การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์กับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

(APPLICATION OF CEMENT COLUMN IN SOFT BANGKOK CLAY)

ผศ.เกษม เพชรเกตุ M.Eng. (KMIT.T) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา พระจอมเกล้าธนบุรี (บางมด)
ผศ.พินิต ตั้งบุญเติม M.Eng. (AIT) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา พระจอมเกล้าธนบุรี (บางมด)

บทคัดย่อ

การอัดฉีดแรงดันสูงด้วยสารละลายปูนขาวหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ กับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ซึ่งมีค่าความซึมได้ต่ำ สามารถทำได้ สารละลายปูนขาวหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับดินเหนียว ทำให้ดินเหนียวมีกำลังสูงขึ้นมากตามปริมาณปูนขาวหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ผสม สามารถ Jet Mixing ให้เป็นเสาหรือให้ติดกันเป็นพืด ทำเป็น Gravity wall ได้ สามารถใช้กับงาน Deep excavation ในชั้น Soft Bangkok Clay ได้ดี มีการเคลื่อนตัวและการลอยตัวน้อยมาก

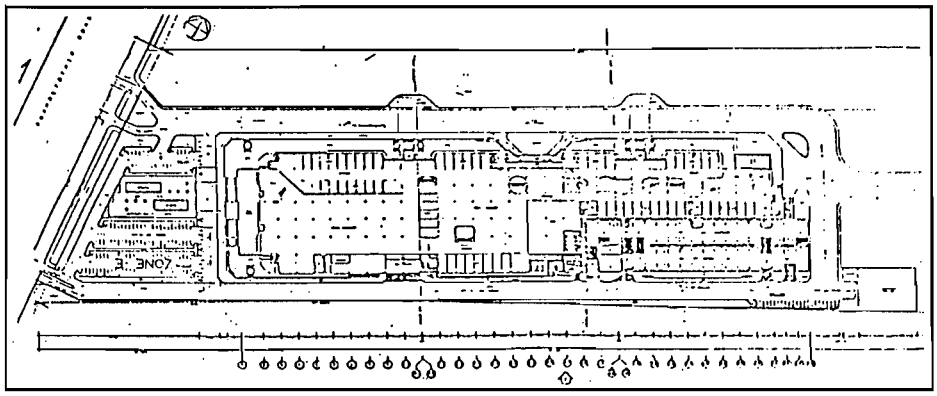
1. บทนำ

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ คือดินที่มีความลึกประมาณ 10-18 เมตร เป็นดินที่มีเม็ดเล็กมาก ถูกพัดพามาโดยกระแสน้ำจากทางตอนเหนือของกรุงเทพ เมื่อกระแสน้ำมาปะทะกับน้ำทะเลในอ่าวไทย ทำให้กระแสน้ำลดความเร็วลง ดินที่น้ำพัดพามาจึงตกตะกอนในบริเวณกว้าง บางส่วนน้ำพัดพาลงสู่อ่าวไทย เมื่อน้ำขึ้นดินส่วนที่ตกตะกอนในอ่าวไทยไม่หมดก็จะถูกน้ำพัดพาตกตะกอนบริเวณปากอ่าว เช่น บริเวณกรุงเทพฯ, สมุทรปราการ, สมุทรสาคร, สมุทรสงคราม, ชลบุรี และฉะเชิงเทรา เป็นต้น ดังนั้นดินบริเวณนี้จึงเป็นดินที่มีเม็ดเล็กมากมีค่า Water Content สูง ค่า Liquid Limit สูง ใกล้เคียงกับค่า water content คือมีค่าระหว่างร้อยละ 60-140 และมีค่า Void ratio ประมาณ 2.0 ค่า Undraindid shear Strength ต่ำ คือมีประมาณ 0.4-1.5 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งแสดงว่าดินเหนียวกรุงเทพพร้อมที่จะไหลตลอดเวลาถ้ามีการขุด (Excavation) หรือมีน้ำหนักมากกดทับ และสามารถยุบตัวได้สูง ดินเหนียวปกติเป็นดินที่มีแร่ซิลิกา และหรือแร่อลูมินาผสมอยู่สูง ซึ่งแร่เหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับ CaO ได้ดี เราเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาปอสโซลานิค (Pozzolanic Reaction) ซึ่งทำให้ดินเปลี่ยนคุณสมบัติไปรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้นและยุบตัวน้อยลง

เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวโดยการผสมด้วยปูนขาวหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นที่ทราบกันมานานแล้ว ขาดแต่เพียงหาเทคนิควิธีการผสมดินกับปูนซีเมนต์หรือปูนขาวให้เหมาะสมกับดินแหล่งนั้น ๆ เท่านั้น

ในประเทศสวีเดน การผสมปูนขาวกับดินเหนียวโดยวิธี

Fig.1 Locating Map of Project



ปั่นผสม (Rotary mixed) ได้ทำการศึกษาโดย Brom and Boman (1975, 1977) ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถแก้ปัญหาเรื่องดินอ่อนได้มาก

ในประเทศไทยการผสมปูนขาวโดยวิธีปั่นผสมทำการศึกษาโดยคณาจารย์ของ KMIT. T (1988) ทำการศึกษาบริเวณป้อมพระจุลจอมเกล้า จังหวัดสมุทรปราการ โดยใช้เครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นเอง ซื้อเครื่องรถสิบล้อขนาด 85 แรงม้า มาปั่นใบพัดตีดินและฉีดน้ำปูนขาวผสม โดยใช้ปูนขาวผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก เมื่อปั่นผสมเสร็จแล้วจะได้เสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซ็นติเมตร ยาว 10 เมตร อัตราส่วนระหว่างปูนขาว ต่อน้ำหนักดินแห้งประมาณร้อยละ 10-12 เสาเข็มสามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้ต้นละ 6 ตัน

ในปี 1990 เกษม เพชรเกตุ และ พินิต ตั้งบุญเดิม ได้นำวิธีปรับปรุงคุณภาพของดิน โดยวิธีปั่นผสมมาแก้ปัญหาถนนสายประธานของสวนหลวง ร.9 โดยใช้ปูนซีเมนต์ Tought Soil (TS) เป็นตัวปรับปรุงคุณภาพดิน แต่ไม่สามารถใช้วิธีปั่นผสมได้เนื่องจากฐานรากของถนนที่ระดับความลึกประมาณ 1.0 เมตร มีเศษคอนกรีต และหินใหญ่ฝังอยู่จึงใช้วิธีฉีดแรงดันสูง (JET MIXING METHOD) แทน โดยพัฒนาเครื่องเจาะดินที่มีอยู่เดิมใช้ TOUGHT SOIL ผสมน้ำอัตรา 1:1 แล้วอัดฉีดน้ำปูนผ่านก้านเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1 3/4 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3/4 นิ้ว รูฉีดน้ำปูนที่ปลายสองรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู ๆ ละ 1/4 นิ้ว ทำโดยกดก้านเจาะลงไปลึก 6 เมตร อัดฉีดน้ำปูนด้วยแรงดัน 10-15 บาร์ หมุนก้านเจาะรอบตัวด้วยความเร็ว 1 วินาที ต่อ 1 รอบ พร้อมชักก้านเจาะขึ้นในแนวดิ่งด้วยอัตรา 50 เซ็นติเมตรต่อ1นาทีประมาณว่าได้อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์

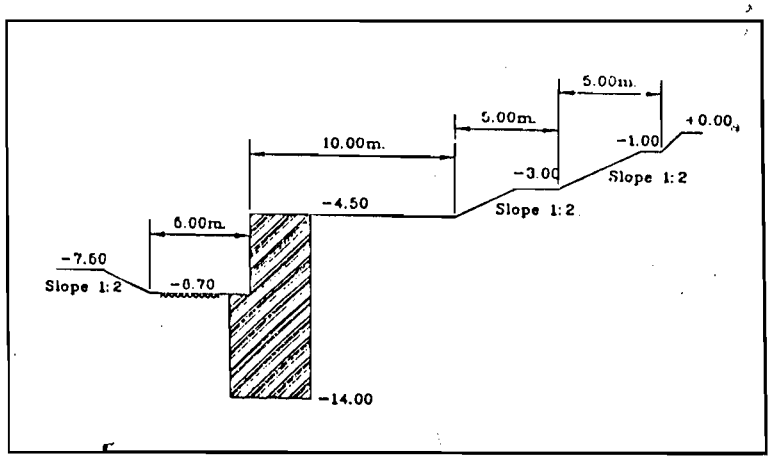
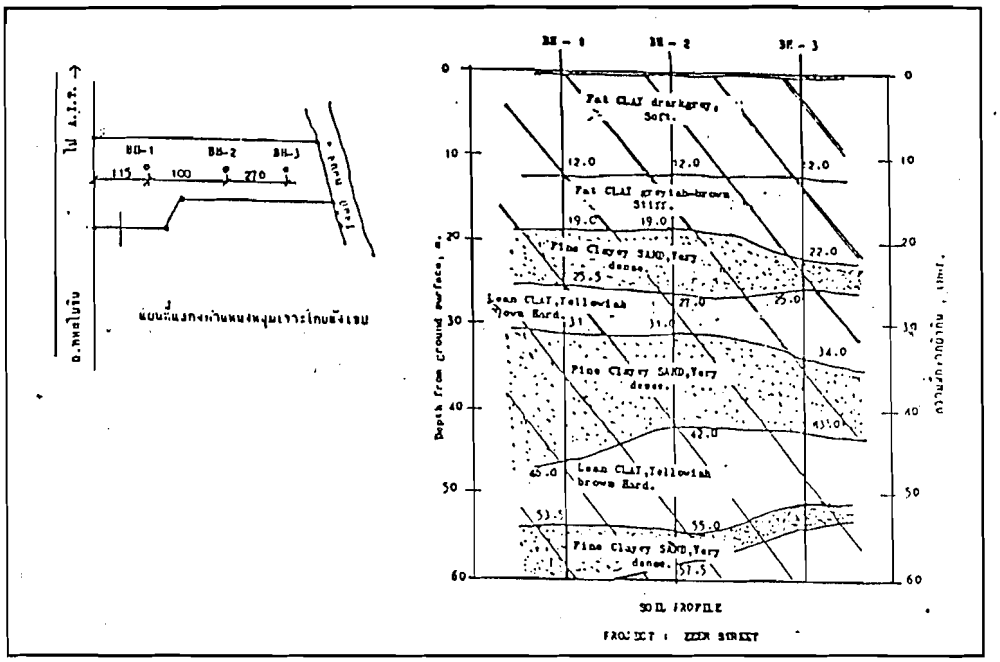


Fig.2 Typical section of Treatment Plant.

Fig.3 Soil profile



ทับซอย 50 กิโลกรัม ต่อดินเปียก 1 ลูกบาศก์เมตร เมื่อผสมได้อายุ 60 วัน พบว่าค่า Undrained shear streng ของดิน ผสมปูนซีเมนต์ที่มีความลึก 2 เมตร จากผิวดินมีค่า 3.5 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าดินเดิมก่อนปรับปรุง 2.0 ตันต่อตารางเมตร และในปี 1991 คณาจารย์ KMIT. T ได้นำดินเหนียวอ่อนบริเวณบางมดผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยอัตราส่วน 50 100 150 และ 200 กิโลกรัม ต่อ 1.0 ลูกบาศก์เมตรของดินเปียกแล้ว นำไปทดสอบ Unconfined compression test ที่อายุ 28 วัน ได้ค่า Undrained shear strenght 1.8, 8.2, 10.1 และ 13.5 ตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ

2. การใช้ Cement Column ในงานขุดบ่อบำบัดโครงการ Zeer Street shopping Complex ที่รังสิต ปทุมธานี

2.1. ลักษณะโครงการ

เป็นอาคารขนาดยาว 396 เมตร กว้าง 97 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยรวมทุกชั้น 264,000 ตารางเมตร เป็นอาคาร Shopping

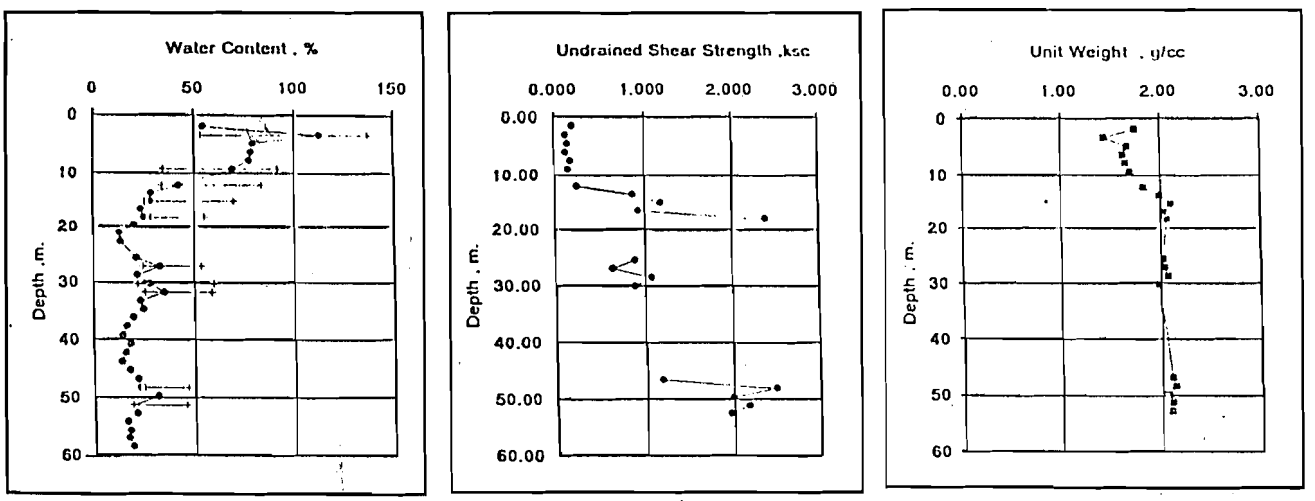


Fig.4 Soil Properties

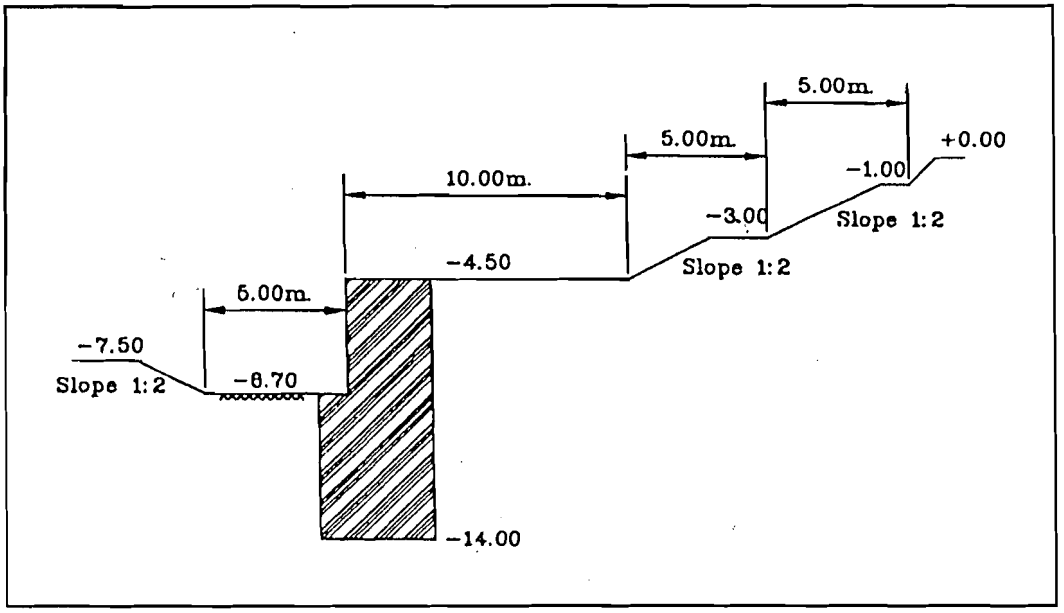


Fig.5 Typical of Slope Stability of section.

Plaza, Department Store และสำนักงาน ตั้งอยู่ที่ประมาณ กม. 29 ถนนพหลโยธิน ในเนื้อที่ 99 ไร่ บริเวณที่จะทำบ่อบำบัดอยู่ใต้อาคาร บ่อบำบัดมีขนาดกว้าง 30 เมตร ยาว 80 เมตร ลึก 8.70 เมตร จากระดับ + 0.00 เมตร ซึ่งเป็นระดับถนนในโครงการ

2.2. SOIL CONDITION

บริเวณที่ตั้งโครงการ ซึ่งอยู่ทางทิศเหนือของกรุงเทพ ประมาณ 29 กิโลเมตรสภาพดินโดยทั่ว ๆ ไป ก็ยังคงเป็นลักษณะ Bangkok clay จากผลการเจาะสำรวจ 3 หลุม พบว่าชั้น Soft clay หนาประมาณ 12 เมตร พบชั้นทรายชั้นที่ 1 และชั้นทรายชั้นที่ 2 ตื้นกว่าบริเวณใจกลางกรุงเทพฯ ลักษณะ Soil Profile และ engineering Properties ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-4

2.3. DESIGN OF LIME OR CEMENT COLUMN

เนื่องจากโครงการ Zeer Street มีที่ดินสำหรับทำถนนข้างโครงการกว้าง จากระยะแนวเขตมาถึงแนวขุดมีระยะทาง 20 เมตร จึงออกแบบ Lime Column ให้เป็น Gravity Wall ความหนาของ Wall และ Strength ของ Stabilized Soil ทำเท่าที่จำเป็น และดัด Slope ดินธรรมชาติช่วยด้วย ใช้ทฤษฎี Slope Stability ตาม Simplied Bishop (1956) วิเคราะห์ให้ทุก Section มีค่า Factor of Safety ไม่น้อยกว่า 1.25 สำหรับงานขุดชั่วคราว

การปรับปรุงคุณภาพของดินทำโดยพัฒนาเครื่องเจาะสำรวจดินให้สามารถเจาะได้ลึกครั้งละ 18 เมตร โดยไม่ต้องต่อก้านเจาะเคลื่อนตัวได้ด้วยตัวเองต่อเข้ากับปั๊มแรงดันสูง 700 บาร์ และต่อเข้ากับเครื่องผสมน้ำปูนขาว หรือน้ำปูนซีเมนต์ ทำการปรับปรุงคุณภาพของดินโดยกดก้านเจาะลงไปยังความลึกที่ต้องการแล้วอัดฉีดน้ำปูนด้วยแรงดัน 200-400 บาร์ หมุนก้านเจาะรอบตัวด้วยความเร็ว 10-20 รอบ ต่อวินาที พร้อมชักก้านเจาะขึ้นในแนวดิ่งด้วยอัตรา 0.5-1.0 เซ็นติเมตรต่อวินาที น้ำปูนจะวิ่งออกจากรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มม. สองรูซึ่งอยู่ที่ปลายก้านเจาะออกไปผสมกับดินโดยรอบ ด้วยอัตราส่วนผสมคงที่ เช่น 200 กก. ของปูนซีเมนต์ ต่อ 1 ลบ.ม. ของดิน จะได้เสาเข็มดินซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60-1.00 ม. ซึ่งขึ้นอยู่กับแรง

ดัน อัตราการชัก และจำนวนรอบต่อวินาทีที่หมุนทิ้งไว้ 14 วัน เสาเข็มจะพัฒนากำลังขึ้นใช้งานได้ตามต้องการ

2.4. OBSERVATION AND SHEAR STRENGTH TEST OF IMPROVE SOIL

การ observation ของ Site นี้ ใช้เฉพาะวัดการเคลื่อนตัวของผิวดินบริเวณปากบ่อเท่านั้น เนื่องจาก Site กว้างและไม่มีอาคารข้างเคียง จากการติดตามวัดตั้งแต่เริ่มขุดจนถึงเทฐานราก แล้วเสร็จหรือขุดได้ระดับ -8.70 เมตร พบว่าบริเวณ Surface ที่ระดับ -4.50 เมตร จากรูปที่ 2 เคลื่อนตัวเข้าหาบ่อ 10 มิลลิเมตร การลอยตัวที่ระดับ -8.70 ไม่มี และจากการนำ Improve Soil มาทดสอบหาค่า parameter ต่าง ๆ ในห้องทดลองพบว่าค่า parameter ต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า Strength parameter เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

3. บทสรุป

1. ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพสามารถปรับปรุงคุณภาพของดินชั้นลึก ๆ ได้ด้วยการอัดฉีดแรงดันสูง

2. การอัดฉีดแรงดันสูง สามารถทำเป็นเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60-1.00 เมตร หรือฉีดให้ติดกันเป็นพืด เป็น Gravity Wall ได้

3. ดินที่ปรับปรุงคุณภาพจะเบากว่าเดิมประมาณ 1.3 เท่า

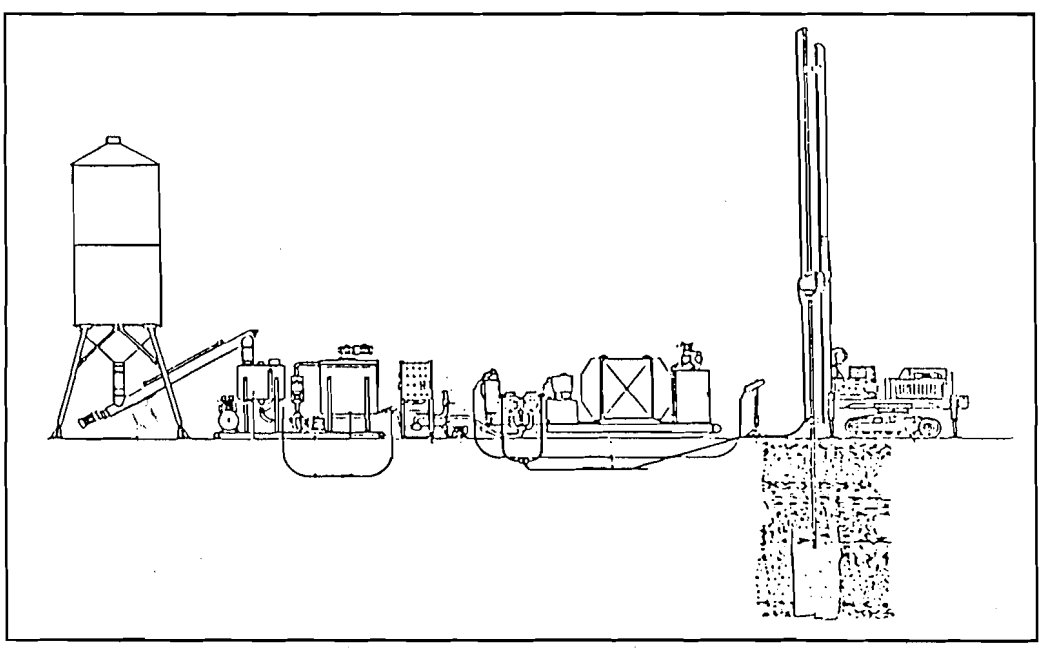


Fig.6 Sequence of Jet mixing Method

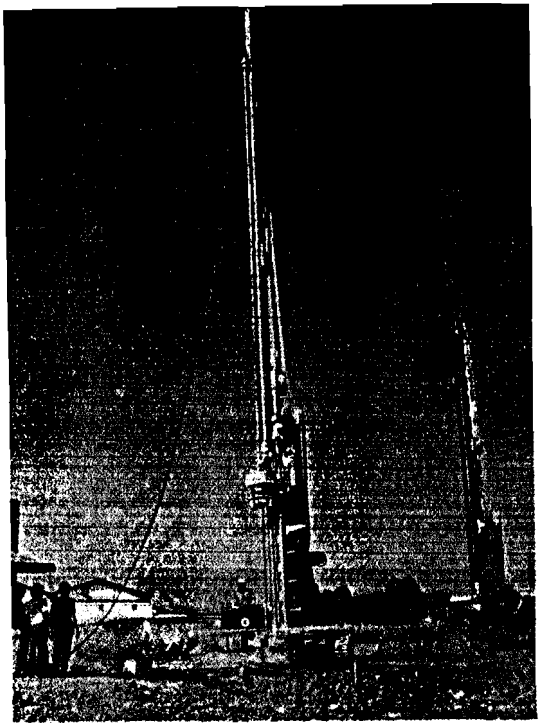


Fig.7 Jet mixing at Zeer Street site

4. ค่า Undrained Shear Strength ของดินที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วสูงกว่าเดิมประมาณ 20 เท่า ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จำนวน 200 กก. ต่อ ลบ.ม. ของดินเปียก

5. จากการทำ Deep excavation ถึงระดับที่ต้องการแล้วพบว่าการเคลื่อนตัวในแนวราบบริเวณปากบ่อเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และไม่พบการลอยตัวของดินก้นบ่อ

4. REFERENCE

1. เกษม เพชรเกตุ, พินิต ตั้งบุญเดิม และวิชัย สังวรปทานสกุล : (2531) การปรับปรุงคุณภาพของดินโดยใช้ปูนขาว, วิศวกรรมสาร เล่มที่ 4 ประจำปี 2531 หน้า 69-77

2. เกษม เพชรเกตุ, พินิต ตั้งบุญเดิม (2533) : การปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากถนนโดยวิธีอัดฉีดแรงดันสูง, เอกสารประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรมประจำปี 2533, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หน้า 265-272

3. เกษม เพชรเกตุ, พินิต ตั้งบุญเดิม (2534) : การปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวอ่อนทางเคมี, ข่าวช่าง ประจำเดือนธันวาคม 2434 หน้า 30-37

4. Bishop, A.W. (1955) : The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slope, Geotechnique, 5 (1), PP. 7-17

5. Broms, B and Boman, P (1975) : Lime Stabilized Column, 5 th ARC on SMFE, PP. 227-234

6. Broms, B and Boman, P (1977) : Stabilization of Soil with Lime, Ground Engineering, Vol. 12, No. 4 PP. 23-24

7. Petchgate, K and Tungboonterm, P (1990) : Installation of Lime Columns and Their Performance in Bangkok Clay, 10 th SEAGS Vol. 1 PP. 121-124

Fig.8 After Excavation

SOIL LAYER 0-12.0 M.	γ_t t/m^3	W %	Su t/m^2	LL %	PL %	LI %
Before Treat	1.63	79.5	1.50	84.2	33.3	90.8
After Treatment with Portland Cement 200 kg/m^3 of soil	1.27	81.6	30.0	-	NP	-

TABLE I. SOIL PROPERTIES BEFORE AND AFTER TREATED