บทที่ 3

การทดลอง

3.1 ลักษณะทั่วไปของดินกรุงเทพ ฯ

ในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาทางตอนกลางของประเทศไทย เป็นพื้นที่ที่เกิดจากการตกตะกอนทับถมของดินปากแม่น้ำเป็นชั้นดินหนาซึ่งมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ และมีการทรุดตัวสูง (Low Shear Strength and High Compressibility) ด้วยเหตุผลนี้ทำให้มีปัญหาทางด้านวิศวกรรมในการก่อสร้าง ดินชนิดนี้ถูกเรียกว่า "ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ฯ" (Soft Bangkok Clay)

จากการศึกษาของ EIDE และ HOLMBERG (1972) ได้ศึกษา Basic Geotechnical Properties ของชั้นดินจากกรุงเทพ ฯ - ศรีราชา โดยได้แบ่งลักษณะชั้นดิน (Soil Profile) ดังนี้

1. Weathered Clay (Crust) เป็นดินชั้นเปลือกโลก ในดินชั้นนี้มีเศษวัสดุจำพวกรากไม้ปะปนอยู่ ไม่เอกพันธ์ (Non - homogeneous) มีความหนาประมาณ 1 เมตร

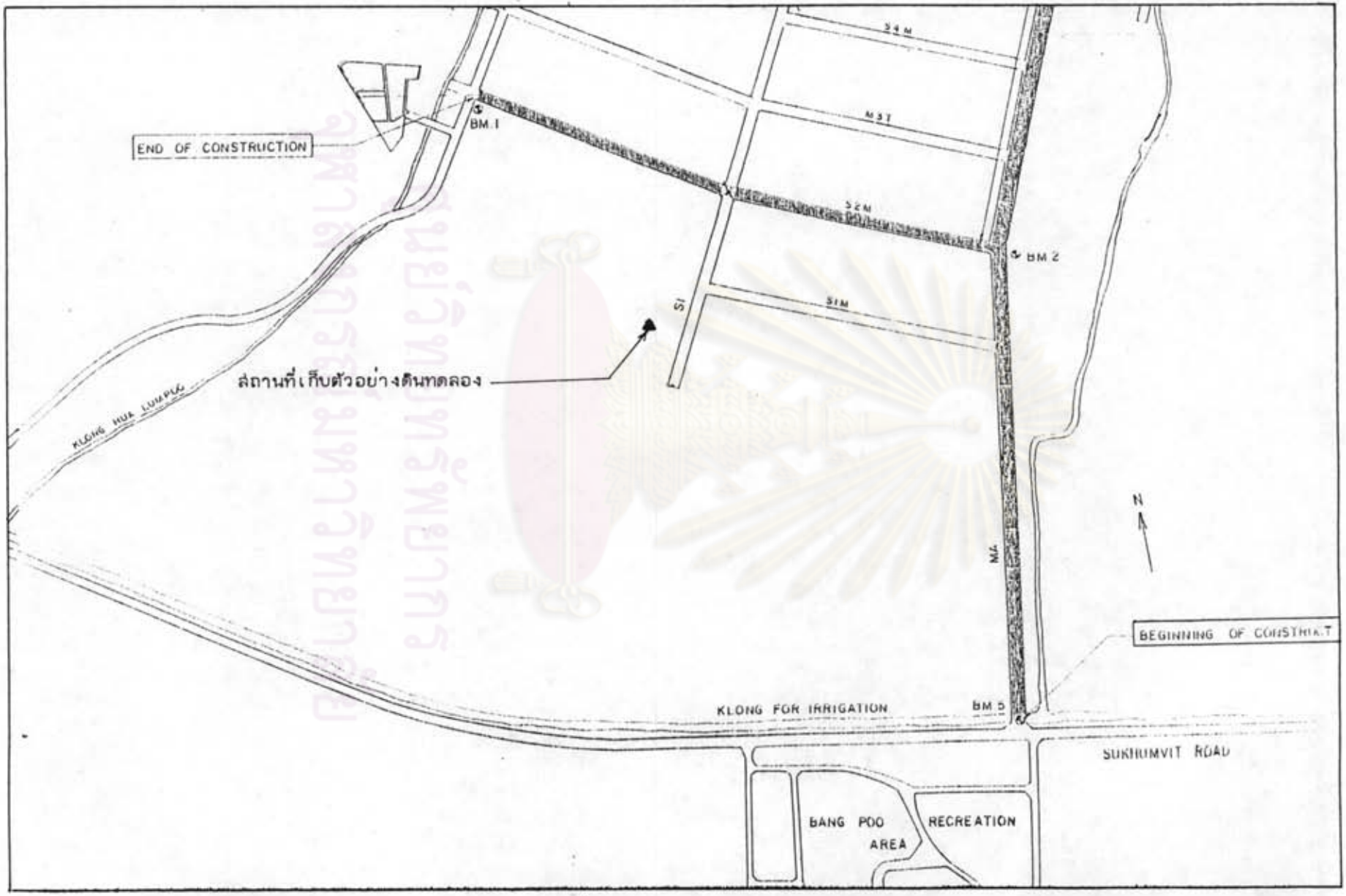
2. Very Soft to Soft Clay เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนมาก มีสีเทาเขียวปนดำ (Greyish-green with dark parts) ปริมาณของเปลือกหอยมีมากเพิ่มกับความลึกของชั้นดิน ชั้นดินเหนียวอ่อนนี้ มีความหนาถัดจากดินชั้นเปลือกโลกถึงระดับ 15-25 เมตร

3. Stift Clay เป็นชั้นดินแข็ง ซึ่งพบอยู่ถัดจากชั้นดินเหนียวอ่อนมากลงมา ในชั้นนี้มีความหนาตั้งแต่ระดับ 15-25 เมตรลงมาไม่แน่นอน

3.2 สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่างทดลอง

3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง

ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนมาก (Very Soft Clay) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ถูกเก็บ (Sampling) จากโครงการวางท่อกำจัดน้ำเสียจากโรงงาน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมบางปู ตั้งอยู่ตำบล บางปูใหม่ และตำบล แพรกษา อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ถนนสุขุมวิท กิโลเมตรที่ 34 (ดูแผนที่รูปที่ 3.1) อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของ



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินทดลอง

กรุงเทพมหานคร ตัวอย่างดินทดลองถูกเก็บอย่างระมัดระวังโดยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบกล่อง (Block Sample) จำนวน 2 กล่องซึ่งตัวอย่างดินที่เก็บขึ้นมาห่างกันประมาณ 0.50 เมตร เพื่อจะได้ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด (Undisturbed Sample) และเป็นเอกพันธ์ (Homogeneous) ที่ระดับความลึกประมาณ 3.25 เมตรจากผิวดิน

3.2.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง

ในการเก็บตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดนี้ ใช้วิธีการเก็บแบบ Test Pit โดยทำการเก็บตัวอย่างดินแบบกล่องขนาด 0.35x0.35x0.35 เมตร ขึ้นมาจำนวน 2 กล่อง จากที่ระดับความลึก 3.25 เมตรจากผิวดิน โดยขั้นแรกทำการเปิดหน้าดินบริเวณที่ต้องการเก็บตัวอย่างดินเสียก่อน ใช้รถขุดตักดินออก ให้ทำเป็นค่าลาดชัน (Slope) ประมาณ 1:1.5 จากผิวดิน จนถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดินประมาณ 0.50 เมตรจึงใช้แรงคนงานขุดต่อโดยขุดดินเป็นคูล้อมรอบตำแหน่งที่ต้องการเก็บตัวอย่างดินให้มีความลึกกว่าระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดินเล็กน้อย ความกว้างของการขุดประมาณ 0.50 x 1.20 เมตร และให้ดินกลางคูดินที่ขุดเป็นแท่งดินขนาดหน้าตัดประมาณ 0.50 x 0.50 เมตร จำนวน 2 แท่ง แล้วทำการตัดแต่งแท่งดินที่อยู่นี้ด้วยเส้นลวดให้มีขนาดเหลือประมาณ 0.35 x 0.35 x 0.35 เมตร อยู่ที่ความลึกประมาณ 3.25 เมตร จากการที่เผื่อความหนาของแท่งดินก่อนถึงระดับที่เก็บตัวอย่างดิน 0.50 เมตร ซึ่งเมื่อขุดดินส่วนที่เผื่อออกแล้ว จะไม่มีการเหยียบถูกผิวหน้าตัวอย่างดินเลย นำกล่องไม้ซึ่งเปิดหัวเปิดท้ายได้ขนาด 0.36 x 0.36 x 0.36 เมตร มาครอบตัวอย่างดินนี้ไว้ทำการเคลือบตัวอย่างดินที่อยู่ในกล่องด้วยพาราฟิน (Paraffin) รอจนแห้ง แล้วทำการปิดฝากล่องด้านบนจากนั้นใช้เส้นลวดตัดตัวอย่างดินออกจากฐานมัน ทำการยกตะแครง ตัวอย่างดินที่ถูกครอบไว้อยู่ในกล่องนี้มาทำการเคลือบด้วยพาราฟิน ทางด้านล่างอีก จึงปิดฝากล่องด้านล่างให้เรียบร้อยทำการยกตัวอย่างดินขึ้นมาอย่างระมัดระวังมาตั้งให้มีลักษณะเหมือนธรรมชาติ ส่วนอีกกล่องก็ทำเช่นเดียวกันแล้วทำการขนส่งนำไปเก็บในห้องควบคุมความชื้น ที่ห้องทดลองภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาฯ เพื่อช่วยป้องกันมิให้ปริมาณความชื้นในดินเปลี่ยนแปลงในระหว่างรอการทดลอง

3.3 การหาคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง

หลังจากการเก็บตัวอย่างดินเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างดินมาแบ่งออกเป็นส่วน ๆ

เพื่อใช้ในการทดลอง โดยตัดดินออกในแนวตั้งและดินในแนวนอน ให้ได้ขนาด 10 x 10 x 15 ซม. พันรอบตัวอย่างดินที่ตัดออกมาให้มิดชิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมบาง (Aluminium Foil) ปิดฉลากตัวอย่างดิน บอกความลึก ลำดับที่เก็บและแบบของตัวอย่างดิน แล้วทำการเคลือบด้วยพาราฟินทั้งหมด จึงนำมาเก็บบังห้องควบคุมความชื้น

แกะตัวอย่างดินที่ทำการทดลองมาหาคุณสมบัติขั้นพื้นฐาน (Basic Index Properties) ต่าง ๆ ของตัวอย่างดิน โดยวิธีการทดลองตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณความชื้นในธรรมชาติ (Natural Moisture Content)
2. Atterberg Limit
3. การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Distribution)
4. ความหนาแน่นเปียก (Wet Density)

จากตัวอย่างดินที่เก็บขึ้นมาทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นของดิน หาค่าหน่วยแรงรวมในแนวดิ่งตามธรรมชาติ (In Situ Total Over-burden Pressure, σ_{vo}) และค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งตามธรรมชาติ (In Situ Effective Stress, $\bar{\sigma}_{vo}$) ของตัวอย่างดินที่จะใช้ในการทดลอง

เมื่อทราบค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งตามธรรมชาติของดินแล้ว ทำการตรวจสอบหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ (Maximum Past Pressure, $\bar{\sigma}_{vm}$) ของดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด โดยวิธีการอัดตัวคายน้ำในลักษณะมิติเดียว (One-dimensional Consolidation Test) ชนิด Fixed Ring ในการหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ ($\bar{\sigma}_{vm}$) เพื่อตรวจสอบดูประวัติของหน่วยแรง (Stress History) เพื่อหาค่าออกมาในเทอม OCR (Over Consolidation Ratio) ของตัวอย่างดินที่นำมาทดลอง

การหาค่าโดยประมาณของ K_o สำหรับดินที่เป็น Over Consolidated Clay ได้จากสูตรความสัมพันธ์ของค่า K_o กับ OCR และ Plasticity Index ของ Schmidt (1966)

$$K_o\ (OC)/K_o(NC) = OCR^m$$

$$m = 0.37 \text{ สำหรับดินที่มี P.I. เท่ากับ } 37\%$$

$$\therefore K_o(NC) = 0.57$$

$$K_o(OC) = 0.57\ OCR^{0.37} \quad (OCR = 2.4)$$

$$K_o(OC) = 0.80$$

การทดลองตัวอย่างดินนี้เมื่อเป็น Over Consolidated Clay ใช้ $K_o = 0.80$ (In Situ Condition)

การทดลองตัวอย่างดินนี้เมื่อเป็น Normally Consolidated Clay ใช้ $K_o = 0.57$

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.4.1 โปรแกรมของการทดลองในการวิจัย

ในการวิจัยนี้แบ่งโปรแกรมเป็นการทดสอบวัดหากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ดูจากตารางที่ 3.1 และเป็นการศึกษาพฤติกรรมของอันเดรนครีพของดินเหนียวอ่อนที่บางปู ดูจากตารางที่ 3.2 แบ่งย่นิดของการทดลองออกเป็นดังนี้

1. การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรน (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test,UU Test)

2. การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทร๊อปปิค ด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรนพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน (Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement, $\overline{CIUC}$ Test) สำหรับตัวอย่างในแนวนอน

3. การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร๊อปปิค ด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรนพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement, $\overline{CAUC}$ Test)

ตารางที่ 3.1 โปรแกรมของการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน

อันดับ	ชนิดของการทดสอบ	หมายเลขตัวอย่าง	ความดันเซล (σ) หรือหน่วยแรงประสิทธิผลสำหรับการอัดตัวคายน้ำ ($\bar{\sigma}_c$), ksc	β^o	OCR
1	UU	V-301	$\sigma_a = \sigma_r = \sigma_{vc} = 0.53$	0^o	-
		INC-301		45^o	-
		H-301		90^o	-
2	$\overline{\text{CAUC}}$	V-302	$\bar{\sigma}_{vc}=1.5\bar{\sigma}_{vo}=0.39;\bar{\sigma}_{hc}=0.80\bar{\sigma}_{vc}$	0^o	1.5
		V-303	$\bar{\sigma}_{vc}=\bar{\sigma}_{vo}=0.26;\bar{\sigma}_{hc}=0.80\bar{\sigma}_{vc}$	0^o	2.4
		V-304	$\bar{\sigma}_{vc}=0.7\bar{\sigma}_{vo}=0.18;\bar{\sigma}_{hc}=0.80\bar{\sigma}_{vc}$	0^o	3.5
		V-305	$\bar{\sigma}_{vc}=1.5\bar{\sigma}_{vm}=1.0,\bar{\sigma}_{hc}=0.57\bar{\sigma}_{vc}$	0^o	1.0
		V-306	$\bar{\sigma}_{vc}=1.3\bar{\sigma}_{vm}=0.86;\bar{\sigma}_{hc}=0.57\bar{\sigma}_{vc}$	0^o	1.0
3	$\overline{\text{CIUC}}$	H-307	$\bar{\sigma}_c = 1.5\bar{\sigma}_{vo} = 0.39$	90^o	1.5
		H-308	$\bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{vo} = 0.26$	90^o	2.4
		H-309	$\bar{\sigma}_c = 0.7\bar{\sigma}_{vo} = 0.18$	90^o	3.5
		H-310	$\bar{\sigma}_c = 1.5\bar{\sigma}_{vm} = 1.0$	90^o	1.0
4	UC	V-311		0^o	-
		H-312		90^o	-
		V-311 RE		0^o	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 โปรแกรมของการทดลองศึกษาพฤติกรรมของอันเดรนครีพ

อันดับ	ชนิดของการทดลอง	หมายเลขตัวอย่าง	หน่วยแรงประสิทธิผลสำหรับการอัดตัวคายน้ำ($\bar{\sigma}_c$),ksc	Stress level	β^o	OCR
5	$\overline{CAUC}$	V-313	$\bar{\sigma}_{vc} = 0.26$, $\bar{\sigma}_{hc} = 0.21$	90%	0^o	2.4
		V-314		85%	0^o	2.4
		V-315		80%	0^o	2.4
		V-316		70%	0^o	2.4
		V-317		50%	0^o	2.4
		V-318	$\bar{\sigma}_{vc}=1.0$, $\bar{\sigma}_{hc} = 0.57$	95%	0^o	1.0
		V-319		90%	0^o	1.0
		V-320		80%	0^o	1.0
		V-321		70%	0^o	1.0
6	$\overline{CIUC}$	H-322	$\bar{\sigma}_c = 0.26$	90%	90^o	2.4
		H-323		85%	90^o	2.4
		H-324		80%	90^o	2.4
		H-325		70%	90^o	2.4
		H-326		60%	90^o	2.4
		H-327	$\bar{\sigma}_c = 1.0$	90%	90^o	1.0
		H-328		50%	90^o	1.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินแบบอิสระด้านข้าง (Unconfined Compression Test, UC Test)

5. การทดสอบศึกษาพฤติกรรมของอันเดรนครีพของดินเหนียวอ่อน

มีตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองอยู่ 2 แบบคือ

(ก) ตัวอย่างในแนวดิ่ง (V - Vertical) เป็นแบบที่แกนของตัวอย่างทำมุม 0° กับแนวดิ่งตามธรรมชาติ ($\beta = 0°$) ทำการทดสอบในลักษณะเดียวกับ Anisotropically Consolidated Undrained Trixial Compression Tests

(ข) ตัวอย่างในแนวนอน (H - Horizontal) เป็นแบบที่แกนของตัวอย่างทำมุม 90° กับแนวดิ่งตามแนวธรรมชาติ ($\beta = 90°$) ทำการทดสอบในลักษณะเดียวกับ Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Tests)

การทดสอบโดยวิธี UU Test ของตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดทั้ง 2 แบบ คือในแนวดิ่งและแนวนอน ใช้ความดันเซลล์เท่ากับหน่วยแรงรวมตามธรรมชาติ (In Situ Overburden Pressure, σ_{vo}) จะได้ผลการทดสอบกำลัง ที่หน่วยแรงหลัก ณ จุดวิบัติ (Major Principal Stress at Failure, σ_{1f} ทำมุม $\beta°$ ต่าง ๆ กับแนวดิ่งธรรมชาติ ($\beta = 0°$ และ 90) การทดสอบเพื่อพยายามที่จะวัด Anisotropy ประจำตัว

การทดสอบ $\overline{CIUC}$ Test กระทำเฉพาะตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดในแนวนอนเท่านั้น โดยใช้หน่วยแรงประสิทธิผลในการอัดตัวคายน้ำต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของดินในช่วง Normally Consolidated Clay และ Over Consolidated Clay การใช้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในการอัดตัวคายน้ำต่างกัน จะทราบถึงอิทธิพลของหน่วยแรงในการอัดตัวคายน้ำระดับต่าง ๆ กัน และของ OCR และ Effective Stress Envelope

ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันด้านข้างของดิน (Coefficient of Eaith Pressure, K) ที่ใช้ในการอัดตัวคายน้ำของตัวอย่างดิน ใช้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ของแรงดันด้านข้างของดิน ณ สภาวะสมดุลย์ (Coefficient of Earth Pressure at Rest, K_o) ที่ทำได้จากวิธีการของ Chang และคณะ (1977) ได้ค่า K_o สำหรับ Normally Consolidated Clay เท่ากับ 0.57 แล้วจึงใช้สูตรของ Schmidt (1966) เพื่อหา K_o ที่สภาวะธรรมชาติ

ซึ่งตัวอย่างดินที่บางปูเป็นดินชนิด Slightly Overconsolidated Clay

ดินบางปู ใช้ค่า K_o = 0.80 สำหรับ OCC (OCR = 2.4)

K_o = 0.57 สำหรับ NCC

การทดสอบอันเดรนครีพของตัวอย่างดินทั้ง 2 ทางคือ แนวดิ่งและแนวนอนที่หน่วยแรงในการอัดตัวคายน้ำระดับต่าง ๆ กัน คือ ในช่วง Normally Consolidated และในช่วง Over Consolidated (OCR = 2.4) อันเดรนครีพนี้จะทดสอบหลังจาก Reconsolidation ตัวอย่างดิน ไปที่สภาวะธรรมชาติ (In Situ Condition) ด้วยวิธี $\overline{CIU}$C Test สำหรับดินแนวนอน และด้วยวิธี $\overline{CAU}$C Test สำหรับดินแนวดิ่ง แล้วทำการทดสอบครีพโดยแขวนน้ำหนักถ่วงที่ระดับหน่วยแรงเฉือนต่าง ๆ กัน โดยปิดลิ้นระบายน้ำ (Valve) เพื่อทำการทดสอบแบบอันเดรน

3.4.2 เครื่องมือที่ใช้ทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองใช้เครื่อง Triaxial Cell ตามมาตรฐานและเครื่องกด (Compression Machine) ผลิตจาก Wykeham Farrance Engineering Limited ของประเทศอังกฤษ พร้อมอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume Change Measurement) ระบบการควบคุมความดันในเซลล์ (Cell Pressure) และความดันน้ำในตัวอย่างตอนแรก (Back Pressure) ให้คงที่ โดยใช้อุปกรณ์ชดเชยความดันจากลำปรอท (Self - compensating Mercury Column) ซึ่งเป็นแบบที่ใช้ความสูงของปรอทเป็นตัวกำหนดความดัน และออกแบบไว้ให้ปรอทรักษาระดับได้โดยใช้สปริง ทำให้ความดันระหว่างการทดสอบคงที่ตลอดเวลา และใช้เครื่องแปลงกำลัง (Transducer) สำหรับวัดความดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure) ที่ฐานดินทดลองของเครื่องกดดิน (Compression Machine) โครงแขวนเหล็ก (Steel Frame Hanger) ถูกใช้สำหรับแขวนน้ำหนักคงที่ (Dead Load) ในการทดสอบ เพื่อทำให้เกิดการอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอปปิค (Anisotropic Consolidation) และใช้ในการทดสอบพฤติกรรมทางด้านอันเดรนครีพ (Undrained Creep Behavior) และเกจ (Dial Gage) สำหรับวัดการยุบตัว (Deformation) ของตัวอย่างดิน

3.4.3 การเตรียมตัวอย่างดินทดลองในเครื่อง Triaxial

ก่อนที่จะเตรียมตัวอย่างดินทดลองในเครื่อง Triaxial จะต้องตรวจสอบเครื่อง Triaxial ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานได้ก่อน คือ ตรวจสอบดูว่ามีการรั่วที่ลิ้นระบายน้ำ (Valve) หรือตำแหน่งใด ๆ ของเซลล์ (Cell) หรือไม่ โดยให้สายความดันทุกเส้นต้องเติมไปด้วยน้ำที่ปราศจากฟองอากาศ (De - aired Water) อัดความดัน (Pressure) เข้าไปในสายความดัน (Pressure Line) ทุกเส้น ทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วสังเกตดูว่ามีการรั่วในสายความดันหรือไม่ หินพรุน (Porous Stone) ที่ใช้ต้องต้มไล่ฟองอากาศให้หมด (ต้มในน้ำเดือดไม่ต่ำกว่า 10 นาที) และอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) ก่อนนำมาวางบนฐาน (Pedestal) ของเครื่อง Triaxial เครื่องแปลงกำลัง (Transducer) สำหรับวัดความดันน้ำในโพรงดิน จะต้องถูก Calibrate ให้ถูกต้องก่อนใช้โดยเปรียบเทียบกับความดันที่ทราบค่าโดยอ่านจากเกจวัดความดัน (Dial Pressure Gage) นอกจากนี้อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น เกจ,Proving Ring ต้องพร้อมที่จะใช้งานได้

เมื่อจะทำการทดลอง นำตัวอย่างดินทดลองที่เตรียมไว้ออกจากห้องควบคุมความชื้น นำมาแกะพาราฟินที่เคลือบออกแล้ว แต่งขอบ (Trim) โดยใช้โครงแต่งขอบ (Trimming Frame) และลวดแต่งขอบ (Wire Saw) จนกระทั่งได้ตัวอย่างดินทดลองรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3.50 เซนติเมตร และนำตัวอย่างมาตัดหัวท้ายให้เหลือความยาวประมาณ 7.00 เซนติเมตร เพื่อทำให้สัดส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างดินเป็น 2 : 1

หาความชื้นในตัวอย่างดินที่เหลือจากการแต่งขอบปริมาณพอสมควร 3 ค่า จากดินส่วนบน ส่วนกลางและส่วนล่าง รอบ ๆ ตัวอย่าง เพื่อไปหาปริมาณความชื้นเริ่มแรก (Initial Water Content) วัดความสูงของตัวอย่างและเส้นผ่าศูนย์กลางจากส่วนบน ส่วนกลาง ส่วนล่าง โดยใช้เวอร์เนีย เพื่อใช้หาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยและปริมาตรของตัวอย่างดิน ชั่งหาน้ำหนักของตัวอย่างดินก่อนทำการทดสอบ เพื่อหาความหนาแน่น (Total Density)

3.4.4 การจัดตัวอย่างเข้าที่ทดสอบ (Set-up of Specimen)

ก่อนจะนำตัวอย่างดินมาวางบนฐานของเครื่อง Triaxial ต้องให้แน่ใจเสียก่อนว่าสายความดันทุกเส้นเต็มไปด้วยน้ำ และถูกไล่ฟองอากาศจนหมด จึงวางหินพรุนที่เตรียมไว้บนฐานของเครื่อง Triaxial ต่อมาจึงนำตัวอย่างดินมาวางบนหินพรุน และวาง

Top Cap บนยอดของตัวอย่างดินระหว่างหินพรุนกับตัวอย่างดิน และ Top Cap ต้องมีกระดาษกรองเปียกน้ำ (Filter Paper) เพื่อมิให้ส่วนของดินที่ละลายน้ำไหลเข้าไปในหินพรุนได้

สำหรับการทดลองที่ต้อง Reconsolidated ตัวอย่างดินจะพันรอบตัวอย่างดินทางด้านข้างด้วยกระดาษกรองเปียกน้ำ ตัดเป็นริ้วยาวตามแนวดิ่ง 8 ชั้น กว้างชั้นละ $\frac{1}{4}$ นิ้ว เว้น $\frac{1}{4}$ นิ้ว กว้าง $3\frac{1}{4}$ นิ้ว (กระดาษกรองจาก Whatman No. 1) เพื่อเป็นการเพิ่มการระบายน้ำของตัวอย่างดิน (Drained) ระหว่างการอัดตัวคายน้ำให้รวดเร็วขึ้น และทำให้การกระจายของความดันน้ำเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

ใช้ถุงยางอนามัย (Rubber Membrane) ล่วมตัวอย่างดิน 2 ชั้น ใช้แหวนยาง (Rubber O-ring) จำนวนอย่างละ 3 เส้น รัดส่วนบน (Top Cap) และรัดที่ด้านล่าง (base) ของฐานของเครื่อง Triaxial เพื่อที่จะแยกระหว่างระบบน้ำในดินกับระบบน้ำในเซลล์ (Cell) ออกจากกัน

หลังจากวางตัวอย่างดินบนฐาน Pedestal เสร็จเรียบร้อยแล้วจึงเอากระบอกเซลล์วางให้เข้าที่ และยึดเข้ากับฐานด้วยสกรูรัดแบบยาว จัดก้านส่งถ่ายน้ำหนัก ให้แตะสัมผัสพอดีกับ Top Cap ของตัวอย่างดิน และล็อค (Lock) Clamp วาง Proving Ring ให้แตะสัมผัสพอดีกับก้านส่งถ่ายน้ำหนัก เปิดสันระบายน้ำ ให้น้ำที่ไล่ฟองอากาศแล้วเข้าเซลล์เกือบเต็ม ใช้น้ำมันเครื่อง (Motor Oil) ฉีดเข้าไปทาง Oil Valve จนเต็มเซลล์ ให้ลันออกมา จึงทำการปิด Air Valve กับ Oil Valve น้ำมันจะลอยเหนือน้ำอยู่ด้านบนของเซลล์เพื่อเป็นการลดความรั่วซึมของน้ำออกรอบ ๆ ก้านส่งถ่ายน้ำหนักเพราะน้ำมันชนิดนี้มีความหนืดสูง นอกจากนี้ยังลดความเสียดทาน (Friction) ของก้านถ่ายน้ำหนักอีกด้วย อนึ่งน้ำมันที่เติมเข้าไปในเซลล์ต้องมีมากพอตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง

3.4.5 การทำให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation of Specimen)

การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำโดยใช้ความดันน้ำในตัวอย่างตอนแรก (Back Pressure) เพื่อให้อากาศในตัวอย่างดินถูกละลายหายไปอย่างสมบูรณ์ ในการวิจัยนี้ใช้ความดันน้ำในตัวอย่างตอนแรก 200 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร ในการที่จะทำให้ตัวอย่างดินรับความดันดังกล่าว จะต้องค่อย ๆ เพิ่มความดันเซลล์ (Cell Pressure) และความดันน้ำในตัวอย่างตอนแรกด้วยปั๊มมือ (Hand Pump) อย่างช้า ๆ และสลับกันอย่างต่อเนื่องในอัตรา-

ประมาณ 10 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร/นาที เพื่อให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนน้อยที่สุดระหว่างการเพิ่มความดันควรเพิ่มความดันเซลล์ก่อนเล็มอ เมื่อความดันน้ำในตัวอย่างเพิ่มถึง 200 กิโลนิวตัน/ตารางเมตรแล้ว ต่อความดันเข้ากับอุปกรณ์ยึดเหยี่ยความดันให้คงที่ ที่ตั้งความดันไว้เท่ากับความดันน้ำในตัวอย่างตอนแรก เพื่อให้แน่ใจว่าตัวอย่างดินจะไม่เกิดการบวมตัว (Swell) ซึ่งสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินทดลอง หรือเกิดรอยแตกร้าว (Crack) โดยปรับความดันเซลล์ให้มีค่ามากกว่าความดันน้ำในตัวอย่างประมาณ 5.0 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร แล้วต่อความดันในเซลล์เข้ากับอุปกรณ์ยึดเหยี่ยความดันให้คงที่

เมื่อวัดความดันเซลล์และความดันน้ำในตัวอย่างได้ระดับตามที่ต้องการแล้ว จัดเกจให้เข้าที่ปรับให้ก้านล่งถ่ายน้ำหนัก แตะ Top Cap พอดี และ Lock cell ram clamp บันทึกค่าเริ่มแรก (Initial) ที่จุดยอดของตัวอย่างดินจากเกจเพื่อใช้ในการหาการเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่างดิน ปล่อยตัวอย่างดินไว้ 24 ชั่วโมง จึงตรวจสอบว่าตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำหรือไม่ โดยปิดลิ้นระบายน้ำของตัวอย่างดิน แล้วพิจารณาค่าความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น (Excess Pore Pressure) กับค่าความดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้นจากความดันในเซลล์เดิม ซึ่งแสดงในรูปของค่า "B" พารามิเตอร์ของ Skempton ถ้าค่า "B" มีค่ามากกว่า 0.95 จะถือว่าดินทดลองอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ ค่า "B" หาได้โดยใช้หลักการความดันน้ำในโพรงดินของ Skempton (1954)

$$u = B\left|\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)\right| \qquad (3.1)$$

เพิ่มความดันน้ำในเซลล์ $\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_c$

$$\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3 = 0$$

ดังนั้น $$B = \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_c} \qquad (3.2)$$

เมื่อ Δu คือ ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น(Excess Pore Pressure)

$\Delta\sigma_c$ คือ ความดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

3.4.6 การอัดตัวคายน้ำของตัวอย่างดิน

3.4.6.1 การอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทร้อปปิค (Isotropic Consolidation) เมื่อตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว จะปิดลิ้นระบายทางล่ายความดันของตัวอย่างก่อน แล้วเพิ่มความดันในเซลล์จนได้รับหน่วยแรงประสิทธิผลในเซลล์ (Effective Stress) ตามต้อง-

การ โดยใช้ปั๊มมือเพิ่มความดันแล้วปรับให้เข้าระบบย่อยความดันด้วยปรอท วิธีนี้จะทำให้ตัวอย่างดินไม่ถูกรบกวนและปรับความดันได้ละดวก

ความดันในเซลล์ = ความดันประสิทธิผลที่ต้องการ+ความดันของน้ำในตัวอย่างเริ่มแรก (200 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร)

การอัดตัวคายน้ำจะเริ่มต้นเมื่อเปิดลิ้นระบายทางล่ายความดันของตัวอย่าง วัดการเปลี่ยนปริมาตรของตัวอย่างดินโดยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง การตรวจสอบดูว่าตัวอย่างดินเกิดการอัดตัวคายน้ำอย่างสมบูรณ์หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินในระหว่างขบวนการอัดตัวคายน้ำกับ Log ของเวลาที่ใช้ในการอัดตัวคายน้ำ โดยหาเวลาที่เกิดการอัดตัวคายน้ำ โดยหาเวลาที่เกิดการอัดตัวคายน้ำ 100% หรือตรวจสอบค่าความดันของน้ำในโพรงที่เพิ่มขึ้น(Excess Pore Pressure) มีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อปิดลิ้นระบายน้ำ

ค่ายุบตัวในแนวดิ่งของตัวอย่างดินหาได้จากผลต่างของค่าสุดท้ายที่อ่านจากเกจกับค่าแรกเริ่มในช่วงขบวนการทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างดินเป็นน้ำที่ถูกบีบออกมาจะวัดได้จากระบบวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินภายหลังขบวนการอัดตัวคายน้ำ (A_c)

$$V_o = A_o h_o$$

$$V_c = V_o - \Delta v$$

$$h_c = h_o - \Delta h$$

$$A_c = \frac{V_o - \Delta v}{h_o - \Delta h} = \frac{v_c}{h_c} \qquad (3.3)$$

เมื่อ V_o คือ ปริมาตรของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

A_o คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

h_o คือ ความสูงของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

ΔV คือ ปริมาตรของตัวอย่างดินที่เปลี่วนไป = ปริมาตรของน้ำที่ถูกขับออกมาระหว่างการอัดตัวคายน้ำ

Δh คือ ความสูงของตัวอย่างดินที่เปลี่ยนไป

h_c คือ ความสูงของตัวอย่างดินหลังขบวนการอัดตัวคายน้ำ

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดโดยเฉลี่ยของตัวอย่างดินหลังขบวนการอัดตัวคายน้ำ

3.4.6.2 การอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิค (Anisotropic Consolidation)

การอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิค ขั้นแรกจะทำให้เกิดการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทร้อปปิคก่อนโดยใช้ความดันในเซลล์เท่ากับหน่วยแรงประสิทธิผลทางแนวราบ (Effective Honizontal Stress, $\bar{\sigma}_{hc}$) ที่ต้องการ แล้วให้เกิดการอัดตัวคายน้ำ 24 ชั่วโมง วัดค่ายุบตัวในแนวดิ่ง และปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงของตัวอย่างดิน สามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดหลังจากการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทร้อปปิค

หลังจากเกิดขบวนการอัดตัวคายน้ำอย่างสมบูรณ์แบบไอโซทร้อปปิคแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การทำให้ตัวอย่างดินถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิค โดยการเพิ่มน้ำหนักคงที่ (Dead Load) ใส่เข้าไปที่ก้านส่งถ่ายน้ำหนักด้านบนโดยใช้โครงแขวนเหล็กจากค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง (Effective Vertical Stress, $\bar{\sigma}_{vc}$) ทำให้ทราบน้ำหนักที่จะต้องกดลงไปบนตัวอย่างดินได้จาก

$$L_1 = (1-K_o)\ \bar{\sigma}_{vc}\ A_c \qquad (3.4)$$

เมื่อ L_1 คือ น้ำหนักกดบนตัวอย่างระหว่างขบวนการอัดตัวคายน้ำ

K_o คือ สัมประสิทธิ์ของแรงดันด้านข้างของดิน ณ สภาวะสมดุลย์

$\bar{\sigma}_{vc}$ คือ หน่วยแรงประสิทธิผลทางแนวดิ่งสำหรับการอัดตัวคายน้ำ

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดสุทธิของตัวอย่าง (Final Corrected Area)

ขบวนการอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิค ขั้นที่สองนี้จะทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

ในการทำให้ตัวอย่างดินถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิค ควรทำการ Calibrate ของ Triaxial Cell ก่อน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำในเซลล์ (σ_c) กับน้ำหนักคงที่ (Dead Load) เพื่อหาน้ำหนักคงที่อีกส่วนหนึ่งกดลงในแนวดิ่งเพื่อให้สมดุลย์กับแรงลอยตัว (Buoyant Force) และแรงเสียดทานของก้านส่งถ่ายน้ำหนัก รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของความดันในเซลล์กับน้ำหนักคงที่ที่สมดุลย์กับความดันนั้น

รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของความดันในเซลล์กับน้ำหนักคงที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลจะเป็น 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน คือ ช่วงแรกหน่วยแรงจะไปตามค่า +P (การอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปปิค) ช่วงต่อมาจะหันเข้าหาจุด ($+P_o$, $+q_o$) บนเส้นตรง (K_o - line)

3.4.7 การทดลอบตัวอย่างดิน

3.4.7.1 การหากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปปิคมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรนพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน (Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement, $\overline{CIUC}$ Test)

ก่อนจะทำการเพิ่มหน่วยแรงเบี่ยงเบน (Deviator Stress) ให้กับตัวอย่างดินด้วยเครื่องกดดิน (Compression Machine) ควรตรวจสอบความเรียบร้อยของเยื่อบางรอบตัวอย่าง เพื่อให้แน่ใจว่าทำการทดลอบได้ถูกต้อง โดยการปิดสันระบายน้ำของความดันของตัวอย่าง (Back Pressure) รอสักครู่แล้วทำการวัดความดันน้ำในโพรงดินของตัวอย่างจากเครื่องแปลงกำลัง (Transducer) ถ้าปรากฏว่าความดันน้ำในตัวอย่างดินเท่ากับความดันเซลล์แสดงว่าเกิดการรั่วของเยื่อหุ้มตัวอย่างดิน ถ้าเกิดการรั่วดังกล่าวจะต้องถอดตัวอย่างออกแล้วเริ่มทำการทดลองใหม่

เมื่อตรวจสอบทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว ให้ปิดสันระบายน้ำของความดันของตัวอย่าง เมื่อมีให้น้ำในตัวอย่างดินไหลออกไป โดยจะเพิ่มเฉพาะหน่วยแรงในแนวดิ่ง (σ_v) แต่ความดันในเซลล์ (σ_c) จะมีค่าคงที่ การเพิ่มน้ำหนักกระทำโดยยกฐานของเซลล์ด้วยมอเตอร์และระบบเฟืองขึ้นด้วยความเร็วคงที่ แรงในแนวดิ่งสามารถอ่านได้จาก Proving Ring ที่ Calibrate ระหว่างน้ำหนักกับค่าการยุบตัวที่อ่านได้ การทดลอบใช้อัตราความเครียด (Strain Rate) ประมาณ 2.5% ต่อชั่วโมง ระหว่างการทดลอบบันทึกค่ายุบตัวของตัวอย่างดินในแนวดิ่งจากเกจกับค่าการยุบตัวของ Proving Ring และค่าความดันน้ำในโพรงดินจากเครื่องแปลงกำลัง การทดลอบกระทำจนกระทั่งได้ค่าสูงสุดของหน่วยแรงเบี่ยงเบน (Maximum Deviator Stress, $(\bar{\sigma}_1-\bar{\sigma}_3)$ max) และให้ค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนเมื่อ $(\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3)$ มีค่าสูงสุดทดลอบถึงความเครียดประมาณ 10% หลังจากทดลองเสร็จนำตัวอย่างดินมาชั่งน้ำหนัก บันทึกลักษณะการพิบัติแล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 100-110° เป็นเวลา 16-24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการหาปริมาณความชื้นเริ่มแรกและปริมาณความชื้นท้ายสุดของการทดลอง

3.4.7.2 การหากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิคมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรนพร้อมวัดความดันน้ำในโพรงดิน (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement, $\overline{CAUC}$, $\overline{CK_oUC}$ Test)

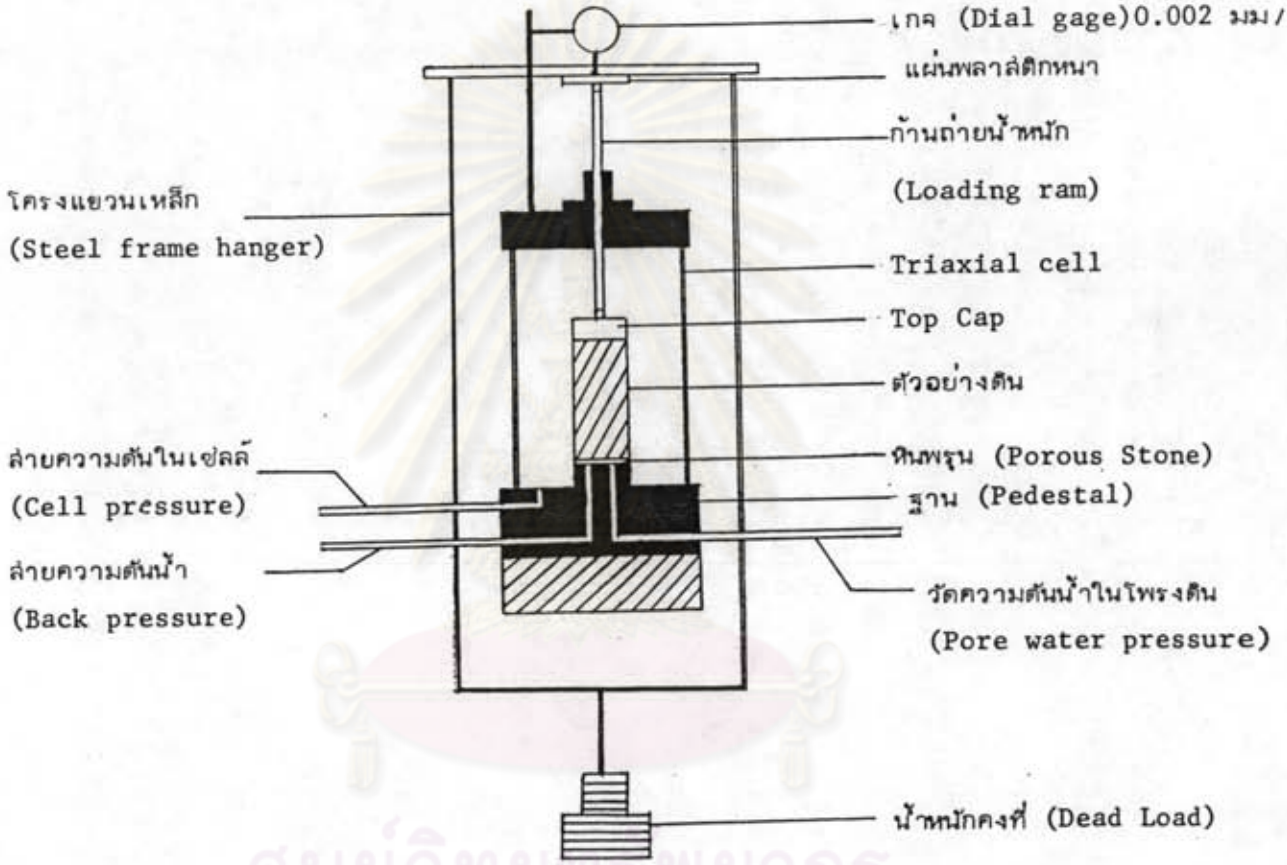
การทดลองชนิดนี้ เป็นการอัดตัวคายน้ำตัวอย่างดินแบบแอนไอโซทร้อปปิคเสียก่อน จึงทำการกดตัวอย่างดินแบบอันเดรนและวัดความดันน้ำในโพรงดิน วิธีการเหมือนการทดลอง $\overline{CIUC}$ Test

3.4.7.3 การทดสอบอันเดรนครีพ (Undrained Creep Test)

การทดสอบอันเดรนครีพ จะกระทำหลังจากตัวอย่างถูกอัดตัวคายน้ำอย่างสมบูรณ์ไปในสภาวะสมดุลย์ธรรมชาติ (In Situ Condition) ซึ่งเป็นช่วง Over Consolidated และทำให้หน่วยแรงในตัวอย่างดินเพิ่มขึ้นจนอยู่ที่ Normally Consolidated State ทั้งตัวอย่างดินในแนวดิ่งและแนวนอนโดยปิดลิ้นระบายน้ำจึงเพิ่มหน่วยแรงเบี่ยงเบน (Deviator Stress) ให้กับตัวอย่างดินทำได้โดยเติมน้ำหนักคงที่ใช้โครงแขวนเหล็ก ดังรูปที่ 3.3

การทดลองครีพ หลังจากอัดตัวคายน้ำอย่างสมบูรณ์แบบไอโซทร้อปปิคจะต้องแขวนน้ำหนักทั้งหมดให้สมดุลย์กับแรงดันภายในก้านถ่ายน้ำหนักเนื่องจากความดันในเซลล์ก่อน โดยอาศัยกราฟในรูปที่ 3.2 แล่ดงความสัมพันธ์ของความดันเซลล์กับน้ำหนักคงที่ แล้วจึงวางน้ำหนักคงที่ในส่วนที่จะเพิ่มหน่วยแรงเบี่ยงเบนให้กับตัวอย่างดินการเพิ่มน้ำหนักคงที่เป็นระยะ ๆ ครั้งละประมาณ 500 กรัม จนเกิดหน่วยแรงเบี่ยงเบน (Deviator Stress) ในตัวอย่างดินที่ระดับหน่วยแรงเฉือนที่ต้องการ จดบันทึกค่าความดันน้ำในโพรงดิน และการยุบตัวในแนวดิ่งที่มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ตัวอย่างดินรับแรงเฉือนค่าคงที่ที่เวลาต่าง ๆ กันระหว่างเกิดอันเดรนครีพ ถ้าตัวอย่างดินไม่เกิดการพิบัติโดยอันเดรนครีพหลังจากการทดสอบเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จึงนำตัวอย่างดินออกจาก Triaxial Cell นำมาหาความชื้นเพื่อหาความชื้นในตัวอย่างหลังการเกิดอันเดรนครีพ

การทดลองครีพ หลังการอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทร้อปปิค จะทดสอบดินต่อด้วยการแขวนน้ำหนักได้ทันที โดยเพิ่มน้ำหนักคงที่เหมือนการทดลองครีพ หลังการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทร้อปปิค



รูปที่ 3.3 การจัดเครื่อง Triaxial สำหรับการทดลองอันเดรนครึ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การให้หน่วยแรงเบี่ยงเบนในการทดลองแรงเฉือนกับการทดลองครีพต่างกันคือ ในการทดลองหาแรงเฉือน เป็นการทดลองแบบควบคุมอัตราความเครียด (Strain Rate Control) โดยใช้ Proving Ring ส่วนทดลองอันเดรนครีพเป็นการให้หน่วยแรงเบี่ยงเบนโดยการแขวนน้ำหนักคงที่

ค่าระดับหน่วยแรงเฉือนของตัวอย่างดินในระหว่างการทดลองอันเดรนครีพต้องมีค่าคงที่ เมื่อตัวอย่างดินเกิดการยุบตัวในแนวดิ่งมากขึ้นจะทำให้พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินมีค่าเพิ่มขึ้นยังผลให้ระดับหน่วยแรงเฉือนมีค่าลดลง ดังนั้นในกรณีที่ดินมีการยุบตัวจนพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินเปลี่ยนแปลงจะทำการเพิ่มน้ำหนักคงที่เพื่อควบคุมให้ระดับหน่วยแรงเฉือนมีค่าคงที่ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของดินทดลองที่เพิ่มขึ้น

ในระหว่างการทดลองอันเดรนครีพต้องควบคุมอุณหภูมิห้องทดลองให้คงที่ งานวิจัยนี้ได้ควบคุมอุณหภูมิห้องให้คงที่ที่ 24 $\pm$ 1^{o} เซนติเกรด ตลอดเวลาที่ทำการทดลอง

3.4.7.4 การหากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำมาก่อนในสภาพอันเดรนด้วยเครื่อง Triaxial (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test, UU Test)

การทดลองหาค่าแรงเฉือนชนิดนี้ เป็นการหาโดยใช้แนวเหตุผลทฤษฎีว่า ค่าแรงเฉือนแบบอันเดรนของตัวอย่างดินมีความสัมพันธ์อันหนึ่งกับค่าปริมาณความชื้น ณ จุดพิจิต ในการทดลองนี้ใช้ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด มีปริมาณความชื้นในดินใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นในดินตามธรรมชาติ ซึ่งในธรรมชาติ ดินที่ระดับความลึกนี้จะอิ่มตัวด้วยน้ำ จะได้ ϕ = 0 ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนที่วัดได้อยู่ในรูปหน่วยแรงรวม (Total Stress)

วิธีการเตรียมตัวอย่างดิน ทำเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.4.3 เมื่อจัดตัวอย่างเข้าที่พร้อมที่จะทดลองแล้วใช้ความดันเซลล์เท่ากับหน่วยแรงรวมในแนวดิ่งตามธรรมชาติ (Overburden Pressure, σ_{vo}) ปิดลิ้นระบายน้ำทั้งในระหว่างเพิ่มความดันเซลล์และระหว่างการทดลองเพิ่มแรงเฉือน การทดลองทำโดยการเพิ่มหน่วยแรงในแนวดิ่งเพียงอย่างเดียวจนกระทั่งตัวอย่างดินเกิดการพิจิต ใช้อัตราความเครียดเท่ากับ 10 % ต่อชั่วโมง

3.4.7.5 การหากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบอิสระด้านข้าง (Unconfined Compression Test, UC Test)

การทดลองนี้จะได้แรงเฉือนของตัวอย่างดินแบบอันเดรนที่ระดับความลึกของตัวอย่างดินที่เก็บขึ้นมา เป็นค่าที่จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองหาแรงเฉือนของตัวอย่างดินโดยวิธีอื่น ๆ

การทดลอบนี้ ใช้ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.4.3 แล้วนำมาเข้าเครื่องกดด้วยอัตราความเครียด 10 % ต่อชั่วโมง นอกจากนี้ยังนำเอาตัวอย่างที่ถูกคลุกเคล้า (Remolded Sample) มาหากำลังรับแรงเฉือนเช่นกัน เพื่อหา Sensitivity ของตัวอย่างดิน

3.5 การคำนวณผลการทดลอง

สมการที่ใช้ในการคำนวณผลการทดลอบมีดังต่อไปนี้

3.5.1 การทดลอบแบบ UU

$$\sigma_1 = \sigma_v = \sigma_c + \Delta\sigma$$

$$\sigma_3 = \sigma_h = \sigma_c$$

เมื่อ $\Delta\sigma = P/A_c$ = หน่วยแรงตามแนวแกนของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลง

σ_1 = หน่วยแรงรวมหลัก (Major Principal Stress)

σ_3 = หน่วยแรงรวมรอง (Minor Principal Stress)

σ_v = หน่วยแรงในแนวดิ่งรวม

σ_h = หน่วยแรงในแนวราบรวม

3.5.2 การทดลอบแบบ $\overline{CIUC}$

$$\sigma_1 = \sigma_v = \sigma_c + \Delta\sigma$$

$$\sigma_3 = \sigma_h = \sigma_c$$

$$\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 - U$$

$$\bar{\sigma}_3 = \sigma_3 - U$$

$$U = U_o + \Delta U$$

$$A = \frac{\Delta U}{\Delta \sigma}$$

เมื่อ U_o = ความดันน้ำของตัวอย่างตอนแรก (Back Pressure)

3.5.3 การทดสอบแบบ $\overline{CAUC}$

$$\sigma_1 = \sigma_v = \sigma_c + L_1/A_c + \Delta\sigma$$ (ดูสมการ 3.4 ประกอบ)

$$\sigma_3 = \sigma_h = \sigma_c$$

$$\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 - U$$

$$\bar{\sigma}_3 = \sigma_3 - U$$

$$U = U_o + \Delta U$$

$$A = \frac{\Delta U}{\Delta \sigma}$$

3.5.4 การทดสอบอันเดรนครีพ

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_o}$$

เมื่อ ε = ความเครียดในระหว่างอันเดรนครีพ

Δh = การยุบตัวของตัวอย่างดินในแนวดิ่งในระหว่างอันเดรนครีพ

h_o = ความสูงของตัวอย่างดินก่อนเกิดอันเดรนครีพ

$$\dot{\varepsilon}^o = \frac{\Delta h}{h_o \Delta t}$$

เมื่อ $\dot{\varepsilon}^o$ = อัตราความเครียดในระหว่างอันเดรนครีพ

Δh = การยุบตัวในแนวดิ่งในระหว่างอันเดรนครีพในช่วงเวลา t

h_o = ความสูงของตัวอย่างดินก่อนเกิดการยุบตัวในช่วงเวลา t

Δt = ช่วงเวลาที่พิจารณาอัตราความเครียด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย