

พฤติกรรมการณ์เคลื่อนตัวของเข็มทิศสำหรับงานชุดคำยันในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

นางสาวศิริมาศ วิเศษศรี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ ภาควิชาศึกษาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-231-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**BEHAVIOR OF SHEET PILE DEFLECTION IN BRACED CUT EXCAVATION
IN SOFT BANGKOK CLAY**



Miss Sirimas Visessri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-331-231-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเข็มพืดสำหรับงานชุดค้ำยันในดินเหนียวอ่อน
กรุงเทพฯ

โดย นางสาวศิริมาศ วิเศษศรี

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

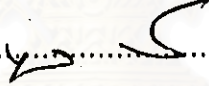
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นพ. ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนირัญวงศ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ศิริมาต วิเศษศรี : พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเข็มพืดสำหรับงานชุดค้ำยันในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ
(BEHAVIOR OF SHEET PILE DEFLECTION IN BRACED CUT EXCAVATION IN SOFT BANGKOK CLAY) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.วันชัย เทพรักษ์, 130 หน้า, ISBN 974-331-231-5

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเข็มพืดสำหรับงานชุดค้ำยันในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยใช้โปรแกรม PLAXIS สำหรับโครงการที่ทำการศึกษาคือ โครงการโรงพยาบาลเปาโล, โครงการโบหยก 2, โครงการเพนนิชูลา และ โครงการศาลาแดง

การวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างโดยใช้โปรแกรม PLAXIS ซึ่งใช้ Soil model ชนิด elasto plastic ประเภท elastic-perfectly plastic จะใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ คือ ค่าโมดูลัสของดิน (E_u) และค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต (K_0) ในรูปของหน่วยแรงแรวม

ผลการศึกษาพบว่าโครงการโรงพยาบาลเปาโล, โครงการโบหยก 2 และ โครงการเพนนิชูลา มีค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างในระยะแรกของการขุดจะให้ค่าที่แตกต่างจากการวัดจริงในสนาม แต่ในระยะท้ายๆ ของการขุดจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริงในสนามมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากการใช้ค่า E_u เป็นค่าคงที่ไม่คิดผลของการเปลี่ยนแปลง stress level สำหรับโครงการศาลาแดงให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการวัดจริงในสนามมาก เนื่องจากข้อมูลการวัดในสนามได้ทำการวัดหลังจากได้ทำการขุดดินไปแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างโดยใช้โปรแกรม PLAXIS ต้องเริ่มวิเคราะห์ในขั้นตอนซึ่งทำการขุดดินไปแล้วจึงให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการวัดจริง

นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลการขุดตัวในแนวตั้งสำหรับโครงการโบหยก 2 พบว่าค่าที่วิเคราะห์จากโปรแกรม PLAXIS ให้ค่าที่น้อยกว่าการวัดจริงในสนาม

ผลการวิเคราะห์ค่า Factor of safety against basal heave สำหรับโครงการที่ทำการวิจัย พบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Factor of safety against basal heave กับ $\frac{\delta H_{max}}{H}$ ค่าที่ได้จากโครงการโบหยก 2 และ โครงการเพนนิชูลาจะให้ค่าที่เกินเส้นของเขตที่เสนอโดย Mana และ Clough (1981) อาจเป็นผลเนื่องจากการประมาณค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเข็มพืดของโครงการโบหยก 2 ปลายเกิดการเคลื่อนตัวถึง 2 ซม. ในขณะที่โครงการเพนนิชูลาอาจมีผลเนื่องจากการเกิด yielding ในมวลดิน, ชั้นดินเป็นทรายแทรกอยู่ และการที่ไม่ได้ preload ของค้ำยันของโครงการเพนนิชูลา

ผลเปรียบเทียบ Pressure Diagram ของ Terzaghi และ Sower กับ การวัดจริงในสนามของโครงการโรงพยาบาลเปาโล พบว่าจากการวัดจริงในสนามจะให้ค่าที่น้อยกว่าการคำนวณจากทฤษฎี

โปรแกรม PLAXIS เหมาะที่จะใช้สำหรับการขุดในระยะสุดท้าย ซึ่งจะให้ผลใกล้เคียงกับการวัดจริงในสนาม ซึ่งใช้ข้อมูลในโปรแกรม ดังนี้ $E_{U \text{ Soft clay}} = 150S_u$, $E_{U \text{ Medium clay}} = 250S_u$, $E_{U \text{ Stiff clay}} = 1000S_u$

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C815182 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: SHEET PILE/ DEFLECTION / EXCAVATION / PLAXIS

SIRIMAS VISESSRI : BEHAVIOR OF SHEET PILE DEFLECTION IN BRACED CUT EXCAVATION IN SOFT BANGKOK CLAY. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SURACHAT SAMBHANDHARAKSE, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF. WANCHAI TEPARAKSA, Ph.D. 130 pp. ISBN 974-331-231-5

The objective of this thesis is to study the behavior of sheet pile deflection in braced cut excavation in soft Bangkok Clay. The analysis is uses PLAXIS program which considers the soil as the Elasto-Idel Plastic material and using Mohr Coulomb failure criteria. The study projects used in the study are at Paolo hospital project, Baiyoke 2 project, Penninzula project and Saladang project. Some of these project (e.g. Paolo and Pennenzular),the excavation requires the tip of the sheet pile penetrated in the stiff clay for preventing upheave failure and for minimizing the movement by preload struts in the large excavation area.

The important parameters used in PLAXIS program to analyse lateral movement are soil modulus (E_u) and Coefficient of earth pressure at rest (K_0) in term of total stress and S_u for $\phi = 0$ concept.

The results of the study show that the lateral movements for Paolo Hospital project , Baiyoke 2 project and Penninzula project computed by PLAXIS are different from the field observations in the first stage of excavation because the analyses use constant E_u , considered for final stage, without considering of the effect of stress level, but in the final stage they are not significantly different. For the Saladang project which the measurement was done after the first period of excavation, the result from PLAXIS program is close to the field observation.

Further more, this thesis also considers the vertical movement for Baiyoke project and the result show that the PLAXIS program give smaller vertical movement than the field measurement values.

The analysis of factor of safety against basal heave at Baiyoke 2 project and at Penninzula project , It was found that the relationship between the factor of safety against basal heave and $\frac{\delta_{Hmax}}{H}$ is out of the boundary that proposed by Mana and Clough (1981). This is because the analittical results at Baiyoke 2 project have a lateral movement at pile tip about 2 cm., while at Penninzula project no preload in the strut, sand layer encountered, and yielding occurs in the upheave mode even when the sheet pile were penetrated in stiff clay.

The comparison of pressure diagram of Terzaghi and Sower with field observation of the Paolo Hospital project show that the field observation is significant less than the recommended apparent pressure diagram.

Comparing the results of the analysis and measurements, preloaded struts is effectively reduce the movement in the case of the area of the excavation is large. Moreover, the movement of the sheet pile will be large if the movement at the tip of the sheet pile moves, ever though the bending moment is reduce due to the reduction in curvature.

The PLAXIS program is therefore suitable for using in the final stage of excavation, according to the finding in this thesis. The parameters, uses in this thesis, are based on those recommended in the literatures. Trial and error was in the stiff clay, as this clay requires the modulus at low stress level. The recommended parameters E_u are based on the relationship between E_u and S_u (corrected vane shear strength). The $\frac{E_u}{S_u}$ are 150, 250 and 1000 for soft clay, medium clay and stiff clay respectively and S_u were from corrected vane shear strength or unconfined compression test.

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อคณาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเข็มพืดสำหรับงานชุดค้ำยันในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ" ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย เทพรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ของการวิจัยด้วยดีตลอด รวมทั้งบริษัทฟิลิพ์ ฮอลส์แมนน์ (ไทย) จำกัด ที่เชื้อเพื่อสถานที่เก็บข้อมูลการวิจัยของโครงการโรงพยาบาลเปาโล, บริษัทซีพีโก้ ได้แก่ คุณณรงค์ ทัศนนิพันธ์ ประธานกรรมการ และคุณพรพจน์ ต้นเส็ง วิศวกรปฐพี ที่อนุญาตในการใช้โปรแกรม PLAXIS รวมทั้งให้คำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรมตลอดจนอนุเคราะห์สถานที่และเวลาในการวิเคราะห์โปรแกรมหลังเวลาทำงาน, บริษัท STS ที่สนับสนุนในเรื่องการเจาะสำรวจดิน และการวัด Inclinator, อีกทั้งกำลังใจจากเพื่อนๆ และขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่ให้กำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้สามารถทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงได้

ท้ายนี้ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์และสนับสนุนทุนการศึกษาในครั้งนี้

ศิริมาศ วิเศษศรี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ฑ
สัญลักษณ์.....	ด
บทที่	
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 คำนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและบททวนงานในอดีต.....	5
2.1 ระบบกำแพงกันดินในงานขนาดเล็ก.....	5
2.2 การคำนวณแรงดันดินด้านข้าง.....	5
2.2.1 การวิเคราะห์หน่วยแรงดันดินด้านข้างแบบสถิต (At Rest Pressure).....	5
2.2.2 การคาดคะเนหน่วยแรงด้านข้างโดยหลักการของ Rankine.....	9
2.2.3 การใช้ไดอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดินปรากฏ (Apparent Pressure Envelope or Pressure Diagram).....	13
2.3 Heave effect.....	19
2.4 กำลังรับแรงเฉือน.....	23
2.4.1 หลักเบื้องต้นของกำลังรับแรงเฉือน.....	23
2.4.2 ค่าปรับแก้กำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบแบบเวนในสนาม (Field vane shear test) ของ Bjerrum.....	23
2.4.3 สภาพความดันน้ำและหน่วยแรงประสิทธิผลในชั้นดินกรุงเทพฯ.....	25

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.4.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง N กับค่ากำลังรับแรงเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯ.....28
2.5	พฤติกรรมของการเคลื่อนตัวด้านข้างของเข็มพืดและการทรุดตัวที่ผิวดิน.....29
2.5.1	แบบการเสียรูปของเข็มพืด (Mode of sheet pile wall deflection).....29
2.5.2	พฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของเข็มพืด.....30
2.5.3	การคาดคะเนการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุด ($\delta_{H_{max}}$)ของเข็มพืด.....32
2.5.4	พฤติกรรมของการทรุดตัวที่ผิวดินหลังเข็มพืด.....33
2.5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวด้านข้างของเข็มพืดกับการทรุดตัวที่ผิวดิน.....35
2.5.6	ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างและการทรุดตัวที่ผิวดิน.....36
2.5.6.1	คุณสมบัติของดิน.....36
2.5.6.1.1	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Undrained shear strength).....36
2.5.6.1.2	โมดูลัสของดิน (Soil modulus).....37
2.5.6.2	ระบบโครงสร้างค้ำยัน.....40
2.5.6.2.1	สติฟเนสของเข็มพืด (EI).....40
2.5.6.2.2	สติฟเนสของค้ำยัน (Strut stiffness, S).....41
2.5.6.2.3	ระยะห่างในแนวตั้งของค้ำยัน.....42
2.5.6.2.4	การอัดแรงในค้ำยัน (Preload of Strut).....42
2.5.6.3	ขนาดของงานขุด (Geometric condition).....44
2.5.6.3.1	ความลึกของการขุด (Depth of excavation, H).....44
2.5.6.3.2	ความกว้างของการขุด (Width of excavation, B).....44
2.5.6.3.3	ความหนาของชั้นดินจากระดับขุดถึงชั้นดินแข็ง (Thickness of soil below the bottom of excavation to hard stratum, T).....44
2.5.6.4	วิธีการก่อสร้าง (Method of construction).....44
2.5.6.5	อาคารข้างเคียงและการจลาจรรอบข้าง.....45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.6 การใช้วิธี Finite element ในการวิเคราะห์ระบบกำแพงกันดิน (Finite element analysis of retaining wall).....	45
บทที่ 3 การเก็บและข้อมูลการวิจัย.....	48
3.1 บทนำ.....	48
3.2 รายละเอียดข้อมูลสำรวจโครงการโรงพยาบาลเปาโล.....	48
3.2.1 ข้อมูลทั่วไป.....	48
3.2.2 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนของงานชุดระดับลึก.....	48
3.2.3 สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Soil Investigation).....	49
3.2.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดเข็มพีตจากเครื่องมือ Inclinometer.....	49
3.3 รายละเอียดข้อมูลสำรวจโครงการโบหยก 2.....	54
3.3.1 ข้อมูลทั่วไป.....	54
3.3.2 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนของงานชุดระดับลึก.....	54
3.3.3 สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Soil Investigation).....	55
3.3.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดเข็มพีตจากเครื่องมือ Inclinometer.....	55
3.4 รายละเอียดข้อมูลสำรวจโครงการเพนินซูลา.....	60
3.4.1 ข้อมูลทั่วไป.....	60
3.4.2 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนของงานชุดระดับลึก.....	60
3.4.3 สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Soil Investigation).....	60
3.4.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดเข็มพีตจากเครื่องมือ Inclinometer.....	61
3.5 รายละเอียดข้อมูลสำรวจโครงการศาลาแดง.....	69
3.5.1 ข้อมูลทั่วไป.....	69
3.5.2 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนของงานชุดระดับลึก.....	69

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.5.3	สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Soil Investigation).....69
3.3.4	ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืดจากเครื่องมือ Inclinometer.....70
บทที่ 4	คุณสมบัติของดินทางด้านการออกแบบและผลการคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง.74
4.1	ขั้นตอนการศึกษา.....74
4.2	การคัดเลือกและเสนอค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ของดินที่ความ ลึกต่างๆ.....74
4.3	วิธีคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต (K_0).....76
4.4	คุณสมบัติของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืดและค้ำยัน.....78
4.5	โมดูลัสของดิน (Undrained Young's Modulus, E_u) ที่ใช้ในการประมาณค่าการ เคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด.....84
4.6	ผลการวิเคราะห์.....86
4.6.1	การคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด จากการวัดจริงในสนามเปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรม PLAXIS.....86
4.6.2	การประมาณค่าไดอะแกรมขอบเขตของหน่วยแรงดันดินของโครงการ โรงพยาบาลเปาโล.....96
4.6.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง Factor of safety against basal heave กับ ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดินสูงสุด.....109
4.6.4	การประมาณค่าการทรุดตัวที่ผิวดินหลังเข็มพืด.....110
บทที่ 5	สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ.....121
5.1	สรุปผลการวิเคราะห์.....121
5.2	ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม.....122
รายการอ้างอิง123

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	126
ประวัติผู้เขียน.....	130



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ข้อดี-ข้อเสีย ของกำแพงกันดินชนิดต่างๆ (พิพัฒน์, 2535).....6
2.2	สูตรคำนวณเพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแบบสถิต (K_0).....8
2.3	ตารางแสดงลักษณะพฤติกรรมในการขุดดิน ณ ค่า Stability Number ต่างๆ.....36
2.4	ค่า $\frac{E_v}{S_v}$ สำหรับดินเหนียว (DM7-1).....39
4.1	รายละเอียดการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิตของโครงการโรงพยาบาล เปาโล.....79
4.2	รายละเอียดการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิตของโครงการไบกย 2.....80
4.3	รายละเอียดการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิตของโครงการเพนนินซูลา...81
4.4	รายละเอียดการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิตของโครงการศาลาแดง.....82
4.5	คุณสมบัติกำแพงกันดินชนิดเข็มพืดและค้ำยัน.....78
4.6	แสดงการคำนวณ Factor of safety against basal heave ของโครงการโรงพยาบาล เปาโล.....116
4.7	แสดงการคำนวณ Factor of safety against basal heave ของโครงการไบกย 2.....117
4.8	แสดงการคำนวณ Factor of safety against basal heave ของโครงการเพนนินซูลา....118
4.9	แสดงการคำนวณ Factor of safety against basal heave ของโครงการศาลาแดง.....119

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ค่า K_0 เป็นฟังก์ชันกับ OCR และค่า PI (Brooker & Ireland, 1965).....7
2.2	ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ m ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ K_0 และ OCR กับค่า PI (Ladd et al, 1977).....9
2.3	Active Rankine Pressure Diagram.....11
2.4	Passive Rankine Pressure Diagram.....13
2.5	วิธีคิดแรงดันดิน (Earth Pressure Diagram).....15
2.6	ไดอะแกรมขอบเขตหน่วยแรงดันดินปรากฏ เสนอโดย Terzaghi และ Peck (1967).....16
2.7	ไดอะแกรมขอบเขตหน่วยแรงดันดินปรากฏ เสนอโดย Tschebotarioff (1973).....17
2.8	ไดอะแกรมขอบเขตหน่วยแรงดันดินปรากฏ เสนอโดย Sower (1979).....18
2.9	แสดง Heave effect เสนอโดย Teng's (1980).....19
2.10	การวิเคราะห์ Factor of safety against basal heave โดยวิธีของ Terzaghi (1943).....21
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกวิกฤตกับค่า N_c (Skempton, 1951).....22
2.12	ตัวปรับแก้ μ ของ Bjerrum (1972) สำหรับใช้กับ Geonor Vane.....25
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันน้ำในโพรงดิน โดยคำนึงถึงผลของการสูบน้ำบาดาล (Deep well pumping) กับความลึกของชั้นดินกรุงเทพฯ (NG, 1983).....26
2.14	ความสัมพันธ์ระหว่าง σ'_v กับความลึกของชั้นดินกรุงเทพฯ.....27
2.15	แบบการเสียรูปของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด.....30
2.16	พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเข็มพืด (Bjerrum, Clausen and Duncan, 1972).....31
2.17	ความสัมพันธ์ระหว่าง Factor of safety against basal heave กับ Nondimensionalize maximum lateral wall movement.....33
2.18	ขอบเขตของนอร์มัลไลซ์การทรุดตัวที่ผิวดินหลังกำแพงกันดินเนื่องจากการขุดในชั้นดินต่างๆ (Peck, 1969).....34
2.19	Variation of ground settlement with distance (after Peck, 1969).....35
2.20	Variation of maximum yield with distance (Mana and Clough, 1981).....35
2.21	แผนภาพแสดงค่าประมาณโมดูลัสของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำ (Duncan and Buchighani, 1976).....39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22	ผลของสติฟเนสของกำแพงกันดินที่มีต่อปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของ กำแพง (Clough, Hansen and Mana, 1979).....40
2.23	นอร์มัลไลซ์การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน ($\frac{\delta_{Hmax}}{\delta_{for EI/h^4 \gamma = 27}}$) กับ นอร์มัลไลซ์สติฟเนสของกำแพง $\frac{EI}{h^4 \gamma}$ (Mana and Clough, 1981).....41
2.24	นอร์มัลไลซ์การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน ($\frac{\delta_{Hmax}}{\delta_{for S/h\gamma = 286}}$) กับ นอร์มัลไลซ์สติฟเนสของกำแพง $\frac{S}{h\gamma}$ (Mana and Clough, 1981).....42
2.25	นอร์มัลไลซ์การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดินกับนอร์มัลไลซ์การอัดแรง ในค้ำยัน.....43
2.26	แสดง Yield function สำหรับ Mohr-Coulomb model.....47
2.27	แสดง Elastic-Plastic stress point.....47
3.1	แผนผังแสดงการติดตั้งกำแพงค้ำยันชนิดเข็มพืด และระบบค้ำยันของโครงการ โรงพยาบาลเปาโล.....50
3.2	แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการโรงพยาบาลเปาโล.....51
3.3	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดินจากการสำรวจ โครงการโรงพยาบาลเปาโล.....52
3.4	ข้อมูลจากการวัด Inclinator, I-5 ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล.....53
3.5	แผนผังแสดงการติดตั้งกำแพงค้ำยันชนิดเข็มพืด และระบบค้ำยันของโครงการไบกย 2.56
3.6	แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการไบกย 2.....57
3.7	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดินจากการสำรวจ โครงการไบกย 2.....58
3.8	ข้อมูลจากการวัด Inclinator, I-2 และ I-4 ของโครงการไบกย 2.....59
3.9	แผนผังแสดงการติดตั้งกำแพงค้ำยันชนิดเข็มพืดของโครงการเพนนินซูลา.....62
3.10 ก	แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการเพนนินซูลา โซน 1.....63
3.10 ข	แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการเพนนินซูลา โซน 2.....64
3.10 ค	แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการเพนนินซูลา โซน 3.....65
3.10 ง	แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการเพนนินซูลา โซน 4.....66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดินจากการสำรวจ โครงการเพนินซูลา.....67
3.12	ข้อมูลจากการวัด Inclinator, I-6 และ I-7 ของโครงการเพนินซูลา.....68
3.13	แผนผังแสดงการติดตั้งกำแพงค้ำยันชนิดเข็มพืด และระบบค้ำยันของโครงการศาลาแดง.71
3.14	แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการศาลาแดง.....72
3.15	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดินจากการสำรวจ โครงการศาลาแดง.....73
4.1	ค่า K_0 ที่ใช้สำหรับโปรแกรม PLAXIS.....83
4.2	ผลการคาดคะเนการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง โดยกำหนดโมดูลัสของดินเหนียวอ่อน $E_u=150S_u$ และเปลี่ยนโมดูลัสของชั้นดินเหนียวแข็ง.....85
4.3	แสดงการแบ่งกริดดินสำหรับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล.....87
4.4	แสดงการแบ่งกริดดินสำหรับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการไบกหยก 2.....88
4.5	แสดงการแบ่งกริดดินสำหรับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการเพนินซูลา.....89
4.6	แสดงการแบ่งกริดดินสำหรับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการศาลาแดง.....90
4.7	แสดงจำนวน node ในหนึ่ง element.....86
4.8	เปรียบเทียบผลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างจากการวัดจริงในสนามกับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการโรงพยาบาลเปาโล.....96
4.9	แสดง Bending Moment Diagram จากการใช้โปรแกรม PLAXIS ของโครงการ โรงพยาบาลเปาโล.....98
4.10	แสดงจุด Yield ของ Mohr-Coulomb จากการใช้โปรแกรม PLAXIS ของโครงการ โรงพยาบาลเปาโล.....99
4.11	เปรียบเทียบผลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างจากการวัดจริงในสนามกับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการไบกหยก 2.....100
4.12	แสดง Bending Moment Diagram จากการใช้โปรแกรม PLAXIS ของโครงการไบกหยก 2.102
4.13	แสดงจุด Yield ของ Mohr-Coulomb จากการใช้โปรแกรม PLAXIS ของโครงการไบกหยก2103
4.14	เปรียบเทียบผลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างจากการวัดจริงในสนามกับโปรแกรม PLAXIS ของโครงการเพนินซูลา.....104
4.15	แสดง Bending Moment Diagram จากการใช้โปรแกรม PLAXIS ของโครงการ

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
	106
4.16	107
4.17	108
4.18	112
4.19	113
4.20	114
4.21	115
4.22	120

สัญลักษณ์

- A = พื้นที่หน้าตัดของค้ำยัน (Section Area of Strut)
- B = ความกว้างของการขุด (Width of Excavation)
- C = ค่าความเชื่อมั่น
- CH = ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง
- CL = ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำถึงปานกลาง
- EI = สติเฟนซ์ของเข็มพืด
- E_u = ค่าโมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Modulus)
- FEM. = Finite Element Method
- F.S. = ค่าความปลอดภัยสำหรับกรณีวิบัติโดยผลของการเกิดการจุกขึ้นของดิน (Safety of factor against basal heave)
- H = ความลึกของการขุด
- h = ระยะห่างในแนวตั้งของกำแพง
- H_i = ความลึกอิทธิพล (Depth of influence)
- K_o = สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต (Coefficient 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 = อัตราส่วนของโมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ ($M=E_u/S_u$)
- N = ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (ครั้ง/ฟุต)
- N_c = Bearing capacity factor
- NC = ดินเหนียวอัดแน่นปกติ (Normally Consolidated)
- OC = ดินเหนียวอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidated)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

OCR	=	อัตราส่วนอัดแน่นเกินตัวของดิน (Over Consolidation Ratio)
PI	=	Plasticity Index
PL	=	Plastic Limit
q	=	Surcharge
S	=	สติเฟเนสของค้ำยัน
S_u	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength)
S_{u1}	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำของดินส่วนที่อยู่เหนือนานขุด
S_{u2}	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำของดินส่วนที่อยู่ใต้นานขุด
$S_{u(FV)}$	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำที่ได้จากการทดสอบแบบเวนในสนาม (Field Vane Test)
$S_{u(UC)}$	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำจากการทดสอบรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (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'_{vc}	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง
σ'_{vo}	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งตามธรรมชาติ
η	=	หน่วยน้ำหนักรวม
μ	=	ค่าปรับแก้ของ Bjerrum
u	=	แรงเฉือนที่พิบัติ

สัญลักษณ์ (ต่อ)

ϕ = มุมเสียดทานภายใน

$\delta_{h \max}$ = ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างสูงสุดของเข็มพืด

$\delta_{v \max}$ = ค่าการทรุดตัวที่ผิวดิน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย