...องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

ผลของการวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับพฤติกรรมของดินเหนียวในช่วงเวลาหลายปีที่ผ่านมาได้พบว่า การวัดแรงเฉือนของดินเหนียวมีความสลับซับซ้อนมากกว่าที่เคยคิดกันไว้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการหาค่าที่เหมาะสมของแรงเฉือนแบบอันเดรน (undrained shear strength, S_u) ของดินเหนียว เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ (stability analysis) ของดินเหนียวที่มีต่อแรงที่ถูกกระทำ วิธีการวัดต่าง ๆ ในปัจจุบันที่ใช้ในการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ซึ่งยังไม่มีความถูกต้องแน่นอนเท่าที่ควรและยังต้องอาศัยประสบการณ์ต่าง ๆ อย่างมากเพื่อใช้ในการปรับหาค่าแรงเฉือนที่วัดได้เพื่อให้สามารถใช้การได้ถูกต้อง

จากผลการวิจัยใหม่ ๆ ที่ผ่านมาได้พบว่าค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ยังขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่าง ๆ เช่น ประวัติของหน่วยแรง (stress history) การรบกวนต่อตัวอย่างดิน (sample disturbance) แอนไอโซทรอบปีของกำลังรับแรงเฉือน (strength anisotropy) และอัตราความเครียด (strain rate, $\dot{\varepsilon}$) วิธีการวัดแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันโดยอาศัยสมมุติฐาน 2 ชนิดบาคิด คือ

1. สมมุติฐานว่าค่าแรงเฉือนและปริมาณความชื้น ณ จุดพิบัติ (water content at failure, w_f) มีความสัมพันธ์อันหนึ่งกัน เราสามารถทำการทดสอบหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดินเหนียวได้โดยการทดสอบใดก็ตามที่ทำให้ค่าปริมาณความชื้น ณ จุดพิบัติ (w_f) ของดินมีค่าเท่ากับค่าปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (in situ natural water content, w_n) เช่น การทดสอบแบบ UC หรือ UU

2. สมมุติฐานว่าค่าแรงเฉือนของดินเหนียวและหน่วยแรงประสิทธิผลของดินก่อนถูก load (preshear effective vertical stress, $\bar{\sigma}_{vc}$) มีความสัมพันธ์อันหนึ่งอันเดียวกัน วิธีนี้เป็นรากฐานของวิธีการแบบ Recompression ซึ่งเริ่มใช้ที่ NGI

(Norwegian Geotechnical Institute) วิธีนี้ทำการทดสอบหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ได้โดยการ reconsolidated ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบกลับไปอยู่ที่สภาวะหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติ (in situ stress) เสียก่อนแล้วจึงทำการทดสอบหาแรงเฉือน

วิธีการทั้งสองนี้โดยทั่ว ๆ ไปไม่ได้พิจารณาถึงผลของแฟคเตอร์อื่นที่มีอิทธิพลต่อแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) แต่พิจารณาว่าผลเหล่านี้หักล้างกันเองจนได้ค่าที่ถูกต้องขึ้นมา ซึ่งทำให้ค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ที่วัดได้อาจมีค่าสูงหรือต่ำกว่าที่เป็นจริงตามธรรมชาติก็ได้ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมผลของแฟคเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้ได้

จากความพยายามที่จะหาวิธีการที่สามารถควบคุมผลของแฟคเตอร์ต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) และการค้นพบว่าพฤติกรรมของดินชนิดเดียวกันที่มีค่า over-consolidation ratio* (OCR) เท่ากัน แต่มีค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งที่ถูกกระทำก่อนการถูก load ($\bar{\sigma}_{vc}$) ต่างกัน จะแสดงพฤติกรรมที่เหมือนกันเมื่อคุณสมบัติของดินถูก normalized อยู่ในรูปอัตราส่วนของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งก่อนถูก load (preshear effective vertical stress ซึ่งแทนด้วย $\bar{\sigma}_{vc}$ แต่สำหรับในการทดลองในห้องปฏิบัติการมักแทนด้วย $\bar{\sigma}_{1c}$) ดังกล่าวนี้ จึงได้มีการคิดค้นวิธีการวัดแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดินเหนียวขึ้นมาใหม่วิธีหนึ่ง เรียกว่า วิธีการแซนเซพ (Soil Histories and Normalized Soil Engineering Properties Method of Consolidation, SHANSEP) ซึ่งวิธีการนี้ถูกคิดค้นขึ้นมาโดย Dr. Charles C., Ladd ในปี 1969 ที่ MIT โดยให้ความสำคัญของประวัติของหน่วยแรง (stress history) และใช้พฤติกรรมของดินที่ถูก normalized ได้ (ดังนั้นจึงใช้ได้เฉพาะดินมีคุณสมบัติที่ normalized ได้) วิธีการ SHANSEP นี้สร้างประวัติของหน่วยแรง (stress history) ในตัวอย่างดินใหม่ เพื่อลดผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดินด้วยการทำให้ตัวอย่างดินที่ต้องการทำการทดสอบกลายเป็น normally consolidated clay เสียก่อน เพื่อลดการรบกวนต่อตัวอย่างดิน แล้วจึงสร้าง stress history ของดินใหม่ในห้องปฏิบัติการ (laboratory)

---

* Overconsolidation ratio (OCR) เป็นคุณสมบัติของดินชนิดหนึ่งที่ใช้แสดงแทนประวัติของหน่วยแรง (stress history) ของดิน ซึ่งแทนด้วยค่าอัตราส่วนของหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับ (maximum past pressure, $\bar{\sigma}_{vm}$) ต่อหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งตามธรรมชาติ (in situ vertical effective stress, $\bar{\sigma}_{vo}$)

การที่ดินมีคุณสมบัติที่ normalized ได้หมายความว่า ที่ OCR หนึ่ง ๆ จะมีคุณสมบัติของดิน เช่น ค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) และค่าโมดูลัส (E) ของดินเมื่อถูกหารด้วยค่าหน่วยแรงประสิทธผลในแนวดิ่งก่อนถูก load (preshear effective vertical stress, $\bar{\sigma}_{vc}$) ได้เพียงค่าเดียว นั่นคือค่าอัตราส่วนนี้ ($S_u/\bar{\sigma}_{vc}$, $E_u/\bar{\sigma}_{vc}$) จะไม่ขึ้นกับขนาดของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งก่อนการถูกน้ำหนักกระทำให้พิบัติ ($\bar{\sigma}_{vc}$)

การทำประวัติของหน่วยแรง (stress history) ในห้องปฏิบัติการทดลองของวิธีการของ SHANSEP ทำได้โดย consolidated ตัวอย่างไปที่หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง ($\bar{\sigma}_{vc}$) มีค่าเท่ากับ 2 ถึง 3 เท่าของค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับ ($\bar{\sigma}_{vm}$) แล้วทำการทดสอบถ้าดินเป็น normally consolidated clay แต่ถ้าดินเป็น overconsolidated clay ทำประวัติของหน่วยแรง (stress history) ใหม่ โดย unload ไปที่ OCR ที่ต้องการเสียก่อนจึงทำการทดสอบที่ระบบของหน่วยแรง (stress system) ที่ต้องการ

สมมุติฐานของวิธีการของ SHANSEP ในการที่ทำให้วัดคุณสมบัติของดินได้ใกล้เคียงกับความจริงโดยลดผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน คือ ที่ขั้นแรก consolidated ตัวอย่างดินไปอยู่ที่สภาวะหน่วยแรงมากกว่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่มวลดินเคยได้รับ ($\bar{\sigma}_{vm}$) เสียก่อน (เพื่อให้หน่วยแรงประสิทธิผลของตัวอย่างอยู่ในเส้น virgin curve) ถ้าใช้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งที่ทำให้ดินถูกอัดตัวคายน้ำ ($\bar{\sigma}_{vc}$) เพียงพอ หน่วยแรงประสิทธิผลในดินที่จุดนี้จะอยู่บนเส้น virgin curve ของ in situ condition เมื่อทดสอบตัวอย่างที่ OCR ที่ต้องการโดยการยอมให้เกิด aging ในดินและทดลองในระบบของหน่วยแรง (stress system) ที่ใกล้เคียงกับความจริง ผลที่ได้ในรูปของคุณสมบัติที่ถูก normalized จึงจะให้คุณสมบัติใกล้เคียงกับดินในธรรมชาติ วิธีการนี้จึงใช้ได้เฉพาะในดินที่มีคุณสมบัติที่ normalized ได้ (นั่นคือในดินที่ไม่ sensitive และมี cementation agent) และประวัติของหน่วยแรง (stress history) ของดินเกิดจากการ unloading ของดินหรือ equivalent

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบดูว่า

1. วิธีการแบบ SHANSEP มีความเหมาะสมหรือไม่ เพื่อใช้ในการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดินเหนียวอ่อนในบริเวณกรุงเทพฯ โดยทำการประเมินผลที่ได้จากการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ที่ค่า OCR ต่าง ๆ กันโดยวิธีการทดสอบแบบ SHANSEP กับผลที่ได้จากการวัดแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) โดยวิธีการแบบ Recompression ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งทำการ reconsolidated ตัวอย่างดินกลับไปอยู่ที่สภาวะหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติหรือน้อยกว่าค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ ($\bar{\sigma}_{vm}$) เพื่อให้ได้แต่ค่า OCR ที่ต้องการ

การทดสอบได้ทำกับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด (undisturbed samples) เพื่อให้ผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดินมีน้อยที่สุด จึงทำให้ค่าที่ได้จาก Recompression ถูกต้อง การทดสอบโดยวิธีการทั้งสองทำที่ค่า OCR ต่าง ๆ กันและเปรียบเทียบผลที่ OCR เท่ากัน วิธีการของ SHANSEP จะใช้ได้ต่อเมื่อผลที่ได้จากการทดสอบในรูปของ normalized form จะต้องได้ค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธีการของ Recompression

2. ตรวจสอบดูว่าเมื่อมีการรบกวนต่อตัวอย่างดิน ค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ที่วัดได้จากการทดสอบแบบ Recompression มีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

อนึ่งการวิจัยนี้เพียงต้องการแสดงว่า SHANSEP ใช้ได้หรือไม่ในดินกรุงเทพฯ มิได้มีความประสงค์ที่จะแสดงว่าวิธีการ SHANSEP จะดีกว่า Recompression ในกรณีที่เก็บตัวอย่างมาไม่ดี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้จะทำการทดลองวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) โดยวิธีการทดลองหากำลังรับแรงกดของดินหลังจากถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอบปิกด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรนพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน (anisotropically consolidated undrained triaxial compression test with pore pressure measurement, $\overline{CAUC}$)

โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันของดิน (coefficient of earth pressure, K) ประมาณใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันของดิน ณ สภาวะสมดุลย์ (coefficient of earth pressure at rest, K_o) ที่เป็นจริงตามธรรมชาติมากที่สุด และใช้อัตราความเครียด ($\dot{\varepsilon}$) ที่ทำให้เกิดการพิบัติด้วยอัตราคงที่เท่ากับ 1 % ต่อชั่วโมง ซึ่งวิธีการ consolidated ตัวอย่างก่อนวัดแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดินเหนียวนี้ จะทำการทดสอบโดยวิธีต่อไปนี้

ก. วิธีการแบบ Recompression โดยทำสอบกับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด (undisturbed samples) และตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (disturbed samples) บ้างพอสมควร

ข. วิธีการแบบ SHANSEP โดยทดสอบกับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด

สำหรับการตรวจสอบวิธีการของ SHANSEP ผลการทดลองจากตัวอย่างที่ทำการทดสอบแบบ SHANSEP และความเหมาะสมของ Recompression ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์โดยแสดงผลอยู่ในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล และนำมาเปรียบเทียบกันโดยใช้หลักการของ normalized soil parameters (NSP) โดยแสดงผลการทดสอบที่ได้อยู่ในรูปของคุณสมบัติของดิน (S_u , $\bar{\phi}$, $\bar{c}$ ฯลฯ) หารด้วย $\bar{\sigma}_{vc}$ * หรือ $\bar{\sigma}_{vm}$ ** ซึ่งจะแสดงผลการทดสอบที่ได้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ต่าง ๆ ต่อไปนี้

1. แสดงความสัมพันธ์ของ normalized ค่าครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเบี่ยงเบน $|q/\bar{\sigma}_{vc} = (\sigma_1-\sigma_2)/2\bar{\sigma}_{vc}|$ กับความเครียด (ε)

2. ความสัมพันธ์ของ normalized ค่าความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น ($\Delta u/\bar{\sigma}_{vc}$) กับความเครียด ($\varepsilon$)

---

* $\bar{\sigma}_{vc}$ = effective vertical consolidation stress
(สำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการนิยมแทนด้วย $\bar{\sigma}_{1c}$)

** $\bar{\sigma}_{vm}$ = maximum past pressure in soil samples

3. ความสัมพันธ์ของค่า A พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดินของ Skempton กับความเครียด (ε)

4. ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลจากไดอะแกรมของ $\bar{p}/\bar{\sigma}_{vm}$ หรือ $\bar{p}/\bar{\sigma}_{cm}$*** $|(\bar{\sigma}_1+\bar{\sigma}_3)/2\bar{\sigma}_{vm}$ หรือ $(\bar{\sigma}_1+\bar{\sigma}_3)/2\bar{\sigma}_{cm}|$ กับ $q/\bar{\sigma}_{vm}$ หรือ $q/\bar{\sigma}_{cm}$ $|(\sigma_1-\sigma_3)/2\bar{\sigma}_{vm}$ หรือ $(\sigma_1-\sigma_3)/2\bar{\sigma}_{cm}|$

5. เอนเวลอปของกำลังรับแรงประสิทธิผลจากไดอะแกรมของ $\bar{p}/\bar{\sigma}_{cm}$ และ $q/\bar{\sigma}_{cm}$ ($\bar{p}/\bar{\sigma}_{vm}$ และ $q/\bar{\sigma}_{vm}$)

6. ผลแตกต่างของค่าความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น ณ จุดพิบัติที่ค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ ที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP หรือ Recompression ที่ทำการทดสอบกับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบแบบ Recompression กับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดกับค่า OCR ซึ่งอยู่ในลอการิทึมมิกสเกล ($\%\Delta\Delta uf/\Delta uf_{rec.}$ กับ OCR)

7. ผลแตกต่างของค่า A พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดินของ Skempton ณ จุดพิบัติที่ค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ ที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP หรือ Recompression ที่ทำการทดสอบกับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบแบบ Recompression กับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดกับค่า OCR ซึ่งอยู่ในลอการิทึมมิกสเกล ($\%\Delta A_f/A_{f_{rec.}}$ กับ OCR)

8. ผลแตกต่างของค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน $|S_u = 0.5(\sigma_1-\sigma_3)_{max}|$ ที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP หรือ Recompression ที่ทำการทดสอบกับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบแบบ Recompression กับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดกับค่า OCR ซึ่งอยู่ในลอการิทึมมิกสเกล ($\%\Delta S_u/S_{u_{rec.}}$ กับ OCR)

9. ความสัมพันธ์ระหว่าง normalized ค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน $|S_u/\bar{\sigma}_{vc} = (\sigma_1-\sigma_3)_{max}/2\bar{\sigma}_{vc}|$ กับค่า OCR ซึ่งอยู่ในลอการิทึมมิกสเกล ($S_u/\bar{\sigma}_{vc}$ กับ OCR)

*** $\bar{\sigma}_{cm}$ = maximum effective vertical consolidation stress

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า normalized ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น ณ จุดพิบัติ ($\Delta u_f/\bar{\sigma}_{vc}$) ที่เกิดค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ กับค่า OCR ซึ่งอยู่ในลอการิทึมสเกล ($\Delta u_f/\bar{\sigma}_{vc}$ กับ OCR)

11. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า A พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดินของ Skempton ณ จุดพิบัติ (A_f) ที่เกิดค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ กับค่า OCR ซึ่งอยู่ในลอการิทึมสเกล (A_f กับ OCR)

สำหรับการศึกษาผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดินที่มีต่อค่าแรงเฉือน ทำได้โดยเปรียบเทียบผลการทดลองต่าง ๆ จากตัวอย่างที่มีดีกรีของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน (degree of sample disturbance) ต่างกัน โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ Recompression และแสดงผลของการทดลองอยู่ในรูปของ normalized form ดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น