

การศึกษาแบบจำลองการกระจายความเค้นของดินลมหอบขอนแก่นในสภาพอัดและการวิเคราะห์ระเบียบวิธีด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ในสภาพแห้งและเปียก

The Physical Modeling of Compacted Khon Kaen Loess and The Finite Elements Analysis by Plaxis 2D Under Dry and Wet Conditions

ศุภสันต์ เชิญกลาง (Supasan Chernklang)^{1*} รัตมณี นันทสาร (Ratamane Nuntasarn)**

(Received: May 10, 2022; Revised: August 12, 2022; Accepted: August 17, 2022)

บทคัดย่อ

ดินลมหอบขอนแก่นส่วนมากเป็นดินทรายปนดินตะกอน ดินทรายปนดินเหนียว และดินเหนียวปนดินตะกอนที่ถูกพัดพาโดยลม ทำให้มีโครงสร้างการยึดเกาะระหว่างเม็ดดินเป็นแบบหลวมๆ เมื่อดินอยู่ในสภาพแห้งจะมีกำลังรับน้ำหนักที่สูง แต่เมื่อดินอยู่ในสภาพเปียก กำลังรับน้ำหนักของดินจะลดลงและเกิดการทรุดตัวแบบทันทีทันใด (Immediate Settlement) ในการออกแบบฐานรากของโครงสร้างต่างๆนั้น นอกจากดินที่ได้ฐานรากจะต้องสามารถรับกำลังน้ำหนักบรรทุกที่กระทำได้แล้ว การทรุดของดินได้ฐานรากก็จะต้องไม่เกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด จึงจะถือว่าโครงสร้างดังกล่าวปลอดภัยต่อการใช้งาน ในการประเมินค่าการทรุดตัวของดินได้ฐานรากจำเป็นต้องทราบถึงการกระจายความเค้นของดิน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาระยะการกระจายความเค้นในแนวตั้งของดินลมหอบขอนแก่นที่ถูกอัดแน่นในห้องปฏิบัติการทั้งสภาพแห้งและเปียก และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการประเมินค่าการทรุดตัวที่อาจเกิดขึ้นสำหรับการออกแบบฐานรากของโครงสร้างต่างๆ ที่จะทำให้การก่อสร้างบนดินลมหอบขอนแก่น การทดสอบหาค่าการกระจายความเค้นในแนวตั้งของดินลมหอบในห้องปฏิบัติการนั้น ได้ทำการทดสอบโดยวิธีการทดสอบหาลำดับรับน้ำหนักแบกทานของดินโดยใช้แผ่นเหล็ก (Plate Bearing Test) โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความเค้นในแนวตั้งดิน (Earth Pressure Cell) ในการศึกษาการกระจายความเค้น ซึ่งจากการทดสอบพบว่าค่าความเค้นของดินที่ได้จากเครื่องมือวัดจะแปรผันตรงกับค่าความเค้นจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ และพบว่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ออกแบบไว้ (196.2 kPa) ไม่ก่อให้เกิดการวิบัติกับดินในสภาพแห้งได้ แต่ดินในสภาพเปียกเกิดการวิบัติที่ความเค้นกระทำเท่ากับ 110.36 kPa เมื่อนำไปวาดกราฟความเค้น จากการศึกษาของ Jeffrey (2004) [1] จะพบว่าการกระจายความเค้นของดินทั้งสภาพแห้งและเปียกจะกระจายลงไปถึงระดับความลึก 2B ได้ ฐานรากแต่ในสภาพเปียกจะเกิดความเค้นของดินมากกว่าในสภาพแห้ง นอกจากนี้เมื่อนำผลจากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีของ Terzaghi (1943) [2] การกระจายความเค้นแบบ 2 ต่อ 1 พบว่าผลที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีอยู่มาก เนื่องจากคุณสมบัติของดินในการทดสอบไม่ตรงตามสมมติฐานของทฤษฎี เมื่อทำการวิเคราะห์ระเบียบวิธีด้วยโปรแกรม Plaxis 2D โดยใช้ค่าตัวแปรจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงดูดเมทริก (Matric Suction) กับระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation) และกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลมหอบขอนแก่นที่แรงดึงดูดเมทริกต่าง ๆ พบว่าผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงจะเห็นได้ว่าการประเมินค่าการทรุดตัวของดินได้ฐานรากนั้นจะต้องใช้ค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนที่ถูกต้อง เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

¹Corresponding author: supasanchernklang@hotmail.com

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ABSTRACT

Khon Kaen loess is a wind-blown deposit, which is a cause of loose structure and is mainly classified as silty sand (SM) or clayey sand (SC). The Bearing capacity of Khon Kaen loess is very high in dry conditions but is low under wet conditions. Moreover, Khon Kaen loess collapsed under wetting conditions. Soil has to stand under the loading and not be excessive of settlement according to standards to design the foundation. The stress bulb must be known to estimate soil settlement under the foundation. Therefore, this research investigated the increasing stress with the depth of compacted Khon Kaen loess under wet and dry conditions in the laboratory. Then the results from the laboratory were compared with finite elements to estimate the settlement of Khon Kaen loess under the foundation. The physical modeling was studied according to a plate bearing test and used earth cell pressure to measure the stress distribution under the foundation. The test result found that the stress under the foundation varied with the applied load. Moreover, there was no failure under dry compacted Khon Kaen loess after applying the maximum designed pressure (196.2 kPa). However, wet Khon Kaen loess failed at a pressure of 110.36 kPa. The stress bulb of wet and dry Khon Kaen loess showed that the stress was distributed in wet rather than dry conditions. Besides, the result of physical modeling did not get along with the 2 to 1 stress distribution theory. There is still a significant discrepancy with the theory because the soil properties in the test do not match the assumptions of the theory. However, the analysis from the finite element (Plaxis 2D program) using variable values from the study of the relationship between matric suction, degree of saturation, and the shear strength of Khon Kaen loess soil found that the results were similar to the physical modeling. Hence, the settlement of Khon Kaen loess can be estimated using the finite element with the proper shear strength parameters.

คำสำคัญ: การกระจายความเค้น กระเปาะความเค้น ดินลมหอบขอนแก่น

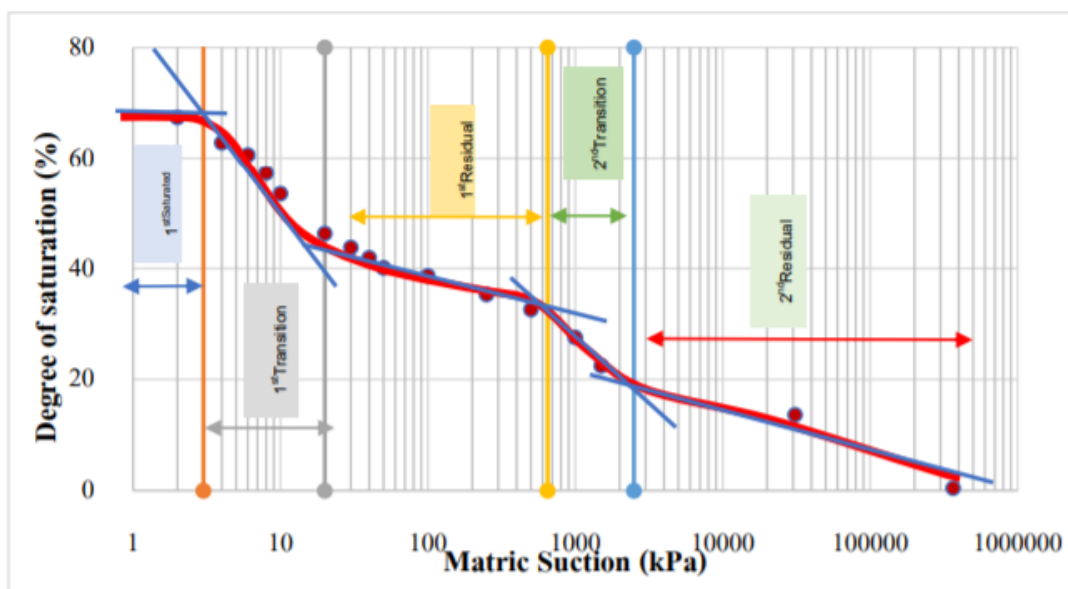
Keywords: Stress Distribution, Stress Bulb, Khon Kaen Loess Soil

บทนำ

เนื่องจากจังหวัดขอนแก่นเป็นศูนย์กลางของภาคอีสาน มีประชากรถึง 1.8 ล้านคน (ปี พ.ศ. 2561) นับเป็นจังหวัดที่มีประชากรมากที่สุดเป็นอันดับ 4 ของประเทศไทย และ มีการพัฒนาในระดับเมืองที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกมากมาย เช่น ระบบการจราจร อุโมงค์ ทางลอด สะพาน รวมไปถึง อาคาร บ้านเรือน ต่างๆ ซึ่งดินส่วนมากในจังหวัดขอนแก่นเป็นดินลมหอบและอาจมีการใช้ดินลมหอบเป็นวัสดุถมในงานถนนหรือในงานก่อสร้าง ซึ่งดินลมหอบขอนแก่นส่วนมากเป็นดินทรายปนดินตะกอนและดินเหนียวปนดินตะกอน จากการศึกษาของ Klukanova และ Frankovska (1995) [3] พบว่าลักษณะโครงสร้างของเม็ดดินของมีขนาดเล็กและมีโครงสร้างแบบรวงผึ้ง การยึดเกาะการของเม็ดดินเป็นแบบหลวมๆ ประกอบกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยมี 3 ฤดู คือ 1) ฤดูร้อน 2) ฤดูฝน 3) ฤดูหนาว ซึ่งในฤดูร้อนและหนาวดินค่อนข้าง

แข็งและแห้งทำให้ดินสามารถรับน้ำหนักได้มาก แต่ในทางตรงกันข้ามในฤดูฝนความชื้นที่มากขึ้นจะส่งผลให้กำลังรับน้ำหนักของดินลดลงและเกิดการทรุดตัวอย่างรวดเร็วจึงเป็นอันตรายต่อสิ่งปลูกสร้าง จากการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของฐานรากตึ้นบนดินลมหอบแบบขอนแก่น จากแบบจำลองในห้องปฏิบัติการของ Punrattanasin และ Changiutturas (2007) [4] ได้ทำการทดสอบตัวอย่าง 2 ชุดคือ 1) สภาพความชื้นธรรมชาติ 2) สภาพเพิ่มความชื้น โดยผลการทดสอบที่ได้แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักของดินที่ลดลงเมื่อปริมาณความชื้นในดินสูงขึ้น เนื่องจากดินส่วนมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นดินลมหอบ การก่อสร้างที่เกิดขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนมากจะต้องนำดินลมหอบมาใช้ ดังนั้นก่อนการออกแบบฐานรากของโครงสร้างจึงจำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมและการกระจายน้ำหนักของดินลมหอบ เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยจากการรับน้ำหนักและการทรุดตัวของดิน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาการกระจายน้ำหนักของดินลมหอบที่ถูกบดอัดเพื่อการคำนวณและออกแบบฐานรากของโครงสร้างที่จะเกิดขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยหรือการก่อสร้างที่มีลักษณะดินที่คล้าย ๆ กัน

โดยค่าคุณสมบัติของดินลมหอบที่ใช้ในการวิเคราะห์หะเอียดวิจัยโดยโปรแกรม Plaxis 2D ในการศึกษานี้ได้มาจากศึกษาของ Saengthongthip (2019) [5] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงดูดเมทริก (Matric Suction) กับระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation) ของดินลมหอบขอนแก่น ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งเก็บที่ระดับความลึก 2 เมตร ซึ่งสามารถจำแนกเป็นดินประเภท Silty Sand (SM) เมื่อจำแนกตามระบบ USCS และจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ 2.12 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และ Optimum Moisture Content เท่ากับ 7.22 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพิกัดเหลว 16.5 เปอร์เซ็นต์และมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.56 และทำตัวอย่างสำหรับการทดสอบ 3 ตัวอย่าง โดยกำหนดให้มีค่าความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.9 ตันต่อลูกบาศก์เมตร (90 เปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด) ได้ค่าความสัมพันธ์ของเส้นอัตรลักษณ์ของน้ำในดิน (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Matric Suction และ Degree of Saturation. (Saengthongthip, 2019)

จากการศึกษาของ Chatchawan (2019) [6] ได้ศึกษากำลังต้านทานแรงเฉือนโดยวิธีอัดสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำ และมีการระบายน้ำของดินลมหอบซอนแกนที่ถูกบดอัดและทำการทดสอบที่แรงดึงดูดเมทริก (Matric Suction) ต่างๆตาม ข้อมูลจากเส้น อัตราลักษณะของน้ำในดิน (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) ผลการทดสอบหากลำลังต้านทานแรง เฉือนของดินลมหอบซอนแกนโดยวิธีอัดสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำและระบายน้ำ (Consolidated Drained Triaxial Test) ด้วยวิธี Multistage ของดินลมหอบซอนแกนในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated) แสดงค่าพารามิเตอร์ (Parameter) กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลมหอบซอนแกนที่แรงดึงดูดเมทริก (Matric Suction) ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลมหอบซอนแกนในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

Sample No.	Matric Suction (kPa)	Cohesion Intercept (kPa)	ϕ' (degree)	ϕ^a (degree)	ϕ^b (degree)
1	0	0	27.32	-	27.32
2	10	4.10	-	28.78	22.31
3	50	16.16	-	30.63	16.78
4	100	28.28	-	31.52	13.62

(Chatchawan, 2019)

หมายเหตุ

ϕ^a = มุมความชันระหว่างค่าความเค้นสุทธิ (Net Stress) กับหน่วยแรงเฉือน (Shear Stress) ที่ค่าแรงดึงดูดเมทริกค่าหนึ่ง

ϕ^b = มุมความชันระหว่างค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (Cohesion, c') กับค่าแรงดึงดูดเมทริก

โดยความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัดค่าความเค้นในแนวดิ่งได้อ้างอิงจากการทดสอบของ Brent (2001) [7] ซึ่งทำการทดสอบความแม่นยำของ EPC จากแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นรุ่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกับ งานวิจัยนี้ โดยใช้ถังเหล็กทรงกระบอกผนังบางภายในบรรจุทราย Ottawa และวางเครื่องมือวัดค่าความเค้นในแนวดิ่ง อยู่ข้าง ในหลังจากนั้นให้น้ำหนักบรรทุกทุกถ่ายผ่านตัวอย่างดินและถ่ายน้ำหนักไปยังหน้าของเครื่องมือวัดค่าความเค้นในแนวดิ่งผ่านทราย Ottawa ซึ่งจะทำให้การกระจายน้ำหนักสม่ำเสมอขึ้นก่อนที่จะเครื่องมือวัดค่าความเค้นในแนวดิ่งจะอ่านค่า เมื่อทำการ เปรียบเทียบความแม่นยำของเครื่องมือวัดค่าความเค้นในแนวดิ่งในการทดสอบที่ใช้ทราย Ottawa และไม่ใช่ทราย Ottawa พบว่าให้ค่าได้จากการทดสอบที่ใช้ทราย Ottawa มีความแม่นยำมากขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองเก่า จากผลการ ทดสอบพบว่า ความแม่นยำของ EPC เปรียบเทียบกันระหว่าง การใช้ Bladder และวิธี Axial Load/Area และวิธีที่กล่าวไป ข้างต้น มีค่าแตกต่างกันเพียง 17.8 เปอร์เซ็นต์

ทั้งนี้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยทดสอบกับฐานรากจำลอง ขนาด 0.2×0.2 เมตร และใช้นิยามการวิบัติ ตามข้อกำหนดของ มยผ. 1253-62 กรมโยธาธิการและผังเมือง [8] โดยกำหนดไว้ว่าอัตราการทรุดตัวเกินกว่า 0.02 มิลลิเมตร

ต่อนาที โดยเฉลี่ย 3 นาทีต่อเนื่องกัน ให้คั่งน้ำหนักบรรทุกทดสอบนั้นไว้ต่ออีก 1 ชั่วโมง หากปรากฏว่าอัตราการทรุดตัวยังมีค่าเกิน 0.02 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ยกเลิกการทดสอบและให้ถือน้ำหนักบรรทุกทดสอบนั้นเป็นน้ำหนักสูงสุด

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เปรียบเทียบการกระจายความเค้นของดินในสภาพแห้งและเปียก
- 2) เปรียบเทียบค่าความเค้นจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการกับระเบียบวิธีวิจัยด้วยโปรแกรม Plaxis 2D

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดสอบการกระจายความเค้นในแนวตั้งของตัวอย่างดินในสภาพแห้งและเปียกในห้องปฏิบัติการ

- 1) เตรียมโมลตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด $1.0 \times 1.0 \times 1.0$ เมตร
- 2) เตรียมดินลมหอบที่นำมาจากสนามเพื่อใช้ในการบดอัด โดยนำดินจากสนามมาอบในตู้อบอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นนำดินที่อบแล้วมาบดละเอียดโดยใช้เครื่องลอสแอนเจลิส (Los Angeles) โดยใส่ลูกเหล็กจำนวน 11 ลูก และเปิดเครื่องลอสแอนเจลิสซึ่งหมุนด้วยอัตรา 30 รอบต่อนาที จำนวน 500 รอบ (ภาพที่ 2 - 3)
- 3) ผสมดินลมหอบที่ผ่านขั้นตอนที่ 2 มาแล้วนำมาผสมกับน้ำ โดยมีปริมาณความชื้นในการบดอัดที่ 90 เปอร์เซ็นต์แบบสูงกว่ามาตรฐานอยู่ที่ 11.85 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4)
- 4) นำดินที่ผสมน้ำแล้วใส่ลงในโมลตัวอย่าง โดยจะแบ่งเป็น 4 ชั้น ชั้นละ 0.1 เมตร และในระหว่างการบดอัดแต่ละชั้นจะติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความเค้นในแนวตั้ง (Earth Pressure Cell) ลงไปในดินบดอัด เพื่อใช้ในการวัดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในตัวอย่างดิน
- 5) ติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความเค้นในแนวตั้ง (Earth Pressure Cell) แบ่งการติดตั้งเป็น 2 แบบ คือ ที่ระดับความลึก 0.1 และ 0.3 เมตรจากผิวดินตัวอย่างจะติดตั้งที่ขอบของฐานรากและที่ระดับความลึก 0.0, 0.2 และ 0.4 เมตรจากผิวดินตัวอย่างจะติดตั้งที่กึ่งกลางของฐานราก (ภาพที่ 5 - 6)
- 6) ทำการทดสอบความหนาแน่นของดินบดอัด โดยวิธีกรวยทราย (Determination of Field Density Test by Sand Cone Method) และจดบันทึกค่า (ภาพที่ 7)
- 7) วางฐานรากจำลองที่ตำแหน่งกึ่งกลางของโมลดินตัวอย่างที่บดอัดแล้ว (ภาพที่ 8)
- 8) วางแม่แรงไฮดรอลิก (Hydraulic Jack) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของฐานรากจำลอง (ภาพที่ 8)
- 9) ติดตั้งคานเหล็กสำหรับวางน้ำหนักบรรทุก โดยจะวางคร่อมโมลตัวอย่างให้ผ่านจุดกึ่งกลางของฐานรากจำลอง จากนั้นนำแผ่นเหล็กที่ใช้แทนน้ำหนักบรรทุกมาวางที่ฐานของคานเหล็กข้างละ 40 แผ่น จะสามารถให้น้ำหนักบรรทุกกับฐานรากจำลองได้สูงสุด 800 กิโลกรัม โดยจะให้ความเค้นกระทำเพิ่มครั้งละ 36.97 kPa ไปจนถึง 183.94 kPa (ภาพที่ 9)
- 10) วางวงแหวนวัดแรง (Proving Ring) บนแม่แรงไฮดรอลิก (Hydraulic Jack) โดยใช้แผ่นเหล็กปรับระดับเพื่อที่จะทำการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากคานเหล็กลงสู่ฐานรากจำลอง (ภาพที่ 8)
- 11) ติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัว (LVDT) ที่มุมทั้ง 4 จุดของฐานรากจำลอง ซึ่งก่อนการทดสอบต้องทำการวัดค่าเครื่องมือทุกตัวที่ใช้ในการทดสอบเพื่อที่จะกำหนดให้เป็นค่าเริ่มต้นหรือเป็นการตั้งค่าศูนย์ (ภาพที่ 8)

12) การทดสอบแบบแห้งจะทิ้งดินตัวอย่างไว้ในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 3 วัน ก่อนทำการทดสอบ และการทดสอบแบบเปียกจะทำการเติมน้ำให้ระดับน้ำสูงขึ้นมาจากผิวดินตัวอย่าง 5 เซนติเมตรและรักษาระดับน้ำให้คงที่ 3 วันก่อนการทดสอบและรักษาระดับน้ำให้คงที่ตลอดจนการทดสอบเสร็จสิ้น

การวิเคราะห์ระเบียบวิธีด้วยโปรแกรม Plaxis 2D

รูปแบบการวิเคราะห์โมเดลเป็นแบบสมมาตร (Axisymmetry) และกำหนดแบบจำลองของดินเป็นแบบมอร์คูลอมบ์ (Mohr-Coulomb) เนื่องจากแบบจำลองแบบมอร์คูลอมบ์แสดงให้เห็นถึงดินที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นเมื่อมีความเค้นกระทำในช่วงก่อนการวิบัติซึ่งมีลักษณะตรงกับดินลมหอบ โดยวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำทั้งหมด 5 ค่า จากภาพที่ 1 ในสภาพแห้งนำค่า Degree of Saturation ที่คำนวณได้จากปริมาณความชื้นในดินในการทดสอบจริง คือ 10.78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่า Degree of Saturation เท่ากับ 64.2 เปอร์เซ็นต์และจากตารางที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงดูดเมทริกกับ Degree of Saturation สามารถหาค่าแรงดึงดูดเมทริกได้เท่ากับ 3 kPa จากนั้นนำมา Interpolate หาค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผลได้เท่ากับ 3.5 kPa มุมเสียดทานของดิน 38 degree โมดูลัสความยืดหยุ่นของดิน 47,140 kPa โมดูลัสเฉือนของดิน 16,840 kPa อัตราส่วนช่องว่าง 0.523 ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของฐานรากมีความใกล้เคียงกว่าตำแหน่งขอบของฐานราก (ภาพที่ 18 – 22) และในสภาพเปียกมีค่า Degree of Saturation เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากการรักษาระดับน้ำคงที่ และจากตารางที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงดูดเมทริกกับ Degree of Saturation สามารถหาค่าแรงดึงดูดเมทริกได้เท่ากับ 0 kPa จากนั้นนำมา Interpolate หาค่าใช้หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล 2.5 kPa มุมเสียดทานของดิน 30 degree โมดูลัสความยืดหยุ่นของดิน 35,000 kPa โมดูลัสเฉือนของดิน 12,000 kPa อัตราส่วนช่องว่าง 0.54 และมีการกำหนดค่าระดับน้ำในการวิเคราะห์โมเดลไว้ที่เหนือผิวดิน 5 เซนติเมตร ค่าจากการวิเคราะห์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของฐานรากให้ค่าที่ใกล้เคียงกว่าที่ตำแหน่งขอบของฐานราก (ภาพที่ 23 - 27)

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระเบียบวิธีด้วยโปรแกรม Plaxis 2D

ประเภท	แบบแห้ง	แบบเปียก
ความหนาแน่นของดินแบบอิ่มตัวด้วยน้ำ (kN/m^3)	20.44	20.32
ความหนาแน่นของดินแห้ง (kN/m^3)	17.07	16.87
หน่วยแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (kN/m^2)	3.5	2.5
มุมเสียดทานของดิน (degree)	38	30
Matric Suction (kPa)	3	0
โมดูลัสความยืดหยุ่นของดิน (kN/m^2)	47,140	35,000
โมดูลัสเฉือนของดิน (kN/m^2)	16,840	12,000
ความถ่วงจำเพาะ	2.65	2.65
อัตราส่วนช่องว่าง	0.523	0.54
อัตราส่วนปัวซอง	0.4	0.4

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการกระจายความเค้นของตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างดินในการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีความหนาแน่นแห้งเริ่มต้นเท่ากับ 1.74 และ 1.72 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับการทดสอบในสภาพแห้งและเปียกตามลำดับ โดยมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 10.78 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบในสภาวะแห้งและ 11.58 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบในสภาวะเปียก ซึ่งก่อนการทดสอบได้ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดค่าความเค้นในแนวตั้ง (Earth Pressure Cell) ดังแสดงในภาพที่ 10 และคุณสมบัติของดินลมหอบที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ใน ตารางที่ 5 ผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า

- 1) (ตารางที่ 6) ค่าความเค้นในแนวตั้งแต่ละระดับความลึกจากผิวดินในการทดสอบแบบแห้งและแบบเปียกโดยอ่านจากเครื่องมือวัดความเค้นในแนวตั้ง (Earth Pressure Cell) แต่ละระดับความลึก ซึ่งในการทดสอบแบบเปียกค่าที่อ่านได้จะมีค่ามากกว่าในการทดสอบแบบแห้ง 15 - 40 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งระดับความลึกมากก็เห็นความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน
- 2) (ตารางที่ 3) (ภาพที่ 13) จะเห็นว่าเมื่อความเค้นที่กระทำมากขึ้น การกระจายความเค้นลงสู่ดินจะมีค่าเพิ่มขึ้น พิจารณาได้จากอัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบ (Stress Ratio) จะเห็นว่าที่ตำแหน่งได้ฐานรากมีอัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบมากที่สุดเท่ากับ 0.98 หมายถึงที่ระดับความลึกนี้มีความเค้นสูงที่สุด ส่วนที่ระดับความลึกที่ 0.5B มีความชื้น 0.43 ที่ระดับความลึก B มีอัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบ 0.86 ที่ระดับความลึก 1.5B มีอัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบ 0.55 และที่ระดับความลึก 2B มีอัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบ 0.42 อัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบแต่ละเส้นบ่งบอกถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความเค้นที่อ่านได้จากเครื่อง Earth Pressure Cell โดยจะสังเกตได้ว่าค่าความเค้นที่อ่านได้จะลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามตำแหน่งที่อยู่ห่างออกไปทางด้านข้าง ความชันของกราฟยังแปรผกผันกับปริมาณความชื้นในดินแต่ละระดับความลึก ที่ระดับความลึกยิ่งมากขึ้น ความชันของกราฟจะมีค่าที่น้อยลง
- 3) (ตารางที่ 4) (ภาพที่ 14) ผลการทดสอบการกระจายความเค้นแบบเปียก จะเห็นว่าที่ตำแหน่งได้ฐานรากมีอัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบสูงที่สุดเท่ากับ 1.02 ที่ระดับความลึกนี้รับความเค้นสูงที่สุด ส่วนที่ระดับความลึกที่ 0.5B มีอัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบ 0.76 ที่ระดับความลึก B มีอัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบ 0.87 ที่ระดับความลึก 1.5B มีอัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบ 0.62 และที่ระดับความลึก 2B มีอัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบ 0.55 อัตราส่วนของความเค้นในดินต่อความเค้นที่ใช้ทดสอบแต่ละเส้นบ่งบอกถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความเค้นที่อ่านได้จากเครื่อง Earth Pressure Cell โดยจะสังเกตได้ว่าค่าความเค้นที่อ่านได้จะลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามตำแหน่งที่อยู่ห่างออกไปทางด้านข้าง จะเห็นว่าค่าที่อ่านจากเครื่อง Earth Pressure Cell หลังจากที่ถูกความเค้น 110.36 kPa กระทำ ค่าความชันของกราฟระหว่างช่วงนั้นมีค่าลดลงเมื่อพิจารณาค่าการทรุดตัวพบว่าดินตัวอย่างเกิดการวิบัติที่ความเค้น 110.36 kPa กระทำ จึงทำให้อ่านค่าความเค้นที่แต่ละระดับความลึกลดลงเนื่องจากดินรับน้ำหนักไม่ได้แล้ว แต่ในการทดสอบให้น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นต่อทำให้ค่าความชันในช่วงหลังจากความเค้น 110.36 kPa มีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะดินรับน้ำหนักไม่ได้แล้วแต่ยังมีโมลเหล็ที่บรรจุดินเป็นตัวช่วยรับน้ำหนักแทน ความชันของกราฟยังแปรผกผันกับปริมาณความชื้นในดินแต่ละระดับความลึก ที่ระดับความลึกยิ่งมากขึ้น ความชันของกราฟจะมีค่าที่น้อยลง

4) (ภาพที่ 15) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวกับความเค้นที่กระทำกับฐาน เมื่อพิจารณาตามวิธีการทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบกทานของดินโดยใช้แผ่นเหล็ก (Plate Bearing Test) และให้ความเค้นกระทำที่ 110.36 kPa เป็นเวลา 60 นาที พบว่าดินเกิดการวิบัติแบบ General Shear Failure ที่ความเค้น 110.36 kPa เนื่องจากดินตัวอย่างมีอัตราการทรุดตัวเกิน 0.02 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งในการทดสอบแบบเปียกเกิดการทรุดตัวทั้งหมด 13.66 มิลลิเมตร

5) (ภาพที่ 16) กระเปาะความเค้นในการทดสอบแบบแห้ง ความเค้นกระจายลงไปในดินถึงที่ระดับความลึก 2B โดยคิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของความเค้นสูงสุดที่กระทำ โดยคำนวณจากร้อยละของอัตราส่วนความเค้นที่เกิดขึ้นจริงต่อความเค้นที่กระทำ

6) (ภาพที่ 17) กระเปาะความเค้นในการทดสอบแบบเปียก ความเค้นกระจายลงไปในดินถึงที่ระดับความลึก 2B โดยคิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของความเค้นสูงสุดที่กระทำ โดยคำนวณจากร้อยละของอัตราส่วนความเค้นที่เกิดขึ้นจริงต่อความเค้นที่กระทำ

ผลการวิเคราะห์เบี่ยงวิจ้ยด้วยโปรแกรม Plaxis 2D

1) (ตารางที่ 7 และ 8) ผลการวิเคราะห์เบี่ยงวิจ้ยด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ในสภาพดินแห้งและเปียก

2) โดยปกติแล้วฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจะทำการกำหนดโมเดลเป็นแบบ Plane Strain แต่ในงานวิจัยนี้กำหนดเป็น Axisymmetry เนื่องจากการจำลองให้เหมือนกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โมเดลแบบ Axisymmetry จะแสดงระนาบของความเค้นที่เกิดขึ้นและมีขอบเขตด้านข้างกันไว้ ซึ่งโมเดลแบบ Plane Strain จะสามารถนำไปวิเคราะห์กับดินในธรรมชาติได้ดีกว่า

3) ผลการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวโมเดลแบบแห้ง พบว่าค่าการทรุดตัวในแนวดิ่งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ ซึ่งในการวิเคราะห์โมเดลแบบแห้งนี้ที่น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำ 183.94 kPa มีค่าการทรุดตัวเท่ากับ 5.4 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบในแบบจำลองพบว่ามีความใกล้เคียงกัน

4) ผลการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวโมเดลแบบเปียก พบว่าค่าการทรุดตัวในแนวดิ่งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ เมื่อเปรียบเทียบกับวิเคราะห์โมเดลแบบแห้ง พบว่าค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์แบบเปียกมีค่ามากกว่า เนื่องจากมีการรักษาระดับน้ำทำให้ดินอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำและปริมาณความชื้นในดินมีค่ามากกว่าในแบบแห้ง ซึ่งในการวิเคราะห์โมเดลแบบเปียกมีค่าการทรุดตัวทั้งหมด 7.68 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการกระจายความเค้นแบบแห้ง

ระดับความลึกจากผิวดิน (ม.)	ความชื้น	ปริมาณความชื้น (%)
0.0	0.98	8.19
0.1	0.43	8.74
0.2	0.86	9.42
0.3	0.55	9.79
0.4	0.42	10.56



ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการกระจายความเค้นแบบเบี่ยง

ระดับความลึกจากผิวดิน (ม.)	ความชื้น	ปริมาณความชื้น (%)
0.0	1.02	11.58
0.1	0.76	10.56
0.2	0.87	11.09
0.3	0.62	10.15
0.4	0.55	10.56

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของดินลมหอบที่ใช้ในการทดสอบ (Saengthongthip, 2019)

คุณสมบัติ	ค่า	คุณสมบัติ	ค่า
Liquid Limit (LL), %	16.5	Optimum Moisture Content (OMC), %	7.22
Plastic Limit (PL), %	NA	Maximum Dry Density, g/cm ³	2.12
Plasticity Index (PI), %	NP	% Passing Sieve#4, %	100
Specific Gravity	2.65	% Passing Sieve#200, %	45
ประเภทของดิน (USCS)	SM		

ตารางที่ 6 ค่าความเค้นในแนวดิ่งแต่ละระดับความลึกจากผิวดินในการทดสอบ

Load	Stress	Total Stress (kPa)									
(kN)	(kPa)	Under footing		0.5B		1B		1.5B		2B	
Position											
Type		Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet
1.47	36.79	36.24	36.04	26.06	30.35	22.07	26.97	13.84	21.84	19.62	22.07
2.94	73.58	73.02	73.98	48.54	56.12	56.41	63.76	33.76	49.99	36.78	49.6
4.41	110.36	110.91	111.06	85.56	92.28	85.83	88.29	56.60	66.35	49.60	61.31
5.89	147.15	147.25	147.8	104.66	110.19	120.17	125.08	77.87	88.39	64.02	76.03
7.36	183.94	182.8	184.63	136.38	141.08	158.40	161.86	99.25	116.11	78.48	107.9

ตารางที่ 7 ค่าจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Plaxis 2D ของตัวอย่างดินในสภาพแห้ง

Load (kN)	Stress (kPa)	Total Stress (kPa)									
		Under footing		0.5B		1B		1.5B		2B	
Position											
Type		Model	Plaxis	Model	Plaxis	Model	Plaxis	Model	Plaxis	Model	Plaxis
1.47	36.79	36.24	35.57	26.06	26.68	22.07	22.23	13.84	17.78	19.62	22
2.94	73.58	73.02	70	48.54	50.84	56.41	55	33.76	45	36.78	35
4.41	110.36	110.91	110	85.56	83.72	85.83	85	56.60	60	49.60	45
5.89	147.15	147.25	145	104.66	100.95	120.17	120	77.87	75	64.02	63
7.36	183.94	182.2	182	136.38	141.64	158.40	159	99.25	107	78.48	71

ตารางที่ 8 ค่าจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Plaxis 2D ของตัวอย่างดินในสภาพเปียก

Load (kN)	Stress (kPa)	Total Stress (kPa)									
		Under footing		0.5B		1B		1.5B		2B	
Position											
Type	Model	Plaxis	Model	Plaxis	Model	Plaxis	Model	Plaxis	Model	Plaxis	
1.47	36.79	36.04	35	30.53	30	26.97	28	21.84	25	22.07	20
2.94	73.58	73.98	75	56.12	65	63.76	60	49.99	50	49.6	45
4.41	110.36	111.06	110	92.28	90	88.29	85	66.35	70	61.31	60
5.89	147.15	147.8	150	110.19	105	125.08	120	88.39	80	76.03	75
7.36	183.94	184.63	183.4	141.08	107.23	161.86	152.98	116.11	91.98	107.9	100



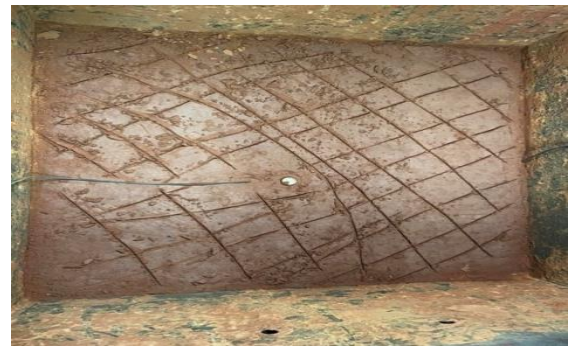
ภาพที่ 2 ภาพตัวอย่างการอบดิน



ภาพที่ 3 ภาพตัวอย่างการบดละเอียดดินลมหอบ
โดยเครื่อง Los Angeles



ภาพที่ 4 ภาพตัวอย่างการผสมดินกับน้ำ



ภาพที่ 5 ภาพการติดตั้ง EPC ที่ความลึก
0.1 และ 0.3 เมตรจากผิวดิน



ภาพที่ 6 ภาพการติดตั้งเครื่องมือ Earth Pressure Cell
ที่ความลึก 0.01, 0.2 และ 0.4 เมตรจากผิวดิน



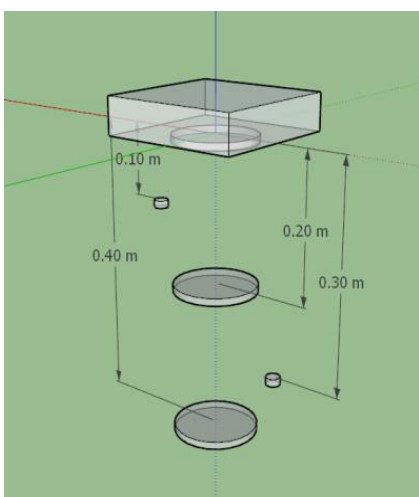
ภาพที่ 7 การทดสอบหาความหนาแน่นของดิน



ภาพที่ 8 การวางตำแหน่งของเครื่องมือต่างๆ

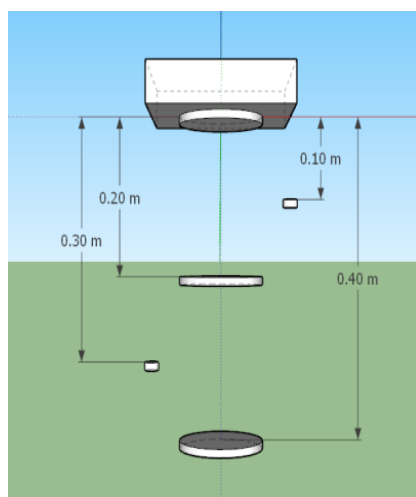


ภาพที่ 9 การวางโครงเหล็กและน้ำหนักบรรทุก



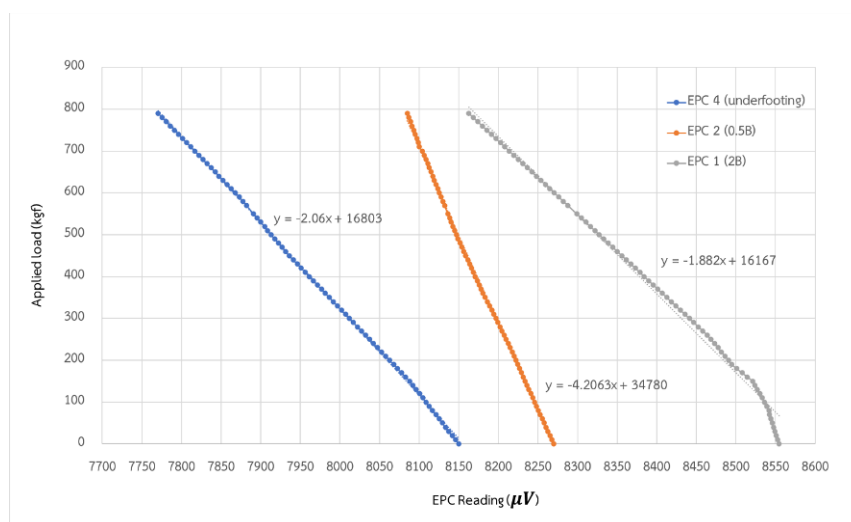
ภาพที่ 10 รายละเอียดการติดตั้งเครื่องมือ

Earth Pressure Cell

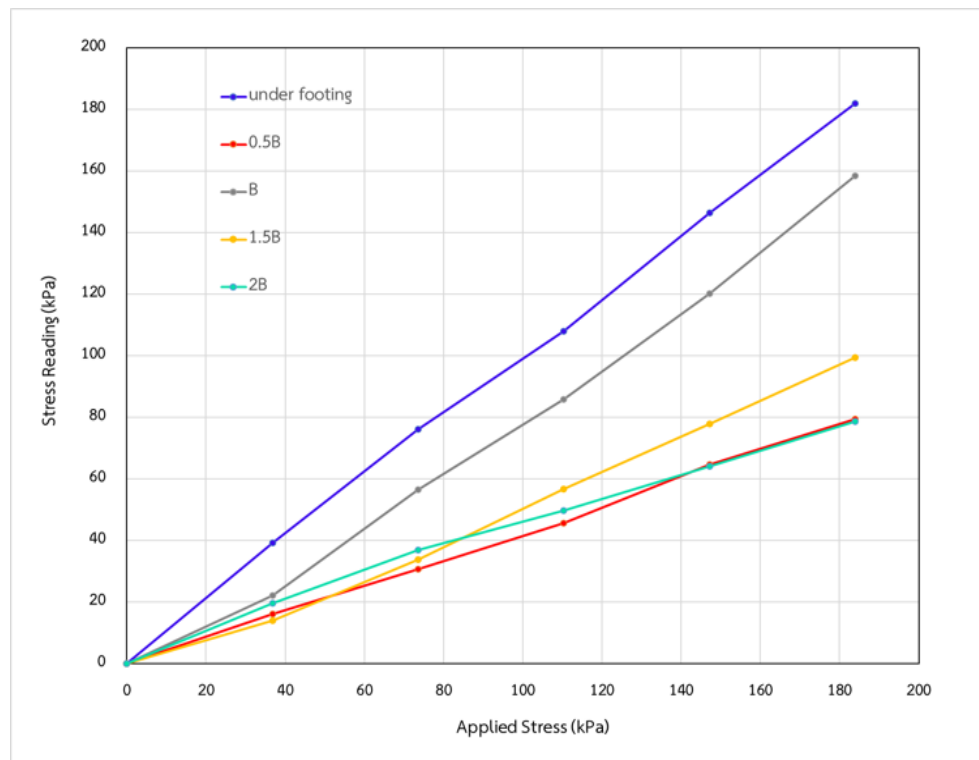


ภาพที่ 11 รายละเอียดการติดตั้งเครื่องมือ

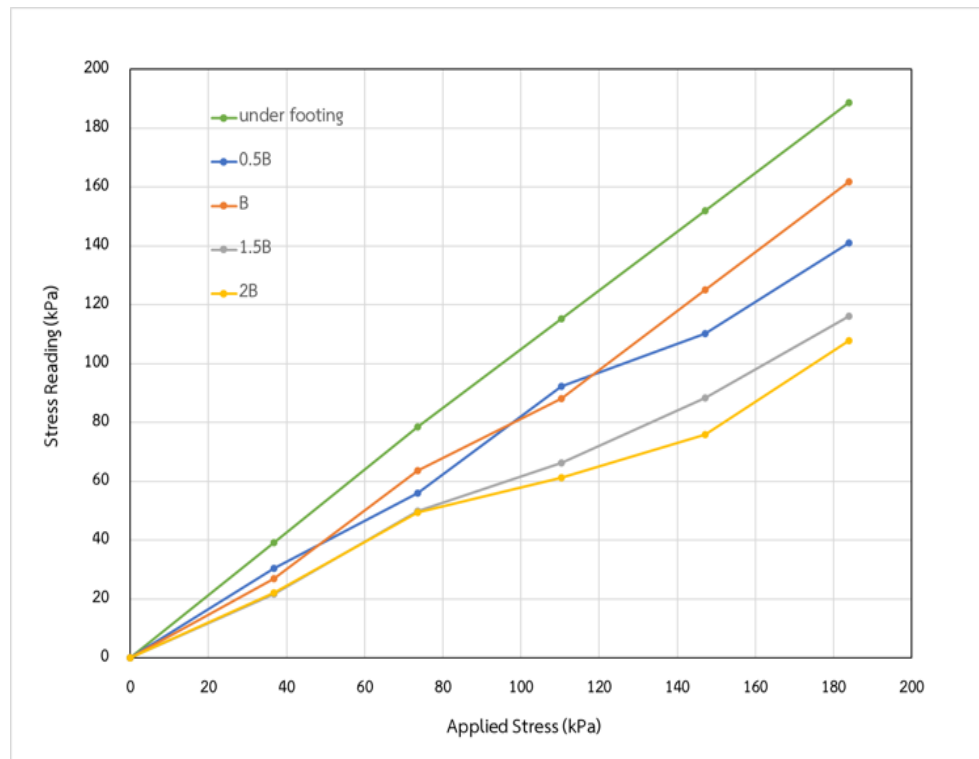
Earth Pressure Cell



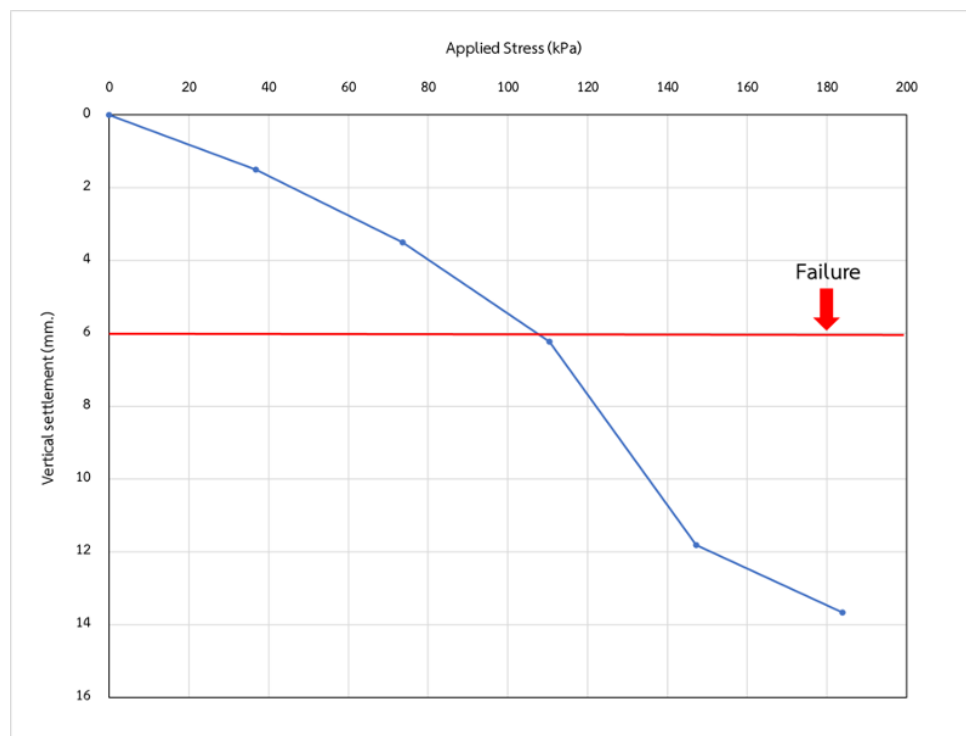
ภาพที่ 12 กราฟแสดงการสอบเทียบของเครื่องมือ Earth Pressure Cell



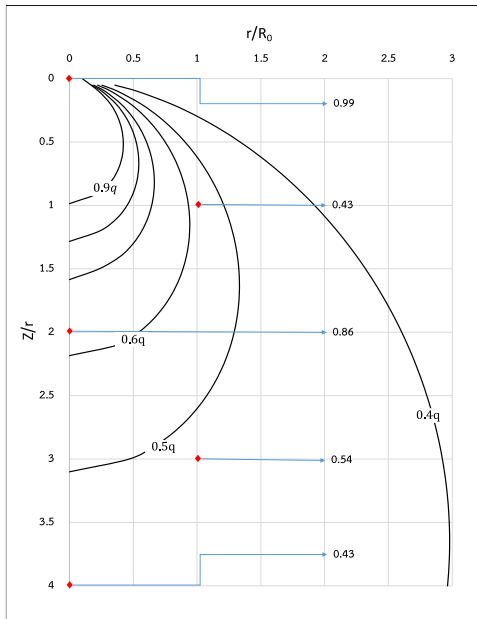
ภาพที่ 13 ผลการทดสอบการกระจายความเค้นแบบแห้ง



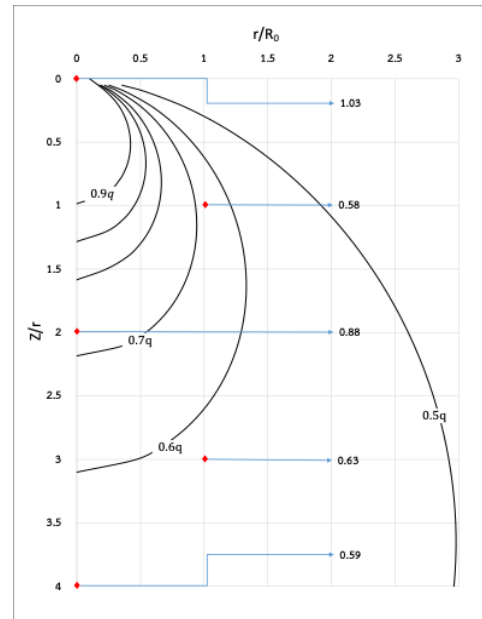
ภาพที่ 14 ผลการทดสอบการกระจายความเค้นแบบเปียก



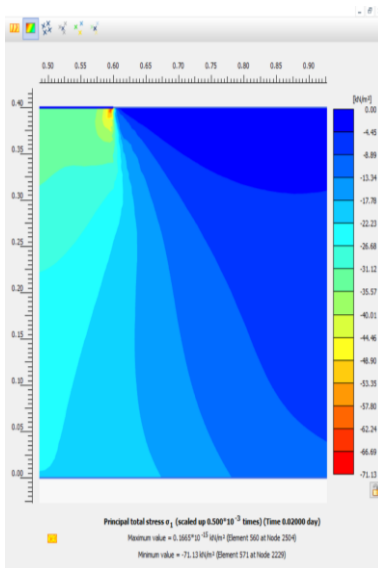
ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับค่าความเค้นในแนวดิ่งในการทดสอบแบบเปียก



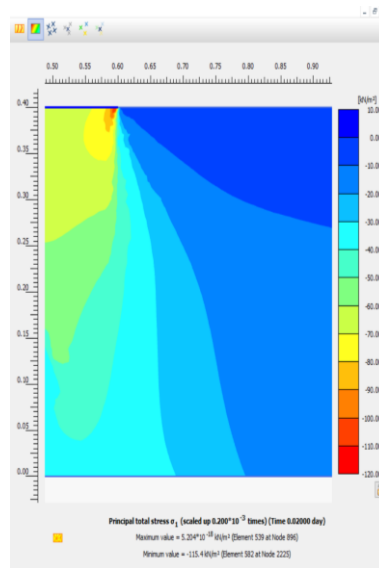
ภาพที่ 16 การกระจายความเค้นของดินบดอัด
ในการทดสอบแบบแห้ง



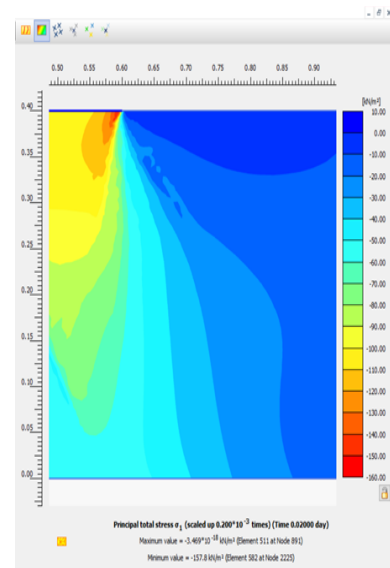
ภาพที่ 17 การกระจายความเค้นของดินบดอัด
ในการทดสอบแบบเปียก



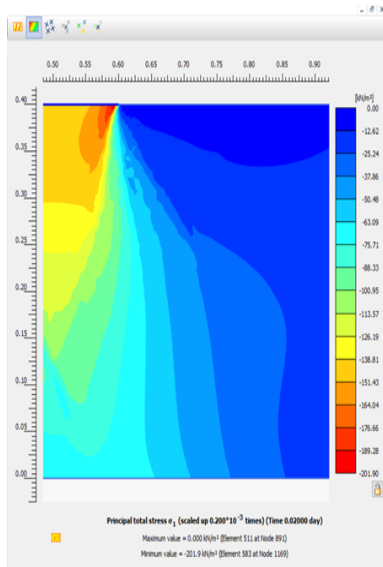
ภาพที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความเค้น
ในสภาพแห้งจากโปรแกรม
Plaxis 2D ที่ 36.79 kPa



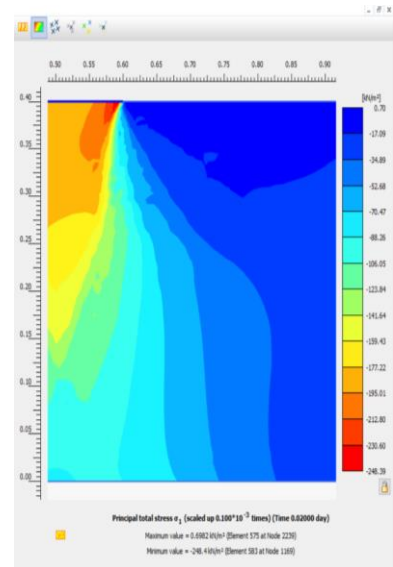
ภาพที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความเค้น
ในสภาพแห้งจากโปรแกรม
Plaxis 2D ที่ 73.58 kPa



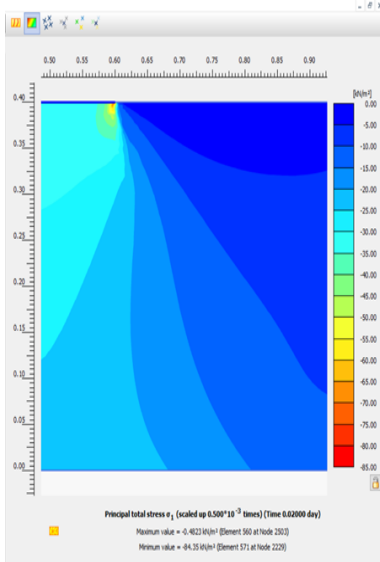
ภาพที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความเค้น
ในสภาพแห้งจากโปรแกรม
Plaxis 2D ที่ 110.36 kPa



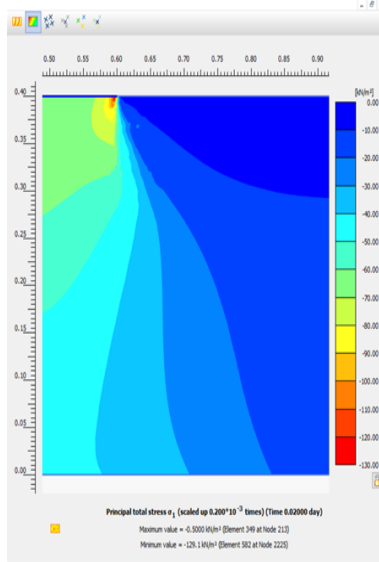
ภาพที่ 21 ผลจากการวิเคราะห์ความเค้น
ในสภาพแห้งจากโปรแกรม
Plaxis 2D ที่ 147.15 kPa



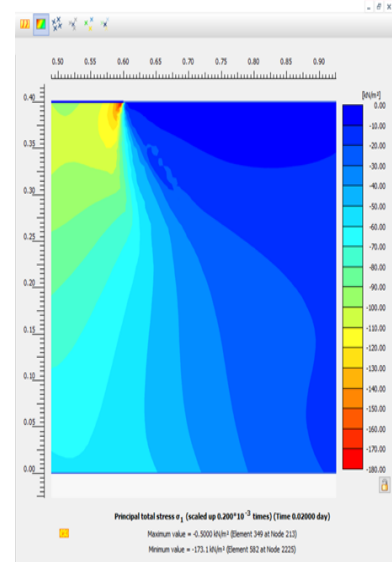
ภาพที่ 22 ผลจากการวิเคราะห์ความเค้น
ในสภาพแห้งจากโปรแกรม
Plaxis 2D ที่ 183.94 kPa



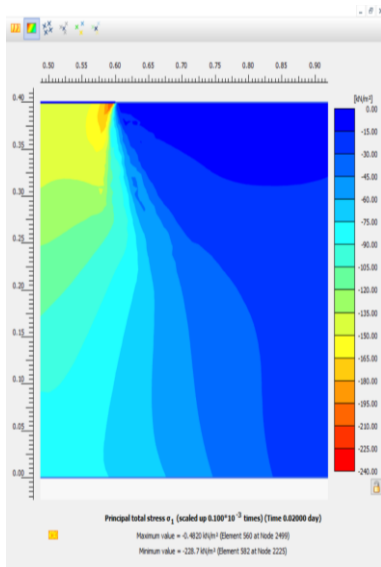
ภาพที่ 23 ผลจากการวิเคราะห์ความเค้น
ในสภาพเปียกจากโปรแกรม
Plaxis 2D ที่ 36.79 kPa



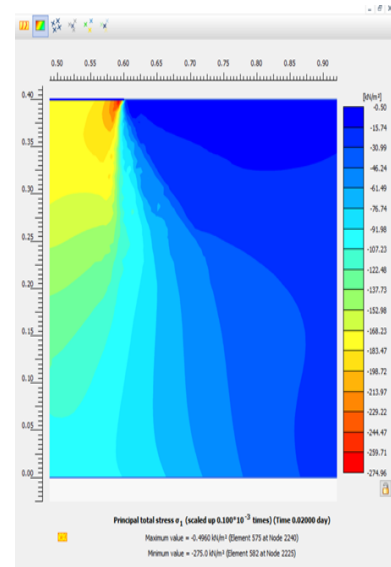
ภาพที่ 24 ผลจากการวิเคราะห์ความเค้น
ในสภาพเปียกจากโปรแกรม
Plaxis 2D ที่ 73.58 kPa



ภาพที่ 25 ผลจากการวิเคราะห์ความเค้น
ในสภาพเปียกจากโปรแกรม
Plaxis 2D ที่ 110.36 kPa



ภาพที่ 26 ผลจากการวิเคราะห์ความเค้น
ในสภาพเปียกจากโปรแกรม
Plaxis 2D ที่ 147.15 kPa



ภาพที่ 27 ผลจากการวิเคราะห์ความเค้น
ในสภาพเปียกจากโปรแกรม
Plaxis 2D ที่ 183.94 kPa

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการกระจายน้ำหนักของดินลมหอบที่ถูกบดอัดความสูง 0.4 เมตรในห้องปฏิบัติการ และควบคุมความหนาแน่นของดินต้องไม่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดทั้งสภาพแห้งและเปียกพบว่า

- 1) การกระจายความเค้นจากฐานรากลงสู่ดินตัวอย่างจะแปรผันตรงกับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ
- 2) จากกราฟผลการทดสอบการกระจายความเค้น ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดความเค้น (Earth Pressure Cell) ในการทดสอบแบบแห้งและแบบเปียก สรุปได้ว่าค่าความเค้นที่อ่านได้จะลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามตำแหน่งที่อยู่ห่างออกไปทางด้านข้าง การกระจายความเค้นของดินทั้งสภาพแห้งและเปียกจะกระจายลงไปถึงที่ระดับความลึก 2B ได้ ฐานรากแต่ในสภาพเปียกจะเกิดความเค้นของดินมากกว่าในสภาพแห้ง เมื่อนำค่าความเค้นในแนวตั้งจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการมาวาดกระเปาะความเค้นและการวิเคราะห์จากโปรแกรม Plaxis 2D พบว่าความเค้นที่กระจายลงไปในดินจะกระจายถึง 2B ได้ ฐานรากและกว้างออกไปทางด้านข้าง 1.5B

- 3) ในการทดสอบแบบแห้งเมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ 183.94 kPa แล้วดินตัวอย่างยังไม่เกิดการวิบัติ แต่ในการทดสอบแบบเปียกดินตัวอย่างเกิดการวิบัติแบบ General Shear Failure ที่น้ำหนักบรรทุก 110.36 kPa เนื่องจากดินตัวอย่างมีอัตราการทรุดตัวเกิน 0.02 มิลลิเมตรต่ออนาที่ ซึ่งในการทดสอบแบบเปียกเกิดการทรุดตัวทั้งหมด 13.66 มิลลิเมตร

อภิปรายผลการวิจัย

1) จากงานวิจัยของ Bezuijen and Ahmadi (2018) [9] พบว่าการวัดค่าความเค้นในแนวดิ่ง (Vertical Earth Pressure) เปลี่ยนไปตามระยะห่างระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับเครื่องมือวัด ถ้าตัวที่ติดตั้งไว้อยู่ใกล้กับน้ำหนักบรรทุกจะวัดค่าได้มากกว่าตัวที่อยู่ห่างออกไป ผลการทดสอบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยนี้

2) จากการศึกษาของ Lazzarin F. (2015) [10] พบว่าค่าความเค้นในแนวดิ่งที่อยู่ใต้น้ำหนักบรรทุกที่อยู่ชั้นบนจะมีค่าสม่ำเสมอมากกว่าชั้นที่อยู่ต่ำลงไปและตัวที่อยู่ห่างออกไปทางด้านข้าง ที่ระดับลึกลงไปมีความชันที่มากกว่าด้านบน ทำให้เครื่องมือวัดความเค้นเกิดการรับแรงดันที่มากเกินไปก่อนการถ่ายน้ำหนักจริง ซึ่งผลการทดสอบในการศึกษานี้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

3) เมื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นระหว่างแบบจำลองกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Plaxis 2D ในสภาพเปื่อยพบว่า พบว่าการทรุดตัวที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Plaxis 2D มีค่าน้อยกว่าจากการทดสอบในแบบจำลองประมาณ 6 มิลลิเมตร

4) ผลการวิเคราะห์โมเดลแบบแห้งเปรียบเทียบกับทดสอบในแบบจำลองแบบแห้งและผลการวิเคราะห์โมเดลแบบเปียกเปรียบเทียบกับทดสอบในแบบจำลองแบบเปียกพบว่าค่าความเค้นที่ได้จากการวิเคราะห์จากโปรแกรม Plaxis 2D ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของฐานราก มีความใกล้เคียงกับการทดสอบในแบบจำลองแบบแห้ง ส่วนค่าที่ตำแหน่งขอบของฐานราก มีความคลาดเคลื่อนอยู่ อาจมีผลจากการที่ตัวอย่างดินมีโมเลกุลล้อมรอบทำให้ค่าความเค้นกระจายออกทางด้านข้างและด้านใต้มีขอบเขตกัน ส่งผลต่อการกระจายความเค้นของดินและการเคลื่อนตัวของดินที่ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ ทำให้การเคลื่อนที่ของในแบบจำลองเกิดการเคลื่อนตัวมากกว่าการในโปรแกรมการวิเคราะห์

5) ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินและการกระจายความเค้นของดินด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ในสภาพเปียกและแห้งพบว่า ตัวอย่างดินในสภาพเปียกที่มีค่าแรงดึงดูดเมทริกต่ำกว่าตัวอย่างดินในสภาพแห้งนั้นเกิดการเคลื่อนที่และการกระจายความเค้นได้มากกว่า เนื่องจากค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ของดินที่อยู่ในสภาวะเปียกนั้นมีค่าที่น้อยกว่าตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบในสภาพแห้ง

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้เขียนขอขอบพระคุณ ครอบครัวที่ให้การผลักดัน ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำ ตลอดจนภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงการอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่และขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับทุนที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Jeffrey A. Farrar. The pressure bulb of stress distribution. Foundation Investigations for Structures. 2004.
2. Terzaghi K. Theoretical soil mechanics. New York: John Wiley. 1943.
3. Klukanova J, Frankovska A. Mechanisms of collapse of soil structure. Journal of African Earth Sciences. pages 149-172. 1995.



4. Punrattanasin P, Changjutturas K. The behavior of shallow foundation on loess subsoil from physical modeling. KKU Research Journal, 7(1), 48-56. 2007.
5. Saengthongthip A. Shear strength of compacted Khon Kaen loess by direct shear test and unconfined compression test. Khon Kaen: Khon Kaen University. 2019.
6. Chatchawan S. Drain shear strength of unsaturated compacted loess by multistage triaxial test. Khon Kaen: Khon Kaen University. 2019.
7. Brent T, Labuz JF, Dai S. Field Installation of an earth pressure cell. U.S.A.: Department of Civil Engineering, University of Minnesota. 2001.
8. Plate Bearing Test 1253-62. Department of public works and town and country planning. 2019;1-24.
9. Bezuijen A. and Ahmadi A. Full-scale mechanically stabilized earth (MSE) walls under strip footing load. Belgium: Ghent University. 2018.
10. Lazzarin F. Measurement of soil stresses in small scale laboratory model tests on granular soils. [n.p.]: School of Engineering Department of Civil, Building and Environmental Engineering. 2015.