บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการต้านทานการพัดพาดินเหนียวเนื่องจากแรงดันน้ำ เป็นเครื่องมือที่ต้องพัฒนาขึ้นเอง โดยเครื่องมือนี้ได้ถูกปรับปรุงจากเซลล์การทดสอบการบดอัดแบบ Standard Proctor Compaction Test เนื่องจากเครื่องมือนี้ต้องสามารถเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบด้วยการบดอัดและสามารถใช้แรงดันอากาศช่วยในการเพิ่มแรงดันน้ำได้ด้วย ดังนั้นเครื่องมือนี้จึงต้องทำการพัฒนาขึ้นใหม่เพื่อให้สามารถทำการทดสอบให้ได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ลักษณะชุดเครื่องมือทดสอบที่ทำการพัฒนาขึ้น แสดงไว้ดังภาพที่ 5 และระบบแรงดันอากาศ แสดงไว้ดังภาพที่ 6

ส่วนประกอบของเครื่องมือแต่ละชิ้นมีรายละเอียด ดังนี้

1. กระบอกตัวอย่าง (Cell pressure) ทำจากพลาสติกที่ทนแรงดันได้สูง และมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 10.0 ซม. (4 นิ้ว) สูง 13.0 ซม. และหนา 0.5 ซม. การที่กระบอกทำจากพลาสติกก็เพื่อการป้องกันปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างวัสดุต่างๆ ในระบบกับตัวผนังกระบอก กระบอกนี้จะต้องประกอบกับ collar ของ Standard Compaction Mold ทางด้านบนในขณะทำการบดอัด โดยที่ด้านล่างจะถูกยึดกับแผ่นปิดล่าง เมื่อพร้อมที่จะทดสอบ กระบอกตัวอย่างจะถูกประกอบเข้ากับฝาปิดด้านบนแทน กระบอกตัวอย่างที่ใช้ทดลองแสดงไว้ดังภาพที่ 7

2. แผ่นให้แรงดันกดทับพร้อมแกนส่งน้ำ (Applied stress plate) มีลักษณะดังภาพที่ 8 โดยส่วนที่เป็นแท่ง ภายในจะกลวงเพื่อเป็นทางผ่านของของเหลวที่ต้องการจะให้ไหลซึมผ่านตัวอย่างดินและใช้ยึดจับกับ Dial gauge และส่วนแผ่นจานกลม บริเวณขอบจะมีร่องไว้รองรับ Rubber O- ring โดยรอบเพื่อเป็นการกั้นระบบให้แรงดันกดทับ (Overburden stress system) กับระบบการไหลซึมผ่าน (Permeability test system) ให้แยกออกจากกันอีกทั้งยังช่วยในการลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผนังกระบอกตัวอย่างกับขอบของจานให้แรงดันกดทับ

3. แผ่นพรุน (Porous plate) มีลักษณะดังภาพที่ 9 จะอยู่ที่ด้านบนของตัวอย่าง ซึ่งจะทำหน้าที่กระจายการไหลของน้ำจากแกนส่งน้ำให้ไหลได้อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัดของตัวอย่างดิน

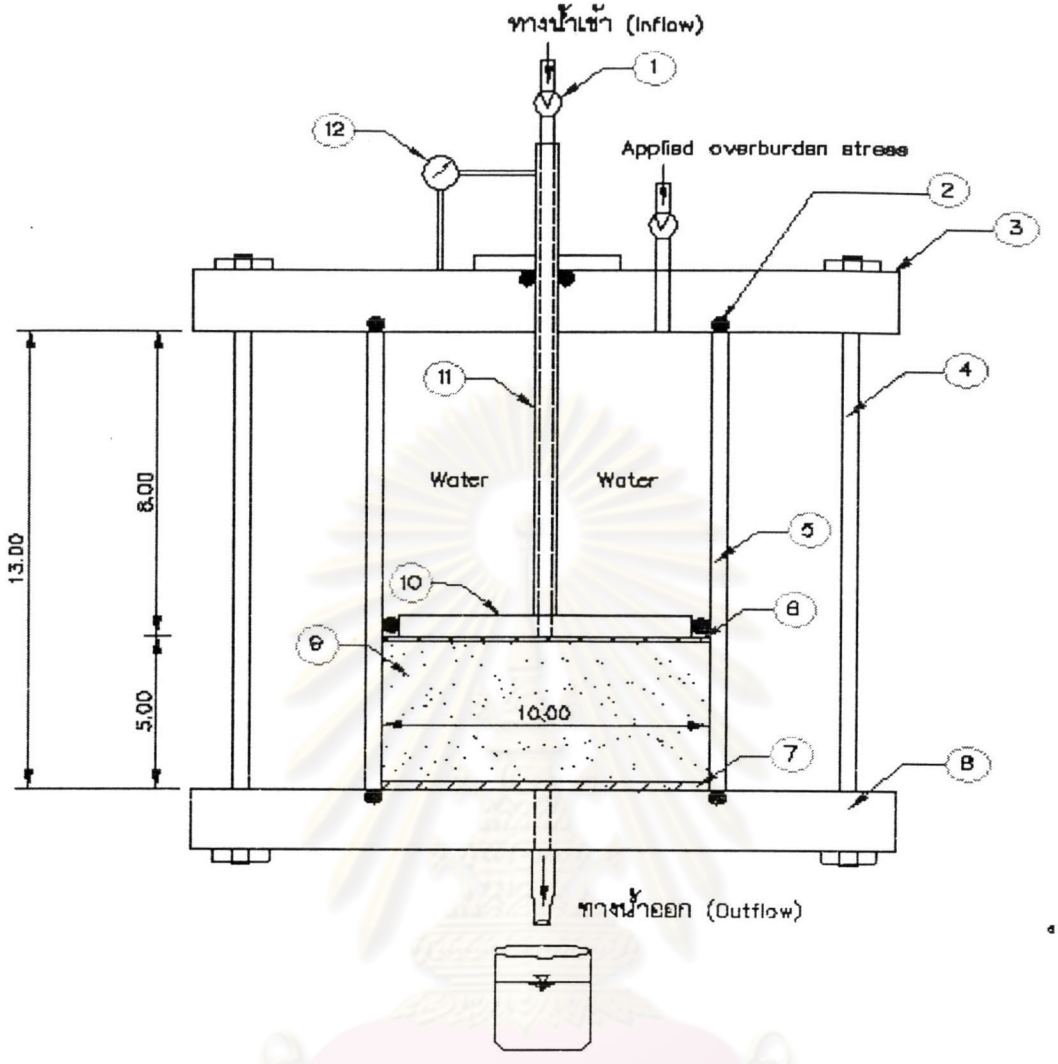
4. แผ่นปิดบน (Top platen) มีลักษณะดังภาพที่ 10 ซึ่งจะประกอบด้วย

- รู 4 รูที่มุมของแผ่นเพื่อเตรียมไว้ยึดกับเสา 4 ต้นเมื่อประกอบกับกระบอกตัวอย่าง
- รูกลางพร้อมแผ่นครอบและ Rubber O- ring เพื่อเป็นทางผ่านของแกนส่งน้ำและจะต้องมีระบบกันการรั่วของแรงดันที่ใช้ในการให้แรงดันกดทับ
- รูเจาะที่เตรียมไว้สำหรับเป็นทางผ่านให้แรงดันจากระบบแรงดันภายนอกเข้าสู่กระบอกตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแรงดันกดทับแก่ตัวอย่าง
- ร่องวงกลมเพื่อรองรับการยึดกับกระบอกตัวอย่างพร้อมทั้งกันการรั่วของแรงดันด้วย Rubber O- ring ที่หน้าสัมผัสระหว่างแผ่นปิดบนกับกระบอกตัวอย่าง

5. แผ่นปิดล่าง (Base platen) มีลักษณะดังภาพที่ 11 ซึ่งจะประกอบด้วย

- รู 4 รูที่มุมของแผ่นเพื่อเตรียมไว้ยึดกับเสา 4 ต้นเมื่อประกอบกับกระบอกตัวอย่าง
- รูกลางเพื่อใช้เป็นทางระบายออกของของเหลวที่ไหลซึมออกจากตัวอย่างดิน
- ร่องวงกลมเพื่อรองรับกับการยึดกับกระบอกตัวอย่างพร้อมทั้งกันการรั่วของแรงดันด้วย Rubber O- ring ที่หน้าสัมผัสระหว่างแผ่นปิดล่างกับกระบอกตัวอย่าง

6. ระบบแรงดันอากาศ ซึ่งประกอบด้วย Pump regulator gauge และระบบท่อแรงดัน เพื่อใช้เป็นระบบให้แรงดันกดทับและแรงดันเหนือผิวของของเหลวที่จะไหลเข้าตัวอย่างดินซึ่งจะช่วยเพิ่มความชันชลศาสตร์ให้มีอัตราการไหลซึมที่เร็วขึ้นและเป็นผลให้ใช้เวลาในการทดลองน้อยลง มีลักษณะดังภาพที่ 12



ภาพที่ 5 แสดงเครื่องมือทดสอบหาความสามารถในการพัดพาดินเหนียวเนื่องจากแรงดันน้ำ

ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบ

(1) วาล์วเปิด – ปิด (Valve)

(2) วงแหวนยางกันรั่ว (Rubber O – ring) ขนาด Ø 10 ซม.

(3) ฐานปิดด้านบน (Top Platen)

(4) เสายึด (Tie – Rods) จำนวน 4 ต้น

(5) กระบอกพลาสติกรับแรงดัน (Cell Pressure)
ขนาด Ø 10 ซม. สูง 13 ซม. หนา 5 ซม.

(6) แผ่น Geotextile ขนาด Ø 10 ซม.
โดยมีแผ่นพรุน (Porous Plate) ขนาด Ø 10 ซม. วางบนแผ่น Geotextile

(7) แผ่น Geotextile ขนาด Ø 10 ซม. ตัดรูกลางแผ่น ขนาด Ø 2 ซม.

(8) ฐานปิดด้านล่าง (Base Platen)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(9) ตัวอย่างดิน (Soil Sample) ขนาด Ø 10 ซม. สูง 5 ซม.

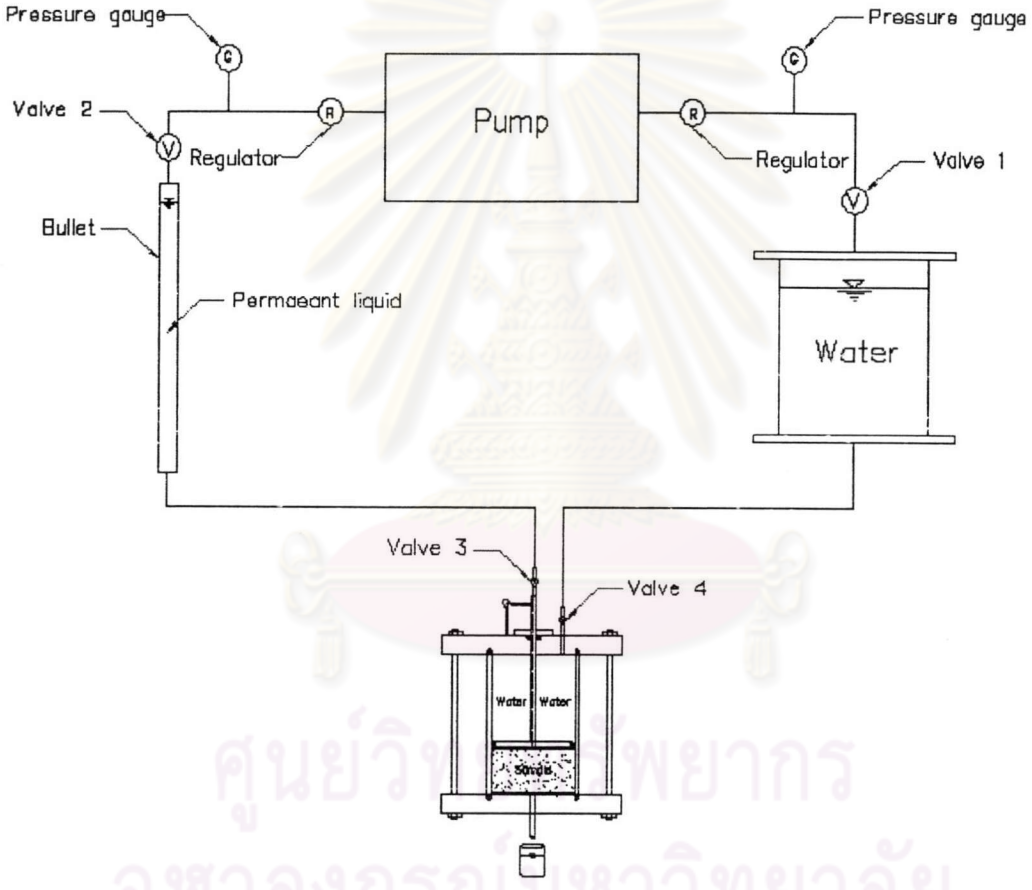
(10) แผ่นให้แรงกดทับ (Applied Stress Plate)

(11) แกนส่งน้ำ

(12) Dial Gauge

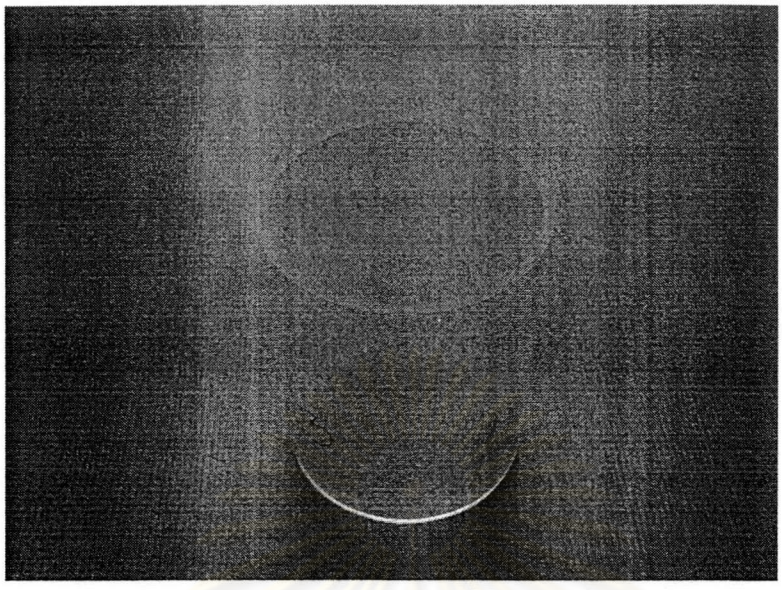
หมายเหตุ

- หน่วยที่ระบุในภาพที่ 5 ใช้หน่วยเป็นเซนติเมตร

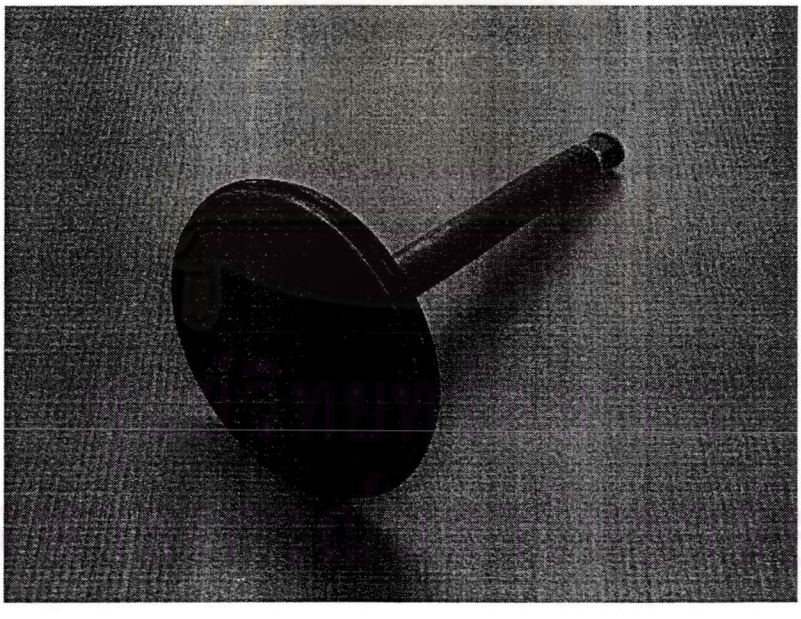


ภาพที่ 6 แสดงระบบแรงดันน้ำ

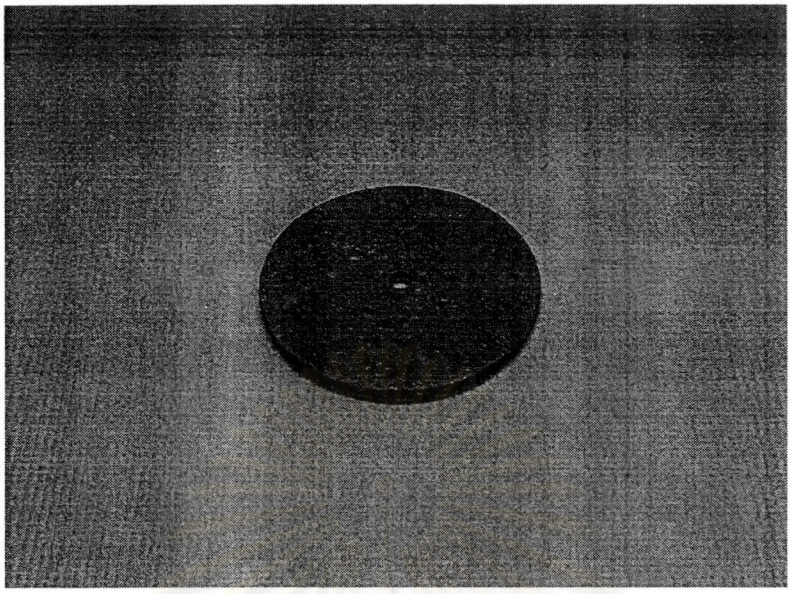
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



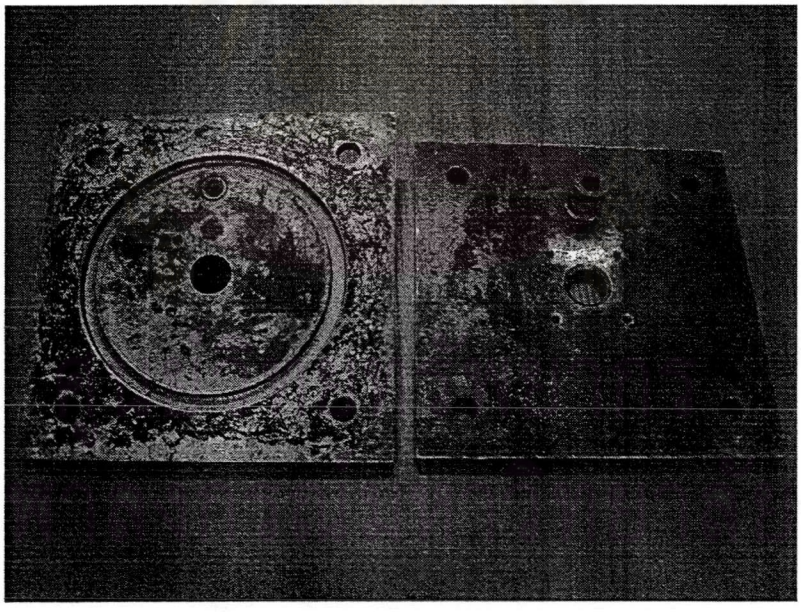
ภาพที่ 7 แสดงรูปกระบอกตัวอย่าง (Cell pressure)



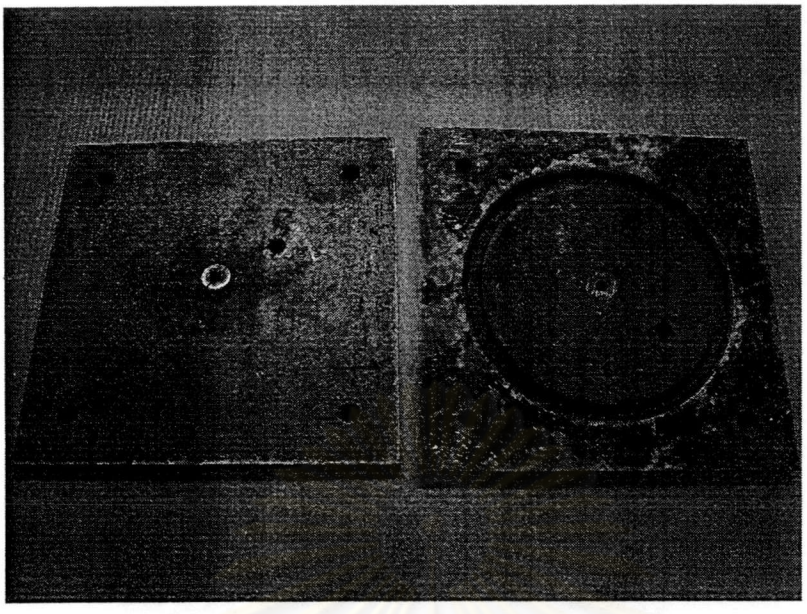
ภาพที่ 8 แสดงรูปแผ่นให้แรงดันกดทับพร้อมแกนส่งน้ำ (Applied stress plate)



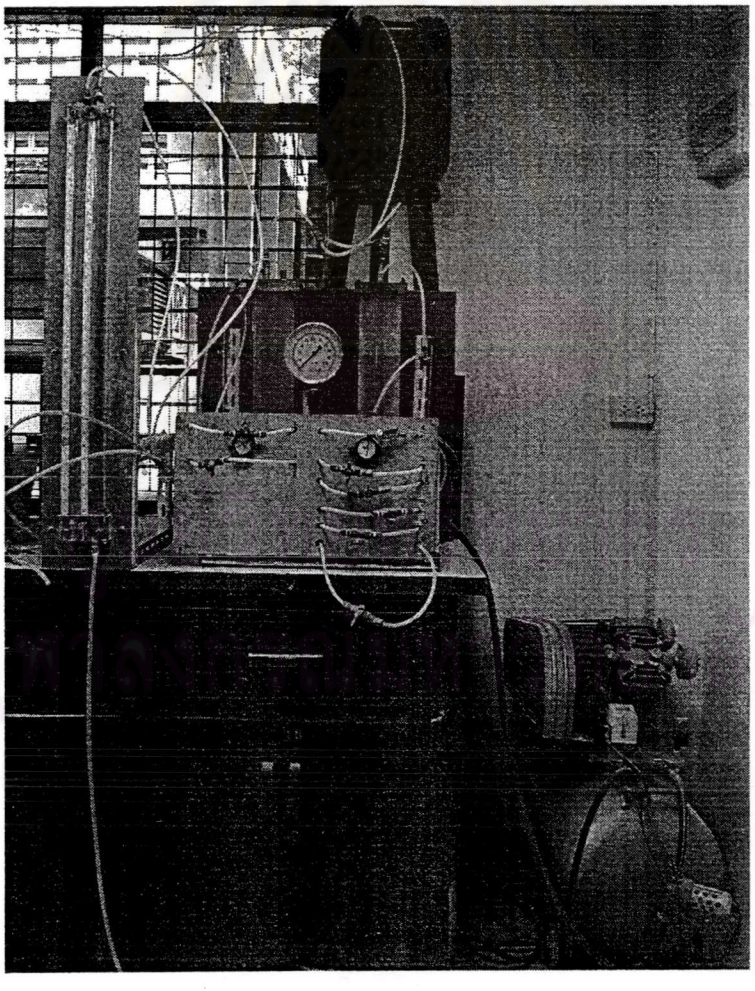
ภาพที่ 9 แสดงรูปแผ่นพรุน (Porous plate)



ภาพที่ 10 แสดงรูปแผ่นปิดบน (Top platen)



ภาพที่ 11 แสดงรูปแผ่นปิดล่าง (Base platen)



ภาพที่ 12 แสดงรูประบบแรงดันอากาศ และระบบท่อแรงดัน

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาหลักการ สมมติฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัดพาดินเหนียว (Clay Detachment) และที่เกี่ยวข้องกับดินกระจายตัว (Dispersive Soil) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำวิจัย

3.2.2 พัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือ เพื่อใช้ในการทดสอบการพัดพาดินเหนียวของดินกระจายตัว โดยเครื่องมือนี้ถูกปรับปรุงจากเซลล์การทดสอบ การบดอัดแบบ Standard Compaction Test ตามมาตรฐาน ASTM D698 แผนภาพลักษณะของชุดทดสอบ แสดงไว้ดังภาพที่ 5

3.2.3 การเก็บตัวอย่างดิน

ดินกระจายตัว

ตัวอย่างดินกระจายตัวที่ใช้ทดสอบ จะเก็บจากบริเวณข้างทางรถไฟย่านลำตะคอง ตำบลจันทึก อำเภอลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา โดยตัวอย่างดินที่เก็บเป็นแบบถูกรบกวน (Disturbed Sample) ซึ่งได้มีการตรวจสอบการกระจายตัวเบื้องต้นในสนามโดยวิธี Crumb Test แล้ว พบว่าเกิดความขุ่นกระจายทั่วก้นภาชนะใส่ดิน ลักษณะดังกล่าวนี้เป็นลักษณะของดินกระจายตัว ซึ่งจะนำตัวอย่างดินนี้ไปทดสอบการกระจายตัวของดินโดยวิธี Pinhole Test และ Double Hydrometer Test อีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าเป็นดินกระจายตัวจริง

การเก็บตัวอย่างดินจะเก็บทั้งหมด 5 จุด แต่ละจุดห่างกันประมาณ 50 เมตร และเก็บจุดละประมาณ 20 กิโลกรัม โดยการเก็บตัวอย่างดินแต่ละจุดจะทำการปาดหน้าดินออกก่อน แล้วเก็บตัวอย่างดินที่ความลึกประมาณ 1 – 2 เมตร เนื่องจากบริเวณผิวดินจะเป็นดินทรายเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งไม่ต้องการนำมาวิเคราะห์ในเรื่อง Dispersive Clay เพราะการกระจายตัวของอนุภาคดิน (Clay Particles) จะคำนึงเฉพาะส่วนของ Clay Particles ขนาดตั้งแต่ 0.005 มม. ลงไป ตัวอย่างดินจะเก็บไว้ในถุงพลาสติกหนา มีการติดสลากบอกบริเวณที่เก็บ ความลึกของดินและรายละเอียดอื่นๆ ของบริเวณที่เก็บ มัดปากถุงให้แน่นเพื่อกันน้ำเข้า แล้วจึงใส่ลงไปในถุงดินที่เตรียมไว้อีกชั้นหนึ่งเพื่อกันสลากที่ทำการติดไว้เลือนหายในกรณีที่โดนน้ำหรือฝน จากนั้นจึงค่อยนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการต่อไป

ดินเหนียว

ตัวอย่างดินอ่อนที่ใช้ทดสอบ จะเก็บจากบริเวณโครงการก่อสร้างทาง อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ โดยตัวอย่างดินที่เก็บเป็นแบบถูกรบกวน (Disturbed Sample) วิธีการเก็บตัวอย่างดินจะทำเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างดินกระจายตัว โดยเก็บที่ความลึกประมาณ 2 - 5 เมตร

3.2.4 การทดสอบ

3.2.4.1 ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมของดิน

- ทดสอบหาขีดจำกัดอัตเตอร์เบิร์ก (Alterberg's Limits) ตามมาตรฐาน ASTM D423 โดยทดสอบหาค่าขีดจำกัดความเหลว (Liquid Limit) และขีดจำกัดความเหนียว (Plastic Limit)
- ทดสอบหาขนาดคละของเม็ดดิน ตามมาตรฐาน ASTM D422 เพื่อดูการกระจายขนาดคละของเม็ดดิน
- ทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ตามมาตรฐาน ASTM D854
- ทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) ตามมาตรฐาน ASTM D698
- ทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว (Unconfined Compression Test)

3.2.4.2 ทดสอบหาระดับการกระจายตัวของดินในห้องปฏิบัติการ

- ทดสอบหาการกระจายตัวของดิน โดยวิธี Double Hydrometer Test ตามมาตรฐาน ASTM D4221
- ทดสอบหาการกระจายตัวของดิน โดยวิธี Pinhole Test ตามมาตรฐาน ASTM D4647

3.2.4.3 ทดสอบความสามารถในการต้านทานการพัดพาดินเหนียว

ก่อนทำการทดสอบในหัวข้อนี้ ต้องทำการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) เสียก่อน เพื่อต้องการทราบค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, γ_{dmax}) และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture

Content, OMC) ของตัวอย่างดิน เพื่อนำมากำหนดสถานะเริ่มต้นของตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบนี้ ขั้นตอนการทดสอบ สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

3.2.4.3.1 การเตรียมตัวอย่างดินกระจายตัว

แบ่งการเตรียมตัวอย่างดินเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ดินกระจายตัว (จากบริเวณข้างทางรถไฟย่านลำตะคอง อ.ลำตะคอง จ.นครราชสีมา)

กลุ่มที่ 2 ดินกระจายตัวผสมปูนขาวที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

กลุ่มที่ 3 ดินเหนียว (จากดินในเขต อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ)

- ตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบ ให้ทำการผึ่งหรืออบดินให้แห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบดินที่เกาะกันให้แยกออกมา อย่าทุบดินจนทำให้เม็ดดินแตก
- คำนวณปริมาณน้ำที่จะใช้ผสมตัวอย่างดินให้ได้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ตามที่ทดสอบเอาไว้ก่อนหน้านี้
- ทำการผสมน้ำกับตัวอย่างดินให้เข้ากัน
- ทำการบดอัดตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ในกระบอกเซลล์ โดยควบคุมการบดอัดให้ได้ความหนาแน่นแห้งตามที่ออกแบบไว้ และใช้พลังงานในการผสมเท่า ๆ กันทุกชั้นเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจจะเกิดจากพลังงานที่ใช้ในการบดอัด การบดอัดแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินตามที่ได้คำนวณไว้ บดอัดโดยใช้ตุ้มบดอัด นับจำนวนครั้งเพื่อให้ได้พลังงานตามการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test ตามมาตรฐาน ASTM D698) ระหว่างทำการบดอัดให้เก็บตัวอย่างดินแต่ละชั้นเพื่อหาปริมาณความชื้น คำนวณหาความหนาแน่นแห้งโดยใช้ปริมาตรของวัสดุที่บดอัดได้แต่ละชั้น นอกจากนั้นหาความหนาแน่นแห้งอีกครั้งเมื่อเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบหาความสามารถในการต้านทานแรงเฉือน คาดว่าความหนาแน่นแห้งที่ได้จะผิดพลาดไม่เกิน ± 0.25 kN/m^3
- ความหนาของตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบ จะใช้ที่ความหนา 2.5 ซม. และ 5 ซม. ซึ่งความหนาดังกล่าวจะทำให้ระยะเวลาในการเดินทางของอนุภาคดินเหนียวที่ถูกกัดเซาะมีค่าน้อยและมีผลกระทบต่อระยะทางในการพัดพาอนุภาคดินเหนียวน้อย ซึ่งถ้ามีความหนามากกว่านี้จะมีผลทำให้ได้ค่าการกัดเซาะภายในที่มากเกินจริง (อนุภาคดินเหนียวที่ถูกกัดเซาะจะไปอุดตันรูที่เจาะหรือเป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำที่ผ่านรูเจาะ)

3.2.4.3.2 การทดสอบ

แบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ไม่ทำการเจาะตัวอย่างดิน

กรณีที่ 2 ทำการเจาะตัวอย่างดิน

กรณีที่ 1 ไม่ทำการเจาะตัวอย่างดิน

หลังจากเตรียมตัวอย่างดินทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งบดอัดจนได้ความแน่นตามที่ต้องการ พร้อมทั้งประกอบเครื่องมือทดสอบเรียบร้อยแล้ว ทำการทดสอบ 2 ขั้นตอน คือ

(1) ทดสอบหาความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำ

- ทำการอัดแรงดันน้ำ (ใช้น้ำกลั่นในการทดสอบ) เพื่อทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวเสียก่อน โดยใช้แรงดันน้ำ 10 kPa แล้วรอจนน้ำไหลออกมามีปริมาณที่สม่ำเสมอ จากนั้นทดสอบความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำ โดยใช้แรงดันน้ำ 15 และ 20 kPa แต่ละความดันวัดจนปริมาณน้ำไหลออกมาเท่ากัน

(2) ทดสอบหาความสามารถในการต้านทานการพัดพาอนุภาคดินเหนียวเนื่องจากแรงดันน้ำของดินกระจายตัว

- ทำการเพิ่มแรงดันน้ำไปเรื่อยๆ จนปริมาณน้ำที่ไหลออกมามีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดและไม่สามารถจับเวลาหาปริมาณน้ำได้ บันทึกค่าแรงดันสูงที่เกิดขึ้น เก็บน้ำที่ไหลผ่านออกมาจากการทดสอบนำไปอบแห้งแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณเม็ดดินที่ถูกพัดพา ทำการทดสอบอีกครั้ง หลังจากนั้นให้ทำการทดสอบหาความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำภายหลังการทดสอบหาความสามารถในการต้านทานการพัดพาอนุภาคดินเหนียวเนื่องจากแรงดันน้ำของดินกระจายตัวอีกครั้ง โดยใช้แรงดันน้ำ 15 และ 20 kPa แต่ละความดันวัดจนปริมาณน้ำไหลออกมาเท่ากัน

กรณีที่ 2 ทำการเจาะตัวอย่างดิน

หลังจากเตรียมตัวอย่างดินทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งบดอัดจนได้ความแน่นตามที่ต้องการ ให้ทำการทดสอบหาความสามารถในการต้านทานการพัดพาอนุภาคดินเหนียวเนื่องจากแรงดันน้ำของดินกระจายตัวเพียงขั้นตอนเดียว เนื่องจากทำการเจาะตัวอย่างดินแล้ว โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

- ทำการเจาะรูตัวอย่างดินที่ศูนย์กลางตัวอย่าง โดยใช้เข็มขนาดต่างกัน คือ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มม. , 5 มม. และ 9 มม. ขนาดของรูที่เจาะจะพิจารณาบนพื้นฐานที่ว่า ถ้ารูมีขนาดใหญ่มากเกินไป จะไม่สามารถจับเวลาที่น้ำไหลออกมาได้ แต่ถ้ารูมีขนาดเล็กมากเกินไป น้ำก็ไม่สามารถไหลผ่านรูที่เจาะได้เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวไปอุดตันรูที่เจาะ ซึ่งเมื่อทำการทดลองเบื้องต้นหลายๆครั้ง พบว่า ขนาดรูเจาะที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2.5 - 9 มม.

- ทำการประกอบเครื่องมือทดสอบ

- ทำการอัดแรงดันน้ำโดยปล่อยน้ำ (ใช้น้ำกลั่นในการทดสอบ) ที่ head น้ำระดับต่าง ๆ คือ ระดับน้ำที่ความสูง 0.10 ม. , 0.20 ม. , 0.30 ม. และ 0.40 ม. วัดจากผิวน้ำถึงผิวบนของตัวอย่างดิน จับเวลาเมื่อเริ่มปล่อยน้ำ บันทึกเวลาเมื่อน้ำเริ่มไหลออกมาจากตัวอย่างดิน โดยมีภาชนะรองน้ำที่ไหลออกมาเพื่อนำไปอบแห้งหาปริมาณดินที่ถูกกัดเซาะเนื่องจากแรงดันน้ำ จากนั้นทำการเปลี่ยนภาชนะรองน้ำที่ไหลออกมาทุกๆ 5 วินาที (ควรทำการทดสอบอย่างน้อย 2 คน โดยคนหนึ่งเป็นคนจับเวลา อีกคนหนึ่งทำการเปลี่ยนภาชนะรองน้ำที่ไหลออกมา) จนกระทั่งสังเกตเห็นน้ำไหลออกมาอย่างสม่ำเสมอ (ลักษณะน้ำที่ไหลออกจากรูจะมีลักษณะเป็นแนวตรง) นำน้ำที่รองได้ไปอบแห้ง บันทึกปริมาณดินที่หลุดออกมา

3.2.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

3.2.6 จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

<u>สถานที่วิจัย</u>

- ห้องปฏิบัติการทดสอบปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ห้องปฏิบัติการทดสอบดินด้านวิทยาศาสตร์ กลุ่มงานดินด้านวิทยาศาสตร์ ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย