

การวิเคราะห์ และผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การศึกษาเรื่องการส่งถ่ายน้ำหนัก (load transfer) จากเข็มไปสู่ดินรอบ ๆ ตัวเข็ม การศึกษานี้ จะต้องใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนของเสาเข็มเจาะชนิดที่มีการติดตั้งเครื่องมือภายในตัวเข็ม เพื่อวัดหาแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อเข็มในขณะที่น้ำหนักบรรทุกกำลังกระทำอยู่ที่หัวเข็ม เครื่องมือที่ติดตั้งภายในตัวเสาเข็มนั้น อาจเป็น strain gage ซึ่งเป็นเครื่องมือระบบไฟฟ้า ก็จะหา strain ที่เกิดขึ้น ในตัวเข็มที่จุดที่ติดตั้ง strain gage นั้นได้ หรืออาจติดตั้ง tell tale rod ภายในตัวเข็ม ก็จะวัดหาการหดตัวของเข็มแต่ละช่วง ตามช่วงความยาวของ tell tale rod นั้น

4.1.1 การคำนวณหาแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็มตามแนวความยาวของเข็ม เมื่อเข็มรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนที่หัวเข็ม

ก. เมื่อเสาเข็มเจาะมีการติดตั้ง strain gage ตามจุดต่าง ๆ ตามแนวความยาวของเข็ม แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นภายในตัวเข็ม ที่จุดที่มีการติดตั้ง strain gage คำนวณจากสมการ

$$P_i = \frac{E (E_c A_c + E_{st} A_{st})}{L} \quad 4.1$$

เมื่อ P_i = แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็ม บนพื้นที่หน้าตัดของ

เสาเข็มเจาะคอนกรีตเสริมเหล็กที่จุดที่ติดตั้ง strain gage นั้น

E = strain ที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็มที่จุดที่ติดตั้ง strain gage เป็นค่าที่วัดได้จาก strain gage นั้น

E_c = modulus of elasticity ของคอนกรีตที่ใช้ทำเข็ม

A_c = พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต

E_{st} = modulus of elasticity ของเหล็กเสริม

A_{st} = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม

เสาเข็มเจาะที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ ที่ได้ติดตั้ง strain gage ภายใต้วัดเข็มได้แก่ เข็ม TP₁(TH), TP₂(TH), TP₃(BKK), TP₅(BKK) ในการคำนวณหาแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็ม เมื่อเข็มรับน้ำหนักบรรทุกทุกที่หัวเข็มของเข็มต่าง ๆ ดังกล่าว จะเลือกตัว strain gage ที่อยู่ใกล้หัวเข็ม คำนวณหา modulus of elasticity ของคอนกรีตที่ใช้ทำเข็มก่อน โดยใช้สมการ 4.1 เมื่อ ϵ วัดได้จาก strain gage ส่วน E_{st} มีค่าเท่ากับ 2.04×10^6 ksc ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับโดยทั่วไปตามมาตรฐานของ ACI และ วสท. และ P_i ให้มีค่าเท่ากับน้ำหนักบรรทุกทุกที่หัวเข็ม ทั้งนี้ ในช่วงของเข็มที่อยู่ใกล้ ๆ หัวเข็ม ดินและเข็มในช่วงนี้ ไม่สัมผัสกัน ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ ข.1 และนำค่าต่าง ๆ มา plot ดังรูปที่ ข.1 ก็จะหาค่า modulus of elasticity ของคอนกรีตที่ใช้ทำเข็มต่าง ๆ ได้ ดังนั้น เมื่อค่าต่าง ๆ ทางด้านขวามือของสมการ 4.1 หาได้แล้ว แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็ม P_i ก็จะสามารถหาค่าได้ สำหรับเข็ม TP₁(TH) TP₂(TH), TP₃(BKK), TP₅(BKK) ผลการคำนวณค่า P_i ดังแสดงในตารางที่ ข.2 ถึง ข.5 แล้วจึง plot ค่าแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็ม ตามแนวความยาวของเข็ม เมื่อเข็มรับน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ที่หัวเข็ม ดังรูปที่ ข.2 ถึง ข.5

ข. เมื่อเสาเข็มเจาะมีการติดตั้ง tell tale rod แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็ม P_i คำนวณจากสมการ

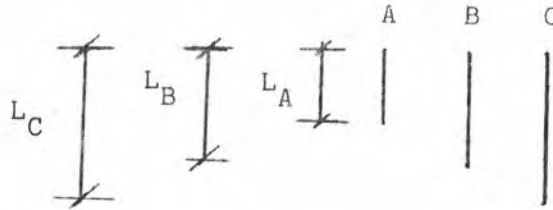
$$P_i = \frac{[E_c A_c + E_{st} A_{st}] \Delta}{L} \quad 4.2$$

เมื่อ Δ = การหดตัวของเข็ม เนื่องจากเข็มรับน้ำหนัก วัดได้จากการเคลื่อนตัวของแท่ง tell tale rod

L = ช่วงความยาวของเข็มที่มีการหดตัว Δ

สมมุติว่า เสาเข็มมีการติดตั้ง tell tale rod จำนวนสามแท่ง คือ A, B และ C ดังรูปความยาวของแต่ละแท่งคือ L_A, L_B, L_C และการหดตัวของแต่ละแท่งคือ $\Delta_A, \Delta_B, \Delta_C$ ตามลำดับ ฉะนั้น แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อตัวเข็ม คิที่จุดต่าง ๆ ตามแนวความยาวของเข็ม ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ที่ระยะ } L_A/2 & ; P_i = [E_c A_c + E_{st} A_{st}] \Delta_A / L_A \\ \text{ที่ระยะ } (L_B - L_A)/2 & ; P_i = (E_c A_c + E_{st} A_{st}) (\Delta_B - \Delta_A) / (L_B - L_A) \\ \text{ที่ระยะ } (L_C - L_B)/2 & ; P_i = (E_c A_c + E_{st} A_{st}) (\Delta_C - \Delta_B) / (L_C - L_B) \end{aligned}$$



ในกรณีนี้ที่เข็มไม่มีการติดตั้ง strain gage modulus of elasticity ของคอนกรีตสัมพันธ์กับค่ากำลังอัดประลัยของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (Teychenne 1978) และมาตรฐานของ American Concrete Institute (ACI) และ วสท. กำหนดให้ใช้ค่า modulus of elasticity ของคอนกรีต $E_c = 4270 (W_p)^{1.5} \sqrt{f'_c}$ เมื่อ E_c มีหน่วยเป็น KSC $W_p =$ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 2.33 t/m^3 f'_c เป็นค่า cylinder compressive strength ของแท่งตัวอย่างคอนกรีตมีหน่วย KSC

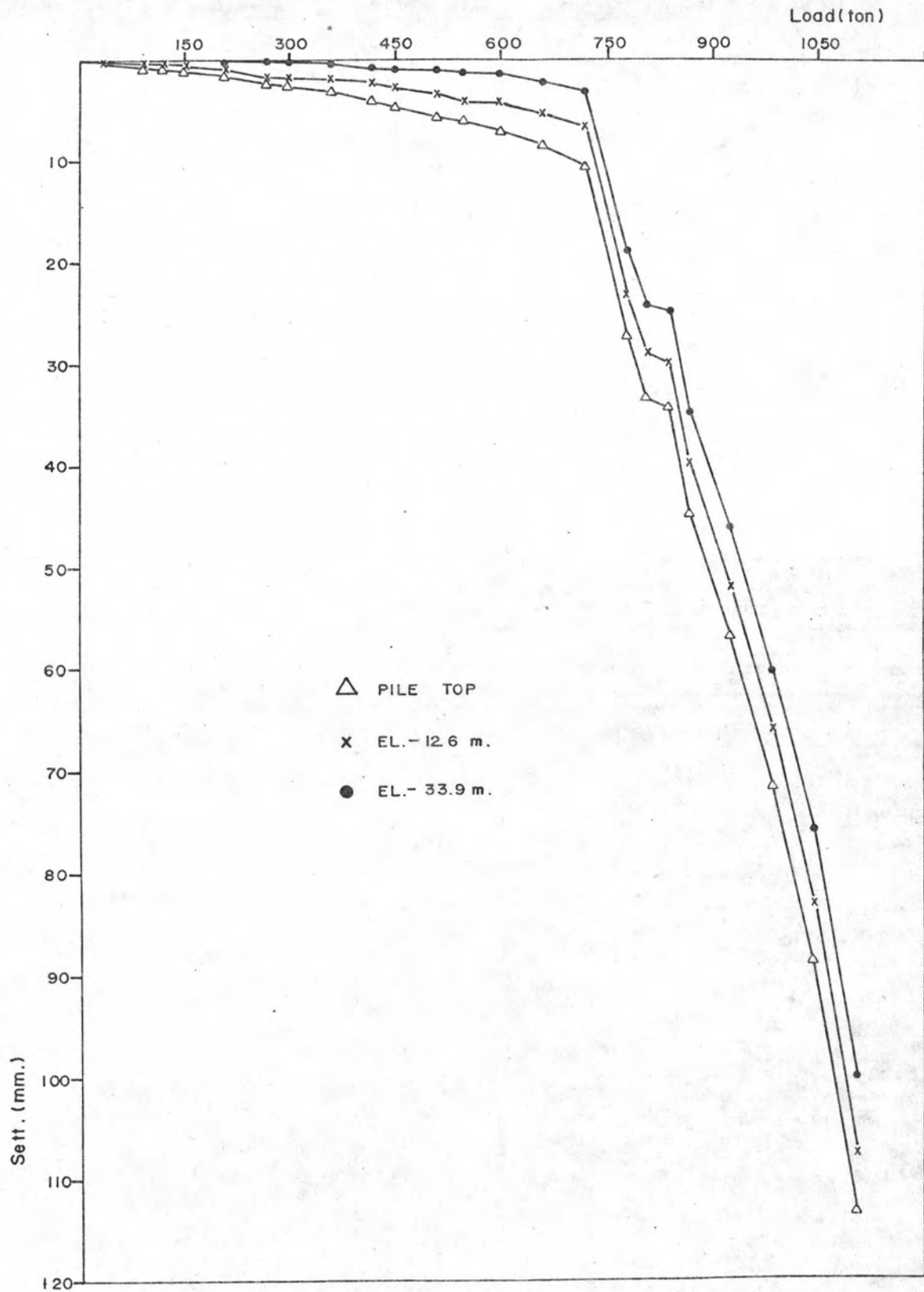
เสาเข็มเจาะที่ใช้ในการศึกษา นี้ และมีการติดตั้งแต่ tell tale rod อย่างเดียว ได้แก่ เข็ม T_{81} และ T_{88} แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อตัวเข็ม เนื่องจากเข็มรับน้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม ดังแสดงในตารางที่ ข.6 และ ข.7

แล้วนำค่าแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็มตามแนวความยาวของเข็ม มา plot ดังรูป ข.6 และ ข.7 ปรากฏว่าข้อมูลกระจายมาก อาจเนื่องจากการติดตั้งเครื่องมือไม่ดีพอ แต่อย่างไรก็ตาม เข็ม T_{81} และ T_{88} มีการติดตั้ง load Cell วัดน้ำหนักที่เกิดขึ้นที่ปลายเข็มได้แน่นอน เมื่อรู้น้ำหนักกระทำที่หัวเข็มและน้ำหนักที่เกิดขึ้นที่ปลายเข็ม เนื่องจากน้ำหนักกระทำที่หัวเขมนั้น ก็พอจะหาแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็มตามความยาวของเข็มโดยประมาณดังรูป ข.6 และ ข.7 ได้

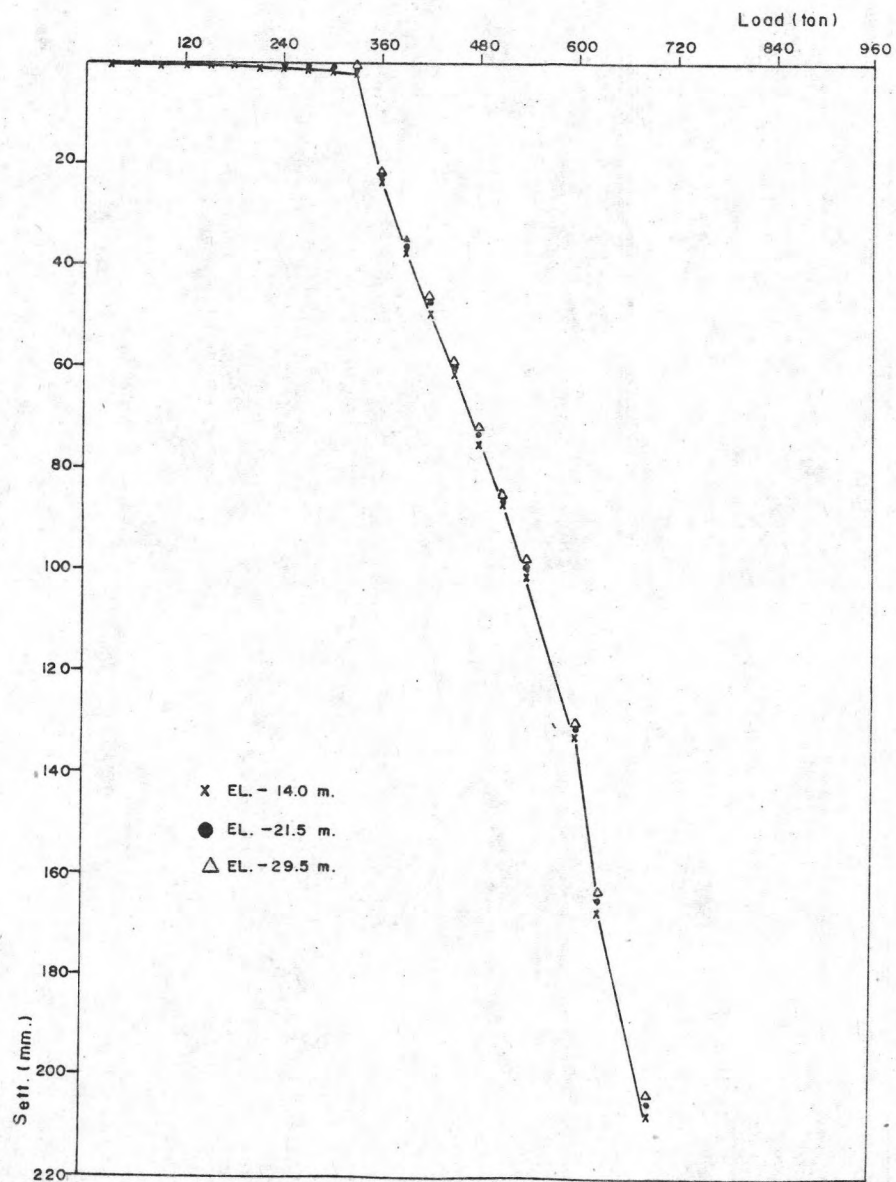
เสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งทั้ง strain gage และ tell tale rod ได้แก่ เข็ม TP_1 (TH), TP_2 (TH), TP_3 (BKK) และ TP_5 (BKK) นั้น เข็ม TP_3 (BKK)

มีการติดตั้ง tell tale rod ในระดับความยาวของแท่ง tell tale rod สามระดับ ความยาวที่ต่างกัน และคำนวณหาแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็มโดยใช้ข้อมูลจาก tell tale rod นี้ ดังแสดงในตารางที่ ข.8 และเมื่อ plot เปรียบเทียบกับค่าที่ได้ จากที่คำนวณโดยใช้ strain gage ปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูป ข.4 และจะให้ค่า ใกล้เคียงกันยิ่งขึ้น เมื่อใช้แท่ง tell tale rod ให้ต่างระดับความยาวมากระดับชั้น ส่วน เข็ม TP₂(TH) และ TP₅(BKK) การติดตั้ง tell tale rod มีแค่สองระดับความยาว ของแท่ง tell tale rod เท่านั้น ในกรณีนี้ แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็มที่ คำนวณโดยใช้ข้อมูลจาก tell tale rod เพียงสองระดับความยาวที่ต่างกันนี้ จะให้ค่าที่ ค่อนข้างหายยาบ อย่างไรก็ตาม การหดตัวยืดหยุ่นของเข็ม เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม ใน แต่ละช่วงความยาวของเข็มนับแต่หัวเข็มลงไปจนถึงจุดปลายของแท่ง tell tale rod แต่ละ แท่ง ก็คือการเคลื่อนตัวลงของแต่ละแท่ง tell tale rod นั้น-ภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่หัว เข็มนั้น ๆ นั่นเอง ดังนั้น จึงสามารถหาการเคลื่อนตัวลงของเข็ม ตรงจุดปลายของ tell tale rod แต่ละแท่ง โดยนำค่าการทรุดลงของเข็ม วัดได้ที่หัวเข็ม ลบด้วยการเคลื่อนตัว ลงของแต่ละแท่ง tell tale rod นั้น ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ ข.9 ถึง ข.12 แล้วนำค่าการเคลื่อนตัวลงของเข็มที่แต่ละระดับความลึกซึ่งก็คือ ค่าการเคลื่อนตัวของเข็มตรง จุดปลายของ tell tale rod แต่ละแท่งมา plot กับ น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ที่หัวเข็ม ดังรูป 4.1 ถึง 4.4

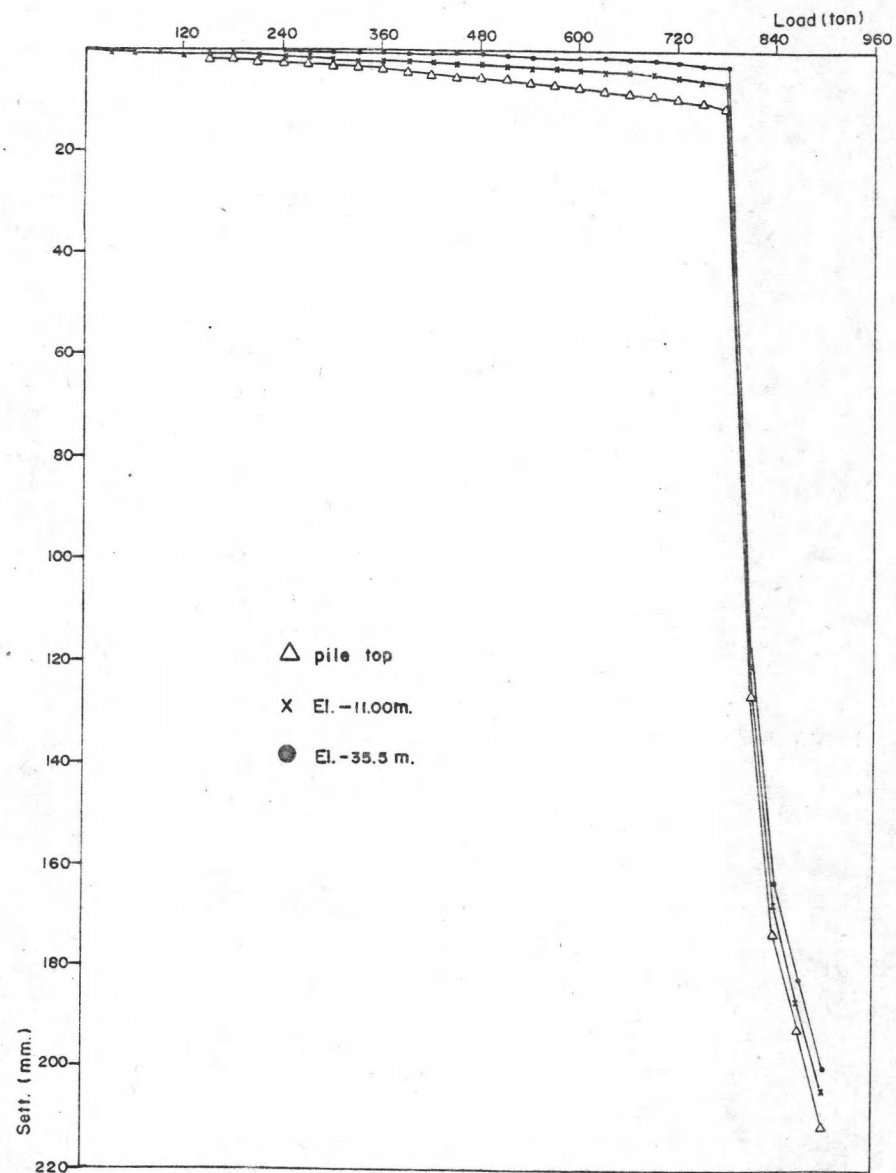
4.1.2 พฤติกรรมการส่งถ่ายน้ำหนักจากเข็มไปสู่ดินโดยทั่วไป จากตารางที่ ข.9 ถึง ข.12 และรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 จะเห็นได้ว่า เมื่อเข็มรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนที่หัว เข็ม เข็มแต่ละส่วนตามแนวความยาวของเข็มจะมีการเคลื่อนตัวลงไม่เท่ากัน ส่วนของเข็มที่ อยู่ใกล้ ๆ กับหัวเข็มจะมีการเคลื่อนตัวมากที่สุด และการเคลื่อนตัวลงของเข็มจะมีค่าลดลงใน ส่วนของเข็มที่อยู่ยาวลึกลงไป ดังนั้น เมื่อน้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็มในช่วงที่มีค่าน้อยเมื่อเทียบ- ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเข็มแล้ว ปลายเข็มจะยังไม่มีการเคลื่อนที่ การเคลื่อนตัวของเข็มจะมีแต่เฉพาะในส่วนที่อยู่ใกล้หัวเข็มลดหลั่นกันลงไปตามความลึกหรือความ ยาวของเข็มที่เพิ่มขึ้น การส่งถ่ายน้ำหนักจากเข็มไปสู่ดิน จึงเกิดขึ้นในส่วนของเข็มที่อยู่ใกล้กับ หัวเข็มก่อน ส่วนที่ปลายเข็มอาจไม่มีการส่งถ่ายน้ำหนักจากเข็มไปสู่ดินเลย เมื่อน้ำหนักบรรทุก



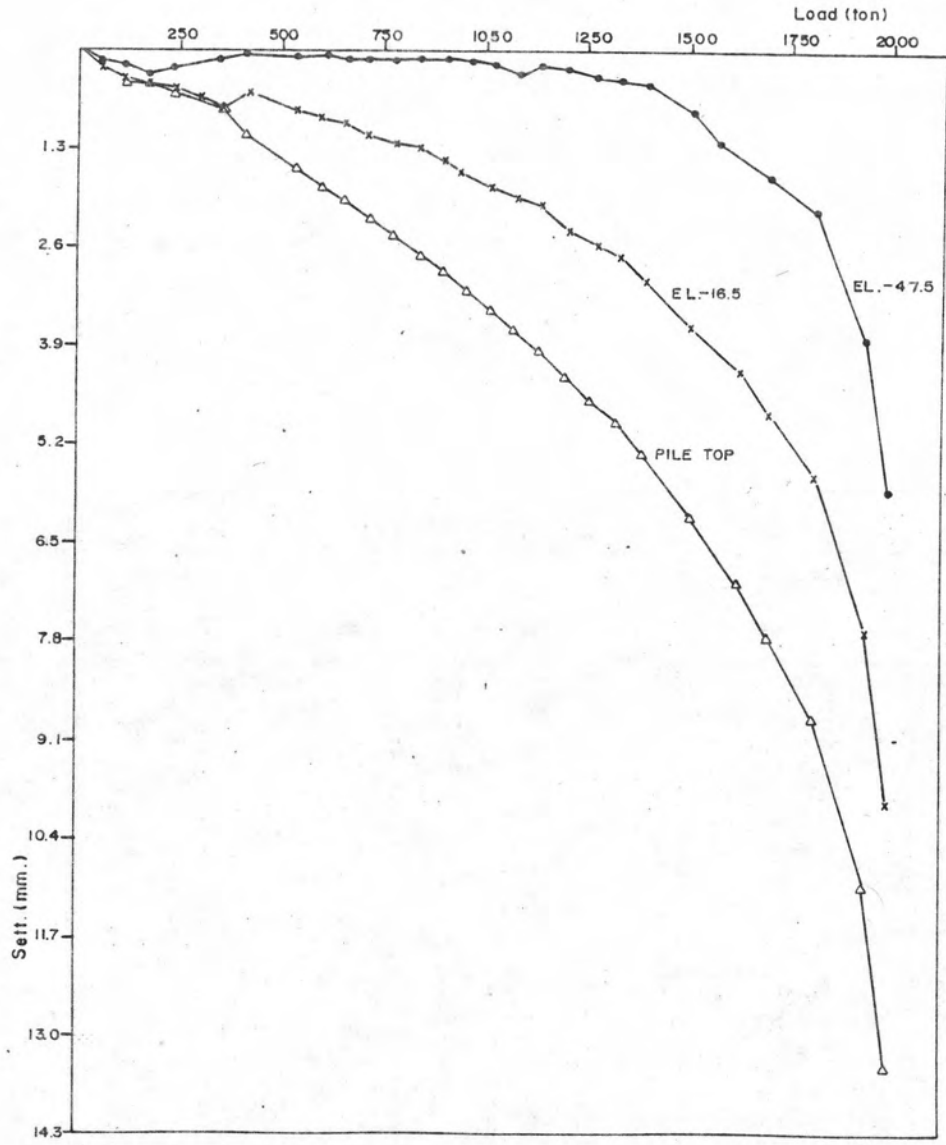
รูป 4.1 การเคลื่อนตัวลงที่ความลึกต่าง ๆ ของเข็ม TP₁(TH)



รูป 4.3 การเคลื่อนตัวลงที่ความลึกต่าง ๆ ของเข็ม TP₃ (BKK)



รูป 4.2 การเคลื่อนตัวลงที่ความลึกต่าง ๆ ของเข็ม TP₂ (TH)



รูป 4.4 การเคลื่อนตัวลงที่ความลึกต่าง ๆ ของเข็ม TP₅(BKK)

ที่หัว เข็มเพิ่มขึ้น การส่งถ่ายน้ำหนักจากเข็มไปสู่ดินจะเพิ่มขึ้นในทุกส่วนของดิน ตั้งแต่หัว เข็ม ลงไปจนถึงปลายเข็ม ในกรณีที่เป็น end bearing pile และถ้าดินเป็นชั้นเดียวกันตลอด แล้ว การพิบัติของดินจะเกิดขึ้นในส่วนที่อยู่ใกล้หัวเข็มก่อน แล้วค่อย ๆ พิบัติไล่ลงไปตามความยาวของเข็มที่เพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากส่วนบนสุดของเข็มมีการเคลื่อนตัวลงมากที่สุด และที่ปลายเข็มมีการเคลื่อนตัวน้อยสุดภายใต้ต้นน้ำหนักบรรทุกหนึ่ง ๆ ที่หัวเข็มนั่นเอง เมื่อดินในส่วนที่อยู่รอบ ๆ ลำตัวเสาเข็มเกิดพิบัติจนหมดตลอดตามความยาวของเข็ม เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็มมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แล้ว ความต้านทานของดินในส่วนที่อยู่ปลายเข็มหากสามารถต้านทานต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เข็มจะยังไม่เกิดการพิบัติ หากความต้านทานของดินในส่วนที่อยู่ปลายเข็มถึงค่าสูงสุดแล้ว เข็มก็จะเกิดการพิบัติทั้งเข็ม จากการศึกษาของ D'Appolonia and Romualdi (1963) ได้อธิบายหลักการเกิดการพิบัติของเสาเข็มในลักษณะดังกล่าวแล้ว

Aurora and Reese (1976) ได้ศึกษาพฤติกรรมของการส่งถ่ายน้ำหนักของเข็มไปสู่ดิน โดยที่ปลายเข็มอยู่ในชั้น clay shale ส่วนชั้นดินตามแนวลำตัวเข็มเป็น layered soil ประกอบด้วยชั้น sandy and gravel clay ชั้น sand and gravel และชั้น clay โดยที่ชั้น clay ซึ่งเป็นชั้นที่อยู่ต่ำกว่านั้น มีค่า shear strength โดยเฉลี่ยมากกว่าชั้น sandy and gravel clay ซึ่งเป็นชั้นดินที่อยู่ชั้นบนสุดเป็นสองเท่า แต่การศึกษาพบว่า น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ดินสามารถรับไว้ได้ (load transfer capacity) ของชั้น clay ซึ่งมีค่า shear strength มากกว่าชั้น sandy and gravel clay กลับมีค่าน้อยกว่าของชั้น sandy and gravel clay Aurora and Reese ได้ให้เหตุผลว่า ค่า shear strength ของดินที่มีค่าต่ำกว่า มิได้หมายถึง น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินจะมีค่าต่ำกว่าด้วย ทั้งนี้ ยังมีองค์ประกอบอื่น คือ อาจเกิดช่องว่างขึ้นหรืออาจเกิดมีวัสดุที่อ่อนแวกตัวอยู่ระหว่างตัวเข็มและดินรอบลำตัวเข็ม ก็จะทำให้ต้นน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินมีค่าน้อยลงได้ และผลของการซุดหลุมเจาะเพื่อทำเข็มเจาะนี้ จะทำให้ confining pressure ที่มีต่อดินที่อยู่รอบลำตัวเข็มลดลง จะทำให้ shear strength ของดินดังกล่าวลดลง มีผลทำให้ต้นน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ดินสามารถรับไว้ได้ลดลงไปด้วย จากการศึกษาของ Aurora and Reese นี้ พบว่า น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม ที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของเข็มเท่ากับ $3/4$ " นั้น เป็นน้ำหนักเท่ากับ 75% ของ failure load ของเข็มแล้ว ทั้งนี้

โดยการนิยาม failure load ของเข็มเป็นน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เข็มสามารถรับไว้ได้ ซึ่งทำให้การทรุดตัวของเข็มเพิ่มขึ้น ในขณะที่น้ำหนักบรรทุกดังกล่าวนี้คงที่ หรืออาจเพิ่มขึ้น ด้วยอัตราที่น้อยกว่าอัตราการเพิ่มของการทรุดตัวของเข็ม หรือเรียกอีกนัยหนึ่งก็คือ plunging load นั้นเอง Engeling and Reese (1974) ก็นิยาม failure load ของเข็มนี้ ในทำนองเดียวกัน Aurora and Reese กล่าวว่า การพิบัติของเข็มที่การเคลื่อนตัวค่อนข้างต่ำนี้ แสดงว่า clay shale เป็น stiff brittle material ดังนั้น จากการศึกษาของ Aurora and Reese นี้ จึงพอสรุปได้ว่า สำหรับเสาเข็มในชั้น layered soil เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็มแล้ว ชั้นดินต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเข็ม ชั้นดินใดจะเกิดการพิบัติก่อน จะต้องพิจารณา deformation characteristic ของดินประกอบด้วย ทั้งนี้ องค์ประกอบอื่น เช่น ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเข็มและดิน วิธีการก่อสร้างก็อาจมีผลด้วย

Vesic (1965) กล่าวว่า ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็ม จะมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับ shear strength และ deformation characteristic ของชั้นดินที่พิจารณานั้น ๆ โดยตรง

4.1.3 การคำนวณหาค่าน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ชั้นดินต่าง ๆ ดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 วิธีที่ใช้คำนวณนั้น มีอยู่สองวิธีคือ Distribution Function Approach และ Elastic Solid Approach

4.1.3.1 Distribution Function Approach เป็นวิธีที่เสนอโดย Seed and Reese (1957) และ Coyle and Reese (1966) เป็นวิธีที่ยอมรับ และใช้กันอย่างกว้างขวางในทางปฏิบัติ (Poulos and Davis 1980) และเป็นวิธีที่ใช้ศึกษา interaction ระหว่างเข็มและดินที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (Aurora and Reese 1976) รายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

การศึกษากการส่งถ่ายน้ำหนักจากเข็มไปสู่ดิน โดยวิธี Distribution Function Approach เราสามารถหาค่า parameter ต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ เสาเข็มเจาะได้ โดยพิจารณาถึง ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็ม (shaft friction resistance) และที่ปลายเข็ม (End bearing resistance) ดังนี้

ก. ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเสาเข็ม

ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็ม จะเท่ากับน้ำหนักที่ส่ง
ถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่อยู่ตามแนวลำตัวเข็มนั้น โดยปกติแล้ว จะสัมพันธ์กับค่า shear
strength ของดิน (Engeling and Reese 1974) ดังนี้

สำหรับชั้น clay $t = \alpha C$

เมื่อ $t =$ น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่
ค่าสูงสุด (ultimate) t/m^2 .

$\alpha =$ shear strength reduction
factor หรือ adhesion
factor

$C =$ undrained shear strength
ของดิน t/m^2

สำหรับชั้น sand $t = K_s \sigma'_v \tan \phi'_a$

$K_s =$ coefficient of earth
pressure

$\sigma'_v =$ effective overburden
pressure t/m^2

$\phi'_a =$ มุมเสียดทานระหว่างเข็มและดิน
ใช้เท่ากับ $0.75 \phi'$ (Poulos
and Davis 1980)

$\phi' =$ effective angle of shearing
resistance ของทราย หาจาก
ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT N value
และ ϕ' ที่เสนอโดย Peck
Hanson and Thornburn (1974)
ตามที่ Poulos and Davis (1980)
ได้เสนอแนะไว้

ดังนั้น จากความสัมพันธ์ดังกล่าวแล้ว ที่ค่าน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินสูงสุด t เมื่อหาค่า c , ϕ' , σ'_v จากข้อมูลชั้นดินได้แล้ว เราก็จะหาค่า α และ k_s ได้

ข. ความต้านทานของดินที่ปลายเข็ม (End bearing resistance)
เมื่อน้ำหนักส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ปลายเข็ม ดินที่บริเวณปลายเข็มก็จะต้านทานต่อน้ำหนักดังกล่าวนั้น เมื่อน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ปลายเข็มจนความต้านทานของดินที่ปลายเข็มถึงค่าความต้านทานของดินที่ปลายเข็มสูงสุด (ultimate end bearing resistance) เราจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{สำหรับปลายเข็มในชั้น clay } t = CN_c$$

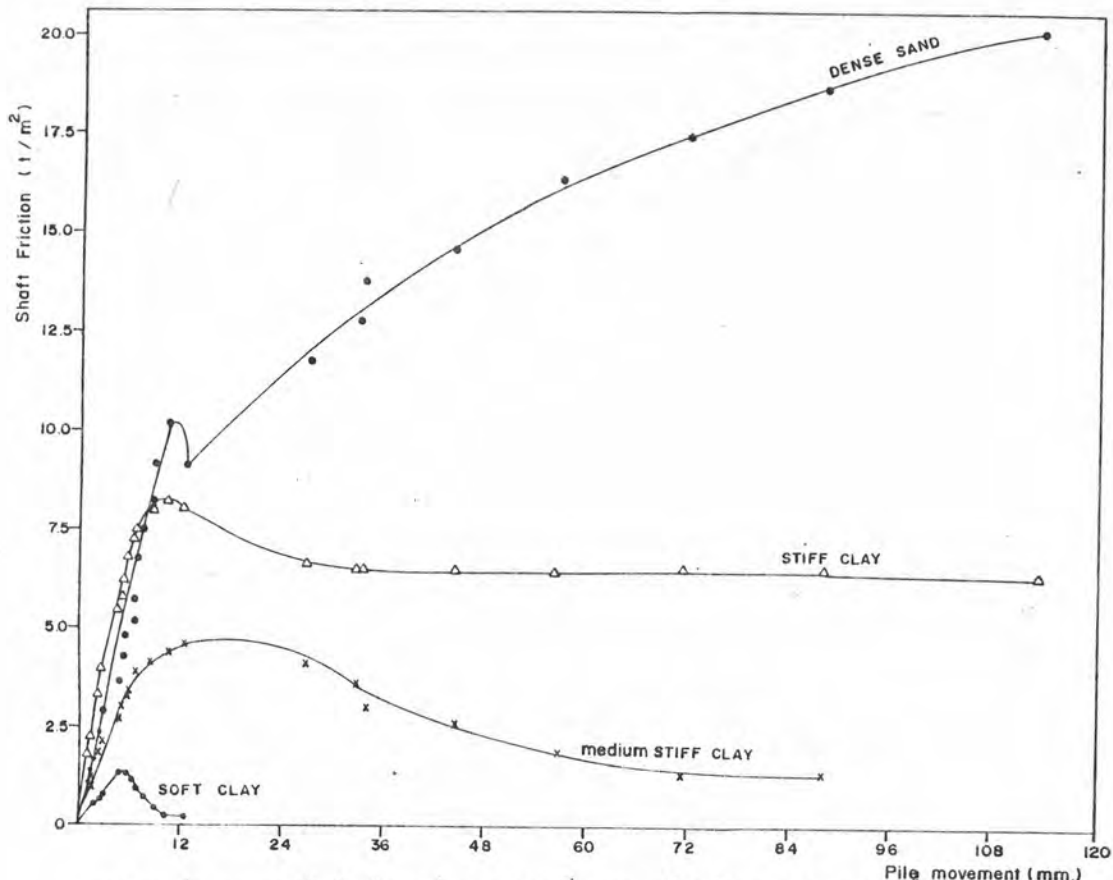
$$\text{สำหรับปลายเข็มในชั้น sand } t = \sigma'_{vb} (N_q - 1)$$

$$\text{เมื่อ } N_c, N_q = \text{bearing capacity factor}$$

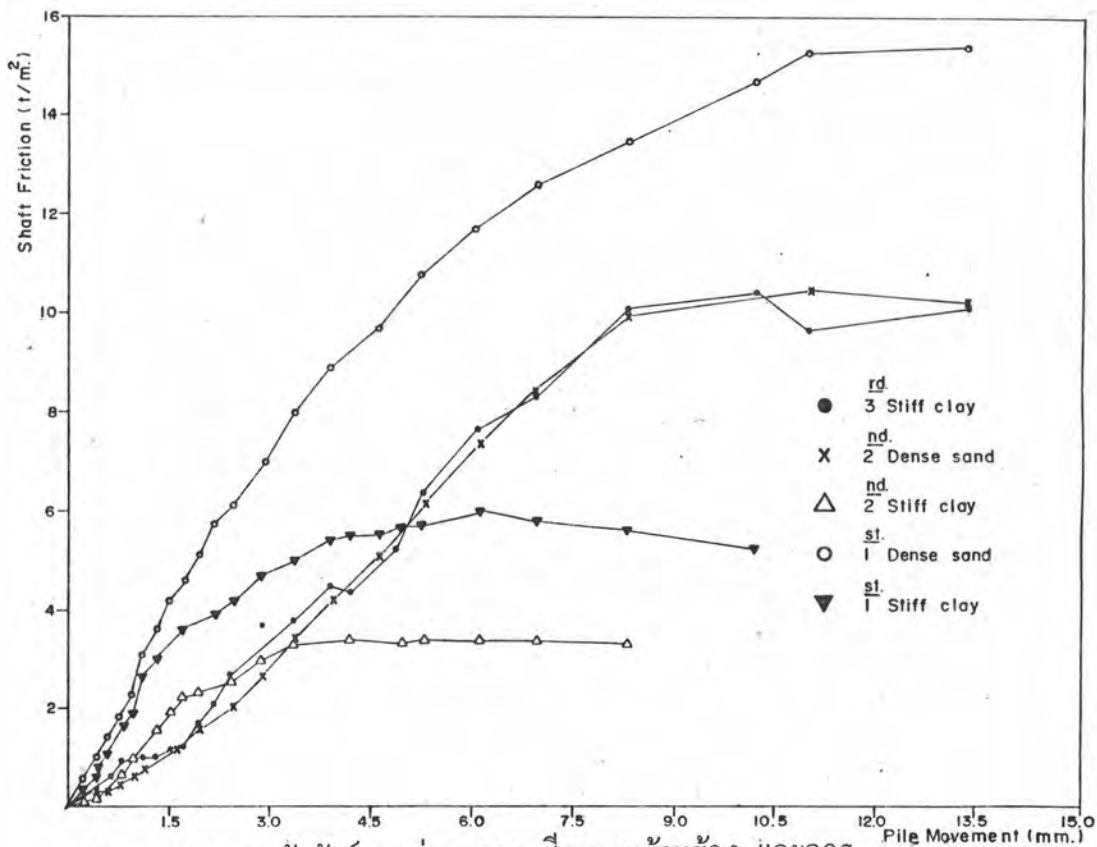
$$t = \text{น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินแล้วดินถึงค่าความต้านทานสูงสุด (failure)}$$

$$\sigma'_{vb} = \text{effective overburden pressure ที่ปลายเข็ม}$$

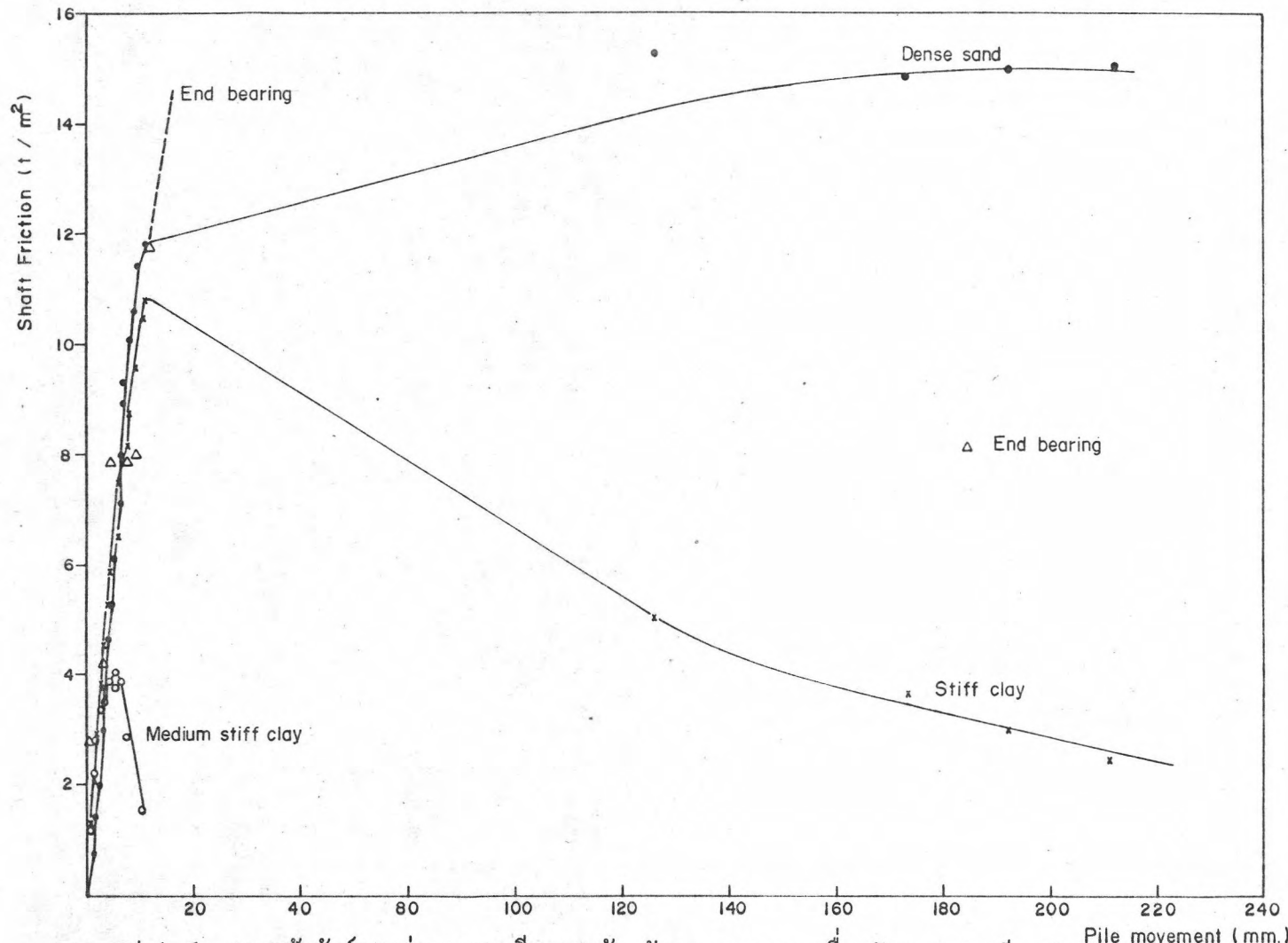
การศึกษาการส่งถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มไปสู่ชั้นดินต่าง ๆ ของเข็ม TP₁(TH) TP₂(TH), TP₃(BKK), TP₅(BKK), T₈₁ และ T₈₈ โดยวิธี Distribution function approach เมื่อทราบค่าแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อตัวเข็มดังรูป ข.2 ถึง ข.5 เราจะหาค่าน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ชั้นดินต่าง ๆ ของเข็มดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ ข.13 ถึง ข.16 ได้ และเมื่อ plot ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ชั้นดินต่าง ๆ กับการเคลื่อนตัวของเข็มดังรูป 4.5 ถึง 4.13 และนิยาม failure load มีค่าเท่ากับ peak load ของ load-settlement curve และในกรณีที่ไม่ปรากฏ peak load ก็จะใช้นิยาม failure load ตามวิธีของ Butler and Hoy (1977)



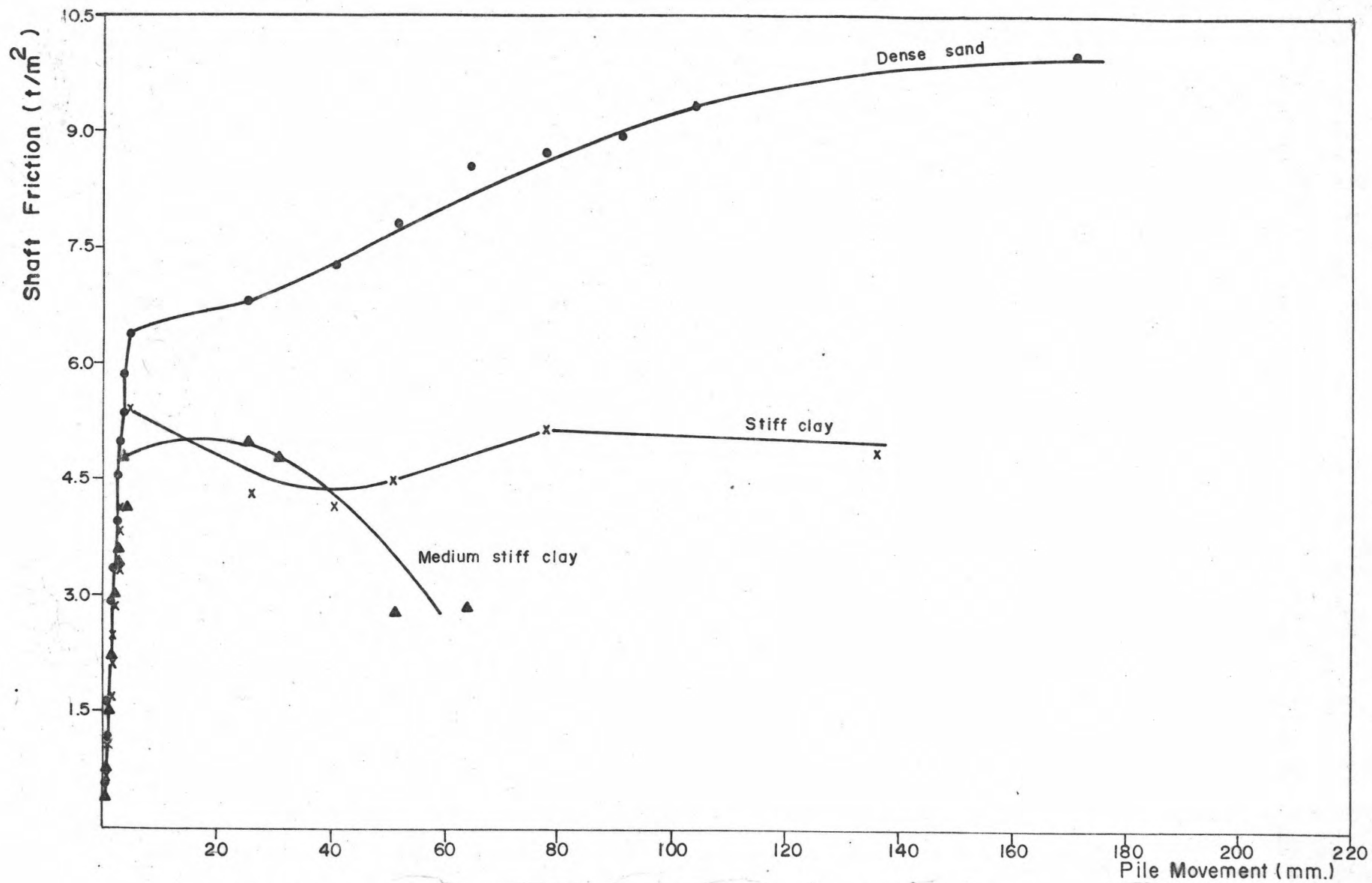
รูป 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายด้านข้าง และการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม สำหรับเข็ม TP₁(TH)



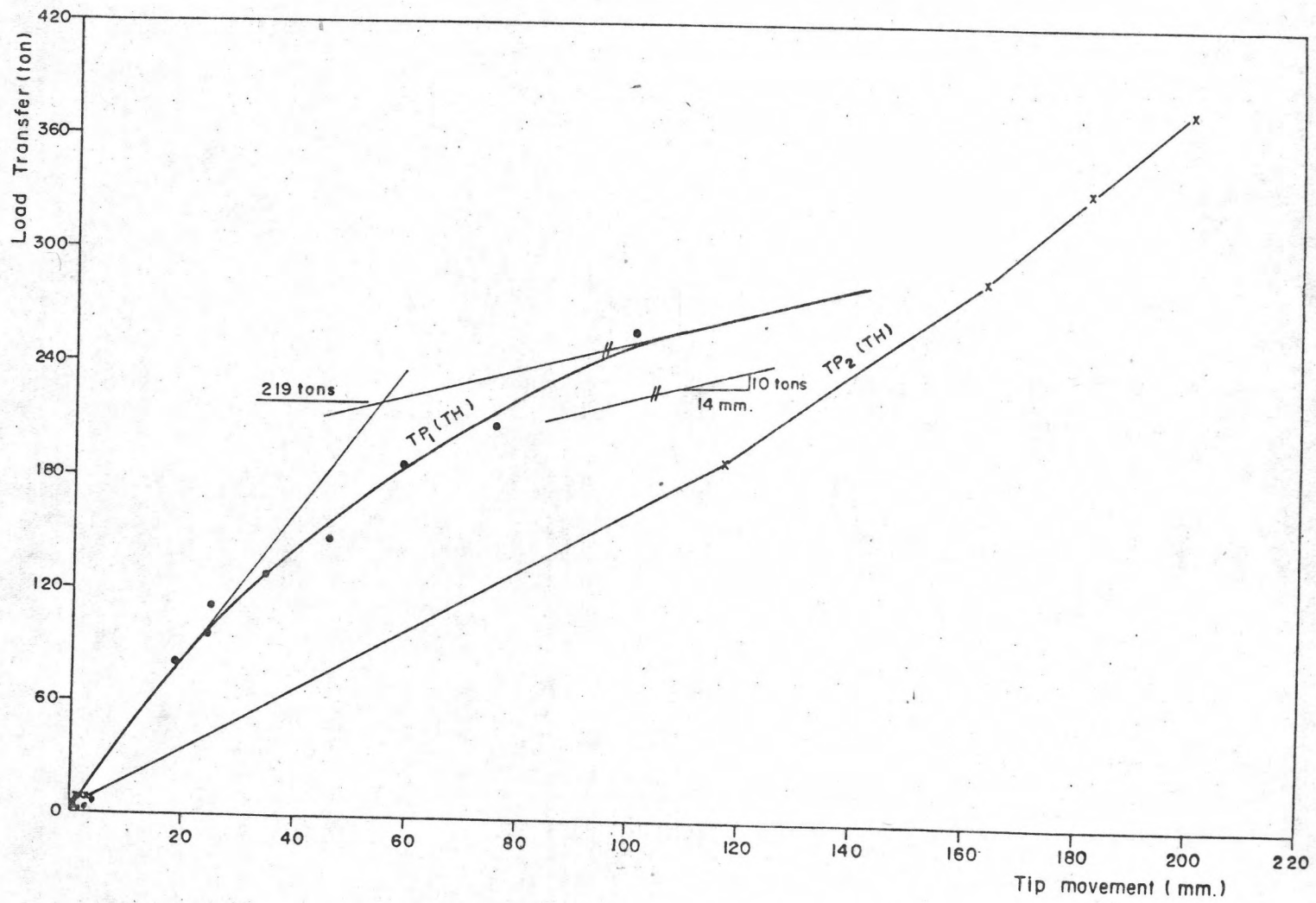
รูป 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายด้านข้าง และการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม สำหรับเข็ม TP₅(BKK)



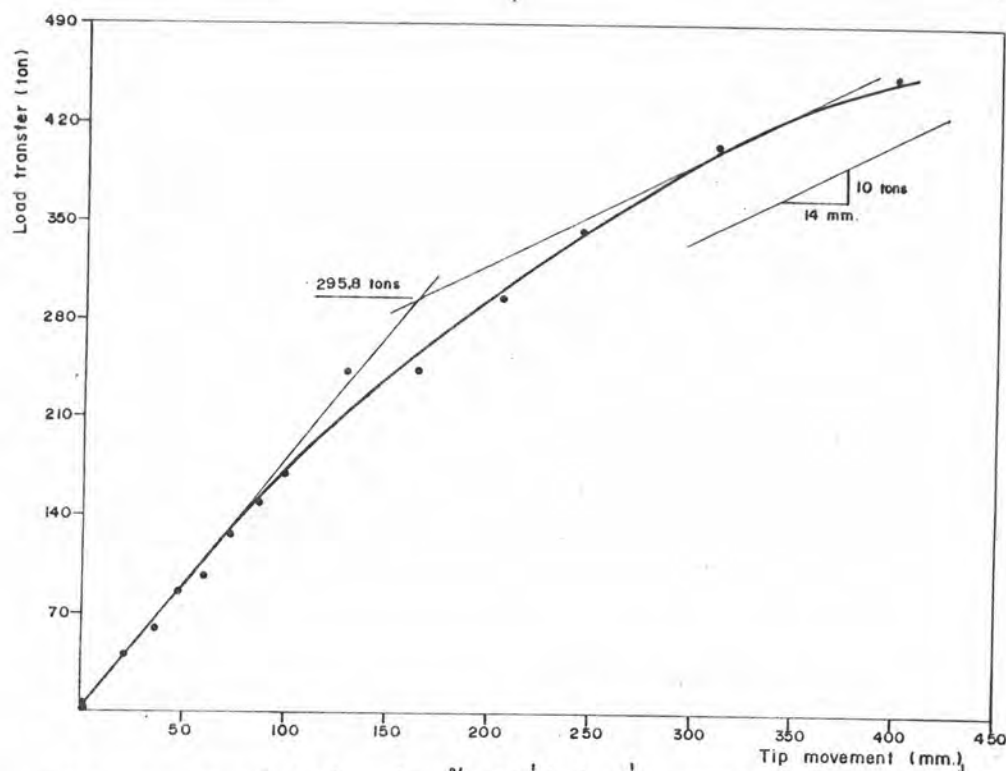
รูป 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายด้านข้าง และการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม สำหรับเข็ม TP₂(TH)



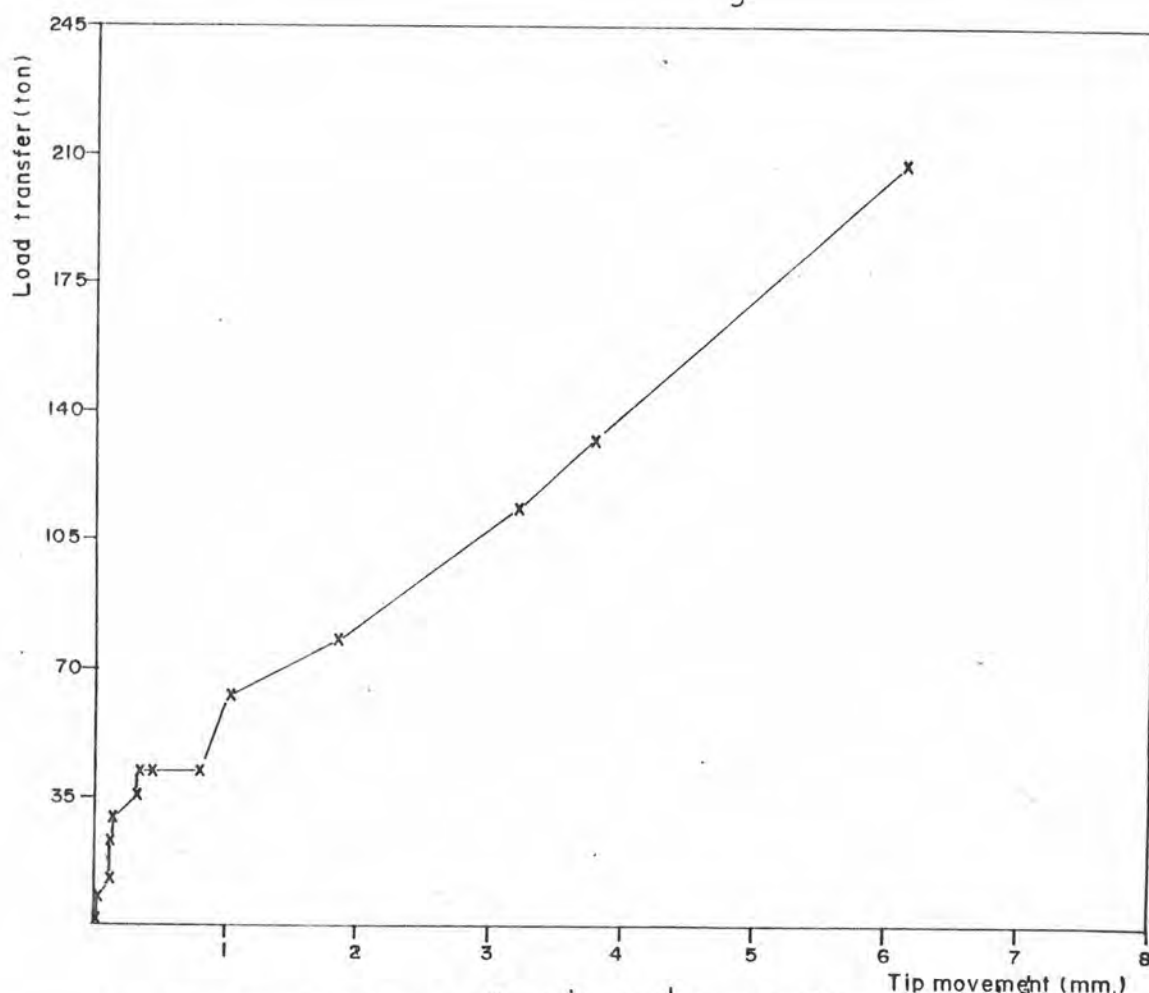
รูป 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายด้านข้าง และการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม สำหรับ TP₃ (BKK)



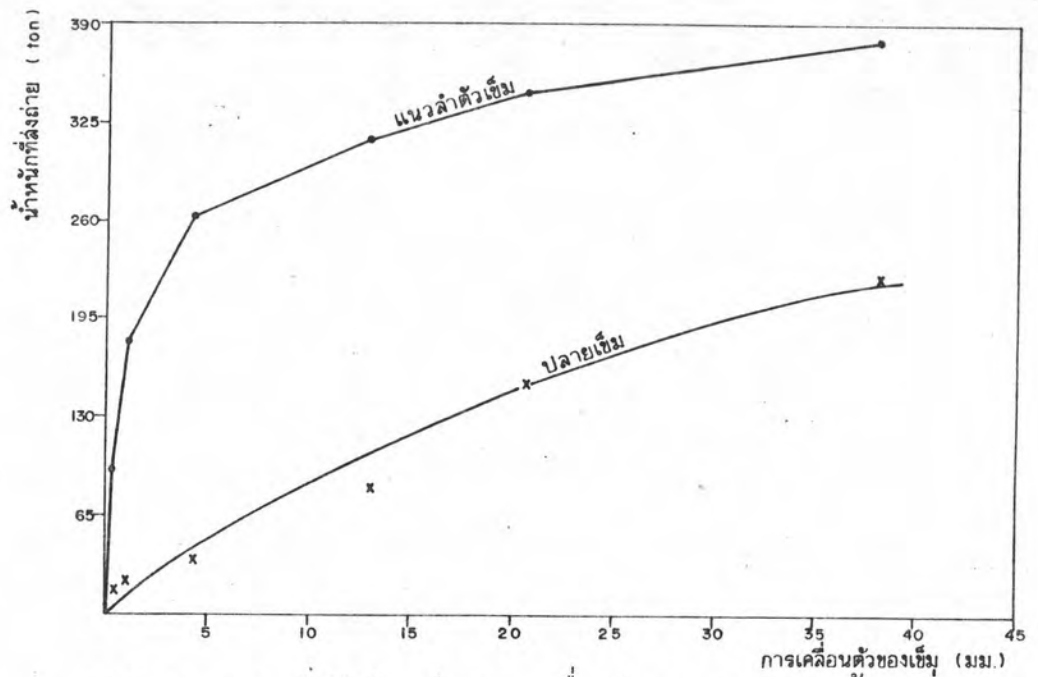
รูป 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ส่งถ่ายที่ปลายเสาเข็ม และการเคลื่อนตัวของปลายเสาเข็ม



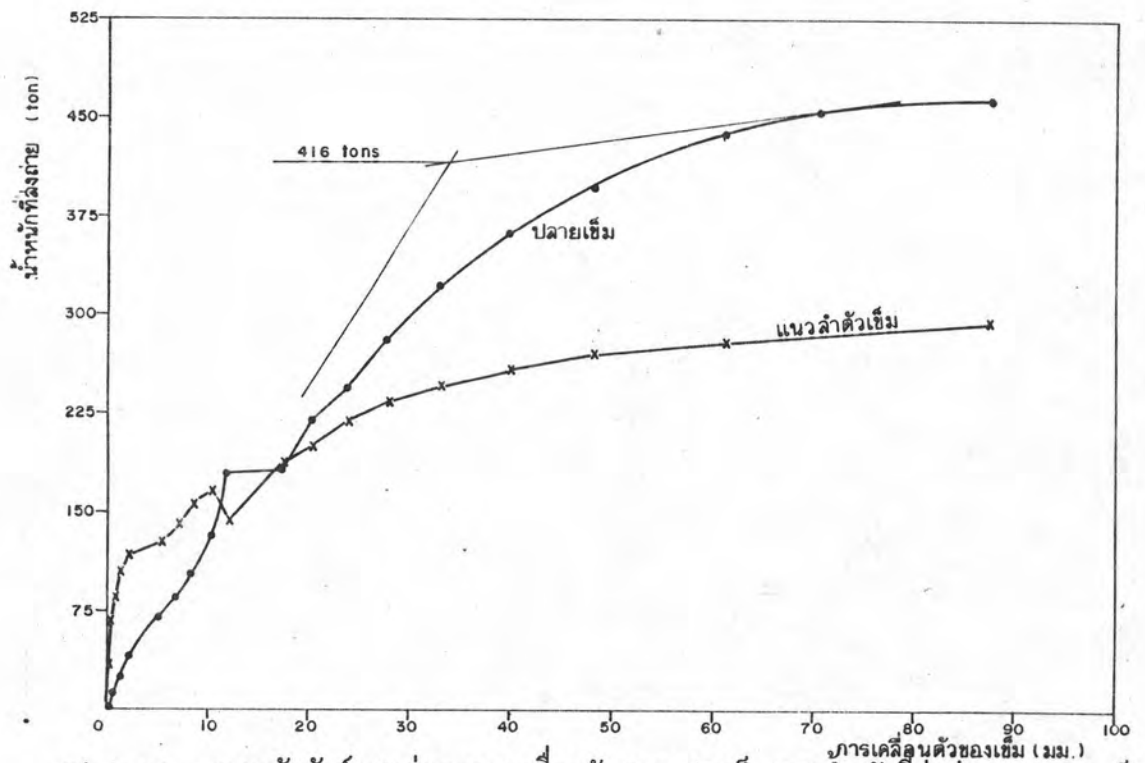
รูป 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ส่งถ่ายที่ปลายเสาเข็ม และการเคลื่อนตัวของปลายเสาเข็มของเข็ม TP₃(BKK)



รูป 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ส่งถ่ายที่ปลายเสาเข็ม และการเคลื่อนตัวของปลายเสาเข็มของเข็ม TP₅ (BKK)



รูป 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของเสาเข็มและน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเสาเข็มไปสู่ชั้นดินของเข็ม T₈₁



รูป 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของเสาเข็มและน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเสาเข็มไปสู่ชั้นดินของเข็ม T₈₈

คือน้ำหนักที่เป็นจุดตัดของเส้นตรงที่มี slope 0.14 mm./kN และส่วนที่เป็นเส้นตรงในช่วงแรกของ load-settlement curve (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 4.2) การศึกษาได้ผลดังนี้

เข็ม TP₁(TH)

ก. ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็ม จากรูป 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็มและการเคลื่อนตัวของเข็ม ปรากฏค่า peak load คำนวณได้ max.load transfer ที่ peak load และ $D =$ เส้นผ่านศูนย์กลางเข็ม ได้ผลดังนี้

layer of soil	max.load transfer (t/m. ²)	sett. of pile at max. load trans. (mm.)	C (t/m. ²)	σ'_v	$\sigma'_v \tan \phi'_a$	α	K_s
soft clay	1.4	5.1 (0.43% D)	1.5	-	-	0.93	-
med.stiff clay	4.6	12.9 (1.08% D)	6.2	-	-	0.74	-
stiff clay	8.3	10.2 (0.85% D)	13.2	-	-	0.63	-
dense sand	10.1	11.4 (0.95% D)	-	49.7	23.7	-	0.42

ข. ความต้านทานของดินที่ปลายเข็ม จากรูป 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของปลายเข็มกับน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดิน ซึ่งจะถูกริดดินที่ปลายเข็มต้านทานไว้ จะได้ความต้านทานของดินที่ปลายเข็มสูงสุด (failure) เท่ากับ 219 ton หรือเท่ากับ 193.8 t/m.² ที่การเคลื่อนตัวของปลายเข็ม 55 มม. หรือประมาณ 5% ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็ม และจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูล boring log σ'_{vb} ที่ปลายเข็ม เท่ากับ 54.3 t/m.² ดังนั้นจะได้ค่า N_q เท่ากับ 4.6 เมื่อ ϕ' ของทรายที่ปลายเข็มเท่ากับ 35° ซึ่งหาจากความสัมพันธ์ระหว่าง SPT-N value และ ϕ' ตามที่ Peck Hanson and Thornburn (1974) เสนอไว้ (Poulos and Davis 1980)

เข็ม TP₂(TH)

ก. ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็ม จากรูป 4.6 จะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็มกับการเคลื่อนตัวของเข็ม แสดงค่า peak load ดังนั้นคือ max.load transfer ที่ peak load และ $D =$ เส้นผ่านศูนย์กลางเข็ม ได้ผลดังนี้

layer of soil	max.load transfer (t/m. ²)	sett. of pile at max. load trans. (mm.)	C (t/m. ²)	σ'_{v_2} (t/m. ²)	$\sigma'_v \tan \theta'_2$ (t/m. ²)	α	K_s
med.stiff clay	4.1	5.5 (0.55% D)	6.2	-	-	0.66	-
stiff clay	10.8	11.0 (1.2% D)	13.2	-	-	0.82	-
dense sand	11.9	11.0 (1.2% D)	-	49.2	23.5	-	0.50

ข. ความต้านทานของดินที่ปลายเข็ม จากรูป 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินกับการเคลื่อนตัวของปลายเข็ม ยังไม่ถึงค่าความต้านทานสูงสุดของดินที่ปลายเข็ม แม้ว่าการเคลื่อนตัวของปลายเข็มมีค่ามาก และจาก load-sett. curve ของการทดสอบเข็ม TP₂(TH) การเคลื่อนตัวของเข็มก็มีค่ามากด้วย จาก load-sett. curve ดังกล่าว แสดงค่า peak load อย่างเด่นชัดที่การทรุดตัวของเข็ม ประมาณ 11 มม. และจากรูป 4.6 ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็มเกิด fully mobilized ที่การเคลื่อนตัวของเข็ม 11 มม. เช่นกัน และที่การเคลื่อนตัวของเข็มประมาณ 11 มม. นี้ น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ปลายเข็มประมาณ 11.2 ton หรือ 11.78 t/m.² (ดูจากตารางที่ ข.14) เมื่อเทียบกับน้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็มประมาณ 780 ton ยังมีค่าน้อย เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกและการเคลื่อนตัวของเข็มเลยไปจาก 11 มม. จากรูป 4.6 ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็มของชั้น stiff clay มีค่าลดลง และน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ปลายเข็มมีค่าเพิ่มขึ้น หากดินที่ปลายเข็มต้านทานต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่อง

จากความต้านทานตามแนวลำตัวเข็มของชั้น stiff clay มีค่าลดลงและเนื่องจาก น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็มเพิ่มขึ้นนั้น การเคลื่อนตัวของเข็มจะมีค่ามากกว่า 11 มม. ไม่นาน แต่ผลปรากฏว่า น้ำหนักบรรทุกเพิ่มจาก 780 ton เป็น 810 ton การเคลื่อนตัวของ เข็มกลับมีค่ามากถึงประมาณ 126 มม. ทั้งนี้อาจเนื่องจาก การก่อสร้างเข็มเจาะจะปรากฏ มีดินเลนเกิดขึ้นบางส่วนที่ปลายเข็มเนื่องจากการทำความสะอาดกันหลุมเจาะไม่ดีแทรกตัวอยู่ ระหว่างปลายเข็มบางส่วนนั้นกับชั้น bearing base ทำให้ปลายเข็มวางบนชั้น bearing base ไม่ได้ที่ ดินเลนที่แทรกอยู่นี้ รับน้ำหนักได้ไม่ดี จึงเกิดการเคลื่อนตัวของเข็มขึ้น อย่างมาก เมื่อน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ปลายเข็มเพิ่มขึ้น เนื่องน้ำหนักบรรทุกที่ หัวเข็ม 810 ton ดังกล่าวแล้ว และน้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม 810 ton ปรากฏว่า ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็มของชั้น stiff clay มีค่าลดลงจาก 407.2 ton ที่น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม 780 ton เป็น 191.0 ton (จากตารางที่ ข.14) ความต้านทานที่ลดลงดังกล่าวนี้ ย่อมจะส่งถ่ายไปเพิ่มให้กับดินที่ปลายเข็ม เนื่องจากความ ต้านทานของดินที่ลำตัวเข็มทั้งหมดเกิด fully mobilized แล้ว ดังนั้น จึงทำให้ปลาย เข็มต้องรับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมากคือ จาก 11.2 ton ที่น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม 780 ton เป็น 190 ton ที่น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม 810 ton (จากตารางที่ ข.14) พฤติกรรมนี้ ก็คือ "load shedding" (O' Neill and Reese 1970)

TP₃(BKK)

ก. ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็ม จากรูป 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็ม และการเคลื่อนตัวของเข็ม แสดงค่า peak load ดังนี้คือ max.load transfer ที่ peak load และ $D =$ เส้นผ่านศูนย์กลางเข็ม ได้ผลดังนี้

layer of soil	max. load transfer t/m. ²	sett. of pile at max. load trans. (mm.)	C (t/m. ²)	σ'_v (t/m. ²)	$\sigma'_v \tan \theta'_a$	α	K_s
med.stiff clay	4.7	4.5 (0.45% D)	4.6	-	-	1.02	-
stiff clay	5.4	4.5 (0.45% D)	6.5	-	-	0.83	-
dense sand	6.4	4.5 (0.45% D)	-	43.9	21.4	-	0.30

ข. ความต้านทานของดินที่ปลายเข็ม จากรูป 4.10 ความต้านทานของดินที่ปลายเข็มสูงสุดมีค่าเท่ากับ 295.8 ton หรือ 376.6 ton/m² ที่การเคลื่อนตัวของปลายเข็มเท่ากับ 165 มม. หรือประมาณ 16.5% ของเส้นผ่าศูนย์กลางเข็ม เมื่อคำนวณค่า σ'_{vb} เท่ากับ 49.1 t/m² ดังนั้น จะได้ค่า N_q เท่ากับ 8.7 เมื่อ ϕ' ของทรายที่ปลายเข็มเท่ากับ 34.5° โดยหาจากความสัมพันธ์ระหว่าง SPT-N value และ ϕ' ดังได้กล่าวไว้แล้วในเข็ม TP₁(TH)

เข็ม TP₅(BKK)

ก. ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็ม จากรูป 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของดินที่ปลายเข็มกับการเคลื่อนตัวของเข็ม แสดงค่า peak load ดังนั้นคือ max.load transfer ที่ peak load และ D = เส้นผ่าศูนย์กลางเข็ม ได้ผลดังนี้

layer of soil	max.load transfer t/m. ²	sett. of pile at max. load trans (mm.)	C (t/m. ²)	σ'_v (t/m. ²)	$\sigma'_v \tan \phi'_a$ (t/m. ²)	α	K_s
1 st stiff clay	5.7	6.2 (0.41%D)	6.5	-	-	0.87	-
1 st dense sand	15.4	11.0 (0.73%D)	-	46.7	23.8	-	0.64
2 nd stiff clay	3.3	4.1 (0.27%D)	7.0	-	-	0.47	-
2 nd dense sand	10.0	8.3 (0.55%D)	-	63.6	32.2	-	0.30
3 rd stiff clay	10.1	8.3 (0.55%D)	21.8	-	-	0.46	-

ข. ความต้านทานของดินที่ปลายเข็ม จากรูป 4.11 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ปลายเข็ม ยังไม่ถึงค่าความต้านทานสูงสุดของดินที่ปลายเข็ม เมื่อพิจารณาการเคลื่อนตัวของปลายเข็มที่น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม 2000 ton เกิดการเคลื่อนตัวประมาณ 6 มม. หรือประมาณ 0.4% ของเส้นผ่าศูนย์กลางเข็มซึ่งมีค่าน้อย ดังนั้น ดินที่ปลาย

เข็มจึงยังไม่ถึงค่าความต้านทานสูงสุด แต่เมื่อพิจารณา ความต้านทานของดินตามแนวลำตัว เข็มดังรูป 4.8 เกิด fully mobilized แล้วที่น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็มประมาณ 1940 ton ดังนั้นการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกในขั้นต่อมา คือ เพิ่มเป็น 2000 ton ที่น้ำหนักบรรทุก 2000 ton นี้เอง น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ปลายเข็มจะเริ่มเพิ่มมากขึ้น คือเพิ่มจาก 132 ton ที่น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม 1940 ton เป็น 209.14 ton ที่น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม 2000 ton แต่การเคลื่อนตัวของปลายเข็ม ไม่เกิดการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเหมือนของเข็ม TP₂(TH) ซึ่งเป็นลักษณะโดยทั่วไปของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการเคลื่อนตัวที่ยังไม่ถึงค่าพิกัดนั่นเอง

เข็ม T₈₁ และเข็ม T₈₈

ก. ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็ม เนื่องจากแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวเข็ม คำนวณโดยใช้ข้อมูลหัววัดได้จาก tell tele rod มีลักษณะกระจาย ดังรูป ข.6 และ ข.7 ดังนั้น น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่อยู่รอบ ๆ ลำตัวเข็มที่คำนวณได้โดยใช้ข้อมูลดังกล่าว ย่อมเกิดความผิดพลาดได้ แต่ที่ปลายเข็ม มีการติดตั้ง load cell วัดน้ำหนักที่เกิดขึ้นที่ปลายเข็ม เมื่อน้ำหนักบรรทุกกระทำที่หัวเข็ม น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินรอบ ๆ ลำตัวเสาเข็ม จึงคำนวณโดยใช้น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็มลบด้วยน้ำหนักที่ได้จากการวัดที่ปลายเข็ม ก็จะได้น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินรอบ ๆ ลำตัวเสาเข็ม โดยเฉลี่ยทั้งแนวลำตัวเสาเข็มนั่นเอง ผลการคำนวณทั้งแสดงในตารางที่ ข.17 และ ข.18 และ plot ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ส่งถ่ายกับการเคลื่อนตัวของเข็มดังรูป 4.12 และ 4.13 สำหรับความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็มให้ผลดังนี้

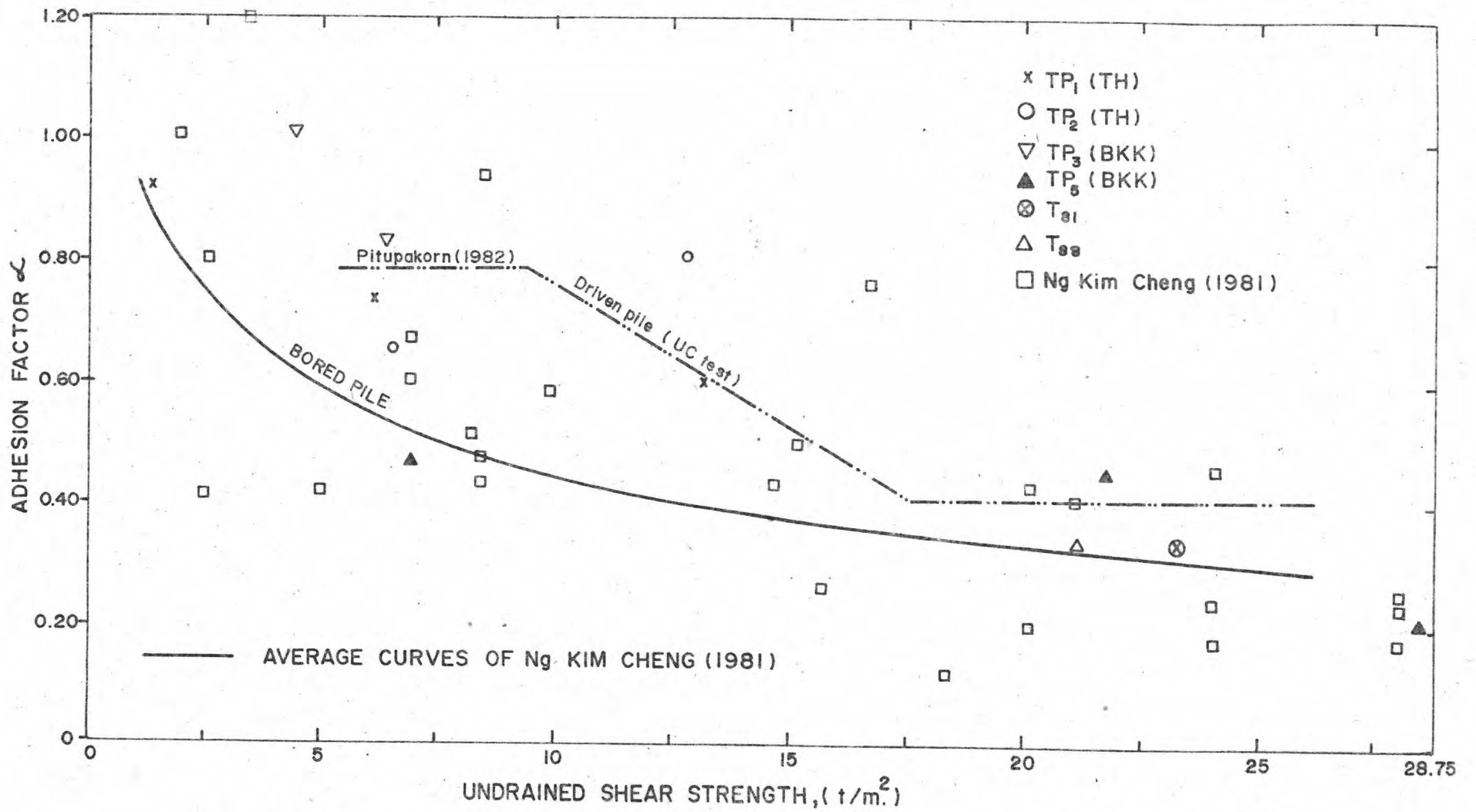
Pile	max.load transfer		sett.of pile at max. load trans (mm.)	* C	α	หมายเหตุ
	ton	* ton/m ²				
T ₈₁	263	7.9	4.3 (0.47%)	23.4	0.34	* คัดเฉลี่ยตลอดแนว ลำตัวเข็ม, () = % pile dia.
T ₈₈	127.5	5.6	5.3 (0.58%)	28.5	0.20	

ข. ความต้านทานของดินที่ปลายเข็ม จากรูป 4.12 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของเข็มและน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ปลายเข็มของเข็ม T_{81} เป็นลักษณะของ curve ที่ยังไม่ถึงค่า failure load เนื่องจากปลายเข็มอยู่ในชั้น hard clay ซึ่งมีค่า shear strength ของดินสูงมาก

จากรูป 4.13 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของเข็มและน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ปลายเข็มของเข็ม T_{88} ความต้านทานสูงสุดของดินที่ปลายเข็มเท่ากับ 416 ton หรือ 650 t/m^2 ที่การทรุดตัวของเข็มเท่ากับ 34 มม. หรือ 3.8% ของเส้นผ่าศูนย์กลางเข็ม และที่ปลายเข็มมีค่า C จากการทดสอบ unconfine compression test เท่ากับ 40.1 t/m^2 จะได้ค่า N_c เท่ากับ 16.3 อย่างไรก็ตามเนื่องจากดินที่บริเวณจังหวัดลำปางเป็นพวก clay shale มีค่า natural moisture content ต่ำกว่า plastic limit จึงเป็นการยากที่จะหาค่า C ได้ถูกต้อง (O' Neill and Reese 1970)

จากการศึกษาการส่งถ่ายน้ำหนักโดยวิธี Distribution Function Approach นี้ จะเห็นได้ว่า ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็ม จะถึงค่าสูงสุดที่การเคลื่อนตัวของเข็มประมาณ 5-12 มม. หรือ 0.4 ถึง 1.2% ของเส้นผ่าศูนย์กลางเข็ม และความต้านทานของดินที่ปลายเข็มจะถึงค่าความต้านทานสูงสุดที่การเคลื่อนตัวของปลายเข็มอยู่ในช่วงประมาณ 4-16% ของเส้นผ่าศูนย์กลางเข็ม ดังนั้น การพิบัติของดินบริเวณปลายเข็มและลำตัวเข็มจึงเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน โดยที่บริเวณลำตัวเข็มจะเกิดการพิบัตีก่อน หลังจากนั้น ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็มจะมีแนวโน้มลดลง น้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนหัวเข็มที่เพิ่มขึ้นนี้ก็จะส่งถ่ายไปยังดินที่ปลายเข็ม หรือเกิดพฤติกรรมของ "load shedding" (O' Neill and Reese 1970)

เมื่อนำผลการศึกษาไป plot ความสัมพันธ์ระหว่าง α และ C โดยเปรียบเทียบกับการศึกษาของผู้ศึกษารายอื่นดังรูป 4.14 ปรากฏว่าความสัมพันธ์ระหว่าง α และ C อยู่ในแนวโน้มเดียวกับที่เสนอโดย N_g Kim Cheng (1981) และเมื่อนำผลการศึกษาไป plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{Stan} \sigma'_a$ และ σ' โดยที่ $\sigma'_a = 0.75 \sigma'$

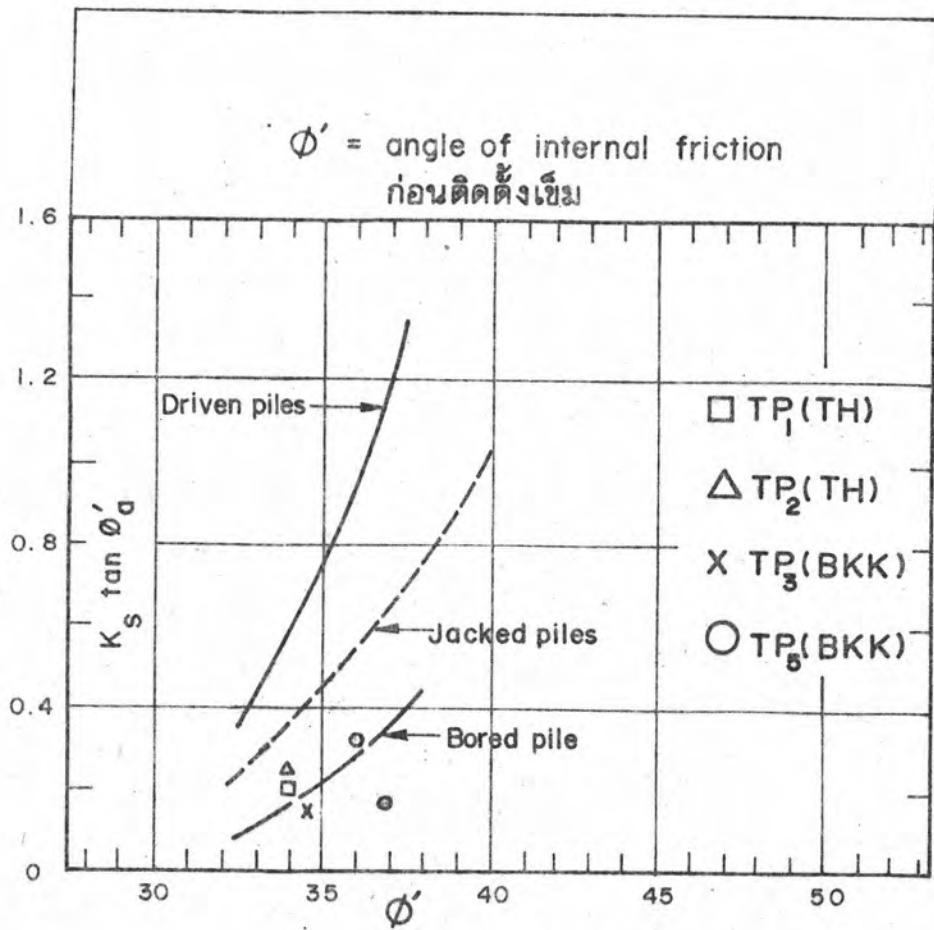


รูป 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง α และ c เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของผู้ศึกษารายอื่น

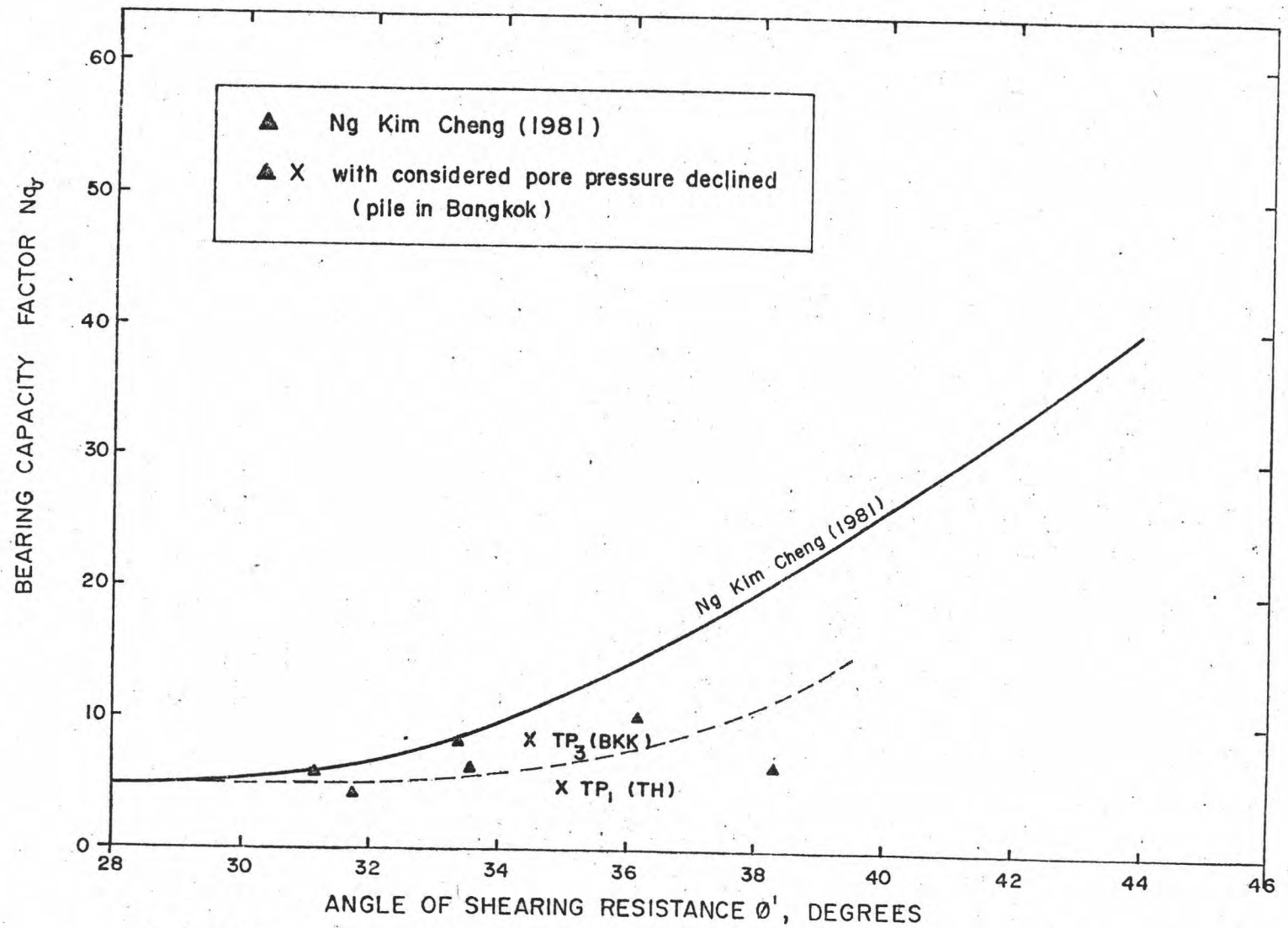
เมื่อ ϕ' คือ angle of internal friction ของทรายก่อนการติดตั้งเข็ม ทาจาก ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT-N value และ ϕ' ที่เสนอโดย Peck Hanson and Thornburn (1974) และ ϕ'_a คือ มุมเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของเข็มและดิน plot เปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Meyerhof (1976) ตามที่ Poulos and Davis (1980) ได้เสนอแนะไว้ในดังรูป 4.15 ปรากฏว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง K_{stn} ϕ'_a และ ϕ' ที่ได้จากการศึกษานี้ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการศึกษา ที่เสนอโดย Meyerhof (1976) อย่างไรก็ตาม จำนวนข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ ยังมีจำนวนน้อยอยู่ แต่ก็สามารถบ่งบอกได้เป็นแนวทางเท่านั้น

ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' ที่ได้จากเข็ม TP₁(TH) มีค่า N_q เท่ากับ 4.6 และ ϕ' เท่ากับ 35° ส่วนเข็ม TP₃(BKK) N_q มีค่าเท่ากับ 8.7 และ ϕ' เท่ากับ 34.5° มีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับผลการศึกษาของ Berezantsev et al. (1961) ดังที่ Poulos and Davis (1980) ได้เสนอแนะให้ใช้ แต่เมื่อเทียบกับผลการศึกษาของ N_g Kim Cheng (1981) ดังรูป 4.16 ปรากฏว่าความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' ที่ได้จากการศึกษาของเข็ม TP₁(TH) และ TP₃(BKK) นี้ อยู่ในแนวโน้มเดียวกับผลการศึกษาของ N_g kim Cheng (1981)

4.1.3.2 Elastic Solid Approach หลักการสำคัญของวิธีนี้ ก็คือ โดยการ แก่สมการการไปด้วยกัน (compatibility) ระหว่างการเคลื่อนตัวของลำตัวเข็มและดินที่ยึด เกาะติดอยู่รอบ ๆ ลำตัวเข็มนั้น ก็จะได้คำตอบของสมการเป็นน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดิน เป็นวิธีการคำนวณหาน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินรอบ ๆ ลำตัวเข็มในเชิงทฤษฎี ในการศึกษานี้ จะใช้วิธีของ D' Appolonia and Romualdi (1963) สมมุติฐานของทฤษฎีนี้ คือ ปลาย เข็มไม่มีการเคลื่อนที่เมื่อเข็มรับน้ำหนักที่หัวเข็ม ดินที่ติดอยู่รอบ ๆ ลำตัวเข็มสมมุติว่ายึดเกาะ ติดอยู่กับตัวเข็ม ดินเป็น semi-infinite elastic solid D' Appolonia and Romualdi ได้วิเคราะห์โดยใช้ค่า modulus of elasticity ของดิน คงที่ตลอดแนว ลำตัวเข็ม



รูป 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง $K_s \tan \phi'_a$ และ ϕ' (MEYERHOF 1976)



รูป 4.16 Relationship between ϕ and N_q for bored pile in Bangkok subsoil with considered pore pressure declined

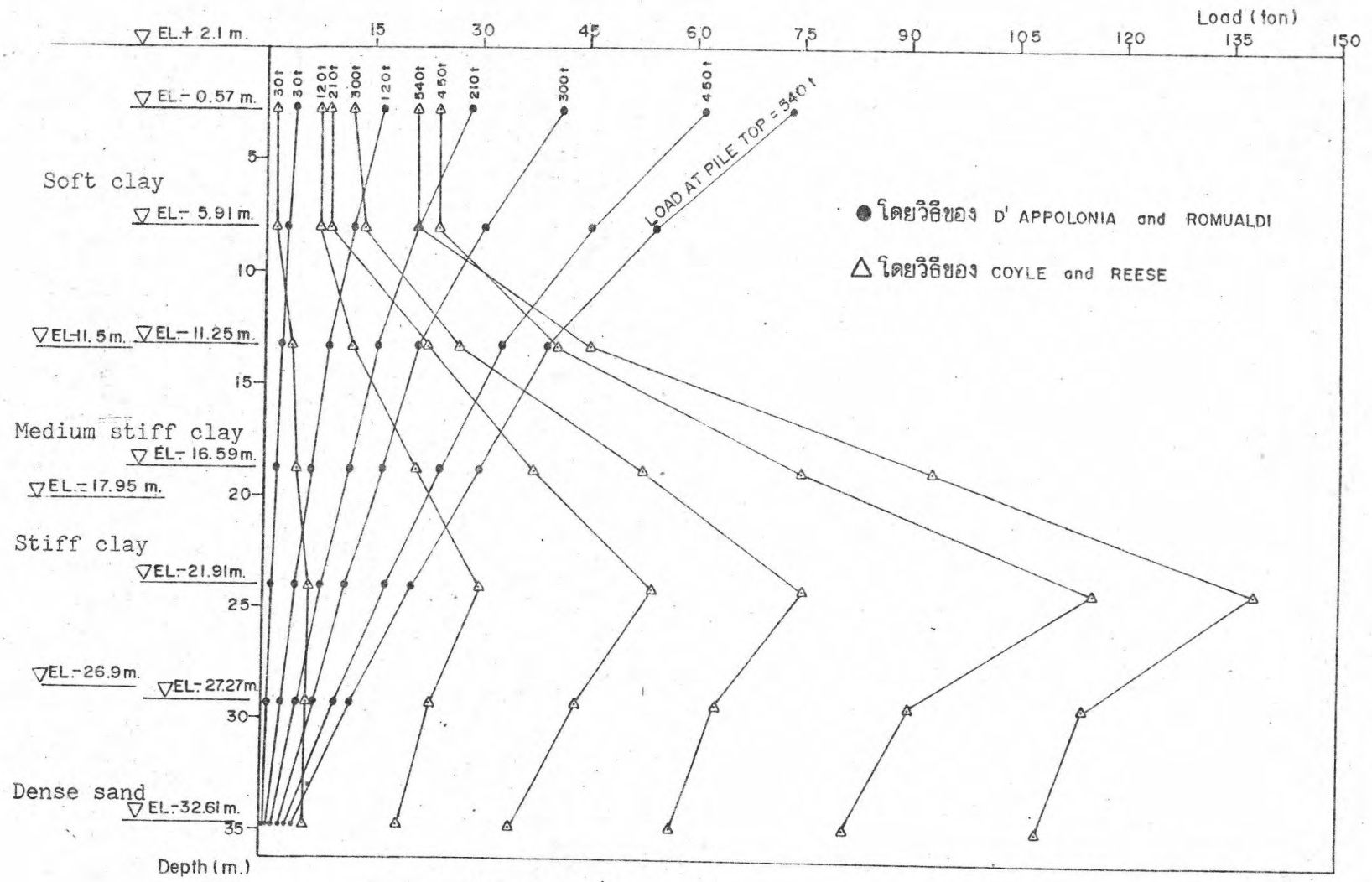
การศึกษาค่า modulus of elasticity ของดินจะคำนวณจาก ข้อมูลการทดสอบ pile load test ตามที่ Poulos and Davis (1980) ได้เสนอแนะไว้ modulus of elasticity ของดินที่คำนวณได้นี้ จะเป็นค่าเฉลี่ยตลอดตามแนว ลำตัวเข็ม รายละเอียดการคำนวณดังในภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินรอบ ๆ ลำตัวเข็ม โดยวิธีของ D'Appolonia and Romualdi ของเข็มต่าง ๆ มีดังนี้

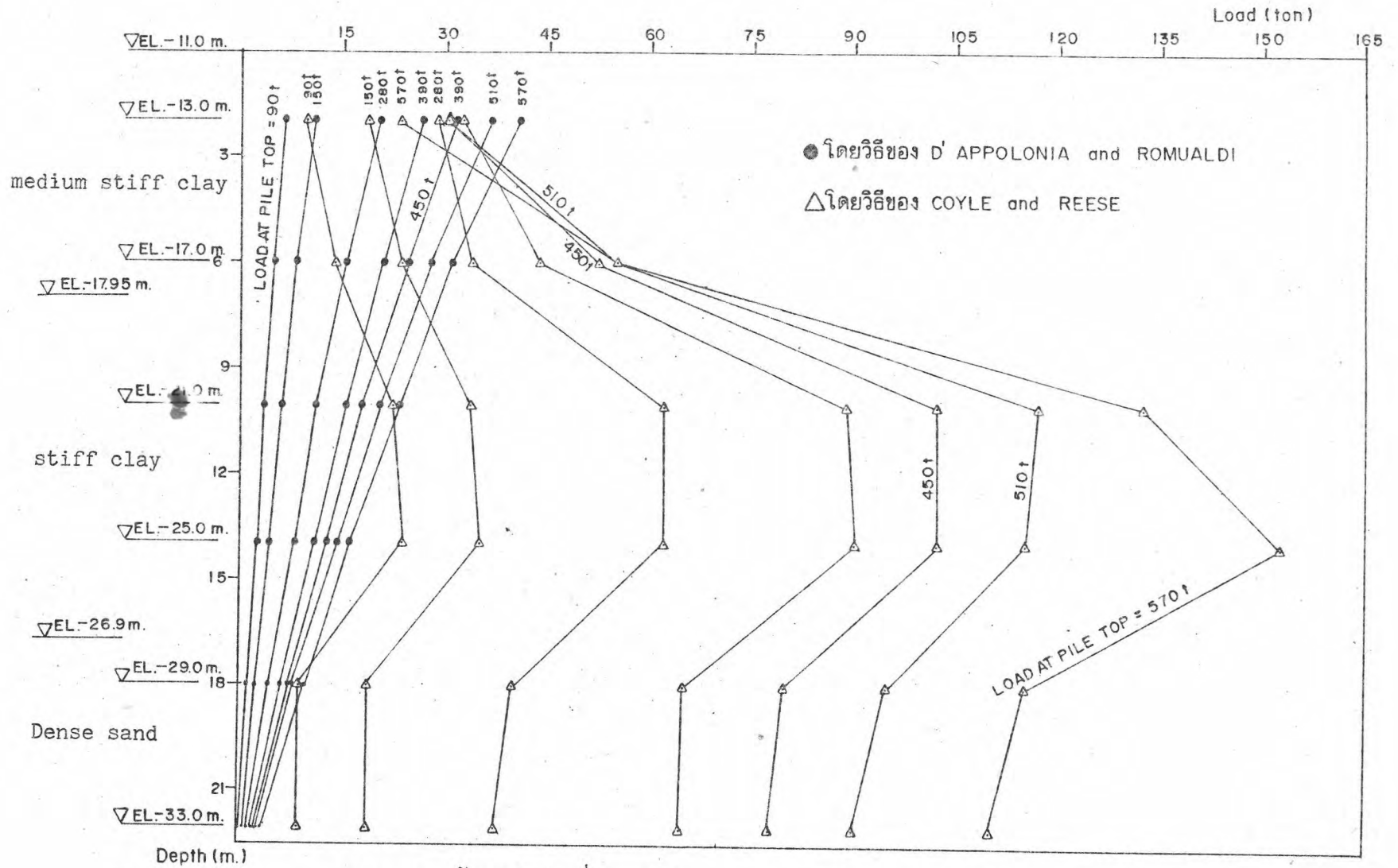
การหาค่าสัมประสิทธิ์ d_{ij} d'_{ij} เราจะต้องรู้ค่า modulus of elasticity ของคอนกรีตที่ใช้ทำเข็ม E_c ซึ่งสามารถหาได้ดังในหัวข้อ 4.1.1 และ ค่า modulus of elasticity ของดินที่อยู่ตามแนวลำตัวเข็ม E_s ซึ่งหาได้จากการคำนวณ โดยใช้ข้อมูล pile load test ตามที่ Poulos and Davis ได้เสนอแนะไว้ ส่วนค่า poisson ratio μ ของดินที่อยู่ตามแนวลำตัวเข็ม สำหรับเข็มที่อยู่ในเขตกรุงเทพฯ ใช้ 0.5 และในจังหวัดลำปางใช้ 0.3 อย่างไรก็ตาม การแปรผันของค่า μ มีผลการ วิเคราะห์น้อยมาก ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป ดังนั้น parameter ที่ใช้ในการวิเคราะห์ สำหรับเข็มต่าง ๆ ดังนี้

เข็ม	E_c (KSC)	E_s (KSC)	μ	H (m.)
TP ₁ (TH)	2.24×10^5	510	0.5	37.4
TP ₂ (TH)	3.79×10^5	570	0.5	24.0
TP ₃ (BKK)	2.87×10^5	630	0.5	18.0
TP ₅ (BKK)	3.55×10^5	1090	0.5	38.3
T ₈₁	3.06×10^5	1750	0.3	12.6
T ₈₈	3.14×10^5	830	0.3	8.7

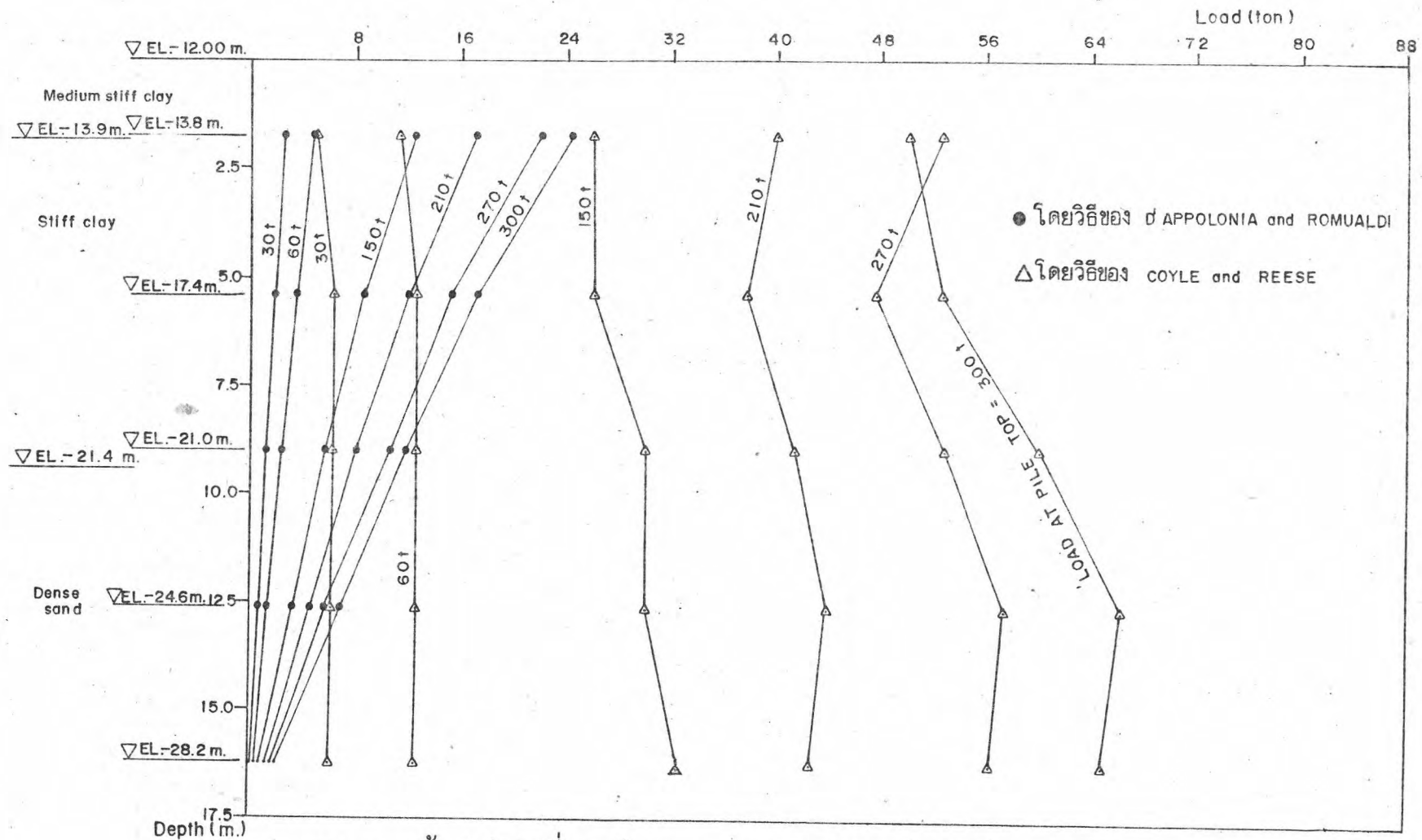
เมื่อ H คือ ความยาวของเข็มส่วนที่เข็มสัมผัสกับดิน ในช่วงที่แรงภายในเนื้อตัวเข็มมีค่าเท่ากับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม แสดงว่า เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของเข็มและดินรอบลำตัวเข็มในส่วนนั้น ๆ จึงไม่คิดความยาวของเข็มในส่วนดังกล่าวนี้ ดังนั้นเมื่อแทนค่าเทอมต่าง ๆ ลงในสมการ 2.6 ถึง 2.10 จะได้ค่าของ $d_{ij}, d'_{ij}, d_{ij} + d'_{ij}$ และ Δ_i ดังแสดงในตารางที่ ข.19 ถึง ข.24 และเมื่อแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ 2.5 แล้วแก้ สมการหาค่าน้ำหนักหรือแรงที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเข็ม F_j โดยการแปรค่าน้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็ม P ผลการวิเคราะห์ดังในตารางที่ ข.25 ถึง ข.30 น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ได้ให้นำไป plot ตามแนวความลึกของเข็มดังรูป 4.17 ถึง 4.23 จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ตามวิธีที่เสนอโดย D'Appolonia and Romualdi นี้ น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดิน จะมีค่ามากในส่วนที่อยู่ส่วนบนของเข็ม แล้วค่อย ๆ ลดลงตามแนวความลึกของเข็มที่เพิ่มขึ้น และส่วนของเข็มที่อยู่ใกล้ปลายเข็ม จะมีการส่งถ่ายน้ำหนักจากเข็มไปสู่ดินน้อยมาก วิธีของ D'Appolonia and Romualdi นี้ มีพื้นฐานมาจาก elastic theory และวิเคราะห์โดยใช้ค่า modulus of elasticity ของดิน คงที่ตลอดความลึกของแนวลำตัวเข็ม ดังนั้น ส่วนบน ๆ ของเข็มซึ่งมีการเคลื่อนตัวมากกว่า น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินจากการวิเคราะห์นี้จึงมีค่ามากกว่าในที่สุดลงไปตามความยาวของเข็มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีการเคลื่อนตัวของเข็มที่น้อยกว่า เมื่อคำนวณหาค่าน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดิน โดยวิธี Distribution Function Approach (Coyle and Reese (1976) ดังในตารางที่ ข.31 ถึง ข.36 แล้วนำผลที่ได้มา plot เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีที่เสนอโดย D'Appolonia and Romualdi ดังรูป 4.17 ถึง 4.21 จะเห็นได้ว่า มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม วิธีที่เสนอโดย Coyle and Reese นี้ เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวางในทางปฏิบัติ (Poulos and Davis 1980) และเป็นวิธีที่ใช้ศึกษา interaction ระหว่างเข็ม และดินที่ค้ำค้ำในปัจจุบัน (Aurora and Reese 1976) ความต้านทานของดินที่อยู่ตามแนวลำตัวเข็มจะมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับ strength และ deformation characteristic ของชั้นดินที่พิจารณา นั้น ๆ โดยตรง (Vesic 1965) การเคลื่อนตัวของเข็มที่ต่างกันในระดับเดียวกัน ส่วนที่มีการเคลื่อนตัวมากกว่า ย่อมมีการส่งถ่ายน้ำหนักได้มากกว่า และที่การเคลื่อนตัวของเข็มเท่ากัน ชั้นดินที่มีค่า shear strength มากกว่า การส่งถ่ายน้ำหนักจากเข็มไปสู่ดินจะมากกว่า แต่ load



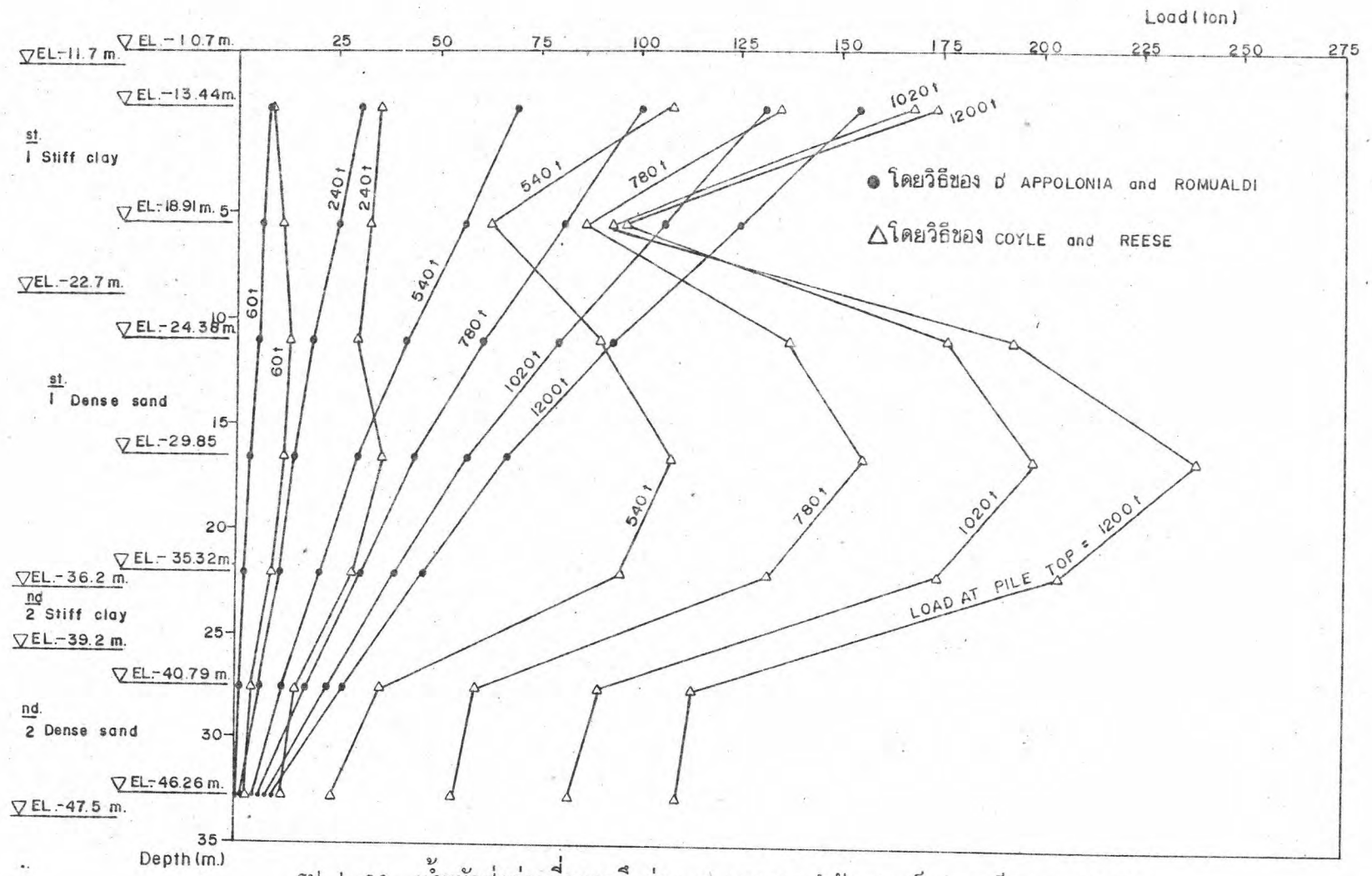
รูป 4.17 นำหนักส่งถ่ายที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเสาเข็มของเข็ม TP₁(TH)



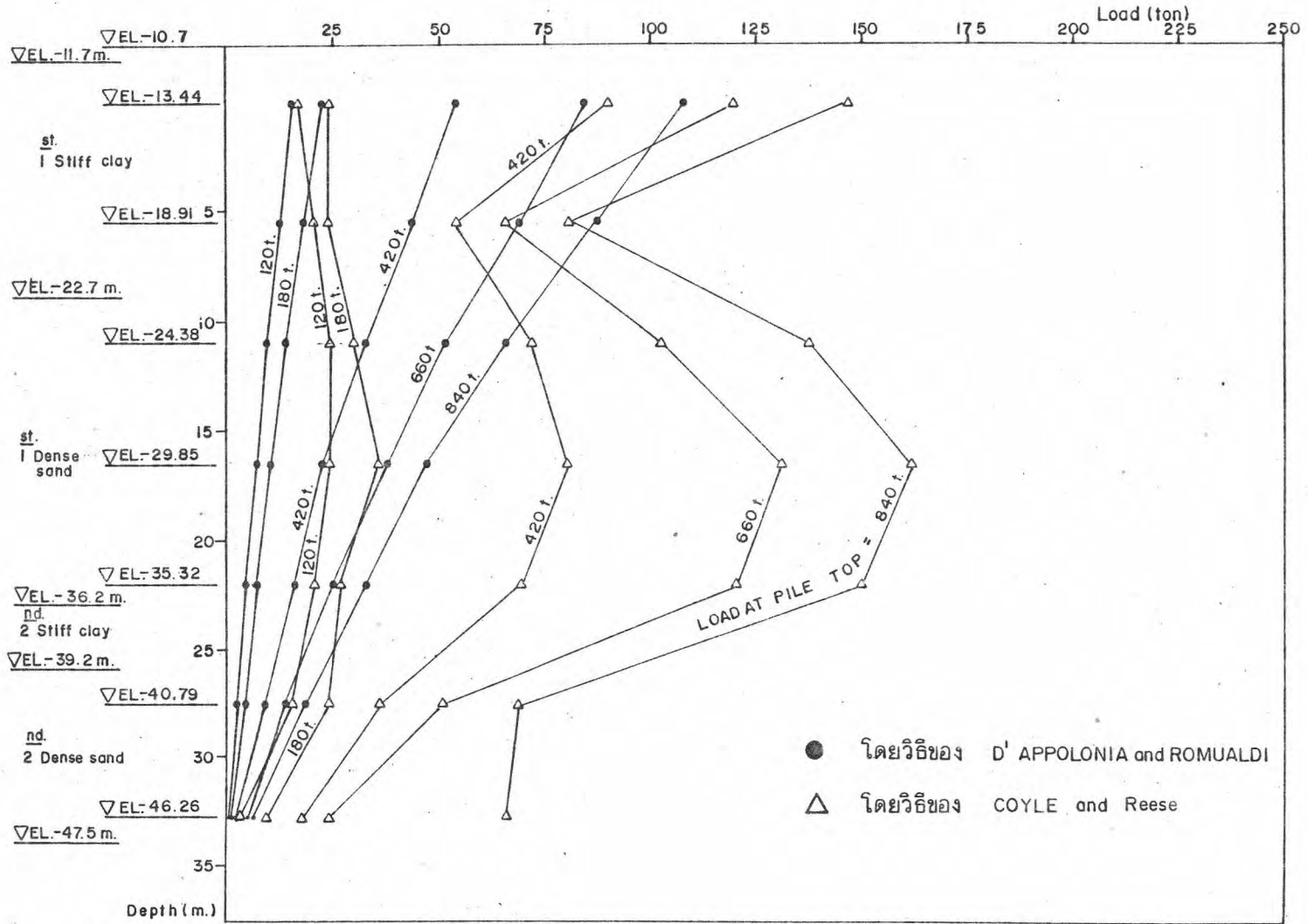
รูป 4.18 น้ำหนักส่งถ่ายที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเสาเข็มของเข็ม TP₂(TH)



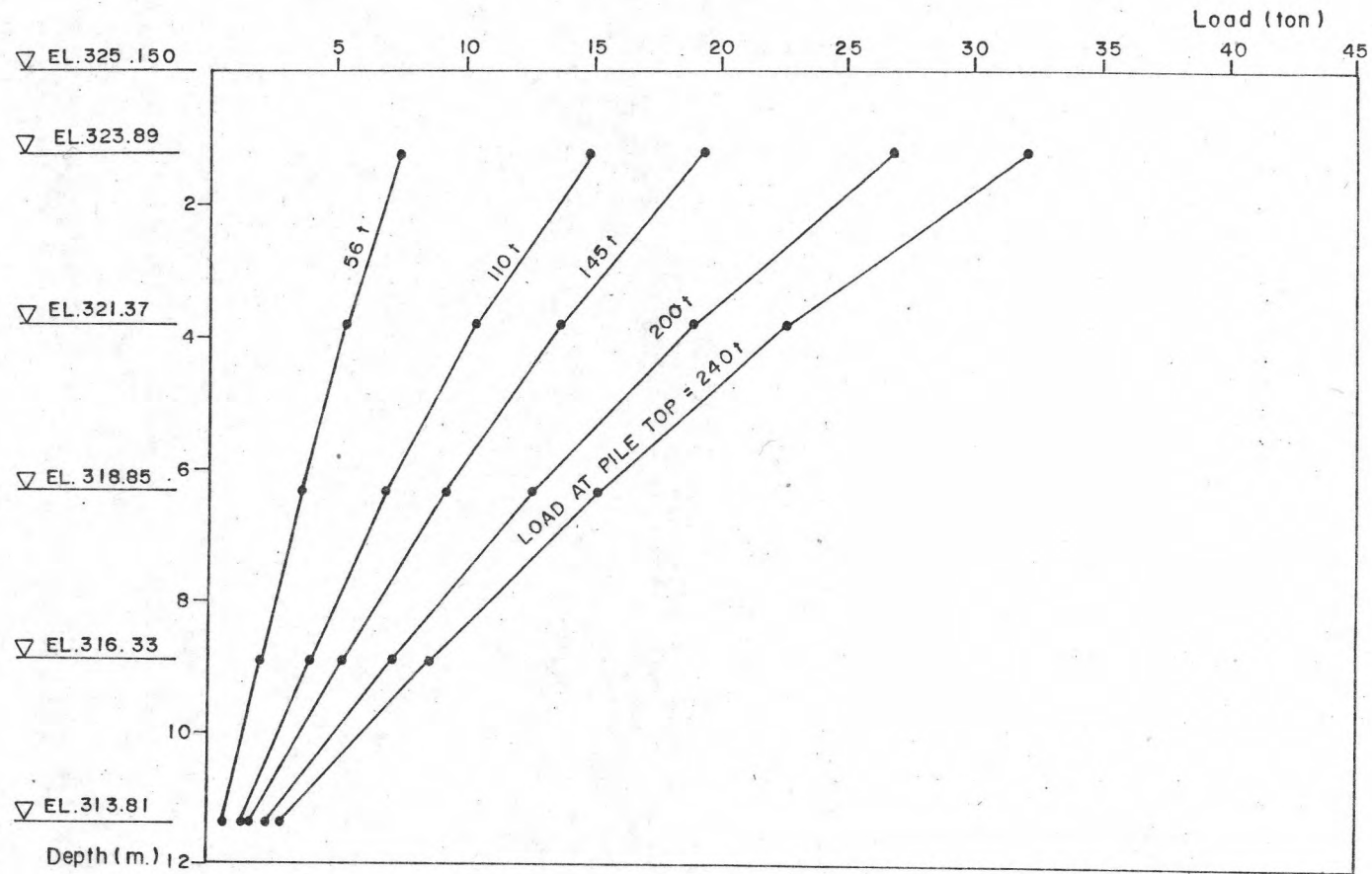
รูป 4.19 น้ำหนักส่งถ่ายที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเสาเข็มของเข็ม TP₃ (BKK)



รูป 4.20 นำหนักส่งถ่ายที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเสาเข็มของเข็ม TP₅ (BKK)

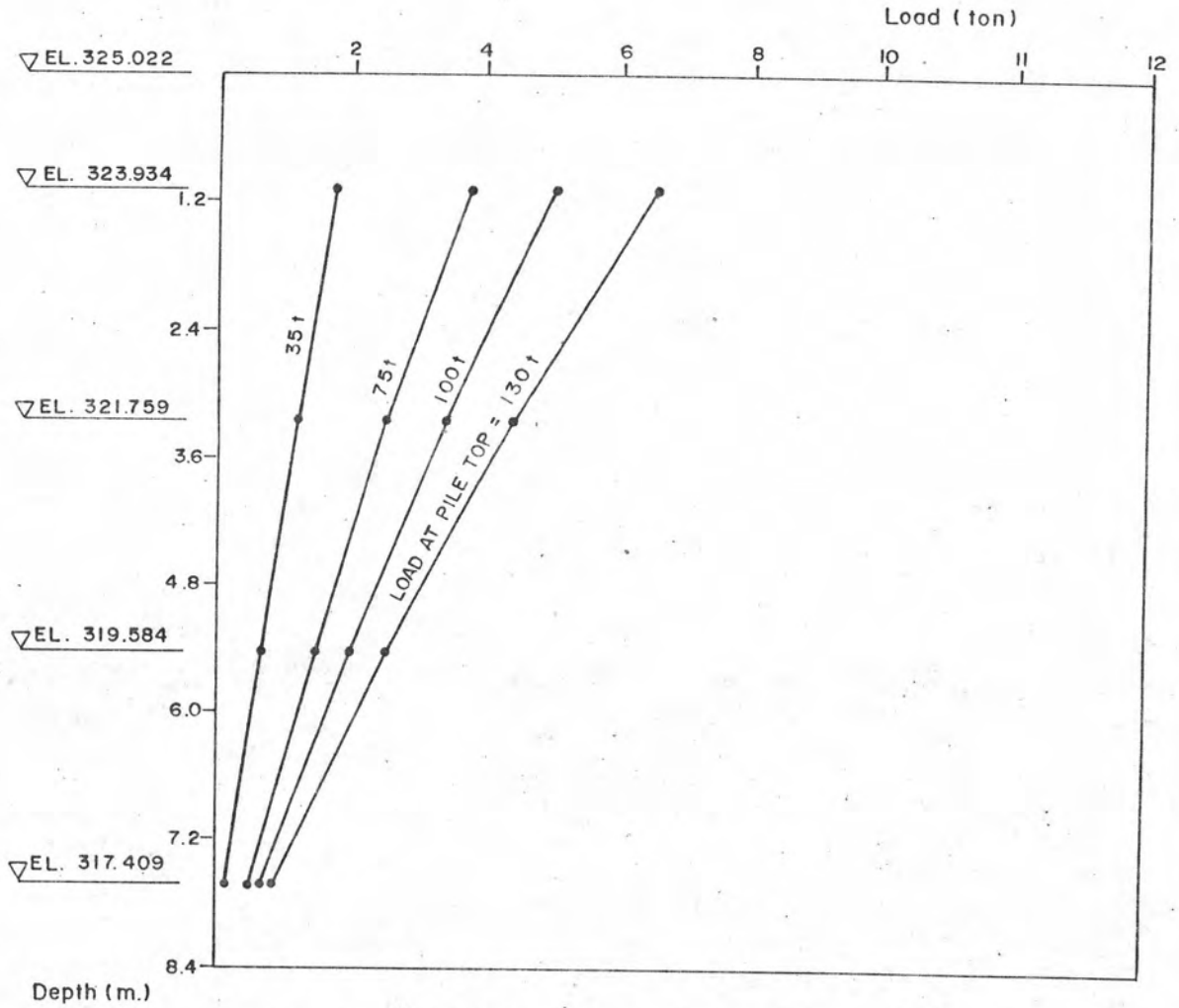


รูป 4.21 นำหนักส่งถ่ายที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเสาเข็มของเข็ม TP₅ (BKK)



รูป 4.22 น้ำหนักส่งถ่ายที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเสาเข็มของเข็ม T₈₁

โดยวิธีของ D'Appolonia and Romualdi



รูป 4.23 น้ำหนักส่งถ่ายที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเสาเข็มของเข็ม T₈₈ โดยวิธีของ D' Appolonia and Romualdi

transfer capacity ของชั้นดินที่มีค่า shear strength มากกว่า อาจมีค่าต่ำกว่า ชั้นดินที่มีค่า shear strength น้อยกว่าได้ ทั้งนี้ องค์ประกอบ เช่น อาจมีช่องว่างหรือวัสดุอ่อน แทรกตัวอยู่ระหว่างลำตัวเข็มและดินรอบลำตัวเข็ม ทำให้เกิดผลดังกล่าวได้ (Aurora and Reese 1976)

สำหรับเข็ม TP_1 (TH) น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินรอบ ๆ ลำตัวเสาเข็ม ที่คำนวณโดยวิธีของ Coyle and Reese ดังรูป 4.17 ที่น้ำหนักกระทำที่หัวเข็มหนึ่ง น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินชั้น soft clay จะมีค่าน้อยกว่าชั้น stiff clay และการเคลื่อนตัวของเข็มในชั้น soft clay มีค่ามากกว่าชั้น stiff clay แต่ค่า shear strength ของชั้น stiff clay มีค่ามากกว่าชั้น soft clay การเคลื่อนตัวของเข็มในชั้น stiff clay ที่น้อยกว่าชั้น soft clay จะทำให้เกิดน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ชั้นดิน stiff clay ที่มากกว่าได้ เนื่องจาก deformation characteristic ของชั้นดินแตกต่างกัน ส่วนน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ชั้นทรายในช่วงน้ำหนักกระทำที่หัวเข็มที่ plot ดังรูป 4.17 จะมีค่าน้อยกว่าในชั้น stiff clay ทั้งนี้ เนื่องจากการเคลื่อนตัวของเข็มในชั้นทรายมีค่าน้อยกว่าในชั้น stiff clay มาก โดยที่การเคลื่อนตัวของแต่ละส่วนของเข็มในชั้นดินต่าง ๆ จะแตกต่างกันเท่ากับ elastic compression ของแต่ละส่วนของเข็มในชั้นดินนั้น ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากข้อมูลดังในตารางที่ ข.9 จะเห็นได้ว่า elastic compression ของเข็มในช่วงชั้น sand มีค่าน้อยกว่า elastic compression ของเข็มในช่วง stiff clay มาก เช่น ที่น้ำหนักกระทำที่หัวเข็ม 540 ton elastic compression ของเข็มในช่วงชั้น sand มีค่า 4.83-4.66 เท่ากับ 0.17 มม. ขณะที่ elastic compression ของเข็มในช่วงชั้น stiff clay มีค่าเป็น 4.66-2.64 เท่ากับ 2.02 มม. โดยที่ความยาวของเข็มในช่วง stiff clay ที่เกิด elastic compression 2.02 มม.นี้ ยาวประมาณ $26.4-12.6 = 13.8$ ม. และความยาวของเข็มในช่วงชั้น sand ที่เกิด elastic compression 0.17 มม.นี้ ยาวประมาณ $33.9-26.4 = 7.5$ ม. ดังนั้น จึงทำให้น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินในชั้น sand มีค่าน้อยกว่าในชั้น stiff clay และเมื่อเปรียบเทียบชั้น stiff clay และ soft clay ที่น้ำหนักกระทำที่หัวเข็ม 540 ton เช่นกัน จะเห็นได้ว่า elastic compression ของเข็มในช่วงชั้น soft clay ซึ่งมีช่วงความยาวของเข็มในชั้นนี้ประมาณ $12.6+2.7 = 15.3$ ม.

มีค่าเท่ากับ 2.64 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับ 2.02 มม. ในชั้น stiff clay แต่ก็มีน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่น้อยกว่าชั้น stiff clay ด้วยเหตุผลดังกล่าวแล้ว

สำหรับเข็ม TP_2 (TH) จากรูป 4.18 น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่คำนวณโดยวิธีของ Coyle and Reese ในชั้น medium stiff caly จะมีค่าน้อยกว่าชั้น stiff clay และชั้น sand ก็มีค่าน้อยกว่าชั้น stiff clay เช่นกัน และมีลักษณะการกระจายของน้ำหนักส่งถ่ายเช่นเดียวกับของเข็ม TP_1 (TH)

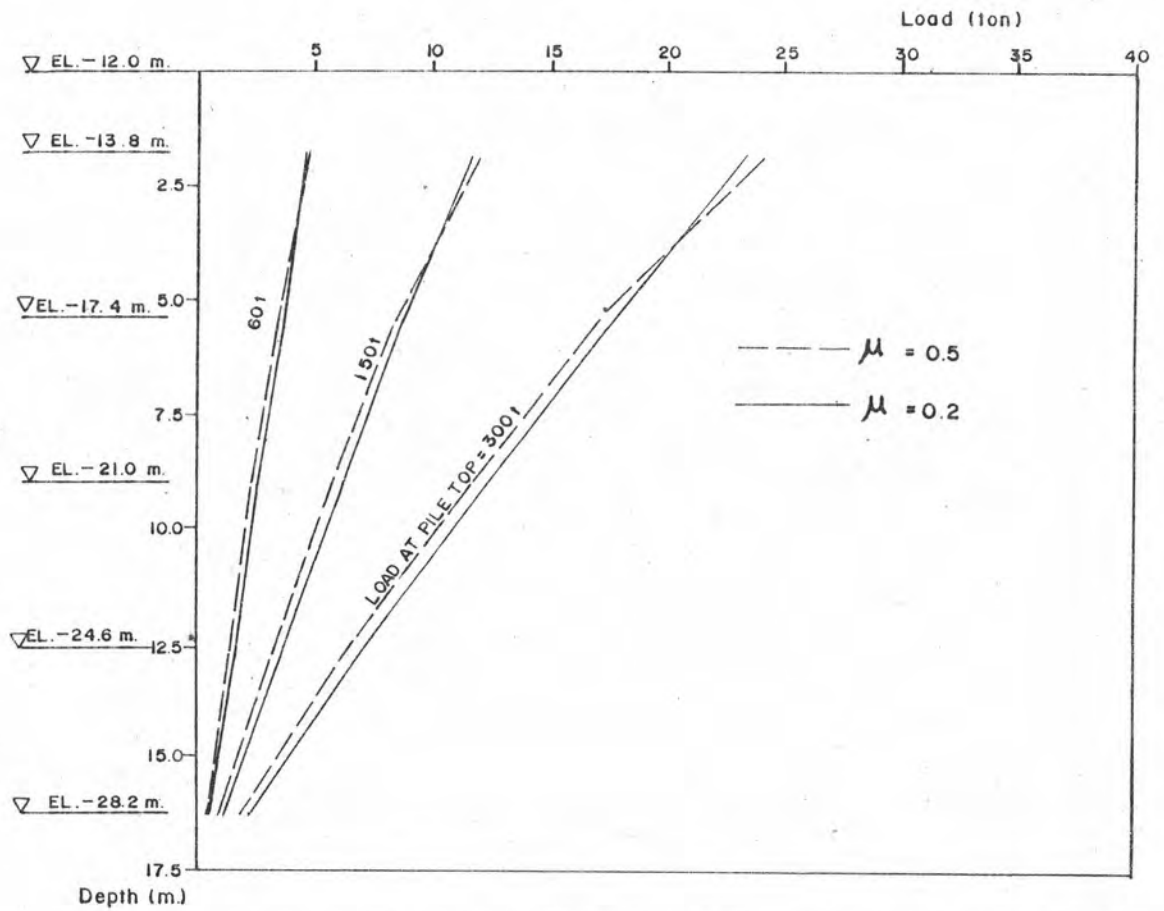
สำหรับเข็ม TP_3 (BKK) น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่คำนวณโดยวิธีของ Coyle and Reese มีอน้ำหนักกระทำที่หัวเข็มดังรูป 4.19 มีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของเข็มที่เพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจาก shear strength ของดินมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม สำหรับเข็ม TP_1 (TH) , TP_2 (TH) และ TP_3 (BKK) ที่ที่ความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็มหรือน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินรอบ ๆ ลำตัวเสาเข็มถึงค่าสูงสุดแล้วดังรูป 4.5, 4.6 และ 4.7 การส่งถ่ายน้ำหนักหรือความต้านทานของดินตามแนวลำตัวเข็มมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินที่เพิ่มขึ้น

สำหรับเข็ม TP_5 (TH) น้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินรอบ ๆ ลำตัวเสาเข็มที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Coyle and Reese ดังรูป 4.20 และ 4.21 มีลักษณะการกระจายตามความลึกของเข็มคล้ายกับของเข็ม TP_1 (TH) และ TP_2 (TH) ซึ่งแตกต่างจากผลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ D'Appolonia and Romualdi อาจเนื่องจากเหตุผลดังได้กล่าวแล้วในเข็ม TP_1 (TH)

พฤติกรรมการส่งถ่ายน้ำหนักจากเข็มไปสู่ดินรอบ ๆ ลำตัวเสาเข็มเป็นกลไกที่ซับซ้อน Vesic (1965) พบว่าความต้านทานของดินรอบ ๆ ลำตัวเสาเข็มในชั้นทราย เมื่อเลยจากความลึกหนึ่งไปแล้ว จะมีค่าคงที่ตามความลึกของเข็มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิด arching ขึ้นที่ระดับความลึกดังกล่าวแล้วในขณะที่ O'Neill and Reese (1970) พบว่าความต้านทานของดินรอบ ๆ ลำตัวเสาเข็มในชั้น clay shale เมื่อเลยจากความลึกหนึ่งแล้วกลับมีค่าลดลงตามความลึกของเข็มที่เพิ่มขึ้น O'Neill and Reese ได้อธิบายพฤติกรรมนี้ โดยอาศัยการศึกษาของ Vesic (1965) คือ เกิด arching ขึ้นใกล้ ๆ กับ

ปลายเข็ม จนทำให้เกิด tension crack ขึ้น และ shear strength ของดินใกล้ปลายเข็มมีค่าลดลง ความต้านทานของดินรอบ ๆ ลำตัวเข็มยิ่งใกล้ปลายเข็มจึงยังมีค่าลดลง และ Aurora and Reese (1976) ได้ศึกษาเข็มเจาะในชั้น layered soil ประกอบด้วยชั้น sandy and gravel clay ชั้น sand and gravel และชั้น clay ตามลำดับ โดยมีชั้น clay เป็นชั้นที่อยู่ลึกสุด พบว่าความต้านทานของดินรอบ ๆ ลำตัวเสาเข็มของชั้น clay ซึ่งมีค่า shear strength มากกว่าชั้น sandy and gravel clay สองเท่า มีค่าน้อยกว่าชั้น sandy and gravel clay นั่นคือ ความต้านทานของดินรอบ ๆ ลำตัวเสาเข็มมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของเข็มที่เพิ่มขึ้น จนถึงความลึกหนึ่งแล้วจะมีค่าลดลง เขาได้อธิบายพฤติกรรมนี้ว่า เนื่องจากการก่อสร้างเข็มเจาะอาจเกิดช่องว่างหรือวัสดุที่อ่อนแทรกตัวอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของเข็มและดินรอบลำตัวเข็ม จะทำให้ความสามารถหรือความต้านทานในการรับน้ำหนักที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินลดลงได้

ถ้า poisson ratio μ ของดิน เป็นค่าที่หาได้ค่อนข้างยาก เพื่อศึกษาผลของการแปรผันค่า μ ที่มีต่อการส่งถ่ายน้ำหนักตามแนวลำตัวเข็ม ตามวิธีที่เสนอโดย D'Appolonia and Romualdi ดังนั้น การศึกษาจึงเลือกเอาเข็ม TP₃(BKK) เป็นตัวอย่างเข็มการศึกษา โดยการใช้ค่า μ เท่ากับ 0.2 ส่วน parameter ตัวอื่นคือ E_S , E_C และ H ให้มีค่าเหมือนดังหัวข้อก่อน และแทนค่าเทอมต่าง ๆ ลงในสมการ 2.6 ถึง 2.10 จะหาค่าของ d_{ij} , d'_{ij} , $d_{ij} + d'_{ij}$ และ Δ_i ได้ ดังในตารางที่ ข.37 เมื่อแปรผันค่าน้ำหนักหรือแรงกระทำที่หัวเข็ม P แล้วแทนค่าเทอมต่าง ๆ ลงในสมการ 2.5 ก็จะหาค่าน้ำหนักหรือแรงที่ส่งถ่ายจากเข็มไปสู่ดินที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเข็ม F_j ดังแสดงในตารางที่ ข.38 เมื่อนำน้ำหนักส่งถ่ายที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเข็มไป plot ดังรูป 4.24 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลของการแปรผันค่า poisson ratio μ ที่มีต่อการส่งถ่ายน้ำหนักตามแนวลำตัวเข็มตามวิธีที่เสนอโดย D'Appolonia and Romualdi ดังกล่าวแล้ว ผลปรากฏว่า เส้นแสดงน้ำหนักส่งถ่ายที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเข็มที่มีค่า $\mu = 0.2$ และ 0.5 โดยที่ parameter ตัวอื่นคือ E_S , E_C และ H มีค่าเท่ากันนั้น มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นค่า μ มีผลต่อการส่งถ่ายน้ำหนักตามแนวลำตัวเข็มตามวิธีที่เสนอโดย D'Appolonia and Romualdi น้อยมาก



รูป 4.24 น้ำหนักส่งถ่ายที่ความลึกต่าง ๆ ตามแนวลำตัวเสาเข็มของเข็ม

TP 3(BKK) โดยวิธีของ D' Appolonia and Romualdi

4.2 การคาดคะเนความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ

น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม จากการแปลความหมายข้อมูลของการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม มีหลายแนวความคิดเห็นที่แตกต่างกัน คือ

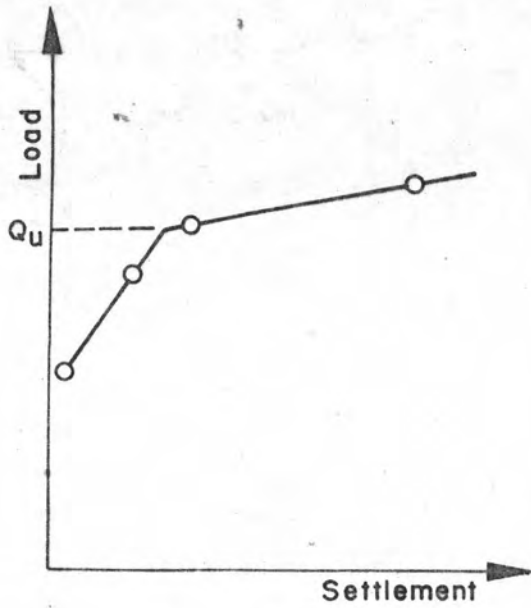
Terzaghi (1943) เสนอว่า น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มตันเดียว คือ น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ให้ค่าการทรุดของเสาเข็มภายในน้ำหนักนั้น เท่ากับ 10% ของเส้นผ่านศูนย์กลางเข็ม หากใช้ข้อกำหนดนี้ ก็อาจทำให้เกิดการทรุดตัวที่ค่อนข้างมาก

ในกรณีของ friction pile แล้ว shaft resistance ของเสาเข็ม มักจะเกิดขึ้นอย่างเต็มที่ที่การเคลื่อนตัวของเข็มค่อนข้างน้อย (Brand 1970; Whitaker and Cooke 1966) ดังนั้นกรณีนี้ ข้อเสนอของ Terzaghi (1943) จึงยังไม่เหมาะสม

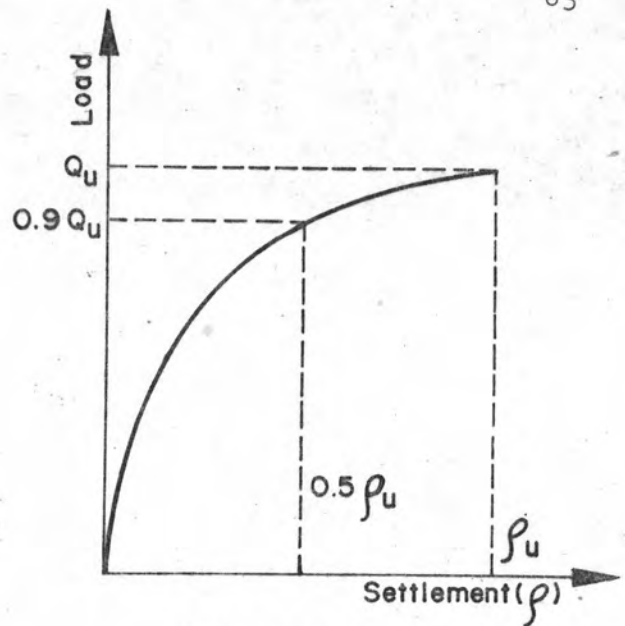
Fellenius (1975, 1980) ได้สรุปวิธีการแปลความหมายข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มเพื่อหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็ม คือ Hansen (1963) เสนอวิธีที่เรียกว่า 90% criterion โดยกำหนดน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มก็คือ น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าการเคลื่อนตัวของเข็มเป็นสองเท่าของการเคลื่อนตัวของเข็ม ซึ่งมีค่าน้ำหนักบรรทุกที่การเคลื่อนตัวเป็นสองเท่านี้เท่ากับ 90% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยดังกล่าว เขาเสนอให้ใช้วิธีนี้กับการทดสอบ CRP test ดังรูป 4.25 b

De Beer (1968) เสนอวิธีการแปลข้อมูลเพื่อหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม สำหรับการทดสอบแบบ Maintain load test โดยการ plot load VS settlement curve บน log-log scale ข้อมูลที่ plot ได้ จะประกอบด้วยเส้นตรงสองเส้น จุดตัดของเส้นตรงทั้งสองนี้ คือ น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม ซึ่งให้ค่าออกมาค่อนข้างต่ำ ดังรูป 4.25 c

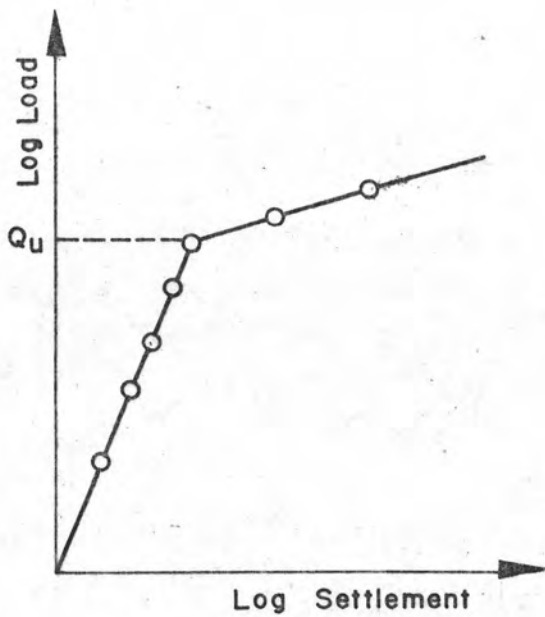
Housel (1956) เสนอวิธีการสำหรับการทดสอบแบบ Maintain load test โดยการเพิ่มน้ำหนักเท่า ๆ กันอย่างต่อเนื่องทุก ๆ หนึ่งชั่วโมง และ plot การเคลื่อนตัวของหัวเข็มในช่วง 30 นาทีสุดท้ายของแต่ละน้ำหนักนั้นกับน้ำหนักที่กระทำที่หัวเข็ม ข้อมูลที่ plot ได้ จะปรากฏเป็นเส้นตรงสองเส้น จุดตัดของเส้นตรงคือ น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม ดังรูป 4.25 a



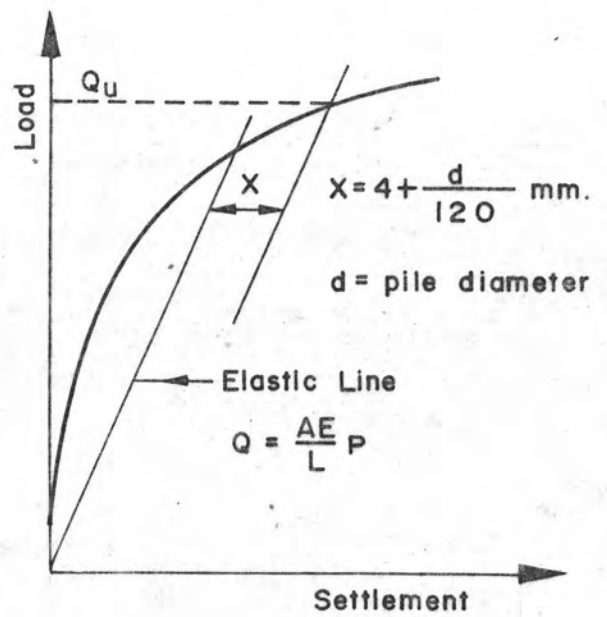
(a) HOUSEL (1956)



(b) HANSEN (1963)



(c) DE BEER (1968)



(d) DAVISSON (1972)

รูป 4.25 การหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม (FELLENIOUS 1975, 1980)

Davisson (1972) เสนอวิธีการสำหรับ Maintain load test เขานิยาม น้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็ม ก็คือ น้ำหนักบรรทุกที่ให้ค่าการทรุดตัวของเข็มมีค่าเกินกว่า การหดตัวยืดหยุ่น (elastic compression) ของเสาเข็มด้วยปริมาณ $(4.0 + \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มเป็น มม.}/120)$ มม. ดังรูป 4.25 d

Fuller and Hoy (1970) ได้เสนอวิธีการแปลข้อมูลจากการทดสอบ Maintain load test คือ น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม ก็คือ slope ของ load-settlement curve ในส่วนที่ขนานกับเส้นตรงที่มี slope 0.05 นิ้ว/ton หรือ 0.14 mm./kN

Butler and Hoy (1977) ได้นิยามน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม ก็คือ น้ำหนักที่เป็นจุดตัดของเส้นตรงที่มี slope 0.14 mm./kN และส่วนที่เป็นเส้นตรงในช่วงแรก ของการ plot load-settlement curve วิธีการนิยามของ Butler and Hoy นี้ Fellenius (1980) เห็นว่า เป็นวิธีที่เหมาะสม เมื่อเทียบกับวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว

อย่างไรก็ตาม Vesic (1975) กล่าวว่า ถ้าการ plot load-settlement curve แสดงค่า peak load น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มก็คือ ค่า peak load ดังกล่าวนั้น

นอกจากนี้ วิธีการหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มจากการแปลความหมาย จากข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ของนักวิจัยอื่น คือ Bullen (1958) Chin (1970) Mazurkiewicz (1972) ซึ่งใช้ในการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม รายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

4.2.1 วิธีการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม การทดสอบสามารถจำแนกได้ 2 วิธี คือ

ก. Maintained load test การทดสอบโดยวิธีนี้ น้ำหนักที่ใช้ทดสอบจะถูก เพิ่มขึ้นเป็นช่วง ๆ (increments) จนกระทั่งเข็มเกิดพิบัติ หรือจนกระทั่งถึงน้ำหนักที่ต้องการใช้ทดสอบตามสัญญาหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ การเพิ่มน้ำหนักแต่ละช่วง จะต้องให้อัตราการทรุดตัวของเข็ม เข้าใกล้ศูนย์หรือหยุดลงเสียก่อน เมื่อน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ เข้าใกล้กับ

น้ำหนักพิบัติแล้ว ช่วงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอาจลดลง เพื่อสามารถวัดน้ำหนักบรรทุกประลัยของ
 เข็มได้แม่นยำขึ้น การให้น้ำหนักทดสอบแก่เข็มอาจทำเป็นรอบ ๆ (cyclic loading)
 ก็ได้ โดยที่ช่วงการเพิ่มน้ำหนักหนึ่ง ๆ ก็จะบันทึกการทรุดตัวที่ช่วงการเพิ่มน้ำหนักนั้น เมื่อค้ำ
 น้ำหนักทดสอบไว้จนกระทั่งอัตราการทรุดตัวหยุดลงแล้ว จึงลดน้ำหนักลงให้หมด ให้เข็มคืนตัว
 (rebound) แล้วจึงเริ่มต้นทดสอบในรอบใหม่

ข. Constant rate of penetration test วิธีนี้กลับกันกับวิธี Maintained
 load test คือการทดสอบโดยวิธีนี้ ในการให้น้ำหนักทดสอบแก่เข็ม จะให้น้ำหนักเพื่อให้อัตราการ
 ทรุดตัวของเข็มให้คงที่ไว้ที่ค่าที่กำหนดค่าหนึ่ง เช่น มาตรฐาน ASTM เสนอให้ใช้อัตราการ
 ทรุดตัวของเข็มมีค่าเท่ากับ 0.01-0.05 นิ้ว/นาที สำหรับดินเหนียว และ
 0.03-0.1 นิ้ว/นาที สำหรับดินทรายเป็นต้น Whitaker and cooke (1961) กล่าวว่า
 วิธีการทดสอบนี้ เข็มจะถูกทำให้ทะลวงลงไปดินด้วยอัตราความเร็วที่คงที่ ในขณะที่แรง
 กระทำที่หัวเข็มเพื่อให้อัตราการทะลวงลงคงที่นั้นจะถูกบันทึกไว้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดึง-
 กล่าวและปริมาณการทะลวงลงของเข็มที่บันทึกได้ เมื่อนำมา plot เป็น force(load)
 และ penetration (settlement) curve แล้วยังไม่ใช่ load-settlement curve
 ในสภาวะที่สมดุลย์ (equilibrium) ที่แท้จริง เพราะค่าการจมตัวของเข็มที่บันทึก
 กระทำหนึ่ง ๆ หากทิ้งน้ำหนักนั้นค้างไว้บนหัวเข็ม เข็มย่อมสามารถจมตัวลงได้อีกเพื่อสู่สภาวะ
 สมดุลย์ ฉะนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ใช้หาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มเท่านั้น ไม่สามารถหาความ
 สัมพันธ์ของ load-settlement ที่แท้จริงหรือสภาวะสมดุลย์ได้

อย่างไรก็ตาม Esrig (1963) พบว่า น้ำหนักบรรทุกประลัยที่ทำได้จากการ
 ทดสอบโดยวิธี Maintained load test และ Constant rate of penetration
 test ให้ค่าออกมาเท่ากัน

4.2.2 การนิยามน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม

เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่า น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มก็คือน้ำหนักบรรทุกที่
 ทำให้การทรุดตัวของเข็มเพิ่มขึ้น ในขณะที่น้ำหนักบรรทุกที่หัวเข็มนั้นคงที่ไม่เพิ่มขึ้นหรือเพิ่มขึ้นเพียง
 เล็กน้อย (plunging failure load) แต่ที่ plunging failure load นี้ บางกรณี

เข็มจะเกิดการทรุดตัวที่ค่อนข้างมาก จึงไม่เหมาะสมที่จะนิยามน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ plunging failure load (Fellenius 1975, 1980)

ดังนั้น ในการศึกษานี้ จะนิยามน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่ peak load ของ load-settlement curve (Vesic 1975) หากไม่ปรากฏ peak load แล้ว ก็จะใช้ นิยามน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มตามวิธีที่เสนอโดย Butler and Hoy (1977) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสม (Fellenius 1980)

4.2.3 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะ โดยวิธีสมมูลย์ทางกลศาสตร์ (Static Approach) หรือวิธีทางปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics Method)

4.2.3.1 parameter ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ก. เมื่อเสาเข็มเจาะอยู่ในชั้นดินเหนียว ในกรณีนี้ น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มคำนวณจากสมการ 2.2 ค่า undrained shear strength ของดินเหนียวนี้ ในการสำรวจชั้นดิน มักจะเก็บตัวอย่างทำการทดสอบ unconfined compression test ถ้าเป็นดินเหนียวอ่อน (soft clay) อาจมีการทดสอบหาค่า undrained shear strength ของดินเหนียวอ่อนในสนาม โดยวิธี vane shear test

ค่า bearing capacity factor N_c ในการวิเคราะห์นี้ จะใช้ chart ที่เสนอโดย Skempton (1951) ดังรูปที่ 2.1

ค่า adhesion factor ในการวิเคราะห์นี้ จะใช้ chart ที่เสนอโดย N_g Kim Cheng (1981) ดังรูป 4.14 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย (average curve) และมีแนวโน้มเดียวกับผลจากการศึกษาเรื่องการส่งถ่ายน้ำหนักค้ำในหัวข้อ 4.1

ข. เมื่อเสาเข็มเจาะอยู่ในชั้นทราย ในกรณีนี้ น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มคำนวณจากสมการ 2.3 โดยที่ค่า σ'_{vb} และ σ'_v จะสมมุติให้มีค่าเท่ากับ effective stress เนื่องจาก overburden (Broms 1966; Nordland 1963) และ pore water pressure หาได้จากข้อมูลดังรูป ก.11, ก.12 และ ก.13 (สำหรับเข็ม T_G , T_E และ T_A)

ค่า bearing capacity factor N_q ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ angle of internal friction ϕ' มีผู้ศึกษาไว้หลายรายดังแสดงในรูป 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' ที่เสนอโดย Berezantsev et.al. (1961) คาคะเนไดให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเข็มจริง (Nordland 1963; Poulos and Davis 1980; Vesic 1964) แต่ Ng Kim Cheng (1981) ได้รวบรวมผลการศึกษาของผู้ศึกษาหลายรายในดินกรุงเทพฯ เช่น Chiruppapa (1968) Suwanakul (1969) Promboon (1981) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' ที่ศึกษาโดยผู้ศึกษารายอื่นดังในรูป 2.6 นี้ ให้ค่า N_q ที่สูงจนเกินไป เขาได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' ดังแสดงในรูป 2.7 หรือ 4.16 ดังนั้น ในการวิเคราะห์นี้ จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' ที่เสนอโดย Berezantsev et.al. (1961) ดังรูป 2.7 และ Ng Kim Cheng (1981) ดังรูป 2.7 หรือ 4.16 เปรียบเทียบกัน

ค่า K_s และ ϕ'_a Poulos and Davis (1980) ได้เสนอให้ใช้ค่าที่เหมาะสมของ K_s คือค่าที่ศึกษาโดย Meyerhof (1976) และให้ใช้ค่า $\phi'_a = 0.75 \phi'$ ดังนั้นในการวิเคราะห์ จะใช้ค่าของ $K_s \tan \phi'_a$ ที่หาจาก chart ซึ่งเสนอโดย Poulos and Davis (1980) ดังรูป 2.5-c

ค่า angle of internal friction ϕ' ของทราย เนื่องจากราไม่สามารถเก็บตัวอย่างทรายในสภาพที่ปราศจากการรบกวนได้ ในการวิเคราะห์นี้ จึงหาค่า ϕ' จากความสัมพันธ์ระหว่าง standard penetration resistance N จากการทดสอบ standard penetration test (SPT) และค่า ϕ' ที่เสนอโดย Peck Hanson and Thornburn (1974) โดยมีการปรับแก้ค่า N ด้วยค่าปรับแก้ดังรูป 2.8 และ 2.9 ซึ่งเป็นวิธีการหาค่า ϕ' ของทรายในสภาพสนาม (insitu) ที่ยอมรับโดยทั่วไป (Poulos and Davis 1980)

4.2.3.2 ผลการวิเคราะห์

ก. กรณีที่ปลายเข็มอยู่ในชั้นทราย การวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ ข.39 และสรุปผลดังตารางที่ 4.1 พบว่า shaft friction resistance และ end bearing

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะ โดยวิธี Soil Mechanics

เมื่อปลายเข็มอยู่ในชั้นทราย

เข็ม	จากการคาดคะเนโดยวิธี Soil Mechanics									จากการทดสอบ Q _u (m) (ton)	จากการคาดคะเน จากการทดสอบ	
	Q _{su} (ton)	* Q _{bu} (ton)	** Q _{bu} (ton)	* Q _u (ton)	** Q _u (ton)	Q _{su} / * Q _u	Q _{su} / ** Q _u	* Q _{bu} / * Q _u	** Q _{bu} / ** Q _u		* Q _u / * Q _u (m)	** Q _u / ** Q _u (m)
TP ₁ (TH)	615.9	2638.4	674.9	3254.3	1290.8	0.19	0.48	0.81	0.52	1030.0	3.16	1.25
TP ₂ (TH)	493.7	2181.4	558.0	2675.1	1051.7	0.18	0.47	0.82	0.53	780.0	3.43	1.34
TP ₃ (BKK)	322.4	1590.3	387.9	1912.7	710.3	0.17	0.45	0.83	0.55	594.0	3.22	1.19
T ₀	289.8	823.4	184.5	1113.2	474.3	0.26	0.61	0.74	0.39	504.0	2.21	0.94
T ₃	215.3	454.3	101.8	669.6	317.1	0.32	0.67	0.68	0.33	305.0	2.20	1.04
T _G	185.8	1265.0	322.7	1450.8	508.5	0.13	0.37	0.87	0.63	370.0	3.90	1.37
T _E	159.7	812.2	210.9	971.9	370.6	0.16	0.43	0.84	0.57	265.0	3.67	1.39
T _A	623.8	1963.3	490.8	2587.1	1114.6	0.24	0.56	0.76	0.44	735.0	3.52	1.51

*,** กำหนดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' ที่เสนอโดย Berezantsev และ Ng Kim Cheng ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) สรุปผลการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกพหุประลัยของเสาเข็มเจาะ โดยวิธี Soil Mechanics

เมื่อปลายเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว

เข็ม	จากการคาดคะเนโดยวิธี Soil Mechanics					จากการทดสอบ Q_u (m) (ton)	จากการคาดคะเน/จากการทดลอง Q_u / Q_u (m)
	Q_{su} ton	Q_{bu} ton	Q_u ton	Q_{su}/Q_u	Q_{bu}/Q_u		
T ₁	275.6	127.98	403.6	0.68	0.32	440.0	0.92
T _B	113.5	47.5	161.0	0.70	0.30	340.0	0.47
T _C	144.3	85.3	229.6	0.63	0.37	465.0	0.49
T ₈₁	248.1	127.6	375.7	0.66	0.34	740.0	0.51
T ₈₈	216.1	227.4	443.5	0.49	0.51	740.0	0.59
T ₂	107.0	32.5	139.5	0.76	0.23	372.0	0.38
T ₆	201.4	107.7	309.1	0.65	0.35	530.0	0.58

resistance มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ค่า N_q ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ σ' ที่เสนอโดย Ng Kim Cheng (1981) แต่ถ้าหากใช้ค่า N_q ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ σ' ที่เสนอโดย Berezantsev et.al. (1961) จะได้ shaft friction resistance ประมาณ 17-30% ของน้ำหนักบรรทุกประลัยที่คาดคะเนได้จากวิธี Soil Mechanics นี้ จากตารางที่ 4.1 หากใช้ค่า N_q ที่หาจากความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ σ' ที่เสนอโดย Berezantsev จะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ได้จากการคาดคะเนอยู่ในช่วง 2.2 ถึง 3.9 เท่าของน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ได้จากการทดสอบ การรับน้ำหนักบรรทุกของเข็ม แต่ถ้าใช้ค่า N_q ที่หาจากความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ σ' ที่เสนอโดย Ng Kim Cheng จะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ได้จากการคาดคะเนอยู่ในช่วงประมาณ 1.1 ถึง 1.4 เท่าของน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบ pile load test ทั้งนี้ parameter ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอื่น ๆ ใช้ค่าที่เหมือนกัน เว้นแต่ค่า N_q เท่านั้นที่ใช้ค่าแตกต่างกันดังกล่าวแล้ว

ข. กรณีที่ปลายเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว การวิเคราะห์ที่แสดงใน ตารางที่ ข.39 และสรุปผลดังตารางที่ 4.1 พบว่า shaft friction resistance มีค่า อยู่ในช่วง 0.65-0.80 และ end bearing resistance มีค่าอยู่ในช่วง 0.2-0.35 เท่าของน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ได้จากการคาดคะเนโดยวิธี Soil Mechanics นี้ ดังนั้น เข็มจึงเป็นแบบ friction pile คือ ส่วนใหญ่ของความต้านทานของเข็มที่เกิดขึ้น เนื่องจาก shaft friction resistance ของเข็ม ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ได้ จากการคาดคะเนโดยวิธี Soil Mechanics นี้ อยู่ในช่วง 0.5-0.9 เท่าของน้ำหนักบรรทุก ประลัยของเข็มที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเข็ม

parameter ในการวิเคราะห์ที่มีผลต่อค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้ จากการคาดคะเนนี้คือ $N_q \propto K_s \sigma'$ และค่า undrained shear strength ของดิน

จากความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ σ' ที่ได้จากการศึกษาของผู้ ศึกษารายต่าง ๆ ดังรูป 2.6 จะเห็นได้ว่า มีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันมาก หากตัดสินใจ

เลือกความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' เส้นโคเส้นหนึ่งขึ้นไว้วิเคราะห์แล้ว ก็จะพบว่า ค่า ϕ' เปลี่ยนไปเพียงหนึ่งองศาเท่านั้น จะให้ค่า N_q ที่ได้แตกต่างกันมาก และค่า ϕ' ที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ หากจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า N จากการทดสอบ SPT และ ϕ' ซึ่งให้ค่า ϕ' ที่ได้นี้ค่อนข้างหยาบ จะมีผลทำให้ได้ค่า N_q ที่ได้ไม่แน่นอนได้ การคาดคะเนหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มจึงผิดไปได้ จากการวิเคราะห์ หากใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' ที่เสนอโดย Berezantsev ซึ่งจากการศึกษาของ Nordland (1963) Vesic (1964) พบว่าคาดคะเนได้ใกล้เคียงกับความจริง และ Poulos and Davis (1980) ก็ได้แนะนำให้ใช้ได้นั้น จากการวิเคราะห์ให้ผลการคาดคะเนดังสรุปในตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาเฉพาะแต่ end bearing resistance อย่างเดียว จะให้ค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ได้จากการทดสอบ pile load test ประมาณ 1.5 - 3.4 เท่า ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' ที่เสนอโดย Berezantsev (1961) นี้ จึงยังไม่เหมาะแก่การใช้ในการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม ค่าของ N_q ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ' ที่เสนอโดย Ng Kim Cheng (1981) ให้ค่า end bearing resistance ของเข็มประมาณ 0.3-0.8 เท่าของน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเข็ม เมื่อนำค่า end bearing resistance ที่ได้จากการคาดคะเนดังกล่าวนี้ ไปรวมกับ shaft friction resistance จะให้ค่า น้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ได้จากการคาดคะเนนี้ประมาณ 0.9-1.4 เท่าของน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ในกรณีที่ยึปลายเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแล้ว bearing capacity factor N_c ที่ใช้จะใช้ chart ที่เสนอโดย Skempton (1951) สำหรับเสาเข็มเจาะที่ใช้ในกรณีการวิเคราะห์นี้ N_c มีค่าเท่ากับ 9 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับโดยทั่วไป (Poulos and Davis 1980) เมื่อทำการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ ข.39 และสรุปผลดังในตารางที่ 4.1 พบว่าค่าของ end bearing resistance ที่ได้จากการการคาดคะเน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.35 เท่าของน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ได้จากการคาดคะเนนี้ เมื่อรวมกับ shaft friction resistance จากการคาดคะเน จะได้น้ำหนักบรรทุกประลัยจากการคาดคะเนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-0.9 เท่าของน้ำหนักบรรทุกประลัยจากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเข็ม และทุกต้นคาดคะเนได้ผลต่ำกว่าที่เป็นจริง

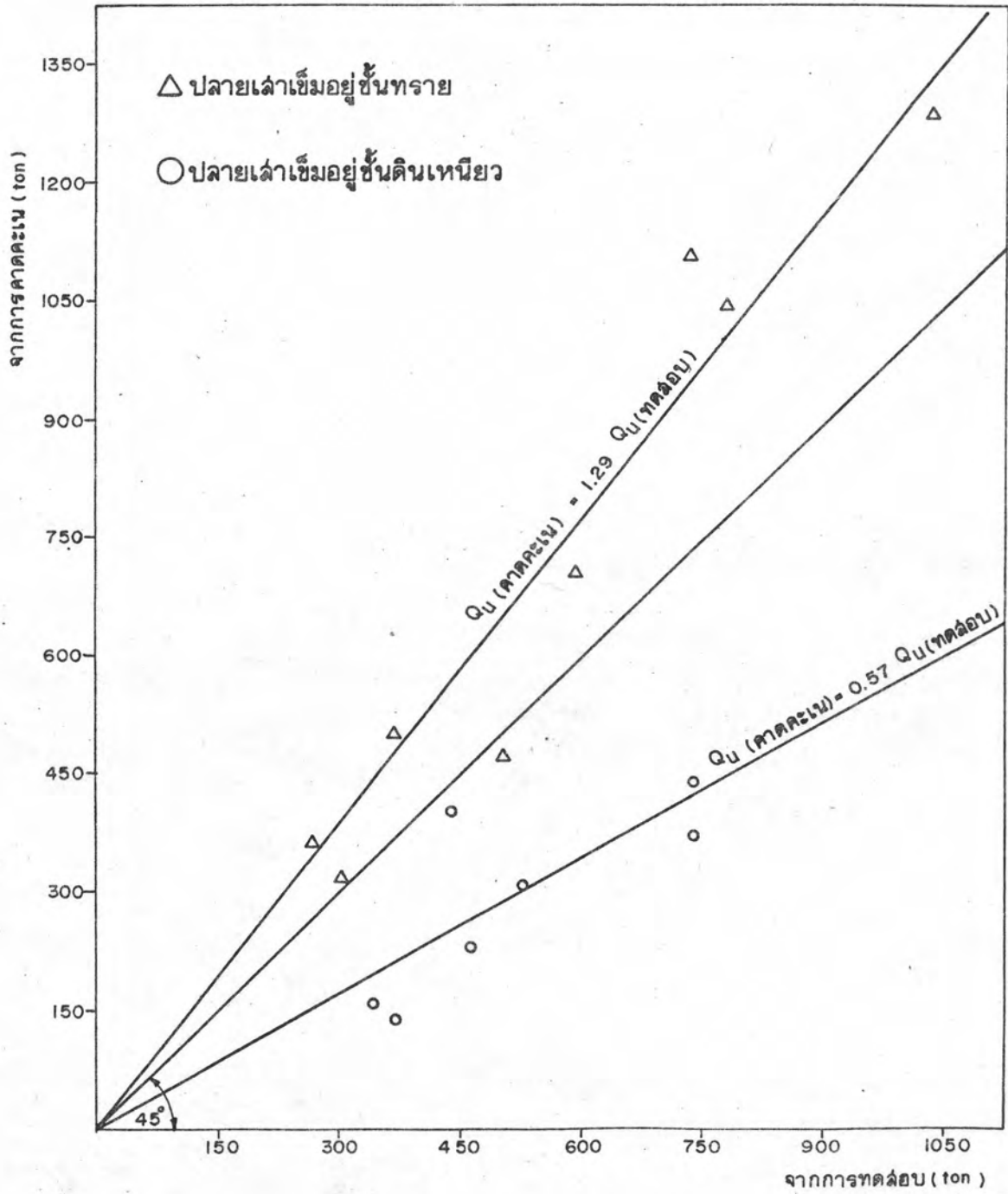
คงได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ที่ค่า undrained shear strength หนึ่ง จะให้ค่า adhesion factor ค่าหนึ่ง ๆ ซึ่งค่อนข้างแปรผันมาก ส่วนค่า K_s อาจมีค่าอยู่ระหว่าง K_a และ K_p ขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้าง (Brom 1966) นอกจากนี้ค่า undrained shear strength ของดินที่ได้จากการทดสอบ unconfined compression test มักมีค่าต่ำกว่าการทดสอบด้วยวิธีอื่น ความไม่แน่นอนของ parameter ของดินต่าง ๆ เหล่านี้ มีผลทำให้ผลการวิเคราะห์โดยวิธี Soil Mechanics ผิดไปได้ อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์โดยเลือกใช้ parameter ต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2.2.1 เมื่อนำน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเข็มที่ได้จากการคาดคะเนเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบ ดังรูป 4.26 หากใช้หลักการของเส้นถดถอยธรรมดา (simple linear regression) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้คือ

เมื่อปลายเข็มอยู่ในชั้นทราย	Q_u (คาดคะเน)	= 1.29 Q_u (ทดสอบ)
เมื่อปลายเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว	Q_u (คาดคะเน)	= 0.57 Q_u (ทดสอบ)
เมื่อพิจารณาทั้งหมด	Q_u (คาดคะเน)	= 1.01 Q_u (ทดสอบ)

จะเห็นได้ว่า การคาดคะเนความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะโดยวิธี Soil Mechanics นี้ ในกรณีที่ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทราย จะให้ผลการคาดคะเนมีแนวโน้มสูงกว่าที่ได้จากการทดสอบ และในกรณีที่ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว จะให้ผลการคาดคะเนมีแนวโน้มต่ำกว่าที่ได้จากการทดสอบ เมื่อพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของ parameter ต่าง ๆ เมื่อเพื่ออัตราส่วนของความปลอดภัยแล้ว จึงพอสรุปได้ว่า การคาดคะเนความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะโดยวิธี Soil Mechanics นี้ เป็นวิธีที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ในการออกแบบเสาเข็มเจาะได้ ส่วนความสัมพันธ์ของเส้นถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ ยังเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาต่อไปได้

4.2.4 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มเจาะ โดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ

4.2.4.1 วิธีของ Bullen (1958)



รูป 4.26 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกปลายของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการทดสอบ โดยวิธี Soil Mechanics กับที่ได้จากการทดสอบ

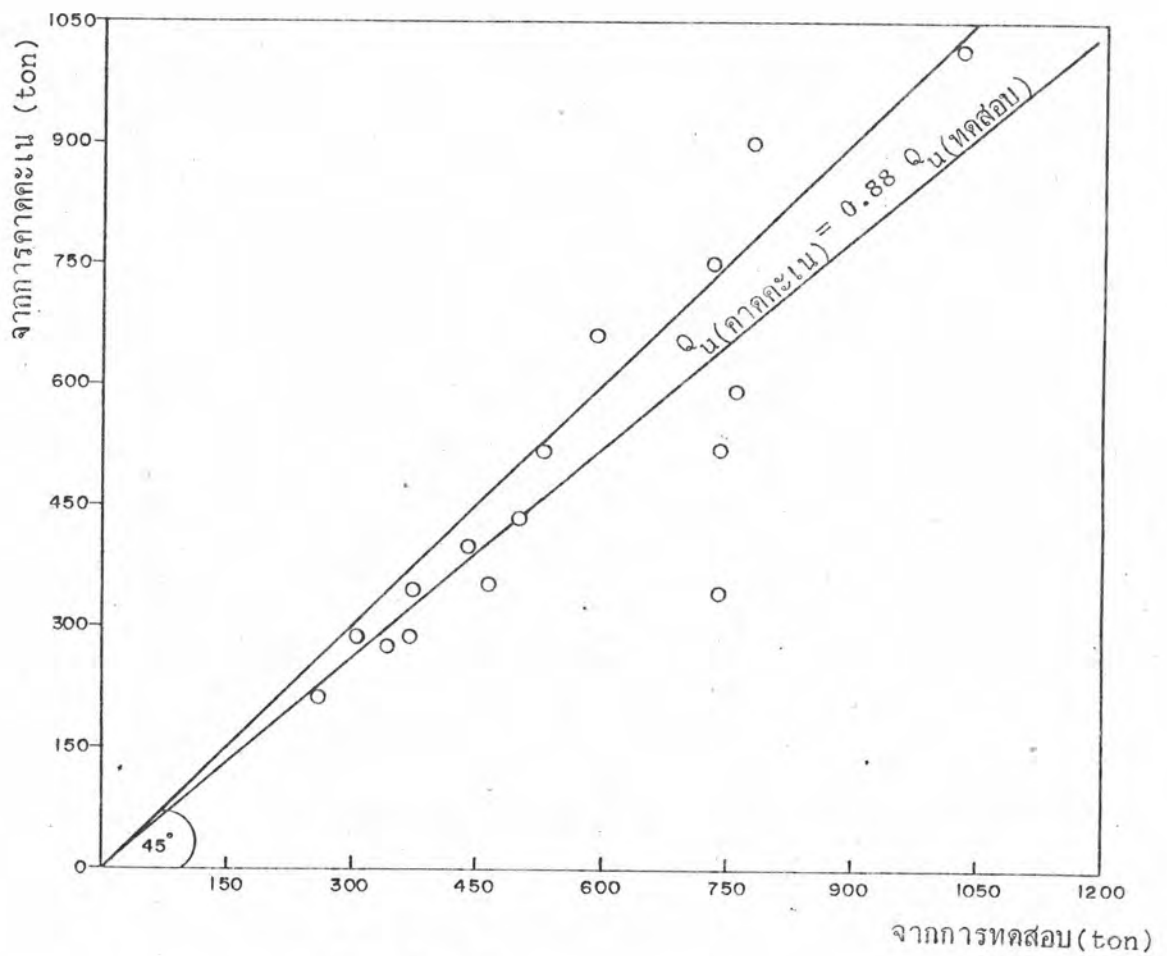
ในการวิเคราะห์นี้ จะใช้ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ทดสอบจนถึงน้ำหนักพิบัติแล้ว มาเปรียบเทียบกับผลการคาดคะเนโดยวิธีของ Bullen (1958) นี้ load-settlement curve ของเข็มที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูป ข.8 ถึง ข.24 เมื่อทำการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มต่าง ๆ ดังรูป ข.25 ถึง ข.40 จะได้ผลการคาดคะเนดังสรุปในตารางที่ 4.2

ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่า วิธีของ Bullen ให้ผลการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.6-1.1 ของน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม และมีแนวโน้มคาดคะเนได้ต่ำกว่าที่เป็นจริง ความแม่นยำของการคาดคะเนขึ้นอยู่กับ การหาค่าจุด yield point ได้ดีเพียงใด จากการสังเกตจากสูตรตามวิธีของ Bullen นี้ จะเห็นได้ว่าวิธีของ Bullen จะคาดคะเนได้แม่นยำต่อเมื่อหาจุด yield point จาก load settlement curve โดยที่จุด yield point ให้ค่า load ประมาณครึ่งหนึ่งของค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม ดังนั้น หากข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คาดคะเนค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มจะ ใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต่ำกว่า 0.5 เท่า หรือสูงกว่า 0.5 เท่าของน้ำบรรทุกประลัย-ของเสาเข็มเพียงเล็กน้อย โดยวิธีการของ Bullen นี้ ผลการคาดคะเนจะให้ค่าในทางที่ต่ำกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยจริงของเสาเข็ม และจะให้ค่าที่ผิดพลาดไปจากความเป็นจริงมากด้วย ในการวิเคราะห์นี้ เมื่อใช้ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ ตั้งแต่เข็มเริ่มรับน้ำหนักกระทำจนถึงน้ำหนักทดสอบสูงสุดซึ่งเข้าใกล้ plunging failure แล้ว plot เป็น load-settlement curve ดังรูป ข.25 ถึง ข.40 แล้วใช้หลักการตามวิธีที่ Bullen เสนอนี้ คือ จกเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load และ settlement ให้เป็นเส้นตรงในช่วง load แรก ๆ สัมผัสกับ load-settlement curve ในช่วง load ที่มากขึ้นซึ่งจะเป็นเส้นโค้ง จะได้จุด yield point ซึ่งจะให้ผลการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะน้อยกว่าที่ได้จากการทดสอบแทบทุกค่า แต่ก็ยังใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบ และจากการ plot เปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากการคาดคะเนกับการทดสอบ ดังรูป 4.27 แล้วใช้หลักการของเส้นดัดถอยธรรมดาจะให้ความสัมพันธ์ $Q_u(\text{คาดคะเน}) = 0.88 Q_u(\text{ทดสอบ})$ จึงกล่าวได้ว่า วิธีของ Bullen จะใช้ได้

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการคาคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะโดยวิธีต่าง ๆ

เข็ม	คาคะเนโดยวิธีของ Chin (ton)			คาคะเนโดยวิธีของ Mazurkiewicz (ton)			คาคะเนโดยวิธีของ Bullen (ton)	คาคะเนโดยวิธีของ Soil Mech. (ton)	จากการทดลอง (ton)	จากการคาคะเน/จากการทดลอง						โดยวิธีของ Bullen	โดยวิธีของ Soil Mech.
	โดยวิธีของ Chin			โดยวิธีของ Mazurkiewicz						โดยวิธีของ Chin			โดยวิธีของ Mazurkiewicz				
	(1)*	(2)*	(3)*	(1)*	(2)*	(3)*				(1)*	(2)*	(3)*	(1)*	(2)*	(3)*		
TP ₁ (TH)	1750.0	1176.0	1200.0	630.0	1000.0	1192.0	1017.8	1091.8	1030.0	1.69	1.14	1.16	0.61	0.97	1.15	0.99	1.06
TP ₂ (TH)	1435.0	2143.0	926.0	618.0	978.0	879.0	903.0	851.5	780.0	1.84	2.75	1.19	0.79	1.25	1.12	1.16	1.09
TP ₃ (EKK)	2163.0	754.0	929.0	630.0	528.0	948.0	660.0	484.2	594.0	3.64	1.27	1.56	1.06	0.89	1.59	1.11	0.82
T _A	-	1500.0	810.0	775.0	740.0	750.0	751.7	906.6	735.0	-	2.04	1.10	1.05	1.01	1.02	1.03	1.23
T ₂	320.0	408.0	411.0	205.0	300.0	408.0	344.5	139.5	372.0	0.86	1.09	1.10	0.55	0.81	1.09	0.93	0.38
T ₆	1475	590.0	563.0	-	350.0	556.0	514.8	309.1	530.0	2.78	1.11	1.06	-	0.66	1.05	0.97	0.58
T ₈₁	354.0	661.0	850.0	318.0	671.5	838.0	519.7	375.7	740.0	0.48	0.89	1.15	0.43	0.91	1.13	0.70	0.51
T ₈₈	375	873.0	910.0	430.0	825.0	828.0	343.0	443.5	740.0	0.51	1.18	1.23	0.58	1.11	1.12	0.46	0.59
T ₁₀	325	443	530	219	390	453	404	403.6	440.0	0.74	1.01	1.20	0.49	0.89	1.03	0.92	0.92
T ₁₁	-	595	620	373	510	530	433	418.8	504.0	-	1.18	1.23	0.74	1.01	1.05	0.86	0.83
T ₁₂	-	416	363	169	296	343	291	287.3	305.0	-	1.36	1.19	0.55	0.97	1.12	0.95	0.94
T ₁₃	1730	1106	945	487	680	785	592	-	760.0	2.27	1.46	1.24	0.64	0.89	1.03	0.78	-
T ₁₄	1037	415	420	368	265	384	289	421.7	370.0	2.80	1.12	1.14	0.99	0.72	1.04	0.78	1.14
T ₁₅	884	227	268	214	190	270	215	300.8	265.0	3.33	0.86	1.01	0.81	0.72	1.02	0.81	1.13
T ₁₆	-	429	402	165	325	365	277	161.0	340.0	-	1.26	1.18	0.48	0.96	1.07	0.81	0.47
T ₁₇	787	408	515	307.5	390	483	352	229.6	465.0	1.69	0.88	1.11	0.66	0.84	1.04	0.76	0.49

(1)* = กรณีข. ก., (2)* = กรณีข. ข., (3)* = กรณีข. ค.



รูป 4.27 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาดคะเนโดยวิธีของ Bullen กับที่ได้จากการทดสอบ

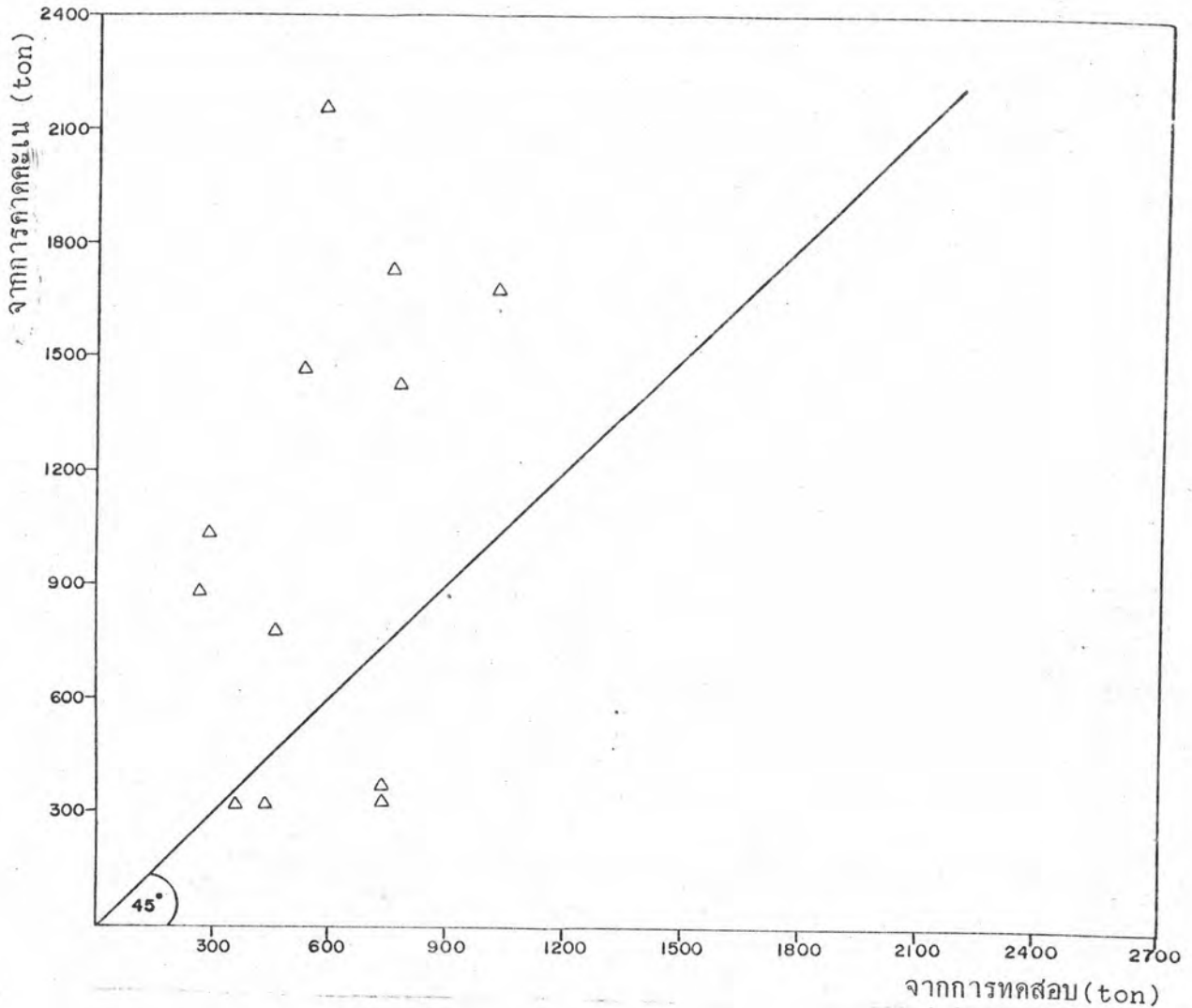
เมื่อใช้ข้อมูลจากวิเคราะห์ที่เข้าใกล้กับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มแล้วเท่านั้น แต่ในการทดสอบเข็มโดยทั่วไปแล้วมักอยู่ในช่วงประมาณไม่เกิน 0.6 เท่าของน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มซึ่งข้อมูลในช่วงนี้ หากนำมาใช้คาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มโดยวิธีของ Bullen ย่อมให้ผลผิดพลาดได้ ด้วยเหตุผลต่าง ๆ ดังได้กล่าวแล้ว ดังนั้น ในทางปฏิบัติวิธีของ Bullen ยังไม่ลืพอที่จะนำมาใช้ได้

4.2.4.2 วิธีของ Chin (1970) และ Mazurkiewicz (1972)

ในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม มักจะทดสอบไม่ถึงน้ำหนักบรรทุกประลัยหรือพิบัติของเสาเข็ม ดังนั้น ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามวิธีของ Chin และ Mazurkiewicz นี้ หากใช้ข้อมูลการทดสอบเฉพาะแต่ load ต้น ๆ ของการทดสอบ ซึ่งจากการ plot load-settlement curve โดยทั่วไปค่อนข้างจะเป็นเส้นตรง กับการใช้ข้อมูลดังกล่าวทั้งในส่วนที่เป็น load ช่วงต้น ๆ ซึ่งความสัมพันธ์ของ load settlement ค่อนข้างจะเป็นเส้นตรงกับส่วนที่เลยจากช่วงแรก ๆ ไป ซึ่งความสัมพันธ์ของ load-settlement จะเป็นเส้นโค้ง อาจให้ผลการคาดคะเนที่ได้แตกต่างกันได้ ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ เป็นการทดสอบที่ทดสอบจนเข้าใกล้ plunging failure ของเข็มแล้ว ดังนั้น ในการวิเคราะห์นี้จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง โดยการใช้ข้อมูลการทดสอบนี้เฉพาะแต่ข้อมูลที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.3 เท่าของน้ำหนักทดสอบสูงสุดของเข็ม ส่วนที่สอง วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลเฉพาะแต่ข้อมูลที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.6 ของน้ำหนักทดสอบสูงสุดของเข็ม และส่วนที่สาม วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบตั้งแต่เริ่มรับน้ำหนักจนถึงน้ำหนักทดสอบสูงสุด เพื่อศึกษาว่า จะให้ผลการวิเคราะห์แตกต่างกันอย่างไร

4.2.4.2.1 วิธีของ Chin (1970) จากตารางแสดงการวิเคราะห์ดังตารางที่ ข.40 แล้วได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

กรณี ก. เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม เฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.3 เท่าของ plunging failure load การ plot ระหว่าง Settlement/load และ Settlement ดังรูป ข.41 ถึง ข.50

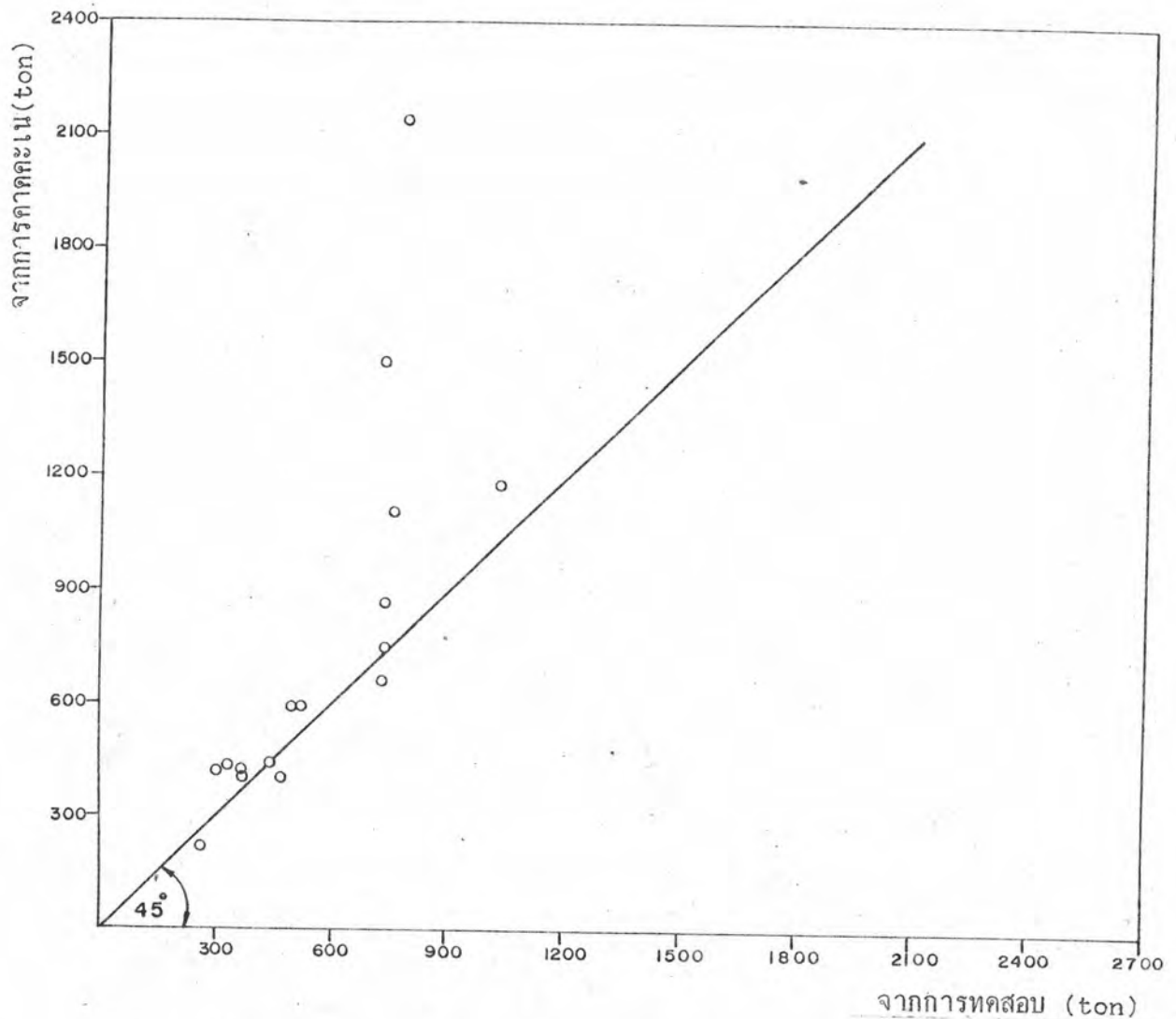


รูป 4.28 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาดคะเน โดยวิธีของ Chin เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ เฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.3 เท่า ของ plunging failure load กับที่ได้จากการทดสอบ

จะให้ผลการคาดคะเนสรุปดังตารางที่ 4.2 และเมื่อ plot เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคาดคะเนและค่าที่วัดได้จริง ดังรูป 4.28 จะเห็นได้ว่า ผลการคาดคะเนกระจายออกจากเส้น 45° ค่อนข้างมากทั้งในทางต่ำและสูง ผลการคาดคะเนจึงไม่มีความแน่นอน

กรณี ข. เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม เฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.6 เท่าของ plunging failure load การ plot ระหว่าง Settlement/load และ Settlement ดังรูป ข.51 ถึง ข.57 จะเห็นได้ว่าในช่วงน้ำหนักกระทำที่หัวเข็มในช่วงแรก ๆ ความสัมพันธ์ระหว่าง settlement/load และ settlement ไม่เป็นเส้นตรงที่สูงชันขึ้น แต่อาจเป็นเส้นตรงที่อยู่ในแนวค่อนข้างราบ เช่น เข็ม T_A T_6 T_R T_G และเข็มบางต้น เช่น T_B T_0 หากหาความสัมพันธ์ของ settlement/load และ settlement อาจได้เส้นตรงที่มีความชันกลับกัน และเข็มบางต้นเช่น TP_2 (TH) ความสัมพันธ์ดังกล่าวกลับไม่แน่นอน ทั้งนี้ โดย plot ข้อมูลของ sett/load และ settlement อยู่ใน scale ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลเฉพาะที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.6 เท่าของน้ำหนักทดสอบสูงสุด Chin ได้กล่าวสรุปว่า วิธีของเขานั้น จุดการ plot จุดแรก ๆ เหล่านี้ซึ่งเป็นจุดในช่วงที่น้ำหนักกระทำที่หัวเข็มอยู่ในช่วงแรก ๆ ดังกล่าวนั้นเอง อาจไม่อยู่ในเส้นแนวเดียวกันกับจุดต่าง ๆ ในช่วงน้ำหนักกระทำที่หัวเข็มซึ่งมีค่าสูงชัน ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำหนักกระทำที่หัวเข็มในช่วงแรก ๆ นั้น ดินรับน้ำหนักจากเข็มยังอยู่ในช่วง elastic เมื่อน้ำหนักกระทำสูงขึ้นอาจเข้าช่วง plastic จึงทำให้จุดต่าง ๆ ในช่วงน้ำหนักกระทำแรก ๆ ไม่อยู่ในเส้นแนวเดียวกับจุดในช่วงที่น้ำหนักกระทำสูงขึ้น ในการวิเคราะห์นี้ จึงลากเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง settlement/load และ settlement เฉลี่ย ในช่วงน้ำหนักกระทำในช่วงที่อยู่ในช่วงที่เป็นเส้นโค้งของ load-settlement curve ตามวิธีที่ Chin ได้ศึกษาไว้ เมื่อทำการวิเคราะห์แล้ว ได้ผลสรุปดังในตารางที่ 4.2

จากตารางดังกล่าว จะเห็นได้ว่า เข็มบางต้นเช่น TP_2 (TH) T_A T_R ให้ผลการคาดคะเนที่สูงกว่าที่ได้จากการทดสอบมาก อยู่ในช่วง 1.5-2.7 เท่าของน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบ และบางต้นเช่น T_3 T_B T_0 ก็ยังให้ค่าที่ได้จากการคาดคะเนสูงกว่าที่ได้จากการทดสอบ เมื่อพิจารณาประกอบกับการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยของเข็มที่ได้จากการคาดคะเนทั้งหมดและที่ได้จากการทดสอบ ดังรูป 4.29 แล้ว ผลการ



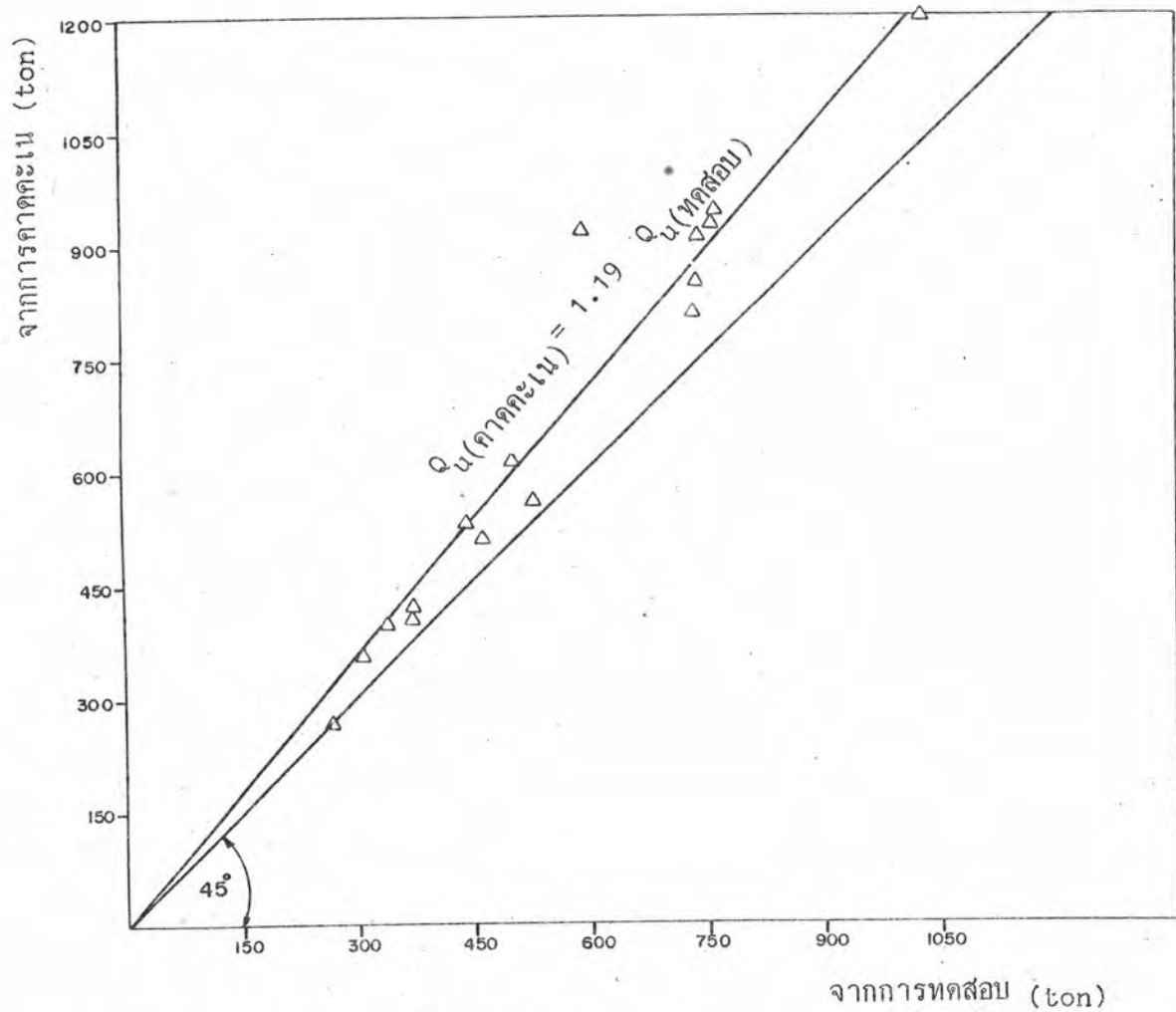
รูป 4.29 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาดคะเน โดยวิธีของ Chin เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก ของเสาเข็มเจาะ เฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.6 เท่า ของ plunging failure load กับที่ได้จากการทดสอบ

คาดคะเนมีแนวโน้มมากกว่าที่ได้จากการทดสอบ และค่อนข้างกระจาย ไม่แน่นอนพอ
 ดังนั้น จึงพอสรุปได้ว่า การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะโดยวิธีของ
 Chin โดยใช้ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเข็ม เฉพาะแต่ข้อมูล
 ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.6 เท่า ของ plunging failure load ผลการคาดคะเนมีแนวโน้ม
 สูงกว่าที่ได้จากการทดสอบ และมีการกระจายไม่แน่นอนพอ

กรณี ค. เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนัก
 บรรทุกของเสาเข็มเจาะ ตั้งแต่แรกเริ่มรับน้ำหนักจนถึงเข้าใกล้ plunging failure load
 เมื่อ plot ระหว่าง settlement/load และ settlement ดังรูป ข.58 ถึง ข.64 ด้วยเหตุผล
 ทำนองเดียวกับที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อ ข. การวิเคราะห์นี้ จึงลากเส้นเฉลี่ยซึ่งเป็นเส้นตรง
 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง settlement/load และ settlement ในช่วงน้ำหนักกระทำ
 ที่อยู่ในช่วงที่เป็นเส้นโค้งของ load-settlement curve ผลการคาดคะเนดังสรุปใน
 ตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาดคะเนนี้
 สูงกว่าที่ได้จากการทดสอบทุก ๆ ค่า และอยู่ในช่วงประมาณ 1.01-1.25 เท่าของที่เป็น
 จริง เมื่อพิจารณาประกอบกับการ plot เปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จาก
 การคาดคะเนกับการทดสอบ ดังรูป 4.30 แล้ว จะเห็นได้ว่า มีการกระจายน้อยมาก และ
 คาดคะเนได้ใกล้เคียงกับที่ได้จากการทดสอบและอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ หากใช้หลักการของ
 เส้นถดถอยธรรมดา จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

$$Q_u(\text{คาดคะเน}) = 1.19 Q_u(\text{ทดสอบ})$$

การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะ โดยวิธีของ Chin นี้
 จะให้ผลที่ได้จากการคาดคะเนใกล้เคียงกับการทดสอบ และมีแนวโน้มไปในทางที่สูงกว่าประมาณ
 20% ทั้งนี้ เส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง settlement/load และ settlement
 ควรเฉลี่ยจากจุดต่าง ๆ ในช่วงที่อยู่บนเส้นโค้ง หรือช่วง plastic ของ load-settlement
 curve เมื่อจุดต่าง ๆ เหล่านี้ หากอยู่เข้าใกล้กับน้ำหนักบรรทุกประลัย-ของเข็มแล้ว จะให้
 ผลการคาดคะเนที่ใกล้เคียงกับการทดสอบยิ่งขึ้น จากการวิเคราะห์นี้ ปรากฏว่า เมื่อใช้ข้อมูล
 การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเข็ม เฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.6 เท่า
 ของ plunging failure load แล้วเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Settlement/load



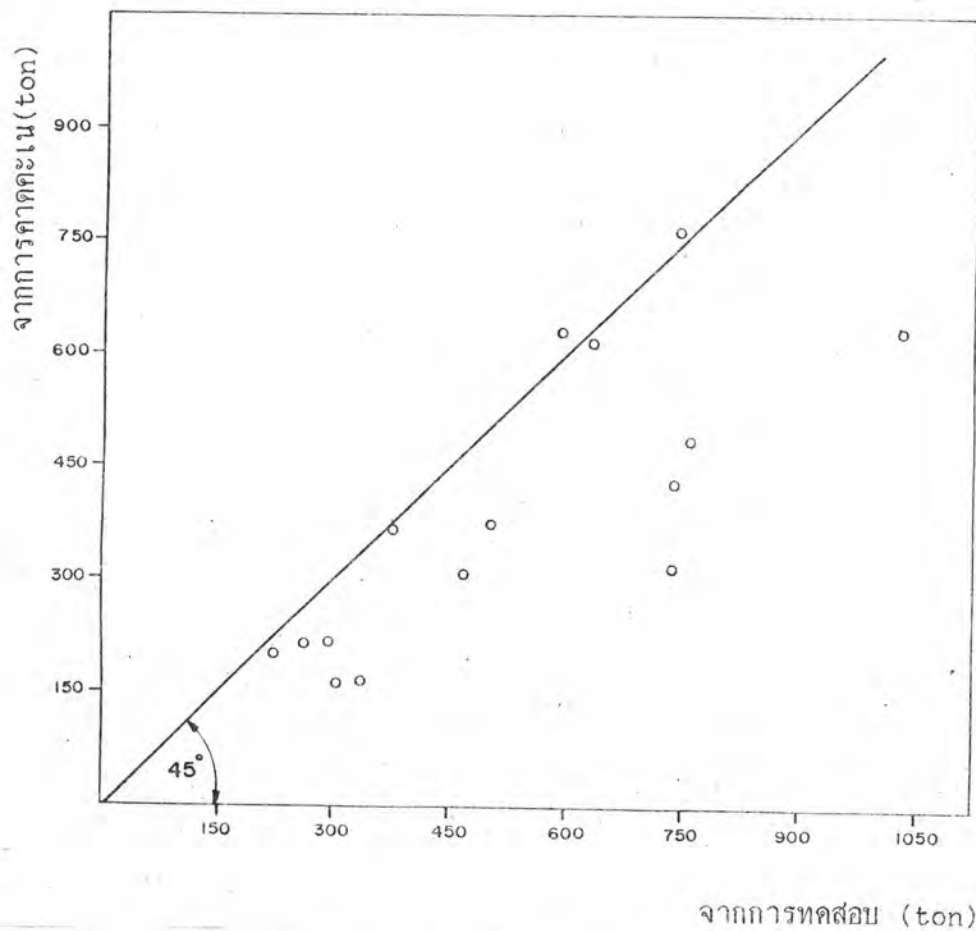
รูป 4.30 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาดคะเนโดยวิธีของ Chin เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ จนถึงเข้าใกล้ punching failure load กับที่ได้จากการทดสอบ

และ settlement ลากเฉลี่ยจากจุดต่าง ๆ ที่อยู่ในช่วงส่วนโค้งของ load-settlement curve ยิ่งให้ผลการคาดคะเนที่ไม่แน่นอนพอ แต่ถ้าลากเฉลี่ยจากจุดต่าง ๆ อยู่ในช่วงโค้งของ load-settlement curve ตั้งแต่จุดเริ่มโค้ง จนถึงจุดที่เข้าใกล้ plunging failure load ดังได้กล่าวแล้วในข้อ ก. จะให้ผลการคาดคะเนที่สูงกว่าประมาณ 20% และคาดคะเนได้ผลแน่นอนพอ ส่วนการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะเฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.3 เท่าของ plunging failure load ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ ส่วนใหญ่ยังอยู่ในช่วง elastic ของ load-settlement curve จะให้ผลการคาดคะเนที่กระจายมาก ไม่มีความแน่นอนเลย

4.2.4.2.2 วิธีของ Mazurkiewicz (1972) ทำการวิเคราะห์และได้ผลดังนี้

กรณี ก. เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ เฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.3 เท่าของ plunging failure load การวิเคราะห์ดังในรูป ข.65 ถึง ข.79 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง load-settlement ในช่วงนี้ จะค่อนข้างเป็นเส้นตรง ผลการคาดคะเนดังสรุปในตารางที่ 4.2 ค่าที่ได้จากการคาดคะเนมีค่าต่ำกว่าการทดสอบแทบทุกค่า และอยู่ในช่วง 0.4-1.05 เท่าของค่าจากการทดสอบ และจากการ plot เปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาดคะเนกับการทดสอบดังรูป 4.31 ปรากฏว่า จุดต่าง ๆ กระจายออกจากเส้น 45° ค่อนข้างมากและมีแนวโน้มกระจายไปในทางที่ต่ำกว่า ดังนั้น การวิเคราะห์โดยวิธีของ Mazurkiewicz หากใช้ข้อมูลเฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.3 เท่าของ plunging failure load ให้ผลการคาดคะเนมีแนวโน้มไปในทางที่ต่ำ และยังไม่ใกล้เคียงกับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการทดสอบ

กรณี ข. เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ เฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.6 เท่าของ plunging failure load เมื่อ plot ระหว่าง load และ settlement ดังรูป ข.80 ถึง ข.95 แล้วทำการวิเคราะห์ตามวิธีของ Mazurkiewicz จะผลได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ผลการคาดคะเนจะได้ค่าที่อยู่ระหว่าง 0.7-1.10 ของค่าที่ได้จากการทดสอบ และจากการ



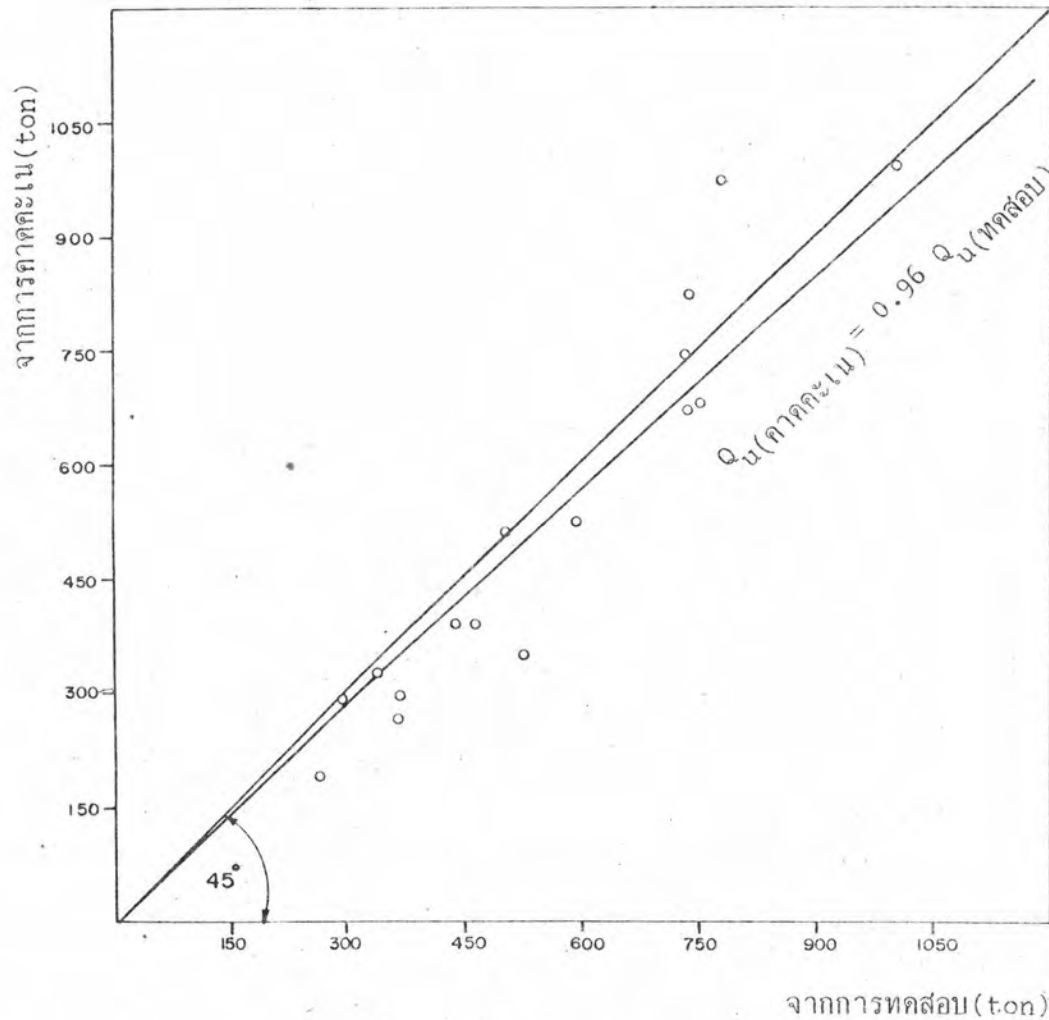
รูป 4.31 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาดคะเน โดยวิธีของ Mazurkiewicz เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ เฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.3 เท่าของ plunging failure load กับที่ได้จากการทดสอบ

plot เปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาดคะเนกับการทดสอบ ดังรูป 4.32 ปรากฏว่า ค่าที่ได้จากการคาดคะเนมีแนวโน้มน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ และมีการกระจายออกจากเส้น 45° ค่อนข้างน้อย ดังนั้น การวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ เฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.6 เท่าของน้ำหนักทดสอบสูงสุด ตามวิธีของ Mazurkiewicz ให้ผลการคาดคะเน อยู่ในข่ายที่ยอมรับได้ จึงสามารถใช้แนวทางพิจารณาออกแบบเสาเข็มเจาะได้

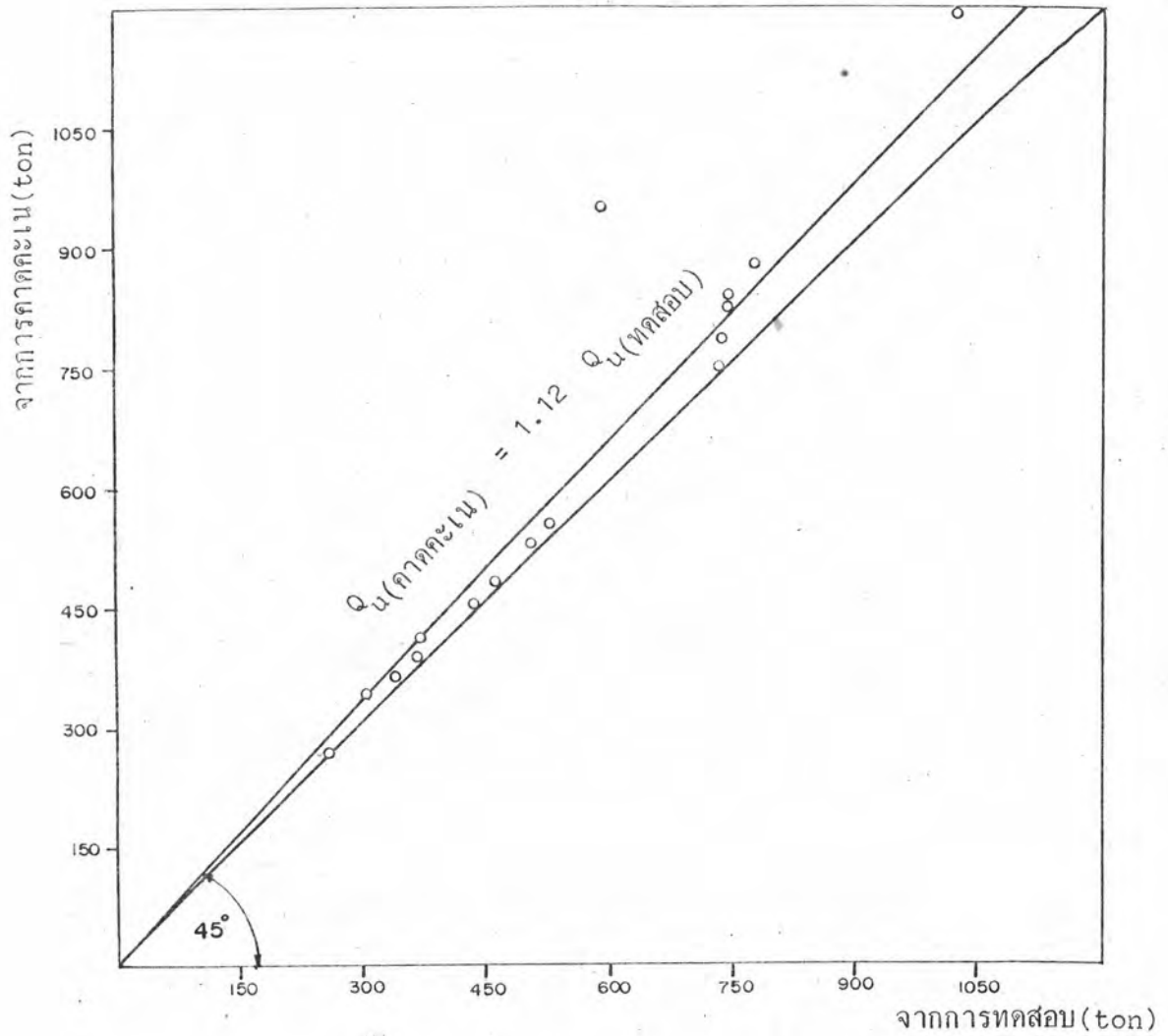
เมื่อใช้หลักการของเส้นดัดโดยธรรมชาติ จะได้ความสัมพันธ์

$$Q_u(\text{คาดคะเน}) = 0.96 Q_u(\text{ทดสอบ}) \quad \text{ซึ่งใช้เป็นแนวทางการศึกษาต่อไปได้}$$

ค. เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ ตั้งแต่แรกรับน้ำหนักจนถึงเข้าใกล้ plunging failure load เมื่อ plot load-settlement curve แล้ววิเคราะห์ตามวิธีของ Mazurkiewicz ดังรูป ข.96 ถึง ข.111 ผลการคาดคะเนสรุปดังตารางที่ 4.2 ปรากฏว่า ให้ผลการคาดคะเนได้ใกล้เคียงกับค่าจากการทดสอบ เมื่อ plot เปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาดคะเนกับการทดสอบดังรูป 4.33 และใช้หลักการของเส้นดัดโดยธรรมชาติ จะได้ความสัมพันธ์คือ $Q_u(\text{คาดคะเน}) = 1.12 Q_u(\text{ทดสอบ})$ ดังนั้น การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม โดยวิธีของ Mazurkiewicz เมื่อใช้ข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะตั้งแต่แรกเริ่มรับน้ำหนักจนถึงเข้าใกล้ plunging failure load จะให้ผลการคาดคะเนที่ใกล้เคียงกับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการทดสอบ



รูป 4.32 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาดคะเนโดยวิธีของ Mazurkiewicz เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ เฉพาะแต่ที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.6 เท่าของ plunging failure load กับที่ได้จากการทดสอบ



รูป 4.33 การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะที่ได้จากการคาคะเนโดยวิธีของ Mazurkiewicz เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะ จนถึงเข้าใกล้ plunging failure load กับที่ได้จากการทดสอบ