บทที่ 2

วิธีวิจัย

2.1 บทนำ

การวิจัยเริ่มโดยสำรวจหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบริเวณที่ทำวิจัย สร้างเสาเข็มเดี่ยวจำนวน 36 เสา เมื่อเสาเข็มสร้างเสร็จ นำเสาเข็มมาลงในสนามหลังจากลงเสาเข็มไว้ในสนามสองเดือน ทดสอบเสาเข็มทั้งหมดทีละเสาจนพิบัติ

ตามขั้นตอนการวิจัย วิธีวิจัยจึงประกอบด้วย

1. วิธีสำรวจหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบริเวณที่ทำวิจัย
2. วิธีสร้างเสาเข็ม
3. วิธีลงเสาเข็ม
4. วิธีทดสอบเสาเข็ม
5. วิธีหาแรงพิบัติของเสาเข็มจากข้อมูลการทดสอบเสาเข็ม

2.2 วิธีสำรวจหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบริเวณที่ทำวิจัย

2.2.1 การสำรวจหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบริเวณที่ทำวิจัยโดย Sriratanasathavorn, S. (1975)

เครื่องมือเก็บตัวอย่างดิน เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินประกอบด้วยสว่านเจาะดิน กระบอกบางสำหรับเก็บตัวอย่างดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาว 60 ซม. สามขาและตุ้มน้ำหนักสำหรับตอกกระบอกเก็บตัวอย่างดินลงไปในดิน

การเก็บตัวอย่างดินในสนาม ใช้สว่านเจาะดินออกจนถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดิน ตั้งสามขาแล้วตอกกระบอกเก็บตัวอย่างดินลงในรูที่เจาะไว้ เมื่อตอกกระบอกเก็บตัวอย่างดินลงจนดินเข้าเต็มกระบอก หมุนกระบอกเก็บตัวอย่างดินหลาย ๆ รอบ ดึงกระบอกเก็บตัวอย่างดินขึ้นมาเคาะผึ่งปิดปากกระบอกทั้งสองข้างเก็บตัวอย่างดินคงสภาพทุก ๆ ระยะ 1.50 ม. โดยเริ่มเก็บตัวอย่างดินจากระดับ 1.50 ม. ถึงระดับ 10.50 ม. ลึกจากผิวดินเดิม ตัวอย่างดินที่เก็บทั้งหมดเก็บจากหลุมที่เจาะหนึ่งหลุม

การทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินในสนาม การทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินคงสภาพในสนามทดสอบหลังจากเก็บตัวอย่างดินแต่ละครั้ง ใช้เครื่องมือ Field Vane Shear ของบริษัท Soil Test ทดสอบ เมื่อทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินคงสภาพเสร็จ หมุนเครื่องมือทดสอบไป 5 รอบ เพื่อแปรสภาพดิน แล้วทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินแปรสภาพ ในการทดสอบแต่ละครั้งเฉือนดินด้วยอัตราเฉือน 10 องศาต่อนาทีตลอด

การทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินในห้องทดลอง นำตัวอย่างดินที่เก็บมาทดสอบหา เปอร์เซนต์น้ำตามธรรมชาติ Atterberg Limit หน่วยน้ำหนักทั้งหมดของดิน และกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินซึ่งไม่ให้น้ำระบายออก การทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินซึ่งไม่ให้ระบายออกทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression Test โดยใช้ตัวอย่างดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.4 นิ้ว ยาว 3 นิ้ว และกดลงด้วยอัตรา 0.5 เปอร์เซนต์ของความเครียดในแนวแรงกดต่อนาที

2.2.2 การสำรวจดินบริเวณที่ทำวิจัยด้วย Static Dutch Cone

เครื่องมือ Static Dutch Cone เครื่องมือ Static Dutch Cone ประกอบด้วยปลายหยั่งแกนกดปลายหยั่งยาวท่อนละ 1 เมตร ท่อเหล็กกลวงยาวท่อนละ 1 เมตร ทำหน้าที่ป้องกันแกนกดปลายหยั่งไม่ให้สัมผัสกับดิน และโครงสำหรับดันปลายหยั่งลงสู่ดิน

ปลายหยั่งที่ใช้เป็นแบบ Begemann, H.K.S., Ph. ลักษณะเป็นรูปกรวยฐานวงกลม พื้นที่ภาคตัดขวาง 10 ตารางเซนติเมตร มุมยอดกรวย 60 องศา เหนือปลายกรวยขึ้นมาเป็นปลอกทรงกระบอกกลมพื้นที่ผิว 150 ตารางเซนติเมตร ปลายหยั่งนี้ต่อเข้ากับท่อเหล็กและแกนกด ซึ่งอยู่ภายในท่อเหล็ก ส่วนโครงสำหรับดันปลายหยั่งลงสู่ดินถูกออกแบบเป็นพิเศษใช้ดันท่อเหล็ก และปลายหยั่งลงไปในดินพร้อม ๆ กันได้ และเมื่อถึงระดับที่ต้องการวัดหน่วยแรงต้านปลายกรวย ก็สามารถทำได้โดยอาศัยกลไกดันเฉพาะแกนกดปลายหยั่งภายในท่อเหล็กกลวง นอกจากนี้ตรงส่วนโครงสำหรับดันปลายหยั่งลงสู่ดินยังมีมาตรวัดความดันที่ใช้ดัน ทั้งท่อเหล็กหรือเฉพาะแกนกดปลายหยั่งติดอยู่ อัตรากดปลายหยั่งควบคุมโดยใช้พันเฟืองช่วย

การวัดหน่วยแรงต้านปลายกรวยและหน่วยแรงต้านข้างปลอกในสนาม เมื่อติดตั้งเครื่องมือตรงจุดที่ต้องการสำรวจเสร็จ เริ่มสำรวจดินโดยดันท่อเหล็กและปลายหยั่งลงสู่ดินพร้อม ๆ กัน จนปลายหยั่งถึงระดับใต้ผิวดิน 1 เมตร จึงวัดหน่วยแรงต้านปลายกรวยโดยอาศัยกลไกดันเฉพาะแกนกดปลายหยั่งลงไปในดินด้วยอัตราประมาณ 1 ซม./วินาที เมื่อปลายกรวยเคลื่อนที่สุดแล้วอ่านค่าความดันที่ใช้จากมาตรวัดพร้อมกับดันแกนกดปลายหยั่งต่อไปอีกด้วยอัตราเท่าเดิม ครั้งหลังนี้ปลายกรวยและปลอกข้างบนจะเคลื่อนที่ไปด้วยกัน อ่านค่าความดันที่ใช้จากมาตรเมื่อปลายกรวยและปลอกข้างบนเคลื่อนสุด

เนื่องจากท่อเหล็กและแกนกดปลายหยั่งยาวท่อนละ 1 เมตร เมื่อต้องการสำรวจดินลึกลงไปกว่า 1 เมตร จึงต้องนำท่อเหล็กและแกนกดปลายหยั่งท่อนใหม่มาต่อเข้ากับท่อนเดิม แล้วดันท่อเหล็กและปลายหยั่งลงไปพร้อม ๆ กันจนปลายหยั่งถึงระดับที่ต้องการสำรวจใหม่ คือระดับ 1.20 เมตรจากผิวดิน วัดหน่วยแรงต้านปลายกรวยและหน่วยแรงต้านข้างปลอกดังเดิม การสำรวจเป็นไปในลักษณะเช่นนี้ทุก ๆ ระยะ 20 เซ็นติเมตร จนถึงระดับลึก 4 เมตร จากผิวดินอันเป็นระดับที่ปลายเสาเข็มลงอยู่ การสำรวจดินบริเวณที่ทำวิจัยด้วย Static Dutch Cone นี้สำรวจดินบริเวณใกล้เสาเข็มทุก ๆ เสา ในระยะห่างจากเสาเข็มไม่เกิน 50 เซนติเมตร

2.3 วิธีสร้างเสาเข็ม

2.3.1 ส่วนประกอบของเสาเข็ม

เสาเข็มที่สร้างขึ้นเป็นไม้ไผ่เลี้ยงลำเล็ก ๆ คัดให้ลำไม้ตรง ยาวประมาณ 4 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางตรงปลายเสาเข็มมีค่าอยู่ระหว่าง 2.2 เซ็นติเมตร และ 2.9 เซ็นติเมตร ส่วนตรงโคนเสาเข็มมีค่าอยู่ระหว่าง 2.9 เซ็นติเมตร และ 3.6 เซ็นติเมตร ปลายทางโคนลำไม้ไผ่มีตะปูปลายแหลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.77 มิลลิเมตร ยาว 3 นิ้ว ตอกระเกะระกะทะลุลำไม้ไผ่เป็นแนวยาวราว 90 เซ็นติเมตร ตะปูแต่ละตัวห่างกันราว 7 เซ็นติเมตร

ปลายลำไม้ไผ่ส่วนที่มีตะปูตอกอยู่นี้ถูกหุ้มด้วยปูนซอเสริมโครงเหล็ก ลำไม้ไผ่ที่เหลือยื่นยาวเลยออกมา 3.10 เมตร รูปร่างปูนซอที่หุ้มเป็นแท่งสี่เหลี่ยมยาว 1.15 เมตร ภาคตัดขวางรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสยาวด้านละ 10 เซ็นติเมตร

โครงเหล็กสำหรับเสริมปูนสอประกอบด้วยเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร 4 เส้น เสริมไว้ตรงมุมทั้งสี่ของเหล็กปลอก เหล็กปลอกทำจากเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ดัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสขอบด้านนอกยาวด้านละ 7.5 เซ็นติเมตร เหล็กปลอกแต่ละปลอกผูกติดเหล็กเสริมทั้ง 4 เส้นทุก ๆ ระยะ 10 เซ็นติเมตร ตลอดความยาวแท่งปูนสอ

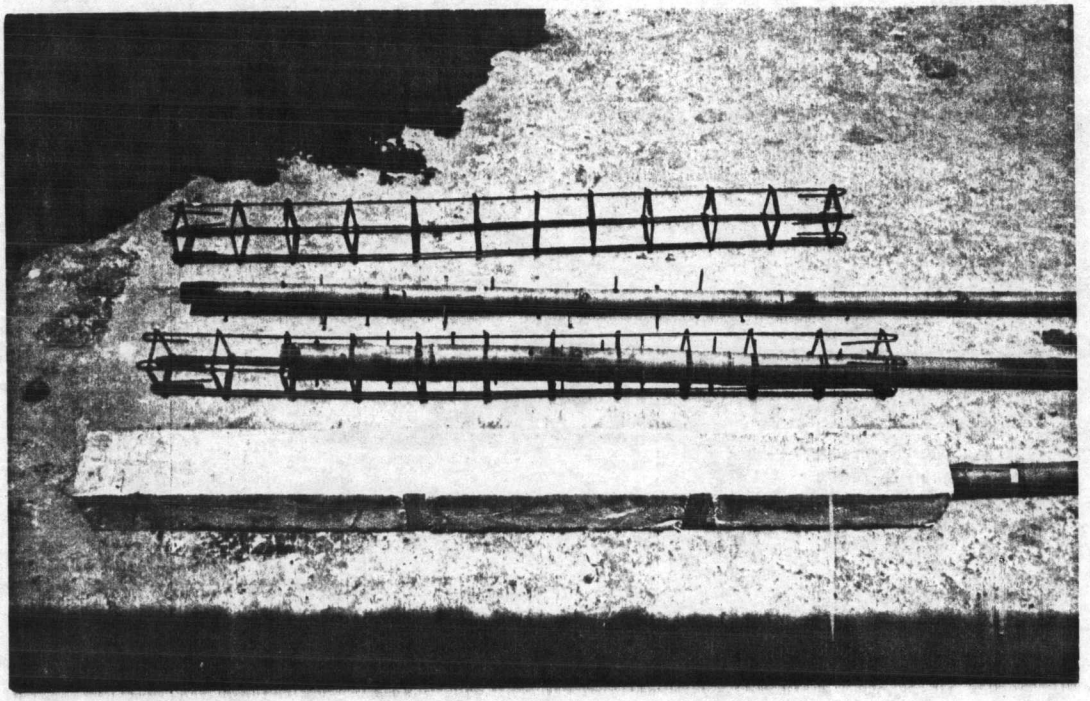
ตรงระยะ 9 เซ็นติเมตรจากปลายแท่งปูนสอมีสกรูน็อตเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/16 นิ้ว ยาว 5 เซ็นติเมตร 4 ตัวฝังอยู่ สกรูทั้ง 4 ฝังลึกอยู่ในปูนสอ 3 เซ็นติเมตร ทางด้านข้างเสาเข็มสองด้านซึ่งอยู่ตรงข้ามกันด้านละ 2 ตัว สกรูแต่ละตัวอยู่ห่างกัน 4 เซ็นติเมตร

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบเสาเข็ม

2.3.2 <u>การเตรียมวัสดุและแบบสำหรับสร้างเสาเข็ม</u>

เมื่อหาไม้ไผ่เลี้ยงตามต้องการได้แล้ว วัดความยาวปล้องไม้ไผ่ทุก ๆ ปล้อง เส้นผ่าศูนย์กลางตรงปลายปล้องบริเวณใกล้ข้อทั้งสองข้าง ตรงกลางปล้อง และตรงข้อไว้หมดทุกปล้อง เลื่อยตัดลำไม้ไผ่ให้ปลายทั้งสองข้างเรียบ เหลือลำไม้ยาวประมาณ 4 เมตร ปลายทางโคนตัดเหนือข้อเล็กน้อย ส่วนปลายที่เหลือตัดใต้และใกล้ข้อให้ได้เส้นผ่าศูนย์กลางตรงปลายลำไม้ไผ่ประมาณ 2.5 เซ็นติเมตร

ใช้สว่านเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้วเจาะรูระเกะระกะทะลุลำไม้ไผ่ทางปลายโคนเป็นแนวยาวราว 90 เซ็นติเมตร เจาะให้รูแต่ละรูห่างกันประมาณ 7 เซ็นติเมตร ตอกตะปูปลายแหลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.77 มิลลิเมตร ยาว 3 นิ้ว ทะลุลำไม้ไผ่



รูปที่ ง.1 ส่วนประกอบเสาเข็ม

ตรงรูที่เจาะ นำโครงเหล็กมาสวมปลายลำไม้ส่วนที่ตอกตะปู เสร็จแล้วจึงสอดลำไม้ไผ่พร้อมกับโครงเหล็กที่สวมอยู่เข้าไปในแบบซึ่งถูกชะโลมด้วยน้ำมันไว้ก่อน โครงแบบทำด้วยไม้อัดหนา 10 มิลลิเมตร เป็นช่องสี่เหลี่ยม 10 ช่องติดกัน แต่ละช่องกว้าง 10 เซ็นติเมตร ยาว 1.15 เมตร ลึก 10 เซ็นติเมตร มีรูสำหรับยึดสกรูน็อตเพื่อฝังติดกับหัวเสาเข็ม

รูปที่ 2.2 แบบสำหรับสร้างเสาเข็ม

2.3.3 <u>การสร้างเสาเข็ม</u>

เมื่อสอดลำไม้ไผ่พร้อมกับโครงเหล็กที่สวมอยู่เข้าไปในแบบครบทุกช่องแล้ว วางลูกปูนซึ่งหนาประมาณ 1.5 เซ็นติเมตรรองรับโครงเหล็กให้ลอยจากพื้นแบบ จัดลำไม้ไผ่ให้อยู่กลางช่อง ใช้ระดับช่วยปรับให้แบบและลำไม้ไผ่อยู่ในแนวราบ เทปูนสอที่ผสมลงในแบบ กระทุ้งให้ปูนสอไหลเข้าเต็มแบบ บ่มปูนสอที่เทไว้ตลอด 7 วันแรก ถอดแบบออกหลังจากเทปูนสอ 4 วัน ปูนสอที่ผสมประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณชนิดที่ 3 1 ส่วน ทรายสะอาด 2.75 ส่วน กับน้ำสะอาด 0.5 ส่วนโดยน้ำหนัก ก่อนลงเสาเข็มเหลาข้อเสาเข็มออก 6 เสา

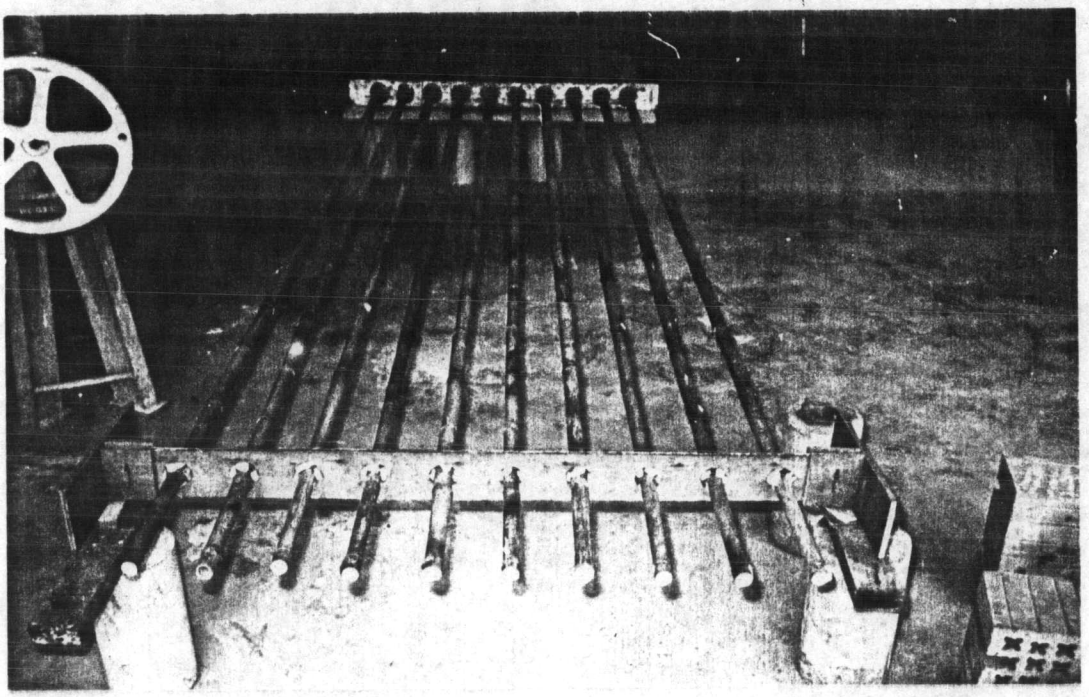
รูปที่ 2.3 การจัดแบบและลำไม้ไผ่

2.4 <u>วิธีลงเสาเข็ม</u>

2.4.1 <u>เครื่องที่ใช้ลงเสาเข็ม</u>

เครื่องมือที่ใช้ลงเสาเข็มประกอบด้วย ท่อนไม้ยาว 50 เซ็นติเมตร หนึ่งท่อนหนัก 12.8 กิโลกรัมทำเป็นสามเกลอ โครงไม้และกรอบตลับลูกปืนสำหรับช่วยบังคับให้เสาเข็มลงดิ่ง

รูปที่ 2.2 แบบสำหรับสร้างเสาเข็ม



รูปที่ 2.3 การจัดแบบและลำไม้ไผ่

โครงไม้มีรูปเป็นโครงสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่ในระนาบดิ่ง ด้านบนและด้านล่างเป็นท่อนไม้ขนาด 2" x 4" สองท่อน ยาวท่อนละ 1.50 เมตร อยู่ในแนวราบ ไม้แต่ละท่อนถูกเจาะรูตรงกลางรูเดียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซ็นติเมตร และถูกเลื่อยทางยาวตลอดผ่านรูที่เจาะออกเป็นสองซีก ซีกไม้ข้างหนึ่งของไม้แต่ละท่อนซึ่งอยู่ข้างเดียวกันถูกเลื่อยตัดตามขวางออกเป็นสามส่วน ส่วนกลางรวมรูที่เจาะไว้ ไม้ทั้งสองซีกประกบติดกันได้โดยอาศัยสลักเกลียวซึ่งสอดผ่านรูที่เจาะทางด้านข้างของไม้แต่ละซีกด้านข้างทั้งสองด้านของโครงไม้เป็นโครงฉากสี่โครง ตั้งอยู่ในระนาบดิ่งข้างละ 2 โครง โครงฉากแต่ละข้างขนาบติดกับไม้ท่อนบนด้วยสลักเกลียว ขาของโครงฉากด้านดิ่งเป็นไม้ขนาด 1" x 3" ยาว 1.25 เมตร ถูกเจาะรูที่ระยะ 25 50 75 และ 100 เซ็นติเมตรจากฐาน ส่วนขาของโครงฉากด้านฐานเป็นไม้ขนาด 1" x 3" ยาว 50 เซ็นติเมตร ฐานของโครงฉากนี้ขนาบอยู่ข้างไม้ท่อนล่าง ตรงมุมล่างของโครงไม้มีไม้ขนาด 1" x 3" ยาว 75 เซ็นติเมตร 4 ท่อน แต่ละท่อนถูกยึดด้วยสลักเกลียวเชื่อมไม้ท่อนล่างกับขาดิ่งของโครงฉาก

กรอบตลับลูกปืนทำจากไม้ขนาด 1" x 3" 4 ท่อน ไม้สองท่อนแรกยาวท่อนละ 1.50 เมตร แต่ละท่อนถูกเซาะร่องยาว 4 เซ็นติเมตร สองร่อง ห่างกัน 25 เซ็นติเมตร ไม้สองท่อนหลังยาวท่อนละ 34 เซ็นติเมตร แต่ละท่อนถูกเจาะรูและเซาะร่องยาว 4 เซ็นติเมตร รูที่เจาะอยู่ห่างจากร่องที่เซาะ 25 เซ็นติเมตร ไม้ทั้ง 4 ท่อน ประกอบกันเป็นกรอบสี่เหลี่ยมโดยอาศัยสลักเกลียวซึ่งสอดผ่านรูและร่องที่เจาะยึดไว้ ขอบด้านในของกรอบสี่เหลี่ยมติดตลับลูกปืนทั้ง 4 ด้าน ด้านละตลับ ตลับลูกปืนแต่ละตลับอยู่ห่างจากขอบไม้ด้านในได้ด้วยแกนเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร

ซึ่งสอดผ่านรูตลับลูกปืนและรูที่เจาะไว้บนขาเหล็กฉาก เหล็กฉากที่รองรับแกนเหล็กมีขนาด $1\frac{1}{2}$" x $1\frac{1}{2}$" ถูกตอกติดกับกรอบไม้ แกนเหล็กนี้ถูกเชื่อมติดขอบในของตลับลูกปืนและขาเหล็กฉาก เมื่อประกอบไม้ทั้งสี่ท่อนเป็นกรอบสี่เหลี่ยมแล้ว ตลับลูกปืนที่อยู่ตรงข้ามจะอยู่ห่างกันราว 10 เซ็นติเมตร เนื่องจากร่องที่เซาะอยู่ในกรอบไม้ทำให้สามารถขยับกรอบไม้เข้าออกได้

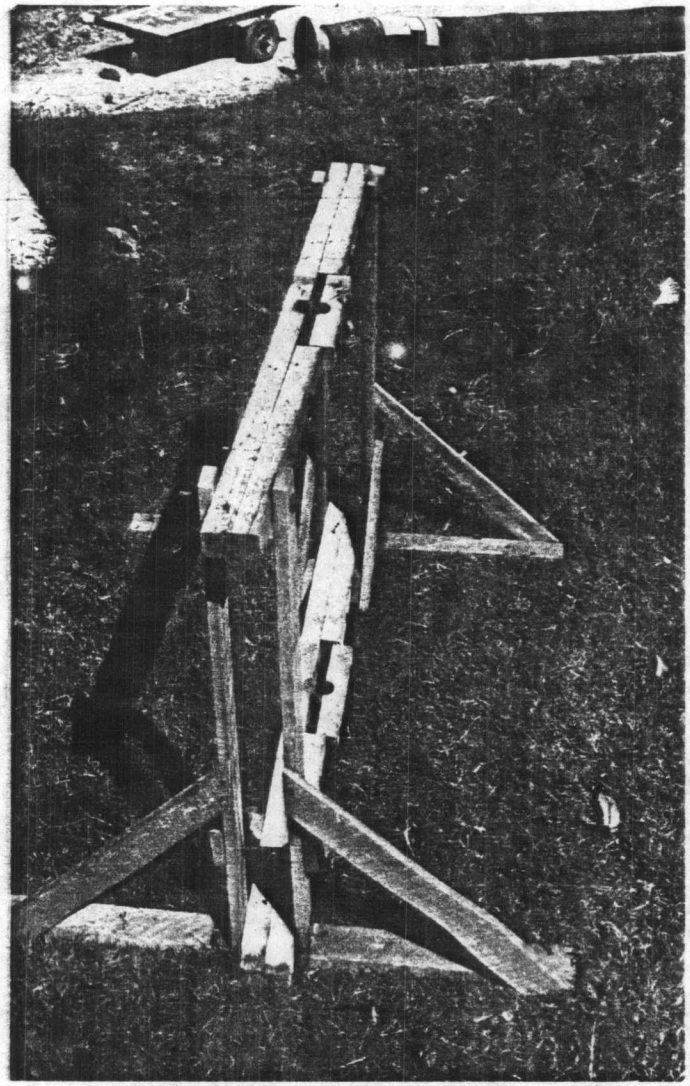
รูปที่ 2.4 เครื่องมือลงเสาเข็ม : โครงไม้ สามเกลอ กรอบตลับลูกปืน

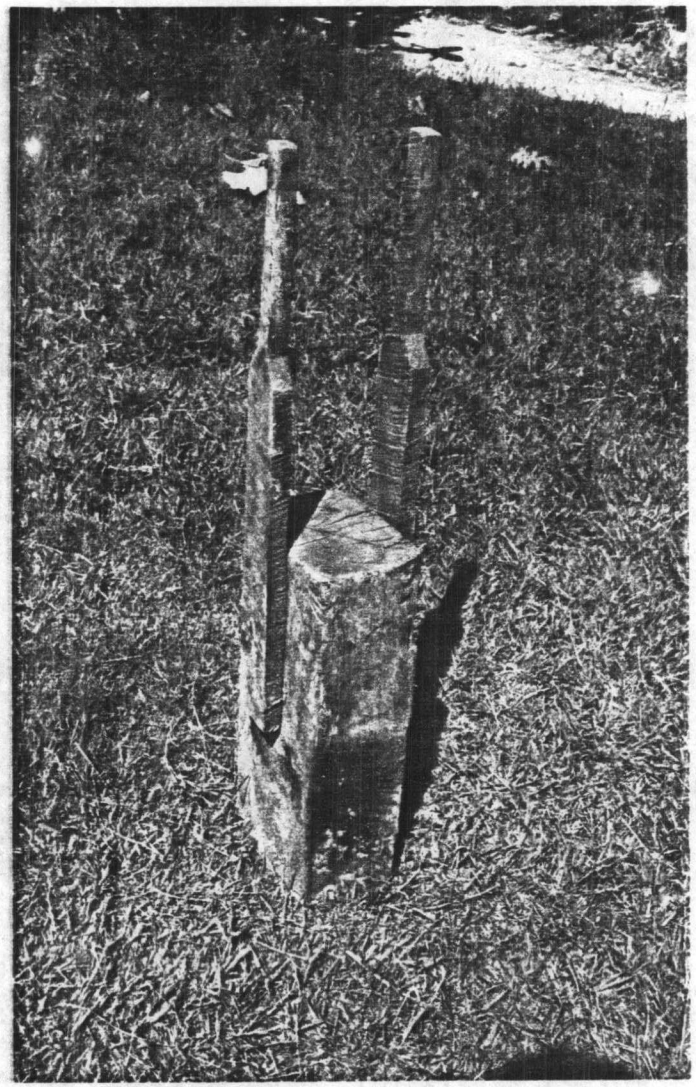
2.4.2 <u>บริเวณที่ลงเสาเข็ม</u>

เสาเข็มทั้งหมดจะถูกนำมาลงในร่องที่ขุดไว้ในสนามบริเวณหน้าห้องทดลองชลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย ร่องกว้าง 50 เซ็นติเมตร ลึกประมาณ 1 เมตร ยาว 4.5 5 4.5 และ 4.5 เมตรตามลำดับ ร่องแต่ละร่องอยู่ห่างกันประมาณ 3 เมตร

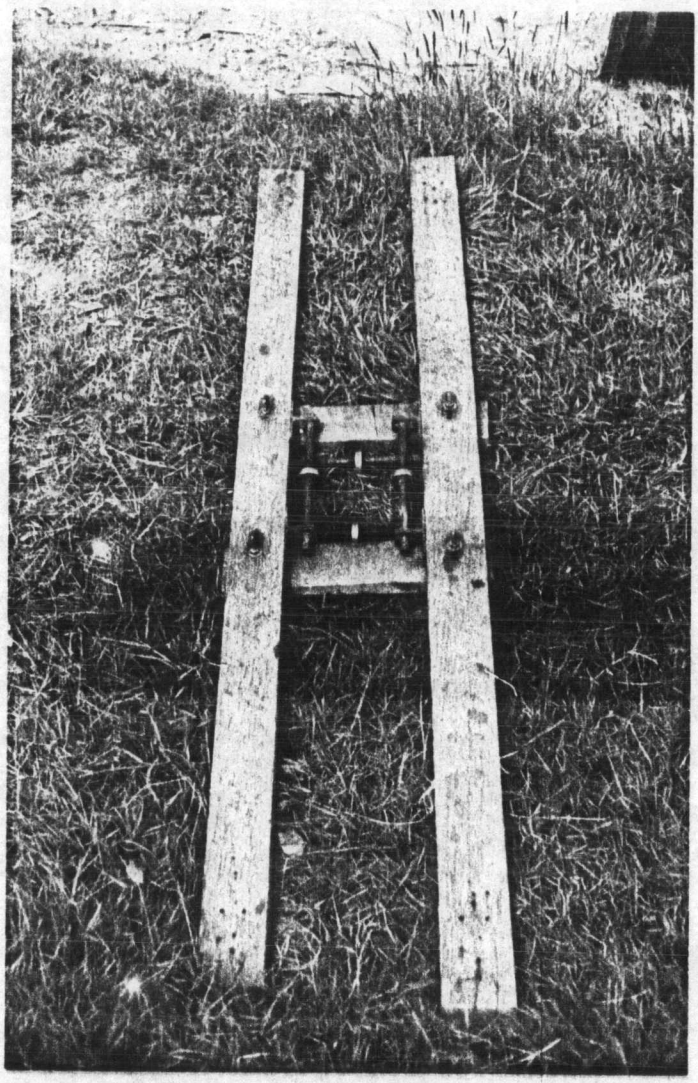
2.4.3 <u>ขั้นตอนการลงเสาเข็ม</u>

วางราวไม้ขนาด 2" x 4" ยาว 7 เมตรสองราว ห่างกัน 1.25 เมตร ขนานกับร่อง ยึดราวทั้งสองด้วยสลักเกลียวติดกับไม้ขนาด 1" x 3" ซึ่งฝังลึกอยู่ในดิน 75 เซ็นติเมตร นำโครงไม้สำหรับช่วยบังคับให้เสาเข็มลงดิ่งมาวางคร่อมร่อง ให้ฐานของโครงไม้ตั้งอยู่บนราวทั้งสอง ตอกตะปูยึดฐานโครงไม้ติดกับราว ใช้ลูกดิ่งช่วยจัดให้รูที่เจาะบนโครงไม้ทั้งสองรูอยู่ตรงกันในแนวดิ่ง สูบน้ำออกจากร่องแล้วทิ้งลูกดิ่งจากศูนย์กลางของรูลงสู่พื้นดินในร่อง ปักไม้ตรงจุดที่ทิ้งลูกดิ่งไว้ ถอดชักไม้ส่วนกลาง





รูปที่ 2.4 เครื่องมือลงเสาเข็ม: โครงไม้ สามเกลอ



รูปที่ 2.4 เครื่องมือลงเสาเข็ม: กรอบตลับลูกปืน

ของด้านบนและล่างตรงรูที่เจาะบนโครงไม้ออก ถอนไม้ที่ปักตรงจุดทิ้งดิ่งขึ้น ค่อย ๆ ยกเสาเข็มลงร่อง ให้ปลายเสาเข็มปักตรงจุดที่ทิ้งดิ่งไว้ จัดเสาเข็มให้ผ่านกลางรูในโครงไม้ทั้งสองรู ประกอบซีกไม้ที่ถอดออกทั้งสองท่อนเข้าอย่างเดิมโดยใช้สลักเกลียวยึด กดเสาเข็มลงไปช้า ๆ เมื่อหัวเสาเข็มส่วนที่เป็นปูนสอติดโครงไม้ท่อนบน ถอดสลักเกลียวที่ยึดไม้ท่อนบนติดกับโครงฉากออก เลื่อนไม้ท่อนบนลง 25 เซ็นติเมตร ยึดปลายไม้ทั้งสองข้างติดกับโครงฉากด้วยสลักเกลียว กดเสาเข็มลงไปช้า ๆ ลงเสาเข็มในลักษณะนี้โดยเลื่อนไม้ท่อนบนของโครงไม้ลงมาครั้งละ 25 เซ็นติเมตร แล้วกดเสาเข็มลงตาม เลื่อนไม้ท่อนบนลงจนติดกับไม้ท่อนล่างแล้วจึงถอดโครงไม้ออกจากเสาเข็มและราวไม้

นำกรอบตลับลูกปืนมาสวมหัวเสาเข็มไว้โดยรอบ ตอกตะปูยึดกรอบตลับลูกปืนติดราวไม้ กดเสาเข็มลงช้า ๆ จนถึงระดับที่แท่นปูนสอหุ้มหัวเสาเข็มอยู่สูงจากผิวดินพื้นร่องประมาณ 10 เซ็นติเมตร วัดระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของหัวเสาเข็มกับจุดหลัก 2 จุดไว้ ถอดกรอบตลับลูกปืนออกในบางแห่งไม่สามารถกดเสาเข็มให้ลงไปได้ตลอด เมื่อกดเสาเข็มไม่ลงจึงวางกระสอบทับอยู่บนหัวเสาเข็ม แล้วใช้สามเกลอค่อย ๆ ตอกให้เสาเข็มลงไป เสาเข็มแต่ละเสาลงไว้ห่างกันประมาณ 50 เซ็นติเมตรตามแนวร่อง

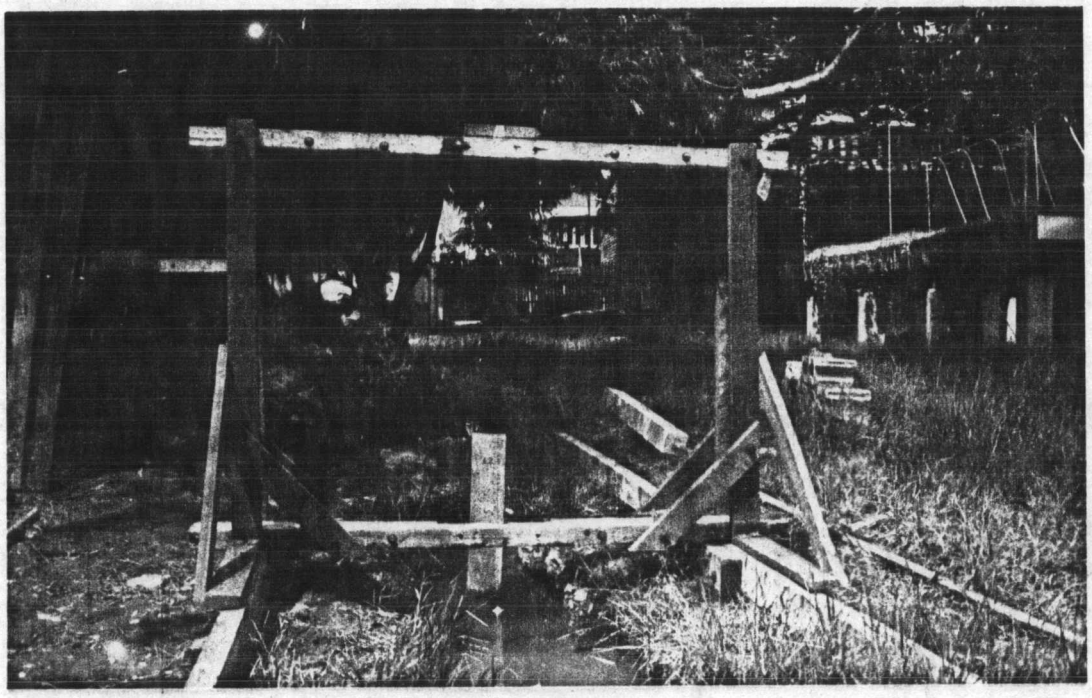
รูปที่ 2.5 การติดตั้งโครงไม้

รูปที่ 2.6 การลงเสาเข็มโดยใช้โครงไม้ช่วย

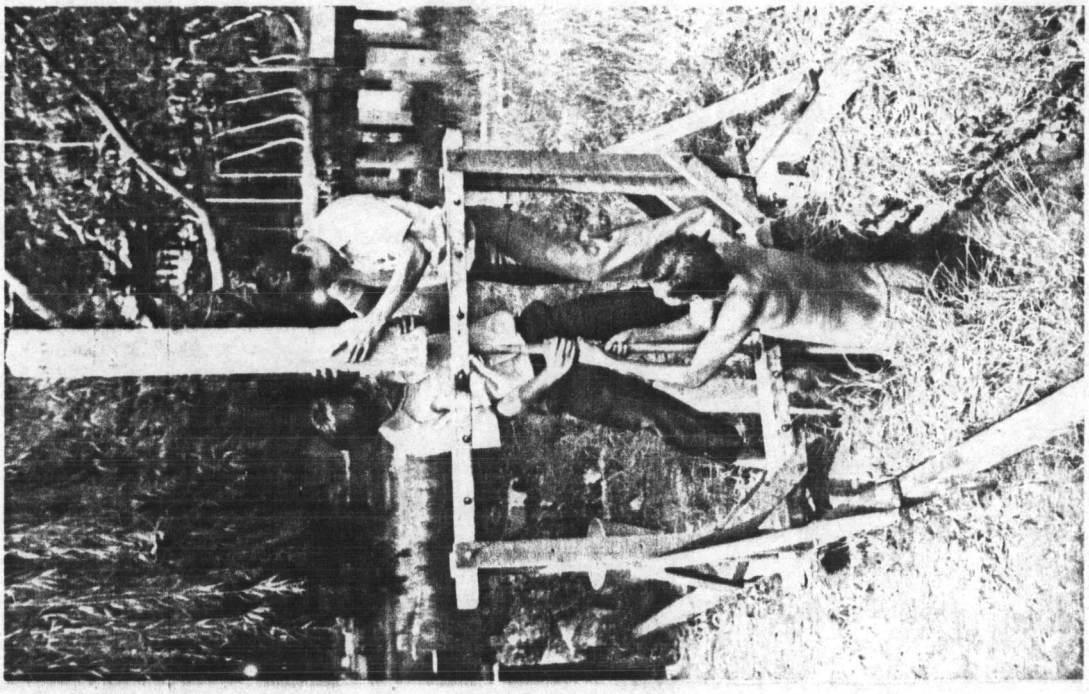
รูปที่ 2.7 การลงเสาเข็มโดยใช้สามเกลอและกรอบตลับลูกปืนช่วย

รูปที่ 2.8 ตำแหน่งเสาเข็มที่ลงแล้ว

รูปที่ 2.9 เสาเข็มที่ลงแล้ว

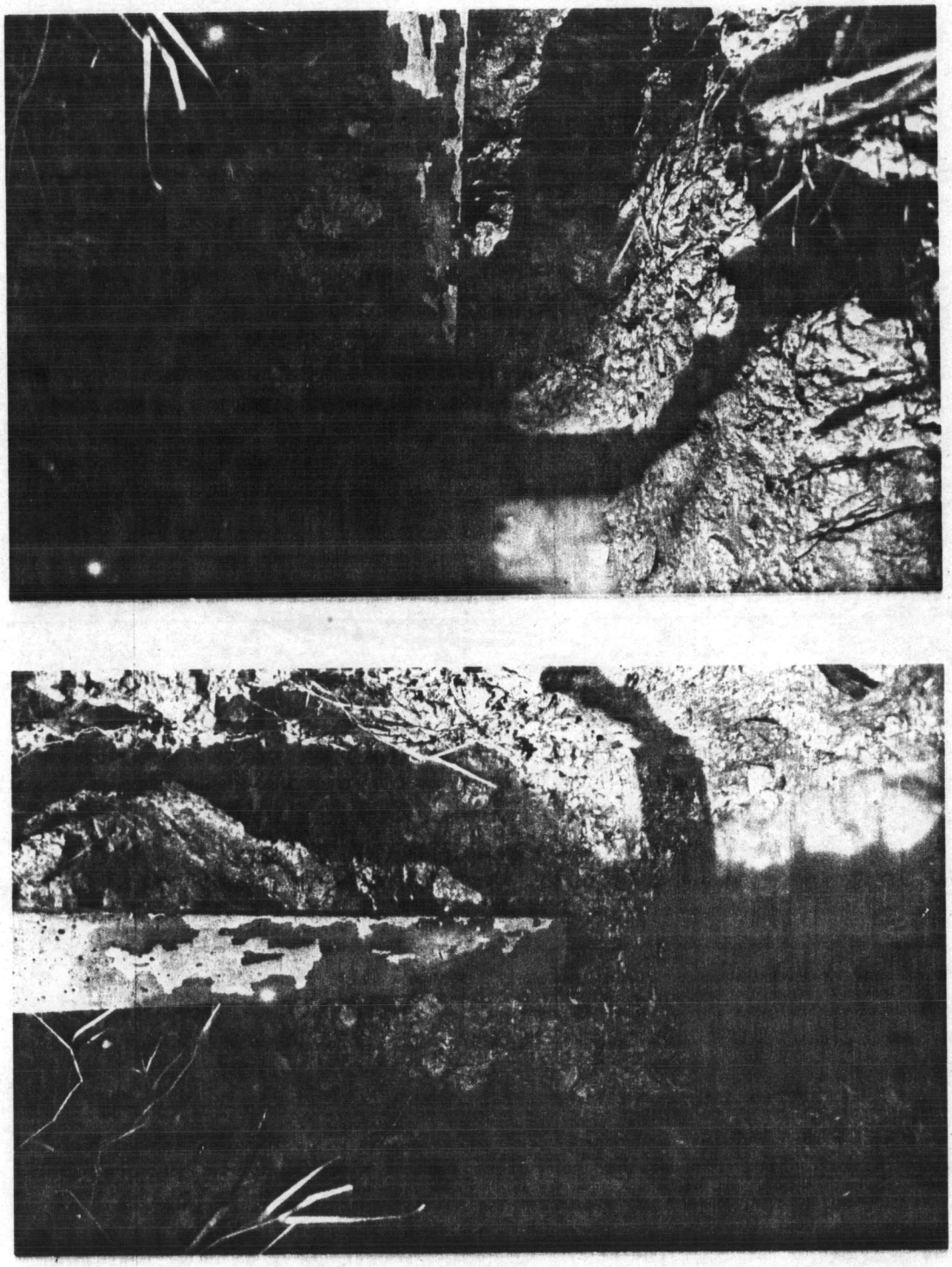


รูปที่ 2.5 การติดตั้งโครงไม้

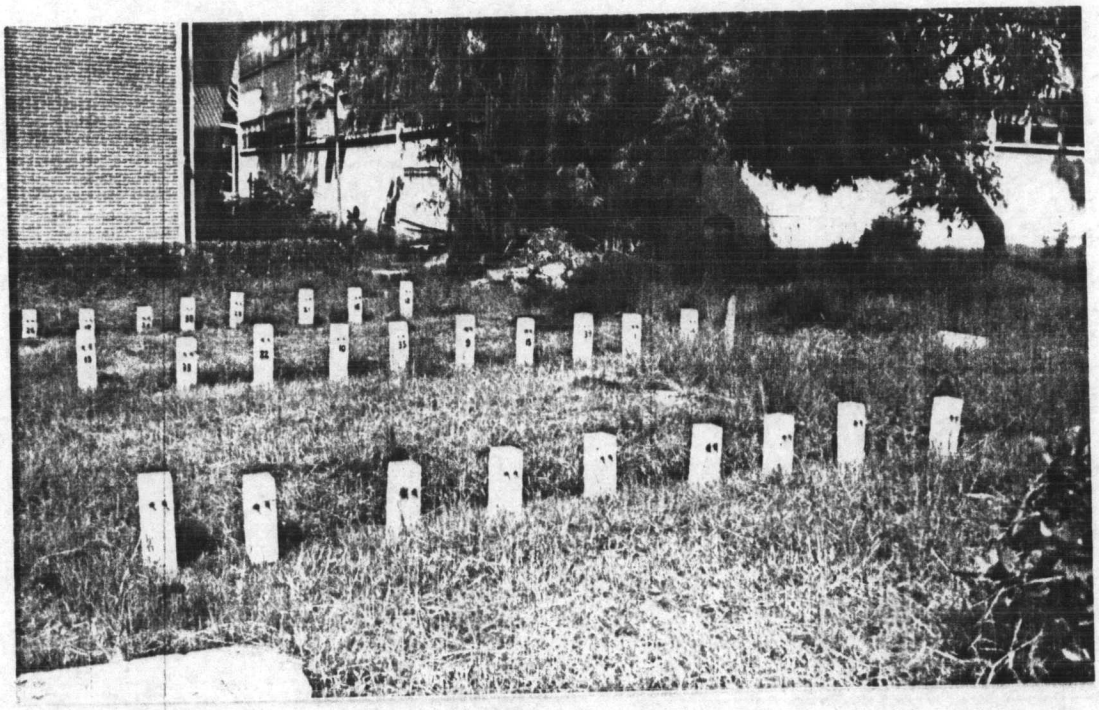


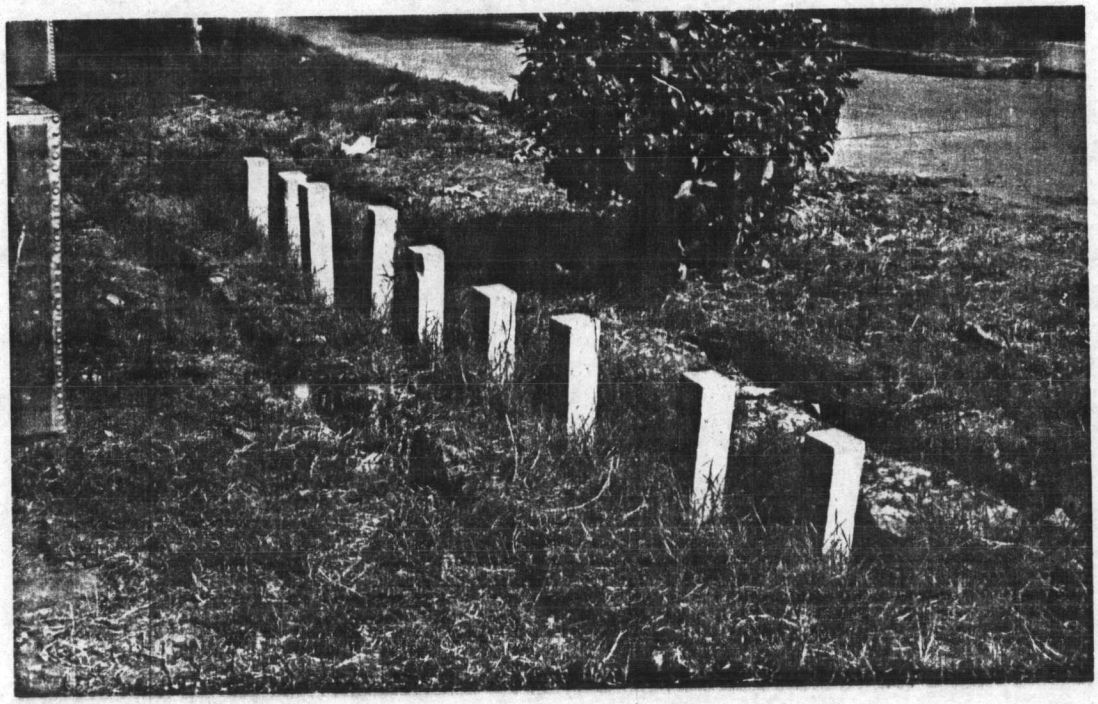
รูปที่ 2.6 การลงเสาแบบเดี่ยวโครงเสร็จ

รูปที่ 2.7 การลงเสาเข็มโดยใช้สามเกลอและกรอบตอบลูกปืนช่วย



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งเสาเข็มที่ลงแล้ว





รูปที่ 2.9 เสาเข็มที่ลงแล้ว

2.5 วิธีทดสอบเสาเข็ม

2.5.1 เครื่องมือทดสอบเสาเข็ม

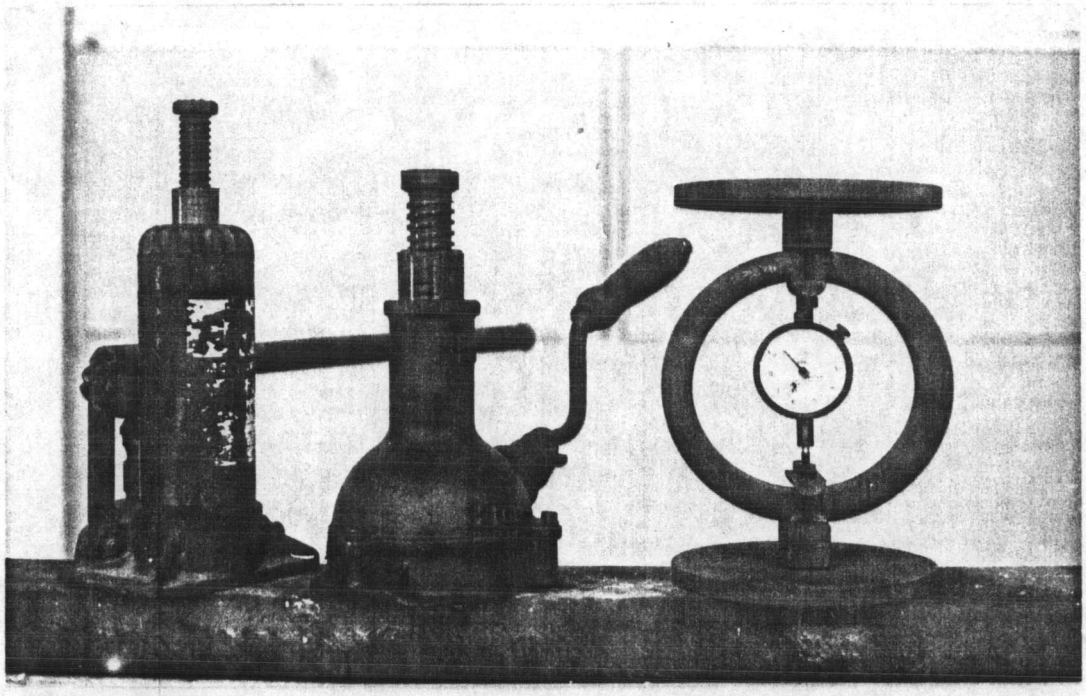
เครื่องมือทดสอบเสาเข็มประกอบด้วย นาฬิกาบอกเวลาได้ละเอียดถึงวินาที วงแหวนวัดแรง วัดแรงได้สูงสุด 3 เมตริกตัน วัดแรงได้ละเอียดถึง 9.75 กิโลกรัม มาตรวัดระยะ วัดระยะได้ยาวสุด 2.5 เซ็นติเมตร วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร แม่แรงไฮดรอลิกซ์ และแม่แรงแบบหมุนขึ้นลงด้วยเกลียวซึ่งสามารถยกของได้หนัก 3 เมตริกตัน ขึ้นสูงสุด 15 เซ็นติเมตร แท่นสำหรับวางน้ำหนักและฐานที่รองรับแท่นออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกบนแท่นได้ 1.5 เมตริกตัน แทงค์ลูกบาศก์ขนาด 0.85 x 0.85 x 0.85 เมตร และขนาด 0.80 x 0.80 x 0.80 เมตร กรอบตลับลูกปืน ผ้าใบ หลอดระดับเทอร์โมมิเตอร์ กระจกผิวเรียบ 2 แผ่น

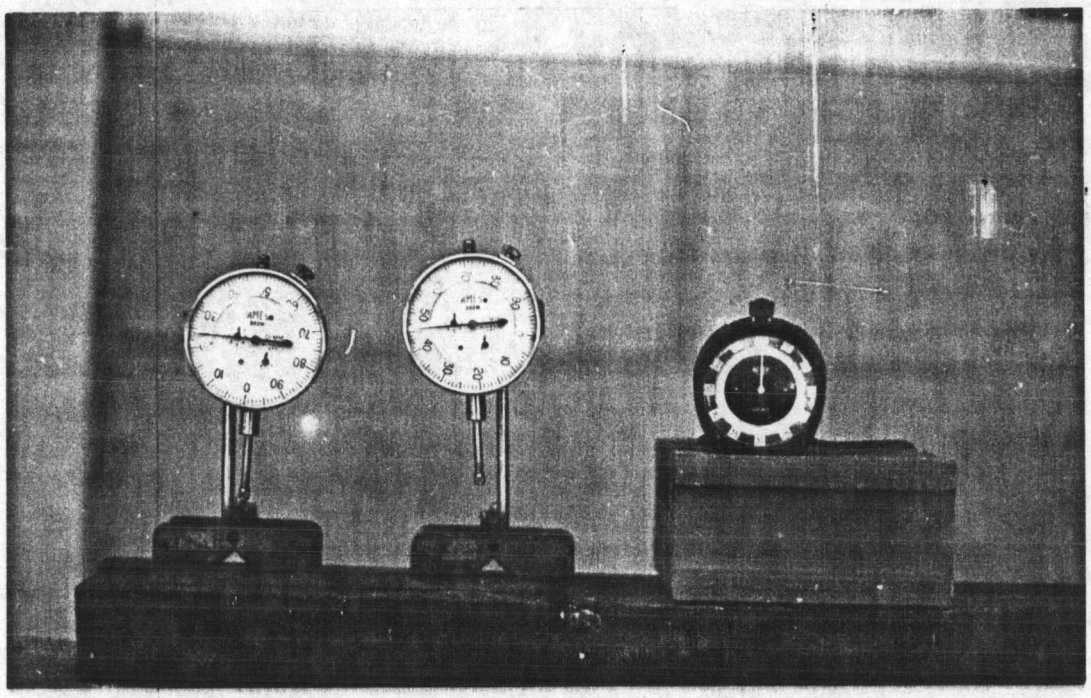
รูปที่ 2.10 เครื่องมือทดสอบเสาเข็ม : แม่แรง วงแหวนวัดแรง มาตรวัดระยะ นาฬิกา กระจก หลอดระดับ เทอร์โมมิเตอร์ กรอบตลับลูกปืน

รูปที่ 2.11 เครื่องมือทดสอบเสาเข็ม : แท่นวางน้ำหนัก ฐานรอง แทงค์น้ำ ผ้าใบ

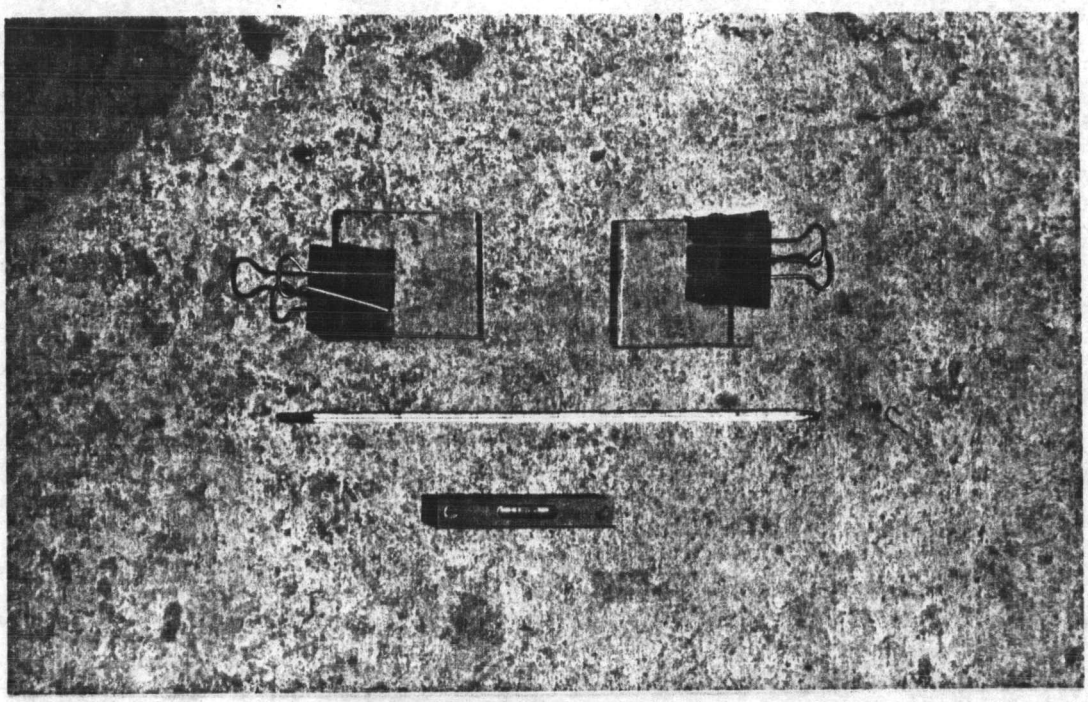
2.5.2 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบเสาเข็ม

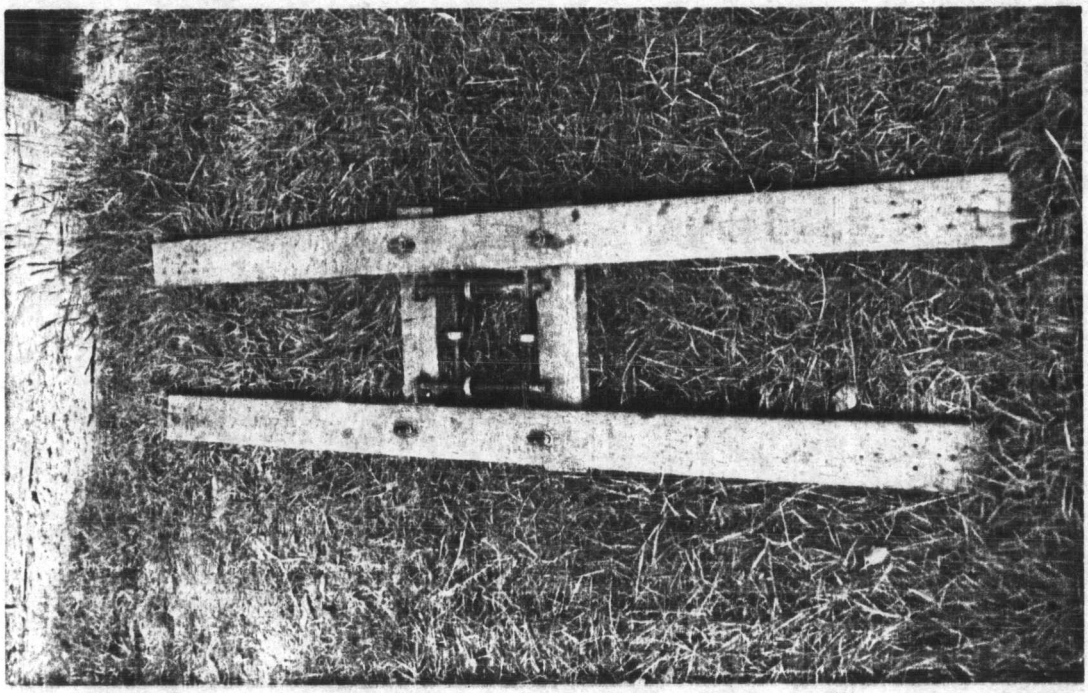
นำกรอบตลับลูกปืนมาสวมรอบหัวเสาเข็ม จัดเสาเข็มให้อยู่ตรงตำแหน่งที่กำหนดไว้ ตอกตะปูยึดกรอบตลับลูกปืนติดราวไม้ที่วางขนานร่องเช่นเดียวกับตอนลงเสาเข็ม วางคานไม้ขนาด 7 x 7 เซ็นติเมตร ยาวประมาณ 4 เมตร สองคาน



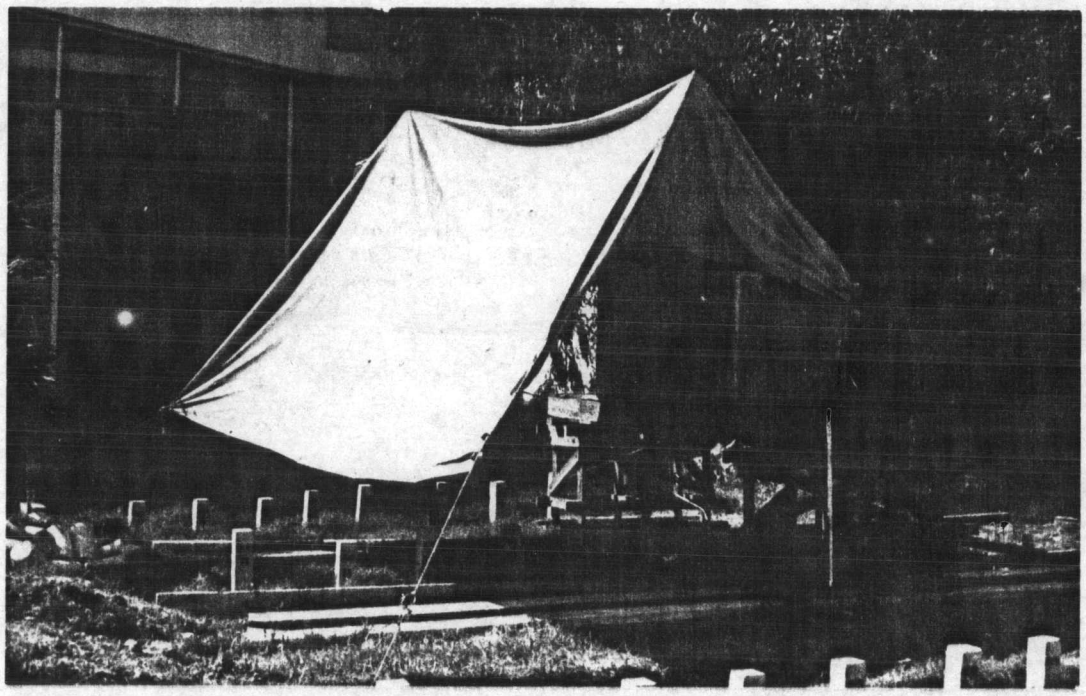


รูปที่ 2.10 เครื่องมือทดสอบเสาเข็ม : แม่แรง วงแหวนวัดแรง มาตรวัดระยะ นาฬิกา





รูปที่ 2.10 เครื่องมือทดสอบเสาเข็ม: กระจก หลอดระดับ เทอร์โมมิเตอร์ กรอบตลับลูกปืน



รูปที่ 2.11 เครื่องมือทดสอบเสาเข็ม : แท่นวางน้ำหนัก ฐานรอง แทงค์น้ำ ผ้าใบ

ขนานร่องขนาบข้างหัวเสาเข็มทั้งสองข้าง ติดมาตรวัดระยะทรุดกับคานทั้งสอง ปลายคานผูกแน่นติดราวไม้ซึ่งอยู่ห่างกันประมาณ 4 เมตร ราวไม้ทั้งสองถูกยึดด้วยสลักเกลียวติดไม้ขนาด 1" x 3" ซึ่งฝังลึกอยู่ในดิน 75 เซ็นติเมตร ตั้งมาตรวัดระยะทรุดทั้งสองอยู่ในแนวเส้นทะแยงมุมของภาคตัดหัวเสาเข็ม ห่างจากจุดศูนย์กลางของหัวเสาเข็มเท่า ๆ กัน ปลายขามาตรสัมผัสผิวหน้ากระจกเรียบซึ่งถูกปรับจนได้ระดับ แผ่นกระจกนี้ถูกหนีบแน่นติดแผ่นอะลูมิเนียมรูปฉาก 10 x 4 เซ็นติเมตร ยาว 20 เซ็นติเมตร แผ่นอะลูมิเนียมทั้งสองถูกเจาะรูและเซาะร่องห่างกัน 4 เซ็นติเมตร เพื่อยึดด้วยน็อตติดสกรูทั้ง 4 ที่ฝังข้างหัวเสาเข็ม

ตั้งวงแหวนวัดแรงบนหัวเสาเข็มซึ่งถูกหุ้มด้วยปูนพลาสเตอร์จนได้ระดับ วางแม่แรงไว้บนวงแหวนวัดแรง ปลายก้านยกของแม่แรงยันกับแผ่นเหล็กสี่เหลี่ยม ขนาด 15 x 15 เซ็นติเมตร หนา 1 เซ็นติเมตร ซึ่งถูกอัดติดใต้แท่นวางน้ำหนัก

แท่นวางน้ำหนักกว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร วางอยู่บนฐานรองรับทั้งสองข้าง ตัวแท่นทอดผ่านร่องเหนือเสาเข็มที่ต้องการทดสอบ ฐานรองรับทั้งสองข้างอยู่ห่างกัน 2.50 เมตร บนแท่นมีแทงค์ลูกบาศก์ 2 ใบ ใส่น้ำเต็มวางอยู่

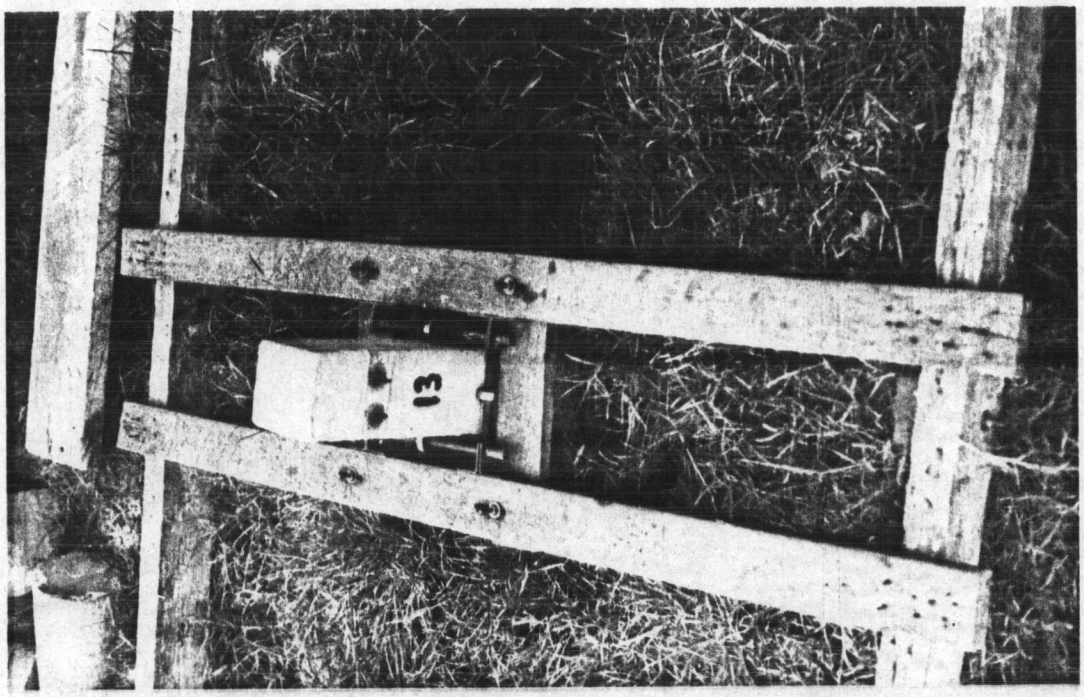
ก่อนทดสอบเสาเข็ม กางผ้าใบคลุมบริเวณที่ทดสอบเสาเข็มป้องกันไม่ให้คานซึ่งไว้ติดมาตรวัดระยะทรุดและเครื่องมือทดสอบเสาเข็มทั้งหมดถูกแสงแดด

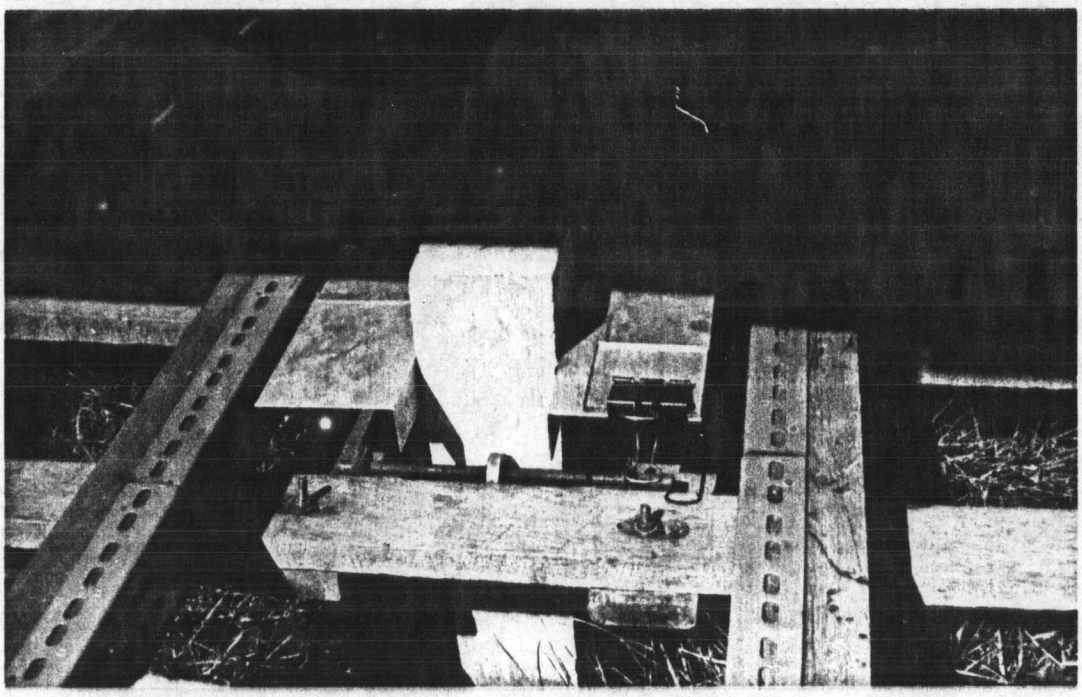
รูปที่ 2.12 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบเสาเข็ม

2.5.3 <u>การประมาณแรงพิบัติของเสาเข็มและระยะทรุดพิบัติของหัวเสาเข็ม</u>[1]

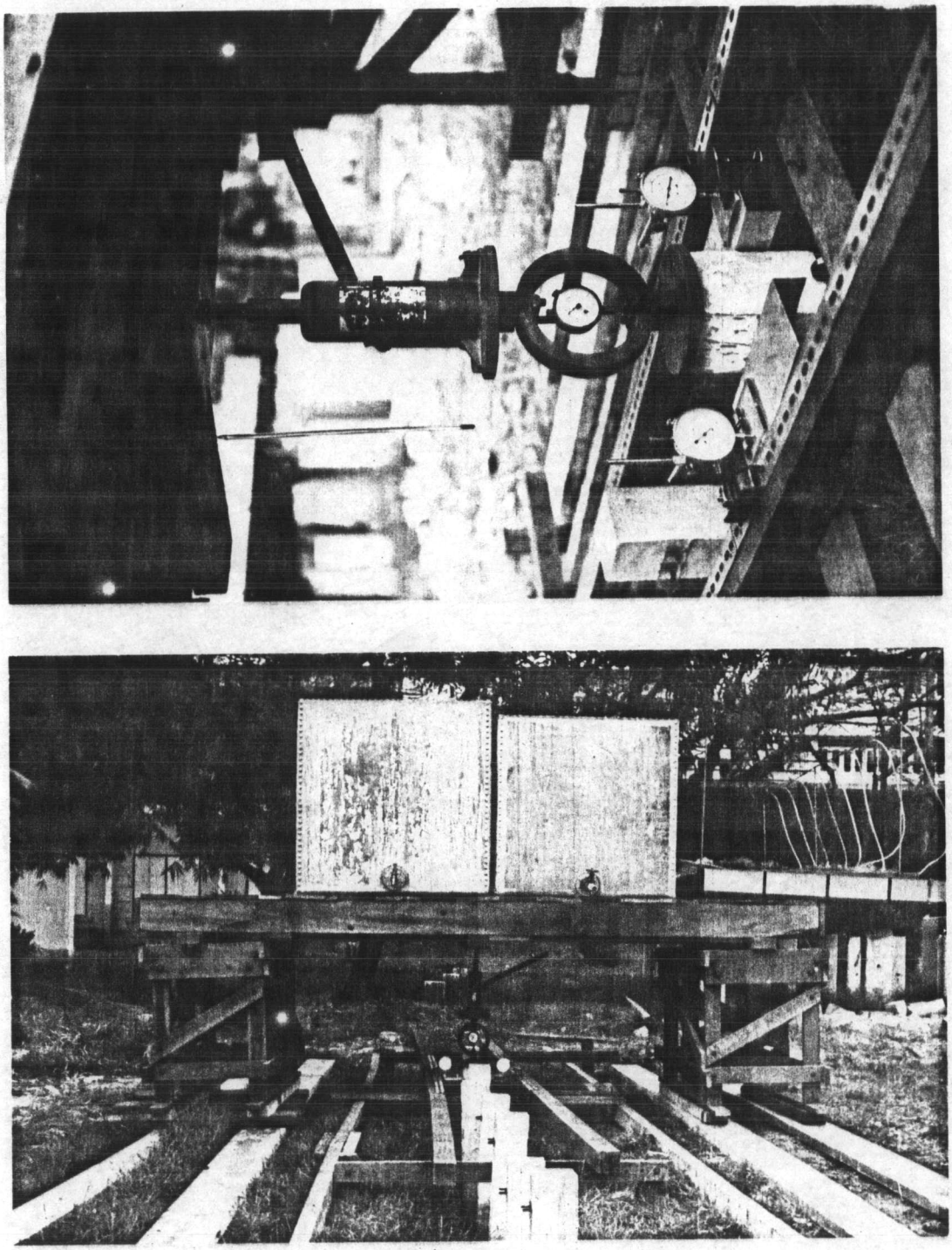
---

[1]ระยะทรุดพิบัติของหัวเสาเข็มคือระยะทรุดของหัวเสาเข็มขณะที่เสาเข็มรับแรงอัดเท่ากับแรงพิบัติของเสาเข็ม





รูปที่ 2.12 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบเสาเข็ม



รูปที่ 2.12 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบเสาเข็ม

แรงพิบัติของเสาเข็มประมาณจาก Static Formula โดยละทิ้งแรงต้านของดินตรงปลายเสาเข็ม ในการประมาณแรงพิบัติของเสาเข็มไม้ไผ่เลี้ยงเดี่ยว อาศัยข้อมูลต่อไปนี้

เสาเข็มไม้ไผ่เลี้ยง : พื้นที่ผิวด้านข้างเสาเข็มที่ฝังอยู่ในดินลึก 3 ม. = 2752 ซม.^{2}

สัมประสิทธิ์การเกาะตัวของดินรอบผิวข้างเสาเข็ม : 0.89 (แสงมหาชัย, 2519)

ดิน : หน่วยกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินรอบ ๆ ผิวข้างเสาเข็มซึ่งได้จากการทดลอง Unconfined Compression Test เฉลี่ยตลอดความลึกของเสาเข็มที่ฝังอยู่ในดิน = 0.2 กก./ซม.^{2}

(Sriratanasathavorn, S., 1975)

จากข้อมูลดังกล่าว แรงพิบัติของเสาเข็มไม้ไผ่เลี้ยงเดี่ยวมีค่าประมาณ 490 กิโลกรัม

ส่วนระยะทรุดพิบัติของหัวเสาเข็มประมาณจากเกณฑ์การพิจารณาหาแรงพิบัติของเสาเข็มของ Terzaghi, K. (1942) โดยถือว่าเส้นผ่าศูนย์กลางตรงปลายเสาเข็มเท่ากับ 2.5 เซ็นติเมตร จากเกณฑ์ดังกล่าวระยะทรุดพิบัติของหัวเสาเข็มไม้ไผ่เลี้ยงเดี่ยว มีค่าประมาณ 2.5 มิลลิเมตร

2.5.4 <u>การเพิ่มหรือลดแรงทดสอบเสาเข็ม</u>

การเพิ่มหรือลดแรงทดสอบเสาเข็มสามารถทำได้โดยอาศัยแม่แรงที่ตั้งยันตัวแท่นกับวงแหวนวัดแรงซึ่งวางอยู่บนหัวเสาเข็ม เมื่อต้องการเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มก็โยกหรือหมุนแม่แรงให้ปลายก้านยกของแม่แรงยืดออกดันแท่นวางน้ำหนักจนได้แรงทดสอบเสาเข็มตามต้องการ ถ้าต้องการลดแรงทดสอบเสาเข็มก็ค่อย ๆ ปล่อยหรือหมุนให้ปลายก้านยกของแม่แรงหดลงเหลือแรงทดสอบเสาเข็มตามต้องการ

2.5.5 การตรวจสอบอิทธิพลของธรรมชาติแวดล้อม (ลม อุณหภูมิ ฯลฯ) ต่อการวัดระยะทรุดของหัวเสาเข็มและแรงทดสอบเสาเข็ม

หลังจากกางผ้าใบคลุมบริเวณที่ทดสอบเสาเข็มเพื่อป้องกันไม่ให้คานซึ่งไว้สำหรับติดมาตรวัดระยะทรุด และเครื่องมือทดสอบเสาเข็มทั้งหมดถูกแสงแดดแล้วก่อนทดสอบเสาเข็ม ตรวจสอบอิทธิพลของธรรมชาติแวดล้อมต่อระยะทรุดของหัวเสาเข็มโดยติดตั้งมาตรวัดระยะทรุดไว้บนคาน ให้ปลายขามาตรสัมผัสกับผิวเรียบของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์หนักซึ่งวางอยู่บนดิน บันทึกตัวเลขบอกระยะที่วัดได้จากมาตรตลอดวัน

ส่วนการตรวจสอบอิทธิพลของธรรมชาติแวดล้อมต่อการวัดแรงทดสอบเสาเข็มก็กระทำในลักษณะเช่นเดียวกันโดยวางวงแหวนวัดแรงไว้บนก้อนคอนกรีตลูกบาศก์หนักซึ่งวางอยู่บนดินใกล้เสาเข็มที่ทดสอบ บันทึกตัวเลขบอกระยะยืดหดของวงแหวนที่อ่านจากมาตรและอุณหภูมิบริเวณที่วางวงแหวนวัดแรงไว้ตลอดวัน

2.5.6 การทดสอบเสาเข็ม

ในการวิจัยนี้เสาเข็มถูกทดสอบด้วยวิธีทดสอบต่าง ๆ กัน 3 วิธี

1. วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test
2. วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Constant Rate of Penetration Test
3. วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test

รายละเอียดของวิธีทดสอบเสาเข็มแต่ละวิธีมีดังนี้

วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test ทดสอบเสาเข็มโดยเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นเป็นขั้น ๆ เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขั้นครั้งละ 10 % ของแรงที่คาดว่าเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม คงแรงทดสอบเสาเข็มแต่ละขั้นไว้จนอัตราทรุด

ของหัวเสาเข็มเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.305 มม./ชั่วโมง (0.001 ฟุต/ชั่วโมง) แล้วจึงเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นมากกว่าเดิม

บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็มก่อนและหลังเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มทันทีทุกครั้งและหลังจากเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นแล้ว 1 2 4 8 15 30 60 นาที และทุก ๆ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น ระหว่างทดสอบเสาเข็ม ตรวจสอบอัตราทรุดของหัวเสาเข็มทุกครั้งหลังจากบันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็ม

ทดสอบเสาเข็มจนพิบัติ การพิบัติของเสาเข็มเกิดขึ้นเมื่อหัวเสาเข็มทรุดลงเรื่อย ๆ โดยไม่ได้เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นในขณะที่อัตราทรุดของหัวเสาเข็มเพิ่มมากขึ้นจนไม่สามารถลดลงสู่อัตราทรุด 0.305 มม./ชั่วโมง (0.001 ฟุต/ชั่วโมง) เมื่อเสาเข็มพิบัติ หยุดคงแรงทดสอบเสาเข็ม ปล่อยให้เสาเข็มทรุดลง บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็มและแรงทดสอบเสาเข็มทันที และหลังจากหยุดคงแรงทดสอบเสาเข็ม 1 2 4 8 15 30 60 นาที และทุก ๆ 1 ชั่วโมงหลังจากนั้น จนกว่าอัตราทรุดของหัวเสาเข็มเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.305 มม./ชั่วโมง (0.001 ฟุต/ชั่วโมง)

<u>วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test</u> ทดสอบเสาเข็มโดยปรับแรงทดสอบเสาเข็มให้เสาเข็มทรุดลงดินด้วยอัตราทรุดของหัวเสาเข็มเท่ากับ 0.50 มม./นาที (0.02 นิ้ว/นาที) 0.35 มม./นาที)(0.014 นิ้ว/นาที) 0.25 มม./นาที (0.01 นิ้ว/นาที) และ 0.10 มม./นาที (0.004 นิ้ว/นาที) ในการทดสอบเสาเข็มด้วยอัตราทรุดของหัวเสาเข็มแต่ละอัตรา ทดสอบเสาเข็มจนพิบัติ การพิบัติของเสาเข็มเกิดขึ้นเมื่อแรงทดสอบเสาเข็มถึงค่าสูงสุด

บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็ม แรงทดสอบเสาเข็มทุก ๆ 30 วินาที ก่อนเสาเข็มพิบัติยกเว้นสำหรับการทดสอบเสาเข็มด้วยอัตราทรุดของหัวเสาเข็ม 0.10 มม./นาที บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็ม แรงทดสอบเสาเข็มทุก ๆ 1 นาที ก่อนเสาเข็มพิบัติ หลังจากเสาเข็มพิบัติ บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็ม แรงทดสอบเสาเข็มทุก ๆ 5 นาที ระหว่างทดสอบเสาเข็ม คอยสังเกตุและบันทึกค่าแรงทดสอบเสาเข็มสูงสุดจากมาตรวัดแรงทดสอบเสาเข็ม หยุดทดสอบเสาเข็มเมื่อหัวเสาเข็มทรุดลงอย่างน้อย 20 มม. หลังจากแรงทดสอบเสาเข็มถึงค่าสูงสุด

<u>วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test</u> ทดสอบเสาเข็มโดยเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มเป็น 25 50 70 80 85 90 95 100 % ของแรงที่คาดว่าเป็นแรงพิบัติของเสาเข็มและเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นอีกครั้งละ 5 % ของแรงที่คาดว่าเป็นแรงพิบัติของเสาเข็มหลังจากทดสอบเสาเข็มถึงแรงทดสอบเสาเข็มเท่ากับ 100 % ของแรงที่คาดว่าเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม ทันทีที่เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นแต่ละขั้นทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็มโดยคงแรงทดสอบเสาเข็มไว้ 3 นาที แล้วลดแรงทดสอบเสาเข็มลงเหลือ 50 % ของแรงทดสอบเสาเข็มขณะนั้น คงแรงทดสอบเสาเข็มที่ลดลงไว้ 3 นาที ทดสอบเสาเข็มซ้ำในลักษณะนี้หลาย ๆ ครั้งจนระยะทรุดของหัวเสาเข็มหลังการทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็มภายใต้แรงทดสอบต่ำสุดในขั้นนั้นคงตัว ถือเอาผลต่างของระยะทรุดของหัวเสาเข็มภายใต้แรงทดสอบเสาเข็มต่ำสุดที่อยู่ถัดกัน ต่างกันไม่เกิน 0.005 มม. สองครั้งติดต่อกันเป็นเกณฑ์จึงเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นใหม่

บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็มทุกครั้งทันทีก่อนและหลังเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็ม หยุดทดสอบเมื่อเสาเข็มพิบัติ การพิบัติของเสาเข็มเกิดขึ้นเมื่อระยะทรุดเพิ่มของหัวเสาเข็มหลังการทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็มภายใต้แรงทดสอบเสาเข็มต่ำสุดในขั้นนั้นเพิ่มขึ้นมากแต่ละครั้งที่เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มซ้ำ

2.5.7 <u>การวัดระยะทรุดของหัวเสาเข็มและวิธีแก้ไขระยะทรุดของหัวเสาเข็ม</u>

ระยะทรุดของหัวเสาเข็มเริ่มวัดในขณะที่มีแรงทดสอบเสาเข็มน้อย ๆ กดหัวเสาเข็ม ไม่ได้วัดระยะทรุดของหัวเสาเข็มในขณะที่แรงทดสอบเสาเข็มเป็นศูนย์ สำหรับการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test และการทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test เริ่มวัดระยะทรุดของหัวเสาเข็มในขณะที่มีแรงทดสอบเสาเข็ม 6 % ของแรงที่คาดว่าเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม ส่วนการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test เริ่มวัดระยะทรุดของหัวเสาเข็มในขณะที่มีแรงทดสอบเสาเข็ม 10 % ของแรงที่คาดว่าเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม

วิธีแก้ไขระยะทรุดเนื่องจากแรงทดสอบเสาเข็มที่เพิ่มขึ้นไว้ก่อนนี้ ในการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test และ C.R.P. Test แก้ไขโดยต่อเส้นกราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม–ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม ช่วงแรกให้เลยออกมาตัดแกนแสดงระยะทรุดของหัวเสาเข็ม ส่วนตัดของเส้นกราฟกับแกนแสดงระยะทรุดของหัวเสาเข็มเป็นระยะทรุดของหัวเสาเข็มที่นำมาแก้ไขเพิ่ม สำหรับการทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test แก้ไขระยะทรุดของหัวเสาเข็มในลักษณะเช่นเดียวกันโดยต่อเส้นกราฟแรงทดสอบเสาเข็มสูงสุดในขั้น–ระยะทรุดของหัวเสาเข็มภายใต้แรง

ทดสอบต่ำสุดในขั้น ช่วงแรกให้เลยออกมาตัดแกนแสดงระยะทรุดของหัวเสาเข็มภายใต้แรงทดสอบต่ำสุดในขั้น ส่วนตัดของเส้นกราฟกับแกนแสดงระยะทรุดของหัวเสาเข็มภายใต้แรงทดสอบต่ำสุดในขั้นเป็นระยะทรุดของหัวเสาเข็มที่นำมาแก้ไขเพิ่ม

2.6 วิธีหาแรงพิบัติของเสาเข็มจากข้อมูลการทดสอบเสาเข็ม

วิธีหาแรงพิบัติของเสาเข็มจากข้อมูลการทดสอบเสาเข็มในการวิจัยนี้ อาศัยเกณฑ์ต่อไปนี้ประกอบการพิจารณาหาแรงพิบัติของเสาเข็ม

ในการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test ถือเอาแรงทดสอบเสาเข็มซึ่งทำให้อัตราทรุดของหัวเสาเข็มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ไม่สามารถลดลงสู่อัตราทรุด 0.305 มม./ชั่วโมง (0.001 ฟุต/ชั่วโมง) ได้อีก ในขณะที่คงแรงทดสอบเสาเข็มนั้นไว้ เป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม

สำหรับการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test ถือเอาแรงทดสอบเสาเข็มสูงสุดเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม ส่วนการทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test ถือเอาแรงทดสอบเสาเข็มสูงสุดในขั้นซึ่งทำให้ระยะทรุดของหัวเสาเข็มภายใต้แรงทดสอบเสาเข็มต่ำสุดในขั้นเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ไม่สามารถคงที่ได้อีก หลังจากทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็ม แต่ละครั้งที่ทดสอบซ้ำ เป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม