

การศึกษาอิทธิพลของรูปร่างวัสดุเม็ดบนกลไกการพัดพาของการไหลจากเศษวัสดุธรณีไหล: การศึกษาเบื้องต้นจากแบบจำลองทางกายภาพ

Effect of granular shapes on entrainment mechanisms of debris flows: Preliminary study through physical modeling

พุทธิกร ธรรมรักษ์^{1,*} ฤทธิพงษ์ บุณยานัน¹ ปภาวีน กลิ่นจันทร์¹ สกฤตทิพย์ ลิ้มสมบุญ¹ ปรารณภัทร พิทักษ์¹ ณัฐวุฒิ มณีจันทร์² ธนศ ทองเดชศรี^{1,3}
และ สุริยาวัธ ปรายัย^{1,3}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

² สำนักงานทางหลวงที่ 2 แพร่ กรมทางหลวง จ.แพร่

³ หน่วยวิจัย RS2GH คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

*Corresponding author; E-mail address: 66103398@up.ac.th

บทคัดย่อ

ดินโคลนถล่มและการไหลหลากของเศษวัสดุธรณีไหลเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดิน หิน และตะกอนบนพื้นที่ลาดชัน การไหลรวมของมวลดินได้นำพาเศษวัสดุไหลตามพื้นเอียงส่งผลให้การไหลมีพลังเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดผลกระทบต่องสิ่งปลูกสร้างและทรัพย์สินรวมถึงสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในพื้นที่การไหล การคาดการณ์พฤติกรรมของดินถล่มและการไหลหลากของเศษดินโคลนในเชิงปริมาณและเวลาเป็นสิ่งที่มีความยุ่งยากทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรมดังกล่าวมีความซับซ้อนเนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างของแข็งและของเหลวในระหว่างการเคลื่อนที่ ในบทความนี้จะเป็นการนำเสนอผลการศึกษาพฤติกรรมการไหลหลากและการนำพาของเศษวัสดุธรณีไหลโดยใช้แบบจำลองรางน้ำย่อยส่วนในห้องปฏิบัติการ รางน้ำจะประกอบไปด้วยรางน้ำหลักที่สามารถปรับความชันได้และรางน้ำย่อยที่สามารถปรับเปลี่ยนชนิดของพื้นได้ และศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการนำพาและสัณฐานวิทยาการทับถมของเศษวัสดุธรณีไหล ผลการศึกษาพบว่า ส่วนผสมที่มีหินย่อยเป็นหลักจะมีผลต่อการกัดเซาะและการนำพาอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ส่วนผสมที่มีทรายเป็นส่วนใหญ่ไม่สามารถสังเกตเห็นกลไกการกัดเซาะได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ส่วนผสมระหว่างวัสดุเม็ดแห้งกับน้ำแสดงพฤติกรรมได้ชัดเจนกว่าส่วนผสมแบบแห้ง ผลการศึกษานี้จะนำไปใช้สอบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองเชิงตัวเลขในขั้นต่อไป

คำสำคัญ: การไหลหลากของเศษวัสดุธรณีไหล, การนำพา, สัณฐานวิทยาการทับถม, แบบจำลองรางน้ำ

Abstract

Debris flows are phenomena resulting from the movement of soil, rocks, and sediments on steep slopes. The mass of flows transports debris along the slope, increasing the flow's force and impacting structures, property, and living life within the affected area. Forecasting debris flow dynamics in both spatial and temporal contexts is challenging due to the complex interactions between solid and liquid phases during movement. This paper presents the results of a study on entrainment and depositional mechanisms using a laboratory-scale flume model. The setup includes a main flume with an adjustable slope and a secondary flume with a configurable flat surface. The study investigates the

influence of several variables on the entrainment and depositional morphology of debris flows, including the shape of solid materials, the solid-to-liquid ratio, the moisture content of the mixture, and the presence of a channelized bed. The findings indicate that mixtures predominantly composed of gravel significantly affect erosion and transport mechanisms. In contrast, mixtures with a high sand content did not exhibit clear erosion behavior. Additionally, mixtures of dry granular materials combined with water showed more distinct behavior compared to dry samples. The results from this physical model will be used to calibrate a numerical model in subsequent research.

Keywords: debris flows, entrainment, morphology, flume-physical modeling

1. คำนำ

ดินโคลนถล่ม (landslide) และการไหลหลากของดินโคลนรวมถึงเศษซากต่างๆ ที่พัดพามาพร้อมกับการไหล (debris flows) ถูกจัดให้เป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่อันตรายที่สุด เนื่องจากความเร็วและขนาดที่มีสูงมาก รวมถึงระยะทางที่สามารถไหลได้ไกล และเมื่อมีสิ่งกีดขวางมาขวางกั้นจะทำให้เกิดแรงกระแทกที่มากเกินกว่าจะคาดการณ์ได้ ที่ผ่านมานักวิทยาศาสตร์ได้เริ่มศึกษาปัญหาดังกล่าวในมิติต่างๆ โดยเฉพาะคุณสมบัติของการไหลหลากด้านเชิงกลที่อยู่บนพื้นฐานของการศึกษาเชิงประจักษ์ [1-6] การศึกษาที่ผ่านมา [2, 8] ได้นิยามความหมายของ Debris flows คือเป็นการไหลของตะกอนและส่วนผสมของน้ำที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับของไหลโดยจะไหลอย่างต่อเนื่องตามแรงโน้มถ่วง โดยที่ตะกอนขนาดใหญ่จะสะสมบริเวณด้านหน้า ส่วนตะกอนขนาดเล็กจะไหลกระจายภายในของเหลวอยู่ในส่วนด้านหลัง หลังจากนั้นจะเกิดการก่อตัวทับถมกันรวมตัวกันเป็นเนินตะกอนรูปพัด รูปที่ 1 แสดงคุณลักษณะของ debris flow จากเหตุการณ์ดินโคลนถล่มและไหลหลากไปตามแนวถนนในเขตทางหลวงหมายเลข 1081 ตอน อ.บ่อเกลือ-อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.น่าน เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2561 ช่วง กม.90+700 ถึง 91+000 ช่วงระหว่างบ้านห้วยขาบ-บ้านบ่อหยวก ต.บ่อเกลือเหนือ ทำให้เกิดการทับถมของดินโคลนปิดทับและขวาง

กั้นการสัญจรบนทางหลวงดังกล่าว ส่งผลทำให้เกิดความเดือดร้อนของประชาชนที่ต้องใช้เส้นทางนี้ในการสัญจร



รูปที่ 1 ตัวอย่างลักษณะทางกายภาพของการไหลหลากของดินโคลนรวมถึงเศษซากต่างๆที่พัดพามาพร้อมกับกรไหล ในเขตทางหลวงหมายเลข 1081 ตอน อ.บ่อเกลือ-อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.น่าน

สำหรับประเทศไทยที่ผ่านมา นักวิจัยส่วนใหญ่จะใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลเชิงสถิติเป็นเครื่องมือในการหาความอ่อนไหวของการเกิดแผ่นดินถล่ม [9-11] ในขณะที่ การศึกษาในเชิงรายละเอียดของคุณสมบัติเชิงกลของอนุภาคดินในพื้นที่เมื่อมีแรงดันน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากในการศึกษารูปแบบและระนาบของการวิบัติทำให้ทราบถึงโอกาสของการเกิดดินถล่มสามารถสืบค้นได้จากแหล่งความรู้ต่างๆ [12-16] แต่อย่างไรก็ตามที่ผ่านมาการศึกษาถึงพฤติกรรมเชิงกลของการไหล, การพัดพาจากการกัดเซาะของผิวดินจากการไหลของดินโคลน (entrainment) รวมถึงกลไกการทับถม, สันฐานวิทยาการทับถมของการไหลหลากดินโคลนยังพบน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณารูปร่างของเศษซากวัสดุที่ไหลหลาก ทั้งนี้สันฐานวิทยาทางธรณีในแต่ละพื้นที่ที่คุณลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน ทำให้ขาดความเข้าใจลักษณะของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติ ส่งผลทำให้ไม่สามารถประเมินผลกระทบและความเสียหายจากภัยพิบัติทางธรรมชาติได้อย่างเหมาะสม

บทความนี้จะเป็นการนำเสนอรูปแบบของการศึกษาพฤติกรรมการไหลหลากของเศษวัสดุธรณีในท้องปฏิบัติการแบบลดขนาด โดยจะพิจารณาการไหลที่มีคุณลักษณะเป็นแบบการไหลของเศษหินเม็ดหยาบ (stony debris flow หรือ coarse-grained debris flow) และศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อน้ำพาและสันฐานวิทยาการทับถมของเศษวัสดุธรณีไหล ทั้งนี้ผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลองดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการสอบเทียบความถูกต้องโดยแบบจำลองเชิงตัวเลขต่อไป

2. วัสดุและเครื่องมือทดสอบ

2.1 แบบจำลองทางกายภาพรางน้ำลดขนาดในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาคูณลักษณะพื้นฐานของกลไกการไหลหลากของเศษวัสดุธรณีไหล, วิธีการเคลื่อนที่และแผ่กระจาย การเคลื่อนตัวแบบพลศาสตร์ของเม็ดดินที่มีรูปร่างแตกต่างกัน การพัดพาจากการกัดเซาะของผิวดินจากการไหลของดินโคลนรวมถึงกลไกการทับถม, สันฐานวิทยาการทับถมของการไหลหลากดินโคลน จะดำเนินการโดยอาศัยแบบจำลองรางน้ำในห้องปฏิบัติการ ณ โรงปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

สำหรับการศึกษาคูณลักษณะนี้จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นรางน้ำหลักที่มีขนาดหน้าตัด 0.40x0.60 m ความยาว 5.40 m โดยมีช่องสำหรับเตรียมวัสดุตัวอย่างขนาด 0.50x0.60x0.40 m แบบจำลองรางน้ำสามารถปรับเปลี่ยนความเอียงได้จนถึง 45° ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดของฟังก์ชันการใช้งานของโรงปฏิบัติการ ในขณะที่รางน้ำส่วนเพิ่มเติมสำหรับการปรับเปลี่ยนความลาดชันที่แตกต่างกันจะมีความยาว 2.40 m ด้านท้ายของรางน้ำจะมีแผ่นไม้ผิวเรียบขนาด 2.40x4.80 m ไว้รองรับการไหลทับถมของเศษวัสดุธรณีไหล ทั้งนี้ความชันของรางน้ำจะพิจารณาจากเชิงลาดในพื้นที่ที่เคยเกิดเหตุการณ์ดินโคลนถล่ม

พื้นรางของรางน้ำหลักเป็นแผ่นเหล็กผิวเรียบซึ่งช่วยเร่งการเคลื่อนที่ของการไหลของวัสดุและไม่มีการกัดเซาะ (non-erodible bed) เนื่องจากการไหลของวัสดุ ในขณะที่พื้นรางน้ำเสริมจะมีช่วงที่พื้นผิวที่มีความลึก 0.08 m เป็นชั้นดินบดอัดที่ทำให้สามารถเกิดการกัดเซาะเนื่องจากการไหลได้ (erodible bed) นักวิจัยบางท่าน [14, 16] ได้นิยามพื้นรางน้ำชนิดผิวลื่นจะเป็นการจำลองการไหลหลากบนชั้นหิน (รูปที่ 2) ทั้งนี้การเริ่มต้นของการพังทลายหรือการวิบัติของดินถล่มจะไม่ได้พิจารณาหรือจำลองถึงกระแสน้ำที่ทำให้เกิดดินถล่ม ดังนั้นเราจะพิจารณารูปแบบการพังทลายของเขื่อนในอุดมคติ (idealized dam break model) ซึ่งจำลองการเปิดหรือยกประตูกันอย่างรวดเร็วเพื่อเริ่มต้นการไหลของเศษวัสดุธรณีไหล [17-19]

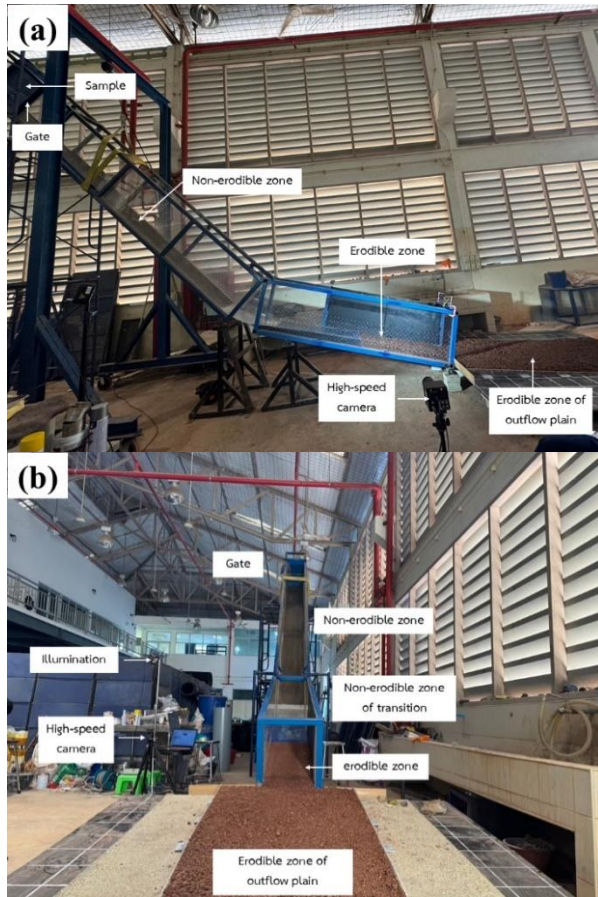
2.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

สำหรับตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษาคูณลักษณะนี้จะทำการเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ที่เคยมีเหตุการณ์ดินถล่มและการไหลหลากของเศษวัสดุธรณีไหล โดยตัวอย่างดังกล่าวจะเก็บรวบรวมมาจากเศษซากจากการกองทับถมเศษวัสดุธรณีไหลในเขตทางหลวงหมายเลข 1081 ตอน อ.บ่อเกลือ-อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.น่าน ช่วงกม. 97+325 รูปที่ 3 แสดงลักษณะรูปร่างของเศษหินย่อยและเม็ดดินจากกองทับถมเศษวัสดุธรณีไหล

สำหรับการอธิบายรูปร่างของวัสดุชนิดเม็ดโดยการกำหนดลักษณะของวัสดุแต่ละก้อนนั้นไม่ว่าจะเป็นความเป็นทรงกลม การยึดออก และความแบนเรียบ Orosz et al. [20] ได้อธิบายรูปร่างของวัสดุชนิดเม็ดด้วยเทนเซอร์ในแนวพื้นผิว (surface orientation tensor, SOT) โดยพิจารณาพื้นผิวหน้าเรียบของอนุภาคหลายเหลี่ยมที่มีทั้งความนูน (convex) หรือเว้า (concave) ซึ่งสามารถแสดงในรูปของที่มีเวกเตอร์พุ่งออกจากพื้นที่ผิวแต่ละด้านและถ่วงด้วยพื้นที่ผิวหน้าที่เวกเตอร์ ดังนั้น SOT จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ

$$f_{ij} = \frac{1}{\sum_{(k)} A^{(k)}} \sum_{(k)} \left(A^{(k)} n_i^{(k)} n_j^{(k)} \right) \quad (1)$$

โดยที่ k คือจำนวนผิวหน้าของอนุภาค ในขณะที่ $A^{(1)}, A^{(2)} \dots A^{(k)}$ คือพื้นที่ของผิวหน้า และ $n^{(1)}, n^{(2)} \dots n^{(k)}$ คือเวกเตอร์ตั้งฉากในแต่ละผิวหน้า และกำหนดให้ค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue) $f_1 \geq f_2 \geq f_3$ และจากค่าลักษณะเฉพาะดังกล่าวสามารถนำไปใช้สำหรับการกำหนดลักษณะของรูปแบบอนุภาคแต่ละขนาดได้ดังนี้



รูปที่ 2 แบบจำลองทางกายภาพแบบย่อส่วน การไหลหลากของดินโคลนใน
ห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$\text{ค่าความเป็นลูกบาศก์หรือทรงกลม (Compactness: C)} = \frac{f_3}{f_1} \quad (2)$$

$$\text{ค่าความแบนเรียบ (Flakiness: F)} = \frac{f_1 - f_2}{f_1} \quad (3)$$

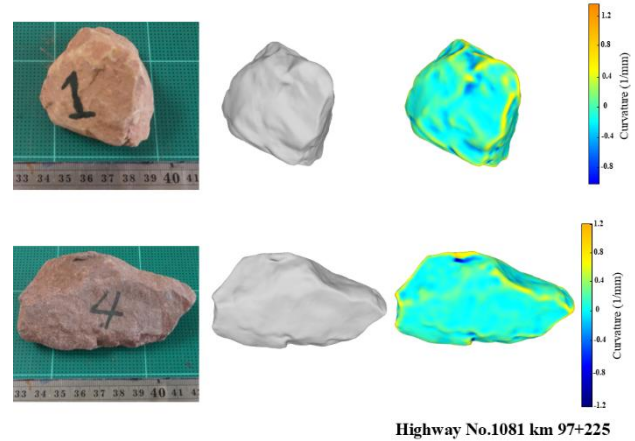
$$\text{ค่าความยาว (Elongation: E)} = \frac{f_2 - f_3}{f_1} \quad (4)$$



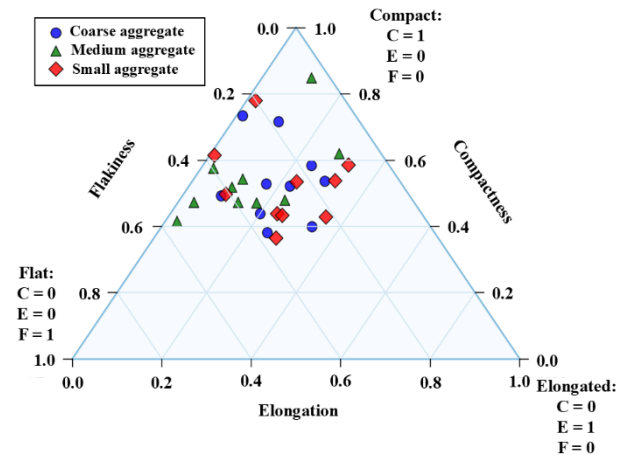
รูปที่ 3 ตัวอย่างของดินที่ได้มาจากกองทับถมของเศษวัสดุธรรมชาติ ในเขตทาง
หลวงหมายเลข 1081 ช่วงกม. ช่วงกม. 97+325

จากเทคโนโลยีในการขึ้นรูปร่างของอนุภาคด้วยเครื่องมือสแกน 3 มิติที่
สามารถระบุพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ในการระบุพื้นฐานของ

วัสดุสามารถแบ่งระดับการพิจารณาออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ รูปร่าง (form, ระดับมหภาค), ความเป็นเหลี่ยม (angularity, ระดับปานกลาง) และพื้นผิว (texture, ระดับจุลภาค) รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างของการวิเคราะห์พื้นฐาน วิทยาของอนุภาคตัวอย่างหินย่อยที่ได้มาจากการกองทับถมของเศษวัสดุ ธรรมชาติ โดยค่าความโค้งที่ระบุจะบ่งบอกถึงระดับความหยาบพื้นผิวของ วัสดุทดสอบในระดับจุลภาค ดังนั้นการอธิบายรูปร่างของตัวอย่างที่ใช้ใน การศึกษาค้นคว้านี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 ซึ่งจากแผนภาพ ternary สามารถอธิบายได้ว่าวัสดุที่ใช้จะมีรูปร่างที่แสดงความเป็นลูกบาศก์ (C) ใน ระดับตั้งแต่ปานกลางจนถึงมาก (0.4 - 0.8) ในขณะที่ความแบนเรียบ (F) และความยาว (E) จะมีค่าในระดับที่ต่ำจนถึงปานกลาง (0 - 0.6)



รูปที่ 4 สันฐานวิทยาของอนุภาคตัวอย่างหินย่อยที่ได้มาจากการกองทับถมของ
เศษวัสดุธรรมชาติ ในเขตทางหลวงหมายเลข 1081 ช่วงกม. ช่วงกม. 97+325



รูปที่ 5 แผนภาพ ternary แสดงความเป็นความเป็นลูกบาศก์ (C) ความแบนเรียบ (F) และความยาว (E) ของอนุภาคหินย่อย

ในการเตรียมวัสดุหินย่อยดังกล่าวที่นำมาใช้ในการทดสอบ จะทำการ ล้างให้สะอาดเพื่อลดฝุ่นที่เกิดขึ้นและสิ่งแปลกปลอมที่เกาะตามพื้นผิวของ วัสดุ จากนั้นจึงอบให้แห้ง ในขณะที่ส่วนที่เป็นดินเหนียว ในการเตรียม ตัวอย่างวัสดุหลังจากนำดินเหนียวไปอบแห้ง ทำการทุบดินเหนียวให้ ละเอียดจากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 19.0 mm (3/4") โดยร่อน เอาดินที่ค้างบนตะแกรงนี้ออกไป สำหรับกรณีที่พื้นผิวร่อนน้ำเป็นช่วงที่ พื้นผิวสามารถมีการกัดเซาะเนื่องจากการไหลได้ ดินเหนียวดังกล่าวจะถูก บดอัดแบบแห้งที่ความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1200 kg/m³ ที่กึ่งภายในรางน้ำ และแผ่นพื้นรองรับการแผ่และทับถม ในการเตรียมชั้นดินบดอัดดังกล่าว

สายเอ็นในลอนจะถูกซึงยึดติดกับหมุดที่กำหนดไว้เพื่อให้ได้มิติตามที่
ต้องการ ดังนั้นจากการกำหนดมิติต่างๆ เราสามารถที่จะกำหนดปริมาณ
ของดินตามที่ต้องการได้ ทั้งนี้เพื่อจำลองปรากฏการณ์การไหลหลากของดิน
โคลนไปตามผิวดินซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ปริมาณความชื้น
(water content) ที่เกิดขึ้นในชั้นดินที่บดอัดแล้วเท่ากับ 20 % จะได้จาก
เครื่องพ่นละอองน้ำ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อที่จะทำการสแกน
พื้นผิวด้วยเครื่องมือสแกนแบบ 3 มิติ หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบ

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของวัสดุและเงื่อนไขของการศึกษาครั้งนี้

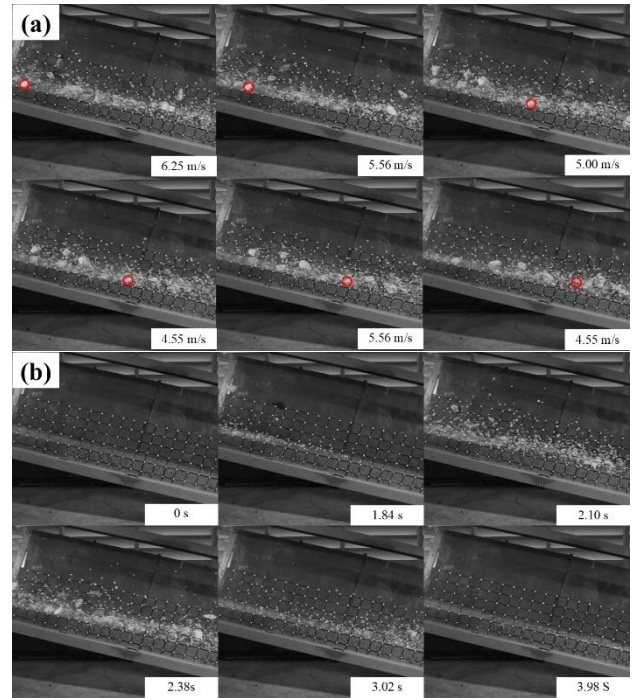
รหัสการทดลอง	อัตราส่วนผสม หินย่อย/ทราย/ดิน เหนียว (โดยน้ำหนัก)	ปริมาณของแข็ง ในส่วนผสม (Cs) : น้ำ (โดยน้ำหนัก)	ปริมาณ ความชื้นของ ท้องราง (w) (%)
N45/15_ms25-0_Cs100-0	75 : 25 : 0	100 : 0	20
N45/15-ms75-0_Cs100-0	25 : 75 : 0	100 : 0	20
N45/15-ms50-20_Cs75-25	30 : 50 : 20	75 : 25	20

** N45/15_ms50-20_Cs75-25 หมายถึง การทดสอบการไหลแบบบิสระ (N) ที่มุมลาด
เอียง 45 ° และ 15 ° ด้วยอัตราส่วนหินย่อย 30 % ทราย (ms) 50 % - ดินเหนียว 20 %
โดยน้ำหนัก และปริมาณของแข็งในส่วนผสม (Cs) เท่ากับ 75% และมีปริมาณน้ำเท่ากับ
25% โดยน้ำหนัก

ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของฝน (rainfall intensity) ซึ่ง
ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของการไหลหลาก ตัวอย่างที่
เตรียมจะเป็นวัสดุระหว่างวัสดุเม็ดแห้งและน้ำ โดยจะพิจารณาจากปริมาณ
ของแข็งในส่วนผสม (solid concentration, Cs) ในการเตรียมตัวอย่าง
ทดสอบวัสดุต่างๆจะถูกจัดเตรียมตามสัดส่วนที่ได้กำหนดไว้ โดยตัวอย่างทุก
การทดสอบจะถูกกำหนดไว้ที่ 30 kg ไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างแห้งหรือตัวอย่าง
ที่เป็นส่วนผสมระหว่างวัสดุเม็ดแห้งและน้ำ โดยที่ความหนาแน่นรวม (bulk
density) จะมีค่าเท่ากับ 2,286 kg/m³ และ 2,525 kg/m³ สำหรับตัวอย่าง
แบบแห้งและแบบผสมระหว่างวัสดุเม็ดแห้งและน้ำ ตามลำดับ ตารางที่ 1
แสดงตัวอย่างของอัตราส่วนผสมของวัสดุและเงื่อนไขของการศึกษาครั้งนี้

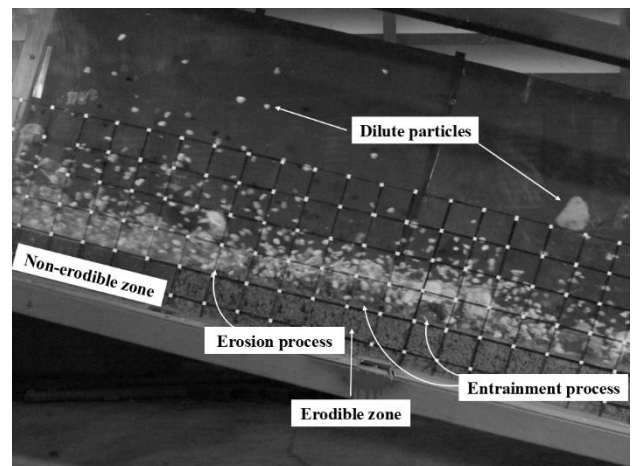
3. ตัวอย่างผลการทดสอบ

ในการวิเคราะห์กลไกการนำพาเมื่อมีการไหลของเศษวัสดุธรรมชาติไหลผ่าน
จะพบว่าเมื่อวัสดุไหลผ่านช่วงรอยต่อระหว่างพื้นเหล็กที่ไม่มีการกัดเซาะ
(non-erodible bed) และพื้นผิวดิน (erodible bed) ความเร็วของการไหล
จะมีค่าลดลง รูปที่ 6a และ 6b แสดงตัวอย่างระยะเวลาที่ทำการปล่อยวัสดุ
ให้ไหลลงมาตามรางและหยุดนิ่ง และการคำนวณหาค่าความเร็ว
ตามลำดับ ของการไหลจากการทดสอบ N45/15-ms75-0_Cs100-0 โดย
พบว่า ด้านหน้าของการไหลจะมีอนุภาคของเม็ดทรายซึ่งมีขนาดเล็กกว่าไหล
กระจัดกระจายนำมาก่อนอนุภาคของหินย่อยที่มีขนาดใหญ่เกาะกลุ่มกัน
ตามมา (รูปที่ 6b) เมื่อวัสดุไหลผ่านช่วงรอยต่อระหว่างพื้นเหล็กที่ไม่มีการกัด
เซาะ (non-erodible bed) และพื้นผิวดิน (erodible bed) ความเร็วของ
การไหลจะมีค่าลดลง



รูปที่ 6 ตัวอย่างการไหลของส่วนผสมวัสดุเม็ดแห้งจากการทดสอบ N45/15-
ms75-0_Cs100-0 (a) ความเร็วเฉลี่ยของอนุภาค (b) ช่วงเวลาต่างๆ ของการไหล

กลไกการกัดเซาะและการทับถมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 เมื่ออนุภาค
ของทรายซึ่งมีขนาดเล็กไหลผ่านบริเวณท้องรางที่เป็นชั้นพื้นดิน การกัดเซาะ
บริเวณผิวด้านบนที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ และเมื่ออนุภาคหิน
ย่อยซึ่งมีขนาดใหญ่และด้วยรูปร่างของหินย่อยซึ่งแสดงถึงความเป็นลูกบาศก์
มุมและเหลี่ยมจะช่วยให้เกิดการกัดเซาะพื้นผิวอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่
บริเวณชั้นพื้นดิน อนุภาคจะมีการกระจายตัวลดลงเมื่อเทียบกับบริเวณที่
ท้องรางเป็นพื้นผิวเหล็ก

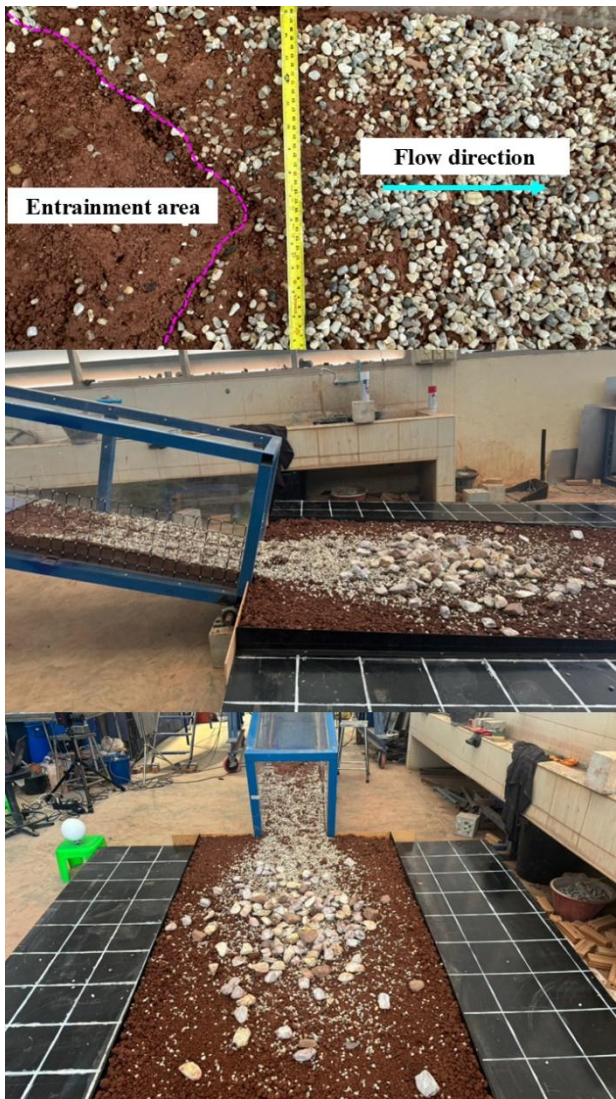


รูปที่ 7 ตัวอย่างการไหลของส่วนผสมวัสดุเม็ดแห้งจากการทดสอบ N45/15-
ms75-0_Cs100-0

รูปที่ 8 แสดงสัณฐานวิทยาการนำพาและการกองทับถมของการทดสอบ
N45/15-ms75-0_Cs100-0 โดยที่หลังจากเศษวัสดุไหลผ่านปลายรางน้ำ
และกองทับถมบริเวณบนแผ่นพื้นรองรับที่ปูด้วยชั้นดินบดอัดและมีความชื้น
เช่นเดียวกับรางน้ำ จะพบว่าบริเวณด้านหน้าจะเป็นการกองทับถมของวัสดุที่
เป็นหินย่อยกองทับถมเรียงตัวกันเป็นรูปใบพัด และมีการกระจัดกระจาย

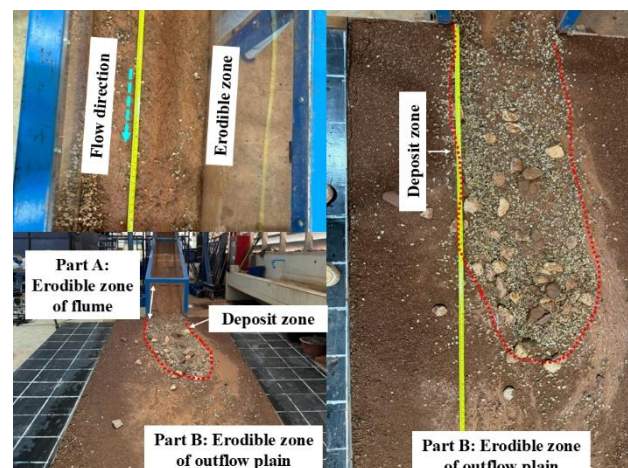
ของหินย่อยและเม็ดทรายบริเวณด้านหน้าของการกองทับ ทั้งนี้อัตราส่วนผสมระหว่างหินย่อยและทรายมีผลกระทบต่ออัตราการกัดเซาะและการนำพาอย่างชัดเจน โดยที่ส่วนผสมที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะมีระยะในการกองทับมากกว่า

ในกรณีส่วนผสมระหว่างวัสดุเม็ดหยาบและน้ำ ร่องรอยการกัดเซาะพื้นผิวรางน้ำจะสังเกตเห็นได้เด่นชัดเมื่อเทียบกับตัวอย่างแห้ง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากอิทธิพลของของเหลวในส่วนผสมที่ช่วยเร่งทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณผิวหน้าของชั้นดิน รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างสถานการณ์การนำพาและการกองทับถมของการทดสอบ N45/15-ms50-20_Cs75-25 โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อวัสดุไหลผ่านท้ายรางน้ำซึ่งผิวพื้นของรางจะเป็นชั้นที่สามารถเกิดการกัดเซาะได้ ส่วนผสมของตัวอย่างจะทำให้เกิดการกัดเซาะและการนำพาผิวชั้นดินด้านบนของพื้นรางบางส่วนไหลไปตามส่วนผสม ร่องรอยการกัดเซาะจะเห็นได้อย่างชัดเจนบริเวณช่วงรอยต่อระหว่างพื้นรางที่เป็นเหล็กและชั้นดิน เมื่อการไหลหยุดนิ่งจะพบว่ากองทับถมเรียงตัวกันเป็นรูปใบพัดบริเวณพื้นที่ด้านท้ายราง

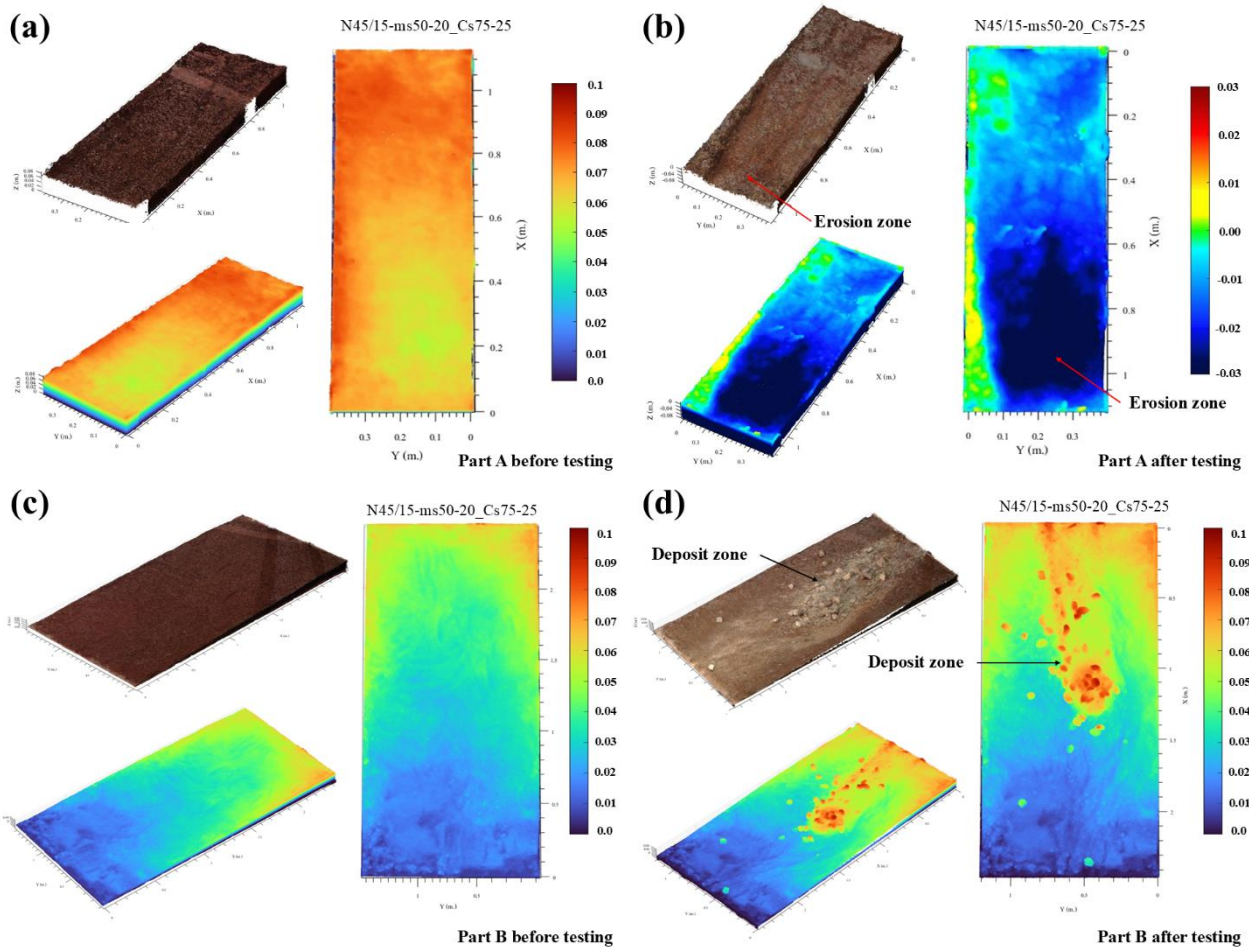


รูปที่ 8 สถานการณ์การนำพาและการกองทับถมของการทดสอบ N45/15-ms75-0_Cs100-0

ในการระบุสถานการณ์การกองทับถมอาจมีความยุ่งยากในการใช้เครื่องมือวัดด้วยวิธีปกติ ดังนั้นการศึกษารังนี้ได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องสแกน 3 มิติ ที่มีความละเอียดสูงสามารถบันทึกภาพ 3 มิติ ของกองเศษวัสดุที่ทับถมกัน ข้อมูลที่ได้รับจากการสแกนจะถูกนำไปประมวลผลในโปรแกรม Autodesk Recap (Student version) และโปรแกรม MATLAB สำหรับการวิเคราะห์และคำนวณหาระดับชั้นความสูงและปริมาตร รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบของสถานการณ์การกัดเซาะและการนำพา รวมถึงการกองทับถมของการทดสอบ N45/15-ms50-20_Cs75-25 โดยที่จะมีการแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นชั้นดินท้องรางน้ำที่มีการกัดเซาะและส่วนที่เป็นพื้นที่ในการกองทับถม โดยที่จะบันทึกภาพก่อน (รูปที่ 10a และ 10c) และหลังจากการทดสอบ (รูปที่ 10b และ 10d) ด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ ทำให้เราเห็นพื้นที่ของการกัดเซาะจะเกิดขึ้นมากที่สุดบริเวณท้ายรางน้ำเชื่อมต่อกับพื้นที่รองรับการทับถม (รูปที่ 10b) ตัวเลขที่ติดลบแสดงถึงค่าที่ถูกกัดเซาะ ช่วงตรงขอบรางแสดงร่องรอยของพื้นผิวที่ยังคงสภาพเดิม (พื้นที่สีเขียว) และมีการทับถมของเศษทราย (พื้นที่สีเหลือง) ในช่วงก่อนการทดสอบพบว่าปริมาตรที่วัดได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือเครื่องสแกน 3 มิติมีความแตกต่างจากค่าที่วัดได้ด้วยเครื่องมือวัดปกติ ประมาณ 7-10 % ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากการเตรียมตัวอย่างที่มีระยะความยาวที่มาก (1.2 - 2.4 m สำหรับส่วนที่เป็นท้องรางและพื้นที่รองรับการทับถม ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวสามารถทำให้เกิดความเข้าใจกลไกการกัดเซาะและการทับถมได้ชัดเจนมากขึ้น จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณการกัดเซาะบริเวณท้องรางมีค่าประมาณ 2,200 cm³ ในส่วนของพื้นที่รองรับการทับถมบริเวณส่วนที่มีการกองทับถมซึ่งเป็นพื้นลาดเอียงที่บริเวณทางเชื่อมกับปลายรางน้ำจะมีความหนาเท่ากันคือ 0.08 m โดยพื้นที่รองรับการทับถมจะมีการกระจุยของความเข้มข้นที่เป็นพื้นที่สีแดง (ความสูงเฉลี่ย 0.08 - 0.1 m) และจากการวิเคราะห์พบว่าปริมาตรของการกองทับถมบริเวณดังกล่าวมีค่าประมาณ 7,170 cm³



รูปที่ 9 สถานการณ์การกัดเซาะและการกองทับถมของการทดสอบ N45/15-ms50-20_Cs75-25



รูปที่ 10 สันฐานวิทยาการกัดเซาะและการกองทับถมของการทดสอบ N45/15-ms50-20-Cs75-25

4. สรุปผล

เป็นที่ทราบกันว่าการทดสอบแบบจำลองของรางน้ำเป็นเพียงการแสดงผลปรากฏการณ์ทางกายภาพโดยประมาณเท่านั้น ถึงแม้ว่าแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นไปตามอุดมคติ แต่ลักษณะทางกายภาพจากการทดสอบด้วยแบบจำลองรางน้ำสามารถนำมาใช้เพื่อที่จะทำให้เกิดความเข้าใจพฤติกรรมและกลไกการไหลหลากของดินโคลน การศึกษาชิ้นนี้เป็นการนำเสนอรูปแบบของการศึกษาการไหลหลากของโคลนโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพย่อขนาดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการศึกษาปัจจัยของรูปร่างวัสดุที่มีผลต่อการไหลหลากของการไหลจากเศษวัสดุธรณีไหล สันฐานวิทยาของการทับถม ด้วยเทคนิคการสแกนแบบ 3 มิติทำให้สามารถวิเคราะห์สันฐานวิทยาการกองทับถมและการกัดเซาะได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับการวัดด้วยวิธีปกติ

จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนผสมที่มีหินย่อยซึ่งมีความเป็นลูกบาศก์เป็นองค์ประกอบหลักจะมีผลกระทบต่อการกัดเซาะและการนำพา อย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่วัสดุมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอนุภาคของทรายซึ่งมีขนาดเล็กไม่สามารถสังเกตเห็นกลไกการกัดเซาะได้อย่างชัดเจน ในกรณีที่ส่วนผสมระหว่างวัสดุเม็ดแข็งและน้ำ ด้วยอิทธิพลของของเหลวในส่วนผสมส่งผลทำให้การกัดเซาะพื้นผิวของท้องรางน้ำสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับตัวอย่างแห้ง ทั้งนี้ผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลองดังกล่าวเบื้องต้นสามารถทำให้เกิดความเข้าใจกลไกการพัดพาของการไหลจากเศษวัสดุธรณีไหล สันฐานวิทยาของการทับถม และจะถูกนำไปใช้ในการสอบเทียบความถูกต้องโดยแบบจำลองเชิงตัวเลขต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ สัญญาเลขที่ สัญญาเลขที่ N25A670943 และมหาวิทยาลัยพะเยาที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย (FF5022/2567) ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยาที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือ และทรัพยากรที่จำเป็นต่อการดำเนินงาน รวมถึงแนวทางหลายนาน สำนักงานทางหลวงที่ 2 พรุ่ง กรมทางหลวง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเหตุการณ์ดินโคลนถล่มสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Iverson, M., Denlinger, R.P. (2001). Flow of variably fluidized granular masses across three-dimensional terrain: 1. Coulomb mixture theory. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 106(B1), pp.537-552.
- [2] Iverson, R. M. (2003). *The debris-flow rheology myth*. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment 1, pp.303-314.
- [3] Iverson, M. (2012). Elementary theory of bed-sediment entrainment by debris flows and avalanches. *Journal of Geophysical Research*, 117, F03006.

- [4] Choi, C.E, Au-Yeung, S.C.H., Ng, C.W.W., Song, D. (2015a). Flume investigation of landslide granular debris and water runoff mechanisms. *Geotechnique Letters*, 5(1), pp.28–32.
- [5] Song, D. (2016). Mechanisms of debris flow impact on rigid and flexible barriers. Ph.D. dissertation, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong
- [6] Chen, X.Q., Chen, J.G., Song, D.R. (2023). Effects of material composition on deposition characteristics of runoff-generated debris flows. *Landslides*, 20(12), pp.2603–2618.
- [7] Choi, C.E., Ng, C.W.W., Au-Yeung, S.C.H., Goodwin, S.R. (2015b). Froude characteristics of both dense granular and water flows in flume modelling. *Landslides*, 12(6), pp.1197–1206.
- [8] Takahashi, T. (2007). Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures. CRC Press.
- [9] Yumuang, S. (2006). 2001 debris flow and debris flood in Nam Ko area, Phetchabun province, central Thailand. *Envicon Geol*, 51, pp. 545-564.
- [10] Khawngam R. (2020). Evaluation of debris flow potential by using triggers and debris-2D programs in Nan Province, Thailand. Master Thesis. Asian Institute of Technology, Thailand.
- [11] Nutsorn, J. (2021). Susceptibility investigation of debris flow, landslide and flood hazards using topographic index in Nakhon Si Thammarat province. Master thesis. Chulalongkorn university, Thailand.
- [12] Faug, T., Beguin, R., Chanut, B. (2009). Mean steady granular force on a wall overflowed by free-surface gravity-driven dense flows. *Phys. Rev. E*, 80(2):021305.
- [13] Faug, T., Caccamo, P., and Chanut, B. (2012). A scaling law for impact force of a granular avalanche flowing past a wall. *Geophysical Research Letters*, 39(23).
- [14] Song, P., Choi, C.E. (2021). Revealing the importance of capillary and collisional stresses on soil bed erosion induced by debris flows. *J. Geophys Res: Earth Surface*, 126.
- [15] Ning, L., Hu, K., Li, P., Cheng, H., Zhang, Q. (2024). Experimental assessment of channel narrowness effects on debris-flow erosion. *Bull Eng Geol Environ*, 83:244.
- [16] Song, P., Yang, J., Choi, C.E., Zhang, J. (2024). Experimental investigation on scouring v.s. mass failure of unsaturated soil bed: Implications for debris flow initiation and erosion. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 129, e2023JF007275.
- [17] Li, X., Zhao, J. (2018) Dam-break of mixtures consisting of non-Newtonian liquids and granular particles. *Powder Technology*, 338, pp.493-505.
- [18] Li, X., Zhao, J., Kwan, J.S.H. (2020). Assessing debris flow impact on flexible ring net barrier: A coupled CFD-DEM study. *Computers and Geotechnics*, 128, 103850. ISSN 0266-352X.
- [19] Chanson, H., Jarny, S., Coussot, P. (2006). Dam break wave of thixotropic fluid. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132, No. 3, pp.280- 293.
- [20] Orosz, Á., Angelidakis, V., Bagi, K. (2021). Surface orientation tensor to predict preferred contact orientation and characterise the form of individual particles. *Powder Technology*, 394, pp.312–325.