บทที่ 5

สรุป

จากการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับแอนไอโซปร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน ของดินอ่อนกรุงเทพฯ จากระดับความลึก 4.50-5.00 เมตร และ 7.00-7.50 เมตร จากเขตบางรัก พบว่าดินนี้มีคุณสมบัติทางด้านแอนไอโซทร้อปปี้ของแรงเฉือนใกล้เคียงกัน และสรุปได้ดังนี้คือ

ก. พฤติกรรมของดินทางด้านแอนไอโซทร้อปปี้ของแรงเฉือนแบบอันเดรน

1. ดินอ่อนกรุงเทพฯ มีคุณสมบัติแอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน ซึ่งประกอบด้วยแอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัว (inherent anisotropy) และแอนไอโซทร้อปปี้เหนี่ยวนำโดยระบบความเค้น (stress induced anisotropy) พบว่าตัวอย่างแบบดึง ($\beta=0^{\circ}$) มีกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน ($S_{u\beta}=0^{\circ}$) สูงที่สุดและ $S_{u\beta}$ ลดลงตามลำดับเมื่อมุม β° เพิ่มขึ้น ในการคอนโซลิเดทตัวอย่างแบบแอนไอโซทร้อปปี้ (anisotropic consolidation) การเปลี่ยนแปลงของค่า S_u กับค่า β เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ pore pressure response และการเปลี่ยนแปลงของค่าเอนเวอล้อปของการวิบัติในรูปของความเค้นประสิทธิผล (effective stress envelope)

2. การทดสอบแบบต่าง ๆ มีคุณสมบัติที่สำคัญแตกต่างกัน คือ

2.1 ข้อมูลจากการทดสอบ UU แสดงว่าการที่เก็บตัวอย่างมาไม่ดีหรือการที่ตัวอย่างถูกรบกวนหรือคลุกเคล้าทำให้พฤติการณ์ทางด้านแอนไอโซทร้อปปี้สูญหายไป แสดงได้จากการเปรียบเทียบผลของการทดสอบ UU ของตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด (Undisturbed) และตัวอย่างที่ถูกคลุกเคล้า (Remolded)

2.2 UU และ $\overline{\text{CIUC}}$ เป็นการทดสอบที่มีขณะนี้เพื่อหาแอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัว (inherent anisotropy) ให้ได้ใกล้ความจริง การทดสอบ $\overline{\text{CIUC}}$ ซึ่งเตรียมตัวอย่างเหมือนการทดสอบ UU การคอนโซลิเดทตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ ทำให้คุณภาพของ

ตัวอย่างดีขึ้น แต่อาจเปลี่ยนคุณสมบัติทางด้านแอนไอโซทร้อปปี้ไปมากถ้าใช้ $\bar{\sigma}_c \geq \bar{\sigma}_{vo}$ เป็นการเพิ่มความเค้นประสิทธิผลต่อตัวอย่างแต่เป็นแบบไอโซปร้อปปิค การทดสอบนี้วัดแต่แอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัวเท่านั้น ผลที่วัดได้ส่วนมากจะให้คุณสมบัติทางด้านแอนไอโซทร้อปปี้น้อยเกินไป เมื่อใช้ $\bar{\sigma}_c \geq \bar{\sigma}_{vo}$ เพราะการคอนโซลิเดทแบบไอโซปร้อปปี้ (isotropic consolidation) มักจะทำให้ดินมีคุณสมบัติทางด้านไอโซทร้อปปี้ (isotropic soil properties) มากขึ้น

2.3 การทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ โดยใช้ตัวอย่างดิ่ง การกดตัวอย่างทำให้ σ_{1f} อยู่ในแนวดิ่งทับกับ σ_{10} การดึงตัวอย่างทำให้ σ_1 เปลี่ยนแปลงทิศทางไป 90^o ระหว่างที่ดินรับแรงเฉือน การทดสอบจึงวัดผลรวมของแอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัว (inherent anisotropy), แอนไอโซทร้อปปี้เหนี่ยวนำโดยระบบความเค้น (Stress induced anisotropy) เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลักและผลของการแตกต่างของสภาพของ σ_2 (σ_2 condition) ระหว่างการทดสอบทั้งสอง

3. ผลการวัดแอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนโดยการทดสอบไตรแอ๊กเชี่ยลขึ้นกับชนิดของการทดสอบดังกล่าว ตารางด้านล่างนี้แสดงค่าของ $K_s = \frac{S_{u\beta=90^o}}{S_{u\beta=0^o}}$ ของการทดสอบชนิดต่าง ๆ ที่ทำการทดสอบ

ชนิดของการทดสอบ	4.50-5.00 เมตร		7.00-7.50 เมตร	
	OCR	K_s	OCR	K_s
UU	-	0.73	-	0.76
UU-RE	-	1.00	-	1.00
$\overline{CIUC}$ ($\bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{vo}$)	1.40	0.78	1.13	0.87
CIUC ($\bar{\sigma}_c > \bar{\sigma}_{vm}$)	1.00	0.96	1.00	0.99
$\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ($\bar{\sigma}_{vc}=\bar{\sigma}_{vo}$)	1.40	0.72	1.13	0.59
$\overline{CK_oUC}$ & $\overline{CK_oUE}$ ($\bar{\sigma}_{vc}>\bar{\sigma}_{vm}$)	1.00	0.75	1.00	0.67

4. ขนาดของความเค้นคอนโซลิเดชั่นในการทดสอบ $\overline{CIUC}$ มีอิทธิพลต่อการวัดแอนไอโซทร้อปปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน และค่าของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน จากการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ขนาดของ $\bar{\sigma}_c$ มีผลต่อ K_s การทดสอบที่ระดับความเค้นคอนโซลิเดชั่นหนึ่งจะได้ K_s ค่าหนึ่ง และเมื่อ $\bar{\sigma}_c > \bar{\sigma}_{vm}$ ค่า K_s จะเข้าใกล้ 1.0 เนื่องจาก $\bar{\sigma}_c$ แบบไอโซทร้อปปิคสูง ๆ จะทำให้โครงสร้างเม็ดดินเป็นระบบไอโซทร้อปปิค การกดตัวอย่างในทิศทางใด ๆ จะได้ผลลัพธ์เหมือนกัน นั่นคือ $S_{u\beta}$, $\Delta U_{f\beta}$, $A_{f\beta}$ & $\varepsilon_{f\beta}$ ต่างประมาณได้ว่ามีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับ β^o

5. จากการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$ และ $\overline{CK_oUE}$ ขนาดของ $\bar{\sigma}_{vc}$ หรือ stress history (OCR) ไม่มีอิทธิพลต่อ K_s มากนัก นั่นคือไม่ว่าจะทดสอบที่ $\bar{\sigma}_{vc}$ หรือ OCR เท่ากับอะไร ค่า K_s ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง

6. ผลของแอนไอโซทร้อปปี้ที่มีต่อเอนเวอล้อปของมอร์-คูลอมบ์ที่ $(\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3)_{max}$ เป็นดังนี้

6.1 จากการทดสอบ $\overline{CIUC}$ ทุก ๆ β^o มีเอนเวอล้อปร่วมกัน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงโอเวอร์คอนโซลิเดทและนอร์มัลลี่คอนโซลิเดท แสดงว่าส่วนของแอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัว (inherent anisotropy) เพียงทำให้เกิดแอนไอโซทร้อปปี้ของ pore pressure response และแอนเวอล้อปจากการทดสอบ $\overline{CIUC}$ มีเอนเวอล้อปที่ $(\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3)_{max}$ ร่วมกับการทดสอบ $\overline{CK_oUC}(\beta=0^o)$

6.2 การทดสอบ $\overline{CK_oUE}(\beta=90^o)$ ของดินลึก 4.50-5.00 เมตรมีเอนเวอล้อปเป็นช่วงเดียว มี $\bar{c} = 0$ และมีเอนเวอล้อปเท่ากันกับจากการทดสอบ $\overline{CK_oUC}(\beta=0^o)$ ของดินนอร์มัลลี่คอนโซลิเดท (NCC)

แต่เอนเวอล้อปจาก $\overline{CK_oUE}$ ของดินลึก 7.00-7.50 เมตร มี $\bar{\phi}$, $\bar{c}$ ต่ำกว่าของ $\overline{CK_oUC}$ ทั้งช่วงโอเวอร์คอนโซลิเดทและนอร์มัลลี่คอนโซลิเดท ดังนั้น เอนเวอล้อปของทั้งสองการทดสอบจึงไม่จำเป็นต้องเท่ากัน

๖.๓ จากการทดสอบนี้พบว่า ดินนี้มีคุณสมบัติทางแอนไอโซทร้อปปี้ในเอนเวอล้อปของการวิบัติในเทอมของความเค้นประสิทธิผลที่ $(\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3)_{max}$ และเป็นสาเหตุอันหนึ่งที่ทำให้เกิดแอนไอโซทร้อปปี้ของแรงเฉือนแบบอันเดรน

๗. ดินนี้มีคุณสมบัติแอนไอโซทร้อปปี้ของพารามิเตอร์ $A_{f\beta}$ นั่นคือ $A_{f\beta=0^o} < A_{f\beta=45^o} < A_{f\beta=90^o}$ ซึ่งเป็นต้นเหตุอันหนึ่งของแอนไอโซทร้อปปี้ของ S_u

๘. ดินนี้มีคุณสมบัติแอนไอโซทร้อปปี้ของ axial strain นั่นคือตัวอย่างดิ่งจะมี $\varepsilon_{f\beta=0^o}$ น้อยที่สุดและ $\varepsilon_{f\beta}$ เพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อมุม β^o เพิ่มขึ้น หรือก็คือ $\varepsilon_{f\beta=0^o} < \varepsilon_{f\beta=45^o} < \varepsilon_{f\beta=90^o}$

๙. Stress history มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางด้านแอนไอโซทร้อปปี้ของดินอ่อนกรุงเทพฯ

K_s ลดลงเล็กน้อยเมื่อ OCR เพิ่มขึ้น

ข. วิธีการวัดพฤติกรรมทางด้านแอนไอโซทร้อปปี้ของแรงเฉือนแบบอันเดรน

การทดสอบที่ใกล้เคียงเพื่อวัดแอนไอโซทร้อปปี้ของแรงเฉือนตามธรรมชาติ (in situ anisotropy of undrained shear strength) ควรใช้การทดสอบแบบ $\overline{CK_oUC}$ และ $\overline{CK_oUE}$ จึงจะเหมาะสม เพราะจะครอบคลุมตัวปัญหาได้มาก คือ แก้ไขการที่ตัวอย่างถูกรบกวน มีระบบความเค้นเหมือนธรรมชาติ วัดแอนไอโซทร้อปปี้ประจำตัวได้ วัดแอนไอโซทร้อปปี้เหนี่ยวนำโดยระบบความเค้นได้ (σ_1 หมุนไป ๙๐^o จากแนวดิ่งสู่แนวราบ) และสอดคล้องที่สุดกับกรณีของงานฐานรากและงานขุดโดยทั่ว ๆ ไป

การทดสอบแบบง่าย ๆ อย่างเช่นการทดสอบ UU นั้น จะให้ผลได้ไม่ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อได้ตัวอย่างไม่ดีมา เพราะการรบกวนต่อตัวอย่างนอกจากจะลดค่าแรงเฉือนแล้วยังลดพฤติกรรมทางด้านแอนไอโซทร้อปปี้ด้วย การทดสอบแบบ $\overline{CIUC}$ อาจใช้ได้ในการวัดแรงเฉือนในแนวดิ่ง (Vertical strength) เท่านั้น แต่ใช้ในการวัดแรงเฉือนในทิศทางใดๆ ($S_{u\beta}$) และแรงเฉือนในแนวราบ (S_{uh}) ไม่ได้ เพราะการใช้ $\bar{\sigma}_c$ ใน $\overline{CIUC}$ ทำให้ดินมีคุณสมบัติทางด้านไอโซทร้อปมีคมากขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้จะวิจัยต่อ

เนื่องจากดินอ่อนกรุงเทพฯ มีคุณสมบัติแอนไอโซทร้อปปี้ของ S_u และสามารถวัดได้ด้วยการทดสอบต่าง ๆ ดังกล่าว แต่มีปัญหาว่าวิธีการวัดยังไม่มากพอที่จะครอบคลุมปัญหาของงานจริงได้ทั้งหมด จึงควรศึกษาถึงการวัดแอนไอโซทร้อปปี้ของ S_u ด้วยการทดสอบแบบ plane strain ซึ่งสอดคล้องกับปัญหาแบบ plane strain เช่นการวิบัติของคันดินยาว จากนั้นหาความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแบบ plane strain & ไตรแอ็กเชียลแล้วประยุกต์เข้ากับการออกแบบต่อไป และควรมีการศึกษาของผลของ stress history ให้มากกว่านี้ เพราะช่วงของสัดส่วนโอเวอร์คอนโซลิเดชั่น (range of overconsolidation ratio) ที่ใช้ในการทดสอบในการวิจัยนี้น้อยมาก