

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรรทุกออกแบบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มตาลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ชยุตม์พงศ์ สุนันทวิทย์^{1*} พงศกร พวงชมพู²

คณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น^{1,2}

อีเมล : chayut_sunan@hotmail.com^{1*}

วันที่รับบทความ 18 กุมภาพันธ์ 2567

วันแก้ไขบทความ 4 เมษายน 2567

วันตอบรับบทความ 19 เมษายน 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรรทุกออกแบบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มตาลโดยการแปลงผลการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์ และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Plaxis 2D) ของโครงการก่อสร้างสายทางเลี่ยงเมืองหนองคาย (ด้านตะวันออก) ตอน 1 เพื่อนำผลที่ได้มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพในการก่อสร้างหรือพื้นที่ใกล้เคียง เสาเข็มเจาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50, 1.20 และ 0.80 เมตร ยาว 13.00 เมตร แรงอัดที่ออกแบบ 600, 450 และ 300 ตัน ตามลำดับ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ใช้ข้อมูลชั้นดินจากผลเจาะสำรวจของหลุมเจาะ BH-2, BH-1, BH-4 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรรทุกออกแบบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มตาล เป็นไปตามสมการเชิงเส้น $y = 498.04x - 76.547$ มีค่า R-Square = 0.8259 ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ เพื่อนำไปประมาณน้ำหนักรรทุกออกแบบเสาเข็มตาลเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ ที่ความยาวคงที่ 13.00 เมตรในการก่อสร้างต่อไป

คำสำคัญ : ไฟไนต์เอลิเมนต์ น้ำหนักรรทุกออกแบบ เสาเข็มตาล การทดสอบเสาเข็ม

Study of Relationship between the Design Load Capacity of End Bearing Pile and the Diameter by Finite Element Method

Chayutpong Sunanthawit ^{1*}, Pongsagorn Pongchompu ²

Department of Civil Engineering, Rajamangala University of Technology Isan
Khon Kaen Campus ^{1*,2}

E – mail : chayut_sunan@hotmail.com ^{1*}

Received 18 February 2024

Revised 4 April 2024

Accepted 19 April 2024

Abstract

This research was a study of the relationship between the design load capacity and the diameter of the end bearing pile by interpreting the results of the static pile load and the Finite Element Method (Plaxis 2D) of Mueang Nong Khai bypass construction project (East) Section 1 so as to utilize the results for design and construction in the project or nearby areas. The bored piles' diameters were 1.50, 1.20, and 0.80 meters, their length was 13.00 meters, and designed compressive strengths of 600, 450, and 300 tons, respectively. Finite element analysis was based on soil layer information from the results of surveyed boreholes BH-2, BH-1, and BH-4, resulting in the relationship between the design load capacity and the diameter of the end bearing pile in line with the linear equation $y = 498.04x - 76.547$ with R-Square value of 0.8259, which was acceptable for estimating the design load capacity of end bearing piles

Keywords : Finite element, Design load capacity, End bearing pile, Pile load test

1. บทนำ

เสาเข็มเจาะตล เป็นเสาเข็มคอนกรีตหล่อในที่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ที่ใช้กันทั่วไปเพื่อรองรับอาคารและโครงสร้างเมื่อรับน้ำหนักกระทำลงเสา การออกแบบเสาเข็มเจาะตลนั้น ผู้ออกแบบหรือวิศวกรธรณีเทคนิคของโครงการจะต้องประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มโดยพิจารณาจากสภาพพื้นดินบริเวณพื้นที่โครงการ วิธีหนึ่งในการประมาณค่ากำลังของเสาเข็มคือการคำนวณโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของดินที่ได้รับจากข้อมูลการเจาะสำรวจดิน อนึ่งผู้ควบคุมงานก่อสร้างต้องมีความเข้มงวดในการควบคุมเพื่อให้ได้คุณภาพและมาตรฐาน เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการใช้ข้อมูล และพารามิเตอร์ในการทดสอบเสาเข็ม แม้ว่าวิธีการออกแบบเสาเข็มหลายวิธีจะเป็นแบบเชิงประสบการณ์ (Empirical methods) แต่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มอาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆ เช่น วิธีการติดตั้ง คุณภาพของฝีมือ และคุณภาพของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ ดังนั้นการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มจึงเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบเสาเข็มที่ไม่ควรมองข้าม การประเมินที่ตรงตามพฤติกรรม การรับน้ำหนักอย่างแท้จริงของเสาเข็มนั้นสามารถทำการทดสอบได้โดยวิธีทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะตลในสนามแบบสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) ASTM D 1143 (ASTM. 1994) โดยผลการทดสอบจะแสดงอยู่ในรูปของกราฟระยะทรุดของหัวเสาเข็มที่สัมพันธ์กับน้ำหนักกดทดสอบ น้ำหนักกดทดสอบกับเวลา และระยะทรุดของหัวเสาเข็มกับเวลา จากกราฟจะสามารถระบุถึงกำลังบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มได้ แต่อาจมีปัจจัยบางอย่างทำให้เกิดปัญหาและความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นได้ในการทดสอบเสาเข็มภาคสนามขนาดใหญ่ เช่น ความไม่สม่ำเสมอของชั้นดิน ชั้นดินมีความแปรปรวน การขาดแคลนข้อมูลของชั้นดินที่นำมาออกแบบเสาเข็มเสมอ ดังรูปที่ 1 (ก) (Cameron and Ellis. 2016) และ (ข) (154thmedia. 2011) ปัจจุบันการใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ ออกแบบ แก้ปัญหา ได้รับความนิยอย่างสูง เช่นวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite element method; FEM), วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite difference method (FDM) เป็นต้น



(ก)

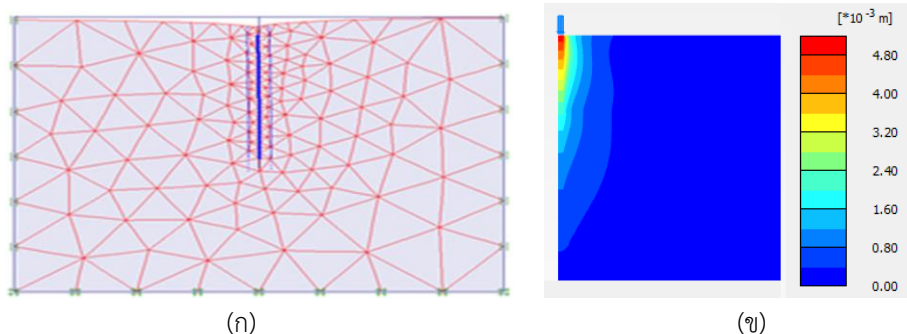


(ข)

รูปที่ 1 ความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มขนาดใหญ่

ที่มา : (ก) (Cameron and Ellis. 2016) และ (ข) (154thmedia. 2011)

การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์เป็นการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน โดยครอบคลุมข้อกำหนดสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของดินได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับพฤติกรรมของดิน ตลอดจนเงื่อนไขขอบเขตที่สะท้อนความเป็นจริงที่สุดของสภาพปัญหาจริงในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค (สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง. 2550) ทำให้สามารถทราบขอบเขตที่จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียงจากการก่อสร้าง แสดงขนาดการเคลื่อนตัว และการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้น (ก) (Ghiasi and Eskandari. 2023) และ (ข) (เทิดศักดิ์ เลไธสง และพงศกร พวงชมพู. 2564) ดังรูปที่ 2 ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Plaxis 2D



รูปที่ 2 โปรแกรม Plaxis 2D ที่ใช้วิเคราะห์พฤติกรรมของดินในงานวิศวกรรมธรณี

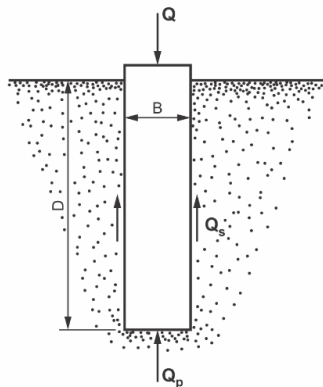
การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาโครงการก่อสร้างทางเลี่ยงเมืองหนองคาย (ด้านตะวันออก) ตอน 1 จ.หนองคาย 1 แห่ง เป็นการก่อสร้างสะพานทางแยกต่างระดับและทางระดับราบ ซึ่งเส้นทางนี้สามารถเชื่อมโยงทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) กับทางหลวงหมายเลข 212 จึงเป็นทางเลือกอีกเส้นทางที่สามารถอำนวยความสะดวกแก่ผู้เดินทางโดยไม่ต้องผ่านตัวเมืองหนองคาย มีโครงสร้างฐานรากบนเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 , 1.20 , 0.80 เมตร ยาวประมาณ 13.00 เมตร ผลเจาะสำรวจของหลุมเจาะ BH-2, BH-1, BH-4 ตามลำดับ ทั้งสามหลุมเจาะประกอบด้วยดิน 3 ชั้น ชั้นที่ 1 เป็นดินเหนียวแข็ง (Hard) มีความเป็นพลาสติกต่ำ (CL) หนา 6.00 เมตร ชั้นที่ 2 เป็นดินเหนียวแข็ง (Hard) มีความเป็นพลาสติกต่ำ (CL) หนา 5.00 เมตรชั้นที่ 3 เป็นดินเหนียวแข็ง (Hard) ระดับน้ำใต้ดิน 3.00 เมตรจากผิวดิน



รูปที่ 3 ตำแหน่งที่ทำการศึกษ จุดตัดทางหลวงหมายเลข 2 ตอน น้ำสวย – สะพานมิตรภาพที่หนองคาย (เขตแดนไทย/ลาว) กับทางหลวงหมายเลข 247 ตอน ทางเลี่ยงเมืองหนองคาย (17.812992,102.759076) ที่มา : <https://earth.google.com/>

การถ่ายน้ำหนักของเสาเข็มเดียวนั้นจะถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างสู่ดินโดยผ่านความเสียดทานระหว่างเสาเข็มและดิน (Skin friction) และแรงแบทานที่ปลายเข็ม (End bearing) ดังแสดงในรูปที่ 4 ความเสียดทานระหว่างเสาเข็มและดิน คือผลรวมของแรงเสียดทานอันเกิดจากแรงยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างเสาเข็มและดินตลอดความยาวเสาเข็ม ส่วนแรงแบทานที่ปลายเข็มคือกำลังรับแรงแบทานของดินที่ปลายเข็ม (สฤษดิ์ หอพิบูลสุข. 2549)

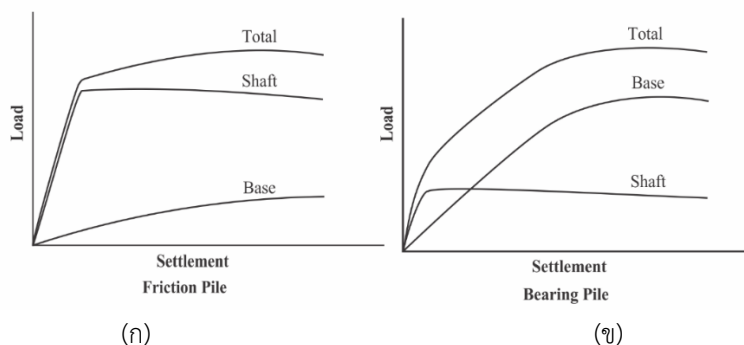
Vesic (1977) ได้เสนอเกณฑ์ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ระบุว่ากำลังประลัยของเสาเข็ม Q_{ult} คือ น้ำหนักกดที่ทำให้เกิดการทรุดตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างเสาเข็มในกรณีของเสาเข็มตอก และ 25 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างเสาเข็มในกรณีของเสาเข็มเจาะ Q_{ult}



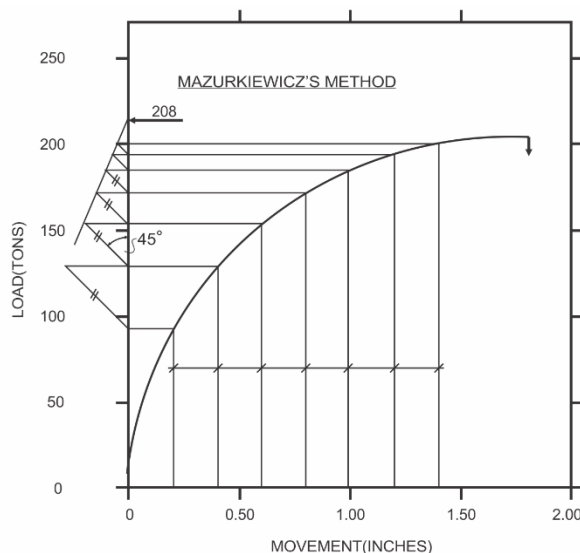
รูปที่ 4 แสดงแรงต้านทานต่อการกดของเสาเข็ม (Vesic. 1977)

Whitaker and Cooke (1966) ศึกษาอิทธิพลของรูปร่างเสาเข็มต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนัก โดยติดตั้งมาตรวัดแรง (Load cell) ที่ผิวและปลายเสาเข็ม ผลทดสอบปรากฏว่าเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำบนเสาเข็ม แรงเสียดทานรอบเสาเข็มจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับการเคลื่อนตัว แรงเสียดทานนี้เกิดขึ้นอย่างเต็มที่ เมื่อเกิดการเคลื่อนตัวของเสาเข็มเพียงแค่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม ต่อจากนั้นแรงเสียดทานนี้อาจมีค่าคงที่หรือลดลงตามการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม ในขณะที่แรงแบกทานที่ปลายเข็มจะเกิดขึ้นอย่างเต็มที่เมื่อเกิดการทรุดตัวประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายเข็ม ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัว (Total load-settlement curve) ของเสาเข็มเสียดทานและเสาเข็มดลแสดงดังรูปที่ 5

ผลทดสอบเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวจะถูกนำมาใช้ในการหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มด้วยวิธีการแปลผล ซึ่งมีอยู่ 6 วิธี แต่ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย ได้แก่วิธีของ Davission (1972) และวิธีของ Mazurkiewicz (1972) ดังรูปที่ 6 การศึกษานี้ใช้วิธีของ วิธีของ Mazurkiewicz ซึ่งข้อมูลในการศึกษานี้มีความสอดคล้องกับวิธีนี้



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการทรุดตัวของเสาเข็มเจาะ (ก) เสาเข็มแรงเสียดทาน (ข) เสาเข็มดล (Burland and Cooke. 1974)



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มโดยวิธี Mazurkiewicz (Mazurkiewicz. 1972)

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกออกแบบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มคาล โดย การแปลผลทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) ภาคสนามและวิธีไฟไนต์ อีลิเมนต์ (Plaxis 2D)

2.2 เพื่อนำผลที่ได้มาใช้ประโยชน์ในออกแบบและการก่อสร้างในโครงการหรือพื้นที่ใกล้เคียง

3. วิธีการวิจัย

3.1 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม การวิจัยนี้ทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบ สถิตยศาสตร์ (Static pile load test) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 1143 (ASTM. 1994)

3.1.1 ให้น้ำหนักบรรทุกแบบมาตรฐาน (Standard loading procedure) โดยเพิ่มแรงอัดครั้งละ 25 เปอร์เซ็นต์ของแรงอัดที่ออกแบบจนถึง 200 เปอร์เซ็นต์ของแรงอัดที่ออกแบบและลดแรงอัดลงครั้งละ 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงอัดที่ออกแบบ (แรงอัดที่ออกแบบ 600 ตัน ,450 ตัน และ 300 ตัน สัดส่วนความปลอดภัย 2.0 แรงอัด ทดสอบเท่ากับ 1,200 ตัน ,900 ตัน และ 600 ตัน ตามลำดับ)

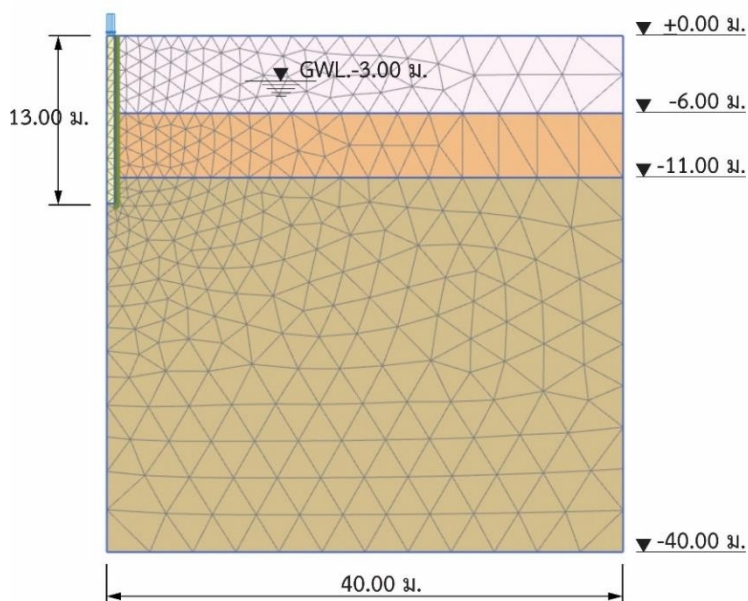
3.1.2 การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกแต่ละขั้นตอน ต้องรักษาน้ำหนักบรรทุกนั้น ๆ อย่างน้อยที่สุด 1 ชั่วโมง หากอัตราการทรุดตัวไม่เกิน 0.25 มม. ต่อชั่วโมง ให้ขึ้นน้ำหนักถัดไปได้ แต่ถ้าอัตราการทรุดตัวเกิน 0.25 มม. ต่อ ชั่วโมง ให้คงน้ำหนักบรรทุกนั้น ๆ ไว้จนครบ 2 ชั่วโมง แล้วจึงขึ้นน้ำหนักบรรทุกถัดไป

3.1.3 ที่น้ำหนักบรรทุกออกแบบและน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ให้คงน้ำหนักบรรทุกไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง เว้นแต่การจมของหัวเสาเข็มเกิน 15 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม จะจดบันทึกที่เวลา 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 90, 120 นาที และทุก 2 ชั่วโมง สำหรับเวลาที่เหลือ

3.1.4 การลดน้ำหนักบรรทุก ลดน้ำหนักลงทีละขั้นทุก 1 ชั่วโมงจนน้ำหนักทดสอบเป็นศูนย์ อ่านค่าคิน ตัวจนกระทั่งการคินตัวจะหยุดและต้องการคินตัวเป็นเวลาไม่มากกว่า 1 ชั่วโมง การอ่านค่าและจดบันทึก จะจด บันทึกที่เวลา 1, 2, 4, 8, 15, 30 และ 60 นาที

3.1.5 ทำการแปลผลการรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบของเสาเข็มด้วยวิธีของ Mazurkiewicz (1972)

3.2 วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการจำลองพฤติกรรมของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 ,1.20 ,0.80 ม. ยาว 13.00 ม. โดยใช้พารามิเตอร์คุณสมบัติทางวิศวกรรมจากผลเจาะสำรวจของหลุมเจาะ BH-2, BH-1, BH-4 ตามลำดับ จำลองปัญหาเป็นแบบสมมาตรรอบแกน (Axisymmetry) เมื่อหมุนรอบแกนในแนวดิ่งซึ่งเป็นแกนสมมาตรปัญหาจะเป็นปัญหาความเครียดระนาบซึ่งการยืดหรือหดตัวในทิศทางเชิงมุมจะเท่ากับศูนย์ (อักษิต คำภาหล้า. 2548 : 54) วัสดุที่ใช้กำหนดเป็นอีลิเมนต์แบบ 15 จุด (Node) กำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบอัตโนมัติ มิติในแนวราบเท่ากับ 40 เมตร (มากกว่า 2L) และสัดส่วนในแนวดิ่งเท่ากับ 40 เมตร (มากกว่า 2.5L) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นแบบอิลาสติกพลาสติก - มอร์คูลอมป์ (Elastic-Plastic Mohr-Coulomb) การวิเคราะห์เป็นกรณีไม่ระบายน้ำ (Undrained analysis) และใช้ค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength, S_u) ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 7 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อใช้ในการจำลองพฤติกรรมของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 ม. ยาว 13.00 ม.

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

	γ^* kN/m ³	E^{**} kN/m ²	ν^{**} -	$S_{u\text{ Avg}}^*$ kN/m ²	ϕ^* degree	ψ^* degree
Layer1-Clay(CL)	18.50	125.0×10 ³	0.35	250.00	0	0
Layer2-Clay(CL)	19.30	225.0×10 ³	0.32	450.00	0	0
Layer3-Clay(CL)	21.50	450.0×10 ³	0.29	900.00	0	0
Pile	24.00	30.00×10 ⁶	0.10	0	0	0

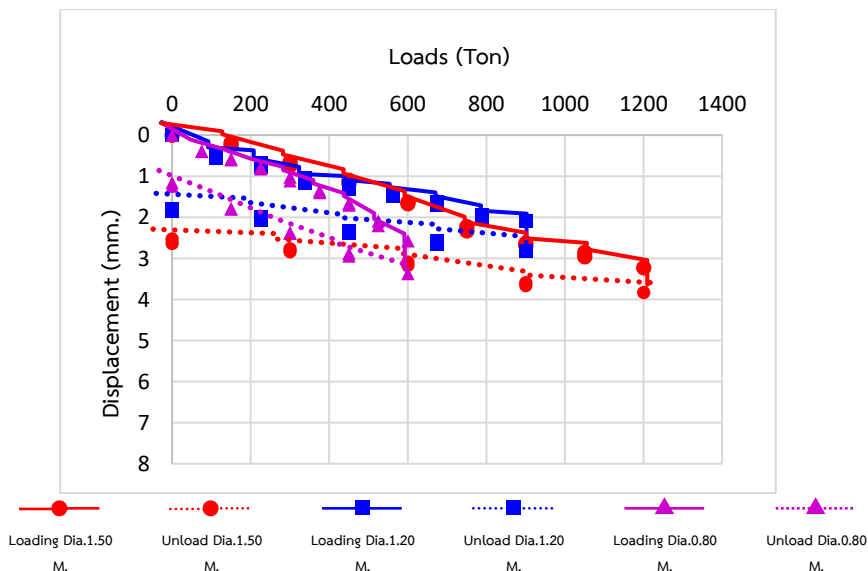
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 การศึกษาการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบของเสาเข็มคาลแบบสถิตยศาสตร์ (Static pile load test)

ผลการทดสอบในสนามจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) รูปที่ 7 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม 1.50 ม.ที่น้ำหนักบรรทุก 1200 ตัน การทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม 3.83 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม 1.20 ม.ที่น้ำหนักบรรทุก 900 ตัน การทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม 2.82 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม 0.80 ม.ที่น้ำหนักบรรทุก 600 ตัน การทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม 3.37 มิลลิเมตรตามลำดับค่าไปแปลผลโดยวิธีของ Mazurkiewicz (1972) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม 1.50 ม.ที่น้ำหนักบรรทุกออกแบบที่ 600 ตัน ได้การทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม 5.89 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม 1.20 ม.ที่น้ำหนักบรรทุกออกแบบที่ 450 ตัน การทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม 4.34 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม 0.80 ม.ที่น้ำหนักบรรทุกออกแบบที่ 600 ตันการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม 3.18 มม. ดังตารางที่ 2



รูปที่ 8 ภาพถ่ายขณะทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก (Static pile load test)



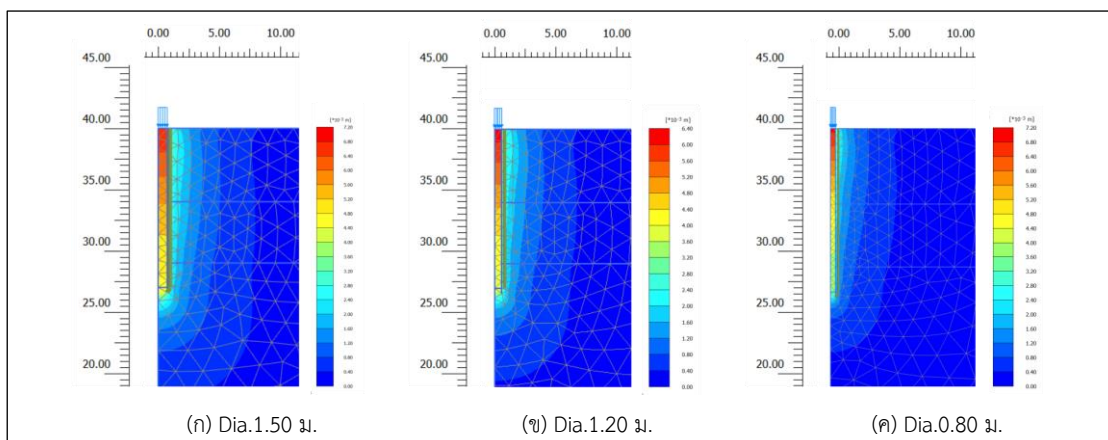
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็ม จากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์ (Static pile load test)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบของเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) ของเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 ,1.20 ,0.80 ม. ความยาว 13.00 เมตรที่ได้จากการแปลผล

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (ม.)	น้ำหนักบรรทุกทดสอบ (ตัน)	ค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม (มม.)
1.50	600	5.890
1.20	450	4.340
0.80	300	3.180

4.2 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 การศึกษาการประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบของเสาเข็มตามวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

วิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของดินในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มทั้ง 3 ขนาด โดยจำลองตามสถานะการก่อสร้าง (Stage of construction) เหมือนกับการทดสอบจริง โดยใช้พารามิเตอร์คุณสมบัติของดินจากผลเจาะสำรวจของหลุมเจาะ BH-2, BH-1, BH-4 ตามลำดับได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม 1.50 ม.ที่น้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบที่ 600 ตัน การทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม 3.354 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม 1.20 ม.ที่น้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบที่ 450 ตัน การทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม 3.103 มม.ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม 0.80 ม.ที่น้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบที่ 600 ตันการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม 3.427 มม.ดังตารางที่ 3 การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มตรงตามผลเจาะสำรวจดิน จากรูปที่ 10 การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงสุด จะเกิดความเค้นสูงสุดบริเวณส่วนบนจุดที่รับน้ำหนักบรรทุกแล้วลดความเข้มข้นลงตามลำดับไปตามความลึกของเสาเข็มส่วนความเค้นในแนวราบลดลงไปตามแนวรัศมีเช่นเดียวกัน (เท็ดคักดี เลไฮสง และพงศกร พวงชมภู. 2564) ความเค้นของเสาเข็มทั้งสามขนาดแสดงให้เห็นว่า น้ำหนักบรรทุกที่มากกว่าความเค้นจะมีขอบเขตกระทำที่กว้างกว่าเสาเข็มที่มีขนาดน้ำหนักบรรทุกที่น้อยกว่า ดังรูปที่ 10 (ก) (ข) และ (ค)

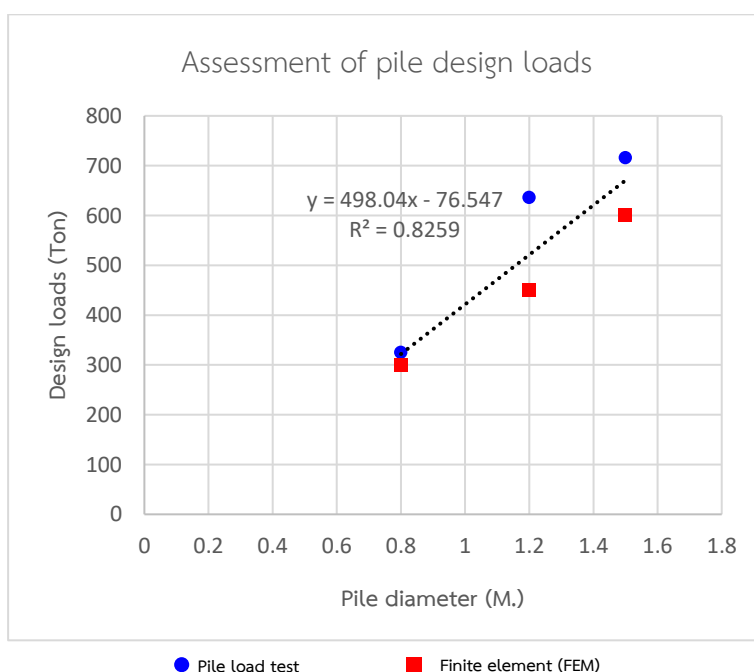


รูปที่ 10 การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50, 1.20 และ 0.80 ม.

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Plaxis 2D) ทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบของเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 ,1.20 ,0.80 ม. ความยาว 13.00 เมตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (ม.)	น้ำหนักบรรทุกทดสอบ (ตัน)	ค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม (มม.)
1.50	600	3.354
1.20	450	3.103
0.80	300	3.427

4.3 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 อธิบายความสัมพันธ์ จากนั้นนำค่าจากตารางที่ 2 และตารางที่ 3 มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง จะได้ค่า R-Square เท่ากับ 0.8259 และได้สมการเชิงเส้น เท่ากับ $y = 498.04x - 76.547$ (เมื่อ x = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม หน่วยเป็นเมตร และ y = น้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบ หน่วยเป็นตัน) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการประมาณน้ำหนักบรรทุกออกแบบกับเสาเข็มตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ ที่ความยาวของเสาเข็มคงที่ 13.00 ม.



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มเจาะตาม

ตัวอย่าง การประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบของเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.00 เมตร

จากสมการ $y = 498.04x - 76.547$

เมื่อ x = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม หน่วยเป็นเมตร

และ y = น้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบ หน่วยเป็นตัน

แทนค่าสมการ $y = 498.04(1.00) - 76.547$

$y = 421.49$ ตัน

5. อภิปรายผลและสรุปผล

ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มตาล โดยการแปลผลทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) ภาคสนาม และวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Plaxis 2D) ของโครงการก่อสร้างสายทางเลี่ยงเมืองหนองคาย (ด้านตะวันออก) ตอน 1 จ.หนองคาย จากเสาเข็มทดสอบทั้งสามขนาด สรุปได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มตาลได้ค่า R-Square เท่ากับ 0.8259 และได้สมการเชิงเส้นเท่ากับ $y=498.04x-76.547$
2. ภาพการกระจายตัวของความเค้นและการกระจายด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์ทำให้สามารถประมาณขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการก่อสร้างของโครงการ
3. เสาเข็มที่ได้รับน้ำหนักบรรทุกมากกว่า ขอบเขตที่กระทำจะมีขนาดกว้างกว่าเสาเข็มที่ได้รับน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่าทุกทิศทาง
4. วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Plaxis 2D) สามารถอธิบายพฤติกรรมของดินที่ซับซ้อน ซึ่งผลวิเคราะห์ที่ได้นำมาใช้ประโยชน์ในการออกแบบและการก่อสร้างในโครงการหรือพื้นที่ใกล้เคียง

6. ข้อเสนอแนะ

อย่างไรก็ตามการประมาณน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบยังจำเป็นต้องใช้ข้อมูลภาคสนามที่มากกว่านี้ เพื่อให้มีความเชื่อมั่นในการประเมินมากขึ้น อีกทั้งควรมีการทดสอบเสาเข็มแบบให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเสาเข็มวิบัติ เพื่อให้เป็นข้อมูลในการแปลผลที่มีความเชื่อมั่น และมีความถูกต้องตามหลักวิชาการ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการก่อสร้างสายทางเลี่ยงเมืองหนองคาย (ด้านตะวันออก) ตอน 1 จ.หนองคาย 1 แห่ง ที่ให้ข้อมูลความสะดวกในการวิจัย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสร้างสรรค์ ปีงบประมาณ 2566 ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ประโยชน์จากงบประมาณดังกล่าว จนกระทั่งสำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- เทิดศักดิ์ เลไธสง และพงศกร พวงชมพู. (2564). การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การต้านแรงกดของดินโดยการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มและการวิเคราะห์เชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.
- สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรอง. (2550). วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุขสันต์ หอพิบูลสุข. (2549). วิศวกรรมฐานราก. เอกสารประกอบการสอนวิชา วิศวกรรมฐานราก (Foundation engineering). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี : 127-159.
- อภิชาติ คำภะลา. (2548). การทำนายกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มกดสำหรับงานเสริมฐานรากอาคารภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- 154thmedia. (2011). "Pile Load Test FAIL! Concrete blocks collapse at Gilstead Rd S'pore~!! - 16 Jan2011". [Onlinet]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=NoY4AA-8Ui4&t=10s>. Retrieved April 19, 2023.
- ASTM D-1143-81 (Reapproved 1994). Standard test method for piles under static axial compressive load.



- Burland, B. and Cooke, W. (1974). "The design of bored piles in stiff clays". **Ground engineering**. 7(4) : 29.
- Cameron, K. and Ellis, M. (2016). "Federation of Piling Specialists. Handbook on Pile Load Testing FPS". [Online]. Available : <https://www.fps.org.uk/content/uploads/2018/12/06-02-27-load-testing-handbook-2006.pdf>. Retrieved January 05, 2024.
- Davisson, T. (1972). "High capacity piles". **Proceedings, Lecture Series, Innovations in Foundation Construction ASCE**, Illinois Section : 52.
- Ghiasi, V. and Eskandari, S. (2023). "Comparing a single pile's axial bearing capacity using numerical modeling and analytical techniques." **Journal of Results in Engineering**. 17: 100893
- Google.com. [Online]. Available from: <https://earth.google.com/>: (17.812992,102.759076)
- Mazurkiewicz, K. (1972). **Test loading of piles according to polish regulations**. Preliminary report no.35, Commission on Pile Research, Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, Stockholm.
- Vesic, A. (1977). **Design of pile foundations**. National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Practice No. 42, Transportation Research Board, National Research council, Washington DC.
- Whitaker, T. and Cooke, W. (1966). An investigation of the shaft and base resistance of large bored piles in London clay. **Proceedings of Conference on Large Bored Piles**, ICE, London: 7-49.

คุณค่าทางวิชาการ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มตาลด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์นี้ จะทำให้สามารถประมาณขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการก่อสร้างของโครงการและใช้ประโยชน์เพื่อเป็นฐานข้อมูลทางเลือกในการออกแบบโดยการประมาณน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบกับเสาเข็มตาลเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ เพื่อลดต้นทุนการสำรวจและลดเวลาการทดสอบในโครงการในอนาคตหรือพื้นที่ใกล้เคียง