บทที่ 5

บทสรุปและแนะนำการวิจัยขั้นต่อไป

5.1 บทสรุป

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมแอนไอโซทร้อปปี้ของอันเดรนครีพของดินเหนียวอ่อน-มากที่บางปูได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการคาดคะเนการยุบตัวในช่วงอันเดรนครีพของตัวอย่างในแนวดิ่ง และแนวนอนที่สภาวะตามธรรมชาติ (in situ condition)ซึ่งเป็นสภาวะ Overconsolidated และที่สภาวะ Normally Consolidated

สำหรับดินเหนียวอ่อนมากที่มีขีดเหลว 65 $\pm$ 3% มีค่า P.I. = 37 $\pm$ 3% และมีค่าความไว (Sensitivity) = 6-8 ดินเหนียวชนิดนี้ได้ถูกทำการทดสอบด้วยวิธีการทดลอง $\overline{\text{CAUC}}$ ตามด้วย การทดสอบอันเดรนครีพ โดยการทดสอบหาคุณสมบัติสำหรับตัวอย่างดินทดลองในแนวดิ่งที่สภาวะตามธรรมชาติ (OCR =2.4) ใช้ $\bar{\sigma}_{vc} = \bar{\sigma}_{vo}$ ซึ่งอยู่ในสภาวะ Overconsolidated และสภาวะ Normally Consolidated ใช้ $\bar{\sigma}_{vc}=1.5\bar{\sigma}_{vm}$ และวิธีการทดลอง $\overline{\text{CIUC}}$ modified สำหรับการทดสอบ อันเดรนครีพด้วยโดยทำการทดลองตัวอย่างในแนวนอนที่สภาวะ Overconsolidated ใช้ $\bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{vo}$ และสภาวะ Normally Consolidated ใช้ $\bar{\sigma}_c = 1.5\ \bar{\sigma}_{vm}$

ผลการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. จากการทดลอง UU ของตัวอย่างดินทดลองที่แกนทำมุมต่าง ๆ (β) ของตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของตัวอย่างที่แกนทำมุม 0^o ($\beta = 0^o$) จะให้ค่าสูงสุดและกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของมุมที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าลดลง แสดงว่าดินเหนียวอ่อนบางปู มีคุณสมบัติทางแอนไอโซทร้อปปี้ มีค่าดีกรีของแอนไอโซทร้อปปี้ (Degree of Anisotropy, $K_s=\frac{S_u(\beta)}{S_u(v)}$ ประจำตัวดังนี้

β	.Su(β)/Su(v)
0^o	1
45^o	0.771
90^o	0.719

ดินเหนียวอ่อนบางปูจะมีคุณสมบัติทางแอนไอโซทรอปปี้มากกว่านี้ ถ้าทดสอบเปรียบเทียบจากผลการทดสอบของ $\overline{CAUC}$ และ $\overline{CAUE}$

2. จากการทดลองหาเส้นเอนเวนล้อปของหน่วยแรงประสิทธิผลที่พิปัติจะพบว่าที่ $\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$ สูงสุดจะให้ค่าสูงกว่า $\frac{\bar{\sigma}_1-\bar{\sigma}_3}{2}$ สูงสุด ทั้งตัวอย่างดินทดลองในแนวดิ่งและแนวนอน เนื่องจากดินที่บางปูเป็นดินที่มีค่าความไว (Sensitivity) สูงมากอยู่ในช่วง 6-8

3. จากกราฟความสัมพันธ์ของการ Normalized หน่วยแรง $(\sigma_1-\sigma_3)/\bar{\sigma}_{vc}$ กับความเครียดจะพบว่าตัวอย่างดินทดลองที่อยู่ในสภาวะ Normally Consolidated ในแนวดิ่งและแนวนอน โดยวิธีการทดสอบ $\overline{CAUC}$ และ $\overline{CIUC}$ ($\beta = 90^o$) ตามลำดับที่หน่วยแรงประสิทธิผลในการอัดตัวคายน้ำสูง ๆ ($\bar{\sigma}_{vc} >> \bar{\sigma}_{vm}$) จะได้กราฟเกือบเป็นเส้นตรงเดียวกัน แสดงว่าดินเหนียวอ่อนที่บางปูมีพฤติกรรมของการ Normalized ได้ (Normalized Behavior) อย่างน้อยที่สุดในสภาวะ Normally consolidated

4. กำลังครีพจะมีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนที่ไม่คิดผลเนื่องจากครีพ และมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับทิศทางที่แรงมากระทำ กำลังครีพในแนวนอนมีค่าต่ำกว่ากำลังครีพในแนวดิ่ง แต่ถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วการลดลงของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) มีมากกว่าในแนวดิ่ง และเปอร์เซ็นต์ลดลงของกำลังรับแรงเฉือนไม่ขึ้นอยู่กับ OCR กำลังครีพในแนวดิ่งมีค่าเพียงประมาณ 80% ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนสำหรับตัวอย่างดินรับแรงกระทำในแนวดิ่งที่สภาวะ Overconsolidated และสภาวะ Normally Consolidated และกำลังครีพในแนวนอนมีค่าประมาณ 85% ของกำลังรับเอาเฉือนแบบอันเดรนสำหรับตัวอย่างดินรับแรงในแนวนอนที่สภาวะ Overconsolidated และสภาวะ Normally Consolidated (กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนทางแนวนอนมีค่าน้อยกว่าทางแนวดิ่ง)

5. ความเครียดที่จุดวิกฤต (Critical Strain) เป็นความเครียดที่เกิดขึ้นก่อนที่ตัวอย่างจะเกิดการพังทลายโดยครีพ จะมีค่าใกล้เคียงกับความเครียดที่เกิดจากการหากำลังแรงเฉือนแบบอันเดรน โดยทั่วไป ณ จุดพังทลายเช่นกัน ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่าความเครียดที่จุดพังทลายเป็นค่า Unique ถ้าตัวอย่างดินทดลองเกิดความเครียดโดยการทดสอบแบบอันเดรนครีพใกล้เคียงกับความเครียด ณ จุดพังทลายที่ได้จากการทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน โดยทั่วไปแสดงว่าการพังทลายโดยอันเดรนครีพกำลังจะเกิดขึ้น

6. การคาดคะเนความเครียดเนื่องจากอันเดรนครีพของดินเหนียวอ่อนจากบางปูโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

(ก) โดยสมการของ Singh และ Mitchell (1968)

(i) เมื่อตัวอย่างรับแรงในแนวดิ่ง

ณ สภาวะ Overconsolidated

$$\varepsilon\% = -1.72\times10^{-3} + 3.529\times10^{-4}\exp(5.19\bar{D})t^{0.51} \qquad (OCR=2.4)$$

ณ สภาวะ Normally Consolidated

$$\varepsilon\% = -1.58\times10^{-3} + 6.393\times10^{-7}\exp(12.16\bar{D})t^{0.61}$$

(ii) เมื่อตัวอย่างรับแรงในแนวนอน

ณ สภาวะ Overconsolidated

$$\varepsilon\% = -2.10\times10^{-1} + 5.0\times10^{-3}\exp(6.65\bar{D})t^{0.20} \qquad (OCR=2.4)$$

ณ สภาวะ Normally consolidated

$$\varepsilon\% = -4.40\times10^{-2} + 8.75\times10^{-3}\exp(4.74\bar{D})t^{0.32} \qquad (OCR=2.4)$$

(ข) โดยสมการของ Semple (1973) ได้สมการดังนี้

(i) เมื่อตัวอย่างรับแรงในแนวดิ่ง

ณ สภาวะ Overconsolidated $\varepsilon\% = 2.6\times10^{-4}\exp(4.65\bar{D})t^{0.55}$ (OCR=2.4)

ณ สภาวะ Normally Consolidated $\varepsilon\% = 1\times10^{-7}\exp(13.86\bar{D})t^{0.73}$

(ii) เมื่อตัวอย่างรับแรงในแนวนอน

ณ สภาวะ Overconsolidated $\varepsilon\% = 1\times10^{-2}\exp(3.67\bar{D})t^{0.26}$ (OCR=2.4)

ณ สภาวะ Normally Consolidated $\varepsilon\% = 3.5\times10^{-3}\exp(5.24\bar{D})t^{0.44}$

(ค) โดยสมการของ Mesri et al (1981) ได้สมการดังนี้

(i) เมื่อตัวอย่างรับแรงในแนวดิ่ง

ณ สภาวะ Overconsolidated $\varepsilon \quad \% = 0.383 \frac{\bar{D}}{1-0.756\bar{D}} t^{0.076}$ (OCR=2.4)

(ii) เมื่อตัวอย่างรับแรงในแนวนอน

ณ สภาวะ Overconsolidated $\varepsilon \quad \% = 0.284 \frac{\bar{D}}{1-0.957\bar{D}} t^{0.121}$ (OCR=2.4)

ณ สภาวะ Normally Consolidated $\varepsilon \quad \% = 0.290 \frac{\bar{D}}{1-0.969\bar{D}} t^{0.301}$

เมื่อ $\bar{D}$ = ระดับหน่วยแรงเฉือน= $(\sigma_1-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)_f$

t = เวลามีหน่วยเป็นนาที

สมการหาความเครียดระหว่างอันเดรนครีพ Singh และ Mitchell (1968) กับสมการของ Semple (1973) และสมการของ Mesri et al (1981) สามารถคาดคะเนความเครียดได้ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองอันเดรนครีพทั้งสภาวะ Overconsolidated และ Normally Consolidated ที่มีระดับหน่วยแรงเฉือนต่ำกว่ากำลังครีพ สมการของ Semple (1973) จะให้ค่าใกล้เคียงกว่าสมการของ Singh และ Mitchell (1968) สำหรับการคำนวณความเครียดข่วงระหว่างอันเดรนครีพ แต่สมการของ Mesri et al (1981) สามารถคาดคะเนการยุบตัวทั้งหมดอันเนื่องจาก Undrained deformation และ Undrained Creep ซึ่งจะเป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดในการคาดคะเนการยุบตัวของด้านอันเดรน สมการเหล่านี้มิได้หมายความว่าสามารถใช้ในการคาดคะเนความเครียด (Strain) เนื่องจากอันเดรนครีพในสนามได้ถูกต้องทีเดียว เพราะปัญหามาจาก Stress System และ Drainage Condition

7. ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนที่ได้จากการทดสอบ UC และ UU ซึ่งได้จากตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด จะมีค่าต่ำกว่ากำลังครีพทางแนวดิ่งและแนวนอนประมาณ 40% ถ้าใช้กำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากวิธีการทดสอบ UU และ UC จะเป็นการไม่ประหยัดแต่ปลอดภัยทางด้านอันเดรนครีพ การลดลงของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) มาจากผลของการรบกวนของตัวอย่าง (Sample Disturbance) โดยเฉพาะดินที่บางปูนี้มีค่าความไว

(Sensitivity) ค่อนข้างสูง

8. ค่าพารามิเตอร์ "m" เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับค่า OCR จะได้กราฟความสัมพันธ์เส้นตรงค่อนข้างจะขนานกัน สำหรับตัวอย่างดินในแนวดิ่งและแนวนอน และมีค่า "m" เพิ่มมากขึ้นเมื่อ OCR มากขึ้น แสดงว่าดินเหนียวที่สภาวะ Normally Consolidated มีแนวโน้มที่จะเกิดการพังทลายโดยครีพมากกว่าดินที่สภาวะ Overconsolidated

9. ค่าพารามิเตอร์ "λ" เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับค่า OCR จะได้กราฟเส้นตรงค่อนข้างจะขนานกัน สำหรับตัวอย่างดินในแนวดิ่งและแนวนอน และมีค่าน้อยลงเมื่อ OCR เพิ่มมากขึ้น

10. เปรียบเทียบกับดินปฐมธานีของนาย สมบัติ (2525) วิเคราะห์ความเป็น 2 หัวข้อ คือ

(i) ผลของการอัดตัวคายน้ำแบบไม่เท่ากันทุกทิศทุกทาง (Anisotropic Consolidation)

(ii) ผลของ Plasticity Index

เมื่อเปรียบเทียบดินที่มี P.I. ประมาณเท่ากันแต่ Activity ต่างกันของสมบัติ (2525) ผลของ Anisotropic Consolidation มีมาก ทำให้พารามิเตอร์ "m" มีค่าลดน้อยลงไปมาก การทดลองวิธี $\overline{CAUC}$ ในดินบางปูที่มี Activity น้อยกว่า มีค่าพารามิเตอร์ "m" น้อยกว่าดินที่รังสิตที่มี Activity สูงกว่า ดังนั้นการทดลองวิธี $\overline{CAUC}$ จะแสดงผลของครีพซึ่งมากกว่า เพราะการทดลองไปที่สภาวะใกล้เคียงกับธรรมชาติมากกว่า และให้ผลของครีพมากกว่าจึงควรใช้เป็นการทดลองแบบครีพ $\overline{CAUE}$ จึงควรเป็นวิธีการใช้ทำผล ของครีพ สำหรับดินแนวนอนมีค่า $\beta = 90^{o}$

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยขั้นต่อไป

ปกติการออกแบบใช้ค่าพิกัดความปลอดภัยไม่ให้สูงเกินไป เพราะจะเป็นการไม่ประหยัด และไม่ให้ต่ำเกินไป เพราะจะมีปัญหาทางด้านอันเดรนครีพ เนื่องจากการวิจัยแสดงว่า Stress System มีผลต่อการทดลองครีพมาก และส่วนใหญ่จะพบกับงานทางด้านคันดิน (Embankment) และงานขุด ซึ่งสภาวะของหน่วยแรงจะอยู่ในสภาพของการอัดตัวคายน้ำ

แบบ Plane Strain มากกว่า แบบ Triaxial เพราะฉะนั้นในงานวิจัยขั้นต่อไปควรจะใช้วิธีการทดลองแบบ Plane Strain และทำการทดลองที่ OCR ต่าง ๆ กัน เพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางด้านอันเดรนครีพต่อ OCR และ Anisotropic Consolidation กับ Extension Test

นอกจากนี้ควรทดลอบ โดยใช้ Strain Meter วัดหาค่าความเครียดที่ได้จากในสนามเทียบกับสมการที่ได้จากการทดลอง เพื่อตรวจสอบดูว่าสมการที่ได้สามารถใช้ในการคาดคะเนมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย