บทที่ 3

การทดสอบการวิจัย

3.1 การเจาะสำรวจชั้นดินและการทดสอบหาคุณสมบัติของชั้นดิน

งานวิจัยนี้ได้ใช้ผลจากรายงานการเจาะสำรวจชั้นดินของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โครงการสำรวจป้องกันน้ำท่วมสมุทรปราการฝั่งตะวันออก ซึ่งเจาะสำรวจโดย บริษัท กรุงเทพเอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด (ตุลาคม 2532) จำนวน 13 หลุม โดยใช้ผลจากหลุมเจาะที่ D-44 ถึง D-56 แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งรายละเอียดของการทดสอบประกอบด้วย การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของดินโดยทั่วไป, การทดสอบ Consolidation และการทดสอบ Field Vane Shear โดยมีรายละเอียดการเก็บตัวอย่างและการทดสอบดังต่อไปนี้

3.1.1 การเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Soil Sample)

ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) ถูกเก็บโดยใช้กระบอกบาง (Thin-Walled Shell by Tube) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 75 ซม. กดลงไปในดินประมาณ 50 ซม. แล้วบิดหมุนก้านเจาะตัดดินกันกระบอกให้ขาดจากกัน การเก็บตัวอย่างดินคงสภาพได้ทำการเก็บใน Very Soft to Medium Clay ทุก ๆ ระยะ 2-3 เมตร เมื่อได้ตัวอย่างดินขึ้นมาและทำความสะอาดกระบอกเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว จึงใช้เทียนไข ซึ่งต้มจนละลายแล้วเคลือบปิดดินทั้งสองด้าน เพื่อป้องกันน้ำในดินระเหยหนี

3.1.2 การทดสอบ Field Vane Shear

การทดสอบ Vane Shear เป็นการทดสอบเพื่อวัดกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินอ่อนในสนาม ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง ตำแหน่งที่ทำการทดสอบแสดงในรูปที่ 3.1 การทดสอบทำโดยใช้ Geonor Vane Borer ซึ่งมีใบมีด 4 แฉก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 ซม. สูง 11 ซม. ใบมีดจะถูกเก็บไว้ในปลอกป้องกันความเสียหาย เมื่อกดปลอกพร้อมใบมีดถึงระดับที่ต้องการก็กดใบมีดให้โผล่ออกจากปลายปลอกประมาณ 30 ซม. แล้วหมุนใบมีดด้วย Torque Wrench จนกระทั่งดินวิบัติ ซึ่งดูได้จาก Dial Gage ที่ติดกับ Proving Ring จะอ่านได้ค่าสูงสุด หลังจากทดสอบหา Undisturbed Shear Strength เสร็จแล้วก็ได้ทดสอบหา Remoulded Shear Strength ที่ความลึกเดียวกัน โดยทำการหมุนใบ Vane 25 รอบเพื่อกวนดิน แล้วทำการทดสอบแบบเดียวกับที่ทดสอบหา Undisturbed Shear Strength จากค่ากำลังรับแรงเฉือนทั้งสองทำให้เราสามารถหาค่า Sensitivity ของดินเหนียวอ่อนได้

3.1.3 การทดสอบคุณสมบัติดัชนีโดยทั่วไป (General Index Properties Tests)

ได้แก่การทดสอบประเภทของดินรวมถึง Moisture Content, Density, Specific Gravity และ Alterberg Limits Test โดยใช้ขั้นตอนต่าง ๆ ตาม ASTM (1972) และ LAMBE (1965)

3.1.4 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

การทดสอบ Standard Consolidation โดยใช้ Lever Arm Type Consolidation Meter ในทุกการทดสอบ จะใช้การเพิ่มน้ำหนักทีละเท่า (Load Increment Ratio = 1.0) โดยใช้ช่วงเวลาการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 24 ชั่วโมง (Load Increment Duration = 24 ซม.) ผลการทดสอบใช้หาค่า Maximum Past Pressure σvm, Initial Void Ration e_0 , Coefficient of Consolidation Cv, และ Coefficient of Compressibility Cc การหาค่า Coefficient of Compressibility จะใช้วิธีกรณฑ์ที่สองของเวลา (The Square Root of Time Fitting Method) TAYLOR (1948)

3.2 การทดสอบวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็มหินและก่อสร้างคันดิน

3.2.1 การทดสอบการวิเคราะห์ Grain Size ของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็มหิน

วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเสาเข็มหิน จะวิเคราะห์ขนาดของวัสดุโดยวิธี Sieve Analysis ขั้นตอนการทดสอบเป็นไปตาม ASTM (1972)

3.2.2 การทดสอบ Direct Shear Tests ของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างคันดินถม

การทดสอบจะใช้ Strain Controlled Direct Shear Machine เฉือนดินเพื่อหาค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angles) โดยมีค่า Strain Rate = 0.024 in/min.

3.3 รายละเอียดสำหรับการทำเสาเข็มหิน (Stone Column)

3.3.1 ผังแสดงการติดตั้งเสาเข็มหิน

ผังการจัดเตรียมเสาเข็มแสดงดังรูปที่ 3.2, 3.3 และ 3.4 ทำการติดตั้งเสาเข็มหินโดยใช้เครื่องเขย่าพร้อมกดอัดหินย่อยหรือกรวด ให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 เมตร ความยาว 11.5 เมตร ก่อนการติดตั้งจะต้องทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งของเสาเข็มหินแต่ละต้นให้ชัดเจน โดยการตอกหมุดไม้ในรูปแบบสี่เหลี่ยมด้านขนาน กว้าง 2.0 เมตร ยาว 2.5 เมตร

3.3.2 วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็มหิน

วัสดุที่ใช้เป็นกรวดพวก Whittish-Gray Crushed Limestones จากการทดสอบโดยวิธี Seive Analysis ได้ขนาดคละดังแสดงใน ตารางที่ 3.1

3.4 การจัดเตรียมคันดินก่อนและหลังการติดตั้งเสาเข็มหิน

ในการจัดเตรียมคันดินก่อนการติดตั้งเสาเข็มหิน จะทำการถมดินรองพื้น (Back Fill) จนถึงระดับ +1.50 เมตร เพื่อให้เครื่องจักรที่ใช้ในการติดตั้งเสาเข็มหินและรถตักหินสำหรับการก่อสร้าง สามารถเดินทางเข้าไปทำงานได้ หลังจากนั้นจึงทำการติดตั้งเสาเข็มหิน เมื่อติดตั้งเสาเข็มหินเสร็จ จึงเริ่มทำการถมดินคันทางหนา 60 ซม. (ชั้นละ 20 ซม.), ชั้นรองพื้นทางหนา 20 ซม. และผิวทางลูกรังหนา 20 ซม. ตามลำดับ จนถึงระดับ +2.50 เมตร ตารางที่ 3.2 แสดงค่าระดับดินเดิมเฉลี่ยของแนวคันดินที่ระยะทางต่าง ๆ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยของระดับดินเดิมของระยะทางทั้งหมด มีค่าเท่ากับ +0.07 เมตร

3.5 เครื่องมือและวิธีการก่อสร้าง

เครื่องมือในการก่อสร้างเสาเข็มหินจะประกอบด้วยเครื่องเจาะ และหัวชุดเจาะ (Vibrator) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 30 เซนติเมตร โดยเครื่องเจาะจะทำหน้าที่บังคับหัวชุดเจาะให้สั่นและหมุน พร้อมกับฉีดน้ำออกโดยรอบ การติดตั้งเสาเข็มหินจะใช้วิธีการแทนที่ (Vibro Replacement) โดยหัวชุดเจาะจะจมลงไปในดินด้วยน้ำหนักตัวมันเอง จากระดับความลึก +1.50 เมตร โดยมีน้ำและแรงสั่นสะเทือนเป็นตัวช่วย หลังจากถึงระดับความลึก -10.0 เมตร แล้วก็จะค่อย ๆ ถอนหัวชุดเจาะขึ้นมา ซึ่งจะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมเจาะใหญ่และกว้างกว่าขนาดของหัวชุดเจาะ จากนั้นจึงเติมหินย่อยผ่านก้านหัวชุดเจาะไปยังปลายหัวชุดเจาะ ยกหัวชุดเจาะขึ้นลงเป็นจังหวะ เพื่อเขย่าหินให้อัดแน่นและกระจายตัวให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตามแบบ

ในการเติมหินย่อยผ่านก้านหัวชุดเจาะนั้นจะใช้รถตักในการตักหินย่อยและนับจำนวนบุ้งกี๋ (Bucket) ที่เติมใส่ ความจุของบุ้งกี๋จะมีความจุเท่ากับ 0.7 ลบ.ม./บุ้งกี๋ โดยแต่ละหลุมของเสาเข็มหินนั้นซึ่งมีความยาวของเสาเข็มหิน เท่ากับ 11.50 เมตร จะใช้จำนวนบุ้งกี๋ประมาณ 11-17 บุ้งกี๋ หรือเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเสาเข็มหินประมาณ 0.92-1.15 เมตร ซึ่งเป็นจำนวนที่ค่อนข้างจะต่างกันมาก ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเกิดเนื่องจากการพังทลายของหลุมเจาะในระหว่างการติดตั้งเสาเข็มหิน ทำให้เสาเข็มหินมีขนาดและเส้นผ่าศูนย์กลางเปลี่ยนไป

การเขย่าและบดอัดหินแต่ละชั้นจะใช้กระแสไฟของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ไม่น้อยกว่า 40 แอมแปร์ และไม่มากกว่า 65 แอมแปร์ เมื่อเทียบกับขณะที่ไม่มีการเขย่าหิน รูปที่ 3.5 แสดงการบันทึกการติดตั้งเสาเข็มหิน ซึ่งกราฟอันแรกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกกับเวลาแนวนอนแสดงความลึก 5 เมตร/ช่อง แนวดิ่งแสดงเวลา 2 นาที/ช่อง ส่วนกราฟอันที่สอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ กับเวลาแนวนอนแสดงกระแสไฟฟ้า 50 Amp/ช่อง แนวดิ่งแสดงเวลา 2 นาที/ช่อง และรูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการติดตั้งเสาเข็มหิน

3.6 ปัญหาและอุปสรรคในการก่อสร้าง

ในการก่อสร้างคันดินกั้นน้ำโดยใช้เสาเข็มหินนั้น ในชั้นแรกจะต้องทำการถมคันดิน (Plat Form) จนถึงระดับ +1.50 เมตร เพื่อให้เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างเสาเข็มหินซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 40 ตันและ รถบรรทุกต่าง ๆ สามารถเข้าไปทำงานได้ ซึ่งน้ำหนักจากการถมคันดินจนถึงระดับ +1.50 เมตร และน้ำหนักจากเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างเสาเข็มหินจะทำให้ดินจมลงไปในดินเหนียวอ่อนและเกิดการ Flow ออกทางด้านข้าง รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบ Typical Section โดยทั่วไปของคันดินถมและ Plat Form หลังจากถมคันดินจนถึงระดับ +1.50 เมตรแล้ว จึงจะทำการก่อสร้างเข็มหินจนถึงระดับความลึก -10.0 เมตร ต่อไป

3.7 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบในระหว่างการก่อสร้างคันดิน

โครงการก่อสร้างคันดินกั้นน้ำบริเวณสมุทรปราการฝั่งตะวันออก ในตอนต้นได้กำหนดให้มีการติดตั้ง Settlement Plate บริเวณด้านข้างคันทางทั้ง 2 ด้าน ทุก 1 กม. แต่เนื่องจากการทรุดตัวจะเกิดสูงสุดที่กึ่งกลางคันดิน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 รวมทั้งการรบกวนจากการขนส่งมวลดิน ประกอบกับต้องถ่ายระดับเป็นระยะทางไกล ทำให้ข้อมูลที่วัดได้ให้ค่าน้อยมากและไม่น่าเชื่อถือ

3.8 การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มหินและการวัดการทรุดตัว

3.8.1 การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มหิน

การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มหิน เพื่อให้ทราบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกการทรุดตัวและกำลังรับแรงเฉือนของเสาเข็มหิน ได้มีการทดสอบโดยการรับน้ำหนักของเสาเข็มหินจำนวน 48 ต้น โดยทำการทดสอบที่ระดับ +1.50 เมตร ขั้นตอนการทดสอบทำโดยการเปิดหน้าดินบริเวณเหนือเสาเข็มหินออกให้ถึงบริเวณที่เป็นเนื้อเสาเข็มหินที่ดี ปรับพื้นที่ให้ได้ระดับ หลังจากนั้นจึงวางแผ่นเหล็ก ϕ 1.00 เมตร เหนือเสาเข็มหินทำการทดสอบโดยใช้น้ำหนักบรรทุก (ออกแบบ) 6 ตัน ซึ่งเป็นน้ำหนักที่คำนวณมาจากน้ำหนักคันดินเหนือเสาเข็มหินที่ได้มีการออกแบบไว้

ขั้นตอนการเพิ่มน้ำหนัก มีวิธีการเพิ่มน้ำหนักเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

Cycle	Step	% of Design Load	Load (Tonnes)	Condition
I	1	25	1.5	Loading
	2	50	3.0	Loading
	3	75	4.5	Loading
	4	100	6.0	Loading
	5	75	4.5	Rebound
	6	50	3.0	Rebound
	7	25	1.5	Rebound
	8	0	0	Rebound
II	1	25	1.5	Loading
	2	50	3.5	Loading
	3	75	4.5	Loading

	4	100	6.0	Loading
	5	75	4.5	Rebound
	6	50	3.0	Rebound
	7	25	1.5	Rebound
	8	0	0	Rebound

ในการเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งที่ไม่ใช่น้ำหนัก 100% ของน้ำหนักออกแบบ จะทำการรักษาน้ำหนักไว้จนกระทั่งอัตราการทรุดตัวน้อยกว่า 0.05 มม/ 6 นาที (0.5 มม/ชั่วโมง) อย่างน้อย 15 นาที ส่วนการเพิ่มน้ำหนักที่ใช้ออกแบบจะทำการรักษาน้ำหนักไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง

3.8.2 การวัดการทรุดตัว

ขณะทำการทดสอบการรับน้ำหนักได้ทำการวัดค่าการทรุดตัวจากการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยใช้ Dial Gauges ที่อ่านค่าละเอียดถึง 0.01 มม จำนวนสองตัวแล้วหาค่าเฉลี่ย โดยจะทำการอ่านค่าที่เวลา 0, 2, 4, 6, 12, 18, 24, 30 นาที และทุก ๆ 6 นาทีจนกว่าจะสิ้นสุดการทดสอบ ตัวอย่างค่าที่ได้จากการทดสอบจะแสดงอยู่ในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load Vs Settlement และ Time Vs Settlement ของเสาเข็มต้นที่ LT6 ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ รูปที่ 3.10 ตามลำดับ ส่วนค่าการทรุดตัวจากการทดสอบที่ตำแหน่งของคันดินต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.3

จากรูปความสัมพันธ์ของ Load Settlement ของการทดสอบเสาเข็มในรูปที่ 3.9 (LT6) พบว่าค่าอัตราส่วนของ Permanent Settlement กับ Total Settlement จะมีค่าประมาณ [(1.8/2.8)x100 = 64.28%] ซึ่งสูงมากหรือหากเฉลี่ยจากตารางที่ 3.3 จะได้ประมาณ 65.03% ซึ่งหากเทียบกับการทดสอบเสาเข็มทั่วไป AASHTO (1992) จะกำหนดให้อัตราส่วนของ Permanent Settlement กับ Total Settlement จะต้องไม่เกิน [(6/25) x 100 = 24%] ดังนั้นการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของ Stone Columns ในครั้งนี้น่าจะมีผลมาจากการกดน้ำหนักกระทำบนคันดินที่ระดับ +1.50 เมตร ซึ่งจะมีการถ่ายน้ำหนักลงบน Plat Form (ดินถมลูกรัง) การที่ชั้นดินไม่เกิดการ Rebound ก็เพราะไม่มีการบดอัดชั้นดิน Plate Form จึงทำให้ค่า Permanent

Settlement สูงมาก และน้ำหนักกดหรือน้ำหนักทดสอบจะถ่ายลงที่ Stone Column น้อยมาก เนื่องจากคันดินรับไว้ส่วนหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.11