



การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เพื่อการออกแบบเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ในชั้นดินกรุงเทพฯ

BACK ANALYSIS OF DESIGN PARAMETERS FOR LARGE DIAMETER BORED PILE IN BANGKOK SUBSOIL

phanu ไชยวรรณ (Phanu Chaiyawan)¹

korchoke จันทวรารังกูร (Korchoke Chantawarangul)²

barames วรธนะภูติ (Barames Vardhanabhuti)³

¹วิศวกรโยธา สำนักก่อสร้างทาง กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม phanu_3@yahoo.com

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ korchoke.c@ku.ac.th

³อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ fengbmv@ku.ac.th

บทคัดย่อ : บทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ในชั้นดินกรุงเทพฯ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็ม และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วย การทดสอบโดยวิธี Conventional Static Load Test และ Bi-Directional Static Load Test ซึ่งมีทั้งหมด 12 ต้น และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.8 ถึง 2.0 เมตร และความยาวอยู่ในช่วง 41 ถึง 62 เมตร ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์กลับประกอบด้วย ค่า Adhesion Factor α , ค่า Friction Factor β และค่า Bearing Capacity Factor N_q นอกจากนี้ยังวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มทั้ง 2 วิธี ซึ่งพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีผลที่ต่างกันเนื่องมาจากวิธีการทดสอบเสาเข็มที่แตกต่างกัน

ABSTRACT : Data from twelve instrumented pile load tests in Bangkok subsoil were analyzed in order to study the behavior of load transfer from the pile to Bangkok subsoil. The pile load test data were obtained from Conventional Static Load Test and Bi-Directional Static Load Test. The tested bored piles have a diameter in the range of 0.8 to 2.0 m and the pile length is in the range of 41 to 61 m. The α and β values for skin friction resistance, and the N_q and N_c values for end bearing, were back analyzed and empirical relationships were presented. The analysis results show that the method of pile load test influences the α and β values, and the N_q value.

KEYWORDS : Skin Friction Factor, Bearing Capacity Factor, Bored pile, Instrumented pile, Bangkok subsoil

1. บทนำ

เนื่องจาก 20 ปีที่ผ่านมา กรุงเทพมหานครมีการเจริญเติบโตมาก และ สิ่งปลูกสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งการก่อสร้างนั้นจำเป็นต้องใช้เสาเข็มที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวมากขึ้นเป็นฐานรากเพื่อรองรับภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกที่มีน้ำหนักมาก ๆ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้รวบรวมผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมด้วยวิธี Conventional Static Load Test และ Bi - Directional Static Load Test จำนวน 12 ต้น เสาเข็มเจาะที่ศึกษานั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.8 ถึง 2.0 เมตร และ มีความยาวอยู่ในช่วง 41 ถึง 62 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 1 ข้อมูลผลการทดสอบถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็มที่ระดับความลึกต่างๆ (Load Transfer) และ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการออกแบบเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ในชั้นดินกรุงเทพมหานคร

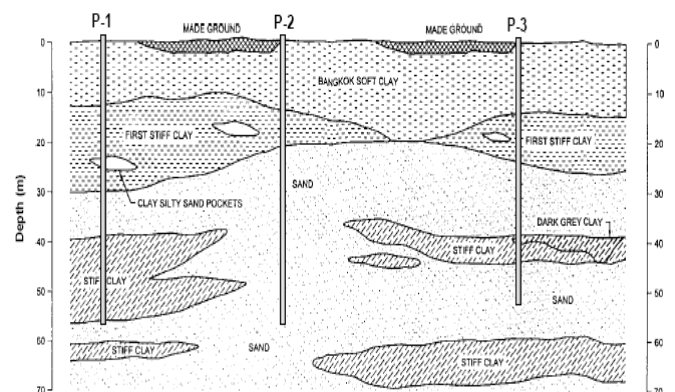
Bi-directional Test	1.0	41.9	Very Dense Sand	900 tons hydraulic jack 360 tons hydraulic jack 14 Nos. VWSG at seven level 8 Nos. of Telltale at two level	Suvarnabhumi Airport Project (Passenger Terminal)
Static Test	1.0	41.0	Very Dense Sand	21 Nos. VWSG at seven level 2 Nos. Telltale at two level	Suvarnabhumi Airport Project
Static Test	0.8	47.6	Very Dense Sand	10 Nos. VWSG at five level 3 Nos. Telltale at two level	Embassy of Japan
Static Test	1.5	49.4	Very Dense Sand	10 Nos. VWSG at five level 5 Nos. Telltale at two level	Rama 5 Bridge

2. ลักษณะทั่วไปของชั้นดินกรุงเทพฯ

ชั้นดินกรุงเทพมหานครนั้นได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำเจ้าพระยา และ อ่าวไทย โดยมีลักษณะทั่วไปดังนี้คือ ชั้นดินบนสุดจะเป็นชั้นดินเปลือก (Weathered Crust) หนาประมาณ 2 ถึง 3 เมตร จากนั้นจะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Marine Clay) หนาประมาณ 12 ถึง 15 เมตร ซึ่งมีความไวตัวสูง และค่อยๆ เปลี่ยนเป็นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Clay) ถึงระดับความลึกประมาณ 15 ถึง 18 เมตร จากนั้นจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) จนถึงระดับชั้นดินทรายแน่นชั้นแรก (1st Sand) ที่ระดับความลึกประมาณ 25 ถึง 30 เมตร ถัดจากชั้นทรายแน่นชั้นแรกเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง (Hard Clay) สลับกับชั้นทรายแน่นจนถึงระดับชั้นทรายแน่นมากชั้นที่สอง (2nd Sand) ที่ระดับความลึกประมาณ 45 ถึง 60 เมตร ดังภาพที่ 1 ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบ Standard penetration test (SPT) และสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินกรุงเทพฯ เช่น ค่า Undrained shear strength (S_u) และค่า Friction angle (ϕ) [2]

ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลของเสาเข็ม [2]

Type of Test	Dia. (m)	Length (m)	Soil Pile Tip	Instrumentation	Pile Location
Static Test	1.2	53.3	Hard Clay	30 Nos. VWSG at ten level 4 Nos. Telltale at two level	Suvarnabhumi Airport Project (Airsides Tunnel)
Static Test	1.2	57.1	Very Dense Sand	22 Nos. VWSG at nine level 1 Telltale at Pile tip	Expressway Project (Bang Na – Bang Phi)
Static Test	1.2	43.5	Very Stiff Clay	14 Nos. VWSG at six level	Expressway Project (Bang Pa In – Pakkret)
Static Test	1.2	62.0	Very Dense Sand	20 Nos. VWSG at nine level 3 Telltale at three level	Expressway Project (Bang Na – Bang Phi)
Static Test	1.2	46.0	Very Dense Sand	18 Nos. VWSG at seven level	Energy Complex Project
Static Test	1.0	43.8	Medium Dense Sand	16 Nos. VWSG at six level 1 Telltale at Pile tip	Expressway Project (Asoke Srinakarin)
Bi-directional Test	2.0	61.0	Very Dense Sand	2x900 tons hydraulic jack 1x1400 tons hydraulic jack 18 Nos. VWSG at six level	Southern Outer Bangkok Ring Road Project (OT-1)
Bi-directional Test	2.0	55.0	Hard Clay	3x600 tons hydraulic jack 1x1400 tons hydraulic jack 18 Nos. VWSG at six level	Southern Outer Bangkok Ring Road Project (OT-2)
Type of Test	Dia. (m)	Length (m)	Soil Pile Tip	Instrumentation	Pile Location



ตารางที่ 2 สรุปผลการทดสอบ SPT, และ ค่า S_u และ ϕ ของชั้นดิน กรุงเทพมหานคร [2]

ระดับความลึก m	ประเภทของชั้นดิน	SPT. N-value	Avg S_u t/m ²	Avg ϕ degrees
2-15	Very Soft to Soft Clay	2-12	2.1	-
15-18	Medium Clay	6-18	5.7	-
18-25	Stiff to Very Stiff Clay	15-35	12.0	-
25-40	Dense Sand (1 st Sand)	18-65	-	35
40-45	Hard Clay	27-62	26.2	-
45-60	Very Dense Sand (2 nd Sand)	25-80	-	36

3. การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรม

ข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ใช้ศึกษาครั้งนี้ ได้รวบรวมจากบริษัท STS Engineering Consultant Limited และบริษัท Seafco Public Company Limited ซึ่งประกอบด้วย ผลการทดสอบโดยวิธี Conventional static load test จำนวน 9 ต้น และวิธี Bi-directional static load test (Osterberg load cell) จำนวน 3 ต้น ซึ่งการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มนั้นได้กระทำหลังจากเสร็จสิ้นการติดตั้งเสาเข็มแล้วไม่ต่ำกว่า 30- 90 วัน หรืออย่างน้อย 3-30 วัน (ASTM D 3689-83) เพื่อให้ดินโดยรอบเสาเข็มคืนสภาพความแข็งแรงเสียก่อน [1]

4. ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบเสาเข็มวิธี Conventional Static Pile Load Test

ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ลักษณะชั้นดินและสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ขนาดของเสาเข็ม วัสดุของเสาเข็ม วิธีและเครื่องจักรที่ใช้ก่อสร้าง เวลาในการก่อสร้างและทดสอบ ตลอดจนการใช้ประเภทของสารละลายเพื่อรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ [2] เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวนี้ มีความคล้ายกัน ยกเว้นสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ดังนั้นการวิเคราะห์ผลเพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบเสาเข็ม จึงคำนึงถึงสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินเป็นสำคัญ

4.1 การประมาณค่าแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม

การประมาณค่าแรงเสียดทานระหว่างผิวเสาเข็มกับดินรอบเสาเข็มสามารถคำนวณจาก Shearing resistance ของดินคูณกับค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานซึ่งได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียว (Adhesion Factor, α) และสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทราย (Friction Factor, β) ค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานนั้นได้จากการวิเคราะห์ค่าแรงเสียดทานสูงสุด (f_s) ในแต่ละชั้นดินจนถึงปลายเสาเข็ม

4.1.1 สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นดิน

เหนียว (Adhesion Factor, α)

Tomlinson (1969) เสนอการประมาณค่าแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม (f_s) ในชั้นดินเหนียวคือ

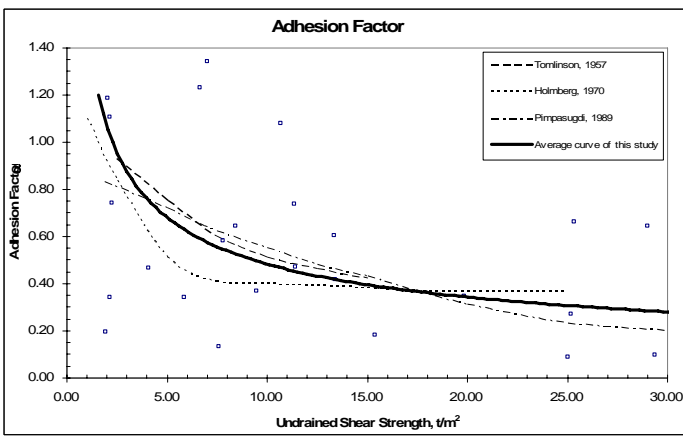
$$f_s = \alpha S_u \quad (1)$$

เมื่อ

ค่า α = สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียว

ค่า S_u = ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในชั้นดินเหนียว

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียว (α) กับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในชั้นดินเหนียว (Undrained Shear Strength, S_u) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลเสาเข็มได้แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งพบว่าค่า α ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 0.2 สำหรับดินเหนียวซึ่งมีค่า S_u ในช่วง 3 ถึง 32 ตัน/ตร.ม. ตามลำดับ สำหรับดินเหนียวซึ่งมีค่า S_u ต่ำกว่า 3 ตัน/ตร.ม. นั้น ค่า α กระจายอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 1.2 ซึ่งอาจเป็นผลจากการประเมินค่า S_u จากผลการทดสอบ Standard penetration test (SPT) ซึ่งมีลักษณะการกระจายตัวที่สูง นอกจากนี้ภาพที่ 2 ยังแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง α และ S_u ของดินเหนียวซึ่งเสนอโดยนักวิจัยไทย [6] และต่างประเทศ [9] ซึ่งมีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้



ภาพที่ 2 ค่า Adhesion Factor, α ในชั้นดินกรุงเทพฯ จากผลการศึกษาค้างนี้ (เส้นทึบ) และ เปรียบเทียบค่า Adhesion Factor, α จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา (เส้นประ) [2]

4.1.2 สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทราย (Friction Factor, β)

ค่าแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มในชั้นทราย สามารถประมาณได้จากความสัมพันธ์ซึ่งเสนอโดย Burlan (1973) คือ

$$f_s = K \sigma'_v \tan \delta \quad (2)$$

$$f_s = \beta \sigma'_v \quad (3)$$

เมื่อ

$$K = \text{สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง} = \sigma'_h / \sigma'_v$$

σ'_v = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง

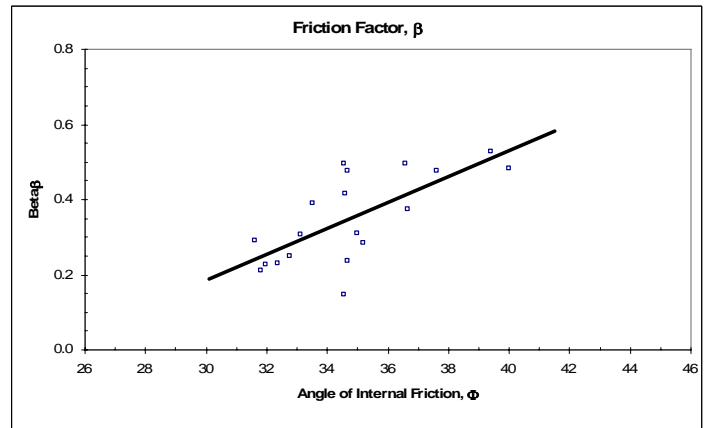
σ'_h = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวนอน

δ = มุมต้านทานระหว่างผิวเสาเข็มกับดิน

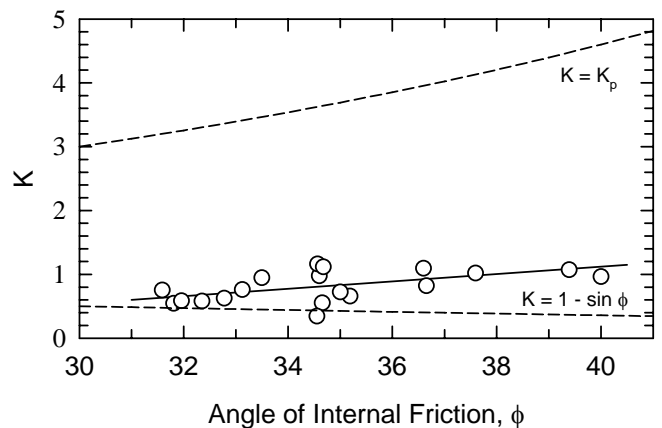
β = สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทราย

ผลจากการวิเคราะห์พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทราย (ค่า β หรือมีค่าเท่ากับ $K_s \tan \delta$) กับมุมต้านทานภายในของทราย (Angle of Shearing Resistance, ϕ) มีแนวโน้มในลักษณะเส้นตรง โดยค่า β อยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.5 สำหรับค่า ϕ ในช่วง 32° ถึง 40° ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง K ของชั้นดินกรุงเทพฯ ซึ่งวิเคราะห์จากผลการทดสอบเสาเข็มและสมการที่ 2 โดยที่สมมติให้มุมต้านทานระหว่างผิวเสาเข็มกับดินเท่ากับ $2/3$ เท่าของ ϕ และแรงดันน้ำในชั้นดินกรุงเทพฯ อยู่ในสถานะ Hydrostatic ได้แสดงในภาพที่ 4 ซึ่งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง K ในชั้นดินกรุงเทพฯ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.1 สำหรับ ϕ ในช่วง 31° ถึง 40° ตามลำดับ

นอกจากนี้ภาพที่ 4 ยังแสดงความสัมพันธ์ $K = 1 - \sin \phi$ และ $K = K_p$ (Passive Earth Pressure) ซึ่งแสดงด้วยเส้นประ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ค่า K ของชั้นดินกรุงเทพฯ มีค่าประมาณเท่ากับ $1 - \sin \phi$ สำหรับดินที่มีค่า ϕ อยู่ในช่วง 31° ถึง 33° ซึ่งเป็นดินที่อยู่ในสภาวะหลวมและอ่อน ค่า K มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อค่า ϕ เพิ่มขึ้น แต่มีค่าต่ำกว่า K_p ถึง 4.8 ถึง 5.6 เท่า



ภาพที่ 3 ค่า Friction Factor, β ในชั้นดินกรุงเทพฯ [2]



ภาพที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง K ของชั้นดินกรุงเทพฯ

4.2 การประมาณค่าแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม

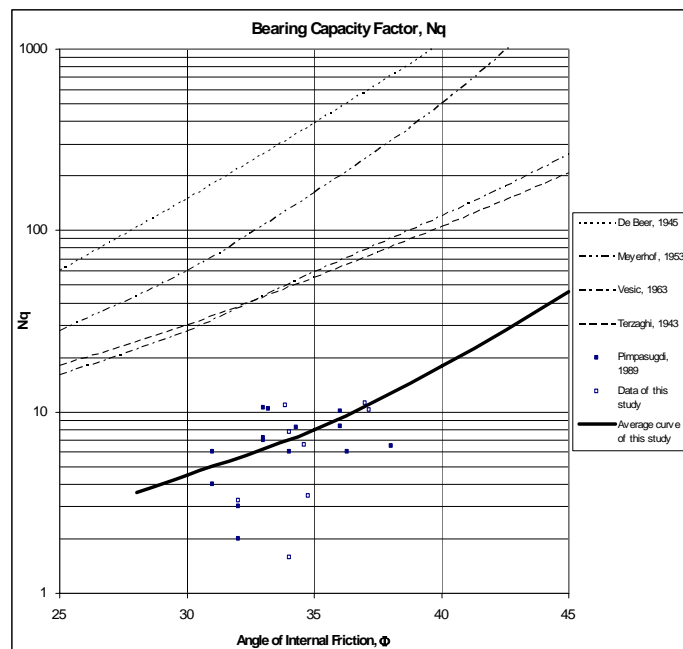
ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมาณค่าแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม คือ สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงต้านที่ปลาย (Bearing Capacity Factor) N_q และ N_c สำหรับปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินทราย และในชั้นดินเหนียว ตามลำดับ

4.2.1 สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงต้านที่ปลายในชั้นดิน

ทราย (Bearing Capacity Factor, N_q)

จากการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายแรงของเสาเข็มอย่างต่อเนื่องพบว่า ในการพิบัติของเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ นั้น แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มจะถูกพัฒนาจนถึงค่าสูงสุดก่อนการพัฒนาถึงจุดสูงสุดของแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม ดังนั้นค่า

สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มในชั้นดินทราย (Bearing Capacity Factor, N_q) ที่ใช้ในการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกโดยวิธีสถิตศาสตร์ควรจะใช้ในรูปของค่า Mobilized N_q ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่า N_q ณ จุดสูงสุดเพื่อไม่ทำให้เกิดการทรุดตัวของเสาเข็มที่มากเกินไป โดยในการวิเคราะห์หาค่า Mobilized N_q นั้น ได้พิจารณาจากผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Bearing Capacity Factor, N_q กับค่ามุมด้านทานภายในของทราย (Angle of Internal Friction, ϕ) ซึ่งพบว่าค่า Mobilized N_q มีแนวโน้มที่ต่ำโดยอยู่ในช่วง 2–12 ดังแสดงโดยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมเปิดใน **ภาพที่ 5** ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบเสาเข็ม โดย Pimpasugdi (1989) ซึ่งแสดงโดยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมทึบ นอกจากนี้ **ภาพที่ 5** ยังแสดงการเปรียบเทียบค่า N_q จากการศึกษาครั้งนี้สำหรับเสาเข็มเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ กับค่า N_q เสนอโดยนักวิจัยต่างประเทศ [6] ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าค่า N_q ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าซึ่งเสนอโดยนักวิจัยต่างประเทศ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการถ่ายแรงของเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ นั้น แรงที่ถ่ายไปยังผิวเสาเข็มมีค่าสูงกว่าแรงที่ถ่ายสู่ปลายเสาเข็ม ทำให้การพัฒนาแรงต้านที่ปลายเสาเข็มยังมีค่าน้อยกว่าจุดพิบัติ



ภาพที่ 5 ค่า Bearing Capacity Factor, N_q [2]

4.2.2 สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงต้านที่ปลายในชั้นดิน

เหนียว (Bearing Capacity Factor, N_c)

ผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงต้านที่ปลายในชั้นดินเหนียวแข็ง (Bearing Capacity Factor, N_c)

จำนวน 3 ดัน พบว่าค่า Bearing Capacity Factor, N_c อยู่ในช่วง 7.3 ถึง 11.6 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.4 ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าซึ่งเสนอโดย Skempton (1951) สำหรับเสาเข็มที่มีขนาดความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 4

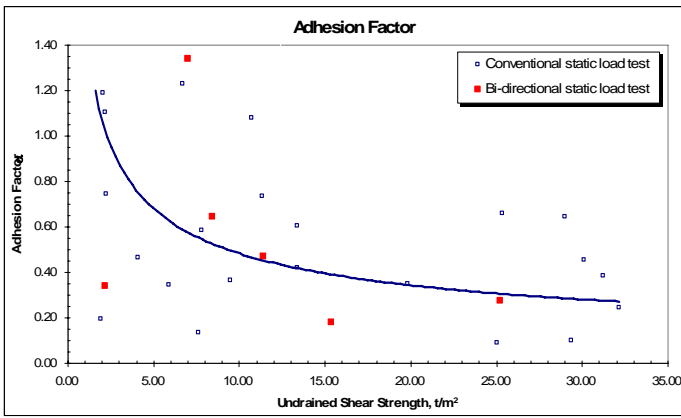
5. ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์จากผลการทดสอบเสาเข็มวิธี Bi-Directional Static Load Test

ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จากวิธีการทดสอบเสาเข็ม Bi-Directional Static Load Test ที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมในชั้นดินกรุงเทพฯ นั้น พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีความแตกต่างจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบด้วยวิธี Conventional Static Pile Load Test เนื่องจากวิธีการทดสอบ Bi-Directional Static Load Test นั้น มีการติดตั้งแม่แรง Hydraulic Jack ในตัวเสาเข็ม และทำการอัดแรงไปยังแม่แรงทั้ง 2 ชุด ทำให้เกิดพฤติกรรมในการรับแรงของเสาเข็มที่แตกต่างจากการทดสอบโดยวิธี Conventional Static Pile Load Test ซึ่งมีแรงกระทำที่ด้านบนของเสาเข็ม

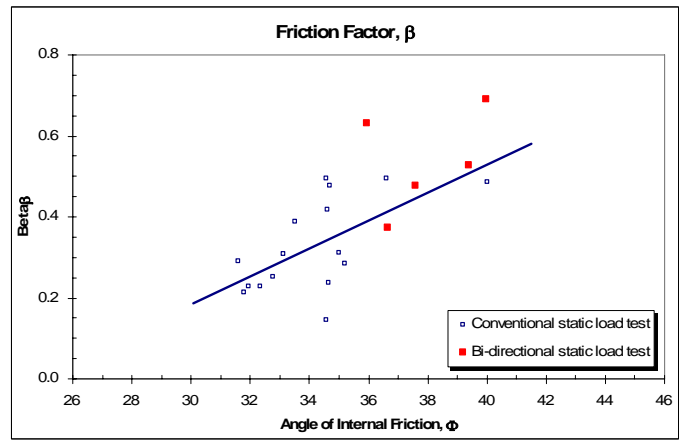
5.1 การประมาณค่าแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม โดยการทดสอบเสาเข็มวิธี Bi-Directional Static Load Test

5.1.1 สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียว (Adhesion Factor, α)

ค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียว (α) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธี Bi-Directional Static Load Test มีการกระจายตัวค่อนข้างมากและมีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จากการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธี Conventional Static Pile Load Test อยู่ประมาณ 1.5 เท่า สำหรับ S_u ในช่วง 0.2 ถึง 10 ตัน/ตร.ม. ดังแสดงใน **ภาพที่ 6** ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการเกิดแรงต้านจากดินชั้นบนไม่เพียงพอต่อแรงอัดของแม่แรง Hydraulic Jack และส่งผลให้ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างต่ำ



ภาพที่ 6 ค่า Adhesion Factor, α จากผลการทดสอบ (O-Cell) [2]



ภาพที่ 7 ค่า Friction Factor, β จากผลการทดสอบ (O-Cell) [2]

5.1.2 สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้น

ทราย (Friction Factor, β)

จากการนำผลการวิเคราะห์จากการทดสอบเสาเข็มวิธี Bi-Directional Static Load Test และวิธี Conventional Static Pile Load Test มาเปรียบเทียบกันพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทราย (β) จากการทดสอบด้วยวิธี Bi-Directional Static Load Test มีค่าที่สูงกว่าประมาณ 2.0 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบด้วยวิธี Bi-Directional Static Load Test นั้นจะทำให้การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกให้แก่เสาเข็มโดยใช้แม่แรง Hydraulic Jack ที่ติดตั้งอยู่ในตัวเสาเข็มซึ่งมีตำแหน่งใกล้กับชั้นทราย ดังนั้นในขณะที่ทำการทดสอบ แรงเสียดทานในชั้นทรายสามารถพัฒนาได้จนถึงค่าสูงสุดในขณะที่การเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีค่าเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้อาจเกิดจากแรงเสียดทานของตัวแม่แรง Hydraulic Jack ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทราย (β) ที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูง สำหรับวิธี Conventional Static Pile Load Test นั้น น้ำหนักบรรทุกบนหัวเสาเข็มจะถูกถ่ายแรงไปสู่ดินชั้นบนก่อนที่จะถ่ายแรงไปยังชั้นดินด้านล่าง ทำให้แรงเสียดทานในชั้นดินทรายที่อยู่ด้านล่างไม่สามารถพัฒนาจนถึงค่าสูงสุดได้ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงเสียดทานในชั้นทราย (β) ที่วิเคราะห์ได้จึงมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อทำการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธี Bi-Directional Static Load Test ดังภาพที่ 7

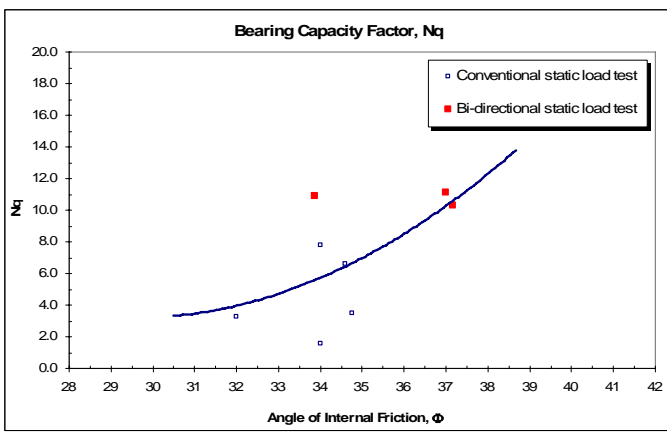
5.2 การประมาณค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม โดย

การทดสอบเสาเข็มวิธี Bi-Directional Static Load

5.2.1 สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงต้านที่ปลายในชั้นดิน

ทราย (Bearing Capacity Factor, N_q)

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงต้านที่ปลายในชั้นดินทราย (Bearing Capacity Factor, N_q) ของเสาเข็มที่ทดสอบด้วยวิธี Bi-Directional Static Load Test มีค่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 12 สำหรับค่า ϕ ในช่วง 34° ถึง 37° ในขณะที่เสาเข็มที่ทดสอบด้วยวิธี Static Pile Load Test มีค่าประมาณ 2 ถึง 12 สำหรับค่า ϕ ในช่วง 32° ถึง 35° ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบโดยวิธี Bi-Directional Static Load Test มีค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงต้านที่ปลายในชั้นดินทราย (Bearing Capacity Factor, N_q) ที่กระจายอยู่ค่อนข้างสูงกว่าประมาณ 2.5 เท่า ดังภาพที่ 8 เนื่องจากการทดสอบด้วยวิธี Bi-Directional Static Load Test ทำให้การให้น้ำหนักที่แม่แรง Hydraulic Jack ที่ติดตั้งบริเวณปลายเสาเข็มในขณะที่ทำการทดสอบขั้นตอนแรก (Stage1) ซึ่งทำให้ค่า Mobilized N_q มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธี Conventional Static Pile Load Test ซึ่งมีลักษณะการถ่ายแรงจากเสาเข็มจากชั้นดินที่อยู่ด้านบนลงไปสู่ชั้นดินที่อยู่ด้านล่าง ดังนั้นค่า Mobilized N_q ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Static Pile Load Test จึงมีค่าน้อย



ภาพที่ 8 ค่า Bearing Capacity Factor, N_q ผลทดสอบ (O-Cell) [2]

5.2.2 สัมประสิทธิ์กำลังรับแรงดันทึบในชั้นดิน

เหนียว (Bearing Capacity Factor, N_c)

ในการทดสอบ Bi-Directional Static Load Test เพื่อหาแรงดันทึบที่ปลายเสาเข็มนั้น ได้มีการติดตั้งแม่แรง Hydraulic Jack ที่บริเวณปลายเสาเข็มเพื่อวัดแรงดันทึบที่ปลายเสาเข็มโดยตรง ผลการวิเคราะห์การทดสอบ Bi-Directional Static Load Test จำนวน 1 ดัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับแรงดันทึบที่ปลาย Bearing Capacity Factor, N_c ในชั้นดินเหนียวแข็ง มีค่า N_c เฉลี่ยเท่ากับ 9.4 ซึ่งเท่ากับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยวิธี Conventional Static Pile Load Test และใกล้เคียงกับค่าที่เสนอโดย Skempton (1951)

6. บทสรุป

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ในชั้นดินกรุงเทพฯ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.8 ถึง 2.0 เมตร และมีความยาวอยู่ในช่วง 41 ถึง 62 เมตร จำนวน 12 ดัน โดยวิธี Conventional Static Pile Load Test และวิธี Bi-Directional Cell Load Test พบว่าสำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ ซึ่งมีค่า S_u ในช่วง 3 ถึง 32 ตัน/ตร.ม. นั้น ค่า Adhesion Factor (α) ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.8 ถึง 0.2 ตามลำดับ สำหรับดินทรายซึ่งมีค่า ϕ ในช่วง 32° ถึง 40° นั้น ค่า Friction Factor (β) มีค่าส่วนใหญ่ในช่วง 0.20 ถึง 0.55 ตามลำดับ ค่า Bearing Capacity Factor, N_q มีค่าสอดคล้องกับค่าที่เสนอโดย Pimpasudgi (1989) สำหรับชั้นดินกรุงเทพฯ และมีค่าต่ำกว่า ค่า N_q สำหรับดินเหนียวทั่วไปซึ่งเสนอโดยนักวิจัยต่างประเทศ [6] ค่า Bearing Capacity Factor, N_c เฉลี่ยของดินเหนียวแข็งกรุงเทพฯ มีค่าเท่ากับ 9.4 ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่เสนอโดย Skempton (1951) และนิยมใช้โดยทั่วไปซึ่งมีค่าเท่ากับ 9

จากการเปรียบเทียบผลวิเคราะห์การทดสอบเสาเข็มโดยวิธี Conventional Static Pile Load Test และวิธี Bi-Directional Cell Load Test พบว่า ค่า α , β , และ N_q ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบ Bi-Directional Static Load Test มีแนวโน้มสูงกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบโดย Conventional Static Pile Load Test เนื่องจากวิธีการทดสอบที่ต่างกัน และส่งผลให้พฤติกรรมการถ่ายแรงจากเสาเข็มไปยังดินรอบเสาเข็มและปลายเสาเข็มแตกต่างกัน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญเทพ นานกรังสรรค์, 2538. Foundation Engineering and Tunneling. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ดวงกลม สยามแอสควร์.
- [2] ภาณุ ไชยวรรณ, 2549. การศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ในชั้นดินกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] Burland, J.B., 1973. Shaft Friction of Pile in Clay. Ground Engineering, Vol.6 No.3 : pp 30-42.
- [4] Lambe, T.W. and Whitman, Robert V, 1979. Soil Mechanics, SI Version. Singapore : John Wiley & Son Inc.
- [5] Osterberg, J.O., 1998. The Osterberg Load Test Method for Drilled Shaft and Driven Piles. Seventh International Conference and Exhibition on Piling and Deep Foundation Institute, Vienna, Austria.
- [6] Pimpasudgi, S., 1989. Performance of Bored Driven and Auger Press Piles in Bangkok Subsoil. M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- [7] Skempton, A.W., 1951. The Bearing Capacity of Clay. England : Bldg. Research Congress.
- [8] Thasnanipan, N, M.A. Anwar and Maung A.W., 1999. Failure mechanism of long bored piles in layered soils of Bangkok. Civil and Environmental Engineering Conference New Frontiers and Challenges, Asian Institute of Technology, Thailand.
- [9] Tomlinson, M.J., 1969. Foundation Design and Construction. 2nd Edition. England : Pitman Publishing Bath.