บทที่ 3

การทดลองและการวิจัย

เนื่องจากการออกแบบและการก่อสร้างถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อนมาก โดยเฉพาะในบริเวณดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Soft Bangkok Clay) มักจะพบกับปัญหาทางด้านเสถียรภาพและการทรุดตัวเร็วกว่าที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นเพื่อความเข้าใจและให้ทราบถึงปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาในรายละเอียดดังนี้

1. หาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) เพื่อวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยทางด้านเสถียรภาพของคันทางแบบหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis, TSA)

2. หาค่าคุณสมบัติพื้นฐานของดินเพื่อจำแนกชนิดของดินและทำนายคุณสมบัติทางด้าน Normalized Behavior

3. หาอัตราส่วนความปลอดภัยทางด้านเสถียรภาพของคันทาง

4. หาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน เพื่อวิเคราะห์การทรุดตัวของคันทางโดยวิธีปฐพีกลศาสตร์พื้นฐานของถนนที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว

5. เปรียบเทียบการทรุดตัวของคันทางโดยวิธีปฐพีกลศาสตร์พื้นฐาน และวิธี Stress Path ของถนนที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว

6. คาดคะเนปริมาณแรงดันน้ำโพรงเพิ่ม (Excess Pore Water Pressure) ที่เกิดจากน้ำหนักของคันทาง เพื่อใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัวของชั้นดิน

7. คาดคะเนอัตราการทรุดตัวของคันทาง

8. เสนอแนะวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพและเสนอพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1 สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง

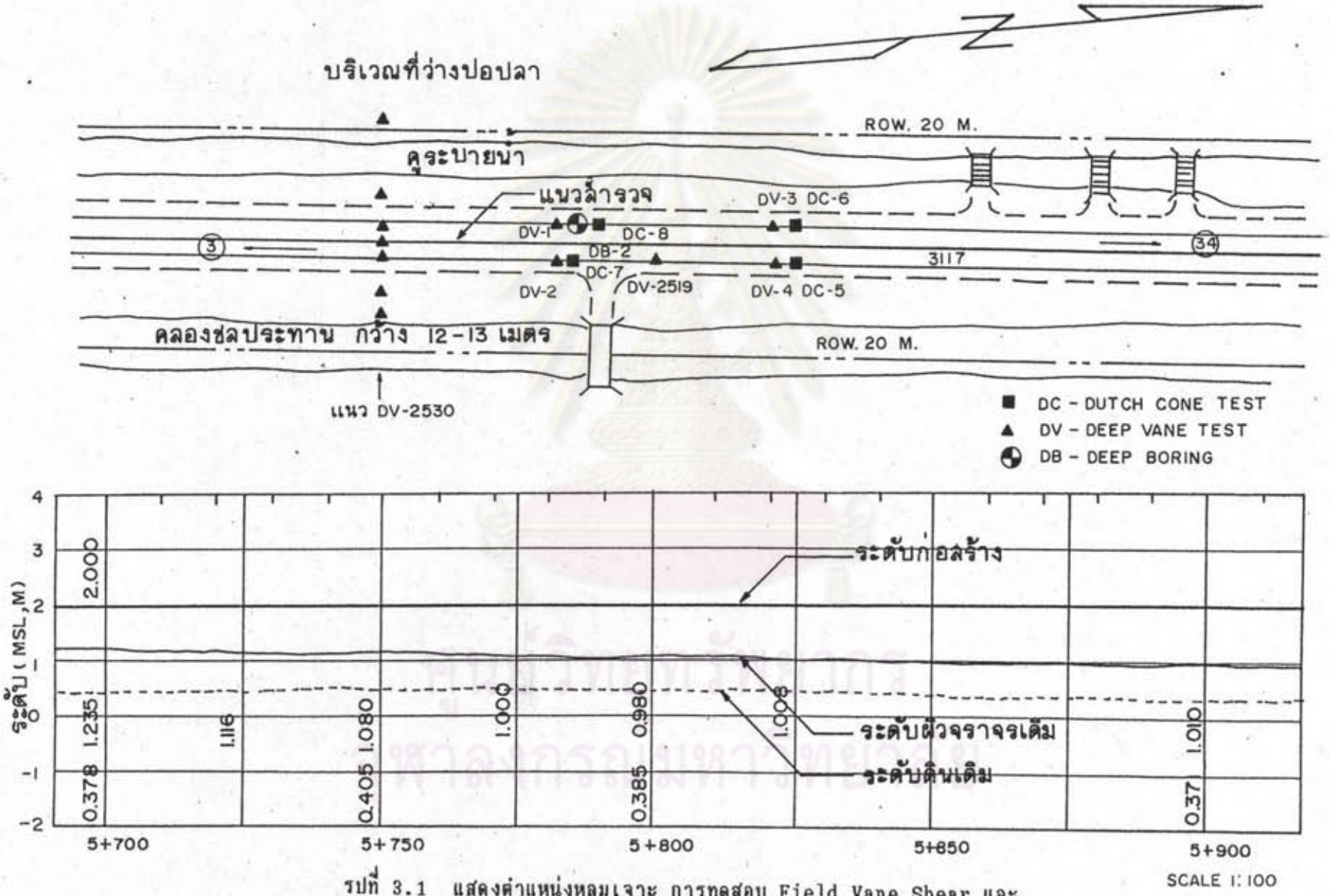
3.1.1 สถานที่ทำการเก็บตัวอย่าง

บริเวณที่ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างคือ ที่ กม.5+743-กม.5+870 และ กม.6+737.5-กม.6+850 ถนนสายคลองด่าน-บางบ่อ(ทางหลวงจังหวัดหมายเลข 3117)

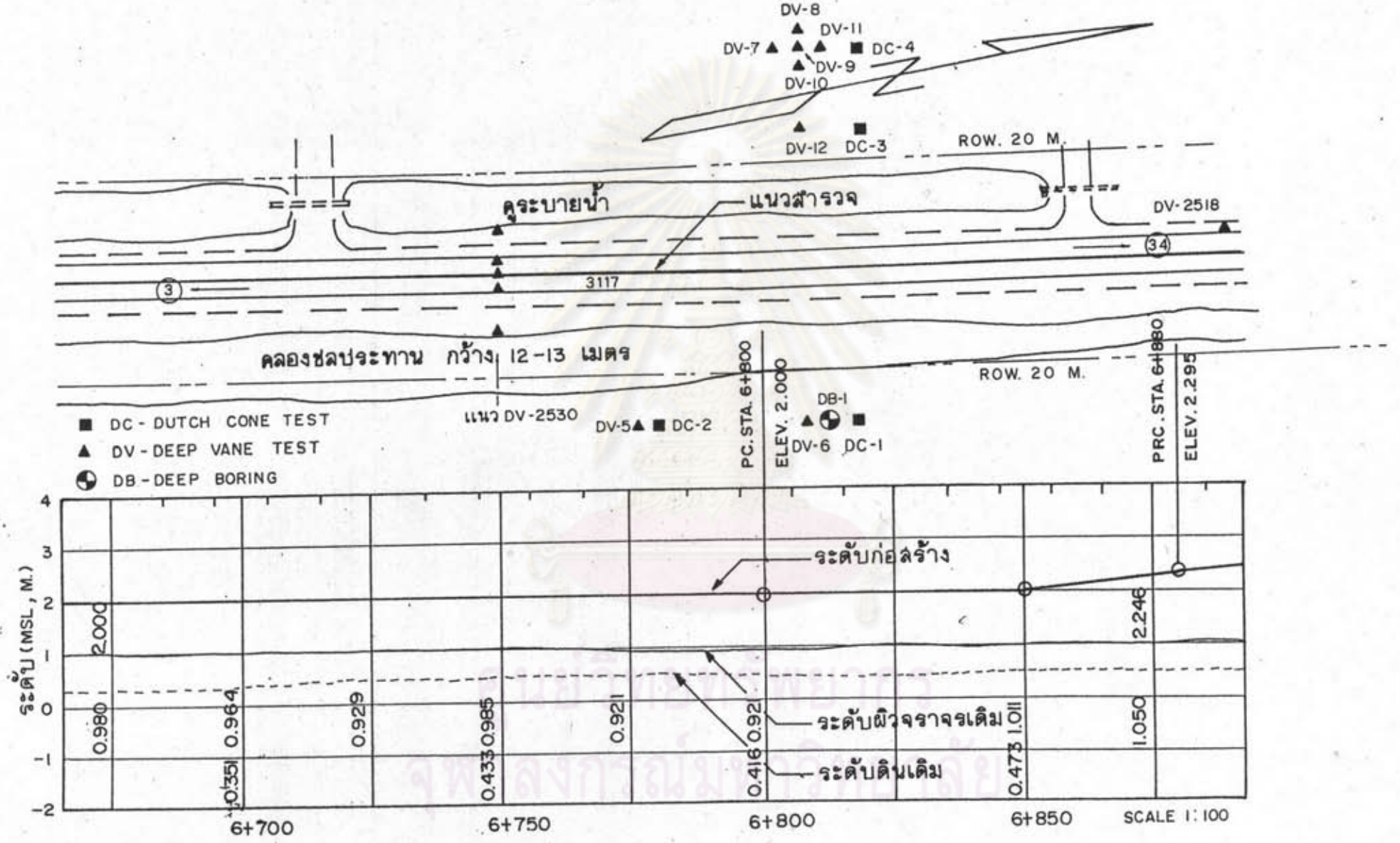
จังหวัดสมุทรปราการ ดังแสดงในรูป 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ สาเหตุที่เลือกบริเวณนี้ก็เนื่องจากว่าบริเวณดังกล่าวเกิดความเสียหายของคันทางเกิดขึ้น โดยมีการวิบัติที่กึ่งกลางถนนและเคลื่อนตัวไปทางด้านขวาทางดังแสดงในรูป 1.3 ถึง 1.5 เป็นระยะทางยาวกว่า 150 เมตร แสดงว่าดินบริเวณนี้เป็นดินเหนียวอ่อนมาก มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำค่าการยุบอัดตัวสูงและความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนหนามากประมาณ -24 เมตร และระดับน้ำมักท่วมคันทางอยู่เสมอ กรมทางหลวงจึงได้ยกระดับถนนให้สูงขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ.2518 (ก่อนหน้านี้เป็นถนนในความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนจังหวัด) โดยยกคันทางเดิมให้สูงจากถนนเดิมประมาณ 1.30-1.40 เมตร ซึ่งถนนเดิมได้ทรุดตัวใกล้เคียงกับระดับดินเดิมสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางเฉลี่ย 0.30-0.50 เมตร ตลอดสายทาง ดังนั้นหน่วยแรงที่กระทำต่อผิวดินจึงมีค่าสูงทำให้เสถียรภาพของคันทางค่อนข้างต่ำเกิดการทรุดตัวสูง อนึ่งการก่อสร้างครั้งนี้เป็นครั้งที่ 2 ของกรมทางหลวง และสภาพถนนได้ทรุดตัวเท่ากับระดับดินเดิมเหมือนเมื่อปี พ.ศ.2518 จึงได้ออกแบบยกระดับให้เท่ากับการก่อสร้างครั้งก่อน มีระดับหลังคันทางอยู่ห่างจากระดับน้ำทะเลปานกลาง +2.0 เมตร ตำแหน่งที่ทำการเจาะเก็บแบบไม่รบกวนสภาพ (Undisturbed Sample) คือ DB1 และ DB2 ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 การที่ทำการเจาะเก็บตัวอย่างดิน 2 หลุม คือ DB1 ที่ กม.6+819 ห่างจากกึ่งกลางถนนไปทางด้านขวาทาง 37.20 เมตร และหลุม DB2 ซึ่งเก็บที่ กม. 5+784 ห่างจากกึ่งกลางถนนไปทางด้านซ้ายทาง 5.10 เมตร ซึ่งเป็นดินที่ถูก Preload มาก่อน ตัวอย่างที่ DB-2 ใช้เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินด้านกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) และประวัติของหน่วยแรง (Stress History) เนื่องจากการก่อสร้างถนนครั้งแรก ตัวอย่าง DB1 เปรียบเสมือนเป็นดินอ่อนที่อยู่ในสภาพธรรมชาติที่ไม่เคยถูกรบกวนจากหน่วยแรงภายนอกมาก่อนตัวอย่างดิน DB2 เปรียบเสมือนเป็นดินอ่อนที่ถูกรบกวนโดยการกดทับของคันทางมาเป็นเวลานาน และรูปที่ 3.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงระบบของหน่วยแรงเนื่องจากการก่อสร้างถนนเก่า (พ.ศ.2518) และเนื่องจากการปรับปรุงถนนใหม่ (พ.ศ.2532)

3.1.2 <u>วิธีการเก็บตัวอย่าง</u>

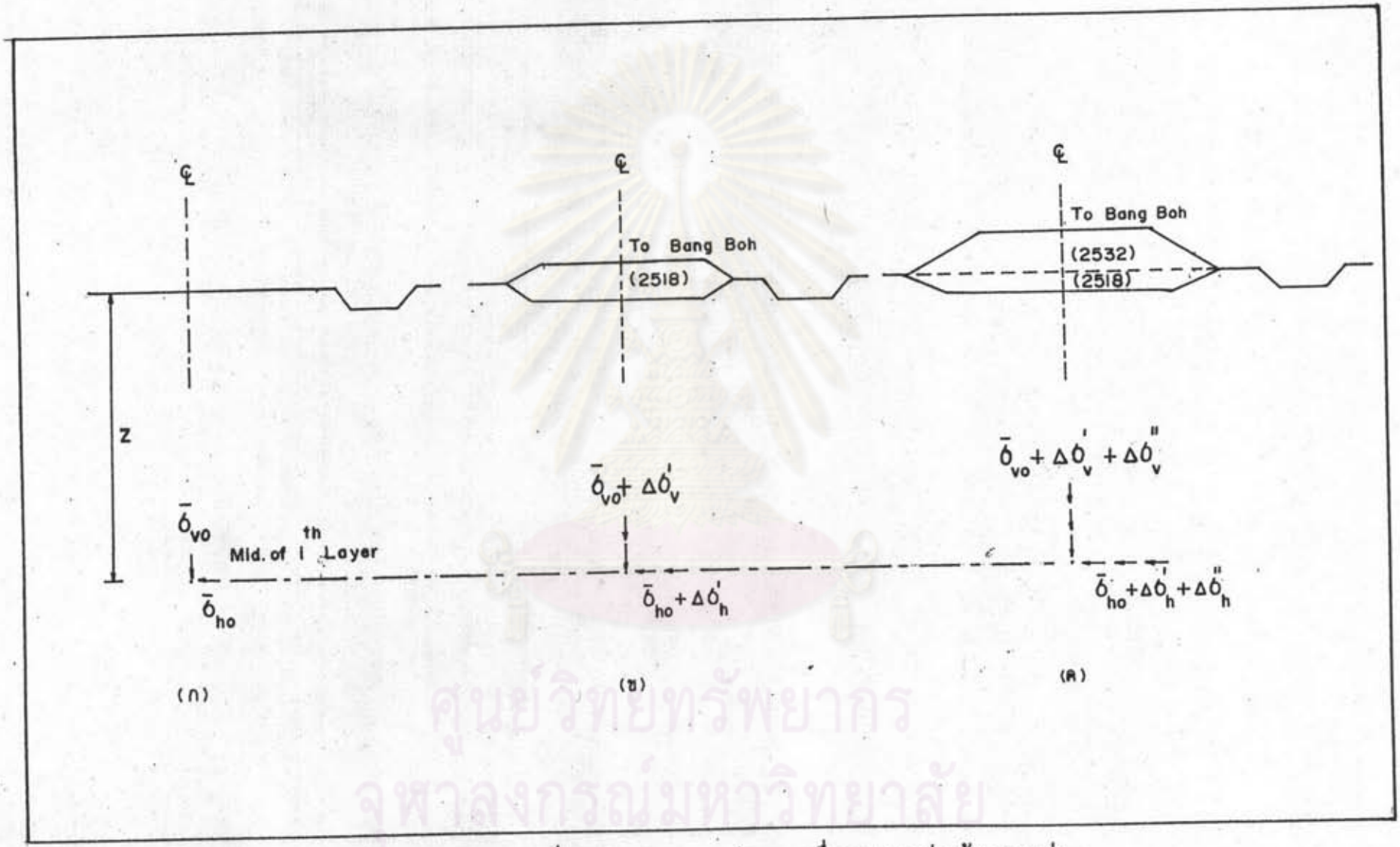
เนื่องจาก กม.5+743-กม.5+870 และ กม.6+737.5-กม.6+850 เป็นบริเวณที่มีดินอ่อนมากมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำปริมาณความชื้นตามธรรมชาติสูง (Natural Water Content 70-140 %) และ Sensitivity สูง (ประมาณ 3-9) จึงเลือกใช้



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งหลุมเจาะ การทดสอบ Field Vane Shear และ Dutch Cone Penetration กม.5+743-กม.5+870



รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งหลุมเจาะ การทดสอบ Field Vane Shear และ Dutch Cone Penetration กม.6+737-กม.6+850



รูปที่ 3.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงระบบของหน่วยแรงเนื่องจากการก่อสร้างถนนเก่า (2518 B.E.) และการปรับปรุงถนนใหม่ (2532 B.E.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอกบางเก็บตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว และยาว 0.60 เมตร โดยเก็บตัวอย่างดินที่ทุกๆ 1.50 เมตร จนถึงชั้นทรายซึ่งใช้เวลาในการทำงานประมาณ 2 วันต่อหลุม

ขั้นตอนของการเก็บตัวอย่างมีดังนี้

1. นำรถเจาะเข้าจอด ณ จุดที่จะทำการเก็บตัวอย่าง ติดตั้งเครื่องมือและหมุน Casing ลงไปในดินเพื่อกันดินพังโดยใช้เครื่องไฮโดรลิค

2. ติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกบางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 0.60 เมตร และดันกระบอกบางลงไปในดินโดยส่งถ่ายแรงผ่านก้านเจาะ

3. หมุนก้านเจาะเพื่อเฉือนดินให้ขาดออกจากกันแล้วนำกระบอกบางขึ้นมาเคลือบพาราฟินทั้งหัวและท้าย พร้อมทั้งเขียนคำอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดของตัวอย่างที่เก็บและยึดไว้กับตัวกระบอกบาง

4. เก็บตัวอย่างตามข้อ 2-3 จนถึงชั้นทรายจึงหยุดเก็บตัวอย่างดิน

5. ทดสอบหาค่า Standard Penetration (N-Value)

6. นำตัวอย่างดินซึ่งเก็บเรียบร้อยแล้วส่งเข้าห้องบ่มความชื้นโดยให้มีการรบกวนน้อยที่สุดเพื่อรอการทดสอบต่อไป

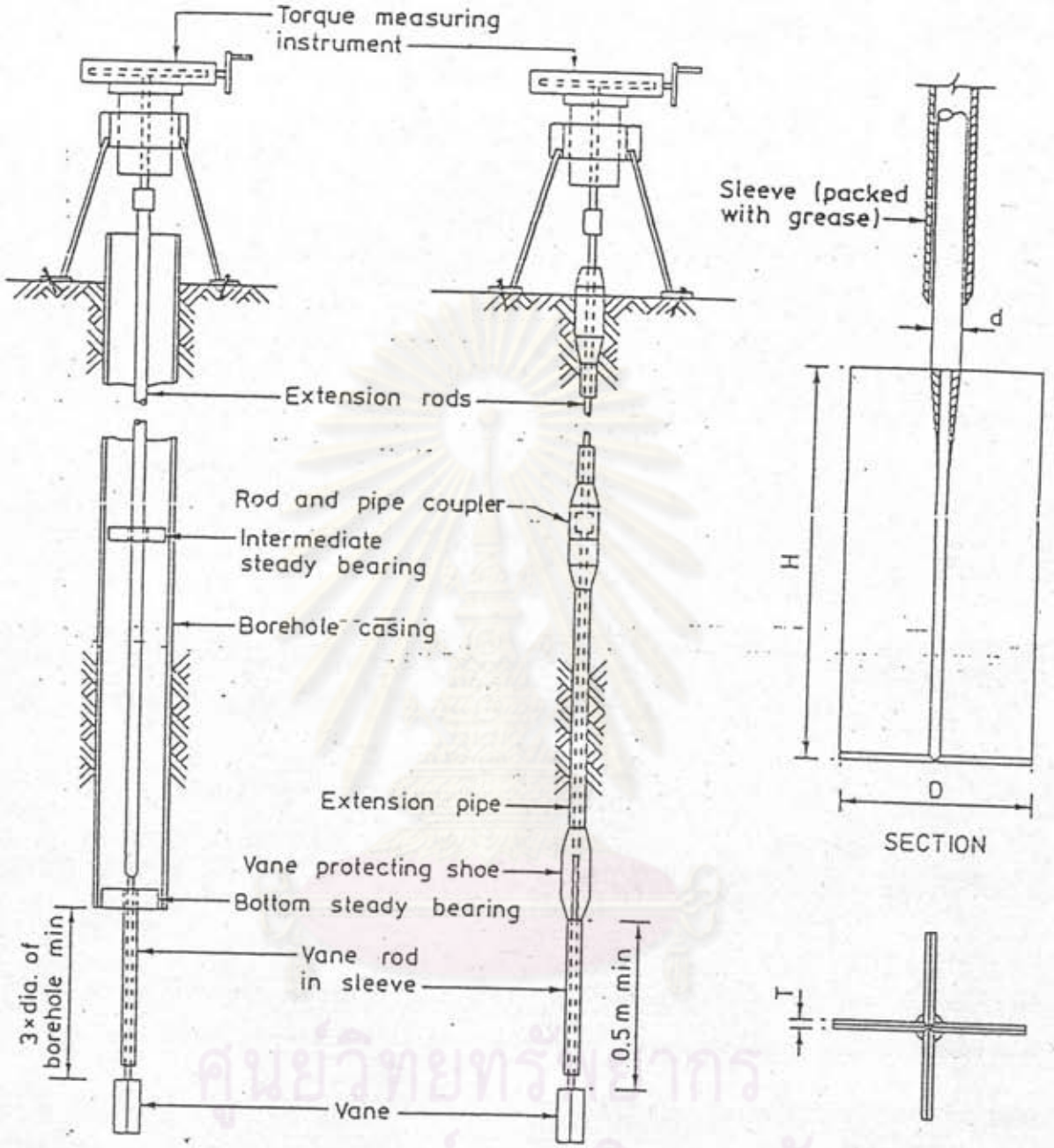
3.2 การทดสอบและการเก็บข้อมูลในสนาม

3.2.1 การทดสอบ Field Vane Shear

การทดสอบ Field Vane Shear เป็นการทดสอบเพื่อวัดกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ในสนามซึ่งจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของดินทางตำแหน่งที่ทำการทดสอบระหว่าง กม.5+743- กม.5+870 คือทางด้านซ้ายทาง 2 หลุม และด้านขวาทาง 2 หลุม ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ตำแหน่งที่ทำการทดสอบระหว่าง กม.6+737.5- กม.6+850 คือทางด้านซ้ายทาง 6 หลุม และทางด้านขวาทาง 2 หลุม ดังแสดงในรูปที่ 3.2

การทดสอบได้ใช้เครื่องมือ Geonor Vane Borer ขนาดของใบ Vane 55*110 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.4 มีอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 2:1 ซึ่งเหมาะกับดินเหนียวอ่อนที่มีกำลังรับแรงเฉือนในช่วง 0-5 ตัน/ม^2



Note : Figure based on BS 1377 (BSI, 1975b).

รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องมือและการทดสอบ Field Vane Shear

ขั้นตอนการทำการทดสอบ

1. ติดตั้งเครื่องมือและกด Vane Borer ด้วย Hydrolic Jack ลงไปในดินก่อนถึงระดับทดสอบ 50 ซม.

2. กด Steel Rod ที่ต่อกับใบ Vane ที่ซ่อนอยู่ใน Protection Shoe ไป 50 ซม.

3. ติดตั้งเครื่องมือส่งถ่ายโมเมนต์บิด (Torque) โดยต่อกับ Steel Rod ในข้อ 2 ด้วยอัตรา 0.1 องศา/วินาที บันทึกค่าโมเมนต์บิดสูงสุดที่อ่านได้เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังรับแรงเฉือน

4. ทำการหมุนใบ Vane ไปอีก 25 รอบ และทำการบันทึกค่าโมเมนต์บิดสูงสุดที่อ่านได้เป็นค่า Remold Strength

(หมายเหตุ หลุมที่ 9,10,11และ12 หมุนไป 10,50,100 และ150 รอบ ตามลำดับ)

5. หลังจากอ่านค่ากำลังรับแรงเฉือนเสร็จแล้วให้ดึงใบ Vane กลับเข้าไปอยู่ใน Protection Shoe และดำเนินการทดลองใหม่จากข้อ 1-5

การหาค่ากำลังรับแรงเฉือนกระทำได้โดยการแปลงแรงบิด (Torsion Force) ไปเป็น Unit Shear Resistance โดยสมมุติการวิบัติของดินเป็นผิวรูปทรงกระบอก ดังนี้

$$Su = Tmax/\pi(DH/2-D^3/6) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.1$$

โดยที่ Su = กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

T = Torque

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของใบมีด Vane

H = ความสูงของใบมีด Vane

การทดลอง Field Vane Shear จะกระทำทุกๆ 1.00 เมตรจากผิวดินลงไปโดยการทดลองแบบไม่รบกวนกำลังรับแรงเฉือน (Undisturbed Shear Strength) และการทดสอบแบบรบกวนกำลังรับแรงเฉือน (Remolded Shear Strength) โดยการหมุนใบ Vane 25 รอบ ก่อนทำการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือน จากค่ากำลังรับแรงเฉือนทั้งสองทำให้เราสามารถหาค่า Sensitivity ของดินเหนียวอ่อนได้ การทดสอบจะหยุดที่ระดับความลึก -15 เมตร จากระดับดินเดิมและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ 1 วันต่อหลุม

3.2.2 การทดสอบ Dutch Cone Penetration

การทดสอบ Dutch Cone Penetration เป็นการทดสอบเพื่อวัดกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength,Su) ในสนามอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางเพื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ Field Vane Shear ตำแหน่งที่ทำการทดสอบระหว่างกม.5+743-กม.5+870 คือทางด้านซ้ายทาง 2 หลุม และขวาทาง 2 หลุม ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ตำแหน่งที่ทำการทดสอบระหว่าง กม.6+737.5-กม.6+850 คือ ทางด้านซ้ายทาง 2 หลุม และด้านขวาทาง 2 หลุม ดังแสดงในรูปที่ 3.2

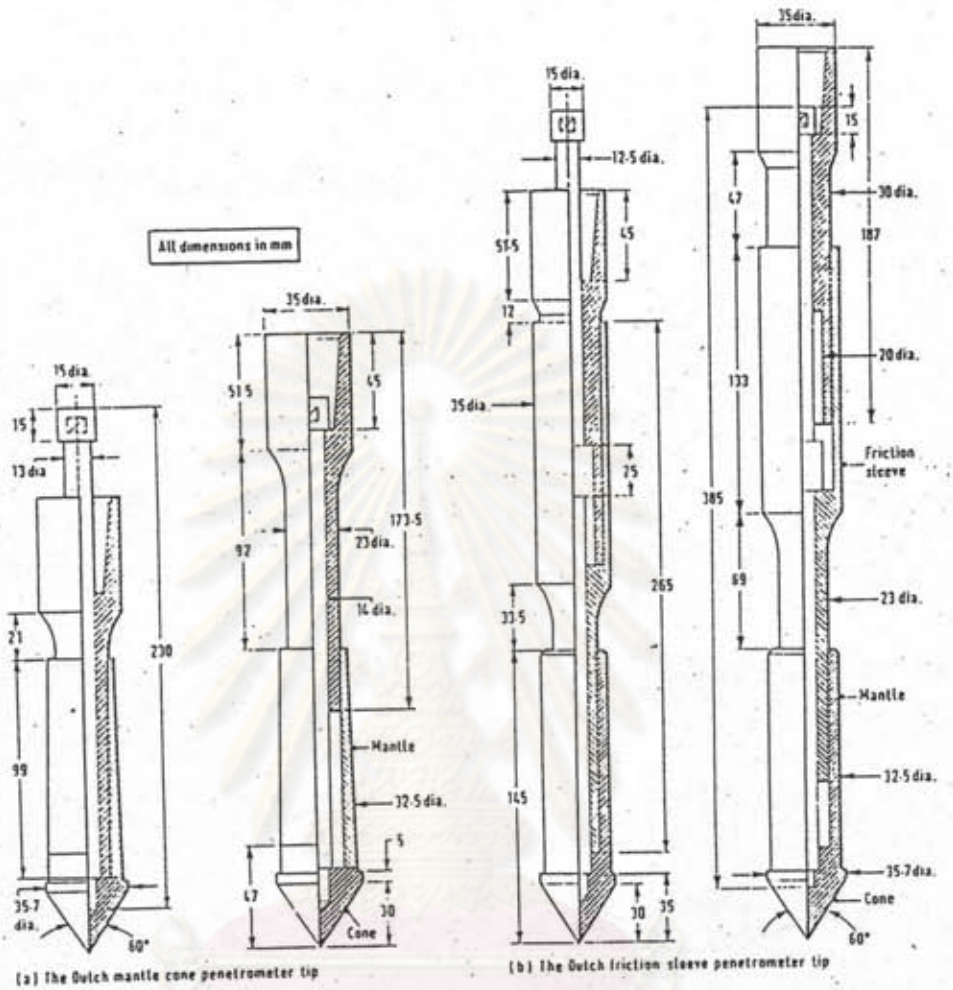
การทดสอบได้ใช้เครื่องมือ Static Cone Penetrometer รุ่น HYSON -10 Tf-1W ขนาดแรงกด 100 KN. โดยใช้ขนาดของตัว Cone Base Area เท่ากับ 10 ซม.^{2} และมี Friction Area เท่ากับ 150 ซม.^{2} ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งเหมาะกับดินเหนียวอ่อนที่มีกำลังรับแรงเฉือนระหว่าง 0-5 ตัน/ม.^{2}

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ติดตั้งเครื่องมือชุด Cone Penetration Test ขนาด 10 ตันชนิดกดด้วยไฮโดรลิค ยึดฐานเครื่องมือด้วยสว่านที่ฝังลงไปในดินจำนวน 4 ตัว เพื่อต้านทานแรงถอนระหว่างการทดสอบ

2. ติดตั้งชุดหัว Cone แบบ Friction-Sleeve-Cone ซึ่งประกอบด้วยปลอกวัดความฝืด (Friction Sleeve) และปลายกรวย (Cone Base Area)

3. กดปลายกรวยซึ่งมีลักษณะแหลมเป็นมุม 60 องศา ลงไปในชั้นดินทุกระยะ 0.20 เมตร ด้วยอัตรา 10 มม/วินาที โดยการกดผ่านก้านกด (Pressure Rod) ซึ่งมีท่อเหล็กกลมกันดิน (Casing) หุ้มอยู่แรงต้านต่อพื้นที่หน้าตัดกรวยจะถูกบันทึกเป็นค่า



รูปที่ 3.5 แสดงมิติของหัว Cone แบบ Friction-Sleeve-Cone

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Cone Resistance (qc) และเมื่อหัว cone เคลื่อนที่ไปอีกระยะหนึ่งปลอกวัดความฝืดจะถูกดึงตามลงมาด้วย แรงที่บันทึกไว้ครั้งนี้เป็นค่า qc′ และความฝืดที่ผิวของปลอกและที่ปลาย Cone รวมกัน

4. การอ่านค่า จะกระทำทุกๆ 0.20 เมตร และทำการต่อ Pressure Rod ทุก ๆ 1.0 เมตร

5. การทดสอบจะกระทำจนถึงชั้นทรายหรือจนกระทั่งสว่านที่ฝังไปในดินเริ่มถอน

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถนำมาหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำได้ตามสมการที่ 2.15

ตารางที่ 3.1 ได้สรุป ตำแหน่งหลุมเจาะและหลุมทดสอบ Field Vane Shear กับ Dutch Cone Penetration ทั้งที่ทดสอบใหม่และข้อมูลเดิมที่ค้นหามาได้

3.2.3 <u>การวัดแรงดันน้ำในโพรงดิน</u>

กรมทางหลวงได้ทำการติดตั้ง Piezometer พร้อม Dummy Piezometer เพื่อวัดแรงดันน้ำในโพรงดินที่อยู่ใต้กึ่งกลางถนนในระหว่างการก่อสร้างที่ Section กม.5+000 และ กม.7+000 ซึ่งห่างจากบริเวณที่ทำการศึกษา กม.5+750 และ กม.6+750 ประมาณ 750 เมตร และ 250 เมตร ตามลำดับเพื่อใช้ในการควบคุมอัตราการถมถนนระดับความลึกที่ติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 3.6

3.2.4 <u>การวัดการทรุดตัวของถนนในระหว่างการก่อสร้าง</u>

เมื่อมีการปรับปรุงถนนใหม่โดยการยกระดับให้สูงขึ้นจากเดิมประมาณ 1.30 -1.40 เมตร โดยไม่สร้าง Berm ข้างถนนเพราะทั้งสองข้างทางเป็นคูน้ำและคลองชลประทาน ระหว่างการก่อสร้าง (เดือนมกราคม ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2532) ได้มีการเก็บข้อมูลการทรุดตัวจาก settlement plate ที่กึ่งกลางถนนที่ Section กม.5+000 และ กม.7+000 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และห่างจากบริเวณที่ทำการศึกษาประมาณ 750 เมตร และ 250 เมตร ตามลำดับ

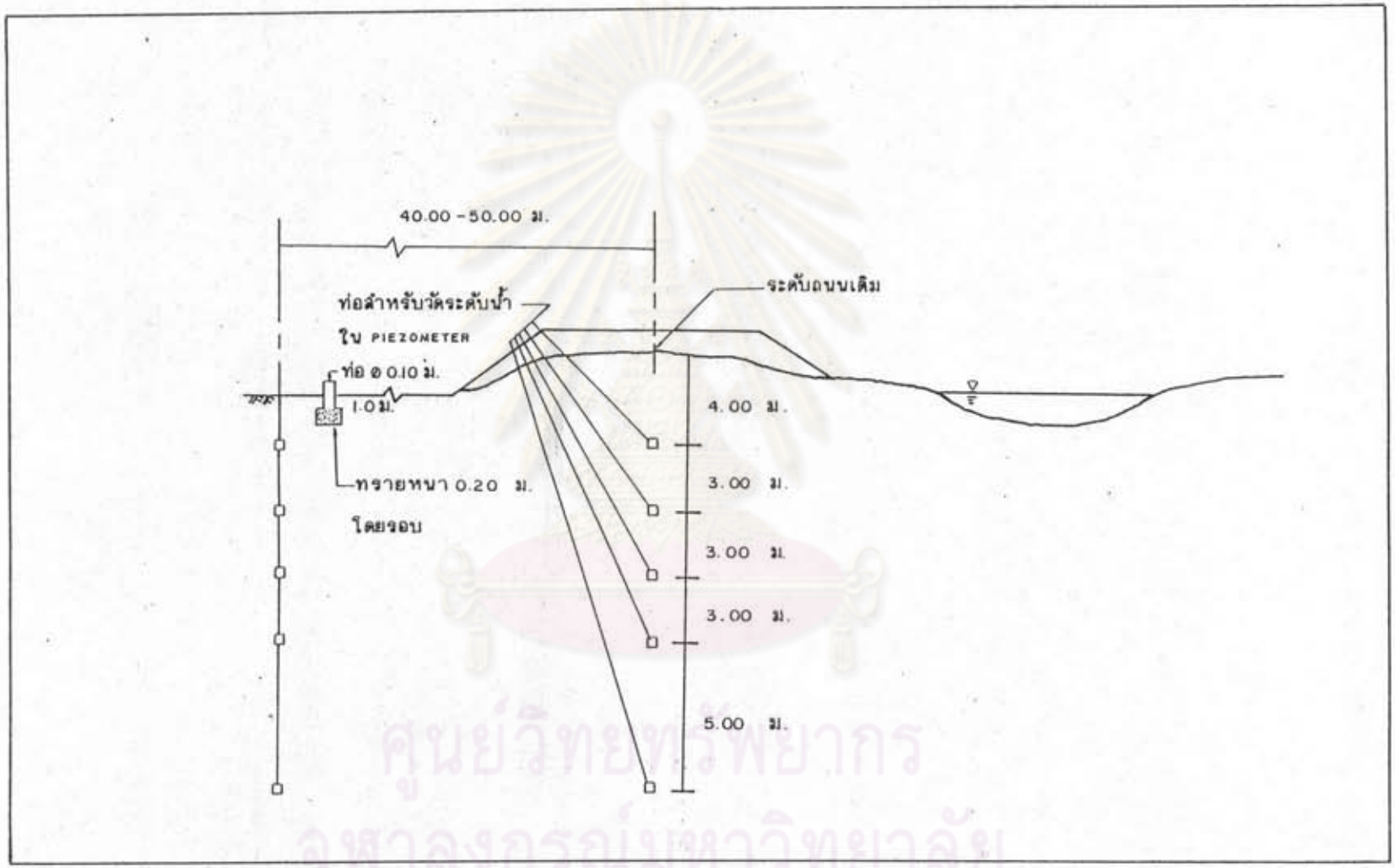
ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่ง Boring และการทดสอบ Field Vane Shear, Dutch Cone Penetration

ชนิดการทดสอบ	กม.	ระยะจากศูนย์กลางถนน (ม.)	หมายเหตุ
DB-1	6+819	37.0 RT.	1 หลุม
DB-2	5+784	5.0 LT.	1 หลุม
DV-1	5+780	5.0 LT.	DV = 12 หลุม
DV-2	5+870	5.0 RT.	
DV-3	5+843	5.0 LT.	
DV-4	5+843	5.0 RT.	
DV-5	6+779	37.0 RT.	
DV-6	6+816	37.0 RT.	
DV-7	6+839	66.0 LT.	
DV-8	6+840	67.0 LT.	
DV-9	6+840	66.0 LT.	
DV-10	6+840	65.0 LT.	
DV-11	6+841	66.0 LT.	
DV-12	6+840	37.0 LT.	
DV-2518	6+900	8.0 LT.	
DV-2519	5+800	6.0 RT.	
DV-2530	5+750	2.5,9.0,22.0 LT.	C.L. 1 หลุม
		2.5,14.0,16.0 RT.	
DV-2530	6+750	3.0,10.0 LT.	C.L. 1 หลุม
		3.0,10.0 RT.	
DC-1	6+822	37.0 RT.	DC = 8 หลุม
DC-2	6+782	37.0 RT.	
DC-3	6+842	37.0 LT.	
DC-4	6+842	66.0 LT.	
DC-5	5+847	5.0 RT.	
DC-6	5+847	5.0 LT.	
DC-7	5+783	5.0 RT.	
DC-8	5+783	5.0 LT.	

หมายเหตุ - DB = Deep Boring

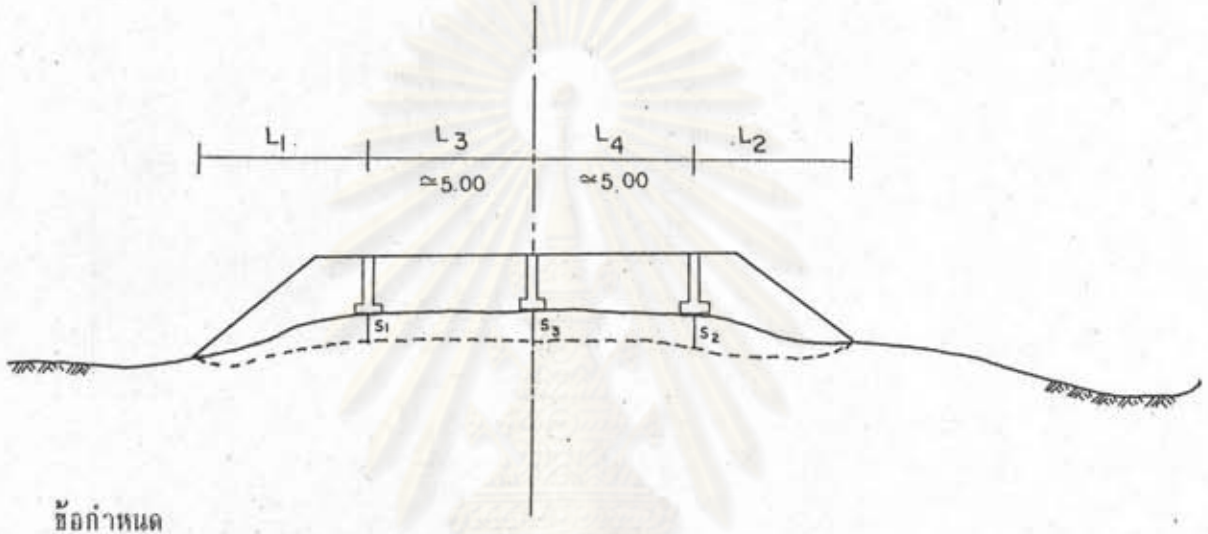
- DV = Deep Vane Shear Test
- DC = Dutch Cone Penetration Test
- C.L. = Center Line

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งติดตั้ง Piezometer ที่ Section กม.5+000 และ กม.7+000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ข้อกำหนด

- S_1, S_2, S_3 คือการทรุดตัว
- คำนวณหาพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการทรุดตัวได้ดังนี้

$$0.5(S_1 * L_1 + S_2 * L_2) + 0.5L_3(S_1 + S_3) + 0.5L_4(S_2 + S_3)$$

- ให้วาง SETTLEMENT PLATE แต่ละ SECTION ตามความเหมาะสม แต่ห่างกันไม่เกิน 250 เมตร

รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งติดตั้ง Settlement Plate ที่ Section กม.5+000 และ กม.7+000

3.3 การทดลองหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินที่เก็บมา

การทดลองนี้เพื่อการจำแนกชนิดของดินให้ชัดเจนขึ้น ง่ายต่อการอ้างอิงและการวิเคราะห์ ประกอบด้วยการทดลองดังต่อไปนี้

1. ปริมาณความชื้นในดินตามธรรมชาติ (Natural Water Content)
2. Atterberg Limit
3. ความหนาแน่นเปียก(Wet Density)
4. ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity Test)

หลังจากที่ทราบค่าความหนาแน่นและความดันน้ำในโพรงดินจากข้อ 3.2.2 แล้ว ก็จะทำให้ทราบค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งตามธรรมชาติของดินได้ ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการหาประวัติของหน่วยแรง (Stress History) เมื่อรู้ค่าหน่วยแรงสูงสุดในอดีต (σ'_p) จากข้อ 3.4

3.4 การทดลองการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาหน่วยแรงสูงสุดในอดีต คุณสมบัติการยุบตัว สัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำและคุณสมบัติการอัดตัวครั้งที่สองตามมาตรฐาน ASTM D 2453-70 T โดยการใช้เครื่องมือแบบ Level Arm (Level Arm Type Condition) container ที่ใส่ตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว แบบยึดแน่น (Fixed Ring Container) การเพิ่มน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นทีละเท่าโดยใช้ช่วงเวลาการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 24 ชั่วโมง

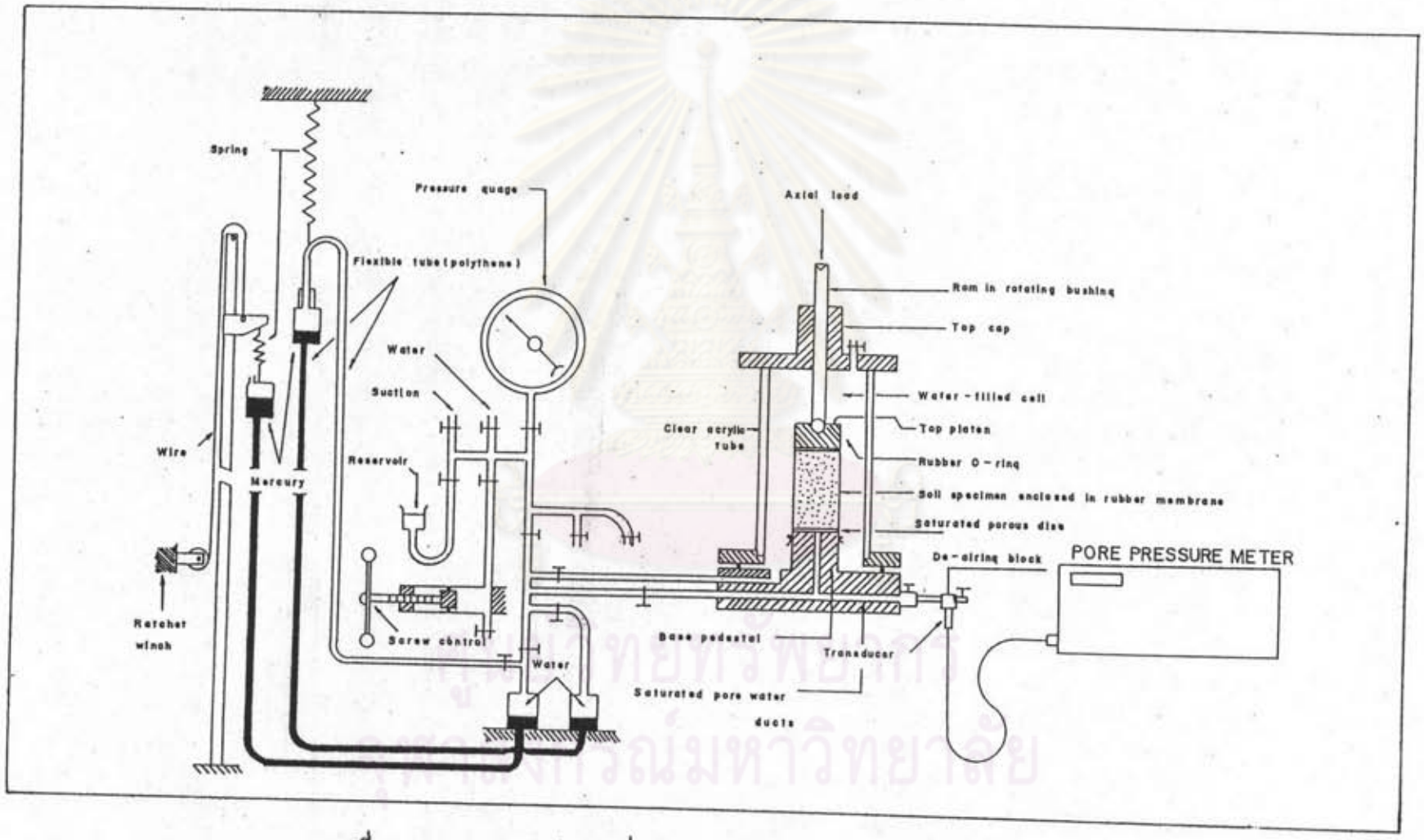
3.5 การทดลองไตรแอกเชียล (Triaxial Test)

การทดลองไตรแอกเชียลเป็นการทดลองเพื่อหากำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยใช้เครื่องมือทดสอบแบบไตรแอกเชียล (Bishop Type Triaxial Cell) ซึ่งผลิตโดย Wykeham Farrance Engineering Ltd. Slough,England สามารถควบคุมแรงดันได้หลายทิศทาง เครื่องมือนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญคือ Triaxial Cell ซึ่งจะติดตั้งบนเครื่องกด (Compression Machine) บนแท่นกดจะมีสายต่อเข้ากับแผงวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volumn Change Measurement) ความดันน้ำกลับในตัวอย่างดิน (Back Pressure) ความดันของระบบจะถูกควบคุมให้คงที่โดยใช้ระบบสมดุลย์ของปรอท (Self Compensating Mercury Column System)ซึ่งใช้ความสูงของปรอทเป็นตัวกำหนดความดัน และออกแบบให้ปรอทรักษาระดับได้โดยใช้สปริงทำให้ความดันระหว่างการทดลองคงที่ตลอดเวลา เครื่องแปลงกำลัง (Transducer) และเครื่องอ่านความดันเป็นตัวเลข (Digital Transducer) สำหรับใช้วัดความดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure) นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆอีก เช่น โครงแขวนเหล็ก (Stell Frame Hanger) ใช้สำหรับวางน้ำหนักคงที่ (Dead Weight) เพื่อทำให้เกิดการอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิค (Anisotropic Consolidation) และเกจ (Dial Gage) สำหรับวัดการยุบตัว (Deformation) ของตัวอย่างดิน

Triaxial Cell มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกประกอบด้วยฐาน (Base) และส่วนบน (The Removeable Cylinder and Top Cap) ก้านกดตัวอย่างดิน (Loading Ram) แผ่นถ่ายน้ำหนัก (Top Cap) และถุงยาง(Rubber Membrane) ดังแสดงในรูปที่ 3.8

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับเครื่อง Triaxial

ก่อนทำการทดลองจะต้องตรวจสอบเครื่อง Triaxial ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานได้ คือต้องตรวจสอบว่ามีการรั่วที่ลิ้นระบายน้ำ (Valve) หรือส่วนใดของเซลล์ (Cell) หรือไม่ โดยให้สายความดันทุกเส้นต้องเต็มไปด้วยน้ำที่ปราศจากฟองอากาศ (Deaired Water) อัดความดัน (Pressure) เข้าไปในสายความดัน (Pressure Line) ทุกเส้นทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง สังเกตดูว่ามีการรั่วในสายความดันหรือไม่



รูปที่ 3.8 แสดงแผนภูมิชุดเครื่องมือทดสอบกำลังเฉือนแบบรับแรงอัดสามทิศทาง

หินพรุน (porous stone) ที่ใช้ต้องต้มไล่ฟองอากาศออกให้หมดและอิ่มตัวด้วยน้ำ เครื่องแปลงกำลัง (Transducer) สำหรับวัดความดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure) จะต้องปรับแก้ (Calibrate) ให้ถูกต้องก่อนโดยเปรียบเทียบกับความดันน้ำที่ทราบค่าโดยอ่านจากเกจวัดความดัน (Dial Pressure Gage) และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆเช่น วงแหวนวัดแรง (Proving Ring) เกจ (Dial Gage) ต้องพร้อมที่จะใช้งานได้

การทดลองเริ่มจากการนำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ออกจากห้องควบคุมความชื้นนำมาแกะพาราฟินที่เคลือบออกแล้วแต่งขอบ (trim) โดยใช้โครงแต่งขอบ (Wire Saw) จนกระทั่งได้ตัวอย่างดินทดลองรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.50 เซนติเมตร และนำตัวอย่างมาตัดหัวและท้ายให้เหลือความยาวประมาณ 7.50 เซนติเมตร เพื่อให้สัดส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างดินเป็นประมาณ 2:1

นำตัวอย่างดินที่เหลือจากการแต่งขอบมาหาค่าปริมาณความชื้นเริ่มแรก (Initial Water Content) จากดินส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง รอบๆตัวอย่างวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างดินโดยใช้เวอร์เนียเพื่อหาปริมาตรของตัวอย่างดินนำมาชั่งน้ำหนักก่อนทำการทดสอบเพื่อหาความหนาแน่น (Total Density)

3.5.2 <u>การจัดเก็บตัวอย่างดินเข้าที่ทดสอบ (Set up of Specimen)</u>

ก่อนที่จะนำตัวอย่างดินมาวางบนฐานของเครื่องไตรแอกเชียล ต้องตรวจสอบดูว่าฐานของเซลล์และสายที่ต่อจากฐานทุกๆเส้นมีน้ำอยู่เต็มและถูกไล่ฟองอากาศออกแล้ว จากนั้นวางหินพรุน (Porous Stone) ที่อิ่มตัวด้วยน้ำบนฐานของเครื่องไตรแอกเชียล ปิดหินพรุนด้วยกระดาษกรองเปียกน้ำ วางตัวอย่างดินและหินพรุนแล้วจึงวาง Top Cap บนหินพรุนการวางกรดาษกรองเปียกน้ำ (Filter Paper) ก็เพื่อไม่ให้ส่วนของดินที่ละลายน้ำไหลเข้าไปในหินพรุนได้

เพื่อเป็นการเร่งอัตราในการอัดตัวคายน้ำ (Consolidatuon) และควบคุมการกระจายความดันน้ำในตัวอย่างให้สม่ำเสมอจะทำการพันกระดาษกรองเปียกน้ำซึ่งตัดเป็นริ้วยาวตามแนวดิ่ง 8 ชิ้น กว้างชิ้นละ 1/4 นิ้ว เว้น 1/4 นิ้ว และยาว 3 1/2 นิ้ว (โดยใช้กระดาษกรองขนาดเดียวกับ Whatman ; No 54) ใช้ถุงยาง (Rubber Membrane) สวมตัวอย่างดิน 2 ชั้น เพื่อแยกดินออกจากน้ำในเซลล์ใช้แหวนยาง

(Rubber O-Ring) จำนวนอย่างละ 2 เส้นรัดส่วนบนและส่วนล่างของตัวอย่างเพื่อป้องกันน้ำในเซลล์ไหลซอนเข้าไปในตัวอย่างดิน วางกระบอกเซลล์ลงบนฐานของเครื่องไตรแอกเชียลและยึดเข้ากับฐานด้วยสกรูรัดแบบยาว จัดก้านส่งถ่ายน้ำหนักให้แตะสัมผัสพอดีกับ Top Cap ของตัวอย่างดินและล็อก Clamp หมุนฐานเครื่องไตรแอกเชียลให้ก้านส่งถ่ายน้ำหนักสัมผัสกับ Proving Ring เปิดคันระบายน้ำให้น้ำที่ไล่ฟองอากาศแล้วเข้าเซลล์จนเกือบเต็มและเติมน้ำมันเครื่องเกรด 140 ในช่องว่างส่วนที่เหลือเพื่อลดการรั่วซึมตรงรอยต่อหรือก้านส่งถ่ายน้ำหนักและใช้เป็นตัวหล่อลื่นก้านส่งถ่ายน้ำหนักอีกด้วย เปิดรูอากาศและเปิดน้ำเข้าจนน้ำมันล้นออกมา จากนั้นก็ปิดรูระบายอากาศเพื่อทำให้มั่นใจว่าไม่มีฟองอากาศอยู่ในเซลล์

3.5.3 <u>การทำให้ตัวอย่างดินอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated of Specimen)</u>

เพื่อให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำและป้องกันการเกิดแรงดันน้ำไหลกลับในตัวอย่าง จะใช้ความดันน้ำในตัวอย่าง (Back Pressure) 2.00 กก/ซม^2 กระทำต่อตัวอย่างไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ในการให้ตัวอย่างดินรับความดันดังกล่าวจะต้องค่อยๆเพิ่มความดันเซลล์ (Cell Pressure) และความดันดินในตัวอย่าง (Back Pressure) ด้วยปั๊มมืออย่างช้าๆสลับกันอย่างต่อเนื่องโดยต้องเพิ่มความดันเซลล์ก่อนเสมอโดยใช้ความเร็วประมาณ 0.20 กก/ซม^2/นาที เพื่อให้เกิดการรบกวนต่อตัวอย่างดินระหว่างการเพิ่มความดันน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการบวมหรือพองตัวของตัวอย่างดินควรให้ความดันเซลล์มากกว่าความดันในตัวอย่างประมาณ 0.05-0.10 กก/ซม^2 แล้วต่อความดันให้เข้ากับอุปกรณ์ชุดเซยความดันให้คงที่ซึ่งได้ตั้งความดันไว้ก่อนแล้วจัดเครื่องวัดการยุบตัว (Strain Indicator) เข้าที่ ปรับระดับก้านส่งถ่ายน้ำหนัก (Loading Ram) และ Top Cap พอดี และล็อค Cell Ram Clamp บันทึกค่าเริ่มแรก (Initial) ที่จุดยอดของตัวอย่างดินจากเกจเพื่อใช้ในการหาการเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่างดิน ปล่อยตัวอย่างดินทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงทำการตรวจสอบว่าตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำหรือไม่โดยปิดวาวล์ระบายน้ำที่ฐานของเครื่องมือไตรแอกเชียล แล้วเพิ่มความดันเซลล์จะทำให้เกิดแรงความดันน้ำระหว่างเม็ดดินขึ้นมา แล้วพิจารณาแรงดันน้ำโพรงเพิ่ม (Excess Pore Water Pressure) กับค่าความดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้นจากความดันในเซลล์เดิม ซึ่งแสดงในรูปของพารามิเตอร์ "B" ของ Skempton ถ้าค่า "B" มีค่ามากกว่า 0.95 จะถือว่าตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำในกรณีที่น้อยกว่านี้จะต้องให้ตัวอย่างดินอยู่ในสภาพที่

ทำให้อิ่มน้ำอีก 24 ชั่วโมงและตรวจสอบอีกครั้งเมื่อเรียบร้อยแล้วจึงดำเนินการต่อไปได้

ค่า พารามิเตอร์ "B" สามารถหาได้โดยหลักการแรงดันน้ำในโพรงดิน ของ Skempton(1954)

$$\Delta u = B[\Delta 6_3 + A(\Delta 6_1 - \Delta 6_3)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3.2$$

เมื่อเพิ่มแรงดันน้ำในเซลล์ $\Delta 6_1 = \Delta 6_3 = \Delta 6_c$

และ $\Delta 6_1 - \Delta 6_3 = 0$

ดังนั้น $$B = \frac{\Delta u}{\Delta 6_c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3.3$$

เมื่อ Δu คือแรงดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น(Excess Pore Pressure)

$\Delta 6_c$ คือแรงดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

3.5.4 <u>การอัดตัวคายน้ำของตัวอย่างดิน(Consolidation Specimen)</u>

เพื่อให้การอัดตัวคายน้ำของตัวอย่างดินเป็นไปเหมือนกับที่เกิดขึ้นจริงในสนามซึ่งเกิดขึ้นแบบแอนไอโซทร้อปปิค (Anisotropic Consolidation) และเพื่อป้องกันการวิบัติของตัวอย่างดินในระหว่างการอัดตัวคายน้ำ จึงทำการอัดตัวคายน้ำของตัวอย่างดินออกเป็น 2 ช่วง คือ

3.5.4.1 <u>การอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทร้อปปิค (Isotropic Consolidation)</u>

เมื่อตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วให้ปิดวาวล์เส้นทางของ Back Pressure แล้วเพิ่มความดันเซลล์จนได้ระดับที่ต้องการโดยใช้ปั๊มมือเพิ่มความดันแล้วค่อยปรับวาวล์ให้ระบบความดันคงที่ด้วยระบบปรอทที่ต่อเข้ากับเซลล์โดยใช้ความดันเซลล์ในการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทร้อปปิคเท่ากับหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบ ($6'_{ho}$)

ความดันในเซลล์ = ความดันประสิทธิผลที่ต้องการ+ความดันน้ำในตัวอย่างเริ่มแรก(2.00 กก/ซม^2)

การอัดตัวคายน้ำจะเริ่มขึ้นเมื่อทำการเปิดวาวล์เส้นทาง Back Pressure ปล่อยให้เกิดการอัดตัวคายน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่าการยุบตัวในแนวดิ่งของตัวอย่างหาได้จากผลต่างของค่าสุดท้ายที่อ่านได้จากเครื่องวัดการยุบตัว (Strain Indicator) กับค่าแรกก่อนทำการอัดตัวคายน้ำ ส่วนปริมาตรของน้ำที่ถูกบีบออกมาระหว่างการอัดตัวคายน้ำวัดได้จากระบบวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

<u>การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินภายหลังขบวนการอัดตัวคายน้ำ(A_c)</u>

$$V_o = A_o h_o$$

$$V_c = V_o - \Delta V$$

$$h_c = h - \Delta h \qquad \text{.....3.4}$$

$$A_c = \frac{V_o - \Delta V}{h_o - \Delta h} = \frac{V_c}{h_c}$$

โดยที่ V_o คือ ปริมาตรของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

A_o คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

h_o คือ ความสูงของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

ΔV คือปริมาตรของตัวอย่างดินที่เปลี่ยนแปลงหรือปริมาตรของน้ำที่ถูกบีบออกมาระหว่างการอัดตัวคายน้ำ

Δh คือความสูงของตัวอย่างดินที่เปลี่ยนแปลง

A_c คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินภายหลังการอัดตัวคายน้ำ

h_c คือความสูงของตัวอย่างดินภายหลังการอัดตัวคายน้ำ

3.5.4.2 <u>การอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิค (Anisotropic Consolidation)</u>

หลังจากทำการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทร้อปปิคแล้วจึงทำการอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิคโดยใช้ Ko-Condition ซึ่งถือว่าเป็นการจำลองหน่วยแรงประสิทธิผลในธรรมชาติ (In Situ Effective Stress Condition) โดยใช้

$$\sigma'_{ho} = \text{Cell Pressure} - \text{Back Pressure} \quad \ldots\ldots 3.5$$

$$\sigma'_{vo} = \sigma'_{ho} + \Delta\sigma_{vo} \quad \text{(Isotropic Consolidation)} \quad 3.6$$

$$\Delta\sigma_{vo} = \sigma'_{vo} - \sigma'_{ho} + \left(\frac{\text{น้ำหนักสมดุลย์แรงดันเซลล์}}{A_c}\right) \quad \ldots\ldots 3.7$$

การอัดตัวคายน้ำแบบนี้ต้องใช้น้ำหนักสมดุลย์กับแรงดันเซลล์ซึ่งเป็นน้ำหนักที่กดลงในแนวดิ่งเพื่อให้สมดุลย์กับแรงดันเซลล์ (Cell Pressure) ซึ่งทำให้เกิดแรงลอยตัว (Buoyant Force) และแรงเสียดทานของก้านส่งถ่ายน้ำหนัก (Loading Ram) โดยทำการปรับแก้ค่า (Calibrate) เครื่องมือไดรแอกเชียลเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักคงที่ที่สมดุลย์กับ Cell Pressure ก่อนที่จะทำการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ระหว่างความสัมพันธ์ของความดันเซลล์กับน้ำหนักคงที่ที่สมดุลย์กับความดันเซลล์นั้น

จากค่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่ต้องการเพื่อให้เกิด Ko-Condition ทำให้ทราบน้ำหนักที่ต้องกดลงบนตัวอย่างได้จาก

$$W = (1-K_o)\sigma'_{vc}A_c \quad \ldots\ldots 3.8$$

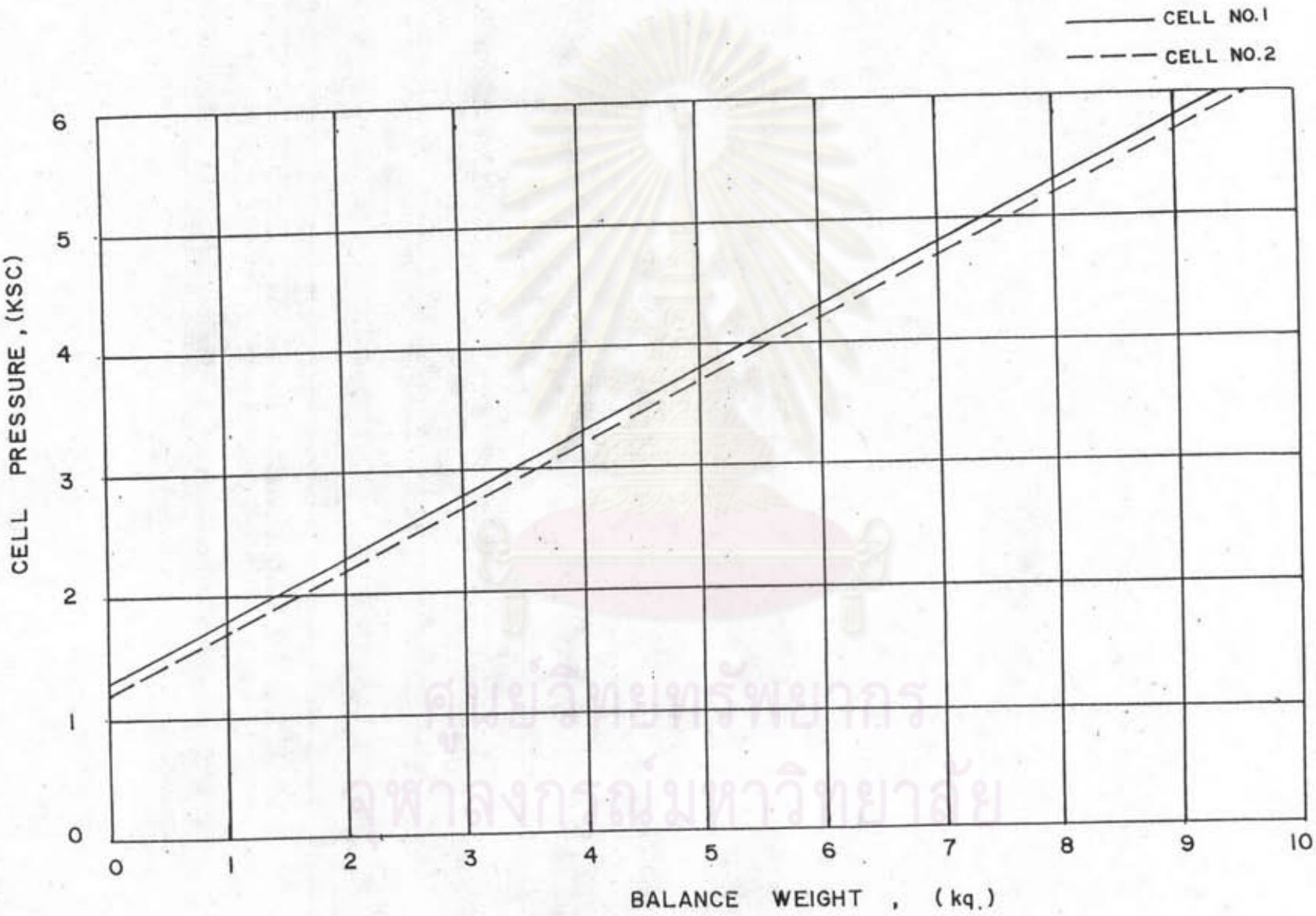
โดยที่ W คือ น้ำหนักสำหรับกดบนตัวอย่างเพื่ออัดตัวคายน้ำ

Ko คือ สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างของดิน

σ'_{vc} คือ หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งสำหรับการอัดตัวคายน้ำ

Ac คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง

สำหรับขั้นตอนการอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิค จะทำการอัดตัวคายน้ำไว้ 48 ชั่วโมง เพื่อให้เกิด Aging ขึ้นในตัวอย่างดิน ดังนั้นระบบหน่วยแรงในตัวอย่างดินจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลจะวิ่งไปตาม +p (อัดตัวคายน้ำแบบไอโซทร้อปปิค) ช่วงต่อมาจะวิ่งเข้าหาจุด $+p_o, +q_o$ บนเส้นตรง Ko (Ko-Line) (อัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิค) โดยใช้ค่า Ko คำนวณได้โดยสมการของ Alpan (1967) ค่า Ko ที่ใช้แสดงอยู่ในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเซลล์และน้ำหนักแขวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ค่า Ko กับความลึกของดินเหนียวถนนสายคลองด่าน-บางบ่อ

Depth (m)	DB-1	DB-2
3.0-3.6	0.64	-
4.4-5.0	0.64	-
6.0-6.6	0.64	0.61
7.5-8.1	0.63	0.63
9.0-9.6	0.62	0.63
10.5-11.1	0.63	0.63
12.0-12.6	0.63	0.62
13.5-14.1	0.64	0.63
15.0-15.6	0.63	-
16.5-17.1	0.61	0.59
18.0-18.6	0.62	0.59
19.5-20.1	0.61	0.57
21.0-21.6	0.61	0.57
22.5-23.1	0.59	0.47
24.0-24.6	0.58	0.48

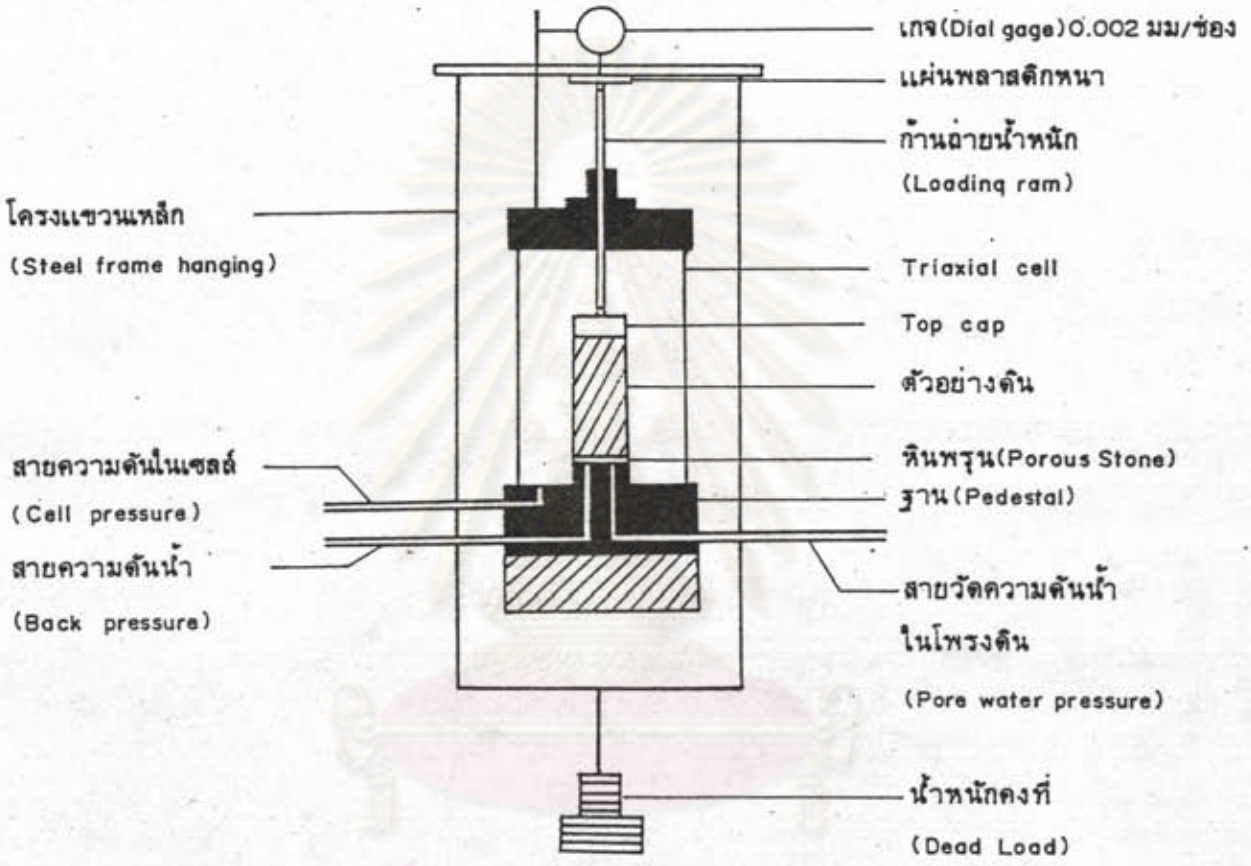
หมายเหตุ -: Ko = 0.19 + 0.233 Log (PI), (Alpan,1967)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.5 การทดลองอันเดรนครีพ (Undrained Creep)

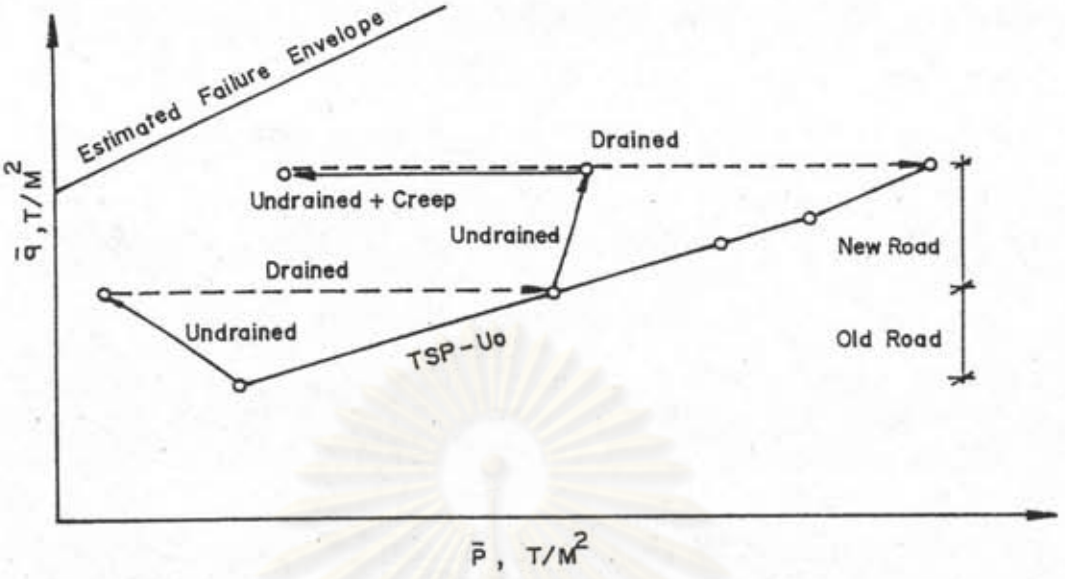
เมื่อทำการตรวจสอบจนแน่ใจว่าดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว จะทำให้หน่วยแรงในแนวราบ ($\Delta 6h$) และแนวดิ่ง ($\Delta 6v$) ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเค้นกระทำที่ผิวดิน ซึ่งคำนวณโดยใช้ Influence Chart ของ Poulos (1967) ให้กระทำต่อตัวอย่างโดยการปิดวาล์ว Back Pressure วัดค่าการเคลื่อนตัวของดินในแนวดิ่งและแรงดันน้ำในโพรงดินเพื่อตรวจสอบหน่วยแรงประสิทธิผลที่เกิดขึ้น การใส่หน่วยแรงให้กับตัวอย่างดินจะเพิ่มเป็นระยะ ๆ ครั้งละประมาณ 500 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.10 จนเกิดหน่วยแรงเบี่ยงเบน (Deviator Stress) สุดท้ายที่คำนวณได้เป็นอันสิ้นสุดขั้นตอนของการไม่ระบายน้ำโดยจะบันทึกค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งและค่าแรงดันน้ำโพรงเพิ่มในโพรงดินต่อไปอีกจนกระทั่งอัตราการเพิ่มน้อยมาก จึงเริ่มเปิดสาย Back Pressure เพื่อให้น้ำไหลออกจากตัวอย่างดินเป็นการเริ่มขบวนการอัดตัวคายน้ำ จากการวัดค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งและการอัดตัวคายน้ำจะได้ค่าความเครียดในแนวดิ่งสองค่าคือ ϵ_{iu} และ ϵ_{ic} ผลรวมของความเครียดทั้งสองคือค่าความเครียด ϵ_1 ซึ่งนำไปวิเคราะห์หาค่าการทรุดตัวดังแสดงในรูปที่ 3.11(ก) ซึ่งแสดง Stress Path กรณีที่ตัวอย่างดินไม่เกิดการวิบัติและกรณีที่ดินเกิดการวิบัติดังแสดงในรูปที่ 3.11(ข) ถ้าตัวอย่างดินเกิดการวิบัติก่อนที่จะถึงหน่วยแรงสุดท้ายจะทำการให้หน่วยแรงในแนวดิ่งและแนวราบที่เหลืออยู่ โดยการเพิ่มความดันเซลล์เพียงอย่างเดียวการให้ค่าความดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับหน่วยแรงในแนวดิ่งที่เหลืออยู่ เป็นการจำลองหน่วยแรงโดยอาศัยทฤษฎีของ D´Appolonia et al,1971 ซึ่งกล่าวว่า เมื่อดินเกิดการวิบัติหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นในแนวราบจะเท่ากับหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น ในระหว่างที่เพิ่มแรงดันเซลล์จะต้องใส่น้ำหนักที่ loading piston ให้สมดุลย์กับแรงดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้นด้วย และจะเริ่มขบวนการอัดตัวคายน้ำโดยการเปิดวาล์ว Back Pressure เชื่อมต่อกับระบบวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและระบบชดเชยความดันโดยการเปิดวาล์วของ Back Pressure ที่เชื่อมต่อกับระบบวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและระบบชดเชยความดัน

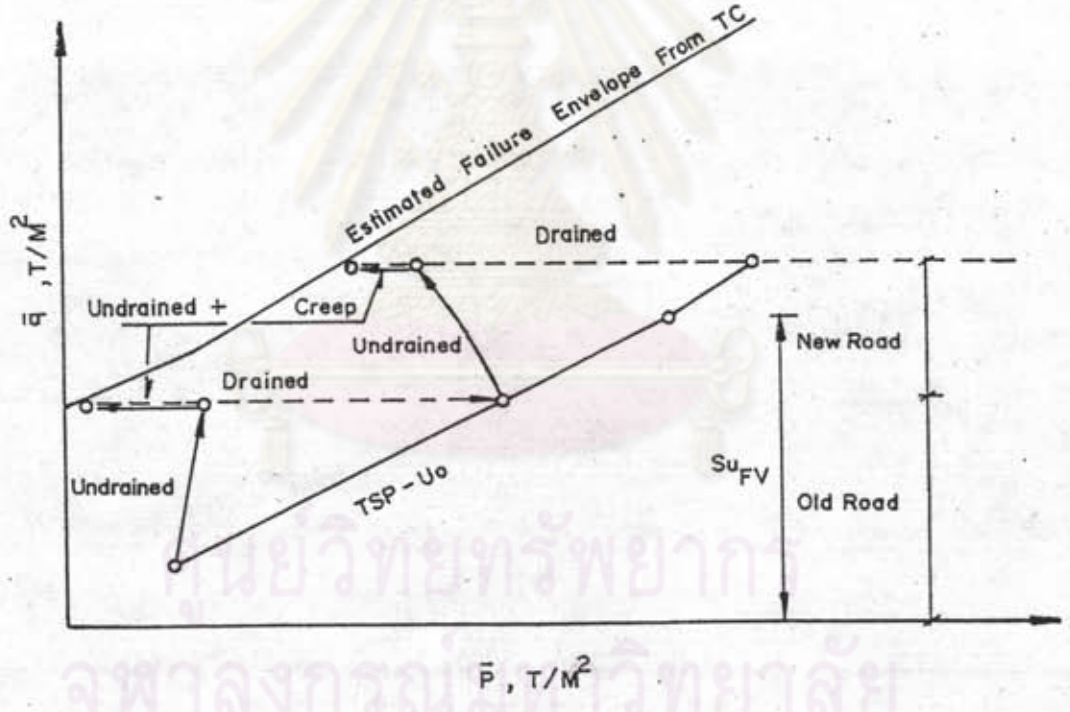
การทดสอบอันเดรนครีพได้ใช้ตัวอย่างจากหลุมที่ความลึก -3.00,-4.50,-10.50, -12.00,-19.50 และ -22.50 เมตร



รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องมือไตรแอกเชียลในการทดสอบ Undrained Creep

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.11 (ก) แสดง Stress Path กรณีที่ดินไม่เกิดการวิบัติ

(ข) แสดง Stress Path กรณีที่ดินเกิดการวิบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.7 <u>การทดลองหากำลังรับแรงกดของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำด้วยเครื่องไตรแอกเชียลในสภาพไม่ระบายน้ำ</u> (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test, UUC)

การทดลองแบบ UUC กระทำกับตัวอย่างดินที่ได้จากหลุม DB1 และ DB2 โดยใช้ความดันเซลล์เท่ากับหน่วยแรงรวมในแนวดิ่งตามธรรมชาติ (Total Overburnden Pressure, σ_{vo}) ใช้อัตราความเครียดในการทดสอบที่ทำให้ดินอ่อนเกิดการวิบัติเท่ากับ 15 % ต่อชั่วโมง ผลที่ได้จากการทดลอง จะนำไปใช้ในการตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ได้จากการทดสอบ Field Vane Shear และการคาดคะเนการทรุดตัวแบบไม่ระบายน้ำโดยวิธีปฐพีกลศาสตร์พื้นฐาน (D'Appolonia et al., 1971)

3.5.7 <u>การทดลองหากำลังรับแรงกดของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบ Ko ด้วยเครื่องไตรแอกเชียลในสภาพระบายน้ำ พร้อมทั้งวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน</u> (Ko-Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement, $\overline{CK_oU\text{-}TC}$ Test)

การทดลองอันนี้เป็นการหา normalized effective stress failure envelope ของดินอ่อนโดยการทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำแบบกดในสภาพไม่ระบายน้ำและหาค่า ϕ และ c ไปพร้อมกันเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพ

การทดสอบจะเริ่มจากการอัดตัวคายน้ำแบบ Ko ที่ OCR ที่ต้องการ (ในการทดลองนี้จะกระทำที่ OCR =1, 2 และ 4) แบบ Recompression จากนั้นทำการเพิ่มหน่วยแรงในแนวดิ่งด้วยอัตราความเครียด 1.3 % ต่อชั่วโมง (Ladd & Foott, 1974) ในสภาพไม่ระบายน้ำโดยการปิดวาล์ว back pressure จนกระทั่งตัวอย่างดินเกิดการวิบัติ บันทึกค่าหน่วยแรงในแนวดิ่งและแรงดันน้ำโพรงเพิ่มตลอดการทดลองและตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ

ชนิดของการทดลอง	หลุมเจาะ	ความลึกของตัวอย่างดินที่ทดสอบ	จำนวนที่ทำการทดสอบ
STRESS PATH	DB-1	-3.0,-4.0,-10.0,-12.3 -19.5,-22.5	6
CONSOLIDATION	DB-1	-3.3,-4.5,-6.3,-7.8,-9.3 -10.8,-12.3,-13.8,-15.3 -16.8,-18.3,-19.8,-21.3 -22.8,-24.3	15
	DB-2	-6.3,-7.8,-9.3,-10.8 -12.3,-13.8,-15.3,-16.8 -18.3,-19.8,-21.3,-22.8 -24.3	13
$\overline{\text{CKoU-TC}}$	DB-1	-6.4,-8.0,-9.5	3
UUC	DB-1	-3.3,-6.0,-7.5,-9.0 -12.0,-15.0,-19.5,-22.5	8
	DB-2	-6.0,-7.5,-9.0,-10.5 -12.0,-13.5,-16.5,-19.5 -21.0	9
ATTERBERG LIMIT	DB-1	-3.3,-4.5,-6.3,-7.8,-9.3 -10.8,-12.3,-13.8,-15.3 -16.8,-18.3,-19.8,-21.3 -22.8,-24.3	15
	DB-2	-6.3,-7.8,-9.3,-10.8 -12.3,-13.8,-15.3,-16.8 -18.3,-19.8,-21.3,-22.8 -24.3	13