Technical Education Journal King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Vol. 9 No. 2 May – August, 2018

อิทธิพลของคุณสมบัติเชิงชลศาสตร์ในดินถมและวัสดุระบายน้ำใยสังเคราะห์ต่อการระบายน้ำในกำแพงกันดินเสริมกำลัง

ไอริณ ลิ้มรัตน์[1*] อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์[2] และ สุขสันติ์ หอพิบูลสุข[3]

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาพฤติกรรมเชิงชลศาสตร์เนื่องจาก ความสามารถในการซึมผ่าน และคุณสมบัติด้านการอุ้มน้ำของดินและ Geocomposite ในกำแพงกันดินเสริมกำลังที่ติดตั้งระบบระบายน้ำด้วยวัสดุ Geocomposite โดยทำการศึกษาในแบบจำลองเชิงกายภาพ แล้วนำผลจากแบบจำลองเชิงกายภาพไปใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองเชิงตัวเลข เพื่อใช้ในการศึกษาพารามิเตอร์ พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาประกอบด้วย van Genuchten parameter (g_a, g_n, S_{res}, S_{sat}) และค่าความซึมผ่านได้ (k) โดยพิจารณาการตอบสนองเชิงชลศาสตร์จากความอิ่มตัวด้วยน้ำประสิทธิผลและระดับผิวน้ำในดิน จากผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขพบว่าพารามิเตอร์เชิงชลศาสตร์ของดินนอกพื้นที่เสริมกำลัง ไม่ส่งผลต่อการตอบสนองเชิงชลศาสตร์ภายในพื้นที่เสริมกำลัง ยกเว้นค่าความซึมผ่านได้ของดินนอกพื้นที่เสริมกำลัง ซึ่งส่งผลต่อระดับน้ำในดินในพื้นที่เสริมกำลัง ดังนั้นในการออกแบบระบบระบายน้ำจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าความซึมผ่านได้ของดินนอกพื้นที่เสริมกำลัง เทียบกับความสามารถในการระบายน้ำของวัสดุ Geocomposite

คำสำคัญ: กำแพงกันดินเสริมกำลัง, วัสดุใยสังเคราะห์, ระบบระบายน้ำ, แบบจำลองเชิงตัวเลข

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
[2] รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
[3] ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร. +668 4983 1958 อีเมล: zonlimrat@gmail.com

_18-1128(030-039)4.indd 30 12/11/61 BE 2:07 PM

Effect of Hydraulic Properties of Backfill and Geocomposite Drainage Materials on Seepage Response in Mechanically Stabilized Earth Walls

Irin Limrat[1*] Avirut Chinkulkijniwat[2] and Suksun Horpibulsuk[3]

Abstract

This research aims to investigate the effect of water retention characteristic of the soil and drainage material (geocomposite) on seepage responses in mechanical stabilized earth walls by using geocomposite as drainage system. A set of experiments on physical models was conducted such that the data set obtained from the tests were used to calibrate the numerical models. The well calibrated numerical models were then used to perform parametric study. The studied parameters were van Genuchten parameters (g_a, g_n, S_{res}, S_{sat}) and coefficient of permeability (k) of the relevant materials. Results from the parametric study show that the water retention characteristic of the soil outside the reinforced zone plays no role to the hydraulic response of the soil inside the reinforced zone. However, the coefficient of permeability of the soil outside the reinforced zone plays important role to the level of the phreatic surface inside the reinforced zone. Hence, the coefficient of permeability of the soil outside the reinforced zone must be taken into account when designing drainage system.

Keywords: mechanical stabilized earth wall, geocomposite, drainage system, numerical modeling

[1] Master Degree Graduate, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology
[2] Associate Professor, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology
[3] Professor, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology
[*] Corresponding Author Tel. +668 4983 1958 e-mail: zonlimrat@gmail.com

_18-1128(030-039)4.indd 31 12/11/61 BE 2:07 PM

1. บทนำ

ในงานก่อสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลังในบริเวณพื้นที่ภูเขาระบบระบายน้ำหลังโซนเสริมมีความสำคัญอย่างมากต่อเสถียรภาพของกำแพงกันดินเสริมกำลัง ระบบระบายน้ำแบบดั้งเดิมเป็นกรวดขนาดคละเป็นระบบระบาย แต่การติดตั้งระบบระบายน้ำด้วยกรวดคละขนาดมีราคาแพงและการติดตั้งมีความยุ่งยาก Koerner et al. [1] และ Shibuya et al. [2] แนะนำให้ใช้ geocomposite เป็นระบบระบายน้ำ เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูง (สูงกว่าดินถมประมาณ 10 ถึง 200 เท่า) และค่าก่อสร้างมีราคาต่ำกว่าระบบระบายน้ำแบบดั้งเดิม มีรายงานจำนวนมากที่รายงานการใช้ geocomposite เป็นระบบระบายน้ำของ MSE wall ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของระบบระบายใน MSE wall ยังมีจำกัด [3], [4] และวิธีการออกแบบที่ผ่านมาสนใจการเฉพาะค่าการส่งผ่าน (transmissivity) ของ geocomposite เท่านั้น แต่ geocomposite ซึ่งประกอบด้วยวัสดุเส้นใยสังเคราะห์ทางธรณีเทคนิค (geotextile) ทำให้ geocomposite มีคุณสมบัติเกี่ยวกับการระบายน้ำที่สำคัญคือคุณลักษณะการอุ้มน้ำ (Water retention characteristic, WRC) ดังที่กล่าวถึงในรายงานวิจัย [5-12] นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยหลายท่าน เสนอวิธีการหาคุณสมบัติด้านการอุ้มน้ำของ geotextile แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติด้านการอุ้มน้ำเป็นคุณสมบัติสำคัญของ geotextile แต่ปัจจุบันการออกแบบ geocomposite ยังไม่ได้นำคุณสมบัติดังกล่าวมาพิจารณา งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของคุณสมบัติดังกล่าวต่อการตอบสนองเชิงชลศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบระบายน้ำด้วย geocomposite

2. คุณสมบัติด้านความชื้นและการไหลของน้ำในดิน

Iryo and Rowe [9], [10] ระบุว่า WRC และ k-function ของวัสดุใยสังเคราะห์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ WRC และ k-function ของวัสดุพรุนที่นิยมใช้กัน คือสมการของ van Genuchten [13] และสมการของ van Genuchten-Mualem [14]

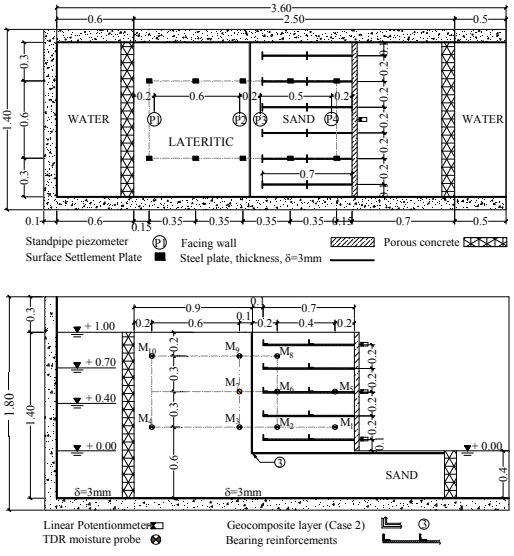
$$S_e = \frac{S - S_{res}}{S_{sat} - S_{res}} = \left[1 + \left(g_a |h_p|\right)^{g_n}\right]^{g_c} \quad (1)$$

$$k_r(S_e) = S_e^{0.5}[1 - (1 - S_e^{-1/g_c})^{-g_c}]^2 \quad (2)$$

เมื่อ S_e คือระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำประสิทธิผล S คือระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ S_{res} คือระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำคงเหลือ S_{sat} คือความอิ่มตัวด้วยน้ำสูงสุด h_p คือ matric suction head k_r คือค่าสัมประสิทธิการซึมผ่าน g_a [m^{-1}] และ g_n คือพารามิเตอร์ของสมการ van Genuchten ซึ่งแสดงถึงค่าความดึงน้ำ (suction) ที่เริ่มมีอากาศเข้ามาโพรง และการกระจายขนาดของโพรงตามลำดับ โดย $g_c = 1/g_n - 1$ ตามที่เสนอโดย van Genuchten-Mualem [14]

3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 แบบจำลองกำแพงกันดิน



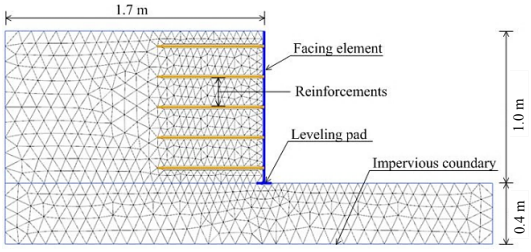
รูปที่ 1 รูปแบบถังจำลองและแผนผังตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ

รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองทางกายภาพสำหรับกำแพงกันดินเสริมแรงติดตั้งระบบระบายน้ำด้วย geocomposite และการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นและระดับน้ำ แบบจำลองมีขนาด 1.4*3.6*1.8 เมตร ทำจากคอนกรีตเสริมเหล็ก ผิวด้านในกรุด้วยแผ่นเหล็กหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อลดการดูดซึมของน้ำในเนื้อคอนกรีต คอนกรีตพรุนหนา 0.1*1.6 เมตร ถูกติดตั้งด้านหลังถังทดสอบ เพื่อเป็นผนังกั้นทรายและระบายน้ำเข้าในดินถม และคอนกรีตพรุนหนา 0.1*0.2 เมตร จะติดตั้งเพื่อเป็นผนังกั้นทรายและระบายน้ำออกจากดินถม การทดสอบจะทำการเพิ่ม

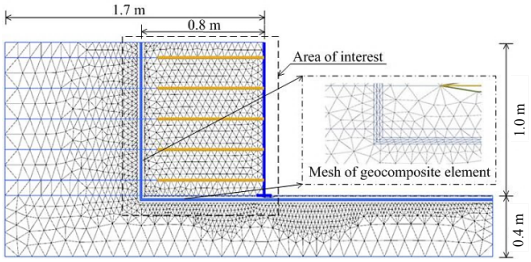
ระดับน้ำทางด้านหลังของกำแพงคอนกรีตพรุน ขั้นละ 0.40, 0.70 และ 1.0 เมตร การเพิ่มระดับน้ำในแต่ละขั้นจะกระทำเมื่อการไหลเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยสามารถตรวจสอบได้โดยวัดอัตราการไหลออกของน้ำด้านท้ายน้ำเข้าสู่ค่าคงที่ ในระหว่างการทดสอบจะทำการบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้น และค่าที่วัดได้จะนำไปใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองเชิงตัวเลข

3.2 แบบจำลองเชิงตัวเลข

ทำการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขกำแพงกันดินเสริมกำลังด้วยโปรแกรม PLAXIS 2D โดยการจำลองเป็นระนาบ 2 มิติ แสดงดังรูปที่ 2 โดยดินถมจำลองด้วยอิลลิเมนต์สามเหลี่ยมชนิด 15 จุดต่อ เหล็กเสริมกำลังจำลองด้วย Geogrid element ผิวสัมผัสระหว่างดินถมและเหล็กเสริมกำลังกำหนดโดยค่า Interface element ซึ่งใช้จำลองการเฉือนตามยาวบริเวณผิวสัมผัสระหว่างเหล็กเสริมกำลังกับดินถมกำแพง ส่วนอะคริลิกและคอนกรีตฐานรากรับกำแพงจำลองด้วย Plate element ดินถมใช้แบบจำลองของ van Genuchten และ Mohr-Coulomb เพื่อใช้วิเคราะห์พฤติกรรมการไหล



(ก) Mesh สำหรับการวิเคราะห์ของกรณีไม่มี geocomposite

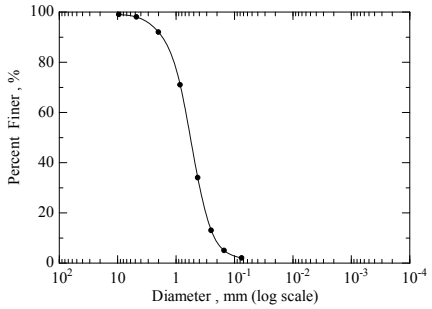


(ข) Mesh สำหรับการวิเคราะห์ของกรณีมี geocomposite

รูปที่ 2 แบบจำลองเชิงตัวเลขของกำแพงกันดินเสริมกำลัง

3.3 คุณสมบัติของดินตัวอย่าง

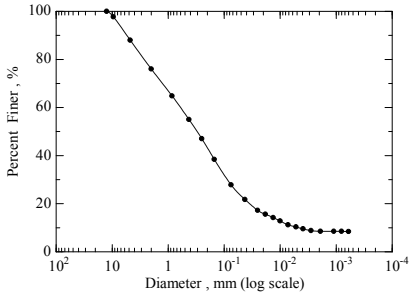
ก. ดินทราย



รูปที่ 3 ขนาดคละของเม็ดดิน : ดินทราย

รูปที่ 3 แสดงขนาดคละของเม็ดดิน และเมื่อจำแนกชนิดของดินด้วยระบบเอกภาพ (USCS) ดินตัวอย่างพบว่าจัดเป็นดินทรายที่มีขนาดคละไม่ดี (SP) เม็ดดินมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.72 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเท่ากับ 0.023 เซนติเมตรต่อวินาทีผลทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพบว่าปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากับร้อยละ 6.3 หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 17 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าหน่วยแรงยึดเกาะเท่ากับ 0 กิโลปาสคาล และมุมเสียดทานภายในเท่ากับ 40 องศา

ข.ดินลูกรัง

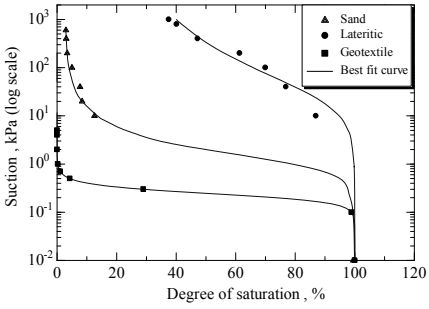


รูปที่ 4 ขนาดคละของเม็ดดิน : ดินลูกรัง

รูปที่ 4 แสดงขนาดคละของเม็ดดินของดินลูกรัง และการจำแนกดินตามระบบเอกภาพจัดเป็น ทรายปนดินตะกอนและปนดินเหนียว (SM-SC) เม็ดดินมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.75 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินเท่ากับ 0.0004 เซนติเมตรต่อวินาทีหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 18.65 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร และปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากับร้อยละ 13.5 โดยมีหน่วยแรงยึดเกาะเท่ากับ 19 กิโลปาสคาล และมุมเสียดทานภายในเท่ากับ 30.75 องศา

3.4 คุณสมบัติด้านการอุ้มน้ำของวัสดุที่เกี่ยวข้องในระบบกำแพงกันดินเสริมกำลัง

คุณสมบัติการอุ้มน้ำของวัสดุที่ใช้ในทดสอบหาจากการทดสอบค่าแรงคาพิวลารีโดยใช้วิธีหม้อแรงดัน (Pressure plate method) ชุดทดสอบแรงอัดสามแกนแบบ double cell และวิธี hanging column ผลการทดสอบสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างแรงคาพิวลารีกับความชื้น แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงคาพิวลารีกับความชื้น (WRC)

3.5 การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์

ขั้นตอนการศึกษา

3.5.1 จากข้อมูลแบบจำลองทางกายภาพของกำแพงกันดินเสริมกำลัง อาทิตย์ อุดมชัย [15] ทำการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของกำแพงกันดินเสริมกำลังด้วยโปรแกรม PLAXIS 2D

3.5.2 วิเคราะห์ทางวิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์ นำผลพฤติกรรมการไหลที่ได้มาทำการสอบเทียบหาความสอดคล้องกับผลการจำลองทางกายภาพ

3.5.3 ศึกษาพฤติกรรมเชิงชลศาสตร์ จากแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ผ่านการสอบเทียบ

3.5.4 ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการไหลและการอุ้มน้ำของดินและวัสดุเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย ตัวแปร van Genuchten (g_a, g_n, S_{res}, S_{sat}) และตัวแปรการซึมผ่านได้ (k) โดยศึกษาตัวแปรที่ค่าต่าง ๆ

3.6 เงื่อนไขการทดสอบ

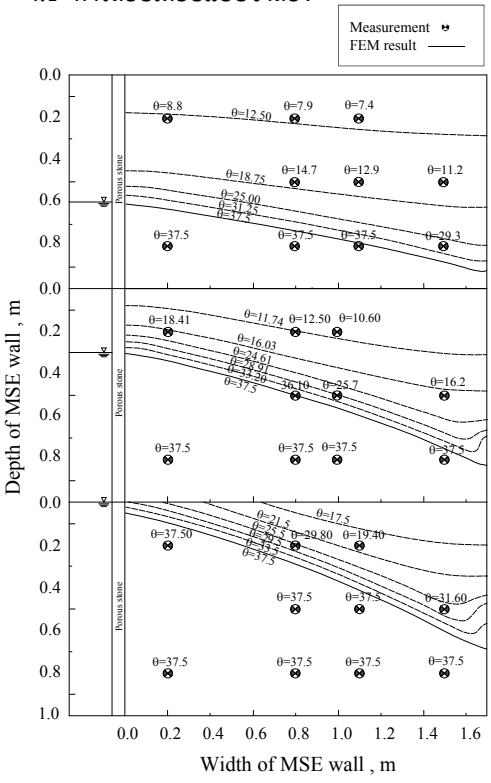
การทดสอบกระทำภายใต้ 3 เงื่อนไข โดยตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของการทดสอบ กรณี 1 และ 2 เป็นการสอบเทียบผลการทดสอบจากแบบจำลองกำแพงกันดินกับผลการทดสอบที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลข กรณี 3 ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมเชิงชลศาสตร์ และศึกษาอิทธิพลของคุณสมบัติต่าง ๆ ที่สนใจต่อการตอบสนองเชิงชลศาสตร์

ตารางที่ 1 รายละเอียดของการทดสอบ

กรณี	ดินถม (โซนเสริมกำลัง)	ดินเดิม	วัสดุใยสังเคราะห์	ทิศทางการติดตั้ง (องศา)
1	ดินทราย	ดินทราย	-	-
2	ดินทราย	ดินทราย	ใช้	90
3	ดินทราย	ดินลูกรัง	ใช้	90

4. ผลการศึกษา

4.1 การสอบเทียบแบบจำลอง

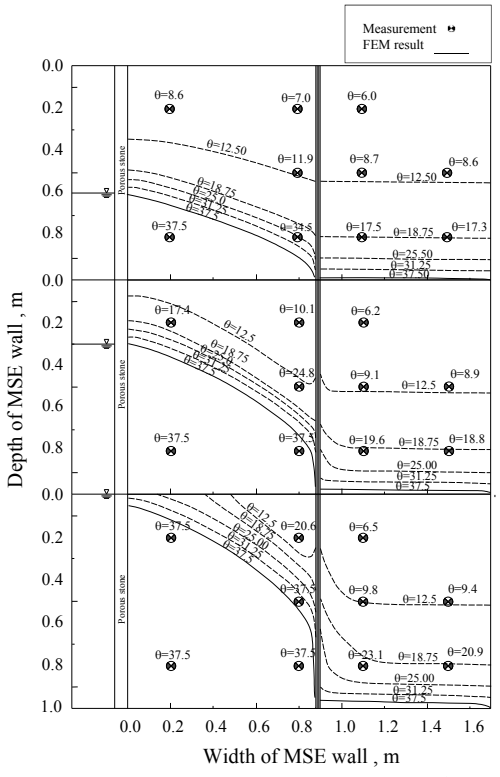


รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นระดับน้ำกับระยะการติดตั้งกำแพงของกรณีที่ 1

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นระดับน้ำกับระยะทางจากต้นน้ำถึงผนังกำแพงในกรณีที่ 1 พบว่าเส้นระดับน้ำลดลงตามระยะจากต้นน้ำถึงผนังกำแพงกันดินซึ่งการลดลงของระดับน้ำเกิดจากการสูญเสียเฮท

น้ำเมื่อไหลผ่านดินถมหลังกำแพงกันดิน เมื่อเพิ่มระดับน้ำต้นน้ำระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของระดับต้นน้ำ สำหรับการกระจายความชื้นแสดงโดยเส้นชั้น (contour) ความชื้นโดยปริมาตร

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการวัดที่ได้จากแบบจำลองเชิงกายภาพ กับที่คำนวณได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลข (แสดงดังรูปที่ 6) พบว่าทั้งระดับน้ำ และความชื้นโดยปริมาตรที่วัดได้ กับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นระดับน้ำกับระยะการติดตั้งกำแพงของกรณีที่ 2

รูปที่ 7 แสดงเส้นระดับน้ำ และเส้นชั้นความชื้นในกำแพงกันดินเสริมกำลังกรณีที่ 2 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข พบว่าระดับน้ำในพื้นที่เสริมกำลังมีค่าต่ำมาก จากผลของการติดตั้ง geocomposite เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าสู่พื้นที่เสริมกำลัง และเมื่อเปรียบเทียบกับระดับน้ำในกรณีที่ 1 พบว่า การลดของระดับน้ำแสดงถึงประสิทธิภาพการระบายน้ำของ geocomposite ทั้งนี้การที่สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของ geocomposite มีค่าสูงมาก ช่วยป้องกันน้ำไม่ให้ผ่านเข้าสู่พื้นที่เสริมกำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบผลจากการวัดที่ได้จากแบบจำลองเชิงกายภาพ กับที่คำนวณได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลข (แสดงดังรูปที่ 7) พบว่าทั้งระดับน้ำ และความชื้นโดยปริมาตรที่วัดได้ กับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขมีค่าใกล้เคียงกัน

จากผลการสอบเทียบแบบจำลองเชิงตัวเลขของกำแพงกันดินเสริมกำลังทั้งกรณี 1 และกรณี 2 (กรณีเสริมและไม่เสริม geocomposite) พบว่าแบบจำลองเชิงตัวเลขสามารถคำนวณผลตอบสนองเชิงชลศาสตร์ได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ จึงสามารถนำแบบจำลองเชิงตัวเลขนี้ไปทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่อไปได้

4.2 การตอบสนองเชิงชลศาสตร์ในกำแพงกันดินที่ใช้ Geocomposite เป็นระบบระบายน้ำ:

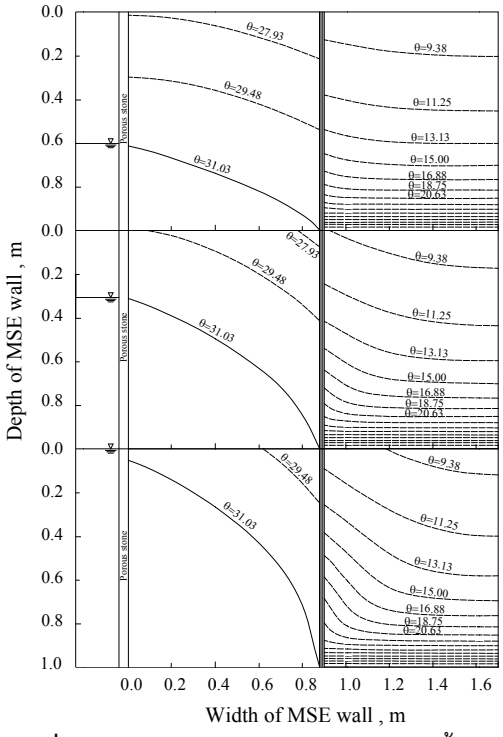
ส่วนนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของคุณสมบัติเชิงชลศาสตร์ภายใต้เงื่อนไขที่ 3 ที่มีดินเดิมเป็นดินลูกรัง ดินถมเป็นดินทราย ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง

Material	VG-VGM model parameters				
	g_a [m^{-1}]	g_n [-]	S_{res} [-]	S_{sat} [-]	k [-]
Sandy	20	1.5	0.03	1	17
Lateritic	0.8	1.4	0.2	1	0.3456
Geotextile	20	1.5	0.03	0.8	2000(320)[1]
Geonet	600	40	0	1	69120

[1] ค่าความซึมผ่านได้ทางขวาง (k_{lat})

4.2.1 พฤติกรรมเชิงชลศาสตร์



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นระดับน้ำกับระยะการติดตั้งกำแพงของกรณีที่ 3

รูปที่ 8 แสดงเส้นระดับน้ำ และเส้นชั้นความชื้นในกำแพงกันดินเสริมกำลังกรณีที่ 3 พบว่าระดับน้ำนอกโซนป้องกันมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มระดับต้นน้ำ ในพื้นที่เสริมกำลังระดับน้ำมีค่าต่ำมากใกล้เคียงศูนย์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า geocomposite สามารถใช้เป็นระบบระบายน้ำได้ดีในกรณีนี้เช่นกัน สำหรับเส้นชั้นความชื้นในบริเวณดินเดิมซึ่งเป็นดินลูกรัง พบว่าพื้นที่ที่มีความชื้นสูงกระจายเป็นบริเวณกว้างกว่าในบริเวณพื้นที่เสริมกำลังซึ่งวัสดุถมเป็นดินทรายคุณลักษณะการอุ้มน้ำที่แตกต่างกัน

4.2.2 การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์เชิงชลศาสตร์

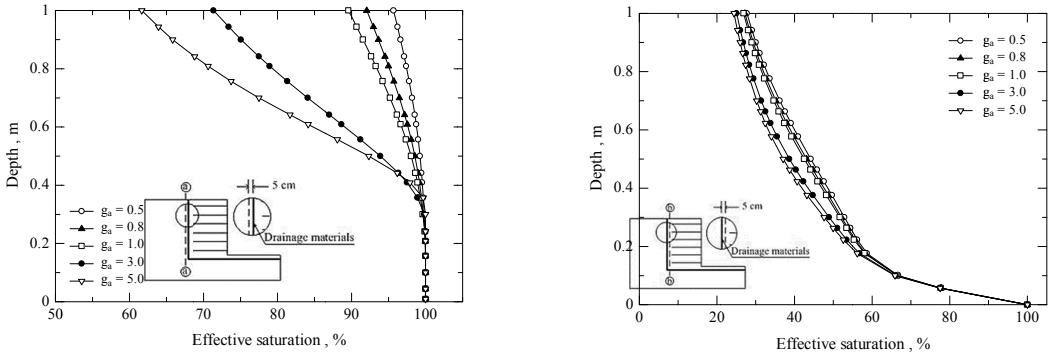
พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ WRC ของดินและ geotextile ประกอบด้วย ตัวแปร van Genuchten (g_a, g_n, S_{res}, S_{sat}) และค่าการซึมผ่านได้ (k) โดยพิจารณาช่วงของตัวแปรดังที่แสดงใช้ในการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3

ก. ผลกระทบของตัวแปร van-Genuchten ในดินเดิม (นอกพื้นที่เสริมกำลัง)

ก.1 ตัวแปร van Genuchten g_a

ตารางที่ 3 ช่วงของตัวแปร

VG-VGM model parameters	Lateritic soil	Sandy soil	Geotextile	Geonet
K_{lat} [m/day]	0.00346-300	1.7-340	17-4000	2000-100000
K_{long} [m/day]	0.00346-300	1.7-340	50-2000	2000-100000
g_a [m^{-1}]	0.5-5	20	2.5	600
g_n [-]	1.1-1.5	1.5	20	40
S_{res} [-]	0.1-0.4	0.03	0.03	0
S_{sat} [-]	0.7-1.0	1	0.8	1

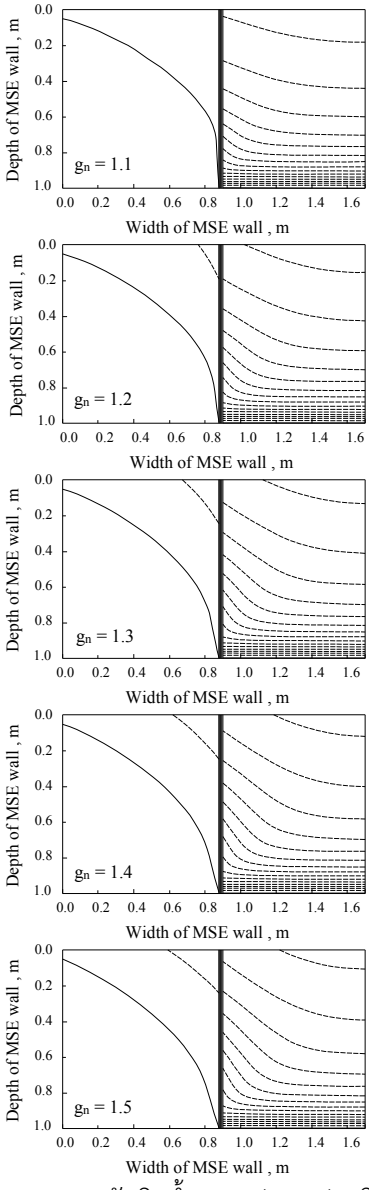


(ก) (ข)

รูปที่ 9 แสดงรูปแบบประสิทธิภาพความอิ่มตัวตามแนวตัด a-a และ b-b ตามลำดับสำหรับกรณีที่ 3

รูปที่ 9 แสดงการกระจายของความชื้นประสิทธิผลตามแนวตัด a-a และ b-b โดยแนวตัดดังกล่าวอยู่ห่างจาก geocomposite ไปทางด้านซ้ายและด้านขวาเป็นระยะ 0.05 เมตรตามลำดับ ที่ g_a ขนาดต่าง ๆ พบว่า ความชื้นของดิน แปรผกผันกับขนาดของ g_a กล่าวคือเมื่อ g_a มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นในดินมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม สำหรับแนวตัด b-b ความชื้นในดินไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ก.2 ตัวแปร van Genuchten g_n



รูปที่ 10 แสดงระดับผิวน้ำและรูปแบบประสิทธิภาพความอิ่มตัวสำหรับขนาดของ g_n กรณีที่ 3

ตามการเปลี่ยนแปลงค่า g_a ดังรูปที่ 9 ทั้งนี้การเปลี่ยนค่า g_a เป็นการเปลี่ยนเฉพาะค่า g_a ของดินนอกพื้นที่เสริมกำลัง (แนวตัด a-a) ขณะที่ดินในพื้นที่เสริมกำลังเป็นดินทราย ผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนค่า g_a ของดินด้านนอกพื้นที่เสริมกำลังไม่ส่งผลต่อการกระจายความชื้นของดินในพื้นที่เสริมกำลังแต่อย่างไร

รูปที่ 10 แสดงเส้นระดับน้ำ และเส้นชั้นความชื้นในกำแพงกันดินเสริมกำลัง ที่ขนาดของ g_n ต่าง ๆ พบว่าการกระจายความชื้นในช่วง 20-80% นอกพื้นที่เสริมกำลัง จะเปลี่ยนแปลงตามขนาด g_n อย่างชัดเจน โดยเมื่อขนาดของ g_n มีค่ามากขึ้น การกระจายความชื้นในช่วง 20-80% จะมีบริเวณแคบลง

อย่างไรก็ตามความชื้นในดินในพื้นที่เสริมกำลังพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามค่า g_n ทั้งนี้การเปลี่ยนค่า g_n เป็นการเปลี่ยนแปลงค่า g_n ของดินนอกพื้นที่เสริมกำลัง สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนค่า g_n ของดินด้านนอกพื้นที่เสริมกำลังไม่ส่งผลต่อการกระจายความชื้นของดินในพื้นที่เสริมกำลังแต่อย่างไร

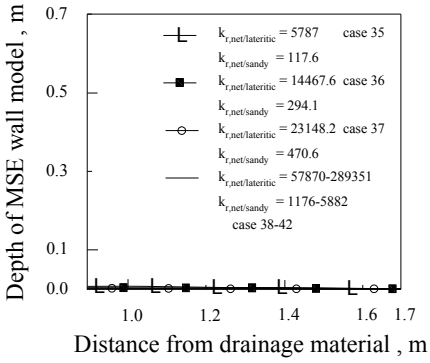
ก.3 ตัวแปร van Genuchten S_{res}และ S_{sat}

เปลี่ยนค่า S_{res} และ S_{sat} ที่ขนาดต่างๆ พบว่า S_{res} และ S_{sat} ของดินไม่ส่งผลกระทบต่อการกระจายความชื้นและระดับน้ำในดินทั้งภายในและภายนอกพื้นที่เสริมกำลัง

ข. ผลกระทบของอัตราส่วนการซึมผ่าน

ระดับน้ำภายในพื้นที่เสริมกำลังมีความสำคัญมากที่สุดต่อเสถียรภาพภายใน (Internal stability) ของ MSE wall Chinkulkijniwat et al. [16] พบว่าอัตราส่วนระหว่างค่าความซึมผ่านได้ของ geonet ต่อความซึมผ่านได้ของดิน (k_{net}/k_{soil}) ที่น้อยว่า k_{net}/k_{soil} =1756 จะส่งผลให้ระดับน้ำในพื้นที่เสริมกำลังมีระดับสูงขึ้นเนื่องจากค่าความซึมผ่านของ geocomposite ถูกควบคุมด้วยค่าความซึมผ่านของ geotextile และ geonet แต่เนื่องจากค่าความซึมผ่านได้ของ geonet มีค่าสูงกว่าค่าความซึมผ่านได้ของ geotextile อย่างมาก ดังนั้นค่าความซึมผ่านได้ของ geocomposite จึงได้รับอิทธิผลหลักมาจากค่าความซึมผ่านได้ของ geonet อย่างไรก็ตามในงานดังกล่าวใช้ดินถมประเภทเดียวกันทั้งภายในและภายนอกพื้นที่เสริมกำลัง จึงไม่สามารถสรุปได้

ว่าค่าอัตราส่วนดังกล่าวเป็นอัตราส่วนจากดินด้านใน ดินด้านนอก หรือทั้งสองฝั่งของพื้นที่เสริมกำลัง จากผลการคำนวณด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข พบว่าการจำลองทั้งหมดให้ค่าระดับน้ำภายในโซนเสริมกำลังลดลงถึงระดับล่างสุด



รูปที่ 11 แสดงการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวระดับน้ำภายในโซนเสริมกำลังสำหรับอัตราส่วนระหว่างความซึมผ่านของวัสดุใยสังเคราะห์และความซึมผ่านของวัสดุถม

รูปที่ 11 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำภายในพื้นที่เสริมกำลัง สำหรับอัตราส่วนระหว่างความซึมผ่านของgeonet ต่อความซึมผ่านได้ของดินในพื้นที่เสริมกำลัง ($k_{r,net/sandy}$) ตั้งแต่ $k_{r,net/sandy}$= 117.6 – 5882 พบว่าระดับไม่มีการเพิ่มขึ้นทุก ๆ ค่าของ $k_{r,net/sandy}$ และยังแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำภายในพื้นที่เสริมกำลัง สำหรับอัตราส่วนระหว่างความซึมผ่านของ geonet ต่อความซึมผ่านได้ของดินนอกพื้นที่เสริมกำลัง ($k_{r,net/lateritic}$) พบว่าขนาดของ $k_{r,net/lateritic}$= 5787 – 289351 ระดับน้ำไม่มีการเพิ่มขึ้นทุก ๆ ค่าของ $k_{r,net/lateritic}$ เช่นเดียวกัน

จากผลการคำนวณ $k_{r,net/sandy}$ พบว่ามีอัตราส่วนที่น้อยกว่า 1756 แต่ระดับน้ำในพื้นที่เสริมกำลังไม่สูงขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่าดินถมด้านในพื้นที่เสริมกำลังไม่มีผลต่อระดับน้ำในพื้นที่เสริมกำลัง และในการคำนวณ $k_{r,net/lateritic}$ มีอัตราส่วนที่สูงกว่า 1756 จึงไม่อาจสรุปได้ว่าระดับน้ำในพื้นที่เสริมกำลังขึ้นอยู่กับดินถมด้านนอกพื้นที่เสริมกำลัง

5. สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์เชิงชลศาสตร์ พบว่า พารามิเตอร์เชิงชลศาสตร์ของดินนอกพื้นที่เสริมกำลังไม่ส่งผลต่อการตอบสนองเชิงชลศาสตร์ภายในพื้นที่เสริมกำลัง ยกเว้นค่าความซึมผ่านได้ของดินนอกพื้นที่เสริมกำลัง อาจส่งผลต่อระดับน้ำในดินในพื้นที่เสริมกำลัง และการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์เชิงชลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับ WRC ของดินและ geotextile ในช่วงของตัวแปรที่ขนาดต่าง ๆ พบว่า

5.1 การเปลี่ยนค่า g_a และ g_n ของดินด้านนอกพื้นที่เสริมกำลังไม่ส่งผลต่อการกระจายความชื้นของดินในพื้นที่เสริมกำลัง

5.2 การเปลี่ยนค่า S_{res} และ S_{sat} ของดินไม่ส่งผลต่อการกระจายความชื้นและระดับน้ำในดินทั้งภายในและภายนอกพื้นที่เสริมกำลัง

5.3 อัตราส่วนระหว่างค่าความซึมผ่านได้ของ geonet ต่อความซึมผ่านได้ของดินด้านในพื้นที่เสริมกำลังไม่ส่งผลต่อระดับน้ำภายในพื้นที่เสริมกำลัง

ดังนั้นในการออกแบบระบบระบายน้ำจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าความซึมผ่านได้ของดินนอกพื้นที่เสริมกำลังเทียบกับความสามารถในการระบายน้ำของวัสดุ Geocomposite

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณกองทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนการศึกษาแก่นางสาวไอริณ ลิ้มรัตน์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Koerner, R.M., Soong, T-Y., (2000). "Stability assessment of ten large landfill failures." In Advances in transportation and geoenvironmental systems using geosynthetics. (1-38).

[2] Shibuya, S., Saito, M., Torii, N., and Hara, K. (2009). "Mitigating embankment failure due to heavy rainfall using L-shaped geosynthetic drain (LGD)", Proceedings of the International Symposium on Prediction and Simulation

Methods for Geohazard Mitigation, Kyoto, Japan, (229-306).

[3] Koerner, R.M., (2005). Designing with Geosynthetics. 5th Edition. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall Publish Company.

[4] Yoo, C., & Jung, H. Y. (2006). "Case history of geosynthetic reinforced segmental retaining wall failure." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol.132 No.12 : 1538-1548.

[5] Stormont, J. C., Morris, C. E., (2000). "Characterization of unsaturated nonwoven geotextiles." Advances in unsaturated geotechnics, ASCE. (153-164)

[6] Lafleur, J., Lebeau, M., Faure, Y. Savard, Y., Kehila, Y., (2000). "Influence of matric suction on the drainage performance of polyester geotextiles." The 53rd annual conference of Canadian Geotechnical Society, Motreal, Canada. (1115-1122).

[7] Ho, A.F., (2000). Experimental and numerical investigation of infiltration ponding in one-dimensional sand-geotextile columns. M.Sc. Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.

[8] Knight, M.A., Kotha, S.M., (2001). "Measurement of geotextile-water characteristic curves using a controlled outflow capillary pressure cell." Geosynthetics International. Vol.8 No.3 : 271-282.

[9] Iryo, T., Rowe, R.K., (2003). "On the hydraulic behavior of unsaturated nonwoven geotextiles." Geotextiles and Geomembranes. Vol.21 No.6 : 381-404.

[10] Iryo, T., Rowe, R.K., (2004). "Numerical study of infiltration into a soil-geotextile column." Geosynthetics International. Vol.11 No.5 : 377-389.

[11] Bouazza, A., Freund, M., Nahlawi, H, (2006). "Water retention of nonwoven polyester geotextiles." Polymer Testing. Vol.25 No.8 : 1038-1043.

[12] Nahlawi, H., Bouazza, A., & Kodikara, J. (2007). "Characterisation of geotextiles water retention using a modified capillary pressure cell." Geotextiles and Geomembranes. Vol.25 No.3 : 186-193.

[13] Van Genuchten, M. Th. (1980). "A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated of soil." Soil Science Society of America Journal. Vol.44 No.5 : 892-898.

[14] Mualem, Y. (1976). "A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media." Water Resources Research. Vol.12 No.3 : 513-522.

[15] Artit Udomchai. (2013). "Physical model tests on mechanically Stabilized earth walls with geocomposite Drainage under seepage condition." Master degree of Engineering in Civil Engineering, Suranaree University of Technology. (thai).

[16] Chinkulkijniwat, A., Horpibulsuk, S., Bui Van, D., Udomchai, A., Goodary, R., & Arulrajah, A. (2016). "Influential factors affecting drainage design considerations for mechanical stabilised earth walls using geocomposites." Geosynthetics International. Vol.24 No.3 : 224-241