บทที่ 3

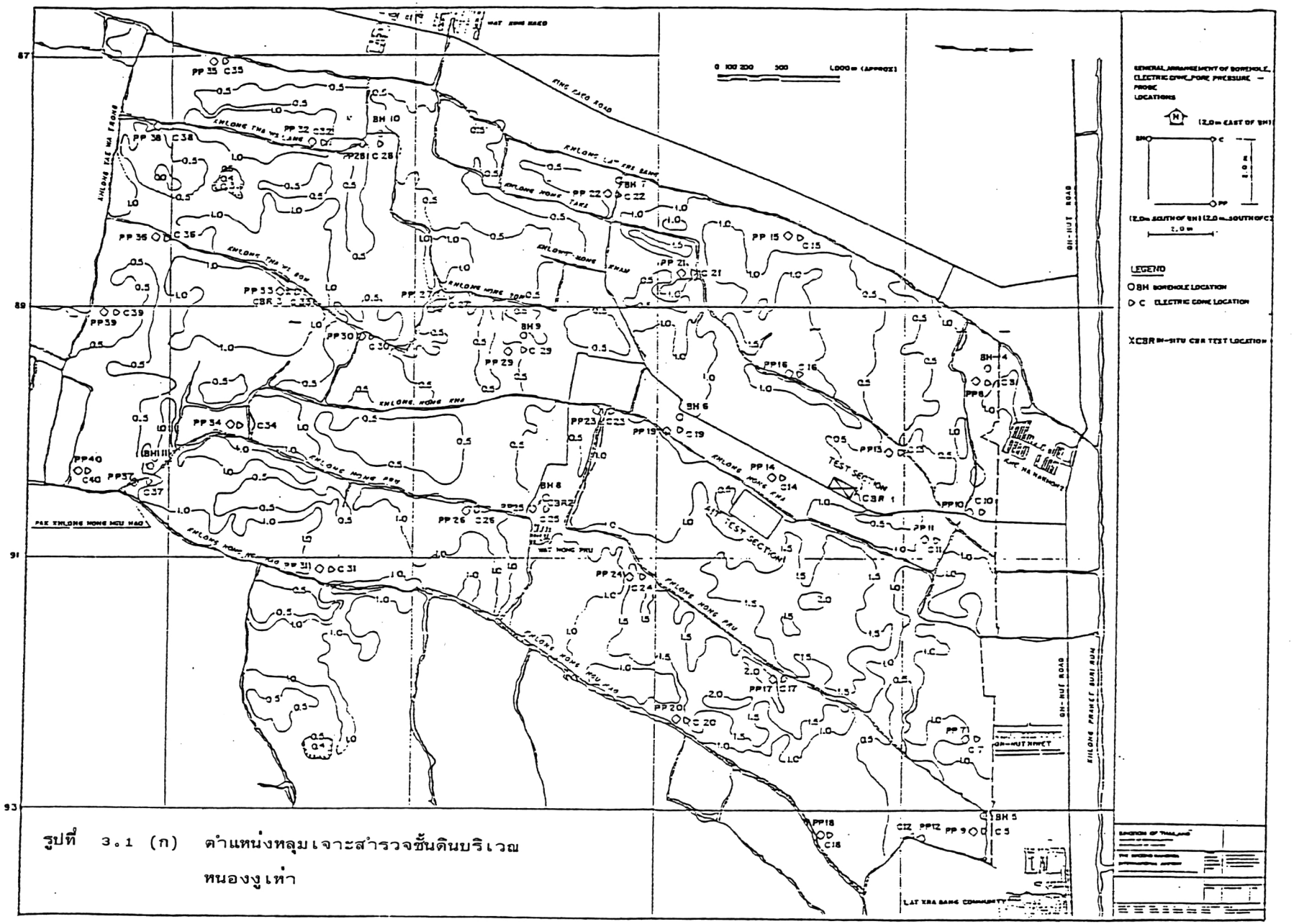
การทดสอบหาคุณสมบัติของดินและการทำแปลงทดสอบ

3.1 การเจาะสำรวจชั้นดินและการทดสอบหาคุณสมบัติของดิน

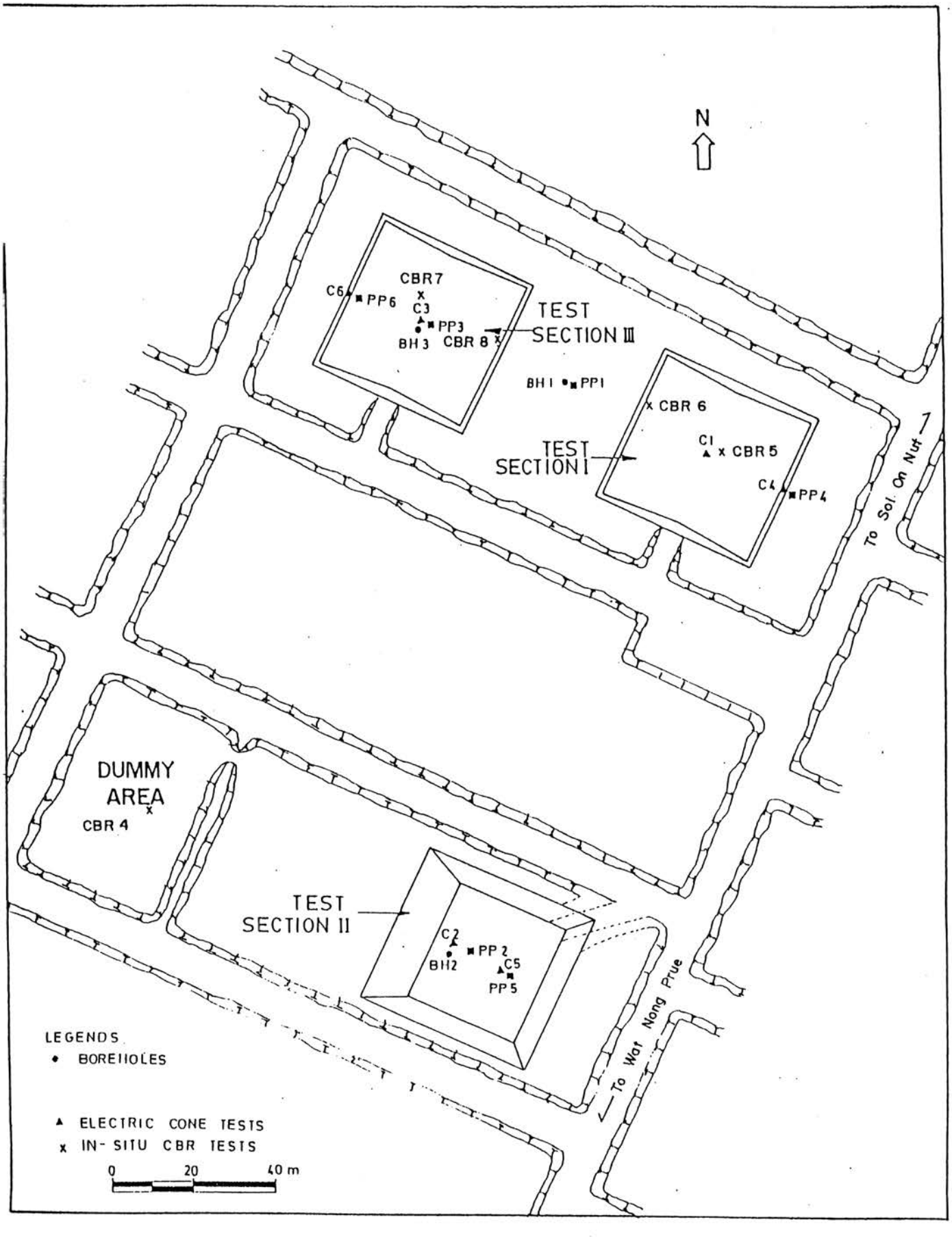
3.1.1 การขุดเจาะสำรวจและการเก็บตัวอย่าง (Drilling and Sampling)

ในบริเวณพื้นที่ที่จะทำการปรับปรุงดินนี้ ได้ทำการขุดหลุมเจาะสำรวจชั้นดินและเก็บตัวอย่าง 11 หลุมเจาะ โดยตำแหน่งของหลุมเจาะเหล่านี้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.1 (a) และ 3.1 (b) โดยหลุมเจาะ 3 หลุม BH 1, BH 2 และ BH 3 เป็นหลุมที่เจาะบริเวณพื้นที่แปลงทดสอบ ส่วนอีก 8 หลุม กระจายรอบบริเวณสนามบิน คิดคลุมพื้นที่ประมาณ 32 ตร.กิโลเมตร โดยมีระยะระหว่างหลุมเจาะประมาณ 3 กิโลเมตร ยกเว้นในบริเวณพื้นที่ของแปลงทดสอบ ความลึกของหลุมเจาะ 7 หลุม คือ BH 1, BH 2, BH 5, BH 6 BH 7, BH 9 และ BH 11 เจาะลึกประมาณ 35 เมตร จากผิวดินถึงชั้นทรายที่เหลืออีก 7 หลุม เจาะลึกประมาณ 17 เมตร จากผิวดินทำให้ถึงชั้น Stiff Clay ประมาณ 2 ถึง 3 เมตร

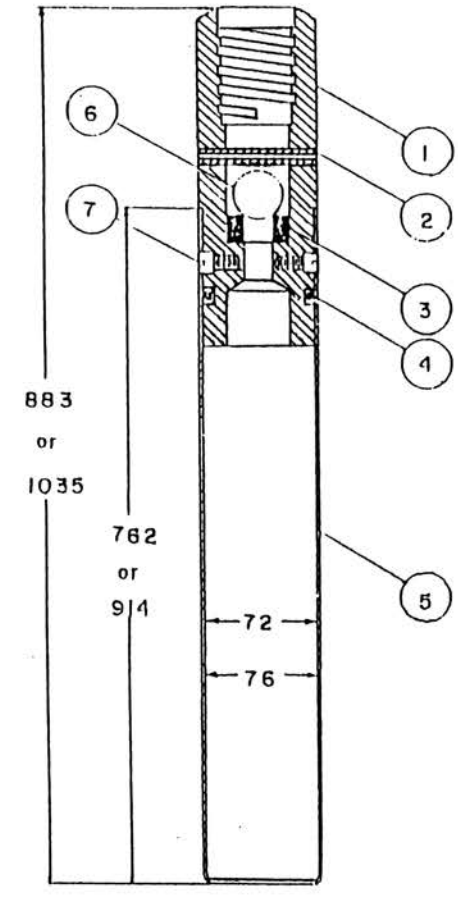
การเก็บตัวอย่างดินเป็นการเก็บแบบไม่รบกวน (undisturbed soil sample) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. ยาว 50 ซม. โดยเก็บทุกระยะ 2 เมตร ในแต่ละหลุมเจาะ ยกเว้น BH 1, และ BH 2 ที่เก็บตัวอย่างต่อเนื่อง และใน BH 3 ยังเป็นการเก็บตัวอย่างดิน ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. ยาว 50 ซม. เพื่อให้ได้ตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนขนาดใหญ่ นำมาใช้ทดสอบทางห้องปฏิบัติการพิเศษเพิ่มขึ้นอีก เพื่อให้แน่ใจว่า ตัวอย่างของดินที่ได้มีความคงตัว (consistency) และลดขนาดความรบกวน (degree of disturbance) เหมาะสำหรับนำไปทดสอบต่อเนื่องในช่วงเดียว (one single test series) เครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่างดิน ใช้ทั้ง Shelby Tube Sampler และ Stationary piston Sampler เพื่อให้ได้ตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. รูปตัดขวางของ Shelby tube Sampler และ Stationary Piston Sampler แสดงอยู่ในรูปที่ 3.2 และ 3.3 หลุมเจาะแต่ละหลุมจะใช้ปลอกเหล็ก (casing) เพื่อกันดินในหลุมเจาะพังลงมา วิธีเจาะดินจะใช้หัวเจาะทางปลา (fishtail bit) เจาะดิน แล้วใช้น้ำล้างหลุม (washboring) ออกไปจนถึงความลึกที่ต้องการแล้วจึงเก็บตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.1 (ก) ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณหนองงูเห่า



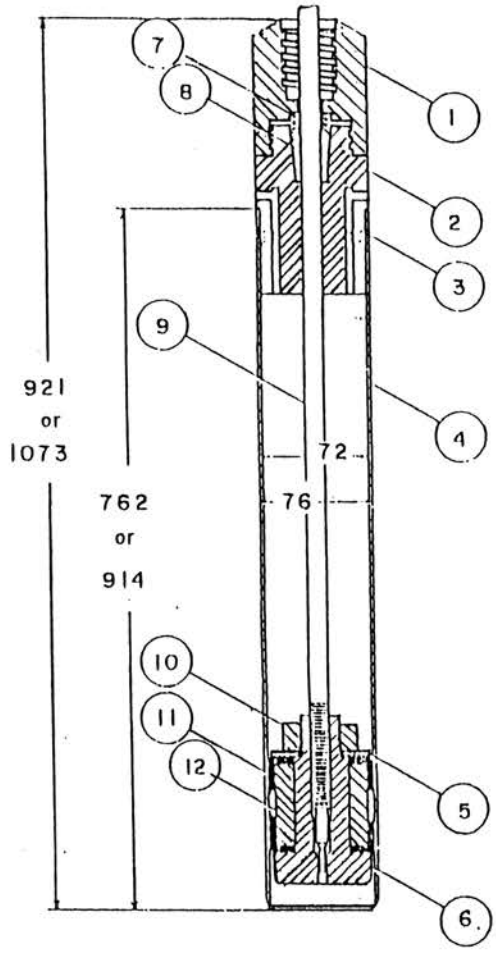
รูปที่ 3.1 (ข) ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณหนองงูเห่า



1. Connector (Head)
2. Pin
3. Rubber Seal
4. "O" Ring
5. Thin Wall Tube
6. Ball Valve
7. Screw

Note : All Dimensions are in mm.

รูปที่ 3.2 รูปตัดขวางของ Shelby Tube Sampler



1. Top Head
2. Bottom Head
3. Screw
4. Thin Wall Tube
5. Piston Washer
6. Piston
7. Spring
8. Piston Rod Lock
9. Piston Rod
10. Piston Rod
11. Buckets
12. Buckets Spacer

Note : All dimensions are in mm.

รูปที่ ๓.๓ รูปตัดขวางของ Stationary Piston Sampler

ในส่วนของหลุมเจาะที่เจาะลึกถึงชั้น Stiff Clay หรือชั้นทราย ใช้เครื่องมือ Standard Penetration Test เพื่อหาความแน่นของดิน โดยทำทุกช่วงระยะ 1 เมตร ตลอดชั้น Stiff Clay หรือ ชั้นทราย ตัวอย่างของดินที่จะเก็บเป็นตัวอย่างที่ถูกรบกวนแล้ว โดยใช้ Split Spoon Sampler นอกจากการเก็บตัวอย่างดินแล้ว ยังเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 15 ตัวอย่าง จากที่ความลึกต่าง ๆ มาหาค่าคุณสมบัติทางเคมี

3.1.2 <u>การสังเกตุน้ำใต้ดิน</u> (Groundwater Observations)

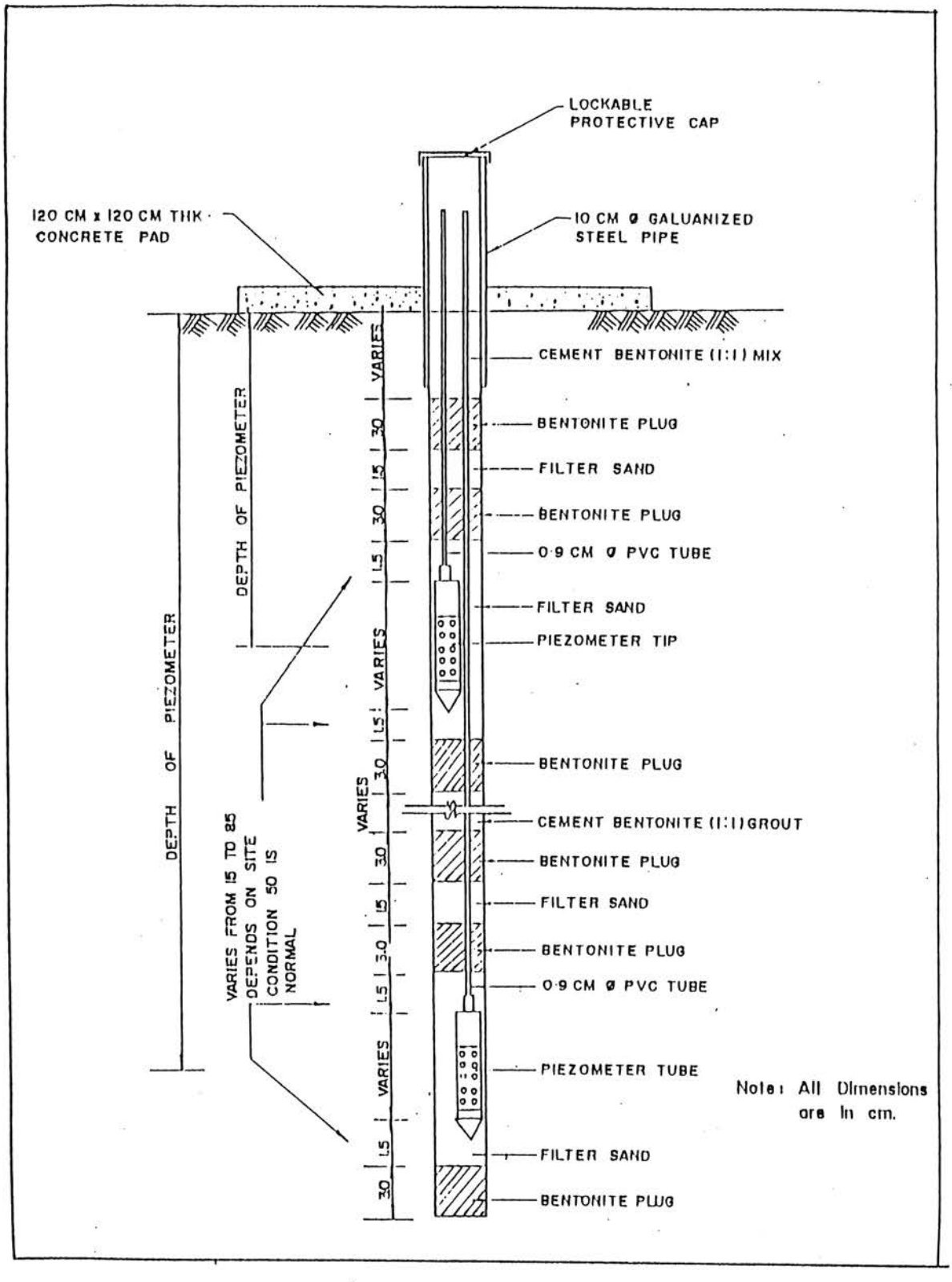
จากสภาพที่มีการสูบน้ำใต้ดิน ทำให้ความดันของน้ำในโพรงของชั้นดิน ไม่อยู่ในสภาพความดันน้ำทางสถิตยศาสตร์ (hydrostatic) ดังนั้นจึงต้องมีการหาความดันน้ำใต้ดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างสนามบินต่อไป การวัดระดับน้ำใต้ดินและความดัน piezometric ใช้เครื่องมือ 2 ชนิด คือ บ่อสังเกตุแบบเปิด (Open type Observation Well) และ Piezometers บริเวณที่ติดตั้งเครื่องมือเหล่านี้จะติดบริเวณ พื้นที่อ้างอิง (dummy area) ซึ่งอยู่ใกล้กับแปลงทดสอบ

3.1.2.1 Piezometer

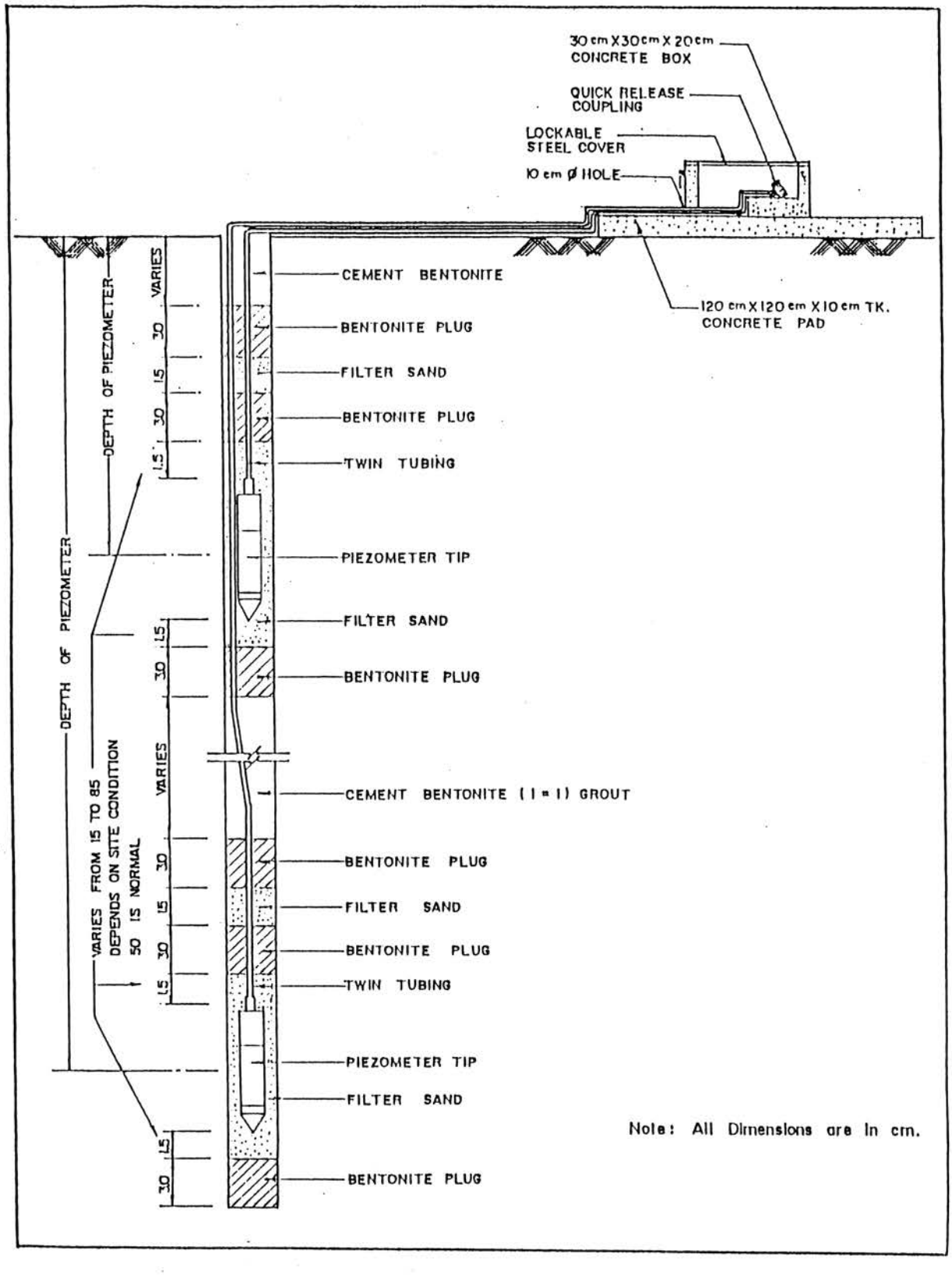
Piezometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันน้ำในโพรง เพื่อหาว่ามีความดันน้ำในโพรงเท่าไรที่ความลึกตามต้องการ หมายถึงที่ปลายของ Piezometer หยั่งลงไป Piezometer ที่ใช้วัดในการทดสอบนี้มี 2 แบบ คือ Standpipe open piezometer และ pneumatic piezometer รูปของ Piezometer 2 แบบนี้อยู่ในรูปที่ 3.4 และ 3.5 การติดตั้ง Piezometer นี้ มี 2 วิธี คือ วิธีกด (push - in) และ วิธีเจาะหลุม (borehole) โดยถ้า Piezometer ติดตั้งในชั้น Soft Clay จะใช้วิธีกด ในขณะที่ความลึกมาก ๆ ใน Stiff Clay หรือ ชั้นทราย จะใช้วิธีหลุมเจาะ ตำแหน่งและความลึกของ Piezometer ที่ติดตั้งในการสำรวจนี้ สรุปอยู่ใน ตารางที่ 3.1

3.1.2.2 บ่อสังเกตุ (Observation well)

Open Tube Observation Well ใช้สำหรับวัดระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Table) ในพื้นที่ โดยปกติจะติดตั้งประมาณ 1 ถึง 2 เมตร ใต้ผิวดิน รายละเอียดของการติดตั้งอยู่ในรูปที่ 3.6 และตำแหน่งของ Observation Well สรุปอยู่ในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.4 รายละเอียดของ Standpipe Piezometer

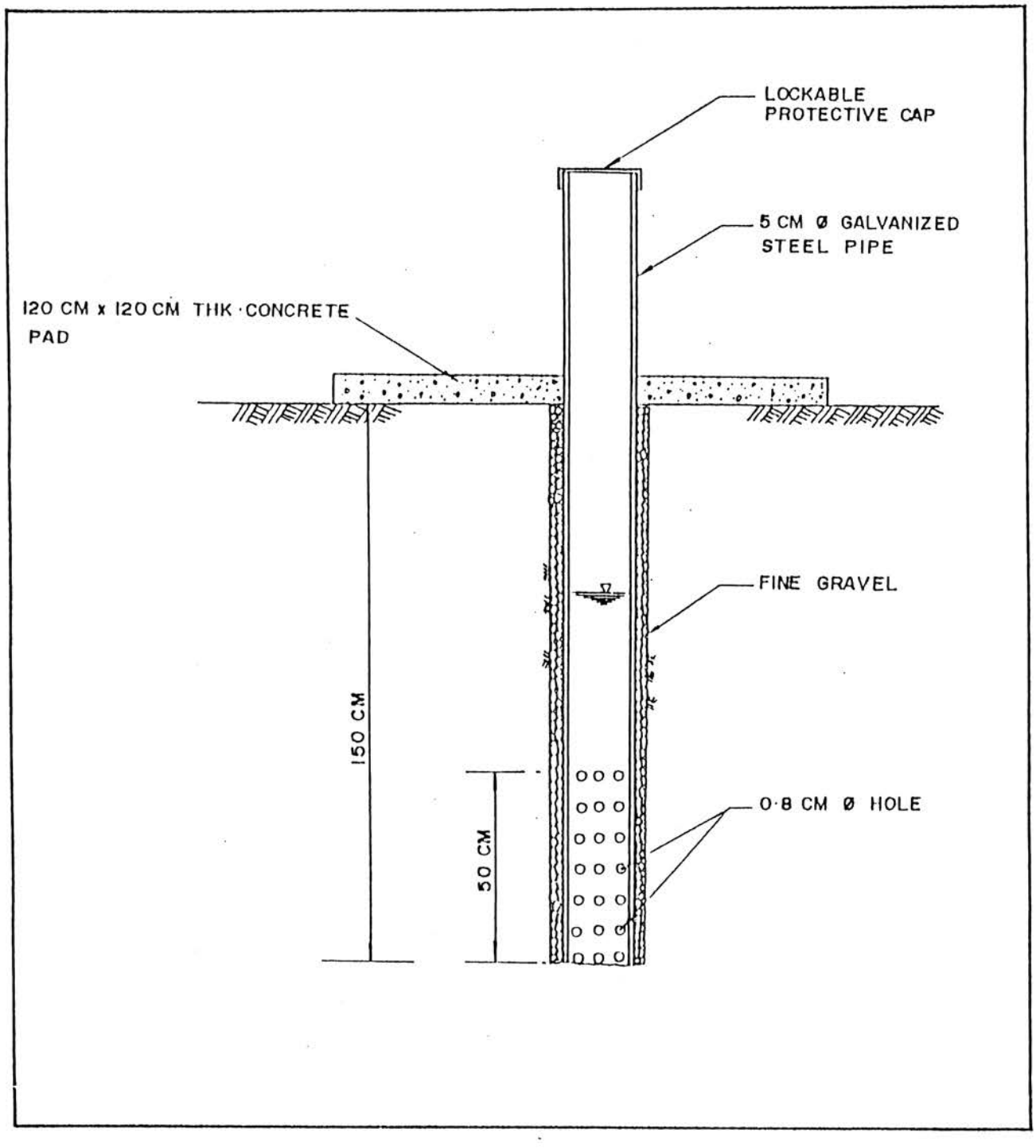


รูปที่ 3.5 รายละเอียดของ Pneumatic Piezometer

ตารางที่ 3.1

ตำแหน่งและความลึกของ Piezometer ที่ใช้สังเกตุความดันน้ำใต้ดิน

Piezometer No.	Depth of Piezometer Tip below Ground Surface, m	Location
P1	2.15	Test Section Area
P2	7.15	Test Section Area
P3	14.15	Test Section Area
P4	2.15	Near BH-8 (Nong Prue)
P5	5.15	Near BH-8 (Nong Prue)
P6	10.15	Near BH-8 (Nong Prue)
P7	13.15	Near BH-8 (Nong Prue)
P8	23.00	Test Section Area
P9	11.00	Test Section Area
P10	2.00	Near BH-4
P11	7.00	Near BH-4
P12	11.00	Near BH-4
P13	5.00	Near BH-9
P14	9.85	Near BH-9
P15	19.00	Near BH-9
P16	19.00	Test Section Area
P17	26.00	Test Section Area
P18	33.40	Test Section Area
P19	3.30	Near BH-11
P20	7.45	Near BH-11
P21	12.30	Near BH-11
P1-I	2.00	Test Section I
P2-I	7.00	Test Section I
P1-II	2.00	Test Section II
P2-II	7.00	Test Section II
P1-III	2.00	Test Section III
P2-III	7.00	Test Section III



รูปที่ 3.8 รายละเอียดของบ่อสังเกตุ (Observation Well)

ตารางที่ 3.2

ตำแหน่งของ Observation Well

Observation Well No.	Bottom of Observation Well below Ground, m	Location
O-1	2.0	Test Section Area
O-2	3.0	Near BH-8
O-3	1.5	Near BH-4
O-4	1.4	Near BH-9
O-5	0.8	Near BH-11

3.1.3 <u>การทดสอบ ณ สถานที่</u> (In - Site Testing)

นอกจากที่จะมีการขุดเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินบริเวณนี้แล้ว ยังมีการทดสอบ ณ สถานที่ (in - site testing) การทดสอบ ณ สถานที่ที่ใช้ คือ Cone Penetration Test ซึ่งการทดสอบนี้จะใช้หาความเปลี่ยนแปลงของชั้นดินข้างได้ เพื่อยืนยันผลของข้อมูลเจาะสำรวจและหากำลังของดิน (shear strength) การทดสอบทั้งหมดทำ 40 จุด ตำแหน่งของการทดสอบ Cone Penetration แสดงอยู่ในรูปที่ 3.1 (a) และ 3.1 (b)

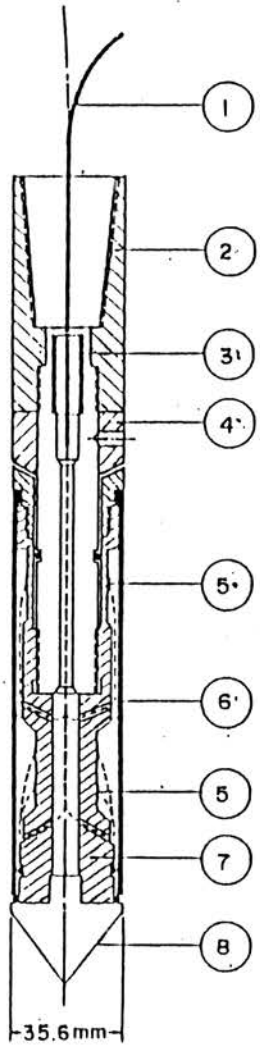
Cone Penetration Test ที่ใช้เป็น Electric Penetrometer System ระบบทั้งหมดประกอบด้วย electric cone ที่มีมุมยอด 60 องศา และเครื่องบันทึกอัตในมัติ ซึ่งจะบันทึกค่า Cone Resistance และ local side friction ได้อย่างต่อเนื่องตามความลึกที่เจาะ รายละเอียดของ Electric Cone แสดงอยู่ในรูปที่ 3.7 เครื่องมือกด (driving unit) ที่ใช้ในการทดสอบนี้ดัดแปลงจาก Cone Penetrometer แบบใช้มือ ซึ่งกำลังกดได้ 2 ตัน ด้วยอัตรา 2 ซม./วินาที การทดสอบนี้จะสิ้นสุดที่ ความลึกเข้าในชั้น Stiff Clay ประมาณ 1 เมตร

3.1.4 <u>การทดสอบในห้องปฏิบัติการ</u> (Laboratory Testing)

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวหนองงูเห่านี้ได้มีการทดสอบมาแล้วอย่างมากโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (Asian Institute of Technology; AIT) ดังนั้นการทดสอบที่ทำต่อไปนี้ ทำเพื่อทดสอบให้แน่ใจว่าสอดคล้องกับข้อมูลทดสอบครั้งก่อนหรือไม่ การทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมเหล่านี้ได้แก่ การทดสอบคุณสมบัติดัชนี (index properties test) การทดสอบการยุบอัดตัว (consolidation test) การทดสอบสามแกนแบบอัดและขยาย (triaxial compression and extension tests) การทดสอบ stress path การทดสอบหา K_o การทดสอบความซึมได้ (permeability tests) และการทดสอบหาคุณสมบัติทางเคมี (chemical properties test)

3.1.4.1 <u>การทดสอบคุณสมบัติดัชนีโดยทั่วไป</u> (General index properties tests)

เป็นการทดสอบเพื่อหาชนิดของดิน (soil classification) รวมทั้งหน่วยน้ำหนักรวม (total unit weight) ปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติ (natural water content) การหาการกระจายขนาดอนุภาคดิน (particle size distribution) ขีดแอตเทอร์เบอร์ก (Atterberg's limits) และความถ่วงจำเพาะ



1. Cable
2. Connection with Rods
3. Waterproof Bush
4. Adjustment Ring
5. Strain Gauges
6. Friction Sleeve (150 cm^2)
7. Load Cell
8. Conical Point (10 cm^2)

รูปที่ 3.7 รายละเอียดของ Electric Cone Penetrometer Tip

(specific gravity) การทดสอบเหล่านี้จะเป็นการทดสอบทางวิศวกรรมตามปกติ ไม่เพียงแต่สำหรับ Undisturbed Sample แต่ใช้ตัวอย่างดินที่ได้อย่างต่อเนื่องของ BH 2 และตัวอย่างดินจากความลึกที่ต้องการ การจำแนกชนิดของดินใช้การจำแนกประเภทดินเอกภาพ (Unified Soil Classification System)

3.1.4.2 <u>การทดสอบกำลังรับแรงเฉือน</u> (Shear Strength Tests)

เนื่องจากข้อมูลกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (undrained shear strength) หาได้จากการทดสอบภาคสนามดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนในห้องปฏิบัติการ จึงมุ่งที่จะหาพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผล (Effective Shear Strength Parameter) โดยใช้การทดสอบ Triaxial ซึ่งจะได้ทำการทดสอบใหญ่ ๆ ได้ 3 แบบ คือ การหากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างที่ถูกยุบอัดตัวแบบไอโซทร้อปปิคมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial โดยการอัดในสภาพอันเดรน (Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Tests) การหากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างที่ถูกยุบอัดตัวแบบแอนไอโซทร้อปปิคมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial โดยการอัดในสภาพอันเดรน (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Tests) และการหากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างที่ถูกยุบอัดตัวแบบแอนไอโซทร้อบปปิคมาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial โดยการดึง ในสภาพอันเดรน (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Extension Tests)

3.1.4.3 <u>การทดสอบการยุบอัดตัว</u> (Consolidation Tests)

การทดสอบการยุบอัดตัว จะทำการทดสอบ 3 ชนิดด้วยกัน คือ Conventional one dimensional Oedometer tests, Oedometer tests with pone pressure measurement และ Stress Path Consolidation Tests ซึ่งการทดสอบเหล่านี้จะทำให้ทราบถึงคุณลักษณะสมบัติเฉพาะทางด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดิน

3.1.4.3.1 Conventional One Dimensional Oedometer Tests

การทดสอบนี้จะทดสอบตัวอย่างที่เก็บได้ทั้งในทิศทางแนวดิ่งและแนวราบ เพื่อเปรียบเทียบหาความแตกต่างของสัมประสิทธิ์ของการยุบอัดตัว (Coefficient of Consolidation) ในทิศทางตามแนวดิ่งและแนวราบ ที่ระดับความลึก

เดียวกัน การทดสอบนี้ใช้อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (loading increment ratio) น้อยกว่า 1 ที่ความเค้นน้อยกว่าความดันก่อนการยุบอัดตัว (preconsolidation pressure) และอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (loading increment ratio) เท่ากับ 1 ที่ความเค้นอยู่ในช่วง Virgin Compression ระยะเวลาการบรรทุกน้ำหนักใช้ 24 ชั่วโมง ทุกการทดสอบที่มีทั้งหมด 13 การทดสอบ

3.1.4.3.2 การทดสอบ Oedometer พร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรง (Oedometer Tests with Pore Pressure Measurement)

นอกจากการทำการทดสอบ (Conventional Oedometer) แล้ว ยังทำการทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 ทิศทาง ที่สามารถวัด ความดันโพรง (pore pressure) ทั้งนี้เพื่อคาดหวังไว้ว่า จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัว (Coefficient of Consolidation) ที่มีค่าละเอียดขึ้น และด้วยเหตุผลเดียวกันกับการทดสอบแบบธรรมดา จึงทดสอบตัวอย่างในทิศทางตามแนวดิ่งและแนวราบที่ความลึกเดียวกัน

3.1.4.3.3 การทดสอบ Stress Path

Lambe (1964) ได้เสนอวิธีวิเคราะห์การทรุดตัวแบบ 3 ทิศทาง โดยใช้วิธี Stress Path จากการทดสอบการยุบอัดตัวด้วยเครื่อง Triaxial การทดสอบจะเลียนแบบสภาพความเค้นในสนามที่เกิดขึ้น เพื่อทำการยุบอัดตัว ตัวอย่างที่นำมาทดสอบ หลักการของการทดสอบแสดงอยู่ในรูปที่ 3.8

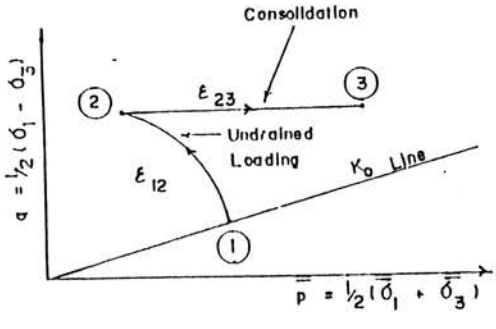
ผลของการทดสอบ Stress Path จะขึ้นอยู่กับสภาพความเค้นเริ่มต้นและสุดท้ายของดิน, อัตราของการบรรทุกน้ำหนัก และวิธีวิเคราะห์หาการกระจายความเค้นภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่มากระทำ

3.1.4.4 การทดสอบความซึมได้ (Permeability test)

เนื่องจากอัตราของการยุบอัดตัว ซึ่งทำให้เกิดการทรุดตัวของดินเหนียว ขึ้นอยู่กับความซึมได้ (permeability) ในดินเหนียวและความเค้นที่เกิดขึ้นในดิน เพื่อที่สามารถเข้าใจพฤติกรรมความซึมได้ในดินเหนียวอย่างละเอียด จึงทำการทดสอบความซึมได้ทั้งในทิศทางตามแนวดิ่งและแนวราบของตัวอย่างที่ไม่เคยถูกรบกวน (undisturbed sample) ใน Triaxial Cell ในแต่ละการทดสอบ ตัวอย่างดินจะถูกทดสอบภายใต้ความดันของการยุบอัดตัวคายน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับ

	① In - Situ Condition	② Immediately After Load Application	③ After Full Consolidation
Total Stress	σ_{vo} ↓ ← $\sigma_{ho} = K_o \bar{\sigma}_{vo} + U_o$	$\sigma_{v1} = \bar{\sigma}_{vo} + U_o + \Delta\sigma_v$ ↓ ← $\sigma_{h1} = K_o\bar{\sigma}_{vo} + U_o + \Delta\sigma_{h1}$	$\sigma_{v2} = \bar{\sigma}_{vo} + U_o + \Delta\sigma_v$ ↓ ← $\sigma_{h2} = K_o\bar{\sigma}_{vo} + U_o + \Delta\sigma_{h1}$
Pore Water Pressure	U_o	$U_o + \Delta u$	U_o
Effective Stress	$\bar{\sigma}_{vo}$ ↓ ← $\bar{\sigma}_{ho} = K_o\bar{\sigma}_{vo}$	$\bar{\sigma}_{v1} = \bar{\sigma}_{vo} + (\Delta\sigma_v - \Delta u)$ ↓ ← $\bar{\sigma}_{h1} = K_o\bar{\sigma}_{vo} + (\Delta\sigma_{h1} - \Delta u)$	$\bar{\sigma}_{v2} = \bar{\sigma}_{vo} + \Delta\sigma_v$ ↓ ← $\bar{\sigma}_{h2} = K_o\bar{\sigma}_{vo} + \Delta\sigma_{h1}$

Effective Stress Path :



ε_{12} = Axial Strain measured immediately after load application in Triaxial Test

ε_{23} = Axial Strain measured during consolidation process in Triaxial Test

Total Settlement = Immediate Settlement + Consolidation Settlement

= (ε_{12} x Soil Layer Thickness) +

(ε_{23} x Soil Layer Thickness)

รูปที่ 3.8 หลักการเบื้องต้นของการทดสอบ Stress Path

3.1.4.5 การทดสอบหาค่า K_o (K_o Determination Test)

การทดสอบหาค่า K_o ใช้หาความเค้นที่เกิดขึ้นตามสภาพจริงในพื้นที่ ในทิศทางแนวราบ ในการทดสอบหาค่า K_o ใช้วิธีของ Poulos and Davis (1972)

3.1.4.6 การทดสอบหาคุณสมบัติทางเคมี

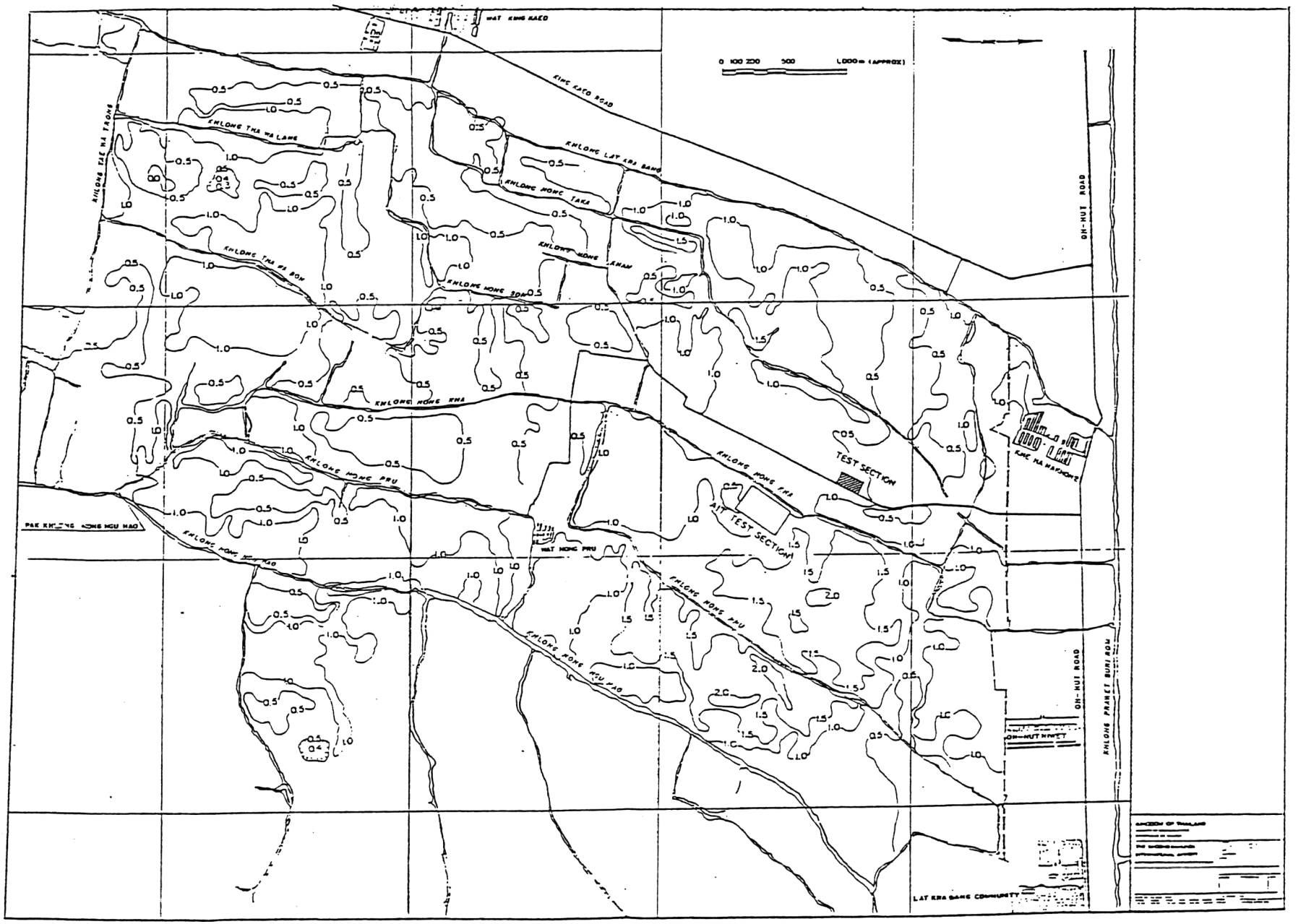
การทดสอบหาคุณสมบัติทางเคมีจะทำทั้งตัวอย่างดินและน้ำที่เก็บจากความลึกต่าง ๆ กันระหว่างงานการขุดเจาะสำรวจ การทดสอบทางเคมีจะประกอบไปด้วยการหาค่า pH, ปริมาณสารอินทรีย์, ปริมาณแคลเซียม, แมกนีเซียม, ซัลเฟตและคลอไรด์

3.2 <u>วิธีการออกแบบแปลงทดสอบและการสร้างแปลงทดสอบ</u>

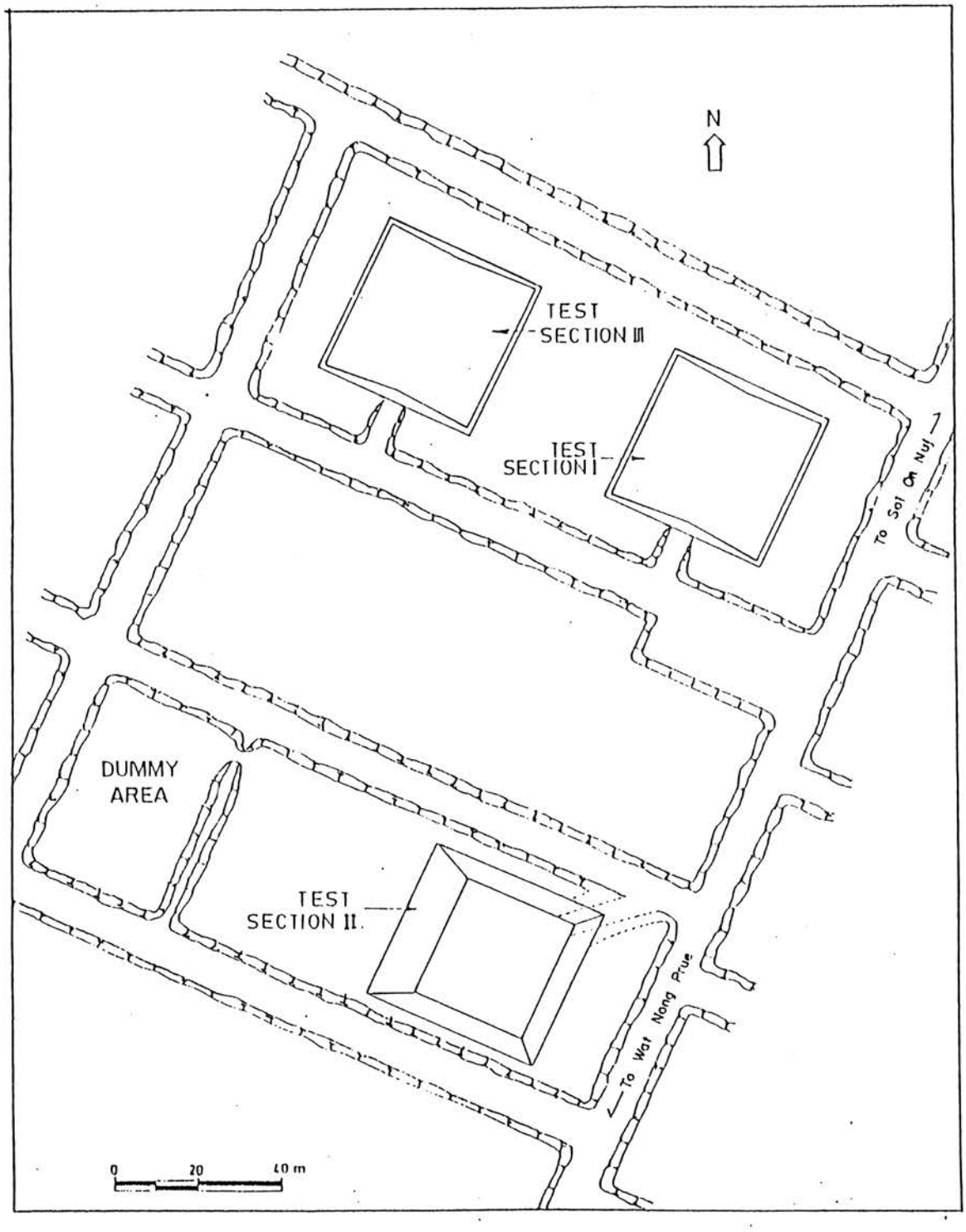
ในการทดสอบแปลงทดสอบ 3 แปลง ซึ่งใช้ท่อทรายระบายน้ำในการปรับปรุงดินจะมีแปลงทดสอบที่ 1 และ 3 จะใช้น้ำหนักบรรทุกก่อนด้วยการลดระดับน้ำใต้ดิน (dewatering) และความดันจากสูญญากาศ (Vacuum) แปลงทดสอบที่ 1 มีระยะห่างของท่อทราย ขนาด 2.0 × 1.75 ม. และแปลงทดสอบที่ 3 มีระยะห่างของท่อทราย ขนาด 2.4 × 2.1 ม. ส่วนแปลงทดสอบที่ 2 จะใช้น้ำหนักบรรทุกก่อนด้วยการถมวัสดุ ระยะห่างของท่อทราย ขนาด 2.0 × 1.75 ม. เหมือนแปลงทดสอบที่ 1

3.2.1 การออกแบบแปลงทดสอบ

ในการศึกษาพฤติกรรมการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินนี้ ใช้พื้นที่ทดสอบที่เลือกในบริเวณสนามบินที่เวนคืน ตำแหน่งที่เลือกแสดงอยู่ในรูปที่ 3.9 เกณฑ์ในการเลือกพื้นที่บริเวณนี้ เพราะเป็นพื้นที่เดิมมาก่อน ไกลจากการพัฒนาของสิ่งแวดล้อม แต่มีทางเล็ก ๆ ที่สามารถเข้าถึงได้ พื้นที่ทดสอบมีพื้นที่ประมาณ 24,000 ตร.ม เดิมเป็นบ่อเลี้ยงปลาสี่เหลี่ยมผืนผ้า 3 บ่อ มาก่อน มีคันดินกว้าง 3 เมตร กั้นอยู่ ระดับล่างของแต่ละบ่ออยู่ต่ำกว่าถนนประมาณ 1.3 เมตร บ่อเลี้ยงปลาข้างหนึ่งใช้สำหรับสร้างแปลงทดสอบที่ 1 และ 3 บ่อเลี้ยงปลาอีกข้างหนึ่งใช้สำหรับสร้างแปลงทดสอบที่ 2 และพื้นที่อ้างอิง (Dummy Area) โดยบ่อเลี้ยงปลาบ่อกลางใช้เป็นที่เก็บน้ำสำหรับใช้งาน ตำแหน่งที่แน่นอนของแปลงทดสอบแสดงอยู่ในรูปที่ 3.10 น้ำในบ่อกลางได้มาจากคลองเล็ก ๆ ที่อยู่ทางทิศตะวันออกของแปลงทดสอบ 80 เมตร น้ำที่ได้จากการสูบน้ำด้วยระบบสูญญากาศจะสูบมาไว้ที่เก็บน้ำก่อน แล้วจึงค่อยปล่อยน้ำในบ่อเลี้ยงปลาข้าง ๆ อีกที และเพื่อที่จะป้องกัน



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งที่เลือกทำแปลงทดสอบของโครงการ



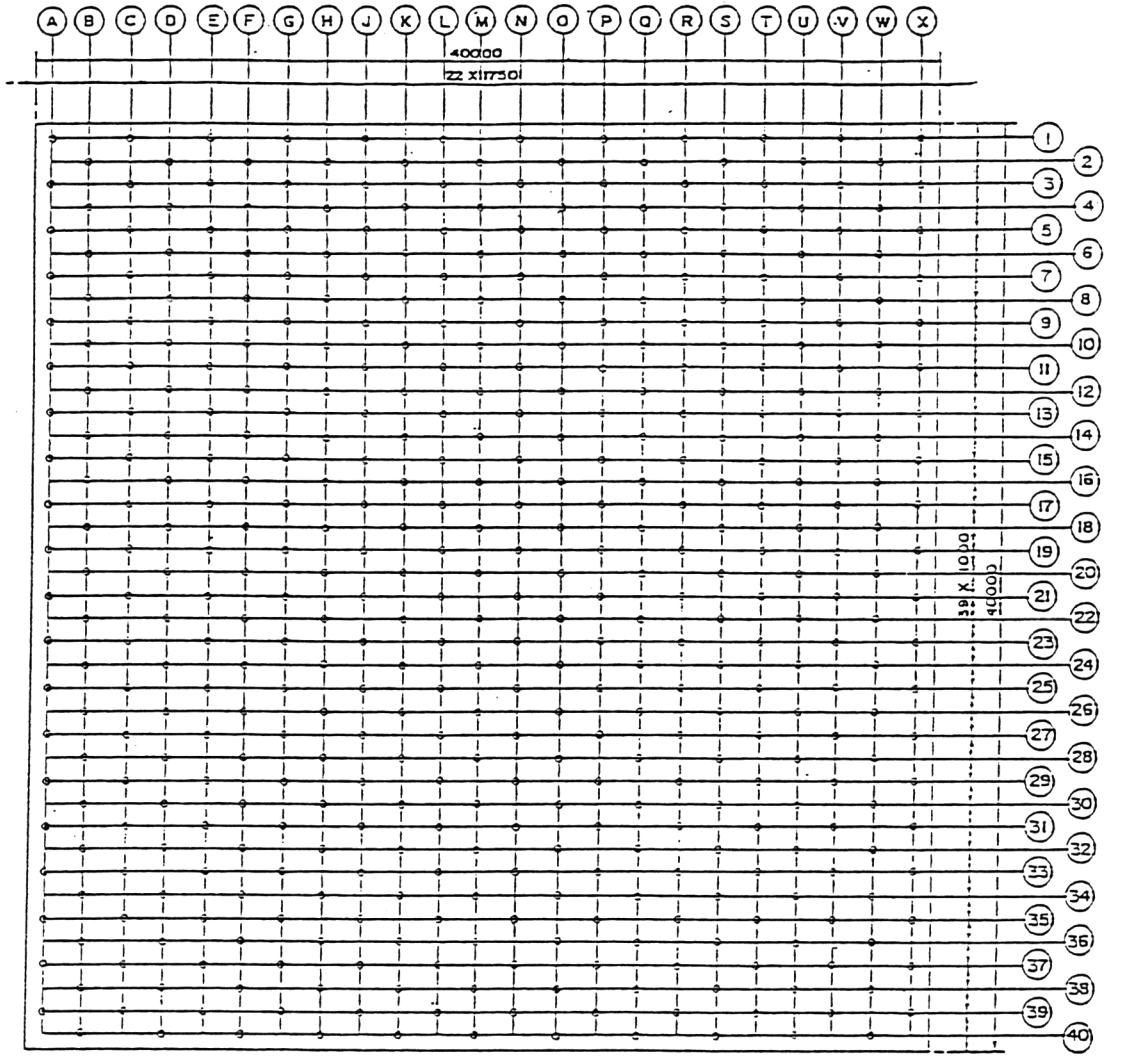
รูปที่ 3.10 ตำแหน่งพื้นที่ทำแปลงทดสอบ

แปลงทดสอบเหล่านี้ไม่ให้ถูกน้ำท่วมในฤดูฝน จึงสร้างคันดินสูงประมาณ 50 เซนติเมตร รอบบริเวณแปลงทดสอบ

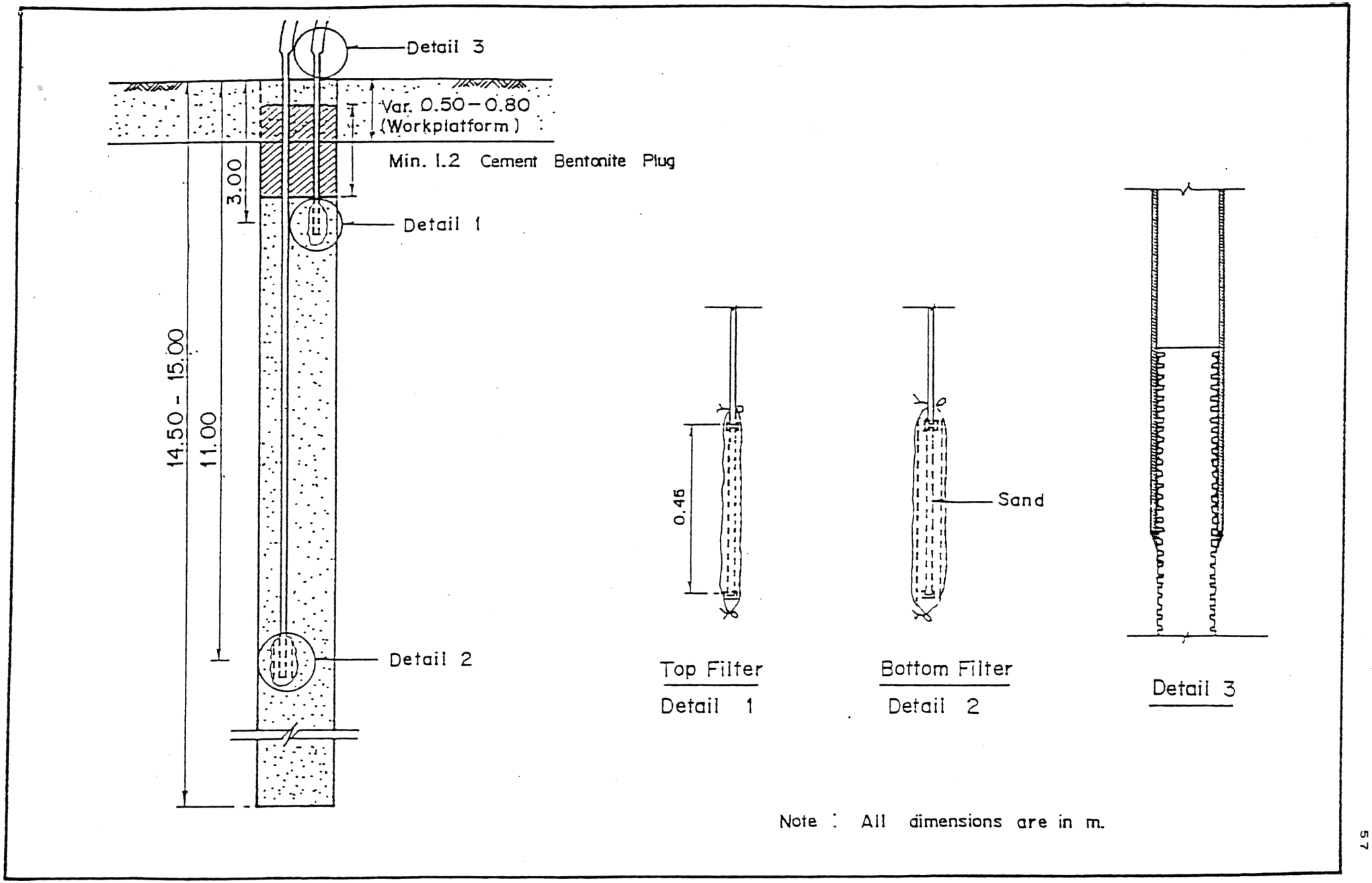
3.2.1.1 แปลงทดสอบที่ 1 - ใช้น้ำหนักบรรทุกก่อนด้วยการลดระดับน้ำใต้ดินและความดันจากสูญญากาศ

แปลงทดสอบที่ 1 จะใช้พื้นที่ขนาด 40 เมตร × 40 เมตร มีท่อทรายระบายน้ำจัดเป็นรูปสามเหลี่ยมระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของท่อทรายระบายน้ำ 2.0 × 1.75 เมตร คิดเป็นพื้นที่ต่อท่อระบายน้ำ 1 ท่อ ประมาณ 3.5 ตารางเมตร เนื่องจากพื้นที่เดิมเป็นดินอ่อน จึงถมทรายหนาประมาณ 0.6 เมตร เพื่อที่จะให้เครื่องจักรที่ใช้เจาะทำท่อทรายระบายน้ำได้สามารถทำงานได้ แต่ละท่อทรายระบายน้ำจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง (Nominal Diameter) ประมาณ 27 เซนติเมตร และเจาะลึกลงไปถึงชั้น Stiff Clay คือประมาณ 15 เมตร จากพื้นผิวดิน

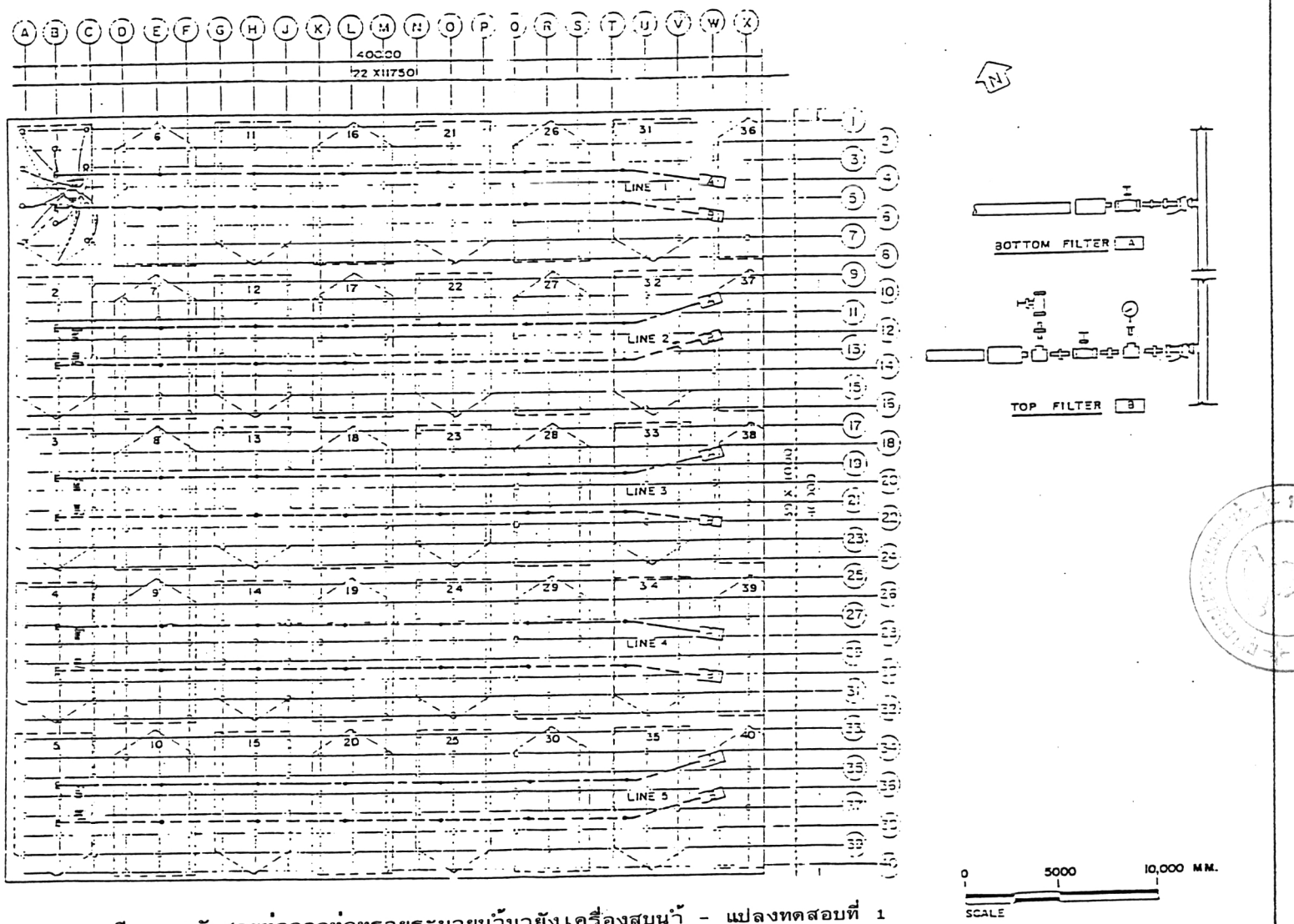
ในการทำท่อทรายระบายน้ำ ระหว่างที่กำลังใส่ทรายลงไปในท่อ จะติดตั้งฟิลเตอร์ (filters) 2 ตัว ลงภายในท่อทรายที่ความลึก 3 เมตร และ 11 เมตร วัดจากส่วนบนของ Sand Blanket ฟิลเตอร์ เหล่านี้จะถูกติดกับสายท่อขนาดเล็ก แล้วต่อเข้ามารวมกันหลาย ๆ เส้น วิ่งเข้ามาผ่านทาง Manifold (ไปสู่ Subsidiary line) ซึ่ง Manifold แต่ละอัน จะมีวาวล์ควบคุม ซึ่งโดยปกติ 1 Manifold จะควบคุมสายท่อ 12 เส้นจากฟิลเตอร์ ส่วนบนประมาณ 1.3 เมตร ของท่อทรายระบายน้ำ จะอุดตลอดหน้าตัดด้วยไคลนซีเมนต์ - เบนไทไนต์ (Cement - bentorite slurry) ตำแหน่ง, รายละเอียดรูปแบบและการจัดท่อทรายระบายน้ำ, ตำแหน่งของฟิลเตอร์ด้านบนและด้านล่าง แสดงอยู่ในรูปที่ 3.11 และ 3.12 รายละเอียดของการจัดสายท่อจากท่อทรายระบายน้ำมายัง Manifold แสดงอยู่ในรูปที่ 3.13 จากรูปจะเห็นว่ามี 40 Manifold ต่อไปที่ 5 Subsidiary line ซึ่งต่อไปที่ Mainline เข้าสู่เครื่องสูบสูญญากาศ เครื่องสูบสูญญากาศที่ใช้จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการสูบน้ำ 110 ลูกบาศก์เมตร และอากาศ 130 ลูกบาศก์เมตร และทำให้เกิดความดันในการสูบสูงสุด ประมาณ 0.9 บาร์ (9.0 ตันต่อตารางเมตร) น้ำที่สูบได้จะปล่อยไปที่ถังเก็บน้ำขนาด 2 × 4 เมตร สูง 1.5 เมตร ด้านข้างของถังเก็บน้ำจะติดขีดวัดปริมาตรของถัง ทำให้ทราบว่ามีน้ำเป็นปริมาตรเท่าไรในถัง และที่ท่อเปิดน้ำทิ้งจะติดตั้งมาตรวัดการไหล ด้วยอุปกรณ์ทั้งสองนี้ ทำให้หาอัตราการสูบน้ำออกจากแปลงทดสอบได้โดยอิสระ



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งท่อทรายระบายน้ำ - แปลงทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งของฟิลเตอร์ด้านบนและด้านล่าง



รูปที่ 3.13 รายละเอียดการจัดสายท่อจากท่อทรายระบายน้ำมายังเครื่องสูบน้ำ - แปลงทดสอบที่ 1

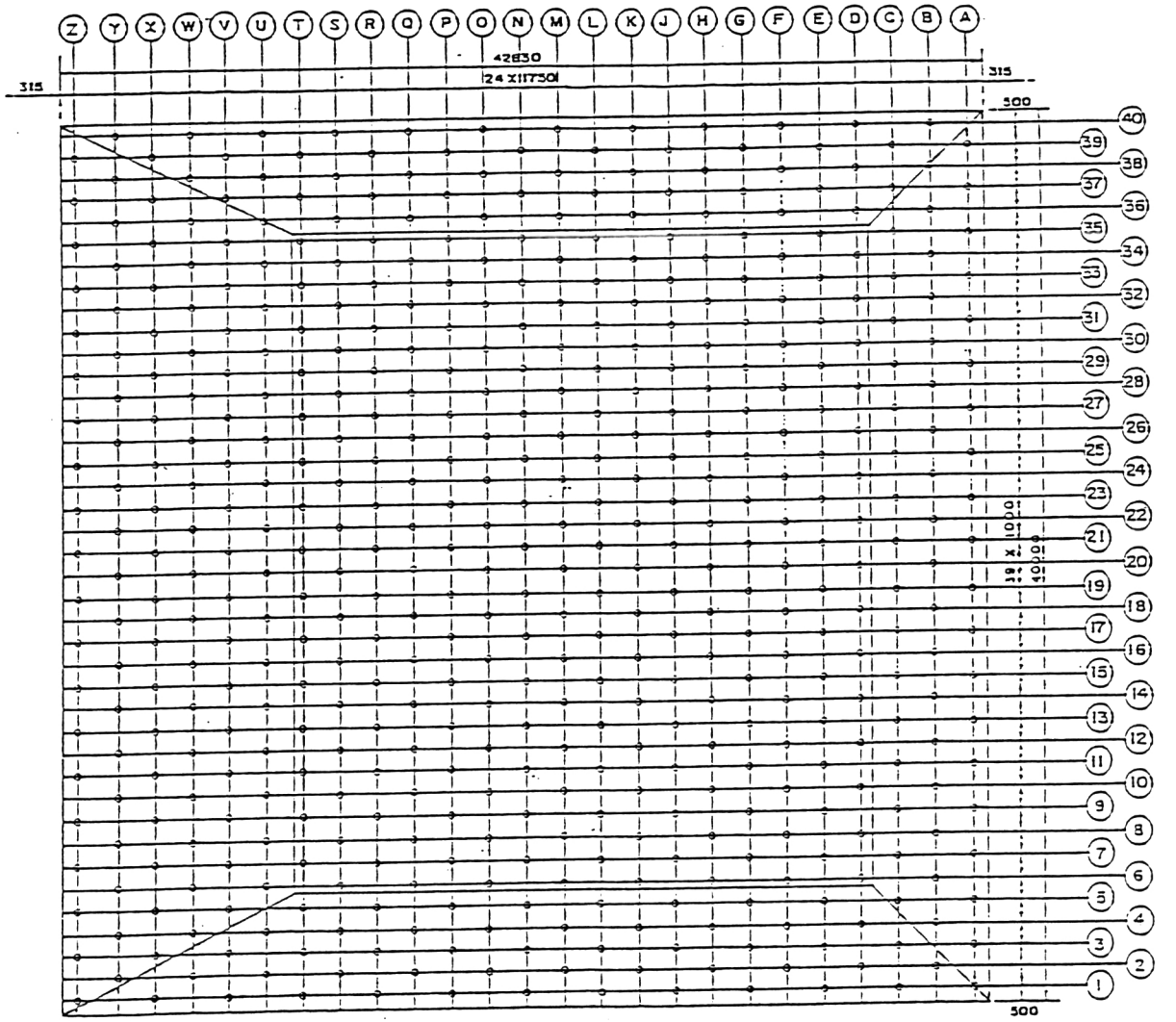
ขั้นตอนการสูบน้ำสูญญากาศ จะเริ่มจากการปิดฟิลเตอร์ตัวบน ใช้ฟิลเตอร์ตัวล่างสูบน้ำออกจากท่อทรายระบายน้ำ หลังจากน้ำในท่อทรายระบายน้ำลดลงมาระดับหนึ่ง จะใช้ฟิลเตอร์ตัวบนดูดอากาศออก เกิดความดันที่แตกต่างกันระหว่างในดินและอากาศรอบนอก ผลทำให้ความดันจากอากาศที่สูงกว่ากดลงดิน ดังนั้นดินเหนียวอ่อนจึงถูกกระทำด้วยผลของการลดระดับน้ำใต้ดิน (dewatering) และ ความดันบรรยากาศ

3.2.1.2 แปลงทดสอบที่ 2 - ใช้น้ำหนักบรรทุกก่อนด้วยวัสดุ

พื้นที่ทดสอบแปลงที่ 2 จะใหญ่กว่าแปลงทดสอบที่ 1 เล็กน้อย โดยมีฐานขนาด 40 × 42.6 เมตร ออกแบบสร้างเป็นคันดิน (Embankment) ให้มีน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดความดันตามแนวดิ่ง 6.3 ตัน ต่อตารางเมตรบนพื้นผิวดิน ตรงบริเวณส่วนกลางของแปลงทดสอบ จากการที่ใช้วัสดุที่ถมมีความหนาแน่น 1.8 ตัน ต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นความสูงของคันดินเป็น 3.5 เมตร ความลาดเอียง 3 ด้านเป็น 1 ต่อ 1.5 และอีกด้านเป็น 1 ต่อ 3 จุดประสงค์ของการสร้างให้มีความลาดเอียงต่างกัน เพื่อหาผลของความลาดเอียงต่อเสถียรภาพ (stability) และการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดิน ตำแหน่งของท่อทรายระบายน้ำในแปลงทดสอบที่ 2 แสดงอยู่ในรูปที่ 3.14

ฐานที่ใช้ทำงาน (working platform) จะหนา 0.8 เมตร ใช้ทรายที่มีการคละขนาดอย่างดี ถมบนดินเดิมเพื่อให้เป็นฐานของเครื่องมือในการขุดเจาะทำท่อทรายระบายน้ำ ฝืนทราย (sand blanket) นี้จะทำหน้าที่เป็นทางระบายน้ำสำหรับน้ำที่ไหลขึ้นมาจากท่อทรายระบายน้ำด้วย จำนวนท่อทรายระบายน้ำที่ใช้ 500 ท่อทราย จัดแบบสามเหลี่ยมระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง 2.0 × 1.75 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางและความลึกของท่อทรายระบายน้ำเหมือนแปลงทดสอบที่ 1 คือเส้นผ่าศูนย์กลาง 27 ซม. ความลึกประมาณ 15 เมตร

จากการวิเคราะห์เบื้องต้น พบว่าการสร้างคันดินสูงขึ้น 3.5 เมตร ทันที จะทำให้คันดินเกิดพังทลายได้ทันที จึงจำเป็นต้องสร้างคันดินเป็น 2 ขั้น ขั้นแรกสร้างแล้วทำให้เกิดความดันตามแนวดิ่ง 4.68 ตันต่อรารางเมตร (ความสูงของคันดินประมาณ 2.6 เมตร) ทิ้งไว้ 80 วัน ก่อนจะขึ้นน้ำหนักบรรทุกต่อไปอีก 1.62 ตันต่อรารางเมตร (ความสูงของคันดินประมาณ 0.9 เมตร)



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งท่อทรายระบายน้ำ - แปลงทดสอบที่ 2

3.2.1.3 แปลงทดสอบที่ 3 - ใช้น้ำหนักบรรทุกก่อนด้วยการลดระดับน้ำใต้ดิน (dewatering)

แบบของแปลงทดสอบที่ 3 คล้ายกับแปลงทดสอบที่ 1 ต่างกันระยะห่างระหว่างท่อทรายระบายน้ำ โดยแปลงทดสอบนี้จัดเป็นแบบสามเหลี่ยม มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง 2.4 × 2.1 เมตร หรือ 1 ท่อทรายระบายน้ำสำหรับการปรับปรุงดินพื้นที่ 5 ตารางเมตร จำนวนท่อทรายระบายน้ำที่ใช้ 323 ท่อทราย สายท่อสูบน้ำทั้งข้างบนและข้างล่างจากท่อทรายจะสูบน้ำไปที่ท่อสูบน้ำย่อย (subsidiary line) 5 ท่อ โดยผ่าน 36 Manifolds การจัดท่อทรายระบายน้ำการต่อสายท่อสูบน้ำจากท่อทรายระบายน้ำทั้งข้างบนและข้างล่างไปยัง Manifolds แสดงอยู่ในรูปที่ 3.15 และ 3.16 ตามลำดับ

จุดประสงค์เบื้องต้นของแปลงทดสอบนี้ เพื่อศึกษาผลของระยะห่างระหว่างท่อทรายระบายน้ำในการปรับปรุงดิน โดยนำไปเปรียบเทียบกับผลของแปลงทดสอบที่ 1

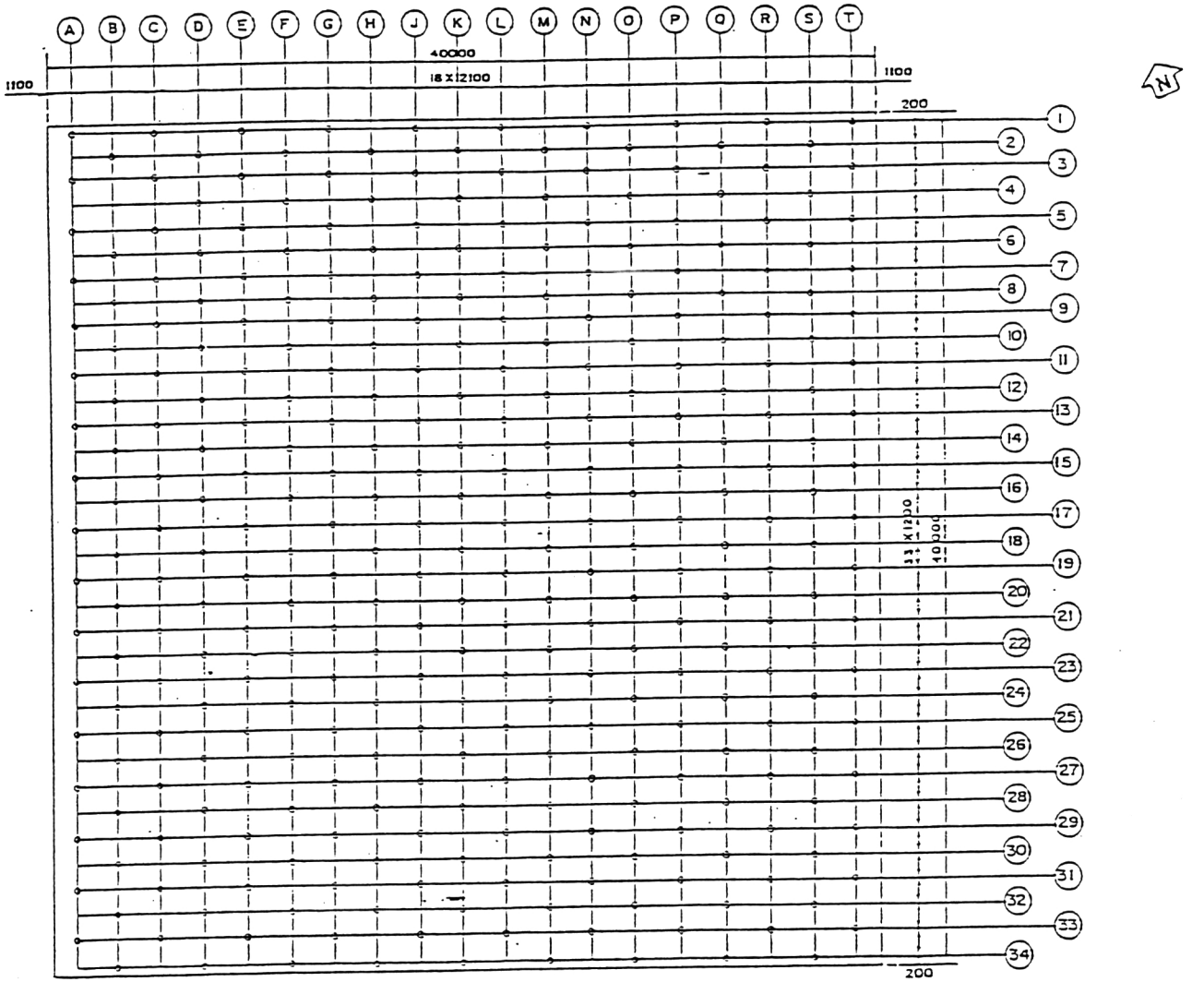
3.2.1.4 พื้นที่อ้างอิง (Dummy Area)

พื้นที่นี้จะอยู่ภายในพื้นที่ทดสอบ แต่อยู่นอกเหนืออิทธิพลต่าง ๆ ของแปลงทดสอบต่าง ๆ บริเวณพื้นที่นี้จะติดตั้ง พิโซมิเตอร์ ทั้งแบบ Standpipe และ Pneumatic เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของความดันน้ำในโพรงตลอดเวลา และติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัวบนพื้นผิว 2 จุด เพื่อติดตามการเคลื่อนตัวของพื้นผิว หมุดอ้างอิงระดับตั้งอยู่บนชั้นทรายลึกประมาณ 25 เมตร ในบริเวณพื้นที่อ้างอิงนี้ หมุดนี้ใช้เป็นหมุดควบคุมระดับต่าง ๆ ที่ใช้กับเครื่องมือและอุปกรณ์ทั้งหมดที่ติดตั้งในแปลงทดสอบต่าง ๆ

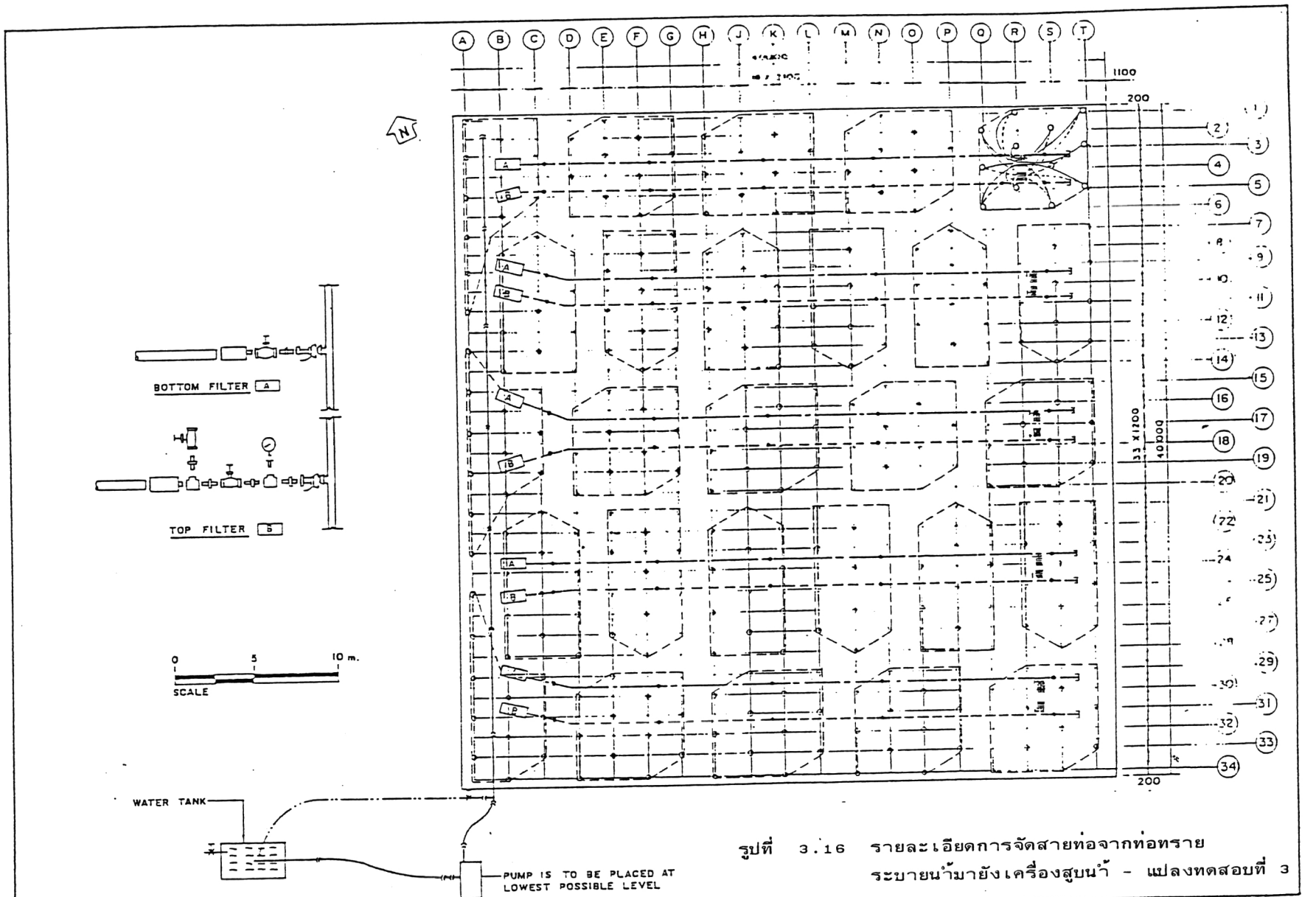
3.2.2 การก่อสร้างแปลงทดสอบ (Construction of Test Sections)

การก่อสร้างแปลงทดสอบที่ 1 และ 3 แบ่งได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้คือ การเตรียมทำพื้นที่ทำงาน การติดตั้งท่อทรายระบายน้ำ และการเชื่อมต่อท่อระบบสูบน้ำ ส่วนในแปลงทดสอบที่ 2 จะเป็นการทำผืนทราย (sand blanket) การติดตั้งท่อทรายระบายน้ำและการสร้างคันดินเพื่อใช้เป็นน้ำหนักบรรทุกก่อน การก่อสร้างเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ.2526 และสิ้นสุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2527

รายละเอียดของการก่อสร้างแปลงทดสอบเหล่านี้ รวมทั้งการทำผืนทราย (sand blanket) การติดตั้งท่อทรายระบายน้ำและระบบสูบสูญญากาศ, การสร้างคันดินเป็นน้ำหนักบรรทุกก่อน จะกล่าวโดยละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งท่อทรายระบายน้ำ - แปลงทดสอบที่ 3



รูปที่ 3.16 รายละเอียดการจัดสายท่อจากท่อทราย
ระบายน้ำมายังเครื่องสูบน้ำ - แปลงทดสอบที่ 3

3.2.2.1 การทำฝืนทราย (Placement of Sand Blanket)

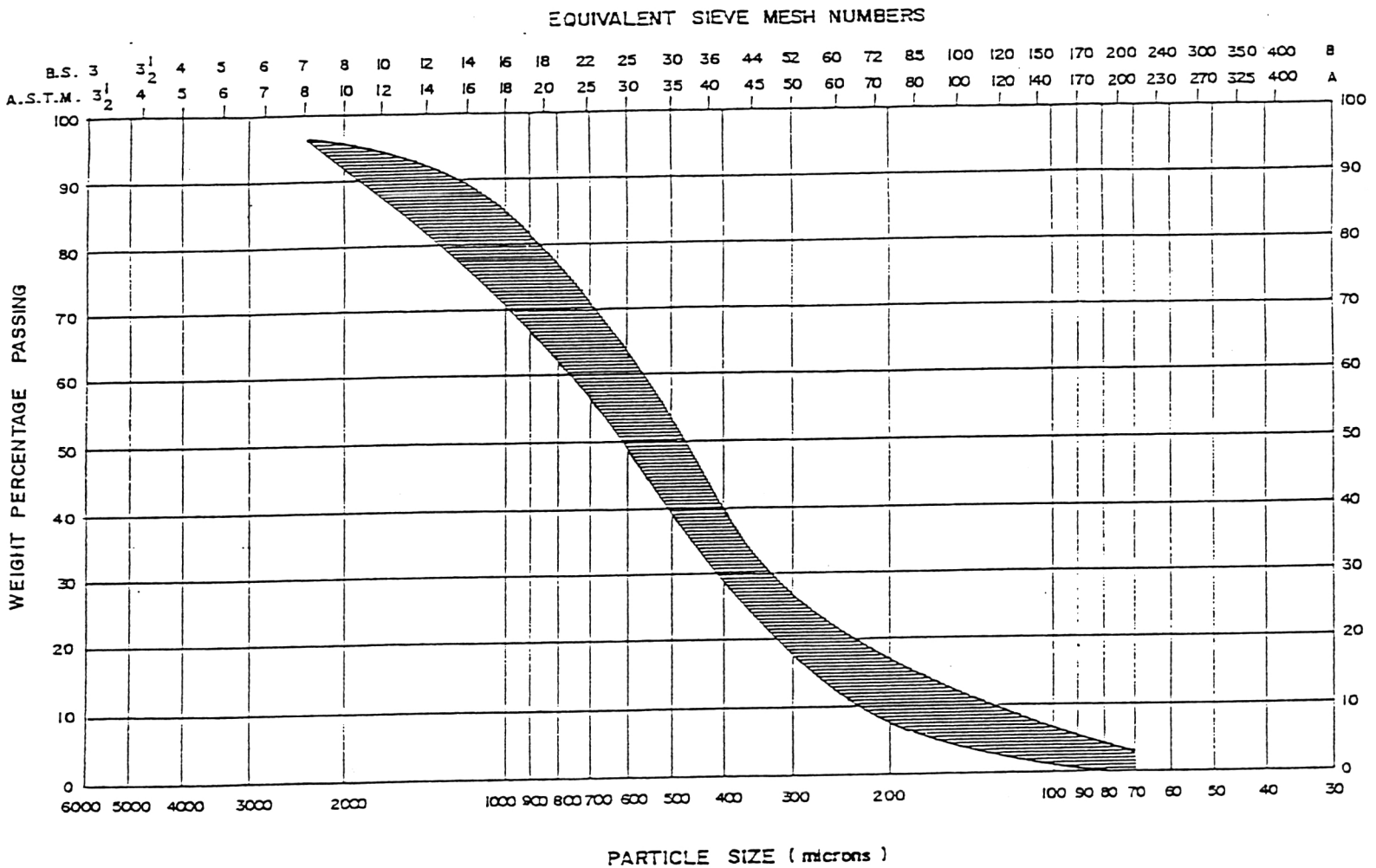
การสร้างฝืนทราย สำหรับใช้เป็นสถานที่ทำงาน สำหรับแปลงทดสอบที่ 1 เริ่มตั้งแต่วันที่ 3 กรกฎาคม 2526 และเสร็จวันที่ 11 กรกฎาคม 2526 แปลงทดสอบที่ 2 เริ่มตั้งแต่วันที่ 8 ถึง 27 กรกฎาคม 2526 และแปลงทดสอบที่ 3 เริ่มจากวันที่ 5 ถึง 15 กรกฎาคม 2526 ทรายที่ใช้สำหรับแปลงทดสอบที่ 1 และ 3 นำมาจากอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี มีการกระจายขนาดอนุภาค (Grain Size Distribution) ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ฝืนทรายนี้ถูกออกแบบให้มีความหนา 0.8 เมตร บริเวณกลางของแปลงทดสอบและที่ด้านข้างหนา 0.5 เมตร เพื่อให้เกิดความลาดเอียงพอที่จะทำให้น้ำไคลนจากการขุดเจาะทำท่อทรายระบายน้ำไหลออกมานอกพื้นที่ทดสอบระหว่างการทำท่อทราย เพื่อให้ฝืนทรายเป็นสถานที่ทำงานที่มั่นคง จึงทำการบดอัดเล็กน้อยด้วยรถแทรกเตอร์ ขนาด D - 2 โดยแบ่งการบดอัดออกเป็น 2 ชั้น

ความหนาแน่นของทรายหลังการบดอัดมีค่า 1.84 ถึง 2.08 ตันต่อลูกบาศก์เมตร โดยเฉลี่ยแล้ว 2 ตันต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับแปลงทดสอบที่ 1 และสำหรับแปลงทดสอบที่ 3 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.95 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

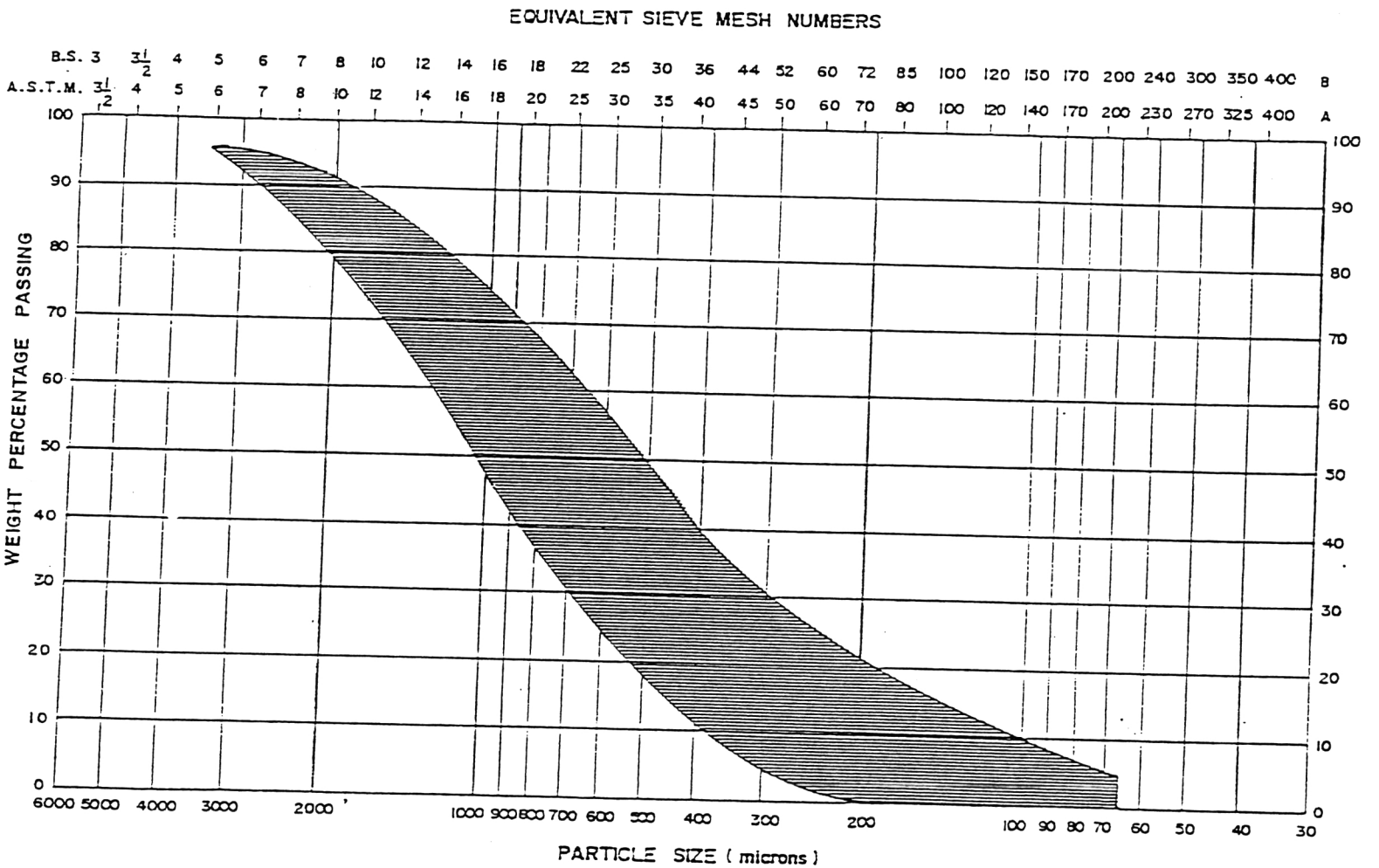
ส่วนการทำฝืนทราย สำหรับแปลงทดสอบที่ 2 จะใช้ประโยชน์ 2 อย่างคือ ใช้เป็นพื้นที่ทำงานสำหรับการขุดเจาะ และเป็นทางระบายน้ำของน้ำจากท่อทรายระบายน้ำ ดังนั้นทรายที่ใช้ถมจึงต้องเลือกขนาดคละ ใช้ทรายจากแหล่งทรายในระยอง ทรายใช้ในแปลงทดสอบที่ 2 นี้จะหยาบกว่าทรายที่ใช้ในแปลงทดสอบที่ 1 และ 3 ดูได้จากเส้นโค้งการจัดขนาด ในรูปที่ 3.18 ฝืนทรายนี้จะบดอัดเล็กน้อยมีความหนาแน่น (Total Unit Weight) ในสนามอยู่ระหว่าง 1.81 ถึง 2.11 ตันต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ 1.97 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ฝืนทรายนี้มีความหนา 1.1 เมตร ด้านหนึ่ง และ 0.5 เมตร ในอีกด้านหนึ่ง เพื่อทำให้เกิดความลาดเอียง ทำให้น้ำไคลนที่เกิดจากการขุดเจาะทำท่อทรายระบายน้ำ ไหลออกจากหลุมเจาะระหว่างการติดตั้งท่อทรายระบายน้ำออกไปได้

3.2.2.2 การติดตั้งท่อทรายระบายน้ำและสายสูบสูญญากาศ (Installation of sand Drains and Vacuum Lines)

การติดตั้งท่อทรายระบายน้ำใช้วิธีการติดตั้งแบบไม่แทนที่ดินที่เจาะ โดยใช้น้ำที่มีความดันสูงพ่นไปที่ดิน เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้มีเครื่องสูบน้ำความดันสูง



รูปที่ 3.17 การกระจายขนาดอนุภาคของทราย (Gradation of sand) ที่ใช้ทำผืนทราย -แปลงทดสอบที่ 1 และ 3

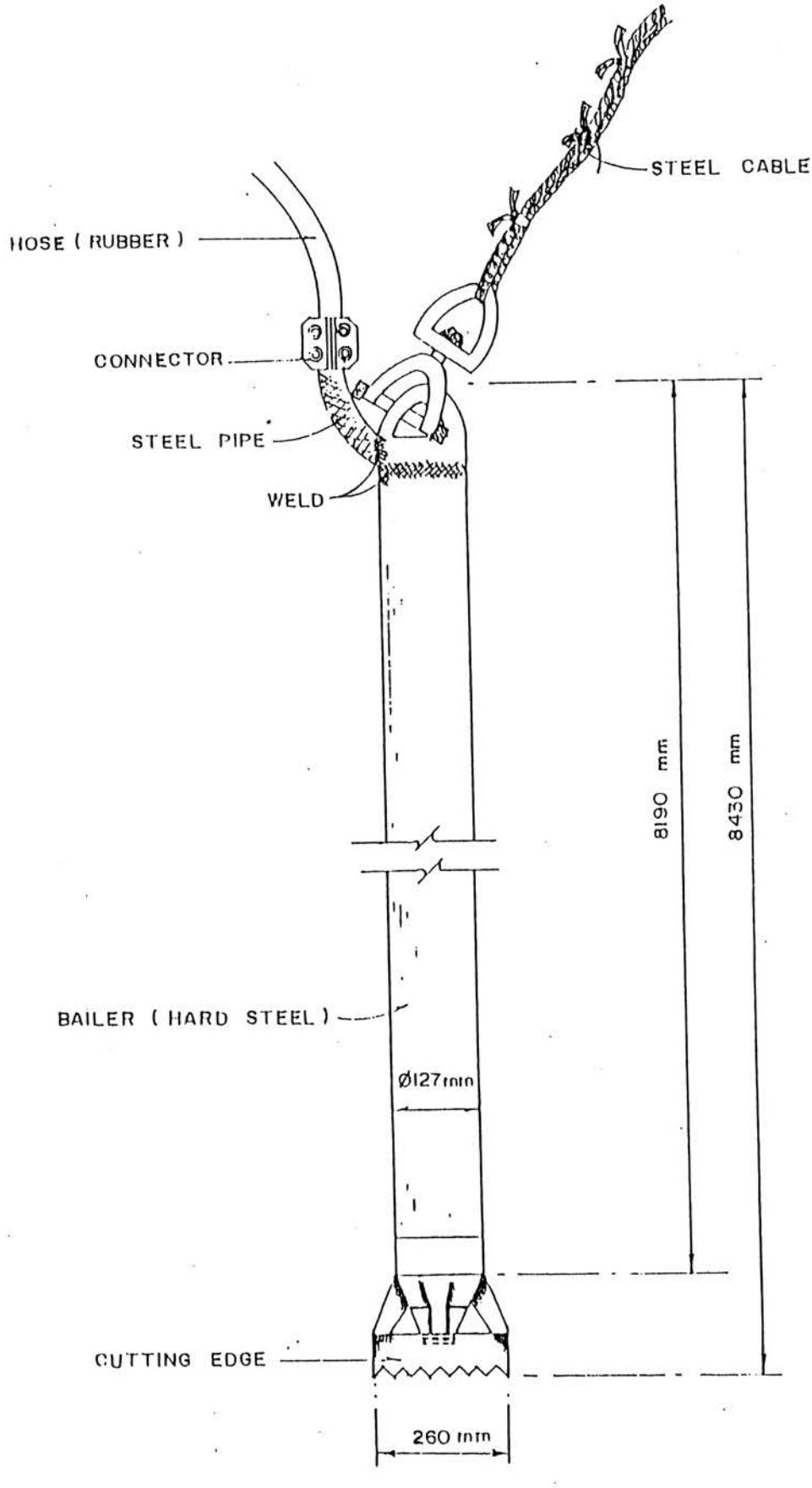


รูปที่ 3.18 การกระจายขนาดอนุภาคของทราย (Gradation of sand) ที่ใช้ทำท่อทรายระบายน้ำ

เพื่อใช้น้ำที่มีความดันสูงเจาะดินลงไปและทำความสะอาดหลุม เครื่องวิดน้ำ (bailer) เป็นท่อเหล็กกลวงยาวและหนัก โดยมีหัวตัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 26 ซม. อยู่ที่ปลายเพื่อใช้ในการทำให้เกิดหลุม และรถเครนตีนตะขาบใช้สำหรับยก เครื่องวิดน้ำ ขึ้น - ลง ทำให้เป็นหลุม ขณะการเจาะทำท่อทรายระบายน้ำ ขนาดของเครื่องวิดน้ำแสดงอยู่ในรูปที่ 3.19

การเจาะหลุมทำท่อทรายระบายน้ำ จะมีปลอกเหล็กทรงกระบอก (Steel cylinder guide) วางอยู่ตรงตำแหน่งที่ติดตั้งท่อทรายระบายน้ำก่อน นำเครื่องวิดน้ำที่แขวนอยู่ในแนวดิ่งด้วยรถเครน มาวางแตะผิวดินภายในปลอกใช้ความดันของน้ำที่พุ่งออกมา 100 ตันต่อตารางเมตรผ่านออกมาทางหัวฉีดน้ำ ทำให้ดินถูกเจาะ ตัวเครื่องวิดน้ำจะจมลงด้วยน้ำหนักของตัวเอง ทำให้เกิดเป็นหลุมขึ้นในชั้นดิน การเจาะหลุมลงไปจะยกเครื่องวิดน้ำนี้ขึ้นลง เพื่อที่จะได้เจาะลงไปตามความลึกได้ เมื่อเจาะหลุมจนถึงชั้น Stiff Clay คือประมาณ 15 เมตร ใต้ผิวดินแล้ว ปล่อยเครื่องวิดน้ำไว้ก้นหลุม 2 - 3 นาที เพื่อที่จะปล่อยให้น้ำทำความสะอาดก้นหลุม น้ำที่ใช้เหล่านี้จะถูกพาให้ไหลเป็นช่องออกไปนอกแปลงทดสอบ และถูกสูบไปเก็บไว้ที่บ่อตรงกลาง เครื่องวิดน้ำจึงค่อย ๆ ถอนออกมาจากหลุม แล้วใช้ลูกบอลล์ลวดเหล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 ซม. หย่อนลงไปในหลุม เพื่อตรวจสอบระดับความลึกที่แน่นอนของหลุมเจาะและเพื่อทดสอบว่าหลุมที่เจาะนี้ไม่เกิดการพังทลายลงหลังจากถอนเครื่องวิดน้ำออก ก่อนที่จะทำการเจาะทำท่อทรายระบายน้ำในแปลง ได้ลองทดสอบเจาะก่อนพบว่าหลุมสามารถอยู่ได้โดยยังไม่พังทลายลงมาภายในเวลา 8 ชั่วโมง แต่การเจาะหลุมนี้ใช้เวลาประมาณ 15 นาที จึงสรุปได้ว่า การพังทลายของหลุมจะไม่เป็นปัญหาของการทำงาน

สำหรับแปลงทดสอบที่ 1 และ 3 เมื่อเจาะหลุมและตรวจสอบแล้ว จะหย่อนฟิลเตอร์พร้อมสาย 2 เส้นไปภายในหลุม ความลึกของฟิลเตอร์ด้านบนและด้านล่างประมาณ 3 เมตร และ 11 เมตร วัดจากด้านบนของพื้นที่ทำงานตามลำดับ รายละเอียดของฟิลเตอร์ของ 2 สายนี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 3.12 เมื่อหย่อนฟิลเตอร์เสร็จแล้ว ตักทรายเทลงไปในหลุมด้วยพลั่วมือจนกระทั่งถึงระดับ 2 เมตร ลึกลงมาจากพื้นที่ทำงานใส่ไกลน ซีเมนต์ - เบนไทไนต์ (slurry of cement - bentonite) (ส่วนผสมเบนไทไนต์ 150 กก. ซีเมนต์ 50 กก. น้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร) ลงไปในหลุมให้มีความยาว 1.30 เมตร เหนือทรายในหลุม ทำหน้าที่เป็นปลั๊กอุดไว้ แล้วจึงต่อสายสูบสูญญากาศไปรวมกันที่ Manifold ซึ่ง Manifold นี้จะไปต่อที่ Subsidiary Vacuum line เวลาในการทำงานสำหรับ



รูปที่ 3.19 ขนาดของเครื่องวิดน้ำ (Bailer)

NOT TO SCALE

การทำท่อทราย 1 ท่อ ประมาณ 25 นาที ขั้นตอนวิธีการเจาะทำท่อทรายระบายน้ำแสดงอยู่ในรูปที่ 3.20

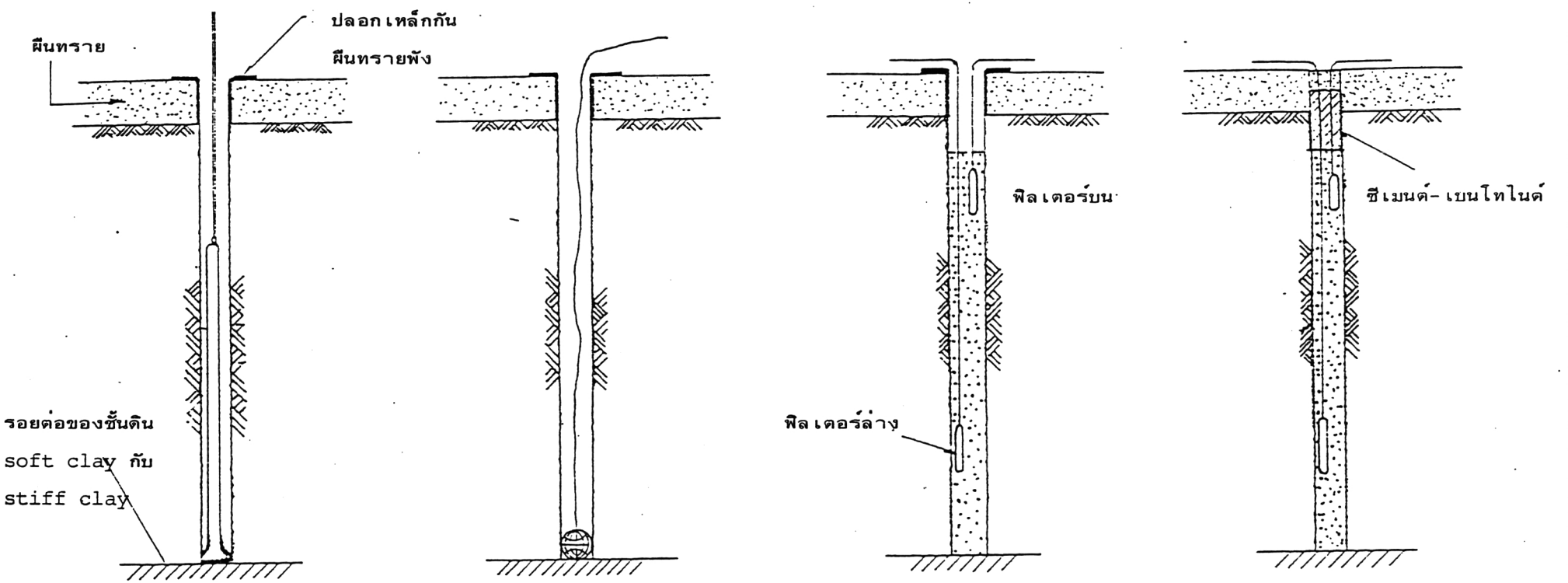
ส่วนในแปลงที่ 2 หลังจากเจาะหลุมและตรวจสอบแล้ว จะใส่ทรายลงไปจนถึงด้านบนของพื้นที่ทำงาน ไม่ใส่ฟิลเตอร์หรือปลั๊กใด ๆ ลงไป ทรายที่เติมลงไปใช้ทรายจากระยอง เส้นโค้งแสดงการกระจาย อยู่ในรูปที่ 3.18

3.2.2.3 การถมวัสดุใช้เป็นน้ำหนักบรรทุกก่อน ในแปลงทดสอบที่ 2

หลังจากการติดตั้งท่อทรายระบายน้ำและเครื่องมือที่ใช้ติดตามผลเสร็จแล้ว ในแปลงทดสอบที่ 2 นี้ จะทำการถมด้วยดินเหนียวจากผิวดินบริเวณใกล้เคียง โดยใช้รถบรรทุกเทท้าย และใช้รถตักขนาดเบาเกลี่ย โดยทำเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นหนา 40 ซม. การสร้างคันดินนี้แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนโดยขั้นตอนแรกถมสูง 2.85 เมตร น้ำหนักต่อหน่วยเฉลี่ย 1.59 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และขั้นสุดท้ายถมขึ้นมาอีกจนสูง 4.00 ม. คิดเป็นความดันที่กดลงมาทั้งหมด 6.6 ตันต่อตารางเมตร การก่อสร้างคันดินเริ่มถมขั้นตอนแรก วันที่ 28 มกราคม 2527 เสร็จเมื่อ 10 มีนาคม 2527 และขั้นสุดท้ายถมระหว่างวันที่ 27 เมษายน ถึง 7 พฤษภาคม 2527 สาเหตุที่เริ่มถมล่าช้าหลังจากติดตั้งท่อทรายระบายน้ำและเครื่องมือต่าง ๆ เนื่องมาจากติดฤดูฝนและเกิดน้ำท่วมทำให้ถนนใช้การไม่ได้ แต่น้ำไม่สามารถเข้าไปในแปลงทดสอบได้

3.3 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับบันทึกผลของแปลงทดสอบ

ในการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยท่อทรายระบายน้ำ โดยสร้างแปลงทดสอบขึ้นมานั้น เพื่อที่จะให้ได้ทราบถึงพฤติกรรมของการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน จำเป็นที่จะต้องติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในแปลงทดสอบทั้งสามนี้ และทำการติดตามผล บันทึกค่าอย่างสม่ำเสมอ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ ได้แก่ พิโซมิเตอร์ (Piezometers), แผ่นวัดการทรุดตัว (settlement plates) เครื่องวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Inclinometers), มาตรวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ (Sondex settlement gauges) และ มาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง (hydrostatic profile gauges) ในพื้นที่อ้างอิง (Dummy Area) จะติดตั้งพิโซมิเตอร์และแผ่นวัดการทรุดตัว เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพชั้นดินที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ตำแหน่งของเครื่องมือและอุปกรณ์แต่ละชนิดที่ใช้ในแปลงทดสอบทั้งสามและพื้นอ้างอิง (Dummy Area) แสดงอยู่ในรูปที่ 3.21 ถึง 3.23 และ 3.24 ตามลำดับ การติดตั้ง



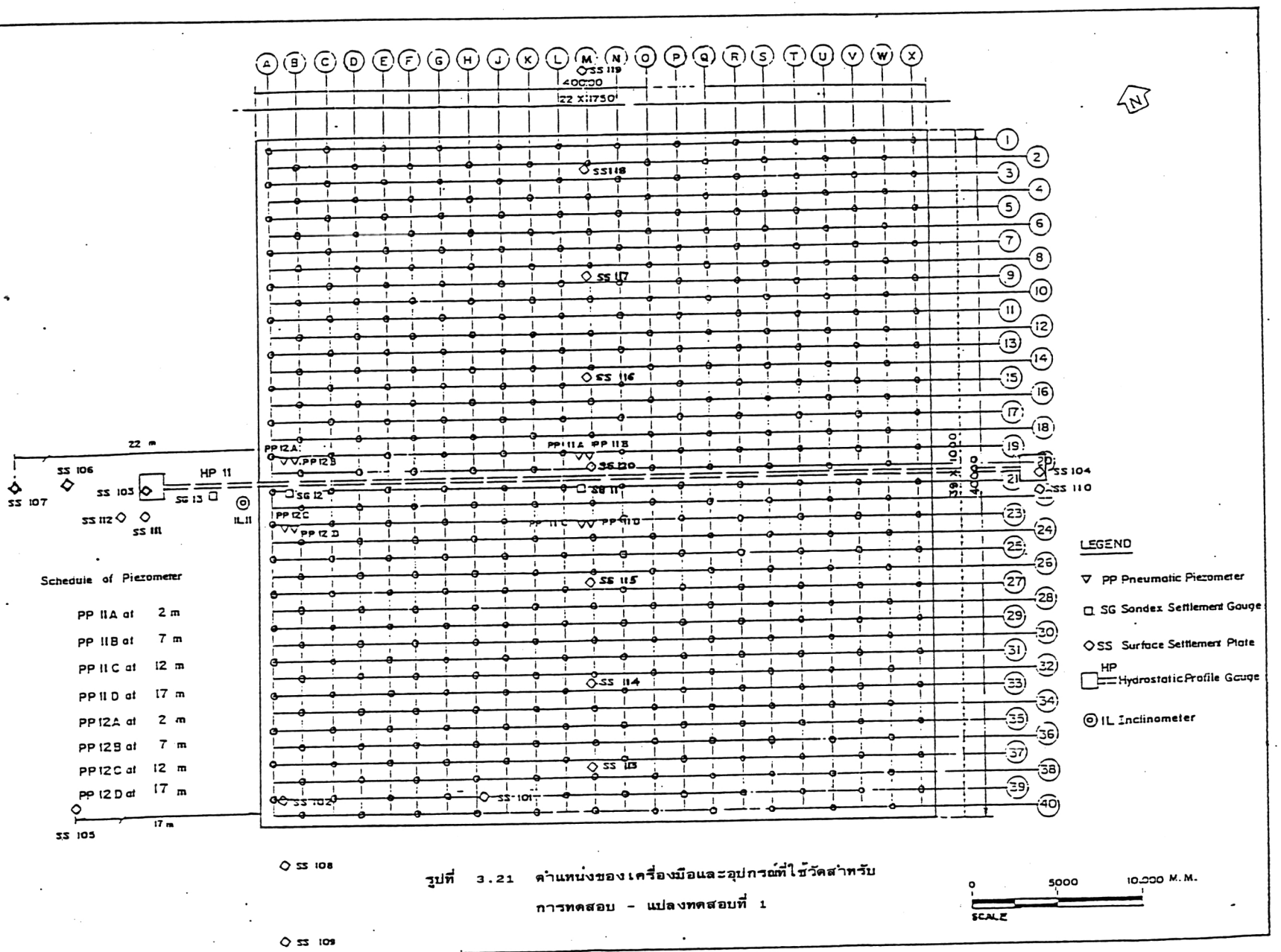
ก) ทำหลุมท่อทรายด้วยเครื่องวิดน้ำ (Bailer)

ข) ตรวจสอบขนาดหลุมท่อทรายด้วยลูกบอลล์เหล็ก

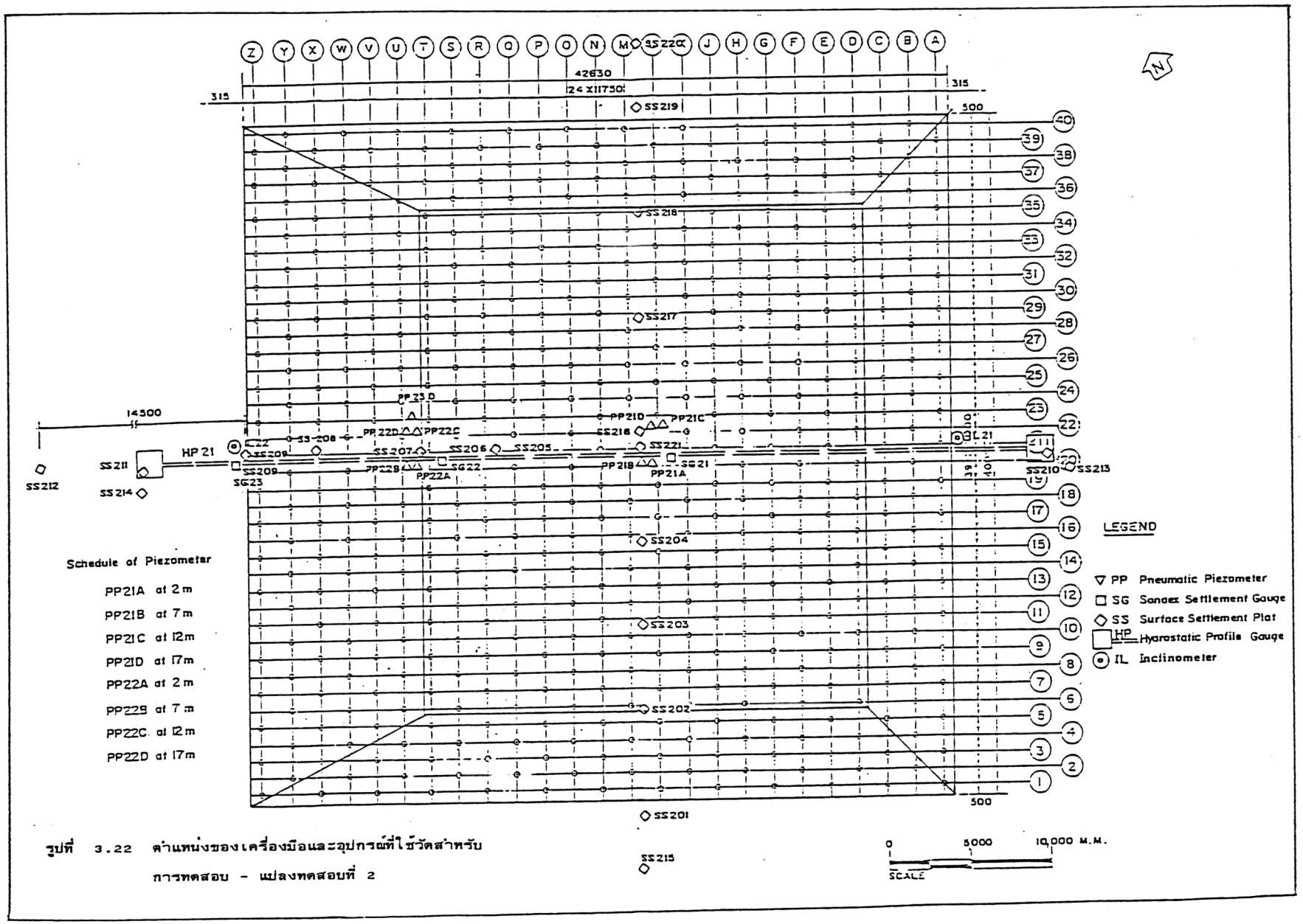
ค) ใส่ฟิลเตอร์และทรายในหลุมท่อทราย

ง) ใส่ซีเมนต์- เบนโทไนต์อุดหลุมด้านบนของท่อทราย

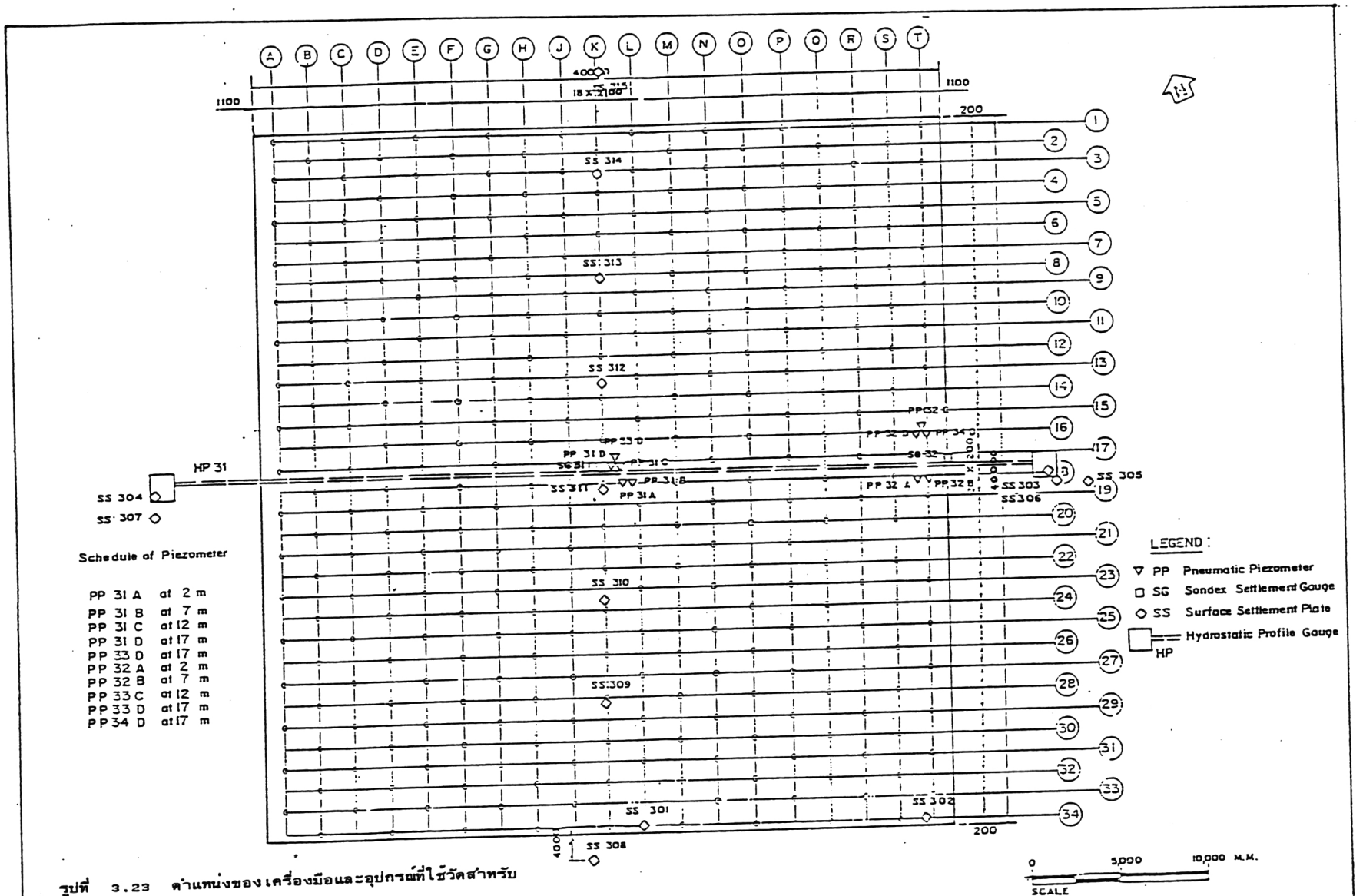
รูปที่ 3,20 ขั้นตอนวิธีการเจาะทำท่อทรายระบายน้ำ



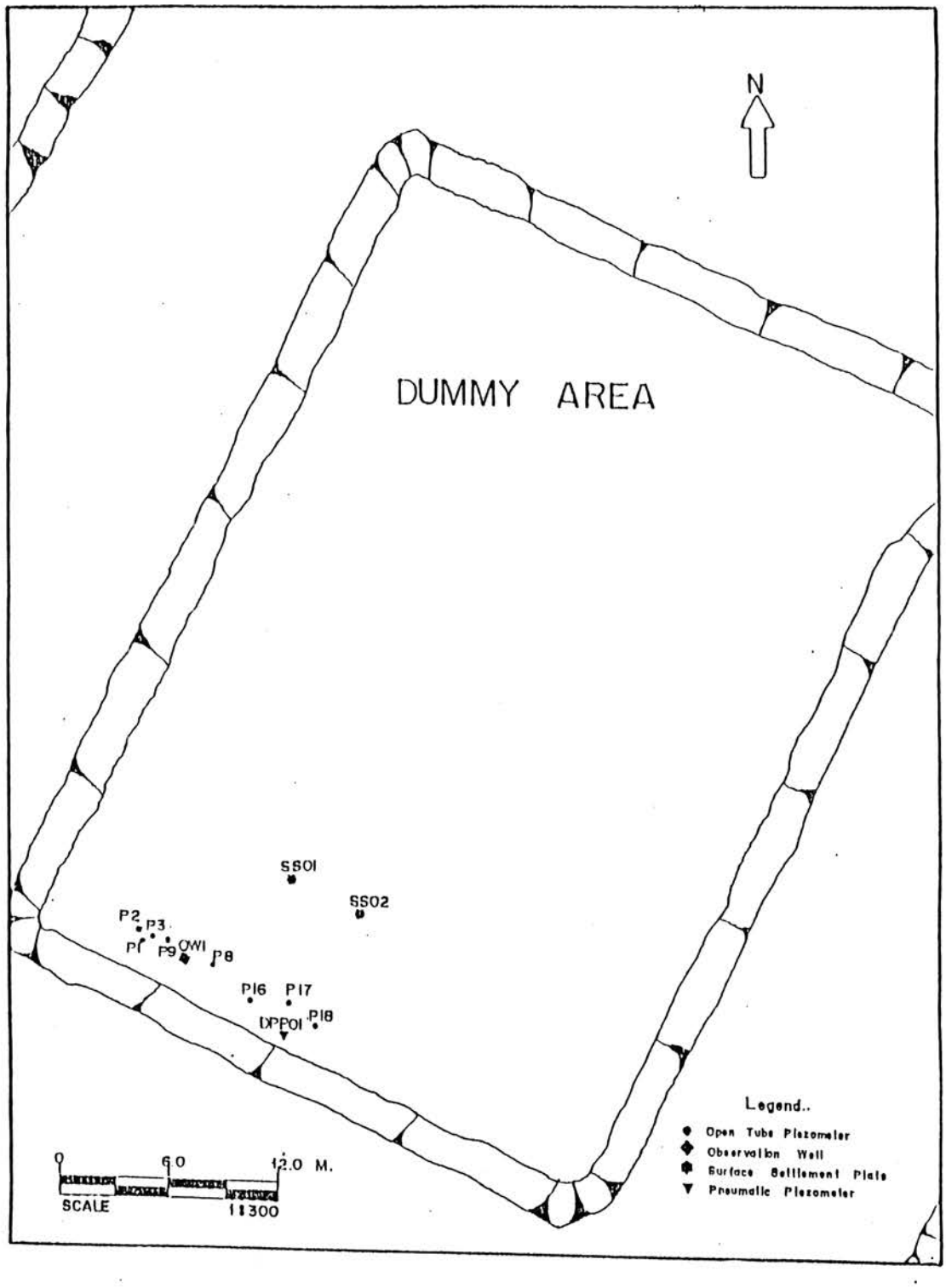
รูปที่ 3.21 ตำแหน่งของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดสำหรับ
การทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 1



รูปที่ 3.22 ตำแหน่งของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดสำหรับ
การทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 2



รูปที่ 3.23 ตำแหน่งของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดสำหรับ
การทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 3



รูปที่ 3.24 ตำแหน่งของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดในพื้นที่อ้างอิง (Dummy Area)

อุปกรณ์และเครื่องมือเหล่านี้จะติดตั้งพร้อมกับขณะที่ทำท่อทรายระบายน้ำ หรือหลังการทำท่อทรายระบายน้ำเสร็จแล้วทันทีเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายต่อเครื่องมือและอุปกรณ์ จุดประสงค์, วิธีติดตั้งและตำแหน่ง, กำหนดการบันทึกผลของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ จะกล่าวโดยละเอียดดังนี้

3.3.1 พิโซมิเตอร์ (Piezometer)

พิโซมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงความดันน้ำในโพรงของดินในชั้นต่าง ๆ ตามความลึกที่ต้องการ โดยนำผลที่วัดได้ประเมินหาการเกิดขบวนการยุบอัดตัว (Consolidation) ของคันดิน (Embankments) หรือชั้นดินที่เป็นฐานรากอ่อน, ช่วยในการหาค่าความเค้นประสิทธิผล (effective stress) สำหรับประเมินค่ากำลังแรงเฉือน (shearing strength) ให้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านเสถียรภาพความลาดเอียง (Slope Stability) และตรวจสอบประสิทธิภาพของการระบายน้ำในชั้นดิน เช่นการควบคุมการดำเนินการลดระดับน้ำใต้ดิน (dewatering) ในการทดสอบนี้ใช้พิโซมิเตอร์ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบท่อยืน (standpipe piezometer) ซึ่งมีความไว (sensitivity) ต่ำ และมีราคาไม่แพงมากนัก ใช้ติดตั้งในบริเวณพื้นที่อ้างอิงเท่านั้น เพื่อสังเกตุหาการเปลี่ยนแปลงของความดันภาคสถิตย์ (static water pressure) ภาพร่างของ Standpipe Piezometer แสดงอยู่ในรูปที่ 3.4 และแบบท่อปิดวัดด้วยความดันลม (pneumatic closed type) ซึ่งมีความไวค่อนข้างสูงติดตั้งในแปลงทดสอบทั้งสาม เพื่อสังเหตุการเปลี่ยนแปลงความดันน้ำในโพรงภายใต้สภาพการบรรทุกน้ำหนักด้วยวัสดุ การลดระดับน้ำใต้ดินและความดันบรรยากาศ ในขณะที่ทำการสูบเพื่อให้เกิดระบบสูญญากาศจะเกิดความดันโพรงเป็น ลบ ขึ้นบริเวณที่ความลึกตื้น ๆ ซึ่งจะสามารถวัดด้วยนูเมติคพิโซมิเตอร์ (pneumatic piezometer) และใช้เครื่องมือบันทึกพิเศษ ภาพร่างของพิโซมิเตอร์แบบปิดวัดด้วยความดันลม (pneumatic closed type piezometer) แสดงอยู่ในรูปที่ 3.5

พิโซมิเตอร์ ที่นำมาติดตั้ง ในแปลงทดสอบทั้งสาม ติดตั้งที่ความลึก 2 ม., 7 ม. 11 ม.และ 17 ม. จากพื้นผิวดิน และในบริเวณพื้นที่อ้างอิง ติดตั้งที่ความลึก 2 ม., 5 ม. 7 ม., 12 ม., 17 ม., 22 ม. และ 33 ม. รายละเอียดวิธีการติดตั้ง การอ่านค่าของ Piezometer ทั้ง 2 แบบ อยู่ในภาคผนวก ก. (Appendix A)

3.3.2 แผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน (surface settement plates)

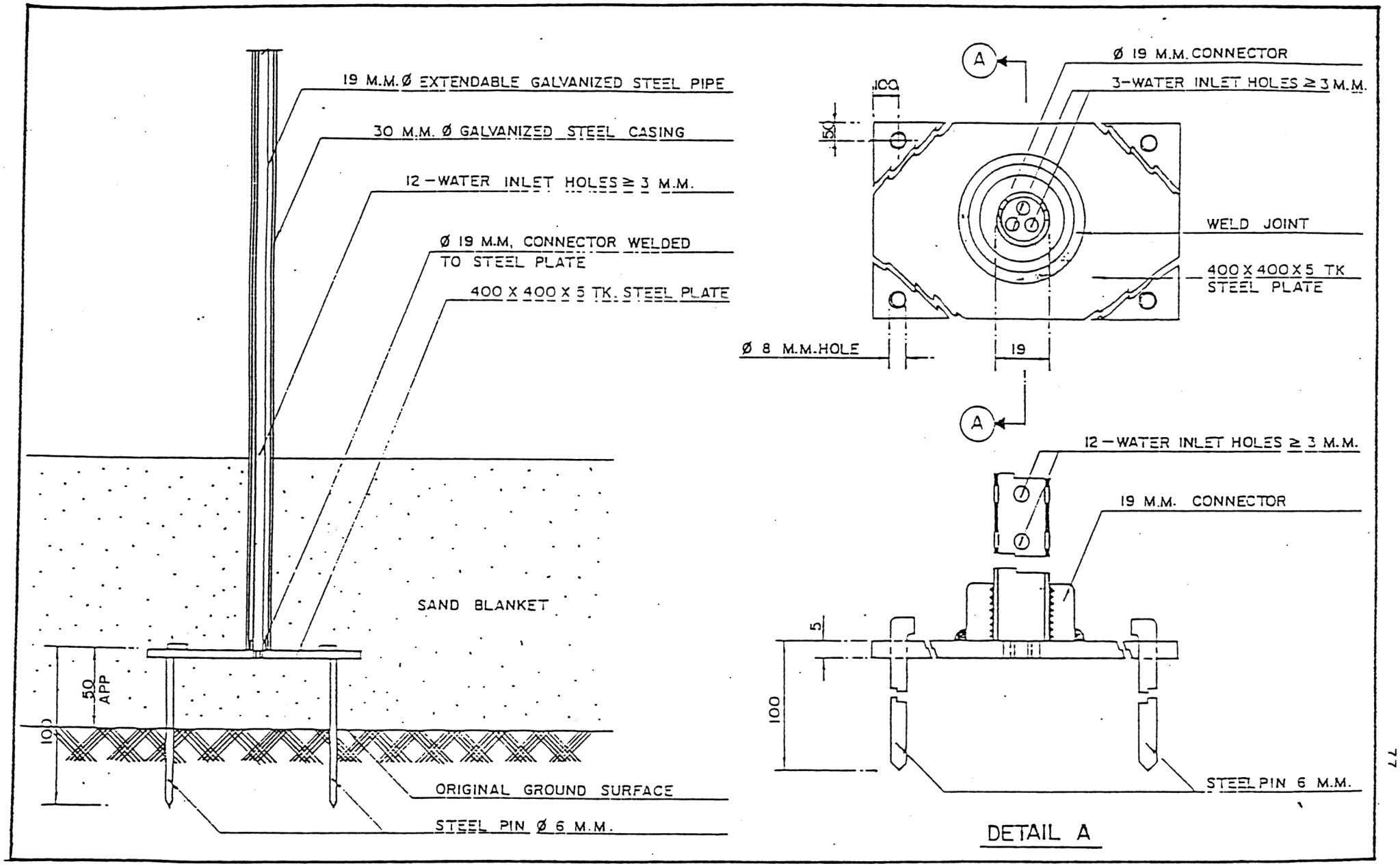
แผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน (surface settlement plate) ใช้วัดการทรุดตัวที่ระดับผิวดิน ติดตั้งภายในและภายนอกแปลงทดสอบแผ่นวัดการทรุดตัว ที่ติดตั้งภายนอกแปลงทดสอบ จะใช้หาขอบเขตอิทธิพลของที่มีผลกระทบจากการลดระดับน้ำใต้ดินและการให้น้ำหนักบรรทุกก่อนแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดินเป็นอุปกรณ์ที่ง่ายที่สุดในการวัดการทรุดตัวผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 3.25 ซึ่งประกอบด้วย แผ่นเหล็กติดด้วยท่อนเหล็กกลม (steel rod) ตั้งอยู่เป็นแนวดิ่ง ซึ่งยาวไผล่เหนือบริเวณที่ถม ท่อนเหล็กกลมนี้มีท่อเหล็กอาบสังกะสี (galvanized steel pipe) หุ้มอยู่เพื่อป้องกันการเสียดทานของดินด้านข้างที่จะไปกระทำคล้ายน้ำหนักบรรทุกให้ท่อนเหล็ก ในส่วนล่างของท่อเหล็กอาบสังกะสีนี้จะเจาะรู เพื่อที่จะให้น้ำไหลเข้ามาได้ ทำให้ตรวจสอบระดับน้ำในฝืนทรายได้ การทรุดตัวผิวดินที่ตำแหน่งของแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดินนี้ วัดที่การเคลื่อนตัวทางด้านบนของท่อนเหล็ก โดยวิธีสำรวจด้วยกล้องระดับรายละเอียดวิธีการติดตั้ง การอ่านค่า ของ Surface Settlement Plate นี้อยู่ใน ภาคผนวก ก. (Appendix A)

3.3.3 เครื่องวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Inclinometer)

เครื่องวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Inclinometer) ใช้วัดการเคลื่อนตัวของชั้นดินที่เกิดขึ้น ในแนวตั้งฉากกับชั้นดินใต้แปลงทดสอบ มีลักษณะเป็นปลอก (casing) ฝังอยู่ในดินตามแนวดิ่ง การเคลื่อนตัวของปลอกที่เกิดเบี่ยงเบนไปจากแนวดิ่ง ใช้เครื่องวัดอินคลิโนมิเตอร์แบบสองแกน (bi - axial inclinometer sensor) ปลอกที่ใช้ทำด้วยพลาสติกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 มม. (2.75 นิ้ว) และ เครื่องวัดอินคลิโนมิเตอร์แบบสองแกน จะอ่านค่าได้จากจอภาพแบบ coupling (Telescoping coupling)

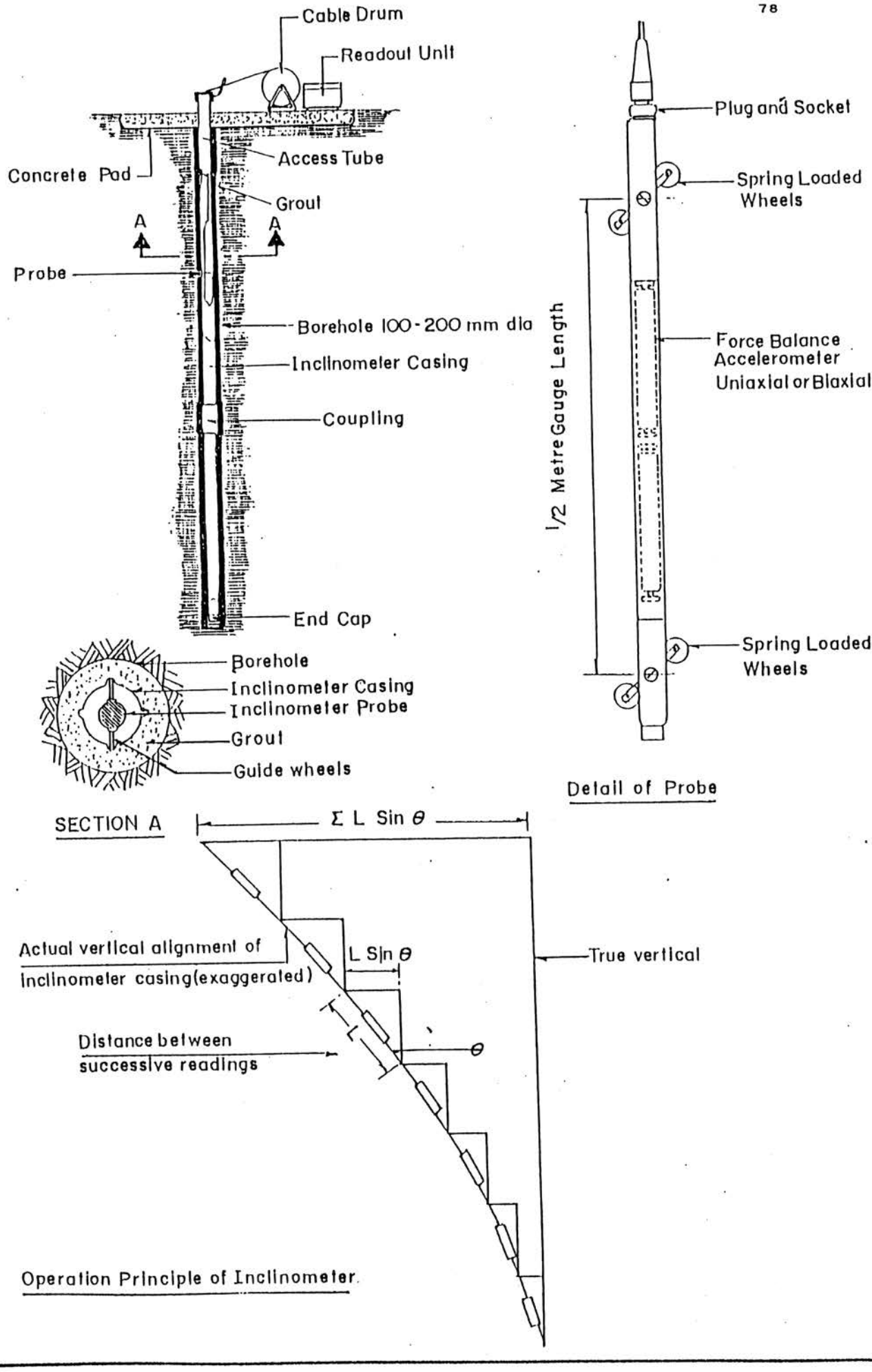
ในแปลงทดสอบที่ 2 ปลอกของอินคลิโนมิเตอร์ จะฝังลงไปถึงชั้น stiff Clay ซึ่งในแปลงทดสอบนี้ อาจเกิดการเคลื่อนตัวตามแนวราบหรือแนวดิ่งได้ จึงสมมติว่าที่ปลายของ Casing นี้ยึดแน่น (fixed) ระดับด้านบนของอินคลิโนมิเตอร์จะตรวจสอบอยู่เป็นระยะ ๆ และใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบการทรุดตัวที่ความลึกต่าง ๆ ของเครื่องวัดการทรุดตัวแบบอื่นด้วย

อินคลิโนมิเตอร์ ได้ติดตั้งที่แปลงทดสอบที่ 1 จำนวน 1 ชุด และ แปลงทดสอบที่ 2 จำนวน 2 ชุด รายละเอียดของระบบอินคลิโนมิเตอร์ แสดงอยู่ในรูปที่ 3.26 ส่วนรายละเอียดวิธีการติดตั้ง การอ่านค่าของเครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์นี้ อยู่ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 3.25 รายละเอียดของแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน

(surface settlement plate)



รูปที่ 3.26 รายละเอียดของระบบอินคลิโนมิเตอร์ (Inclinometer)

(Appendix A)

3.3.4 ระบบการวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ (Sondex settlement system)

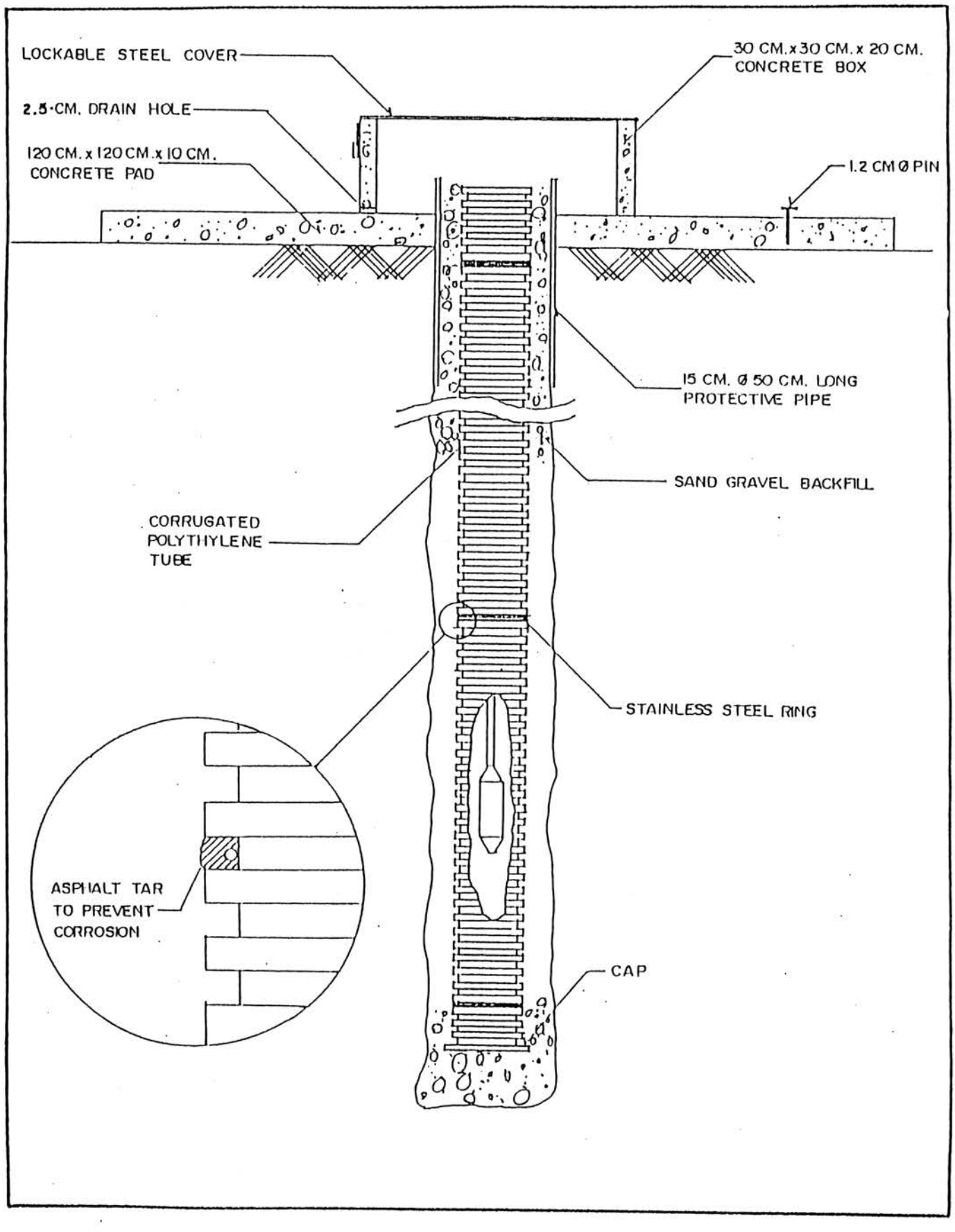
ระบบการวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ สามารถวัดการทรุดตัวของชั้นดินตามความลึกต่าง ๆ ที่ต้องการตามแนวดิ่ง ติดตั้งบริเวณกลางและริมของแปลงทดสอบ ระบบนี้ประกอบท่อพลาสติกแบบย่น (corrugated plastic) ติดตั้งอยู่ในหลุมเจาะ มีวงแหวนโลหะติดอยู่รอบท่อนี้มีระยะห่าง 1.5 เมตร ขณะที่ชั้นดินรอบ ๆ ข้างทรุดตัวลง ตำแหน่งของวงแหวนจะทรุดตัวตามลงไปด้วย การหาตำแหน่งของวงแหวนที่เปลี่ยนแปลงไป ใช้เครื่องหยั่งซอนเด็กซ์ (Sondex probe) ภาพโดอะแกรมอธิบายระบบนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.27 ที่ปลายของท่อวัดการทรุดตัวนี้จะฝังอยู่ในดินชั้น Stiff Clay ซึ่งคิดว่าในทางปฏิบัติชั้นนี้มีการทรุดตัวน้อยมาก ระดับด้านบนของท่อจะตรวจสอบเป็นระยะและใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการหาระดับของวงแหวน

ในแปลงทดสอบที่ 1 และ 2 ติดตั้งท่อการทรุดตัวซอนเด็กซ์ (Sondex settlment tube) แปลงละ 2 ชุด และในแปลงทดสอบที่ 3 จำนวน 1 ชุด รายละเอียดวิธีการติดตั้งและการอ่านค่าของระบบการวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ อยู่ในภาคผนวก ก. (Appendix A)

3.3.5 มาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง (hydrostatic profile gauges)

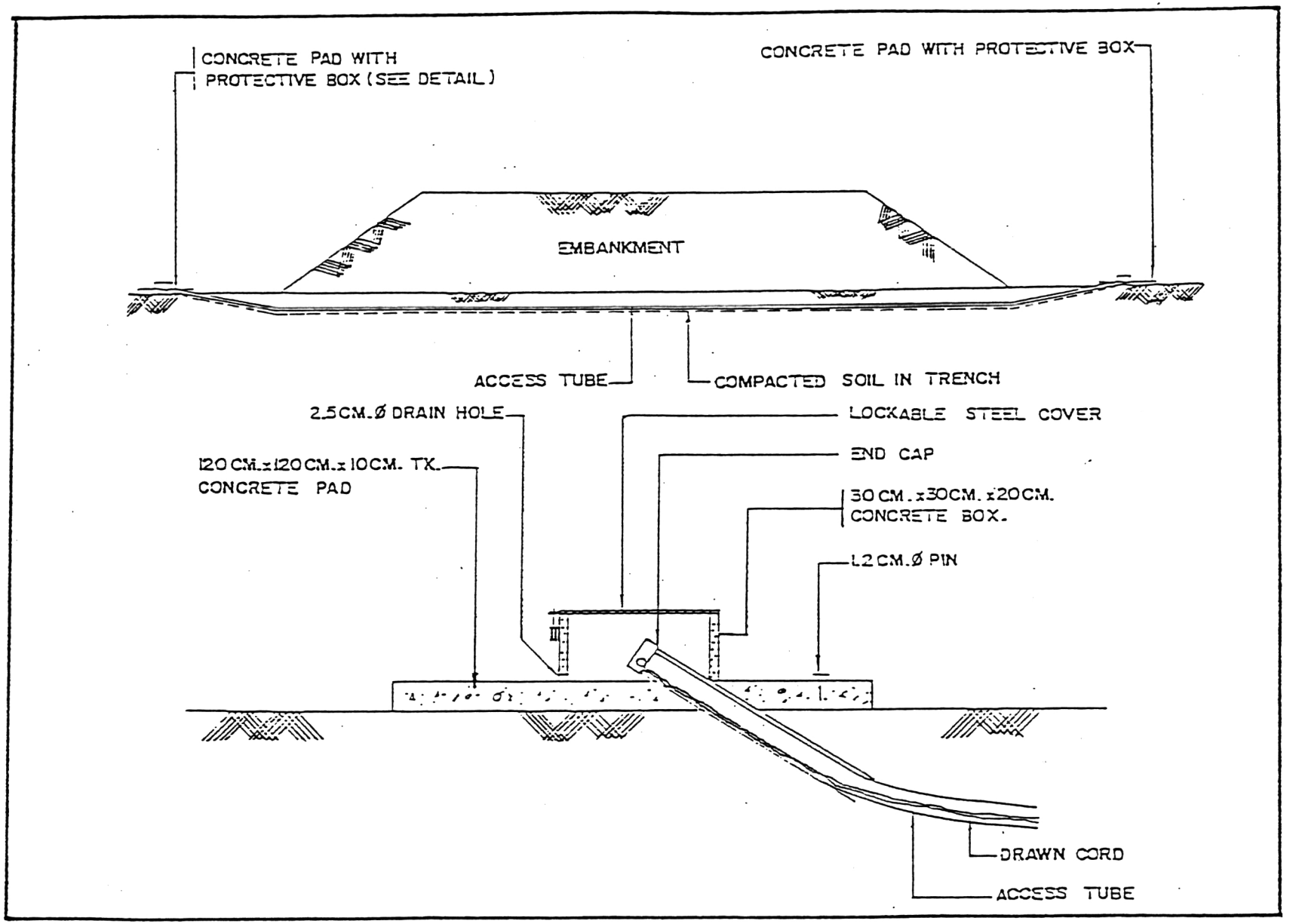
มาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง ใช้สำหรับวัดการทรุดตัวแบบตัดขวาง (Profile) ตามแนวราบที่กำหนดไว้ของแปลงทดสอบ ซึ่งกำหนดให้ผ่านจุดกึ่งกลางของแปลงทดสอบเพื่อหาภาคตัดขวาง (profile) ของการทรุดตัว มาตรวัดการทรุดตัว (settlement gauge) แต่ละอันยาวประมาณ 60 เมตร ติดตั้งอยู่ใต้แปลงทดสอบแต่ละแปลง ดังแสดงในรูปที่ 3.28 ในหลักการแล้วมาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง (hydrostatic profile gauge) คือ อินคลิโนมิเตอร์ ที่ติดตั้งตามแนวนอน เพื่อวัดการเคลื่อนตัวตามแนวดิ่ง แทนที่จะวัดตามแนวด้านข้าง

วิธีการติดตั้งและการอ่านค่า ของมาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง (hydrostatic profile gauge) แสดงอยู่ในภาคผนวก ก. (Appendix A)



รูปที่ 3.27 รายละเอียดของระบบการวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์

(Sondex settlement system)



รูปที่ 3.28 รายละเอียดของมาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง

(Hydrostatic profile gauges)

3.4 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพดินของแปลงทดสอบ (Performance of Soil Inprovement Test Sections)

หลังจากการถมทรายทำผืนทราย (Sand Blanket) การทำท่อทรายระบายน้ำ ในแปลงทดสอบ การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือใช้วัดค่าต่าง ๆ เพื่อติดตามพฤติกรรมของแปลงทดสอบทั้งสามแปลงทดสอบแล้ว จะมาถึงขั้นตอนต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการทดสอบ แปลงทดสอบทั้งสาม ซึ่งขั้นตอนและอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ในการทดสอบแปลงทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 <u>แปลงทดสอบที่ 1</u>

แปลงทดสอบที่ 1 สร้างเสร็จเมื่อวันที่ 18 กันยายน พ.ศ.2526 การดำเนินการทดสอบวิธีสูบน้ำ เริ่มเมื่อวันที่ 19 กันยายน พ.ศ.2526 แต่ก่อนที่จะเริ่มทดสอบสูบน้ำจริง ได้มีการทดสอบย่อย ๆ ก่อน เพื่อทดลองวิธีการดำเนินงาน โดยทำที่ท่อทรายระบายน้ำ 5 หลุมแรก อยู่บริเวณมุมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของแปลงทดสอบนี้ เมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ.2526 จากการทดลองทดสอบด้วยการสูบน้ำจากฟิลเตอร์ตัวล่างและดำเนินการสูบสูญญากาศ (Vacuum) ภายใต้ความดัน 0.8 บาร์ (8 ตันต่อตารางเมตร) สามารถที่จะดำเนินการควบคุมความดันต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติ และเพื่อที่จะสังเกตุการลดลง (drawdown) ของระดับน้ำในท่อทรายระบายน้ำจึงติดตั้งพิโซมิเตอร์แบบท่อยืนปิดปากท่อกันอากาศเข้า (standpipes with airtight sealed cap) เพิ่มขึ้นพิเศษอีก 2 ชุดในท่อทรายระบายน้ำ 2 ท่อ ในแปลงทดสอบนี้

3.4.1.1 การดำเนินการการสูบ (Pumping Operation)

การดำเนินการสูบอย่างสมบูรณ์แบบเต็มพื้นที่ของแปลงทดสอบที่ 1 นี้ เริ่มเมื่อวันที่ 19 กันยายน พ.ศ.2526 เริ่มการดำเนินงานด้วยการปิดฟิลเตอร์ด้านบนก่อนแล้วให้ความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (underpressure) เริ่มต้นด้วย 0.3 บาร์ (3 ตันต่อตารางเมตร) โดยค่อย ๆ เพิ่มในช่วงเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อทำการสูบน้ำออกจากท่อทรายระบายน้ำ บันทึกอัตราการไหลของน้ำที่สูบออกมาจากท่อทรายระบายน้ำทุกครึ่งชั่วโมง ต่อมาค่อย ๆ เพิ่มความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศเป็น 0.6 บาร์ (6 ตันต่อตารางเมตร) และคงความดันนี้ไว้ 16 ชั่วโมง หลังจากนี้ได้พยายามเพิ่มความดันให้เป็น 0.8 บาร์ โดยใช้เครื่องสูบน้ำเดินเครื่องเต็มที่ แต่สามารถทำได้ 0.68 บาร์ ต่อมาได้

เริ่มทำการใช้ฟิลเตอร์ด้านบนสูบอากาศออกเพื่อที่จะได้เพิ่มความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งผลปรากฏว่า เมื่อเริ่มต่อท่อฟิลเตอร์ด้านบนเข้ากับเครื่องสูบ ความดันกลับลดลงอย่างมาก แสดงว่า ต้องมีการรั่วอย่างมากเกิดขึ้น โดยควรจะมีสาเหตุมาจากฟิลเตอร์ด้านบน จึงทำการตรวจสอบข้อต่อและท่ออย่างละเอียดแต่ไม่พบการรั่ว จึงได้ทำการตรวจสอบสายสูบ (subsidiary pumping) และฉีดน้ำบนพื้นที่ทำงาน (working platform) จึงตรวจพบว่าการรั่วของอากาศเกิดขึ้นผ่านช่องว่างของดินชั้นบนตามธรรมชาติ ทำให้อากาศสามารถรั่วเข้าไปในท่อทรายระบายน้ำได้ หมายถึงว่า การที่คาดว่าดินจะเป็นกันอากาศเข้า ไม่เป็นตามที่คาด จึงได้ทำการขุดเป็นบ่อลึก 2 เมตร ภายในแปลงทดสอบพบรูเล็ก ๆ เป็นแนวดิ่งและรอยแตก ในชั้นดินเหนียวด้านบน เชื่อว่าเกิดจากการเน่าเปื่อยของรากต้นหญ้า, การเจาะของไส้เดือน และสภาพแห้ง อากาศในบรรยากาศจึงรั่วผ่านพื้นที่ทำงานที่เป็นทรายลงไปสู่ท่อทรายระบายน้ำที่ต่ำกว่าบริเวณที่อุดไว้ได้ ส่วนการทดลองทดสอบไม่พบปัญหานี้เพราะว่า เครื่องสูบมีกำลังพอที่จะชดเชยส่วนที่อากาศรั่วเข้าไปในท่อทรายระบายน้ำ

การแก้ปัญหานี้ จึงตัดสินใจทำการป้องกันอากาศเข้า (sealing) ขึ้น โดยวางอยู่ด้านบนของแปลงทดสอบ เพื่อป้องกันมิให้อากาศรั่ว ก่อนงานป้องกันอากาศเข้าจะดำเนินการใช้ฟิลเตอร์ตัวล่างสูบน้ำออกจากท่อทรายระบายน้ำ

3.4.1.2 การอุดรอยรั่วของฝืนทราย (Sealing of Sand Blanket)

การอุดรอยรั่วระหว่างฝืนทรายกับดินเดิม มีหลายวิธี เช่น การใช้วัสดุบิทูมินัส, ซีเมนต์ - เบนโทไนต์ หรือแผ่นพลาสติก สำหรับการแก้ปัญหาของแปลงทดสอบที่ 1 นี้ ใช้การวางแผ่นพลาสติกบนด้านบนของพื้นที่ทำงาน โดยวางบริเวณส่วนกลางของแปลงทดสอบ มีขนาดหนึ่งในสามของแปลงทดสอบ สาเหตุที่ทำการแก้ปัญหาที่บริเวณส่วนกลางเท่านั้น เนื่องมาจากปัญหาทางค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และบริเวณส่วนกลางนี้ มีเครื่องมือติดตามผลอยู่แล้ว

พื้นที่ที่ทำการอุดรอยรั่วมีขนาด 12 เมตร × 46 เมตร ซึ่งจะคลุมท่อทรายระบายน้ำแถว 15 ถึง แถว 26 ดังแสดงในรูปที่ 3.29 มุมทั้งสี่ของแผ่นพลาสติกฝังอยู่ในคูแคบ ๆ ลึก 1 เมตร ลงไปในชั้นดินเหนียว รอยต่อระหว่างแผ่นพลาสติกใช้การติดกาว 2 ชั้น ซึ่งได้ทำการทดสอบการรั่วตลอดแนวที่ติดกาว เพื่อให้แน่ใจว่าแผ่นพลาสติกนี้สามารถกันอากาศได้ ส่วนบริเวณที่เครื่องมือไผล่ออกมาเหนือแผ่นพลาสติก จะทำการอุด

ด้วยวิธีพิเศษ รายละเอียดของการอุดรอยรั่วบน Sand blanket แสดงอยู่ในรูปที่ 3.29

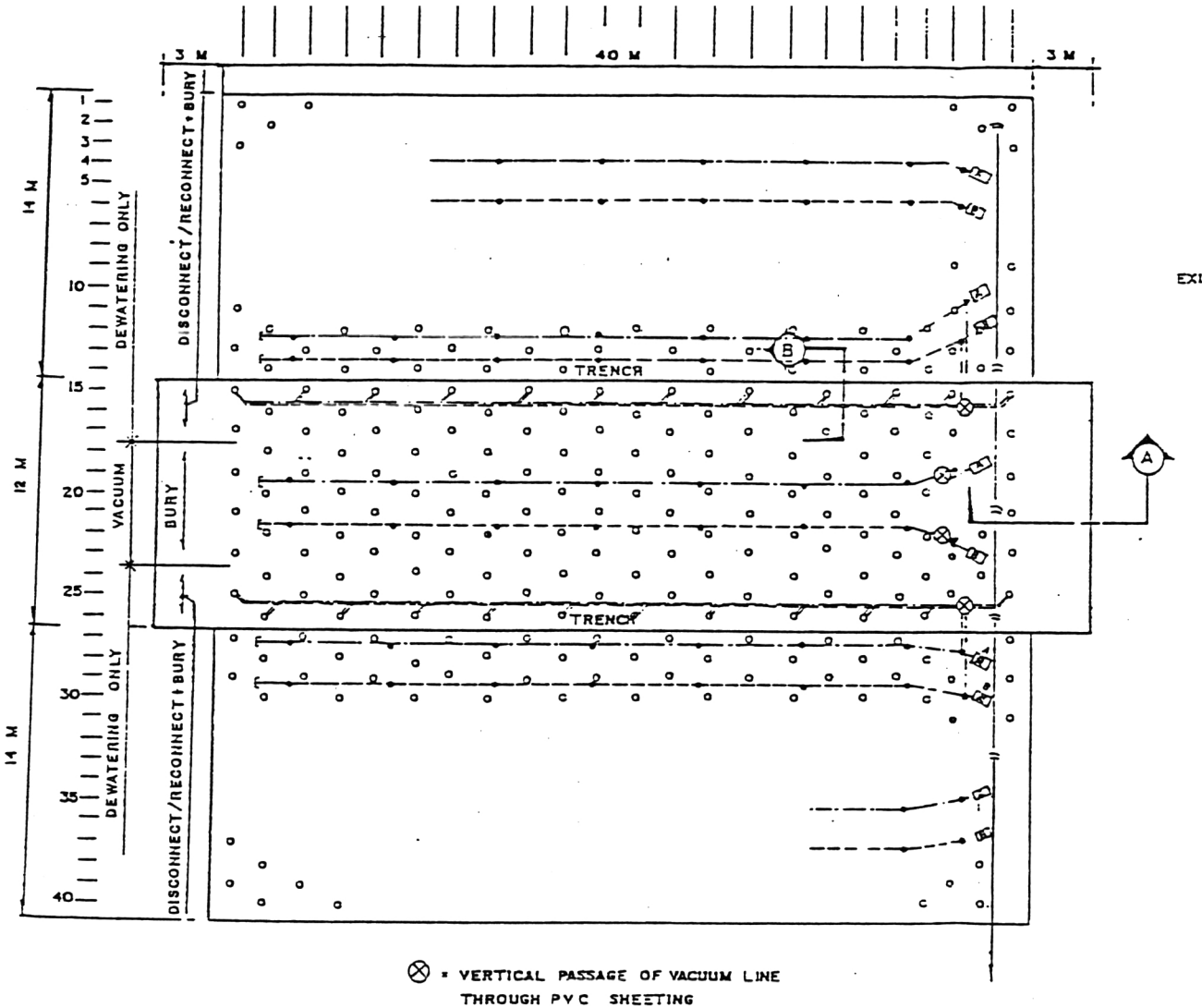
การดำเนินการสูบ หยุดเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2527 เพื่อเตรียมสำหรับงานอุดรอยรั่ว, การจัดระบบท่อใหม่และดำเนินงานต่าง ๆ ที่จำเป็น การดำเนินการใหม่เริ่มขึ้นอีกที เมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2527 ในขั้นนี้ บริเวณที่ดำเนินการอยู่ในท่อทรายระบายน้ำส่วนกลางของแปลงทดสอบเท่านั้น ที่จะติดตั้งท่อเข้ากับเครื่องสูบ จากการแก้ปัญหารอยรั่ว เมื่อทำการทดสอบต่อ โดยใช้ฟิลเตอร์ตัวบนสูบสามารถทำให้เกิดความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ 0.6 บาร์ ถึง 0.7 บาร์ การดำเนินการทดสอบแบบใช้เฉพาะฟิลเตอร์ตัวบน เสร็จสิ้นเมื่อวันที่ 14 เมษายน 2527 ซึ่งต่อมาได้ทำการทดสอบแบบวัฏจักร (cyclic pumping) โดยใช้ฟิลเตอร์ตัวบนและฟิลเตอร์ตัวล่างสลับกันเป็นวัฏจักร

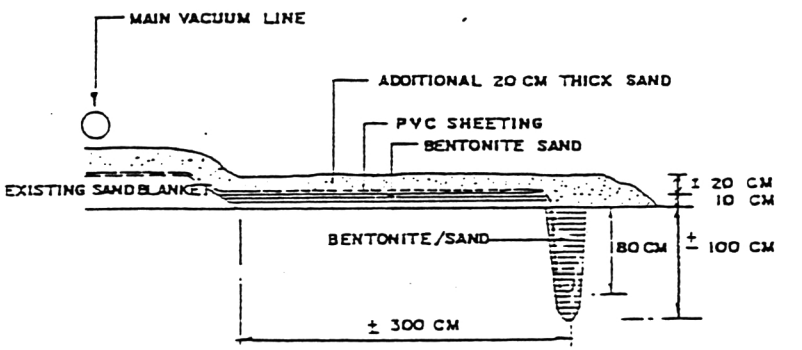
3.4.1.3 การสูบแบบวัฏจักรโดยใช้ฟิลเตอร์บนและฟิลเตอร์ล่าง (Cyclic Pumping from Top and Bottom Filters)

ในหลักการของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการให้น้ำหนักบรรทุกก่อนด้วยระบบสูญญากาศ จะให้ผลที่ดีได้ ต่อเมื่อระดับน้ำและความดันอากาศภายในท่อทรายระบายน้ำ ลดลงมาจนถึงขีดจำกัดที่ต่ำที่สุด แต่จากสภาพสนาม พบว่า เมื่อการต่อท่อสูบอากาศเข้ากับฟิลเตอร์บนแล้ว ภาวะสัมผัสระหว่างอากาศและน้ำ (air - water interface) เริ่มมีระดับสูงขึ้นและในที่สุดสูงถึงระดับฟิลเตอร์ด้านบน ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบแบบวัฏจักรเพิ่มขึ้น การสูบแบบวัฏจักร (Cyclic Pumping) เริ่มเมื่อวันที่ 14 เมษายน 2527 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

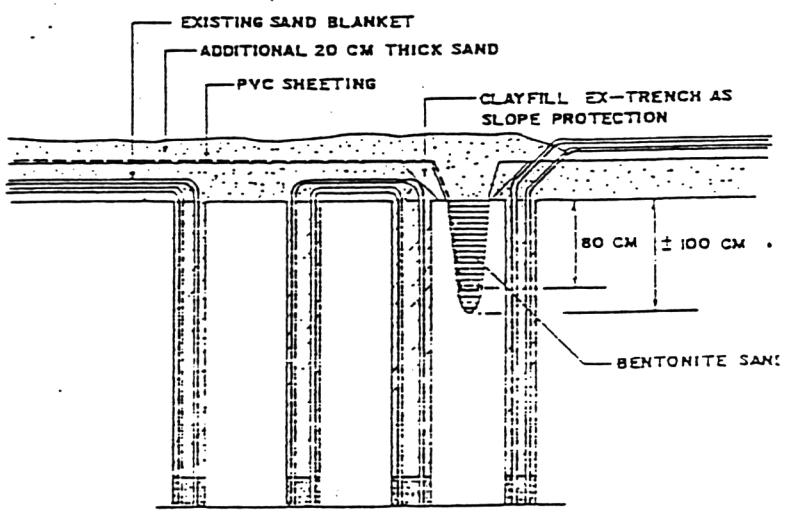
1. ปลดฟิลเตอร์บนออกจากเครื่องสูบสูญญากาศ (vacuum pump) และเปิดให้อากาศในบรรยากาศ สามารถเข้าได้ขณะที่ทำการสูบน้ำออกด้วยฟิลเตอร์ล่าง ทำให้ภาวะสัมผัสระหว่างอากาศและน้ำ (air - water interface) ลดลงไปเรื่อยจนถึงระดับที่เสถียร

2. ต่อท่อฟิลเตอร์บนกลับไปใหม่กับเครื่องสูบสูญญากาศ เพื่อที่จะสูบอากาศให้ความดันในท่อทรายลดลงภาวะสัมผัสระหว่างอากาศและน้ำจะค่อย ๆ ขึ้นไปจนถึงระดับฟิลเตอร์บน แล้วจึงปลดท่อฟิลเตอร์บนจากเครื่องสูบสูญญากาศ เพื่อที่จะเริ่มทำเป็นวัฏจักรใหม่อีกครั้ง จากการทดสอบวัฏจักรครั้งแรก พบว่าใน 1 วัฏจักรใช้ระยะเวลา 2 วัน จากที่ระดับน้ำที่ต่ำที่สุด จะสูงขึ้นมาตามท่อทราย จนถึงฟิลเตอร์บน ดังนั้นในการทดสอบสูบแบบวัฏจักรจึงทำเป็นช่วงระยะเวลาละ 2 วันต่อการทำ 1 วัฏจักร การทดสอบนี้สิ้นสุดเมื่อ

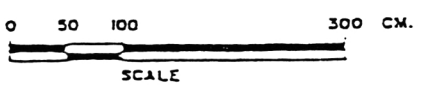




SECTION A



SECTION B



รูปที่ 3.29 รายละเอียดของการอุดรอยรั่วบนผืนทราย - แปลงทดสอบที่ 1

วันที่ 30 เมษายน 2527 ได้วัฏจักรทดสอบ 7 วัฏจักร

3.4.2 แปลงทดสอบที่ 2

หลังจากติดตั้งท่อทรายและเครื่องมือในสนามเรียบร้อยแล้ว ได้เกิดมีฝนตกหนักทั่วไปจนท่วม ในปลายปี 2526 แต่จากการทำคันดินรอบพื้นที่นำร่อง (Pilot Test) จึงทำให้น้ำไม่สามารถท่วมเข้าไปในพื้นที่ได้ แต่การนำวัสดุมาถมในแปลงทดสอบที่ 2 ไม่สามารถดำเนินการได้ ต้องรอจนระดับน้ำที่ท่วมลดลงจนสามารถให้รถบรรทุกเข้ามาตามถนนได้ แต่อย่างไรก็ตามการอ่านค่าต่าง ๆ จากเครื่องมือที่ติดตั้งไว้ในแปลงทดสอบทั้งสามยังคงดำเนินการไปอย่างปกติ

3.4.2.1 การดำเนินการถมวัสดุ (Filling Operation)

หลังจากถนนทางเข้าได้ซ่อมแซม จนรถยนตร์บรรทุกสามารถเข้าได้จึงได้เริ่มทำการถมวัสดุบนแปลงทดสอบที่ 2 นี้ ในเดือนมกราคม 2527 ขั้นตอนการถมวัสดุ ทำเป็น 2 ขั้นตอน ดังที่ได้กล่าวโดยละเอียดแล้วใน หัวข้อ 3.2.2.3

3.4.3 แปลงทดสอบที่ 3

การดำเนินการทดสอบแปลงทดสอบที่ 3 คล้ายกับแปลงทดสอบที่ 1 ข้อที่แตกต่างกันคือ ระยะห่างระหว่างท่อทราย และนอกเหนือจากเครื่องมือต่าง ๆ ที่ติดตั้งเหมือนแปลงทดสอบที่ 1 แล้วจะติดตั้งพิโซมิเตอร์แบบท่อยืน ขึ้นอีก 4 จุด เพื่อสังเกตุการลดลงของระดับน้ำในท่อทรายโดยติดในท่อทรายระบายน้ำที่ด้านข้างของแปลงทดสอบ 2 จุด และอีก 2 จุดในท่อทรายตรงกลางของแปลงทดสอบ

3.4.3.1 การดำเนินการสูบ (Pumping Operation)

จากประสบการณ์ที่ได้จากแปลงทดสอบที่ 1 ทำให้การลดความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศในแปลงทดสอบที่ 3 ต้องทำเป็น 3 ขั้นตอนในเวลา 2 วัน การสูบครั้งแรกเริ่มวันที่ 21 ตุลาคม 2526 จากฟิลเตอรด้านล่าง โดยที่ฟิลเตอร์บนปิด ทำให้ค่อย ๆ เกิดความดัน 0.3 บาร์ โดยคงความดันนี้ไว้ 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นต่อมาจึงเพิ่มเป็น 0.8 บาร์ แล้วคงความดันไว้ 19 ชั่วโมง ต่อมาได้พยายามที่เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำขึ้นไปอีก เพื่อให้เกิดความดันเพิ่มขึ้นมากกว่านี้ แต่ไม่สำเร็จแม้จะพยายามลองใช้ฟิลเตอร์บน กลับได้ความดันที่ต่ำเหมือนแปลงทดสอบที่ 1 จึงตกลงเปิดฟิลเตอร์บนให้อากาศเข้ามาได้ และใช้ฟิลเตอร์ล่างเป็นตัวสูบ ดังนั้นในแปลงทดสอบที่ 3 จึงเป็นการทำลดระดับน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดการยุบอัดตัวในชั้นดินเหนียวอ่อน (soft clay)

3.4.4 พื้นที่อ้างอิง (Dummy Area)

ในพื้นที่หุ่นนี้ได้ติดตั้งพิโซมิเตอร์แบบท่อยืนและ แผ่นวัดการทรุดตัวผิวดินซึ่งทำการวัดตลอดเวลา ควบคู่กับการทดสอบแปลงทดสอบทั้งสาม เพื่อใช้เป็นพื้นที่อ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ต่อไป