หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 3

# วิธีการและขั้นตอนในการวิจัย

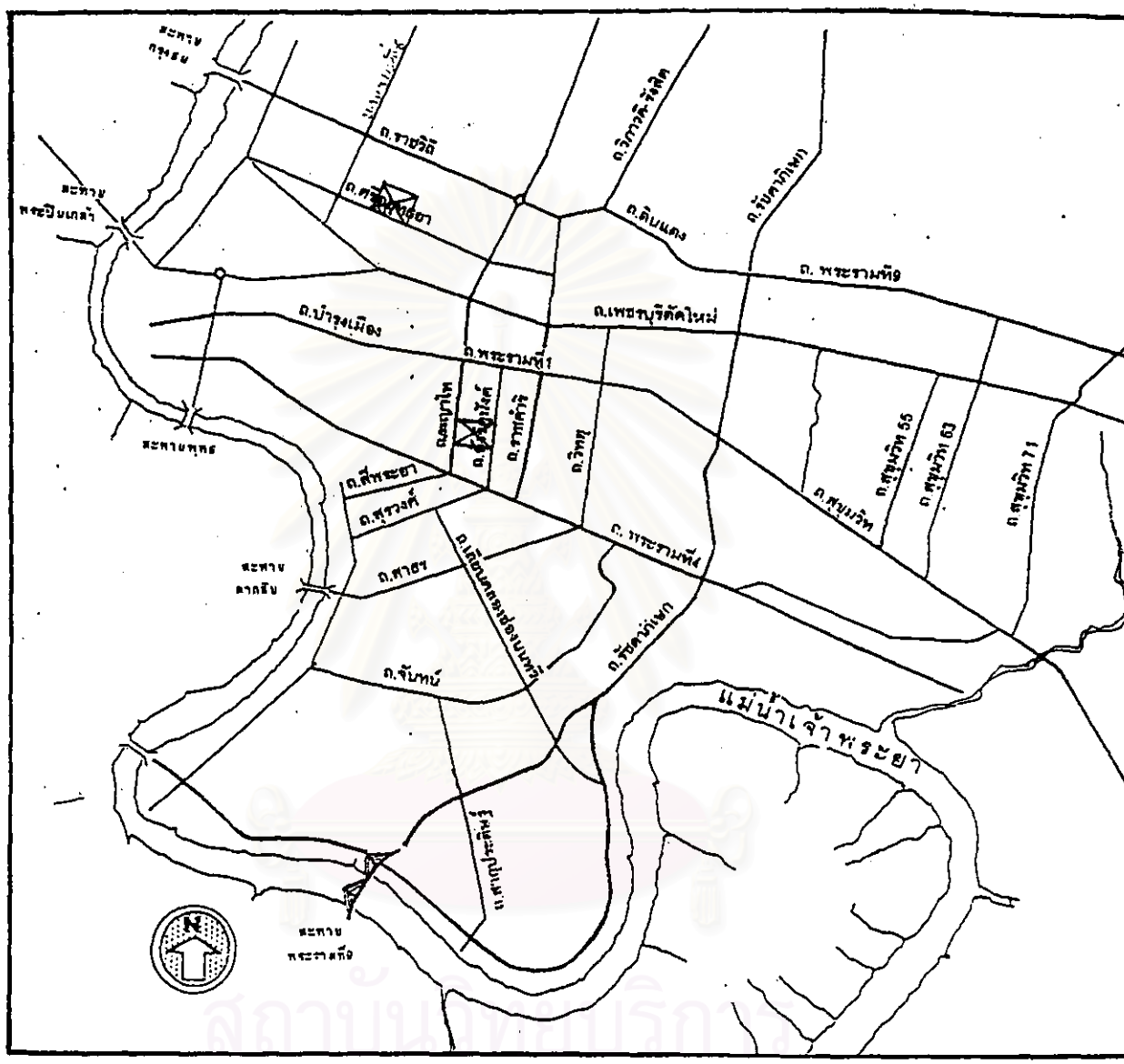
## 3.1 สถานที่และการเก็บตัวอย่างทดสอบ

### 3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง

สถานที่เก็บตัวอย่างดินที่นำมาใช้สำหรับทดสอบเพื่อศึกษาวิจัยมีอยู่ 3 แหล่ง คือ บริเวณการก่อสร้างอาคารรวม 9 ชั้นของคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถ. ศรีอยุธยา เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร บริเวณหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถ. พหลโยธิน เขตบางเขน และ บริเวณสนามหญ้าข้างหอประชุม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ. พญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร แผนที่พอสังเขปของสถานที่เก็บตัวอย่างดินสำหรับใช้ทดสอบจะแสดงในรูปที่ 3.1

### 3.1.2 วิธีการเจาะสำรวจและการเก็บตัวอย่าง

วิธีการเจาะสำรวจและการเก็บตัวอย่างดินสำหรับนำมาทดสอบมีอยู่ 2 วิธี คือ การเก็บแบบ Block sample และการเก็บด้วยกระบอกบาง สำหรับการเก็บตัวอย่างดินที่มหาวิทยาลัยมหิดลจะเก็บโดยวิธีที่คล้ายกับการเก็บแบบ Block sample เพราะจะมีการก่อสร้างชั้นใต้ดินโดยใช้วิธีการขุดเปิดหน้าดินลงไปที่ระดับความลึก 4.0 ม. อ้างอิงจากถนนศรีอยุธยา โดยใช้กระบอกพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.75 ซม. ความยาว 20 ซม. หนา 0.50 ซม. ค่อยๆกดลงไปในดินและค่อยๆขุดดินรอบๆกระบอกออกจนไปถึงระดับปลายกระบอกด้านล่างและใช้มีดตัดดิน ส่วนการเก็บตัวอย่างดินที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การเจาะหลุมสำหรับเก็บตัวอย่างดินใช้วิธีฉีดล้าง (Wash Boring) และเก็บตัวด้วยกระบอกบาง (Thin Wall Tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.50 ซม. และความยาวกระบอก 60 ซม.จะทำการเก็บตัวอย่างดินทุกระดับความลึก 1.0 ม. เริ่มเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 2 ม. และความลึกของหลุมเจาะสุดท้ายประมาณ 13 ม. ซึ่งอยู่ในช่วงดินเหนียวอ่อน นำกระบอกตัวอย่างห่อหุ้มด้วยกระดาษฟรอยด์และเคลือบด้วยขี้ผึ้งอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันไม่ให้เสียปริมาณความชื้นในดิน และขนส่งไปห้องปฏิบัติการอย่างระมัดระวังให้กระทบกระเทือนน้อยที่สุด



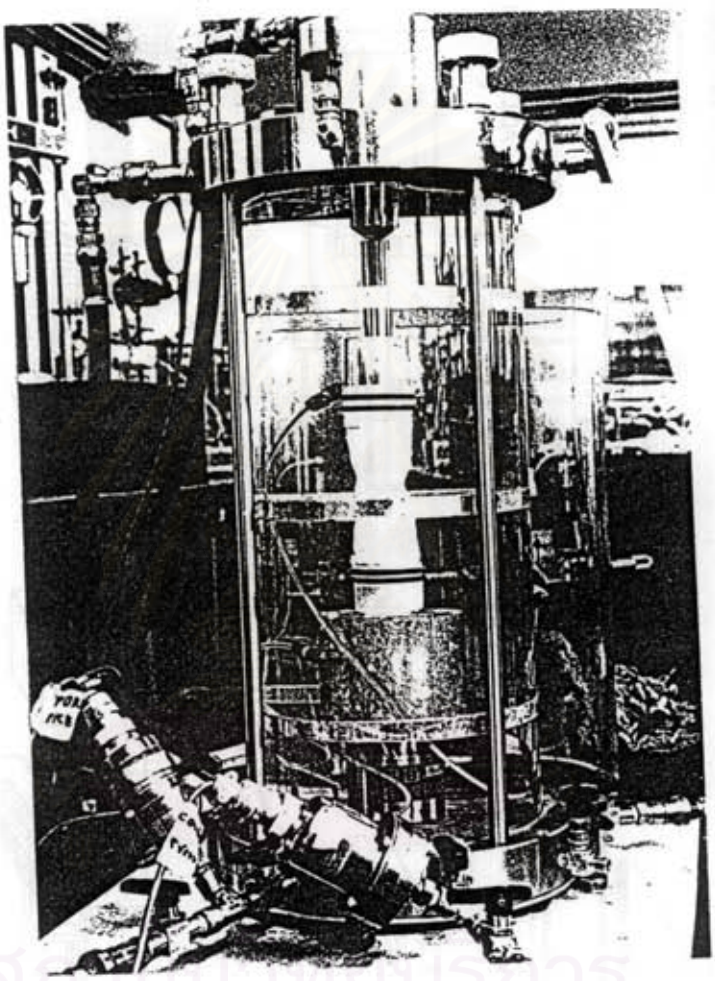

รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังที่เก็บตัวอย่างดินนำมาใช้ทดสอบ

## 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับเครื่องทดสอบหลัก

- Air Compressor เป็นเครื่องมือสำหรับให้กำเนิดความดันและรักษาความดันภายในเซลล์ (Cell Pressure) และความดันภายในตัวอย่าง (Back Pressure) ให้คงที่สม่ำเสมอตลอดเวลาในช่วงทำการทดสอบ
- Air Dryer เป็นเครื่องมือสำหรับอากาศแห้งเพราะอากาศที่ได้มาจากเครื่องปั๊มลมจะมีไอน้ำปะปนออกมาด้วย ก่อนจะผ่านเข้าสู่ตู้ควบคุมความดันจะต้องกำจัดไอน้ำเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมความดัน
- Hydraulic เป็นเครื่องมือสำหรับให้กำเนิดแรงในแนวแกน (Axial Load)
- Volume Change Device เป็นเครื่องมือวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างดินในระหว่างการทำอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) สำหรับการทดสอบแบบ Triaxial
- Pressure Control Panel เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ปรับความดันและควบคุมความดันภายในเซลล์ (Cell Pressure) และความดันภายในตัวอย่าง (Back Pressure) ให้มีระดับความดันสม่ำเสมอ
- Amplifier เป็นเครื่องมือสำหรับแปลงสัญญาณดิจิตอล (Digital) เป็นสัญญาณแอนนาลอก (Analog) และแปลงสัญญาณแอนนาลอก (Analog) เป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital) ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมและสัญญาณการวัดรับคำสั่งและควบคุมจากคอมพิวเตอร์
- Computer เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้ควบคุมการทดสอบและบันทึกผลการทดสอบ
- Printer เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้แสดงผลการทดสอบ
- Triaxial Cell จะประกอบด้วยเครื่องมือวัดดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

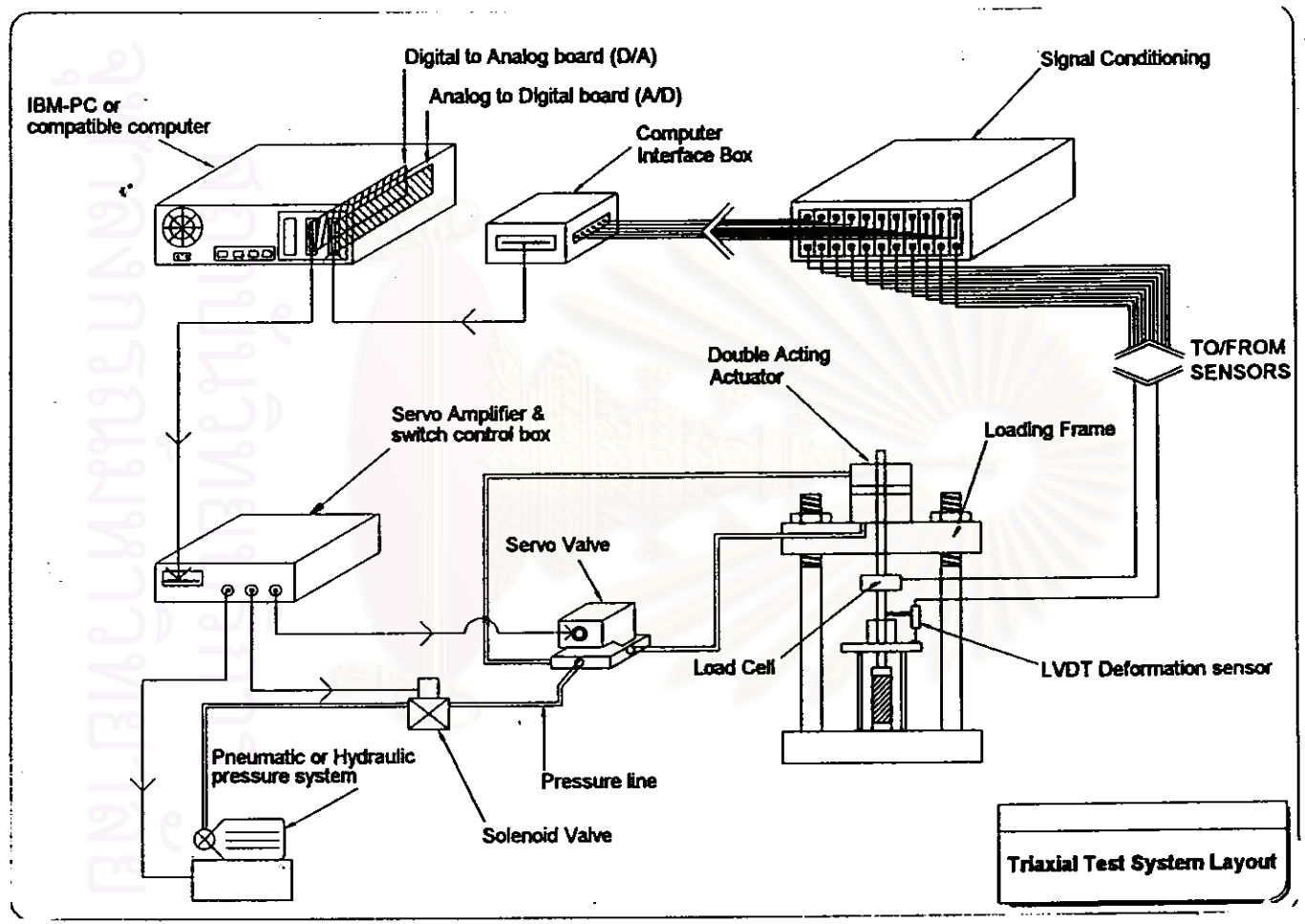
    - Load Cell เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดแรงในแนวแกนในระหว่างทำการทดสอบ
    - Linear Viable Displacement Transducer เป็นอุปกรณ์สำหรับวัด deformation ในแนวแกนระหว่างทำการทดสอบ
    - Pore Pressure Transducer เป็นอุปกรณ์ที่วัดความดันภายในตัวอย่าง ทั้ง Back pressure และ Excess pore water pressure สำหรับการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ
    - Cell Pressure Transducer เป็นอุปกรณ์ที่วัดความดันภายในเซลล์ (Cell pressure)

ไดอะแกรมของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดสอบ cyclic triaxial แสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 Triaxial Cell สำหรับใช้ทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 3.3 Cyclic Triaxial Test System Layout

## 3.3 การหาคุณสมบัติของดินทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น

3.3.1 พิกัดแอตเตอร์เบอร์ก (Atterberg's Limit)

- ขีดเหลว (Liquid Limit)
- ขีดพลาสติก (Plastic Limit)

3.3.2 ปริมาณความชื้น (Water Content)

3.3.3 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

3.3.4 การทดสอบแบบ UU (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test)

3.3.5 การทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบหนึ่งมิติ (One - Dimension Consolidation Test)

## 3.4 วิธีการทดสอบ

จะทำการทดสอบด้วยเครื่องมือ Cyclic triaxial วิธีการทดสอบจะทดสอบแบบหน่วยแรงคงที่ (Stress Controlled) ภายใต้เงื่อนไขแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Condition) การอัดตัวคายน้ำจะเป็นแบบหน่วยแรงประสิทธิผลเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropically) มีอยู่ 3 ค่าคือ 50 150 และ 250 กิโลปาสคาล สำหรับตัวอย่างดินที่เก็บมาจากมหาลัยมหิดล ส่วนตัวอย่างดินที่เก็บมาจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาลัยเกษตรศาสตร์ จะคำนวณหาหน่วยแรงประสิทธิผลตามระดับความลึกที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน และอัตราของแรงที่กระทำ (Rate of loading) ต่อตัวอย่างดิน มี 2 ระดับ คือ 0.10 และ 1.0 เฮิร์ต รูปแบบของแรงกระทำ (Shape load) ต่อตัวอย่างดินมีลักษณะเป็นแบบไซน์ (Sinusoidal) โปรแกรมการทดสอบแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 โปรแกรมการทดสอบ

| สถานที่เก็บตัวอย่าง | ความลึก (ม.) | หน่วยแรงประสิทธิผล (kPa) | ความถี่ (Hz.) |
|---|---|---|---|
| มหาวิทยาลัยมหิดล | 4.0 | 50 /150 /250 | 0.10/1.0 |
| มหาวิทยาลัยเกษตรสาสตร์ | 9.0-9.5 | 60 | 0.10/1.0 |
| จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย | 6.0-6.5 | 40 | 0.10/1.0 |
| | 11.0-11.50 | 70 | 0.1 |

**3.5 ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้**

รายละเอียดวิธีการทดสอบจะทำตาม ASTM Designation D3999-91 จะอยู่ในภาคผนวก ข

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบ

1. ใช้ Hydraulic jack ดันตัวอย่างดินออกจากกระบอกเก็บตัวอย่าง
2. ทำการทริมตัวอย่างดินที่ดันออกมาจากกระบอกเก็บตัวอย่างให้ได้ขนาดตามมาตรฐานการทดสอบโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.5 ซม. และความสูง 7.50 ซม. โดยประมาณ พร้อมทั้งตบแต่งผิวตัวอย่างดินให้เรียบ
3. หาปริมาณความชื้นตัวอย่างดิน โดยนำดินที่เหลือจากการทริมที่ได้จากด้านบน ด้านล่างและด้านข้างของตัวอย่างดิน ไปอบแห้ง
4. ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของตัวอย่างดินทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง ก่อนนำไปติดตั้งกับเครื่องทดสอบ

3.5.2 ติดตั้งตัวอย่างดินกับชุดเครื่องมือทดสอบ

1) นำตัวอย่างดินไปวางบน Pedestal ต้องมี Porous stone และกระดาษกรองรองไว้ก่อนก่อนที่จะวาง Topcap ลงบนตัวอย่างดินก็จะต้องมีกระดาษกรองรองและ Porous stone รองไว้เช่นเดียวกัน และหุ้มด้วยกระดาษกรองรอบตัวอย่างดินเพื่อช่วยระบายน้ำในระหว่างทำการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation)
2) สวม Membrane หุ้มตัวอย่างดินเพื่อป้องกันน้ำภายในเซลล์ซึมผ่านเข้าตัวอย่างดิน
3) รัด O-ring ที่ Cap และ Base เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำภายในเซลล์ไหลซึมผ่านเข้าไปสู่ตัวอย่างดิน
4) กำจัดฟองอากาศในสายยางทุกเส้นด้วยน้ำกลั่นเพื่อป้องกันฟองอากาศภายในสายยางด้านความดันอากาศที่ให้สำหรับการทำ Saturation
5) ต่อสายยางเข้ากับ Topcap และ Pedestal สำหรับให้ความดันแก่ตัวอย่างดิน (Back Pressure) ให้เรียบร้อย
6) ตรวจสอบการรั่วซึมของเมมเบรน (Membrane) โดยให้ Vacuum pressure แก่ตัวอย่างดินประมาณ -10 kPa แล้วสังเกตฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายใน Burret

7) ประกอบ Chamber cell เข้ากับ triaxial cell และยก Actuator นำมาวางบน Cell ต่อมาเอาน็อตยึด Actuator กับ tie rod ซึ่งเชื่อมกับ triaxial cell ให้แน่น แล้วจึงควบคุมแกนเหล็ก (load piston) ให้เคลื่อนลงมาสัมผัสกับ Top platen ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองจะถูกเชื่อมติดกันโดยมี Epoxy เป็นตัวเชื่อมประสาน

3.5.3 ขั้นตอนทำให้ตัวอย่างอิ่มตัว (Saturation)

ดูดฟองอากาศภายในตัวอย่าง (Suction) ทั้งด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดินเพื่อเร่งให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวเร็วขึ้น โดยเริ่มจากให้ vacuum pressure แก่ตัวอย่างดิน (Back pressure) สลับกับการให้ vacuum pressure ภายในเซลล์ (Cell pressure) พร้อมกับค่อยๆ เพิ่ม Vacuum pressure สลับกันระหว่างภายในตัวอย่างดินกับภายในเซลล์จนถึงค่าสูงสุด (-80 กิโลปาสคาล) โดยความดันในตัวอย่างจะมีค่าน้อยกว่าความดันใน Cell เสมอ (ประมาณ 10 กิโลปาสคาล) จากนั้นทิ้งไว้โดยรักษาความดันให้คงที่ประมาณ 4-6 ชั่วโมง จนสังเกตเห็นฟองอากาศภายในตัวอย่างหมดไปแล้วจึงค่อยๆลด Vacuum pressure ซึ่งจะเริ่มลดความดันภายในเซลล์สลับกับการลดความดันภายในตัวอย่าง โดยที่ความดันภายในเซลล์มากกว่าภายในตัวอย่างดิน จน Vacuum pressure ภายในตัวอย่างดินมีค่าประมาณ -10 กิโลปาสคาล แล้วจึงปรับความดันภายในเซลล์ให้มีค่าเป็นศูนย์ ต่อมาเพิ่มความดันให้ความดันภายในเซลล์มีค่าประมาณ 10 กิโลปาสคาล และลดความดันภายในตัวอย่างเป็นศูนย์

Saturation ปล่อยน้ำเข้าสู่เซลล์โดยควบคุมระดับความดันภายในเซลล์ อยู่ที่ 10 กิโลปาสคาล และความดันภายในตัวอย่างอยู่ที่ศูนย์ จนกระทั่งน้ำไหลเข้าเต็มเซลล์จากนั้นค่อยๆ เพิ่มความดันภายในเซลล์และความดันภายในตัวอย่าง สลับกันและรักษาผลต่างความดันภายในเซลล์กับภายในตัวอย่างให้คงที่ประมาณ 10 กิโลปาสคาล ตลอดการเพิ่มความดัน จนได้ค่าความดันภายในตัวอย่างอยู่ที่ 200 กิโลปาสคาล ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการตรวจสอบค่า B parameter ควรจะมีค่ามากกว่า 95 % จึงทำการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) ต่อไป

3.5.4 ขั้นตอนอัดตัวคายน้ำ (Consolidation)

ขั้นตอนอัดตัวคายน้ำสำหรับการทดสอบนี้ใช้วิธี Isotropically consolidation ซึ่งจะใช้ Effective confining stress ที่ 50 , 150 และ 250 กิโลปาสคาล สำหรับตัวอย่างดินมหิดล 40 และ 70 กิโลปาสคาล สำหรับตัวอย่างดินจุฬาลงกรณ์และตัวอย่างดินเกษตรศาสตร์จะใช้หน่วยแรงประสิทธิผลเท่ากับ 60 กิโลปาสคาล มีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

ปิดวาล์วระบายน้ำ (Drain) และเพิ่มความดันภายในเซลล์ (Cell pressure) จนกระทั่งได้ค่าผลต่างระหว่างความดันภายในเซลล์กับความดันภายในตัวอย่าง (Back pressure) ตามที่กำหนดไว้ ต่อมาเปิดวาล์วระบายน้ำ (Drain) โดยจะทำการวัดค่าและบันทึกผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume change) ของตัวอย่างดิน และการเปลี่ยนรูปในแนวแกน (Axial deformation) ของตัวอย่างดิน ที่เวลา 4 8 16 30 60 วินาที 2 4 8 16 30 60 นาที 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ และทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนรูป (Deformation) กับ เวลา และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume Change) กับ เวลา

3.5.5 Apply Cyclic Load มีขั้นตอนดังนี้

1 กำหนด Double Amplitude ของ Load มีหน่วยเป็นนิวตัน จะเป็นอัตราส่วนกับ Effective Confining Stress ที่จะทดสอบและจำนวนรอบโดยกำหนดเป็นเวลามีหน่วยเป็นนาทีซึ่งการคำนวณมีดังนี้

$$P_c = 2 \times \sigma'_{3c} \times SR \times A_c \qquad 3.1$$

$P_c$ = Cyclic load ที่จะ Applied ให้แก่ตัวอย่าง

$\sigma'_{3c}$ = หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Confining Stress)

SR = อัตราส่วนระหว่าง cyclic stress กับ Effective Confining Stress $((\pm\sigma_d)/(\sigma'_{3c}))$

$A_c$ = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างหลังจากการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation)

2 ปิดวาล์วระบายน้ำ

3 กดคำสั่งทดสอบ พร้อมบันทึกค่าหลังเสร็จการทดสอบ เปิดวาล์วระบายน้ำ

4 หลังจากนั้นก็กลับไปทำขั้นตอนแรกใหม่ ซึ่งขั้นตอนต่างๆ จะแสดงใน Flow Chart ดังแสดงในรูปที่ 3.4

5 ทดสอบจนตัวอย่างพัง (Failure) ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างดินมีลักษณะเป็นแบบ Extention ตัวอย่างดินจะมีลักษณะคอดกิ่งกลางของตัวอย่างดิน จะแสดงในรูปที่ 3.5

3.5.6 นำตัวอย่างดินออกจาก Cell หลังจากการทดสอบเสร็จ

1 เปิดวาล์ว ระบายน้ำจาก cell กลับไปในถัง

2 ค่อยๆลดความดันภายในตัวอย่าง (Back pressure) และความดันภายในเซลล์ (Cell pressure) ตามลำดับ

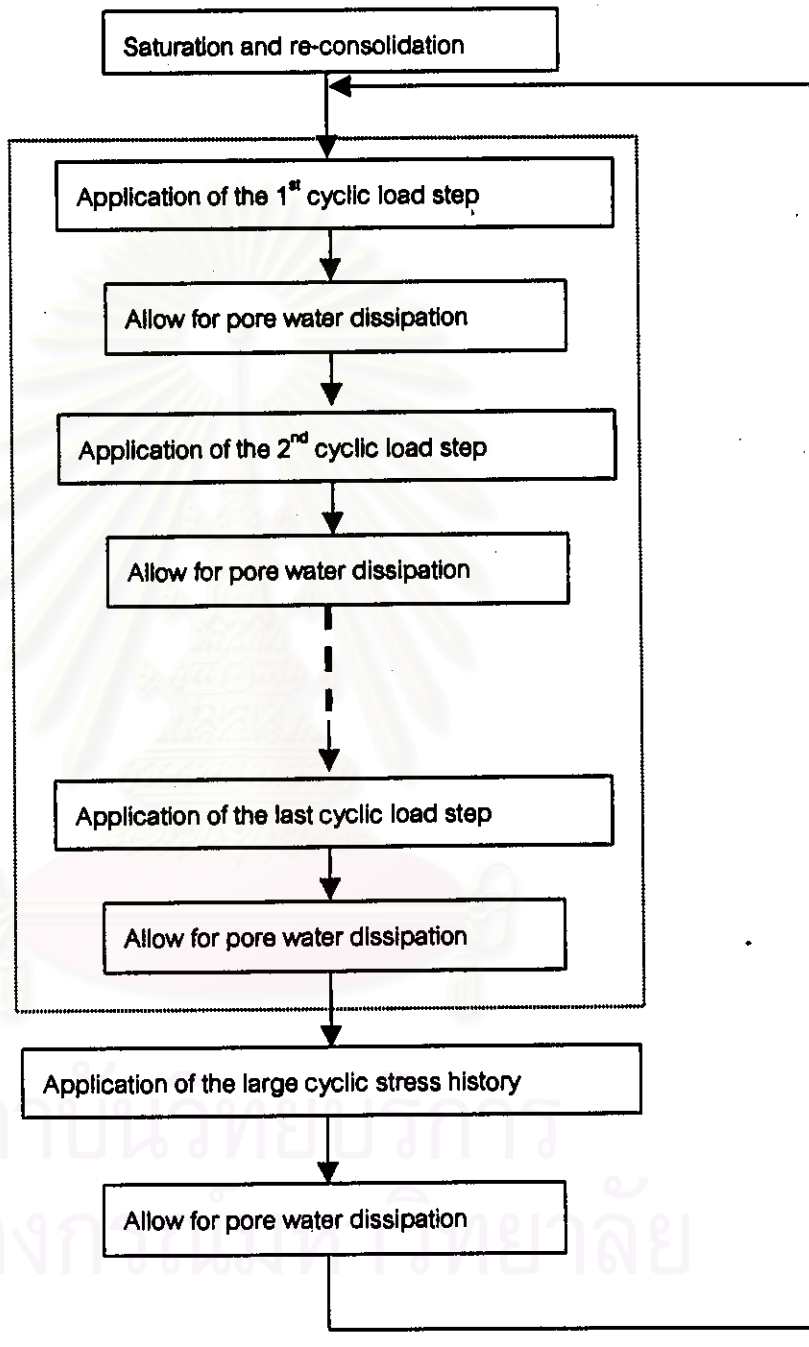
3 ขันน็อตที่ยึดระหว่าง tie rod กับ Actuator ออก และยก Actuator ขึ้น

4 ถอด O-ring ที่ topcap และ pedestal

5 ถอด Membrane และกระดาษกรองที่ช่วยระบายน้ำระหว่างการอัดตัวคายน้ำออกจากตัวอย่างดินและนำไปอบแห้งเพื่อหาปริมาณความชื้นหลังทดสอบ

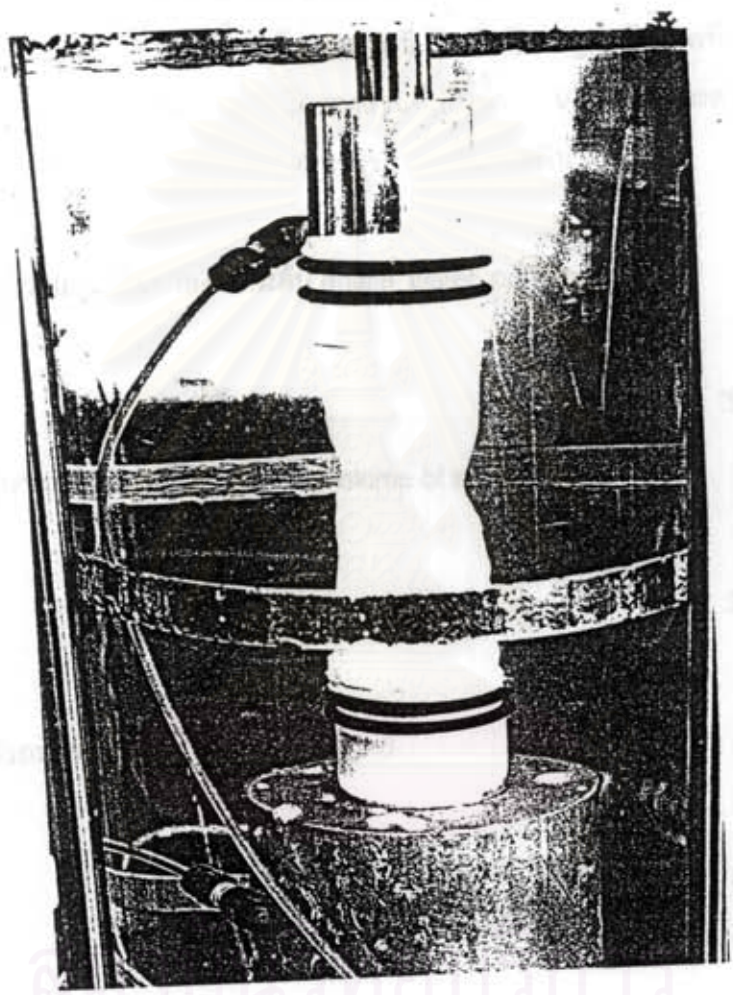
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General procedure for determination of stiffness and damping characteristics




รูปที่ 3.4 Flowchart แสดงกระบวนการทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 ลักษณะการ FAILURE ของตัวอย่างดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.6 รายการคำนวณ

### 3.6.1 คุณสมบัติของตัวอย่างก่อนทดสอบ

กำหนดให้ W = น้ำหนักทั้งหมดของมวลดิน V = ปริมาตรทั้งหมดของมวลดิน
$W_s$= น้ำหนักของส่วนที่เป็นเนื้อดิน $V_s$= ปริมาตรที่เป็นของแข็งมวลดิน
$W_w$= น้ำหนักของส่วนที่เป็นน้ำ $V_w$= ปริมาตรส่วนที่เป็นน้ำ
$V_v$= ปริมาตรของช่องว่างในมวลดิน

- ปริมาณน้ำในมวลดินเริ่มต้น (Initial water content)

$$w = \frac{W_w}{W_s} \qquad 3.2$$

- ปริมาตรของส่วนที่เป็นเนื้อดิน (Volume of solids)

$$V_S = \frac{W_S}{G_S \gamma_w} \qquad 3.3$$

-หน่วยน้ำหนักรวม (Total unit weight)

$$\gamma_t = \frac{W}{V} \qquad 3.4$$

- อัตราส่วนโพรงเริ่มต้น (Initial void ratio)

$$Se = wG_S \qquad 3.5$$

- องศาความอิ่มตัว (Initial degree of saturation)

$$S = \frac{V_W}{V_V} \qquad 3.6$$

3.6.2 คุณสมบัติของตัวอย่างหลังการอัดน้ำคายตัว (Consolidation)

- ความสูงของตัวอย่าง

$$H_c = H_0 - \Delta H \qquad 3.7$$

$H_c$ = ความสูงของตัวอย่างหลังการอัดน้ำคายตัว

$H_0$ = ความสูงของตัวอย่างเริ่มต้น

$\Delta H$ = การเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่างหลังการอัดน้ำคายตัว

-พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง

$$A_c = (V_0 - \Delta V_{sat} - \Delta V_c) / H_c \qquad 3.8$$

$A_c$ = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างหลังการอัดน้ำคายตัว

$V_0$ = ปริมาตรของตัวอย่างเริ่มต้น

$\Delta V_{sat}$ = การเปลี่ยนแปลงปริมาตรระหว่างการทำ saturation

$\Delta V_c$ = การเปลี่ยนแปลงปริมาตรระหว่างการอัดตัวคายน้ำ

$\Delta V_{sat} = 3 V_0 \Delta H_s / H_0$

$\Delta H_s$ = การเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่างระหว่างการทำ saturion

3.6.3 Hysteresis Loop คือการพล็อตระหว่าง stress กับ strain เนื่องจากการ applied cyclic load ในหนึ่งรอบ ซึ่งพื้นที่ภายใน loop หมายถึง พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาของตัวอย่าง จะแสดงในรูปที่ 3.6

- Damping Ratio (h)

$$h = \frac{A_L}{4\pi A_T} * 100 \qquad 3.9$$

h = อัตราส่วน Damping มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

$A_L$ = พื้นที่ของ Hysteresis Loop

$A_T$ = พื้นที่ของสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 3.6

- โมดูลัสของ Young 's Modulus (E)

$$E = \frac{L_{DA}}{S_{DA}} \times \frac{L_s}{A_s} \qquad 3.10$$

$L_{DA}$= double amplitude load

$S_{DA}$= double amplitude deformation

$L_S$ = ความสูงของตัวอย่างหลังการอัดน้ำคายตัว

$A_S$ = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างหลังการอัดน้ำคายตัว

-โมดูลัสแบบเฉือน (Shear Modulus), (G)

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \qquad 3.11$$

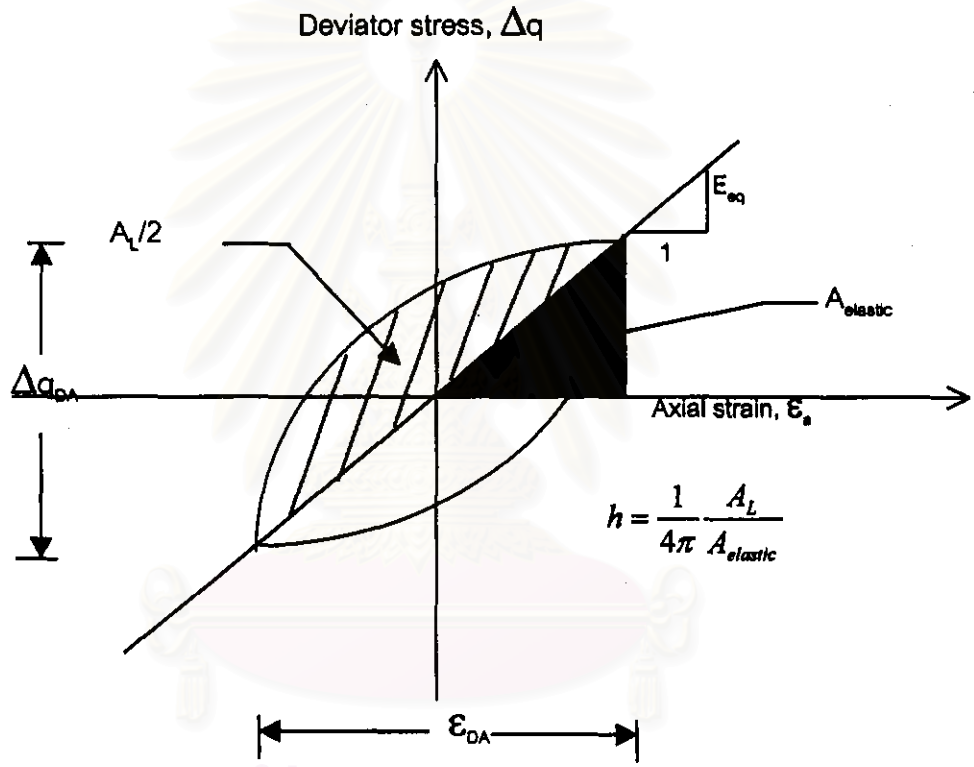
$\mu$ = อัตราส่วนปัวซอง

- single amplitude axial strain ($\varepsilon_{SA}$)

$$\varepsilon_{SA} = \frac{S_{DA}/2}{L_S/2} \qquad 3.12$$

- single amplitude shear strain ($\gamma_{SA}$)

$$\gamma_{SA} = \varepsilon_{SA}(1+\mu) \qquad 3.13$$




รูปที่ 3.6 Hysteresis Loop

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย