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างการเคลื่อนตัวในสนาม กับค่าที่คาดคะเนจากโปรแกรม PLAXIS เพิ่มพิคชนิด FEP III ($EI=3.43 \times 10^4$ kN/m.²/m.) มีปลายอยู่ที่ระดับ 19.0 เมตร ซึ่ง Penetrate ลงไปในชั้นดินเหนียวแข็งถึง 4.0 เมตร มีค่า S_u ประมาณ 164.0 kN/m.² ส่วนความลึกที่ขุด 8.20 เมตร จะมี Safety of factor against upheave ประมาณ 1.5 โดยไม่มีการอัดแรงใน Strut (ตารางที่ 4.8)

ในการทำการวิเคราะห์ใช้ Surcharge เท่ากับ 10 kN/m.² จากข้อมูลที่วัดได้ การเคลื่อนตัวมีถึง 12.0 เซนติเมตร ที่ความลึก 6.0-8.0 เมตร ส่วนค่าที่คาดคะเนได้เพียง 10.0 เซนติเมตร ซึ่งที่น่าสังเกตคือ การเคลื่อนตัวของ Sheet pile ระหว่าง 2.0-6.0 เมตร ก็ยังสูงด้วย กล่าวคือที่หัวของ Sheet pile จากการวัดมีการเคลื่อนตัวถึง 3.0 เซนติเมตร

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างค่าการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม PLAXIS กับค่าที่วัดได้ จะเห็นได้ว่าอยู่ในสภาพพอใช้ได้ ข้อมูลที่วัดมาเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ เพราะความยาวของ Sheet pile เพียงพอ

การวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่า Local yielding เกิดขึ้นในดินเหนียวอ่อน (รูปที่ 4.16) และการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นมากเพราะ

- 1.) การเคลื่อนตัวเกิดค่อนข้างสูงมากตั้งแต่ Top ของ Sheet pile
- 2.) มีการขุดในบริเวณที่กว้างมากโดยใช้ Sheet pile และไม่มีการ Preload ใน Sheet pile

จากการวิเคราะห์และข้อมูลที่ได้ จะเห็นได้ว่าการ Limit movement ที่ Top ของ Sheet pile เป็นสิ่งสำคัญ และในลักษณะที่มีการขุดที่มีความกว้างและยาวมาก การ Preload Strut เป็นสิ่งสำคัญ

สิ่งที่น่าสังเกตอีกอย่างหนึ่ง คือ- ผลของการวิเคราะห์มีการเกิด Local yield และมี Negative Bending Moment สูง (260 kN-m/m., รูปที่ 4.15) แสดงว่าถึงแม้ Safety of factor against upheave จะมีค่าถึง 1.5 การเกิด Local yield ใน node upheave failure ยังเกิดขึ้น

ได้ การที่ได้ Bending Moment น้อยนี้เกิดมาจาก curvature ในตัว Sheet pile ที่เกิดขึ้นมีไม่มาก เพราะปลายมีการเคลื่อนตัวเล็กน้อย

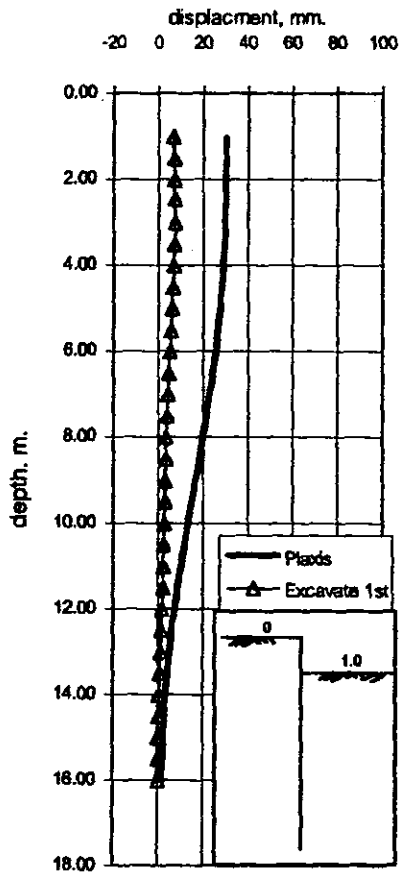
โครงการศาลาแดง เป็นการวิเคราะห์แบบ Total Stress Analysis โดยการทำการวิเคราะห์ใช้ Surcharge เท่ากับ 10 kN/m^2 ซึ่งโครงการนี้เป็นโครงการที่ทำการวัดค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างจริงในสนามหลังจากการขุดดินในชั้นที่ 1 แล้ว ดังนั้นการคาดคะเนโดยการใช้โปรแกรม PLAXIS จึงได้เริ่มในชั้นที่ทำการติดตั้งค้ำยัน (Strut) ชั้นที่ 1 โดยปลายของเข็มที่อยู่ที่อยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งจากการใช้โปรแกรม PLAXIS ค่ารวมจะเคลื่อนตัวสูงสุดเพียง 0.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.17

การขุดดินที่โครงการศาลาแดงนี้ ใช้เข็มพืด (Sheet pile) ชนิด FSP III ($EI=3.43 \times 10^4 \text{ kN/m}^2/\text{m}$) ยาว 17.0 เมตร และขุดดินลึกประมาณ 8.55 เมตร ในพื้นที่ที่ขุดมีขนาดประมาณ 33×12 เมตร แต่การวัดการเคลื่อนตัวได้ทำเมื่อเริ่มติดตั้ง Strut ชั้นที่ 1 แล้ว การวัดการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ได้ 5.0 เซนติเมตร จึงเป็นค่าที่ต่ำเกินไป

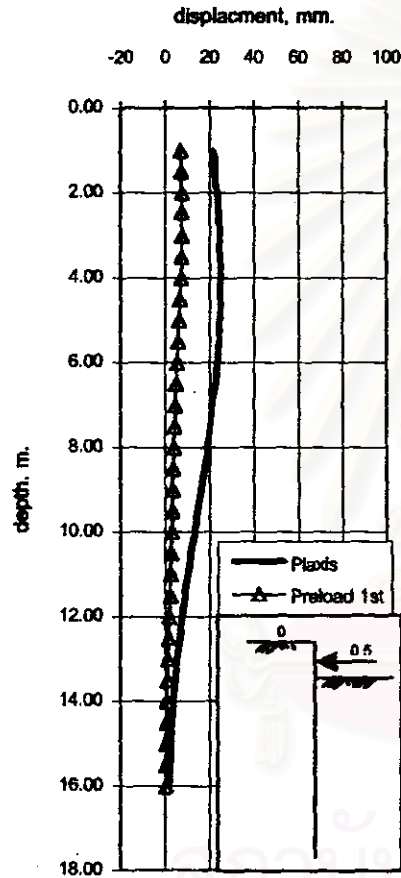
เพื่อตรวจสอบ Parameter ที่ใช้ในการ Analysis การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวจึงเริ่มทำตั้งแต่การติดตั้ง Strut ชั้นที่ 1 แล้ว ในโครงการนี้มีการ Preload strut และ Inclinator ยาวเท่ากับความยาวของเข็มพืด (17 เมตร)

ในรูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวที่วัดได้ (เริ่มหลังจากขุดไปถึงติดตั้ง Strut ชั้นที่ 1 แล้ว) กับการวิเคราะห์ในสภาพเดียวกัน ในโครงการนี้ตัวเข็มพืด Penetrate ลงไปในชั้นดินแข็งมาก 3.5 เมตร จากการคาดคะเน Safety of factor against upheave ให้ค่า FS. ประมาณ 1.23 ซึ่งคาดว่าจะเกิด Local yield เกิดขึ้น

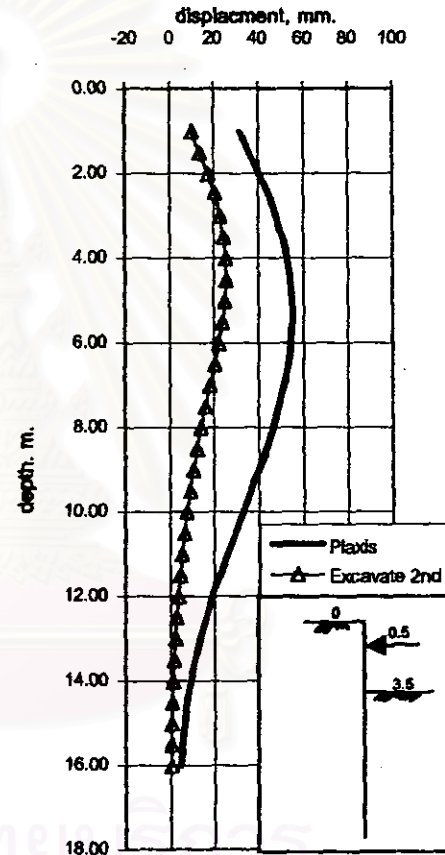
Excavate 1st



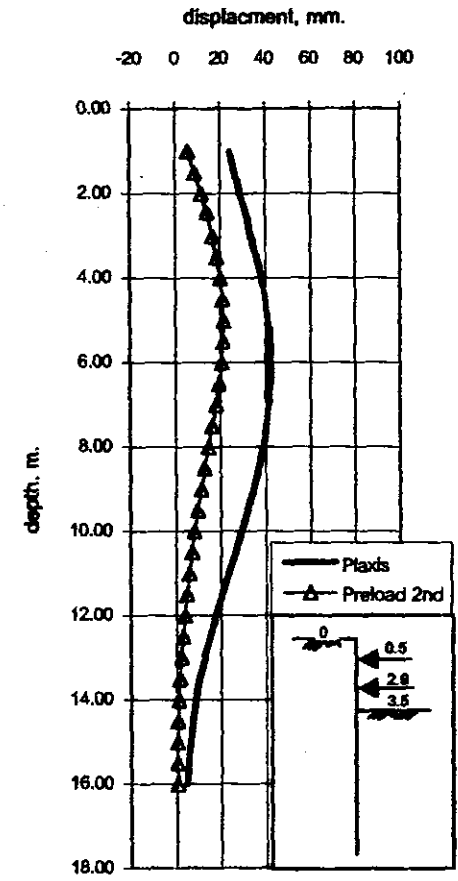
Strut 1st & Preload



Excavate 2nd



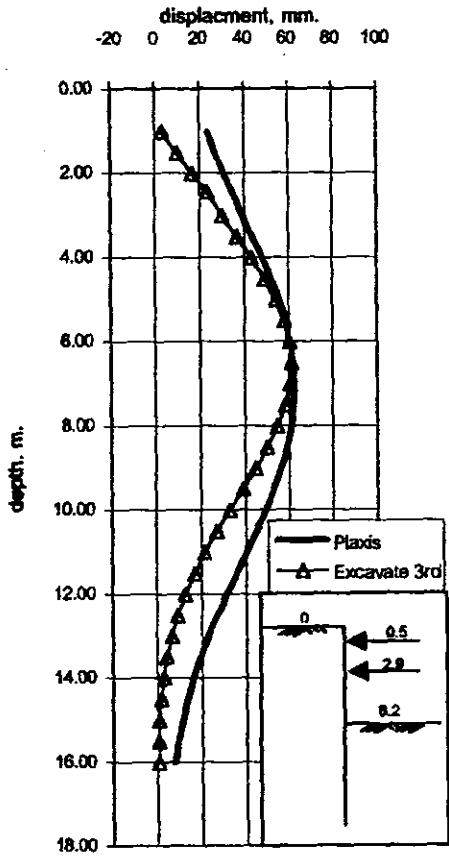
Strut 2nd & Preload



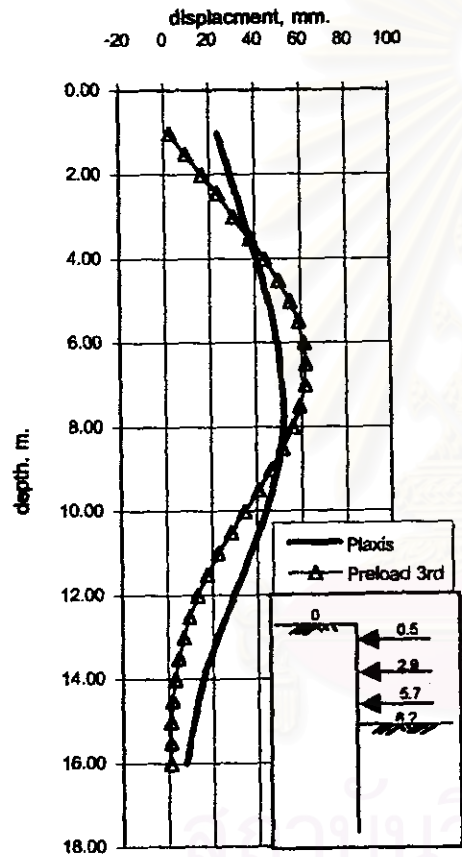
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างงานขุดจริงกับการประมาณโดยใช้โปรแกรม Plaxis ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล

(โดยใช้ $E_{U \text{ Soft Clay}} = 150S_u$, $E_{U \text{ Medium Clay}} = 250S_u$, $E_{U \text{ Stiff Clay}} = 1000S_u$)

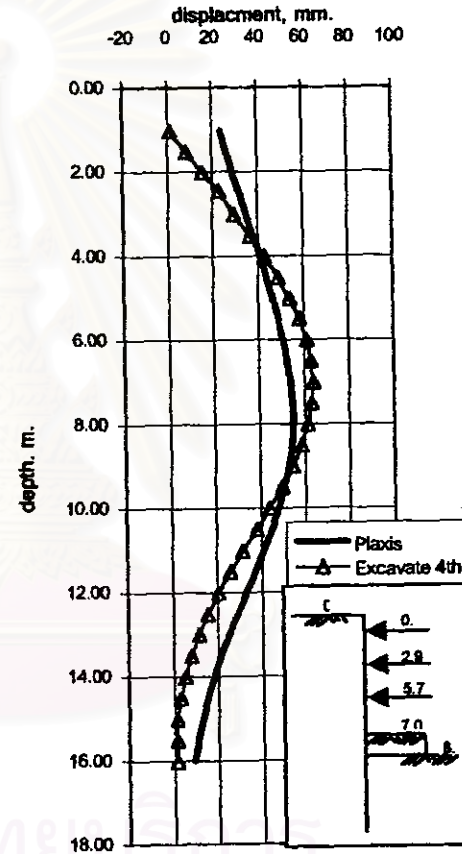
Excavate 3rd



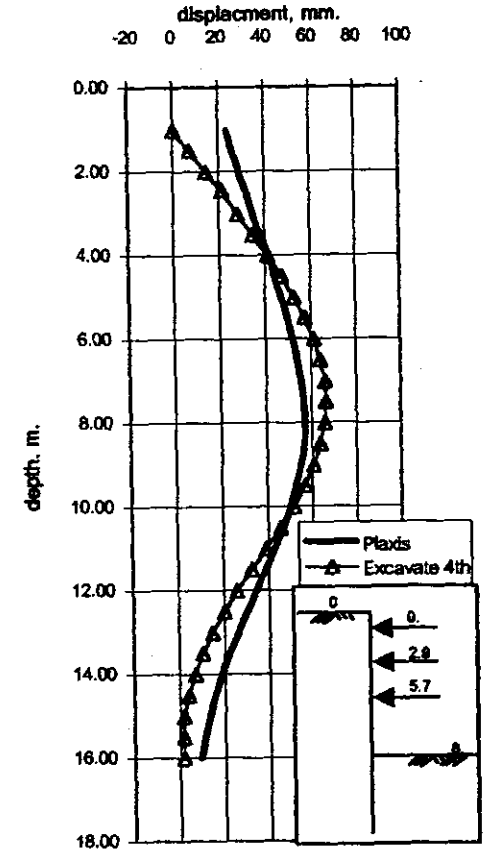
Preload 3rd



Berm

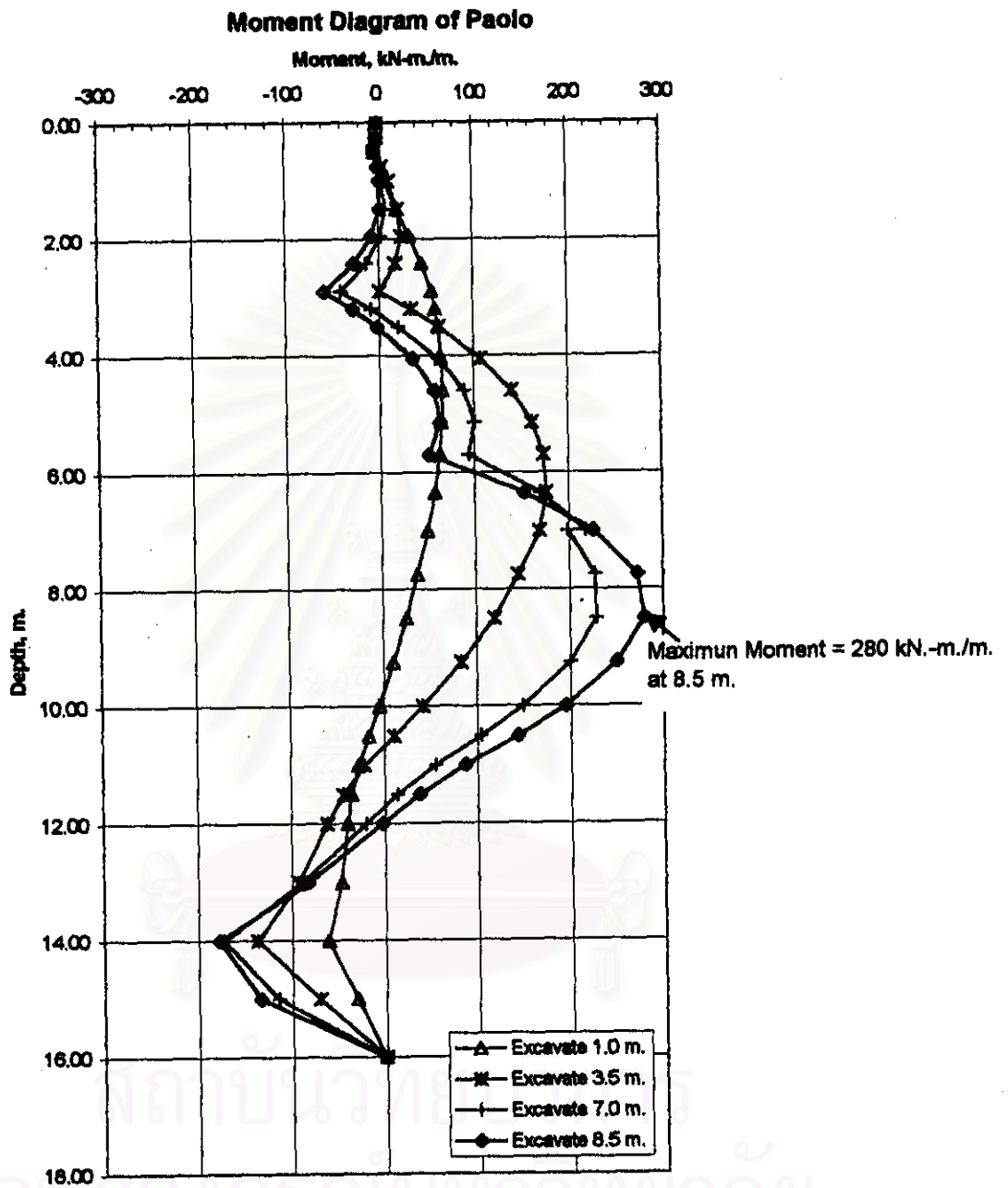


Excavate 4th

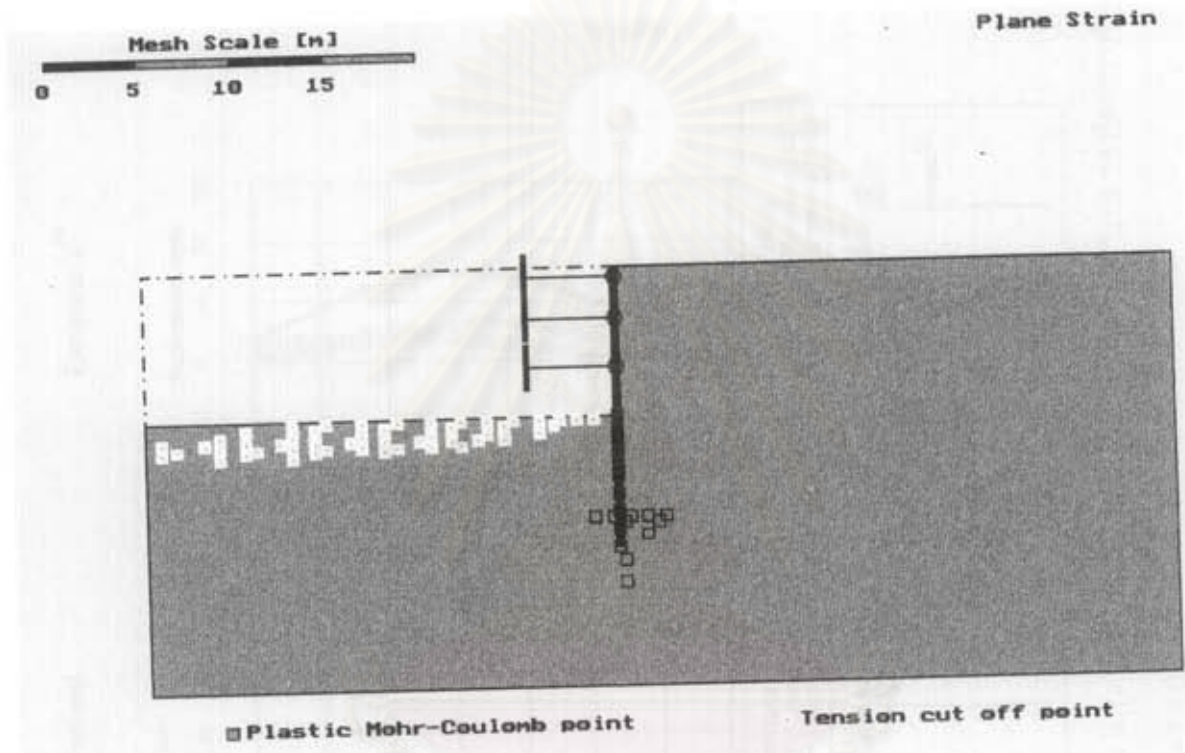


รูปที่ 4.8(ต่อ) เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างงานขุดจริงกับการประมาณโดยใช้โปรแกรม Plaxis ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล

(โดยใช้ $E_{U \text{ Soft Clay}} = 150S_u$, $E_{U \text{ Medium Clay}} = 250S_u$, $E_{U \text{ Stiff Clay}} = 1000S_u$)

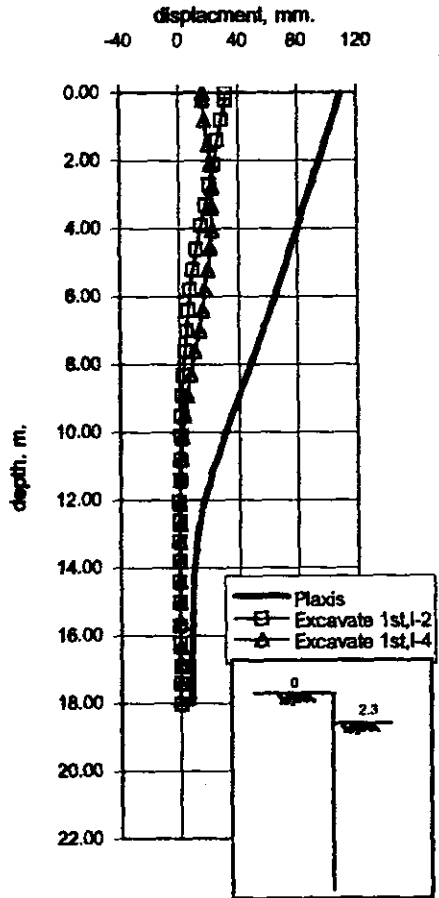


รูปที่ 4.9 แสดง Bending Moment Diagram จากการใช้โปรแกรม Plaxis ของโครงการโรงพยาบาลโต

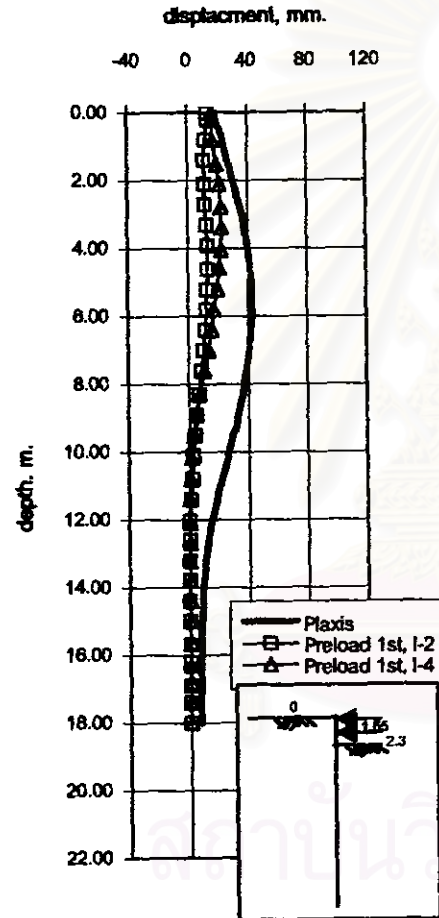


รูปที่ 4.10 แสดง Plastic Mohr-Coulomb point จากการใช้โปรแกรม PLAXIS ของโครงการ
โรงพยาบาลเปาโล

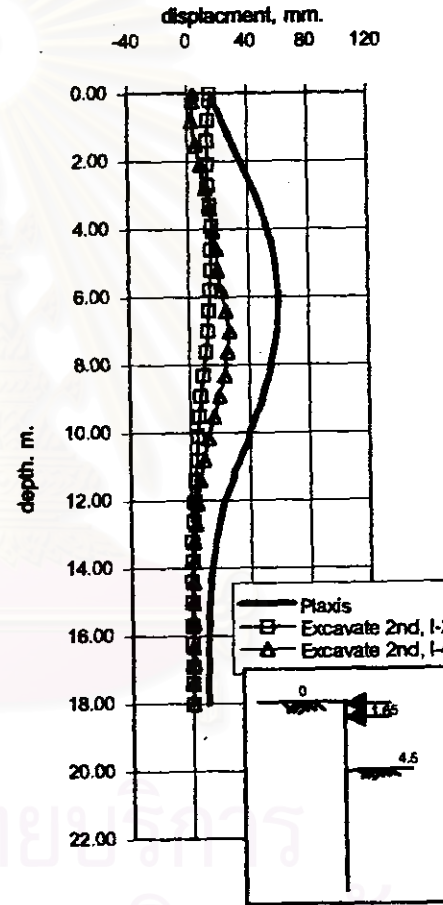
Excavate 1st



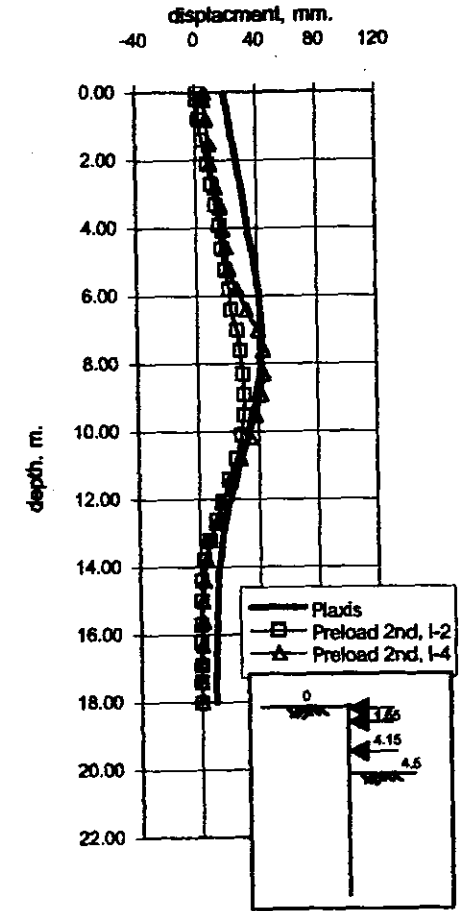
Strut 1st & Preload



Excavate 2nd



Strut 2nd & Preload



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างงานขุดจริงกับการประมาณโดยใช้โปรแกรม Plaxis ของโครงการโบยก 2

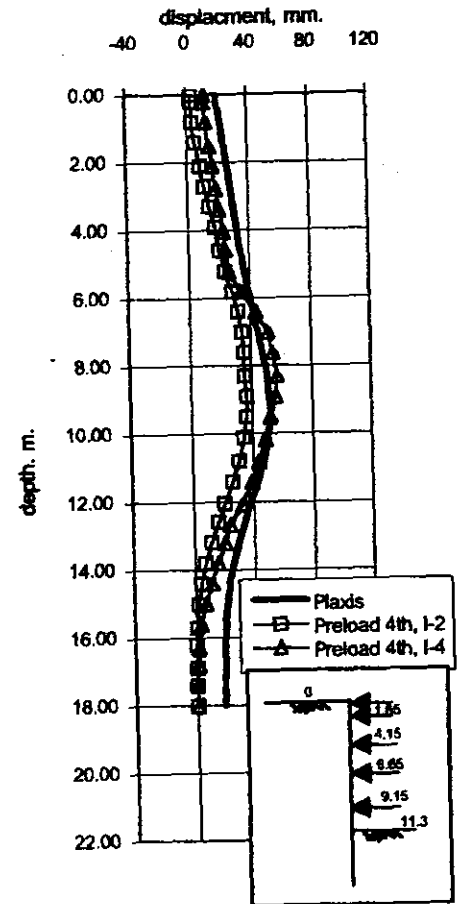
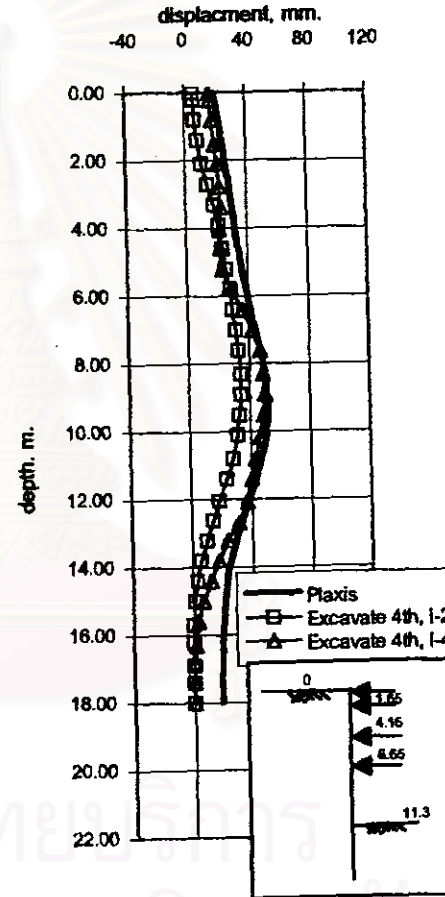
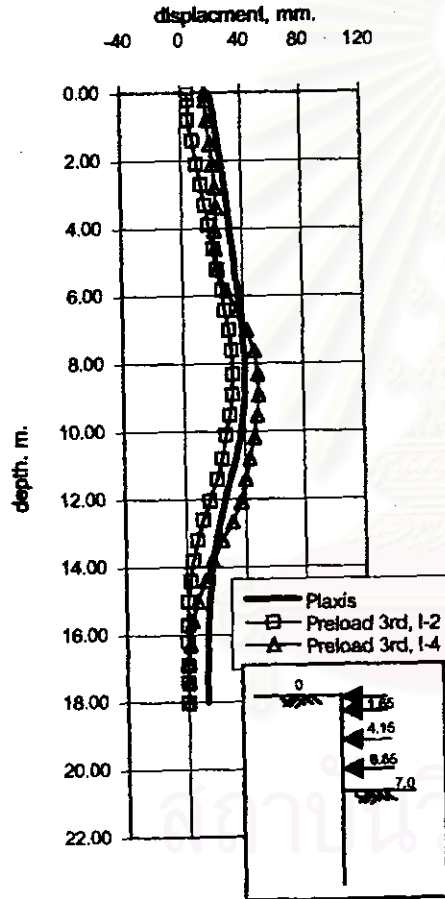
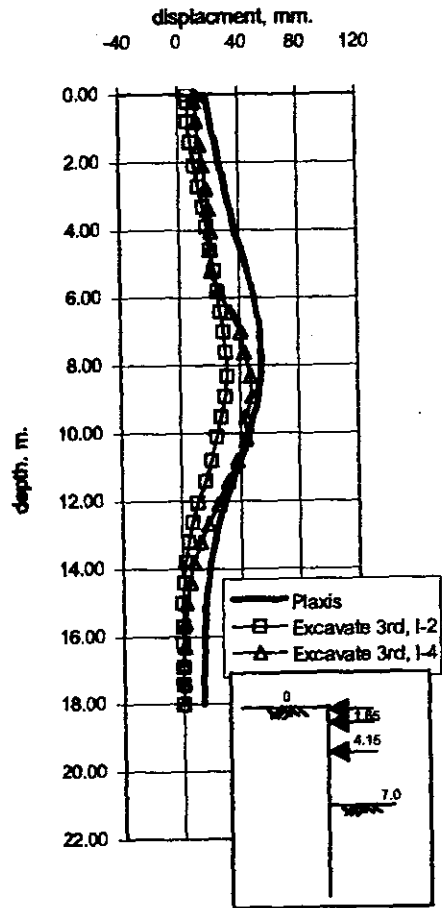
(โดยใช้ $E_u \text{ Soft Clay} = 150S_u$, $E_u \text{ Medium Clay} = 250S_u$, $E_u \text{ Stiff Clay} = 1000S_u$)

Excavate 3rd

Strut 3rd & Preload

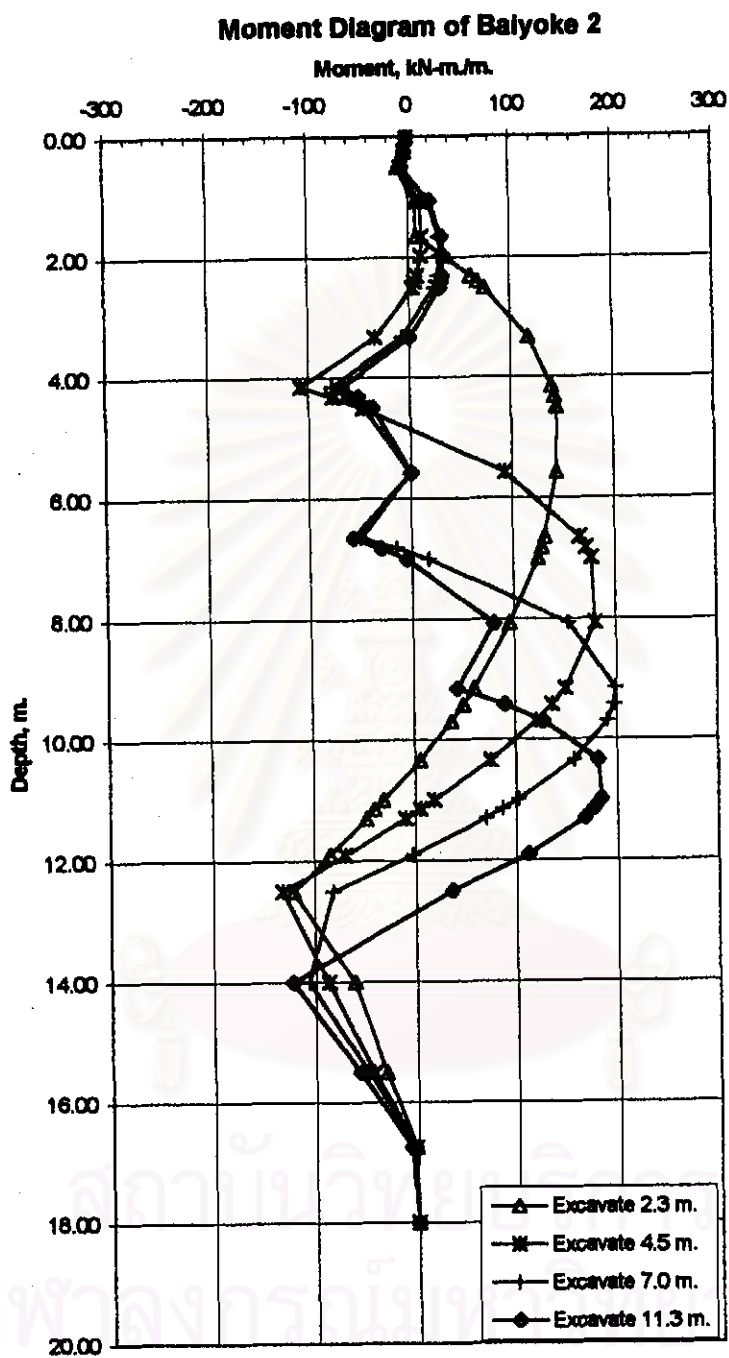
Excavate 4th

Strut 4th

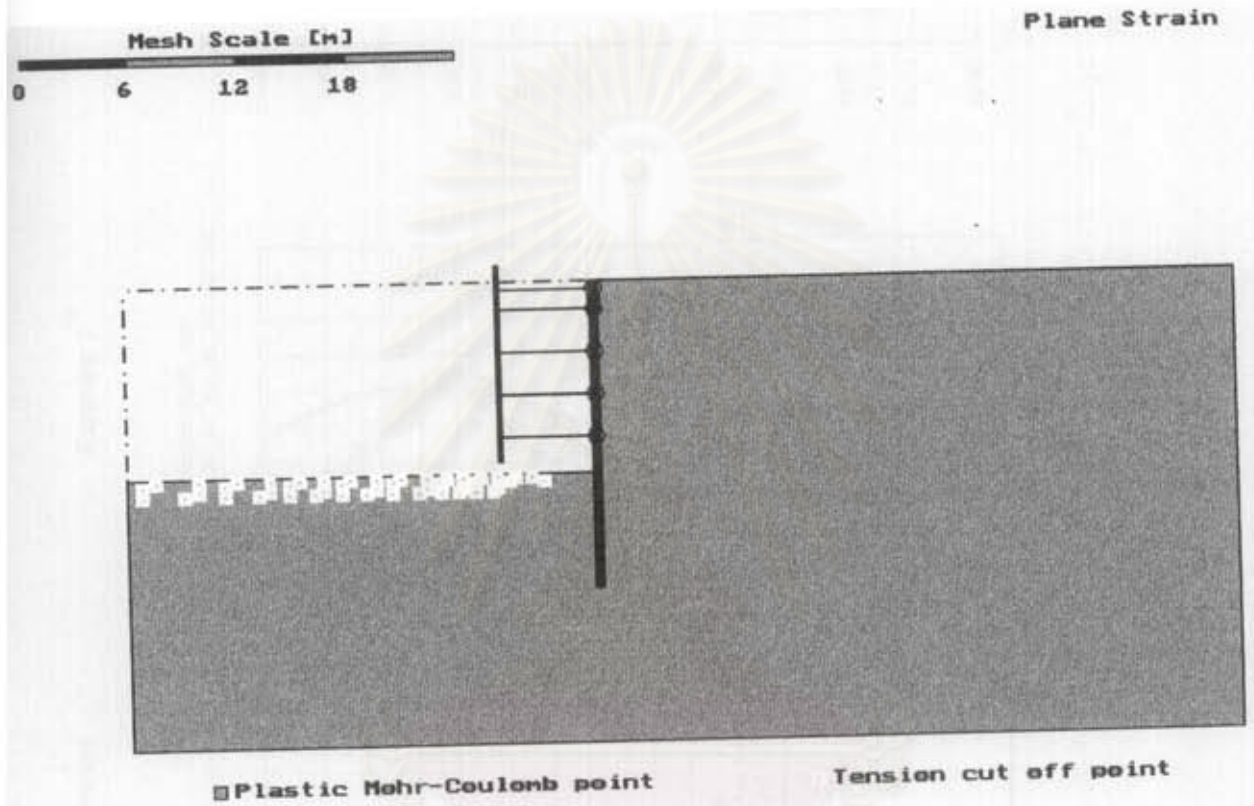


รูปที่ 4.11(ต่อ) เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างงานขุดจริงกับการประมาณโดยใช้โปรแกรม Plaxis ของโครงการโบยก 2

(โดยใช้ $E_u \text{ Soft Clay} = 150S_u$, $E_u \text{ Medium Clay} = 250S_u$, $E_u \text{ Stiff Clay} = 1000S_u$)



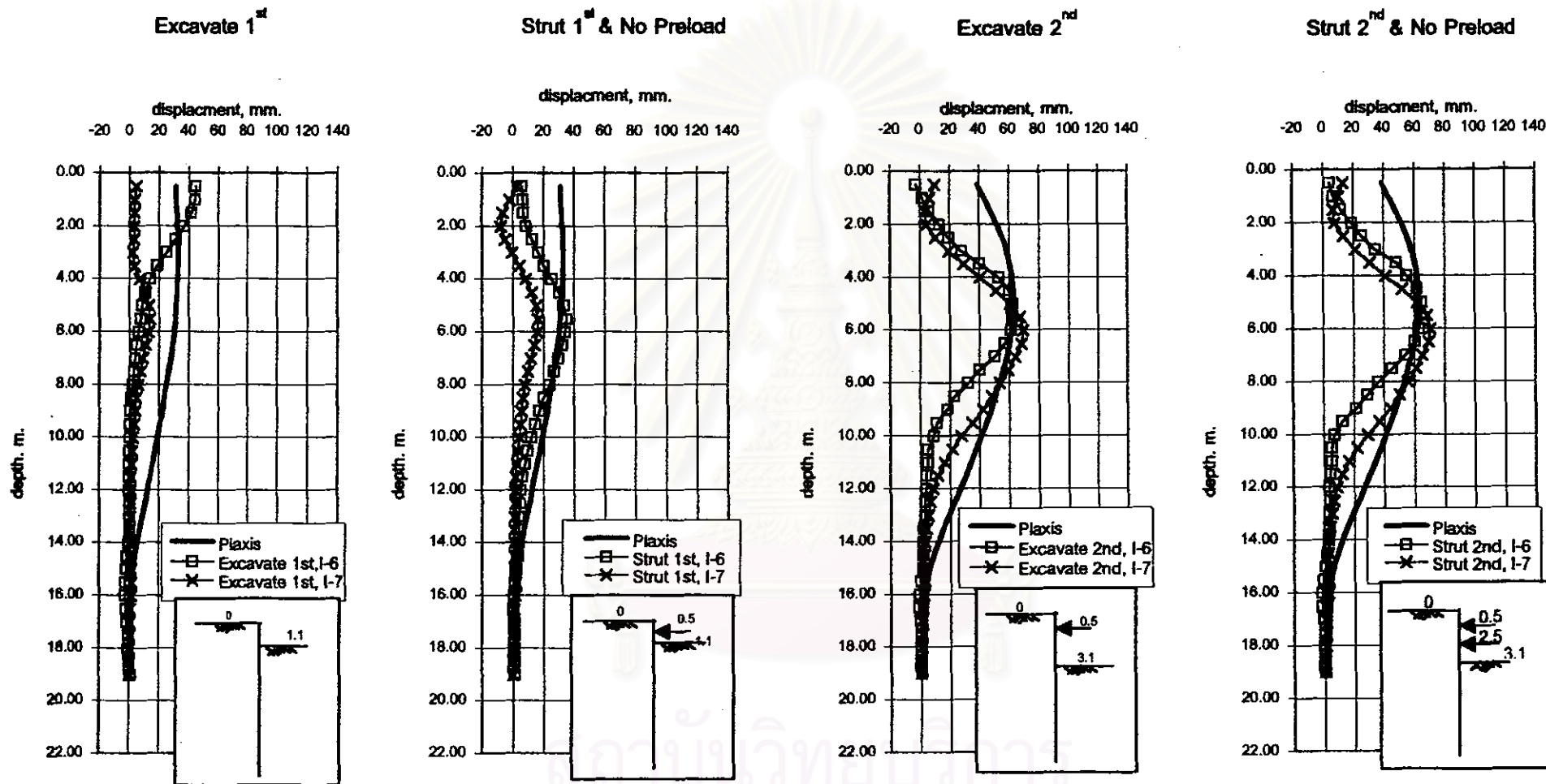
รูปที่ 4.12 แสดง Bending Moment Diagram จากการใช้โปรแกรม Plaxis ของโครงการโบหยก 2



รูปที่ 4.13 แสดง Plastic Mohr-Coulomb point จากการให้โปรแกรม PLAXIS ของโครงการ

ไมหยก 2

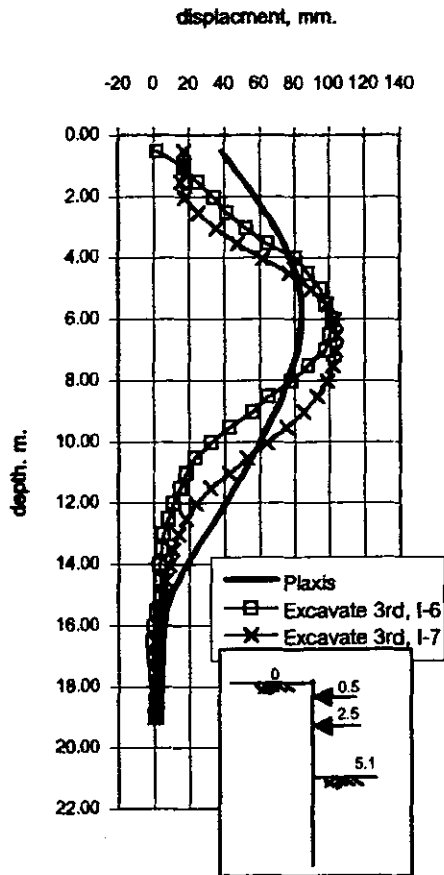
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



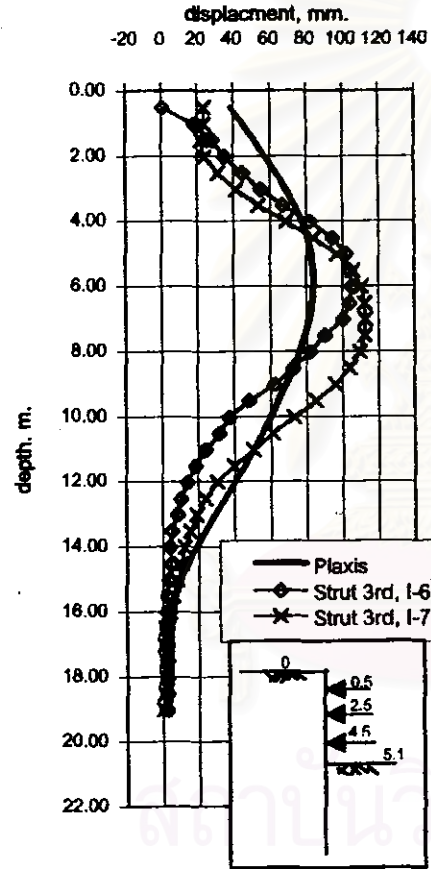
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างงานขุดจริงกับการประมาณโดยใช้โปรแกรม Plaxis ของโครงการพนนินซูลา

(โดยใช้ $E_{u \text{ Soft Clay}} = 150S_u$, $E'_{\text{Silty Sand}} = 40N$, $E_{u \text{ Stiff Clay}} = 1000S_u$)

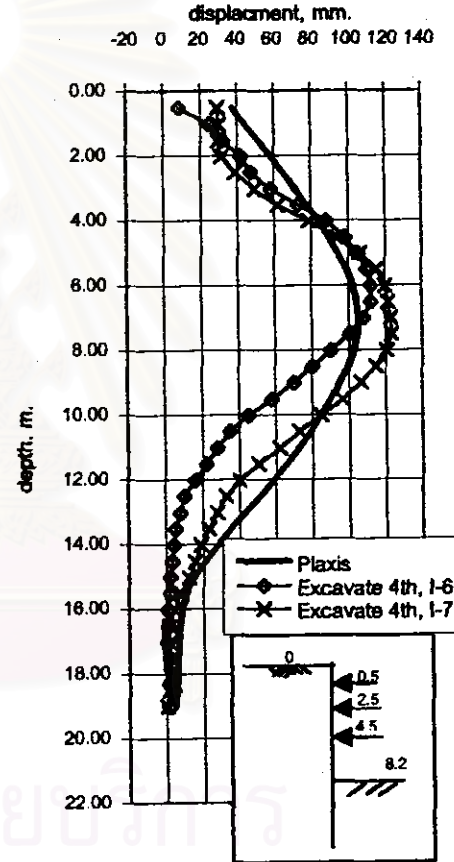
Excavate 3rd



Strut 3rd & No Preload

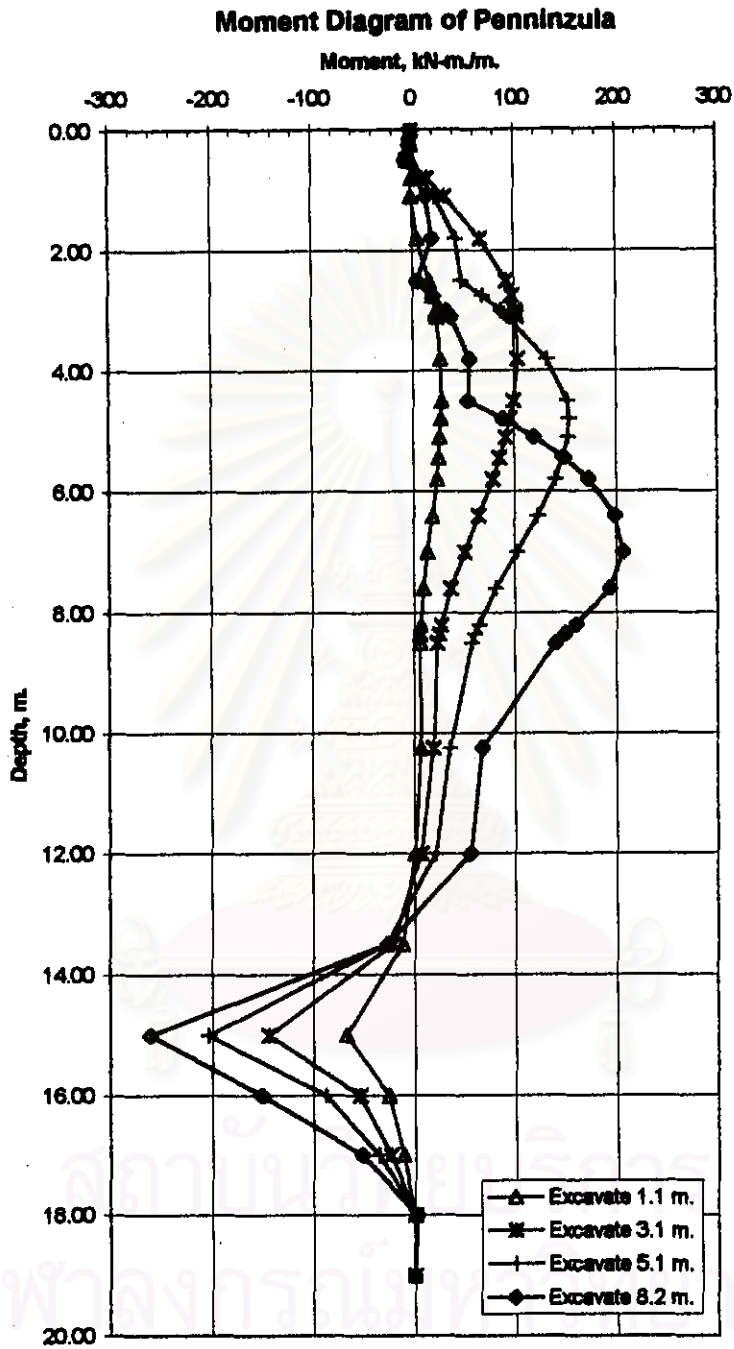


Strut 4th

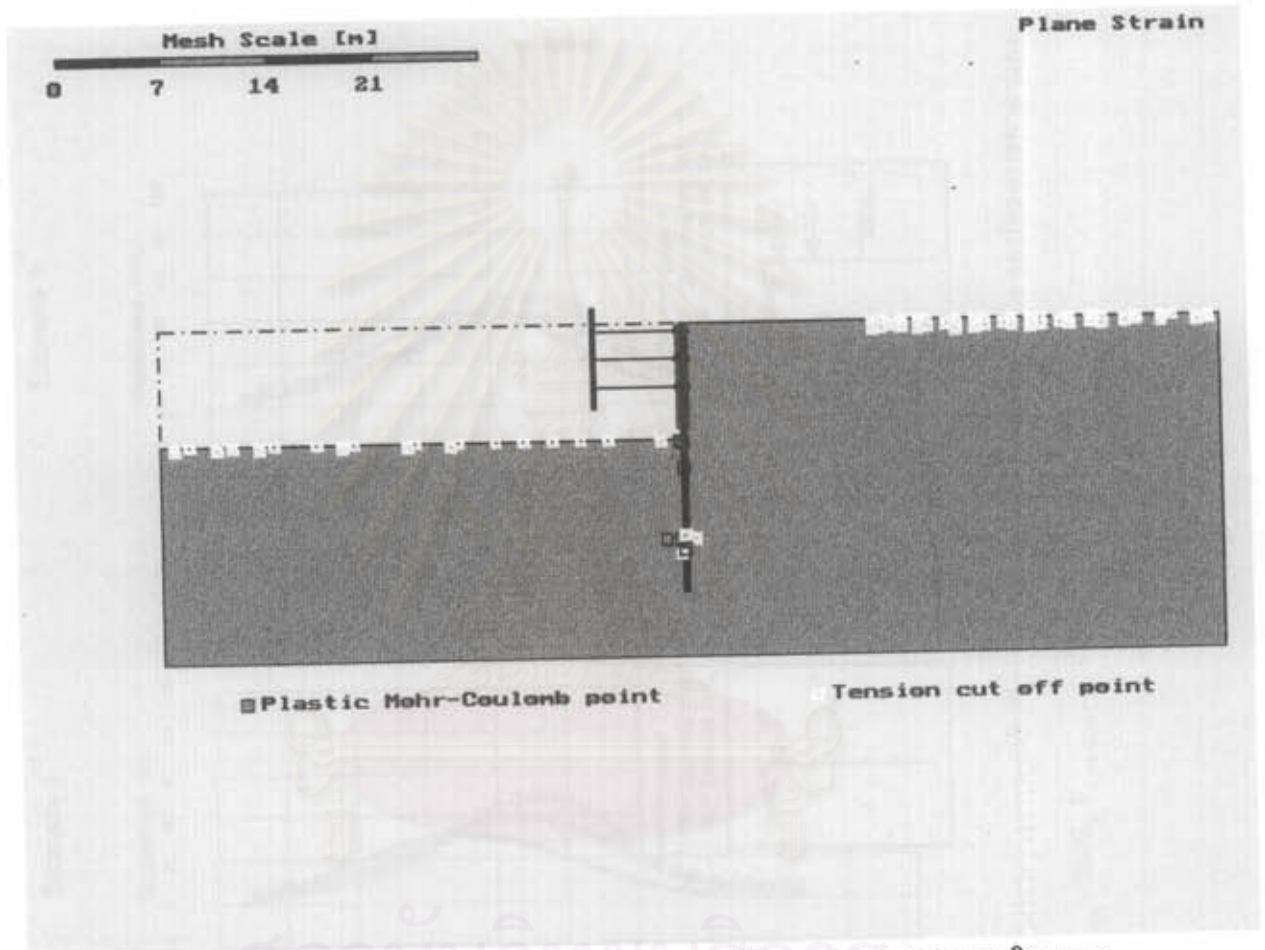


รูปที่ 4.14(ต่อ) เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างงานขุดจริงกับการประมาณโดยใช้โปรแกรม Plaxis ของโครงการเพนินซูลา

(โดยใช้ E_u Soft Clay = 150S_u, E' Silty Sand = 40N, E_u Stiff Clay = 1000S_u)



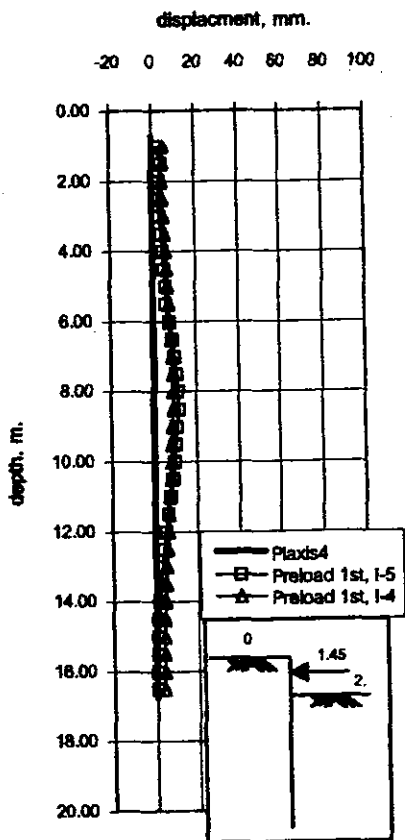
รูปที่ 4.15 แสดง Bending Moment Diagram จากการใช้โปรแกรม Plaxis ของโครงการเพนินซูลา



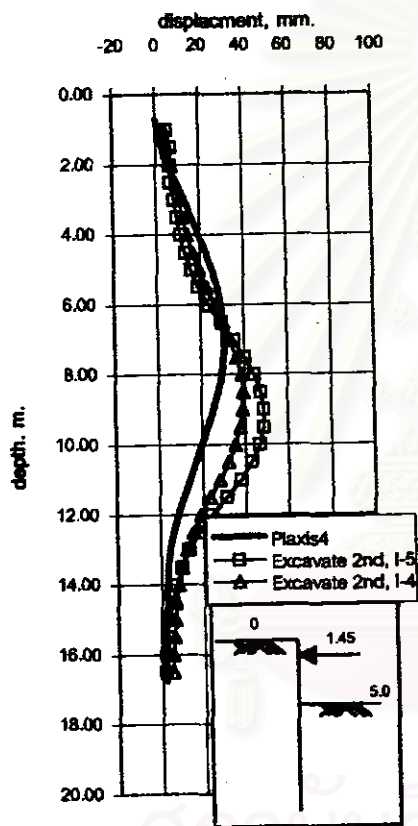
รูปที่ 4.16 แสดง Plastic Mohr-Coulomb point จากการใช้โปรแกรม PLAXIS ของโครงการ
เพนนินซูลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

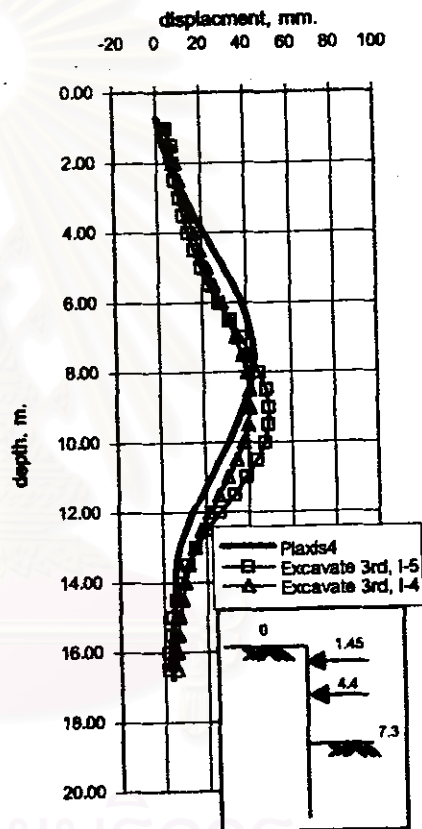
Strut 1st & Preload



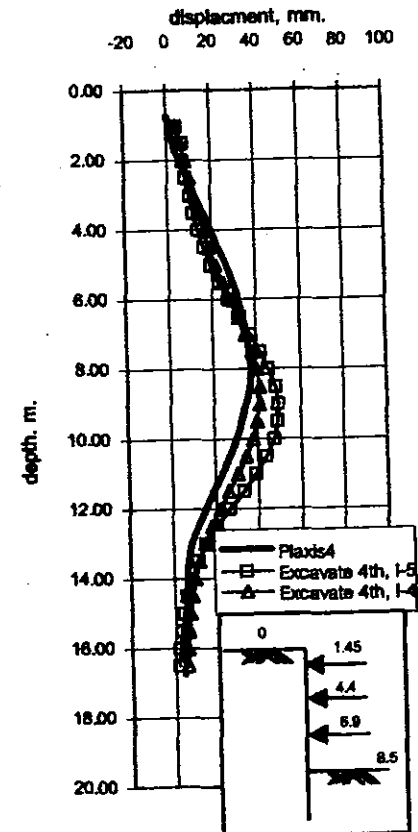
Excavate 2nd



Excavate 3rd



Excavate 4th



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างงานขุดจริงกับการประมาณโดยใช้โปรแกรม Plaxis ของโครงการศาลาแดง

(โดยใช้ $E_{u \text{ soft clay}} = 150S_u$, $E_{u \text{ medium Clay}} = 250S_u$, $E_{u \text{ medium Clay}} = 250S_u$)

4.6.2 การประมาณค่าไคอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดินของโครงการโรงพยาบาล เปาโล

เนื่องจากได้มีการติดตั้ง Strut load วัตแรงดันดินในสนามไว้ที่ค้ำยัน (Strut) ทั้งในแนว ยาว (Longitudinal) และแนวขวาง (Transverse) ซึ่งมีผลการวัดค่าแรงดันดิน ดังแสดงในรูป ที่ 4.18 โดยวัดค่าในค้ำยันชั้นที่ 1, 2 และ 3 ได้คือ 290 kN., 960 kN. และ 560 kN.

จากการวัดค่าแรงดันดิน สามารถนำมาเขียนเป็นไคอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดัน ดินปรากฏ โดยใช้ Diagram ขอบเขตหน่วยแรงดันดิน ที่เสนอโดย Sower(1979) ดังรูปที่ 4.19 และเปรียบเทียบกับความคิดโดย Terzaghi (1967) และ Sower (1979) โดยพิจารณาว่ามีน้ำ หนักบรรทุกในแนวตั้งเพิ่มเติมสมน้ำเสมอบนผิวดินขนาดเท่ากับ 10 kN/m^2 ดังรูปที่ 4.20 ซึ่ง ไคอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดินปรากฏ จากการวัดค่าแรงดันดิน จะให้ค่าน้อยกว่า จากการคิดโดย Terzaghi (1967) และ Sower (1979) หลังจากได้คิดน้ำหนักบรรทุกในแนว ตั้งรวมแล้ว ประมาณ 10 kN./m^2

รูปร่างของ Earth Pressure Envelope มีความใกล้เคียงกับของ Sower (1979) แต่ขนาด เล็กกว่าโดยค่าแรงรวมทั้งหมดของแรงที่วัดได้เท่ากับ $1.0P_A$ และ $0.65P_0$ ที่ระดับ 8.5 เมตร (ดูรายละเอียดการคำนวณได้ในภาคผนวก)

รูปร่างของ Envelope นี้มีลักษณะในรูปที่วัดจริง แสดงใน Terzaghi, Peck, Mesri 1996 ของทรายและดินเหนียว (ส่วนมากเป็นทรายเสียมากกว่า)

4.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Factor of safety against basal heave กับค่าการเคลื่อนตัวทาง ด้านข้างของกำแพงกันดินสูงสุด

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Factor of safety against basal heave กับค่าการ เคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินสูงสุด ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.17

สำหรับการคำนวณ Factor of safety against basal heave โดยวิธี Terzaghi (1943)

$$FS. = \frac{1}{H} \cdot \frac{S_{u2} N_c}{\gamma - S_{u1}/D} \dots\dots\dots(4.5)$$

โดยที่	H	: ความลึกของงานขุด	(เมตร)
	T	: ความหนาของชั้นดินจากระดับขุดถึงชั้นดินแข็ง	(เมตร)
	S_{u1}	: กำลังรับแรงเฉือนของดินส่วนที่ขุดออก	(กิโลปาสคาล)
	S_{u2}	: กำลังรับแรงเฉือนของดินส่วนที่ต่ำจากงานขุด	(กิโลปาสคาล)
	D	: ความลึกจากระดับงานขุดถึงชั้นดินแข็ง	(เมตร)

ซึ่งเมื่อนำค่า Factor of safety against basal heave กับค่า $\frac{\delta_{Hmax}}{H}$ โดยที่ค่า δ_{Hmax} ได้จากการวัด inclinometer ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล, ไบหยก 2, เพนนินซูลา และ ศาลาแดง มาพล็อตก็จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.21 โดยมีการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.6 ถึงตารางที่ 4.9 ในรูปที่ 4.21 สังเกตได้ว่าจุดที่ออกไปจาก curve ส่วนใหญ่เป็นของโครงการไบหยก และโครงการเพนนินซูลา

โครงการไบหยก 2 เป็นเช่นนั้นเนื่องจากระยะเวลาในการติดตั้งค้ำยัน และการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม PLAXIS ให้ค่าที่ปลาย sheet pile เคลื่อนตัวถึง 2 เซนติเมตร ส่วนโครงการเพนนินซูลาทั้งที่ FS. ประมาณ 1.5 แต่ยังคงเส้นของเขตของ Mana Clough, 1981 เนื่องจากเกิดจากการไม่ Preload strut ในกรณีพื้นที่ของการขุดมีความกว้าง ความยาวมาก และชั้นดินยังคงเป็นชั้นทรายอีกด้วย

4.6.4 การประมาณค่าการทรุดตัวที่ผิวดินหลังเข็มพีต

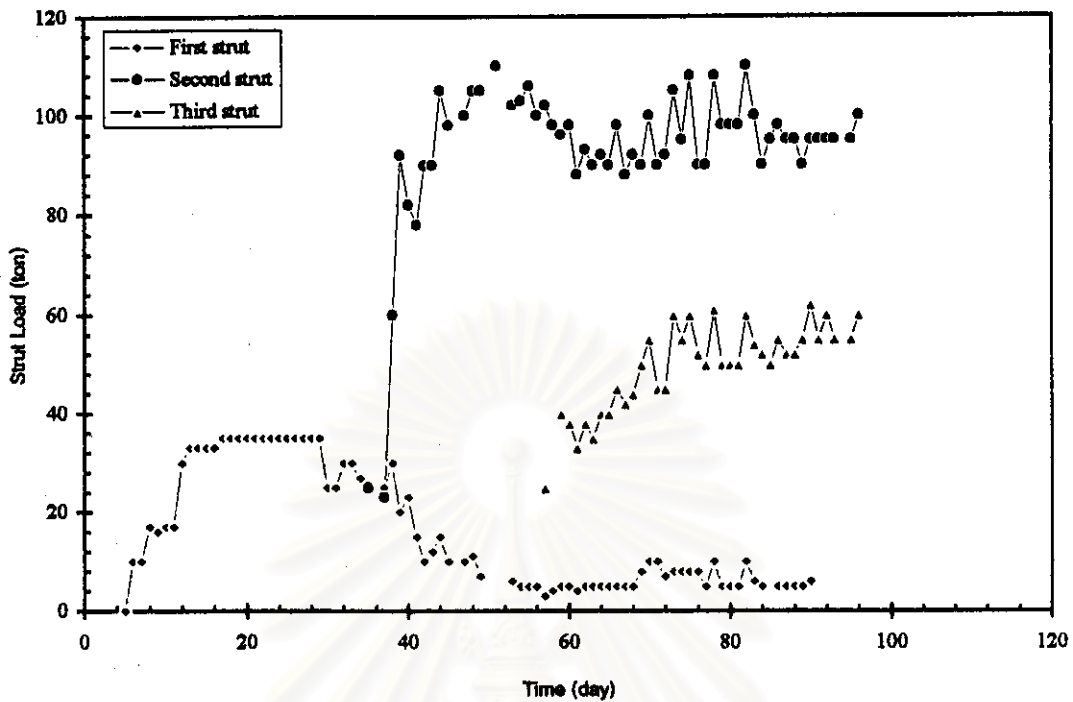
การคาดคะเนการทรุดตัวในแนวตั้งที่ผิวดินหลังเข็มพีต จะพิจารณาของโครงการไบหยก 2 ซึ่งได้ทำการติดตั้งจุดซึ่งทำการวัดค่าการทรุดตัว จำนวน 4 แนว (Test section) โดยมีตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 3.5 แต่ในการวิเคราะห์จะไม่นำจุดซึ่งวัดค่าการทรุดตัว ณ ตำแหน่งที่

1 มาคิดเนื่องจากเป็นโชนของการขุดดินลึก 9.5 เมตร ดังนั้นจึงเหลือจุดซึ่งนำมาพิจารณาจำนวน 3 แนว คือแนวที่ 2, 3 และ 4

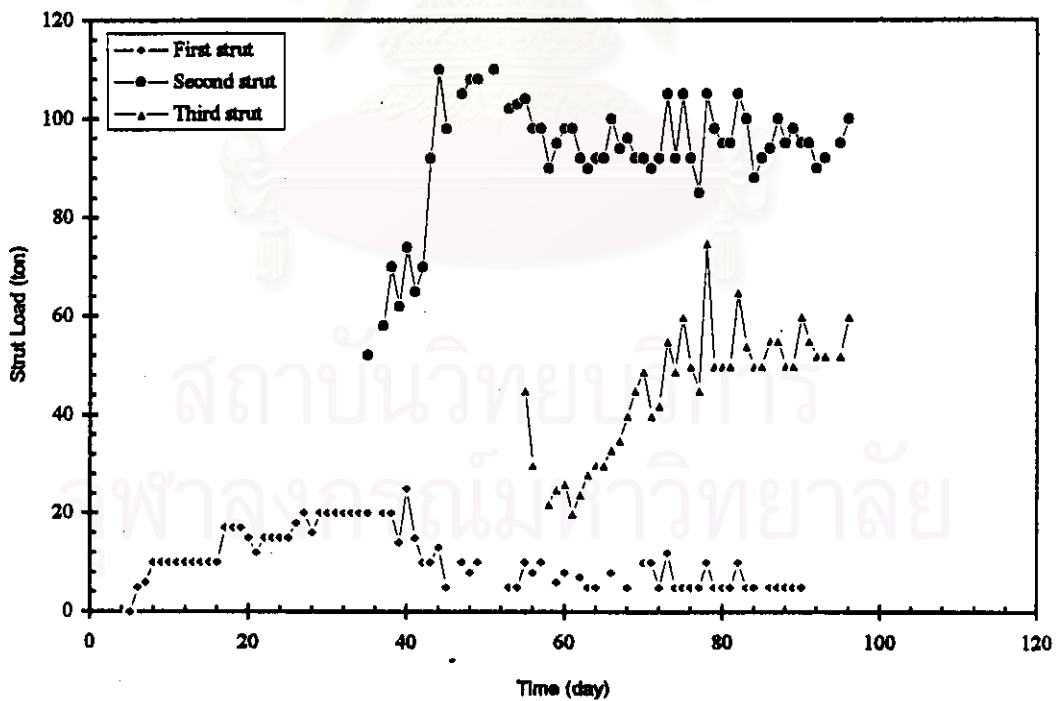
ผลจากการคาดคะเนการขุดตัวในแนวดิ่งโดยใช้โปรแกรม PLAXIS ดังแสดงในรูปที่ 4.22(a) พบว่าค่าที่ประมาณได้ออกมาน้อยกว่าความเป็นจริง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจาก ในการทำงานจริงอาจมีผลจากการจรรยา หรืออาคารข้างเคียงเป็นผลให้ในการวัดจริงจะให้ค่าการขุดตัวที่มาก แต่เมื่อ normalized ด้วยความลึกของการขุด พบว่าค่าที่ได้จากโปรแกรม PLAXIS ในขั้นตอนการขุดชั้นที่ 1 และการอัดแรงใน strut ชั้นที่ 1 จะให้ค่าที่เกินจากการวัดจริงในสนาม ดังรูปที่ 4.22(b)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

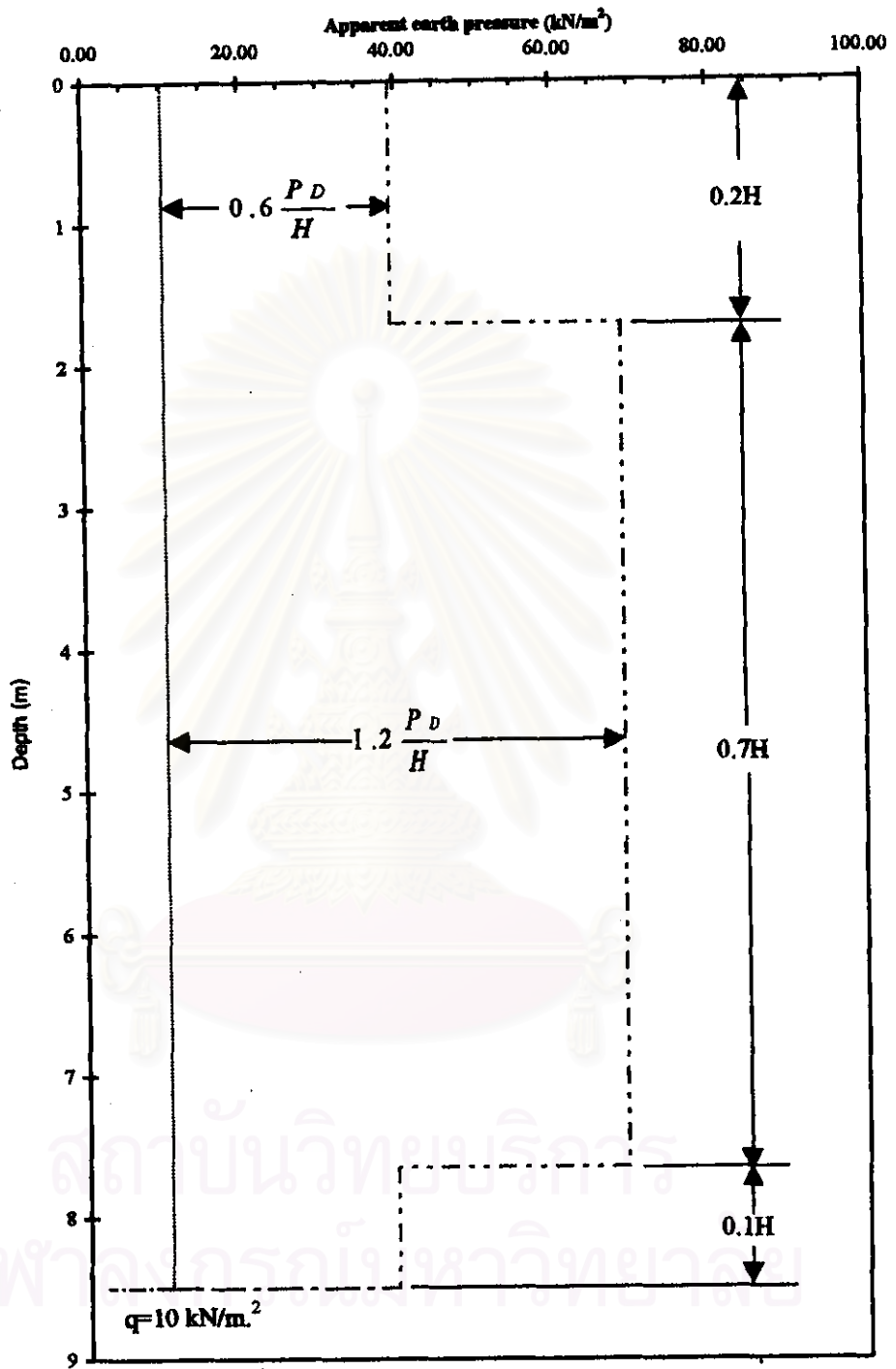


(a) การวัดค่า Pressure gauge ตามแนว Transverse

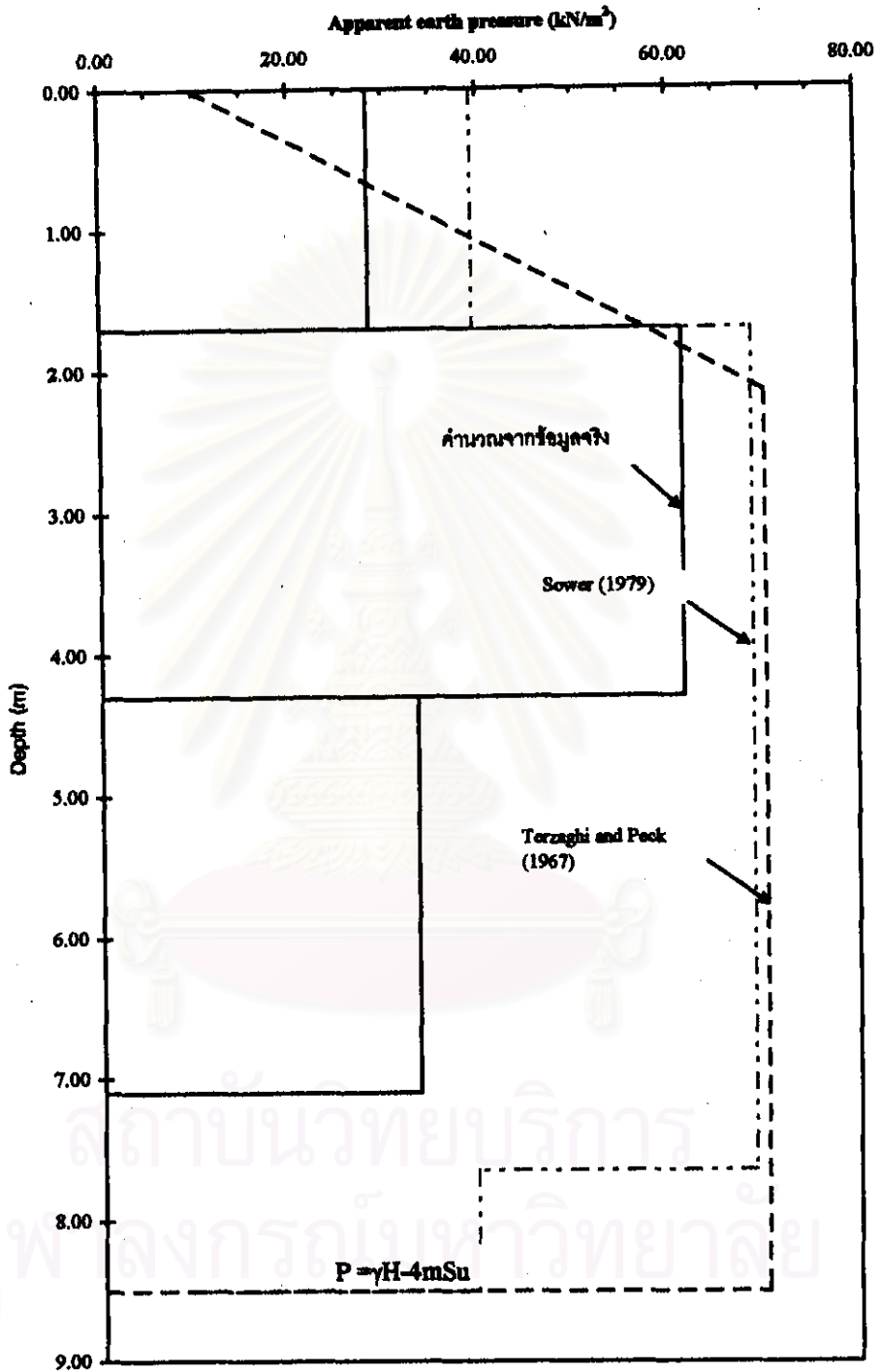


(b) การวัดค่า Pressure gauge ตามแนว Longitudinal

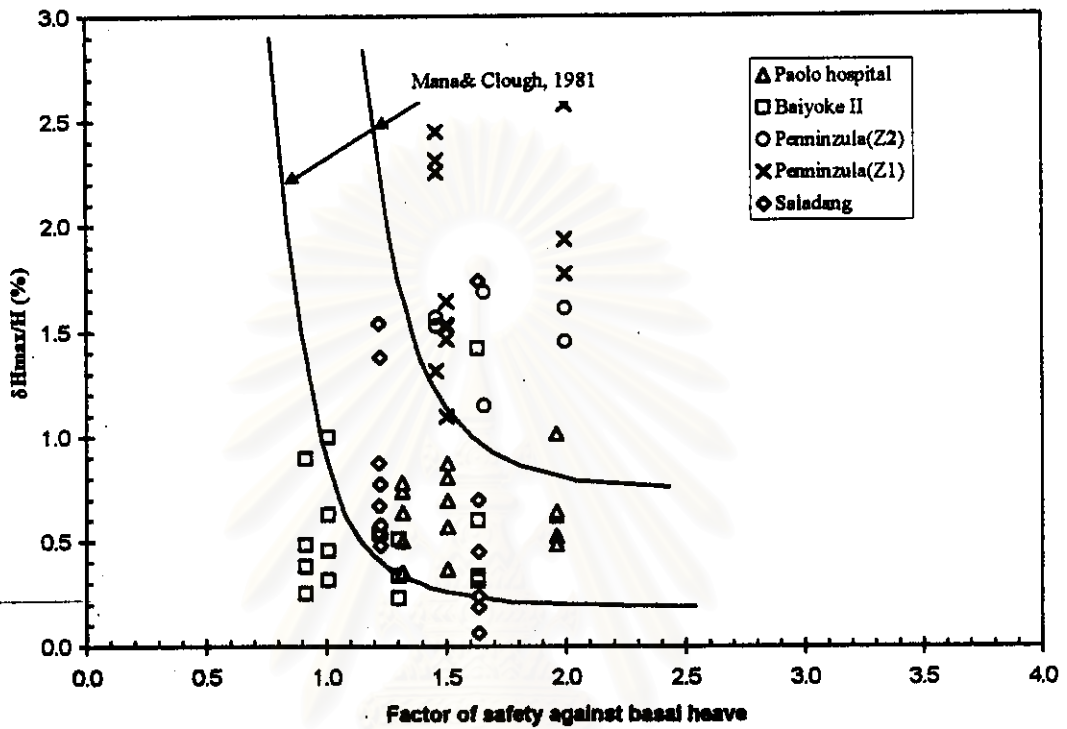
รูปที่ 4.18 แสดงผลการวัดค่า Strut Load ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล



รูปที่ 4.19 แสดงรูปแบบการหาค่าขอบเขตของหน่วยแรงดันดิน เสนอโดย Sower (1979)



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบ Pressure Diagram ระหว่าง Pressure Diagram ของ Terzaghi และ Sower ที่ได้จากการวัดจริงในสนาม



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Factor of safety against basal heave กับ $\delta H_{max}/H$ ของข้อมูลจากโครงการซึ่งใช้เข็มพืด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 แสดงการคำนวณ Factor of safety against base heave

โครงการ : โรงพยาบาลเปาโล

ความลึกถึงชั้นดินแข็ง

24.00

เมตร

ค่า N_c

5.70

Inclinometer No.	Excav. depth (m.)	$\gamma \cdot H$ (kN/m ²)	S_{u1} (kPa.)	S_{u2} (kPa.)	T (m.)	FS.	δH_{max} (mm.)	$\delta H_{max}/H$ (%)
I-1 B= 55.00 .7*B= 38.89	1.00	17.50	17.00	17.00			5.32	
	3.50	61.25	18.00	20.00	20.50	1.96	21.73	0.62
	7.00	106.70	20.00	26.00	17.00	1.51	48.59	0.69
	8.50	143.50	25.00	30.00	15.50	1.32	54.06	0.64
I-2 B= 51.00 .7*B= 36.06	1.00	17.50	17.00	17.00			21.00	
	3.50	61.25	18.00	20.00	20.50	1.96	35.53	1.02
	7.00	106.70	20.00	26.00	17.00	1.51	56.36	0.81
	8.50	143.50	25.00	30.00	15.50	1.32	63.07	0.74
I-3 B= 55.00 .7*B= 38.89	1.00	17.50	17.00	17.00			3.88	
	3.50	61.25	18.00	20.00	20.50	1.96	18.38	0.53
	7.00	106.70	20.00	26.00	17.00	1.51	39.9	0.57
	8.50	143.50	25.00	30.00	15.50	1.32	42.65	0.50
I-4 B= 29.00 .7*B= 20.51	1.00	17.50	17.00	17.00			9.4	
	3.50	61.25	18.00	20.00	20.50	1.96	16.93	0.48
	7.00	106.70	20.00	26.00	17.00	1.51	25.64	0.37
	8.50	143.50	25.00	30.00	15.50	1.32	29.92	0.35
I-5 B= 72.00 .7*B= 50.91	1.00	17.50	17.00	17.00			7.27	
	3.50	61.25	18.00	20.00	20.50	1.96	22.38	0.64
	7.00	106.70	20.00	26.00	17.00	1.51	61.12	0.87
	8.50	143.50	25.00	30.00	15.50	1.32	66.4	0.78

หมายเหตุ

B คือ ความกว้างของการขุด

H คือ ความลึกของการขุด

T คือ ความหนาของชั้นดินจากระดับขุดถึงชั้นทรายชั้นแรก

S_{u1} , S_{u2} คือ หน่วยแรงดันดินของงานขุด และใต้งานขุด

δH_{max} คือ ปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของเข็มพีค

$$FS. = \frac{1}{H} \frac{N_c S_{u2}}{\left(\gamma - \frac{S_{u1}}{T}\right)}$$

ตารางที่ 4.7 แสดงการคำนวณ Factor of safety against base heave

โครงการ : โบกย 2

ความลึกถึงชั้นดินแข็ง

21.00

เมตร

ค่า N_c

5.70

Inclinometer No.	Excav. depth (m)	$\gamma \cdot H$ (kN/m ³)	S_{u1} (kPa.)	S_{u2} (kPa.)	T (m.)	FS.	δH_{max} (mm)	$\delta H_{max}/H$ (%)
I-1 B= 50.00 .7*B= 35.36	4.50	74.80	18.20	20.00	16.50	1.63	64.00	1.42
	7.00	113.90	17.80	18.60	14.00	1.01	70.00	1.00
	9.50	153.00	18.70	22.10	11.50	0.92	85.00	0.89
I-2 B= 50.00 .7*B= 35.36	4.50	74.80	18.20	20.00	16.50	1.63	15.00	0.33
	7.00	113.90	17.80	18.60	14.00	1.01	32.00	0.46
	9.50	153.00	18.70	22.10	11.50	0.92	36.00	0.38
	11.30	181.50	20.60	36.00	9.70	1.30	38.00	0.34
I-3 B= 55.00 .7*B= 38.89	4.50	74.80	18.20	20.00	16.50	1.63	14.00	0.31
	7.00	113.90	17.80	18.60	14.00	1.01	22.00	0.31
	9.50	153.00	18.70	22.10	11.50	0.92	24.00	0.25
	11.30	181.50	20.60	36.00	9.70	1.30	26.00	0.23
I-4 B= 55.00 .7*B= 38.89	4.50	74.80	18.20	20.00	16.50	1.63	27.00	0.60
	7.00	113.90	17.80	18.60	14.00	1.01	44.00	0.63
	9.50	153.00	18.70	22.10	11.50	0.92	46.00	0.48
	11.30	181.50	20.60	36.00	9.70	1.30	58.00	0.51

หมายเหตุ

B คือ ความกว้างของการขุด

H คือ ความลึกของการขุด

T คือ ความหนาของชั้นดินจากระดับขุดถึงชั้นทรายชั้นแรกหรือดินเหนียวแข็งมาก

S_{u1} , S_{u2} คือ หน่วยแรงต้านดินของงานขุด และได้งานขุด

δH_{max} คือ ปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของเข็มพืด

$$FS. = \frac{1}{H} \frac{N_c S_{u2}}{\left(\gamma - \frac{S_{u1}}{T}\right)}$$

ตารางที่ 4.8 แสดงการคำนวณ Factor of safety against base heave

โครงการ : เพนินซูลา

ความลึกถึงชั้นดินแข็ง

23.50

เมตร

ค่า N_c

5.70

Inclinometer No.	Excav. depth (m.)	$\gamma \cdot H$ (kN/m ²)	S_{u1} (kPa.)	S_{u2} (kPa.)	T (m.)	FS.	δH_{max} (mm.)	$\delta H_{max}/H$ (%)
I-1 (zone 2) B= 36.80 .7*B= 26.02	1.80	32.40	18.20	20.00	21.70	3.69	15.00	0.83
	3.10	55.80	17.80	18.60	20.40	2.00	50.00	1.61
	5.10	91.80	18.70	22.21	18.40	1.46	78.00	1.53
	7.40	133.20	20.60	36.00	16.10	1.66	125.00	1.69
I-2 (zone 2) B= 36.80 .7*B= 26.02	1.80	32.40	18.20	20.00	21.70	3.69	20.00	1.11
	3.10	55.80	17.80	18.60	20.40	2.00	45.00	1.45
	5.10	91.80	18.70	22.21	18.40	1.46	80.00	1.57
	7.40	133.20	20.60	36.00	16.10	1.66	85.00	1.15
I-6 (zone 1) B= 78.00 .7*B= 55.15	1.10	19.80	18.20	20.00	22.40	6.03	20.00	1.82
	3.10	55.80	17.80	18.60	20.40	2.00	60.00	1.94
	5.10	91.80	18.70	22.21	18.40	1.46	115.00	2.25
	8.20	147.60	20.60	36.00	15.30	1.50	120.00	1.46
I-7 (zone 1) B= 78.00 .7*B= 55.15	1.10	19.80	18.20	20.00	22.40	6.03	27.00	2.45
	3.10	55.80	17.80	18.60	20.40	2.00	60.00	1.94
	5.10	91.80	18.70	22.21	18.40	1.46	115.00	2.25
	8.20	147.60	20.60	36.00	15.30	1.50	125.00	1.52
I-10 (zone 1) B= 78.00 .7*B= 55.15	1.10	19.80	18.20	20.00	22.40	6.03	15.00	1.36
	3.10	55.80	17.80	18.60	20.40	2.00	80.00	2.58
	5.10	91.80	18.70	22.21	18.40	1.46	118.00	2.31
	8.20	147.60	20.60	36.00	15.30	1.50	135.00	1.65
I-11 (zone 1) B= 78.00 .7*B= 55.15	1.10	19.80	18.20	20.00	22.40	6.03	40.00	3.64
	3.10	55.80	17.80	18.60	20.40	2.00	55.00	1.77
	5.10	91.80	18.70	22.21	18.40	1.46	67.00	1.31
	8.20	147.60	20.60	36.00	15.30	1.50	90.00	1.10
I-12 (zone 1) B= 78.00 .7*B= 55.15	1.10	19.80	18.20	20.00	22.40	6.03	27.00	2.45
	3.10	55.80	17.80	18.60	20.40	2.00	103.00	3.32
	5.10	91.80	18.70	22.21	18.40	1.46	125.00	2.45
	8.20	147.60	20.60	36.00	15.30	1.50	126.00	1.54

หมายเหตุ

B คือ ความกว้างของการขุด

H คือ ความลึกของการขุด

T คือ ความหนาของชั้นดินจากระดับขุดถึงชั้นทรายแน่นชั้นแรก

S_{u1} , S_{u2} คือ หน่วยแรงดันดินของงานขุด และใต้งานขุด

δH_{max} คือ ปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของเข็มพีค

$$FS. = \frac{1}{H} \frac{N_c S_{u2}}{(\gamma - \frac{S_{u1}}{T})}$$

Mana-pen

ตารางที่ 4.9 แสดงการคำนวณ Factor of safety against base heave

โครงการ : ศาลาแดง

ความลึกถึงชั้นดินแข็ง

23.50

เมตร

ค่า N_c

5.70

Inclinometer No.	Excav. depth (m.)	$\gamma \cdot H$ (kN/m ³)	S_{u1} (kPa.)	S_{u2} (kPa.)	T (m.)	FS.	δH_{max} (mm.)	$\delta H_{max}/H$ (%)
I-1	5.00	88.00	21.40	23.60	18.50	1.64	22.45	0.45
B= 42.00	7.30	127.10	22.90	25.00	16.20	1.22	41.22	0.56
.7*B= 29.70	8.55	148.35	23.60	29.00	14.95	1.23	45.86	0.54
I-2	5.00	88.00	21.40	23.60	18.50	1.64	3.29	0.07
B= 33.00	7.30	127.10	22.90	25.00	16.20	1.22	37.74	0.52
.7*B= 23.33	8.55	148.35	23.60	29.00	14.95	1.23	44.71	0.52
I-3	5.00	88.00	21.40	23.60	18.50	1.64	87.10	1.74
B= 42.00	7.30	127.10	22.90	25.00	16.20	1.22	112.53	1.54
.7*B= 29.70	8.55	148.35	23.60	29.00	14.95	1.23	117.82	1.38
I-4	5.00	88.00	21.40	23.60	18.50	1.64	9.28	0.19
B= 33.00	7.30	127.10	22.90	25.00	16.20	1.22	39.60	0.54
.7*B= 23.33	8.55	148.35	23.60	29.00	14.95	1.23	41.18	0.48
I-5	5.00	88.00	21.40	23.60	18.50	1.64	11.88	0.24
B= 33.00	7.30	127.10	22.90	25.00	16.20	1.22	48.96	0.67
.7*B= 23.33	8.55	148.35	23.60	29.00	14.95	1.23	49.54	0.58
I-6	5.00	88.00	21.40	23.60	18.50	1.64	34.89	0.70
B= 42.00	7.30	127.10	22.90	25.00	16.20	1.22	64.06	0.88
.7*B= 29.70	8.55	148.35	23.60	29.00	14.95	1.23	66.22	0.77

หมายเหตุ

B คือ ความกว้างของการขุด

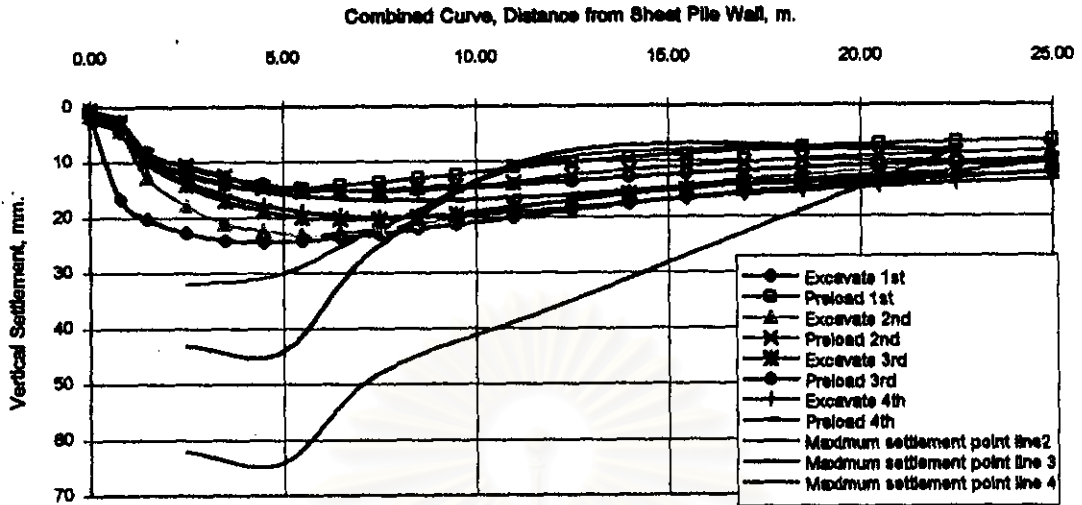
H คือ ความลึกของการขุด

T คือ ความหนาของชั้นดินจากระดับขุดถึงชั้นทรายชั้นแรก

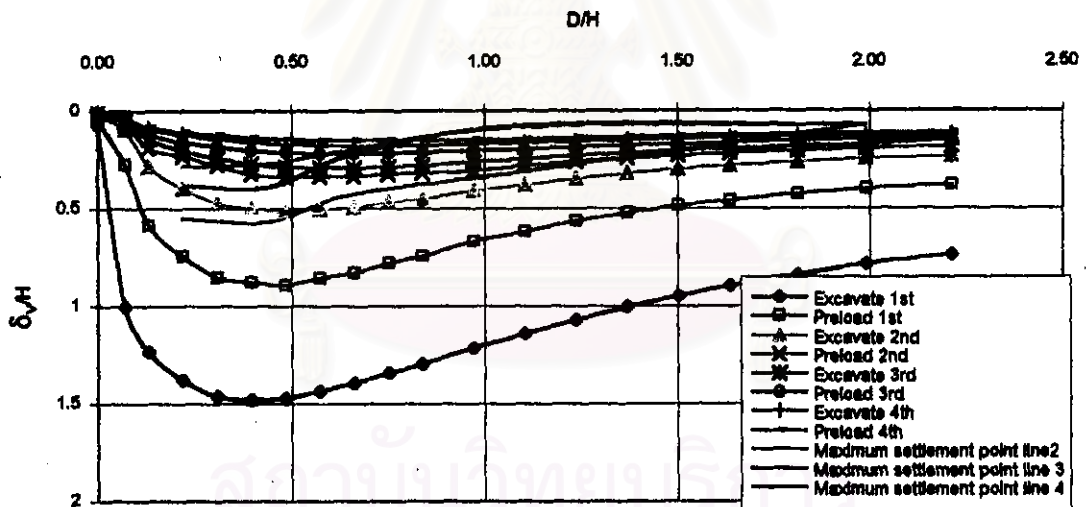
S_{u1} , S_{u2} คือ หน่วยแรงดันดินของงานขุด และใต้งานขุด

δH_{max} คือ ปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของเข็มที่วัด

$$FS. = \frac{1 \cdot N_c S_{u2}}{H \left(\gamma - \frac{S_{u1}}{T} \right)}$$



(a) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวในแนวดิ่งกับระยะทาง



(b) ความสัมพันธ์ระหว่าง δ_v/H กับ D/H

รูปที่ 4.22 แผนภาพแสดงการทรุดตัวในแนวดิ่งของดินหลังเข็มพีต โครงการไบนยัค 2