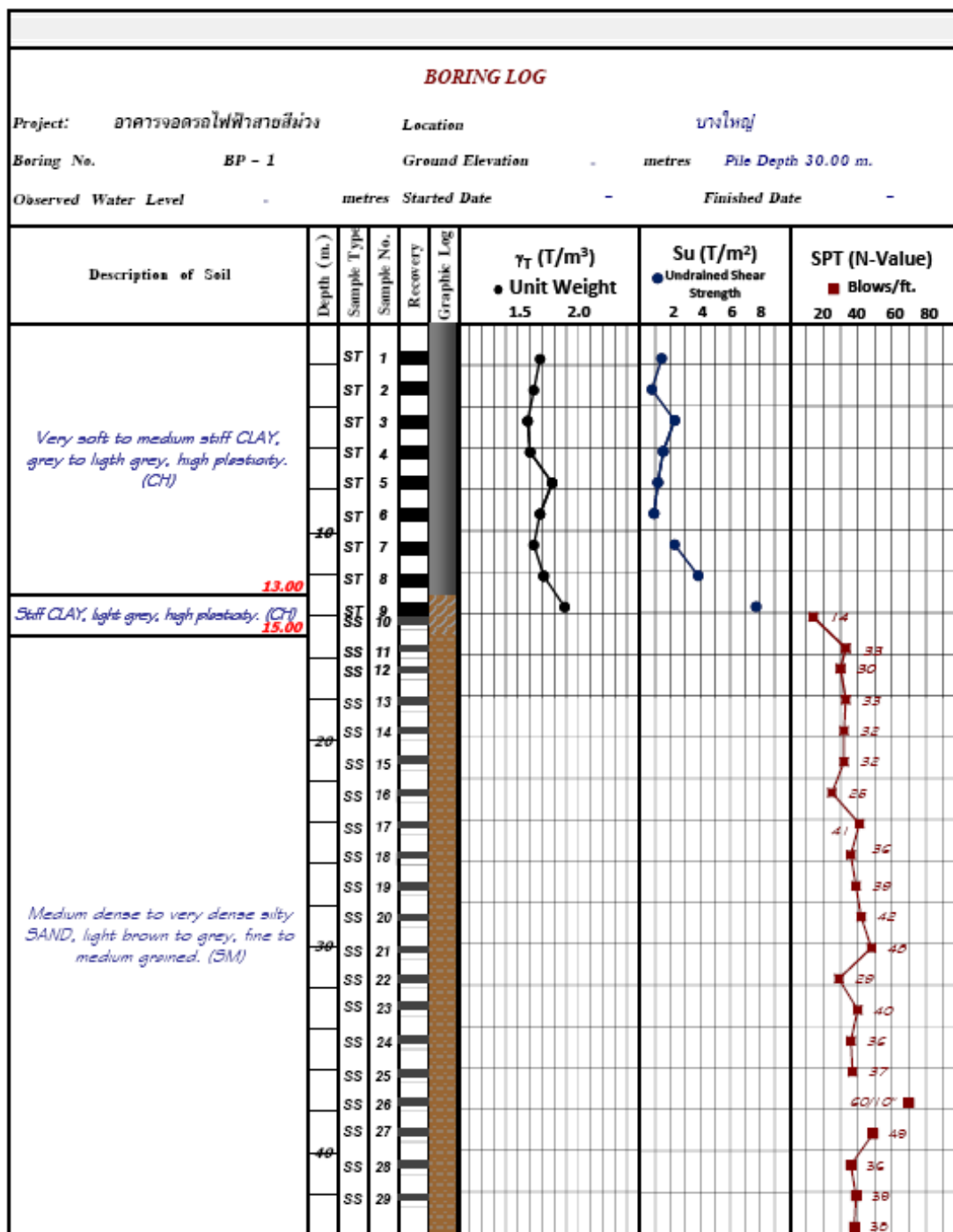


ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณประเมินค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็ม

ก.1 ข้อมูลการคำนวณเบื้องต้น

แสดงตัวอย่างรายการคำนวณของเสาเข็มตอกตันที่ P-1 ซึ่งเป็นเสาเข็มตอกชนิด Spun มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 ม. ความยาวเสาเข็ม 30.00 ม.



รูปที่ ก.1 ข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดิน BP-1

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของชั้นดินต่างๆจากการเจาะสำรวจจนถึงระดับความลึกปลายเสาเข็มของโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง (P-1)

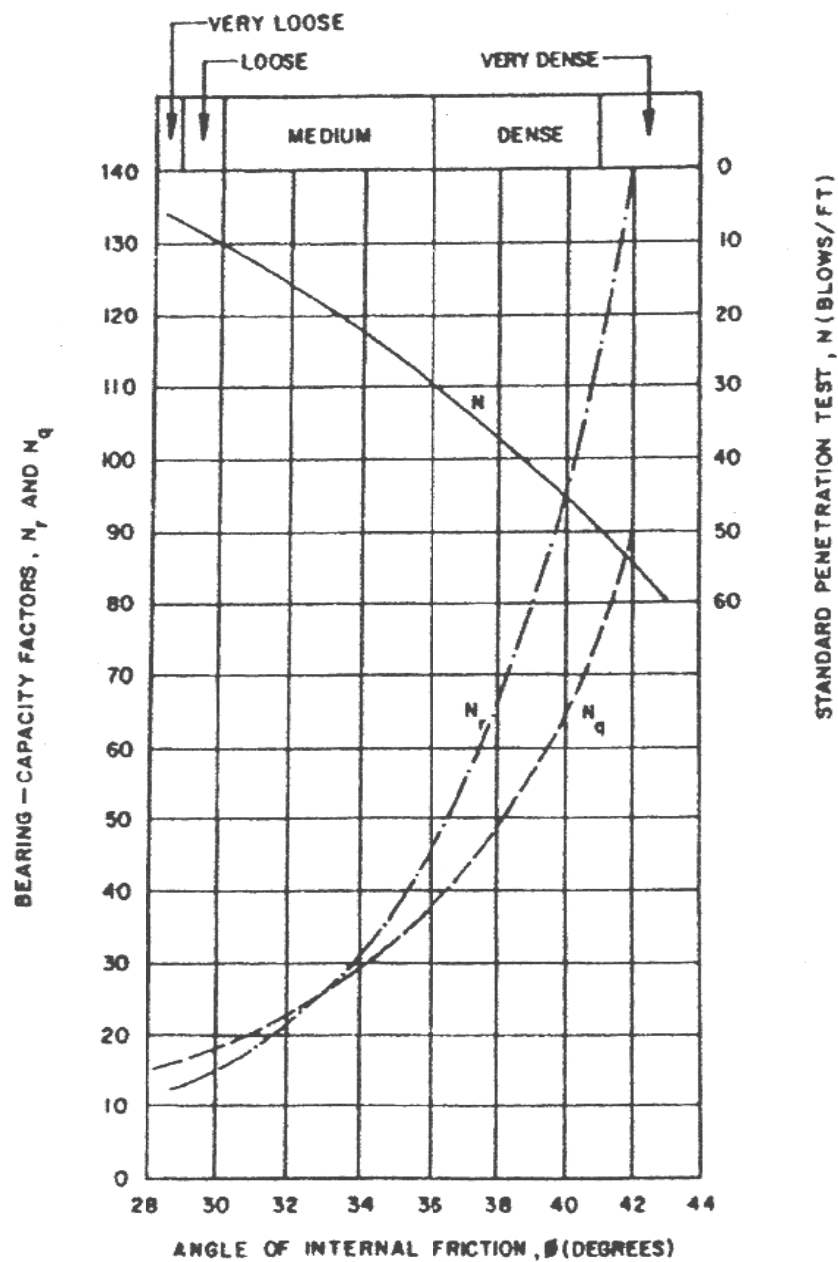
ชั้นดิน	ความลึก (ม.)		ความลึกของชั้น (ม.)	ชนิดดิน	γ (ตัน/ลบ.ม.)	SPT-N (Blows/ft.)	Su (ตัน/ตร.ม.)
	จาก	ถึง					
1	0.00	13.00	13.00	CH	1.69	-	1.52
2	13.00	15.00	2.00	CH	1.85	14	7.65
3	15.00	30.00	15.00	SM	2.00	36	-

ตารางที่ ก.2 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นดิน

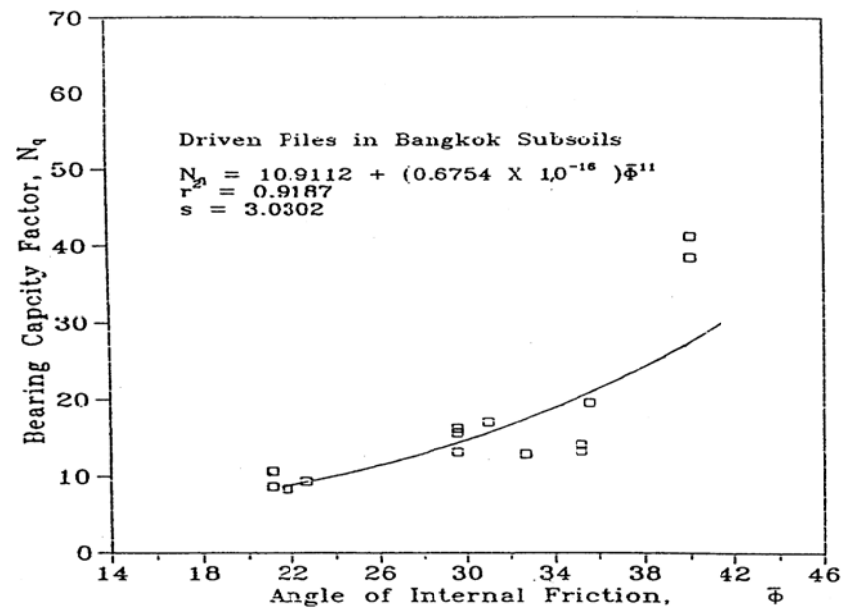
พารามิเตอร์	การคำนวณ
$N_{\text{correct}(\text{clay})}$	-
$N_{\text{correct}(\text{sand})}$	$15 + 0.5(N-15)$
$S_u \text{ (t/m}^2\text{)}$	$q_u = 1.37N_{\text{correct}}$
N_c	9 (Meyerhof, 1976)
N_q	$N_q = 10.9 + (0.6754 \times 10^{-16}) \phi^{11}$ (Suchada, 1989) (รูปที่ ก.3)
ϕ	(Peck, et.al, 1948) (รูปที่ ก.2)

ตารางที่ ก.3 ค่าพารามิเตอร์ ϕ , YSR (Uchaipichat, 1988), (Navaneethan, 1999), (Noulmanee, 2001) และ S_t (Kiatphongsa, 2005) ของดินเหนียวกรุงเทพฯ

ความชื้นเหลว	SPT	S_u (ตัน/ตร.ม.)	S_t	YSR	ϕ
อ่อนมาก	0-2	<1.25	4.62	2.75	23
อ่อน	2-4	1.25-2.5	5	3	23
ปานกลาง	4-8	2.5-5	8	4	26
เหนียว	8-15	5-10	10	4.5	26
เหนียวมาก	15-30	10-20	12	5	28
แข็ง	>30	>20	16	5.5	28
ทราย	all	-	1.00	5.5	(รูปที่ ก.2)



รูปที่ ก.2 กราฟประเมินค่า ϕ โดย Peck, et al. (ข้อมูลจาก : Peck, 1948)



รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทาน ϕ กับสัมประสิทธิ์ของการรับน้ำหนักบรรทุก, N_q สำหรับเสาเข็มตอก (ข้อมูลจาก : Suchada, 1989)

หรือ หา N_q จากสูตร
$$N_q = 10.9 + (0.6754 \times 10^{-16}) \phi^{11} \quad (\text{ก.1})$$

ก.2 การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม วิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989)

ก.2.1 คำนวณแรงต้านทานที่ผิวเสาเข็ม (Skin Friction)

สำหรับชั้นดินเหนียว จากสมการ $Q_s = \alpha \cdot Su \cdot A_p$ (ความยาวเส้นรอบรูป, $A_p = 1.885$ ม.)

$$\text{เมื่อ } \alpha = 0.9375e^{-0.0535Su}$$

$$\text{ชั้นที่ 1 (CH)} \quad \alpha = 0.9375e^{-0.0535 \times 1.52} = 0.864$$

$$(\text{ลึก 13.00 ม.}) \quad Q_{s1} = 0.864 \times 1.52 \times (1.885 \times 13.00) = 32.03 \text{ ตัน}$$

$$\text{ชั้นที่ 2 (CH)} \quad \alpha = 0.9375e^{-0.0535 \times 7.65} = 0.623$$

$$(\text{ลึก 2.00 ม.}) \quad Q_{s2} = 0.623 \times 7.65 \times (1.885 \times 2.00) = 17.88 \text{ ตัน}$$

$$\text{สำหรับชั้นทราย จากสมการ } Q_s = \sigma'_{vo} \cdot K_s \tan \delta \cdot A_s$$

$$K_s = 1 - \sin \phi$$

$$\text{ชั้นที่ 3 (SM)} \quad \sigma'_{vo} = \sigma'_{vo, \text{mid3}}$$

$$(\text{ลึก 15.00 ม.}) \quad \sigma'_{vo, \text{mid3}} = \{1.69 \times 13.00 + 1.85 \times 2.00 + 2.00 \times (15.00/2)\} -$$

$$\{1.00 \times (15.00 + 15.00/2)\}$$

$$= \{21.97 + 3.70 + 15.00\} - 22.50$$

$$= 18.17 \text{ ตัน/ม}^2$$

$$\therefore \sigma'_{vo} = 18.17 \text{ ตัน/ม}^2$$

$$\text{จากค่า SPT-N} = 36 \text{ ครั้ง/ฟุต} \quad N_{\text{corr.}} = 0.5 \times (36 - 15) + 15 = 26 \text{ ครั้ง/ฟุต}$$

จากรูปที่ ก.2 สามารถอ่านค่า ϕ จากกราฟที่ $N = 26$ ได้ $\phi = 35 \text{ degree}$

$$K_s = 1 - \sin \phi$$

$$K_s = 1 - \sin 35 = 0.43$$

$$\tan \delta = \tan (0.75 \times 35) = 0.49$$

$$Q_{s3} = 18.17 \times 0.43 \times 0.49 \times (1.885 \times 15.00)$$

$$= 108.24 \text{ ตัน}$$

ผลรวมของแรงต้านทานที่ผิวเสาเข็ม (Skin Friction)

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}$$

$$= 32.03 + 17.88 + 108.24$$

$$= 158.15 \text{ ตัน}$$

ก.2.2 คำนวณแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing)

ปลายเสาเข็มหยั่งในชั้นทราย $Q_b = N_q \sigma'_{vo} A_b$ (พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม, $A_b = 0.2827 \text{ ม}^2$.)

จากรูปที่ ก.2 สามารถอ่านค่า ϕ จากกราฟที่ $N = 26$ ได้ $\phi = 35 \text{ degree}$

$$\begin{aligned} \text{จาก สูตร ก.1} \quad N_q &= 10.9 + (0.6754 \times 10^{-16}) \bar{\phi}^{11} \\ &= 10.9 + (0.6754 \times 10^{-16}) \times 35^{11} \\ &= 17.42 \end{aligned}$$

$$\sigma'_{vo} = \sigma'_{vo1} + \sigma'_{vo2} + \sigma'_{vo3}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{vo1} &= \{1.69 \times 13.00 + 1.85 \times 2.00 + 2.00 \times 15.00\} - \\ &\quad \{1.00 \times 30.00\} \\ &= 25.67 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_b &= 17.42 \times 25.67 \times 0.2827 \\ &= 126.44 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

ก.2.3 คำนวณกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม (Ultimate Capacity)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad Q_u &= Q_s + Q_b - W \\ W &= 0.408 \times 30.00 \\ &= 12.24 \text{ ตัน} \\ Q_u &= 158.15 + 126.44 - 12.24 \\ &= 272.35 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

ก.3 การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดย Poulos (2001)

ก.3.1 คำนวณแรงต้านทานที่ผิวเสาเข็ม (Skin Friction)

สำหรับชั้นดินเหนียว จากสมการ $Q_s = \alpha \cdot Su \cdot F1 \cdot A_p$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad F1 &= 1 \quad \text{เมื่อ } L/d < 50 \\ &= 0.7 \quad \text{เมื่อ } L/d > 120 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 0.5 / (Su / \sigma'_v)^{1/2} \quad \text{เมื่อ } Su / \sigma'_v < 1 \\ &= 0.5 / (Su / \sigma'_v)^{1/4} \quad \text{เมื่อ } Su / \sigma'_v > 1 \end{aligned}$$

$$\text{ชั้นที่ 1 (CH)} \quad L/d = 13.00/0.6 = 21.67 < 50$$

$$\text{(ลึก 13.00 ม.)} \quad F1 = 1$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{v1} &= (1.69 \times 13.00/2) - (1.00 \times 13.00/2) \\ &= 4.485 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

$$Su/\sigma'_v = 1.52/4.485 = 0.34 < 1$$

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.5/(Su/\sigma'_v)^{1/2} \\ &= 0.5/(0.34)^{1/2} \\ &= 0.857\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{s1} &= 0.857 \times 1.52 \times 1 \times (1.885 \times 13.00) \\ &= 31.92 \text{ ตัน}\end{aligned}$$

ชั้นที่ 2 (CH)
(ลึก 2.00 ม.)

$$L/d = 2.00/0.6 = 3.33 < 50$$

$$F1 = 1$$

$$\begin{aligned}\sigma'_{v2} &= \{(1.69 \times 13.00) + (1.85 \times 2.00/2)\} - \{1.00 \times (13.00 + 2.00/2)\} \\ &= \{21.97 + 1.85\} - \{14.00\} \\ &= 9.82 \text{ ตัน}\end{aligned}$$

$$Su/\sigma'_{v2} = 7.65/9.82 = 0.78 < 1$$

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.5/(Su/\sigma'_v)^{1/2} \\ &= 0.5/(0.78)^{1/2} \\ &= 0.566\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{s2} &= 0.566 \times 7.65 \times 1 \times (1.885 \times 2.00) \\ &= 16.32 \text{ ตัน}\end{aligned}$$

สำหรับชั้นทราย จากสมการ $Q_s = \sigma'_{vo} K_s \tan \delta A_p$

$$\begin{aligned}\sigma'_{v03} &= \{(1.69 \times 13.00) + (1.85 \times 2.00) + (2.00 \times 15.00/2)\} - \\ &\quad \{1.00 \times (15.00 + 15.00/2)\} \\ &= \{21.97 + 3.70 + 15.00\} - \{22.50\} \\ &= 18.17 \text{ ตัน}\end{aligned}$$

จากค่า SPT-N = 36 ครั้ง/ฟุต $N_{corr.} = 0.5 \times (36 - 15) + 15 = 26$ ครั้ง/ฟุต

จากรูปที่ ก.2 สามารถอ่านค่า ϕ จากกราฟที่ N = 26 ได้ $\phi = 35$ degree

$$\begin{aligned}K_s &= 1 - \sin \phi \\ &= 1 - \sin 35 = 0.43\end{aligned}$$

$$\tan \delta = \tan (0.75 \times 35) = 0.49$$

ชั้นที่ 3 (SM)
(ลึก 15.00 ม.)

$$\begin{aligned}Q_{s3} &= 18.17 \times 0.43 \times 0.49 \times (1.885 \times 15.00) \\ &= 108.24 \text{ ตัน}\end{aligned}$$

ผลรวมของแรงต้านทานที่ผิวเสาเข็ม (Skin Friction)

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} \\ &= 31.92 + 16.32 + 108.24 \\ &= 156.48 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

ก.3.2 คำนวณแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing)

ปลายเสาเข็มยังอยู่ในชั้นทราย $Q_b = N_q \sigma'_{vo} A_b$ (พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม, $A_b = 0.2827 \text{ ม}^2$)

จาก รูปที่ ก.2 สามารถอ่านค่า ϕ จากกราฟที่ $N = 26$ ได้ $\phi = 35 \text{ degree}$

$$\begin{aligned} \text{จาก สูตร ก.1} \quad N_q &= 10.9 + (0.6754 \times 10^{-16}) \bar{\phi}^{11} \\ &= 10.9 + (0.6754 \times 10^{-16}) \times 35^{11} \\ &= 17.42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{vo} &= \sigma'_{vo1} + \sigma'_{vo2} + \sigma'_{vo3} \\ \sigma'_{vo} &= \{1.69 \times 13.00 + 1.85 \times 2.00 + 2.00 \times 15.00\} - \\ &\quad \{1.00 \times 30.00\} \\ &= 25.67 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_b &= 17.42 \times 25.67 \times 0.2827 \\ &= 126.44 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

ก.3.3 คำนวณกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม (Ultimate Capacity)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad Q_u &= Q_s + Q_b - W \\ W &= 0.408 \times 30.00 \\ &= 12.24 \text{ ตัน} \\ Q_u &= 156.33 + 126.44 - 12.24 \\ &= 270.53 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

ก.4 การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดย ICP

ก.4.1 คำนวณแรงต้านทานที่ผิวเสาเข็ม (Skin Friction)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad Q_s &= \tau_{rzf} A_p \\ \text{เมื่อ} \quad \tau_{rzf} &= \sigma'_{rf} \tan \delta_f \\ \sigma'_{rf} &= 0.8 \sigma'_{rc} \\ \sigma'_{rc} &= K_c \sigma'_{vo} \\ K_c &= (2.2 + 0.016 YSR - 0.87 \Delta I_{vy}) YSR^{0.42} (h/R^*)^{-0.20} \end{aligned}$$

$$\Delta I_{vy} = \log S_t$$

$$R^* = b/\sqrt{\pi}$$

ชั้นที่ 1 (CH) จากตารางที่ ก.3 เมื่อ $S_u = 1.59$ ค่า $S_t = 5$, $YSR = 3$ และ $\phi = 23$ degree

(ลึก 13.00 ม.)

$$R^* = 0.6 / \sqrt{\pi} = 0.34$$

$$\Delta I_{vy} = \log 5 = 0.699$$

$$K_c = (2.2 + 0.016 \times 3 - 0.87 \times 0.699) \times 3^{0.42} \times (13.00/0.34)^{-0.20}$$

$$= 1.254$$

$$\sigma'_{vol} = (1.69 \times 13.00/2) - (1.00 \times 13.00/2) = 4.485 \text{ ตัน}$$

$$\sigma'_{rc} = 1.254 \times 4.485 = 5.62$$

$$\sigma'_{rf} = 0.8 \times 5.62 = 4.50$$

$$\tan \delta_f = \tan (0.75 \times 23) = 0.31$$

$$\tau_{rzf} = 4.50 \times 0.31 = 1.40$$

$$Q_{s1} = 1.40 \times (1.885 \times 13.00) = 34.24 \text{ ตัน}$$

ชั้นที่ 2 (CH) จากตารางที่ ก.3 เมื่อ $S_u = 7.65$ ค่า $S_t = 10$, $YSR = 4.5$ และ $\phi = 26$ degree

(ลึก 2.00 ม.)

$$R^* = 0.6 / \sqrt{\pi} = 0.34$$

$$\Delta I_{vy} = \log 10 = 1.00$$

$$K_c = (2.2 + 0.016 \times 4.5 - 0.87 \times 1.00) \times 4.5^{0.42} \times (2.00/0.34)^{-0.20}$$

$$= 1.848$$

$$\sigma'_{vo2} = \{(1.69 \times 13.00) + (1.85 \times 2.00/2)\} - \{1.00 \times (13.00 + 2.00/2)\}$$

$$= \{21.97 + 1.85\} - \{14.00\}$$

$$= 9.82 \text{ ตัน}$$

$$\sigma'_{rc} = 1.848 \times 9.82 = 18.15$$

$$\sigma'_{rf} = 0.8 \times 18.15 = 14.52$$

$$\tan \delta_f = \tan (0.75 \times 26) = 0.35$$

$$\tau_{rzf} = 14.52 \times 0.35 = 5.14$$

$$Q_{s2} = 5.14 \times (1.885 \times 2.00) = 19.39 \text{ ตัน}$$

ชั้นที่ 3 (SM) จากตารางที่ ก.3 สำหรับชั้นทรายค่า $S_t = 1$, $YSR = 5.5$

จากรูปที่ ก.2

สามารถอ่านค่า ϕ จากกราฟที่ $N = 26$ ได้ $\phi = 35$ degree

$$R^* = 0.6 / \sqrt{\pi} = 0.34$$

$$\begin{aligned}
\Delta I_{vy} &= \log 1 = 0 \\
K_c &= (2.2 + 0.016 \times 5.5 - 0.87 \times 0) \times 5.5^{0.42} \times (15.00/0.34)^{-0.20} \\
&= 2.19 \\
\sigma'_{vo3} &= \{(1.69 \times 13.00) + (1.85 \times 2.00) + (2.00 \times 15.00/2)\} - \\
&\quad \{1.00 \times (15.00 + 15.00/2)\} \\
&= \{21.97 + 3.70 + 15.00\} - \{22.50\} \\
&= 18.17 \text{ ตัน} \\
\sigma'_{rc} &= 2.19 \times 18.17 = 39.85 \text{ ตัน} \\
\sigma'_{rf} &= 0.8 \times 39.85 = 31.88 \text{ ตัน} \\
\tan \delta_f &= \tan (0.75 \times 35) = 0.49 \\
\tau_{rzf} &= 31.88 \times 0.49 = 15.62 \\
Q_{s3} &= 15.62 \times (1.885 \times 15.00) = 441.66 \text{ ตัน}
\end{aligned}$$

ผลรวมของแรงต้านด้านทานที่ผิวเสาเข็ม (Skin Friction)

$$\begin{aligned}
Q_s &= Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} \\
&= 34.24 + 19.39 + 441.66 \\
&= 495.29 \text{ ตัน/ม.}
\end{aligned}$$

ก.4.2 คำนวณแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing)

ปลายเสาเข็มหยั่งในชั้นทราย $Q_b = N_q \sigma'_{vo} A_b$ (พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม, $A_b = 0.2827 \text{ ม}^2$.)

จาก รูปที่ ก.2 สามารถอ่านค่า ϕ จากกราฟที่ $N = 26$ ได้ $\phi = 35 \text{ degree}$

$$\begin{aligned}
\text{จาก สูตร ก.1} \quad N_q &= 10.9 + (0.6754 \times 10^{-16}) \bar{\phi}^{11} \\
&= 10.9 + (0.6754 \times 10^{-16}) \times 35^{11} \\
&= 17.42
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma'_{vo} &= \sigma'_{vo1} + \sigma'_{vo2} + \sigma'_{vo3} \\
\sigma'_{vo} &= \{1.69 \times 13.00 + 1.85 \times 2.00 + 2.00 \times 15.00\} - \\
&\quad \{1.00 \times 30.00\} \\
&= 25.67
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_b &= 17.42 \times 25.67 \times 0.2827 \\
&= 126.44 \text{ ตัน}
\end{aligned}$$

ก.4.3 คำนวณกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม (Ultimate Capacity)

จากสมการ

$$Q_u = Q_s + Q_b - W$$

$$W = 0.408 \times 30.00$$

$$= 12.24 \text{ ตัน}$$

$$Q_u = 495.29 + 126.44 - 12.24$$

$$= 609.49 \text{ ตัน}$$