การออกแบบการรับน้ำหนักบรรทุก
ของเสาเข็ม

โดย

ผศ. เกษม เพชรเกตุ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วิศวกรรม

การออกแบบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

ผศ.เกษม เพชรเกตุ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มขึ้นอยู่กับความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของตัวเสาเข็มในฐานะเสาสั้น และความสามารถรับน้ำหนักของดินที่อยู่รอบ ๆ ตัวเสาเข็ม และที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็ม (PILE TIP) วิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ และใช้ค่าที่น้อยกว่าระหว่างสองค่านี้เป็นค่าออกแบบ

การรับน้ำหนักบรรทุกของตัวเสาเข็ม

เสาเข็ม PRECASTCONCRETE, PRESTRESSED CONCRETE และเสาเข็มหล่อในที่ทั้งระบบแห้ง และระบบเปียกมีหลักในการออกแบบการรับน้ำหนักบรรทุกคล้ายคลึงกันเช่นเสาเข็ม PRECAST CONCRETE ACI CODE กำหนดให้ใช้ค่า 0.33 fc.Ac เป็นความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของตัวเสาเข็มแต่ NATIONALBUILDING CODEให้ใช้ 0.225fc.Ac และ NEWYORK CODE ให้ใช้ 0.25 fc.Ac เป็นความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของตัวเสาเข็ม สำหรับเสาเข็ม PRESTRESSED CONCRETE การรับน้ำหนักบรรทุกของตัวเสาเข็มจะลดลงจากปกติ เนื่องจากแรงอัดของลวด PC. WIRE คือลดลงเท่ากับ 0.27 fpe (fpe = STRESS AFTER LOSSED = 0.85 $\frac{P}{A}$) แต่สำหรับเสาเข็มเจาะทั้งระบบเปียก และ ระบบแห้ง NEW YORK CODE, CHICAGO CODE และ CP 2004 CODE กำหนดให้ใช้ 0.24 fc.Ac เป็นค่าความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของตัวเสาเข็ม โดยคิดเฉพาะกำลังของคอนกรีต

การรับน้ำหนักบรรทุกของดิน

ดินเกิดจากการผุพังของหินดั้งเดิมแล้วอยู่กับที่ หรือผุพังแล้วถูกน้ำ หรือลมพัดพาไปตก ณ ที่ต่าง ๆ บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาก็เช่นกันเกิดจากดินที่ผุพังจากหินดั้งเดิมแล้วน้ำพัดพามาตกตะกอนเช่นกรวด ทราย ดินตะกอน (SILT) และดินเหนียวมาตกตะกอนเป็นชั้น ๆ เหนือชั้นหิน (BED ROCK) ซึ่งบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาชั้น BED ROCK อยู่ลึกประมาณ 550 ถึง 2,000 เมตร เหนือชั้น BED ROCK ขึ้นมาเป็นชั้น กรวด ทราย ดินตะกอน และดินเหนียว สลับกันจนใกล้ถึงผิวดิน ดินชั้นบนสุดเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน มีปริมาณน้ำบรรจุสูง ดินชั้นนี้หนาประมาณ 10 ถึง 18 เมตร จากดอนเมืองถึง พระประแดง ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 ส่วนรูปที่ 2 เป็นลักษณะดินเฉพาะบริเวณที่ได้จากการเจาะสำรวจ

การออกแบบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยพิจารณาดินเป็นผู้รับน้ำหนัก

การรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม แบ่งได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนด้านข้างของเสาเข็มเป็นผู้รับน้ำหนัก (LOAD CARRIED ON THE SHAFT) กับส่วนฐานเป็นผู้รับน้ำหนัก (LOAD CARRIED ON THE BASE) น้ำหนักสองส่วนนี้เป็นตัวแบ่งเรียกชนิดการรับน้ำหนักว่าเป็นของเสาเข็ม FRICTION PILE เป็น END BEARING PILE โดยถือค่ามากเป็นค่ากำหนดชื่อ ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้ :-

$Q_{ult} \quad Q_s + Q_b$

$Q_{ult.}$ - ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดิน.....ตัน

Q_s - SKIN FRICTION.....ตัน

Q_t - END BEARING.....ตัน

Q_{all} - $\frac{Qu}{FS.}$

Q_{all} - น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ดินรับได้.....ตัน

FS. - ตัวทอนความปลอดภัย

- 2.5 ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ออกตาม พรบ. ควบคุมอาคาร 2522
- 2 สำหรับ SKIN FRICTION และ 4 สำหรับ END BEARING (ผู้เขียน)

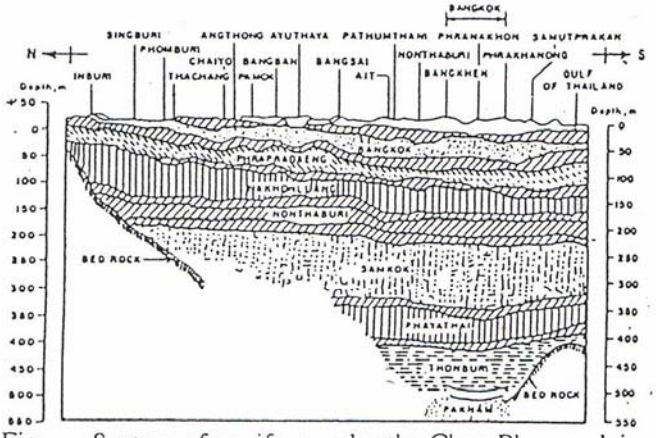
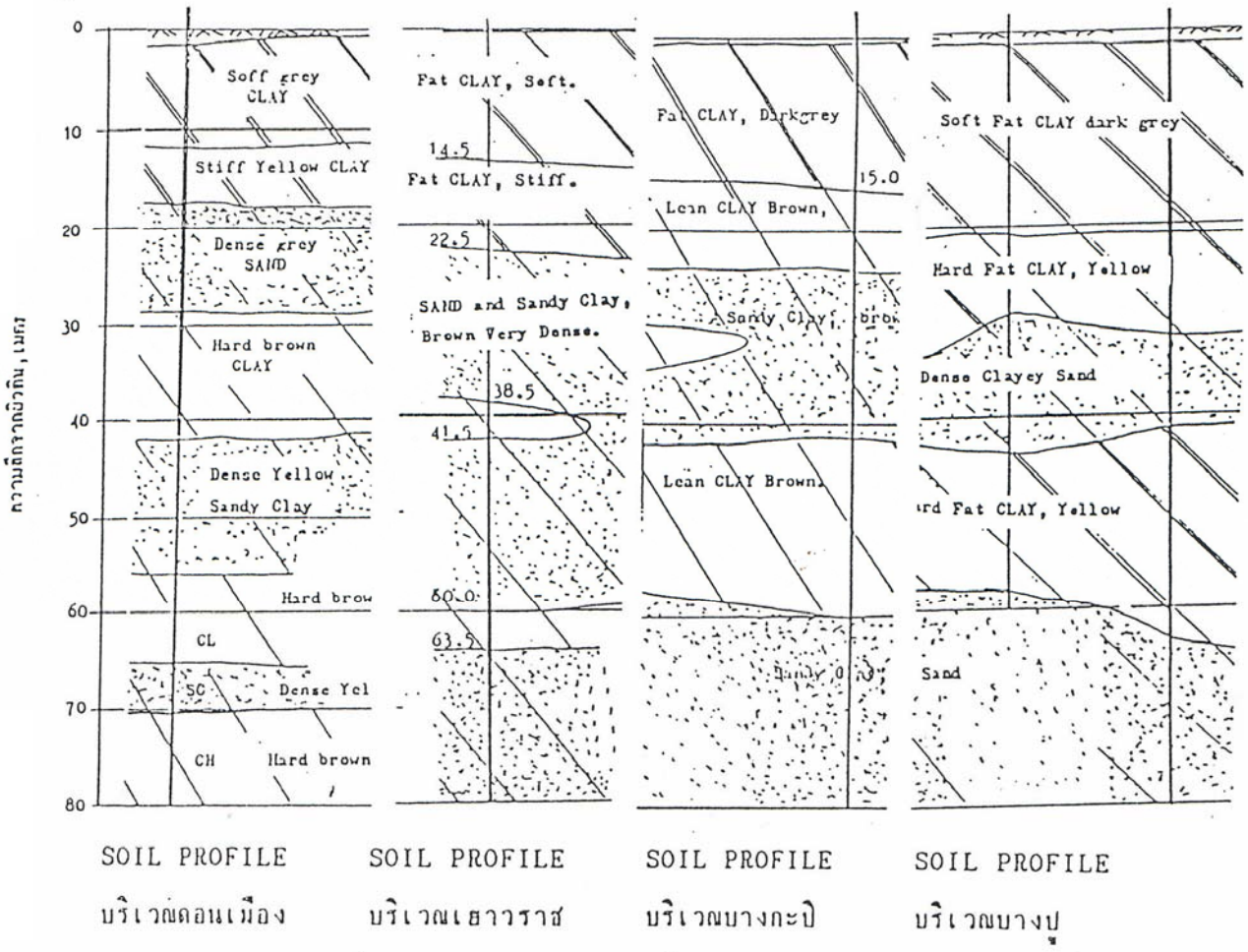


Fig. 1 System of aquifers under the Chao Phraya plain

(After A.B. Bola Subramaniam 1991)



รูปที่ 2 ลักษณะดินเฉพาะบริเวณที่ได้จากการเจาะสำรวจ

ก. การออกแบบเสาเข็มฝังในชั้นทราย

Q_{ult} - $Q_s + Q_t$

Q_s - $1/2\ K_2 \cdot P_o \cdot \tan S\ A_s$

Q_b - $r' \cdot D \cdot N_q \cdot A_b$

K_s - COEFFICIENT OF EARTH PRESSURE
คิดตาม BROMS (1965)

S - ANGLE OF WALL FRICTION
คิดตาม AAS (1966)

P_o - EFFECTIVE OVERBURDEN PRESSURE, T/M

A_s - พื้นที่ผิวของเสาเข็ม, m^2

r' - EFFECTIVE UNIT WEIGHT OF SOIL, T/M

D - ความลึก ณ จุดที่คำนวณ, m.

Ø - ANGLE OF SHEAR RESISTANCE, DEGREE

N_q - BEARING CAPACITY FACTOR
ตาม BEREZANTSEV (1961), เมื่อ $\frac{D}{B} \geq 5$ (Fig.3) และ
ตาม TERZAGI and PECK (1967) ถ้า $\frac{D}{B} < 5$ (Fig.4)

A_b - พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม, m^2

$\frac{D}{B}$ - อัตราส่วนระหว่างความลึกของเสาเข็มที่ฝังในชั้นทรายต่อความกว้างของเสาเข็ม

ตารางที่ 1. ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม กับค่า S (AFTER AAS) และ ค่า K_s (AFTER BROMS)

วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม	S	KS	
		LOW RELATIVE DENSITY	HIGH RELATIVE DENSITY
เหล็ก	20	0.5	1.0
คอนกรีต	3/4 Ø	1.0	2.0
ไม้	2/3 Ø	1.5	3.0

ค่ามุม Ø ตาม BROMS นั้น ได้จากการทดสอบ CU-TRIAXIAL ของทราย แต่โดยปกติแล้วมีการทดสอบ CU-TRIAXIAL ของชั้นทรายน้อยมากในบ้านเรา ดังนั้น ขอให้ใช้ค่า Ø จากการทดสอบ ค่าทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT TEST) ตาม PECK, HANSON AND THORNBURN (1974) (ตามรูปที่ 5) ซึ่งทาง SOIL MECH LAB ของ KMIT BANGMOD ได้ทำการทดสอบตัวอย่างทรายแบบ CU-TRIAXIAL หลายตัวอย่างได้ผลสอดคล้องกับค่าของ PECK, HANSON และ THORNBURN

ข. การออกแบบเสาเข็มฝังในชั้นดินเหนียว

$Q_{ult.}$ - $Q_s + Q_b - Q_n$

Q_s - $\alpha S_u . A_s$.....AFTER CLARK AND MEYERHOF (1973)

Q_b - $N_c . S_{ub} . A_b$.....AFTER MEYERHOF (1951)

Q_n - $K . P_b . A_s$.....AFTER BJERRUM (1973)

เมื่อ :-

Q_s - SKINFRICTION.....TONS.

Q_b - END BEARING.....TONS.

Q_n - NEGATIVE SINFRICTION....TONS.

α - ADHESION FACTOR คิดตาม HOLMBERG (1970) (Fig. 6)

S_u - UNDRAINED SHEAR STRENGTH, T/M^2 (ได้จาก UNCONFINED COMPRESSION TEST แต่กรณีดินเหนียวแข็ง จากการศึกษาของ SOILMECH. LAB. KMIT. BANGMOD ให้ใช้

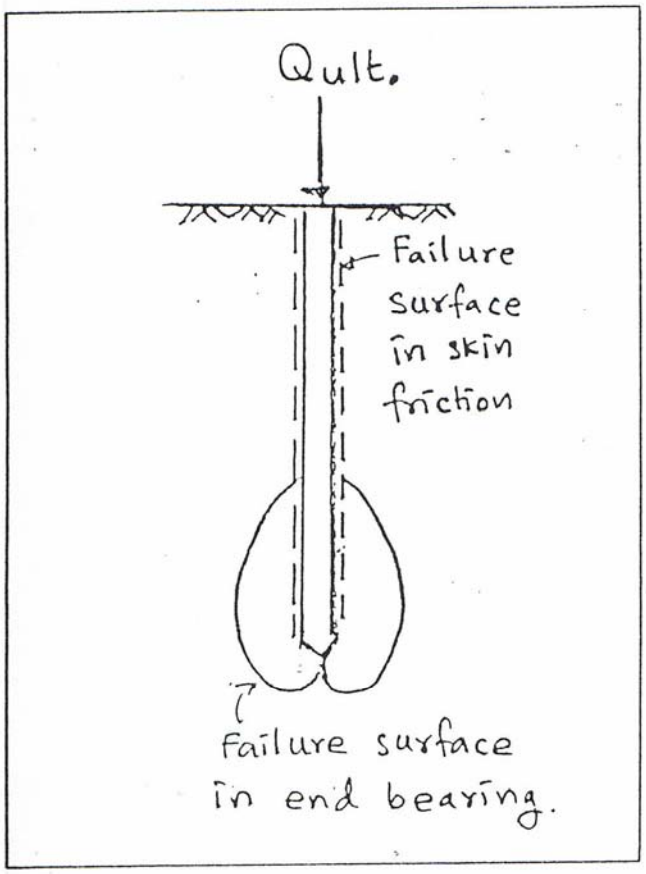
$S_u = \frac{1.225\ N_{cor.}}{2}\ T/M^2$)

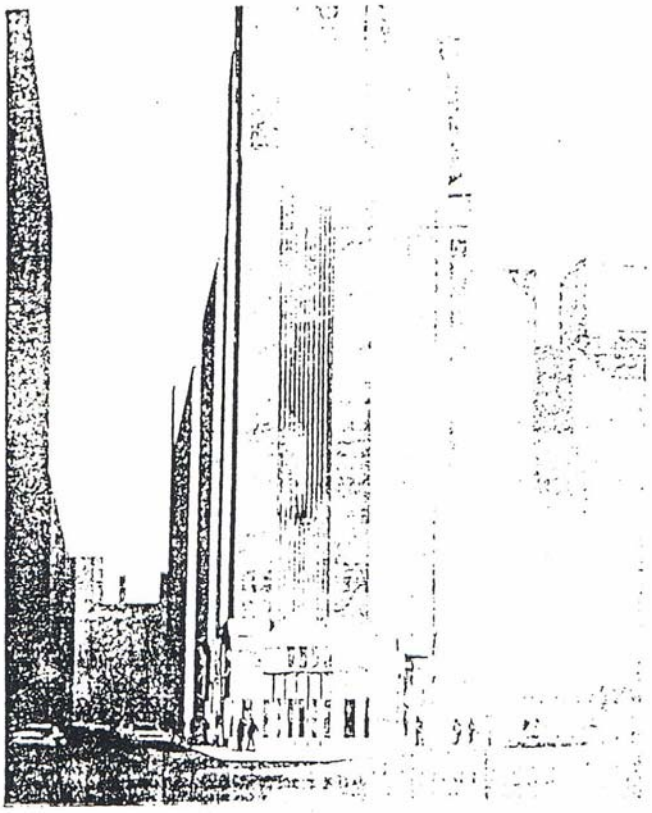
$N_{cor.}$ - N_{fiel} (กรณี $N_{fild} \leq 15$)

- $15 + 1\ (N_{field} - 15)$

(กรณี $N_{field} < 15$)

N_c - 9.....MEYERHOF (1951)





NEGATIVE SKINFRICTION (Q_n)

บริเวณดินเหนียวกรุงเทพฯ ชั้นบนสุดจะเป็นชั้นดินอ่อน ถัดจากชั้นดินอ่อนลงไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง และชั้นทราย ชั้นที่ 1 ตามลำดับถ้าเราตอกเข็มผ่านชั้นดินอ่อนลงไปฝังในชั้นดินเหนียวแข็ง หรือ ชั้นทราย ชั้นดินอ่อนจะยุบตัวเร็วกว่าชั้นอื่น ๆ เนื่องจากชั้นดินอ่อนได้รับน้ำหนักบรรทุกหรือค่า EFFECTIVE STRESS เพิ่มขึ้น ขณะที่ชั้นดินอ่อนยุบตัวลงมันจะฉุดเอาเสาเข็มลงไปด้วยแรงฉุดนี้เราเรียกว่า NEGATIVE SKINFRICTION FORCE.

Q_n - $K . P_o . A_s$.....TONS.

P_o - EFFECTIVE OVER BURDEN PRESSURE, T/M^2

A_s - พื้นที่ผิวของเสาเข็ม.....m^2.

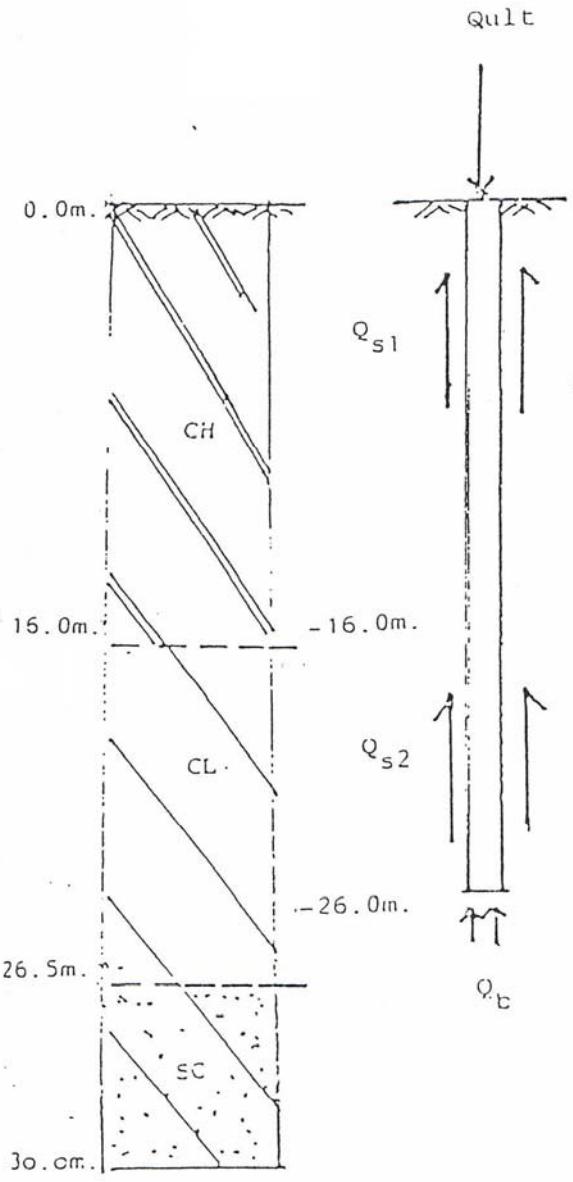
K - COEFFICIENT OF EARTH PRESSURE

- 0.25 FOR SILTY CLAYS.
- 0.20 FOR LOW PLASTIC CLAYS.
- 0.15 FOR MEDIUM PLASTIC CLAYS.
- 0.10 FOR HIGHLY PLASTIC CLAYS.

EXAMPLE.

จากรูปที่ 7 และ 8 เป็น SOIL PROFILE และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของดิน

ก. จงออกแบบเข็มเจาะระบบแห้งขนาด Ø 0.50 m. เจาะให้ปลายเสาเข็มอยู่ที่ระดับ - 25 เมตร จากผิวดินถ้าไม่คิด EFFECT เนื่องจาก NEGATIVE SKINFRICTION ให้หาว่าเสาเข็มต้นนี้รับน้ำหนักบรรทุก ได้เท่าไหร่?



SOL^n.

$Q_{ult} = Q_s + Q_b$

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

$= \alpha_1 . S_{u1} . A_{s1} .$

$+ \alpha_2 . S_{u2} .. A_{s2}$

$= 1 \times 1.3 \times \pi \times$

$0.50 \times 16 + 0.4$

$\times 15 \times \pi \times 0.5$

$\times 10$

$= 126.9$ tons.

$Q_b = N_c . S_{ub} . A_b$

$= 9 \times 22 \times$

$\frac{\pi \times 0.5^2}{4}$

$= 38.8$ tons.

$Q_{all} = \frac{Qult}{FS}$

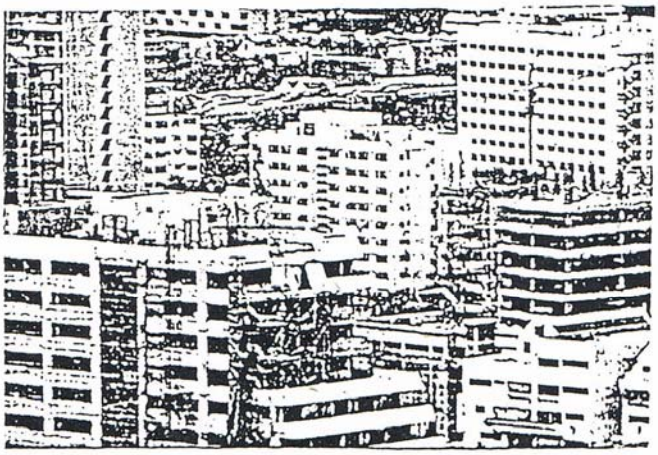
$= \frac{126.9 + 38.8}{2.5}$

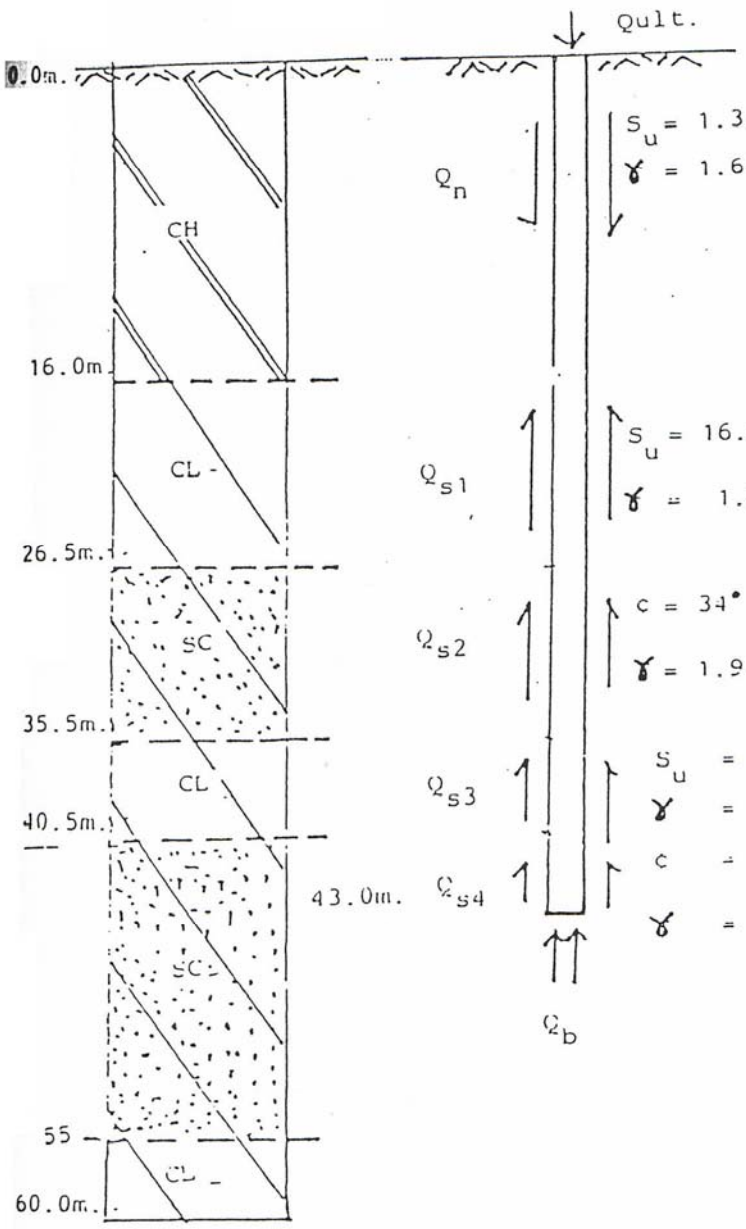
$= 66$ tons.

รูปที่ 7 *SOIL PROFILE และ SOIL PARAMETER*

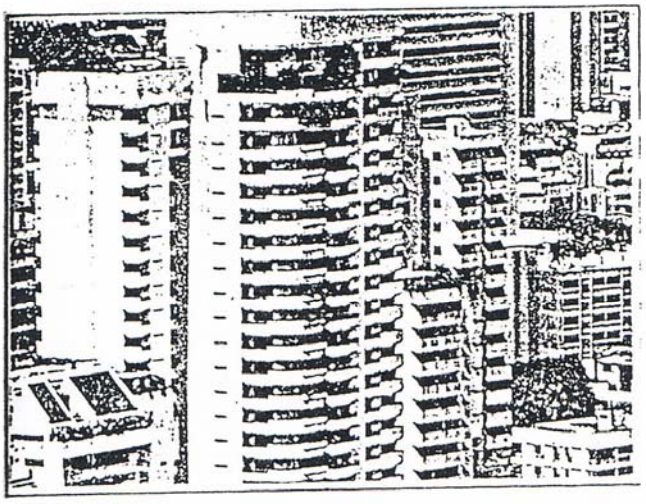
หมายเหตุ ในการทำเสาเข็มเจาะระบบแห้งต้องหยุดการเจาะเหนือชั้นทราย เพื่อป้องกันน้ำในชั้นทรายไหลทะลักเข้าไปในตัวเสาเข็มทำให้การเทคอนกรีตยาก แต่ถ้าเป็นเสาเข็มดอกควรดอกให้ปลายเสาเข็มฝังในชั้นทราย อย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มต้นนั้น

ข. จงออกแบบเสาเข็มเจาะระบบเปียก ขนาด ø 0.80 เมตร เจาะให้ปลายเสาเข็มอยู่ที่ระดับความลึก - 43.0 เมตร จากผิวดิน จงหาความสามารถการรับน้ำหนักของเสาเข็มต้นนี้ ถ้า f_c' มีค่าเท่ากับ 280 KSC.





รูปที่ ๑ *SOIL PROFILE* **และ** *SOIL PARAMETER* **สำหรับตัวอย่าง ข**



Sol^n

พิจารณาดินรับน้ำหนัก

$Q_{ult.} = Q_s + Q_b - Q_n$

$Q_n = K . P_o' . A_s$

$= 0.1 \times 0.6 \times 8 \times \pi \times 0.8 \times 16$

$= 19.3$ tons.

$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4}$

$Q_{s1} = \alpha . Su . As$

$= 0.4 \times 16.5 \times \pi \times 0.8 \times 10.5$

$= 174.2$ tons.

$Q_{s2} = \frac{1}{2} . K_o . Po . \tan . As$

$= \frac{1}{2} \times 1 \times (0.6 \times 16 + 0.9 \times 4.5) \times \tan 25.5 \times \pi \times 0.8 \times 9$

$= 73.6$ tons

$Q_{s3} = \alpha . Su . As$

$= 0.4 \times 24 \times \pi \times 0.8 \times 5$

$= 120.6$ tons

$Q_{s4} = \frac{1}{2} . Ks . Po . \tan . As$

$= \frac{1}{2} \times 1 \times (0.6 \times$

16 + 0.9 x 24)

x tan 28.5 x π x

0.8 x 1.25

= 26.6 tons.

$Q_b = \gamma' . D . N_q . Ab$

= 33.9 x 70 x 0.5026

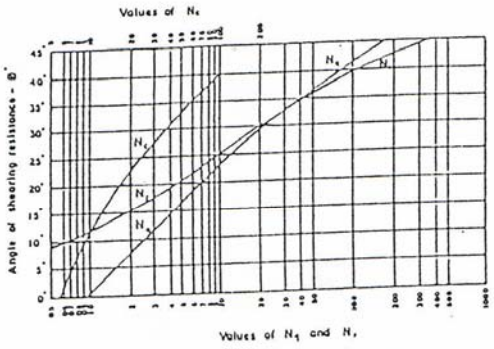
= 1,192.8 tons.

∴ Qu = 174.2 + 73.6 +

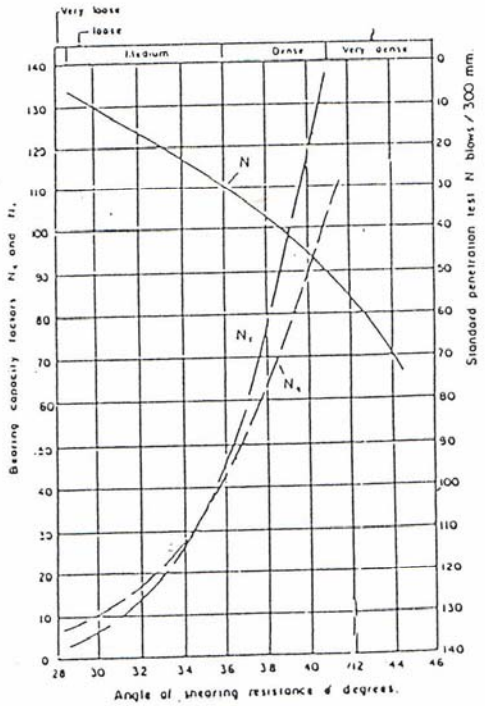
120.6 +. 26.6 +

1,192.8 - 19.3

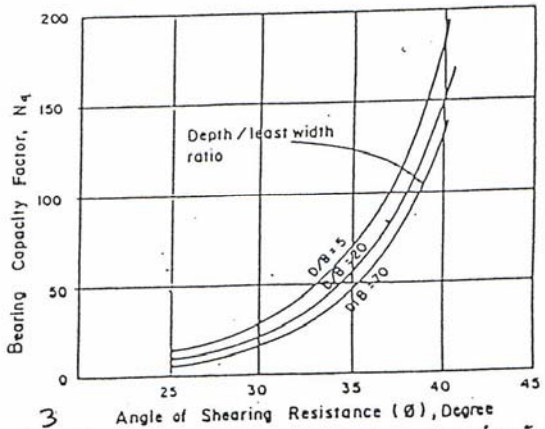
= i,568.5 tons.



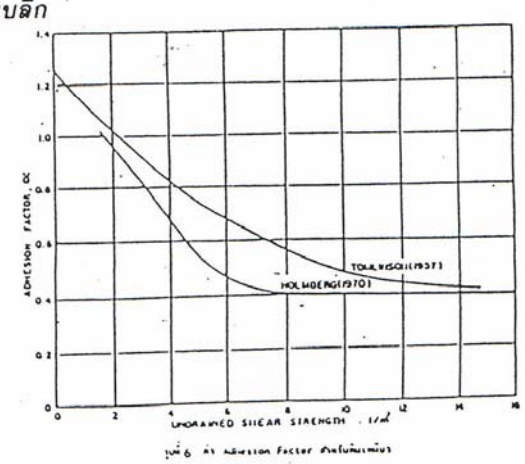
รูปที่ 4 ค่า *Terzaghi's Bearing Capacity Factors* สำหรับฐานรากแบบตื้น



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ø, *Bearing Capacity Factors* และค่า N จาก *Standard Penetration Test (Peck, Hanson & Thornburn)*



รูปที่ 3 ค่า *Barezantsev's Bearing Capacity Factor (N_Q)* สำหรับฐานรากแบบลึก



Qall = $\frac{QU}{fs.}$

= $\frac{1,568.5}{2.5}$

= 627 tons.

พิจารณาคอนกรีตรับน้ำหนัก

Pall. = 0.25 fc' . Ac

= $\frac{0.25 \times 280 \times 5,026}{1,000}$

= 325 tons.

จะเห็นว่ากรณีนี้คอนกรีตรับน้ำหนักได้น้อยกว่าดิน จึงใช้น้ำหนักที่คอนกรีตรับได้ไปออกแบบ

∴ Qall = 352 tons.

หมายเหตุ ในชั้นทราย Tomlinson กำหนดให้คิด Skin Friction ไม่เกิน 11 ตัน ต่อตารางเมตร

เอกสารอ้างอิง

1. รายงานการสำรวจดิน 20 โครงการ ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา พระจอมเกล้าธนบุรี บางมด พ.ศ. 2530-34
2. Simons, N.E. and Menzies. B.K, A Short Course in Foundation Engineering, Newnes-Butterworths, London, 1977.
3. Tomlinson, M.J., Pile Design and Construction Practice, Rainbow-Bridege Boot Co., 1977