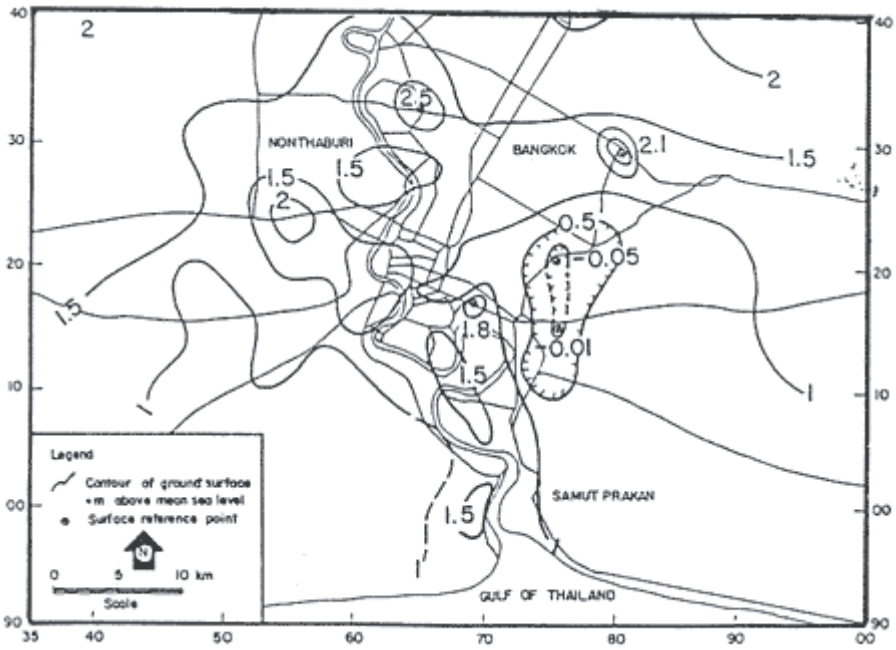
การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ป้องกันน้ำท่วมกรุงเทพฯ

การทรุดตัวของดินบริเวณที่ราบลุ่มเจ้าพระยา มาจาก 2 สาเหตุหลัก ด้วยกันคือ

1. เนื่องจากการสูบน้ำบาดาล

2. เนื่องจากมีสิ่งปลูกสร้าง เช่น อาคาร, ถนน ฯลฯ กดทับ

การทรุดตัวเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล จากการศึกษาของ ศ.ดร.ปริญญา นุตาลัย และคณะ ระหว่างปี พ.ศ.2521 ถึง ปี พ.ศ.2531 พบว่าในปี พ.ศ.2531 ความสูงของผิวดินบริเวณกรุงเทพมหานครมีค่าระหว่าง 2.50 เมตร ถึง 0.05 เมตร เมื่อ



เปรียบเทียบกับความสูงของระดับน้ำทะเลปานกลาง (รูปที่ 1)

รูปที่ 1 ความสูงของผิวดินบริเวณกรุงเทพฯ (พ.ศ.2531) เป็นเมตร เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง
(จาก ศ.ดร. ปริญญา นุตาลัย และคณะ)

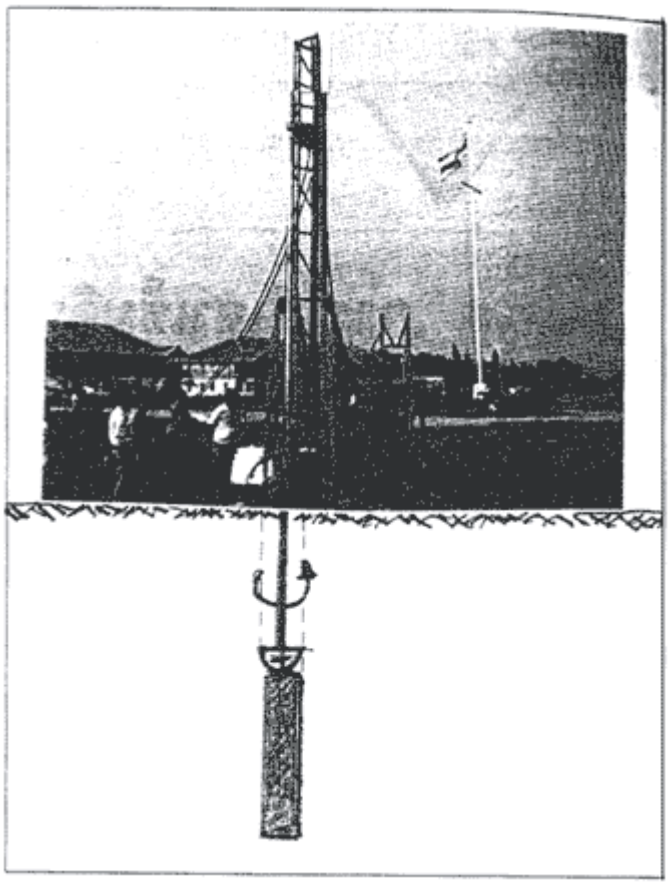
ถ้าพิจารณารูปที่ 1 จะเห็นว่าบริเวณฝั่งซ้ายของแม่น้ำเจ้าพระยา ระดับผิวดินส่วนใหญ่จะมีค่าระดับต่ำกว่า +1.00 เมตร ซึ่งถ้าวันใดกรมอุตุนิยมฯ ประกาศว่าวันนี้มีน้ำเหนือหลากน้ำทะเลหนุน ทำให้ระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาสูง +1.20 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ก็แสดงว่าน้ำจะท่วมกรุงเทพฯ ถ้าไม่มีระบบป้องกันและระบบจัดการที่มีประสิทธิผล การทรุดตัวของดินเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลสามารถหยุดยั้งได้ โดยงดสูบน้ำบาดาล แต่การทรุดตัวของดินโดยเฉพาะชั้นดินอ่อนที่มีความหนาตั้งแต่ 10.00 เมตร ถึง 20.00 เมตร สามารถชะลอการทรุดตัวได้ โดยการปรับปรุงดินอ่อนให้แข็งโดยวิธีผสมลึก (Deep Mixing Stabilization) และการผสมลึกนี้ยังเป็นวิธีการที่สามารถยับยั้งการเลื่อนไหลของดินได้ด้วย

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (BANGKOK CLAY) ดินเหนียวอ่อนบริเวณกรุงเทพฯ (Bangkok Clay) เป็นดินที่เกิดจากการพัดพาของน้ำ หรือดินแขวนลอย ไหลตามน้ำมา เมื่อความเร็วของน้ำชะลอลงเพราะกระแสน้ำมาปะทะกับน้ำทะเลในอ่าวไทย ทำให้ดินที่แขวนลอยมากับน้ำตกตะกอน บางส่วนวิ่งไปตกตะกอนในอ่าวไทย และบางส่วนที่ละเอียดมาก ๆ จะกลับมาตกตะกอนบริเวณกรุงเทพฯ ใหม่ โดยแขวนลอยมากับน้ำทะเลหนุน (น้ำขึ้น) ดังนั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จะเป็นดินที่มีเม็ดละเอียดมาก มีปริมาณน้ำบรรจุ (Water Content) อยู่ระหว่างร้อยละ 60-120 มีขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) อยู่ระหว่างร้อยละ 60-120 มีค่าความซึมได้ตามแนวดิ่งอยู่ระหว่าง 0.2-1.0 เมตรต่อปี มีอัตราส่วนโพรง (Void Rate) 1.80-

3.50 มีค่า Undrained Sheer Strength อยู่ระหว่าง 300-1,500 กิโลเมตรต่อตารางเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ รับน้ำหนักได้น้อยมากยุบตัวได้สูงมาก พร้อมจะเลื่อนไหลเมื่อมีน้ำหนักกดทับ

<u>การปรับปรุงดินโดยวิธีผสมลึก (DEEP MIXING STABILIZATION)</u>

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เป็นดินที่มีซิลิกา และแร่อะลูมินาผสมอยู่เป็นส่วนใหญ่ เมื่อแร่ซิลิกาหรือแร่อะลูมินาผสมกับปูนขาว หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ก็จะเกิดปฏิกริยาปอซโซลานิค (Pozzolanic Reaction) ปฏิกริยาดังกล่าวนี้ทำให้เกิด Calcium Silicate Hydrate (CSH) หรือ Calcium Aluminate Hydrate (CAH) มีคุณสมบัติยึดเกาะกันทำให้เม็ดดินรวมตัวกันเป็นก้อน มีความแข็งแรงสูง ดังนั้น การผสมลึก คือ การใช้เครื่องมือส่งปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือส่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับปูนขาวลงไปลึก ๆ แล้วผสมวัสดุดังกล่าวข้างต้นเข้ากับดิน ณ ความลึกนั้น ๆ อาจจะผสมโดยวิธีปั่นผสม (Rotary Mixed) อัดฉีดแรงดันผสมสูง (Jet Mixing) โดยอาจใช้ปูนแห้ง ๆ หรือปูนผสมน้ำ ผสมเข้ากับดินตามปริมาณที่ได้จากการวิจัยแต่ละท้องที่ซึ่งไม่เหมือนกัน ปี พ.ศ. 2530 คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ใช้ปูนขาวจำนวยร้อยละ 12 ผสมกับดินเหนียวในที่บริเวณป้อมพระจุลจอมเกล้า แบบปั่นผสมทำเป็นเสาเข็ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เมตร ลึก 10.00 เมตร สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ต้นละ 6 ตัน เครื่องมือ

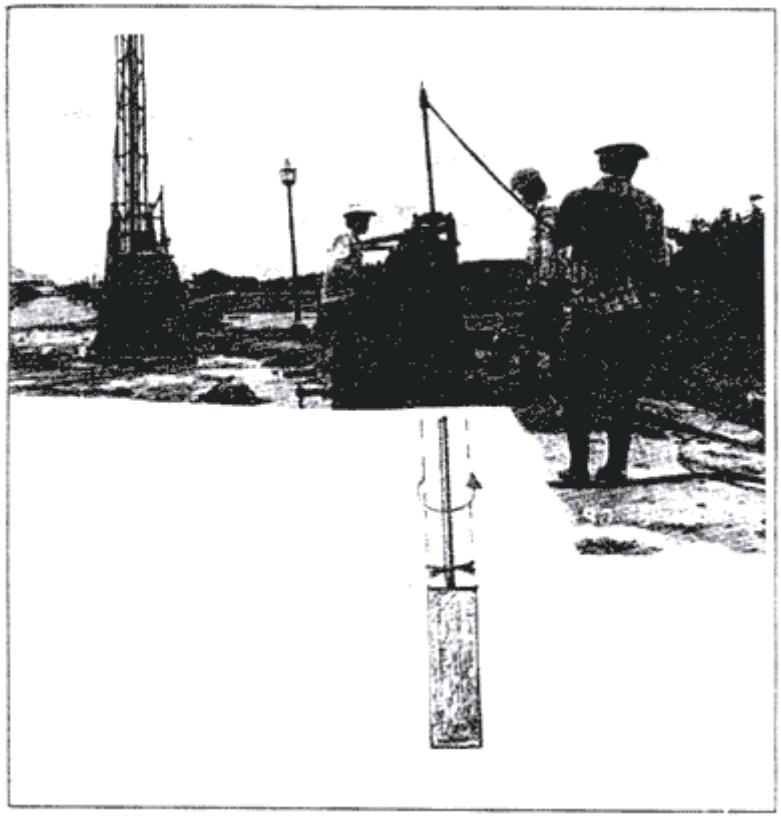


ผสมได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 การทำ Lime Column บริเวณป้อมพระจุลจอมเกล้าสมุทรปราการ

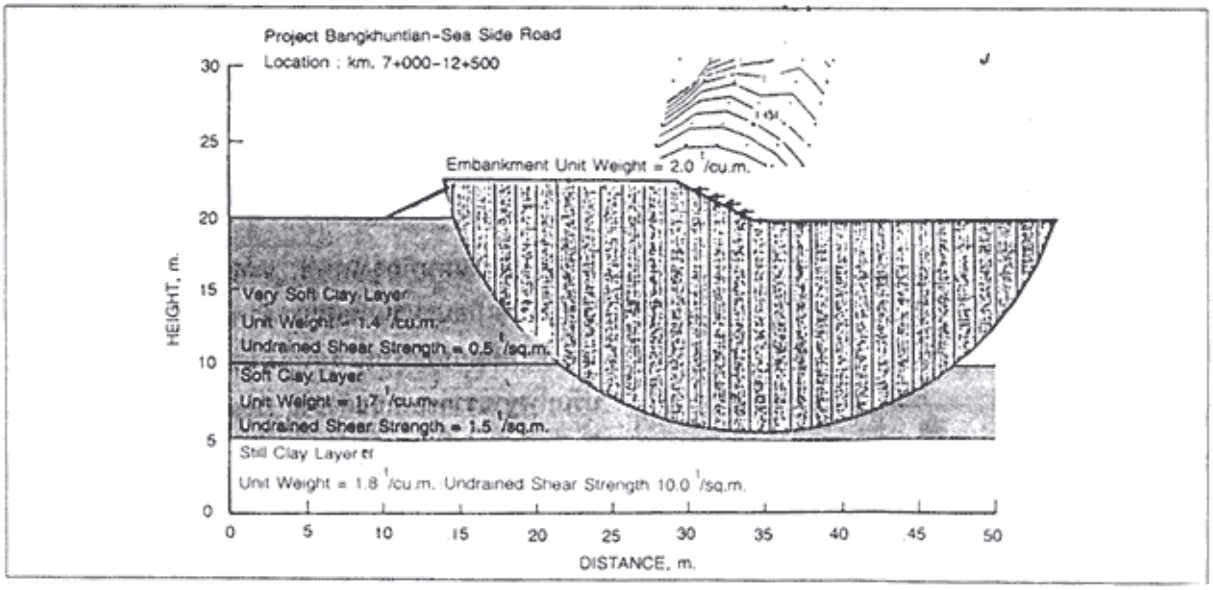
ปี พ.ศ. 2532 คณาจารย์กลุ่มเดียวกันได้ทำการปรับปรุงดินแบบผสมลึก โดยวิธีอัดฉีดแรงดันสูงบริเวณถนนสายประธานของสวนหลวง ร.9 โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ TOUGH SOIL ผลิตโดย บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อัตราส่วนผสมที่สวนหลวง ร.9 นี้ใช้ปูนซีเมนต์ 50 กิโลกรัม ต่อปริมาณดินเปียก 1 ลูกบาศก์เมตร ทำเป็นเสาเข็มลึก 6 เมตร

อัดฉีดด้วยแรงดัน 15 บาร์ หมุนก้านส่งรอบตัวเองด้วยความเร็ว 1 รอบ ต่อ 1 วินาที ชักขึ้นด้วยอัตรา 50 เซนติเมตรต่อนาที หลังจากทำการผสมแล้วเสร็จ 7 วัน จึงทำการทดสอบกำลังของดินที่ผสมปูนซีเมนต์พบว่า กำลังของดินที่ผสมปูนซีเมนต์มีกำลังสูงขึ้น 2 เท่าของกำลังดินเดิม เมื่อทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางแล้วพบว่ากำลังของดินที่ผสมปูนซีเมนต์ แล้วทำให้คันทางมีค่าเสถียรภาพดี รูปการทำเสาเข็มดินซีเมนต์ แสดงไว้ในรูปที่ 3



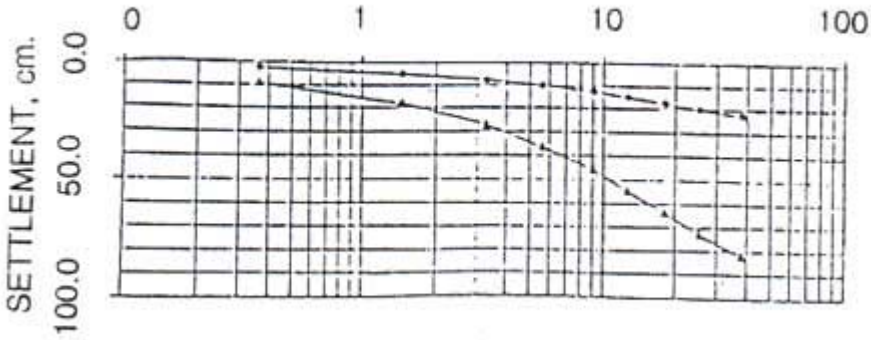
รูปที่ 3 การทำ **Deep Mixing** เป็นเสาเข็มดินซีเมนต์แก้ปัญหาฐานรากถนนสายประธาน สวนหลวง ร.9 กรุงเทพมหานคร

ปี พ.ศ. 2535 คณาจารย์กลุ่มเดียวกันนี้ได้ทำกรณีศึกษาถนนสายบางบอน-ชายทะเล แยกจากถนนธนบุรี-ปากท่อ ประมาณ กม. 7 เขตบางขุนเทียน ถนนโครงการยาวประมาณ 18 กม. มีเขตทางกว้าง 40 เมตร ค่า Undrained Shear Strength ของชั้น Soft Clay มีค่า 0.5 ตัน/ตางรางเมตร มีระดับน้ำสูงสุดสูงจากผิวดินปัจจุบันระหว่าง 1.10 เมตร ถึง 1.60 เมตร เมื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางเบื้องต้นตามวิธีของ BJERRUM พบว่าได้ความสูงของคันทางมีค่าระหว่าง 1.10-1.50 เมตร ซึ่งไม่เพียงพอจากการถูกน้ำท่วม และถ้าจะออกแบบโดยใช้ COUTERWEIGHT BERM ก็มีพื้นที่ด้านข้างไม่เพียงพอ เพราะมีแนวเขตทางกว้างเพียง 40 เมตร จึงพิจารณาใช้ Geotextile ชนิดทนแรงดึงสูงกับใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง หรือเสาเข็มดินซีเมนต์เสริมกำลังของฐานราก ราคาค่าก่อสร้างความคงตัวและการทรุดตัวจะเป็นตัวตัดสินใจ จากการวิเคราะห์ Slope Stability ของคันทางที่ใช้ Geotextile เสริมกำลังของฐานรากโดยใช้โปรแกรม SLOPE/W พบว่าถ้าคันทางสูง 3.0 เมตร จากผิวดินจะมีค่า Factor of Safety 1.45 ซึ่งไม่ปลอดภัย ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปแบบของการวิเคราะห์ Slope Stability ที่ใช้ Geotextile กำลังสูงช่วง กม. 7+000 ถึง กม. 12+500

เมื่อนำ Section นี้ไปวิเคราะห์การทรุดตัวพบว่า คันทางที่ใช้ Geotextile เสริมฐานรากจะทรุดตัว 83 เซนติเมตร แต่ถ้าใช้เสา



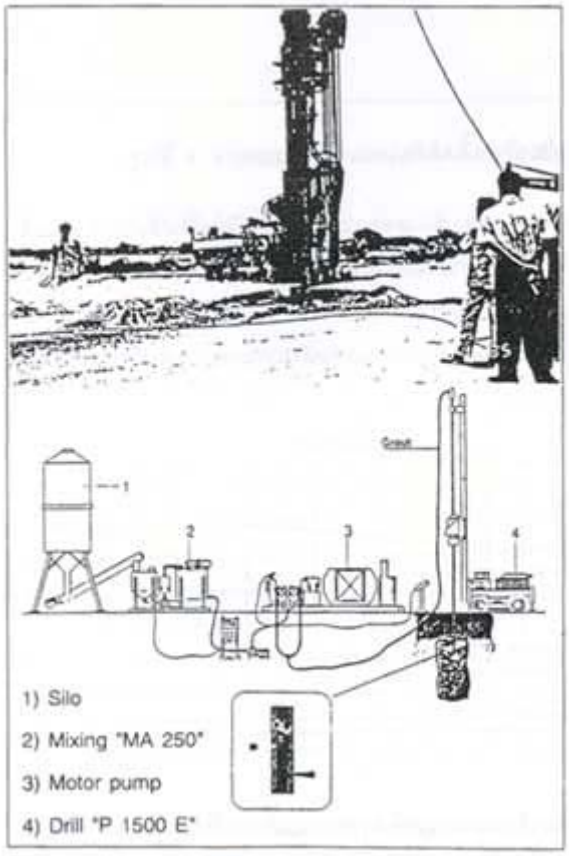
เข็มคอนกรีตหรือ เสาเข็มดินซีเมนต์เสริมฐานรากคันทางจะทรุดตัว 35 เซนติเมตร ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5

รูปที่ 5 การทรุดตัวของคันทางสูง 3 เมตร เทียงกับเวลา

อย่างไรก็ตามราคาของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงจะสูงกว่าราคาของเสาเข็มดินซีเมนต์ประมาณร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับที่น้ำหนักบรรทุกเดียวกัน

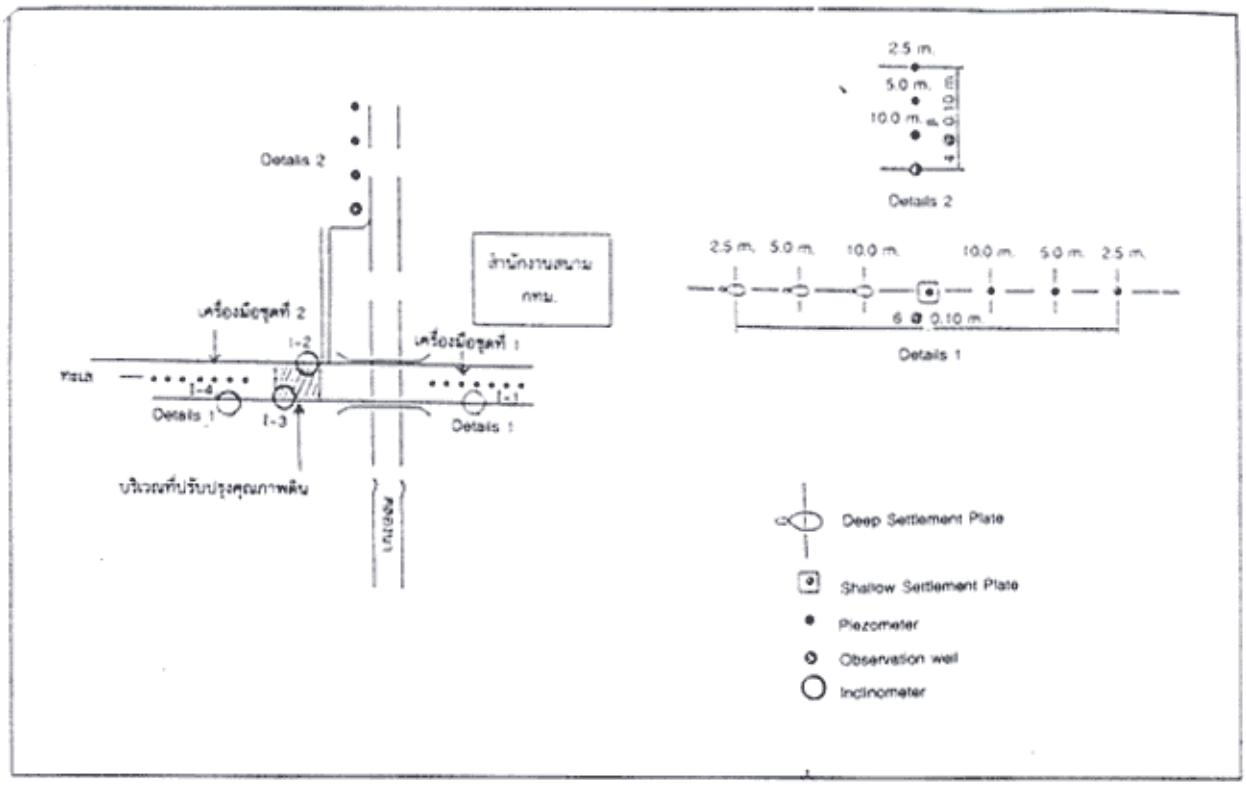
TEST SECTION

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของถนนเดิมบริเวณ กม.7+000 ถึง กม. 12+500 โดยทำการ Jet mixing แบบ Wet mixing ใช้ปูนซีเมนต์ 200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของดินเปียก ฉีด Slurry จากความลึกต่ำสุด -12.00 เมตร อัดด้วยแรงดัน 250 บาร์ หมุนรอบตัวและชักขึ้นด้วยอัตราคงที่ด้วยท่อส่งท่อนเดียว ขึ้นมาจนถึงผิวดินได้เสาเข็มดินซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เมตร วางห่างกัน 2.00 x 2.00 เมตร เป็นตาราง รูปการทำ Jet mixing ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6

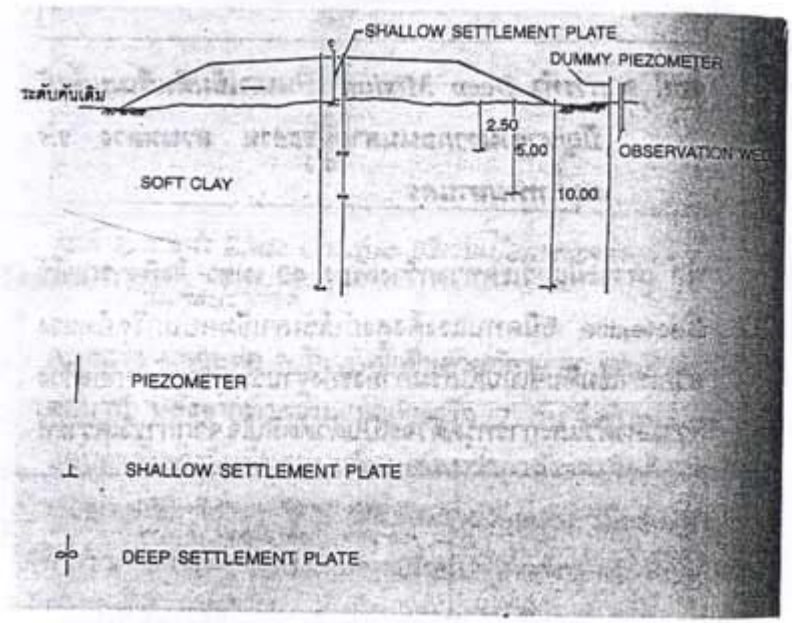


รูปที่ 6 การทำ Jet Mixing แบบ SINGLE INJECTION

หลังจากทำ Jet mixing เป็นเสาเข็มดินซีเมนต์รองรับถนนเดิมซึ่งสูง 1.40 เมตรเรียบร้อยแล้ว ทำการฝังเครื่องมือวัดใต้ถนนที่มีเสาเข็มดินซีเมนต์ และใต้ถนนที่ปูด้วย Geotextile เสริมกำลังของฐานรากและถนนเดิมที่ไม่ได้ปรับปรุงดินฐานราก ตำแหน่งและลักษณะการติดตั้งเครื่องมือวัดได้แสดงไว้ในรูปที่ 7 และ 8



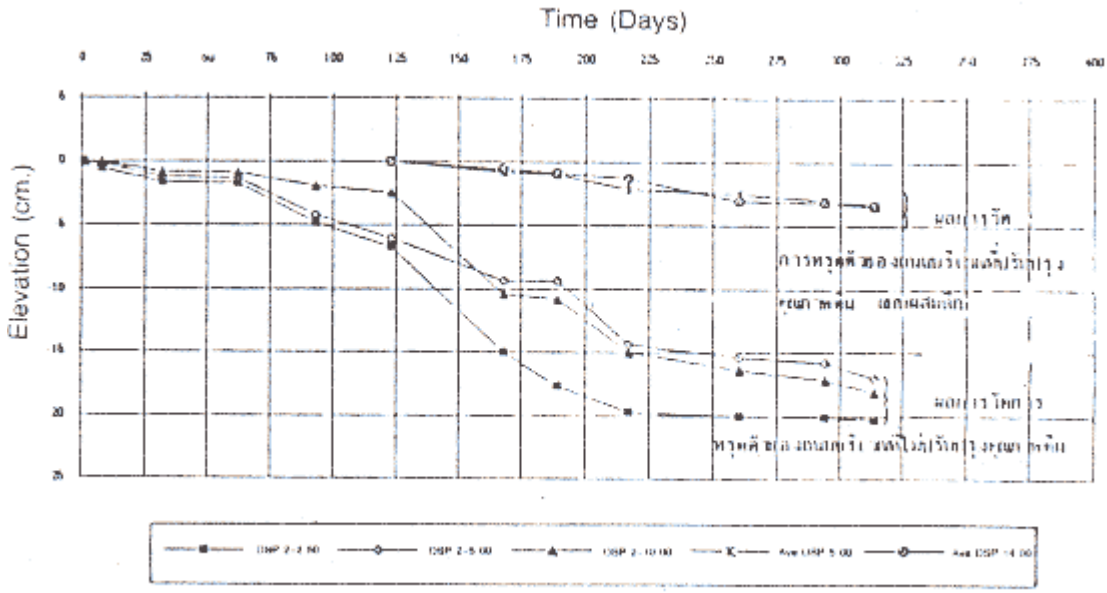
รูปที่ 7 ลักษณะทั่วไปของการติดตั้งเครื่องมือ



รูปที่ 8 รายละเอียดตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดและบริเวณที่ทำการปรับปรุงคุณภาพดินในสนาม

จากการติดตามวัดการทรุดตัวเป็นเวลา 7 เดือน พบว่า SECTION ที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพของดินและ Section ที่เสริมกำลังฐานรากด้วย Geotextile จะทรุดตัวประมาณ 18 เซนติเมตร ส่วน Section ที่มีการปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากแบบ

Deep mixing ทำเป็นเสาเข็มดินซีเมนต์รองรับ ถนนจะทรุดตัวประมาณ 4 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าในสภาวะเดียวกันของถนนทั้ง 3 Section จะทรุดตัวต่างกัน 14 เซนติเมตร ในเวลาประมาณ 7 เดือน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบการทรุดตัวของถนนบริเวณที่ปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากกับบริเวณที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพฐานราก การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ชะลอการจมน้ำของถนนและคันกั้นน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม

ถ้ามองแผนที่กรุงเทพฯ จะพบว่า มีถนนหลายสายขนานหรือเกือบขนาดกับแม่น้ำเจ้าพระยา ถ้าในการซ่อมถนนหรือตัดถนนใหม่ที่เลียบแม่น้ำเจ้าพระยา โดยการปรับปรุงฐานรากด้วยวิธี Deep Mixing เป็นเสาเข็มดินซีเมนต์รองรับฐานราก ของถนนและในการทำคันกั้นน้ำล้อมกรุงเทพฯ ก็ออกแบบให้วางบนเสาเข็มดินซีเมนต์ในลำคลองต่าง ๆ ทำการก่อสร้างทำนบกั้นน้ำไว้ มีระบบสูบน้ำที่ดี ก็สามารถป้องกันการจมน้ำของ กทม. ได้หลายปี ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบจากรูปที่ 5 ก็จะพบว่า ถนนสูง 3 เมตร จากผิวดินเดิม วางบนดินที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพของดินฐานรากหรือวางบนฐานรากที่เสริมกำลังด้วย Geotextile จะทรุดตัวประมาณ 67 เซนติเมตร ในเวลา 20 ปี ส่วนถนนเดียวกันที่วางบนฐานรากที่ปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากแบบ Deep mixing ทำเป็นเสาเข็มดินซีเมนต์จะทรุดตัวประมาณ 20 เซนติเมตร ในเวลา 20 ปี จริงอยู่การเสริมฐานรากแบบ Deep mixing Stubilization ทำให้ค่าก่อสร้างแพงขึ้นจากเดิมอีกตารางเมตรละประมาณ 1,300 บาท (หนึ่งพันสามร้อยบาทถ้วน) แต่สามารถยืดเวลาการซ่อมถนนและยืดเวลาการเสริมคันกันน้ำออกไปได้จากวิธีปกติ 10-20 ปี ซึ่งพิจารณาโดยรวม ๆ แล้ว จะประหยัดกว่ามาก อีกทั้งยังลดปัญหาฝุ่นและลดปัญหารถติดจากการซ่อมถนนสายนั้น ๆ ไปได้ 10-20 ปี เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

เอกสารวิจัยโครงการปรับปรุงก่อสร้างถนนสายบางขุนเทียนจากถนนพระรามที่ 2 ถึงชายทะเล เขตบางขุนเทียน ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เสนอกรุงเทพมหานคร ปี 2532 ถึง 2537

ที่มา : หนังสือโยธาสาร ปี 2538
โดย : รศ. เกษม เพชรเกตุ
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี