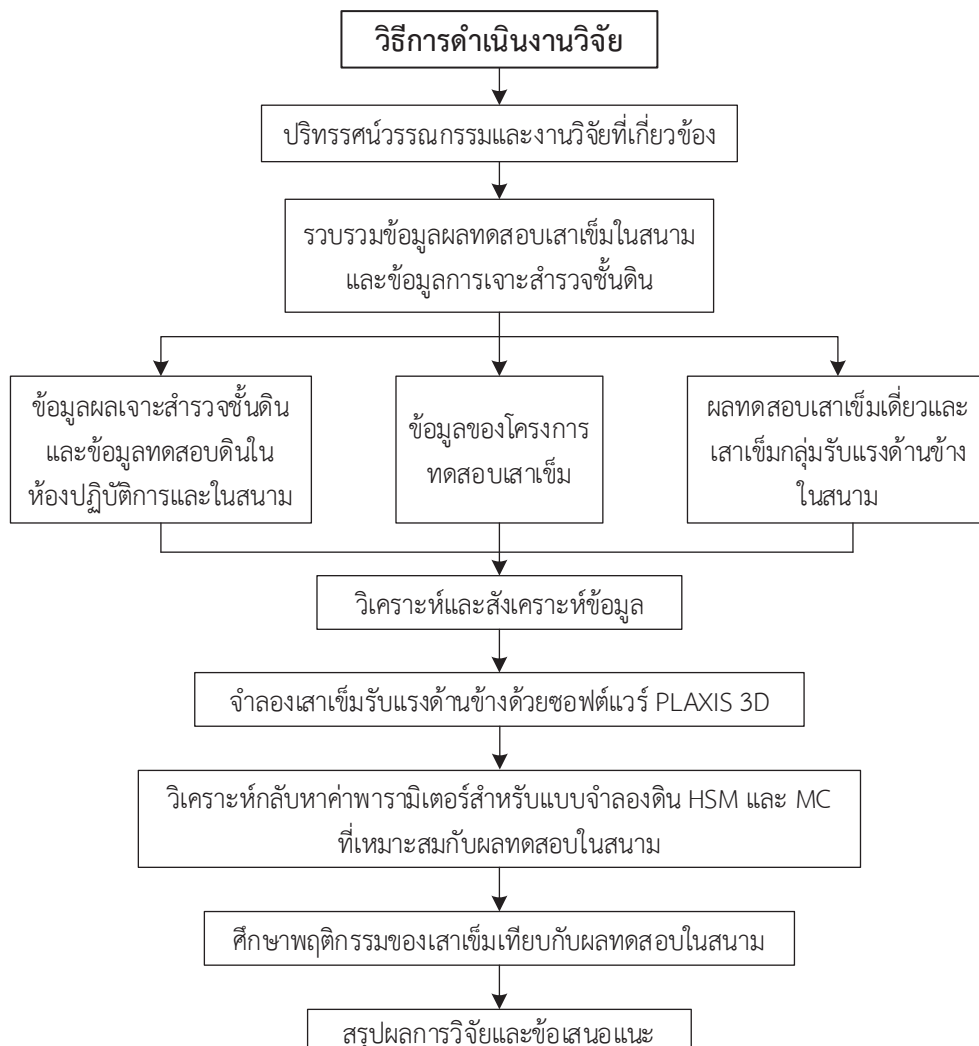


บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ แบ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็มเดี่ยวกับเสาเข็มกลุ่ม และข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดิน ส่วนที่ 2 วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล ศึกษาแบบจำลองดินพร้อมกับหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองดินที่เหมาะสมกับผลทดสอบในสนาม และวิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่มด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติ และส่วนที่ 3 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ดังแผนผังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

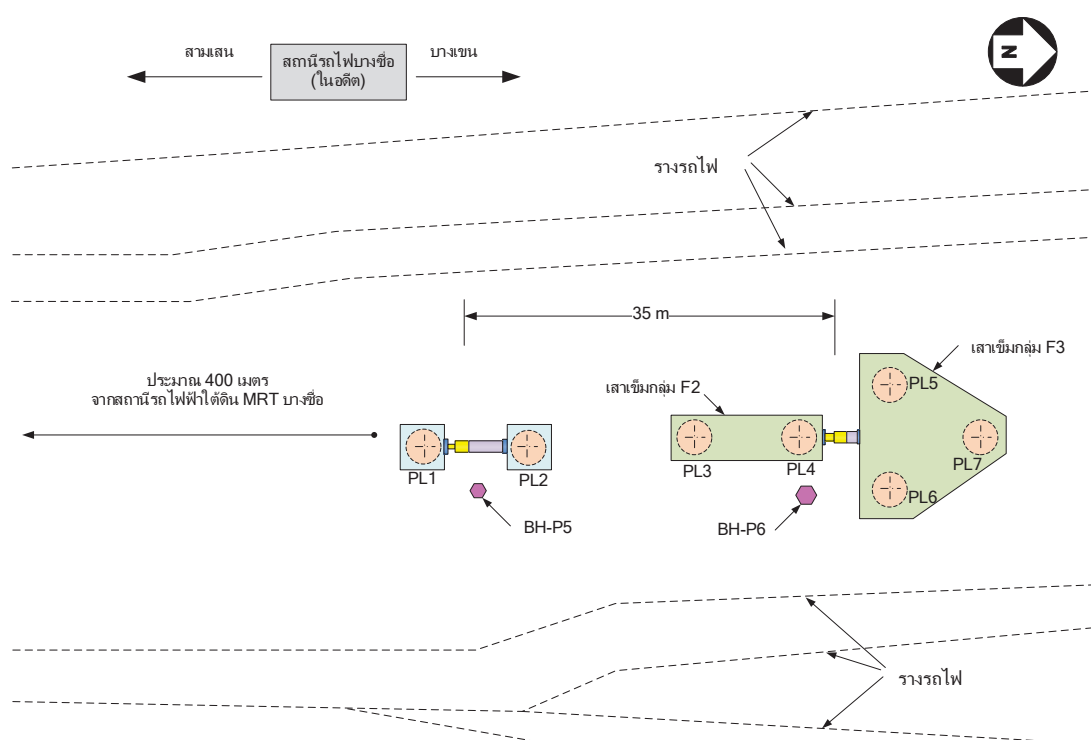
3.1 ตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะทางกายภาพของโครงการ

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากงานวิจัยของ (Wachiraprakarnpong, 1993) ที่ได้รายงานผลการทดสอบฐานรากเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่รับแรงดันข้างในสนามเมื่อปี ค.ศ. 1993 ตำแหน่งการทดสอบตั้งอยู่ที่เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมทางรถไฟบางซื่อในอดีต ก่อนที่จะกลายมาเป็นสถานีกลางบางซื่อในปัจจุบัน สำหรับตำแหน่งโดยประมาณของการทดสอบนั้นอยู่ห่างจากสถานีรถไฟฟ้ามหานคร บางซื่อไปทางทิศเหนือประมาณ 400 เมตรดังรูปที่ 3.2 ในขณะทดสอบนั้นเป็นพื้นที่โล่งอยู่ระหว่างรางรถไฟ

3.2 ตำแหน่งการเจาะสำรวจข้อมูลชั้นดินและการทดสอบเสาเข็ม

3.2.1 ข้อมูลแผนผังหลุมเจาะและตำแหน่งที่ทดสอบเสาเข็ม

โดยก่อนการก่อสร้างเสาเข็มทดสอบมีการเจาะสำรวจสภาพชั้นดินจำนวน 2 หลุม โดยหลุมเจาะ BH-P5 อยู่ใกล้กับจุดทดสอบเสาเข็มเดี่ยว และหลุมเจาะ BH-P6 อยู่ใกล้กับจุดทดสอบเสาเข็มกลุ่ม ดังรูปที่ 3.2



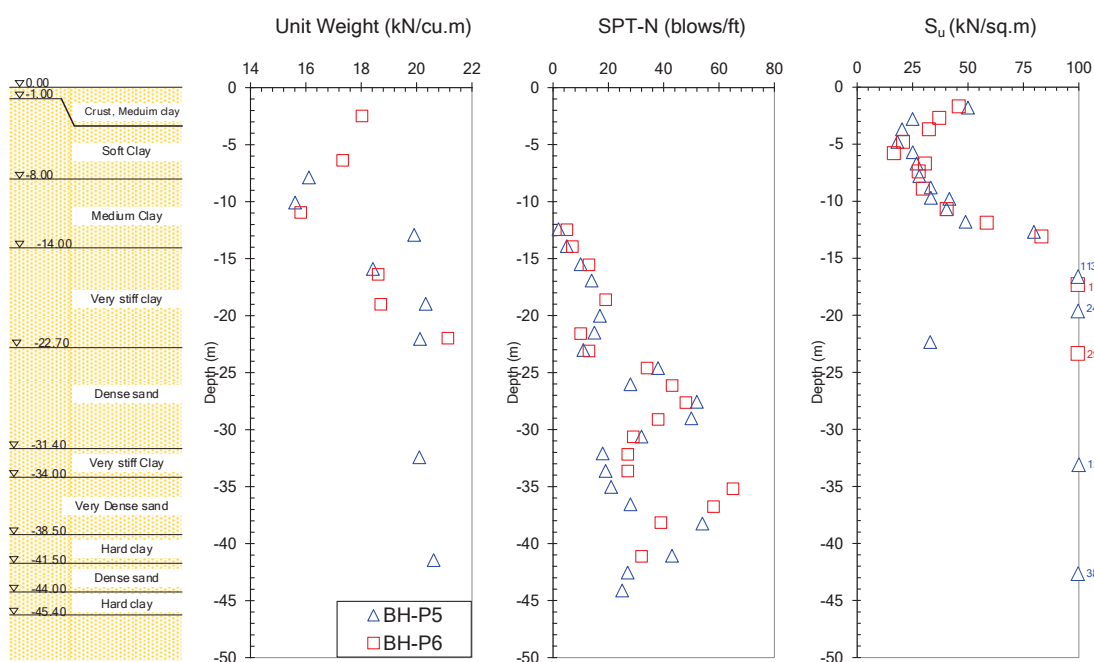
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการเจาะสำรวจชั้นดินของโครงการ (Wachiraprakarnpong, 1993)

3.2.2 ข้อมูลลักษณะชั้นดินและผลการเจาะสำรวจชั้นดิน

สำหรับลักษณะของชั้นดินในโครงการที่ได้จากการเจาะสำรวจชั้นดิน มีส่วนบนสุดเป็นเปลือกดินมีความหนาประมาณ 1 เมตร และถัดมาเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง มีความหนาประมาณ 14 เมตร จากนั้นเป็นชั้นดินทรายแน่น ความหนาประมาณ 9 เมตร และมีชั้นดินเหนียวแข็งสลับกับชั้นดินทราย ดังในรูปที่ 3.3

โครงการนี้ทำการทดสอบดินในสนามประกอบไปด้วยการทดสอบ field vane shear ในชั้นดินเหนียวอ่อนบริเวณใกล้หลุมเจาะ และการทดสอบ standard penetration test ส่วนการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาคุณสมบัติของดินประกอบด้วยการทดสอบ ได้แก่ moisture content, Atterberg's limit, specific gravity, particle size distribution by wet sieving, particle size distribution by hydrometer, sulphate and pH values on soil samples, และ unconfined undrained triaxial test (UU)

ข้อมูลผลการเจาะสำรวจชั้นดินและผลทดสอบดินในสนามและห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วย unit weight, standard penetration test (SPT-N) และ undrained shear strength (S_u) สรุปได้ดังรูปที่ 3.3

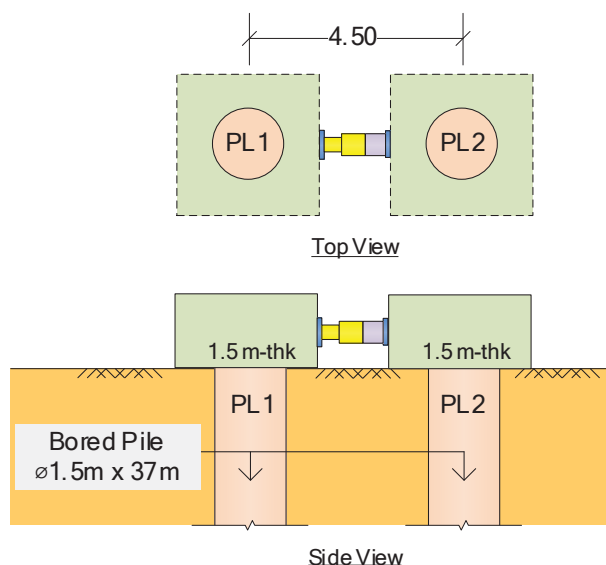


รูปที่ 3.3 ข้อมูลผลการเจาะสำรวจดินของโครงการ (Wachiraprakarnpong, 1993)

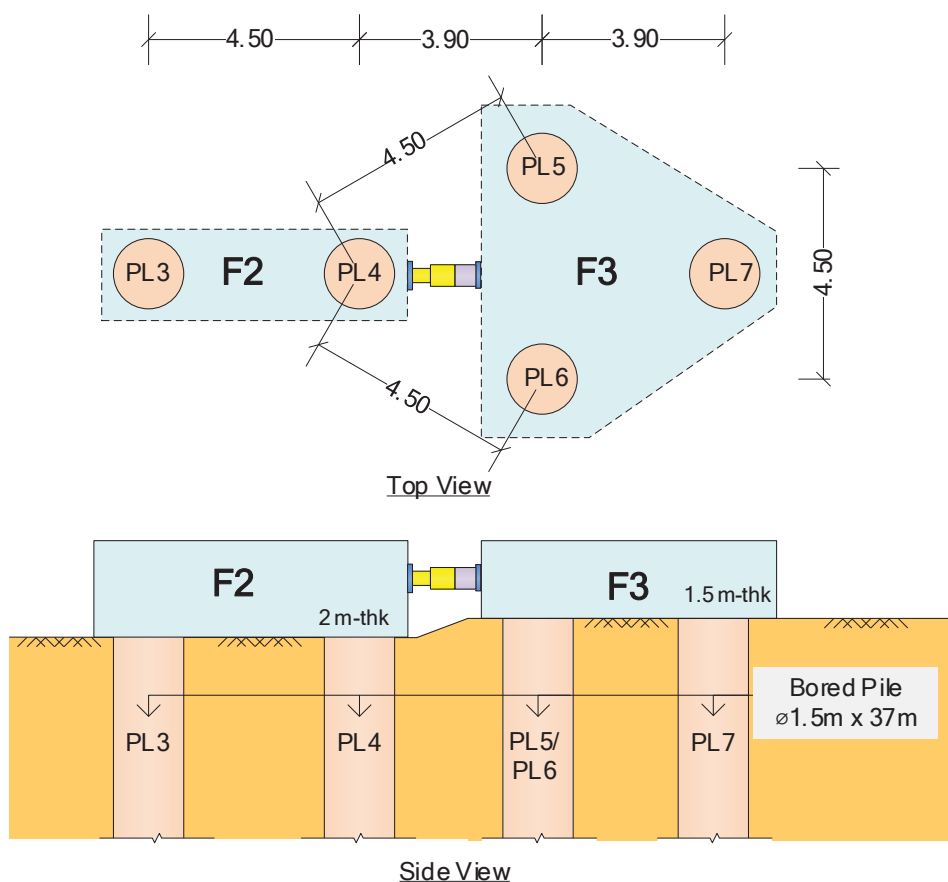
3.3 การทดสอบเสาเข็มรับแรงกระทำด้านข้าง

3.3.1 ข้อมูลการก่อสร้างและทดสอบเสาเข็ม

งานวิจัยมีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร ความยาว 37 เมตร จำนวน 7 ต้น โดยเสาเข็มหมายเลข PL1 และ PL2 ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มเดี่ยว (F1) ส่วนเสาเข็มหมายเลข PL3 และ PL4 เป็นฐานรากเสาเข็มกลุ่ม 2 ต้น (F2) ส่วนเสาเข็มหมายเลข PL5, PL6, และ PL7 เป็นฐานรากเสาเข็มกลุ่ม 3 ต้น (F3) การทดสอบแบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ การทดสอบแรกเป็นเสาเข็มเดี่ยว PL1 ให้แรงกระทำแกกกันกับ PL2 ส่วนการทดสอบที่สองเป็นเสาเข็มกลุ่ม F2 ให้แรงกระทำแกกกันกับเสาเข็มกลุ่ม F3 ในการทดสอบให้แรงกระทำต่อเฟรมทดสอบโดยใช้ hydraulic jack ที่วัดแรงกระทำโดย load cell ส่วนค่าเคลื่อนตัวของเสาเข็มวัดโดย dial gauge โดยเสาเข็มได้ติดตั้งท่อ inclinometer ไว้ตลอดความยาวเสาเข็มเพื่อวัดการโก่งตัวในระหว่างให้แรงกระทำ โดยเสาเข็มทดสอบทุกต้นใช้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดประลัย 40 เมกะปาสคัลที่อายุ 28 วัน ใช้เหล็กเสริมกำลังคราก 390 เมกะปาสคัล สำหรับเหล็กเสริมตามยาวใช้ DB32 จำนวน 44 เส้น คิดเป็นร้อยละ 2 ของพื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม และใช้เหล็ก DB10 เป็นเหล็กปลอกเกลียว รูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 เป็นการทดสอบเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่ม ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 การทดสอบเสาเข็มเดี่ยว (Wachiraprakarnpong, 1993)



รูปที่ 3.5 การทดสอบเสาเข็มกลุ่ม (Wachiraprakarnpong, 1993)

3.4 การวิเคราะห์เสาเข็มด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การจำลองเสาเข็มที่รับแรงกระทำทดสอบทางด้านข้างใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติ PLAXIS 3D สำหรับการจำลองชั้นดินโดยใช้เอลิเมนต์แบบ 10-node tetrahedral สำหรับชั้นดินส่วนบนที่เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนถึงชั้นดินแข็ง จะใช้แบบจำลองดิน MC และ HSM ส่วนการจำลองชั้นดินในส่วนล่างจะใช้แบบจำลองดิน MC เนื่องจากการเคลื่อนตัวของเสาเข็มที่ความลึกนี้ไม่มีนัยสำคัญจนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเค้นในดิน และการวิเคราะห์เป็นแบบไม่ระบายน้ำ เนื่องจากระยะเวลาทดสอบสั้นทำให้แรงดันน้ำส่วนเกินในชั้นดินเหนียวยังคงอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โครงสร้างเสาเข็มทดสอบจะจำลองโดยใช้ EBE ที่เป็นเอลิเมนต์ที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับเสาเข็มที่ประกอบไปด้วย beam element ที่ทำให้ดินรอบเอลิเมนต์มีปริมาตรคิดเป็นขอบเขตอิลาสติกที่มีรัศมีเทียบเท่า (equivalent radius, R_{eq}) ที่คำนวณจากพื้นที่หน้าตัด (cross section area, A) และ/หรือโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด (moment of inertia, I) ดังสมการที่ 3.1

$$R_{eq} = \max\{\sqrt{A/\pi}, \sqrt{2(I_2 + I_3)/A}\} \quad (3.1)$$

ส่งผลให้พฤติกรรมของ EBE เหมือนกับ VE และในแบบจำลองใช้ interface element ที่เป็น contact model แบบ Coulomb friction เพื่อจำลองการแยกหรือเลื่อนไถลออกจากกันระหว่างจุดต่อของ EBE กับเอลิเมนต์ที่ใช้จำลองดิน โดยมี interface strength parameter ที่ประกอบไปด้วย friction angle (φ_i) และ cohesion (c_i) เพื่อคำนวณหา interface shear stress (τ_i) จะคูณด้วย interface reduction factor (R_{inter}) เท่ากับ 0.7 สำหรับชั้นดินกรุงเทพฯซึ่งเสนอโดย (Du, 2003) ที่เป็นการคำนวณร่วมกับ cohesion (c_{soil}) และ internal friction angle (φ_{soil}) ในแต่ละชั้นดิน ดังสมการที่ 3.2, 3.3, และ 3.4 ส่วนการกำหนด axial skin resistance สำหรับ EBE เป็นแบบ layer dependence และสามารถคำนวณ skin resistance (T_i) ได้ดังสมการที่ 3.5

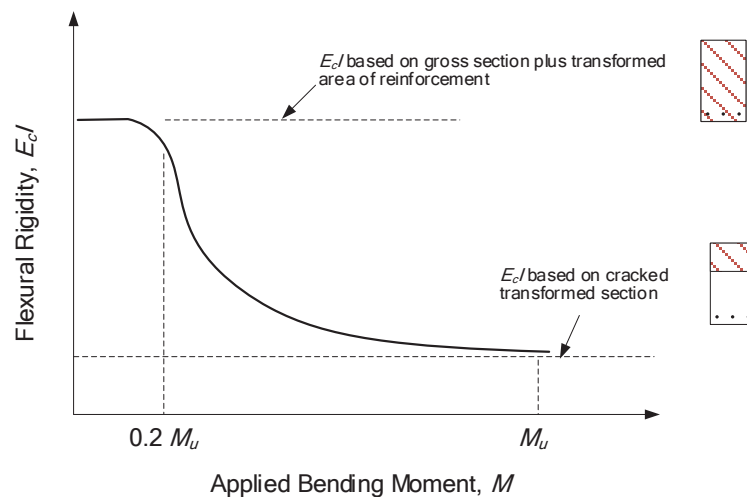
$$\tau_i = c_i + \sigma'_n \tan \varphi_i \quad (3.2)$$

$$c_i = R_{inter} c_{soil} \quad (3.3)$$

$$\tan \varphi_i = R_{inter} \tan \varphi_{soil} \quad (3.4)$$

$$T_i = 2\pi R_{eq} \tau_i \quad (3.5)$$

ส่วนเสาเข็มทดสอบเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งแตกร้าวเมื่อโมเมนต์ดัดเกินกว่าโมเมนต์แตกร้าวของคอนกรีต โดย (Wang et al., 1998) กล่าวว่า หน้าตัดจะเริ่มแตกร้าวเมื่อโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นประมาณร้อยละ 20 ของโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัด จากนั้นความแข็งแรงจะแปรผกผันกับโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดจนกระทั่งเมื่อโมเมนต์ดัดถึงจุดประลัย ดังรูปที่ 3.6



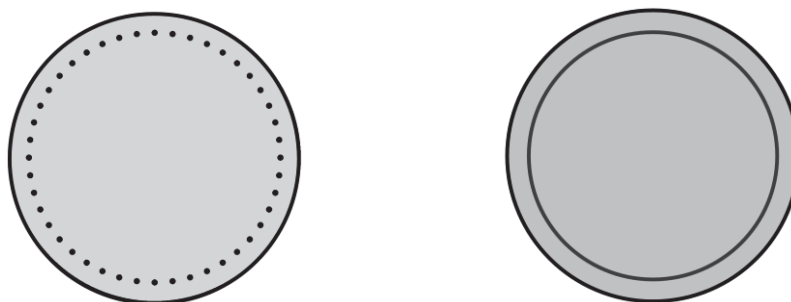
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสติฟเนสการดัดกับโมเมนต์ดัดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Wang et al., 1998)

สำหรับหน้าตัดแตกร้าวของเสาเข็มที่แปรผกผันกับโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจะกำหนดโดยใช้แบบจำลองวัสดุแบบ elastoplastic โดยเสาเข็มจะมีพฤติกรรมเป็นแบบบิลาสติกเมื่อหน่วยแรงใน

เสาเข็มต่ำกว่าหน่วยแรงคราก (yield stress, σ_y) และจะมีพฤติกรรมเป็นพลาสติกอย่างสมบูรณ์ (perfectly plastic) เมื่อหน่วยแรงในเสาเข็มเท่ากับหน่วยแรงคราก การคำนวณหน่วยแรงครากใช้โมเมนต์พลาสติกของหน้าตัด (M_p) ที่ใช้เท่ากับค่าโมเมนต์ดัดประลัย, ระยะของผิวรับแรงอัดถึงแกนสะเทิน (C), และโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดแตกร้าว (I_{cr}) ดังสมการที่ 3.6

$$\sigma_y = \frac{M_p C}{I_{cr}} \quad (3.6)$$

การคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดแตกร้าว (I_{cr}) ตามแนวทางของ (Lee, 2021) สามารถคำนวณโดยการแปลงหน้าตัดเหล็กเสริมเป็นคอนกรีตโดยอัตราส่วนโมดูลาร์ (modular ratio) โดยการแปลงการจัดเรียงเหล็กเสริมแบบกระจายรอบรูปวงกลมเป็นเส้นวงแหวน ดังรูปที่ 3.7 จากนั้นใช้ความสมดุระหว่างพื้นที่รับแรงอัดจากคอนกรีตกับพื้นที่รับแรงดึงจากเหล็กเสริม จากแนวทางดังกล่าว สามารถคำนวณอัตราส่วนของโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดที่แตกร้าวต่อหน้าตัดที่ไม่แตกร้าวเท่ากับร้อยละ 47.5 สำหรับเสาเข็มเจาะกลม โมเมนต์ครากของเสาเข็มทดสอบมีค่าเท่ากับ 7200 กิโลนิวตัน-เมตร และระยะระหว่างแกนสะเทินถึงผิวรับแรงอัดมีค่าเท่ากับ 0.21 เมตร ดังนั้นหน่วยแรงครากที่ใช้กับ EBE มีค่าเท่ากับ 12900 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร สำหรับ pile cap ใช้ VE แบบ 10-node tetrahedral ใช้แบบจำลองวัสดุ linear elastic และให้แรงกระทำโดยใช้เอลิเมนต์แบบ node-to-node anchor (N-N anchor) แล้วกำหนดแรงกระทำเป็นแรงอัด prestress ที่มีค่าเท่ากับแรงที่อ่านได้จาก load cell ในสนาม และเพื่อไม่ให้เกิดหน่วยแรงเข้มข้นบริเวณจุดต่อระหว่าง N-N anchor กับ pile cap จึงได้จำลองแผ่นรองเหล็กที่ใช้จริงโดยใช้เอลิเมนต์ชนิด plate element เชื่อมระหว่าง pile cap กับ N-N anchor ส่วนความละเอียดของตาข่ายการวิเคราะห์ (mesh) จะพิจารณาใช้ fine mesh และ medium mesh เนื่องจากแรงกระทำต่อต้นของเสาเข็มที่สภาวะประลัยสูงมาก จึงต้องมีการเลือกใช้ความละเอียด mesh ที่จะทำให้เกิดผลลัพธ์ใกล้เคียงกับผลทดสอบในสนามมากที่สุด รูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 เป็น FEM mesh ที่ใช้จำลองการทดสอบเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่มตามลำดับ ตารางที่ 3.1 เป็นคุณสมบัติของคอนกรีตทำเสาเข็มและแผ่นเหล็กกระจายแรง (steel plate)



(a) การจัดเรียงเหล็กเสริมในหน้าตัดจริง (b) การจัดเรียงเหล็กเสริมแบบวงแหวน

รูปที่ 3.7 รูปแบบการจัดเรียงเหล็กในการวิเคราะห์หาหน่วยแรงคราก

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเสาเข็มคอนกรีตเสาเข็มและแผ่นเหล็กกระจายแรง

Material	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν
concrete	24	25×10^6	0.2
steel plate	78.5	200×10^6	0.3

สำหรับแบบจำลองดินที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลางในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 3 กรณี คือ แบบจำลองดิน HSM, แบบจำลองดิน MC ที่สตีเฟนสคงที่ตลอดชั้นดิน (MCCS), และแบบจำลองดิน MC ที่สตีเฟนสแปรผันตามความลึกของชั้นดิน (MCVS)

3.4.1 การวิเคราะห์หักกลับสำหรับแบบจำลองดิน HSM

สำหรับกรณีการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองดิน HSM โดยในตารางที่ 3.2 เป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน HSM สำหรับใช้ในการจำลองชั้นดินที่มีความลึกตั้งแต่ผิวดินจนถึงระดับ -22.7 เมตร ซึ่งเป็นสตีเฟนสในทอมของหน่วยแรงรวมโดยใช้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3.7 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสเฉือน (G) โดยทอมของหน่วยแรงประสิทธิภาพจะประกอบด้วยโมดูลัสยืดหยุ่นประสิทธิภาพ (E') ซึ่งเท่ากับค่า E_{50}^{ref} ของแบบจำลองดิน HSM และอัตราส่วนปัวซองประสิทธิภาพ (ν') เท่ากับ ν_{ur} ของแบบจำลองดิน HSM ส่วนทอมของหน่วยแรงรวมจะประกอบด้วยโมดูลัสยืดหยุ่นแบบไม่ระบายน้ำ (E_u) และอัตราส่วนปัวซองแบบไม่ระบายน้ำ (ν_{ur})

$$G = \frac{E'}{2(1+\nu')} = \frac{E_u}{2(1+\nu_{ur})} \quad (3.7)$$

เมื่อพิจารณาที่ ν_u เท่ากับ 0.5 และ ν_{ur} เท่ากับ 0.2 จะได้ความสัมพันธ์ของโมดูลัสยืดหยุ่นของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิภาพเป็น $E_{50}^{ref} = 0.8E_u$ สำหรับความลึกตั้งแต่ผิวดินถึงระดับ -22.7 เมตร ที่เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวแข็งปานกลาง จะใช้แบบจำลองดิน HSM จะแปรผันอัตราส่วน E_u / S_u เท่ากับ 100 จากนั้นแปรผันอัตราส่วนดังกล่าวเพิ่มเป็น 112.5, 200, 300, และ 400 ส่วนดินเหนียวแข็งจะคงค่า E_u / S_u ไว้เท่ากับ 125 เพื่อลดตัวแปรในการศึกษาเนื่องจากผลทดสอบในสนามชี้ให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวของเสาเข็มในชั้นดินเหนียวแข็งมีนัยสำคัญน้อยมาก ดังตารางที่ 3.2 สำหรับพารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน HSM สำหรับชั้นดินเหนียวกรุงเทพในงานวิจัยนี้จะใช้แนวทางจากงานวิจัยของ (Likitlersuang et al., 2018) ที่ได้จากการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของ diaphragm wall โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินในชั้นดินกรุงเทพ เนื่องจากไม่มีผลทดสอบหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน HSM ของโครงการทดสอบเสาเข็มโดยตรง ส่วนตารางที่ 3.3 เป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน MC สำหรับใช้ในการจำลองชั้นดินที่ระดับ -22.7 เมตรลงไป

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน HSM ที่ใช้ในการจำลองวิเคราะห์ด้วย FEM

soil	γ_t (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	ϕ' (degree)	E_{50}^{ref} (kN/m ²)	E_{oed}^{ref} (kN/m ²)	E_{ur}^{ref} (kN/m ²)	m	v_{ur}
soft clay	17	1*	23*	1600	1600	16000	1	0.2
medium clay	16.5	10*	25*	3200	3200	9600	1	0.2
very stiff clay	18.5	25*	26*	16500	16500	49500	1	0.2

หมายเหตุ * คือ ใช้ค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของ (Likitlersuang et al., 2018)

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน MC ที่ใช้ในการจำลองวิเคราะห์ด้วย FEM

soil	γ_t (kN/m ³)	S_u (kN/m ²)	ϕ' (degree)	E^* (kN/m ²)	v_u
dense sand	20	-	34	60000	0.495
very stiff clay	18.5	150	-	75000	0.495
very dense sand	21	-	36	77500	0.495
hard clay	20.5	380	-	38000	0.495

หมายเหตุ * สำหรับค่า E แบ่งออกเป็น E_u สำหรับดินเหนียว และ E' สำหรับดินทราย

3.4.2 การวิเคราะห์หักกลับสำหรับแบบจำลองดิน MC

สำหรับแบบจำลองดิน MC แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นกรณีสตีฟเนสแปรผันตามความลึก (Mohr-Coulomb vary stiffness with depth, MCVS) จะแปรผันสตีฟเนสของชั้นดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวปานกลางที่ความลึกจากผิวดินถึงระดับ -14 เมตร ดังตารางที่ 3.4 ส่วนกรณีที่ของดินสตีฟเนสคงที่ (Mohr-Coulomb constant stiffness with depth, MCCS) จะใช้สตีฟเนสของดินดังตารางที่ 3.5 ส่วนการกำหนดค่าสตีฟเนสของดินเหนียวแข็งคงที่ไว้ที่ E_u / S_u เท่ากับ 500 การแปรผันสตีฟเนส E_u / S_u ของดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง จำนวน 5 ค่า คือ 50, 100, 200, 300, และ 400 สำหรับความลึกจากระดับ -14 เมตรลงไปจะใช้การจำลองดิน MC เช่นเดียวกันทั้ง 3 กรณี ดังตารางที่ 3.5 เนื่องจากการโก่งตัวของเสาเข็มในชั้นดินที่ความลึกนี้น้อยมากเมื่อเทียบกับการโก่งตัวในชั้นดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวแข็งปานกลาง

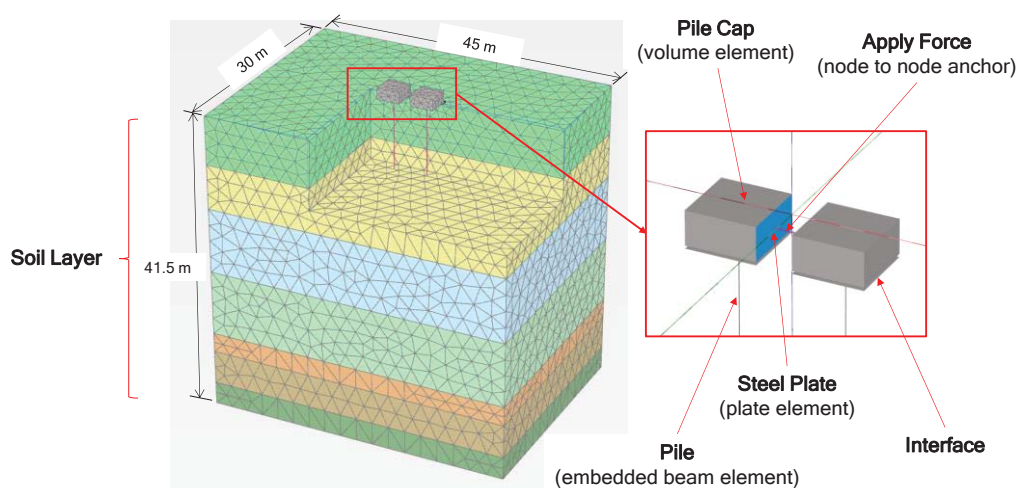
ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน MCVS ที่ใช้ในการจำลองวิเคราะห์ด้วย FEM

soil	γ_t (kN/m ³)	S_u (kN/m ²)	$S_{u, increase}$ (kN/m ² /m)	v_u
soft clay	17	20	2.70	0.495
medium clay	16.5	40	2.70	0.495
very stiff clay	18.5	165	-	0.495

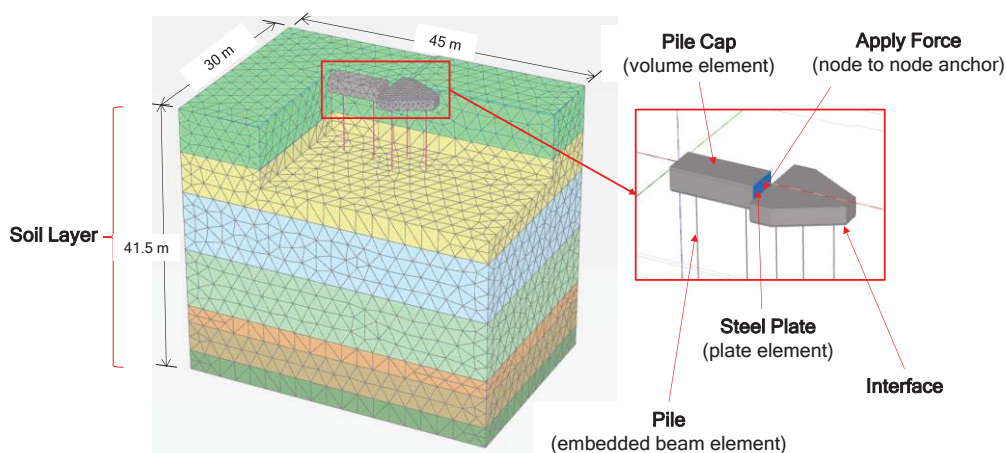
ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน MCCS ที่ใช้ในการจำลองวิเคราะห์ด้วย FEM

soil	γ_t (kN/m ³)	S_u (kN/m ²)	ϕ' (degree)	E^* (kN/m ²)	ν_u
soft clay	17	20	-	vary	0.495
medium clay	16.5	40	-	vary	0.495
very stiff clay	18.5	165	-	82500	0.495
dense sand	20	-	34	60000	0.495
very stiff clay	18.5	150	-	75000	0.495
very dense sand	21	-	36	77500	0.495
hard clay	20.5	380	-	190000	0.495

หมายเหตุ * สำหรับค่า E แบ่งออกเป็น E_u สำหรับดินเหนียว และ E' สำหรับดินทราย



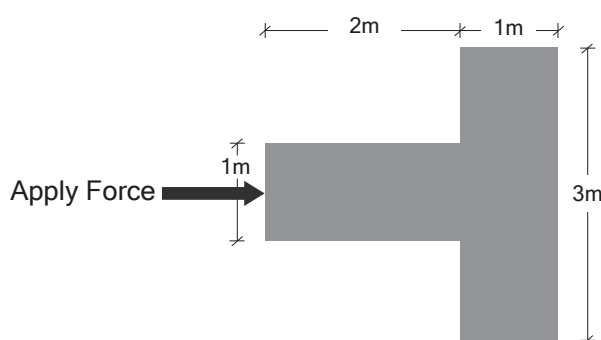
รูปที่ 3.8 FEM mesh ที่ใช้ในการจำลองเสาเข็มเดี่ยว F1



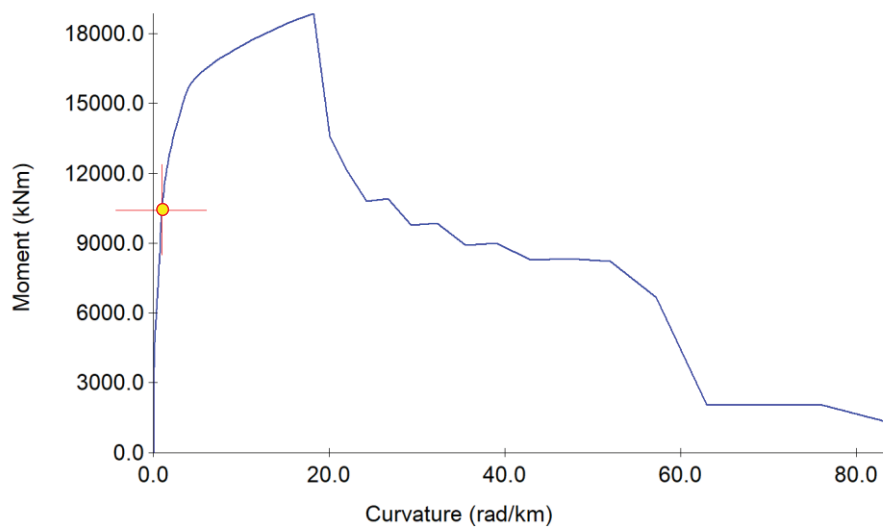
รูปที่ 3.9 FEM mesh ที่ใช้ในการจำลองเสาเข็มเสาเข็มกลุ่ม F2 ดันกับ F3

3.5 การประยุกต์ใช้ EBE กับเสาเข็มแบบเรีรับแรงด้านข้าง

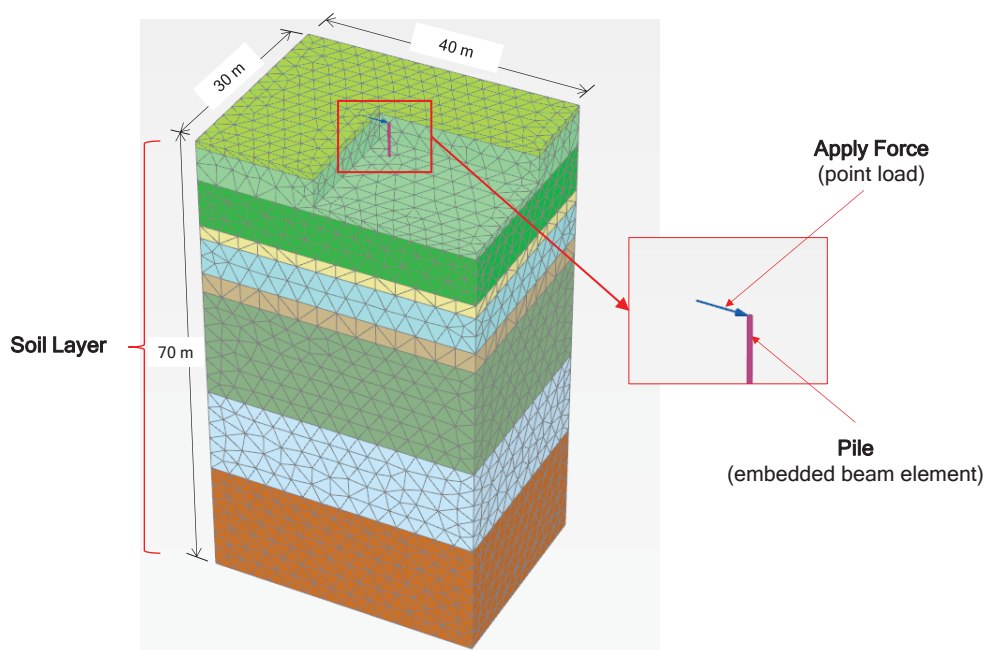
งานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้การจำลอง EBE สำหรับเสาเข็มแบบเรีรูปตัวที (TB) ที่มีปีกขนาด (1 เมตร x 3 เมตร) และมีเอวขนาด (1 เมตร x 2 เมตร) ความยาว 56 เมตร ของโครงการ Millennium Residence ดังรูปที่ 2.29 และมีรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือทดสอบดังรูปที่ 2.30 โดยรูปแบบการให้แรงกระทำดังในรูปที่ 3.10 ซึ่งเสาเข็มแบบเรีตก่อสร้างโดยคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดประลัย 28 เมกะปาสคัลที่อายุ 28 วัน ใช้เหล็กเสริมกำลังคราก 500 เมกะปาสคัล โดยเหล็กเสริมตามยาวใช้ DB32 จำนวน 30 เส้นสำหรับส่วนปีก และใช้เหล็ก DB25 จำนวน 22 เส้นสำหรับส่วนเอว โดยใช้คุณสมบัติของชั้นดินจากงานวิจัยของ (Submaneeewong, 2009) ซึ่งเป็นหน่วยแรงรวมอยู่ในรูปของโมดูลัสแบบไม่ระบายน้ำ (E_u) มาใช้แปลงเป็นสติฟเนสสำหรับแบบจำลองดิน HSM โดยใช้ความสัมพันธ์ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.4.1 จะได้ความสัมพันธ์ของสติฟเนสเป็น $E_{50}^{ref} = E_{oed}^{ref} = 0.8E_u$ ส่วนสติฟเนสสำหรับดินเหนียวอ่อน คือ $E_{ur}^{ref} = 10E_{50}^{ref}$ และสติฟเนสสำหรับดินเหนียวแข็งปานกลาง คือ $E_{ur}^{ref} = 3E_{50}^{ref}$ โดยพารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน HSM ใช้ตามแนวทางของ (Likitlersuang et al., 2018) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์เสาเข็มเจาะกลม โดยมีคุณสมบัติและพารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน HSM สำหรับดินส่วนบนจากผิวดินถึงระดับ -15 เมตร และแบบจำลองดิน MC สำหรับดินส่วนล่างที่ระดับ -15 เมตรลงไป ดังตารางที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ ส่วนคุณสมบัติของเสาเข็มที่จำลองโดย EBE นั้นจะพิจารณาใช้รัศมีเทียบเท่า (R_{eq}) ของหน้าตัดวงกลมที่แปลงมาจากพื้นที่หน้าตัดจริงของเสาเข็ม TB ที่ทำการทดสอบในสนาม ส่วนการคำนวณโมเมนต์ครากของหน้าตัดจะใช้เท่ากับโมเมนต์ที่จุดสิ้นสุดความสัมพันธ์เส้นตรงจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง (curvature) จากซอฟต์แวร์ Response-2000 ดังในรูปที่ 3.11 โดยค่าโมเมนต์ดังกล่าวได้ 10400 กิโลนิวตัน-เมตร จากนั้นหาความสมดุลระหว่างพื้นที่รับแรงอัดจากคอนกรีตและพื้นที่รับแรงดึงจากเหล็กเสริมเพื่อคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดที่แตกร้าวและระยะจากผิวรับแรงอัดถึงแกนสะเทินซึ่งใช้หลักการคำนวณเช่นเดียวกับกรณีของคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในการจำลองให้แรงกระทำแก่เสาเข็มโดยใช้ point load ดังรูปที่ 3.12 เป็น FEM mesh ของเสาเข็ม TB และผลการคำนวณหน่วยแรงครากสำหรับ EBE ดังตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.10 การรับแรงด้านข้างของเสาเข็ม TB



รูปที่ 3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของเสาเข็ม TB



รูปที่ 3.12 FEM mesh ที่ใช้ในการจำลองเสาเข็ม TB

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของเสาเข็มแบบเรตที่ใช้ในการวิเคราะห์

barrette type	I_{gross} (m^4)	I_{crack} (m^4)	compression depth (m)	M_p (kN-m)	σ_y (kN/m^2)
TB (1x3)m + (1x2)m	3.1617	0.40325	0.42	10400	10832

ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน HSM สำหรับเสาเข็มแบบเรีต TB

soil	γ_t (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	ϕ' (degree)	E_{50}^{ref} (kN/m ²)	E_{oed}^{ref} (kN/m ²)	E_{ur}^{ref} (kN/m ²)	m	ν_{ur}
crust	18	10	25	47600	47600	142800	1	0.2
very soft clay	16	1*	23*	25600	25600	256000	1	0.2
soft clay	16.5	1*	23*	31200	31200	312000	1	0.2
medium clay	18	10*	25*	44400	44400	133200	1	0.2

หมายเหตุ * คือ ใช้ค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของ (Likitlersuang et al., 2018)

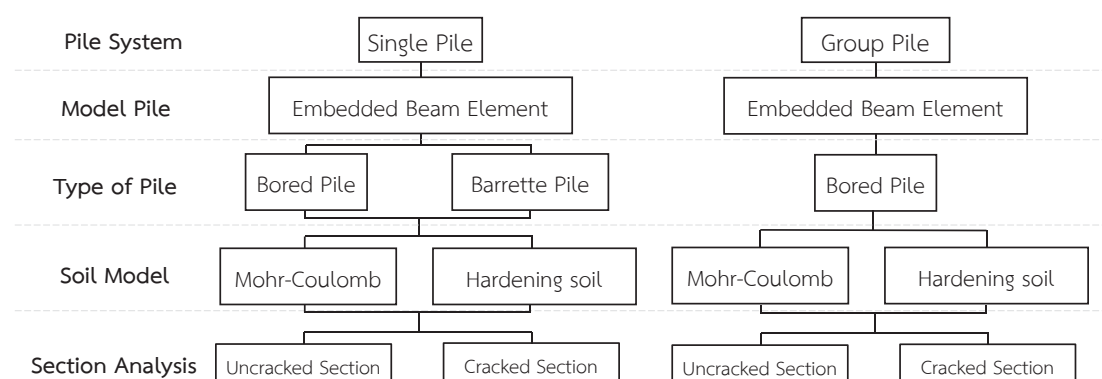
ตารางที่ 3.8 พารามิเตอร์ของแบบจำลองดิน MC สำหรับเสาเข็มแบบเรีต TB

soil	γ_t (kN/m ³)	S_u (kN/m ²)	ϕ' (degree)	E^* (kN/m ²)	ν_u
stiff clay	17.5	100	-	280000	0.495
medium dense sand	18	-	35	500000	0.495
very stiff clay	18	110	-	308000	0.495
hard clay	19	200	-	560000	0.495
very dense sand	19.5	-	35	990000	0.495

หมายเหตุ * คือ สำหรับค่า E แบ่งออกเป็น E_u สำหรับดินเหนียว และ E' สำหรับดินทราย

3.6 สรุปกรณีวิเคราะห์ในงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดแนวทางการวิเคราะห์เสาเข็มรับแรงด้านข้าง โดยแบ่งกรณีศึกษาได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 สรุปกรณีวิเคราะห์เสาเข็มในงานวิจัย