ความรู้ประกอบการเลื่อนระดับวุฒิวิศวกรเกี่ยวกับงานฐานรากอาคาร

ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อนุกรรมการทดสอบความรู้ระดับสามัญวิศวกร และวุฒิวิศวกร

เตรียมเอกสาร

- รวบรวมผลงานหลังจากได้ สามัญวิศวกรโยธามาเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 ปี
- จัดลำดับการทำงานอย่าให้ระยะเวลาทับซ้อนกัน
- หากมีผลงานที่หลากหลายจะน่าสนใจ เช่นเคยออกแบบแก้ปัญหาด้วยตนเอง อำนวยการใช้วางโครงการ หรือควบคุมงานที่ซับซ้อน

เตรียมเอกสาร

- กรอกประวัติการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมให้ระบุตำแหน่ง หน้าที่ และงานที่ทำพอสังเขป
- แบบบัญชีแสดงปริมาณและคุณภาพผลงาน ระดับ สย. (ไม่น้อยกว่า 5 ปี) พร้อมผู้รับรองผลงานที่เป็น วย.
- ผลงานดีเด่นควรเสนอ 3 โครงการ โดยเลือกผลงานที่ระบุในบัญชีปริมาณงาน

บัญชีปริมาณงาน

- ระบุรายละเอียดของงานเชิงวิศวกรรมลงในช่องที่สองให้ชัดเจน
- ระบุระยะเวลาการทำงาน ไม่ทับซ้อนกัน หากทับซ้อนโดยข้อเท็จจริงให้ชี้แจงเหตุผล
- ระบุลักษณะงานที่ปฏิบัติให้ชัดเจนเช่น วางโครงการ ออกแบบคำนวณ ควบคุมการก่อสร้าง หรือการผลิตงานพิจารณาตรวจสอบ และงานอำนวยการใช้

ควรมีอะไรในผลงานดีเด่น

- โครงการก่อสร้าง (ภายในประเทศ) เสร็จเรียบร้อยและเปิดใช้งานแล้ว
- เป็นโครงการที่ใช้ความรู้และประสบการณ์สูงมาก
- นำเสนอในหัวข้อ “การนำความรู้ เชิงวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้งาน”
- นำเสนอปัญหา วิเคราะห์และแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรม

ข้อแนะนำในการเขียนผลงานดีเด่น

- เขียนตามคำแนะนำของ สภาฯ ให้ครบทุกหัวข้อ
- การเขียนหัวข้อ “การนำความรู้ เชิงวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในงานหรือปัญหาอุปสรรค พร้อมการแก้ปัญหา”
- ควรเขียนให้กระชับจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงว่าเกิดอะไรขึ้น สาเหตุที่เกิด แก้ไขอย่างไร เหตุใดถึงแก้ไขเช่นนั้น ผลสัมฤทธิ์ในการแก้ไข
- ไม่ควรเขียนแบบเรียงความหรือตำรา

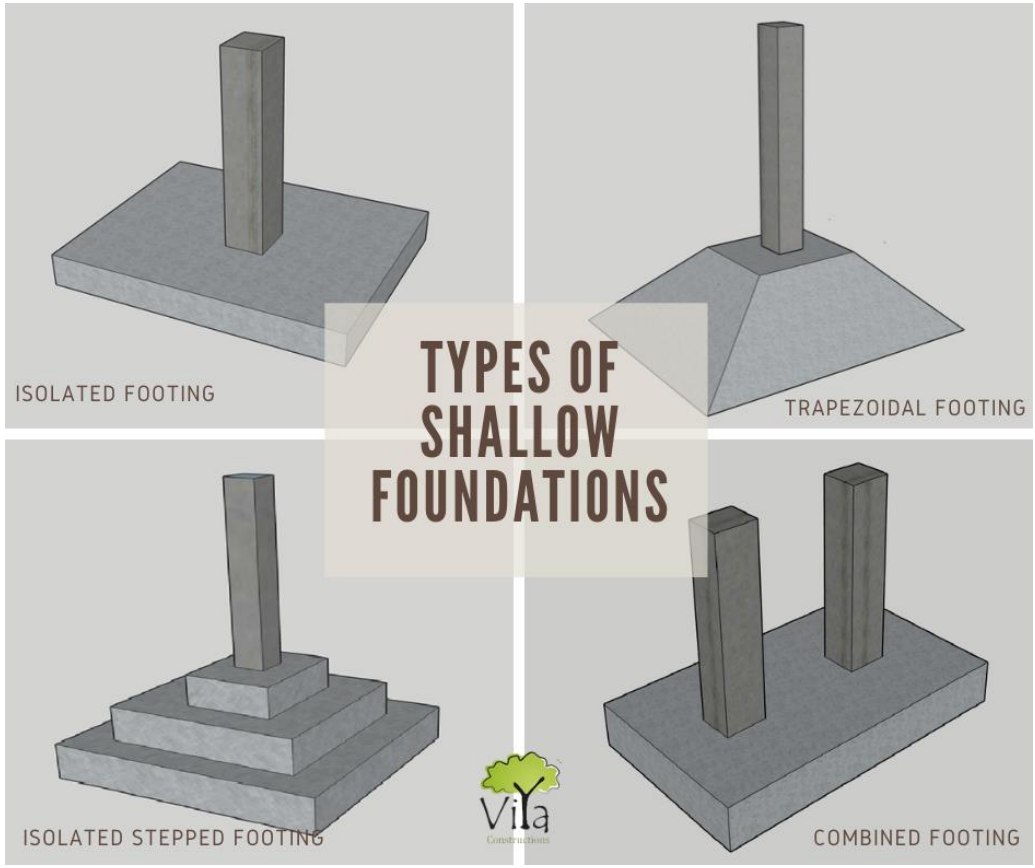
ความรู้ประกอบการเลื่อนระดับวุฒิวิศวกรเกี่ยวกับงานฐานรากอาคาร

ฐานรากแผ่ระดับตื้น (Shallow Foundation

ได้แก่ ฐานรากที่วางอยู่บนดินที่มีความแข็งแรงสูง สามารถรับน้ำหนักสิ่งก่อสร้างได้ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยเสาเข็มและจะไม่เกิดการทรุดตัวมาก จนเป็นอันตรายต่อโครงสร้าง

ฐานรากระดับตื้นมักอยู่ในบริเวณผิวดิน หรือฝังลงไปในดินไม่เกินความกว้างของตัวฐานเอง หรือพ้นอิทธิพลจากการแข็งตัวของน้ำในดินในฤดูหนาว

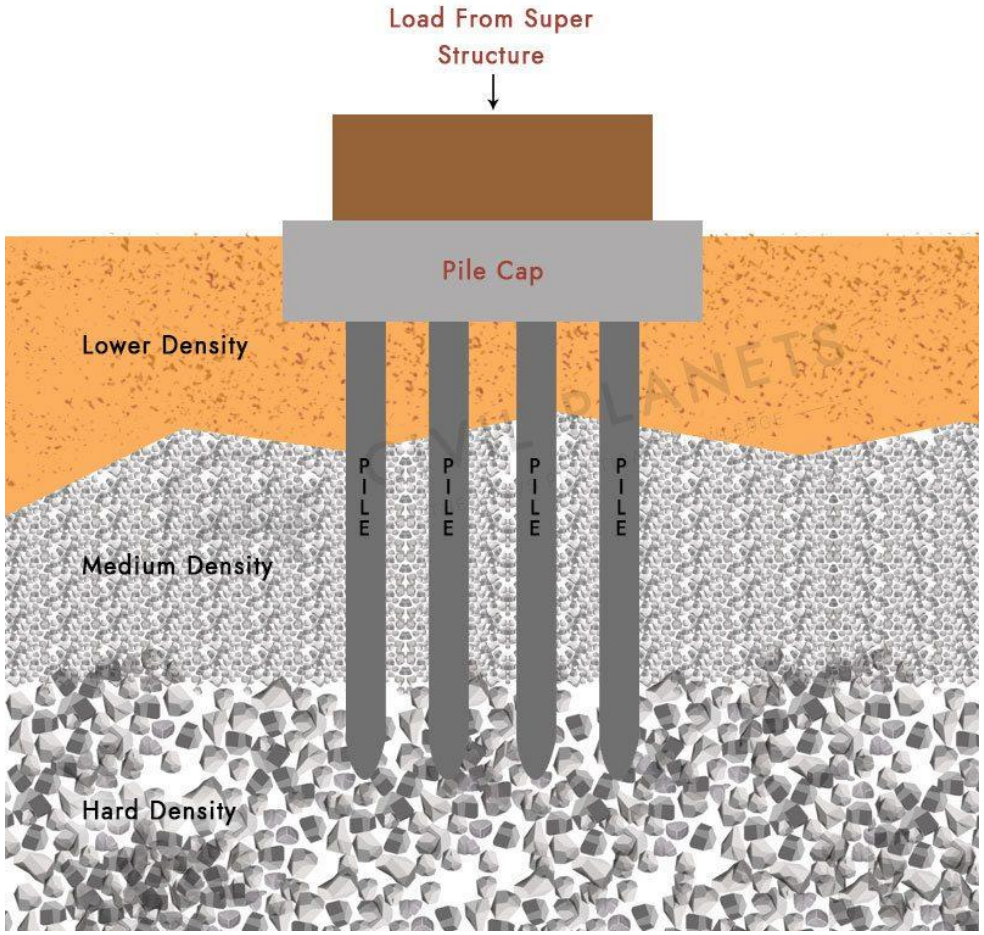
สำหรับในประเทศไทยวิศวกรมักจะวางฐานรากให้ต่ำกว่าชั้นดินที่มีอินทรียวัตถุ เช่น รากไม้ ใบไม้ปนอยู่ จึงปรากฏว่าระดับจะอยู่ในระหว่าง 0.5 ถึง 2.0 เมตร จากผิวดินเป็นส่วนมาก



ฐานรากระดับลึก (Deep Foundation)

ได้แก่ ฐานรากที่ต้องรับน้ำหนักมากหรือชั้นดินส่วนบนไม่มีความแข็งแรงพอ จึงจำเป็นต้องมีเสาเข็มเคซอง หรือโครงสร้างอื่น ๆ

ความลึกของฐานรากประเภทนี้ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นดิน และน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างเป็นสำคัญ ในบริเวณกรุงเทพฯ และจังหวัดข้างเคียง ซึ่งอยู่ในบริเวณดินตะกอนจากลุ่มน้ำ มักจะต้องใช้ฐานรากระดับลึก มีตั้งแต่ 5 เมตร จนกระทั่งประมาณ 50 เมตร จากผิวดิน



การทรุดตัวของดินใต้ฐานราก

- ถึงแม้จะออกแบบฐานรากให้รับน้ำหนักได้ก็ตาม แต่ถ้าละเลยไม่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวหรือการทรุดตัวของดินในบริเวณฐานรากก็อาจมีปัญหาการทรุดตัวเกิดขึ้นภายหลังซึ่งอาจทำให้โครงสร้าง ซึ่งถ้าไม่ได้ออกแบบไว้รับการทรุดตัวดังกล่าวไม่สามารถทนได้
- เกิดการแตกร้าว เสียหาย จนใช้การไม่ได้ ถึงแม้ว่าการทรุดตัวจะไม่เกิดอันตรายทันที เหมือนกับการเคลื่อนพังของ ชั้นดินเมื่อรับน้ำหนักไม่ได้
- แต่ก็มีผลกับความสวยงามและประโยชน์ใช้สอยของสิ่งก่อสร้างเหล่านั้น

การสำรวจชั้นดิน (Soil Investigation)

ในปัจจุบันการสำรวจดินเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบฐานรากสำหรับทุกโครงการ ขอบเขตการสำรวจขึ้นอยู่กับขนาดและความสำคัญของโครงการเช่นอาคารโรงไฟฟ้า โรงผลิตปุ๋ย สะพาน เป็นต้น

จำเป็นต้องสำรวจชั้นดินอย่างละเอียดโดยสำรวจทุกตารางเมตรหรือตารางกิโลเมตร ส่วนในประเภทเสาส่งแรงสูง ทางรถไฟ ถนนและโครงการอื่นๆที่ก่อสร้างเป็นระยะทางยาวหลายกิโลเมตร

ดังนั้นโครงการแต่ละประเภทต้องสำรวจต่างกัน ทั้งนี้หลักการสำรวจดินเหมือนกันทุกโครงการแต่รายละเอียดและวิธีการอาจแตกต่างกันไปในรายโครงการ

รายละเอียดการสำรวจดิน

ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความสำคัญและขนาดของโครงการแต่โดยทั่วไปควรประกอบข้อมูลต่อไปนี้

- ข้อมูลเพื่อจำแนกประเภทของฐานรากเท่าที่จำเป็นเช่นฐานรากตื้นหรือฐานรากลึก
- ข้อมูลเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงและสมบัติการยุบตัวของชั้นดินเพื่อผู้ออกแบบสามารถเสนอแนะค่าความดันแบกทานปลอดภัยหรือความสามารถรับน้ำหนักของเสาเข็ม

หัวข้อการสำรวจดิน

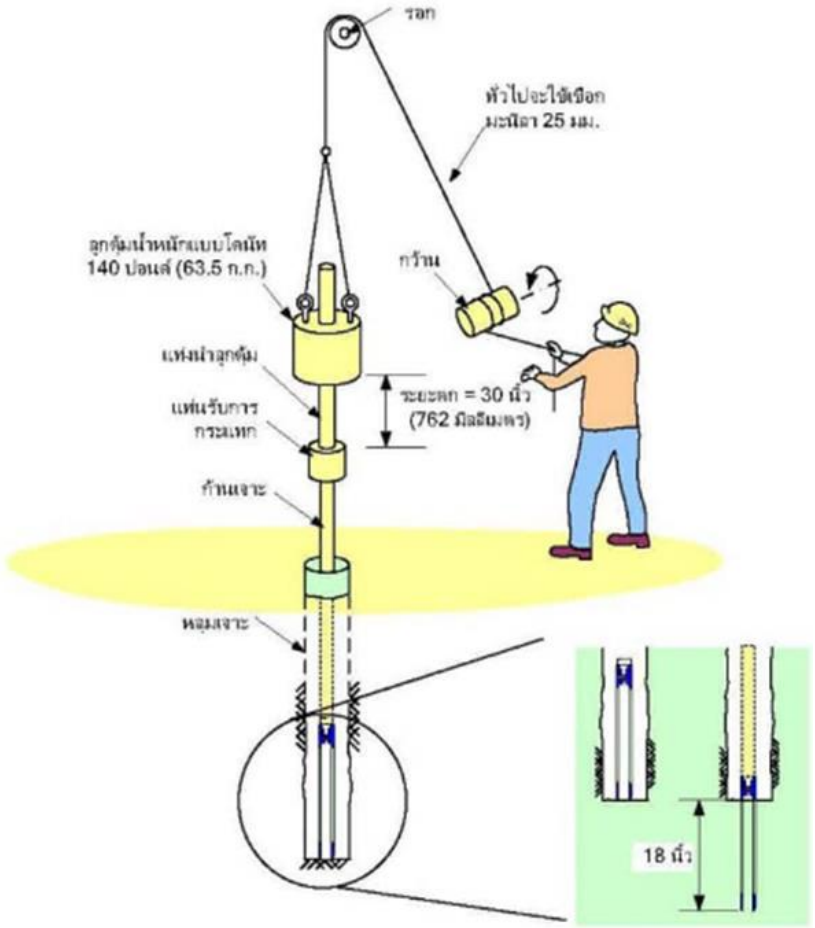
- การวางแผนเพื่อสำรวจดิน
- การเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนและไม่รบกวนดิน หรือตัวอย่างหินจากหลุมเจาะในสนาม จำนวนและความลึกขึ้นอยู่กับโครงการ
- ทดสอบในสนามตามความจำเป็นเพื่อหาความแข็งแรงและสมบัติการยุบตัวของดินทั้งทางตรงและทางอ้อม
- ศึกษาระดับน้ำใต้ดินและเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ทางเคมี
- สำรวจสภาพธรณีฟิสิกส์หากจำเป็น
- ทดสอบดิน หิน และน้ำตามความจำเป็น
- จัดทำแบบแผนภาพ

วิธีการทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม (Field test)

- ในระหว่างการเจาะสำรวจชั้นดินมักมีการทดสอบคุณสมบัติดินในสนามไปพร้อมๆ กัน เช่น การหากำลังความต้านทานของชั้นดิน, การหาค่าความซึมน้ำ เป็นต้น
- ข้อดีของการทดสอบในสนาม คือ ชั้นดินจะถูกรบกวนน้อยที่สุดเพราะยังคงอยู่ในที่ และยังมีสภาพแวดล้อมตามสภาพจริง
- แต่ทดสอบโดยใช้เครื่องมืออย่างละเอียดเหมือนในห้องทดลองทำได้ยาก ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้จึงเป็นค่าที่ถูกต้องในระดับหนึ่ง
- ผู้นำผลไปใช้จะต้องพิจารณาใช้ให้เหมาะสม การทดสอบในหลุมเจาะที่ทำกันเป็นส่วนมากได้แก่

วิธีการทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม (Field test)

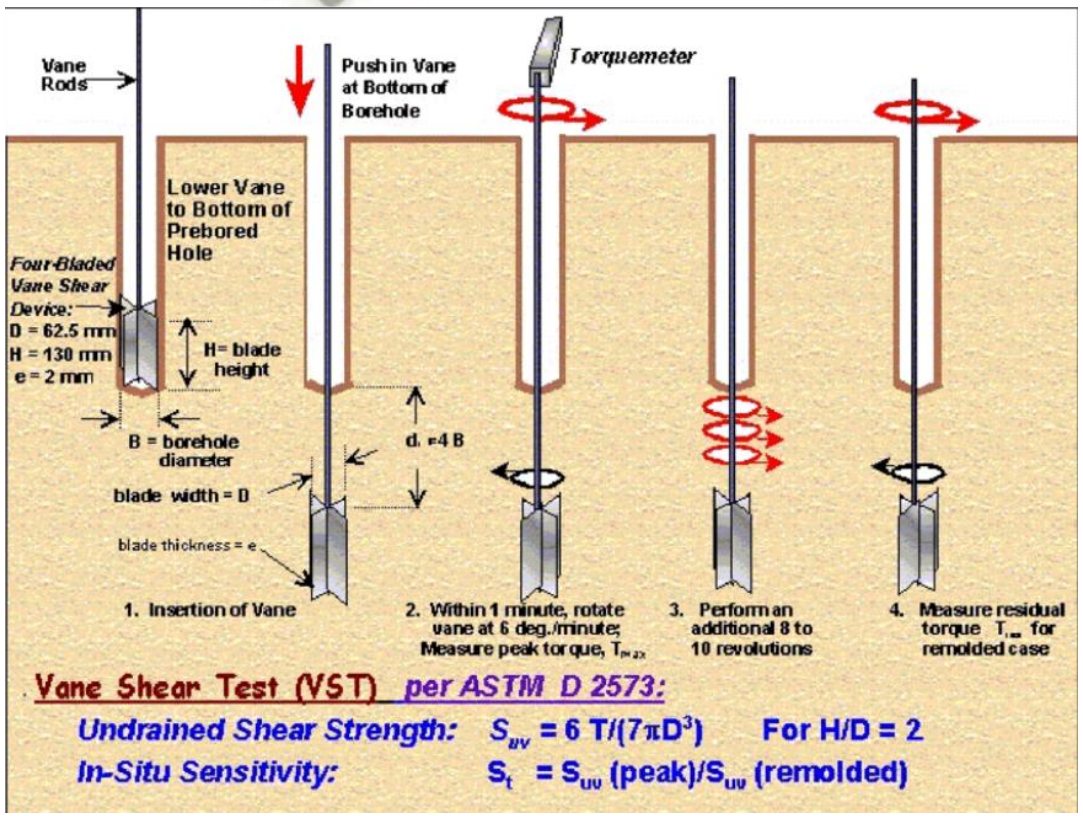
ก) Standard Penetration test (SPT) หรือการตอกทดลองมาตรฐาน เป็นการตรวจสอบความแข็งแรงของชั้นดินที่นิยมที่สุดในประเทศไทย การทดสอบดำเนินการร่วมไปกับการเก็บตัวอย่างโดยกระบอกผ่า หลักการทดสอบคือ เมื่อเจาะดินถึงระดับที่ต้องการทราบความแข็งแรง กระบอกผ่าจะถูกตอกลงไปในดินเป็นความลึก 18 นิ้ว โดยใช้ลูกตุ้มขนาดมาตรฐานหนัก 140 ปอนด์ ยกสูง 30 นิ้ว ระยะจม 18 นิ้ว ถูกแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 6 นิ้ว แต่ละช่วงจะทำการบันทึกจำนวนครั้งที่ใช้ในการตอกเพื่อให้กระบอกผ่าจมลงไป 6 นิ้ว ดังนั้นถ้าชั้นดินเป็นดินแข็งจะต้องให้พลังงานในการตอกมากหรือใช้จำนวนครั้งในการตอกมากนั่นเอง จำนวนการตอกใน 6 นิ้ว แรกจะไม่นำมาใช้เนื่องจากสภาพดินกันหลุมอาจถูกรบกวนจากการเจาะสำรวจมาก ทำให้ความแข็งแรงของดินเปลี่ยนไปจำนวนการตอกในช่วงที่เหลือจำนำมารวมกันให้ได้ค่าจำนวนครั้งการตอกมาตรฐานหรือค่า N ดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบต่อไป



วิธีการทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม (Field test)

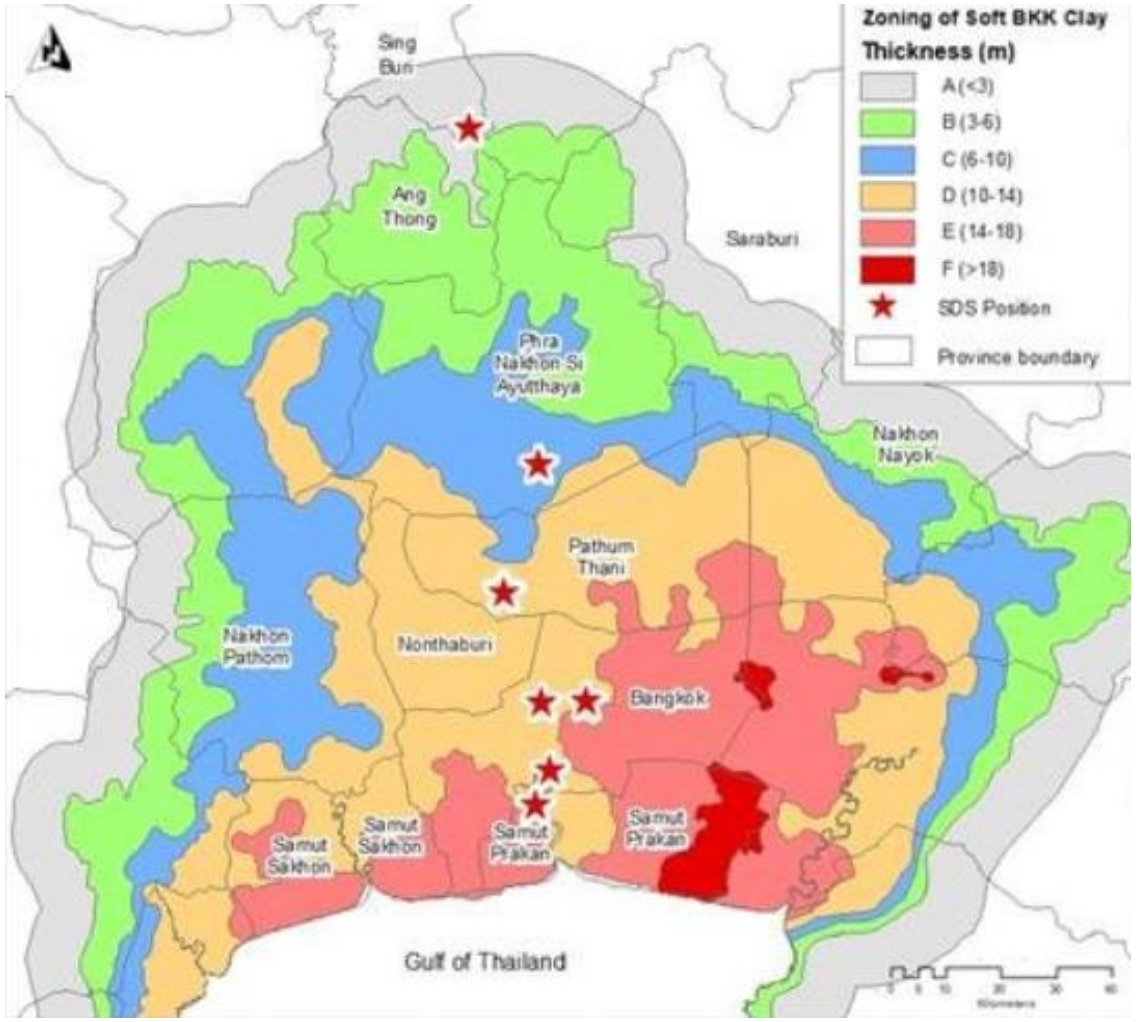
การทดสอบ SPT เหมาะสำหรับการทดสอบ ดินเหนียวแข็งถึงแข็งมากและทรายแน่น (Stiff Clay, Hard Clay และ Dense Sand) แต่ไม่เหมาะสำหรับดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลางและทรายหลวม (Soft Clay, Medium Clay และ Loose Sand) ทั้งนี้เพราะดินอ่อนไม่สามารถต้านพลังงานจากการตอกได้ บางครั้งการตอกครั้งเดียวการบอกผ่าอาจจมลงไปมากกว่า 18 นิ้ว

ข. Vane Shear Test โดยใช้ใบมีด 4 แฉกเสียบลงในชั้นดิน แล้วบิดด้วยโมเมนต์บิด (Torque) จากผิวดินผ่านก้านต่อลงไปเฉือนชั้นดิน เป็นรูปทรงกระบอกแล้วสามารถวัดแรงต้านทานของชั้นดินได้



การแปลผลข้อมูลดินเพื่อการออกแบบฐานราก

- ฐานรากลึก หรือฐานรากเสาเข็ม ดินบริเวณพื้นผิวอาจไม่แข็งแรงเพียงพอ ดินที่รับน้ำหนักได้ดีอยู่ในระดับลึกลงไป จึงจำเป็นต้องมีตัวกลางเพื่อถ่ายน้ำหนักลงไปยังชั้นที่แข็งแรง ตัวกลางที่ทำหน้าที่นี้โดยทั่วไปคือเสาเข็ม
- พื้นที่ที่มีการก่อสร้างฐานรากเสาเข็ม เช่นที่ราบลุ่มภาคกลาง เนื่องจากเป็นที่ราบลุ่มปากแม่น้ำ
- สมุทรปราการมีชั้นดินเหนียวอ่อนหนามากกว่า 18 เมตร
- กรุงเทพมหานคร สมุทรสงคราม สมุทรสาคร มีชั้นดินเหนียวอ่อนหนา ประมาณ 14-18 เมตร
- ปทุมธานี นนทบุรี อยุธยา มีชั้นดินเหนียวอ่อนหนา ประมาณ 10-14 เมตร



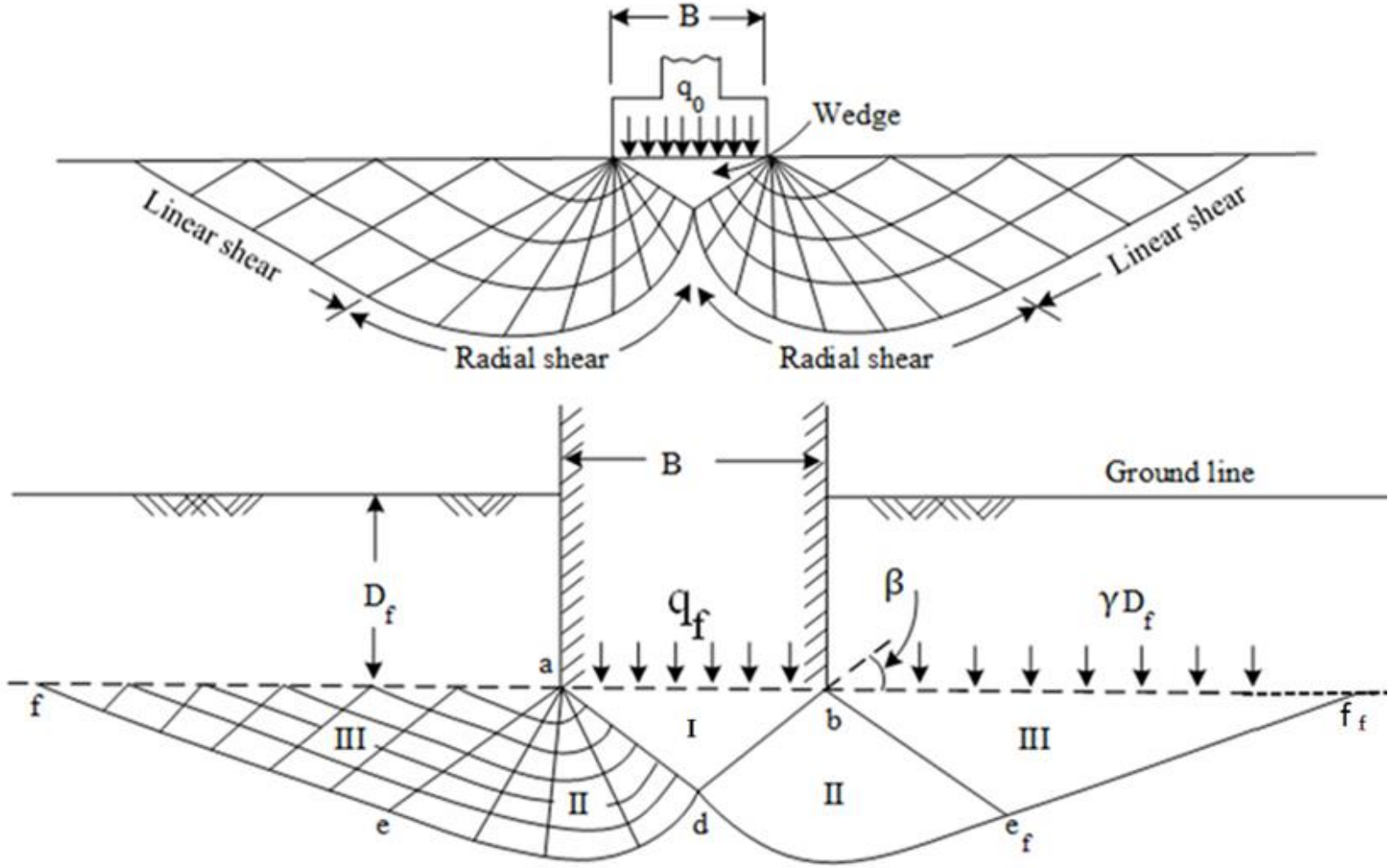
การคำนวณแรงต้านทานของชั้นดินเพื่อออกแบบฐานรากตื้น

- การหาค่าพารามิเตอร์ของดินจำเป็นต้องมีความเหมาะสมกับการออกแบบ
- สมการการออกแบบฐานรากตื้นคือ

$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma$$

- หากเป็นการออกแบบฐานรากตื้น จะพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน มุมเสียดทานภายใน และหน่วยน้ำหนักของดิน
- ค่าแรงต้านทานของชั้นดิน เป็นหัวใจในการออกแบบฐานแผ่ ซึ่งจะต้องนำไปใช้หาพื้นที่ถ่ายน้ำหนักของตัวฐาน การคำนวณแรงต้านของดินใต้ฐานราก มีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของมวลดินที่เกิดการพิบัติดังเช่นที่กล่าวมาแล้วและแสดงในรูปที่ 3.8
- Terzaghi (1967) ได้ดัดแปลงหลักการของ Prandtl (1921) มาคำนวณแรงต้านของฐานแผ่แนวยาว (Strip Footing) ซึ่งมีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นลักษณะ “Plane Strain” ดังในรูปที่ 3.8

การคำนวณแรงต้านทานของชั้นดินเพื่อออกแบบฐานรากตื้น



การคำนวณแรงต้านทานของชั้นดินเพื่อออกแบบฐานรากตื้น

- โดยแบ่งมวลดินในบริเวณเคลื่อนพังเป็น 3 ส่วน คือ
- บริเวณที่ 1 เป็น Passive Block ซึ่งเคลื่อนตามฐานรากลงไปตามแนวดิ่ง
- บริเวณที่ 2 เป็น Log-Spiral Curve ซึ่งมวลดินมีผิวการเคลื่อนที่คล้าย logaritm spiral curve
- บริเวณที่ 3 เป็น Passive Wedge ซึ่งมวลดินเคลื่อนที่ขึ้นตามผิวเคลื่อนซึ่งทำมุมประมาณ $45 + \phi/2$ เทียบกับแนวราบ
- เมื่อวิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงต้านของดินสูงสุด (Ultimate Bearing Capacity,q_u) ในเทอมของคุณสมบัติดิน ความกว้าง และลึกของฐานรากจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma$$

การคำนวณแรงต้านทานของชั้นดินเพื่อออกแบบฐานรากตื้น

$$q_u = f(c, \phi, \gamma, B, D_f)$$

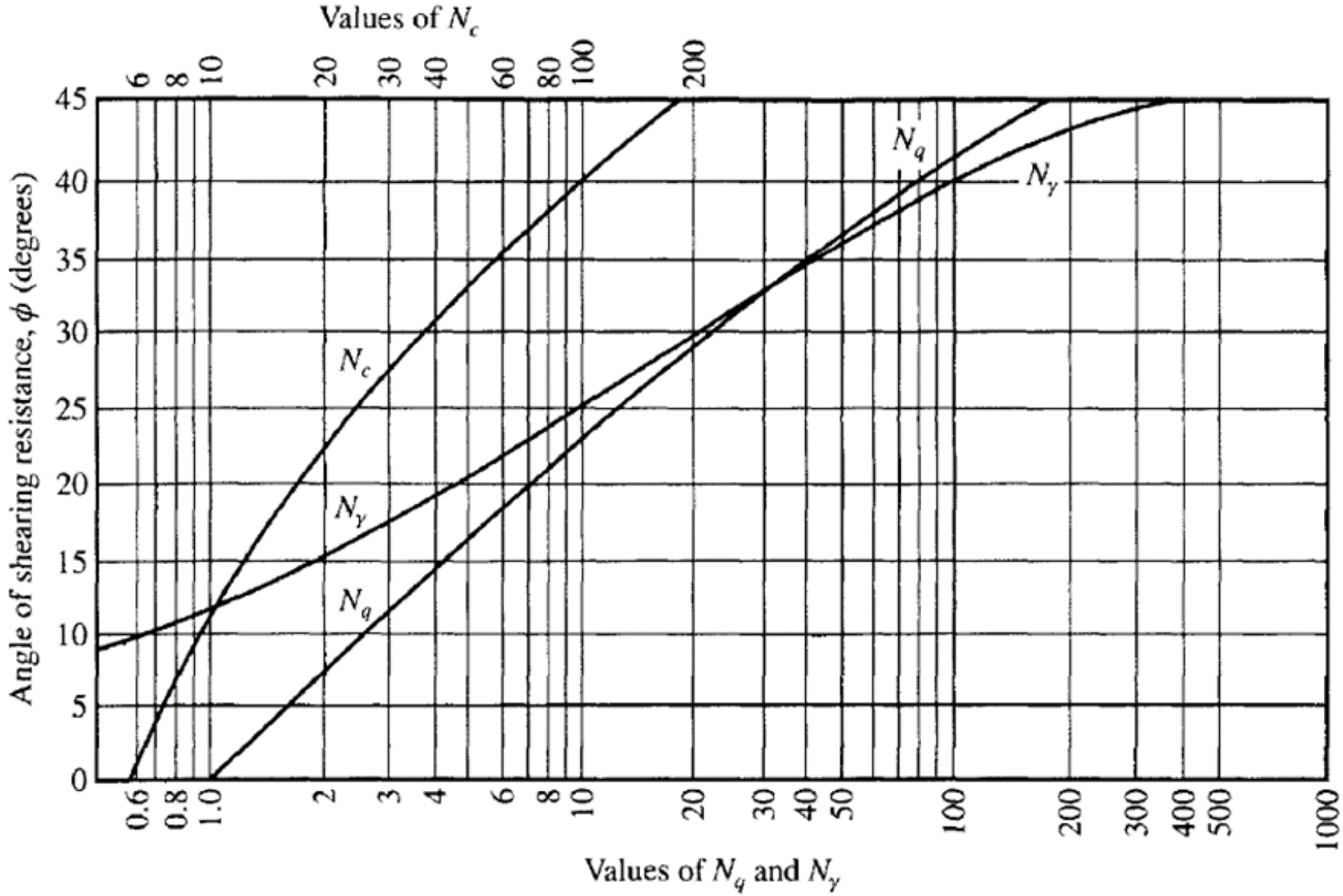
เมื่อ c = ความเชื่อมแน่น (Cohesion) ของมวลดิน (ตัน / ตารางเมตร)

q_s = น้ำหนักดินเหนือระดับฐานราก = γD_f (ตัน / ตารางเมตร)

γ = ความหนาแน่นประสิทธิผลของดินใต้ฐานราก (ตัน / ตารางเมตร)

B = ความกว้างของฐานราก (เมตร)

N_c, N_q, N_γ = สัมประสิทธิ์แรงต้านของดิน (Bearing Capacity Factor) ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมเสียดทานภายในของดิน (ϕ) แสดงในกราฟรูปที่ 3.9


Values of N_c
6
8
10
20
30
40
60
80
100
200
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Angle of shearing resistance, ϕ (degrees)
N_c
N_γ
N_q
N_q
N_γ
0.6
0.8
1.0
2
3
4
6
8
10
20
30
40
50
100
200
300
400
500
1000
Values of N_q and N_γ

การทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (SPT)

- ในสนามจะทำการทดสอบ Standard Penetration ในชั้นดินแข็งและชั้นทราย การเจาะสำรวจในสนามจะได้ตัวอย่างแบบถูกรบกวน เพื่อนำตัวอย่างดินเข้าทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างดินเหล่านี้ได้มาจากกระบอกผ่าที่ทำการทดสอบ Standard Penetration

- การทดสอบจะกระทำทุกระยะ 1.50 เมตร โดยทำการตอกกระบอกผ่าขนาดมาตรฐาน (ยาว 68.6 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในมีขนาด 5.0 และ 3.5 เซนติเมตร ตามลำดับ) ลงไปในก้นหลุมเจาะหลังจากคว้านเศษดินในหลุมออกหมดแล้ว ตุ้มน้ำหนักที่ใช้ตอกหนัก 63.5 กิโลกรัม ระยะยกตุ้ม 76.2 เซนติเมตร ตกลงไปในก้านเจาะ โดยมีท่อนำตอกซึ่งยาวประมาณ 1 เมตร มีแป้นเหล็กรองรับตุ้มน้ำหนักติดอยู่บนก้านเจาะ และมีกระบอกผ่าติดอยู่ที่ปลายก้านเจาะ

- การจดบันทึกจำนวนการตอกจะจดทุกระยะจมลึก 15 เซนติเมตร 3 ครั้ง รวมทดสอบทั้งหมดลึก 45 เซนติเมตร จำนวนการตอกที่ทำให้กระบอกผ่าจมลงในดิน 30 เซนติเมตร เรียกว่า Standard Penetration Number (N)

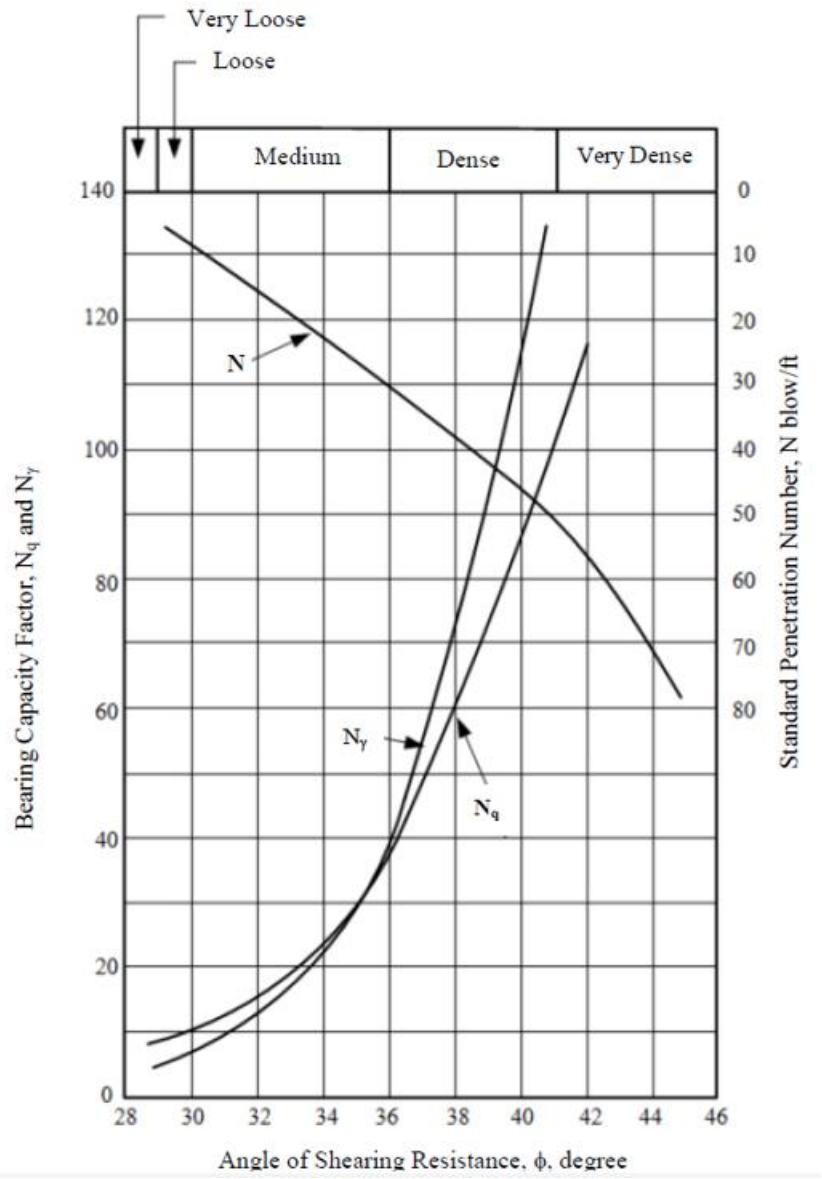
การทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (SPT)

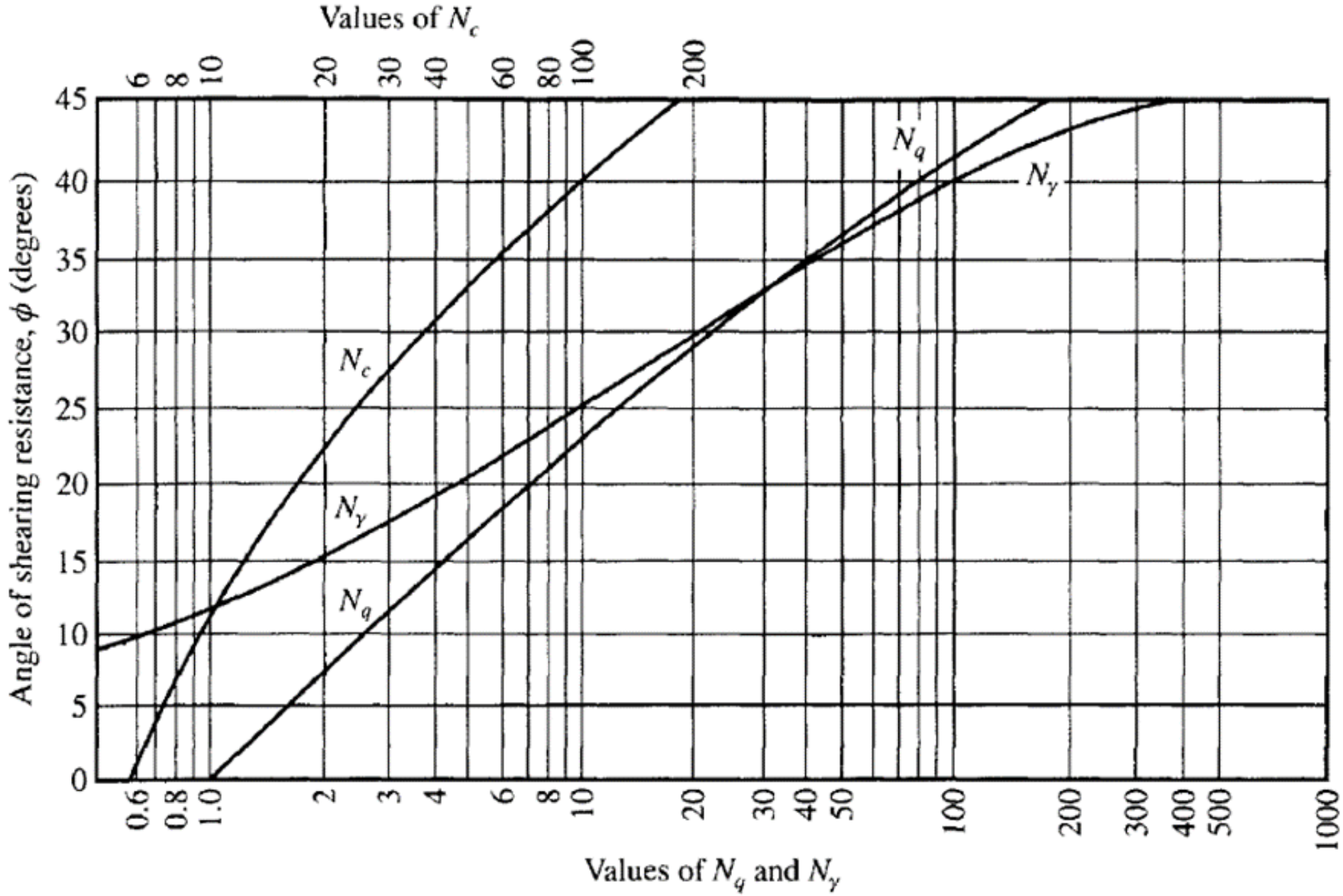
สำหรับดินซึ่งเม็ดละเอียด หรือ Silty Sand ที่มีค่าความซึมผ่านของน้ำต่ำ จำนวนการตอก (N) ที่วัดได้เกิน 15 ครั้ง ต่อ 30 เซนติเมตร จะต้องแก้ค่าที่วัดได้ เนื่องจากเกิดความดันของน้ำเพิ่มขึ้นขณะตอกดังต่อไปนี้

$$N_{corrected} = 15 + 0.5\,(N_{measured} - 15)$$

ค่า N ที่ได้นำมาหาค่ามุมเสียดทานภายใน

ซึ่งนำมาหาค่า N_c N_q N_γ




Values of N_c
6
8
10
20
30
40
60
80
100
200
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Angle of shearing resistance, ϕ (degrees)
N_c
N_γ
N_q
N_q
N_γ
0.6
0.8
1.0
2
3
4
6
8
10
20
30
40
50
100
200
300
400
500
1000
Values of N_q and N_γ

การคำนวณแรงต้านทานของชั้นดินเพื่อออกแบบฐานรากตื้น

- สำหรับค่าความหนาแน่นของดินในสนาม (γ) อาจหาได้โดยการใช้ทรายแทนที่ ซึ่งเป็นที่ทราบกันทั่วไป
- Sand Cone Method วิธีนี้ใช้ทรายช่วยในการหาปริมาตรของหลุม ทรายที่ใช้คือทรายออตตาวา (Ottawa Sand) ซึ่งขนาดของเม็ดทรายจะมีลักษณะกลมและมีขนาดเท่า ๆ กัน หรือจะใช้ทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างตะแกรงเบอร์ 40 เพื่อที่จะให้ผลของความหนาแน่นที่เท่ากันโดยตลอด และไม่เกิดการแยกตัวของเม็ดทรายขณะทดสอบ

การออกแบบฐานรากเสาเข็มด้วยผลการเจาะสำรวจและทดสอบดิน

- เพื่อวัตถุประสงค์ของการออกแบบทางวิศวกรรมสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารฐานรากเสาเข็มในกรุงเทพมหานคร จำเป็นต้องเจาะสำรวจดิน และเก็บตัวอย่างดิน
- การทดสอบในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยการจำแนกชนิดและคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของดินเชิงกายภาพและวิศวกรรม
- การทดลองในสนามได้ทดสอบการตอกทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test) เพื่อหาค่า N
- วิธีการเจาะเก็บตัวอย่างดิน การทดสอบในสนาม และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้ทำตามมาตรฐาน ASTM การเก็บตัวอย่างดินในชั้นดินอ่อนถึงแข็งปานกลาง ใช้กระบอกบางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพทุกระยะ1.50 เมตร

การออกแบบฐานรากเสาเข็มด้วยผลการเจาะสำรวจและทดสอบดิน

- สำหรับชั้นดินแข็งมากจะใช้กระบอกผ่าทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐานเพื่อนำค่าจำนวนครั้งการตอก (Standard Penetration Number, N) ไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ สำหรับตัวอย่างดินที่ได้จากกระบอกผ่านี้ จะนำไปทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการต่อไป

- การทดลองในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยการทดสอบขีดจำกัดแอตเตอร์เบริก (Atterberg Limits) ปริมาณน้ำตามธรรมชาติ (Natural Moisture Content) หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) การวิเคราะห์ขนาดคละของเม็ดดิน (Grain Size Analysis) การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) สำหรับตัวอย่างดินที่เก็บได้ในกระบอกบาง

การออกแบบฐานรากเสาเข็มด้วยผลการเจาะสำรวจและทดสอบดิน

(1) การเจาะสำรวจใช้สว่านหมุนด้วยกำลังเครื่องยนต์นำหน้าลงไปก่อน เมื่อถึงชั้นที่ต้องการเก็บตัวอย่าง ดึงสว่านขึ้นแล้วใช้กระบอกบางหรือกระบอกผ่า กดหรือตอกลงไปเก็บตัวอย่างดิน ในชั้นดินอ่อนการป้องกันดินในหลุมพัง ใช้ท่อคุ้มกัน (Casing) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ตอกตามลงไปเรื่อย ๆจนถึงชั้นดินแข็ง โดยปลายท่อคุ้มกันจะอยู่เหนือระดับชั้นดินที่ต้องการเก็บตัวอย่างประมาณ 40 เซนติเมตร หากขณะดำเนินการเจาะด้วยสว่านแต่ไม่มีเศษดินติดขึ้นมา จะใช้วิธี เจาะล้าง (Wash Boring) ด้วยน้ำโคลนแทน

(2) การเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างในชั้นดินอ่อนหรือดินแข็งปานกลาง เก็บโดยใช้กระบอกบาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร กดลงไปในชั้นดินด้วยกำลังไฮโดรลิก โดยเก็บตัวอย่างดินทุกระยะ 1.50 เมตร

ในชั้นดินแข็งและชั้นทราย เก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่า ในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง จะทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐานตามไปด้วย

ความสามารถรับแรงแบกทานสูงสุดของฐานรากเสาเข็ม

(1) ฐานรากเสาเข็ม สามารถหาค่าความสามารถรับแรงแบกทานสูงสุด (Ultimate Bearing Capacity) ได้จากสมการ

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

เมื่อ Q_u = ความสามารถรับแรงแบกทานสูงสุด

Q_s = แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม (Skin friction)

Q_b = ความต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing)

สำหรับค่า Q_s และ Q_b อาจคำนวณได้จาก

การวิเคราะห์ฐานรากเสาเข็มที่ตอกลงไปทราย

$Q_s = K_S P_o . \tan\delta . A_s$

$Q_b = \gamma . D . N_q . A_b$

โดยที่ $P_o = \sigma' Z_{av}$ เป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง $\sigma' z$ ผิวบน และ $\sigma' z$ ผิวล่างของช่วงชั้นทราย

เมื่อ K_s = สัมประสิทธิความดันดิน (Coefficient of Earth Pressure) ได้จากตารางที่ 1

γ' = หน่วยน้ำหนักประสิทธิผล (Effective Unit Weight) ตันต่อลูกบาศก์เมตร

D = ความลึก ณ จุดที่คำนวณ เมตร

δ = มุมเสียดทานภายในระหว่างดินกับเสาเข็ม (Angle of Pile Friction) ได้จากตารางที่ 1

ϕ = มุมเสียดทานภายในของดิน (Internal Friction Angle) (จากรูปที่ 4.25)

A_s = พื้นที่ผิวเสาเข็ม ตารางเมตร

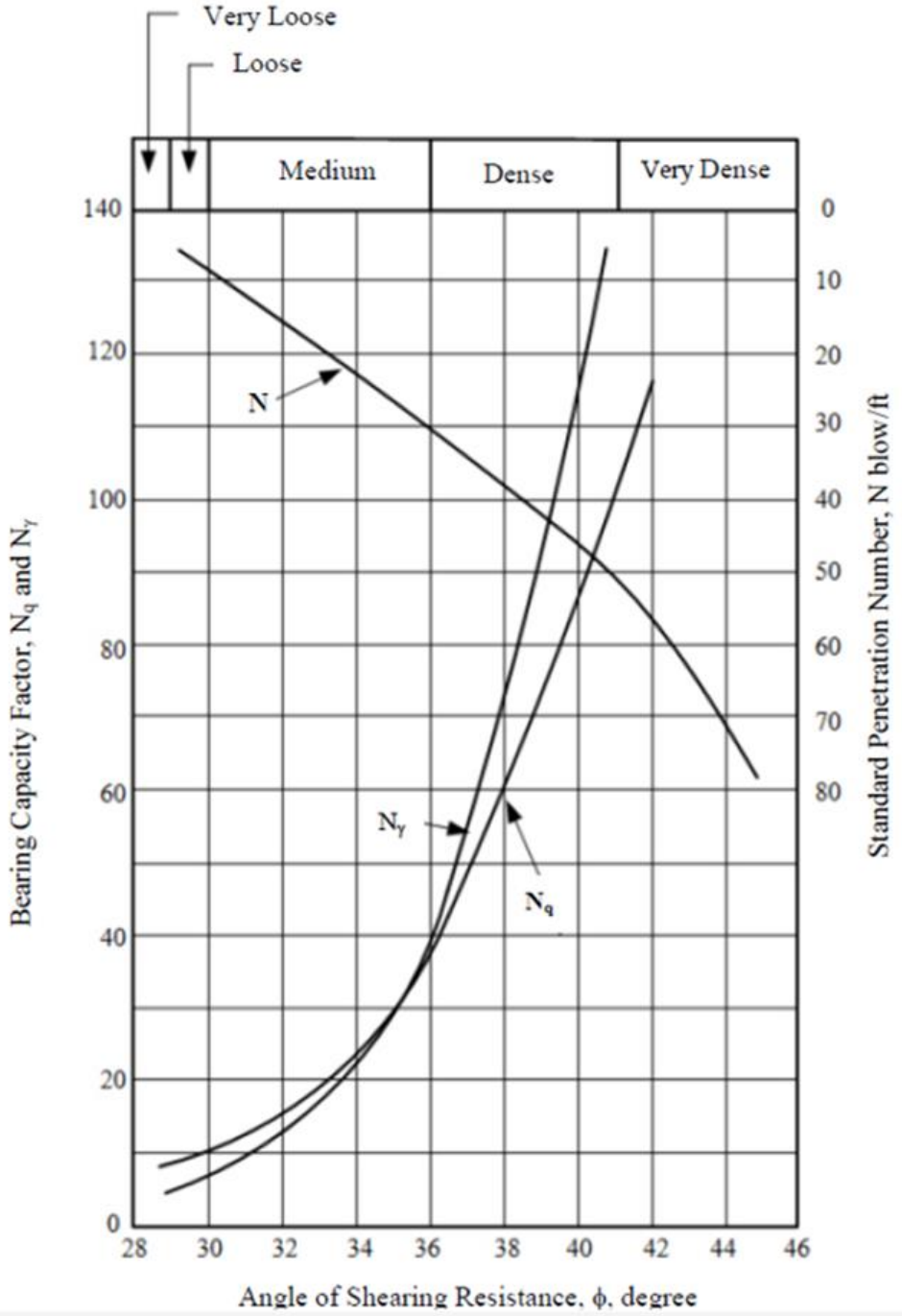
N_q = แฟคเตอร์ความสามารถรับแรงแบกทาน (Bearing Capacity Factor) หาได้จากรูปที่ 4.25

A_b = พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม ตารางเมตร

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุเสาเข็ม กับค่า δ และ K_s

วัสดุเสาเข็ม	δ	K_s	
		Low Relative Density	High Relative Density
เหล็ก	20°	0.5	1.0
คอนกรีต	$3/4\ \phi$	1.0	2.0
ไม้	$2/3\ \phi$	1.5	4.0

รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ, แฟคเตอร์ความสามารถรับแรงแบกทาน และค่า N จากการทดสอบการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน
(Peck, Hanson & Thornburn)



การวิเคราะห์ฐานรากเสาเข็มที่ตอกลงไปในดินเหนียว

$Q_s = \alpha . S_u . A_s$

$Q_b = N_c . S_u . A_b$

เมื่อ α = แฟคเตอร์แรงยึดเหนี่ยว (Adhesion Factor)

S_u = ความแข็งแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ณ จุดที่คำนวณ

N_c = 9

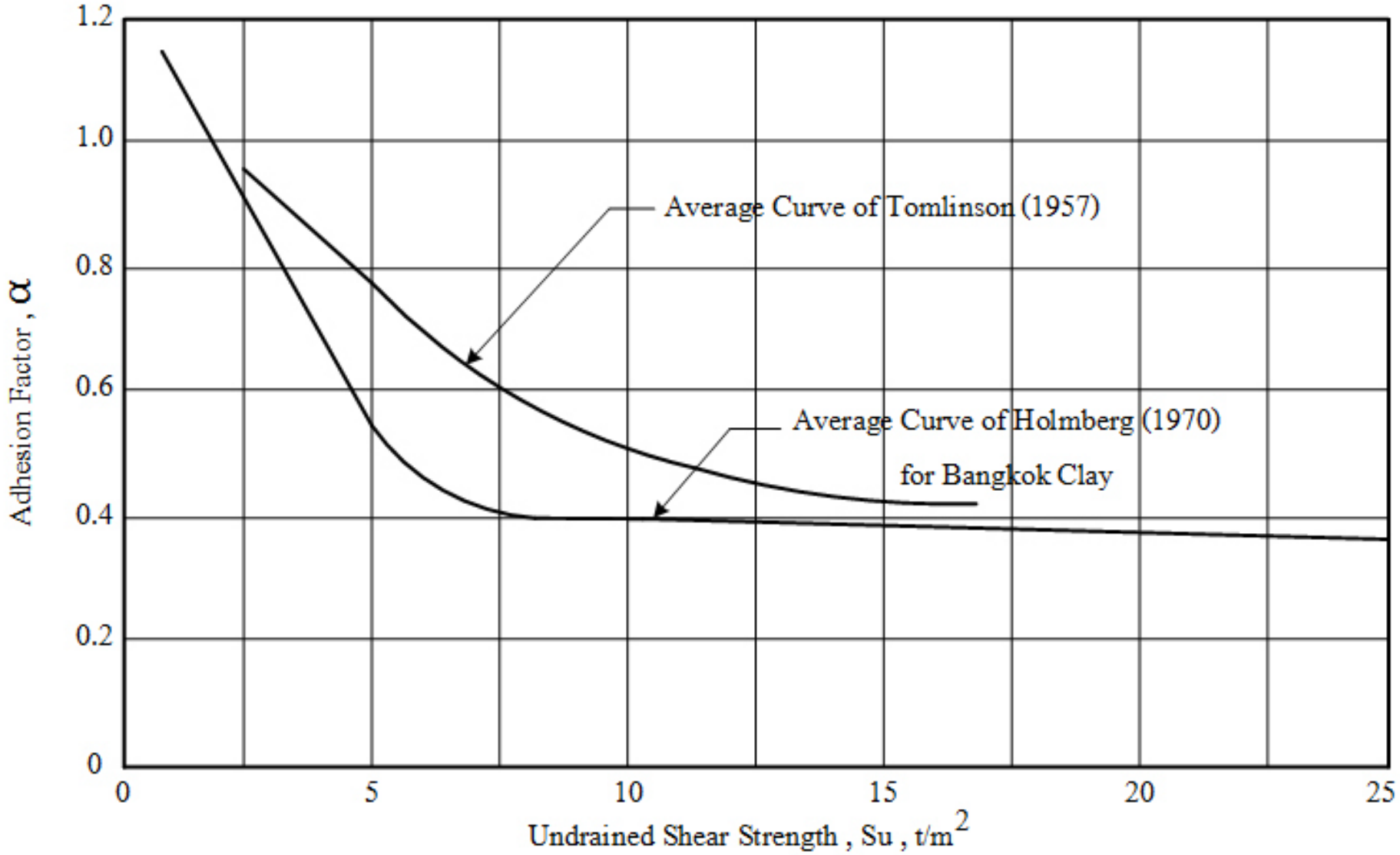
ถ้าไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินเหนียวแข็งแบบไม่ถูกรบกวนได้ค่าความแข็งแรงกดอัดแบบไม่ถูกจำกัด จะประเมินจากสมการดังนี้

$q_u = 1.225\ N_{corrected}$

เมื่อ q_u = ความแข็งแรงกดอัดแบบไม่ถูกจำกัด (ตันต่อตารางเมตร)

$N_{corrected}$ = ค่าปรับแก้จำนวนครั้งการตอกทะลวงมาตรฐาน

รูปแสดงค่าแฟคเตอร์แรงยึดเหนี่ยว (Adhesion Factor) สำหรับดินเหนียว



ความสามารถรับแรงแบกทานของเสาเข็ม

ความสามารถรับแรงแบกทานของเสาเข็มประกอบด้วยสามกรณีคือ

- กรณีที่ 1 เสาเข็มตอกหรือเจาะลงในชั้นดินเหนียวปลายวางบนชั้นดินเหนียว
- กรณีที่ 2 เสาเข็มตอกหรือเจาะผ่านชั้นดินเหนียวปลายวางบนชั้นทราย
- กรณีที่ 3 เสาเข็มเจาะผ่านชั้นดินเหนียวและชั้นทราย ปลายวางบนชั้นทราย

กรณีที่ 1 เสาเข็มตอกหรือเจาะลงในชั้นดินเหนียวปลายวางบนชั้นดินเหนียว

เสาเข็มตอกลงในชั้นดินเหนียวปลายเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว

(ไม่พิจารณเรื่องน้ำใต้ดิน)

$$Qu = Qs+Qb$$

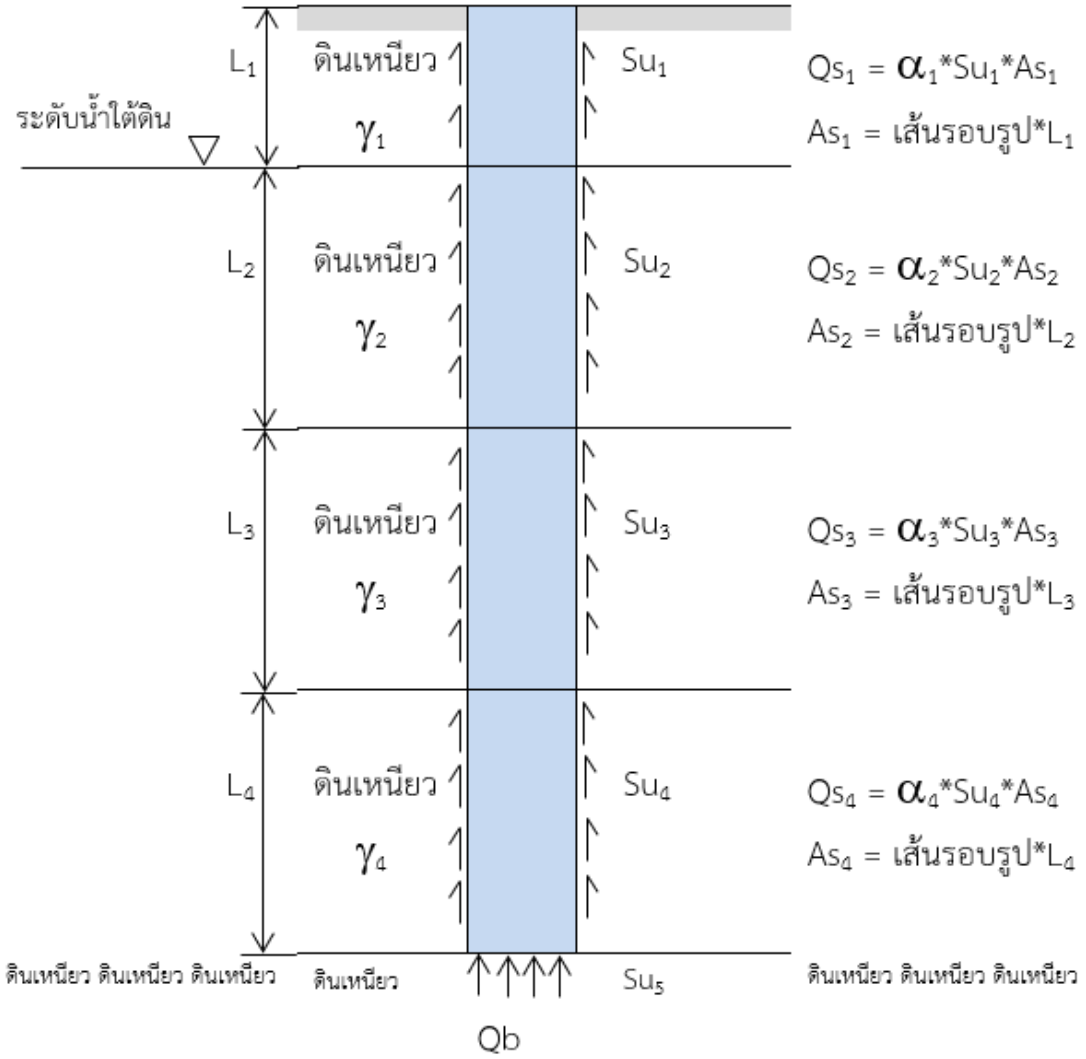
$$Qu = Qs_1+Qs_2 + Qs_3+Qs_4 +..... Qs_n+Qb$$

$$Qb = 9xSu_5xAb$$

เมื่อ Ab = พื้นที่หน้าตัดเข็ม

Qs = หน่วยแรงเสียดทานของผิวเข็ม

Qb = หน่วยแรงแบกทานที่ปลายเข็ม



หน่วยแรงแบกทานปลายเสาเข็ม

กรณีที่ 2 เสาเข็มตอกหรือเจาะผ่านชั้นดินเหนียวปลายวางบนชั้นทราย

เสาเข็มตอกผ่านชั้นดินเหนียวปลายเข็มอยู่ในชั้นทราย
(พิจารณาเรื่องน้ำใต้ดิน)

$$Qu = Qs+Qb$$

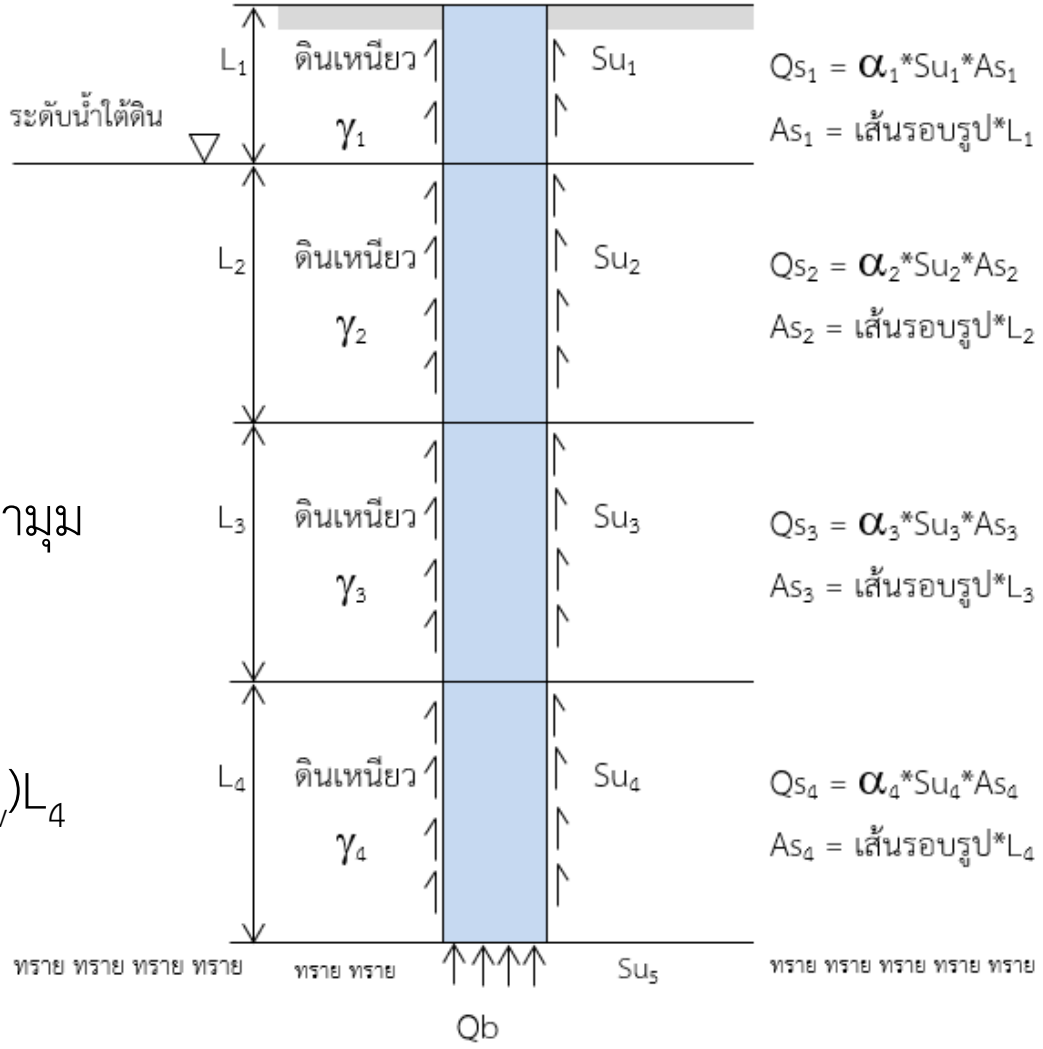
$$Qu = Qs_1+Qs_2 + Qs_3+Qs_4 +..... Qs_n+Qb$$

$$Qb = P_0 \times Nq \times Ab$$

โดย Nq หาได้จากการอ่านค่า N (blow) จาก SPT จะได้ค่ามุม ϕ นำไปหาค่า Nq จากกราฟ

เมื่อ Ab = พื้นที่หน้าตัดเข็ม

$$P_0 = (\gamma_1 L_1)+(\gamma_2-\gamma_w)L_2+(\gamma_3-\gamma_w)L_3+(\gamma_4-\gamma_w)L_4$$



หน่วยแรงแบกทานปลายเสาเข็ม

กรณีที่ 3 เสาเข็มเจาะผ่านชั้นดินเหนียวและชั้นทราย ปลายวางบนชั้นทราย

เสาเข็มตอกผ่านดินเหนียวและชั้นทรายที่แทรกอยู่ ปลายเข็มอยู่ในชั้นทราย (พิจารณาเรื่องน้ำใต้ดิน)

$$Qu = Qs+Qb$$

เมื่อ $$Qb = P_0 \times Nq \times Ab$$

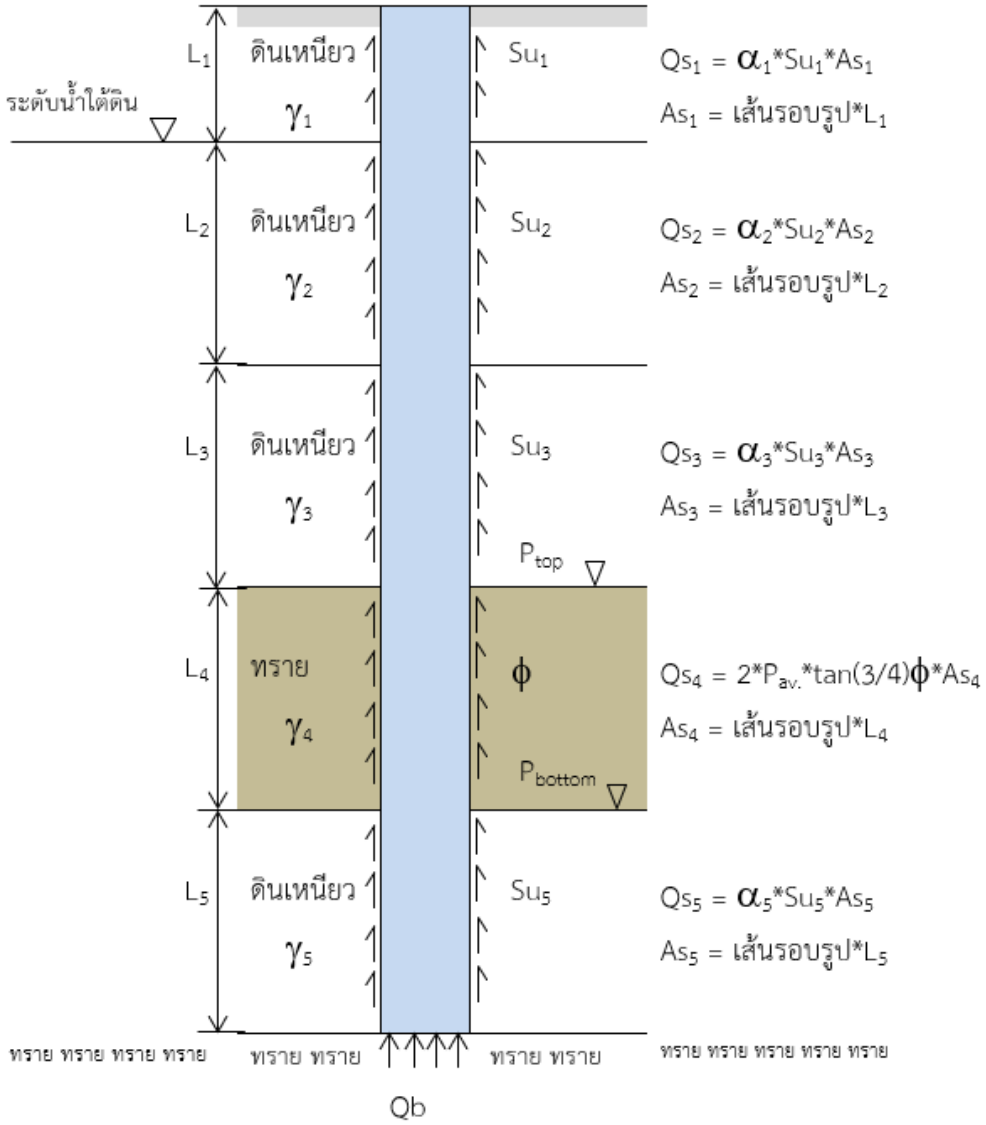
$$P_{avg} = (P_{Top}+P_{Bottom})/2$$

เมื่อ

$$P_{Top} = (\gamma_1 L_1)+(\gamma_2-\gamma_w)L_2+(\gamma_3-\gamma_w)L_3$$

$$P_{Bottom} = P_{Top}+(\gamma_4-\gamma_w)L_4$$

$$P_0 = (\gamma_1 L_1)+(\gamma_2-\gamma_w)L_2+(\gamma_3-\gamma_w)L_3+(\gamma_4-\gamma_w)L_4+(\gamma_5-\gamma_w)L_5$$



หน่วยแรงแบกทานปลายเสาเข็ม

LOG OF BORING BH-2

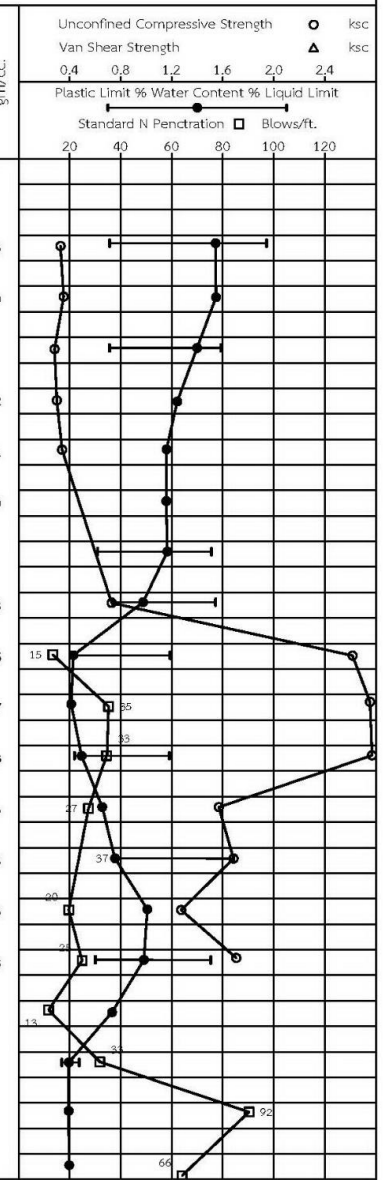
Project : คอนโดมิเนียม 10 ชั้นตรงข้ามเดอะมอลล์

Engineer : KPW

Site : บางขุนเทียน กทม.

Date : 23/6/33

Depth in Meters	Sample No.	Type of Sample	Sample Distance	Recovery	Description of Material	Soil Classification	Symbol	Wet Unit Weight gm/cc.
					Surface Elevation			
		PA			Top Soil Sand filled			
	1	ST						
		WO			Silty Clay, Dark Grey, Soft			
	2	ST				CH		1.53
		WO						
	3	ST				MH		1.50
5		WO						
	4	ST						
		WO						
	5	ST						1.62
		WO						
	6	ST						1.61
10		WO						
	7	ST						1.60
		WO						
	8	ST				CH		
		WO						
	9	ST			14.5 m.	CH		1.68
		WO						
15	10	SS			Silty Clay, Dark Grey-Yellow Brown, Hard.	CH		2.06
		WO						
	11	SS				CH		2.07
		WO						
	12	SS						2.03
		WO						
	13	SS						1.93
20		WO				CH		
	14	SS						1.86
		WO						
	15	SS						1.73
		WO						
	16	SS				CH		1.68
25		WO						
	17	SS						
		WO						
	18	SS				CL		
		WO			28.0 m.			
	19	SS			Fine to Coarse Sand Some of Silty Clay, Brownish Yellow Very Dense.			
		WO						
30	20	SS				SC		



Water Level Observations

WS. Or WD.

m. B.C.R. Hr.

m. A.C.R. Hr.

-0.50m. A.B. 36 Hr.

SOIL ENGINEERING DIVISION

KMIT. THONBURI.

Boring Started 19/5/33

Boring Completed 25/5/33

Rig. Foreman Surapong

Drawn. K Approved K

Job. 3310 Sheet : 1 of 3

LOG OF BORING BH-2

Project : คอนโดมิเนียม 10 ชั้นตรงข้ามเดอะมอลล์

Engineer : KPW

Site : บางขุนเทียน กทม.

Date : 23/6/33

Depth in Meters	Sample No.	Type of Sample	Sample Distance	Recovery	Description of Material	Soil Classification	Symblo	Wet Unit Weight gm/cc.
	20	SS			Fine to Coarse Sand Some of Silty Clay, Brownish Yellow Very Dense.	SC		
		WO						
	21	SS				SC		
		WO						
	22	SS				SC		
		WO						
35	23	SS				SP-SC		
		WO						
	24	SS			37.0 m.	SC		
		WO						
	25	SS			Silty Clay, Light Grey-Yellowish brown, Hard.	CL		1.92
		WO						
40	26	SS				CL		2.14
		WO						
	27	SS			Fine to Coarse Sand Some of Silty Clay, Brownish Yellow Very Dense.	SC		
		WO						
	28	SS				SC		
		WO						
	29	SS			Silty Clay, Light Grey-Yellowish brown, Hard.	CL		2.09
45		WO						
	30	SS				CH		2.09
		WO						
	31	SS			47.5 m.	CL		
		WO						
	32	SS			Fine to Coarse Sand Some of Silty Clay, Brownish Yellow Very Dense.	SC		
		WO						
50	33	SS				SC		
		WO						
	34	SS				SC		
		WO						
	35	SS				SP-SC		
		WO						
	36	SS				SC		
55		WO						
	37	SS				SC		
		WO						
	38	SS				SP-SC		
		WO						
	39	SS				SC		
		WO						
60	40	SS				SC		

Unconfined Compressive Strength ○ ksc

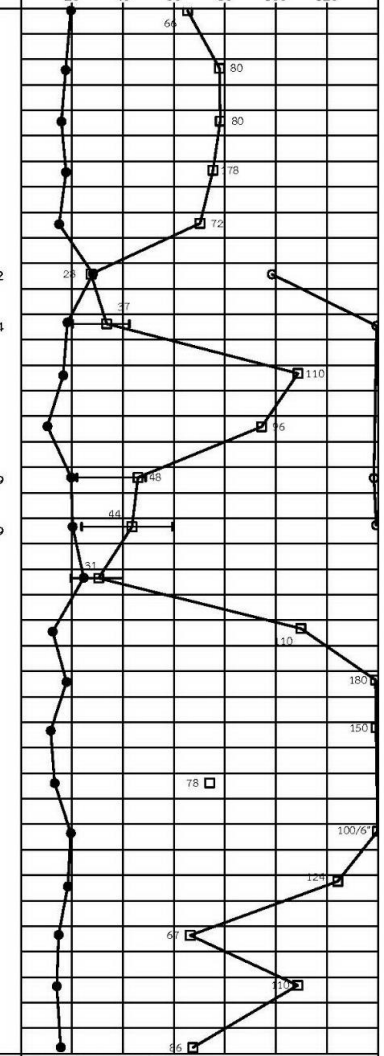
Van Shear Strength △ ksc

0.4 0.8 1.2 1.6 2.0 2.4

Plastic Limit % Water Content % Liquid Limit

Standard N Penetration □ Blows/ft.

20 40 60 80 100 120



Water Level Observations

WS. Or WD.

m. B.C.R. Hr.

m. A.C.R. Hr.

-0.50m. A.B. 36 Hr.

SOIL ENGINEERING DIVISION

KMIT. THONBURI.

Boring Started 19/5/33

Boring Completed 25/5/33

Rig. Foreman Surapong

Drawn. K Approved K

Job. 3310 Sheet : 2 of 3

LOG OF BORING BH-2

Project : คอนโดมิเนียม 10 ชั้นตรงข้ามเดอะมอลล์

Engineer : KPW

Site : บางขุนเทียน กทม.

Date : 23/6/33

Depth in Meters	Sample No.	Type of Sample	Sample Distance	Recovery	Description of Material	Soil Classification	Symblo	Wet Unit Weight gm/cc.
	40	SS				SC		
		WO						
	41	SS				SP-SC		
		WO						
	42	SS				SC		
65		WO						
	43	SS						
		WO						
	44	SS				SP-SC		
		WO						
	45	SS				SP-SC		
		WO						
70	46	SS						
		WO						
	47	SS				SP-SC		
		WO						
	48	SS				SC		
		WO						
	49	SS				SP-SC		
75		WO						
	50	SS						
		WO						
	51	SS				SP		
		WO						
	52	SS				SP-SC		
		WO						
85	53	SS						
					Bottom of Boring			

Unconfined Compressive Strength ○ ksc

Van Shear Strength △ ksc

0.4 0.8 1.2 1.6 2.0 2.4

Plastic Limit % Water Content % Liquid Limit

Standard N Penetration □ Blows/ft.

20 40 60 80 100 120

68 180 116 102 89 92 85 76 93 126 100/6" 193 100/6" 100/6"

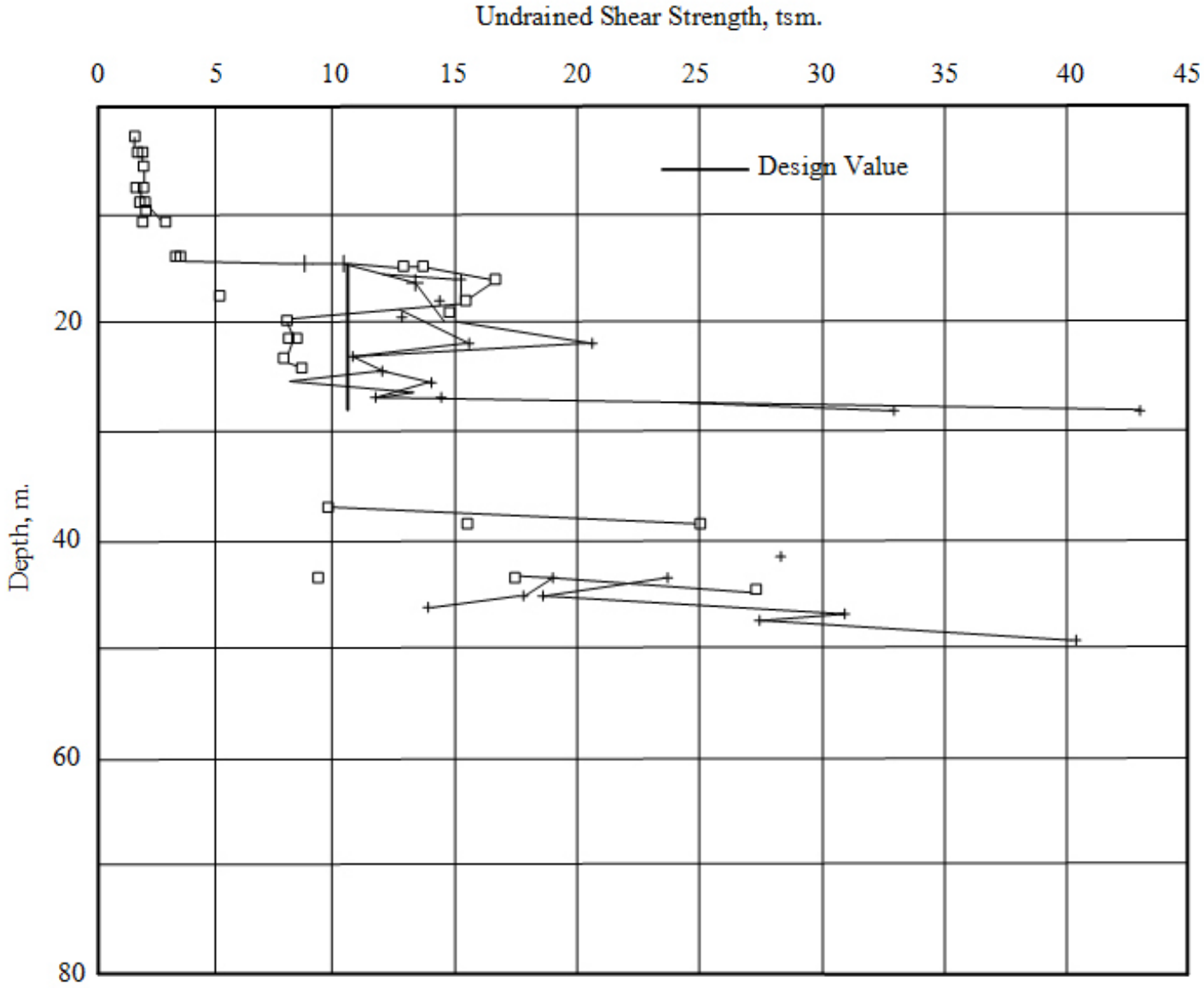
Water Level Observations	
WS. Or WD.	
m. B.C.R.	Hr.
m. A.C.R.	Hr.
-0.50m. A.B. 36	Hr.

SOIL ENGINEERING DIVISION

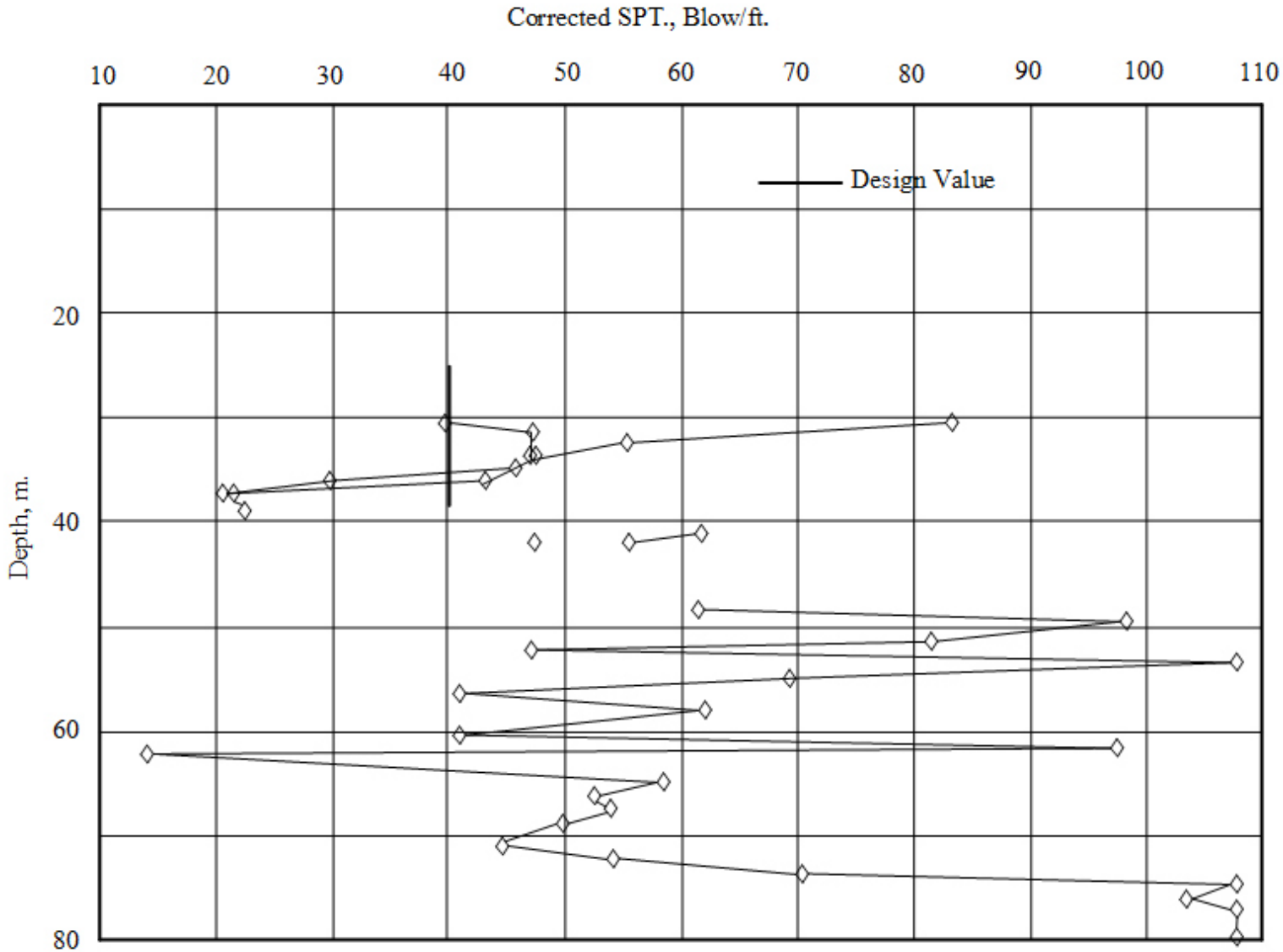
KMIT. THONBURI.

Boring Started 19/5/33	
Boring Completed 25/5/33	
Rig.	Foreman Surapong
Drawn. K	Approved K
Job. 3310	Sheet : 3 of 3

รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกและความแข็งแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ



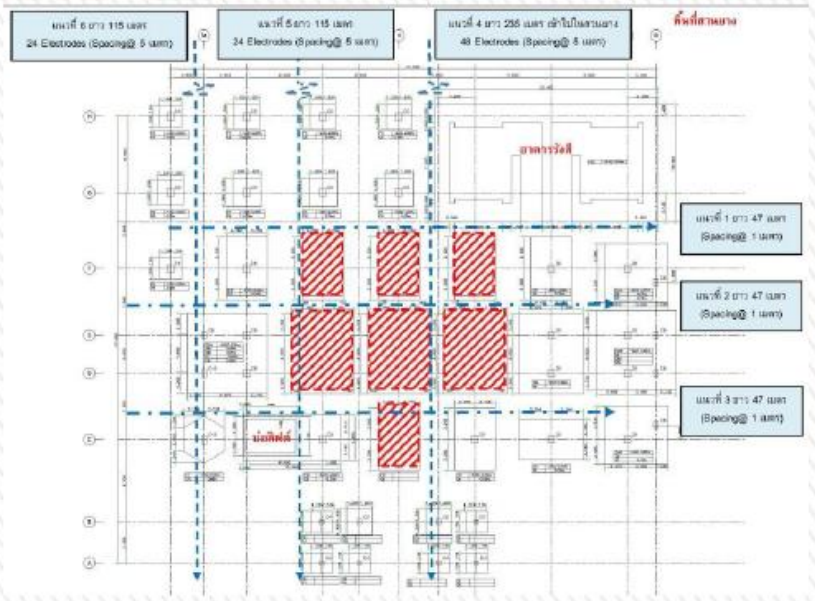
รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (SPT) และความลึก

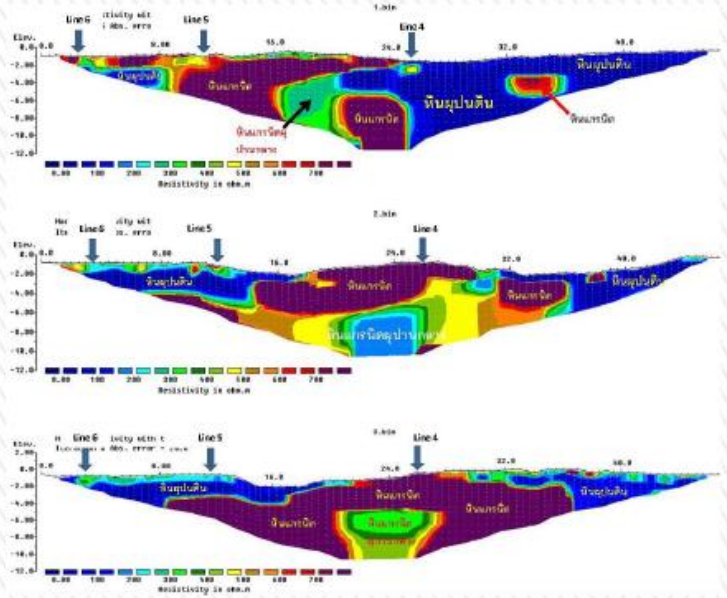


ตัวอย่างงานแก้ปัญหาระบบฐานรากอาคาร

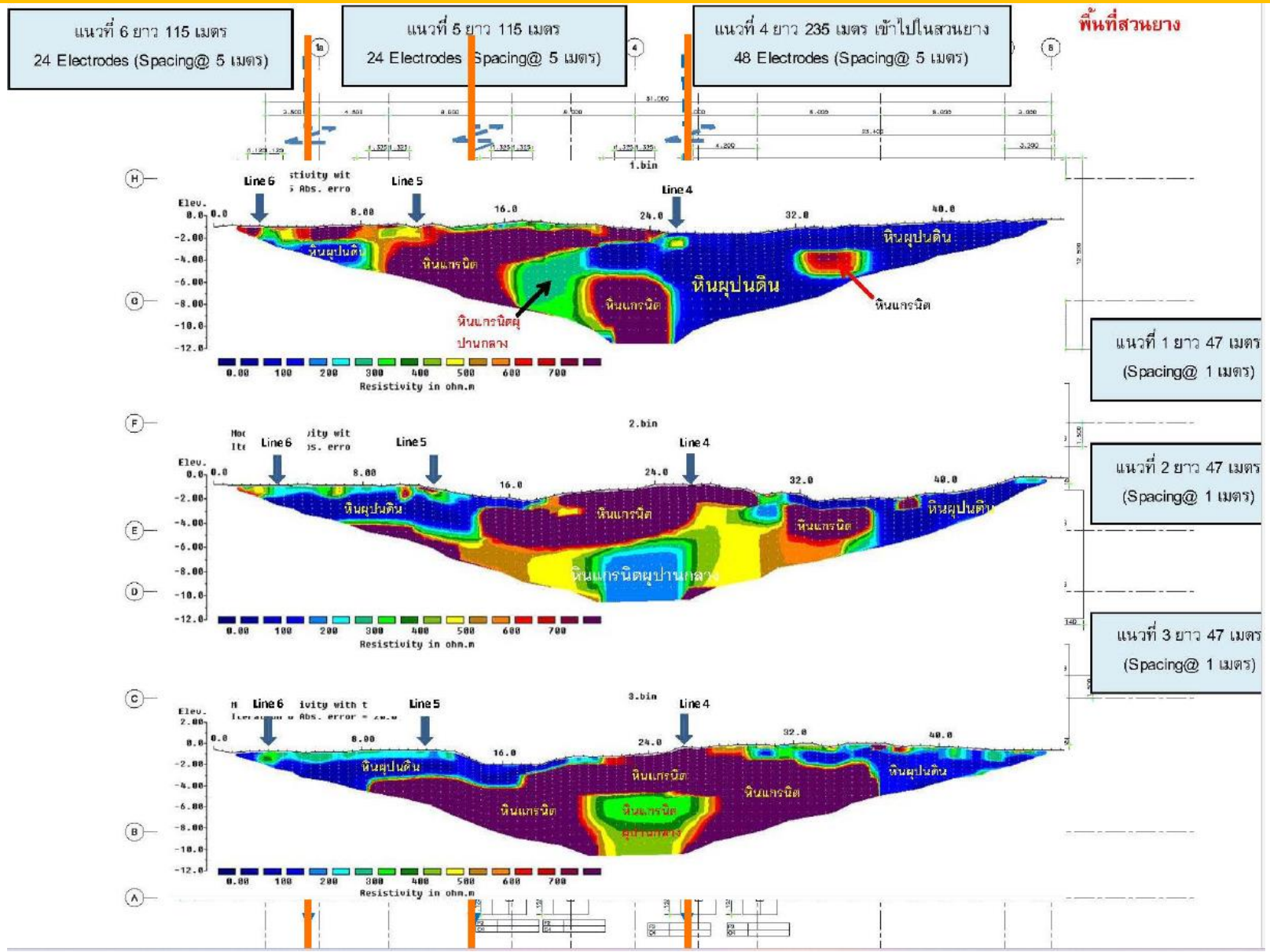
- การเจาะสำรวจดินเพียงสองหลุมหัวท้ายโครงการ
- เมื่อก่อสร้างฐานรากไปร้อยละ 70 พบว่า ตรงกลางอาคารเป็นหินสด
- สำรวจธรณีฟิสิกส์พบว่าพื้นที่ก่อสร้าง มีทั้งหินระดับตื้นและลึก บางบริเวณมีหินโผล่

งานแก้ปัญหาฐานราก

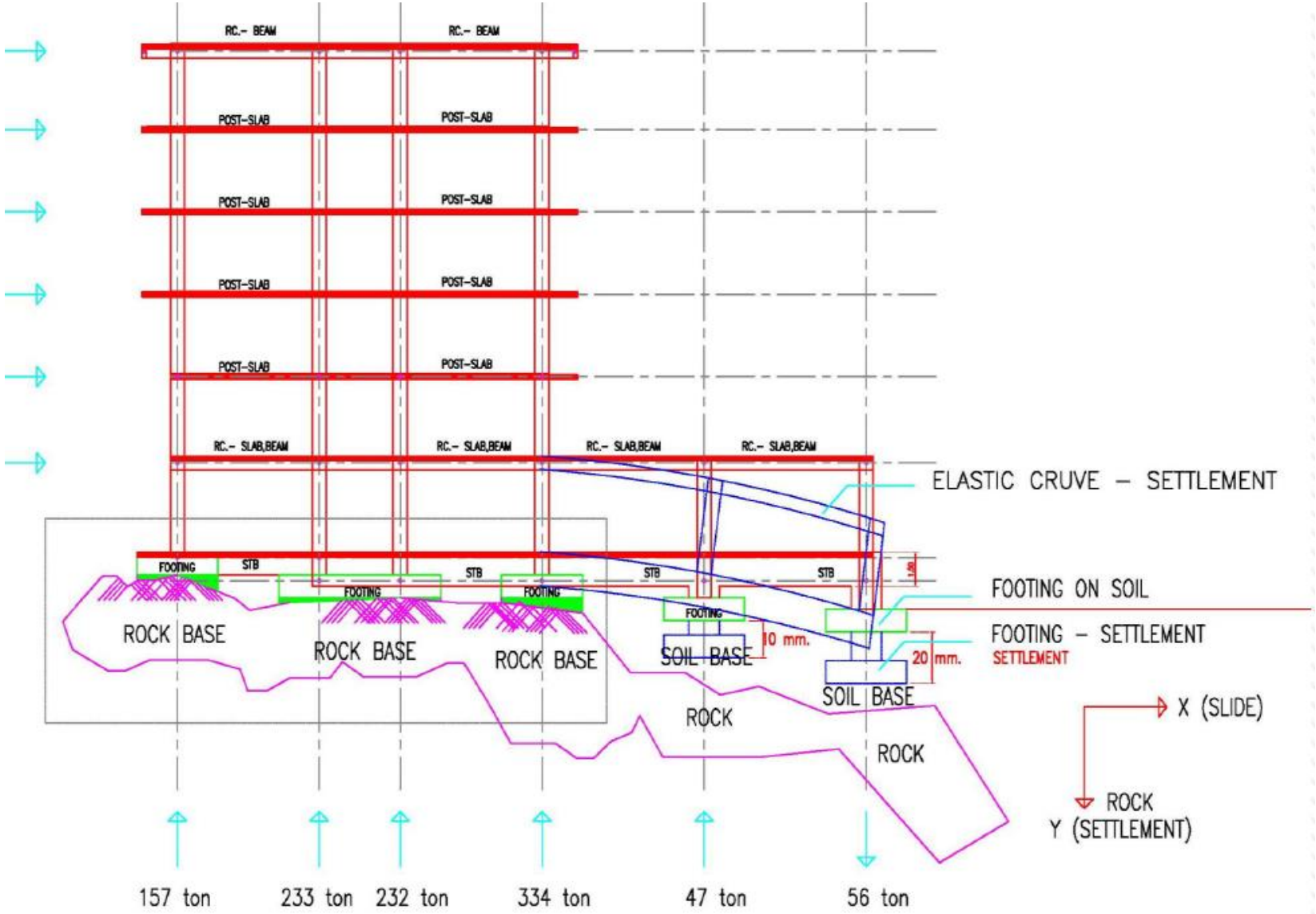




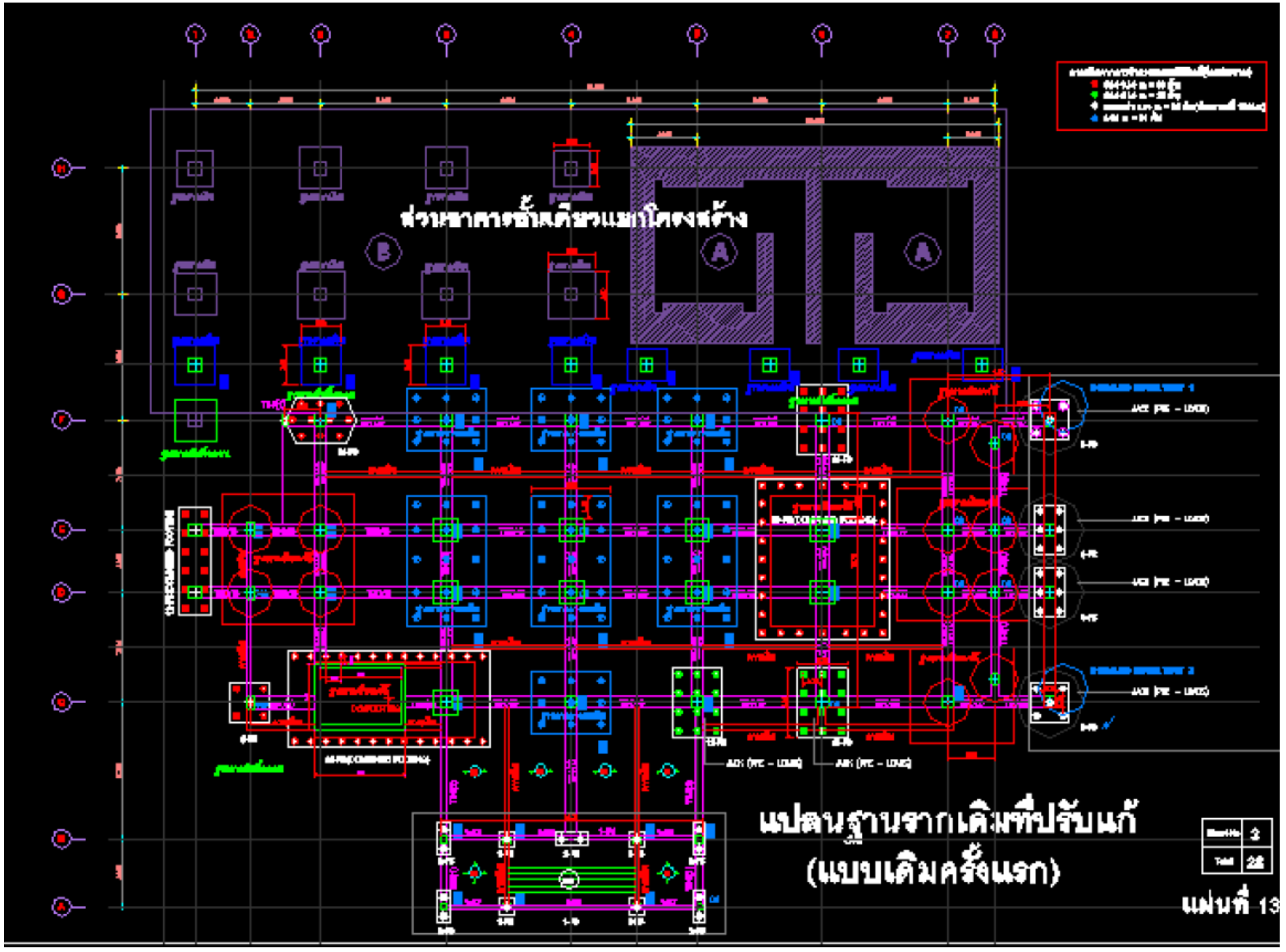
การสำรวจธรณีฟิสิกส์



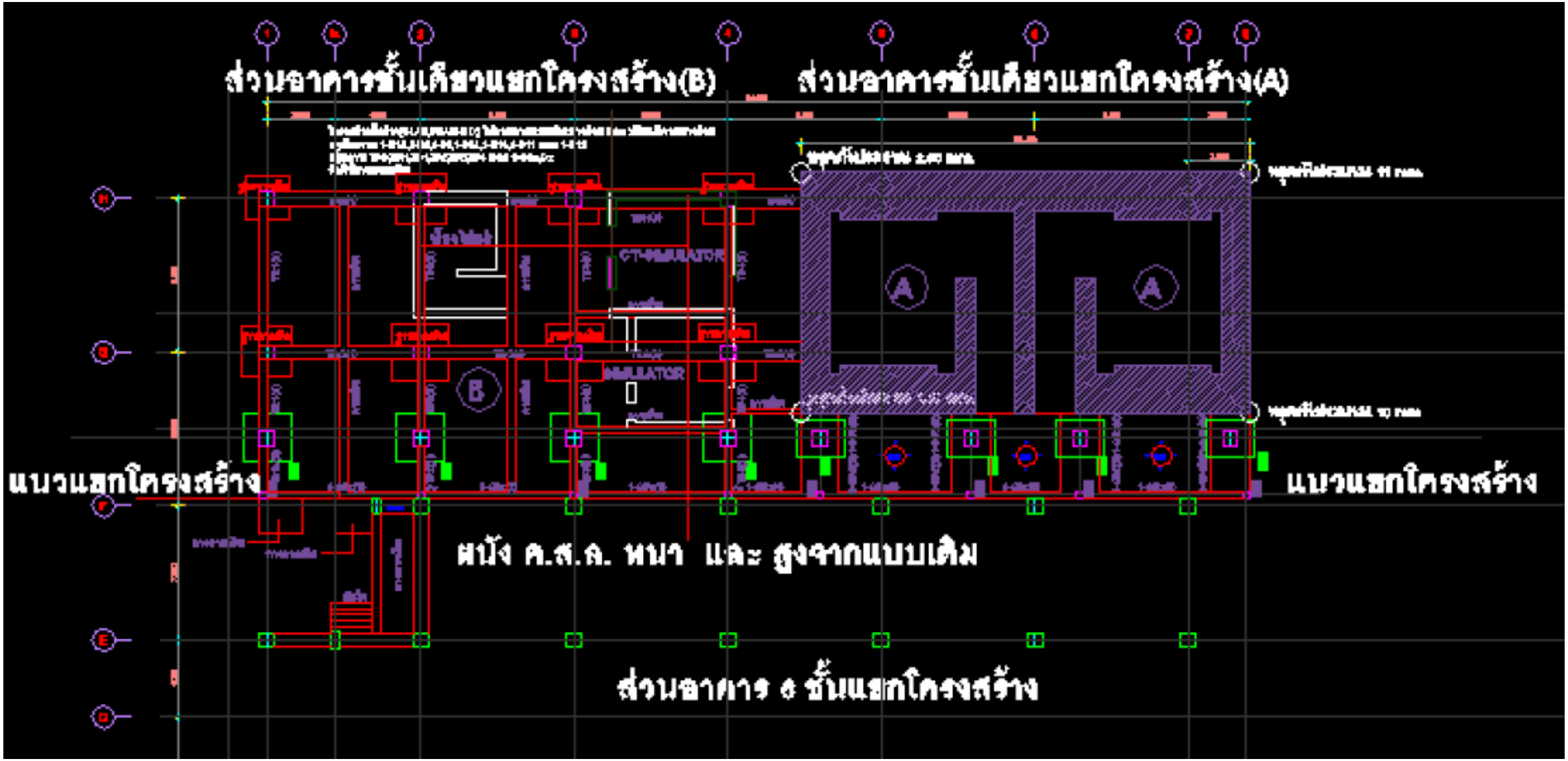
งานฐานรากสร้างแล้วเสร็จ 70%



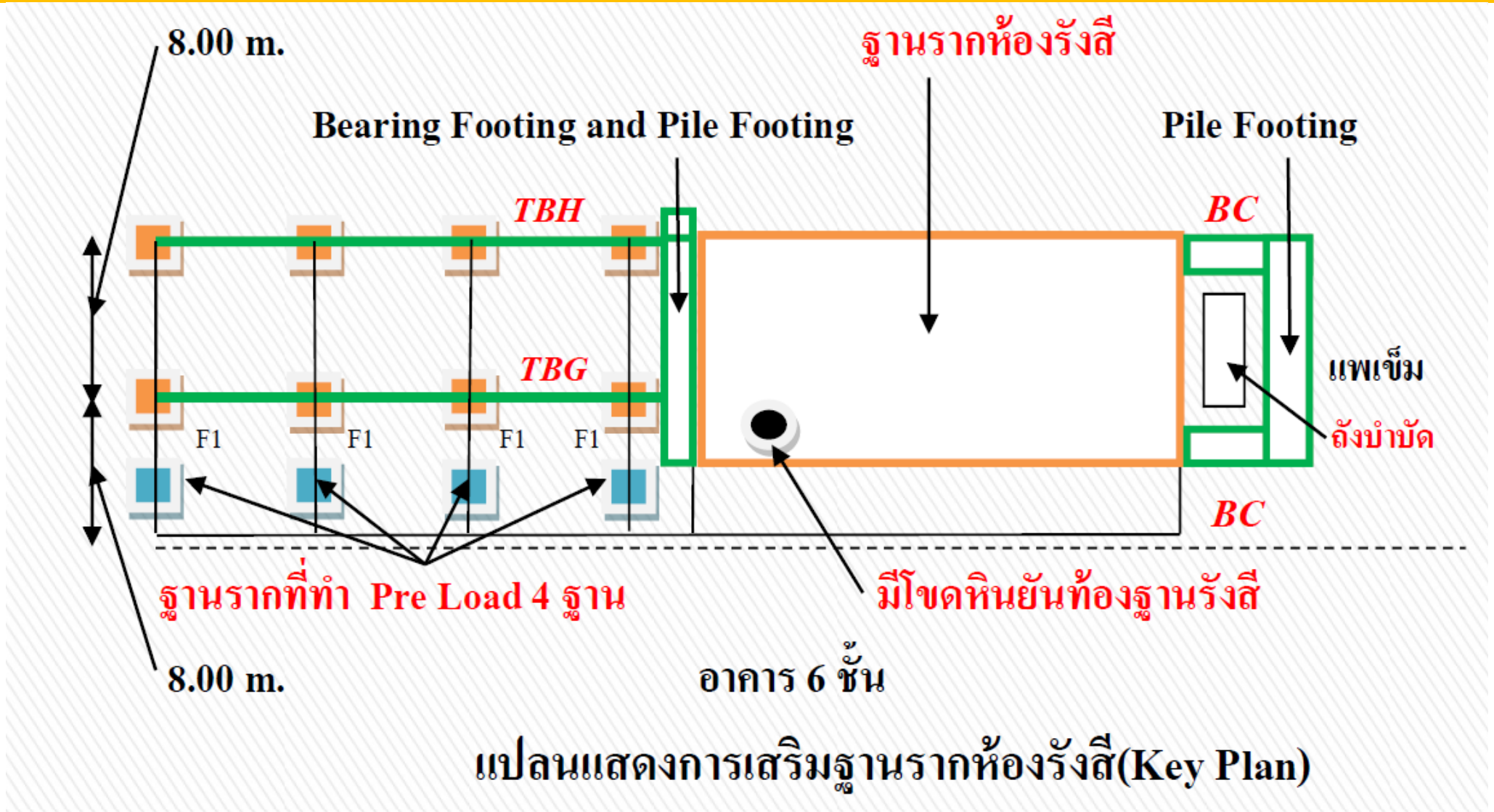
แบบแปลนฐานรากอาคาร



อาคารรังสีรักษา ผนังอาคารหนา



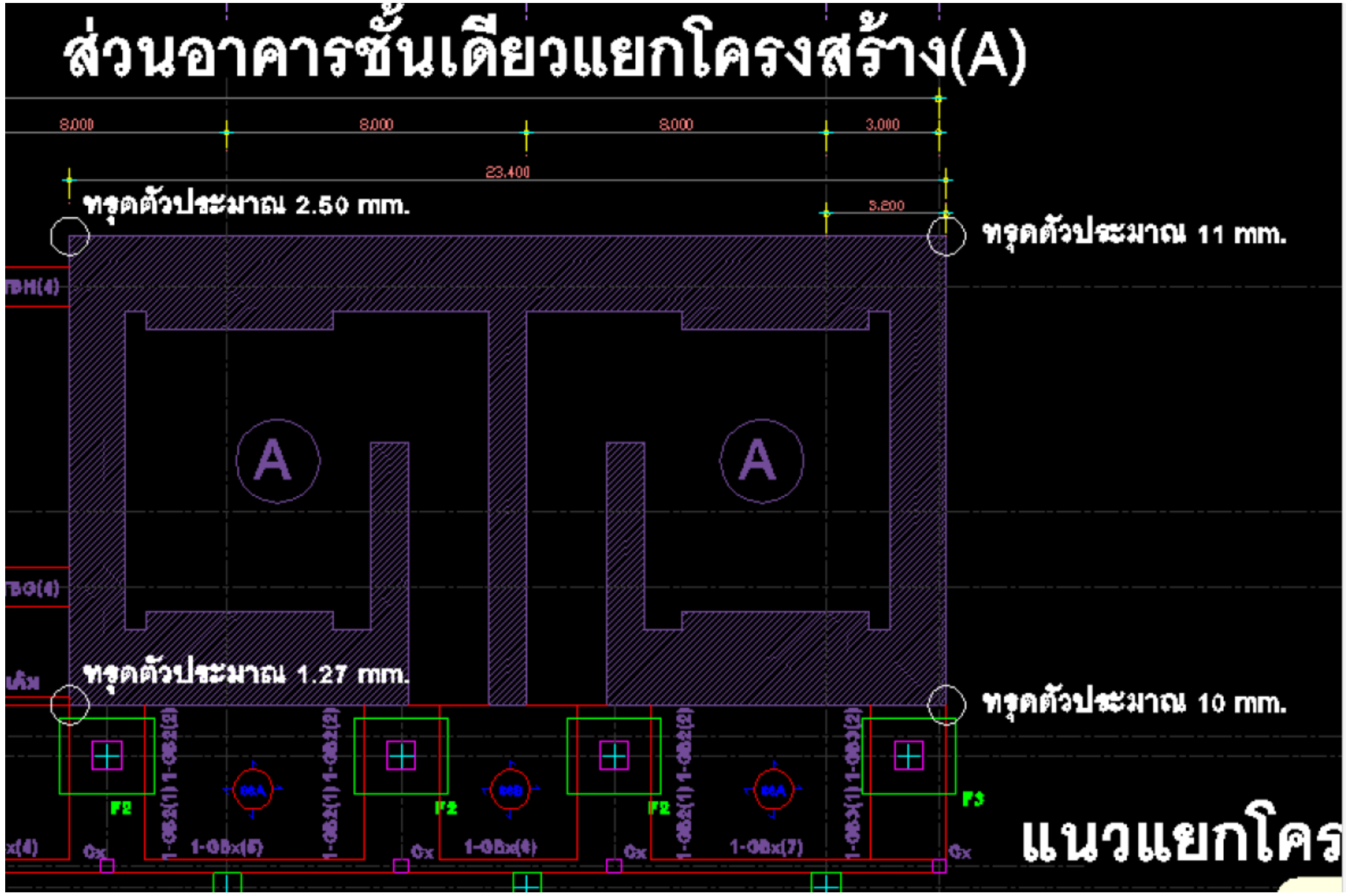
แปลนแสดงการเสริมฐานรังสี และ ปรับแก้คานโยง TBH และคานโยง TBG



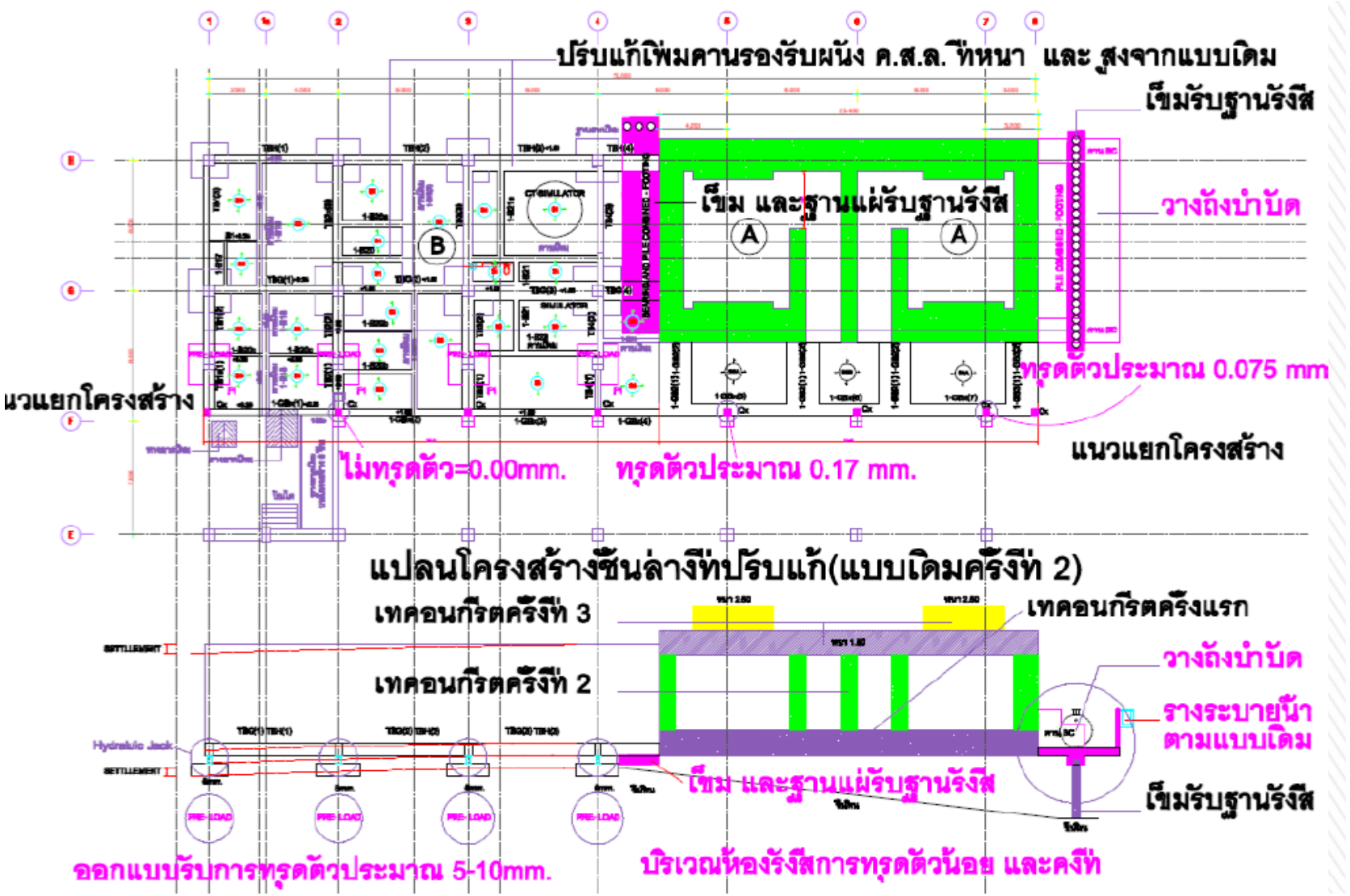
แปลนแสดงการเสริมฐานรากห้องรังสี(Key Plan)

ระหว่างขั้นตอนการก่อสร้างเทผนังห้องรังสี พร้อมวัดการทรุดตัวทั้ง 4 มุมของฐานรังสี

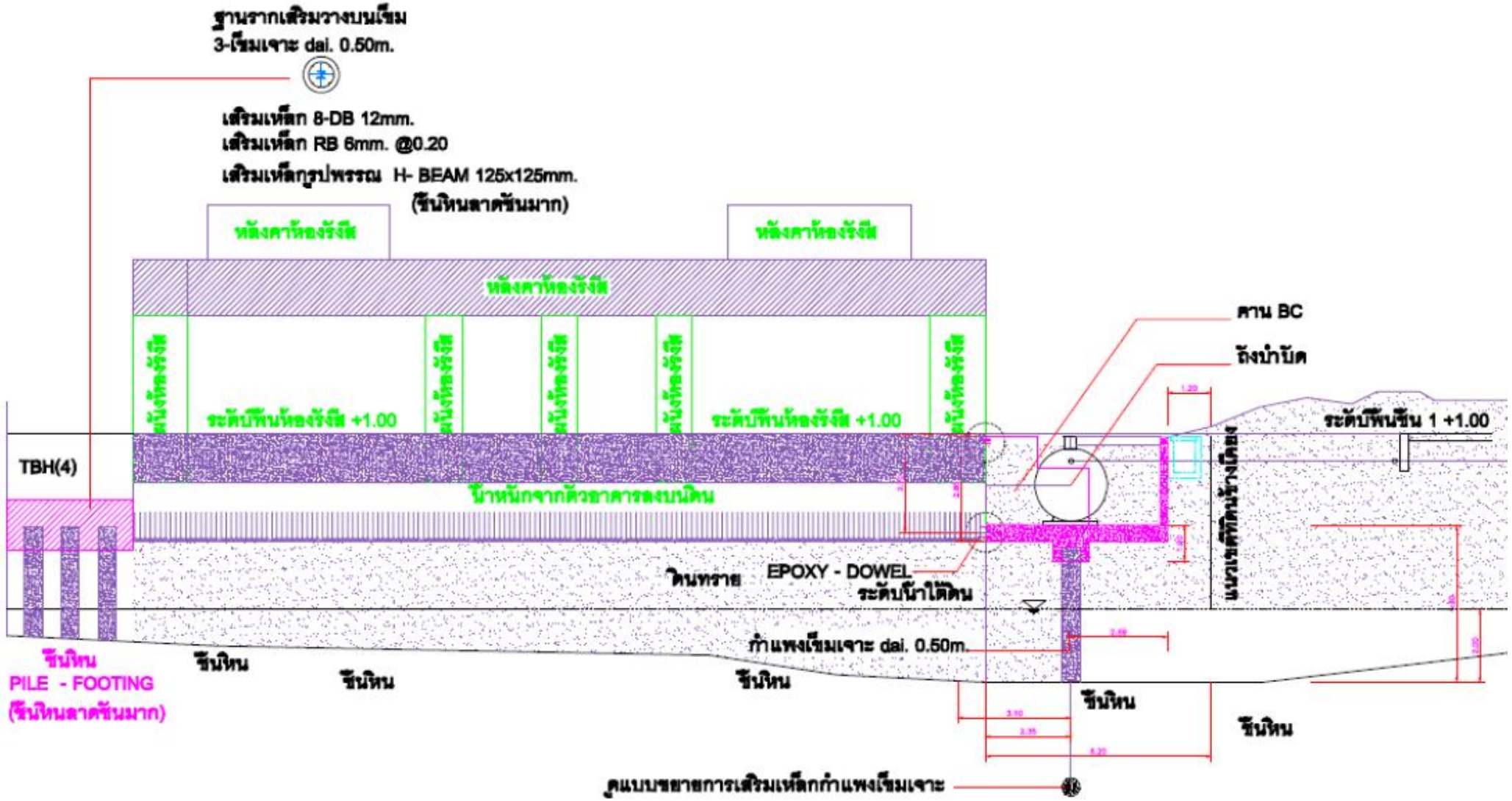
อาคารทรุดตัวขณะเทผนัง



แสดงการเสริมฐานรังสี คานโยง TBGTBGและคานโยงTBH



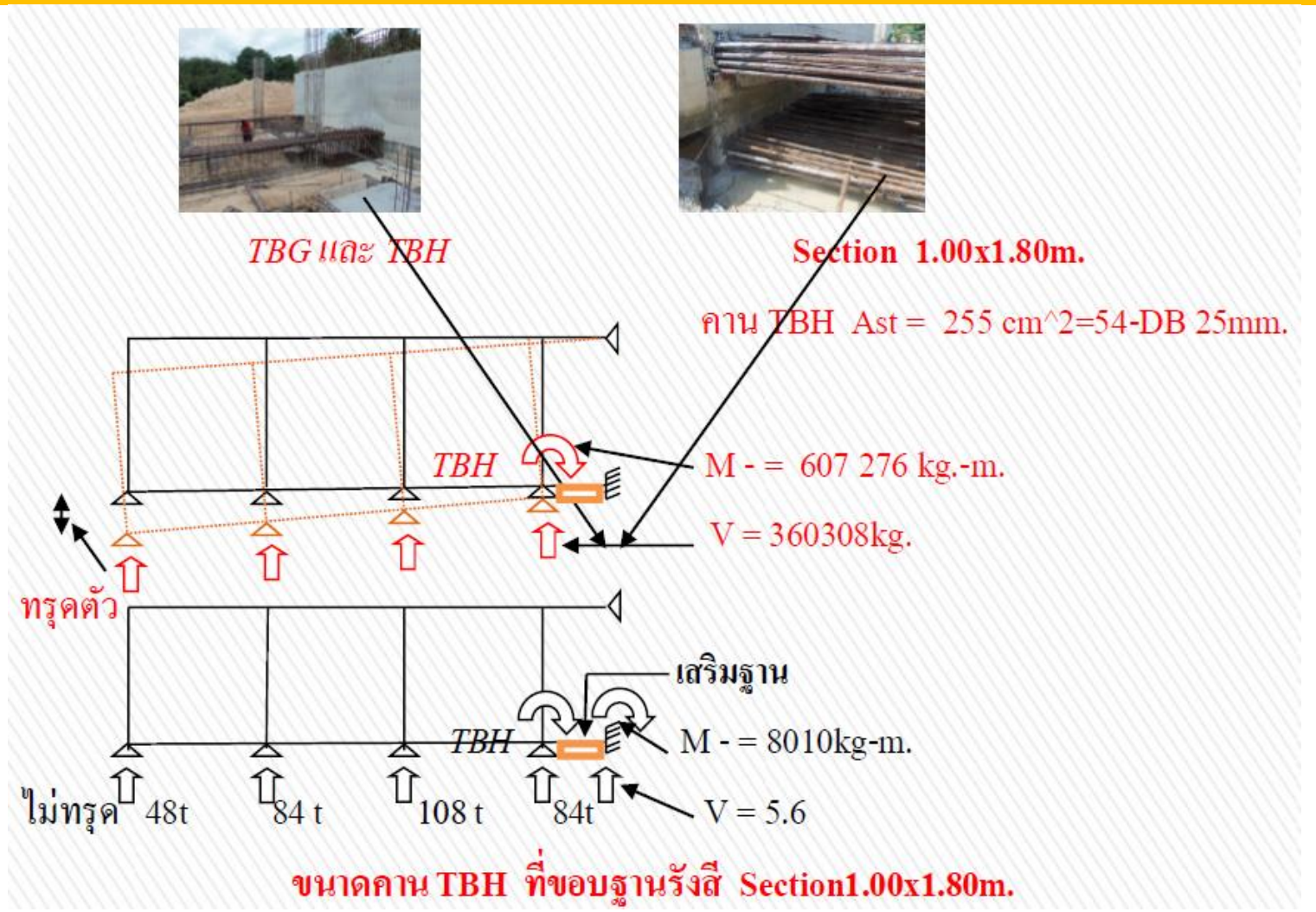
รูปตัดแสดงการเสริมฐานอาคารรังสีด้านหัวท้าย



คานโยง TBG,TBH ที่ปรับขนาดเพิ่มจานวนเหล็กเสริม

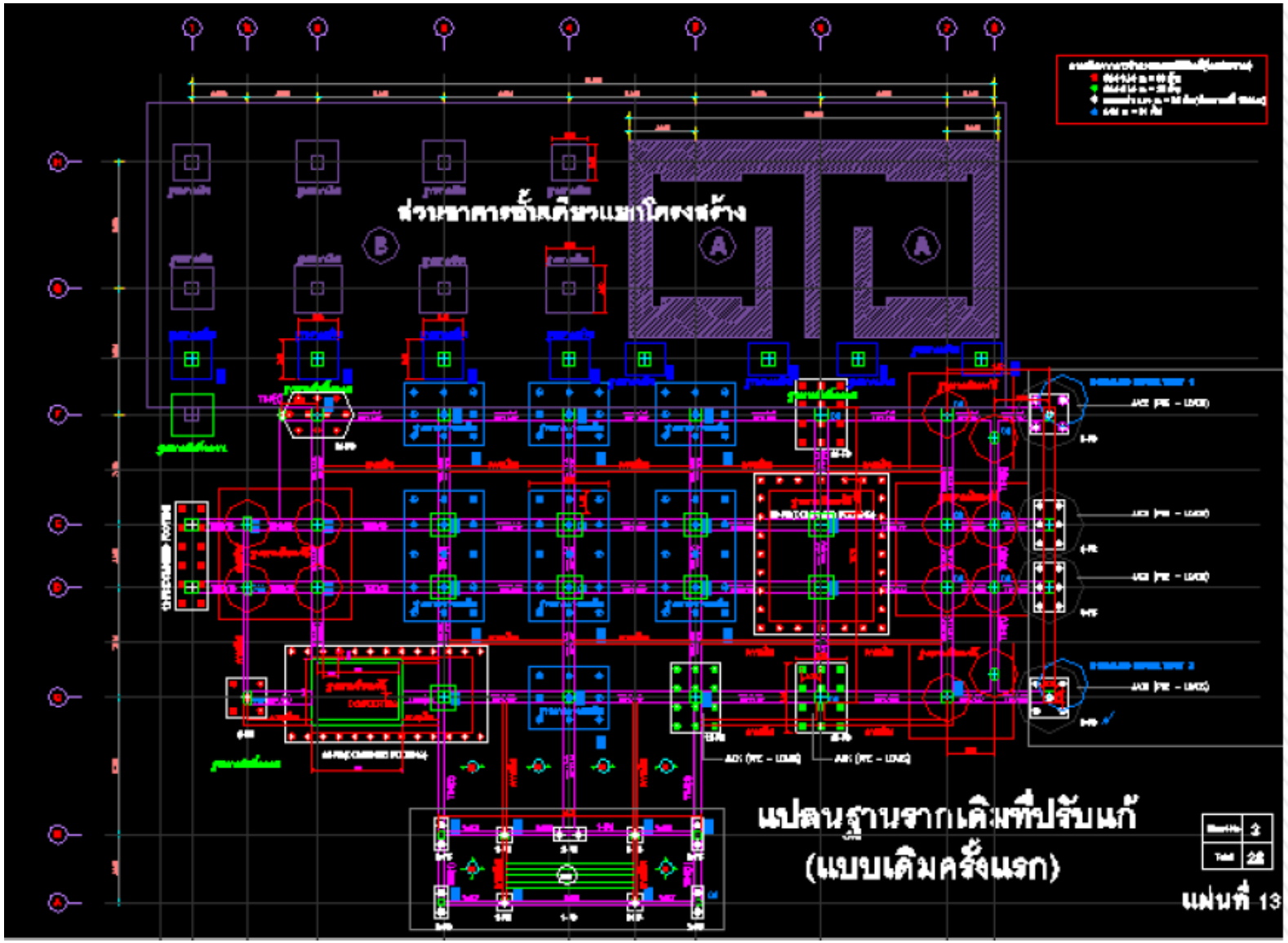
สร้างฐานรากแผ่ร่วมกับ และ ฐานรากเสาเ มรองรับนาหนัก จากคานโยง TBG,TBH

ปรับแก้คานเดิม TBG,TBH ให้เป็นคานโยงถ่ายแรง ในกรณีฐานรากทรุดตัวไม่เท่ากัน

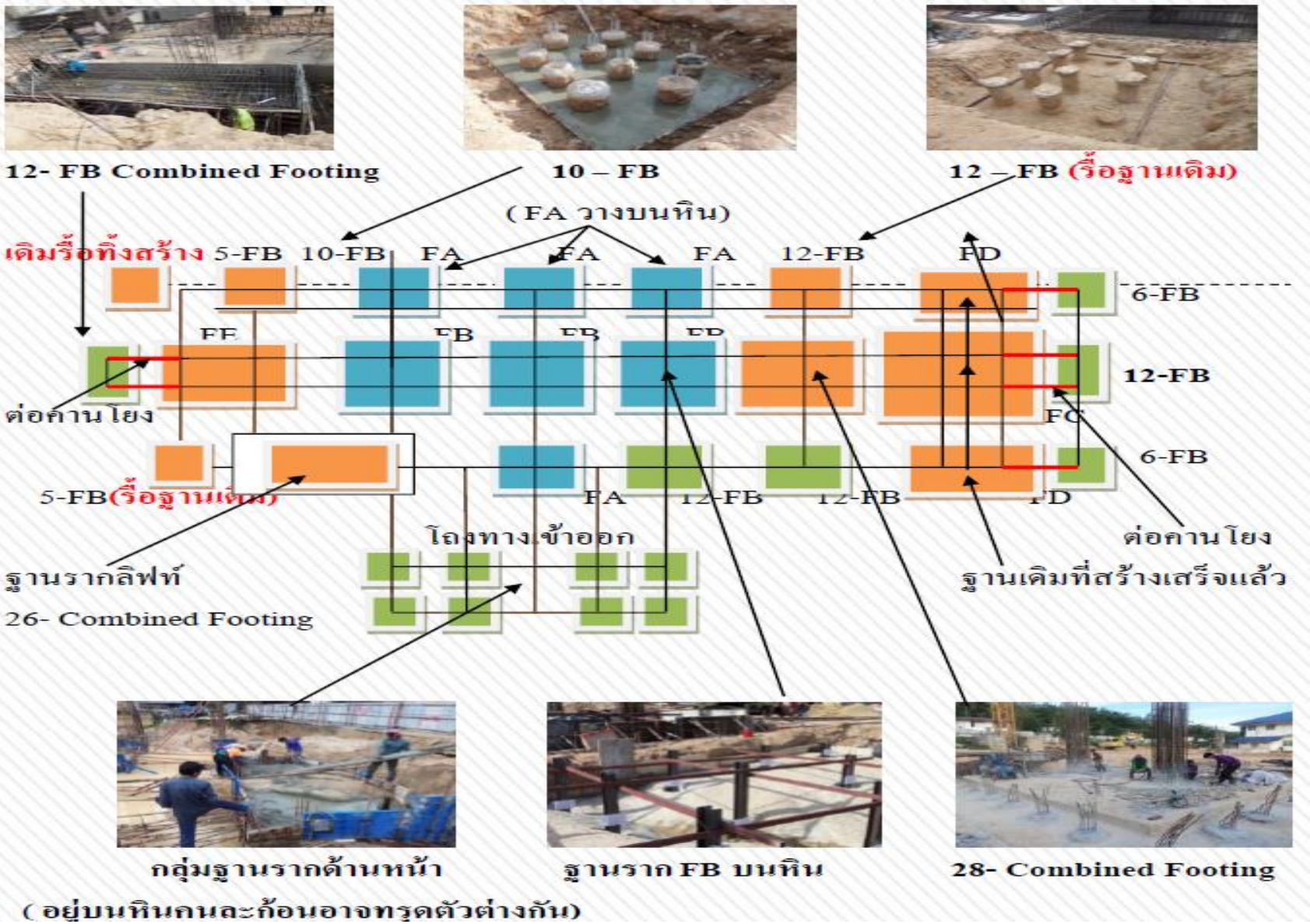


ภาพคานโยง TBG,TBH เตรียมเทคอนกรีต

แสดงการเสริมฐานรากอาคาร 6 ชั้น



แปลนฐานรากอาคาร 6 ชั้นที่ปรับแก้(Key Plan)

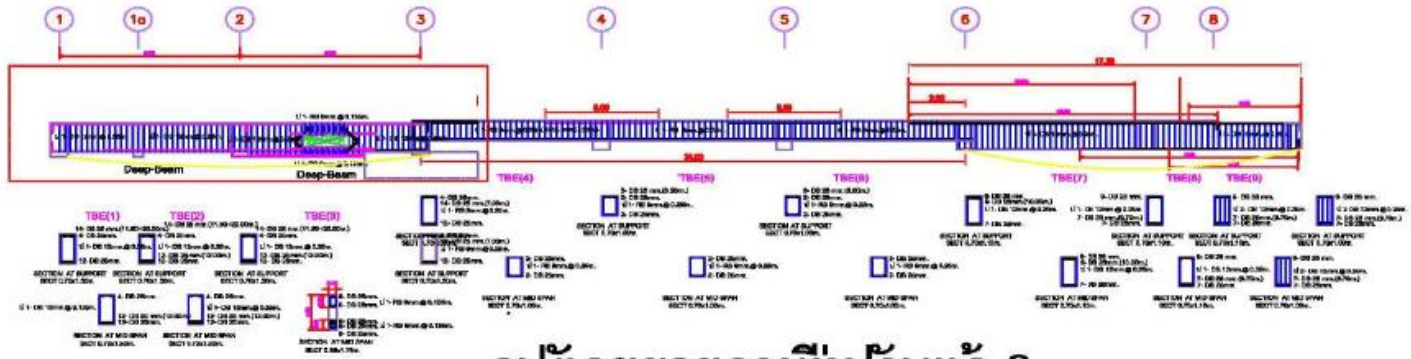


เจาะดิน และ SOCKET ชั้นหิน

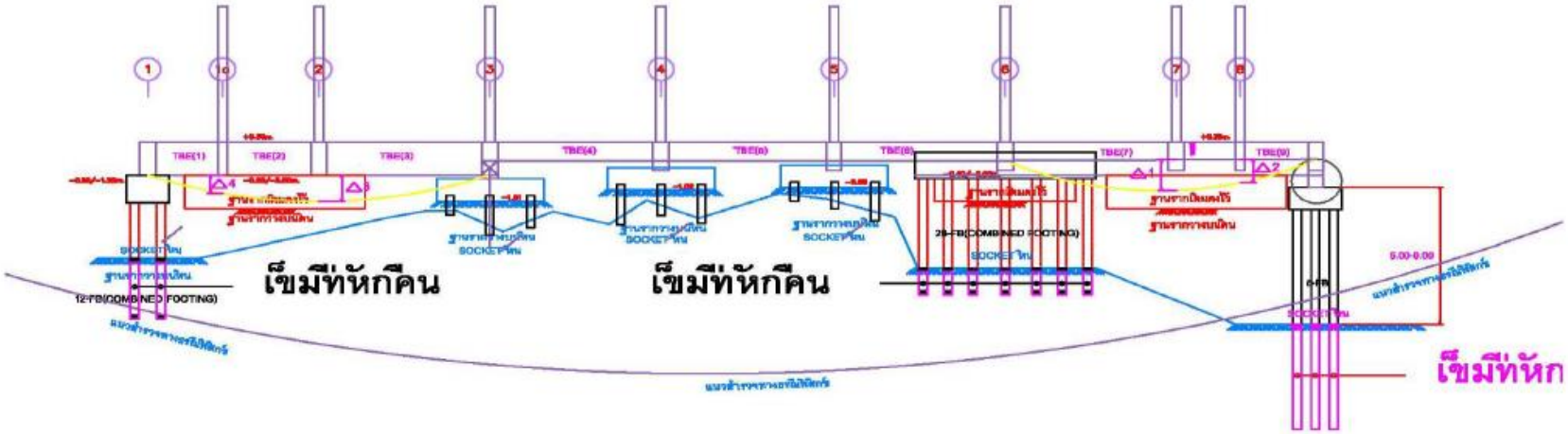
เสริมเข็มรอบฐานรากแผ่เดิม(ไม่รื้อทิ้ง)

ฐาน FB วางบนหิน H BEAM รับแรงเฉือน

ปรับแก้คานโยง TBE



รูปตัดขยายคานที่ปรับแก้ 2



รูปตัดแนวสำรวจที่ปรับแก้ 2
(คานโยง TFBE)

อาคารก่อสร้างแล้วเสร็จ

โปรดติดตาม....รายการโยธาน่ารู้กับลุงพานิช

โยธาน่ารู้ EP 100 การปรับปรุงดิน ด้วยวิธี Dynamic Compaction...

683 views • 3 weeks ago

โยธาน่ารู้ EP 99 Building design camp

376 views • 1 month ago

โยธาน่ารู้ EP 98 ไขข้อ ข้องใจ...ข1-ข7

379 views • 1 month ago

โยธาน่ารู้ EP 97 Survey camp 2023

473 views • 1 month ago

โยธาน่ารู้ EP 96 Horizontal Directional Drilling (HDD)

1.1K views • 2 months ago

โยธาน่ารู้ EP 95 แผ่นดินไหวตุรกี สะเทือนถึงไทย

267 views • 3 months ago

โยธาน่ารู้ EP 94 ทางเลี่ยงเมือง ฉะเชิงเทรารองรับ EEC

685 views • 3 months ago

โยธาน่ารู้ EP 93 การทดสอบ ความหนาแน่นของดินด้วยวิธี...

1K views • 4 months ago

โยธาน่ารู้ EP 92 รวมพลคนโยธา งานมงคลสมรสบุตรชายลุงพานิ...

381 views • 5 months ago

โยธาน่ารู้ EP 91 High Strength Concrete

1.1K views • 6 months ago