

บทที่ 3

การศึกษาวิจัย

3.1 การศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ

3.1.1 การศึกษาค่า Plasticity ของส่วนผสมดินและปูนขาว

วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

- ก. ดินหนองงูเห่า ดินที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นดินที่เก็บจากบริเวณที่จะติดตั้งเสาเข็มปูนขาวตัวอย่างในสนาม ตัวอย่างดินเก็บจากความลึก 1.50-2.00 เมตรจากผิวดิน ในลักษณะของ disturbed sample หลังจากนั้นจะนำมาตากแห้ง ทุบด้วยช้อนยาง แล้วนำมาผ่านตะแกรงเบอร์ 40
- ข. ปูนขาว ใช้ปูนขาวซึ่งมีขายทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งเป็นปูนขาวชนิด High-calcium hydrated lime, $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- ค. น้ำ การทดลองนี้ใช้น้ำกลั่นในการทดลอง

ได้ผสมดินตัวอย่างด้วยปูนขาว 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักดินอบแห้ง แล้วเก็บไว้ในอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการจนอายุครบ 7 วัน หลังจากนั้นได้นำไปทดสอบหาค่า plastic limit และค่า liquid limit ตามวิธีของ ASTM D423-66 และ D424-59

เนื่องจากสภาพของดินหนองงูเห่าในสนามมีค่า water content สูงมาก (ประมาณ 100-150 เปอร์เซ็นต์) การเตรียมส่วนผสมดินและปูนขาวตัวอย่างในห้องปฏิบัติการให้ใกล้เคียงกับวิธีการติดตั้งเสาเข็มปูนขาวตัวอย่างในสนาม เพื่อทดสอบหาค่ากำลังรับแรงจึงเป็นเรื่องยุ่งยากมาก ดังนั้น ในการติดตั้งเสาเข็มปูนขาวตัวอย่างในสนามจึงจะใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ของปูนขาวที่ให้ค่า plasticity index ต่ำที่สุด

3.1.2 การศึกษาค่า Vertical permeability (k_v) ของเสาเข็มปูนขาวและ
ดินเดิม

การหาค่า Vertical permeability ของเสาเข็มปูนขาวและดินเดิม
หาโดยใช้ Consolidation test และใช้ Fixed-ring container

ตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่า Vertical permeability ของเสาเข็มปูนขาว
เป็นตัวอย่างที่ตัดจากเสาเข็มปูนขาวที่เตรียมไว้ในสนามอายุ 12 เดือน ความยาวของตัวอย่าง
ที่ตัดมาเท่ากับ 50 เซนติเมตร ในช่วงความลึก 1.50-2.00 เมตร ตัวอย่างจะถูกหุ้มด้วยซีฟิ่ง
paraffin โดยรอบ แล้วนำมายังห้องทดลอง

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่า Vertical permeability ของดินเดิม เก็บ
โดยใช้กระบอบกบวงเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 60 เซนติเมตร ตัวอย่างดินเป็นดินที่ความลึกใกล้เคียง
กับความลึกของตัวอย่างจากเสาเข็มปูนขาว คือความลึก 1.50-2.10 เมตร จากผิวดิน
กระบอบดินตัวอย่างจะถูกหุ้มด้วยซีฟิ่ง paraffin ทั้งสองด้าน แล้วนำมายังห้องทดลอง

ได้ทำการทดสอบตัวอย่างจากเสาเข็มปูนขาว 2 ตัวอย่าง และตัวอย่างจากดิน
เดิม 2 ตัวอย่าง ขนาดของตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่ใช้ในการทดสอบจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ
2.5 นิ้ว และมีส่วนสูงประมาณ 1 นิ้ว รายละเอียดขนาดตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3.1

ในการเตรียมตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง ได้นำดินส่วนที่เหลือจากการเตรียม
ตัวอย่าง ไปหาค่า water content และค่าความถ่วงจำเพาะ

ในการทดสอบตัวอย่างจากเสาเข็มปูนขาว น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบจะเริ่มจาก
น้ำหนัก 10 กิโลกรัมหรือประมาณ 0.32 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้น น้ำหนักที่ใช้ในการ
ทดสอบจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของน้ำหนักเดิม จนถึงน้ำหนัก 1280 กิโลกรัม หรือประมาณ 40.42
กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในการทดสอบตัวอย่างจากดินเดิม น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบจะเริ่ม
จากน้ำหนัก 8 กิโลกรัมหรือประมาณ 0.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้น น้ำหนักที่ใช้ใน

การทดสอบจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของน้ำหนักเดิมเช่นเดียวกับการทดสอบตัวอย่างจากเสาเข็ม
ปูนขาวจนถึงน้ำหนัก 256 กิโลกรัม หรือประมาณ 8 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ช่วงเวลาในการเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งจะเท่ากับ 24 ชั่วโมงเท่ากันทั้ง 4 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 ขนาดของตัวอย่างที่ทดสอบค่า Vertical permeability

ตัวอย่าง	เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว/ซม.)	ความสูง (นิ้ว/ซม.)
S ₁	2.50/6.35	1.00/2.54
S ₂	2.50/6.35	0.99/2.53
C ₁	2.49/6.32	1.01/2.56
C ₂	2.51/6.37	1.00/2.54

หมายเหตุ S ตัวอย่างจากดินเดิม
C ตัวอย่างจากเสาเข็มปูนขาว

3.2 การศึกษาทดลองในสนาม

บริเวณที่ติดตั้งเสาเข็มปูนขาวตัวอย่างเพื่อศึกษาริซึม คือ บริเวณหนองงูเห่าซึ่งอยู่ในเขต
อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ที่ตั้งของบริเวณหนองงูเห่าแสดงในรูปที่ 3.1 และตำแหน่ง
ทดสอบในบริเวณหนองงูเห่าแสดงในรูปที่ 3.2

3.2.1 สภาพชั้นดินบริเวณทดสอบ

ในบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่ติดตั้งเสาเข็มปูนขาว ได้มีการศึกษาสภาพของ
ชั้นดินไว้ โดยบริษัท KAMPSAX (1973) ราช ละเอียดสภาพของชั้นดินแสดงในรูปที่ 3.4

3.2.2 การติดตั้งเสาเข็มปูนขาวตัวอย่าง

ได้ติดตั้งเสาเข็มปูนขาวตัวอย่าง 16 ต้น คือเสาเข็มปูนขาวยาว 6.00 เมตร 6 ต้น และเสาเข็มปูนขาวยาว 8.00 เมตร และ 10.00 เมตร ความยาวละ 5 ต้น เสาเข็มปูนขาวแต่ละต้นจะห่างกัน 2.00 เมตร (จุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลาง) ระดับของหัวเสาเข็มปูนขาวจะอยู่ลึกจากผิวดิน 50 เซนติเมตร ผังการติดตั้งเสาเข็มปูนขาวแสดงในรูปที่ 3.3 เสาเข็ม ก, ข และ ค คือเสาเข็มปูนขาวยาว 6.00 เมตร, 8.00 เมตร และ 10.00 เมตร ตามลำดับ

3.2.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งเสาเข็มปูนขาว ประกอบด้วย

- ก. เครื่องเจาะดิน เป็นเครื่องเจาะที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาด 15 แรงม้า ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6
- ข. หัวเจาะ เป็นหัวเจาะรูปเครื่องตีไขขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูป 3.7
- ค. ก้านเจาะ เป็นก้านเจาะรูปทรงกลมกลวง มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก $1 \frac{3}{4}$ นิ้ว และมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน $1 \frac{1}{8}$ นิ้ว
- ง. สายยาง เป็นสายยางชนิดทนความดันสูง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว
- จ. ถังผสมปูนขาว เป็นถังเหล็กรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ดังแสดงในรูป 3.8
- ฉ. เครื่องสูบลม (pump) เป็นเครื่องสูบลมชนิดใช้ลูกสูบ (pistol type) ขนาด 5 แรงม้า ดังแสดงทางด้านขวามือของรูปที่ 3.9
- ช. มาตรวัดความดัน (pressure gage) เป็นมาตรวัดความดันที่มีความละเอียด 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังแสดงในรูป 3.10

ช. บรรทัดวัดปริมาณน้ำปูนขาว เป็นบรรทัดที่ปรับมาตราส่วน (calibrated) สำหรับวัดปริมาณน้ำปูนขาวในตัวผสมปูนขาวโดยเฉพาะมีความละเอียด 0.25 ลิตร

แผนผังแสดงการติดตั้งเครื่องมือขณะติดตั้งเสาเข็มปูนขาวแสดงในรูป 3.11

3.2.2.2 วัสดุที่ใช้ในการติดตั้งเสาเข็มปูนขาวตัวอย่าง ประกอบด้วย

ก. ปูนขาว ใช้ปูนขาวซึ่งมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด เป็นปูนขาวชนิด high calcium hydrated lime ก่อนใช้นำมาผ่านตะแกรงเบอร์ 40

ข. น้ำ เป็นน้ำประปาของการประปานครหลวง

ปูนขาวที่ใช้ผสมกับดินในการติดตั้งเสาเข็มปูนขาว จะอยู่ในลักษณะของเหลว ซึ่งประกอบด้วยปูนขาวและน้ำในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก การคำนวณปริมาณปูนขาวที่ใช้ผสมกับดินในเสาเข็มแสดงในภาคผนวก ก.

3.2.2.3 วิธีการติดตั้งเสาเข็มปูนขาวตัวอย่าง

ใช้เครื่องเจาะดินซึ่งมีหัวเจาะขนาด 20 เซนติเมตร เจาะลง在地จนถึงความลึกที่ต้องการ (6.50, 8.50, 10.50 เมตร สำหรับเสาเข็มปูนขาวยาว 6.00, 8.00 และ 10.00 เมตร ตามลำดับ) หลังจากนั้นจะถอนหัวเจาะขึ้นโดยหมุนหัวเจาะกลับทาง ในขณะที่ถอนหัวเจาะขึ้น ก็จะมีดินน้ำปูนขาวเข้าผสมกับดิน ผ่านรูเจาะเหนือใบมีดของหัวเจาะเล็กน้อย ปริมาณปูนขาวที่ผสมจะอยู่ในช่วง 6 ถึง 8 % ของน้ำหนักดินแห้ง รายละเอียดปริมาณปูนขาวที่ผสมแสดงในภาคผนวก ก.

จากรูปที่ 3.11 ในขณะที่ฉีดน้ำปูนขาวเข้าไปผสมกับดิน จะเปิดวาล์ว ก. และปรับวาล์ว ข. เพื่อปรับปริมาณน้ำปูนขาวที่ผ่านวาล์ว ก. เข้าสู่ก้านเจาะและฉีดออกจากหัวเจาะให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ และเมื่อหยุดผสมจะปิดวาล์ว ก. และเปิดวาล์ว ข. การผสมน้ำปูนขาวขณะถอนหัวเจาะขึ้น จะต้องหยุดทุก ๆ 0.50 เมตร เพื่อปรับหน้างานของเครื่องเจาะ ความดันที่ใช้ในการอัดน้ำปูนขาวเข้าผสมกับดิน วัดโดยมาตรวัดความดัน (pressure gage) ส่วนปริมาณน้ำปูนขาวที่อัดเข้าผสมกับดิน จะวัดโดย

บรรทัดปรับมาตราส่วนสำหรับวัดปริมาณน้ำปูนขาวในถังผสมปูนขาวโดยเฉพาะ

3.2.3 การทดสอบเสาะเข็มปูนขาวตัวอย่าง

ได้ทดสอบเพื่อหาแรงพิบัติและการทรุดตัวของเสาะเข็มปูนขาวตัวอย่าง 5 ชุด คือชุดที่มีอายุ 7 วัน, 1 เดือน, 3 เดือน, 6 เดือน และ 9 เดือน แต่ละชุดประกอบด้วยเสาะเข็มปูนขาว 3 ต้น คือเสาะเข็มปูนขาวยาว 6.00 เมตร, 8.00 เมตร และ 10 เมตร รวม 15 ต้น และได้ทดสอบดินเดิมโดยใช้แผ่นเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตรเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาะเข็มปูนขาวเป็นการเปรียบเทียบด้วย

รายละเอียดของการทดสอบแสดงในตารางที่ 3.2

การทดสอบครั้งที่	อายุของเสาะเข็มปูนขาว	เสาะเข็มปูนขาวที่ทดสอบ
1	7 วัน	ก1, ข1, ค1 และดินเดิม
2	1 เดือน	ก5, ข5, ค5
3	3 เดือน	ก3, ข3, ค3
4	6 เดือน	ก4, ข4, ค4
5	9 เดือน	ก2, ข2, ค2

ในการทดสอบเสาะเข็มปูนขาวได้ขุดดินบริเวณที่จะทดสอบเป็นร่องยาวประมาณ 2.00 เมตร กว้างประมาณ 0.75 เมตรและลึก 0.50 เมตร จากผิวดินจนถึงระดับของหัวเสาะเข็ม ในการทดสอบดินเดิมได้ขุดดินเป็นร่องยาวประมาณ 2.00 เมตร กว้างประมาณ 1.50 เมตรและลึกประมาณ 1.25 เมตร ซึ่งเป็นคอนบนของชั้นดินอ่อน

น้ำหนักซึ่งใช้ในการทดสอบใช้น้ำหนักจากแม่แรงไฮดรอลิค ซึ่งกดไว้ด้วยรถบรรทุกขนาด 10 ตัน ในระยะแรงของการทดสอบ คือการทดสอบเสาะเข็มปูนขาวอายุ 7 วัน และ 1 เดือน ใช้แม่แรง

ไฮดรอลิกขนาด 30 ตัน ซึ่งน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบจะเพิ่มขึ้นครั้งละ 250 กิโลกรัม ส่วนการทดสอบในระยะหลัง คือการทดสอบเสาเข็มปูนขาวที่มีอายุ 3 เดือน, 6 เดือน และ 9 เดือน และการทดสอบดินเดิม ใช้แม่แรงไฮดรอลิกขนาด 10 ตัน ซึ่งน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบจะเพิ่มขึ้นครั้งละ 130 กิโลกรัม การปรับมาตราส่วน (Calibrated) แม่แรงไฮดรอลิกทั้ง 2 ตัว แสดงในรูปที่ 3.12

การทดสอบได้ทำการทดสอบแบบ Quick Maintain Load Test น้ำหนักที่กดบนหัวเสาเข็มแต่ละครั้งจะคงที่อยู่นาน 2 นาทีครึ่ง หลังจากนั้น ก็จะเพิ่มน้ำหนักต่อไปจนถึงแรงพิบัติของเสาเข็มปูนขาว ในการควบคุมน้ำหนักที่กดบนหัวเสาเข็มให้คงที่ควบคุมโดยการปรับแม่แรงไฮดรอลิก

การวัดการทรุดตัวที่เกิดขึ้น วัดโดยใช้ Dial gage 3 ตัว ขาของ Dial gage จะติดกับแผ่นเหล็กรองหัวเสาเข็มปูนขาว การจดค่าการทรุดตัวจะจดทันทีที่เพิ่มน้ำหนักขึ้นและจดหลังจากที่คงน้ำหนักไว้นาน 2 นาทีครึ่ง

แผนผังแสดงการติดตั้ง เครื่องมือในการทดสอบแสดงในรูปที่ 3.13