

บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลและผลของการวิจัย



4.1 คุณสมบัติของกำแพงกันดินระบบ Secant pile wall และค้ำยัน

กำแพงกันดินชนิด Secant pile wall เป็นโครงสร้างชนิดคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งงานวิจัยนี้ กำหนดค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c) ตามสมการที่เสนอโดย ACI Sec. 8.5.1 โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ $E_c = 15210 \sqrt{f_c'}$ (kg/cm^2) (ดังแสดงตารางที่ 4.1)

คอนกรีตหยาบ (Lean concrete) เป็นคอนกรีตที่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทับพื้นดินในส่วนล่างสุดจะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับค้ำยันโดยมีลักษณะเป็นแผ่นบางและเทเป็นผืนๆ ซึ่งจะช่วยในการรับแรงและลดโมเมนต์ในกำแพงกันดิน (ดังแสดงตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของกำแพงกันดิน Secant pile wall และ Lean concrete

Symbol	Secant Pile Wall	Lean Concrete	Remark
Thickness	0.875	0.150	m
γ_c	2.40	2.40	t/m^3
f_c'	195	150	ksc
E_c	2.12E+06	1.86E+06	t/m^2
A	0.602	0.150	m^2/m
I	2.88E-02	2.80E-04	m^4/m
EA	1.278E+06	2.79E+05	t/m
EI	6.114E+04	5.24E+02	$\text{t-m}^2/\text{m}$
ν	0.20	0.20	-
W	1.444	0.360	t/m/m

ค้ำยันนั้น ใช้เหล็กรูปพรรณ ขนาด 2W x 350 x 350 x 137 kg/m มีค่าพื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 173.9 cm^2 ต่อค้ำยัน 1 เส้น ,ค่า Moment of Inertia (I_x) เท่ากับ $40,300 \text{ cm}^4$ (ดังแสดงตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติของค้ำยันเหล็ก (Strut)

Symbol	Strut	Remark
Thickness	0.350	m
E	2.10E+06	ksc
A	347.80	cm^2
EA	7.30E+05	t
W	0.274	t
Spacing	7.20	m

4.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแบบสถิต (K_0)

สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแบบสถิต (K_0) ของดินเหนียวกรุงเทพฯ (Bangkok Clay) จากผลการวิจัยที่ผ่านมาว่าพบว่า ดินเหนียวกรุงเทพฯ นั้นจะมีค่า K_0 ประมาณ 0.67 ซึ่งกรณีของดินในโครงการที่ดำเนินการวิจัยนี้ จะพบว่าค่าของ PI จะมีค่าอยู่ระหว่าง 40% ดังนั้นหากใช้ความสัมพันธ์ของ Brooker and Ireland (1965) ดังสมการดังนี้

$$K_0 = 0.4 + 0.007 (PI\%) \quad (4.1)$$

จะพบว่าค่าของสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแบบสถิต (K_0) ที่ใช้ในการวิจัยของโครงการ The Park Chidlom สำหรับดินเหนียว ซึ่งเมื่อแทนค่า PI ลงไปจะได้ค่า $K_0 = 0.68$ โดยที่จะมีค่าใกล้เคียงกับผลการวิจัยที่ผ่านมา

4.3 การคัดเลือกค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ของดิน

การวิจัยนี้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (S_u) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุด เนื่องจากใช้สำหรับประเมินค่า เบื้องต้นในการทำวิเคราะห์กลับ (Black Analysis) หาค่า Modulus of Subgrade Reaction ของดิน การคัดเลือกค่า S_u ที่ไม่เหมาะสมมีผลกระทบต่อผลลัพธ์ของการวิจัยเป็นอย่างมาก ข้อมูลจากการเจาะสำรวจดินที่ใช้ประเมินค่า S_u มีสามชนิด คือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test : $S_{u(uc)}$), ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบแบบเวนในสนาม (Field Vane Shear Test : $S_{u(FV)}$) และค่าทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT Test : N) ดังนั้นค่า S_u ที่ได้จากข้อมูลทั้งสามชนิดนี้มีความเหมาะสมเพื่อนำไปใช้แตกต่างกัน

หลักการพิจารณาคัดเลือกค่า S_u ของดินที่ความลึกต่างๆ จะคัดเลือกจากชนิดข้อมูลที่ให้คุณภาพของผลการทดสอบค่า S_u ที่ดีที่สุดเพื่อหาค่าคุณสมบัติของดินในการวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในโครงการที่วิจัย ซึ่งในชั้นดินแต่ละประเภทจะใช้ชนิดของข้อมูลเจาะสำรวจที่มีความเหมาะสมจะแตกต่างกันดังนี้

ในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง (Soft to Medium Clay) ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบแบบเวนในสนาม ($S_{u(FV)}$) หลังจากปรับแก้แล้วจะให้ค่า S_u ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานครมีความไวสูง การทดสอบกำลังเฉือนในสนามมีผลกระทบของการรบกวนตัวอย่างดินน้อยกว่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการแต่ก็มีข้อเสีย คือ เมื่อค่า S_u ของดินสูงเกิน $4 - 5 \text{ t/m}^2$ ผลการทดสอบค่า $S_{u(FV)}$ จะให้ค่าที่สูงเกินความเป็นจริง โดยในโครงการที่ดำเนินการวิจัยในกรณีนี้จะใช้ค่ากำลังเฉือนจากการทดสอบแบบเวนในสนามมาใช้ในการวิเคราะห์ นั่นคือ $S_{u(FV)}$ มีค่า 2.6 t/m^2

ในชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมาก (Stiff to Very Stiff Clay) โดยในโครงการที่ดำเนินการวิจัยจะใช้ค่า S_u ที่ได้จากค่าสหสัมพันธ์แบบ empirical ของพารามิเตอร์ N จากการทดสอบค่าทะลุทะลวงมาตรฐาน ($S_{u(SPT)}$) โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า N และค่า S_u ของชั้นดินเหนียวชั้นแรกที่น่ามาใช้เสนอโดย วีรนนท์ (2526) มีรายละเอียดดังนี้

สำหรับดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง (CH)

$$S_u = 0.685 N \text{ t/m}^2 \quad (4.2)$$

จะพบว่าค่า N ของชั้นดินเหนียวแข็งที่ใช้ในการวิจัยของโครงการ The Park Chidlom ซึ่งเมื่อแทนค่า $N = 14 \text{ Blow / ft}$ ลงไป จะได้ค่า $S_u = 9.6 \text{ t/m}^2$ ซึ่งจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

4.4 ผลการวิเคราะห์

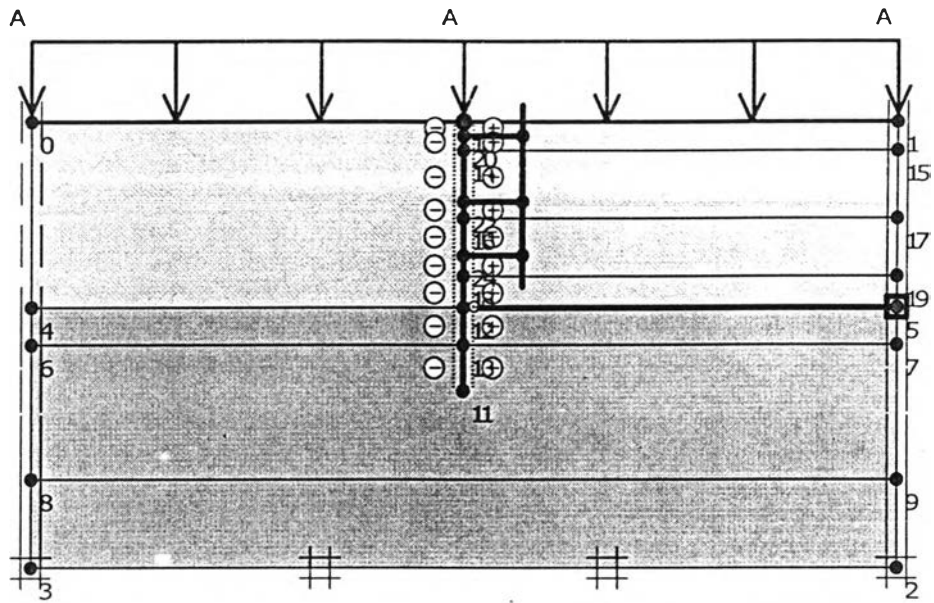
4.4.1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบ Empirical สำหรับประเมินค่าโมดูลัสของดิน (Undrained Young's Modulus , E_u) โดยวิธีวิเคราะห์กลับ (Back Analysis)

ในการวิเคราะห์กลับเพื่อหาค่า Young's Modulus ของชั้นดินกรุงเทพฯ ที่ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินลึกของโครงการ The Park Chidlom โดยได้ใช้กำแพงกันดินระบบซีแคนต์ไพวอลล์ ซึ่งข้อมูลที่น่ามาใช้เป็นข้อมูลของการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินระบบซีแคนต์ไพวอลล์ที่สัมพันธ์กับความลึกของงานขุด โดยทราบรายละเอียดเป็นอย่างดี นอกจากนั้นยังทราบถึงขั้นตอนการก่อสร้างรวมทั้งยังทราบถึงตำแหน่งติดตั้งและขนาดของค้ำยัน (Strut) และปริมาณของการอัดแรง (Preload) ในค้ำยันด้วย

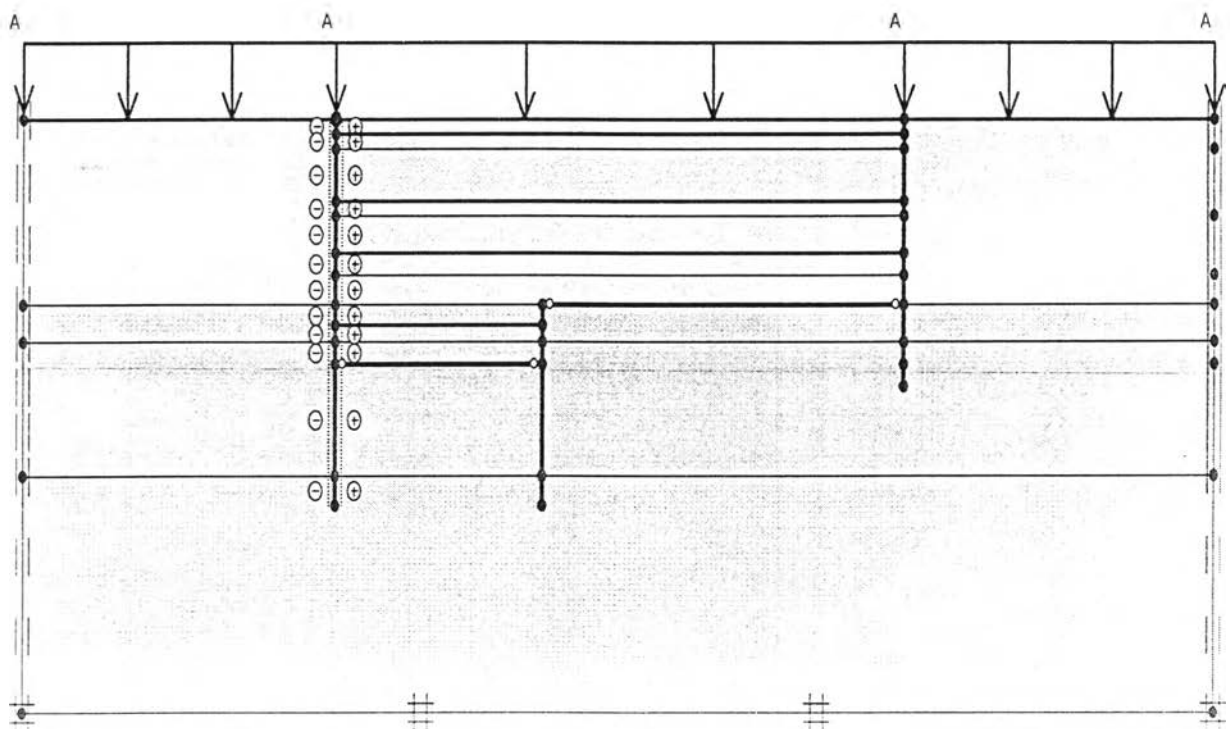
การวิเคราะห์กลับจะกระทำโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ Finite Element ชื่อ PLAXIS (Brinkgreve and Brand , 1996) ซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์ปัญหาแบบ Plan strain ขั้นตอนการวิเคราะห์จะทำการประมาณค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน โดยที่จะแปรเปลี่ยน Young's Modulus ไปจนกระทั่งการเคลื่อนตัวที่ได้จากการวิเคราะห์มีลักษณะและขนาดใกล้เคียงกับข้อมูลจากการก่อสร้างจริง ในการวิเคราะห์กลับได้จำลองชั้นใต้ดินที่ขุดโดยแบ่งชั้นดินเป็น อิลิเมนต์ย่อยๆ และจำลองโดยใช้ Mohr-Coulomb Soil Modeling ในการวิเคราะห์กลับเพื่อหาค่า Young's Modulus ที่เหมาะสม ทั้งนี้ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Inclinomenter) ซึ่งฝังอยู่ด้านหลังกำแพงกันดินระบบซีแคนต์ไพวอลล์ที่ยาวมากเพื่อให้มั่นใจว่าการเคลื่อนตัวของกำแพงถูกต้อง โดยในโครงการ The Park Chidlom จะมีการขุดดินลึกแบ่งเป็น 2 โซน (ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2)

4.4.1.1 การวิเคราะห์กลับหาค่าโมดูลัสของดิน (Undrained Young's Modulus , E_u) ในขั้นตอนสุดท้ายของการขุด (Final Step)

การวิเคราะห์กลับ (Back Analysis) เพื่อหาค่าโมดูลัสของดินในขั้นตอนสุดท้ายของการขุดดิน (Final Step) ของกำแพงกันดินระบบ Secant pile wall โดยที่ปลายของซีแคนต์ไพวอลล์อยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) ซึ่งจะใช้ค่าโมดูลัสของดิน (Undrained Young's Modulus , E_u) สำหรับดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Clay) เท่ากับ 750 Su และสำหรับดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) เท่ากับ 2000 Su สำหรับโมดูลัสในชั้นดินทรายจะใช้ค่า $E' = 200 N_{60}$ (DM7-1) เมื่อ $N_{60} = 30$ Blow/ft แต่สำหรับดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) นั้นได้ทำการเปลี่ยนค่าโมดูลัสเท่ากับ 350 Su, 500 Su และ 650 Su ตามลำดับ

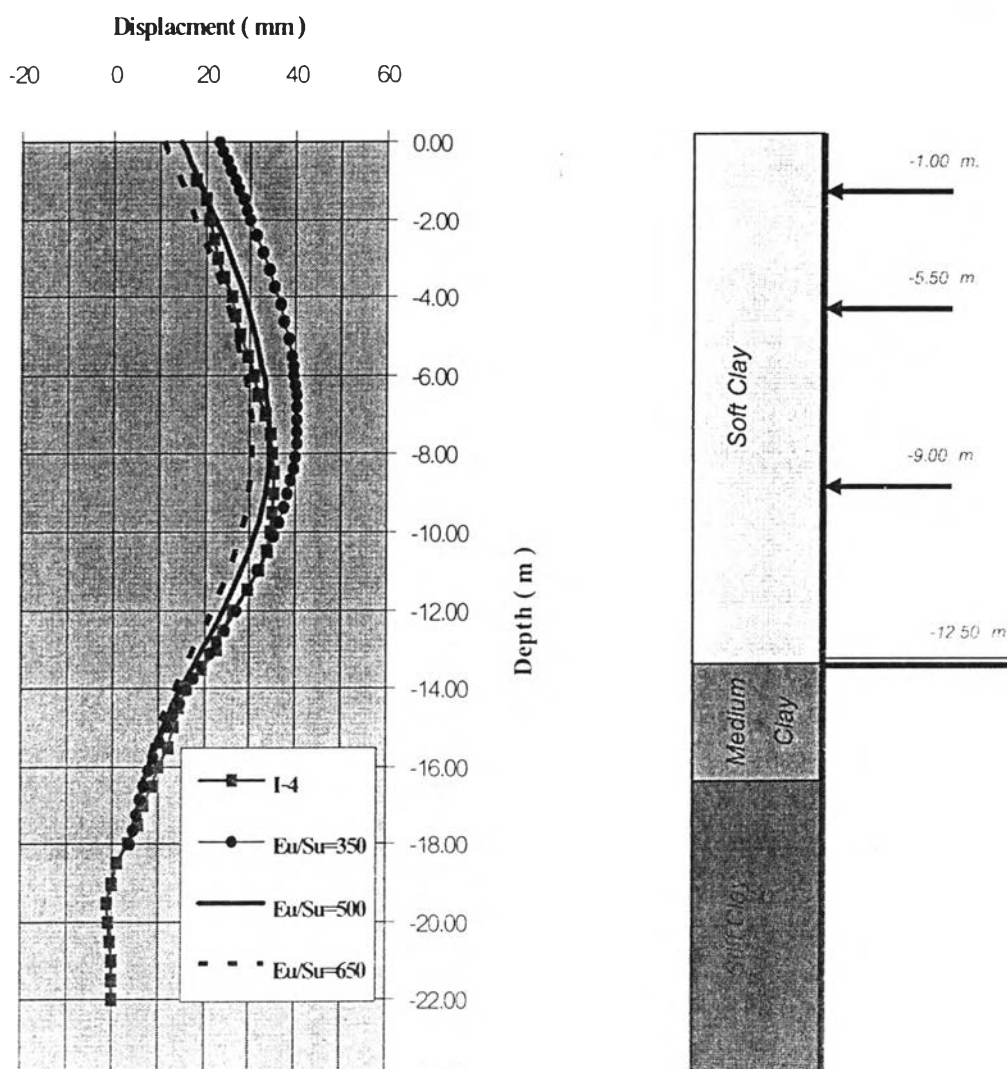


รูปที่ 4.1 แสดงการป้อนค่ากับโปรแกรมวิเคราะห์ Finite Element ของการติดตั้งค้ำยัน (Strut)
ของการขุดในโซนที่ 1

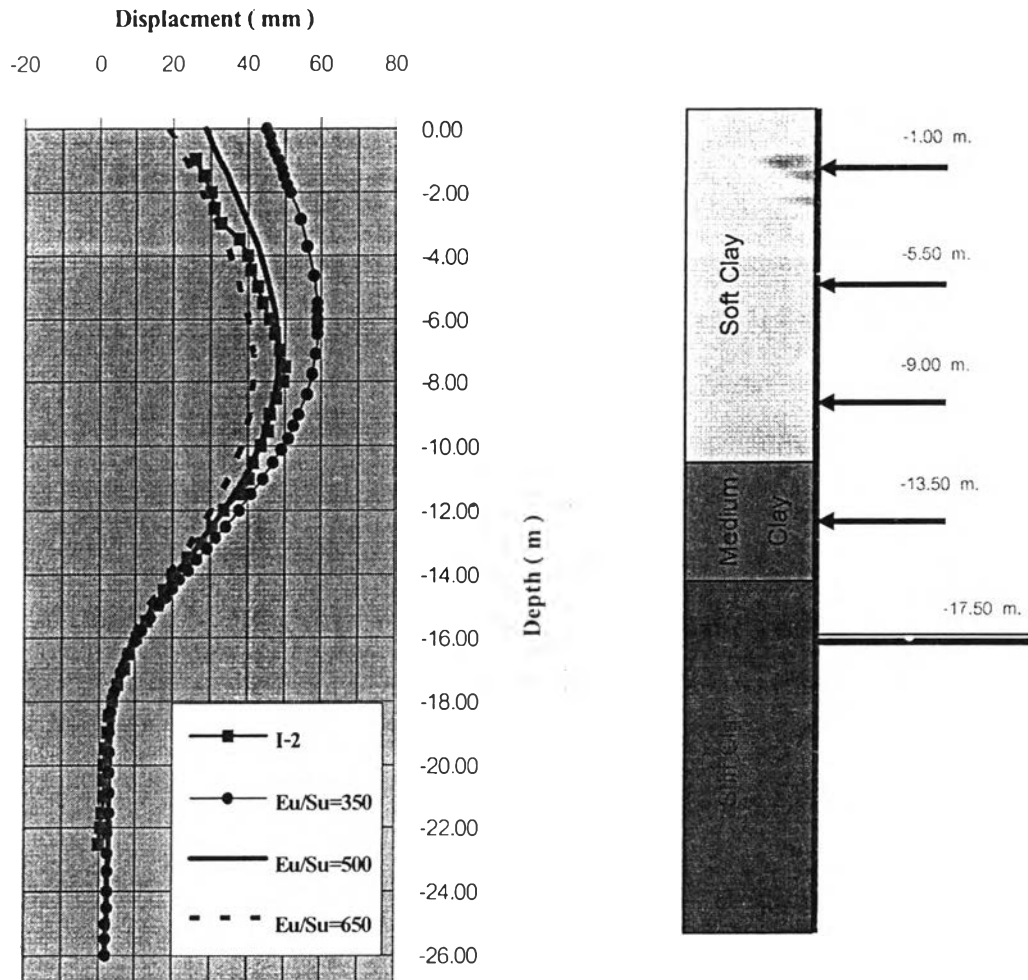


รูปที่ 4.2 แสดงการป้อนค่ากับโปรแกรมวิเคราะห์ Finite Element ของการติดตั้งค้ำยัน (Strut)
ของการขุดในโซนที่ 2

ผลของการวิเคราะห์กลับ การคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินชนิด Secant pile wall จากการใช้โปรแกรม PLAXIS เปรียบเทียบกับค่าของการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินชนิด Secant pile wall ในสนามของโครงการที่วิจัยในลำดับขั้นตอนสุดท้ายของการขุด (Final Step) จากเครื่องมือวัด Inclinator NO. I-4 ของการขุดในโซนที่ 1 (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) และจากเครื่องมือวัด Inclinator NO. I-2 ของการขุดในโซนที่ 2 (ดังแสดงในรูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน Secant Pile Wall ระหว่างค่าในสนามของ Inclinator No.I-4 ในการขุดของโซนที่ 1 กับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM โดยใช้ค่า $E_{u(Soft\ clay)}$ ที่ค่าต่างๆ คือ 350Su ,500Su และ 650Su ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน Secant Pile Wall ระหว่างค่าในสนามของ Inclinometer No.I-2 ของการขุดในโซนที่ 2 กับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM โดยใช้ค่า $E_{u(Soft\ clay)}$ ที่ค่าต่างๆคือ 350Su ,500Su และ 650Su ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 ผลการคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินชนิด Secant pile wall ของทั้ง 2 โซน พบว่าเมื่อใช้ค่าโมดูลัสของชั้นดินเหนียวอ่อนต่ำ จะทำให้กำแพงกันดินชนิด Secant pile wall มีค่าการเคลื่อนตัวที่ปลายด้านบนสูง ในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้ค่าโมดูลัสของชั้นดินเหนียวอ่อนสูงขึ้น ก็จะทำให้กำแพงกันดินชนิด Secant pile wall มีค่าการเคลื่อนตัวลดลง และพบว่าเมื่อค่าโมดูลัสของชั้นดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 350 Su และ 500 Su พฤติกรรมการเคลื่อนตัวจากการใช้โปรแกรม PLAXIS มีค่าใกล้เคียงกับค่าในสนาม แต่การเคลื่อนตัวที่ปลายด้านบนค่าโมดูลัสของชั้นดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 500 Su จะมีค่าการเคลื่อนตัวใกล้เคียงกับค่าในสนามมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าโมดูลัสของดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 500 Su สำหรับในการวิจัยในครั้งนี้จึงเลือกใช้ค่าโมดูลัสของดินดังนี้ ($E_{u(Soft\ clay)} = 500\ Su$, $E_{u(Medium\ clay)} = 750\ Su$, $E_{u(Stiff\ clay)} = 2000\ Su$)

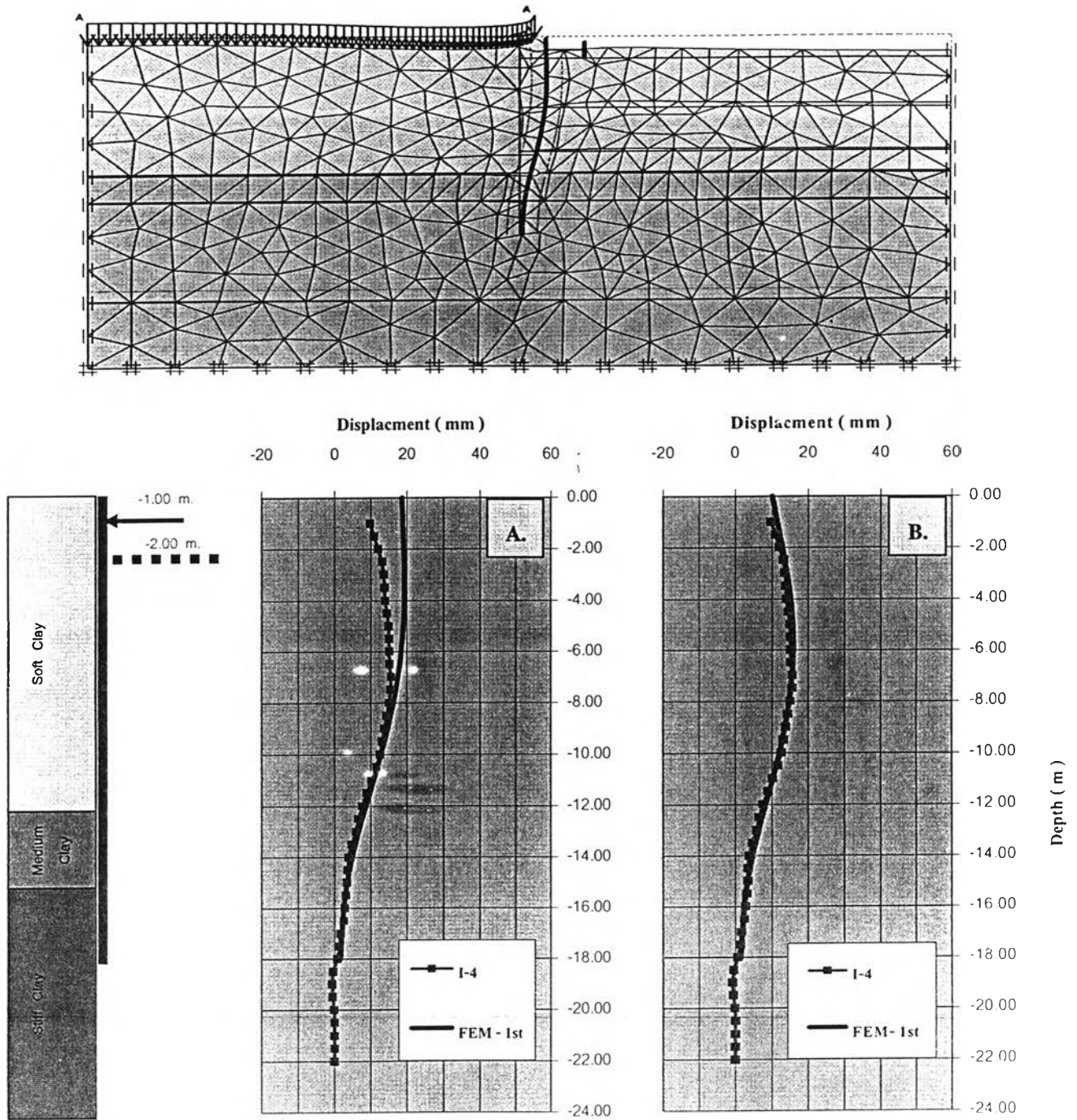
4.4.1.2 การวิเคราะห์หาค่าโมดูลัสของดิน (Undrained Young's Modulus , E_u) ในแต่ละขั้นตอนของการขุด (Begining Step)

เนื่องจากในแต่ละขั้นตอนของการขุดดินทั้ง 2 โชน การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินระบบ Secant pile wall จะเกิดขึ้นไม่เท่ากัน และก่อให้เกิด Strain ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจากการวิเคราะห์หาค่า Young's Modulus ของดินเหนียวกรุงเทพฯ พบว่าค่า Young's Modulus ที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าในลำดับขั้นตอนสุดท้ายของการขุด (Final Step) มีค่าสูงกว่าค่า Young's Modulus ที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าในแต่ละลำดับขั้นตอนของการขุด (Begining Step) ซึ่งสังเกตจากการเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินจาก Inclinometer ในแต่ละขั้นตอนของการขุดกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM โดยใช้ค่าโมดูลัสของดิน (Young's Modulus, E_u) ในขั้นตอนสุดท้ายของการขุด (Final Step)

จากรูปที่ 4.5 ถึง รูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าค่า Young's Modulus จะต่างกันอย่างมากที่ระดับ Strain ต่างๆ ในส่วนงานโครงสร้างใต้ดินของโครงการ The Park Chidlom ค่าของ Stiffness ของดินจะเปลี่ยนแปลงตามระดับของ Strain โดยพบว่า Strain ของการขุดในแต่ละขั้นตอนมีค่าที่ไม่เท่ากัน จึงได้มีการวิเคราะห์หาค่า Young's Modulus ของดินเหนียวกรุงเทพฯ โดยใช้ค่าของ Young's Modulus ที่แปรเปลี่ยนไปตามการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในแต่ละลำดับขั้นตอนของการขุด (Begining Step) ของทั้ง 2 โชน

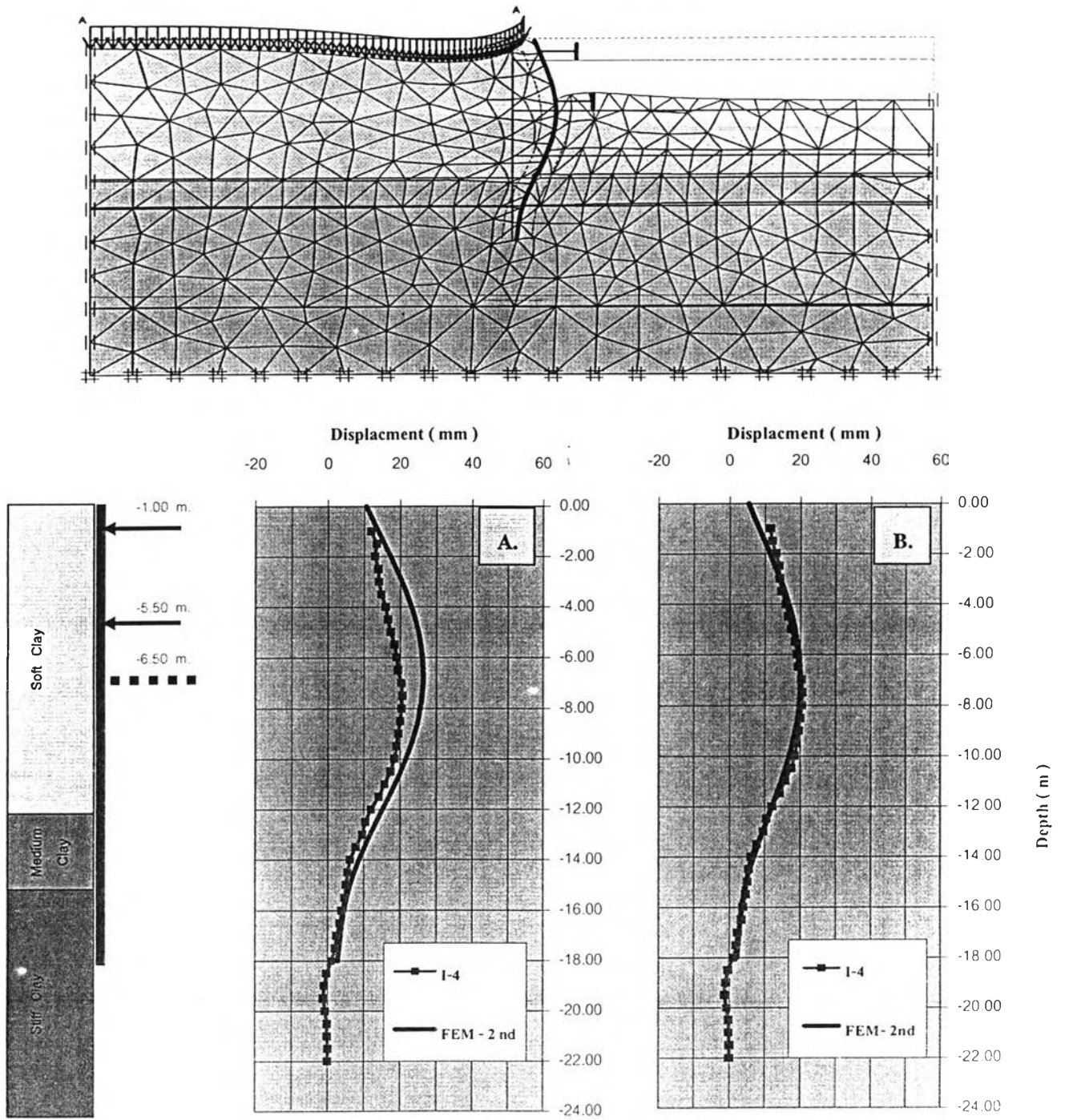
เนื่องจากระดับของการขุดดินที่ระดับต่างกันทำให้ค่า Shear Strain แตกต่างกันจึงให้ค่า Stiffness ของดินที่มีค่าต่างกันสามารถสรุปได้ (ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4) จะพบว่าค่า Young's Modulus ของดินจะไม่คงที่ โดยจะแปรผันกับค่า Strain level ของดิน ซึ่งที่ระดับของ Strain ต่างๆ (Begining Step) ค่าของ Young's Modulus ของดินจะมีค่าสูงมากและจะแสดงความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non- linear behavior) โดยความชันของกราฟจะสูงมากที่สุดที่ Strain ต่ำ แต่ที่ระดับของ Strain สูงๆ (Final Step) ความชันของกราฟก็จะลดลง (ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.15)

ซึ่งเห็นได้ว่าค่า Young's Modulus ของดินจะแปรเปลี่ยนไปตามค่า Shear Strain ของลำดับขั้นตอนการขุด โดยในกรณีของกำแพงกันดินระบบ Secant pile wall ซึ่งจะมีค่า Strain level อยู่ในช่วง 0.01% ถึง 1.0% เท่านั้น ซึ่งจากการวิเคราะห์หาค่าของโครงการ The Park Chidlom พบว่าค่า Shear Strain ของดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) อยู่ในช่วงประมาณ 0.1- 0.6% ในขณะที่ค่า Shear strain ของดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) อยู่ในช่วงประมาณ 0.06 - 0.3% นั้นเอง



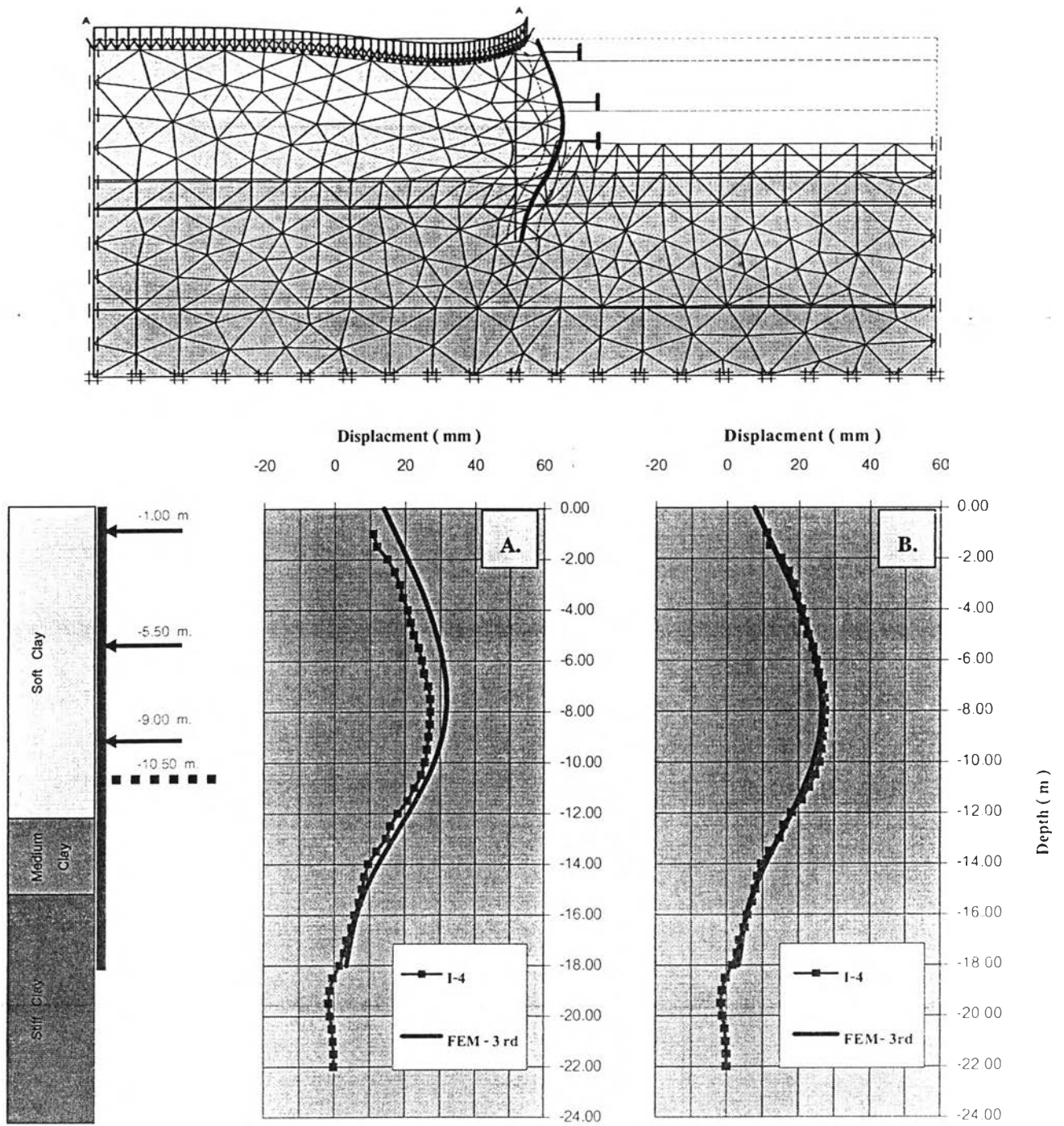
Reference Parameter	Soft Clay	Medium Clay	Stiff clay
A. Final Condition.	500	750	2000
B. Actual Condition.	840	930	2100
Strain (%)	0.154 %	0.160 %	0.067 %

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 1st Strut (Zone 1)



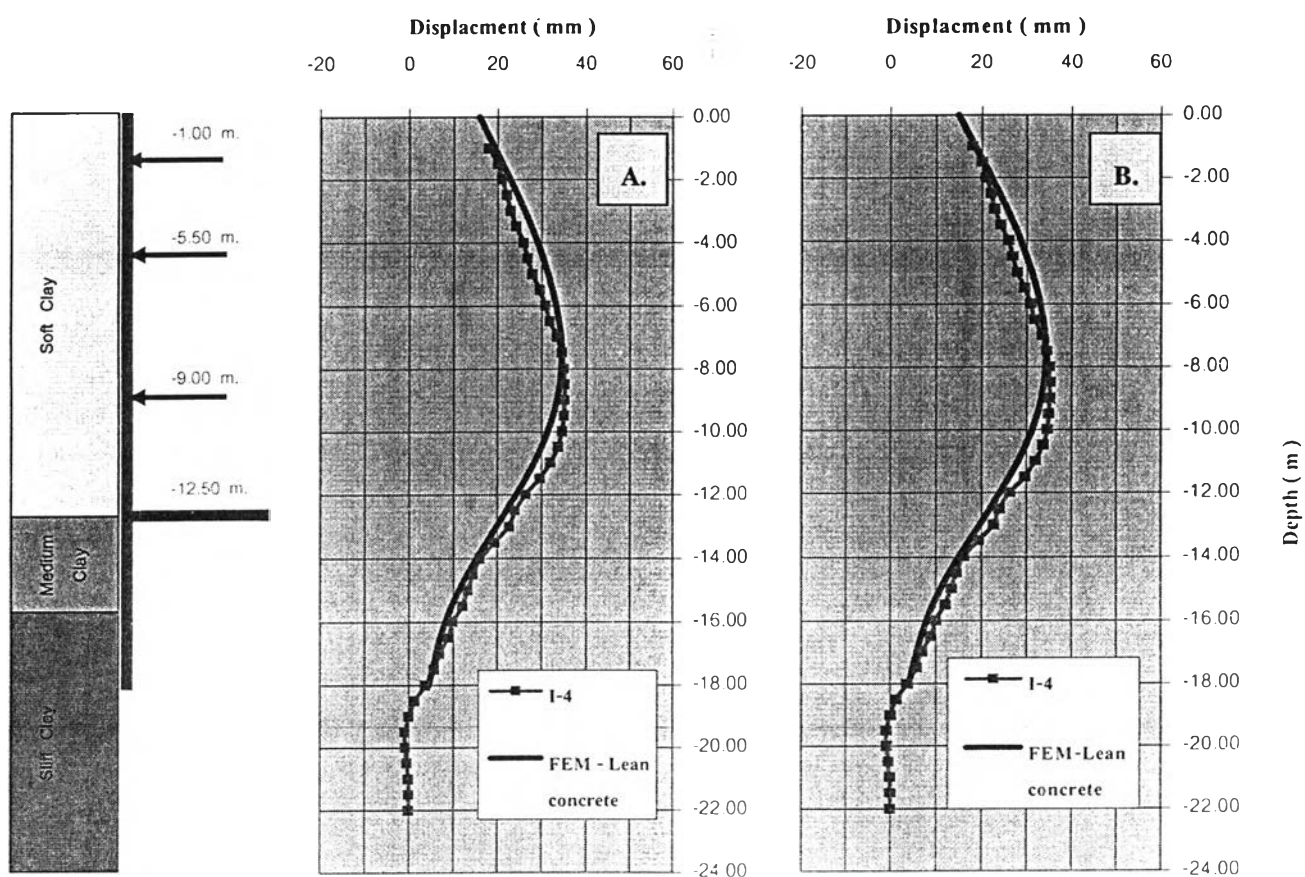
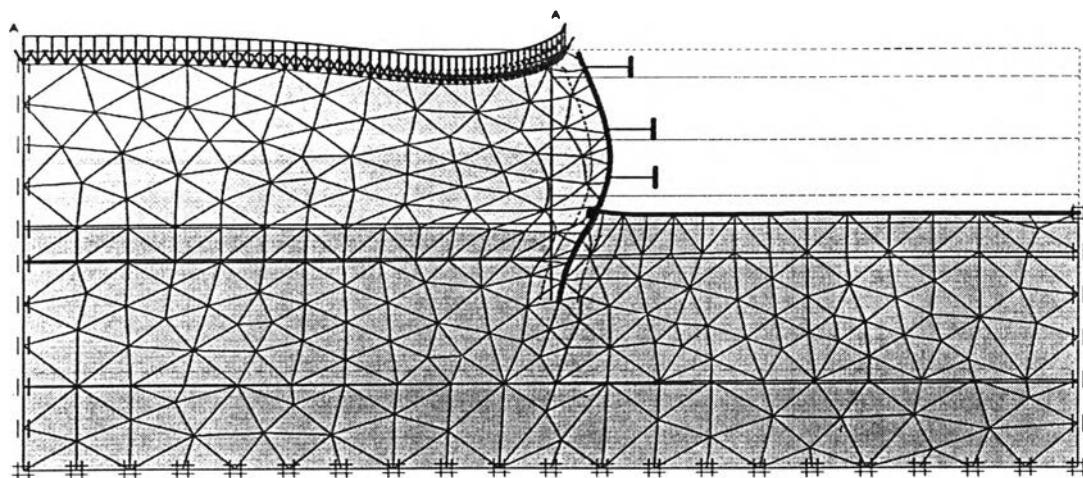
Reference Parameter	Soft Clay	Medium Clay	Stiff clay
A. Final Condition.	500	750	2000
B. Actual Condition.	700	880	2050
Strain (%)	0.220 %	0.200 %	0.120 %

รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 2nd Strut (Zone 1)



Reference Parameter	Soft Clay	Medium Clay	Stiff clay
A. Final Condition.	500	750	2000
B. Actual Condition.	580	770	2020
Strain (%)	0.270 %	0.400 %	0.165 %

รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 3rd Strut (Zone 1)

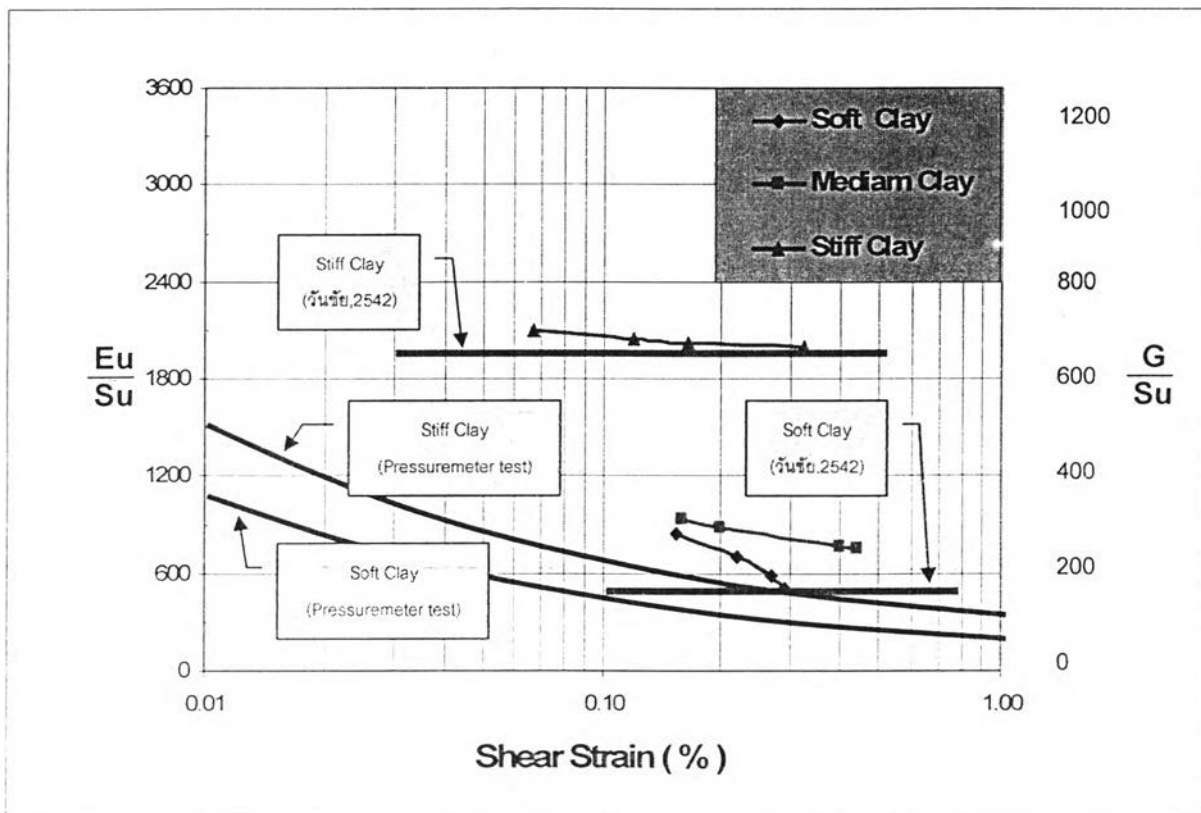


Reference Parameter	Soft Clay	Medium Clay	Stiff clay
A. Final Condition.	500	750	2000
B. Actual Condition.	500	750	2000
Strain (%)	0.290 %	0.440 %	0.325 %

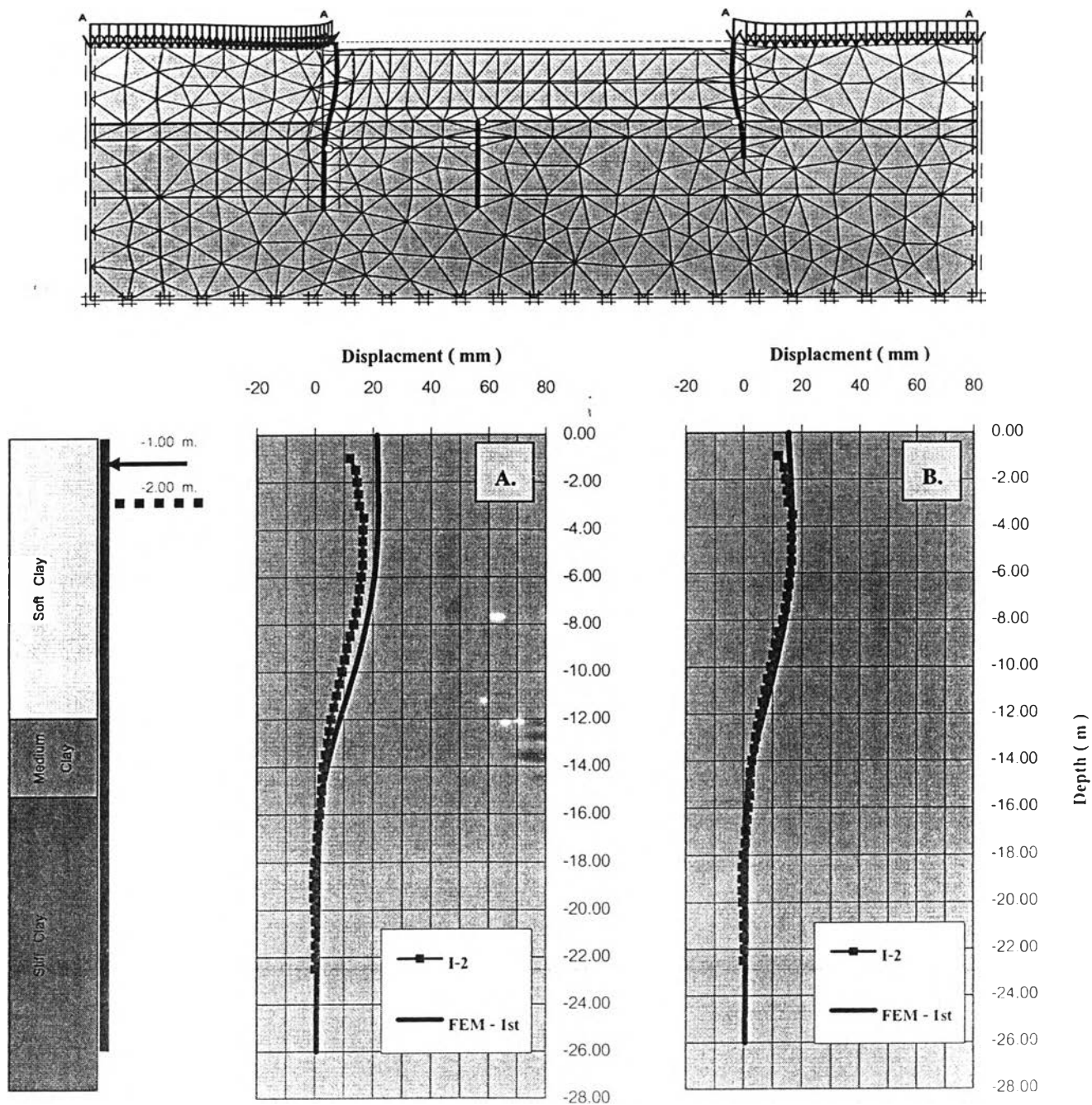
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้ง Lean Concrete (Zone 1)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Stiffness ของดิน กับค่า Shear Strain % ของการขุดในโซนที่ 1

Step	Soft clay		Mediam clay		Stiff clay	
	Shear stain (%)	Eu/su	Shear stain (%)	Eu/su	Shear stain (%)	Eu/su
1 st	0.154	840	0.160	930	0.067	2100
2 nd	0.220	700	0.200	880	0.120	2050
3 rd	0.270	580	0.400	770	0.165	2020
Lean concrete	0.290	500	0.440	750	0.325	2000

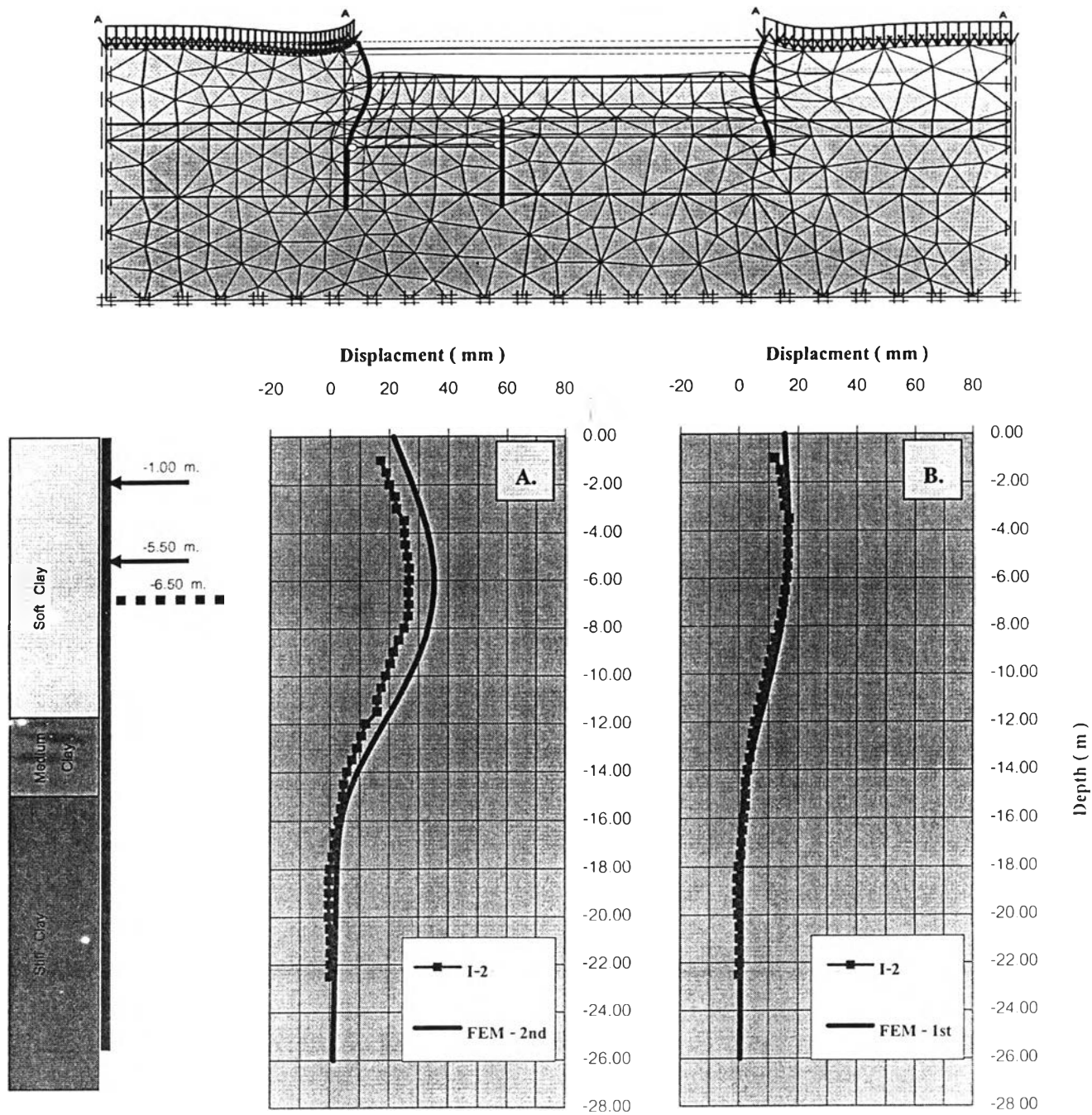


รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Stiffness ของดิน กับค่า Shear Strain (%) ของการขุดในโซนที่ 1



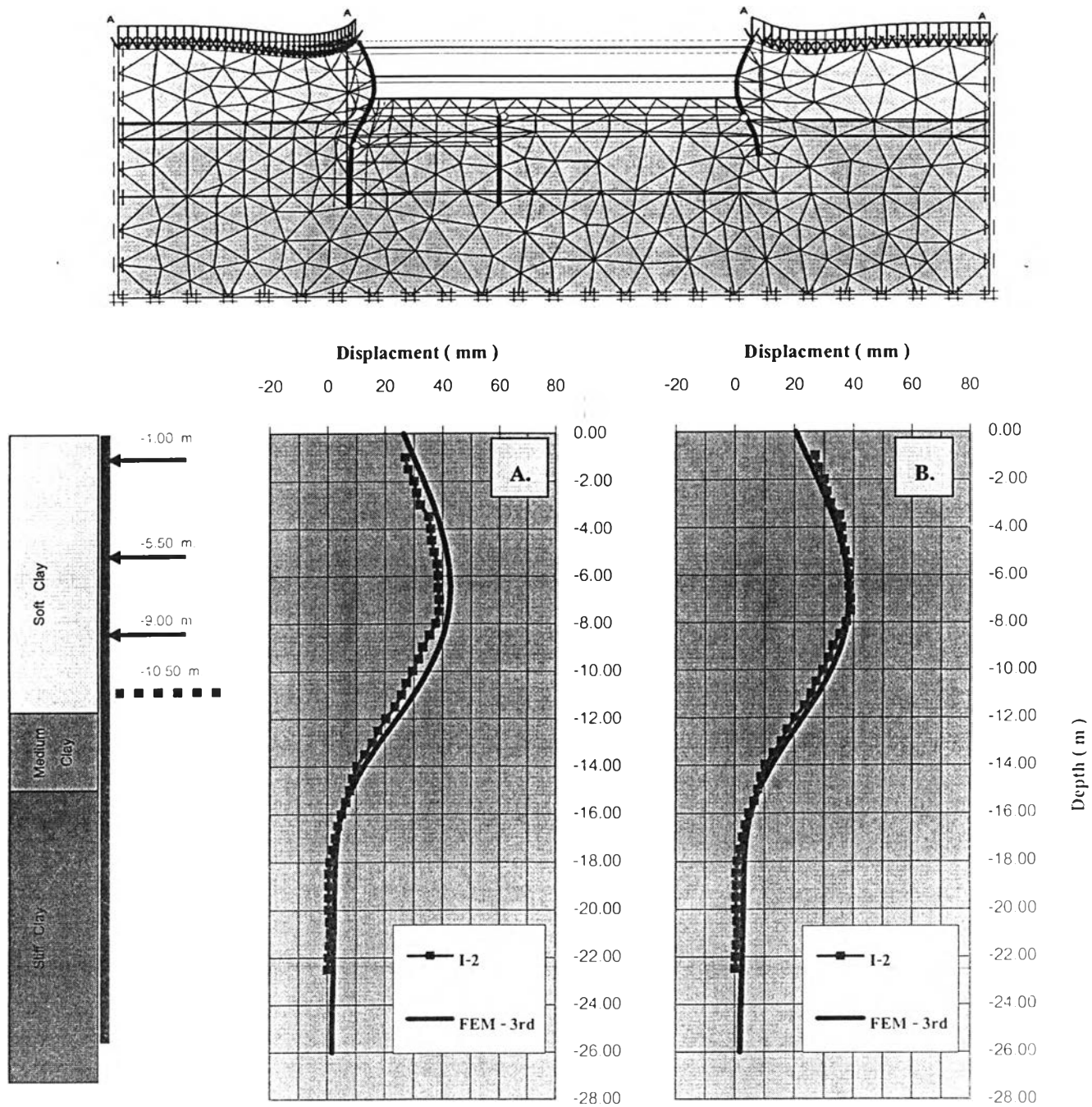
Reference Parameter	Soft Clay	Medium Clay	Stiff clay
A. Final Condition.	500	750	2000
B. Actual Condition.	850	1000	2100
Strain (%)	0.120 %	0.150 %	0.067 %

รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 1st Strut (Zone 2)



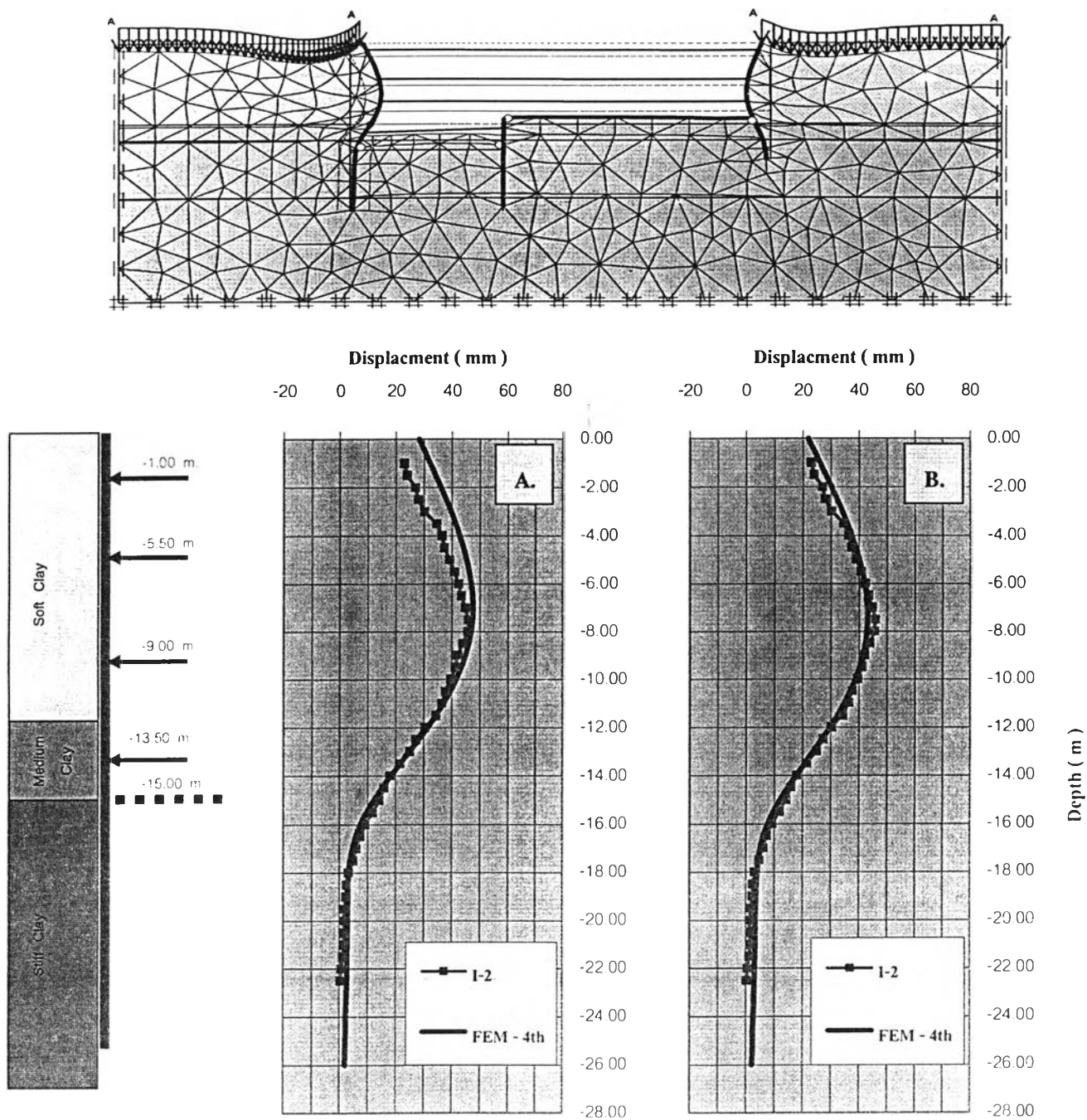
Reference Parameter	Soft Clay	Medium Clay	Stiff clay
A. Final Condition.	500	750	2000
B. Actual Condition.	720	940	2050
Strain (%)	0.250 %	0.200 %	0.167 %

รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 2nd Strut (Zone 2)



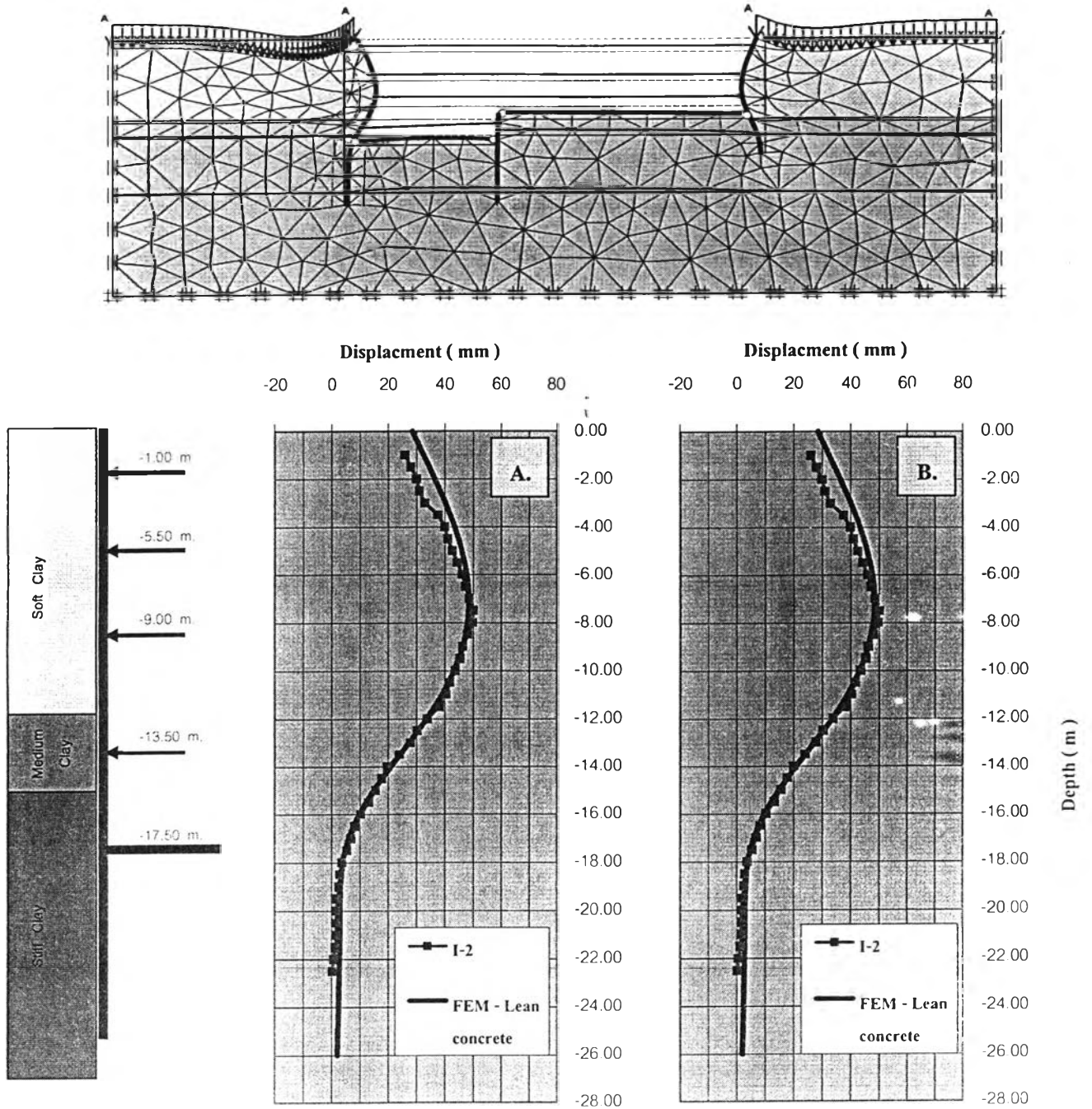
Reference Parameter	Soft Clay	Medium Clay	Stiff clay
A. Final Condition.	500	750	2000
B. Actual Condition.	600	800	2000
Strain (%)	0.400 %	0.400 %	0.267 %

รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 3rd Strut (Zone 2)



Reference Parameter	Soft Clay	Medium Clay	Stiff clay
A. Final Condition.	500	750	2000
B. Actual Condition.	550	750	2000
Strain (%)	0.480 %	0.520 %	0.330 %

รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 4th Strut (Zone 2)

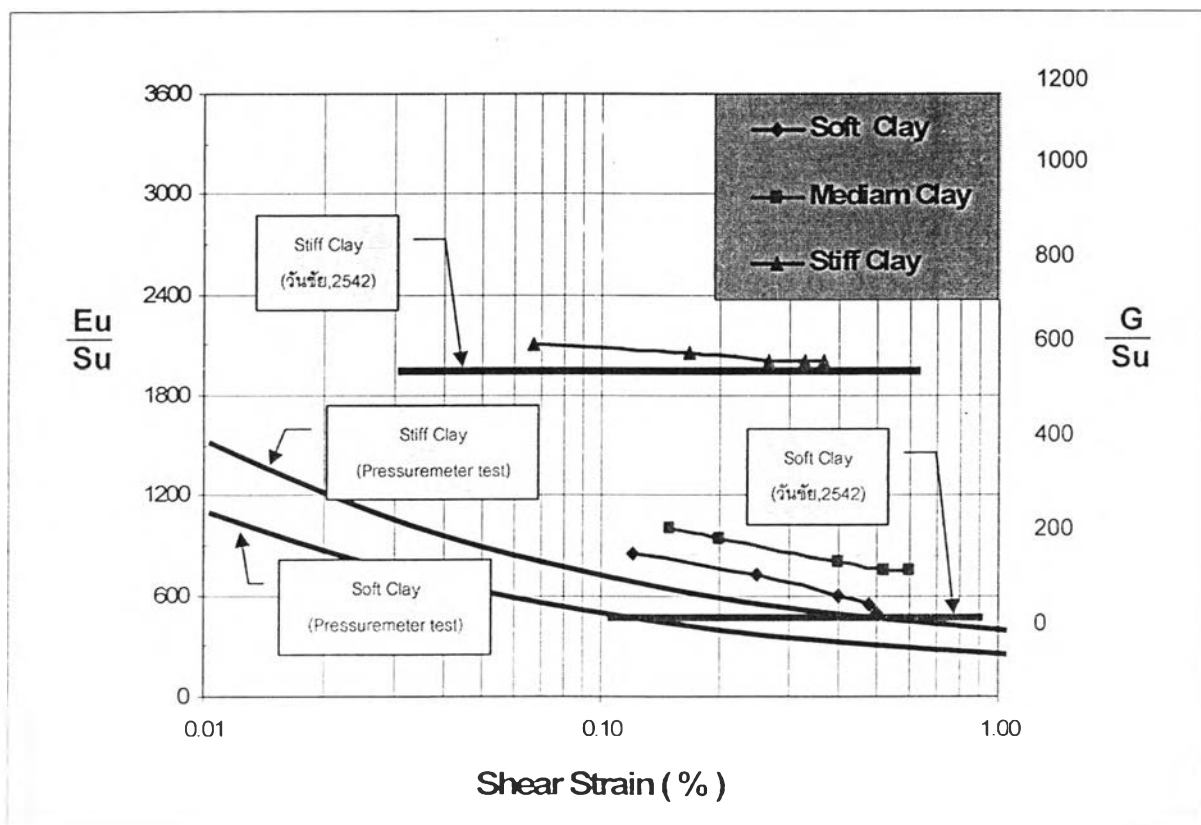


Reference Parameter	Soft Clay	Medium Clay	Stiff clay
A. Final Condition.	500	750	2000
B. Actual Condition.	500	750	2000
Strain (%)	0.500 %	0.600 %	0.367 %

รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้ง Lean Concrete (Zone 2)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Stiffness ของดิน กับค่า Shear Strain % ของการขุดในโซนที่ 2

Step	Soft clay		Mediam clay		Stiff clay	
	Shear stain (%)	Eu/su	Shear stain (%)	Eu/su	Shear stain (%)	Eu/su
1 st	0.120	850	0.150	1000	0.057	2100
2 nd	0.250	720	0.200	940	0.167	2050
3 rd	0.400	600	0.400	800	0.267	2000
4 th	0.480	550	0.520	750	0.330	2000
Lean concrete	0.500	500	0.600	750	0.367	2000



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Stiffness ของดิน กับค่า Shear Strain (%) ของการขุดในโซนที่ 2

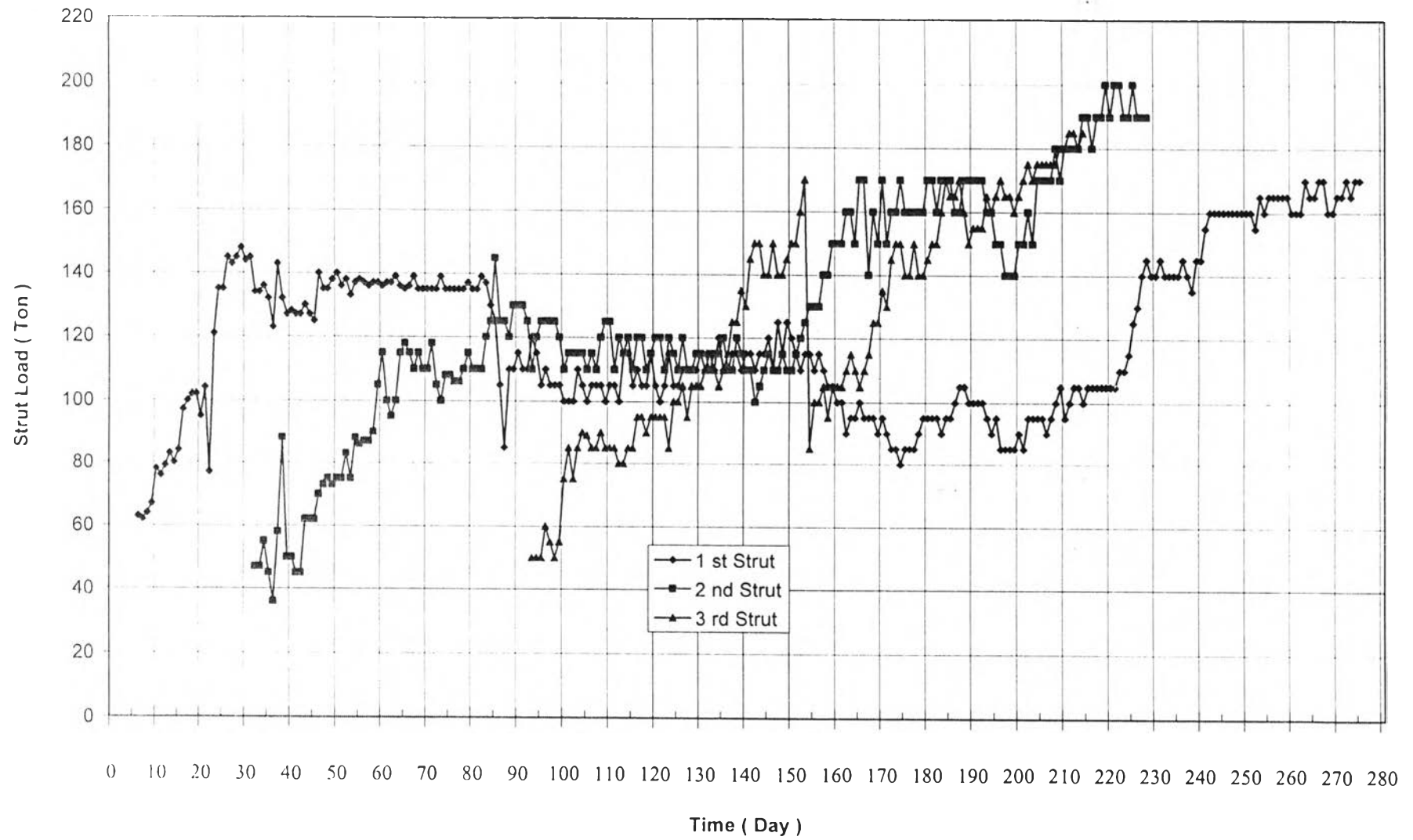
4.4.2 การวิเคราะห์หน่วยแรงดันดินของโครงการที่วิจัย

จากการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันดินในระบบค้ำยัน (Pressure Gauge) ที่มีการติดตั้งในสนามของโครงการ The Park Chidlom ทั้งในระบบค้ำยันแนวขวาง (Transverse Strut) และในระบบค้ำยันแนวยาว (Longitudinal Strut) ซึ่งมีผลการวัดค่าแรงดันดินในระบบค้ำยันตั้งแต่เริ่มทำการติดตั้งค้ำยันในชั้นแรกไปจนถึงการปลดระบบค้ำยันออกในชั้นตอนสุดท้ายของโครงการที่ดำเนินการวิจัย (ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17) โดยสามารถวัดค่าแรงดันดินสูงสุดที่กระทำในระบบค้ำยันของแต่ละชั้นตามลำดับได้ดังนี้

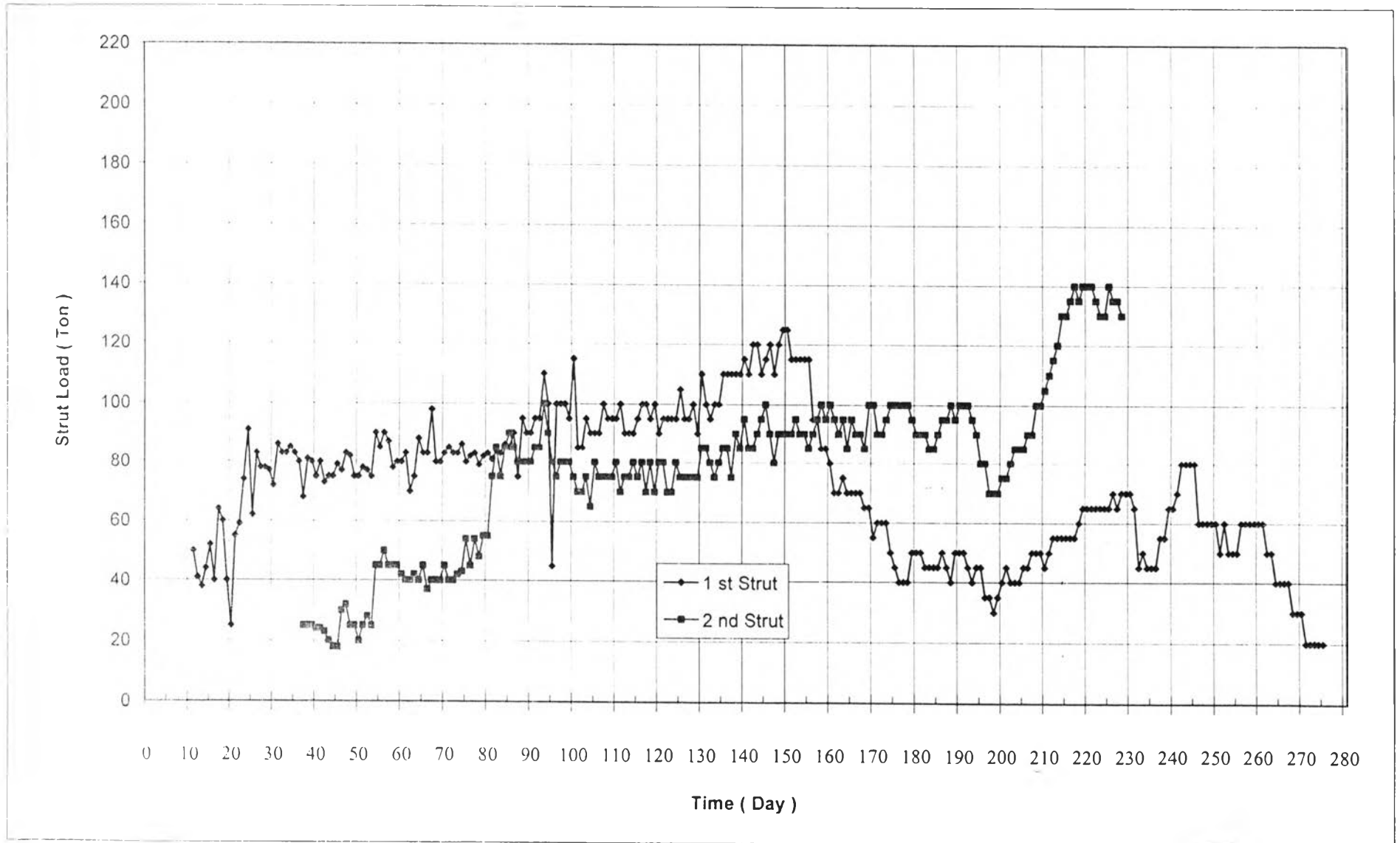
แรงดันดินสูงสุดชั้นที่ 1	=	170 Ton.
แรงดันดินสูงสุดชั้นที่ 2	=	195 Ton.
แรงดันดินสูงสุดชั้นที่ 3	=	185 Ton.

4.4.2.1 การประมาณค่าไดอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดิน

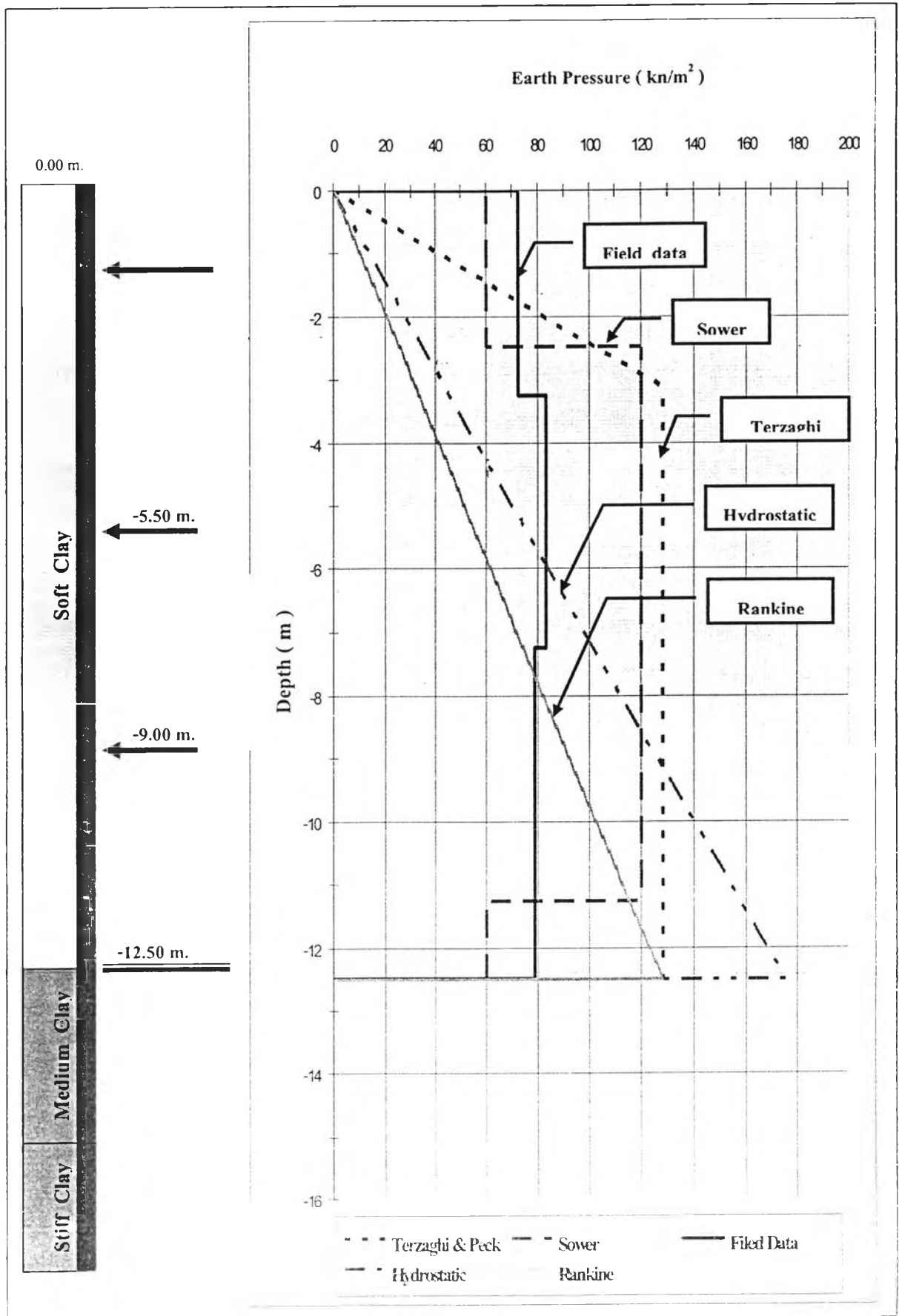
จากการวัดค่าแรงดันดินในค้ำยัน (Strut) ซึ่งนำค่าแรงดันดินสูงสุดที่กระทำในค้ำยันของชั้นที่ 1, 2 และ 3 โดยสามารถนำมาเขียนเป็นไดอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดินปรากฏ (Earth Pressure Envelope) (ดังแสดงในรูปที่ 4.18) จะแสดงค่าของไดอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดินปรากฏจากการวัดค่าแรงดันดินที่กระทำกับกำแพงกันดินระบบ Secant pile wall เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าของไดอะแกรมที่เสนอโดย Terzaghi (1967) และไดอะแกรมที่เสนอโดย Sower (1979) พบว่าการประมาณค่าของไดอะแกรมที่ได้จากค่าของโครงการที่ดำเนินการวิจัย จะให้ค่าของหน่วยแรงดันดินน้อยกว่าค่าจากการประมาณที่คิดโดยวิธี Terzaghi (1967) และค่าจากการประมาณที่คิดโดยวิธี Sower (1979) โดยที่รูปร่างของ Earth Pressure Envelope มีความใกล้เคียงกับของ Sower (1979) แต่มีขนาดเล็กกว่า ซึ่งในระบบค้ำยันของชั้นที่ 1 ค่าของหน่วยแรงดันดินมีค่ามากกว่าประมาณ 15 kN/m^2 แต่ในระบบค้ำยันของชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ค่าของหน่วยแรงดันดินมีค่าน้อยกว่าประมาณ 30 kN/m^2 โดยดูรายละเอียดการคำนวณค่าของหน่วยแรงดันดินได้ในภาคผนวก



รูปที่ 4.16 แสดงการวัดค่า Pressure Gauge ของโครงกา The Park chidlom (ตามแนว Transverse Strut)



รูปที่ 4.17 แสดงการวัดค่า Pressure Gauge ของโครงการ The Park chidlom (ตามแนว Longitudinal Strut)

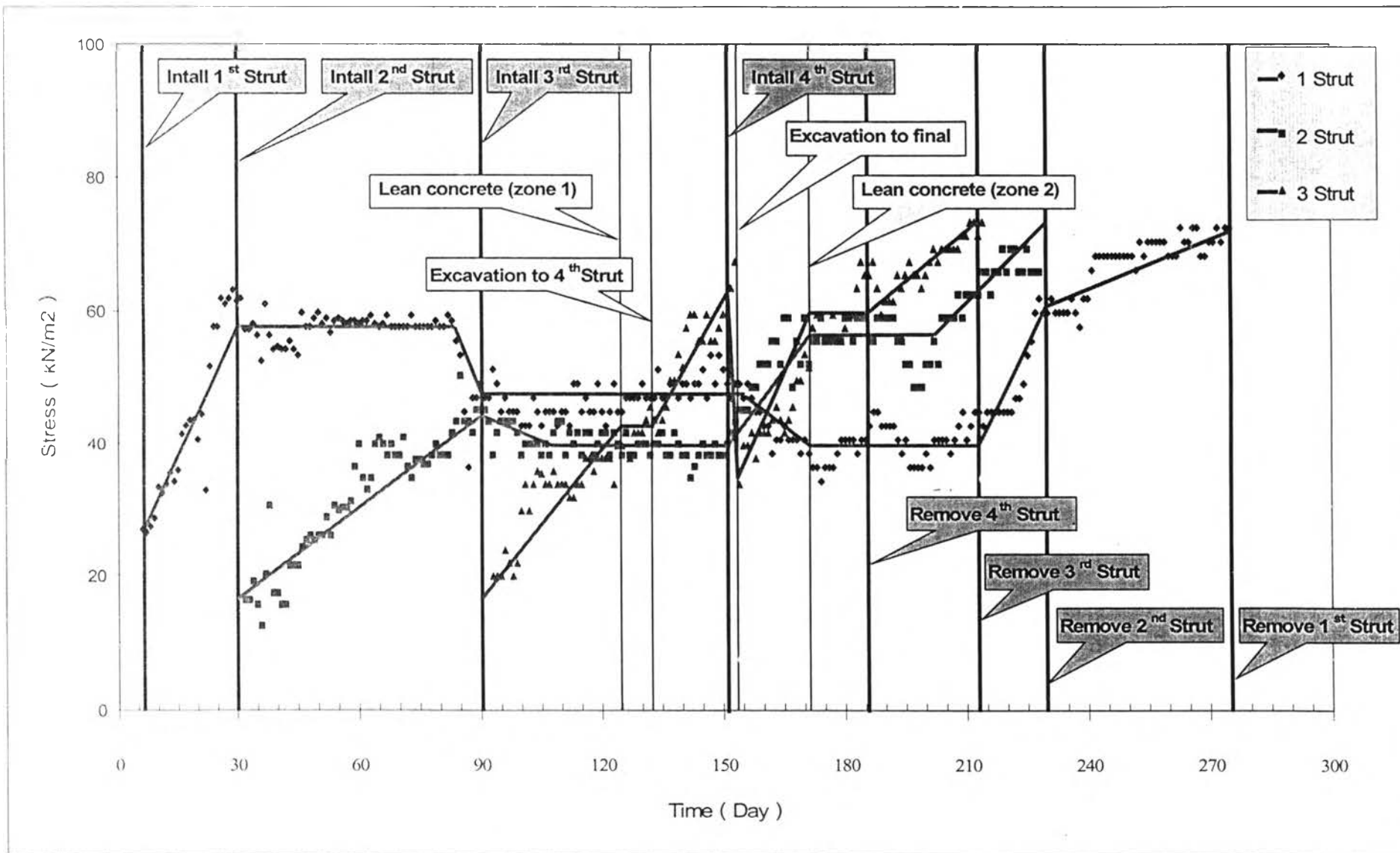


รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบ Apparent Earth Pressure ระหว่างค่าจากสนาม กับค่าจากทฤษฎี

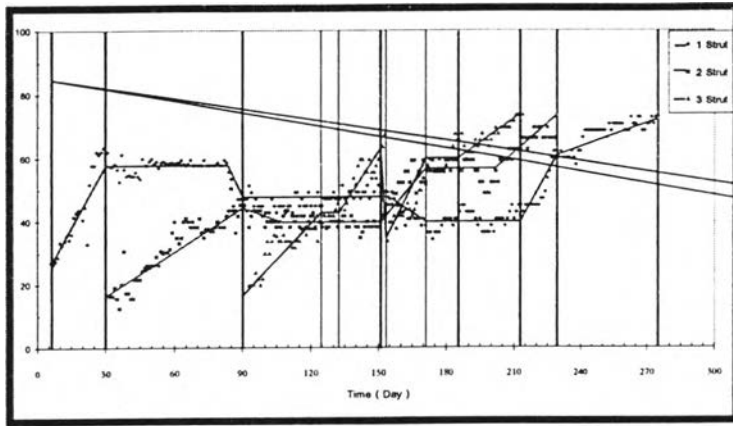
4.4.2.2 การพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงกำลังอัดในค้ำยัน

จากการติดตั้ง Pressure Gauge วัดแรงดันดินในค้ำยัน (Strut) ที่ทำการติดตั้งของโครงการ The Park Chidlom โดยได้นำค่าแรงดันดินจาก Pressure Gauge No.2 ของค้ำยันในชั้นที่ 1 ,ค่าแรงดันดินจาก Pressure Gauge No.5 ของค้ำยันในชั้นที่ 2 และค่าแรงดันดินจาก Pressure Gauge No.8 ของค้ำยันในชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Pressure Gauge ที่จะสามารถวิเคราะห์ผลของค่าแรงดันดินที่เกิดขึ้นในการขุดดินและติดตั้งค้ำยันของโซนที่ 1 และ โซนที่ 2 ได้โดยมีผลกระทบของการขุดดินของทั้งสองโซนพร้อมกัน ซึ่งผลของแรงดันดินที่กระทำกับระบบค้ำยันในแต่ละขั้นตอนของการขุดดินทั้งสองโซน จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันดินในระบบค้ำยันแต่ละชั้นของการขุดดินแต่ละขั้นตอนต่างๆ (ดังแสดงในรูปที่ 4.19)

จากรูป 4.19 จะพบว่าในช่วงเริ่มต้นของกราฟเป็นการขุดดินถึงระดับ -2.00 เมตร เพื่อเตรียมทำการติดตั้งระบบค้ำยันในชั้นแรก (First strut) ซึ่งในช่วงนี้ยังไม่สามารถที่จะทำการตรวจวัดค่าแรงดันดินในระบบค้ำยันได้ โดยที่ค่าของแรงดันดินในค้ำยันจะเริ่มทำการตรวจวัดในช่วงที่มีการติดตั้งระบบค้ำยันของชั้นแรกและมีการอัดแรงในค้ำยัน (Preload) แล้วเสร็จ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงของการติดตั้งค้ำยันของชั้นนั้นแล้วเสร็จแรงดันดินทั้งหมดจะถ่ายลงสู่ (Transfer) ค้ำยันที่ติดตั้งในชั้นนั้นทันที ซึ่งเป็นผลให้ค่าของแรงดันดินในค้ำยันของชั้นนั้นมีค่าสูงตามไปด้วย และเมื่อมีการติดตั้งค้ำยันในชั้นถัดลงมาแล้วเสร็จค่าของแรงดันดินในค้ำยันของชั้นด้านบนจะถ่ายลงสู่ค้ำยันในชั้นนั้นทันที และค่าของแรงดันดินในค้ำยันของชั้นด้านบนจะมีค่าลดลงตามเมื่อมีการติดตั้งค้ำยันในชั้นถัดลงมา และในช่วงของการเทคอนกรีตหยาบ (Lean concrete) ในลำดับขั้นตอนสุดท้ายของการขุดดิน (Final Step) ค่าของแรงดันดินในระบบของค้ำยันในแต่ละชั้นของการขุดทั้งสองโซนจะมีค่าคงที่ ซึ่งจะเป็นผลทำให้แรงดันดินอยู่ในสภาวะแรงดันดินสมดุล (Equilibrium) ในระบบค้ำยัน โดยจะแสดงรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงอัดในระบบค้ำยันในแต่ละขั้นตอนของการขุดดินของโครงการ The Park Chidlom ดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 4.20a ถึง รูปที่ 4.20i)

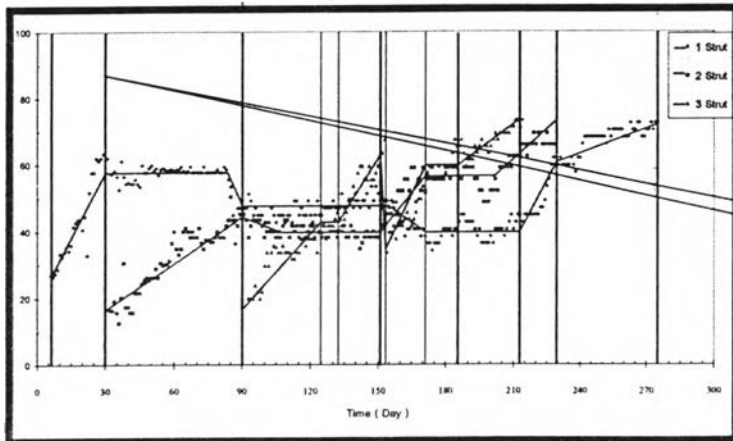


รูปที่ 4.19 แสดงผลของค่า Pressure Gauge ที่เปลี่ยนแปลงตามลำดับขั้นตอนการขุด ของโครงการ The Park chidlom



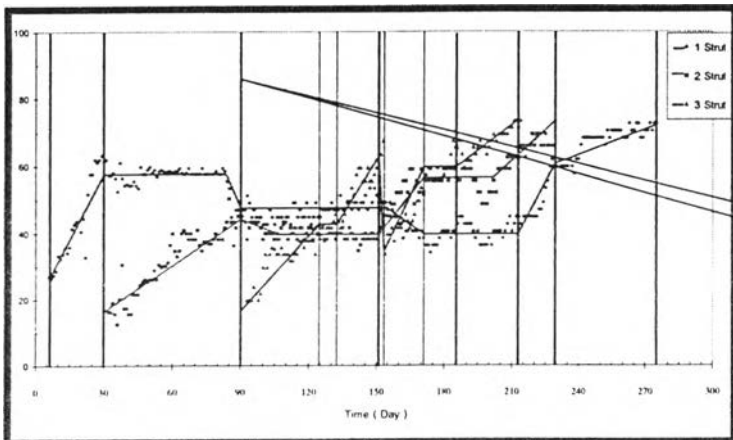
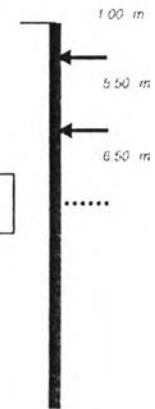
Intall 1st Strut

รูปที่ 4.20a.



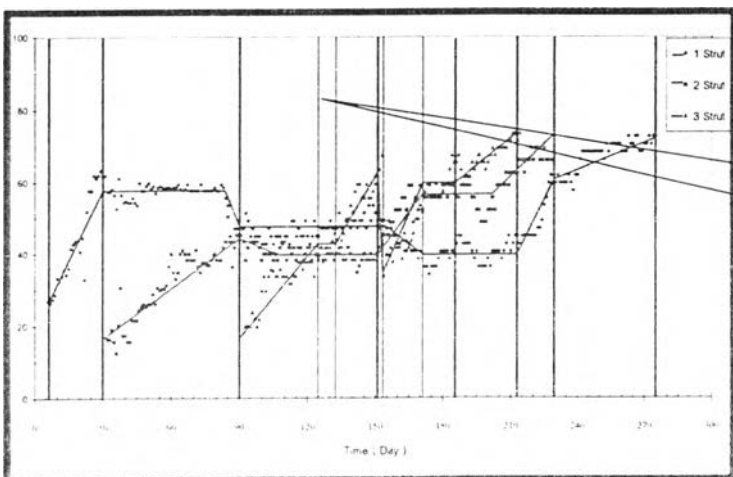
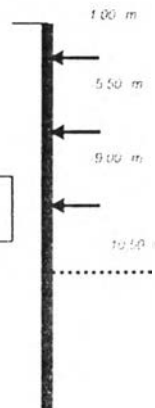
Intall 2nd Strut

รูปที่ 4.20b.



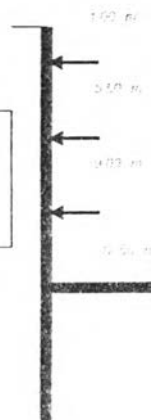
Intall 3rd Strut

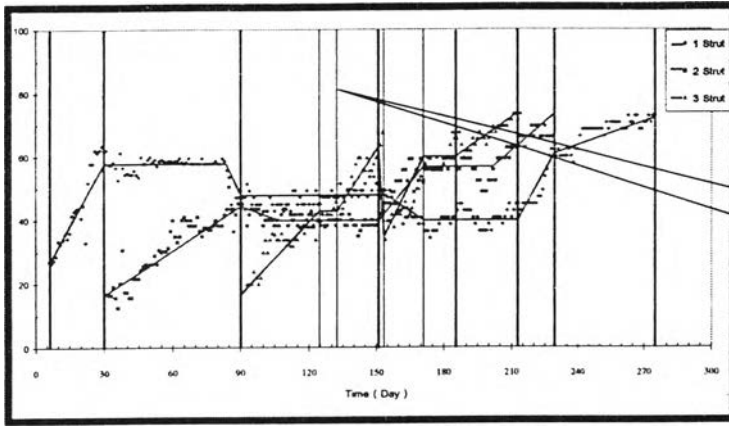
รูปที่ 4.20c.



Lean concrete
(zone 1)

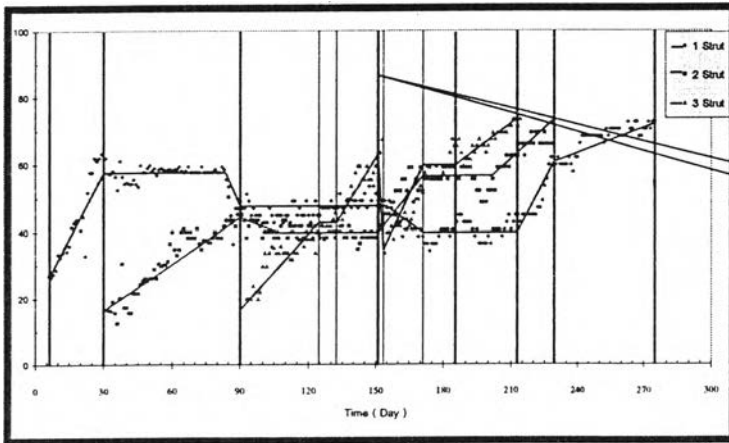
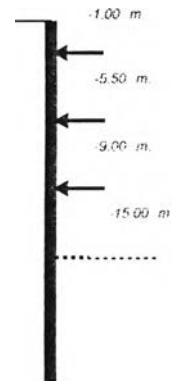
รูปที่ 4.20d.





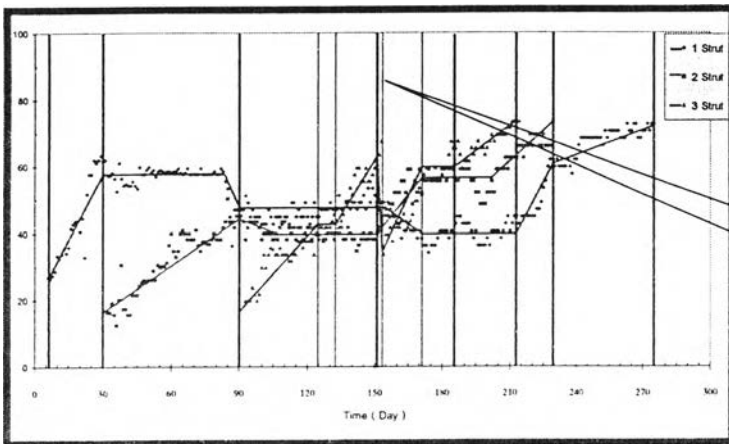
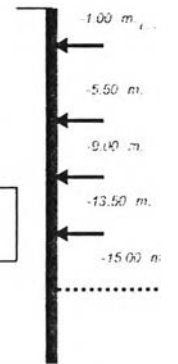
Excavation to 4th Strut

รูปที่ 4.20e.



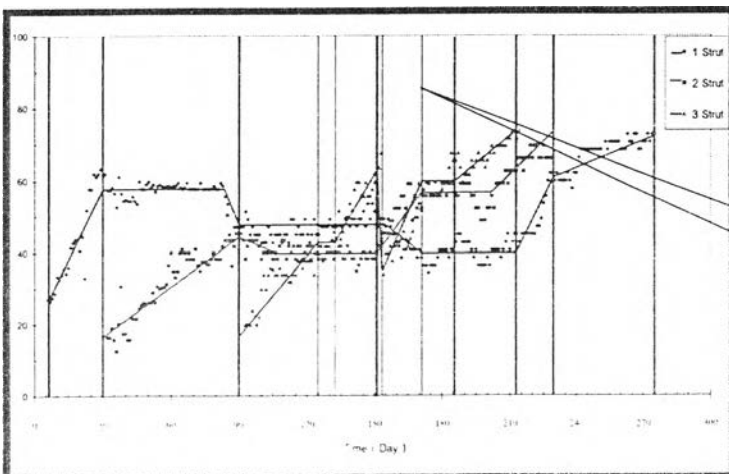
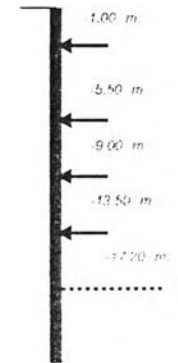
Intall 4th Strut

รูปที่ 4.20f.



Excavation to final stage

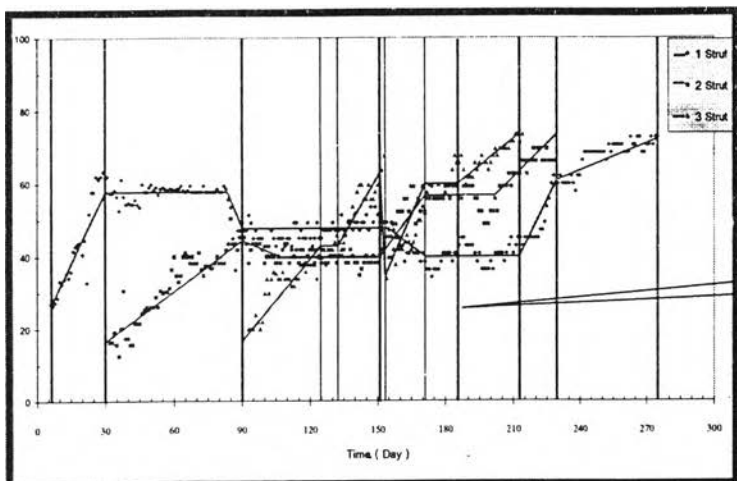
รูปที่ 4.20g.



Lean concrete (Zone 2)

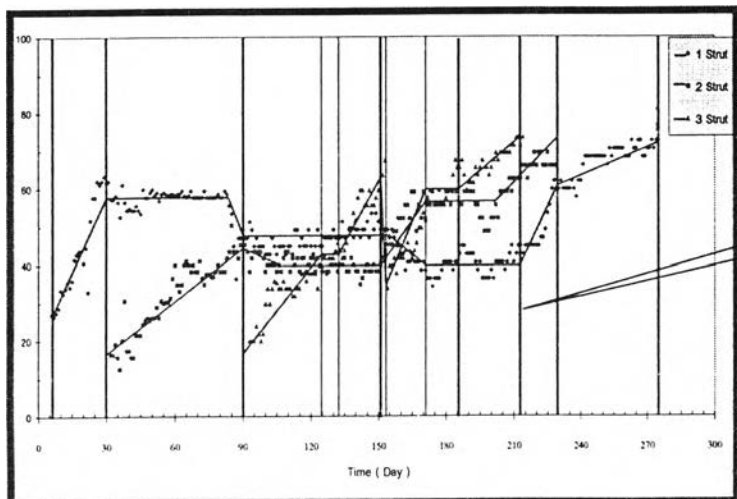
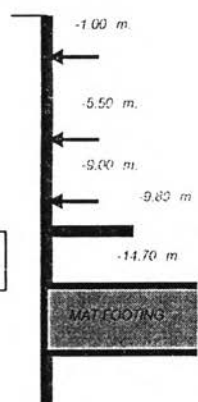
รูปที่ 4.20h.





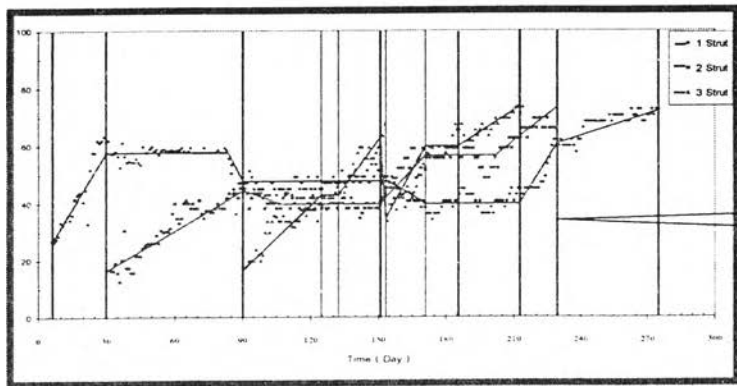
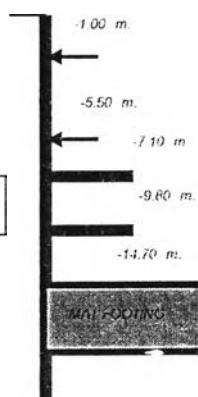
Remove 4th Strut

รูปที่ 4.20i.



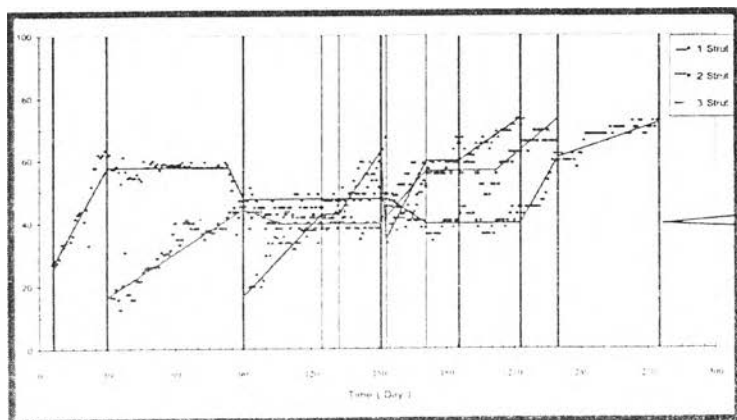
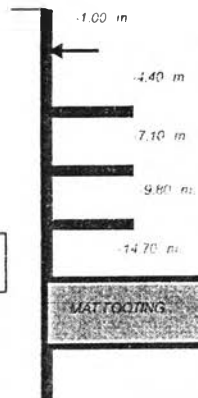
Remove 3rd Strut

รูปที่ 4.20j.



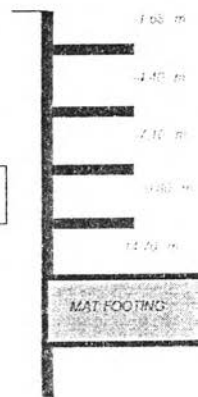
Remove 2nd Strut

รูปที่ 4.20k.



Remove 1st Strut

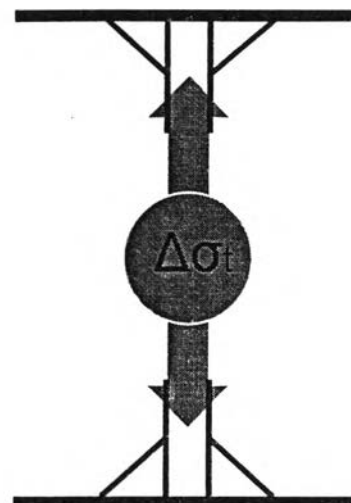
รูปที่ 4.20l.



4.4.2.3 การพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อแรงอัดในค้ำยัน

จากค่าความสัมพันธ์ของหน่วยแรงอัดในค้ำยันตามมาตรฐานการออกแบบของ AISC จะสามารถพิจารณาค่าของหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริงในค้ำยันเหล็กได้ดังนี้

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} < 1.0$$

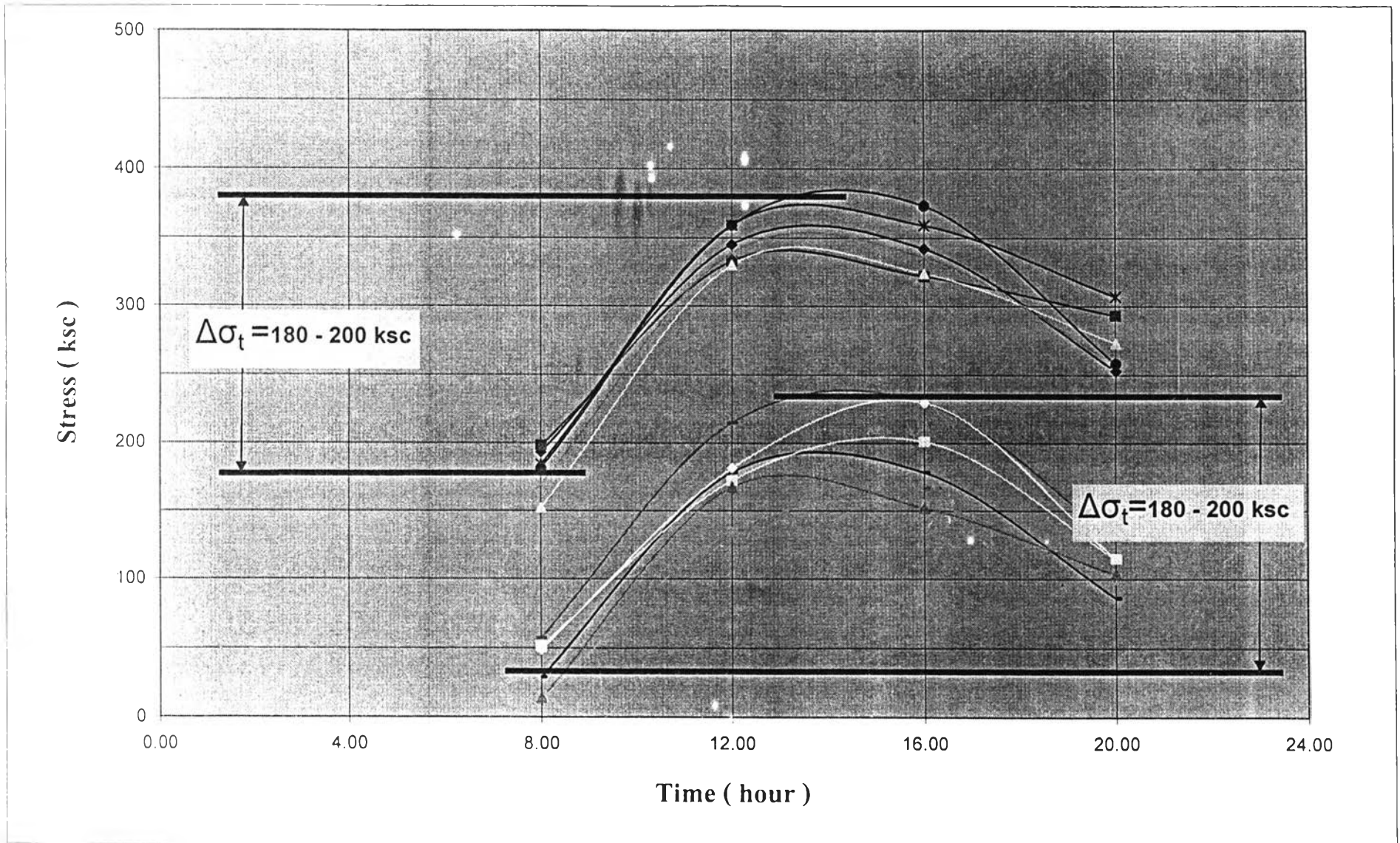


เมื่อ

$$f_a = \text{หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริง} \\ = P/A + \Delta\sigma_t$$

(โดยรวมหน่วยแรงอัดในค้ำยัน กับ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ)

ผลจากการตรวจสอบค่าหน่วยแรง (Stress) ที่เกิดขึ้นในค้ำยัน (Strut Member) จากการประมาณค่าจากแรงที่วัดได้จากการติดตั้ง Pressure Gauge ในค้ำยันที่เวลาต่างๆ กัน โดยจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงในค้ำยันเหล็กจากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยแรงในค้ำยันกับช่วงเวลาต่างๆ (ดังแสดงในรูปที่ 4.20) โดยหน่วยแรงในค้ำยันจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในแต่ละวัน ซึ่งจะพบว่าค้ำยันเหล็กเกิดค่า Stress ที่เพิ่มขึ้นจาก อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ($\Delta\sigma_t$) โดยช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สูงสุดจะอยู่ในช่วงเวลาระหว่างประมาณ 8.00 น ถึง 14.00 น. ซึ่งจะมีค่าของ $\Delta\sigma_t$ อยู่ในวง ประมาณ 180 ksc ถึง 200 ksc



รูปที่ 4.20 แสดงผลของหน่วยแรงในค้ำยันที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาต่างๆ ของโครงการ The Park chidlom