

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่นำไปสู่การค้นคว้าวิจัย

ระยะทรุดตัวเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบฐานราก โดยเฉพาะอย่างยิ่งฐานรากบนชั้นดินเหนียวที่มีการทรุดตัวมากอันเนื่องมาจากการอัดตัวระบายน้ำ การคาดคะเนอัตราการทรุดตัวอันเนื่องมาจากการอัดตัวระบายน้ำโดยทั่วไปอาศัยทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำมีติเตียวของ Terzaghi, K. (1923) เป็นหลัก ซึ่งตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่า ดินเหนียวนั้นเป็นดินเอกพันธุ์ อิ่มตัว (Saturated Homogeneous Clay Layer) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวได้ของดินมีค่าคงตัวในขณะที่เกิดการอัดตัวระบายน้ำ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ดินที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีคุณลักษณะไม่เอกพันธุ์และไม่อิ่มตัวเต็มที่ การไม่เอกพันธุ์เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามความลึก เช่นดินเหนียวลอนคอน (Skempton, A. W. and Henkel, D. J. (1957)) ส่วนการไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะดินที่อยู่ใกล้พื้นผิวดินชั้นบน ระดับการอิ่มตัวของดินอาจไม่ถึง 100% เนื่องจากความชื้นบริเวณผิวดินเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศ อีกทั้งระดับของน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงตามฤดูกาล และแม้แต่ดินที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินก็อาจมีอากาศบางส่วนแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทำให้ดินอยู่ในสถานะใกล้เคียงหรือเกือบอิ่มตัว

วิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งวิเคราะห์หาอัตราการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำของชั้นดินเหนียว โดยคำนึงถึงการไม่เอกพันธุ์ และสถานะเกือบอิ่มตัวของชั้นดินซึ่งใกล้เคียงสถานะที่เป็นอยู่จริงมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวไม่เอกพันธุ์ เกือบอิ่มตัว ที่มีความหนาชั้นดินจำกัด น้ำระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่างของชั้นดิน หรือน้ำระบายออกได้เฉพาะผิวบนหรือผิวล่างได้ทางเดียว ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัว

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ชั้นดินเหนียวเป็นวัสดุยึดหยุ่นเชิงเส้น ที่มีการไม่เอกพันธ์ของดิน ซึ่งเปลี่ยนแปลงเชิงพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามความลึก(คงตัว เเชิงเส้น และระดับขั้น2) เกือบอิมตัว(ค่าตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดินมีค่าเท่ากับ 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 และ 1.00) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอ เพิ่มขึ้นนับพลันแล้วคงตัว

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำมิติเดียวสำหรับดินไม่เอกพันธ์ของ Schiffman,R.L. and Gibson,R.E.(1964)และทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำสำหรับดินเอกพันธ์ เกือบอิมตัวของConte,E and Troncone,A (2006)

1.4.1 ทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำมิติเดียวสำหรับดินไม่เอกพันธ์ อิมตัว

Schiffman,R.L. and Gibson,R.E.(1964)ได้พัฒนาทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำต่อจาก Terzaghi,K.(1923)โดยคำนึงถึงการไม่เอกพันธ์ของชั้นดินก่อนเกิดการอัดตัวระบายน้ำ และตั้งสมมุติฐานตามทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำของ Terzaghi,K.(1923)ยกเว้นดินเป็นวัสดุไม่เอกพันธ์ดังต่อไปนี้

1. ดินอิมตัวอย่างสมบูรณ์
2. เม็ดดินและน้ำอัดตัวไม่ได้
3. น้ำในดินไหลซึมตามกฎของ Darcy
4. ความเครียดของโครงสร้างก่อนดินขึ้นอย่างเชิงเส้น กับความเค้นประสิทธิผลเพียงอย่างเดียว และไม่ขึ้นกับเวลา
5. ความเครียด ความเร็วของน้ำ ความเร็วของเม็ดดิน และส่วนเพิ่มความเค้นกับความเครียดมีค่าน้อย และถือประหนึ่งเป็นทฤษฎีสถิตเทียบ

อาศัยสมมุติฐานสมการต่อเนื่อง และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด กับสมการสมดุลภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอ เขียนสมการควบคุมการอัดตัวระบายน้ำได้ ดังนี้

$$\frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial}{\partial z} \left(k(z) \frac{\partial u}{\partial z} \right) = m_v(z) \left(\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial \sigma}{\partial t} \right)$$

โดยที่	γ_w	เป็น	หน่วยน้ำหนักของน้ำ
	$m_v(z)$	เป็น	ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ระดับความลึก z จากผิวชั้นดิน
	u	เป็น	ความดันน้ำส่วนเกิน
	$k(z)$	เป็น	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ที่ระดับความลึก z จากผิวชั้นดิน
	σ	เป็น	ความเค้น
	t	เป็น	เวลา
	z	เป็น	ความลึกวัดจากผิวชั้นดิน

นพพลบัวอินทร์ (2549) ได้ทำการวิจัยเพื่อหาอัตราการทรุดตัว (โดยวิธีผลต่างอันดับ) เนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำสำหรับชั้นดินเหนียวไม่เอกพันธ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเชิงพหุนาม (คงตัว เชิงเส้น และระดับชั้น 2) ตามระดับความลึกของชั้นดินภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกเวียนซ้ำรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกระทำไว้มากจนถึงช้ามาก ซึ่งมีคาบของการบรรทุกน้ำหนักในรูปตัวประกอบเวลาเท่ากับ 0.00125 , 0.06250 , 0.25000 และ 1.00000 พิจารณาเงื่อนไขการระบายน้ำออกจากชั้นดิน 2 กรณี คือ น้ำระบายออกจากชั้นดินได้ทั้ง 2 ผิว และน้ำระบายออกผิวล่างได้ แต่ระบายออกผิวบนไม่ได้ แล้วนำไปวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของดินเหนียวกรุงเทพมหานครบริเวณรังสิตเป็นกรณีตัวอย่าง

ดินเหนียวกรุงเทพมหานครบริเวณรังสิตมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามความลึก

ใกล้เคียงการเปลี่ยนแปลงเชิงพหุนามที่มีรูปแบบสมการ $\frac{k(z)}{k_o} = (1 + \alpha \frac{z}{H})^p$ และ

$$\frac{k(z)}{k_o} = \left\{ 1 + (1 + \alpha)^p - \left[1 + \alpha \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right]^p \right\} \text{ ตัวแปร } \alpha \text{ มีค่าเท่ากับ } -0.3, -1.4 \text{ และ } p = 0, 1, 2 \text{ ส่วน}$$

ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามความลึกใกล้เคียงการเปลี่ยนแปลง

เชิงพหุนามที่มีรูปแบบสมการ $\frac{m_v(z)}{m_{vo}} = (1 + \beta \frac{z}{H})^q$ และ

$$\frac{m_v(z)}{m_{vo}} = \left\{ 1 + (1 + \beta)^q - \left[1 + \beta \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right]^q \right\} \text{ ตัวแปร } \beta \text{ มีค่าเท่ากับ } -0.2 \text{ และ } q = 0, 1, 2$$

เมื่อตัวแปร $\alpha = -0.3$ ในสมการค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ และตัวแปร $\beta = -0.2$ ในสมการค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ค่าเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวขึ้นอยู่กับคาบของการบรรทุกน้ำหนักเวียนซ้ำ การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชั้นดิน และเงื่อนไขการระบายน้ำออกจากชั้นดิน และเมื่อคาบของการบรรทุกน้ำหนักเวียนซ้ำลดลงน้ำหนักบรรทุกเวียนซ้ำกระทำไว้นานขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวในสภาวะเปลี่ยนแปลงสำหรับช่วงบรรทุกน้ำหนักมีค่าลดลง แต่ในช่วงไม่บรรทุกน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้น และภายใต้เงื่อนไขการระบายน้ำออกเปลี่ยนแปลงจากระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่างไปเป็นน้ำระบายออกได้ที่ผิวล่างเพียงผิวเดียว ค่าเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวในสภาวะเปลี่ยนแปลงมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

ค่าเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวเมื่อสิ้นสุดช่วงบรรทุกครั้งแรก สรุปได้ดังตาราง

ตาราง 1.1 เปอร์เซนต์การทรุดตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกเวียนซ้ำกรณีน้ำระบายออกจากผิวบนของชั้นดินได้ และระบายออกจากผิวล่างได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ลดลงงตัว และสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรคงตัว

เวลาบรรทุกในรูปตัวประกอบเวลา(T_{L0})	เปอร์เซ็นต์การทรุดตัว
0.00125	7.75
0.0625	56.19
0.25	93.12
1	100

ตาราง 1.2 เปอร์เซ็นต์การทรุดตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกเวียนซ้ำกรณีน้ำระบายออกจากผิวบนของชั้นดินไม่ได้แต่ระบายออกจากผิวล่างได้โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้คงตัว และ สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรคงตัว

เวลาบรรทุกในรูปตัวประกอบเวลา(T_{L0})	เปอร์เซ็นต์การทรุดตัว
0.00125	3.87
0.0625	28.19
0.25	56.22
1	93.12

ตาราง 1.3 เปอร์เซ็นต์การทรุดตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกเวียนซ้ำกรณีน้ำระบายออกจากผิวบนของชั้นดินได้ และระบายออกจากผิวล่างได้โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ลดลงเชิงเส้น และ สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรลดลงเชิงเส้น

เวลาบรรทุกในรูปตัวประกอบเวลา(T_{L0})	เปอร์เซ็นต์การทรุดตัว
0.00125	7.58
0.0625	54.58
0.25	92.03
1	99.99

ตาราง 1.4 เปอร์เซ็นต์การทรุดตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกเวียนซ้ำกรณีน้ำระบายออกจากผิวบนของชั้นดินไม่ได้แต่ระบายออกจากผิวล่างได้โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ลดลงเชิงเส้น และสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรลดลงเชิงเส้น

เวลาบรรทุกในรูปตัวประกอบเวลา(T_{10})	เปอร์เซ็นต์การทรุดตัว
0.00125	3.26
0.0625	24.26
0.25	50.02
1	89.36

1.4.2 ทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำสำหรับดินเอกพันธุ์เกือบอิ่มตัว

Conte, E and Troncone, A (2006) ได้คิดทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำมิติเดียวของดินเหนียวเกือบอิ่มตัว โดยตั้งสมมุติฐานเหมือนกับทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำมิติเดียวของ Terzaghi ยกเว้น น้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินอัดตัวได้เนื่องจากดินเหนียวเกือบอิ่มตัว

การสร้างสมการควบคุมการอัดตัวระบายน้ำเทียม อาศัยกฎ 2 ข้อ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของก้อนดิน(การอัดตัวได้) และกฎการไม่สูญหายของมวล(สมการการต่อเนื่อง) รวมกันเป็นสมการควบคุมการอัดตัวระบายน้ำมิติเดียว สำหรับดินเกือบอิ่มตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอ ดังนี้

$$C_v \frac{\partial u^2}{\partial z^2} = \frac{1}{\eta} \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

โดยที่	C_v	เป็น	ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวได้ที่ระดับความลึก z จากผิวชั้นดิน
	u	เป็น	ความดันน้ำส่วนเกิน
	η	เป็น	ค่าตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน
	σ	เป็น	ความเค้น
	t	เป็น	เวลา

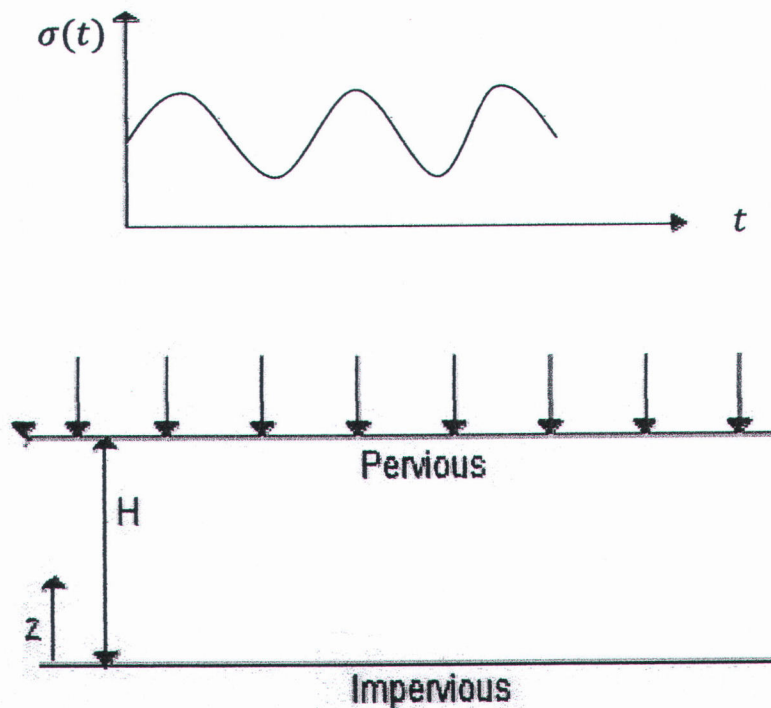
Conte, E and Troncone, A (2006) ได้ทำการหาผลเฉลยเพื่อนำไปวิเคราะห์หาอัตราการทรุดตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่แผ่กระจายสม่ำเสมอ และเปลี่ยนแปลงอย่างฮาร์มอนิกตามเวลาตามสมการ

$$\sigma(t) = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)$$

โดยที่ A, B เป็น ความสูงคลื่นน้ำหนักบรรทุก

Ω เป็น ความถี่เชิงวงกลม

น้ำหนักบรรทุกกระทำที่ผิวบนของชั้นดิน หนา H ดังรูป



รูป 1.1 น้ำหนักบรรทุกกระทำที่ผิวบนของชั้นดิน

ได้ผลเฉลยออกมา คือ

$$u_{\omega}(z, t) = -2\eta \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j}{X + \vartheta^2 X^5} Y_j \cos\left(\frac{Xz}{H}\right)$$

โดยที่ $X = (2j - 1)\pi/2$

$$Y_j = \{(A + B\vartheta X^2)[\cos(\omega t) - \exp(-\eta X^2 T_v)] - (A\vartheta X^2 - B) \sin(\omega t)\}$$

$$\vartheta = \eta c_v / (\omega H^2)$$

$$T_v = c_v t / H^2$$

สำหรับดินที่มีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรคงตัว ระยะทรุดตัวที่มีการเปลี่ยนแปลงเวลาใดๆ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$s_\omega(t) = m_v H [A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t) - 2\eta \sum_{j=1}^{\infty} \frac{Y_j}{X^2 + \vartheta^2 X^6}]$$

ทำให้ได้สมการหาค่าน้ำหนักบรรทุกกระทำบริเวณชั้นผิวดินที่ขึ้นอยู่กับเวลาตั้งแต่ 0 ถึง T

$$\sigma(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [A_k \cos(\omega_k t) + B_k \sin(\omega_k t)]$$

โดยที่ $A_k = \frac{2}{T} \int_0^T \sigma(t) \cos(\omega_k t) dt$

$$B_k = \frac{2}{T} \int_0^T \sigma(t) \sin(\omega_k t) dt$$

$$A_0 = \frac{2}{T} \int_0^T \sigma(t) dt$$

จะได้สมการหาค่าการทรุดตัวที่เวลาใดๆ ได้ดังนี้

$$s(t) = m_v H \sigma_0 + \sum_{k=1}^M S_k(t)$$

โดยที่ $\sigma_0 = \frac{1}{T} \int_0^T \sigma(t) dt$

หาค่า $S_k(t)$ ได้จากการแทนค่า $S_\omega(t)$ ด้วย $S_k(t)$, ค่า A และ B หาได้ด้วยการแทนค่า

ลงที่ A_k และ B_k , และ แทนที่ ω ด้วย ω_k