

การศึกษาพฤติกรรม และคาดคะเนการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดไดอะแฟรม  
โดยใช้แบบจำลองเป็นคานวางบนวัสดุอิลาสติก

นาย ชัชวาลย์ พูนลาภพานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-612-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE STUDY OF THE DIAPHRAGM WALL BEHAVIOR AND ITS MOVEMENT  
PREDICTIONS USING BEAM ON ELASTIC FOUNDATION MODEL

Mr. Chatchawal Poonlappanish

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-637-612-8

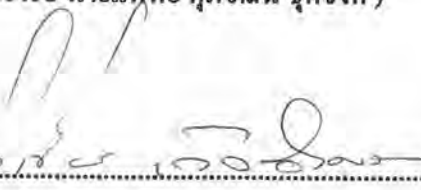
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาพฤติกรรมและคาดคะเนการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิด  
โคอะแฟรม โดยใช้แบบจำลองเป็นคานวางบนวัสดุอิลาสติก  
โดย นายรัชวาลย์ พูนลาภพานิช  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์

---

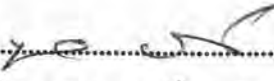
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

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

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

ัชชาวลย์ พูนลาภพานิช : การศึกษาพฤติกรรมและคาดคะเนการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดโคอะแฟรมโดยใช้แบบจำลองเป็น  
 ความวางบนวัสดุอิลาสติก ( THE STUDY OF THE DIAPHRAGM WALL BEHAVIOR AND ITS MOVEMENT  
 PREDICTIONS USING BEAM ON ELASTIC FOUNDATION MODEL ), อ.ที่ปรึกษา : ศศ. ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์ราษฎร์ ,  
 อ. ที่ปรึกษาร่วม : ศศ. ดร. สุรพล จิวาลักษณ์ , 263 หน้า, ISBN 974-637-612-8

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาการคาดคะเนการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดโคอะแฟรม ด้วยแบบจำลองความ  
 วางบนวัสดุอิลาสติก และวิเคราะห์ค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดินต่างๆตลอดแนวตั้งของกำแพงจากผลการเคลื่อนตัวของ  
 กำแพงในสนาม การวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาจากข้อมูลของโครงการก่อสร้างอาคาร 5 แห่งในเขต ก.ท.ม. ที่ปลายล่างของกำแพงฝังอยู่ในชั้นดิน  
 เหนียวแข็งชั้นที่ 1 และมีความหนาของกำแพงระหว่าง 0.8-1.0 ม. สมมุติฐานที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย พิจารณาสภาพหน่วยแรงดันดินด้านข้าง  
 เป็นแบบสถิต, คุณสมบัติของดินเป็นวัสดุ piecewise อิลาสติกเชิงเส้น และกำหนดค่า Modulus of Subgrade Reaction เป็นพารามิเตอร์ไม่  
 ทราบค่า โดยมีความสัมพันธ์แบบ empirical กับค่า  $S_u$  ดังสมการ  $k_s = \alpha S_u$  ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์  $\alpha$  กำหนดให้เป็นฟังก์ชันของค่าระดับ  
 ความลึกของการขุด (H) หรือ stress level

ขั้นตอนดำเนินการศึกษาเริ่มจาก กำหนดค่าพารามิเตอร์ลงในแบบจำลองเพื่อจำลองพฤติกรรมและการเคลื่อนตัวของกำแพงขณะชั้น  
 ตอนการก่อสร้างต่างๆ, ปรับรับค่า  $k_s$  จนกระทั่งผลวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้วยแบบจำลองสอดคล้องกับผลวัดในสนาม ผลศึกษาปรากฏว่าแบบจำลอง  
 มีศักยภาพในการคาดคะเนพฤติกรรมและการเคลื่อนตัวของกำแพงในสนามได้ดีพอสมควร เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ค่า  $k_s$  ในช่วงเริ่มต้นของ การขุด  
 พบว่ามีค่าสูงกว่าข้อมูลอ้างอิงต่างๆ เนื่องจากปัจจัยของระดับการยึดรั้งที่ปลายล่างของกำแพงหรือการที่การเคลื่อนตัวที่ปลายกำแพงมีน้อย  
 มาก, การติดตั้ง/อัดแรงระบบค้ำยัน และ สถิตินะของชั้นดินเปลือก หลังจากนั้นเมื่อระดับความลึกของการขุดเพิ่มขึ้น ค่า  $k_s$  มีแนวโน้มลดลงจน  
 กระทั่งมีค่าใกล้เคียงกับช่วงของข้อมูลอ้างอิง ซึ่งผลวิเคราะห์ค่า Modulus of Subgrade Reaction จำแนกตามชนิดชั้นดินต่างๆ ได้ผลดังนี้

ชั้นดินเปลือก ( $S_u \geq 2.5$ ตัน/ตร.ม., $2.0 < H < 3.0$ ม.)	$k_s = 250 S_u$
ชั้นดินเหนียวอ่อน ( $S_u < 2.5$ ตัน/ตร.ม., $2.0 < H < 10.6$ ม.)	$k_s = 380.85 \exp(-0.1334H) S_u, r^2=0.344$
ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง ( $2.5 \leq S_u < 5$ ตัน/ตร.ม., $2.0 < H < 10.6$ ม.)	$k_s = 1925.3 \exp(-0.2359H) S_u, r^2=0.672$
ชั้นดินเหนียวแข็ง ( $5 \leq S_u < 10$ ตัน/ตร.ม., $2.0 < H < 10.6$ ม.)	$k_s = 3715.5 \exp(-0.2101H) S_u, r^2=0.621$
ชั้นดินเหนียวแข็งมาก ( $S_u \geq 10$ ตัน/ตร.ม., $2.0 < H < 10.6$ ม.)	$k_s = 5024.9 \exp(-0.1845H) S_u, r^2=0.778$
เมื่อ $k_s$ และ H มีหน่วยเป็น ตัน/ลบ.ม. และ ม. ตามลำดับ	

นอกจากนี้การศึกษา profile ของการเคลื่อนตัวซึ่งคาดคะเนด้วยค่า  $k_s$  จากสมการข้างต้นพบว่า ผลของการคาดคะเนมีแนวโน้มที่  
 ไม่แน่นอนเมื่อเปรียบเทียบกับผลวัดของการเคลื่อนตัวในสนาม เนื่องจากสมการของผลวิเคราะห์ค่า  $k_s$  มีความกระจัดกระจายมาก ซึ่งสังเกตได้จาก  
 ค่า  $r^2$  ของสมการ และพบว่า วิธีการก่อสร้าง, ตำแหน่งติดตั้งค้ำยัน และการอัดแรงในค้ำยัน เป็นปัจจัยสำคัญส่วนหนึ่งที่มีผลต่อค่า  $k_s$

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
 สาขาวิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
 ปีการศึกษา 2540 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... อิศราลย์ พูนลาภพานิช  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... สุรฉัตร สัมพันธ์ราษฎร์  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# # C715072 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: DIAPHRAGM WALL / ELASTIC FOUNDATION MODEL / MODULUS OF SUBGRADE-REACTION / SOIL STRUCTURE INTERACTION

CHATSHAWAL POONLAPPANISH : THE STUDY OF THE DIAPHRAGM WALL BEHAVIOR AND ITS MOVEMENT PREDICTIONS USING BEAM ON ELASTIC FOUNDATION MODEL  
THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SURACHAT SAMBHANDHARAKSE, Ph.D.  
THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF. SURAPHOL CHIVALAK, Ph.D. 263 pp.  
ISBN 974-637-612-8

This Thesis presents the study of the diaphragm wall movement predictions using beam on piecewise linear elastic model and the obtained values of the Modulus of Subgrade Reaction of soil layers along the wall alignment. Wall movements are measured from five actual diaphragm wall excavations in Bangkok area in which the wall thickness varies from 0.8-1.0 m. The tips of walls are embedded in 1st stiff clay layer. The at rest earth pressure is used in the analysis. The Modulus of Subgrade Reaction, in the analysis, is varied with soil type.

The analysis procedure consists of inputting the at rest pressure and the trial  $k_s$  values of each soil type in the model in order to simulate the wall movements at various stage of excavations. By adjusting the  $k_s$  values in each soil layer until the predicted wall movement profiles can be matched with the field measurements. Then the best fit  $k_s$  and the values of  $\alpha(k_s = \alpha S_u)$  can be obtained.

The results show that the trial method model can reasonably predict the wall movements, using the analysis of back calculated  $k_s$  in the shallow excavation(depth<4.0m) is quite high compared to the recommended values presented in the literatures. This is due to the effect of the toe fixing, the installation and preloading of bracing struts and the high stiffness of weathered crust. When the depth of excavation increased, the analysis of  $k_s$  values to be comparable with the recommended values. The  $k_s$  values, for each soil layers, obtained from five sites yield the following empirical relations.

Weathered Crust ( $S_u \geq 2.5 \text{ T/m}^2$ ,  $2.0 < H < 3.0 \text{ m}$ )  $k_s = 250 S_u$   
Soft Clay ( $S_u < 2.5 \text{ T/m}^2$ ,  $2.0 < H < 10.6 \text{ m}$ )  $k_s = 380.85 \exp(-0.1334H) S_u$ ,  $r^2 = 0.344$   
Medium Clay ( $2.5 \leq S_u < 5 \text{ T/m}^2$ ,  $2.0 < H < 10.6 \text{ m}$ )  $k_s = 1925.3 \exp(-0.2359H) S_u$ ,  $r^2 = 0.672$   
Stiff Clay ( $5 \leq S_u < 10 \text{ T/m}^2$ ,  $2.0 < H < 10.6 \text{ m}$ )  $k_s = 3715.5 \exp(-0.2101H) S_u$ ,  $r^2 = 0.621$   
Very Stiff Clay ( $S_u \geq 10 \text{ T/m}^2$ ,  $2.0 < H < 10.6 \text{ m}$ )  $k_s = 5024.9 \exp(-0.1845H) S_u$ ,  $r^2 = 0.778$

Upon using the above relations of  $k_s$  values obtained from this thesis, the analysis of the movement profiles are not considerably good, compared with the measured values. These are due to the scattering of the analysed  $k_s$  values which are shown by the poor values of  $r^2$  in the above relationships. Factors, such as the construction procedures, location of struts, and prestressing of struts, are considered to be important which affect  $k_s$  values.

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต..... ชัยวัฒน์ กุณยพจนานันท์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย และ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ ที่ได้กรุณาร่วมเป็นคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ Mr. Jonathan Parkinson และบริษัท โซเลตองส์ ประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับวิจัยและคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอบคุณ คุณสมศักดิ์ เหลืองวิซชเจริญ. ที่ให้คำแนะนำในการจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับแบบจำลอง รวมทั้งทุกท่านที่ไม่อาจเอ่ยนามได้ทั้งหมด สำหรับความร่วมมือและช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นาย ชัชวาลย์ พูนลาภพานิช

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	iv
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	v
กิตติกรรมประกาศ .....	vi
สารบัญ.....	vii
สารบัญตาราง.....	xi
สารบัญรูป.....	xiv
สัญลักษณ์.....	xxii
บทที่	
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนงานในอดีต.....	5
2.1 การประเมินค่าแรงดันดินที่กระทำต่อระบบกำแพงกันดิน.....	5
2.1.1 การคำนวณหน่วยแรงดันดินด้านข้าง.....	5
2.1.2 การใช้หลักการของ Rankine คำนวณหาแรงดันดินด้านข้าง.....	9
2.1.3 การวิเคราะห์หน่วยแรงดันดินสถิต.....	13
2.2 การประเมินค่าคุณสมบัติทางปฐพีกลศาสตร์ของดินเหนียว.....	17
2.2.1 หลักการหน่วยแรงประสิทธิผล.....	17
2.2.2 หลักการเบื้องต้นของกำลังรับแรงเฉือน.....	18
2.2.3 ค่าปรับแก้กำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบแบบเวนในสนามของ Bjerrum.....	19
2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนจากการทดสอบ แบบเวนในสนาม กับค่า $\sigma'_p$ .....	20
2.2.5 สภาพชั้นดินบริเวณกรุงเทพมหานคร.....	23
2.2.6 สภาพความดันน้ำและหน่วยแรงประสิทธิผลในชั้นดินกรุงเทพ.....	31
2.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $N$ กับกำลังรับแรงเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯ.....	31



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3 พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของงานขุดที่ใช้ระบบกำแพงกันดินชนิดค้ำยันในชั้นดินเหนียวอ่อน.....	34
2.3.1 รูปแบบการเคลื่อนตัวพื้นฐาน.....	34
2.3.2 แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง basal heave, การเคลื่อนตัวของกำแพงกับสติเฟนสของดิน.....	35
2.3.3 ผลกระทบเนื่องจากการ yield ของมวลดิน ที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของกำแพง.....	37
2.3.4 ผลกระทบเนื่องจากสติเฟนสของกำแพงและระบบค้ำยันที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน.....	44
2.3.5 ผลกระทบเนื่องจากการอัดแรงในค้ำยันที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน.....	47
2.4 แบบจำลองคานวางบนวัสดุอัสติก.....	47
2.4.1 การแก้ปัญหาแบบจำลองคานวางบนวัสดุอัสติก โดยวิธีวิเคราะห์ด้วยเมตริกซ์.....	48
2.4.1.1 การวิเคราะห์ปัญหาในระดับของเมตริกซ์.....	49
2.4.1.2 เมตริกซ์สัมประสิทธิ์ A.....	52
2.4.1.3 เมตริกซ์สัมประสิทธิ์ B.....	54
2.4.1.4 เมตริกซ์สัมประสิทธิ์ S.....	55
2.4.2 Modulus of Subgrade Reaction ( $k_s$ ).....	56
บทที่ 3 การเก็บและข้อมูลการวิจัย.....	62
3.1 บทนำ.....	62
3.2 รายละเอียดข้อมูลสำรวจโครงการอาคารเซินทรัล สาขาถนนพระรามที่ 3 (CEN) .....	67
3.2.1 ข้อมูลทั่วไป.....	67
3.2.2 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนงานขุดดินระดับลึก.....	67
3.2.3 สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Soil Investigation).....	67
3.2.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงจากเครื่องมือ Inclinator.....	68
3.3 รายละเอียดข้อมูลสำรวจ โครงการอาคารเพรสซิเดนทท์ทาวเวอร์ (PSD).....	77
3.3.1 ข้อมูลทั่วไป.....	77



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3.2 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนงานขุดดินระดับลึก.....	77
3.3.3 สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Soil Investigation).....	78
3.3.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงจากเครื่องมือ Inclinator.....	78
3.4 รายละเอียดข้อมูลโครงการอาคารประตูน้ำคอมเพล็กซ์(PTN).....	92
3.4.1 ข้อมูลทั่วไป.....	92
3.4.2 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนงานขุดดินระดับลึก.....	92
3.4.3 สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Soil Investigation).....	92
3.4.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงจากเครื่องมือ Inclinator.....	93
3.5 รายละเอียดข้อมูลสำรวจโครงการอาคารบรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ( IFCT ).....	101
3.5.1 ข้อมูลทั่วไป.....	101
3.5.2 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนงานขุดดินระดับลึก.....	101
3.5.3 สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Soil Investigation).....	101
3.5.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงจากเครื่องมือ Inclinator.....	102
3.6 รายละเอียดข้อมูลสำรวจโครงการอาคารรอยัลราชดำริ (RR).....	115
3.6.1 ข้อมูลทั่วไป.....	115
3.6.2 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนงานขุดดินระดับลึก.....	115
3.6.3 สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (Soil Investigation).....	115
3.6.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงจากเครื่องมือ Inclinator.....	116
บทที่ 4 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย.....	127
4.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	127
4.2 การคัดเลือกและเสนอค่า กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) ของดินที่ความลึก ต่างๆ.....	128
4.3 วิธีคำนวณและผลลัพธ์ของแรงดันดินด้านข้าง.....	129
4.4 การคำนวณสติเฟนสของกำแพง, สติเฟนสของค้ำยัน และผลการคำนวณ.....	136
4.5 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบ Empirical สำหรับประเมินค่า Modulus of - Subgrade Reaction โดยวิธีวิเคราะห์กลับ.....	154
4.5.1 สมมติฐานการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน โดยใช้แบบจำลองคาน วางบนวัสดุอิลาสติก.....	159

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.5.2 หลักเกณฑ์ในการคำนวณการเคลื่อนตัว.....	161
4.5.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์กลับ.....	165
4.6 ผลการวิเคราะห์.....	166
4.6.1 เปรียบเทียบผลคำนวณการเคลื่อนตัวของแนวกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรมด้วย แบบจำลองกับผลวัดในสนาม.....	167
4.6.2 ผลการวิเคราะห์ประเมินค่า Modulus of Subgrade Reaction.....	198
4.6.3 สหสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of Subgrade Reaction กับ ระดับความลึก ของการขุด.....	198
4.6.4 เปรียบเทียบค่า Modulus of Subgrade Reaction กับข้อมูลอ้างอิง.....	205
4.6.5 ขอบเขตความน่าเชื่อถือของค่า $k_s$ จากสมการความสัมพันธ์ เมื่อนำไปใช้ประเมิน การเคลื่อนตัวของกำแพง.....	215
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ.....	223
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	224
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม.....	226
รายการอ้างอิง.....	227
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลเจาะสำรวจชั้นดิน โครงการอาคารเข็นทรัดสาขาถนนพระรามที่ 3.....	232
ภาคผนวก ข โครงการอาคารเพรสซิเคนท์ทาวเวอร์ .....	242
ภาคผนวก ค โครงการอาคารประตูน้ำคอมเพล็กซ์.....	249
ภาคผนวก ง โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย .....	253
ภาคผนวก จ โครงการอาคารรอยัลราชดำริ .....	257
ประวัติผู้วิจัย.....	263

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่า Tilt ( $\gamma/H$ ) ของกำแพงที่ทำให้เกิดสภาพ active และ passive (DM7-2, 1982).....	8
2.2 สูตรคำนวณเพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต (Ko).....	14
2.3 ค่า Ko กับความลึกของดินเหนียวหนองงูเห่า.....	16
2.4 คุณสมบัติโดยประมาณของชั้นดินกรุงเทพ (TONYGATE, 1978).....	28
2.5 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Tsai, 1982).....	29
2.6 ค่า Modulus of Subgrade Reaction จากการทดสอบด้วย Plate จดรัสขนาด 1 ฟุต ( $k_{s1}$ ) ของดินเหนียวชนิด Overconsolidated Clays ที่เสนอโดย Terzaghi(1955).....	59
3.1 ความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบในการคำนวณสำหรับแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติกกับรายละเอียดข้อมูลชั้นดินที่ทำการเก็บ.....	63
3.2 ผลสรุปของข้อมูลงานขุดดินโดยระบบกำแพงชนิดโคอะเฟรมแบบมีค้ำยันเพื่อวิจัย.....	65
4.1 สรุปค่าพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ประเมินค่าแรงดันดินด้านข้าง โครงการอาคารเซ็นทรัลสาขาถนนพระรามที่ 3 .....	137
4.2 รายละเอียดการคำนวณและผลการประเมินค่าแรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขาถนนพระรามที่3.....	138
4.3 สรุปค่าพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ประเมินค่าแรงดันดินด้านข้าง โครงการอาคารเพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์ .....	140
4.4 รายละเอียดการคำนวณและผลการประเมินค่าแรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน โครงการอาคารเพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์.....	141
4.5 สรุปค่าพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ประเมินค่าแรงดันดินด้านข้าง โครงการอาคารประตูน้ำคอมเพล็กซ์ .....	143
4.6 รายละเอียดการคำนวณและผลการประเมินค่าแรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน โครงการอาคารประตูน้ำคอมเพล็กซ์ .....	144
4.7 สรุปค่าพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ประเมินค่าแรงดันดินด้านข้าง โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย .....	146
4.8 รายละเอียดการคำนวณและผลการประเมินค่าแรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย .....	147
4.9 สรุปค่าพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ประเมินค่าแรงดันดินด้านข้าง โครงการอาคารรอยัลราชดำริ .....	149

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 รายละเอียดการคำนวณและผลการประเมินค่าแรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพง กันดิน โครงการโครงการอาคารรอยัลราชดำริ .....	150
4.11 ผลการคำนวณสตีเฟนของกำแพง, สตีเฟนของระบบค้ำยัน.....	157
4.12 รายละเอียดค่า $k_s$ จากการวิเคราะห์หักลับด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก จาก ข้อมูล Inclinometer หมายเลข I-1 โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขานนพระรามที่ 3.....	168
4.13 รายละเอียดค่า $k_s$ จากการวิเคราะห์หักลับด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก จาก ข้อมูล Inclinometer หมายเลข I-4 โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขานนพระรามที่ 3.....	172
4.14 รายละเอียดค่า $k_s$ จากการวิเคราะห์หักลับด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก จาก ข้อมูล Inclinometer หมายเลข I-4 โครงการอาคารเพชรศิรินทร์ทาวเวอร์ .....	176
4.15 รายละเอียดค่า $k_s$ จากการวิเคราะห์หักลับด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก จาก ข้อมูล Inclinometer หมายเลข I-6 โครงการอาคารประตูน้ำคอมเพล็กซ์ .....	179
4.16 รายละเอียดค่า $k_s$ จากการวิเคราะห์หักลับด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก จาก ข้อมูล Inclinometer หมายเลข I-3 โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่ง ประเทศไทย .....	182
4.17 รายละเอียดค่า $k_s$ จากการวิเคราะห์หักลับด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก จาก ข้อมูล Inclinometer หมายเลข I-5 โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่ง ประเทศไทย .....	186
4.18 รายละเอียดค่า $k_s$ จากการวิเคราะห์หักลับด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก จาก ข้อมูล Inclinometer หมายเลข I-6 โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่ง ประเทศไทย .....	190
4.19 รายละเอียดค่า $k_s$ จากการวิเคราะห์หักลับด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก จาก ข้อมูล Inclinometer หมายเลข I-4 โครงการรอยัลราชดำริ.....	194
4.20 ผลวิเคราะห์ประเมินค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดิน Weathered Crust.....	199
4.21 ผลวิเคราะห์ประเมินค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดิน Soft Clay.....	200
4.22 ผลวิเคราะห์ประเมินค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดิน Medium Clay.....	201
4.23 ผลวิเคราะห์ประเมินค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดิน Stiff Clay.....	202

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.24 ผลวิเคราะห์ประเมินค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดิน Very Stiff Clay.....	203
4.25 สรุปข้อมูลและผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ห้กลับค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดินเปลือก (Weathered Crust) ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ผนวกข้อมูลอ้างอิงเพื่อใช้เปรียบเทียบ.....	208
4.26 สรุปข้อมูลและผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ห้กลับค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ผนวกข้อมูลอ้างอิงเพื่อใช้เปรียบเทียบ.....	209
4.27 สรุปข้อมูลและผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ห้กลับค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Clay) ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ผนวกข้อมูลอ้างอิงเพื่อใช้เปรียบเทียบ.....	210
4.28 สรุปข้อมูลและผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ห้กลับค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ผนวกข้อมูลอ้างอิงเพื่อใช้เปรียบเทียบ.....	211
4.29 สรุปข้อมูลและผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ห้กลับค่า Modulus of Subgrade Reaction ของชั้นดินเหนียวแข็งมาก (Very Stiff Clay) ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ผนวกข้อมูลอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบ.....	212
4.30 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงที่เกิดขึ้นขณะขั้นตอนก่อสร้างต่างๆ ระหว่างผลวัดในสนาม ( $\delta_{\max_{\text{meas}}}$ ), ผลวัดที่มาจากกรวิเคราะห์ห้กลับ ( $\delta_{\max_{\text{back}}}$ ) และผลที่คำนวณด้วยค่า $k_s$ จากสมการความสัมพันธ์ ( $\delta_{\max_{\text{pred}}}$ ).....	219



## สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	แสดงชนิดหน่วยแรงดันด้านข้างเป็นฟังก์ชันกับการเคลื่อนตัวของกำแพง.....6
2.2	สภาพหน่วยแรงดันด้านข้างของระบบกำแพงชนิดต่างๆ.....6
2.3	การคาดคะเนค่า $\Delta\sigma_H$ เนื่องจากผลของ Line Load และ Concentrated Load กระทำข้าง กำแพง โดยทฤษฎี Elasticity (DM7-2, 1982).....10
2.4	การคาดคะเนค่า $\Delta\sigma_H$ เนื่องจากผลของ Uniform Load กระทำข้างกำแพง (DM7-2, 1982)...11
2.5	ค่า $K_0$ เป็นฟังก์ชันกับ OCR และค่า PI (Brooker and Ireland, 1965).....15
2.6	ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ $m$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่า $K_0$ และ OCR กับค่า PI (Ladd et al, 1977).....15
2.7	แสดงค่าปรับแก้กำลังแรงเฉือนแบบอันเดรอนที่ได้จากการทดสอบแบบเวนในสนาม (Bjerrum, 1972).....21
2.8	อัตราส่วน $S_u/\sigma'_{vo}$ , $\sigma'_p/\sigma'_{vo}$ , $S_u/\sigma'_p$ , และ $\mu S_u/\sigma'_p$ กับค่า PI สำหรับ Normally Consolidated Late Glacial และ Post Glacial Clays (Trak et al, 1979).....22
2.9	ลักษณะสภาพชั้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานคร (Brand and Arbhahirama, 1973).....24
2.10	ลักษณะสภาพชั้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานคร แนวเหนือใต้ (Kerdsuwan, 1984).....25
2.11	ลักษณะสภาพชั้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานคร แนวตะวันออก-ตะวันตก (Kerdsuwan, 1984).....25
2.12	ลักษณะสภาพชั้นดินในบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยทั่วไป (Kerdsuwan, 1984).....26
2.13	หน้าตัดชั้นดินตามแนวแม่น้ำเจ้าพระยาจากอยุธยาถึงชายฝั่งอ่าวไทย (ว.ส.ท. 2520).....27
2.14	หน้าตัดชั้นดินตามแนวแม่น้ำเจ้าพระยาจากราชบุรีถึงชลบุรี (ว.ส.ท. 2520).....27
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันน้ำในโพรงดิน โดยคำนึงถึงผลของการสูบน้ำบาดาล (deep well pumping) กับความลึกของชั้นดินกรุงเทพฯ (NG, 1983).....32
2.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง กับความลึกของชั้นดิน กรุงเทพฯ (Kerdsuwan, 1984).....33
2.17	รูปแบบการเคลื่อนตัวพื้นฐาน ของงานชุดที่ใช้ระบบกำแพงกันดินในชั้นดินเหนียวอ่อน (Peck, 1969).....36
2.18	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง normalized ของระยะการเคลื่อนตัวของกำแพง กับ ค่าตัวประกอบความปลอดภัยด้าน basal heave (Clough and Denby, 1977).....38

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19 แผนภาพแสดงค่าประมาณของโมดูลัสดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำ (Duncan and Buchighani, 1976).....	39
2.20 รูปตัดบ่อขุด, ลักษณะชั้นดิน ของอาคาร Levi Strauss, San francisco (Tait and Taylor, 1974).....	41
2.21 ผลการทดสอบค่า Undrained shear strength ของ San francisco Bay mud (Tait and Taylor, 1974).....	41
2.22 ขั้นตอนการขุดของโครงการอาคารอาคาร Levi Strauss, San francisco Bay mud (Tait and Taylor, 1974).....	42
2.23 Performance ของงานขุดโครงการอาคาร Levi Strauss.....	43
2.24 การขยายตัวของ yielding zone และแนวโน้มการเคลื่อนตัวของมวลดินของงานขุดลึกใน ดินเหนียวอ่อน โดยวิเคราะห์จากแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ (Mana, 1977).....	45
2.25 ผลกระทบเนื่องจาก Rigidity ของกำแพงกันดินที่มีต่อปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Clough and Tsui, 1974).....	46
2.26 แผนภาพแสดงผลกระทบร่วมของสติเฟนสกำแพง, ระยะห่างของค้ำยัน ที่มีผลต่อปริมาณ การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน (Goldberg et al., 1976).....	46
2.27 แบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก.....	50
2.28 เมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณ.....	51
2.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงภายใน และปริมาณการเปลี่ยนรูปของคานโดยใช้ conjugate-beam principles.....	51
2.30 แผนภาพอธิบายแนวคิดค่า Modulus of Subgrade Reaction ( $k_s$ ) จากความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความดัน และปริมาณการเคลื่อนตัวของดิน.....	57
2.31 วิธีคำนวณค่า Modulus of Subgrade Reaction ( $k_s$ ) จากการทดสอบ Plate load test.....	57
3.1 ความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบในการคำนวณสำหรับแบบจำลองคานวางบนวัสดุ อิลาสติก กับรายละเอียดข้อมูลชั้นดินที่ทำการเก็บ.....	64
3.2 แผนผังแสดงที่ตั้งของโครงการที่สนใจศึกษา.....	66
3.3 แผนผังแสดงที่ตั้งของโครงการอาคารเซ็นทรัล สาขาถนนพระรามที่3.....	69
3.4 แผนผังการติดตั้งกำแพงและระบบค้ำยัน โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขาถนนพระรามที่3.....	70



## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างบริเวณส่วนชั้นใต้ดิน โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขาถนน พระรามที่3.....	71
3.6 แผนผังแสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดิน และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Inclinator No. I-1, I-6 ของโครงการอาคารเซ็นทรัล สาขาถนนพระรามที่3.....	72
3.7 รายละเอียดผลทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขาถนนพระรามที่3.....	73
3.8 ค่าผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไคอะแฟรมที่ขั้นตอนการ ก่อสร้างต่างๆ โดยอุปกรณ์Inclinator หมายเลข I-1 โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขา ถนนพระรามที่3.....	75
3.9 ค่าผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไคอะแฟรมที่ขั้นตอนการก่อสร้าง ต่างๆ โดยอุปกรณ์Inclinator หมายเลข I-4 โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขาถนนพระรามที่3...76	76
3.10 แผนผังแสดงที่ตั้งของโครงการอาคารเพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์.....	79
3.11 แผนภาพแสดงรูปตัด และลำดับขั้นตอนการก่อสร้างบริเวณส่วนชั้นใต้ดิน โครงการอาคาร เพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์.....	80
3.12 แผนผังแสดงการแบ่งส่วนอาคารออกเป็น โซนAและโซนB ตามลักษณะต้นลึกในการขุด...81	81
3.13 แผนผังการติดตั้งกำแพงและระบบค้ำยันชั้นบน และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Inclinator หมายเลข I-4 ของโครงการอาคารเพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์ .....	82
3.14 แผนผังการติดตั้งกำแพงและระบบค้ำยันชั้นบน และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Inclinator หมายเลข I-4 ของโครงการอาคารเพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์ .....	83
3.15 แผนภาพแสดงการก่อสร้างส่วนชั้นใต้ดิน โครงการอาคารเพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์ โซนA...84	84
3.16 แผนภาพแสดงการก่อสร้างส่วนชั้นใต้ดิน โครงการอาคารเพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์ โซนB...85	85
3.17 แผนผังแสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดิน และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Inclinator No. I-4 ของโครงการอาคารเพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์.....	86
3.18 แสดงลักษณะชั้นดินโดยทั่วไป ตามแนวหลุมเจาะ BH-1, BH-2, BH-3 และตามแนว หลุมเจาะ BH-4, BH-5, BH-6 โครงการอาคารเพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์ .....	87
3.19 รายละเอียดผลทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ โครงการอาคาร เพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์.....	88

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 ค่าผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรมที่ขั้นตอนการก่อสร้าง ต่างๆ โดยอุปกรณ์Inclinometer หมายเลข I-4 โครงการอาคารเพรสซิเดนซ์ทาวเวอร์..91	
3.21 แผนผังแสดงที่ตั้งของโครงการอาคารประตุน้ำคอมเพล็กซ์.....94	
3.22 แผนผังการติดตั้งกำแพงและระบบค้ำยัน และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Inclinometer หมายเลข I-6 โครงการอาคารประตุน้ำคอมเพล็กซ์.....95	
3.23 แผนภาพแสดงการก่อสร้างส่วนชั้นใต้ดิน โครงการอาคารประตุน้ำคอมเพล็กซ์.....96	
3.24 รายละเอียดผลทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ โครงการอาคารประตุน้ำ คอมเพล็กซ์.....97	
3.25 ค่าผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรมที่ขั้นตอนการก่อสร้าง ต่างๆ โดยอุปกรณ์Inclinometer หมายเลข I-6 โครงการอาคารประตุน้ำคอมเพล็กซ์.....100	
3.26 แผนผังแสดงที่ตั้งของโครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย แห่งใหม่ และตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดิน .....103	
3.27 แผนผังการติดตั้งกำแพงและระบบค้ำยันชั้นบน และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Inclinometer สำหรับศึกษาวิจัย โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.....104	
3.28 แผนผังการติดตั้งกำแพงและระบบค้ำยันชั้นล่าง และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Inclinometer สำหรับศึกษาวิจัย โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.....105	
3.29 แผนภาพแสดงการก่อสร้างส่วนชั้นใต้ดิน โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรม แห่งประเทศไทย.....106	
3.30 แสดงลักษณะชั้นดินโดยทั่วไปตามแนวหลุมเจาะ BH-1, BH-2, BH-3 และ BH-4โครงการ อาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.....107	
3.31 รายละเอียดผลทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ โครงการอาคารบริษัท เงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.....108	
3.32 ค่าผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม ที่ขั้นตอนการ ก่อสร้างต่างๆ โดยอุปกรณ์Inclinometer หมายเลข I-3 โครงการอาคารบริษัทเงินทุน อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.....111	
3.33 ค่าผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรมที่ขั้นตอนการก่อสร้าง ต่างๆ โดยอุปกรณ์Inclinometer หมายเลข I-5 โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรม แห่งประเทศไทย.....112	

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.34	ค่าผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรมที่ขั้นตอนการก่อสร้าง ต่างๆ โดยอุปกรณ์Inclinometer หมายเลข I-5 โครงการอาคารบรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรม แห่งประเทศไทย.....114
3.35	แผนผังแสดงที่ตั้งของ โครงการอาคารรอยัลราชดำริ.....117
3.36	แผนผังการติดตั้งกำแพงและระบบค้ำยันชั้นบน โครงการอาคารรอยัลราชดำริ.....118
3.37	แผนผังการติดตั้งกำแพงและระบบค้ำยันชั้นล่าง โครงการอาคารรอยัลราชดำริ.....119
3.38	แผนภาพแสดงการก่อสร้างส่วนชั้นใต้ดิน โครงการอาคารรอยัลราชดำริ.....120
3.39	แผนผังแสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดิน และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Inclinometer หมายเลข I-1 โครงการอาคารรอยัลราชดำริ.....121
3.40	แสดงลักษณะชั้นดิน โดยทั่วไป ตามแนวหลุมเจาะ BH-1, BH-2, BH-3, BH-4. และ BH-5 โครงการอาคารรอยัลราชดำริ.....122
3.41	รายละเอียดผลทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ โครงการอาคาร รอยัลราชดำริ.....123
3.42	แผนผังแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องเครื่องมือ Inclinometer หมายเลข I-1 สำหรับใช้เพื่อ การวิจัย ของโครงการอาคารรอยัลราชดำริ.....125
3.43	ค่าผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม ที่ขั้นตอนการ ก่อสร้างต่างๆ โดยอุปกรณ์Inclinometer หมายเลข I-1โครงการอาคารรอยัลราชดำริ.....126
4.1	ผลการคัดเลือก และเสนอค่ากำลังเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) ตามระดับความลึกของ ชั้นดิน โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขานนพระรามที่3 เพื่อใช้สำหรับการวิจัย.....130
4.2	การคัดเลือก และเสนอค่ากำลังเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) ตามระดับความลึกของ ชั้นดิน โครงการอาคารเพชรศิเคนท์ทาวเวอร์ เพื่อใช้สำหรับการวิจัย.....131
4.3	ผลการคัดเลือก และเสนอค่ากำลังเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) ตามระดับความลึกของ ชั้นดิน โครงการอาคารประตูน้ำคอมเพล็กซ์ เพื่อใช้สำหรับการวิจัย.....132
4.4	ผลการคัดเลือก และเสนอค่ากำลังเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) ตามระดับความลึกของ ชั้นดิน โครงการอาคารบรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยเพื่อใช้สำหรับการวิจัย..133
4.5	ผลการคัดเลือก และเสนอค่ากำลังเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) ตามระดับความลึกของ ชั้นดิน โครงการอาคารรอยัลราชดำริ เพื่อใช้สำหรับการวิจัย.....134

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 รายละเอียดผลการคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขานนพระรามที่3.....	139
4.7 รายละเอียดผลการคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม โครงการอาคารเพชรศิเคนท์ทาวเวอร์.....	142
4.8 รายละเอียดผลการคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม โครงการอาคารประตูน้ำคอมเพล็กซ์ .....	145
4.9 รายละเอียดผลการคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย .....	148
4.10 รายละเอียดผลการคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม โครงการอาคารรอยัลราชดำริ .....	151
4.11 การจำลองพฤติกรรมของระบบค้ำยันกำแพงในรูปแบบจำลองอิลาสติกสปริง.....	153
4.12 รายละเอียดของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้คำนวณค่าสติเฟนสของค้ำยัน.....	155
4.13 ที่มาของค่าความยาวประสิทธิผล, $L_{ef}$ ที่ใช้คำนวณค่าสติเฟนสของค้ำยัน.....	156
4.14 สมมุติฐานของรูปแบบแรงดันด้านหลังกำแพง เพื่อใช้ประเมินการเคลื่อนตัว.....	160
4.15 รูปแบบของมวลดินฝั่ง Passive ที่แทนด้วยหุคของสปริงขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ....	160
4.16 รายละเอียดของหลักเกณฑ์ที่ใช้กำหนดค่า $\alpha$ ที่แตกต่างกัน ตามลักษณะชั้นดินและ Consistency.....	162
4.17 รูปแบบมาตรฐานของวิธีคำนวณการเคลื่อนตัวของกำแพง โดยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติกขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ.....	163
4.18 ผลเปรียบเทียบระหว่างผลคำนวณการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดไคอะเฟรมด้วยแบบจำลองกับผลวัดในสนามขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ จากข้อมูลของ Inclinator หมายเลข I-1 โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขานนพระรามที่3 .....	170
4.19 แผนภาพแสดงค่าโมเมนต์ดัดของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆจากข้อมูลของ Inclinator หมายเลข I-1 โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขานนพระรามที่3 .....	171
4.20 ผลเปรียบเทียบระหว่างผลคำนวณการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดไคอะเฟรมด้วยแบบจำลองกับผลวัดในสนามขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ จากข้อมูลของ Inclinator หมายเลข I-4 โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขานนพระรามที่3 .....	174



## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21	175
แผนภาพแสดงค่าโมเมนต์คัตของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆจากข้อมูลของ Inclinometer หมายเลข I-4 โครงการอาคารเซ็นทรัล สาขาถนนพระรามที่3.....	
4.22	178
ผลเปรียบเทียบระหว่างผลคำนวณการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดไคอะเฟรมด้วยแบบจำลองกับผลวัดในสนามขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ จากข้อมูลของ Inclinometer หมายเลข I-4 โครงการอาคารเพชรศิเคนท์ทาวเวอร์.....	
4.23	179
แผนภาพแสดงค่าโมเมนต์คัตของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆจากข้อมูลของ Inclinometer หมายเลข I-4 โครงการอาคารเพชรศิเคนท์ทาวเวอร์.....	
4.24	180
ผลเปรียบเทียบระหว่างผลคำนวณการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดไคอะเฟรมด้วยแบบจำลองกับผลวัดในสนามขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ จากข้อมูลของ Inclinometer หมายเลข I-6 โครงการอาคารประตูน้ำคอมเพล็กซ์ .....	
4.25	181
แผนภาพแสดงค่าโมเมนต์คัตของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆจากข้อมูลของ Inclinometer หมายเลข I-6 โครงการอาคารประตูน้ำคอมเพล็กซ์.....	
4.26	184
ผลเปรียบเทียบระหว่างผลคำนวณการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดไคอะเฟรมด้วยแบบจำลองกับผลวัดในสนามขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ จากข้อมูลของ Inclinometer หมายเลข I-3 โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย .....	
4.27	185
แผนภาพแสดงค่าโมเมนต์คัตของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆจากข้อมูลของ Inclinometer หมายเลข I-3 โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย .....	
4.28	188
ผลเปรียบเทียบระหว่างผลคำนวณการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดไคอะเฟรมด้วยแบบจำลองกับผลวัดในสนามขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ จากข้อมูลของ Inclinometer หมายเลข I-5 โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย .....	
4.29	189
แผนภาพแสดงค่าโมเมนต์คัตของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆจากข้อมูลของ Inclinometer หมายเลข I-5 โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย .....	

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 ผลเปรียบเทียบระหว่างผลคำนวณการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดไคอะเฟรมด้วยแบบจำลองกับผลวัดในสนามขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ จากข้อมูลของ Inclinator หมายเลข I-6 โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.....	192
4.31 แผนภาพแสดงค่าโมเมนต์ดัดของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ จากข้อมูลของ Inclinator หมายเลข I-6 โครงการอาคารบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย 193	193
4.32 ผลเปรียบเทียบระหว่างผลคำนวณการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดไคอะเฟรมด้วยแบบจำลองกับผลวัดในสนามขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ จากข้อมูลของ Inclinator หมายเลข I-1 โครงการอาคารรอยัลราชดำริ .....	196
4.33 แผนภาพแสดงค่าโมเมนต์ดัดของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรม จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคานวางบนวัสดุอิลาสติก ขณะขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ จากข้อมูลของ Inclinator หมายเลข I-1 โครงการอาคารรอยัลราชดำริ .....	197
4.34 แผนภาพแสดงสหสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการคูณ( $\alpha$ )ของ $S_u$ เพื่อใช้คำนวณค่า Modulus of Subgrade Reaction ( $k_s$ ) กับ ระดับความลึกของการขุด ของชั้นดินเปลือก (Weathered Crust), ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) และชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Clay) สำหรับประเมินการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรมที่ระดับปลายล่งกำแพงอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร.....	206
4.35 แผนภาพแสดงสหสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการคูณ( $\alpha$ )ของ $S_u$ เพื่อใช้คำนวณค่า Modulus of Subgrade Reaction ( $k_s$ ) กับ ระดับความลึกของการขุด ของชั้นดินเหนียว-แข็ง (Stiff Clay), ชั้นดินเหนียวแข็งมาก (Very Stiff Clay) สำหรับประเมินการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไคอะเฟรมที่ระดับปลายล่งกำแพงอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร .....	207
4.36 ผลเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงชนิดไคอะเฟรมระหว่างผลลัพธ์ที่คำนวณด้วยค่า $k_s$ จากสมการสหสัมพันธ์ กับผลวัดในสนาม ที่รวบรวมมาจากทั้ง 5 กรณีศึกษา...216	216
4.37 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบผลวัดการเคลื่อนตัวสูงสุดในสนาม ( $\delta_{max_{meas}}$ ) กับผลการเคลื่อนตัวของกำแพงสูงสุดที่มาจากการวิเคราะห์ที่กลับ ( $\delta_{max_{back}}$ ).....	220
4.38 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบผลวัดการเคลื่อนตัวสูงสุดในสนาม ( $\delta_{max_{meas}}$ ) กับผลการเคลื่อนตัวของกำแพงสูงสุดที่คำนวณด้วยค่า $k_s$ จากสมการความสัมพันธ์ ( $\delta_{max_{pred}}$ ).....	221

## สัญลักษณ์

$C_c$	= Compression Index
CH	= ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง
CL	= ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำ
EI	= Flexural Stiffness
$E_c$	= ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
$E_u$	= ค่าโมดูลัสของดินแบบอันเดรน (Undrained Modulus)
$E_{u50}$	= ค่าโมดูลัสของดินแบบอันเดรนที่ระดับหน่วยแรงเฉือนเท่ากับ 50%
F.S.	= ค่าตัวประกอบความปลอดภัย (Safety Factor)
h	= ความลึกจากระดับผิวดิน
H	= ระดับความลึกของการขุด
$k_s$	= Modulus of Subgrade Reaction
$k_{s1}$	= ค่า Modulus of Subgrade Reaction ของ plate รูปจตุรัสขนาด 1 ฟุต
K	= ค่านิจของสปริง ( Spring Constant )
$K_A$	= สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันด้านข้างแบบ Active (Coefficient of Active Earth Pressure )
$K_{brace}$	= ค่าสติเฟนสของค้ำยัน
$K_o$	= สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันด้านข้างแบบสถิต (Coefficient of Earth Pressure at Rest)
$K_{o(nc)}$	= สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันด้านข้างแบบสถิตของดินเหนียวชนิดอัดแน่นปกติ
$K_{o(oc)}$	= สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันด้านข้างแบบสถิตของดินเหนียวชนิดอัดแน่นเกินตัว
$K_p$	= สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันด้านข้างแบบ Passive (Coefficient of Passive Earth Pressure )
$L_{ef}$	= ค่าความยาวประสิทธิผล
LL	= พิกัดความเหลว (Liquid Limit)
N	= ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (ครั้ง/ฟุต)



## สัญลักษณ์ (ต่อ)

NC	= ดินเหนียวชนิดอัดแน่นปกติ (Normally Consolidated)
OC	= ดินเหนียวชนิดอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidated)
OCR	= สัดส่วนอัดแน่นเกินตัวของดิน (Over Consolidation Ratio)
PI	= Plasticity Index
PL <sub>c</sub>	= Plastic Limit
q	= Surcharge
$S_u$	= ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength)
$S_{u(FV)}$	= ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำที่ได้จากการทดสอบแบบเวนในสนาม (Field Vane Test)
$S_{u(uc)}$	= ค่ากำลังรับแรงเฉือนชนิดไม่ระบายน้ำจากการทดสอบรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test)
u	= ความดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure)
W <sub>n</sub>	= ค่าปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content)
$\alpha$	= ค่าตัวประกอบการคูณของ $S_u$ เพื่อใช้คำนวณค่า Modulus of Subgrade - Reaction
$\sigma$	= หน่วยแรงรวม (Total Stress)
$\sigma_h$	= หน่วยแรงดันด้านข้างรวม
$\Delta\sigma_h$	= หน่วยแรงดันด้านข้างรวมที่เพิ่มขึ้น
$\sigma_{hA}$	= หน่วยแรงดันด้านข้างรวมแบบ Active
$\sigma_{ho}$	= หน่วยแรงดันด้านข้างรวมแบบสถิต
$\sigma_{hP}$	= หน่วยแรงดันด้านข้างรวมแบบ Passive
$\sigma_v$	= หน่วยแรงรวมในแนวตั้ง
$\sigma'$	= หน่วยแรงประสิทธิผล ( Effective Stress )
$\sigma'_{ff}$	= หน่วยแรงตั้งฉากประสิทธิผลบนระนาบพิบัติ (Effective Normally Stress on Failure Plane)
$\sigma'_h$	= หน่วยแรงดันด้านข้างในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล

## สัญลักษณ์ (ต่อ)

$\sigma'_{hA}$	= หน่วยแรงดันด้านข้างในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลแบบ Active
$\sigma'_p$	= Preconsolidation Pressure
$\sigma'_{vc}$	= หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง
$\sigma'_{vo}$	= หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งตามธรรมชาติ
$\gamma_t$	= หน่วยน้ำหนักรวม
$\mu$	= ค่าปรับแก้ของ Bjerrum
$\tau_{ff}$	= แรงเฉือนที่พิบัติ
$\phi, c$	= มุมแรงด้านเฉือน และความเชื่อมแน่นที่ปรากฏในรูปหน่วยแรงรวม
$\phi', c'$	= มุมแรงด้านเฉือน และความเชื่อมแน่นที่ปรากฏในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล