

ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินเหนียวอ่อนเนื่องจากน้ำหนักคันดิน :

กรณีทางหลวงสายบางนา - บางปะกง

นาย ทศวรรษ นิจนาดิษฐ์



ศูนย์วิทยพัชร์พยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-684-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018500.

LATERAL DEFORMATION CHARACTERISTIC OF SOFT CLAY  
SUBJECTED TO EMBANKMENT LOADING :  
CASE OF BANG NA - BANG PAKONG HIGHWAY



MR. THOSSAWON NIDJAPANID

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Civil Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-684-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินเหนียวอ่อน

เนื่องจากน้ำหนักคันดิน : กรณีทางหลวงสายบางนา - บางปะกง

โดย

นาย ทศวรรษ นิจนดิษฐ์

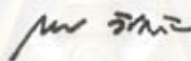
ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. วันชัย เทพรักษ์

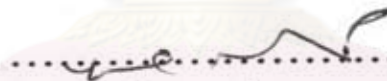
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น ส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ดาวร วิชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



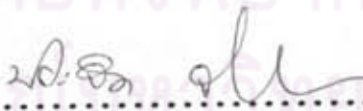
ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวลักษณ์)



กรรมการ

(ดร. วันชัย เทพรักษ์)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ประจิด จิรัปภา)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ณะเจริญกิจ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ทศวรรณ นิจพานิชย์ : ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินเหนียวอ่อนเนื่องจากน้ำหนักคันดิน : กรณีทางหลวงสาย บางนา - บางปะกง (LATERAL DEFORMATION CHARACTERISTIC OF SOFT CLAY SUBJECTED TO EMBANKMENT LOADING : CASE OF BANG NA - BANG PAKONG HIGHWAY) อ. ศึกษาระดับปริญญาโท : ดร. วันชัย เทพรักษ์, 185 หน้า. ISBN 974-581-684-1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อรวบรวมลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นในดินเหนียวอ่อน เนื่องจากน้ำหนักคันดินโดยทำการวิเคราะห์คันดินบนทางหลวงสายบางนา - บางปะกง จำนวนทั้งหมด 17 แห่ง ในระหว่างการก่อสร้างถนน (frontage road) ที่อยู่ด้านเหนือของถนนขาออกเดิม เมื่ออัตราส่วนสูงสุดระหว่างหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดินใต้กึ่งกลางคันทาง ต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน ( $f_{max}$ ) มีค่าน้อยกว่า 1.0 อัตราการเคลื่อนตัวด้านข้างมีค่าระหว่าง 0-0.1 มม. ต่อวัน เมื่ออัตราส่วนสูงสุดระหว่าง หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดินต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน ( $f_{max}$ ) มีค่ามากกว่า 1.0 ซึ่งเกิดการวิบัติเฉพาะจุด (local yield) ในมวลดินใต้คันทาง อัตราการเคลื่อนตัวด้านข้างจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่า  $R_{hv}$  (กำหนดให้ค่าเท่ากับอัตราส่วนการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดต่อการทรุดตัวสูงสุด) มีความสัมพันธ์ที่ดีกับอัตราส่วน สูงสุดระหว่างหน่วย แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดินต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน ( $f_{max}$ ) และสัดส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพความลาดชันของคันดิน (F.S) จากการวิเคราะห์ Regression โดยใช้วิธี Least Square จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $R_{hv}$  กับ อัตราส่วนสูงสุดระหว่างหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดินต่อ กำลังรับ แรงเฉือนของดิน ( $f_{max}$ ) และสัดส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพความลาดชันของคันดิน (F.S) ดังนี้

$$R_{hv} = 0.068 e^{1.230 (f_{max})}$$

$$R_{hv} = 0.768 e^{-1.446 (F.S)}$$

$R_{hv}$  ที่เกิดขึ้นจริงในสนามจะมีค่าต่ำกว่าผลการคาดคะเนโดยวิธี empirical ที่เสนอโดย Tavenas (1979) เนื่องจาก ผลของ berm ในการก่อสร้างคันทางและความสูงของคันดินที่ต่ำกว่าของ Tavenas ค่า  $R_{hv}$  ที่คาดคะเนโดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์ด้วยโมเดลยืดหยุ่นแบบเส้นตรงชนิดอันเดรน (undrained linear elastic) จะสอดคล้องกับ  $R_{hv}$  ที่เกิดขึ้นจริงในสนามเมื่ออัตราส่วนสูงสุดระหว่างหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดินต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน ( $f_{max}$ ) มีค่ามากกว่า 1.0 ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึกที่เกิดขึ้นในสนามคล้ายคลึงกับผลการศึกษา ของ Tavenas (1979) ส่วนการคาดคะเนลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึกโดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์ ด้วยโมเดลยืดหยุ่นแบบเส้นตรงชนิดอันเดรน (Undrained Linear Elastic) ให้ผลไม่แม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับรูปร่างการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นจริงในสนาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา.....2534.....

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## CO15445 : MAJOR CIVIL ENGINEERING.

KEY WORD : LATERAL DEFORMATION/SOFT CLAY/EMBANKMENT LOADING.

THOSSAWON NIDJAPANID : LATERAL DEFORMATION CHARACTERISTIC OF SOFT CLAY SUBJECTED TO EMBANKMENT LOADING : CASE OF BANG NA - BANG PAKONG HIGHWAY. THESIS ADVISOR : DR. WANCHAI TEPARAKSA, Eng.D. 185 PP. ISBN 974-581-684-1

The purpose of this research was to obtain the lateral deformation characteristic occurring in soft clay subjected to embankment loading. A total of seventeen embankment locations along Bang Na - Bang Pakong Highway were analyzed during construction of a frontage road embankment located north of the existing eastbound carriage way. When the maximum final shear stress ratio occurring under the frontage road embankment centerline ( $f_{max}$ ; defined as "the maximum ratio of induced shear stress to undrained shear strength") is less than 1.0, the rate of lateral movement ranges from 0.0 mm/day to 0.10 mm/day. When the value of the maximum final shear stress ratio ( $f_{max}$ ) exceeds 1.0 local yield occurred and the corresponding rate of lateral movement increases shaply. The value of Rhv (defined as "the ratio of incremental maximum lateral movement to incremental maximum settlement") shows a good relationship with the maximum final shear stress ratio ( $f_{max}$ ) and the slope stability factor of safety (F.S). From the regression analysis using the least square method, the relationship between Rhv value and the maximum final shear stress ratio and the slope stability factor of safety can be summarized as:



$$Rhv = 0.068 e^{1.230 (f_{max})}$$

$$Rhv = 0.768 e^{-1.446 (F.S)}$$

Rhv values in this study are lower than proposed by Tavenas (1979). This is due to the effect of stabilizing berm and lower embankment fill height. Rhv value predicted by using the finite element method with undrained linear elastic model at maximum final shear stress ratio values greater than 1.0 are in agreement with measured Rhv values. The actual shape of lateral movement profiles are similar to those reported by Tavenas (1979). It was not possible to predicted the shape of lateral movement profiles by using the finite element method with undrained linear elastic model.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโยธา .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมโยธา .....  
ปีการศึกษา ..... 2534 .....

ลายมือชื่อนิติต .....  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

### กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วันชัย เทพรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำปรึกษา และแนะนำต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด พร้อมกันนี้ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ รวมทั้ง อาจารย์ทุกท่านที่เคยอบรมสั่งสอน ให้ความรู้มาจนถึงทุกวันนี้

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลง ได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์จาก การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องมือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และเจ้าหน้าที่ โดยเฉพาะเจ้าหน้าที่ ในส่วนปฏิบัติการระบบท่อเขต 1 ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนระลึกถึงพระคุณของ บิดาและมารดา ที่ได้วางรากฐานและส่งเสริม ให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

นายทศวรรณ นิจพานิชย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
อธิบายสัญลักษณ์.....	ณ

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 คำนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
2. ทฤษฎีและผลงานในอดีต.....	4
2.1 การคาดคะเนการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินเหนียวอ่อน เนื่องจากน้ำหนักคันดิน.....	4
2.1.1 วิธี empirical ที่เสนอโดย Tavenas (1979).....	4
2.1.1.1 การเคลื่อนตัวด้านข้างของดินเหนียวอ่อน ในระหว่างการก่อสร้างคันดิน.....	6
2.1.1.2 การเคลื่อนตัวด้านข้างของดินเหนียวอ่อน ในระยะยาว (long term).....	12
2.1.2 วิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์.....	14



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดิน.....	17
2.2.1 แนวความคิดพื้นฐานในการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินถม	17
2.2.2 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดิน.....	18
2.2.2.1 วิธี ordinary (Fellenius, 1936)...	19
2.2.2.2 วิธี Bishop Simplified (Bishop, 1955)	20
2.3 คุณสมบัติทางด้านปฏิวัติวิศวกรรมในบริเวณทางหลวงสายบางนา - บางปะกง.....	23
2.3.1 ความเป็นมา.....	23
2.3.2 คุณสมบัติทางด้านปฏิวัติวิศวกรรม.....	23
2.3.2.1 การศึกษาในอดีต.....	23
2.3.2.2 ลักษณะทั่วไป.....	24
2.3.2.3 คุณสมบัติของดัชนี (Index Properties)...	24
2.3.2.4 กำลังรับแรงเฉือนของดินและคุณสมบัติย่อยอัดตัว	28
2.3.2.5 อีลาสติคพารามิเตอร์.....	28
3. การทดสอบการวิจัย.....	33
3.1 สถานที่ทดสอบ.....	33
3.2 การก่อสร้างถนน.....	33
3.3 การทดสอบ.....	33
3.3.1 รายละเอียดเครื่องมือปฏิวัติวิศวกรรมที่ใช้ในการทดสอบ....	37
3.3.1.1 Inclinator.....	37
3.3.1.2 Piezometer.....	37
3.3.1.3 Branch Rod Settlement.....	38
3.3.2 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ.....	38
3.3.3 การเก็บข้อมูล.....	40



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์.....	41
4.1 อัตราการเคลื่อนตัวด้านข้าง.....	41
4.2 การเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพันธ์กับการทรุดตัว (Rhv).....	45
4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rhv กับ $f_{max}$ .....	45
4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rhv กับความสูงของคันทาง.....	48
4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rhv กับเสถียรภาพความลาดชัน ของคันทาง.....	48
4.2.3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ ของคันทาง.....	48
4.2.3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง.....	52
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Rhv กับขั้นตอนการก่อสร้าง.....	56
4.4 การเปรียบเทียบ Rhv ที่เกิดขึ้นจริงในสนามกับผลการคาดคะเน โดยใช้วิธี empirical.....	58
4.4.1 เมื่อเริ่มถมคันดิน (Initial Stage of Construction)	58
4.4.2 เมื่อเสร็จสิ้นการถมคันดิน (Final Stage of Construction).....	59
4.5 การเปรียบเทียบ Rhv ที่เกิดขึ้นจริงในสนามกับผลการคาดคะเน โดยใช้วิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์.....	62
4.5.1 พารามิเตอร์ของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนท์เอลลิเมนต์.	62
4.5.2 การเลือกใช้ระบบการแบ่งหน้าดินเป็นไฟไนท์เอลลิเมนต์ และเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition).....	64
4.5.3 Flow Chart ของไฟไนท์เอลลิเมนต์.....	64
4.5.4 ผลการวิเคราะห์ไฟไนท์เอลลิเมนต์.....	64
4.5.4.1 เมื่อ $f_{max}$ มีค่าน้อยกว่า 1.0.....	68

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.5.4.2	เมื่อ $f_{max}$ มีค่าระหว่าง 1.0 ถึง 1.58 ... 70
4.5.4.3	เมื่อ $f_{max}$ มีค่ามากกว่า 1.58..... 70
4.6	ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึก..... 70
4.6.1	การเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับ ความลึกที่เกิดขึ้นจริง ในสนามกับผลการศึกษาในอดีตของ Tavenas (1979)..... 71
4.6.2	การเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับ ความลึกที่เกิดขึ้นจริง ในสนามกับผลการคาดคะเน โดยใช้ วิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์..... 71
5.	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 74
5.1	อัตราการเคลื่อนตัวด้านข้าง..... 74
5.2	การเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพันธ์กับการทรุดตัว..... 74
5.2.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง $R_{hv}$ กับ $f_{max}$ ..... 74
5.2.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง $R_{hv}$ กับสัดส่วนความปลอดภัยของ เสถียรภาพคันดิน..... 75
5.3	การเปรียบเทียบค่า $R_{hv}$ กับขั้นตอนการก่อสร้าง..... 75
5.4	การเปรียบเทียบค่า $R_{hv}$ ที่เกิดขึ้นจริง ในสนามกับผลการคาดคะเน โดยวิธี empirical ซึ่งเสนอโดย Tavenas (1979)..... 75
5.5	การเปรียบเทียบค่า $R_{hv}$ ที่เกิดขึ้นจริง ในสนามกับผลการคาดคะเน โดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์..... 76
5.6	ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึก..... 76
5.7	ข้อเสนอแนะ ..... 76
เอกสารอ้างอิง.....	77

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ก. - ข้อมูลการเคลื่อนตัวด้านข้าง, การทรุดตัว และค่า $R_h$ .....	81
ภาคผนวก ข. - ข้อมูลการเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึก.....	116
ภาคผนวก ค. - ข้อมูลกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบอันเดรน (N.D. Lea et al, 1981).....	134
ภาคผนวก ง. - รายการคำนวณค่าอัตราส่วนหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นใต้กึ่งกลางคันดิน ต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน ( $f_{max}$ ).....	141
ภาคผนวก จ. - ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของคันทาง.....	147
ภาคผนวก ฉ. - การแบ่งหน้าดินเป็นไฟไนท์เอลลิเมนต์ ในการวิเคราะห์ ไฟไนท์เอลลิเมนต์.....	174
ประวัติผู้เขียน.....	185

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงตำแหน่งทดสอบคันทางบนถนนบางนา - บางปะกง.....	34
3.2	แสดงรายละเอียดการติดตั้ง เครื่องมือปฐมวิธีวิศวกรรม.....	39
4.1	แสดงอัตราการเคลื่อนตัวด้านข้าง ในแต่ละตำแหน่งทดสอบ.....	43
4.2	แสดงค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพันธ์กับการทรุดตัว (R <sub>hv</sub> ) และ อัตราส่วนสูงสุดของหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นใต้กึ่งกลางคันดินต่อกำลัง รับแรงเฉือนแบบอันเดรน (f <sub>max</sub> ).....	46
4.3	แสดงค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพันธ์กับการทรุดตัว (R <sub>hv</sub> ) และ ค่าความแตกต่างระหว่างระดับคันทาง กับ berm ( $\Delta H$ ).....	49
4.4	แสดงค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสัมพันธ์กับการทรุดตัว (R <sub>hv</sub> ) และ เสถียรภาพของคันทาง.....	54
4.5	พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลลิเมนต์.....	63
4.6	ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลลิเมนต์.....	67

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนที่ลิ่งเขปถนนสาย บางนา - บางปะกง.....	2
2.1	แสดงทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลในระหว่างและหลังการก่อสร้างคันดิน...	5
2.2	การกำหนดพารามิเตอร์ของรูปร่างปฏิพี (Geometry) และการเสียรูป (Deformation).....	7
2.3	การเคลื่อนตัวด้านข้าง $Y_m$ เปรียบเทียบกับการทรุดตัวในระหว่างทำการก่อสร้างคันดิน 4 แห่ง (Tavenas, 1979).....	7
2.4	ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง $Y_m$ กับ $S_m$ ในระหว่างการก่อสร้าง.....	9
2.5	หน่วยแรงประสิทธิผลและการเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึกเมื่อเสร็จสิ้นการก่อสร้างคันดินทดสอบ (A) Cubzac-les-Ponts และ (B) Saint-Alban B.....	10
2.6	การคาดคะเนและวัดได้จริงในสนามของการเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึกที่ขอบของฐานคันดิน (Poulos, 1972).....	11
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta Y_m / \Delta S_m$ เมื่อเกิดการอัดตัวคายน้ำในระยะยาว (long term) ของดินเหนียวใต้คันดิน.....	13
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta Y_m / \Delta S_m$ กับความลาดชันของคันดิน.....	13
2.9	การเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึกในระยะยาว (long term) ที่คันดินทดสอบ 3 แห่ง (Tavenas, 1979).....	15
2.10	ระบบแรงที่กระทำต่อ Slice สำหรับวิธีการของ Fellenius.....	19
2.11	ระบบแรงที่กระทำต่อ Slice สำหรับวิธีการของ Bishop's Simplified .....	21
2.12	ลักษณะกำลังรับแรงเฉือนในระหว่างทางหลวงสาย บางนา - บางปะกงกับค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ปรับแก้แล้ว (COX, 1981).....	25
2.13	ลักษณะทั่วไปของชั้นดินที่ กม. 30.....	26
2.14	ความชื้น (moisture content) ของดินในระหว่างทางหลวงสายบางนา - บางปะกง (N.D. Lea et al, 1981).....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.15	ดัชนีความเหลว (Liquidity Index) ในระหว่างทางหลวงสาย บางนา - บางปะกง (N.D. Lea et al, 1981).....	27
2.16	ดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity Index) ในระหว่างทางหลวงสาย บางนา - บางปะกง (N.D. Lea et al, 1981).....	29
2.17	กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ในระหว่างทางหลวงสาย บางนา - บางปะกง (N.D. Lea et al, 1981).....	29
2.18	คุณสมบัติการยุบอัดตัว (Compressibility) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระหว่างทางหลวงสาย บางนา - บางปะกง.....	30
2.19	Compression Ratio ในระหว่างทางหลวงสาย บางนา-บางปะกง (N.D. Lea et al, 1981).....	31
2.20	Swell Ratio ในระหว่างทางสายบางนา-บางปะกง (N.D. Lea et al, 1981).....	31
3.1	ข้อกำหนดการก่อสร้างถนน (Frontage Road) สำหรับทางหลวง สายบางนา - บางปะกง.....	35
3.2	การติดตั้งเครื่องมือประูณวิศวกรรม.....	36
4.1	การคำนวณอัตราการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Rate of Lateral Movement)...	42
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลื่อนตัวด้านข้าง กับอัตราส่วนสูงสุดของ หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดิน ต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน ( $f_{max}$ )..	44
4.3	การคำนวณอัตราส่วนการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุด กับ การทรุดตัวสูงสุด ( $R_{hv}$ ).	46
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง $R_{hv}$ กับ อัตราส่วนสูงสุดระหว่างหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ในมวลดินต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน ( $f_{max}$ ).....	47
4.5	ความแตกต่างระหว่างระดับคันทาง กับ berm ( $\Delta H$ ).....	50
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง $R_{hv}$ กับ ความแตกต่างระหว่างระดับคันทางกับ berm ( $\Delta H$ ).....	51
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง $S_u/6'vc$ กับ OCR.....	53



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Rhv กับสัดส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพ ความลาดชันของคันดิน (F.S.).....	55
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง Rhv กับ ขั้นตอนการก่อสร้าง.....	57
4.10	หน่วยแรงในแนวตั้ง ที่ กม. 31+280.....	60
4.11	การเปรียบเทียบ Rhv ที่ กม. 31+280 กับการคาดคะเนโดยวิธี empirical ที่เสนอโดย Tavenas (1979).....	60
4.12	การเปรียบเทียบ Rhv เมื่อเสร็จสิ้นการก่อสร้างในแต่ละขั้นตอน การก่อสร้างกับการคาดคะเนโดยวิธี empirical ที่เสนอโดย Tavenas (1979).....	61
4.13	ลักษณะทั่วไปในการแบ่งหน้าดินเป็นไฟไนท์เอลลิเมนต์ และเงื่อนไขขอบเขต....	65
4.14	Flow Chart การวิเคราะห์ไฟไนท์เอลลิเมนต์ของโปรแกรม HBTFE90.....	66
4.15	การเปรียบเทียบ Rhv ที่เกิดขึ้นจริงในสนามกับ การคาดคะเนโดยใช้วิธี ไฟไนท์เอลลิเมนต์.....	69
4.16	ลักษณะทั่วไปของการเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึก.....	72
4.17	การเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึกที่เวลาต่าง ๆ หลังการก่อสร้าง ที่คันดินทดสอบ Saint Alban B (Tavenas, 1979).....	72
4.18	การเปรียบเทียบ การเคลื่อนตัวด้านข้างเทียบกับความลึกที่เกิดขึ้นจริง ในสนามกับการคาดคะเน โดยใช้วิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์.....	73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

B	=	ความกว้างเฉลี่ยของคันดิน
C	=	ความเชื่อมแน่นของดิน
$\overline{CKoU-TC}$	=	การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนที่ดินถูกอัดตัวคายนํ้าแบบแอนไอโซทรอปิกมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรนพร้อมวัดค่าความดันนํ้าในโพรง (Ko-consolidated undrained triaxial compression test)
CR	=	compression ratio
D	=	ความหนาของชั้นดินจนถึงชั้นดินแข็ง
e	=	อัตราส่วนช่องว่าง (void ratio)
E	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของดิน
Eu	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของดินแบบอันเดรน
E'	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของดินแบบเดรน
F	=	แรงที่กระทำที่ node (vector of applied nodal forces)
fmax	=	อัตราส่วนสูงสุดระหว่างหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดินใต้กึ่งกลางของคันดินต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน
FS	=	ค่าสัดส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพความลาดชันของคันดิน
H	=	ความสูงของคันดิน
$\Delta H$	=	ความแตกต่างระหว่างระดับคันทางกับ berm
l	=	ความยาวส่วนโค้งที่ฐานของ slice
LI	=	ดัชนีความเหลว (Liquidity Index)
LL	=	พิกัดความเหลว (Liquid Limit)
K	=	Stiffness matrix
Ko	=	สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างของดิน ณ สภาวะสมดุลย์ (Coefficient of Earth Pressure at Rest)
N	=	แรงในแนวตั้งฉาก (normal force)
OCR	=	overconsolidation ratio
PI	=	ดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity Index)
PL	=	พิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

Rhv	=	อัตราส่วนการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดต่อการทรุดตัวสูงสุด
Sc	=	การทรุดตัวทั้งหมด (final settlement) ใต้คันดิน
Se	=	การทรุดตัวเมื่อเสร็จสิ้นการก่อสร้าง
Sm	=	การทรุดตัวสูงสุด
Su	=	กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน
T	=	แรงในแนวสัมผัส
U	=	แรงดันน้ำในโพรงดิน
Uo	=	แรงดันน้ำในโพรงดินตามธรรมชาติ
$\Delta U$	=	แรงดันน้ำในโพรงดินเพิ่ม
UU	=	การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำมาก่อนในสภาพอันเดรน (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test)
W	=	น้ำหนักมวลดิน
Y	=	การเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน
Ym	=	การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของดิน
Z	=	ความลึก
$\sigma_h$	=	หน่วยแรงรวมในแนวราบ
$\sigma_{ho}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบตามธรรมชาติ
$\sigma_p$	=	หน่วยแรงทับถมสูงสุดในอดีต
$\sigma_v$	=	หน่วยแรงรวมในแนวตั้ง
$\sigma_v'$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง
$\sigma_{vo}$	=	หน่วยแรงรวมในแนวตั้งตามสภาพธรรมชาติ
$\sigma'_{vo}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งตามสภาพธรรมชาติ
$\sigma'_{vc}$	=	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งสำหรับการอัดตัวคายน้ำ
$\Delta \sigma$	=	ส่วนเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรง
$\Delta \sigma_h$	=	การเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงในแนวราบ
$\Delta \sigma_v$	=	การเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงในแนวตั้ง
q	=	มุมระหว่างระนาบการวิบัติต่อระนาบแนวราบตามธรรมชาติ



สัญลักษณ์ (ต่อ)

- $\emptyset$  = มุมเสียดทานประสิทธิผล  
 $r$  = หน้วยน้ำหน้กของมวลดิน  
 $r_w$  = หน้วยน้ำหน้กของน้ำ  
 $S$  = unknow nodal displacement vector  
 $v'$  = อัตราส่วนบ้วของแบบเดรน  
 $v_u$  = อัตราส่วนบ้วของแบบอันเดรน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย