



PHYSICAL MODELLING OF SHALLOW FOUNDATION SURROUNDED BY SHEET PILE ON
CLAY UNDER ECCENTRIC LOADING

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

พฤติกรรมของแบบจำลองฐานรากดินเหนียวที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเข็มพืดภายใต้
แรงกระทำเยื้องศูนย์

PHYSICAL MODELLING OF SHALLOW FOUNDATION SURROUNDED BY SHEET PILE ON
CLAY UNDER ECCENTRIC LOADING

อดิศักดิ์ ศรีศักดิ์นอก¹ และพงศกร พรณรัตน์ศิลป์²

¹นักศึกษานิพนธ์โท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของแบบจำลองฐานรากดินที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเข็มพืดรับแรงเยื้องศูนย์บนดินเหนียว จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าฐานรากที่ทำการติดตั้งเข็มพืดล้อมรอบบนทรายนั้น จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างมากในการรับแรงในแนวตั้ง แรงในแนวราบ และโมเมนต์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการทดสอบให้แรงกระทำในแนวตั้งต่อแบบจำลองฐานรากบนดินเหนียว ทำการวัดค่ากำลังรับน้ำหนักและ ค่าการทรุดตัวของของแบบจำลองฐานราก โดยใช้เข็มพืดที่มีขนาดความยาวต่างกันติดตั้งด้านข้างของแบบจำลองฐานรากแบบแถบ และทำการทดสอบที่ระยะเยื้องศูนย์ที่ต่างกัน ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่า การเพิ่มความยาวของเข็มพืดที่ติดตั้งกับแบบจำลองฐานรากนั้น ทำให้ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักในแนวตั้งและประสิทธิภาพในการรับโมเมนต์เนื่องจากแรงในแนวตั้งที่มีระยะเยื้องศูนย์นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ฐานราก, เข็มพืด, แรงเยื้องศูนย์

ABSTRACT

This research presents the behavior of modeled shallow foundation surrounded by sheet pile on clay under eccentric loading. From previous studies, installing sheet pile around the periphery of the foundation can enhance the vertical, horizontal and moment capacities of the existing foundation on sand. In this study, Clay sample was first used as a foundation layer for the shallow foundation. The vertical forces were applied at center and other eccentric locations in order to evaluate the maximum vertical capacity and the moment capacity. Various sheet pile lengths were selected in order to evaluate the beneficial effect of the sheet pile. From the results, it is shown that sheet pile surrounded the existing foundation can dramatically enhance the vertical and moment capacities of the foundation.

Keywords: foundation, sheet pile, eccentric loading

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นบ่อยครั้ง แรงกระทำของแผ่นดินไหวทำให้เกิดโมเมนต์กระทำต่อฐานรากเพิ่มขึ้น ทำให้ฐานรากที่ออกแบบให้รับเฉพาะแรงในแนวตั้งไม่สามารถต้านทานโมเมนต์ได้ ดังนั้นการเพิ่มความสามารถในการรับโมเมนต์ของฐานรากจึงเป็นสิ่งสำคัญ

การออกแบบฐานรากให้น้ำหนักบรรทุกทุกได้โดยไม่เกิดการทรุดตัวเกินค่าการทรุดตัวที่ยอมให้นั้น สามารถทำได้โดยการสร้างฐานรากที่มีขนาดใหญ่แต่ในบางครั้งมีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่การก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ดังนั้น [1] และ[2] ได้เริ่มทำการพัฒนาฐานรากโดยการติดตั้งเข็มพืดรอบฐานรากตึ้น เรียกว่า ฐานรากเข็มพืด (SHEET PILE FOUNDATION) โดยฐานรากเข็มพืดจะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้มากกว่าฐานรากตึ้นในขนาดฐานรากที่เท่ากัน ดังรูปที่ 1

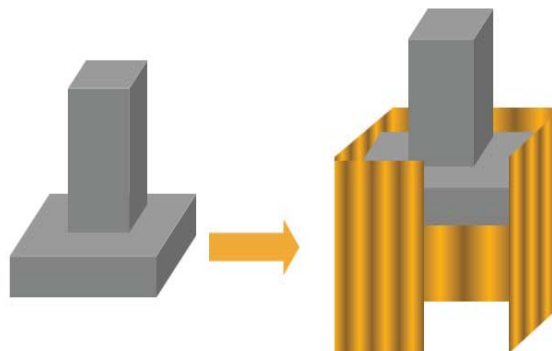
จากการศึกษาที่ผ่านมา [3] และ[4] ได้ทำการทดสอบถึงอิทธิพลของความยาวของเข็มพืดที่มีต่อฐานรากตึ้นบนทรายและ [5] ได้ทำการศึกษาดินลมหอบ ซึ่งผลที่ได้คือฐานรากสามารถรับแรงในแนวตั้ง แรงในแนวราบและโมเมนต์เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ในการศึกษาที่ผ่านมายังไม่ได้มีการศึกษาดินเหนียว ดังนั้นเพื่อให้นักศึกษาครอบคลุมจึงจะทำการศึกษาอิทธิพลของความยาวเข็มพืดต่อฐานตึ้นบนดินเหนียว โดยคาดว่าจะการติดตั้งเข็มพืดเข้ากับฐานรากจะช่วยเพิ่มค่ากำลังรับน้ำหนักในแนวตั้งให้กับฐานรากตึ้น และยังจะทำให้ความสามารถในการรับโมเมนต์เนื่องจากแรงเอียงศูนย์นั้นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการศึกษาดินทรายและดินลมหอบ

2. วิธีการทดลอง

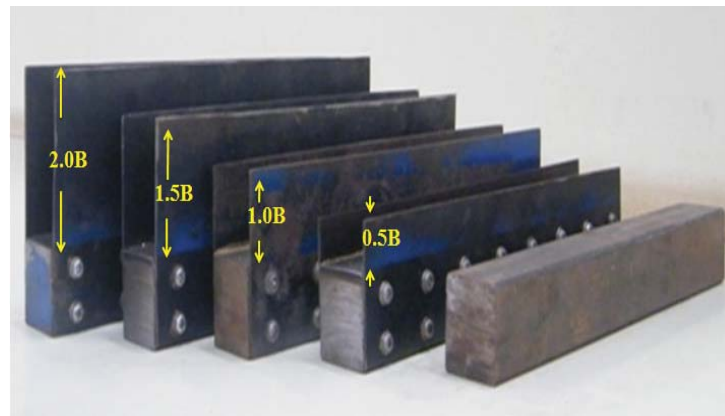
ในบทความนี้ได้นำเสนอผลการทดลองการรับแรงในแนวตั้งที่มีระยะเอียงศูนย์ต่างกันของฐานรากตึ้นแบบแถบ (Strip Footing) และติดตั้งเข็มพืดที่มีความยาวต่างกัน ทำการทดสอบทั้งหมด 20 ตัวอย่าง โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งเครื่องมือที่ใช้ทดสอบนั้นสร้างขึ้นมาเฉพาะ เพื่อหาค่าแรงที่กระทำต่อแบบจำลองฐานรากและค่าการทรุดตัวของแบบจำลองฐานราก ทั้งนี้ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองนั้น ทำการเก็บตัวอย่างดินจากในสนาม โดยใช้ดินเหนียวในการทดลอง

2.1 แบบจำลองฐานรากเข็มพืด

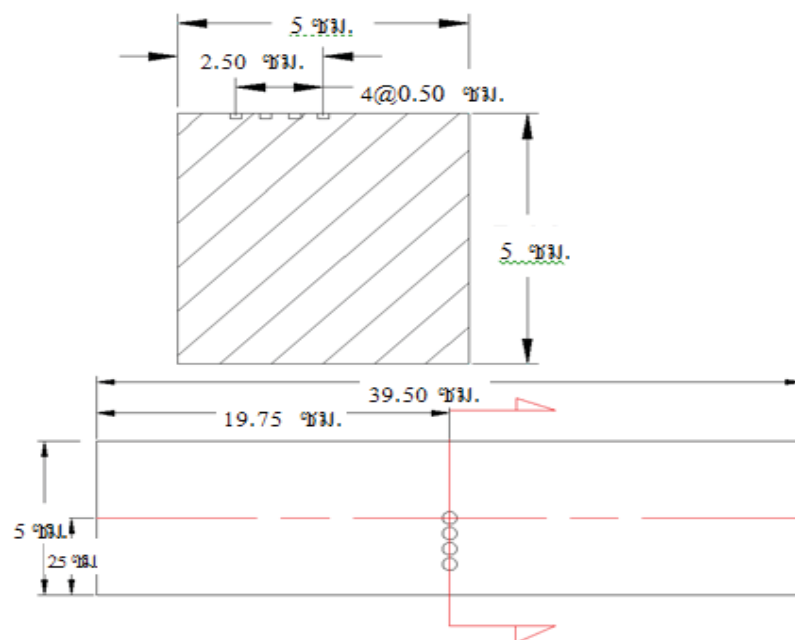
การทดลองใช้แบบจำลองฐานรากเข็มพืดที่ทำจากเหล็กมีขนาดหน้าตัด 5x5 ซม. และยาว 39.5 ซม. สำหรับเข็มพืดที่ติดตั้งกับฐานรากนั้น มีทั้งหมด 4 ความยาว คือ ขนาดความยาวเข็มพืด 2.5 ซม.(0.5B), 5.0 ซม.(1.0B), 7.5 ซม.(1.5B) และ 10 ซม.(2.0B) เมื่อ B คือขนาดความกว้างของฐานราก ดังรูปที่ 2 และมีระยะเอียงศูนย์(e) ที่ 0.5, 1.0, 1.5 ซม. หรือ e/B เท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.3 ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 ฐานรากตึ้นที่ติดตั้งเข็มพืด



รูปที่ 2 ฐานรากแบบเข็มพืดขนาดต่างๆ



รูปที่ 3 ระยะเยื้องศูนย์กลางแบบจำลองฐานราก

2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

เมื่อสำรวจพบแหล่งดินเหนียวแล้ว ทำการเปิดหน้าดินเพื่อนำเศษวัชพืชออก จากนั้นชูดโดยรอบตัวอย่างดินอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้รบกวนตัวอย่างดิน ดังแสดงรูปที่ 4



รูปที่ 4 เปิดหน้าดินและรอบตัวอย่างดิน

จากนั้นทำการแต่งผิวให้เรียบและให้ได้ขนาดเท่ากับกล่องเก็บตัวอย่างซึ่งมีขนาด 0.4 ม.X 0.8 ม.X 0.8 ม.และหุ้มด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้นในดินระเหยออก จากนั้นทำการบรรจุใส่กล่องเก็บตัวอย่าง ดังแสดงรูปที่ 5 และรูปที่ 6



รูปที่ 5 การตกแต่งผิวให้เรียบและได้ขนาดเท่ากับกล่องบรรจุตัวอย่าง



รูปที่ 6 หุ้มด้วยพลาสติกและบรรจุดินใส่กล่องตัวอย่าง

2.3 คุณสมบัติดิน

เพื่อให้การผลการทดสอบนั้นครบถ้วนสมบูรณ์ หลังจากเก็บตัวอย่างดินในสนามแล้ว จึงได้ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการ ตารางที่ 1 ได้แสดงคุณสมบัติของดินเหนียว

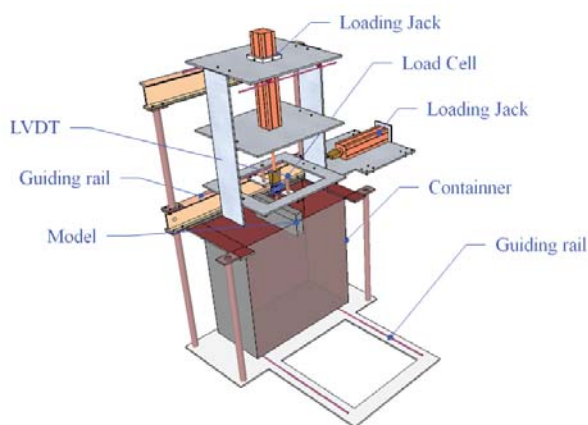
ตารางที่ 1 คุณสมบัติดิน

ชนิดของดิน	CH
หน่วยน้ำหนัก (γ)	19.17 kN/m ³
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.66
*ค่าความเชื่อมแน่น (S_u)	18.54 kN/m ²

* ทดสอบโดยวิธี Unconfined Compression Test

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

หลังจากทำการเก็บตัวอย่างดินในสนามใส่กล่องตัวอย่าง จะนำมาที่ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการทดสอบ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบให้แรงกระทำต่อฐานราก โดยใช้แรงจากปั๊มลมไฟฟ้า ต่อผ่านเครื่องกรองลมและวาล์วควบคุม ก่อนเข้าเครื่องมือให้แรง เพื่อให้แรงกระทำต่อแบบจำลองฐานรากและระบบวัดแรงและค่าการทรุดตัวของแบบจำลองฐานราก ซึ่งใช้เครื่องมือวัดแรง (Load cell) ในการวัดค่าแรงกระทำต่อแบบจำลอง และใช้เครื่องมือวัดค่าการทรุดตัว (LVDT) วัดค่าการทรุดตัวของแบบจำลองฐานราก ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

2.4 รายละเอียดการทดลอง

ในการทดสอบทั้งหมดมีขนาดของฐานรากเข็มพืดทั้งหมด 5 ขนาด และมีระยะเอียงศูนย์ทั้งหมด 4 ระยะ รวมมีตัวอย่างที่ทดสอบทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดการทดลอง (เมื่อ B คือ ขนาดความกว้างของฐานรากและ L คือ ความยาวของเข็มพืดที่ติดตั้ง)

การทดสอบที่	แบบจำลองฐานราก	อัตราส่วนระยะเยื้องศูนย์ (e/B)	ชื่อการทดสอบ
1	ฐานรากตึ้น ($L = 0.0B$)	0.0	0.0BE0.0
2		0.1	0.0BE0.1
3		0.2	0.0BE0.2
4		0.3	0.0BE0.3
5	ฐานรากตึ้นติดตั้งเข็มพืด ยาว 2.5 ซม. ($L = 0.5B$)	0.0	0.5BE0.0
6		0.1	0.5BE0.1
7		0.2	0.5BE0.2
8		0.3	0.5BE0.3
9	ฐานรากตึ้นติดตั้งเข็มพืด ยาว 5.0 ซม. ($L = 1.0B$)	0.0	1.0BE0.0
10		0.1	1.0BE0.1
11		0.2	1.0BE0.2
12		0.3	1.0BE0.3
13	ฐานรากตึ้นติดตั้งเข็มพืด ยาว 7.5 ซม. ($L = 1.5B$)	0.0	1.5BE0.0
14		0.1	1.5BE0.1
15		0.2	1.5BE0.2
16		0.3	1.5BE0.3
17	ฐานรากตึ้นติดตั้งเข็มพืด ยาว 10 ซม. ($L = 2.0B$)	0.0	2.0BE0.0
18		0.1	2.0BE0.1
19		0.2	2.0BE0.2
20		0.3	2.0BE0.3

3. ผลการทดสอบ

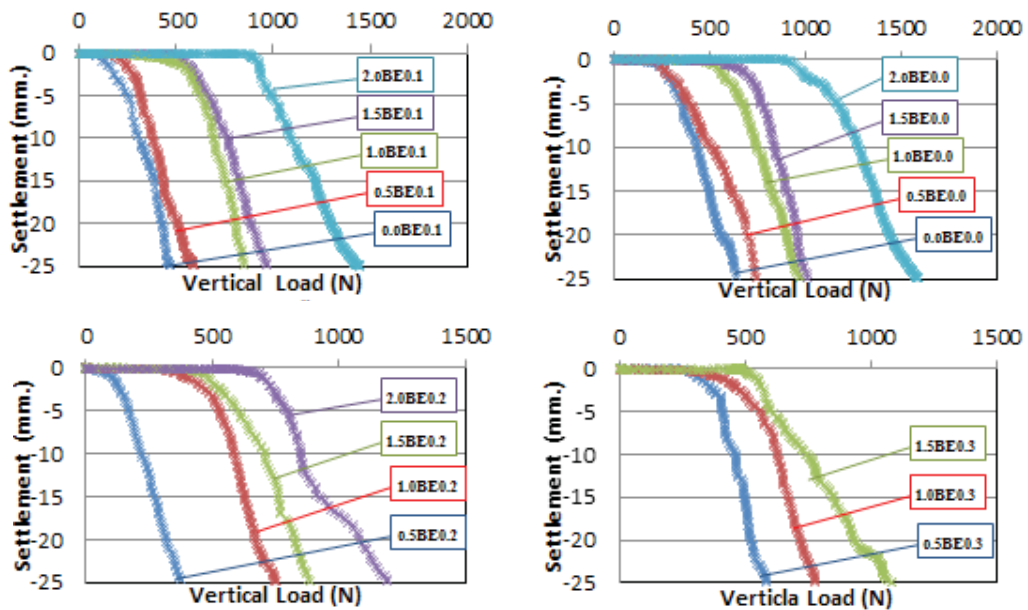
การวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองฐานรากตึ้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการติดตั้งเข็มพืด โดยทำการวิเคราะห์ผลที่ระยะเยื้องศูนย์เท่ากันแต่มีความยาวเข็มพืดแตกต่างกัน และทำการวิเคราะห์ความสามารถในการรับโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นของแบบจำลอง

3.1 ค่ากำลังรับน้ำหนักและการวิบัติของดิน

การวิบัติของดินนั้น จะเกิดขึ้นเมื่อกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวของแบบจำลองฐานรากกับแรงที่กระทำในแนวดิ่งต่อแบบจำลองฐานรากนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงความชันอย่างมากและคงที่ แต่หากการเปลี่ยนแปลงนั้นไม่ปรากฏชันชัดเจน จะสามารถหาจุดวิบัติของดินโดยพิจารณาจุดที่ค่าการทรุดตัวของแบบจำลองฐานรากนั้นมีค่าการทรุดตัวประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างของแบบจำลองฐานราก [6] ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำในแนวดิ่งและการทรุดตัวของแบบจำลองฐานรากเข็มพืด โดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ที่ระยะเยื้องศูนย์เท่ากัน ดังแสดง 8

3.2 การพลิกคว่ำของฐานรากก่อนตัวอย่างดินวิบัติ

สำหรับการทดสอบที่ 0.0BE0.3, 0.0BE0.2 และ 0.5BE0.3 นั้น การวิบัติของแบบจำลองฐานรากเข็มพืดนั้น เกิดขึ้นจากการพลิกคว่ำของแบบจำลอง ก่อนที่ดินจะเกิดการวิบัติ ทำให้เครื่องมือวัดแรง (LOAD CELL) และเครื่องมือวัดค่าการทรุดตัว (LVDT) หลุดจากตำแหน่งที่กำหนด ดังนั้นจึงไม่ควรนำผลการทดสอบดังกล่าวนี้มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบอื่นๆ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ผลการทดลองเปรียบเทียบที่ระยะเยื้องศูนย์กลางเท่ากัน



รูปที่ 9 การพลิกคว่ำของแบบจำลองฐานรากเข็มพืด ก่อนที่ดินจะเกิดการวิบัติ จากการทดสอบที่ 0.0BE0.3

เนื่องจากน้ำหนักที่กระทำต่อฐานรากนั้นมีระยะเยื้องศูนย์กลางที่มากเกินไป และความยาวของเข็มพืดยังไม่เพียงพอที่จะช่วยต้านการพลิกคว่ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ จากการทดสอบที่ 0.0BE0.3 สามารถหาค่าหน่วยแรงได้ฐานรากได้จาก $\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$ ซึ่งสามารถคำนวณ $\sigma_{\max} = 1.4 \text{ N/cm}^2$ และ $\sigma_{\min} = -0.4 \text{ N/cm}^2$ ทำให้ แรงดึงเท่ากับ 108.92 N และแรงอัดเท่ากับ -8.88 N จะพบว่า น้ำหนักกระทำ 100 N ที่ระยะเยื้องศูนย์กลาง 1.5 ซม. (e=0.3) ทำให้หน่วยแรงดึงได้แบบจำลองฐานรากนั้นมีใกล้เคียงกับหน่วยอัด (รวมน้ำหนักของแบบจำลองฐานราก) หากแรงกระทำมากกว่านี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงมากกว่าหน่วยแรงอัดมากขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้วระหว่างผิวสัมผัสของแบบจำลองฐานรากและดินนั้นไม่สามารถรับแรงดึงได้ ทำให้แบบจำลองฐานรากนั้นเกิดการยกตัวและพลิกคว่ำ ค่าที่เครื่องมือวัดแรง (Load cell) และเครื่องมือวัดค่าการทรุดตัว (LVDT) วัดได้จึงเป็นค่าที่ทำให้

ฐานรากเกิดการพลิกคว่ำไม่ใช้การวัดตัวของดินใต้ฐานราก ไม่ควรนำผลการทดลองนี้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ดินใต้ฐานรากนั้นเกิดการวิบัติ

3.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของแบบจำลองฐานรากเข็มพืด อยู่ที่จุดเปลี่ยนความชันของกราฟความระหว่างแรงที่กระทำในแนวดิ่งและการทรุดตัวของแบบจำลองฐานรากเข็มพืด ดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการรับน้ำหนักของแบบจำลองฐานรากเข็มพืดที่เพิ่มขึ้นจากแบบจำลองฐานรากที่ไม่มีการติดตั้งเข็มพืด พบว่าการติดตั้งเข็มพืดทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานรากเข็มพืดนั้นเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ค่ากำลังรับน้ำหนักในแนวดิ่งของแบบจำลองฐานรากเข็มพืด

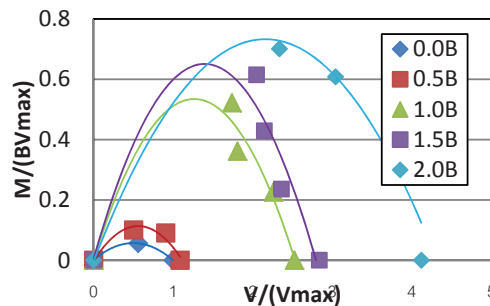
ตัวอย่างทดสอบ	กำลังรับน้ำหนักในแนวดิ่ง (N)			
	E=0.0	E=0.1	E=0.2	E=0.3
0.0B	218.86	122.92	*N.A.	*N.A.
0.5B	237.97	198.26	110.13	*N.A.
1.0B	552.20	494.69	395.75	380.75
1.5B	584.63	500.91	469.66	448.35
2.0B	917.43	878.20	665.58	511.37

*N.A. ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากฐานรากเกิดการพลิกคว่ำก่อนตัวอย่างดินจะเกิดการวิบัติ

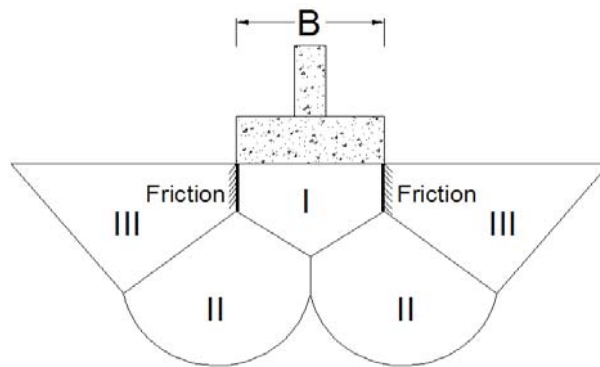
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักในแนวดิ่งของแบบจำลองฐานรากเข็มพืดที่เพิ่มขึ้น ที่ระยะเยื้องศูนย์เท่ากัน

ตัวอย่างทดสอบ	กำลังรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)			
	E=0.0	E=0.1	E=0.2	E=0.3
0.0B	-	-	-	-
0.5B	8.73	61.29	-	-
1.0B	152.31	302.45	259.35	-
1.5B	167.13	307.51	326.46	17.48
2.0B	319.19	614.45	504.36	34.31

แรงกระทำในแนวดิ่งที่มีระยะเยื้องศูนย์จะทำให้เกิดโมเมนต์กระทำต่อแบบจำลองฐานราก ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่กระทำต่อแบบจำลองฐานรากและแรงในแนวดิ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 10 จากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่กระทำต่อแบบจำลองฐานรากและแรงในแนวดิ่ง จะทำให้สามารถประมาณโมเมนต์สูงสุด (M_{max}) ที่แบบจำลองฐานรากเข็มพืดสามารถรับได้ โดย $M_{max} / B = 0.059 V_{max}$, $M_{max} / B = 0.118 V_{max}$, $M_{max} / B = 0.538 V_{max}$, $M_{max} / B = 0.650 V_{max}$ และ $M_{max} / B = 0.737 V_{max}$



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และแรงในแนวดิ่งที่กระทำต่อแบบจำลองฐานราก



รูปที่ 11 การเพิ่มขึ้นของกำลังรับน้ำหนักของฐานรากดินที่มีการติดตั้งเข็มพืด

เมื่อความยาวของเข็มพืดเท่ากับ 0.0B, 0.5B, 1.0B, 1.5B และ 2.0B ตามลำดับจากรูปที่ 11 ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการติดตั้งเข็มพืดกับฐานรากดินนั้น เนื่องจากการติดตั้งเข็มพืดนั้นทำให้ดินใต้ฐานราก(I) อัดตัวแน่นจนเสมือนเป็นส่วนหนึ่งของฐานรากเข็มพืดซึ่งหยั่งลงลึกมากกว่าฐานรากดิน ทำให้มวลดินบริเวณด้านข้างฐานรากเข็มพืดนั้น(II, III) เคลื่อนตัวได้น้อยลงตามความยาวของเข็มพืด ดังนั้นฐานรากเข็มพืดจึงมีค่ากำลังรับน้ำหนักมากกว่าฐานรากดิน นอกจากนี้เข็มพืดยังมีแรงเสียดทานช่วยด้านการทรุดตัวและการพลิกคว่ำของฐานรากอีกด้วย

4. สรุปผลการทดลอง

สำหรับผลการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองฐานรากดินที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเข็มพืดรับแรงเอียงศูนย์บนดินเหนียวพบว่า

- การติดตั้งเข็มพืดกับแบบจำลองฐานรากนั้น ทำให้แบบจำลองฐานรากนั้นสามารถรับแรงในแนวดิ่งได้มากขึ้น ตามความยาวของเข็มพืดที่ติดตั้ง โดยที่ความยาวเข็มพืดมากที่สุดนั้น แบบจำลองฐานรากสามารถรับแรงในดิ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 320%
- การติดตั้งเข็มพืดกับแบบจำลองฐานรากนั้น ทำให้แบบจำลองฐานรากนั้นสามารถรับน้ำหนักในแนวดิ่งที่มีระยะเอียงศูนย์ได้มากขึ้น ตามความยาวของเข็มพืดที่ติดตั้ง โดยการทดสอบที่ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นสูงสุดคือการทดสอบ ST2.0BE0.1 โดยประสิทธิภาพนั้นเพิ่มขึ้น ประมาณ 615%
- ที่ระยะเอียงศูนย์ 1.0 ซม.(E0.2) และ 1.5 ซม. (E0.3) จะเกิดแรงดิ่งระหว่างผิวสัมผัสของแบบจำลองฐานรากและตัวอย่างดิน ซึ่งความยาวเข็มพืดตั้งแต่ 1.0B สามารถต้านทานแรงดิ่งที่เกิดขึ้นนี้ได้ ทำให้แบบจำลองฐานรากนั้นไม่เกิดการพลิกคว่ำ

- การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่กระทำต่อแบบจำลองฐานรากและแรงในแนวดิ่ง นั้นพบว่าการเพิ่มความยาวของเข็มพืดที่ติดตั้ง ทำให้แบบจำลองฐานรากนั้นสามารถรับโมเมนต์ได้มากขึ้น ตามความยาวของเข็มพืดที่ติดตั้ง โดยระยะความยาวของเข็มพืดที่เหมาะสมที่สุดคือ 1.0B เนื่องจากสามารถรับโมเมนต์สูงสุด (M_{max}) ต่อความกว้างของฐานรากได้ใกล้เคียงกับความยาวเข็มพืดขนาด 1.5B และ 2.0B โดยสามารถรับได้ 0.538 เท่าของแรงในแนวดิ่งสูงสุดที่ไม่มีการติดตั้งเข็มพืด (V_{max})

เอกสารอ้างอิง

- [1] Punrattanasin et al. Sheet Pile Foundation on Sand under Combined Loading-A Literature Review and Preliminary Investigation. Technical Report No.65, Department of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology. 2002; 57-85.
- [2] Hidatoshi Nishioka et al. Development of sheet pile foundation combining footing with sheet piles. Proceedings of the International Workshop on recent Advances of Deep Foundation. 2007; 327-333.
- [3] Apiwat Patjanasoonorn. The behavior of Sheet Pile Foundation From Physical Model Test. [Master of Engineering Thesis in Civil Engineering, Graduate School]. Khon Kaen: Khon kaen University; 2010. (In Thai).
- [4] Tuan Van Nguyen. The Beneficial Effects of Sheet Pile on The Capacities of Pile Foundation on Sand. [Master thesis of Engineering]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2010.
- [5] Kosawat Changjutturas. The Behavior of Shallow Foundation from Physical Modeling. [Master of Engineering Thesis in Civil Engineering]. Khon Kaen: Khon kaen University; 2007. (In Thai).
- [6] V.N.S. Murthy. Advanced Foundation Engineering: Geotechnical Engineering Series. Noida: India Binding House; 2007.