

แรงดันน้ำส่วนเกินขณะ Secondary compression

ดร. บารเมศ วรรณะภูติ (Barames Vardhanabhuti)¹

¹อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ม.เกษตรศาสตร์, fengbmv@ku.ac.th

บทคัดย่อ : ในขณะ Secondary compression น้ำยังมีการระบายออกจากมวลดิน โดยมีสาเหตุจาก Gradient ของ Excess porewater pressure ซึ่งทำให้ดินมีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง และอนุภาคดินมีการจัดเรียงตัวเพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล การรู้ค่า Excess porewater pressure ที่เวลา End of primary consolidation เป็นประโยชน์สำหรับวิศวกรในการพิจารณาขั้นตอนการถมดินและระยะเวลาในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนโดยวิธี Preloading with surcharge load ผลการวิเคราะห์ Consolidation Theory และผลการวัด Excess porewater pressure ของดินในห้องปฏิบัติการและในสนาม พบว่า ค่า Excess porewater pressure ที่เวลาเริ่ม Secondary compression สามารถประมาณได้จาก $u'_m/\sigma'_v = 1$ ถึง 3 % สำหรับ $C_\alpha/C_c = 0.03$ ถึง 0.07 ตามลำดับ และมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลา Secondary compression เพิ่มขึ้น สำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ u'_m/σ'_v มีค่าประมาณ 2 %

ABSTRACT : During secondary compression, a gradient in excess porewater pressure results in water seeping out of soil mass. This excess porewater pressure is produced by a continuation of soil particle rearrangement as a result of disequilibrium produced during primary consolidation. In general, during the process of preloading with surcharge load, the excess porewater pressure and surface and subsurface settlement are monitored for establishing the progress of primary consolidation. Knowing the order of magnitude of excess porewater pressure at the beginning of secondary compression could be very useful for preloading specification. Analyses of consolidation theory, and laboratory and field tests suggest that excess porewater pressure at the beginning of secondary compression is correspond to $u'_m/\sigma'_v = 1$ to 3 % for $C_\alpha/C_c = 0.03$ to 0.07, in respective order. For soft Bangkok clay, u'_m/σ'_v is approximately equal to 2%. The excess porewater pressure decreases as secondary consolidation proceeds.

KEYWORDS : Excess porewater pressure, Secondary consolidation, Preloading with surcharge load, End of primary of consolidation, soft ground improvement

1. บทนำ

การยุบตัวจากกระบวนการอัดตัวคายน้ำใน 1 มิติ (One-Dimensional consolidation) ของ ดิน ซึ่ง อัด ตัว ด้วย น้ำ ประกอบด้วย Primary compression ซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่ Effective stress เพิ่มขึ้น แล้วตามด้วย Secondary compression ซึ่งเกิดขึ้นขณะที่ Effective stress มีค่าคงที่ ดังนั้น End-Of-Primary (EOP) consolidation ได้ถูกอธิบายอย่างง่าย ๆ ว่าเป็นจุดที่ Excess porewater pressure ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของ Total stress หรือ แรงดันน้ำในมวลดิน ระบายออกจนหมด (เช่น [3], [4], และ [5])

อย่างไรก็ตาม หลังจาก EOP consolidation การจัดเรียงตัวของอนุภาคดินเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยมีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลขณะ Primary compression กระบวนการจัดเรียงตัวนี้ทำให้เกิด Excess porewater pressure หรือ Gradient ที่ทำให้น้ำระบายออกจากดินและการยุบตัวของดินเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง หรือ เกิด Secondary compression [21] ดังนั้น Excess porewater pressure ณ จุด EOP consolidation หรือจุดเริ่ม Secondary compression ไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ [18] ในการก่อสร้างสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ในบริเวณกรุงเทพและปริมณฑล เช่น

ถนน และ สนามบิน ต้องมีงานถมคันดิน และ งานปรับปรุงคุณภาพดินฐานราก เช่น วิธี Preloading with surcharge load การรู้ค่าประมาณของ Excess porewater pressure ณ จุด EOP consolidation สามารถช่วยวิศวกรในการตัดสินใจกระบวนการก่อสร้าง (Construction in stage) และระยะเวลาในการปรับปรุงคุณภาพดิน (เช่น [3], [15], และ [18])

บทความนี้ สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ค่า Excess porewater pressure ณ จุด EOP consolidation และ ระหว่าง Secondary compression ซึ่งอธิบายโดย Mesri et al. [18] และเสนอสมการอย่างง่ายที่สามารถใช้ประมาณค่า Excess porewater pressure สำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เพื่อใช้ในการงานถมดินและงานปรับปรุงคุณภาพดิน โดยวิธี Preloading with surcharge load ทั้งที่มี และ ไม่มีการติดตั้ง Vertical drain นอกจากนี้ ยังรวบรวมและแสดงผลการวัด Excess porewater pressure ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม ณ จุด EOP consolidation ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ประมาณได้จากสมการ

2. การวิเคราะห์ Excess porewater pressure

อัตราการทรุดตัวขณะ Secondary compression (หรือ ที่เวลา t เท่ากับหรือมากกว่า t_p) สามารถแสดงในรูปสมการดังนี้

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \frac{0.434 C_\alpha L}{(1+e)t} \quad (1)$$

โดย t = เวลา t_p = ช่วงเวลา Primary consolidation L = ความหนาของชั้นดินอ่อน และ $C_\alpha = \Delta e / \Delta \log t$ คือ Secondary compression index

2.1 การปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนโดยไม่ใช้ Vertical drains

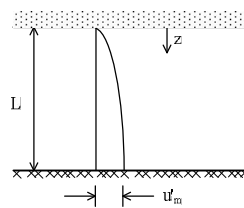
สำหรับ One-dimensional consolidation ที่มีการระบายน้ำได้เพียงด้านเดียว (Single drainage boundary) ซึ่งแสดงในรูปที่ 1 นั้น ความเร็วการไหลของน้ำที่ Drainage boundary มีค่าเท่ากับอัตราการยุบตัวของดิน

$$(v_v)_{z=0} = \frac{\partial L}{\partial t} = \frac{\partial s}{\partial t} \quad (2)$$

จาก สมการของ Darcy ความเร็วของน้ำที่ Drainage boundary คือ

$$(v_v)_{z=0} = \frac{k_v}{\gamma_w} \left(\frac{\partial u'}{\partial z} \right)_{z=0} \quad (3)$$

โดย k_v = Coefficient of permeability ในแนวดิ่ง γ_w = ความหนาแน่นของน้ำ u' = Excess porewater pressure และ z = ระยะจาก Drainage boundary



รูปที่ 1 การกระจายของ Excess porewater pressure สำหรับการยุบตัวของดินและทิศการไหลของน้ำในแนวดิ่ง [18]

ถ้าสมมุติให้การกระจายของ Excess porewater pressure ระหว่าง Drainage boundary เป็นแบบ Parabola [13]:

$$\left(\frac{\partial u'}{\partial z} \right)_{z=0} = \frac{2}{L} u'_m \quad (4)$$

โดย u'_m = Maximum excess porewater pressure แทนสมการที่ 4 ใน สมการที่ 3 ได้

$$(v_v)_{z=0} = \frac{k_v}{\gamma_w} \frac{2}{L} u'_m \quad (5)$$

แทนสมการที่ 1 และ 5 ในสมการที่ 2 ได้

$$u'_m = \frac{0.434 \gamma_w C_c L^2 C_\alpha}{2(1+e)k_v t C_c} \quad (6)$$

ในทางปฏิบัติ ระยะเวลา Primary consolidation t_p นั้น นิยมประมาณที่ t_{95} ซึ่งเป็นเวลาที่ Degree of consolidation เฉลี่ย

เท่ากับ 95 % [18] ผลวิเคราะห์จาก Terzaghi theory of consolidation ที่มี การกระจายของ Excess porewater pressure ตลอดความหนาของชั้นดินเป็นเส้นตรง ได้ $t_{95} = 1.13L^2/c_v$ [21] Mesri and Rokhsar [7] ได้พิสูจน์ว่า สำหรับ ค่า $C_k/C_c = 1$ (C_k/C_c ของดินเหนียวส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 2) ค่า c_v และ t_{95} เท่ากับ

$$c_v = \frac{k_v (1+e) \sigma'_v}{0.434 \gamma_w C_c} \quad (7)$$

$$t_{95} = \frac{0.490 \gamma_w L^2 C_c}{(1+e) k_v \sigma'_v} \quad (8)$$

แทนสมการที่ 8 ในสมการที่ 6 ได้

$$u'_m = \frac{t_p \sigma'_v}{t \cdot 2.3} \left(\frac{C_\alpha}{C_c} \right) \quad (9)$$

สมการที่ 9 แสดงให้เห็นว่า ค่า Maximum excess porewater pressure ที่จุด EOP consolidation หรือ ที่ $t = t_p$ ซึ่งนิยามประมาณ เท่ากับเวลาที่ Degree of consolidation เฉลี่ยเท่ากับ 95 % ขึ้นกับ ค่า Final consolidation pressure σ'_v และ ค่า C_α/C_c

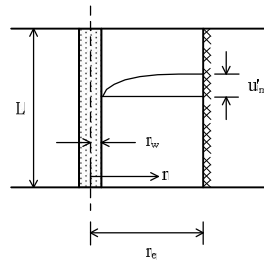
สำหรับดินตะกอน (Silt) ดินเหนียว (Clay) และ ดินที่มี Organic content สูงนั้น ค่า C_α/C_c อยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.07 (Terzaghi et al. 1996) และมีความสัมพันธ์กับ u'_m/σ'_v ดังแสดง ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า u'_m/σ'_v ที่ $t = t_p$ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ C_α/C_c [18]

C_α/C_c	u'_m/σ'_v (%)
0.03	1.3
0.04	1.7
0.05	2.2
0.06	2.6
0.07	3.0

2.2 การปรับปรุงคุณภาพดินอ่อนโดยใช้ Vertical drains

จากรูปที่ 2 ถ้าสมมติให้ความเครียดในมวลดินในแนวดิ่ง มีค่าเท่ากันตลอดความลึกของชั้นดินอ่อน และไม่มีกรไหลของน้ำในแนวดิ่ง อัตราการยุบตัวของดินในแนวดิ่งจะเท่ากับอัตราการไหลของน้ำในแนวราบเข้าสู่ Vertical drain [18] ดังแสดงในสมการที่ 10



รูปที่ 2 การกระจายของ Excess porewater pressure สำหรับการยุบตัวของดินในแนวดิ่งและทิศการไหลของน้ำในแนวราบ [18]

$$\frac{k_h}{\gamma_w} \frac{du'}{dr} 2\pi r L = \pi (r_e^2 - r^2) \frac{dL}{dt} \quad (10)$$

โดยที่ k_h = Permeability ของดินในแนวราบ r = ระยะรัศมีวัดจาก เส้นกึ่งกลางของ Vertical drain $r_e = 0.525 DS$ สำหรับการติดตั้ง Vertical drain ในรูปแบบสามเหลี่ยม โดยมีระยะห่างเท่ากับ DS สมการที่ 10 สามารถจัดรูปได้:

$$\frac{\gamma_w}{k_h} \frac{1}{2L} \frac{dL}{dt} = \frac{r}{r_e^2 - r^2} \frac{du'}{dr} = c \quad (11)$$

โดย c คือ ค่าคงที่ และไม่ขึ้นกับ r และ t แก้สมการที่ 11 จะได้ ค่า Maximum excess porewater pressure ที่ $r = r_e$:

$$u'_m = c \left(r_e^2 \ln \frac{r_e}{r_w} - \frac{r_e^2 - r_w^2}{2} \right) \quad (12)$$

แทนค่า c จากสมการที่ 11

$$\frac{dL}{dt} = \frac{2k_h L u'_m}{\gamma_w r_e^2 \left[\ln \frac{r_e}{r_w} - \frac{1 - (r_w/r_e)^2}{2} \right]} \quad (13)$$

กำหนด $n = r_c/r_w$ และ $1/n^2 \approx 0$ (สำหรับการติดตั้ง Prefabricated vertical drains โดยทั่วไปนั้น n มีค่ามากกว่า 10):

$$\frac{dL}{dt} = \frac{2k_h Lu'_m}{\gamma_w r_c^2 \left[\ln(n) - \frac{1}{2} \right]} \quad (14)$$

แทนสมการที่ 1 และสมการที่ 14 ในสมการที่ 2:

$$u'_m = \frac{0.434 \gamma_w C_c r_c^2 \left[\ln(n) - \frac{1}{2} \right] C_\alpha}{2(1+e)k_h t C_c} \quad (15)$$

Time factor สำหรับ Radial flow หรือ T_r เท่ากับ $c_h t/r_c^2$ โดยที่ $c_h =$ Coefficient of consolidation สำหรับการยุบตัวในแนวตั้งและน้ำไหลในแนวราบ

$$c_h = \frac{k_h (1+e) \sigma'_v}{0.434 \gamma_w C_c} \quad (16)$$

ดังนั้น

$$t = \frac{0.434 \gamma_w T_r r_c^2 C_c}{k_h (1+e) \sigma'_v} \quad (17)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย Degree of consolidation U สำหรับความเครียดในมวลดินในแนวตั้ง มีค่าเท่ากันตลอดความลึกของชั้นดินอ่อน [21] คือ

$$U = 1 - \exp\left(-\frac{2}{F(n)} T_r\right) \quad (18)$$

โดยที่ $F(n) = \ln(n) - 3/4$ ถ้าสมมุติค่า $n = 10$ จะได้ค่า $F(n) = 1.553$ และ $\ln(n) - 1/2 = 1.803$ และสำหรับ $U = 95\%$ จากสมการที่ 18 จะได้ $T_r = 2.34$ และจากสมการที่ 17

$$t_{95} = \frac{1.016 \gamma_w r_c^2 C_c}{(1+e)k_h \sigma'_v} \quad (19)$$

แทนสมการที่ 19 ในสมการที่ 15 ได้

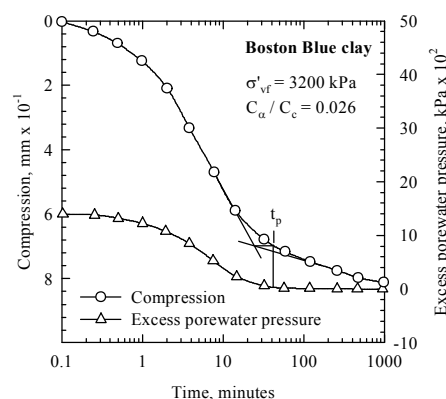
$$u'_m = \frac{t_p \sigma'_v C_\alpha}{t 2.6 C_c} \quad (20)$$

Mesri et al. [18] พบว่า ระยะห่างระหว่าง Vertical drain ไม่มีอิทธิพลต่อค่า u'_m และสมการที่ 20 สามารถใช้ประมาณค่า u'_m ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนโดยใช้ Vertical drain การวิเคราะห์ที่แสดงข้างต้น ไม่ได้คำนึงถึงอิทธิพลของ Drain resistance และ Smear effect นอกจากนี้สมการที่ 9 และ 20 ใช้สำหรับการประมาณค่า Excess porewater pressure ในช่วง Secondary compression เท่านั้น หรือ $t \geq t_p$

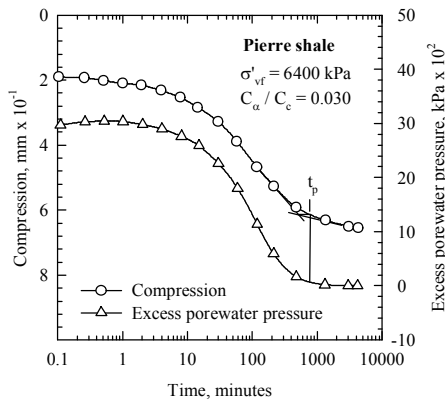
3. ผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและในสนาม

การศึกษานี้ได้รวบรวมผลการทดสอบ One-Dimensional consolidation test ซึ่งมีการวัด Porewater pressure ที่ด้านล่างของดินตัวอย่างและน้ำสามารถระบายออกด้านบน ([1], [8], [9], [10], [11], [13], [14], [15], และ [16]) ดินตัวอย่างแบบคงสภาพ (Undisturbed specimen) ประกอบด้วย Soft clay (จำนวน 8 ชนิด) Clay shale (จำนวน 7 ชนิด) และ Fibrous peat (จำนวน 2 ชนิด) ตัวอย่างผลการทดสอบ One-Dimensional consolidation test แสดงในรูปที่ 3 ถึง 5

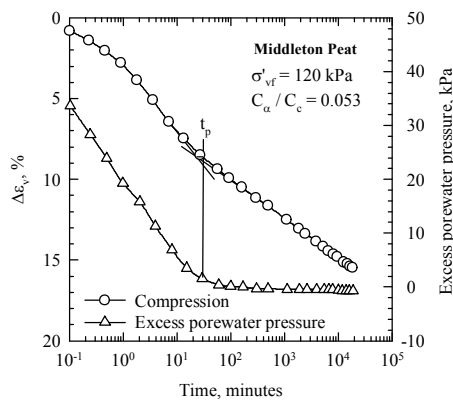
นอกจากนี้ได้รวบรวมผลการทดสอบ Field embankment test 2 โครงการ ที่บริเวณหนองงูเห่า ซึ่งมีการติดตั้ง Sand drain [19] และ Prefabricated vertical drain [6] เพื่อเร่งการระบายน้ำในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ และมีการตรวจวัดการทรุดตัวในแนวตั้ง และ Porewater pressure ที่ระดับความลึกต่างๆ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6



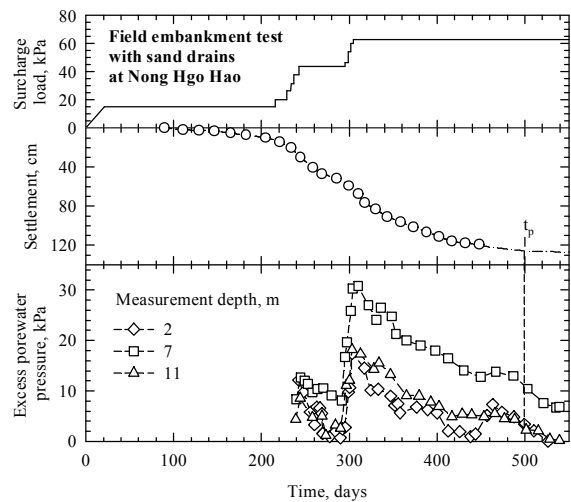
รูปที่ 3 Boston blue clay [18]



รูปที่ 4 Pierre shale [18]



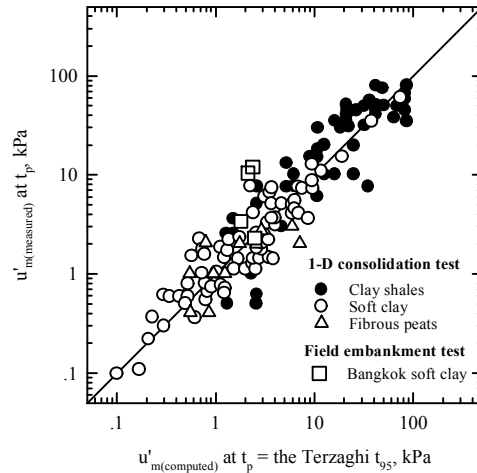
รูปที่ 5 Middleton Peat [1]



รูปที่ 6 Field embankment test (ข้อมูลจาก [19] และ [20])

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ One-Dimensional consolidation test นั้น ค่า Excess porewater pressure ณ เวลา t_p = Casagrande t_{100} ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่า Excess porewater pressure ที่คำนวณจากสมการที่ 9 (ณ เวลา t_p = the Terzaghi t_{95}) และแสดงโดยสัญลักษณ์วงกลมในรูปที่ 7 สำหรับการวิเคราะห์ผลทดสอบ Field embankment test นั้น ค่า Excess porewater pressure ณ เวลา t_p หาโดยการวิเคราะห์ข้อมูล Surface

settlement โดยวิธี Asaoka [2] ค่า Excess porewater pressure ที่วัดในระดับความลึกต่างๆในชั้นดินเหนียวอ่อนถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่า Excess porewater pressure ที่คำนวณจากสมการที่ 20 โดยใช้ค่า C_α/C_c ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เท่ากับ 0.05 [20] และแสดงโดยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ค่า Excess porewater pressure ณ EOP ที่คำนวณและวัดในห้องปฏิบัติการและในสนาม

ผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 7 พบว่าค่า Excess porewater pressure ที่เวลา t_p ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 9 และ 20 [$u'_m(\text{computed})$] มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ในห้องปฏิบัติการและในสนาม [$u'_m(\text{measured})$] การกระจายตัวของข้อมูลในรูปที่ 7 อาจมีสาเหตุจากความแม่นยำของเครื่องมือทดสอบซึ่งไม่ได้ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อวัด Porewater pressure ขณะ Secondary compression [18] และจากการเปลี่ยนแปลง Porewater pressure เนื่องจากการสูบน้ำในบริเวณใกล้เคียงกับแปลงทดสอบ Field embankment test ([19] และ [20]) โดยทั่วไปการทดสอบ One-dimensional consolidation test ซึ่ง σ'_v ไม่เกิน 500 kPa และ การถมคันดินซึ่งมีความสูงไม่เกิน 5 เมตร พบว่า ค่า Excess porewater pressure ณ EOP ไม่ควรเกิน 10 kPa ยกเว้นในกรณีที่ ค่า σ'_v มีค่าสูงถึง 8 ถึง 10 MPa ซึ่งค่า Excess porewater pressure ณ EOP อาจมีค่าสูงถึง 100 kPa

4. สรุปผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์อัตราการยุบตัวในช่วง Secondary compression และ ผลการวัดค่า Porewater pressure ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม พบว่า ในขณะที่ Secondary

compression ดินยังคงมี Excess porewater pressure ค่า Excess porewater pressure แปรผันกับค่า C_α/C_c และ Consolidation pressure σ'_v และ แปรผกผันกับ ค่า t/t_p ค่า Excess porewater pressure ที่มากที่สุด u'_m เกิดขึ้น ณ จุดเริ่ม Secondary compression ($t/t_p = 1$) ในดินอ่อนทั่วไปนั้น u'_m/σ'_v มีค่าอยู่ในช่วง 1% ถึง 3% และสำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯซึ่งมีค่า C_α/C_c ประมาณ 0.05 ค่า u'_m/σ'_v มีค่าประมาณ 2 % ในงานถมดินที่มีความสูงของคันดินน้อยกว่า 5 เมตรนั้น ค่า u'_m โดยปกติไม่ควรเกิน 10 kPa การรู้ค่า Excess Porewater pressure ณ จุด EOP เป็นประโยชน์ในการแปรผลการวัดค่า Porewater pressure ในสนาม เพื่อเข้าใจถึงขบวนการ Primary consolidation และใช้ประกอบการพิจารณาขั้นตอนการก่อสร้างคันดิน (Stage of construction) และ ระยะเวลาในการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธี Preloading with surcharge load

เอกสารอ้างอิง

[1] Ajlouni, M.A. 2000. Geotechnical Properties of Peat and Related Engineering Problems, Ph.D. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.

[2] Asaoka, A. 1978. Observational procedure of settlement prediction, Soils and Foundations, Journal of Soils and Foundations Engineering, 18(4), 87-101

[3] Endicott, L. J. 2001. Drained Reclamation in Hong Kong, Proceedings of 3rd International Conference on Soft Soil Engineering, 6-8 December, Hong Kong, 3-11.

[4] Jones, D.B., Beasley, D.H. and Pollock, D.J. 1986. Ground treatment by surcharging on deposits of soft clays and peat, Proceedings of the Conference on Building on Marginal and Derelict Land, I.C.E., Glasgow, 679-695.

[5] Jorgenson, M.B. 1987. Secondary settlement of four Danish road embankments on soft soils, Proceedings of the 9th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2, 560-577.

[6] Lin, P., Karim, M., and Chantawong, S. 2000. Ground improvement performance at the reference section of second Bangkok International airport, Third Seminar on Ground Improvement in Highways, Bangkok, 86-111.

[7] Mesri, G. and Rokhsar, A. 1974. Theory of consolidation for clays, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 100, No.8, 889-904.

[8] Mesri, G. and Choi, Y.K. 1980. Excess porewater pressure and preconsolidation effect developed in normally consolidated clays of

some age. Discussion. Soils and Foundations, Journal of Soils and Foundations Engineering, 20(4), 131-136.

[9] Mesri, G. and Castro, A. 1987. The C_α/C_c concept and K_o during secondary compression. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 112(3), 230-247.

[10] Mesri, G. and Cepeda-Diaz, A.F. 1987. Permeability of shales. Proceedings of the 8th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cartagena, Colombia, 89-100.

[11] Mesri, G. and Feng, T.W. 1991. Surcharging to reduce secondary settlement, Proceedings of International Conference on Geotechnical Engineering for Coastal Development-Theory to Practice, Yokohama, Japan, 1, 359-364.

[12] Mesri, G. and Lo, D.O.K. 1991. Field performance of prefabricated vertical drains. Proceedings of International Conference on Geotechnical Engineering for Coastal Development-Theory to Practice, Yokohama, Japan, 1, 231-236.

[13] Mesri, G. and Feng, T.W. 1992. Constant rate of strain consolidation testing of soft clays. Marsal Volume, Mexico City, Mexico, 49-59.

[14] Mesri, G. and Hayat, T.M. 1993. The Coefficient of Earth Pressure at Rest. Canadian Geotechnical Journal, 30(4), 647-666.

[15] Mesri, G., Lo, D.O.K. and Feng, T.W. 1994. Settlement of embankments on soft clays. Keynote Lecture, Settlement'94, Texas A&M University, College Station, Texas, Geotechnical Special Publication 40, v.1, 8-56.

[16] Mesri, G. Stark, T.D., Ajlouni, M.A. and Chen, C.S. 1997. Secondary compression of peat with or without surcharging. Journal of the Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Division, ASCE, 123(5), 411-421.

[17] Mesri, G. and Ali, S. 1993. Undrained shear strength of glacial clay overconsolidated by dessication. Géotechnique. 49(1), 1-17.

[18] Mesri, G., Huvaj, N., Vardhanabhuti, B., and Ho, Y-H., 2005. Excess porewater pressures during secondary compression, 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, Vol.2, 1087-1090.

[19] Moh, Z.C. and Woo, S.M., 1987. Preconsolidation of Bangkok clay by nondisplacement sand drains and surcharge, 9th Southeast Asian Geotechnical Conference, Bangkok, (8)171-(8)184.

[20] Nowacki, F. 1992. Independent Soil Engineering Study for the Second Bangkok International Airport, Draft NGI Report 920030-1, Oslo.

[21] Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. 1996. Soil Mechanics in Engineering Practice, Third Edition, John Wiley and Sons, 549 p.