บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยพฤติกรรมการทรุดตัวและเสถียรภาพของคันดินถม ซึ่งคันดินดังกล่าวได้ทำการก่อสร้างบนชั้นดินอ่อนมากหรือชั้นดินโคลนบริเวณปากแม่น้ำดังแสดงในรูปที่ 3.1 ในการศึกษาวิจัยผู้ทำการวิจัยได้แบ่งการศึกษาออกเป็นข้อย่อยๆ ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน
2. ศึกษาวิธีการดำเนินการก่อสร้างคันดิน
3. เก็บข้อมูลการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงในสนาม
4. วิเคราะห์การทรุดตัวโดยวิธีการต่างๆในทางทฤษฎีและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการตรวจวัดในสนาม
5. วิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินถม

ในการศึกษาวิจัยทั้ง 5 ข้อที่กล่าวมาแต่ละข้อที่ทำการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน

การศึกษาสมบัติทางกลศาสตร์ของดินเป็นการศึกษาที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อที่จะได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของดินที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ผลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการทรุดตัวหรือเสถียรภาพ (Stability) ของคันดิน การศึกษาสมบัติของดินสามารถแยกได้ 2 ประเภท คือ

1. การหาสมบัติของดินโดยวิธีการทดสอบในสนาม (In-situ Testing)
2. การหาสมบัติของดินโดยวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ(Laboratory Testing)

การหาสมบัติของดินทั้ง 2 ประเภท จะให้ค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการหาสมบัติของดินทั้ง 2 ประเภทที่กล่าวมา เพื่อที่จะนำผลของค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล การศึกษาสมบัติทางกลศาสตร์ของดินมีดังต่อไปนี้

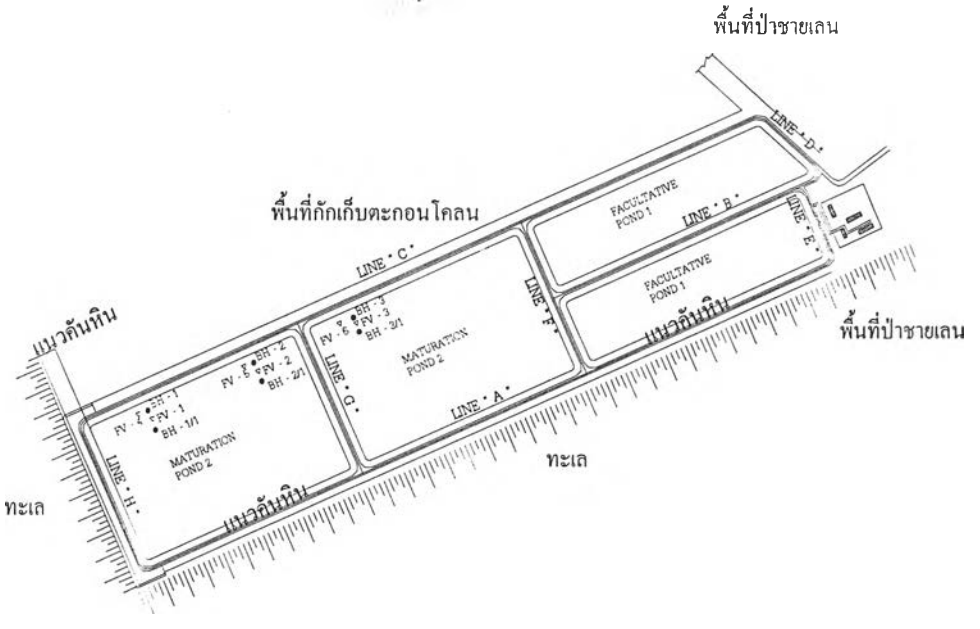
3.1.1 การเจาะสำรวจดิน (Soil Exploration)

สำหรับโครงการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียได้ทำการเจาะสำรวจดิน ณ สถานที่ก่อสร้าง เป็นจำนวน 6 หลุม โดยที่มีความลึกของหลุมเจาะดังต่อไปนี้

- ความลึกของหลุมเจาะที่ระดับ –5.50 เมตร จำนวน 1 หลุม
- ความลึกของหลุมเจาะที่ระดับ –10.00 เมตร จำนวน 2 หลุม
- ความลึกของหลุมเจาะที่ระดับ –18.45 เมตร จำนวน 3 หลุม

วิธีการเจาะสำรวจใช้เครื่องเจาะชนิด Rotary วิธีการเจาะในช่วง 1.00 – 2.00 เมตร แรกใช้การเจาะโดย Auger และที่ระดับลึกลงไปใช้วิธีการเจาะแบบ Wash Boring จนกระทั่งสิ้นสุดการเจาะสำรวจ ในขณะที่ทำการเจาะใช้ปลอกเหล็ก (Casing) และน้ำผสม Bentonite เพื่อป้องกันหลุมพัง การเก็บตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbe Sample) ในชั้นดินเหนียวเลนอ่อนมากทุกระดับความลึก 1.50 เมตร โดยใช้

กระบอกบาง (Thin Wall Tube Sample) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ตามมาตรฐาน ASTM D 1587-83 และเก็บตัวอย่างด้วย Piston Thinwall Shelby Tube Sampler ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ในชั้นดินเหนียวเลนอ่อนมากโดยเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 1.50 และ 4.50 เมตร ของหลุมเจาะ BH – 1/1, ที่ระดับความลึก 3.00 และ 9.00 เมตร ของหลุมเจาะ BH – 2/1, ที่ระดับความลึก 3.00 และ 7.50 เมตร ของหลุมเจาะ BH – 3/1 นอกจากเจาะสำรวจดินทั้ง 6 หลุม แล้วยังได้ดำเนินการทดสอบแรงเฉือนดินในสนาม (Field Vane Shear Test) จำนวน 6 จุดข้างหลุมเจาะ BH – 1 , BH – 2 , BH – 3 ในชั้นดินเหนียวเลนอ่อนมากทุกระดับความลึก 1.00 เมตร โดยใช้เครื่องมือ Geonor Vane Borer และทำการทดสอบการตอกมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) ในชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นดินทราย ตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจและการทดสอบแรงเฉือนในสนามทั้งหมดแสดงดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งของหลุมเจาะและการทดสอบแรงเฉือนในสนาม

3.1.2 การทดสอบในสนาม (In-situ Test)

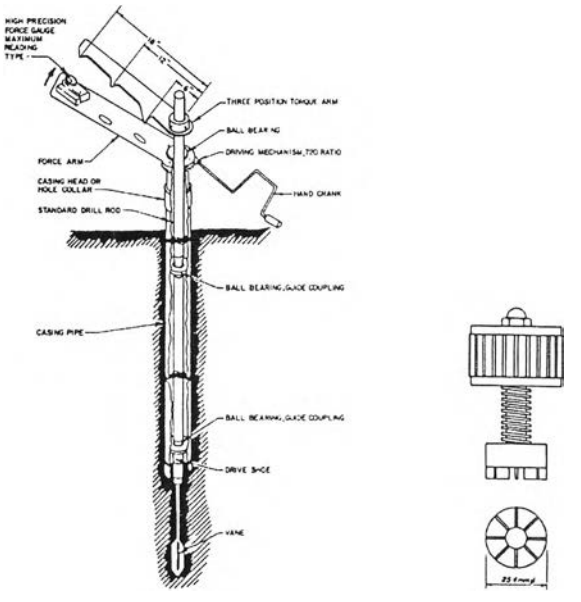
การทดสอบในสนามเป็นวิธีการหนึ่งที่ทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของดิน รายละเอียดของการทดสอบในสนามที่ได้ทำการทดสอบมีดังต่อไปนี้

3.1.2.1 การทดสอบแรงเฉือนดินในสนาม (Field Vane Shear Test)

การทดสอบใบเฉือนเป็นการทดสอบเพื่อหากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) และวัดความไวต่อการถูกรบกวน (Sensitivity) ของดินเหนียวอ่อน เครื่องมือประกอบด้วย ใบมีด 4 แผ่น ทำมุม 4 แฉกตั้งฉากซึ่งกันและกันเชื่อมติดกับแท่งเหล็กแกน (Rod) เพื่อส่งใบเฉือนไปยังตำแหน่งความลึกที่ต้องการทดสอบ ใบเฉือนมีขนาดมาตรฐานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง (เส้นผ่าศูนย์กลาง) เท่ากับ 2 ขนาดใบเฉือนที่ใช้กันมีสองขนาด คือ 110

x 55 มม. และ 130 x 65 มม. ความหนาของใบเฉือนเท่ากับ 1.95 มม. ลักษณะของเครื่องมือและการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.2 สำหรับการทดสอบใบเฉือนสามารถแยกได้ 2 ชนิด คือ

1. การทดสอบใบเฉือนแบบ Geonor Vane Test
2. การทดสอบใบเฉือนแบบ Torvane Test



ก. Geonor Vane Test ข. Torvane Test

รูปที่ 3.2 เครื่องมือการทดสอบแรงเฉือนดินในสนาม [NAFVAC DM-7.1]

วิธีการทดสอบใบเฉือนแบบ Geonor Vane สามารถทำการทดสอบได้โดยไม่ต้องทำการเจาะหลุมเอาดินออก (Soil Boring) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน ระหว่างที่ไม่มีการทดสอบใบเฉือนจะถูกเก็บไว้ในฝัก (Protection Shoe) การมี Protection Shoe จะทำให้การทดสอบมีผลของแรงเสียดทานของดินรอบๆ แท่งแกนเหล็ก (Rod) น้อยลง การทดสอบเริ่มต้นจากการกดใบเฉือนพร้อมฝักไปยังความลึกที่ต้องการทดสอบ จากนั้นกดเฉพาะใบเฉือนออกจากฝักลงไปอีก 0.50 เมตร แล้วจึงหมุนใบเฉือนด้วยอุปกรณ์ ผ่านแท่งแกนเหล็กส่วนในโดยหมุนด้วยแรงบิดอัตราการหมุน 6 องศาต่อนาที จนกระทั่งดินเหนียวรอบใบเฉือนเกิดการวิบัติ ซึ่งดูได้จากแรงบิดเมื่อถึงจุดที่ดินเกิดการวิบัติค่าแรงบิดจะลดลง จึงหยุดการทดสอบ จากนั้นจึงดึงใบเฉือนเข้าเก็บในฝักเช่นเดิมและทำการกดใบเฉือนพร้อมฝักลงไปพร้อมๆกันจนถึงระดับที่ต้องการทดสอบระดับต่อไป การทดสอบใบเฉือนนิยมทดสอบทุกๆระยะ 1.00 เมตร ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินสามารถคำนวณได้จากค่าแรงบิดสูงสุด

$$Su_{FV} = \frac{2T}{\pi D^3\left(\frac{H}{D}+\frac{a}{2}\right)} \qquad .....(3.1)$$

เมื่อ Su_{FV} คือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

T คือ ค่าแรงบิดสูงสุด

H คือ ความสูงของใบเฉือน

D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบเฉือน

a คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับการกระจายของหน่วยแรงเฉือนที่ส่วนบนและส่วนล่างของระนาบวิบัติ

$= \frac{2}{3}$ เมื่อหน่วยแรงเฉือนกระจายกระจายอย่างสม่ำเสมอ

$= \frac{3}{5}$ เมื่อหน่วยแรงเฉือนกระจายกระจายเป็นรูปพาราโบลา

$= \frac{1}{2}$ เมื่อหน่วยแรงเฉือนกระจายกระจายเป็นรูปสามเหลี่ยม

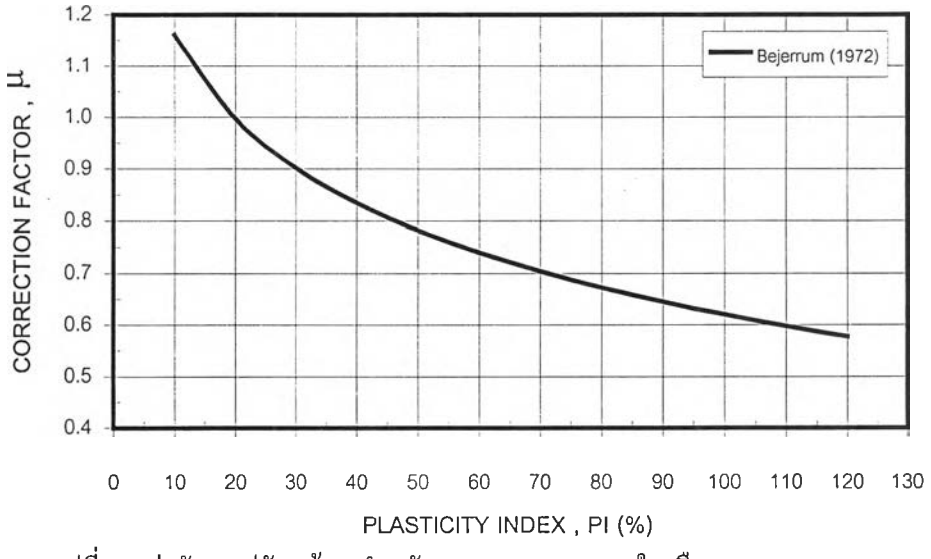
ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบโดยวิธี Field Vane Shear เมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลต่างๆต้องทำการปรับแก้โดยวิธีของ Bjerrum (1972) โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ μ จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 3.3

$$S_u = \mu S_{uFV} \qquad .....(3.2)$$

เมื่อ S_u คือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

S_{uFV} คือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ Field Vane ในสนาม

μ คือ ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ (Bjerrum, 1972) จากรูปที่ 3.3

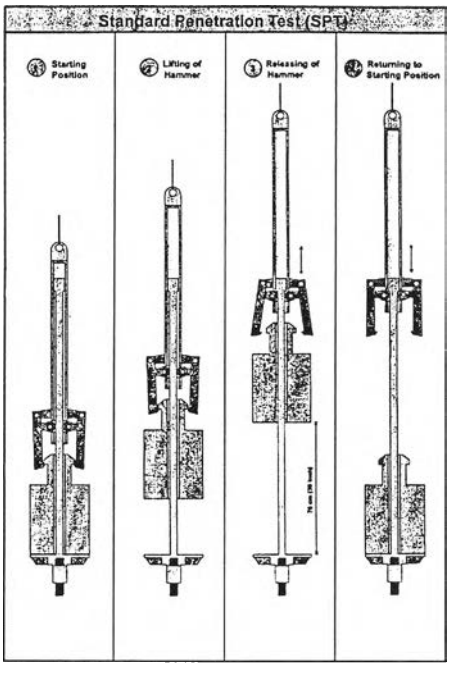


รูปที่ 3.3 ค่าตัวคูณปรับแก้ μ สำหรับผลจากการทดสอบใบเฉือน Bjerrum (1972)

การทดสอบใบเฉือนแบบ Tore Vane Test เป็นวิธีการทดสอบแรงเฉือนของดินโดยประยุกต์มาจากการทดสอบแบบ Geonor Vane Test ลักษณะเครื่องมือแสดงดังในรูปที่ 3.2ข เป็นการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินจากปลายล่างของกระบอกเก็บตัวอย่าง วิธีการทดสอบทำได้ด้วยการกด Torvane ให้ใบมีดจมลงไปในดินจนสุดแล้วจึงบิดใบเฉือน โดยออกแรงบิดผ่านสปริงเฉือนดินจนกระทั่งดินเกิดการวิบัติ ค่ากำลังรับแรงเฉือนหาได้โดยการอ่านค่าแรงบิดสูงสุดจากสปริง

3.1.2.2 การทดสอบการตอกมาตรฐาน (Standard Penetration Test ,SPT)

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความแน่นสัมพัทธ์ในที่ของชั้นทรายหรือกรวด หรือหาค่าความแข็ง – อ่อนของชั้นดินเหนียวแข็ง การทดสอบจะใช้ตุ้มน้ำหนักส่งถ่ายแรงไปยังกระบอกผ่าโดยส่งผ่านก้านเจาะ เพื่อส่งกระบอกผ่าลงในชั้นดินและพร้อมกับการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่าซึ่งจะกระทำพร้อมๆกันกับการทดสอบ SPT เครื่องมือ-อุปกรณ์ที่สำคัญในการทดสอบมี ตุ้มน้ำหนัก 140 ปอนด์ (63.5 กิโลกรัม) และกระบอกผ่า วิธีการทดสอบจะยกตุ้มน้ำหนัก 140 ปอนด์ โดยให้มีระยะตก 30 นิ้ว ตุ้มน้ำหนักจะถูกปล่อยตกอย่างอิสระ ตกกระทบกับแป้นรองรับที่อยู่ส่วนปลายบนสุดของก้านเจาะ ส่วนที่ปลายล่างสุดของก้านเจาะจะเป็นหัวทดสอบซึ่งเป็นกระบอกผ่าซีกมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ผลการทดสอบจะเป็นค่าจำนวนครั้งที่ใช้ในการปล่อยให้ตุ้มตกกระทบให้กระบอกผ่าจมลงในชั้นดินเป็นระยะ 1 ฟุต โดยที่การนับจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงๆ ละ 6 นิ้ว จำนวนครั้งที่ได้จะนำเฉพาะจำนวนครั้งใน 2 ช่วง หลังมารวมกัน ส่วนในช่วง 6 นิ้วแรกไม่นำมารวมทั้งนี้เพราะถือว่าในช่วงแรกเป็นการตอกเพื่อให้กระบอกผ่าจมเข้าที่ก่อนรวมถึงดินในช่วงแรกจะถูกรบกวนจากการเจาะนำหรือจากการล้างหลุมเจาะ ค่าที่ได้จะได้เป็นค่า N มีหน่วยเป็น ครั้ง/ ฟุต ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถนำไปหาคุณสมบัติของดินโดยใช้ความสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ทดสอบ



รูปที่ 3.4 วิธีการทดสอบการตอกมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT)

คุณสมบัติของดินสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ) หรือกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบแบบ Unconfined Compressive Strength (UC) กับผลการทดสอบ SPT ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 โดยที่ทำการปรับแก้ค่า N (SPT) โดยใช้กราฟที่ปรับแก้ในรูปของความสัมพันธ์กับค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง ซึ่งเสนอโดย Peck, Hansen and Thornburn (1974) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 หรือดังแสดงในตารางที่ 3.1

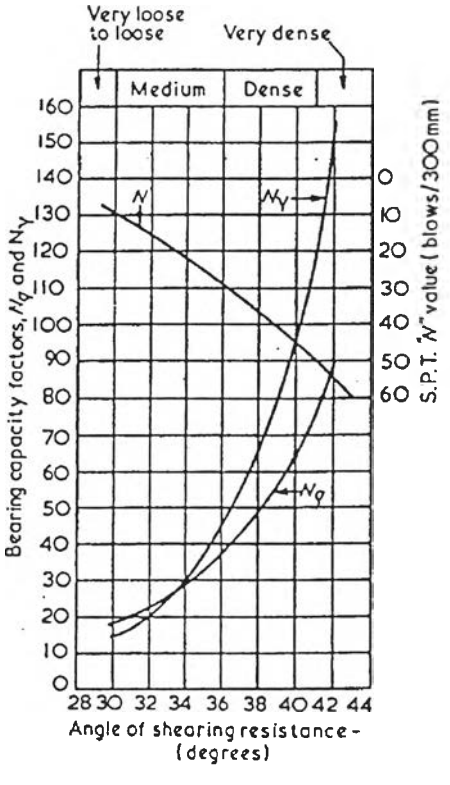
$$N = C_N N_{field} \qquad .....(3.3)$$

เมื่อ C_N คือ ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ (รูปที่ 3.5)

N_{field} คือ ค่า N (SPT) จากการทดสอบในสนาม

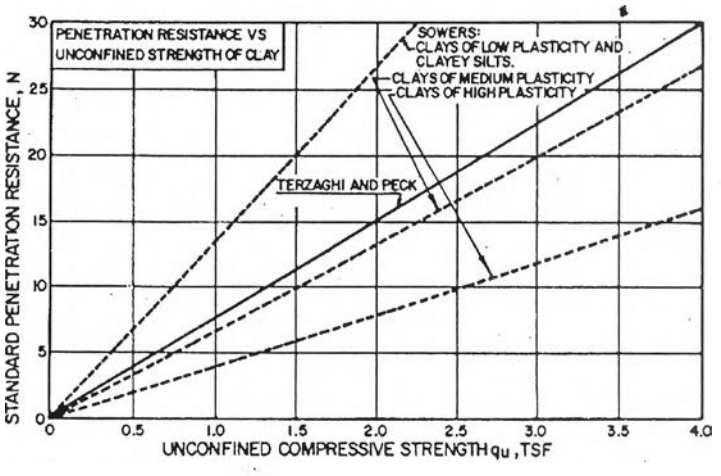
ตารางที่ 3.1 วิธีการปรับแก้ค่า N (SPT) เนื่องจากผลของ Effective Overburden Pressure, $\overline{\sigma}_v$

Reference	Correlation, C_N	Unit of $\overline{\sigma}_v$
Teng (1962)	$C_N = \frac{50}{10 + \overline{\sigma}_v}$	psi.
Bazaraa (1967)	$C_N = \frac{4}{1 + 2\overline{\sigma}_v}$, $\overline{\sigma}_v \le 1.5$ ksc. $C_N = \frac{4}{3.25 + 0.5\overline{\sigma}_v}$, $\overline{\sigma}_v > 1.5$ ksc.	ksf.
Peck, Hansen and Thornburn (1974)	$C_N = 0.77 \log \frac{20}{\overline{\sigma}_v}$	tsf.
Tokimatsu and Yoshimi (1983)	$C_N = \frac{1.7}{0.7 + \overline{\sigma}_v}$	ksc.
Seed (1976)	$C_N = 1 - 1.25 \log \sigma'_V$	tsf.

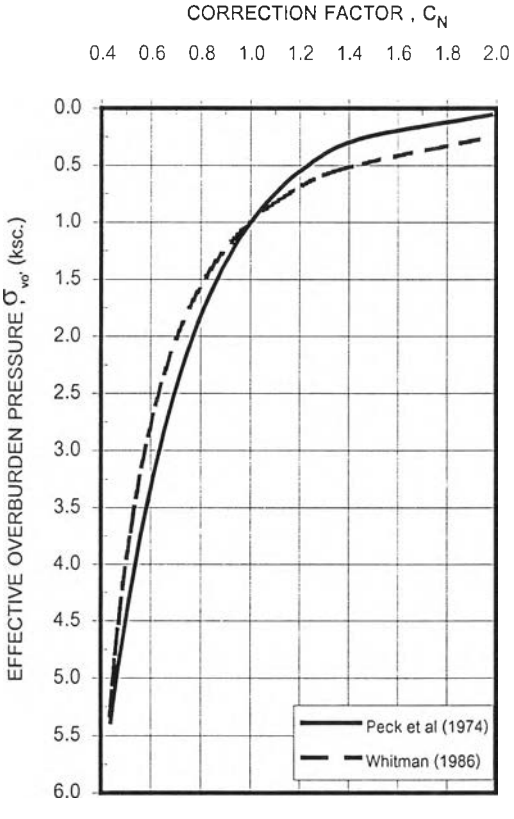


รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT (N) กับค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ)

[Simon,N.E. and Menzies,B.K.]



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT (N) กับ กำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบแบบ Unconfine Compressive Strength (UC)



รูปที่ 3.7 ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ค่า SPT [Simon,N.E. and Menzies,B.K.]

3.1.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Testing)

การทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาสมบัติของดินสามารถแยกออกได้ 2 ประเภทตามสมบัติของดิน คือ การทดสอบหาสมบัติขั้นพื้นฐานของดิน และ การทดสอบหาสมบัติของดินด้านวิศวกรรม

3.1.3.1 การทดสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐาน

เป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติพื้นฐานของดิน เพื่อเป็นการจำแนกชนิดและลักษณะของดิน รวมถึงสามารถบ่งชี้ถึงปัญหาทางด้านวิศวกรรมที่จะเกิดขึ้นได้ สมบัติขั้นพื้นฐานของดินเรียกได้อีกอย่างว่า ดัชนีของสมบัติ (Index Property) การทดสอบเพื่อหาสมบัติพื้นฐานของดินจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะทำการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรม การทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. การทดสอบหาปริมาณความชื้นของดินในธรรมชาติ (Natural Water Content)
2. การทดสอบหาความหนาแน่นรวม (Total Density)
3. การทดสอบหาค่าพิกัด Atterberge (Atterberge Limit)

3.1.3.2 การทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม

เป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติด้านกำลังรับน้ำหนักหรือกำลังรับแรงเฉือนของดิน สมบัติด้านความสามารถในการไหลซึมของน้ำผ่านดิน และสมบัติด้านการเคลื่อนตัวของดิน การทดสอบหาสมบัติด้านวิศวกรรมมีการทดสอบอยู่หลายวิธีแต่ละวิธีก็จะให้ผลการทดสอบที่ไม่เท่ากัน ในที่นี้การทดสอบหาสมบัติด้านวิศวกรรมของดินจะทำการหา สมบัติด้านกำลังรับน้ำหนักหรือกำลังรับแรงเฉือนของดิน และสมบัติด้านการเคลื่อนตัวของดิน

1. การทดสอบการอัดตัวแบบอิสระ (Unconfined Compression Test ,UC)

การทดสอบเป็นการทดสอบที่ง่ายและเป็นที่นิยมกันมาก วิธีการทดสอบโดยการนำตัวอย่างดินเหนียวที่ได้จากการเจาะสำรวจมาตัดกลึงเป็นรูปทรงกระบอกโดยที่มีอัตราส่วนของความสูงต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างเท่ากับ 2 และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1.4 นิ้ว ตัวอย่างจะถูกทดสอบโดยการเพิ่มหน่วยแรงรวมในแนวดิ่งจนกระทั่งตัวอย่างดินเกิดการวิบัติ หน่วยแรงสูงสุดในแนวดิ่งจะเป็นค่ากำลังอัดตัวแบบอิสระ (Unconfined Compressive Strength, q_u) การทดสอบโดยวิธีนี้จะมีค่าหน่วยแรงทางด้านข้างเท่ากับศูนย์ตลอดเวลา ค่ากำลังรับแรงเฉือน (S_u) ของดินจึงมีค่าเท่ากับ $\frac{q_u}{2}$

2. การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

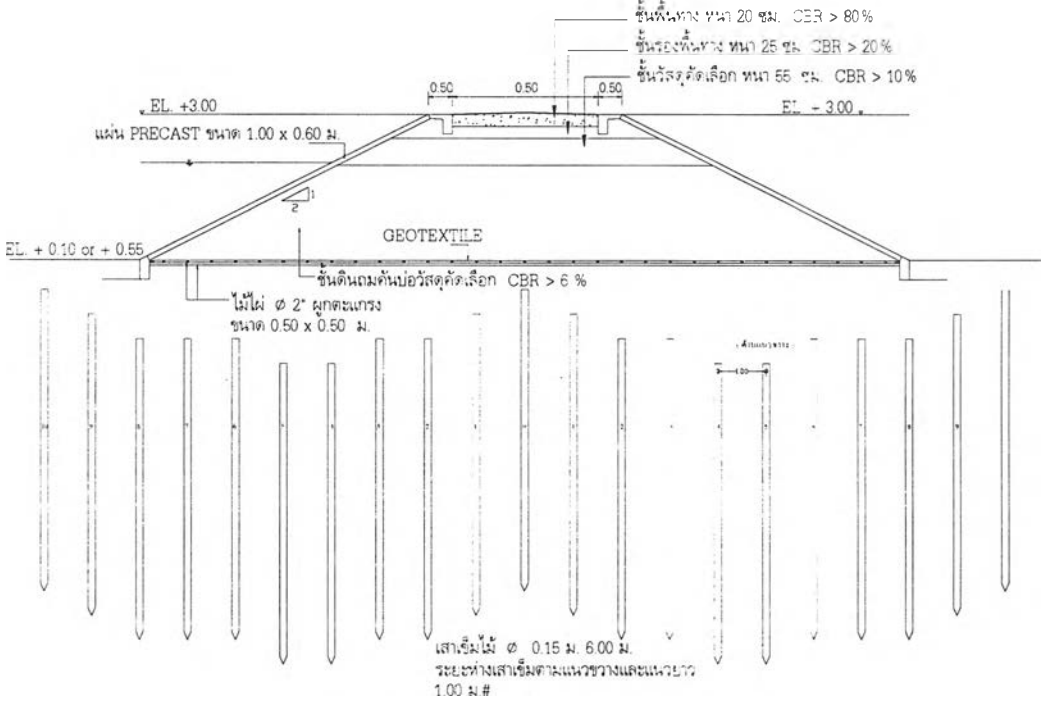
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติทางด้านการทรุดตัวของดินไม่สามารถหาสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินได้เนื่องจากตัวอย่างดินที่ทดสอบไม่เกิดการวิบัติ และตัวอย่างดินยังถูกบังคับให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งเพียงทิศทางเดียว ข้อมูลหรือค่าพารามิเตอร์ของดินที่ได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ คือ

- ค่าสัดส่วนการอัดตัว (Compression Ratio ,CR)

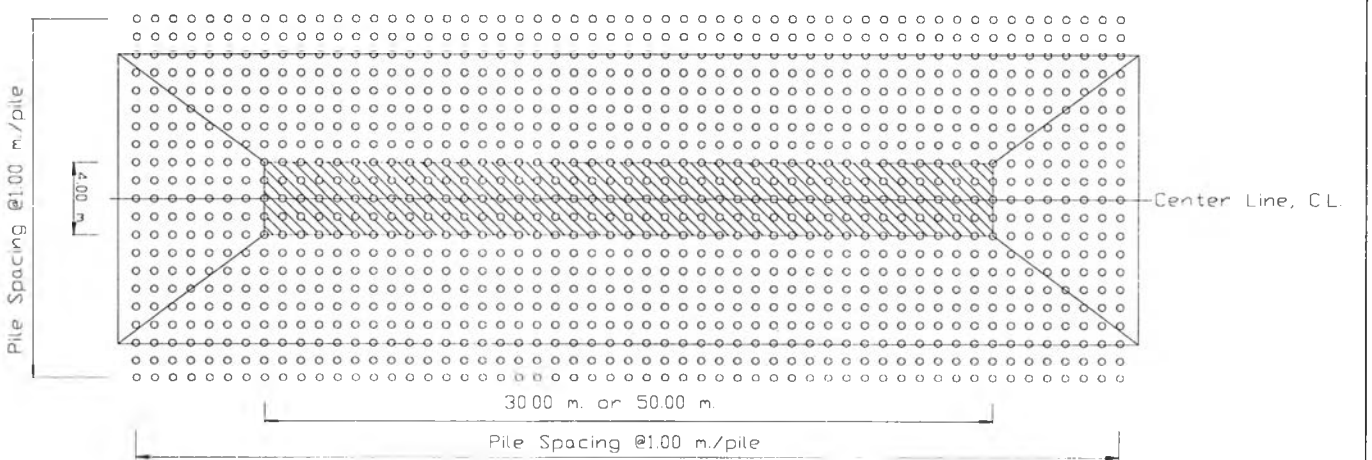
- ค่าสัดส่วนการอัดตัวซ้ำ (Recompression Ratio , RR)
- ค่าสัมประสิทธิ์ความอัดตัวเชิงปริมาตร (Coefficient of Compressibility , m_v)
- ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต (Maximum past Pressure , $\overline{\sigma}_{vm}$)
- ค่าสัมประสิทธิ์ของการอัดตัวครั้งที่สอง (Coefficient of Secondary Compression , C_α)
- ค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of Consolidation)

3.2 วิธีการดำเนินการก่อสร้าง

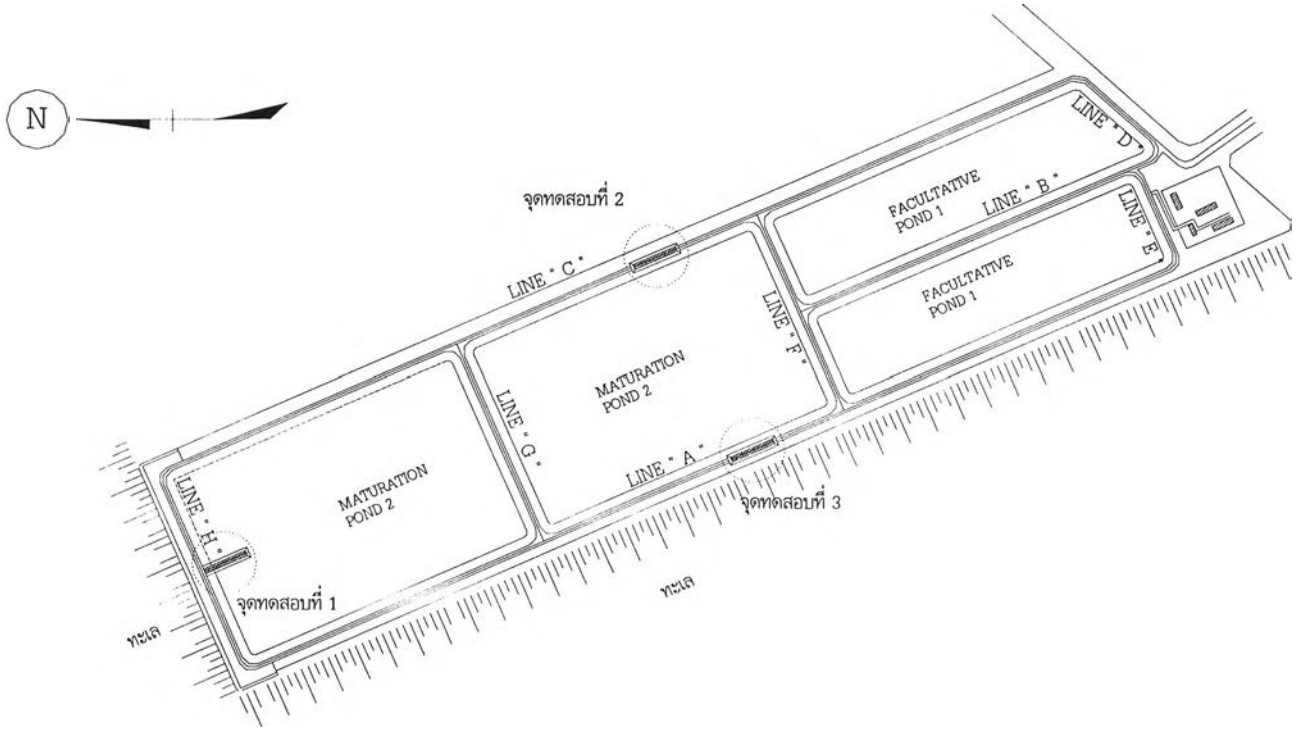
จากลักษณะของพื้นที่ของโครงการและลักษณะของคันดินที่ทำการทดสอบ (Test Section) ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดขั้นตอนการก่อสร้างคันดินเฉพาะคันดินรูปแบบที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และแบบแปลนคันดินแสดงในรูปที่ 3.9 ได้แสดงตำแหน่งของเสาเข็มไม้ ซึ่งเป็นรูปแบบของคันดินที่ได้ทำการศึกษาและทำการเก็บข้อมูลต่างๆ รวมถึงเป็นคันดินที่จะทำการวิเคราะห์ผลการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในทางทฤษฎี และ การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดิน และตำแหน่งของจุดทดสอบก่อสร้าง (Test Section) ที่ทำการเก็บข้อมูลมีทั้งหมด 3 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งตำแหน่งจะอยู่ในแนวคันดิน Line A, Line B และ Line C



รูปที่ 3.8 รูปตัดตามขวางของคันดินที่ทำการศึกษา



รูปที่ 3.9 แบบแปลนตำแหน่งเสาเข็ม

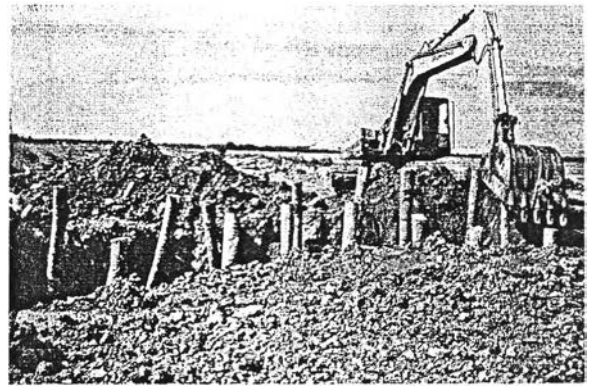


รูปที่ 3.10 ตำแหน่งจุดทดสอบคันดิน (Test Section)

ขั้นตอนการก่อสร้างแบ่งแยกออกได้ทั้งหมด 4 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีกระบวนการและรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การตอกเสาเข็มไม้

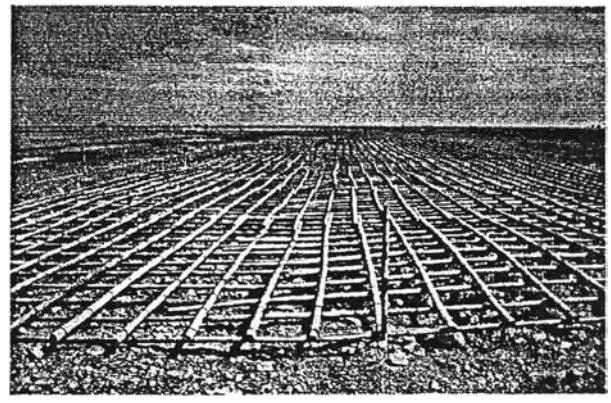
เสาเข็มที่ใช้เป็นเสาเข็มไม้ยางพาราซึ่งมีราคาต่ำและหาได้ง่ายในพื้นที่ใกล้เคียง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร มีความยาวของเข็ม 6.00 เมตร การตอกแสดงดังในรูปที่ 3.10 ในขั้นตอนนี้การตอกจะใช้วิธีการกดเข็มด้วยรถแบ็คโฮ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 มีระยะห่างของเสาเข็มวัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางเป็นระยะ 1.00 เมตร ทั้งในแนวตามยาวและตามขวางของคันดิน และระดับหัวเข็มจะถูกส่งฝังจมในชั้นดินที่ระดับ –0.50 , -1.00 , -1.50 และ –2.00 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการตอกเข็มไม้

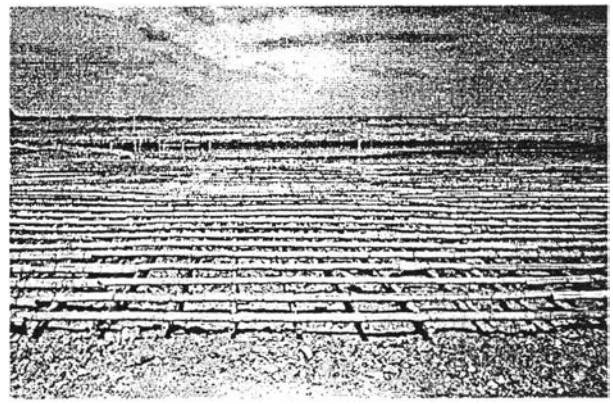
ขั้นตอนที่ 2 การผูกวางตะแกรงไม้ไผ่

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการผูกวางตะแกรงไม้ไผ่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร การผูกวางตะแกรงไม้ไผ่จะกำหนดให้มีระยะห่าง 0.50 เมตร ทั้งในแนวตามยาวและตามขวางของคันดิน ขนาดความกว้างและความยาวของตะแกรงไม้ไผ่ ปูวางเต็มพื้นที่ฐานของคันดิน ดังแสดงในรูปที่ 3.12



ก.

รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการผูกวางตะแกรงไม้ไผ่



ข.

รูปที่ 3.12(ต่อ) ขั้นตอนการผูกวางตะแกรงไม้ไผ่

ขั้นตอนที่ 3 การปูแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile)

แผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้เป็นแผ่นใยสังเคราะห์ชนิด Non-Woven โดยแผ่นใยสังเคราะห์ที่นำมาใช้งานมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของแผ่นใยสังเคราะห์

คุณสมบัติ		คุณสมบัติ	หน่วย
1.	Type of product	Two layer mechanically bounded PP continuous filament nonwowen	-
2.	Opening Size O_{90}.	0.08	mm.
3.	Apparent Opening Size AOS O_{95}.	0.10	mm.
4.	Permeability	2 - 5	x 10^{-3} m/s.
	Normal to the plane	2	x 10^{-3} m/s.
5.	Tensile Strength	23	kN/m.
6.	Elongation at max load	85	85%
7.	Max. absorbed energy	10000	J/m.
8.	Cone drop Test (Hole - ϕ)	12	mm.
9.	CBR puncture resistance	3300	N
10.	Thickness	3 – 5	mm.
11.	Mass.	400	g/m^2.

การปูจะทำการปูทับลงบนตะแกรงไม้ไผ่ โดยการปูจะทำการปูเต็มพื้นที่ฐานคันดิน และทำการยึดขอบของแผ่นใยสังเคราะห์เข้ากับตะแกรงไม้ไผ่ ดังแสดงในรูปที่ 3.13

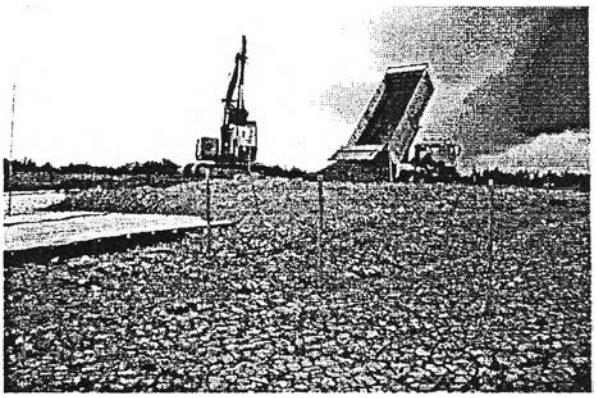
รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการปูแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile)

ขั้นตอนที่ 4 การถมดิน

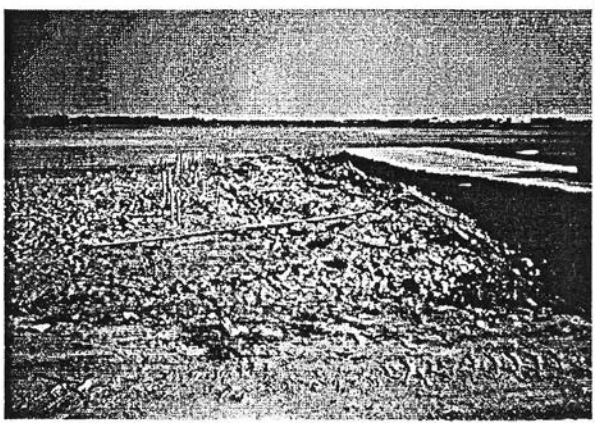
ในขั้นตอนนี้จะมีการแบ่งการถมดินออกเป็น 3 ชั้นหลักๆ ซึ่งในแต่ละชั้นจะแบ่งออกเป็นชั้นย่อยๆอีกโดยที่แต่ละชั้นย่อยจะมีความหนาไม่เกิน 0.80 เมตร จากการแบ่งการถมออกเป็น 3 ชั้นเมื่อทำการก่อสร้างถมชั้นที่ 1 แล้วเสร็จต้องทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 15 วัน จึงจะดำเนินการถมชั้นต่อไป จนถึงระดับความสูงของคันดิน +3.00 เมตร สำหรับดินที่ใช้ถมคันดินเป็นดินลูกรัง ในการถมแต่ละชั้นมีรายละเอียดต่อไปนี้

การถมดินชั้นที่ 1 การถมดินชั้นที่ 1 มีระดับสูงสุดอยู่ที่ + 1.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.14

- ถมดินลูกรังเป็นชั้นๆ ความหนาแต่ละชั้นไม่เกิน 0.80 เมตร นำรถเกลี่ยให้ได้ระดับ
- ถมดินลูกรังให้ได้ระดับสูงสุด +1.00 เมตร



ก.



ข.

รูปที่ 3.14 การถมคันดินชั้นที่ 1

การถมดินชั้นที่ 2 การถมดินชั้นที่ 2 มีระดับสูงสุดอยู่ที่ + 2.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.15

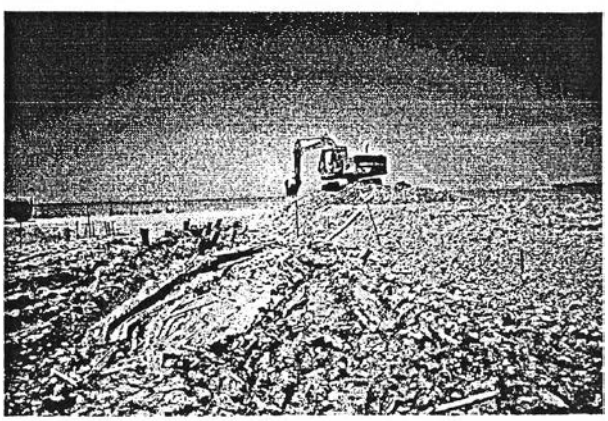
- ถมดินลูกรังเป็นชั้นๆ ความหนาแต่ละชั้นไม่เกิน 0.80 เมตร พร้อมบดอัดให้ได้ความแน่นแห้งไม่น้อยกว่า 80% Standard Proctor
- ถมดินลูกรังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ให้มีความหนาแต่ละชั้นไม่เกิน 0.80 เมตร พร้อมบดอัดให้ได้ระดับสูงสุด +2.00 เมตร

รูปที่ 3.15 การถมคันดินชั้นที่ 2

การถมดินชั้นที่ 3 การถมดินชั้นที่ 3 มีระดับสูงสุดอยู่ที่ + 3.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.16

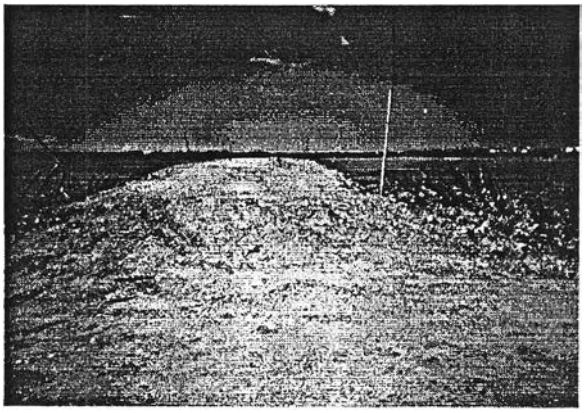
- ถมดินลูกรังเป็นชั้นๆ ความหนาแต่ละชั้นไม่เกิน 0.80 เมตร พร้อมบดอัดให้ได้ความแน่นแห้งไม่น้อยกว่า 80% Standard Proctor
- ถมดินลูกรังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ให้มีความหนาแต่ละชั้นไม่เกิน 0.80 เมตร พร้อมบดอัดให้ได้ระดับสูงสุด +3.00 เมตร

ก.



ข.

รูปที่ 3.16 การถมคันดินชั้นที่ 3

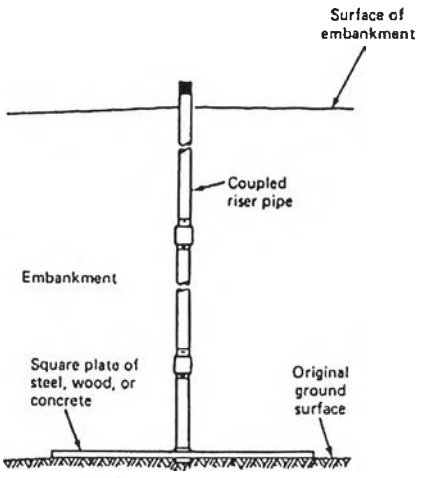


ค.

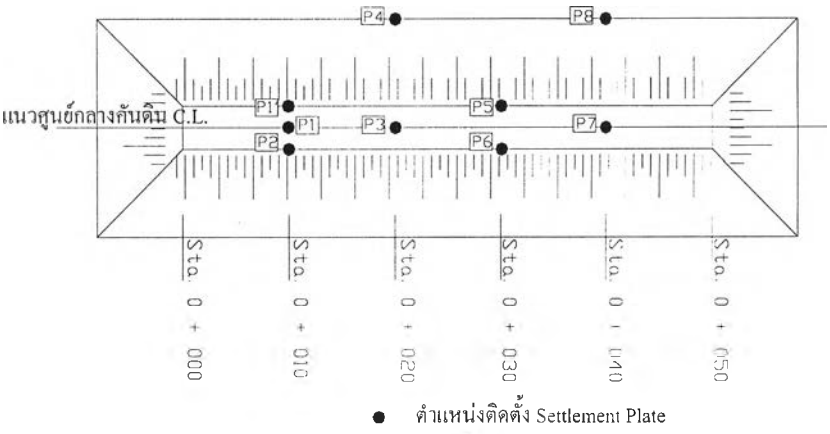
รูปที่ 3.16(ต่อ) การถมคันดินชั้นที่ 3

3.3 ศึกษาเก็บข้อมูลการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงในสนาม

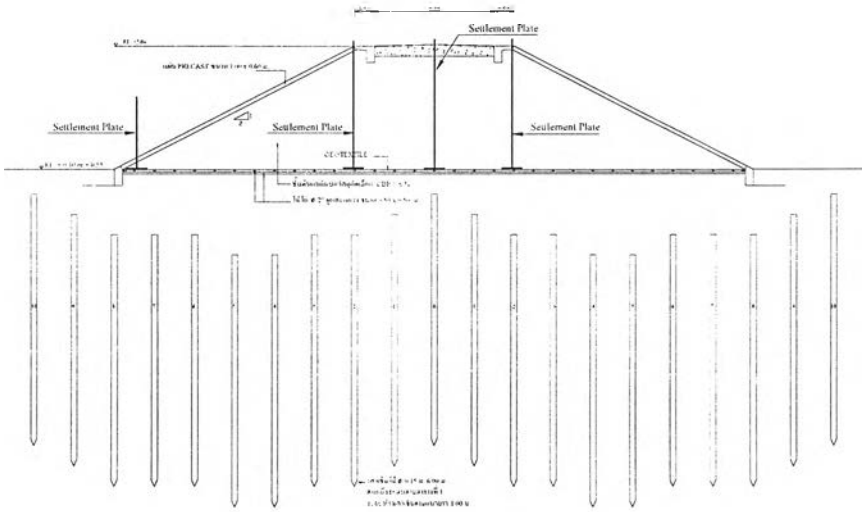
การเก็บข้อมูลการทรุดตัวในสนามเป็นวิธีการที่สำคัญมากสำหรับการวิเคราะห์ผลการทรุดตัวต่อไป การเก็บข้อมูลการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงในสนามจะใช้วิธีการติดตั้ง Settlement Plate ณ จุดที่ต้องการวัดค่าการทรุดตัว ลักษณะของ Settlement Plate แสดงในรูปที่ 3.17 ตำแหน่งที่ทำการติดตั้ง Settlement Plate แสดงดังรูปที่ 3.18 การวัดค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นได้ทำการวัดการทรุดตัวที่ผิวดินเดิมโดยที่อุปกรณ์ Settlement Plate ได้ติดตั้งวางบนแผ่นใยสังเคราะห์การเก็บข้อมูลจะทำการเก็บในช่วงที่ทำการก่อสร้างและภายหลังจากการที่ทำการก่อสร้างแล้วเสร็จ โดยที่ในช่วงการก่อสร้างจะทำการเก็บค่าการทรุดตัวเมื่อทำการถมดินในแต่ละชั้นแล้วเสร็จ การวัดการการทรุดตัวที่เกิดขึ้นนี้อ้างอิงกับหมุดหลักฐานการระดับ (Bench Mark, B.M.) และนอกจากวัดปริมาณการทรุดตัวที่เกิดขึ้นแล้วยังทำการเก็บข้อมูลการเคลื่อนตัวของมวลดินเดิม (Heave) โดยทำการแบ่งเป็น Station ต่างๆ และทำการเก็บข้อมูลที่ระยะต่างๆวัดออกจากแนวศูนย์กลางของคันดินทดสอบไปทางด้านข้างเป็นระยะ 30.00 เมตร



รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดการทรุดตัว Settlement Plate [Dunnicliff, J., 1988.]



ก. แปลนตำแหน่งติดตั้ง Settlement Plate



ข. รูปตัดตามขวาง

รูปที่ 3.18 ตำแน่งการติดตั้ง Settlement Plate

3.4 การวิเคราะห์การทรุดตัว (Settlement Analysis)

การวิเคราะห์การทรุดตัวได้ทำการวิเคราะห์ผลการทรุดตัวโดยพิจารณาการประมาณการทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันที (Immediate Settlement) ที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างที่ทำการก่อสร้าง (Settlement on Stage of Construction) เป็นหลัก โดยทำการวิเคราะห์ในทางทฤษฎีและเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลข้อมูลการตรวจวัดที่เกิดขึ้นจริงในสนาม

3.5 การวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability Analysis)

3.5.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้านกำลังรับแรงแบกทาน (Bearing Capacity Analysis)

การวิเคราะห์เสถียรภาพด้านกำลังรับแรงแบกทาน แยกการวิเคราะห์ออกเป็นกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1. กรณีที่ระดับคันดินถมมีระดับ +1.00 เมตร
2. กรณีที่ระดับคันดินถมมีระดับ +2.00 เมตร
3. กรณีที่ระดับคันดินถมมีระดับ +3.00 เมตร

3.5.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดของคันดิน (Slope Stability Analysis)

การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินใช้การวิเคราะห์โดยวิธีของ Simplified Bishop (1955) และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ สำหรับการวิเคราะห์จะแยกออกเป็นกรณีต่างๆ 2 กรณีหลักๆ คือกรณีที่ไม่มีการเสริมแรง (Non Reinforcement) และ กรณีที่มีการเสริมแรง (Reinforcement) ด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ ตะแกรงไม้ไผ่ และ เสาเข็มไม้

ในการวิเคราะห์เสถียรภพของเชิงลาดในกรณีที่มีการเสริมแรงด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ ตะแกรงไม้ไผ่ และ เสาเข็มไม้ มีสมมุติฐานว่าแนวการวิบัติเป็นแนวเดียวกันกับกรณีที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยวัสดุใดๆ โดยรายละเอียดการวิเคราะห์ในแต่ละกรณีมีดังต่อไปนี้

1 การวิเคราะห์กรณีที่ไม่มีการเสริมแรง (Non Reinforcement)

ในกรณีที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยวัสดุใดๆ แยกออกเป็นกรณีย่อย ดังต่อไปนี้

1.1 ก่อนทำการก่อสร้าง

กรณีที่ 1 วิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดิน

- เมื่อถมดินชั้นที่ 1
- เมื่อถมดินชั้นที่ 2
- เมื่อถมดินชั้นที่ 3

1.2 ระหว่างทำการก่อสร้าง

กรณีที่ 1 วิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดิน เมื่อจำลองให้พฤติกรรมของมวลดินที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากที่ถมชั้นที่ 1 แล้วเสร็จเป็นลักษณะของชั้นดินเดิม และเพิ่มน้ำหนักของคันดินให้ความสูงในการถมเป็นระดับของชั้นที่ 2

กรณีที่ 2 วิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดิน เมื่อจำลองให้พฤติกรรมของมวลดินที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากที่ถมชั้นที่ 2 แล้วเสร็จเป็นลักษณะของชั้นดินเดิม และเพิ่มน้ำหนักของคันดินให้ความสูงในการถมเป็นระดับของชั้นที่ 3

1.3 ภายหลังก่อสร้างเสร็จแต่ละชั้น

กรณีที่ 1 วิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดิน ภายหลังจากทำการก่อสร้างแล้วเสร็จในแต่ละชั้น ดังต่อไปนี้

- เมื่อถมดินชั้นที่ 1 แล้วเสร็จ
- เมื่อถมดินชั้นที่ 2 แล้วเสร็จ
- เมื่อถมดินชั้นที่ 3 แล้วเสร็จ

กรณีที่ 2 วิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดิน โดยที่จำลองแบบให้มีลักษณะที่นำส่วนของดินที่ Heave ออก เมื่อถมดินชั้นที่ 3 แล้วเสร็จ

2 กรณีที่มีการเสริมแรง (Reinforcement)

กรณีที่มีการเสริมแรงด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ ตะแกรงไม้ไผ่ และ เสาเข็มไม้แยกออกเป็นกรณีย่อย ดังต่อไปนี้

2.1 ก่อนทำการก่อสร้าง

กรณีที่ 1 วิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดินเมื่อมีการเสริมแรงด้วย แผ่นใยสังเคราะห์ และ เสาเข็มไม้ก่อนทำการก่อสร้าง

- เมื่อถมดินชั้นที่ 1
- เมื่อถมดินชั้นที่ 2
- เมื่อถมดินชั้นที่ 3

2.2 ระหว่างทำการก่อสร้าง

กรณีที่ 1 วิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดิน เมื่อจำลองให้พฤติกรรมของมวลดินที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากที่ถมชั้นที่ 1 แล้วเสร็จเป็นลักษณะของชั้นดินเดิม และเพิ่มน้ำหนักของคันดินให้ความสูงในการถมเป็นระดับของชั้นที่ 2

กรณีที่ 2 วิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดิน เมื่อจำลองให้พฤติกรรมของมวลดินที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากที่ถมชั้นที่ 2 แล้วเสร็จเป็นลักษณะของชั้นดินเดิม และเพิ่มน้ำหนักของคันดินให้ความสูงในการถมเป็นระดับของชั้นที่ 3

2.3 ภายหลังก่อสร้างเสร็จแต่ละชั้น

กรณีที่ 1 วิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดิน เมื่อมีการเสริมแรงด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ และ เสาเข็มไม้ ภายหลังจากทำการก่อสร้างแล้วเสร็จในแต่ละชั้น ดังต่อไปนี้

- เมื่อถมดินชั้นที่ 1 แล้วเสร็จ
- เมื่อถมดินชั้นที่ 2 แล้วเสร็จ
- เมื่อถมดินชั้นที่ 3 แล้วเสร็จ

กรณีที่ 2 วิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดิน โดยที่จำลองแบบให้มีลักษณะที่นำส่วนของดินที่ Heave ออก เมื่อถมดินชั้นที่ 3 แล้วเสร็จ