

ส่วนที่ 2 เนื้อหาโครงการ

บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพดินได้มีการนำเอาเสาเข็มดินซีเมนต์มาใช้งานอย่างกว้างขวาง แต่การก่อสร้างจะออกแบบเพื่อรับแรงทางแนวดิ่งเท่านั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะเพิ่มความสามารถในการรับแรงทางด้านข้างแบบเข้าไปเข้ามาโดยการนำเอาวัสดุประเภทต่างๆที่มีความแข็งแรงสูง มาเสริมเป็นแกนกลางตามความลึกของเสาเข็มดินซีเมนต์

เสาเข็มดินซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 8 ต้น แบ่งเป็นเสาเข็มดินซีเมนต์ (DCM Column) จำนวน 2 ต้น และเสาเข็มดินซีเมนต์เสริมแกน (SDCM Column) จำนวน 6 ต้น ก่อสร้างอย่างละ 2 ต้น ตามประเภทของแกนโดยจะเสริมแกนด้วยเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง, เหล็ก H-Beam และท่อเหล็กกลม ความยาวของวัสดุเสริมแกนที่ใช้จะสั้นกว่าเสาเข็มดินซีเมนต์อยู่ประมาณ 15 % เสาเข็มดินซีเมนต์ทั้งหมดจะฝังอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนตลอดช่วงความยาว และมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งและวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบ การทดสอบจะใช้ตามมาตรฐาน ASTM D3966

จากการทดสอบพบว่า เสาเข็มดินซีเมนต์เสริมแกนที่เสริมแกนเหล็ก H-Beam สามารถรับแรงกระทำด้านข้างแบบเข้าไปเข้าได้ประมาณ 3-4 เท่า และการเคลื่อนตัวด้านข้างได้ประมาณ 6-7 เท่าของเสาเข็มดินซีเมนต์ การเปรียบเทียบแรงต้านทานแรงด้านข้าง เสาเข็มดินซีเมนต์เสริมแกนที่เสริมแกนเหล็ก H-Beam มีอัตราการเสียกำลังน้อยที่สุด ลักษณะการแอ่นตัวในแนวดิ่งของเสาเข็มดินซีเมนต์ และเสาเข็มดินซีเมนต์เสริมแกนทุกต้น จะเป็นแบบเสาเข็มยาวหัวอิสระ ส่วนลักษณะการวิบัติของเสาเข็มดินซีเมนต์และเสาเข็มดินซีเมนต์เสริมแกนจะอยู่ต่ำกว่าระดับบ่อชุดประมาณ 0.40-0.50 เมตร แล้วแต่ประเภทแกนที่เสริมซึ่งมากกว่าทฤษฎีประมาณ 10% งานวิจัยนี้จึงบอกได้ว่าเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนประเภทต่าง ๆ สามารถเพิ่มการรับแรงกำลังทางด้านข้างแบบเข้าไปเข้ามา เพิ่มการต้านทานการเคลื่อนตัวด้านข้าง มีการกระจายพลังงานได้ดีขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการพัฒนาและประยุกต์ใช้เสาเข็มดินซีเมนต์เสริมแกนต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ เสาเข็ม แรงกระทำเข้าไปเข้ามา การเคลื่อนตัว การกระจายพลังงาน

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ ทดสอบต่างๆ และงบประมาณประจำปี 2554 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ใช้ สำหรับเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานวิจัยในโครงการโดยตลอดจนโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดีและขอขอบพระคุณบริษัท ไทยเทนน็อกซ์ จำกัด และบริษัท ปิ่นจันทไทย จำกัด เป็นอย่างยิ่งที่ให้การสนับสนุนในด้านสถานที่ วัสดุ เครื่องจักร แรงงาน และข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ได้ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆอย่างมากมายหลายด้าน ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้ เหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป โดยขอยกส่วนดีของโครงการนี้ทั้งหมด ให้แก่ผู้ที่มีพระคุณทุกท่านที่ช่วยส่งเสริมให้งานวิจัยนี้ สำเร็จขึ้นมาได้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การปรับปรุงคุณภาพดินชั้นลึก (Soft Ground with Deep Mixing Method)	4
2.2 กลไกการปรับปรุงคุณสมบัติของดินโดยผสมซีเมนต์	5
2.3 การออกแบบและการก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์	6
2.4 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของ Cement Column	9
2.5 Stiffened Deep Cement Mixed Column (SDCM) Method	10
2.6 การออกแบบ Stiffened Deep Cement Mixed Column (SDCM Column	11
2.7 การก่อสร้าง Stiffness Deep Cement Mixed Column (SDCM Column)	11
2.8 การวิเคราะห์หาค่าการรับแรงทางด้านข้างของเสาเข็มคอนกรีตในดินเหนียว (Laterally Load Concrete Pile in Cohesive Soil)	12
2.9 แรงกระทำแบบซ้ำไปซ้ำมา	23
2.10งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	31
3.1 ออกแบบวิธีการทดสอบ ศึกษาเครื่องมือและอุปกรณ์	31

3.2 จัดหาและสำรวจพื้นที่	32
3.3 เจาะสำรวจ เก็บตัวอย่างดิน และหาคุณสมบัติพื้นฐานของดิน	32
3.4 ทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินในห้องปฏิบัติการ	34
3.5 การออกแบบส่วนผสมของ SDCM Column	35
3.6 การก่อสร้าง SDCM Column ด้วยระบบเปียกความดันต่ำ	35
3.7 การเตรียมพื้นที่และเครื่องมือ	39
3.8 การทดสอบ SDCM Column การรับแรงกระทำแบบซ้ำไปซ้ำมา (Cyclic Load)	50
3.9 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ	54
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	55
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินในห้องปฏิบัติการ	55
4.2 ผลการเจาะแกนเสาเข็มดินซีเมนต์	56
4.3 ผลการทดสอบเสาเข็มดินซีเมนต์รับแรงด้านข้างแบบซ้ำไปซ้ำมาในสนาม	59
4.4 การทำนายการรับน้ำหนักประลัยในแนวราบตามวิธีของ Broms	67
4.5 ค่า Rigidity attenuation	69
4.6 การกระจายพลังงาน (Energy dissipation capacity)	70
4.7 ลักษณะการวิบัติของ DCM และ SDCM	71
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	77
5.1 สรุป	77
5.2 ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก ก	
การคำนวณกำลังรับน้ำหนักประลัยทางด้านข้างตามทฤษฎีของ Broms	81
ภาคผนวก ข	
ผลการเจาะสำรวจทางปฐพีกลศาสตร์	96

ภาคผนวก ค	
รายการคำนวณการออกแบบปริมาณส่วนผสมดินซีเมนต์	105
ภาคผนวก ง	
ผลการทดสอบ Unconfined Compression Test ของเสาเข็มดินซีเมนต์	108
ภาคผนวก จ	
ผลการรับกำลังทางด้นข้างสูงสุดของเสาเข็มดินซีเมนต์	111
ภาคผนวก ฉ	
ค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้นข้างของเสาเข็มดินซีเมนต์	114
ภาคผนวก ช	
ค่า Rigidity attenuation	162
ภาคผนวก ซ	
ค่าการกระจายพลังงาน(Energy dissipation capacity)	165
ภาคผนวก ฌ	
ภาพบรรยายประกอบขั้นตอนการทำวิจัย	168

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (Lin et al., 1982)	23
2.2	ค่า α	24
2.3	ค่า $RH = H_{min}/H_{max}$	25
2.4	ค่า Interface shear strength ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 10%, 15% และ 20%	26
2.5	แสดงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ	29
2.6	แสดงรายละเอียดของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ	29
2.7	แสดงผลการทดสอบในสนามของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก	30
3.1	ก่อสร้าง DCM,SDCM Column ในแปลงทดสอบ	35
4.1	ผลการทดสอบกำลังต้านทานของเสาเข็มดินซีเมนต์ (C1)	57
4.2	ผลการทดสอบกำลังต้านทานของเสาเข็มดินซีเมนต์ (C4)	57
4.3	ผลการทดสอบกำลังต้านทานของเสาเข็มดินซีเมนต์ (C5)	58
4.4	ผลการทดสอบกำลังต้านทานของเสาเข็มดินซีเมนต์ (C8)	58
4.5	การทดสอบ ค่าแรงสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนตัว DCM,SDCM Column ในสนาม	59
4.6	อิทธิพลของขนาดแกนเสาเข็มต่อกำลังรับแรงดัดข้าง	59
4.7	การทำนายการรับน้ำหนักประลัยในแนวราบตามวิธีของ Brom ตามสมมติฐานที่ 1	68
4.8	การทำนายการรับน้ำหนักประลัยในแนวราบตามวิธีของ Brom ตามสมมติฐานที่ 2	68
4.9	การทำนายการรับน้ำหนักประลัยในแนวราบตามวิธีของ Brom ตามสมมติฐานที่ 3	69

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	รูปแบบของเสาเข็มดินซีเมนต์ออกแบบตามความหนาของชั้นดินอ่อน 7
2.2	กระบวนการเจาะ Cement Column วิธี Low Pressure Mechanical Mixing 9
2.3	Stiffened Deep Cement Mixed Column (SDCM) ดัดแปลงจาก Wu,et al 10
2.4	ขั้นตอนการก่อสร้าง SDCM Column 12
2.5	Concrete – Cored DCM Pile 12
2.6	ลักษณะการแอ่นตัวของเสาเข็มและการกระจายความดันของดินทางด้านข้าง 14
2.7	ลักษณะการแอ่นตัวด้านข้าง แรงปฏิกิริยาของดิน และการกระจายโมเมนต์ดัดของเสาเข็มสั้นหัวอิสระ 15
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานประลัยกับความยาวจมลึกของเสาเข็มสั้น 15
2.9	ลักษณะการแอ่นตัวด้านข้าง แรงปฏิกิริยาของดิน และการกระจายโมเมนต์ดัดของเสาเข็มยาวหัวอิสระ 16
2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานด้านข้างประลัยกับโมเมนต์รากของหน้าตัดเสาเข็ม 16
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวจมลึกและระยะแอ่นตัวด้านข้างที่ผิวดินของเสาเข็ม 17
2.12	พฤติกรรมของเสาเข็มตามสมมุติฐานของ (Winkler, 1867) Winkler’s model (1867) 19
2.13	ค่าสัมประสิทธิ์ A_y , B_y , A_m และ B_m กับความลึก Z 21
2.14	ค่าสัมประสิทธิ์ A_x , B_x , A'_m และ A'_m กับความลึก Z 23
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined compressive strength กับการเคลื่อนตัว 26
2.16	การทดสอบ Direct Shear Test ระหว่าง Soil Cement กับ Mortar 26
2.17	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวนอนที่ปริมาณปูนซีเมนต์กับ 10 % 27
2.18	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวนอนที่ปริมาณปูนซีเมนต์กับ 15 % 27
2.19	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับการเคลื่อนตัวในแนวนอนที่ปริมาณปูนซีเมนต์กับ 20 % 27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.20	แบบแปลนการทดสอบ Reinforced DCM retaining wall	28
2.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load-displacements	28
3.1	แผนที่และสถานที่ตั้งหน่วยงานเพื่อทดสอบงานวิจัย	32
3.2	การเจาะสำรวจดินและเก็บตัวอย่างดิน	34
3.3	แปลงการก่อสร้าง DCM,SDCM Column	36
3.4	การก่อสร้าง DCM,SDCM Column ในแปลงทดสอบ	36
3.5	เหล็กกลม ขนาด ϕ 4 นิ้วหนา 4.0 มิลลิเมตร ยาว 6 เมตร	37
3.6	เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปตัว I ขนาด 0.18×0.18 ยาว 6 เมตร	37
3.7	เหล็ก H-Beam ขนาด $0.175 \times 0.175 \times 7.5 \times 11$ ยาว 6 เมตร	37
3.8	ตำแหน่งการเจาะเก็บตัวอย่าง	38
3.9	LVDT พร้อมอุปกรณ์เสริมเพื่อการติดตั้ง	39
3.10	เซ็นเซอร์ ที่ใช้ในการทดสอบ	40
3.11	ดิจิตอลอินดิเคเตอร์	40
3.12	อิเล็กตริกเคเบิล	41
3.13	Inclinometer Casing ที่ใช้ในการทดสอบ	42
3.14	หลักการของเครื่องมือ Inclinometer	43
3.15	ลักษณะการวาง Reference Beam	43
3.16	Hydraulic Jack ที่ใช้ในการทดสอบ	44
3.17	Tools and Pump ที่ใช้ในการทดสอบ	44
3.18	Load Cell ที่ใช้ในการทดสอบ	45
3.19	Data Logger ที่ใช้ในการทดสอบ	45
3.20	การขุดเปิดหัวเสาเข็มและเตรียมพื้นที่	46
3.21	การฝังท่อ Inclinometer Casing	47
3.22	การหล่อคอนกรีตครอบหัวเสาเข็ม	47
3.23	ลักษณะของ Reaction Wall ที่ใช้ในการทดสอบ	48
3.24	ลักษณะ Bearing Plate ที่จะกระจายแรงไปยัง Reaction Wall	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.25	ลักษณะ Struts ที่ใช้ต่อเชื่อมอุปกรณ์และถ่ายแรง	49
3.26	ยึดหัวเสาเข็มเข้ากับอุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ	49
3.27	ระบบแรงปฏิกิริยา DEADMAN ตามมาตรฐาน ASTM D 3966	50
3.28	ระบบการให้แรงต่อเสาเข็มดินซีเมนต์	51
3.29	ระบบการให้แรงต่อเสาเข็มดินซีเมนต์เสริมแกนคอนกรีตอัดแรง	52
3.30	ระบบการให้แรงต่อเสาเข็มดินซีเมนต์เสริมแกนท่อเหล็กกลม	53
3.31	ระบบการให้แรงต่อเสาเข็มดินซีเมนต์เสริมแกน H - Beam	54
4.1	การฝังตัวของเสาเข็มในชั้นดินที่ระดับต่างๆ	56
4.2	ค่าปรับแก้กำลังต้านทานแรงอัดของแท่งทดสอบ	57
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำเฉลี่ยแต่ละรอบกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ DCM,SDCM ทั้ง 8 หน้าตัด	60
4.4	การวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบด้วย Digitil Inclinator ของเสาเข็มดินซีเมนต์ C1	60
4.5	การวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบด้วย Digitil Inclinator ของเสาเข็มดินซีเมนต์ C4	61
4.6	การวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบด้วย Digitil Inclinator ของเสาเข็มดินซีเมนต์ C5	61
4.7	การวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบด้วย Digitil Inclinator ของเสาเข็มดินซีเมนต์ C8	62
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ไม่มีการเสริมแกน (C1)	64
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ไม่มีการเสริมแกน (C2)	64
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (C3)	65
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ(C4)	65
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนเหล็ก H-BEAM (C5)	66
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนเหล็ก H-BEAM (C6)	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนท่อเหล็กกลม (C7)	67
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระทำกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนท่อเหล็กกลม (C8)	67
4.16	กราฟแสดงค่า The rigidity attenuation SDCM Column ทั้ง 8 หน้าตัด	71
4.17	กราฟแสดงค่า Energy dissipation capacity SDCM Column ทั้ง 8 หน้าตัด	72
4.18	ร่องรอยการวิบัติของเสาเข็มดินซีเมนต์ (C1)	73
4.19	ร่องรอยการวิบัติของเสาเข็มดินซีเมนต์ (C2)	73
4.20	ร่องรอยการวิบัติของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ(C3)	74
4.21	ร่องรอยการวิบัติของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ(C4)	74
4.22	ร่องรอยการวิบัติของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกน H Beam (C5)	75
4.23	ร่องรอยการวิบัติของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกน H Beam (C6)	75
4.24	ร่องรอยการวิบัติของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนท่อเหล็กกลม (C7)	76
4.25	ร่องรอยการวิบัติของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เสริมแกนท่อเหล็กกลม (C8)	76