

การคาดคะเนการรับน้ำหนักของเสา เข็ม โดยสแตนดาร์ด เพ เน เทรชัน เทส

ในดินกรุงเทพมหานคร



นายวีรพันธ์ ปิตุภกรณ

ศูนย์วิทยพัชการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2526


ISBN 974-562-218-4

010615

i 17399415

PREDICTION OF PILE CARRYING CAPACITY FROM STANDARD PENETRATION TEST

(N) IN BANGKOK METROPOLIS SUBSOIL



Mr. Weeranun Pitupakorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1983



หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคาดคะเนการรับน้ำหนักของ เสา เข็ม โดยสแตนด์การ์ด เพเนเทรชัน  
 เทส ในดินกรุงเทพมหานคร  
 ชื่อนิสิต นายวีรพันธ์ ปิณฑกรณ์  
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์  
 ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
 ปีการศึกษา 2525



### บทคัดย่อ

หลักการออกแบบฐานรากแบบเสา เข็มให้ตั้งอยู่ได้โดยไม่เกิดการวิบัติและประหยัด  
 ค่าก่อสร้าง ผู้ออกแบบจะต้องคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็มให้ได้ใกล้เคียงกับ  
 ความเป็นจริง ซึ่งส่วนใหญ่ค่าพารามิเตอร์กำลังเฉือนของดินที่ใช้คำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุก  
 ของเสา เข็มด้วย static pile formula มักจะได้มาจากการเจาะสำรวจดินและ เก็บตัวอย่าง  
 ดินมาวัดค่ากำลังในท้องทดลองโดยใช้ unconfined compression test สำหรับชั้นดินแข็ง  
 ในกรุงเทพฯ ส่วนใหญ่นิยมเก็บตัวอย่างดินที่มีสภาพถูกรบกวน (disturbed sample) และ  
 ทดสอบ SPT ไปด้วยในตัวเพื่อเป็นการประหยัดและไม่เสียเวลา เพื่อประหยัดเวลาในการออก  
 แบบ ปัญหาที่ควรหาคำตอบคือจะประมาณค่ากำลังเฉือนของดินจากค่า SPT N value อย่างไร  
 หรือจะประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็มจากค่า SPT N value ได้อย่างไร

เพื่อให้สามารถคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็มตอกในดินแข็งชั้นแรกของ  
 กรุงเทพฯ จากค่า N(SPT) ให้ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น ผู้เขียนจึงเก็บรวบรวม  
 ข้อมูลหลุมเจาะดิน และข้อมูลการทดสอบเสา เข็มตอกในบริเวณกรุงเทพฯ เอามาวิเคราะห์หา  
 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N(SPT) กับแรงต้านทานของเสา เข็มในส่วนที่เป็นดินแข็ง นอกจาก  
 นั้นแล้วยังได้ develop หาค่า adhesion factor ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าแรงเฉือนจาก  
 unconfined compression test เพื่อมีประโยชน์ในการออกแบบ เสา เข็มคอนกรีตอัดแรง  
 ในชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นทรายชั้นแรก

โดยได้ทำการวิจัยตามขั้นตอนและผลการวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้

(i) ทหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $N(SPT)$  กับค่ากำลังของดินที่ได้จาก unconfined compression test ของดินเหนียวแข็งชั้นแรกในชั้นดินกรุงเทพฯ เพื่อให้ได้กำลังเฉือนของดินแบบอันเดรณ ( $S_u$ ) เอาไปใช้ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มตอกในชั้นดินเหนียวแข็งตามวิธี total stress โดยทำการวิเคราะห์จากข้อมูลทั้งหมด 426 จุด และใช้หลักการของเส้นถดถอย (Regression analysis) ซึ่งพบว่า สามารถแยกความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $N(SPT)$  กับ  $q_u$  ตาม plasticity ของดินเป็นดิน CH (Inorganic clay of high plasticity) และดิน CL (Inorganic clay of low to medium plasticity) โดยพบว่าดินเหนียวแข็ง (CH) ของกรุงเทพฯ ให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $N$  กับ  $q_u$  ใกล้เคียงกับที่เสนอโดย Terzaghi และ Peck (1948) ดินเหนียวแข็ง (CL) ได้ความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับที่เสนอโดย Sowers (1961) ความลึกของชั้นดินเหนียวแข็งที่วิจัยอยู่ระหว่าง 14.0 เมตร ถึง 25.0 เมตร จากผิวดิน ค่า Plasticity index อยู่ระหว่าง 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ Natural water content อยู่ระหว่าง 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์

(ii) ทหาความสัมพันธ์แบบ empirical ระหว่างค่าตัวประกอบการยึดเกาะ (adhesion factor  $\alpha$ ) กับค่าเฉลี่ยกำลังเฉือนของดินเหนียวแข็ง โดยวิเคราะห์ได้จากข้อมูลการทดสอบเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงตอกในบริเวณกรุงเทพฯ จำนวน 32 ต้นและเข็มเหล็ก 2 ต้น ความลึกของปลายเข็มอยู่ระหว่าง 18.5 เมตร ถึง 29.0 เมตรจากผิวดิน ได้ค่า  $\alpha$  แปรตามค่าเฉลี่ยแรงเฉือนของดินเมื่อค่าเฉลี่ยแรงเฉือนของดินมากขึ้น ค่า  $\alpha$  จะมีค่าน้อยลง และแนวโน้มของเส้น curve ความสัมพันธ์ของค่า  $\alpha$  กับค่าเฉลี่ยแรงเฉือนของดินที่ทำได้ใกล้เคียงกับเส้น curve ของ Peck (1958) ได้ค่า  $\alpha$  มากกว่าค่าที่เสนอโดย Holmberg (1970) เมื่อเอาค่า  $\alpha$  ไปคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม จะได้ค่าต่างไปจากผลการทดสอบในสนามไม่เกิน  $\pm 20$  เปอร์เซ็นต์

(iii) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบ empirical ระหว่างค่า  $N(SPT)$  กับแรงต้านทานของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงชนิดเข็มตอก เฉพาะส่วนที่เป็นดินเหนียวแข็ง จากข้อมูลการทดสอบเสาเข็มจำนวน 34 ต้น และค่า  $N(SPT)$  กับแรงต้านทานของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงชนิดเข็มตอก เฉพาะส่วนที่เป็นดินทรายปนดินเหนียว (ค่า PI อยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์  $W_n$  อยู่ระหว่าง 15 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ และขนาดเบ็ดดินผ่านตะแกรง เบอร์ 200 ไม่เกิน

40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) ข้อมูลทดสอบเสา เข็มที่มีปลาย เข็มจมอยู่ในดินทรายปนดินเหนียว จำนวน ๑ ต้น ความลึกของปลาย เข็มอยู่ระหว่าง 20.0 เมตร ถึง 27.5 เมตร

สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $N(SPT)$  กับแรงต้านทานของ เสา เข็มในดินเหนียว แข็งมีดังนี้

$$P_u (\text{stiff clay}) = 5.75 \frac{N_p A_p}{p} + 0.28 \bar{N}_s A_s \quad \text{สมการที่ (1)}$$

เมื่อ  $P_u$  = ค่าแรงต้านทานสูงสุดของ เสา เข็ม เฉพาะในส่วนที่อยู่ในดินเหนียว แข็ง หน่วยเป็นตัน

$A_p$  = พื้นที่หน้าตัดที่ปลาย เข็ม หน่วยเป็นตาราง เมตร

$A_s$  = พื้นที่ผิวประสิทธิผลของ เสา เข็ม (คิดจาก เส้นรอบรูปรอบ เสา เข็ม ที่สั้นที่สุด) หน่วยเป็นตาราง เมตร

$N_p$  = ค่าเฉลี่ย  $N(SPT)$  ของดินเหนียวแข็งในช่วง  $\pm$  หนึ่ง เท่าของขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง เข็มจากระดับปลาย เข็ม หน่วยเป็น blows per foot

$\bar{N}_s$  = ค่าเฉลี่ยของ  $N(SPT)$  ของชั้นดินแข็งตลอดความยาวของ เสา เข็ม หน่วยเป็น blows per foot

สมการนี้มีรูปแบบ เหมือนกันกับสูตร empirical ที่เสนอโดย Meyerhof (1956 และ 1976)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $N(SPT)$  กับแรงต้านทานของ เสา เข็ม เฉพาะส่วน ที่จมอยู่ในดินทรายปนดินเหนียว มีดังนี้

$$P_u (\text{Clayey sand}) = 0.007 \bar{q}_{avg} \bar{N}_s A_s + 0.394 \bar{q}_{avg} \frac{N_p A_p}{p}$$

สมการที่ (2)

เมื่อ  $P_u$  = ค่าแรงต้านทานสูงสุดของ เสา เข็ม เฉพาะส่วนที่อยู่ในชั้น clayey sand หน่วยเป็นตัน

$\bar{q}_{avg}$  = ค่าเฉลี่ยของค่าความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งของดิน ( $\bar{\sigma}_{vo}$ )  
เฉพาะในชั้นดิน clayey sand ถึงระดับปลายเข็ม หน่วยเป็น  
ตันต่อตาราง เมตร

$\bar{N}_s$  = ค่าเฉลี่ย N(SPT) ตลอดความหนาของชั้นดิน clayey sand  
ถึงระดับปลายเข็ม หน่วยเป็น blows per foot (ไม่ต้องแก้ไข  
ค่า N ที่วัดได้ในสนาม)

$N_p$  = ค่าเฉลี่ย N(SPT) ของชั้นดินในช่วง  $\pm$  หนึ่ง เท่าของขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง  
กลางเสา เข็มจากระดับปลายเข็ม หน่วยเป็น blows per foot  
(ไม่ต้องแก้ไขค่า N ที่วัดได้ในสนาม)

$A_p$  = พื้นที่หน้าตัดที่ปลายเข็ม หน่วยเป็นตาราง เมตร

$A_s$  = พื้นที่ผิวประสิทธิผลของเสา เข็ม หน่วยเป็นตาราง เมตร

สมการนี้ประกอบด้วยค่าเฉลี่ยของความเค้นประสิทธิผลของดินในแนวตั้งและค่า N(SPT)

เมื่อทดสอบสูตร empirical ที่ทำได้ โดยการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย  
ของ เสา เข็มทั้งหมด (รวมแรง เสียคทานของ เสา เข็มในชั้นดินอ่อนและแข็งปานกลางชั้นบนและรวม  
ทั้งแรง เสียคทาน เนื่องจากดินแข็งชั้นบนในกรณีที่ปลาย เข็มอยู่ใน clayey sand) เปรียบ เทียบ  
กับกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็มที่ทดสอบ ได้ในสนาม (ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยจากการ  
ทดสอบ หาได้โดยใช้หลักการของ Vesic 1963) จะพบว่าค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของ  
เสา เข็มในดินเหนียวแข็งจะมีค่าผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 25$  เปอร์เซ็นต์ และเสา เข็มที่มีปลาย เข็มจม  
อยู่ในชั้นดินทรายบนดินเหนียว จะมีค่าผิดพลาด เกิดขึ้นไม่เกิน  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title Prediction of Pile Carrying Capacity from Standard  
Penetration Test (N) in Bangkok Metropolis Subsoil

Name Mr. Weeranun Pitupakorn

Thesis Advisor Assistant Professor Surachat Sambhandharaksa, Ph.D.

Department Civil Engineering

Academic Year 1982



### ABSTRACT

The principle of single pile foundation design is essentially for the stability of pile groups against failure and economical construction. The load carrying capacity of single pile must be closely predicted to the actual one. Usually, the pile capacity is calculated by static pile formula using shear strength parameters from unconfined compression tests from undisturbed samples in soft and medium clay and disturbed samples from split spoon samplers obtained during SPT tests. For economy reason, it is best if the reliable relationships are available for engineer to obtain the estimated ultimate pile load capacity from SPT N value. This is save engineer the cost for performing unconfined compression test in stiff clay and will yield approximate pile capacity after N values are known from field exploration.

To achieve the close prediction of load carrying capacity of driven pile in first stiff clay layer especially in Bangkok area. The author had collected the informations from both soil boring log and pile load test data in Bangkok area in order to analyze for the relationship between N value from standard penetration test and load resistance of driven pile having its tip in stiff clay and clayey sand layer. In addition, the empirical formula had been developed to relate the adhesion



factor and the shear strength parameter obtained from unconfined compression test. Both of these relations are so useful for designing the prestressed concrete pile capacity which is driven in the first Bangkok stiff clay layer or even in the first clayey sand stratum.

Followings are the procedure and result of this research.

(i) Data are collected for obtaining the relationship between N value from standard penetration test and shear strength parameter taken from unconfined compression test of the first Bangkok stiff clay layer. The result was obtained by regression analysis from 426 samples. It can be concluded that the relationship between N value and  $q_u$  depending on the plasticity of clay. The relationship can, therefore, be divided into two groups: CH (Inorganic clay of high plasticity) group and CL (Inorganic clay of low to medium plasticity) group. The relationship between N value and  $q_u$  in CH Soil group is close to that proposed by Terzaghi and Peck (1948) whereas the other (i.e. for CL Clay) is close to that proposed by Sowers (1961). The depth of the stiff clay layer under study is varied from 14.0 meter to 25.0 meter below ground level. The plasticity index and the natural water content of clays are between 10-50 percent, and 20-40 percent respectively. The developed relationships are aimed for estimating undrained shear strength from SPT N value. They will also be used in this study for developing the adhesion factor.

(ii) Data were collected for obtaining the empirical formula relating the adhesion factor ( $\alpha$ ) to the average undrained shear strength of first Bangkok stiff clay layer. The results were obtained from 32 prestressed concrete and 2 steel II pile loading tests. The depths of pile tips are varied from 18.5 meter to 29.0 meter below ground level.

It can be concluded that the adhesion factor will adversely vary with the average undrained shear strength. Increase in the average undrained shear strength will lead to the decrease in the adhesion factor. The proposed curve is close to the curve proposed by Peck (1958), but yields a greater value of  $\alpha$  than that proposed by Holmberg (1970). The study yields that using the obtained adhesion factor, the calculated ultimate load carrying capacity of driven prestressed concrete pile are differed from values obtained from pile load tests in range of  $\pm 20$  percent

(iii) Data from 34 pile load tests and numerous N values were collected for obtaining the empirical formula relating the N value to the load resistance of driven prestressed concrete piles having their tips in stiff clay layer. The obtained equation is shown below.

$$P_u \text{ (Stiff clay)} = 5.75 \frac{N}{P} A_p + 0.28 \bar{N}_s A_s \dots\dots\dots(1)$$

where  $P_u$  = Ultimate load carrying capacity of pile due to stiff clay layer portion (tons).

$A_p$  = Cross sectional area of pile tip (Square meter).

$A_s$  = Effective surface area of pile embedded in stiff clay layer (square meter).

$N_p$  = Average SPT N value in stiff clay layer, in the range of  $\pm$  pile diameter measured from pile tip (blows per foot).

$\bar{N}_s$  = Average SPT N value of pile embedded in stiff clay layer (blows per foot).

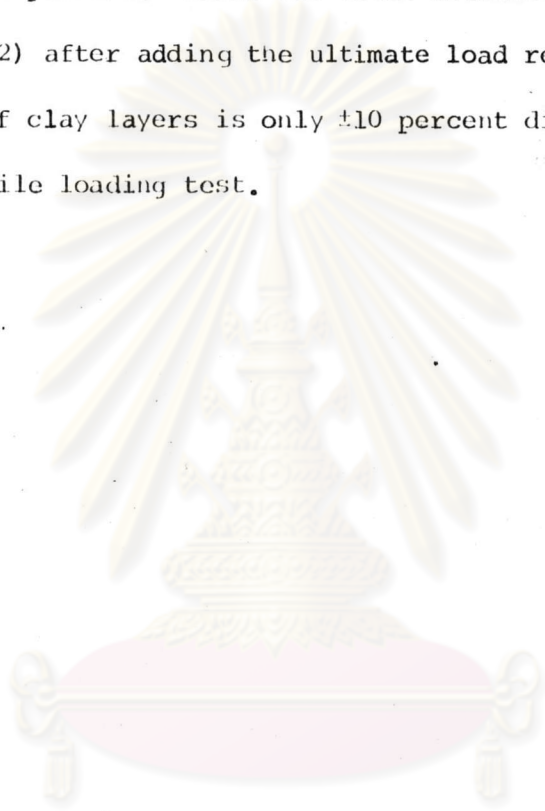
This equation is similar in the form to the empirical formula proposed by Meyerhof (1956 and 1976)

(iv) Data were also collected for obtaining the empirical formula relating the N value to the average load resistance of driven prestressed concrete piles having their tips in clayey sand layer. Data were from 9 pile loading tests where the depths of pile are varied from 20.0 meter to 27.5 meter. The plasticity index and the natural water content of the clayey sand are between 10-20 percent, and 15-25 percent respectively. And soil particle passing through sieve No. 200 is not more than 40 percent by weight. The obtained equation is shown below.

$$P_u \text{ (clayey sand)} = 0.007 \bar{q}_{\text{avg}} \bar{N}_s \Lambda_s + 0.394 \bar{q}_{\text{avg}} N_p \Lambda_p \quad \dots (2)$$

- Where
- $P_u$  = Ultimate load carrying capacity of pile in clayey sand layer portion (tons).
  - $\bar{q}_{\text{avg}}$  = Average effective overburden pressure along pile shaft (Tons per square meter).
  - $\bar{N}_s$  = Average SPT N value along pile in clayey sand layer (blows per foot)
  - $N_p$  = Average SPT N value in the range of  $\pm$  pile diameter measured from pile tip (blows per foot)
  - $\Lambda_p$  = Cross sectional area of pile tip (square meter).
  - $\Lambda_s$  = Effective surface area of pile embedded in clayey sand layer (square meter).

It is verified that the total ultimate load carrying capacity of pile calculated from equation (1) after adding the ultimate load resistance in soft and medium clay layers is slightly different to that obtained from pile load test in which the method of calculating the ultimate load was proposed by vesic (1963). The difference is in the range of  $\pm 25$  percent. While the total ultimate load calculated from equation (2) after adding the ultimate load resistance in soft, medium and stiff clay layers is only  $\pm 10$  percent different to that obtained from pile loading test.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์ธำรงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้ให้ความกรุณาเสียสละ เวลาตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ เรียบร้อย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวยการ รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ มุนนาค รองศาสตราจารย์ ประจิด จิรปภากา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์ธำรงค์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาตรวจแก้ไขและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ อันทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ บริษัท ซอยล์ เทคโนโลยีส์ จำกัด บริษัท กรุงเทพฯ เอนจิเนียริงคอนซัลแตนท์ จำกัด บริษัท อินเตอร์คอนซัลท์ จำกัด การทางพิเศษแห่งประเทศไทย และอาจารย์ วิชัย สังวรประธาน สงกุล ที่ได้กรุณาอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อท่านอื่นที่มีได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือผู้เขียนในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ช
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ท
รายการตารางประกอบ .....	ด
รายการรูปประกอบ .....	ถ
รายการภาคผนวก .....	บ
รายการสัญลักษณ์ .....	ผ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	3
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยโดยย่อ .....	4
1.5 ประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัย .....	6
2. ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา .....	8
2.1 ประวัติของ Standard penetration test .....	8
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT กับพารามิเตอร์ของดิน .....	9
2.3 การคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสา เข็มจากคุณสมบัติของดิน ..	16
2.4 วิธีการทดสอบเสา เข็มและการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย ด้วยวิธีของ Chin (1970) .....	37
3. สภาพของชั้นดินกรุงเทพฯ และข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย .....	41
3.1 สภาพทั่วไปของชั้นดินกรุงเทพฯ .....	41
3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย .....	43

บทที่	หน้า
4. ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานและผลการวิจัย .....	56
4.1 ขั้นตอนการวิจัย .....	56
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังจากการทดสอบการอัดโดยไม่ถูก จำกัด ( $q_u$ ) กับค่าทดสอบแรงทะลุมาตรฐาน (N) .....	57
4.3 การหาค่าตัวประกอบการยึดเกาะของดินเหนียวแข็ง .....	81
4.4 การวิเคราะห์หาสูตร empirical สำหรับคำนวณค่ากำลังรับ น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มคอกในส่วนที่จมอยู่ในดินแข็ง เป็นฟังก์ชันของค่า N	105
4.5 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีปลายเสา เข็มจมอยู่ ในชั้นทรายปนดินเหนียว (Clayey sand) .....	116
5. สรุปผลการวิเคราะห์และข้อ เสนอแนะ .....	138
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ .....	139
5.2 ข้อจำกัดของผลการวิจัย .....	144
5.3 ข้อ เสนอแนะในการทำการวิจัยต่อไป .....	145
เอกสารอ้างอิง .....	146
ภาคผนวก ก. มาตรฐานสหรัฐ ASTM D 1586-64T .....	152
ข. ข้อมูลจากหลุม เจาะดิน เพื่อให้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า N(SPT) กับ $q_u$ .....	155
ค. รายละเอียดข้อมูลหลุม เจาะดินที่ใช้ในการวิจัย .....	169
ง. รายละเอียดข้อมูลผลการทดสอบเสา เข็มที่ใช้ในการวิจัย .....	229
จ. การคำนวณหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของ เสา เข็มจากเส้นกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวที่วัดได้จาก การทดสอบเสา เข็ม ตามวิธีของ Chin (1970) .....	273
ฉ. (i) รายละเอียดและตัวอย่างการคำนวณหาค่าตัวประกอบการยึด เกาะ ( $\alpha$ ) ของเสา เข็มคอนกรีตอัดแรงคอกในชั้นดินเหนียว แข็ง .....	285

ภาคผนวก ฉ.	หน้า
(ii) ผลการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็มคอกใน ดินเหนียวแข็ง .....	290
(iii) ตัวอย่างการหาค่าพารามิเตอร์กำลัง เฌอนของดินทรายปน ดินเหนียวและผลการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็มคอกในดินทรายปนดินเหนียว .....	295
ช. สมการ เส้นถดถอยแบบ เส้นตรงและสูตรการ estimated ค่า พารามิเตอร์คงที่ .....	304
ประวัติผู้เขียน .....	307



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N(SPT)$ กับ consistency และกำลังอัดโดยไม่ถูกจำกัดของดินเหนียว ( $q_u$ ) .....	11
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $N(SPT)$ กับ relative density และมุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ ) ของ Cohesionless soil .....	15
2.3 แสดงค่าตัวประกอบการยึดเกาะ( $\alpha$ )เพื่อใช้ในการออกแบบเสาเข็มในดินเหนียว เสนอโดย Tomlinson (1970) .....	24
3.1 (ก) รายการประเภทของงานและสถานที่ของข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (กลุ่มที่ 1) .....	44
3.1 (ข) รายการประเภทของงานและสถานที่ของข้อมูลการเจาะสำรวจดิน (กลุ่มที่ 2) .....	45
3.2 สรุปคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N(SPT)$ กับ $q_u$ และ $N(SPT)$ กับมุมเสียดทานประสิทธิผลของดิน ( $\bar{\phi}$ ) ..	50
3.3 แสดงข้อมูลของชั้นดินแข็งที่มีค่า $N(SPT)$ และ $q_u$ ในบริเวณที่มีการทดสอบเสาเข็ม .....	51
3.4 รายการข้อมูลการทดสอบเสาเข็ม ปลายของเสาเข็มจมอยู่ในชั้นดินแข็ง .....	54
3.5 รายการข้อมูลการทดสอบเสาเข็ม ปลายของเสาเข็มจมอยู่ในชั้นดินทรายปนดินเหนียว .....	55
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N$ กับ $q_u$ วิเคราะห์ด้วยโมเดล I ( $y = a+bx$ ) ของดินเหนียวแข็งในกรุงเทพฯ .....	63
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N$ กับ $q_u$ วิเคราะห์ด้วยโมเดล II ( $y = cx$ ) ของดินเหนียวแข็งในชั้นดินกรุงเทพฯ .....	64
4.3 (ก) แสดงการทดสอบนัยสำคัญ (Significance) ของค่า $q_u$ ที่มีต่อค่า $N$ ของดินประเภท CH (โมเดล II $y = cx$ ) .....	67

## ตารางที่

## หน้า

4.3 (ข) แสดงการทดสอบนัยสำคัญ (Significance) ของค่า $q_u$ ที่มีต่อค่า $N$ ของดินประเภท CL (โมเดล II = $cx$ ) ....	68
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N$ กับ $q_u$ วิเคราะห์ด้วยโมเดล III ( $y = dx$ ) ของดินเหนียวแข็งในชั้นดินกรุงเทพฯ .....	72
4.5 (ก) แสดงการทดสอบนัยสำคัญ (Significance) ของค่า $q_u$ ที่มีต่อค่า $N/Z$ ของดินประเภท CH (โมเดล III $y = dx$ ) .....	74
4.5 (ข) แสดงการทดสอบนัยสำคัญ (Significance) ของค่า $q_u$ ที่มีต่อค่า $N/Z$ ของดินประเภท CL (โมเดล III $y = dx$ ) .....	75
4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า $q_u$ ที่วัดได้ในห้องทดลองกับค่า $q_u$ ที่คาดคะเนจากค่า $N(SPT)$ .....	77

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $q_u$ กับ $N(SPT)$ ของดินเหนียว เสนอโดย Sowers (1961) .....	12
2.2 (ก) แฟคเตอร์ที่ใช้ปรับแก้ค่า $N$ ในดิน Cohesionless soil เนื่องจากอิทธิพลของความกดดันประสิทธิผลจากน้ำหนักดินชั้นบน ที่เสนอโดย Peck Hanson และ Thornburn (1974) .....	17
2.2 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N(SPT)$ กับมุม $\phi$ , $N_q$ และ $N_\gamma$ ที่ เสนอโดย Peck Hanson และ Thornburn (1974) .....	17
2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\alpha$ กับ $S_u$ สำหรับเสาเข็มตอกในดิน เหนียวที่เสนอโดย Flaate (1968) .....	21
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\alpha$ กับ $S_u$ สำหรับเสาเข็มตอกที่ เสนอโดย Tomlinson (1957) และ Holmberg (1970) .....	22
2.5 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\alpha$ กับ $S_u$ ของเสาเข็มในดินเหนียว แข็ง กับชั้นบนเป็นทรายและกรวด (กรณีที่ 1) เสนอโดย Tomlinson (1970) .....	23
2.5 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\alpha$ กับ $S_u$ ของเสาเข็มในดินเหนียว แข็ง เสาเข็มตอกในดินเหนียวแข็งโดยตรง (กรณีที่ 3) เสนอโดย Tomlinson (1970) .....	23
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประกอบกำลังคาน้ำ (α) กับหน่วยแรงเฉือนของ ดินเหนียวใช้กับเสาเข็มตอกในดินเหนียว เสนอโดย McClelland (1974)	25
2.7 แสดงไดอะแกรมของความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งของดินทรายรวม เสา เข็ม เสนอโดย Vesic (1967) .....	28
2.8 แสดงค่าอัตราส่วนของการรบกวนที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็มที่ สัมพันธ์กับมุมเสียดทานของดินทรายใช้กับเสาเข็มตอก เสนอโดย Vesic (1967)	28
2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม $\phi$ กับค่า $K_s$ ของดินทรายในส่วนที่อยู่บน ความลึกวิกฤต เสนอโดย Meyerhof (1976) .....	30

รูปที่		หน้า
2.10	ค่าหน่วยแรงเสียดทานประลัยแบบ empirical ของเสาเข็มตอก ในชั้นทราย เสนอโดย Meyerhof (1976) .....	30
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง $N_q$ กับมุม $\phi$ ของเสาเข็มตอกในชั้นทราย เสนอโดย Berenzantzev (1961) .....	34
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N_q$ มุม $\phi$ และ $D_c/B$ สำหรับเสาเข็มตอก เสนอโดย Meyerhof (1976) .....	34
2.13	แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง $N_q$ กับมุม $\phi$ ของเสาเข็มสั้น ( $D/B < 15$ ) ใช้กับเสาเข็มตอกในชั้นทราย เสนอโดย Meyerhof (1976) ....	35
3.1	รูปตัดขวางของที่ราบเจ้าพระยาจากอ่าวไทยไปทางเหนือ .....	42
3.2	รูปตัดขวางของที่ราบเจ้าพระยาจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ...	42
3.3	(ก) แสดงค่า $N_{qu}$ และ $Z$ ของดินเหนียวแข็งประเภท CH ในชั้นดินกรุงเทพฯ (ข้อมูลกลุ่มที่ 1) .....	46
3.3	(ข) แสดงค่า $N_{qu}$ และ $Z$ ของดินเหนียวแข็งประเภท CL ในชั้นดินกรุงเทพฯ (ข้อมูลกลุ่มที่ 1) .....	47
3.4	(ก) แสดงค่า $N_{qu}$ และ $Z$ ของดินเหนียวแข็งประเภท CH ในชั้นดินกรุงเทพฯ (ข้อมูลกลุ่มที่ 2) .....	48
3.4	(ข) แสดงค่า $N_{qu}$ และ $Z$ ของดินเหนียวแข็งประเภท CL ในชั้นดินกรุงเทพฯ (ข้อมูลกลุ่มที่ 2) .....	49
4.1	แสดงการพล็อตค่า Liquid limit และ Plasticity index ลงใน Plasticity chart ข้อมูลกลุ่มที่ 1 และ 2 .....	61
4.2	(ก) ความสัมพันธ์ระหว่าง $q_u$ กับ $N$ ของดินประเภท CH วิเคราะห์ ด้วยหลักสถิติโมเดล $y = cx$ .....	65
4.2	(ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง $q_u$ กับ $N$ ของดินประเภท CL วิเคราะห์ ด้วยหลักสถิติโมเดล $y = cx$ .....	66
4.3	แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $q_u$ กับ $N$ ของดินเหนียวแข็งใน กรุงเทพฯ เปรียบเทียบกับของ Sowers (1961) .....	69

รูปที่	หน้า
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $q_u$ กับ $N/Z$ ของดินเหนียวแข็งในชั้นดิน กรุงเทพฯ .....	73
4.5 (ก) แสดงการเปรียบเทียบค่า $q_u$ ระหว่างค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง กับค่าคำนวณได้จากสูตร $q_u = cN$ .....	78
4.5 (ข) แสดงการเปรียบเทียบค่า $q_u$ ระหว่างค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง กับค่าที่คำนวณได้จากสูตร $q_u = d N/Z$ .....	79
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการยึดเกาะกับค่าเฉลี่ยแรงเฉือน ของดินเหนียวในชั้นดินกรุงเทพฯ ที่ได้จากผลการทดสอบเสาเข็ม ชั้นดิน แข็งวิจัยอยู่ที่ความลึกระหว่าง 13.0 ถึง 30.0 เมตร) .....	86
4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังน้ำหนักรรทุกของเสาเข็มระหว่างการ คำนวณกับผลการทดสอบ (ปลายเข็มอยู่ในดินแข็งจำนวน 34 ต้น) ...	93
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha$ กับ $S_u$ เสนอโดย Homberg (1970) ....	96
4.9 เปรียบเทียบเส้น curve ความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha$ กับ Avg. $S_u$ ที่ทำได้ กับที่เสนอโดย Holmberg (1970) .....	97
4.10 แสดงเส้น curve ของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\alpha$ กับ Avg. $S_u$ ที่เสนอ โดย Tomlinson (1957 และ 1970) และเส้น curve ที่หามาได้จาก การวิเคราะห์ผลการทดสอบเสาเข็มคอกในดินกรุงเทพฯ (จำนวน 34 ต้น) 100	100
4.11 แสดงเส้น curve ของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\alpha$ กับ Avg. $S_u$ ที่เสนอ โดย Peck (1958) และเส้น curve ที่หามาได้จากการวิเคราะห์ผล การทดสอบเสาเข็มคอกในดินกรุงเทพฯ (จำนวน 34 ต้น) .....	102
4.12 (ก) และ (ข) แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักรรทุกของเสาเข็ม ระหว่างการทดสอบกับค่าที่คำนวณได้ (เฉพาะส่วนที่ เป็นดินแข็ง คำนวณด้วยสูตร empirical) .....	112
4.13 แสดงเส้น Contourของ piezometric level ของชั้น Aquifer ในกรุงเทพฯ (ความลึก 20 ถึง 50 เมตร) เสนอโดย ดร. จิระศักดิ์ เปรมจิต (1979) .....	118

รูปที่	หน้า
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N_q$ มุม $\phi$ และ $D_c/B$ สำหรับเสาเข็มตอก เสนอโดย Meyerhof (1976) .....	119
4.15 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่าง $\bar{N}_s$ กับ $q_s/\bar{q}_{vavg}$ ของเสาเข็มตอกใน ชั้นดินทรายปนดินเหนียวในกรุงเทพฯ .....	124
4.15 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง $N_p$ กับ $q_p/\bar{q}_{vavg}$ ของเสาเข็มตอกในชั้น ดินทรายปนดินเหนียวในกรุงเทพฯ .....	124
4.16 แสดง เปรียบเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มระหว่างการ คำนวณกับได้จากการทดสอบ เสา เข็ม ปลาย เข็มอยู่ในชั้นดิน clayey sand	125
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $N(SPT)$ กับมุม equivalent $\bar{\phi}$ ของดิน ทรายปนดินเหนียวในกรุงเทพฯ .....	132
4.18 เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของ เสา เข็มระหว่างการทดลองกับ การคำนวณ ปลายเข็มอยู่ใน clayey sand (เฉพาะใน clayey sand คำนวณจากมุม equivalent $\bar{\phi}$ ที่ได้จากสมการ 4.12) .....	132

รายการภาคผนวก

ภาคผนวก	หน้า
ก. มาตรฐานสหรัฐ ASTM D 1586-64T Method for Standard penetration Test .....	152
ข. ข้อมูลรวบรวมจากหลุมเจาะดิน เพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า N(SPT) กับ $q_u$ ประกอบด้วยค่า N(SPT) $q_u$ Z(ความลึกของจุดทดสอบ SPT) Natural water content และ Atterberg Limit. ....	155
ข.1 ดินประเภท CH ข้อมูลกลุ่มที่ 1 .....	156
ข.2 ดินประเภท CL ข้อมูลกลุ่มที่ 1 .....	160
ข.3 ดินประเภท CH ข้อมูลกลุ่มที่ 2 .....	163
ข.4 ดินประเภท CL ข้อมูลกลุ่มที่ 2 .....	165
ค. ข้อมูลเจาะดินที่ใช้คำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักของ เส้า เข็ม .....	169
ง. ข้อมูลผลการทดสอบ เส้า เข็มที่ใช้วิจัย จำนวน 43 ต้น .....	229
จ. การคำนวณหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของ เส้า เข็มจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวด้วยวิธี Hyperbolic ที่เสนอโดย Chin (1970) .....	273
จ.1 ทดสอบวิธีการของ Chin (1970) ว่าใช้ได้กับผลการทดสอบ เส้า เข็มในกรุงเทพฯ ได้ผลอย่างไร .....	274
จ.2 ตารางที่ จ.1 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของ เส้า เข็มที่ทดสอบได้และค่าที่คำนวณได้ตามวิธีของ Chin (1970) ...	282
จ.3 รูปที่ จ.1 แสดงการ เปรียบเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของ เส้า เข็ม ระหว่างค่าที่วัดได้จากการทดสอบกับค่าที่ประมาณการตามวิธีของ Chin (1970) .....	283
จ.4 แสดงการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของ เส้า เข็ม ของต้นที่ทดสอบไม่ถึงจุดพิบัติ .....	284

ฉ.	รายละเอียดการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์กำลังเนียนของดิน การ คำนวณหาค่าตัวประกอบการยึดเกาะของ เสา เข็มในดิน เหนียวแข็ง และการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของ เสา เข็มในดิน เหนียว และดินทรายปนดิน เหนียว .....	285
ฉ.1	ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาค่าตัวประกอบการยึดเกาะ ( $\alpha$ ) ของเสา เข็มในชั้นดิน เหนียวแข็ง .....	286
ฉ.2	ตารางที่ ฉ.1 แสดงผลการคำนวณหาค่าตัวประกอบการยึดเกาะ ( $\alpha$ ) ของเสา เข็มตอกในชั้นดิน เหนียวแข็ง .....	289
ฉ.3	ตารางที่ ฉ.2 แสดงผลการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย ของเสา เข็มในชั้นดิน เหนียว .....	290
ฉ.4	ตารางที่ ฉ.3 แสดงการคำนวณหาค่าสัดส่วนของ $q_s/\bar{N}_s$ และ $q_p/N_p$ ของเสา เข็มตอกในชั้นดิน เหนียวแข็งกรุงเทพฯ ....	291
ฉ.5	ตารางที่ ฉ.4 แสดงผลการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็มใน ดินเหนียว เฉพาะส่วนที่จมอยู่ในดินเหนียวแข็ง คำนวณด้วยสูตร empirical ที่ทำได้ .....	292
ฉ.6	ตารางที่ ฉ.5 แสดงการคำนวณหาค่ามุม equivalent $\bar{\phi}$ ของชั้น ดินทรายปนดิน เหนียว จากผลการทดสอบเสา เข็ม .....	293
ฉ.7	ตัวอย่างการคำนวณหาค่ามุม equivalent $\bar{\phi}$ .....	295
ฉ.8	ตารางที่ ฉ.6 แสดงการคำนวณหาค่าความ เค้นประสิทธิผลในแนวตั้ง ของดิน เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง $q_s$ และ $q_p$ กับค่า $N(SPT)$ .....	299
ฉ.9	ตารางที่ ฉ.7 แสดงค่าอัตราส่วนของ $q_s/\bar{q}_{vavg}$ และ $q_p/\bar{q}_{vavg}$ กับค่า $\bar{N}_s$ และ $N_p$ ของดินทรายปนดิน เหนียว .....	300
ฉ.10	ตารางที่ ฉ.8 แสดงผลการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของ เสา เข็ม ที่มีปลาย เข็มอยู่ในชั้นทรายปนดิน เหนียว (SC) แรงต้านทานในส่วนที่ เป็นดิน SC คำนวณจากสูตร empirical ที่ทำได้จากผลการทดสอบ เสา เข็ม .....	301



ฉ.11 ตารางที่ ฉ.9 แสดงค่ามุม equivalent $\bar{\theta}$ ที่คำนวณได้ จากผลการทดสอบ เส้า เข็มกับค่า Avg. N ของชั้นดินทรายปน ดินเหนียว .....	302
ฉ.12 ตารางที่ ฉ.10 แสดงการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของ เส้า เข็ม ที่มีปลาย เข็มจมอยู่ในชั้นดินทรายปนดินเหนียว (SC) (ค่าแรงเสียดทานและแรงต้านทานที่ปลาย เข็มในดิน SC คำนวณโดยใช้ค่ามุม equivalent $\bar{\theta}$ ที่ประมาณจากค่า N) ...	303
ช. สมการเส้นถดถอยแบบ เส้นตรง และการ estimated ค่าพารามิเตอร์ คงที่ .....	304
ช.1 เส้นถดถอยแบบ เส้นตรงไม่ผ่านจุดศูนย์ (Origin) .....	305
ช.2 เส้นถดถอยแบบ เส้นตรงผ่านจุดศูนย์ .....	306



รายการสัญลักษณ์

$A_p$	=	พื้นที่หน้าตัดที่ปลาย เสา เข็ม
$A_s$	=	พื้นที่ผิวประสิทธิผลของ เสา เข็ม
$a$	=	ค่าพารามิเตอร์คงที่ของแรงต้านทานที่ปลาย เข็ม ในดิน เหนียวแข็ง
$B$	=	ความกว้างของฐานราก
$B$	=	ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของ เสา เข็ม
$b$	=	ค่าพารามิเตอร์คงที่ของแรงเสียดทานที่ผิวของ เสา เข็ม ในดิน เหนียวแข็ง
$C$	=	หน่วยแรงยึดเกาะของดิน
$C$	=	ค่าคงที่
$D_b$	=	ความลึกของ เสา เข็ม ในส่วนที่จมอยู่ในชั้นทราย
$D_c$	=	ค่าความลึกวิกฤตของ เสา เข็ม ในทราย
$D_f$	=	ความยาวของ เสา เข็ม ที่จมอยู่ในดิน
$D_i$	=	ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของกระบอก เก็บตัวอย่างดิน
$D_o$	=	ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของกระบอก เก็บตัวอย่างดิน
$e$	=	ประสิทธิภาพ เครื่องตอก
$f_l$	=	ขีดจำกัดค่าเฉลี่ยแรงเสียดทาน
$F_s$	=	แรงเสียดทานที่ผิวของกระบอก เก็บตัวอย่าง
$f_s$	=	หน่วยแรงเสียดทานที่ผิวของ เสา เข็ม
$F$	=	Shape factor
$H$	=	ระยะยกลูกตุ้ม
$K$	=	พารามิเตอร์คงที่ของเส้นถดถอยแบบเส้นตรง
$K_o$	=	สัมประสิทธิ์ความกดตันข้างชนิด at rest
$K_s$	=	สัมประสิทธิ์ความดันข้างของดิน
$l$	=	ระยะจมของกระบอก เก็บตัวอย่างดิน
$L$	=	ความยาวของตัวอย่างดินที่เก็บได้ในกระบอก เก็บตัวอย่างดิน
$l_n$	=	ความหนาของชั้นดินเล็ก ๆ

$m$	=	ค่าพารามิเตอร์คงที่ของแรง เสียคทาน
$m'$	=	ค่าคงที่
$m_o$	=	ค่าตัวประกอบการยึดเกาะของดินที่มีต่อ Split Spoon Sampler
$m(\phi)$	=	อัตราส่วนของแรงต้านทานที่ปลายกระบอกล้อมต่อแรง เสียคทานที่ผิวทั้งด้านใน และด้านนอก
$N$	=	ค่าทดสอบแรงทะลุมาตรฐาน
$N_c$	=	ค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงทานของดิน เหนียว
$N_p$	=	ค่าทดสอบแรงทะลุมาตรฐานของดินที่ระดับเดียวกับปลาย เส้า เข็ม
$\bar{N}_s$	=	ค่า เฉลี่ยของการทดสอบแรงทะลุมาตรฐานของดินตลอดความยาวของ เส้า เข็ม
$n$	=	ค่าพารามิเตอร์คงที่ของแรงต้านทานที่ปลาย เข็ม
$P$	=	น้ำหนักบรรทุกทุกของ เส้า เข็ม
$P_u$	=	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของ เส้า เข็ม
$P$	=	เส้นรอบรูปประสิทธิผลของ เส้า เข็ม
$Q_{cal}$	=	ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของ เส้า เข็มที่คำนวณได้
$Q_{me}$	=	ค่าน้ำหนักบรรทุกทุกของ เส้า เข็มจากการทดสอบ
$Q_{ps}$	=	แรงต้านทานที่ปลายกระบอกล้อม
$Q_p$	=	แรงต้านทานที่ปลาย เข็ม
$Q_s$	=	แรง เสียคทานที่ผิวของ เส้า เข็ม
$Q_{ult}$	=	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของ เส้า เข็ม
$q_\ell$	=	ค่าจำกัดของหน่วยแรงต้านทานที่ปลาย เข็ม
$q_o$	=	หน่วยแรงต้านทานที่ปลายกระบอกล้อม เก็บตัวอย่างดิน
$q_p$	=	หน่วยแรงต้านทานที่ปลาย เข็ม
$\bar{q}_v$	=	ความ เค้นประสิทธิผลในแนวตั้งของดิน
$\bar{q}_{vb}$	=	ความ เค้นประสิทธิผลในแนวตั้งของดินที่ปลาย เข็ม
$\bar{q}_{vavg}$	=	ค่า เฉลี่ยความ เค้นประสิทธิผลของดินทรายปนดิน เหนียว
$S$	=	ค่าส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน
$s$	=	Shape factor

$S_u$	=	ค่าหน่วยแรงเฉือนของดินแบบอันเดรน
$W$	=	น้ำหนักลูกตุ้ม
$W_{pr}$	=	น้ำหนักของท่อน้ำตอก+น้ำหนักกระบอกล็อกเก็บตัวอย่างดิน
$W_p$	=	น้ำหนักของเสาเข็ม
$Z$	=	ค่าความลึกของจุดวัดค่า $N$ ในดินแข็ง
$\alpha$	=	ค่าตัวประกอบการยึดเกาะ
$\beta'$	=	Shape factor ของฐานรากค้ำ
$\beta$	=	พลังงานที่ใช้ตอกและ energy factor ของการทดสอบ SPT
$\gamma$	=	หน่วยน้ำหนักของดิน
$\lambda$	=	สัมประสิทธิ์ของการค้ำค้ำ
$\delta$	=	มุมเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม
$\phi$	=	มุมเสียดทานภายในของดิน
$\bar{\sigma}_v$	=	ค่าเฉลี่ยความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งของดินตลอดความยาวของเสาเข็ม
$\bar{\sigma}_{vi}$	=	ความเค้นประสิทธิผลของดินที่ระดับบนของชั้นดินทรายปนดินเหนียว
$\bar{\sigma}_{vb}$	=	ความเค้นประสิทธิผลของดินที่ระดับปลายเสาเข็มในชั้นดินทรายปนดินเหนียว
$\Delta$	=	ค่าการทรุดตัววัดที่หัวเสาเข็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย