

## การศึกษาการถ่ายแรงจากดินคั่นทางสู่เสาเข็มรองรับในดินอ่อน ด้วยวิธีความสัมพันธ์ทางภาพถ่าย Investigation Load Transfer on Piled Embankments over Soft Soil by Digital Image Correlation

ชัยสิทธิ์ เพ็งจันทร์<sup>1</sup> นิพนธ์ อินสุข<sup>2</sup> อภิวิชญ์ ทองรักษา<sup>3</sup> กรกฎ นุสิทธิ์<sup>4</sup> และสุริยาวุธ ประอ้าย<sup>5</sup>

<sup>1,2,5</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

<sup>3</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมเทคนิคธรณี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร

<sup>4</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

### บทคัดย่อ

ความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทำให้วิศวกรจำเป็นต้องออกแบบโครงสร้างบนชั้นดินอ่อน แรงกระทำภายนอกที่พื้นผิวดินจะทำให้เกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกันอย่างมาก การทรุดตัวเหล่านี้จะเป็นจะต้องถูกจำกัดเพื่อให้เกิดเสถียรภาพและความมั่นคงของโครงสร้างในบรรดาวิธีการต่าง ๆ ของวิธีการปรับปรุงดิน วิธีการปรับปรุงดินโดยใช้เสาเข็มซึ่งเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับเทคนิคแบบดั้งเดิมมากขึ้นถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง บทความนี้นำเสนอการศึกษาการถ่ายแรงที่เกิดขึ้นในชั้นดินถมที่วางอยู่บนชั้นดินอ่อนที่เสริมกำลังด้วยเสาเข็มภายใต้หน่วยแรงคงที่และแบบวัฏจักร โดยใช้แบบจำลองแบบสามมิติในห้องปฏิบัติการ แบบจำลองที่ใช้ศึกษาจะประกอบไปด้วยเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ซม. จำนวน 20 ต้น ฝังในชั้นดินอ่อนเสมือน การประยุกต์ใช้วิธีการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของภาพถ่าย (Digital Image Correlation, DIC) จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์กลไกในการถ่ายแรง จากการทดสอบพบว่า การทรุดตัวสะสมและการเพิ่มขึ้นของแรงที่ถูกถ่ายไปยังหัวเสาเข็มในระหว่างการให้แรงแบบวัฏจักรสามารถตรวจวัดได้ การวิเคราะห์ภาพถ่ายช่วยให้สามารถเข้าใจถึงการเคลื่อนที่ในชั้นถ่ายแรง

คำสำคัญ: แบบจำลองทางกายภาพ, การถ่ายแรงของดินคั่นทาง, ความสัมพันธ์ของภาพถ่าย, แรงวัฏจักร

### Abstract

The rapid growth in infrastructure development has forced the engineers to design their structures on compressible soils. The structural load applied to the surface of a compressible ground introduces large total and differential settlement. These settlements have to be limited in order to maintain the stability

and the durability of the concerned structures. Among various methods of soil improvement, the technique of employing the vertical rigid piles is widely implemented. It is an interesting alternative to more traditional techniques. This research focuses on the mechanistic behaviors of granular top soil supported by piles embedded in soft soil layer under the monotonic and cyclic loadings. An original three-dimensional laboratory model was developed. The model contains 20 rigid piles, and the compressible soil is explicitly simulated by a soft material. A Digital Image Correlation (DIC) technique was used to analyze the force and displacement taking place in the load transfer platform. It was found that the settlement accumulation and an increase in the load transmitted to the piles were observed during the loading cycles. The image analysis provides the access to the displacement field within the granular platform.

Keywords: Physical modeling, Load Transfer Platform, Digital Image Correlation, Cyclic Loading

### คำนำ

การใช้เสาเข็มช่วยเสริมกำลังของดินอ่อนนั้นเป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการปรับปรุงดินในการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นวิธีที่รวดเร็วและประหยัดงบประมาณ ([2],[3],[4],[5],[6],[8],[9],[10]) เมื่อเทียบกับวิธีการปรับปรุงดินอ่อนด้วยวิธีการอื่น ๆ รูปแบบของการเสริมกำลังของดินอ่อนด้วยเสาเข็มนั้น เป็นการใส่เสาเข็มเข้าไปช่วยรับแรงที่จะมากระทำต่อดินอ่อนโดยตรง โดยแรงที่ถูกถ่ายลงสู่เสาเข็มจะบอกถึงประสิทธิภาพของการเสริมกำลัง วิธีการนี้จะทำให้ดินอ่อนนั้นรับแรงที่มากกว่าน้อยลงเนื่องจากกลุ่มของเสาเข็มและดินถมจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่ากลไก

การถ่ายแรงแบบเส้นโค้ง (Arcing Effect) ซึ่งเป็นรูปแบบกลไกการถ่ายโอนแรงของดินคันทาง (Load Transfer Platform) สู่เสาเข็มในลักษณะของเส้นโค้ง โดยลักษณะของเส้นโค้งที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดแบบเต็มรูปแบบ (Full Arching) หรือเกิดแค่บางส่วน (Partial arching) ก็ขึ้นอยู่กับระยะห่างของเสาเข็ม ขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม และความสูงของดินคันทาง ลักษณะกลไกการถ่ายแรงแบบเส้นโค้งแบบเต็มรูปแบบนั้นจะให้ประสิทธิภาพของการเสริมกำลังที่ดีกว่ากลไกการถ่ายแรงแบบเส้นโค้งแบบไม่เต็มรูปแบบ

โดยเทคนิคการปรับปรุงดินด้วยเสาเข็มนั้นสามารถนำไปใช้ได้กับสิ่งปลูกสร้างทุกรูปแบบ ทั้งยังปรับใช้ได้เป็นอย่างดีกับโครงสร้างที่มีแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ เช่น ถนน ทางรถไฟ โรงงานอุตสาหกรรม และอาคารพาณิชย์ เป็นต้น ทั้งนี้พื้นฐานของการเสริมกำลังของดินอ่อนด้วยเสาเข็มนั้นมีความคล้ายคลึงกับการสร้างฐานราก ซึ่งดินอ่อนบางส่วนนั้นยังจะได้รับแรงอยู่ การศึกษาการเสริมกำลังของดินอ่อนด้วยเสาเข็มได้รับความนิยมจากนักวิจัยอย่างมากมาย ทั้งในห้องปฏิบัติการแบบย่อส่วน ([1],[4],[5],[7],[9],[10]) ในภาคสนาม และการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข ([5]) อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมาจะอธิบายพฤติกรรมของการเสริมกำลังของดินอ่อนด้วยเสาเข็มเพื่อรองรับน้ำหนักแบบคงที่ (Monotonic loading) ในขณะที่การรองรับน้ำหนักแบบวัฏจักรที่มีจำนวนรอบมาก ๆ (A large number of cyclic loadings) การศึกษาด้วยวิธีการนี้ยังมีการเผยแพร่ไม่มาก ([3],[11])

การใช้เทคนิคการถ่ายภาพเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถศึกษา ลักษณะของการเกิดกลไกการถ่ายแรงแบบเส้นโค้งได้ในมิติของการวัดการกระจัดและอัตราการเพิ่มของหน่วยแรง โดยการถ่ายภาพหลายๆ ภาพแล้วนำมาวิเคราะห์ในลักษณะของการไล่ระดับสีตามขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทดสอบเมื่อเทียบกับภาพเริ่มต้น จะทำให้เห็นถึงพฤติกรรมของการเกิดเส้นโค้งหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นวิธีการที่ถูกเรียกว่า การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของภาพถ่าย (Digital Image Correlation, DIC: [2],[12]) ซึ่งเป็นการถ่ายภาพของตัวอย่างขึ้นเดียวกัน หลาย ๆ ภาพในแต่ละช่วงเวลาเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จากนั้นใช้โปรแกรม NCorr ที่เป็นโปรแกรมเสริมของ MATLAB ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายเหล่านั้นออกมาในรูปแบบของการไล่ระดับความเข้มขึ้นของหน่วยแรงหรือการกระจัด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษารูปแบบของการถ่ายแรงของดินคันทางสู่เสาเข็มรองรับที่ถูกฝังอยู่ในชั้นของดินอ่อนภายใต้หน่วยแรงแบบคงที่ (Monotonic loading) และแบบวัฏจักร (Cyclic loading) โดยวิธีการถ่ายภาพและประมวลผลเพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายรูปแบบของการถ่ายแรงที่เกิดขึ้น ในแบบจำลองย่อส่วนในห้องปฏิบัติการ

## เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์

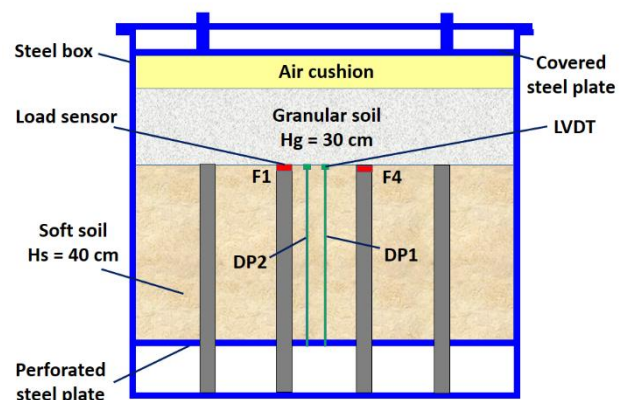
### แบบจำลองทางกายภาพ

การทดลองในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ โมเดลสเกล 1 g ลักษณะของแบบจำลองประกอบด้วยแผ่นเหล็กหนาที่ถูกทำให้เป็นกล่องลูกบาศก์ขนาด กว้าง 1 เมตร x ความยาว 1 เมตร x สูง 1 เมตร

(รูปที่ 1) ภายในติดตั้งแท่งเหล็กกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร และสูง 600 มิลลิเมตร เพื่อใช้จำลองเป็นเสาเข็ม ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางเสาเข็มเป็น 200 มิลลิเมตร พร้อมทั้งติดตั้งโหลดเซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เซ็นเซอร์เพื่อวัดน้ำหนักที่ถูกถ่ายลงสู่เสาเข็มและวัดระยะการทรุดตัวที่เกิดขึ้นระหว่างเสาเข็ม โดยภายในแบบจำลองระหว่างการทดสอบนั้นจะประกอบไปด้วยชั้นของดินอ่อนเสมือนที่มีความสูงเท่ากับ 400 มิลลิเมตร ที่ล้อมรอบเสาเข็ม ข้างบนของชั้นดินเหนียวอ่อนเสมือนนั้นจะเป็นชั้นของคันทางจำลองที่มีความสูง 300 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นชั้นของการส่งถ่ายแรง (LTP) และบนชั้นของดินคันทางจำลองนั้นจะเป็นเบาะลมที่มีขนาดกว้าง และ ยาว 1 เมตร สูง 10 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการให้แรงที่จะมากระทำต่อคันทางจำลอง โดยในส่วนของ การให้แรงกระทำนั้นจะเป็นการอัดแรงดัน (Surface pressure,  $P_m$ ) เข้าไปในเบาะลมในระหว่างการทำการทดสอบ (รูปที่ 2)



รูปที่ 1 แบบจำลอง 3 มิติ

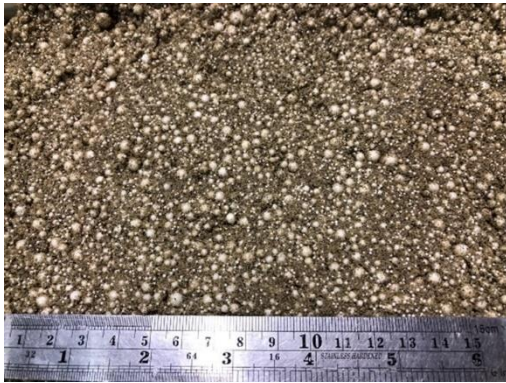


รูปที่ 2 ส่วนประกอบภายในแบบจำลอง

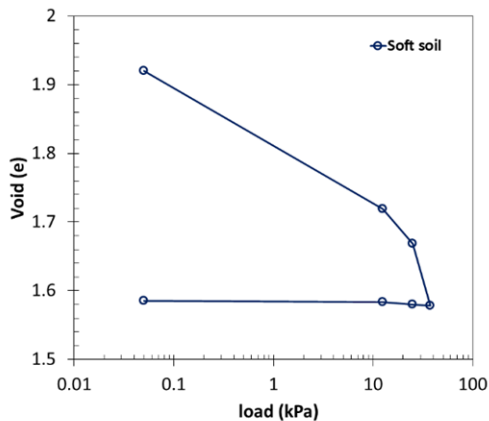
### วัสดุ

ในการทดลองนั้นจะใช้ดินเหนียวอ่อนเสมือน (รูปที่ 3) ที่ได้จากการผสมกันระหว่างทรายและเม็ดโพลีเมอร์โดยมีน้ำเป็นตัวประสานแทนการใช้ดิน

เหนียวอ่อนจริง โดยมีการใช้อัตราส่วนระหว่าง ทราย : น้ำ : โปม คือ 40 : 4 : 1 โดยทรายที่ใช้เป็นส่วนผสมนั้นเป็นทรายละเอียดที่ร่อนผ่าน ตะแกรงเบอร์ #30 ค้างเบอร์ #50 ซึ่งการใช้ดินเหนียวอ่อนแบบนี้จะสนใจเฉพาะในส่วนของการยุบตัวให้เสมือนดินเหนียวอ่อนจริง ([4],[5],[9],[10]) และจากการทดสอบการอัดตัวของดินเหนียวอ่อนเสมือนได้ค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัว ( Compression Index ) เท่ากับ 0.5159 ที่ความหนาแน่นของดินเสมือนเท่ากับ 0.55 t/m<sup>3</sup> (รูปที่ 4)



รูปที่ 3 ดินเหนียวอ่อนเสมือน



รูปที่ 4 กราฟการทดสอบการอัดตัวของตัวอย่างดินอ่อนเสมือน

ในส่วนของวัสดุคัดเลือกคันทางจำลองนั้นจะใช้ทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ #8 ค้างเบอร์ #30 ที่ความหนาแน่น 1.7 t/m<sup>3</sup> มุมเสียดทานภายในเท่ากับ 43° และหินใช้ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ #4 ค้างเบอร์ #16 ที่ความหนาแน่น 1.56 t/m<sup>3</sup> มุมเสียดทานภายในเท่ากับ 37° ในการจำลองเป็นดินคันทางถมกลบหน้าดินอ่อนเสมือน

### เครื่องมือในการบันทึกภาพ

การถ่ายภาพตัวอย่างการทดสอบนั้นจะใช้กล้อง Sony a7 เลนส์ซูมกำลังขยายที่ x70 เท่า ในการเก็บภาพตัวอย่าง ซึ่งจะมีฉากกันแสงเพื่อช่วยในการลดแสงจากภายนอกที่จะเข้ามารบกวนการถ่ายภาพ และยังใช้ไฟ

LED สปอตไลท์สีขาวเข้ามาช่วยเพื่อให้แสงแก่ตัวอย่างสม่ำเสมอจนตลอดทั้งการทดลอง

### ขั้นตอนการทดสอบ

ในตารางที่ 1 แสดงการทดสอบเบื้องต้นในการให้หน่วยแรงที่ต่างกัน และโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล โดยขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบมีดังนี้

- ทำการเตรียมตัวอย่างดินเสมือนในแบบจำลอง
- สร้างชั้นคันทางจำลอง
- วางเบาะลมไว้บนคันทางจำลอง
- ปิดฝาแบบจำลองและล็อกให้สนิท
- ติดตั้งฉากกันแสงและติดตั้งไฟให้แสงสว่าง
- ตั้งกล้อง
- หลังจากทำการปิดฝาแบบจำลองจะปล่อยให้ตัวอย่างเกิดการยุบตัวด้วยน้ำหนักของคันทางจำลองเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- ให้แรงดันพื้นผิว (Surface pressure, P<sub>m</sub>) พร้อมถ่ายภาพ
- วิเคราะห์ภาพถ่าย

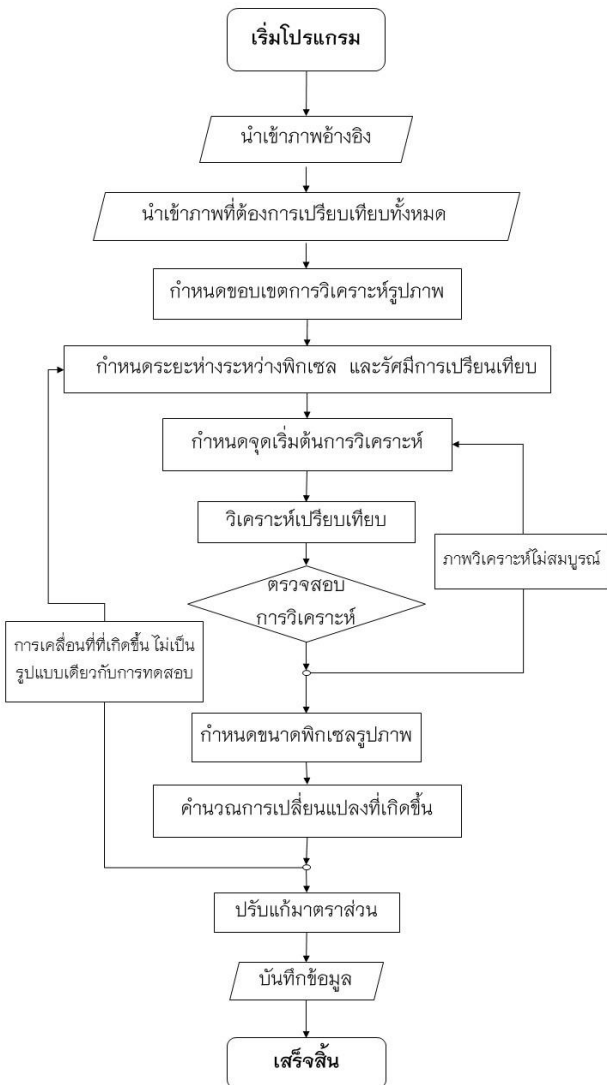
ในการทดสอบแบบหน่วยแรงคงที่นั้นจะทำการให้แรงดันแก่ตัวอย่างเป็น 3 ระดับคือ P<sub>m</sub> = 5, 15 และ 25 kPa โดยทุกระดับการให้แรงดันพื้นผิวนั้นจะทำการปล่อยให้ใช้เวลา 3 ชั่วโมง และในส่วนของการทดสอบแบบวัฏจักรจะมีการให้แรงดันแก่ตัวอย่างแบบการทดสอบหน่วยแรงคงที่ก่อนหลังจากนั้นจะทำการให้แรงแบบวัฏจักร ซึ่งจะทำให้วงรอบแก่การทำวัฏจักรเป็น 5-15 kPa พร้อมทั้งถ่ายภาพของตัวอย่างทุกระดับการให้แรงและจำนวนวงรอบวัฏจักรตามที่กำหนด

### การแปลความหมายวิธีความสัมพันธ์ทางภาพถ่าย ด้วยโปรแกรม NCorr

NCorr เป็นโปรแกรมเสริมของ MATLAB ในรูปแบบของการใช้งานได้ฟรี ที่สามารถวิเคราะห์ภาพถ่าย 2 มิติ ที่มีอยู่หลาย ๆ ภาพเรียงต่อกัน ให้ออกมาในรูปแบบของระดับสีได้ โดยระดับสีที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการประมวลผลของการเปลี่ยนแปลงในแต่ละพิกเซลของภาพแรกแล้วนำไปเปรียบเทียบกับภาพต่อ ๆ ไป และผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมที่ออกมานั้นจะถูกประมวลผลให้อยู่ในรูปแบบของความเครียดซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละตัวอย่างการทดสอบที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ (รูปที่ 5) โดยการใช้งานโปรแกรม NCorr นั้นจำเป็นจะต้องมีโปรแกรม MATLAB และโปรแกรมที่สามารถอ่านค่าภาษา C++ ได้ ในที่นี่จะใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio ในการใช้งานร่วมกับ MATLAB

ตารางที่ 1 การทดสอบ

ชื่อการทดลอง	ชนิดคันทางจำลอง	รูปแบบการทดสอบ (P <sub>m</sub> )	จำนวนรอบ	โปรแกรมวิเคราะห์
M <sub>s</sub> Cyc <sub>s</sub> _5-15	ทราย	คงที่ (5,15,25) วัฏจักร (5-15)	- 500	NCorr NCorr
M <sub>g</sub> Cyc <sub>g</sub> _5-15	หิน	คงที่ (5,15,25) วัฏจักร (5-15)	- 500	NCorr NCorr

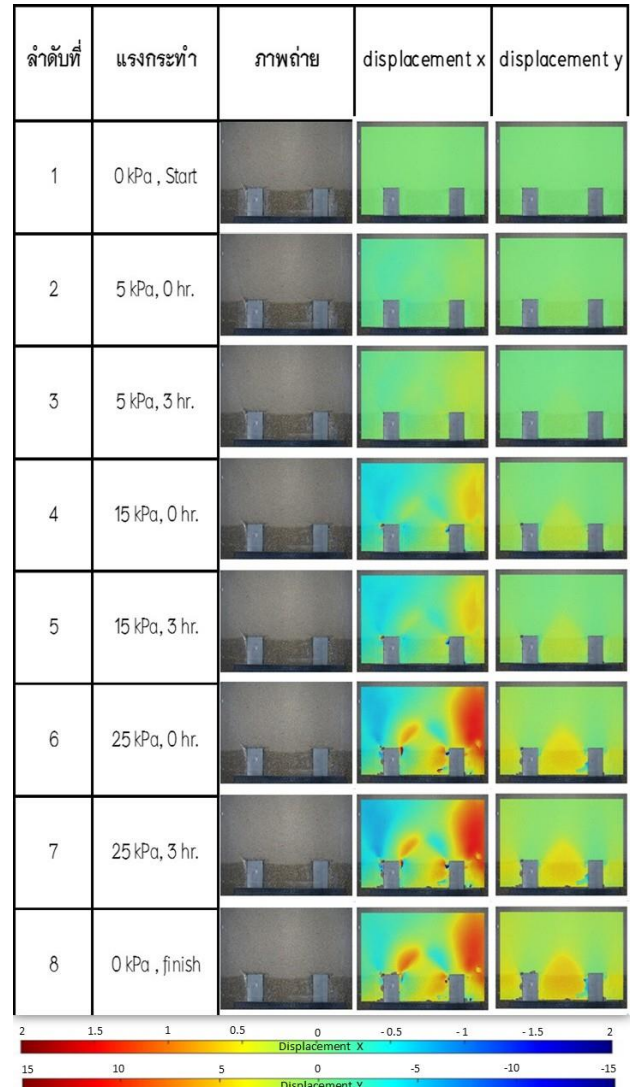


รูปที่ 5 แผนผังการทำงานของ NCCorr

### ผลการทดสอบ

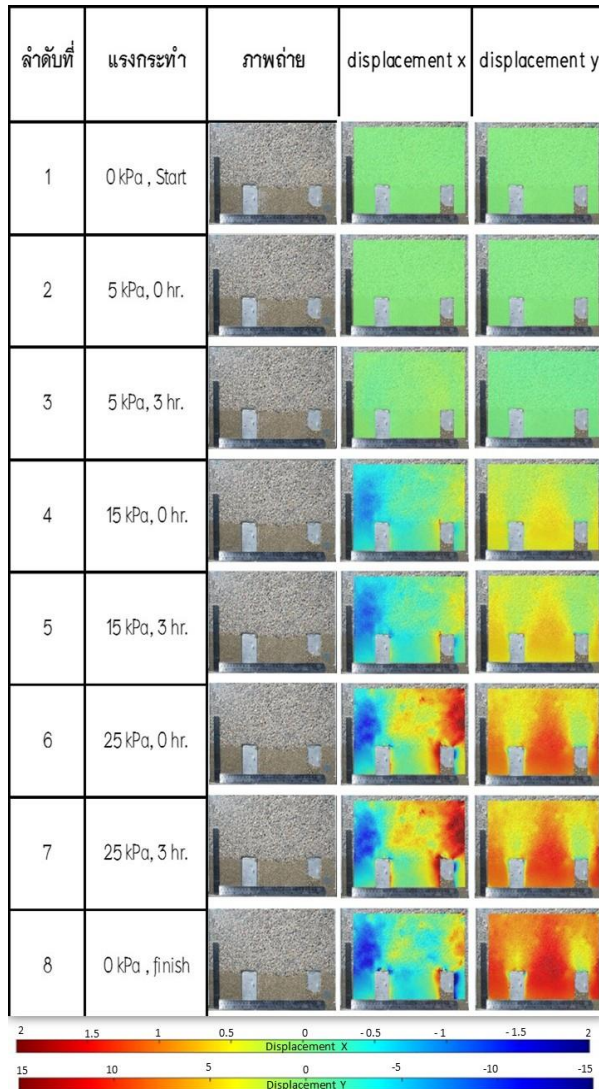
การทดสอบในครั้งนี้เป็นศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงของคันทางจำลอง ที่ใช้วัสดุคัดเลือกที่แตกต่างกัน ภายใต้แรงกระทำแบบคงที่ และแรงกระทำแบบวัฏจักร จากการสังเกตพบว่า พฤติกรรมเคลื่อนที่ของวัสดุคัดเลือกทั้ง 2 ชนิดนั้น ในช่วงแรกที่มีการให้แรง 0 ถึง 5 kPa นั้นมีความคล้ายคลึงกันเป็นอย่างมาก ทั้งการให้แรงแบบคงที่และแบบวัฏจักร ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ (displacement -X) หรือ การ

เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (displacement - Y) แต่หลังจากให้แรง 5 ถึง 15 kPa ไปแล้วนั้น พบว่าพฤติกรรมการถ่ายแรงมีความแตกต่างกันไปในแต่ละวัสดุ และในวัสดุชนิดเดียวกันการถ่ายแรงที่เกิดขึ้นยังคงคล้ายกันอยู่ หลังจากให้แรงกระทำถึง 15 kPa ผ่านแล้วนั้น รูปแบบการถ่ายแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดสอบนั้นมีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง (รูปที่ 6, 7, 8, 9)



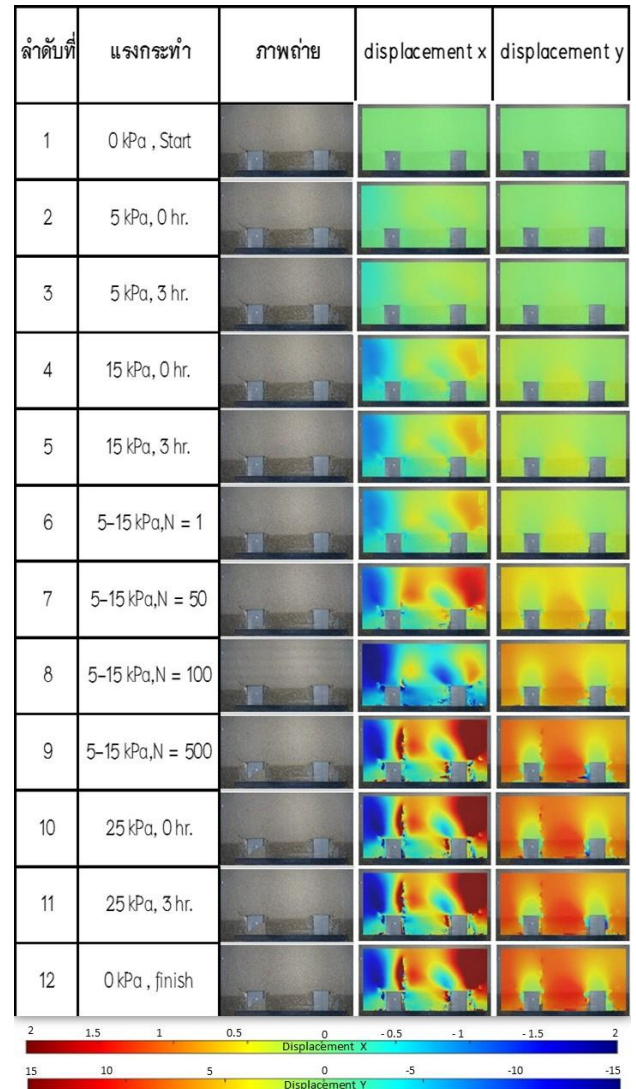
รูปที่ 6 ผลการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงจากดินคันทางสู่เสาเข็มรองรับ ด้วยวิธีความสัมพันธ์ทางภาพถ่าย การทดสอบ M<sub>s</sub>

โดยการถ่ายแรงที่เกิดขึ้นแตกต่างกันนั้น อาจเป็นผลมาจากรูปแบบของแรงกระทำที่ต่างกันรวมถึงชนิดของวัสดุคัดเลือกที่แตกต่างกัน โดยจากการทดสอบนั้นพบว่า การเคลื่อนที่สูงสุดในแนวระนาบ และ แนวตั้ง ในการทดสอบการให้แบบคงที่ของทั้งทราย (M<sub>s</sub>) และ หิน (M<sub>g</sub>) นั้นพบว่าการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ จะมีค่าไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ทั้งทางซ้ายและทางขวา (ค่าบวก เคลื่อนที่ไปทางซ้าย, ค่าลบ เคลื่อนที่ไปทางขวา) ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวตั้งนั้นเมื่อทดสอบเสร็จสิ้นแล้วจะมีค่าไม่สูงไปกว่า 10 มิลลิเมตร ในทิศทางลง (ค่าบวก เคลื่อนที่ลง, ค่าลบ เคลื่อนที่ขึ้น) (รูปที่ 5, 6)

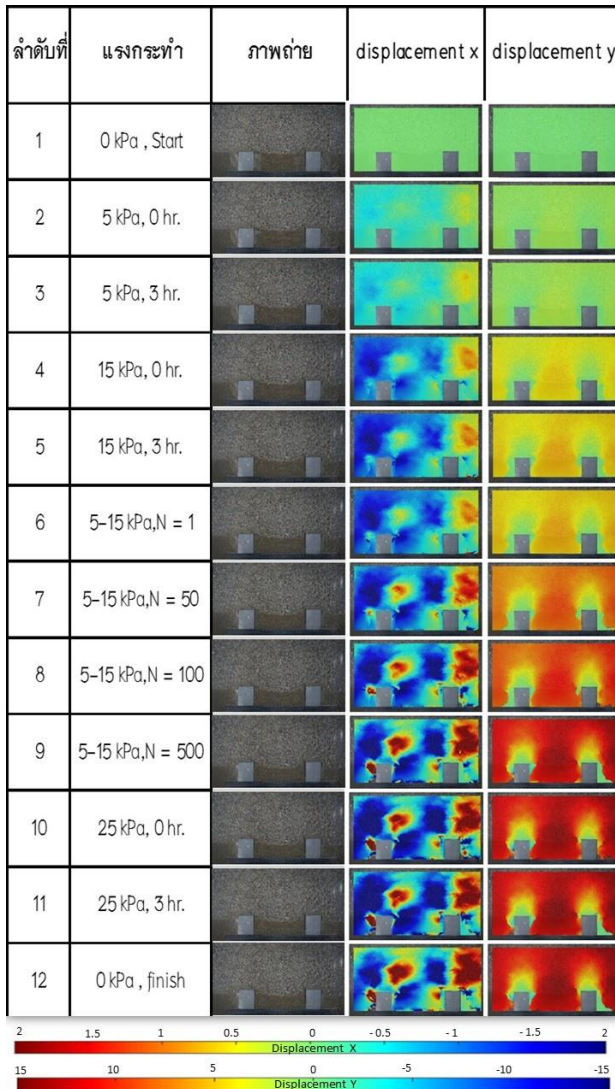


รูปที่ 7 ผลการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงจากดินคั่นทางสู่เสาเข็มรองรับ  
ด้วยวิธีความสัมพันธ์ทางภาพถ่าย การทดสอบ M<sub>g</sub>

การทดสอบแบบวัฏจักรนั้นพบว่า การเคลื่อนที่ในแนวระนาบของวัสดุ ทั้ง 2 ชนิดนั้นจะมีค่าเกินกว่า 2 มิลลิเมตร ทั้งทางซ้ายและทางขวา เมื่อมี วงรอบของแรงกระทำมากขึ้น และการเคลื่อนที่ในแนวระนาบจะ เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และการการเคลื่อนที่ในแนวตั้งนั้นจะแตกต่างกัน โดยผล การทดสอบของทราย (Cyc\_s\_5-15) นั้นพบว่า เมื่อมีวงรอบของแรงมา กระทำมากขึ้นจนถึงสิ้นสุดการทดสอบ การเคลื่อนที่ในแนวตั้งนั้นจะอยู่ ในช่วง 10 ถึง 15 มิลลิเมตรเท่านั้น (รูปที่ 8) หากแต่การทดสอบของหิน (Cyc\_g\_5-15) นั้น เมื่อมีวงรอบของแรงมากขึ้นจนถึงสิ้นสุดการ ทดสอบ การเคลื่อนที่ในแนวตั้งนั้นจะมีค่ามากกว่า 15 มิลลิเมตร ในทิศทาง ลง (รูปที่ 9) และในการทดสอบแบบวัฏจักรนั้นยังสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อทำการ ทดสอบตัวอย่างครบ 500 วงรอบไปแล้ว จากนั้นให้แรงแก่ตัวอย่างเพิ่มขึ้น จาก 15 kPa ไป 25 kPa และทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า การเคลื่อนที่ ที่เกิดขึ้นของตัวอย่างนั้นไม่ได้มีความแตกต่างเพิ่มขึ้นมากนัก



รูปที่ 8 ผลการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงจากดินคั่นทางสู่เสาเข็มรองรับ  
ด้วยวิธีความสัมพันธ์ทางภาพถ่าย การทดสอบ Cyc\_s\_5-15



รูปที่ 9 ผลการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงจากดินคันทงสู่เสาเข็มรองรับ ด้วยวิธีความสัมพันธ์ทางภาพถ่าย การทดสอบ Cyc\_g\_5-15

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการถ่ายแรงจากดินคันทงสู่เสาเข็มรองรับในดินอ่อน ด้วยวิธีความสัมพันธ์ทางภาพถ่ายในครั้งนี้ใช้แบบจำลองทางกายภาพแบบย่อส่วนในการทดสอบ และใช้โปรแกรมเสริมของ MATLAB ที่ชื่อว่า NCorr ในการวิเคราะห์ผลของภาพถ่าย

การใช้ความสัมพันธ์ทางภาพถ่ายมาช่วยศึกษาพฤติกรรมของตัวอย่างในการทดสอบนั้น ทำให้เราสามารถเห็นถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการถ่ายโอนแรงในแต่ละระดับการให้แรงได้อย่างชัดเจน โดยสังเกตได้จากแถบสีที่เกิดขึ้น

จากการทดสอบในครั้งนี้ จะเห็นได้ว่ารูปแบบการให้แรงแบบวัฏจักรนั้น จะส่งผลให้ตัวอย่างทดสอบได้รับแรงที่มากกว่าการให้แรงแบบคงที่อย่างเห็นได้ชัดเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ ทั้งนี้วัสดุที่ต่างชนิดกันยังส่งผลให้การถ่ายแรงที่เกิดขึ้นแตกต่างกันไปอีกด้วย

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม NCorr ทำให้เห็นถึงลักษณะพฤติกรรมของการเคลื่อนที่และถ่ายแรงของวัสดุที่นำมาทำเป็นคันทงจำลอง โดยจากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า การเคลื่อนที่ในแนวระนาบนั้นเกิดการเคลื่อนที่ไปทั้งทางซ้ายและทางขวาทุกการทดลอง แต่การเคลื่อนที่ในแนวตั้งนั้นจะเกิดขึ้นเฉพาะทิศทางลงเท่านั้น เป็นผลมาจากการให้แรงคันทงพื้นผิวแก่ตัวอย่างทดสอบที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างการทดสอบการให้แรงแบบคงที่ของทรายกับหิน และการทดสอบการให้แรงแบบวัฏจักรของทรายกับหิน จะเห็นได้คันทงจำลองที่เป็นทรายนั้นจะมีการเคลื่อนที่ในทิศทางลงในแนวตั้งน้อยกว่าคันทงจำลองที่เป็นหิน

การศึกษารุ่นนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการของงานวิจัยต่างประเทศที่เคยมีการทดลองมาแล้วมาปรับใช้ให้มีรูปแบบตามที่ต้องการ โดยจะใช้ทรายผสมกับโพลีเมอร์เพื่อจำลองเป็นดินเหนียวอ่อน และปรับเปลี่ยนรูปแบบการให้แรงแก่ตัวอย่างทดสอบเพื่อให้มีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด ในส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยภาพถ่ายนั้น เป็นวิธีการที่เริ่มจะเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายต่อการสังเกตผลและเปรียบเทียบของการทดสอบ และยังเป็นวิธีที่มีความแม่นยำค่อนข้างสูง

และการศึกษารุ่นนี้ได้นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผลจากภาพถ่ายมาเปรียบเทียบกับผลของค่า LVDT ในการทดสอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว พบว่ามีความใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก หากแต่ไม่ได้นำผลของ LVDT มานำเสนอในรายงานนี้ด้วย

ในอนาคตควรมีการเปรียบเทียบผลของภาพถ่าย ภายใต้การทดสอบเดียวกันทั้ง 4 ด้านของแบบจำลองทางกายภาพว่ารูปแบบการถ่ายโอนแรงที่เกิดขึ้นนั้นมีความคล้ายคลึงกันหรือไม่ และควรมีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัวของดินเหนียวอ่อนเสมือนให้มีความใกล้เคียงกับดินเหนียวอ่อนจริงตามที่ต้องการทดสอบ เพื่อให้ผลของการทดสอบนั้นมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก มหาวิทยาลัยพะเยา สัญญาหมายเลข RD61091 และทางผู้วิจัยยังขอขอบคุณ โครงการ Junior Fellowship Program 2019 โดย Campus France Thailand อีกทั้ง 3SR Laboratory, Grenoble สำหรับการช่วยเหลือทางด้านเทคนิคและคำแนะนำในการทดสอบ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Blanc M., Rault G., Thorel L., and Almeida M., Centrifuge investigation of load transfer mechanisms in a granular mattress above a rigid inclusions network. Geotext and Geomembrane, Vol 36, 2013, pp. 92-105.
- [2] Houda M., Jenck O. and Emeriault F., Physical evidence of the effect of vertical cyclic loading on soil

- improvement by rigid piles: a small-scale laboratory experiment using digital image correlation. *Acta Geotechnica*, Vol. 11, Issue 2, 2016, pp. 325–356.
- [3] Houda M., Jenck O. and Emeriault F. Rigid pile improvement under vertical cyclic loading: 1g laboratory small-scale modelling. *Int. J. of Physical Modelling in Geotechnics*, 19(2), 2019, pp. 89-103.
- [4] Jenck O., Dias D. and Kastner R., Two-dimensional physical and numerical modeling of a pile-supported earth platform over soft soil. *J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 133, Issue 3, 2007, pp. 295–305.
- [5] Jenck O., Dias D. and Kastner R., Three dimensional numerical modelling of a piled embankment. *International Journal of Geomechanics*, Vol. 9, Issue 3, 2009, pp. 102-112.
- [6] Kongkitkul W., Chaiyaporn U., Youwai S. and Jongpradist P., Role of geogrids in load transfer of pile-supported embankments. *Ground Improvement*, Vol. 165, Issue G14, 2012, pp. 239-248.
- [7] Okyay U.S., Dias D., Thorel L. and Rault G., Centrifuge modeling of a pile-supported granular earth-platform. *J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 140, Issue (2), 2014.
- [8] Nunez M., Dias D., Kastner R., Poilpre C., Soft ground improved by rigid vertical piles. Experimental and numerical study of two real cases in France. *Proc. of the 6th Int. Conf. on Case Histories in Geotechnical Engineering*. Arlington VA. 2008. p.1-10
- [9] Van Eekelen S.J.M., Bezuijen A., and Van Tol A.F., Model experiments on piled embankments. Part I. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 32, 2012, pp. 69–81.
- [10] Van Eekelen S.J.M., Bezuijen A. and Van Tol A.F., Model experiments on piled embankments. Part II. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 32, pp. 82–94.
- [11] Heitz C., Luking J. and Kempfert H.G., Geosynthetic reinforced and pile supported embankments under static and cyclic Loading. *Proceedings of the 4th European Geosynthetics Conference Euro-Geo4*, Edinburgh, UK. UK Chapter of the International Geosynthetic Society, Blackburn, UK, paper number 215.
- [12] Gou Q., Wang H., Gao Y., Jiao Y., Liu F. and Dong Z., Investigation of the low-temperature properties and cracking resistance of fiber-reinforced asphalt concrete using the DIC technique. *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 229, 2020.