

สมรรถนะของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายและผิวข้าง Performance of Base and Shaft Grouted Steel Micropiles

นัสรี หะสาเมา^{1*} ภาณุ พร้อมพุทธานุกร¹ และมนัส อนุศิริ¹

Nasree Hasamoh^{1*} Panu Promptthangkoon¹ and Manus Anusiri¹

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงผลการศึกษาสมรรถนะของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายและผิวข้าง เสาเข็มที่ทดสอบเป็นท่อเหล็กกลมกลวงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 9 เซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ยาว 2 เมตร การศึกษาเริ่มต้นโดยกดเสาเข็มเหล็กให้จมลงในชั้นดินทรายที่ระดับความลึก 1.80 เมตร จากนั้นจึงทำการทดสอบ 2 รูปแบบ ประกอบด้วยเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนและเสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายและผิวข้าง สำหรับเสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูน การอัดฉีดได้กำหนดขนาดความดันที่ 5 บาร์ จากนั้นทิ้งให้น้ำปูนแข็งตัวเป็นเวลา 28 วัน แล้วจึงทำการทดสอบหาน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มตามมาตรฐาน ASTM D 1143-81 จากการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (ultimate load) ของเสาเข็มเหล็กที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนโดยใช้วิธี Davisson พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.31 ตัน มีการทรุดตัวเท่ากับ 5.75 มิลลิเมตร ในขณะที่วิธี Terzaghi มีค่าเท่ากับ 2.58 ตัน มีการทรุดตัวเท่ากับ 9 มิลลิเมตร แต่สำหรับเสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูน ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยโดยวิธี Davisson พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.33 ตัน มีการทรุดตัวเท่ากับ 5.80 มิลลิเมตร และวิธี Terzaghi มีค่าเท่ากับ 2.61 ตัน มีการทรุดตัวเท่ากับ 9 มิลลิเมตร จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเสาเข็มเหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยมากกว่าเสาเข็มเหล็กที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูน ทั้งนี้เนื่องจากปูนที่ยึดเกาะเสาเข็มมีส่วนช่วยเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็มทำให้มีการรับน้ำหนักได้ดีขึ้น

คำสำคัญ: เสาเข็มไมโครไพล์เหล็ก อัดฉีดน้ำปูน กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตสงขลา

* Corresponding author e-mail: firefox_me@live.com

Received: 7 May 2021, Revised: 26 May 2021, Accepted: 27 May 2021

Abstract

This paper presented the results obtained from the performance of steel micropiles grouted with cement both at the base and along the shaft. The tested hollow steel piles were 9 cm in diameter, 3 mm thick, and 2 m. long. The study began by pressing the steel piles into the sand level at the depth of 1.80 m. Then, two types of test were performed, including a normal pile and a pile with both base and shaft grouts. For the latter, the grouting process was carried out using the pressure of 5 bars; the grout then was left for 28 days to set up. After that, pile load test was conducted according to the ASTM D 1143-81 standard. From the analysis of the ultimate load of pile capacity for the normal pile with respect to Davisson's method, it was found that the ultimate pile capacity was 2.31 tons with the settlement of 5.75 mm. When employing Terzaghi's method, however, the ultimate pile capacity and respective settlement were 2.58 tons and 9 mm. For the grouted pile, Davisson's method yielded the ultimate pile capacity and settlement of 2.33 tons and 5.80 mm, respectively. For Terzaghi's method, however, it was observed that the ultimate pile capacity was 2.61 tons, while its corresponding settlement was 9 mm. From these results, it indicated that the grouted steel pipe pile has greater ultimate pile capacity than that of the normal pile. This was because the grout adhered to the pile could increase the friction between surround soil and pile shaft thereby increased the pile capacity.

Keywords: Steel pipe micro pile, Cement grout, Ultimate pile capacity

บทนำ

ปัจจุบันเสาเข็มไมโครไพล์เป็นทางเลือกหนึ่งในการก่อสร้างที่ต้องการความรวดเร็วหรือพื้นที่การก่อสร้างที่มีการจำกัดพื้นที่ ซึ่งเสาเข็มไมโครไพล์มีความสะดวกในการเข้าไปทำงานในพื้นที่เล็ก ๆ ได้เนื่องจากเป็นเครื่องจักรขนาดเล็ก รวมทั้งยังสามารถทำการก่อสร้างต่อได้ทันทีหลังจากงานก่อสร้างเสาเข็มแล้วเสร็จ และยังสามารถตอกเสาเข็มใกล้เคียงอาคารเดิมได้โดยส่งผลกระทบต่อเสาเข็มชนิดอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามเสาเข็มไมโครไพล์นั้นไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากมีความสามารถในการรับกำลังได้น้อย ซึ่งบางครั้งในการก่อสร้างมีความจำเป็นต้องการใช้เสาเข็มไมโครไพล์ที่รับน้ำหนักได้มากกว่าปกติที่รับได้

ในปัจจุบันมีการวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบสมรรถนะเสาเข็มไมโครไพล์ในด้านต่าง ๆ เช่น การใช้เทคนิคจัดกลุ่มเสาเข็มไมโครไพล์เป็นวงกลมเพื่อเสริมความสามารถในการรับแรงดัดให้แก่ฐานราก (Abdollahi and Mortezaei, 2015) การเสริมความยาวเสาเข็มตอกโดยใช้เสาเข็มไมโครไพล์ตอกลงไปในช่องว่างของเสาเข็มตอกชนิดกลวงเพื่อทดสอบสมรรถนะต่าง ๆ (Justo *et al.*, 2017) ทั้งนี้เพื่อลดข้อจำกัดของเสาเข็มไมโครไพล์ในด้านสมรรถนะการใช้งานในก่อสร้าง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของคลื่นแผ่นดินไหวที่ส่งผลต่อฐานรากขนาดเล็กอีกมากมาย

Meyerhof (1951) กล่าวว่าความสามารถกำลังแบกทานของเสาเข็มนั้นแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือแรงเสียดทานรอบเสาเข็ม (Q_s) และแรงดันที่ปลายเสาเข็ม (Q_b) ซึ่งในภาคปฏิบัติแล้วจะเกี่ยวข้องกัน ในการช่วยรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม Francis *et al.* (1961) ได้ทำการวัดค่าการส่งถ่ายน้ำหนักแบกทานจากเสาเข็มสี่เหลี่ยมขนาด 6x6 นิ้ว ในชั้นดินตะกอนและชั้นหิน ผลการศึกษาพบว่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเกือบทั้งหมดถูกถ่ายไปยังชั้นดินโดยรอบตัวเสาเข็มเกือบทั้งหมด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเพิ่มสมรรถนะของเสาเข็มไมโครไพล์ให้สามารถรับกำลังแบกทานได้มากขึ้นจากปกติโดยการอัดฉีดน้ำปูนที่ผิวข้างและปลายเสาเข็ม เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมฐานราก ซึ่งจะทำให้การทดสอบสมรรถนะของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็ก โดยใช้เสาเข็มไมโครไพล์เหล็กกลมกลวงโดยทำการทดสอบเป็น 2 ประเภทด้วยกันประกอบด้วยเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูน และเสาเข็มมีการอัดฉีดน้ำปูนที่ผิวข้างและปลายเสาเข็ม โดยการอัดฉีดน้ำปูนจะทำการอัดฉีดด้วยเครื่องอัดฉีดแรงดันสูงผ่านท่อเสริมที่จะต้องติดตั้งเพิ่มเติมก่อนการตอกเสาเข็ม จากนั้นทำการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มทั้งสองประเภท พร้อมทั้งสังเกตพฤติกรรมของเสาเข็มเพื่อนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบเสาเข็มมีการอัดฉีดน้ำปูนกับไม่มีการอัดฉีดน้ำปูน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดลองเทคนิคการอัดฉีดน้ำปูน และเพื่อศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูนและไม่มีการอัดฉีดน้ำปูน

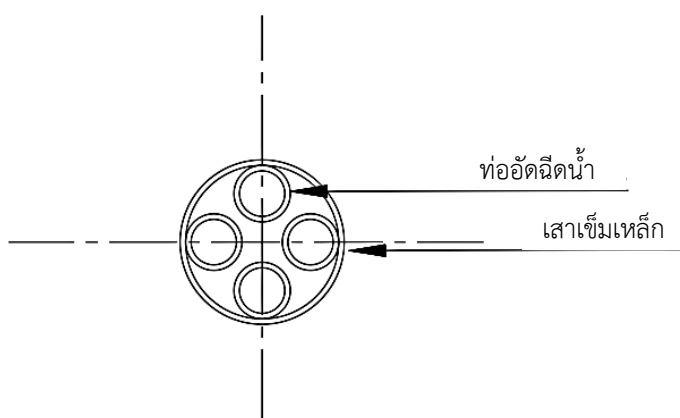
วิธีดำเนินการวิจัย

เตรียมพื้นที่สำหรับการทดสอบ โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้พื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตสงขลา ทำการเจาะเก็บตัวอย่างชั้นดินบริเวณที่จะทำการทดสอบโดยใช้สว่านมือในการเก็บตัวอย่างดิน ทำการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมประกอบด้วย ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ตามมาตรฐาน ASTM D 854-00 (American Society for Testing and Materials, 2014) การกระจายตัวของเม็ดดิน ตามมาตรฐาน ASTM D 422-63 (American Society for Testing and Materials, 1998) เพื่อจำแนกประเภทดิน

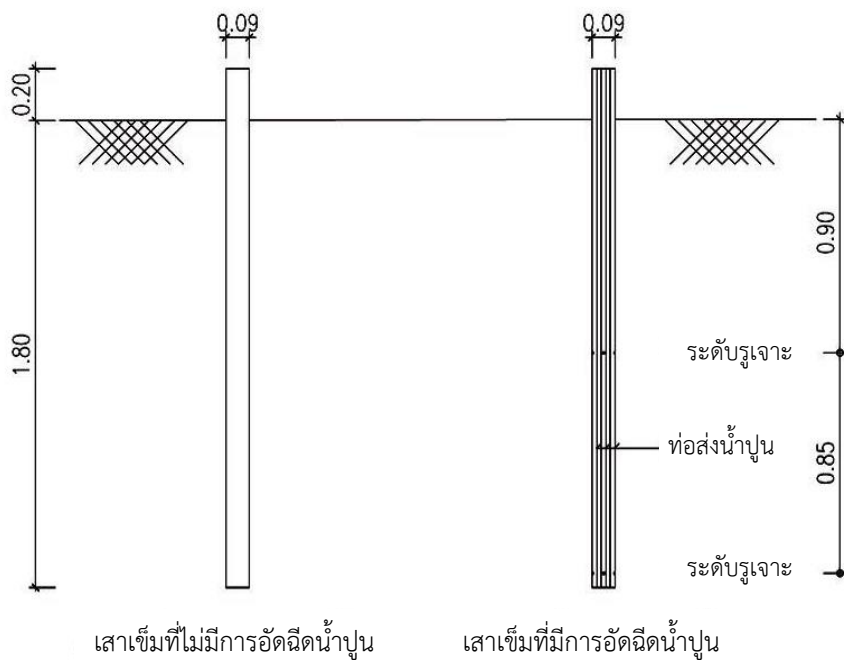


ภาพที่ 1 การเก็บตัวอย่างดินด้วยสว่านมือ

เตรียมเสาเข็มเหล็กที่จะทำการอัดฉีดน้ำปูนโดยใช้ท่ออัดฉีดน้ำปูนเหล็กกลมกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.10 เซนติเมตร ความยาว 2.00 เมตร นำมาเชื่อมยึดติดกับเสาเข็มจำนวน 4 ด้าน โดยเว้นระยะห่างระหว่างแต่ละท่ออย่างเท่า ๆ กัน ที่บริเวณภายในเสาเข็ม แสดงดังภาพที่ 2 ที่ปลายท่ออัดฉีดน้ำปูนจะใช้แผ่นเหล็กเชื่อมปิดช่องว่างเพื่อป้องกันดินจากภายนอก และใช้สว่านเจาะรูด้านข้างท่ออัดฉีดน้ำปูนขนาด 13/32 นิ้ว จำนวนด้านละ 1 รู ที่ระดับความลึก 0.90 เมตร และ 1.75 เมตร จากผิวดิน เพื่ออัดฉีดน้ำปูนเพื่อให้ น้ำปูนสามารถไหลออกมาทางช่องเปิดดังกล่าว แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ตำแหน่งติดตั้งท่ออัดฉีดน้ำปูนและลำดับการอัดฉีดน้ำปูน



ภาพที่ 3 การติดตั้งเสาเข็มที่ใช้ในการทดสอบ

เมื่อเตรียมการเสาเข็มแล้วเสร็จจึงทำการการติดตั้งเสาเข็มโดยใช้รถแบคโฮ (excavator) กัดเสาเข็มโดยให้ปลายเสาเข็มอยู่ต่ำกว่าระดับดินเดิม 1.80 เมตร เมื่อเสาเข็มอยู่ในระดับที่ต้องการแล้ว จะทำการอัดฉีดน้ำปูนซีเมนต์เฟสอัตราส่วน W/C ratio 0.70 ด้วยแรงดัน 5 บาร์ ลงในท่อตามลำดับ การอัดฉีดน้ำปูน แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การอัดฉีดน้ำปูนเข้าท่อ

หลังจากทำการอัดฉีดน้ำปูนแล้วเสร็จปล่อยตัวอย่างทิ้งไว้ให้น้ำปูนแข็งตัวเป็นเวลา 28 วัน แล้วทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ ผลการทดสอบกำลังมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 178.64 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบ static load test ตามมาตรฐาน ASTM D 1143-81 (American Society for Testing and Materials, 1994) เพื่อหาสมรรถนะของเสาเข็ม โดยการทดสอบด้วยวิธีแพลตฟอร์มให้น้ำหนัก โดยใช้แม่แรงให้แรงกระทำที่หัวเสาเข็มโดยตรง พร้อมบันทึกการทรุดตัวดังภาพที่ 5 การทดสอบจะค่อย ๆ เพิ่มน้ำหนักบรรทุกร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดต่อครั้ง โดยจะคั่งน้ำหนักไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง โดยหากอัตราการทรุดตัวเกินกว่า 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงนั้นจะต้องคั่งน้ำหนักบรรทุกทดสอบต่อไปอีก 1 ชั่วโมง รวมเป็น 2 ชั่วโมง จึงทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกต่อไป และเมื่อเสาเข็มถึงจุดวิบัติแล้วจะคั่งน้ำหนักต่อไปอีก 12 ชั่วโมง รวมเป็น 14 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการลดน้ำหนักบรรทุกร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดต่อครั้งในทุก ๆ ชั่วโมง และเมื่อถอนน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจะใช้ dial gauge วัดค่าการทรุดตัวต่อไปอีก 12 ชั่วโมง เพื่อหาค่าการคืนตัวถาวรของเสาเข็ม โดยการทดสอบ static load test ในแต่ละตัวอย่างนั้นใช้ระยะเวลาในการทดสอบอยู่ในช่วงระหว่าง 1-2 วัน ผลการทดสอบที่ได้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม



ภาพที่ 5 การทดสอบ static load test

เมื่อการทดสอบ static load test บันทึกค่าและสังเกตพฤติกรรมเสาเข็มแล้วเสร็จจากนั้นทำการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มสรุปผลการทดสอบ และทำการขุดดินรอบ ๆ เสาเข็มเพื่อศึกษาคุณลักษณะน้ำปูนที่ทำการอัดฉีดเข้าไปในเสาเข็ม

ผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการทดสอบในการเพิ่มประสิทธิภาพของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กโดยการอัดฉีดน้ำปูนบริเวณปลายและผิวข้างของเสาเข็มและเปรียบเทียบกับเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูน โดยการศึกษาได้เริ่มจากเก็บตัวอย่างดินบริเวณที่จะทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเพื่อหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินบริเวณที่จะทำการทดสอบ และทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มซึ่งจากการศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินของพื้นที่บริเวณที่ใช้ในการทดสอบมีความอ่อนแอเฉพาะของเม็ดดินเท่ากับ 2.66 และจากการจำแนกดินแบบ USCS ตามมาตรฐาน ASTM D 2487-17 (American Society for Testing and Materials, 2017) ดินจัดอยู่ในประเภทดินทรายละเอียดที่ไม่ดีหรือ poorly graded sand

2. ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มแบบไม่อัดฉีดน้ำปูนโดยให้น้ำหนักบรรทุกมีผลการขึ้นน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่ไม่อัดฉีดน้ำปูนดังตารางที่ 1 และผลการถอนน้ำหนักบรรทุกและการคืนตัวของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่ไม่อัดฉีดน้ำปูนดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การขึ้นน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่ไม่อัดฉีดน้ำปูน

น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	การทรุดตัว เมื่อขึ้นน้ำหนัก (มิลลิเมตร)	การทรุดตัว เมื่อค้ำน้ำหนักไว้ 1 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)	การทรุดตัว เมื่อค้ำน้ำหนักไว้ 2 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)	การทรุดตัว เมื่อค้ำน้ำหนักไว้ 14 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)
0.625	0.680	0.710	-	-
1.250	1.590	1.660	-	-
1.875	2.880	3.120	3.150	-
2.500	6.070	8.180	8.620	9.680

ตารางที่ 2 การถอนน้ำหนักบรรทุกและการคืนตัวของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่ไม่อัดฉีดน้ำปูน

น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	การคืนตัวเมื่อถอน น้ำหนัก (มิลลิเมตร)	การคืนตัวเมื่อถอนน้ำหนัก 1 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)	การคืนตัวถาวร (มิลลิเมตร)
1.875	9.570	9.550	-
1.250	9.230	9.200	-
0.625	8.680	8.660	-
0.000	7.590	7.520	7.48

3. ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่อัดฉีดน้ำปูนโดยให้น้ำหนักบรรทุกมีผลการขึ้นน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่ไม่อัดฉีดน้ำปูนดังตารางที่ 3 และผลการถอนน้ำหนักบรรทุกและการคืนตัวของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่อัดฉีดน้ำปูนดังตารางที่ 4

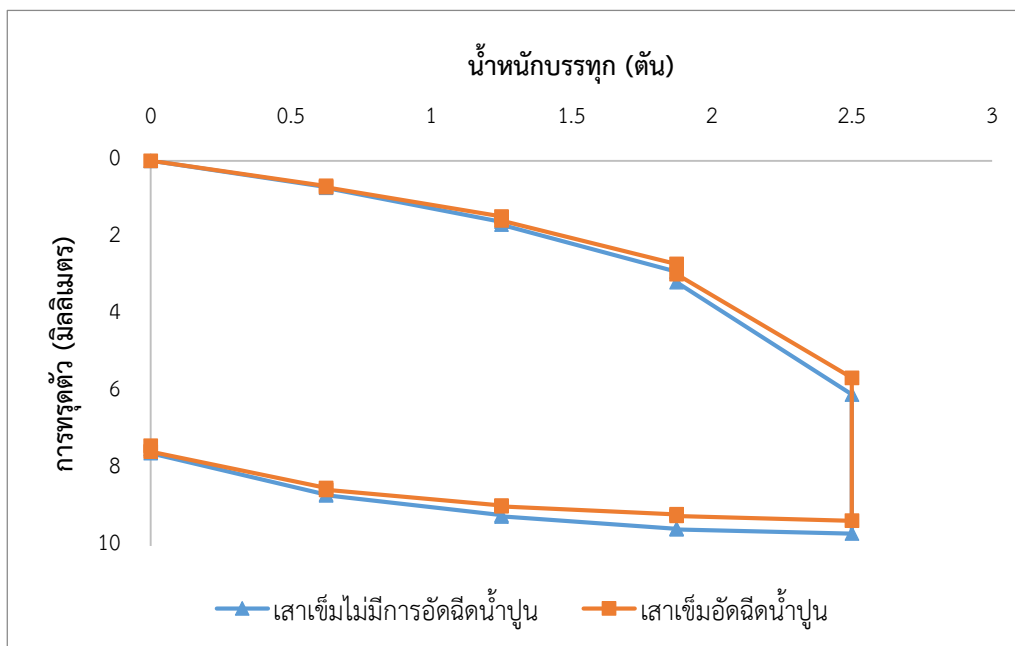
ตารางที่ 3 การขึ้นน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่อัดฉีดน้ำปูน

น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	การทรุดตัว เมื่อขึ้นน้ำหนัก (มิลลิเมตร)	การทรุดตัว เมื่อคงน้ำหนักไว้ 1 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)	การทรุดตัว เมื่อคงน้ำหนักไว้ 2 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)	การทรุดตัว เมื่อคงน้ำหนักไว้ 14 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)
0.625	0.660	0.690	-	-
1.250	1.450	1.550	-	-
1.875	2.680	2.920	2.950	-
2.500	5.640	7.840	8.310	9.340

ตารางที่ 4 การถอนน้ำหนักบรรทุกและการคืนตัวของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่อัดฉีดน้ำปูน

น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	การคืนตัวเมื่อถอน น้ำหนัก (มิลลิเมตร)	การคืนตัวเมื่อถอนน้ำหนัก 1 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)	การคืนตัวถาวร (มิลลิเมตร)
1.875	9.220	9.180	-
1.250	8.970	8.950	-
0.625	8.540	8.490	-
0.000	7.550	7.480	7.400

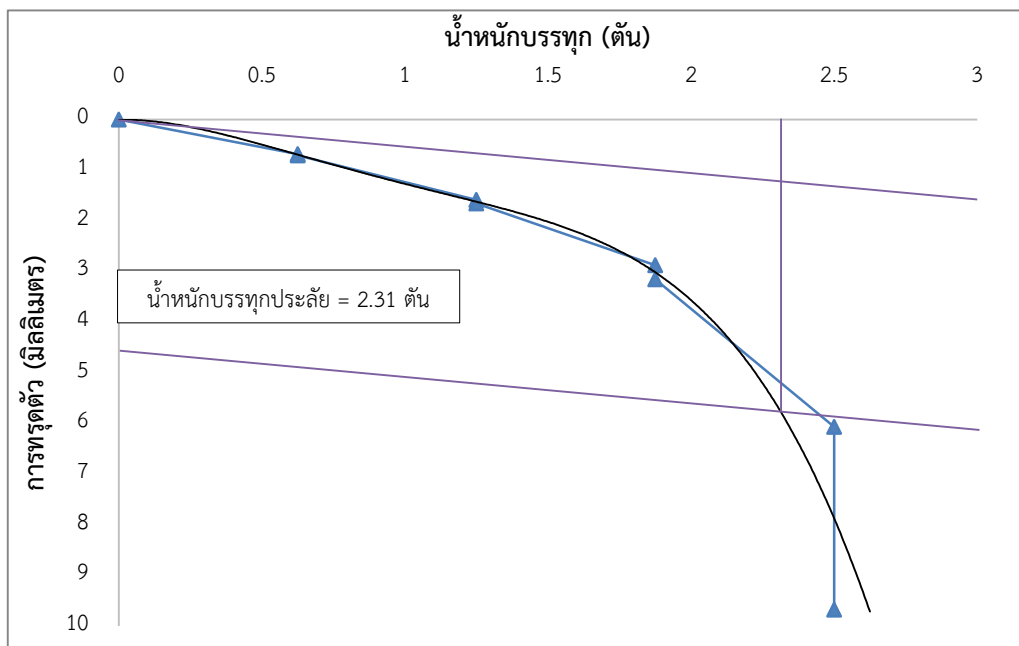
จากตารางผลการให้น้ำหนักบรรทุกและการถอนน้ำหนักบรรทุกสำหรับเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กแบบตัวอย่างทดสอบชนิดไม่อัดฉีดน้ำปูนดังตารางที่ 1 และ 2 แบบตัวอย่างทดสอบชนิดอัดฉีดน้ำปูนดังตารางที่ 3 และ 4 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนและไม่มีการอัดฉีดน้ำปูน แสดงดังภาพที่ 6



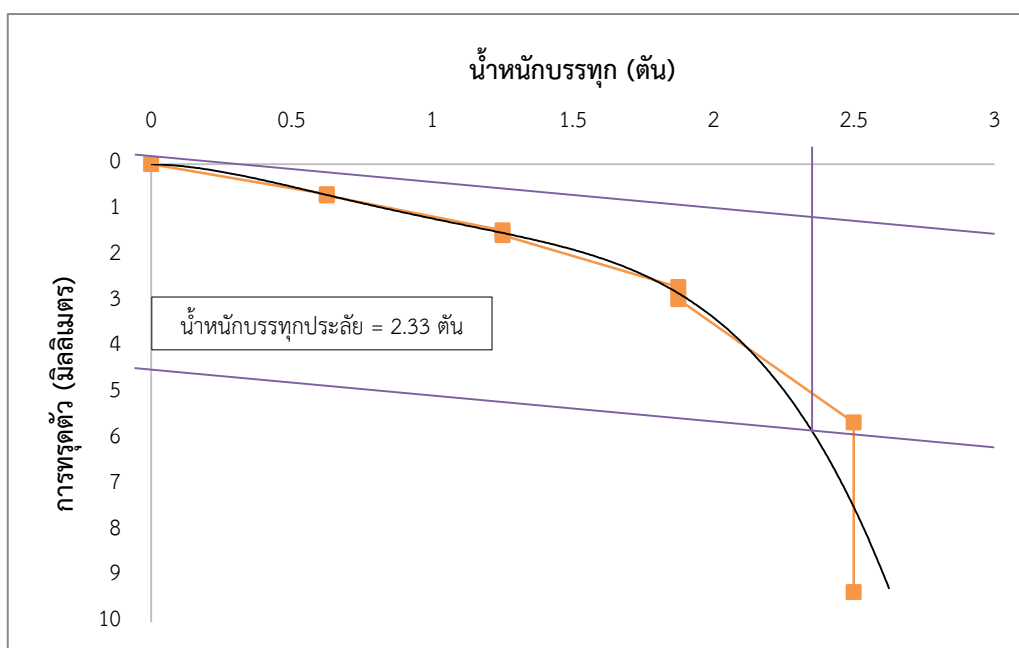
ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดตัวกับน้ำหนักบรรจุของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนและไม่มีการอัดฉีดน้ำปูน

4. ผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มสำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาวเคราะห์กำลังรับน้ำหนักสูงสุดโดยวิธี Davisson (1973) และวิธี Terzaghi (1967) โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรจุของเสาเข็มจากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากกราฟ Davisson จะมีค่าออฟเซตจากเส้นอีลาสติก เท่ากับ $3.81 + 90/120 = 4.56$ มิลลิเมตร เสาเข็มเหล็กไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนจะได้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรจุประลัย (ultimate load) เท่ากับ 2.31 ตัน โดยมีการดูดตัวเท่ากับ 5.75 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 7 และเสาเข็มเหล็กอัดฉีดน้ำปูนจะได้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรจุประลัย (ultimate load) เท่ากับ 2.33 ตัน โดยมีการดูดตัวเท่ากับ 5.80 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 8

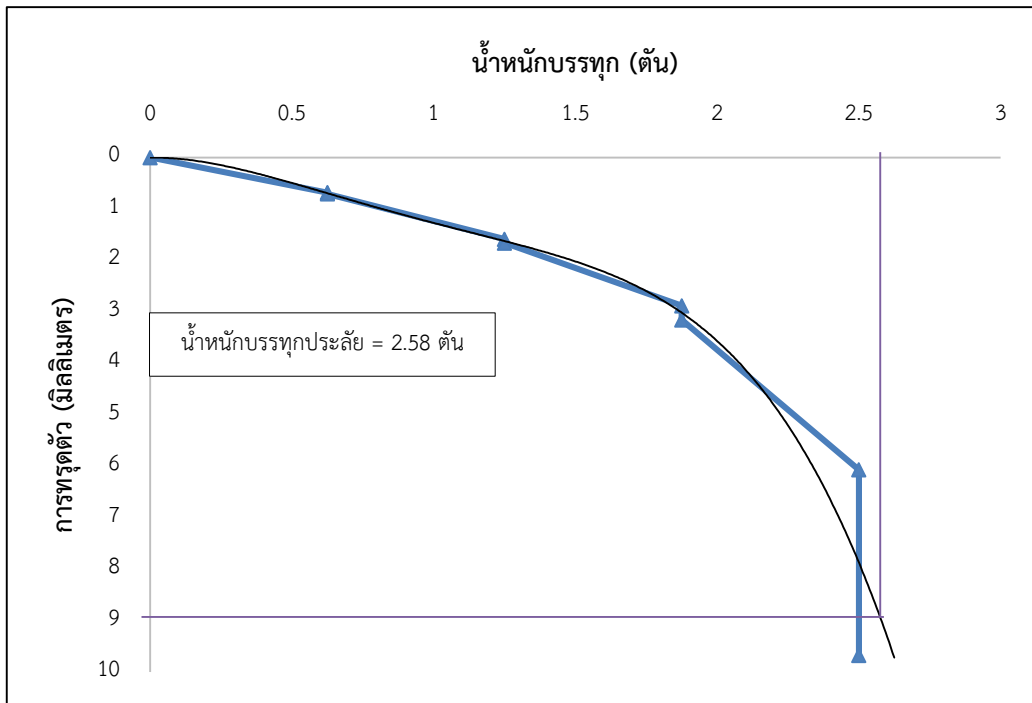


ภาพที่ 7 กราฟกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มเหล็กไม่อัดฉีดน้ำปูนโดยวิธี Davisson (1973)



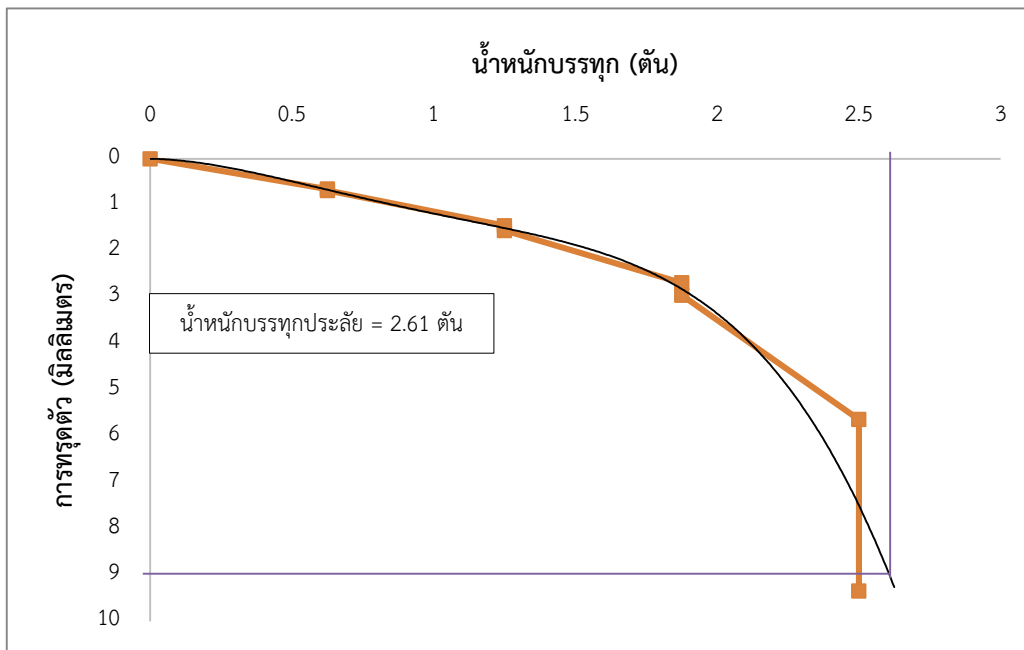
ภาพที่ 8 กราฟกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มเหล็กอัดฉีดน้ำปูนโดยวิธี Davisson (1973)

4.2 Terzaghi (1967) ได้ให้นิยามค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มโดยอาศัยการทรุดตัวเป็นเกณฑ์ โดยถือว่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติของเสาเข็มเป็นน้ำหนักบรรทุกทดสอบเสาเข็มที่ทำให้ระยะการทรุดตัวของเสาเข็มเป็นร้อยละ 10 ของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม เสาเข็มโครไฟท์เหล็กที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก เท่ากับ 90 มิลลิเมตร ดังนั้นน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้การทรุดตัวของเสาเข็มเท่ากับ 9 มิลลิเมตร เป็นน้ำหนักบรรทุกสูงสุดตามวิธี Terzaghi (1967) แสดงดังภาพที่ 9 และภาพที่ 10



ภาพที่ 9 กราฟกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มเหล็กไม่อัดฉีดน้ำปูนโดยวิธี Terzaghi (1967)

จากกราฟที่ 9 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มเหล็กไม่อัดฉีดน้ำปูนโดยวิธี Terzaghi (1967) จะได้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 2.58 ตัน โดยมีการทรุดตัวเท่ากับ 9.00 มิลลิเมตร



ภาพที่ 10 กราฟกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มเหล็กอัดฉีดน้ำปูนโดยวิธี Terzaghi (1967)

จากกราฟที่ 10 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มเหล็กอัดฉีดน้ำปูนโดยวิธี Terzaghi (1967) จะได้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 2.61 ตัน โดยมีการทรุดตัวเท่ากับ 9.00 มิลลิเมตร

5. ผลการศึกษาการอัดฉีดน้ำปูน การทดสอบนี้ได้ทำการอัดฉีดน้ำปูนผ่านท่ออัดฉีดน้ำปูนให้น้ำปูนยัดเกาะส่วนปลายและผิวข้างของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของเสาเข็มไมโครไพล์เหล็ก โดยการทดสอบได้ใช้ความดันในการอัดฉีดน้ำปูนเข้าท่อที่ระดับความดัน 5 บาร์ ซึ่งเมื่อทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแล้วเสร็จได้ทำการขุดเสาเข็มเหล็กขึ้นมาดูปริมาณน้ำปูนที่เกาะส่วนปลายและผิวข้างของเสาเข็มแสดงดังภาพที่ 11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณน้ำปูนที่ยึดเกาะผิวข้างมีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ส่วนที่ปลายเสาเข็มไม่มีน้ำปูนแผ่ออกจากท่ออัดฉีดน้ำปูนเนื่องจากแรงดันดินที่ปลายเสาเข็มมีมากกว่าที่ผิวข้างเสาเข็ม



ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำปูนที่ยึดเกาะเสาเข็มโครไฟล์เหล็ก

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มไมโครไฟล์เหล็กที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนและการอัดฉีดน้ำปูนพบว่าการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยโดยวิธี Davisson (1973) เสาเข็มไมโครไฟล์เหล็กที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเท่ากับ 2.31 ตัน โดยมีการทรุดตัวเท่ากับ 5.75 มิลลิเมตร ในขณะที่เสาเข็มไมโครไฟล์เหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเท่ากับ 2.33 ตัน โดยมีการทรุดตัวเท่ากับ 5.80 มิลลิเมตร

สำหรับการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยโดยวิธี Terzaghi (1967) เสาเข็มไมโครไฟล์เหล็กที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (ultimate load) เท่ากับ 2.58 ตัน โดยมีการทรุดตัวเท่ากับ 9.00 มิลลิเมตร ในขณะที่เสาเข็มไมโครไฟล์เหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเท่ากับ 2.61 ตัน โดยมีการทรุดตัวเท่ากับ 9.00 มิลลิเมตร จากผลการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยทั้งสองรูปแบบ พบว่าเสาเข็มเหล็กที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนจะมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยน้อยกว่าเสาเข็มเหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนเล็กน้อย เนื่องจากเสาเข็มเหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีปริมาณน้ำปูนที่ยึดเกาะผิวข้างเสาเข็มเป็นตัวช่วยในการต้านแรงเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับผิวดินทำให้เสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยดีกว่าเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูน ทั้งนี้กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มเหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีค่าสูงกว่าเสาเข็มเหล็กที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนเพียงเล็กน้อย

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินบริเวณที่จะทำการทดสอบด้วยสว่านมือและนำตัวอย่างดินมาทดสอบสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม ทำการทดสอบเสาเข็มลงสู่ชั้นดินและทำการอัดฉีดน้ำปูน

สำหรับตัวอย่างเสาเข็มแบบมีการอัดฉีดน้ำปูนทั้งให้น้ำปูนแข็งตัว 28 วัน แล้วจึงทำการทดสอบ static load test นำผลการทดสอบวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยโดยวิธี Davisson (1973) และ Terzaghi (1967) จากนั้นทำการขุดดินรอบ ๆ เสาเข็มเพื่อศึกษาลักษณะน้ำปูนที่ยึดติดกับเสาเข็มจากการศึกษาสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินบริเวณที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.66 ชนิดของดินอยู่ในดินประเภทดินทราย

2. การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยโดยวิธี Davisson (1973) เสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเท่ากับ 2.31 ตัน โดยมีการทรุดตัวเท่ากับ 5.75 มิลลิเมตร และเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเท่ากับ 2.33 ตัน โดยมีการทรุดตัวเท่ากับ 5.80 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

3. การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยโดยวิธี Terzaghi (1967) เสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเท่ากับ 2.58 ตัน โดยมีการทรุดตัวเท่ากับ 9.0 มิลลิเมตร และเสาเข็มไมโครไพล์เหล็กที่มีการอัดฉีดน้ำปูนมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเท่ากับ 2.61 ตัน โดยมีการทรุดตัวเท่ากับ 9.0 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถรับกำลังแบกทานได้มากกว่าเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนเพียงเล็กน้อย

4. การขุดดินรอบ ๆ เสาเข็มเพื่อศึกษาลักษณะน้ำปูนที่ยึดติดกับเสาเข็ม พบว่าการอัดฉีดน้ำปูนที่ความดัน 5 บาร์ที่วัดจากเครื่องอัดฉีดน้ำปูนทำให้น้ำปูนที่ยึดเกาะกับผิวข้างเหล็กเสาเข็มมีปริมาณน้อยโดยมีความยาวเพียงประมาณ 10 เซนติเมตร และยึดเกาะเพียงด้านเดียว ซึ่งความดันดังกล่าวนี้ไม่เพียงพอสำหรับการกระจายน้ำปูนให้ยึดเกาะเสาเข็มให้ทั่วถึงและมีปริมาณมากพอ ส่วนบริเวณปลายเสาเข็มนั้นไม่มีน้ำปูนเกาะ เนื่องจากการตอกเสาเข็มนั้นมีผลทำให้ดินโดยรอบที่บริเวณปลายเสาเข็มแน่นตัวขึ้นอย่างมาก

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาการอัดฉีดน้ำปูนเข้าท่อส่งน้ำปูนที่มีความดันมากกว่า 5 บาร์ เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำปูนให้ยึดเกาะเสาเข็มเหล็กมากขึ้น หรือศึกษาวิธีการอัดฉีดน้ำปูนแบบใหม่เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของน้ำปูนเพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเสาเข็มกับชั้นดินโดยรอบให้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขต สงขลา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทดสอบ รวมถึงอาจารย์และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่สนับสนุน และให้ความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abdollahi, K. and Mortezaei, A. (2015). A new expression for determining the bending stiffness of circular micropile groups. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 77, 58-70.
- American Society for Testing and Materials. (1994). *ASTM D 1143-81 (reapproved 1994): standard test method for piles under static axial compressive load*. Retrieved 14 April 2019, from: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D1143-81R87E1.htm>.
- American Society for Testing and Materials. (1998). *ASTM D 422-63: standard test method for particle-size analysis of soils*. Retrieved 14 April 2019, from: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D422-63R98.htm>.
- American Society for Testing and Materials. (2014). *ASTM D 854-00: standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer*. Retrieved 14 April 2019, from: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D854-00.htm>.
- American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM D 2487-17: standard practice for classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system)*. Retrieved 14 April 2019, from: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D2487-17.htm>.
- Davissom, M.T. (1973). *Static load testing. Helical screw foundation system design manual for new construction*. Chicago: Illinois Institute of Technology.
- Francis, A.J., Savory, N.R., Stevens, L.K. and Trollope, D.H. (1961). *The behaviour of slender point-bearing piles in soft soil, symposium on design of tall buildings*. Hong Kong: University of Hong Kong.
- Justo, E., Vázquez-Boza, M., Justo, J.L. and Arcos, J.L. (2017). An elastoplastic model for the analysis of a driven pile extended with a micropile. *Computers and Geotechnics*, 87, 10-19.
- Meyerhof, G.G. (1951). The ultimate bearing capacity of foundation, *Geotechnique*, 2(4), 301-332.
- Terzaghi, K. (1967). *Soil mechanics in engineering practice*, (2nd ed). New York: John Wiley & Sons.