เอกสารประกอบคำบรรยาย

หัวข้อเรื่อง

การพิจารณาข้อมูลดินเพื่อใช้ในงานสะพาน ขั้นตอนการทำสะพานเจาะ และการตรวจสอบ

โดย

นายธนพล วีระศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารประกอบคำบรรยาย

หัวข้อเรื่อง
การพิจารณาข้อมูลดินเพื่อใช้ในงานเสาเข็ม
ขั้นตอนการทำเสาเข็มเจาะ
และการตรวจสอบ

โดย

นายธเนศ วีระศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การพิจารณาข้อมูลดินเพื่อใช้ในงานเสาเข็ม ขั้นตอนการทำเสาเข็มเจาะและการตรวจสอบ

ธเนศ วีระศิริ

อาจารย์พิเศษ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิยาลัยธรรมศาสตร์

e-mail thanesv @hotmail.com ; www.finessesoil.com

ฐานรากนับเป็นส่วนสำคัญของอาคารที่ควรให้ความเอาใจใส่เป็นพิเศษ เพราะหากฐานรากไม่สามารถรับน้ำหนักของอาคารได้แล้วต่อให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเพียงใดก็จะเกิดการทรุดตัวแตกร้าวจนวิบัติได้ ดังนั้นจึงควรออกแบบฐานรากให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยไม่มีการแตกหักหรือเกิดการทรุดตัว ฐานรากของอาคารที่ดีควรทำด้วยวัสดุที่มีความมั่นคงแข็งแรงและควรวางอยู่บนชั้นดินที่สามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย ในปัจจุบันวัสดุที่ใช้ทำฐานรากเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความมั่นคงแข็งแรง สามารถปรับขนาดของฐานรากให้เล็กหรือใหญ่เพียงพอที่จะรับน้ำหนักของตัวอาคารได้โดยไม่แตกหักเสียหาย แต่การที่ฐานรากจะรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวฐานรากที่เป็นคอนกรีตเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับสภาพของดินที่รองรับฐานรากนั้นด้วย ดินที่รองรับฐานรากจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ ความแข็งแรงของดินที่กล่าวถึงนี้หมายถึง ***กำลังของดินที่จะรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยและไม่เกิดการยุบตัวมากขณะรับน้ำหนัก*** การที่จะทราบสภาพของชั้นดินและค่าคุณสมบัติต่าง ๆของดินได้นั้นจำเป็นที่จะต้องทำการเจาะสำรวจดินแล้วนำดินตัวอย่างที่ได้มาทดสอบในห้องปฏิบัติการตามกระบวนการทางปฐพีกลศาสตร์ และเมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดแล้วจึงนำมาวิเคราะห์ว่าควรเลือกใช้ระบบฐานรากแบบตื้น (Shallow Foundation) หรือฐานรากเสาเข็ม (Deep Foundation) และคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของดินใต้ฐานรากหรือกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มต่อไป

ข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจดินนั้นไม่ได้นำไปใช้เพื่อการออกแบบเสาเข็มแต่เพียงอย่างเดียว ในขั้นตอนการทำเสาเข็มและการตรวจสอบคุณภาพก็ยังต้องใช้ข้อมูลดินเพื่อพิจารณาหาสาเหตุของปัญหาและการแก้ไข ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่ตอกเสาเข็มไม่ลงหรือทำเสาเข็มเจาะไม่ได้ความลึกตามที่กำหนด มีน้ำไหลเข้าหลุมเจาะตลอดเวลา เป็นต้น ข้อมูลดินจึงนับเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการก่อสร้างอาคาร ควรกำหนดให้มีการเจาะสำรวจเพื่อให้ทราบสภาพชั้นดินที่ชัดเจนก่อนที่จะมีการออกแบบกำหนดชนิดของฐานราก เพื่อให้มีความมั่นใจในความมั่นคงปลอดภัยของอาคาร

โดยทั่วไปผลการเจาะสำรวจดินจะแสดงลักษณะการเรียงตัวของชั้นดิน ค่าพารามิเตอร์ของดินและกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแต่ละชนิดเท่านั้น ไม่ได้ระบุว่าเสาเข็มจะตอกลงได้ลึกมากน้อยเท่าใด จะใช้เสาเข็มสองท่อนต่อได้หรือไม่และหากเป็นเสาเข็มเจาะจะเป็นระบบเปียกหรือระบบแห้ง วิศวกรต้องแปลความหมายข้อมูลดินเหล่านั้นด้วยตนเอง ดังนั้นการทำความเข้าใจถึงที่มาของข้อมูลดินต่าง ๆจึงเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้สามารถวิเคราะห์สภาพของดินได้ด้วยตนเองและมีความถูกต้องยิ่งขึ้น บทความนี้จะกล่าวถึงลักษณะทั่วไปของข้อมูลดินและการทำเสาเข็ม โดยเฉพาะเสาเข็มเจาะซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เนื้อหาของบทความประกอบด้วย

1. ข้อมูลดิน และการพิจารณาใช้ข้อมูลดินในงานเสาเข็ม
2. เสาเข็มเจาะ
3. ปัญหาที่พบบ่อยครั้งและการแก้ไข
4. การทดสอบเสาเข็ม

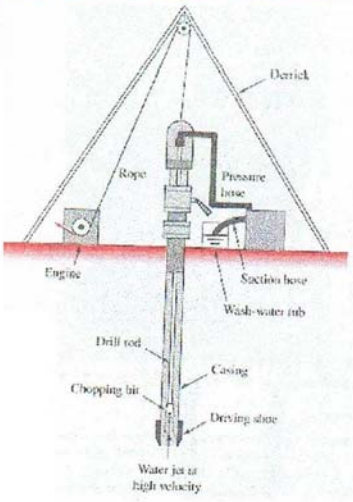
1. ข้อมูลดินและการพิจารณาข้อมูลดินในงานเสาเข็ม

1.1 ข้อมูลดิน การจัดเก็บข้อมูลดิน กระทำได้โดย การเจาะสำรวจดิน ซึ่งมีวิธีการ ดังนี้

วิธีการเจาะสำรวจดิน

การเจาะสำรวจดินส่วนใหญ่จะใช้วิธี Wash Boring คือใช้แท่งเหล็กเป็นตัวกวนดินและใช้น้ำเป็นตัวพาเอาดินขึ้นมาจากหลุมเจาะ (รูปที่ 1) การเจาะหลุมจะเริ่มต้นด้วยการลงท่อเหล็ก (Casing) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 นิ้ว ยาวประมาณ 3 – 6 ม. เพื่อป้องกันดินช่วงบนพังทลาย แท่งเหล็กที่เป็นตัวกวนดินจะต่ออยู่ที่ปลายของท่อส่ง (Rod) และถูกหย่อนลงไปกวนดินพร้อมทั้งเปิดน้ำให้ไหลที่ปลายท่อตลอดเวลา การกวนดินจะกระทำอย่างต่อเนื่องทำให้ได้ความลึกเพิ่มขึ้นตามลำดับ สำหรับการเก็บตัวอย่างดินจะกระทำทุก ๆช่วงความลึกที่เพิ่มขึ้น 1.50 ม. เมื่อถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดินท่อส่ง(Rod) จะถูกดึงขึ้นมาเปลี่ยนปลายเป็นท่อเก็บตัวอย่าง ท่อเก็บตัวอย่างที่ใช้มีสองชนิดดังนี้

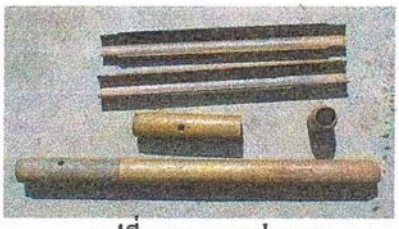
รูปที่ 1 เครื่องมือเจาะสำรวจดิน



- ท่อเก็บตัวอย่างแบบผิวบาง (Thin – Wall Tube) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 0.75 ม. ใช้เก็บตัวอย่างที่เป็นดินเหนียวอ่อน ตัวอย่างดินที่เก็บได้จัดเป็นดินประเภทที่ไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Sample)

รูปที่ 2 กระบอกผิวบาง

- ท่อเก็บตัวอย่างแบบผ่ากลาง (Split – Spoon Tube) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 50 ซม. ใช้เก็บดินตัวอย่างที่เป็นดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็งมาก และดินทราย ตัวอย่างดินที่ได้จัดเป็น จัดเป็นดินที่ถูกรบกวน (Disturbed Sample)


รูปที่ 3 กระบอกผ่ากลาง

ดินตัวอย่างที่ได้จะนำเข้าห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความชื้นของดิน ขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ทำการจำแนกชนิดของดิน และหาค่ากำลังรับแรงเฉือน

การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้ท่อแบบผ่า (Split – Spoon Tube) นั้น จะใช้เก็บดินเหนียวแข็งและดินทราย การเก็บดินตัวอย่างจะใช้วิธีการตอกให้ท่อผ่าจมลงดินซึ่งต่างกับการเก็บตัวอย่างด้วยท่อบางที่ใช้ไฮดรอลิกกดลงดิน การตอกท่อผ่าจะใช้ลูกตุ้มหนัก 63.5 กิโลกรัม ยกสูง 76 ซม. ตอกท่อผ่าให้จมลงดิน 45 ซม. (16 นิ้ว) ขณะตอกจะบันทึกจำนวนครั้งที่ตอกทุกๆ ระยะจม 15 ซม. (6 นิ้ว) จำนวนครั้งที่ตอกในช่วง 30 ซม.สุดท้าย เรียกว่าค่า Standard Penetration Test (SPT) ค่าดังกล่าวนี้จะนำไปใช้ประโยชน์มากในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มและการเลือกระดับปลายเสาเข็ม

โดยทั่วไปรายงานผลการเจาะสำรวจดินจะมีเนื้อหาสำคัญที่ประกอบด้วย

- ตารางแสดงผลการทดสอบของดินที่เจาะสำรวจได้ (Summary of Test Result)
- ภาพตัดชั้นดินและกราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆเทียบกับความลึก (Boring Log)
- ตารางแสดงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแต่ละชนิด

การศึกษาเกี่ยวกับที่มาของข้อมูลในตารางและกราฟในสองหัวข้อแรก จะทำให้เข้าใจลักษณะสภาพชั้นดิน คุณสมบัติต่างๆของดิน รวมไปถึงแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้ชนิดเสาเข็ม และระดับปลายเสาเข็ม ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ Summary of Test Result และ Boring Log เท่านั้น สำหรับวิธีการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มนั้นส่วนใหญ่จะมีอยู่ในรายงานผลการเจาะสำรวจดินอยู่แล้วจึงไม่ขอกล่าวในที่นี้

ตารางแสดงผลทดสอบของดินตัวอย่าง (Summary of Test Result)

ภายหลังจากทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการแล้ว ผลที่ได้จะนำมาบันทึกในตาราง ดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 รายละเอียดของตารางจะประกอบด้วย

SUMMARY OF TEST RESULT

Project — Location — Boring No. BH - 1 — Depth 19.17 metres
Ground Level - metres — Water Level -1.10 metres — Check by — Date 20-Apr-41

Sample No. (2)	Depth (metres) (3)		Natural Water Content (%) (4)	Atterberg Limit (%) (5)			Wet Unit Weight (T/m³) (6)	Percent of Finer Passing Sieve No. (7)					Unified Soil Classified (8)	Shear Strength (Su) (T/m²) (9)		SPT (N-Value) (10)
	From	To		L.L.	P.L.	P.I.		3/8"	#4	#10	#40	#200		Vane Shear	Pocket Penetrometer	Blows/ft.
ST-1	1.00	1.45	26.79	-	-	-	1.57	-	-	-	-	-	CH	-	1.0	-
ST-2	2.50	2.95	27.38	-	-	-	1.76	-	-	-	-	-	CH	-	5.0	-
ST-3	4.00	4.45	26.41	-	-	-	1.62	-	-	-	-	-	CH	-	-	-
ST-4	5.50	5.95	60.51	-	-	-	1.54	-	-	-	-	-	CH	-	1.0	-
ST-5	7.00	7.45	61.76	83.5	52.1	31.4	1.57	-	-	-	-	-	CH	-	1.0	-
ST-6	8.50	8.95	61.41	-	-	-	1.58	-	-	-	-	-	CH	-	1.5	-
ST-7	10.00	10.45	60.55	-	-	-	1.49	-	-	-	-	-	CH	-	1.0	-
SS-1	11.50	11.95	30.32	-	-	-	1.69	-	-	-	-	-	CH	-	4.0	7
SS-2	13.00	13.45	25.16	43.6	22.8	21.3	1.76	-	-	-	-	-	CL	-	11.0	25
SS-3	15.00	15.45	15.32	-	-	-	1.85	-	-	-	-	-	CL	-	> 25	125
SS-4	16.50	16.95	15.93	-	-	-	1.89	-	-	-	-	-	CL	-	> 25	103
SS-5	18.00	18.45	14.78	-	-	-	1.92	-	-	-	-	-	CL	-	> 25	67
SS-6	19.10	19.17	12.20	-	-	-	1.97	-	-	-	-	-	SC	-	-	100/7 cm.
End of Soil Investigation																

ตารางที่ 1 Summary of Test Result

หมายเลข 1 เป็นส่วนที่แสดงชื่อของโครงการ สถานที่ หมายเลขของหลุมเจาะ ความลึกที่เจาะสำรวจ ระดับน้ำใต้ดิน วันที่ทำการเจาะ

หมายเลข 2 ช่อง Sample No. เป็นช่องบอกหมายเลขของดินตัวอย่างที่เก็บได้ หากเก็บตัวอย่างดินด้วยท่อบางจะใช้ตัวอักษรย่อ ST และตัวอย่างดินที่เก็บด้วยท่อผ่าจะใช้อักษรย่อ SS

หมายเลข 3 ช่องแสดงระดับความลึกที่เก็บดินตัวอย่าง

หมายเลข 4 ความชื้นของดินในสนาม (Natural Water Content)

หมายเลข 5 แสดงค่า Atterberg's Limit ผลทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติกและขีดจำกัดเหลวของดิน เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลในช่องหมายเลข 4 จะทำให้ทราบว่าดินอยู่ในสภาพเช่นใด ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่ความชื้นในสนามมีค่าใกล้เคียงขีดจำกัดเหลว แสดงว่าดินนั้นอยู่ในสภาพไหลตัวได้ง่าย และพร้อมจะเคลื่อนตัวพังทลายเมื่อมีการขุดดิน หากใช้เสาเข็มตอกชนิดสองท่อนต่อที่ตำแหน่งรอยต่อของเข็มอยู่ในดินประเภทนี้ รอยต่อของเสาเข็มจะมีโอกาสเลื่อนออกจากกันเมื่อมีแรงดันดินอันเนื่องจากการตอกเสาเข็มต้นใกล้เคียง ทั้งนี้เป็นผลจากดินอยู่ในสภาพเหลวเคลื่อนตัวได้ง่าย

หมายเลข 6 ค่าหน่วยน้ำหนักของดิน

หมายเลข 7 แสดงผลทดสอบการร่อนตะแกรง (Sieve Analysis) ผลของการทดสอบจะใช้จำแนกชนิดของดินว่าเป็นดินเหนียว ทราย หรือดินเหนียวปนทราย สิ่งที่ควรสังเกตในช่องนี้คือเปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าดินตัวอย่างนั้นมีปริมาณของดินเหนียวและดินตะกอนมากน้อยเพียงใด หากส่วนของดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีมากแสดงว่าดินตัวอย่างนั้นมีดินเหนียวหรือดินตะกอนปนอยู่มาก ประโยชน์ของข้อมูลในช่องนี้จะนำไปใช้ในงานเสาเข็มโดยเฉพาะงานเสาเข็มเจาะที่ต้องพิจารณาว่าจะเป็นเสาเข็มเจาะระบบแห้งหรือเสาเข็มเจาะระบบเปียก ยกตัวอย่างเช่น ***การกำหนดให้ปลายเสาเข็มเจาะระบบแห้งอยู่ในชั้นทรายที่มีดินเหนียวปนอยู่น้อย จะพบปัญหาเรื่องน้ำใต้ดินไหลเข้าปลายหลุมเจาะตลอดเวลา สภาพทรายก้นหลุมพังทลาย มีปัญหาต่อคุณภาพของคอนกรีต และทำให้แรงต้านทานปลายเสาเข็มต่ำ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากไม่มีดินเหนียวอุดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายน้ำใต้ดินจึงไหลผ่านได้สะดวก การแก้ไขกระทำได้โดยเปลี่ยนไปใช้เสาเข็มเจาะระบบเปียกที่ใช้สารละลายเบนโทไนท์ช่วยในการขุดเจาะดิน สารละลายเบนโทไนท์มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจะดันไม่ให้น้ำไหลดันผ่านชั้นทราย ทรายที่ปลายหลุมเจาะจะยังคงสภาพความแน่นตัวในธรรมชาติอยู่ได้ เป็นต้น***

หมายเลข 8 เป็นช่องแสดงชื่อของดินในปฐพีกลศาสตร์ เช่น

- CH ดินเหนียวที่มีค่าพลาสติกสูง ปั้นได้ง่าย
- CL ดินเหนียวที่มีค่าพลาสติกต่ำ
- SM ทรายปนตะกอนทราย

หมายเหตุ ***มักจะพบปัญหาน้ำใต้ดินไหลเข้าหลุมเจาะกรณีใช้เสาเข็มเจาะระบบแห้งที่กำหนดให้ปลายเสาเข็มวางในดิน SM***

หมายเลข9 เป็นช่องแสดงกำลังรับแรงเฉือนของดิน ที่ได้จากการทดสอบ Unconfined Compression Test หรือ Pocket Penetrometer

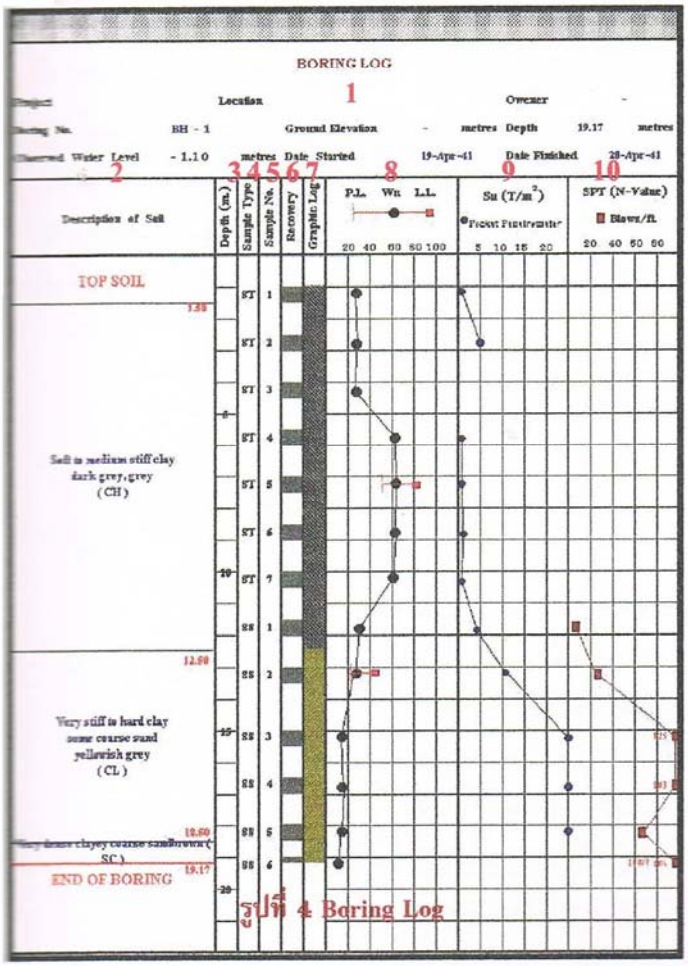
หมายเลข 10 เป็นค่า Standard Penetration Test ที่ได้จากการตอกท่อผ่าในสนาม

ภาพตัดลักษณะชั้นดิน (Boring Log)

Boring Log เป็นส่วนที่แสดงลักษณะชั้นดินและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆเทียบกับความลึก ซึ่งจะประกอบด้วย

1. ส่วนแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับชื่อโครงการ สถานที่ หมายเลขหลุมเจาะ ความลึกที่เจาะสำรวจ วันที่ดำเนินการ ระดับน้ำใต้ดิน
2. ช่องแสดงลักษณะชั้นดิน (Soil Description) เป็นส่วนที่แสดงว่าที่ความลึกนั้น ๆเป็นดินชนิดใด เป็นดินเหนียวหรือทราย สีของดิน สภาพแข็งหรืออ่อน
3. ช่องแสดงความลึกของดิน นับจากผิวดินที่ทำการเจาะสำรวจ

4. ชนิดของการเก็บตัวอย่างดิน หากเป็น ST แสดงว่าเก็บตัวอย่างจากกระบอกบาง (Shelby Tube หรือ Thin – wall Tube) หากเป็น SS แสดงว่าเก็บตัวอย่างด้วยท่อแบบผ่า (Split – Spoon Tube)



รูปที่ 4 Boring Log

5.ช่อง Sample No. บอกหมายเลขของดินตัวอย่าง

6.Recovery เป็นช่องสัญลักษณ์แสดงปริมาณดินตัวอย่างที่เก็บได้ เช่นท่อผ่ายาว 45 ซม. เก็บดินตัวอย่างได้ 20 ซม. สัญลักษณ์จะเป็นช่องทึบเพียงครึ่งเดียว ทำให้ทราบได้ว่าเก็บดินตัวอย่างได้ไม่เต็มท่อผ่า เป็นต้น

7.ช่อง Graphic Log แสดงสัญลักษณ์ของดินแต่ละชนิด

8.เป็นกราฟแสดงปริมาณความชื้นเทียบกับระดับความลึก และแสดงผลการทดสอบ Atterberg's Limit กราฟในช่องนี้จะทำให้พิจารณาได้ชัดเจนว่าความชื้นของดินใกล้เคียงขีดจำกัดเหลวหรือขีดจำกัดพลาสติกมากน้อยเพียงใด

9.กำลังรับแรงเฉือนของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆกัน ค่ากำลังรับแรงเฉือนได้จากการทดสอบ Unconfined Compression Test หรือ Pocket Penetrometer โดยส่วนใหญ่แล้วจะทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินตัวอย่างที่เก็บโดยใช้กระบอกบาง และดินตัวอย่างที่เก็บด้วยท่อผ่าชนิดที่เป็นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Stiff Clay) เท่านั้น ส่วนดินเหนียวแข็ง (Stiff to Very Stiff Clay) จะใช้วิธีบันทึกค่า SPT ที่ได้จากในสนามแทน

10.ช่องแสดงค่า SPT สังเกตดูจะพบว่าค่า SPT จะตรงกับตัวอย่างดินที่เก็บด้วยท่อผ่า (สัญลักษณ์ SS ในช่อง Sample Type) นั่นคือเมื่อใช้ท่อผ่าเป็นตัวเก็บดินจะมีการตอกด้วยลูกตุ้มเสมอ และนับจำนวนครั้งในการตอกควบคู่ไปด้วย

1.2 การพิจารณาข้อมูลดินกับงานเสาเข็ม

เมื่อได้ข้อมูลดินแล้วสามารถคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่มีขนาดและความยาวต่าง ๆกันได้ ไม่ว่าจะเป็นเสาเข็มคอนกรีต เสาเข็มเหล็กหรือเสาเข็มไม้ วิธีการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแต่ละชนิดจะเหมือนกัน จะต่างกันก็ตรงค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะระหว่างวัสดุที่ใช้ทำเข็มกับดินเท่านั้น ส่วนใหญ่บริษัทที่เจาะสำรวจดินจะคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแต่ละชนิดมาให้ ส่วนการเลือกใช้เสาเข็มชนิดใดมีความยาวเท่าไหร่นั้นจะขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกรผู้ออกแบบ

และย่อมเป็นที่แน่นอนว่ายิ่งเพิ่มความยาวเสาเข็มขึ้นเท่าใดกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มก็จะเพิ่มขึ้นตาม แต่ความยาวยิ่งมากก็ยิ่งทำเสาเข็มได้ยากหรืออาจทำไม่ได้เลย การออกแบบโดยทั่วไปมักจะกำหนดให้ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายเพื่อให้มีแรงต้านทานปลายเสาเข็มสูง แต่การกำหนดเช่นนี้อาจไม่ได้แรงต้านทานปลายเสาเข็มมากเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการในการทำเข็มแต่ละชนิดด้วย เสาเข็มบางชนิดเช่น เสาเข็มเจาะระบบแห้ง เมื่อทำการขุดเจาะดินจนถึงชั้นทราย แรงดันน้ำใต้ดินจะดันชั้นทรายให้พังทลายและน้ำไหลเข้าในรูเจาะตลอดเวลา แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มเนื่องจากชั้นทรายจะต่ำหรืออาจไม่มีแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มเลย ดังนั้นการเลือกใช้เสาเข็มควรพิจารณากระบวนการทำเสาเข็มประกอบกับข้อมูลดินด้วยว่าจะเกิดปัญหาหรือไม่

การพิจารณาข้อมูลดินเพื่อใช้กำหนดเสาเข็มนั้นควรพิจารณาสิ่งเหล่านี้ประกอบ

- ***ดินทรายเป็นดินที่ไม่มีการยึดเกาะกันระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นเม็ดดินแต่ละเม็ดจะเคลื่อนหลุดจากกันได้ง่าย น้ำไหลซึมผ่านได้ง่าย ดินทรายจะรับแรงกระทำจากภายนอกได้ดีต่อเมื่อถูกจำกัดขอบเขตไม่มีทางเลื่อนหนีไปทางอื่น ทรายจะรับกำลังแบกทาน (End Bearing) ได้ดี แต่รับแรงเสียดทานได้ต่ำ ดังนั้นเมื่อให้ปลายเสาเข็มวางในชั้นทราย ต้องพิจารณากระบวนการทำเสาเข็มด้วยว่าจะไม่เป็นการทำให้ทรายเคลื่อนตัวไปอยู่ในสภาพที่หลวมกว่าเดิม***
- ***ดินเหนียวมีแรงยึดเกาะกันระหว่างเม็ดดิน น้ำซึมผ่านได้ยาก ดินเหนียวจะรับแรงเสียดทาน (Friction)ได้ดี กำลังรับน้ำหนักของดินเหนียวจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในดิน ยิ่งปริมาณความชื้นในดินมีมากขึ้นเท่าใดกำลังรับแรงเฉือนของดินก็จะยิ่งลดต่ำลงเป็นเหตุให้แรงเสียดทานที่ผิวเข็มต่ำลงด้วย***
- ***ควรกำหนดให้ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินชนิดเดียวกันทั้งอาคาร ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าให้เสาเข็มยาวเท่ากันเสมอไป เพราะการที่เสาเข็มยาวเท่ากันปลายเสาเข็มอาจอยู่ในดินต่างชนิดกัน บางส่วนอาจอยู่ในดินอ่อนในขณะที่อีกส่วนอยู่ในดินแข็ง เป็นเหตุให้เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันทำให้อาคารแตกร้าว***
- ***พยายามให้น้ำหนักบรรทุกที่ลงเสาเข็มต่อต้น (Load/Pile)ใกล้เคียงกัน เพื่อไม่ให้เกิดการทรุดตัวต่างกันมาก***

การเลือกใช้เสาเข็มชนิดตอกหรือเจาะนั้น สิ่งที่ควรพิจารณาในเบื้องต้นมีดังนี้

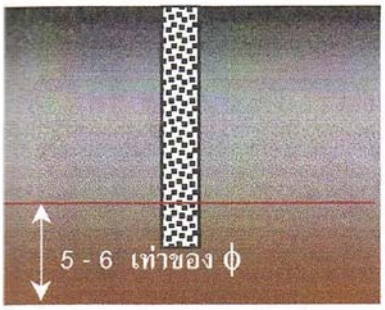
- ทางขนส่งเพื่อนำเสาเข็มตอกเข้าหน่วยงานก่อสร้างนั้นทำได้สะดวกหรือไม่ ถ้าไม่สะดวกควรเลือกใช้เสาเข็มเจาะ
- บริเวณที่จะก่อสร้างอาคารนั้นมีพื้นที่เพียงพอที่จะตั้งปั้นจั่นตอกเข็มหรือไม่ และถ้าตอกแล้วมีผลกระทบต่อข้างเคียงเพียงใด เช่นเกิดการสั่นสะเทือน หรือดินเคลื่อนตัว ซึ่งหากเกิดปัญหาดังกล่าวควรเลือกใช้เสาเข็มเจาะแทนจะเป็นการดีกว่า
- กรณีใช้เสาเข็มตอกต้องพิจารณาต่อไปว่าจะต้องตอกผ่านชั้นดินแข็งหรือชั้นทรายแน่นที่มีความหนามาก ๆหรือไม่ หากต้องตอกผ่านชั้นดินดังกล่าวอาจตอกเข็มไม่ลงควรเปลี่ยนเป็นใช้เสาเข็มเจาะแทน
- ในกรณีที่ต้องใช้เสาเข็มตอกชนิดที่ต้องต่อเข็ม ควรพิจารณาว่ารอยต่ออยู่ในชั้นดินอ่อนที่มีค่าความชื้นใกล้เคียงขีดจำกัดเหลวหรือไม่ หากรอยต่ออยู่ในชั้นดินดังกล่าวควรหลีกเลี่ยงเพราะรอยต่ออาจเคลื่อนตัวเมื่อมีแรงดันของดินที่เกิดจากการตอกเสาเข็มต้นใกล้เคียง ในกรณีเช่นนี้ควรเปลี่ยนเป็นใช้เสาเข็มเจาะที่เสริมเหล็กต้านแรงดันด้านข้างด้วย

สิ่งที่ควรพิจารณาเป็นพิเศษเมื่อเลือกใช้เสาเข็มตอก

- ปลายเสาเข็มควรวางอยู่ในชั้นดินที่มีค่า SPT มาก ๆและมีความหนาของดินชั้นนั้นไม่น้อยกว่า 5 – 6 เท่าของความกว้างเสาเข็ม และควรพิจารณาต่อลงไปด้วยว่าใต้ดินชั้นนั้นเป็นดินที่มีสภาพอ่อนมากหรือไม่ หากเป็นดินอ่อนมากควรตอกให้ทะลุชั้นดินอ่อนลงไป (ดินเหนียวอ่อนหรือแข็ง ทรายหลวมหรือแน่นให้พิจารณาจาก Boring Log ในช่อง Soil Description และช่อง SPT)
- การตอกเสาเข็มผ่านชั้นทรายที่มีความหนามากกว่า 5-6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม และชั้นทรายนั้นมีค่า SPT มากกว่า 30 Bl/ft จะทำได้ค่อนข้างลำบาก เสาเข็มอาจหักและเสียหายได้ (จากประสบการณ์) ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยง ในกรณีที่ต้องการวางปลายเสาเข็มให้ลึกกว่าระดับดินช่วงนั้นควรเปลี่ยนเป็นใช้เสาเข็มเจาะแทน
- ปลายเสาเข็มตอกที่วางในชั้นทราย ขณะตอกจะทำให้ทรายแน่นตัว ค่ากำลังต้านปลายเข็มจะมีมาก
- เสาเข็มสองท่อนต่อไม่ควรให้รอยต่ออยู่ในชั้นดินอ่อนที่มีค่าความชื้นในดินใกล้เคียงขีดจำกัดเหลว เพราะดินจะอยู่ในสภาพที่ไหลตัวได้ง่าย หาก

มีการตอกเสาเข็มต้นใกล้เคียงจะเกิดแรงดันของดินทำให้รอยต่อเคลื่อนจากกันได้ (ดังที่ได้กล่าวแล้ว) สภาพดินเช่นนี้มักจะพบบริเวณถนนบางนา – ตราด ช่วงอ.บางพลี จ.สมุทรปราการ และบริเวณ อ.บางปะกง

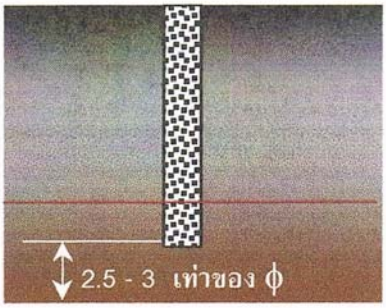
สิ่งที่ควรพิจารณาเป็นพิเศษเมื่อใช้เสาเข็มเจาะ



- ปลายเสาเข็มเจาะควรอยู่ในชั้นดินที่มีค่า SPT สูง และมีความหนาไม่น้อยกว่า 5-6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม และดินที่อยู่ใต้ดินชั้นนั้นไม่ควรเป็นดินอ่อนกว่าดินที่ระดับปลายเข็ม
- หากเลือกใช้เสาเข็มเจาะระบบแห้ง (Dry Process) ไม่ควรกำหนดให้ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทราย เพราะน้ำใต้ดินจะไหลดันเข้าหลุมเจาะผ่านชั้นทราย ทรายจะไม่แน่นตัวและทำให้คุณภาพของเข็มไม่ดีเท่าที่ควร แรงต้านทานปลายเสาเข็มจะต่ำหรือไม่มีแรงต้านทานปลายเสาเข็มเลย
- ในกรณีที่ต้องการให้ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทราย ควรใช้เสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process) ที่ใช้สารละลายเบนโทไนท์หรือสารละลายอื่นช่วยในการขุดเจาะดิน สารละลายดังกล่าวมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจึงเป็นตัวช่วยต้านแรงดันของน้ำและทำให้ทรายอยู่ในสภาพแน่นตัว

<u>หมายเหตุ</u> จากประสบการณ์สามารถพิจารณาว่าชั้นทรายชั้นนั้นจะมีน้ำใต้ดินดันเข้าหรือไม่ พิจารณาได้จาก Boring Log และ ตารางสรุปผลการทดสอบดิน (Summary of Test Result) โดยพิจารณาว่าชั้นทรายชั้นนั้นมีส่วนของดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากน้อยเพียงใด หากมีดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 20% (โดยประมาณ) โอกาสที่น้ำใต้ดินจะไหลเข้าหลุมเจาะจะมีมากทั้งนี้เพราะมีปริมาณดินเหนียวที่อุดช่องการไหลของน้ำน้อยเกินไป

กรณีที่เป็นทรายปนดินตะกอน (Silty Sand , SM) โอกาสที่น้ำใต้ดินจะไหลเข้าหลุมเจาะมีมากเพราะดินตะกอนมีแรงยึดเหนี่ยวน้อยไม่สามารถอุดช่องทางน้ำไหลได้ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้เสาเข็มเจาะระบบแห้งที่กำหนดให้ปลายเสาเข็มวางอยู่ในดินชั้นนี้



- กรณีที่ต้องใช้เสาเข็มเจาะระบบแห้งควรวางปลายเสาเข็มในชั้นดินเหนียวแข็งที่มีความหนาของดินใต้ปลายเสาเข็มไม่น้อยกว่า 2.5 – 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม เพื่อให้มีความหนาของดินเหนียวรองรับเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวทะลุดินเหนียวชั้นนั้น

ลักษณะเช่นนี้หากใต้ดินเหนียวเป็นชั้นทรายแน่น ชั้นทรายจะยังคงสภาพความแน่นตัวไว้ได้ตามเดิม แรงต้านทานของดินใต้ปลายเสาเข็มจะดีกว่าปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายที่สูญเสียสภาพความแน่นตัว

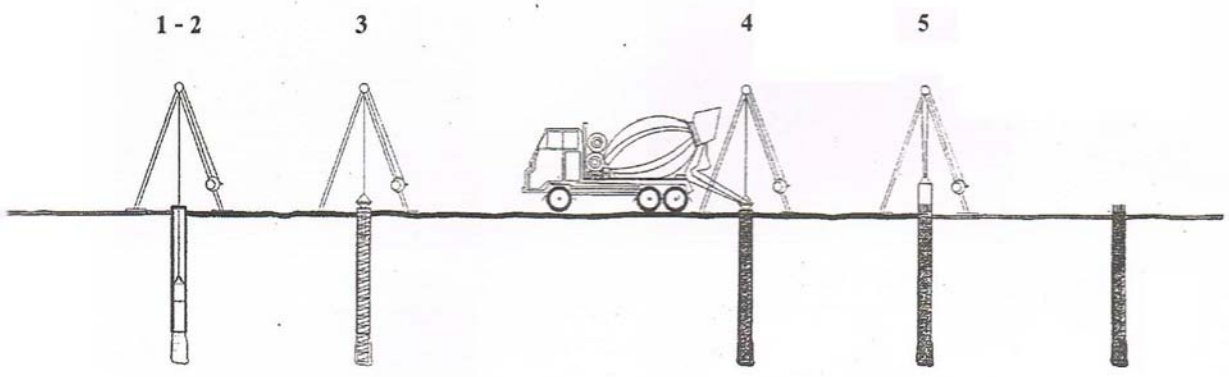
2.เสาเข็มเจาะ

เสาเข็มเจาะเป็นเสาเข็มที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถทำในสภาพพื้นที่คับแคบได้ มีแรงสั่นสะเทือนน้อย กำหนดความยาวเสาเข็มได้ตามที่ต้องการ เสาเข็มเจาะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ เสาเข็มเจาะขนาดเล็กที่เป็นเสาเข็มระบบแห้ง (Dry Process Bored Pile)และเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่ทำเสาเข็มด้วยระบบเปียก (Wet ProcessBored Pile) ซึ่งแต่ละแบบมีขั้นตอนการทำดังนี้

2.1 ขั้นตอนการทำเสาเข็มเจาะขนาดเล็ก หรือระบบแห้ง (Dry Process Bored Pile)

เสาเข็มเจาะขนาดเล็กเป็นเสาเข็มที่ทำด้วยระบบแห้ง (Dry Process) คือไม่ใช้สารละลายช่วยในการขุดเจาะดิน การป้องกันดินพังจะใช้ปลอกเหล็กกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดของเสาเข็ม เสาเข็มเจาะขนาดเล็กที่มีใช้ในปัจจุบันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 , 50 และ 60 ซม. ความลึกประมาณ 18 – 25 ม. ขั้นตอนการทำเสาเข็มมีดังนี้

รูปที่ 5 METHOD STATEMENT OF BORED PILE BY TRIPOD RIG

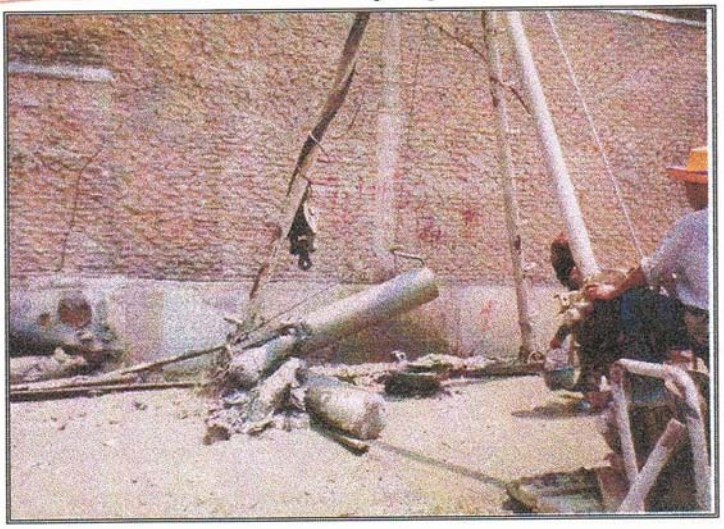


1-2 ลงปลอกเหล็ก และขุดเจาะดิน
3 ลงเหล็กเสริม
4 เทคอนกรีต
5 ถอนปลอกเหล็ก

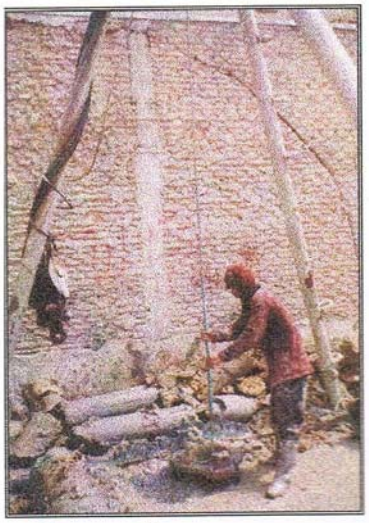
1. *ลงปลอกเหล็ก (Temporary Casing)* ภายหลังจากกำหนดหมุดศูนย์เสาเข็มเรียบร้อยแล้วจะลงปลอกเหล็กชั่วคราวเพื่อป้องกันชั้นดินอ่อนพังทลาย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปลอกเหล็กเท่ากับขนาดของเสาเข็มที่ต้องการทำ การลงปลอกเหล็กจะใช้สามขา (Tripod Rig) ตอกปลอกเหล็กด้วยลูกตุ้มหนักประมาณ 800 – 1000 กก. ปลอกเหล็กแต่ละท่อนยาวประมาณ 0.90 – 1.20 ม.ต่อกันด้วยเกลียว ความยาวของปลอกเหล็กที่ต้องตอกลงดินสำหรับเสาเข็มแต่ละต้นนั้นจะขึ้นอยู่กับความลึกของ

ชั้นดินอ่อน ซึ่งส่วนใหญ่จะลงปลอกเหล็กให้หยั่งลงจนถึงชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็งมาก (Stiff to Very Stiff Clay) ชั้นดินแข็งไม่ต้องลงปลอกเหล็กเนื่องจากดินสามารถคงรูปอยู่ได้โดยไม่พังทลาย ในกรณีที่

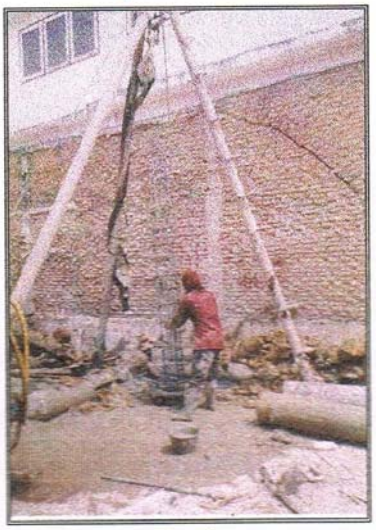
ลงปลอกเหล็ก (Casing)



ขุดเจาะดิน

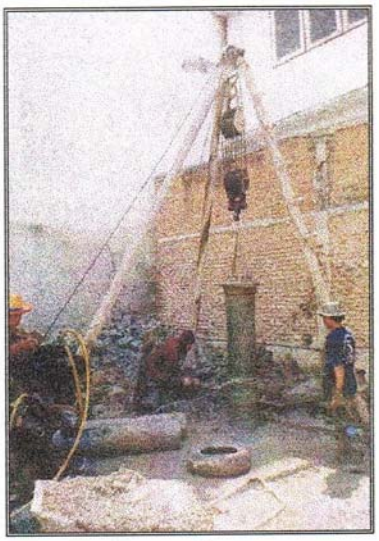


วัดความลึกของหลุมเจาะ



ลงเหล็กเสริม

เทคอนกรีต



ถอนปลอกเหล็ก (Casing)

รูปที่ 6 ภาพแสดงลำดับการทำเสาเข็มเจาะระบบแห้ง โดยใช้สามขา

ทำเข็มผ่านชั้นทรายจำเป็นต้องลงปลอกเหล็กป้องกันชั้นทรายพังด้วย การทำเสาเข็มเจาะระบบแห้งต้องป้องกันไม่ให้น้ำไหลจากชั้นทรายด้านข้างเข้ารูเจาะโดยต้องลงปลอกเหล็กให้ทะลุชั้นทรายและปลายปลอกเหล็กควรฝังอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง

ขณะลงปลอกเหล็กจะทำการตรวจเช็คความคลาดเคลื่อนในแนวราบและความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งไปด้วยพร้อมกัน

ความคลาดเคลื่อนในแนวราบที่ยอมให้

- ***5 ซม. สำหรับเสาเข็มเดี่ยว***
- ***7 ซม. สำหรับเสาเข็มกลุ่ม***

ความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งที่ยอมให้ 1: 100

2. ขุดเจาะดิน เมื่อลงปลอกเหล็กแล้วจะขุดเจาะดินโดยใช้กระเช้าเก็บดินที่มีลิ้นปิดเปิดที่ปลายล่าง (Bucket) ลักษณะของการเจาะดินจะใช้กระเช้าทิ้งลงในปลอกเหล็ก เมื่อกระเช้าจมลงดินแล้วจึงดึงขึ้น ลิ้นที่ปลายล่างของกระเช้าจะกันไม่ให้ดินไหลออก ทำการขุดเจาะดินลักษณะเช่นนี้ไปจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ การวัดความลึกของหลุมเจาะจะใช้เทปวัดหรือใช้ไม้เมตรวัดทาบกับสลิงที่ดึงกระเช้าเก็บดินขึ้นก็ได้

3. ลงเหล็กเสริม เมื่อได้ความลึกที่ต้องการแล้ว จะหย่อนเหล็กเสริมลงในรูเจาะและห้อยแขวนไว้ให้สูงจากปลายก้นหลุมประมาณ 0.50 – 1.00 ม. (ในกรณีที่ลงเหล็กยาวตลอดต้น) ในกรณีที่ลงเหล็กสั้นจะเทคอนกรีตขึ้นมาก่อนก็ได้ การหย่อนเหล็กเสริมจะใช้สามขายกเหล็กแล้วค่อย ๆหย่อนลงรูเจาะ และเนื่องจากสามขามีความสูงไม่เกิน 3.50 ม. ดังนั้นจะยกเหล็กเสริมได้ยาวไม่เกิน 10 ม. มิฉะนั้นสามขาอาจพลิกคว่ำได้ และสำหรับเหล็กท่อนแรกเท่านั้นที่จะยาว 10 ม.ส่วนท่อนต่อ ๆไปจะยาวประมาณ 5 – 6 ม.ยกมาต่อกับเหล็กท่อนแรก การต่อเหล็กจะต่อกันด้วยการทาบแล้วผูกด้วยลวดผูกเหล็ก

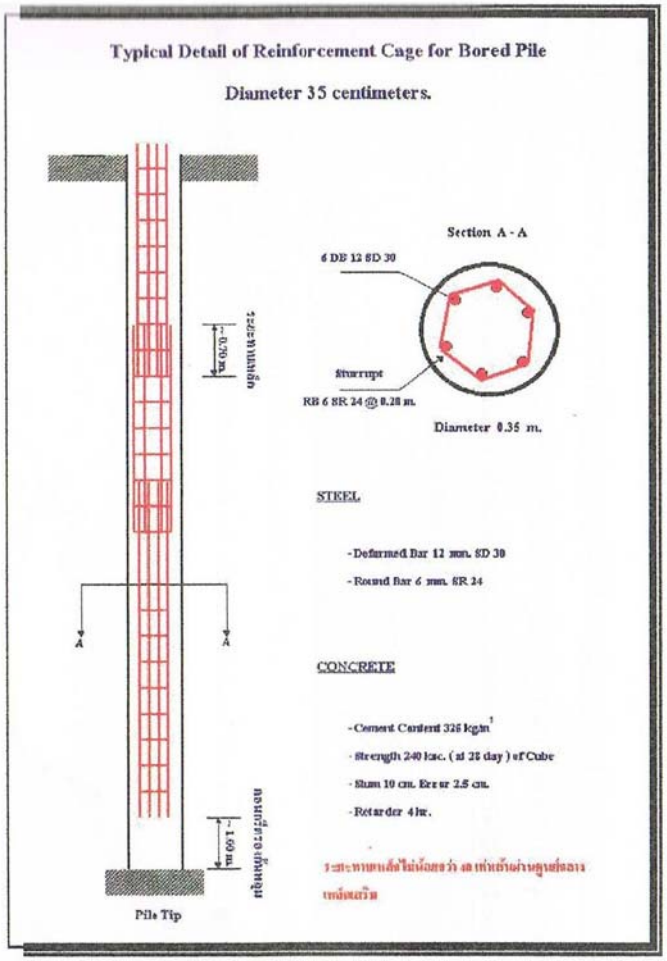
พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลักที่ใช้ในเสาเข็มเจาะประมาณ 0.35% - 1% ของพื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม โครงเหล็กเสริมหลักจะผูกเป็นวงกลมโดยใช้เหล็กปลอกขนาด 6 มม หรือ 9 มม. ผูกเข้ากับเหล็กเสริมหลักเป็นเกลียว (Spiral) หรือผูกเป็นแบบปลอกเดี่ยว (Stirrup)

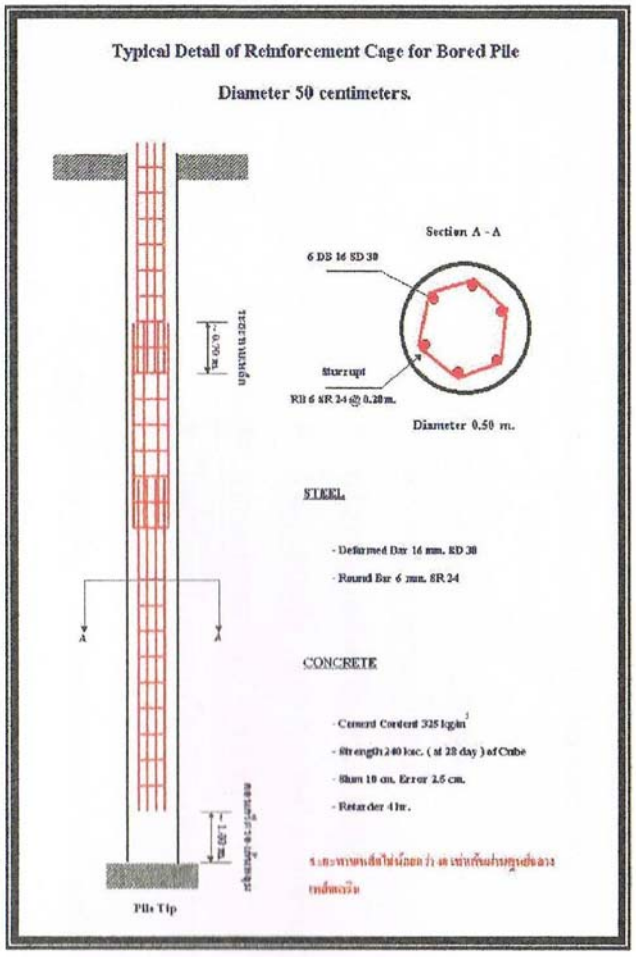
เหล็กเสริมในเสาเข็มเจาะ

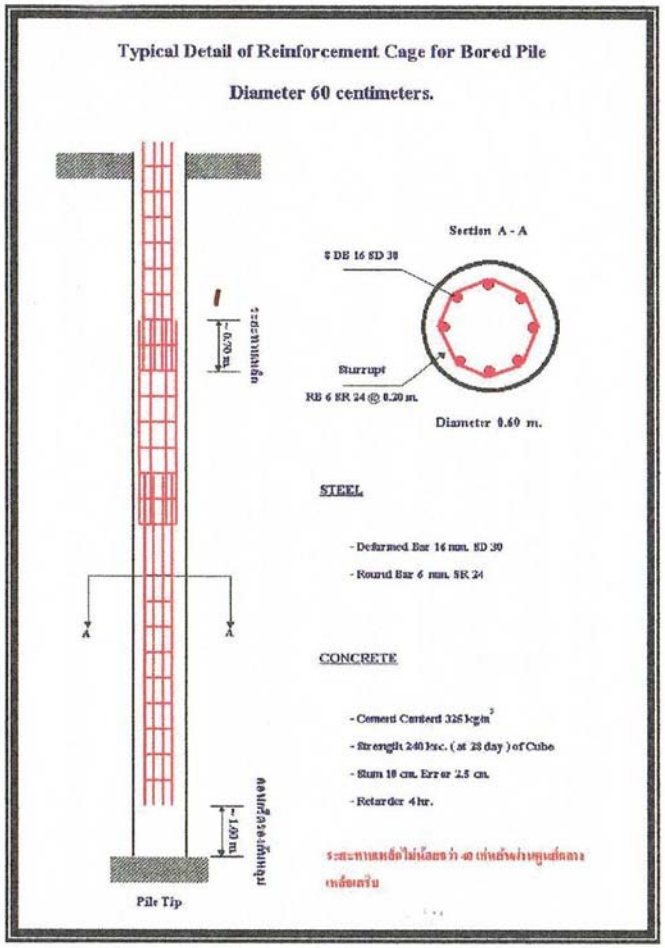
- ***เหล็กเสริมหลัก ใช้ Deformed Bar SD 30***
- ***เหล็กปลอก SR 24***
- ***ระยะต่อทาบ (ผูกด้วยลวด) 40 เท่าเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริมหลัก***

ปริมาณเหล็กเสริมที่นิยมใช้สำหรับเสาเข็มเจาะในเขตกรุงเทพมหานคร

- ***เสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 ซม. ความลึกประมาณ 20 – 22 ม. (ก่อนถึงชั้นทรายมีน้ำ) เสริมเหล็กข้ออ้อย 6 เส้น 12 มม. ยาว 10+5+5 ม. เหล็กปลอกขนาด 6 มม. ระยะห่าง 0.20 ม.***
- ***เสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. ความลึกประมาณ 20 – 22 ม. (ก่อนถึงชั้นทรายมีน้ำ) เสริมเหล็กข้อ***







รูปที่ 7 รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสาเข็มเจาะขนาดเล็ก

อ้อย 6 เส้น 16 มม. ยาว 10+5+5 ม. เหล็กปลอกขนาด 6 มม. ระยะห่าง 0.20 ม.

- *เสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. ความลึกประมาณ 20 – 22 ม. (ก่อนถึงชั้นทรายมีน้ำ) เสริมเหล็กข้ออ้อย 8 เส้น 16 มม. ยาว 10+5+5 ม. เหล็กปลอกขนาด 6 มม. ระยะห่าง 0.20 ม.*

หมายเหตุ ความยาวของเหล็กเสริม 10+5+5 ม. หมายถึงความยาวของเหล็กท่อนแรก 10 ม. ต่อทาบกับเหล็ก 5 ม.อีกสองท่อนและผูกด้วยลวดผูกเหล็ก

4. เทคอนกรีต เมื่อลงเหล็กเสริมเรียบร้อยแล้วจะเทคอนกรีตผ่านกรวยเทปูน (Hopper) ที่มีความยาวประมาณ 2 – 3 ม. เพื่อให้คอนกรีตหล่นลงตรงกลางรูเจาะและอัดแน่นกันเอง (Self compaction) ดังนั้นคอนกรีตจึงควรมีความข้นเหลวที่ดี คอนกรีตควรมี Slump ประมาณ 10 – 12 ซม. การเทคอนกรีตจะเทจนเต็มรูเจาะหรือเกือบเต็ม และอย่างน้อยต้องหุ้มปลอกเหล็ก (Casing) เพียงพอที่จะไม่เกิดการไหลของคอนกรีตหลุดเลยปลอกเหล็กเมื่อทำการถอนปลอกเหล็กขึ้น

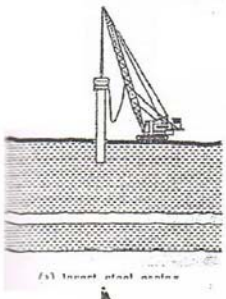
คอนกรีตที่ใช้ในเสาเข็มเจาะระบบแห้ง

- ส่วนผสมคอนกรีต 1:2:4
- ปริมาณปูนอย่างน้อย 325 กก/ม^3
- กำลังคอนกรีต 210 กก/ซม^2 แบบทรงกระบอกที่ 28 วัน
- ความข้นเหลว 10 – 12 ซม.
- ใส่น้ำยาหน่วงคอนกรีต (Retarder) ประมาณ 2-4 ซม.

5. ถอนปลอกเหล็ก หลังจากเทคอนกรีตแล้วจะถอนปลอกเหล็กขึ้นทันที โดยใช้รอกพวงที่ติดกับสามขาเป็นตัวดึงขึ้น การถอนปลอกเหล็กต้องมีการตรวจเช็คตลอดเวลาว่าคอนกรีตจะไม่ยุบตัวหลุดเลยปลายปลอกเหล็ก หากคอนกรีตยุบตัวหลุดปลายปลอกเหล็กดินโดยรอบจะไหลดันเข้ามาเป็นเหตุให้เสาเข็มขาดจากกัน นอกจากนี้ควรควบคุมให้คอนกรีตอยู่ภายในปลอกเหล็ก (Casing) ไม่น้อยกว่า 2 ม. ขณะถอนปลอกเหล็ก เพื่อให้มีแรงต้านทานต่อแรงดันดินที่บริเวณปลายปลอกเหล็กอย่างเพียงพอ มิฉะนั้นคอนกรีตที่ยังเหลวอยู่จะถูกดินดันจนทำให้กลายเป็นเสาเข็มคอด และควรเผื่อคอนกรีตเพื่อสกัดที่หัวเสาเข็มไม่น้อยกว่า 50 ซม. เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี

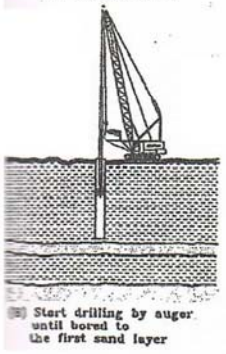
เสาเข็มเจาะแต่ละต้นจะแล้วเสร็จเมื่อถอนปลอกเหล็ก (Casing) ออกจนหมด การลงปลอกเหล็กเพื่อทำเสาเข็มเจาะต้นต่อไปควรให้ตำแหน่งของเสาเข็มต้นนั้นห่างจากเสาเข็มต้นที่แล้วเสร็จไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็มหรือตำแหน่งเสาเข็มใกล้กว่านั้นได้ก็ต่อเมื่อเมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จไม่น้อย

กว่า 24 ชม. ทั้งนี้เพื่อป้องกันการไหลเบียดตัวของดินและการสั่นสะเทือนที่จะส่งผลกระทบต่อคอนกรีตที่กำลังแข็งตัว



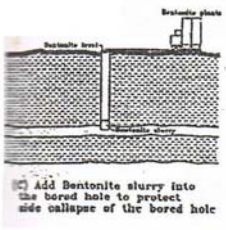
2.2 เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ หรือระบบเปียก (Wet Process Bored Pile)

เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 , 1.00 , 1.20 และ 1.50 ม. ความลึกประมาณ 30 – 60 ม. ขั้นตอนการทำเสาเข็มเจาะจะเหมือนกับเสาเข็มเจาะระบบแห้ง คือ ลงปลอกเหล็ก ขุดเจาะดิน ลงเหล็กเสริม เทคอนกรีตและถอนปลอกเหล็ก แต่จะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันดังนี้



- ***ลงปลอกเหล็กกันดินพัง*** การทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่จะลงปลอกเหล็กโดยใช้รถเครน (Crawler Crane) และเครื่องเขย่า (Vibro Hammer) ความยาวของปลอกเหล็กจะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นดินอ่อน

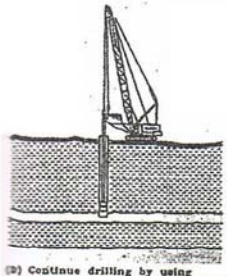
- ***ขุดเจาะดิน*** ทำการขุดเจาะดินโดยใช้รถเครนที่ติดตั้งเครื่องเจาะแบบหมุน ขุดดินขึ้นด้วยสว่านและตัวเก็บดิน (Bucket) เมื่อเจาะถึงชั้นทรายจะใส่สารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) จนเต็มหลุมเจาะ แล้วขุดเจาะดินต่อจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ



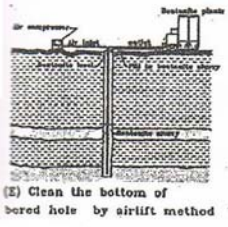
คุณสมบัติของสารละลายเบนโทไนท์

- ความหนืด (Viscosity)	30 – 50	วินาที
- ความหนาแน่น (Density)	1.04 – 1.20	กรัม/ซม^3
- ค่า PH	ไม่น้อยกว่า 7	
- ปริมาณทราย	ไม่มากกว่า 6%	

(ในกรณีที่ใช้ Bentonite ผ่านมาใช้ใหม่)



- ***ลงเหล็กเสริม*** ขนาดของเหล็กเสริมขึ้นอยู่กับวิศวกรผู้ออกแบบ การต่อเหล็กจะใช้วิธีการเชื่อมต่อเพราะเหล็กเสริมจะมีปริมาณมากการยกเหล็กเสริมขึ้นหรือลงต้องมั่นใจว่ารอยต่อของเหล็กไม่ขาดจากกัน โครงของเหล็กเสริมเป็นวงกลมโดยผูกเหล็กเสริมหลักเข้ากับเหล็กปลอกที่ม้วนเป็นเกลียว (Spiral)

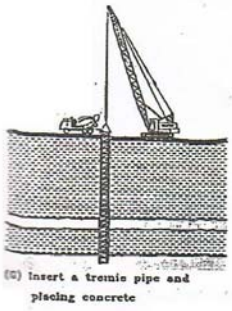


ชนิดของเหล็กเสริม

เหล็กข้ออ้อย ใช้เหล็ก SD 40

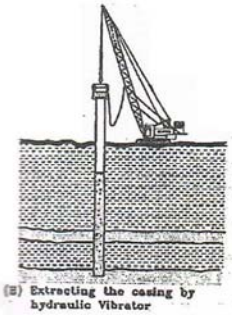
เหล็กกลม ใช้เหล็ก SR 24

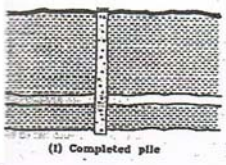
- ***เทคอนกรีต*** จะเทคอนกรีตภายหลังจากลงเหล็กเสริมแล้วเสร็จ ทำการเทคอนกรีตผ่านท่อเทปูน (Tremie Pipe) ปลายของท่อเทปูนจะอยู่สูงจากก้นหลุมเจาะประมาณ 0.50 ม.


(G) Insert a tremie pipe and placing concrete

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้

ปริมาณปูนซีเมนต์	ไม่น้อยกว่า 350 กก/ม^3
กำลังอัดคอนกรีต	ไม่น้อยกว่า 280 กก/ซม^2 แบบทรงกระบอกที่ 28 วัน
ความข้นเหลว	17.5 – 22.5 ซม.
ใส่น้ำยาหน่วง	4 ชั่วโมง


(H) Extracting the casing by hydraulic Vibrator


(I) Completed pile

- *ถอนปลอกเหล็ก* เมื่อเทคอนกรีตจนเต็มแล้วจะถอนปลอกเหล็กขึ้นโดยใช้รถเครนและเครื่องเขย่า การทำเข็มจะแล้วเสร็จเมื่อถอนปลอกเหล็กขึ้นจนหมด การทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่นี้จะเผื่อคอนกรีตที่หัวเข็มเพื่อสกัดออกประมาณ 1 – 2 ม. เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีไม่มีสารละลายเบนโทไนท์หรือเศษดินเจือปน

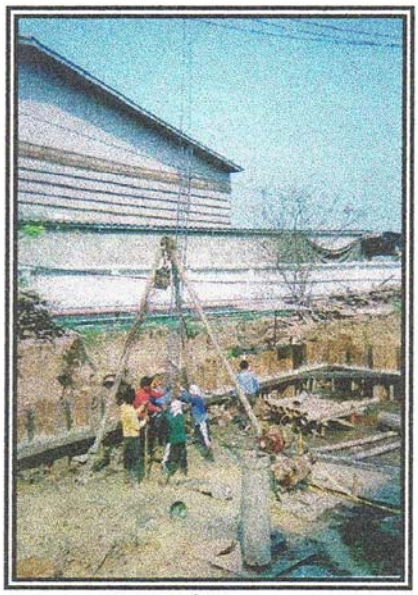
หมายเหตุ การทำเสาเข็มเจาะระบบเปียกเหมาะที่จะใช้ทำเสาเข็มที่ต้องเจาะผ่านชั้นทราย หรือต้องการให้ปลายเข็มอยู่ในชั้นทราย เท่าที่ผ่านมาการทำเข็มเจาะระบบเปียกจะต้องใช้เครื่องมือขนาดใหญ่เช่น ใช้รถเครนและเครื่องเขย่าขนาดใหญ่ ซึ่งนอกจากจะมีค่าใช้จ่ายสูงแล้ว ยังต้องมีพื้นที่ในการทำเข็มที่กว้างเพียงพอ ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้สามขา (Tripod Rig) เพื่อทำเสาเข็มระบบเปียก ซึ่งการทำเข็มดังกล่าวมีกระบวนการใช้สารละลายเบนโทไนท์ช่วยในการขุดเจาะดินและเทคอนกรีตผ่านท่อ Tremie Pipe เหมือนการทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ แต่เนื่องจากเป็นเครื่องมือขนาดเล็กจึงสามารถทำได้ในพื้นที่คับแคบ นับว่าเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการก่อสร้าง ข้อเสียของการทำเสาเข็มด้วยวิธีนี้คือทำได้ช้าไม่เหมาะกับการทำเสาเข็มที่มีความลึกมากกว่า 20 ม.

3.ปัญหาที่พบบ่อยครั้งและการแก้ไข

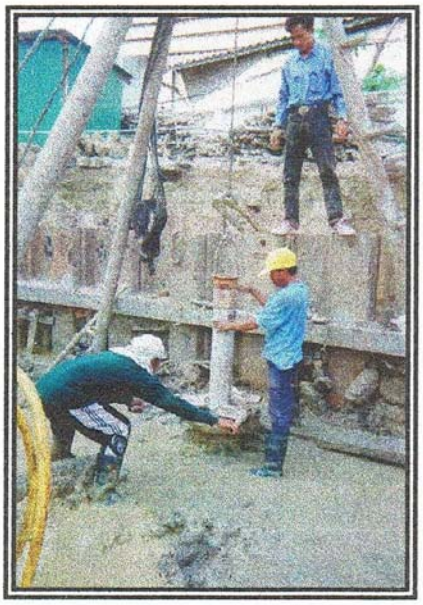
สิ่งที่ควรควบคุมเป็นพิเศษในการทำเข็มเจาะ

สิ่งที่ควรควบคุมเป็นพิเศษ คือระดับความลึกและการถอนปลอกเหล็ก ระดับความลึกของเสาเข็มต้องเป็นไปตามที่ระบุในแบบ สภาพของดินที่ก้นหลุมเจาะควรมีสภาพใกล้เคียงกันทุกหลุม หากพบว่าสภาพดินไม่เหมือนกันควรแจ้งให้วิศวกรผู้ออกแบบทราบเพื่อหาทางแก้ไข

การถอนปลอกเหล็กต้องระมัดระวังไม่ให้คอนกรีตหลุดจากปลายปลอกเหล็ก เพราะดินอาจไหลเข้ามาตัดคอนกรีตให้ขาดออกจากกัน ปัญหาเรื่องเสาเข็มขาดเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุดควรดูแลอย่างใกล้ชิดโดยเฉพาะเวลาที่ทำการถอนปลอกเหล็กขึ้น หากเสาเข็มขาดความต่อเนื่องเสาเข็มจะมีพฤติกรรมเสมือนเสาเข็มสั้นเท่านั้น



ลงเหล็กเสริม

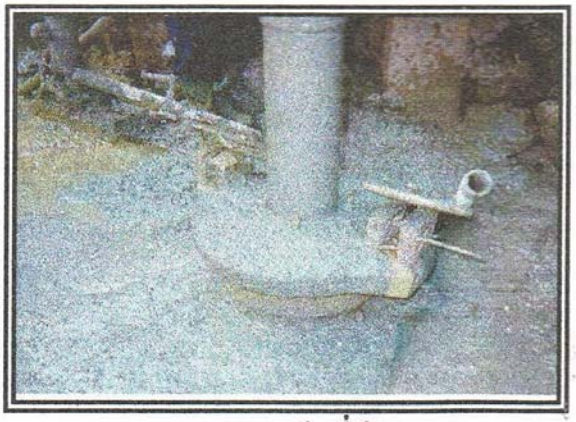


ลงท่อ Tremie

ใส่โฟมก่อนเทคอนกรีต

เขย่าคอนกรีต

เทคอนกรีตไล่สารละลายเบนโทไนท์



สภาพคอนกรีตที่ดี

รูปที่ 8 ขั้นตอนการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก โดยใช้สามขา

ปัญหามีน้ำที่ก้นหลุมในเสาเข็มเจาะระบบแห้ง

ในกรณีที่มีน้ำใต้ดินไหลที่ก้นหลุมเจาะระบบแห้งตลอดเวลานั้นเป็นเพราะปลายเสาเข็มเจาะอยู่ในชั้นทรายที่อาจเป็นชั้นทรายล้วน ๆ หรือชั้นทรายที่มีดินเหนียวปน หากเป็นชั้นทรายล้วน ๆน้ำใต้ดินจะไหลเข้าได้สะดวก น้ำจะไหลในหลุมเจาะแรงมากจนไม่สามารถขุดดินให้ได้ความลึกต่อไปหรือไม่สามารถเทคอนกรีตได้ แต่หากเป็นชั้นทรายปนดินเหนียวน้ำจะไหลซึมเข้าเช่นกันแต่อัตราการไหลจะเร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับปริมาณดินเหนียวที่อุดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน สรุปแล้วไม่ว่าจะเป็นทรายล้วน ๆหรือทรายปนดินเหนียวก็มีโอกาสที่น้ำจะไหลเข้าหลุมเจาะทั้งสิ้น การแก้ไขจึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้มีการวางปลายเสาเข็มเจาะระบบแห้งในชั้นทราย การแก้ไขทำได้โดยให้ปลายเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งเหนือชั้นทราย โดยให้มีชั้นดินเหนียวใต้ปลายเข็มอย่างน้อยประมาณ 2 – 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม วิธีนี้จะทำให้มีแรงต้านทานปลายเสาเข็มจากดินเหนียวแข็งและชั้นทรายแน่นที่อยู่ใต้ชั้นดินเหนียวเพราะทรายในชั้นนั้นไม่ถูกรบกวนจนสูญเสียสภาพความแน่นตัว (พิจารณาได้จาก Stress Bulb ที่เกิดบริเวณปลายเข็ม ความลึกของ Stress Bulb ที่เกิดขึ้นจะต่ำจากปลายเข็มประมาณ 2.5 – 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม)

ลงปลอกเหล็ก (Casing) ยาวตลอดจะช่วยให้ปลายเข็มเจาะแห้งอยู่ในชั้นทรายได้หรือไม่

การให้ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทรายและแก้ปัญหาเรื่องน้ำใต้ดินโดยลงปลอกเหล็กให้ยาวตลอดความลึกของเสาเข็มนั้นอาจเป็นการป้องกันน้ำใต้ดินได้ระดับหนึ่งแต่ยังไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด เพราะแรงดันน้ำใต้ดินเนื่องจาก Hydraulic Gradient มีมาก จึงต้องลงปลอกเหล็กให้ลึกกว่าปลายเข็ม ซึ่งอาจต้องฝังลึกลงไปมากกว่า 1 เมตร น้ำใต้ดินจึงจะดันขึ้นช้ามีเวลาเพียงพอที่จะลงเหล็กเสริมและเทคอนกรีตได้ทัน แต่เวลาถอนปลอกเหล็กขึ้นจะเสมือนกับมีทรายอุดปลายปลอกเหล็กเมื่อเวลาถอนปลอกเหล็กจึงอาจยกคอนกรีตและเหล็กเสริมขึ้นมาด้วย หากเกิดปัญหาเช่นนี้แล้วแก้ไขไม่ได้เสาเข็มต้นนั้นอาจไม่สมบูรณ์นำมาใช้งานไม่ได้ นอกจากนั้นวิธีการดังกล่าวยังเป็นการรบกวนชั้นทรายให้กลายสภาพเป็นทรายหลวมได้อีกด้วย

จำเป็นต้องเทคอนกรีตหยาบและกระทุ้งก้นหลุมหรือไม่

เมื่อเจาะดินได้ความลึกตามต้องการแล้วไม่มีความจำเป็นจะต้องเทคอนกรีตหยาบแล้วกระทุ้งก้นหลุมด้วยลูกตุ้ม เพราะการกระทุ้งด้วยลูกตุ้มไม่สามารถทำให้ดินข้างล่างแน่นได้ แต่กลับเป็นการรบกวนดินและอาจทำให้ผนังหลุมเจาะที่ปลายหลุมพังทลาย วิธีที่ดีควรรองก้นหลุมด้วยคอนกรีตที่ใช้งานจริงเพื่อไว้หุ้มปลายเหล็กเสริม และเมื่อลงเหล็กเสริมแล้วควรรีบเทคอนกรีตให้แล้วเสร็จโดยเร็ว เพราะการทิ้งหลุมเจาะไว้นานเกินไปจะทำให้ดินโดยรอบอ่อนตัวเสียกำลังเป็นผลให้เสาเข็มมีแรงเสียดทานน้อยลง

สาเหตุที่เหล็กเสริมติดขึ้นมาขณะถอนปลอกเหล็ก

บ่อยครั้งที่การทำเสาเข็มเจาะระบบแห้งมักจะพบปัญหาเรื่องเหล็กเสริมติดขึ้นมาขณะถอนปลอกเหล็กขึ้น ส่วนมากมักจะเกิดขึ้นกับกรณีที่เสริมเหล็กยาวไม่เกินปลายปลอกเหล็ก (Casing) และเกิดขึ้นกับเสาเข็มเจาะที่มีน้ำใต้ดินไหลเข้าหลุมเจาะ ที่เป็นเช่นนี้เพราะขณะถอนปลอกเหล็กขึ้นนั้นคอนกรีตบริเวณปลายปลอกเหล็กจะเกิด Interlogging ยิ่งถ้าเป็นคอนกรีตที่มีส่วนผสมไม่ดีจะยิ่งมีโอกาสเกิดขึ้นมาก สำหรับในกรณีที่มีน้ำในหลุมเจาะ คอนกรีตที่เทลงไปจะเกิดการแยกตัว ปูนและทรายจะเกาะติดบริเวณข้างปลอกเหล็กเป็นปริมาณมากเมื่อดึงปลอกเหล็กขึ้นปูนที่เกาะติดข้างปลอกจะเกี่ยวเหล็กเสริมขึ้นมาด้วย วิธีการแก้ไขจึงควรกำหนดให้เหล็กเสริมเสาเข็มยาวกว่าปลอกเหล็กนั่นก็คือเสริมเหล็กให้มีความยาวพ้นชั้นดินอ่อน และพยายามป้องกันไม่ให้มีน้ำไหลเข้าหลุมเจาะ การแก้ไขโดยกำหนดให้เหล็กยาวตลอดตัวเข็มก็เป็นการแก้ไขที่ดีวิธีหนึ่ง

ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับการออกแบบเข็มเจาะ

เสาเข็มเป็นตัวส่งถ่ายน้ำหนักลงสู่ดิน ดังนั้นกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่กล่าวถึงจึงเป็นกำลังรับน้ำหนักที่ดินสามารถรับได้โดยปลอดภัย การส่งถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มลงสู่ดินนั้นจะส่งผ่านโดยแรงเสียดทานที่ผิวและแรงแบกทานใต้ปลายเข็ม แรงเสียดทานที่ผิวเข็มจะขึ้นอยู่กับการยึดเกาะระหว่างวัสดุที่ใช้ทำเข็มกับกำลังของดินโดยรอบ และแรงแบกทานใต้เข็มจะขึ้นอยู่กับกำลังแบกทานของดินเป็นหลัก สำหรับการออกแบบตัวเสาเข็มนั้น เนื่องจากเสาเข็มไม่ได้มีพฤติกรรมเป็นเสา (Column) ที่จะต้องรับการโก่งเดาะ ดังนั้นการออกแบบตัวเสาเข็มจึงไม่ควรใช้สูตรการคำนวณแบบเสาเพราะเหล็กเสริมในเสาเข็มจะมากเกินความจำเป็น สำหรับเสาเข็มที่ทำด้วยคอนกรีตเมื่อรับน้ำหนักจนถึงจุดสูงสุดดินจะเกิดการวิบัติก่อนที่คอนกรีตจะพัง การออกแบบเสาเข็มจึงควรคำนึงถึงกำลังรับน้ำหนักของดินโดยรอบเสาเข็มเป็นหลัก

4. การทดสอบ

การทดสอบเสาเข็มเจาะแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ

- การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม
- การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

เมื่อทำเสาเข็มเจาะแล้วเสร็จหากต้องการทราบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกว่าสามารถรับน้ำหนักได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ก็ควรกำหนดให้มีการทดสอบเสาเข็ม การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มมี 2 วิธี คือ วิธี Static Load Test และ Dynamic Load Test

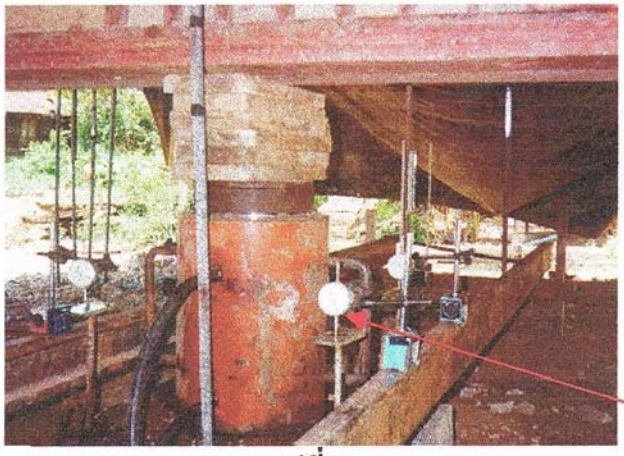
การทดสอบแบบ Static Load Test นั้นเป็นวิธีที่นิยมใช้มานานกว่าวิธี Dynamic Load Test แต่จะใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า และเนื่องจากยังเป็นวิธีที่เชื่อกันมากบทความนี้จึงจะขอกล่าวแต่เฉพาะวิธี Static Load Test เท่านั้น

การทดสอบเสาเข็มนั้นจะทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกจนถึง 2 เท่าหรือ 2.5 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย วิธีการทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM ที่กำหนดให้ทดสอบน้ำหนักบรรทุกอย่างน้อย 2 รอบ โดยรอบแรกให้ทดสอบน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยหรือน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ การทดสอบจะใส่น้ำหนักบรรทุกที่ละขั้น ขั้นละ 25% ของน้ำหนักบรรทุกออกแบบ แต่ละขั้นจะแช่น้ำหนักไว้ 1 ชม. และเมื่อทดสอบถึงน้ำหนักบรรทุกออกแบบจะแช่น้ำหนักบรรทุกไว้ 24 ชม. ถัดจากนั้นจะปลดน้ำหนักบรรทุกออกจนหมด แล้วจึงทดสอบน้ำหนักบรรทุกรอบที่สอง ในขณะทดสอบจะบันทึกค่าการทรุดตัวควบคู่กับน้ำหนัก แล้วนำไปเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวเพื่อพิจารณาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มต่อไป

ก่อนการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธีนี้ต้องเตรียมเสาสมอเพื่อไว้ยึดรั้งคานเหล็ก เนื่องจากเสาสมอต้องรับแรงดึงจึงต้องเสริมเหล็กที่มีขนาดใหญ่และยาวตลอดลำต้น สำหรับรายละเอียดและวิธีการทดสอบ Static Load Test มีดังนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

Dial Gauge ใช้ Dial Gauges จำนวน 4 ตัว วางบนเสาเข็ม โดย Dial Gauges ติดตั้ง กับ Reference Beam ซึ่งยึดกับ Reference Pile อ่านค่าการทรุดตัวที่หัวเสาเข็มความละเอียด 0.01 ม.ม.

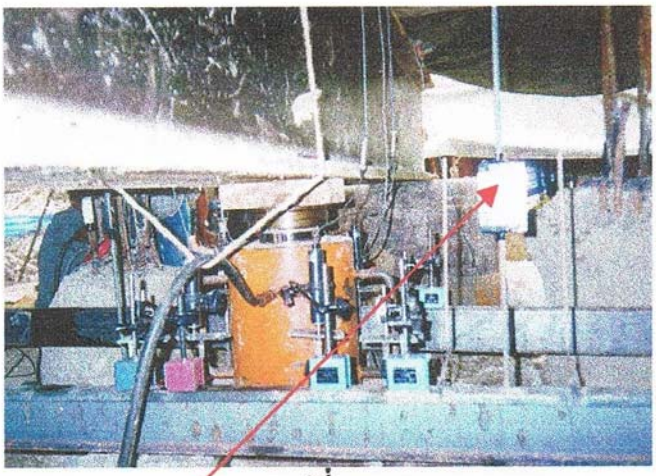


รูปที่ 9

กล้องระดับ ใช้กล้องระดับ อ่านค่าการทรุดตัวของเสาเข็มจากหมุดอ้างอิงที่ติดบนหัวเสาเข็ม ความละเอียด 0.1 ม.ม.

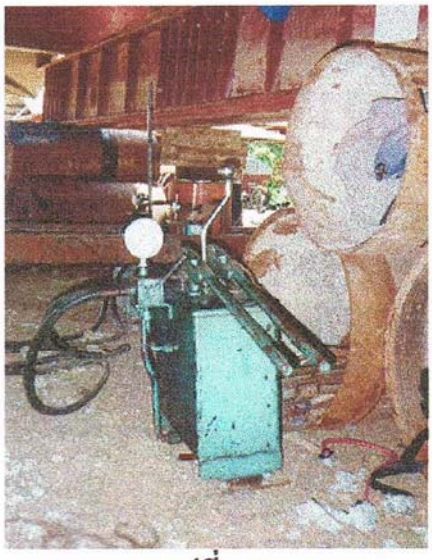
รูปที่ 10

Piano Wire ใช้ Piano Wire อ่านค่าการทรุดตัวของเสาเข็มจาก Scale ที่ติดบนหัวเสาเข็มโดยวิธี Parallax ความละเอียด 0.1 ม.ม.



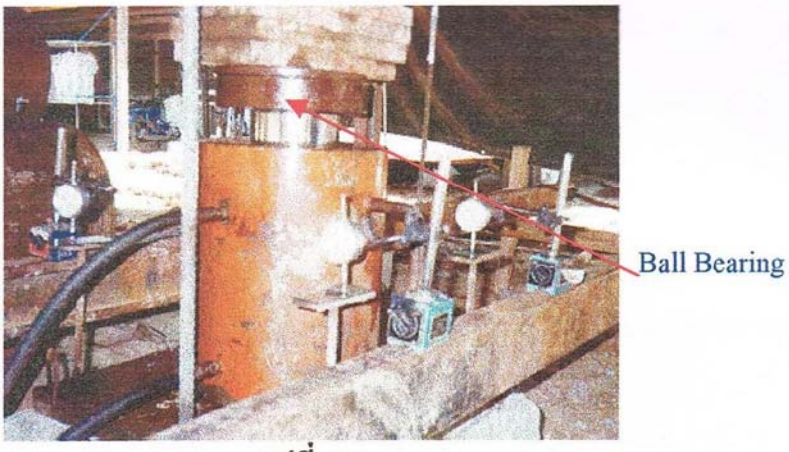
รูปที่ 11

แม่แรงไฮดรอลิก ใช้แม่แรงไฮดรอลิกที่ทำการทดสอบความดันแล้ว เป็นตัวดันคานปฏิกิริยา



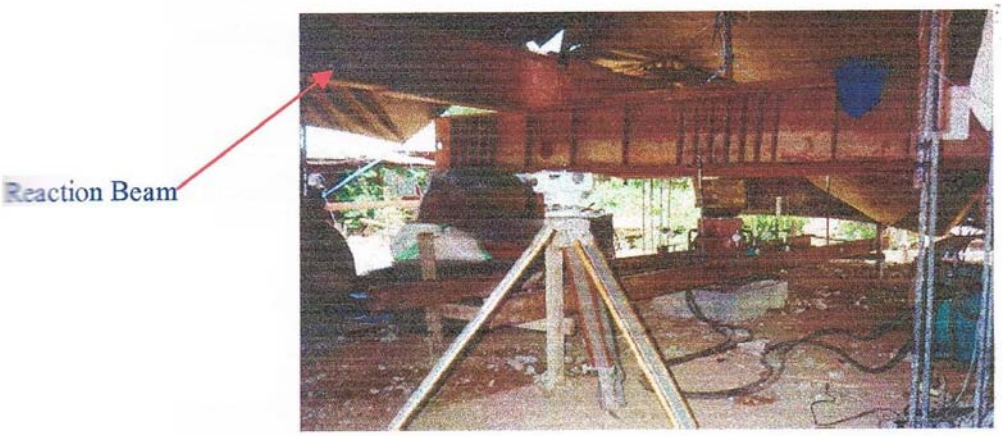
รูปที่ 12

Ball Bearing ใส่ระหว่างหัวแม่แรงกับคานปฏิกริยา เพื่อทำให้แรงกระทำอยู่ในแนวดิ่งตลอดเวลา



รูปที่ 13

คานเหล็ก ใช้คานปฏิกริยา (Reaction Beam) ซึ่งถูกยึดไว้โดยเสาเข็มสมอ ทำให้เกิดแรงบนหัวเสาเข็ม



รูปที่ 14

วิธีการบรรทุกน้ำหนัก ใส่น้ำหนักบรรทุกโดยใช้แม่แรงดันคานปฏิกริยาซึ่งถูกยึดไว้โดยเสาเข็มสมอ ทำให้เกิดแรงบนหัวเสาเข็ม

การให้น้ำหนักบรรทุก การให้น้ำหนักบรรทุกหัวเสาเข็ม จะมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกครั้งละ 25 % ของน้ำหนักบรรทุกออกแบบ ดังนี้

รอบที่ 1 0% - 25% - 50% - 75% - 100%* - 50% - 0%

รอบที่ 2 0% - 50% - 100% - 125% - 150% - 175% - 200% - 225% - 250%*

- 200% - 150% - 100% - 50% - 0%

เงื่อนไขการทดสอบ

1. ในการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกแต่ละขั้น ให้คงน้ำหนักไว้ 1 ชั่วโมง แต่ถ้าอัตราการทรุดตัวมากกว่า 0.25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จะคงน้ำหนักบรรทุกทิ้งไว้อีก 1 ชั่วโมง จึงทำการเพิ่มน้ำหนักต่อไปได้
2. น้ำหนักบรรทุกที่มีเครื่องหมาย * จะแช่น้ำหนักบรรทุกไว้ 24 ชั่วโมง
3. การลดน้ำหนักบรรทุกแต่ละขั้น จะแช่น้ำหนักบรรทุกไว้ 1 ชั่วโมง
4. บันทึกค่าการทรุดตัวหลังจากการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่ 0, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60 นาที
5. สำหรับน้ำหนักบรรทุกที่มีเครื่องหมาย * จะบันทึกค่าการทรุดตัวที่ 90, 120 นาที และบันทึกต่อไปทุก ๆ 2 ชั่วโมง

6. การบันทึกค่าการคืนตัวของเสาเข็มจะบันทึกที่ 0, 30, 60 นาที จนกระทั่งปลดน้ำหนักบรรทุกออกจนหมดแล้วให้จดบันทึกค่าการคืนตัวต่อไปทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งค่าของการคืนตัวคงที่หรืออย่างน้อย 8 ชั่วโมง

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (Seismic Test)

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยคลื่นเสียง (Seismic Test) เป็นการทดสอบความต่อเนื่องของเสาเข็มโดยใช้คลื่นเสียง วิธีการทดสอบได้แสดงไว้ในลำดับต่อไปนี้

วิธีการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วนคลื่นเสียง และหาความยาวของเสาเข็ม ประกอบด้วย

- ตัวรับสัญญาณ (Accelerometer)

รูปที่ 16

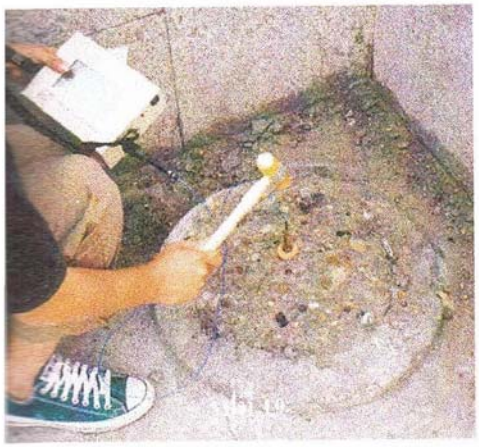
- ค้อน (Hand Held Hammer)

รูปที่ 17

- เครื่องเก็บบันทึกข้อมูล (PIT Collector)

รูปที่ 18

ขั้นตอนการทดสอบ



เริ่มด้วยการติดตั้งตัวรับสัญญาณไว้ที่หัวเสาเข็ม และใช้ค้อนเคาะลงบนหัวเสาเข็มบริเวณใกล้กับตัวรับสัญญาณ ทำให้เกิดคลื่นความเค้นอัด (Compression Stress Wave) ผ่านลงไปในเสาเข็มและจะสะท้อนกลับมาตามลำดับ เป็น คลื่นความเค้นดึง (Tension Stress Wave) ตัวรับสัญญาณ (Accelerometer) จะรับสัญญาณและส่งผ่านไปยังเครื่องบันทึกข้อมูล (PIT Collector) หากมีความบกพร่องในตัวเสาเข็มคลื่นเสียงจะส่งสัญญาณแสดงความผิดปกติในรูปของกราฟที่ผิดแปลกไป ผลการทดสอบที่ได้จะนำมาวิเคราะห์หาความบกพร่องในตัวเสาเข็มและความยาวโดยประมาณของเข็มต่อไป

ความยาวของเสาเข็มโดยประมาณจะหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นเสียงในคอนกรีต ซึ่งมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m./sec.) กับระยะเวลาที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากหัวเสาเข็มไปถึงปลายเสาเข็ม แล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ (Accelerometer) มีหน่วยเป็น millisecond

ความยาวเสาเข็มนั้นขึ้นอยู่กับค่าความเร็วคลื่นเสียงในคอนกรีต (V_0) ค่า V_0 จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม ค่าความแตกต่างของ V_0 จะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของคอนกรีต โดยทั่วไปค่าของ V_0 ยอมให้ใช้ได้ถึง 4,200 เมตรต่อวินาที (โดยประมาณ) แต่โดยทั่วไปจะแนะนำให้ใช้ค่าระหว่าง 3,600 – 3,960 เมตรต่อวินาที

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธีนี้ เป็นการทดสอบทางกายภาพเพื่อตรวจสอบความต่อเนื่องของเสาเข็มเท่านั้น ไม่ได้มีผลแสดงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแต่อย่างใด ค่าความยาวที่ได้ก็เป็นความยาวที่วัดจากหัวเสาเข็มขณะทดสอบและเป็นค่าโดยประมาณ ดังนั้นจึงควรนำข้อมูลเสาเข็มที่บันทึกในสนามมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อหาความบกพร่องของเสาเข็มด้วย