

อัตราการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำของชั้นดินเหนียว ไม่เอกพันธ์ เกือบอิ่มตัว

Rate of Consolidation Settlement Nearly Saturated of Nonhomogeneous Clay Layer

ศิริกัญญา เลาสุวรรณ* และ สุเทพ นิมนวล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ : 053-944156-66 โทรสาร : 053-892376

Sirikanya Laosuwan* and Suthep Nimmual

Department of Civil, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Huaykeaw Rd. Muang, Chiang Mai, 50200

E-mail : sirikanyalaosuwan@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการทรุดตัว โดยวิธีขึ้นประกอบอเนก เนื่องจากอัตราการอัดตัวระบายน้ำมีผลเดียว สำหรับชั้นดินเหนียวไม่เอกพันธ์ เกือบอิ่มตัว ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ และ ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเชิงพหุนาม (คงตัว เจริญ และระดับชั้น 2) ตามระดับความลึกของชั้นดินและตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดินเท่ากับ 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 และ 1.00 ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจาย สม่ำเสมอเพิ่มขึ้นลับพลันแล้วคงตัว พิจารณาเงื่อนไขการระบายน้ำออกจากชั้นดิน 3 กรณี คือ กรณีที่ 1) น้ำระบายออกจากชั้นดินได้ทั้งผิวบนและผิวล่างได้ กรณีที่ 2) น้ำระบายออกจากชั้นดินได้ที่ผิวบน แต่ระบายออกผิวล่างไม่ได้ และ กรณีที่ 3) น้ำระบายออกจากชั้นดินที่ผิวบนไม่ได้ แต่ระบายออกผิวล่างได้ แล้วนำไปวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน กรุงเทพมหานครวิธีคิดเป็นกรณีตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราการทรุดตัวขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชั้นดิน ตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดินและเงื่อนไขการระบายน้ำออกจากชั้นดิน อัตราการทรุดตัวช้าลง เมื่อเงื่อนไขการระบายน้ำออกเปลี่ยนแปลง จากระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่างไปเป็นน้ำระบายออกได้ที่ผิวล่างและบนเพียงผิวเดียว การเปลี่ยนแปลงรูปแบบฟังก์ชันของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ได้อัตราการทรุดตัวต่างกัน ระดับพหุนามในฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ มีค่าเพิ่มขึ้นอัตราการทรุดตัวช้าลง แต่เมื่อระดับพหุนามในฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการทรุดตัวเร็วขึ้น เมื่อตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดินมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการทรุดตัวช้าลง ในช่วงแรกและเร็วขึ้นในช่วงหลัง อัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นลับพลันแล้ว คงตัวเกิดขึ้นช้าที่สุดเมื่อเป็นกรณีนี้สามารถระบายออกได้เฉพาะผิวล่างของชั้นดินที่มีค่าตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดินเท่ากับ 0.80 และค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร

เปลี่ยนแปลงเชิงพหุนามระดับชั้น 2 ที่มีค่าของตัวแปรเสริมเท่ากับ -1.4 และ -0.2 ตามลำดับ เปรอ์เซ็นต์การทรุดตัวเท่ากับ 80 ที่ตัวประกอบเวลาเท่ากับ 2,000

ABSTRACT

The objective of this research is to find the rate of one-dimensional consolidation settlement by the finite element method for nearly saturated nonhomogeneous clay layer having continuous polynomial variation (constant, linear and second degree) of coefficient of permeability and coefficient of volume change with depth and pore pressure parameters at top surface of clay layer of 0.80, 0.85, 0.90, 0.95, and 1.00. The clay layer is subjected to sudden increasing uniform constant distributed load. Three cases of drainage conditions are considered namely: (case 1) both surfaces of soil layer are permeable, (case 2) top surface is permeable but bottom surface is impermeable, and (case 3) top surface is impermeable but bottom surface is permeable. For verifying the analytical results, rate of consolidation settlement of soft Bangkok clay, at Rangsit, is analyzed from field collected data.

The analytical results indicate that the rate of settlement depends on the variations of coefficient of permeability and coefficient of volume change with depth, pore pressure parameter at top surface of soil layer and drainage conditions. The rate of settlement slows down when drainage condition changes from both surface of soil layer are permeable to top surface or bottom surface is permeable only. Variation in functions of coefficient of permeability and coefficient of volume change slightly affects the rate of settlement. As degree of polynomial function of coefficient of permeability increases, rate of settlement slows down. But degree of polynomial function of coefficient of volume change increases, rate of settlement increases. When pore pressure parameter at top surface of soil layer increases, rate of settlement slows down from the early stage of loading and increases at later time. The rate of settlement is slowest when only bottom surface of soil layer is permeable, pore pressure parameter at top surface of soil layer is 0.80 and parameters of second degree polynomial variation of coefficient of permeability and coefficient of volume change are -1.4 and -0.2 respectively of settlement is 80 at time factor of 2,000.

1. บทนำ

ระยะทรุดตัวเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบฐานราก โดยเฉพาะอย่างยิ่งฐานรากบนชั้นดินเหนียวที่มีการทรุดตัวมากอันเนื่องมาจากการอัดตัวระบายน้ำ

การคาดคะเนอัตราการทรุดตัวอันเนื่องมาจากการอัดตัวระบายน้ำโดยทั่วไปอาศัยทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำมิติเดียวของ Terzaghi, K. [1] เป็นหลัก ซึ่งตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่า ดินเหนียวนั้นเป็นดินเอกพันธ์ อิ่มตัว (Saturated Homogeneous Clay) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และสัมประสิทธิ์การอัดตัวได้ของดินมีค่าคงตัวในขณะที่เกิดการอัดตัวระบายน้ำ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ดินที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีคุณลักษณะไม่เอกพันธ์และไม่อิ่มตัวเต็มที่ การไม่เอกพันธ์เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามความลึก เช่น ดินเหนียวลอนดอน [2] ส่วน

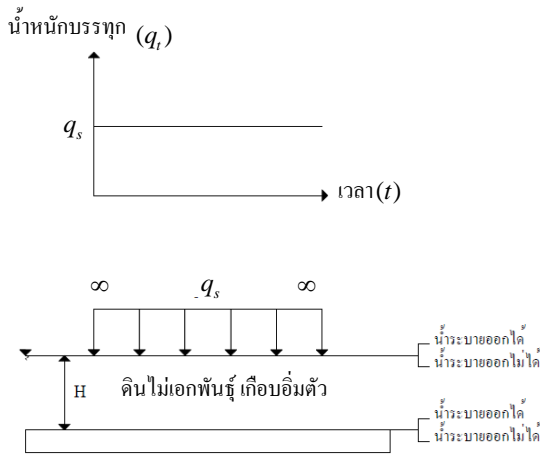
การไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะดินที่อยู่ใกล้พื้นผิวดินชั้นบน ระดับการอิ่มตัวของดินอาจไม่ถึง 100% เนื่องจากความชื้นบริเวณผิวดินเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศ อีกทั้งระดับของน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงตามฤดูกาล และแม้แต่น้ำที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินก็อาจมีอากาศบางส่วนแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทำให้ดินอยู่ในสภาวะใกล้เคียงหรือเกือบอิ่มตัว

งานวิจัยนี้จึงมุ่งวิเคราะห์หาอัตราการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำของชั้นดินเหนียวโดยคำนึงถึงการไม่เอกพันธ์ และสภาวะเกือบอิ่มตัวของชั้นดินซึ่งใกล้เคียงสภาวะที่เป็นอยู่จริงมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์และขอบเขต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวไม่เอกพันธ์ เกือบอิ่มตัว ที่มีความหนา

ชั้นดินจำกัด น้ำระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่างของชั้นดิน หรือน้ำระบายออกได้เฉพาะผิวบนหรือผิวล่างได้ทางเดียว ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัว ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปัญหาที่นำมาวิเคราะห์

กำหนดขอบเขตของปัญหาเป็นการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวที่เป็นวัสดุยืดหยุ่นเชิงเส้น มีการไม่เอกพันธุ์ของดินเป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ (คงตัว เชิงเส้น และระดับชั้น 2) ตามสมการ

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

$$\frac{k(z)}{k_o} = \left\{ 1 + (1 + \alpha)^p - \left[1 + \alpha \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right]^p \right\} \quad (2)$$

และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามความลึก (คงตัว เชิงเส้น และระดับชั้น 2) ตามสมการ

$$\frac{m_v(z)}{m_{vo}} = (1 + \beta \frac{z}{H})^q \quad (3)$$

$$\frac{m_v(z)}{m_{vo}} = \left\{ 1 + (1 + \beta)^q - \left[1 + \beta \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right]^q \right\} \quad (4)$$

ดินเกือบอิมตัว (ค่าตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน η_0 มีค่าเท่ากับ 0.80,

0.85, 0.90, 0.95 และ 1.00) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัว หาเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวที่ตัวประกอบเวลา

$$T = \frac{k_o t}{\gamma_w m_{vo} H^2} \quad (5)$$

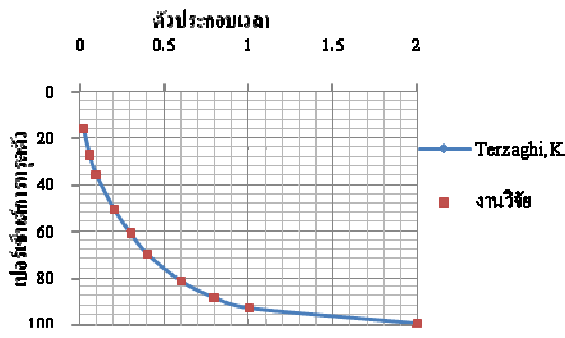
โดยที่ตัวประกอบเวลามีค่าเท่ากับ 0.001, 0.002, 0.003, 0.004, 0.006, 0.008, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.60, 0.80, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.0 มีเงื่อนไขของการระบายน้ำ 3 กรณีคือ กรณีที่ 1) น้ำระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่าง กรณีที่ 2) น้ำระบายออกได้ที่ผิวล่าง แต่ระบายออกผิวบนไม่ได้ และ กรณีที่ 3) น้ำระบายออกที่ผิวล่างไม่ได้ แต่ระบายออกผิวบนได้ค่า α β p และ q ในปัญหา

- ก) กำหนดให้ $\alpha = -1.4$, $\beta = -0.2$ และ $p = q = 2$
- ข) กำหนดให้ $\alpha = -1.4$, $\beta = -0.2$, $p = 0, 1, 2$ และ $q = 0, 1, 2$ ค่าตัวแปรในปัญหาทั้งสอง ได้มาจากการวิเคราะห์ผลการวิจัยดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯที่บริเวณรังสิต โดย นวพล [3]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

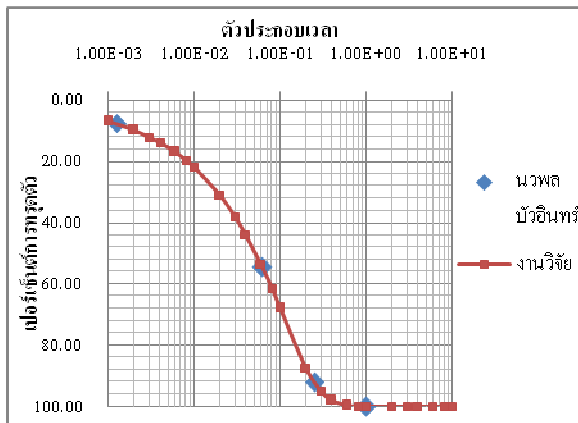
1. สร้างแบบจำลองความดันน้ำส่วนเกิน เพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การทรุดตัวของชั้นดินเหนียวไม่เอกพันธุ์ ที่มีความหนาจำกัดภายใต้ น้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัว โดยอาศัยทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำมิติเดียวสำหรับดินไม่เอกพันธุ์ของ Schiffman, R.L. and Gibson, R.E. [4] และทฤษฎีการอัดตัวระบายน้ำสำหรับดินเอกพันธุ์ เกือบอิมตัวของ Conte, E and Troncone, A. [5] สำหรับดินยืดหยุ่นเชิงเส้น ไม่เอกพันธุ์ เกือบอิมตัว

2. หาผลเฉลยความดันน้ำส่วนเกินโดยวิธีขึ้นประกอบอันตะ (Finite Element Method) แล้วตรวจสอบผลเฉลยที่ได้ในกรณีที่เป็นดินยืดหยุ่นเชิงเส้น เอกพันธุ์ อิมตัว โดยเทียบกับผลเฉลยของ Terzaghi, K. [1]



รูปที่ 2 อัตราการทรุดตัวที่ได้จากงานวิจัย และอัตราการทรุดตัวของ Terzaghi, K. [1]

รวมทั้งตรวจสอบผลเฉลยที่ได้ในกรณีที่เป็นดินยืดหยุ่นเชิงเส้นเอกพันธ์ อิ่มตัว โดยเทียบกับผลเฉลยของนवल [3]



รูปที่ 3 อัตราการทรุดตัวที่ได้จากงานวิจัย และอัตราการทรุดตัวของ นवल [3]

จากรูปที่ 2 และ 3 จะเห็นว่าอัตราการทรุดตัวที่นำมาเปรียบเทียบกับค่าจากงานวิจัยมีค่าใกล้เคียงกันมาก เมื่อได้ความดันน้ำส่วนเกินที่ตรวจสอบถูกต้องแล้ว นำไปคำนวณหาอัตราการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานครบริเวณรังสิต

3. ทำการสร้างแบบจำลองปัญหาที่นำมาวิเคราะห์ คือหาสมการควบคุมการอัดตัวระบายน้ำเทียม (Pseudo Consolidation) อาศัยกฎ 2 ข้อ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของก้อนดิน (การอัดตัวได้) กฎการไม่สูญหายของมวล (สมการความต่อเนื่อง) รวมกันสมมุติฐานของ Schiffman, R.L. and Gibson, R.E. [4] ยกเว้นน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินอัดตัวได้ตาม

สมมุติฐานของ Conte, E and Toncone, A [5] และไม่คิดน้ำหนักดิน

ได้สมการควบคุมการอัดตัวระบายน้ำสำหรับดินไม่เอกพันธ์ เกือบอิ่มตัว ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกทุกเพิ่มขึ้น นับพลาตันแล้วคงตัว

$$\frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial}{\partial z} \left(k(z) \frac{\partial u}{\partial z} \right) = m_v \left\{ 1 - \frac{(1-\eta_0)}{\left(\frac{m_v}{m_{v0}} \right) \eta_0 + (1-\eta_0)} \left[\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial \sigma}{\partial t} \right] \right\} \quad (6)$$

กำหนดให้

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามฟังก์ชันรูปแบบที่ 1 คือ

$$\frac{k(z)}{k_0} = \left(1 + \alpha \frac{z}{H} \right)^p \quad (7)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามฟังก์ชันรูปแบบที่ 2 คือ

$$\frac{k(z)}{k_0} = \left\{ 1 + (1 + \alpha)^p - \left[1 + \alpha \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right]^p \right\} \quad (8)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามฟังก์ชันรูปแบบที่ 1 คือ

$$\frac{m_v(z)}{m_{v0}} = (1 + \beta Z)^q \quad (9)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามฟังก์ชันรูปแบบที่ 2 คือ

$$\frac{m_v(z)}{m_{v0}} = \left\{ 1 + (1 + \beta)^q - \left[1 + \beta \left(1 - \frac{Z}{H} \right) \right]^q \right\} \quad (10)$$

และ

$$\eta = \left[1 - \frac{(1-\eta_0)}{\left(\frac{m_v}{m_{v0}} \right) \eta_0 + (1-\eta_0)} \right] \quad (11)$$

4. เขียนสมการควบคุมการอัดตัวระบายน้ำภายใต้ น้ำหนักบรรทุกทุกเพิ่มขึ้นนับพลาตันแล้วคงตัวในรูปแบบทั่วไปไว้ มิติ กำหนดให้

$$Z = \frac{z}{H} \quad (12)$$

$$T = \frac{k_0 t}{\gamma_w m_{v0} H^2} \quad (13)$$

$$U(Z, T) = \frac{u(z, t)}{q_s} \quad (14)$$

โดยที่

$u(z, t), U(Z, T)$ = ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

$z, Z, t, T, k(z), m_v(z), q_s(t)$ = ตัวแปรที่ทราบค่า

$p, q, \alpha, \beta, \eta$ = ตัวคงที่ค่าเลือก (Arbitrary Constant)

$\gamma_w, k_0, m_{v0}, \eta_0$ = ค่าคงตัว (Constant)

จัดรูปของสมการ ที่ (7), (8), (9), (10) ได้

$$k(Z) = \frac{k(z)}{k_0} = \{1 + \alpha Z\}^p \quad \text{หรือ} \quad (15)$$

$$k(Z) = \frac{k(z)}{k_0} = \{1 + (1 + \alpha)^p - [1 + \alpha(1 - Z)]^p\} \quad (16)$$

$$m_v(Z) = \frac{m_v(z)}{m_{v0}} = \{1 + \beta Z\}^q \quad \text{หรือ} \quad (17)$$

$$m_v(Z) = \frac{m_v(z)}{m_{v0}} = \{1 + (1 + \beta)^q - [1 + \beta(1 - Z)]^q\} \quad (18)$$

จากแคลคูลัส

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial U}{\partial Z} q_s = \frac{\partial U}{\partial Z} \frac{\partial Z}{\partial z} q_s = \frac{\partial U}{\partial Z} \frac{q_s}{H} \quad (19)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left\{ k(z) \frac{\partial u}{\partial z} \right\} = \frac{q_s}{H^2} \frac{\partial}{\partial Z} \left\{ k_0 k(Z) \frac{\partial U}{\partial Z} \right\} \quad (20)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial T} \frac{q_s k_0}{\gamma_w m_{v0} H^2} \quad (21)$$

แทนค่าสมการ (19), (20), (21) ลงในสมการ (6) ได้สมการควบคุมการอัดตัวระบายน้ำภายใต้หน้าทับรรทุกเพิ่มขึ้น นับปัดแล้วคงตัว ในรูปตัวแปรไร้มิติ ดังนี้

$$\frac{q_s}{\gamma_w H^2} \frac{\partial}{\partial Z} \left\{ k_0 k(Z) \frac{\partial U}{\partial Z} \right\} = m_{v0} m_v(Z) \left(1 + \frac{(1 - \eta_0)}{\eta_0 \left(\frac{m_v}{m_{v0}} \right)} \right) \left\{ \frac{q_s k_0}{\gamma_w m_{v0} H^2} \frac{\partial U}{\partial T} \right\} \quad (22)$$

หรือ

$$\frac{\partial}{\partial Z} \left\{ k(Z) \frac{\partial U}{\partial Z} \right\} = m_v(Z) \left(1 + \frac{(1 - \eta_0)}{\eta_0 \left(\frac{m_v}{m_{v0}} \right)} \right) \left\{ \frac{\partial U}{\partial T} \right\} \quad (23)$$

5. ทำการใส่เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้นลงในสมการ โดยที่เงื่อนไขขอบเขตมีอยู่ 3 กรณี

กรณีที่ 1 น้ำระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่าง

ในทางกายภาพ เมื่อน้ำระบายออกได้ทัน ความดันน้ำส่วนเกินที่ผิวบนและผิวล่าง ลดลงสู่ศูนย์

$$u(0, t) = u(H, t) = 0$$

หรือ

$$U(0, T) = U(1, T) = 0$$

กรณีที่ 2 น้ำระบายออกได้ที่ผิวล่าง แต่ระบายออกที่ผิวบนไม่ได้

ในทางกายภาพ เมื่อน้ำระบายออกไม่ได้ ความเร็วเต็มพื้นผิวที่ตำแหน่งนั้นเป็นศูนย์ เนื่องจากสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินไม่เป็นศูนย์ ดังนั้น ตามกฎของ Darcy ความลาดของชลศาสตร์จึงมีค่าเป็นศูนย์

ผิวบน

$$\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)_{0,t} = 0$$

หรือ

$$\left(\frac{\partial U}{\partial Z} \right)_{0,T} = 0$$

ผิวล่าง

$$U(1, T) = 0$$

กรณีที่ 3 น้ำระบายออกที่ผิวล่างไม่ได้ แต่ระบายออกที่ผิวบนได้

ในทำนองเดียวกัน เงื่อนไขขอบเขตเขียนได้ดังนี้

ผิวบน

$$U(0, T) = 0$$

ผิวล่าง

$$\left(\frac{\partial U}{\partial Z}\right)_{1,T} = 0$$

และเงื่อนไขเริ่มต้น 1 กรณี

เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัว ความดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้น มีค่าเป็น

$$u(z,0) = \eta(z)q_s$$

หรือ

$$U(Z,0) = \eta(Z)q_s$$

6. หาเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัว โดยวิธีขึ้นประกอบอันตะ (Finite Element Method) ศิริกันษา [6]

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการนำเอาสมการที่ (22), (23) มาแทนค่าตัวแปรลงไป จากนั้น ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในชั้นดิน ได้ผลดังรูปที่ 4 ถึง 21 ซึ่งจะเห็นอิทธิพลเนื่องจากปัจจัยต่างๆได้เด่นชัดยิ่งขึ้น

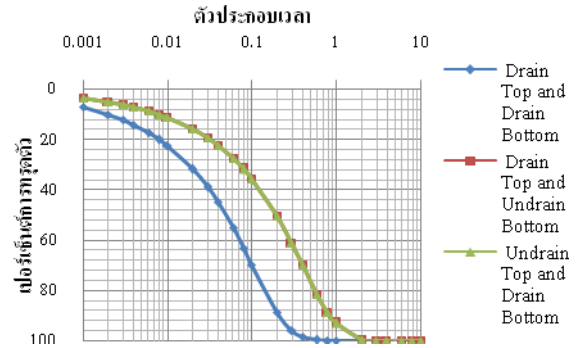
4.1 อิทธิพลของเงื่อนไขการระบายน้ำต่ออัตราการทรุดตัว

4.1.1 การอัดตัวระบายน้ำของชั้นดินเหนียวเอกพันธุ์

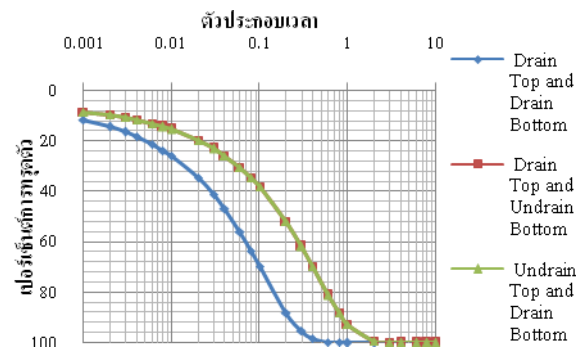
สำหรับการอัดตัวระบายน้ำของชั้นดินเหนียวเอกพันธุ์ กรณีที่น้ำสามารถระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่างของชั้นดิน เป็นเงื่อนไขที่มีความสามารถในการระบายน้ำได้มากที่สุด เนื่องจากมีทิศทางการระบายน้ำออกได้ทั้ง 2 ผิว จึงทำให้การอัดตัวระบายน้ำเพื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วกว่าเงื่อนไขที่มีการระบายน้ำออกเพียงทางเดียว การระบายน้ำออกได้ทั้ง 2 ทางทำให้ความดันน้ำส่วนเกินลดได้อย่างรวดเร็ว การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำจึงเกิดได้เร็ว

ส่วนกรณีน้ำสามารถระบายออกได้เฉพาะผิวบนได้ค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำเท่ากับกรณีน้ำสามารถระบายออกได้เฉพาะผิวล่าง เนื่องจากดินเหนียวเอกพันธุ์มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรคงตัวตลอดความลึก ดังนั้น กรณีน้ำสามารถระบายออกได้เฉพาะผิวบนจึงสมมาตรกับน้ำ

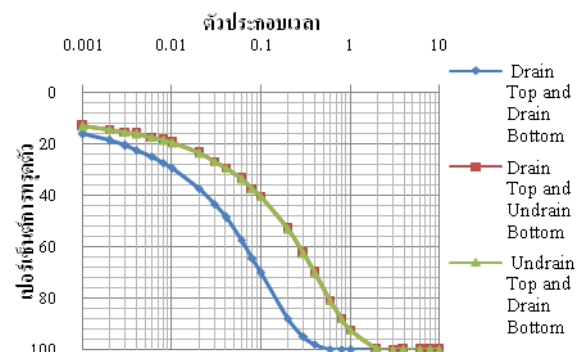
สามารถระบายออกได้เฉพาะผิวล่างดังรูปที่ 4 (ก), (ข), (ค), (ง), (จ)



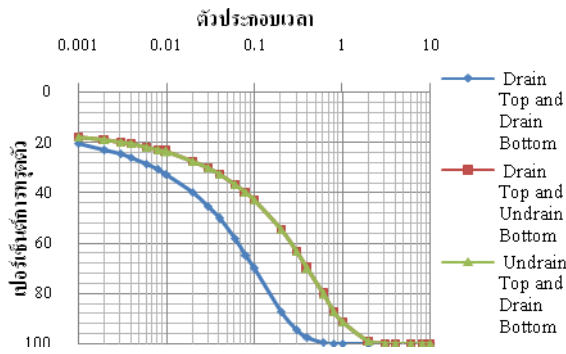
(ก) กรณีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 1



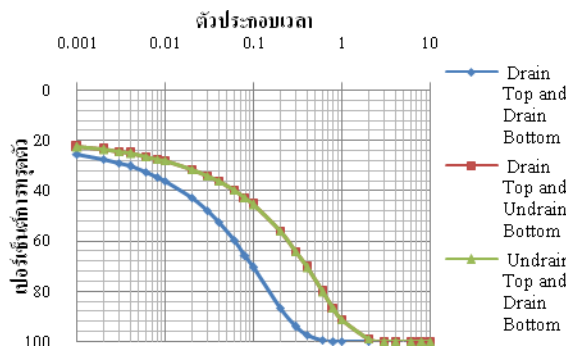
(ข) กรณีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.95



(ค) กรณีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.90

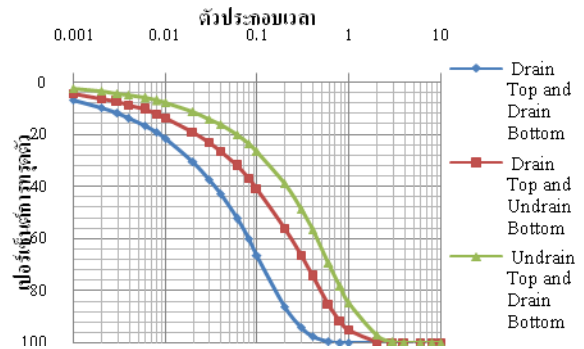


(ง) กรณีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.85



(จ) กรณีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.80

ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรมีค่าลดลง ความสามารถในการอัดตัวระบายน้ำเพิ่มมากขึ้น จากการวิจัยพบว่า ผลการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีอิทธิพลมากกว่าผลการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร จึงเป็นผลทำให้กรณีที่ทำให้มีการระบายน้ำออกได้ทางผิวบนเพียงทางเดียวเกิดการทรุดตัว เนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำเร็วกว่ากรณีที่ทำให้มีการระบายน้ำออกได้ทางผิวบนเพียงทางเดียวดังรูปที่ 5 (ก), (ข), (ค), (ง), (จ)



(ก) กรณีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 1

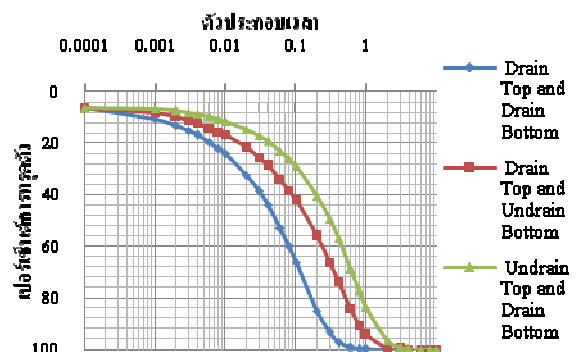
รูปที่ 4 อิทธิพลของเงื่อนไขการระบายน้ำต่ออัตราการทรุดตัว กรณีดินเอกพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรคงตัว

4.1.2 การอัดตัวระบายน้ำของชั้นดินเหนียวไม่เอกพันธ์

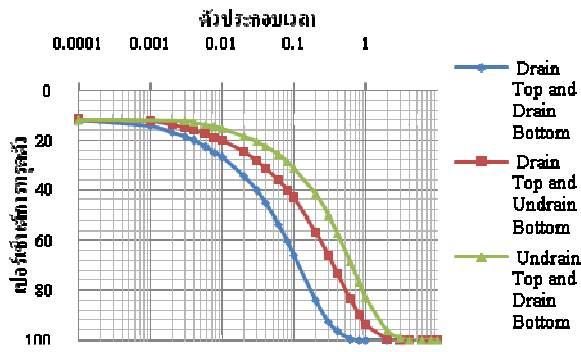
กรณีที่น้ำสามารถระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่างของชั้นดินยังคงเป็นกรณีที่มีความสามารถในการระบายน้ำได้มากที่สุด แต่เนื่องจากเป็นชั้นดินเหนียวไม่เอกพันธ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามความลึก

ที่ความลึกเพิ่มมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับที่ความลึกน้อยๆ

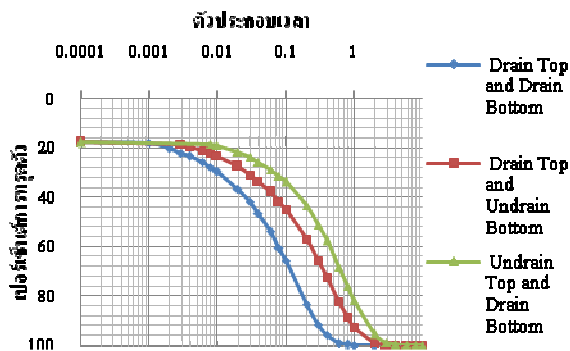
ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีค่าลดลง ความสามารถในการอัดตัวระบายน้ำลดตาม แต่ในขณะที่



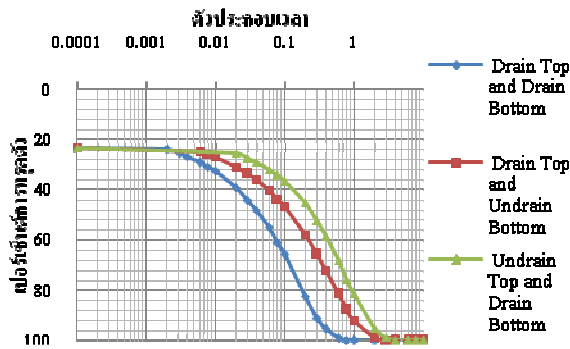
(ข) กรณีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.95



(ค) กรณีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.90



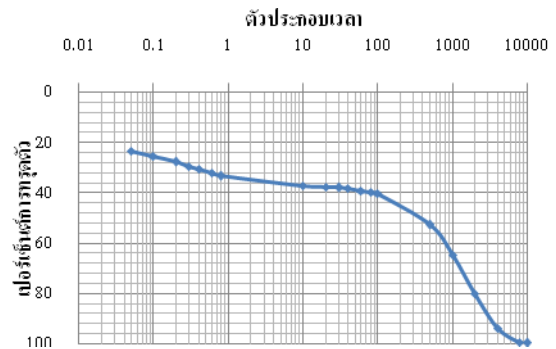
(ง) กรณีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.85



(จ) กรณีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.80

รูปที่ 5 อธิบายของเงื่อนไขการระบายน้ำต่ออัตราการทรุดตัว กรณีดิน ไม่เอกพันธ์ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามสมการ (7) และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามสมการ (9) โดยที่ $\alpha = -0.3$, $\beta = -0.2$, $p = 2$ และ $q = 2$

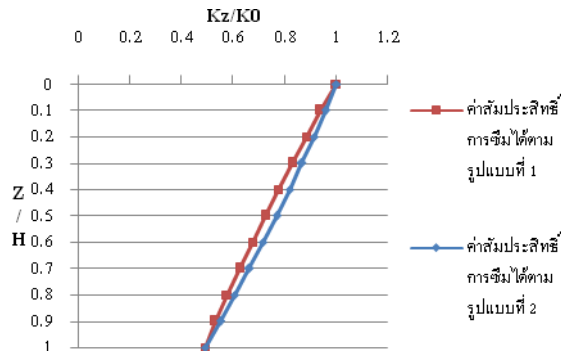
กรณีน้ำสามารถระบายออกได้เฉพาะผิวล่างของชั้นดินที่มีค่าตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.80 และมีค่าของตัวแปร α ในสมการค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้เท่ากับ -1.4 เป็นกรณีที่อัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นภายใต้น้ำหนักบรรทุก แต่กระจายสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นนับพลันแล้วคงตัวช้าที่สุด โดยเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวเท่ากับ 80 ที่ตัวประกอบเวลาเท่ากับ 2,000 ดังรูปที่ 6



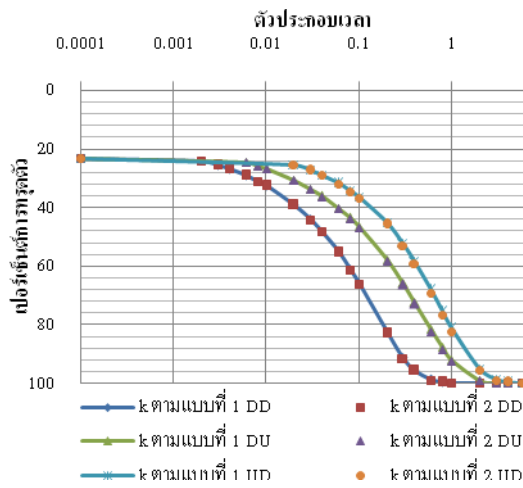
รูปที่ 6 อัตราการทรุดตัวกรณีน้ำสามารถระบายออกได้เฉพาะผิวล่างของชั้นดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามสมการ (7) และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามสมการ (10) โดยที่ $\alpha = -1.4$, $\beta = -0.2$, $p = 2$, $q = 2$

4.2 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ที่มีการกระจายค่าตามสมการ (7) และ (8) พบว่าเมื่อระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีค่าเป็น 0 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ที่ได้มีค่าคงตัว และเมื่อระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีค่าเป็น 1 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ที่ได้มีค่าลดลงเป็นเส้นตรงเหมือนกัน แต่เมื่อระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีค่าเป็น 2 จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามรูปแบบที่ 2 มีค่ามากกว่ารูปแบบที่ 1 เพียงเล็กน้อยดังรูปที่ 7 เนื่องจากเป็นสมการที่ใช้เป็นแบบจำลองข้อมูลชุดเดียวกัน ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวสำหรับดินไม่เอกพันธ์มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 8



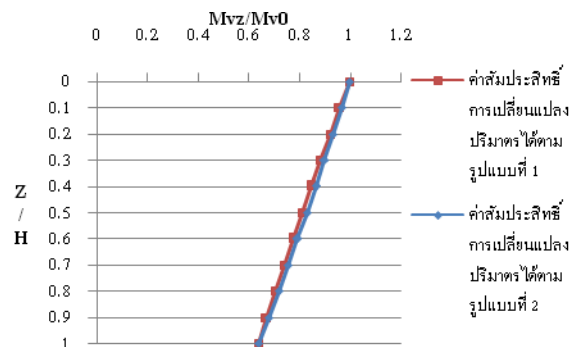
รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามความลึกชั้นดิน กรณีดินไม่เอกพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามฟังก์ชันแบบที่ 1 ตามสมการ (7) และแบบที่ 2 ตามสมการ (8)



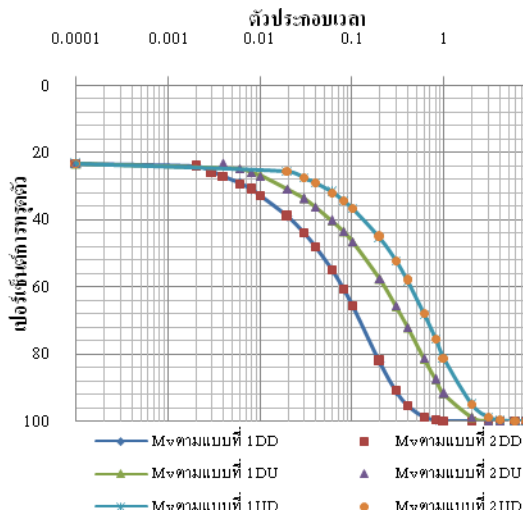
รูปที่ 8 อิทธิพลของการเปลี่ยนรูปแบบสมการค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ ต่ออัตราการดูดตัว กรณีดินไม่เอกพันธ์ เกือบอิ่มตัว $\eta_0 = 0.80$ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามฟังก์ชันแบบที่ 1 ตามสมการ (7) และแบบที่ 2 ตามสมการ (8) ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามสมการ (9) $\beta = -0.2$, $\alpha = -0.3$, $p=q = 2$ น้ำระบายออกจากผิวบนและผิวล่างได้ (DD), น้ำระบายออกจากผิวบนได้อย่างเดียว (DU) และน้ำระบายออกจากผิวล่างได้อย่างเดียว (UD) ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัว

4.3 อิทธิพลของการเปลี่ยนรูปแบบฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร

เมื่อรูปแบบฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเปลี่ยนจากสมการ (9) ไปเป็นสมการ (10) ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัว พบว่า อัตราการทรุดตัวสำหรับดิน ไม่เอกพันธ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรในแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีค่าเท่ากัน เมื่อระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรมีค่าเท่ากับ 0 และ 1 แต่เมื่อระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรมีค่าเท่ากับ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ได้ อันเนื่องมาจากรูปแบบฟังก์ชันที่ 1 และ 2 มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นผลทำให้อัตราการทรุดตัวที่ได้ อันเนื่องมาจากการใช้สมการฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ต่างกันมีค่าเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามความลึกชั้นดิน กรณีดินไม่เอกพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามฟังก์ชันแบบที่ 1 ตามสมการ (7) และแบบที่ 2 ตามสมการ (8)

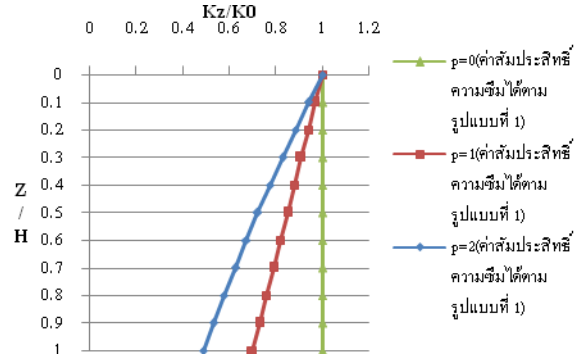


รูปที่ 10 อิทธิพลของการเปลี่ยนรูปแบบสมการค่า

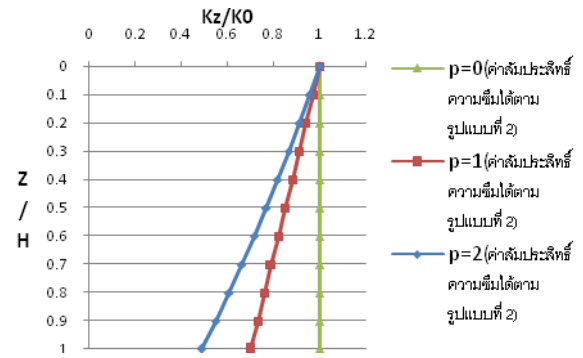
สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ออัตราการหดตัว
 กรณีดินไม่เอกพันธ์ เกือบอิมตัว $\eta_0 = 0.80$ ซึ่งมีค่า
 สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามฟังก์ชันแบบที่ 1
 ตามสมการ (9) และแบบที่ 2 ตามสมการ (10) ตามลำดับ
 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ ตามสมการ (7) โดย
 $\alpha = -0.3$, $\beta = -0.2$, $p = 2$ และ $q = 2$ น้ำระบาย
 ออกจากผิวบนและผิวล่างได้ (DD), น้ำระบายออกจากผิว
 บนได้อย่างเดียว (DU) และน้ำระบายออกจากผิวล่างได้
 อย่างเดียว (UD) ภายใต้ให้น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นจบบดแล้ว
 คงตัว

4.4 อิทธิพลของระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึม
 ได้ต่ออัตราการหดตัว

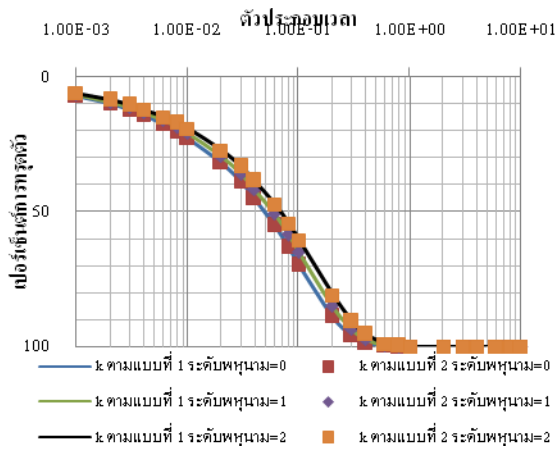
เนื่องจากสมการค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามสมการ
 ที่ (7) และ (8) เมื่อระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้
 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0, 1, 2 ตามลำดับ ดังรูปที่ 11, 12



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตาม
 ความลึกชั้นดิน กรณีดินไม่เอกพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์
 การซึมได้ตามสมการ (9)



รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตาม
 ความลึกชั้นดิน กรณีดินไม่เอกพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์
 การซึมได้ตามสมการ (10)



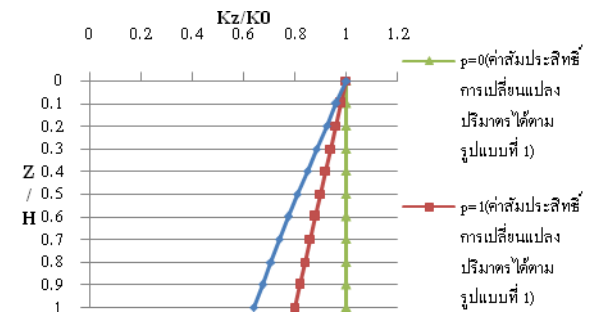
รูปที่ 13 อิทธิพลของระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ ต่อเปอร์เซ็นต์การทรุดตัว กรณีดินไม่เอกพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามฟังก์ชันแบบที่ 1 ตามสมการ (7) และฟังก์ชันแบบที่ 2 ตามสมการ (8) ซึ่งมี ระดับพหุนาม 0, 1 และ 2 ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรคงตัว น้ำระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่าง ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกทุกคงที่

จากรูปที่ 13 จะเห็นว่าเมื่อระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ เปลี่ยนไปค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้เปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้เพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ลดลง จึงทำให้ค่าอัตราการทรุดตัวอันเนื่องมาจากการอัดตัวระบายน้ำช้า

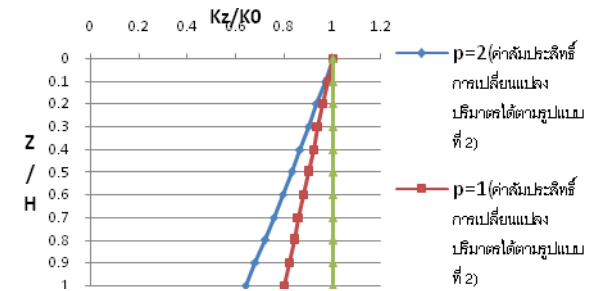
4.5 อิทธิพลของระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ออัตราการทรุดตัว

ระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรในแบบที่ 1 ตามสมการ (9) และแบบที่ 2 ตามสมการ (10) เมื่อเปลี่ยนระดับพหุนามจาก 0 ให้เพิ่มขึ้นเป็นระดับพหุนาม 1 และ 2 ตามลำดับดังรูปที่ 14, 15 จากการพิจารณาที่ค่า m_{v0} เดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจะมีค่าลดลง เมื่อระดับพหุนามเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเค้นประสิทธิผลที่เกิดขึ้นในดินมากขึ้น เนื่องจากค่าโมดูลัสของดินมีค่ามากขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรลดลง ส่งผลให้อัตราการทรุดตัวสำหรับดินไม่เอกพันธ์ไวขึ้น และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์

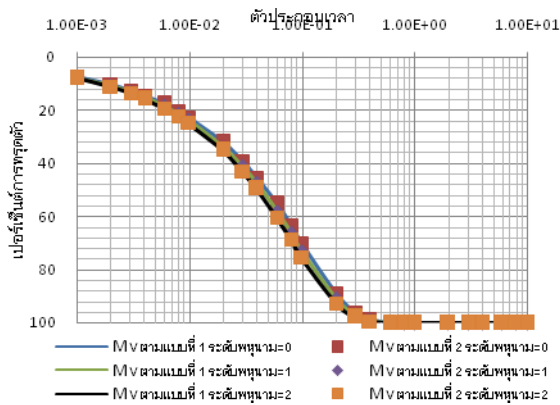
การเปลี่ยนแปลงปริมาตรระหว่างรูปแบบที่ 1 ตามสมการ (9) กับรูปแบบที่ 2 ตามสมการ (10) ก็ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 16



รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามความลึกชั้นดิน กรณีดินไม่เอกพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามสมการ (9)



รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามความลึกชั้นดิน กรณีดินไม่เอกพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามสมการ (10)

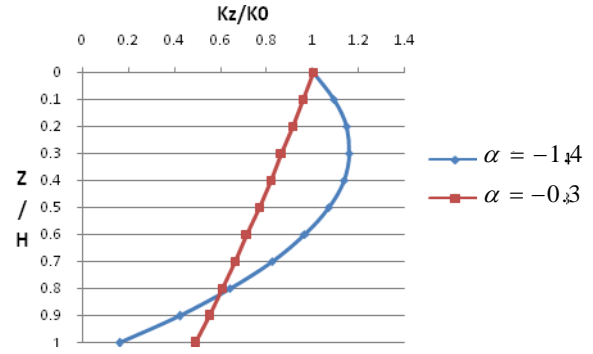


รูปที่ 16 อิทธิพลของระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์

การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ต่ออัตราการทำลายตัว กรณีดินไม่เอกพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามฟังก์ชันแบบที่ 1 ตามสมการ (9) และฟังก์ชันแบบที่ 2 ตามสมการ (10) ซึ่งมีระดับพหุนาม 0, 1 และ 2 ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรคงตัว น้ำระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่าง ภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงตัว

4.6 อิทธิพลของตัวแปร α ในสมการค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ต่ออัตราการทำลายตัว

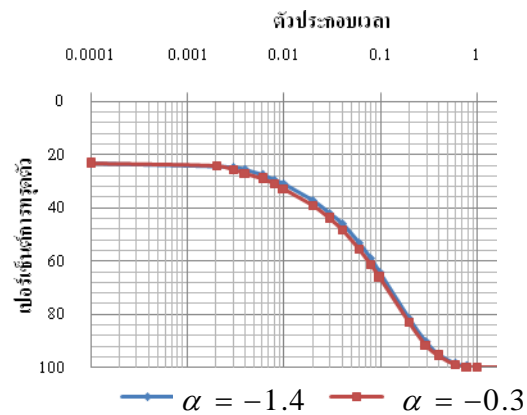
ฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้รูปแบบที่ 1 ตามสมการ (7) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้รูปแบบที่ 2 ตามสมการ (8) เนื่องจากค่าของสัมประสิทธิ์การซึมได้ รูปแบบที่ 2 มีค่ามากกว่ารูปแบบที่ 1 ทำให้อัตราการทำลายตัวที่เร็วกว่าในทุกกรณี จึงพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้รูปแบบที่ 2 เมื่อแทนค่าตัวแปร α ให้มีค่าเท่ากับ -1.4 กับ -0.3 แล้วเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้จากรูปที่ 17



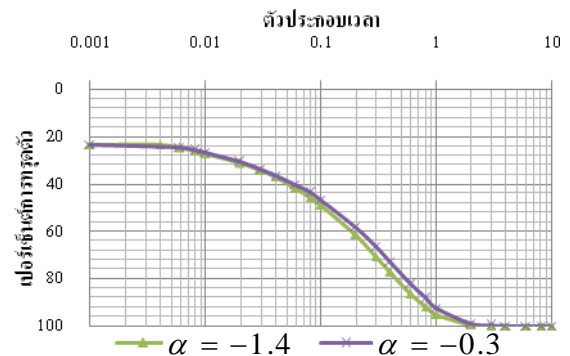
รูปที่ 17 ค่าของสัมประสิทธิ์การซึมได้ รูปแบบที่ 2

โดยที่ α มีค่าเท่ากับ -1.4 กับ -0.3

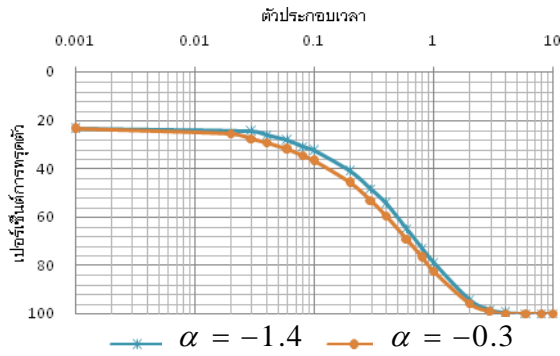
พบว่าเมื่อตัวแปร α มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าอัตราการทำลายตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัวที่ได้เร็วขึ้นตาม เพราะเมื่อตัวแปร α มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้เพิ่มขึ้น จึงทำให้น้ำระบายออกได้มากขึ้น ส่งผลให้อัตราการทำลายตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัวเร็วขึ้น



(ก) กรณีน้ำระบายออกจากผิวบนและผิวล่างได้ (DD)



(ข) กรณีน้ำระบายออกจากผิวบนได้อย่างเดียว (DU)



(ค) กรณีน้ำระบายออกจากผิวล่างได้อย่างเดียว(UD)

รูปที่ 18 อิทธิพลของตัวแปร α ในสมการค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ ต่อค่า เปอร์เซ็นต์การหลุดตัว กรณีดินไม่เอกพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามสมการ (8) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ตามสมการ (9) โดย $\beta = -0.2, p = q = 2$ ทั้ง 3 กรณี

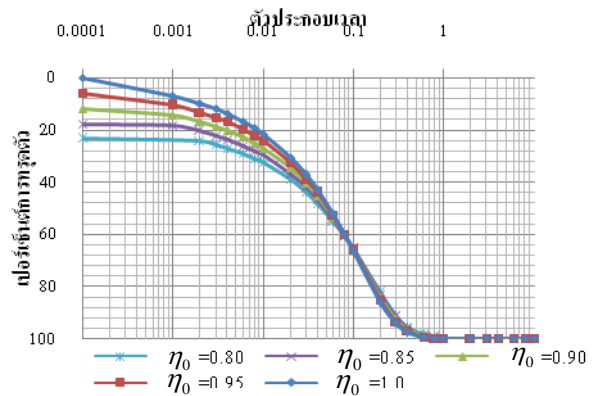
จากรูปที่ 18 พิจารณาได้ว่า กรณีน้ำระบายออกจากผิวบนและผิวล่างได้ อัตราการหลุดตัวของดินที่มีค่า α เท่ากับ -0.3 มีเร็วกว่าอัตราการหลุดตัวของดินที่มีค่า α เท่ากับ -1.4 เพียงเล็กน้อย เนื่องจากที่ผิวบนมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีค่าเท่ากันแต่ที่ผิวล่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินที่มีค่า α เท่ากับ -0.3 มีค่ามากกว่า อัตราการหลุดตัวจึงเร็วกว่า

สำหรับกรณีน้ำระบายออกจากผิวบนได้อย่างเดียว อัตราการหลุดตัวของดินที่มีค่า α เท่ากับ -1.4 เร็วกว่าอัตราการหลุดตัวของดินที่มีค่า α เท่ากับ -0.3 และกรณีน้ำระบายออกจากผิวล่างได้อย่างเดียว อัตราการหลุดตัวของดินที่มีค่า α เท่ากับ -1.4 ช้ากว่าอัตราการหลุดตัวของดินที่มีค่า α เท่ากับ -0.3 เพราะค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของ α เท่ากับ -1.4 มีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินที่มีค่า α เท่ากับ -0.3 ที่ความลึกน้อยๆ ดังนั้นเมื่อให้น้ำระบายออกเฉพาะผิวบน จึงทำให้อัตราการหลุดตัวของดินที่มีค่า α เท่ากับ -1.4 เร็วกว่าอัตราการหลุดตัวของดินที่มีค่า α เท่ากับ -0.3 แต่เมื่อให้น้ำระบายออกเฉพาะผิวล่าง ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินที่มีค่า α เท่ากับ -1.4 มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินที่มี

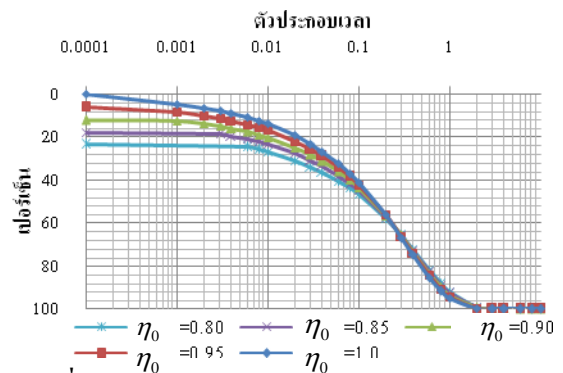
ค่า α เท่ากับ -0.3 จึงเป็นผลทำให้อัตราการหลุดตัวของดินที่มีค่า α เท่ากับ -1.4 ช้ากว่าอัตราการหลุดตัวของดินที่มีค่า α เท่ากับ -0.3

4.7 อิทธิพลของตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดินต่ออัตราการหลุดตัว

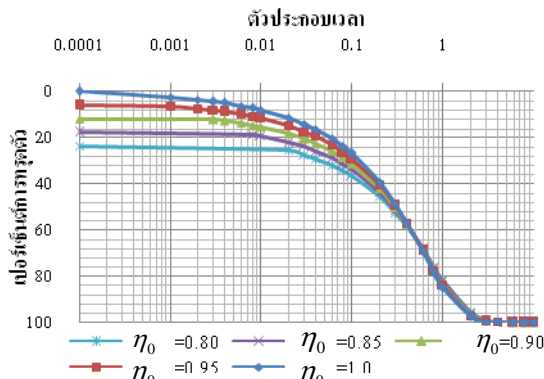
เมื่อแทนค่าตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 และ 1.0 ตามลำดับ



รูปที่ 19 อิทธิพลของตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 และ 1.0 ตามลำดับต่ออัตราการหลุดตัว กรณีน้ำระบายออกจากผิวบนและผิวล่างได้ (DD) ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นจับปล้นแล้วคงตัว



รูปที่ 20 อิทธิพลของตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 และ 1.0 ตามลำดับต่ออัตราการหลุดตัวกรณีน้ำระบายออกจากผิวบนได้อย่างเดียว (DU) ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นจับปล้นแล้วคงตัว



รูปที่ 21 อิทธิพลของตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 และ 1.0 ตามลำดับต่ออัตราการทรุดตัวกรณีน้ำระบายออกจากผิวล่างได้อย่างเดียว (UD) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัว

จากรูปที่ 19 ถึง 21 จะเห็นว่าเวลาในช่วงแรก อัตราการทรุดตัวอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนค่าตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดินมีค่าเท่ากับ 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 และ 1.0 ซ้ำลงตามลำดับ เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกัน เนื่องจาก ยิ่งค่าตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินน้อย การอัดตัวได้ของน้ำในช่องระหว่างเม็ดดินยิ่งมาก อัตราการทรุดตัวจึงเกิดขึ้นเร็วตาม แต่เมื่อเวลาผ่านไป อัตราการทรุดตัวอันเนื่องมาจากการอัดตัวระบายน้ำออกช้าลง เพราะการอัดตัวได้มากของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทำให้น้ำสะสมอยู่ในก้อนดินมาก

5. สรุปผลการวิจัย

จากปัญหาที่นำมาวิจัย คือ ปัญหาการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำสำหรับดินเหนียวยึดหยุ่นเชิงเส้นไม่เอกพันธ์ เกือบอิมิตัวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเปลี่ยนแปลงเชิงพหุนามตลอดความหนาของชั้นดิน สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 เงื่อนไขการระบายน้ำของชั้นดิน มีผลต่ออัตราการทรุดตัว ดังนี้

- กรณีที่น้ำสามารถระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่างของชั้นดินให้อัตราการทรุดตัวเร็วที่สุด ไม่ว่าจะดินเอกพันธ์หรือไม่เอกพันธ์ อิมิตัวหรือไม่อิมิตัวก็ตาม
- กรณีน้ำสามารถระบายออกได้เฉพาะผิวบน อัตราการทรุดตัวช้ากว่ากรณีที่น้ำสามารถระบายออกได้ทั้งผิวบนและผิวล่างของชั้นดิน และมีค่าเท่ากับกรณีน้ำสามารถระบายออกได้เฉพาะผิวล่าง สำหรับดินเอกพันธ์ แต่เร็วกว่ากรณีที่น้ำสามารถระบายออกได้เฉพาะผิวล่างสำหรับดินไม่เอกพันธ์ ไม่ว่าจะดินอิมิตัวหรือไม่อิมิตัวก็ตาม

กรณีน้ำสามารถระบายออกได้เฉพาะผิวล่างของชั้นดินที่มีตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน (η_0) เท่ากับ 0.80 และมีค่าของตัวแปร α ในสมการค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้เท่ากับ -1.4 เป็นกรณีที่อัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นช้าที่สุดภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นฉับพลันแล้วคงตัว เปร็เซ็นต์การทรุดตัวเท่ากับ 80 ที่ตัวประกอบเวลาเท่ากับ 2,000

5.2 อัตราการทรุดตัวของดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามสมการแบบที่ 1 $\frac{k(z)}{k_0} = (1 + \alpha \frac{z}{H})^p$ ช้ากว่าดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ตามสมการแบบที่ 2

$$\frac{k(z)}{k_0} = \left\{ 1 + (1 + \alpha)^p - \left[1 + \alpha \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right]^p \right\}$$

แต่อัตราการทรุดตัวของดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามสมการแบบที่ 1 $\frac{m_v(z)}{m_{v0}} = (1 + \beta \frac{z}{H})^q$ กลับเร็วกว่าดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามสมการแบบที่ 2

$$\frac{m_v(z)}{m_{v0}} = \left\{ 1 + (1 + \beta)^q - \left[1 + \beta \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right]^q \right\}$$

5.3 เมื่อระดับพหุนามในฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีค่าเพิ่มขึ้น จาก $p = 0$ เป็น $p = 1$ และ 2 ตามลำดับ อัตราการทรุดตัวช้าลง แต่เมื่อระดับพหุนามในฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้มีค่าเพิ่มขึ้น จาก $p = 0$ เป็น $p = 1$ และ 2 ตามลำดับ อัตราการทรุดตัวเร็วขึ้น

5.4 การเปลี่ยนค่าของตัวแปร α ในสมการค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ รูปแบบที่ 2 $\frac{k(z)}{k_0} = \left\{ 1 + (1 + \alpha)^p \left[1 + \alpha \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right]^p \right\}$

เมื่อค่า α เปลี่ยนจาก -1.4 เป็น -0.3 อัตราการทรุดตัวขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการระบายน้ำออกจากชั้นดิน

- กรณีน้ำระบายออกจากผิวบนและผิวล่างได้ อัตราการทรุดตัวเร็วขึ้น
- กรณีน้ำระบายออกจากผิวบนได้อย่างเดียว อัตราการทรุดตัวช้าลง
- กรณีน้ำระบายออกจากผิวล่างได้อย่างเดียว อัตราการทรุดตัวเร็วขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนค่า α จาก -1.4 เป็น -0.3

5.5 อัตราการทรุดตัวเร็วขึ้นเมื่อตัวแปรแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินในสภาวะไม่มีการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง เพิ่มขึ้น

6. อักษรย่อและสัญลักษณ์

H	คือ	ความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อน
k_0	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแนวตั้งที่ระดับผิวบนของชั้นดินเหนียวอ่อน
$k(z)$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแนวตั้งที่ระดับความลึก Z
m_{v0}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ระดับผิวบนของชั้นดินเหนียวอ่อน

$m_v(z)$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ระดับความลึก Z
p	คือ	ค่าระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้
q	คือ	ค่าระดับพหุนามของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร
q_s	คือ	ค่าน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่กระจาย
t	คือ	เวลา
T	คือ	ตัวแปรไร้มิติของตัวประกอบเวลา
u	คือ	ค่าความดันน้ำส่วนเกิน
U	คือ	ตัวแปรไร้มิติของน้ำหนักบรรทุก
z	คือ	ความลึกวัดจากผิวบนของชั้นดินเหนียวอ่อน
Z	คือ	ตัวแปรไร้มิติของความลึก
α	คือ	ค่าคงตัวของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้
β	คือ	ค่าคงตัวของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร
γ_w	คือ	หน่วยน้ำหนักต่อ 1 หน่วยปริมาตรของน้ำ (Unit Weight of Water)
η	คือ	ค่าตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน
η_0	คือ	ค่าตัวแปรเสริมความดันในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ผิวบนของชั้นดิน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Terzaghi, K., (1943). Theoretical Soil Mechanics. John Wiley and Sons, Inc., New York, August, pp.285-289.
- [2] Skempton, A.W. and Henkel, D.J., (1957). Tests on London Clay From Deep Borings at Paddington, Victoria and the South Bank. Proceedings, 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, England, Vol.1, pp.100-106.
- [3] นวพล บัวอินทร์. (2549). การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำของดินไม่เอกพันธ์ภายใต้ค่าน้ำหนักบรรทุกเวียนซ้ำ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] Schiffman, R.L., and Gibson, R.E., (1964). Consolidation of Nonhomogeneous Clay Layer. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Civil Engineers, Vol.90, No.SM5, pp.1-30.
- [5] Conte, E and Troncone, A (2006). One-dimensional consolidation under general time-dependent loading. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 43, pp. 1107-1116
- [6] ศิริกันยา เลาสุวรรณ. (2553). อัตราการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวระบายน้ำของชั้นดินเหนียวไม่เอกพันธ์เกือบอิมตัว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.