

การศึกษาผลของดินที่ถูกรบกวนรอบแถบระบายน้ำตามแนวตั้งต่อประสิทธิภาพการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียว กรุงเทพฯ

Study on the influence of smear zone surrounding prefabricated vertical drains to performance of consolidation

ธนัท ทิพย์มณี^{1*}, ธนัท ชูอุปการ² และ ธนิต เฉลิมยานนท์³

³ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา

*Corresponding author; E-mail Tanan.c@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของดินที่ถูกรบกวน (Smear Zone) จากการติดตั้งแถบระบายน้ำตามแนวตั้ง ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) ที่เกิดขึ้น ระหว่างการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีระบบสุญญากาศร่วมกับ PVD ของชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ โดยในการวิเคราะห์จะแบ่งขอบเขตของดินที่ถูกรบกวนรอบ PVD ออกเป็น 3 โซนหลัก 1).โซนที่ติดกับ PVD (Highly Disturbed Zone) 2).โซนที่ได้รับผลกระทบเล็กน้อย (Marginal Disturbance Zone) และ 3).โซนที่ไม่ได้รับผลกระทบ (Insignificant Disturbance Zone) [8] ในแต่ละโซนจะมีค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในมวลดินที่แตกต่างกัน และให้ค่าลดลงเป็นเชิงเส้นเข้าหา PVD [11] โดยจะกำหนดขอบเขตการทดลอง ที่จะศึกษาพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ตัวดังนี้ 1) ค่าอัตราส่วนระหว่างระยะของดินที่ถูกรบกวน (Smear zone) กับ ขนาดของ mandrel (Extent Ratio), d_s/d_m อยู่ระหว่าง 2 ถึง 5 เท่า 2) ค่าอัตราส่วนของความสามารถซึมผ่าน (Permeability Ratio) บริเวณดินที่ถูกรบกวน (Smear Zone) กับ บริเวณดินที่ไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Zone), k_h/k_s อยู่ระหว่าง 2 ถึง 6 เท่า และ 3) แบ่งจำนวนของพื้นที่ที่ถูกรบกวน (Smear Zone) ออกเป็น 2 ถึง 5 โซน [11] โดยการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวและแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นของแต่ละเคสตัวอย่าง จะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โปรแกรม Plaxis 2D ผลจากการศึกษาการพิจารณาผลของพื้นที่ที่ถูกรบกวน (Smear zone) จากการติดตั้งแถบระบายน้ำตามแนวตั้ง (PVD) พบว่าค่าของ k_h/k_s มีผลต่อการทรุดตัวสูงสุดโดยจากการทดลองช่วง 2-6 เท่า ค่าของเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% จะอยู่ที่ 191-420 วัน ส่วนค่าของ d_s/d_m จากการทดลองช่วง 2-5 เท่า ค่าของเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% จะอยู่ที่ 191-268 วัน และค่าของ n จากการทดลองช่วง 1-5 เท่า ค่าของเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% จะอยู่ที่ 110-268 วันตามลำดับ

คำสำคัญ: แถบระบายน้ำตามแนวตั้ง, สุญญากาศ, การอัดตัวคายน้ำ,

Abstract

This project studies the influence of smear zone on the installation of prefabricated vertical drains that affects the distribution efficiency of excess water pressure. During application vacuum consolidation for the improvement of soft Bangkok clay. In the analysis, the perimeter of disturbed soil around PVD was divided into (iii) main zones: (i) (Highly disturbed zone), (ii) Marginal disturbance zone., and (iii). Insignificant disturbance zone (Rujikiatkamjorn 2008) In each zone there is a different value of water permeability in the soil masses. and a linear decrease towards PVD (Indraratna et al. 2014). To study all 3 parameters as follows: 1) the ratio between the distance of the disturbed soil (Smear zone) and the size of the mandrel (Extent Ratio), d_s/d_m is between 2 and 5 times 2) The permeability ratio of the smear zone and the undisturbed zone, k_h/k_s , was between 2 and 6 times, and 3) Divided the number of smear zones into 2 to 5 zones [11] By analyzing to compare the values of excess water pressure generated in each sample case. The finite element method by Plaxis 2D software, The results from the study of considering the effect of the smear zone from the installation of the prefabricated vertical drains (PVD) showed that the value of k_h/k_s had the highest slump effect from 2-6 times experimental range. The value of dehydration compression time at 90% is 191-420 days, while the value of d_s/d_m from the experiment ranges from 2-5 times. The value of dehydration compression time at 90% is 191-268 days and the value of n from the experiment ranges from 1 to 5 times. The value of dehydration compression time at 90% is 110-268 days respectively.

Keywords: Prefabricated Vertical Drains, Vacuum, Consolidation

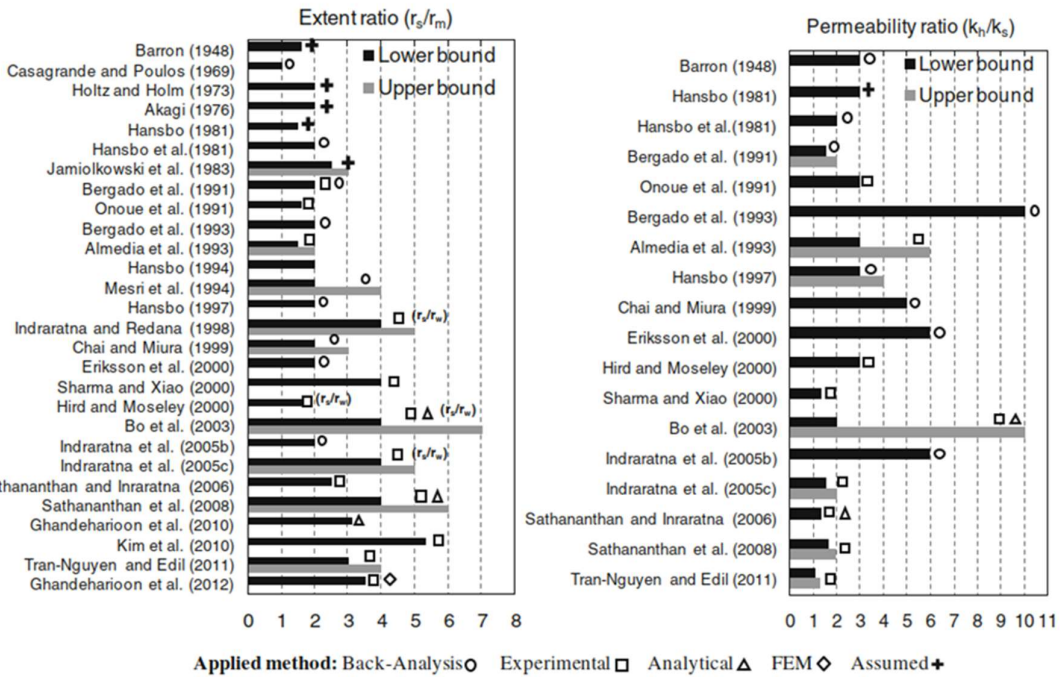
1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันปัญหาการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนของพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยเป็นปัญหาสำคัญในงานก่อสร้างไม่ว่าจะเป็น ถนน อาคาร หรือการใช้ดินถม โดยการทรุดตัวที่เกิดขึ้นของดินเหนียวอ่อนจะเกิดขึ้นภายหลังได้รับน้ำหนักกดทับจากสิ่งก่อสร้าง ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นทันทีหรือภายหลังการก่อสร้างก็ได้ เนื่องจากดินเหนียวมีช่องว่างในมวลดินมากและการระบายน้ำจากน้ำหนักกดทับยาก เมื่อได้รับน้ำหนักกดทับจะค่อยๆยุบตัว และทำให้โครงสร้างอาคารมีปัญหาขึ้นภายหลังการก่อสร้าง

สำหรับการก่อสร้างถนน งานดินถม และงานดินขุด จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Improvement) ให้ดินมีกำลังรับน้ำหนักมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้ Vertical Drains ด้วยการติดตั้งแถบระบายน้ำตามแนวตั้ง (Prefabricated Vertical Drain; PVD) ร่วมกับแรงดันสุญญากาศ Vacuum Pressure [14] ซึ่งเป็นการนำเอาระบบสุญญากาศ

(Soil Improvement) ของวิธีดังกล่าว เพื่อกำหนดระยะเวลาในการก่อสร้างนั้น ในปัจจุบันการวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวให้ใกล้เคียงกับพื้นที่ในสนาม จะต้องใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยจากการศึกษาพบว่าค่าของพารามิเตอร์ [12] ทั้ง 1) ค่าอัตราส่วนระหว่างระยะของดินที่ถูกרבกวน (Smear Zone) กับ ขนาดของ mandrel (Extent Ratio), d_s/d_m 2) ค่าอัตราส่วนของความสามารถซึมผ่าน (Permeability Ratio) บริเวณดินที่ถูกרבกวน (Smear Zone) กับบริเวณดินที่ไม่ถูกรบกวน (Undisturbed zone), k_r/k_s ยังมีค่าที่หลากหลายอยู่ดังแสดงในรูปที่ 1 [12]

ดังนั้นในการวิจัยนี้จะใช้ค่าของ $d_s/d_m = 2$, $k_r/k_s = 2$ เป็นค่าหลัก เนื่องจากเป็นค่าที่นิยมใช้กันมาก เปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น เพื่อแสดงผลของการทรุดตัวและการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นรอบแถบระบายน้ำตามแนวตั้ง (Prefabricated Vertical Drain; PVD) สำหรับการศึกษาเพื่อหาความสำคัญของพารามิเตอร์ของแต่ละตัวว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) มากน้อยเพียงใด



รูปที่ 1 พารามิเตอร์ของพื้นที่ที่ถูกרבกวน (Smear Zone) ในงานวิจัยต่างๆ

มาใช้ทดแทนดินถม (Surcharge) โดยใช้แรงดันลบ (Negative Pore Pressure) กระจายเข้าสู่ดิน เพื่อดูดน้ำและอากาศออกจากชั้นดินเหนียวอ่อนผ่านแถบระบายน้ำตามแนวตั้ง (Prefabricated Vertical Drain; PVD) วิธีดังกล่าวให้แรงกระทำ 70-90 kPa ได้ทันทีหลังเปิดปั๊มสุญญากาศ โดยในการทำนaylorการทรุดตัวของการปรับปรุงคุณภาพดิน

2. ข้อมูลพื้นฐาน

จากการเจาะสำรวจและทดสอบก่อนปรับปรุงคุณภาพดิน บริเวณถนนพิษณุโลก กรุงเทพมหานครเพื่อตรวจสอบลักษณะชั้นดินโดยการเก็บตัวอย่างดินแบบเจาะฉีดล้าง (Wash Boring) จำนวน 1 หลุมความ

ลึก 16.45 เมตรโดยสามารถสรุปค่าคุณสมบัติได้ดังรูปที่ 2 และรายละเอียดของชั้นดินต่างดังนี้

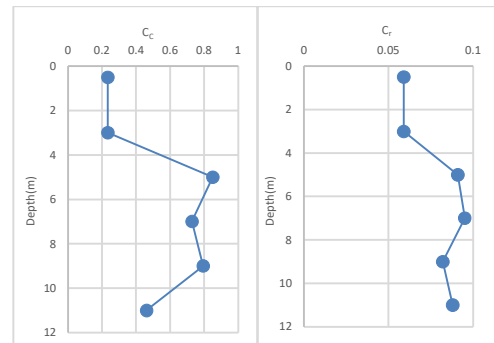
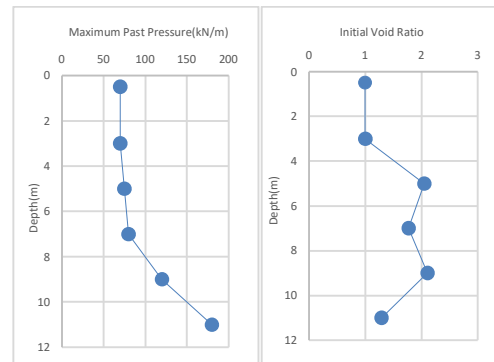
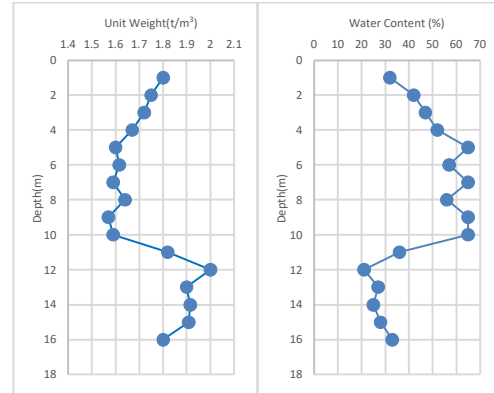
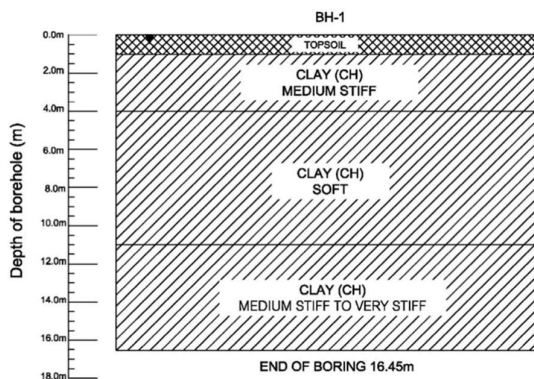
ดินชั้นที่ 1 หนาโดยประมาณ 4 เมตร เป็นชั้นดินเหนียว (CH) แข็งปานกลาง (Medium Stiff) มีค่า S_u เท่ากับ 2.81 – 3.50 ตัน/ตารางเมตร ค่า

ความชื้นธรรมชาติ (W_n) เท่ากับ 32.5-47.4 % ค่าพิกัดเหลว (LL) เท่ากับ 71.4% ค่าพิกัดพลาสติก (PL) เท่ากับ 24.0% ค่าดัชนีพลาสติก (PI) 47.4% และค่าหน่วยน้ำหนักรวม 1.72-1.80 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

ดินชั้นที่ 2 ความหนาโดยประมาณ 4 ถึง 11 เมตร เป็นชั้นดินเหนียว (CH) อ่อน (Soft Soil) มีค่า S_u เท่ากับ 1.82-2.25 ตัน/ตารางเมตร ค่าความชื้นธรรมชาติ (W_n) เท่ากับ 51.8-65.2 % ค่าพิกัดเหลว (LL) เท่ากับ 87.1-90.3% ค่าพิกัดพลาสติก (PL) เท่ากับ 31.5-35.5% ค่าดัชนีพลาสติก (PI) 51.6-59.4% และค่าหน่วยน้ำหนักรวม 1.57-1.67 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

ดินชั้นที่ 3 ความหนาโดยประมาณ 11 เมตร ลงไปถึงก้นหลุมเจาะ เป็นชั้นดินเหนียว (CH) ปานกลางถึงแข็งมาก (Medium Stiff to Very Stiff) มีค่า S_u เท่ากับ 4.06-8.56 ตัน/ตารางเมตร ค่าความชื้นธรรมชาติ (W_n) เท่ากับ 21.0-36.0 % ค่าพิกัดเหลว (LL) เท่ากับ 64.6-71.0% ค่าพิกัดพลาสติก (PL) เท่ากับ 16.3-23.2% ค่าดัชนีพลาสติก (PI) 48.4-47.9% และค่าหน่วยน้ำหนักรวม 7.80-1.99 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

ระดับน้ำใต้ดินของโครงการก่อนปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Vacuum Consolidation ระดับใต้ดิน มีค่าความลึกประมาณ 0.50 เมตร จากระดับผิวดิน



รูปที่ 2 ลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดินเหนียว

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์

3.1 การวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของดินเหนียวจากการปรับปรุงด้วยระบบสุญญากาศ

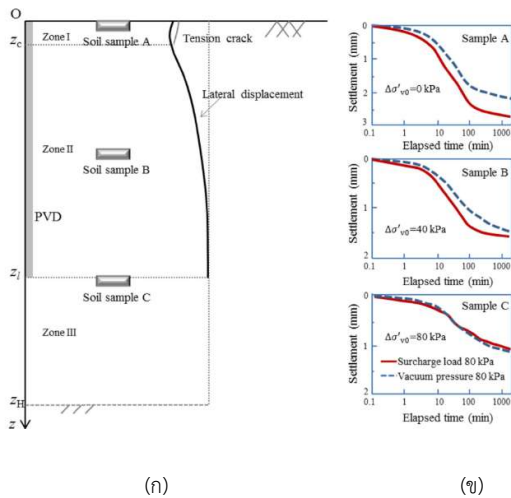
การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายนํ้า (Primary Consolidation) มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีอัดตัวคายนํ้าแบบหนึ่งมิติของ Terzaghi โดยการทรุดตัวเกิดจากการระบายน้ำออกจากช่องว่างของเม็ดดิน โดยเม็ดดินไม่เกิดการยุบตัว ทำให้เกิดความเครียดเฉพาะในแนวตั้ง (Vertical Strain) โดยไม่เกิดความเครียดทางข้าง (Lateral Strain) ดังนั้นความเครียดในแนวตั้งจะมีค่าเท่ากับความเครียดเชิงปริมาตร (Volumetric Strain) แสดงในสมการที่ 3.1 และ 3.2

$$\epsilon_v = \frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \quad (3.1)$$

$$S_F = \sum_n [RR_i \log\left(\frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{v0}}\right) + CR_i \log\left(\frac{\sigma_{vf}}{\sigma_{vm}}\right)] H_i \quad (3.2)$$

สำหรับกรณีดินเหนียว (Over consolidated, OC)
 $\sigma_{v0} + \Delta\sigma_v > \sigma_{vm}$

จากการตรวจวัดค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในห้องแล็บ จากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum consolidation Method) พบว่าการให้ความเค้นแบบน้ำหนักบรรทุก และการให้น้ำหนักบรรทุกด้วยระบบสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงความเครียดเชิงปริมาตรที่ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าของความเครียดในแนวตั้งพบว่าการให้ความเค้นแบบน้ำหนักบรรทุกจะทำให้ค่ามากกว่าการให้น้ำหนักบรรทุกด้วยระบบสุญญากาศดังแสดงในรูปที่ 3 สาเหตุมาจากการการทรุดตัวของดินที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักกดทับด้วยระบบสุญญากาศขณะทดสอบตัวอย่างพบว่าเกิดการเสียรูปโดยเกิดการหดตัวเข้าด้านข้าง (Lateral displacement) แต่ในกรณีตัวอย่างดินที่มีค่าหน่วยแรงกดทับประสิทธิผลสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับน้ำหนักบรรทุกด้วยระบบสุญญากาศ พบว่าในขณะที่การอัดตัวคายน้ำดินจะสามารถรักษาสภาวะที่ไม่เสียรูปด้านข้าง (k_0 condition) [1]



รูปที่ 3 ลักษณะของชั้นดินภายใต้แรงกระทำด้วยระบบสุญญากาศรูป ก แสดงการเกิดการหดตัวด้านข้างที่บริเวณโซน 1 และ 2 รูป ข แสดงการเกิดการอัดตัวคายน้ำของดินในแต่ละระดับความลึก [5]

ดังนั้นการพิจารณาในการคำนวณค่าการทรุดตัวสุดท้ายโดยเสนอให้ใช้ค่าการปรับแก้ด้วยการคูณค่าของ α_c ปรับลดค่าของ ดัชนีการ

บดอัดของดิน (Compression index) ที่ได้จากในห้องแล็บ [5] ดังสมการที่ 3.3 โดยค่าของ α_c จะแปรผันตามความลึกของชั้นดินที่ความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าของหน่วยแรงกดทับประสิทธิผลสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure) โดยจะเสนอในรูปของสมการที่ 3.4

$$\lambda^* = \alpha_c \lambda \quad (3.3)$$

$$\alpha_c = \begin{cases} a_{c, \min} & z \leq z_c \\ a_{c, \min} + (1 - a_{s, \min}) \frac{z - z_c}{z_1 - z_c} & z_c < z < z_L \\ 1 & z \geq z_L \end{cases} \quad (3.4)$$

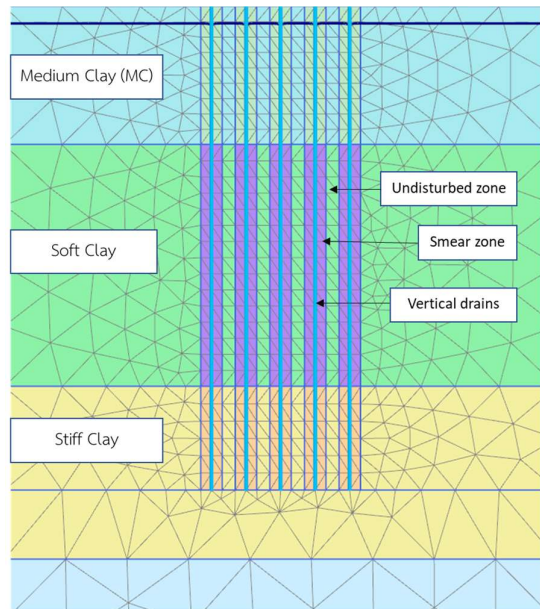
โดย z_L สามารถหาได้จากสมการที่ 2.5

$$\sigma_{v0}(z = z_L) = \Delta\sigma_{vc} \quad (3.5)$$

3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์พฤติกรรมทรุดตัวของดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2.1 การสร้างแบบจำลองของชั้นดิน

โดยการจำลองการปรับปรุงคุณภาพดินภายใต้แรงดันสุญญากาศผ่านแถบระบายน้ำตามแนวตั้ง (Prefabricated Vertical Drain; PVD) แสดงดังรูปที่ 4 เป็นภาพโมเดลในแบบจำลองด้วย PLAXIS 2D ซึ่งจะประกอบไปด้วยแถบระบายน้ำตามแนวตั้งจำนวน 5 อันสำหรับที่จะศึกษาผลกระทบโดยรอบ พื้นที่ของดินที่ถูกรบกวน (Smear zone) และโซนที่ดินไม่ถูกรบกวน (Undisturbed zone) โดยจะแบ่งชั้นดินออกเป็น 4 ชั้น มีความหนา 4m 7m 5m และ 9m ตามลำดับ ความกว้างของชั้นดินทั้งหมด 6 m โดยชั้นด้านล่างสุดจะกำหนดให้เป็นทรายเป็นแบบ Linear Elastic และแบบจำลองทั้ง 3 ชั้นเป็น Soft Soil Model



รูปที่ 4 แบบจำลองในการวิเคราะห์ด้วย PLAXIS 2D

3.2.2 การตั้งค่างานหาคอบเขตและเงื่อนไขแบบจำลอง

กำหนดระดับน้ำใต้ดินที่ระดับ -0.5 m ให้การระบายน้ำเกิดขึ้นที่ผิวดิน ให้ด้านล่างสุดของชั้นดิน -25 m เป็นพื้นผิวที่บ้น้ำ และกำหนดผิวด้านข้างซ้ายขวาเป็นผิวที่บ้น้ำ

3.2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับจำลองชั้นดิน

โดยพารามิเตอร์ของดินที่ใช้ในแบบจำลองแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยสำหรับดินธรรมชาติค่าอัตราส่วน k_v/k_h มีค่าเท่ากับ 3 [4] [3] ขนาดของ PVD เท่ากับ 100mm x 5mm และขนาดของ Mandrel เท่ากับ 140mm x 60mm การใช้ Soft Soil Model กำหนดให้ค่า $C_k=0.5e_0$ [13] โดยในโปรแกรม PLAXIS ไม่สามารถกำหนดให้ค่าความสามารถในการซึมผ่านน้ำในมวลดินเปลี่ยนแปลงได้ จึงให้ถือว่ามีค่าคงที่ทั้งในพื้นที่ของดินที่ถูกรบกวน (Smear zone) $K_{s,ps}$ และโซนที่ดินไม่ถูกรบกวน (Undisturbed zone) $k_{h,ps}, k_{v,ps}$ [10] หลังจากนั้นคำนวณในสมการที่ 3.6 และ 3.7 เพื่อหาค่าของ β และ α ต่อมาใช้สมการที่ 3.8 สำหรับหาค่าความสามารถในการซึมผ่านในมวลดินแบบ 2 มิติ (Plane strain permeability) $K_{h,ps}$ ดังแสดงรูปที่ 5 และใช้สมการที่ 3.9 สำหรับหาค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในมวลดินที่ถูกรบกวน (Smear zone) $K_{s,ps}$.

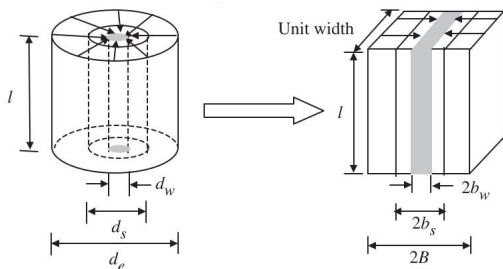
$$\alpha = \frac{2(n-s)^3}{3n^2(n-1)} \quad (3.6)$$

$$\beta = \frac{2(s-1)}{n^2(n-1)} \left[n(n-s-1) + \frac{1}{3}(s^2+s+1) \right] \quad (3.7)$$

$$\frac{k_{hp}}{k_h} = \frac{0.67}{[\ln(n)-0.75]} \quad (3.8)$$

$$\frac{k_{s,ps}}{k_{hp}} = \frac{\beta}{\frac{k_{hp}}{k_h} \left[\ln\left(\frac{n}{s}\right) + \left(\frac{k_h}{k_h}\right) \ln(s)-0.75 \right] - \alpha} \quad (3.9)$$

โดยค่าของ $n=d_e/d_w$, $s=d_s/d_w$, [7] [3]



รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนจาก axisymmetric ไปเป็น Plane strain [9]

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ใน PLAXIS 2D

Depth (m)	λ^*	k	e_0	$K_{h,ps}$ (m/day)	$k_{v,ps}$ (m/day)
0.0-4.0	0.0413	0.0590	1	2.82×10^{-5}	8.47×10^{-5}
4.0-11.0	0.1009	0.0190	1.8	1.72×10^{-5}	5.15×10^{-5}
11.0-16.5	0.0875	0.0334	1.29	9.72×10^{-6}	2.93×10^{-5}

$k_{s,ps}$ (horizontal direction in the smear zone)

$k_{h,ps}, k_{v,ps}$ (plane strain permeability in horizontal and vertical directions in the undisturbed)

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์สำหรับ Soft Soil Model ใน PLAXIS 2D [2]

Layer	c	ϕ	Poisson ration	K_0^{nc}
Medium Clay (MC)	1	25	0.2	0.6
Soft Clay	1	23	0.2	0.7
First Stiff Clay	25	26	0.2	0.5

3.2.4 การวิเคราะห์พฤติกรรมการทรุดตัวของแบบจำลองของชั้นดิน

การวิเคราะห์แบบจำลองชั้นดินจะใช้ Calculation Plastic และ Fully Coupled Flow Deformation ในการคำนวณผลการทรุดตัวของชั้นดิน โดยสรุปขั้นตอนการศึกษาดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์สำหรับ Soft Soil Model ใน PLAXIS 2D [2]

Time (day)	Staged construction	Type Analysis
0	Installation of PVD	Plastic
0-400	Consolidation	Fully Coupled Flow Deformation

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวสุดท้ายจากทฤษฎี

การหาค่าการทรุดตัวสุดท้าย (Total Settlement) ที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงคุณภาพดินภายใต้แรงดันสุญญากาศ จากสมการที่ 3.2 และ 3.3 หลังจากนั้นจะใช้สมการที่ 4.1 สำหรับหาค่าระดับการอัดตัวคายน้ำของดินที่เกิดขึ้น (Degree of Consolidation) เพื่อเปรียบเทียบกับเวลาได้ดังตารางที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ของช่อง $U\%$ (day) ตามลำดับ

$$U = \frac{s_t}{s_F} \times 100 \quad (4.1)$$

4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงคุณภาพดินภายใต้แรงดันสุญญากาศโดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของดินที่ถูกรบกวนรอบและระบายน้ำตามแนวคิดกำหนดขอบเขตในการศึกษาสรุปไว้ในตารางที่ 4.1 และสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ออกแบบพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาในโปรแกรม PLAXIS 2D

NO	d_s/d_m	k_r/k_s	n	Remark
1		2		Effect of k_r/k_s
2		3		
3	2	4	2	
4		5		
5		6		
6	2			Effect of d_s/d_m
7	3		2	
8	4			
9	5			
10			1	Effect of n
11			2	
12	2	2	3	
13			4	
14			5	

4.2.1 ผลกระทบของค่าอัตราส่วนของความสามารถซึมผ่าน

(Permeability Ratio) ของบริเวณดินที่ถูกรบกวน (Smear Zone) กับบริเวณดินที่ไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Zone), k_r/k_s

โดยการทดลองจะกำหนด d_s/d_m เท่ากับ 2 แบ่งพื้นที่การใส่พารามิเตอร์ของดินเป็น 2 โซน n=2 ระยะห่างของการติดตั้งของ PVD เท่ากับ 1 เมตร ใช้ค่า $d_e=1.13$ พบว่าที่ค่าของ k_r/k_s เท่ากับ 2 ใช้ระยะเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% น้อยที่สุด 191 วัน ส่วนค่า k_r/k_s เท่ากับ 3 4 5 และ 6 ใช้ระยะเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% เท่ากับ 272 330 380 และ 420 วันตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลกระทบของค่า k_r/k_s

Effect of k_r/k_s					
(k_r/k_s)	2	3	4	5	6
d_s/d_m	2	2	2	2	2
n	2	2	2	2	2
U=90%(day)	191	272	330	380	420

4.2.2 ผลกระทบของค่าอัตราส่วนระหว่างระยะของดินที่ถูก

รบกวน (Smear Zone) กับ ขนาดของ mandrel, d_s/d_m

โดยการทดลองจะกำหนด k_r/k_s เท่ากับ 2 แบ่งพื้นที่การใส่พารามิเตอร์ของดินเป็น 2 โซน n=2 ระยะห่างของการติดตั้งของ PVD เท่ากับ 1 เมตร ใช้ค่า $d_e=1.13$ พบว่าที่ค่าของ d_s/d_m เท่ากับ 2 ใช้ระยะเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% น้อยที่สุด 191 วัน ส่วนค่า d_s/d_m เท่ากับ 3 4 และ 5 ใช้ระยะเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% เท่ากับ 214 234 และ 268 วันตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลกระทบของค่า d_s/d_m

Effect of d_s/d_m				
(k_r/k_s)	2	2	2	2
d_s/d_m	2	3	4	5
n	2	2	2	2
U=90%(day)	191	214	234	268

4.2.3 ผลกระทบของการแบ่งจำนวนขอบเขตของดินที่ถูกรบกวน

รอบ PVD, n

โดยการทดลองจะกำหนด k_r/k_s เท่ากับ 2 และ d_s/d_m เท่ากับ 2 ระยะห่างของการติดตั้งของ PVD เท่ากับ 1 เมตร ใช้ค่า $d_e=1.13$ และทำการแบ่งพื้นที่ของดินที่ถูกรบกวนออกเป็น n=1-5 โซน โดยให้ค่าของความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในมวลดินลดลงเป็นเชิงเส้นเข้าหา PVD พบว่าหากไม่สนใจผลของดินรบกวน(Smear Zone) ระยะเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% น้อยที่สุดที่ 110 วัน ส่วนค่า n เท่ากับ 2 3 4 และ 5 ใช้ระยะเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% เท่ากับ 268 225 202 และ 190 วันตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลกระทบของค่า n

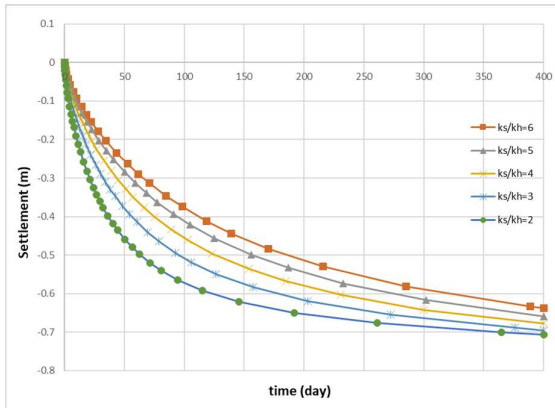
Effect of n					
(k_r/k_s)	2	2	2	2	2
d_s/d_m	5	5	5	5	5
n	1	2	3	4	5
U=90%(day)	110	268	225	202	190

4.3 พฤติกรรมของโครงสร้างดินภายใต้แรงสุญญากาศ

พฤติกรรมของดินเมื่อได้รับแรงกระทำภายใต้ระบบสุญญากาศ แสดงผลในรูปแบบของค่าการทรุดตัวในแนวตั้ง (Vertical Strain) และการกระจายของแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess pore water Pressure) ดังต่อไปนี้

4.3.1 ค่าการทรุดตัวในแนวตั้ง (Vertical Strain)

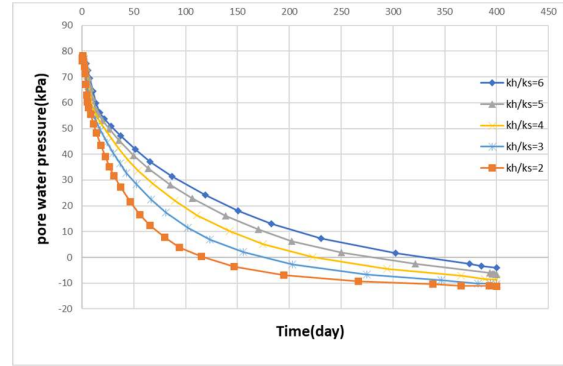
จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีสุญญากาศ การเปลี่ยนค่า k_v/k_s ส่งผลต่ออัตราการทรุดตัว (Rate of Settlement) ดังแสดงในรูปที่ 6



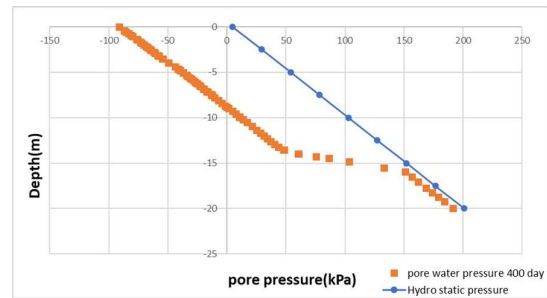
รูปที่ 6 แสดงผลของอัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นของแต่ละการเปลี่ยนแปลงค่าของ k_v/k_s

4.3.2 การกระจายของแรงดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure)

จากการวิเคราะห์ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่ระดับ 8 เมตร พบว่าที่ค่าของ k_v/k_s เท่ากับ 2 จะกระจายแรงดันน้ำส่วนเกินในมวลดินได้เร็วกว่าค่าอื่น และหลังจากเวลา 200 วันค่าแรงดันน้ำจะค่อยๆคงที่ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 ส่วนในรูปที่ 8 แสดงค่าเริ่มต้นของแรงดันน้ำในโพรงดิน (Initial Pore Water Pressure) และค่าของแรงดันน้ำในโพรงดินหลังเปิดระบบสุญญากาศไปแล้ว 400 วัน (Study Stage Pore Water Pressure)



รูปที่ 7 แสดงการกระจายของแรงดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure) เมื่อเทียบกับเวลา



รูปที่ 8 แสดงผลของการเกิดแรงดันน้ำขึ้นในโพรงดิน (Pore Water Pressure) เมื่อระยะเวลาผ่านไป 400 วัน

5. บทสรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของดินที่ถูกรบกวนรอบแถบระบายน้ำตามแนวตั้ง โดยการรวบรวมพารามิเตอร์จากงานวิจัยต่างๆ ทั้งค่าของระยะการเกิดดินที่ถูกรบกวน (Smear Zone) ค่าของความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดิน อีกทั้ง การแบ่งพื้นที่ออกเป็นหลายๆ โซนเพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่ในสนาม โดยจากการศึกษาพบว่า ค่าของ k_v/k_s มีผลต่อช่วงเวลาของการทรุดตัวสูงสุดโดยจากการทดลองช่วง 2-6 เท่า ค่าของเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% จะอยู่ที่ 191-420 วัน ส่วนค่าของ d_v/d_m จากการทดลองช่วง 2-5 เท่า ค่าของเวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% จะอยู่ที่ 191-268 วัน และค่าของ n หากเปรียบเทียบโดยไม่สนใจผลของการเกิดดินที่ถูกรบกวน (Smear zone) จะใช้เวลาในการอัดตัวคายน้ำที่ 90% อยู่ที่ 110 วัน การจากการวิเคราะห์เห็นได้ชัดว่าหากในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนด้วยระบบสุญญากาศ จำเป็นอย่างมากที่ต้องเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับหน้างาน เพื่อที่จะกำหนดระยะเวลาการปรับปรุงคุณภาพดินให้แม่นยำกับพื้นที่ปรับปรุง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนข้อมูล และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมโพธิอยู่ไว (2553). การปรับปรุงคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพโดยใช้วิธี สูญญากาศร่วมกับแผ่นระบายน้ำแนวตั้ง , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [2] สุขเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง. (2550). วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค. สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] ศาสตราจารย์ ภัคดีเมฆ. การวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนไม่ระบายน้ำของดินถมบ่อถูกปรับปรุงด้วยวิธี Vacuum Consolidation Method มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [3] Barron, R. A. (1948). Consolidation of fine-grained soils by drain wells. Transactions ASCE, 113(2346) pp. 21-23
- [4] Bergado, D. T., H. Asakami, M. C. Alfaro and A. S. Balasubramaniam (1991). Smear effects of vertical drains on soft Bangkok clay. J. Geotech. Eng., ASCE, 117(10),pp. 1-2
- [5] Chai JC and Carter JP and S. Hayashi (2005). Ground Deformation Induced by Vacuum Consolidation. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,131(12),pp. 29-30.
- [6] Chai JC and Carter JP (2011) Deformation Analysis in Soft Ground Improvement. Springer, Dordrecht, the Netherlands.
- [7] Hansbo, S. (1979). Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains. Ground Engineering, 12(5),pp. 22-23
- [8] Rujikiatkamjorn, C. and B. Indraratna (2014). Analytical solution for radial consolidation considering soil structure characteristics. Canadian Geotechnical Journal
- [9] Indraratna, B. and I. W. Redana (1997). Plane strain modeling of smear effects associated with vertical drains. J. Geotech. Eng., ASCE, 123(5),pp.31-32
- [10] Indraratna, B., C. Rujikiatkamjorn and I. Sathananthan (2005). Analytical and numerical solutions for a single vertical drain including the effects of vacuum preloading. Canadian Geotechnical Journal, 42(4),pp. 30-31.
- [11] Indraratna, B., K. Kianfar and C. Rujikiatkamjorn (2013). Laboratory Evaluation of Coefficient of Radial Consolidation Based on Pore-Water-Pressure Dissipation and Settlement. Geotechnical Testing Journal, 36(1),pp. 35
- [12] Parsa-Pajouh A, Fatahi B, Vincent P, Khabbaz (2014) H. Trial embankment analysis to predict smear zone characteristics induced by prefabricated vertical drain installation. Geotech Geol Eng,pp. 38.
- [13] Brinkgreve RBJ, Swolfs WM, Engin E (2015) PLAXIS 2D User's Manuals. Plaxis BV. Delft, The Netherlands
- [14] Kjellman, W. (1952). Consolidation of clayey soils by atmospheric pressure Proceedings of aconference on soil stabilization, Massachusetts Institute of Technology, Boston