มยผ. 1917-62

มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขา

(Standard of Slope Protection on Slope)

มยผ. 1917-62

มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขา

(Standard of Slope Protection on Slope)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขานี้จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดรายละเอียดในการป้องกันการพังทลายสำหรับงานก่อสร้างอาคาร งานขุดดินและถมดิน ในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (landslide) และบริเวณลาดเชิงเขา โดยแบ่งการพิบัติเป็น 3 รูปแบบ คือ 1. ลาดพิบัติ (slope failure) 2. ดินถล่ม (landslide) และ 3. ดินโคลนถล่มหรือการไหลของซากมวลพิบัติ (debris flow)

1.2 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

"การป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขา" หมายถึง การเพิ่มความมั่นคงให้กับพื้นที่ลาดเอียงจากการก่อสร้าง การขุดดินหรือถมดิน

"**ลาดพิบัติ (slope failure)**" หมายถึง เหตุการณ์ที่ดิน หิน หรือดินปนหิน มีการเคลื่อนตัวลงมาตามแนวลาดเอียง หรือตามแรงโน้มถ่วงของโลก มักเกิดขึ้นในพื้นที่แคบๆ ที่มีความลาดชันสูง บางส่วนเกิดจากการขุดตัดลาดเชิงเขาทำให้ลาดเขาขาดเสถียรภาพ

"**ดินถล่ม (landslide)**" หมายถึง เหตุการณ์ที่ดิน หิน หรือดินปนหิน มีการเคลื่อนตัวลงมาตามแนวลาดเอียงหรือตามแรงโน้มถ่วงของโลก

"**โคลนถล่ม (debris flow)**" หมายถึง เหตุการณ์ที่ดินถล่มลงมารวมกับเศษซากมวลพิบัติ โดยมีน้ำในปริมาณมาก แล้วไหลลงสู่ที่ต่ำด้วยความเร็วสูงและมีพลังในการพัดพาต้นไม้และหิน กรวดทรายตามลงมาด้วย

2.2 สัญลักษณ์

F_{all} = แรงดึงปลอดภัย

T = แรงดึงที่ต้องการ

D_h = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะ

W = น้ำหนักของมวลดินหรือหิน

R = แรงเสียดทานจากระนาบเอียง

U = แรงดันน้ำ

V = แรงดันน้ำ เนื่องจาก Tension Crack

ψ = มุมของระนาบเอียง

β = มุมระหว่าง Rock Bolt กับระนาบเอียง

ϕ = มุมเสียดทานภายในของดิน มีหน่วยเป็นองศา

F_s = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร

U_r = แรงยึดเกาะระหว่างหินกับคอนกรีต มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร

U_s = แรงยึดเกาะระหว่างเหล็กกับคอนกรีต มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร

3. มาตรฐานและคู่มืออ้างถึง

3.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1912-52 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

3.2 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1911-52 : มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดินและคู่มืออธิบายมาตรฐาน

3.3 คู่มือการแนะนำ แก้ไข และการปฏิบัติการชะล้างพังทลายและเคลื่อนตัวของเชิงลาด กรมทางหลวง ปี พ.ศ. 2551

หมายเหตุ : หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างถึงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานนี้เป็นสำคัญ

4. วิธีการป้องกันการพังทลายกรณีลาดพิบัติ (slope failure)

4.1 หลักการป้องกันการพังทลายโดยมาตรการทางวิศวกรรม

หลักการป้องกันการพังทลายสำหรับลาดพิบัติ (slope failure) ในงานก่อสร้างอาคาร งานขุดดินและถมดิน บริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มและบริเวณลาดเชิงเขา สามารถใช้ได้วิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีร่วมกันเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของพื้นที่ลาดเอียง ซึ่งวิธีที่นิยมใช้โดยทั่วไปมีดังนี้

4.1.1 วิธีการใช้น้ำหนักยัน (buttressing)

การป้องกันทำโดยใช้วัสดุ เช่น ดิน หิน หรือวัสดุจากการก่อสร้าง เป็นต้น มาวางยันไว้บริเวณฐานของพื้นที่ลาดเอียง

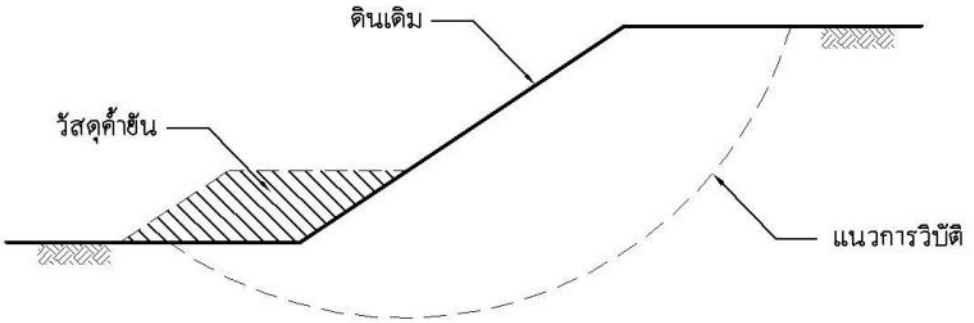
หลักการใช้น้ำหนักยันเป็นการเพิ่มแรงต้านทานให้กับพื้นที่ลาดเอียงโดยใช้วัสดุค้ำยันบริเวณฐานของพื้นที่ลาดเอียง ตัวอย่างดังรูปที่ 1

ข้อควรคำนึงถึง

(1) วัสดุค้ำยันควรมีความหนาแน่นสูงเพียงพอ เช่น ความหนาแน่นมากกว่า 15 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (1,500 กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

(2) กรณีผู้ออกแบบเห็นว่ามีปัญหาเกี่ยวกับการระบายน้ำใต้ดินควรจัดหาวัสดุถมที่สามารถระบายน้ำออกได้เองตามธรรมชาติหรือมีระบบระบายน้ำภายใน และวัสดุค้ำยันต้องสามารถป้องกันการสูญเสียวัสดุภายในจากไหลซึมของน้ำใต้ดินได้

(3) ควรคำนึงถึงการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าของพื้นที่ลาดเอียงเนื่องจากน้ำผิวดิน



รูปที่ 1 ตัวอย่างการใช้น้ำหนักยันบริเวณฐานพื้นที่ลาดเอียง

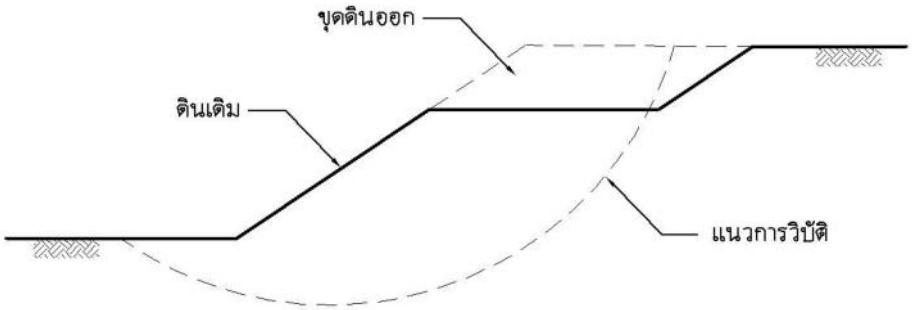
(ข้อ 4.1.1)

4.1.2 วิธีการลดน้ำหนัก (unloading)

หลักการลดน้ำหนักเป็นการลดแรงกระทำต่อพื้นที่ลาดเอียงโดยการขุดดินออกหรือเปลี่ยนลักษณะรูปร่างของพื้นที่ลาดเอียงเดิมที่มีความมั่นคงน้อยให้มีความมั่นคงมากขึ้น ตัวอย่างการตัดดินส่วนบนออก การปรับความลาดชัน และการทำลาดเอียงเป็นแบบขั้นบันได ดังรูปที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ

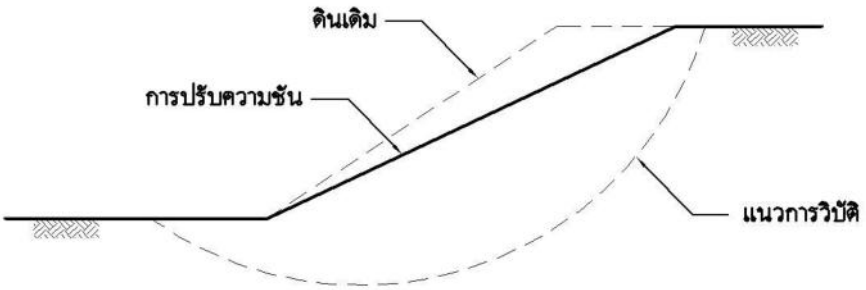
ข้อควรคำนึงถึง

(1) ควรคำนึงถึงการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าของพื้นที่ลาดเอียงเนื่องจากน้ำผิวดิน



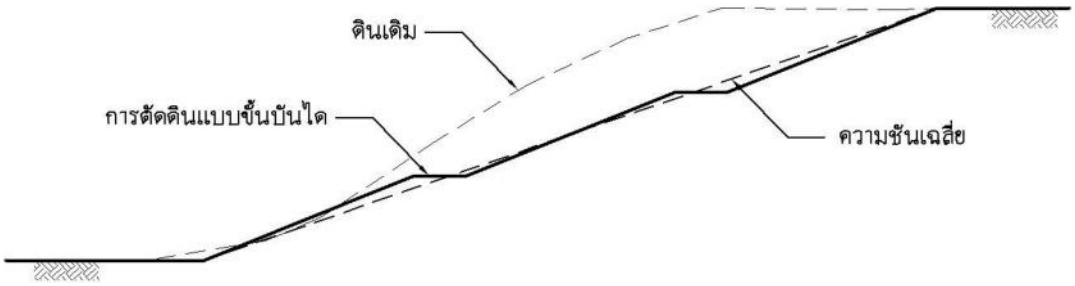
รูปที่ 2 ตัวอย่างการตัดส่วนบนของพื้นที่ลาดเอียง

(ข้อ 4.1.2)



รูปที่ 3 ตัวอย่างการปรับความชันของพื้นที่ลาดเอียง

(ข้อ 4.1.2)



รูปที่ 4 ตัวอย่างการตัดพื้นที่ลาดเอียงเป็นขั้นบันได

(ข้อ 4.1.2)

4.1.3 วิธีการใช้โครงสร้างกันดิน (retaining structure)

หลักการเมื่อมีการขุดดินหรือถมดินจนเกิดความต่างระดับของผิวดินมากกว่าความสูงที่มวลดินจะสมดุลอยู่ได้ด้วยตัวเอง จึงจำเป็นต้องมีโครงสร้างกันดินช่วยพยุงป้องกันการพังทลายหรือการเคลื่อนตัวของมวลดินมากเกินไปโดยใช้หลักการเพิ่มแรงต้านทานให้กับพื้นที่ลาดเอียง โดยทำหน้าที่รับแรงดันด้านข้างและต้านทานการเลื่อนไถลของพื้นที่ลาดเอียง โครงสร้างที่ใช้ในการป้องกัน เช่น กำแพงกันดินแบบต่าง ๆ เข็มพืดกันดิน และเสาเข็มร่วมกับแผ่นคอนกรีต ตัวอย่างดังรูปที่ 5 ถึง 7 ตามลำดับ

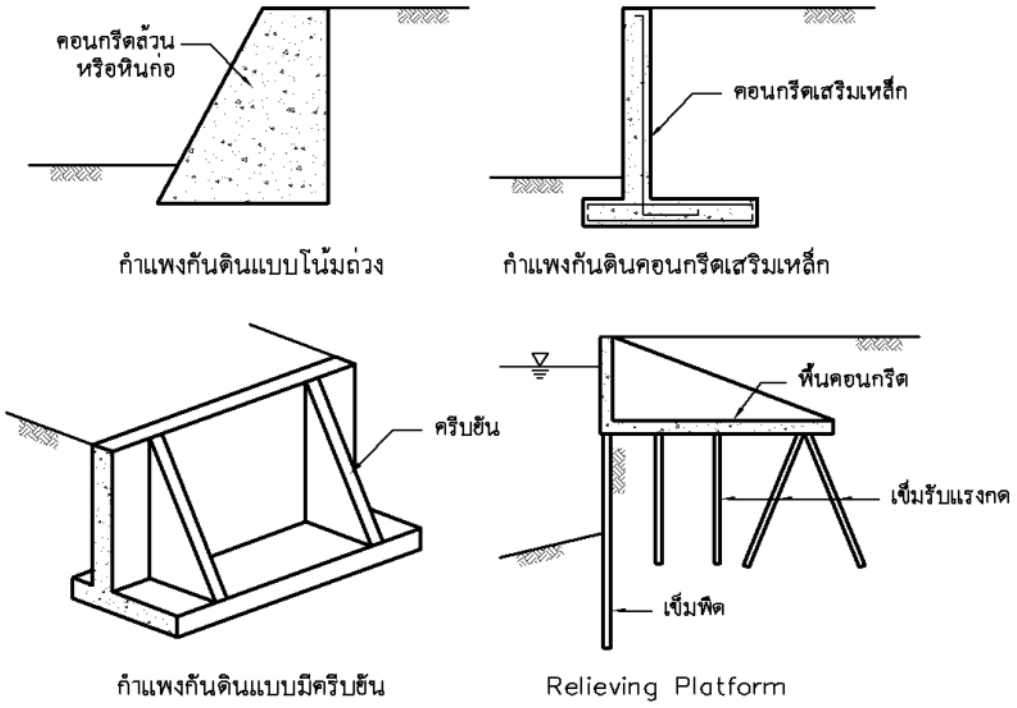
การคำนวณออกแบบกำแพงกันดินต้องมีการตรวจสอบการเลื่อนไถล (sliding) บริเวณฐานกำแพงกันดิน ตรวจสอบการล้มคว่ำของกำแพงกันดิน (overturning) ตรวจสอบการรับน้ำหนัก (bearing capacity) บริเวณฐานกำแพงกันดิน ตรวจสอบเสถียรภาพโดยรวม (overall stability) และตรวจสอบการวิบัติของโครงสร้าง (structural failure)

รายละเอียดการคำนวณออกแบบและตรวจสอบเสถียรภาพของกำแพงกันดินและเข็มพืดแสดงไว้ในมยผ. 1912-52 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน และคู่มือการใช้มาตรฐานดังกล่าว

ข้อควรคำนึงถึง

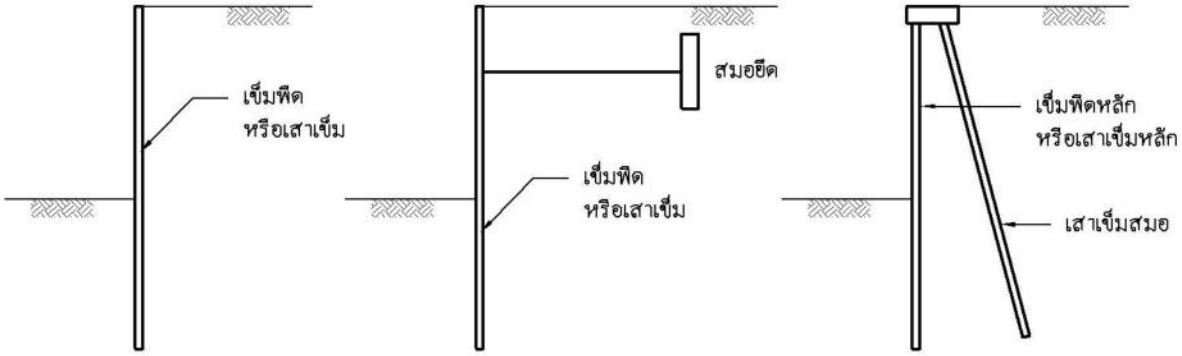
(1) การออกแบบกำแพงกันดินแบบใช้เสาเข็มร่วมกับแผ่นคอนกรีตควรวิเคราะห์โดยใช้หลักการของเสาเข็มรับแรงด้านข้างด้วย

(2) ผู้ออกแบบควรจัดให้มีระบบการระบายน้ำหลังกำแพงกันดินเพื่อลดแรงดันเนื่องจากน้ำ



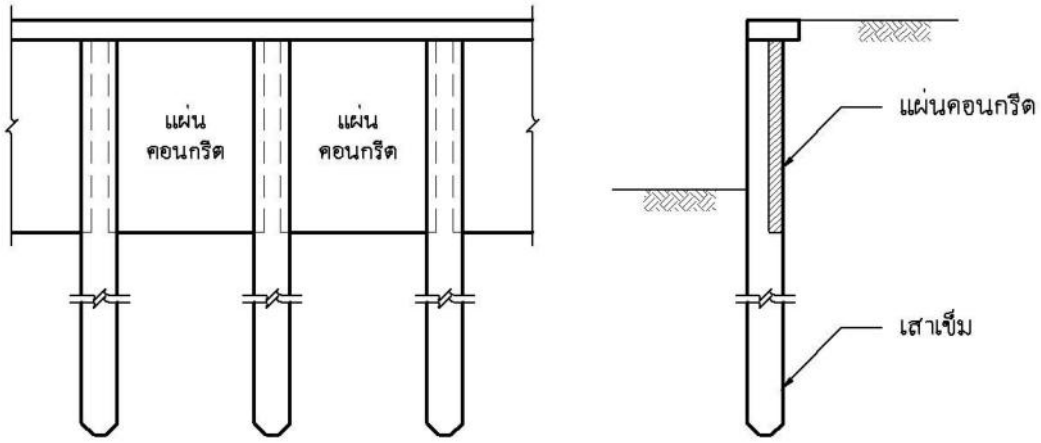
รูปที่ 5 กำแพงกันดินแบบต่างๆ

(ข้อ 4.1.3)



รูปที่ 6 เข็มพืดกันดิน

(ข้อ 4.1.3)



รูปที่ 7 เสาเข็มร่วมกับแผ่นคอนกรีต

(ข้อ 4.1.3)

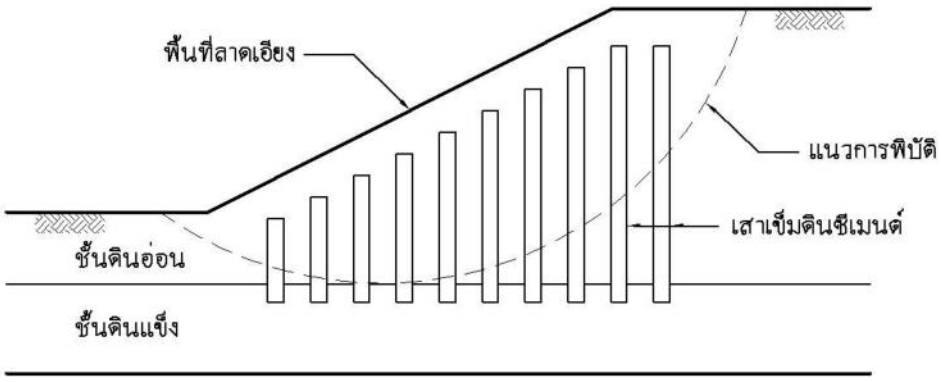
4.1.4 วิธีการปรับปรุงคุณภาพดิน (soil improvement)

เนื่องจากดินที่มีอยู่ในพื้นที่ การก่อสร้างอาคาร การขุดดินหรือถมดินอาจมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับลักษณะที่ต้องการ เช่น มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ เป็นต้น จึงต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินดังกล่าวให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินจะเป็นการเพิ่มแรงต้านทานให้กับพื้นที่ลาดเอียงทำให้ดินมีความแข็งแรงสามารถรับแรงเฉือนเพื่อต้านทานการวิบัติได้ ซึ่งรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพดินมีทั้งใช้สารเคมี เช่น การใช้ซีเมนต์หรือปูนขาวผสมในดินเป็นลักษณะเสาเข็ม (soil cement column) ดังรูปที่ 8 และการเสริมความแข็งแรงให้ดินโดยใช้วัสดุต่างๆ เช่น แผ่นใยสังเคราะห์ (geotextile) หรือตะปูยึดดิน (soil nail) เป็นต้น ดังรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ รายละเอียดการคำนวณออกแบบการปรับปรุงโดยการใช้ซีเมนต์แสดงไว้ใน มยผ. 1912-52 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน และคู่มือการใช้มาตรฐานดังกล่าว

ข้อควรคำนึงถึง

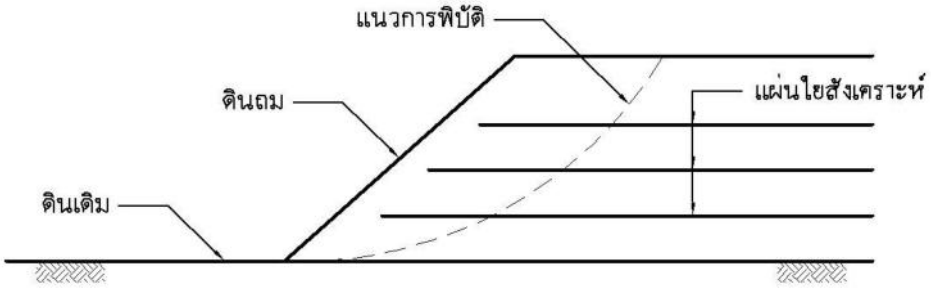
(1) การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการใช้สารเคมี ต้องมีการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้หลังการใส่สารผสม ทั้งผลในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบจริงในสนามก่อนนำไปใช้จริง

(2) กรณีที่ดินเดิมมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำมาก (very soft clay) ควรทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินควบคู่ไปด้วย



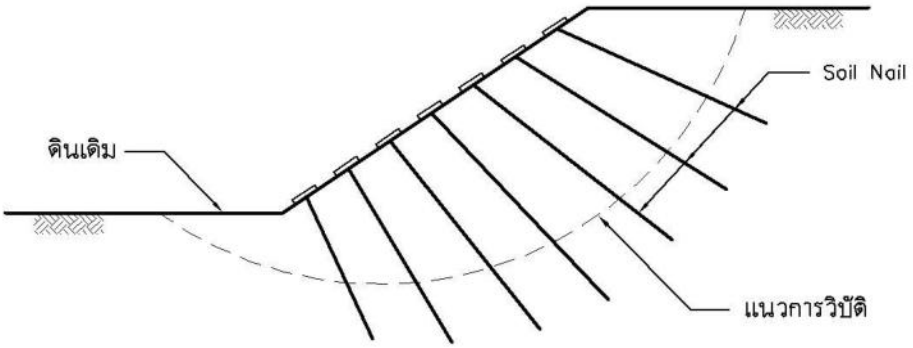
รูปที่ 8 ตัวอย่างการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีเสาเข็มดินซีเมนต์

(ข้อ 4.1.4)



รูปที่ 9 ตัวอย่างการเสริมความแข็งแรงให้ดินโดยใช้แผ่นใยสังเคราะห์

(ข้อ 4.1.4)



รูปที่ 10 ตัวอย่างการเสริมความแข็งแรงให้ดินโดยใช้ soil nail

(ข้อ 4.1.4)

สำหรับมาตรฐานนี้จะเสนอรายละเอียดวิธีการปรับปรุงคุณภาพดิน (soil improvement) ด้วยการเสริมแรงโดยใช้ สลักยึดหิน (rock bolt) วิธีการป้องกันการกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาด (toe slope) เช่น กล่องลวดตาข่าย อิฐบล็อกประสาน ผ้าห่มดินและหมอนกันดิน การทำ grid beam และการใช้คอนกรีตพ่น (shotcrete)

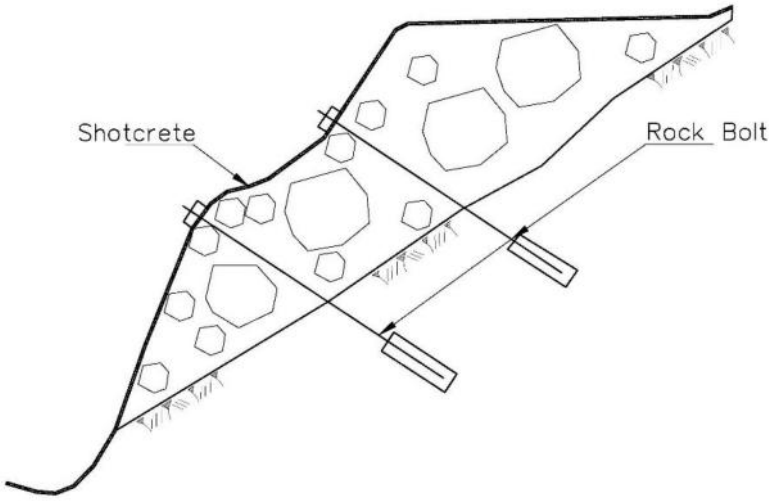
4.1.4.1 การเสริมความแข็งแรงด้วยสลักยึดหิน (rock bolt)

(1) หลักการ

การทำสลักยึดหิน (rock bolt) ใช้หลักการเดียวกันกับการทำตะปูยึดดิน (soil nail) ซึ่ง soil nail ใช้สำหรับยึดดิน ส่วน rock bolt ใช้สำหรับยึดดินปนหิน หรือหิน อย่างเดียว โดยใช้เหล็กเส้นที่มีความยาวและกำลังพอที่จะช่วยเพิ่มแรงต้านทานการเลื่อนตัวและเพิ่มกำลังให้กับแนวรอยเลื่อย ดังรูปที่ 11

(2) รูปแบบการป้องกัน

rock bolt คือ เหล็กข้ออ้อยรับแรงดึงที่ทำการตรึงด้วยแรงดึงในระหว่างติดตั้งปลายด้านในยึดติดกับหิน ส่วนปลายด้านหนึ่งมีแผ่นเหล็กรับแรง และน๊อตยึดติดกับคอนกรีตพ่นไว้



รูปที่ 11 ตัวอย่างการเสริมความแข็งแรงให้ดินโดยใช้ rock bolt
(ข้อ 4.1.4.1)

(3) วิธีการวิเคราะห์ออกแบบ

การออกแบบ rock bolt เพื่อเพิ่มความมั่นคงของลาดเขาต้องมีข้อกำหนดในการออกแบบดังนี้ ตัวอย่างรายละเอียดแสดงด้านท้ายมาตรฐาน

(ก) คุณสมบัติพื้นฐานของ rock bolt และหลุมเจาะ

- ความยาวของ rock bolt
- ความยาวที่ใช้ (effective length, l_e) 40%
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะ (D_h)

(ข) คำนวณแรงดึงสูงสุดของ rock bolt

แรงดึงปลอดภัย (F_{all}) = (πxD^2/4)xf_s .... (1)

แรงยึดเกาะระหว่างหินกับคอนกรีต (U_r) = u_rx(πxD_h^2/4)xl_e .... (2)

แรงยึดเกาะระหว่างเหล็กกับคอนกรีต (U_s) = u_sx(πxD^2/4)xl_e .... (3)

เลือกค่าน้อยระหว่าง (1) (2) และ (3) ใช้เป็นค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดที่ rock bolt สามารถรับได้

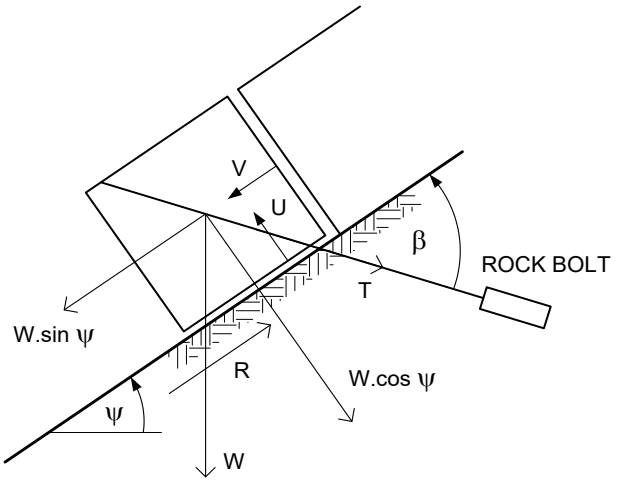
(ค) คำนวณความยาว พื้นที่ และน้ำหนักของผิวการพิบัติ

จากผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน สามารถคำนวณหาพื้นที่ และความยาวของผิวการพิบัติ เพื่อทำให้รูปร่างการพิบัติง่าย (simplified) เป็นลักษณะของการเคลื่อนที่บนระนาบเอียงดังรูปที่ 12 แล้วนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดึงที่ต้องการต่อไป ได้ดังนี้

$$F.S. = \frac{c\,A + (W\cos\psi - U + T\sin\beta)\tan\varphi}{W\sin\psi + V - T\cos\beta}$$

(ง) คำนวณแรงดึงที่ต้องการ

$$\text{แรงดึงที่ต้องการ (T)} = \frac{W\,(F.S.\sin\psi - \cos\psi\,\tan\phi) - cA}{F.S.\cos\phi + \sin\phi\,\tan\phi}$$



รูปที่ 12 แรงที่เกิดขึ้นในมวลดินหรือหินบนระนาบเอียง

(ข้อ 4.1.4.1)

(จ) คำนวณระยะห่างของ Rock Nail

พื้นที่รับแรงต่อ Rock Nail 1 หลุม = T_{max} /(T/L_f)

(4) วัสดุ และวิธีการก่อสร้าง

(ก) วัสดุ

- เหล็กสลัก (bolt) ทำด้วยเหล็กข้ออ้อยชุบกัลวาไนท์

- ขนาดและรูปร่างของแผ่นเหล็กรับแรง (bearing plate) ทั้งแผ่นเหล็กรับแรง แหวนรองและน๊อต ซึ่งต้องสัมผัสอากาศตลอดเวลานั้นต้องชุบด้วยกัลวาไนท์ เพื่อป้องกันการผุกร่อน

- มอร์ตาร์จะประกอบด้วย ทรายละเอียด ปูนซีเมนต์ และน้ำที่ผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน

(ข) การทดสอบ rock bolt

- ก่อนเริ่มต้องทำการทดลองติดตั้งและดึง rock bolt เพื่อตรวจสอบว่าเป็นไปตามที่กำหนดในการออกแบบหรือไม่ โดย rock bolt ที่ทดลองต้องติดตั้งในสภาพหินที่เหมือนกับ rock bolt ที่จะทำการติดตั้งในบริเวณมวลหินที่จะปรับปรุงเสถียรภาพต่อไป

- การทดสอบ pullout tests ของ rock bolt จะดำเนินการหลังจากติดตั้งแล้ว 28 วัน

(ค) การติดตั้ง rock bolt

- ต้องดำเนินการติดตั้ง rock bolt ทันทีหลังจากขุดหินที่ผุและขนย้ายหินเสร็จแล้ว

- ต้องเจาะรูให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักได้ไม่น้อยกว่า 44 มิลลิเมตร (เช่น เมื่อใช้เหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร จะต้องใช้ขนาดรูรูเจาะไม่น้อยกว่า 76 มิลลิเมตร) ความลึกและตำแหน่งตามที่ออกแบบ และก่อนที่จะทำการติดตั้งสลักยึดหินต้องทำความสะอาดรูเจาะด้วยแรงดันลม และ/หรือน้ำภายใต้แรงดันก่อน

- ก่อนติดตั้ง rock bolt ต้องทำความสะอาดเหล็กยึดให้ปราศจากสนิม คราบสะเก็ด คราบน้ำมัน หรือสิ่งอื่นใดที่เคลือบอยู่ให้หมด

- วิธีการอัดฉีดมอร์ตาร์ให้สามารถอุดช่องว่างระหว่าง rock bolt กับผิวหน้าหินได้อย่างสมบูรณ์ ตลอดความยาวของ rock bolt

(5) ข้อควรคำนึงถึง

(ก) ขนาดความยาวของ rock bolt ต้องยาวมากกว่าขอบเขตวงพิบัติ จึงจะมีประสิทธิภาพในการเสริมแรง

(ข) ต้องมีระบบระบายน้ำใต้ดิน เช่น weep hole เพื่อช่วยระบายน้ำออกจากมวลหิน

4.1.5 วิธีการป้องกันการกัดเซาะ (erosion control)

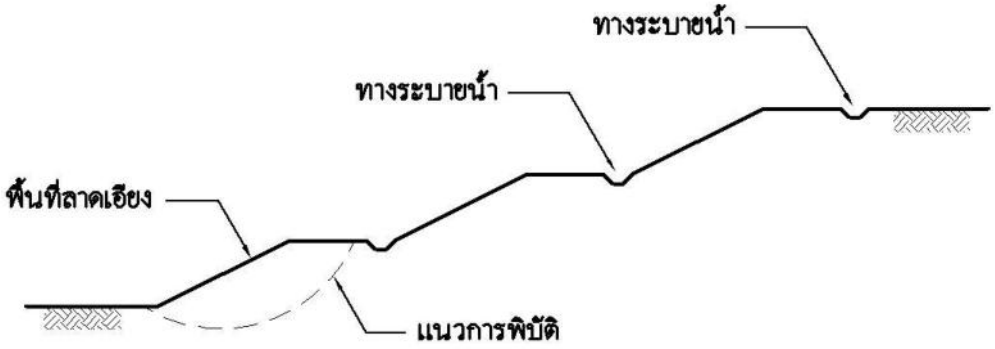
การป้องกันการกัดเซาะเป็นการลดปริมาณการไหล ความเร็ว และอัตราการไหลซึมของน้ำลงในดินบริเวณพื้นที่ลาดเอียง ซึ่งการกัดเซาะดังกล่าวอาจทำให้พื้นที่ลาดเอียงมีความชันเพิ่มขึ้นหรือเพิ่มแรงดันน้ำในมวลดิน ส่งผลให้เกิดการวิบัติได้ แนวทางการป้องกันการกัดเซาะมีหลายวิธี ดังนี้

4.1.5.1 การระบายน้ำผิวดิน

การระบายน้ำผิวดินมีจุดประสงค์เพื่อดักน้ำผิวดินที่ไหลมาจากส่วนบนของพื้นที่ลาดเอียงแล้วระบายออกจากพื้นที่ โดยทางระบายน้ำต้องสามารถรองรับปริมาณน้ำฝนสูงสุดในพื้นที่ได้ และควรมีความชันเพียงพอ เพื่อให้น้ำไหลด้วยความเร็วที่ไม่เกิดการตกตะกอน ดังตัวอย่างในรูปที่ 13

ข้อควรคำนึงถึง

(1) ทางระบายน้ำบนผิวดินต้องอยู่นอกแนวที่คาดว่าจะเกิดการวิบัติ หรือต้องมีการป้องกันการไหลล้นของทางระบายน้ำ



รูปที่ 13 ตัวอย่างทางระบายน้ำบนพื้นที่ลาดเอียง

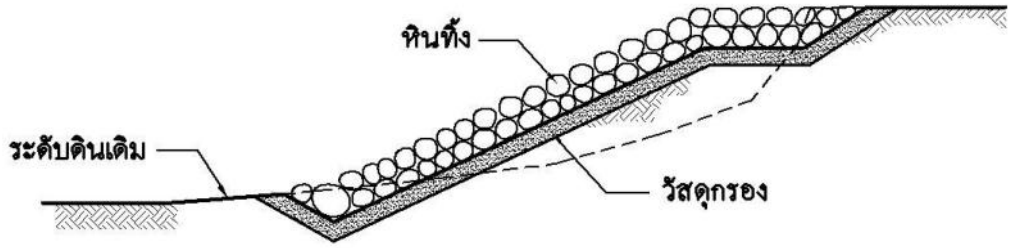
(ข้อ 4.1.5.1)

4.1.5.2 การใช้วัสดุคลุมดิน เช่น การปลูกพืชคลุมดิน การพ่นคอนกรีตปิดทับผิวหน้าลาดเอียง (shotcrete) หรือการใช้หินทิ้ง (rock riprap) ดังรูปที่ 14

ข้อควรคำนึงถึง

(1) ชนิดของพืชคลุมดินควรเป็นไม้ในท้องถิ่น หรือทนต่อสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ได้

(2) กรณีใช้ shotcrete ต้องมีระบบระบายน้ำใต้ดิน เช่น ท่อระบายน้ำในแนวราบ เป็นต้น



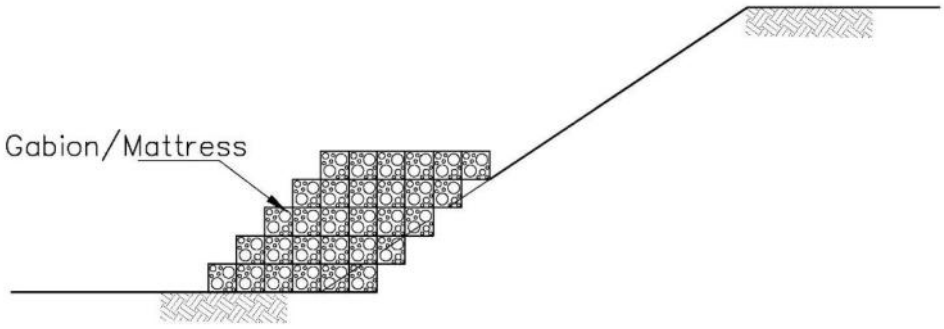
รูปที่ 14 ตัวอย่างการป้องกันการกัดเซาะโดยใช้หินทิ้ง

(ข้อ 4.1.5.2)

4.1.5.3 กล่องลวดตาข่าย ได้แก่ เกเบียน (gabion) และแมทเทรส (mattress)

(1) หลักการ

กล่องลวดตาข่ายใช้สำหรับป้องกันการพังทลายจากการกัดเซาะของดินและหินภูเขา โดยเฉพาะบริเวณปลายเชิงลาด (toe slope) นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องของแรงต้านบริเวณด้านล่างของลาดชัน ให้ลาดชันมีเสถียรภาพมั่นคงขึ้นได้ด้วย หลักการทำงานเช่นเดียวกับกำแพงกันดิน ซึ่งกล่องลวดตาข่ายทำหน้าที่เป็นโครงสร้างกันดินช่วยพยุงป้องกันการพังทลายหรือการเคลื่อนตัวของมวลดิน โดยใช้หลักการเพิ่มแรงต้านทานให้กับพื้นที่ลาดเอียง โดยทำหน้าที่รับแรงดันด้านข้างและต้านทานการเลื่อนไถลของพื้นที่ลาดเอียง แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ตัวอย่างการป้องกันการกัดเซาะโดยใช้กล่องลวดตาข่าย

(ข้อ 4.1.5.3)

(2) รูปแบบการป้องกัน

กล่องลวดตาข่ายเป็นโครงสร้างลวดตาข่ายประกอบเป็นกล่องแต่ละกล่องต้องมีรูปทรงเป็นลูกบาศก์สี่เหลี่ยม ขนาดกว้างและยาวตามที่ออกแบบ โดยประกอบขึ้นจากแผงลวดตาข่ายชิ้นเดียวกัน และขึ้นรูปเป็นรูปกล่อง เสริมความมั่นคงแข็งแรงด้วยลวดโครงที่มีขนาดใหญ่กว่าลวดใช้ถักตาข่าย ภายในกล่องบรรจุกรวดหรือหิน กล่องลวดตาข่ายสามารถนำมาปรับใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น

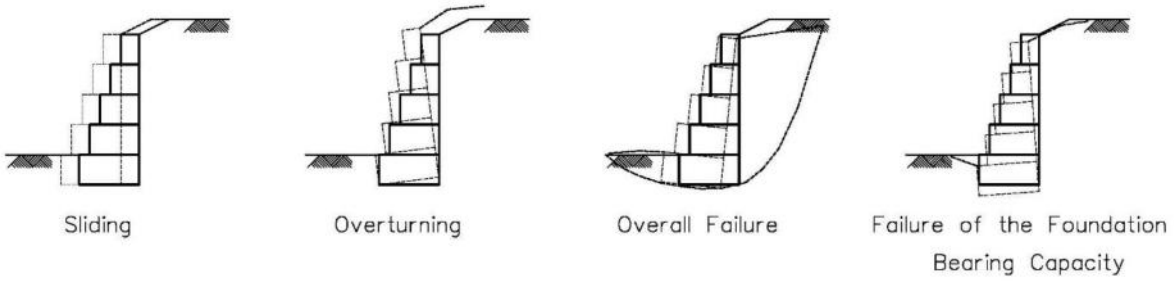
- ใช้ในโครงการสร้างถนน เพื่อป้องกันการพิบัติของลาดชันเมื่อมีการตัดถนนและเพิ่มความแข็งแรงให้กับลาดชัน

- ใช้ในโครงการสร้างป้องกันการกัดเซาะ เพื่อป้องกันการกัดเซาะหน้าดินที่เกิดจากน้ำ เช่น เขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำ บริเวณปลายลาดเชิงเขา เป็นต้น

(3) วิธีการวิเคราะห์ออกแบบกล่องรูปตาข่าย

- การออกแบบกำแพงกล่องรูปตาข่าย คล้ายกับวิธีการออกแบบกำแพงกันดิน โดยการพิจารณาน้ำหนักรวมของโครงสร้างกำแพงกล่องรูปตาข่าย ที่ใช้ต้านทานแรงดันด้านข้างที่เกิดจากมวลดินหลังกำแพง การออกแบบจะเริ่มจากการกำหนดขนาดของกล่องรูปตาข่ายที่ใช้ จากนั้นจะพิจารณาแรงดันที่กระทำต่อกล่องรูปตาข่าย เพื่อตรวจสอบโมเมนต์ที่จะทำให้กำแพงเกิดการพลิกคว่ำ (overturning) ตรวจสอบแรงต้านทานการเลื่อนไถล (sliding) ตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักแบกทานของดินฐานราก (bearing capacity) และตรวจสอบเสถียรภาพโดยรวม (overall stability) ของโครงสร้าง ดังรูปที่ 16 เพื่อให้โครงสร้างมีอัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety) ที่เหมาะสม และหากโครงสร้างที่กำหนดเบื้องต้นเกิดการพังทลายในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งให้ปรับขนาดของโครงสร้างและตรวจสอบการพังทลายแบบต่างๆ

- กล่องรูปตาข่ายจะต้องวางบนชั้นดินฐานรากที่มีความแน่น มั่นคง และแข็งแรง เพื่อป้องกันการยุบตัวและการพังทลายของดินฐานราก เนื่องจากน้ำหนักของตัวกล่องรูปตาข่ายเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งฐานรากของกำแพงกันดินแบบกล่องรูปตาข่าย ต้องไม่มีชั้นดินอ่อนหรือวัสดุอื่นใดที่มีกำลังรับน้ำหนักได้น้อย



พิบัติแบบเลื่อนไถล พิบัติแบบล้มคว่ำ พิบัติแบบรวม พิบัติเนื่องฐานราก

รูปที่ 16 ตัวอย่างรูปแบบการพิบัติในกรณีใช้กล่องลวดตาข่าย

(ข้อ 4.1.5.3)

(4) วัสดุ และวิธีการก่อสร้าง

(ก) วัสดุ

- ลักษณะทั่วไป

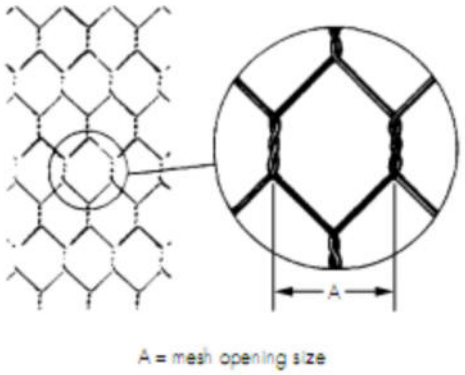
กล่องลวดตาข่ายเป็นรูปตาข่ายหกเหลี่ยม มีโครงยึดเป็นกล่อง ลักษณะกล่องเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าตรงกลางมีผนังตรงกลางมีผนังลวดตาข่ายกั้นเป็นระยะ มีฝาปิดและเปิดสำหรับบรรจุหินได้โดยสะดวก โดยต้องปราศจากรอยตำหนิ รอยปริแตกร้าว

- การต้านแรงดึง

ลวดเหล็ก ซึ่งนำมาทำเป็นกล่องลวดตาข่ายต้องมีการทดสอบต้านแรงดึง (tensile strength) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 71-2532

- ขนาดของรูปตาข่าย

ลวดเหล็ก ต้องทำการถักให้เป็นรูปหกเหลี่ยมมีลักษณะดังนี้ ขนาดตาข่ายลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยมขนาด 8 x 10 เซนติเมตร หรือ 10 x 12 เซนติเมตร หรือตามที่ออกแบบ ดังรูป 17



รูปที่ 17 ตัวอย่างลักษณะตาข่ายกล่อง

(ข้อ 4.1.5.3)

ที่มา : http://www.wulwith.com/gabion.php

(ข) วิธีการก่อสร้าง/ติดตั้ง

- หลังจากปรับแต่งพื้นดินที่จะวางกล่องลวดตาข่าย ให้ได้ดีแล้ว จึงติดตั้งกล่องลวดตาข่าย ลงในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยต้องยึดและประกอบกล่องลวดตาข่ายเข้าด้วยกัน จากนั้นใส่หิน มีขนาดใหญ่พอที่จะไม่หลุดออกจากช่องเปิดลงในกล่องลวดตาข่าย ซึ่งหินควรมีขนาดระหว่าง 100 มิลลิเมตร ถึง 200 มิลลิเมตร ในการใส่หินใหญ่นี้อาจต้องเรียงหินให้มีหินขนาดเล็กแทรกระหว่างช่องว่างของหินขนาดใหญ่สำหรับกล่องที่ใช้เป็นผิวหน้าที่ตั้งตรงและสามารถมองเห็นได้ การเรียงหินต้องเรียงด้วยความประณีต เพื่อให้ได้ผิวหน้าที่เรียบสวยใส่หินลงใน

กล่องลวดตาข่าย และต้องกระทำโดยให้มีความหนาชั้นละ 300 มิลลิเมตร ต่อเนื่องกันในแต่ละช่องกล่องจากนั้นจึงวนมาใส่อีกไปจนเต็มกล่อง

การกระทำดังนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้ผนังข้างของกล่องลวดตาข่ายเสียรูปร่าง เนื่องจากแรงดันของหินเพียงด้านเดียว พึงต้องใช้ความระมัดระวังในการใส่หิน เนื่องจากความคมและแรงกระแทกของหินอาจทำให้ PVC ที่หุ้มลวดฉีกขาดได้

(5) ข้อควรคำนึงถึง

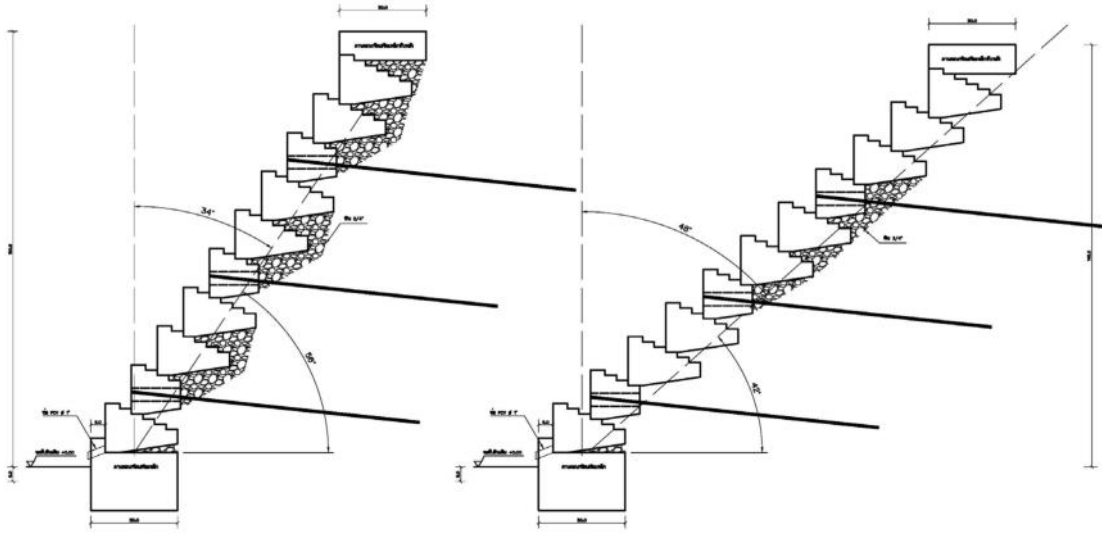
ปัจจัยอื่นๆ เป็นการใช้การเจริญเติบโตของพืชช่วยในการยึดเกาะทำให้ตาข่ายลวดมีความเชื่อมแน่นมากขึ้นและทำให้อายุการใช้งานนานขึ้น

4.1.5.4 block wall

block wall หลักการทำงานเช่นเดียวกับกำแพงกันดิน เช่น การทำอิฐบล็อกประสาน

(1) หลักการ

อิฐบล็อกประสานสามารถใช้ได้ทั้งบริเวณที่ราบสูงหรือที่ราบภูเขา กรณีที่ลาดดินมีความเสี่ยงจากการสูญเสียเสถียรภาพ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผู้คนในบริเวณนั้นๆ การสร้างกำแพงกันดินด้วยอิฐบล็อกประสานเป็นหนึ่งในการวิธีป้องกันที่ง่ายต่อการออกแบบและก่อสร้าง เหมาะสำหรับพื้นที่ทุรกันดาร ที่ประสบปัญหาในการจัดหาผู้ที่มีความรู้และความชำนาญในการออกแบบ รวมถึงการขาดแคลนวัสดุที่ต้องใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งอิฐบล็อกประสานสามารถก่อได้ทุกแนวตามความลาดชันของดิน และมีความยืดหยุ่นในการก่อสร้าง ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 ตัวอย่างการป้องกันการกัดเซาะโดยใช้อิฐบล็อกประสาน

(ข้อ 4.1.5.4)

ที่มา : สุทธิศักดิ์ และคณะ (2560)

(2) รูปแบบการป้องกัน

อิฐบล็อกประสาน เป็นการป้องกันเสถียรภาพของดินและการกัดเซาะบริเวณพื้นที่ลาดชัน ด้วยวิธีที่ง่ายและประหยัดประชาชนในพื้นที่สามารถก่อสร้างเองได้ และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับความลาดชันของดินที่มีหลากหลายได้ ดังรูปที่ 19

(3) วิธีการวิเคราะห์ออกแบบ

หลักการออกแบบเช่นเดียวกับกำแพงกันดิน ซึ่งปกติก่อสร้างได้ที่ความสูง 1.50-2.0 เมตร

(4) วัสดุและวิธีการก่อสร้าง

- อิฐบล็อกประสาน มีส่วนผสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ มอต้า หรือ ดินจากพื้นที่ และน้ำ

- อิฐบล็อกประสาน มี shear key ทำเป็นลักษณะขั้นบันไดยาวตลอดความลึกของตัวก้อน

- อิฐบล็อกประสานมีลักษณะเป็นพีระมิดหัวตัด ด้านบนมีลักษณะเป็นขั้นบันได ในการเรียงซ้อนกันจะใช้ อิฐบล็อกประสานอีกก้อนวางบนด้านที่เป็นขั้นบันได

- อิฐบล็อกประสานสามารถก่อได้ทุกแนวตามความลาดชันของดิน มีความยืดหยุ่น

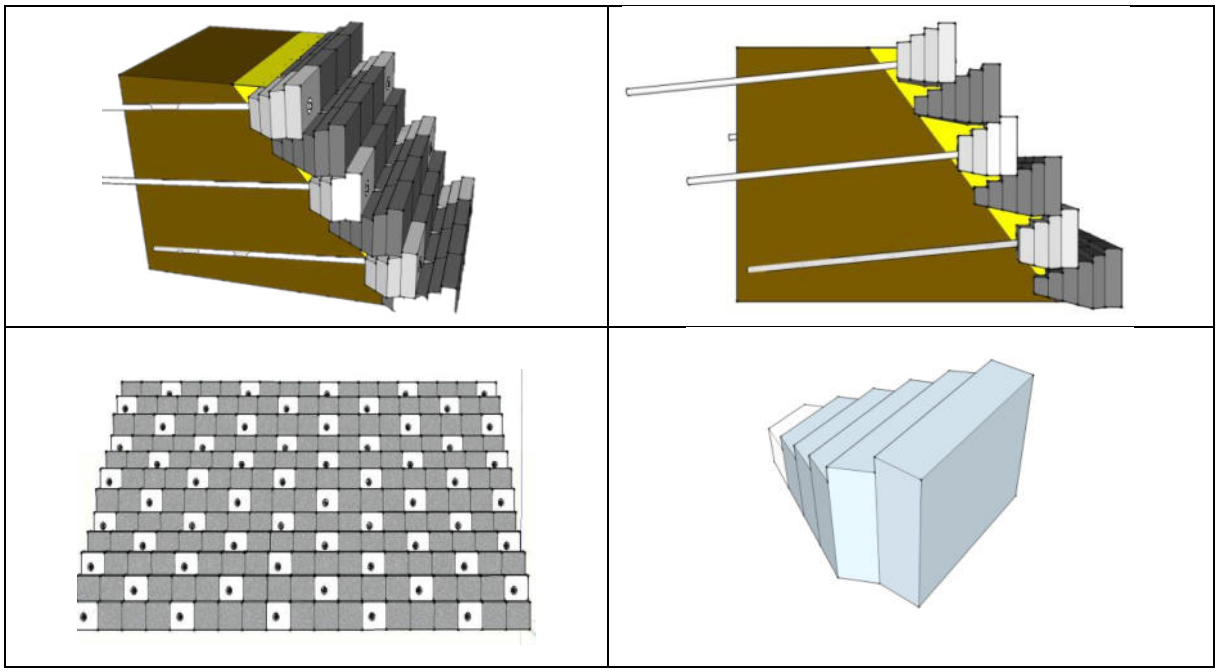
- ใช้หมุดยึดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความยาว 700 มิลลิเมตร จำนวน 4 หมุดต่อพื้นที่กำแพงกันดินอิฐบล็อกประสาน 1 ตารางเมตร ตัวหมุดยึดเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้เรื่อง soil nail มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กยาว เจาะนำด้วยสว่าน แล้วแทงยึดผ่านก้อนอิฐบล็อกประสานเข้าไปในลาดดินด้านหลัง ระยะฝังยาว 0.70 เมตร ลักษณะหมุดยึดก้อนอิฐบล็อกประสานทำให้อิฐบล็อกประสานมีเสถียรภาพ และมีความแข็งแรงมากขึ้น

- การก่อสร้างเริ่มจากการปรับหน้าดินให้มีความเหมาะสม นำอิฐบล็อกไปติดตั้งตามลาดชันที่ทำการปรับแล้ว โดยวางสลับฟันปลาและมีการเสริมหมุดยึด (soil nail) ให้ได้ตามแนวที่กำหนดไว้ ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 20

- สามารถใช้วัสดุดินในพื้นที่ผลิตบล็อกขึ้นได้เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

(5) ข้อควรคำนึงถึง

- อัตราส่วนผสม (mix design) ในแต่ละพื้นที่อาจไม่เหมือนกัน เนื่องจากวัสดุดินแต่ละพื้นที่มีคุณสมบัติความแตกต่างกันจึงต้องมีการทดสอบกำลังรับแรงในห้องปฏิบัติการ ก่อนดำเนินการก่อสร้างจริง



รูปที่ 19 ตัวอย่างลักษณะรูปแบบอิฐบล็อกประสาน

(ข้อ 4.1.5.4)

ที่มา : สุทธิศักดิ์ และคณะ (2558,2559)



รูปที่ 20 ตัวอย่างการก่อสร้างอิฐบล็อกประสาน

(ข้อ 4.1.5.4)

ที่มา : สุทธิศักดิ์ และคณะ (2560)

4.1.5.5 ผ้าห่มดิน (Erosion Control Blanket, ECB) และหมอนกันดิน (Erosion Control Log, ECL)

(1) หลักการ

ผ้าห่มดินและหมอนกันดินใช้สำหรับการป้องกันการกัดเซาะของหน้าดิน (รูปที่ 21) ในขณะที่หญ้าหรือพืชยังไม่เจริญเติบโต การปลูกพืชคลุมดินด้วยผ้าห่มดิน มีประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายต่ำ เพื่อเก็บกักตะกอนพร้อมควบคุมความแรงจากการไหลของน้ำด้วยหมอนกันดิน

(2) รูปแบบการป้องกัน

ผ้าห่มดินใช้สำหรับป้องกันการกัดเซาะของหน้าดินอันเนื่องจากน้ำผิวดิน (surface water) ก่อนที่พืชจะเจริญเติบโตในพื้นที่ลาดชัน แต่ไม่สามารถป้องกันปัญหาดินยุบตัวหรือการเลื่อนไถลของลาดดินเนื่องจากการวิบัติหรือพังทลายของมวลดินได้

(3) วิธีการวิเคราะห์ออกแบบ

การวิเคราะห์ออกแบบขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาเป็นน้ำผิวดิน ซึ่งโดยปกติหมอนกันดินด้านบนบริเวณลาดชัน ควรวางให้ถี่กว่าบริเวณด้านล่าง เพื่อชะลอความเร็วของน้ำที่ไหลลงมา

(4) วัสดุและวิธีการก่อสร้าง

(ก) วัสดุ

- ผ้าห่มดิน (Erosion Control Blanket, ECB) ทำจากเส้นใยธรรมชาติที่นำมาใช้ในการผลิตต้องสามารถย่อยสลายได้เอง (bio-degradable) โดยมีอายุการใช้งานหลังการติดตั้งไม่ต่ำกว่า 2 ปี เช่น ใยปาล์ม (EFB fiber) หรือใยมะพร้าว (coir) โดยใช้เครื่องจักรกลทำให้เป็นแผ่นผืนประกบทั้งสองด้านด้วยตาข่ายเสริมแรงทำจากวัสดุสังเคราะห์ประเภท polypropylene (PP) ที่รับแรงดึงทางแนวตั้งและแนวนอนได้ โดยใยธรรมชาติและตาข่ายจะถูกเย็บหรือตรึงให้เป็นผืนเดียวกันอย่างราบเรียบ ไม่ยืดหรือหดตัวตลอดความยาวทั้งผืนเมื่อคลี่ออกจากม้วน

- หมอนกันดิน (Erosion Control Log, ECL) ทำจากเส้นใยธรรมชาติเช่นเดียวกันกับผ้าห่มดิน โดยใช้เครื่องจักรกลอัดเส้นใยลงในปลอกตาข่ายพีพีที่มีความเหนียวแต่โค้งงอได้ โดยตาข่ายดังกล่าวจะต้องมีช่องเปิดเป็นตารางช่องเท่าๆ กันและไม่มีรอยต่อของปลอกใยธรรมชาติที่อัดแน่นจะต้องมีน้ำหนักสม่ำเสมอกันตลอดความยาวทั้งท่อน

- หมุดสำหรับยึดผ้าห่มดินและหมอนกันดิน มีความยาวและระยะการยึดต้องเพียงพอที่จะฝังในดินโดยไม่โยกคลอน ซึ่งหมุดไม้ที่นำมาใช้ เช่น ไม้ไผ่

(ข) วิธีการก่อสร้าง

- เตรียมหน้าดินให้มีความหนาและระดับความเอียงตามที่กำหนดไว้ จากนั้นโรยเมล็ดพืชพันธุ์ที่หาง่ายและเจริญเติบโตได้ง่าย โดยหยอดเมล็ดเป็นแถว โดยมีระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 30-50 เซนติเมตร อัตราอย่างน้อย 1 กิโลกรัม/ 400 ตารางเมตร ก่อนทำการปลูกพืชให้ใช้ปุ๋ยรองพื้นปลูกหรือจะปลูกวิธีการอย่างอื่น แต่ขอให้พืชขึ้น พรวนดินให้เมล็ดหญ้าฝังลึกลงประมาณ 3-5 เซนติเมตร แล้วจึงปูผ้าห่มดิน ปรับให้แนบกับผิวดินยึดด้วยหมุดไม้ ระยะห่างของหมุดเป็นไปตามที่กำหนด รอยต่อของผ้าห่มดิน ทับซ้อนไม่ต่ำกว่า 10 เซนติเมตร ตามทิศทางลม ทั้งแนวตั้งและแนวนอน

(5) ข้อควรคำนึงถึง

(ก) ช่องตาข่ายของผ้าห่มดินควรมีช่องเปิดที่เพียงพอในการป้องกันการกัดเซาะและเส้นใยเหมาะสมกับพืชเจริญเติบโตขึ้นได้ง่าย

(ข) หมุดไม้สำหรับยึดผ้าห่มดินและหมอนกันเป็นไม้ที่นำมายึดต้องไม่มีการเจริญเติบโต หรือใช้วัสดุอื่นๆแทนได้

(ค) สามารถใช้วัสดุอื่นนอกจากผ้าห่มดินได้ เช่น Erosion Control Mat (ECM) ถุงกระสอบป่าน แต่ต้องสามารถป้องกันการกัดเซาะของผิวหน้าดินในระหว่างที่หญ้ายังไม่เจริญเติบโต

(ง) การรดน้ำโดยใช้เครื่องสูบน้ำกำลังสูง ต้องพึงระวังอย่าให้แรงกระแทกของน้ำทำความเสียหายให้แก่ผ้าห่มดิน ควรฉีดน้ำขึ้นสู่อากาศให้ตกลงมาในลักษณะใกล้เคียงกับฝนตามธรรมชาติ

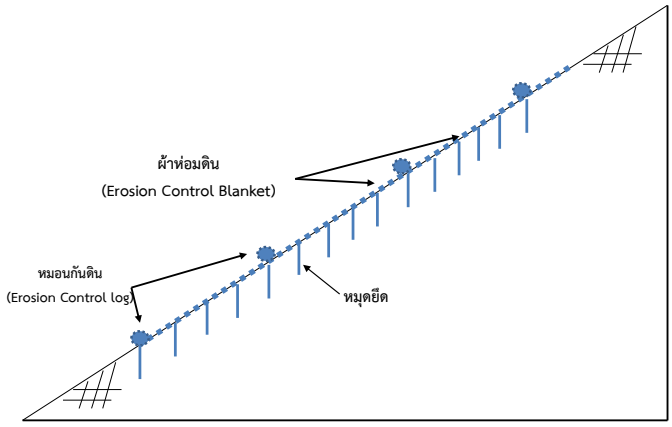
(จ) กรณีฤดูแล้งที่ไม่เหมาะสมในการงอกของเมล็ดหญ้า ควรรดน้ำอย่างน้อยวันละครั้งจนหญ้าแทงยอดขึ้นพ้นผ้าห่มดิน จากนั้นจึงปรับความถี่เป็น 1 ครั้งต่อ 2 วัน จนหญ้าขึ้นทั่วกันดี

(ฉ) ทุกจุดที่เป็นการต่อหมอนควรวางให้ปลายชิดติดกันแน่นที่สุด เพื่อมิให้เกิดร่องน้ำระหว่างรอยต่อได้

4.1.5.6 คานตาข่าย (grid beam)

(1) หลักการ

การป้องกันลาดชันด้วยวิธีคานตาข่าย (gird beam) มีหลักการทำงานคล้ายผ้าห่มดินคือป้องกันการกัดเซาะ แต่ต้องการรักษาต้นไม้ในพื้นที่ลาดเชิงเขาไว้ โดยไม่ทำลายต้นไม้หรือทำลายให้น้อยที่สุด หรือหากบริเวณนั้นไม่มีต้นไม้ สามารถทำการปลูกต้นไม้เพื่อป้องกันการกัดเซาะพื้นที่ลาดเชิงเขาได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมสภาพภูมิประเทศของพื้นที่บริเวณนั้น ดังรูปที่ 22





รูปที่ 21 ตัวอย่างผ้าห่มดินและหมอนกันดิน ในพื้นที่ลาดเชิงเขา

(ข้อ 4.1.5.5)

ที่มา : ภาพถ่ายโดย สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

(2) รูปแบบการป้องกัน

การทำคานตาข่าย (grid beam) เพื่อป้องกันการกัดเซาะ ทำเป็นช่องตาข่ายยึดไว้ในพื้นที่ลาดเอียง ทำจากคอนกรีต ลวดตาข่าย หรือไม้ เป็นต้น สามารถทำการป้องกันลาดชันร่วมกับวิธีการอื่น ๆ เช่น การทำ soil nail , การทำ shotcrete เป็นต้น ดังรูปที่ 23

(3) วิธีการวิเคราะห์ออกแบบ

การออกแบบขนาดคานตาข่าย (gird beam) ขึ้นอยู่กับร่องการกัดเซาะหน้าดินและระยะทางของลาดชันที่น้ำจะไหลผ่าน ซึ่งความลึกที่ทำการฝังคานตาข่ายลงไปในแนวตามความลึกต้องลึกกว่าร่องที่เกิดการกัดเซาะและระยะห่างของคานตาข่ายต้องขึ้นอยู่กับความยาวของลาดชันที่รับน้ำผิวดินลงมา สำหรับกรณีมีการทำ soil nail ร่วมกับคานตาข่าย สามารถเพิ่มระยะห่างของคานตาข่ายได้ หากไม่ต้องการรักษาต้นไม้ไว้สามารถทำ shortcrete ร่วมได้

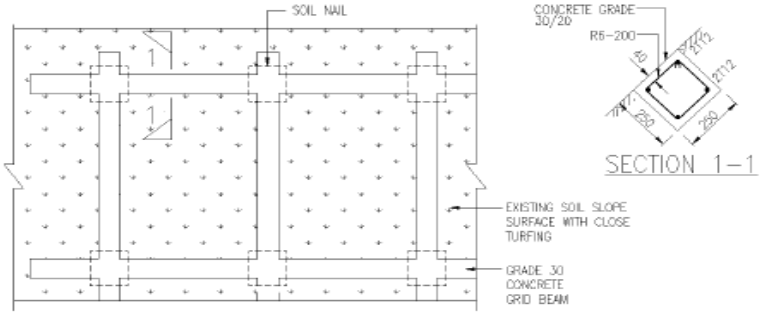
(4) วัสดุและวิธีการก่อสร้าง

วัสดุทำจากตาข่ายลวดเหล็ก (steel wire mesh) หรือวัสดุอื่น ๆ ที่สามารถทำเป็นตาข่าย (grid) ได้

การก่อสร้างต้องมีการสำรวจสภาพภูมิประเทศว่ามีความเหมาะสมที่จะดำเนินการมากน้อยเพียงใด โดยการวางแนวทำกริด ไม่ควรให้มีการทำลายต้นไม้ในแนวที่คัดเลือก

(5) ข้อควรคำนึงถึง

การทำคานตาข่าย (grid beam) ต้องระวังผิวหน้าของดินจากฝนตกหนัก ในขณะที่ยังไม่มีต้นไม้ขึ้น อาจจำเป็นต้องมีวัสดุคลุมผิวหน้าดินก่อนที่ต้นไม้จะขึ้น เช่น ผ้าห่มดิน ถุงกระสอบป่าน เป็นต้น



รูปที่ 22 ตัวอย่างแบบ grid beam system

(ข้อ 4.1.5.6)

ที่มา : Gue and Wong (2009)



รูปที่ 23 การทำ grid beam ร่วมกับ soil nail

(ข้อ 4.1.5.6)

ที่มา : Xiaohua, et al. (2017)

4.1.5.7 การใช้คอนกรีตพ่น (shotcrete)

การฉีดพ่นคอนกรีตเป็นการป้องกันการกัดเซาะหน้าดิน โดยรักษาผิวหน้าไม่ให้เกิดการเคลื่อนพังทลายของหน้าดิน ทั้งนี้อาจช่วยเพิ่มความแข็งแรงของลาดชันได้หากมีการใช้ตะแกรงเหล็กเสริมด้วย wire mesh นอกจากนี้การฉีดพ่นคอนกรีตบนเชิงลาดหินที่มีแนวโน้มหรือลักษณะของความไม่เสถียรภาพ ของก้อนหินที่มีโอกาสร่วงหล่นลงมาได้ เป็นเทคนิควิธีการแก้ไขแบบถาวรอีกวิธีหนึ่ง ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 ตัวอย่างการฉีดพ่นคอนกรีต (shotcrete)

(ข้อ 4.1.5.7)

ที่มา : ภาพถ่ายโดย รัฐธรรม อิสโรหาร (2558)

คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทำเป็นส่วนผสม มีรายละเอียดดังนี้

(1) ปูนซีเมนต์ ให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในกรณีที่ไม่ใช่สถานที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ ปูนซีเมนต์ที่ผลิตจะต้องมีคุณภาพสม่ำเสมอและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

(2) ทราย ต้องเป็นทรายสะอาด ไม่มีฝุ่นดินปน จะเป็นทรายบกหรือทรายแม่น้ำก็ได้

(3) หินจะนำมาใช้ในกรณีที่ทรายมีขนาดคละละเอียดมากจนเกินไป หรือมีฝุ่นมากเกินไป ซึ่งจะทำให้การพ่นส่วนผสมไม่ออก จึงต้องนำหินเกล็ดมาช่วยผสม ข้อด้อย ควรสร้างการสะท้อนกลับของหินขณะพ่นคอนกรีต ซึ่งตบแต่งให้เรียบได้ยาก และไม่สามารถทำการฉาบผิวที่บาง ๆ ได้

(4) น้ำ ต้องเป็นน้ำสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ไม่เป็นกรดหรือด่าง ปราศจากน้ำมัน และสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตโดยปกติจะกำหนดเป็นอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก

(5) ตาข่ายที่ใช้เสริมความแข็งแรงสามารถใช้ตาข่ายที่เป็นเหล็กตะแกรงสี่เหลี่ยมหรือหกเหลี่ยมหรือแผ่นใยสังเคราะห์ (geotextile)

วิธีการพ่นคอนกรีต (shotcreting process) สามารถแยกได้ 2 ประเภท คือ

(1) กระบวนการผสมแห้ง (dry mix process)

(2) กระบวนการผสมเปียก (wet mix process)

การเลือกใช้กระบวนการผสมแห้ง หรือกระบวนการผสมเปียกขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น รายละเอียดของการทำงาน ความเหมาะสมของวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้งาน การบำรุงรักษาเครื่องจักร เครื่องมือต่าง ๆ และค่าใช้จ่ายในการลงทุน เป็นต้น

ข้อจำกัดของการใช้คอนกรีตพ่น

(1) ความคงทนถาวร ซึ่งคอนกรีตพ่นจะเสื่อมสภาพตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไป รวมทั้งการกัดกร่อนตามสภาพภูมิอากาศ

(2) พื้นที่ที่มีน้ำไหลผ่านผิวดินไม่เหมาะกับการทำคอนกรีตพ่น ในบางกรณีที่น้ำสามารถซึมลงใต้ดินจะทำให้แรงดันน้ำภายในดินเพิ่มขึ้น มีผลให้คอนกรีตพ่นที่คลุมพื้นผิวอยู่เกิดการแตกหักเสียหายได้

(3) ความสวยงาม พื้นผิวคอนกรีตพ่นไม่มีความสวยงาม แต่สามารถตกแต่งพื้นผิวให้เกิดความสวยงามได้ เช่น ใช้เปลือกมะพร้าวติดเข้ากับตาข่าย เพื่อให้สามารถปลูกพืชคลุมบริเวณที่ทำคอนกรีตพ่น เป็นต้น

(4) ความหนาของคอนกรีตพ่นสามารถทำได้ตั้งแต่ 7.5 ถึง 15 เซนติเมตร ถ้าความหนาเกิน 7.5 เซนติเมตร จะต้องทำการฉีดพ่น 2 ครั้ง โดยหลังจากฉีดพ่นเสร็จเรียบร้อยแล้วต้องทำการบ่มพื้นผิวของคอนกรีตพ่นทันที

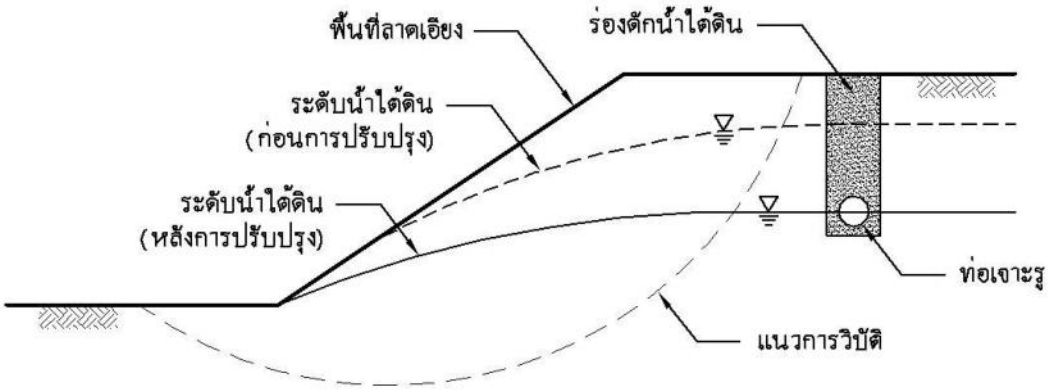
4.1.6 วิธีการระบายน้ำใต้ดิน (drainage)

เมื่อพื้นที่การก่อสร้าง การขุดดินหรือถมดิน ที่มีน้ำใต้ดินอยู่ในระดับสูงและมีผลให้กำลังของดินลดลง จึงต้องจัดให้มีการระบบระบายน้ำใต้ดินเพื่อเป็นการลดแรงดันน้ำที่กระทำต่อพื้นที่ลาดเอียง ทำให้พื้นที่ลาดเอียงมีเสถียรภาพมากขึ้น

รูปแบบการป้องกันโดยการระบายน้ำใต้ดิน

(1) การขุดร่องดักน้ำใต้ดินหรือร่องระบายน้ำใต้ดิน

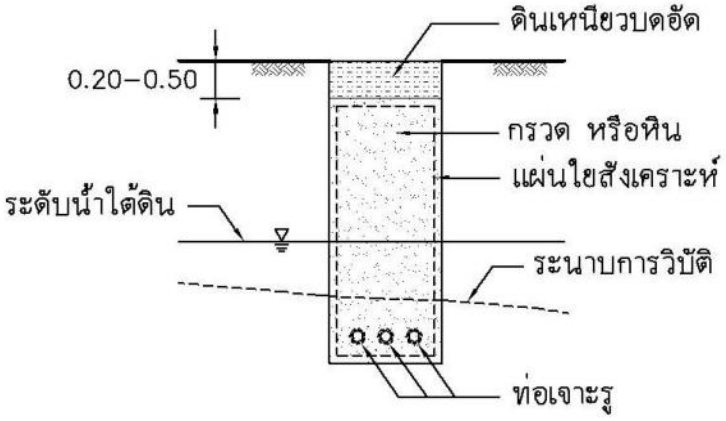
การขุดร่องดักน้ำใต้ดินทำโดยการวางร่องขวางทิศทางของน้ำใต้ดิน ก่อนที่น้ำจะไหลเข้าสู่บริเวณพื้นที่ลาดเอียง น้ำที่ซึมผ่านมาจะไหลไปตามแนวร่องดักน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ลาดเอียงลดระดับลง สามารถใช้ได้ทั้งป้องกันและซ่อมแซมการวิบัติ ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 ตัวอย่างการขุดร่องดักน้ำใต้ดิน

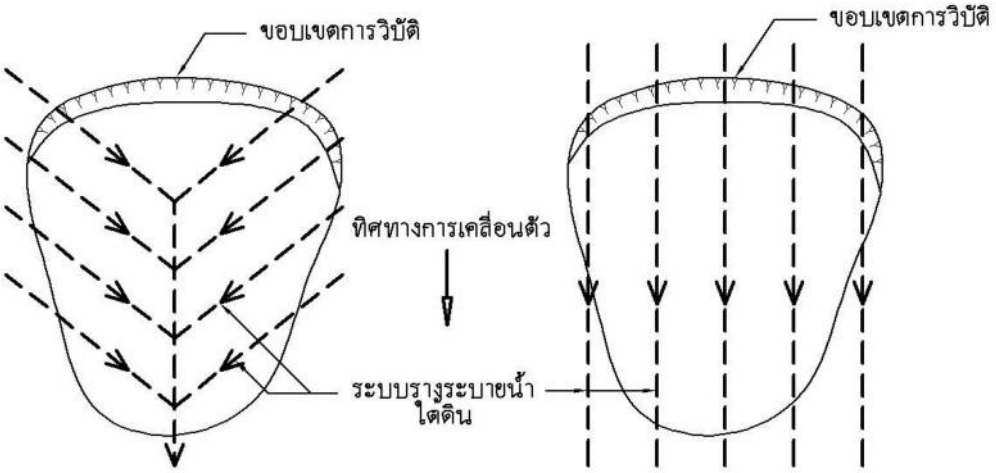
(ข้อ 4.1.6(1))

ร่องระบายน้ำใต้ดินจะทำหน้าที่ระบายน้ำให้ไหลผ่านพื้นที่ลาดเอียงโดยสะดวก จึงเป็นการลดระดับน้ำหรือแรงดันน้ำไปด้วย วิธีการนี้เหมาะสำหรับการแก้ไขการวิบัติที่มีความลึกไม่เกิน 4-6 เมตร มีความชันไม่มาก และเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง ทั้งนี้บางกรณีต้องทำการค้ำยันร่องขณะขุดด้วย ตัวอย่างดังรูปที่ 26 และ 27



รูปที่ 26 ตัวอย่างรูปตัดร่องระบายน้ำใต้ดิน

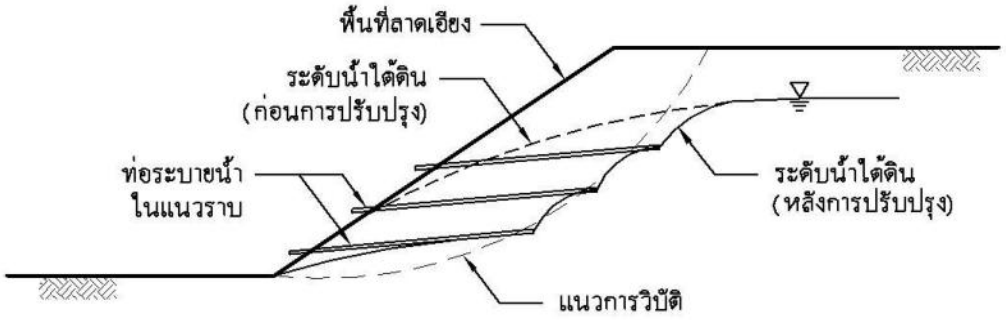
(ข้อ 4.1.6(1))



รูปที่ 27 ตัวอย่างแปลนการจัดวางร่องระบายน้ำใต้ดิน

(ข้อ 4.1.6 (1))

(2) การใช้ท่อระบายน้ำในแนวราบ (horizontal drain) เป็นวิธีการลดระดับน้ำสำหรับพื้นที่ลาดเอียงที่มีความชันค่อนข้างมาก โดยการเจาะหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50–150 มิลลิเมตร เข้าไปในพื้นที่ลาดเอียงบริเวณที่เกิดการเคลื่อนตัวในแนวทำมุม 2–15 องศา กับแนวระดับ เพื่อให้น้ำใต้ดินระบายออกได้โดยแรงโน้มถ่วง ทั้งนี้ความยาวของหลุมเจาะควรมีความยาวมากกว่าแนวการวิบัติที่ได้จากการวิเคราะห์หรือเกิดขึ้นจริง ซึ่งอาจมีความยาวได้ถึง 5–20 เมตร แล้วติดตั้งท่อระบายน้ำเจาะรูพรุนตลอดความยาวของหลุมเจาะ โดยท่อระบายอาจหุ้มด้วยแผ่นใยสังเคราะห์เพื่อป้องกันท่ออุดตันจากเศษดิน ดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 ตัวอย่างการใช้ท่อระบายน้ำในแนวราบ

(ข้อ 4.1.6(2))

(3) การใช้ชั้นระบายน้ำสำหรับดินถม กรณีการใช้น้ำหนักยันเพื่อเพิ่มเสถียรภาพและไม่ต้องการให้น้ำซึมผ่านวัสดุถมสามารถใช้ชั้นทรายระบายน้ำเพื่อรับน้ำที่ซึมผ่านมาจากพื้นที่ลาดเอียงเดิม ดังตัวอย่างรูปที่ 29 โดยหลักในการออกแบบชั้นกรองมี 2 ข้อ คือ

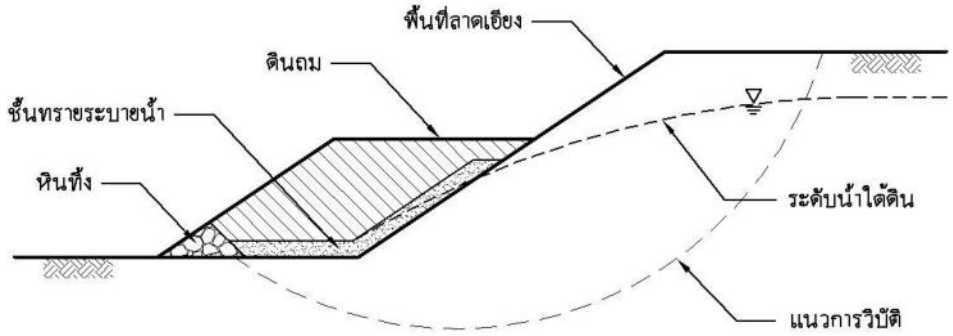
ก. piping requirement ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน) ต้องมีขนาดเล็กพอที่จะป้องกันไม่ให้เม็ดดินในพื้นที่ลาดเอียงถูกกัดเซาะและไหลตามน้ำที่ซึมผ่านออกมาได้

ข. drainage requirement ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน) จะต้องใหญ่พอที่จะยอมให้น้ำไหลซึมออกได้สะดวกโดยไม่เกิดความดันน้ำสะสมขึ้นในชั้นดินถมหรือชั้นระบายน้ำ

ข้อควรคำนึงถึง

(1) การวิเคราะห์ ต้องคำนวณค่าเสถียรภาพความลาดเอียงของพื้นที่ลาดเอียงก่อนการลดระดับน้ำใต้ดินและหลังจากลดระดับน้ำใต้ดิน

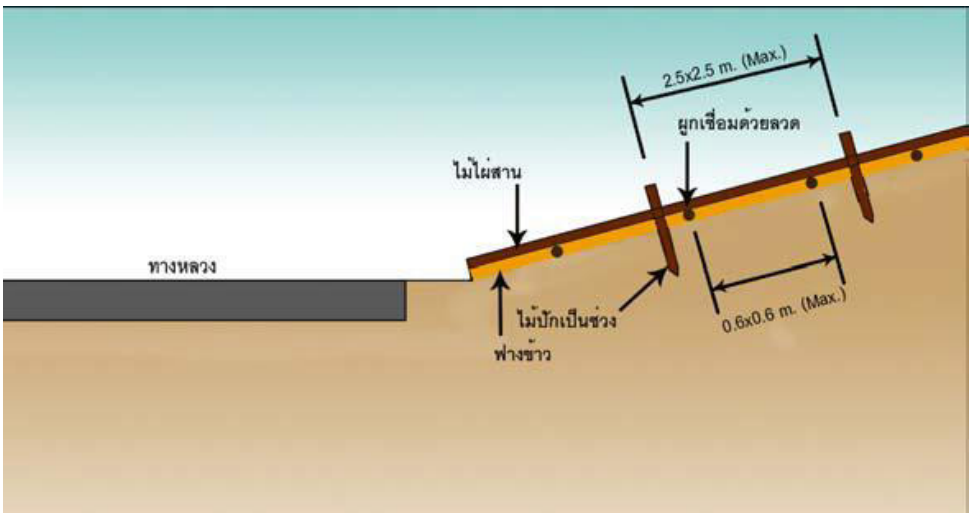
(2) การป้องกันการวิบัติโดยการระบายน้ำใต้ดินควรมีการคำนึงถึงการพัดพาดินมวลละเอียดออกมากับการระบายน้ำด้วย โดยอาจใช้แผ่นใยสังเคราะห์หรือการออกแบบขนาดวัสดุกรองที่เหมาะสม



รูปที่ 29 ตัวอย่างการใช้ชั้นระบายน้ำสำหรับดินถม

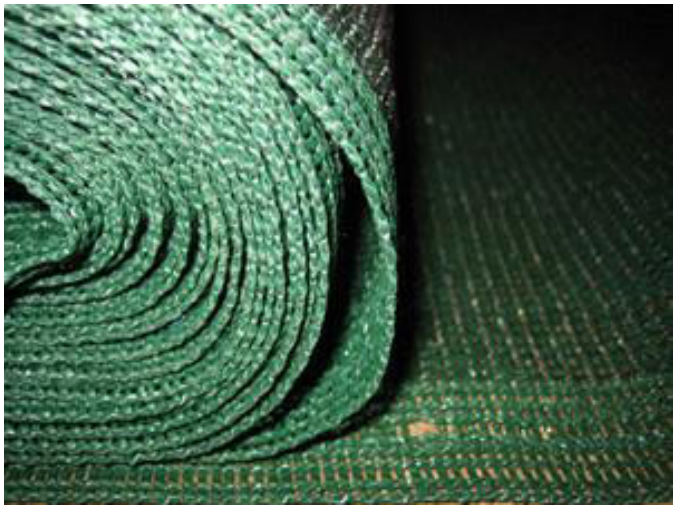
(ข้อ 4.1.6(3))

นอกจากนี้ยังสามารถนำวัสดุท้องถิ่นและวัสดุหาง่ายเพื่อนำมาใช้ป้องกันการน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดได้ด้วย สำหรับบริเวณพื้นที่ชนบท เช่น การใช้ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สาน การใช้ตาข่ายพลางแสง (ผ้าแสลน) ยึดด้วยหมุด และการเปลี่ยนทิศทางน้ำด้วยกระสอบทรายหรือถังน้ำ เป็นต้น ดังรูปที่ 30 ถึง 32 ตามลำดับ ซึ่งแนวทางแก้ไขที่เบื้องต้นสามารถช่วยชะลอความเร็วบริเวณผิวหน้าเชิงลาดได้



รูปที่ 30 รูปแบบการใช้ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สานป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาด

ที่มา : กรมทางหลวง (2551)



รูปที่ 31 ผ้าแสลนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดได้

ที่มา : กรมทางหลวง (2551)



รูปที่ 32 การใช้ถังขนาด 200 ลิตร ผ่าครึ่งเป็นรางระบายน้ำชั่วคราว

ที่มา : กรมทางหลวง (2551)

4.2 แนวทางการพิจารณาเลือกใช้วิธีการป้องกันการพังทลาย

แนวทางการพิจารณาเลือกใช้วิธีการป้องกันการพังทลายของลาดเอียง ต้องคำนึงถึง

4.2.1 สาเหตุที่จะก่อให้เกิดการพังทลาย

4.2.2 ความลึกในการขุดหรือความสูงในการถมดิน

4.2.3 ระยะห่างจากเขตที่ดิน และพื้นที่การก่อสร้าง

4.2.4 ประเภทของดิน

4.2.5 สภาพน้ำใต้ดิน

4.2.6 ประเมินลักษณะผลกระทบจากการพังทลาย

4.2.7 ประเมินราคาค่าก่อสร้างเพื่อป้องกันการพังทลาย

5. วิธีการป้องกันการพังทลายกรณีดินถล่ม (landslide)

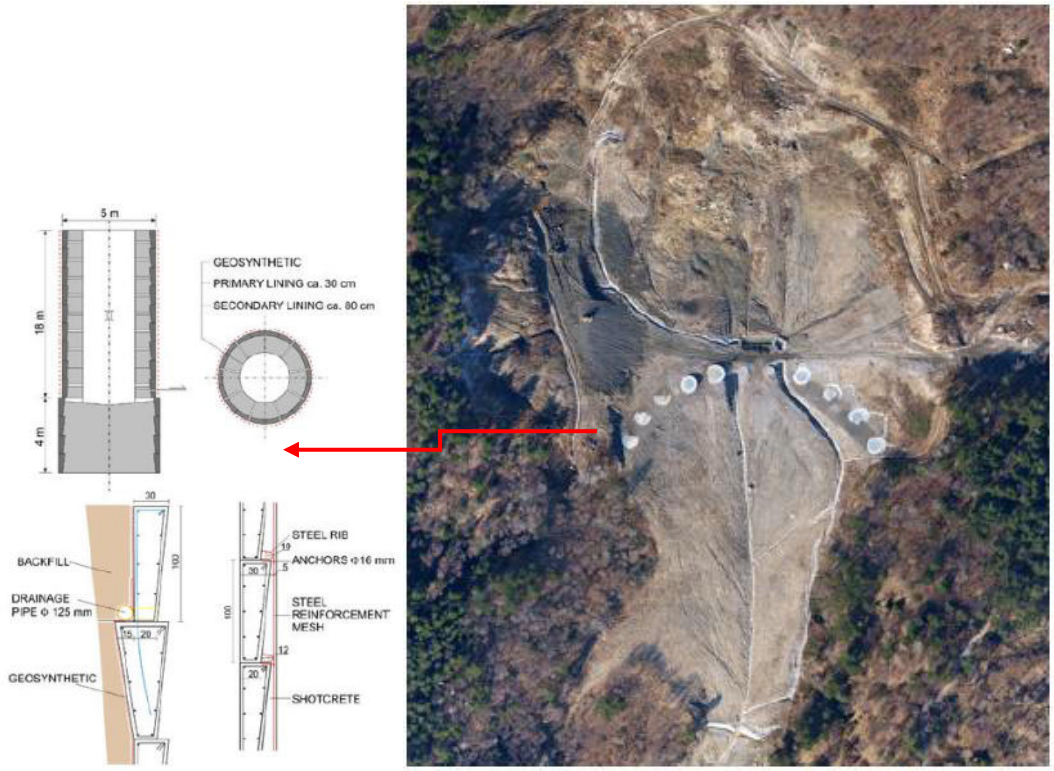
การป้องกันการพังทลายจากดินถล่ม (landslide) ต้องทำการจัดการทั้งน้ำ หิน ดิน และซากวัสดุต่างๆ ที่ผสมปนกันมา ด้วยมาตรการทางวิศวกรรม เช่น เทคนิคท่อลดแรงดันน้ำ (horizontal drain and shaft) การทำตาข่ายแรงดึงสูงป้องกันหินร่วง (high strength netting) หรือสร้างกำแพงกั้นรั้วป้องกันหินร่วง (rock fall protection fence) เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้ไม่สามารถป้องกันการพังทลายจากดินถล่มได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากการพิบัติดังกล่าวเป็นพื้นที่บริเวณกว้างการป้องกันจริงเป็นเพียงการบรรเทาความเสียหายให้น้อยลง นอกจากมาตรการดังกล่าวแล้วควรมีเครื่องมือการตรวจวัดและเฝ้าระวัง (monitoring and warning) เพื่อติดตามการเกิดดินถล่มในพื้นที่เสี่ยงภัย แจ้งให้ประชาชนในพื้นที่ได้รับทราบข้อมูลได้ทันเหตุการณ์และเตรียมตัวในการปฏิบัติตัวเมื่อเผชิญเหตุการณ์ต่อไป

5.1 ท่อลดแรงดันน้ำ (horizontal drain and shaft)

ปัญหาการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ภูเขานั้นโดยส่วนมากจะเกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำใต้ดิน เนื่องจากฝนตกหนัก ทำให้ดินอยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำจนเป็นสาเหตุให้กำลังรับแรงเฉือนของดินมีค่าลดลง ดังนั้นแนวทางการแก้ไขปัญหาประเภทนี้ คือ การควบคุมระดับน้ำใต้ดินในลาดดินให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระนาบการพิบัติ ซึ่งวิธีการแก้ไขนั้นมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับ สภาพของพื้นที่ ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา ระดับและตำแหน่งของน้ำใต้ดิน เป็นต้น รูปแบบการแก้ไขโดยใช้เทคนิคท่อลดแรงดันน้ำ (horizontal drain and shaft) เป็นวิธีที่ใช้กันค่อนข้างแพร่หลายในหลายประเทศ

การสร้างระบบระบายน้ำแบบ shaft drain ในพื้นที่ภูเขา แสดงในรูปที่ 33

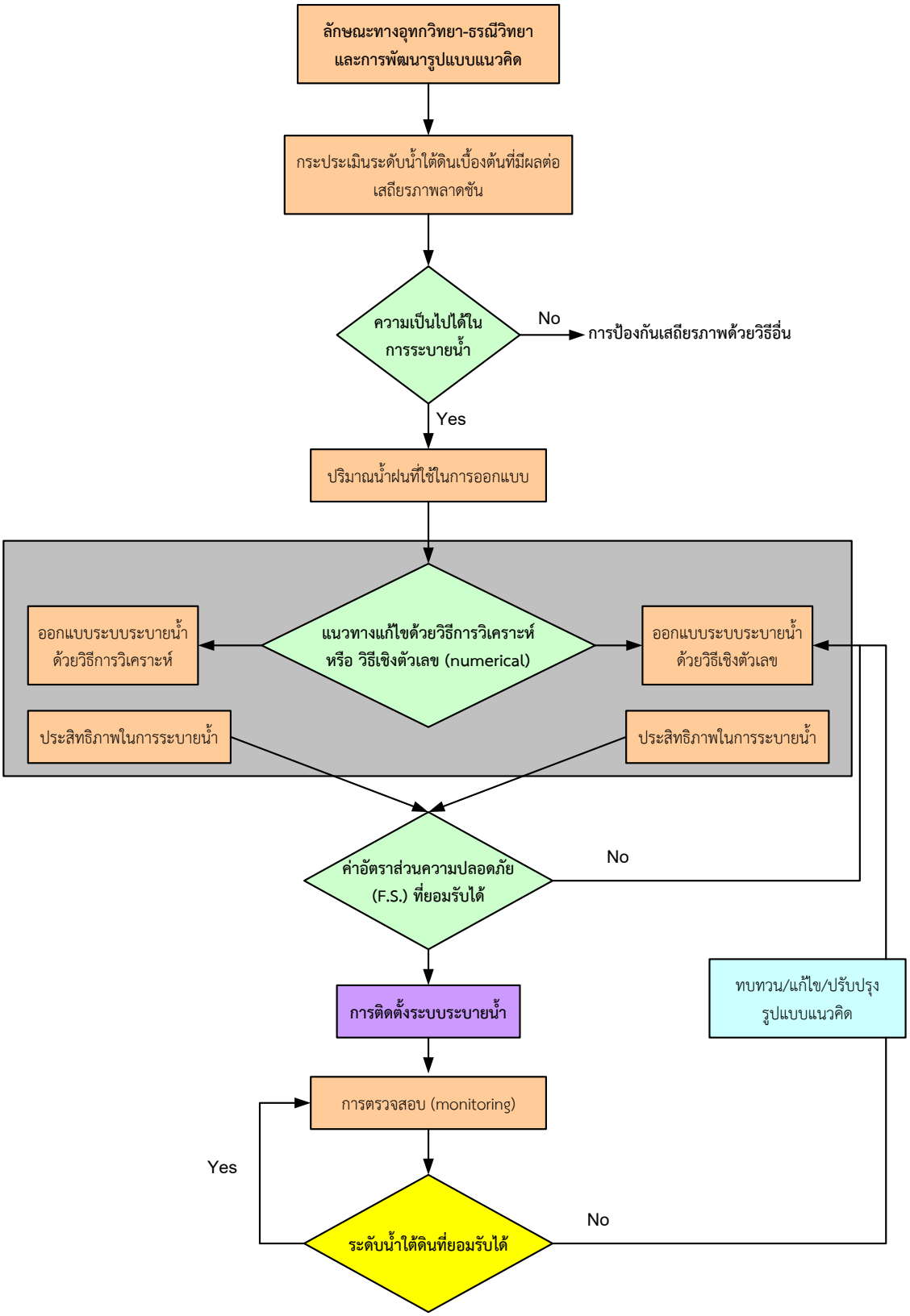
- มีลักษณะเป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ระดับความลึกในการติดตั้งนั้นจะอยู่ลึกกว่าระนาบการพิบัติ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์
- การออกแบบระบบระบายน้ำในลาดดิน แสดงขั้นตอนดัง รูปที่ 34
- ระบบ shaft drain ทำหน้าที่ได้ 2 รูปแบบคือ เป็นระบบระบายน้ำและโครงสร้างป้องกัน (drainage and retaining structure)



รูปที่ 33 การติดตั้งระบบ shaft drain สำหรับระบายน้ำใต้ดิน

(ข้อ 5.1)

ที่มา: Pulko et al. (2012)



รูปที่ 34 ผังแสดงแนวทางการออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อใช้ลดระดับน้ำใต้ดิน

(ข้อ 5.1)

ที่มา: design guidelines for horizontal drains used for slope stabilization (2013)

5.2 การป้องกันหินร่วง

ปรากฏการณ์การตกกระแทกจากการเคลื่อนตัวของมวลหิน ขึ้นอยู่กับลักษณะของความลาดชันและความสูงของเชิงลาดและขนาดของมวลหิน เป็นต้น มวลหินที่มีขนาดเล็ก (ไม่เกิน 0.5 ลูกบาศก์เมตร) จะตกได้เร็วกว่า มวลหินที่มีขนาดใหญ่ (เกิน 0.5 ลูกบาศก์เมตร) และโดยทั่วไปลักษณะของการตกอาจจะเป็นแบบกลิ้ง (rotation) มาตามผิวหน้าเชิงลาด หรือกระดอนและกระแทกกับผิวหน้าเชิงลาดเป็นจังหวะ หรือเลื่อนไถล (sliding) หรือร่วงหล่นลงมาโดยมิได้มีการสัมผัสกับผิวหน้าเชิงลาดซึ่งจะเกิดในกรณีที่เชิงลาดมีความลาดชันสูง

วิธีการป้องกันหินร่วงมีหลายวิธี ได้แก่แบบถาวรและชั่วคราว สำหรับมาตรฐานนี้จะนำเสนอ 2 วิธี คือ การป้องกันด้วยตาข่ายแรงดึงสูงป้องกันหินร่วง (high strength netting) และรั้วป้องกันหินร่วง (rock fall protection fence)

5.2.1 ตาข่ายแรงดึงสูงป้องกันหินร่วง (high strength netting)

การใช้ตาข่ายป้องกันหินร่วงนับว่าเป็นวิธีการที่ดีและเหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่งที่สามารถหยุดยั้งการตกของหินลงบนพื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก โดยนิยมใช้กันทั่วไปและในทุกลักษณะหรือประเภทของเชิงลาด ไม่ว่าจะเป็นเชิงลาดหิน (rock slope) หรือเชิงลาดดินปนหิน ดังรูปที่ 35

การก่อสร้าง ติดตั้ง ถูกต้อง ต้องมีการยึดแน่นทั้งสมอยึดบริเวณด้านบน (top anchorage) ตามลักษณะของดินหรือหินบริเวณเชิงลาดในการออกแบบเพื่อติดตั้งสำหรับบริเวณส่วนล่างของตาข่าย มีการออกแบบเพื่อให้มีช่องเปิดออกได้ประมาณ 0.30 – 0.60 เมตร พร้อมก่อสร้างรางรับก้อนหินที่ร่วงไถลลงมาโดยมีทรายหรือกรวดขนาดเล็กหรือวัสดุที่สามารถดูดซับพลังงานของการตก ทั้งนี้อาจมีการฉีดพ่นคอนกรีตร่วมด้วย



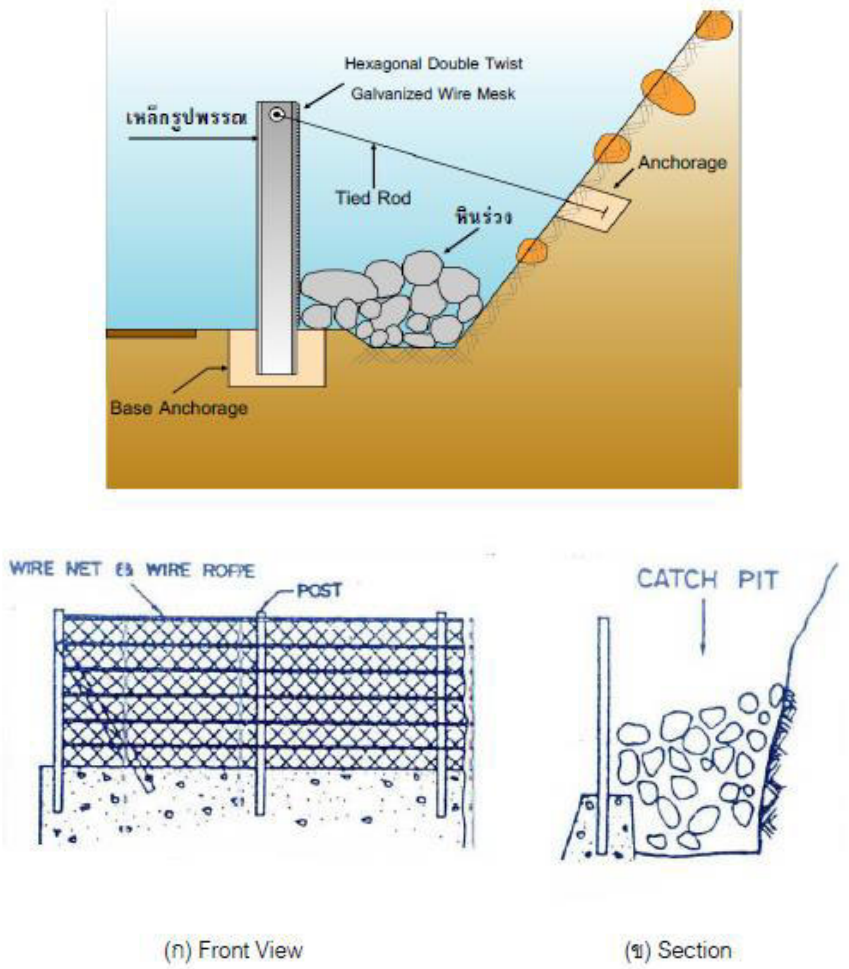
รูปที่ 35 ตัวอย่างการป้องกันหินร่วงด้วยวิธี high strength netting ร่วมกับ shotcrete

(ข้อ 5.2.1)

ที่มา : ภาพถ่ายโดย รัฐธรรม อิสโรหาร (2558)

5.2.2 รั้วป้องกันหินร่วง (rock fall protection fence)

รั้วดักหินร่วงหรือป้องกันหินร่วง โดยทั่วไปจะเป็นลักษณะ flexible catch fence เป็นมาตรการตั้งรับ (passive defense measures) โดยใช้ตาข่ายที่มีกำลังรับแรงดึงสูงร่วมกับเสาเหล็ก และลวดเหล็กรับแรงดึง (tension wire or wire rope) เพื่อยึดรั้ง ทั้งระบบสามารถรับแรงกระแทกของมวลหิน และดักมวลหินร่วงไว้ได้ ฐานของเสาเหล็กจะฝังอยู่ในดินหรือฐานคอนกรีต หรือ concrete barrier ซึ่งอาจจะมีร่องดักเก็บก้อนหินร่วง (catch pit) หรือไม่มีก็ได้ ดังรูปที่ 36



รูปที่ 36 ตัวอย่างการป้องกันหินร่วงด้วยกำแพงกั้นรั้ว

(ข้อ 5.2.2)

ที่มา: กรมทางหลวง (2551)

6. วิธีการป้องกันการพังทลายกรณีโคลนถล่ม (Debris Flow)

การลงทุนในการก่อสร้างเพื่อป้องกันโคลนถล่มต้องใช้งบประมาณมาก วิธีหนึ่งทางด้านวิศวกรรมที่อาจนำมาใช้ได้เป็นการบรรเทาความรุนแรง คือ โครงสร้างที่ใช้สำหรับดักตะกอนเพื่อลดความเร็วในการไหลลง เช่น เขื่อนดักตะกอน (check dam) สะพานลอยโคลนถล่ม (weir duct) debris baffles และ flexible debris flow barriers เป็นต้น สิ่งที่จำเป็นต้องมีในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม คือ เครื่องมือการตรวจวัดและเฝ้าระวัง (monitoring และ warning) เช่น เดียวกับกรณีเกิดเหตุการณ์ดินถล่ม (landslide)

6.1 เขื่อนดักตะกอน (check dam)

เขื่อนดักตะกอน (check dam) เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ใช้สำหรับดักตะกอนทรายที่อยู่ในทางของแม่น้ำ ลดการเดินทางของตะกอนที่อยู่ในทางน้ำ ป้องกันการกัดเซาะ และยับยั้งการไหลของโคลนถล่ม (debris flow) รูปที่ 37 แสดงแนวคิดและวิธีใช้งานเขื่อนดักตะกอน

(1) ในช่วงที่ยังไม่มีการก่อสร้าง เขื่อนดักตะกอน (check dam) เมื่อเริ่มมีการไหลของตะกอนลงมาตามร่องน้ำ

(2) ตะกอนที่ลงมาจะเริ่มมีการกัดเซาะที่ตีนของลาดดินที่อยู่ด้านข้างของร่องน้ำทำให้เกิดดินถล่มลงมา ทำให้นอกจากมีตะกอนที่มาจากการไหลของดินโคลนถล่ม (debris flow) แล้วยังมีตะกอนที่เกิดจากดินถล่มเพิ่มขึ้นอีก

(3) หลังจากมีการสร้างเขื่อนดักตะกอน (check dam)

(4) ลดความเร็วของน้ำทำให้ไม่เกิดการกัดเซาะ

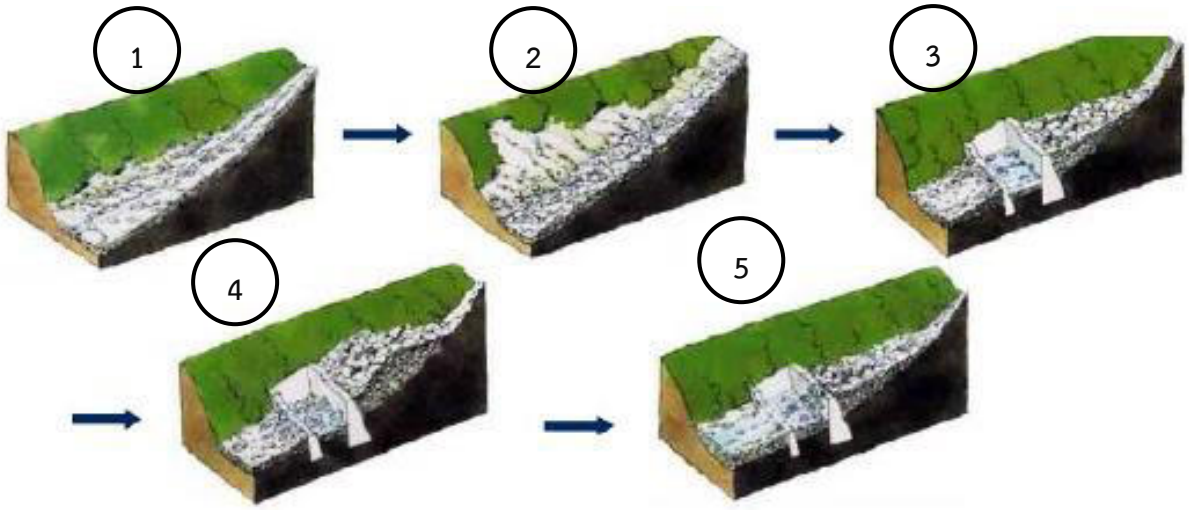
(5) กักตะกอนบางส่วนที่มาจากดินโคลนด้วย

หน้าที่หลักของเขื่อนดักตะกอน (check dam) ประกอบไปด้วย

- เพื่อป้องกันการกัดเซาะในแนวดิ่งหรือลาดชันของท้องน้ำ (mitigate vertical bed slope)

- เพื่อป้องกันการกัดเซาะตลิ่งด้านข้างของร่องน้ำ (renovate the channel) เนื่องจากลักษณะของร่องน้ำตามธรรมชาติจะไม่ได้ไหลเป็นเส้นตรง ซึ่งโดยปกติตลิ่งของร่องน้ำจะถูกกัดเซาะด้วยสาเหตุนี้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างเขื่อนดักตะกอน (check dam) เพื่อควบคุมทิศทางการไหลเพื่อป้องกันการกัดเซาะที่จะเกิดขึ้น (scouring)

- เพื่อป้องกันการพังทลาย (fix the toe of levee) เนื่องจากการสร้าง เขื่อนดักตะกอน (check dam) เป็นการยกท้องน้ำด้านเหนือน้ำขึ้นและเป็นการยึดติดกับพื้นที่ส่วนล่าง (toe) ของภูเขาเพื่อป้องกันการพังทลายของตลิ่งได้ด้วย



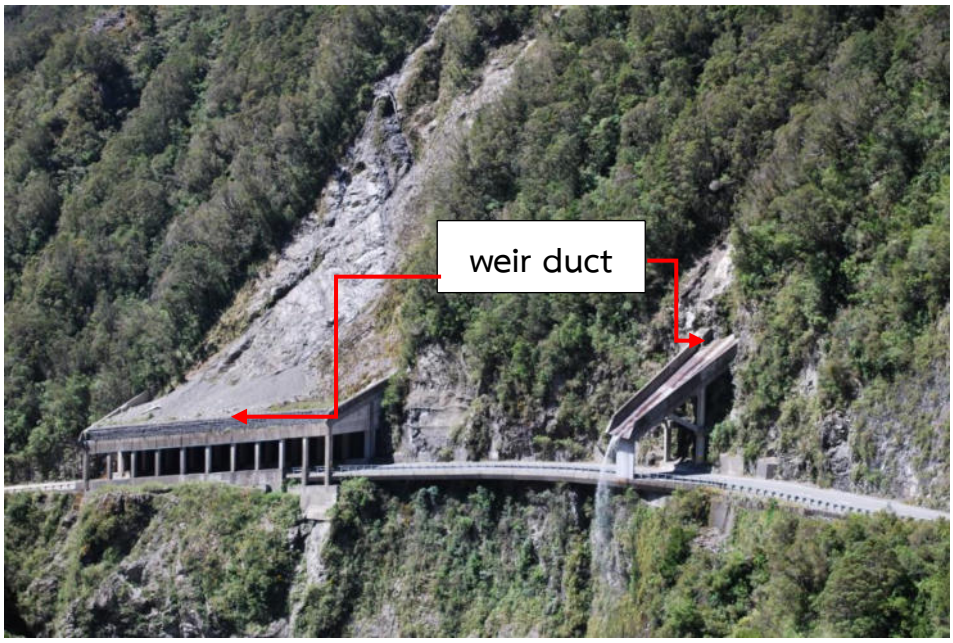
รูปที่ 37 แนวคิดและวิธีการทำงานของโครงสร้างเขื่อนดักตะกอน (check dam)

(ข้อ 6.1)

ที่มา: เอกสารอบรม Summer Training Course for Slope Land Disaster Reduction (2013)

6.2 weir duct

weir duct เป็นลักษณะการทำท่อขนาดใหญ่ ฝาย หรือสะพานลอย เพื่อรองรับน้ำและตะกอนที่ไหลมาจากดินโคลนถล่ม ทั้งนี้ต้องมีระบบระบายน้ำที่ดีพอเพื่อไม่ให้บริเวณพื้นที่รับน้ำถัดจาก weir duct เกิดการพิบัติขึ้น รูปที่ 38 แสดงตัวอย่าง weir duct



รูปที่ 38 ตัวอย่าง Weir Duct

(ข้อ 6.2)

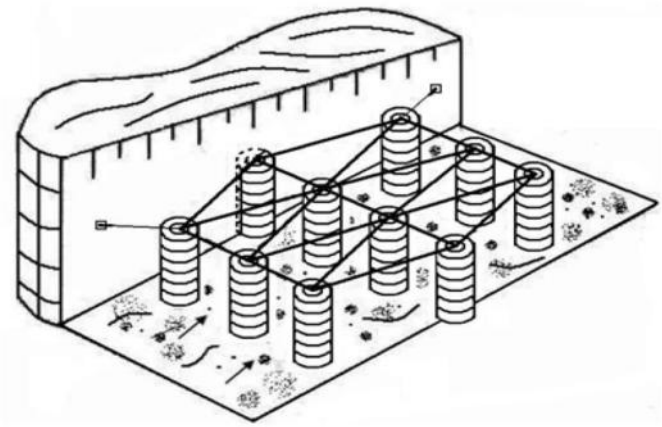
ที่มา: https://blogs.agu.org/landslideblog/2011/07/31/landslide-protection-new-zealand-style

6.3 debris baffles

debris baffles (รูปที่ 39) ลักษณะการทำงานคล้าย check dam โดยมีสิ่งดักชะลอน้ำและตะกอนที่มาพร้อมกับดินโคลนถล่ม

วัตถุประสงค์ในการทำรูปแบบนี้เพื่อประหยัดทรัพยากรและใช้พลังงานที่อยู่โดยรอบในการป้องกันดินโคลน ซึ่งลักษณะคล้ายตารางหมากรุก ประกอบด้วยท่อโลหะเป็นทรงกระบอกด้านในมีมวลน้ำ มีเหล็กเส้นยึดเป็นโครงข่าย โดยตัวกระบอกยึดเข้ากับฐานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ลักษณะการจัดเรียงแถว ขนาดความกว้าง ความสูง ระยะห่างของ และจำนวนแถว debris baffles ที่มีผลต่อการป้องกัน และตัวอย่างการนำ baffles ไปใช้ป้องกันดินโคลนถล่ม ดังรูปที่ 40



รูปที่ 39 รูปแบบ debris baffles

(ข้อ 6.3)

ที่มา : Goga et el. (2016)



รูปที่ 40 ตัวอย่าง debris baffles ในฮ่องกง

(ข้อ 6.3)

ที่มา : เอกสารประกอบการบรรยายของ Charles W.W.Ng.

6.4 flexible debris flow barriers

flexible debris flow barriers หลักการคล้ายกับเขื่อนดักตะกอน ซึ่งใช้ป้องกันเหตุการณ์มวลหินและโคลนไหล โดยต้องศึกษาลักษณะที่เกิดดินโคลน เช่น ความสูงในการไหล ความเร็วด้านหน้า เพื่อหาความกระจายการไหล เพื่อนำมาคำนวณออกแบบ flexible debris flow barriers

ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ติดตั้งง่ายและรวดเร็ว ซึ่งอุปกรณ์ที่จำเป็น รวมถึงวัสดุต่าง ๆ สามารถบรรทุกได้โดยรถบรรทุก ไม่ต้องใช้เครื่องจักรหนัก เมื่อการก่อสร้างเสร็จทำให้ดูโปร่ง และช่วยให้ภูมิทัศน์ดีขึ้น

วิธีการป้องกันจะมีช่วงที่กั้นคันดินหนึ่งไปอีกฝั่งหนึ่ง ระหว่างก้นแม่น้ำและใช้มุมตาข่ายที่ต่ำ ส่วนพื้นที่ว่างด้านบน น้ำสามารถไหลออกได้ตามปกติ และระดับน้ำไม่ทำให้เกิดความเสียหาย นอกจากนี้ยังช่วยหลีกเลี่ยงจากสัตว์น้ำได้ ดังรูปที่ 41 ตาข่ายป้องกันจะแบ่งเป็นช่วง ๆ โดยใช้สาย cable ในการยึดรั้ง และฝังบริเวณคันดินทั้ง 2 ฝั่ง สาย cable จะเป็นสมอยึดกับคันดิน ถ้าความกว้างของตาข่ายมีระยะมากสามารถติดตั้ง cable ไว้ตรงกลางได้ (โดยทั่วไปตาข่ายมีความกว้างมากกว่า 15-20 เมตร) เมื่อมีวัสดุโคลนถล่มมากระทำ cable จะทำงาน ในกรณีที่เกิดการไหลข้ามที่กั้น ด้านบนสาย cable จึงต้องมีระบบการป้องกันด้วย

ส่วนประกอบของ flexible debris flow barriers

(1) ตาข่าย (net) ขนาดตาข่ายต้องมีความเหมาะสมกับสภาพแม่น้ำและวัสดุสามารถระบายน้ำได้เป็นอย่างดี

(2) วัสดุยึดรั้งสาย cable (supporting cables) ขึ้นอยู่กับการคาดการณ์น้ำหนักของวัสดุที่พัดพามา cable สามารถมีได้หลายเส้น ซึ่งการยึดสาย cable หลาย ๆ เส้นจะช่วยกระจายรับแรง ตำแหน่งของสาย cable ปรับให้เหมาะสมกับที่กั้น (barriers)

(3) wing cables and edge cables

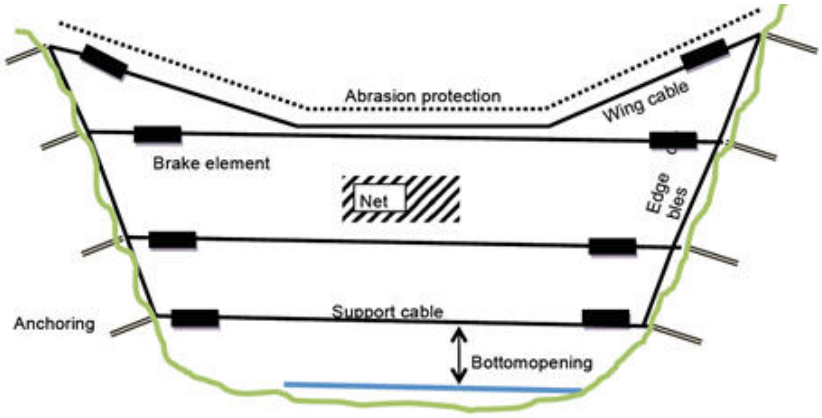
(4) อุปกรณ์หยุดการเคลื่อนที่ (brake elements)

(5) สมอยึด (anchoring)

(6) ตัวยึดรั้ง (supports) ในกรณีที่ช่วงความกว้างมากกว่า 15-20 เมตร สำหรับก้นคลองที่ใหญ่ควรเพิ่มการยึดรั้งเข้าไปเพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

(7) การชะลอแรงต้าน (abrasion protection)

การคำนวณออกแบบต้องพิจารณาปริมาตรมวลวัสดุที่พัดพามายังที่ดักดินโคลน ซึ่งต้องใช้ประสบการณ์ในสนามร่วมกับผลการวิเคราะห์ รูปที่ 42 แสดงตัวอย่าง flexible debris flow barriers



รูปที่ 41 ตัวอย่างรูปแบบทั่วไปของ flexible debris flow barriers

(ข้อ 6.4)

ที่มา : Axel (2013)



รูปที่ 42 ตัวอย่าง flexible debris flow barriers

(ข้อ 6.4)

ที่มา : Axel (2013)

7. ตัวอย่างการออกแบบ rock bolt

รายละเอียดวิธีการออกแบบป้องกันการพังทลายทั่วไป มีเนื้อหาแสดงใน มยผ. 1912-52 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน มาตรฐานนี้จึงแสดงตัวอย่างการออกแบบ rock bolt เนื่องจากวิธีการนี้ยังไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบดังกล่าว

การออกแบบ rock bolt เพื่อเพิ่มความมั่นคงของลาดเขา มีรายละเอียด ดังนี้

(1) คุณสมบัติพื้นฐานของ rock bolt และหลุมเจาะ

ความยาวของ rock bolt	=	10.0	เมตร
ความยาวที่ใช้			
(Effective Length, l_e) 40%	=	0.4x10.0	
	=	4.0	เมตร
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะ (D_h)	=	7.6	เซนติเมตร

(2) คำนวณแรงดึงสูงสุดของ Rock Bolt

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก (D)	=	32	มิลลิเมตร
กำลังรับแรงดึงประลัย (f_y)	=	4,000	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
กำลังรับแรงดึงที่ยอมให้ (จุดคลาก) (f_s)	=	$0.65xf_y$	
	=	2,600	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
แรงดึงปลอดภัย (F_{all})	=	$(\pi xD^2/4)xf_s$	
	=	$(\pi x3.2^2/4x1000)x2600/1000$	
	=	20.9	ตัน/เส้น .... (1)

หน่วยแรงยึดเกาะระหว่าง			
หินกับคอนกรีต (u_r)	=	30.0	ตัน/ตารางเมตร
แรงยึดเกาะระหว่างหินกับคอนกรีต (U_r)	=	$u_r x(\pi xD_h^2/4)xl_e$	
	=	$30.0x(\pi x7.6^2/4)x4.0$	
	=	28.7	ตัน/หลุมเจาะ .... (2)
หน่วยแรงยึดเกาะระหว่าง			
เหล็กกับคอนกรีต (u_s)	=	2.29xfc'0.5/D	
	=	2.29x1740.5/(32/10)	
	=	9.44	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

แรงยึดเกาะระหว่าง

เหล็กกับคอนกรีต (U_s) = $u_s x(\pi x D^2/4) x l_e$

= $(9.44x10)x(\pi x3.2^2/4x1000)x4.0$

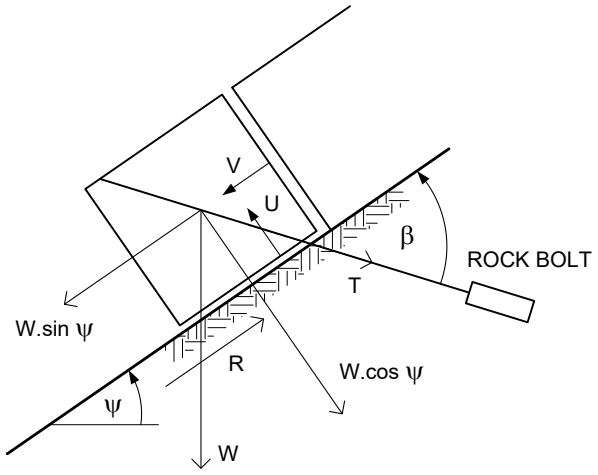
= <u>38.0</u> ตัน/หลุม .... (3)

เลือกค่าน้อยระหว่าง (1) (2) และ (3) ใช้เป็นค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดที่ rock bolt สามารถรับได้ ดังนั้น ค่าแรงดึงสูงสุดของ

rock bolt (T_{max}) = 20.9 ตัน/หลุมเจาะ

(3) คำนวณความยาว พื้นที่ และน้ำหนักของผิวการพิบัติ

ตัวอย่างจากผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน ดังรูปที่ 43 สามารถคำนวณหาพื้นที่ และความยาวของผิวการพิบัติ เพื่อ Simplified รูปร่างการพิบัติให้เป็นลักษณะของการเคลื่อนที่บนระนาบเอียง ดังรูปที่ 44 แล้วนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดึงที่ต้องการต่อไป ได้ดังนี้



รูปที่ 43 แรงที่เกิดขึ้นในมวลดินหรือหินบนระนาบเอียง

เมื่อ W = น้ำหนักของมวลดินหรือหิน

R = แรงเสียดทานจากระนาบเอียง

U = แรงดันน้ำ

V = แรงดันน้ำ เนื่องจากรอยแตกที่ผิวดิน (tension crack)

T = แรงดึงจาก rock bolt

ψ = มุมของระนาบเอียง

β = มุมระหว่าง rock bolt กับระนาบเอียง

เมื่อจัดรูปสมการใหม่ในรูปของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S) จะได้

$$F.S. = \frac{c L_f + (W\cos\psi - U + T\sin\beta)\tan\varphi}{W\sin\psi + V - T\cos\beta}$$

พื้นที่การพิบัติ (A_f)	=	250.3	ตารางเมตร
ความยาวของผิวการพิบัติ (L_f)	=	61.4	เมตร
หน่วยน้ำหนักของมวลหิน (γ)	=	2.6	ตัน/ลูกบาศก์เมตร
น้ำหนักของผิวการพิบัติ	=	$A_f x \gamma$	
	=	650.9	ตัน/เมตร

(4) คำนวณแรงดึงที่ต้องการ

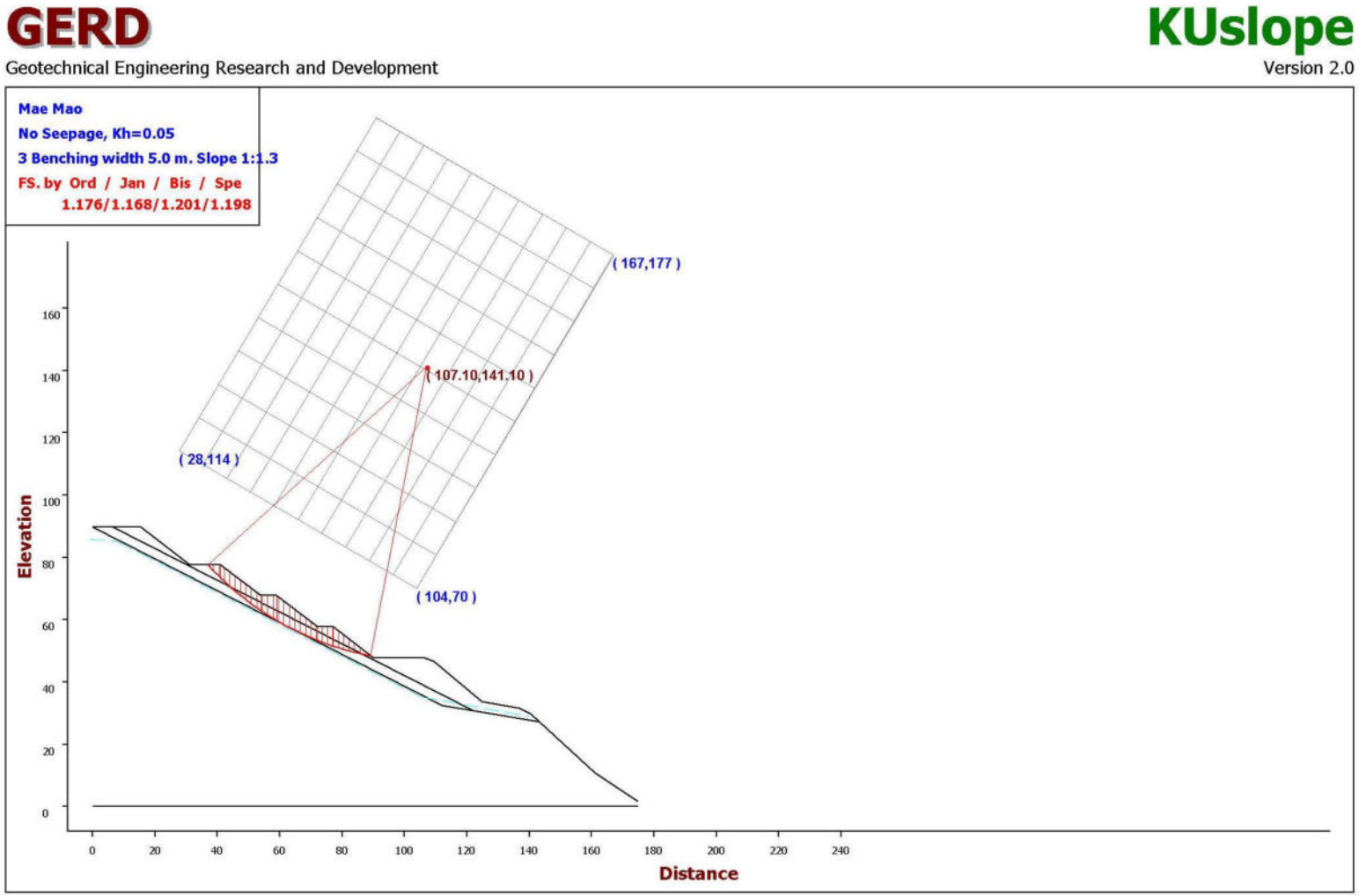
หน่วยแรงยึดเกาะของหิน	=	2.5	ตัน/ตารางเมตร
หน่วยแรงยึดเกาะของหิน	=	0.5	ตัน/ตารางเมตร
(ใช้ในการออกแบบ rock bolt)			
มุมเสียดทานภายในของหิน	=	24	องศา
มุมลาดเอียงของลาดเขา	=	30	องศา
หลังการปรับปรุง (เฉลี่ย)			
ระดับน้ำใต้ดิน	=	0	เมตร
ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ต้องการ	=	1.5	

แรงดึงที่ต้องการ (T) $= \dfrac{W(F.S.\sin\psi - \cos\psi\ \tan\varphi) - cL_f}{F.S.\cos\varphi + \sin\varphi\tan\varphi}$

= 133.08 ตัน

(5) คำนวณระยะห่างของ rock bolt

T/L_f	=	133.08/61.4	
	=	2.18	ตัน/เมตร
พื้นที่รับแรงต่อ rock bolt 1 หลุม	=	T_{max} /(T/L_f)	
(bearing area)	=	20.9/2.18	
	=	9.6	ตารางเมตร
กำหนดระยะห่างในแนวดิ่ง			
ของ rock bolt (s_y)	=	3.0	เมตร
ดังนั้น ระยะห่างในแนวราบ			
ของ rock bolt (s_x)	=	Bearing Area/s_y	
	=	9.6/3.0	
	=	3.2	เมตร
ใช้ระยะห่างในแนวราบ	=	3.0	เมตร



รูปที่ 44 ผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขา

มยผ.1917-62 : มาตรฐานการออกแบบเขื่อนดินและเขื่อนหินเพื่อการชลประทาน

8. เอกสารอ้างอิง

8.1 กรมทางหลวง.2551.คู่มือการแนะนำ แก้ไข และการปฏิบัติการชะล้างพังทลายและเคลื่อนตัวของเชิงลาด.

8.2 งานก่อสร้างงานซ่อมเสริมเสถียรภาพเพื่อป้องกันการพังทลายลาดเชิงเขา (Slope Protection) ที่บริเวณ กม.242 – 253 (ช่วงโคกคลี–บ้านวะตะแบก), 2558. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

8.3 สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, วิทวัส ศรีเรือง, นายฐปกรณ์ ผลมานะ และ นายยุทธพล จิรัฐติกร, 2558.การพัฒนากำแพงกันดิน TOR-BLOCK เพื่อป้องกันดินถล่มและแผ่นดินไหว. วิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

8.4 สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, จักรวรินทร์ วัชรเลิศวาณิช, นรวรรธน์ ถวิลนพนันท์ และวิษณุพร พรรษา, 2559. การพัฒนากำแพงกันดิน TOR-BLOCK สำหรับการผลิตเชิงอุตสาหกรรม. วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

8.5 สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, จักรวรินทร์ วัชรเลิศวาณิช,นรวรรธน์ ถวิลนพนันท์ และวิษณุพร พรรษา, 2560. บล๊อกเชื่อมต่อป้องกันการพังทลายของหน้าดิน. คำขอรับอนุสิทธิบัตร เลขที่ 1703001823, คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์ เลขที่ 1702003703 และ 1702003704: เป็นกำแพงป้องกันดินพังทลายที่ชุมชนสามารถผลิตและก่อสร้างได้เอง โดยใช้ต้นทุนต่ำ.

8.6 เอกสารอบรม Summer Training Course for Slope Land Disaster Reduction., 2013. Soil and Water Conservation Bureau of Tiwan.

8.7 Axel Volkwein, 2014. Flexible debris flow barriers Design and application. WSL Berichte ISSN 2296-3456.

8.8 Charles W.W. Ng, Mechanisms of Debris Flow-Barrier Interaction and Mitigation Measures, The Hong Kong University of Science and Technology.

8.9 Design Guidelines for Horizontal Drains used for Slope Stabilization, 2013 March, Washington State Department of Transportation, WSDOT research report.

8.10 Gue See Sew and Wong Shiao Yun, 2009.Slope engineering design and construction practice in Malaysia. CIE-IEM joint seminar on geotechnical.

8.11 Goga Chakhaia, Eduard Kukhalashvili, Robert Diakonidze, Nugzar Kvashilava, Levan Tsulukidze, Shorena Kupreishvili and Tamriko Supatashvili, Irina Khubulavah, 2016. The Evaluation of Debris Flows Influence on the Pass through Type Debris Flow against. Construction, American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) Volume 20, No1,pp 224-234.

8.12 Pulko, B., Majes, B., Mikos, M., 2012. Reinforced concrete shafts for the structural mitigation of large deep-seated landslides: an experience from the Macesnik and the Slano blato landslides (Slovenia), Landslides, Springer.

8.13 Xiaohua Bao , Wenyu Liao , Zhijun Dong , Shanyong Wang and Waiching Tang, 2017. Development of Vegetation-Pervious Concrete in Grid Beam System for Soil Slope Protection.

8.14 https://blogs.agu.org/landslideblog/2011/07/31/landslide-protection-new-zealand-style.

8.15 http://www.wulwith.com/gabion.php.