

การประเมินประสิทธิภาพเชิงกลของรากแฝกและไม้ต่อเสถียรภาพลาดดิน ภายใต้สภาวะน้ำใต้ดินต่างกันด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Numerical Evaluation of Vetiver and Bamboo Root Reinforcement Effects on Slope Stability Across Groundwater States

รวีฟ้า สุภานันท์*, อภินิติ โชติสังกาศ*, กรกช ัญญเจริญ*, วชิรวดี ประภัสสร**

*ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

**บริษัท กรีนกราวด์โซลูชันส์ จำกัด กรุงเทพฯ 10210

*Corresponding author. E-mail address: rawefah.su@ku.th

ที่มาและความสำคัญ

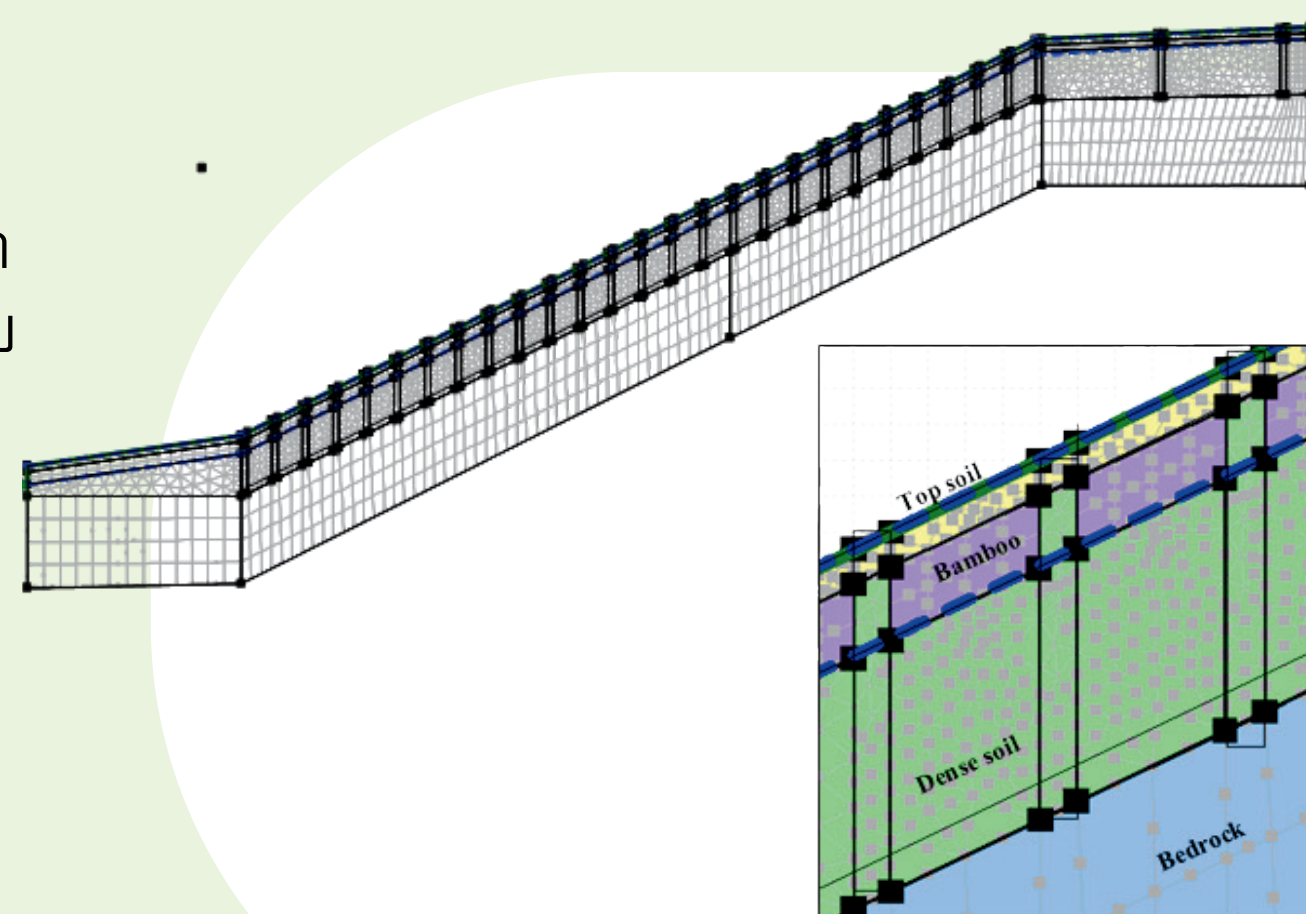
เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่เขตร้อนมักได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน ส่งผลให้กำลังเฉือนของดินลดลง และเพิ่มความเสี่ยงต่อการพังทลายของลาดดิน แนวทางการใช้พืชเพื่อเสริมเสถียรภาพของลาดดินเป็นแนวทางชีววิศวกรรมปฐพี (soil bio-engineering) ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากระบบรากของพืชสามารถช่วยเสริมกำลังให้กับดิน

วัตถุประสงค์

ประเมินและเปรียบเทียบศักยภาพเชิงกลศาสตร์ของระบบรากหญ้าแฝก (*Chrysopogon zizanioides*) ไม้ (*Dendrocalamus*) และการปลูกพืชแบบผสม ต่อเสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่สภาวะน้ำใต้ดินสามกรณี ได้แก่ ไม่มีน้ำใต้ดิน น้ำใต้ดินอยู่ที่ความลึก 0.6 เมตร น้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน โดยดำเนินการทดสอบกำลังรับแรงดึงของราก การคำนวณค่าความเชื่อมั่นจากราก และการวิเคราะห์ความปลอดภัยของลาดดินด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ค่าพารามิเตอร์ดินที่ใช้ศึกษาได้จากลาดดินทางเข้าหมู่บ้านห้วยหินลาดใน จังหวัดเชียงราย เพื่อเป็นตัวแทนของดินที่มักพบในพื้นที่เสี่ยงดินถล่มในภาคเหนือ

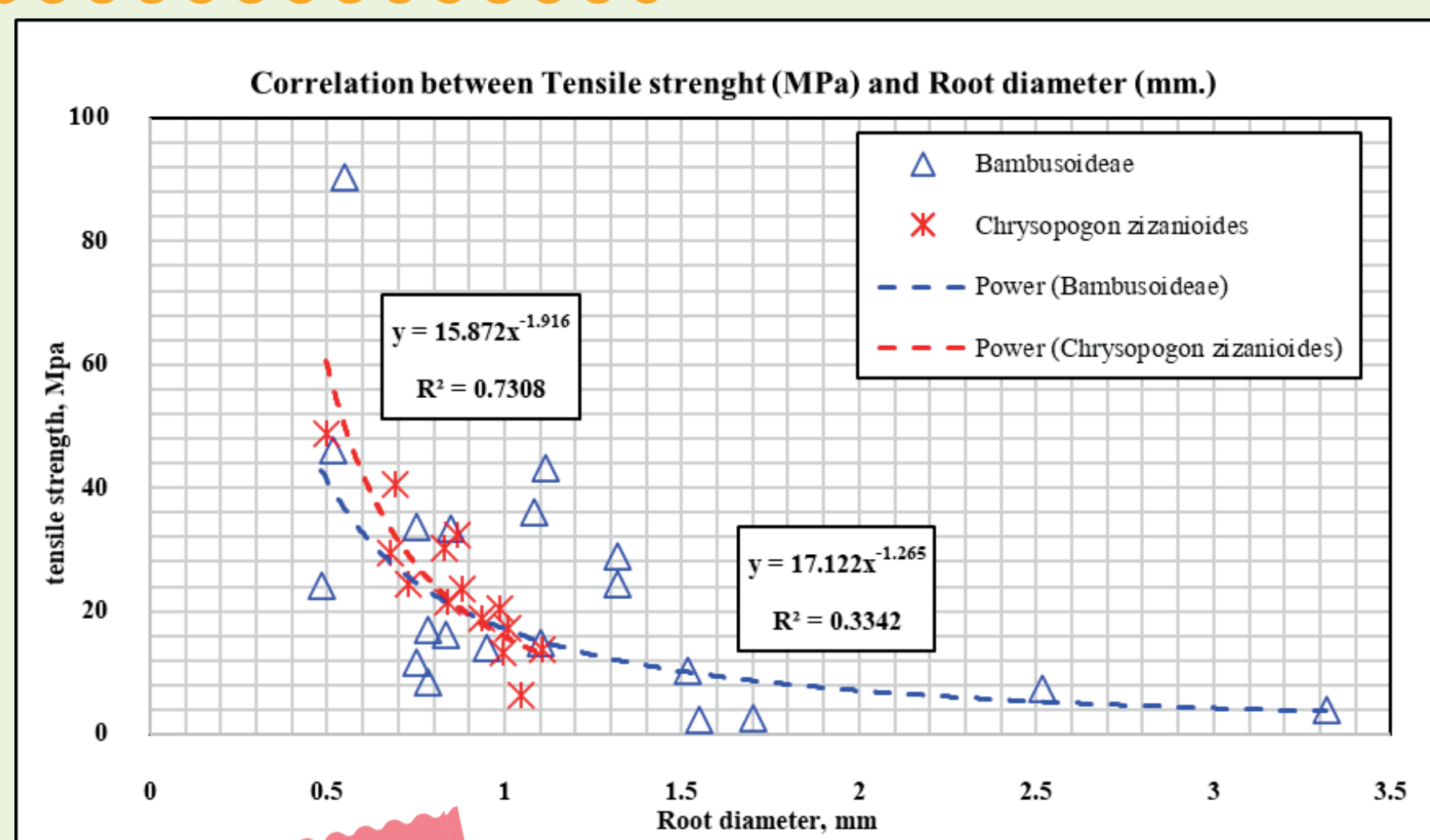
อุปกรณ์และวิธีการ

ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินมาตรฐาน ASTM ได้แก่ การกระจายขนาดเม็ดดิน ความถ่วงจำเพาะ การซึมผ่านของน้ำ การทดสอบแรงเฉือนแกนเดี่ยว การทดสอบสมบัติเชิงกลของราก และสร้างแบบจำลองเสถียรภาพด้วยวิธี Limit Equilibrium โดยใช้ความลาดชัน 26.6 องศา (อัตราส่วน 1:2 v:h) ประกอบด้วยดินชั้นบน (Top soil) หนา 0.2 เมตร วางอยู่เหนือชั้นดินแน่นปานกลาง (Medium Dense soil) หนา 0.4 เมตรเหนือชั้นดินแน่น (Dense soil) หนา 1.4 เมตร และทั้งหมดวางอยู่เหนือชั้นดินฐาน (Bedrock)



สร้างแบบจำลองเสถียรภาพด้วยวิธี Limit Equilibrium

ผลการทดลอง



ผลการวิเคราะห์แรงดึงของรากพืชสองชนิด ได้แก่ หญ้าแฝก และ ไม้ แสดงความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างแรงดึงกับเส้นผ่านศูนย์กลางราก โดยกราฟแบบ Power Function ของหญ้าแฝก มีค่า $R^2 = 0.7308$ สูงกว่าไม้ ($R^2 = 0.3342$) แสดงถึงความสอดคล้องของข้อมูลที่คิดว่าสาเหตุคาดว่าเกิดจากระบบรากของหญ้าแฝกที่เป็น เส้นใยละเอียดหนาแน่น ขณะที่รากไม้มีความแปรผันของขนาดรากมากกว่า

สรุปผลการทดลอง

Case	Factor of Safety (F.S.)		
	Dry Condition	Field Moisture condition	Saturated condition
Bare slope	1.809	1.232	0.889
Vegetation-reinforced slope (Vetiver grass)	root concentration 0.1%	2.029	1.493
	root concentration 0.2%	2.261	1.73
Vegetation-reinforced slope (Bamboo)	root concentration 0.1%	1.815	1.244
	root concentration 0.2%	1.802	1.247
Vegetation-reinforced slope (Bamboo and Vetiver)	root concentration 0.1%	1.934	1.372
	root concentration 0.2%	2.041	1.504

ผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น ค่า Factor of Safety (F.S.) ของลาดดินเปลือยลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 1.809 เหลือ 0.889 แสดงถึงความเสี่ยงต่อการพังทลายที่เพิ่มขึ้น การเสริมกำลังด้วย รากหญ้าแฝก สามารถเพิ่มค่า F.S. ได้อย่างชัดเจนในทุกสภาวะ (สูงสุด 2.261) รากไม้เพิ่มเสถียรภาพได้เพียงเล็กน้อย ส่วนการปลูกหญ้าแฝกร่วมกับไม้ ให้ค่า F.S. อยู่ในระดับกึ่งกลางและช่วยเพิ่มเสถียรภาพของลาดดินได้ดีกว่าการปลูกพืชชนิดเดียว อย่างไรก็ตามควรใช้วิธีทางวิศวกรรมร่วมด้วย เพื่อเพิ่มความปลอดภัย

Material	Unit weight (g), kN/m ³	c' + cr (kPa) Ar/A = 0.1%	c' + cr (kPa) Ar/A = 0.2%	φ'
Dense soil	20.42	0	0	39.66 °
Top soil	20.22	8.21	8.21	40.71
Vetiver root zone	20.22	24.2975	40.3851	28.12 °
Bamboo root zone	20.22	11.5699	14.9298	28.12 °

ทดสอบกำลังรับแรงดึงของรากดำเนินการด้วยการดึงแบบแกนเดียว (uniaxial tension) จนรากวิบัติ ค่ากำลังดึงสามารถคำนวณได้จาก

$$T = \frac{F_f}{\pi(D_f^2/4)}$$

ค่ากำลังดึงของรากนี้สามารถนำไปใช้ทำนายกำลังเฉือนของดินที่เสริมแรงด้วยรากโดยใช้แบบจำลอง Mohr-Coulomb ที่ปรับแก้ให้รวมผลของรากเข้าไป

$$S = (c' + c_r) + (\sigma - u_w) \tan \phi' \quad (2)$$

c_r คือ ค่าความแข็งแรงเฉือนที่เพิ่มจากราก ประมาณได้จากค่ากำลังดึงเฉลี่ยของราก มีค่าประมาณ 40% ของกำลังรับแรงดึงสูงสุดของราก

$$c_r = 0.48 \times \bar{T}_R \left(\frac{A_R}{A} \right)$$

อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของรากต่อดิน (Root Area Ratio: RAR) มีลักษณะเปลี่ยนแปลงตามความลึกและไม่ควรสมมติให้มีค่าเท่ากันตลอดชั้นดิน การลดลงของค่า RAR ตามความลึกจึงส่งผลให้ค่า c_r ลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเสริมเสถียรภาพลาดดินของรากมีค่าสูงสุดในบริเวณผิวดินและลดลงในชั้นดินที่ลึกกว่า



ทดสอบแรงดึงของราก

Plants Species	Tr (MPa)	Cr (KPa) RAR= 0.1%	Cr (KPa) RAR = 0.2%
<i>Chrysopogon zizanioides</i>	$y = 15.872x^{-1.916}$ $R^2 = 0.7308$	33.5157	16.0875
<i>Bambusoideae</i>	$y = 17.122x^{-1.265}$ $R^2 = 0.3342$	6.9998	3.3599

ทำการทดสอบแรงดึงของราก หญ้าแฝก และ ไม้ ที่เก็บจากธรรมชาติ โดยคัดเลือกตามช่วงเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อหาค่ากำลังดึงสูงสุดและวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับขนาดราก ผลพบว่าในช่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง < 1 มม. รากหญ้าแฝกมีกำลังดึงสูงกว่าไม้ ข้อมูลถูกนำไปคำนวณ Root Area Ratio (RAR) และใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดด้วย FEM ภายใต้ 3 สภาวะน้ำใต้ดิน ได้แก่ ไม่มีน้ำใต้ดิน ระดับน้ำลึก 0.6 ม. และระดับน้ำที่ผิวดิน

