

เข้ม เจาะ โดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ในดินกรุงเทพ



นายสุธรรม อึ้งสกุล

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2525

ISBN 974-561-425-4

007576

i 179 63291

BORED PILES INSTALLED BY SLURRY DISPLACEMENT
IN BANGKOK CLAY

Mr. Sutham Hunsagula

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1982

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เขี้ยมเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรีในดินกรุงเทพ

ชื่อนิสิต

นายสุธรรม อ้นสกุล

ภาควิชา

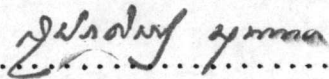
วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

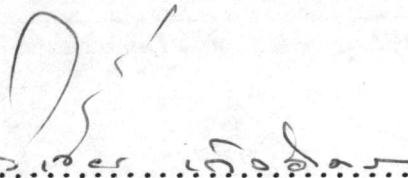
ศาสตราจารย์ ดร. ชัย มุกตพันธ์

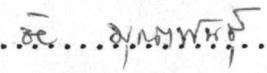


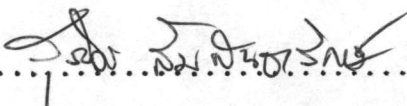
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

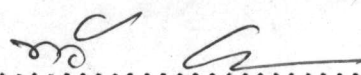
.....  คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอ้วนวย)

.....  กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ชัย มุกตพันธ์)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัสวีร์ ลิ้มพันธารักษ์)

.....  กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ทวี ธนะเจริญกิจ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เข็ม เจาะ โดยการแทนที่ด้วยส เลอร์ ในดินกรุง เทพ
 ชื่อนิสิต นายสุธรรม ฮั่นสกุล
 ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
 อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. ชัย มุกตพันธุ์
 ปีการศึกษา 2524



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาหาวิธีการ ในการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกตาม แนวแกนของเสาเข็ม เจาะ โดยการแทนที่ด้วยส เลอร์ ในดินกรุง เทพฯ และรวมทั้งการศึกษาหาวิธี การวิเคราะห์ เสถียรภาพของหลุมที่ขุด โดยใช้ส เลอร์มาช่วย เสริม เสถียรภาพ ให้แก่ผนังของร่องหรือ หลุมที่ขุดด้วย

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบน้ำหนักบรรทุก เสา เข็มและข้อมูล ที่ได้จากการ เจาะสำรวจหาสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ผลปรากฏว่า การคาดคะเนน้ำหนัก บรรทุกเสาเข็ม เจาะจำนวน 10 ต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะทำการขุดเจาะโดยกรรมวิธีนี้แห้ง มีปลายเข็ม อยู่ในชั้นดินแข็งและกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบเสา เข็ม คือ น้ำหนักที่จุด คลาก(yield point) เมื่อใช้วิธีการคาดคะเนที่เสนอโดย CHIN (1970) จะได้ความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่แท้จริงของเสา เข็ม (P_o) กับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการคาดคะเน (P_c) คือ $P_o = 0.891 P_c$ และหากคาดคะเนโดยใช้วิธีการที่เสนอโดย MAZURKIEWICZ (1972) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่แท้จริงของเสา เข็ม (P_o) กับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการ คาดคะเน (P_m) คือ $P_o = 1.135 P_m$

นอกจากนี้ยังได้พบว่า ตัวประกอบความคืบแน่นที่ได้จากการวิเคราะห์เสา เข็ม เจาะ โดย การแทนที่ด้วยส เลอร์ ในดินกรุง เทพฯ จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของ HOLMBERG (1970) สำหรับ ในชั้นดินทรายพบว่า ผลคูณของสัมประสิทธิ์ความดันทางข้างของดิน (K_s) กับสัมประสิทธิ์ของความ เสียดทานระหว่างพื้นที่ผิวประสิทธิผลของเสา เข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบเสา เข็ม ($\tan \phi_u$) จะมีค่า ใกล้เคียงกับค่าที่เสนอโดย MEYERHOF (1976) ส่วนตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธารของดินทราย

(N_q) พบว่า เมื่อใช้ค่าตามที่แนะนำโดย VESIC (1977) จะทำให้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการคาดคะเนโดยอาศัยสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินมีค่าใกล้เคียงกับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการทดสอบเสา เข็มจนพิบัติ

สำหรับการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของหลุมที่ขุด นั้น พบว่า วิธีการที่เสนอโดย MEYERHOF (1972) ซึ่งใช้สำหรับตรวจสอบเสถียรภาพของหลุมที่ขุดในดินเหนียวและวิธีการที่เสนอโดย HUDER (1972) ซึ่งใช้สำหรับตรวจสอบเสถียรภาพของหลุมหรือร่องที่ขุดในดินทราย จะได้ส่วนปลอดภัยมากกว่าการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการของ RANKINE (1857) ซึ่งวิเคราะห์โดยไม่คิดถึงผลของการเกิด Arching

VESIC (1977) may be used in calculation with reasonable accuracy for practice.

For stability analyses of bore hole, considering the effects of arching increases the safety of the bored hole compared to that of the Rankine's solution. These analyses were proposed by MEYERHOF (1972) for clay, and HUDER (1977) for sand.



กิติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ชัย มุกตพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมาก ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้ให้ความกรุณาเสียสละเวลาตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ เรียบร้อย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวยการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์ธารักษ์ และอาจารย์ ดร. ทวี ธนะเจริญกิจ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ กรุณาตรวจแก้ไข และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ อันทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณประสงค์ ธาราไชย คุณสิบลักษณ์ พรหมบุญ คุณองอาจ เลี้ยงศิริ และ คุณวิวัฒน์ ทองบุสสะ ที่ได้กรุณาอนุเคราะห์ข้อมูลและคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการ ทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณวัฒน์ชัย วัฒนาวรจงสุข และทุกคนที่ได้ให้ความร่วมมือและคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลงด้วยดี

นายสุธรรม ชื่นสกุล



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ฅ
รายการตารางประกอบ	ฉ
รายการรูปประกอบ	ง
สัญลักษณ์ที่ใช้ในสูตรต่าง ๆ	ท

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายในการศึกษาและวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษาและการวิจัย	2
1.4 แหล่งที่มาของข้อมูล	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษาและวิจัย	3
1.6 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้	4
2. ประวัติความเป็นมาในอดีตโดยสังเขป	5
2.1 ยุคเริ่มต้นของการใช้ระบบการพูดเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี	5
2.2 ยุคเริ่มต้นของการนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมโยธา	6
2.3 การศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มเจาะในการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกน ..	8
2.4 การนำระบบเสาเข็มเจาะเข้ามาใช้ในประเทศไทย	11
2.5 การศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มเจาะในการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกน	
ในดินกรุงเทพฯ	11

บทที่	หน้า
3. เสถียรภาพของร่องและหลุมที่ขุด	16
3.1 เสถียรภาพของร่องที่ขุดโดยปราศจากสิ่งช่วยเสริมเสถียรภาพ	16
3.2 เสถียรภาพของร่องที่ขุดในดินเหนียวเมื่อใช้สเลอรี่มาช่วยเสริมเสถียรภาพ	19
3.3 เสถียรภาพของร่องที่ขุดในดินทรายเมื่อใช้สเลอรี่มาช่วยเสริมเสถียรภาพ	22
3.4 เสถียรภาพของร่องที่ขุด เมื่อนำเอาแรงเฉือนของสเลอรี่มาพิจารณาด้วย	25
3.5 สิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษสำหรับการขุดร่องในดินทราย	28
3.6 สิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษสำหรับการขุดร่องหรือเจาะหลุมในดินเหนียว	35
4. การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม	42
4.1 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มโดยทั่วไป	43
4.2 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มในเมื่อเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว	45
4.3 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มในเมื่อเสาเข็มอยู่ในชั้นดินทราย	48
4.4 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มโดยอาศัยผลการทดสอบเสาเข็ม ...	57
5. การทำเสาเข็มเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่	59
5.1 วิธีการและขั้นตอนที่ใช้ในการทำเสาเข็มเจาะ	59
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ไขปัญหา	65
6. การศึกษา การวิเคราะห์และผลที่ได้	67
6.1 การศึกษาหาวิธีวิเคราะห์เสถียรภาพของหลุมหรือร่องที่ขุด	67
6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม จากการทดสอบใน สนามกับผลที่ได้จากการคาดคะเนโดยอาศัยผลการทดสอบเสาเข็ม	75
6.3 การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มเจาะ โดยการแทนที่ด้วย สเลอรี่	78
6.4 การหาตัวประกอบความมั่นคงและสัมประสิทธิ์ความคืบทางข้างของดิน สำหรับเสาเข็มเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ในดินกรุงเทพฯ	85

บทที่

หน้า

6.5 การสร้างโปรแกรมสำหรับการคาดคะเนความดีคั่นและ/หรือความเสียด ทานของเสาเข็ม	86
6.6 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมและพารามิเตอร์ที่ใช้	87
7. สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ	91
เอกสารอ้างอิง	93
ภาคผนวก ก.	98
ภาคผนวก ข.	120
ภาคผนวก ค.	125
ประวัติ	145

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.2 สัมประสิทธิ์ความต้านทานข้างของดิน (BROMS, 1966)	13
4.1 สัมประสิทธิ์ความต้านทานข้างของดินทราย K_s โดยรอบเสาเข็มในขณะ ที่เสา เข็มพิบัติ	51
6.1 แสดงส่วนปลอดภัยของหลุมที่ขุดซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (6.7) เมื่อ กำหนดให้ $B = 1$	68-69
6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n , ϕ และ $A.K_a$ โดยที่ A คำนวณได้ จากสมการที่ (3.22) และ K_a จากสมการที่ (3.11)	71-74
6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P_o , P_c และ P_m	76
6.10 แสดงค่าตัวประกอบความดัดแน่น α ที่คำนวณได้จากผลการคาดคะเน น้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็ม	85

รายการรูปประกอบ



รูปที่	หน้า
2.1 ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธารในดินเหนียว	13
2.2 ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธารสำหรับฐานรากกลมในดินทราย	14
2.3 ตัวประกอบความตึคนั่นสำหรับดินเหนียว	15
3.1 แสดงให้เห็นลักษณะการพิบัติของร่องที่ขุดในดินเหนียว	17
3.2 เสถียรภาพของร่องที่ขุด	20
3.3 เสถียรภาพของร่องที่ขุด เมื่อระดับน้ำใต้ดินและระดับสเลอรีมีการเปลี่ยนแปลง ..	26
3.4 แสดงให้เห็นความเค้นที่เกิดขึ้นในอนุภาคของสเลอรี	26
3.5 แสดงให้เห็นความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผนังของร่องที่ขุดโดยการใช้สเลอรีช่วยเสริม เสถียรภาพ	29
3.6 การขุดร่องในดินทรายเมื่อระดับน้ำใต้ดินและระดับสเลอรีมีการเปลี่ยนแปลง ..	31
3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง h_x/ℓ และ K_a (PLASKOWSKI & KOWALEWSKI, 1965)	31
3.8 ตัวประกอบลดค่า A สำหรับความดันทางข้างของดินที่เกิดขึ้นบริเวณผนังของ ร่องที่ขุดในดินทราย (HUDER, 1972)	33
3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง h_x/d & K (MEYERHOF, 1972)	37
3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง h_x/d & N (MEYERHOF, 1972)	41
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ & Z_c/d (VESIC, 1967)	50
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ & $K_s \tan \phi'_a$ สำหรับเสาเข็มตอก (VESIC, 1967)	52
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ'_1 & $K_s \tan \phi'_a$ (MEYERHOF, 1976)	53
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง N & ϕ (PECK, etc, 1974)	56

รูปที่

หน้า

4.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q & ϕ (BEREZANTSEV, 1961)	56
6.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มกับ ที่ได้จากการคาดคะเน	77
6.2	ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องคำนวณ HP-41C	88

สัญลักษณ์



- A = $\frac{1 - e^{(-2nK_a \tan \phi)}}{2nK_a \tan \phi}$
- A_p = พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม
- A_s = พื้นที่ผิวประสิทธิผลของเสาเข็ม
- B = $c / (\gamma - \gamma_f)$
- C = แรงเฉือน
- E_i = Initial Tangent Modulus of Clay
- H_{cr} = ความลึกวิกฤตของร่องหรือหลุมที่ขุด
- K = Stability Coefficient
- K_a = สัมประสิทธิ์ความดันกัมมันต์ทางข้างของดิน
- K_s = สัมประสิทธิ์ความดันทางข้างของดิน
- K_o = สัมประสิทธิ์ความดันของดินภายใต้สภาพสมดุล
- N_c = ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธรรของดินเหนียว
- N_q = ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธรรของดินทราย
- N'_γ = ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธรรของดิน
- N = ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธรร
- P = เส้นรอบรูปของเสาเข็ม
- P_c = น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการคาดคะเนตามวิธีการของ CHIN (1970)
- P_f = แรงดันสถิตของส เลอร์
- P_m = น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการคาดคะเนตามวิธีการของ MAZURKIEWICA (1972)
- P_o = น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มจนพิบัติ
- Q = น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม
- Q_p = ส่วนการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเนื่องมาจากแรงธรรที่ปลายเสาเข็ม

Q_s	=	ส่วนการรับน้ำหนักบรรทุกของเสา เข็ม เนื่องจากความคึดแน่นและ/หรือความ เสียคทาน
R	=	h_x/h_w
W	=	น้ำหนักของดิน
W_p	=	น้ำหนักของเสา เข็ม
a	=	ระยะครึ่งหนึ่งของความกว้างของหลุมที่ขุด
α_{11}	=	ตัวประกอบอันเนื่องมาจากดินถูกรบกวนในขณะขุด เจาะหลุม
α_{12}	=	ตัวประกอบอันเนื่องมาจากการอ่อนตัวของดินจากการ เทคอนกรีต
α_{13}	=	ตัวประกอบอันเนื่องมาจากการเกิด Surface Shrinkage
c	=	ความ เขื่อมแน่น
c_a	=	ความคึดแน่นระหว่างเสา เข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบเสา เข็ม
c_u	=	ความ เขื่อมแน่นของดินภายใต้สภาพ ไม้คายน้ำ
d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของเสา เข็ม
f_s	=	ความ เค้น เนิอนระหว่างเสา เข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบ เสา เข็ม
h_i	=	ความหนาของชั้นดิน
h_w	=	ความลึกของน้ำใต้ดิน
h_x	=	ความลึกของหลุมหรือร่องที่ขุด
l	=	ความยาวของร่องที่ขุด
mH	=	ความลึกของน้ำใต้ดิน (วัดจากก้นหลุม)
nH	=	ความลึกของส เลอรี (วัดจากก้นหลุม)
P_a	=	ความดันกัมมันต์ทางข้างของดิน
P_f	=	ความดันสถิตของส เลอรี
P_w	=	ความดันสถิตของน้ำใต้ดิน
q_s	=	Surcharge
z_o	=	ความลึกที่ซึ่งพอดีทำให้ความ เค้นในแนวราบมีค่า เป็นศูนย์
α	=	ตัวประกอบความคึดแน่น

β	=	มุมที่แรงลัพท์กระทำกับระนาบการพียงของร่อง
γ	=	หน่วยน้ำหนักของดิน
γ'	=	หน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของดิน
γ_f	=	หน่วยน้ำหนักของสเลอรี่
γ_f^r	=	หน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของสเลอรี่
γ_{fa}	=	หน่วยน้ำหนักของสเลอรี่ที่ใช้จริง
θ	=	มุมที่ระนาบของร่องทำกับแนวราบ
σ_{hx}	=	ความเค้นที่ระดับความลึก h_x
σ_v	=	ความเค้นในแนวตั้ง
σ_{vb}	=	ความเค้นในแนวตั้งที่ระดับปลายของเสาเข็ม
σ_x	=	ความเค้นในแนวแกน x
σ_y	=	ความเค้นในแนวแกน y
τ_f	=	กำลังเฉือนของสเลอรี่
ϕ	=	มุมเสียดทานภายในของดิน
ϕ_a	=	มุมของแรงเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับดิน