

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทดสอบการอัดตัวระบายน้ำของดินเหนียว โดยวิธีบรรทุกน้ำหนักสากล (Standard Increment Loading)

2.1.1 วิธีทดสอบ

การทดสอบการอัดตัวระบายน้ำ โดยวิธีบรรทุกน้ำหนักสากล ตาม ASTM D2435 ใช้ตัวอย่างดินหนา 20 มิลลิเมตร ขึ้นไป ทดสอบโดยบรรทุกน้ำหนักเป็นช่วงๆ ใช้อัตราเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (Load Increment Ratio) เท่ากับ 1 คมน้ำหนักบรรทุกแต่ละช่วงไว้ 24 ชั่วโมง (Load Duration = 24 ชั่วโมง) หรือจนถึงสิ้นสุดการอัดตัวระบายน้ำหลัก (End of Primary, EOP)

2.1.2 การแปลความ

การแปลความผลการทดสอบประกอบด้วย การแปลความหาอัตราการอัดตัวระบายน้ำ และหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่เคยกระทำต่อดิน (Maximum Effective Preconsolidation Stress)

(1) อัตราการอัดตัวระบายน้ำ

วิธีที่ใช้แปลความ อาศัยเทคนิคการทาบเส้นโค้งการทรุดตัว-เวลา ที่ได้จากการทดสอบ กับเส้นโค้งตามทฤษฎีของ Terzaghi, K. สมมุติฐานคือ

- ดินเหนียวอิ่มตัวสมบูรณ์ และเอกพันธ์
- การไหลซึมของน้ำผ่านดินเป็นไปตามกฎของดาร์ซี
- เมื่อดินและน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเป็นวัสดุอัดตัวไม่ได้
- แรงกดกระทำในแนวตั้งเท่านั้น
- ดินอัดตัวมิติเดียว
- หน่วยแรงทั้งหมดที่กระทำบนระนาบนอนใดๆคงที่ตลอดเวลาระหว่างเกิดการอัดตัวระบายน้ำ

ซึ่งเขียนสมการได้เป็น

$$U_{av} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \left[\frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T) \right] \quad (2.1)$$

โดยที่

$$T = \frac{C_v t}{H^2} \quad \text{เป็นตัวประกอบเวลา (Time Factor)}$$

U_{av} เป็นอัตราส่วนระยะทรุดตัวที่ตัวประกอบเวลา T กับ ระยะทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำทั้งหมด

H เป็นระยะ ไกลสุดที่น้ำซึมออกสู่ผิวระบาย

t เป็นเวลาที่เกิดการอัดตัวระบายน้ำ

$$M = \frac{(2m+1)\pi}{2}$$

m เป็นเลขเต็มหน่วย มีค่าตั้งแต่ $0, 1, 2, \dots$

เพื่อให้ใช้งานได้ง่าย Terzaghi, K. [10] ประมาณสมการ (2.1) ด้วยสมการที่ง่าย

ได้ดังนี้

$$T = \frac{\pi}{4} \left[\frac{(U_{av}\%)^2}{100} \right] \quad \text{เมื่อ } U_{av} < 53\% \quad (2.2)$$

$$T = 1.781 - 0.933[\log(100 - U_{av})] \quad \text{เมื่อ } U_{av} > 53\% \quad (2.3)$$

Casagrande, A. และ Fadum, R.E. [10] Taylor, D.W. [10] Su, H.L. [10] Sivaram, B., Swamee, P. [10] Scott, R.F. [34] Cour, F.R. [15] Parkin, A.K. [31]

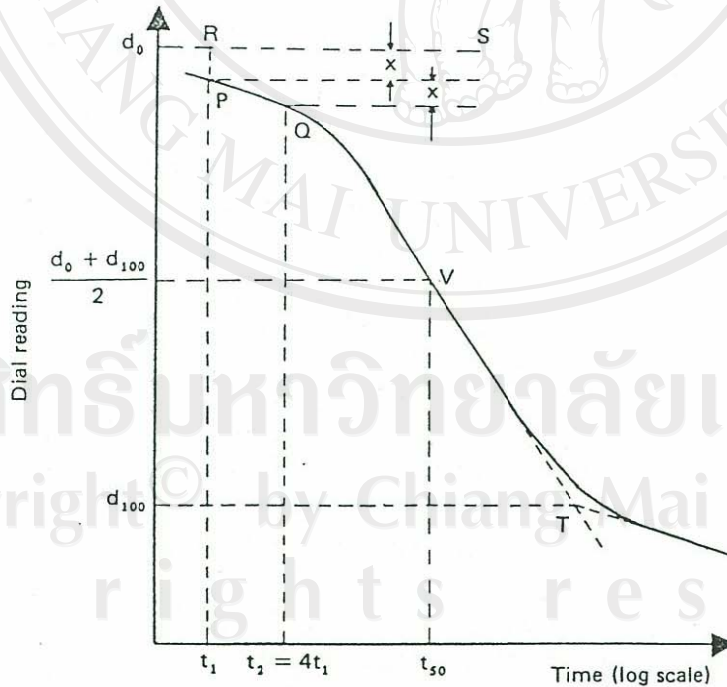
และ Sridharan, A., Murthy, N.S. และ Prakash, K. [35] ได้เสนอวิธีหาเส้นโค้ง แต่วิธีที่นิยมใช้ได้แก่วิธีของ Casagrande, A. และ Fadum, R.E. [10] และ วิธี Taylor, D.W. [10]

Casagrande, A. และ Fadum, R.E. [10] แปลความหาสัมประสิทธิ์การอัดตัวระบายน้ำ C_v โดยเลือกส่วนเส้นโค้งระยะทรุดตัว-ล็อกเวลา ในช่วงต้นๆ ที่สอดคล้องสมการ (2.2) แล้วแยกส่วนโค้งที่เกิดจากการอัดตัวระบายน้ำรอง (Secondary Consolidation) ออกไป ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใต้จุดตัดระหว่างเส้นสัมผัสตรงจุดเปลี่ยนเว้ากับแนวเส้นโค้งส่วนที่เป็นเส้นตรงดังรูป 2.1 นำส่วนเส้นโค้งที่ได้มาหาพบกับเส้นโค้งตามทฤษฎี ที่จุด $U_{av} = 50\%$ ได้ค่า $t_{50\%}$ ค่ารวม C_v จากสมการ

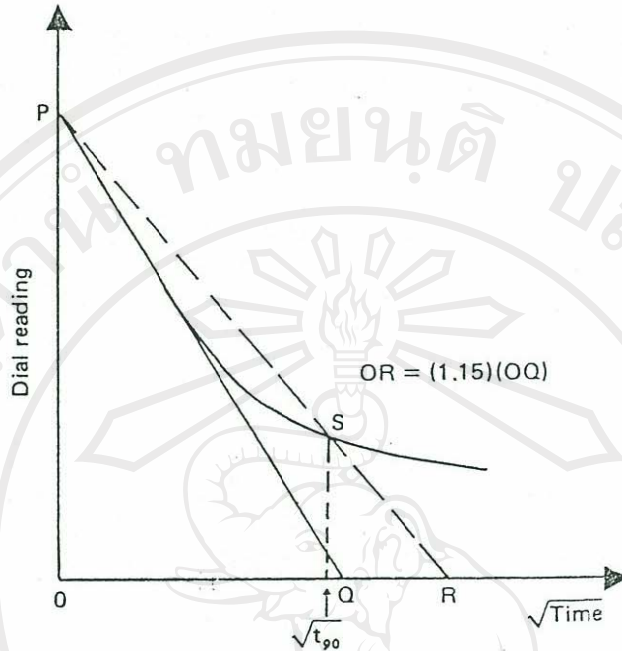
$$C_v = \frac{T_{50\%} H^2}{t_{50\%}} = \frac{0.197 H^2}{t_{50\%}}$$

จากการเลือกส่วนเส้นโค้งการทรุดตัว-เวลา ในช่วงต้นๆที่สอดคล้องสมการ(2.2) ทำได้สะดวก เมื่อลงจุดเส้นโค้งระยะทรุดตัว-รากที่สองของเวลา Taylor, D.W. [10]ซึ่งแปลความหาสัมประสิทธิ์การอัดตัวระบายน้ำ โดยทาบเส้นโค้งระยะทรุดตัว-รากที่สองของเวลา กับเส้นโค้งตามทฤษฎีที่จุด $U_{av} = 90\%$ ซึ่งสมมุติว่ายังไม่เกิดการทรุดตัวระบายน้ำรอง ดังรูป 2.2 ได้ค่า $t_{90\%}$ คำนวณ C_v จากสมการ

$$C_v = \frac{T_{90\%} H^2}{t_{90\%}} = \frac{0.848 H^2}{t_{90\%}}$$



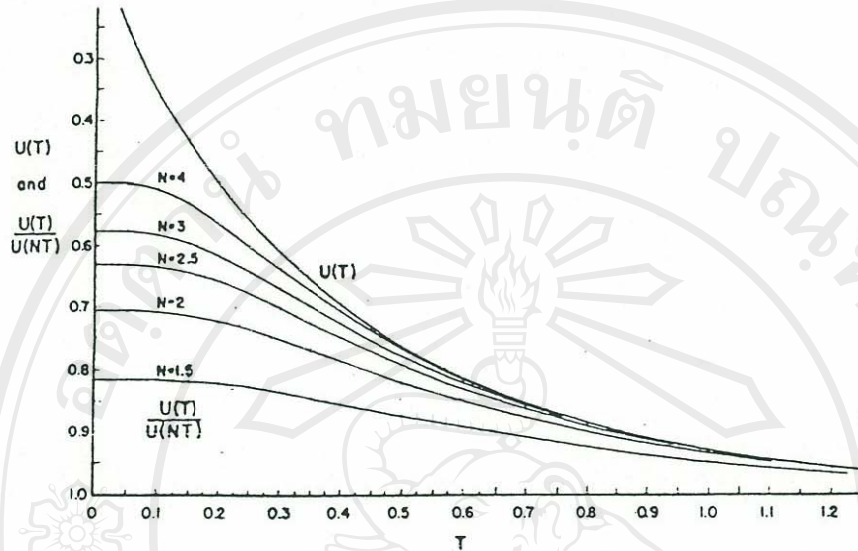
รูปที่ 2.1 วิธีการหา t_{50} ของ Casagrande, A.



รูปที่ 2.2 วิธีการหา t_{90} ของ Taylor, D.W.

เส้นโค้งระยะทรุดตัว-เวลา ที่ได้จากการทดสอบมักจะเบี่ยงเบนไปจากเส้นโค้งตามทฤษฎี ในช่วงเริ่มต้นดินจะเกิดการทรุดตัวเริ่มต้น (Initial Settlement) แล้วเกิดการทรุดตัวระยะบายน้ำหลัก (Primary Consolidation Settlement) และการทรุดตัวระยะบายน้ำรอง (Secondary Consolidation Settlement) ในเวลาต่อมาหลังจากเกิดการทรุดตัวระยะบายน้ำหลัก การแปลความหาสัมประสิทธิ์การอัดตัวระยะบายน้ำ จึงต้องนำส่วนโค้งระยะทรุดตัว-เวลา ในช่วงที่เกิดการอัดตัวระยะบายน้ำหลัก มาหาพบกับเส้นโค้งตามทฤษฎี

วิธีของ Casagrande, A. และ Fadum, R. E. และ วิธีของ Taylor, D.W. ต้องการข้อมูลการทรุดตัวในช่วงเริ่มต้นในการแปลความ ถ้าหากพลาดบันทึกข้อมูลในส่วนนี้ไปบางส่วน จะแปลความไม่ได้ Scott, R. F. [34] เสนอวิธีแปลความหาสัมประสิทธิ์การอัดตัวระยะบายน้ำ จากข้อมูลที่ยังบันทึกได้ที่เวลา t และ Nt โดยสมมุติค่าระยะทรุดตัวเริ่มต้นให้มาก่อน แล้วคำนวณอัตราส่วนการทรุดตัว $U_{av}(T)/U_{av}(NT)$ จากข้อมูลที่ยังบันทึกได้คำนวณตัวประกอบเวลา T จากค่า $U_{av}(T)/U_{av}(NT)$ ซึ่งเขียนได้ในรูปตัวแปร T ตามทฤษฎี เท่ากับค่าที่คำนวณได้จากข้อมูล (แสดงด้วยความสัมพันธ์ $U_{av}(T)/U_{av}(NT)$ กับ T ดังรูป 2.3) คำนวณค่า C_v จากค่า T ที่ได้ ตรวจสอบค่าระยะทรุดตัวเริ่มต้นที่สมมุติ จากค่า C_v ที่คำนวณได้ในระหว่างทดสอบโดยใช้ข้อมูลที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน ซึ่งจะให้ค่า C_v ที่ใกล้เคียงกันถ้าสมมุติค่าระยะการทรุดตัวเริ่มต้นถูกต้อง



รูปที่ 2.3 ระดับการอัดตัวระบายน้ำและอัตราส่วนการอัดตัวระบายน้ำกับแฟคเตอร์เวลา

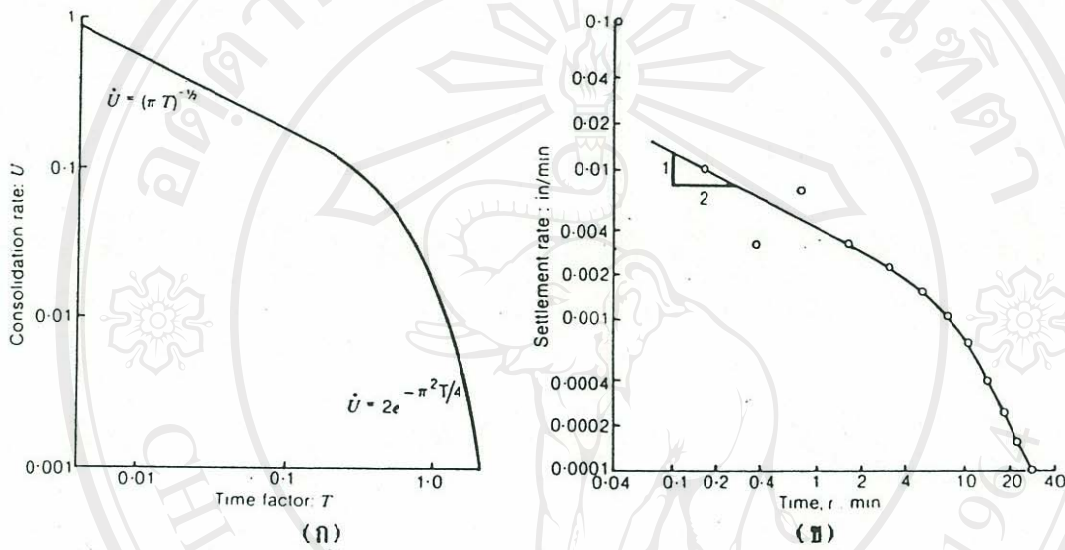
จากลักษณะเส้นโค้ง $U-\log T$ ตามทฤษฎี Cour, F.R. [18] วิเคราะห์ได้ว่าจุดดัดกลับ (Inflectional Point) เกิดขึ้นที่จุด $U_{av} = 70\% T = 0.405$ และการอ่านข้อมูลในช่วงต้นๆ ทำได้ไม่ละเอียด การหาจุดสิ้นสุดการอัดตัวระบายน้ำหลัก $U_{av} = 100\%$ หรือ จุด $U_{av} = 90\%$ ต้องเสียเวลาการบันทึกข้อมูล Cour, F.R. จึงเสนอวิธีแปลความ โดยหาเส้นโค้งระยะทรุดตัว-ล็อกเวลาที่จุดดัดกลับ

วิธีแปลความมักจะใช้วิธีเขียนรูป (Graphical Method) ซึ่งคลาดเคลื่อนได้ง่าย Sivaram, B. และ Swamee, P. [10] เสนอวิธีแปลความโดยคำนวณค่าการทรุดตัวเริ่มต้น การทรุดตัวสิ้นสุดการอัดตัวระบายน้ำหลัก และ C_v จากสมการ (2.2) และ (2.4) โดยเลือกข้อมูล 2 จุด ให้สอดคล้องสมการ (2.2) เพื่อหาค่าระยะทรุดตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการอัดตัวระบายน้ำหลัก และข้อมูลอีก 1 จุด ให้สอดคล้องสมการ (2.4) เพื่อคำนวณ C_v

$$T = \frac{\pi U_{av}^2}{4 (1 - U_{av}^{5.6})^{.353}} \quad (2.4)$$

การหาระยะทรุดตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการอัดตัวระบายน้ำหลักทำได้ยาก Parkin, A.K. [31] ได้เสนอวิธีหา C_v จากการหาเส้นโค้งล็อกความเร็วในการทรุดตัว-ล็อกเวลา ซึ่งทำได้ง่ายกว่าและไม่ต้องหาระยะทรุดตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการอัดตัวระบายน้ำหลัก ดังรูป 2.4 ส่วนของ

เส้นโค้งที่เบี่ยงเบนจากเส้นโค้งตามทฤษฎีในช่วงท้าย จะบ่งถึงจุดเริ่มต้นของการทรุดตัวระบายน้ำรอง

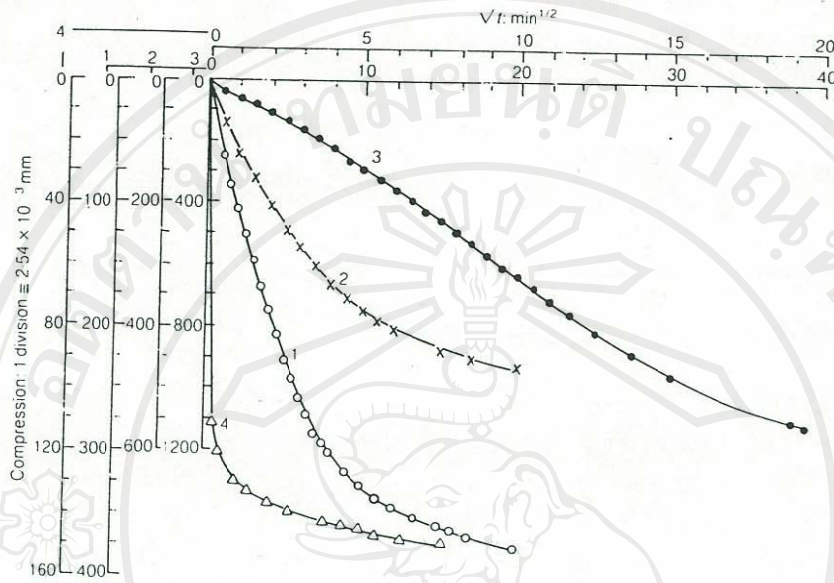


รูปที่ 2.4 (ก) อัตราการอัดตัวระบายน้ำของTerzaghi (ข) แผนผังความเร็วสำหรับการทดสอบ Oedometer

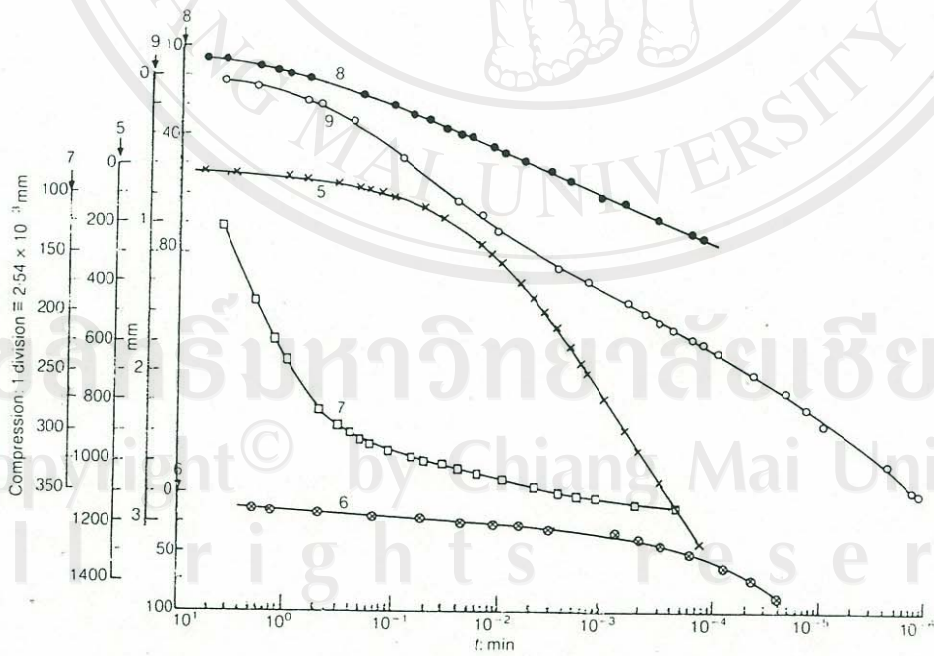
เส้นโค้งระยะทรุด-เวลา ที่เกิดขึ้นจริง อาจแตกต่างไปจากเส้นโค้งตามทฤษฎีไปมาก ดังรูป 2.5, 2.6 ทำให้การแปลความในกรณีนี้ทำได้ลำบาก Sridharan, A. Murthy, N.S และ Prakash, K. [35] ได้เสนอวิธีแปลความจากเส้นโค้ง $T/U_{av} - T$ (ดังรูป 2.7) ซึ่งตามทฤษฎีเป็นเส้นตรง

$$T/U_{av} = 8.208 \times 10^{-3} T + 2.44 \times 10^{-3} \text{ เมื่อ } 60\% < U_{av} < 90\% \quad (2.5)$$

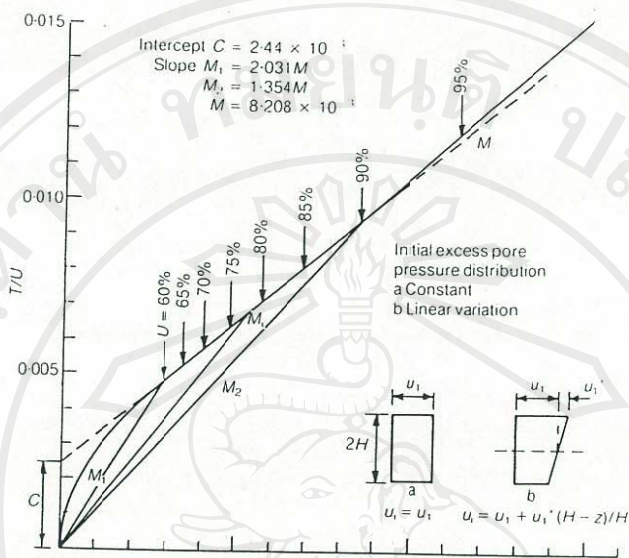
C_v คำนวณจากสมการ(2.5) โดยถือว่าระยะทรุดตัวเมื่อการอัดตัวระบายน้ำหลัก และเวลาสอดคล้องสมการ(2.5) ในกรณีที่ใช้ระยะทรุดตัวทั้งหมดแทนระยะทรุดเนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำหลัก ให้คุณค่า C_v ที่ได้ด้วย 0.809



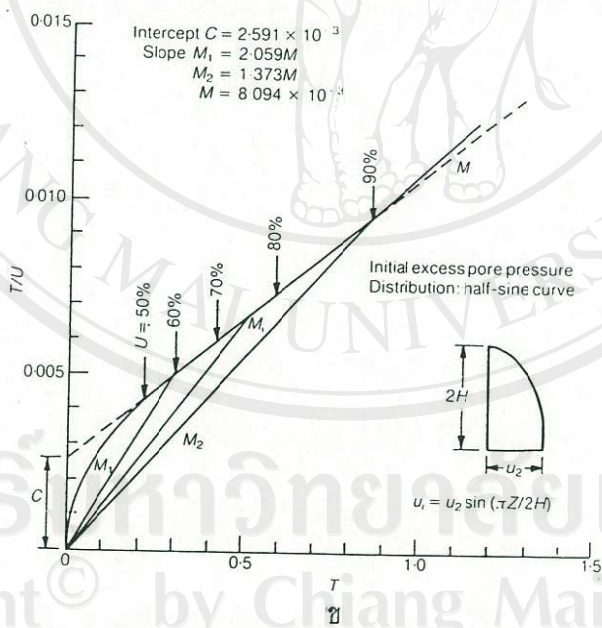
รูปที่ 2.5 การทรุดตัว-ลากที่สองของเวลา



รูปที่ 2.6 การทรุดตัว-ล็อกของเวลา



ก.



ข.

รูปที่ 2.7 ก. ความสัมพันธ์ตามสมการการอัดตัวระบายน้ำ ตามทฤษฎีของ Terzaghi,K.

(การกระจายของความดันน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า/เส้นตรง)

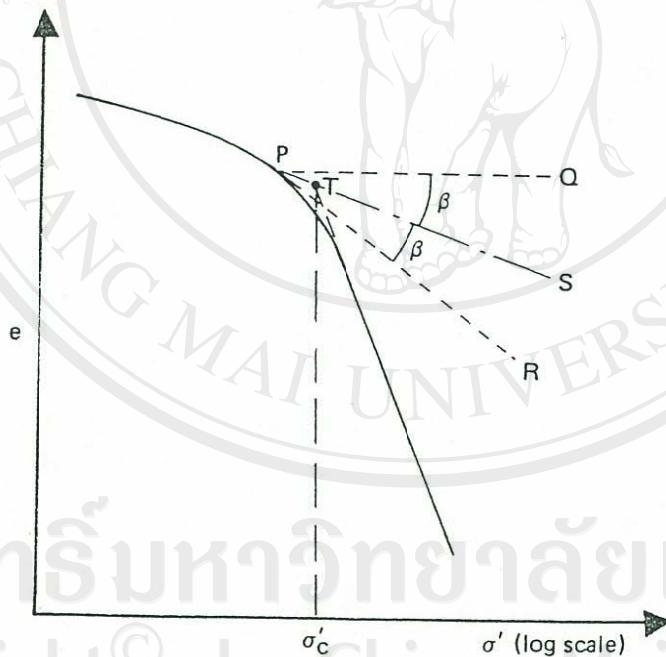
ข. ความสัมพันธ์ตามสมการการอัดตัวระบายน้ำ ตามทฤษฎีของ Terzaghi,K.

(การกระจายของความดันน้ำเป็นรูป Sine Curve)

(2) หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่เคยกระทำต่อดิน (Maximum Effective Preconsolidation Stress , P_c')

หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่เคยกระทำต่อดิน มีผลต่อพฤติกรรมกรรมการอัดตัวได้ของดินเป็นอย่างมาก

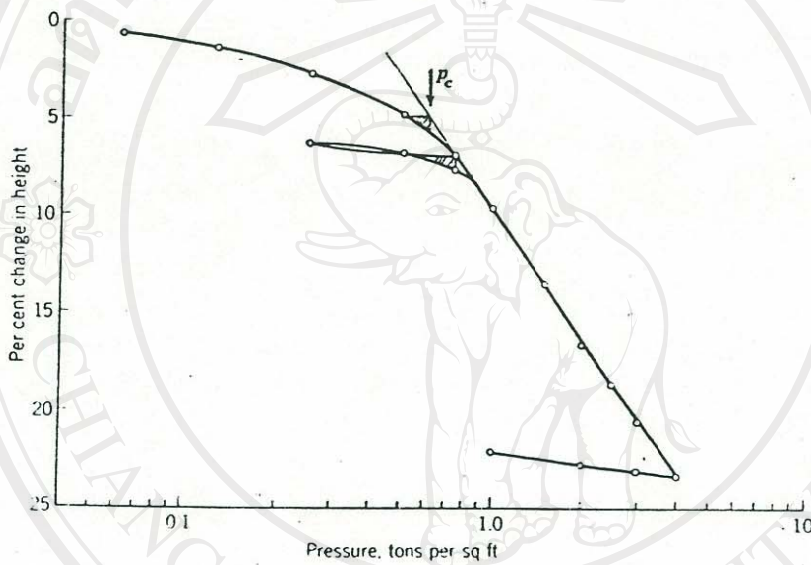
Casagrande, A. [10] นำค่าอัตราส่วนช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ได้จากการทดสอบการอัดตัวระบายน้ำของดินในห้องทดสอบ ปกติเป็นค่าที่ใช้เวลาบรรเทาน้ำหนัก 24 ชั่วโมง มาลงจุดพิกัดกับค่าลอการิทึมของหน่วยแรงกดอัดประสิทธิผล ได้ความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 2.8 แล้วแปลความ โดยหาจุดที่มีรัศมีน้อยที่สุดบนเส้นโค้ง ลากเส้นสองเส้นออกจากจุดนี้ โดยให้เส้นหนึ่งขนานกับแกนลอการิทึมและอีกเส้นเป็นเส้นสัมผัส ลากเส้นแบ่งครึ่งมุมระหว่างเส้นตรงทั้งสอง จากนั้นต่อส่วนที่เป็นเส้นตรงของส่วนโค้งการอัดตัวได้ออกไปตัดกับเส้นแบ่งมุม ค่าหน่วยแรงกดอัดประสิทธิผลที่จุดตัดจะถือเป็น P_c'



รูปที่ 2.8 การหา P_c' ตามวิธีของ Casagrande, A.

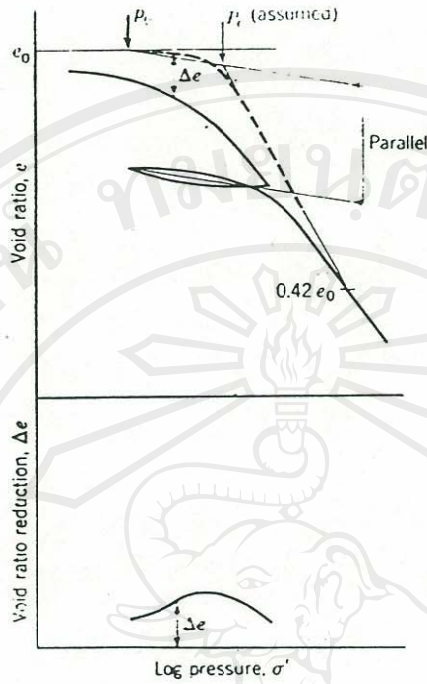
Burmister[12] เสนอแนวทางเลือกใหม่ แสดงในรูปที่ 2.9 ใช้การสร้างเส้นโค้งระหว่าง เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสูงตัวอย่าง กับ ล็อกหน่วยแรงกด เมื่อเส้นโค้งเริ่มเข้าสู่แนวเส้นตรงให้ทำการลดน้ำหนักการกดอัดลง (Rebound) และกดน้ำหนัก

ซ้ำ (Reload) จะได้พื้นที่สามเหลี่ยม (ที่แลเงา) จากนั้นให้ทำการทลายพื้นที่บนเส้นโค้งที่ทำโดยน้ำหนักแรก ตำแหน่งที่พื้นที่สามเหลี่ยมเท่ากันจะเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุด แนวที่ลากไปในแนวนานกับแกนล็อกของล็อกหน่วยแรงกด ตัดกับเส้นสัมผัสที่ลากจากแนวที่เป็นเส้นตรงจะได้จุด P_c'



รูปที่ 2.9 การสร้างเส้นโค้งโดย Burmister สำหรับหาค่า P_c'
(After BURMISTER , 1951)

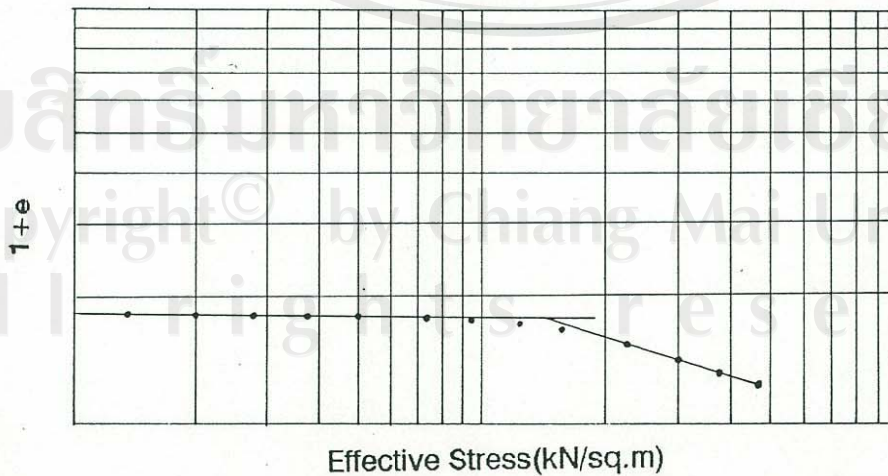
Schmertmann [30] เสนอวิธีแปลความแสดงในรูปที่ 2.10 จากการทดสอบโดยบรรทุกน้ำหนัก (Loading) ลดน้ำหนัก (Rebound) และบรรทุกน้ำหนักซ้ำ (Reload) คล้ายกับ Burmister จากจุด (e_0, P_0') ลากเส้นขนานกับเส้นเจ็ลลีของส่วนเส้นโค้งที่วนปิดอันเนื่องมาจากการลด-เพิ่มน้ำหนักบรรทุก เลือจุดบนเส้นนี้ซึ่งเป็นค่าสมมุติ P_c' และลากเส้นจากจุดนี้ไปตัดกับเส้นโค้งที่ได้จากห้องทดสอบที่จุด $0.42 e_0$ สมมุติเส้นโค้งการอัดตัวได้ เป็นเส้นประดังรูปที่ 2.10 นำอัตราส่วนช่องว่าง Δe ที่ลดลงระหว่างเส้นประที่สมมุติกับเส้นโค้งที่ได้จากทดสอบ นำไปลงจุดกับ $\log P_c'$ สมมุติค่า P_c' ใหม่แล้วทำจนได้รูปแบบของเส้นโค้ง $\Delta e - \log P_c'$ ที่สมมาตรจะถือว่าจุด P_c' ที่สมมุตินั้นเป็นจุด P_c' บนเส้นโค้งการอัดตัวได้ (Compression Curve) ในสนาม



รูปที่ 2.10 การหา P_c' ตามวิธีการของ Schmertmann สำหรับหาค่า P_c'
(After SCHMERTMANN , 1955)

Sridharhm, A., Abraham, B.M. & Jose, B.T. [7] ได้ใช้การลงจุด

หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิทึมของ $1+e$ กับ ลอการิทึมของความดัน ($\log(1+e) - \log \sigma'$) พบว่าค่าหน่วยแรงกดอัดประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินถูกกระทำมาก่อนในอดีต จะได้จากเส้นตรงสองเส้นตัดกันจากการลงจุดความสัมพันธ์ข้างต้น รูปที่ 2.11 และ ยังพบว่าตามที่มึรายงานของ Leonards, G.A. และ Gamiah (1959) ที่พูดถึงผลของ Quasi-Preconsolidation เนื่องจาก



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(1+e)$ กับ $\log \sigma'$ (After SRIDHARAM, A., 1991)

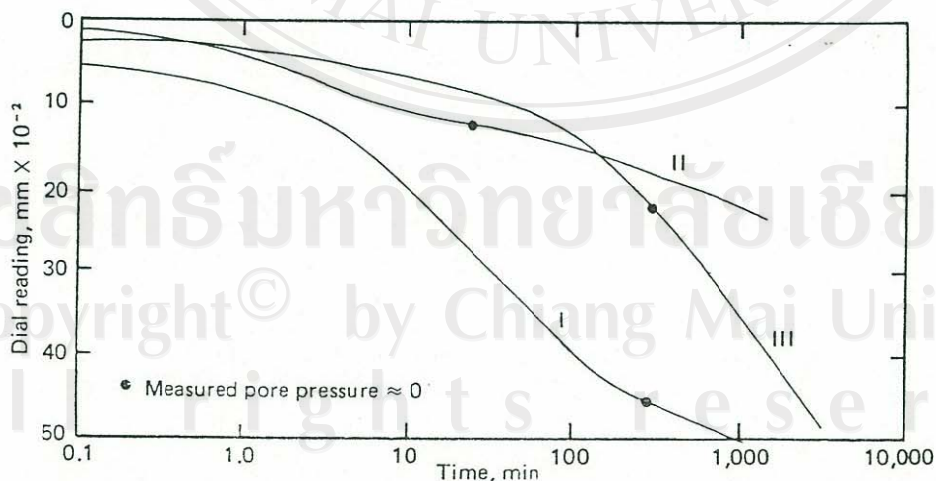
การคั่งน้ำหนักบรรทุกไว้นานๆนั้น วิธีนี้จะไม่ได้รับผลกระทบอันนี้

2.1.3 อธิธิผลของช่วงเวลาคั่งน้ำหนักบรรทุก และอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก

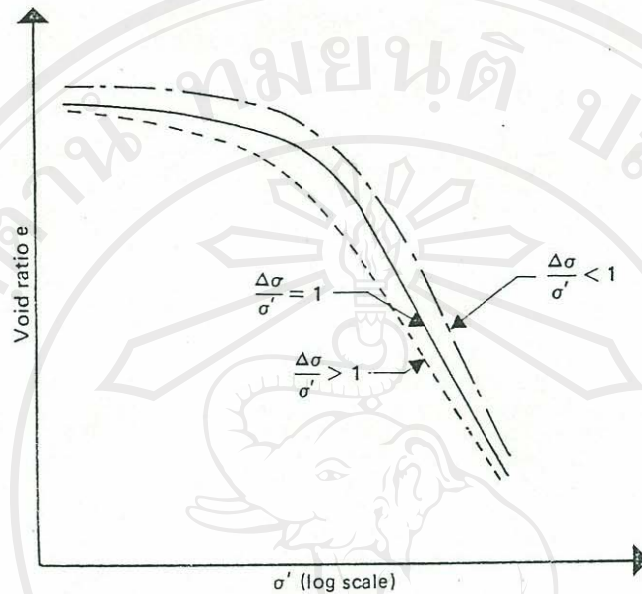
ในการคั่งน้ำหนักบรรทุก เห็นได้ว่าตัวอย่างที่คั่งน้ำหนักบรรทุกไว้นานกว่า จะมีผลกระทบของการอัดตัวระบายน้ำรองเกิดขึ้นก่อนเพิ่มน้ำหนักต่อไป เส้นโค้งการอัดตัวได้จะเคลื่อนไปทางซ้าย ทำให้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่ดินเคยถูกกระทำลดลง ดินเหนียว Leda ไวตัว (Sensitive) [14] และดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ [22] มีพฤติกรรมนี้

อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก มีผลกระทบต่อเส้นโค้งการอัดตัว-เวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.12 อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักมาก เกิดการอัดตัวระบายน้ำหลัก(เส้นโค้ง I) ซึ่งอัตราการอัดตัวระบายน้ำเป็นไปตามทฤษฎี Terzaghi, K. อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักน้อย เกิดการอัดตัวระบายน้ำรอง(เส้นโค้ง III) อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักปานกลาง เกิดการอัดตัวระบายน้ำหลักและรอง(เส้นโค้ง II) อยู่ก้ำกึ่งระหว่างรูปแบบเส้นโค้ง I และ III เส้นโค้งการอัด-เวลา รูปแบบ II และ III ให้อัตราการอัดตัวไม่เป็นไปตามทฤษฎี Terzaghi, K. พฤติกรรมนี้เกิดขึ้นกับดินเหนียวกรุงเม็กซิโก [28]

ดินเหนียวอัดตัวปกติ หลังจากที่ถูกอัดตัวช้าๆมาเป็นเวลานานๆ เมื่อนำมาทดสอบโดยใช้อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักน้อยๆ จะมีพฤติกรรมเสมือนว่าเคยถูกอัดตัวเกินปกติมาก่อน (Quasi-preconsolidation) ดินเหนียว Drammen นั้นได้ (Plastic) มีพฤติกรรมอันนี้ [9]



รูปที่ 2.12 ผลของอัตราส่วนเพิ่มน้ำหนักต่อรูปร่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การทรุดตัวกับเวลา



รูปที่ 2.13 ผลกระทบของอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก ของเส้นโค้งอัตราส่วนช่องว่าง-ล็อกความดันประสิทธิผล

ในการอัดความดันกลับ (Back Pressure) ทำให้ตัวอย่างที่จะทำการทดสอบนั้นอิ่มตัวเต็มที่ (Fully Saturated) ซึ่งใช้หลักการเดียวกับวิธีการอัดความดันกลับของการทดสอบการอัดตัวสามแกน (Triaxial Compression Test) Lowe ได้ทำการทดสอบพบว่า ค่าการอัดตัวที่ได้จากการทดสอบจากวิธีมาตรฐานให้ค่าสูงกว่าวิธีการทดสอบที่ทำความดันกลับ แต่ค่า C_v ที่ได้จากวิธีการทดสอบที่ไม่ได้ทำความดันกลับ ให้ค่าต่ำกว่าวิธีที่ทำความดันกลับ Lowe เชื่อว่าเป็นผลจากการลดความสามารถในการซึมได้ (Permeability) อันเนื่องมาจากผลของเมตอากาศ ที่มีอยู่ในช่องว่างของมวลดินในวิธีที่ไม่ได้ทำความดันกลับ และในขณะที่การทำความดันกลับนั้นจะช่วยลดการทรุดตัวช่วงต้นทันทีทันใดให้ลดลง

2.2 การทดสอบอัดตัวระบายน้ำภายใต้อัตราความเครียดคงที่ (Constant Strain Rate Consolidation)

2.2.1 วิธีการทดสอบ

การทดสอบอัดตัวระบายน้ำภายใต้อัตราความเครียดคงที่ ตาม ASTM D4186 ใช้ขนาดตัวอย่างหนาประมาณ 20 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร อัตราส่วนของ

เส้นผ่านศูนย์กลางต่อความหนา 2.5 เส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนมีขนาดไม่เกิน 0.03 % ของเส้นผ่านศูนย์กลางตัวอย่าง ใช้อัตราความเครียดคงที่ตลอดการทดสอบจนถึงน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการ

2.2.2 การแปลความ

การแปลความผลการทดสอบประกอบด้วย การแปลความหาอัตราการอัดตัวระยะบายน้ำ และหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่เคยกระทำต่อดิน (Maximum Effective Preconsolidation Stress) เช่นเดียวกับกับวิธีบรรทุกน้ำหนักสากล

(1) อัตราการอัดตัวระยะบายน้ำ

วิธีแปลความใช้การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และการพิจารณาพฤติกรรม การรับแรงโดยอาศัยสมมติฐาน และสมการเบื้องต้นทางการอัดตัวระยะบายน้ำต่อไปนี้

- เป็นดินเหนียวเอกพันธ์ และอิมพัลส์สมบูรณ์
- น้ำระบายออกในแนวตั้งเท่านั้น
- การไหลซึมของน้ำผ่านมวลเป็นไปตามกฎของดาร์ซี
- เม็ดดินและน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเป็นวัสดุไม่ยวบตัว
- ความสัมพันธ์ของ หน่วยแรง-ความเครียด เป็นเชิงเส้นในช่วงเวลาสั้นๆของน้ำหนัก
- การกระจายของความดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore-Water Pressures) จากผิวด้านบนถึงผิวด้านล่างเป็นพลาโบลา

$$C_v = \frac{\partial^2 \epsilon}{\partial z^2} = \frac{\partial \epsilon}{Kt} \quad (2.6)$$

โดยที่

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v}$$

$$t = \text{เวลา}$$

$$z = \text{พิสัยในแนวตั้งของจุดที่พิจารณา}$$

$$\epsilon = \text{ความเครียดในแนวตั้ง}$$

$$k = \text{สัมประสิทธิ์ความซึมได้}$$

$$\gamma_w = \text{หน่วยน้ำหนักน้ำ}$$

$$m_v = \text{สัมประสิทธิ์การยุบตัวของปริมาตร}$$

Smith และ Wahls[33] Wissa และ Heiberg[39] เป็น 2 ทฤษฎีหลักที่ตั้งสมมติฐาน และแก้สมการอนุพันธ์ พิจารณาตามพฤติกรรมของดิน แต่วิธีการของ Wissa และ Heiberg ได้นำ

มาใช้ในมาตรฐาน ASTM

Smith และ Wahls [33] พิจารณาพฤติกรรมเฉพาะช่วงที่เป็นภาวะคงที่ (Steady State) เท่านั้น โดยใช้สมการการไหลต่อเนื่องผ่านมวลดิน

$$\frac{k \partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (2.7)$$

โดยที่

u = ความดันน้ำ

e = อัตราส่วนช่องว่าง

จากการแก้ปัญหาทางสมการอนุพันธ์ ได้คำตอบปัญหาเพื่อหาสัมประสิทธิ์การอัดตัวระบายน้ำได้เป็น

$$C_v = \frac{rH^2}{a_v} u_{z=H} \begin{bmatrix} 1 - \frac{1}{2} \frac{b}{r} \\ \frac{1}{12} \frac{b}{r} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$U_v' = U_v - \begin{bmatrix} \frac{1}{3} - \frac{1}{24} \frac{b}{r} \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{12} \frac{b}{r} \end{bmatrix} u_{z=H} \quad (2.9)$$

โดยที่

U_v' = หน่วยแรงกตอัดประสิทธิผล

U_v = หน่วยแรงกตอัดรวม

$$r = \frac{R A}{V_s}$$

R = อัตราความเครียด

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง

V_s = ปริมาตรตัวอย่าง

$$\frac{b}{r} = 1$$

r

พฤติกรรมการอัดตัวระบายน้ำของดินมี 2 ภาวะคือภาวะการเปลี่ยนแปลง (Transient) และภาวะคงที่ (Steady State) ดังนั้น Wissa และ Heiberg [39] ได้พิจารณาไปถึงภาวะทั้งสองในการแก้ปัญหาทางสมการอนุพันธ์ โดยใช้สมมติฐานและสมการการอัดตัวระบายน้ำเบื้องต้น (สมการ 2.6) เขียนคำตอบปัญหาได้เป็น (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

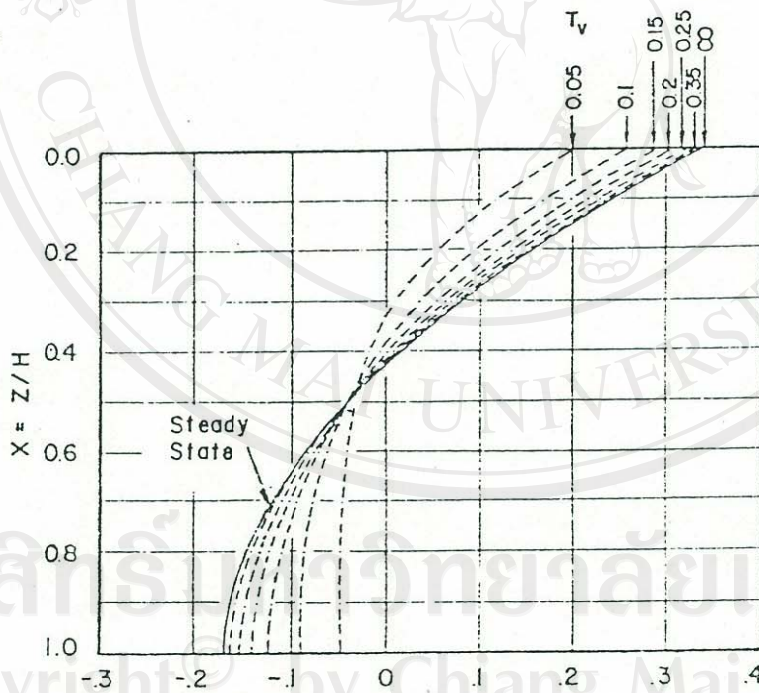
$$\varepsilon(X, T_v) = r t [1 + F(X, T_v)] \quad (2.10)$$

โดยที่

$$F(X, T_v) = \frac{1}{6T_v} (2-6X+3X^2) - \frac{2}{\pi^2 T_v} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi X}{n^2} \exp(-n^2 \pi^2 T_v) \quad (2.11)$$

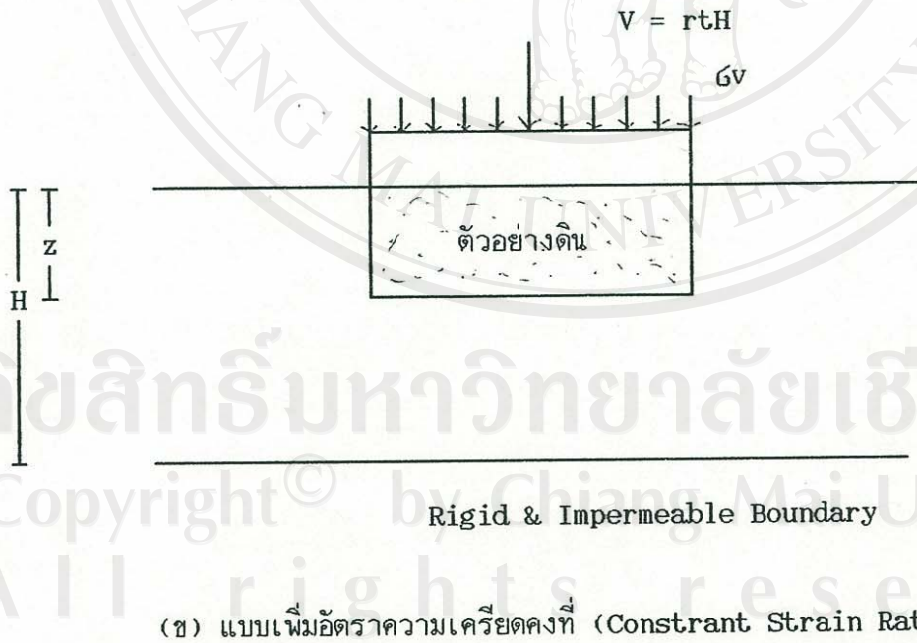
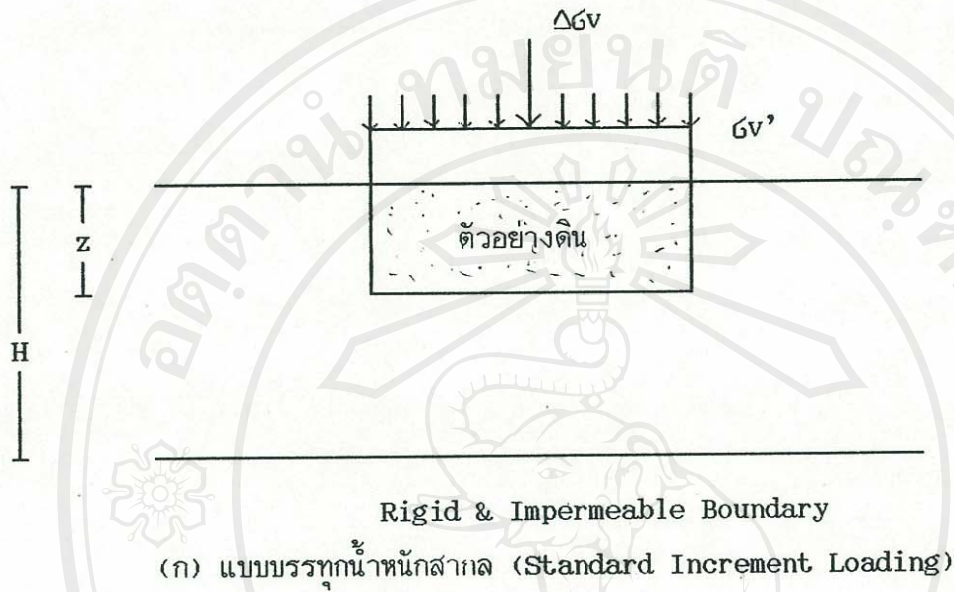
สมการ (2.10) ด้านขวามือประกอบไปด้วยสองส่วนคือ ด้านซ้ายมือเป็นอัตราความเครียดเฉลี่ยของการกวด ด้านขวามือประกอบด้วยภาวะของความเครียดที่พิจารณาสองกรณี คือ กรณีความเค้นเฉลี่ยในภาวะคงที่ และกรณีความเครียดเฉลี่ยในภาวะเปลี่ยนแปลง ตามลำดับ

รูปที่ 2.14 แสดงถึงภาวะของความเครียดทุกๆเวลา และแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่า ภาวะการเปลี่ยนแปลงจะไม่มีนัยสำคัญ ถ้าใช้ตัวประกอบเวลา $T_v = 0.5$



$$F_x T_v = \left[\frac{1}{3} \frac{Z}{H} + \frac{Z^2}{2H^2} - \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi Z/H}{n^2} e^{-n^2 \pi^2 T_v} \right]$$

รูปที่ 2.14 การเบี่ยงเบนของอัตราความเครียดจากเวลาเฉลี่ย C_v/rH^2 ด้วยฟังก์ชันของความลึกสำหรับตัวประกอบเวลาต่างกัน



รูปที่ 2.15 เงื่อนไขขอบเขตสำหรับการทดสอบ

ใช้ทฤษฎีเส้นตรงแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และแปลความค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวระบาย
น้ำได้เป็น

$$C_v = \frac{\Delta \sigma_v H^2}{2\Delta t u_b} \quad (2.12)$$

$$\sigma_v' = \sigma_v - 2u_b/3 \quad (2.13)$$

โดยที่

$\Delta \sigma_v$ = ผลต่างของหน่วยแรงประสิทธิผลในการอ่านสองครั้ง

H = ความสูงตัวอย่างเฉลี่ยในการอ่านสองครั้ง

u_b = ค่าเฉลี่ยระหว่างการอ่านความดันน้ำส่วนเกินที่ฐานของตัวอย่างสองครั้ง

σ_v' = หน่วยแรงกดอัดประสิทธิผล

σ_v = หน่วยแรงกดอัดรวม

2.2.3 อิทธิพลของอัตราความเครียด ต่อการทดสอบการอัดตัวระบายน้ำภายใต้อัตรา
ความเค้นคงที่

เมื่ออัตราความเครียดที่ใช้ทดสอบเร็ว ความดันน้ำส่วนเกินจะเพิ่มขึ้นการอัดตัว
ระบายน้ำที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ เกิดจากการไหลซึมของน้ำออกจากมวลดิน นั่นคือการอัดตัวระบายน้ำ
หลัก หากอัตราความเครียดที่ใช้ทดสอบต่ำพอ ที่จะทำให้เกิดความดันน้ำส่วนเกินน้อย การอัดตัวได้
ที่เกิดขึ้นจะเป็นการอัดตัวระบายน้ำรอง ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราความเครียดที่ใช้ อัตราความเครียดมีผล
กระทบต่อการอัดตัวระบายน้ำรอง เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า อิทธิพลส่วนใหญ่ของการอัดตัว
ระบายน้ำรองเกิดขึ้นใกล้หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่เคยกระทำต่อดิน ด้วยเหตุนี้อัตราการทดสอบ
จึงมีอิทธิพลต่อการคาดคะเนหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่เคยกระทำต่อดิน

ตามรายงานของ Crawford, C.B. [15] Leroueil, S., Tavenas, F.,
Samson, L. and Morin, P. พบว่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่เคยกระทำต่อดินของดินเหนียว
Champlain เพิ่มขึ้นประมาณ 30% เมื่ออัตราความเครียดเพิ่มจาก 10^{-7} / วินาที ไปเป็น
 10^{-5} / วินาที Silvestri, V., Yong, R.N., Soulie, M., and Gabriel, F. สังเกตเห็น
ว่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่เคยกระทำต่อดินของดินเหนียวไวด้ว (Sensitive clay) เพิ่ม
ขึ้นมากกว่า 50% เมื่ออัตราความเครียดเพิ่มจาก 10^{-7} / วินาที ไปเป็น 10^{-5} / วินาที
Bemben, S.M. แสดงให้เห็นว่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่เคยกระทำต่อดินของดินเหนียวเรียง
ตัวเป็นชั้นมีการยึดประสาน (Cemented varved clay) เพิ่มขึ้น 2 เท่าเมื่ออัตราความเครียด
เพิ่มจาก 8×10^{-7} ถึง 1.3×10^{-4} / วินาที

2.3 คุณลักษณะการอัดตัวได้ของดินเหนียวเชียงใหม่

แอ่งเชียงใหม่เป็นพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำปิง อยู่ระหว่างเทือกเขาสูงล้อมรอบ วางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 300-320 เมตร ดินในแอ่งเชียงใหม่เกิดจากตะกอนน้ำ (Alluvial sediment) ที่สะสมตัวในลุ่มน้ำ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ดินตะกอนในบริเวณขอบแอ่งซึ่งอยู่สูงกว่า มีลักษณะธรณีสัณฐาน (Land form) เป็นลานตะพัก (Terrace) และดินตะกอนน้ำ (Alluvial sediment) ในบริเวณที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (Flood plain), ชิตชัย[3]

จากการศึกษาของอนุสรณ์ บุณรอด[5] แสดงให้เห็นว่า ดินเหนียวเชียงใหม่ในบริเวณลานตะพัก เป็นดินที่อัดตัวได้เกินปกติมากๆ (Over consolidation) มีค่าอัตราส่วนการอัดตัวระบายน้ำเกินปกติ (OCR) ประมาณ 12 การอัดตัวได้ค่อนข้างต่ำ เมื่อทดสอบโดยใช้ช่วงเวลาบรรทุกน้ำหนักนานขึ้น เปอร์เซ็นต์การอัดตัว และดรรรชนีการอัดตัวได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ทดสอบ ในขณะที่สัมประสิทธิ์การอัดตัวระบายน้ำรอง (Coefficient of secondary consolidation) มีค่าลดลง แต่ไม่มีผลที่มีนัยสำคัญต่อสัมประสิทธิ์การอัดตัวระบายน้ำหลัก (Coefficient of primary consolidation)