

การศึกษา การวิเคราะห์และผลที่ได้

6.1 การศึกษาทฤษฎีวิเคราะห์เสถียรภาพของหลุมหรือร่องที่ขุด

6.1.1 วิธีการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของหลุมที่ขุดในดินเหนียว

ในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของหลุมที่ขุดในดินเหนียว เมื่อใช้สเลอรีมาช่วย เสริมเสถียรภาพของผนังหลุมและมีความลึกไม่เกิน 12 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุม MEYERHOF (1972) ได้แนะนำให้ใช้สมการที่ (3.30) เพื่อที่จะลดขั้นตอนการคำนวณให้น้อยลง ซึ่งจะทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการตรวจสอบเสถียรภาพของหลุมที่ขุด จากสมการที่ (3.30) ถ้ากำหนดให้ส่วนปลอดภัยของหลุมที่ขุด (F) มีค่าเท่ากับความลึกวิกฤต (H_{cr}) ทหาร ด้วยความลึกที่ขุดจริง (h_x) จะได้ว่า

$$F = \frac{4B}{h_x} \left[\ln \left(2 \frac{h_x}{d} + 1 \right) + 1 \right] \quad (6.1)$$

$$B = \frac{c}{\gamma \cdot \gamma_f} \quad (6.2)$$

ถ้ากำหนดให้ $B = 1$ และเลือกใช้ค่า h_x และ d ที่ค่าต่างกันแทนค่าลงในสมการที่ (6.1) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง F , h_x และ d (ภายใต้เงื่อนไข $B = 1$ ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 6.1 ดังนั้น เมื่อต้องการจะตรวจสอบเสถียรภาพของหลุมก็ให้ใช้ค่าส่วนปลอดภัยจากตารางที่ 6.1 คูณด้วย B ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (6.2) ก็จะได้ส่วนปลอดภัยที่แท้จริง ในทางตรงกันข้ามหากกำหนดส่วนปลอดภัยที่คิดว่าเหมาะสมขึ้นมาค่าหนึ่ง และทราบสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน (หน่วยน้ำหนัก ความชื้นแน่น) ก็จะคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของสเลอรีที่พอดีทำให้ได้ส่วนปลอดภัยตามที่ต้องการได้ โดยการนำเอาส่วนปลอดภัยจากตารางที่ 6.1 ไปหารส่วนปลอดภัยที่กำหนดขึ้นแล้วนำผลที่ได้ไปแทนค่า B ในสมการ (6.2)

ตารางที่ 6.1 แสดงส่วนปลอดภัยของหลุมที่ขุดซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (6.1)
เมื่อกำหนดให้ $B = 1$

ความลึก (เมตร)	ส่วนปลอดภัยของหลุมที่ขุด เมื่อกำหนดให้ $B = 1$			
	$d = 0.80$ (ม)	$d = 1.00$ (ม)	$d = 1.20$ (ม)	$d = 1.50$ (ม)
0.50	14.49	13.55	12.85	12.09
1.00	9.01	8.39	7.92	7.39
1.50	6.82	6.36	6.01	5.60
2.00	5.58	5.22	4.93	4.60
2.50	4.77	4.47	4.23	3.95
3.00	4.19	3.93	3.72	3.48
3.50	3.75	3.52	3.34	3.13
4.00	3.40	3.20	3.04	2.85
4.50	3.12	2.94	2.79	2.62
5.00	2.88	2.72	2.59	2.43
5.50	2.68	2.53	2.41	2.27
6.00	2.52	2.38	2.27	2.13
6.50	2.37	2.24	2.14	2.01
7.00	2.24	2.12	2.02	1.91
7.50	2.12	2.01	1.92	1.81
8.00	2.02	1.92	1.83	1.73
8.50	1.93	1.83	1.75	1.65
9.00	1.85	1.75	1.68	1.58
9.50	1.77	1.68	1.61	1.52

ตารางที่ 6.1 (ต่อ) แสดงส่วนปลอดภัยของหลุมที่ขุดซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (6.1)
เมื่อกำหนดให้ $B = 1$

ความลึก (เมตร)	ส่วนปลอดภัยของหลุมที่ขุด เมื่อกำหนดให้ $B = 1$			
	$d = 0.80$ (ม)	$d = 1.00$ (ม)	$d = 1.20$ (ม)	$d = 1.50$ (ม)
10.00		1.62	1.55	1.47
10.50		1.56	1.49	1.41
11.00		1.56	1.44	1.36
11.50		1.45	1.39	1.32
12.00		1.41	1.35	1.28
12.50				1.24
13.00				1.20
13.50				1.17
14.00				1.14
14.50				1.11
15.00				1.08
15.50				1.05
16.00				1.03
16.50				1.00
17.00				0.98
17.50				0.96
18.00				0.94

จากตารางที่ 6.1 จะสังเกตเห็นได้ว่าส่วนปลอดภัยจะมีค่าลดลงเมื่อความลึกและเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของหลุมมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น ถ้าหากว่าดินมีสมบัติเหมือนกันตลอดระยะเวลาความลึกของหลุมที่ขุด การตรวจสอบ เสถียรภาพให้ตรวจสอบที่ระยะความลึกสูงสุดที่จะทำการขุดเจาะ

สำหรับการขุดหลุมที่มีความลึกมากกว่า 12 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของหลุม MEYERHOF (1972) ได้แนะนำให้ใช้สมการที่ (3.31)

6.1.2 วิธีการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของหลุมหรือร่องที่มีความยาวน้อยในดินทราย XANTHAKOS (1979) แนะนำว่า การใช้วิธีความเค้นเท่ากันเป็นวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งการใช้วิธีดังกล่าวจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสถิตของสเลอร์ ความดันสถิตของน้ำใต้ดินและความดันกัมมันต์ทางข้างของดินดังที่ได้แสดงในสมการที่ (3.21) การขุดร่องที่มีความยาวน้อยหรือการเจาะหลุมในดินทรายจะมีอิทธิพลของการเกิด Arching เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย HUDER (1972) ได้แนะนำให้ใช้ตัวประกอบลดค่า A ตามสมการที่ (3.22) เนื่องจากดินกรุงเทพฯ จะประกอบด้วยชั้นดินหลายชั้นที่มีสมบัติทางด้านวิศวกรรมไม่เหมือนกันในแต่ละชั้นประกอบกับมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้กับผิวดิน เพื่อความเหมาะสมในการคำนวณหาความดันกัมมันต์ทางด้านข้างของดิน จากสมการที่ (3.23) หากจัดเสียใหม่จะได้ว่า

$$p_a = \left[\sum_{i=1}^n \gamma_i h_i - h_x + h_w \right] AK_a \quad (6.3)$$

เมื่อนำค่า p_a ที่ h_x จากสมการที่ (6.3) ไปแทนค่าในสมการที่ (3.21) ก็สามารถที่จะคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของสเลอร์ที่ใช้ได้ ตารางที่ 6.2 จะให้ค่า AK_a เมื่ออัตราส่วนความลึกต่อความยาวหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของร่องหรือหลุมที่ขุดและมุมเสียดทานภายในของดินมีการเปลี่ยนแปลง จากตารางที่ 6.2 จะเห็นได้ว่า ค่าของ AK_a จะลดลงเมื่อ n และ ϕ มีค่าเพิ่มขึ้น

สำหรับการขุดหลุมในชั้นดินทราย นั้น เมื่อดินทรายจะพยายามแยกตัวออกมาผสมกับสเลอร์ที่ใช้ ทำให้สเลอร์ที่ใช้มี Sand Content สูงขึ้นและถ้าปล่อยทิ้งไว้นาน ๆ หากสเลอร์ที่ใช้มีคุณสมบัติไม่ดีพอ เมื่อดินทรายเหล่านี้ก็จะตกตะกอนลงสู่ก้นหลุม เพื่อป้องกันการแยกตัวของเม็ด

ตารางที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n , ϕ และ $A \cdot K_a$ โดยที่ A

ค่าเวณได้จากสมการที่ (3.22, และ K_a จากสมการที่ (3.11)

n	$A \cdot K_a$									
	$\phi=29^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=31^\circ$	$\phi=32^\circ$	$\phi=33^\circ$	$\phi=34^\circ$	$\phi=35^\circ$	$\phi=36^\circ$	$\phi=37^\circ$	$\phi=38^\circ$
20.0	0.045	0.043	0.042	0.040	0.038	0.037	0.036	0.034	0.033	0.032
20.5	0.044	0.042	0.041	0.039	0.038	0.036	0.035	0.034	0.032	0.031
21.0	0.043	0.041	0.040	0.038	0.037	0.035	0.034	0.033	0.032	0.030
21.5	0.042	0.040	0.039	0.037	0.036	0.034	0.033	0.032	0.031	0.030
22.0	0.041	0.039	0.038	0.036	0.035	0.034	0.032	0.031	0.030	0.029
22.5	0.040	0.038	0.037	0.036	0.034	0.033	0.032	0.031	0.029	0.028
23.0	0.039	0.038	0.036	0.035	0.033	0.032	0.031	0.030	0.029	0.028
23.5	0.038	0.037	0.035	0.034	0.033	0.032	0.030	0.029	0.028	0.027
24.0	0.038	0.036	0.035	0.033	0.032	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027
24.5	0.037	0.035	0.034	0.033	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026
25.0	0.036	0.035	0.033	0.032	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026
25.5	0.035	0.034	0.033	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025
26.0	0.035	0.033	0.032	0.031	0.030	0.029	0.027	0.026	0.026	0.025
26.5	0.034	0.033	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024

ตารางที่ 6.2 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n , ϕ และ $A \cdot K_a$ โดยที่ A มีค่าคง
 ได้จากสมการที่ (3.22) และ K_a จากสมการที่ (3.11)

n	$A \cdot K_a$									
	$\phi=29^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=31^\circ$	$\phi=32^\circ$	$\phi=33^\circ$	$\phi=34^\circ$	$\phi=35^\circ$	$\phi=36^\circ$	$\phi=37^\circ$	$\phi=38^\circ$
27.0	0.033	0.032	0.031	0.030	0.029	0.027	0.026	0.025	0.025	0.024
27.5	0.033	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023
28.0	0.032	0.031	0.030	0.029	0.027	0.026	0.025	0.025	0.024	0.023
28.5	0.032	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022
29.0	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022
29.5	0.031	0.029	0.028	0.027	0.025	0.025	0.024	0.023	0.022	0.022
30.0	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.021
30.5	0.030	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.023	0.022	0.021
31.0	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.021	0.021
31.5	0.029	0.027	0.026	0.025	0.024	0.024	0.023	0.022	0.021	0.020
32.0	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.022	0.021	0.020
32.5	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.021	0.020	0.020

ตารางที่ 6.2 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n , ϕ และ $A \cdot K_a$ โดยที่ A
 กำหนดได้จากสมการที่ (3.22) และ K_a จากสมการที่ (3.11)

n	$A \cdot K_a$									
	$\phi=29^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=31^\circ$	$\phi=32^\circ$	$\phi=33^\circ$	$\phi=34^\circ$	$\phi=35^\circ$	$\phi=36^\circ$	$\phi=37^\circ$	$\phi=38^\circ$
33.0	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.022	0.021	0.020	0.019
33.5	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.021	0.021	0.020	0.019
34.0	0.027	0.025	0.024	0.024	0.023	0.022	0.021	0.020	0.020	0.019
34.5	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.021	0.021	0.020	0.019	0.019
35.0	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.021	0.020	0.020	0.019	0.018
35.5	0.025	0.024	0.023	0.023	0.022	0.021	0.020	0.019	0.019	0.018
36.0	0.025	0.024	0.023	0.022	0.021	0.021	0.020	0.019	0.018	0.018
36.5	0.025	0.024	0.023	0.022	0.021	0.020	0.020	0.019	0.018	0.018
37.0	0.024	0.023	0.022	0.022	0.021	0.020	0.019	0.019	0.018	0.017
37.5	0.024	0.023	0.022	0.021	0.021	0.020	0.019	0.018	0.018	0.017
38.0	0.024	0.023	0.022	0.021	0.020	0.020	0.019	0.018	0.017	0.017
38.5	0.023	0.022	0.022	0.021	0.020	0.019	0.019	0.018	0.017	0.017

ตารางที่ 6.2 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n , ϕ และ $A \cdot K_a$ โดยที่ A
 คำนวณได้จากสมการที่ (3.22) และ K_a จากสมการที่ (3.11)

n	$A \cdot K_a$									
	$\phi=29^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=31^\circ$	$\phi=32^\circ$	$\phi=33^\circ$	$\phi=34^\circ$	$\phi=35^\circ$	$\phi=36^\circ$	$\phi=37^\circ$	$\phi=38^\circ$
39.0	0.023	0.022	0.021	0.021	0.020	0.019	0.018	0.018	0.017	0.016
39.5	0.023	0.022	0.021	0.020	0.019	0.019	0.018	0.017	0.017	0.016
40.0	0.022	0.022	0.021	0.020	0.019	0.019	0.018	0.017	0.017	0.016

ทรายเป็นค่า สเลอรี่ที่ใช้จะต้องมีกำลังเฉือน (τ_f) สูงพอซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 6.4

$$\tau_f = \frac{2d}{3N} (\gamma_s - \gamma_f) \quad (6.4)$$

ในเมื่อ d = Diameter of Spherical Particle

γ_s = Specific Gravity of Spherical Particle

N = Stability factor (หาได้จากรูปที่ 3.10)

γ_f = Unit Weight of Slurry

จากสมการที่ (6.1) และสมการที่ (6.3) จะเห็นได้ว่าส่วนปลอดภัยที่คำนวณได้จากสมการดังกล่าวจะมีค่าสูงกว่าส่วนปลอดภัยที่คำนวณได้จากการใช้สูตรของ RANKINE (1857) ซึ่งไม่ได้คิดถึงอิทธิพลของการเกิด Arching

6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มจากการทดสอบในสนามกับผลที่ได้จากการคาดคะเนโดยอาศัยผลการทดสอบเสาเข็ม

6.2.1 การคาดคะเนโดยวิธีของ CHIN (1970), P_c

เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มกับผลที่ได้จากการคาดคะเนตามวิธีการของ CHIN จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลของการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มเจาะจนถึงพิบัติจำนวน 10 ต้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเสาเข็มเจาะโดยกรรมวิธีแห้ง มีปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินแข็งและน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มให้ถือเอาน้ำหนักบรรทุกที่จุดคลาก (Yield point) ดังได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับขนาดของเสาเข็ม น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบและสถานที่ทดสอบ ตลอดจนผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 1-10 และรูปที่ 1-5 ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้ใช้เครื่องคำนวณเลข HP-41C โดยการใช้โปรแกรม CFT ดังรายละเอียดที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ซึ่งโปรแกรม

นี้ได้ปรับปรุงเพื่อให้เกิดความเหมาะสมและสะดวกแก่การใช้ แต่ยังคงไว้ซึ่งหลักการของโปรแกรมเดิมที่ใช้สำหรับทำ Curve Fitting ของ HEWLETT-PACKARD โดยใช้วิธี Least Square Method และจากผลของการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า R^2 มีค่าเข้าใกล้หนึ่งมากแสดงว่า S/P และ S มีความสัมพันธ์กันดีและน้ำหนักที่คาดคะเนจะมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการทดสอบจริงในสนาม ผลที่ได้จากการคาดคะเนได้นำมาแสดงไว้ในตารางที่ 6.3 และรูปที่ 6.1

6.2.2 การคาดคะเนโดยวิธีของ MAZURKIEWICZ (1972), P_m

การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ได้ใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับที่ใช้ในหัวข้อที่ 6.2.1 ทั้งนี้ เพื่อต้องการเปรียบเทียบผลซึ่งกันและกัน รายละเอียดของการวิเคราะห์ดังที่แสดงในรูปที่ 6-10 ผลของการวิเคราะห์ได้นำมาสรุปเสนอไว้ในตารางที่ 6.3 และรูปที่ 6.1

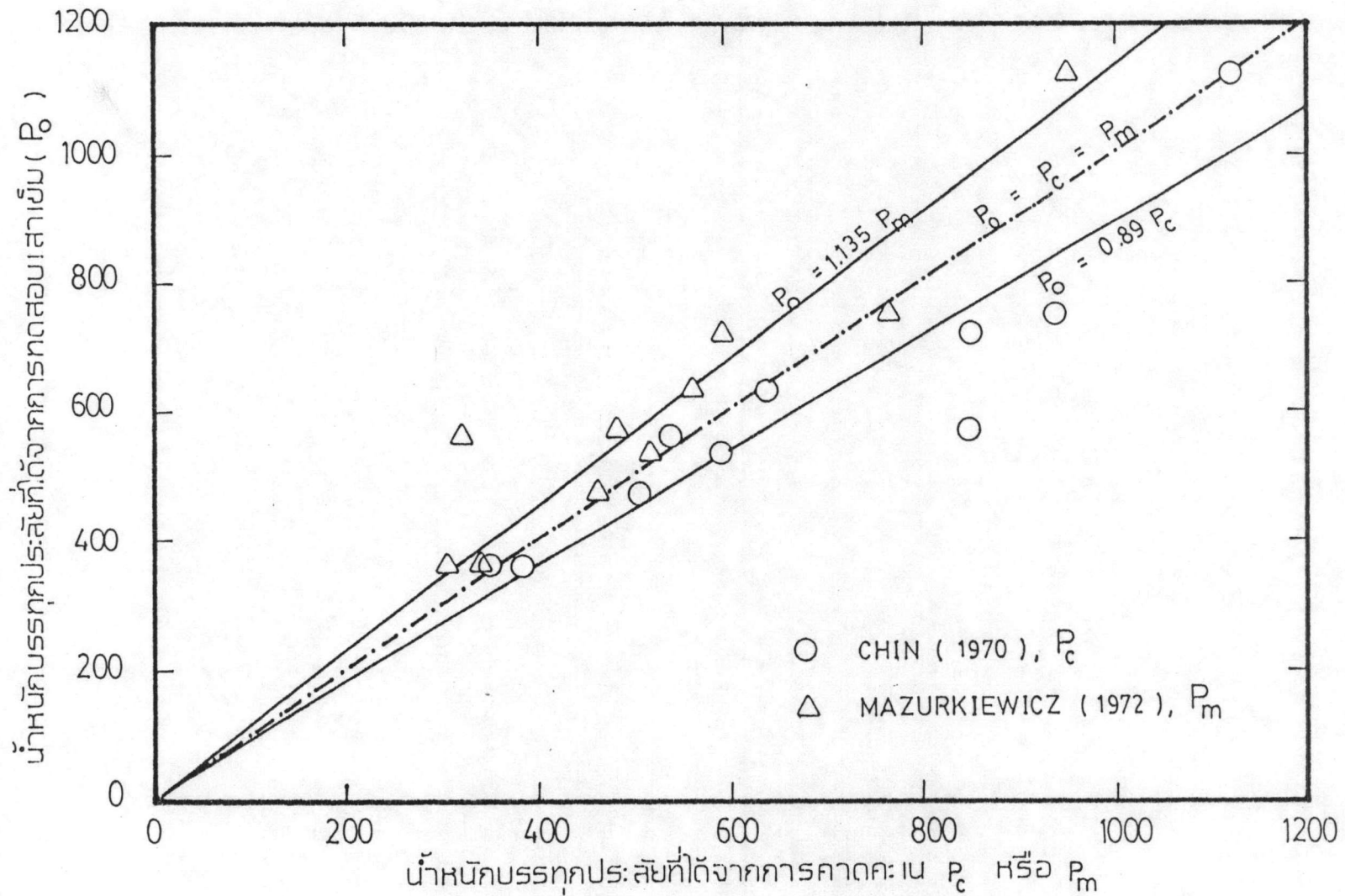
ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P_o , P_c และ P_m

PILE No.	P_o	P_c	P_m	$\frac{P_c}{P_o}$	$\frac{P_m}{P_o}$
1	475	504	460	1.06	0.97
2	533	590	515	1.11	0.97
3	630	636	560	1.01	0.89
4	720	849	590	1.18	0.82
5	360	383	305	1.06	0.85
6	560	536	320	0.96	0.57
7	570	849	480	1.49	0.84
8	1125	1120	950	0.99	0.84
9	750	936	765	1.25	1.02
10	360	351	340	0.98	0.94

จากความสัมพันธ์ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 6.3 หากใช้หลักการของเส้นถดถอยธรรมดา (Simple Linear Regression) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$P_o = 0.891 P_c, \quad R^2 = 0.9823 \quad (6.5)$$

$$P_o = 1.135 P_m, \quad R^2 = 0.9846 \quad (6.6)$$



รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรจุที่ได้ออกการทดสอบเสมอกับที่ได้ออกการคาดคะเน

6.3 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่

สืบเนื่องมาจากความต้องการที่จะรู้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ในดินกรุงเทพฯ แต่การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มทำไม่ถึงพิบัติ อย่างไรก็ตาม การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่นำมาศึกษานี้ได้ทำการติดตั้งเครื่องขี้อพิเศษเพื่อใช้ตรวจสอบค่าน้ำหนักบรรทุกและระยะการทรุดตัวของเสาเข็มที่ระยะความลึกต่าง ๆ กัน ดังนั้น จึงอาศัยผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 6.2 มาใช้ประโยชน์ในการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ได้ดังรายละเอียดดังนี้

6.3.1 เสาเข็มเจาะที่ใช้สำหรับอาคารสำนักงานใหญ่ธนาคารกรุงเทพ จำกัด ถนนสีลม

การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยโดยอาศัยผลที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มจะใช้วิธีการที่เสนอโดย CHIN (1970) และ MAZURKIEWICZ (1972) เพื่อที่จะได้เปรียบเทียบผลลัพธ์กันไว้ ซึ่งผลของการคาดคะเนตามวิธีการของ CHIN เมื่อนำน้ำหนักบรรทุกและระยะทรุดตัวที่หัวเสาเข็มจะได้น้ำหนักบรรทุกประลัยดังรายละเอียดในตารางที่ 6.4 และเมื่อนำน้ำหนักบรรทุกและระยะทรุดตัวที่ความลึกต่าง ๆ กัน จะได้น้ำหนักบรรทุกประลัยดังรายละเอียดในตารางที่ 6.5-6.8 จากตารางที่ 6.4 และสมการที่ 6.5 จะได้น้ำหนักบรรทุกประลัยที่แท้จริงเท่ากับ $1,198.29 \times 0.891 = 1,067.68$ ตัน และผลรวมที่ได้จากตารางที่ 6.5-6.8 จะได้น้ำหนักบรรทุกประลัยที่แท้จริงเท่ากับ $(119.79 + 600.11 + 93.44 + 169.21) = 982.55$ ตัน เพื่อตรวจสอบค่าที่ได้จึงได้ใช้วิธีการของ MAZURKIEWICZ (1972) ทำการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกอีกวิธีหนึ่ง ผลที่ได้จากรูปที่ 11 และสมการที่ (6.6) จะได้น้ำหนักบรรทุกประลัยที่แท้จริงเท่ากับ $(960 \times 1.135) = 1,089.60$ ตัน จากผลที่ได้ทำให้เชื่อได้ว่า น้ำหนักบรรทุกประลัย จากการคาดคะเนตามวิธีการของ CHIN เมื่อนำน้ำหนักบรรทุกและระยะทรุดตัวที่ความลึกต่าง ๆ กัน มาทำการคาดคะเนจะให้ผลใกล้เคียงกับน้ำหนักบรรทุกที่แท้จริง

ตารางที่ 6.4 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มจากการทดสอบ เสาเข็ม

ตามวิธีของ CHIN, 1970 (P_c)

	P (ton)	s (mm.)	$\frac{s}{P} \times 10^{-3}$	$\frac{P}{R} \times 10^{-3}$	$m \times 10^{-3}$	P_c (ton)	ขนาด, น้ำหนักบรรทุกประลัยจากการ คาคคะเน และสถานที่ทดสอบเสาเข็ม
น.น.บรรทุกและการทรุดตัว ที่เสาเข็ม	249.25	1.07	4.293				ขนาดของเสาเข็ม 0.60 × 1.80 × 30.00 เมตร น.น.บรรทุกประลัย (P_o) 1,198 กิโล อาคารสำนักงานใหญ่ธนาคารกรุงเทพ จำกัด ถนนสีลม
	337.10	1.44	4.272				
	442.50	2.18	4.927				
	555.80	2.82	5.074				
	670.44	4.03	6.011	975.55	0.6454	1,549.37	
	790.80	5.60	7.081	991.69	0.6645	1,504.93	
	903.50	11.25	12.452	990.92	0.8345	1,198.29	

ตารางที่ 6.5 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มจากผลการทดสอบเสาเข็ม
ตามวิธีของ CHIN, 1970 (P_c)

	P (ton)	S (mm.)	$\frac{S}{P} \times 10^{-3}$	$\frac{P}{R} \times 10^{-3}$	$m \times 10^{-3}$	P_c (ton)	ขนาด, น้ำหนักบรรทุกประลัยจากการคาดคะเน และสถานที่ทดสอบเสาเข็ม
น.น.บรรทุกและการทรุดตัว ความลึก 1.87-14.90 เมตร	46.35	0.701	15.318				ขนาดของเสาเข็ม 0.60 × 1.80 × 30.00 เมตร น.น.บรรทุกประลัย (P_c) 120 ตัน อาคารสำนักงานใหญ่ ขนาดกรงเทพ จำกัด ถนนสีลม
	51.27	0.899	17.535				
	63.04	1.398	22.176				
	74.70	1.831	24.511				
	76.22	2.726	35.765	979.28	9.886	101.15	
	87.57	3.993	45.598	991.09	9.294	107.60	
	105.92	9.185	86.716	996.73	8.348	119.79	

ตารางที่ 6.6 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มจากการทดสอบเสาเข็ม

ตามวิธีของ CHIN, 1970 (P_c)

	P (ton)	S (mm.)	$\frac{S}{P} \times 10^{-3}$	$\frac{1}{R} \times 10^{-3}$	$R \times 10^{-3}$	P_c (ton)	ขนาด, น้ำหนักบรรทุกประลัยจากการคาดคะเน และสถานที่ทดสอบเสาเข็ม
น.น.บรรทุกและการทรุดที่ความลึก 14.90 - 24.86 เมตร	161.40	0.319	1.977				ขนาดของเสาเข็ม 0.60 x 1.80 x 30.00 เมตร น.น.บรรทุกประลัย (P_c) 600 ตัน อาคารสำนักงานใหญ่ขนาดกรงเทพ จำกัด ถนนสีลม
	219.43	0.300	1.367				
	281.25	0.503	1.788				
	359.37	0.654	1.820				
	442.06	1.203	2.721	980.86	1.495	685.21	
	519.25	2.085	4.015	995.81	1.469	680.37	
	557.79	6.690	11.994	998.73	1.666	600.11	

ตารางที่ 6.7 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มจากการทดสอบเสาเข็ม
ตามวิธีของ CHIN, 1970 (P_c)

	P (ton)	s (mm.)	$\frac{s}{P} \times 10^{-3}$	$\frac{s^2}{R} \times 10^{-3}$	$m \times 10^{-3}$	P_c (ton)	ขนาด, น้ำหนักบรรทุกประลัยจากการคาดคะเน และสถานที่ทดสอบเสาเข็ม
น.น.บรรทุกและการทรุดตัว ความลึก 24.86-29.33 เมตร	21.19	0.231	10.901				ขนาดของเสาเข็ม 0.60 x 1.80 x 30.00 เมตร น.น.บรรทุกประลัย (P_c) 93 ตัน อาคารสำนักงานใหญ่ธนาคารกรุงเทพ จำกัด ถนนสีลม
	31.38	0.162	5.163				
	55.77	0.296	5.308				
	68.22	0.392	5.746				
	87.59	0.866	9.887	954.74	7.194	139.01	
	95.45	1.668	17.475	988.23	8.531	117.22	
	90.40	6.103	67.511	997.04	10.702	93.44	

ตารางที่ 6.8 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มจากผลการทดสอบเสาเข็ม
ตามวิธีของ CHIN, 1970 (P_c)

	P (ton)	S (mm.)	$\frac{S}{P} \times 10^{-3}$	$R^2 \times 10^{-3}$	$m \times 10^{-3}$	P_c (ton)	ขนาด, น้ำหนักบรรทุกประลัยจากการคาดคะเน และสถานที่ทดสอบเสาเข็ม
น.น.บรรทุกและการทดสอบที่ ความลึก 29.33 เมตร	20.31	0.221	10.881				ขนาดของเสาเข็ม $0.60 \times 1.80 \times 30.00$ เมตร น.น.บรรทุกประลัย (P_c) 169 ตัน อาคารสำนักงานใหญ่ธนาคารกรุงเทพ จำกัด ถนนสีลม
	35.02	0.145	4.140				
	42.44	0.273	6.433				
	53.51	0.363	6.784				
	64.57	0.831	12.870	991.34	12.423	80.50	
	88.53	1.623	18.333	976.36	9.493	105.34	
	149.39	6.020	40.297	974.79	5.909	169.21	

ตารางที่ 6.9 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มจากการทดสอบเสาเข็ม

ตามวิธีของ CHIN, 1970 (P_c)

	P (ton)	S (mm.)	$\frac{S}{P} \times 10^{-3}$	$\frac{2}{R} \times 10^{-3}$	$m \times 10^{-3}$	P_c (ton)	ขนาด, น้ำหนักบรรทุกประลัยจากการคาดคะเน และสถานที่ทดสอบเสาเข็ม
น.น.บรรทุกและการหุ้กที่ความ ลึก 12.00 - 22.00 เมตร	60	0.18	3.000				ขนาดของเสาเข็ม 0.60 × 1.80 × 30.00 เมตร น.น.บรรทุกประลัย (P_o) 434 ตัน สะพานข้ามแม่น้ำเจ้าพระยา ปลายถนนสาทร
	110	0.41	3.727				
	155	0.67	4.323				
	184	0.82	4.457	968.34	2.312	432.53	
	195	0.95	4.872	980.18	2.313	432.35	
	220	1.10	5.000	975.97	2.161	462.74	
	230.	1.16	5.043	971.93	2.055	486.66	
	240.	1.55	6.458	970.73	2.305	433.84	

6.3.2 เสาเข็มเจาะที่ใช้สำหรับสะพานข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาที่ปลายถนนสาทร

เพื่อต้องการทราบค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะสะพานสาทร เฉพาะที่ระยะความลึก 12.00-22.00 เมตร ซึ่งระยะความลึกในช่วงนี้ของเสาเข็มดังกล่าว จะอยู่ในชั้นดินแข็ง โดยใช้ผลที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มมาคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยตาม วิธีการของ CHIN จะได้น้ำหนักบรรทุกประลัย ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 6.9 ซึ่งจะ ให้น้ำหนักบรรทุกประลัยที่แท้จริงเท่ากับ 433.84 ตัน

6.4 การหาตัวประกอบความคาดแน่นและสัมประสิทธิ์ความดันข้างของดินสำหรับ เสาเข็มเจาะ โดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ในดินกรุงเทพฯ

โดยการนำผลที่ได้จากการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มจากหัวข้อที่ 6.3 และสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินจากผลการเจาะสำรวจดินสามารถที่จะหาตัวประกอบความคาดแน่น (α) ได้ดังรายละเอียดตามที่ได้แสดงในตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 แสดงค่าตัวประกอบความคาดแน่น α ที่คำนวณได้จากผลการคาดคะเน น้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม

ความลึก (เมตร)	เส้นรอบรูป (เมตร)	C_u (ตัน/ม ²)	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	α	หมายเหตุ
1.87-14.90	4.284	2.66	199.79	0.807	ธนาคารกรุงเทพ
12.00-22.00	4.712	21.00	433.84	0.438	สะพานสาทร

จากตารางที่ 6.10 จะเห็นได้ว่า ค่า α ที่ได้จากชั้นดินอ่อนของเสาเข็มเจาะของอาคารธนาคาร กรุงเทพฯ จำกัด และที่ได้จากชั้นดินแข็งของเสาเข็มเจาะของสะพานสาทรมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เสนอ โดย HOLMBERG (1970) ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งจะให้ค่า α เท่ากับ 0.84 และ 0.36 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ขุดเจาะโดยกรรมวิธีแห่ง LEE (1979) ได้พบว่า ค่า α ที่เสนอโดย HOLMBERG (1970) เป็นค่าที่เหมาะสม

สำหรับสัมประสิทธิ์ความต้านทานด้านข้างของดินนั้น สามารถที่จะหาได้ ดังนี้ ที่ระยะจมน้ำจาก 24.86-29.33 เมตร ของเสาเข็มเจาะ อาคารธนาคารกรุงเทพ จำกัด โดยการคาดคะเนจะได้น้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 93.44 ตัน โดยที่ระยะจมน้ำ 24.86 เมตร จะมี $\sigma'_v = 21.09$ ตัน/ม² และที่ระยะจมน้ำ 29.38 เมตร จะมี $\sigma'_v = 25.56$ ตัน/ม² และมุมเสียดทานภายในของดิน (ϕ'_1) = 36° โดยการแทนค่าในสมการที่ 4.2 จะได้

$$\frac{93.44}{(29.38-24.86)4.284} = \left[21.09 + \frac{(25.56-21.09)}{2} \right] K_s \cdot \tan \phi'_a$$

$$K_s \cdot \tan \phi'_a = 0.21$$

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.3 จะได้ $K_s \cdot \tan \phi'_a = 0.25$ จะเห็นว่าได้ค่าใกล้เคียงกันมาก

6.5 การสร้างโปรแกรมสำหรับการคาดคะเนความคืบหน้าและ/หรือความเสียดทานของเสาเข็ม

เพื่อความสะดวกและความรวดเร็วในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม จึงได้ทำโปรแกรมที่จะใช้กับเครื่องคำนวณ HP-41C โดยถือว่าค่า α สำหรับเสาเข็มเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่จะมีค่าเท่ากับค่า α ที่เสนอโดย HOLMBERG (1970) และค่า $K_s \cdot \tan \phi'_a$ จะใช้ค่าที่เสนอโดย MEYERHOF (1976) รายละเอียดของโปรแกรมดังที่แสดงในภาคผนวก โดยการเอาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง α และ c_u ที่เสนอโดย HOLMBERG มาทำให้อยู่ในรูปของสมการเพื่อที่จะใช้ทำโปรแกรมเครื่องคำนวณได้พบว่า

$$c_u < 4.35, \alpha = 1.20645 - 0.13882 c_u \quad (6.7)$$

$$R^2 = 0.99984$$

$$c_u > 7.30, \alpha = 0.4272 - 0.00317 c_u \quad (6.8)$$

$$R^2 = 0.99950$$

$$4.35 < c_u < 7.30, \alpha = 1.7428 c_u^{(0.73494)} \quad (6.9)$$

$$R^2 = 0.97824$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ'_1 และ $K_s \cdot \tan \phi'_a$ สำหรับเสาเข็มเจาะนั้น จากรูปที่ 4.3 จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$K_s \cdot \tan \phi'_a = (3.4344 \times 10^{-17}) \phi_1^{(10.20251)} \quad (6.10)$$

เนื่องจากผลการเจาะสำรวจดินโดยเฉพาะชั้นดินทรายจะบอกความแข็งแรงของดิน ในรูปของค่า N โดยอาศัยรูปที่ 4.4 จะหาความสัมพันธ์ระหว่าง N และ ϕ ได้ดังนี้

$$\phi = 17.97228 \cdot N^{(0.20904)} \quad (6.11)$$

$$R^2 = 0.99284$$

จากสมการที่ (6.7)-(6.11) และสมการที่ (4.2) สามารถที่จะนำไปสร้างเป็น โปรแกรมสำหรับเครื่องคำนวณ HP-41C ได้โดยรายละเอียดของโปรแกรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก ซึ่งวัตถุประสงค์ของการสร้างโปรแกรมขึ้นมาก็เพื่อความสะดวก ความรวดเร็วในการคำนวณหาส่วนของน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากความตึงเครียดและ/หรือความเสียหายระหว่างพื้นที่ผิวของเสาเข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบเสาเข็ม

6.6 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมและทารามิเตอร์ที่ใช้

เพื่อที่จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมจึงได้นำข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจดิน บริเวณก่อสร้างอาคารสำนักงานใหญ่ธนาคารกรุงเทพ จำกัด ถนนสีลมและบริเวณที่ก่อสร้างอาคารไบงทาวเวอร์ส ถนนเอกมัย มาป้อนเข้าเครื่องซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมาจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 6.2 และจากผลที่ได้จะสามารถคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มได้ ดังนี้

รูปที่ 6.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องคำนวณ HP-41C

ขนาดกรงเหล็ก

NOTE: -

SOIL TYPE ?

1 = CLAY

2 = FINE SAND OR SILT

3 = SAND

BORING NO. 1/2

GWL = ?M 0.50

PIE = ?M 1.87

Z = ?M 14.96

UDS = ?T/SQ.M 2.66

UNW = ?T/CU.M 1.74

0.84 *** (α)

EOP = 11.53 T/SQ.M

Ca = 2.23 T/SQ.M

ΣUSF= 29.02 T/M

Z = ?M 24.06

UDS = ?T/SQ.M 9.22

UNW = ?T/CU.M 1.96

0.40 *** (α)

EOP = 21.09 T/SQ.M

Ca = 3.67 T/SQ.M

ΣUSF= 65.58 T/M

Z = ?M 29.38

SPT = ?B/FT 41.00

UNW = ?T/CU.M 1.99

EOP = 25.56 T/SQ.M

29.14 *** (N')

36.37 *** φ

0.29 *** $K_s \tan \phi'_a$

Fa = 6.71 T/SQ.M

ΣUSF=95.93 T/M

Z = ?M 30.00

SPT = ?B/FT 41.00

UNW = ?T/CU.M 1.99

EOP = 26.18 T/SQ.M

27.72 *** (N')

35.99 *** φ

0.26 *** $K_s \tan \phi'_a$

Fa = 6.69 T/SQ.M

ΣUSF=100.00 T/M

โถปิงทาวเวอร์ส

BORING NO. 1

GWL = ?M 1.40

PIE = ?M 1.20

Z = ?M 15.50

UDS = ?T/SQ.M 3.67

UNW = ?T/CU.M 1.75

0.70 ***

EOP = 13.03 T/SQ.M

Ca = 2.56 T/SQ.M

ΣUSF= 36.58 T/M

Z = ?M 20.06

UDS = ?T/SQ.M 7.06

UNW = ?T/CU.M 1.86

0.41 ***

EOP = 16.90 T/SQ.M

Ca = 2.93 T/SQ.M

ΣUSF= 49.74 T/M

Z = ?M 23.50

UDS = ?T/SQ.M 6.82

UNW = ?T/CU.M 1.87

0.42 ***

EOP = 19.94 T/SQ.M

Ca = 2.90 T/SQ.M

ΣUSF= 59.89 T/M

Z = ?M 27.50

UDS = ?T/SQ.M 20.00

UNW = ?T/CU.M 1.99

0.36 ***

EOP = 23.90 T/SQ.M

Ca = 7.28 T/SQ.M

ΣUSF= 89.01 T/M

Z = ?M 29.00

SPT = ?B/FT 40.00

UNW = ?T/CU.M 1.98

EOP = 25.37 T/SQ.M

27.69 ***

35.98 ***

0.26 ***

Fa = 6.36 T/SQ.M

ΣUSF=98.55 T/M

Z = ?M 32.00

SPT = ?B/FT 60.00

UNW = ?T/CU.M 1.96

EOP = 28.25 T/SQ.M

39.84 ***

38.83 ***

0.45 ***

Fa = 12.08 T/SQ.M

ΣUSF=134.78 T/M

โถปิงทาวเวอร์ส

BORING NO. 2

GWL = ?M 1.50

PIE = ?M 1.20

Z = ?M 15.00

UDS = ?T/SQ.M 2.30

UNW = ?T/CU.M 1.75

0.89 ***

EOP = 12.75 T/SQ.M

Ca = 2.04 T/SQ.M

ΣUSF= 28.16 T/M

Z = ?M 20.00

UDS = ?T/SQ.M 5.03

UNW = ?T/CU.M 1.81

0.53 ***

EOP = 16.00 T/SQ.M

Ca = 2.67 T/SQ.M

ΣUSF= 41.53 T/M

Z = ?M 28.00

UDS = ?T/SQ.M 20.00

UNW = ?T/CU.M 2.03

0.36 ***

EOP = 25.04 T/SQ.M

Ca = 7.20 T/SQ.M

ΣUSF= 99.77 T/M

Z = ?M 32.00

SPT = ?B/FT 76.00

UNW = ?T/CU.M 1.97

EOP = 28.92 T/SQ.M

50.31 ***

40.77 ***

0.45 ***

Fa = 12.15 T/SQ.M

ΣUSF=148.38 T/M

รูปที่ 6.2 (ต่อ) ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องคำนวณ HP-41C

โหล่งทาวเวอร์ส

BORING NO. 3

GWL = 2.1 1.50

PTE = 2.1 1.20

Z = 2.1 15.00

UDS = 2.1/T/SQ.M 1.63

UNW = 2.1/CU.M 1.74

0.98 ***

EOP = 12.60 T/SQ.M

Ca = 1.60 T/SQ.M

ΣUSF= 22.05 T/M

Z = 2.1 20.00

UDS = 2.1/T/SQ.M 6.15

UNW = 2.1/CU.M 1.83

0.46 ***

EOP = 16.75 T/SQ.M

Ca = 2.82 T/SQ.M

ΣUSF= 36.15 T/M

Z = 2.1 25.00

UDS = 2.1/T/SQ.M 20.00

UNW = 2.1/CU.M 1.96

0.36 ***

EOP = 21.55 T/SQ.M

Ca = 7.28 T/SQ.M

ΣUSF= 72.55 T/M

Z = 2.1 27.50

SPT = 2.1/B/FT 50.00

UNW = 2.1/CU.M 1.79

EOP = 23.53 T/SQ.M

36.11 ***

38.04 ***

0.45 ***

Fa = 10.15 T/SQ.M

ΣUSF=97.93 T/M

Z = 2.1 28.50

UDS = 2.1/T/SQ.M 15.00

UNW = 2.1/CU.M 1.97

0.38 ***

EOP = 24.50 T/SQ.M

Ca = 5.76 T/SQ.M

ΣUSF= 103.62 T/M

Z = 2.1 30.50

SPT = 2.1/B/FT 86.00

UNW = 2.1/CU.M 1.96

EOP = 26.42 T/SQ.M

58.60 ***

42.09 ***

0.45 ***

Fa = 11.47 T/SQ.M

ΣUSF=126.55 T/M

Z = 2.1 32.00

SPT = 2.1/B/FT 84.00

UNW = 2.1/CU.M 1.95

EOP = 27.84 T/SQ.M

55.45 ***

41.61 ***

0.45 ***

Fa = 12.22 T/SQ.M

ΣUSF=144.86 T/M

อัยรย่อที่ใช้และความหมาย

GWL = Ground Water Level, m.

PTE = Pile Top Elevation, m.

Z = Depth of Pile, m.

UDS = Undrained Shear Strength, t/m^2 .UNW = Unit Weight of Soil, t/m^3 .EOP = Effective Over-burden Pressure, t/m^2 .C_a = Adhesion, t/m^2 .

ΣUSF = Acc. Ultimate Skin Friction, t/m.

SPT = Standard Penetration Test (N) *

F_a = Friction, t/m^2

* เป็นค่าที่วัดได้จริงในสนามกรณีที่เป็นทรายละเอียดหรือ Silt

จัดแนบ โปรแกรมที่ใช้จะทำการแก้ไขตามสมการที่ (45)

6.6.1 เสาเข็มเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ อาคารสำนักงานใหญ่ ธนาคาร
กรุงเทพ จำกัด ถนนสีลม

รายละเอียดของเสาเข็มมีดังนี้ ขนาด $0.60 \times 1.80 \times 30.00$ เมตร เส้น
รอบรูป = 4.284 เมตร พื้นที่หน้าตัดที่ปลายเข็ม 1.0026 ตารางเมตร ผลที่ได้จากเครื่อง
คำนวณจะเห็นได้ว่าที่ความลึก 30.00 เมตร จะได้แรงเสียดทานและ/หรือแรงดัดแน่นรอบเสา
เข็มต่อความยาวของเส้นรอบรูป 1.00 เมตร = 100.08 ตัน/ม ดังนั้น น้ำหนักบรรทุกเนื่อง
จากแรงเสียดทานและ/หรือแรงดัดแน่น มีค่าเท่ากับ $4.284 \times 100.08 = 428.74$ ตัน ที่ส่วน
ปลายของเสาเข็มเป็นทรายละเอียดมีมุมเสียดทานภายใน 36° จากคำแนะนำของ VESIC
(1977) จะได้ $N_q = 20$ และจากผลลัพท์ที่เครื่องคำนวณพิมพ์ออกมาที่ระดับความลึก 30.00 เมตร
จะมี $\sigma'_{vb} = 26.18$ ตัน/ม². จะได้น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม = $(428.74 + 524.96) =$
953.70 ตัน จากการคาดคะเนตามวิธีของ CHIN (1970) จะได้น้ำหนักบรรทุก (จากตาราง
ที่ 6.5-6.8) 982.55 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก

6.6.2 เสาเข็มเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่อาคารโทบิงทาวเวอร์ ถนนเอกมัย

รายละเอียดของเสาเข็มมีขนาด $\phi 1.00 \times 32.00$ เมตร เส้นรอบรูป 3.142
เมตร พื้นที่หน้าตัด 0.785 ตารางเมตร น้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการทดสอบเสาเข็ม 1125 ตัน
จากรูปที่ 6.2 จะได้แรงเสียดทานและ/หรือแรงดัดแน่น $(134.78 + 148.38 + 144.88) / 3$
= 142.68 ตัน/ม ดังนั้น น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงเสียดทานจะมีค่าเท่ากับ 142.68×3.142
= 448.30 ตัน ที่ส่วนปลายของเสาเข็มเป็นดินทรายมีมุมเสียดทานภายใน 40° จากคำแนะนำ
ของ VESIC (1972) จะได้ $N_q = 37$ จะได้แรงดัดที่ปลายเสาเข็ม = $37 \times 28.33 \times 0.785$
= 822.84 ตัน ดังนั้น จะได้น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเท่ากับ 1271.14 ตัน จะเห็นว่าจะได้
ค่าถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริง (ที่ระยะความลึก 32.00 เมตร ค่าเฉลี่ยของ $\sigma'_{vb} = 28.33$
ตัน/ม²)