



#### บทที่ 4

### การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็ม

เป็นที่ทราบและยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่า น้ำหนักที่สำคัญอย่างหนึ่งของ เสา เข็ม คือ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างผ่านชั้นดินอ่อน ซึ่งมีวิสัยสามารถรับแรงธรรได้น้อยแต่มีการยุบตัวสูง ไปยังชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป ซึ่งมีวิสัยสามารถรับแรงธรรได้ดีกว่าและมีการยุบตัวน้อยกว่า ทั้งนี้โดยอาศัยความตึงแน่นและ/หรือความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ผิวประสิทธิผลของ เสา เข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบ เสา เข็มส่วนหนึ่ง น้ำหนักบรรทุกอีกส่วนหนึ่งที่เหลือจะรับโดยแรงธรรของดินที่อยู่บริเวณส่วนปลายและใต้ปลายของ เสา เข็ม เมื่อ เสา เข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว น้ำหนักบรรทุกส่วนใหญ่จะรับไว้โดยความตึงแน่นระหว่างพื้นที่ผิวประสิทธิผลของ เสา เข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบ เสา เข็ม เราจะเรียก เสา เข็มที่แสดงพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกแบบนี้ว่า เสา เข็มเสียดทาน (Friction Piles) ในทางตรงข้ามในชั้นดินทรายน้ำหนักบรรทุกส่วนใหญ่จะรับไว้โดยแรงธรรของดินบริเวณปลายและใต้ปลายของ เสา เข็ม เราจะเรียก เสา เข็มที่แสดงพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกแบบนี้ว่า เสา เข็มคาล (End Bearing Piles)

การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็ม ทำได้หลายวิธีด้วยกันทั้งทางตรงและโดยทางอ้อม จะเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีร่วมกันก็ได้ วิธีหนึ่งซึ่งนับได้ว่ามีความสะดวกและรวดเร็ว คือ การวิเคราะห์หาน้ำหนักบรรทุกโดยอาศัยสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินและพื้นฐานทางด้านกลศาสตร์ของดิน วิธีวิเคราะห์ เป็นวิธีการที่มีเหตุผล สามารถทำได้รวดเร็ว อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นเพียงการคาดหมายอย่างประมาณเท่านั้น การที่จะให้ผลถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริง ผู้วิเคราะห์ต้องเข้าใจในวิธีการวิเคราะห์และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ ตลอดจนการเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินให้เหมาะสม ดังนั้น การคาดคะเนที่ให้ผลใกล้เคียงกับความเป็นจริงจะเป็นไปได้ ต่อเมื่อผู้วิเคราะห์มีความเข้าใจในพฤติกรรมของดินและของ เสา เข็ม เมื่อถูกแรงมากระทำ และสามารถแปลความหมายสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินที่วัดมาได้ และสามารถนำไปใช้ได้โดยถูกต้อง

#### 4.1 วิธีการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยทั่วไป

การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเดี่ยว โดยใช้วิธี Static Method ทำได้ โดยการหาผลรวมของการรับน้ำหนักของ เสา เข็มอันเนื่องมาจากความตึคแน่นและ/หรือความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ผิวประสิทธิผลของ เสา เข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบเสาเข็ม ( $Q_s$ ) และการรับน้ำหนักของ เสา เข็มอันเนื่องมาจากแรงถารของดินบริเวณส่วนปลายและใต้ปลายของ เสา เข็ม ( $Q_p$ ) ลบด้วยน้ำหนัก ( $W_p$ ) ของเสาเข็มเอง

$$Q = Q_s + Q_p - W_p \quad (4.1)$$

การรับน้ำหนักของเสาเข็มอันเนื่องมาจากความตึคแน่นและ/หรือความเสียดทานสามารถที่จะทำได้โดยการหาผลรวมของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ผิวประสิทธิผลของ เสา เข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบตลอดระยะการจยลึกของเสาเข็ม ดังสมการที่ (4.2)

$$Q_s = \sum f_s \cdot A_s \quad (4.2)$$

- ในเมื่อ
- $f_s = c_a + K_s \sigma_v \tan \phi_a$
  - $c_a =$  ความตึคแน่นระหว่างเสาเข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบเสาเข็ม =  $\alpha \cdot c$
  - $\alpha =$  ตัวประกอบความตึคแน่น
  - $c =$  ความเชื่อมแน่น
  - $K_s =$  สัมประสิทธิ์ความดันทางข้างของดิน
  - $\sigma_v =$  ความเค้นในแนวตั้ง (Vertical Stress)
  - $\phi_a =$  มุมของแรงเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับดิน
  - $A_s =$  พื้นที่ผิวประสิทธิผลของเสาเข็ม =  $P \cdot L$
  - $P =$  เส้นรอบรูปของเสาเข็ม (สำหรับเสาเข็มกลมและสี่เหลี่ยม)
  - $L =$  ระยะจยลึกของเสาเข็ม

การรับน้ำหนักของเสาเข็ม อันเนื่องมาจากแรงธรรที่ปลายของเสาเข็ม สามารถที่จะหาได้จากการคำนวณดังสมการที่ (4.3) โดยใช้ Bearing-Capacity Theory

$$Q_p = A_p (c \cdot N_c + \sigma_{vb} \cdot N_q + 0.5 \gamma \cdot d \cdot N_\gamma) \quad (4.3)$$

ในเมื่อ  $A_p$  = พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม

$c$  = ความเชื่อมแน่นของดิน

$\sigma_{vb}$  = ความเค้นในแนวตั้งที่ระดับปลายเสาเข็ม

$\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน

$d$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

$N_c, N_q, N_\gamma$  = ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธรรของดิน

สมการที่ (4.1), (4.2) และ (4.3) เป็นสมการโดยทั่ว ๆ ไป ที่ใช้ในการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเดี่ยว การคาดคะเนจะให้ผลถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงเพียงใด จะขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินได้เหมาะสมตรงกับสภาพความเป็นจริง ถ้าหากการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มพิจารณาภายใต้เงื่อนไข Undrain หรือ Short Term Condition การใช้พารามิเตอร์ ได้แก่  $c, \phi, c_a$  และ  $\gamma$  ควรจะเลือกใช้ภายใต้เงื่อนไขอันเดียวกัน คือ Undrain Condition โดยที่ความเค้นในแนวตั้งที่ใช้  $\sigma_v$  และ  $\sigma_{vb}$  ควรจะเป็น Total Stresses ในทางตรงกันข้ามหากเลือกใช้การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มภายใต้ Long-Term Condition และความเค้นในแนวตั้งจะต้องใช้ Effective Stresses ตามปกติจะใช้ความเค้นในแนวตั้งมีค่าเท่ากับ Overburden Pressure ซึ่งสำหรับดินเหนียวแล้วจะให้ค่าถูกต้องเป็นที่เชื่อถือได้ แม้ว่าในบริเวณที่ใกล้กับเสาเข็มตาม อย่างไรก็ตามในชั้นดินทรายได้มีผู้พบว่า ความเค้นในแนวตั้งในบริเวณที่ใกล้กับเสาเข็มจะมีค่าน้อยกว่า Overburden Pressure เมื่อระยะจมน้ำของเสาเข็มมีค่ามากกว่าความลึกวิกฤต ซึ่งจะได้นำรายละเอียดอีกครั้งในหัวข้อ 4.3

#### 4.2 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในเมื่อเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว

สำหรับเสาเข็มในชั้นดินเหนียวโดยปกติทั่วไป การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกจะกระทำภายใต้เงื่อนไข Undrain Condition นอกเสียจากว่าดินเหนียวเป็นดินเหนียวจำพวก Highly Overconsolidated. POULOS AND DAVIS (1980) เมื่อดินเหนียวอยู่ในสภาพอึดตัวจะส่งผลทำให้มุมเสียดทานภายในภายใต้เงื่อนไขที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำในดิน (Undrained) มีค่าเป็นศูนย์ ทำให้  $\phi_a$  มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะทำให้  $N_q = 1$  และ  $N_\gamma = 0$  ดังนั้น จากสมการที่ (4.1), (4.2) และ (4.3) จะได้ว่า

$$Q = \Sigma c_a \cdot A_s + A_p (c_u \cdot N_c + \sigma_{vb}) - W_p \quad (4.4)$$

จากสมการที่ (4.4) ถ้าหากว่าเสาเข็มไม่ได้เป็นเสาเข็มที่ทำการขยายปลายให้ใหญ่ออกไป (Enlarged Base) และสมมุติให้น้ำหนักของดินที่ถูกเสาเข็มแทนที่มีค่าเท่ากับน้ำหนักของเสาเข็ม จากสมการที่ (4.4) จะได้ว่า

$$Q = \Sigma c_a \cdot A_s + A_p \cdot c_u \cdot N_c \quad (4.5)$$

ในเมื่อ  $c_a$  = ความตึงแน่นระหว่างเสาเข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบเสาเข็มภายใต้ Undrain Condition =  $\alpha \cdot c_u$

$\alpha$  = ตัวประกอบความตึงแน่นระหว่างเสาเข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบเสาเข็ม

$c_u$  = ความเชื่อมแน่นของดินภายใต้ Undrain Condition

##### 4.2.1 ตัวประกอบความตึงแน่น

ตัวประกอบความตึงแน่น ( $\alpha$ ) เป็นค่าที่ทำการประเมินได้ยากทั้งนี้ก็เพราะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น รูปร่างทางด้านเรขาคณิตและขนาดของเสาเข็ม วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม (เสาเข็มคอกหรือเสาเข็มเจาะ) ตลอดจนสมบัติทางด้านวิศวกรรมของมวลดินที่ล้อมรอบ

เสาเข็มอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเชื่อมั่นของดิน ค่า  $\alpha$  ของเข็มแต่ละต้นจะมีค่าแตกต่างกันออกไป แม้ว่าเสาเข็มจะอยู่ในสถานที่เดียวกัน และเลือกใช้ชั้นคอนกรีตวิธีการทำเหมือนกันก็ตาม ในอุดมคติค่า  $\alpha$  สำหรับเสาเข็มใด ๆ จะหาได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม นั้นจนพบดี อย่างไรก็ตาม ขณะนี้ยังไม่มีใครทราบว่า ค่า  $\alpha$  และ  $c_u$  ที่เกิดขึ้นจริงในสนามควรจะมีเท่าไร ดังนั้น การเลือกใช้  $\alpha$  และ  $c_u$  จึงต้องอยู่ในดุลยพินิจของวิศวกรผู้ออกแบบ โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบเสาเข็มมาแล้วในอดีตเป็นตัวชี้แนะ

การศึกษาและทดสอบเพื่อหาค่า  $\alpha$  ที่ใช้สำหรับเสาเข็มคอกในอดีตที่ผ่านมาแล้ว นั้น ได้มีผู้ศึกษาทดสอบหลายรายด้วยกัน เช่น TOMLINSON (1957, 1970) PECK (1958), WOODWARD et al (1961) COYLE AND REESE (1966), VESIC (1967) MORGAN AND POULOS (1968), McCLELLAND (1972) McCLELLAND (1974) ผลการทดสอบได้พบว่า สำหรับดินอ่อนมาก  $\alpha$  จะมีค่าเท่ากับ 1 และ  $\alpha$  จะมีค่าลดลงเมื่อดินมีค่าความเชื่อมั่นสูงขึ้น เหตุผลที่จะอธิบายว่าทำไมค่า  $\alpha$  จึงลดลงเมื่อดินมีค่าความเชื่อมั่น  $c_u$  สูงขึ้น TOMLINSON (1959) ได้ให้เหตุผลว่า การคอกเสาเข็มนั้นจะทำให้ดินถูกรบกวนโดยเฉพาะในขณะทำการคอกเสาเข็มจะเกิดการสั่นสะเทือน (Vibration) ขึ้น ขวลดินจึงแยกตัวออกจากพื้นที่ผิวของเสาเข็ม ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเสาเข็มกับขวลดินที่ล้อมรอบเสาเข็มอยู่ สำหรับดินอ่อนเมื่อปล่อยให้เวลาเลยไปสักกระยะหนึ่งดินอ่อนจะคืนสู่สภาพเดิม (Regain) ทำให้ช่องว่างดังกล่าวลดลงไป หรือไม่มีช่องว่างเหลืออยู่เลย ค่า  $\alpha$  ที่ได้จึงมีค่าสูง สำหรับดินแข็งการคืนตัวกลับเข้าสู่สภาพเดิมจะเป็นไปได้ช้าหรือเป็นไปไม่ได้เลยทำให้มีช่องว่างอยู่ระหว่างเสาเข็มกับดิน ค่า  $\alpha$  ที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าค่าที่หาได้จากดินอ่อน

สำหรับการทำเสาเข็มเจาะ การหาค่า  $\alpha$  ได้มีผู้ศึกษาหลายรายด้วยกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มเจาะในดินเหนียวลอนคอน ผลของการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งค่า  $\alpha$  ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเป็นค่าที่ได้จากการศึกษา วิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะในดินเหนียวที่ประเทศอังกฤษ ของ SKEMPTON (1959) ซึ่งเขาได้พบว่าค่า  $\alpha$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0.30 ถึง 0.60 โดยเขาแนะนำให้ใช้ค่า  $\alpha = 0.45$  สำหรับการทำเสาเข็มเจาะโดยทั่วไปที่สามารถทำการขุดเจาะและ

เทคอนกรีต เสริมในเวลาอันรวดเร็ว ส่วนเสริมเจาะที่ทำโดยการขยายปลายเสาเข็มให้ใหญ่  
ออกไปจะใช้เวลาในการขุดเจาะหลุมและเทคอนกรีตนานควรใช้ค่า  $\alpha = 0.30$  อย่างไรก็ตาม  
 $c_a$  ที่ใช้จะต้องมีค่าไม่มากกว่า ๑.๘ ดันต่อตารางเมตร TOMLINSON (1981)

O'NEILL AND REESE (1972) ได้กำหนดให้ใช้ค่าตัวประกอบสำหรับการ  
การอ่อนตัวของดินเนื่องมาจากการขุดเจาะและการเทคอนกรีต โดยเขาได้แสดงความสัมพันธ์  
ระหว่างตัวประกอบดังกล่าว ดังสมการที่ (4.2.1)

$$\alpha_{ave} = (\alpha_{11} \cdot \alpha_{12} \cdot \alpha_{13}) \alpha_2 \cdot \alpha_3 \quad (4.2.1)$$

ในเมื่อ  $\alpha_{ave}$  = ค่าเฉลี่ยตลอดระยะจวมลึกของเสาเข็มของตัวประกอบความค  
แน่นระหว่างเสาเข็มกับดินที่ล้อมรอบเสาเข็ม

$\alpha_{11}$  = ตัวประกอบอันเนื่องมาจากดินถูกรบกวนในขณะขุดเจาะหลุม

$\alpha_{12}$  = ตัวประกอบอันเนื่องมาจากการอ่อนตัวของดิน เนื่องมาจากการ

เทคอนกรีต

$\alpha_{13}$  = ตัวประกอบอันเนื่องมาจากการเกิด Surface Shrinkage

$\alpha_2$  = ตัวประกอบความคแน่นของเสาเข็มและดินที่ล้อมรอบเสาเข็ม

$\alpha_3$  = ตัวประกอบอันเนื่องมาจากการใช้เบนโทไนท์ในการขุดเจาะหลุม

จากการศึกษาทดลองใน Beaumont Clay O'NEILL AND REESE (1972)

ได้กำหนดให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ  $\alpha_{11} = 0.65$ ,  $\alpha_{12} = \alpha_{13} = 1 - \frac{25}{L} 0.1$   
(ในเมื่อ L คือ ความยาวของเข็มมีหน่วยเป็นฟุต),  $\alpha_2 = 1$  และ  $\alpha_3 = 0.6$  เมื่อใช้เบนโทไนท์  
ช่วยในการขุดเจาะหลุม หรือ  $\alpha_3 = 1$  สำหรับการขุดเจาะแบบแห้ง ถ้าหากนำค่าไปใช้สำหรับ  
การทำเสาเข็มเจาะแบบแห้งในดินลอนคอน โดยที่เข็มมีความยาว 40 ฟุต จะได้ค่า  $\alpha_{ave} =$   
0.57 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่แนะนำให้ใช้โดย SKEMPTION (1959) คือ  $\alpha = 0.45$  แล้ว  
จะเห็นว่าค่าที่ได้มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก อย่างไรก็ตามการทดลองของ REESE et al. (1973)

ได้พบว่า การทำเข็มเจาะโดยใช้สารละลายเบนโทไนท์เป็นตัวช่วยเพิ่มเสถียรภาพของหลุมที่เจาะจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยึดเกาะ  $\alpha$  มีค่ามากกว่าที่ได้จากการขุดเจาะ โดยระบบที่ไม่ต้องใช้สารละลายเบนโทไนท์ ซึ่งการทดลองของคนอื่นส่วนมากจะพบว่า การใช้สารละลายเบนโทไนท์จะทำให้  $\alpha$  ลดลง TOMLINSON (1981) ได้แนะนำให้ใช้  $\alpha_g$  ในสมการที่ (4.2.1) มีค่า  $= 0.80$  นั่นคือ เมื่อขุดเจาะหลุมโดยใช้สารละลายเบนโทไนท์จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยึดเกาะลดลง 20 % จากค่าที่ได้จากการขุดเจาะโดยไม่ใช้สารละลายเบนโทไนท์

สำหรับในกรุงเทพฯ นั้น ค่า  $\alpha$  ที่พบสำหรับดินอ่อนมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1 (BRAND, 1970; MUKTA BHANT AND SUWANAKUL (1971) และจากการศึกษาของ HOLMBERG (1970) สำหรับเสาเข็มที่ใช้วัสดุแตกต่างกันและความเค้นเฉือนของดินแตกต่างกันในกรุงเทพฯ จะได้ค่า  $\alpha$  มีค่าเข้าใกล้ 1 สำหรับดินอ่อน และค่า  $\alpha$  จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความเค้นเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.2

#### 4.2.2 ค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธรรของดินเหนียว ( $N_c$ )

การคำนวณตามทฤษฎีและผลจากการทดสอบเสาเข็มจริงในสนามที่ได้ทำกันมาแล้วในอดีต ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.3 และ 2.5 พบว่า ค่าที่เป็นที่ยอมรับและนำมาใช้ในการคาดคะเนวิสัยสามารถรับแรงธรรของเสาเข็มในดินเหนียว คือ  $N_c = 9$  อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหน่วยแรงเฉือนของดินเหนียวตรงบริเวณส่วนปลายของเสาเข็มที่หามาได้จากการทดสอบตัวอย่างดินในห้องทดลอง กับหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริงในสนามเมื่อเสาเข็มถูกแรงมากระทำจะมีค่าแตกต่างกัน เพื่อเป็นการแก้ความผิดพลาดที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เหล่านี้ SKEMPTON (1966) ได้แนะนำให้ใช้ตัวประกอบลดค่าของความเค้นเฉือนมีค่าเท่ากับ 0.80 และ 0.75 สำหรับเสาเข็มเจาะในดินอ่อนคอนกรีตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 เมตร และมากกว่า 1 เมตร ตามลำดับ

#### 4.3 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในเมื่อเสาเข็มอยู่ในชั้นดินทราย

สำหรับเสาเข็มในชั้นดินทราย น้ำหนักบรรทุกวิกฤตของเสาเข็มจะเกิดขึ้นภายใต้สภาพ

การคายน้ำของดิน ดังนั้น พารามิเตอร์ที่ใช้ควรจะใช้ภายใต้สภาพการคายน้ำด้วย โดยความเค้นในแนวตั้งจะต้องใช้ความเค้นประสิทธิผล ซึ่งดินทรายล้วนความชื้นแน่นจะมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้  $c_a$  และ  $cN_c$  มีค่าเป็นศูนย์ด้วย โดยการกำหนดให้  $0.50 \gamma_d \cdot N_r$  มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ  $\sigma_{vb} \cdot N_q$  จนสามารถละเลยไม่ต้องนำมาพิจารณา ดังนั้นจากสมการที่ (4.1) (4.2) และ (4.3) จะได้ว่า

$$Q = \sigma'_v \cdot K_s \cdot \tan \phi'_a \cdot A_s + \sigma'_{vb} \cdot N_q \cdot A_p - W_p \quad (4.4)$$

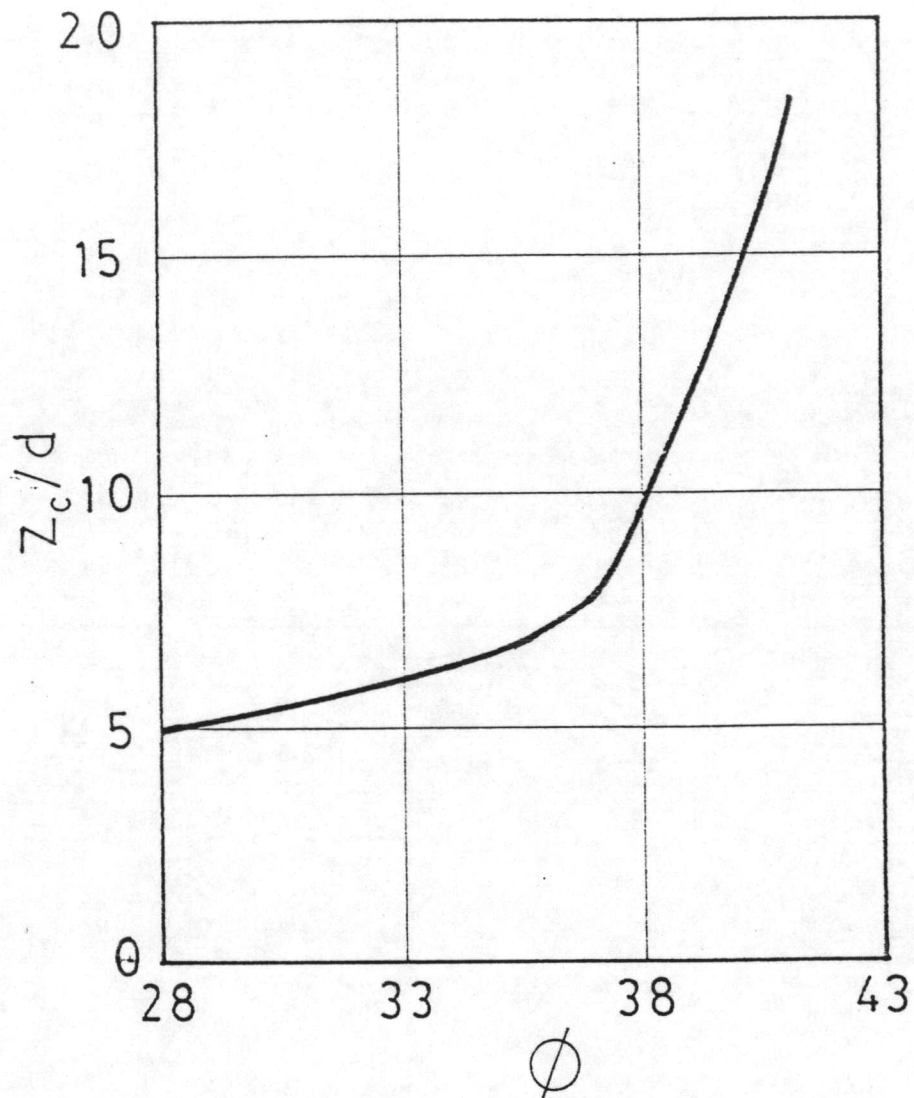
ในเมื่อ  $\sigma'_v$  = ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งที่ระยะความลึกใด ๆ ตลอดความยาวของเสาเข็ม

$\sigma'_{vb}$  = ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งที่ระดับปลายของเสาเข็ม

$\phi'_a$  = มุมแห่งความเสียดทานประสิทธิผลระหว่างเสาเข็มกับมวลดิน

การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มในดินทรายที่ทำกันมาในอดีตจะสมมุติให้ความเค้นในแนวตั้ง  $\sigma'_v$  และ  $\sigma'_{vb}$  ในสมการที่ (4.4) มีค่าเท่ากับ Effective Overburden Pressure แต่ต่อมาจากการวิจัยของ KERISEL (1961) และ VESIC (1967) ได้พบว่า Unit Shaft และ Base Resistance ของเสาเข็มไม่จำเป็นที่จะต้องมีการเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรง (Linearity) กับความลึกแต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด หลังจากนั้นจะมีค่าคงที่ ความลึกที่พอดีทำให้หน่วยแรงดังกล่าวมีค่าสูงสุด เรียกว่า ความลึกวิกฤต ( $Z_c$ ) และนอกจากนี้ VESIC ยังได้พบว่า อัตราส่วนระหว่าง Limiting Unit Point และ Shaft Resistance ของเสาเข็มใน Homogeneous Soil Mass จะไม่ขึ้นกับขนาดของเสาเข็ม แต่จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทราย ( $D_r$ ) และชนิดของเสาเข็ม (เสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะ) ผลจากการวิจัยที่ได้กล่าวแล้วแสดงให้เห็นว่า ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งบริเวณใกล้กับเสาเข็มไม่จำเป็นที่จะต้องมีการเพิ่มขึ้นเท่ากับ Effective Overburden Pressure แต่จะมีค่าสูงสุดที่ความลึกวิกฤตจากการทดสอบของ VESIC พบว่าเมื่อความหนาแน่นสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 30 % จะได้  $Z_c = 10d$  และเมื่อค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 70 % จะได้  $Z_c = 20 \cdot d$  และโดยการ





เสาเข็มตอก  $\varnothing = \frac{3}{4}\varnothing'_1 + 10$

เสาเข็มเจาะ:  $\varnothing = \varnothing'_1 - 3$

$\varnothing'_1$  = มุมเสียดทานภายในของดินก่อนการ  
ติดตั้งเสาเข็ม

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\varnothing$  &  $Z_c / d$

( Base on VESIC, 1967 )

อาศัยผลการทดลองของ VESIC (1967) ประกอบกับความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทานภายในประสิทธิผลของดินกับความหนาแน่นสัมพัทธ์ ( $\phi = 28 + 15 \cdot D_r$ ) ซึ่งแนะนำโดย MDYERHOF (1956). POULUS และ DAVIS (1980) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ ) กับอัตราส่วนระหว่างความลึกวิกฤตกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม ( $Z_c/d$ ) ดังได้แสดงตามรูปที่ 4.1

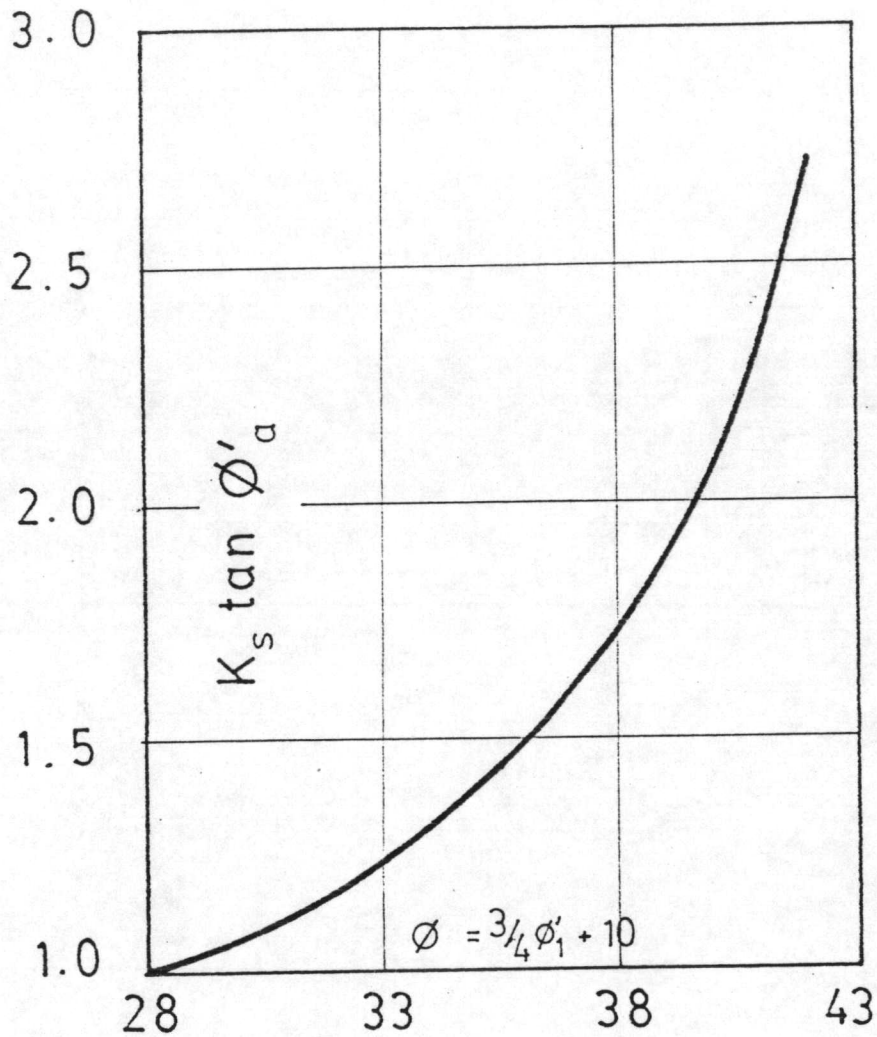
#### 4.3.1 สัมประสิทธิ์ความต้านทางข้างของดิน ( $K_s$ )

สัมประสิทธิ์ความต้านทางข้างของดินเป็นค่าที่ทำการประเมินได้ยากเนื่องจากจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ความหนาแน่น เริ่มต้นของทราย (Initial Density of Sand) รูปร่างของเสาเข็มชนิดของเสาเข็มและมุมเสียดทานภายในของดิน เป็นต้น MEYERHOF (1950) ได้แนะนำให้ใช้ค่า  $K_s = 0.50$  สำหรับดินทรายในสภาพร่วน และ  $K_s = 1$  สำหรับดินทรายในสภาพแน่น จากการศึกษาผลที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มของ MEYERHOF. BROMS (1966) ได้ชี้ให้เห็นว่า ค่าของ  $K_s$  ที่ให้ไว้โดย MEYERHOF จะให้ความเสียดทานมีค่าน้อยสำหรับเสาเข็มคอนกรีตและเสาเข็มไม้ BROMS จึงได้แนะนำให้ใช้ค่า  $K_s$  เสียใหม่ ตามตารางที่ 2.2 ซึ่งค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าที่ใช้สำหรับเสาเข็มตอก SOWERS (1979) ได้แนะนำให้ใช้ค่า  $K_s$  ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สัมประสิทธิ์ความต้านทางข้างของดินทราย  $K_s$  โดยรอบเสาเข็มในขณะที่เสาเข็มพิบัติ

ความแน่นของดิน	ชนิดของเสาเข็ม	$K_s$
ทรายเป็นร่วน $D_r < 30 \%$	เสาเข็มเจาะ	0.75-1.50
	เสาเข็มตอก	2.0 -3.0
ทรายเป็นแน่น $D_r > 70 \%$	เสาเข็มเจาะ	1.0 -2.0
	เสาเข็มตอก	3.0 -4.0

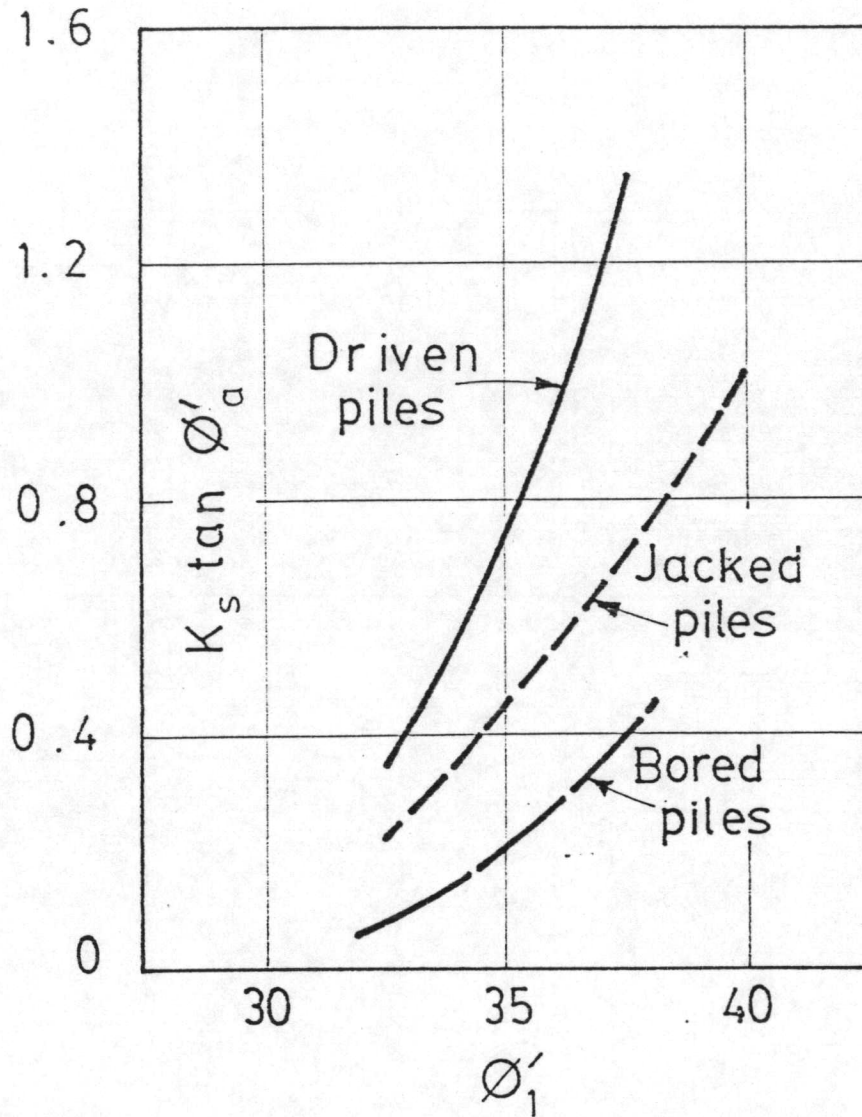
POULOS และ DAVIS (1980) ได้อาศัยผลการทดลองเสาเข็มที่ตอกในดินทรายของ VESIC



$\phi'_1$  = มุมเสียดทานภายในของดินก่อนการตอกเสาเข็ม

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi$  &  $K_s \tan \phi'_a$  สำหรับเสาเข็มตอก

( Based on VESIC , 1967 )



$\phi'_1$  = มุมเสียดทานภายในของดินก่อนการติดตั้งเสาเข็ม

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi'_1$  &  $K_s \tan \phi'_a$

( Based on MEYERHOF, 1976 )

(1976) มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi$  และ  $K_s \cdot \tan \phi'_a$  ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.2 โดย POULOS และ DAVIS ได้ให้ข้อสังเกตว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi$  และ  $K_s \cdot \tan \phi'_a$  ที่แสดงในรูปที่ 4.2 ได้จากผลของการทดสอบเสาเข็มเหล็ก อย่างไรก็ตามหากเสาเข็มเป็นวัสดุอย่างอื่นที่ไม่ใช่เหล็กการใช้รูปที่ 4.2 ในการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจะให้ผลซึ่งมีความผิดพลาดอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้

สำหรับเสาเข็มเจาะค่า  $K_s \cdot \tan \phi'_a$  . ที่ได้จากรูปที่ 4.2 จะมีค่ามากเกินไป POULOS และ DAVIS (1980) แนะนำให้ใช้ค่าที่ได้จากข้อมูลของ MEYERHOF (1976) ซึ่งจะให้ผลที่ถูกต้องกับความจริงมากกว่า โดยการกำหนดให้  $\phi'_a = 0.75 \phi$  จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi$  และ  $K_s \cdot \tan \phi'_a$  ดังที่แสดงในรูปที่ 4.3

#### 4.3.2 ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงฮารของคันทราย ( $N_q$ )

ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงฮารของคันทราย ( $N_q$ ) สำหรับเสาเข็มตอก TOMLINSON (1981) ได้แนะนำให้ใช้ค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงฮารของ BEREZANTSEV (1961) ดังที่แสดงในรูป 4.5 และค่าสูงสุดของ Unit Base Resistance จะต้องมีค่าไม่เกิน 100 ตันต่อตารางเมตร

สำหรับการทำเสาเข็มเจาะในคันทราย การขุดเจาะจะมีผลกระทบกระเทือนต่อวิสัยสามารถรับแรงฮารของเสาเข็ม TOMLINSON (1981) แนะนำให้ใช้มุมเสียดทานภายในสำหรับการคำนวณหาค่าวิสัยความสามารถรับแรงฮารของเสาเข็มมีค่าอยู่ระหว่าง  $28^\circ - 30^\circ$  นอกเสียจากว่า การขุดเจาะจะใช้ Power Auger หรือใช้การขุดเจาะแบบไหลวนกลับโดยใช้เบนโทไนท์สเลอรี่ จึงจะยินยอมให้ใช้มุมเสียดทานภายในของดิน ( $\phi$ ) ในสภาพที่ยังไม่ถูกรบกวนได้ โดยการวิเคราะห์จากผลการทดสอบเสาเข็มในสนาม VESIC (1977) ได้แนะนำให้ใช้ค่า  $N_q$  ดังนี้

ความแน่นของดินทราย	ความหนาแน่นสัมพัทธ์	$N_q$	
		เสาเข็มตอก	เสาเข็มเจาะ
แน่นมาก	มากกว่า 80	60-200	40-80
แน่น	60-80	40-80	20-40
แน่นปานกลาง	40-60	25-60	10-30
ร่วน	น้อยกว่า 40	20-30	5-15

หมายเหตุ ค่า  $N_q$  ที่มีค่ามากใช้สำหรับเสาเข็มสั้น

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปแล้ว ในชั้นดินทรายจะรู้แค่เพียงค่า Standard Penetration Test (N) เท่านั้น ดังนั้น การหามุมเสียดทานภายในของดินจึงต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง N และ  $\phi$  ที่เสนอโดย PECK, HANSEN AND THORNBURN (1974) ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.4 เนื่องจากค่า N จะขึ้นอยู่กับ Over-burden Pressure เพื่อเปลี่ยนค่า N ไปที่ Standard Pressure คือที่ 1 ตัน/ม<sup>2</sup> จึงต้องทำการแก้ไขค่า N เสียก่อนที่จะนำไปหาค่า  $\phi$  ตามสมการที่ (4.5)

$$N' = C_N \cdot N \quad (4.5)$$

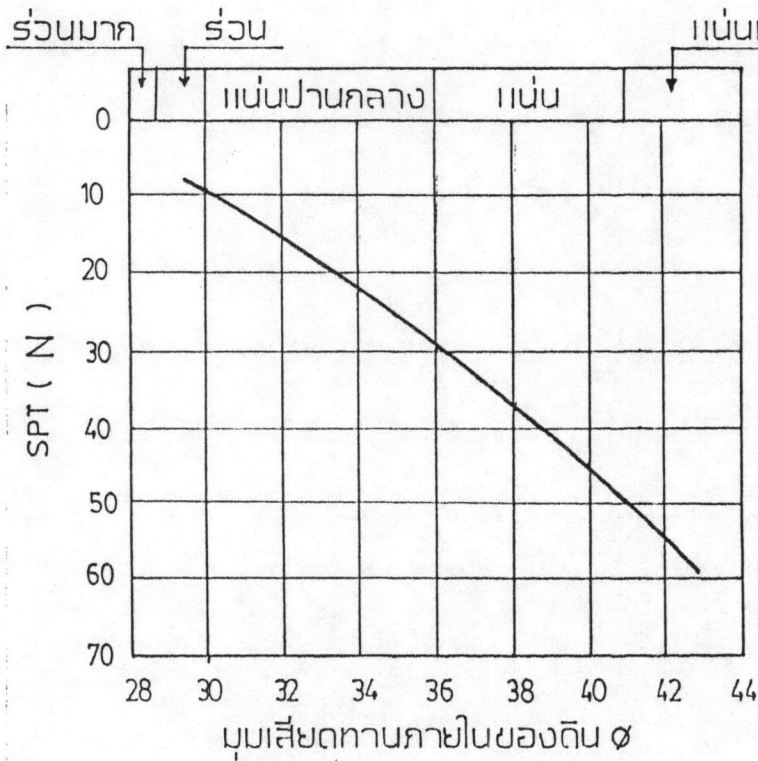
$$C_N = 0.77 \log \frac{195.30}{\sigma_v}$$

ในเมื่อ  $N' = \text{Corrected SPT}$

$N = \text{SPT}$

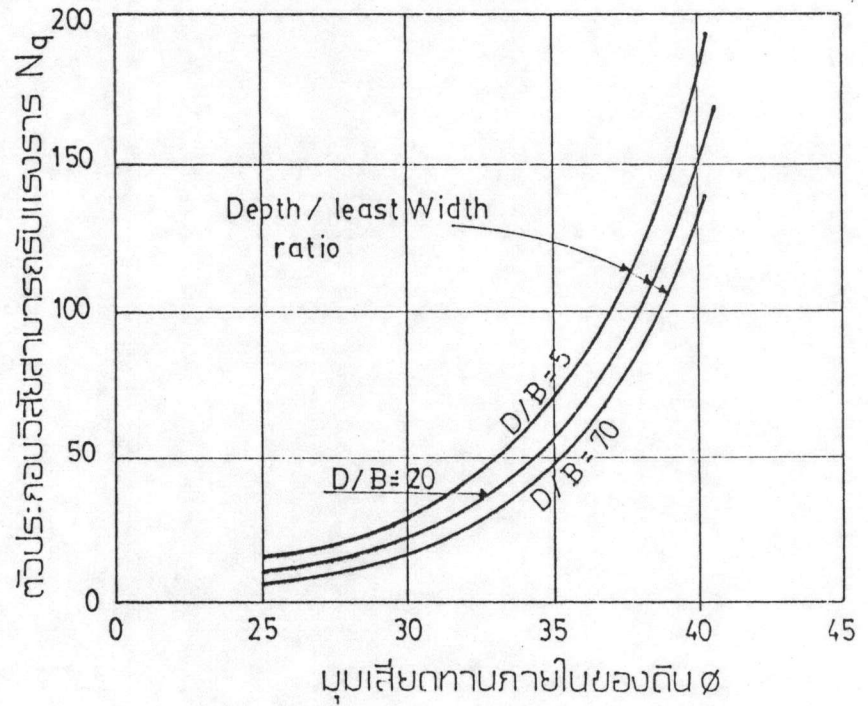
$\sigma_v = \text{Effective Over-burden Pressure, T/m}^2$

สมการที่ 4.5 จะให้ผลถูกต้องเมื่อ  $\sigma_v > 2.44$  ตัน/ตารางเมตร เมื่อ  $\sigma_v < 2.44$  ตัน/ม<sup>2</sup> ให้ใช้ค่า  $C_N = 2.0$  ข้อที่ควรระวังคือ ในการทำ Standard Penetration Test (N) ในดินทรายละเอียดหรือ Silt ที่มีความหนาแน่นมากจะพบว่า ค่า (N) ที่วัดมาได้จากสนามจะมีค่าสูงเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากมี Negative Excesses pore-pressure เกิดขึ้น



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $N$  &  $\phi$

( PECK , etc. 1974 )



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $N_q$  &  $\phi$

( BEREZANTSEV, 1961 )

ในระหว่างที่ทำการทดสอบ

#### 4.4 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มโดยอาศัยผลการทดสอบเสาเข็ม

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มจนพิบัติจะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบเสาเข็มขนาดใหญ่ ดังนั้น ในการทดสอบเสาเข็มโดยปกติทั่วไป ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพียงเพื่อตรวจสอบว่าเสาเข็มจะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานได้ตามที่กำหนดเอาไว้หรือไม่ (Proof Load Test) โดยจะทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุกจนถึงค่าประมาณ 1.5-2 เท่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน อย่างไรก็ตามการทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มจนถึงพิบัติ (Ultimate Load Test) ก็ยังมีความจำเป็นที่จะต้องทำในบริเวณที่ไม่มีประสบการณ์ในการออกแบบเพียงพอ ทั้งนี้ เพื่อที่จะศึกษาและมองหาพฤติกรรมของเสาเข็มในการตอบสนองต่อน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกน และนำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการออกแบบครั้งต่อไป เพื่อที่จะลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดสอบเสาเข็มลง ได้มีผู้พยายามที่จะหาวิธีการสำหรับคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มไม่ถึงพิบัติ วิธีการที่นับได้ว่าสะดวก รวดเร็วและให้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือ วิธีการที่เสนอโดย CHIN (1970) และ MAZURKIEWICZ, B.K. (1972)

##### 4.4.1 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มตามวิธีการของ CHIN (1970)

การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกตามวิธีนี้ อาศัยพื้นฐานที่ได้จากการศึกษา ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับการวิรูปของตัวอย่างดินจากการทดลอง Shear box และ Triaxial Compression Test และจากการทดสอบเสาเข็มจำลองทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ ผลของการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระยะการทรุดตัวจะมีลักษณะ เป็น Hyperbolic และถ้าหากนำเอาอัตราส่วนระหว่างระยะทรุดตัวกับน้ำหนักบรรทุก (S/P) กับระยะทรุดตัว (S) มาเขียนเป็นกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์กันโดยให้ S/P เป็นแกนนตั้งและ S เป็นแกนนอนจะได้เป็นเส้นตรงซึ่งมีสมการตายสมการที่ (4.6)

$$\frac{S}{P} = m \cdot S + C \quad (4.6)$$



- ในเมื่อ  $S =$  ระยะทรุดตัวของหัวเสาเข็ม  
 $P =$  น้ำหนักบรรทุกทดสอบเสาเข็ม  
 $m =$  ความชันของเส้นตรงที่ได้  
 $C =$  จุดตัดของเส้นตรงกับแกนตั้ง

น้ำหนักบรรทุกประลัย คือ ส่วนกลับของความชันของเส้นตรง  $\left(\frac{1}{m}\right)$

#### 4.4.2 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็มตามวิธีการของ MAZURKIEWICZ (1972)

การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกตามวิธีการนี้จะอาศัยสมมุติฐานที่ว่าลักษณะของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบเสา เข็มกับระยะการทรุดตัวของ เสา เข็มจะเป็นรูปพาราโบลา (Parabola) เมื่อเสา เข็มที่ขีติ การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยทำได้โดย การเลือกระยะทรุดตัวของหัวเสา เข็มขึ้นมาหลาย ๆ ค่าโดยให้อยู่ในอนุกรมก้าวหน้าเลขคณิต จากนั้นจะหาน้ำหนักบรรทุกทดสอบเสา เข็มที่ระยะทรุดตัวของหัว เสา เข็มทุกค่าที่เลือกขึ้นมาจากกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับระยะการทรุดตัวของหัว เสา เข็ม จากนั้นน้ำหนักบรรทุกที่ทำได้ แต่ละค่าให้ลากเส้นทำมุม  $45^{\circ}$  กับแกนแสดงน้ำหนักบรรทุกทดสอบ เสา เข็ม ไปตัดกับ เส้นตรงที่ลากขนานกับแกนแสดงระยะการทรุดตัวที่ผ่านค่าน้ำหนักบรรทุกตัวถัดขึ้นไป ซึ่งจะมีค่ามากกว่า MAZURKIEWICZ (1972) พบว่าจุดตัดเหล่านี้จะอยู่ในแนว เส้นตรงโดยประมาณ จุดตัดของเส้นตรงที่ลากเชื่อมจุดเหล่านี้กับแกนแสดงน้ำหนักบรรทุกทดสอบ เสา เข็ม คือ น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสา เข็ม แมื่อน้ำหนักบรรทุกทดสอบ เสา เข็มสูงสุดจะมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสา เข็มก็ตาม