

## การนำเสาเข็มดินซีเมนต์มาใช้กับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (APPLICATION OF CEMENT COLUMN IN SOFT BANGKOK CLAY)

เกษม เพชรเกต  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

**KASEM PETHCHGATE**  
*Assistant Professor*  
*Department of Civil Engineering*  
*Faculty of Engineering*  
*KMITT*

พินิต ตั้งบุญเดิม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

**PINIT TUNGBOONTERM**  
*Assistant Professor*  
*Department of Civil Engineering*  
*Faculty of Engineering*  
*KMITT*

บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวกรุงเทพฯโดยวิธีผสมลิก โดยใช้สารละลายปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นสารเคมี สามารถทำเป็น CEMENT COLUMN ได้ รับน้ำหนักในแนวตั้งได้ดี สามารถทำเป็นฐานรากของคันทางที่ก่อสร้างบนชั้นดินอ่อนหนาหลายๆ ได้ โดยช่วยให้คันทางมีเสถียรภาพดีทรุดตัวน้อยในการศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มดินซีเมนต์จากการวิเคราะห์และทดสอบในสนาม พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

## SUMMARY

Soil cement columns are utilized to improve stability and lower settlement rate of Bangkok soft clay. Portland cement is employed as stabilizing agent. Deep mixing technique is used to ensure completely mixing of stabilizing agent with local clay. Comparison of load carrying capacity between analysis and tested columns is carried out. Both results give a good agreement.

### 1. บทนำ

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ บริเวณบางบอนถึงชายทะเลมีความหนาระหว่าง 15 ถึง 20 เมตร มีค่า Undrained Shear Strength ต่ำมาก ไม่สามารถจะทำคันทางให้สูงโดยไผ่ขี้วัว และทรุดตัวเร็ว โดยน้ำไม่ท่วมได้ ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของดินฐานรากก่อนทำการก่อสร้างคันทางจึงเป็นสิ่งจำเป็น การผสมลึก (Deep mixing) โดยใช้สารละลายของปูนซีเมนต์ผสมกับดินเหนียวอ่อน เพื่อให้ดินเหนียวอ่อนเกิดปฏิกิริยาปอลิโซลานิก เปลี่ยนคุณสมบัติจากดินเหนียวอ่อนเป็น CEMENT COLUMN เพื่อเสริมเสถียรภาพของฐานราก และลดการทรุดตัวของคันทางเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ

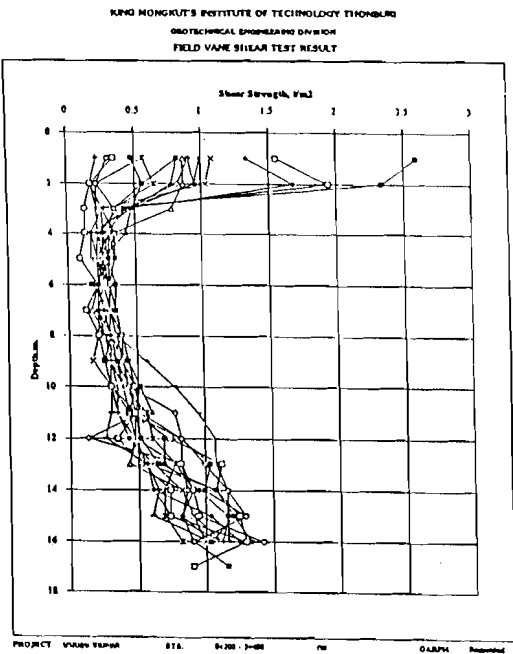
BROM and BOMAN(1975,1977) ได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนในประเทศสวีเดน โดยวิธีปั่นผสม(Rotary mixed)ใช้ปูนขาวเป็นสารเคมี สามารถทำเป็นเสาเข็มดินปูนขาว ใช้เป็นฐานรากของถนนบนดินอ่อนได้

ปี 1988 คณาจารย์ของ KMIT.T ได้ศึกษาปรับปรุงคุณสมบัติของดินอ่อนผสมกับปูนขาวบริเวณป้อมพระจุลจอมเกล้า โดยวิธีปั่นผสมทำเป็นเสาเข็มดินปูนขาวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ยาว 10 เมตร สามารถรับน้ำหนักในแนวตั้งได้ตันละ 6 ตัน

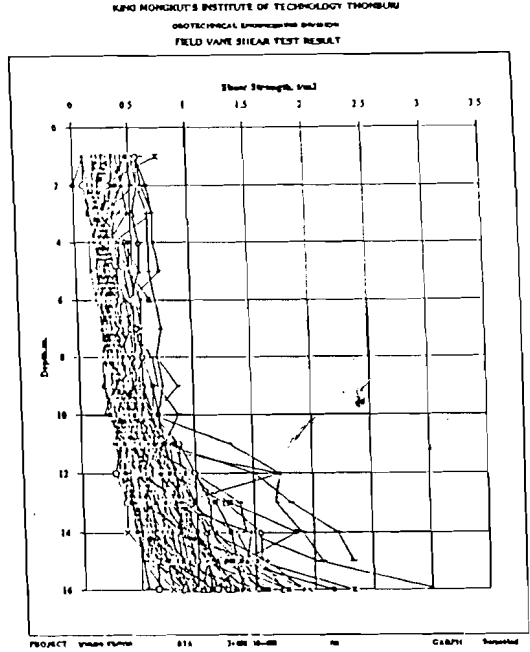
เกษม เพชรเกตต์ และ พินิต ตั้งบุญเดิม ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของดินฐานรากของถนนสายประธานของสวนหลวง ร.9 โดยวิธีอัดฉีดแรงดันสูง(Jet mixing) สามารถแก้ปัญหาการวิบัติของฐานรากถนนได้ และในปี 1993 สามารถใช้เทคนิค Jet mixing โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นสารเคมีปรับปรุงดินอ่อนให้เป็น Gravity Wall ในงาน Deep excavation โครงการ Zeer Street Shopping Complex บริเวณถนนพหลโยธิน รังสิตได้

## 2. การวิเคราะห์ผล FIELD VANE SHEAR TEST

จากการทดสอบ Field Vane Shear ตลอดความยาวของถนน 18 กิโลเมตร สามารถแบ่งค่า Undrained Shear Strength ได้เป็นสองช่วงคือช่วง กม. 0+000. ถึง กม. 3+400 และช่วง กม. 3+400 ถึง กม. 18+300 ดังผลสรุปในรูปที่ 1 และ 2 ค่า Undrained Shear Strength ที่ใช้พิจารณาออกแบบ ใช้ค่า ไกลๆ Lower Limit.

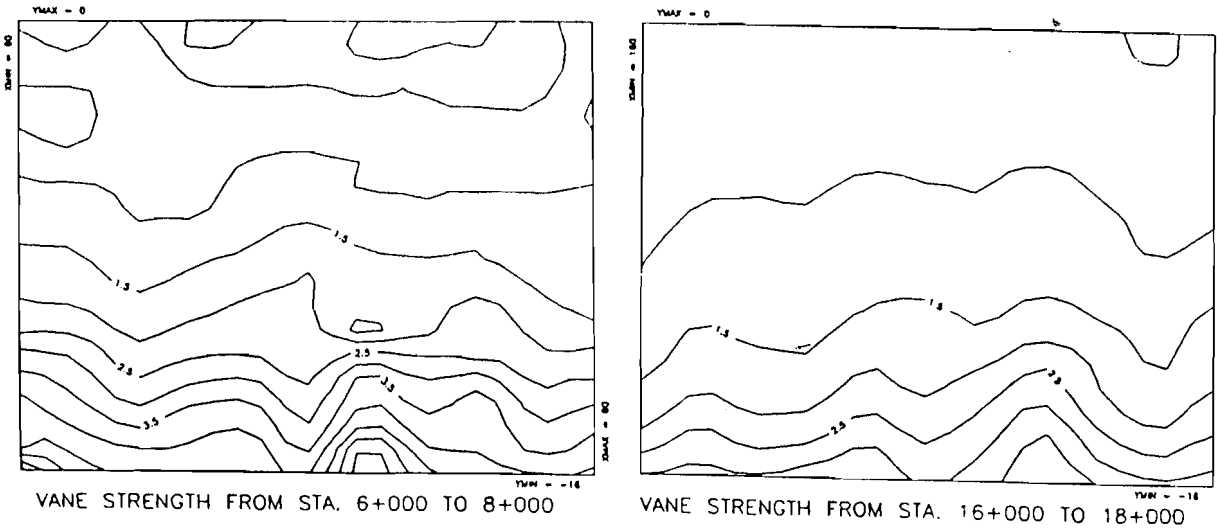


กม. 0+000 - กม. 3+400



กม. 3+400 - กม. 18+300

รูปที่ 1 ค่า Field Vane Shear



รูปที่ 2 ค่า Contour Line ของ Undrainal Shear Strenth

### 3. การวิเคราะห์ STABILITY เบื้องต้นเพื่อหาความสูงของคันทาง

ในการวิเคราะห์ Stability ของคันทางบนดินอ่อนใช้หลักการวิเคราะห์ของ BJERRUM ดังนี้

$$FS = \frac{N_c \cdot S_u}{q}$$

เมื่อ FS = Factor of Safety = 1.8  
N<sub>c</sub> = Bearing Capacity Factor = 5.6  
q =  $\gamma \cdot H$   
 $\gamma$  = Unit Weight ของดินคันทาง = 2.2 t/m<sup>3</sup> (ทราย)  
H = ความสูงของดินคันทาง

จากผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของดินถนนสายนี้ได้ค่า PI ประมาณ 70 ดังนั้นค่า BJERRUM CORRECTION FACTOR (  $\mu$  ) มีค่าเท่ากับ 0.70 หรือค่า FS จะมีค่าเท่ากับ 1.26 ซึ่งเหมาะสมสำหรับ Short Term Stability

กม. 0+000 ถึง กม. 3+400

$S_u$	=	1.0	$t/m^2$
FS	=	1.8	
$N_c$	=	5.6	
$\gamma$	=	2.2	$t/m^3$
$\therefore H$	=	1.41	เมตร.

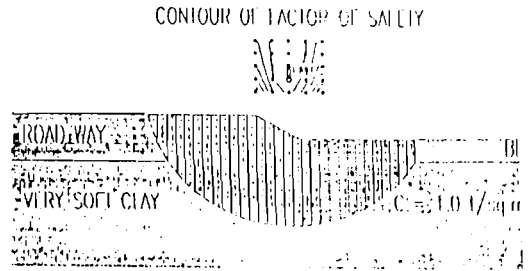
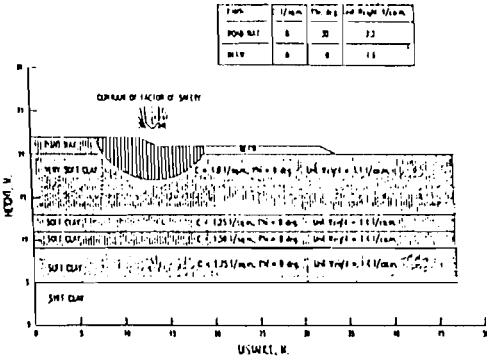
กม. 3+400 ถึง กม. 18+350

$S_u$	=	0.75	$t/m^2$
FS	=	1.8	
$N_c$	=	5.6	
$\gamma$	=	2.2	$t/m^3$
$\therefore H$	=	1.06	เมตร.

สามารถสรุปได้ว่าความสูงเบื้องต้นของคันทางช่วง กม. 0+000 ถึง กม. 3+4000 จะสูงประมาณ 1.40 เมตร และช่วง กม. 3+400 ถึง กม. 18+300 จะสูงประมาณ 1.10 เมตร. แต่ระดับน้ำสูงสุด สูงจากผิวดินจาก 0.50 เมตรถึง 1.80 เมตร ดังนั้นความสูงของถนนที่ปลอดภัยจากการถูกน้ำท่วม โดยเผื่อระยะการทรุดตัวไว้ ควรสูงระหว่าง 2.50 - 3.00 เมตร.

#### 4. การออกแบบเสริมความคงตัวโดยใช้ COUNTER WEIGHT BERM

การออกแบบถนนโดยวิธี COUNTER WEIGHT BERM เสริมความมั่นคงเป็นวิธีการที่มีราคาก่อสร้างถูกที่สุดจากการวิเคราะห์ SLOPE STABILITY โดยวิธี SIMPLIFY BISHOP โดยใช้โปรแกรม SLOP/W. ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 สรุปได้ว่าถนนช่วง กม. 0+000 ถึง กม. 3+400 สามารถออกแบบให้คันทางสูง 2.0 เมตร BERM สูง 1 เมตร กว้างข้างละ 20 เมตร ได้ค่า Minimum Factor of Safety เท่ากับ 1.897 ซึ่งเพียงพอ ส่วนช่วง กม. 3+400 ถึง ช่วง กม. 18+350 ออกแบบให้คันทางสูง 2.0 เมตร BERM สูง 1.0 เมตร กว้างข้างละ 22.0 เมตร ได้ค่า MINIMUM FACTOR OF SAFETY เท่ากับ 1.449 ซึ่งไม่เพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามถนนสายนี้มี RIGHT OF WAY 40 เมตร ไม่สามารถทำการก่อสร้าง BERM ออกไปสองข้างทาง ข้างละประมาณ 20 เมตร ได้.



กม. 0+00 - กม. 3+400

รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาค่า Minimum Factor of Safety

5. การออกแบบเสริมความคงตัวของคันทางโดยใช้ CEMENT COLUMN หรือ CONCRETE PILE

การหาค่ารับน้ำหนักบรรทุกของ CEMENT COLUMN

- เมื่อ  $Q_u = C_b \cdot N_c \cdot A_b + \epsilon \alpha S_u \cdot A_s$
- $Q_u$  = กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของ CEMENT COLUMN, หรือ CONCRETE PILE
- $C_b$  = Undrained Shear Strength ของดินที่ปลายเสาเข็ม
- $A_b$  = พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม
- $\alpha$  = Adhesion Factor
- $A_s$  = พื้นที่ผิวของเสาเข็ม
- $N_c$  = Bearing Capacity Factor = 9

การรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยพิจารณา Undrained Shear Strength จากการทดสอบ Unconfined Compression ณ จุดทดสอบเสาเข็ม

CEMENT COLUMN  $\phi$  0.80 เมตร ยาว 11.50 เมตร

$$\begin{aligned} Q_u &= 1.6 \times 9 \times 0.5 + 1.0 \times 0.5 \times \pi \times 0.8 \times 11.5 \\ &= 21.7 \quad \text{tons.} \end{aligned}$$

CEMENT COLUMN  $\phi$  0.50 เมตร ยาว 11.50 เมตร

$$Q_u = 11.9 \quad \text{tons.}$$

CONCRETE PILE I - 0.40 x 11.50 เมตร

$$\begin{aligned} Q_u &= 1.60 \times 9 \times 0.1054 + 1 \times 4 \times 0.4 \times 0.5 \times 11.5 \\ &= 10.7 \quad \text{tons.} \end{aligned}$$

การรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม โดยพิจารณา Undrained Shear Strength จากการทดสอบ Unconfined Compression Test ทั้งบริเวณ

CEMENT COLUMN  $\phi$  0.80 เมตร ยาว 11.50 เมตร

$$\begin{aligned} Q_u &= 1.50 \times 9 \times 0.5 + 1 \times \pi \times 0.8 [0.40 \times 7.5 + 0.95 \times 4] \\ &= 23.8 \quad \text{tons.} \end{aligned}$$

CEMENT COLUMN  $\phi$  0.50 เมตร ยาว 11.50 เมตร

$$Q_u = 13.3 \quad \text{tons.}$$

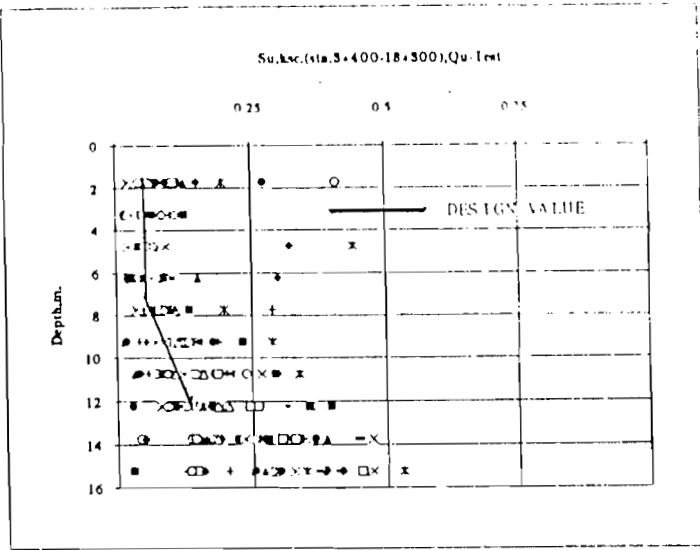
CONCRETE PILE I - 0.40 x 11.50 เมตร

$$\begin{aligned} Q_u &= 1.5 \times 9 \times 0.1054 + 1 \times 4 \times 0.4 [0.4 \times 7.5 + 0.95 \times 4] \\ &= 12.3 \quad \text{tons.} \end{aligned}$$

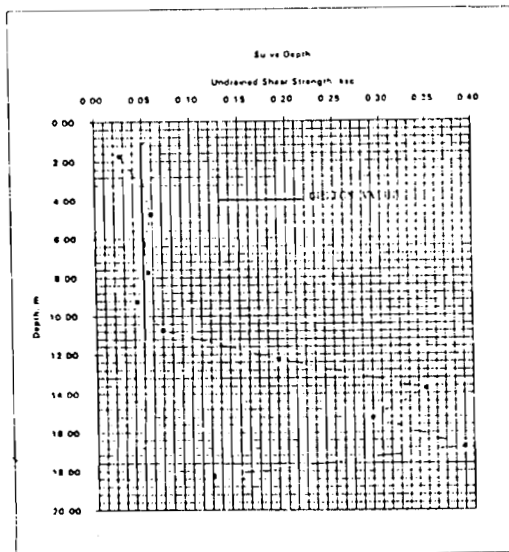
การรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มดินซีเมนต์(CEMENT COLUMN)จากการทดสอบ PILE LOAD TEST ในสนามของ CEMENT COLUMN ขนาด  $\phi$  0.80 เมตร ยาว 11.50 เมตร จำนวน 2 ต้น บริเวณเดียวกัน ได้ผลดังนี้ :-

$$\begin{aligned} Q_{u1} &= 21 \quad \text{tons.} \quad (\text{ต้นที่ 1}) \\ Q_{u2} &= 23.5 \quad \text{tons.} \quad (\text{ต้นที่ 2}) \end{aligned}$$

ผลการทดสอบเสาเข็มและ Strength Parameter ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 ถึง รูปที่ 9

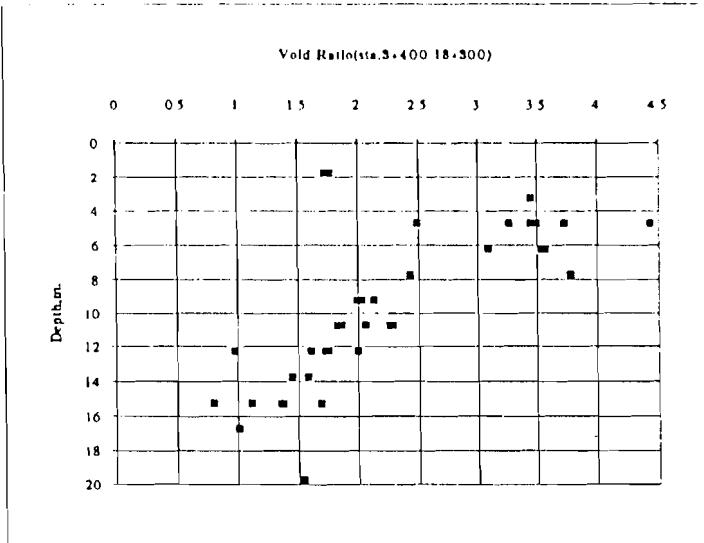


รูปที่ 4 Undrained Shear Strength VS. Depth ทั้งบริเวณ

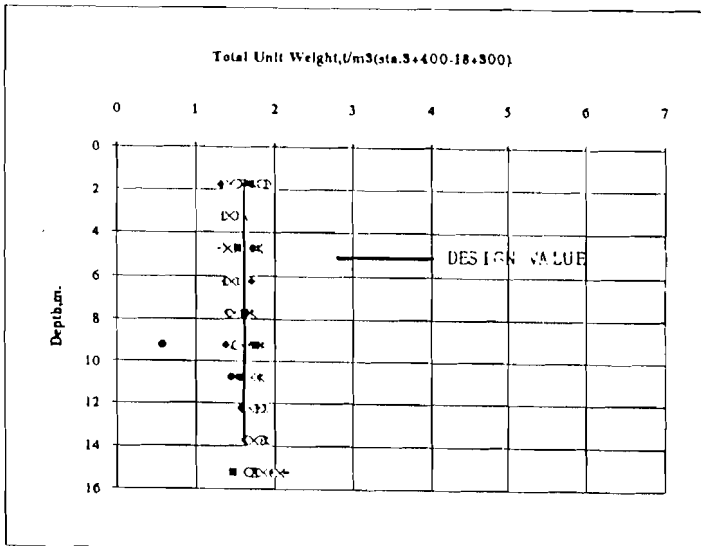


รูปที่ 5 Undrained Shear Strength VS. Depth บริเวณที่ทดสอบเสาเข็ม

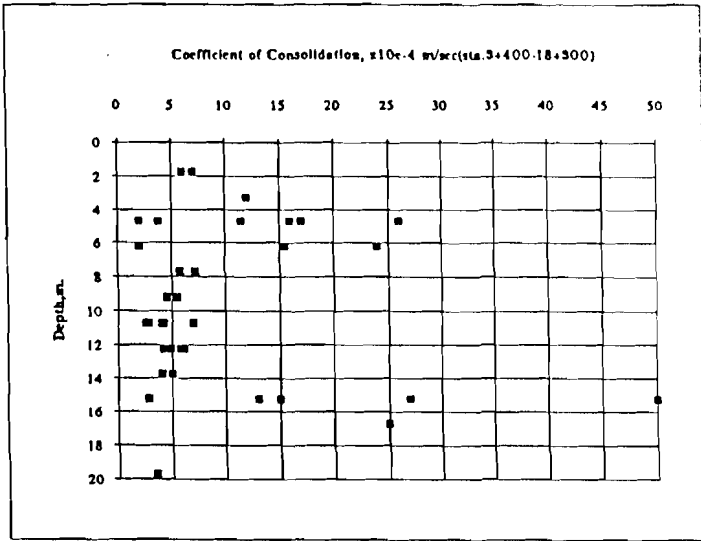




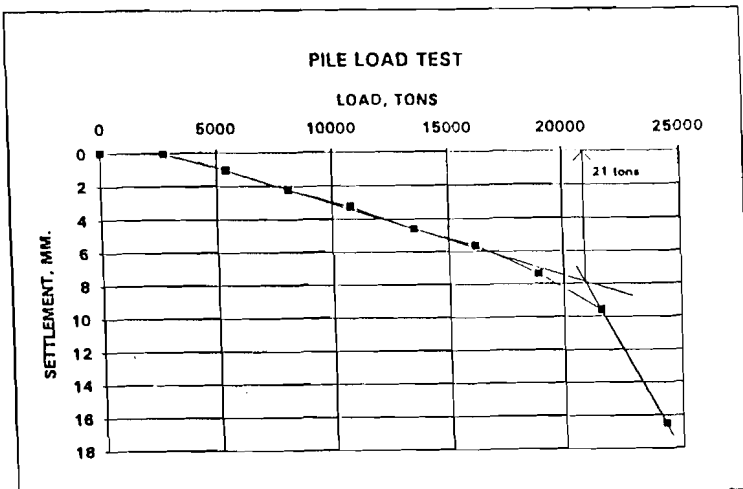
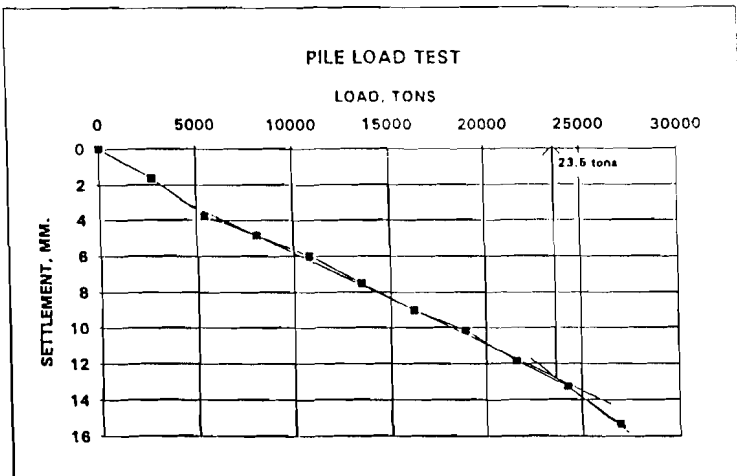
รูปที่ 6 Void Ratio VS. Depth



รูปที่ 7 Unit Weight VS. Depth



รูปที่ 8 Coefficient of Consolidation VS. Depth



รูปที่ 9 Load - Settlement Curve ของ Cement Column จำนวน 2 ต้น

ตารางที่ 1 สรุปการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบและวิเคราะห์

ชนิดเสาเข็ม	จาก STATIC LOAD	จากการคำนวณ, ตัน	
	TEST, tons.	ใช้ $S_u$ average	ใช้ $S_u$ ณ ตำแหน่งทดสอบเสาเข็ม
CEMENT COLUMN φ 0.50 X 11.50 M.	-	13.3	11.9
CEMENT COLUMN φ 0.80 x 11.50 M.	21 ; 23.5	23.8	21.7
CEMENT COLUMN I 0.40 x 11.50 M.	-	12.3	10.7

6. การออกแบบ SPACING ของ CEMENT COLUMN

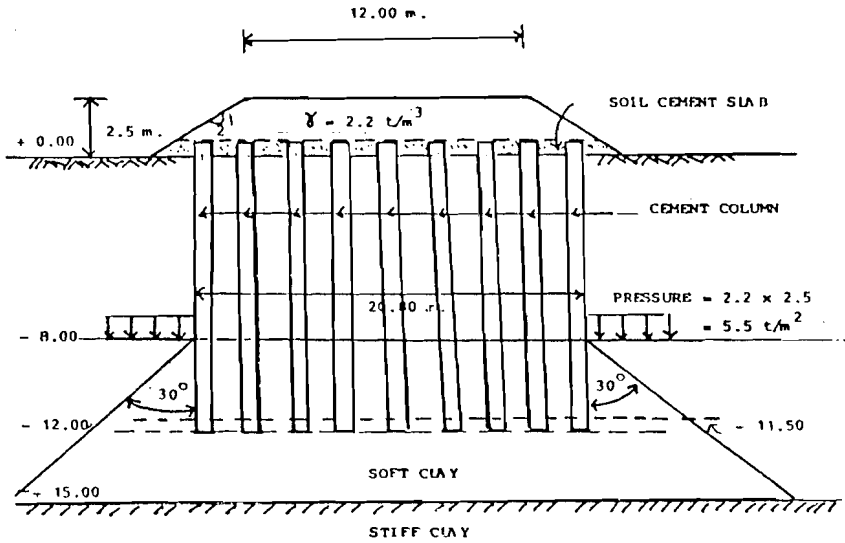
จากประสิทธิภาพของการออกแบบ EMBANGMENT PILE ในประเทศสวีเดน จะใช้ SPACING ของ CEMENT COLUMN ใช้หลักการของ BROMS โดยพิจารณาให้ IMPOSED LOAD ของถนนถ่ายลงบนเสาเข็ม โดยให้เสาเข็มทุกต้นรับน้ำหนัก VERTICAL LOAD จากคันทางเท่าๆ กัน

คันทางสูง 1.25 เมตร ที่สร้างบน COMENT COLUMN SPACING ของ CEMENT COLUMN 2 เมตร

$$\begin{aligned} \text{IMPOSED LOAD ON CEMENT COLUMN} &= 2 \times 2 \times 1.25 \times 2.2 \\ &= 11 \text{ tons.} \end{aligned}$$

ดังนั้นสามารถใช้ CEMENT COLUMN φ 0.80 เมตร ยาว 12 เมตร ระยะห่าง 2.0 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกทุก VERTICAL LOAD ของคันทางได้

7. การวิเคราะห์การทรุดตัวของคันทาง



รูปที่ 10 แบบการวิเคราะห์การทรุดตัว

ความหนาของชั้น Soft Clay ที่พิจารณาการทรุดตัว = 15 - 8 = 7.0 เมตร

ค่าความลึกที่พิจารณาค่า  $\Delta P$  = 8 + (15 - 8) = 8 + 3.5  
 2  
 = 11.50 เมตร

Distributed Area ที่ความลึก - 11.50 เมตร = 20.8 + 2(3.5 tan 30°)  
 = 24.84 เมตร

Distributed pssure ( $\Delta P$ ) ที่ความลึก - 11.50 เมตร =  $\frac{5.5 \times 20.8 \times 1}{24.84}$   
 = 4.61 t/m<sup>2</sup>

∴ Consolidation Settlement,  $S_c$  =  $\frac{H \cdot C_c}{1 + e_c} \log \frac{P_0 + P}{P_0}$

เมื่อ  $C_c$  = 0.605

$e_c$  = 1.72

$\Delta P$  = 4.61 t/m<sup>2</sup>

$P_0$  =  $\gamma \cdot h$

= 0.6 x 11.5

= 6.9 t/m<sup>2</sup>

∴  $S_c$  =  $\frac{7 \times 0.605}{1 + 1.72} \cdot \log \frac{(6.3 + 4.61)}{6.9}$

= 0.346 m.

≅ 35 cm.

ถ้าบริเวณนี้มีค่าระดับน้ำสูงสุด สูง 55 เซนติเมตร จากระดับดินเดิม คันทางสูงม 2.50 เมตร ที่ทำการก่อสร้างบน CEMENT COLUMN ขนาด  $\phi$  0.80 เมตร ยาว 12 เมตร ภายหลังจากการทรุดตัว 35 เซนติเมตรแล้ว คันทางยังคงสูง 215 เซนติเมตร หรือสูงจากระดับน้ำสูงสุด 160 เซนติเมตร

## 8. บทสรุป

บริเวณที่มีชั้นดินอ่อนหนามากๆ การก่อสร้างคันทางไม่สามารถก่อสร้างโดยใช้วิธี COUNTER WEIGHT BERM ได้ การปรับปรุงคุณภาพของดินฐานราก โดยวิธี DEEPMIXING ทำเป็น CEMENT COLUMN จะช่วยให้คันทางมีเสถียรภาพและลดการทรุดตัวของคันทางปลอดภัยจากการถูกน้ำท่วม

## 9. เอกสารอ้างอิง

1. รายงานการออกแบบเบื้องต้นด้าน SOIL MECHANICS ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เสนอ กทม.
2. เกษม เพชรเกต, พินิต ตั้งบุญเต็ม และวิชัย สัจวรปทานสกุล : (2531) การปรับปรุงคุณภาพของดินโดยใช้ปูนขาว, วิศวกรรมสาร เล่มที่ 4 ประจำปี 2531 หน้า 69 - 77
3. เกษม เพชรเกต, พินิต ตั้งบุญเต็ม (2533) : การปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากถนนโดยวิธีอัดสีตแรงดันสูง, เอกสารประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรมประจำปี 2533, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หน้า 265 - 272
4. เกษม เพชรเกต, พินิต ตั้งบุญเต็ม (2534) : การปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวอ่อนทางเคมี, ข่าวช่างประจำเดือน ธันวาคม 2534 หน้า 30 - 37
5. Bishop, A.W. (1955) : The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slope, Geotechnique, 5(1), PP. 7 - 17
6. Broms, B. and Boman, P (1975) : Lime Stabilized Column, 5<sup>th</sup> ARC on SMFE, PP. 227 - 234
7. Broms, B. and Boman, P (1977) : Stabilization of Soil with Lime, Ground Engineering, Vol.12, No. 4 PP. 23 - 24
8. Petchgate, K and Tungboontem, P (1990) : Installation of Lime Columns and Their Performance in Bangkok Clay, 10<sup>th</sup> SEAGS Vol. 1 PP. 121 - 124