

พฤติกรรมของระบบซีแคนต์ไพวอลล์สำหรับงานชุดดินลึกในดินเหนียวกรุงเทพ



นายสมบัติ นาแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2889-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BEHAVIOR OF SECANT PILE WALL FOR DEEP EXCAVATION IN BANGKOK CLAY

Mr. Sombat Nakaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 2005

ISBN 974-53-2889-8

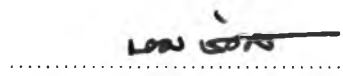
481608

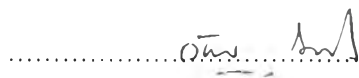
หัวข้อวิทยานิพนธ์ พฤติกรรมของระบบซีแคนตีไฟวอลล์สำหรับงานชุดดินลึกในดินเหนียว
 กรุงเทพฯ
โดย นายสมบัติ นาแก้ว
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

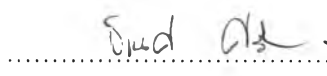
 คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวันย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนิรัญวงศ์)

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ก่อโชค จันทรวงกูร)

 กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ธเนศ ศรีศิริโรจนากร)

สมบัติ นาแก้ว : พฤติกรรมของระบบซีแคนไพลวอลล์สำหรับงานขุดดินลึกในดินเหนียวกรุงเทพฯ.
(BEHAVIOR OF SECANT PILE WALL FOR DEEP EXCAVATION IN BANGKOK CLAY)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วันชัย เทพรักษ์. 100 หน้า. ISBN 974-53-2889-8.

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงระบบซีแคนไพลวอลล์ของโครงการ The Park Chidlom ถนนชิดลมซึ่งประกอบด้วยเสาเข็มซีแคนไพลวอลล์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 เมตร ความยาว 18.00 เมตร และ 26.00 เมตร เพื่อทำการขุดดินลึก -12.50 เมตร และ -17.50 เมตร พร้อมติดตั้งระบบค้ำยัน 3 ชั้น และ 4 ชั้น ตามลำดับ ผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงระบบซีแคนไพลวอลล์จาก Inclinometer ที่ติดตั้งในกำแพงและในดิน พบว่าจะเกิด Shear Strain ของกำแพงระบบซีแคนไพลวอลล์ในชั้นดินเหนียวอ่อนและชั้นดินเหนียวแข็งมีค่าประมาณ 0.1% - 0.6% และ 0.06% - 0.3% ตามลำดับ

ผลจากการวิเคราะห์หักกลับด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวของกำแพงระบบซีแคนไพลวอลล์เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดโดยใช้ทฤษฎีของการพังทลายของดินชนิด Mohr-Coulomb พบว่าในชั้นตอนสุดท้ายของการขุดดินลึกที่ระดับ -12.50 เมตร และ -17.50 เมตร ค่าโมดูลัสของดิน (Young's Modulus) ในรูปของอัตราส่วนกับความต้านทานแรงเฉือนของดินมีค่าประมาณ 500Su และ 2000Su สำหรับดินเหนียวอ่อนและชั้นดินเหนียวแข็งตามลำดับ ในส่วนของการขุดดินตื้นซึ่งจะมีค่า Shear Strain ของการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงระบบซีแคนไพลวอลล์น้อยกว่าที่ชั้นตอนสุดท้ายของการขุด พบว่าโมดูลัสของดินลดลงที่ Shear Strain มีค่าต่ำกว่าที่ชั้นตอนสุดท้ายของการขุดและแสดงลักษณะพฤติกรรมความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non - linear Young's Modulus)


ผลจากการตรวจวัดแรงในระบบของค้ำยันด้วย Pressure Gauge พบว่าแรงอัดในค้ำยันเหล็กเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 180 – 200 กก/ตร.ซม และจะพบว่าแรงอัดที่วัดได้ในระบบค้ำยันในช่วงของการเทคอนกรีตหยาบ (Lean Concrete) ในชั้นตอนสุดท้ายของการขุด (Final Stage) แรงดันของดินในระบบค้ำยันมีค่าคงที่โดยจะทำให้ระบบของค้ำยันอยู่ในสภาวะสมดุลย์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

4670539121 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD : DEEP EXCAVATION / FEM ANALYSIS / SECANT PILE WALL / STRUT

SOMBAT NAKAEW : BEHAVIOR OF SECANT PILE WALL FOR DEEP EXCAVATION IN BANGKOK CLAY. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. WANCHAI TEPARAKSA, D.Eng.,100 pp. ISBN 974-53-2889-8.

This research aims to investigate the lateral movement behavior of secant pile wall system of The Park Chidlom projects on Chidlom road. The secant pile wall consists of pile wall with diameter of 0.80 m, depth 18.0 m and 26.0 meter for braced excavation of -12.50 and -17.50 m with three and four bracing layers, respectively. The lateral movement of secant pile wall measured by Inclinator showed that the shear strain of the secant pile wall was in the order of 0.1% - 0.6% and 0.06% - 0.3% for soft clay and stiff clay, respectively.

The back analysis by Finite Element Method (FEM) for comparing the lateral movement behavior of Secant pile wall based on Mohr-Coulomb failure criteria of soil model found that the ratio of Young's modulus to undrained shear strength for the final stage of excavation at -12.50 and -17.50 meter was about 500 and 2000 for soft clay and stiff clay, respectively. The lateral movement at the beginning stage showed the shear strain order less than the final stage, and it was found that the Young's modulus showed the non linear behavior depended on the order of shear strain.

The measurement of the force in the strut by pressure gauge found that the axial stress due to temperature change was about 180–200 kg/cm². In the final stage of excavation after casting the lean concrete, the measured force in the strut was constant and showed equilibrium stage.

Department Civil engineering
 Field of study Civil engineering
 Academic year 2548

Student's signature.....*Sombat Nakaeuw*.....
 Advisor's signature.....*Wanchai Teeparaksa*.....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ "พฤติกรรมของระบบซีแคนต์โพลีวอลล์สำหรับงานชุดดินลึกในดินเหนียวกรุงเทพฯ" ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย เทพรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ของการวิจัยด้วยดีตลอด รวมทั้ง บริษัท ชิโน-ไทย เอ็นจิเนียริ่งฯ จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่เก็บข้อมูลการวิจัยของโครงการ THE PARK CHIDLOM , บริษัท STS ที่สนับสนุนในเรื่องการเจาะสำรวจดิน และการวัด Inclinomater และ คุณ ชลธิชา ที่ช่วยในการสอนใช้โปรแกรม PLAXIS รวมทั้งให้คำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรมอีกทั้งกำลังใจจากเพื่อนๆ และขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้กำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้สามารถทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
สัญลักษณ์.....	ณ
บทที่	
บทที่ 1. บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2. ทฤษฎีและทบทวนงานในอดีต	
2.1 ลักษณะของชั้นดินกรุงเทพฯ.....	4
2.2 ระบบกำแพงกันดินในงานขุดดินลึก.....	5
2.2.1 ระบบกำแพงแบบยืดหยุ่น (Flexible Wall).....	5
2.2.2 ระบบกำแพงแบบแข็ง (Rigid Wall).....	5
2.3 กำแพงกันดินระบบ Secant Pile Wall.....	5
2.3.1 แบบ Reinforced Concrete Secant Pile Wall.....	5
2.3.2 แบบ Cement Bentonite Secant Pile Wall.....	5
2.4 รายละเอียดการก่อสร้างกำแพงกันดินระบบ Secant Pile Wall.....	7
2.4.1 การทำ Guide Wall.....	7
2.4.2 การติดตั้ง Temporary Casing.....	7
2.4.3 การทำ Primary Pile Wall.....	8
2.4.4 การทำ Secondary Pile Wall.....	8
2.4.5 การทำ Capping Beam.....	9

2.5	การคำนวณแรงดันดินด้านข้าง	10
2.5.1	การวิเคราะห์หน่วยแรงดันดินด้านข้างแบบสถิต (At Rest pressure)	10
2.5.2	การคาดคะเนหน่วยแรงดันข้างโดยหลักการของ Rankine	12
2.5.2.1	Rankine Active Earth Pressure	12
2.5.2.2	Rankine Passive Earth Pressure	13
2.5.3	การใช้ไดอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดินปรากฏ (Apparent Pressure Envelope or Pressure Diagram)	15
2.5.3.1	Pressure Diagram เสนอโดย Terzaghi & Peck (1967)	16
2.5.3.2	Pressure Diagram เสนอโดย Tschebotarioff (1973)	16
2.5.3.3	Pressure Diagram เสนอโดย Sower (1973)	17
2.6	พฤติกรรมของการเคลื่อนตัวและการทรุดตัวของผิวดินของกำแพงกันดิน	18
2.6.1	พฤติกรรมของการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดิน (δ_h)	18
2.6.2	พฤติกรรมของการทรุดตัวของผิวดินหลังกำแพงกันดิน (δ_v)	20
2.6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวด้านข้างกับการทรุดตัวของผิวดิน	22
2.7	ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวและการทรุดตัวของผิวดิน	23
2.7.1	พารามิเตอร์ของดิน	23
2.7.1.1	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Undrained Shear Strength, S_u)	23
2.7.1.1.1	ค่าปรับแก้กำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ แบบเวนในสนาม (Field Vane Shear Test) ของ Bjerrum	23
2.7.1.1.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง N กับค่า S_u ของชั้นดินกรุงเทพฯ	25
2.7.1.2	โมดูลัสของดิน (Soil modulus, E_v)	25
2.7.2	Factor of safety against basal heave (FS.)	28
2.7.3	ระบบโครงสร้างค้ำยัน	29
2.7.3.1	สติฟเนสของกำแพงกันดิน (Walls Stiffness, EI)	29
2.7.3.2	สติฟเนสของค้ำยัน (Strut Stiffness , S)	30
2.7.3.3	ระยะห่างในแนวตั้งของค้ำยัน (Vertical Strut Spacing , h)	31
2.7.3.4	การอัดแรงในค้ำยัน (Preloading of strut)	31
2.7.3.5	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อแรงอัดในค้ำยัน	32
2.7.3.6	การเกิด Over Stress ในค้ำยัน	32

2.7.4	ขนาดของงานขุด (Geometric Condition)	33
2.7.4.1	ความลึกของการขุด (Depth of Excavation , H)	33
2.7.4.2	ความกว้างของการขุด (Width of excavation , B)	33
2.7.4.3	ความหนาของชั้นดินจากระดับขุดถึงชั้นดินแข็ง (Thickness of soil below the bottom of excavation to hard stratum , T)	33
2.7.5	วิธีการก่อสร้าง (Method of construction)	34
2.7.5.1	ขนาดลำดับขั้นตอนการขุด (Excavation Step size , ΔH)	35
2.7.5.2	ขนาดของคันดิน (Berm size , W)	35
2.8	การใช้วิธี Finite Element Method ในการวิเคราะห์ระบบกำแพงกันดิน	35

บทที่ 3. วิธีการดำเนินการวิจัยและข้อมูลการวิจัย

3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	39
3.2	รายละเอียดของโครงการที่ดำเนินการศึกษาวิจัย	40
-	แผนที่ตั้งโครงการที่ดำเนินการวิจัย	41
-	ผังบริเวณโครงการที่ดำเนินการวิจัย	42
3.3	รายละเอียดการก่อสร้างของงานขุดดินลึก	47
3.4	ขั้นตอนการก่อสร้างขุดดินค้ำยัน (Sequence of construction)	49
3.5	ลักษณะชั้นดินของโครงการที่ดำเนินการวิจัย	53
3.6	การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบในสนาม	55
3.6.1	การติดตั้งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Inclinometer)	55
3.6.1.1	ชนิดของอุปกรณ์	55
3.6.1.2	วิธีการติดตั้งอุปกรณ์	56
3.6.2	การติดตั้งหมุดวัดการทรุดตัวที่ผิวดิน (Surface Settlement Points)	56
3.6.3	การติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันในค้ำยัน (Pressure Gauge)	56

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลและผลของการวิจัย

4.1	คุณสมบัติของกำแพงกันดินระบบ Secant pile wall และค้ำยัน	61
4.2	การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแบบสถิต (K_0)	62
4.3	การคัดเลือกค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ของดิน	63

4.4 ผลการวิเคราะห์	64
4.4.1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบ Empirical สำหรับประเมินค่า โมดูลัสของดิน (Undrained Young's Modulus , E_u) โดยวิธีวิเคราะห์กลับ (Back Analysis)	64
4.4.1.1 การวิเคราะห์กลับหาค่าโมดูลัสของดิน(Undrained Young's Modulus , E_u) ในขั้นตอนสุดท้ายของการขุด (Final Step)	64
4.4.1.2 การวิเคราะห์กลับหาค่าโมดูลัสของดิน (Undrained Young's Modulus , E_u) ในแต่ละขั้นตอนของการขุด (Begining Step)	68
4.4.2 การวิเคราะห์หน่วยแรงดันดินของโครงการที่วิจัย	80
4.4.2.1 การประมาณค่าไดอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดิน	80
4.4.2.2 การพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงกำลังอัดในค้ำยัน	84
4.4.2.3 การพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อแรงอัดในค้ำยัน	89

บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์	91
------------------------	----

รายการอ้างอิง	93
ภาคผนวก	96
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	100

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สูตรคำนวณเพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินข้างแบบสถิต (Ko).....	10
4.1	แสดงคุณสมบัติของกำแพงกันดิน Secant pile wall และ Lean concrete.....	61
4.2	แสดงคุณสมบัติของค้ำยันเหล็ก (Strut).....	62
4.3	แสดงค่า Stiffness ของดิน กับค่า Shear Strain % ของการขุดในโซนที่ 1.....	73
4.4	แสดงค่า Stiffness ของดิน กับค่า Shear Strain % ของการขุดในโซนที่ 2.....	79

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะชั้นดินกรุงเทพฯ ทั่วไป	4
2.2 แสดง Interlocking ใน Secant Pile Wall	6
2.3 แสดง Reinforced Concrete Secant Pile Wall	6
2.4 แสดง Cement Bentonite Secant Pile Wall	6
2.5 แสดง Guide Wall สำหรับทำ Secant Pile Wall	7
2.6 แสดงการขุดเจาะทำ Primary Pile Wall	9
2.7 แสดงการขุดเจาะทำ Secondary Pile Wall	9
2.8 กราฟแสดงค่า K_0 เป็นฟังก์ชันกับ OCR และค่า PI (; Brooker & Ireland)	11
2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ m เป็นฟังก์ชัน K_0 และ OCR กับค่า PI (Ladd ,1977)	11
2.10 แสดง Rankine Active Earth Pressure	12
2.11 แสดง Rankine Passive Earth Pressure	14
2.12 วิธีการคิดแรงดันดิน Earth Pressure Diagram	15
2.13 Pressure Diagram เสนอโดย Terzaghi & Peck (1967)	16
2.14 Pressure Diagram เสนอโดย Tschebotarioff (1973)	17
2.15 Pressure Diagram เสนอโดย Sower (1973)	17
2.16 แสดง Typical Profiles of Movement for Braced Walls from (Clough and O' Rourke ,1990)	18
2.17 แสดงค่าความล้มป็นระหว่าง Factor of safety against basal heave And Maximum lateral wall deflections (Mana and Clough ,1981)	19
2.18 แสดง Settlement Envelopes ที่ผิวดินหลังกำแพงกันดินเนื่องจากการขุดในชั้นดินเหนียว และดินทราย (Peck ,1969)	20
2.19 แสดง Settlement Envelopes ที่ผิวดินหลังกำแพงกันดินเนื่องจากการขุดในชั้นดินเหนียวอ่อน ถึงแข็งปานกลาง (Mana และ Clough (1981)	21
2.20 แสดงค่า Variation of Maximum yield with depth. (Mana and Clough ,1981)	22
2.21 แสดงค่าปรับแก้ของ Bjerrum (1972) สำหรับการใส่ Geonor Vane	24
2.22 แสดงการวัด Strain ในการทดสอบ	27
2.23 แสดง Typical Strain Range	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24 แสดงผลการทดสอบ Pressure meter test ของดินกรุงเทพฯ (Teparaksa,1999)	27
2.25 แสดงการวิเคราะห์หา FS. against basal heave (Terzaghi ,1943)	28
2.26 แสดงการวิเคราะห์หา FS. against basal heave (Bjerrum และ Eide ,1955)	28
2.27 แสดงนอร์มัลไลซ์การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน (δ_{Hmax} / δ_x (for $EI/h^4\gamma = 27$) กับ นอร์มัลไลซ์ค่าสติเฟเนสของกำแพงกันดิน ($EI/h^4\gamma$) (Mana และ Clough ,1981)	29
2.28 แสดงผลของค่าสติเฟเนสของกำแพงกันดินต่อปริมาณการเคลื่อนตัว ด้านข้างสูงสุด ของกำแพงกันดิน (Clough, Hansen และ Mana ,1979)	30
2.29 แสดงนอร์มัลไลซ์การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน (δ_{Hmax} / δ_x (for $S/H\gamma = 286$) กับ นอร์มัลไลซ์ค่าสติเฟเนสของกำแพงกันดิน ($S / H\gamma$) (Mana และ Clough ,1981)	30
2.30 แสดงนอร์มัลไลซ์การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน กับอัตราส่วน T/B (Wong and Broms ,1989)	34
2.31 แสดงผลของ ΔH ต่อการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุด (δ_{Hmax}) ของกำแพงกันดิน (Clough, Hansen และ Mana , 1979)	36
2.32 แสดง Yield function (f) สำหรับ Mohr-Coulomb nodal	37
2.33 แสดง Elastic Point	37
2.34 แสดง Plastic Point	37
2.35 แสดง Elastic-Plastic	37
2.36 แสดง Initial Conditions and Summary of Geometric Parameters	38
2.37 แสดง Excavation Sequence in Finite Element method	38
3.1 โครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย THE PARK CHIDLUM	40
3.2 แสดงแผนที่ตั้งโครงการ THE PARK CHIDLUM	41
3.3 แสดงผังบริเวณโครงการ THE PARK CHIDLUM	42
3.4 แสดงแปลนการติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 1	43
3.5 แสดงแปลนการติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 2-3	44
3.6 แสดงแปลนการติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 4	45
3.7 แสดงรูปตัดการติดตั้งค้ำยัน	46
3.8 แสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างในโซนที่ 1	47
3.9 แสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างในโซนที่ 2	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 แสดงระบบค้ำยันของงานชุดทั้ง 2 โซน.....	48
3.11 แสดงการติดตั้ง Wale ของระบบค้ำยัน.....	50
3.12 แสดงการติดตั้ง Strut ของระบบค้ำยัน.....	50
3.13 แสดงการอัดแรงใน Strut ของระบบค้ำยัน.....	51
3.14 แสดงการเทคอนกรีตหยาบ (Lean Concrete).....	52
3.15 แสดงลักษณะและคุณสมบัติชั้นดินของโครงการ THE PARK CHIDLOM.....	54
3.16 แสดงตำแหน่งติดตั้ง Inclinator ที่ดำเนินการวิจัย.....	57
3.17 แสดงส่วนประกอบของ Inclinator ที่ดำเนินการวิจัย.....	58
3.18 แสดงตำแหน่งติดตั้ง Surface Settlement ที่ดำเนินการวิจัย.....	59
3.19 แสดงตำแหน่งติดตั้ง Pressure Gauge ที่ดำเนินการวิจัย.....	60
4.1 แสดงการป้อนค่ากับโปรแกรมวิเคราะห์ Finite Element ของการติดตั้งค้ำยัน (Strut) ของการชุดในโซนที่ 1.....	65
4.2 แสดงการป้อนค่ากับโปรแกรมวิเคราะห์ Finite Element ของการติดตั้งค้ำยัน (Strut) ของการชุดในโซนที่ 2.....	65
4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน Secant Pile Wall ระหว่างค่าในสนามของ Inclinator No.I-4 ในการชุดของโซนที่ 1 กับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM โดยใช้ค่า E_u (Soft clay) ที่ค่าต่างๆ คือ 350 Su ,500 Su และ 650 Su ตามลำดับ.....	66
4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน Secant Pile Wall ระหว่างค่าในสนามของ Inclinator No.I-2 ในการชุดของโซนที่ 2 กับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM โดยใช้ค่า E_u (Soft clay) ที่ค่าต่างๆ คือ 350 Su ,500 Su และ 650 Su ตามลำดับ.....	67
4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จาก โปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 1 st Strut (Zone 1).....	69
4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จาก โปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 2 nd Strut (Zone 1).....	70
4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จาก โปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 3 rd Strut (Zone 1).....	71
4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จาก โปรแกรม FEM ของการติดตั้ง Lean Concrete (Zone 1).....	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Stiffness ของดินกับค่า Shear Strain ของการขุดในโซนที่ 1	73
4.10	แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 1 st Strut (Zone 2)	74
4.11	แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 2 nd Strut (Zone 2)	75
4.12	แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 3 rd Strut (Zone 2)	76
4.13	แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้งค้ำยัน 4 th Strut (Zone 2)	77
4.14	แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างระหว่างค่าในสนามกับค่าที่ได้จากโปรแกรม FEM ของการติดตั้ง Lean Concrete (Zone 2)	78
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Stiffness ของดินกับค่า Shear Strain ของการขุดในโซนที่ 2	79
4.16	แสดงการวัดค่า Pressure Gauge ของโครงการ The Park chidlom (ตามแนว Transverse Strut)	81
4.17	แสดงการวัดค่า Pressure Gauge ของโครงการ The Park chidlom (ตามแนว Longitudinal Strut)	82
4.18	เปรียบเทียบ Apparent Earth Pressure ระหว่างค่าจากสนามกับค่าจากทฤษฎี	83
4.19	แสดงผลของค่า Pressure Gauge ที่เปลี่ยนแปลงตามลำดับขั้นตอนการขุดของโครงการ The Park chidlom	85
4.20	แสดงผลของค่า Pressure Gauge ที่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อแรงอัดในค้ำยันของโครงการ The Park chidlom	89

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่หน้าตัดของค้ำยัน (Section Area of Strut)
B	=	ความกว้างของการขุด (Width of Excavation)
C	=	ค่าความเชื่อมั่น
CH	=	ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง
CL	=	ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำถึงปานกลาง
EI	=	สติเฟนสของกำแพงกันดิน
Eu	=	ค่าโมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Modulus)
FEM.	=	Finite Element Method
F.S	=	ค่าความปลอดภัยสำหรับการวิบัติโดยผลของการเกิดการขูดขึ้นของดิน (Safety of factor against basal heave)
G	=	Shear Modulus
H	=	ความลึกของการขุด
h	=	ระยะห่างในแนวตั้งของกำแพงกันดิน
H _i	=	ความลึกอิทธิพล (Depth of influence)
K _o	=	สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต (Cefficient of Active Earth Pressure)
K _{o(NC)}	=	สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันด้านข้างแบบสถิตของดินเหนียวชนิดอัดแน่นปกติ
K _{o(OC)}	=	สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันด้านข้างแบบสถิตของดินเหนียวชนิดอัดแน่นเกินตัว
K _a	=	สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันด้านข้างแบบ Active (Coefficient of Rankine's Active Earth Pressure)
K _p	=	สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันด้านข้างแบบ Passive (Coefficient of Rankine's Passive Earth Pressure)
LL	=	ขีดจำกัดความเหลว (Liquid limit)
M	=	อัตราส่วนโมดูลัสดินแบบไม่ระบายน้ำต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ
N	=	ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (ครั้ง/ฟุต)
N _c	=	Bearing capacity factor
NC	=	ดินเหนียวอัดแน่นปกติ (Normally Consolidated)
OC	=	ดินเหนียวอัดแน่นเกินตัว (Over Consolidated)
OCR	=	อัตราส่วนอัดแน่นเกินตัวของดิน (Over Consolidation Ratio)
PI	=	Plasticity Index

สัญลักษณ์ (ต่อ)

PL	=	Plastic Limit
q	=	Surcharge
Su	=	ค่ากำลังแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength)
Su1	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำของดินส่วนที่อยู่เหนือน้ำ
Su2	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำของดินส่วนที่อยู่ใต้น้ำ
Su _(FV)	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำที่ได้จากการทดสอบเวนในสนาม (Field Vane Test)
Su _(uc)	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำที่ได้จากการทดสอบแรงอัดไม่จำกัด (Unconfined Compressive Test)
U _o	=	ความดันน้ำในโพรงดิน
W _n	=	ค่าปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content)
Z _c	=	ระดับความลึกของชั้นดิน
σ	=	หน่วยแรงรวม (Total Stress)
σ_h	=	หน่วยแรงดันด้านข้างรวม
σ_{hA}	=	หน่วยแรงดันด้านข้างรวมแบบ Active
σ_{hO}	=	หน่วยแรงดันด้านข้างรวมแบบสถิต
σ_{hP}	=	หน่วยแรงดันด้านข้างรวมแบบ Passive
σ_v	=	หน่วยแรงรวมในแนวตั้ง
σ_h	=	หน่วยแรงดันด้านข้างในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล
σ'_p	=	หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต
σ'_{vc}	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง
σ'_{vo}	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งตามธรรมชาติ
γ	=	หน่วยน้ำหนักรวม
μ	=	ค่าการปรับแก้ของ Bjerrum
v	=	อัตราส่วนบัวของของดินเหนียว (v = 0.5)
ϕ	=	มุมเสียดทานภายใน
δ_{HCF}	=	ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างสูงสุดของเข็มพืด
δ_{vms}	=	ค่าการทรุดตัวที่ผิวดิน