บทที่3

วิธีการวิจัยและการทดสอบ

3.1 สถานที่ และวิธีเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างดินที่เก็บเป็นแบบคงสภาพ (Undisturbed Samples) ซึ่งเก็บโดยใช้กระบอกแบบบาง และเก็บจากหลุมเจาะบริเวณ สนามข้างหอประชุมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรูปตัดตามยาวของชั้นดิน (Soil Profile) แบ่งเป็น 2 ชั้นคือ ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ที่ระดับ –3.0~ -11.0 เมตร และเป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Clay)ที่ระดับ –11.0~ -14.0 เมตร หลังจากเก็บตัวอย่างขึ้นมาแล้ว จะทำการหุ้มด้วยกระดาษฟรอยด์ แล้วเคลือบทับด้วย wax อีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น

3.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Testing Program)

3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดิน (Physical Properties)

คุณสมบัติทางกายภาพที่ทดสอบมีดังนี้

1) ปริมาณน้ำในมวลดิน (Water Content)
2) ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity)
3) พิกัดความข้นเหลว (Consistency Limits) ประกอบด้วย
   - พิกัดความเหลว (Liquid Limit : L.L.)
   - พิกัดความเหนียวหนืด (Plastic Limit : P.L.)
   - ดัชนีพลาสติกซิตี้ (Plasticity Index : P.I.)
4) การอัดตัวคลายน้ำใน 1 มิติ (one – dimensional oedometer)
5) การทดสอบ Unconfined compression

3.2.2 การทดสอบ Triaxial

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบแบบ Consolidated Undrained Extension Test แบบ Isotropic ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

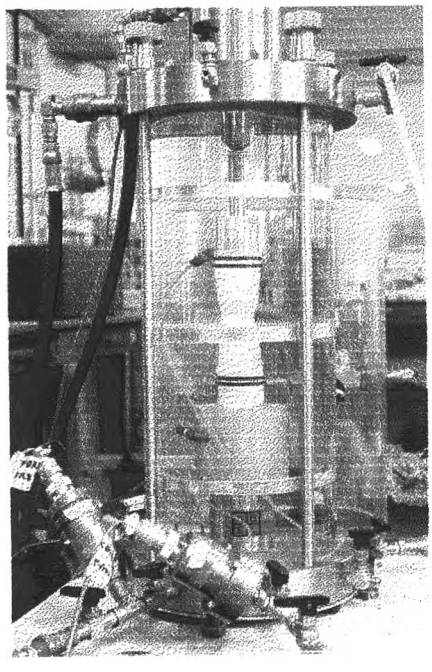
การทดสอบ Consolidated Undrained Extension Test นี้ใช้เครื่องมือ Triaxial ในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ (รูปที่ 3.1) ซึ่งเครื่องมือนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด (Compression test) เพื่อให้เครื่องมือดังกล่าวสามารถทดสอบความสามารถในการรับแรงดึง (Tension test) ได้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงในส่วนของข้อต่อของแท่งรับแรง (Piston rod) และส่วนหัว (Top cap) ของตัวอย่างดิน ในการศึกษานี้ได้ทดลองหาวิธีการเชื่อมต่อแบบต่างๆ เช่น การใช้แม่เหล็กไฟฟ้า การใช้ระบบกล และการใช้กาวในการเชื่อมต่อ พบว่า การใช้กาว Epoxy ที่มีระยะแข็งตัวประมาณ 1-2 ชั่วโมงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

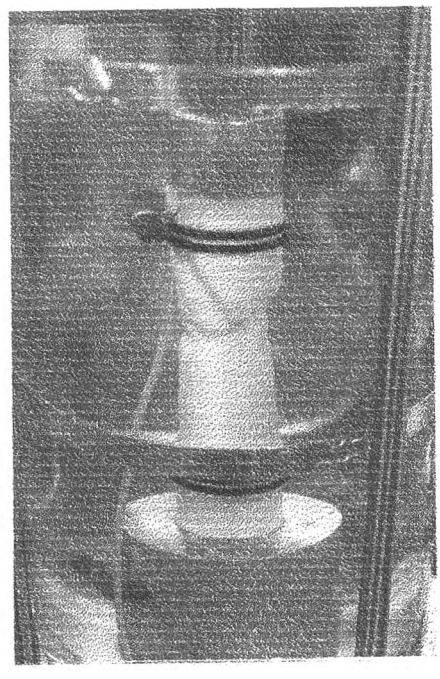
3.2.2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน (Preparation of Specimen)

1) นำตัวอย่างดินที่หุ้มด้วยกระดาษฟรอยด์ และ wax มาแกะออก จากนั้นนำมาตัดแต่งให้เป็นรูปทรงกระบอก (Trimming) ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร และสูง 70 มิลลิเมตร โดยประมาณ โดยใช้กระบอกแบบ (Miter box) และเลื่อยเส้นลวดเป็นอุปกรณ์ในการตัด
2) วางตัวอย่างลงบนฐาน Triaxial Cell โดยมี Porous Stone และกระดาษกรอง รองอยู่เพื่อความสะดวกในการระบายน้ำเข้าออก จากนั้นนำกระดาษกรองมาหุ้มรอบตัวอย่าง
3) ใส่ถุงยาง (Rubber membrane) ครอบตัวอย่างดินโดยใช้ membrane stretcher แล้วรัดด้วย O – Ring ให้ถุงยางติดแน่นกับฐาน โดยของเหลวภายนอกจะไม่สามารถซึมผ่านเข้าตัวอย่างดินได้
4) วางกระดาษกรอง , Top Porous Stone และ Top Cap ลงบนตัวอย่างตามลำดับ จากนั้นจึงดึงถุงยางให้คลุมอยู่ภายนอก Top Cap แล้วจึงรัดด้วย O – Ring ให้แน่น จากนั้นจึงผสม Epoxy ที่ Top Cap
5) นำครอบแก้วสวมลงบนเซลล์

3.2.2.3 การทำตัวอย่างดินให้อิ่มตัว (Saturation of Specimen)

1) ทำการดูดฟองอากาศที่อยู่ในตัวอย่างออกให้หมด เพื่อให้ตัวอย่างดินสามารถอิ่มตัว (Saturated) ได้เร็วขึ้น โดยการ Suction คือ ปรับ Pressure ให้อยู่ในระดับ – 70 kPa.
2) ปล่อยน้ำเข้าสู่ Cell เพิ่มความดันด้านข้าง (Confining Pressure) เล็กน้อย (ประมาณ 10 kPa.) จากนั้นเพิ่มความดันด้านข้าง (Confining Pressure) และความดันภายในตัว





รูปที่ 3.1 เครื่องมือ Triaxial ในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ และตัวอย่างที่วิบัติ

อย่างดิน (Back Pressure) ให้มีผลต่างเท่ากันตลอด ประมาณ 10 kPa. จนความดันด้านข้าง (Confining Pressure) มีค่าประมาณ 210 kPa.

3) ทิ้งตัวอย่างให้อิ่มตัว ประมาณ 12 ชั่วโมง

3.2.2.4 การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Stage)

หลังจากตัวอย่างอิ่มตัวแล้ว (B – value มีค่ามากกว่า 0.95) จะเริ่มขบวนการอัดตัวคายน้ำ โดยให้ค่า Effective Confining Pressure มีค่าแปรผันตามความลึกของตัวอย่างดินดังตารางที่ 3.1 แสดงค่า Effective Confining Pressure ของตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่างๆ

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า Effective Confining Pressure ของตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่างๆ

ตัวอย่าง	ความลึก (เมตร)	Effective Confining Stress σ'c(kPa.)
1	4.0	30
2	4.0	250
3	8.0	50
4	8.0	150
5	8.0	250
6	12.0	80
7	12.0	250

3.2.2.5 การดึงตัวอย่างดิน (Shearing State)

หลังจากขบวนการอัดตัวคายน้ำประมาณ 24 ชั่วโมง จึงเริ่มทำการดึงตัวอย่างดึงตัวอย่างดิน โดยใช้หลักการควบคุมหน่วยแรง (Stress Controlled) ในอัตรา –0.5 N / min และทดสอบโดยวิธี Consolidated Undrained Extension Test ซึ่งใช้วิธีการลดแรงในแนวดิ่ง (Unloading) มีรายละเอียดดังนี้

1) หลังจากเสร็จขบวนการอัดตัวคายน้ำแล้ว จะปิด Value ไม่ให้น้ำ Drained ออก
2) ทำการลดแรงในแนวดิ่งด้วยอัตราคงที่
3) บันทึกข้อมูลของแรง , ระยะยืด , pore pressure ทุกๆ 1 นาที จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการวิบัติ (Fail)

3.2.3 การคำนวณผลการทดลอง (Calculation)

3.2.3.1 การคำนวณหน่วยแรง (Stress)

$$\sigma_1 = \frac{F}{Ac} \qquad (3.1)$$

โดยที่ σ_1 คือ หน่วยแรงรวม (Total Stress) ในแนวดิ่ง(N/m^2)

F คือ แรงที่กระทำในแนวดิ่ง (N)

Ac คือ พื้นที่หน้าตัดที่ทำการปรับแก้แล้ว (m^2)

และ

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u \qquad (3.2)$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u \qquad (3.3)$$

โดยที่ σ'_1, σ'_3 คือ หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ในแนวดิ่งและด้านข้างตามลำดับ (N/m^2)

σ_1, σ_3 คือ หน่วยแรงรวม (Total Stress) ในแนวดิ่งและด้านข้างตามลำดับ (N/m^2)

u คือ ความดันน้ำในโพรง (Pore Pressure) (kPa)

3.2.3.2 การคำนวณ mean normal stress และ deviator stress

$$p^* = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3} \qquad (3.4)$$

$$p = \frac{\sigma_1 + 2\sigma_3}{3} \qquad (3.5)$$

$$q^* = \sigma_1 - \sigma_2 \qquad (3.6)$$

3.2.3.3 การคำนวณค่า Young's Modulus (E)

ค่า Young's Modulus จะคำนวณจากความชันของเส้นสัมผัส (Tangential Slope) ของกราฟระหว่าง Deviator Stress และ Axial Strain

3.2.4 การปรับแก้การทดลอง (Corrections in Triaxial Test)

3.2.4.1 การปรับแก้พื้นที่หน้าตัดตัวอย่าง (Correction for Cross-section Area)

$$A_c = \frac{(V_0 + \Delta V)}{(L_0 + \Delta L)} \tag{3.7}$$

โดยที่ A_c คือ พื้นที่หน้าตัดที่ปรับแก้แล้ว (cm^2)

L_0, V_0 คือ ความยาวและปริมาตรของตัวอย่างเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง

$\Delta L, \Delta V$ คือ ความยาวและปริมาตรของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นหลังขบวนการอัดตัวคายน้ำ

3.2.4.2 การปรับแก้ผลจากกระดาษกรอง (Correction for Filter Paper)

ในการทดสอบนี้ใช้กระดาษกรองของ Whatman # 54 ซึ่งมีสูตรการปรับแก้ดังนี้

$$\Delta F_{fp} = -K_{fp} \times P_{fp} \tag{3.8}$$

โดยที่ ΔF_{fp} คือ แรงที่เกิดจากผลของกระดาษกรอง (N)

K_{fp} คือ แรงต่อความยาวเส้นรอบรูปของกระดาษกรอง (ประมาณ 1.3-1.9 N/cmที่ % Strainเท่ากับ 3)

P_{fp} คือ เส้นรอบรูปของกระดาษกรอง (cm.)

การปรับแก้แรงเนื่องจากกระดาษกรองให้เริ่มต้นค่าจากศูนย์จนถึงค่ามากที่สุดเมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดเท่ากับ 3 และจะคงที่ (BISHOP และ HENKEL (1962))

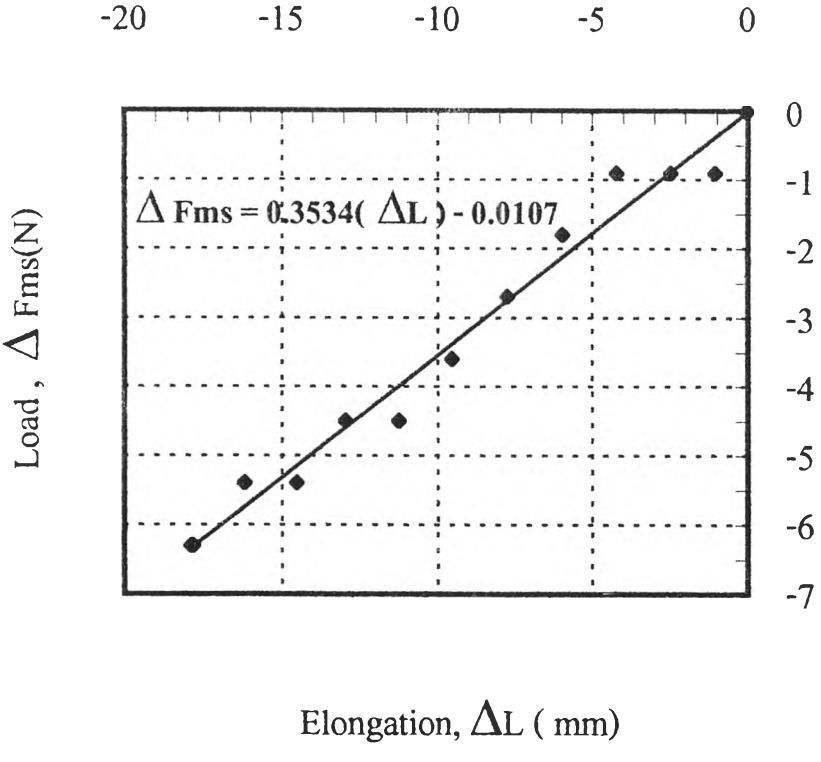
3.2.4.3 การปรับแก้ผลจากถุงยาง (Correction for Membrane Stiffness)

หาค่าปรับแก้จากผลของถุงยางโดยนำถุงยางมาดึงแล้วหาความสัมพันธ์ของแรงและระยะยืดของถุงยางได้ดังรูปที่ 3.2 และได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta F_{ms} = 0.3534(\Delta L) - 0.0107 \tag{3.9}$$

โดยที่ ΔF_{ms} คือ แรงที่เกิดจากผลของถุงยาง (N)

ΔL คือ ระยะยืดของถุงยาง (mm.)



รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะยืดของ membrane