การประยุกต์ใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ในงานวิศวกรรมโยธา

Applications of Deep Cement Mixing Piles for Civil Engineering Work

พิทยา แจ่มสว่าง[1]

1. บทนำ

เสาเข็มดินซีเมนต์ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวอ่อน การก่อสร้างเป็นการผสมดินเดิมกับปูนซีเมนต์เชิงลึก ซึ่งนิยมเรียกว่า การผสมลึก (Deep cement mixing) โดยสามารถทำการผสมได้ 2 วิธีการด้วยกันได้แก่ การผสมแบบเชิงกล(Mechanical mixing) และ การผสมแบบแรงดัน (Jet mixing) การผสมแบบเชิงกลใช้เครื่องจักรโดยมีใบพัดเป็นตัวผสมดินกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากัน (Porbaha et al., 1999) ซึ่งสามารถผสมดินได้ทั้งแบบแห้งและแบบเปียก โดยการผสมแบบแห้งนั้นหลังจากตัดย่อยดินด้วยใบพัดแล้วผงปูนซีเมนต์จะถูกฉีดตลอดความลึกแล้วผสมกับดินโดยใบพัดผสม ส่วนการผสมแบบเปียกจะใช้น้ำปูนฉีดพร้อมกับผสมดินด้วยใบพัดไปพร้อมกัน ทำให้ดินและน้ำปูนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับการผสมแบบแรงดัน เป็นการผสมโดยการฉีดน้ำแรงดันสูงทำหน้าที่ตัดทำลายโครงสร้างดินเดิมหลังจากนั้นน้ำปูนจะถูกฉีดผ่านก้านเจาะพร้อมกับหมุนเพื่อผสมดินกับน้ำปูน สาเหตุที่เสาเข็มดินซีเมนต์เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากมีข้อดีหลายประการได้แก่

1. ทำการก่อสร้างได้รวดเร็วเนื่องจากเป็นการผสมในที่ไม่จำเป็นต้องมีการขุดดินออกเหมือนกับเสาเข็มเจาะจึงทำงานได้รวดเร็วกว่าเหมาะสมกับพื้นที่ในเมืองที่มีปัญหาเรื่องการจราจร อีกทั้งยังมีข้อดีกว่าเสาเข็มตอกเนื่องจากไม่มีปัญหาการสั่นสะเทือน

2. มีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากการก่อสร้างใช้เครื่องจักรที่มีความทันสมัยและระบบควบคุมคุณภาพที่ดี ดังนั้นจึงเป็นเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพที่เชื่อถือได้และมีความคุ้มค่า (Ando et. al., 1995)

3. มีความหลากหลายในการใช้งาน สำหรับประเทศไทยเสาเข็มดินซีเมนต์มักนำไปใช้ในงานฐานรากของคันทางเพื่อลดการทรุดตัว (Bergado et. al., 1999 และ Lai et. al., 2006) การก่อสร้างนิยมใช้รูปแบบการเรียงตัวของเสาเข็มแบบเป็นตาข่ายรูปเสี่ยมเหลี่ยมจัตุรัสมีระยะห่างประมาณ 1.5-2.0 m โดยเสาเข็มดินซีเมนต์มีความลึกตลอดชั้นดินเหนียว ซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไปที่ใช้กันในงานปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน แต่ในต่างประเทศนั้นเสาเข็มดินซีเมนต์กลับถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ กันไม่ได้มีเพียงแต่งานฐานรากเท่านั้น และยังมีรูปแบบการจัดเรียงตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่หลากหลายกันออกไปอีกด้วย ดังนั้นบทความนี้จึงได้เสนอ รูปแบบการเรียงตัวและลักษณะของงานต่างๆ ที่ประยุกต์ใช้เสาเข็มดินซีมนต์จากงานวิจัยในต่างประเทศเพื่อเป็นแนวทางที่สามารถนำมาใช้ได้กับงานวิศวกรรมโยธาในประเทศไทย

ลักษณะของงานที่ใช้เสาเข็มดินซีเมนต์สามารถแบ่งออกเป็นประเภท 5 ใหญ่ๆ จากงานวิจัยของ Porbaha et. al. (1998) Bruce (FHWA, 2000) และ Topolnicki (2004) ซึ่งในแต่ละประเภทนั้นได้ระบุถึงประเทศที่นิยมใช้อีกด้วยดังต่อไปนี้

1. งานฐานราก (ญี่ปุ่น สแกนดิเนเวีย อเมริกา ฝรั่งเศส โปแลนด์)
2. งานระบบค้ำยัน (ญี่ปุ่น จีน เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เยอรมัน)

[1] อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
โทร. 0-29132500 ต่อ 8620-26 E-mail: pitthayaj@kmutnb.ac.th

3. งานปรับปรุงดิน (ญี่ปุ่น ฟินแลนด์ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เยอรมัน)
4. งานบรรเทาการเกิดดินเหลวตัว (ญี่ปุ่น อเมริกา)
5. งานกำแพงกันน้ำ (ญี่ปุ่น อเมริกา เยอรมัน โปแลนด์)

หัวข้อถัดจากนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของรูปแบบการก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับงานต่าง ๆ และลักษณะของงานที่ใช้เสาเข็มดินซีเมนต์

2. รูปแบบการก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์

การเลือกรูปแบบการก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการประยุกต์ใช้งาน สภาพของสถานที่ก่อสร้าง อัตราส่วนปลอดภัยที่ต้องการ และราคาก่อสร้าง รูปแบบเสาเข็มดินซีเมนต์มีลักษณะที่แตกต่างกันทั้งแบบมีระยะห่างหรือซ้อนกัน และแบบต้นเดี่ยวหรือแบบกลุ่มรวมกัน รูปแบบที่ใช้กันโดยทั่วไปแสดงในรูปที่ 1

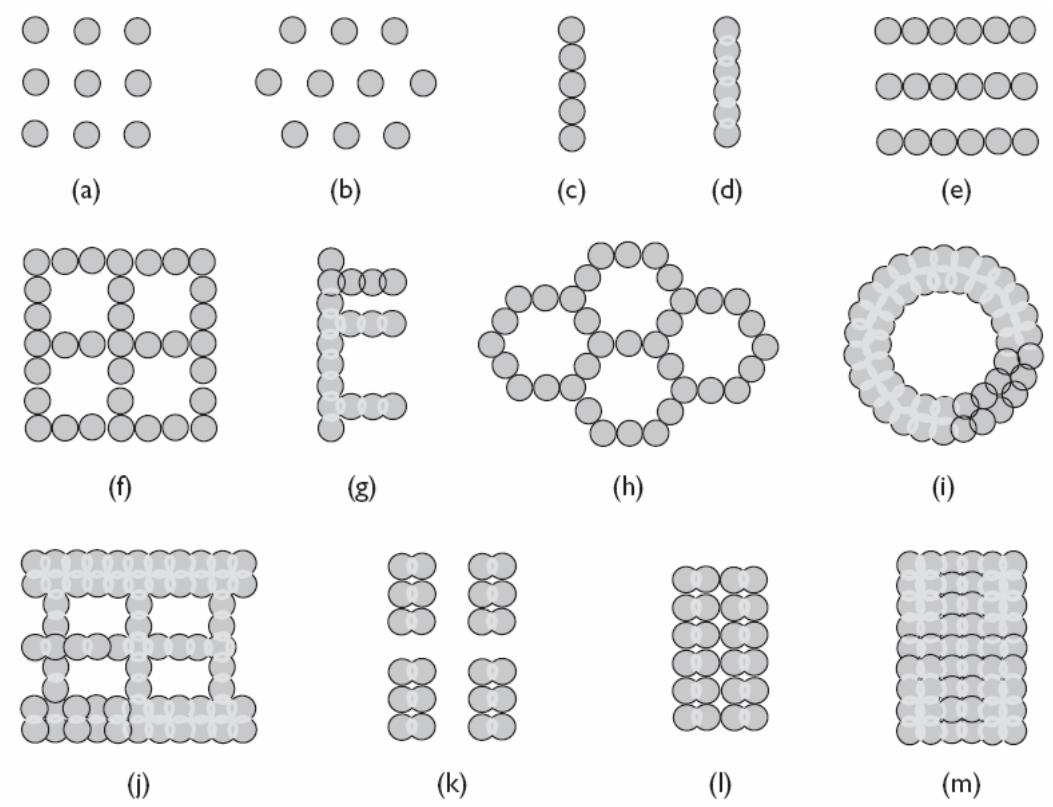
เสาเข็มดินซีเมนต์เดี่ยวที่มีรูปแบบการก่อสร้างแบบตาข่ายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสามเหลี่ยม หรือแบบรวมกันเป็นเสาเข็มกลุ่ม ดังรูปที่ 1a และ 1b มักนำไปใช้ในงานที่ต้องการลดการทรุดตัวของดินฐานราก หรืองานปรับปรุงเสถียรภาพ เช่น งานคันทางถนน ส่วนรูปแบบกำแพง (ดังรูปที่ 1c 1d 1e และ 1g) ใช้ในการควบคุมงานขุดดิน เพื่อรักษาเสถียรภาพของงานเปิดและป้องกันโครงสร้างที่ใช้ฐานรากตื้นรอบพื้นที่ขุด อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความสามารถในการรับกำลังแบกทานของดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพ เพื่อต้านทานแรงแนวราบหรือแรงที่ทำให้เกิดการเลื่อนไถล ด้วยการใช้รูปแบบเสาเข็มแบบแถวที่มีทิศทางเดียวกับของน้ำหนักในแนวราบหรือตั้งฉากกับผิววิบัติที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เสาเข็มแบบกำแพงสามารถสร้างได้ทั้งแบบสัมผัสกัน (รูปที่ 1c) หรือซ้อนกัน (รูปที่ 1d) แบบซ้อนกันใช้ในงานป้องกันน้ำไหลผ่าน เสาเข็มดินซีเมนต์แบบกลุ่มสามารถใช้รองรับคันทางและฐานรากเพื่อลดการทรุดตัวและเพิ่มกำลังแบกทาน เสาเข็มดินซีเมนต์ชนิดกลุ่มมีหลายรูปแบบด้วยกันเช่น แบบตาข่าย รูปตัวยู (U) และแบบวงกลมดังรูปที่ 1i โดยเสาเข็มดินซีเมนต์อาจเป็นแบบสัมผัสกันหรือซ้อนกัน รูปแบบช่องตาข่าย (รูปที่ 1j) เป็นระบบที่มีประสิทธิผลและประหยัดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบกำแพงและแบบก้อน

เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบของการก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์เชิงพื้นที่ที่ปรับปรุงคุณภาพและเพื่อประเมินคุณสมบัติเชิงประกอบของเสาเข็มดินซีเมนต์และดินรอบเสาเข็ม จึงได้มีการกำหนดนิยามของอัตราส่วนพื้นที่ที่ปรับปรุงคุณภาพ (a_p) ตามรูปที่ 2 โดย a_p หาค่าได้ดังนี้

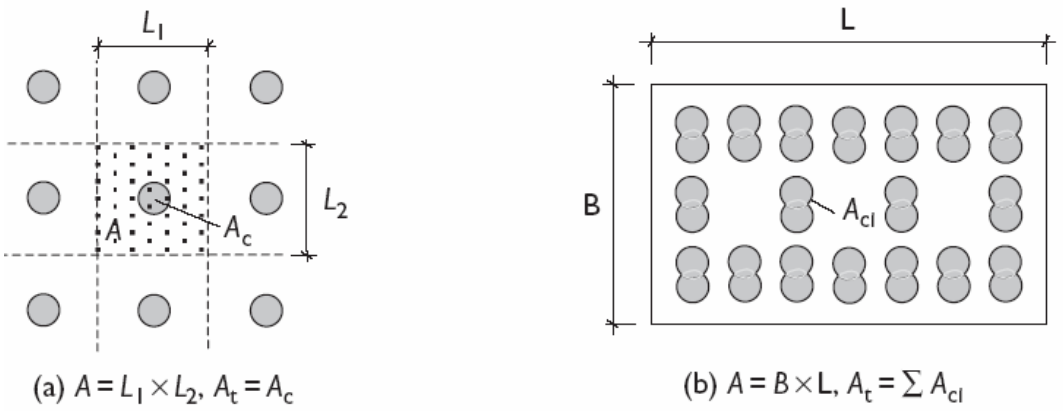
$$a_p = \frac{A_t}{A} = \frac{net\ area\ of\ soil\ mixing}{respective\ to\ total\ area} \qquad (1)$$

เสาเข็มดินซีเมนต์ที่มีระยะห่างสองเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางค่า a_p มีค่าเท่ากับ 19.6% และ 22.7% สำหรับรูปแบบ สี่เหลี่ยมจัตุรัสและแบบสามเหลี่ยมตามลำดับ และสำหรับเสาเข็มที่มีระยะห่าง สามเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง a_p มีค่าเท่ากับ 8.7% และ 10.1% ตามลำดับ ระยะห่างสามเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางมักใช้เป็นค่าต่ำสุดสำหรับงานปฏิบัติในสนาม งานก่อสร้างคันทางในประเทศญี่ปุ่นนิยมใช้ค่า a_p ระหว่าง 30% และ 50% เนื่องจากปัญหาแผ่นดินไหว ในขณะที่ประเทศแถบแสกนดิเนเวียใช้ค่า a_p ระหว่าง 10% และ 30%

รูปแบบการติดตั้งเสาเข็มดินซีเมนต์มีการแปรเปลี่ยนทั้งในแนวราบและแนวดิ่งซึ่งสัมพันธ์กับความลึกของการปรับปรุงคุณภาพ ในกรณีของการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้รูปแบบเสาเข็มดินซีเมนต์ชนิดแบบกำแพง สามารถเป็นทั้งแบบกำแพงสั้นและยาวในชั้นดินอ่อนเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง กำแพงแบบยาวสามารถถ่ายน้ำหนักจากสิ่งก่อสร้างด้านบนไปยังชั้นดินที่รับกำลังแบกทานได้ดีที่อยู่ด้านล่าง ส่วนกำแพงที่มีความยาวปานกลางทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างกำแพงยาวเพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งของมวลดินทั้งหมดที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพ ตัวอย่างอื่นๆได้แก่การแปรเปลี่ยนความยาวของเสาเข็มดินซีเมนต์ในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวการปรับปรุงคุณภาพดินดังรูปที่ 3b ถึง 3d



รูปที่ 1 ตัวอย่างรูปแบบเสาเข็มดินซีเมนต์ (a) และ (b) แบบเสาเข็ม (จัดเรียงแบบจุตรัสและสามเหลี่ยม) (c) กำแพงแถวเดียวสัมผัสกัน (d) กำแพงซ้อนกัน (e) กำแพงหลายแถวสัมผัสกัน (f) ตาข่ายสัมผัสกัน (g) กำแพงแถวเดียวสัมผัสกันแบบมีค้ำยัน (h) รวงผึ้งสัมผัสกัน (i) วงแหวน (j) ช่องตาข่าย (k) เสาเข็มกลุ่ม (l) เสาเข็มกลุ่มสัมผัสกัน (m) กลุ่มก้อน (Topolnicki, 2004)



รูปที่ 2 การคำนวณอัตราส่วนพื้นที่การปรับปรุงคุณภาพ (a) แบบตาข่ายปกติ (b) แบบพื้นฐานราก (Topolnicki, 2004)

มวลของดินที่ปรับปรุงคุณภาพโดยทำหน้าที่เป็นแผ่นพื้นรองรับเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ได้จากการผสมลึกคล้ายกับลักษณะเสาเข็มรับฐานรากแผ่ดังรูปที่ 3e

3. งานรองรับฐานราก

จุดประสงค์หลักของการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ก็เพื่อลดการทรุดตัวและเพิ่มกำลังแบกทานของดินอ่อนที่ทำหน้าที่เป็นฐานรากเช่นเดียวกันกับงานป้องกันวิบัติเนื่องจากการเลื่อนไถล ซึ่งได้แก่งานก่อสร้างคันทาง อาคาร ถังน้ำ ตอม่อสะพาน กำแพงกันดิน และสิ่งก่อสร้างใต้ดินดังรูปที่ 4 การติดตั้งโดยทั่วไปแล้วใช้เป็นเสาเข็มเดี่ยวหรือเสาเข็มกลุ่มรวมกันซึ่งมีการแปรเปลี่ยน ระยะห่างของสาเข็มเพื่อลดการทรุดตัวในขณะที่ลักษณะของกลุ่มเสาเข็มรวมกันแบบกำแพง ตาข่าย หรือ แบบก้อน จะใช้ในกรณีที่เกี่ยวข้องกับมีน้ำหนักกระทำที่สูงมากและอาจมีน้ำหนักด้านข้างมากระทำ

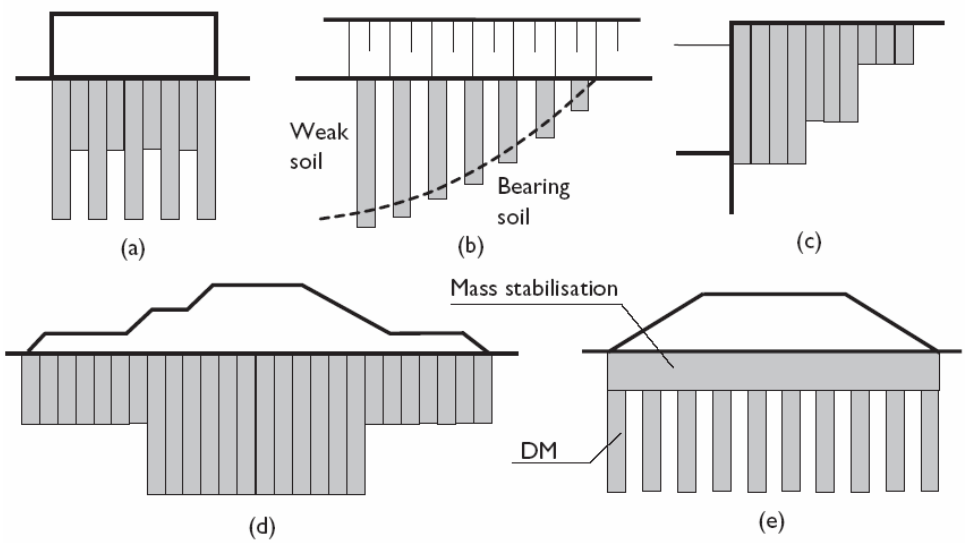
อัตราส่วนพื้นที่การปรับปรุงคุณภาพในเชิงประหยัดขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์ และ กำลังของเสาเข็มที่มีอยู่ การออกแบบรูปแบบเสาเข็มต้องการการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินที่ยังไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพและดินที่ปรับปรุงคุณภาพกำลังของเสาเข็มดินซีเมนต์อาจมีค่าที่ต่างกัน โดยเสาเข็มดินซีเมนต์กำลังแบกทานต่ำมีกำลังเฉือน 0.15 MPa และเสาเข็มดินซีเมนต์กำลังแบกทานสูง มีกำลังเฉือน 5 MPa ซึ่งกระทำหน้าที่เหมือนกับเสาเข็ม น้ำหนักภายนอกถ่ายไปยังชั้นดินที่รับกำลังแบกทานด้านล่างซึ่งเกิดขึ้นในการปรับปรุงคุณภาพแบบยึดแน่น แต่เมื่อใช้แบบเสาเข็มลอยในดินเหนียวอ่อน น้ำหนักบางส่วนก็จะถ่ายให้กับดินฐานราก การเลือกกำลังของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ต้องการและระบบการถ่ายน้ำหนักถูกกำหนดโดยจุดประสงค์ของการใช้งาน

เมื่อเสาเข็มดินซีเมนต์ถูกใช้เป็นฐานรากของคันทางหรือพื้นเพื่อลดการทรุดตัว และเพิ่มความสามารถในการรับกำลังแบกทานของดินฐานราก ในกรณีนี้คุณภาพของเสาเข็มดินซีเมนต์เดี่ยวมีความสำคัญน้อย การทำงานโดยรวมเป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและเสาเข็ม ในทางตรงข้ามเมื่อเสาเข็มดินซีเมนต์รองรับคันทางสูงหรือน้ำหนักของฐานรากมาก คุณภาพของเสาเข็มดินซีเมนต์มีความสำคัญเพื่อป้องกันกลไกการเกิดการวิบัติอย่างต่อเนื่อง (Progressive failure) ในการการก่อสร้างสะพาน เสาเข็มดินซีเมนต์สามารถใช้เพื่อกระทำเป็นเสาเข็มของสะพาน หรือ ป้องกันแรงด้านข้างและการเลื่อนไถลโดยแรงดันดินหลังตอม่อสะพาน นอกจากนี้เสาเข็มดินซีเมนต์ยังช่วยลดการทรุดตัวบริเวณคอสะพานอีกด้วย

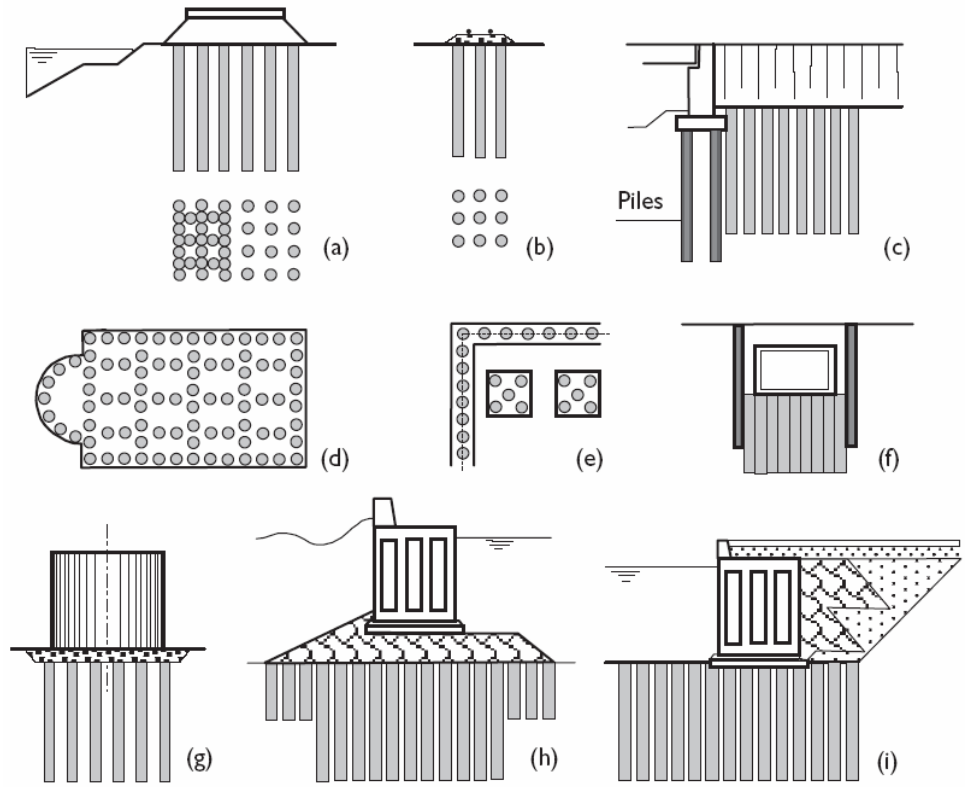
โครงสร้างบริเวณชายฝั่งทะเลหรือท่าเรือที่ต้องอยู่ภายใต้แรงแนวราบขนาดสูงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันดินหรือแรงจากคลื่น ดังนั้นรูปแบบของเสาเข็มมักเป็นแบบก้อนหรือแบบช่องตาข่ายที่ต้องการซ้อนกันของเสาเข็มโดยทำการก่อสร้างด้วยระบบเปียก กรณีศึกษาได้แก่ งานก่อสร้างคันทางรถไฟที่ประเทศมาเลเซียจากรายงานของ Raju et. al., (2003)

4. ระบบกันดิน

ระบบกันดินเป็นการยึดรั้งแรงดันดินที่เกิดขึ้นระหว่างการขุดลึกและงานขุดดิ่งในดินอ่อนด้วยการป้องกันโครงสร้างรอบๆ บริเวณที่ขุด การป้องกันดินอูด (Heave) การป้องกันดินถล่ม และการวิบัติของลาด (รูปที่ 5) สำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบกันดินนั้นมักนิยมใช้รูปแบบกำแพงและตาข่าย การผสมดินกับซีเมนต์ต้องการกำลังและความแข็งแกร่งที่สูงเนื่องจากต้องรับแรงดันและแรงดันน้ำด้านข้าง ตัวแปรอื่นๆ ที่ต้องการสำหรับงานป้องกันงานขุดได้แก่ ความเป็นเนื้อเดียวกันของเสาเข็มดินซีเมนต์ในระดับสูงและเสาเข็มดินซีเมนต์ต้องอยู่ในแนวดิ่งเพื่อได้ความหนาของเสาเข็มที่ต้องการและเพื่อให้ได้การซ้อนกันของเสาเข็มอย่างต่อเนื่องและเสาเข็มต้องมีการพัฒนากำลังที่รวดเร็วเพียงพอที่จะป้องกันปัญหา เมื่อทำการก่อสร้างเสาเข็มต้นที่อยู่ตรงกลางระหว่าเสาเข็มที่สร้างเสร็จแล้ว



รูปที่ 3 ตัวอย่างของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่มีการปรับเปลี่ยนความยาว (a) กำแพงสั้นและยาวรวมกัน (b) บริเวณที่ความหนาของดินอ่อนมีการเปลี่ยนแปลง (c) แบบขั้นบันได (d) คันทาง (e) มวลดินที่ปรับปรุงคุณภาพและเสาเข็ม (Topolnicki, 2004)

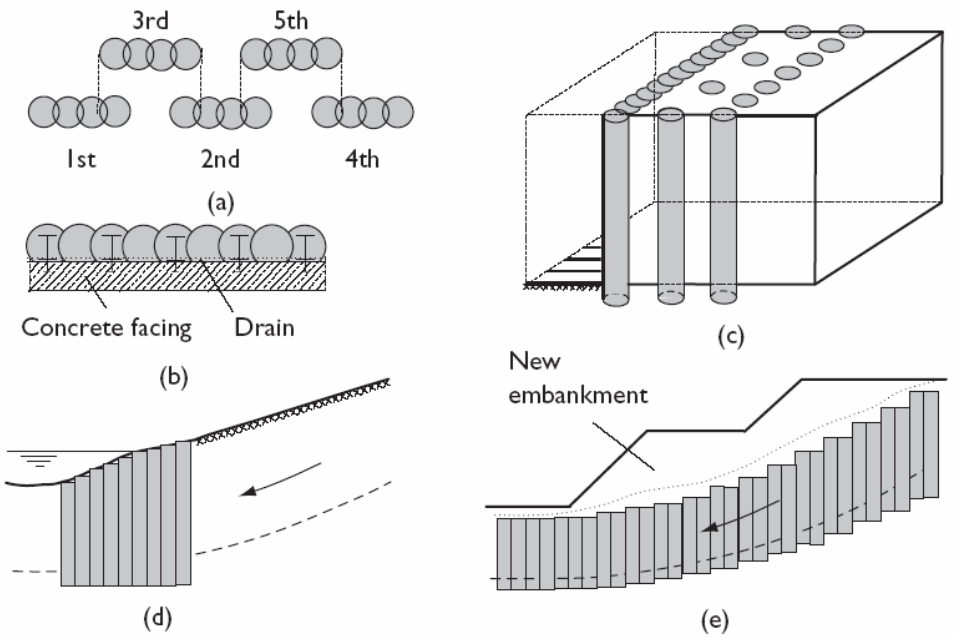


รูปที่ 4 ตัวอย่างการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ในงานรองรับฐานราก (a) คันทางถนน (b) คันทางรถไฟแบบเสาเข็ม (c) บริเวณคอสะพาน (d) และ (e) พื้นฐานราก (f) ท่อลอด (g) ถังน้ำ (h) กำแพงกันคลื่น (i) ผนังท่าเรือ (Topolnicki, 2004)

ท่อเหล็ก หรือ เสาเข็มรูปตัวเอช (H) สามารถติดตั้งในเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ใช้การก่อสร้างด้วยระบบเปียกเพื่อเพิ่มความต้านทานแรงดัดและสร้างโครงสร้างกำแพงสำหรับรองรับงานขุดดังรูปที่ 5b ผนังคอนกรีตหรือ สมอยึดมักใช้ร่วมกับกำแพงเสาเข็มดินซีเมนต์ วัสดุระบายน้ำอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้โดยการติดตั้งไว้ที่หลังกำแพงเพื่อป้องกันการเกิดแรงกันน้ำส่วนเกินขึ้น เสาเข็มดินซีเมนต์อาจสร้างเป็นรูปวงแหวนซ้อนกันสองถึงสามวงเพื่อใช้ในงานขุด

รูปที่ 5c เป็นระบบที่ใช้รองรับงานขุดดิ่งมีลักษณะเป็นกำแพงกันดินประกอบด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบกำแพงในแถวหน้าตามด้วยแถวหลังอีกหนึ่งแถวหรือมากกว่า เสาเข็มแถวหลังถูกกำหนดให้มีระยะห่างและขนาดที่ทำให้มั่นใจได้ว่าได้เกิดการกระทำแบบระบบเชิงประกอบระหว่างกำแพงและเพื่อรักษาเสถียรภาพภายนอกให้กับกำแพงโดยมีการใช้ดินผสมปูนซีเมนต์สร้างเป็นแผ่นเพื่อยึดกำแพงและกลุ่มเสาเข็มเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดการถ่ายน้ำหนักด้านบนลงมาสู่ด้านล่างของเสาเข็ม ระยะห่างระหว่างขอบถึงขอบไม่ควรเกิน 1.2-1.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มดินซีเมนต์ อัตราส่วนพื้นที่ของการปรับปรุงคุณภาพมักมีค่าระหว่าง 30 และ 40%

การป้องกันดินอูดในงานขุดทำได้โดยก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์ในบริเวณที่ทำการขุดเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนยึดฝังผ่านระนาบวิบัติ ในบางครั้งด้านข้างของงานขุดอาจมีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มแรงดินดินแบบแพสสีพ (Passive earth pressure) และลดระยะฝังของเสาเข็มพืดหรือเสาเข็มเจาะ เสาเข็มดินซีเมนต์ยังประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มอัตราส่วนปลอดภัยเพื่อป้องกันดินถล่มและการวิบัติของลาด โดยทั่วไปมักใช้รูปแบบของกำแพง รูปแบบตาข่าย หรือแบบก้อนซึ่งความยาวต้องเพียงพอที่จะตัดกับระนาบวิบัติที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (รูปที่ 5d และ 5e) ทำให้กำลังเฉือนรวมของดินที่ปรับปรุงคุณภาพและอัตราส่วนปลอดภัยมีค่าเพิ่มขึ้น งานก่อสร้างกำแพงกันน้ำในประเทศสำหรับอเมริกาได้ใช้เสาเข็มดินซีเมนต์แบบกลุ่มเป็นกำแพงกันดิน (Burke et. al, 2001) และงานอ่างเก็บน้ำในประเทศไทยเสนอโดย Petchgate et. al. (2003)



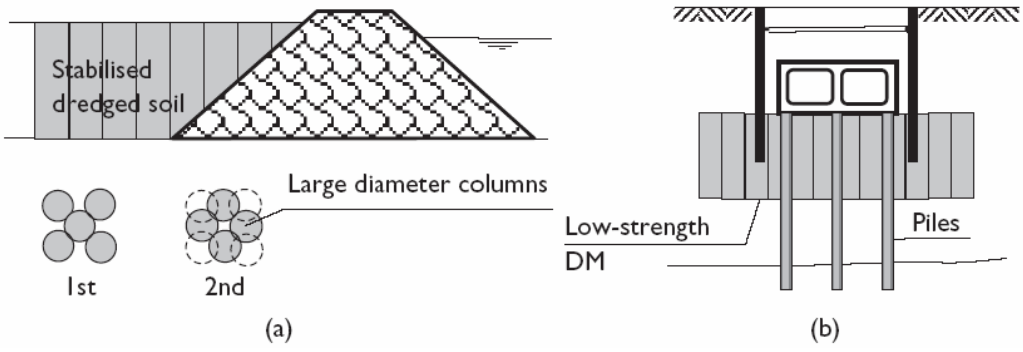
รูปที่ 5 ตัวอย่างการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ในระบบกันดิน (a) ลักษณะทั่วไปของกำแพงเสาเข็มดินซีเมนต์ (b) กำแพงเสาเข็มดินซีเมนต์พร้อมกับผนังคอนกรีต (c) กำแพงกันดินเชิงประกอบ (d) งานป้องกันดินถล่ม (e) งานปรับปรุงเสถียรภาพของลาด (Topolnicki, 2004)

5. งานปรับปรุงดิน

งานปรับปรุงดินเกี่ยวข้องกับปริมาตรของดินอ่อนและดินถมที่จะได้รับการปรับปรุงบนพื้นดินที่บริเวณพื้นที่ริมน้ำและชายฝั่งทะเลด้วยอัตราส่วนพื้นที่ปรับปรุงคุณภาพที่สูง ตัวอย่างทั่วไปได้แก่โครงการที่กำลังพัฒนาที่มีการก่อสร้างถนนและอุโมงค์บนดินอ่อน หรือการปรับปรุงคุณภาพพื้นดินที่ได้มาจากการถมทะเล (รูปที่ 6a) หรือแม่น้ำ คลองและ การทำให้ตะกอนจากท้องทะเลมีกำลังที่สูงขึ้น จุดประสงค์หลักของการปรับปรุงคุณภาพก็เพื่อลดการทรุดตัว เพิ่มความสามารถในการรับกำลังแบกทานและป้องกันการวิบัติจากการเลื่อนไถล

งานปรับปรุงดินใช้วิธีการผสมแบบแห้งและแบบเปียกให้ได้กำลังอัดที่ต่ำประมาณ 0.2 ถึง 0.5 MPa ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูงของดินที่ปรับปรุงคุณภาพส่งผลกระทบต่อค่ากำลังอัด ดังนั้นการผสมแบบแห้งเป็นทางเลือกที่ดีกว่าสำหรับดินที่มีความชื้นสูงมาก

งานก่อสร้างใต้ดินมักใช้การก่อสร้างรูปแบบก้อนของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่มีกำลังต่ำ เพื่อเพิ่มแรงต้านทานและลดการอูดของดินที่ก้นบ่อขุด ส่วนเสาเข็มดินซีเมนต์ที่มีกำลังสูงปานกลางมักใช้ในงานปรับปรุงดินอ่อนเพื่อทำให้การขุดอุโมงค์มีความมั่นคงมากขึ้น เช่น รายงานการก่อสร้างอุโมงค์ที่ประเทศญี่ปุ่นโดย CDIT (2002)



รูปที่ 6 ตัวอย่างการใช้ปรับปรุงดินด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์ (a) การปรับปรุงคุณภาพพื้นดินที่ได้มากจากการถมทะเล (b) เสาเข็มดินซีเมนต์แบบกำลังต่ำที่ใช้ในงานขุด (Topolnicki, 2004)

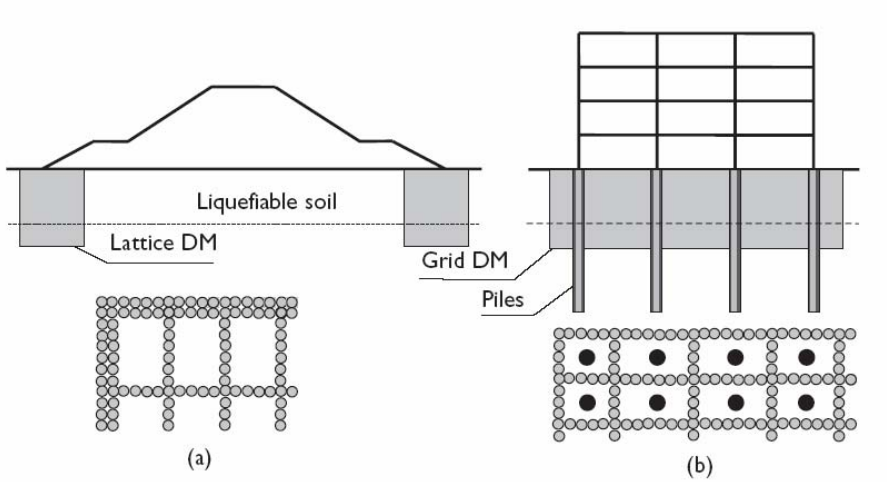
6. งานบรรเทาการเกิดดินเหลวตัว

การบรรเทาการเกิดดินเหลวตัวของพื้นที่ที่ประกอบด้วยดินเม็ดละเอียดสภาพหลวมอิ่มตัว ทำได้โดยรูปแบบกำแพง ตาข่าย และก้อน ดังรูปที่ 7 การใช้รูปแบบตาข่าย หรือ ช่องตาข่ายมีประสิทธิภาพอย่างยิ่งโดยรูปแบบรวงผึ้งลดความเครียดเฉือน และ แรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้น และบรรจุส่วนที่เกิดดินเหลวตัวไว้ระหว่างเกิดคลื่นแผ่นดินไหวขึ้นซึ่งป้องกันการกระจายของดินด้านข้าง และช่วยลดการทรุดตัวเพิ่มอัตราส่วนปลอดภัยจากการวิบัติเชิงลาด

การป้องกันคลื่นแผ่นดินไหวโดยเสาเข็มดินซีเมนต์แก่โครงสร้างที่มีอยู่โดยใช้รูปแบบกำแพงเชิงเส้นรอบรูปเพื่อบรรจุดินที่สามารถเกิดการเหลวตัวได้ง่าย น้ำใต้ดินในบริเวณที่ปิดกั้นไว้นั้นจะถูกลดต่ำลงอย่างถาวรเพื่อป้องกันสภาวะดินเหลวที่อาจเกิดขึ้น (Kamon, 1966)

7. งานกำแพงกันน้ำ

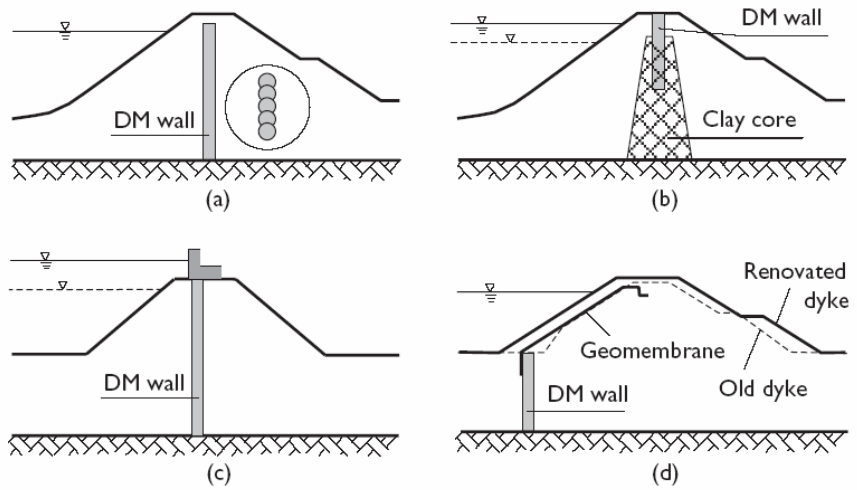
กำแพงกันน้ำก่อสร้างโดยทำการติดตั้งกำแพงเสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อปิดกั้นแนวการไหลของน้ำ เสาเข็มมักติดตั้งผ่านชั้นที่น้ำซึมผ่านได้ไปจนถึงระดับที่ต้องการกั้นน้ำ มักจะฝังลงไปในชั้นดินเหนียว 0.5-1.0 เมตรหรือวางไว้บนชั้นบนของชั้นหินดาน



รูปที่ 7 ตัวอย่างการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ในงานบรรเทาการเกิดดินเหลวตัว (a) งานป้องกันเขื่อนกันน้ำ (b) การปรับปรุงความต้านทานด้านข้างของเสาเข็ม (Topolnicki, 2004)

ดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพได้แก่ดินตะกอนเม็ดหยาบ หรือชั้นดินที่ประกอบไปด้วยดินเม็ดละเอียดและดินเม็ดหยาบ การประยุกต์ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงโครงสร้างกันน้ำเก่าให้มีการใช้งานที่ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น เขื่อนดินถม คันทาง และ เขื่อนกันแม่น้ำ ดังรูปที่ 8 หรือในกรณีงานขุด กำแพงเสาเข็มดินซีเมนต์ ทำหน้าที่ป้องกันน้ำใต้ดินไหลเข้าไปยังบ่อขุด เขื่อนกั้นน้ำที่มีสันเขื่อนต่ำกว่าระดับน้ำก็สามารถใช้เหล็กรูปพรรณตัวเอช (H) ติดตั้งลงไปกำแพงเสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงทำหน้าที่รองรับโครงสร้างคอนกรีตด้านบนได้

เนื่องจากค่าการซึมผ่านและความต่อเนื่องของกำแพงกั้นน้ำมีความสำคัญมากดังนั้นการออกแบบต้องระมัดระวังเรื่องการผสมดิน และการควบคุมบริเวณที่ซ้อนทับกันและแนวดิ่งของกำแพง โดยทั่วไป กำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัดมักอยู่ในช่วง 0.5-3 MPa (Topolnicki, 2004) และต้องสูงกว่านี้เมื่อมีการติดตั้งเหล็กรูปพรรณเสริมแรง ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำปกติมีค่าระหว่าง 10^{-3} m/s และ 10^{-9} m/s (Topolnicki, 2004) กรณีศึกษาสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นกำแพงกันน้ำได้แก่งานตีพิมพ์ของ Yang และ Takeshima (1994) Wlaker (1994) และ Nagata et. al., (1994)



รูปที่ 8 ตัวอย่างการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ในงานกำแพงกันน้ำ (a) การอุดรอยรั่วในเขื่อน (b) การขยายแกนดินเหนียว (c) เขื่อนกั้นแม่น้ำที่มีโครงสร้างบนสันเขื่อน (d) การป้องกันการไหลซึมผ่าน (Topolnicki, 2004)

8. สรุป

บทความวิชานี้ได้นำเสนอแนวความคิดเบื้องต้นในการนำเสาเข็มดินซีเมนต์มาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมโยธาได้แก่ งานรองรับฐานราก ระบบกันดิน งานปรับปรุงดิน งานบรรเทาการเกิดดินหลวมตัว และงานกำแพงกันน้ำ ซึ่งแต่ละงานต้องการรูปแบบจัดการเรียงเสาเข็ม และความยาวที่แตกต่างกันออกไป รวมไปถึงกำลังอัด การควบคุณภาพ และคุณสมบัติการไหลซึมผ่านของน้ำ ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานเช่นกัน

9. เอกสารอ้างอิง

Ando, Y., Tsubi, H., Yamamoto, M., Harada, K., and Nozo, M. (1995). Recent soil improvement methods for preventing liquefaction. *Proceedings of Earthquake Geotechnical Engineering*, Balema, Rotterdam,1011-1016.

Bergado, D.T., Ruenkrairergsa, T., Taesiri, Y. And Balasubramaniam, A.S. (1999). Deep soil mixing to reduce embankment settlement. *Ground Improvement Journal,* 3(3), 1-18.

Burke, G.K., Lyle, D.L., Sehn, A.L. and Ross, T.E. (2011). Soil mixing supports a deepwater bulkhead in soft soils, Proceedings of ASCE Ports Conference 2001, Norfolk, VA.

Coastal Development Institute of Technology (CDIT), Japan (2002). The deep Mixing Method, A.A. Balkema Publishers.

FHWA-RD-99-138 (2000). An introduction to the deep soil mixing methods as used in geotechnical applications, prepared by geosystems (D.A. Bruce) for US Department of Transportations, Federal Highway Adminstration.143.

Kamon, M. (1996). “Effect of grouting and DMM on big construction projects in Japan and the 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake, Grouting and Deep Mixing, *Proceedings of IS-Tokyo’96, 2nd International Conference on Ground Improvement Geosystems*, Tokyo, 14-17 May, 807-823

Lai, Y.P., Bergado, D.T., Lorenzo, G.A. and Duangchan, T. (2006). “Full-scale reinforced embankment on deep jet mixing improved ground.” *Ground Improvement Journal*, 10(4), 153-164.

Nagata, S., Azuma, K., Asano, M., Nishijima, T., Shiba, H., Yang, D and Nakata, R. (1994) Nakagima subsurface dam, Water policy and management: solving the Problems, Proceedings of the 21st Annual Conference, Denver, CO., 23-26 May, pp 437-440.

Petchgate, K., Jongpradist, P. and Samanrattanasatien, P. (2003). “Lateral movement behavior of cement retaining wall during construction of a reservoir.” *Proceedings of the International Symposium 2003 on Soil/Ground Improvement and Geosynthetics in Waste Containment and Erosion Control Applications, 2-3* December 2003, Asian Institute of Technology, Thailand, 195-205.

Porbaha, A., Shima, M., Miura, H. and Ishikura, K. (1999). Dry jet mixing method for liquefaction remediation. *Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization*, 27-32.

Porbaha, A. (1998). State of the art in deep mixing technology. Part II: Applications. *Ground Improvement*, 2, 81-92.

Raju, V.R., Abdullah, A. and Arulraiah, A. (2003) Ground treatment using dry deep soil mixing for a railway embankment in Malasia, Proceedingsof the 2nd International Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology, Putrajaya, Malasia, 2-4 July.

Topolnicki, M. (2004). “In stitu soil mixing (SM).” *Ground Improvement 2nd edition*, 331-423.

Walker, A.D. (1994) A deep soil mix cut-off wall at Lockington dam in Ohio, In situ deep soil improvement, ASCE Geotechnical Special Publication, No. 45, 106-120.

Yang, D. and Takeshima, S. (1994) Soil mixing walls in difficult ground, In-situ soil improvement, ASCE Geotechnical Special Publication, No.45, 133-146.