

1.3 การพังทลายของดิน (Landslide)

1.3.1 การคำนวณค่าเสถียรภาพของ Slope

(1) ค่าความปลอดภัยปัจจุบัน

ค่าความปลอดภัยของ slope ที่อาจเกิดการพังทลายหรือดินทรุดหลังการพังทลายจะหาโดยการตรวจสอบดินบริเวณจุดที่เกิดการขุดเจาะ และอื่น ๆ โดยทั่วไปค่าความปลอดภัย (F_s) เมื่อเกิดการพังทลายของดินจะประมาณ 0.9 เพื่อเป็นการอ้างอิงค่าความปลอดภัยของดินทรายหลังจากเกิด landslide อธิบายได้ดังนี้

1. ในกรณีเมื่อดินหยุดการเคลื่อนตัวและ slope เกิดความสมดุล : $F_s = 1.00$
2. ในกรณีการเคลื่อนตัวยังคงเกิดขึ้นเล็กน้อย : $F_s = 0.95$
3. ในกรณีที่เกิดการเคลื่อนตัวขนาดใหญ่ : $F_s = 0.90$

(2) ค่าความปลอดภัยที่ต้องการ

กล่าวได้ว่าค่าความปลอดภัยที่ต้องการคือค่าที่จะทำให้ slope เกิดเสถียรภาพในบริเวณที่เกิดการพังทลาย ค่าดังกล่าวจะหาได้โดยการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจาก landslide และ/หรืออันตรายที่มีต่อผู้ใช้ทาง และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างของถนน รวมทั้งผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ-สังคม ค่าความปลอดภัยที่ต้องการควรจะกำหนด ตามที่อธิบายไว้ดังนี้

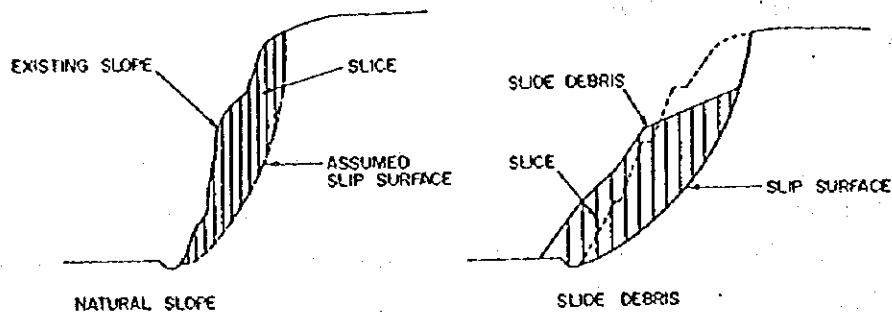
1. สำหรับงานซ่อมแซมเร่งด่วน : $0 < F_s < 1.05$
2. สำหรับมาตรการในระยะยาว : $0 < F_s < 1.20$

(3) การวิเคราะห์ Landslide

จากผลการสำรวจบริเวณที่เกิดจะนำมาประมาณทิศทาง ความลึก พื้นผิวน้ำของ landslide และในการเกิด landslide

1. slope และดินทลาย

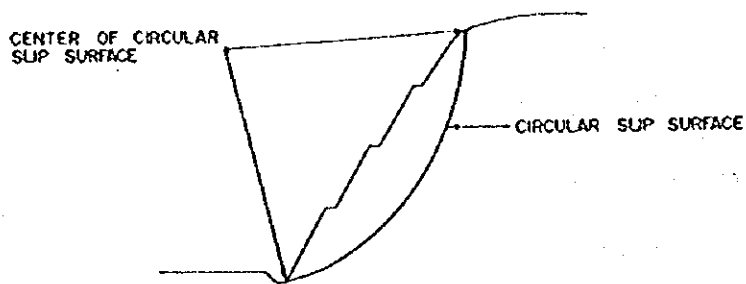
เพื่อเป็นการคำนวณเสถียรภาพบริเวณที่อาจเกิด landslide และบริเวณที่คลุมด้วยดิน ทลายจะแบ่งออกเป็นชั้นย่อย (slices) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.3.1 การแบ่งชั้นย่อยนั้นจะดำเนินการในบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิประเทศ



ภาพประกอบที่ 1.3.1 การแบ่งชั้นย่อย slope และดินทลาย

2. การประมาณผิวหน้าของ Landslide

ทิศทางของ landslide ดังได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.2 ส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณมุมที่สูงที่สุดของ slope อีเกิง แนวเลื่อนตัว (slip surface) ของการเกิด landslide ส่วนใหญ่จะขนานไปกับ slope สำหรับรูปร่างของผิวหน้าที่เลื่อนตัว ส่วนใหญ่จะเป็นเส้นโค้ง



ภาพประกอบที่ 1.3.2 สมมุติฐานของผิวที่เลื่อนตัว

3. แรงดันของน้ำที่แทรกตัวในดิน

แรงดันน้ำที่แทรกตัวในส่วนที่เกิดการเลื่อนตัว จะกำหนดไว้ที่ค่าระดับน้ำใต้ดินของหลุมเจาะ เมื่อมีการดำเนินการซ่อมแซมในช่วงฝนตกหนัก ส่วนใหญ่แล้วเป็นเรื่องยากที่จะดำเนินการเจาะ ดังนั้น ระดับน้ำใต้ดินจะประมาณโดยใช้ข้อสมมุติฐานดังต่อไปนี้

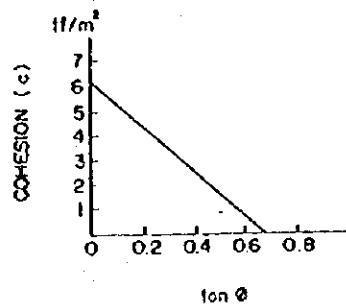
1. เมื่อระดับน้ำใต้ดินปกติใกล้หรืออยู่ภายใต้ผิวที่เกิดการเลื่อนตัว ระดับน้ำใต้ดินในช่วงฝนตกหนักจะสมมุติให้เพิ่มขึ้น 10-15 ม.

2. เมื่อระดับน้ำใต้ดินปรกติคือ 3-5 ม. เหนือระดับผิวที่เลื่อนตัว ในช่วงฝนตกหนักจะสมมุติให้เพิ่มขึ้น 5-7 ม.
3. เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ใน 5 ม. ของหลุมเจาะ ระดับน้ำใต้ดิน จะสมมุติให้ขึ้นถึงระดับผิวดินในช่วงฝนตกหนัก

(4) การคำนวณค่าเสถียรภาพ

1. ค่าคงที่ของปรุฟิกลศาสตร์ (Soil Mechanics Constant)

เมื่อค่าคงที่ของปรุฟิกลศาสตร์ไม่สามารถคำนวณได้ก็สามารถใช้ความสัมพันธ์ ระหว่างแรงยึด (cohesion) และแรงเสียดทานภายใน (ดูภาพประกอบที่ 1.3.3)



ภาพประกอบที่ 1.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึด และมุมเสียดทานภายใน

เพื่อความสะดวกแรงยึด (C) จะกำหนดโดยใช้ค่าเฉลี่ยของผิวที่เลื่อนตัวกับความหนาของดินหลายตามแนวตั้ง (ดูตารางที่ 1.3.1)

ตารางที่ 1.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาตามแนวตั้งเฉลี่ยกับแรงยึด

ความหนาตามแนวตั้งเฉลี่ย (ม)	แรงยึด (ตัน / ม ²)
5	0.5
10	1.0
15	1.5
20	2.0
25	2.5

ความแข็งแรงของแนวเลื่อนตัว (Weathered Slip Surface) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.3.2

ตารางที่ 1.3.2 ความแข็งแรงของ Weathered Slip Surface

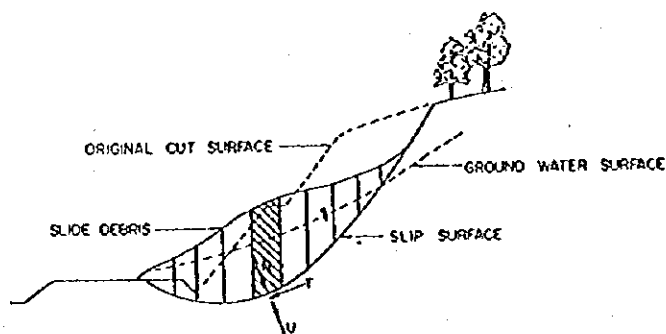
ประเภท		แรงยึด	มุมเสียดทาน ภายใน
หินแปร		0 ~ 0.2	20 ~ 28 (26)
หินอัคนี		0	23 ~ 36 (39)
หินชั้น	Palaeozoic	0 ~ 0.4	23 ~ 32 (29)
	Mesozoic	0 ~ 1.0	21 ~ 26 (24)
	Paleogene	0 ~ 2.0	20 ~ 25 (23)
	Neogene	0 ~ 2.5	12 ~ 22 (12.5)

อย่างไรก็ตามในบริเวณพื้นที่ที่น้ำใต้ดินอยู่ใกล้กับแนวเลื่อนตัว แรงดันน้ำที่แทรกตัวอยู่จะสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยแรงยึดควรจะสมมุติให้มีค่าเป็น 0

ในที่นี้ปริมาณต่อหน่วยของดินทรายได้กำหนดไว้ที่ 1.8 ตัน/ม³ อย่างไรก็ตามในกรณีพื้นที่ที่มี shirasu และหินขนาดใหญ่ หรือหินผุ และหินภูเขาไฟควรจะกำหนดให้มีการทดสอบบริเวณหน้างาน

2. การคำนวณค่าเสถียรภาพ

ดังได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.4 แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณค่าเสถียรภาพจะได้แบ่งดินหลายออกเป็นชั้นย่อย



ภาพประกอบที่ 1.3.4 แบบจำลองการคำนวณค่าเสถียรภาพ

สมการพื้นฐานในการประมาณค่าเสถียรภาพคือ

$$F_s = \frac{\sum \{ c \cdot l + c_w \cdot \cos \alpha - \mu \cdot l \} \tan \theta}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

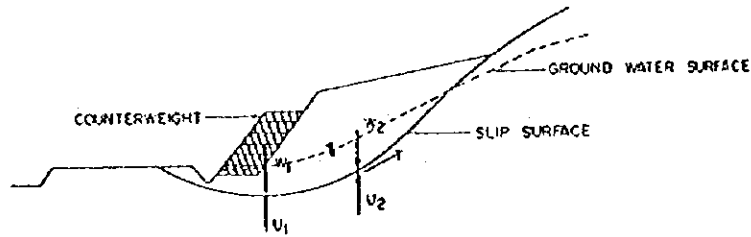
โดยที่

- F_s = ค่าความปลอดภัย
- c = แรงยึด (tf / m^2)
- ϕ = shear resistance angle ($^{\circ}$)
- l = ความยาวทั้งหมดของแนวเลื่อน (ม)
- W = น้ำหนักของชั้นย่อย (tf / m)
- α = มุมระหว่างชั้นย่อยกับแนวเลื่อน ($^{\circ}$)

ในเอกสารอ้างอิง I การคำนวณได้ทำโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในเอกสารนี้
จะได้อธิบายถึงโปรแกรมและแนวคิดในการคำนวณค่าเสถียรภาพ

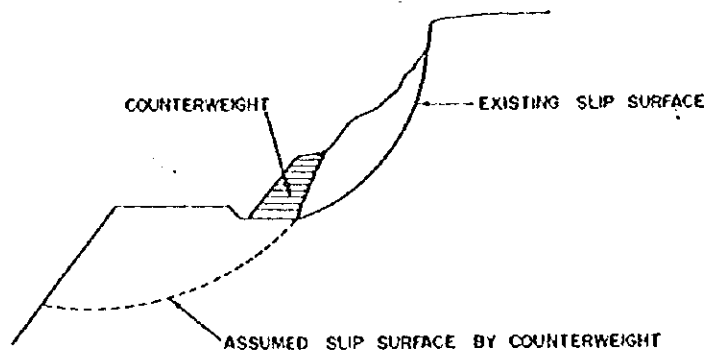
1.3.2 การใช้น้ำหนักกด (counterweight)

ดังได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.5 งานใช้น้ำหนักกดบริเวณฐาน slope จะมีน้ำหนักต่อหน่วยมากกว่าดินทราย โดยใช้ mat gabion และอื่น ๆ ซึ่งสามารถระบายน้ำผุดเพื่อป้องกันการพังทลายในอนาคต



ภาพประกอบที่ 1.3.5 งานที่ใช้น้ำหนักกด (counterweight)

เมื่อดำเนินงานนี้ น้ำหนักของส่วนกดสามารถที่จะทำให้เกิดการพังทลายของฐานรากดินได้ (ดูภาพประกอบที่ 1.3.6)

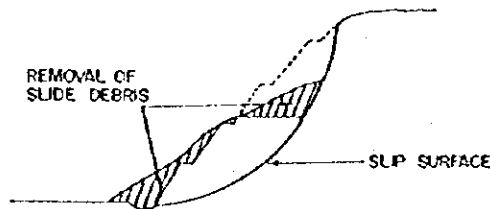


ภาพประกอบที่ 1.3.6 การพังทลายของฐานรากดิน

ดังนั้น เมื่อดำเนินการจึงจำเป็นที่จะต้องคำนวณค่าเสถียรภาพของดินทลายเสียก่อน หลังจากนั้นจึงกำหนดระดับที่ปลอดภัยแล้ว จึงดำเนินการก่อสร้างและซ่อมแซมเพื่อแก้ไขความเสียหายจาก landslide และเพื่อป้องกัน landslide ในอนาคต

1.3.3 การเคลื่อนย้ายดินหลาย

วิธีการที่เชื่อถือได้วิธีหนึ่งในการเคลื่อนย้ายดินทรายได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.7 โดยทั่วไปวิธีการนี้จะใช้สำหรับ landslide ที่มีขนาดเล็กและปานกลาง

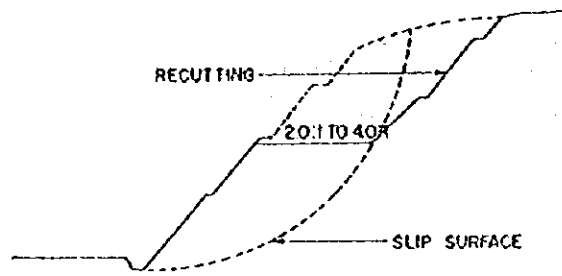


ภาพประกอบที่ 1.3.7 การเคลื่อนย้ายดินหลาย

เมื่อทำการขนถ่ายดินในเบื้องต้นนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องมั่นใจว่าได้ทำภายใต้ระดับความปลอดภัยเสียก่อน โดยการคำนวณค่าเสถียรภาพของดินหลายจากผลของการสำรวจที่กำหนด ขนาดของ landslide การกระจายตัว และความแข็งแรงของดิน

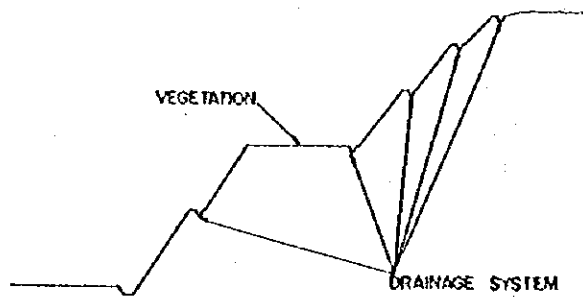
เมื่อดำเนินการขนถ่ายดินหลาย สามารถที่จะขนถ่ายทั้งหมดหรือส่วนใดส่วนหนึ่ง โดยทั่วไป เมื่อมีการขนถ่ายบางส่วนจะขนถ่ายเฉพาะดินส่วนบน แนวคิดในการขนถ่ายดินหลายอธิบายได้ ดังนี้

- วิธีการในการขนถ่ายดินหลาย
 1. บริเวณที่จะขนถ่าย : บริเวณส่วนบนของดินหลายจะนำออกไป อย่างไรก็ตาม หากดินส่วนล่างอ่อนมากก็นำออกไปด้วยเพื่อที่จะทำให้เกิดความสมดุล ดังนั้น การคำนวณค่าเสถียรภาพจะต้องดำเนินการเพื่อกำหนดค่าความปลอดภัย
 2. ความชันของ slope บริเวณการขนถ่ายดินหลาย : ความชันของ slope บริเวณจุดขนถ่าย ดินด้านบนจะต้องมีความลาด 2.0:1 - 4.0:1 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.3.8



ภาพประกอบที่ 1.3.8 ความชันของ slope บริเวณจุดชนถ่ายดิน

3. งานทำ slope หลังจากชนถ่ายดิน : หลังจากชนถ่ายดินแล้ว slope จะง่ายในการชันน้ำ และการกัดเซาะเนื่องจากฝน ดังนั้น ระบบระบายน้ำและงานปลูกพืชจะต้องดำเนินการขึ้น ดังได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.9



ภาพประกอบที่ 1.3.9 งาน slope หลังจากชนถ่ายดินทลาย

1.3.4 กำแพงกันดิน (Retaining Wall)

(1) ชนิด

กำแพงกันดินเป็นโครงสร้างที่รองรับโดยดิน เพื่อป้องกันการพังทลายของดิน นอกจากนี้ก็
ยังเป็นโครงสร้างที่ใช้ในงานตัดหรืองานถม เมื่อดินบริเวณ slope ไม่สามารถคงตัวอยู่ได้เนื่องจาก
ข้อจำกัดทางด้านเขตทาง ภูมิประเทศ และอื่น ๆ

กำแพงกันดินสามารถแยกออกตามชนิดของวัสดุที่ใช้และรูปร่างของกำแพงได้ดังนี้

1. Gabion Wall
2. Stone Riprap Wall
3. Gravity Type Retaining Wall
4. T- Shaped Retaining Wall และ
5. Crib Retaining Wall

การเปรียบเทียบกำแพงชนิดต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 1.3.3

(2) การออกแบบทั่วไป

- ฐานราก

ฐานรากจะกำหนดโดยใช้ความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดิน และสามารถทนต่อ
แรงกดดินบริเวณฐานกำแพง

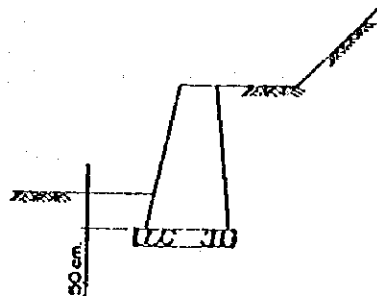
ตารางที่ 1.3.3 ประเภทกำแพงกันดิน

ประเภท	รูปร่าง	ความสูงที่แนะนำ	คุณสมบัติพิเศษ	เหมาะสำหรับใช้กับ	การบำรุงรักษา
Gabion Wall		- น้อยกว่า 3 ม.	- เพื่อป้องกัน Slope จากการเสียน้ำ ด้านแรงกดของดิน	- ป้องกัน Slope - บริเวณที่แรงกดดินน้อย	- คุ้มค่า
Stone Riprap Wall		- น้อยกว่า 5 ม.	- เพื่อป้องกัน Slope จากการเสียน้ำ ด้านแรงกดของดิน	- ป้องกัน Slope - บริเวณที่มีแรงกดดินน้อย	- คุ้มค่า
Gravity Type Retaining Wall		- น้อยกว่า 3 ม.	- ก่อสร้างง่าย	- บริเวณที่ฐานรากกั้นยังไม่มั่นคงเมื่อมีน้ำขึ้น	- คุ้มค่า
T-Shaped Retaining Wall		- 3-10 ม.	- สามารถทำได้สูง โดยใช้ดินเบรุตฐานในการทำให้มีเสถียรภาพ	- บริเวณที่ฐานรากกั้น	- ค่อนข้างคุ้มค่า
Crib Retaining Wall		- น้อยกว่า 3 ม.	- เพื่อป้องกัน Slope เสียน้ำ ด้านแรงกดของดินด้วย Crib คอนกรีตหล่อสำเร็จ	- บริเวณ Cut Slope มีน้ำขุ่นมาก	- คุ้มค่า

ตารางที่ 1.3.4 ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของดินฐานรากตามประเภทดิน

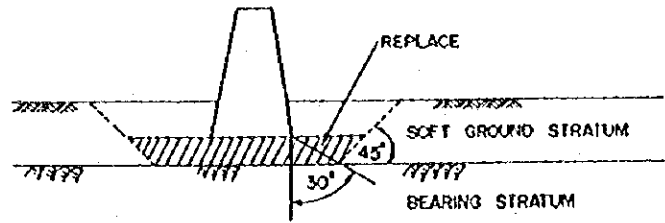
Classification		Allowable Bearing Capacity (t/m^2)	Coefficient of Friction between Bearing Ground and Bottom Slab	Remarks	
				q_u (t/m^2)	N-Value
Rock	Hard Rock with Few Cracks	100	0.7	Over 1000	-
	Hard Rock with Many Cracks	60	0.7	Over 1000	-
	Soft Rock	30	0.7	Over 1000	-
Gravel	High Density	60	0.6	-	-
	Low Density	30	0.6	-	-
Sandy	High Density	30	0.6	-	30-50
	Reasonable Density	20	0.6	-	15-30
Clay	Very Firm	20	0.5	20-40	15-30
	Firm	10	0.45	10-20	8-15
	Reasonable Firm	5	-	5-10	4-8

ดังได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 1.3.10 penetration depth ของฐานรากจะต้องมากกว่า 50 ซม.



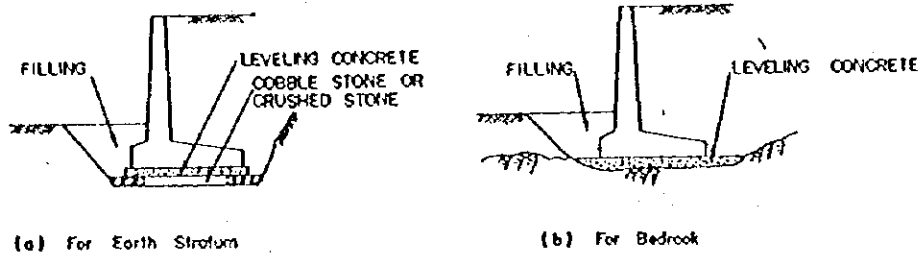
ภาพประกอบที่ 1.3.10 Penetration Depth ของฐานราก

ในกรณีเมื่อฐานรากอยู่บนดินอ่อน จะต้องบุตชั้นดินอ่อนและถมดินที่มีคุณภาพดี เช่น crusher-run หดแทน (ดูภาพประกอบที่ 1.3.11)



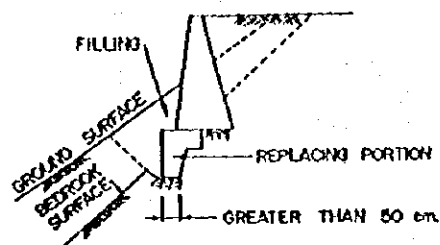
ภาพประกอบที่ 1.3.11 การทดแทนดินอ่อน

เพื่อเพิ่มแรงต้านการเลื่อน (Sliding Resistance) ของฐานราก จำเป็นที่จะต้องมีความมาตรการที่เหมาะสมสำหรับพื้นฐานราก เพื่อให้สอดคล้องกับดินฐานราก (ดูภาพประกอบที่ 1.3.12)



ภาพประกอบที่ 1.3.12 มาตรการสำหรับพื้นฐานราก

ดังได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.12 ในกรณีที่ดินฐานรากเป็นดินจะต้องใส่กรวดหรือหินคลุกรองกันหลุมเพื่อให้ได้ axial stress ที่เหมาะสม ในกรณีที่พื้นฐานรากเป็นหิน จะตัดยั้งหน้าหินและสร้างค่อนที่จะวางฐานราก นอกจากนี้ในกรณีที่ดินลาดมีชั้นที่อ่อนตัวอยู่ ชั้นที่อ่อนตัวจะขุดออกแล้วใส่คอนกรีตแทน

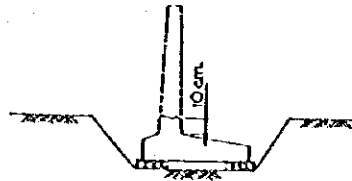


ภาพประกอบที่ 1.3.13 ส่วนฐานรากทดแทน

บริเวณพื้นของส่วนที่จะมีการทดแทนจะต้องตามแนวราบด้วยความกว้างอย่างน้อย 50 ซม. นอกจากนี้เมื่อความสูงของคอนกรีตที่มาทดแทนสูงมาก จะใช้ลักษณะชั้นบันได ท้ายที่สุดจะทำการคำนวณค่าเสถียรภาพและพิจารณาส่วนที่ทดแทน

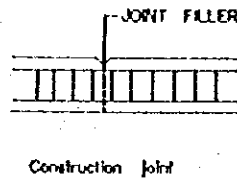
- งานคอนกรีต

ในกรณีของกำแพงกันดินรูปตัว T ฐานรากและกำแพงจะต้องหล่อด้วยกัน หากเป็นการยากก็สามารถหล่อแยกกันได้ ตามที่แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.14 ในการออกแบบกำแพง งานควรจบที่ฐานรากโดยมีส่วนกำแพงที่ติดกับฐานราก 10 ซม. บริเวณด้านบนของฐานราก



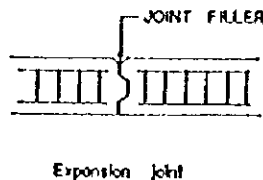
ภาพประกอบที่ 1.3.14 การก่อสร้างแยกส่วน

ในกรณีของกำแพงกันดินรูปตัว T หรือ gravity type จะมีรอยแตกหนาแน่นบนผิวกำแพง ดังนั้นจึงต้องมีการทำรอยต่อตั้งแสดงในภาพประกอบที่ 1.3.15 รอยต่อจะทำทุก ๆ ระยะไม่เกิน 10 เมตร และเหล็กที่ทำรอยต่อจะต้องเป็นเหล็ก เส้นเดียวกันตลอดแนว



ภาพประกอบที่ 1.3.15 รอยต่อ (Construction Joint)

โครงสร้างที่จำเป็นสำหรับรอยต่อเพื่อการขยายตัวได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.16



ภาพประกอบที่ 1.3.16 รอยต่อเพื่อการขยายตัว

ระยะในการติดตั้งมีดังต่อไปนี้

1. 15-20 ม. สำหรับกำแพงกันดินแบบรูปตัว T และ
2. ไม่เกิน 10 ม. สำหรับกำแพงกันดินชนิด Gravity Type

- งานถม (Backfill) และระบบระบายน้ำ

วัสดุที่ใช้ถมกำแพงกันดินจะต้องเป็นชนิดเดียวกับวัสดุที่ใช้ในงาน subgrade และคันทางสำหรับบดอัดวัสดุนั้น จะใช้เครื่องจักรชนิดเดียวกันที่ใช้ในงาน subgrade และคันทาง

ในกรณีที่มีความยุ่งยากกับ axial stress สำหรับหลังกำแพงที่ตั้งอยู่บริเวณงานตัด จะใช้ดินที่มีคุณภาพดี เช่นเดียวกับความหนาของชั้นงานถม backfill จะเป็น 20-30 ซม. และ axial stress ที่เหมาะสมทำได้โดยการใช้ tamper และ rammer

ระบบระบายน้ำจะดำเนินการติดตั้งบริเวณหลังกำแพง วัสดุที่ใช้ควรเป็นกรวดที่มีการซึมน้ำได้เร็ว (ϕ : 10-50 มม.) ความหนาของกรวดควรเป็น 20 ซม. เพื่อที่จะระบายน้ำได้อย่างเหมาะสม อนึ่ง ควรวางท่อระบายน้ำ (drainage pipe) ทุก ๆ 2 ตอม.

- การคำนวณค่าเสถียรภาพ

. น้ำหนัก

น้ำหนักที่กระทำต่อกำแพงประกอบด้วย น้ำหนักคงที่ surcharge แรงกดดิน bouyancy การกระทบ และแรงดันน้ำ น้ำหนักที่จะใช้ในการออกแบบคือน้ำหนักคงที่ surcharge และแรงกดดิน

. น้ำหนักคงที่

น้ำหนักคงที่คือน้ำหนักของโครงสร้างและน้ำหนักของดินที่อยู่บริเวณฐาน

ตารางที่ 1.3.5 น้ำหนักต่อหน่วยของวัสดุ

วัสดุ	น้ำหนักต่อหน่วย (ตัน/ลูกบาศก์เมตร)
Reinforced Concrete	2.4
Concrete	2.4
Gravel, Gravelly Soil, Sand	2.0
Sandy Soil	1.9
Silt, Clayey Soil	1.8

- Surcharge Load

Surcharge Load ที่ใช้ในการออกแบบคือน้ำหนักจร ซึ่งมีค่า 1.0 ตัน/ม²

- แรงกดดิน

น้ำหนักแรงกดดินจะกระทำต่อขอบกำแพง สามารถคำนวณได้โดยวิธี Trial Wedge Shape Method อย่างไรก็ตามในกรณีของคันทางกับระดับ backfill การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำหนักแรงกดดิน โดยวิธี corlons method จะง่ายกว่า

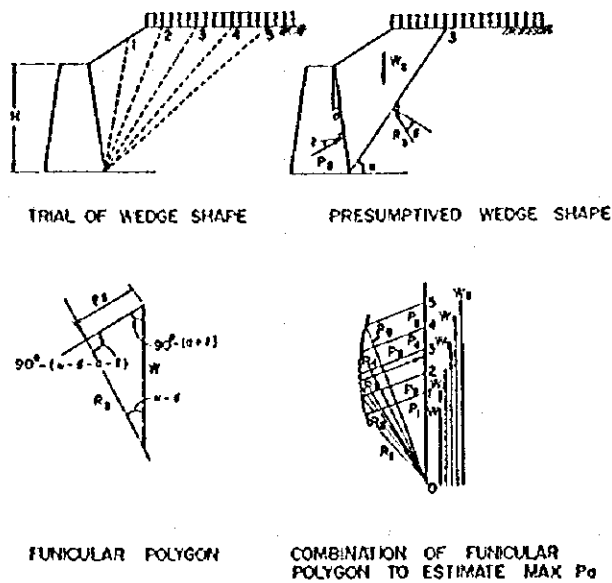
คุณสมบัติของ backfill ที่ใช้ในการคำนวณจะหาได้โดยการทดสอบดิน

เมื่อมีการออกแบบกำแพงกันดินที่มีความสูงไม่เกิน 8 ม. ค่ามุมเสียดทานภายในจะแสดงในตารางที่ 1.3.6

ตารางที่ 1.3.6 มุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Fngle)

ชนิดของงานถม	ϕ (degree)
กรวดปนทราย	36
ดินทราย	30
ดินโคลน	25

แนวคิดของวิธี Trial Wedge Shape ได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.17



ภาพประกอบที่ 1.3.17 แนวคิดของวิธี Trial Wedge Shape

โดยที่ :

- H = ความสูงของกำแพงที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักแรงกดตัน (ม)
- W = น้ำหนักดินภายใน wedge (รวม surcharge) (ตัน / ม)
- R = ปฏิกริยาของ sliding face (ต / ม)
- P = ผลรวมแรงกดตัน (ตัน / ม)
- a = มุมระหว่างหลังกำแพงกับแนวตั้ง
- θ = มุมเสียดทานภายใน
- S = มุมเสียดทานระหว่างหลังกำแพงกับดิน (อ้างถึงตารางที่ 1.3.7)
- φ = มุมระหว่างแนวเส้นสมมุติกับระดับราบ

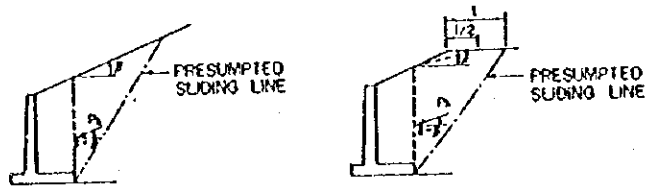
ตารางที่ 1.3.7 มุมเสียดทานระหว่างดินกับหลังกำแพง (S)

ชนิดของกำแพง	สภาพ	δ (Degree)
ชนิดหนา แข็งแรง	ดิน ถึง คอนกรีต	$\frac{2}{3} \phi$
ชนิดรูปตัวที	ดิน ถึง คอนกรีต	β (ดู Fig. 1.3.17)

Horizontal Element Ph = Pa. COS (A + S)

Vertical Element Ph = Pa. SIN (a + S)

Vertical และ Horizontal Element ของแรงกดดินโดยวิธี Trial Wedge ได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.18



ภาพประกอบที่ 1.3.18 แนวทางการคำนวณ β

สัมประสิทธิ์ของแรงกดดินจะคำนวณโดยวิธี Trial Wedge Shape ดังได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.19

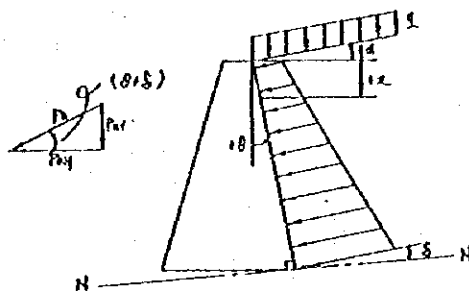
เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงกดดินจากภาพประกอบที่ 1.3.20 แล้ว แรงกดดินสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_h = \frac{1}{2} \cdot k_h \cdot Y \cdot H^2$$

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot k_v \cdot Y \cdot H^2$$

โดยที่

k_h	=	สัมประสิทธิ์แรงกดของดินตามแนวราบ
k_v	=	สัมประสิทธิ์แรงกดของดินตามแนวตั้ง
Y	=	น้ำหนักต่อหน่วยของ backfill (ตัน/ม ³)



ภาพประกอบที่ 1.3.20 Vertical and Horizontal Element แรงกดดินสำหรับ Colomb

(ดิน)

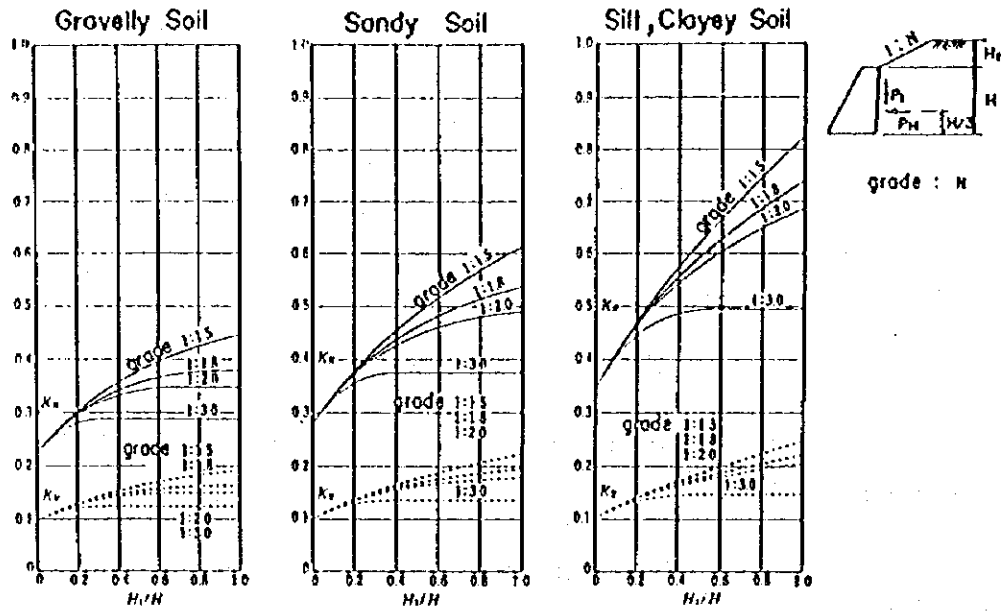
$$P_a = K_a \cdot Y \cdot X + K_a \cdot q$$

$$P_p = K_p \cdot Y \cdot X + K_p \cdot q$$

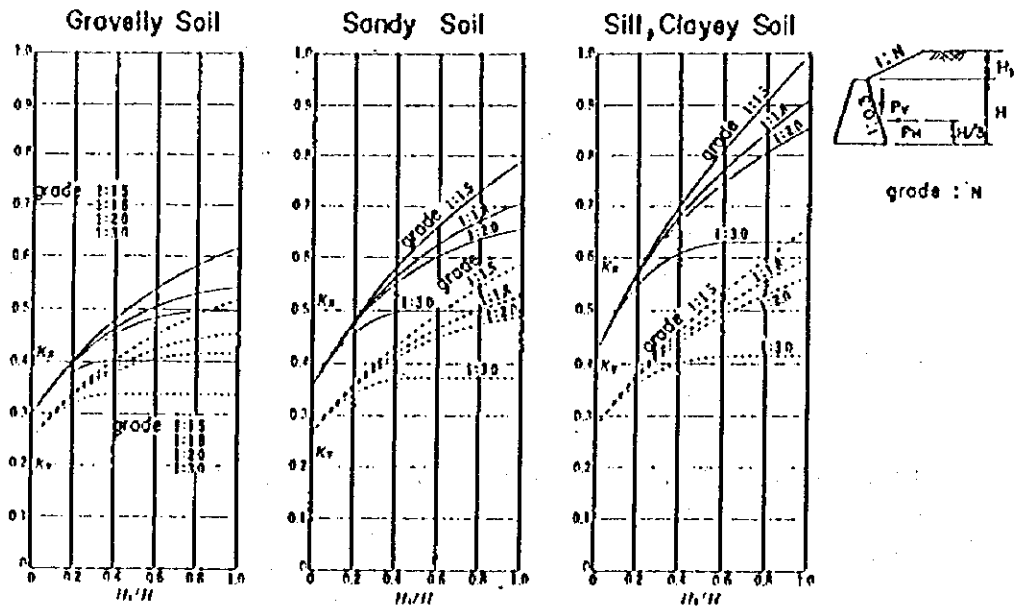
(ทรายละเอียด)

$$P_a = K_a \cdot Y \cdot X - 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_a} + K_a \cdot q \quad (P_a \geq 0)$$

$$P_p = K_p \cdot Y \cdot X + 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_p} + K_p \cdot q$$

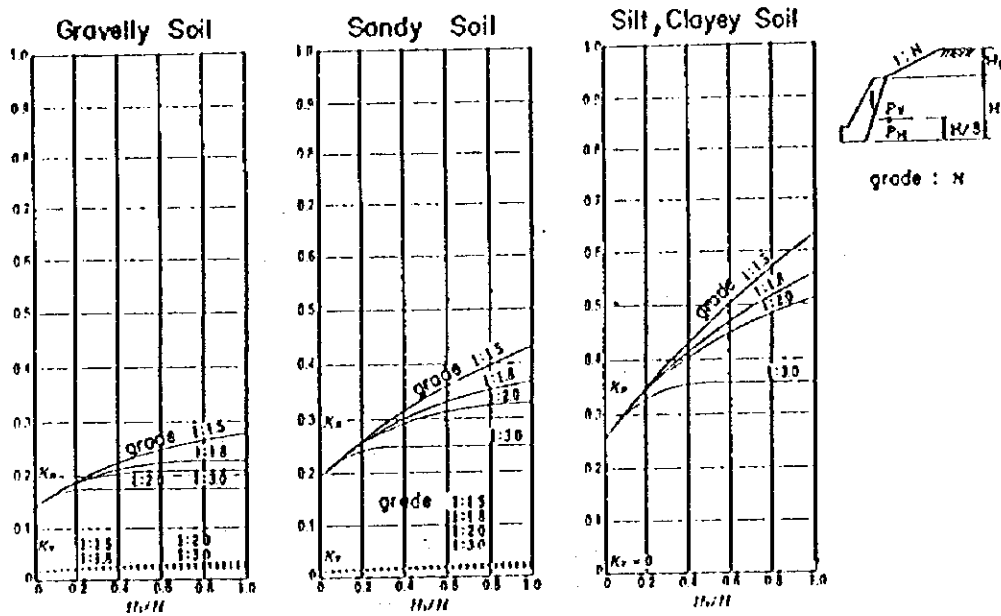


Gravity Type : Back face is vertical

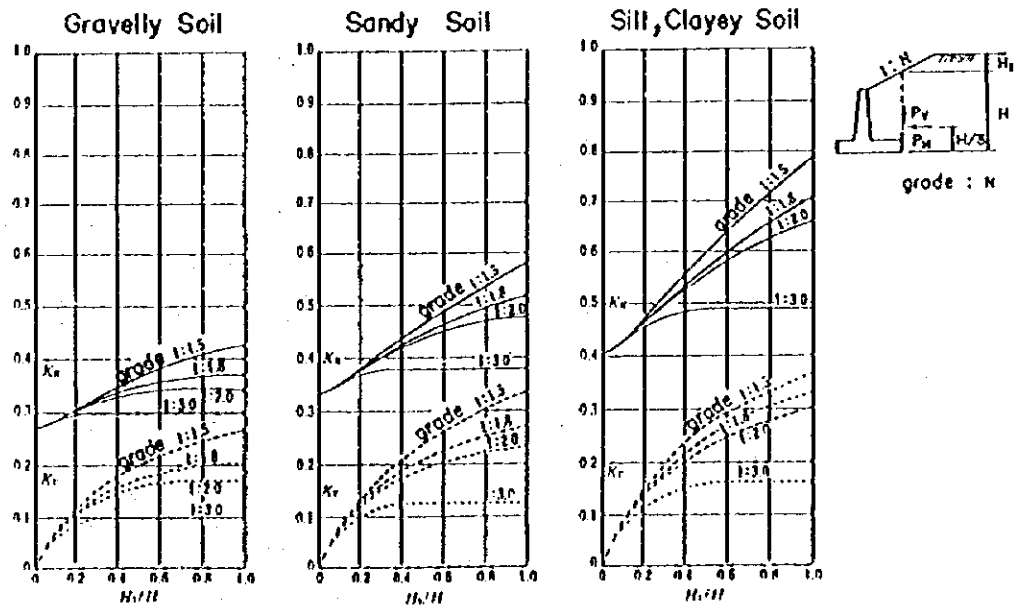


Gravity Type : Back face is 0.3 : 1

ภาพประกอบที่ 1.3.19(1) Coefficient of Earth Pressure Trial Wdge Shape



Supported Type : Back face is 0.3 : 1



T-Shaped Type : Imaginary back face is vertical

ภาพประกอบที่ 1.3.19(2) Coefficient of Earth Pressure Trial Wedge Shape

$$K_a = \frac{\cos^2(\varnothing - \Theta)}{\cos^2 \Theta \cos(\Theta + \delta) \left(1 + \frac{\sin(\varnothing + \delta) \sin(\varnothing - a)}{\cos(\Theta + \varnothing) \cos(\Theta - a)} \right)^2}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\varnothing - \Theta)}{\cos^2 \Theta \cos(\Theta + \delta) \left(1 - \frac{\sin(\varnothing - \delta) \sin(\varnothing + a)}{\cos(\Theta + \varnothing) \cos(\Theta - a)} \right)^2}$$

- Y = น้ำหนักต่อหน่วยทางตรง
- Pa = แรงกดดินทางตรง (ตัน/ม³)
- Pp = แรงกดดินทางอ้อม (ตัน/ม³)
- Ka = สัมประสิทธิ์ของแรงกดดินทางตรง
- Kp = สัมประสิทธิ์ของแรงกดดินทางอ้อม

- การคำนวณค่าเสถียรภาพ

เสถียรภาพของกำแพงกันดินควรจะวิเคราะห์โดยการพิจารณา 4 หัวข้อดังต่อไปนี้

- . เสถียรภาพด้านการเลื่อน
- . เสถียรภาพด้านการล้ม
- . เสถียรภาพด้านประสิทธิภาพของพื้นที่รับน้ำหนัก
- . เสถียรภาพของระบบทั้งหมดซึ่งรวมถึงคันดินและฐานราก
- . เสถียรภาพด้านการเลื่อน

แรงกดดินตามแนวนอนจะทำให้ฐานกำแพงกันดินเลื่อนไปตามพื้นรับน้ำหนักจะก่อให้เกิดแรงเสียดทาน แรงกดดินทางอ้อมบริเวณด้านหน้ากำแพงสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นแรงต้าน แต่ด้วยเหตุผลทางด้านความปลอดภัยจึงตัดทิ้งไปในการออกแบบ

ค่าความปลอดภัย F_s ด้านแรงเลื่อนจะคำนวณโดยสมการต่อไปนี้

$$F_s = \frac{\text{แรงต้านการเลื่อน}}{\text{แรงเลื่อน}}$$

$$= \frac{(W + P_v) \cdot \tan \delta + C \cdot B}{P_h} > 1.5$$

โดยที่

- F_s : ค่าความปลอดภัย
 P_v : แรงกดดินตามแนวตั้ง (ตัน/ม.)
 P_h : แรงกดดินตามแนวราบ (ตัน/ม.)
 $\tan \delta$: สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างดินที่รับน้ำหนัก และฐานคอนกรีตหล่อ ($\delta = \phi$); ในกรณีอื่น $\delta = 2/3\phi$, แต่ค่า $\tan \delta$ ไม่ควรเกิน 0.6 เมื่อพื้นรับน้ำหนักเป็นดิน (ตารางที่ 1.3.4 สามารถใช้ได้)
 ϕ : มุมเสียดทานภายในของพื้นรุกราก
 C : แรงยึดระหว่างพื้นรับน้ำหนักกับฐาน (ตัน/ม.) แต่ C ควรจะเป็น 0 ตัวสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน ($\tan \delta$) ได้จากตารางที่ 1.3.7
 B : ความกว้างฐานกำแพงกันดิน (ม.)

ค่าความปลอดภัยสำหรับการเลื่อนตัวจะมากกว่า 1.5 เสมอ แต่สามารถกำหนดได้จากความสำคัญของกำแพง ในกรณีที่ค่าความปลอดภัยไม่พอเพียงก็สามารถดำเนินการแก้ไขดังนี้ :

- เพิ่มความยาวของฐานกำแพง
- สร้างส่วนยื่นบนฐานกำแพง
- เพิ่มแรงต้านตามแนวนอนโดยใช้หมุดยึด และ
- ลดความสูงของกำแพง

เสถียรภาพด้านการล้ม

เสถียรภาพด้านการล้มจะกำหนดโดยอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์แรงต้านกับโมเมนต์แรงผลัก

ระยะห่าง (d) จากฐานไปสู่จุดที่ resultant (R) กระทำ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$d = \frac{W_v \cdot a + P_v \cdot b - P_h \cdot h}{W + P_v}$$

Eccentricity (e) คือระยะห่างจากจุดกึ่งกลางฐานกำแพงไปยังจุดที่ Resultant (R) กระทำ สามารถเขียนเป็นสมการคือ

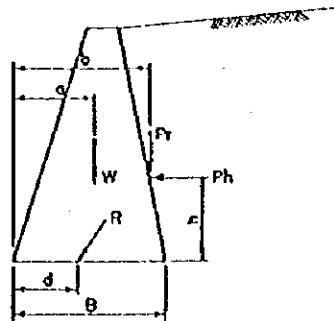
$$e = \frac{B - d}{2}$$

นอกเหนือจากนั้นเพื่อความปลอดภัย Eccentricity จะต้องเป็นไปตามนี้คือ

$$e \leq \frac{B}{6}$$

- โดยที่
- W : น้ำหนักคงที่
 - Pv : แรงกดตันตามแนวตั้ง
 - Ph : แรงกดตันตามแนวนอน
 - a : ระยะห่างจากฐานไปยังจุดที่ Resultant กระทำ
 - b : ระยะตามแนวราบจากฐานไปยังจุดที่ Pv กระทำ (ม.)
 - B : ความกว้างฐานกำแพงกันดิน (ม.)
 - h : ระยะตามแนวตั้งจากค้ำกำแพงถึงจุดที่ Ph กระทำ (ม.)

ตำแหน่งของแรงทางตรงได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.21



ภาพประกอบที่ 1.3.21 ตำแหน่งของแรงทางตรง

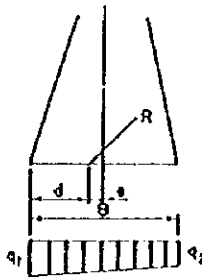
เสถียรภาพด้านประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของพื้นรับน้ำหนัก

ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (ดูภาพประกอบที่ 1.3.22)

$$q_1 \cdot q_2 = \frac{W + P_v}{B} \cdot \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

$$q_1 \cdot q_2 \leq q_a = q_u / F_s$$

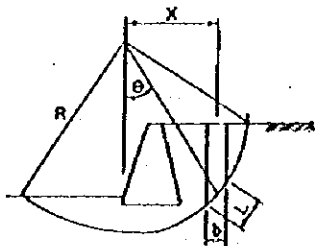
โดยที่ q_a : ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของพื้นที่หน่วยที่ยอมรับได้
 q_u : ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของพื้นที่หน่วยสูงสุด
 F_s : ค่าความปลอดภัยสำหรับประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของพื้น (= 3.0)



ภาพประกอบที่ 1.3.22 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก

เสถียรภาพของระบบทั้งหมดรวมถึงคันดินและฐานราก

สำหรับกำแพงกันดินที่ก่อสร้างในบริเวณดินอ่อน จะต้องมีการตรวจสอบเสถียรภาพของระบบทั้งหมด ซึ่งรวมถึงคันดินและฐานราก การวิเคราะห์เสถียรภาพโดยใช้วิธี Circular arc Method สามารถใช้ได้ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.3.23



ภาพประกอบที่ 1.3.23 Circular Rupture บริเวณดินอ่อน

$$F_s = \frac{\sum [C \cdot L + \tan \phi \cdot \cos \Theta (W - \mu \cdot b)]}{\sum W \cdot X}$$

โดย	F_s	:	ค่าความปลอดภัย
	C	:	แรงยึดตามแนวเส้นโค้ง (Circular arc)
	ϕ	:	มุมเสียดทานภายใน
	W	:	น้ำหนักของชั้นย่อย (Slice)
	μ	:	ความกดของน้ำ

- กำแพงกันดินบนพื้นลาดเอียง

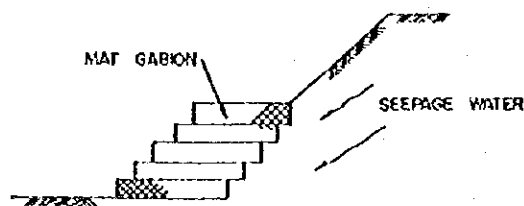
เมื่อกำแพงกันดินตั้งอยู่บนพื้นลาดเอียงประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักที่ยอมรับได้จะน้อยกว่ากำแพงกันดินที่อยู่บนที่ราบมาก ทั้งนี้ เพราะเกิดมุมเอียงและระยะห่างระหว่างด้านหน้าของฐานรากกำแพงกับ Slope

สำหรับการเลื่อนตัว จำเป็นที่จะต้องพิจารณาเสถียรภาพของ Slope ทั้งหมดซึ่งรวมถึงตัวกำแพงกันดิน และหลัง Fill Slope

(3) การออกแบบกำแพงกันดิน

- กำแพงชนิด Gabion

กำแพงแบบ Gabion จะใช้ในการป้องกันการพังทลายของ Slope ขนาดเล็กซึ่งบริเวณ Slope จะมีน้ำซึมลงมาที่ฐาน Slope ดังนั้น โครงสร้างของกำแพงจะสามารถต้านค่าแรงกดของดินได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น กำแพงชนิด Gabion ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 1.3.24

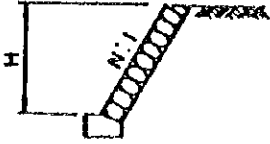


ภาพประกอบที่ 1.3.24 Gabion Wall

- กำแพงหินเรียง (Stone Riprap Wall)

กำแพงหินเรียงจะใช้ในการป้องกันการพังทลายของดินที่ในบริเวณที่มีค่าแรงกดค้ำน้อย โดยทั่วไปจะมีความสูงมากกว่า 5 ม. ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกำแพงและความลาดของหน้า Slope ทั้งงานตัดและงานถมได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.3.8

ตารางที่ 1.3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกำแพงกับความลาดของหน้ากำแพง



ความสูงของกำแพง		$H \leq 1.5$	$1.5 < H \leq 3.0$	$3.0 < H \leq 5.0$
ความชันของ Slope	Fill Slope	0.3 : 1	0.4 : 1	0.5 : 1
	Cut Slope	0.3 : 1	0.3 : 1	0.4 : 1

วัสดุถมจะใช้ในการจัดน้ำที่อยู่บริเวณหลังกำแพง และเพื่อลดแรงกดของน้ำที่กระทำต่อกำแพง ดังนั้น จึงใช้วัสดุที่ยอมให้น้ำผ่านได้ง่าย โดยทั่วไปจะใช้กรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 10-50 มม. ความหนาของวัสดุงานถมคือ 30 ซม.

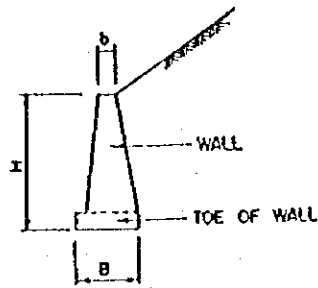
ระบายน้ำจะต้องทำทุก ๆ 2 ตร.ม.

- กำแพงกันดินชนิด Gravity-Type

กำแพงกันดินชนิด Gravity-Type เป็นกำแพงที่ต้านแรงกดของดิน โดยใช้น้ำหนักของกำแพงเอง นอกจากนี้กำแพงจะถูกออกแบบไม่ให้แรงดึงกระทำโดยใช้แรงกดของดินและน้ำหนักของกำแพง ความสูงของกำแพงจะต่ำกว่า 3 ม.

เพื่อกำหนดโครงสร้างของกำแพง สามารถอ้างถึงหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.3.25 พื้นกำแพงจะกำหนดไว้ที่ 0.5-0.7 ของความสูง
2. ยอดกำแพงมีความหนา 15-40 ซม. ค่าดังกล่าวได้กำหนดโดยขนาดของกำแพงไม่ว่าจะมีรั้วป้องกันหรือไม่ก็ตาม



ภาพประกอบที่ 1.3.25 โครงร่างของกำแพงกันดินชนิด Gravity-Type

ระบายน้ำจะต้องก่อสร้างทุก ๆ 2 ตารางเมตร

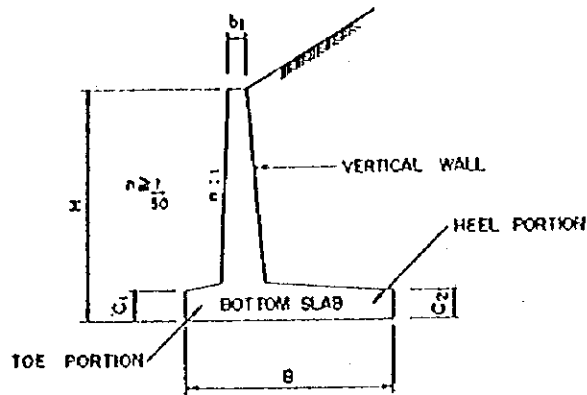
การคำนวณเสถียรภาพของกำแพงกันดินชนิด Gravity-Type ได้มีตัวอย่างไว้แล้วใน เอกสารอ้างอิง I

- กำแพงกันดินรูปตัว T

กำแพงกันดินรูปตัว T จะต้านแรงกดของดินโดยใช้น้ำหนักคงที่ของกำแพง และน้ำหนักของวัสดุถมที่อยู่บนดินกำแพง ความสูงของกำแพงประมาณ 3-10 ม.

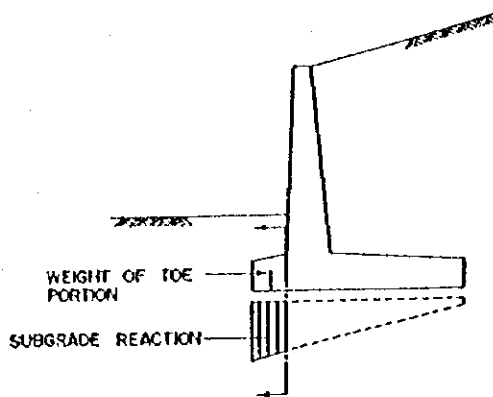
เพื่อกำหนดโครงสร้างของกำแพง สามารถอ้างถึงหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.3.26 ความลาดทางแนวตั้ง (n) ของกำแพงควรจะน้อยกว่า 0.2 : 1
2. ความกว้างของแผ่นพื้นกำแพง (B) โดยทั่วไปจะเป็น 0.5 - 0.8 ของความสูง
3. ความยาวของหัวกำแพง (b1) เป็น 1/5 ของความกว้างของพื้นกำแพง (B)
4. ความหนาของตีนกำแพง (C1, C2) จะต้องมากกว่า 30 ซม.



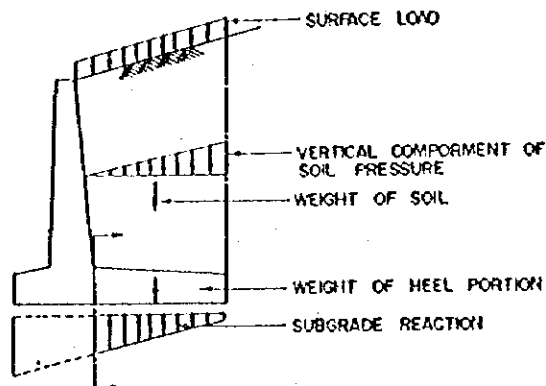
ภาพประกอบที่ 1.3.26 โครงร่างของกำแพงกันดินรูปตัว T

5. จุดบรรจบระหว่างกำแพงกับฐานกำแพงจะต้องหนาเพียงพอที่จะต้านแรงเฉือนจากแรงกดของดิน
6. ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.3.27 ฐานกำแพงจะต้องออกแบบในลักษณะคานยื่นจากกำแพงแรงที่กระทำบนฐานกำแพงจะต้องเป็นน้ำหนักคงที่ของสะพานและแรงปฏิกิริยาจากดิน



ภาพประกอบที่ 1.3.27 แรงกระทำบนฐานกำแพง

7. ดังได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 1.3.28 ฐานกำแพงได้ออกแบบเป็นคานยื่นติดกับตัวกำแพงแรงกระทำต่อฐานกำแพงคือแรงปฏิกิริยาจากดิน น้ำหนักของดินที่อยู่บนฐานกำแพง แรงกดดินตามแนวตั้งและ Surcharge Load



ภาพประกอบที่ 1.3.28 แกรงกระทำบนดินกำแพง

ระบายน้ำจะต้องก่อสร้างทุก ๆ 2 ตร.ม.

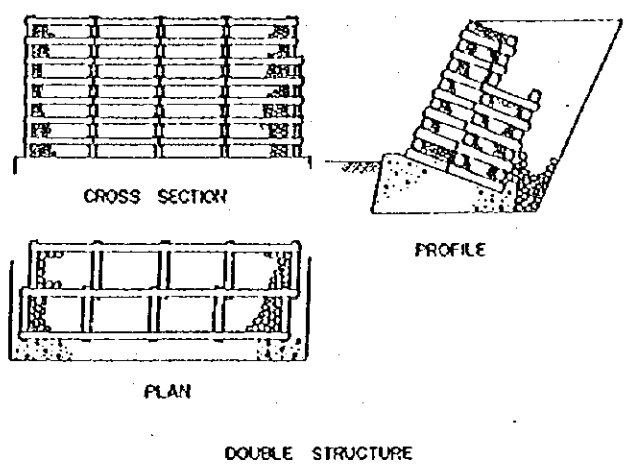
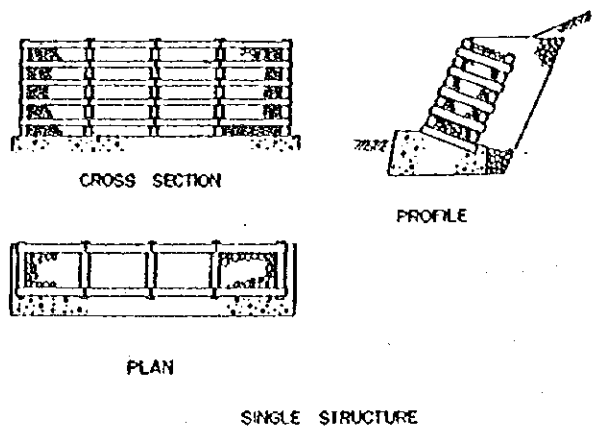
Crib Retaining Wall

เป็นกำแพงซึ่งประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ดังนั้น จึงควรใส่กรวดภายใน Crib เพื่อทำให้กำแพงกันดินหนักขึ้น โดยโครงสร้างแล้วกำแพงชนิดนี้เหมือนกับชนิด Gravity Type ลักษณะทางโครงสร้างของกำแพงมีดังต่อไปนี้

1. ระบายน้ำได้ดีมาก เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีน้ำขุดมาก
2. โครงสร้างมีความยืดหยุ่น สามารถใช้ในบริเวณที่ดินเคลื่อนตัว และ
3. ชิ้นส่วนโครงสร้างเป็นวัสดุหล่อสำเร็จ ดังนั้น การก่อสร้างจึงทำได้รวดเร็ว

แนวทางสำหรับการออกแบบเหมือนกับชนิด Gravity-Type ส่วนการคำนวณค่าเสถียรภาพจะไม่นำแรงดันน้ำบนหลังคาน้ำขึ้นส่วนมาพิจารณา

มี 2 วิธีในการประกอบกำแพง นั่นคือ Single Crib Structure และ Double Crib Structure (ดูภาพประกอบที่ 1.3.29) วิธีการประกอบจะกำหนดโดยการคำนวณค่าเสถียรภาพ



ภาพประกอบที่ 1.3.29 วิธีการประกอบค้ำแพงแบบ Crib

การคำนวณค้ำแพงชนิด Gravity Type ได้แสดงไว้ในเอกสารอ้างอิง II

1.3.5 ช่องระบายน้ำแนวนอน (Horizontal Drain Hole)

- วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการสร้างช่องระบายน้ำแนวนอนเพื่อป้องกันการเกิด Landslide โดยการลดระดับน้ำใต้ดินสำหรับด้าน Slide ที่ไม่มีเสถียรภาพ และในบริเวณ Slope ที่คาดการณ์ว่าจะเกิด Landslide

- วิธีการในการยืนยันแนวเลื่อน (Slip Surface)

ในการติดตั้งช่องระบายน้ำตามแนวราบสำหรับการระบายน้ำใต้ดินนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการยืนยันแนวเลื่อนโดยการสำรวจดิน

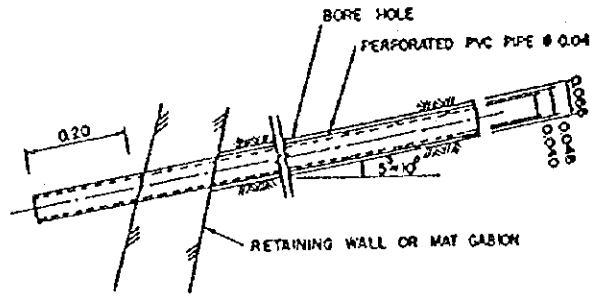
การเจาะตั้งฉากกับแนวราบ (Perpendicular Boring) สำหรับการสำรวจดินจะต้องดำเนินการอย่างน้อย 3 จุด ในบริเวณผิวหน้าของ Landslide ที่เกิดขึ้นหรือมีศักยภาพจะเกิดขึ้น การเลื่อนตัวนั้นจะเกิดได้หลายกรณีตามขอบเขตระหว่างดินตะกอนกับหิน (Bedrock) และระหว่างหินผุมากกับหินผุน้อย ดังนั้นการเจาะจะต้องดำเนินการเพื่อยืนยันขอบเขตและการเปลี่ยนชนิดดิน

- การออกแบบช่องระบายน้ำตามแนวราบ

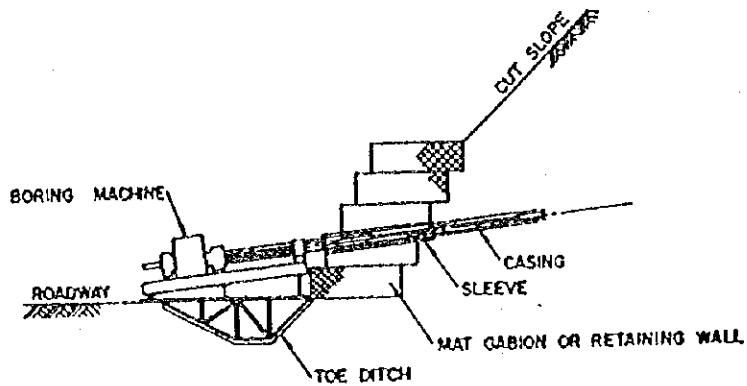
ต้องมีการวางแผนในการก่อสร้าง 4-5 แห่งในพื้นที่ ระบายน้ำจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 66 มม. โดยมีความลาดประมาณ 5° ถึง 10° เพื่อที่จะระบายน้ำใต้ดินได้ง่าย (ดูภาพประกอบที่ 1.3.30)

สำหรับวิธีการก่อสร้างจะใช้เครื่องเจาะในการเจาะรู ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.3.31 ถ้าในบริเวณดินที่ประกอบไปด้วยกรวด หรือดิน จะใช้ท่อปลอก ทั้งนี้ เนื่องจากดินพังทลายได้ง่าย

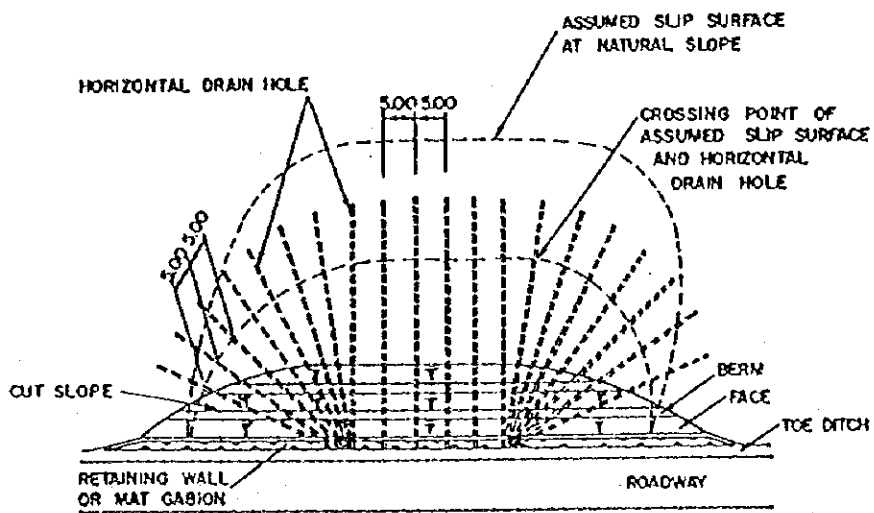
ระยะห่างระหว่างระบายน้ำบนผิวหน้าของแนวเลื่อนจะเป็นทุก ๆ 5 เมตร ดังได้แสดงในภาพประกอบที่ 1.3.32



ภาพประกอบที่ 1.3.30 มุมของรูระบายน้ำ

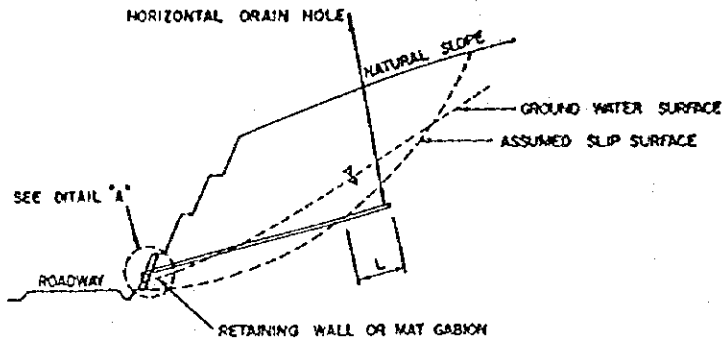


ภาพประกอบที่ 1.3.31 เครื่องเจาะ



ภาพประกอบที่ 1.3.32 ระยะห่างของรูระบายน้ำ

ตามที่ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 1.3.33 ความลึกในการเจาะจะเป็น 10 ม. ในกรณีที่มี Slope เป็นดิน และ 3 ม. ในกรณีที่มี Slope เป็นหิน

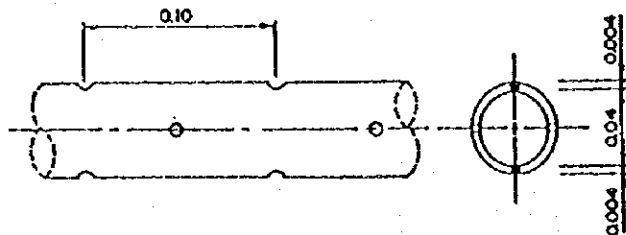


ORIGINAL GROUND CONDITION	L
SOIL	10.00
ROCK	3.00

ภาพประกอบที่ 1.3.33 ความลึกในการเจาะ

วัสดุ

ในรูปที่เจาะไว้จะใส่ท่อ PVC เจาะรู (ดูภาพประกอบที่ 1.3.34)



ภาพประกอบที่ 1.1.34 ท่อ PVC

การลดระดับน้ำใต้ดิน

โดยทั่วไปช่วงระยะบายน้ำตามแนวนอนจะลดระดับน้ำใต้ดินได้ประมาณ 3 เมตร ดังนั้น เมื่อมีการคำนวณเสถียรภาพในการวางแผนน้ำใต้ดิน จะต้องน้อยกว่าระดับน้ำใต้ดินสูงสุด 3 เมตรด้วย

เอกสารอ้างอิง หมายเลข I
การอธิบายต่อผู้ใช้ในการทำวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดคั่นทาง
แบบหมุน (Rotational Slope Stability Analysis)

1. บทนำ

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดคั่นทางแบบหมุนได้ถูกจัดทำขึ้นในรูปของ Software Package โดย Sarma (1977) และถูกปรับปรุงอีกครั้งในปีค.ศ. 1985 โดย E. Hock ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎี Limited Equilibrium Analysis ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดคั่นทางในแบบ 2 มิติได้หลากหลายรูปร่าง ตัวอย่างเช่น ลาดคั่นทางซึ่งมีความซับซ้อนของระดับ (Complex Profiles) พร้อมกับมีผิวหน้าของการเลื่อนไหล (Sliding Surface) เป็นเส้นโค้งของวงกลม ไม่เป็นเส้นโค้งของวงกลม หรือเป็นระนาบ หรือทั้ง 2-3 อย่างรวมกัน ก็สามารถจะวิเคราะห์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์การพังทลายของดินถมทั้งส่วนกดและส่วนรองรับ (Active-Passive Wedge Failures) เช่น ที่เกิดบนดินถมซึ่งอยู่บนฐานที่ลาดชัน หรือดินถมแกนดินเหนียวของเขื่อน เป็นต้น

แรงเฉือน (Shear Strength) ที่เกิดขึ้นในแผ่นชิ้นส่วน (Slice) และฐาน (Loose) จะสามารถถูกวิเคราะห์หรือออกมาได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำการเอียงแผ่นชิ้นส่วนไปทางใดก็ได้โดยอิสระเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพของโครงสร้างบริเวณพื้น เช่น รอยแตกของเปลือกโลก (Faults) และเปลือกโลก (Bedding Planes) นอกจากนี้ยังสามารถใส่แรงที่มากกระทำจากภายนอก (External Forces) ลงบนแผ่นชิ้นส่วน และสามารถนำเอาการจมน้ำ (Submergence) ของลาดคั่นทางช่วงใด ๆ มาทำการวิเคราะห์ได้โดยอัตโนมัติ

2. ตรรกวิทยาของการวิเคราะห์ (Premises of Analysis)

จุดพิกัดทางเรขาคณิต (Geometrical Coordinates) ของแผ่นชิ้นส่วนจะกำหนดโดยใช้ (X_{T_i}, Y_{T_i}) , (X_{B_i}, Y_{B_i}) , $(X_{T_{i+1}}, Y_{T_{i+1}})$ และ $(X_{B_{i+1}}, Y_{B_{i+1}})$ เป็นจุดพิกัดตามมุมของชิ้นส่วน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.1 และแนวเส้นแกน (Phreatic Surface) จะตัดขอบทั้งสองข้างของแผ่นชิ้นส่วนตรงพิกัด (X_{W_i}, Y_{W_i}) , $(X_{W_{i+1}}, Y_{W_{i+1}})$

ก) การวิเคราะห์แบบปิด (Closed Form Solution) จะถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าของความเร่งวิกฤตในแนวราบ (Critical Horizontal Acceleration; K_c) ที่ทำให้เกิดจุดของความสมดุลที่จำกัด (Limiting Equilibrium) ในแผ่นชิ้นส่วน

ข) ตัวคูณปลอดภัยทางสถิตยศาสตร์ (Static Factor of Safety, F) หาได้โดยการลดค่ากำลังแรงเฉือนจาก $\tan \phi$ และ C/F จนกระทั่งค่าความเร่งวิกฤต K_c ลดลงจนเป็นศูนย์ (Zero)

ผลการวิเคราะห์จะเป็นที่ยอมรับได้ หากมีการตรวจสอบเพื่อประเมินว่ากำลังทั้งหมดที่กระทำต่อฐานและแผ่นชิ้นส่วนมีค่าเป็นบวก (Positive) หากพบว่ามีค่าเป็นลบ (Negative) ก็จะต้องทำการเปลี่ยนรูปร่างทางเรขาคณิตของแผ่นชิ้นส่วนหรือเปลี่ยนเงื่อนไขของน้ำใต้ดิน (Groundwater Conditions) ไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่าของกำลัง (Stress) ที่ได้มีค่าเป็นบวก (Positive) นอกจากนี้จะต้องทำการตรวจสอบความสมดุลย์ของโมเมนต์ (Moment Equilibrium) ด้วย แต่จะไม่ถูกรวมอยู่ในรายการโปรแกรมซึ่งได้แสดงไว้ในส่วนท้ายของบทนี้ เนื่องจากจะต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นานมาก และส่วนมากก็ไม่ค่อยจะได้ใช้ หากเป็นการวิเคราะห์ปัญหาความเสถียรภาพของลาดชันทางทั่ว ๆ ไป

3. การใช้งานในการวิเคราะห์ (Application of Analysis)

3.1 บทนำ

Software ที่นำมาใช้มีลักษณะแบบสามารถทำงานโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้ โดยผ่านจากจอภาพ (Interactive) ซึ่งจะเป็นการง่ายต่อผู้ใช้

3.2 การใช้ Software

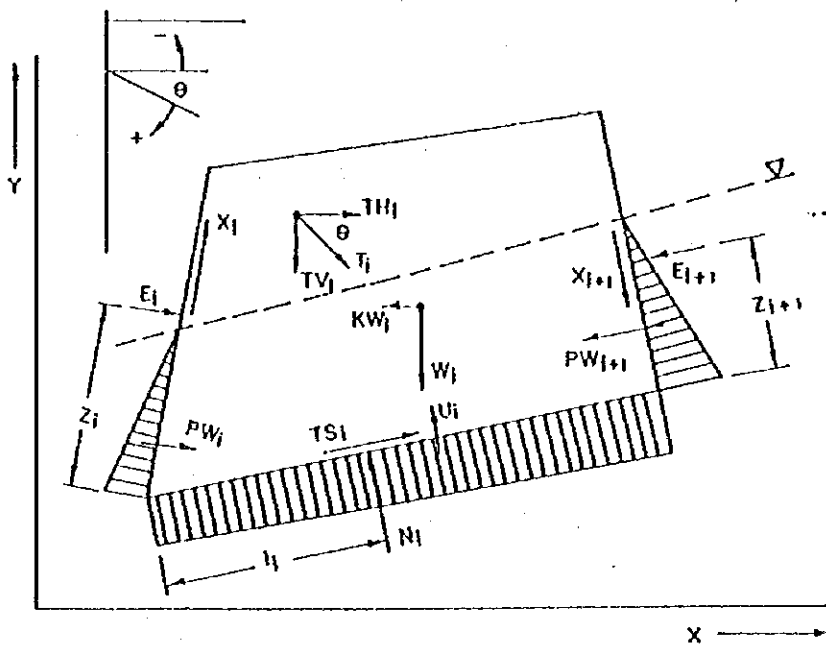
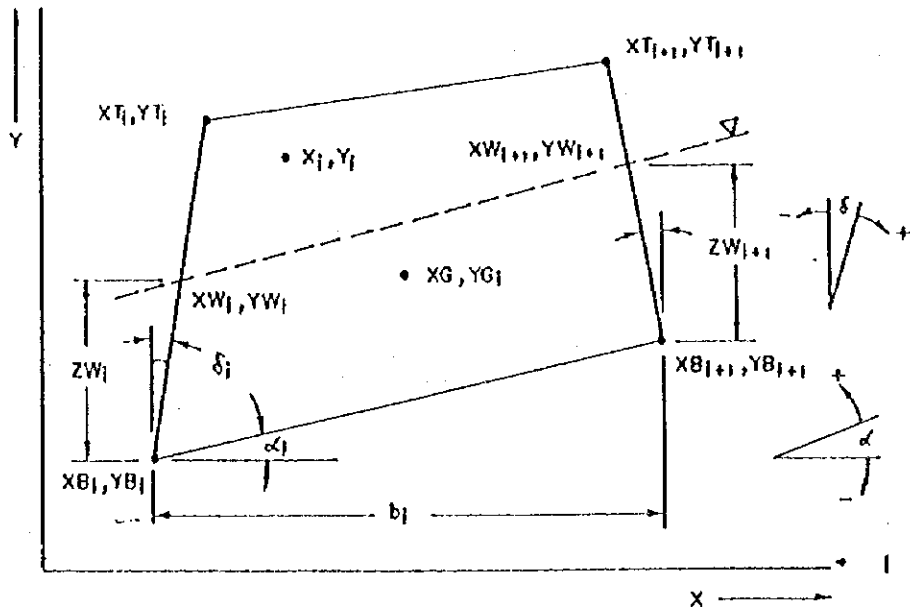
- 1) เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์
- 2) เมื่อเห็น "C:\>" ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ ให้ใส่แผ่นดิสก์ (Disk) ซึ่งบรรจุ Software อยู่
- 3) หลังจากใส่แผ่นดิสก์ ให้พิมพ์ "A:"
- 4) หลังจาก "A:\>" ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ ให้พิมพ์ "CD SARMA"
- 5) เมื่อ "A:\SARMA>" ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ ให้พิมพ์ "SARMA79"
- 6) จะเห็นข้อความปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ดังนี้

SARMA NON-VERTICAL SLICE STABILITY ANALYSIS

Copyright - Evert Hoek, 1985. This program is one of a series of geotechnical programs developed as working tools and for educational purposes. Use of the program is not restricted but the user is responsible for the application of the results obtained from this program.

Note : In order to operate this program a data disk with at least one file with an extension. SAR is required. When starting a new disk, ensure that such a file is stored on the disk before it is used.

Specify drive to be used for data dis (default B:)-

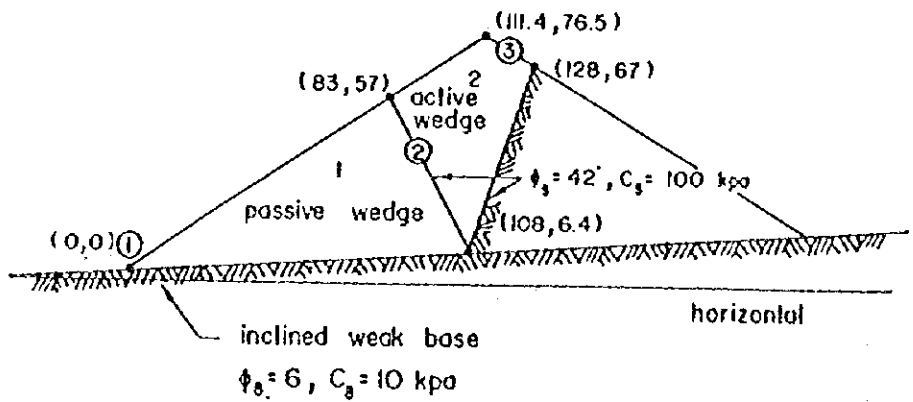


ภาพประกอบที่ 2.1 Definition of Geometry and Forces Acting on the i th Slice

- 7) ให้พิมพ์ 'A'
 8) จะเห็นข้อความปรากฏบนจอมอนิเตอร์ ดังนี้

Do you wish to read data from a disk file y/n? :-

ถ้าต้องการใส่ข้อมูลใหม่ลงไป ให้พิมพ์ 'n' แต่ถ้าต้องการแก้ไขข้อมูลเดิมให้พิมพ์ 'y'
 ตัวอย่างการวิเคราะห์ที่ได้แสดงในภาพประกอบที่ 3.1



Unit weight γ of spoil material = 15.7 KN/m^3
 Unit weight γ_w of water = 10 KN/m^3

ภาพประกอบที่ 3.1 รูปแสดงงานดินถมบนฐานที่อ่อน ซึ่งวิเคราะห์โดย Coulthard (1949)

Do you wish to read data from a disk file (Y/N ? : N
 Number of slices to be included in analysis : 2
 Unit Weight of Water = 10
 Are shear strengths uniform throughout slope (Y/N ?
 to terminate input enter [g] in response to any question

Analysis No. -

Side Number	1	2	3
Coordinate xt			
Coordinate yt			
Coordinate xw			
Coordinate yw			
Coordinate xb			
Coordinate yb			
Friction Angle			
Cohesion			

Unit Weight of Water = 10

Slice Number	1	2
Rock Unit Weight		
Friction Angle		
Cohesion		
Force T		
Angle Theta		

Note : Coordinate must increase from slope toe to crest

To edit title or data array, use direction keys to move highlighted window. Factor of safety calculation will commence automatically when all data has been entered.

SARMA NON-VERTICAL SLICE ANALYSIS

Analysis No. 1; spoil pile on a weak foundation

Unit Weight of Water = 10

Side Number	1	2	3
Coordinate xt	0.00	83.00	111.40
Coordinate yt	0.00	57.00	76.50
Coordinate xw	0.00	83.00	128.00
Coordinate yw	0.00	57.00	67.00
Coordinate xb	0.00	108.00	128.00
Coordinate yb	0.00	6.40	67.00
Friction Angle	0.00	42.00	0.00
Cohesion	0.00	100.00	0.00

Slice Number	1	2
Rock Unit Weight	15.70	15.70
Friction Angle	6.00	42.00
Cohesion	10.00	100.00
Force T	0.00	0.00
Angle Theta	0.00	0.00

Effective Normal Stresses

Base	147.15	-14.13
Side	0.00	-130.64

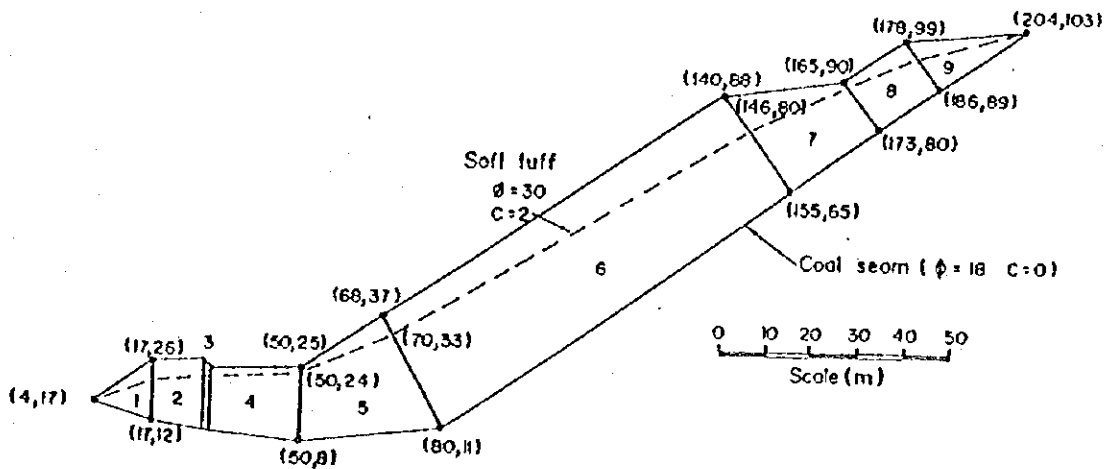
Acceleration Kc = -0.2087 Factor of Safety = 0.26

Negative Effective Normal Stresses—Solution Unacceptable

1 print 2 calculate 3 fos vsk 4 drain 5 file
 6 restart 7 quit 8 view

4. ตัวอย่าง : พื้นลาดชันของเหมืองถ่านหินแบบขุดเปิดหน้าดิน (Open-pit Coal Mine)

รูปตัดของพื้นลาดชันของเหมืองถ่านหินแบบขุดเปิดหน้าดิน ได้แสดงในภาพประกอบที่ 4.1 ซึ่งชั้นของถ่านหิน (Coal Seam) จะอยู่ใต้ล่างของส่วนที่แตกย่อยเป็นชั้นเล็กชั้นน้อย (Soft Tuff) และการพังทลายของพื้นลาดนี้ในอดีต จะเกิดให้ตรงบริเวณแนวชั้นถ่านหิน ตรงส่วนฐานของส่วนที่เป็นถ่านหินก้อนเล็ก ๆ นั้น ซึ่งเหมืองต้องถูกปิดลงเนื่องจากมีน้ำใต้ดินไหลเข้ามาจนมีระดับสูง จากการวิเคราะห์และทดลองในห้องปฏิบัติการของการพังทลายในอดีต พบว่าตามแนวชั้นถ่านหินจะมีมุมเสียดทาน (Friction Angle) เท่ากับ 18° และมีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) เท่ากับศูนย์ (Zero) ส่วนในชั้นของถ่านหินก้อนเล็ก ๆ จะมีมุมเสียดทานเท่ากับ 30° และมีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) เท่ากับ 2 ตัน/ตารางเมตร โดยที่หน่วยน้ำหนักของถ่านหินก้อนเล็ก ๆ เท่ากับ 2.1 ตัน/ลูกบาศก์เมตร และหน่วยน้ำหนักของน้ำเท่ากับ 1.0 ตัน/ลูกบาศก์เมตร



ภาพประกอบที่ 4.1 รูปพื้นลาดของเหมืองถ่านหินแบบขุดเปิดหน้าดิน

SARMA NON-VERTICAL SLICE ANALYSIS

Analysis No. 2 : Open Pit Coal Mine Slope with Tuff Overlying Coal Seam

Unit Weight of Water = 1

Side Number	1	2	3	4	5	6
Coordinate xt	4.00	17.00	29.00	30.00	50.00	68.00
Coordinate yt	17.00	26.00	26.00	24.00	25.00	37.00
Coordinate xw	4.00	17.00	29.00	30.00	50.00	70.00
Coordinate yw	17.00	23.00	22.00	22.00	24.00	33.00
Coordinate xb	4.00	17.00	29.00	30.00	50.00	80.00
Coordinate yb	17.00	12.00	10.00	10.00	8.00	11.00
Friction Angle	0.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Cohesion	0.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

Slice Number	1	2	3	4	5	6
Rock Unit Weight	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Friction Angle	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	18.00
Cohesion	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00
Force T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Angle Theta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Effective Normal Stresses

Base	28.62	36.69	22.78	29.20	79.89	24.56
Side	0.00	22.67	40.47	47.24	60.56	92.99

Side Number	7	8	9	10
Coordinate xt	140.00	165.00	178.00	204.00
Coordinate yt	88.00	90.00	99.00	103.00
Coordinate xw	146.00	168.00	180.00	204.00
Coordinate yw	80.00	89.00	96.00	103.00
Coordinate xb	155.00	173.00	186.00	204.00
Coordinate yb	65.00	80.00	89.00	103.00
Friction Angle	30.00	30.00	30.00	0.00
Cohesion	2.00	2.00	2.00	0.00

Effective Normal Stresses

Base	15.38	8.35	3.75
Side	24.46	23.78	9.83

Acceleration K_c = 0.1608 Factor of Safety = 1.20

Large Extrapolation - plot of fos vs K suggested to check fos

กรณีศึกษาที่ 1 การใช้กำหนดกวดทับ

SARMA NON-VERTICAL SLICE ANALYSIS

Analysis No. COUNTERWEIGHT

Unit Weight of Water = 9.8

Side Number	1	2	3	4	5
Coordinate xt	0.00	19.00	29.50	48.00	61.50
Coordinate yt	0.00	11.50	14.50	29.00	35.00
Coordinate xw	0.00	19.00	29.50	48.00	61.50
Coordinate yw	0.00	10.50	13.50	20.50	35.00
Coordinate xb	0.00	13.50	29.50	48.00	61.50
Coordinate yb	0.00	2.00	8.20	20.50	35.00
Friction Angle	0.00	40.00	37.00	37.00	0.00
Cohesion	0.00	5.00	5.00	5.00	0.00

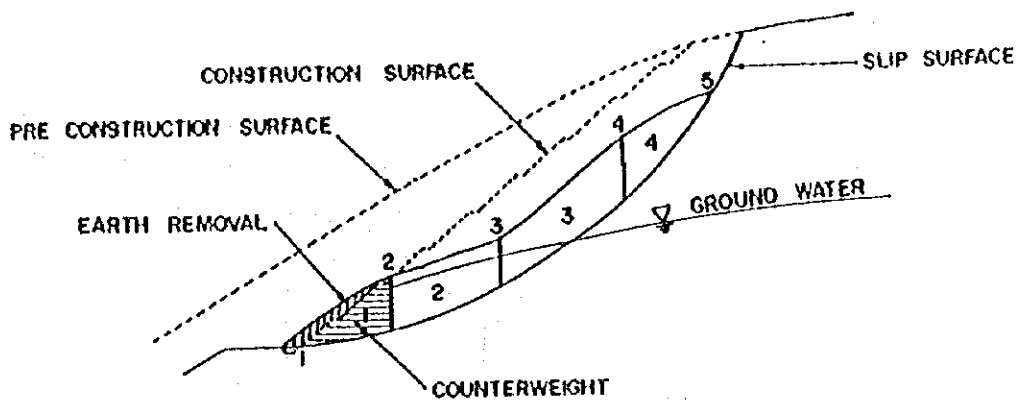
Side Number	1	2	3	4
Rock Unit Weight	22.50	19.60	19.60	19.60
Friction Angle	40.00	37.00	37.00	37.00
Cohesion	13.50	0.00	0.00	5.00
Force T	0.00	0.00	0.00	0.00
Angle Theta	0.00	0.00	0.00	0.00

Effective Normal Stresses

Base	38.50	49.99	78.24	38.45
Side	0.00	4.81	27.87	12.44

Acceleration $K_c = 0.0060$

Factor of Safety = 1.02



กรณีที่ 2 การเคลื่อนย้ายดินที่เกิดการเลื่อนไหลออกไป

SARMA NON-VERTICAL SLICE ANALYSIS

Analysis No. REMOVAL OF SLIDE DEBRIS

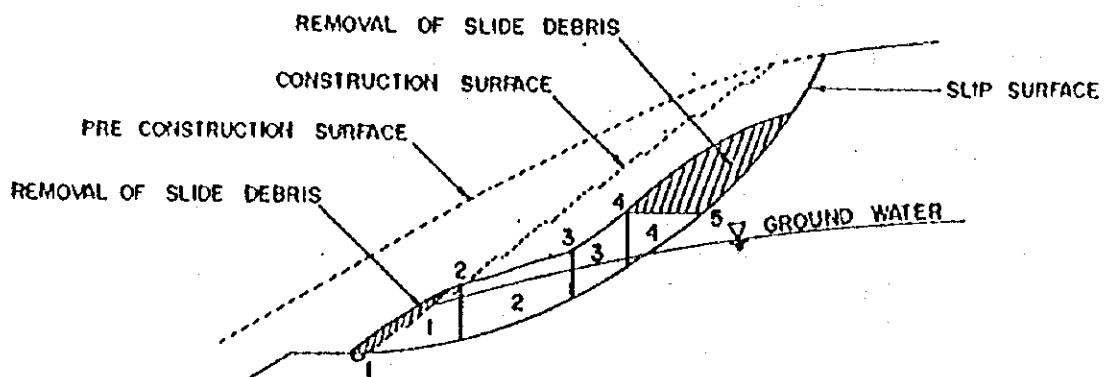
Unit Weight of Water = 9.8

Side Number	1	2	3	4	5
Coordinate xt	0.00	13.50	29.50	37.00	48.00
Coordinate yt	0.00	10.00	14.50	20.00	20.50
Coordinate xw	0.00	13.50	29.50	37.00	48.00
Coordinate yw	0.00	8.00	13.00	15.00	20.50
Coordinate xb	0.00	13.50	29.50	37.00	48.00
Coordinate yb	0.00	2.00	8.20	12.00	20.50
Friction Angle	0.00	37.00	37.00	37.00	0.00
Cohesion	0.00	5.00	5.00	5.00	0.00

Side Number	1	2	3	4
Rock Unit Weight	19.60	19.60	19.60	19.60
Friction Angle	37.00	37.00	37.00	37.00
Cohesion	0.00	0.00	0.00	0.00
Force T	0.00	0.00	0.00	0.00
Angle Theta	0.00	0.00	0.00	0.00
Effective Normal Stresses				
Base	51.81	70.14	77.78	35.37
Side	0.00	13.72	20.62	16.50

Acceleration Kc = 0.0589

Factor of Safety = 1.17



กรณีศึกษาที่ 3 ระบายน้ำในแนวราบ

SARMA NON-VERTICAL SLICE ANALYSIS

Analysis No. HORIZONTAL DRAIN HOLE

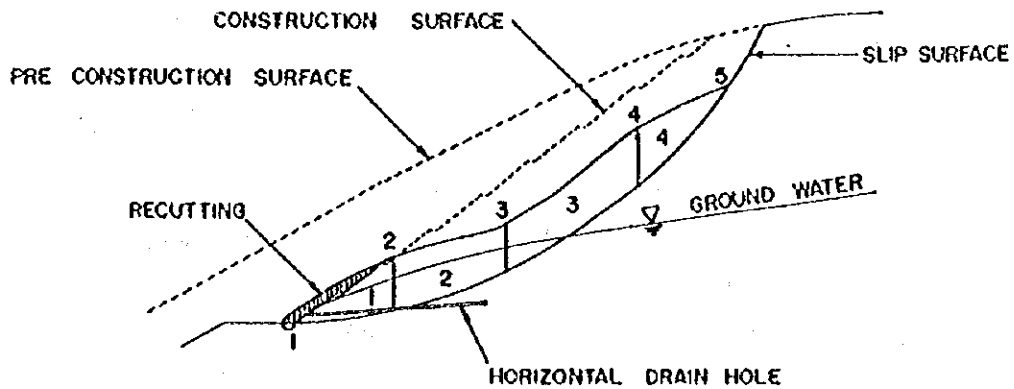
Unit Weight of Water = 9.8

Side Number	1	2	3	4	5
Coordinate xt	0.00	13.50	29.50	48.00	61.50
Coordinate yt	0.00	10.00	14.50	29.00	35.00
Coordinate xw	0.00	13.50	29.50	48.00	61.50
Coordinate yw	0.00	7.00	11.50	20.50	35.00
Coordinate xb	0.00	13.50	29.50	48.00	61.50
Coordinate yb	0.00	2.00	8.20	20.50	35.00
Friction Angle	0.00	37.00	37.00	37.00	0.00
Cohesion	0.00	5.00	5.00	5.00	0.00

Side Number	1	2	3	4
Rock Unit Weight	19.60	19.60	19.60	19.60
Friction Angle	37.00	37.00	37.00	37.00
Cohesion	0.00	0.00	0.00	5.00
Force T	0.00	0.00	0.00	0.00
Angle Theta	0.00	0.00	0.00	0.00
Effective Normal Stresses				
Base	61.48	84.19	86.27	40.18
Side	0.00	28.90	60.14	21.48

Acceleration Kc = 0.0773

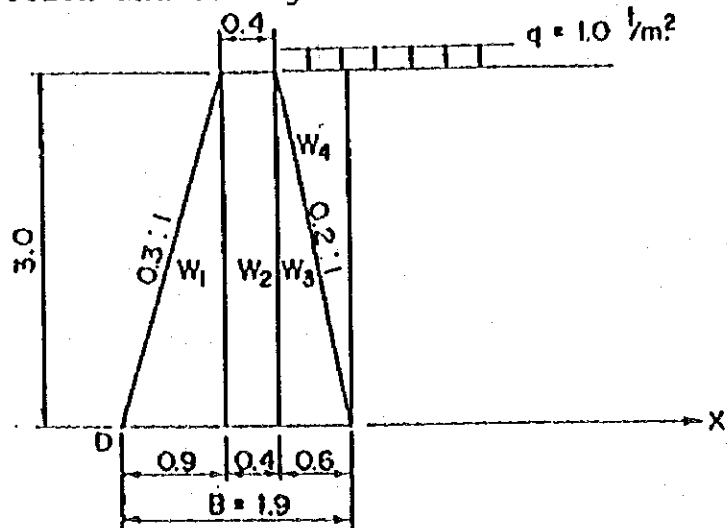
Factor of Safety = 1.19



เอกสารอ้างอิง หมายเลข II
ตัวอย่างการคำนวณกำแพงกันดินชนิด Gravity-Type

ภาพตัดและโครงร่าง

Cross Section and Configuration



- น้ำหนักต่อหน่วยของคอนกรีต $\gamma_c = 2.40$ ตัน/ตร.ม.
- น้ำหนักต่อหน่วยของ Backfill $\gamma_s = 1.9$ ตัน/ตร.ม.
- มุมแรงเสียดทานของ Backfill $\phi = 35$
- การเกาะยึด (Cohesion) ของ Backfill $C = 0$
- สัมประสิทธิ์การเสียดทาน $\tan\sigma = 0.6$
- ความสูงของดิน $C = 3.0/3 = 1.0$ ม.

น้ำหนัก

- แรงดินกด
วิธี Coulom

$$\begin{aligned}
 P_a &= \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2 + k_a \cdot g \cdot H \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 0.335 \cdot 1.9 \cdot 3.0^2 + 0.335 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \\
 &= 3.869 \text{ t}
 \end{aligned}$$

$$P_{ah} = P_a \cdot \cos(\theta + \delta) = 3.185 \text{ t}$$

$$P_{av} = P_a \cdot \sin(\theta + \delta) = 2.197 \text{ t}$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\theta - \alpha)}{\cos^2\theta \cos(\theta + \delta) \left(1 + \frac{\sin(\theta + \delta) \sin(\theta - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \alpha)}\right)^2}$$

$$= \frac{\cos^2(35 - 11.3)}{\cos^2 11.3 \cos(11.3 + 23.3) \left(1 + \frac{\sin(35 + 23.3) \sin(35 - 0)}{\cos(11.3 + 23.3) \cos(11.3 - 0)}\right)^2}$$

• วิธี Trial Wedge Shape

$$P_h = 1/2 \cdot K_h \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$P_v = 1/2 \cdot K_v \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$H_1/H = 0$$

ความละเอียดของดิน : กรวดกับทราย

$$K_h = 0.30$$

$$K_v = 0.25$$

$$P_h = 1/2 \cdot 0.30 \cdot 1.9 \cdot 3.0^2 = 2.565 \text{ t}$$

$$P_v = 1/2 \cdot 0.25 \cdot 1.9 \cdot 3.0^2 = 2.138 \text{ t}$$

• น้ำหนักคงที่และน้ำหนักงานถม Backfill

		น้ำหนักหน้า y (ตัน/ลบ.ม.)	ส่วนประกอบแนวตั้ง V (ตัน)	แขน X (เมตร)	โมเมนต์ M (เมตร)
W1	3.0x0.9x1/2	2.40	3.17	0.600	1.90
W2	3.0x0.4	2.40	2.82	1.100	3.10
W3	3.0x0.6x1/2	2.40	2.12	1.500	3.18
W4	3.0x0.6x1/2	1.90	1.71	1.700	2.91
			9.82		11.09

- น้ำหนักทั้งหมด (วิธีของ Coulom)

ส่วนประกอบ แนวตั้ง V (ตัน)	แขน X (เมตร)	โมเมนต์ค้ำ Mr (tm)	ส่วนประกอบ แนวนอน H (ตัน)	แขน X (เมตร)	โมเมนต์ Mo (tm)
9.82		11.09			
2.20	1.900	4.22			
			3.19	1.000	3.19
12.02		15.31	3.19		3.19

- น้ำหนักทั้งหมด (วิธี Trial Wedge Shape)

ส่วนประกอบ แนวตั้ง V (ตัน)	แขน X (เมตร)	โมเมนต์ค้ำ Mr (tm)	ส่วนประกอบ แนวนอน H (ตัน)	แขน X (เมตร)	โมเมนต์ Mo (tm)
9.82		11.09			
2.14	1.900	4.07			
			2.57	1.000	2.57
11.96		15.16	2.57		2.57

การคำนวณเสถียรภาพ

• การพลิก

$$d = \frac{M_r - M_O}{V} = \frac{(15.16) - (2.57)}{12.02} = \frac{15.31 - 3.19}{12.02} = 1.007 \text{ m}$$

(11.96) (1.052)

$$e = \frac{B}{2} - d = \frac{1.90}{2} - 1.007 = 0.45 - 1.007 = -0.557 \text{ m}$$

(1.052)

$$= \frac{B}{6} - 0.057 = \frac{1.90}{6} - 0.057 = 0.317 - 0.057 = 0.26 \text{ m} \dots\dots\dots \text{OK!}$$

(-0.102) 6

• การเลื่อน

$$F = \frac{V \cdot \tan \phi + C \cdot B}{H} = \frac{12.02 \times 0.6 \times 1.90}{3.19} = \frac{13.8156}{3.19} = 4.331 \dots\dots\dots \text{OK!}$$

(11.96) (2.792) (2.57)

- ประสิทธิภาพการรับน้ำหนัก

$$q_1 \cdot q_2 = \frac{V}{B} \cdot \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_1, q_2 \leq q_a = q_u / F_s$$

$$= \frac{(11.96)}{1.9} \cdot \left(1 \pm \frac{(0.102)}{1.9} \right)$$

$$= \frac{12.02}{1.9} \cdot \left(1 \pm \frac{6 \times 0.057}{1.9} \right)$$

$$= 7.477, 5.200 < 20 \text{ (t) } \dots\dots\dots \text{OK!}$$

$$(6.498) \quad (4.267)$$

() : วิธี Trial Wedge Shape

2. การพังทลายของสะพาน

2.1 ความสามารถในการระบายน้ำ

2.1.1 การคำนวณความสามารถในการระบายน้ำ

การคำนวณพื้นที่หน้าตัดของช่องทางน้ำของสะพาน ท่อลอด และโครงสร้างอื่น ๆ เพื่อการระบายน้ำ จะต้องคำนวณหาความสามารถในการระบายน้ำ (discharge capacity) ซึ่งหาได้จากปริมาณน้ำฝน แล้วแปลงเป็นปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำ (river discharge) มีหลายวิธีที่จะสามารถนำมาใช้หาความสามารถในการระบายน้ำ แต่ขั้นตอนต่าง ๆ ที่แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2.1.1 จะถูกนำมาใช้

- การหาพื้นที่รับน้ำ (Catchment Basin)

พื้นที่รับน้ำจะสามารถหาได้จากการใช้แผนที่ทางภูมิประเทศ (Topographical map) เข้าช่วย เพื่อดูถึงพื้นที่ลุ่มน้ำ (Watersheds), ถนน, โครงสร้างต่าง ๆ เช่น ทางรถไฟ, พื้นที่รับน้ำซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากมีระบบระบายน้ำอื่น ๆ อยู่ในพื้นที่ เป็นต้น หากพื้นที่รับน้ำที่หาได้มีขนาดตั้งแต่ 25 ตารางกิโลเมตรขึ้นไป ก็จะต้องทำการหาปริมาณน้ำฝนในรอบเวลา 50 ปี (50-year rainfall return period) มาใช้แล้วใช้กราฟในภาพประกอบที่ 2.1.2 นำค่าของความยืดหยุ่นเฉพาะของกระแสน้ำท่วม (specific yields of flood flows) มาใช้หาค่าความสามารถในการระบายน้ำได้โดยตรง

- ปริมาณน้ำฝนในรอบเวลา (Rainfall Return Period)

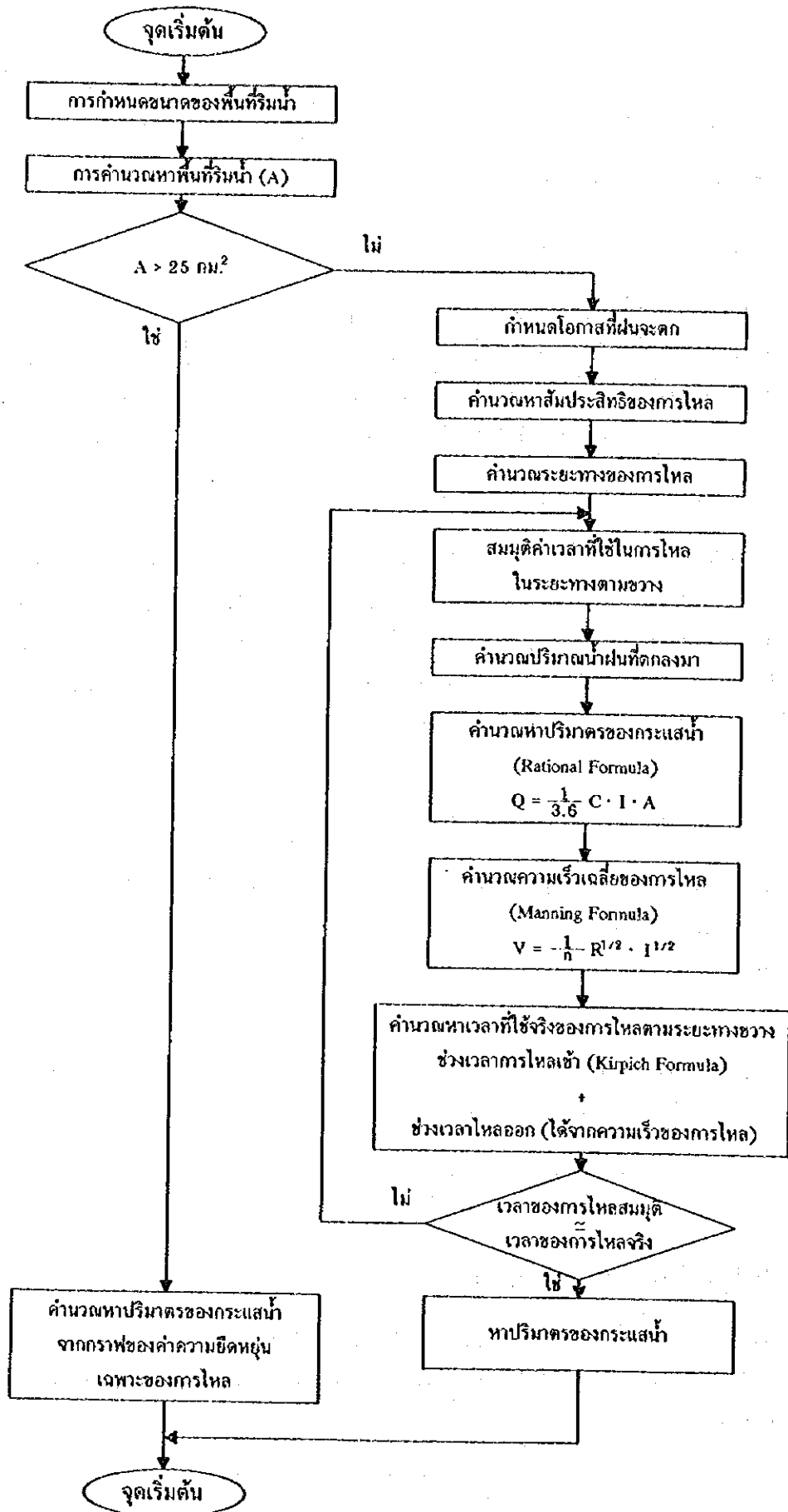
เนื่องจากการไม่ประหยัด หากจะต้องทำการศึกษาน้ำฝนที่ตกลงมาจะใช้เวลาานเท่าใดที่จะถูกระบายไปจนหมด ดังนั้น ความสามารถระบายน้ำที่จำเป็นเพื่อป้องกันและรักษาดถนนไว้จะถูกกำหนดโดยความสำคัญของโครงสร้างที่นำมาใช้ ความง่ายในการบำรุงรักษาเป็นต้น ซึ่งปริมาณน้ำฝนในรอบเวลาจะถูกกำหนดจาก :-

ก) ผิวทางและการระบายน้ำลาดคันทาง เป็นต้น (ไม่รวมถึงน้ำที่ไหลมาจากพื้นที่ในบริเวณใกล้เคียงกับถนน, ลาดชันตามธรรมชาติ) : ปริมาณน้ำฝนในรอบ 3 ปี

ข) ทางน้ำ หรือ แม่น้ำ ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำ 25 ตารางกิโลเมตร หรือน้อยกว่าปริมาณน้ำฝนในรอบ 20 ปี

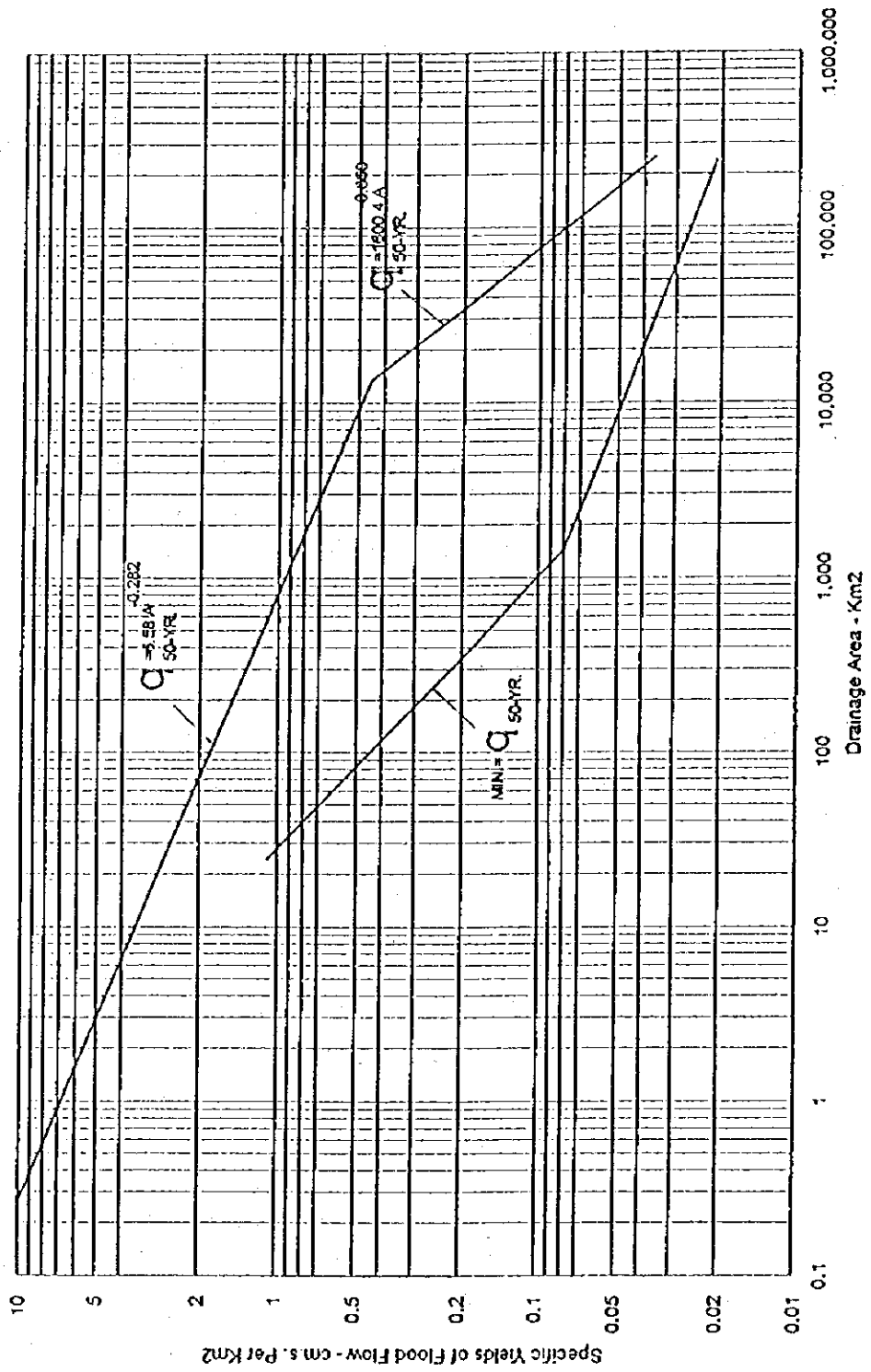
- สัมประสิทธิ์การไหล (Run-off coefficient)

ค่าของสัมประสิทธิ์การไหลจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณน้ำฝนและคุณลักษณะของพื้นที่ระบายน้ำซึ่งเป็นการยากที่จะกำหนดค่าให้แน่นอนลงไปได้ แต่อย่างไรก็ดี ก็สามารถจะกำหนดให้เฉพาะลงไปตามสภาพของพื้นที่ซึ่งแตกต่างกัน ดังนี้



ภาพประกอบที่ 2.1.1 วิธีการคำนวณหาปริมาตรของกระแสน้ำ

SPECIFIC YIELDS OF FLOOD-FLOW
FOR RIVERS IN THAILAND



ภาพประกอบที่ 2.1.2 ความสัมพันธ์เฉพาะของกระแสน้ำท่วม

สภาพภูเขา	=	0.6
สภาพพื้นราบ	=	0.5
สภาพทุ่งนา	=	0.7

กรณีที่สภาพของพื้นที่รับน้ำไม่ได้เป็นรูปแบบเดียว ให้ทำการเฉลี่ยน้ำหนัก (weighted overage) จากสัดส่วนของการใช้พื้นที่ (land-use ratios) ดังนั้นจึงต้องทำการหาพื้นที่รับน้ำโดยแบ่งตามสภาพการใช้พื้นที่

- การกำหนดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา (Rainfall intensity)

ในการคำนวณหาความสามารถในการระบายน้ำด้วยวิธี rational formular จำเป็นต้องหาปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา, I (มม./ชม.) และเวลาที่น้ำฝนที่ตกลงมาใช้ในการไหลจากจุดที่อยู่ไกลที่สุดบนพื้นที่รับน้ำ (เวลาในการรวมตัวกัน) ซึ่งปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาหาได้จากกราฟของกรมทางหลวง ซึ่งได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ในอดีตเกี่ยวกับปริมาณน้ำฝน และเวลาที่ใช้ในการไหลตามสถานีเก็บข้อมูลจำนวน 17 แห่งทั่วประเทศ เช่น ที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่ และสถานีจังหวัดสงขลา ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 2.1.3 แต่กราฟที่ได้จะไม่ได้แสดงถึงปริมาณน้ำฝนในรอบ 3 ปี ดังนั้นจึงใช้ปริมาณน้ำฝนในรอบ 10 ปีแทน

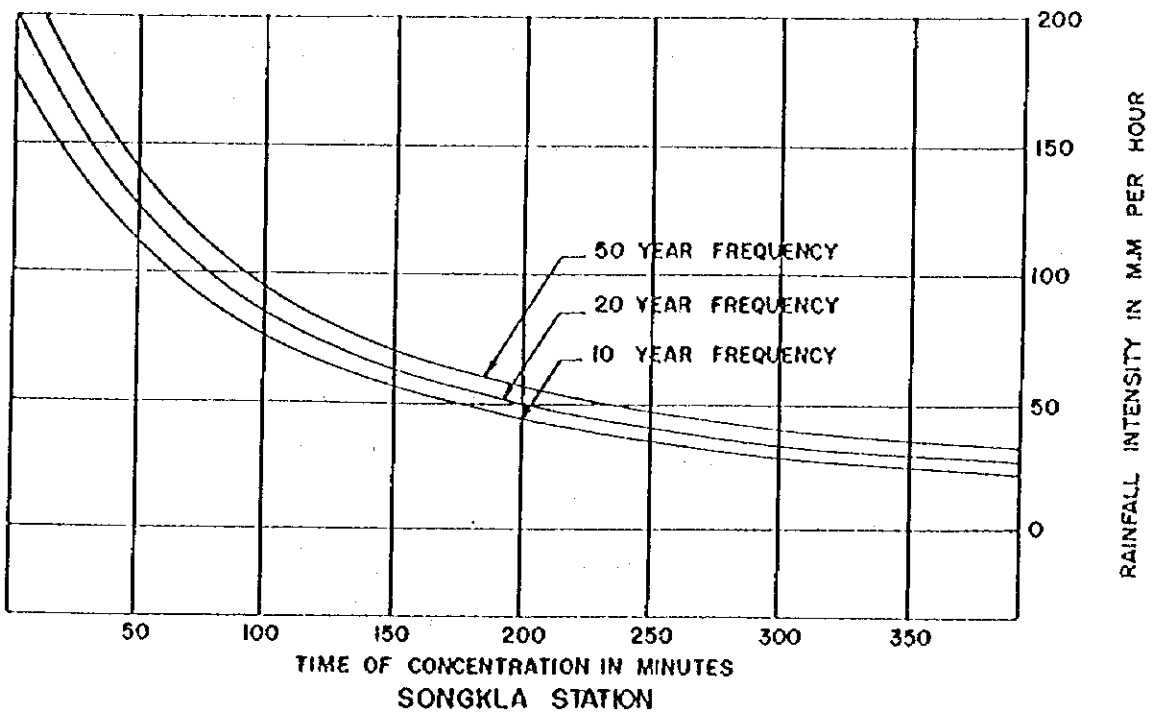
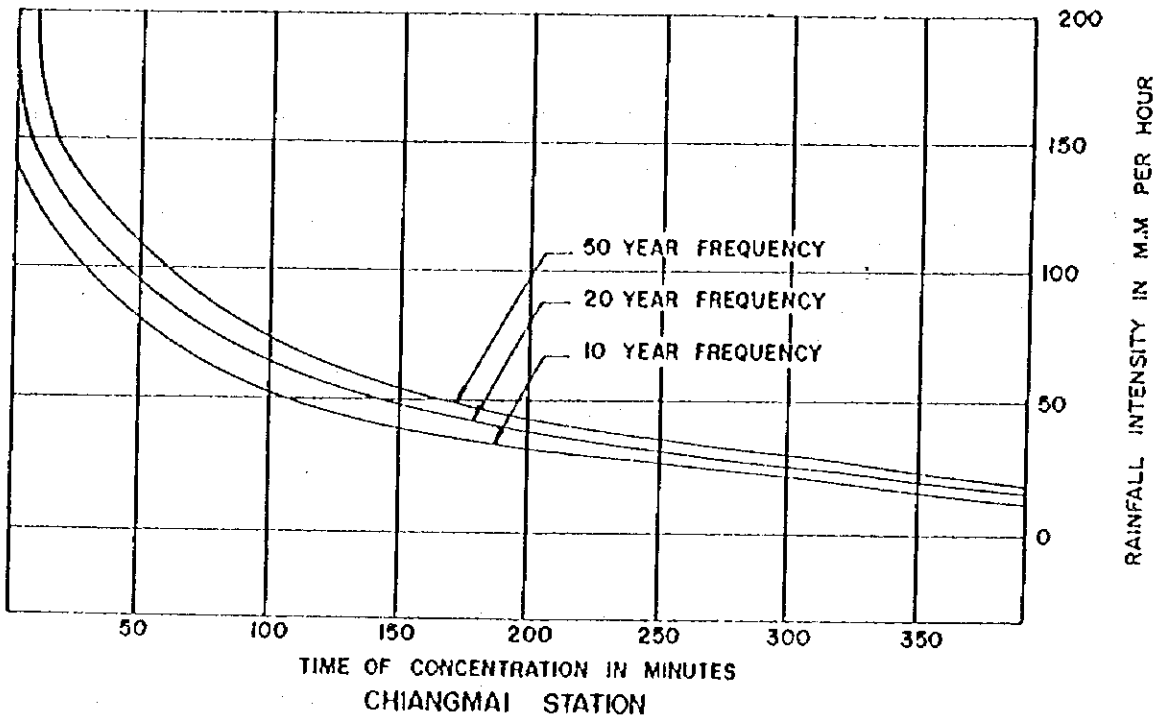
- การคำนวณความสามารถในการระบายน้ำ

ในกรณีที่ใช้ค่าปริมาณน้ำฝนในรอบ 50 ปี จะสามารถหาความสามารถในการระบายน้ำได้โดยตรงโดยใช้ค่าของความยืดหยุ่นเฉพาะของกระแสน้ำท่วม มาหาค่าจากกราฟรูปที่ 2.1.2 แต่หากเป็นกรณีอื่น ก็จะสามารถหาค่าความสามารถในการระบายน้ำได้จากสูตร rational formular ดังนี้

$$Q = \frac{1}{306} C I A$$

ซึ่ง ;	Q	=	ปริมาณการไหลของน้ำ (ม. ³ /วินาที)
	C	=	สัมประสิทธิ์ของการไหล
	I	=	ปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาการรวมตัว (มม./ชม.)
	A	=	พื้นที่รับน้ำ (ม. ²)

ค่าของเวลาในการรวมตัวหาได้จากการเปรียบเทียบค่าที่สมมุติขึ้นกับค่าที่ได้ประมาณไว้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งค่าที่สมมุติขึ้นน้อยกว่าค่าที่ได้ประมาณไว้ และผลต่างของค่าที่ประมาณไว้อยู่ในช่วง 20% ของค่าที่สมมุติขึ้น การคำนวณก็จะเป็นอันเสร็จสิ้น



ภาพประกอบที่ 2.1.3 การเพิ่มขึ้นระหว่างเส้นโค้ง

- เวลาของการรวมตัว

เวลาของการรวมตัวแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเวลาไหลเข้า (inlet time, t_1) ซึ่งเป็นเวลาที่น้ำฝนไหลจากจุดที่ไกลที่สุดบนพื้นที่รับน้ำไปยังอุปกรณ์ระบายน้ำ (drainage facilities) และช่วงเวลาไหลออก (outlet time, t_2) ซึ่งเป็นเวลาที่น้ำฝนในแม่น้ำไหลไปยังจุดที่กำหนดไว้ (predetermined point) กรณีที่ไม่มีแนวจุดที่กำหนดไว้ ค่า $t = t_1 + t_2$

1) ช่วงเวลาไหลเข้า

ช่วงเวลาไหลเข้าหาได้จากสูตร Kirpich Formula :-

$$t_1 = \frac{60(0.87L^3)^{0.385}}{H}$$

ซึ่ง ; t_1 = ช่วงเวลาไหลเข้า (นาที)

L = ระยะทางจากจุดที่ไกลที่สุดบนพื้นที่รับน้ำถึงแม่น้ำ (กม.)

H = ผลต่างของความสูงระหว่างจุดที่ไกลที่สุดบนพื้นที่รับน้ำ กับจุดที่อยู่ใกล้กับแม่น้ำ

2) ช่วงเวลาไหลออก

ช่วงเวลาไหลออกสามารถประมาณอย่างคร่าว ๆ ว่า เท่ากับระยะทางจากจุดต้นน้ำ (upstream) ของแม่น้ำไปยังจุดที่จะคำนวณค่าความสามารถในการระบายน้ำ ทหารด้วยความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ (average flow velocity) ซึ่งค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำหาได้จากสูตร Manning formula :-

$$v = \frac{1.49 R^{2/3} i^{1/2}}{n}$$

ซึ่ง; v = ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ (ม./วินาที)

n = roughness coefficient (วินาที/ม.³)

R = hydraulic radius = A/P

โดยที่ A = ความยาวของเส้นตัดขวางของกระแสน้ำไหล

P = ความยาวของเส้นรอบวงส่วนที่เปียก

i = hydraulic gradient

ค่าของ Manning 's roughness ratio มีดังต่อไปนี้ :-

- คอนกรีตหล่อในที่ = 0.015
- คอนกรีตหล่อสำเร็จ = 0.013
- แฉ่งน้ำในภูมิประเทศแบบภูเขา (มีการกัดเซาะของหินมาก) = 0.040
- แฉ่งน้ำในภูมิประเทศแบบที่ราบ (หญ้า, พุ่มไม้เตี้ย) = 0.035
- แฉ่งน้ำในภูมิประเทศแบบที่ราบ (หญ้า, ทราย) = 0.045

ดังนั้น ช่วงเวลาไหลออก จะคำนวณได้จากสูตร :-

$$t_2 = \frac{50 \cdot L}{3 \cdot v}$$

ซึ่ง ; t_2 = ช่วงเวลาไหลออก (นาที)
 L = ระยะทางของการไหล (กม.)

2.1.2 การคำนวณหาความสามารถในการระบายน้ำที่ยอมให้ได้ (Allowable Discharge Capacity)

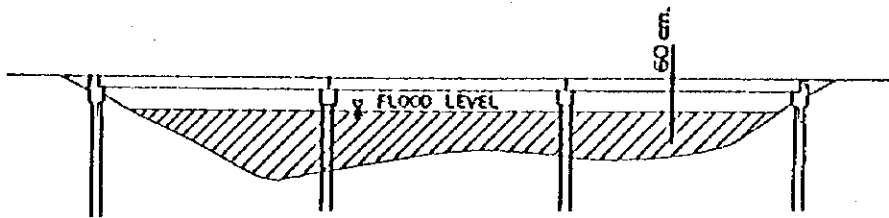
ความสามารถในการระบายน้ำที่ยอมให้ได้สำหรับช่องทางน้ำ เช่น สะพาน หรือ ท่อลอด เป็น ต้น จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ความสามารถในการระบายน้ำที่เป็นจริง (Actual discharge capacity)

$$Q_a \geq Q$$

ซึ่ง ; Q_a = ความสามารถในการระบายน้ำที่ยอมให้ได้ของสะพาน/ท่อลอด
 Q = ความสามารถในการระบายน้ำที่เป็นจริงของสะพาน/ท่อลอด

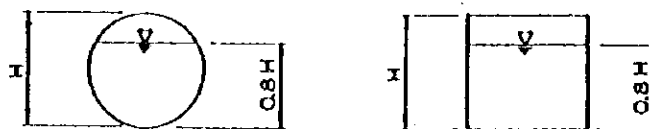
วิธีการหาค่าความสามารถในการระบายน้ำที่ยอมให้ได้สำหรับสะพานและท่อลอดมีดังนี้

สะพาน : ค่า Q_a หาได้จากผลคูณของความเร็วเฉลี่ยของกระแส น้ำซึ่งได้จากการใช้ Manning formula กับพื้นที่หน้าตัดของแม่น้ำตรงบริเวณสะพานซึ่งใช้ระดับน้ำสูงสุดเป็นหลัก และระยะห่างระหว่างห้องคานสะพานกับฝิวน้ำ จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 60 ซม.



ภาพประกอบที่ 2.1.4 พื้นที่หน้าตัดของแม่น้ำ

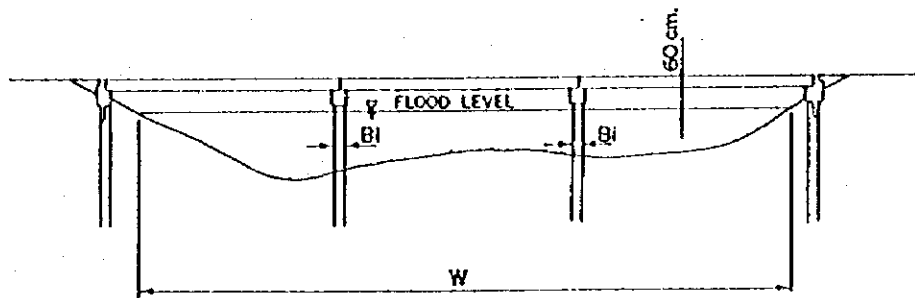
ท่อลอด : วิธีคิดจะเหมือนกับกรณีของสะพาน ยกเว้นว่าจะนำเอาส่วนของตะกอน เช่น ดิน โคลน ต้นไม้และหญ้า เป็นต้น มาหักออก ซึ่งจะหาระดับน้ำในท่อลอดสูงสุดมีค่าเพียง 80% ของความสูงท่อ



ภาพประกอบที่ 2.1.5 รูปตัดของท่อลอด

2.1.3 สัดส่วนของกระแสน้ำไหลที่ถูกขวางด้วยตอม่อของสะพาน

ตอม่อกลางน้ำ (pier) ของสะพานจะเป็นตัวขวางการไหลของกระแสน้ำ จากรูปที่ 2.1.6 สัดส่วนของการกีดขวางแม่น้ำ (river hindrance ratio) ก็คือ สัดส่วนของความกว้างทั้งหมดของตอม่อกลางน้ำของสะพาน กับ ความกว้างทั้งหมดของแม่น้ำ และสัดส่วนนี้จะต้องเท่ากับ 5% หรือน้อยกว่า เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ :-



ภาพประกอบที่ 2.1.6 ภาพแสดงการกีดขวางของกระแสน้ำในแม่น้ำ

$$n = (B/W) \cdot 100 \leq 5\%$$

ซึ่ง ;
n = สัดส่วนของการกีดขวางกระแสน้ำของตอม่อกลางน้ำ
B = ผลรวมของความกว้างทั้งหมดของตอม่อกลางน้ำ
W = ความกว้างของแม่น้ำ

2.2 สะพาน Bailey/Trestle

สะพาน Bailey/Trestle จะใช้ในงานซ่อมแซมเร่งด่วน โดยเฉพาะเมื่อการจราจรปิดเนื่องจาก สะพานถูกพัดพา หรือการพังทลายของ Slope

(1) วัสดุ

ในกรณีของสะพาน Bailey โดยทั่วไปจะใช้เหล็ก ดังนั้น หากมีการใช้วัสดุอื่นการตรวจสอบ ความสามารถในการรับแรงเค้นจะต้องมีการดำเนินการ

เมื่อมีการใช้เหล็กเช่นรูปตัว H เป็นชิ้นส่วนประกอบจะต้องมีการคัดเลือก ในกรณีที่ใช้ไม้เป็นส่วนประกอบ ซึ่งคุณภาพของไม้จะแปรผันไปตามชนิดไม้ จะต้องใช้ไม้ชนิดเดียวกัน

(2) คานเสริมแรง

โดยที่คานเสริมจะเป็นตัวรองรับน้ำหนักโดยตรงจากยานพาหนะ คานจะต้องมีความแข็งแรง และหนานานที่เหมาะสม มีคานอยู่ 3 ชนิดคือ เหล็ก คอนกรีต และไม้ ดังนั้น ชนิดของคานเสริมแรงที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาในการรองรับน้ำหนักยานพาหนะ

(3) การรับน้ำหนัก

ในขั้นตอนการออกแบบจะต้องพิจารณาน้ำหนักต่อไปนี้

1. น้ำหนักคงที่ (น้ำหนักของโครงสร้าง)
2. น้ำหนักจร (น้ำหนักยานพาหนะ) และ
3. แรงกระแทก (แรงจากรถหยุดและรถสตาร์ท)

$$I = 50/(L + 125)$$

โดยที่ I : แรงกระแทก (ตัน)
L : ความยาวพื้นสะพานที่มีประสิทธิภาพ (เมตร)

(4) ระยะห่างระหว่างท้องคานกับแม่ไม้

ระยะห่างระหว่างท้องคานกับแม่ไม้จะต้องสูงกว่า 60 ซม.

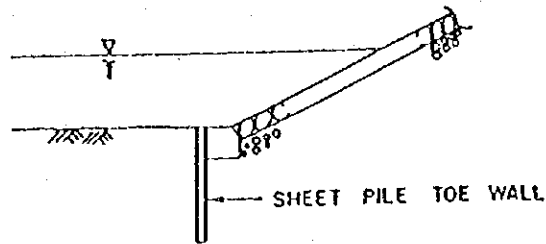
(5) ฐานราก

ฐานรากที่รองรับน้ำหนักสะพาน Bailey หรือ Trestle จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ นอกเหนือจากนั้นหากใช้เสาเข็มเป็นตัวรองรับน้ำหนัก จะต้องมีความลึกมากกว่า 3 เมตร เข้าไปในชั้นหิน หรือทรายแข็งที่มีค่าเกินกว่า 30 N หรือกรณีดินเหนียวปากแม่ไม้จะต้องมีค่าเกินกว่า 10 N

2.3 การป้องกันตอม่อคอคดิน

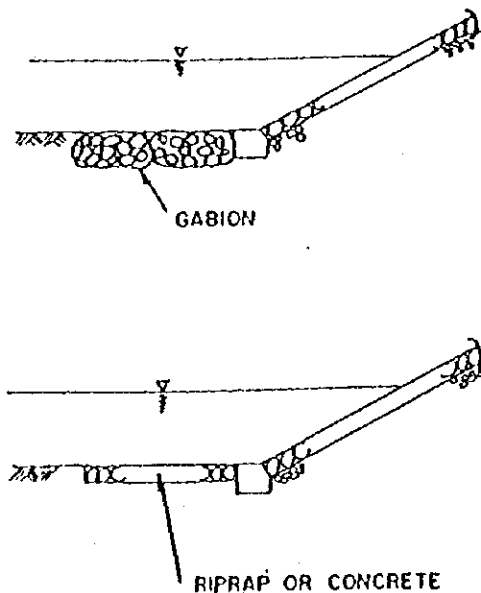
การป้องกันตอม่อคอคดินและบริเวณหลังตอม่อคอคดินนั้น จะใช้คัน (Revetments) ถมบริเวณ Backfill คันทั่วไปจะเป็นคอนกรีตแต่อาจจะใช้การเรียงหินยาแนวได้ในกรณีที่ไม่มีวัสดุ

ไม่ว่าจะใช้วิธีการใด จะต้องมีการใช้ฐานรากคอนกรีต (ซึ่งมีความลึกประมาณ 1 เมตรจากระดับดินท้องน้ำ) หรือ Sheet-Pile เพื่อเสริมความแข็งแรงฐาน Slope ที่อยู่บริเวณชายฝั่ง



ภาพประกอบที่ 2.3.1 การเสริมความแข็งแรงของฐาน Slope บริเวณริมฝั่ง

นอกเหนือจากนั้นจะต้องมีการป้องกันท้องน้ำที่อยู่ในบริเวณข้างต้น โดยการใช้ Mat-Gabion ดังได้แสดงในภาพประกอบที่ 2.3.2



ภาพประกอบที่ 2.3.2 การเสริมความแข็งแรงของท้องน้ำ และฐาน Slope

2.3.1 คั่นคอนกรีต (Concrete Revetment)

- การใช้งาน

คั่นคอนกรีตจะเป็นชนิดโครงสร้างเสริมเหล็ก ซึ่งจะใช้ในบริเวณที่ Slope มีความลาดน้อยมาก 1:1

- วัสดุ

คอนกรีตสำหรับงานโครงสร้าง เหล็กเสริม ตัวยึด กรวด และท่อ PVC เพื่อการระบายน้ำ

- การออกแบบ

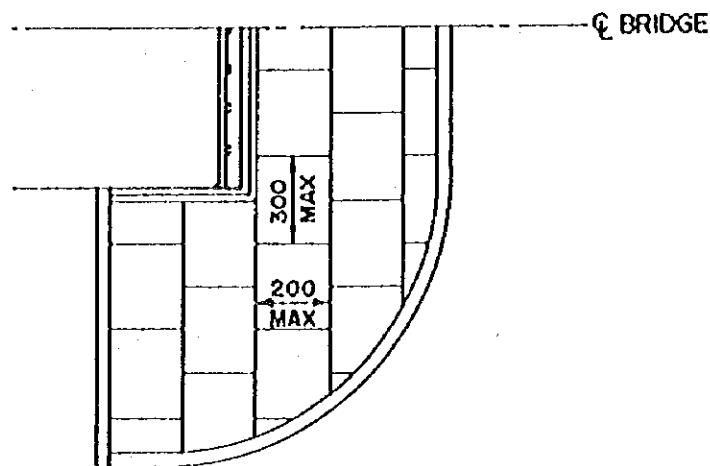
ส่วนผสมตามน้ำหนักของซีเมนต์ หินทราย และกรวด จะเป็น 1:2:4 โดยมีค่ายุบตัวน้อยกว่า 10 ซม.

ความหนาของคอนกรีตสำหรับ Slope ที่มีความลาด N:1 จะเป็นดังต่อไปนี้

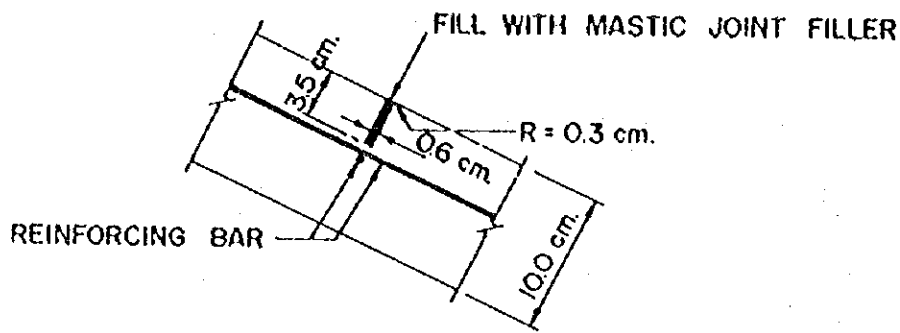
$N > 1.5$: 10 ซม.

$1.5 \geq N > 1.0$: 20 ซม.

เพื่อป้องกันการแตกของผิวคอนกรีต จะต้องติดตั้งรอยต่อ (Contraction Joints) ทุก ๆ ระยะ 2 เมตร หรือน้อยกว่าตามแนวตั้ง และทุก ๆ ระยะ 3 เมตรหรือน้อยกว่า (ดูภาพประกอบที่ 2.3.3) นอกเหนือจากนั้นรอยต่อจะต้องหยอดด้วย Mastic Joint Filler ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.3.4

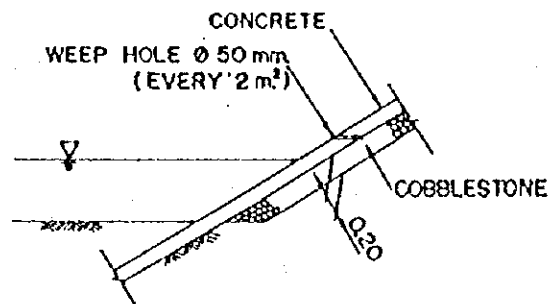


ภาพประกอบที่ 2.3.3 รอยต่อ Contraction Joint



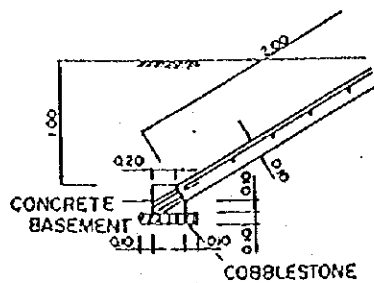
ภาพประกอบที่ 2.3.4 Mastic Joint Filler

เพื่อลดแรงกดของน้ำบริเวณหลังต่อมอคอดดิน จะต้องมีกรวดด้วยกรวดโดยให้ความหนา 20 ซม. บริเวณหลังต่อมอคอดดิน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.3.5 นอกจากนั้นจะต้องติดตั้งท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. ทุก ๆ ระยะ 2 ตารางเมตรเพื่อระบายน้ำ



ภาพประกอบที่ 2.3.5 กรวด

เพื่อป้องกันท่อน้ำจากการกัดเซาะ ฐานรากใต้ท่อน้ำจะต้องมีความลึกไม่ต่ำกว่า 1 เมตร และจะต้องทำด้วยคอนกรีต (ดูภาพประกอบที่ 2.3.6)



ภาพประกอบที่ 2.3.6 ฐานรากคอนกรีต

2.3.2 คันหินเรียงยาแนว

- การใช้งาน

คันชนิดนี้จะใช้การเรียงหินบริเวณ Slope ที่มีความลาดน้อยกว่า 1:1 ในกรณีที่มีความลาดชันสูงกว่า 1:1 นั้นจะได้อธิบายต่อไป

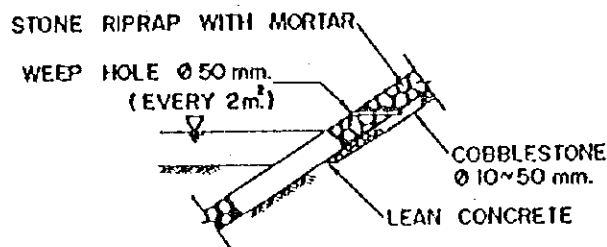
- วัสดุ

กรวดหิน, หินคลุก, Mortar, คอนกรีตสำหรับโครงสร้างเล็ก, ท่อ PVC ในการระบายน้ำ

- การออกแบบ

ซีเมนต์และทรายผสมในการทำ Mortar ด้วยปริมาตร 1:2

เพื่อเป็นการลดแรงดันน้ำบริเวณหลังตอม่อค่อดิน จะต้องถมด้วยกรวด ตั้งแต่ฐานถึงส่วนหัวของตอม่อค่อดิน พร้อมทั้งติดตั้งท่อ PVC ทุก ๆ 2 ตร.ม. เพื่อระบายน้ำ

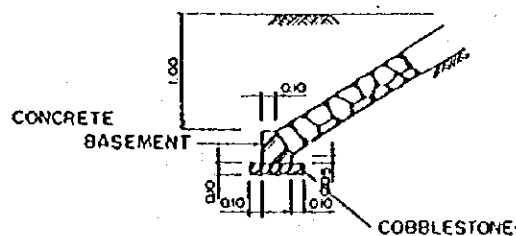


ภาพประกอบที่ 2.3.7 กรวด

ความหนาของหิน และกรวดสำหรับ Slope ที่มีความลาด N:1 มีดังต่อไปนี้

ความลาดของ Slope	ความหนาของหินเรียง	ความหนาของกรวดถม
$N \geq 1.5$	25 ซม.	10 ซม.
$1.0 < N < 1.5$	45 ซม.	10 ซม.

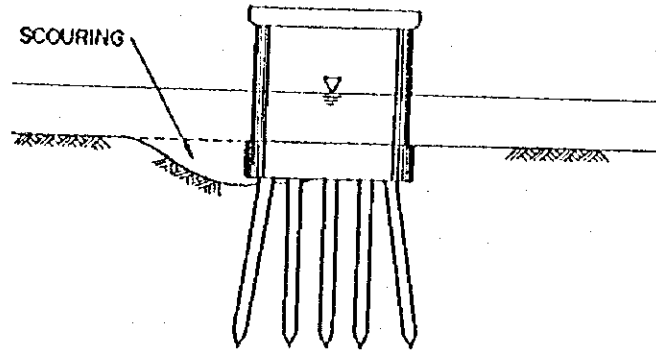
เพื่อที่จะป้องกันห้องน้ำถูกกัดเซาะ ส่วนฐานรากที่อยู่ใต้ห้องน้ำจะต้องมีความลึกเกินกว่า 1 เมตร และต้องทำด้วยคอนกรีต



ภาพประกอบที่ 2.3.8 ฐานรากคอนกรีต

2.4 การป้องกันตอม่อ

โดยที่ตอม่อที่ตั้งอยู่กลางแม่น้ำนั้นจะทำให้ความกว้างของแม่น้ำลดลงเล็กน้อย ดังนั้น กระแสน้ำในบริเวณสะพานจึงไหลแรงกว่าปกติ ด้วยเหตุผลนี้จึงเกิดการกัดเซาะท้องน้ำใต้บริเวณฐานรากของตอม่อได้ (ดูภาพประกอบที่ 2.4.1) ในกรณีนี้จะเป็นผลทำให้ตอม่อเอียงไปข้างใดข้างหนึ่งและสะพานพังทลายได้



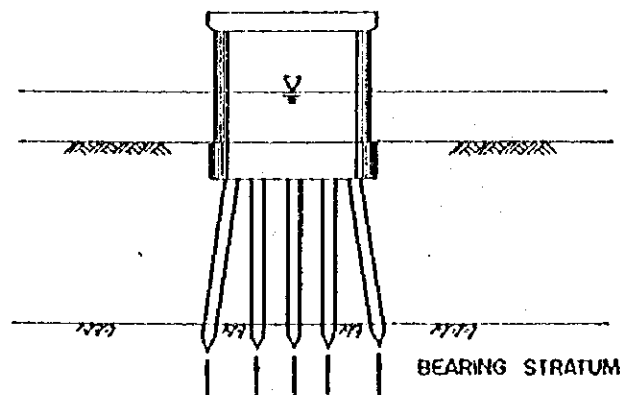
ภาพประกอบที่ 2.4.1 การกัดเซาะฐานรากตอม่อ

ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการดำเนินการป้องกันตอม่อ เนื่องจากการกัดเซาะที่กำลังเกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น

- การยืนยันประสิทธิภาพการรับน้ำหนัก

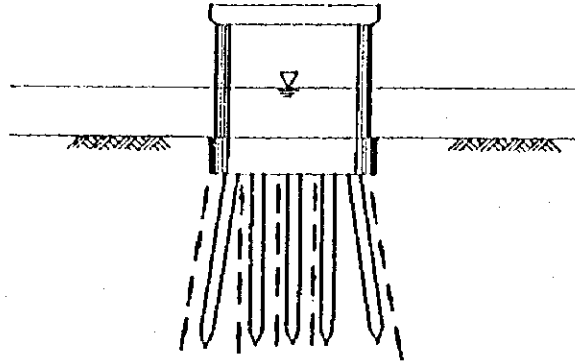
ส่วนใหญ่แล้วตอม่อจะเป็นชนิด Pile-Bent ในขั้นแรกนี้มีความจำเป็นที่จะต้องยืนยันว่าเสาเข็มของสะพานเป็นชนิด Bearing-Pile หรือ Friction Pile

ในกรณีของ Bearing-Pile ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.4.2 นั้น โดยที่ฐานเสาเข็มจะเป็นตัวรองรับน้ำหนักที่มากกระทำ การกัดเซาะบางส่วนจึงไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักมากนัก



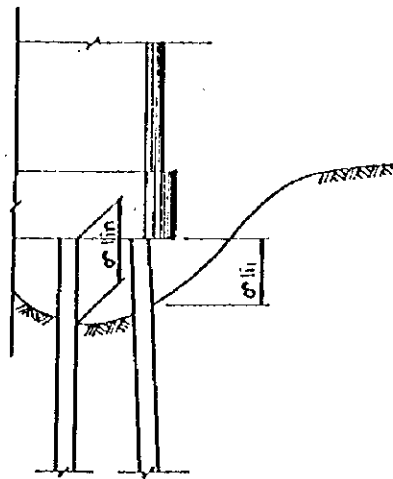
ภาพประกอบที่ 2.4.2 ตอม่อที่มีเสาเข็มชนิด Bearing-Pile

ในกรณีของ Friction-Pile ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.4.3 นั้น โดยที่แรงเสียดทานตามผิวของเสาเข็มจะเป็นตัวรับน้ำหนักที่มากกว่า จึงจำเป็นที่จะต้องมีการดำเนินการตรวจสอบประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักที่เหมาะสม ในกรณีที่เกิดการกัดเซาะบางส่วนได้



ภาพประกอบที่ 2.4.3 ตอม่อที่มีเสาเข็มชนิด Friction Pile

การลดแรงเสียดทานในบริเวณที่ถูกกัดเซาะ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.4.4 จะคำนวณโดยใช้สมการ



ภาพประกอบที่ 2.4.4 การเปลี่ยนแปลงแรงเสียดทานบริเวณผิวหน้าเสาเข็ม

$$\delta P = D \Sigma l \cdot f$$

โดยที่ δP : การเปลี่ยนแปลงแรงเสียดทานในบริเวณที่ถูกกัดเซาะ
 D : รัศมีของเสาเข็ม
 Σl : ความยาวของการกัดเซาะ = l_1
 f : แรงเสียดทานบริเวณผิวหน้าเสาเข็ม

- ประเภทของงานป้องกัน

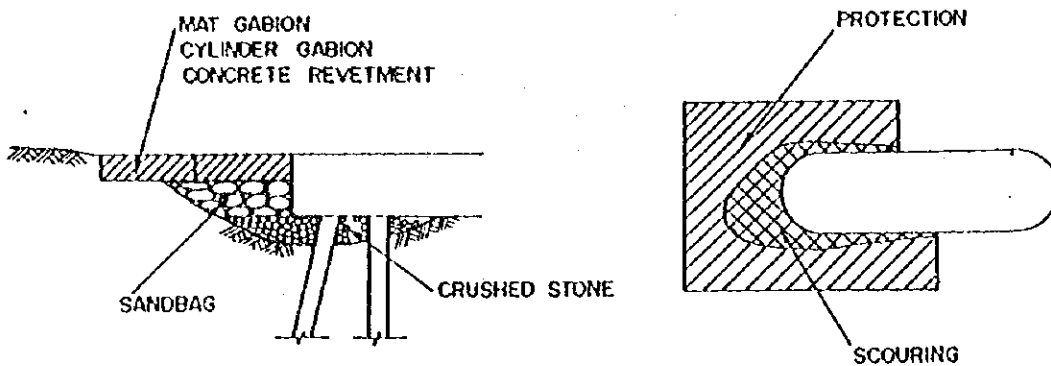
งานป้องกันตอม่อประกอบไปด้วยงานประเภทต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. งาน Sand Mat
2. งานหินคลุก
3. งาน Mat Gabion
4. งาน Cylinder Gabion และ
5. งานค้ำคอนกรีต

เมื่อมีการคัดเลือกประเภทของงานในขั้นตอนการออกแบบ ก่อนที่จะมีการพิจารณาทางด้านวัสดุที่หาได้ และทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้น จำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจสภาพของพื้นที่ให้พอเพียง

- พื้นที่ที่จะมีการป้องกัน

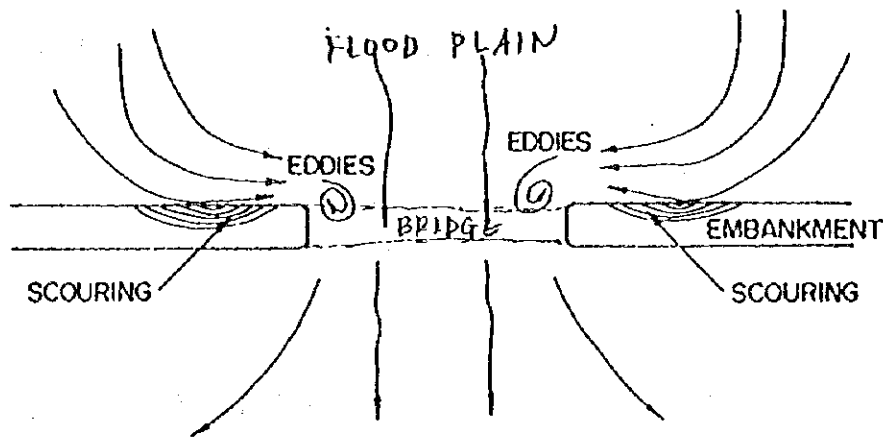
พื้นที่ป้องกันประกอบไปด้วยพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะทั้งหมด และพื้นที่ที่จะมีการถม



ภาพประกอบที่ 2.4.5 พื้นที่ที่จะมีการป้องกัน

2.5 การป้องกันถนนเชื่อม

เมื่อสะพานตั้งอยู่ในบริเวณที่ราบน้ำท่วม และเกรงว่าถนนเชื่อมจะถูกกัดเซาะจากน้ำวนซึ่งมีสาเหตุจากน้ำท่วม (ดูภาพประกอบที่ 2.5.1) มีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการป้องกัน Slop ในบริเวณเหนือน้ำของถนนเชื่อม



ภาพประกอบที่ 2.5.1 สะพานในบริเวณที่ราบน้ำท่วม

(1) การคัดเลือกงาน

งานป้องกันประกอบไปด้วยกิจกรรมประเภทต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. งานคันคอนกรีต
2. งานคันคอนกรีตประคบ
3. งานคันหิน
4. งาน Cribwork โดยการเรียงหิน

คันคอนกรีตควรใช้ในบริเวณที่น้ำไหลเชี่ยวและรุนแรง ส่วนประเภทอื่นนั้นควรพิจารณาจากวัสดุที่หาได้ ความแข็งแรงของงานบริเวณต่อมอดสะพาน ความสวยงาม และอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ในกรณีของคันคอนกรีตประคบนั้นความลาดของ Slope ควรจะน้อยกว่า 1.5:1 และความสูงไม่ควรเกิน 3 เมตร ความลาดของ Slope ของงานอื่นจะต้องน้อยกว่า 1.0:1

ไม่ว่าจะเลือกประเภทใดก็ตาม ส่วนฐานรากที่ฝังอยู่ใต้ดินจะต้องลึกกว่า 1 เมตร นอกจากนั้นจะต้องกำหนดให้มีการป้องกันท่อน้ำบริเวณด้านหน้าของงานป้องกันด้วย Mat Gabion และอื่น ๆ ด้วย

คุณลักษณะของงานป้องกันประเภทต่าง ๆ อธิบายได้ดังนี้

(2) คันคอนกรีต (Concrete Revetment)

เช่นเดียวกับบทที่ 2.3.1

(3) คันคอนกรีตประกอบ

- การใช้งาน

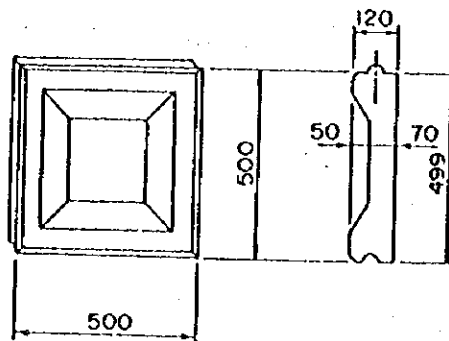
โครงสร้างชนิดนี้จะใช้กับ Slope ที่มีความลาดน้อยกว่า 1.5:1 โดยใช้ร่วมกับแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

- วัสดุ

แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ กรวด ท่อ PVC สำหรับการระบายน้ำ

- การออกแบบ

แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จจะมีความหนา 12 ซม. และประกอบเข้าด้วยกัน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.5.2



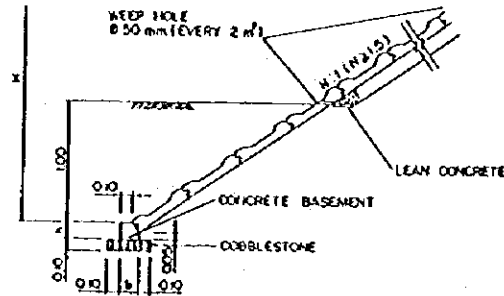
ภาพประกอบที่ 2.5.2 คันคอนกรีตประกอบ

- แรงดันน้ำ

เพื่อลดแรงดันน้ำด้านหลังคันจะโรยกรวดให้มีความหนา 20 ซม. รวมทั้งติดตั้งท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. เพื่อระบายน้ำ

ฐานราก

ดังได้แสดงในภาพประกอบที่ 2.5.3 ฐานรากคอนกรีตจะต้องฝังด้วยความลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร



ภาพประกอบที่ 2.5.3 ฐานรากคอนกรีต

(4) คันเรียงหินยาแนว

เช่นเดียวกับบทที่ 2.3.2

(5) งาน Cribwork โดยการเรียงหิน

- การใช้งาน

โครงสร้างนี้จะใช้กับ Slope ที่มีความลาดน้อยกว่า 1.0:1 และในโครงคอนกรีตจะถมด้วยการเรียงหินและ Mortar

- วัสดุ

Crib คอนกรีตหล่อสำเร็จ กรวด หรือหินคลุก Mortar คอนกรีตสำหรับโครงสร้างขนาดเล็กท่อ PVC สำหรับการระบายน้ำ

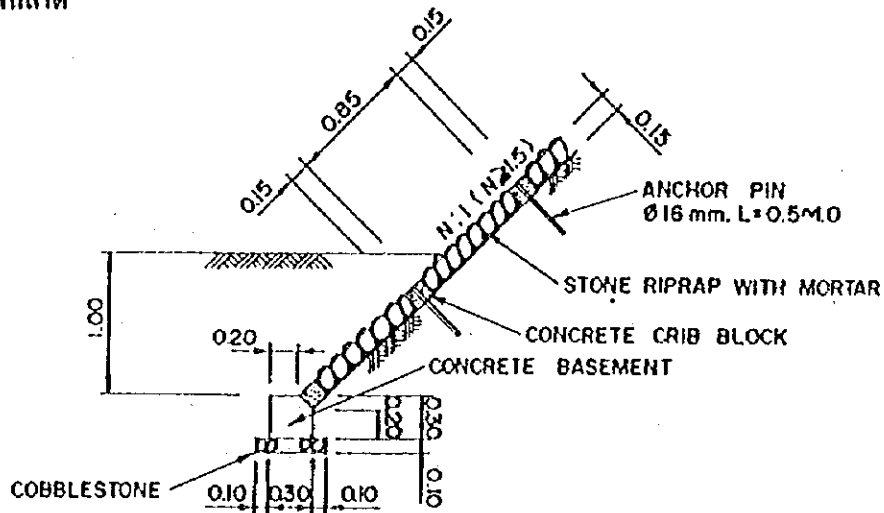
- การออกแบบ

ระยะของ Crib ยาว 1 เมตร ขนาดของชิ้นส่วน Crib มีขนาด 15 x 15 ซม. ถึง 15 x 20 ซม. พร้อมทั้งหมุดยึดพื้นความยาวขนาด 50-100 ซม. ที่ใช้บริเวณรอยต่อ เพื่อป้องกันการเลื่อนตัวและลาดเหล็กยึดชิ้นส่วน Crib และยาด้วย Mortar

ช่อง Crib จะประกอบด้วยหินเรียงและยาด้วย Mortar ในบริเวณผิวหน้าจะถมด้วยหินให้มีผิวหน้าไม่เท่ากัน เพื่อที่จะลดความเร็วกระแสน้ำและป้องกันการกัดเซาะ

ในการลดแรงกดของพื้นที่บริเวณผิวหน้าของพื้นลาด (slope) จะทำงานป้องกันได้ โดยใช้วิธีเรียงก้อนหินรูปร่างกลม (cobble stone) ขนาด 10 ซม. ลงไปบนพื้นลาดไปจนจรด ด้านหลัง โดยจะต้องใส่ท่อ PVC ทุกระยะ 2 ม² เพื่อระบายน้ำ

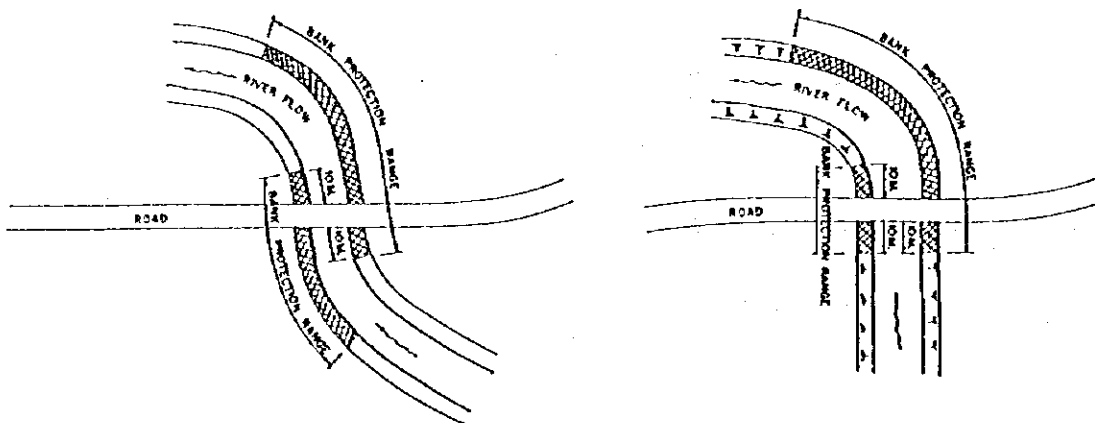
ภาพประกอบที่ 2.5.4 แสดงถึงงาน cribwork แบบหล่อสำเร็จซึ่งใช้พื้นฐาน (foundation) ของพื้นลาด



ภาพประกอบที่ 2.5.4 ฐานแบบคอนกรีต

2.6 การป้องกันตลิ่งของแม่น้ำ

ในกรณีที่แม่น้ำมีลักษณะคดเคี้ยว จะต้องทำการป้องกันตลิ่งเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดแก่สะพาน เนื่องจากตลิ่งถูกกัดเซาะ (scouring) และยังเป็นภาระกระแสน้ำของแม่น้ำอีกด้วย โดยขอบเขตของงานป้องกันได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2.6.1 ซึ่งอย่างน้อยที่สุดจะต้องครอบคลุมตั้งแต่จุดเริ่มต้น โค้งด้านนอกของแม่น้ำไปจนถึงจุดสิ้นสุดโค้งแม่น้ำ



ภาพประกอบที่ 2.6.1 ขอบเขตของงานป้องกันตลิ่งของแม่น้ำ

- การเลือกชนิดของงาน

งานป้องกันถนนช่วงคอสะพาน (approach road) มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ดังนี้ :-

1. การทำคันคอนกรีต
2. การปูทับด้วยแผ่นคอนกรีต
3. การปูเรียงหินยาแนวด้วยปูนทราย
4. การทำ cribwork แบบเรียงหินตรงกลาง
5. การทำ gabion และ
6. การทำหินทิ้ง (dumped rock)

การทำคันคอนกรีต จะใช้ในกรณีที่กระแสน้ำมีความเร็วมากและรุนแรง ซึ่งส่วนใหญ่ก็คือตรงบริเวณด้านนอกของโค้งแม่น้ำ ส่วน gabion และการทำหินทิ้งคลุม (dumped rock) จะใช้ในพื้นที่ที่มีความรุนแรงน้อยลงมาก เช่น ทำในแม่น้ำที่มีความลึกไม่มาก ส่วนงานอื่น ๆ นอกจากนี้สามารถนำมาใช้ได้เมื่อพิจารณาประกอบกับการหาวัสดุได้ง่ายในพื้นที่ ความกลมกลืนกับงานเดิมที่มีอยู่แล้ว ความสวยงาม เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีการปูทับด้วยแผ่นคอนกรีตจะใช้ก็ต่อเมื่อความลาดชันน้อยกว่า 1.5 : 1 และความสูงไม่มากกว่า 3 ม. ส่วนงานอื่น ๆ จะต้องมีความลาดชันน้อยกว่า 1 : 1

นอกจากงาน gabion และการเทหินแล้ว ส่วนของฐานรากที่อยู่ในดิน จะต้องลึกมากกว่าหรือเท่ากับ 1 เมตร และเพื่อเป็นการป้องกันการกัดเซาะ ควรจะใช้ mat gabion ปูตรงท้องน้ำ (riverbed) บริเวณส่วนหน้าของงานป้องกันที่ทำ

งานป้องกันชนิดต่าง ๆ จะได้อธิบายดังต่อไปนี้

(1) การทำคันคอนกรีต

เช่นเดียวกับบทที่ผ่านมา

(2) การปูทับด้วยแผ่นคอนกรีต

เช่นเดียวกับบทที่ผ่านมา

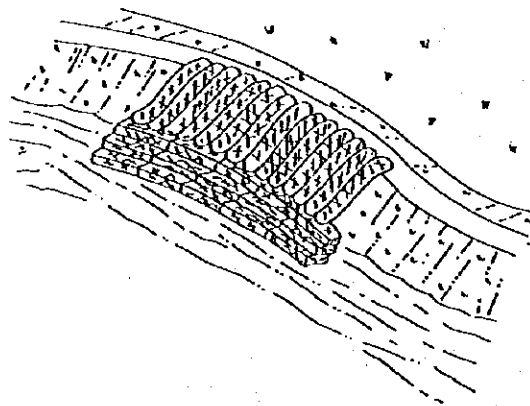
(3) การเรียงหินยาแนวด้วยปูนทราย

เช่นเดียวกับบทที่ผ่านมา

(4) Gabions

- การใช้งาน

เนื่องจากอายุการใช้งานของ gabion จะสั้น เนื่องจากการเกิดสนิมของลวดตาข่ายเหล็ก ดังนั้น จึงควรจะใช้ในกรณีที่มีค่าความสำคัญต่ำ หรืองานเร่งด่วน หรืองานแบบชั่วคราว (ดูภาพประกอบที่ 2.6.2)



ภาพประกอบที่ 2.6.2 งาน gabion

งาน gabion แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ mat gabion และ cylinder gabion ดังนี้

1. Mat Gabion

จะใช้ในกรณีที่มีพื้นลาดมีความชันน้อยกว่า 1.5 : 1 และสภาพพื้นลาดมีรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเหมาะกับการที่ต้องใช้เครื่องจักรทุ่นแรง

2. Cylinder Gabion

จะใช้ในกรณีที่มีพื้นลาดมีความชันน้อยกว่า 0.5 : 1 และเนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ดังนั้น จึงสามารถทำได้กับบริเวณที่มีความลาดชันแตกต่างกัน ซึ่งเหมาะกับการที่ต้องใช้แรงงานคน

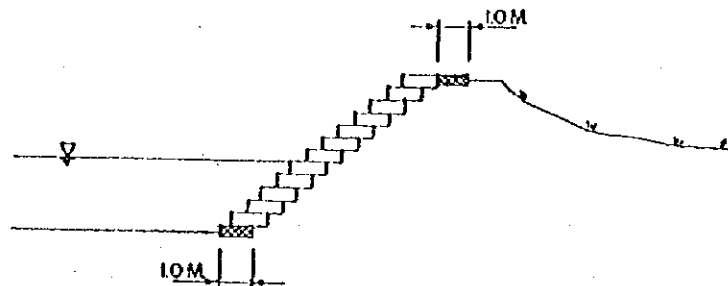
- วัสดุที่ใช้

ลวดตาข่ายสำหรับ gabions, หินก้อนกลม, และหินย่อย (crushed rock)

- การออกแบบ

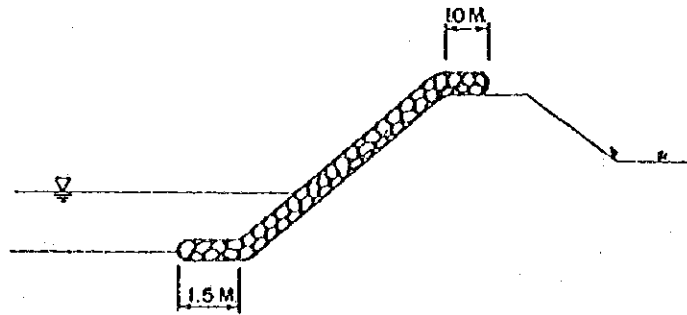
ขนาดของช่องตาข่าย จะเท่ากับ 10 ซม. แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของก้อนกลม (cobble stone)

ในกรณีของ mat gabion การปูจะปูจากไหล่ทางลงมายังฐานของพื้นลาด (ดูภาพประกอบที่ 2.6.3)



ภาพประกอบที่ 2.6.3 แสดงการปู Mat Gabion

ส่วนในกรณีของ cylinder gabion จะเริ่มปูลาดระยะ 1 เมตร ในไหล่ของพื้นลาดลงไปถึงระยะ 1.5 เมตร จากฐานของพื้นลาด (ดูภาพประกอบที่ 2.6.4)



ภาพประกอบที่ 2.6.4 การปู Cylinder Gabion

(6) การทำหินทิ้ง

- การใช้งาน

โครงสร้างชนิดนี้จะพังลงมาได้ง่าย แต่วิธีการทำก็ง่ายเช่นกัน ดังนั้น จะถูกนำมาใช้ในบริเวณ ที่มีลำดับความสำคัญต่ำในระหว่างการซ่อมแซมเร่งด่วนแบบชั่วคราว

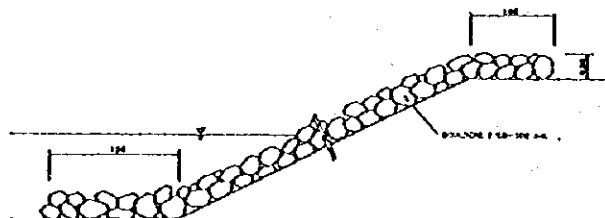
ความชันของพื้นลาดจะต้องน้อยกว่า 1.5:1 หรือลาดชันที่มีเสถียรภาพเพียงพอ

- วัสดุที่ใช้

ก้อนหินกลม หรือหินย่อย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150-300 มม.

- การออกแบบ

ก้อนหินกลม หรือหินย่อย จะถูกปูบนพื้นลาดทั้งหมด จากระยะ 1 เมตร ในไหล่ของพื้นลาดไปยังระยะ 1.5 เมตร ฐานของพื้นลาดดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.6.5 ซึ่งหินเหล่านี้จะทับถมกันจมลงไปในดิน

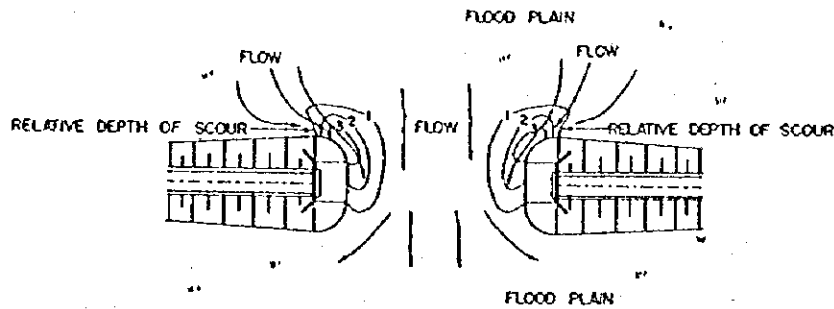


ภาพประกอบที่ 2.6.5 การทำหินทิ้ง

2.7 เชื่อนบังคับร่องน้ำ (Gride Dike)

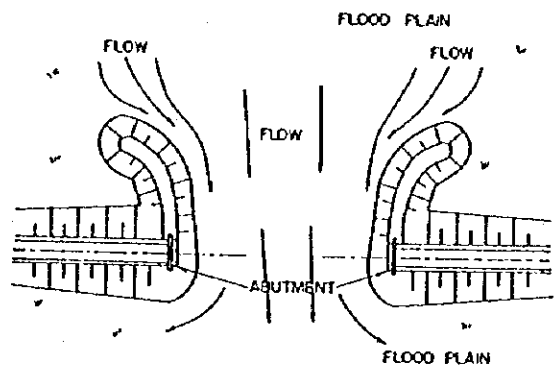
- การใช้งาน

กรณีที่สะพานตั้งอยู่ในบริเวณที่ลุ่มแม่น้ำท่วมถึง ซึ่งอาจมีปัญหากการกัดเซาะคันทางช่วงคอสะพาน หรือตอม่อคอสะพาน จากการเกิดกระแสน้ำหมุนวน (flood induced eddies) ก็ควรจะทำเชื่อนบังคับร่องน้ำขึ้นหากว่ามีพื้นที่ และวัสดุเพียงพอในการทำ (ดูภาพประกอบที่ 2.7.1)



ภาพประกอบที่ 2.7.1 แสดงการเกิดกระแสน้ำวนตรงคอสะพาน

หากมีการทำเชื่อนบังคับร่องน้ำ จะทำให้ไม่เกิดกระแสน้ำวนขึ้นที่คอสะพาน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.7.2 ดังนั้น ตัวเชื่อนบังคับน้ำจะพังทลายก่อน โดยที่คอสะพานจะไม่ได้รับความเสียหาย ซึ่งเชื่อนนี้จะมี ประโยชน์ในการทำให้กระแสน้ำไหลอยู่ในช่องทางพื้นที่ถูกต้อง



ภาพประกอบที่ 2.7.2 การติดตั้งเชื่อนบังคับกระแสน้ำ

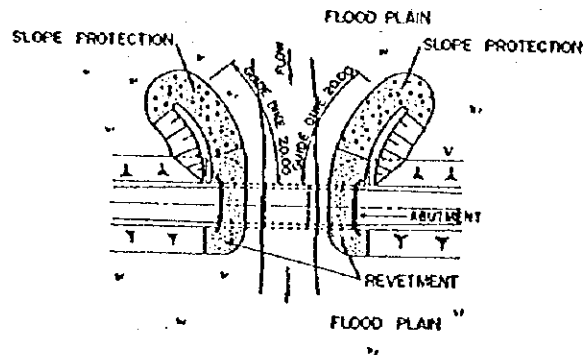
- วัสดุที่ใช้

วัสดุถม (fill) ใช้ถมทำเป็นพื้นลาด, revetments

การออกแบบ

การออกแบบเขื่อนบังคับกระแสน้ำ มีหลักเกณฑ์ ดังนี้ :-

1. พื้นลาดด้านหน้า (ด้านที่ผันเข้าหาคอสะพาน) ต้องมีตามขั้น 2 : 1
2. พื้นทางด้านหลัง ต้องมีความชัน 1.5 : 1 และ ทำขึ้นไปจนจรดกับผิวของถนน
3. ความกว้างของเขื่อนด้านบนต้องเท่ากับ 2 เมตร
4. ความยาวของเขื่อนต้องเท่ากับ 20 เมตร
5. จะต้องถมเขื่อนเป็นชั้น ๆ หน้าชั้นละ 30 ซม.
6. งานป้องกันพื้นลาดของเขื่อนจะต้องมีราคาถูกที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งจะช่วยในงานซ่อมแซมในภายหลังง่ายขึ้น เช่นทำด้วยหินทิ้ง (dumped rock) หรือถมด้วยถุงทราย เป็นต้น รูปเขียนบังคับร่องน้ำมาตรฐาน ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2.7.3



ภาพประกอบที่ 2.7.3 รูปแสดงเขื่อนบังคับร่องน้ำมาตรฐาน

3. การพังทลายของคันทาง

3.1 การเปลี่ยนช่องระบายน้ำ

- การใช้งาน

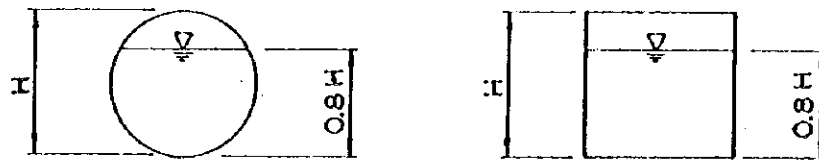
ในกรณีที่ช่องระบายน้ำเดิมไม่สามารถระบายน้ำได้พอเพียง หรือคาดการณ์ว่าจะอุดตันจากตะกอนนั้นควรจะมีการเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อให้มีหน้าตัดใหญ่ขึ้นกว่าเดิม

- วัสดุ

ท่อกลม, ท่อเหลี่ยม, สะพาน

- การออกแบบ

ในกรณีที่ช่องระบายน้ำไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการรองรับน้ำ แต่ไม่มีปัญหาเรื่องตะกอนสามารถทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดเพื่อเพิ่มความลาดให้สูงขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.1.1 ควรจะมีส่วนเหลือ (leeway) อย่างน้อย 20% ของช่องระบายน้ำ

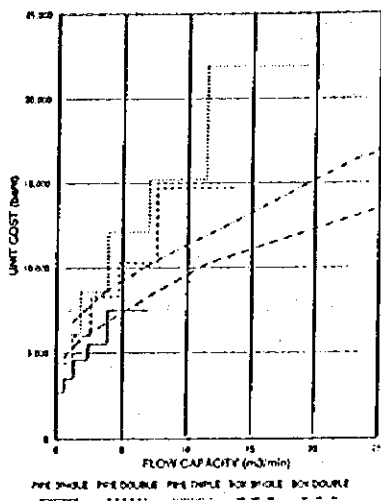


ภาพประกอบที่ 3.1.1 ส่วนเหลือ (leeway) ที่ต้องการในช่องระบายน้ำ

อย่างไรก็ตาม การใช้ท่อจำนวนมากจะเป็นการไม่ประหยัดในแง่ของประสิทธิภาพในการรองรับน้ำ และโดยหลักการแล้วควรหลีกเลี่ยง

ในแง่ของการบำรุงรักษานั้น ท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเกินกว่า 1.5 ม. จะง่ายในการขนถ่ายตะกอน

ในพื้นที่ที่มีการไหลของโคลน และหิน จำเป็นที่จะต้องมียหน้าตัดของช่องระบายน้ำใหญ่เพียงพอที่จะรองรับการไหลดังกล่าวรวมทั้งมีช่องเหลือ (leeway) ที่เหมาะสม ทั้งนี้จะกระทำได้โดยการตรวจสอบหินที่ถูกชะล้างได้ง่ายบริเวณเหนือน้ำและวัดขนาดหินที่ใหญ่ที่สุดที่ไหลลงไปบริเวณได้น้ำ แล้วจึงออกแบบพื้นที่หน้าตัดของช่องระบายน้ำให้เป็น 1-2 เท่าของหิน อนึ่งควรหลีกเลี่ยงการใช้ช่องระบายน้ำจำนวนมาก ควรใช้ระบบช่องระบายน้ำเดียวที่มีหน้าตัดใหญ่กว่า



ภาพประกอบที่ 3.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการรองรับน้ำและต้นทุน

ในบริเวณพื้นที่ที่มีวัสดุลอยน้ำ เช่น ต้นไม้ หัก้า ควรจะใช้ท่อเหลี่ยมที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ หรือสะพาน หากเป็นสะพานระยะห่างระหว่างท้องสะพานและน้ำระดับสูงสุดควรมากกว่า 60 ซม.

3.2 การซ่อมแซมการเสียหายของ Slope

- การใช้งาน

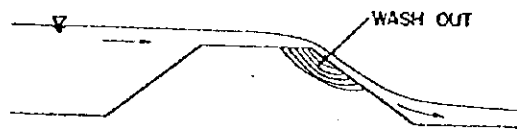
งานประเภทนี้จะดำเนินการเพื่อซ่อมแซมไหล่ทางซึ่งเสียหายเนื่องจากการกัดเซาะที่มีสาเหตุจากน้ำท่วม

- วัสดุ

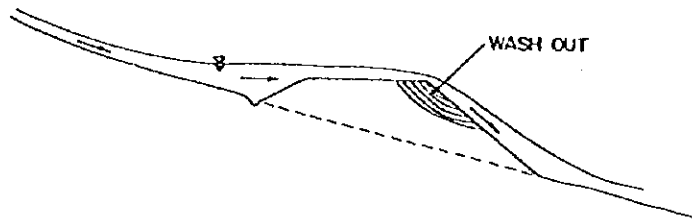
ดิน วัสดุสำหรับงานปลูกพืช ฤๅช ทราย คอกกั้น (Wicker work) และอื่น ๆ

- การออกแบบ

ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.2.1 และ 3.2.2 ไหล่ทางค่อนข้างง่ายในการพังทลายในขณะที่น้ำท่วม เมื่อถนนอยู่ในบริเวณที่ราบน้ำท่วม หรือบริเวณพื้นลาดเอียง



ภาพประกอบที่ 3.2.1 ถนนในบริเวณที่ราบน้ำท่วม



ภาพประกอบที่ 3.2.2 ถนนในบริเวณพื้นลาดเอียง

สำหรับไหล่ทางที่พังทลายนั้น ควรจะมีการก่อสร้างในลักษณะขั้นบันได หากความลาดชันของ Slope มากกว่า 4:1 และในบริเวณคั่นหลวม

ในการดำเนินการซ่อมแซม การดำเนินการบดอัดมีดังต่อไปนี้

1. ความหนาของชั้นจะเป็น 20 ซม.
2. ควรบดอัดแต่ละชั้นโดยใช้เครื่องมือบดอัด (รถบดสั่นสะเทือน, Tamper, Rammer)
3. บริเวณ Slope ควรบดอัดชั้นสุดท้ายด้วย Tamper

4. งานปลูกพืชคลุม (เป็นแนวยาว) ควรดำเนินการอย่างเร่งด่วน แต่หากเป็นช่วงฤดูฝน และเกรงว่าจะเกิดการพังทลายขึ้นมามาก งานกั้นคอก (Wicker work) และถุงทรายควรนำมาใช้ร่วมด้วย

นอกเหนือจากนั้น ควรจะมีการตรวจสอบปริมาณน้ำฝนทั้งหมดในพื้นที่ และพิจารณาการก่อสร้างร่องน้ำ (Gutter) รางระบายน้ำฐาน Slope (Toe Ditches) รางระบายน้ำแนวตั้ง (Vertical Ditches) ช่องระบายน้ำ และอื่น ๆ การพิจารณาในส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องนี้ได้อภิปรายแล้วในบทก่อน

4. น้ำท่วมทาง

4.1 ยกระดับคันทาง

- การใช้งาน

ในบริเวณที่การจราจรผ่านไม่ได้เนื่องจากน้ำท่วม อาจมีการยกระดับคันทางให้อยู่เหนือระดับน้ำท่วม เพื่อป้องกันน้ำท่วมอีก

- วัสดุ

ดิน วัสดุผิวทาง วัสดุสำหรับงาน Slope และ ช่องระบายน้ำ

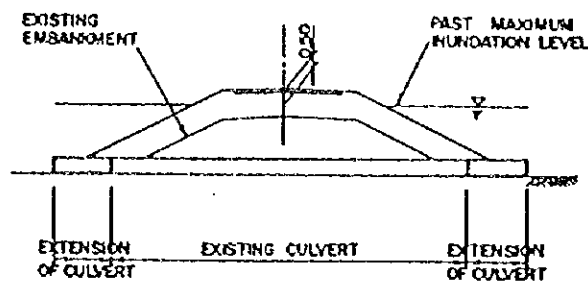
- การออกแบบ

เมื่อมีการยกระดับคันทาง มีความจำเป็นที่จะต้องป็นยันระดับน้ำท่วมสูงสุดที่อยู่เหนือผิวทาง แต่เนิน ๆ อีกทั้งระดับแนวทาง ควรจะดำเนินการให้สอดคล้องกันในจุดอื่น ๆ ด้วย

โดยหลักการแล้ว ระยะห่างระหว่างระดับน้ำท่วมสูงสุด และระดับผิวทางจะเป็น 50 ซม.

เพื่อเป็นการระบายน้ำได้อย่างพอเพียง มีความจำเป็นที่จะต้องขยายหน้าตัดของช่องระบายน้ำ และก่อสร้างช่องระบายน้ำให้มีขนาดใหญ่เหมาะสม

ก่อนที่จะมีการยกระดับคันทาง หากช่องระบายน้ำเดิมมีความยาวไม่เพียงพอ ควรจะเพิ่มความยาวของช่องระบายน้ำดังได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 4.1.1



ภาพประกอบที่ 4.1.1 การขยายความยาวของช่องระบายน้ำเดิม

ในบริเวณที่ผิวทางเป็น Asphalt Concrete ก็ควรจะขุดลอกออกไปก่อน และดำเนินการทำ Slope แบบชั้นบันได การทำชั้นบันไดจะดำเนินการตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่แล้ว และควรดำเนินการในบริเวณดินอ่อน รายละเอียดการทำงานมีดังต่อไปนี้

1. ความหนาของแต่ละชั้นควรจะเป็น 20 ซม.
2. ควรมีการบดอัดในแต่ละชั้นโดยใช้เครื่องมือบดอัด (รถบดสั่นสะเทือน, rammer, tamper)
3. บริเวณ Slope ควรบดอัดชั้นสุดท้ายด้วย Tamper
4. งานปลูกพืชคลุม เช่น การปลูกเป็นแนวยาว ควรดำเนินการอย่างเร่งด่วน

4.2 ช่องระบายน้ำ (Culverts)

- การใช้งาน

ช่องระบายน้ำจะใช้กับทางน้ำที่ผ่านถนน

- การใช้ช่องระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับประมาณน้ำฝน แต่โคลนและหินที่ไหลรวมทั้งวัสดุอื่น ๆ (เช่น ต้นไม้) จำเป็นที่จะต้องทำให้ช่องระบายน้ำมีขนาดใหญ่กว่าปกติ

- วัสดุ

คอนกรีตสำหรับงานโครงสร้าง, Crib, เหล็กเสริม,

- การออกแบบ

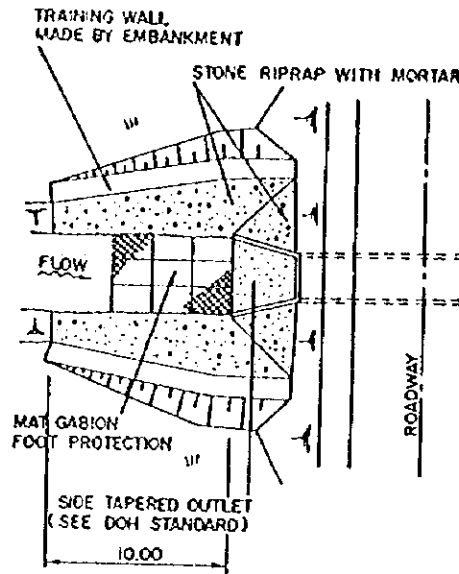
ช่องระบายน้ำเข้า/ออก จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวง

ดังได้อธิบายไว้ใน บทที่ 3.1 ในเรื่องของค่าก่อสร้างและประสิทธิภาพการระบายน้ำ โดยหลัก การแล้วการใช้ระบบท่อเดี่ยวจะดีกว่าการใช้หลายท่อรวมกัน

หน้าตัดของช่องระบายน้ำ จะต้องมีการออกแบบให้เกิดความจุ 20% และด้วยเหตุผลทางด้าน การบำรุงรักษา ช่องระบายน้ำควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 1.5 ม.

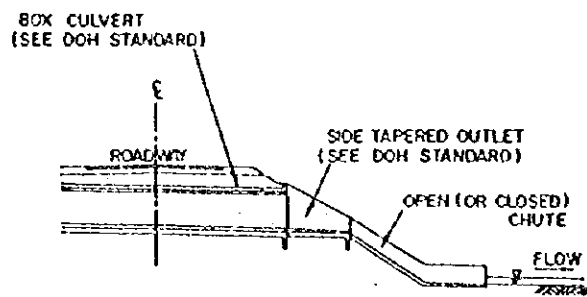
ในบริเวณที่มีหินและโคลนไหล ช่องระบายน้ำควรจะทำก่อสร้างให้รองรับการไหลดังกล่าวและ ควรมีช่องเหลือ (Iceway) ด้วย ซึ่งสามารถทำได้โดยการหาขนาดหินที่ใหญ่ที่สุดที่ไหลผ่านไปทางได้น้ำและ ก่อสร้างหน้าตัด 1.5 ถึง 2 เท่าของขนาดหินนั้น อนึ่ง ระบบท่อเดี่ยวควรนำมาใช้แทนระบบหลายท่อ

สำหรับช่องระบายน้ำเข้า เมื่อขนาดของร่องน้ำไม่คงที่ ควรก่อสร้างกำแพงบังค้ำร่องน้ำ (Training Wall) โดยใช้ fill slope เพื่อให้ น้ำไหลอย่างราบเรียบเข้าไปในช่องน้ำเข้า (ดูภาพประกอบที่ 4.2.1) โดยมีความยาวมาตรฐาน 10 ม. อนึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องป้องกันกำแพงที่ถูกปะทะโดยลำน้ำ และ Slope ในบริเวณด้านน้ำเข้าโดย การเรียงหินยาแนว (stone riprap with mortar)



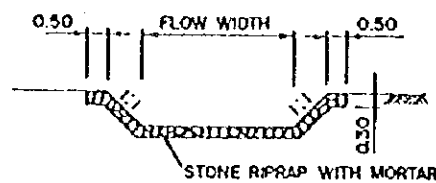
ภาพประกอบที่ 4.2.1 กำแพงบังคับร่องน้ำ

ในบริเวณด้านหน้าของช่องน้ำเข้า จะใช้ Mat Gabion เพื่อป้องกันการกัดเซาะในกรณีที่มีความต่างระดับระหว่างช่องน้ำเข้า และบริเวณใต้เท้า ควรติดตั้ง Chute เปิด (หรือปิด) เพื่อป้องกันการกัดเซาะ (ดูภาพประกอบที่ 4.2.2)



ภาพประกอบที่ 4.2.2 Open Chute

เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของท้องน้ำเกิดการกัดเซาะขึ้น จะใช้การเรียงหินยาแนวเพื่อป้องกันการกัดเซาะดังกล่าว (ดูภาพประกอบที่ 4.2.3)



ภาพประกอบที่ 4.2.3 การเรียงหินสำหรับลำน้ำ

ภาคผนวก 2

แบบมาตรฐาน^{๔๓}

ภาคผนวก 2

รายการแบบมาตรฐาน

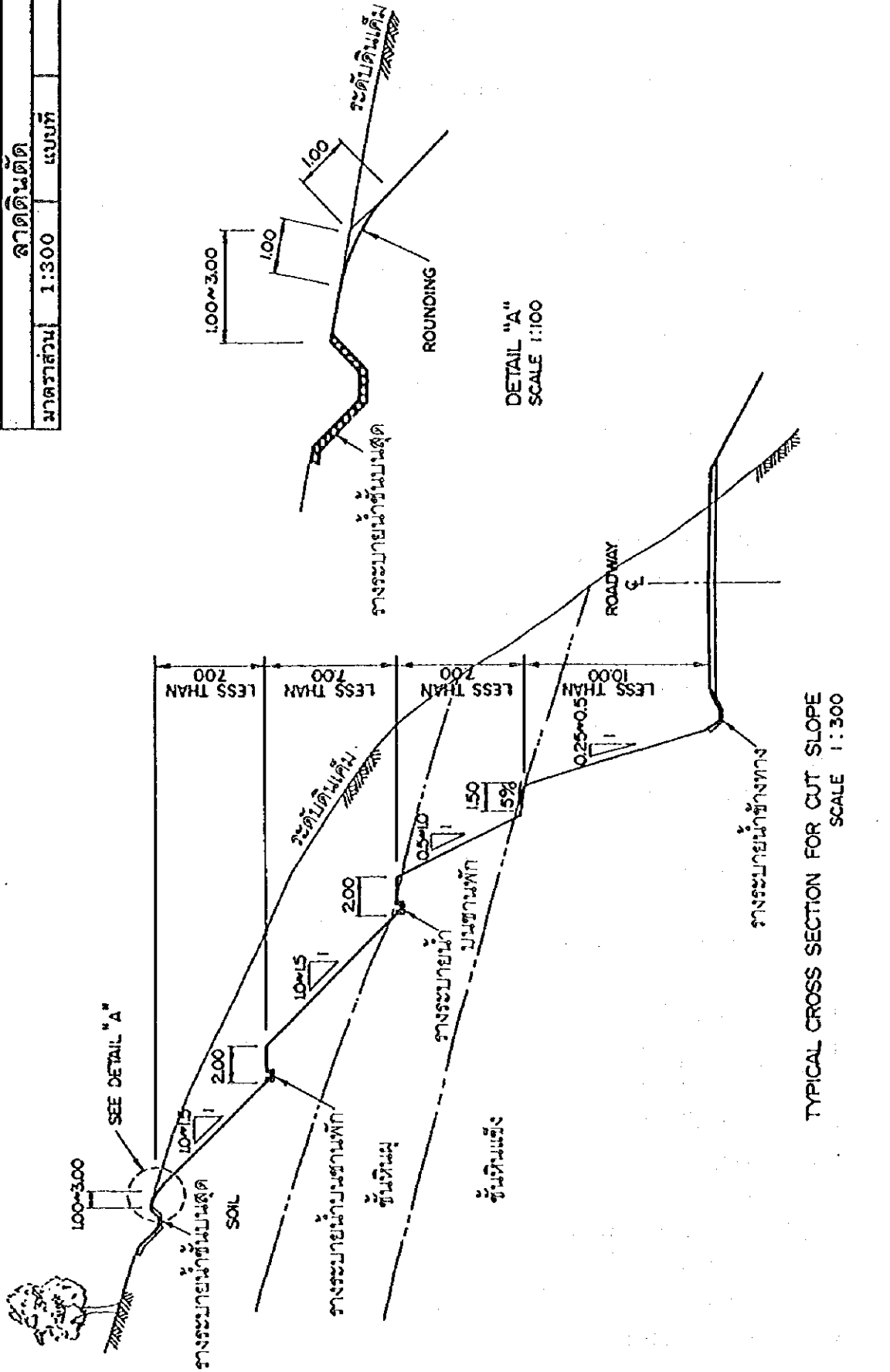
1. งานดิน/หินตัด
2. งานดิน-หินถม
3. การถมพร้อมบดอัด
4. ระบบระบายน้ำ (1)
 - รางระบายน้ำบนสุด
 - รางระบายน้ำ Berm
 - รางระบายน้ำตอนล่าง
5. ระบบระบายน้ำ (1)
 - การระบายน้ำบนผิวทาง
6. ระบบระบายน้ำใต้ดิน
7. ช่องระบายน้ำแนวนอน (1)
8. ช่องระบายน้ำแนวราบ (2)
9. การปลูกหญ้า
 - การปลูกแบบแนว
 - การปลูกเป็นกลุ่ม
10. แผ่นคอนกรีตสำเร็จประกอบ
11. งานฉีดคอนกรีต
12. งาน Shotcrete
13. หินทิ้ง
14. การเรียงหินยาแนว
15. กำแพงคอนกรีต
16. ตาข่ายสำหรับการป้องกันการกัดเซาะ
17. กำแพงหินเรียง
18. กำแพงกันดินชนิด Mat Gabion
19. กำแพงกันดินชนิด Gravity
20. ตาข่ายกันหินร่วง
21. กำแพงกันหินร่วง
22. ห่อเหลี่ยม
23. ห่อกลม
24. งานสะพานชั่วคราว
25. สะพานเบลีย์
26. คันดิน
27. ยกระดับคันทาง

แบบมาตรฐาน

ลาดดินตัด

มาตราส่วน 1:300

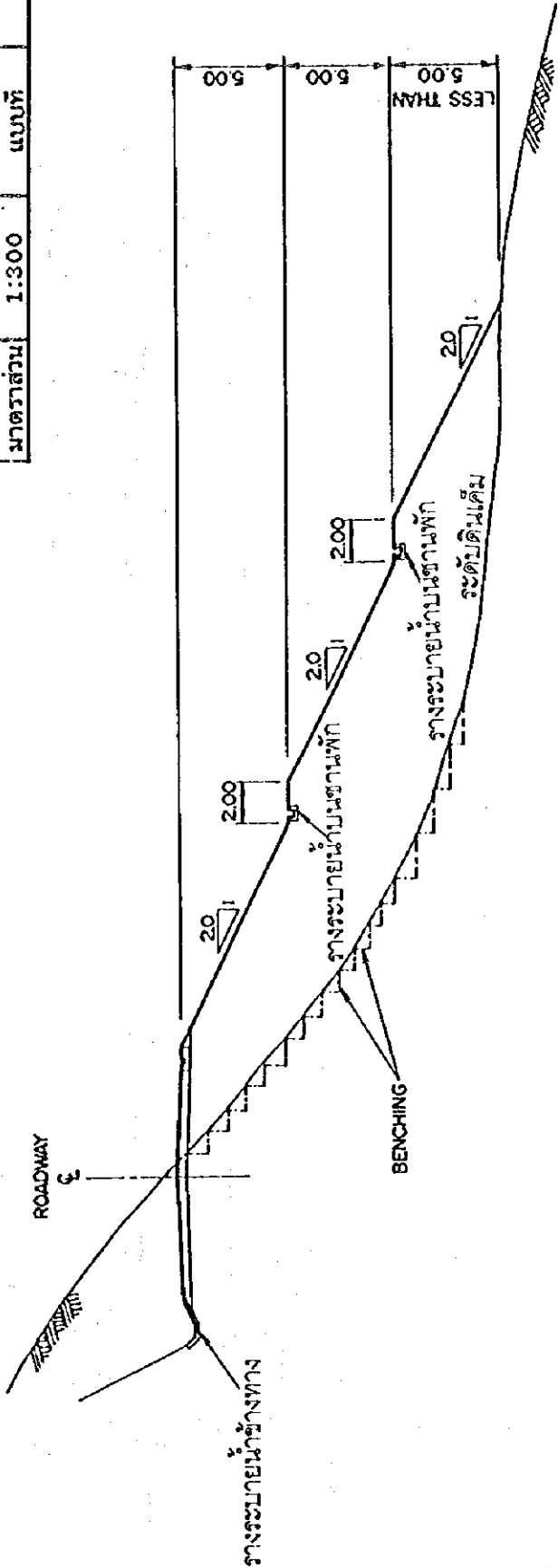
แบบที่



แบบมาตรฐาน

ลาดดินถม

มาตราส่วน 1:300 แบบที่

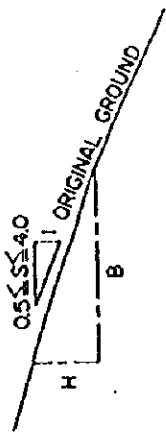


TYPICAL CROSS SECTION FOR FILL SLOPE
SCALE 1 : 300

NOTES : BENCHING SHALL BE CONSTRUCTED AS BELOW

(in meter)

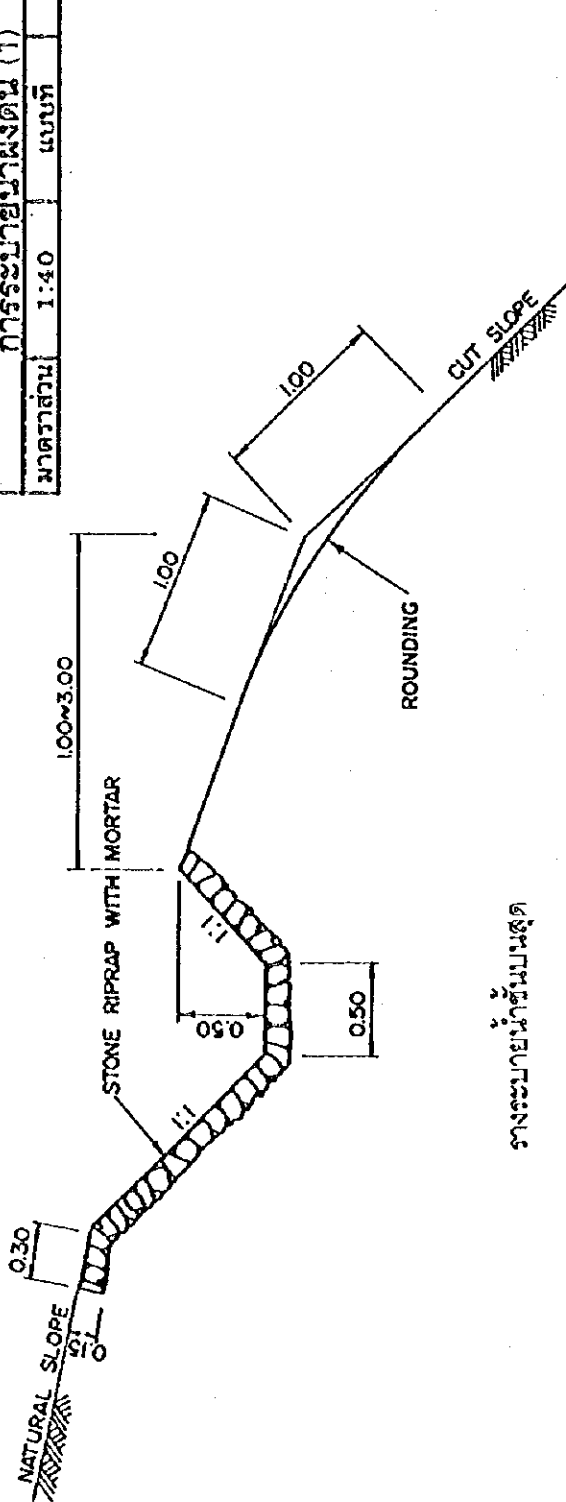
S	B	H
4.0*2.0	2.0	0.5*1.0
2.0*0.5	1.0	0.5*2.0



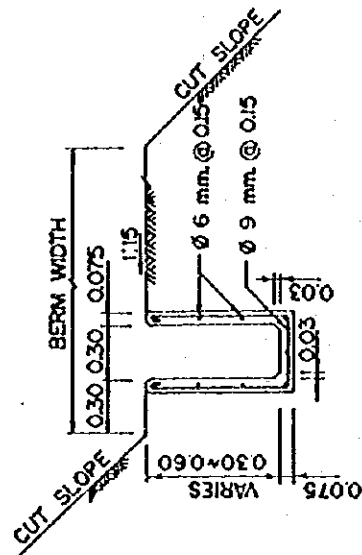
แบบมาตรฐาน

การระบายน้ำผิวดิน (1)

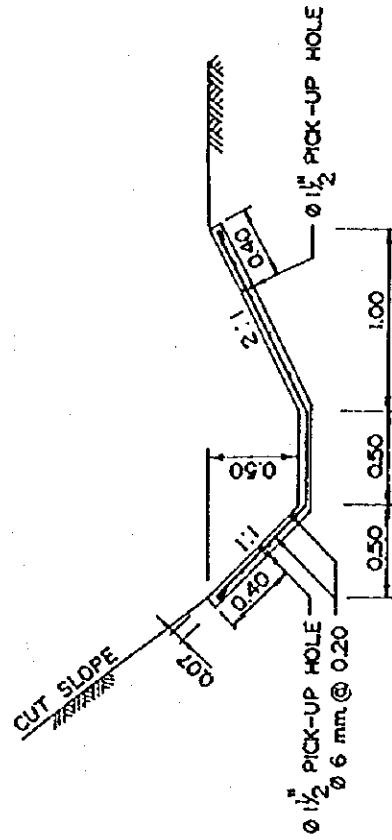
มาตราส่วน 1:40 แบบที่



การระบายน้ำชั้นบนสุด



การระบายน้ำชั้นล่าง

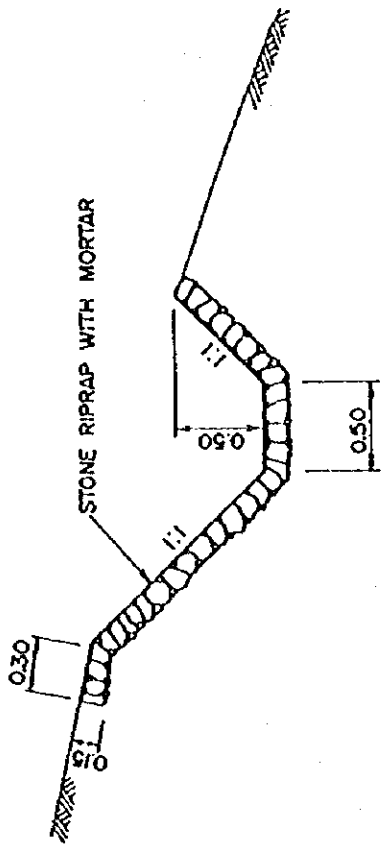


การระบายน้ำข้างทาง
(quotations from DDM Standard)

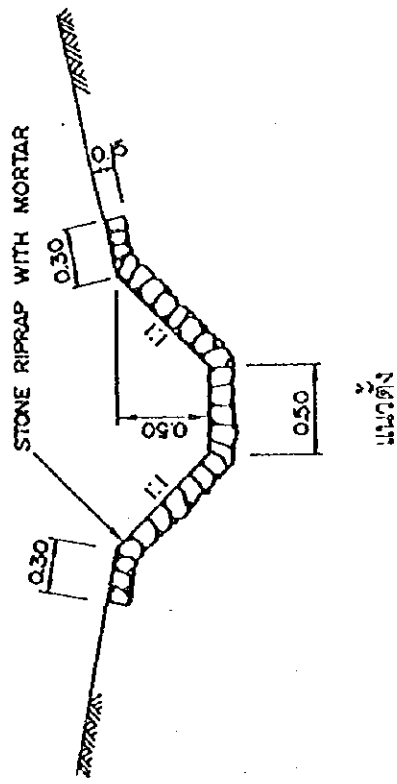
แบบมาตรฐาน

การระบายน้ำผิวดิน (2)

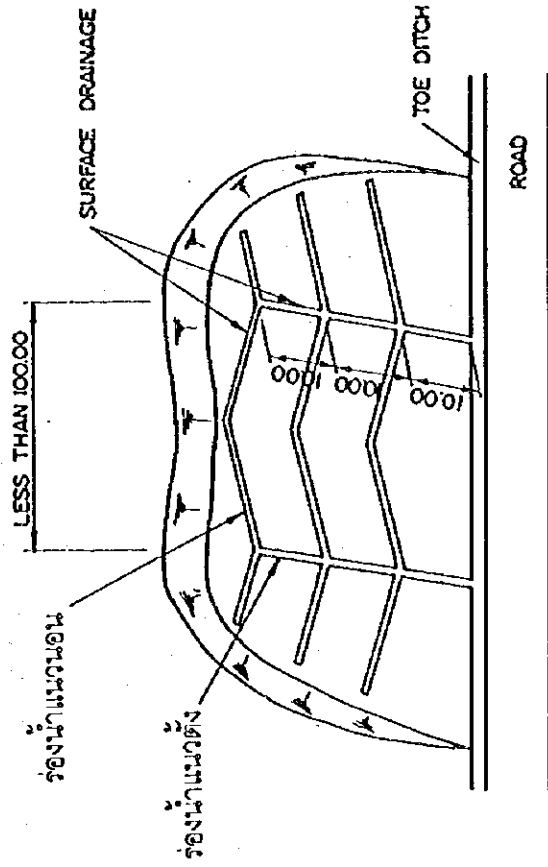
มาตรฐาน ตามที่แสดง แบบที่



แนวถนน



แนวตั้ง



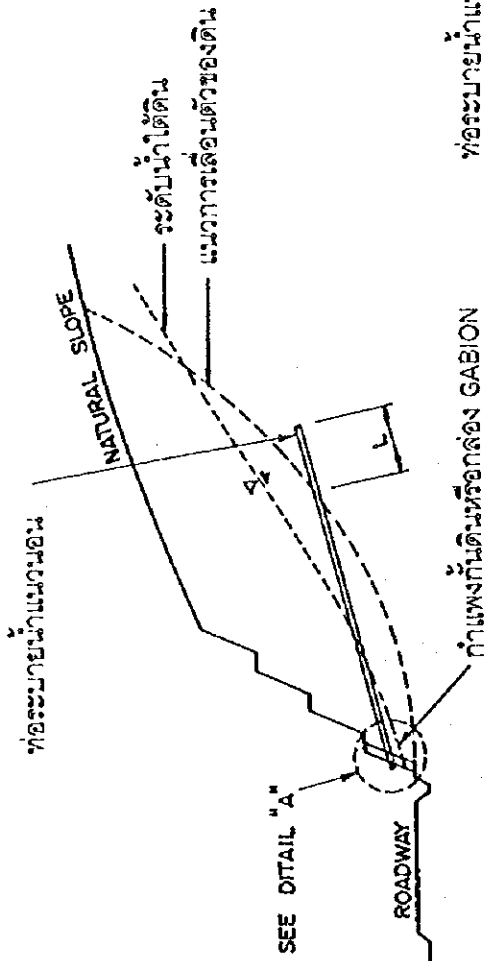
ระบบระบายน้ำผิวดิน

SURFACE DRAINAGE
SCALE 1:40

แบบมาตรฐาน

ท่อระบายน้ำแวนอน (1)

มาตรฐาน ตามที่แสดง แบบที่



ORIGINAL GROUND CONDITION	L
SOIL	10.00
ROCK	3.00

แนวการเดินตัวของดิน

CROSSING POINT OF ASSUMED SLIP SURFACE AND HORIZONTAL DRAIN HOLE

500 500

ท่อระบายน้ำแวนอน

500 500

CUT SLOPE

BERM FACE

ท่อระบายน้ำ
ข้างทาง

ตำแหน่งดินหรือกล่อง GABION

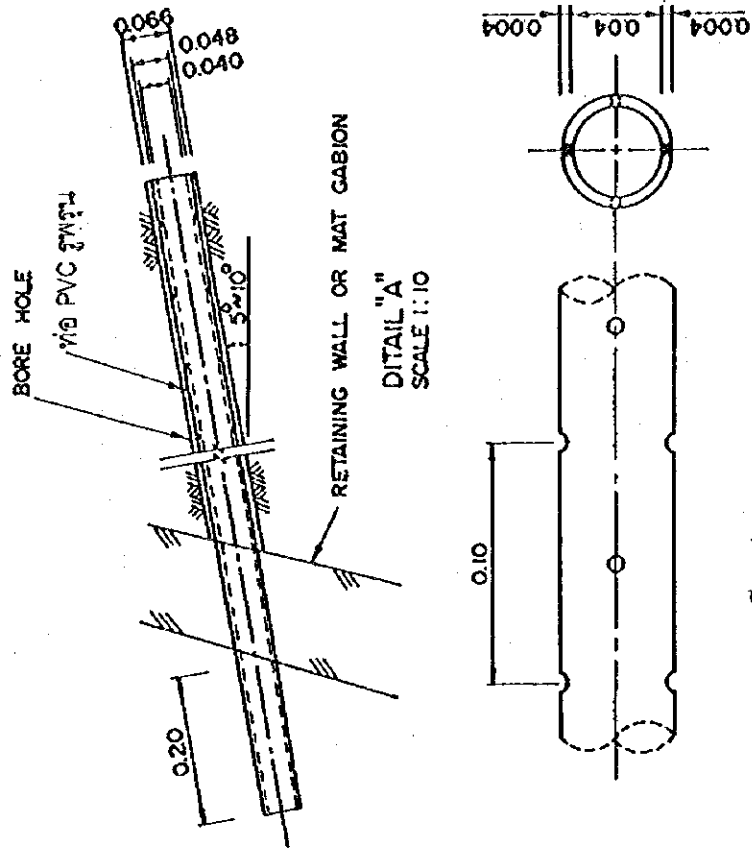
ROADWAY

LOCATION OF HORIZONTAL DRAIN HOLE
NOT TO SCALE

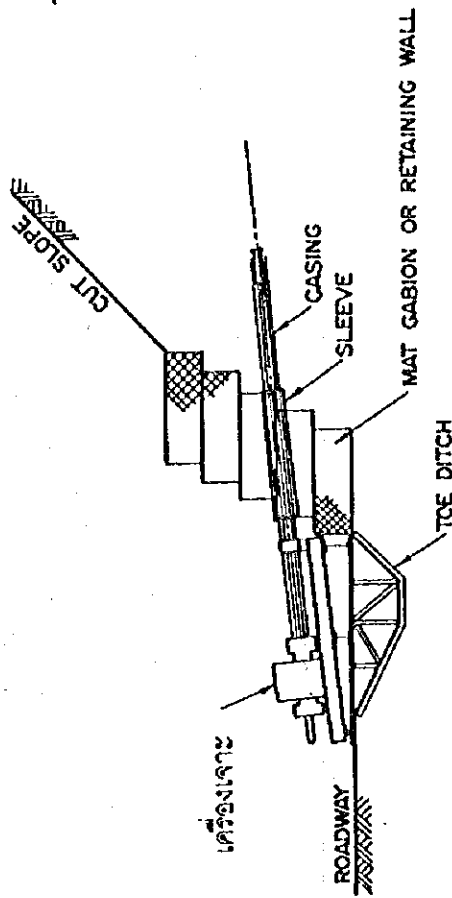
แบบมาตรฐาน

ท่อระบายน้ำแบบนอน (2)

มาตรฐาน ตามที่แสดง แบบที่



รายละเอียดท่อ PVC ระบายน้ำ
SCALE 1:3

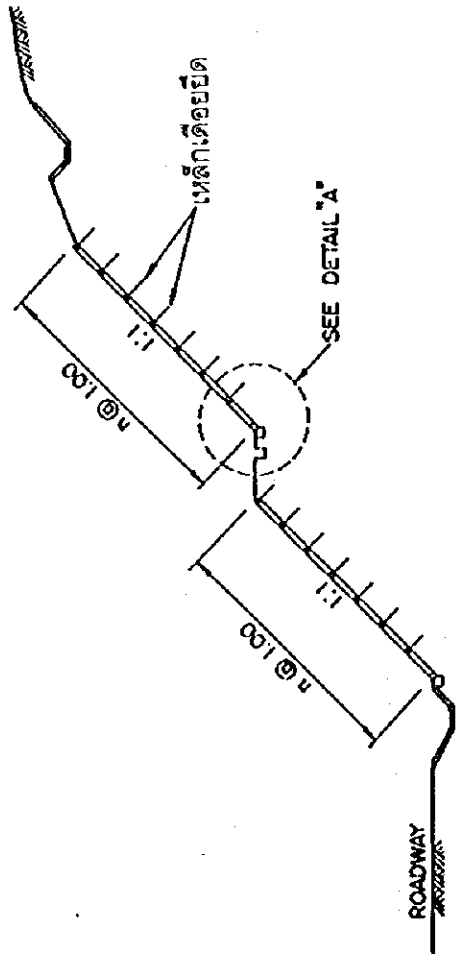


รายละเอียดการเจาะ
SCALE 1:80

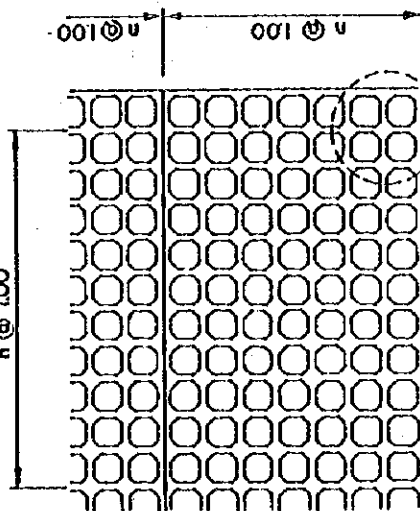
แบบมาตรฐาน

แบบตารางคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป

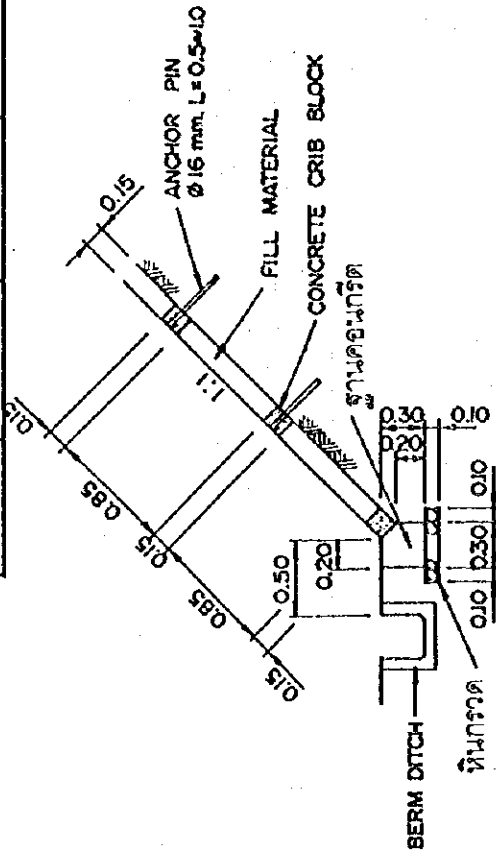
มาตรฐาน ตามที่แสดง แบบที่



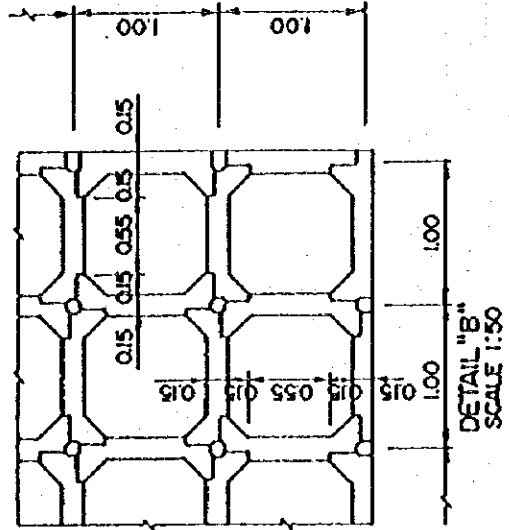
CROSS SECTION
SCALE 1:200



DEVELOPMENT
SCALE 1:200



DETAIL "A"
SCALE 1:50

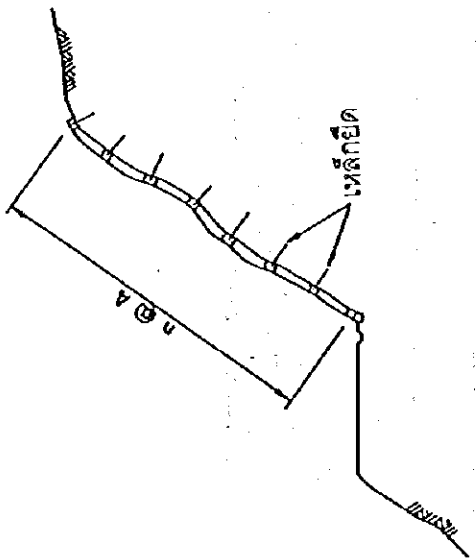
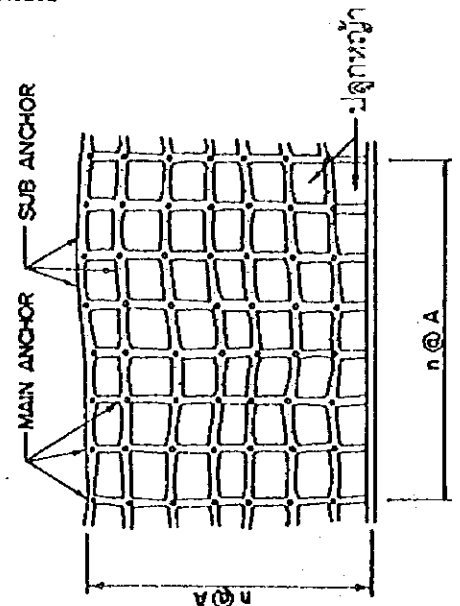


DETAIL "B"
SCALE 1:50

แบบมาตรฐาน

แบบตารางคอนกรีตชนิดพื้นในท

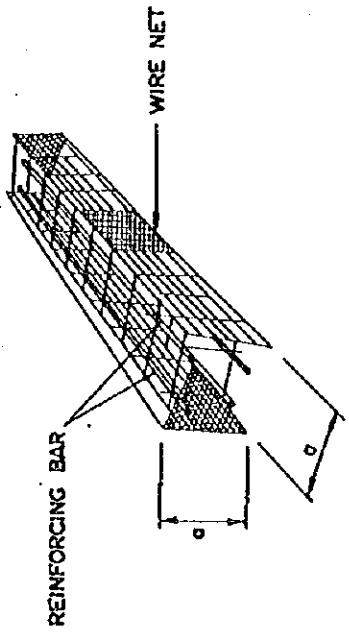
มาตรฐาน ตามที่แสดง แบบที่



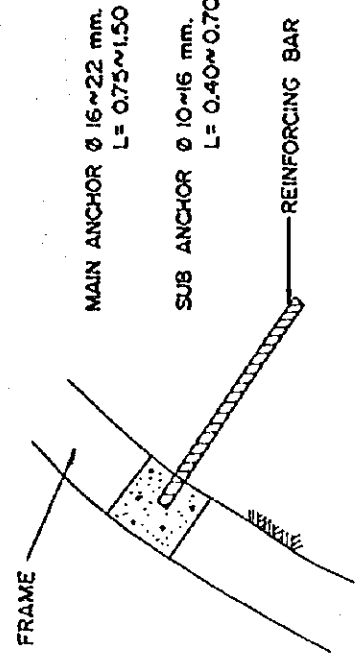
LIST OF DIMENSION (in meter)

FRAME SIZE : a	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50
SPAN LENGTH OF CRIB : A	1.15	1.20	2.00	2.00	3.00

DEVELOPMENT SCALE 1:300



FRAME SCALE 1:25

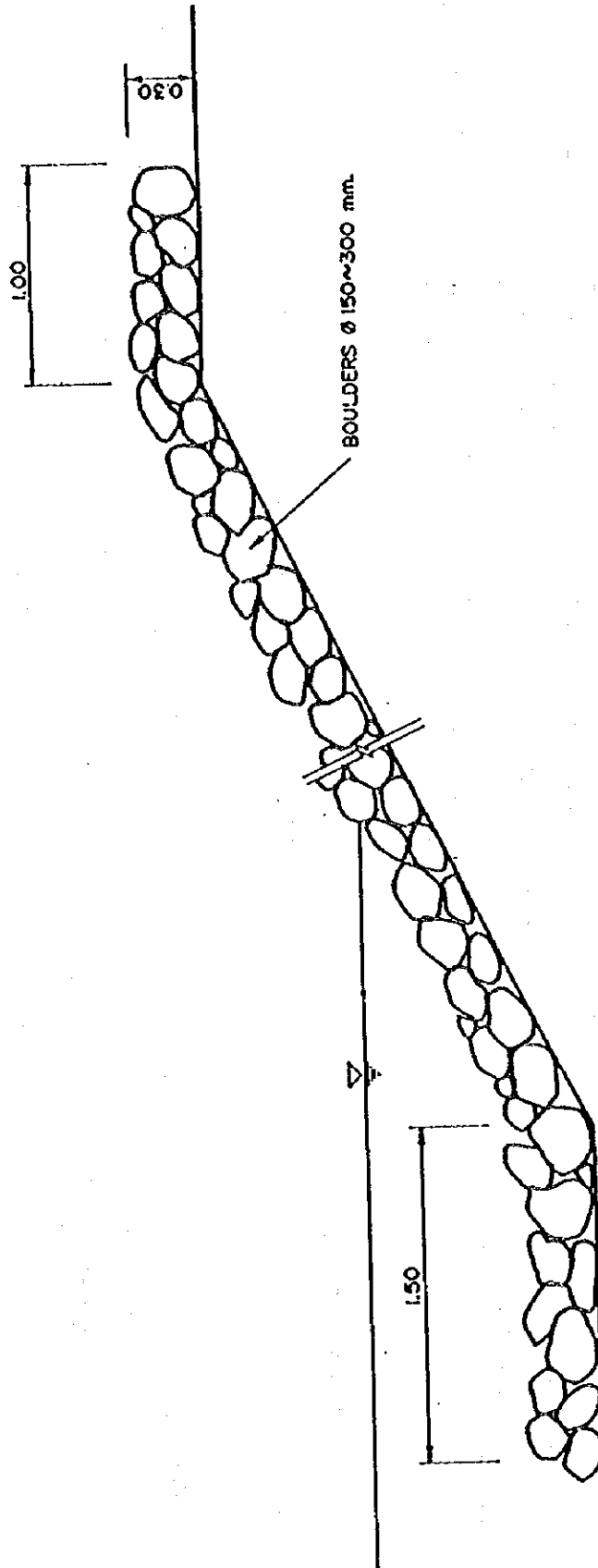


ANCHOR SCALE 1:30

แบบมาตรฐาน

หิน

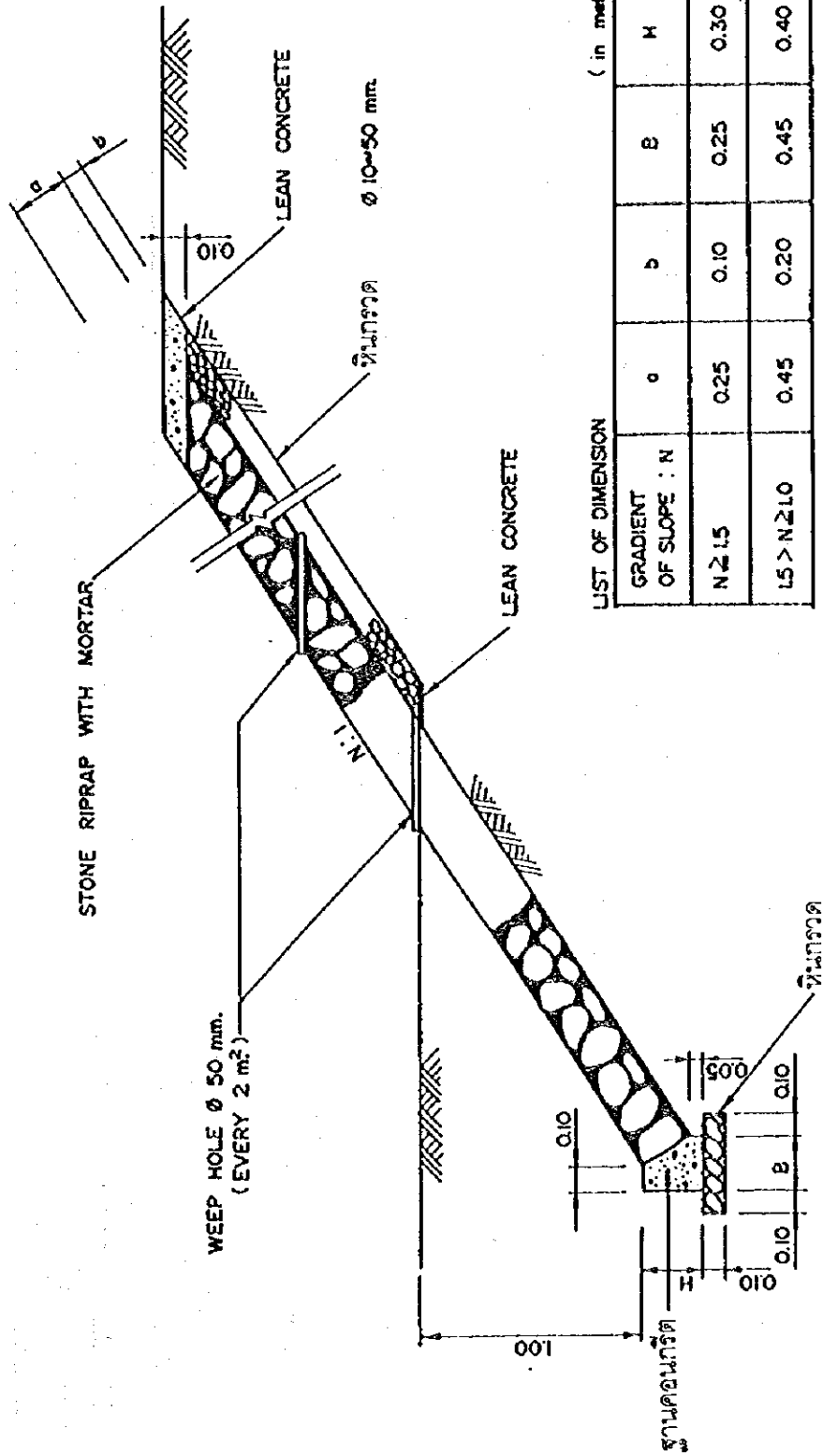
มาตรฐาน 1:30 แบบที่



แบบมาตรฐาน

การเรียงหินยาแนว

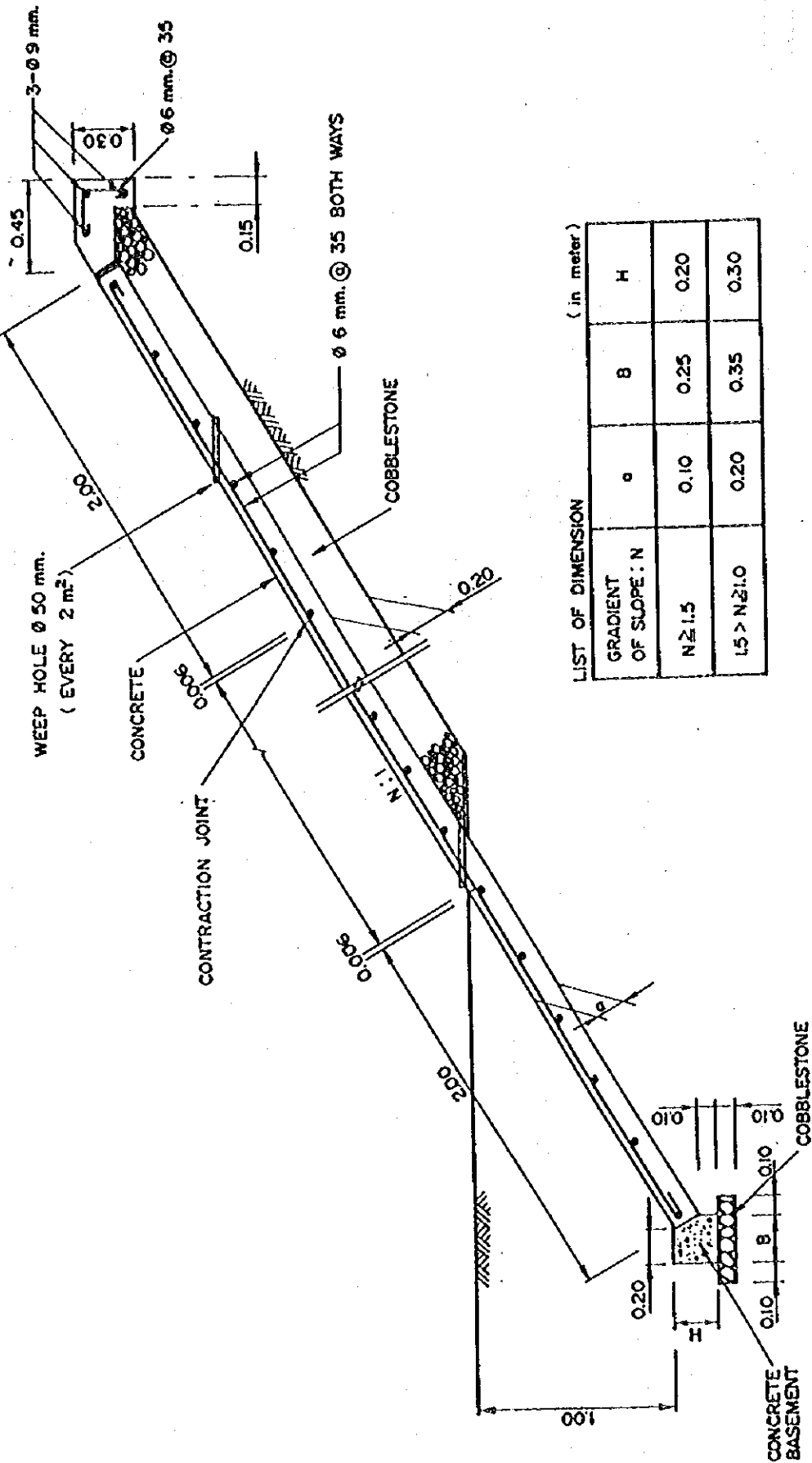
มาตรฐาน 1:30 แบบที่



แบบมาตรฐาน

กำแพงคอนกรีต

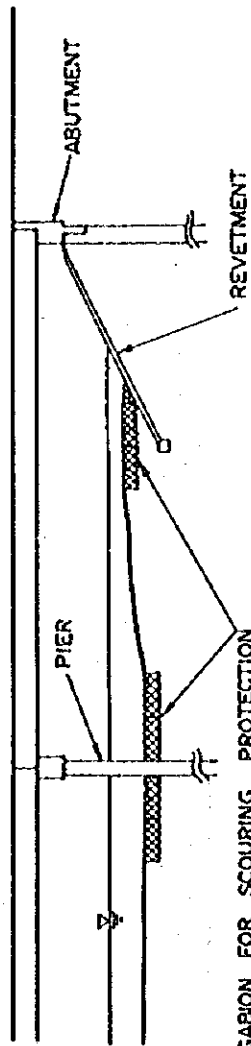
มาตราส่วน 1:30 แบบที่



แบบมาตรฐาน

แบบ GABION ป้องกันการกัดเซาะ

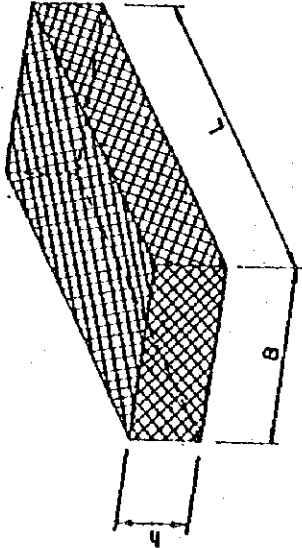
มาตรฐาน ตามที่แสดง แบบที่



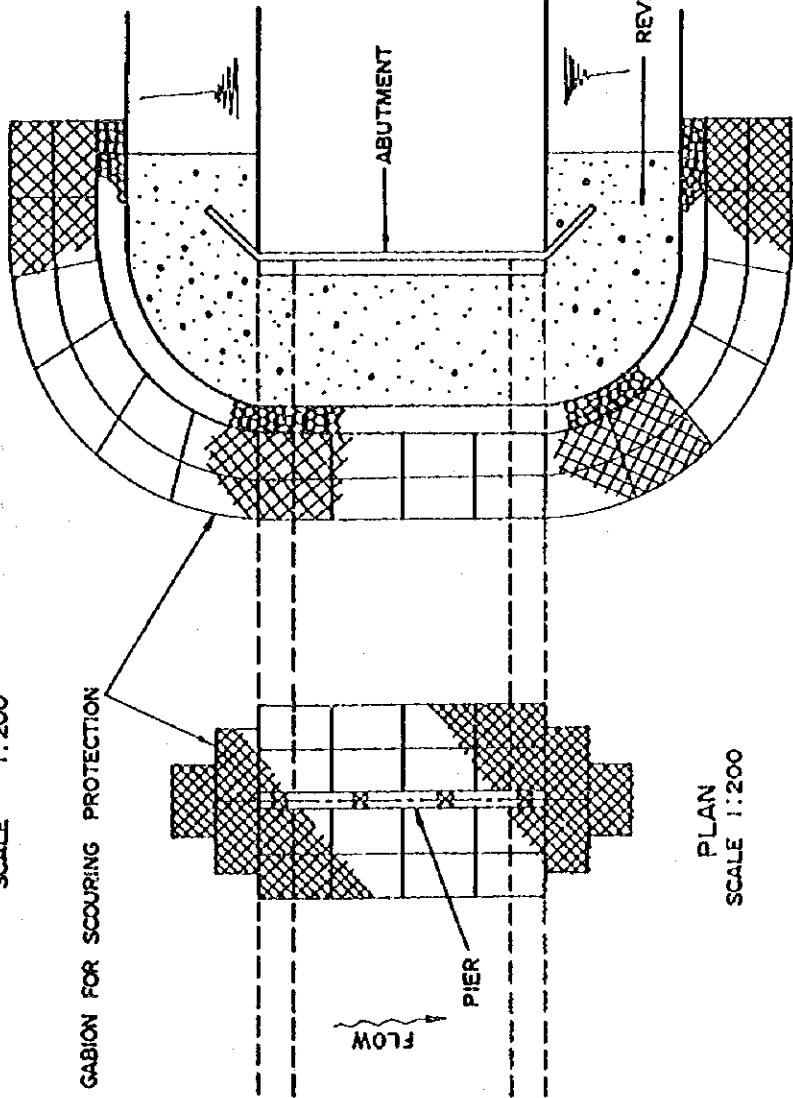
MAT GABION FOR SCOURING PROTECTION

PROFILE

SCALE 1:200



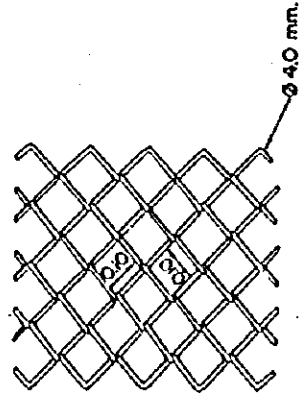
h : 0.40, 0.50, 0.60
B : 1.20
L : 2.00, 3.00, 4.00



MAT GABION FOR SCOURING PROTECTION

PLAN

SCALE 1:200

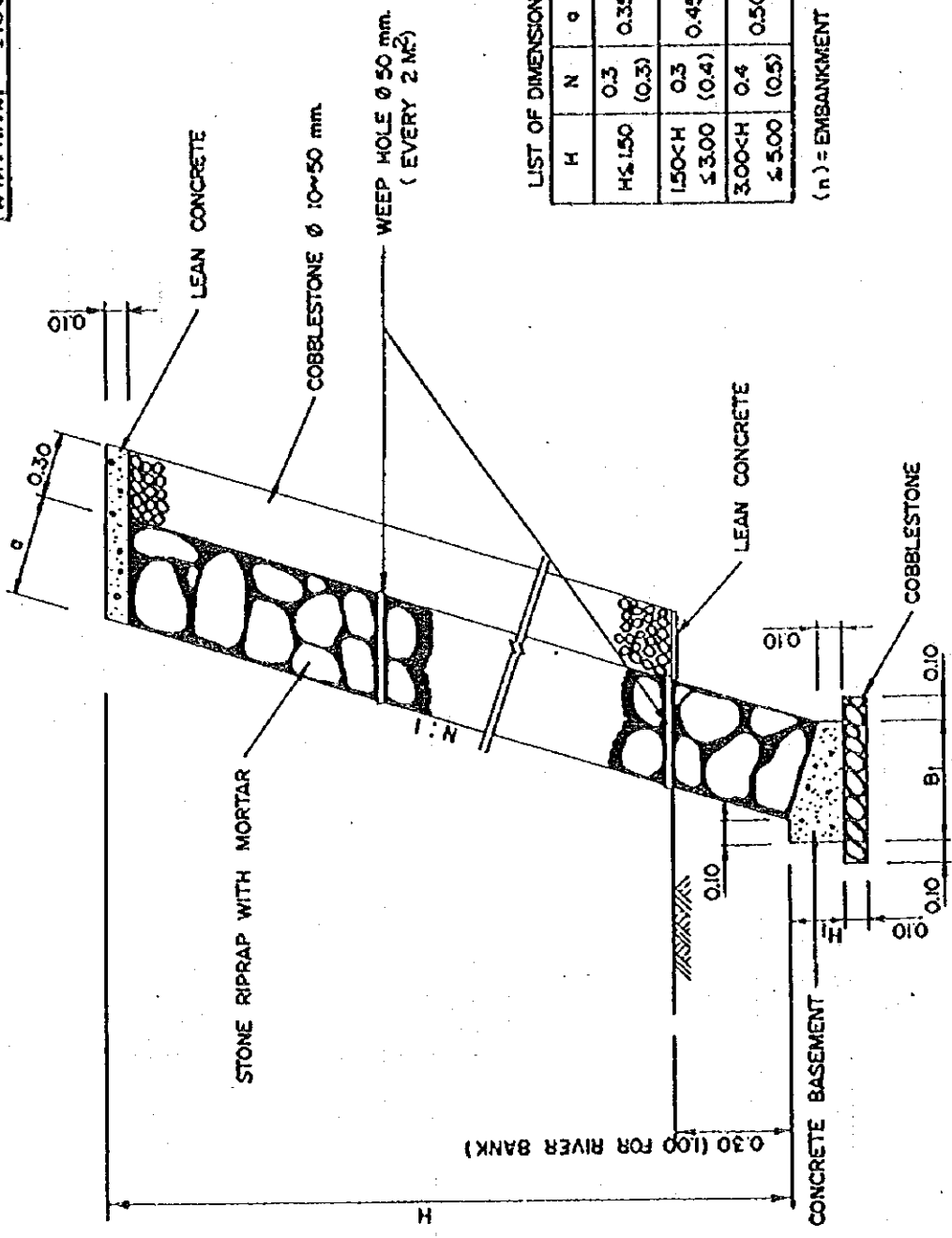


DETAIL OF WIRE MESH
SCALE 1:20

แบบมาตรฐาน

กำแพงหินเรียง

มาตรฐาน 1:30 แบบที่



LIST OF DIMENSION (in meter)

H	N	g	B ₁	H ₁
H ≤ 1.50	0.3 (0.3)	0.35	0.45	0.20
1.50 < H	0.3 (0.4)	0.45	0.55	0.25 (0.30)
3.00 < H	0.4 (0.5)	0.50	0.60 (0.55)	0.30 (0.35)

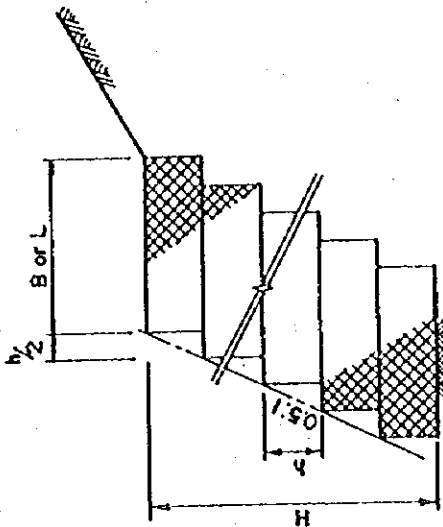
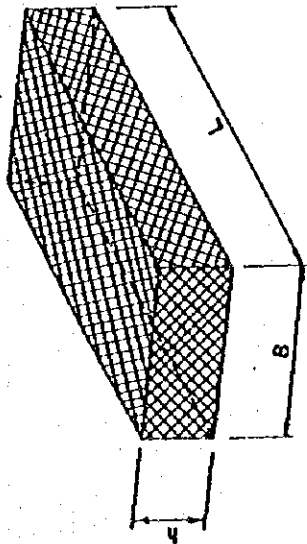
(n) = EMBANKMENT SLOPE FACTOR

แบบมาตรฐาน

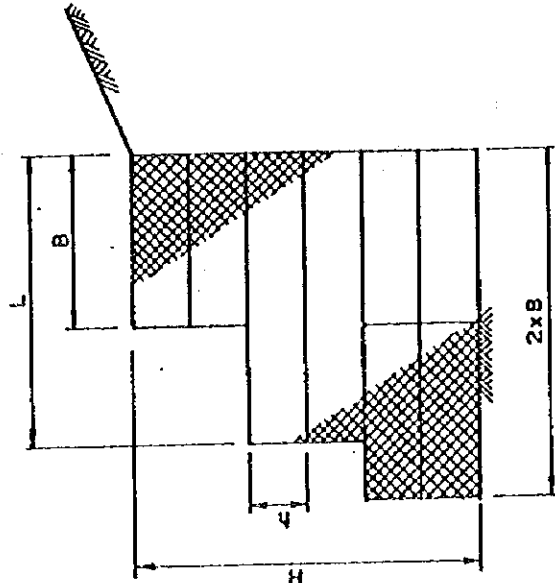
แบบกำแพงกันดิน GABION

มาตรฐาน ตามที่แสดง แบบที่

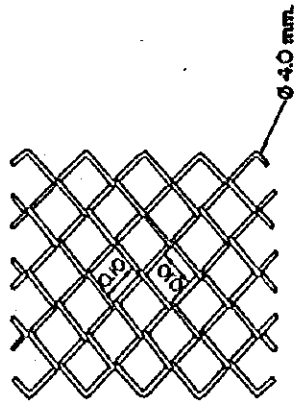
h : 0.40, 0.50, 0.60
 B : 1.20
 L : 2.00, 3.00, 4.00



TYPE - A
 SCALE 1:50



TYPE - B
 SCALE 1:50



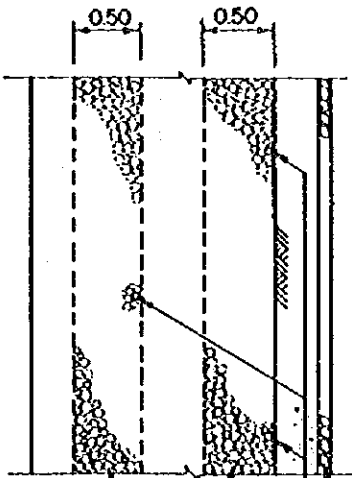
DETAIL OF WIRE MESH
 SCALE 1:20

แบบมาตรฐาน

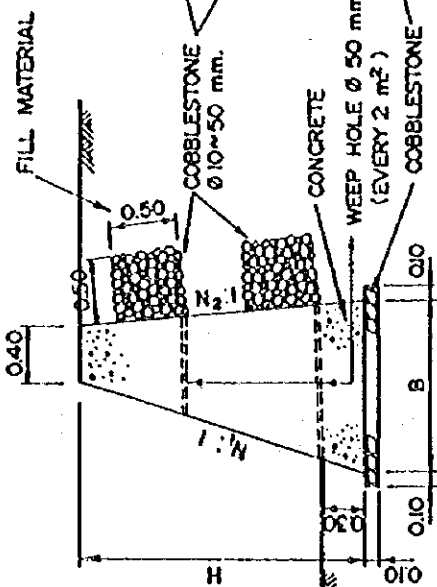
กำหนดกั้นดินแบบ GRAVITY

มาตรฐาน 1:50 แบบที่

LIST OF DIMENSION (in meter)				
H	N ₁	N ₂	B	
H ≤ 1.00	0.02	0.40		
	0.30	0.00		
	0.50	0.00		
1.00 < H ≤ 2.00	0.02	0.60	0.40 + (N ₁ + N ₂) × H	
	0.30	0.40		
2.00 < H ≤ 3.00	0.50	0.20		
	0.02	0.70		
	0.30	0.50		
	0.50	0.30		



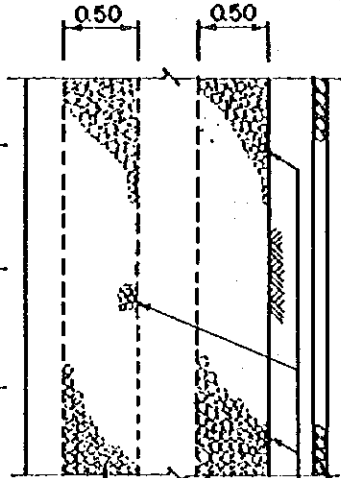
FRONT VIEW



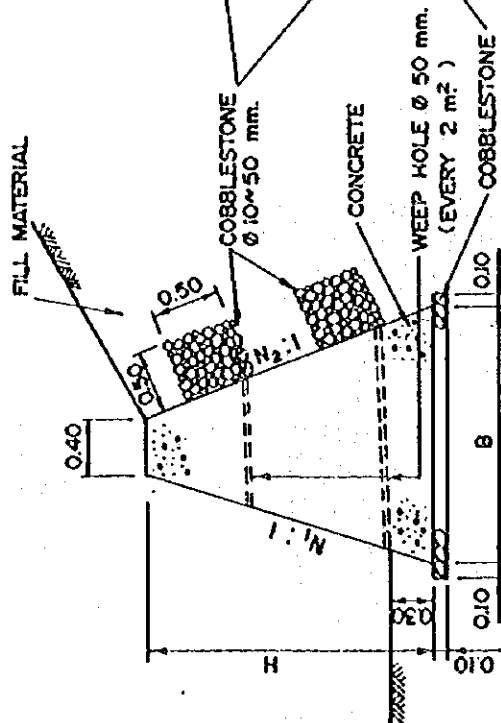
TYPE - A

SIDE VIEW

LIST OF DIMENSION (in meter)				
H	N ₁	N ₂	B	
H ≤ 1.00	0.02	0.30		
	0.30	0.00		
	0.50	0.00		
1.00 < H ≤ 2.00	0.02	0.50	0.40 + (N ₁ + N ₂) × H	
	0.30	0.10		
2.00 < H ≤ 3.00	0.50	0.00		
	0.02	0.60		
	0.30	0.20		
	0.50	0.10		



FRONT VIEW



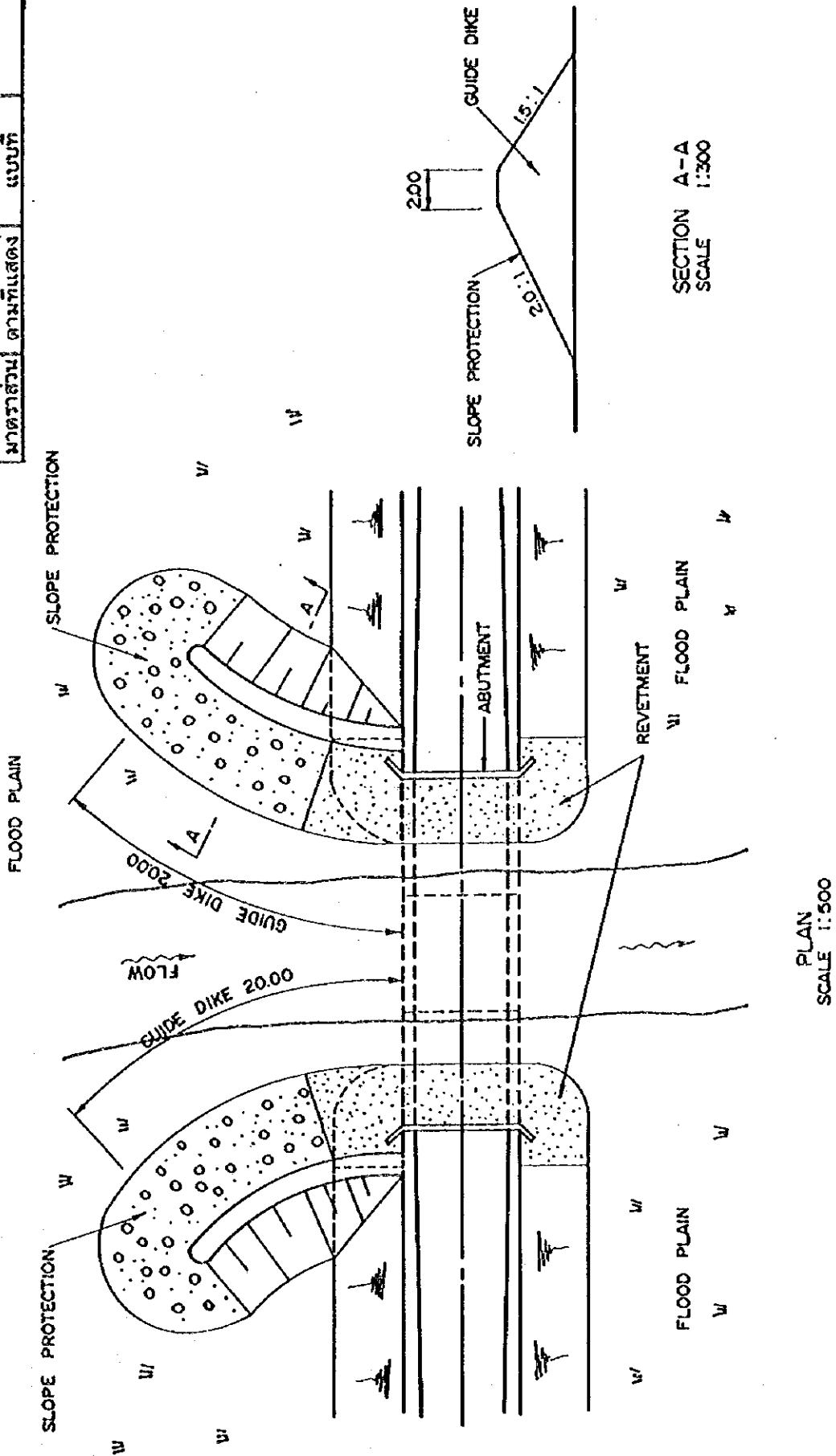
TYPE - B

SIDE VIEW

แบบมาตรฐาน

เขื่อนน้ำร่องน้ำ

มาตรฐาน ตามที่แสดง แบบที่



JICA