SWU Engineering Journal (2015) 10(1), 12-21
วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม–มิถุนายน พ.ศ.2558

การศึกษาการแตกของคันดินเนื่องจากน้ำไหลล้นข้างโครงสร้างทางชลศาสตร์โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ

The Study of Embankment Breach from Overtopping Flow near Hydraulic Structure by Physical Model

พงศ์พันธุ์ กาญจนการุณ[1]* ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์[1] สนิท วงษา[2] อุดมศักดิ์ อิศรางกูร ณ อยุธยา[1]
ดวงฤดี โฆษิตกิตติวงศ์[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140
[2]ภาควิชาครุศาสตร์โยธาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศแขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140
*Corresponding author: E-mail: pongpank@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพังทลายของคันดินจากน้ำไหลล้นตลิ่ง โดยศึกษาตำแหน่งการแตกที่อยู่ใกล้กับโครงสร้างทางชลศาสตร์ การวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลองทางกายภาพเพื่อจำลองการถูกกัดเซาะของคันดินภายใต้ความลาดชันของคันดิน 1:1, 1:1.5 และ 1:2 โดยวางตำแหน่งของการแตกไว้ 3 ตำแหน่ง ประกอบด้วย บริเวณใกล้กับโครงสร้างทางชลศาสตร์(X1), บริเวณกึ่งกลางของความกว้างคันดิน (X3) และบริเวณระหว่างตำแหน่ง X1 และ X3 (X2) คันดินที่ใช้ทดสอบมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.4 – 1.7 g/cm^3 โดยควบคุมความชื้นในดินของการบดอัดไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดสอบโดยปล่อยให้น้ำไหลล้นช่องแตกและปล่อยให้เกิดการกัดเซาะคันดินจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคันดิน จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณดินและพฤติกรรมของการกัดเซาะที่เวลาต่างๆ กันโดยแบบจำลอง 3 มิติ ผลการศึกษาปริมาตรคันดินที่ถูกกัดเซาะพบว่า ที่ความลาดชันคันดินและอัตราการไหลเดียวกันปริมาตรของดินที่ถูกกัดเซาะที่ตำแหน่งต่างๆ มีผลใกล้เคียงกัน โดยจะอยู่ในช่วงร้อยละ 13.14-19.86, 17.32-23 และ 18.30-23.83 สำหรับต่อความลาดชัน 1:1,1:1.5 และ 1:2 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าปริมาตรดินที่ถูกกัดเซาะไม่ได้ขึ้นกับตำแหน่งของการเกิดช่องแตก และกระบวนการแตกของคันดินที่ตำแหน่งต่างๆ จะเหมือนกัน โดยเริ่มจากการกัดเซาะที่บริเวณท้ายคันดินร่วมกับการหลุดลอกของผิวคันดิน การกัดเซาะที่ด้านท้ายคันดินก่อให้เกิดการกัดเซาะแบบตัดแนวดิ่งตามมาจนคันดินแตกเป็นช่อง จากนั้นคันดินจะเกิดการขยายตัวในแนวราบเป็นช่องขนาดใหญ่จนกว่าการแตกจะเสถียร แต่ในการเกิดช่วงแรก การกัดเซาะในแนวดิ่งที่ตำแหน่ง X1 มีแนวโน้มเกิดขึ้นรุนแรงกว่าตำแหน่ง X3 อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การแตกของคันดิน แบบจำลองทางกายภาพ การกัดเซาะด้านข้าง การไหลล้นคันดิน

ABSTRACT

This research aims to study embankment breach from an overtopping flow where breach locations are near hydraulic structures. A Physical model was used to simulate embankment breach with various downstream slopes including 1:1, 1:1.5 and 1:2. There are three breach locations which were near the hydraulic structure (X1), in the middle of the embankment (X3), and between X1 and X3 (X2).

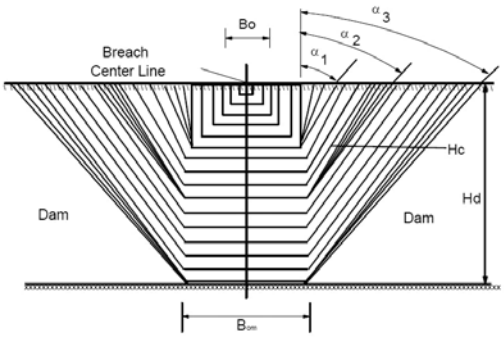
Embankment density was controlled at 1.4-1.7 g/cm^3 and compaction water content would not exceed 20%. In this experiment, water was released to flow over the embankment until no erosion occurs. Volumes of soil erosion and phenomena were then investigated using 3-dimensional modeling. The results showed that under the same embankment slope and discharge, the soil erosion volumes at X1, X2 and X3 were in the ranges of 13.14-19.89% for the slope of 1:1, 17.32-23% for the slope of 1:1.5, and 18.30-23.83% for the slope of 1:2, respectively. These results indicate that the volume of soil loss does not relate to the breach locations. The breaching typically occurs at the toe of embankment together with the surface erosion of the embankment at all study locations. The toe erosion causes headcut erosion until the breach is stable. In the first state, however, the vertical erosion at X1 was significantly higher than that of the X3.

Keyword: Embankment breach, Physical model, Lateral erosion, Overtopping flow

1. บทนำ

ในหลายประเทศทั่วโลก คันดินหรือเขื่อนดินถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการกักเก็บน้ำหรือป้องกันน้ำไหลท่วมเข้ามายังด้านท้ายน้ำ โดยคันดินส่วนใหญ่สร้างขึ้นมาจากดินเหนียวหรือใช้ดินผสมที่มีคุณสมบัติทึบน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหลซึมออกไปยังด้านท้ายคันดิน อย่างไรก็ตาม เมื่อเกิดอุทกภัยขึ้น ปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นทำให้คันดินไม่สามารถรองรับปริมาณน้ำได้จึงเกิดการไหลล้นคันดินออกไป ซึ่งหากคันดินมีการสร้างไว้นานโดยไม่ดูแลหรือการบดอัดไม่ทั่วถึงตลอดแนวคันดิน หรือคันดินมีการแช่น้ำเป็นเวลานาน จะทำให้คุณสมบัติของคันดินเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้คันดินเกิดการกัดเซาะเป็นช่องแตกเมื่อน้ำล้นตลิ่ง ตัวอย่างเช่น เหตุการณ์ที่เขื่อน South Fork ในปี ค.ศ.1889 ประเทศสหรัฐอเมริกา การแตกของเขื่อน Nanaksagar ปี ค.ศ.1967 ในอินเดีย หรือ อ่างเก็บน้ำ Banqiao ปี ค.ศ.1975 ในประเทศจีน เป็นต้น โดยเหตุการณ์เหล่านี้ได้ส่งกระทบต่อผู้คนและพื้นที่ซึ่งอยู่ท้ายน้ำเป็นจำนวนมาก การศึกษาวิจัยทางด้านการแตกของคันดินส่วนใหญ่มุ่งไปที่การศึกษากระบวนการแตกโดยในงานวิจัยหลายชิ้น บ่งชี้ว่า กลไกการถูกกัดเซาะของคันดินเหนียวหรือดินที่มีความเชื่อมแน่น ประกอบด้วย 2 เหตุการณ์ได้แก่ การกัดเซาะที่ผิวดิน (Surface erosion) และการกัดเซาะแบบตัดแนวดิ่ง (Headcut erosion) [1-4]โดยกระบวนการจะเริ่มต้นจากการกัดเซาะที่พื้นผิวร่วมกับการกัดเซาะที่บริเวณด้านท้ายของคันดิน (Embankment toe) จากนั้นจะเกิดการกัดเซาะแบบตัดแนวดิ่งขึ้นและน้ำจะไหลตกจากคันดินไปกัดเซาะฐานดินแบบลำเจ็ต (Jet scour) ในขั้นตอนนี้ความกว้างของคันดินจะแผ่ขยายออกอย่างอิสระไปทั้งสองด้าน โดย Fread [5] ได้ตั้งสมมุติฐานว่า รูปแบบการแผ่ขยายออกของช่องแตกจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูขยายออกไป ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสมมุติฐานนี้ได้ใช้ต่อมาในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากหลักการจำลองอย่างง่ายของแบบจำลองกายภาพ เพื่อจำลองการแตกของคันดินจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีที่การแตกเกิดขึ้นใกล้กับโครงสร้างทางชลศาสตร์ เช่น คอนกรีตค้ำยันประตูน้ำ ทางระบายน้ำล้น หรือบานประตูระบายน้ำ เป็นต้น พฤติกรรมการขยายตัวของช่องแตกจะไม่สามารถแผ่ขยายไปทั้งสองด้านได้ ตัวอย่างการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว เช่น รายงานเหตุการณ์เดือนมกราคม พ.ศ.2541 [6] เกิดการแตกของคันดินที่ติดกับทางระบายน้ำฉุกเฉินของเขื่อน Archusa Creek Dam ประเทศสหรัฐอเมริกา และรายงานการแตกของคันดินติดกับเขื่อน Kvistforsen mirror dam [7] ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2528, หรือแม้กระทั่งในเหตุการณ์มหาอุทกภัยของประเทศไทยในปี พ.ศ.2554 ซึ่งเกิดขึ้นที่ประตูระบายน้ำบางโฉมศรี โดยประตูระบายน้ำได้ถูกปิดลงเพื่อกั้นน้ำไม่ให้ไหลเข้าไปยังพื้นที่ท้ายน้ำ แต่เนื่องจากการระบายน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาไม่เพียงพอต่อมวลน้ำ ทำให้ระดับน้ำเพิ่ม

สูงขึ้นจนท่วมคันดินที่ติดกับประตูระบาย และทำให้คันดินถูกกัดเซาะแตกลงโดยที่มีการแตกขยายตัวไปเพียงด้านเดียว และจากงานวิจัยซึ่งได้จำลองเหตุการณ์กัดเซาะคันดินข้างประตูระบายน้ำบางโฉมศรีโดยใช้แบบจำลอง iRIC [8] ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงการกัดเซาะที่เกิดขึ้นมากบริเวณด้านข้างประตูระบายน้ำ ซึ่งหากเป็นเช่นนั้น การตั้งสมมุติฐานการขยายตัวของช่องแตกของ Fread [5] จะไม่สามารถใช้กับเหตุการณ์กัดเซาะคันดินที่ติดกับโครงสร้างทางชลศาสตร์ได้ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาของพงศ์พันธุ์ กาญจนการุณ และคณะ [8] ไม่สามารถบอกได้แน่ชัดว่ามีการกัดเซาะลึกมากเพียงใดเนื่องจากมีการซ่อมแซมคันดินในระหว่างที่เกิดการกัดเซาะด้วย แต่จากการสัมภาษณ์วิศวกรผู้ซ่อมแซมคันดินได้ระบุว่า คันดินบริเวณติดกับโครงสร้างมีความลึกของการกัดเซาะมากกว่าบริเวณอื่นๆ ดังนั้นเพื่อที่จะศึกษาผลกระทบของการแตกคันดินที่เกิดขึ้นใกล้กับโครงสร้างทางชลศาสตร์ได้อย่างละเอียด แบบจำลองทางกายภาพจะถูกนำมาใช้เพื่อจำลองการแตกของคันดินภายใต้การเปลี่ยนแปลงของความลาดชันคันดินด้านท้ายน้ำ 3 ความลาดชัน โดยในแต่ละความลาดชันจะวางตำแหน่งช่องแตกให้มีระยะห่างจากโครงสร้างทางชลศาสตร์ต่างกันรวม 3 ตำแหน่ง ผลการศึกษาจะสามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาแนวทางในการป้องกันโครงสร้างทางชลศาสตร์ไม่ให้ถูกกัดเซาะจากเหตุการณ์พังทลายของคันดิน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ให้ทำนายการแตกของคันดินได้แม่นยำขึ้นอีกด้วย

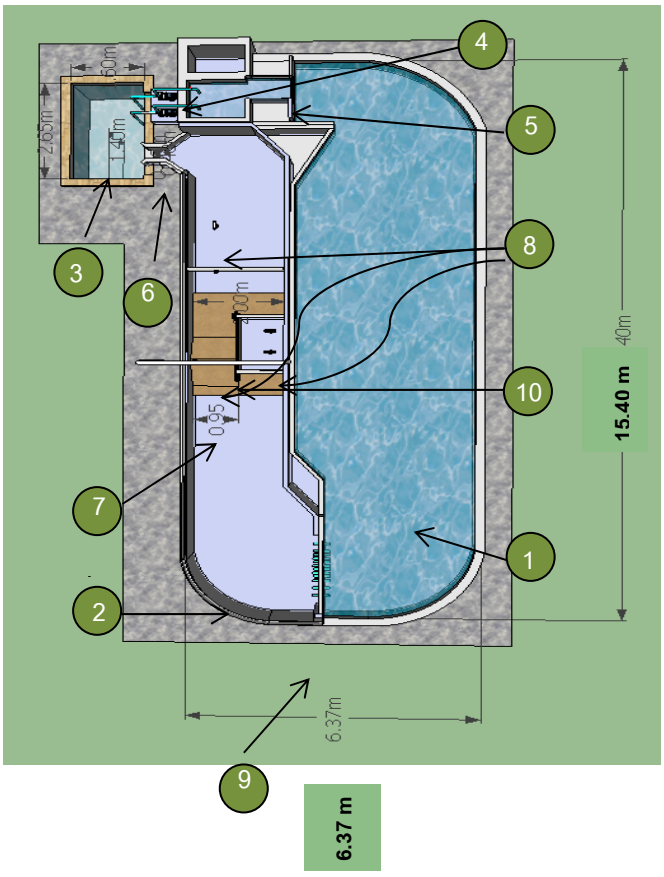


รูปที่ 1 รูปแบบการขยายตัวของช่องแตกอย่างง่าย [5]

2. แบบจำลองกายภาพการแตกของคันดิน

2.1 รางน้ำที่ใช้ในการทดลอง

รางน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นรางน้ำแบบวนเวียน ติดตั้งอยู่ที่ห้องทดสอบชลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่เชียงราย มีความยาวตลอดแนวราง 42 เมตร ความกว้างของทางน้ำช่วงอ่างเก็บน้ำ 4 เมตร และความกว้างของทางน้ำช่วงทดสอบ 2 เมตร ลักษณะของรางน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 2 ประกอบไปด้วย (1) อ่างเก็บน้ำ (2) ทางน้ำทดสอบ (3) อ่างสูบน้ำ (4) ปั๊มน้ำ (5) ฝายสันคม (6) รางพาร์แชล (7) คันดินทดสอบ (8) จุดติดตั้งกล้องบันทึกเพื่อสังเกตการพังทลายบริเวณด้านข้างคันดินด้านบนคันดินและด้านท้ายคันดิน (9) ท่อควบคุมการไหลเข้าทางน้ำทดสอบ และ (10) แผ่นอะคริลิคใสเพื่อเป็นตัวแทนกำแพงของโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่ติดกับคันดิน



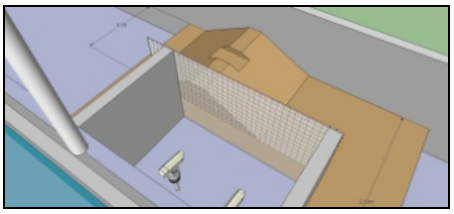
รูปที่ 2 รางน้ำที่ใช้ในการทดสอบ

เพื่อเพิ่มอัตราการไหลผ่านคันดินให้ได้มากที่สุด จะทำการเก็บน้ำไว้ภายในอ่างเก็บน้ำ ให้มีระดับสูงที่สุดก่อนจะปล่อยเข้ามายังทางน้ำทดสอบ โดยในการทดสอบจะสามารถให้ค่าอัตราการไหลสูงสุดผ่านคันดินได้ 0.045 ลบ.ม.ต่อวินาที อัตราการไหลของน้ำผ่านคันดินสามารถวัดได้จากรางพาร์แชลที่ติดตั้งไว้บริเวณด้านท้ายน้ำ ซึ่งมีระยะห่างของเวลา 20 วินาที และในการทดสอบแต่ละครั้ง ตะกอนดินที่ถูกพัดพาไปจะตกทับถมจะอยู่ในบริเวณท้ายคันดินในระยะไม่เกิน 1.5 เมตร ซึ่งไม่ได้ทำให้ระดับน้ำของรางพาร์แชลมีการเปลี่ยนแปลง สำหรับตะกอนแขวนลอยจะพัดพาไปกับน้ำ จึงไม่มีผลกระทบต่อการทดสอบ

2.2 รูปแบบการทดสอบ

คันดินที่ใช้ในการทดลองมีหน้าตัดคันดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูและอยู่บนฐานดินหนา 0.30 ม. โดยมีความสูงคันดิน 0.30 ม. ความลาดชันด้านเหนือน้ำของคันดินมีขนาด 1:2 ทุกการทดลอง สำหรับความลาดชันคันดินด้านท้ายน้ำมีขนาด 1:1, 1:1.5 และ 1:2 คันดินมีความยาวตลอดแนว 0.95 ม. และมีความกว้างสันคันดิน 0.15 ม. ในการทดสอบแต่ละครั้งจะทำการสร้างช่องแตกเริ่มต้นมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม กว้าง 0.20 ม. ลึก 0.05 ม. เจาะร่องไว้ในตำแหน่งที่กำหนดตามการทดสอบ ลักษณะของคันดินและช่องแตกเริ่มต้นแสดงได้ดังรูปที่ 3

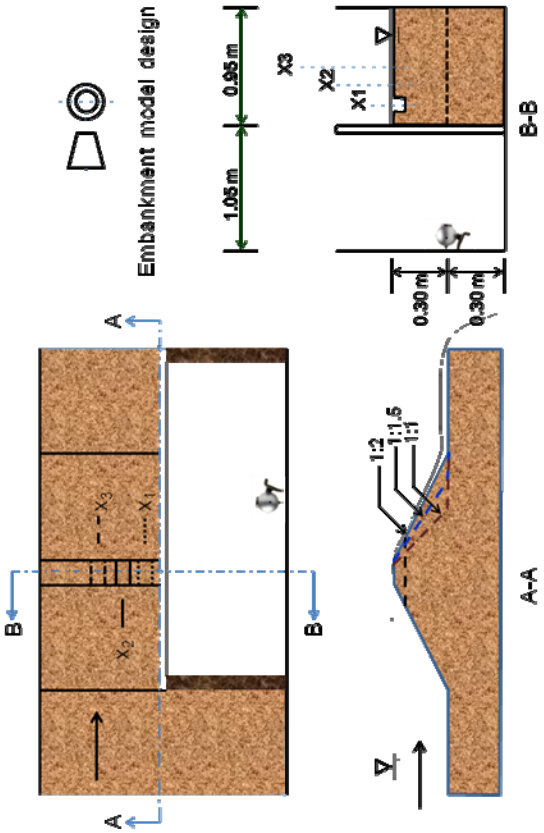
ในการศึกษานี้จะพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการแตกไว้ 2 อย่าง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของความลาดชันคันดินด้านท้ายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของช่องแตก โดยปัจจัยแรกจะทดสอบที่ความลาดชันคันดิน 3 อย่าง ประกอบด้วยความลาดชัน 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ตามลำดับ จากนั้นที่แต่ละความลาดชันคันดินจะทดสอบปัจจัยที่สองภายใต้ตำแหน่งของการแตก 3 ตำแหน่ง ประกอบด้วย ตำแหน่งการแตกที่ติดกับโครงสร้างทางชลศาสตร์ (X1) ตำแหน่งการแตกที่กึ่งกลางของความยาวคันดิน (X3) และตำแหน่งการแตกที่อยู่ระหว่าง X1 และ X3 (X2) รวมตัวอย่างการทดสอบ 9 ตัวอย่าง ตำแหน่งการแตกของคันดินเริ่มต้นและการเปลี่ยนแปลงของความลาดชันคันดินท้ายน้ำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



a) ลักษณะของคันดินจำลองที่ออกแบบ

b) ลักษณะของคันดินทดสอบจริง

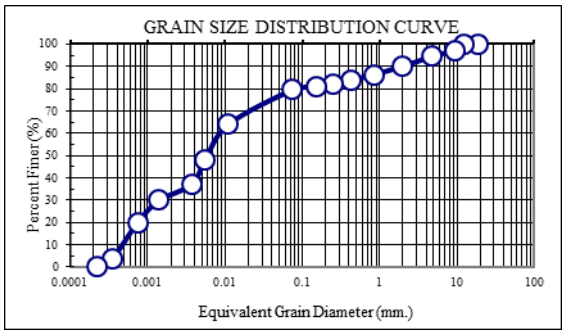
รูปที่ 3 ลักษณะของคันดินและช่องแตกเริ่มต้น



รูปที่ 4 ตำแหน่งช่องแตกเริ่มต้นและความลาดชันของคันดินที่ใช้ทดสอบ

2.3 คุณสมบัติของดินและคันดิน

เพื่อให้คันดินที่ใช้ทดสอบแสดงลักษณะของการแตกของดินที่มีความเชื่อมแน่น ดินที่ใช้ทำคันดินจึงต้องมีส่วนประกอบหลักเป็นดินเหนียวหรือดินตะกอน ดังนั้นจึงเลือกดินมาจากบริเวณข้างตลิ่งแม่น้ำ และนำมาทดสอบคุณสมบัติดินตามวิธี USCS โดยดินที่เลือกใช้เป็นดินประเภท MH หรือ OH โดยมีขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติกที่ 54.10% และ 33.83% ตามลำดับ และสามารถจำแนกขนาดเม็ดดินได้ดังรูปที่ 5 โดยขนาดคละของดินที่นำมาใช้จะใกล้เคียงกับขนาดเม็ดดินถมคันทางของศูนย์สร้างทางขอนแก่น กรมทางหลวง [9]



รูปที่ 5 ขนาดคละของดินที่ใช้ในการทดสอบ

2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

การบดอัดคันดิน

ในการขึ้นรูปคันดิน จะเลือกใช้เครื่องบดอัดดินแบบสั่น 8 ตัน กำลัง 6.5 แรงม้า โดยทำการบดอัดไปกลับ 4 รอบต่อแนวบดอัดต่อชั้นการบดอัด

การเก็บข้อมูลการพังทลาย

เลือกใช้กล้องวงจรปิดและกล้องวิดีโอในการบันทึกเหตุการณ์ของการทดสอบ ข้อมูลความกว้างการแตกในแต่ละช่วงของช่องแตกที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้จากภาพที่บันทึกไว้ สำหรับข้อมูลความลึกในระหว่างที่เกิดการแตก จะใช้การหยั่งเพื่อหาความลึกสูงสุดที่เกิดขึ้น และเมื่อการทดสอบเสร็จสิ้น จะทำการหาระดับความลึกของการแตกที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้เครื่องวัดระยะทางแบบเลเซอร์

การตรวจสอบคุณสมบัติคันดิน

เนื่องจากในการบดอัดดิน จะควบคุมความชื้นของดินในการบดอัดให้ใกล้เคียง 20% และเมื่อทำการบดอัดคันดินแล้วเสร็จ ควรจะต้องมีความหนาแน่นในดินไม่น้อยกว่า 1.6 g/cm^3 ดังนั้น ก่อนจะทำการบดอัดจะทำการตรวจสอบความชื้นในดิน เพื่อหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการบดอัดและหากดินมีความชื้นมากเกินไปก็จะผสมดินแห้งลงในสัดส่วนที่ทำให้ความชื้นในการบดอัดอยู่ไม่เกิน 20% ถึงแม้ในการทดสอบดังกล่าวจะไม่มีการหาค่าความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดดิน แต่จะควบคุมความหนาแน่นในดินให้เป็นไปตามที่กำหนด โดยหาความหนาแน่นในการบดอัดเมื่อบดอัดแล้วเสร็จโดยวิธีการหาความหนาแน่นของดินในสนาม (Field density test) ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องมือมาตรฐานของห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์หากตรวจสอบคันดินที่บดอัดเสร็จและพบว่ามีความหนาแน่นไม่ถึง 1.6 g/cm^{3}จะดำเนินการบดอัดคันดินใหม่จนกว่าจะได้ค่าตามที่กำหนดไว้

2.5 ขั้นตอนการทดลอง

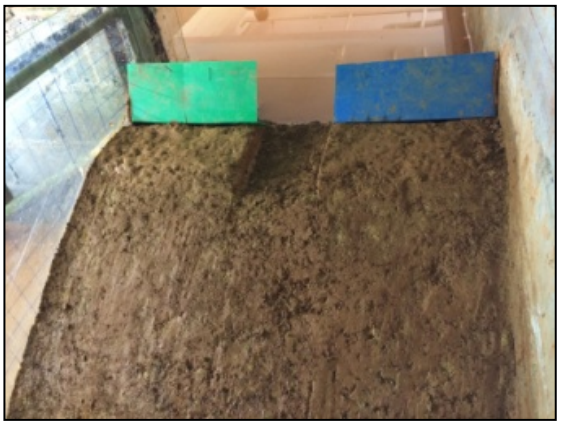
การขึ้นรูปคันดิน

การขึ้นรูปคันดินเริ่มจากการขึ้นรูปฐานคันดินก่อน โดยนำดินที่ผสมน้ำ (หรือผสมดินแห้งกรณีที่ดินชื้นเกินไป) ให้ได้ความชื้นใกล้เคียง 20% มาชั่งน้ำหนักให้ได้ตามความหนาแน่นที่กำหนด จากนั้นแบ่งดินในการบดอัดเป็น 5 ส่วน และทำการบดอัดแต่ละส่วนด้วยเครื่องบดอัดแบบสั่นจนได้ความสูงฐานดินที่ 0.30 ม. ขนาดของฐานดินที่ใช้มีความยาว 2.35 ม. คงที่ตลอดการทดสอบ ทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความหนาแน่นของฐานดิน จากนั้นทำการขึ้นรูปคันดินโดยขึ้นรูปเป็นทรงปริซึมสี่เหลี่ยมเพื่อให้สะดวกต่อการบดอัด หลังจากที่บดอัดแล้วเสร็จจะทำการหาความหนาแน่นของดินและเริ่มตกแต่งดินให้มีรูปร่างเป็นรูปปริซึมสี่เหลี่ยมคางหมูตามความลาดชันที่ต้องการทดสอบ

การเตรียมการก่อนทดสอบ

การเตรียมการก่อนการทดสอบมี 2 อย่างได้แก่ การติดตั้งแผ่นควบคุมการไหลและการทำคันดินให้อิ่มตัวด้วยน้ำ วัตถุประสงค์ของการติดตั้งแผ่นควบคุมการไหลเนื่องมาจากในการทดสอบ หากปล่อยน้ำให้ไหล

ผ่านช่องแตกในสภาพอิสระ บางครั้งช่องแตกไม่ขยายตัวเร็วพอต่ออัตราการไหลผ่าน จะทำให้น้ำไหลล้นคันดินออกตลอดแนวความยาวของคันดิน ส่งผลให้ไม่สามารถหาค่าอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องแตกได้ นอกจากนี้ ในบางครั้งการแตกอาจเกิดที่ตำแหน่งอื่นแทนช่องแตกที่กำหนดไว้ ดังนั้นเพื่อลดความไม่แน่นอนดังกล่าว จึงทำแผ่นกั้นทางน้ำโดยแผ่นกั้นทางน้ำที่ใช้จะมีน้ำหนักเบาและไม่กดทับคันดิน สามารถปรับเปลี่ยนความกว้างได้ง่ายเมื่อการกัดเซาะช่องแตกขยายตัว โดยแผ่นกั้นและการติดตั้งแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตัวอย่างการติดตั้งแผ่นควบคุมการไหล

สำหรับการทำคันดินให้อิ่มตัวด้วยน้ำ เนื่องจากในสภาพการพังทลายของคันดินตามธรรมชาติ คันดินมักมีการแช่น้ำไว้เป็นเวลานาน ดังนั้นก่อนการทดสอบ จะปล่อยน้ำให้ขังไว้ในทางน้ำทดสอบ (หมายเลข 2 ในรูปที่ 2) แต่ไม่เกินความสูงของคันดิน โดยปล่อยให้น้ำขังไว้เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้ยังเป็นการตรวจสอบว่าคันดินที่บดอัดขึ้นสามารถกันการไหลซึมของน้ำได้หรือไม่ หากมีการไหลซึมของน้ำออกไปมาก จะต้องทำการรื้อและเตรียมคันดินขึ้นมาใหม่ นอกจากนี้ กล้องวิดีโอจะถูกติดตั้งเพื่อให้พร้อมสำหรับการบันทึกข้อมูลการทดสอบอีกด้วย

การทดสอบ

การทดสอบจะเริ่มจากการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำให้ไหลล้นผ่านคันดิน ทำการอ่านค่าอัตราการไหลผ่านช่องแตกที่รางพาร์แชลเพื่อนำไปจัดทำกราฟน้ำท่า และทำการสุ่มตรวจสอบความลึกของการกัดเซาะเป็นระยะ ในระหว่างนี้ หากความกว้างการกัดเซาะช่องแตกเริ่มขยายตัวมากขึ้น จะทำการขยายแผ่นกั้นให้กว้างขึ้นตามสัดส่วนความกว้างของช่องแตก และแผ่นกั้นทั้งหมดจะถูกนำออกไป หากระดับน้ำผ่านช่องแตกมีระดับไม่เกินความสูงของคันดิน การทดสอบจะสิ้นสุดลงเมื่อความกว้างและความลึกของการแตกคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 7

รูปที่ 7 ตัวอย่างคันดินที่เกิดการกัดเซาะคงที่

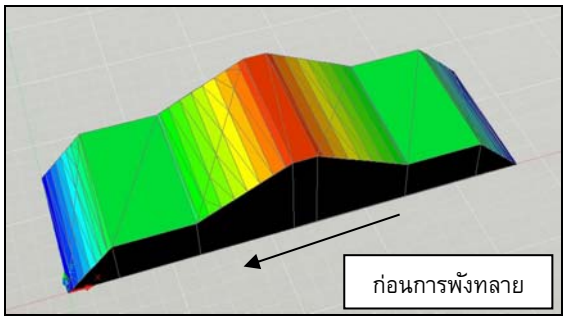
การเก็บข้อมูลเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ

เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ จะทำการนำน้ำออกจากคันดินและเริ่มเก็บค่าระดับความลึกและความกว้างของการกัดเซาะ โดยกำหนดให้เก็บเป็นลักษณะกริดขนาด 0.05x0.05 m^2 และหากในระหว่างกริดมีความลึกที่มากกว่าจุดกริด จะทำการเก็บข้อมูลดังกล่าวเพิ่มเข้ามา

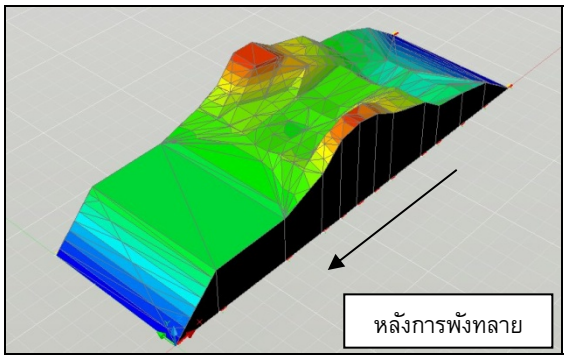
2.6 การวิเคราะห์ผล

ค่าตำแหน่งและความลึกการกัดเซาะที่ช่วงเวลาต่างๆ ของคันดินจะถูกนำไปสร้างเป็นรูป 3 มิติ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายของคันดินที่ตำแหน่งช่องแตกต่างๆ กัน และทำการหาปริมาตรของดินที่ถูกพัดพาไปตลอดพื้นที่ฐานของคันดิน โดยเฉลี่ยปริมาตรจากการคำนวณด้วยวิธี grid volume และ composite volume ในโปรแกรม Autodesk Land Desktop 2007

ตัวอย่างรูป 3 มิติของคันดินทั้งก่อนและหลังการพังทลายแสดงได้ดังรูปที่ 8 โดยบริเวณก่อนหน้าและหลังโครงสร้างทางชลศาสตร์ไม่มีการกัดเซาะและทับถมของดิน จึงไม่นำมาพิจารณา



a) การจำลองรูปร่างของคันดินก่อนการพังทลาย



b) การจำลองรูปร่างของคันดินหลังการพังทลาย

รูปที่ 8 การจำลองคันดินแบบ 3 มิติทั้งก่อนและหลังการพังทลาย

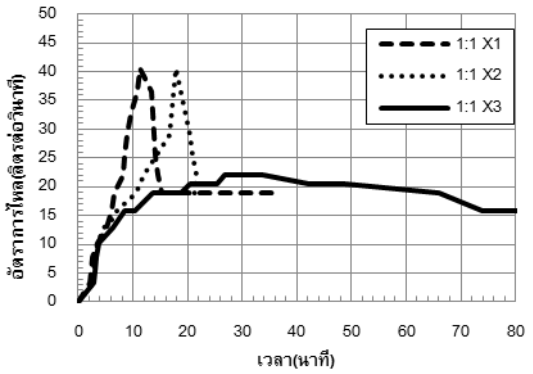
3. ผลการศึกษา

3.1 คุณสมบัติของคันดินในการทดสอบ

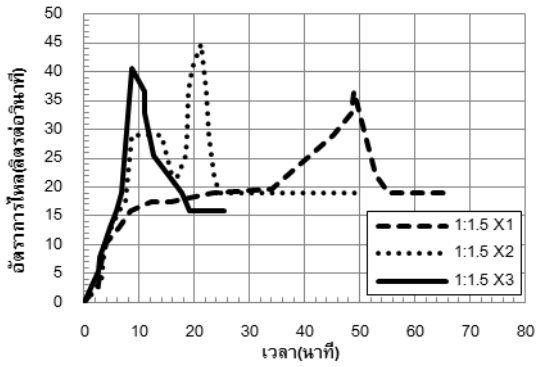
ในการทดลองจะพยายามควบคุมตัวแปรต่างๆ ของคันดินให้คงที่ เช่น ความชื้นในการบดอัดดิน วิธีการบดอัดเป็นต้น แต่ก็ไม่สามารถทำให้ความหนาแน่นของคันดินเท่ากันได้ทุกการทดสอบ โดยข้อมูลการหาความหนาแน่นของดินในสนามเมื่อบดอัดคันดินแล้วเสร็จพบว่ามีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.4-1.7 g/cm^3 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกันและสามารถนำผลการศึกษามาใช้เปรียบเทียบได้

3.2 กราฟน้ำท่าที่ไหลผ่านช่องแตก

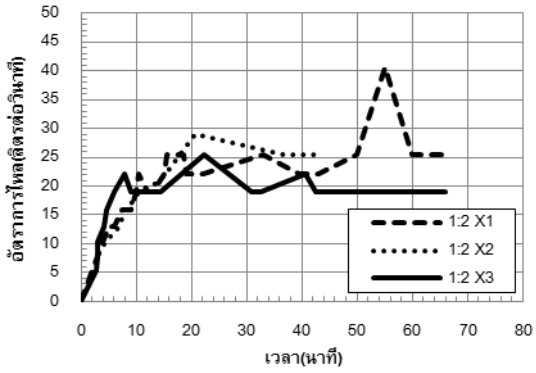
กราฟน้ำท่าที่ไหลผ่านช่องแตกของการทดลองทั้งหมดแสดงได้ดังรูปที่ 9 โดยจะเห็นได้ว่า ค่าอัตราการไหลสูงสุดของการทดลองผันแปรอยู่ระหว่าง 22.14-44.89 ลิตรต่อวินาที อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนในการกำหนดระดับสูงสุดของอ่างเก็บน้ำก่อน



ก) กราฟน้ำท่าไหลผ่านช่องแตกคันดินความลาดชัน 1:1



ข) กราฟน้ำท่าไหลผ่านช่องแตกคันดินความลาดชัน 1:1.5



ค) กราฟน้ำท่าไหลผ่านช่องแตกของคันดินความลาดชัน 1:2

รูปที่ 9 กราฟน้ำท่าการไหลผ่านช่องแตก

ทดลอง และในการทดสอบอาจแยกลักษณะการเกิดกราฟน้ำท่าได้ตามลักษณะการแตกของคันดินได้ดังนี้

กรณีคันดินเกิดการแตกอย่างรวดเร็ว

เมื่อคันดินเกิดน้ำไหลล้นผ่านและมีการแตกตัวอย่างรวดเร็ว อัตราการไหลที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะค่อยกลับเข้าสู่สภาวะสมดุลกับปริมาณน้ำที่เติมให้กับระบบจากปั๊มสูบน้ำ ตัวอย่างกราฟน้ำท่าของคันดินที่มีการแตกตัวอย่างรวดเร็ว ได้แก่ กราฟน้ำท่าความลาดชันคันดิน 1:1 ที่ตำแหน่ง X1 หรือ กราฟน้ำท่าความลาดชันคันดิน 1:1.5 ที่ตำแหน่ง X3 เป็นต้น

กรณีคันดินใช้เวลาในการแตกนาน

ในกรณีที่เกิดน้ำไหลล้นแล้วคันดินใช้เวลาในการแตกนาน กราฟน้ำท่าจะเริ่มเพิ่มอัตราการไหลมากขึ้นจนเท่ากับการไหลที่ปั๊มเติมเข้าสู่ระบบหรืออาจมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อคันดินแตกตัวเป็นช่องแตกขนาดใหญ่ ตัวอย่างกราฟน้ำท่าของคันดินที่ใช้เวลาในการแตกตัวนาน ได้แก่ กราฟน้ำท่าความลาดชันคันดิน 1:1 ที่ตำแหน่ง X3 หรือ กราฟน้ำท่าความลาดชันคันดิน 1:1.5 ที่ตำแหน่ง X1 เป็นต้น

กรณีคันดินมีการรบกวน

สำหรับบางเหตุการณ์ คันดินมีการแตกตัวของมวลดินด้านข้างและตกทับถมลงในทางน้ำ แต่เนื่องจากอัตราการไหลไม่มากพอ ทำให้ดินที่แตกตัวใช้เวลานานในการนำออกไป แต่เมื่อมวลดินถูกพัดพาไปแล้วประกอบกับหน้าตัดการไหลที่ใหญ่ขึ้น ทำให้กราฟน้ำท่าเกิดการเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ตัวอย่างกราฟน้ำท่าของคันดินที่มีการรบกวน ได้แก่ กราฟน้ำท่าความลาดชันคันดิน 1:1.5 ที่ตำแหน่ง X2 หรือ กราฟน้ำท่าความลาดชันคันดิน 1:2 ที่ตำแหน่ง X3 เป็นต้น

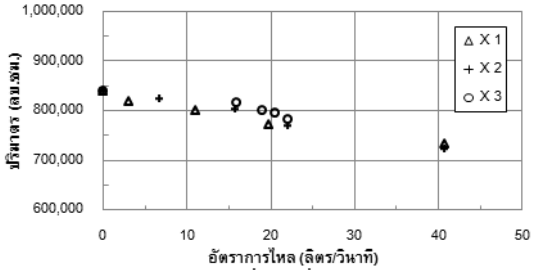
3.3 ตำแหน่งของช่องแตกต่อปริมาตรดินที่ถูกกัดเซาะ

เนื่องจากข้อจำกัดในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ทำให้อัตราการไหลที่เกิดขึ้นในของการไหลผ่านช่องแตกในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากันในความลาดชันเดียวกัน ดังนั้นเพื่อที่จะเปรียบเทียบผลของตำแหน่งช่องแตกที่มีต่อปริมาตรคันดินที่ถูกกัดเซาะได้จะเลือกใช้ข้อมูลปริมาตรดินที่ถูกกัดเซาะกับอัตราการไหลผ่านช่องแตก โดยพิจารณาการแตกของคันดินตั้งแต่เริ่มทดสอบจนถึงอัตราการไหลสูงสุดของแต่ละการทดลอง และเมื่อนำปริมาตรคันดินที่เหลืออยู่กับอัตราการไหลที่เกิดขึ้นของแต่ละตำแหน่งช่องแตกมาเปรียบเทียบกัน แสดงได้ดังรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าในแต่ละความลาดชันของคันดิน ปริมาตรดินที่ถูกกัดเซาะในแต่ละตำแหน่งของการแตกจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะอยู่ในช่วง 13.14-19.86%, 17.32-23% และ 18.30-23.83% สำหรับความลาดชัน 1:1,1:1.5 และ 1:2 ตามลำดับหรืออาจสรุปได้ว่า ในความลาดชันคันดินเดียวกัน ปริมาตรดินที่ถูกกัดเซาะจะไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการแตก แต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่านเป็นหลัก

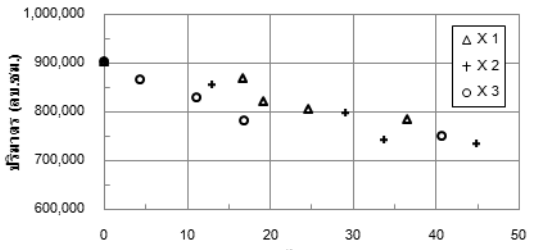
3.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรดินต่อความลาดชันคันดิน

เพื่อจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรดินภายใต้ความลาดชันของคันดินที่แตกต่างกัน จะทำการสร้างกราฟร้อยละปริมาตรดินที่เหลืออยู่ต่อปริมาตรดินเดิมของคันดินที่ความลาดชัน 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ต่ออัตราการไหลที่เกิดขึ้น โดยใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรดินที่ตำแหน่งต่างๆ ของแต่ละความชันรวมกัน

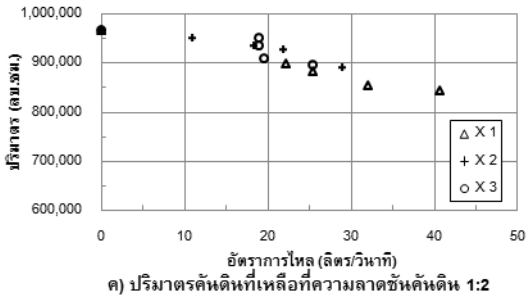
ผลการศึกษาแสดงได้ดังรูปที่ 11 ซึ่งจะเห็นว่าแนวโน้มการลดลงของปริมาตรดินของทั้งสามความ



ก) ปริมาตรคันดินที่เหลือที่ความลาดชันคันดิน 1:1

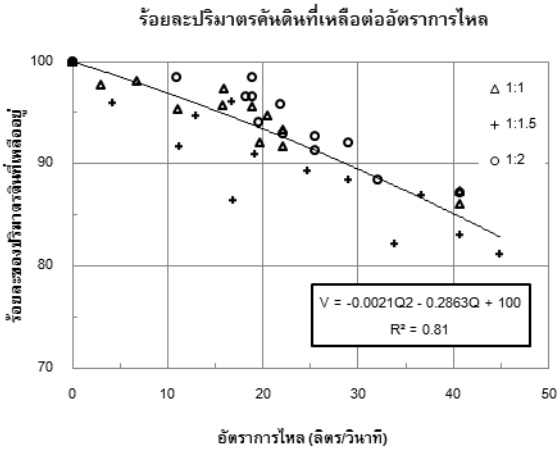


ข) ปริมาตรคันดินที่เหลือที่ความลาดชันคันดิน 1:1.5



รูปที่ 10 ปริมาตรดันดินที่เหลืออยู่ต่ออัตราการไหลผ่านช่องแตก

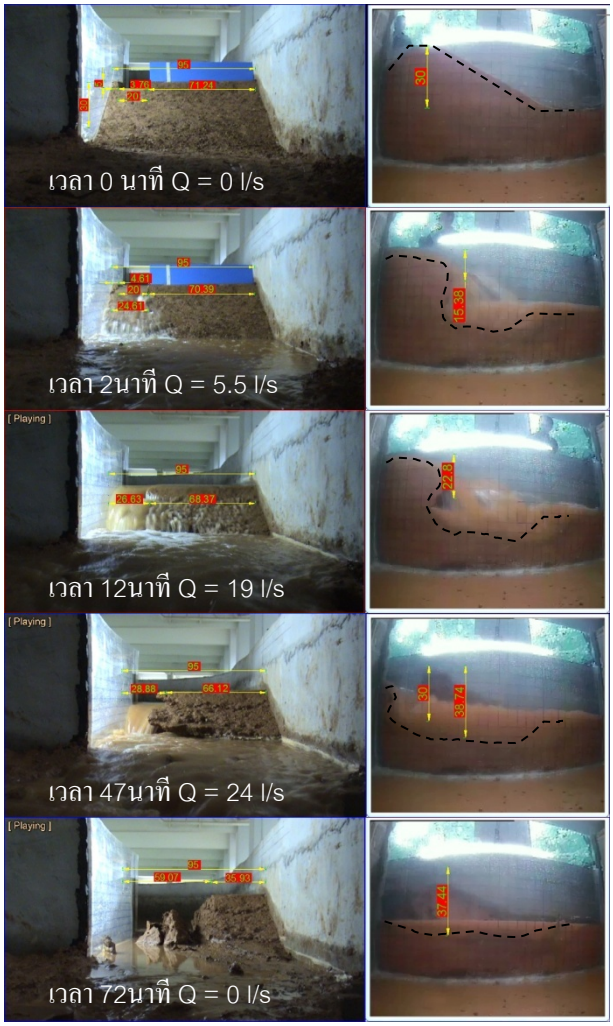
ลาดชันดันดินมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการหาความสัมพันธ์โดยใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาตรดินทั้งสามความลาดชันดันดิน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการมีค่ามากถึง 0.81 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอัตราการลดลงของปริมาตรดินไม่ว่าจะเป็นที่ความลาดชันดันดินเท่าใดก็ตาม มีอัตราการลดลงใกล้เคียงกัน



รูปที่ 11 กราฟร้อยละปริมาตรดันดินที่เหลืออยู่กับอัตราการไหลผ่านช่องแตก

3.5 รูปแบบการแตกของดันดิน

กลไกการแตกของดันดินภายใต้การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของช่องแตกมีกระบวนการแตกที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับผลการศึกษาในอดีต [3 และ 6] โดยรูปที่ 12 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการในการเกิดช่องแตกของดันดินความลาดชัน 1:1 ที่ตำแหน่ง X1 โดยเมื่อน้ำเกิดการไหลล้นดันดิน การกัดเซาะจะเริ่มเกิดขึ้นที่ผิวดันดิน (Surface erosion) ควบคู่กับการกัดเซาะที่บริเวณท้ายดันดิน (Toe) และมีรูปแบบการกัดเซาะแบบไหลวน ซึ่งกระบวนการกัดเซาะที่ท้ายดันดินส่งผลให้ดันดินเกิดการเสียสภาพในแนวดิ่ง (Headcut erosion) ตามมา ในขณะเดียวกันการกัดเซาะที่ผิวดันดินจะทำให้ระดับสันดันดินลดลง อย่างไรก็ตามการเสียสภาพในแนวดิ่งจะมีอิทธิพลต่อการแตกมากกว่ากระบวนการดังกล่าวจะดำเนินไปจนเกิดช่องแตกขึ้น จากนั้นการเสียสภาพจะขยายตัวออกในแนวราบเป็นหลักทำให้ช่องแตกมีการขยายกว้างขึ้น ทั้งนี้เมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง X1 เทียบกับ X3 แล้วพบว่า การกัดเซาะแบบไหลวนบริเวณท้ายดันดินที่ตำแหน่ง X1 มีการกัดเซาะรุนแรงกว่าที่ตำแหน่ง X3 ทั้งสามความลาดชันของดันดิน



รูปที่ 12 กระบวนการเกิดช่องแตกของดันดินความลาดชัน 1:1 ที่ตำแหน่ง X1

4. บทสรุป

การศึกษาการแตกของคันดินข้างโครงสร้างทางชลศาสตร์โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรดินที่ถูกกัดเซาะ และรูปแบบการกัดเซาะคันดินภายใต้การเปลี่ยนแปลงความลาดชันคันดินท้ายน้ำ 3 แบบ และการเปลี่ยนแปลงของช่องแตก 3 ตำแหน่ง พบว่า ตำแหน่งของช่องแตกมีผลกระทบน้อยต่อปริมาตรดินที่ถูกกัดเซาะภายใต้คันดินความลาดชันเดียวกันหรือกล่าวได้ว่าปริมาตรดินที่ถูกกัดเซาะจะขึ้นกับอัตราการไหลเป็นหลัก และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนการลดลงของปริมาตรดินเทียบกับความลาดชันของคันดิน พบว่าคันดินทั้งสามความลาดชันมีอัตราส่วนการลดลงของปริมาตรดินใกล้เคียงกัน กลไกการแตกของคันดินภายใต้การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของช่องแตกมีกระบวนการแตกที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน โดยเริ่มจากการกัดเซาะที่บริเวณท้ายคันดินร่วมกับการหลุดลอกของผิวคันดิน การกัดเซาะที่ด้านท้ายคันดินก่อให้เกิดการกัดเซาะแบบตัดแนวดิ่งตามมาจนคันดินแตกเป็นช่อง จากนั้นคันดินจะเกิดการขยายตัวในแนวราบเป็นช่องขนาดใหญ่จนกว่าการแตกจะเสถียร แต่ในการเกิดช่วงแรก การกัดเซาะในแนวดิ่งที่ตำแหน่ง X1 มีแนวโน้มเกิดขึ้นรุนแรงกว่าตำแหน่ง X3 อย่างมีนัยสำคัญ ผลที่ได้สามารถนำไปใช้เพื่อเฝ้าระวังคันดินที่เกิดภัยพิบัติใกล้กับอาคารชลศาสตร์หรือเป็นแนวทางเพื่อให้ออกแบบอาคารทางชลศาสตร์ซึ่งสามารถต้านทานต่อการกัดเซาะที่มากขึ้นได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนก) ที่สนับสนุนทุนในการศึกษาวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] O. R. Stein and P.Y. Julien, “Criterion delineating the mode of headcut migration,” *Journal of Hydraulic engineering*, vol. 119(1), pp. 37-50, 1993.

[2] W. Hahn, G. Hanson and K. Cook. “Breach morphology observations of embankment overtopping tests”. *Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management 2000*. 30 July 2000 – 2 August 2000. Minnesota: pp. 1-10. (2000).

[3] Y.H. Zhu. *Breach growth in clay-dikes*. Ph.D. thesis. Department of Hydraulic Engineering. Delft University of Technology. (2006).

[4] J. Zhang, Y. Li, G. Xuan, X. Wang and J. Li., “Overtopping breaching of cohesive homogeneous earth dam with different cohesive strength,” *Science in China Series E: Technological Sciences*, vol. 52(10), pp. 3024-3029, 2009.

[5] D.L. Fread, “BREACH: an erosion model for earthen dam failures,” *National Weather Service (NWS) Report*, 1988.

[6] S. Newhouse, S.E. Burns, S.K. Bhatia, C.M.C Avila and B.E. Hunt. “Earth dam failure by erosion, a case history in Scour and erosion”. *Proceedings of the Fifth International Conference on Scour and Erosion*. 7-10 November 2010. California: pp. 348-357, (2011).

[7] I. EKSTRÖM. “Recent dam incidents and failures in Sweden”. *6th International Conference on Scour and Erosion*. 27-31 August 2012. Paris: pp. 281-288, (2012).

[8] พงศ์พันธุ์ กาญจนการุณ สนิท วงษา และชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์. “การจำลองการพังทลายของคันดินใกล้ประตูระบายน้ำ กรณีน้ำไหลล้นคันดิน”. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19*. 14-16 พฤษภาคม 2557. ขอนแก่น: pp. 304, (2557).

[9] สถิต ชินอ่อน. *คุณสมบัติการบดอัดและค่า ซี บี อาร์ ของดินถมคันทาง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2556).