มยผ.1915-62 ถึง มยผ.1918-62

มาตรฐานประกอบการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย ที่เกี่ยวข้องกับอาคาร การขุดดินและการถมดิน ในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (Landslide) และบริเวณลาดเชิงเขา



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2562



มาตรฐานประกอบการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย ที่เกี่ยวข้องกับอาคาร การขุดดินและการถมดิน ในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (Landslide) และบริเวณลาดเชิงเขา

1. มาตรฐานการก่อสร้างบริเวณลาดเชิงเขา (มยผ.1915-62)
2. มาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (มยผ.1916-62)
3. มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขา (มยผ.1917-62)
4. มาตรฐานการถมดินและการบดอัด (มยผ.1918-62)

กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2562

กรมโยธาธิการและผังเมือง

มาตรฐานประกอบการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับอาคาร การขุดดิน และการถมดินในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (Landslide) และบริเวณลาดเชิงเขา / กรมโยธาธิการและผังเมือง.- กรุงเทพฯ : หจก. พรี-วัน, 2562.

1. มาตรฐานการก่อสร้างบริเวณลาดเชิงเขา (มยผ.1915-62)
2. มาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (มยผ.1916-62)
3. มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขา (มยผ.1917-62)
4. มาตรฐานการถมดินและการบดอัด (มยผ.1918-62)

ISBN 978-974-458-644-5
สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2562
โดย สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถ.พระราม 6 แขวงพญาไท
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321

คณะผู้จัดทำโครงการจัดทำร่างข้อบังคับและหลักเกณฑ์ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร และกฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดิน ในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (Landslide) และบริเวณลาดเชิงเขา

- **ผู้จัดการโครงการวิจัย**

  รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านดินถล่ม

- **รองผู้จัดการโครงการวิจัย**

  นายรัฐธรรม อิสโรพาร ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมปฐพี

- **ผู้ทรงคุณวุฒิ**

  นายมนูญ อารยะศิริ

  ดร.ยงยุทธ แต้ศิริ

  ดร.ธเนศ วีระศิริ

  ดร.สมบุญ โฆษิตานนท์

- **คณะผู้วิจัย**

  รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ไม้เรียง ผู้เชี่ยวชาญด้านป้องกันดินถล่ม

  รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐี ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมฐานราก

  ดร.สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมปฐพี

  ดร.สุริยน เปรมปราโมทย์ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมปฐพี

  ดร.จักรพันธ์ เทือกต๊ะ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโครงสร้าง

  นายสุรชัย พรภัทรกุล ผู้เชี่ยวชาญด้านกฎหมายควบคุมอาคารและกฎหมายขุดดินถมดิน

คณะกรรมการกำกับดูแลการปฏิบัติงานของที่ปรึกษา
โครงการจัดทำร่างข้อบังคับและหลักเกณฑ์ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร
และกฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดินในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (Landslide)
และบริเวณลาดเชิงเขา

- **ที่ปรึกษาคณะกรรมการ**

  นายเสถียร เจริญเหรียญ วิศวกรใหญ่

- **ประธานกรรมการ**

  นายสินิทธิ์ บุญสิทธิ์ ผู้อำนวยการสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

- **คณะกรรมการ**

  นายอนวัช บูรพาชน วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ

  นางสาวสุรีย์ ประเสริฐสุด วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

  นายพรชัย สังข์ศรี วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

  นายสมโชค เล่งวงศ์ วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

- **กรรมการและเลขานุการ**

  นายธนิต ใจสอาด วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

- **กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ**

  นายวิโชติ กันภัย วิศวกรโยธาชำนาญการ

  นายนำพล ฉิมมงคล นายช่างโยธาปฏิบัติงาน

  นางสาวสุธาสินี อาทิตย์เที่ยง วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

คำนำ

เหตุภัยพิบัติดินถล่มในประเทศไทยเกิดขึ้นในหลายพื้นที่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสร้างความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มจะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นตามสภาพการแปรปรวนของภูมิอากาศในปัจจุบัน ซึ่งปัจจัยความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติดังกล่าวที่สำคัญปัจจัยหนึ่ง ได้แก่ การก่อสร้างอาคารและการขุดดินหรือถมดินบริเวณลาดเชิงเขาที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้น การควบคุมการก่อสร้างอาคาร และการขุดดินหรือถมดินในบริเวณลาดเชิงเขาให้มีความปลอดภัย จึงเป็นมาตรการที่สำคัญในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติดินถล่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กรมโยธาธิการและผังเมืองโดยสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคารซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารในประเทศไทย ได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว จึงได้มอบหมายให้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นที่ปรึกษาโครงการนี้ เพื่อดำเนินการศึกษาและรวบรวมข้อมูลสำหรับจัดทำมาตรฐานประกอบการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับอาคาร การขุดดิน และการถมดินในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (Landslide) และบริเวณลาดเชิงเขา ซึ่งประกอบด้วยมาตรฐานการก่อสร้างบริเวณลาดเชิงเขา (มยผ. 1915-62) มาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (มยผ. 1916-62) มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขา (มยผ. 1917-62) และมาตรฐานการถมดินและการบดอัด (มยผ. 1918-62) มาตรฐานนี้จะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้มีแนวทางในการก่อสร้างอาคาร การขุดดินและถมดินในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มและบริเวณลาดเชิงเขาเป็นไปอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

กรมโยธาธิการและผังเมืองหวังเป็นอย่างยิ่งว่ามาตรฐานดังกล่าวนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและทำให้ประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มมีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินเพิ่มมากยิ่งขึ้น

(นายมณฑล สุดประเสริฐ)

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

บทนำ

กรมโยธาธิการและผังเมืองซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการกำหนดมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินที่เกี่ยวกับการก่อสร้างอาคาร และการขุดดินและถมดิน ได้จัดทำร่างข้อบังคับสำหรับควบคุมการก่อสร้างอาคารและการขุดดินหรือถมดินบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (Landslide) และบริเวณลาดเชิงเขา รวมถึงมาตรฐานและคู่มือที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัย โดยจัดทำขึ้นเพื่อกำหนดรายละเอียดในการก่อสร้างอาคารบริเวณเชิงเขา การวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม การป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขา การถมดินและการบดอัด ประกอบด้วย 4 มาตรฐาน คือ

มยผ. 1915-62 มาตรฐานการก่อสร้างบริเวณลาดเชิงเขา

มยผ. 1916-62 มาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

มยผ. 1917-62 มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขา

มยผ. 1918-62 มาตรฐานการถมดินและการบดอัด

ในฐานะผู้จัดการโครงการวิจัยจัดทำร่างข้อบังคับและหลักเกณฑ์ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารและกฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดินในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (Landslide) และบริเวณลาดเชิงเขา ขอขอบคุณคณะผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ช่วยกันดำเนินงาน และขอขอบคุณกรรมการทุกท่านที่เสียสละในการดำเนินให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้จัดการโครงการวิจัย

สารบัญ

หน้า

มยผ. 1915-62

มาตรฐานการก่อสร้างบริเวณลาดเชิงเขา

(Standard of Construction on Slope)

1. ขอบข่าย 1
2. นิยามและสัญลักษณ์ 1
3. มาตรฐานอ้างถึง 2
4. ลักษณะความเสียหายที่เกิดกับอาคารบริเวณพื้นที่ลาดชัน 2
5. แนวทางการป้องกันและลดความรุนแรงจากดินถล่ม สำหรับการก่อสร้างอาคาร 3
6. การป้องกันความเสียหายของอาคารที่ก่อสร้างบริเวณลาดเชิงเขา 5
7. แนวทางการลดผลกระทบต่ออาคาร เนื่องจากการไหลของดินโคลนถล่ม (debris flow) 13
8. วิธีการหาความสูงและความชันของพื้นที่ 14
9. เอกสารอ้างอิง 18

มยผ. 1916-62

มาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

(Standard of Slope Stability Calculation for Safety in Landslide Risk Area)

1. ขอบข่าย 19
2. นิยามและสัญลักษณ์ 19
3. มาตรฐาน/คู่มือ อ้างถึง 23
4. การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความมั่นคงของลาดเอียง (slope) ในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม และบริเวณลาดเชิงเขา 23
5. การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงโดยวิธีอื่นๆ 40
6. ตัวอย่างการคำนวณเสถียรภาพความลาดชัน 41
7. เอกสารอ้างอิง 49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

มยผ. 1917-62

มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับลาดเชิงเขา

(Standard of Slope Protection on Slope)

1. ขอบข่าย 50
2. นิยามและสัญลักษณ์ 50
3. มาตรฐาน/คู่มือ อ้างถึง 51
4. วิธีการป้องกันการพังทลายกรณีลาดพิบัติ (slope failure) 52
5. วิธีการป้องกันการพังทลายกรณีดินถล่ม (landslide) 78
6. วิธีการป้องกันการพังทลายกรณีดินโคลนถล่ม (debris flow) 83
7. ตัวอย่างการออกแบบ rock bolt 88
8. เอกสารอ้างอิง 93

มยผ. 1918-62

มาตรฐานการถมดินและการบดอัด

(Standard of Fill and Compaction)

1. ขอบข่าย 94
2. นิยาม 94
3. มาตรฐานอ้างถึง 95
4. ลักษณะและวัตถุประสงค์การถมดินและบดอัดดิน 95
5. วัสดุสำหรับการถมดินทั่วไป 96
6. ขั้นตอนการถมดินและบดอัดดิน 97
7. ค่าการทรุดตัวที่ยอมให้ในการถมตามวัตถุประสงค์ต่างๆ 104
8. การปรับปรุงคุณภาพดินถมเพื่อป้องกันการพิบัติและการทรุดตัวเกินเกณฑ์ 104
9. การตรวจสอบการบดอัด 106
10. เอกสารอ้างอิง 107

มยผ. 1915-62

มาตรฐานการก่อสร้างบริเวณลาดเชิงเขา (Standard of Construction on Slope)

มยผ. 1915-62

มาตรฐานการก่อสร้างบริเวณลาดเชิงเขา

(Standard of Construction on Slope)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานนี้ใช้กับงานก่อสร้างอาคาร หรือสิ่งก่อสร้างทั่วไป เช่น บ้าน โรงเรือน อาคารคลังสินค้า กำแพงกันดิน เป็นต้น แต่มาตรฐานไม่ครอบคลุมถึง อาคารสูง สะพาน โครงสร้างทางชลประทาน เสาส่งไฟฟ้า ป้ายโฆษณา และโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่เป็นลักษณะอาคาร

1.2 ข้อกำหนดต่าง ๆ ในมาตรฐานนี้ เป็นขั้นต่ำสุดที่จำเป็นต่อการก่อสร้างอาคาร เพื่อให้อาคารมีความปลอดภัย หรือลดความรุนแรงจากดินถล่มที่มีต่ออาคาร

1.3 ส่วนข้อความอื่นใดที่ไม่ได้ระบุไว้ในรายการประกอบแบบเฉพาะงาน ให้ถือปฏิบัติตามมาตรฐานฉบับนี้ นอกจากรายการประกอบแบบเฉพาะงานที่ระบุเป็นอย่างอื่นให้ถือในส่วนที่ระบุไว้ในรายการประกอบแบบเฉพาะงานนั้นเป็นหลัก

1.4 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“ดินถล่ม (landslide)” หมายความว่า เหตุการณ์ที่ดิน หิน หรือดินปนหิน มีการเคลื่อนตัวลงมาตามแนวลาดเอียง หรือตามแรงโน้มถ่วงของโลก

“โคลนถล่ม (debris flow)” หมายความว่า เหตุการณ์ที่ดินถล่มลงมารวมกับเศษซากมวลพิบัติ โดยมีน้ำในปริมาณมาก แล้วไหลลงสู่ที่ต่ำด้วยความเร็วสูงและมีพลังในการพัดพาต้นไม้และหิน กรวดทรายตามลงมาด้วย

“ความชัน” หมายความว่า ค่าตัวเลขซึ่งกำหนดเป็นสัดส่วนระหว่างระยะแนวดิ่งต่อระยะแนวราบ หรือร้อยละของระยะแนวดิ่งต่อระยะแนวราบ หรือองศาของความลาดเอียงซึ่งวัดจากแนวราบ

“ลาดเชิงเขา” หมายความว่า พื้นที่ลาดชันบริเวณภูเขาหรือเนินเขา และพื้นที่บริเวณอื่นๆ ที่มีความชันมากกว่า 1:5 (ดิ่ง : ราบ) หรือร้อยละ 20

“ยอดลาดชัน” หมายความว่า พื้นที่ส่วนบนของลาดเชิงเขา ที่มีความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1:5 (ดิ่ง : ราบ) หรือร้อยละ 20

“ตีนลาดชัน” หมายความว่า พื้นที่ส่วนล่างของลาดเชิงเขา ที่มีความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1:5 (ดิ่ง : ราบ) หรือร้อยละ 20

“อาคารสูง” หมายความว่า อาคารสูงที่กำหนดไว้ในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

“สถาบันที่เชื่อถือได้” หมายความว่า ส่วนราชการหรือบริษัทจำกัดที่มีวัตถุประสงค์ในการให้คำปรึกษาแนะนำด้านวิศวกรรม ซึ่งมีวิศวกรประเภทวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพวิศวกรรม เป็นผู้ให้คำปรึกษาแนะนำ และลงลายมือชื่อรับรองผลการตรวจสอบงานวิศวกรรมควบคุม

2.2 สัญลักษณ์

D = ระยะตามแนวราบวัดจากขอบอาคารถึงยอดลาดชันหรือตีนลาดชัน

H = ระยะตามแนวดิ่งระหว่างยอดลาดชันถึงตีนลาดชัน โดยพิจารณาจากช่วงที่มีโอกาสเกิดดินถล่มมากที่สุด

3. มาตรฐานอ้างถึง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างถึงประกอบด้วย

3.1.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1105 : มาตรฐานงานฐานราก

3.1.2 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1106 : มาตรฐานงานเสาเข็ม

3.1.3 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1912-52 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

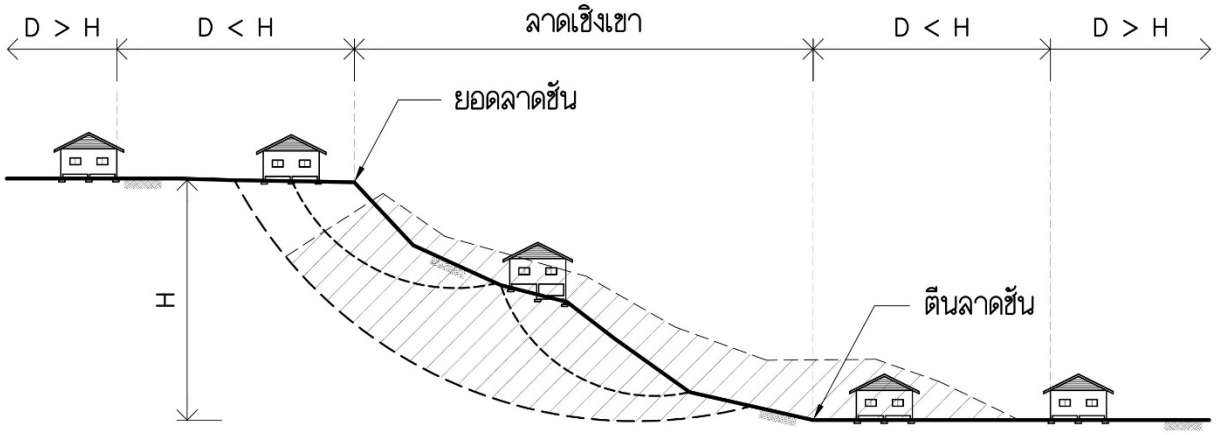
3.1.4 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1918-62 : มาตรฐานการถมดินและการบดอัด

3.1.5 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1916-62 : มาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

3.2 หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างถึงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานนี้เป็นสำคัญ

4. ลักษณะความเสียหายที่เกิดกับอาคารบริเวณพื้นที่ลาดชัน

เมื่อพิจารณาผลกระทบอันเนื่องจากดินถล่ม (landslide) หรือโคลนถล่ม (debris flow) ที่ตำแหน่งของอาคารตามระยะในแนวราบ (D) เทียบกับความสูงของลาดเชิงเขา (H) พบว่าจะมีลักษณะความเสียหายที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ตำแหน่งของอาคารบริเวณพื้นที่ลาดเชิงเขา

(ข้อ 4)

ตารางที่ 1 ลักษณะความเสียหายที่เกิดกับอาคารเนื่องจากดินถล่ม

ยอดลาดชัน		**ลาดเชิงเขา**	**ตีนลาดชัน**	
D > H	**D < H**		**D < H**	**D > H**
- ได้รับผลกระทบเล็กน้อย หรือไม่ได้รับผลกระทบ	- ดิน/หิน ถล่ม (landslide) ทำให้พื้นดินทรุดตัว หรือทรุดแตกต่างกัน - ฐานราก ตอม่อ โครงสร้างอาคารเสียหาย หรืออาคารพิบัติ	- น้ำกัดเซาะดินใต้ฐานราก - ดิน/หิน ถล่ม (landslide) ทำให้พื้นดินทรุดตัว หรือทรุดแตกต่างกัน - ฐานราก ตอม่อ โครงสร้างอาคารเสียหาย หรืออาคารพิบัติ - พิบัติเนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักจากฐานราก อาคาร หรือฐานรากไม่มั่นคง	- น้ำกัดเซาะดินใต้ฐานราก - ดิน/หิน ถล่ม (landslide) ลงมาทับตัวอาคาร ทำให้ผนัง หรืออาคารพิบัติ	- ได้รับผลกระทบเล็กน้อย หรือไม่ได้รับผลกระทบจากดิน/หิน ถล่ม (landslide) - ดินโคลนจากโคลนถล่ม (debris flow) ไหลชนตัวอาคาร ทำให้ผนังล้ม เสาหักกัดเซาะฐานราก

5. แนวทางการป้องกันและลดความรุนแรงจากดินถล่ม สำหรับการก่อสร้างอาคาร

5.1 การคัดเลือกพื้นที่ก่อสร้างอาคารมีหลักเกณฑ์ดังนี้

(1) ควรอยู่นอกพื้นที่การไหลของโคลนถล่ม (debris flow) โดยพิจารณาจากกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร หรือแผนที่กรมทรัพยากรธรณี เช่น แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชน เป็นต้น หรือข้อมูลพื้นที่การไหลของโคลนถล่มในอดีต หรือมีระยะห่างจากแม่น้ำที่เหมาะสม

(2) ต้องมีระยะเว้น (D) จากยอดลาดชันหรือตีนลาดชัน ดังนี้

(ก) ระยะเว้นมากกว่า 1 เท่าของความสูงลาดเชิงเขา (H) เมื่อลาดเชิงเขาสูงไม่เกิน 40 เมตร

(ข) ระยะเว้นอย่างน้อย 40 เมตร เมื่อลาดเชิงเขาสูงมากกว่า 40 เมตร

(3) พื้นที่ที่มีระยะเว้นน้อยกว่าเกณฑ์ตาม (2) สามารถใช้เป็นอาคารที่ไม่มีคนพักอาศัย อาคารชั่วคราว พื้นที่เก็บของ สวน หรือลานกิจกรรม เป็นต้น

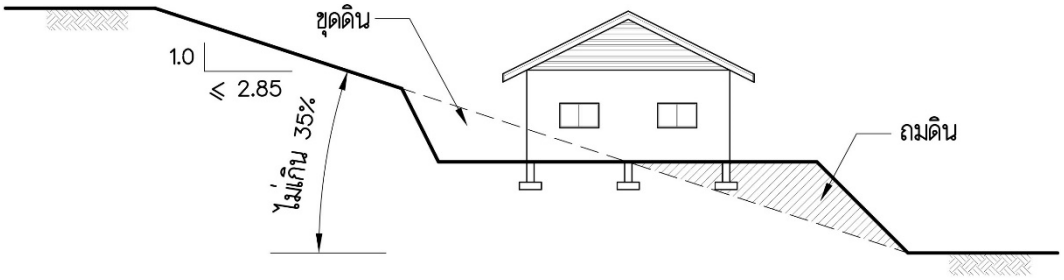
(4) ต้องไม่กีดขวางทางน้ำ หรือร่องน้ำตามธรรมชาติ รวมถึงทางระบายน้ำสาธารณะ และต้องไม่ถมดินปิดทางน้ำ

5.2 การปรับพื้นที่เพื่อก่อสร้างอาคารบนลาดเชิงเขา

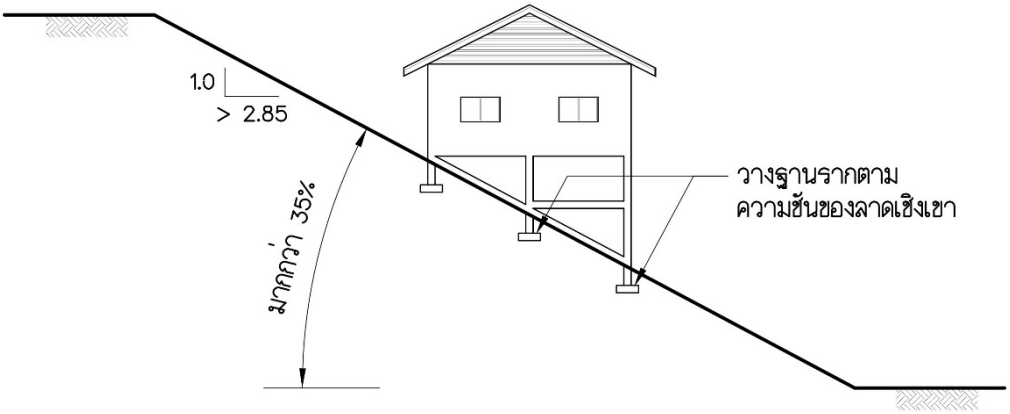
(1) ลาดเชิงเขาที่มีความชันไม่เกิน 1:2.85 (ร้อยละ 35) สามารถปรับพื้นที่เพื่อก่อสร้างอาคารบนลาดเชิงเขาโดยการขุดดินหรือถมดินได้ ดังรูปที่ 2(ก)

(2) ลาดเชิงเขามีความชันมากกว่า 1:2.85 (ร้อยละ 35) ควรวางฐานรากอาคารไปตามความชันของลาดเชิงเขา ไม่ควรปรับพื้นที่โดยการขุดดินหรือถมดิน ดังรูปที่ 2(ข)

5.3 การถมดินเพื่อก่อสร้างอาคารบนลาดเชิงเขาต้องทำการบดอัดตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1918-62 : มาตรฐานการถมดินและการบดอัด



(ก) กรณีลาดเชิงเขาที่มีความชันไม่เกิน 1:2.85 (ร้อยละ 35)



(ข) ลาดเชิงเขาที่มีความชันมากกว่า 1:2.85 (ร้อยละ 35)

รูปที่ 2 การปรับพื้นที่เพื่อก่อสร้างอาคารบนลาดเชิงเขา

(ข้อ 5.2)

6. การป้องกันความเสียหายของอาคารที่ก่อสร้างบริเวณลาดเชิงเขา

6.1 การพิจารณาเลือกใช้ฐานรากสำหรับพื้นที่ลาดเชิงเขาต้องพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

(1) ค่ากำลังแบกทานของดินหรือหินในตำแหน่งที่จะวางฐานราก จะมีผลกับขนาดฐานรากหรือจำนวนเสาเข็ม ถ้าไม่มีเอกสารที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้แสดงผลการทดลองหรือการคำนวณ ค่ากำลังแบกทานของดินประเภทต่างๆ และกำลังแบกทานของเสาเข็ม ให้ใช้ตามที่กำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(2) ความหนาชั้นดินหรือหินบริเวณที่จะวางฐานราก จะมีผลกับระดับการวางฐานราก หรือระดับปลายเสาเข็ม

- ความหนาชั้นดินไม่เกิน 3 เมตร สามารถเลือกใช้ได้ทั้งฐานรากแผ่หรือฐานรากเสาเข็ม
- ความหนาชั้นดินมากกว่า 3 เมตร ควรใช้ฐานรากเสาเข็ม

(3) น้ำหนักลงฐานราก

- น้ำหนักไม่เกิน 100 กิโลนิวตันต่อฐาน (10 ตันต่อฐาน) สามารถเลือกใช้ได้ทั้งฐานรากแผ่หรือฐานรากเสาเข็ม
- น้ำหนักมากกว่า 100 กิโลนิวตันต่อฐาน (10 ตันต่อฐาน) ควรใช้ฐานรากเสาเข็ม

โดยทั้ง 2 กรณีต้องพิจารณาเทียบกับค่ากำลังแบกทานของดินหรือหินตาม (1) และความหนาชั้นดินหรือหินตาม (2) ด้วย

(4) ความชันของลาดเชิงเขาจะมีผลกับความมั่นคงของลาดเชิงเขาโดยรวม

- ความชันไม่เกิน 1:2 (ร้อยละ 50) สามารถเลือกใช้ได้ทั้งฐานรากแผ่ หรือฐานรากเสาเข็ม
- ความชันมากกว่า 1:2 (ร้อยละ 50) ควรใช้ฐานรากเสาเข็ม

โดยทั้ง 2 กรณีต้องพิจารณาร่วมกับ (1) (2) และ (3) ด้วย รายละเอียดการพิจารณาเลือกใช้ฐานรากแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประเภทฐานรากสำหรับพื้นที่ลาดเชิงเขา

(ข้อ 6.1(4))

ความหนาชั้นดิน	น้ำหนักลงฐานราก	ความชันของลาดเชิงเขา	ประเภทฐานราก	การตรวจสอบ
ไม่เกิน 3 เมตร	ไม่เกิน 100 กิโลนิวตันต่อฐาน	ไม่เกิน 1:2	ฐานแผ่/เสาเข็ม	พิจารณาข้อ 6.1(1)
		มากกว่า 1:2	ฐานแผ่/เสาเข็ม	พิจารณาข้อ 6.1(1) และข้อ 6.2
	มากกว่า 100 กิโลนิวตันต่อฐาน	ไม่เกิน 1:2	ฐานแผ่/เสาเข็ม	พิจารณาข้อ 6.1(1)
		มากกว่า 1:2	ฐานแผ่/เสาเข็ม	พิจารณาข้อ 6.1(1) และข้อ 6.2
มากกว่า 3 เมตร	ไม่เกิน 100 กิโลนิวตันต่อฐาน	ไม่เกิน 1:2	ฐานแผ่/เสาเข็ม	พิจารณาข้อ 6.1(1)
		มากกว่า 1:2	เสาเข็ม	พิจารณาข้อ 6.1(1)
	มากกว่า 100 กิโลนิวตันต่อฐาน	ไม่เกิน 1:2	เสาเข็ม	พิจารณาข้อ 6.1(1)
		มากกว่า 1:2	เสาเข็ม	พิจารณาข้อ 6.1(1)

6.2 กรณีใช้ฐานรากแผ่ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) ฐานรากแผ่ที่วางบนดิน ให้ปฏิบัติตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1105 : มาตรฐานงานฐานราก

(2) ฐานรากแผ่ที่วางบนหินพืด ฐานรากต้องวางบนชั้นหินที่มีคุณภาพดี ไม่ผุกร่อน และมีการยึดฐานเข้ากับหินพืดด้วยเหล็กเดือย (dowel bars) ซึ่งต้องมีขนาด จำนวน และระยะฝังของเหล็กเดือยเพียงพอที่สามารถต้านการเลื่อนไถล (sliding) การพลิกคว่ำ (overturning) และการถอน (pullout) ได้ โดยมีค่าอัตราส่วนปลอดภัยดังตารางที่ 3

(3) ฐานรากแผ่หรือกำแพงกันดินที่มีความเสี่ยงต่อการเลื่อนไถล (sliding) สามารถเพิ่มส่วนรับแรงเฉือน (shear key) ใต้ฐานราก เพื่อเพิ่มแรงดันดินเชิงรับ (passive pressure) ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วนปลอดภัยสำหรับฐานรากแผ่ที่วางบนหินพื้น

(ข้อ 6.2 (2))

รูปแบบการพิบัติ	ค่าอัตราส่วนปลอดภัยขั้นต่ำ
การรับน้ำหนัก (bearing capacity)	3.00
การเลื่อนไถล (sliding)	1.50
การพลิกคว่ำ (overturning)	2.00
การถอน (pullout)	1.50

6.3 กรณีใช้ฐานรากเสาเข็มให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) กรณีที่เป็นเสาเข็มไม้ เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ และเสาเข็มเจาะให้ปฏิบัติตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1106 : มาตรฐานงานเสาเข็ม

(2) กรณีที่เป็นเสาเข็มเหล็ก มีข้อกำหนดดังนี้

(ก) กำลังของเหล็กรูปพรรณเป็นไปตามที่กำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(ข) ต้องมีระบบป้องกันสนิม ตลอดความยาวเสาเข็ม

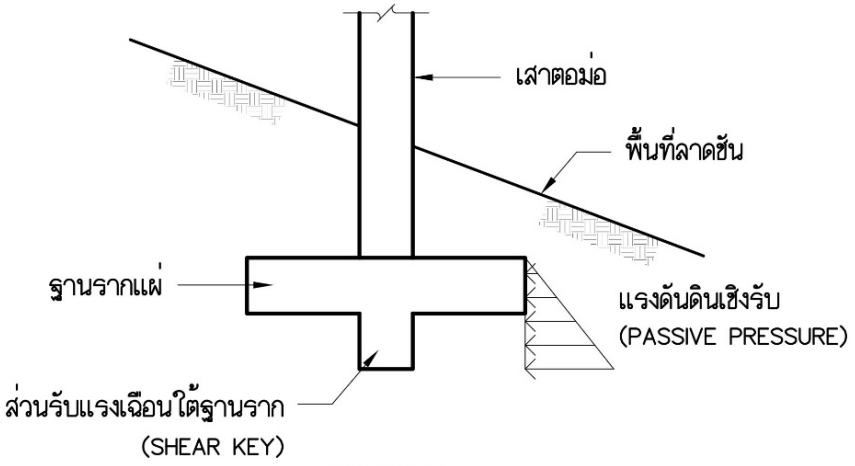
(ค) การต่อเสาเข็ม ทำได้ทั้งการเชื่อม หรือใช้ข้อต่อ โดยความแข็งแรงต้องไม่น้อยกว่าเสาเข็มหลัก

(ง) การติดตั้งทำได้โดยการเจาะนำ หรือการตอก หรือการกด ขึ้นกับดินฐานรากและการออกแบบ

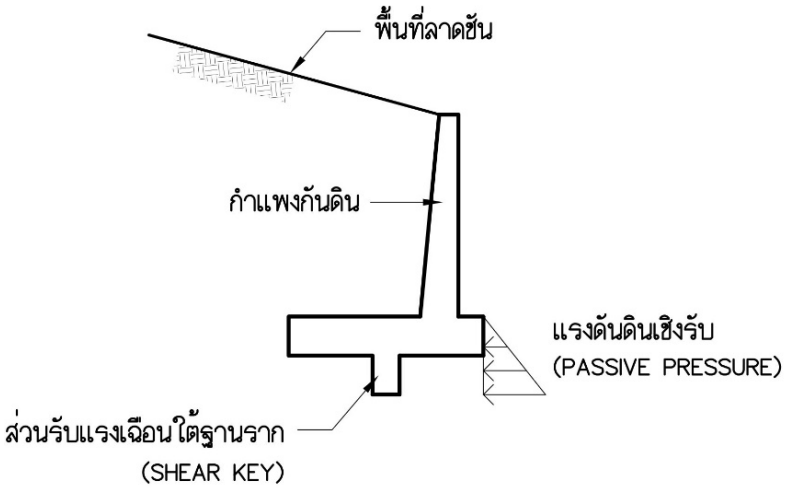
(จ) ปลายเสาเข็มควรฝังอยู่ในชั้นดินหรือหินที่มีความมั่นคงแข็งแรง

(ฉ) ความคลาดเคลื่อนในการตอกเสาเข็มเป็นไปตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1106 : มาตรฐานงานเสาเข็ม

(3) กรณีฐานรากเสาเข็มต้องรับแรงด้านข้างหรือแรงดัด (โมเมนต์) เสาเข็มต้องมีกำลังรับแรงเฉือนและแรงดัดได้อย่างเพียงพอ



ฐานราก



กำแพงกันดิน

รูปที่ 3 การใช้ Shear key ใต้ฐานรากระดับตื้นหรือกำแพงกันดิน

(ข้อ 6.2(3))

6.4 ต้องพิจารณาสัดส่วนความชะลูดของตอม่อและเสาอาคารให้เหมาะสม การลดความชะลูดทำได้ด้วยการยึดองค์อาคารเข้าด้วยกันเพื่อทำให้เป็นโครง (frame) เพื่อให้มีสมรรถนะในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้ดี โดยใช้คานรัดฐานรากทุกฐาน และมีคานรัดเสาตอม่อทุกระยะไม่เกิน 15 เท่าของด้านแคบสุดของเสา ดังรูปที่ 4

6.5 เสาตอม่อหรือเสาใต้ถุนอาคารควรมีขนาดใหญ่กว่าเสาชั้นบน และมีขนาดไม่เล็กกว่า 25x25 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) เหล็กแกนในเสาตอม่อต้องไม่น้อยกว่า 6 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กแกนต้องไม่เล็กกว่า 12 มิลลิเมตร เหล็กปลอกในเสาตอม่อสำหรับอาคารไม่เกิน 2 ชั้น ต้องมีระยะเรียงไม่เกิน 7.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5

6.6 ต้องจัดให้มีระบบระบายน้ำผิวดินและใต้ดิน รวมถึงรางรับน้ำจากหลังคาที่เหมาะสมและเพียงพอ

6.7 กรณีทำการถมดินบริเวณลาดเชิงเขาเพื่อการก่อสร้างอาคาร ต้องจัดให้มีระบบป้องกันการกัดเซาะใต้ฐานราก ดังตัวอย่างในรูปที่ 6 และบริเวณผิวดิน ตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1912 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

6.8 การใช้กำแพงกันดินบริเวณพื้นที่ลาดเชิงเขา มีข้อกำหนดดังนี้

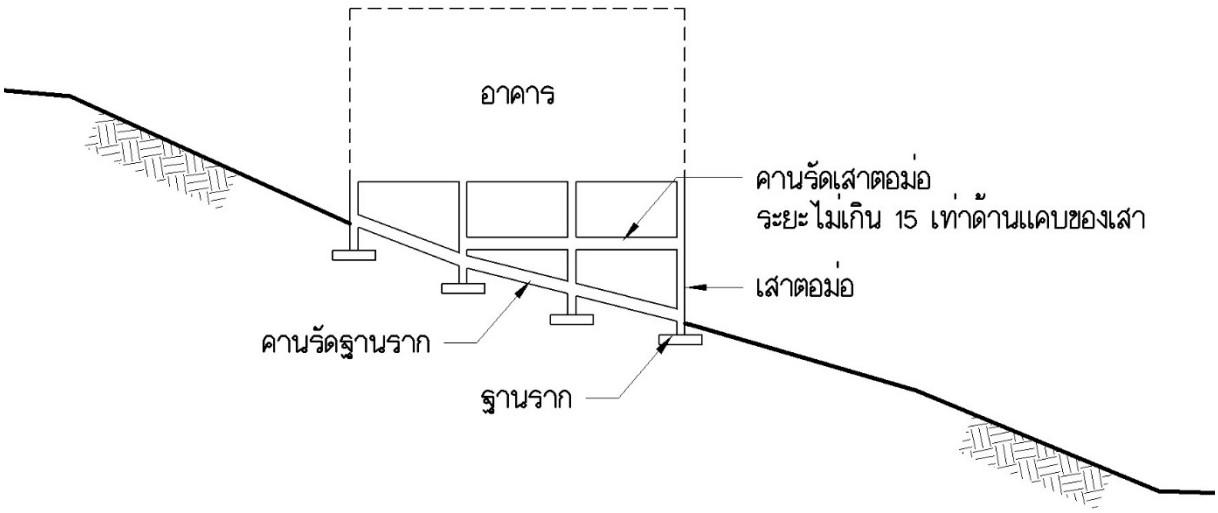
(1) ระยะป้องกันดินสูงไม่เกิน 3 เมตร ใช้กำแพงกันดินแบบเดี่ยว ดังรูปที่ 7(ก)

(2) ระยะป้องกันดินสูงมากกว่า 3 เมตร ใช้กำแพงกันดินแบบขั้น โดยมีความสูงไม่เกิน 1.8 เมตร/กำแพง ดังรูปที่ 7(ข)

6.9 ควรลดช่องเปิดอาคารในทิศทางที่ดินถล่ม เช่น ประตู หน้าต่าง ไม่ควรเปิดไปหาลาดชัน เป็นต้น ดังรูปที่ 8

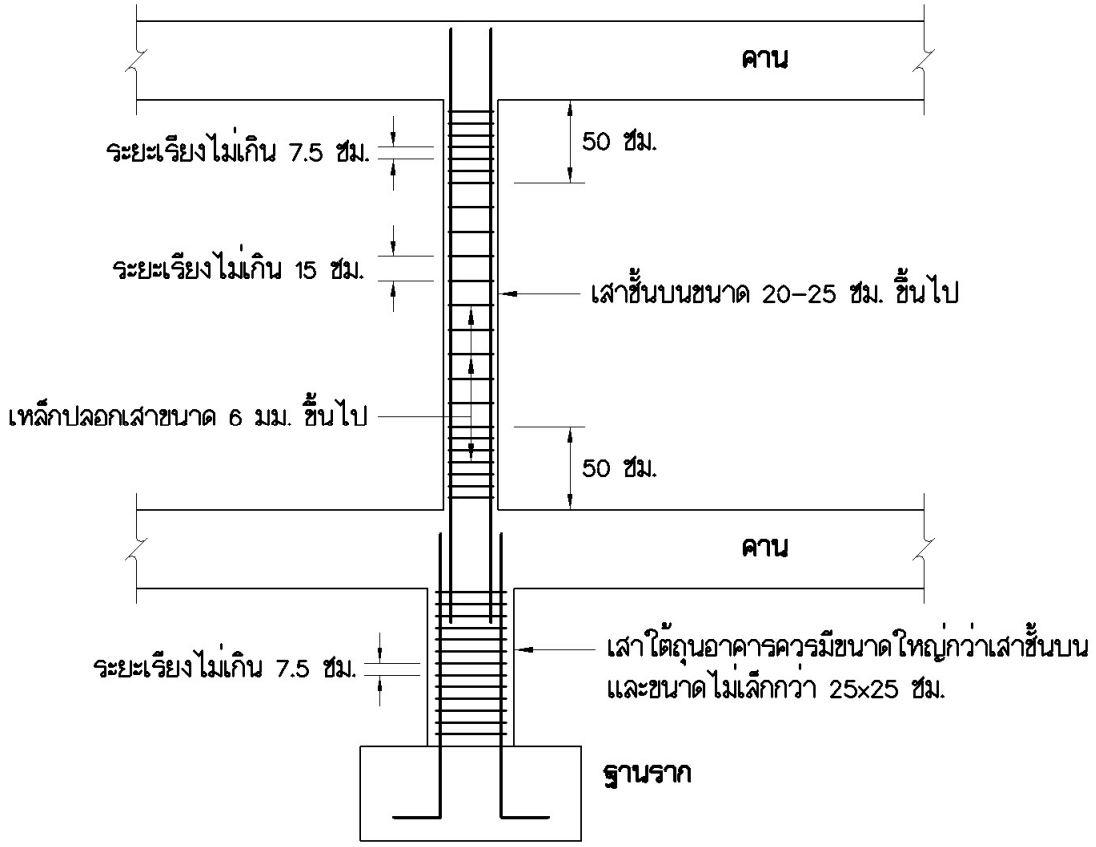
6.10 ผนังที่ก่อชนเสาจะต้องมีการยึดผนังก่ออิฐเข้ากับเสา โดยจัดเตรียมให้มีการฝังเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร ไว้ในเสาทุกระยะ ห่างไม่เกิน 60 เซนติเมตร ยาวจากขอบเสาไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 9

6.11 ผนังก่ออิฐที่ยาวเกินกว่า 3 เมตร จะต้องมีเสาเอ็น และผนังก่ออิฐที่มีความสูงเกินกว่า 2.50 เมตร จะต้องมีคานทับหลัง โดยเสาเอ็นและคานทับหลังต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร มีความหนาเท่ากับความหนาของผนังที่ก่อ และเสริมเหล็กตามยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9 มิลลิเมตร จำนวนไม่น้อยกว่า 2 เส้น และเหล็กปลอก (ลูกโซ่) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร ทุกระยะห่างไม่เกินกว่า 20 เซนติเมตร เหล็กเสริมตามยาวของเสาเอ็นหรือคานทับหลังให้ฝังลึกในโครงสร้างพื้น คาน หรือเสา ดังรูปที่ 10



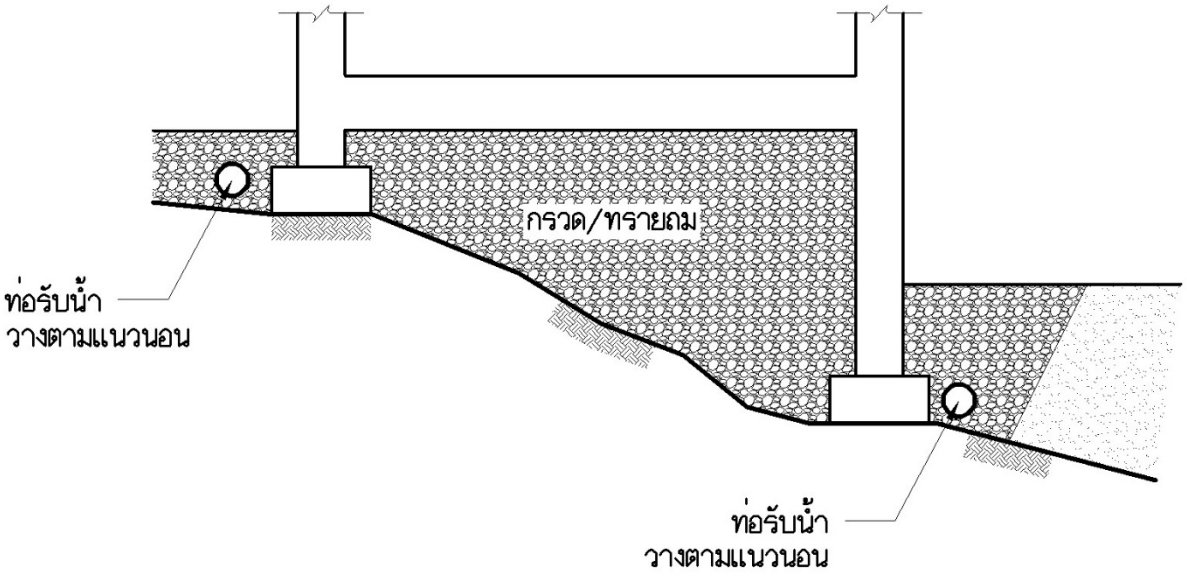
รูปที่ 4 คานรัดฐานราก และคานรัดเสาตอม่อ

(ข้อ 6.4)



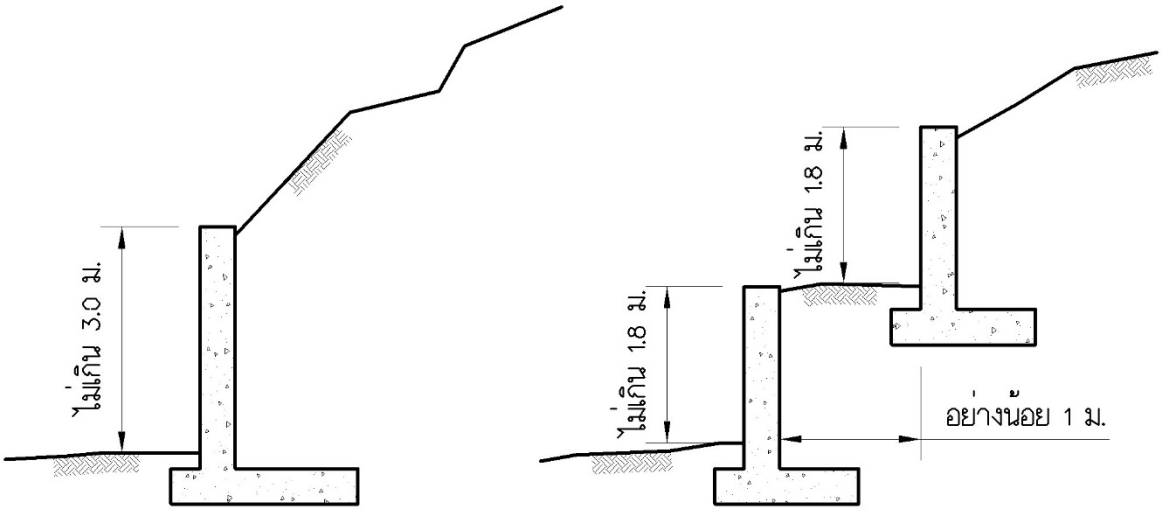
รูปที่ 5 การเสริมเหล็กเสาตอม่อ หรือเสาใต้ถุนอาคาร

(ข้อ 6.5)



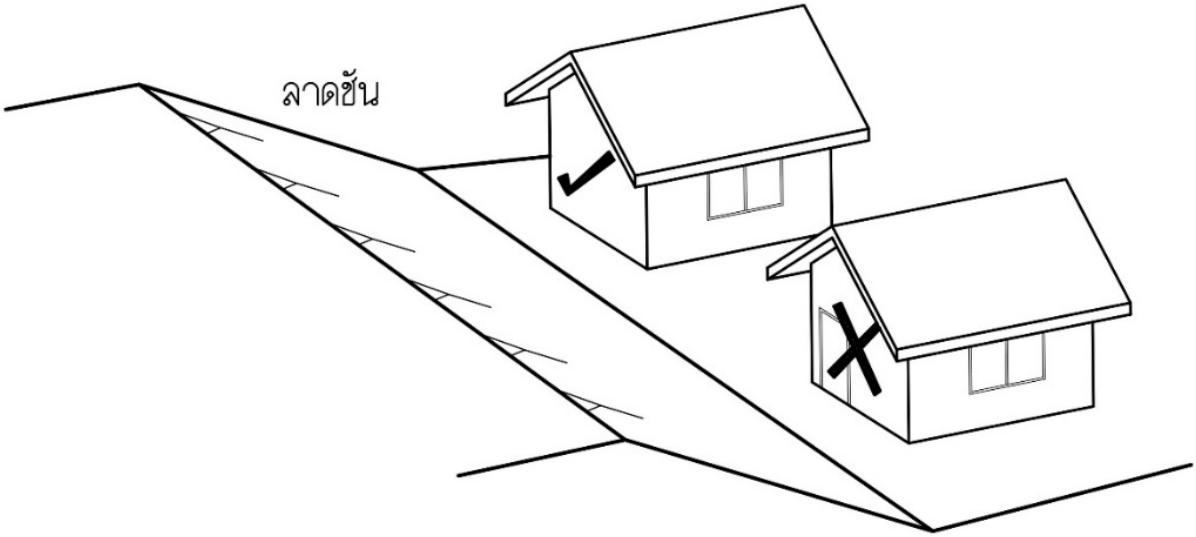
รูปที่ 6 ตัวอย่างระบบป้องกันการกัดเซาะใต้ฐานราก

(ข้อ 6.7)



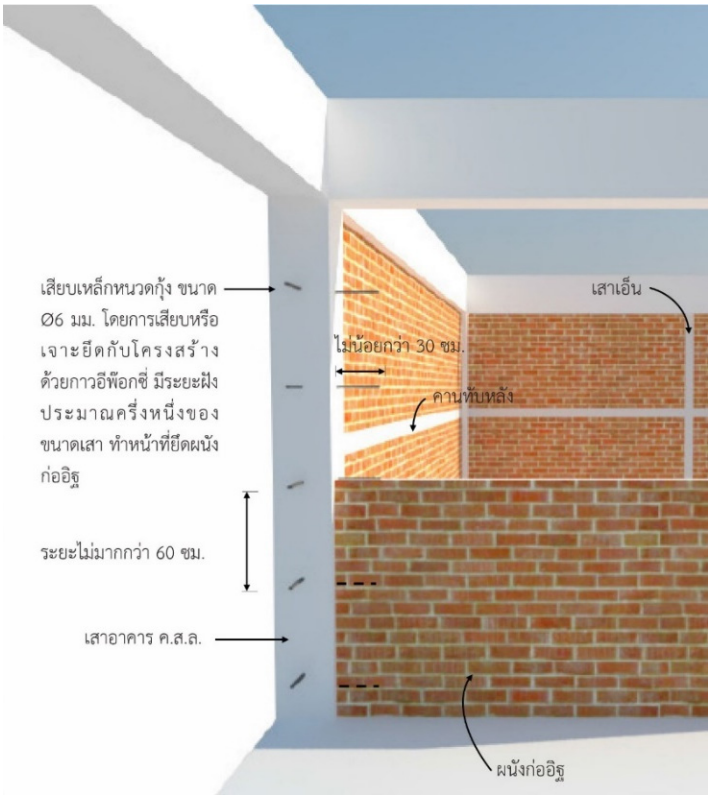
รูปที่ 7 ลักษณะการก่อสร้างกำแพงกันดินที่เหมาะสมบริเวณพื้นที่ลาดเขา

(ข้อ 6.8)



รูปที่ 8 ตำแหน่งช่องเปิดอาคารที่เหมาะสมบริเวณพื้นที่ลาดเขา

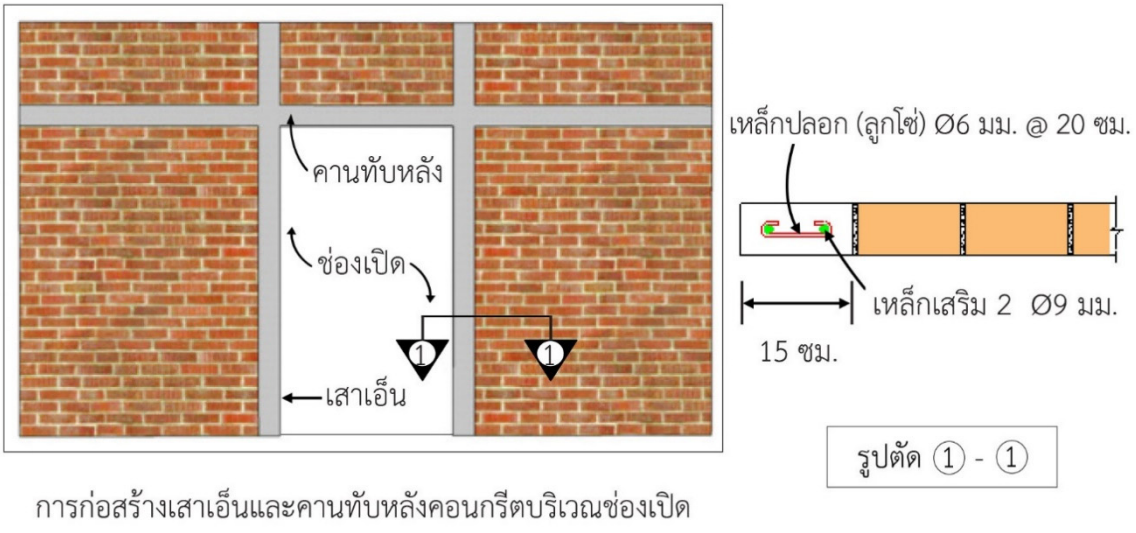
(ข้อ 6.9)



รูปที่ 9 ตัวอย่างการยึดผนังก่ออิฐเข้ากับโครงสร้างอาคาร

(ข้อ 6.10)

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง (2557)



รูปที่ 10 ตัวอย่างการก่อสร้างเสาเอ็นและคานทับหลัง

(ข้อ 6.11)

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง (2557)

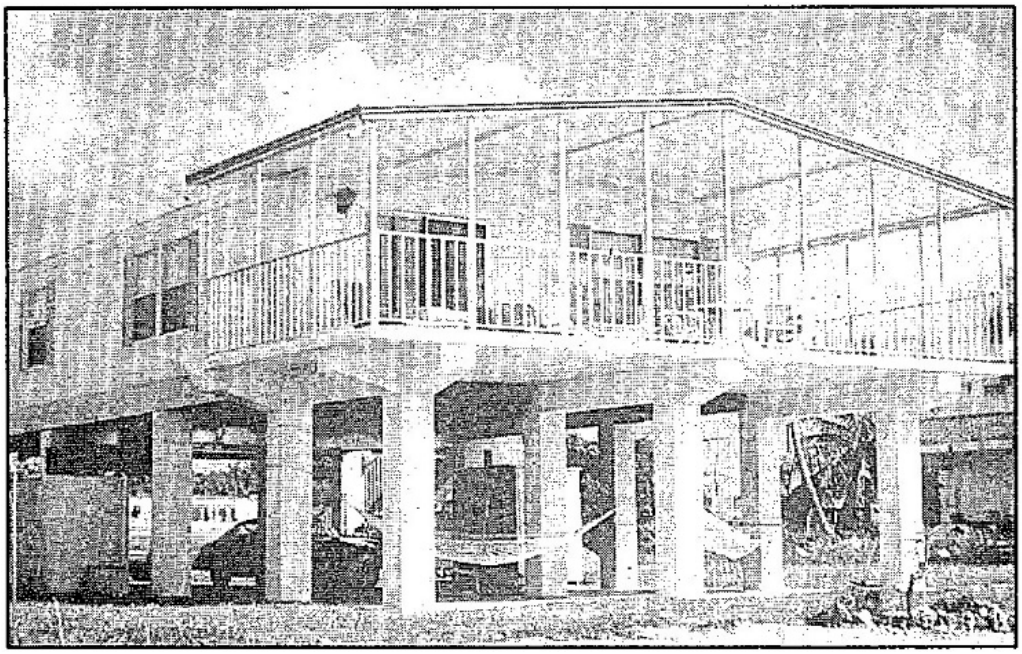
7. แนวทางการลดผลกระทบต่ออาคาร เนื่องจากการไหลของดินโคลนถล่ม (debris flow)

ความรุนแรงอันเนื่องจากการไหลของดินโคลนถล่มผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ มีได้หลายระดับ ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ไหลมากับดินโคลน ขนาดพื้นที่การไหล รวมถึงความลาดเอียงของพื้นที่ เป็นต้น ดังนั้นแนวทางการป้องกันที่เหมาะสมคือ การจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยแสดงพื้นที่ดินถล่มและพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการไหลของโคลนถล่ม เพื่อกำหนดพื้นที่ปลอดภัยต่อการก่อสร้าง การใช้ฝายดักตะกอน (check dam) รวมถึงต้องมีการเฝ้าระวัง และการเตือนภัยควบคู่ไปด้วย แต่ในกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ หรือต้องการลดผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้างต่างๆ สามารถปฏิบัติดังนี้

7.1 ยกระดับอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างให้สูงกว่าระดับดินโคลนถล่มโดยการถมดินปรับระดับ

7.2 เลือกรูปแบบอาคารแบบที่มีชั้นใต้ถุน โดยเสาชั้นใต้ถุนต้องสูงกว่าระดับดินโคลนถล่ม ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 11 เสาต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ และมีคานรัดฐานราก ตามข้อ 6.4 และ 6.5

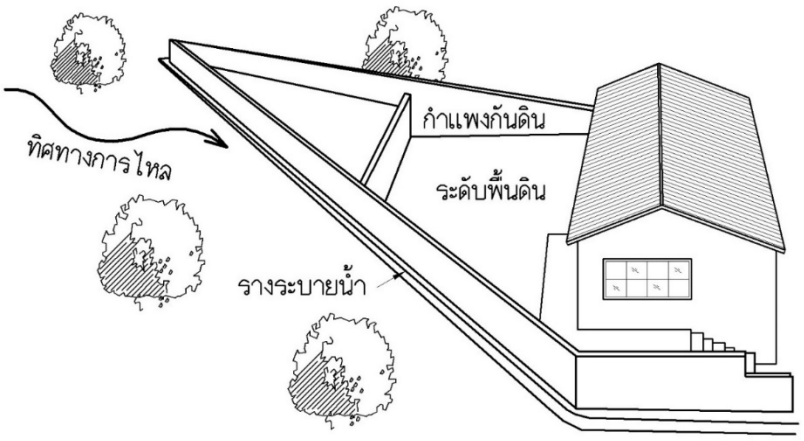
7.3 ใช้โครงสร้างลดแรงปะทะของดินโคลนถล่ม เช่น ปลูกต้นไม้ ก่อสร้างคันดิน หรือโครงสร้างเบี่ยงทิศทางการไหลของดินโคลน เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 12



รูปที่ 11 ตัวอย่างบ้านแบบมีชั้นใต้ถุน เพื่อป้องกันผลกระทบจากดินถล่ม

(ข้อ 7.2)

ที่มา : Federal Emergency Management Agency (1989)



รูปที่ 12 โครงสร้างเบี่ยงทิศทางการไหลดินโคลนถล่ม

(ข้อ 7.3)

ที่มา : Hollingsworth and Kovacs (1981)

8. วิธีการหาความสูงและความชันของพื้นที่

ขั้นตอนการหาความสูงและความชันของพื้นที่ แสดงดังรูปที่ 13 โดยมีรายละเอียดดังนี้

8.1 กำหนดตำแหน่งกึ่งกลางการก่อสร้างอาคารหรือพื้นที่ เพื่อเป็นตัวแทนของการหาความสูงและความชันของพื้นที่

8.2 ขอบเขตการตรวจวัดคือระยะ 40 เมตร ตามแนวพื้นที่ลาดชันจากตำแหน่งกึ่งกลางการก่อสร้างอาคารหรือพื้นที่ ไปทางด้านบนและด้านล่างของลาดชัน

8.3 คำนวณหาค่าความชันทุกระยะ 5 เมตร ตามแนวพื้นที่ลาดชัน หรือทุกตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงความชันที่เห็นได้ชัดเจน จากการวัดระยะราบและระยะดิ่ง แล้วคำนวณโดยสมการที่ (1)

$$\text{ความชัน (m)} = (\text{ระยะดิ่ง}/\text{ระยะราบ}) \times 100\% \qquad (1)$$

8.4 แบ่งกลุ่มความชันออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ความชันไม่เกิน 35% และความชันมากกว่า 35%

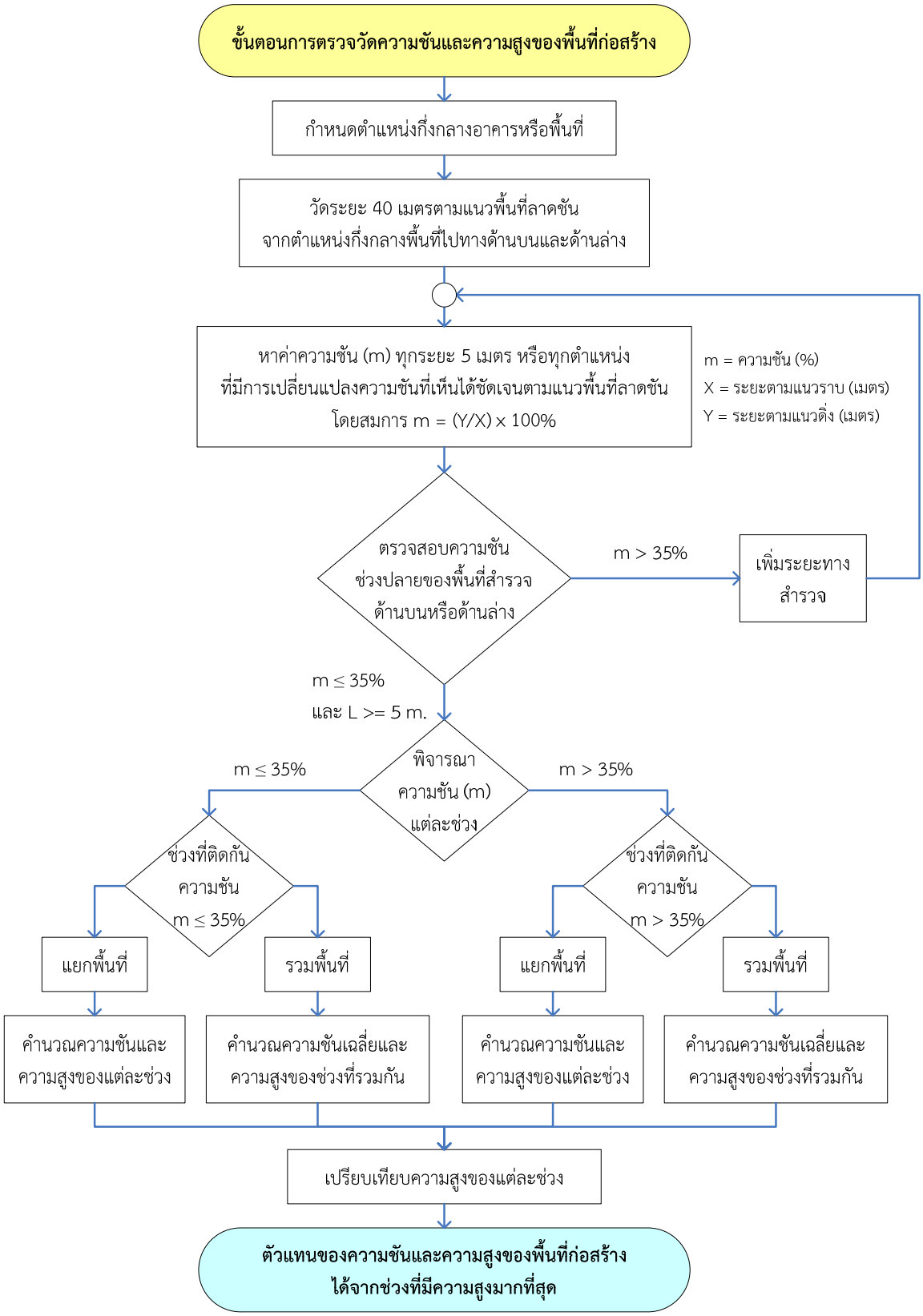
8.5 หากช่วงปลายของพื้นที่สำรวจด้านบนหรือด้านล่างมีความชันมากกว่า 35% ให้เพิ่มระยะทางสำรวจออกไปอีกจนกระทั่งค่าความชันของพื้นที่ไม่เกิน 35% (ที่ระยะไม่น้อยกว่า 5 เมตร)

8.6 พิจารณาค่าความชันในกลุ่มเดียวกัน หากอยู่ติดกันให้รวมพื้นที่ และหาค่าความชันเฉลี่ยใหม่

8.7 หาค่าความสูงของแต่ละช่วงที่สอดคล้องกับความชันเฉลี่ยในช่วงนั้นๆ โดยคำนวณจากระดับยอดลาดชันลบด้วยระดับตีนลาดชัน ในช่วงความลาดชันนั้นๆ

8.8 ความชันของพื้นที่ คือ ค่าความชันตามข้อ 8.6 ที่มีค่าความสูงมากที่สุดตามข้อ 8.7

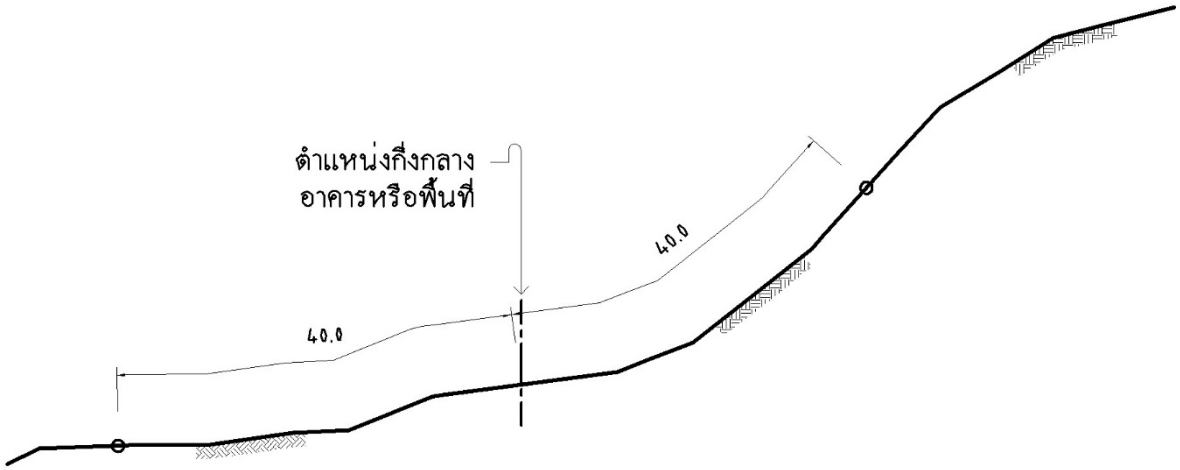
8.9 กรณีที่อาคารมีความยาวมากกว่า 25 เมตร วางตามแนวขวางของพื้นที่ลาดชัน ให้แบ่งการสำรวจและคำนวณทีละ 25 เมตร แล้วเลือกบริเวณที่มีความสูงมากที่สุดเป็นตัวแทนของพื้นที่



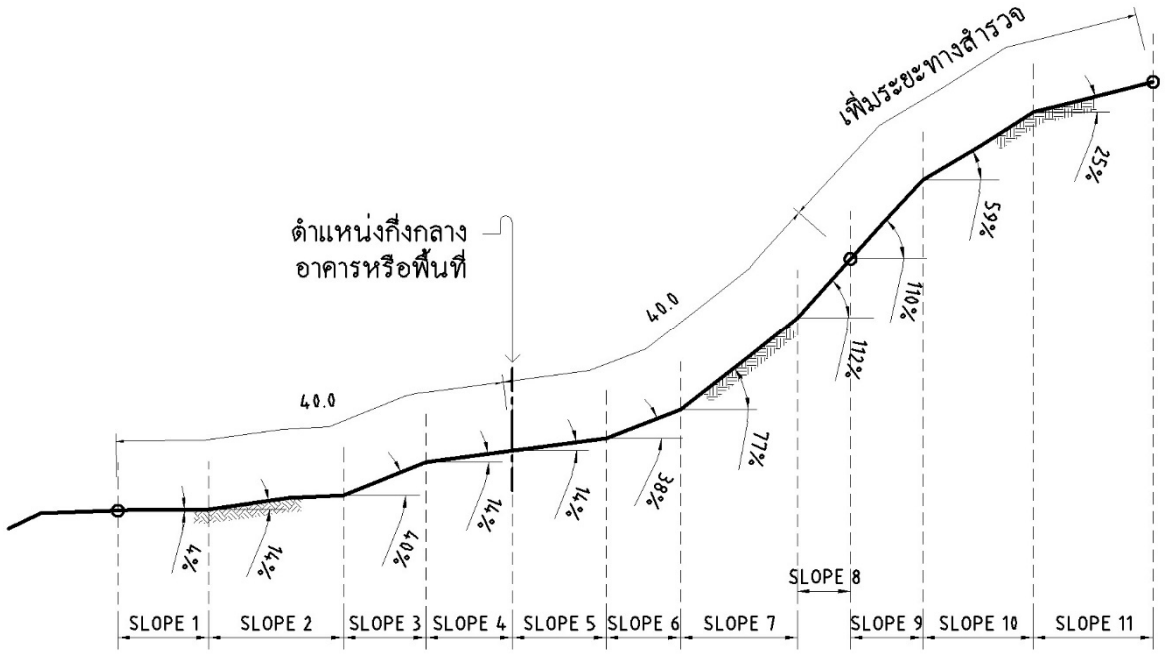
รูปที่ 13 ขั้นตอนการหาความสูงและความชันของพื้นที่

(ข้อ 8)

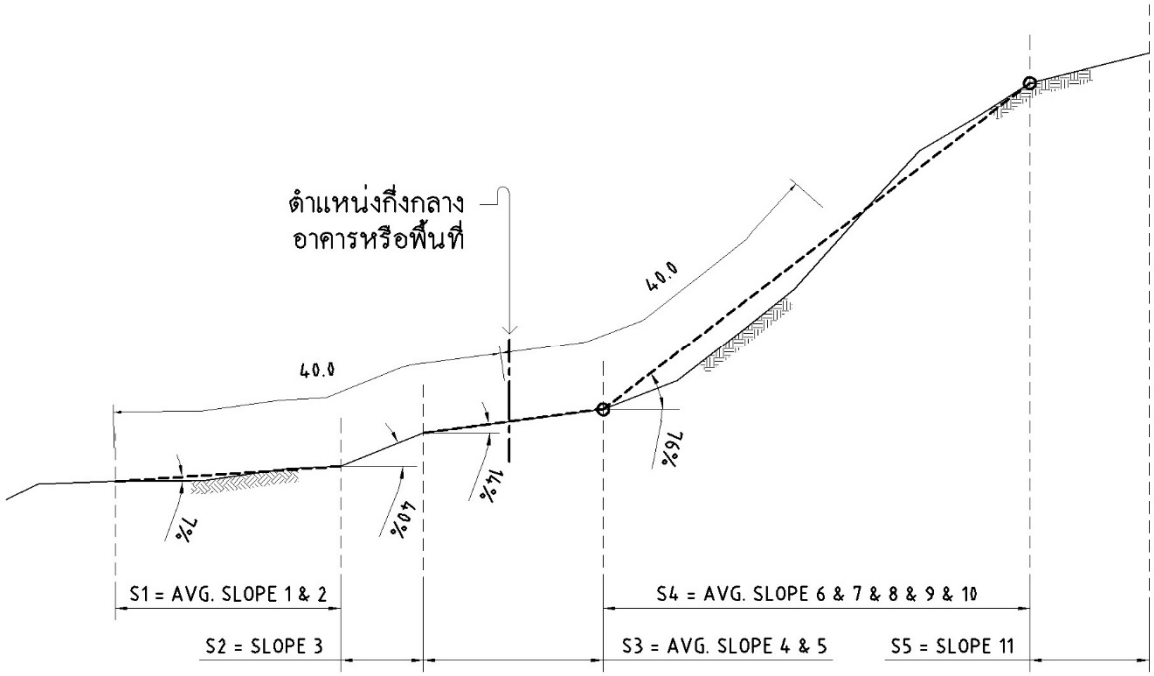
ตัวอย่างการคำนวณความสูงและความชันของพื้นที่ในรูปที่ 14 ทำได้ดังนี้



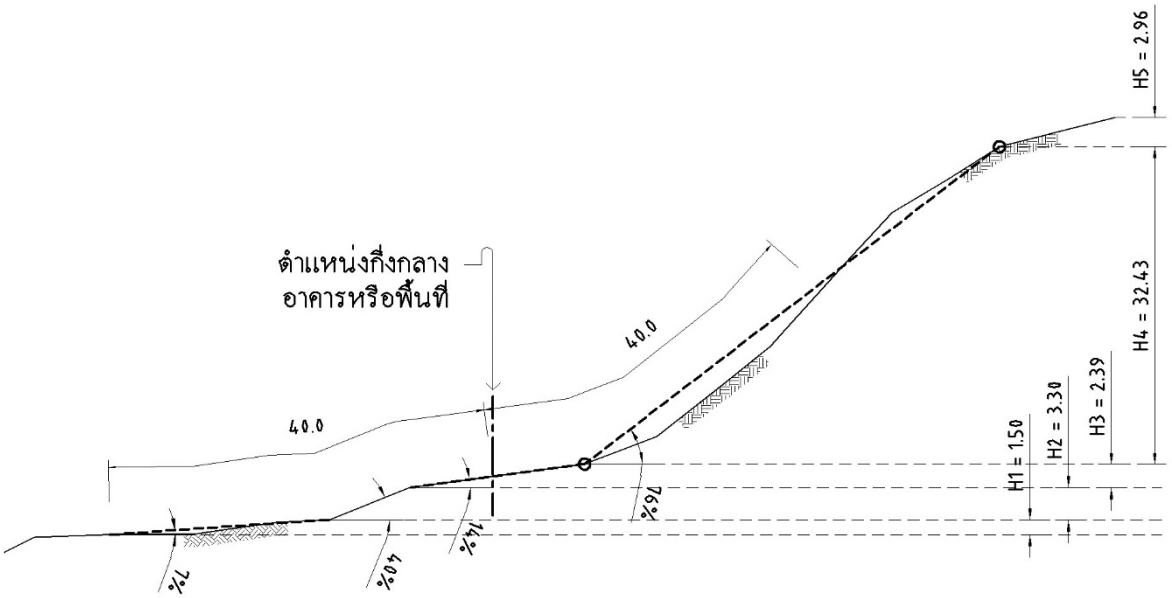
(ก) กำหนดตำแหน่งกึ่งกลางการก่อสร้างอาคารหรือพื้นที่ และขอบเขตการตรวจวัดระยะ 40 เมตร ตามข้อ 8.1 และ 8.2



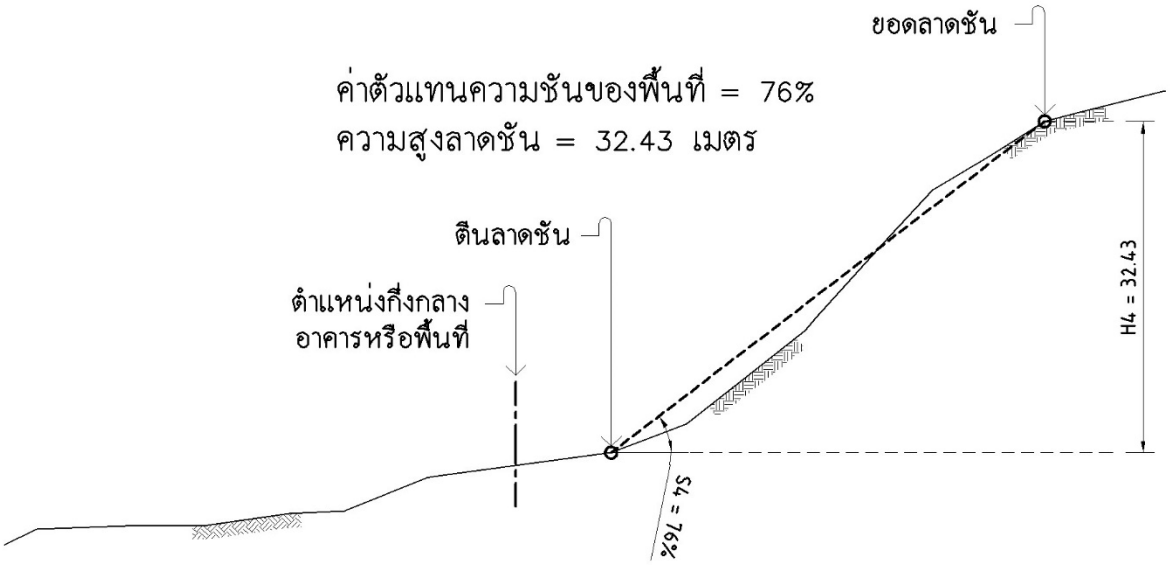
(ข) คำนวณหาค่าความชันทุกระยะ 5 เมตร หรือทุกตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงความชัน ตามข้อ 8.3 และเพิ่มระยะทางสำรวจออกไปอีกจนกระทั่งค่าความชันของพื้นที่ไม่เกิน 35% ตามข้อ 8.5



(ค) แบ่งกลุ่มความชันออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ความชันไม่เกิน 35% และความชันมากกว่า 35% ตามข้อ 8.4 และพิจารณาค่าความชันในกลุ่มเดียวกัน หากอยู่ติดกันให้รวมพื้นที่ และหาค่าความชันเฉลี่ยใหม่ ตามข้อ 8.6



(ง) หาค่าความสูงของแต่ละช่วงที่สอดคล้องกับความชันเฉลี่ยในช่วงนั้นๆ โดยคำนวณจากระดับยอดลาดชัน ลบด้วยระดับตีนลาดชัน ในช่วงความลาดชันนั้นๆ ตามข้อ 8.7



(จ) ค่าตัวแทนความชันและความสูงของพื้นที่ ตามข้อ 8.8

รูปที่ 14 ตัวอย่างประกอบการคำนวณความสูงและความชันของพื้นที่

9. เอกสารอ้างอิง

9.1 กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557. คู่มือการก่อสร้างอาคารขนาดเล็กในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว. สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง.

9.2 Federal Emergency Management Agency, 1989, Alluvial Fans : Hazards and Management. Federal Insurance Administration. Office of Loss Reduction. Washington, D.C.

9.3 Hollingsworth, R. and Kovacs, G.S., 1981, Soil slips and debris flows, prediction and protection: Bulletin of the Association of Engineering Geologists, v. 18, no. 1, p. 17-28.

มยผ. 1916-62

มาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

(Standard of Slope Stability Calculation for Safety in Landslide Risk Area)

มยผ. 1916-62

มาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

(Standard of Slope Stability Calculation for Safety in Landslide Risk Area)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อการคำนวณค่าเสถียรภาพความมั่นคงของลาดเอียง (slope) ที่ทำการก่อสร้างอาคาร การขุดดินหรือถมดินในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มและบริเวณลาดเชิงเขา โดยใช้วิธีสมดุลจำกัด (limit equilibrium) เป็นหลัก และสามารถวิเคราะห์โดยวิธีอื่น ๆ เพิ่มเติมได้

1.2 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)” หมายถึง แรงหรือหน่วยแรงหรือโมเมนต์ต้านทานการวิบัติของดินหารด้วยแรงหรือหน่วยแรงหรือโมเมนต์ที่ออกแบบ

“ความชัน (slope)” หมายถึง ค่าตัวเลขซึ่งกำหนดเป็นสัดส่วนระหว่างระยะแนวดิ่งต่อระยะแนวราบ หรือร้อยละของระยะแนวดิ่งต่อระยะแนวราบ หรือองศาของความลาดเอียงซึ่งวัดจากแนวราบ

“งานขุดดินแบบชั่วคราว” หมายความว่า งานขุดดินที่ใช้เวลาไม่เกิน 6 เดือน แล้วทำการถมดินกลับให้อยู่ในสภาพเดิม

“งานขุดดินแบบถาวร” หมายความว่า งานขุดดินที่ใช้เวลาเกิน 6 เดือน หรืองานขุดดินที่ไม่มีการถมดินกลับให้อยู่ในสภาพเดิม

“งานถมดินแบบชั่วคราว” หมายความว่า งานถมดินที่ใช้เวลาไม่เกิน 6 เดือน แล้วทำการรื้อย้ายดินออกให้อยู่ในสภาพเดิม

“งานถมดินแบบถาวร” หมายความว่า งานถมดินที่ใช้เวลาเกิน 6 เดือน หรืองานถมดินที่ไม่มีการรื้อย้ายดินออกให้อยู่ในสภาพเดิม

2.2 สัญลักษณ์

b_i = ความกว้างของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นเมตร

b_ℓ = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับประเภทของดิน สำหรับ Janbu’s Simplified Method

c = แรงยึดเหนี่ยวของดิน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

c_u = แรงยึดเหนี่ยวของดินแบบหน่วยแรงรวม มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

$\bar{c}$ = แรงยึดเหนี่ยวของดินแบบหน่วยแรงประสิทธิผล มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

$\bar{c}_i$ = แรงยึดเหนี่ยวของดินแบบหน่วยแรงประสิทธิผลของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

d = ระยะตั้งฉากที่ยาวที่สุด วัดจากเส้นบอกความยาว (L) ถึงแนวการวิบัติ มีหน่วยเป็นเมตร

$F.S.$ = ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

f_0 = ค่าปรับแก้ซึ่งขึ้นกับสัดส่วนของความลึกและความยาวของการวิบัติ สำหรับ Janbu's Simplified Method

H = ความลึกของการขุด หรือความสูงของดินถม มีหน่วยเป็นเมตร

h_i = ความสูงของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นเมตร

h_w = ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน มีหน่วยเป็นเมตร

i = ลำดับชิ้นส่วนของมวลดินที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับการเลื่อนไถลแบบหมุน

l_i = ความยาวของระนาบไถลของชิ้นมวลดินที่ i (หรือ $l_i = b_i / \cos\theta_i$) มีหน่วยเป็นเมตร

L = ความยาวของการวิบัติ มีหน่วยเป็นเมตร

n = จำนวนชิ้นของมวลดินที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับการเลื่อนไถลแบบหมุน มีหน่วยเป็นชิ้น

N_i = แรงกระทำตั้งฉากบนระนาบไถลของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

N' = ค่าตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานที่ปรับแก้แล้ว

R = รัศมีของระนาบส่วนโค้งเลื่อนไถลแบบหมุน มีหน่วยเป็นเมตร

S_u = กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

T_i = แรงเฉือนบนระนาบไถลของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

U_i = แรงดันน้ำที่กระทำต่อชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

W_i = น้ำหนักของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

x_i = ระยะทางในแนวราบจากจุดกึ่งกลางของมวลดินที่ i ถึงจุดศูนย์กลางของผิวการวิบัติ มีหน่วยเป็นเมตร

z = ความลึกของระนาบไถลจากผิวดิน สำหรับการเลื่อนไถลแบบระนาบ มีหน่วยเป็นเมตร

ϕ = มุมเสียดทานภายในของดิน มีหน่วยเป็นองศา

ϕ_u = มุมเสียดทานภายในแบบหน่วยแรงรวม มีหน่วยเป็นองศา

$\bar{\phi}_i$ = มุมเสียดทานภายในแบบหน่วยแรงประสิทธิผลของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นองศา

θ_i = มุมวางตัวของระนาบไถลของชิ้นมวลดินที่ i มีหน่วยเป็นองศา

γ_t = หน่วยน้ำหนักของดินชื้น มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

γ_{sat} = หน่วยน้ำหนักของดินอิ่มตัว มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

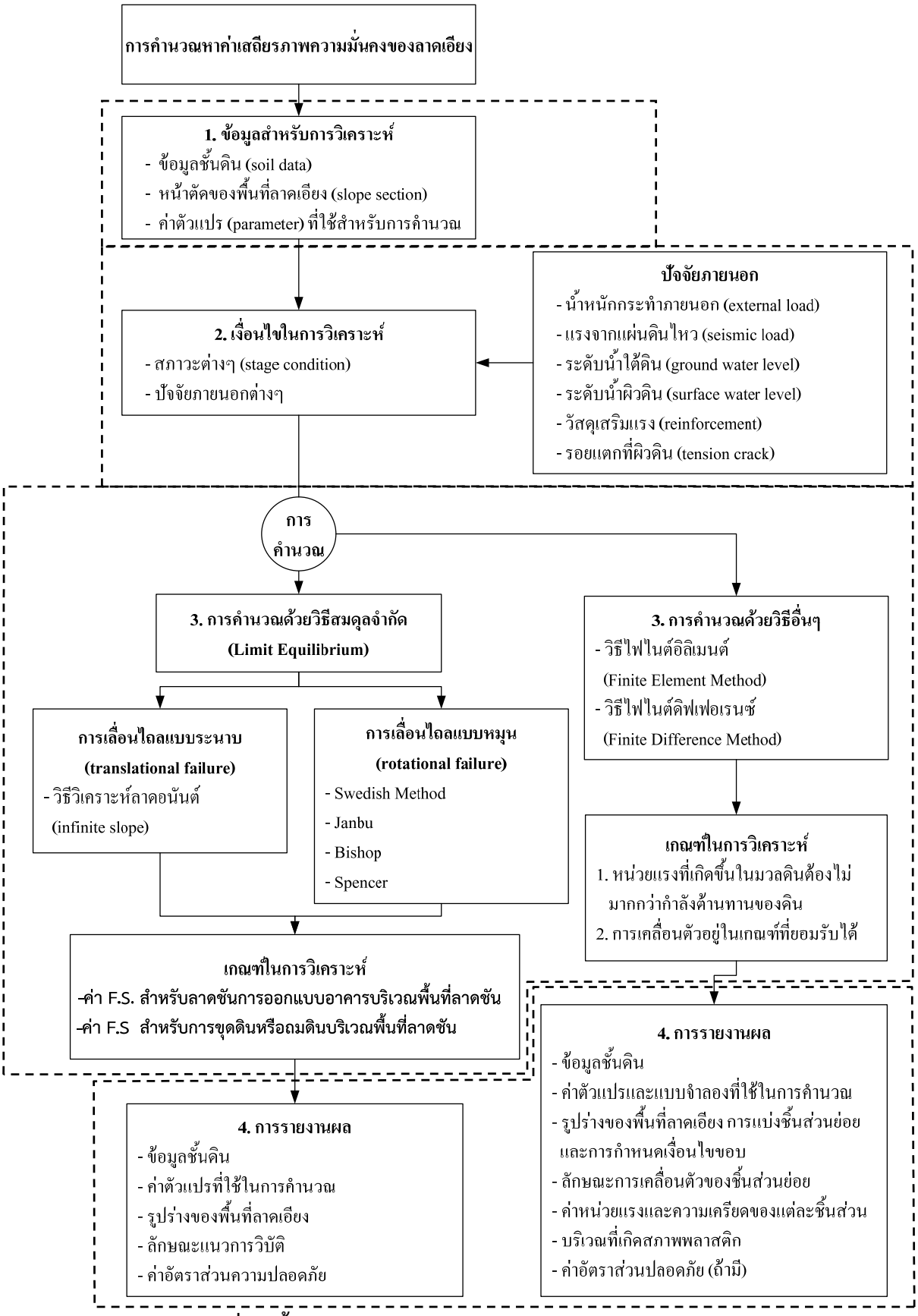
γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (กิโลกรัมแรงต่อลูกบาศก์เมตร)

β = ความชันของแนวการวิบัติ มีหน่วยเป็นองศา

S_r = ระดับความอิ่มตัวของดิน (Degree of Saturation) มีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์

E = โมดูลัสยืดหยุ่น (Young's Modulus) มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

υ = อัตราส่วนปัวซอง (Poisson' Ratio) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 0.5 ไม่มีหน่วย



รูปที่ 1 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียง

(ข้อ 4)

3. มาตรฐานและคู่มืออ้างถึง

3.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1911-52 : มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดิน

3.2 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1249 : มาตรฐานการเจาะสำรวจดิน

3.3 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 302-2551 : มาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าแรงแบบเฉือนตรง (direct shear test)

3.4 คู่มือการใช้มาตรฐานประกอบการปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดิน

หมายเหตุ : หากข้อกำหนดในมาตรฐานนี้มีความขัดแย้งกับมาตรฐานที่อ้างถึงในแต่ละส่วน ให้ถือข้อกำหนดในมาตรฐานนี้เป็นสำคัญ

4. การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความมั่นคงของลาดเอียง (slope) ในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มและบริเวณลาดเชิงเขา

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความมั่นคงของลาดเอียง เมื่อมีการก่อสร้างอาคาร การขุดดินและถมดินในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มและบริเวณลาดเชิงเขา แสดงในรูปที่ 1 เนื้อหาบางส่วนเพิ่มเติมจาก มยผ.1911-52 : มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงที่ปลอดภัยในงานขุดดินและถมดิน โดยแบ่งเป็น 4 ส่วนหลัก คือ

(1) การเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

(2) การกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์

(3) การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียง

(4) การรายงานผล

4.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ประกอบด้วย

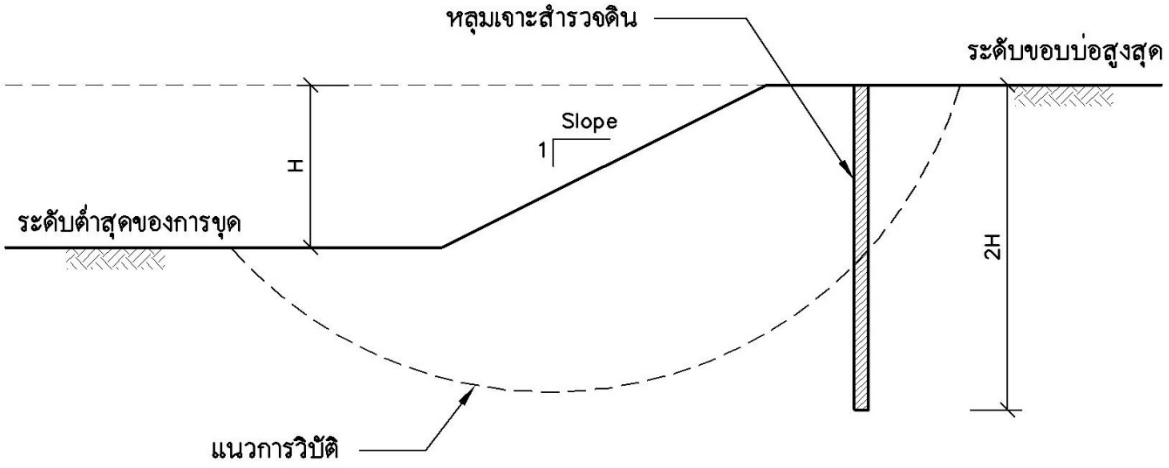
4.1.1 ข้อมูลชั้นดิน (soil data) และการแปลผล (interpretation) เป็นข้อมูลที่แสดงลักษณะและคุณสมบัติของดินในบริเวณที่จะทำการก่อสร้างอาคาร การขุดดินหรือถมดิน

4.1.1.1 ข้อมูลชั้นดินสามารถทราบได้จากข้อมูลที่มีอยู่แล้วหรือข้อมูลจากพื้นที่ข้างเคียงหรือการเจาะสำรวจดิน สามารถทำได้โดยใช้วิธีดังต่อไปนี้

- การเจาะสำรวจโดยใช้เครื่องเจาะสว่าน (hand auger)
- การเจาะแบบฉีดล้าง (wash boring) หรือแบบ rotary drilling
- การขุดบ่อสำรวจ (test pits)

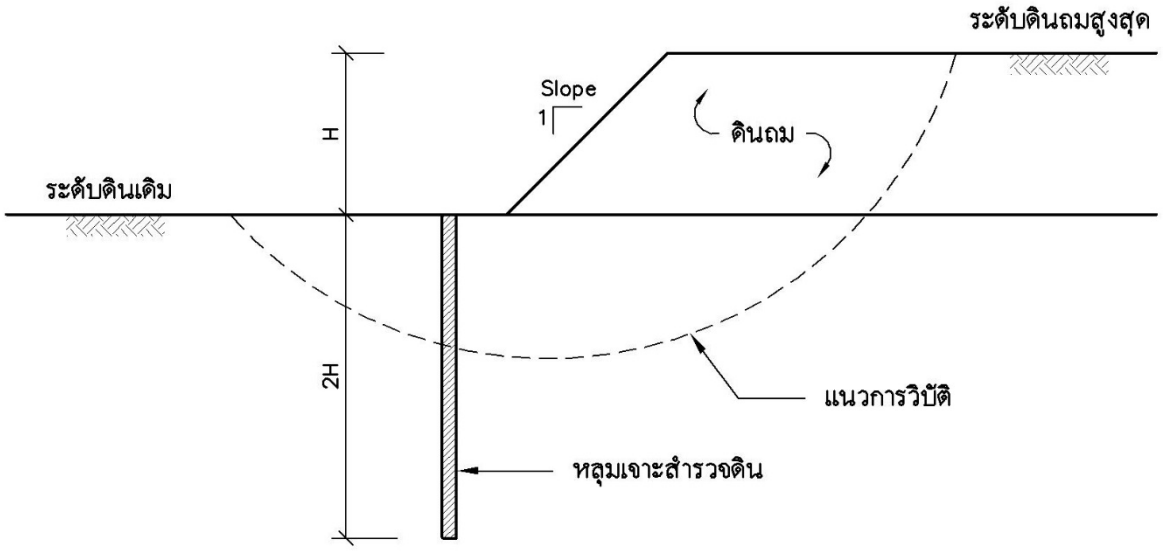
4.1.1.2 จำนวนหลุมเจาะสำรวจดินให้เป็นไปตามมาตรฐาน มยผ. 1249 : มาตรฐานการเจาะสำรวจดิน

4.1.1.3 การเจาะสำรวจสำหรับงานก่อสร้างอาคาร งานขุดดินและถมดิน ความลึกของการเจาะสำรวจต้องมากกว่า 2 เท่าของความลึกที่ระดับต่ำสุดของงานขุด และความสูงที่ระดับสูงสุดของงานถม ดังรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหากพบชั้นดินแข็งภายในระยะที่กำหนดดังกล่าว และมีความหนาเพียงพอต่อการรักษาเสถียรภาพของพื้นที่ลาดเอียงอาจหยุดเจาะสำรวจก่อนถึงความลึกที่แนะนำไว้ได้



รูปที่ 2 ความลึกในการเจาะสำรวจดินสำหรับการขุดดิน

(ข้อ 4.1.1.3)



รูปที่ 3 ความลึกในการเจาะสำรวจดินสำหรับการถมดิน

(ข้อ 4.1.1.3)

4.1.1.4 การเจาะสำรวจดินต้องสามารถเก็บตัวอย่างดิน หรือทำการทดสอบในสนามเพื่อให้ได้คุณสมบัติดินที่เพียงพอต่อการคำนวณหาค่าเสถียรภาพของพื้นที่ลาดเอียง แต่สำหรับพื้นที่ภูเขาหรือพื้นที่ลาดเชิงเขาการเจาะสำรวจดินอาจไม่สามารถทำได้หรือเกิดความยุ่งยากไม่สามารถเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาใช้ทดสอบได้ ซึ่งสามารถทำการขุดบ่อสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (undisturbed sample) แทนได้

4.1.1.5 การขุดบ่อสำรวจ (test pit) เป็นวิธีที่ให้ข้อมูลชั้นดินการวางตัวของชั้นดิน ที่สมบูรณ์ที่สุดวิธีหนึ่ง และยังสามารถถ่ายภาพหรือเก็บข้อมูลลักษณะชั้นดินได้อย่างชัดเจน ขนาดหลุมมีความกว้างประมาณ 0.8-1.0 เมตร และลึกตามความเหมาะสมหรือจนกระทั่งถึงชั้นดินแข็ง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะการเปิดบ่อสำรวจดิน

(ข้อ 4.1.1.4)

ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี (2549)

4.1.1.6 การเก็บตัวอย่างดินและหิน ดำเนินการเก็บตัวอย่างได้ 2 ลักษณะ คือตัวอย่างดินไม่คงสภาพ (disturbed Sample) และตัวอย่างดินคงสภาพ (undisturbed sample)

ตัวอย่างดินไม่คงสภาพนำมาทดสอบสอบหาค่าคุณสมบัติพื้นฐาน (basic properties test) ของดิน เช่น การทดสอบหาปริมาณความชื้นในดิน (water content) ขนาดของเม็ดดิน (sieve analysis) และหน่วยน้ำหนัก (unit weight) เป็นต้น

ตัวอย่างดินคงสภาพนำมาทดสอบหาค่าคุณสมบัติกำลังรับแรงเฉือน (shear strength) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินในสนามที่ใช้โดยทั่วไปคือ tube sampling หรือ box sampling นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างดินและหินในพื้นที่ดินถล่มได้ เรียกว่า KU-miniature sampler

- tube sampling หรือ box sampling

tube sampling หรือ box sampling เป็นการใช้ท่อ กล่องหรือแหวน ในการเก็บตัวอย่าง มักใช้กับดินที่มีความแข็งไม่มากประเภท highly weathered soil ซึ่งใช้ได้ผลดีกับดินที่มีระดับผุพังมากและมีดินเหนียวปนอยู่ เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูง 250 มิลลิเมตร ผนังของกระบอกเก็บตัวอย่างหนา 3 มิลลิเมตร โดยกดลงในดินเพื่อเก็บตัวอย่าง ดังรูปที่ 5

ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างให้นำลังหรือกระบอกเก็บไปวางเทินไว้บนบริเวณก้อนดินที่จะทำการเก็บตัวอย่าง ตัดแต่งให้มีขนาดใหญ่กว่าและมีรูปร่างคล้ายลัง หรือกระบอกที่ใช้เก็บตัวอย่าง ต่อจากนั้นใช้เกรียง (แถบแผ่นเหล็กบาง) หรือมีดบางค่อย ๆ บรรจงปาดแต่งก้อนดินรอบ ๆ ลังหรือกระบอกออกอย่างประณีตจนสามารถสวมและกดลังเก็บลงแทนที่ตัวอย่างดินด้านบนที่ถูกปาดแต่งออก ทำดังนี้ไปเรื่อย ๆ ลึกลงมาแต่ละครั้ง ๆ ละ 2-3 ซม. จนกระทั่งลังเก็บสวมครอบตัวอย่างดินได้ครบตลอดความสูงของลังเก็บตามที่ต้องการ จากนั้นใช้มีดหรือเกรียงตัดใต้ก้อนตัวอย่างให้ขาดออกจากชั้นดินเดิม ต่อไปแต่งผิวตัวอย่างดินกับลังเก็บพร้อมทั้งเทขี้ผึ้งปิดหัว-ท้ายให้หนาและสนิท เพื่อป้องกันความชื้นระเหยออก หรืออาจใช้ฝาโลหะปิดหัวท้ายแล้วผนึกให้สนิท

- KU-miniature sampler

การเก็บตัวอย่างดินคงสภาพโดยเครื่องมือเก็บตัวอย่าง KU-miniature นำไปใช้ในหลายพื้นที่ที่เกิดดินถล่ม รูปที่ 6 ตัวอย่างการเก็บตัวอย่างดินคงสภาพในพื้นที่ลาดชัน ซึ่งเครื่องมือเก็บตัวอย่าง KU-miniature sampler แสดงดังรูปที่ 7 ประกอบด้วย

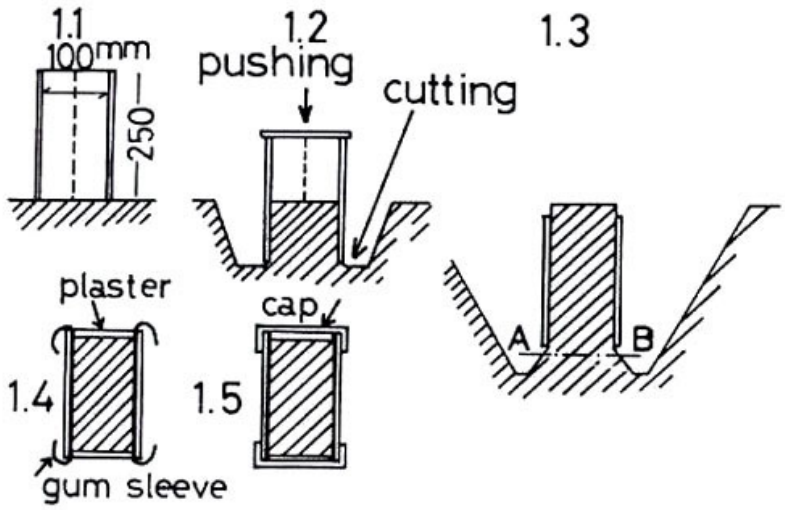
(1) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน KU-miniature sampler

(2) แผ่นฟิล์มพลาสติก สำหรับห่อตัวอย่างดิน

(3) กระดาษฟอยด์ (aluminium foil) สำหรับห่อตัวอย่างดิน

(4) พลาสติกกันกระแทก

(5) พาราฟิน และหม้อต้ม สำหรับเคลือบตัวอย่างป้องกันความชื้น



รูปที่ 5 การเก็บตัวอย่างแบบ tube sample ที่ดันกระบอกในตัวอย่างดิน

(ข้อ 4.1.1.6)

ที่มา : R.Yoshinaka and T.F.Onodera (1977)



รูปที่ 6 ตัวอย่างการเก็บตัวอย่างดินและหินโดยใช้ KU-miniature sampler ในบริเวณพื้นที่ลาดชัน

(ข้อ 4.1.1.6)

ที่มา : สุทธิศักดิ์ (2555)



รูปที่ 7 ชุดเครื่องมือเก็บตัวอย่าง KU-miniature sampler

(ข้อ 4.1.1.6)

ที่มา : วรากรและคณะ (2546,2547)

4.1.1.7 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยตรงสำหรับการวิเคราะห์ด้านดินถล่ม

ลาดดินธรรมชาติที่เกิดการพิบัติมักเกิดจากการพิบัติของดินที่ผุสลายอยู่กับที่ (residual soil) โดยทั่วไปการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนมีวิธีการทดสอบตามหลักการดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบแรงเฉือนแบบเฉือนตรงปกติ (direct simple shear)

การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (direct shear test) ใช้มาตรฐานการทดสอบอ้างอิงจาก มยผ. 302-2551 (รูปที่ 8) สามารถดำเนินการทดสอบได้ทั้งการเฉือนแบบระบายน้ำและไม่ระบายน้ำ การทดสอบดังกล่าวสามารถกระทำได้ โดยการทดสอบตัวอย่างดินในสภาพไม่อิ่มตัวหรือสภาพที่สามารถกำหนดความชื้นของดินได้ตามความต้องการ เพื่อทราบกำลังรับแรงเฉือนที่ได้ ณ ความชื้นที่ทดสอบนั้น

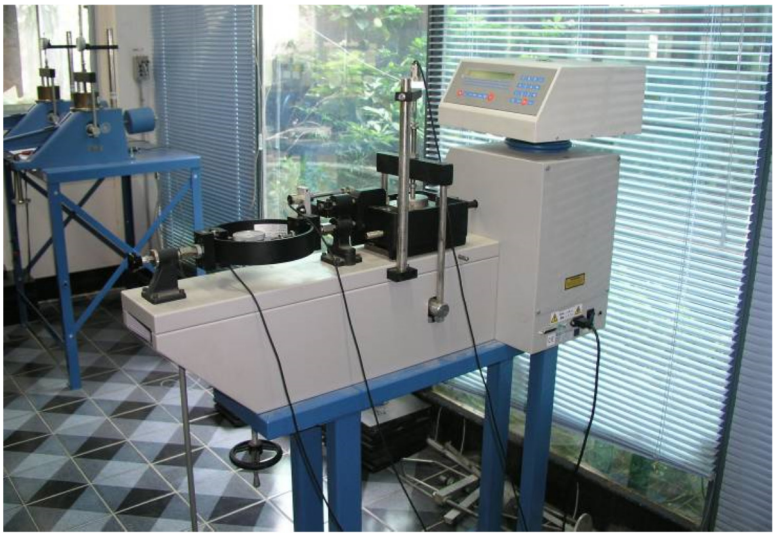
(2) การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนคงค้าง (residual shear strength)

ในการทดสอบหาค่ากำลังเฉือนของดินโดยทั่วไปมักจะหยุดการทดสอบเมื่อค่ากำลังสูงสุด (peak strength) ได้ค่าที่ชัดเจนแล้ว แต่หากทำการเฉือนต่อไปจนเลยจุดซึ่งเป็นค่ากำลังเฉือนที่มากที่สุดจะพบว่า ค่าแรงต้านทานการเฉือนจะลดลง จนกระทั่งเหลือเป็นแรงต้านทานการเฉือนคงที่ ซึ่งเรียกว่า ค่ากำลังคงค้าง (residual strength) แสดงในรูปที่ 9 การทดสอบนี้เหมาะสำหรับบริเวณที่ลาดดินมีการพิบัติและคาดการณ์ว่ามีการสูญเสียกำลังไปแล้ว หรือบางกรณีที่ยืนยันได้ว่ามีการเคลื่อนตัวของลาดดินตามฤดูกาล การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันจึงควรพิจารณาใช้คุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินในสภาวะคงค้างร่วมด้วย

(3) การทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนเมื่อความชื้นเปลี่ยนไป (KU-MDS shear test)

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือน (direct shear) ทั่วๆไป ใช้ตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวน (undisturbed sample) ในการทดสอบอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง เพื่อหาค่ากำลัง (shear strength parameters, (c, $\bar{c}$, ϕ, $\overline{\phi}$)) จากความสัมพันธ์ของ Mohr-Coulomb's ซึ่งในกรณีที่ตัวอย่างเป็นดินที่ผุสลายอยู่กับที่ มีความแปรปรวนตามธรรมชาติ ส่งผลให้บ่อยครั้งที่ตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีลักษณะแตกต่างกัน จึงต้องทำการทดสอบหาค่าตัวแปรกำลังรับแรงเฉือนโดยใช้ตัวอย่างเพียงตัวอย่างเดียว โดยทำการทดสอบเฉือนตัวอย่างจนเกือบถึงจุดวิบัติของในแต่ละ normal load แล้วจึง unload เพื่อเพิ่ม normal load ใหม่ ซึ่งวิธีนี้ให้ค่ากำลังที่น่าเชื่อถือกว่าในกรณีการทดสอบแบบปกติเมื่อทดสอบดิน residual soil วิธีนี้ยังเหมาะสมในกรณีที่มีตัวอย่างน้อย

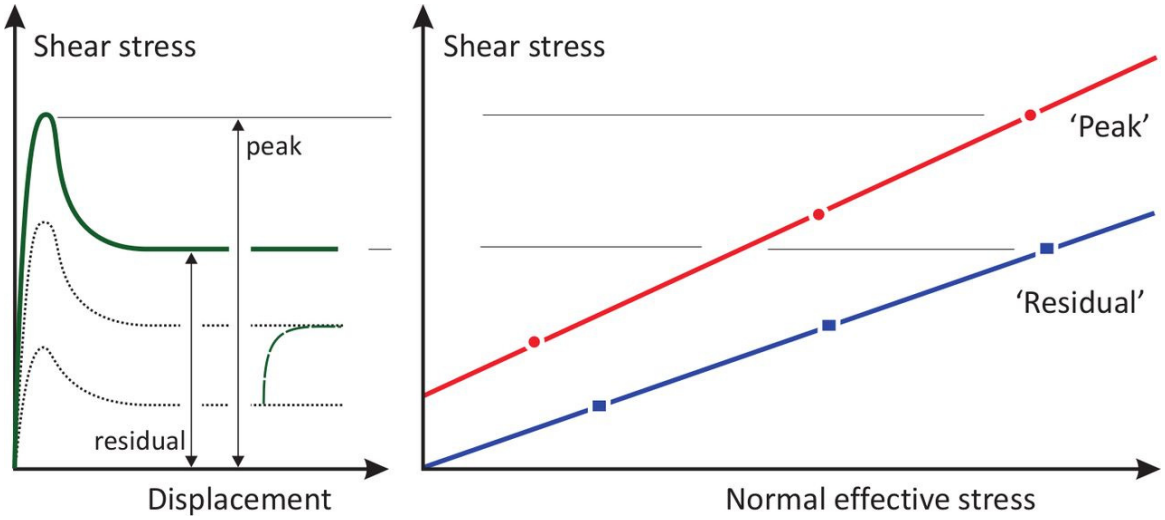
นอกจากการทดสอบแรงเฉือนตามที่กล่าวข้างต้นเพื่อหากำลังของวัสดุแล้วยังสามารถหาด้วยวิธีการอื่นได้ เช่น การทดสอบแรงอัดสามแกน (triaxial test) เป็นต้น



รูปที่ 8 เครื่องทดสอบ Direct Shear Test

(ข้อ 4.1.1.7)

ที่มา : www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/index.html



รูปที่ 9 กำลังของดินที่สภาพกำลังสูงสุดและกำลังคงค้าง

(ข้อ 4.1.1.7)

ที่มา : Fredlund and Morganstern (1977)

4.1.1.8 คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่มีผลต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดเอียง

(1) ค่าหน่วยน้ำหนัก (unit weight, γ) ของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ

(2) ค่ากำลังรับแรงเฉือน (shear strength) ของวัสดุที่ใช้การคำนวณค่าเสถียรภาพความลาดเอียงจะแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ

- กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (undrained shear strength) แทนด้วยตัวแปร S_u ใช้สำหรับกรณีงานขุดดินและถมดินที่เป็นดินเหนียวอิ่มตัวและมีการก่อสร้างโดยเร็ว

- กำลังรับแรงเฉือนแบบหน่วยแรงรวม (Total Stress) แทนด้วยตัวแปร c_u และ ϕ_u ใช้สำหรับกรณีงานขุดดินและถมดินที่เป็นดินชั้นไม่อิ่มตัวและไม่ทราบความดันน้ำชัดเจน เช่น ดินบดอัดในขณะถมคันดิน เป็นต้น

- กำลังรับแรงเฉือนแบบหน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress) แทนด้วยตัวแปร $\bar{c}$ และ $\bar{\phi}$ ใช้สำหรับกรณีงานขุดดินและถมดินที่เป็นดินอิ่มตัวและสามารถทราบความดันน้ำชัดเจน เช่น การขุดดินหรือถมดินเสร็จนานแล้ว หรือมีน้ำไหลผ่านคงที่ เป็นต้น

4.1.1.9 การแปลผลการทดสอบ SPT ที่ได้จากการเจาะสำรวจ เป็นค่ากำลังรับแรงของดิน

การทดสอบตอกแบบทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) ผลการทดสอบที่ได้ระบุเป็นค่า N คือ ค่า blow count ที่ได้จากการเจาะสำรวจดิน ซึ่งค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการตอกจากลูกตุ้มส่งถ่ายลงสู่ปลายก้านเจาะ และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการทดสอบ ดังนั้นผู้เจาะสำรวจควรต้องมีการปรับแก้ค่า N จากประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ทดสอบด้วยทุกครั้ง

ผลการทดสอบค่า SPT นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า N' กับความแข็งแรงของดินเหนียวและดินทรายได้ ดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง N' กับความแข็งแรงของดินเหนียว

(ข้อ 4.1.1.9)

N' (blow/30 cm)	ความอ่อน-แข็งของดินเหนียว	cohesion, c (kN/m^2)
<2	อ่อนมาก (very soft)	< 12.5
2-4	อ่อน (soft)	12.5-25
4-8	แข็งปานกลาง (medium)	25-50
8-15	แข็ง (stiff)	50-100
15-30	แข็งมาก (very stiff)	100-200
>30	แข็งมากที่สุด (hard)	>200

ที่มา : Terzaghi และ Peck (1967)

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง N' กับความแข็งแรงของดินทราย

(ข้อ 4.1.1.9)

N' (Blow/30 cm)	ความหลวม-แน่นของดินทราย	angle of internal friction, Ø (^{o})
0-4	หลวมมาก (very loose)	25-30
4-10	หลวม (loose)	27-32
10-30	แน่นปานกลาง (medium)	30-35
30-50	แน่น (dense)	35-40
>50	แน่นมาก (very dense)	38-45

ที่มา : Meyerhof (1956)

การปรับแก้ค่า N เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินสำหรับดินที่มีขนาดละเอียดมากหรือดินทรายตะกอนที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน สามารถปรับแก้ได้จากสมการที่ 1

$N' = 15 + 0.5 (N - 15)$ เมื่อ $N > 15$ ..... (1)

$= N$ เมื่อ $N < 15$

โดย N' = ค่าตัวเลขทะลุทะลวงมาตรฐานที่ปรับแก้แล้ว

หมายเหตุ : หากไม่สามารถทำการเจาะสำรวจเพื่อทดสอบหาค่า SPT ในสนามได้ อาจใช้วิธีการอื่นซึ่งเป็นที่ยอมรับทั่วไป เช่น การทดสอบ Kunzelstab penetration test หรือวิธี light ram sounding test เป็นวิธีการหยั่งทดสอบชั้นดินในสนาม โดยใช้แรงกระแทกส่งแท่งทดสอบผ่านชั้นดินลงไป ซึ่งแรงต้านการเคลื่อนที่ของแท่งทดสอบสามารถใช้ประมาณค่ากำลัง และความหนาของชั้นดินได้

นอกจากนี้ได้มีการรวบรวมคุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนจากผลการทดสอบตัวอย่างดินที่ผุมาจากหินด้วยวิธี KU-MDS (variable degree of saturation multi stage direct shear test) ซึ่งผลที่ได้จะประกอบไปด้วยค่า cohesion (c) และ friction angle (ϕ) ของแต่ละระดับเปอร์เซนต์ความอิ่มตัว ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ผุพังมาจากกลุ่มหินที่มีความอ่อนไหวต่อดินถล่ม

(ข้อ 4.1.1.9)

rock group	rock name	cohesion,c (kN/m^2)			internal friction angle, ϕ (degree)		
		Sr= 60%	Sr= 80%	Sr= 95%	Sr= 60%	Sr= 80%	Sr= 95%
G1	Granite	34.0	16.0	**12.0**	35.51	30.76	**28.26**
G2	Volcanic	61.0	32.0	**19.0**	34.10	28.92	**22.91**
G3	Sandstone and Siltstone	28.0	21.0	**15.0**	29.46	25.02	**27.50**
G4	Shale and Mudstone	43.0	21.0	**14.0**	36.83	31.34	**25.99**
G5	Interbeded Sedimentary	61.0	21.0	**10.0**	35.08	29.06	**28.52**
G6	Metamorphic	42.0	17.0	**12.0**	34.82	31.11	**30.14**
G9	Sedimentary rock on Khorat plateau	119.0	60.0	**10.0**	30.03	28.57	**29.45**

ที่มา : สุทธิศักดิ์และสูรย์ (2556), สูรย์ (2559)

หมายเหตุ : ค่ากำลังรับแรงของดินในตารางที่ 1 ถึง 3 เป็นเพียงค่าแนะนำเท่านั้น สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคง ผู้ออกแบบต้องใช้ดุลพินิจในการคัดเลือกค่าที่เหมาะสม เนื่องจากการได้มาของค่ากำลังรับแรงของดินสามารถนำมาได้จากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะพิจารณาเลือกใช้

4.1.2 ตำแหน่งหน้าตัดของพื้นที่ลาดเอียงที่ใช้ในการวิเคราะห์ ให้พิจารณาจากหน้าตัดดังต่อไปนี้

(1) หน้าตัดทั่วไป (typical section)

(2) หน้าตัดวิกฤติ (critical section) ให้พิจารณาจาก

- หน้าตัดที่มีความลึกในการขุดมากที่สุด หรือมีความสูงในการถมมากที่สุด
- หน้าตัดบริเวณที่ชั้นดินมีกำลังต่ำที่สุด หรือชั้นดินอ่อนมีความหนามากที่สุด
- หน้าตัดที่มีความชันมากที่สุด หรือมีความชันในการถมมากที่สุด
- หน้าตัดที่มีน้ำหนักอาคารที่จะก่อสร้างตั้งอยู่

(3) หน้าตัดขณะขุดดินหรือถมดิน (temporary section during excavation or fill) สำหรับกรณีที่มีการแบ่งช่วงการขุดดินหรือถมดิน และมีหน้าตัดหรือแรงกระทำที่แตกต่างจากหน้าตัดทั่วไป

4.2 เงื่อนไขในการวิเคราะห์

ในการคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงสำหรับงานก่อสร้างอาคาร งานขุดดินและถมดิน ต้องคำนึงถึงช่วงเวลาสำคัญและปัจจัยต่างๆ ทั้งในการก่อสร้างและการใช้งาน ดังนี้

4.2.1 ช่วงเวลาสำคัญสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพ

(1) ขณะทำการก่อสร้างอาคาร การขุดดินหรือถมดิน

(2) ขณะใช้งานปกติ

(3) สภาวะวิกฤติ เช่น กรณีปริมาณน้ำฝนและช่วงเวลาที่ฝนตกสะสมต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน ส่งผลให้กำลังรับแรงของดินหรือหินลดต่ำลงมาก เป็นต้น

4.2.2 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อเสถียรภาพของพื้นที่ลาดชัน

(1) น้ำหนักกระทำภายนอก (external load) คือ แรงกระทำที่เกิดจากเครื่องจักรในการก่อสร้าง การจราจร หรือสิ่งปลูกสร้าง อาคาร เป็นต้น โดยกำหนดให้น้ำหนักจากเครื่องจักรหรือการจราจรขณะขุดดินหรือถมดินมีค่าไม่น้อยกว่า 20 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (2,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) และน้ำหนักกระทำภายนอกขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 10 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (1,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

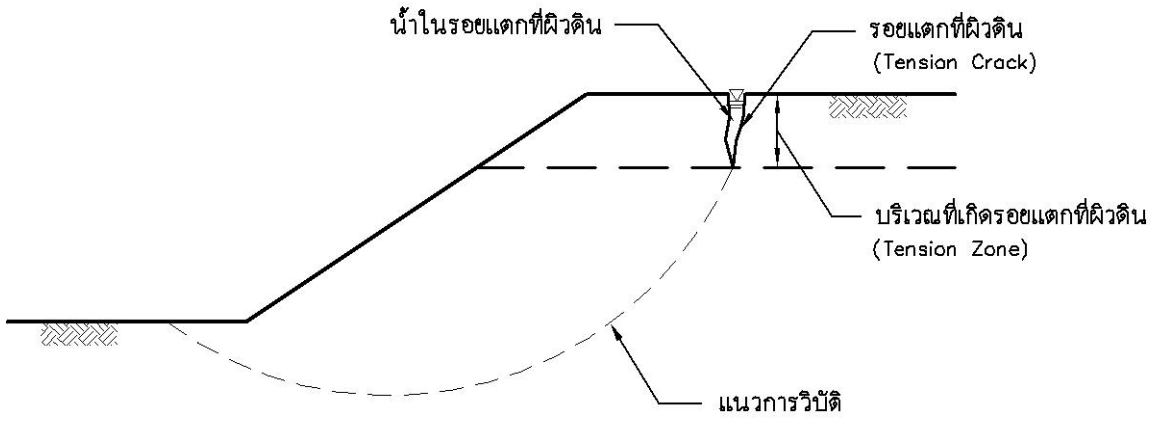
(2) แรงจากแผ่นดินไหว (seismic load) สามารถประยุกต์ใช้หลักการเสมือนสถิตย์ (pseudo static) โดยการใช้สัมประสิทธิ์ความสั่นสะเทือนคูณกับน้ำหนักของมวลดิน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย

(3) ระดับน้ำใต้ดิน (ground water level) เมื่อฝนตกจนทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นจนกระทั่งถึงผิวดิน

(4) ระดับน้ำผิวดิน (surface water level) คือ ระดับน้ำอิสระที่อยู่ด้านข้างพื้นที่ลาดเอียง เช่น แม่น้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ เป็นต้น

(5) วัสดุเสริมแรง (reinforcement) คือ วัสดุที่ใส่เข้าไปในดินเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพ เช่น เสาเข็ม (pile) เสาเข็มดินซีเมนต์ (cement column) แผ่นใยสังเคราะห์ (geotextile) ตาข่ายสังเคราะห์ (geogrid) หรือสลักยึดดิน (soil nail) เป็นต้น

(6) รอยแตกที่ผิวดิน (tension crack) คือ รอยแตกที่เกิดขึ้นบนผิวดินเนื่องจากการแห้งตัว (desiccation crack) หรือการเคลื่อนตัวเล็กน้อยทำให้เกิดแรงดึงบริเวณผิวบนของขอบการขุดดินหรือเนินดิน ซึ่งดินบริเวณที่เกิดรอยแตกจะไม่มีการสัมผัสกันจึงไม่สามารถมีแรงต้านทานการวิบัติได้ ผิวเคลื่อนจึงมักเริ่มต้นเกิดที่ปลายของรอยแตก และหากมีแรงดันน้ำเสริมในรอยแตกดังกล่าว จะทำให้เกิดการวิบัติง่ายขึ้นอีกด้วย ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเกิดรอยแตกที่ผิวดินและแรงดันน้ำในรอยแตก

(ข้อ 4.2.2 (6))

4.3 การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงโดยวิธีสมดุลจำกัด

การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงโดยวิธีสมดุลจำกัด (limit equilibrium) เพื่อหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดเอียง ขึ้นอยู่กับลักษณะการวิบัติ (mode of failure) ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ลักษณะดังต่อไปนี้

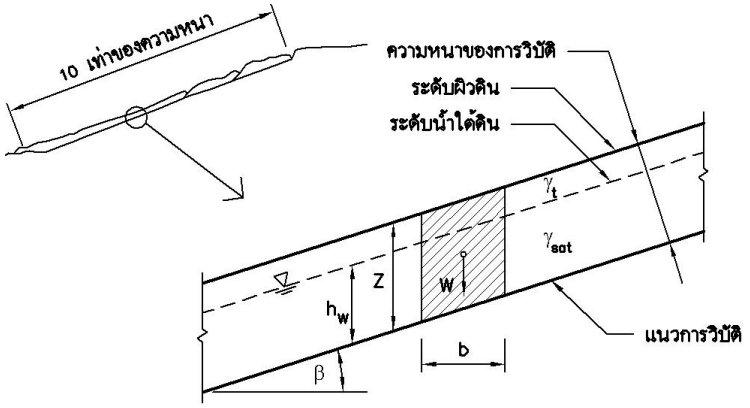
4.3.1 การเลื่อนไถลแบบระนาบ (translational failure)

4.3.1.1 ใช้สำหรับกรณีที่ผิวการวิบัติมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ เลื่อนลงตามผิวลาด ซึ่งส่วนใหญ่เกิดกับพื้นที่ลาดเอียงตามธรรมชาติ หรือพื้นที่ลาดเอียงที่มีผิวบังคับการวิบัติ เช่น ชั้นดินอ่อนซึ่งวางตัวอยู่บนชั้นดินแข็ง การวิบัติจะเกิดบริเวณรอยต่อของชั้นดินทั้งสอง เป็นต้น

4.3.1.2 การเลื่อนไถลแบบระนาบจะพิจารณาโดยเทียบจากสัดส่วนระหว่างความหนาของการวิบัติกับความยาวของระนาบการวิบัติต้องน้อยกว่า 1:10 ดังแสดงในรูปที่ 11

4.3.1.3 อัตราส่วนความปลอดภัยของการเลื่อนไถลแบบระนาบสามารถคำนวณโดยสมการที่ 2

$$F.S. = \frac{\bar{c} + [(\gamma_{sat} - \gamma_w)h_w + \gamma_t(z - h_w)]\tan\bar{\phi}\cos^2\beta}{[\gamma_{sat}h_w + \gamma_t(z - h_w)]\sin\beta\cos\beta} \quad \text{..... (2)}$$

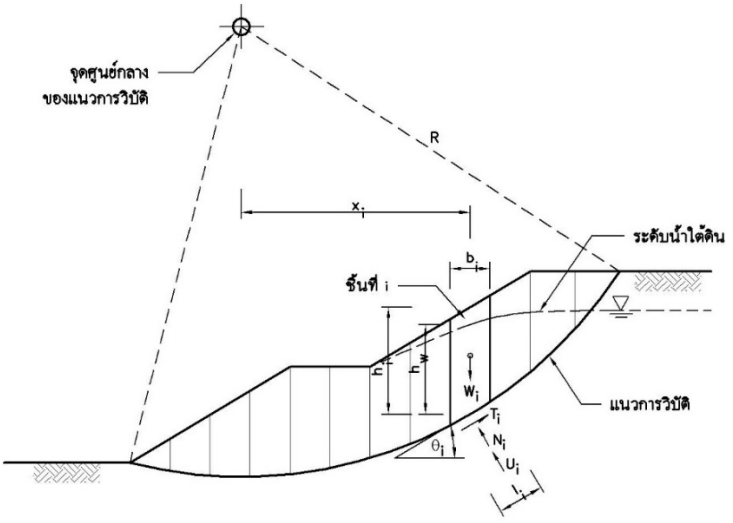


รูปที่ 11 การเลื่อนไถลแบบระนาบ

(ข้อ 4.3.1.2)

4.3.2 การเลื่อนไถลแบบหมุน (rotational failure)

4.3.2.1 ใช้สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของดินที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous soil) โดยสมมุติว่าแนวการวิบัติเป็นส่วนโค้ง ดังรูปที่ 12 ซึ่งอาจจะเป็นส่วนโค้งวงกลม (circular arc) หรือไม่ใช่ส่วนโค้งวงกลม (non-circular)



รูปที่ 12 การเลื่อนไถลแบบหมุน

(ข้อ 4.3.2.1)

4.3.2.2 อัตราส่วนความปลอดภัยของการเลื่อนไถลแบบหมุนสามารถคำนวณโดยวิธีการต่างๆ เช่น Swedish Method, Janbu's Simplified Method และ Bishop's Simplified Method ตามสมการที่ 3 ถึง 8

(1) Ordinary Method of Slices หรือ Swedish Method (Fellenius, 1927)

$$F.S. = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\overline{c_i}.l_i + \left(W_i.\cos\theta_i - U_i\right).\tan\overline{\phi_i}}{\sum_{i=1}^{n}\left[W_i.\sin\theta_i\right]}\right] \qquad \text{..... (3)}$$

(2) Janbu's Simplified Method (1954)

$$F.S. = \frac{f_0\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\overline{c_i}b_i + b_i\left(\gamma_t h_i - \gamma_w.h_{wi}\right).\tan\overline{\phi}_i}{\cos\theta_i M_\theta}\right]}{\sum_{i=1}^{n}\gamma_t b_i.h_i.\tan\theta_i} \qquad \text{..... (4)}$$

เมื่อ $$M_\theta = \cos\theta_i + \frac{(\sin\theta_i\tan\overline{\phi}_i)}{F.S.} \qquad \text{..... (5)}$$

โดยที่

f_0 คือ ค่าปรับแก้ซึ่งขึ้นกับสัดส่วนของความลึก (d) และความยาว (L) ของการวิบัติดังรูปที่ 13 สามารถหาได้จากสมการที่ 6

$$f_0 = 1 + b_\ell\left[\frac{d}{L} - 1.4\left(\frac{d}{L}\right)^2\right] \qquad \text{..... (6)}$$

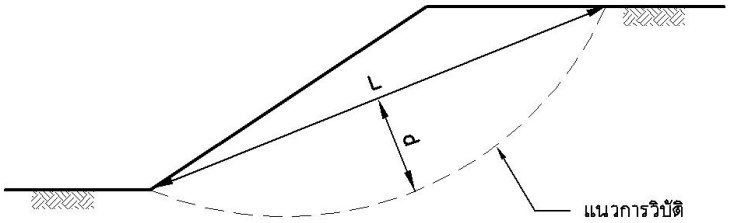
b_ℓ คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับประเภทของดิน ดังนี้

- กรณี ϕ = 0 ให้ใช้ b_ℓ = 0.69
- กรณี c = 0 ให้ใช้ b_ℓ = 0.31
- กรณี ϕ > 0 และ c > 0 ให้ใช้ b_ℓ = 0.50

(3) Bishop's Simplified Method (Bishop, 1955)

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\overline{c_i}b_i + b_i\left(\gamma_t h_i - \gamma_w.h_{wi}\right).\tan\overline{\phi}_i}{M_\theta}\right]}{\sum_{i=1}^{n}\gamma_t b_i.h_i.\sin\theta_i} \qquad \text{..... (7)}$$

เมื่อ $$M_\theta = \cos\theta_i + \frac{(\sin\theta_i\tan\overline{\phi}_i)}{F.S.} \qquad \text{..... (8)}$$



รูปที่ 13 ความลึกและความยาวของการวิบัติสำหรับ Janbu's Simplified Method

(ข้อ 4.3.2.2(2))

4.3.2.3 วิธีการวิเคราะห์การเลื่อนไถลแบบหมุน

(1) วาดรูปร่างของพื้นที่ลาดเอียงที่ต้องการวิเคราะห์ พร้อมทั้งกำหนดคุณสมบัติดิน และปัจจัยภายนอกต่างๆ ที่กระทำกับพื้นที่ลาดเอียง

(2) กำหนดจุดศูนย์กลาง และรัศมี เพื่อสร้างส่วนโค้งของวงกลมแทนลักษณะผิวการวิบัติที่มีโอกาสเกิดหรือเกิดการวิบัติแล้ว

(3) คำนวณค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

(4) เปลี่ยนจุดศูนย์กลาง และรัศมีของการวิบัติที่น่าจะมีโอกาสเกิดขึ้นไปเรื่อย ๆ จนพบค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่น้อยที่สุด จะเป็นลักษณะการวิบัติที่น่าจะเกิดขึ้นมากที่สุด

4.3.2.4 เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์

โดยทั่วไปการวิเคราะห์เสถียรภาพเสถียรภาพความมั่นคงของลาดชัน ควรวิเคราะห์ทั้งลาดชันที่ตัดหรือถมใหม่ (new slope) ลาดชันเดิมที่เคยตัดหรือถมไว้ก่อน (temporary work) และลาดชันตามธรรมชาติ (natural slope) เพื่อหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยตามสภาพลาดชันนั้นๆ

หมายเหตุ: ทุกลาดชันตามธรรมชาติไม่ได้ปลอดภัยเพียงพอในทุกกรณี โดยทั่วไปลาดชันตามธรรมชาติจะเกิดการพังพิบัติช่วงฤดูมรสุม แม้ว่าไม่มีการทำกิจกรรมใด ๆ ก็ตาม เช่น การตัดต้นไม้ หรือการพัฒนาพื้นที่รอบๆ พื้นที่ลาดชันตามธรรมชาติ ดังนั้นเสถียรภาพของลาดชันตามธรรมชาติและบริเวณใกล้เคียงพื้นที่โครงการควรประเมินร่วมด้วย โดยปกติไม่ควรเปลี่ยนแปลงสภาพของลาดชันตามธรรมชาติ และทำลายต้นไม้หรือพืชคลุมดินเพราะลาดชันเพิ่งปรับสภาพให้มีความเสถียรมั่นคงขึ้นเพียงเล็กน้อย กรณีที่ลาดชันมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยไม่เพียงพอ ไม่ควรก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างทั้งหลายบนพื้นที่ที่มีผลต่อเสถียรภาพของลาดชันตามธรรมชาติในบริเวณข้างเคียง

ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.) ที่แนะนำสำหรับการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเชิงเขาที่มีการก่อสร้างอาคาร หรือการขุดดินและถมดินในกรณีการใช้งานปกติด้วยวิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium Method, LEM) แสดงในตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราส่วนปลอดภัยในช่วงเวลาสำคัญอื่น ๆ (ตามข้อ 4.2.1) สามารถปรับลดลงได้ร้อยละ 15-20 หรือตามความเหมาะสม

ตารางที่ 4 อัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเชิงเขา ที่มีการก่อสร้างอาคาร ในกรณีการใช้งานปกติ

(ข้อ 4.3.2.4)

ประเภทอาคาร	อัตราส่วนความปลอดภัยขั้นต่ำ
(ก) อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน เช่น สถานพยาบาล ที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า โรงผลิตและเก็บน้ำประปา	1.80
(ข) อาคารเก็บวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุกัมมันตรังสีหรือวัตถุที่ระเบิดได้	1.80
(ค) อาคารสาธารณะ เช่น โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑสถาน หอสมุด ศาสนสถาน สนามกีฬา อัฒจันทร์ ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถ โรงแรม สถานบริการ และอาคารจอดรถ	1.50
(ง) สถานศึกษา	1.50
(จ) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน	1.50
(ฉ) อาคารที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป	1.50
(ช) อาคารที่มีความสูงตั้งแต่สิบห้าเมตรขึ้นไป	1.50
(ซ) สะพานหรือทางยกระดับที่มีช่วงระหว่างศูนย์กลางตอม่อยาวตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป	1.50
(ฌ) เขื่อนเก็บกักน้ำ เขื่อนทดน้ำหรือฝายทดน้ำ ที่ตัวเขื่อนหรือตัวฝายมีความสูงตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป	1.50
(ญ) ถนนสายหลัก ทางหลวงสายหลัก	1.50
(ฎ) โกดังเก็บสินค้า อาคารเก็บของ พืชผลทางการเกษตร (ไม่มีผลกระทบต่อชีวิต)	1.30
(ฏ) พื้นที่โล่ง พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่การเกษตร ลานจอดรถ ถนนสายรอง (ไม่มีผลกระทบต่อชีวิต)	1.30

ตารางที่ 5 อัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเชิงเขา ที่มีการขุดดินหรือถมดิน ในกรณีการใช้งานปกติ

(ข้อ 4.3.2.4)

ประเภทงานขุดดินหรือถมดิน	อัตราส่วนความปลอดภัยขั้นต่ำ
งานขุดดินแบบถาวร และมีสิ่งก่อสร้างในระยะใกล้เคียงที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตหรือทรัพย์สิน	1.80
งานขุดดินแบบถาวร และไม่มีสิ่งก่อสร้างในระยะใกล้เคียง	1.50
งานขุดดินแบบชั่วคราว และมีสิ่งก่อสร้างในระยะใกล้เคียงที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตหรือทรัพย์สิน	1.50
งานขุดดินแบบชั่วคราว และไม่มีสิ่งก่อสร้างในระยะใกล้เคียง	1.30
งานถมดินแบบถาวร และมีสิ่งก่อสร้างในระยะใกล้เคียงที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตหรือทรัพย์สิน	1.80
งานถมดินแบบถาวร และไม่มีสิ่งก่อสร้างในระยะใกล้เคียง	1.50
งานถมดินแบบชั่วคราว และมีสิ่งก่อสร้างในระยะใกล้เคียงที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตหรือทรัพย์สิน	1.50
งานถมดินแบบชั่วคราว และไม่มีสิ่งก่อสร้างในระยะใกล้เคียง	1.30

4.4 การรายงานผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง

การรายงานผลการคำนวณค่าเสถียรภาพความลาดเอียงต้องแสดงข้อมูลอย่างน้อย ดังนี้

(1) รายงานข้อมูลชั้นดิน

(2) ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

(3) ลักษณะรูปร่างของพื้นที่ลาดเอียง

(4) ลักษณะแนวการวิบัติ

(5) ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

5. การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงโดยวิธีอื่นๆ

การคำนวณหาค่าเสถียรภาพความลาดเอียงโดยวิธีอื่นๆ นอกจากวิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium Method, LEM) เพื่อต้องการหาปริมาณการเคลื่อนตัวหรือหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลาดเอียง สามารถคำนวณโดยใช้วิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ซึ่งวิธีที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน คือ วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) และวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method, FDM) ทั้งนี้ขั้นตอนการคำนวณโดยวิธีเชิงตัวเลขมีความยุ่งยากซับซ้อน ส่วนใหญ่จึงต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ ทั้งนี้การเตรียมข้อมูลและเงื่อนไขในการวิเคราะห์ให้เป็นไปตามข้อ 4.1 และข้อ 4.2 ตามลำดับ

5.1 เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ต้องสามารถนำมาประเมินว่า

(1) สถานะหน่วยแรง (stress) ที่เกิดขึ้นในมวลดินต้องไม่มากกว่ากำลังต้านทานของดิน (mobilized strength of soil) จนส่งผลให้บริเวณที่เกิดสภาพพลาสติก (plastic zone) ขยายตัวไปเป็นระนาบวิบัติ (failure plane)

(2) ปริมาณการเคลื่อนตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นในมวลดิน จะต้องอยู่ในเกณฑ์ใช้งานที่ยอมรับได้ (serviceability) โดยไม่ส่งผลต่อการใช้งานของอาคาร สิ่งก่อสร้าง และโครงสร้างพื้นฐานข้างเคียง

5.2 การรายงานผล

การรายงานผลอาจจะแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟิก และ/หรือรูปแบบตารางตัวเลข ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลอย่างน้อย ดังนี้

(1) ข้อมูลชั้นดิน

(2) ค่าตัวแปรและแบบจำลอง (model) ที่ใช้ในการคำนวณ

(3) รูปร่างของพื้นที่ลาดเอียง การแบ่งชิ้นส่วนย่อย (mesh generation) และการกำหนดเงื่อนไขขอบ (boundary condition)

(4) ลักษณะการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนย่อย (mesh deformation)

(5) ค่าหน่วยแรงและความเครียดของแต่ละชิ้นส่วนย่อย

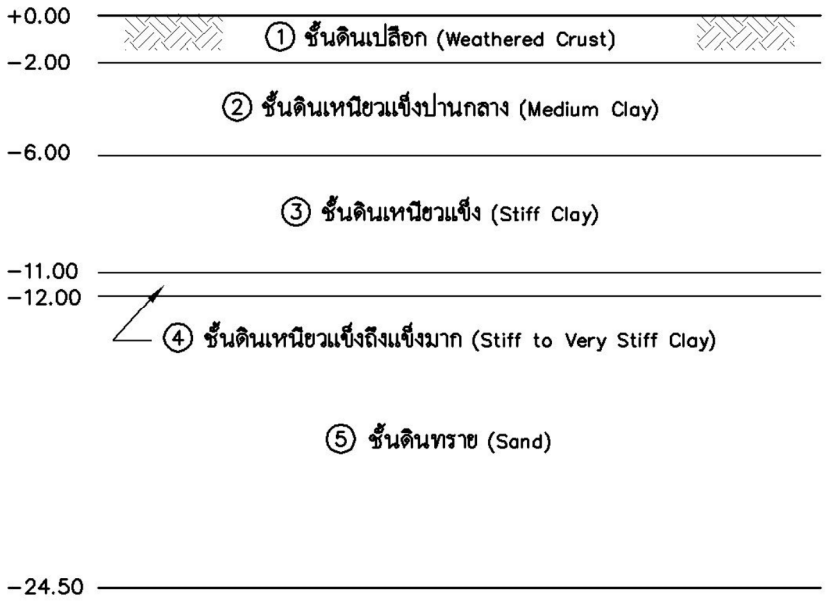
(6) บริเวณที่เกิดสภาพพลาสติก (plastic zone)

(7) ค่าอัตราส่วนปลอดภัย (ถ้ามี)

6. ตัวอย่างการคำนวณเสถียรภาพความลาดชัน

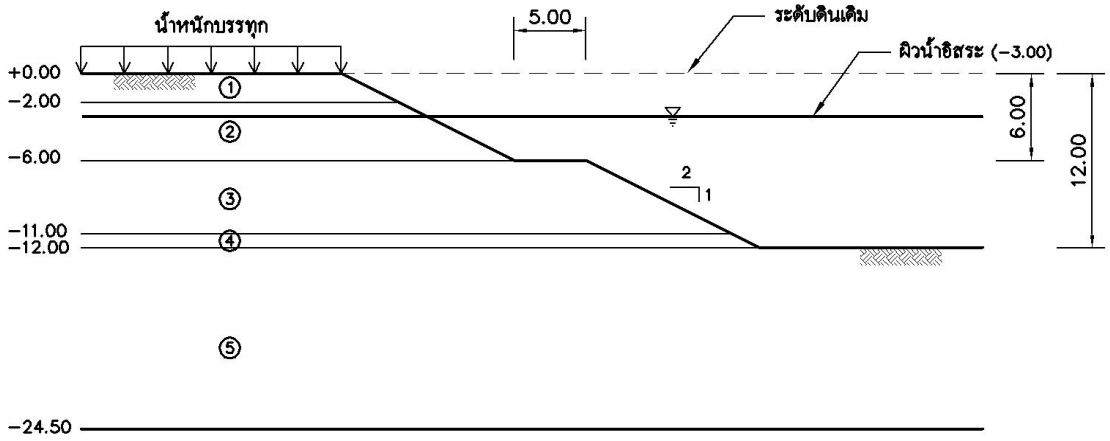
ตัวอย่างรายละเอียดการคำนวณเสถียรภาพลาดชันได้มีการจัดทำไว้ในคู่มือการใช้มาตรฐานประกอบการปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดินอย่างละเอียด ซึ่งในส่วนของมาตรฐานนี้จะนำเสนอบางส่วนเพื่อเป็นตัวอย่างสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ขั้นตอนการคำนวณเสถียรภาพลาดชัน เริ่มจากการสำรวจสภาพพื้นที่โครงการ เจาะสำรวจชั้นดิน แปรผลสภาพชั้นดินและลักษณะของชั้นดิน รูปที่ 14 และตารางที่ 6 แสดงตัวอย่างลักษณะชั้นดินที่ได้จากการแปรผลข้อมูลจากการเจาะสำรวจและการทดสอบ รูปที่ 15 ลักษณะหน้าตัดที่จะทำการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดชัน พร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์



รูปที่ 14 ตัวอย่างลักษณะของชั้นดินที่ใช้ในการคำนวณ

(ข้อ 6)



รูปที่ 15 ตัวอย่างลักษณะหน้าตัดสำหรับการคำนวณหาค่าเสถียรภาพ

(ข้อ 6)

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของดินที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีสมดุลจำกัด

(ข้อ 6)

ลำดับ	ชั้นดิน	c (kN/m^2)	ϕ (^{o})	γ (kN/m^3)	E (kN/m^2)	υ
1	ดินเปลือก	50.0	10.0	17.7	12,000	0.3
2	ดินเหนียวแข็งปานกลาง	27.9	0.0	15.2	6,696	0.3
3	ดินเหนียวแข็ง	44.4	0.0	23.1	10,656	0.3
4	ดินเหนียวแข็งถึงแข็งมาก	79.3	0.0	16.2	19,032	0.3
5	ดินทราย	0.0	38.5	19.3	30,000	0.3

หมายเหตุ : การวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลจำกัดใช้ค่า c, ϕ และ γ เท่านั้น เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ใช้ค่า c, ϕ , γ, E และ υ

6.1 ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธีสมดุลจำกัดโดยใช้ตาราง

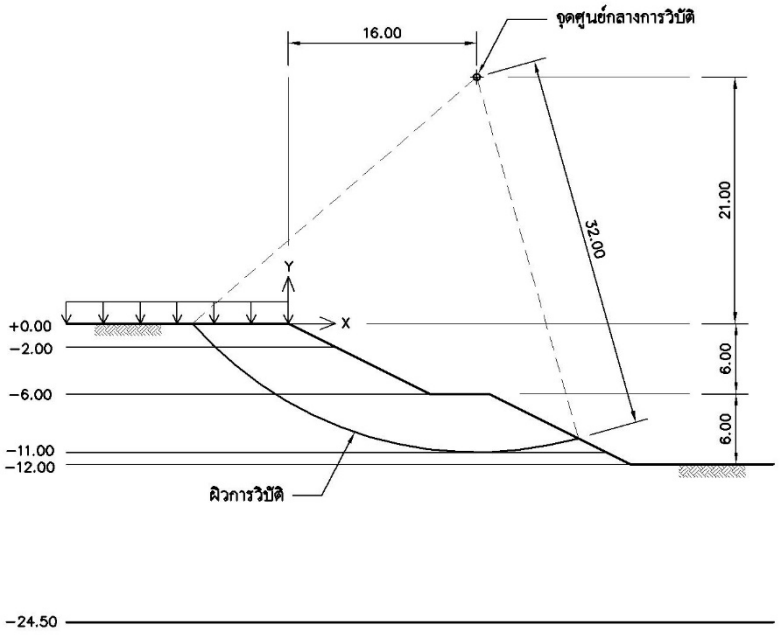
การคำนวณโดยใช้ตารางคำนวณสามารถทำได้ ดังนี้

(1) วาดรูปหน้าตัดที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมีเพื่อเป็นตัวแทนของวงการวิบัติ ดังรูปที่ 16

(2) แบ่งชิ้นส่วนมวลดินตามแนวดิ่งให้มีความกว้างเท่าๆ กัน และแบ่งเพิ่มเติมบริเวณที่เป็นจุดเปลี่ยนความชัน และบริเวณที่วงการวิบัติตัดกับชั้นดิน ดังรูปที่ 17

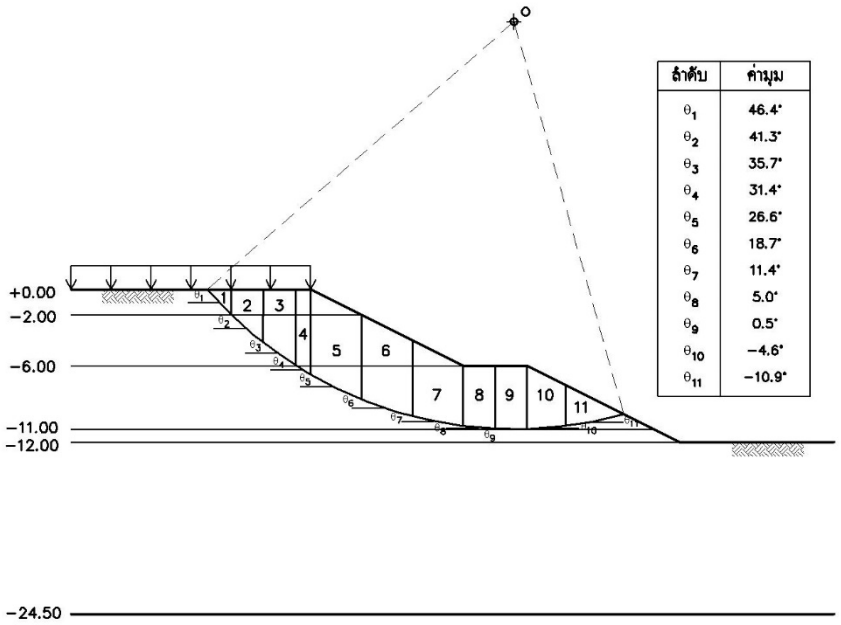
(3) วัดความกว้างของแต่ละชิ้นส่วน คำนวณน้ำหนัก และหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินบริเวณที่วงการวิบัติตัดผ่าน แล้วนำผลใส่ในตารางคำนวณ

(4) คำนวณค่าต่างๆ ในตารางโดยวิธี Simplified Bishop ดังตารางที่ 7 ได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับผิวการวิบัติที่กำหนดเท่ากับ 2.06



รูปที่ 16 การกำหนดจุดศูนย์กลางและรัศมีสำหรับการวิเคราะห์

(ข้อ 6)



รูปที่ 17 การแบ่งชิ้นส่วนมวลดินตามแนวดิ่ง

(ข้อ 6)

ตารางที่ 7 ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธีสมดุลจำกัด โดยใช้ตารางคำนวณ (ข้อ 6)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)				(12)				(13)
Slice No.	c (kN/m^2)	ϕ (deg.)	b_i (m)	θ_i (deg.)	h_i (m)	$\tan\phi$	$c.b_i$ (kN)	$\gamma.h_i.b_i$ (kN)	$[(7)+(8)]*(9)$ (kN)	M_θ				$(10)/M_\theta$				$(9)*\sin\theta_i$
										T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	
1	50	10	1.90	46.44	1.05	0.18	94.84	37.15	101.39	0.77	0.75	0.75	0.75	130.94	134.98	134.37	135.00	26.92
2	27.9	0	2.53	41.27	3.05	0.00	70.46	132.23	70.46	0.75	1.00	0.75	0.75	93.74	70.56	93.74	93.74	87.22
3	27.9	0	2.55	35.67	5.00	0.00	71.08	208.90	71.08	0.81	1.00	0.81	0.81	87.49	71.35	87.49	87.49	121.81
4	44.40	0	1.18	31.41	6.31	0.00	52.20	122.69	52.20	0.85	0.99	0.85	0.85	61.16	52.51	61.16	61.16	63.94
5	44.40	0	4.00	26.56	6.78	0.00	177.60	475.02	177.60	0.89	0.99	0.89	0.89	198.55	178.85	198.55	198.55	212.40
6	44.40	0	4.00	18.67	6.44	0.00	177.60	496.46	177.60	0.95	0.99	0.95	0.95	187.46	178.73	187.46	187.46	158.93
7	44.40	0	4.00	11.44	5.54	0.00	177.60	474.00	177.60	0.98	1.00	0.98	0.98	181.20	178.43	181.20	181.20	94.01
8	44.40	0	2.50	5.05	4.88	0.00	111.00	281.82	111.00	1.00	1.00	1.00	1.00	111.43	111.40	111.43	111.43	24.81
9	44.40	0	2.50	0.46	5.00	0.00	111.00	288.75	111.00	1.00	1.00	1.00	1.00	111.00	111.42	111.00	111.00	2.32
10	44.40	0	3.08	-4.61	4.11	0.00	136.75	292.42	136.75	1.00	1.00	1.00	1.00	137.20	137.10	137.20	137.20	-23.50
11	44.40	0	4.55	-10.94	1.88	0.00	202.02	197.60	202.02	0.98	1.00	0.98	0.98	205.76	202.13	205.76	205.76	-37.50
													Σ	1505.95	1427.47	1509.37	1510.01	731.35

F.S. = SUM of COL.(12)/SUM of COL.(13)

Trial No.	T1	T2	T3	T4
Assumed F	1.500	2.059	1.952	2.064
Calculated F	2.059	1.952	2.064	**2.065**
Difference of F	-0.559	0.107	-0.112	-0.001

6.2 ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธีสมดุลจำกัดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

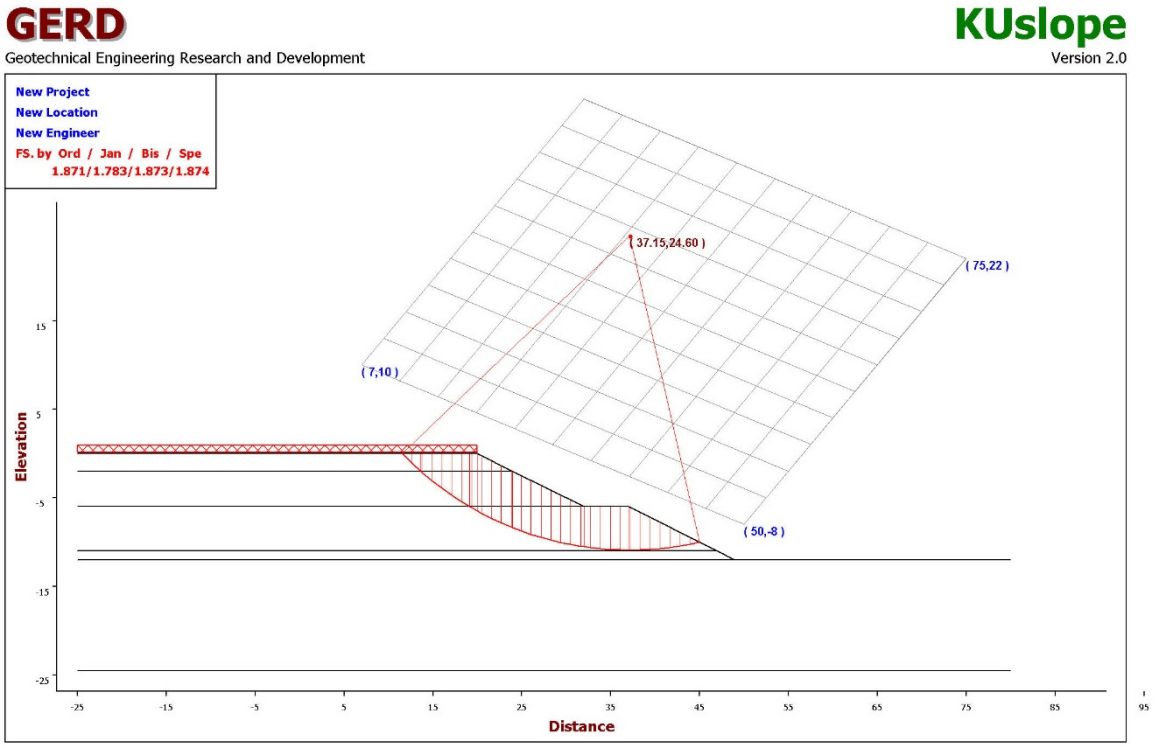
การคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ ดังนี้

(1) ป้อนข้อมูลคุณสมบัติดินและข้อมูลรูปร่างของชั้นดิน

(2) กำหนดวิธีการค้นหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุด

การคำนวณเสถียรภาพลาดชันโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้หลายโปรแกรม เช่น KUslope 2.0 ,Slope-W, Slide เป็นต้น ตัวอย่างผลการคำนวณใช้โปรแกรม KUslope 2.0 แสดงดังรูปที่ 18 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ลาดชันมีความปลอดภัยเพียงพอทั้งในระหว่างการก่อสร้างและใช้งาน คือในระหว่างการก่อสร้างมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.87-1.96 (มากกว่า 1.30) และในช่วงการใช้งานมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.56-2.46 (มากกว่า 1.50)



รูปที่ 18 ตัวอย่างผลการคำนวณโดยโปรแกรม KUslope 2.0

(ข้อ 6)

6.3 ตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

การคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ ดังนี้

การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์สามารถทำได้โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น โปรแกรม Plaxis, Midas เป็นต้น ซึ่งแต่ละโปรแกรมมีหลักการที่คล้ายกัน ซึ่งอาจมีรายละเอียดการใช้งานที่แตกต่างกันบ้าง โดยทั่วไปมีหลักการดังนี้

(1) กำหนดคุณสมบัติชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์

(2) กำหนดเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition)

(3) แบ่งชิ้นส่วนย่อย (mesh generation) สำหรับแต่ละกรณีการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 19

(4) กำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ เช่น หน่วยแรง ระดับน้ำ เป็นต้น

(5) วิเคราะห์หน่วยแรงในมวลดิน ลักษณะการเคลื่อนตัว และบริเวณที่เกิดสภาพพลาสติก (plastic zone) ผลการวิเคราะห์สำหรับแต่ละกรณีแสดงในตารางที่ 8 และรูปที่ 20 ถึง 22 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 สรุปผลการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

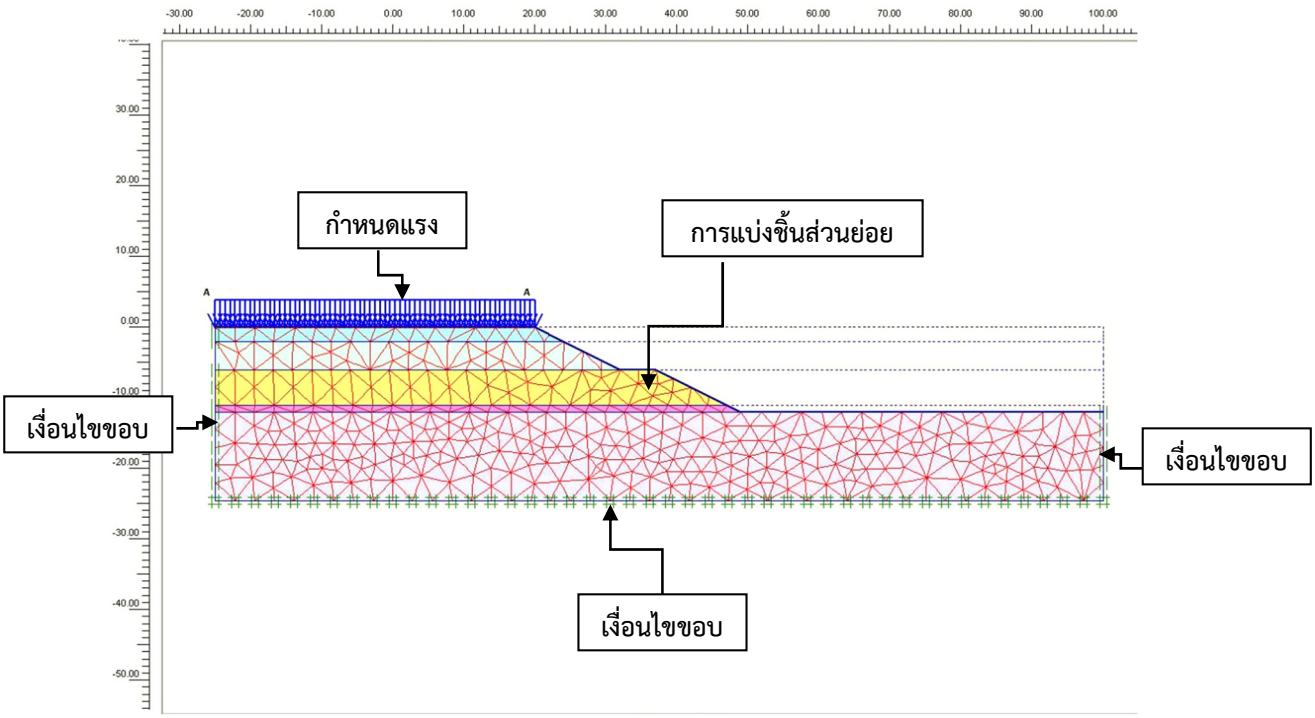
(ข้อ 6)

ลำดับ	กรณี	Live Load (kN/m^2)	F.S.	ระยะการเคลื่อนตัวในแนวราบ (cm.)
1	กรณีทำการขุดดินที่ความลึกไม่เกิน 6 เมตร	20	2.32	5.5
2	กรณีทำการขุดดินที่ความลึกไม่เกิน 12 เมตร (ต่อจากกรณี 1)	20	2.04	7.1
3	กรณีหลังจากขุดดินแล้วเสร็จ และมีน้ำในบ่อขุดดิน	10	2.92	5.0
4	กรณีระดับน้ำในบ่อลดระดับอย่างรวดเร็ว	10	1.90	7.4

หมายเหตุ : การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์จะทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนการก่อสร้าง เช่น ทำการขุดดินที่ความลึก 6 เมตร ขั้นตอนต่อมาทำการขุดต่อจากเดิม 6 เมตร ขุดต่อไปถึง 12 เมตร หลังจากนั้นเติมน้ำเต็มบ่อ และสมมติกรณีน้ำลดอย่างรวดเร็ว เป็นต้น

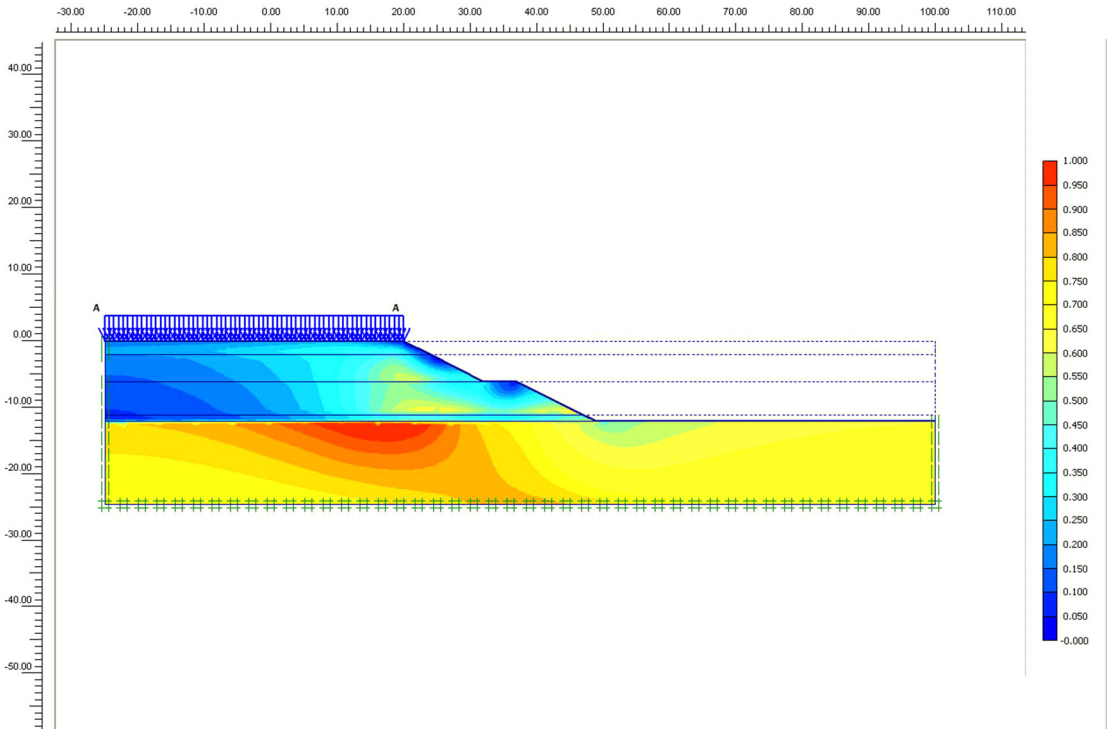
6.4 การออกแบบป้องกันการพังทลายของพื้นที่ลาดเอียง

สำหรับตัวอย่างการออกแบบป้องกันการพังทลายของพื้นที่ลาดเอียงด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การเสริมแรงด้วย เสาเข็ม เข็มพืด เข็มสมอ เป็นต้น แสดงรายละเอียดในคู่มือการใช้มาตรฐานประกอบการปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดิน



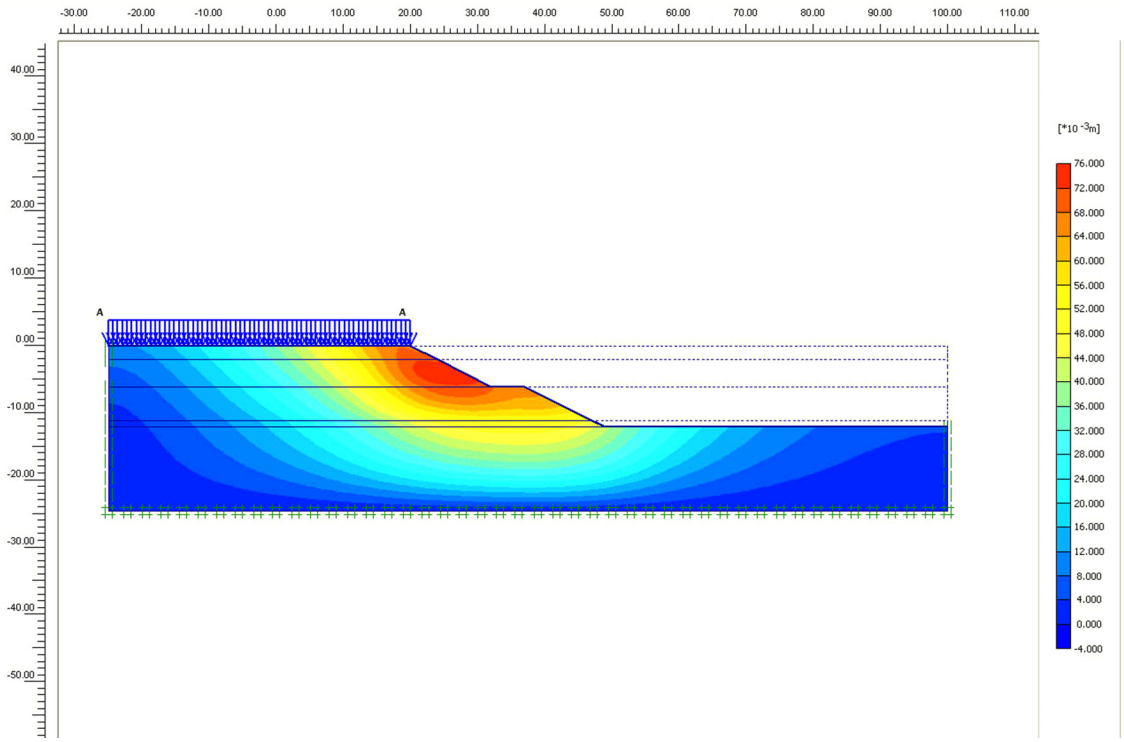
รูปที่ 19 ตัวอย่างการแบ่งชิ้นส่วนย่อยและการกำหนดเงื่อนไขขอบ

(ข้อ 6)



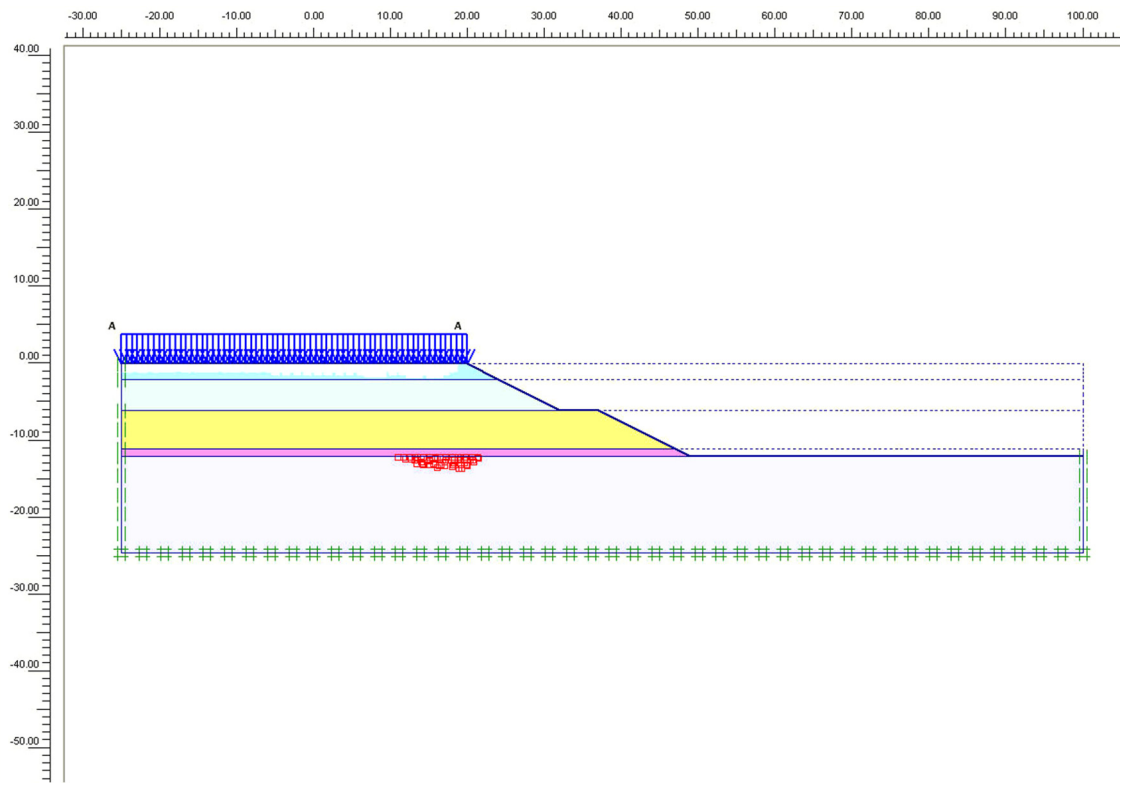
รูปที่ 20 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์หน่วยแรงในมวลดิน

(ข้อ 6)



รูปที่ 21 ตัวอย่างลักษณะการเคลื่อนตัว

(ข้อ 6)



รูปที่ 22 ตัวอย่างบริเวณที่เกิดสภาพพลาสติก

(ข้อ 6)

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 รายงานการศึกษาพฤติกรรมการเกิดน้ำท่วม-ดินถล่ม ในพื้นที่ต้นแบบเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับกำหนดเกณฑ์และวิธีการในการเตือนภัย, 2551. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

7.2 วรากร ไม้เรียงและบรรพต กุลสุวรรณ, 2548. การศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

7.3 วรากร ไม้เรียงและนงลักษณ์ ไทยเจียมอารีย์, 2546. เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำก้อโดยใช้คุณสมบัติทางวิศวกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

7.4 สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, 2555. สารคดีภาพ วิศวกรรมปฐพี ชุด ธรณีภัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. หจก. พรีวัน, กรุงเทพฯ.

7.5 สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ และ สูรย์ พัฒนาประทีป, 2556. “คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่ผุพังมาจากหินแกรนิตยุคครีเตเชียสในประเทศไทยสำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินโอกาสในการเกิดดินถล่ม. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 18. โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่. ระหว่างวันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556 จัดโดย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

7.6 สูรย์ พัฒนาประทีป, 2559. การวิเคราะห์โอกาสเกิดดินถล่มด้วยวิธีความน่าจะเป็นที่มีผลจากความไม่แน่นอนของคุณสมบัติดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

7.7 Bishop, A.W., 1955. “The use of the slip circle in the stability analysis of slopes”, Geotechnique Vol. 5(1).

7.8 Fellenius, W., 1927. “Erdstatische Berechnungen mit Reibung and Kohaesion und unter Annahme kres-zylinferische Gleitflachen“, Ernst, Berlin.

7.9 Fredlund and Morganstern, 1997. Stress State Variables for Unsaturated Soils. Cited by D.G. Fredlund and H. Rahardjo. Soil Mechanics for Unsaturated Soils. John Wiley & Son, INC., New York.

7.10 Janbu, N., 1954. "Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis", Proceedings, European Conference on Stability of Earth Slopes, Stockholm.

7.11 Meyerhof, G.C., 1956. Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.82, No.SM1, 1-19 pp.

7.12 Terzaghi, K., R.B. Peck and G. Mesri., 1996. Soil mechanics in engineering practice. 3rd , John Wiley & Sons, Singapore, 549 p.

7.13 Yoshinaka, R. and T.F.Onodera. 1997. Undisturbed sampling of decomposed granite soil and its mechanical properties. Soil sampling paper presented at the specialty session 2 internal conference on soil mechanical and foundation engineering, Tokyo.

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

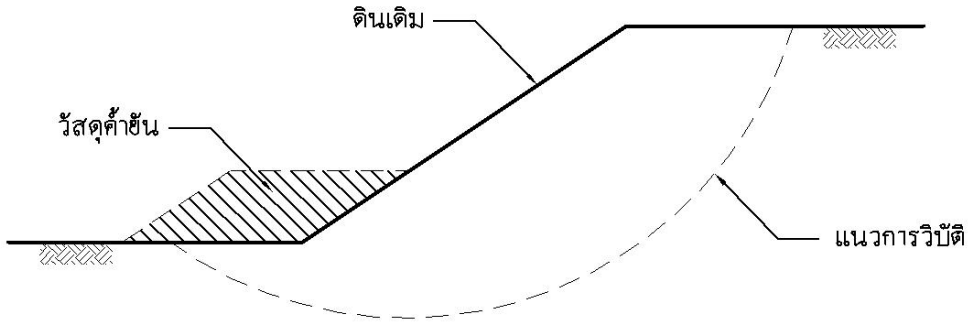
หลักการใช้น้ำหนักยันเป็นการเพิ่มแรงต้านทานให้กับพื้นที่ลาดเอียงโดยใช้วัสดุค้ำยันบริเวณฐานของพื้นที่ลาดเอียง ตัวอย่างดังรูปที่ 1

ข้อควรคำนึงถึง

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

(2) กรณีผู้ออกแบบเห็นว่ามีปัญหาเกี่ยวกับการระบายน้ำใต้ดินควรจัดหาวัสดุถมที่สามารถระบายน้ำออกได้เองตามธรรมชาติหรือมีระบบระบายน้ำภายใน และวัสดุค้ำยันต้องสามารถป้องกันการสูญเสียวัสดุภายในจากไหลซึมของน้ำใต้ดินได้

(3) ควรคำนึงถึงการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าของพื้นที่ลาดเอียงเนื่องจากน้ำผิวดิน



รูปที่ 1 ตัวอย่างการใช้น้ำหนักยันบริเวณฐานพื้นที่ลาดเอียง

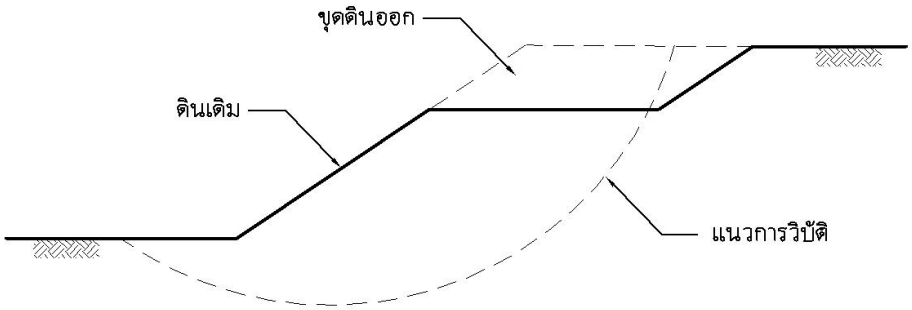
(ข้อ 4.1.1)

4.1.2 วิธีการลดน้ำหนัก (unloading)

หลักการลดน้ำหนักเป็นการลดแรงกระทำต่อพื้นที่ลาดเอียงโดยการขุดดินออกหรือเปลี่ยนลักษณะรูปร่างของพื้นที่ลาดเอียงเดิมที่มีความมั่นคงน้อยให้มีความมั่นคงมากขึ้น ตัวอย่างการตัดดินส่วนบนออก การปรับความลาดชัน และการทำลาดเอียงเป็นแบบขั้นบันได ดังรูปที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ

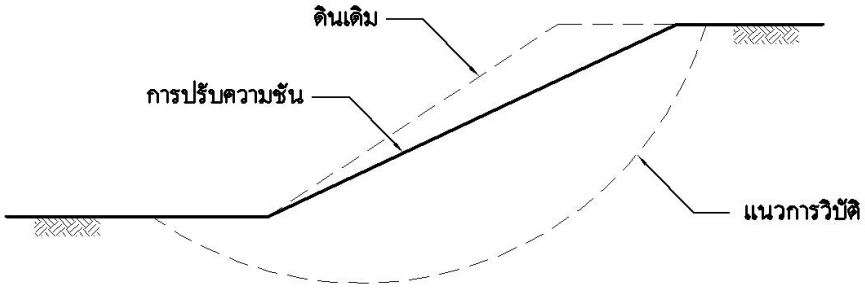
ข้อควรคำนึงถึง

ควรคำนึงถึงการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าของพื้นที่ลาดเอียงเนื่องจากน้ำผิวดิน



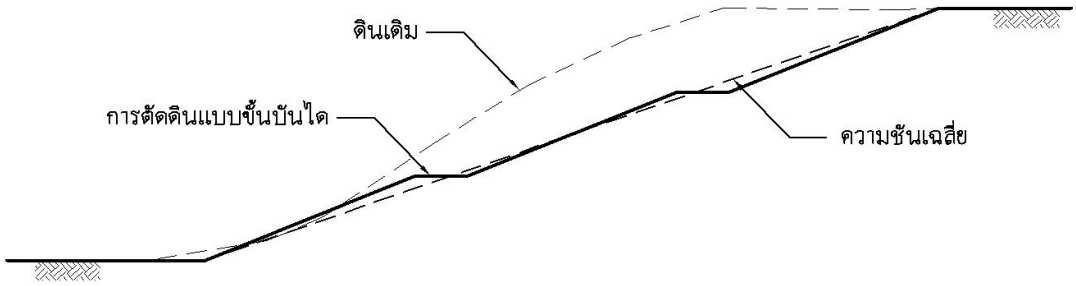
รูปที่ 2 ตัวอย่างการตัดส่วนบนของพื้นที่ลาดเอียง

(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

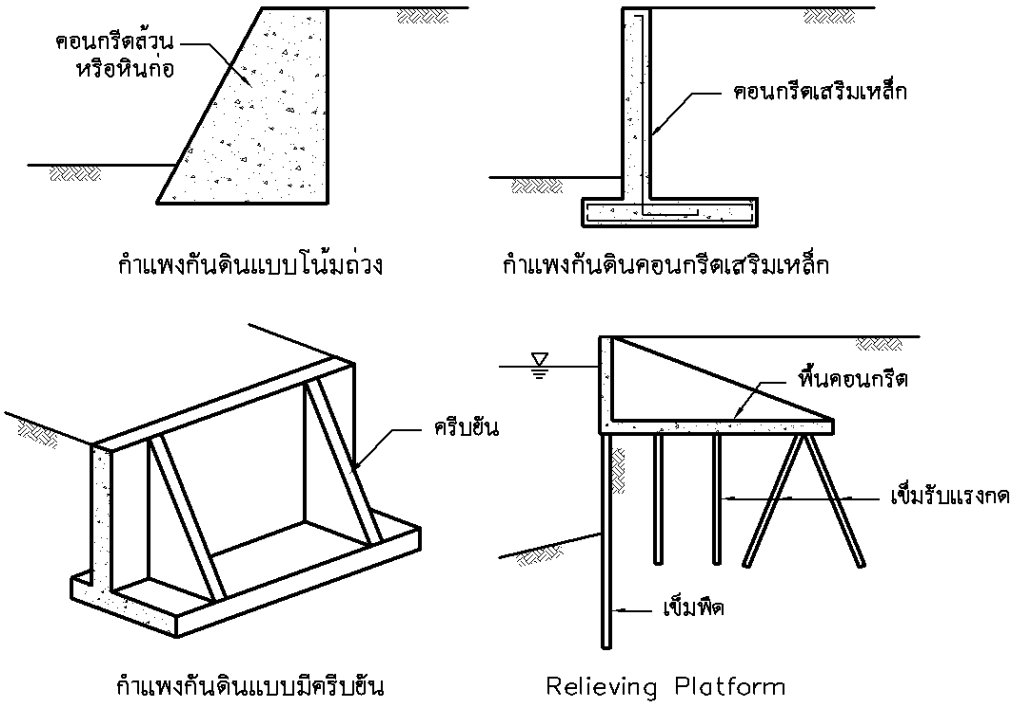
การคำนวณออกแบบกำแพงกันดินต้องมีการตรวจสอบการเลื่อนไถล (sliding) บริเวณฐานกำแพงกันดิน ตรวจสอบการล้มคว่ำของกำแพงกันดิน (overturning) ตรวจสอบการรับน้ำหนัก (bearing capacity) บริเวณฐานกำแพงกันดิน ตรวจสอบเสถียรภาพโดยรวม (overall stability) และตรวจสอบการวิบัติของโครงสร้าง (structural failure)

รายละเอียดการคำนวณออกแบบและตรวจสอบเสถียรภาพของกำแพงกันดินและเข็มพืดแสดงไว้ใน มยผ. 1912-52 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน และคู่มือการใช้มาตรฐานดังกล่าว

ข้อควรคำนึงถึง

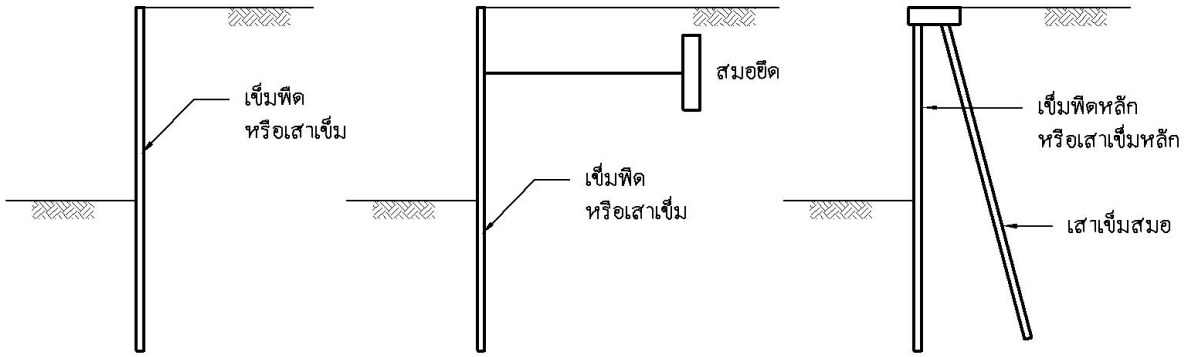
(1) การออกแบบกำแพงกันดินแบบใช้เสาเข็มร่วมกับแผ่นคอนกรีตควรวิเคราะห์โดยใช้หลักการของเสาเข็มรับแรงด้านข้างด้วย

(2) ผู้ออกแบบควรจัดให้มีระบบการระบายน้ำหลังกำแพงกันดินเพื่อลดแรงดันเนื่องจากน้ำ



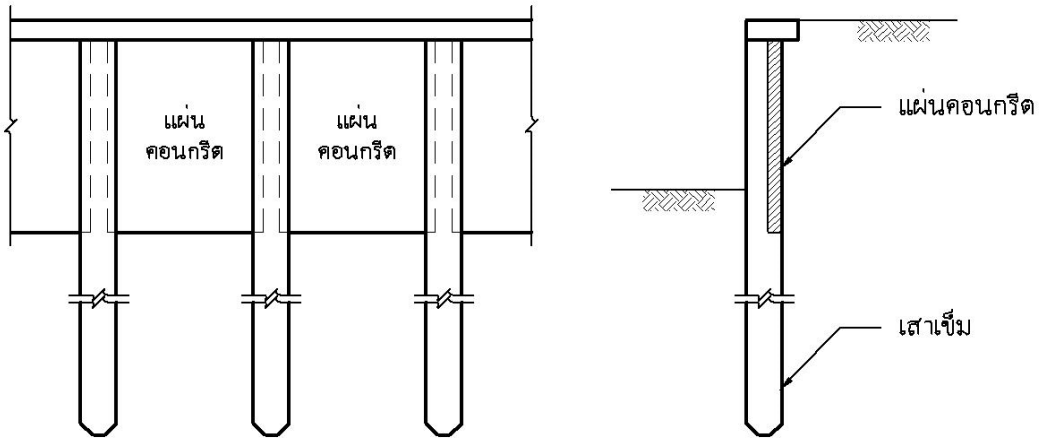
รูปที่ 5 กำแพงกันดินแบบต่างๆ

(ข้อ 4.1.3)



รูปที่ 6 เข็มพืดกันดิน

(ข้อ 4.1.3)



รูปที่ 7 เสาเข็มร่วมกับแผ่นคอนกรีต

(ข้อ 4.1.3)

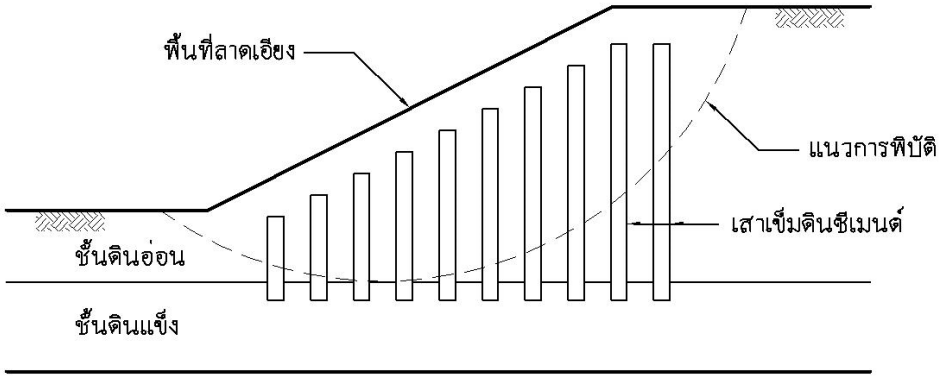
4.1.4 วิธีการปรับปรุงคุณภาพดิน (soil improvement)

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

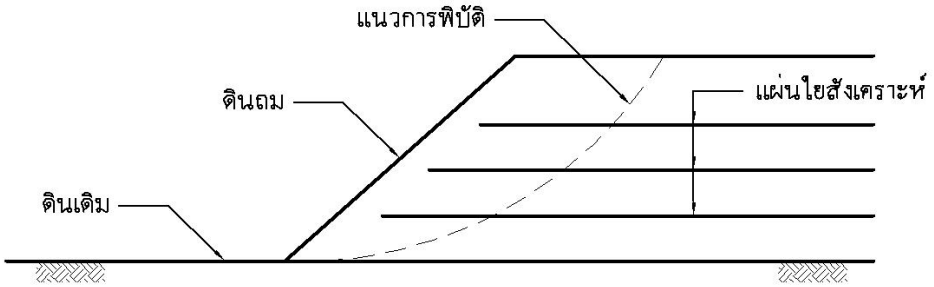
(1) การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการใช้สารเคมี ต้องมีการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้หลังการใส่สารผสม ทั้งผลในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบจริงในสนามก่อนนำไปใช้จริง

(2) กรณีที่ดินเดิมมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำมาก (very soft clay) ควรทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินควบคู่ไปด้วย



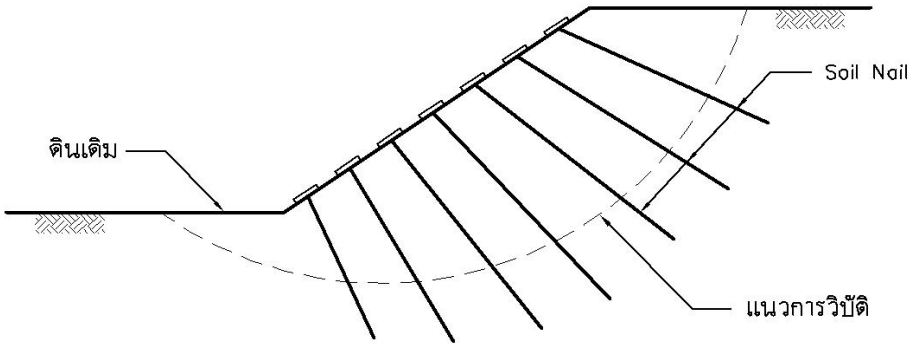
รูปที่ 8 ตัวอย่างการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีเสาเข็มดินซีเมนต์

(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 อิฐบล๊อกประสาน ผ้าห่มดินและหมอนกันดิน การทำ grid beam และการใช้คอนกรีตพ่น (shotcrete)

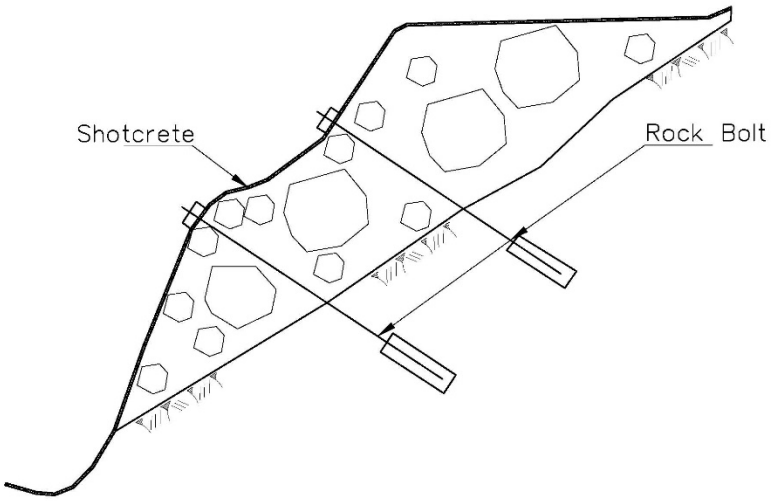
4.1.4.1 การเสริมความแข็งแรงด้วยสลักยึดหิน (rock bolt)

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 เหล็กข้ออ้อยรับแรงดึงที่ทำการตรึงด้วยแรงดึงในระหว่างติดตั้ง ปลายด้านในยึดติดกับหิน ส่วนปลายด้านหนึ่งมีแผ่นเหล็กรับแรง และน๊อตยึดติดกับคอนกรีตพ่นไว้



รูปที่ 11 ตัวอย่างการเสริมความแข็งแรงให้ดินโดยใช้ rock bolt

(ข้อ 4.1.4.1)

3. วิธีการวิเคราะห์ออกแบบ

การออกแบบ rock bolt เพื่อเพิ่มความมั่นคงของลาดเขาต้องมีข้อกำหนดในการออกแบบดังนี้ ตัวอย่างรายละเอียดแสดงด้านท้ายมาตรฐาน

(1) คุณสมบัติพื้นฐานของ rock bolt และหลุมเจาะ

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

(2) 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

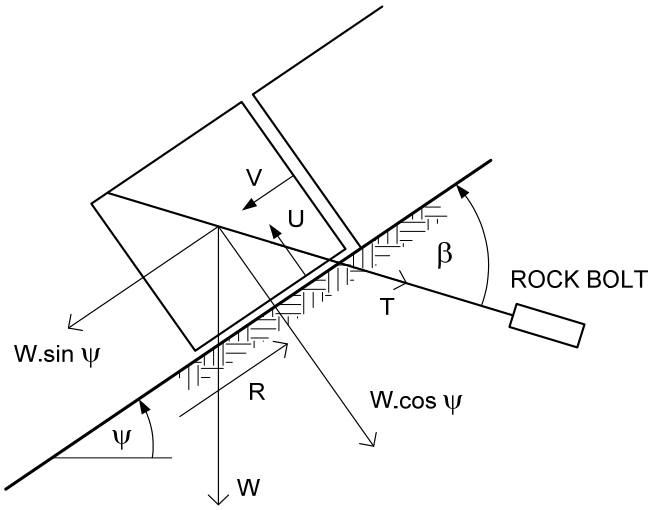
(3) คำนวณความยาว พื้นที่ และน้ำหนักของผิวการพิบัติ

จากผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน สามารถคำนวณหาพื้นที่และความยาวของผิวการพิบัติ เพื่อทำให้รูปร่างการพิบัติง่าย (simplified) เป็นลักษณะของการเคลื่อนที่บนระนาบเอียงดังรูปที่ 12 แล้วนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดึงที่ต้องการต่อไป ได้ดังนี้

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

(4) 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)

(5) คำนวณระยะห่างของ Rock Nail

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

3. วัสดุ และวิธีการก่อสร้าง

(1) วัสดุ

- เหล็กสลัก (bolt) ทำด้วยเหล็กข้ออ้อยชุบกัลวาไนท์

- ขนาดและรูปร่างของแผ่นเหล็กรับแรง (bearing plate) ทั้งแผ่นเหล็กรับแรง แหวนรองและน๊อต ซึ่งต้องสัมผัสอากาศตลอดเวลานั้นต้องชุบด้วยกัลวาไนท์เพื่อป้องกันการผุกร่อน

- มอร์ตาร์จะประกอบด้วย ทรายละเอียด ปูนซีเมนต์ และน้ำที่ผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน

(2) การทดสอบ rock bolt

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

- การทดสอบ pullout tests ของ rock bolt จะดำเนินการหลังจากติดตั้งแล้ว 28 วัน

(3) การติดตั้ง rock bolt

- ต้องดำเนินการติดตั้ง rock bolt ทันทีหลังจากขุดหินที่ผุและขนย้ายหินเสร็จแล้ว

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

- ก่อนติดตั้ง rock bolt ต้องทำความสะอาดเหล็กยึดให้ปราศจากสนิม คราบสะเก็ด คราบน้ำมัน หรือสิ่งอื่นใดที่เคลือบอยู่ให้หมด

- วิธีการอัดฉีดมอร์ตาร์ให้สามารถอุดช่องว่างระหว่าง rock bolt กับผิวหน้าหินได้อย่างสมบูรณ์ ตลอดความยาวของ rock bolt

4. ข้อควรคำนึงถึง

- ขนาดความยาวของ rock bolt ต้องยาวมากกว่าขอบเขตวงพิบัติจึงจะมีประสิทธิภาพในการเสริมแรง

- ต้องมีระบบระบายน้ำใต้ดิน เช่น weep hole เพื่อช่วยระบายน้ำออกจากมวลหิน

4.1.5 วิธีการป้องกันการกัดเซาะ (erosion control)

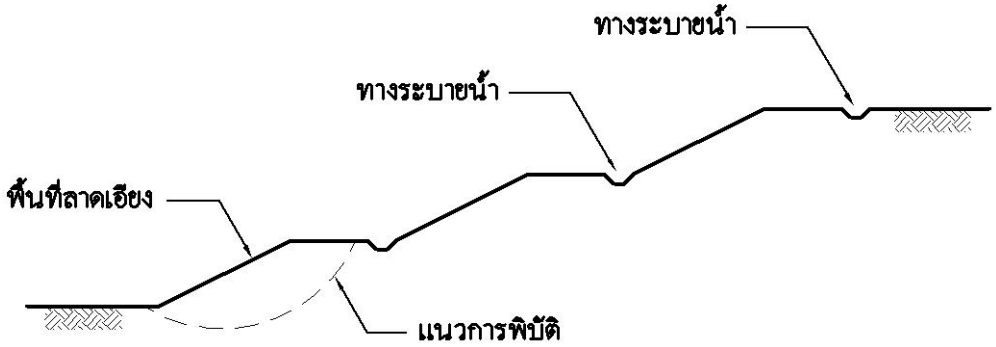
การป้องกันการกัดเซาะเป็นการลดปริมาณการไหล ความเร็ว และอัตราการไหลซึมของน้ำลงในดินบริเวณพื้นที่ลาดเอียง ซึ่งการกัดเซาะดังกล่าวอาจทำให้พื้นที่ลาดเอียงมีความชันเพิ่มขึ้นหรือเพิ่มแรงดันน้ำในมวลดิน ส่งผลให้เกิดการวิบัติได้ แนวทางการป้องกันการกัดเซาะมีหลายวิธี ดังนี้

4.1.5.1 การระบายน้ำผิวดิน

การระบายน้ำผิวดินมีจุดประสงค์เพื่อดักน้ำผิวดินที่ไหลมาจากส่วนบนของพื้นที่ลาดเอียงแล้วระบายออกจากพื้นที่ โดยทางระบายน้ำต้องสามารถรองรับปริมาณน้ำฝนสูงสุดในพื้นที่ได้ และควรมีความชันเพียงพอ เพื่อให้น้ำไหลด้วยความเร็วที่ไม่เกิดการตกตะกอน ดังตัวอย่างในรูปที่ 13

ข้อควรคำนึงถึง

(1) ทางระบายน้ำบนผิวดินต้องอยู่นอกแนวที่คาดว่าจะเกิดการวิบัติ หรือต้องมีการป้องกันการไหลล้นของทางระบายน้ำ



รูปที่ 13 ตัวอย่างทางระบายน้ำบนพื้นที่ลาดเอียง

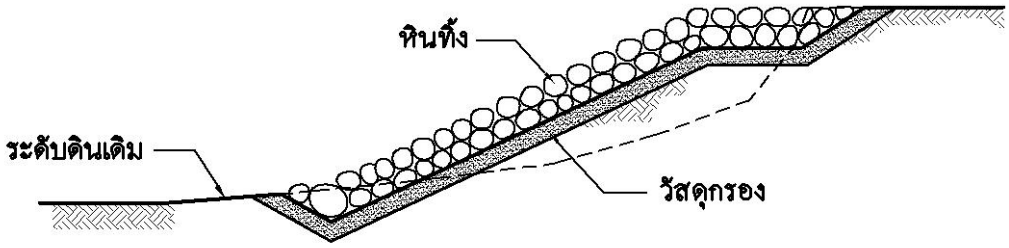
(ข้อ 4.1.5.1)

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



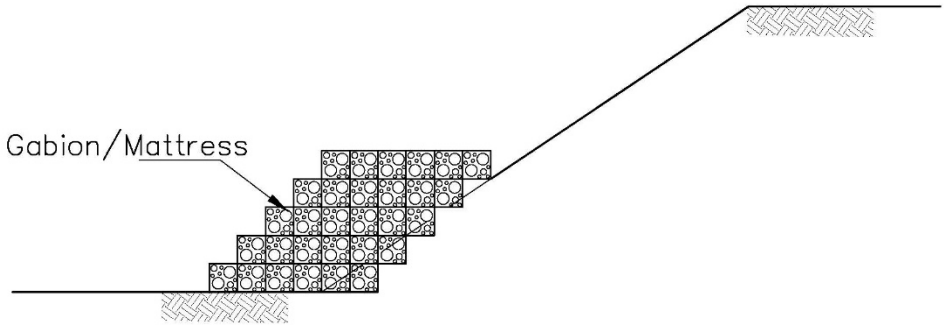
รูปที่ 14 ตัวอย่างการป้องกันการกัดเซาะโดยใช้หินทิ้ง

(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

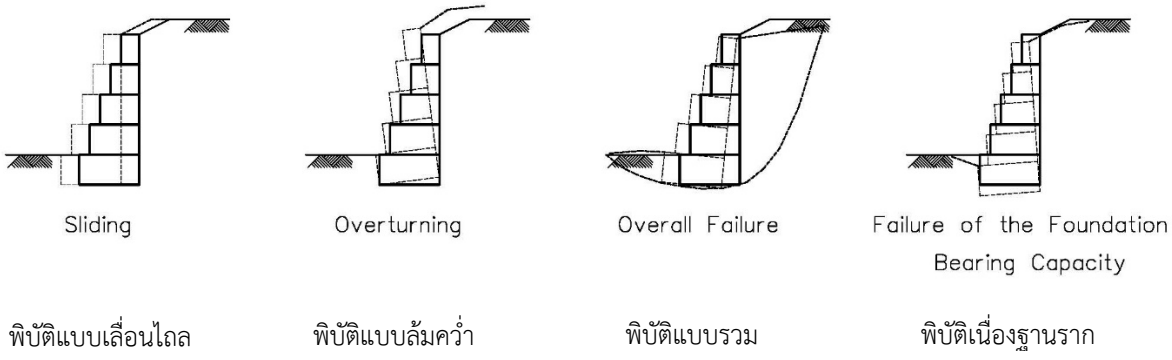
- ใช้ในโครงการสร้างถนน เพื่อป้องกันการพิบัติของลาดชันเมื่อมีการตัดถนน และเพิ่มความแข็งแรงให้กับลาดชัน

- 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 เนื่องจากน้ำหนักของตัวกล่องรูปตาข่ายเองโดยเฉพาะอย่างยิ่งฐานรากของกำแพงกันดินแบบกล่องรูปตาข่าย ต้องไม่มีชั้นดินอ่อนหรือวัสดุอื่นใดที่มีกำลังรับน้ำหนักได้น้อย



รูปที่ 16 ตัวอย่างรูปแบบการพิบัติในกรณีใช้กล่องลวดตาข่าย

(ข้อ 4.1.5.3)

4. วัสดุ และวิธีการก่อสร้าง

วัสดุ

- ลักษณะทั่วไป

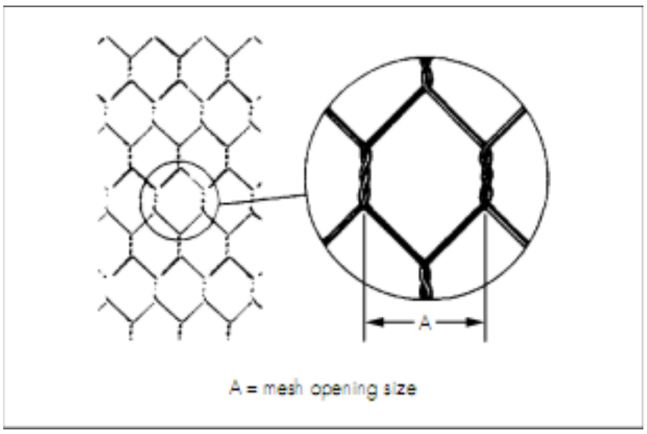
กล่องลวดตาข่ายเป็นรูปตาข่ายหกเหลี่ยม มีโครงยึดเป็นกล่อง ลักษณะกล่องเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าตรงกลางมีผนังตรงกลางมีผนังลวดตาข่ายกั้นเป็นระยะ มีฝาปิดและเปิดสำหรับบรรจุหินได้โดยสะดวก โดยต้องปราศจากรอยตำหนิ รอยปริแตกร้าว

- 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

วิธีการก่อสร้าง/ติดตั้ง

- หลังจากปรับแต่งพื้นดินที่จะวางกล่องลวดตาข่าย ให้ได้ดีแล้ว จึงติดตั้งกล่องลวดตาข่าย ลงในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยต้องยึดและประกอบกล่องลวดตาข่ายเข้าด้วยกัน จากนั้นใส่หินมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่หลุดออกจากช่องเปิดลงในกล่องลวดตาข่าย ซึ่งหินควรมีขนาดระหว่าง 100 มิลลิเมตร ถึง 200 มิลลิเมตร ในการใส่หินใหญ่นี้อาจต้องเรียงหินให้มีหินขนาดเล็กแทรกระหว่างช่องว่างของหินขนาดใหญ่สำหรับกล่องที่ใช้เป็นผิวหน้าที่ตั้งตรงและสามารถมองเห็นได้ การเรียงหินต้องเรียงด้วยความปราณีตเพื่อให้ได้ผิวหน้าที่เรียบสวยใส่หินลงในกล่องลวดตาข่าย และต้องกระทำโดยให้มีความหนาชั้นละ 300 มิลลิเมตร ต่อเนื่องกันในแต่ละช่องกล่องจากนั้นจึงวนมาใส่อีกไปจนเต็มกล่อง

การกระทำดังนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้ผนังข้างของกล่องลวดตาข่ายเสียรูปร่าง เนื่องจากแรงดันของหินเพียงด้านเดียว พึงต้องใช้ความระมัดระวังในการใส่หินเนื่องจากความคมและแรงกระแทกของหินอาจทำให้ PVC ที่หุ้มลวดฉีกขาดได้

5. ข้อควรคำนึงถึง

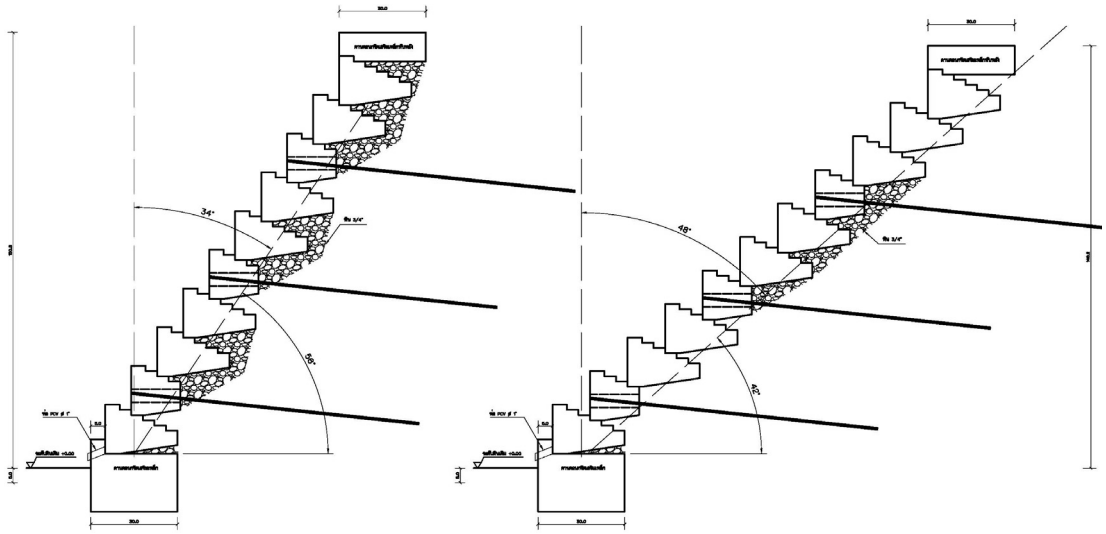
- ปัจจัยอื่นๆ เป็นการใช้การเจริญเติบโตของพืชช่วยในการยึดเกาะทำให้ตาข่ายลวดมีความเชื่อมแน่นมากขึ้นและทำให้อายุการใช้งานนานขึ้น

4.1.5.4 block wall

block wall หลักการทำงานเช่นเดียวกับกำแพงกันดิน เช่น การทำอิฐบล๊อกประสาน

1. หลักการ

อิฐบล๊อกประสานสามารถใช้ได้ทั้งบริเวณที่ราบสูงหรือที่ราบภูเขา กรณีที่ลาดดินมีความเสี่ยงจากการสูญเสียเสถียรภาพ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผู้คนในบริเวณนั้นๆ การสร้างกำแพงกันดินด้วยอิฐบล๊อกประสานเป็นหนึ่งในการวิธีป้องกันที่ง่ายต่อการออกแบบและก่อสร้าง เหมาะสำหรับพื้นที่ทุรกันดาร ที่ประสบปัญหาในการจัดหาผู้ที่มีความรู้และความชำนาญในการออกแบบ รวมถึงการขาดแคลนวัสดุที่ต้องใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งอิฐบล๊อกประสานสามารถก่อได้ทุกแนวตามความลาดชันของดิน และมีความยืดหยุ่นในการก่อสร้าง ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 ตัวอย่างการป้องกันการกัดเซาะโดยใช้อิฐบล๊อกประสาน

(ข้อ 4.1.5.4)

ที่มา : สุทธิศักดิ์ และคณะ (2560)

2. รูปแบบการป้องกัน

อิฐบล๊อกประสาน เป็นการป้องกันเสถียรภาพของดินและการกัดเซาะบริเวณพื้นที่ลาดชัน ด้วยวิธีที่ง่ายและประหยัดประชาชนในพื้นที่สามารถก่อสร้างเองได้ และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับความลาดชันของดินที่มีหลากหลายได้ ดังรูปที่ 19

3. วิธีการวิเคราะห์ออกแบบ

หลักการออกแบบเช่นเดียวกับกำแพงกันดิน ซึ่งปกติก่อสร้างได้ที่ความสูง 1.50-2.0 เมตร

4. วัสดุและวิธีการก่อสร้าง

- อิฐบล๊อกประสาน มีส่วนผสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ มอต้า หรือ ดินจากพื้นที่ และน้ำ

- อิฐบล๊อกประสาน มี shear key ทำเป็นลักษณะขั้นบันไดยาวตลอดความลึกของตัวก้อน

- อิฐบล๊อกประสานมีลักษณะเป็นพีระมิดหัวตัด ด้านบนมีลักษณะเป็นขั้นบันได ในการเรียงซ้อนกันจะใช้ อิฐบล๊อกประสานอีกก้อนวางบนด้านที่เป็นขั้นบันได

- อิฐบล๊อกประสานสามารถก่อได้ทุกแนวตามความลาดชันของดิน มีความยืดหยุ่น

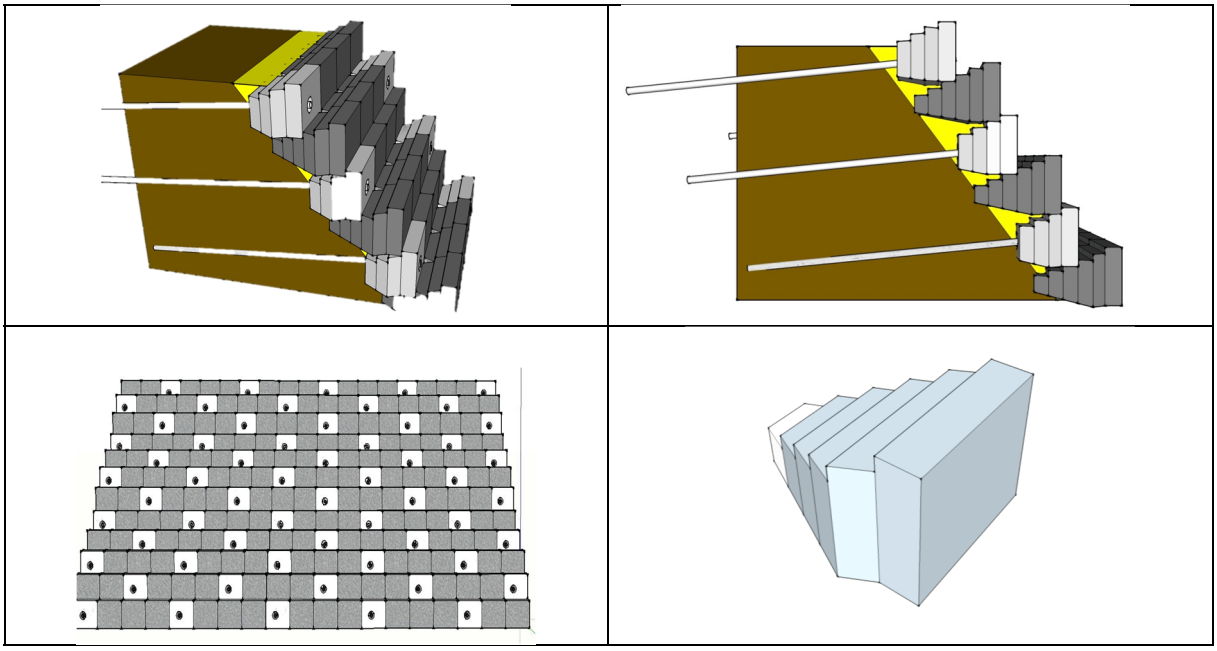
- ใช้หมุดยึดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความยาว 700 มิลลิเมตร จำนวน 4 หมุดต่อพื้นที่กำแพงกันดินอิฐบล๊อกประสาน 1 ตารางเมตร ตัวหมุดยึดเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้เรื่อง soil nail มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กยาว เจาะนำด้วยสว่าน แล้วแทงยึดผ่านก้อนอิฐบล๊อกประสานเข้าไปในลาดดินด้านหลัง ระยะฝังยาว 0.70 เมตร ลักษณะหมุดยึดก้อนอิฐบล๊อกประสานทำให้อิฐบล๊อกประสานมีเสถียรภาพ และมีความแข็งแรงมากขึ้น

- การก่อสร้างเริ่มจากการปรับหน้าดินให้มีความเหมาะสม นำอิฐบล๊อกไปติดตั้งตามลาดชันที่ทำการปรับแล้ว โดยวางสลับฟันปลาและมีการเสริมหมุดยึด (soil nail) ให้ได้ตามแนวที่กำหนดไว้ ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 20

- สามารถใช้วัสดุดินในพื้นที่ผลิตบล๊อกขึ้นได้เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

5. ข้อควรคำนึงถึง

- อัตราส่วนผสม (mix design) ในแต่ละพื้นที่อาจไม่เหมือนกัน เนื่องจากวัสดุดินแต่ละพื้นที่มีคุณสมบัติความแตกต่างกันจึงต้องมีการทดสอบกำลังรับแรงในห้องปฏิบัติการ ก่อนดำเนินการก่อสร้างจริง



รูปที่ 19 ตัวอย่างลักษณะรูปแบบอิฐบล๊อกประสาน

(ข้อ 4.1.5.4)

ที่มา : สุทธิศักดิ์ และคณะ (2558,2559)



รูปที่ 20 ตัวอย่างการก่อสร้างอิฐบล๊อกประสาน

(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

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 โดยใช้เครื่องจักรกลอัดเส้นใยลงในปลอกตาข่ายพีพี ที่มีความเหนียวแต่โค้งงอได้ โดยตาข่ายดังกล่าวจะต้องมีช่องเปิดเป็นตารางช่องเท่าๆ กันและไม่มีรอยต่อของปลอกใยธรรมชาติที่อัดแน่นจะต้องมีน้ำหนักสม่ำเสมอกันตลอดความยาวทั้งท่อน

- หมุดสำหรับยึดผ้าห่มดินและหมอนกันดิน มีความยาวและระยะการยึดต้องเพียงพอที่จะฝังในดินโดยไม่โยกคลอน ซึ่งหมุดไม้ที่นำมาใช้ เช่น ไม้ไผ่

วิธีการก่อสร้าง

- เตรียมหน้าดินให้มีความหนาและระดับความเอียงตามที่กำหนดไว้ จากนั้นโรยเมล็ดพืชพันธุ์ที่หาง่ายและเจริญเติบโตได้ง่าย โดยหยอดเมล็ดเป็นแถวโดยมีระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 30-50 เซนติเมตร อัตราอย่างน้อย 1 กิโลกรัม/400 ตารางเมตร ก่อนทำการปลูกพืชให้ใช้ปุ๋ยรองพื้นปลูกหรือจะปลูกวิธีการอย่างอื่นแต่ขอให้พืชขึ้น พรวนดินให้เมล็ดหญ้าฝังลึกลงประมาณ 3-5 เซนติเมตร แล้วจึงปูผ้าห่มดิน ปรับให้แนบกับผิวดินยึดด้วยหมุดไม้ ระยะห่างของหมุดเป็นไปตามที่กำหนด รอยต่อของผ้าห่มดินทับซ้อนไม่ต่ำกว่า 10 เซนติเมตร ตามทิศทางลมทั้งแนวตั้งและแนวนอน

5. ข้อควรคำนึงถึง

- ช่องตาข่ายของผ้าห่มดินควรมีช่องเปิดที่เพียงพอในการป้องกันการกัดเซาะและเส้นใยเหมาะสมกับพืชเจริญเติบโตขึ้นได้ง่าย

- หมุดไม้สำหรับยึดผ้าห่มดินและหมอนกันเป็นไม้ที่นำมายึดต้องไม่มีการเจริญเติบโต หรือใช้วัสดุอื่นๆแทนได้

- สามารถใช้วัสดุอื่นนอกจากผ้าห่มดินได้ เช่น Erosion Control Mat (ECM) ถุงกระสอบป่าน แต่ต้องสามารถป้องกันการกัดเซาะของผิวหน้าดินในระหว่างที่หญ้ายังไม่เจริญเติบโต

- การรดน้ำโดยใช้เครื่องสูบน้ำกำลังสูง ต้องพึงระวังอย่าให้แรงกระแทกของน้ำทำความเสียหายให้แก่ผ้าห่มดิน ควรฉีดน้ำขึ้นสู่อากาศให้ตกลงมาในลักษณะใกล้เคียงกับฝนตามธรรมชาติ

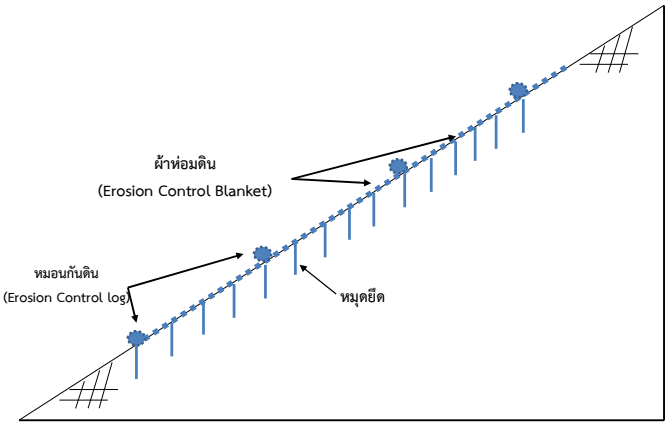
- กรณีฤดูแล้งที่ไม่เหมาะสมในการงอกของเมล็ดหญ้า ควรรดน้ำอย่างน้อยวันละครั้งจนหญ้าแทงยอดขึ้นพ้นผ้าห่มดิน จากนั้นจึงปรับความถี่เป็น 1 ครั้งต่อ 2 วัน จนหญ้าขึ้นทั่วกันดี

- ทุกจุดที่เป็นการต่อหมอนควรวางให้ปลายชิดติดกันแน่นที่สุดเพื่อมิให้เกิดร่องน้ำระหว่างรอยต่อได้

4.1.5.6 คานตาข่าย (grid beam)

1. หลักการ

การป้องกันลาดชันด้วยวิธีคานตาข่าย (gird beam) มีหลักการทำงานคล้ายผ้าห่มดิน คือป้องกันการกัดเซาะ 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

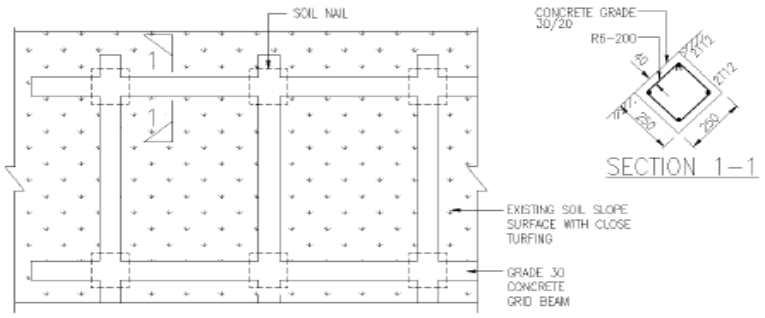
4. วัสดุและวิธีการก่อสร้าง

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 นอกจากนี้การฉีดพ่นคอนกรีตบนเชิงลาดหินที่มีแนวโน้มหรือลักษณะของความไม่เสถียรภาพของก้อนหินที่มีโอกาสร่วงหล่นลงมาได้ เป็นเทคนิควิธีการแก้ไขแบบถาวรอีกวิธีหนึ่ง ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 ตัวอย่างการฉีดพ่นคอนกรีต (shotcrete)

(ข้อ 4.1.5.7)

ที่มา : ภาพถ่ายโดย รัฐธรรม อิสโรพาร (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

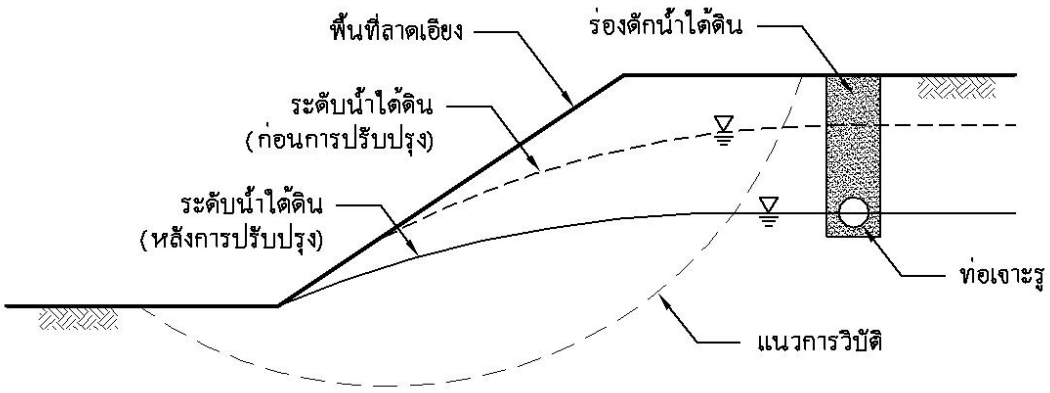
4.1.6 วิธีการระบายน้ำใต้ดิน (drainage)

เมื่อพื้นที่การก่อสร้าง การขุดดินหรือถมดิน ที่มีน้ำใต้ดินอยู่ในระดับสูงและมีผลให้กำลังของดินลดลง จึงต้องจัดให้มีการระบบระบายน้ำใต้ดินเพื่อเป็นการลดแรงดันน้ำที่กระทำต่อพื้นที่ลาดเอียง ทำให้พื้นที่ลาดเอียงมีเสถียรภาพมากขึ้น

รูปแบบการป้องกันโดยการระบายน้ำใต้ดิน

(1) การขุดร่องดักน้ำใต้ดินหรือร่องระบายน้ำใต้ดิน

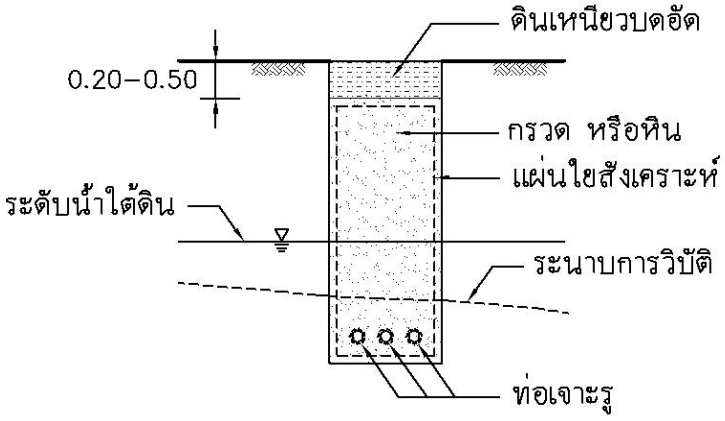
การขุดร่องดักน้ำใต้ดินทำโดยการวางร่องขวางทิศทางของน้ำใต้ดิน ก่อนที่น้ำจะไหลเข้าสู่บริเวณพื้นที่ลาดเอียง น้ำที่ซึมผ่านมาจะไหลไปตามแนวร่องดักน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ลาดเอียงลดระดับลง สามารถใช้ได้ทั้งป้องกันและซ่อมแซมการวิบัติ ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 ตัวอย่างการขุดร่องดักน้ำใต้ดิน

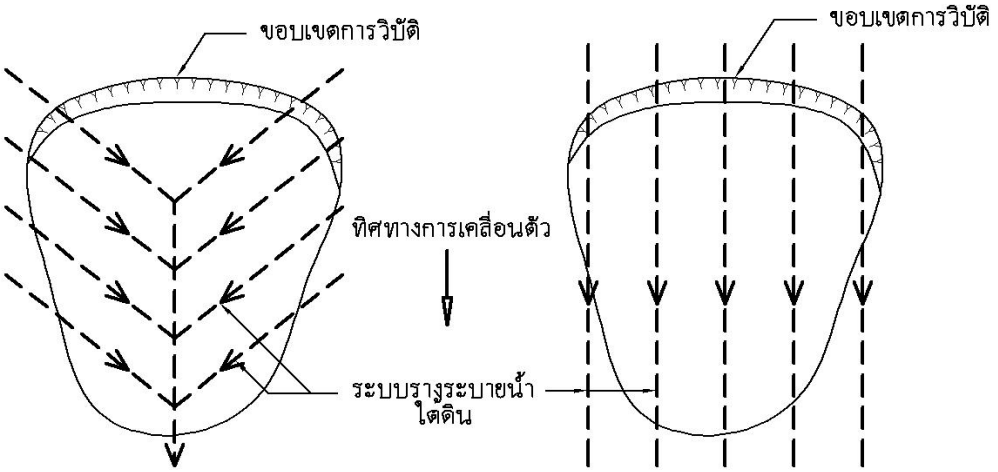
(ข้อ 4.1.6(1))

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



รูปที่ 26 ตัวอย่างรูปตัดร่องระบายน้ำใต้ดิน

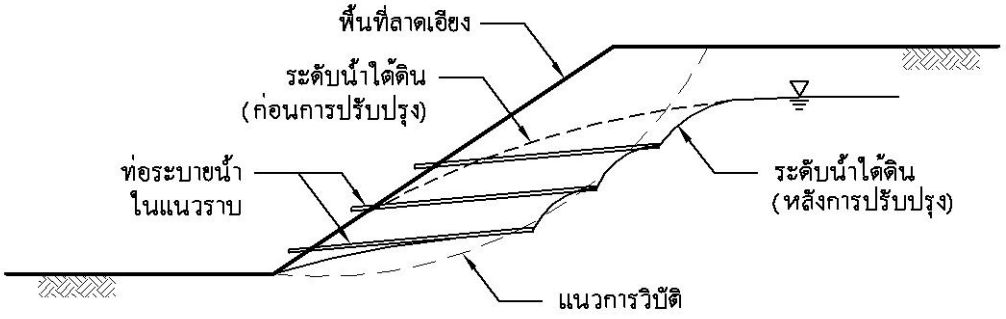
(ข้อ 4.1.6(1))



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

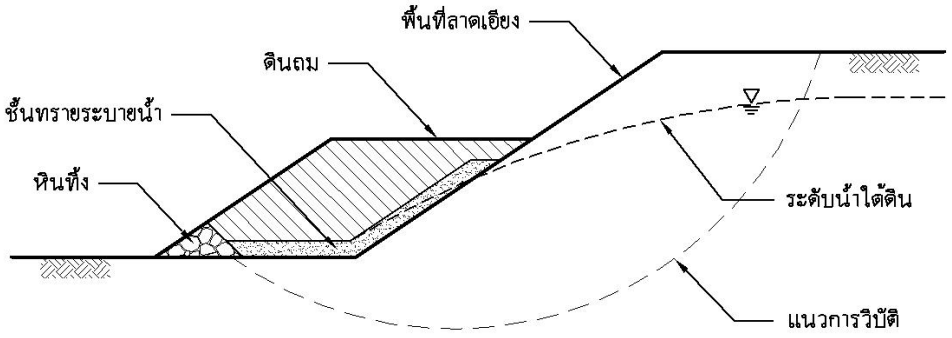
ก. piping requirement ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน) ต้องมีขนาดเล็กพอที่จะป้องกันไม่ให้เม็ดดินในพื้นที่ลาดเอียงถูกกัดเซาะและไหลตามน้ำที่ซึมผ่านออกมาได้

ข. drainage requirement ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน) จะต้องใหญ่พอที่จะยอมให้น้ำไหลซึมออกได้สะดวกโดยไม่เกิดความดันน้ำสะสมขึ้นในชั้นดินถมหรือชั้นระบายน้ำ

ข้อควรคำนึงถึง

(1) การวิเคราะห์ ต้องคำนวณค่าเสถียรภาพความลาดเอียงของพื้นที่ลาดเอียงก่อนการลดระดับน้ำใต้ดิน และหลังจากลดระดับน้ำใต้ดิน

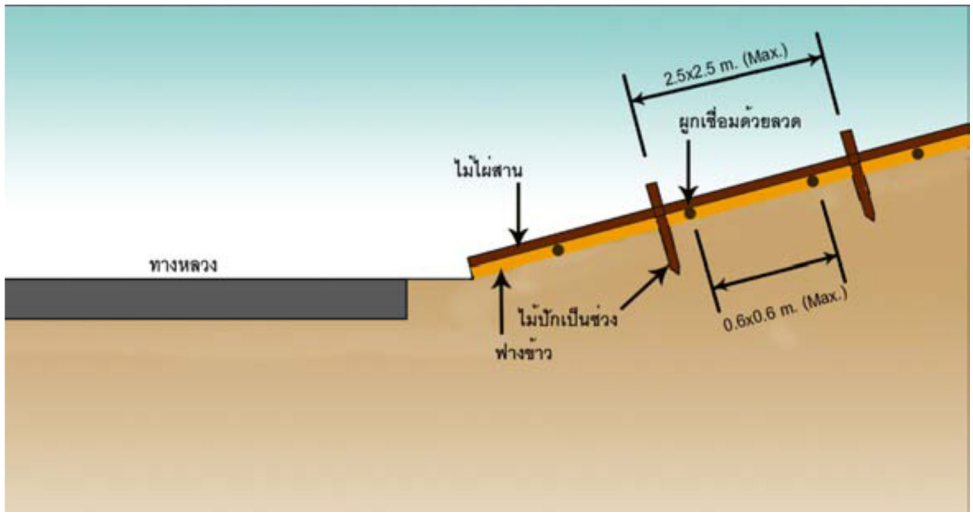
(2) การป้องกันการวิบัติโดยการระบายน้ำใต้ดินควรมีการคำนึงถึงการพัดพาดินมวลละเอียดออกมากับการระบายน้ำด้วย โดยอาจใช้แผ่นใยสังเคราะห์หรือการออกแบบขนาดวัสดุกรองที่เหมาะสม



รูปที่ 29 ตัวอย่างการใช้ชั้นระบายน้ำสำหรับดินถม

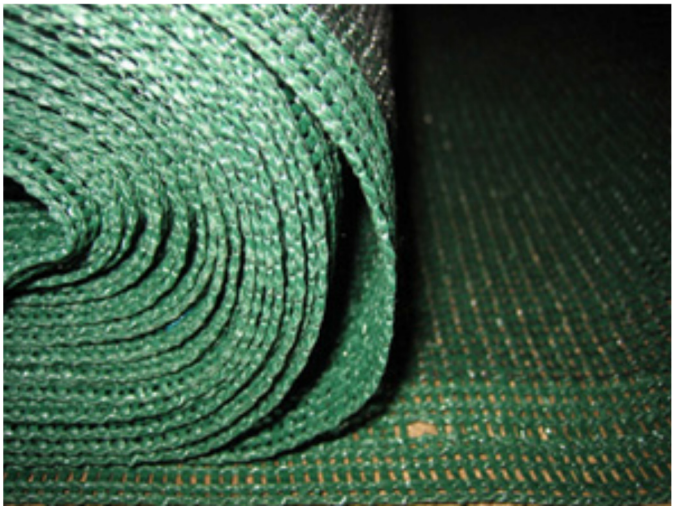
(ข้อ 4.1.6(3))

นอกจากนี้ยังสามารถนำวัสดุท้องถิ่นและวัสดุหาง่ายเพื่อนำมาใช้ป้องกันการน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดได้ด้วย สำหรับบริเวณพื้นที่ชนบท เช่น การใช้ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สาน การใช้ตาข่ายพลางแสง (ผ้าแสลน) ยึดด้วยหมุด และการปลี่ยนทิศทางน้ำด้วยกระสอบทรายหรือถังน้ำ 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)

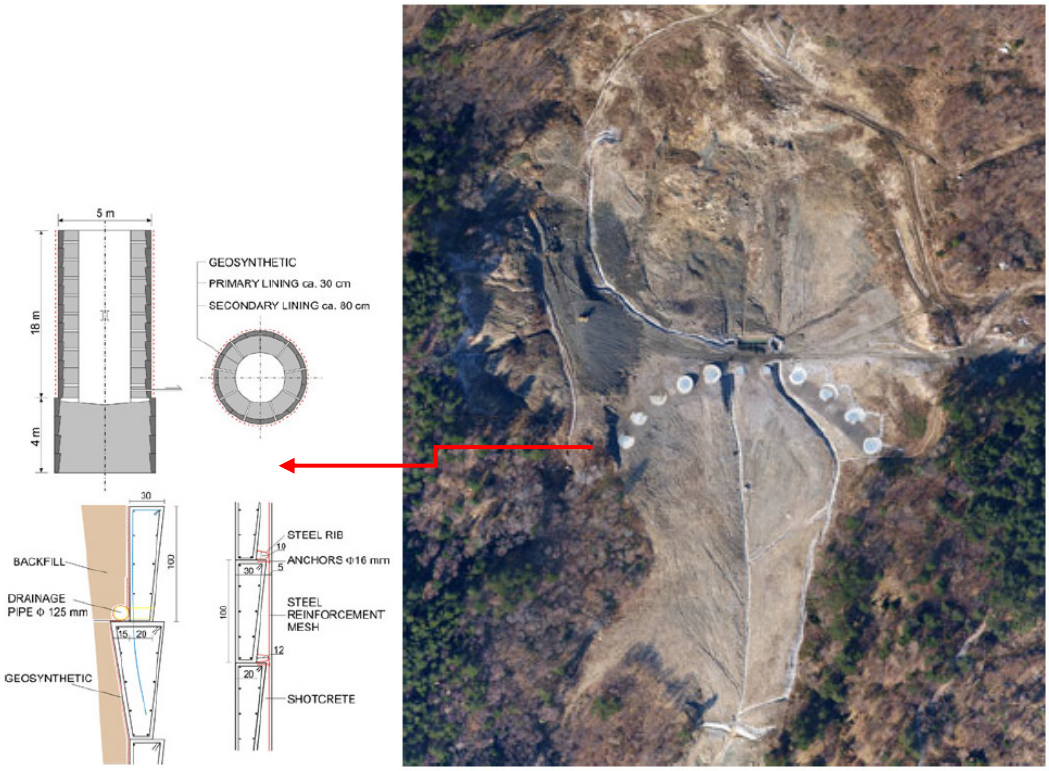
การป้องกันการพังทลายจากดินถล่ม (landslide) ต้องทำการจัดการทั้งน้ำ หิน ดิน และซากวัสดุต่างๆ ที่ผสมปนกันมา ด้วยมาตรการทางวิศวกรรม เช่น เทคนิคท่อลดแรงดันน้ำ (horizontal drain and shaft) การทำตาข่ายแรงดึงสูงป้องกันหินร่วง (high strength netting) หรือสร้างกำแพงกั้นรั้วป้องกันหินร่วง (rock fall protection 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

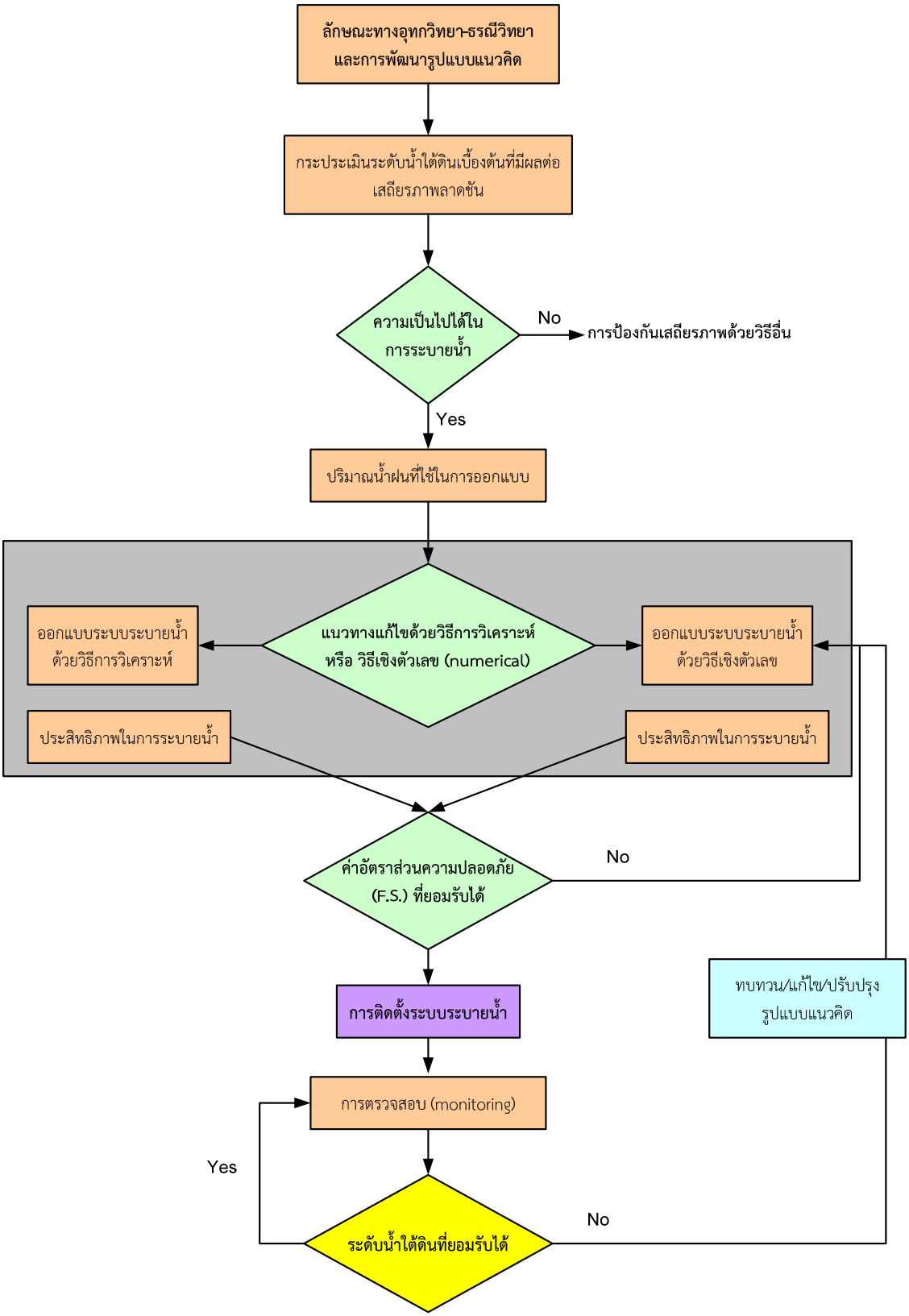
- มีลักษณะเป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ระดับความลึกในการติดตั้งนั้นจะอยู่ลึกกว่าระนาบการพิบัติ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์
- การออกแบบระบบระบายน้ำในลาดดิน แสดงขั้นตอนดัง รูปที่ 34
- ระบบ shaft drain ทำหน้าที่ได้ 2 รูปแบบคือ เป็นระบบระบายน้ำและโครงสร้างป้องกัน (drainage and retaining structure)



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) ตามลักษณะของดินหรือหินบริเวณเชิงลาดในการออกแบบเพื่อติดตั้งสำหรับบริเวณส่วนล่างของตาข่ายมีการออกแบบเพื่อให้มีช่องเปิดออกได้ประมาณ 0.30 – 0.60 เมตร พร้อมก่อสร้างรางรับก้อนหินที่ร่วงไถลลงมาโดยมีทรายหรือกรวดขนาดเล็กหรือวัสดุที่สามารถดูดซับพลังงานของการตก ทั้งนี้อาจมีการฉีดพ่นคอนกรีตร่วมด้วย



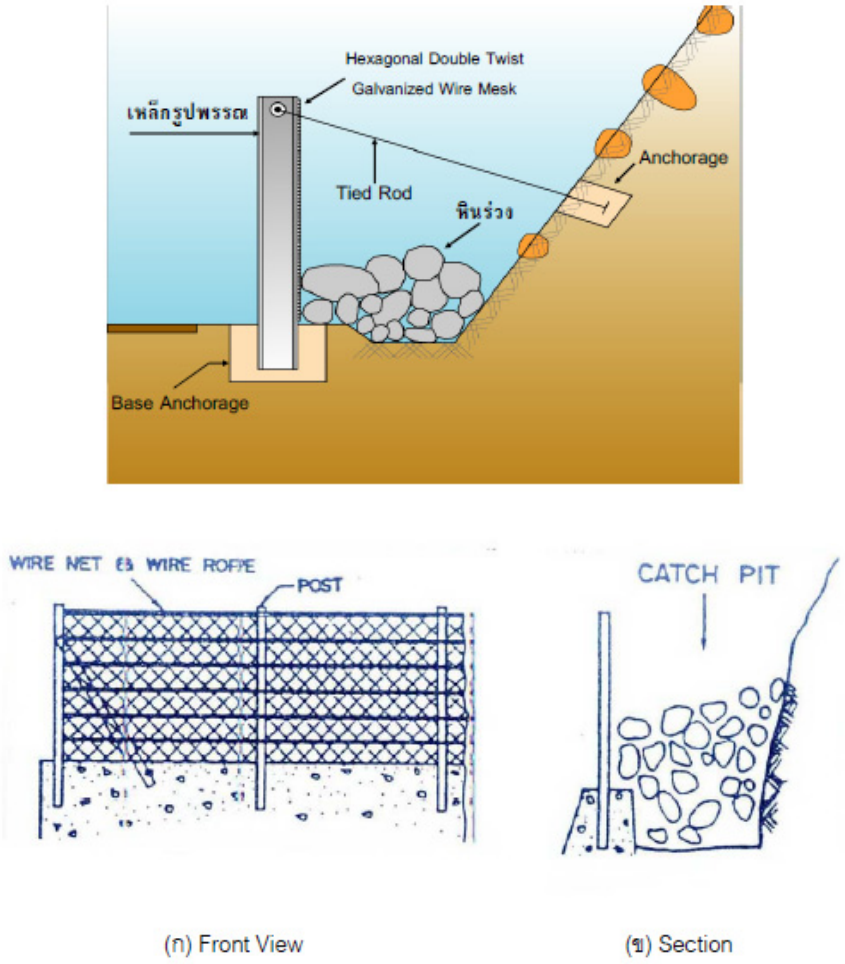
รูปที่ 35 ตัวอย่างการป้องกันหินร่วงด้วยวิธี high strength netting ร่วมกับ shotcrete

(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) ตะกอนที่ลงมาจะเริ่มมีการกัดเซาะที่ตีนของลาดดินที่อยู่ด้านข้างของร่องน้ำ ทำให้เกิดดินถล่มลงมาทำให้นอกจากมีตะกอนที่มาจากการไหลของดินโคลนถล่ม (debris flow) แล้วยังมีตะกอนที่เกิดจากดินถล่มเพิ่มขึ้นอีก

(3) หลังจากมีการสร้างเขื่อนดักตะกอน (check dam)

(4) ลดความเร็วของน้ำทำให้ไม่เกิดการกัดเซาะ

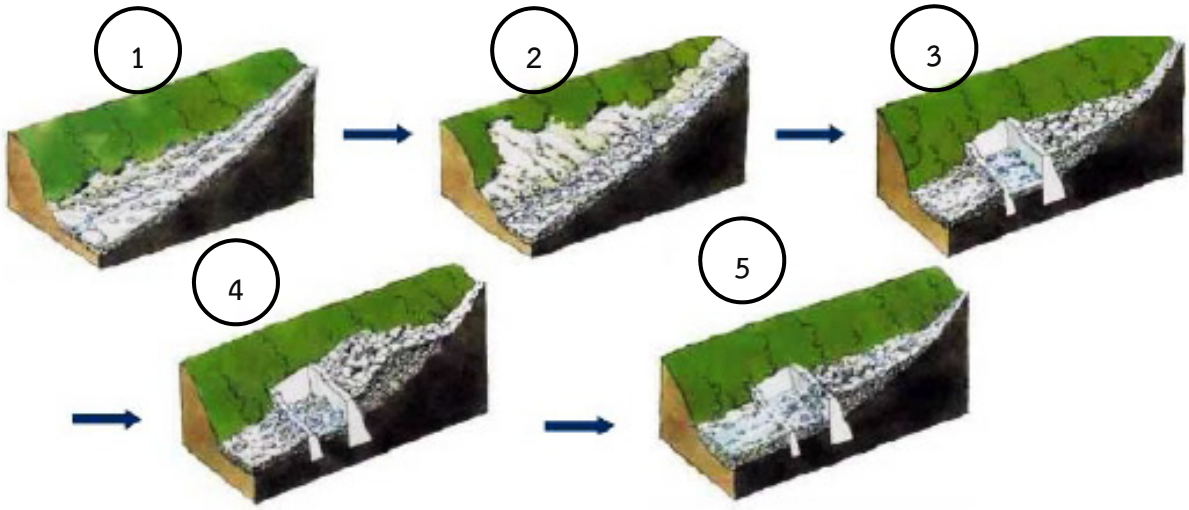
(5) กักตะกอนบางส่วนที่มาจากดินโคลนด้วย

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) ของภูเขา เพื่อป้องกันการพังทลายของตลิ่งได้ด้วย



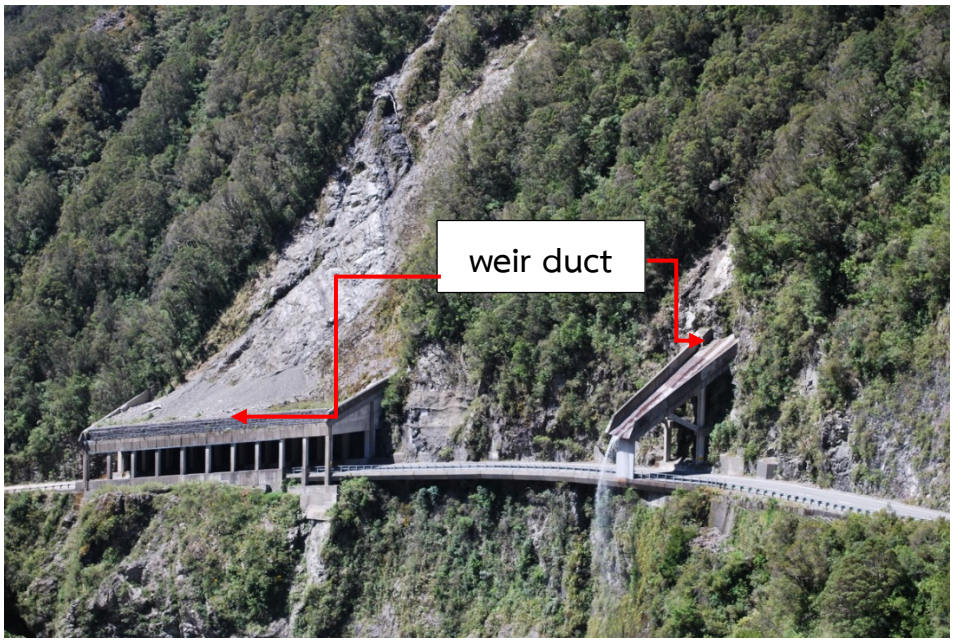
รูปที่ 37 แนวคิดและวิธีการทำงานของโครงสร้างเขื่อนดักตะกอน (check dam)

(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)

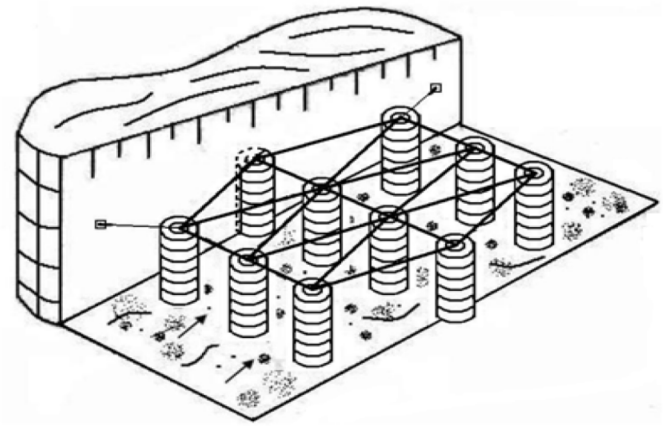
ที่มา: https://blogs.agu.org/landslideblog/2011/07/31/landslide-protection-new-zealand-style

6.3 debris baffles

debris baffles (รูปที่ 39) ลักษณะการทำงานคล้าย check dam โดยมีสิ่งดักชะลอน้ำและตะกอนที่มาพร้อมกับดินโคลนถล่ม

วัถตุประสงค์ในการทำรูปแบบนี้เพื่อประหยัดทรัพยากรและใช้พลังงานที่อยู่โดยรอบในการป้องกันดินโคลน 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 ในการยึดรั้งและฝังบริเวณคันดินทั้ง 2 ฝั่ง สาย cable จะเป็นสมอยึดกับคันดิน ถ้าความกว้างของตาข่ายมีระยะมาก สามารถติดตั้ง cable ไว้ตรงกลางได้ (โดยทั่วไปตาข่ายมีความกว้างมากกว่า 15-20 เมตร) เมื่อมีวัสดุโคลนถล่มมากระทำ cable ก็จะทำงาน ในกรณีที่เกิดการไหลข้ามที่กั้น ด้านบนสาย cable จึงต้องมีระบบการป้องกันด้วย

ส่วนประกอบของ flexible debris flow barriers

(1) ตาข่าย (net) ขนาดตาข่ายต้องมีความเหมาะสมกับสภาพแม่น้ำและวัสดุสามารถระบายน้ำได้เป็นอย่างดี

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

(3) wing cables and edge cables

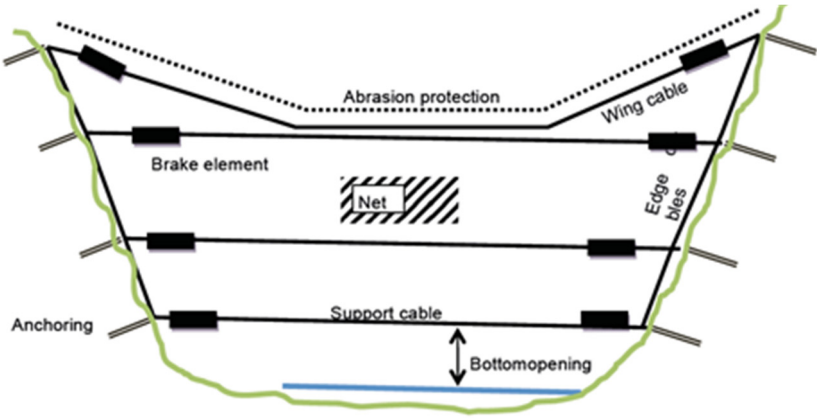
(4) อุปกรณ์หยุดการเคลื่อนที่ (brake elements)

(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})	=	$(\pi xD^2/4)xf_s$		
	=	$(\pi x3.2^2/4x1000)x2600/1000$		
	=	<u>20.9</u>	ตัน/เส้น	.... (1)
หน่วยแรงยึดเกาะระหว่าง				
หินกับคอนกรีต (u_r)	=	30.0	ตัน/ตารางเมตร	
แรงยึดเกาะระหว่างหินกับคอนกรีต (U_r)	=	$u_r x(\pi xD_h^2/4)xl_e$		
	=	$30.0x(\pi x7.6^2/4)x4.0$		
	=	<u>28.7</u>	ตัน/หลุมเจาะ	.... (2)
หน่วยแรงยึดเกาะระหว่าง				
เหล็กกับคอนกรีต (u_s)	=	2.29xfc'0.5/D		
	=	2.29x1740.5/(32/10)		
	=	9.44	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	

แรงยึดเกาะระหว่าง

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

= $(9.44x10)x(\pi x 3.2^2/4x1000)x4.0$

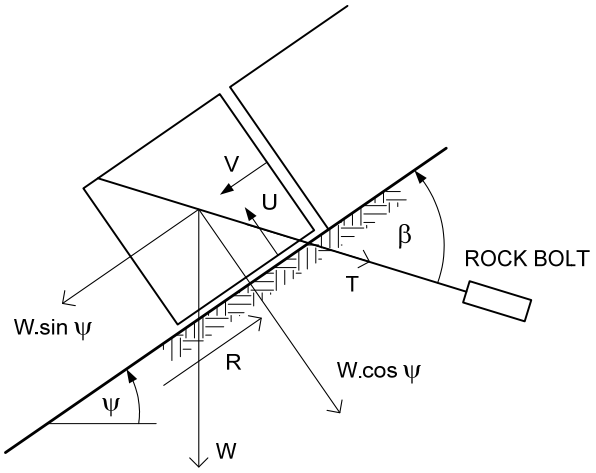
= <u>38.0</u> ตัน/หลุม .... (3)

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

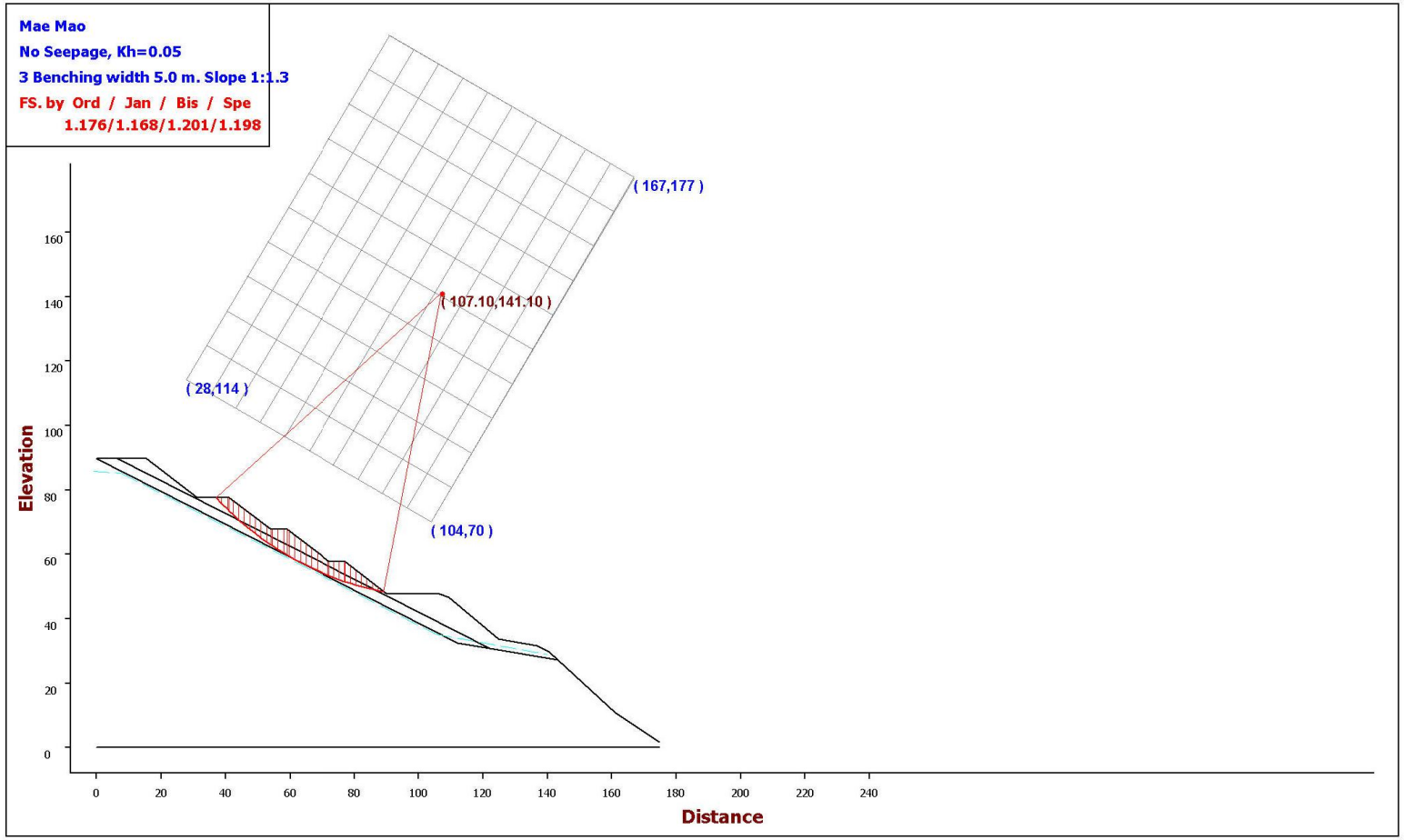
แรงดึงที่ต้องการ (T) $= \dfrac{W(F.S.\sin\psi - \cos\psi\ \tan\varphi) - cL_f}{F.S.\cos\varphi + \sin\varphi\tan\varphi}$

= 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงาน



รูปที่ 44 ผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขา

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.

มยผ. 1918-62

มาตรฐานการถมดินและการบดอัด

(Standard of Fill and Compaction)

มยผ. 1918-62

มาตรฐานการถมดินและการบดอัด

(Standard of Fill and Compaction)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานการถมดินและการบดอัดนี้จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดรายละเอียดและวิธีการถมดินบริเวณพื้นราบ พื้นที่ลาดชัน การถมบ่อน้ำ รวมถึงการถมดินเพื่อโครงการบ้านจัดสรร เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายแก่เจ้าของที่ดินข้างเคียงหรือบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งไม่รวมงานถมและบดอัดหิน งานทางหลวง และงานเขื่อนดินกั้นน้ำ

2. นิยาม

"ถมดิน" หมายถึง การกระทำใด ๆ ต่อดินหรือพื้นดินเพื่อให้ระดับดินสูงกว่าเดิม

"บดอัด" หมายถึง กระบวนการปรับปรุงคุณภาพดิน หรือการทำให้ดินแน่นขึ้น โดยการลดช่องว่างหรือโพรงอากาศระหว่างเม็ดดินลง

"วัสดุถม" หมายถึง วัสดุที่ได้จากการขุดดิน จากบ่อยืมดิน หรือที่อื่น ๆ แล้วนำมาใช้ในการถมดิน

"วัสดุเหลือใช้" หมายถึง ดิน หิน กรวด คอนกรีต หรือแอสฟัลท์ ที่เหลือใช้จากการก่อสร้าง

"ขยะ" หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เศษวัตถุ ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์ ซากสัตว์ หรือสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น และหมายความรวมถึงมูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยที่เป็นพิษหรืออันตรายจากชุมชน

"ความหนาแน่นของดิน" หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรของดิน

"ปริมาณความชื้นในดิน" หมายถึง ปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดยึดไว้

"ความชัน" หมายถึงค่าตัวเลขซึ่งกำหนดเป็นสัดส่วนระหว่างระยะแนวดิ่งต่อระยะแนวราบหรือร้อยละของระยะแนวดิ่งต่อระยะแนวราบ หรือองศาของความลาดเอียงซึ่งวัดจากแนวราบ

"พื้นที่ลาดชัน" หมายถึง พื้นดินที่มีความชันมากกว่า 1:5 (ดิ่ง : ราบ) หรือร้อยละ 20

"บ้านจัดสรร" หมายถึง สถานที่หรือบริเวณที่มีหน่วยงานยื่นขออนุญาตจัดสรรแบ่งแปลงที่ดิน สำหรับปลูกสร้างอาคารให้กับผู้ที่เข้ามาอยู่อาศัยได้ใช้ประโยชน์ร่วมกัน การจัดสรรแบ่งแปลงที่ดินเป็นไปตามพระราชบัญญัติการจัดสรรที่ดิน พ.ศ.2543

3. มาตรฐานอ้างถึง

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างถึงประกอบด้วย

3.1.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1912-52 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน

3.1.2 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1916-62 : มาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

3.1.3 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1914-52 : มาตรฐานการระบายน้ำสำหรับงานถมดิน

3.1.4 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 2204-57 : มาตรฐานการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (field density test)

4. ลักษณะและวัตถุประสงค์การถมดินและบดอัดดิน

4.1 การถมปรับระดับพื้นดิน

การถมดินเพื่อยกหรือปรับระดับพื้นดินให้ได้ระดับตามที่กำหนด เช่น การถมดินเพื่อใช้เป็นพื้นที่อยู่อาศัย หรือที่เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่า “การถมที่” ส่วนใหญ่จะถมเพื่อยกระดับพื้นดินให้อยู่เหนือระดับน้ำที่อาจจะท่วมถึง เป็นต้น การถมดินในลักษณะนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ดินที่ถมสามารถใช้ในการรับน้ำหนักหรือใช้เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมได้โดยตรง

4.2 การถมเพื่อเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม

การถมเพื่อเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม เป็นการถมและบดอัดดินเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เพียงพอในการที่จะใช้รับน้ำหนักตามที่วิศวกรได้ออกแบบไว้ เช่น การถมและบดอัดโครงสร้างถนน การใช้ดินถมเพื่อรองรับฐานรากอาคาร หรือเป็นการถมเพื่อใช้ดินที่บดอัดแล้วเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม ซึ่งจะต้องได้คุณสมบัติทางวิศวกรรมตามที่วิศวกรกำหนด เช่น เขื่อน หรือคันกั้นน้ำ เป็นต้น

4.3 การถมในโครงการบ้านจัดสรร

การถมเพื่อปรับระดับพื้นดินของพื้นที่ขนาดใหญ่ ที่มีบ้านพักอาศัยหลายหลังและมีพื้นที่ส่วนกลาง ได้แก่ การถมภายในบริเวณโครงการบ้านจัดสรรซึ่งมีทั้งพื้นที่ส่วนที่เป็นการถมเพื่อเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น ถนน หรืออาคารที่จะถ่ายน้ำหนักโดยตรงลงสู่ดินที่ถมบดอัดและพื้นที่ส่วนที่เป็นการถมโดยไม่ได้รับน้ำหนักหรือโครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น พื้นที่โดยรอบอาคาร สวนบริเวณส่วนกลางของอาคาร เป็นต้น

5. วัสดุสำหรับการถมดินทั่วไป

วัสดุที่จะนำมาใช้ในการถมที่ดินนั้นจะต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการใช้งานของดินถมนั้น ได้แก่ การปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมจากวัสดุที่นำมาถม ความแข็งแรงที่ต้องการจากวัสดุที่ใช้ถม ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพและการทรุดตัวที่อาจจะเกิดขึ้นภายหลังการถม เป็นต้น

5.1 วัสดุถมสำหรับงานทั่วไป สามารถใช้วัสดุที่ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการถมตามที่ได้กล่าวข้างต้น ในกรณีการถมโดยใช้ขยะ จะต้องเป็นไปตามกฎหมายและต้องได้รับการอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กฎหมายส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เป็นต้น

5.2 วัสดุถมสำหรับใช้เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น ดินถมเพื่อการรับน้ำหนักโครงสร้าง ดินถมงานถนน เป็นต้น ทั้งนี้ต้องใช้ดินที่สามารถบดอัดให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นได้ มีความคงทนไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติตามสภาพแวดล้อม และได้คุณสมบัติทางวิศวกรรมตามกำหนด โดยควรยกเว้นดินที่มีลักษณะดังนี้

(1) ดินที่มีสารอินทรีย์ปน เช่น หน้าดิน หรือดินที่มีรากไม้ปน เป็นต้น

(2) วัสดุที่มีสารปนเปื้อนเกินกว่ามาตรฐาน ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อดินและแหล่งน้ำทั้งบนดินและใต้ดิน

(3) ดินที่อาจจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอาจจะก่อให้เกิดปัญหาทางวิศวกรรม ได้แก่ ดินบวมตัว หรือดินกระจายตัว เป็นต้น ซึ่งสามารถทดสอบได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

(4) วัสดุที่เปียกหรือชุ่มน้ำมาก ไม่สามารถรับน้ำหนักเครื่องจักรในการบดอัด หรือไม่สามารถบดอัดได้ เช่น ดินโคลน ดินเลน หรือดินปนสารละลายเบนโทไนต์ (bentonite) เป็นต้น

(5) ดินที่ทำการบดอัดตามวิธีการบดอัดตามวิธีมาตรฐาน (Proctor test) ในห้องปฏิบัติการแล้วความหนาแน่นแห้งไม่เพิ่มขึ้นแต่กลับลดลงเมื่อเพิ่มความชื้น

(6) ดินถมที่มีไม้ โลหะ พลาสติก ก้อนหิน หรือวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 เซนติเมตร อันจะเป็นผลเสียต่อการนำไปใช้ในส่วนงานถมที่ต้องรองรับน้ำหนัก หรือทำให้การขุด หรือการติดตั้งเสาเข็มเป็นไปอย่างลำบาก (พิจารณาเป็นกรณีตามลักษณะการใช้งาน และควรได้รับการเห็นชอบจากวิศวกรผู้ออกแบบ)

(7) ดินที่มีสารที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนต่อโครงสร้าง เช่น คลอไรด์ หรือซัลเฟต ซึ่งมักพบในดินที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเล เป็นต้น (พิจารณาเป็นกรณีตามตามลักษณะการใช้งาน และควรได้รับการเห็นชอบจากวิศวกรผู้ออกแบบ ซึ่งอาจจะต้องมีการพิจารณาป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นที่โครงสร้างฐานราก)

5.3 วัสดุถมในโครงการบ้านจัดสรร เป็นวัสดุถมที่ใช้เช่นเดียวกับ ข้อ 5.1 และ 5.2 แต่ต้องไม่เป็นขยะและไม่แนะนำให้ใช้เศษวัสดุก่อสร้างเพื่อใช้เป็นวัสดุถม เว้นแต่จะได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรผู้รับผิดชอบในการออกแบบอาคารหรือโครงสร้างที่จะก่อสร้าง กรณีที่จะมีการปลูกต้นไม้ ดินถมควรมีค่าความเค็มไม่เกิน 8 deci siemens/metre (dS/m) และค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0-7.5

6. ขั้นตอนการถมดินและบดอัดดิน

6.1 งานถมบนพื้นราบเพื่อปรับระดับพื้นดินหรือถมดินเพื่อเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม

6.1.1 ขั้นตอนการถมดิน

(1) การสำรวจระดับพื้นดินเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณดินถม การสำรวจจะต้องเป็นไปตามการรับรองจากวิศวกรผู้ออกแบบกำหนด โดยจุดสำรวจจะกระทำทุกๆ 20-25 เมตร เป็นอย่างมาก หากเป็นพื้นที่บ่อน้ำควรพิจารณาถึงชั้นเลนที่จะต้องลอกหรือถมไล่ โดยควรทำการหยั่งความหนาของเลนเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณปริมาตรดินถมให้ถูกต้องต่อไป ค่าระดับที่ได้จากการสำรวจจะนำมาเฉลี่ยทั้งพื้นที่หรือเป็นโซน ทั้งนี้ควรพิจารณาถึงจุดสำรวจที่ต่างระดับกันมาก เช่น พื้นที่ร่องสวนกับพื้นที่ทำคันนา เป็นต้น การสำรวจทำได้ทั้งก่อนและหลังการขุดลอกหน้าดิน ถ้าดำเนินการก่อนให้นำค่ามาหักลบกับความหนาเฉลี่ยที่จะทำการขุดลอกหน้าดินออก

(2) การจัดเตรียมพื้นที่

ต้องเตรียมพื้นที่โดยการกำจัดหญ้าหรือวัชพืชบริเวณหน้าดินโดยการขุดลอกหน้าดินออกไปอย่างน้อย 30 เซนติเมตร ก่อนดำเนินการบดอัดดิน ต้นไม้ใหญ่ควรถอนรากและโคนออก นอกจากนั้นหากถมบนบริเวณพื้นที่ดินอ่อนอาจต้องมีการเสริมกำลังดินเพื่อป้องกันยุบตัวหรือเคลื่อนตัวของดินขณะดำเนินการ ในกรณีที่เป็นพื้นที่น้ำขังควรระบายน้ำออกจากพื้นที่ก่อนทำการถม เว้นแต่เป็นบ่อที่มีความลึกและขอบบ่ออาจจะพิบัติเมื่อสูบน้ำออก การสูบน้ำอาจจะทำไม่ได้ในกรณีที่มีขยะที่ผุสลายได้หรือเป็นพื้นที่ดินเลนจะต้องขุดและลอกเอาขยะหรือเลนดังกล่าวออก เว้นแต่สามารถถมไล่เลนได้แต่ในสุดท้ายก็จะต้องขุดเอาเลนที่ไล่ออกจากพื้นที่การถม

(3) ความหนาและการเกลี่ยดินถม

คุณภาพของวัสดุดินถมต้องเป็นไปตามข้อ 5 หรือตามข้อกำหนดเฉพาะของงานนั้นๆ การเกลี่ยดินถมจะต้องแบ่งชั้นถมอย่างสม่ำเสมอ ความหนาของดินแต่ละชั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการถม เช่น กรณีถมที่เพื่อปรับระดับพื้นดิน ควรทำการแบ่งชั้นการถมโดยแบ่งครึ่งความหนารวมของการถม แต่ต้องไม่เกินชั้นละ 1.00-1.25 เมตร หากเป็นกรณีการถมเพื่อรับน้ำหนักหรือเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม จะต้องใช้ความหนาของดินก่อนบดอัดไม่เกิน 30 เซนติเมตร เว้นแต่จะมีมาตรฐานของหน่วยราชการอื่นกำหนดเฉพาะ โดยทั้งสองกรณีดังที่กล่าวต้องใช้วัสดุและเครื่องมือในการบดอัดที่ต่างกัน และควรพิจารณาความหนารวมของการถมทั้งหมดว่าจะต้องไม่ทำให้ดินฐานรากหรือตัวดินถมเองพิบัติ ซึ่งจะต้องมีการประเมินโดยวิศวกร

(4) การควบคุมปริมาณความชื้นของดินถม

ในกรณีการถมเพื่อรับน้ำหนักหรือเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม ต้องมีการตรวจสอบความชื้นของดินก่อนถมเพื่อใช้ควบคุมความชื้นระหว่างการบดอัดดิน และมีการให้น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นตามที่วิศวกรกำหนด โดยความชื้นของดินถมต้องสม่ำเสมอตลอดในทุกชั้นการบดอัดดิน

(5) การถมดินใกล้กับโครงสร้าง เช่น ท่อระบายน้ำ โครงสร้างอาคาร ตอม่อสะพาน กำแพงกันดิน โครงสร้างอื่นๆ รวมถึงดินถมด้านข้างหรือภายในบ่อขุดควรต้องให้ความระมัดระวังแรงดันจากการถมหรือกองดินที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของโครงสร้างข้างเคียง ทั้งนี้ต้องพิจารณาประเด็นดังต่อไปนี้

(ก) กำลังหรืออายุของโครงสร้างข้างเคียง ลักษณะฐานรากเช่นฐานรากบนพื้นดิน (on-ground) หรือเสาเข็มสั้นในชั้นดินอ่อน ซึ่งอาจจะเคลื่อนตัวและเสียหายได้ง่าย

(ข) ความเสียหายต่อโครงสร้างใต้ดิน เช่น ระบบท่อและบ่อพัก

(ค) รูปแบบและวิธีการถมดินจะต้องไม่สร้างความเดือดร้อนรำคาญให้กับผู้อยู่อาศัยข้างเคียง

(ง) การพังทลายของพื้นที่ที่ต่ำกว่าหรือบ่อขุดข้างเคียง

6.1.2 ขั้นตอนการบดอัดดิน

(1) การบดอัดดินสำหรับงานปรับระดับพื้นที่ วัสดุถมต้องได้รับการบดอัดเป็นชั้น ๆ โดยมีชั้นการบดอัดไม่มากไปกว่า 1.00-1.25 เมตร และเดินย่ำด้วยรถแทรคเตอร์ D4 เป็นอย่างต่ำ เป็นจำนวน 3 รอบ เป็นอย่างน้อยหรือตามที่ผู้ออกแบบกำหนด

(2) การบดอัดดินสำหรับใช้เป็นโครงสร้างเพื่อการรับแรง ต้องปฏิบัติดังนี้

(ก) สำรวจระดับและเตรียมพื้นที่ตามหัวข้อ 6.1.1

(ข) ทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐานที่กำหนดตามลักษณะการใช้งาน เช่น standard compaction หรือ modified compaction ทั้งนี้ดินที่จะใช้ในการทดสอบจะต้องเป็นดินที่จะใช้ในการบดอัดจริง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างจากแหล่งดิน จำนวนของการทดสอบอย่างน้อย 3 การทดสอบต่อ 1 แหล่งดิน ส่วนคุณสมบัติทางวิศวกรรม เช่น ค่า CBR ค่ากำลังรับแรงเฉือน หรือค่าความชื้นน้ำให้ดำเนินการทดสอบตามที่วิศวกรหรือมาตรฐานของงานนั้นกำหนด โดยจะต้องเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบให้ได้ตามค่าความหนาแน่นและความชื้นที่สอดคล้องกับค่าขั้นต่ำที่ยอมให้ในการควบคุมงาน (ยกเว้นการทดสอบ CBR) เช่น เตรียมความหนาแน่นดินที่ 97% ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และความชื้น +2% จากค่าความชื้นที่เหมาะสม เพื่อนำมาทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินบดอัด เป็นต้น

(ค) ค่าความหนาแน่นภายหลังการบดอัดดินในสนาม จะกำหนดจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยจะกำหนดเป็นร้อยละขั้นต่ำของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ทดสอบได้ในห้องปฏิบัติการ เช่น ร้อยละ 97 หรือ ร้อยละ 95 เป็นต้น ทั้งนี้หากไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่นต้องทำการถมบดอัดให้ได้ความแน่นอย่างน้อยร้อยละ 90 ของความแน่นแห้งสูงสุดแบบมาตรฐาน (standard Proctor test) และต้องมีความหนาแน่นแห้งของดินถมบดอัดไม่ต่ำกว่า 15 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ยกเว้นดินที่มีการปรับปรุงด้านวิศวกรรมเพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ผู้ออกแบบต้องการ

(ง) การบดอัดในแต่ละชั้นต้องมีความหนาของชั้นดินก่อนบดอัดไม่เกิน 30 เซนติเมตร หรือปรับเพิ่มลดได้เมื่อมีการทำแปลงทดสอบการบดอัดแล้วได้ความหนาแน่นตามที่กำหนด

(จ) หากไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่นความคลาดเคลื่อนของความชื้นวัสดุดินถมระหว่างการบดอัดต้องไม่เกิน ±3% จากข้อกำหนด

(ฉ) หากมีฝนตกขณะบดอัดดินต้องหยุดการบดอัดและตรวจสอบความชื้นของวัสดุดินถมก่อนดำเนินการบดอัดในชั้นถัดไป และหากชั้นที่บดอัดไปแล้วเปียกแฉะหรือเปลี่ยนสภาพจะต้องลอกไปถึงชั้นที่มีความหนาแน่นและความชื้นตามมาตรฐานกำหนดก่อนที่จะทำการบดอัดต่อไป

(ช) ปริมาณการทดสอบความแน่นของดินในสนามต้องมีการทดสอบตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการทดสอบความแน่นของดินในสนาม

(ข้อ 6.1.2(ฉ))

ขนาดพื้นที่การบดอัด	ปริมาณการทดสอบ
บริเวณที่ถูกจำกัด (confined area) เช่น บริเวณใกล้โครงสร้าง เป็นต้น	ทดสอบทุก ๆ 50 ตารางเมตร/ 2 ชั้นการบดอัด
น้อยกว่า 1,000 ตารางเมตร	1 ตำแหน่ง/ ชั้นการบดอัด
ตั้งแต่ 1,000 ถึง 2,500 ตารางเมตร	2 ตำแหน่ง/ ชั้นการบดอัด
มากกว่า 2,500 ตารางเมตร	3 ตำแหน่ง/ ชั้นการบดอัด และเพิ่มการทดสอบทุก ๆ 2,500 ตารางเมตร

(3) การบดอัดดินถมต้องควบคุมอย่างเป็นระบบ การเลือกเครื่องมือบดอัดจะต้องพิจารณาอย่างเหมาะสมกับงานที่ทำ ถ้าการตรวจสอบพบความผิดปกติหลายจุดต้องมีการบดอัดดินถมใหม่อีกครั้ง

(4) การบดอัดใกล้กับโครงสร้างทั้งบนดินและใต้ดินต้องไม่ทำให้โครงสร้างเสียหายและไม่ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อพื้นที่ข้างเคียง

(5) การบดอัดดินเพื่อใช้เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น คันดินกั้นน้ำหรือเขื่อน ในส่วนที่จะต้องบดอัดส่วนของลาดดินให้ได้ความชันตามกำหนดต้องบดอัดดินเกินส่วนที่ต้องการอย่างน้อย 1.0 เมตร แล้วจึงตัดดินให้ได้รูปร่างของลาดชันตามที่ต้องการ

(6) การพองตัวของดินบดอัด อาจเกิดขึ้นได้ขณะทำการบดอัดดินเมื่อดินอยู่ในสภาพที่เกือบอิ่มตัวด้วยน้ำ ดังนั้นเพื่อลดการพองตัวของดินอาจสามารถหลีกเลี่ยงได้โดย

- ตรวจสอบให้แน่ชัดว่าวัสดุดินถมไม่อยู่ในสภาพเกือบอิ่มตัวด้วยน้ำ
- จัดเตรียมระบบระบายน้ำและป้องกันน้ำส่วนเกินระหว่างการบดอัด
- ต้องจัดเส้นทางขนส่งวัสดุไม่ให้กระทบกับการบดอัด

6.1.3 ภายหลังการบดอัดดิน

(1) ต้องไม่ใช้พื้นที่บริเวณขอบด้านบนของคันดินถม เป็นทางสัญจรหรือกองดินหรือกองวัสดุอื่นใดในลักษณะที่อาจทำให้เกิดการพังทลายของดินหรืออาจเป็นภยันตรายกับสิ่งปลูกสร้างในบริเวณนั้น เว้นแต่มีระบบป้องกันตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1912-52 : มาตรฐานการป้องกันการพังทลายสำหรับงานขุดดินและถมดิน หรือผู้ออกแบบได้ทำการวิเคราะห์โดยคำนึงถึงน้ำหนักกระทำดังกล่าวแล้ว

(2) ต้องมีการป้องกันความเสียหายพื้นผิวดินภายหลังการบดอัดแล้วต่อการกัดเซาะของน้ำหรือปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ เช่น การจัดทำร่องระบายน้ำผิวดินทั้งชั่วคราวหรือถาวรไม่ให้น้ำไหลลงลาดดินถมโดยที่ไม่ได้ควบคุม เป็นต้น

6.1.4 การจดบันทึกระหว่างการถมและบดอัดดิน

ควรมีการจดบันทึกระหว่างการก่อสร้างถึงสภาพหน้างาน งานที่ได้ทำ การทดสอบ และการแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงแบบ อย่างน้อยดังนี้

(1) ลักษณะขอบเขตพื้นที่ที่ทำการถมและบดอัดดิน

(2) ค่าระดับก่อนหรือหลังการถางหรือลอกหน้าดิน

(3) ตำแหน่งของต้นไม้หรือพุ่มไม้ใหญ่ที่ตัดออกไป

(4) ค่าระดับหลังการถมและบดอัดดินแล้วเสร็จ

(5) ชนิดหรือประเภทของวัสดุถมที่ใช้บริเวณต่าง ๆ

(6) แหล่งของวัสดุถมที่ใช้บริเวณต่าง ๆ

(7) ตำแหน่ง ชนิด และผลของการทดสอบ หากเป็นการทดสอบซ้ำในบริเวณที่ทดสอบแล้วไม่ผ่านเกณฑ์ ควรระบุให้ชัดเจน

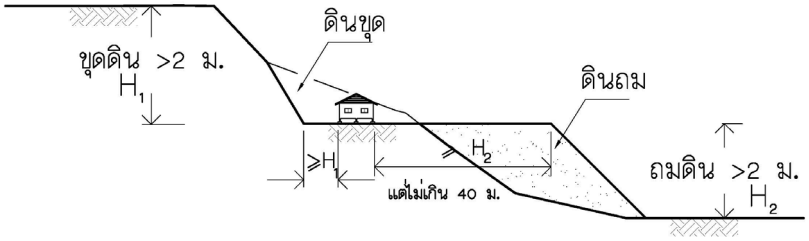
(8) เมื่อพบว่าดินในบริเวณที่ทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์ควรระบุให้ชัดเจนถึงการแก้ปัญหา

6.2 งานถมปรับระดับที่บนพื้นที่ลาดเชิงเขา

(1) การถมดินบนพื้นที่ลาดเชิงเขา หากเป็นการตัดไหล่เขาและถมดินลงไปในพื้นที่ที่ไม่สามารถจะบดอัดดินถมได้ เช่น การตัดไหล่เขาแล้วถมดินลงไปในลาดเชิงเขาที่สูงชันเพื่อก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างด้านบน กรณีนี้ห้ามก่อสร้างอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างบนส่วนของดินถม จะต้องก่อสร้างในพื้นที่ของส่วนของดินตัดที่เป็นพื้นดินเดิมที่มั่นคงและควรมีระยะเว้นต่าง ๆ ดังแสดงตามรูปที่ 1

(2) ในกรณีที่จะทำการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างบนดินถม หรือกรณีที่มีสิ่งปลูกสร้างด้านล่างลาดชันที่อาจได้รับผลกระทบจากดินถมหากเกิดการพิบัติต้องมีการคำนวณความมั่นคงของลาดชันตามมาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม มยผ. 1916-62 เพื่อกำหนดรูปร่าง

ของลาดดินถมให้เหมาะสม ทั้งนี้การถมดินบริเวณพื้นที่ลาดเชิงเขา เมื่อความสูงในการถมมากกว่า 1.5 เมตร จะต้องมีร่องดินถม (key) บริเวณปลายพื้นที่ลาดเอียงสูงอย่างน้อย 50 เซนติเมตร กว้างอย่างน้อย 3 เมตร และให้ตัดดินเดิมจนถึงชั้นดินที่มีความแข็งแรงเป็นขั้นๆ ก่อนการถมดิน ดังรูปที่ 2 ทั้งนี้เพื่อเป็นการลอกหน้าดินที่หลวมออก การทำเป็นขั้นจะทำให้การบดอัดดินแนบเข้ากับลาดดินมากขึ้น



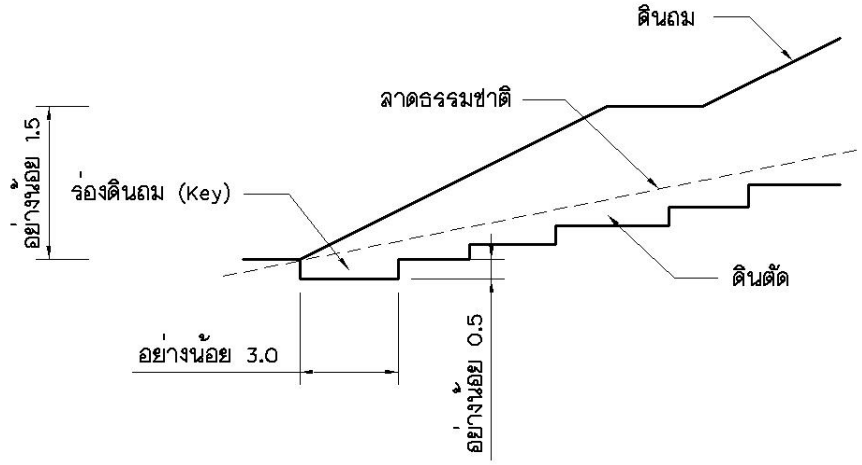
รูปที่ 1 ระยะเว้นเมื่อมีการถมดินและขุดดินบริเวณพื้นที่ลาดเชิงเขา

(ข้อ 6.2 (1))

(3) ต้องจัดให้มีระบบระบายน้ำผิวดินเพื่อไม่ให้เกิดการกัดเซาะดินถมลงสู่พื้นที่ข้างเคียงหรืออุดตันระบบระบายน้ำสาธารณะและไม่ก่อให้เกิดน้ำท่วมในพื้นที่ข้างเคียงรวมทั้งไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะถนน ท่อระบายน้ำ บ่อน้ำ หรือโครงสร้างในบริเวณข้างเคียง

(4) ต้องจัดให้มีระบบระบายน้ำผิวดินและป้องกันการกัดเซาะของลาดดินถมไม่ให้น้ำจากลาดเขาไหลลงมาสู่ลาดดินถมโดยตรง จะต้องมีการทำรางดักน้ำและระบายออกในพื้นที่ที่จะไม่ถูกกัดเซาะ ลาดดินถมจะต้องมีการป้องกันการกัดเซาะ อย่างน้อยเป็นพืชคลุมดินและรูปแบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อลาดชันมีความชันมากขึ้น

(5) การบดอัดดินปฏิบัติตามขั้นตอนข้อ 6.1.1-6.1.2



รูปที่ 2 ร่องดินถมบริเวณปลายพื้นที่ลาดเชิงเขา

(ข้อ 6.2 (2))

6.3 การถมบ่อน้ำ

หากบ่อน้ำมีความตื้นกว่า 2.5 เมตร ซึ่งพอจะอยู่ในวิสัยที่จะระบายน้ำออกโดยไม่เกิดการเคลื่อนพังและกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียง ให้ดำเนินการระบายน้ำออก ลอกเลน แล้วถมดิน หรืออาจจะถมไล่เลนพร้อมกับระบายน้ำออก แล้วจึงขุดเลนที่ถูกดันออกไปจากพื้นที่ ทั้งนี้หากบ่อน้ำมีความลึกเฉลี่ยลึกกว่า 2.5 เมตร จะต้องมีข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

6.3.1 ข้อพิจารณาเพื่อความปลอดภัยและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการถมดินบ่อน้ำ

(1) การสูบน้ำออกเพื่อถมดินอาจจะทำให้ดินรอบบ่อเกิดการเคลื่อนตัวและส่งผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียง หากต้องการสูบน้ำออกต้องมีการสำรวจชั้นดินและวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันรอบบ่อน้ำ เพื่อนำมากำหนดอัตราการลดระดับน้ำที่ไม่เกิดอันตราย

(2) น้ำที่สูบออกอาจจะมีความเค็มหรือมีความเป็นพิษที่มีระดับความอันตรายต่อพืชหรือสุขภาพ การทิ้งหรือจัดการน้ำ ควรพิจารณาผลกระทบกับพื้นที่ข้างเคียงด้วย

(3) ห้ามกองดินริมบ่อน้ำเพื่อรอการถมสูงเกิน 2 เมตรและต้องเว้นระยะห่างจากขอบบ่อน้ำอย่างน้อยเท่ากับ 1 เท่าของความลึกสูงสุดของบ่อน้ำ เพื่อป้องกันผลกระทบต่อการเคลื่อนตัวของดิน

(4) ในกรณีที่ไม่สามารถระบายน้ำออกได้ การถมดินลงไปในบ่อน้ำเพื่อไล่เลนและดันน้ำออก ต้องจัดทางระบายน้ำที่จะไหลออกให้ลงไปสู่ระบบระบายที่เพียงพอโดยจะต้องไม่ให้น้ำท่วมขังไปยังพื้นที่ข้างเคียง

6.3.2 ข้อพิจารณาทั่วไปเพื่อการถมดินบ่อน้ำ

ต้องกำจัดหญ้าหรือวัชพืช หรือต้นไม้ บริเวณริมตลิ่งที่จะถูกดินถม และวัชพืชที่ลอยน้ำ รวมถึงขยะเอาออกให้หมดก่อนการถมดิน

6.3.3 วัสดุในการถมดินบ่อน้ำ

วัสดุในการถมดินบ่อน้ำเป็นไปตามข้อ 5 ยกเว้นกรณีที่ต้องการใช้ฐานรากเสาเข็มตอก ไม่ควรถมด้วยดินทราย กรวด หรือซากวัสดุก่อสร้าง เพราะจะไม่สามารถตอกเสาเข็มได้

6.3.4 วิธีการถมดินบ่อน้ำ

(1) ในกรณีที่สามารถจะระบายน้ำออกได้อย่างปลอดภัย ให้ทำการขุดลอกเลนออก หรือถ้าถมไล่เลนต้องขุดตักเลนออก

(2) ในกรณีที่ไม่สามารถจะระบายน้ำออกจากบ่อได้ ให้เริ่มถมจากขอบบ่อบริเวณที่มีความชันน้อยและมีความลึกไม่มากเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ๆ ในพื้นที่โครงการ

(3) ต่อเนื่องจากข้อ (2) ให้ถมไล่เลนไปทางบริเวณที่เป็นจุดที่ลึกที่สุดของบ่อ เพื่อให้มวลดินถมมีความมั่นคงโดยเร็ว โดยใช้รถย่ำนวดดินให้ไหลไปตามทิศที่ต้องการ

(4) เมื่อดินถมสูงกว่าระดับน้ำในบ่อ ให้ทำการบดอัดตามขั้นตอนข้อ 6.1

6.3.5 ข้อควรคำนึงถึง

ภายหลังการถมดินบ่อน้ำอาจจะมีการทรุดตัวอย่างมาก ทั้งสาเหตุจากวัสดุถมที่เปียกชุ่มน้ำหากถมโดยไม่ได้ระบายน้ำออก อีกทั้งยังยากต่อการบดอัดดินถมให้แน่นได้ นอกจากนั้นโอกาสที่จะเหลือดินเลนตกค้างที่ก้นบ่อ ที่อาจจะไม่สามารถนำออกมาได้ ทำให้อาจจะเกิดการทรุดตัวระยะยาวของดินถมทั้งหมดได้ ทั้งนี้จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการใช้งานพื้นที่ทั้งตัวอาคารเองและพื้นที่รอบอาคารรวมทั้งระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่บนดินถม ดังนั้นจึงต้องพิจารณาการใช้พื้นที่อย่างเหมาะสม หรือต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีการที่เหมาะสม เช่น การใช้น้ำหนักกดทับก่อน (preloading) การระบายน้ำในแนวดิ่งด้วยแถบระบายน้ำ (prefabricated vertical drain, PVD) หรือการใช้ vacuum consolidation method (VCM) เพื่อเร่งการทรุดตัวให้เกิดในช่วงระหว่างการปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งจะทำให้การทรุดตัวในขณะใช้งานเหลือไม่มาก

6.4 การถมในโครงการบ้านจัดสรร

การถมดินในพื้นที่บ้านจัดสรร มีทั้งการถมเพื่อปรับระดับพื้นที่และการถมเพื่อใช้เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม ได้แก่ ถนนในโครงการ เป็นต้น การดำเนินการให้เป็นไปตามข้อ 5 และ ข้อ 6.1 ถึง 6.3 ตามที่ได้กล่าวมา โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

6.4.1 การประเมินการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักดินถม

การถมดินในพื้นที่แปลงบ้านจัดสรรหรือถนนที่มีดินฐานรากซึ่งสามารถทรุดตัวได้สูง เช่น ดินเหนียวอ่อน ดินที่ถมลงในบ่อน้ำ ดินที่ถมในบริเวณพื้นที่ต่ำ และดินฐานรากที่ถมใหม่ ผู้ประกอบการโครงการบ้านจัดสรร ควรทำการเจาะสำรวจและประเมินการทรุดตัวของดินฐานรากอย่างน้อยโครงการละ 3 หลุม พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติการทรุดตัวของดิน ในห้องปฏิบัติการและคำนวณค่าการทรุดตัวของชั้นดินตามเวลา เพื่อใช้อ้างอิงในการประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการทรุดตัวดังกล่าว

6.4.2 เครื่องจักรสำหรับงานบดอัดดินในโครงการบ้านจัดสรร

การถมดินเพื่อถมปรับระดับพื้นที่ดำเนินการโดยการใช้เครื่องจักรเดินย่ำ เครื่องจักรที่ใช้ได้แก่ รถแบคโฮ รถแทรกเตอร์ หรือรถบด เป็นต้น โดยต้องมีความดันที่กดลงบนพื้น (ground pressure) มากกว่า 27.6 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (4 psi) เช่น รถแทรคเตอร์ D4 เป็นต้น สำหรับส่วนของถนนหรือส่วนที่จะใช้รับน้ำหนักหรือเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม ให้ใช้เครื่องจักรและวิธีตามมาตรฐานการถมบดอัดถนน

6.4.3 วิธีการถมดินในโครงการบ้านจัดสรร

(1) ความสูงดินถมรวมต้องไม่เกิน 3 เมตร และความหนาดินถมแต่ละชั้นต้องสูงไม่เกิน 1.00-1.25 เมตร โดยภายหลังการบดอัดแล้ว รถแทรกเตอร์ต้องไม่จมและไม่เห็นร่องล้อรถแทรกเตอร์ จึงจะถมชั้นต่อไปได้

(2) กรณีความสูงดินถมรวมมากกว่า 3 เมตร ดินที่ถมหรือดินฐานรากอาจจะพิบัติได้ ดังนั้นจึงควรปรึกษาวิศวกรผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง

6.4.4 ข้อควรคำนึงถึง

เนื่องจากการถมปรับระดับพื้นที่ไม่ได้มีการบดอัดดินเหมือนการถมบดอัดดินเพื่อเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรม ดังนั้นตัวดินถมเองจะยังมีช่องว่างที่อาจจะมีการทรุดตัวหลังจากถมไปแล้วได้ ทั้งนี้การทรุดตัวจะเกิดเมื่อผ่านฤดูฝนไป 1 หรือ 2 ครั้ง และจะลดลงหรือแทบจะหยุด (ไม่เกี่ยวกับการทรุดตัวของดินฐานรากจากน้ำหนักดินถม ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้มากในพื้นที่ที่ดินฐานรากเป็นดินเหนียวอ่อน) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำฝนจะไหลซึมเข้าไปและทำให้เกิดการทรุดตัวเพิ่มเติม ดังนั้นเพื่อให้ระดับการถมดินสุดท้ายได้ตามกำหนด จึงควรถมดินเผื่อการทรุดตัวของดินถมประมาณร้อยละ 6 ของความสูงดินถม แต่ไม่ควรน้อยกว่า 5 เซนติเมตร เพื่อลดปัญหาการยุบตัวของดินถม (กรณีใช้วัสดุคัดเลือกทางวิศวกรรมหรือวัสดุถมแบบแห้งให้วิศวกรผู้ที่เกี่ยวข้องเป็นผู้กำหนดค่าการทรุดตัว)

7. ค่าการทรุดตัวที่ยอมให้ในการถมตามวัตถุประสงค์ต่างๆ

7.1 ค่าการทรุดตัวที่ยอมให้ของดินถมเพื่อเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมไม่ควรเกิน 1% ของความสูงดินถม

7.2 ค่าการทรุดตัวที่ยอมให้ของดินถมเพื่อปรับระดับพื้นที่ในงานโครงการบ้านจัดสรรควรมีค่าไม่เกิน 6% ของความสูงดินถม

7.3 ค่าการทรุดตัวของดินฐานรากจากการถมดินลงในพื้นที่ดินอ่อน พื้นที่ดินถมบ่อ หรือพื้นที่ที่ได้ประเมินการทรุดตัวตามข้อ 6.4.1 ต้องไม่มากกว่า 30 เซนติเมตร ในเวลา 5 ปี ตามผลการวิเคราะห์การอัดตัวคายน้ำ (consolidation) เฉลี่ย ทั้งในทิศทางเดียว (1-D) และสองทิศทาง (2-D) ของการระบายน้ำของชั้นดิน

8. การปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากเพื่อป้องกันการพิบัติและการทรุดตัวเกินเกณฑ์

ชั้นดินถมนั้นสามารถทำการบดอัดด้วยวิธีต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น หากดินฐานรากเป็นดินเหนียวอ่อนอาจจะทำให้เกิดการทรุดตัวในระยะยาวได้ ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาการทรุดตัวของชั้นดินฐานรากจากน้ำหนักของดินถม จำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากเพื่อลดปัญหาการทรุดตัว โดยหลักทั่วไปมีด้วยกัน 2 ประการได้แก่

1. การสร้างโครงสร้างเพื่อถ่ายน้ำหนักดินถมผ่านชั้นดินอ่อนลงสู่ชั้นดินที่แข็งกว่า เทคนิคนี้ได้แก่ การก่อสร้างเสาเข็ม-ดินซีเมนต์ การใช้เสาเข็มคอนกรีตเป็น bearing unit หรือแม้กระทั่งการใช้เสาเข็มไม้

2. การปรับปรุงดินเหนียวอ่อนให้มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมดีขึ้น เทคนิคเริ่มตั้งแต่การขุดลอกดินที่มีปัญหาออกแล้วบดอัดกลับด้วยดินที่ดีกว่า (soil replacement) การ preload การเร่งการทรุดตัวพร้อมการ preload เช่น การติดตั้ง prefabricated vertical drains (PVD) เพื่อระบายน้ำออกจากมวลดิน หรือการเร่งการระบายน้ำออกด้วยการใช้เทคนิค vacuum consolidation method (VCM) เป็นต้น

การนำเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินไปใช้ต้องพิจารณาองค์ประกอบหลาย ๆ ด้าน มาเปรียบเทียบการปรับปรุงการทรุดตัวด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินในด้านต่างๆ (สุทธิศักดิ์, 2561)

(ข้อ 8)

เงื่อนไข/วิธี	soil replacement	concrete pile	soil-cement column	prefabricated vertical drains	vacuum consolidation method
ความหนาดินอ่อน 3-5 เมตร	เหมาะสมที่สุด	ทำได้	ทำได้	ทำได้	ทำได้
ความหนาดินอ่อน 5-18 เมตร	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสมที่สุด	เหมาะสมที่สุด	เหมาะสมที่สุด
ความหนาดินอ่อน 18-25 เมตร	ไม่เหมาะสม	ทำได้แต่อาจจะแพง	ทำได้ยาก	ทำได้ยาก	เหมาะสมที่สุด
เทคนิคในการก่อสร้างและคุมงาน	ไม่ซับซ้อน	ไม่ซับซ้อน	ปานกลาง	ซับซ้อน	ซับซ้อน
เป็นเทคนิคที่แพร่หลายในประเทศ	ใช่	ใช่	ใช่	ปานกลาง	เพิ่งเริ่มเข้ามาใช้
เป็นเทคนิคที่แพร่หลายในต่างประเทศ	ใช่	ไม่นิยม/ราคาสูง	ใช่	ใช่	ใช่
การลดการทรุดตัวของดินถมในระยะยาว	-	เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสม
งานป้องกันงานขุด/ลาดชัน	-	แล้วแต่กรณี	แล้วแต่กรณี	เหมาะสม	เหมาะสม
สถิติการพบปัญหาในระยะยาว	ไม่มี	มีกรณีที่พบปัญหา	มีกรณีที่พบปัญหา	มีกรณีที่พบปัญหา	ไม่มี
ผลกระทบต่อที่ดินข้างเคียง	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ดินเคลื่อนตัวออก	ดินเคลื่อนตัวเข้า
ความเร็วในการก่อสร้าง	ช้า	เร็ว	เร็ว	ช้า	เร็ว
ราคาค่าก่อสร้างรวมทั้งระบบ	-	3.5x	3x	2x	x
ข้อจำกัด	ดินอ่อนหนามากไม่ได้	ราคาสูง,อาจเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันระหว่างเข็ม	คุณภาพขึ้นอยู่กับการควบคุมงาน, มีปัญหาการทรุดตัวแตกต่างกันระหว่างส่วนที่มีและไม่มีเสาเข็ม, ไม่เหมาะสมกับดินที่มีความเป็นอินทรีย์สารสูง,ระยะยาวมีปัญหาเรื่อง creep	ไม่เหมาะกับดินอ่อนมากหรือมีการ consolidate ได้ยาก, ไม่เหมาะกับชั้นดินอ่อนที่หนามาก เพราะ stress จะส่งผลไปได้ไม่ถึง, การ preloading ไม่ถูกต้องทำให้ไม่ได้แก้ปัญหา	พื้นที่ข้างเคียงอาจจะได้รับผลกระทบจากแรง vacuum,ต้องมีการเว้นระยะกับที่ดินหรือสิ่งปลูกสร้างข้างเคียง
ข้อเด่น	ถ้าทำได้จะประหยัด	ก่อสร้างได้เร็ว แก้ปัญหา การทรุดตัวโดยรวมได้	ก่อสร้างได้เร็ว แก้ปัญหาการทรุดตัวรวมได้	แก้ปัญหาการทรุดตัวรวมและการทรุดตัวแตกต่างกันได้ดี	ก่อสร้างได้เร็ว สามารถแก้ปัญหาการทรุดตัวทั้งการทรุดตัวรวมและการทรุดตัวต่างกันในระยะยาวได้ดี

หมายเหตุ

Soil replacement	คือ การขุดดินออกแล้วบดอัดดินใหม่แทนที่
Concrete pile	การใช้เสาเข็มตอกปูพรม
Soil-cement column (SCC)	การใช้เสาเข็มดิน-ซีเมนต์ปูพรม
PVD with preloading (PVD)	Preload ด้วย ดินถมและเร่งการทรุดตัวด้วย PVD
Vacuum consolidation (VCM)	Preload ด้วย Vacuumและเร่งการทรุดตัวด้วย PVD

9. การตรวจสอบการบดอัด

การตรวจสอบความหนาแน่นของดินในสนาม (field density test) ภายหลังการบดอัด มีเทคนิคดังนี้

9.1 การทดสอบแบบใช้กรวยทราย (sand cone method, ASTM D1556)

เป็นการทดสอบที่ใช้ทรายเพื่อช่วยในการหาปริมาตรของหลุม ซึ่งขนาดของเม็ดทรายจะต้องมีลักษณะกลมและมีขนาดสม่ำเสมอกัน โดยอาจจะใช้ทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างตะแกรงเบอร์ 30 แทนได้ เพื่อให้ได้ผลความหนาแน่นที่เท่ากันโดยตลอด และไม่เกิดการแยกตัวของเม็ดทรายขณะทำการทดสอบ รายละเอียดการทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 2204-57: มาตรฐานการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (field density test)

ข้อควรระวังเพื่อป้องกันการผิดพลาด คือ ต้องป้องกันไม่ให้เกิดช่องว่างภายใต้แผ่นรอง ทรายที่ใช้ในการทดสอบต้องสะอาดและแห้ง ไม่จับตัวเป็นก้อน และไม่ควรทดสอบด้วยวิธีนี้หากในหลุมมีน้ำขังหรือแฉะ เพราะทรายจะไหลไม่สะดวก

9.2 การทดสอบแบบใช้ลูกโป่งยาง (rubber balloon method, ASTM D2167)

เป็นการทดสอบที่ใช้น้ำเพื่อช่วยในการหาปริมาตรของหลุมซึ่งสะดวกและรวดเร็วกว่าการทดสอบแบบใช้กรวยทราย โดยการทดสอบต้องอาศัยลมจากลูกบอลบีบอัดลงไปตรงส่วนบนของผิวน้ำในหลอดแก้วของเครื่องมือ เพื่อทำให้น้ำในหลอดแก้วถูกดันออกไปในลูกโป่งยางและไหลลงไปในหลุมทดสอบที่ขุดเอาไว้ใต้แผ่นรอง ลมที่อัดลงไปนี้มีส่วนช่วยให้น้ำในลูกโป่งยางอัดแนบสนิทกับก้มหลุม ทำให้ได้ค่าปริมาตรของหลุมที่ทดสอบ

ข้อควรระวังเพื่อป้องกันการผิดพลาด คือ ควรป้องกันไม่ให้เกิดช่องว่างภายใต้แผ่นรอง และพื้นผิวในการติดตั้งอุปกรณ์ไม่ได้ระดับ และระวังลูกโป่งยากแตก

9.3 การทดสอบแบบนิวเคลียร์ (nuclear method)

การทดสอบโดยวิธีนี้เป็นการหาค่าความหนาแน่นของดินและปริมาณความชื้นของดินบดอัดแน่น โดยใช้รังสีแกมม่า (Gamma ray) ส่งผ่านชั้นดินที่ต้องการ ก่อนที่จะไปเข้าเครื่องรับรังสี ถ้ารังสีสะท้อนกลับไปยังเครื่องรับมาก แสดงว่าดินมีความหนาแน่นสูง ส่วนการหาปริมาณความชื้นโดยใช้นิวตรอน (Neutron) ส่งผ่านเข้าไปในดินและสะท้อนไปยังเครื่องรับอนุภาคของนิวตรอนจะไปชนกับอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำ ถ้านิวตรอนสะท้อนกลับเข้าเครื่องรับช้า แสดงว่าปริมาณน้ำในมวลดินมาก

ข้อควรระวังเพื่อป้องกันการผิดพลาด คือต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือ (calibration) ก่อนการใช้งาน และต้องเตรียมพื้นผิวดินทดสอบเพื่อให้แนบกับเครื่องมือ และต้องตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมืออยู่สม่ำเสมอ เพื่อไม่ให้มีการรั่วไหลของรังสี

10. เอกสารอ้างอิง

10.1 Australian Standard (2007) : AS 3798-2007. Guidelines on Earthworks for Commercial and Residential Developments.

10.2 สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์. 2561. การแก้ปัญหาการทรุดตัวของงานถนน งานถมที่ และถมบ่อดิน ในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ด้วยการปรับปรุงคุณภาพดิน และเทคนิค VCM. หน่วยวิจัยการออกแบบและวิจัยด้านวิศวกรรมปฐพี ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรมโยธาธิการและผังเมือง

ถนนพระราม 6 แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321