

การใช้เทคนิคภาพถ่ายในการศึกษาทางวิศวกรรมฐานราก

APPLICATION OF IMAGE PROCESSING TECHNIQUE ON FOUNDATION STUDY

ดร.ชนาดล คงสมบูรณ์

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ

Thanadolk@yahoo.com

ประสพศิริ แสงภู

นักวิจัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ : การศึกษาพฤติกรรมด้านกลศาสตร์ของชั้นดินฐานรากมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาความรู้ ความเข้าใจพฤติกรรมของโครงสร้างดิน เพื่อนำไปพัฒนาการออกแบบและเป็นพื้นฐานของงานวิจัยที่มีประสิทธิภาพ เทคนิควิธีการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของมวลดินด้วยการถ่ายภาพจากโมเดลย่อส่วนได้ถูกพัฒนามาเป็นเวลานานควบคู่ไปกับการพัฒนาเทคโนโลยีการถ่ายภาพ บทความนี้ได้นำเสนอเทคนิคภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาพฤติกรรม Soil arching ของเสาเข็มเว้นระยะในโมเดลย่อส่วนด้วยเทคนิคภาพถ่ายสามารถเข้าใจรูปแบบการเคลื่อนตัวของแบบอัดตัวแน่นและปิดกั้นช่องว่างโดยดินระหว่างเสาเข็มได้อย่างชัดเจน และในผลการศึกษการเคลื่อนที่ของมวลดินในแบบจำลอง centrifuge สามารถศึกษารูปแบบการพิบัติของดินแบบ passive ที่เกิดขึ้นด้านหน้ากำแพงกันดินได้อย่างชัดเจน นับว่าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในงานพัฒนางานวิจัยทางวิศวกรรมปฐพีในอนาคตต่อไป

ABSTRACT : The knowledge of mechanism of soil deformation around foundation is very important to develop an understanding in foundation engineering in both practical designs and research works. This technique is a measurement of soil mass movement by taking a photo from scaled model that was developed together with photo technology. This paper presents a technique of analyzing the movement of soil mass in the centrifuge model by making use of imaging processing. Two examples of the application of this technique are illustrated, i.e. (i) the study of soil arching of spacing piles and (ii) the study of passive soil movement in front of retaining wall. This technique is found to be very effective and suitable to be further developed for future research works in geotechnical engineering.

KEYWORDS : PASSIVE SOIL, IMAGE PROCESSING, EXCAVATION, SOIL ARCHING

1. บทนำ

การศึกษาวิจัยเพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมทางกลศาสตร์ของดินมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีที่แตกต่างกันไป เช่น การศึกษาจากโครงสร้างจริงในสนาม วิธีนี้จะได้พฤติกรรมจริงที่เกิดขึ้น แต่ไม่สามารถ

ควบคุมปัจจัยแวดล้อมที่กระทบต่อการศึกษาได้อย่างสมบูรณ์ เครื่องมือวัดและการทดสอบมีราคาแพง แทนจะไม่สามารถทำซ้ำได้ อีกทั้งการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Finite Element Method) ที่ให้ผลการวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจนและมีการ

นำเสนอที่สวยงาม มีค่าใช้จ่ายน้อย แต่ผลการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับอย่างมากกับการเลือกใช้พารามิเตอร์ การจำลองขั้นตอนก่อสร้างที่ถูกต้อง และการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ ในการพัฒนาการวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมของชั้นดินฐานราก หรือสิ่งก่อสร้างที่เป็นดิน ได้นำเทคนิคการจำลองชั้นดินด้วยแบบจำลองที่ลดขนาดลง โดยเพิ่มค่าแรงดึงศูนย์กลางสู่พื้นให้สูงขึ้นกว่าแรงดึงศูนย์กลางของโลกด้วยเทคโนโลยีของเครื่องปั่นบนแกนหมุน (Centrifuge) [3] หรือใช้แบบจำลองที่ลดขนาดเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม แบบจำลองที่ถูกลดขนาดลงนี้ จึงมีความสะดวกขึ้นในการควบคุมการทดลองหรือตรวจวัดพฤติกรรมของมวลดินที่ต้องการศึกษานั้นด้วยเครื่องมือที่มีการพัฒนาให้มีขนาดเล็กลง แบบจำลองขนาดเล็กนี้สามารถทำการศึกษาได้ในห้องทดลองที่ถูกจัดเตรียมอุปกรณ์ไว้อย่างสมบูรณ์

ด้วยเทคนิคการทดสอบด้วยโมเดลลดขนาดดังกล่าวข้างต้น การตรวจวัดพฤติกรรมของมวลดินจากโมเดลในห้องปฏิบัติการ จึงถูกพัฒนาขึ้นตามลำดับ เช่น การตรวจวัดแรงดันน้ำในมวลดิน การตรวจวัดหน่วยแรงในมวลดิน และการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของมวลดิน ซึ่งมีเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น Dial gauge ที่อ่านค่าจากการหมุนของเข็มบนหน้าปัด, ก้านวัดระยะการเคลื่อนที่ (LVDT, Linear Variable Displacement Transducer) ที่อ่านเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปตามความยาวของก้านวัด และการใช้เทคนิคของการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายการเคลื่อนที่ของมวลดิน ซึ่งอ่านค่าการเคลื่อนที่ได้จากการเคลื่อนที่ของพิกัดหรือจุดที่ถูกทำเครื่องหมายไว้ (Marker) กับมวลดิน โดยไม่ต้องฝังเครื่องมือที่อาจมีผลกระทบต่อผลการทดลองไว้ในมวลดิน การศึกษาด้วยเทคนิคภาพถ่ายนี้ได้มีการศึกษามานานก่อนการพัฒนาของระบบคอมพิวเตอร์ โดยศึกษาการเคลื่อนตัวของมวลดินจากภาพถ่ายที่ถูกฉายจากแผ่นสไลด์แล้วทำการวัดการเคลื่อนตัวของภาพที่ถูกฉายออกไป [2] การนำเสนอครั้งนี้ได้แนะนำการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของมวลดินที่ศึกษาด้วยเทคนิคภาพถ่ายที่ถูกพัฒนาขึ้นตามลำดับจากระบบอนาล็อก ที่วัดการเคลื่อนที่ของมวลดินจากภาพถ่ายที่ถูกฉายไปบนฉาก ผู้ระบบดิจิทัลที่การเคลื่อนที่ถูกวัดเป็นจำนวนพิกเซลของภาพถ่าย

2. การตรวจวัดพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของมวลดิน

ลักษณะและขนาดของการเคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด (Stress-strain relation) โดย

วัสดุต่างชนิดกันจะมีลักษณะความสัมพันธ์ที่ต่างกัน การศึกษานี้สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมทางด้านกลศาสตร์ของวัสดุได้

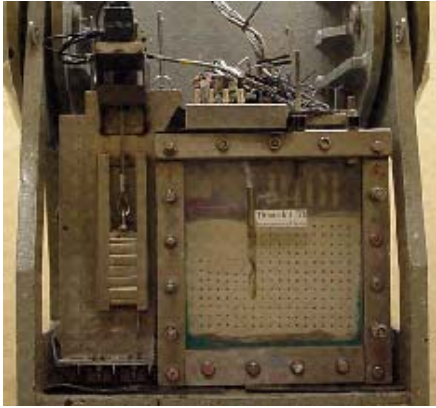
การศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างดินด้วยการตรวจวัดหน่วยแรง และการเคลื่อนตัวในมวลดินด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หาได้ในปัจจุบันจำพวก pressure cell ในการวัดหน่วยแรง ตัวเซลล์ที่ฝังอยู่ในมวลดิน ขนาดของตัวเซลล์ รูปร่าง ความเป็นเหลี่ยมมุมที่มีผลต่อหน่วยแรงที่วัดได้ ล้วนมีผลต่อการศึกษาพฤติกรรมอย่างแท้จริงของมวลดิน ความไวที่มากเกินไปของระบบเซนเซอร์ไฟฟ้าในตัวเซลล์ก็มีผลต่อความผิดพลาดในการอ่านหน่วยแรงได้อีกทั้งเครื่องมือวัดที่ไม่ละเอียดอาจไม่สามารถตรวจจับขนาดของหน่วยแรงที่เล็กมากๆ ได้ เมื่อพิจารณาถึงการวัดความเครียดในมวลดิน เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวที่เรียกว่า LVDT โดยการหยั่งโดยตรงไปที่ผิวดินหรือตัวโมเดล มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ตรวจวัดการเคลื่อนตัวได้เฉพาะขอบหรือริม ของโมเดลที่ศึกษาหรือผิวดินเท่านั้น ในบางงานวิจัยตัวอย่างดินที่ยังเป็นดินโคลน ผิวดินไม่สามารถรับน้ำหนักแม้กระทั่งก้านวัดที่ค่อนข้างเบานี้ได้เลย ข้อจำกัดของเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเหล่านี้จึงได้ถูกคิดค้นและพัฒนาในรูปแบบของการถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของมวลดิน

การใช้เทคนิคการถ่ายภาพมวลดินนี้ เป็นการตัดขั้นตอนที่ซับซ้อนของระบบเชื่อมโยงของสายส่งสัญญาณจากหัววัด ผู้เครื่องขยายสัญญาณแล้วจึงส่งมาสู่ระบบจัดเก็บข้อมูล การตรวจจับการเคลื่อนที่ด้วยวิธีนี้จะทำการตรวจจับการเคลื่อนที่ได้ตลอดทั้งมวลดินทุกส่วนที่สามารถจับภาพได้ โดยไม่ต้องสัมผัสหรือรบกวนแบบจำลองที่ทำการศึกษาเลย ความถูกต้องแม่นยำของวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพถ่ายในหน่วยของพิกเซล (Pixel) เทคนิคการกำหนดตำแหน่งอ้างอิง (Marker) ลงบนมวลดิน เทคนิคการกำหนดค่าสอบเทียบสเกล (Calibration scale factor) ลงบนภาพถ่าย และการติดตั้งอุปกรณ์ในการบันทึกภาพ

3. การศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของงานชุดดินลึก

การศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของมวลดินด้านหน้ากำแพงกันดินที่ถูกจำลองการชุดดินลึกนี้ด้วยเครื่องทดสอบ centrifuge ที่แรงโน้มถ่วง 100 เท่าของแรงโน้มถ่วงของโลก ชั้นดินเหนียว Kaolin clay ที่มีคุณสมบัติด้านภาพภาพเช่นเดียวกับดินเหนียวอ่อน ถูกจำลองไว้ในกล่องโลหะขนาด 40 x 48 เซนติเมตร

หนา 15 เซนติเมตร นำมาผ่านกระบวนการเตรียมชั้นดินเพื่อให้ได้ชั้นดิน over consolidated clay ลึก 3-4 เซนติเมตร อยู่บนชั้น normal consolidated clay หนา 21-22 เซนติเมตร ในแบบจำลอง เมื่อชั้นดินดังกล่าวถูกเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge จนมีความเร่งสู่ศูนย์กลางเท่ากับ 100g จะทำให้ชั้นดินนั้นมีสภาพทางกายภาพเสมือนชั้นดินลึก 25 เมตร กว้าง 40 เมตร หนา 15 เมตร กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นโครงสร้างกันดินหนา 60 เซนติเมตร ถูกจำลองไว้ในโมเดลด้วยแผ่นอลูมิเนียมหนา 4 มิลลิเมตร เครื่องชุดถูกประกอบเข้าทางด้านข้างของแบบจำลองโดยออกแบบเฉพาะให้ใช้ประกอบกับโมเดลชุดดินนี้ได้ภายใต้สภาพ 100 g ด้านหน้าของมวลดินจะต้องฝังลูกปิดสีดำ(marker) ไว้บนผิวหน้าของมวลดิน ซึ่งเป็นเครื่องหมายสำคัญในการตรวจจับการเคลื่อนตัวของมวลดินจากลูกปิดดำนี้ รูปการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 1

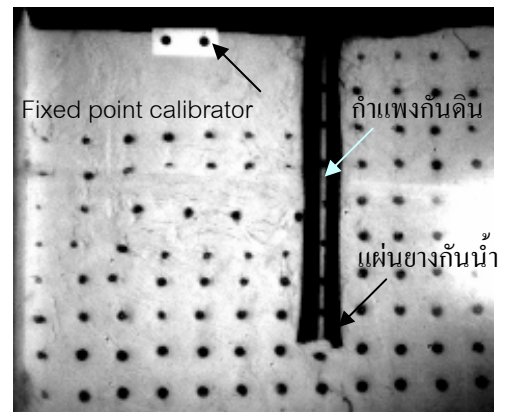


รูปที่ 1 โมเดลการชุดดินที่เตรียมพร้อมการทดลองบนเครื่อง centrifuge [4]

รูปแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 2 ประกอบด้วย กล้อง CV-M1 2/3 in CCD ความละเอียด 1.33 ล้านพิกเซลถูกประกอบอย่างแน่นหนาบนเฟรมอลูมิเนียม ซึ่งทำให้โฟกัสของภาพถ่ายชัดเจนตลอดการทดสอบแม้จะถูกเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง บนเฟรมนี้ สปอตที่ไลต์ส่องสว่างอีก 2 ดวงที่ปรับมุมแสงไว้อย่างเหมาะสม เพื่อไม่ให้มีเงามืด และแสงที่สะท้อนขึ้นบนภาพ ก่อนการทดสอบ จุดอ้างอิงสองจุดที่รู้พิกัดแน่นอนจะถูกติดไว้บนระนาบ โฟกัสเดียวกับลูกปิดดำ เพื่อใช้เป็นระยะอ้างอิงในการคำนวณระยะเป็นพิกเซลของการเคลื่อนที่ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาเฉพาะการเคลื่อนตัวของมวลดินด้านหน้ากำแพงดังรูปที่ 3

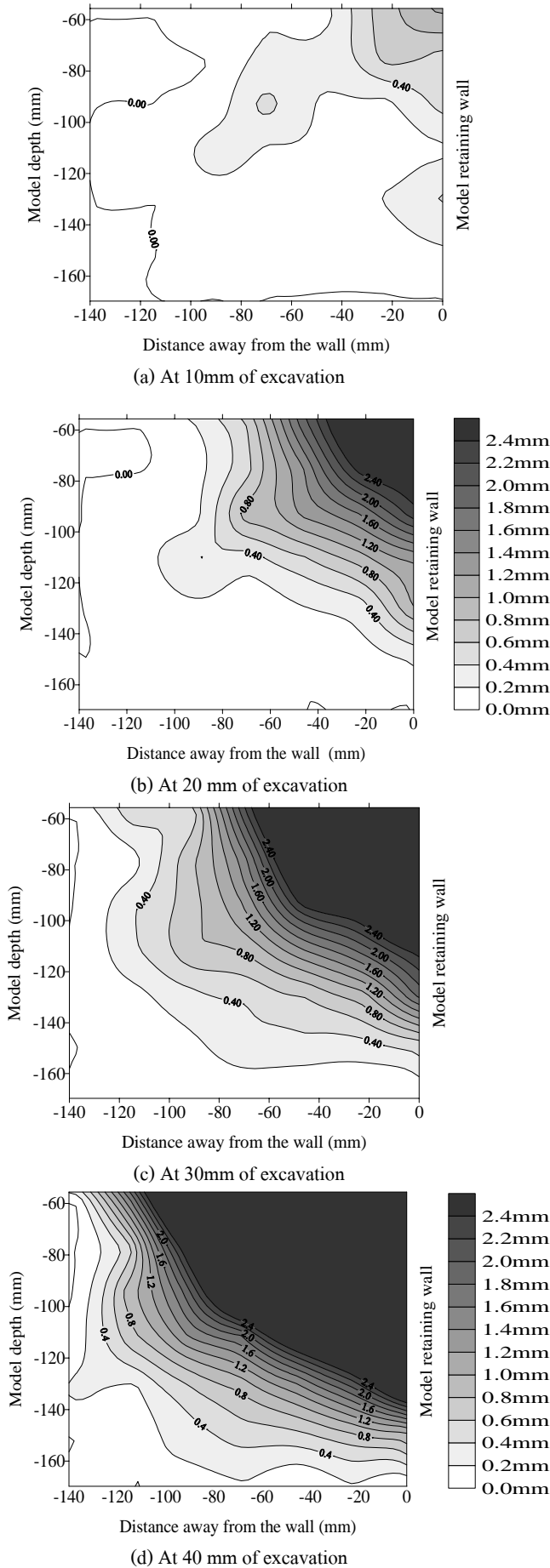


รูปที่ 2 อุปกรณ์การถ่ายภาพที่ถูกประกอบเข้ากับชุดโมเดลทดสอบ [4]



รูปที่ 3 ภาพถ่ายชั้นดินขณะเริ่มการทดสอบ [4]

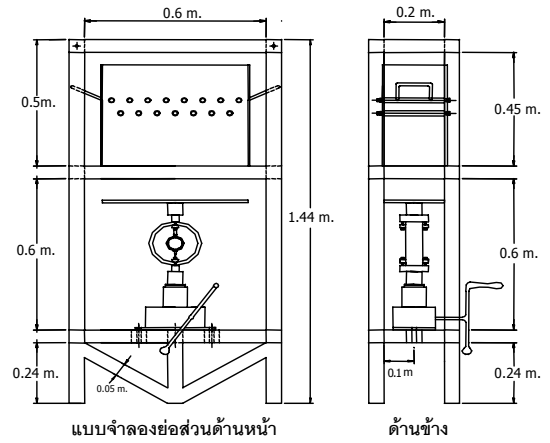
ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของมวลดินด้านหน้ากำแพงด้วยเทคนิคภาพถ่ายนี้ จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของไฟล์ BMP, JPG หรือ TIF ซึ่งจะได้การเคลื่อนที่เป็นพิกเซลสเกล แล้วทำการวิเคราะห์แปลงเป็นระยะและทิศทางของการเคลื่อนที่จากระยะสอบเทียบจากจุดอ้างอิงที่ติดตั้งไว้แล้ว ถ้าสามารถบันทึกเวลาการถ่ายแต่ละภาพด้วย ก็จะสามารรถทราบอัตราการเคลื่อนตัวของมวลดินได้อีกด้วย



รูปที่ 4 เส้นชั้นการเคลื่อนที่ของมวลดินด้านหน้ากำแพง [4]

4. การศึกษาพฤติกรรมการโค้งของแนวแรงในดินทรายระหว่างเสาเข็ม (Soil Arching)

การใช้เสาเข็มเว้นระยะเพื่อเป็นโครงสร้างกันดินในงานขุดและถมดินเพื่อลดการเคลื่อนตัวของมวลดิน หรือการใช้เสาเข็มตอกเว้นระยะเสริมกำลังดินเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของลาดดิน โดยอาศัยพฤติกรรมการถ่ายแรงเป็นแนวโค้งในดิน (Soil Arching) ผู้เสาะเข็ม เทคนิคการก่อสร้างเสาเข็มเว้นระยะนี้มีการนำมาใช้กันตั้งแต่อดีตไม่ว่าจะในรูปแบบของ เสาเข็มไม้ เสาเข็มคอนกรีต เสาเข็มหล่อในที่ เสาเข็มเหล็กรูปพรรณ หรือเป็นรูปแบบของคอนกรีตมวลรวม jet grouting แต่ยังไม่มีความชัดเจน และมีตัวอย่างการใช้งานจริงน้อย และเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจมากขึ้นในการใช้ประโยชน์จากพฤติกรรมนี้

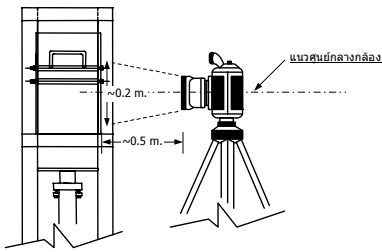


รูปที่ 5 แบบจำลองย่อส่วนกายภาพเพื่อศึกษา Soil arching ระหว่างเสาเข็ม [1]

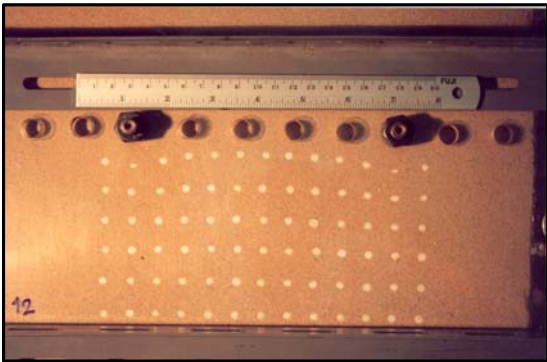
ทางหน่วยงานศูนย์วิจัยและพัฒนาทางวิศวกรรมปฐพี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมนี้ โดยใช้ดินทรายในแบบจำลองย่อส่วนที่มีขนาดลึก 28 เซนติเมตร กว้าง 30, 48 เซนติเมตร และหนา 20 เซนติเมตร ใช้เสาเข็มเหล็กกลึงผิวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เป็นเสาเข็มเว้นระยะจำลอง แบบจำลองย่อส่วนนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5

การวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินในการศึกษานี้ได้ใช้เทคนิคภาพถ่ายด้วยกล้องธรรมดาแบบเลนส์เดี่ยวตั้งบนขาตั้งกล้องสามขาที่มั่นคงดังแสดงในรูปที่ 6 การถ่ายภาพสามารถใช้การถ่ายภาพทีละภาพตามช่วงเวลาทดสอบ หรือสามารถใช้เทคนิคการถ่ายภาพซ้อนหลายครั้งลงบนฟิล์มแผ่นเดิมที่ปรับเปลี่ยนสมดุลแสงของทุกภาพที่ถ่าย โดยเทียบสเกลการเคลื่อนที่ของเม็ดโฟมที่เคลื่อนที่ไปพร้อมมวลดินจากไม้บรรทัดในภาพถ่าย ซึ่งแสดง

ไว้ในรูปที่ 7 การวิเคราะห์นี้จะต้องเปลี่ยนรูปถ่ายเป็นไฟล์รูปภาพ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของตัวด้วยโปรแกรม Sigma scan pro

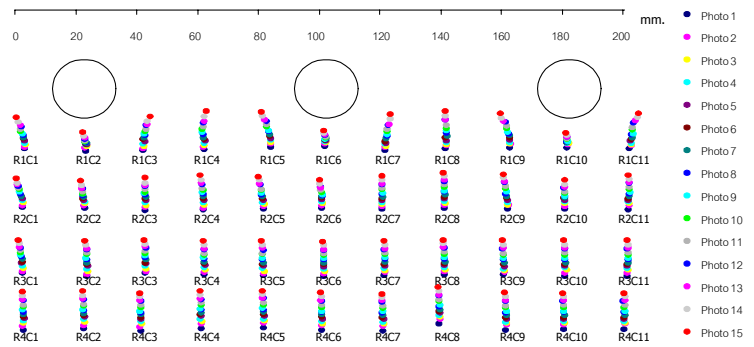


รูปที่ 6 การติดตั้งกล้องถ่ายภาพเพื่อวัดการเคลื่อนตัวของดิน [1]



รูปที่ 7 ภาพถ่ายการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรม Soil arching ของเสาเข็ม วั่นระยะ [1]

การวัดการเคลื่อนตัวของจุดสังเกตระหว่างเสาเข็มภายในกล่องทดสอบ โดยวิเคราะห์ค่าจากภาพที่บันทึกในระหว่างทำการทดสอบ พบว่าพฤติกรรมทางการเคลื่อนตัวของดินที่วัดในแบบจำลองย่อส่วนทางกายภาพ เบื้องต้นพบรูปแบบการเคลื่อนตัวแบบอัดตัวแน่นและปิดกันช่องว่างโดยดินระหว่างเสาเข็ม ทำให้การเคลื่อนตัวของดินในแบบจำลองมีค่าน้อยมาก ไม่เกิดการไหลผ่านของดินระหว่างเสาเข็ม พบในการทดสอบที่อัตราส่วนช่องว่างระหว่างเสาเข็ม ต่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (S/D) เท่ากับ 1.5 และ 2 เป็นเพราะระยะช่องว่างระหว่างเสาเข็มน้อย ทำให้การอัดตัวของดินบริเวณช่องมากพอให้เกิดการปิดกันช่องว่างด้วยตัวของดินเอง และเกิดการพังทลายของดินระหว่างเสาเข็ม หรือ ดินไหลผ่าน (Flow) ช่องว่างระหว่างเสาเข็มได้ในการทดสอบที่อัตราส่วนช่องว่างระหว่างเสาเข็ม ต่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (S/D) เท่ากับ 3, 4 และ 7.5 ตัวอย่างรูปภาพการเคลื่อนตัวของมวลดินเมื่อมีเสาเข็มวั่นระยะปิดกันการเคลื่อนที่ของมวลดินบางส่วน แสดงไว้ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงรูปภาพการเคลื่อนตัวของมวลดินเมื่อถูกปิดกันบางส่วนด้วยเสาเข็มวั่นระยะในกรณีทดสอบที่ S/D = 4 [1]

5. สรุปผลการศึกษา

เทคนิคการศึกษาพฤติกรรมของมวลดินจากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับการทดลองด้วยโมเดลย่อส่วน ผลการวิเคราะห์สามารถศึกษาพฤติกรรมของมวลดินได้จากมวลดินจริง โดยไม่ต้องกังวลกับการเลือกใช้พารามิเตอร์ที่ถูกต้อง และไม่มี ความแปรปรวนของชั้นดินและสภาพแวดล้อม เนื่องจากปัจจัยธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ในธรรมชาติ

การบันทึกการเคลื่อนที่ของมวลดินด้วยภาพถ่าย เป็นระบบที่ไม่ต้องมีสายนำสัญญาณไฟฟ้าที่อยู่ยากซับซ้อน จึงไม่ต้องมีภาคแปลงหรือขยายสัญญาณหรือระบบกรองสัญญาณ เป็นการลดความผิดพลาดเนื่องจากสัญญาณรบกวนในระบบสายส่งสัญญาณ ความแม่นยำของการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของมวลดินนี้ ในปัจจุบันมีความแม่นยำสูงมากขึ้นเนื่องจากเทคโนโลยีการถ่ายภาพด้วยระบบดิจิทัลที่ล้ำสมัยมาก อีกทั้งมวลดินที่กำลังศึกษาไม่มีอุปกรณ์ หรือหัววัดต่างๆฝังอยู่ในมวลดิน ที่จะรบกวนพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของมวลดินที่กำลังศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสพศิริ แสงภู (2546). “การศึกษาพฤติกรรมการโค้งของแนวแรงในดินทรายระหว่างเสาเข็มเมื่อรับแรงส่งผ่านในแนวราบ” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ประเทศไทย
- [2] Mairain, M (1982). “Penetration resistance of soils in relation to penetrometer shape”, Ph.D thesis, Iowa State University, USA.
- [3] Thanadol, K., Tan, T.S., Warakorn, M. and Yong, K.Y. (2000). Centrifuge Modelling in Geotechnical Engineering. Proc. 6th National Convention on Civil Engineering, Petchaburi, Thailand.

[4] Thanadol, K (2002). "Behaviour of an embedded improved soil berm in an excavation", Ph.D thesis, National University of Singapore, Singapore.