

การศึกษาพารามิเตอร์ของความลาดดินที่เพิ่มเสถียรภาพด้วยถุงจีโอเทกซ์ไทล์บรรจุทราย
โดยอาศัยการทบทวนวรรณกรรมและการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
The Parametric Study of Soil Slope Stabilized with Geotextile Sand Container
Based on Review Works and Finite Element Analysis

จิตินันต์ พรหมรินทร์*, พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม, และ ธวัชชัย ตันชัยสวัสดิ์
Jitinun Prommarin*, Peerapong Jitsangiam, and Tawatchai Tanchaisawat

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

* Corresponding author e-mail: jitinun_pr@cmu.ac.th

(Received: September 30, 2020, Revised: November 12, 2020, Accepted: November 17, 2020)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีเป้าประสงค์ในการประเมินอิทธิพลของลักษณะถุงจีโอเทกซ์ไทล์บรรจุทรายที่มีผลต่อความเค้นกดและแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ เพื่อนำไปใช้ในการเพิ่มเสถียรภาพความลาด โดยการประเมินนี้ได้ใช้ความสัมพันธ์อย่างง่ายตามสมการความสัมพันธ์ของ Matsuoka et al. (2000) โดยผลที่ได้จากการคำนวณเป็นค่ากำลังรับแรงกดและค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏที่เกิดขึ้นจากการรับแรงดึงของจีโอเทกซ์ไทล์ ซึ่งมีปัจจัยจากกำลังดึงของจีโอเทกซ์ไทล์ (ตามชนิดและความหนาของจีโอเทกซ์ไทล์), ค่ามุมเสียดทานภายในของวัสดุบรรจุ (ตามชนิดวัสดุ, กำลัง, และความหนาแน่น), ความสูงและความกว้างของถุงเดี่ยวเริ่มต้น ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงดึงของจีโอเทกซ์ไทล์และค่ามุมเสียดทานภายในของวัสดุบรรจุ ทำให้กำลังรับแรงกดและค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับการลดความสูงของถุงเดี่ยวลงทำให้กำลังรับแรงกดสูงขึ้นอย่างมาก แต่ในการเพิ่มความกว้างของถุงเดี่ยวกลับสามารถเพิ่มกำลังรับแรงกดได้เพียงเล็กน้อย ส่วนการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินจากการประยุกต์ใช้งานถุงจีโอเทกซ์ไทล์บรรจุทรายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าถุงบรรจุทรายสามารถพัฒนาเสถียรภาพลาดดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยต้องมีการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพประกอบด้วยวิธีการเรียงถุงบรรจุทราย, ความสูงของถุงบรรจุทรายแต่ละชั้น, และความเอียงของระบบกำแพงกันดิน

คำสำคัญ: ถุงจีโอเทกซ์ไทล์บรรจุทราย, กำลังรับแรงกด, แรงยึดเหนี่ยวปรากฏ, ไฟไนต์เอลิเมนต์, เสถียรภาพลาดดิน

Abstract

This study aimed to evaluate influential characteristics of the so-called geotextile sand container (GSC), affecting to an increase of its maximum compressive strength and apparent cohesion for applying slope stability improvement. This evaluation was based upon an established relationship (Matsuoka et al., 2000) between the capacities of geotextile tensile strength and filled sand properties. The influential factors used in this study were geotextile tensile strength depending upon types and thicknesses and the internal friction angle of filled sand depending upon types, strength, and density, and width and depth of GSC. Study results revealed higher geotextile tensile strength, and filled sand internal friction angle, better shear strength of GSC. Besides, a decrease of the geotextile container depth resulted in a significant increase in the GSC strength. However, an increase in the geotextile container width showed a slight increase in the GSC strength. For the slope stability improvement with GSC through the finite element simulation, study results demonstrated that GSC could enhance better slope stability than that of one without GSC. However, the slope stability improvement with GSC

must consider the affecting factors of GSC arrangement patterns on a slope, a depth of a GSC stack layer, and an inclination degree of a slope.

Keywords: Geotextile Sand Container, Compressive Strength, Apparent Cohesion, Finite Element, Slope Stability

1. บทนำ

ถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุดินเป็นองค์ประกอบร่วมกันระหว่างแผ่นใยสังเคราะห์และวัสดุที่ใช้บรรจุภายใน ซึ่งสามารถเป็นกรวด, ดิน, ทราย, หรือวัสดุจากการก่อสร้างและการรีไซเคิล (Hataf & Sayadi, 2018) โดยถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายถูกใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการรับมือกับภัยน้ำท่วมหรือคลื่นทะเลมานานหลายทศวรรษ (Akter et al., 2012) และถูกนำมาใช้ในงานทางธรณีเทคนิคเช่น การเสริมเสถียรภาพในฐานรากดินอ่อน (Matsuoka & Liu, 2003) การปรับปรุงปัญหาดินบวมตัว (Xu et al., 2008; Liu et al., 2015; Wang et al., 2015), ชั้นหน่วงสำหรับลดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการจราจร (Matsuoka & Liu, 2003; Liu et al., 2014) การเสริมแรงฐานรากของชั้นหินโรยทางรถไฟ (Liu et al., 2017) การติดตั้งเป็นผิวหน้าของกำแพงเสริมกำลังด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ (Liu et al., 2017) และการเสริมกำลังกำแพงกันดิน (Xu et al., 2008; Wang et al., 2015; Wen et al., 2016) โดยที่ถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายมีความสามารถในการเพิ่มกำลังรับแรงกด และมีความสะดวกในการก่อสร้างโดยไม่ต้องเครื่องจักรขนาดใหญ่หรือความเชี่ยวชาญของผู้ก่อสร้างมากนัก อีกทั้งยังสามารถใช้วัสดุในท้องถิ่นบรรจุภายในถุงได้ ทำให้เป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่ต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบของการเสริมกำลังดินโดยอิทธิพลที่มีผลต่อเฉพาะเสถียรภาพลาดดินจะอยู่ในรูปแบบการเสถียรของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์และการเคลื่อนตัวจากการเลื่อนไถล (Sliding) หรือการถูกดึงออก (Pullout) และพบว่ามุมเสียดทานของผิวจีโอเท็กซ์ไทล์ที่มาก มีผลทำให้เสถียรภาพในการต้านทานการเลื่อนไถลได้ดีกว่า (Recio & Oumeraci, 2009)

การศึกษาในประเด็นเรื่องพฤติกรรมการรับแรงของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทราย โดยทั่วไปของการต่อหุ้มวัสดุชนิดเม็ดด้วยวัสดุที่มีความเหนียวจะแสดงในรูปแบบผสมผสานกันระหว่างแรงยึดเหนียวจากคุณสมบัติความสามารถในการรับแรงดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์เมื่อถูกให้รับแรง และแรงขัดกันระหว่างอนุภาคของวัสดุที่บรรจุภายใน (Matsuoka & Liu, 2003) อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาที่เกี่ยวกับอิทธิพลของคุณลักษณะของถุงจีโอ

เท็กซ์ไทล์บรรจุทรายที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงกดของถุงเดี่ยว

ปัจจุบันมีการศึกษาจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบในภาคสนาม และการทดสอบในห้องปฏิบัติการของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุดิน แต่การศึกษาเชิงตัวเลขของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุดินภายใต้สถานการณ์การรับแรงที่แตกต่างกันกลับค่อนข้างมีจำนวนน้อย (Tanton & Bauer, 2008; Ansari et al., 2011; Wu et al., 2020). เนื่องจากความซับซ้อนจากการจำลองรูปทรงเรขาคณิตของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุดินให้ได้ตรงตามความเป็นจริง บวกกับการให้ข้อจำกัดในการประกอบถุงตามความเป็นจริง อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสามารถนำไปใช้ตรวจสอบพฤติกรรมของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุดินที่คาดการณ์ไว้ภายใต้เงื่อนไขการให้น้ำหนักที่ซับซ้อนได้ (Ansari et al., 2011) จากการศึกษาของ Ansari et al. (2011) ได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายแบบถุงเดี่ยวภายใต้การรับแรงกดในแนวตั้ง โดยทำการจำลององค์ประกอบของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายเป็น 3 ชนิดประกอบด้วย (1) วัสดุทรายภายในที่ถูกรัดด้วยแบบจำลองวัสดุของมอห์ร์-คูลอมบ์ (2) วัสดุถุงกำหนดใช้แบบจำลองวัสดุแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น-พลาสติกสมบูรณ์ และ (3) แผ่นรับแรงกดชนิดแข็งที่เป็นตัวรับแรงกดในแนวตั้งลงบนถุง และในแต่ละส่วนผิวสัมผัสระหว่างวัสดุถูกจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนผิวสัมผัสระหว่างวัสดุถุงและดินภายในและส่วนผิวสัมผัสระหว่างถุงและแผ่นกดให้แรงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างวัสดุ โดยผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขพบว่ากำลังการรับแรงกดของถุงบรรจุทรายโดยรวมสูงขึ้นเมื่อกำลังรับแรงเฉือนของวัสดุภายในถุงและความหนาวัสดุถุงเพิ่มขึ้น

งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุดินในงานเสริมเสถียรภาพแก่ลาดดิน มีการสร้างแบบจำลองทั้งในเชิงกายภาพ (Wen et al., 2016) และเชิงตัวเลข (Wu et al., 2020) โดยพบว่าเมื่ออัตราส่วนความลาดชันเพิ่มขึ้น การวิบัติของลาดดินที่รองรับด้วยถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุด้วยวัสดุเหลือทิ้งจากการก่อสร้าง จะเปลี่ยนจากการเลื่อนวิบัติเป็นการเลื่อนและล้มคว่ำ จากนั้นจะกลายเป็นการล้มคว่ำและไถล และค่าเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงกันดินที่สร้าง

จากถุงบรรจุดินมีปริมาณน้อยที่ด้านล่างและบนสุดของลาดดิน แต่จะมีปริมาณมากในช่วงกึ่งกลางลาดดิน หรือกล่าวได้ว่า กำแพงกันดินจากระบบการใช้ถุงดินมีโหมดการเสียรูปโดยรวม เป็นแบบยืดหยุ่น (Flexible Mode) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังขาดแคลนการศึกษาที่เกี่ยวกับอิทธิพลของลักษณะของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายที่ผลต่อเสถียรภาพและการเคลื่อนตัวของลาดดินอย่างแน่ชัด

บทความงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาอิทธิพลของคุณลักษณะถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย การศึกษาอิทธิพลของคุณลักษณะถุงบรรจุทรายแบบถุงเดี่ยวที่มีผลต่อกำลังรับแรงกด จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่ายของ Matsuoka et al. (2000) และส่วนที่สองเป็นการศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพลาดดินจากการเสริมด้วยถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทราย โดยอาศัยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถเป็นประโยชน์ในการสร้างแนวทางการออกแบบถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายสำหรับงานเสริมเสถียรภาพลาดดินอย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

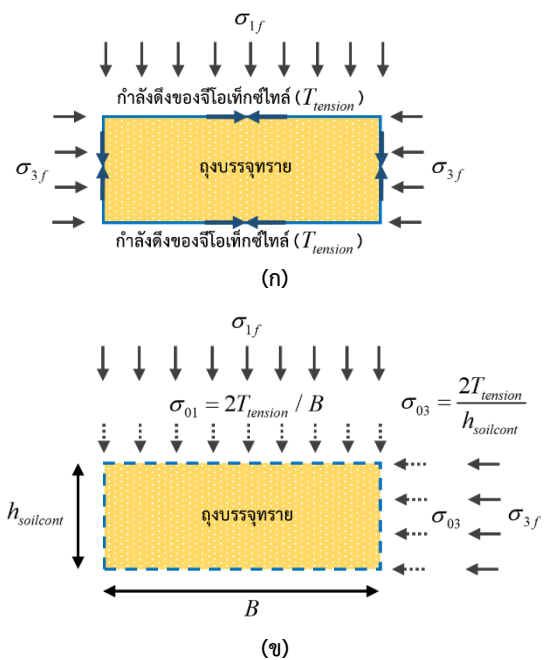
2. พฤติกรรมการรับแรงกดของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทราย

การท่อน้ำวัสดุชนิดเม็ดด้วยวัสดุถุงจะแสดงคุณลักษณะทั่วไปในรูปแบบผสมผสานกันระหว่างวัสดุที่มีแรงยึดเหนี่ยวและแรงขัดกันระหว่างอนุภาค โดย Matsuoka and Liu (2003) และ Liu et al. (2017) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายถุงเดี่ยวภายใต้การรับแรงกดในแนวตั้ง และได้เสนอในรูปแบบการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่าย โดยวิธีการที่นำเสนอได้รับการตรวจสอบความถูกต้องผ่านการทดสอบการรับแรงอัดสองแกน (Biaxial Compression Test) และการทดสอบแรงกดแบบไม่จำกัดแรงดันด้านข้าง (Unconfined Compression Test) ซึ่งให้ผลค่ามุมเสียดทานภายในของวัสดุที่ใช้บรรจุเมื่อบรรจุในถุงจีโอเท็กซ์ไทล์มีค่าเท่าเดิมกับเมื่อทดสอบวัสดุที่ใช้บรรจุโดยตรง โดยปรากฏเป็นค่าแรงยึดเหนี่ยวขึ้นในการทดสอบ หรือกล่าวได้ว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ปรากฏเกิดจากการกระทำของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์ โดยที่ถุงจีโอเท็กซ์ไทล์เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการรับแรงดึงเมื่อถูกให้รับแรง

ความสัมพันธ์ของความเค้นตามแนวของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายมีความเกี่ยวข้องกับเสถียรภาพของระบบ จากการศึกษาของ Matsuoka and Liu (2000) และ Liu et al. (2017) ในการทดสอบการรับแรงอัดสองแกนและการทดสอบแรงกดแบบไม่จำกัดแรงดันด้านข้างของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุ

ทราย ได้สรุปเป็นความสัมพันธ์ของความเค้นที่เกิดขึ้นในทรายภายในถุง ดังแสดงในรูปที่ 1

โดยถุงบรรจุทรายในรูป 2 มิติ ที่อยู่ภายใต้ความเค้นหลักคือ σ_{1f} และ σ_{3f} และภายใต้การประยุกต์ใช้ σ_{01} และ σ_{03} ตามที่แสดงในสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งความเค้นนี้เกิดจากเส้นรอบวงทั้งหมดของภาชนะที่มักจะเกิดการเสียรูป แบบขยายตัวขึ้นตามกำลังรับแรงดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์ ($T_{tension}$) และสร้างเป็นความเค้นเพิ่มเติมที่ทำกับอนุภาคทรายที่อยู่ภายในถุง



รูปที่ 1 ความเค้นที่เกิดขึ้น; (ก) บนถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทราย, (ข) ภายในทราย (ปรับปรุงจาก Liu et al., 2017)

$$\sigma_{01} = \frac{2T_{tension}}{B} \quad (1)$$

$$\sigma_{03} = \frac{2T_{tension}}{h_{soilcont}} \quad (2)$$

โดยที่ B และ $h_{soilcont}$ คือ ความกว้างและความสูงของถุงบรรจุทราย ตามลำดับ และ $T_{tension}$ คือ กำลังรับแรงดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์

ดังนั้นความเค้นที่กระทำต่ออนุภาคทรายภายในถุงจะเป็นผลรวมของความเค้นภายนอกและความเค้นที่เกิดขึ้นจากกำลังรับแรงดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์ ($T_{tension}$) ภายใต้แรงกระทำ ดัง

แสดงในรูปที่ 1(b) โดยที่สภาวะเกิดการวิบัติ จะมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3 (Matsuoka et al., 2000)

$$\sigma_{1f} + \frac{2T_{tension}}{B} = K_p \left(\sigma_3 + \frac{2T_{tension}}{h_{soilcont}} \right) \quad (3)$$

โดยที่ ϕ คือ มุมเสียดทานภายในของทรายและ K_p คือสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างแบบแพชชีฟ ดังสมการที่ 4

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (4)$$

จากการเปรียบเทียบสมการที่ 3 กับการแสดงกำลังสำหรับวัสดุที่มีความเหนียว และค่ามุมเสียดทานภายใน ได้เป็นสมการเพื่ออธิบายแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion, c) ของถลุงเนื่องจากกำลังรับแรงดึงของวัสดุถลุงที่สามารถรับได้สรุปเป็นความสัมพันธ์ดังสมการที่ 5

$$c = \frac{T_{tension}}{B\sqrt{K_p}} \left(\frac{B}{h_{soilcont}} K_p - 1 \right)$$

โดยความสัมพันธ์เหล่านี้มีการใช้สมมติฐานอย่างง่ายในการพิจารณาในการวิเคราะห์ สมมติฐานเหล่านี้ประกอบด้วย วัสดุที่ใช้บรรจุไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลดินและไม่มีน้ำหนัก, สภาพความเครียดแบบระนาบ (Plane Strain), ส่วนผิวสัมผัสระหว่างดินและถลุงเป็นแบบไม่มีแรงเสียดทาน, และความหนาของถลุงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเสีรูป นอกจากนี้ยังใช้สมมติฐานการวิเคราะห์อื่น ๆ ตัวอย่างเช่น อัตราส่วนความเค้นหลักของดินจะถือว่าเป็นไปตามฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล

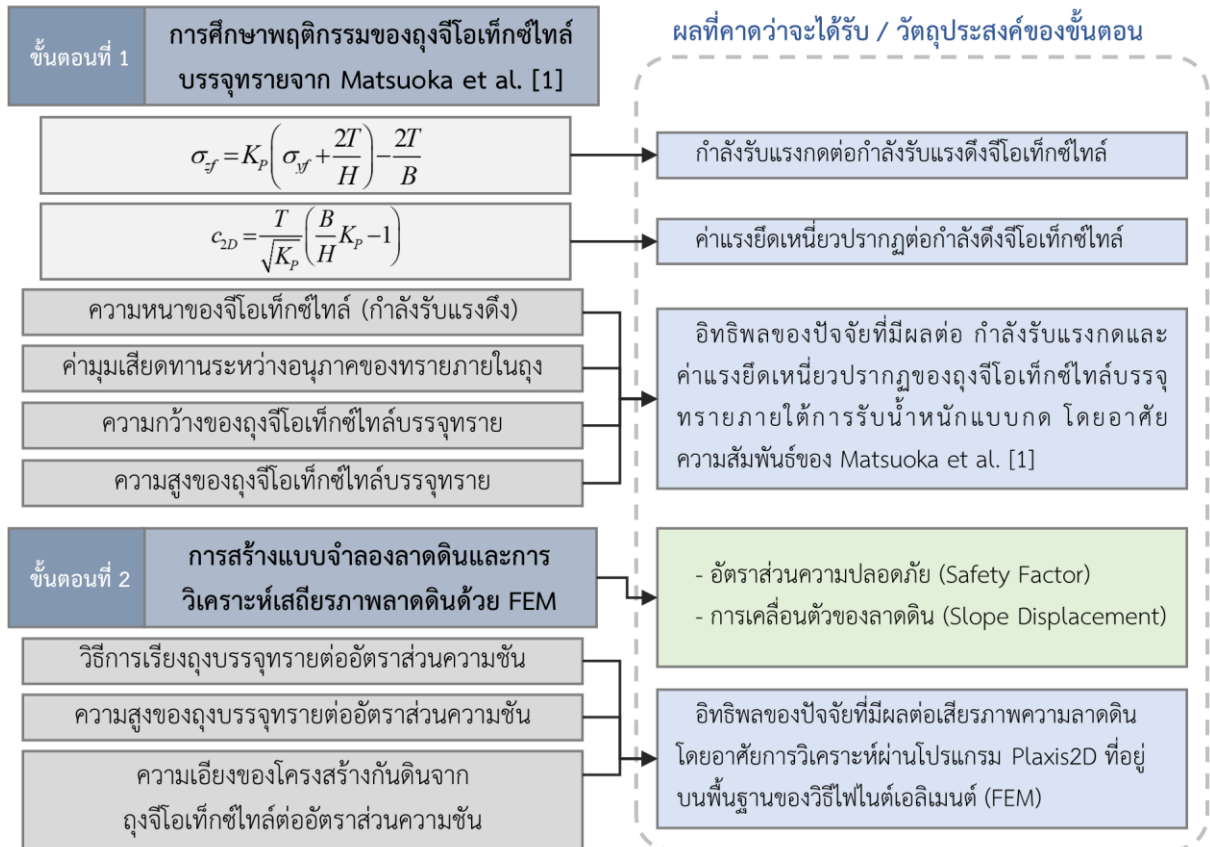
(Exponential Function) และความเครียดเชิงปริมาตรของถลุงลดลง (โดยจะขึ้นอยู่กับผลการทดสอบ) (Liu et al., 2017)

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การกำหนดแบบจำลองถลุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายและการวิเคราะห์กำลังรับแรงกดของถลุงเดี่ยวด้วยความสัมพันธ์อย่างง่ายของ Matsuoka et al. (2000) และการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังแสดงแผนการดำเนินงานวิจัยใน 0

ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาอิทธิพลที่มีผลกำลังการรับแรงกดของถลุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายถลุงเดี่ยวจากการรับน้ำหนักแบบกด โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของถลุงบรรจุทรายภายใต้การรับแรงกดของ Matsuoka et al. (2000) ในการคาดการณ์กำลังรับแรงกด ภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงค่ามุมเสียดทานระหว่างอนุภาคของทรายภายในถลุง, ความหนาของจีโอเท็กซ์ไทล์, และความสูงของถลุงบรรจุทราย

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างแบบจำลองลาดดินจากการประยุกต์ใช้ถลุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายในการเสริมเสถียรภาพลาดดิน บนพื้นฐานของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Plaxis2D ในการสร้างแบบจำลองลาดดินและการวิเคราะห์อัตราส่วนความปลอดภัย (Safety Factor) โดยเป็นการศึกษาอิทธิพลของวิธีการเรียงถลุงบรรจุทรายต่ออัตราส่วนความชัน, ความสูงของถลุงบรรจุทรายต่ออัตราส่วนความชัน, และความเอียงของโครงสร้างกันดินจากถลุงจีโอเท็กซ์ไทล์ต่ออัตราส่วนความชัน ที่จะมีผลต่อเสถียรภาพลาดดินโดยรวม โดยการกำหนดพารามิเตอร์ค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏในการแสดงคุณสมบัติของถลุงจีโอเท็กซ์ไทล์จากสมการความสัมพันธ์ความสามารถในการรับแรงของถลุงบรรจุทรายภายใต้การรับแรงกดของ Matsuoka et al. (2000) จากขั้นตอนที่ 1



รูปที่ 2 แผนการดำเนินงานวิจัยและผลที่คาดว่าจะได้รับ

ส่วนที่ 1: อิทธิพลที่มีผลต่อกำลังรับแรงกดของถุงเดี่ยว

ส่วนนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อกำลังรับแรงกดของถุงเดี่ยว ประกอบไปด้วยการกำหนดแบบจำลองถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายต้นแบบ, การวิเคราะห์กำลังการรับแรงกดของถุงเดี่ยวด้วยความสัมพันธ์ของ Matsuoka et al. (2000) และผลการวิเคราะห์ด้วยความสัมพันธ์อย่างง่าย ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การกำหนดแบบจำลองถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายต้นแบบ

การกำหนดแบบจำลองของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายประกอบด้วย รูปทรง, ขนาด, และวัสดุ โดยที่รูปทรงถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายในงานวิจัยนี้ ถูกกำหนดให้มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากเพื่อให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลองและให้เป็นที่นิยมมากที่สุด เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลองและให้เป็นที่นิยมมากที่สุด เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลองและให้เป็นที่นิยมมากที่สุด เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลองและให้เป็นที่นิยมมากที่สุด

โดยคุณสมบัติด้านกำลังหรือกำลังรับแรงดึงของวัสดุจะขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์ ส่วนวัสดุบรรจุภายในถุงกำหนดใช้ทรายแห้งซึ่งมีค่ามุมเสียดทานภายในระหว่างอนุภาคเป็นคุณสมบัติด้านกำลัง ซึ่งโดยหลักจะขึ้นอยู่กับขนาดมวลรวมคละและความหนาแน่นของทราย ซึ่งค่านี้จะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาวะแพชซีฟ ของ Rankine (Rankine's Passive Lateral Earth Pressure Coefficient)

3.2 การวิเคราะห์กำลังการรับแรงกดของถุงเดี่ยวด้วยความสัมพันธ์ของ Matsuoka et al. (2000)

การคาดการณ์กำลังรับแรงกดของถุงบรรจุทรายจากความสัมพันธ์ของ Matsuoka et al. (2000) ดังสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 5 ต้องการอินพุตพารามิเตอร์ในการคำนวณได้แก่ กำลังรับแรงดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์, $T_{tension}$, ความกว้าง (B) และความสูง ($h_{soilcont}$) ของถุงบรรจุทราย, และค่ามุมเสียดทานภายในระหว่างอนุภาค (ϕ) ของทรายที่ใช้บรรจุภายในถุง

ตารางที่ 1 ค่าอินพุตพารามิเตอร์ของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายในการคำนวณความสัมพันธ์ของ (Matsuoka et al., 2000)

Bag	Initial Value	Value	Unit
Tensile Strength of Geotextile	0.00 – 30.00	0.00 – 30.00	kN/m
Width of Container	1.00	1.00 – 0.25	m
Height of Container	1.00	1.00 – 2.00	m
Fill Material	Dry sand	Dry sand	
Friction Angle of Fill Sand	35.0	20.0 – 40.0	Degree

การกำหนดช่วงของค่าอินพุตพารามิเตอร์ในการคำนวณความสัมพันธ์ถูกแบ่งออกตามกรณีศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังการรับแรงของถุงบรรจุทราย (กำลังรับแรงเฉือนของทราย, ความกว้างของถุง, และความสูงของถุง) โดยในการคำนวณอิทธิพลกรณีใด ๆ ที่นอกเหนือจากอิทธิพลที่ต้องการศึกษาจะถูกกำหนดให้ใช้ค่าเริ่มต้น และสำหรับปัจจัยที่จะทำการศึกษาก็ทำการคำนวณตามช่วงที่กำหนดไว้ตามที่แสดงใน 0

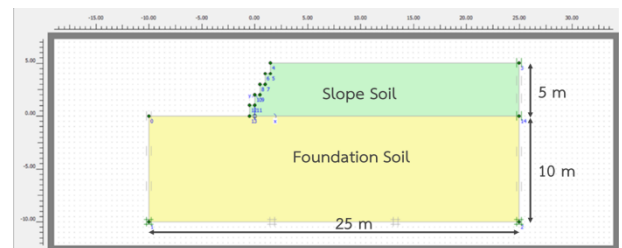
ส่วนที่ 2: เสถียรภาพลาดดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การจำลองเสถียรภาพลาดดินโดยการประยุกต์ใช้ถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทราย โดยการใช้โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพ Plaxis2D ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาอัตราส่วนความปลอดภัย, การเคลื่อนตัวของลาดดิน, และอื่น ๆ โดยเป็นการวิเคราะห์ที่เชิงเปรียบเทียบในกรณีที่มีและไม่มี การปรับปรุงเสถียรภาพความลาดด้วยถุงบรรจุทราย จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์กรณีที่มีผลต่อเสถียรภาพลาดดินจากการใช้ถุงบรรจุทราย ประกอบด้วยวิธีในการเรียงถุงบรรจุทรายต่ออัตราส่วนความลาดชัน, ความสูงของถุงบรรจุทรายในแต่ละชั้นต่ออัตราส่วนความลาดชัน, และความเอียงของระบบกำแพงกันดินต่ออัตราส่วนความลาดชัน

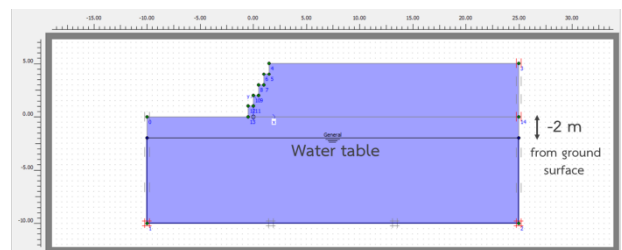
3.3 แบบจำลองลาดดินเดิมสำหรับการวิเคราะห์โปรแกรม

แบบจำลองลาดดินของทุกกรณีที่ทำกรวิเคราะห์เสถียรภาพถูกกำหนดการตั้งค่าง่อนการวิเคราะห์สำหรับโปรแกรม Plaxis2D โดยการวิเคราะห์แบบจำลองในแนวระนาบการเฉือน (Plane Strain) และใช้จำนวนโนดของเอลิเมนต์เท่ากับ 15 โหนด สำหรับทุกกรณีกำหนดให้รูปร่างและขนาดแบบจำลองลาดดินเดิมที่ใช้ และระดับน้ำใต้ดินที่ตำแหน่ง -2.00 เมตรจากระดับพื้นผิวดิน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ตามลำดับ คุณสมบัติของดินฐานรากและลาดดินกำหนดใช้ข้อมูลคุณสมบัติดินโดยทั่วไป ดังแสดงใน 0

ในขั้นตอนการคำนวณเสถียรภาพของลาดดินในโปรแกรม Plaxis2D มีขั้นตอนการคำนวณ 2 เฟส ประกอบด้วย เฟสที่ 1 เป็นการวิเคราะห์ตามขั้นตอนการก่อสร้าง (Stage Construction) โดยกำหนดให้ลาดดินที่ใช้เป็นลาดดินตามธรรมชาติ และในกรณีที่ระบบเสริมด้วยกำแพงกันดินจะวิเคราะห์ที่ระยะที่การก่อสร้างกำแพงกันดินนั้นแล้วเสร็จ และเฟสที่ 2 เป็นการคำนวณหาอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดิน โดยวิธีการลดกำลังวัสดุ (c/phi Reduction) ผลจากการวิเคราะห์ที่ถูกรับเสนอในบทความนี้ ประกอบไปด้วย ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยและค่าการเคลื่อนตัวของลาดดิน



รูปที่ 3 แบบจำลองลาดดินในการวิเคราะห์โปรแกรม



รูปที่ 4 แบบจำลองเส้นระดับน้ำใต้ดินในการวิเคราะห์โปรแกรม

3.4 อิทธิพลของวิธีการเรียงถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายต่ออัตราส่วนความชัน

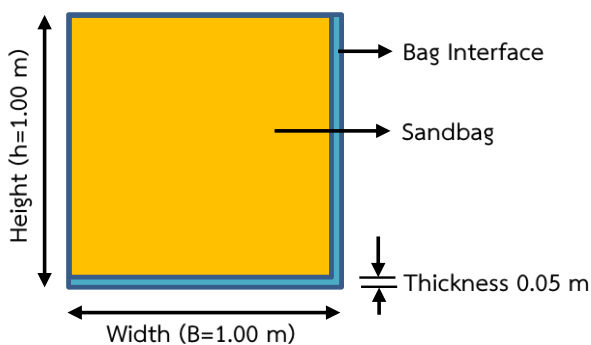
ส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์เสถียรภาพของการใช้และไม่ใช้งานถุงบรรจุทรายในการเสริมเสถียรภาพ และการเปรียบเทียบในกรณีของวิธีการเรียงถุงบรรจุทรายที่ใช้ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชัน

ตารางที่ 2 ค่าอินพุตพารามิเตอร์ของวัสดุลาดดินเดิมในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

Detail	Unit	Foundation Soil	Slope Soil
Material model	-	Mohr's-Coulomb model	Mohr's-Coulomb model
Material type	-	Drained condition	Drained condition
Interfaces	-	Strength – Rigid	Strength – Rigid
Depth of soil	m	0.00 - -10.00	5.00 – 0.00
Unsaturated Unit weight	kN/m ³	17.0	17.0
Saturated Unit weight	kN/m ³	21.0	20.0
Permeability	m/day	0.500	1.000
Elastic modulus	kN/m ²	120,000	40,000
Poisson's ratio	-	0.30	0.30
Cohesion	kN/m ²	50.00	5.00
Friction Angle	Degree	35.00	30.00
Dilation Angle	Degree	5.00	0.00

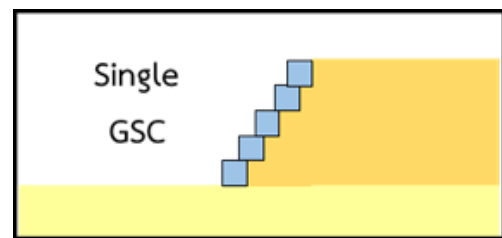
ในการจำลองลาดดินใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ตามแสดงใน 0 และในการจำลองถุงจีโอเทกซ์ไทล์บรรจุทราย ใช้อินพุตพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณความสัมพันธ์อธิบายค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏบนทรายที่บรรจุในถุงของ Matsuoka et al. (2000) ซึ่งเป็นผลที่คำนวณได้ตามสมการที่ 5 ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 โดยกำหนดให้กำลังดึงของจีโอเทกซ์ไทล์เท่ากับ 30 kN/m ในการสร้างแบบจำลองกำหนดให้แบ่งคุณสมบัติของถุงบรรจุทรายออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ถุงบรรจุทราย และส่วนผิวสัมผัสระหว่างวัสดุถุงแต่ละชั้น ดังแสดงภาพกราฟฟิกในรูปที่ 5 และแสดงรายละเอียดของอินพุตพารามิเตอร์โปรแกรมใน 0

การวิเคราะห์แบบจำลองตามกรณีของวิธีการเรียงถุงบรรจุทรายถูกกำหนดไว้ 3 กรณี ประกอบด้วย การเรียงแถวเดี่ยว (Single GSC Arrangement), การเรียงเป็นสองแถว (Double GSC Arrangement), การเรียงเป็นรูปสามเหลี่ยม (Triangular Shape Arrangement) ดังแสดงภาพกราฟฟิกในรูปที่ 6

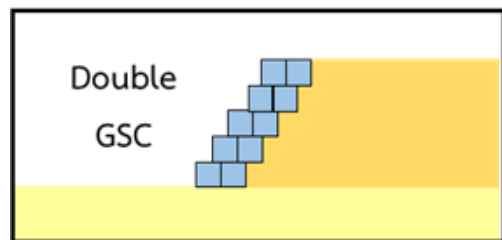


รูปที่ 5 กราฟฟิกแสดงการสร้างแบบจำลองถุงจีโอเทกซ์ไทล์บรรจุทราย

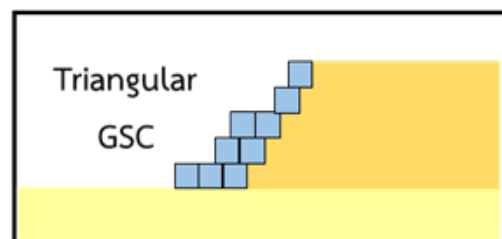
การดำเนินการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดของทั้งสามกรณีทุกอัตราส่วนความลาดชัน โดยลาดดินกำหนดให้ความสูงที่ 5 เมตร และในแต่ละกรณีจะเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชันแนวราบต่อแนวตั้งเป็น 1:5, 2:5, 3:5, 4:5, และ 6:5 ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 6 กราฟฟิกแสดงกรณีวิเคราะห์วิธีการจัดเรียงระบบถุงบรรจุทราย

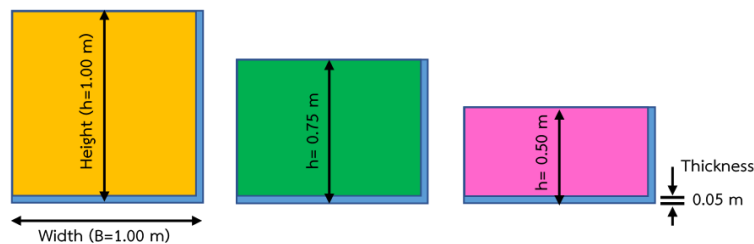
ตารางที่ 3 อินพุตพารามิเตอร์ของวัสดุประกอบถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

Detail	Unit	Sandbag	Bag Interface
Material model	-	Mohr's-Coulomb model	Mohr's-Coulomb model
Material type	-	Drained condition	Drained condition
Interfaces Reduction	-	1.00	0.84
B x H	m x m	0.95 x 0.95	Thk. 0.05
Unsaturated Unit weight	kN/m ³	17.0	1.2
Saturated Unit weight	kN/m ³	20.0	1.3
Permeability	m/day	0.864	1.000
Elastic modulus	kN/m ²	80,000	13,000
Poisson's ratio	-	0.30	0.30
Cohesion	kN/m ²	42.00	1.00
Friction Angle	Degree	35.00	25.00
Dilation Angle	Degree	0.00	0.00

3.5 อิทธิพลของความสูงของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายต่ออัตราส่วนความชัน

การกำหนดคุณสมบัติของดินฐานรากและลาดดินจากข้อมูลคุณสมบัติดินโดยทั่วไปตาม 0 โดยทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของกรณีความสูงของถุงบรรจุทรายแตกต่างกันไปได้แก่ 1.00, 0.75, และ 0.50 เมตร ดังแสดงภาพกราฟฟิกในรูปที่ 7 โดยอินพุตพารามิเตอร์แรงยึดเหนี่ยวปรากฏของทั้งสามความสูงถุง

บรรจุทรายจะมีความต่างกันไป ตามผลที่ได้จากการคำนวณสมการที่ 5 เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.2 โดยมีค่าเป็น 42.00, 61.00, และ 99.00 kN/m² ตามลำดับ จากการคำนวณโดยกำหนดให้กำลังดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์เท่ากับ 30 kN/m, ค่ามุมเสียดทานภายในของทรายเท่ากับ 35 องศา, และความกว้างของถุงบรรจุทรายถูกจำกัดไว้ที่ 1.00 เมตร ดังแสดงอินพุตพารามิเตอร์ของทั้งสามความสูงถุงบรรจุทรายใน 0



รูปที่ 7 กราฟฟิกแสดงกรณีการวิเคราะห์ความสูงของถุงบรรจุทรายเดี่ยว

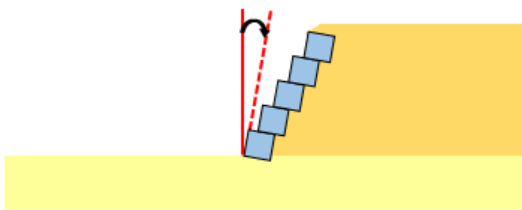
ตารางที่ 4 อินพุตพารามิเตอร์ของวัสดุประกอบถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายตามกรณีความสูงของถุงต่าง ๆ

Detail	Unit	h = 1.00 m	h = 0.75 m	h = 0.50 m
Material model	-	Mohr's-Coulomb	Mohr's-Coulomb	Mohr's-Coulomb
Material type	-	Drained condition	Drained condition	Drained condition
Interfaces Reduction	-	1.00	1.00	1.00
B x H	m x m	0.95 x 0.95	0.95 x 0.70	0.95 x 0.45
Unsaturated Unit weight	kN/m ³	17.0	17.0	17.0
Saturated Unit weight	kN/m ³	20.0	20.0	20.0
Permeability	m/day	0.864	0.864	0.864
Elastic modulus	kN/m ²	80,000	80,000	80,000
Poisson's ratio	-	0.30	0.30	0.30
Cohesion	kN/m ²	42.00	61.00	99.00
Friction Angle	Degree	35.00	35.00	35.00
Dilation Angle	Degree	0.00	0.00	0.00

การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดของทั้งสามความสูงของ
ถู่บรรจุทรายในทุกอัตราส่วนความลาดชัน โดยลาดดินถูก
กำหนดความสูงไว้ที่ 5 เมตร และในแต่ละกรณีจะเปลี่ยนแปลง
อัตราส่วนความชันแนวราบต่อแนวตั้งเป็น 1:5, 2:5, 3:5, 4:5,
และ 6:5 ตามลำดับ

3.6 อิทธิพลของความเอียงของระบบกำแพงกันดินด้วยถู่บรรจุ ทรายต่ออัตราส่วนความชัน

ส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์เสถียรภาพของการใช้ถู่บรรจุทราย
ในการเสริมเสถียรภาพลาดดิน โดยมีการกำหนดคุณสมบัติของ
ดินฐานรากและลาดดินจากข้อมูลคุณสมบัติดินโดยทั่วไปตาม
ตารางที่ 1 โดยในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์กรณีความเอียงของ
ระบบกำแพงกันดินด้วยถู่บรรจุทรายในกรณีมุมที่กำแพง
กระทำต่อแนวตั้งแตกต่างกันไป ได้แก่ 0.0, 6.0, และ 10.0
องศา ดังแสดงภาพกราฟฟิกในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟฟิกแสดงกรณีวิเคราะห์ความเอียงของระบบถู่บรรจุทราย

โดยอินพุตพารามิเตอร์ในโปรแกรมได้จากการคำนวณ
สมการที่ 5 เช่นเดียวกับส่วนก่อนหน้า โดยมีการคำนวณตาม
กำลังดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์เท่ากับ 30 kN/m, ค่ามุมเสียดทาน
ระหว่างอนุภาคของทรายเท่ากับ 35 องศา, ความกว้างและ

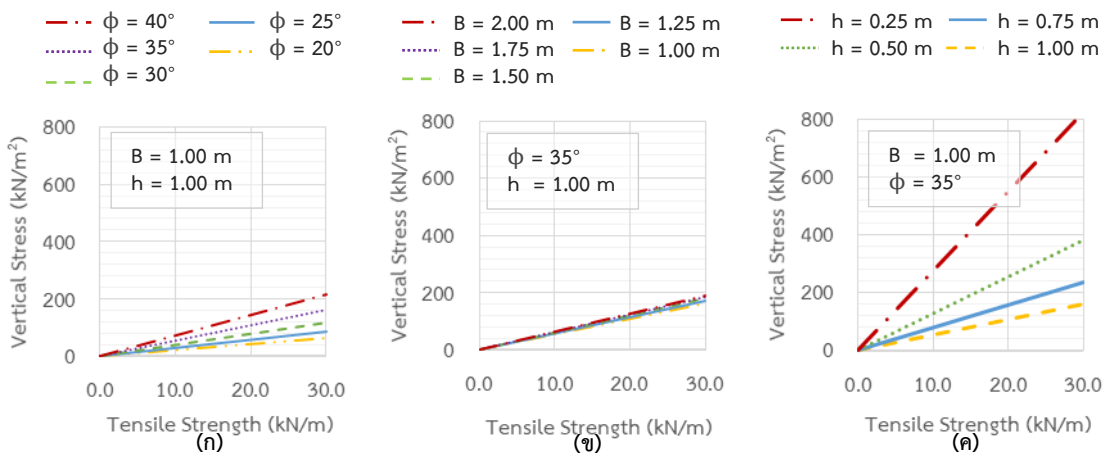
ความสูงของถู่บรรจุทรายถูกกำหนดไว้ที่ 1.00 เมตร ดังแสดงใน
0 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดของมุมเอียงทั้ง 3 ค่าที่
กำแพงกระทำต่อแนวตั้งแตกต่างกันไปในทุกอัตราส่วนความ
ลาดชัน โดยลาดดินถูกกำหนดความสูงไว้ที่ 5 เมตร และในแต่ละ
กรณีจะเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชันแนวราบต่อแนวตั้ง
เป็น 1:5, 2:5, 3:5, 4:5, และ 6:5 ตามลำดับ

4. ผลและการอภิปรายผล

ส่วนที่ 1: อิทธิพลที่มีผลต่อกำลังรับแรงกดของถู่เดี่ยว

4.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยความสัมพันธ์

จากการคำนวณความสัมพันธ์ของ Matsuoka et al.
(2000) กำลังการรับแรงกดของถู่บรรจุทรายที่สภาวะเกิดการ
วิบัติตามสมการที่ 3 ผลแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเค้นกดในแนวตั้งที่สภาวะวิบัติและกำลังดึงของจีโอเท็กซ์
ไทล์ดังรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าเมื่อค่ากำลังดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์
สูงขึ้นจะสามารถรับแรงกดก่อนการวิบัติได้มากขึ้น เมื่อพิจารณา
ในกรณีการเปลี่ยนแปลงกำลังวัสดุทรายภายในที่เมื่อค่ามุมเสียด
ทานระหว่างวัสดุมากขึ้นจะสามารถรับความเค้นแนวตั้งได้มาก
ขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 9(ก) และในกรณีความกว้างของถู่
บรรจุทรายที่มีค่ามากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 9(ข) จะเห็นได้ว่า
ความกว้างถู่ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อกำลังรับแรงกดที่เพิ่มขึ้นเพียง
เล็กน้อย แต่ในกรณีของความสูงของถู่บรรจุทรายที่มีค่าน้อยลง
จะส่งผลให้สามารถรับน้ำหนักกดทับได้มากขึ้นมากอย่างมี
นัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 9(ค)



รูปที่ 9 ผลของความเค้นแนวตั้งที่สภาวะวิบัติและกำลังดึงจีโอเท็กซ์ไทล์ในกรณีต่าง ๆ; (ก) กำลังรับแรงเฉือนของทรายที่ใช้บรรจุ, (ข) ความกว้างของถู่
บรรจุทราย, (ค) ความสูงของถู่บรรจุทราย

ผลการคำนวณค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏของถู่บรรจุทรายที่เกิดจากแรงดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์ที่สภาวะเกิดการวิบัติตามสมการที่ 5 ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏและกำลังดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์ดังรูปที่ 10 จะเห็นว่าเมื่อค่ากำลังดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์สูงขึ้นจะให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่สูงขึ้น และในกรณีกำลังวัสดุทรายภายในที่มากขึ้นจะทำให้ได้ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่สูงขึ้นเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 10(ก) และในกรณีความกว้างถู่บรรจุทรายที่มีค่ามากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 10(ข) จะเห็นได้ว่าความกว้างถู่ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าแรงยึดเหนี่ยวที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ในกรณีความสูงของถู่บรรจุทรายที่ลดลง จะให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่เพิ่มขึ้นอย่างมากดังแสดงในรูปที่ 10(ค) โดยอิทธิพลของคุณสมบัติของดินเข้าเหล่านี้มีแนวโน้มของกำลังรับแรงของถู่บรรจุทรายในทิศทางเดียวกันทั้งในกรณีของความสามารถในการรับแรงกดและค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ

4.2 การอภิปรายผลการวิเคราะห์ด้วยความสัมพันธ์

จากการคำนวณความสัมพันธ์อธิบายกำลังการรับแรงกดของถู่บรรจุทรายจาก Matsuoka et al. [1] สามารถคำนวณกำลังของถู่บรรจุทรายออกมาในเทอมของแรงกดตามแนวตั้งที่สภาวะเกิดการวิบัติและค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏเนื่องจากกำลังดึงของวัสดุจีโอเท็กซ์ไทล์ จะเห็นได้ว่าเมื่อค่ากำลังดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์ที่สูงขึ้นและค่ามุมเสียดทานระหว่างอนุภาคของทราย

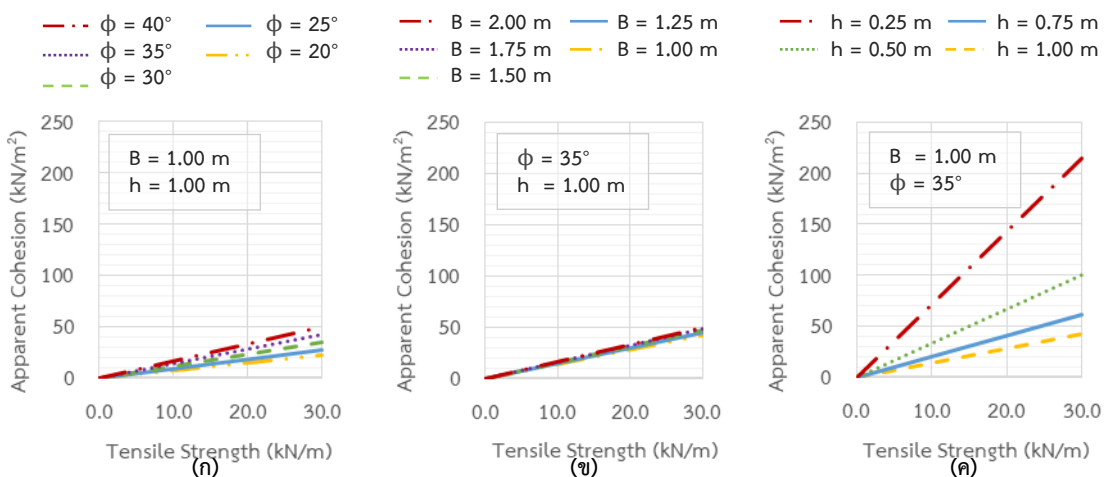
ภายในที่มากขึ้น ถู่บรรจุทรายจะสามารถรับแรงกดก่อนการวิบัติและมีกำลังยึดเหนี่ยวปรากฏมากขึ้น ในกรณีอิทธิพลของความกว้างถู่ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อกำลังรับแรงกดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่กรณีความสูงของถู่บรรจุทรายที่น้อยลง เห็นได้ว่าจะส่งผลให้สามารถรับน้ำหนักกดทับและค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏได้มากขึ้นมากอย่างมีนัยสำคัญ หรือกล่าวได้ว่าการเพิ่มความกว้างถู่บรรจุทรายค่อนข้างไม่มีผลต่อกำลังที่เพิ่มขึ้นมากนัก แต่การลดความสูงของถู่บรรจุทรายกลับมีผลต่อกำลังการรับแรงกดอย่างมาก

ส่วนที่ 2: เสถียรภาพลาดดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.3 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินด้วยโปรแกรม

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ประกอบด้วยอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดิน และค่าการเคลื่อนตัวของลาดดินสูงสุดต่ออัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป โดยตารางแสดงผลอัตราส่วนความปลอดภัยที่นำเสนอ จะแสดงผลเป็นสีแดงเมื่ออัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าน้อยกว่า 1

การพิจารณากรณีศึกษาอิทธิพลทั้ง 3 กรณี ประกอบด้วยกรณีวิเคราะห์วิธีการจัดเรียงระบบถู่บรรจุทรายทั้ง 3 วิธี ดังแสดงใน 0 และ 0, กรณีวิเคราะห์ความสูงของถู่บรรจุทรายเดี่ยว ดังแสดงใน 0 และ 0, และกรณีวิเคราะห์ความเอียงของระบบถู่บรรจุทราย ดังแสดงใน 0 และ 0 ตามลำดับ



รูปที่ 10 ผลของค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏและกำลังดึงจีโอเท็กซ์ไทล์ในกรณีต่าง ๆ; (ก) กำลังรับแรงเฉือนของทรายที่ใช้บรรจุ, (ข) ความกว้างของถู่บรรจุทราย, (ค) ความสูงของถู่บรรจุทราย

ตารางที่ 5 อัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดินกรณีวิเคราะห์วิธีการจัดเรียงระบบบุงบรรจุทราย

Slope Ratio (X:Y)	Safety Factor			
	Non-Structure	Single GSC	Double GSC	Triangular Shape
1:5	0.70	1.00	1.00	1.33
2:5	0.83	1.00	1.34	1.37
3:5	1.00	1.00	0.93	1.39
4:5	1.02	0.91	1.06	1.32
6:5	1.24	1.47	1.48	1.72

ตารางที่ 6 ค่าการเคลื่อนตัวของลาดดินสูงสุดกรณีวิเคราะห์วิธีการจัดเรียงระบบบุงบรรจุทราย

Slope Ratio (X:Y)	Extreme Total Displacement, (mm)			
	Non-Structure	Single GSC	Double GSC	Triangular Shape
1:5	3.40	7.44	4.16	3.50
2:5	3.83	8.95	3.61	3.11
3:5	3.75	3.89	3.08	2.94
4:5	3.18	2.99	3.70	2.86
6:5	2.85	2.84	2.73	2.54

ตารางที่ 7 อัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดินกรณีวิเคราะห์ความสูงของบุงบรรจุทรายเดี่ยว

Slope Ratio (X:Y)	Safety Factor			
	Non-Structure	h = 1.00 m	h = 0.75 m	h = 0.50 m
1:5	0.70	1.00	0.98	0.97
2:5	0.83	1.00	1.03	1.02
3:5	1.00	1.00	0.99	1.03
4:5	1.02	0.91	1.09	1.14
6:5	1.24	1.47	1.35	1.38

ตารางที่ 8 ค่าการเคลื่อนตัวของลาดดินสูงสุดกรณีวิเคราะห์ความสูงของบุงบรรจุทรายเดี่ยว

Slope Ratio (X:Y)	Extreme Total Displacement, (mm)			
	Non-Structure	h = 1.00 m	h = 0.75 m	h = 0.50 m
1:5	3.40	7.44	7.90	16.39
2:5	3.83	8.95	7.89	11.92
3:5	3.75	3.89	4.04	4.13
4:5	3.18	2.99	3.40	3.13
6:5	2.85	2.84	2.91	2.97

ตารางที่ 9 อัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดินกรณีวิเคราะห์ความเอียงของระบบบุงบรรจุทราย

Slope Ratio (X:Y)	Safety Factor			
	Non-Structure	Rotation = 0 deg	Rotation = 6 deg	Rotation = 10 deg
1:5	0.70	1.00	1.00	1.21
2:5	0.83	1.00	1.15	1.25
3:5	1.00	1.00	1.15	1.25
4:5	1.02	0.91	1.15	1.29
6:5	1.24	1.47	1.61	1.68

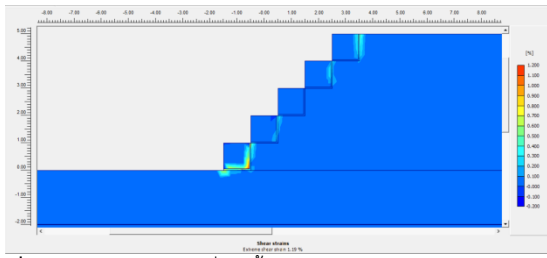
ตารางที่ 10 ค่าการเคลื่อนตัวของลาดดินสูงสุดกรณีวิเคราะห์ความเอียงของระบบบุงบรรจุทราย

Slope Ratio (X:Y)	Extreme Total Displacement, (mm)			
	Non-Structure	Rotation = 0 deg	Rotation = 6 deg	Rotation = 10 deg
1:5	3.40	7.44	5.61	5.32
2:5	3.83	8.95	3.54	3.44
3:5	3.75	3.89	3.54	3.44
4:5	3.18	2.99	3.24	3.14
6:5	2.85	2.84	2.77	2.74

4.4 การอภิปรายอิทธิพลของวิธีการเรียงบุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายต่ออัตราส่วนความชัน

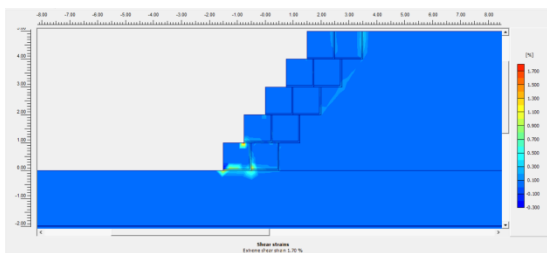
จากผลการวิเคราะห์ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่วิเคราะห์ได้มีความแปรปรวนอย่างมาก เมื่อความชันของลาดดินมีค่าลดลง จะเห็นได้ว่าวิธีการเรียงบุงบรรจุทราย (วิธีเรียงแบบแถวเดี่ยว, การเรียงสองแถว, และการเรียงเป็นรูปสามเหลี่ยม) มีผลอย่างมากต่อเสถียรภาพซึ่งสามารถทำให้ความสามารถในการต้านทานการวิบัติลดลงได้ โดยปัจจัยของวิธีการเรียงบุงที่มีผลต่อเสถียรภาพ ได้แก่

1. การเรียงบุงบรรจุทรายแบบขอบต่อขอบ ตัวอย่างในรูปที่ 11 (กรณีความชัน 4:5) การเรียงบุงบรรจุทรายแบบดังกล่าวทำให้เสถียรภาพลาดดินลดลงจากกรณีที่ลาดดินไม่มีระบบเสริมเสถียรภาพอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะเห็นได้ว่าเกิดความเครียดเฉือนที่เกิดขึ้นที่บริเวณขอบต่อขอบของบุงบรรจุทราย ทำให้ลาดดินเกิดการวิบัติ และถึงแม้จะมีการเสริมด้วยบุงบรรจุทรายเป็นแบบสองแถว แต่การเรียงบุงบรรจุทรายเช่นนี้ยังส่งผลให้ลาดดินมีเสถียรภาพที่ต่ำดั้งเดิม



รูปที่ 11 ความเครียดเฉือนที่เกิดขึ้น ในกรณีการเรียงถุงบรรจุทรายในวิธี ขอบต่อขอบ

2. การเรียงถุงบรรจุทรายแบบสองแถว ไม่ได้เพิ่มเสถียรภาพแก่ลาดดินอย่างที่ควรจะเป็น ในกรณีที่ลาดดินเริ่มมีความชันลดลง การเพิ่มน้ำหนักกดทับจากถุงบรรจุทรายเป็นจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้ถุงบรรจุทรายบริเวณด้านล่างเกิดการเลื่อนไถลออกอย่างมีนัยสำคัญ ดังในรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าลาดดินบริเวณด้านล่างและตามแนวการวิบัติเกิดความเครียดเฉือนในปริมาณมาก



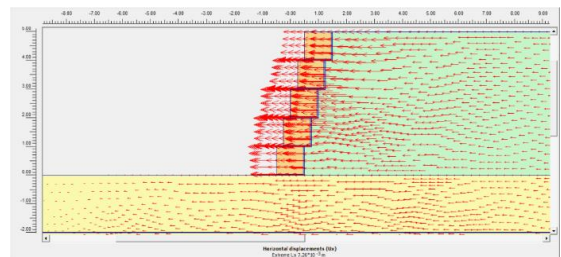
รูปที่ 12 ความเครียดเฉือนที่เกิดขึ้น ในกรณีการเรียงถุงบรรจุทรายในวิธี เรียงสองแถว

3. การเรียงถุงบรรจุทรายในรูปแบบสามเหลี่ยม การเรียงแบบนี้เป็นการลดน้ำหนักด้านบนลาดดินลงและยังเป็นการเพิ่มแรงต้านทานการเลื่อนไถลบริเวณด้านล่าง ทำให้เสถียรภาพโดยรวมของลาดดินสูงขึ้น

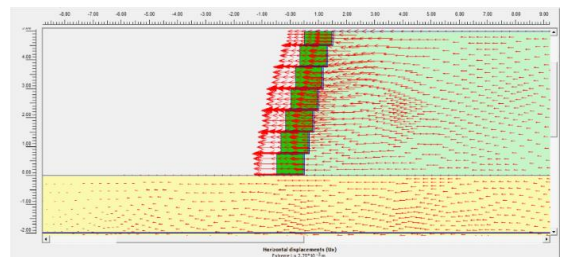
4.5 การอภิปรายอิทธิพลของความสูงของถุงจีโอเทกซ์ไทล์บรรจุทรายต่ออัตราส่วนความชัน

จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ลดความสูงของถุงบรรจุทรายเดี่ยวลง ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดินที่ได้จากการวิเคราะห์ให้ค่าที่ไม่แน่นอน โดยเมื่อทำการลดความสูงของถุงบรรจุทรายลง ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่าการลดลงของความสูงถุงบรรจุทรายจะทำให้ได้กำลังการรับแรงกดที่สูงขึ้น จากผลการคำนวณความสัมพันธ์ของ Matsuoka et al. (2000) ในหัวข้อที่ 4.1 (ค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏเนื่องจากแรงดึงของถุงจีโอเทกซ์ไทล์ของถุงบรรจุทรายสูง 1.00, 0.75, และ 0.50 เมตร มีค่าเป็น 42.00, 61.00, 99.00 kN/m² ตามลำดับ) แต่เมื่อนำมาเสริมเสถียรภาพแก่ลาดดินกลับพบว่า ที่กรณีความชันของลาดดิน

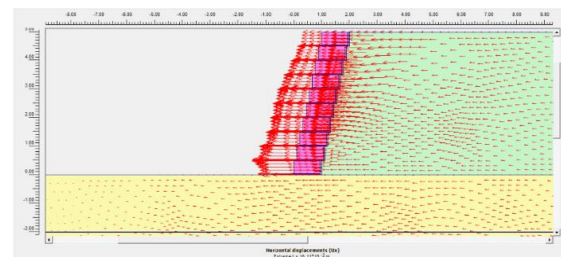
มาก การลดความสูงของถุง กลับทำให้เสถียรภาพของลาดดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุมาจากการเลื่อนไถลเนื่องแรงเสียดทานระหว่างถุงบรรจุทรายแต่ละถุงที่มีปริมาณน้อย ดังแสดงในรูปที่ 13 จากรูปแสดงเวกเตอร์การเคลื่อนตัวโดยรวมของลาดดินของทั้งสามตัวอย่างกรณีความสูงถุงบรรจุทรายจากขนาดความสูงจากมากไปน้อยตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณที่เชื่อมต่อระหว่างถุงต่อถุงจะเกิดการเคลื่อนที่ที่มากกว่าที่ตำแหน่งอื่น และในกรณีถุงบรรจุทรายความสูง 0.50 เมตร จะเกิดการเคลื่อนตัวออกไปทางด้านข้างในปริมาณที่มากที่สุด แต่กลับกันในกรณีที่ความชันของลาดดินเริ่มมีค่าลดลง ทำให้ระยะการวางเหลี่ยมถุงบรรจุทรายแต่ละถุงลดลง ทำให้เสถียรภาพลาดดินโดยรวมสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากกำลังรับแรงกดของถุงบรรจุทรายที่เพิ่มขึ้นจากการลดความสูงถุงบรรจุทราย



(ก) กรณีความชัน 1:5 ความสูงถุงบรรจุทราย H = 1.00 m



(ข) กรณีความชัน 1:5 ความสูงถุงบรรจุทราย H = 0.75 m



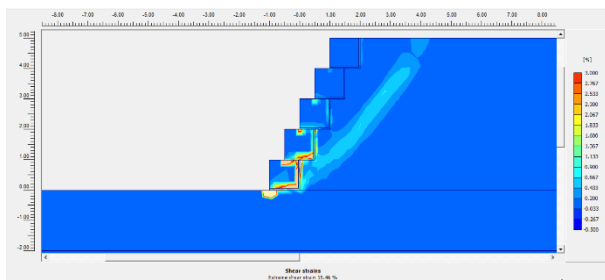
(ค) กรณีความชัน 1:5 ความสูงถุงบรรจุทราย H = 0.50 m

รูปที่ 13 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวในแนวราบของลาดดิน

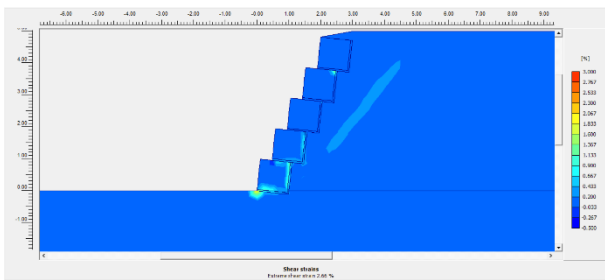
4.6 การอภิปรายอิทธิพลของความเอียงของระบบกำแพงกันดินด้วยถุงบรรจุทรายต่ออัตราส่วนความชัน

จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่เพิ่มความเอียงของระบบกำแพงกันดินด้วยถุงบรรจุทราย ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่

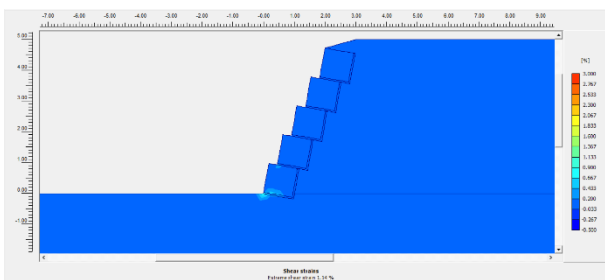
วิเคราะห์ได้มีผลเพิ่มขึ้นตามมุมที่กระทำต่อแนวตั้งเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการเพิ่มแรงต้านทานการเลื่อนไถลออกของระบบ กำแพงกันดินที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างถุงและถุงที่มีปริมาณน้อย ในรูปที่ 14 แสดงความเครียดเฉือนที่เกิดขึ้นในลาดดินของกรณีที่มีการทำมุมของกำแพงกันดิน 0, 6, และ 10 องศา กับแนวตั้งตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในกรณีที่มีการเอียงของกำแพงกันดิน ทำให้ความเครียดเฉือนบริเวณด้านล่างของลาดดินลดลงอย่างมาก



(ก) กรณีความชัน 2:5 ความเอียงกำแพงกันดิน 0 องศา กับแนวตั้ง



(ข) กรณีความชัน 2:5 ความเอียงกำแพงกันดิน 6 องศา กับแนวตั้ง



(ค) กรณีความชัน 2:5 ความเอียงกำแพงกันดิน 10 องศา กับแนวตั้ง

รูปที่ 14 ความเครียดเฉือนที่ปรากฏ กรณีศึกษาอิทธิพลของความเอียงกำแพงกันดิน

5. สรุป

กำลังการรับแรงกดของถุงบรรจุทรายถุงเดี่ยว ที่ได้จากการคำนวณสมการความสัมพันธ์ของ Matsuoka et al. (2000) โดยผลที่ได้จากการคำนวณเป็นค่ากำลังการรับแรงกด และค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏที่เกิดขึ้นจากการรับแรงดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์ (ตาม

ชนิดและความหนาของจีโอเท็กซ์ไทล์), ค่ามุมเสียดทานภายในของวัสดุบรรจุ (ตามชนิดวัสดุ, กำลัง, และความหนาแน่น), และความสูงและความกว้างของถุงเดี่ยวเริ่มต้น จากการคำนวณสมการดังกล่าว สรุปได้ว่า

1. การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงดึงของจีโอเท็กซ์ไทล์และค่ามุมเสียดทานภายในของวัสดุบรรจุ ทำให้กำลังรับแรงกดและค่าแรงยึดเหนี่ยวปรากฏสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

2. การลดความสูงของถุงเดี่ยวลงทำให้กำลังรับแรงกดสูงขึ้นอย่างมาก แต่ในการเพิ่มความกว้างของถุงเดี่ยวกลับมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นได้เพียงเล็กน้อย

การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินโดยโปรแกรม Plaxis2D บนพื้นฐานของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าการเสริมด้วยถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายสามารถพัฒนาเสถียรภาพลาดดินโดยรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลที่ใช้วิเคราะห์ประกอบด้วย วิธีการเรียงถุงบรรจุทรายต่ออัตราส่วนความชัน, ความสูงของกระสอบบรรจุทรายต่ออัตราส่วนความชัน, และความเอียงของระบบกำแพงกันดินต่ออัตราส่วนความชัน พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีความไม่แน่นอน สรุปได้ดังต่อไปนี้

1. วิธีการเรียงถุงบรรจุทรายต่ออัตราส่วนความชัน การเรียงถุงจีโอเท็กซ์ไทล์ให้เหลื่อมกันแบบขบต่อขบ ทำให้เสถียรภาพลาดดินลดลงจากกรณีไม่มีการเสริมด้วยถุงบรรจุทราย เนื่องจากทำให้เกิดความเครียดเฉือนที่บริเวณต่อขบกันดังกล่าว จนทำให้เกิดการวิบัติ, และการเรียงถุงบรรจุทรายแบบสองแถวตลอดความสูงลาดดินทำให้ลาดดินเสียเสถียรภาพเนื่องจากการให้น้ำหนักกดทับแก่ระบบกำแพงกันดินในปริมาณมากเกินไป ทำให้เกิดแรงที่ทำให้กำแพงเลื่อนไถลออกด้านข้างได้ง่ายขึ้น โดยการเสริมถุงบรรจุทรายเพิ่มเป็นแถวที่สามในบริเวณด้านล่างลาดดินจะเพิ่มเสถียรภาพโดยรวมได้ดีขึ้นเนื่องจากการเสริมการต้านทานบริเวณเชิงลาดดินต่อการเลื่อนไถลออกด้านข้าง

2. กรณีความสูงของถุงบรรจุทรายแต่ละชั้นต่ออัตราส่วนความชัน พบว่าในกรณีที่ลาดดินมีความชันมาก การลดความสูงของถุงบรรจุทรายลงทำให้เสถียรภาพโดยรวมที่เกิดจากการเลื่อนไถลของถุงบรรจุทราย แต่ในกรณีที่ลาดดินมีความชันน้อยทำให้การเรียงถุงบรรจุทรายที่มีความสูงถุงเดี่ยวน้อยถูกวางเหลื่อมกันเป็นระยะน้อยไปด้วย กรณีนี้ทำให้เสถียรภาพลาดดินสูงขึ้นเนื่องจากถุงที่มีความสูงน้อยมีกำลังการรับแรงกดที่มากกว่าและเกิดการเลื่อนไถลในบริเวณผิวสัมผัสระหว่างถุงที่น้อยกว่า

3. กรณีความเอียงของระบบกำแพงกันดินต่ออัตราส่วนความชัน สรุปผลได้ว่าการเพิ่มมุมการเอียงต่อระนาบแนวตั้งของระบบถุงบรรจุทรายเข้าหาลาดดิน ทำให้เสถียรภาพของลาดดิน

โดยรวมสูงขึ้น เนื่องจากการเอียงของถุงบรรจุทรายเป็นการกระจายแรงเลื่อนไถลออกให้มีค่าน้อยลง และความเอียงของกำแพงกันดิน 10 องศาให้เสถียรภาพลาดดิน ดีกว่าทำมุมเอียงเป็นมุม 6 องศา

6. ประโยชน์ที่จะได้รับ

งานวิจัยนี้สามารถนำเอาแนวโน้มของกำลังรับแรงกดและแรงยึดเหนี่ยวปรากฏของถุงจีโอเท็กซ์ไทล์บรรจุทรายจากการคำนวณความสัมพันธ์ของ Matsuoka et al., (2000) จากอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ มาพิจารณาในการออกแบบถุงบรรจุทรายเบื้องต้นได้ และสามารถใช้แนวทางวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิจัยนี้สำหรับกรณีประเมินอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดินได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในด้านวิชาการ, ด้านการดำเนินงานวิจัย, และให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยให้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี มา ณ โอกาสนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- Akter, A., Crapper, M., Pender, G., Wright, G., & Wong, W. S. (2012). Modelling the failure modes in geobag revetments. *Water Science and Technology*, 65(3), 418–425.
- Ansari, Y., Merifield, R., Yamamoto, H., & Sheng, D. (2011). Numerical analysis of soilbags under compression and cyclic shear. *Computers and Geotechnics*, 38, 659–668.
- Hataf, N., & Sayadi, M. (2018). Experimental and numerical study on the bearing capacity of soils reinforced using geobags. *Journal of Building Engineering*, 15, 290–297.
- Liu, H. B., Yang, G. Q., Wang, H., & Xiong, B. L. (2017). A large-scale test of reinforced soil railway embankment with soilbag facing under dynamic loading. *Geomechanics and Engineering*, 12(4), 579–593.
- Liu, S.-H., Gao, J. J., Wang, Y. Q., & Weng, L. P. (2014). Experimental study on vibration reduction by using soilbags. *Geotextiles and Geomembranes*, 42(1), 52–62.
- Liu, S.-H., Lu, Y., Weng, L. P., & Bai, F. Q. (2015). Field study of treatment for expansive soil/ rock channel slope with soilbags. *Geotextiles and Geomembranes*, 43(4), 283–292.
- Matsuoka, H., & Liu, S. H., (2003). New earth reinforcement method by soilbags (“donow”). *Soils and Foundations*, 43(6), 173–188.
- Matsuoka, H., Chen, Y., Kodama, H., Yamaji, Y., & Tanaka, R. (2000). Mechanical properties of soilbags and unconfined compression tests on model and real soilbags. *Proceedings Of the 35th Japan National Conf. on Geotech. Engrg* (pp. 1075-1076). Japanese.
- Recio, J., & Oumeraci, H. (2009). Processes affecting the hydraulic stability of coastal revetments made of geotextile sand containers. *Coastal Engineering*, 56(3), 260–284.
- Tantono, S. F., & Bauer, E. (2008). Numerical simulation of a soilbag under vertical compression. *The 12th international conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)* (pp. 433-439). Goa, India.
- Wang, L. J., Liu, S.-H., & Zhou, B. (2015). Experimental study on the inclusion of soilbags in retaining walls constructed in expansive soils. *Geotextiles and Geomembranes*, 43(1), 89–96.
- Wen, H., Wu, J. J., Zou, J. L., Luo, X., Zhang, M., & Gu, C. (2016). Model tests on the retaining walls constructed from geobags filled with construction waste. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2016/4971312>
- Wu, J., Hesham El Naggar, M., Li, X., & Wen, H. (2020). DEM analysis of geobag wall system filled with recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 238, 117684.
- Xu, Y. F., Huang, J., Du, Y. J., & Sun, D. A. (2008). Earth reinforcement using soilbags. *Geotextiles and Geomembranes*, 26(3), 279–289.