



รายงานวิจัยเทียบเคียงฉบับสมบูรณ์
(ปีที่ 2 ของ โครงการ 3 ปี)

โครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ชื่อโครงการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมของดินเหนียวกรุงเทพฯโดยการทดลองใน
ห้องปฏิบัติการและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เลขที่ 7/2554

โดย

สยาม ยิ้มศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กันยายน 2554



รายงานวิจัยเทียบเคียงฉบับสมบูรณ์
(ปีที่ 2 ของ โครงการ 3 ปี)

โครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ชื่อโครงการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมของดินเหนียวกรุงเทพฯโดยการทดลองใน
ห้องปฏิบัติการและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เลขที่ 7/2554

โดย

สยาม ยิ้มศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา



กันยายน 2554

บทคัดย่อ

245655

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้คือการศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้าน (i) small-strain stiffness, (ii) non-linearity, และ (iii) stiffness anisotropy ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ซึ่งผลลัพธ์ของโครงการนี้จะได้ข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการเข้าใจพฤติกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ อีกทั้งในอนาคตยังจะเป็นประโยชน์มากขึ้นหากได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเพิ่มเข้าไปในระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข เช่น วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) ซึ่งจะทำให้เราสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของโครงสร้างทางวิศวกรรมปฐพีได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

ABSTRACT

245655

This research project studies the geotechnical properties of soft Bangkok Clay as follow: (i) small-strain stiffness, (ii) non-linearity, and (iii) stiffness anisotropy. The results of this project can provide a very important data for the understanding of the behavior of soft Bangkok Clay. Moreover, if the constitutive is developed based on these data and implemented into the finite element analysis framework, it will enable the deformation analysis of the geotechnical structures to be more accurately predicted.

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมปฐพีในอดีตนั้นพิจารณาเสถียรภาพ (stability) ของโครงสร้างเป็นหลักโดยไม่ค่อยสนใจการเคลื่อนตัวของโครงสร้างภายใต้สภาวะใช้งาน โดยคุณสมบัติของดินที่ต้องการในการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวคือค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (shear strength of soils) แต่การออกแบบในปัจจุบันนั้นเริ่มสนใจการวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่สภาวะใช้งานแทน เพราะต้องการทราบผลกระทบของการเคลื่อนตัวของดินรอบๆ โครงสร้างที่ออกแบบต่อ โครงสร้างข้างเคียง (เช่น งานขุดชั้นใต้ดินและอุโมงค์ในพื้นที่ชุมชนหนาแน่น) และยังคงการรู้สภาวะที่เกิดขึ้นจริงต่อโครงสร้างที่ออกแบบด้วยจากการวิเคราะห์โดยใช้การพิจารณาการวิบัติแบบเก่า จะพบว่าค่าการเคลื่อนตัวที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่ตรงกับค่าที่ได้จากการวัดในสนามโดยตรงจากโครงสร้างภายใต้สภาวะใช้งานจริง (เช่น Ng & Ling, 1995 (สำหรับงานขุดชั้นใต้ดิน) และ Gunn, 1993 (สำหรับงานอุโมงค์)) อีกทั้งยังพบว่าความเครียดของดินรอบๆ โครงสร้างทางวิศวกรรมปฐพีภายใต้สภาวะใช้งานนั้นมีค่าน้อยกว่าความเครียดที่จุดที่มีหน่วยแรงสูงสุดอย่างมาก และค่าโมดูลัสที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ (back-calculate) จากข้อมูลในสนามนั้น มีค่ามากกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบอย่างมาก (เช่น Burland, 1989) ซึ่งสาเหตุสำคัญของความแตกต่างกันนี้มาจากการพิจารณาพฤติกรรมของดินที่ใช้ในการออกแบบนั้น ไม่ตรงกับสภาวะที่เกิดขึ้นจริง ฉะนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (constitutive model) ของดินที่ใช้จะต้องมีความถูกต้องและซับซ้อนมากขึ้นเพื่อสะท้อนถึงพฤติกรรมจริงของดิน อีกทั้งค่าคุณสมบัติของดิน (soil parameters) ที่ต้องการก็ต้องมีจำนวนมากขึ้นและซับซ้อนขึ้น ในปัจจุบันเริ่มมีการพิจารณาพฤติกรรมต่างๆ ของดินที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้การวิเคราะห์และออกแบบ โครงสร้างทางวิศวกรรมปฐพีมีความถูกต้องและเหมาะสม (ประหยัด) ยิ่งขึ้น โดยเฉพาะสำหรับ โครงสร้างขนาดใหญ่ๆ เช่น งานอุโมงค์ และงานขุดชั้นใต้ดิน เป็นต้น

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองพฤติกรรมต่างๆ ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ข้างต้น จำเป็นต้องมีผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการชั้นสูงเป็นข้อมูล แต่ดังที่กล่าวไปแล้วว่าข้อมูลเหล่านี้แทบจะไม่มีสำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ซึ่งเหตุผลอาจจะเป็นเพราะ (i) ลักษณะพฤติกรรมที่สนใจนั้นยังใหม่ แม้กระทั่งนักวิจัยในต่างประเทศก็เพิ่งให้ความสนใจพฤติกรรมเหล่านี้ในระยะเวลาประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา (ii) ขาดความรู้อย่างเป็นระบบและความชำนาญเฉพาะด้าน (iii) ขาดเงินทุนสนับสนุนการวิจัยด้านการพัฒนาอุปกรณ์ เนื่องจากเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยต้อง ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการชั้นสูงเป็นหลัก ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงจะถูกดำเนินการ โดยการทำทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาพฤติกรรมที่สำคัญของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ และเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงของพฤติกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่ถูกต้องมากขึ้นในอนาคต เพื่อทำให้การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของ โครงสร้างทางวิศวกรรมปฐพีมีความแม่นยำยิ่งขึ้นและการออกแบบมีความประหยัดยิ่งขึ้นต่อไป

คำนำ

โครงการวิจัยนี้จึงจะถูกดำเนินการ โดยการทำทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาพฤติกรรมที่สำคัญของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯทางด้าน (i) small-strain stiffness, (ii) non-linearity, และ (iii) stiffness anisotropy และเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงของพฤติกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯที่ถูกต้องมากขึ้นในอนาคต เพื่อให้การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของโครงสร้างทางวิศวกรรมปฐพีมีความแม่นยำยิ่งขึ้นและการออกแบบมีความประหยัดยิ่งขึ้นต่อไป

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 (เลขที่ 7/2554) จากมหาวิทยาลัยบูรพา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	ii
คำนำ	iii
สารบัญ	iv
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1-2
1.3 ขอบเขตของการทำโครงการวิจัย	1-2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	2-1
2.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมที่ small-strain	2-2
2.2.1 Effective stress state	2-8
2.2.2 Stress history	2-10
2.2.3 Void ratio	2-10
2.2.4 Stress ratio	2-12
2.2.5 Rate effect	2-12
2.2.6 Aging และ time effect	2-14
2.2.7 ชนิดของดิน	2-15
2.2.8 Recent stress history (immediate stress path)	2-15
2.3 Anisotropy	2-16
2.3.1 Inherent anisotropy	2-17
2.3.2 Stress induced anisotropy	2-19
2.3.3 การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับ anisotropy	2-21
2.3.4 นิยามของค่า α และ b	2-24
2.3.5 ผลการศึกษาผลกระทบของ α และ b ต่อพฤติกรรมของดิน	2-25
2.3.6 ความเหมาะสมของเครื่องมือ torsional shear hollow cylinder เพื่อศึกษาพฤติกรรม anisotropy ของดิน	2-41

2.3.7	Non-uniformity ในตัวอย่างดินในการทดลอง hollow cylinder	2-43
2.3.8	งานวิจัยเกี่ยวกับ stress และ strain non-uniformity	2-44
2.4	การวัดพฤติกรรม stress-strain	2-53
2.4.1	การทดลองในห้องปฏิบัติการ	2-55
2.4.2	การทดลองในสนาม	2-57

บทที่ 3 เครื่องมือ, วิธีการทดลอง, และแผนการทดลอง Triaxial

3.1	ขอบเขตของการทดลอง	3-1
3.2	การทดลอง triaxial	3-3
3.2.1	ระบบการทดลอง triaxial แบบธรรมดา	3-3
3.2.2	เครื่องมือ triaxial ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	3-3
3.3	การพัฒนาระบบ triaxial	3-6
3.3.1	ระบบ local strain measurement	3-6
3.3.2	ระบบ bender element	3-9
3.4	แผนการทดลอง triaxial	3-14
3.4.1	Sampling	3-17
3.4.2	การเตรียมตัวอย่าง	3-17
3.4.3	การติดตั้งตัวอย่าง	3-17
3.4.4	Saturation	3-18
3.4.5	Isotropic consolidation	3-18
3.4.6	Rest period	3-18
3.4.7	Compression shearing	3-18
3.4.8	การเก็บข้อมูล	3-19

บทที่ 4 เครื่องมือ, วิธีการทดลอง, และแผนการทดลอง Torsional Shear Hollow Cylinder

4.1	ระบบการทดลอง torsional shear hollow cylinder	4-1
4.2	หลักการทดลอง torsional shear hollow cylinder	4-4
4.3	การคำนวณความเค้นและความเครียด	4-5
4.4	การควบคุมการทดลองและการเก็บข้อมูล	4-7
4.5	แผนการทดลองและวิธีการทดลอง torsional shear hollow cylinder	4-8
4.5.1	การเก็บตัวอย่างดิน	4-11
4.5.2	การเตรียมตัวอย่างดิน	4-11

4.5.3 การติดตั้งตัวอย่างดิน	4-14
4.5.4 Saturation	4-17
4.5.5 Isotropic consolidation	4-17
4.5.6 การตรวจสอบค่า excess pore water pressure หลังจากการ consolidation	4-19
4.5.7 Undrained shearing	4-19
บทที่ 5 ผลการทดสอบ triaxial test	
5.1 บทนำ	5-1
5.2 การทดสอบ isotropic consolidation	5-1
5.2.1 คุณสมบัติด้าน consolidation	5-1
5.2.2 การเคลื่อนตัวแบบ anisotropic ระหว่างการทดสอบ isotropic consolidation	5-4
5.2.3 ค่า bulk modulus ระหว่างการทดสอบ isotropic consolidation	5-8
5.3 ลักษณะของ small-strain stiffness	5-10
5.3.1 Small-strain shear modulus จาก bender element test	5-11
5.3.2 Small-strain Young's modulus จาก triaxial test	5-12
5.3.3 พฤติกรรม anisotropy ของ small-strain stiffness	5-13
5.3.4 การวิเคราะห์หาค่า cross-anisotropic elastic parameters	5-14
5.3.5 การประยุกต์ใช้ cross-anisotropic elastic parameter	5-16
5.4 พฤติกรรมความเค้น-ความเครียดที่ความเครียดกว้าง	5-22
5.4.1 Non-linearity ในสภาวะไม่ระบายน้ำและระบายน้ำ	5-22
5.4.2 พฤติกรรม anisotropy ของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด	5-22
เอกสารอ้างอิง	R-1