# คู่มือการแนะนำแก้ไขและการปฏิบัติการชะล้างพังทลายและเคลื่อนตัวของเชิงลาด

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง

กรมทางหลวง

กรกฎาคม 2551

**สารอธิบดีกรมทางหลวง**

ในการก่อสร้างทางของกรมทางหลวงในพื้นที่ภูเขาสูง โดยเฉพาะทางภาคเหนือมีการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดถนนเป็นอย่างมาก มีผลกระทบต่อความสะดวกปลอดภัยแก่ผู้ใช้ทาง บางครั้งทำให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน ซึ่งย่อมจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อเศรษฐกิจ การขนส่งของประเทศด้วย สำหรับความเสียหายที่เกิดขึ้นมีสาเหตุหลายประการ อาทิ ปัญหาสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ปัญหาป่าไม้ถูกทำลายทำให้เกิดน้ำไหลหลากอย่างรุนแรงเมื่อฝนตกหนัก ดังนั้น การสำรวจ การบำรุงรักษาเชิงลาดของเส้นทางในพื้นที่ดังกล่าว รวมทั้งการออกแบบโครงสร้างเพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายของเชิงลาด จึงเป็นเรื่องที่กรมทางหลวงให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก

การดำเนินการโครงการศึกษาการแก้ไข ป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด โดยได้จัดทำคู่มือการแนะนำ แก้ไข และการปฏิบัติการชะล้างพังทลายและเคลื่อนตัวเชิงลาด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานของบุคลากรของกรมทางหลวง รวมทั้งผู้สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ไข ออกแบบเชิงลาดอย่างมีประสิทธิภาพได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการต่อไป จึงหวังว่าคู่มือนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้เกี่ยวข้อง และนำไปสู่การพัฒนาให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นในอนาคต

(นายนิกร บุญศรี)
อธิบดีกรมทางหลวง

# คำนิยม

โครงการศึกษาการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลาย และเคลื่อนตัวของเชิงลาด เป็นโครงการที่ทางสำนักวิจัยและพัฒนางานทางได้จัดทำเพื่อเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจในเรื่องของปัญหาการ ชะล้างพังทลายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างทาง ซึ่งประกอบด้วยการสำรวจวิเคราะห์ความเสียหาย การแก้ไขและการปฏิบัติการ การบำรุงรักษา รวมถึงแบบแนะนำ ซึ่งผลประโยชน์จากโครงการนี้ ทำให้ผู้ปฏิบัติการสามารถนำไปใช้ในงานได้อย่างง่าย และมีประสิทธิภาพ

ในนามของสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กระผมขอแสดงความชื่นชมต่อการจัดทำคู่มือเล่มนี้ และขอขอบคุณคณะกรรมการกำกับโครงการทุกท่าน กลุ่มบริษัทที่ปรึกษา และเจ้าหน้าที่สำนักทางหลวง ที่ได้ร่วมมือจัดทำคู่มือเล่มนี้ให้สำเร็จตามความมุ่งหมายทุกประการ และกระผมหวังเป็นอย่างยิ่งว่า กรมทางหลวงจะได้นำคู่มือเล่มนี้เพื่อไปปฏิบัติใช้ในการจัดการเพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายของเชิงลาดอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ดร.พิชิต จำนงพิพัฒน์กุล
ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง

# คำนำ

คู่มือการแนะนำ แก้ไข และการปฏิบัติการชะล้างพังทลายและเคลื่อนตัวของเชิงลาดนี้ จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการชะล้างพังทลายของเชิงลาดทั้งแบบชั่วคราวและแบบถาวร มุ่งเน้นแนวทางการแก้ไขที่มีมาตรฐาน ประยุกต์ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่นแก้ปัญหาได้รวดเร็ว มีความกลมกลืนกับสภาพธรรมชาติ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คู่มือการแนะนำฯนี้ ครอบคลุมถึงขั้นตอนการดำเนินงานและควบคุมคุณภาพในการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด รายละเอียดการออกแบบแก้ไข ข้อกำหนดและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ และแบบแนะนำสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการแก้ไขความเสียหายของเชิงลาดในเขตพื้นที่ที่รับผิดชอบ

ความสัมฤทธิ์ผลของการดำเนินงานจัดทำคู่มือการแนะนำ ฯ นี้ ได้รับความร่วมมือจาก บริษัท เทสโก้ จำกัด และบริษัท อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแต้นส์ จำกัด ภายใต้สัญญาเลขที่ สจ.6/2550 ลงวันที่ 27 กรกฎาคม 2550 คณะกรรมการกำกับโครงการขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักทางหลวงที่ 1, 2, 4 และ 6 รวมถึงสำนักทางหลวงอื่นๆ ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ซึ่งล้วนแล้วแต่มีคุณค่าต่อการจัดทำคู่มือฉบับนี้ทั้งสิ้น ส่งผลให้คู่มือแนะนำ ฯ เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีและบรรลุวัตถุประสงค์ตามรายการข้อกำหนดของโครงการ ฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อกรมทางหลวงในการปฏิบัติการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลต่อไป

**ดร.ยงยุทธ แต้ศิริ**

**ประธานคณะกรรมการกำกับ ฯ**

**คณะกรรมการกำกับ**
**โครงการศึกษาการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและเคลื่อนตัวของเชิงลาด**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | ดร.ยงยุทธ | แต้ศิริ | วิศวกรวิชาชีพ 9 วช. | ประธานกรรมการ |
| 2. | นายสุรพล | สงวนแก้ว | นักธรณีวิทยา 9 ชช. | กรรมการ |
| 3. | นายสุรชัย | ศรีเลณวัติ | รก.วิศวกรวิชาชีพ 9 วช. | กรรมการ |
| 4. | นายพิน | ศรีหรั่งไพโรจน์ | วิศวกรโยธา 8 วช. | กรรมการ |
| 5. | ดร.จุฑา | สุนิตย์สกุล | วิศวกรโยธา 7 วช. | กรรมการ |
| 6. | ดร.อรรถสิทธิ์ | สวัสดิ์พานิช | วิศวกรโยธา 7 วช. | กรรมการ |
| 7. | ดร.ปัญญา | ชูพานิช | วิศวกรโยธา 6 ว. | กรรมการ |
| 8. | ดร.ปิยะ | ชูตินันท์ | วิศวกรโยธา 5 | กรรมการ |
| 9. | ดร.อัคคพัฒน์ | สว่างสุรีย์ | วิศวกรโยธา 5 | กรรมการและวิศวกรกำกับโครงการ |
| 10. | ดร.จิรโรจน์ | ศุกลรัตน์ | วิศวกรโยธา 5 | กรรมการและวิศวกรกำกับโครงการ |
| 11. | ดร.มนตรี | เดชาสกุลสม | วิศวกรวิชาชีพ 9 วช. | กรรมการและเลขานุการฯ |
| 12. | นายกษิดิศ | วัฒนศัพท์ | รส.ทล. 1 | ผู้เชี่ยวชาญ |
| 13. | นายธานินทร์ | สมบูรณ์ | รส.ทล. 2 | ผู้เชี่ยวชาญ |

# สารบัญ

**สารบัญ** **หน้า**

สารบัญ ก
สารบัญรูป ง
สารบัญตาราง ช

**บทที่ 1 บทนำ** **1**

1.1 ความเป็นมา 1
1.2 ขอบเขตและหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ปฏิบัติงาน 2

**บทที่ 2 เกณฑ์การเลือกการปฏิบัติการแก้ไขและป้องกันแบบชั่วคราวและแบบถาวร** **5**

2.1 บทนำ 5
2.2 รูปแบบการแก้ไขปัญหาการพังทลายของเชิงลาด 5
2.2.1 การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น (ชั่วคราวหรือระยะสั้น) 5
2.2.2 การแก้ไขปัญหาแบบถาวร (ระยะยาว) 6
2.3 เกณฑ์การเลือกการปฏิบัติการแก้ไขความเสียหายเชิงลาด 6

**บทที่ 3 แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดเบื้องต้น (ชั่วคราว)** **9**

3.1 นิยามและวัตถุประสงค์ 9
3.2 ข้อพิจารณาในการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาดเบื้องต้น 11
3.2.1 ด้านเทคนิคการก่อสร้าง 11
3.2.2 ระยะเวลาการดำเนินการ 11
3.2.3 งบประมาณในการออกแบบและก่อสร้าง 11
3.2.4 การประยุกต์ใช้วัสดุก่อสร้างในท้องถิ่น 12
3.3 ประเภทความเสียหายและแนวทางแก้ไข 12
3.3.1 น้ำผิวดินกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง 12
3.3.2 น้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง 18

## สารบัญ (ต่อ)


| | | หน้า |
|---|---|---|
| **บทที่ 3 แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดเบื้องต้น (ชั่วคราว) (ต่อ)** | | |
| 3.3.3 | การเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือการขาดเสถียรภาพของเชิงลาด | 25 |
| 3.3.4 | หินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว | 30 |
| 3.4 | สรุปรูปแบบและข้อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบชั่วคราว | 37 |
| **บทที่ 4** | **แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวร** | **57** |
| 4.1 | นิยามและวัตถุประสงค์ | 57 |
| 4.2 | ข้อพิจารณาในการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาดแบบถาวร | 57 |
| 4.2.1 | ด้านเทคนิคการก่อสร้าง | 57 |
| 4.2.2 | ระยะเวลาการดำเนินการ | 58 |
| 4.2.3 | งบประมาณในการออกแบบและก่อสร้างเชิงลาดแบบถาวร | 59 |
| 4.2.4 | การประยุกต์ใช้วัสดุก่อสร้างในท้องถิ่น | 60 |
| 4.2.5 | ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและความสวยงาม | 60 |
| 4.3 | แนวทางแก้ไขตามประเภทความเสียหาย | 62 |
| 4.3.1 | น้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง | 62 |
| 4.3.2 | น้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทาง สาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง | 67 |
| 4.3.3 | การเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำและ/หรือการขาดเสถียรภาพของเชิงลาด | 72 |
| 4.3.4 | หินร่วง | 82 |
| 4.4 | สรุปรูปแบบและข้อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวร | 95 |
| **บทที่ 5** | **เทคนิคและขั้นตอนการดำเนินงานและการควบคุมคุณภาพงานระหว่างการก่อสร้าง** | **113** |
| 5.1 | ยุทธศาสตร์และหลักการบริหารโครงการก่อสร้าง/แก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด | 113 |
| 5.1.1 | การบริหารสัญญา | 114 |

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

**บทที่ 5 เทคนิคและขั้นตอนการดำเนินงานและการควบคุมคุณภาพงานระหว่างการก่อสร้าง (ต่อ)**

5.1.2 การบริหารงานวิศวกรรมการตรวจสอบแบบ 114
5.1.3 การบริหารงานวิศวกรรมด้านการก่อสร้าง 116
5.1.4 การตรวจสอบคุณภาพงาน มาตรฐานการทดสอบวัสดุและมาตรฐานการก่อสร้าง 116
5.2 การส่งมอบพื้นที่ก่อสร้าง 119
5.3 แนวทางการดำเนินงานตามรายการข้อกำหนดและมาตรฐานการก่อสร้าง 119
5.4 เทคนิคการควบคุมงานก่อสร้าง 126
5.4.1 งานก่อสร้างการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด 126
5.4.2 ข้อควรระวังเป็นพิเศษในระหว่างการก่อสร้าง 134
5.5 การตรวจสอบติดตามในช่วงประกันผลงาน 135

**เอกสารอ้างอิง** 137

**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก รายละเอียดการออกแบบแก้ไขปัญหาเชิงลาด 139
ภาคผนวก ข ข้อกำหนด (Specification) และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ 195
ภาคผนวก ค แบบแนะนำสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด 209
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดใช้โปรแกรม Slide V. 5.0 219
ภาคผนวก จ ศัพท์เทคนิค 243

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.3-1 | การพิจารณาเบื้องต้นเพื่อจำแนกความรุนแรงของความเสียหายของเชิงลาด | 6 |
| 2.3-2 | เกณฑ์การคัดเลือกวิธีการแก้ไขความเสียหายของเชิงลาด | 7 |
| 3.1-1 | การพิจารณาดำเนินการแก้ไขเชิงลาดเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้น | 10 |
| 3.3-1 | ลักษณะความเสียหายเนื่องจากน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง | 12 |
| 3.3-2 | รูปแบบการใช้หินเรียงป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำ | 13 |
| 3.3-3 | รูปแบบการใช้ Sacked Soil Cement | 14 |
| 3.3-4 | รูปแบบการใช้ถุงทรายและเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้เพื่อป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำ | 15 |
| 3.3-5 | รูปแบบการใช้หินเรียงป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำ | 16 |
| 3.3-6 | ขั้นตอนการคัดเลือกมาตรการแก้ไขน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง | 17 |
| 3.3-7 | ลักษณะความเสียหายเนื่องจากน้ำกัดเซาะผิวหน้าและน้ำท่วมทาง | 18 |
| 3.3-8 | การขนย้ายวัสดุออกจากผิวทางและติดตั้งป้ายเตือน | 20 |
| 3.3-9 | วิธีการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำบริเวณเชิงลาดที่ได้รับความเสียหาย | 21 |
| 3.3-10 | รูปแบบการใช้ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สานป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาด | 22 |
| 3.3-11 | ผ้าแสลนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดได้ | 23 |
| 3.3-12 | ขั้นตอนการคัดเลือกมาตรการแก้ไขน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง | 24 |
| 3.3-13 | ลักษณะความเสียหายเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด | 25 |
| 3.3-14 | รูปแบบการใช้ถังขนาด 200 ลิตร ต้านทานการไหลของดิน/หิน | 26 |
| 3.3-15 | การประยุกต์ใช้ถังขนาด 200 ลิตร ป้องกันความเสียหายบริเวณเชิงลาด | 27 |
| 3.3-16 | รูปแบบการใช้ยางรถยนต์เก่าและรั้วไม้ต้านทานการไหลของดิน/หิน | 28 |
| 3.3-17 | ขั้นตอนการคัดเลือกมาตรการแก้ไขการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด | 29 |
| 3.3-18 | แสดงลักษณะการตกของหินร่วง | 30 |
| 3.3-19 | การคัดเลือกมาตรการซ่อมแซมแบบเร่งด่วน / ชั่วคราว ในกรณีหินร่วง | 32 |
| 3.3-20 | แสดงหินร่วงกีดขวางการจราจรและปฏิบัติการตักออก | 34 |

# สารบัญรูป (ต่อ)

**รูปที่** **หน้า**


| | | |
|---|---|---|
| 3.3-21 | การก่อสร้างกำแพงกั้นหินร่วงด้วยการใช้ถุงทรายหรือดิน หรือ Soil Cement | 35 |
| 3.3-22 | แสดงกำแพงกั้นหินร่วงด้วยกล่อง Gabion | 35 |
| 3.3-23 | แสดงกำแพงรั้วไม้ป้องกันหินร่วง | 36 |
| 4.2-1 | ลำดับขั้นของระบบการทำงานเชิงลาดโดยพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อม | 61 |
| 4.3-1 | ลักษณะของ Gabion และ Mattress | 62 |
| 4.3-2 | รูปแบบการก่อสร้าง Gabion เพื่อป้องกันการกัดเซาะของน้ำรูปแบบต่าง ๆ | 63 |
| 4.3-3 | การประยุกต์ใช้ Gabion ป้องกันการกัดเซาะของน้ำบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง | 65 |
| 4.3-4 | การประยุกต์ใช้ Mattress บริเวณเชิงลาดและริมน้ำ | 66 |
| 4.3-5 | รูปแบบการก่อสร้างหินเรียงยาแนว | 66 |
| 4.3-6 | รูปแบบการป้องกันการกัดเซาะโดยใช้คอนกรีตดาด | 67 |
| 4.3-7 | ตำแหน่งการติดตั้งรางระบายน้ำผิวดิน | 68 |
| 4.3-8 | รูปแบบการใช้รางระบายน้ำป้องกันการกัดเซาะบริเวณผิวหน้าเชิงลาด | 69 |
| 4.3–9 | การกระจายของรากพืชบางชนิดในการป้องกันการกัดเซาะของเชิงลาด | 70 |
| 4.3–10 | ประโยชน์ของรากพืชในการป้องกันการเคลื่อนตัวของเชิงลาด | 70 |
| 4.3–11 | ความสวยงามที่เกิดจากการปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาด | 71 |
| 4.3–12 | วิธีการปลูกพืชคลุมดินบริเวณผิวหน้าเชิงลาด | 72 |
| 4.3-13 | รูปแบบการติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดิน | 74 |
| 4.3-14 | รูปแบบการติดตั้งร่องดักน้ำใต้ดิน | 75 |
| 4.3-15 | รูปแบบการก่อสร้างคันดิน/หินบริเวณปลายเชิงลาด | 76 |
| 4.3-16 | ตัวอย่างรูปแบบกำแพงกันดินคอนกรีต | 77 |
| 4.3-17 | Gabion Wall ป้องกันการเคลื่อนตัวด้านลาดเหนือคันทาง | 78 |
| 4.3-18 | ตัวอย่างการใช้วัสดุเสริมแรงในลาดคันทาง | 78 |
| 4.3-19 | ตัวอย่างการใช้ Soil Nailing | 79 |
| 4.3-20 | รูปแบบและเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง Soil Nailing | 80 |
| 4.3-21 | รูปแบบการขุดรื้อวัสดุหรือมวลดินที่มีสภาพหลวมออก | 81 |
| 4.3-22 | รูปแบบการขุดตักลาดเชิงเขาแบบขั้นบันได | 82 |

# สารบัญรูป (ต่อ)

**รูปที่** **หน้า**


| | | |
|---|---|---|
| 4.3-23 | การเลือกมาตรการบูรณะซ่อมแซมแบบถาวรในกรณีหินร่วง | 83 |
| 4.3-24 | แสดงการประยุกต์ใช้ตาข่ายกับหินร่วงกับลักษณะดินประเภทต่างๆ | 84 |
| 4.3-25 | แสดงการยึดส่วนบนของตาข่ายตามลักษณะดิน/หินประเภทต่างๆ | 86 |
| 4.3-26 | แสดงราง และ Catch Fence รับหินร่วง | 87 |
| 4.3-27 | แสดงแบบส่วนล่างของตาข่ายที่เปิดออกได้ | 88 |
| 4.3-28 | แสดงระบบตาข่ายป้องกันหินร่วง | 88 |
| 4.3-29 | แสดงระบบตาข่ายป้องกันหินร่วง | 89 |
| 4.3-30 | แสดง Rock Fall Catch Fence ที่มี Catch Pit | 89 |
| 4.3-31 | แสดง Rock Fall Catch Fence ที่ก่อสร้างบน Concrete Barrier | 89 |
| 4.3-32 | แสดงรายละเอียด Rock Fall Catch Fence ก่อสร้างหลังแนวกำแพง | 90 |
| 4.3-33 | แสดง Rock Fall Catch Fence ที่วางบน Concrete Barrier | 91 |
| 4.3-34 | แสดงรายละเอียด Rock Fall Catch Fence ประกอบ Steel Post, Netting และ Tension wire | 91 |
| 4.3-35 | แสดงระบบตาข่ายป้องกันหินร่วงสำหรับช่วงที่มีเขตทางแคบ | 91 |
| 4.3-36 | แสดง Sprayed Concrete หรือ Shotcrete บนเชิงลาดหิน หินปนดิน เพื่อป้องกันหินร่วง | 92 |
| 4.3-37 | การรับแรงของเหล็กเย็บหรือสมอยึดในงานลาดเขาหิน | 94 |
| 4.3-38 | แสดงการปรับปรุงเสถียรภาพของลาดเขาหินด้วย Rock Anchor | 94 |
| 5.1-1 | แผนภูมิแสดงภารกิจหลักและยุทธศาสตร์การบริหารงานวิศวกรรม : ด้านการก่อสร้าง | 117 |
| 5.1-2 | แผนภูมิแสดงภารกิจหลักและยุทธศาสตร์การตรวจสอบคุณภาพและปริมาณงานก่อสร้าง | 118 |
| 5.1-3 | Flow Chart การตรวจสอบคุณภาพของวัสดุ (งานดิน , งานโครงสร้างชั้นทางฯ) | 132 |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1-1 | สรุปสาระสำคัญของคู่มือแนะนำ แก้ไข และการปฏิบัติการฯ | 2 |
| 2.3-1 | มาตรฐานชั้นทางของกรมทางหลวง | 8 |
| 3.4-1 | ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทางแบบชั่วคราว | 38 |
| 3.4-2 | ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทางแบบชั่วคราว | 43 |
| 3.4-3 | ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาดแบบชั่วคราว | 48 |
| 3.4-4 | ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว แบบชั่วคราว | 52 |
| 4.3-1 | ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง | 96 |
| 4.3-2 | ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง | 100 |
| 4.3-3 | ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด | 104 |
| 4.3-4 | ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว | 109 |
| 5.1-1 | หน้าที่และภารกิจในการบริหารสัญญา | 115 |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมา

คู่มือการแนะนำ แก้ไข และการปฏิบัติการชะล้างพังทลายและเคลื่อนตัวของเชิงลาด ได้พัฒนาขึ้นภายใต้การศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ สำนักทางหลวงที่ 1, 2, 4 และ 6 โดยได้รวบรวมและศึกษาถึงสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน จากการศึกษาพบว่าการแก้ไขความเสียหายของเชิงลาดบริเวณลาดเหนือคันทาง (Back Slope) และลาดคันทาง (Side Slope) ในปัจจุบันยังขาดแนวทางที่ถูกต้องเหมาะสมทำให้การแก้ไขปัญหายังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร การเลือกใช้วัสดุ การก่อสร้าง และการควบคุมการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐานที่ดีพอ เป็นต้น

ดังนั้น การจัดทำคู่มือการแนะนำ แก้ไข และการปฏิบัติการฯ จึงมีความจำเป็นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติการขั้นสำคัญของการแก้ไขการพังทลายของเชิงลาด โดยจะเป็นแนวทางให้ผู้รับผิดชอบดูแลในทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องใช้เป็นคู่มือประกอบการปฏิบัติการ โดยมุ่งเน้นแนวทางการแก้ไขความเสียหายที่ได้มาตรฐาน การประยุกต์ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่น ความกลมกลืนกับสภาพธรรมชาติ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ และช่วยลดงบประมาณในการซ่อมแซมแก้ไขในระยะยาว

แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดดังกล่าว ได้แบ่งมาตรการแก้ไขออกเป็น 2 มาตรการใหญ่ ๆ คือ แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดเบื้องต้น (ชั่วคราว) และแนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนและความรุนแรงของปัญหาซึ่งผู้ปฏิบัติการควรดำเนินการสำรวจความเสียหายของเชิงลาดอย่างละเอียดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์หาขนาดและสาเหตุของความเสียหาย ในรายละเอียดของคู่มือได้แบ่งแนวทางการปฏิบัติการแก้ไขออกตามประเภทของความเสียหาย 4 ประเภท ดังนี้

1. แนวทางการแก้ไขน้ำผิวดินกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง (Erosion at Toe Slope)
2. แนวทางการแก้ไขน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทาง สาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง (Erosion on Back Slope and Side Slope caused by Surface Water and Overflow)
3. แนวทางการแก้ไขการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือการขาดเสถียรภาพของเชิงลาด (Earth Slip caused by Water and/or Unstable Slope)

4. แนวทางการแก้ไขหินร่วงและเชิงลาดดิน – หิน เคลื่อนตัว (Rock Fall and Rock Slide)

สำหรับสาระสำคัญของคู่มือการแนะนำ แก้ไข และการปฏิบัติการฯ ได้แสดงไว้ใน **ตารางที่** 1.1-1

**ตารางที่** 1.1-1 **สรุปสาระสำคัญของคู่มือการแนะนำ แก้ไข และการปฏิบัติการฯ**

| สาระสำคัญ | บทที่ |
|---|---|
| ความเป็นมา จุดมุ่งหมายของคู่มือการแนะนำ แก้ไข และการปฏิบัติการฯ ขอบเขตและหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ปฏิบัติงาน | 1 |
| เกณฑ์การเลือกการปฏิบัติการแก้ไขและป้องกันเชิงลาดเบื้องต้น (ชั่วคราว) หรือแบบถาวร | 2 |
| แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดเบื้องต้น (ชั่วคราว) ตามประเภทความเสียหาย (4 ประเภท) โดยมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้วัสดุท้องถิ่น รวมถึงข้อพิจารณาในการคัดเลือกรูปแบบวิธีการแก้ไขปัญหาได้อย่างอย่างเหมาะสม | 3 |
| แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวร ตามประเภทความเสียหาย โดยมุ่งเน้นเทคนิควิธีต่าง ๆ ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง รวมถึงข้อพิจารณาในการคัดเลือกรูปแบบวิธีการแก้ไขปัญหาได้อย่างอย่างเหมาะสม | 4 |
| ขั้นตอนการดำเนินงานและการควบคุมคุณภาพ มาตรฐาน ขั้นตอนการก่อสร้างและการตรวจสอบควบคุมงาน | 5 |
| ภาคผนวกแสดงรายละเอียดวิธีการออกแบบแก้ไขปัญหาเชิงลาด ข้อกำหนด (Specification) ต่างๆ แบบแนะนำสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด การคำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้แก้ไขซ่อมแซมเชิงลาดด้วยวิธีต่าง ๆ และการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์ | - |

## 1.2 ขอบเขตและหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ปฏิบัติงาน

เมื่อเกิดปัญหาผู้รับผิดชอบในการปฏิบัติการแก้ไขความเสียหายจากการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดบริเวณทางหลวงจะต้องดำเนินการแก้ไขอย่างเร่งด่วน เพื่อให้การจราจรสามารถผ่านไปมาโดยไม่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น ขั้นต่อไปจะต้องสำรวจความเสียหายเพื่อหาแนวทางการแก้ไขแบบชั่วคราว ยับยั้งการลุกลามของปัญหา หากความเสียหายมีความซับซ้อนรุนแรงเกินความสามารถที่หมวด/แขวง การทาง จะรับผิดชอบดูแลได้ เช่น มีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์เครื่องมือ งบประมาณ และความสามารถของบุคลากรในองค์กร ดังนั้น การออกแบบแก้ไขจะต้องเป็นไป

ตามลำดับชั้นของกรมทางหลวง ความเร่งด่วน และความสำคัญของปัญหา โดยการดูแลรับผิดชอบจากส่วนกลาง โดยมีคณะกรรมการกำกับงานแก้ไขการเคลื่อนตัวของเชิงลาดเป็นผู้กำกับดูแล ในขั้นการสำรวจและออกแบบตลอดจนขั้นตอนการก่อสร้างซึ่งประกอบไปด้วยบุคลากร ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านจากสำนักทางหลวง สำนักสำรวจและออกแบบ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง และสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

# บทที่ 2
# เกณฑ์การคัดเลือกการปฏิบัติการแก้ไขและป้องกันแบบชั่วคราวและแบบถาวร

## 2.1 บทนำ

โดยทั่วไป เชิงลาดตามธรรมชาติมักมีเสถียรภาพและมีโอกาสเกิดการเคลื่อนตัวจนเกิดการพังทลายได้ค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ดี ผลจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะเชิงลาดโดยมนุษย์ เช่น การรุกล้ำทำลายป่าบริเวณเชิงเขา หรือ การตัดถนน ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการขยายตัวของชุมชนและจำนวนประชากรจึงส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดการพังทลายของเชิงลาดขึ้นได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว

ความเสียหายของเชิงลาดจึงนับได้ว่าเป็นปัญหาที่มีความสำคัญและควรให้ความสนใจ ทั้งนี้เป็นเพราะการพังทลายของเชิงลาดสามารถสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้เป็นจำนวนมาก การแก้ไขจึงมีความจำเป็นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตและเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติในบริเวณใกล้เคียง

## 2.2 รูปแบบการแก้ไขปัญหาการพังทลายของเชิงลาด

การแก้ไขปัญหาการพังทลายของเชิงลาดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี [1] ได้แก่

2.2.1 **การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น (ชั่วคราวหรือระยะสั้น)** หมายถึง การแก้ไขความเสียหายของเชิงลาดที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี วิธีการนี้ควรจะต้องพิจารณานำมาใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

- 2.2.1.1 เพื่อเปิดการจราจรให้เร็วที่สุดภายหลังเกิดความเสียหายที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้
- 2.2.1.2 เพื่อซ่อมแซมกรณีความเสียหายเพียงเล็กน้อยแต่ปัญหาอาจขยายตัวลุกลามจนเป็นผลทำให้ไม่สามารถใช้งานถนนได้
- 2.2.1.3 ในพื้นที่ที่มีปริมาณการจราจรต่ำ
- 2.2.1.4 ใช้แก้ปัญหาที่มีความรุนแรงและความซับซ้อนต่ำ

2.2.1.5 ใช้งบประมาณในการแก้ไขต่ำแต่ยับยั้งปัญหาไม่ให้ลุกลามได้

2.2.1.6 เชิงลาดมีแนวโน้มที่จะเกิดการพังทลายหรือเสียหายในอนาคตอันใกล้

2.2.2 **การแก้ไขปัญหาแบบถาวร (ระยะยาว)** หมายถึง การแก้ไขความเสียหายของเชิงลาดที่ช่วยให้เชิงลาดมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี ขึ้นไป วิธีการนี้ควรจะต้องพิจารณานำมาใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

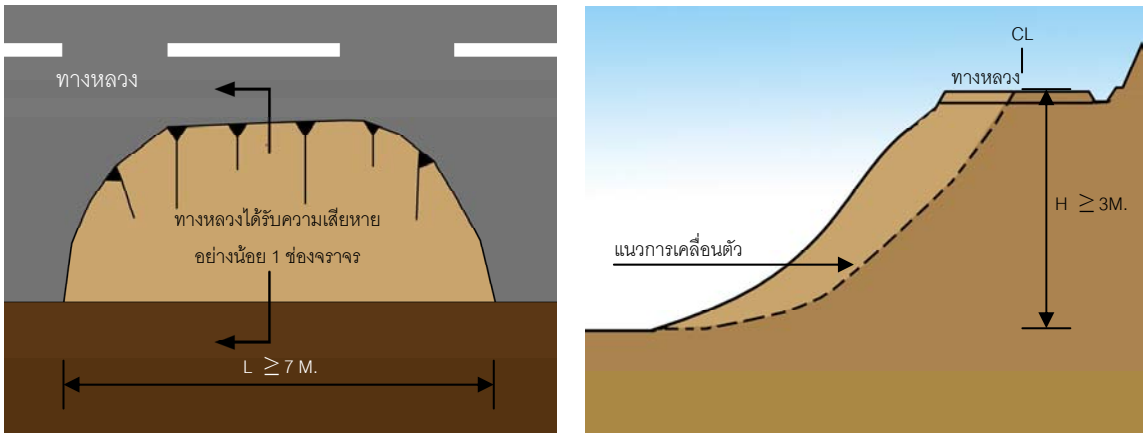
2.2.2.1 เมื่อสิ้นสุดอายุการซ่อมแซมแบบชั่วคราว

2.2.2.2 จุดที่เกิดความเสียหายอยู่ในบริเวณโครงข่ายทางหลวงที่สำคัญมีผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจและสังคมในพื้นที่

2.2.2.3 กรณีความเสียหายมีความซับซ้อน รุนแรง

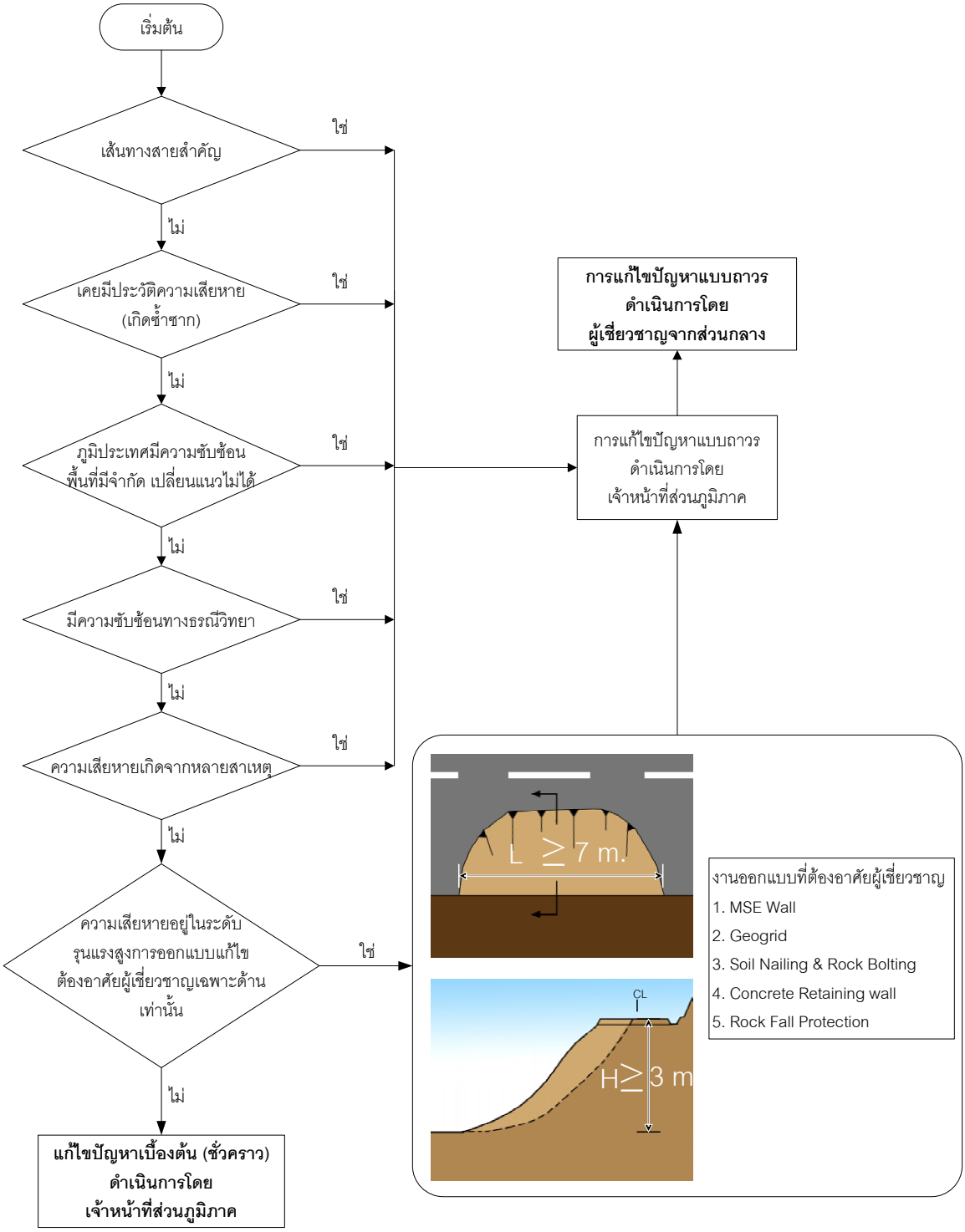
## 2.3 เกณฑ์การคัดเลือกการปฏิบัติการแก้ไขความเสียหายเชิงลาด

เกณฑ์การพิจารณาคัดเลือกวิธีการแก้ไขปัญหาเชิงลาดเบื้องต้นและวิธีการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวร ควรพิจารณาจากความสำคัญของสายทางเป็นอันดับแรก อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงประวัติและขนาดของความเสียหายดังแสดงใน**รูปที่** 2.3-1 ความซับซ้อนของสภาพภูมิประเทศและธรณีวิทยา ซึ่งได้สรุปไว้เป็นขั้นตอนดังแสดงใน**รูปที่** 2.3-2 สำหรับความสำคัญของเส้นทาง (หรือมาตรฐานชั้นทาง) ได้แสดงไว้ใน**ตารางที่** 2.3-1




(ก) แนวความเสียหายเกิดขึ้นมากกว่าหรือเท่ากับ 7 ม. (ข) ความลึกของแนวการเคลื่อนตัวมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ม.

**รูปที่** 2.3-1 **การพิจารณาเบื้องต้นเพื่อจำแนกความรุนแรงของความเสียหายเชิงลาด**




**รูปที่ 2.3-2 เกณฑ์การคัดเลือกวิธีการแก้ไขความเสียหายของเชิงลาด**

**ตารางที่** 2.3-1 **มาตรฐานชั้นทางของกรมทางหลวง** [1]

| มาตรฐานชั้นทาง | ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Traffic, ADT) |
|---|---|
| พิเศษ | > 8,000 |
| 1 | 4,000 – 8,000 |
| 2 | 2,000 – 4,000 |
| 3 | 1,000 – 2,000 |
| 4 | 300 – 1,000 |
| 5 | < 300 |

# บทที่ 3
# แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดเบื้องต้น (ชั่วคราว)

## 3.1 นิยามและวัตถุประสงค์

การแก้ไขปัญหาแบบเร่งด่วน หมายถึง การเข้าปฏิบัติการในพื้นที่เสียหายอย่างรวดเร็ว เพื่อยับยั้งหรือชะลอความเสียหายของเชิงลาดที่เกิดขึ้นไม่ให้ลุกลามจนกลายเป็นปัญหาใหญ่ตลอดจนอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยด้านการจราจรแก่ผู้สัญจรไปมา เช่น การเก็บหินที่เคลื่อนตัวมากองอยู่บนผิวจราจร ติดตั้งป้ายเตือนชั่วคราวหากผิวจราจรเกิดความเสียหายและอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทาง

การแก้ปัญหาแบบชั่วคราว หมายถึง ภารกิจที่จะต้องปฏิบัติต่อเนื่องจากการแก้ไขปัญหาแบบเร่งด่วนซึ่งเป็นการนำเทคนิควิธีการต่าง ๆ ที่มีความเหมาะสมกับประเภทของความเสียหายที่เกิดขึ้นเข้ามาดำเนินการ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อป้องกันการลุกลามของปัญหาซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหาใหญ่และใช้งบประมาณในการซ่อมแซมที่สูงขึ้น เช่น ผิวทางเกิดรอยแตกร้าว (Tension Crack) เนื่องมาจากดินคันทางเกิดการเคลื่อนตัว หมวด/แขวงการทาง ผู้รับผิดชอบดูแลจะต้องรีบทำการอุดรอยแตกร้าวไม่ให้น้ำไหลลงสู่โครงสร้างชั้นทางเพื่อชะลอการเคลื่อนตัวของคันทางเนื่องจากแรงดันน้ำหรือการทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างชั้นทางลดลง

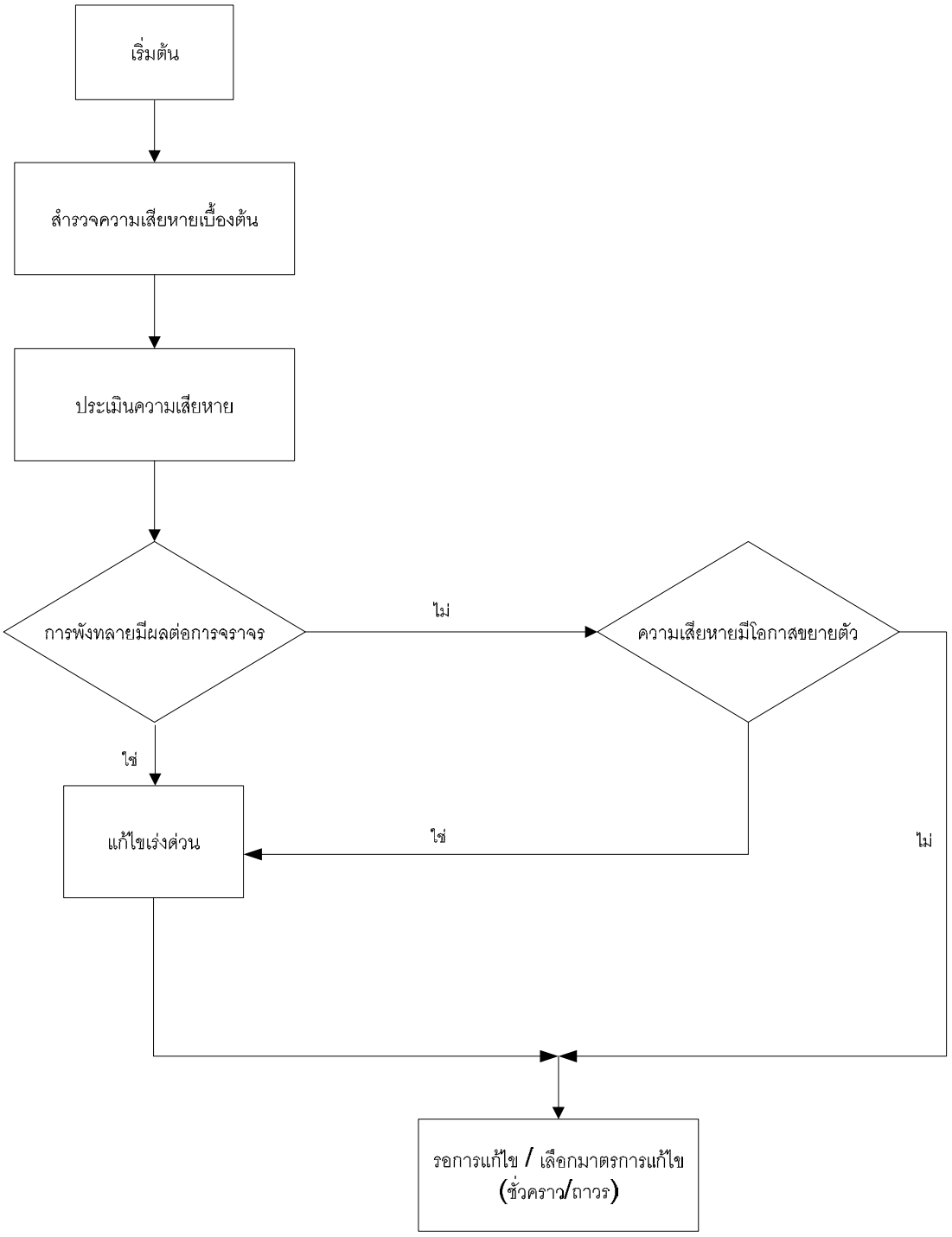
จากนิยามข้างต้นหากพิจารณาในภาพรวมแล้ว การแก้ไขปัญหาเชิงลาดเบื้องต้นเป็นภารกิจที่หมวด/แขวงการทาง จะต้องรีบดำเนินการยับยั้งปัญหาให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อรอการแก้ไขแบบถาวร (กรณีความเสียหายมีความซับซ้อนรุนแรง) ในรายละเอียดด้านการปฏิบัติงานผู้ที่เข้าไปแก้ไขปัญหาแบบเร่งด่วนนั้นจะต้องทำการสำรวจเบื้องต้นเพื่อเก็บรายละเอียดของความเสียหายที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถนำมาพิจารณาประเมินขนาดและประเภทความเสียหาย ระดับความซับซ้อนและรุนแรงอยู่ในระดับใดนำไปสู่การกำหนดมาตรการสำหรับการแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมตามประเภทความเสียหายต่อไป

การแก้ไขปัญหาเชิงลาดเบื้องต้น (ชั่วคราว) มีหลักการดังต่อไปนี้

- มีอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี
- ทำงานง่าย มีความสะดวกต่อการดำเนินการ
- มีประสิทธิภาพพอสมควรเมื่อเทียบกับเงินลงทุน

- ใช้การประยุกต์วัสดุที่มีในท้องถิ่น
- ใช้จำนวนเครื่องจักรและแรงงานคนน้อย

สำหรับขั้นตอนในการพิจารณาดำเนินการแก้ไขความเสียหายดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังแสดงใน**รูปที่** 3.1-1




**รูปที่** 3.1-1 **การพิจารณาดำเนินการแก้ไขเชิงลาดเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้น**

## 3.2 ข้อพิจารณาในการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาดเบื้องต้น

### 3.2.1 เทคนิคก่อสร้าง

เทคนิคการก่อสร้างควรนำมาพิจารณาใช้ในกรณีการแก้ปัญหาแบบเร่งด่วนในบริเวณที่ได้รับความเสียหายโดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อเปิดการจราจรให้เร็วที่สุดซึ่งเป็นการลดผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม เขต/แขวงการทาง ที่มีหน้าที่รับผิดชอบต้องตระหนักเสมอว่ารูปแบบวิธีการแก้ไขปัญหาต้องกระทำได้ด้วยวิธีการที่เรียบง่าย รวดเร็ว อีกทั้งอาจจำเป็นต้องใช้แรงงานคนและใช้วัสดุท้องถิ่นเข้าบุกเบิกพื้นที่ก่อน ทั้งนี้เป็นเพราะความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจส่งผลให้เส้นทางคมนาคมขาดจนไม่อาจนำเครื่องจักรหนักหรือวัสดุก่อสร้างคุณภาพดีเข้าไปจัดการในบริเวณนั้น ๆ ได้ เมื่อแรงงานคนสามารถเข้าไปจัดการพื้นที่ได้ในระดับหนึ่งแล้วจึงควรจะได้พิจารณารูปแบบการแก้ไขเชิงลาดเบื้องต้นต่อไป โดยต้องพิจารณาถึงศักยภาพของบุคคลากร เครื่องจักร และวัสดุในท้องถิ่นเป็นสำคัญ การแก้ไขปัญหาในกรณีนี้หากผู้ปฏิบัติการมีความเข้าใจถึงสาเหตุและประเภทความเสียหายเป็นอย่างดีแล้ว การใช้เทคนิคก่อสร้างที่ดีจะสามารถป้องกันการขยายตัวของพื้นที่เสียหายหรือลดความจำเป็นที่จะต้องแก้ไขเชิงลาดแบบถาวรซึ่งเทคนิคต่าง ๆ ในการแก้ไขเชิงลาดแบบชั่วคราวได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3

### 3.2.2 ระยะเวลาการดำเนินการ

เมื่อเชิงลาดตามเขตทางหลวงเกิดความเสียหาย ในเบื้องต้นการจัดการพื้นที่เพื่อให้ทางหลวงเปิดใช้งานได้ควรจะดำเนินการให้เร็วที่สุด โดยในขณะที่อยู่ในช่วงเวลาดังกล่าวจะต้องทำการสำรวจพื้นที่เพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาหาสาเหตุของความเสียหายควบคู่ไปกับการอำนวยความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ทาง

### 3.2.3 งบประมาณในการออกแบบและก่อสร้าง

เขต/แขวงการทาง ต้องรีบดำเนินการสำรวจพื้นที่เชิงลาดที่ได้รับความเสียหายและประเมินระดับความรุนแรงเพื่อเบิกจ่ายงบประมาณสำหรับการแก้ไขปัญหา ในกรณีที่ความเสียหายอยู่ในระดับไม่รุนแรง การแก้ไขหรือป้องกัน หน่วยงานในท้องถิ่นอาจดำเนินการเองได้ หากผลประเมินพบว่าความเสียหายอยู่ในระดับซับซ้อนรุนแรงและปรากฏพื้นที่เสียหาย

เป็นจำนวนมากจนเกินงบประมาณของหน่วยงานระดับเขต/แขวง การเบิกงบประมาณซ่อมแซมฉุกเฉินจากส่วนกลางเพื่อนำมาใช้สำหรับการแก้ไขเร่งด่วนจะมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

### 3.2.4 การประยุกต์ใช้วัสดุก่อสร้างในท้องถิ่น

เขต/แขวงการทาง ควรมีนโยบายจัดทำแผนระยะยาวเพื่อป้องกันความเสียหายของเชิงลาด อีกทั้งยังควรสำรวจและจัดสร้างฐานข้อมูลแหล่งวัสดุในท้องถิ่น เช่น แหล่งทราย หิน กรวดแม่น้ำ หรือไม้ ในบริเวณที่มีโอกาสเกิดความเสียหายเนื่องจากการพังทลายของเชิงลาด เพื่อเป็นการเตรียมการและสามารถเลือกใช้วัสดุซ่อมแซมได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังควรมีการวิจัยและพัฒนาวัสดุท้องถิ่นเพื่อเป็นอุปกรณ์ป้องกันความเสียหายจากการพังทลาย หรือคิดค้นวิธีการยืดอายุการใช้งานวัสดุเหล่านั้นให้ยาวนานขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งทั้งในเชิงวิชาการและปฏิบัติการ อีกทั้งยังเป็นการประหยัดงบประมาณแผ่นดินในการซ่อมแซม

## 3.3 ประเภทความเสียหายและแนวทางแก้ไข

### 3.3.1 น้ำผิวดินกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง

#### 3.3.1.1 สาเหตุ

มีสาเหตุหลักมาจากลำน้ำข้างทางที่มีอัตราการไหลเร็วกัดเซาะบริเวณด้านล่างของลาดดินและกัดเซาะอย่างรุนแรงในฤดูน้ำหลาก โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นคุ้งน้ำที่มีทิศทางการไหลเข้าสู่คันทาง ความเสียหายที่เกิดขึ้นซ้ำซากส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการนำระบบป้องกันไปใช้ไม่เหมาะสม การเลือกใช้วัสดุถมบดอัดไม่ดีพอ และการกำกับดูแลช่วงการก่อสร้างขาดมาตรฐานที่ดี รูปแบบความเสียหายดังกล่าวได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 3.3-1

**รูปที่** 3.3-1 **ลักษณะความเสียหายเนื่องจากน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง**

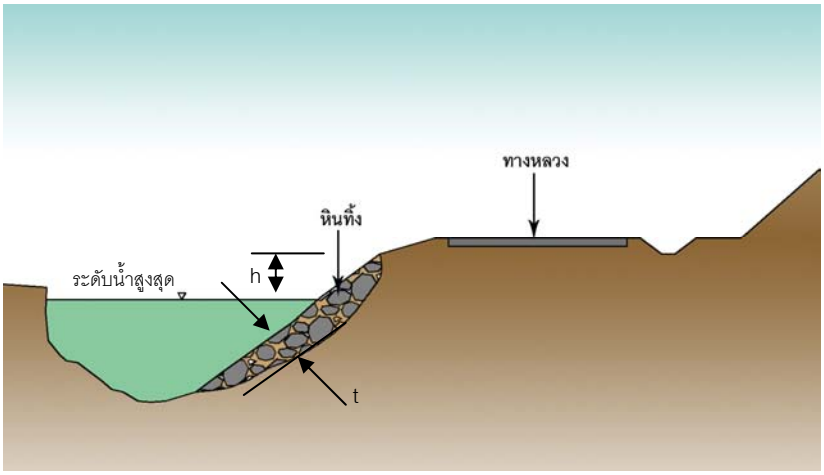
### 3.3.1.2 แนวทางการแก้ไข

การแก้ไขในกรณีนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำที่มีทิศทางการไหลเข้าสู่ลาดคันทางให้ได้โดยเร็วที่สุด ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุในท้องถิ่นจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหา เนื่องจากเขต/แขวงการทางสามารถจัดหาวัสดุได้อย่างรวดเร็ว มาตรการแก้ไขโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธีได้แก่

ก) หินทิ้ง
ข) Sacked Soil Cement
ค) ถมถุงทรายและเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้
ง) กล่องไม้บรรจุกรวดหรือหินใหญ่

ในส่วนของรูปแบบการก่อสร้างแต่ละวิธี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

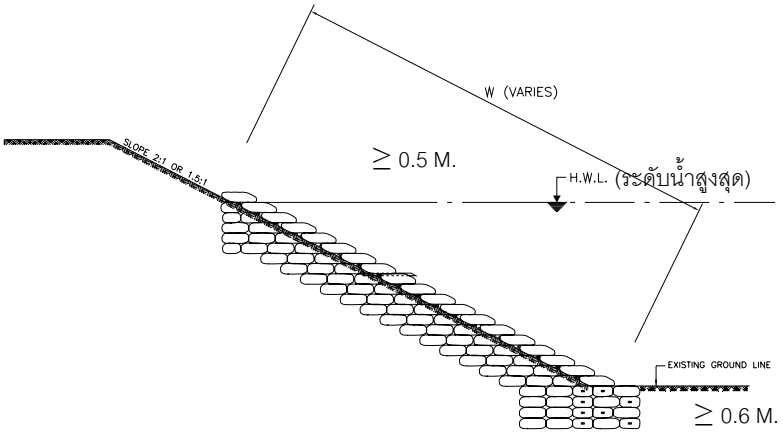
ก) **หินทิ้ง** วิธีนี้เป็นการใช้หินก้อนขนาดใหญ่วางบริเวณตลิ่งที่เกิดการกัดเซาะบริเวณปลายของลาดคันทางเพื่อต้านทานความรุนแรงของกระแสน้ำดังแสดงใน**รูปที่** 3.3-2 การก่อสร้างสามารถทำได้โดยวางเรียงด้วยเครื่องจักรตักมาเทและจัดเรียงด้วยแรงงานคน ความลาดชันของการก่อสร้างด้วยวิธีนี้ควรน้อยกว่า 1:1.5 (อัตราส่วนแนวดิ่งต่อแนวราบ) [1]



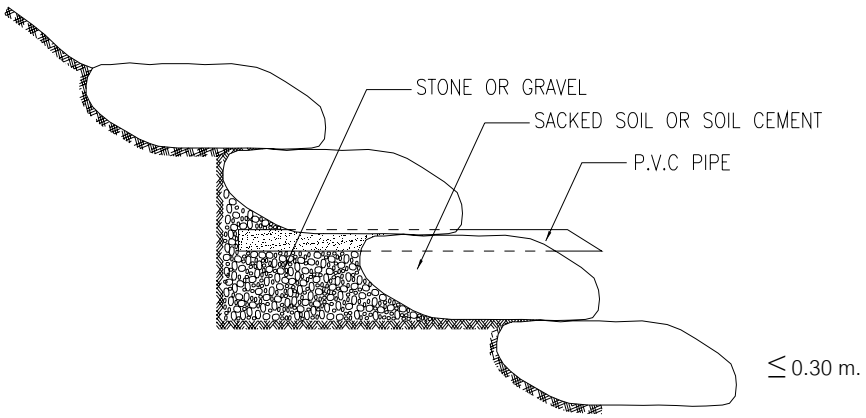

| ความลาดชันของตลิ่ง (V:H) | 1:2 หรือไม่เกิน 1:1.5 |
|---|---|
| ความหนา, t (ม.) | ≥ 0.25 |
| ความสูง, h (ม.) | ≥ 0.50 |
| ขนาดหิน, Ø (ม.) | ≥ 0.40 |
| น้ำหนักหิน (กก./ก้อน) | 30 - 50 |

**รูปที่** 3.3-2 **รูปแบบการใช้หินเรียงป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำ**

ข) Sacked Soil Cement วิธีนี้เป็นการใช้ถุงบรรจุทรายผสมปูนซีเมนต์วางบริเวณตลิ่งที่เกิดการกัดเซาะบริเวณปลายของลาดคันทางเพื่อต้านทานความรุนแรงของกระแสน้ำ ดังแสดงใน**รูปที่** 3.3-3 ปูนซีเมนต์ที่ผสมเข้ากับทรายจะช่วยให้ป้องกันการกัดเซาะได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังป้องกันทรายไม่ให้หลุดลอยไปกับน้ำได้อีกทางหนึ่ง




(ก) รูปแบบการใช้งานทั่วไป

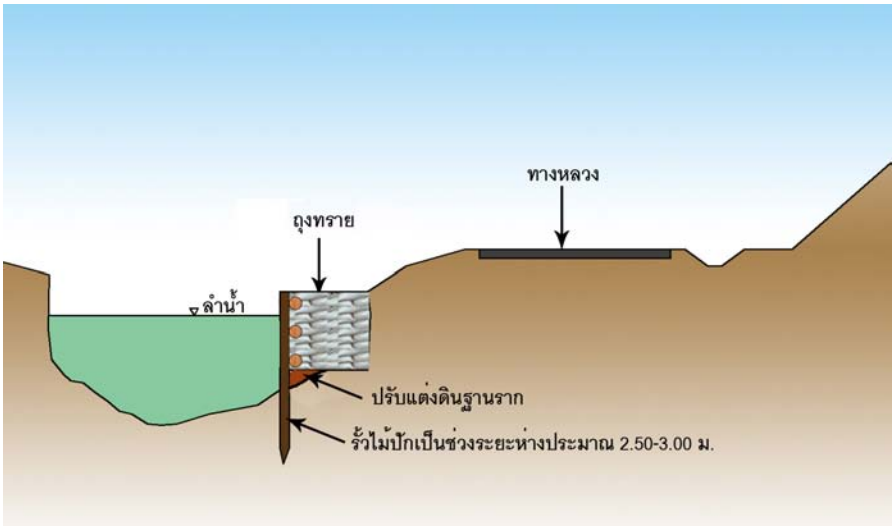



(ข) แบบขยาย

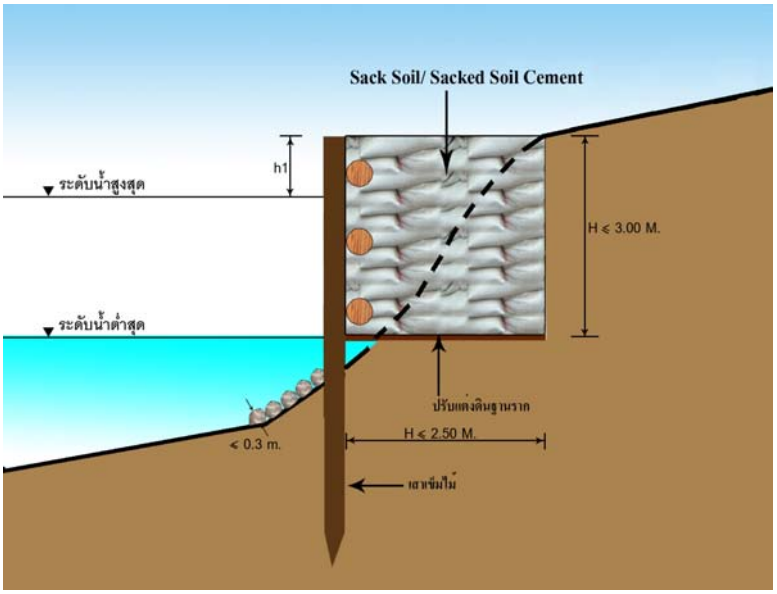
**รูปที่** 3.3-3 **รูปแบบการใช้** Sacked Soil Cement

ค) **ถมถุงทรายและเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้** วิธีนี้สามารถทำได้โดยก่อสร้างรั้วไม้ไปตามแนวคุ้งน้ำที่ได้รับความเสียหายและปรับแต่งดินฐานรากก่อนวางถุงทรายเป็นชั้นดังแสดงใน**รูปที่** 3.3-4 รั้วไม้สามารถช่วยพยุงแนวถุงทรายให้เป็นแนวแม้ว่ากระแสน้ำจะมีความรุนแรง อีกทั้งยังช่วยป้องกันถุงทรายจากการกระแทกของวัสดุ

ที่ลอยมากับน้ำ ไม้ที่ใช้อาจเป็นไม้เนื้อแข็ง (ไม้ท่อนหรือไม้แปรรูป) หรือไม้ไผ่ซึ่งหาได้ในท้องถิ่น




(ก) รูปแบบการใช้งานทั่วไป




ความลาดชันของตลิ่ง (V:H) > 1:1.5

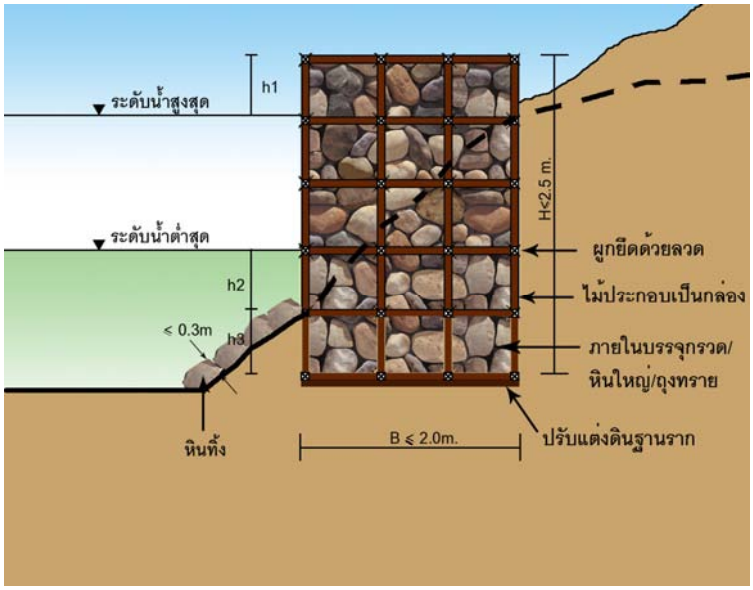
ความสูง, $h_1$ (ม.) > 0.50 ม.

| ความกว้าง, B (ม.) | ความสูง, H (ม.) |
|---|---|
| 1.0 | 1.5 |
| 1.5 | 2.0 |
| 2.0 | 3.0 |

(ข) แบบขยาย

**รูปที่ 3.3-4 รูปแบบการใช้ถุงทรายและเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้เพื่อป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำ**

ง) **กล่องไม้บรรจุกรวด/หินใหญ่/ถุงทราย** วิธีการนี้เป็นการก่อสร้างโดยมีลักษณะคล้ายคลึงกับ Gabion แต่ในกรณีนี้เป็นการสร้างกล่องโดยใช้ไม้แปรรูปหรือไม้ไผ่มาประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้ตะปูหรือลวดผูกยึดดังแสดงใน**รูปที่** 3.3-5 จากนั้นจึงนำไปวางบนพื้นที่ที่ได้ปรับแต่งไว้และใส่กรวด หินใหญ่ หรือถุงทรายตามวัสดุที่มีในท้องถิ่น

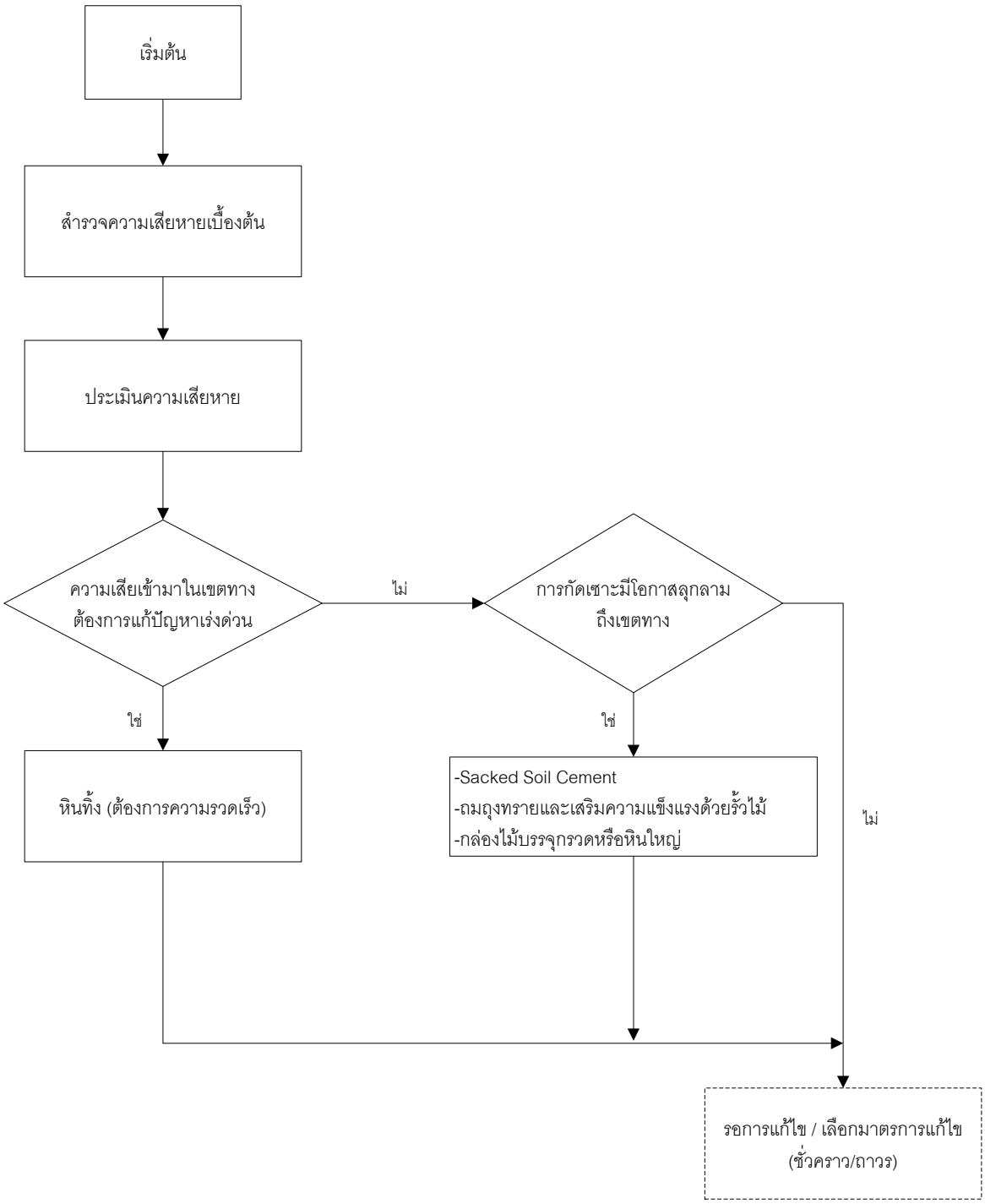



ความลาดชันของตลิ่ง (H:V) 2:1 หรือไม่เกิน 1.5:1
ความสูง, $h_1$ (ม.) $\geq$ 0.50 ม.
ความสูง, $h_2$ (ม.) $\leq$ 0.30 ม.
ความสูง, $h_3$ (ม.) $\geq$ 0.50 ม.

| ความกว้าง, B (ม.) | ความสูง, H (ม.) |
|---|---|
| 1.0 | 1.5 |
| 1.5 | 2.0 |
| 2.0 | 2.5 |

**รูปที่** 3.3-5 **รูปแบบการใช้หินเรียงป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำ**

สำหรับขั้นตอนการคัดเลือกมาตรการแก้ไข ได้สรุปไว้ดังแสดงใน**รูปที่** 3.3-6




**รูปที่ 3.3-6 ขั้นตอนการคัดเลือกมาตรการแก้ไขน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง**

### 3.3.2 น้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง

#### 3.3.2.1 สาเหตุ

เกิดจากการไหลบ่าของน้ำจากที่สูงประกอบกับฝนตกโดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก การกัดเซาะอาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่บริเวณยอดของเชิงลาดและเกิดการสะสมตัวจนมาถึงบริเวณด้านล่างของเชิงลาด ปัญหาในลักษณะนี้พบได้ในทุกเขตพื้นที่ศึกษาและเป็นปัญหาต่อเชิงลาดมากที่สุด ความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยมากมาจากการขาดการป้องกันในรูปแบบที่เหมาะสม การไม่ดูแลรักษาพืชคลุมดิน รูปแบบความเสียหายดังกล่าวได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 3.3-7

(ก) น้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาด

(ข) น้ำท่วมทาง

**รูปที่** 3.3-7 **ลักษณะความเสียหายเนื่องจากน้ำกัดเซาะผิวหน้าและน้ำท่วมทาง**

### 3.3.2 น้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง

#### 3.3.2.1 สาเหตุ

เกิดจากการไหลบ่าของน้ำจากที่สูงประกอบกับฝนตกโดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก การกัดเซาะอาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่บริเวณยอดของเชิงลาดและเกิดการสะสมตัวจนมาถึงบริเวณด้านล่างของเชิงลาด ปัญหาในลักษณะนี้พบได้ในทุกเขตพื้นที่ศึกษาและเป็นปัญหาต่อเชิงลาดมากที่สุด ความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยมากมาจากการขาดการป้องกันในรูปแบบที่เหมาะสม การไม่ดูแลรักษาพืชคลุมดิน รูปแบบความเสียหายดังกล่าวได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 3.3-7

(ก) น้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาด

(ข) น้ำท่วมทาง

**รูปที่** 3.3-7 **ลักษณะความเสียหายเนื่องจากน้ำกัดเซาะผิวหน้าและน้ำท่วมทาง**

### 3.3.2.2 แนวทางการแก้ไข

การแก้ไขในกรณีนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอความเร็วของน้ำบริเวณผิวหน้าเชิงลาด ความรุนแรงของเม็ดฝนที่กระแทกมวลดิน ควบคุมการไหลของน้ำให้อยู่นอกพื้นที่ที่ได้รับความเสียหาย ควบคุมการไหลลงสู่รางระบายน้ำ หรือท่อลอดที่มีอยู่ในปัจจุบัน น้ำผิวดินที่ไหลลงมาจากลาดเหนือคันทาง หากไม่มีรางระบายน้ำด้านข้าง (Side Ditch) ที่ดีหรือมีการอุดตัน อาจทำให้น้ำไหลข้ามทางมากัดเซาะด้านลาดคันทางเกิดความเสียหายต่อไหล่ทาง อีกทั้ง เศษวัสดุที่ไหลมากับน้ำอาจกองกีดขวางอยู่บนผิวจราจรสร้างปัญหาต่อผู้สัญจรไปมาได้ มาตรการแก้ไขโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธี ได้แก่

ก) ขนย้ายเศษวัสดุออกจากผิวทางและติดตั้งป้ายเตือนหากเกิดความเสียหายในเขตทาง
ข) เปลี่ยนทิศทางการไหลและทำรางระบายน้ำเพิ่มเติม
ค) การใช้ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สาน
ง) การใช้ตาข่ายพลางแสง (ผ้าแสลน) ยึดด้วยหมุด

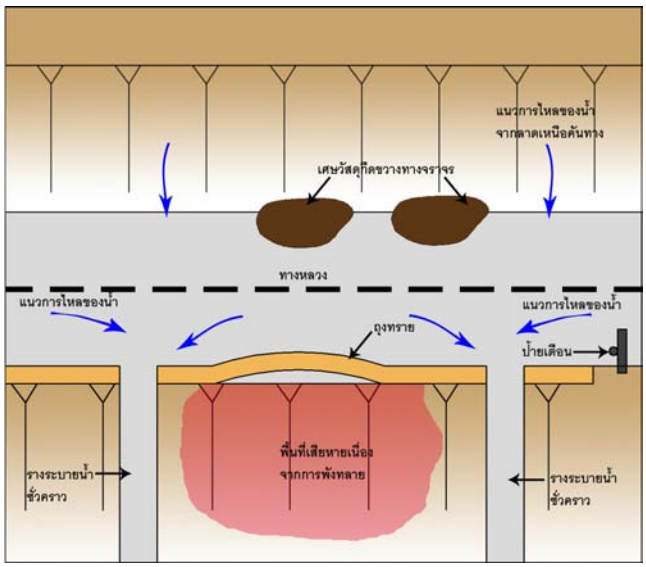
ในส่วนของรูปแบบการก่อสร้างแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) **ขนย้ายเศษวัสดุออกจากผิวทางและทำความสะอาดรางระบายน้ำ**

วิธีการนี้เป็นการแก้ไขปัญหาแบบเร่งด่วนเพื่อให้สามารถใช้เส้นทางได้เร็วที่สุดและมีความปลอดภัย เขต/แขวงการทาง สามารถดำเนินการได้ในทันทีโดยใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรเข้าจัดการขุดหรือขนย้ายวัสดุที่ไหลมากับกระแสน้ำ ในกรณีรางระบายน้ำยังสามารถใช้การได้ควรจัดการขุดลอกเศษวัสดุออกด้วยเช่นกัน อีกทั้งยังต้องติดตั้งป้ายเตือนเพื่อให้ผู้ใช้ถนนมีความระมัดระวังในการใช้เส้นทาง ดังแสดงใน **รูปที่** 3.3-8

ข) **เปลี่ยนทิศทางการไหลและทำรางระบายน้ำชั่วคราว**

วิธีการนี้เป็นการยับยั้งความเสียหายของเชิงลาดไม่ให้ขยายตัวออกไปจากเดิมด้วยการเบี่ยงเส้นทางน้ำให้พ้นจากพื้นที่เสียหายโดยการใช้ถุงทรายเป็นคันบังคับน้ำไปยังรางระบายน้ำชั่วคราว ดังแสดงใน**รูปที่** 3.3-9 ถุงทรายควรมีความสูงมากกว่าระดับน้ำท่วมทางในขณะที่รางระบายน้ำอาจใช้ถังขนาด 200 ลิตร ผ่าครึ่งวางเป็นแนวแทนวัสดุดาดผิวแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับขนาดและจำนวนของรางระบายน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและดุลพินิจของเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลความเสียหายในพื้นที่




(ก) ภาพรวมบริเวณเชิงลาดที่ได้รับความเสียหาย

(ข) ขนย้ายวัสดุออกจากเส้นทางจราจรและทำความสะอาด

**รูปที่ 3.3-8 การขนย้ายวัสดุออกจากผิวทางและติดตั้งป้ายเตือน**

(ค) ติดตั้งป้ายเตือนและป้ายบังคับการจราจร

**รูปที่ 3.3-8 การขนย้ายวัสดุออกจากผิวทางและติดตั้งป้ายเตือน (ต่อ)**

(ก) การใช้ถุงทรายเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำ

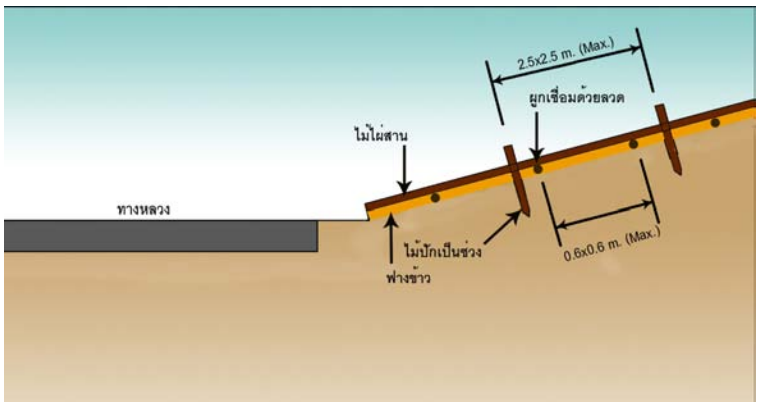
**รูปที่ 3.3-9 วิธีการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำบริเวณเชิงลาดที่ได้รับความเสียหาย**

(ข) การใช้ถังขนาด 200 ลิตร ผ่าครึ่งเป็นรางระบายน้ำชั่วคราว

**รูปที่** 3.3-9 **วิธีการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำบริเวณเชิงลาดที่ได้รับความเสียหาย (ต่อ)**

ค) **การใช้ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สาน**

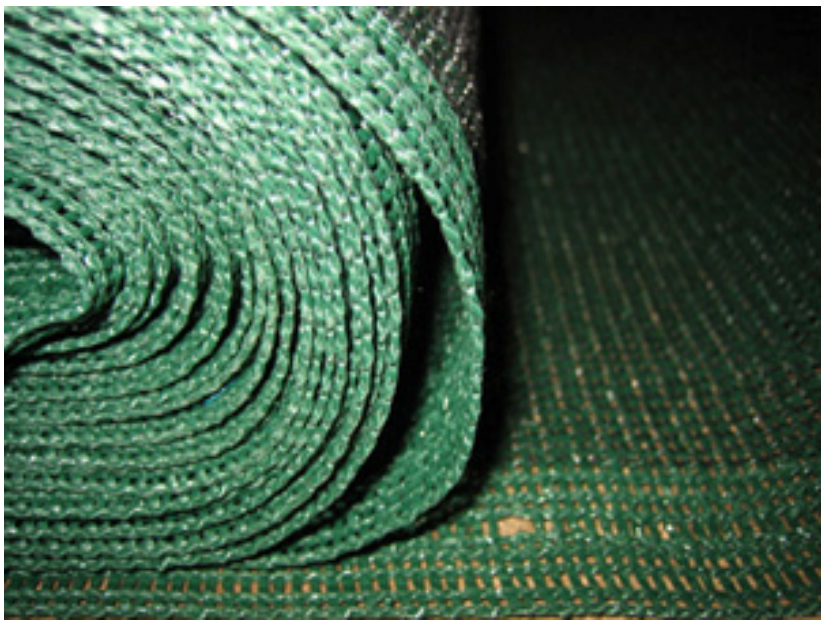
วิธีการนี้เป็นการลดความรุนแรงของเม็ดฝนที่ตกกระแทกมวลดินบนผิวหน้าเชิงลาด ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เศษวัสดุไหลมากองบริเวณเขตทางและควบคุมการกัดเซาะไม่ให้ลุกลามในระดับลึกหรือเกิดความเสียหายแบบร่องเล็ก (Rill) และแบบร่องลึก (Gully) โดยใช้ฟางข้าววางคลุมผิวหน้าเชิงลาดเป็นการสลายพลังงานของเม็ดฝนที่ตกมาจากที่สูง อย่างไรก็ดี ฟางข้าวจำเป็นต้องคลุมทับด้วยวัสดุที่มีน้ำหนักเพื่อป้องกันการพัดพาจากน้ำผิวดิน วิธีการนี้อาจเป็นการแก้ไขแบบกึ่งถาวรหากมีการโปรยเมล็ดพืชเพื่อคลุมดินต่อไปในอนาคต รูปแบบการก่อสร้างได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 3.3-10




**รูปที่** 3.3-10 **รูปแบบการใช้ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สานป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาด**

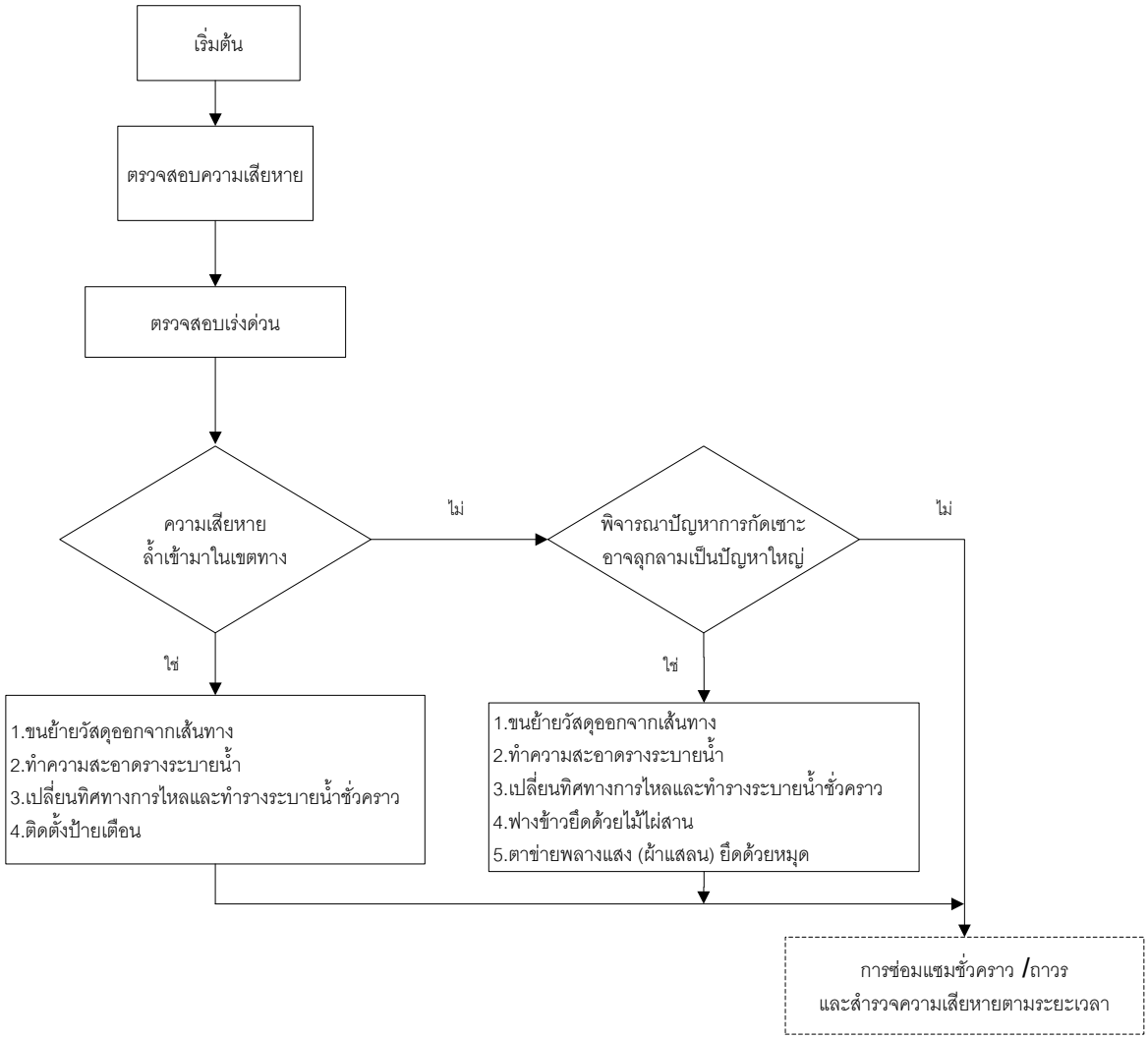
ง) **การใช้ตาข่ายพลางแสง (ผ้าแสลน) ยึดด้วยหมุด**

วิธีการนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับการใช้ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สาน อย่างไรก็ดี วัสดุคลุมดินในกรณีนี้จะเป็นการใช้วัสดุสังเคราะห์ที่เรียกว่า ตาข่ายพลางแสง (HDPE Shading Net) ซึ่งใช้ในเรือนเพาะชำทั่วไป ดังแสดงใน**รูปที่** 3.3-11 มาประยุกต์ใช้แทน



**รูปที่** 3.3-11 **ผ้าแสลนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดได้**

ในส่วนของขั้นตอนการคัดเลือกมาตรการแก้ไข ได้สรุปไว้ดังแสดงใน**รูปที่** 3.3-12




**รูปที่** 3.3-12 **ขั้นตอนการคัดเลือกมาตรการแก้ไขน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง**

## 3.3.3 การเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด

### 3.3.3.1 สาเหตุ

การเคลื่อนตัวของมวลดินบริเวณลาดเหนือคันทางและลาดคันทางโดยส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากน้ำเป็นหลัก โดยเมื่อเกิดฝนตกและน้ำซึมผ่านลงใต้ผิวดินจะทำให้มวลดินนั้นมีกำลังต้านทานลดลงอีกทั้งยังเป็นการเพิ่มน้ำหนักในมวลดินจนสูญเสียเสถียรภาพ ส่งผลให้เชิงลาดเกิดการเคลื่อนตัวและทำให้เขตทางเกิดความเสียหายได้อย่างมากโดยเฉพาะความเสียหายบริเวณลาดคันทางซึ่งหากมีความรุนแรงอาจส่งผลกระทบต่อเขตทางทำให้ต้องใช้งบประมาณในการแก้ไขป้องกันสูง รูปแบบความเสียหายดังกล่าวได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 3.3-13

**รูปที่** 3.3-13 **ลักษณะความเสียหายเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด**

### 3.3.3.2 แนวทางการแก้ไข

การแก้ไขในกรณีนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันอันตรายจากการเคลื่อนตัวของมวลดินตามแนวการพังทลาย ลดแรงกระทำจากมวลดินบริเวณเชิงลาดและลดผลกระทบจากน้ำผิวดินซึ่งอาจเกิดจากการไหลบ่าของน้ำจากที่สูงและน้ำฝนไม่ให้เข้ามาในบริเวณเชิงลาดที่ได้รับความเสียหาย แนวทางแก้ไขแบบชั่วคราวโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี ได้แก่

ก) ขนย้ายเศษวัสดุออกจากผิวทางและติดตั้งป้ายเตือน

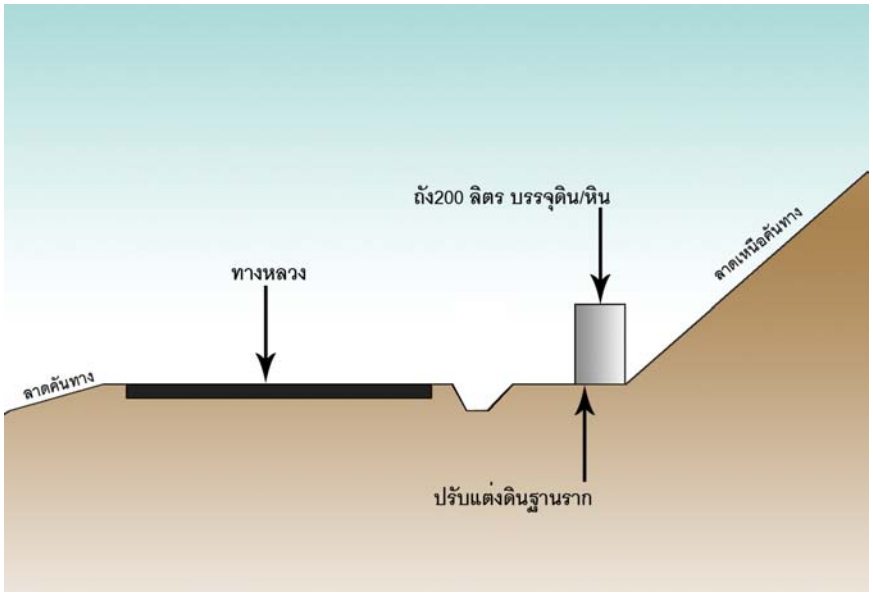
ข) การใช้ถังขนาด 200 ลิตร บรรจุดิน/หิน

ค) การใช้ยางรถยนต์เก่า บรรจุดิน/หิน และเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้

ในส่วนของรูปแบบการก่อสร้างแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) **ขนย้ายวัสดุออกจากผิวทาง และติดตั้งป้ายเตือน** วิธีการนี้ได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อ 3.3.2

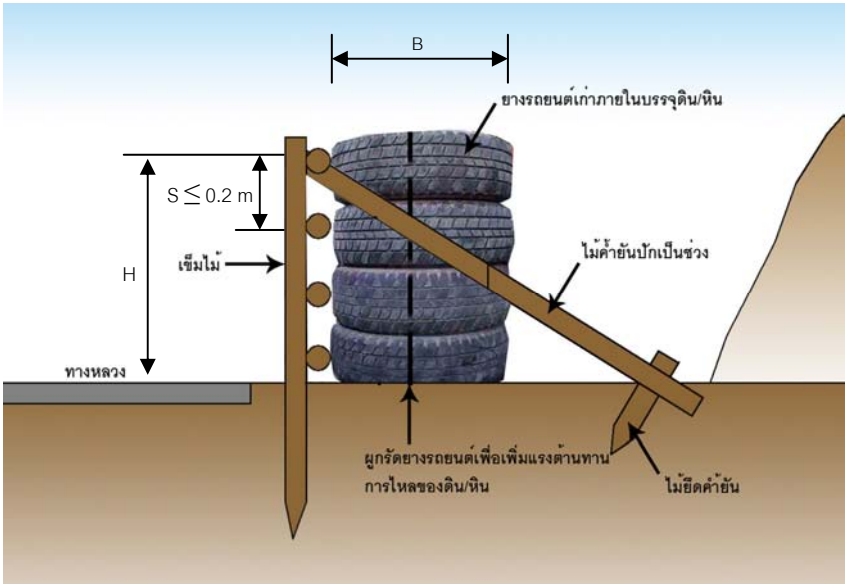
ข) **การใช้ถังขนาด 200 ลิตร บรรจุดิน/หิน** วิธีการนี้เป็นการป้องกันการไหลของมวลดิน/หิน ไม่ให้เข้ามาในเขตทาง การก่อสร้างจะกระทำในบริเวณด้านล่างของเชิงลาดบริเวณใกล้กับเขตทางดังแสดงใน**รูปที่** 3.3-14 เป็นแนวตลอดพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายภายในถังบรรจุด้วยมวลดิน/หิน ที่มีน้ำหนักมากพอที่จะต้านทานการไหลของวัสดุบนเชิงลาด สำหรับรูปแบบการประยุกต์ใช้งานได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 3.3-15




**รูปที่** 3.3-14 **รูปแบบการใช้ถังขนาด 200 ลิตร ต้านทานการไหลของดิน/หิน**

**รูปที่** 3.3-15 **การประยุกต์ใช้ถังขนาด** 200 **ลิตร ป้องกันความเสียหายบริเวณเชิงลาด**

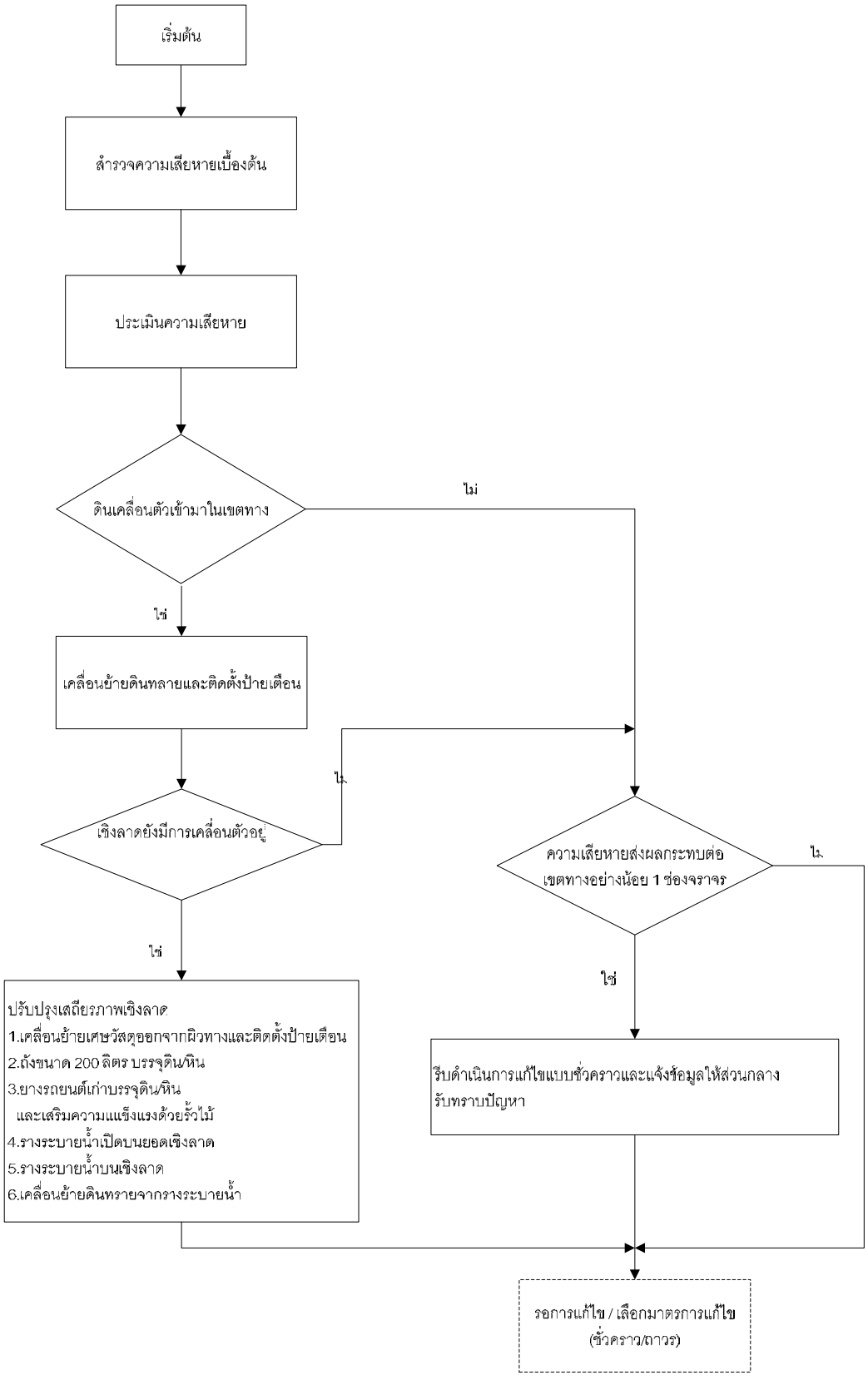
ค) **การใช้ยางรถยนต์เก่าบรรจุดิน/หิน และเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้** วิธีการนี้เป็นการป้องกันการไหลของมวลดิน/หิน ไม่ให้เข้ามาในเขตทาง การก่อสร้างทำได้โดยสร้างแนวรั้วไม้ไปตามแนวปลายของเชิงลาดที่ได้รับความเสียหาย ดังแสดงใน **รูปที่** 3.3-16 จากนั้นจึงนำยางรถยนต์เก่ามาวางซ้อนจนมีขนาดตามต้องการและผูกยึดเข้าไว้ด้วยกัน นอกจากนี้ ยังต้องเพิ่มน้ำหนักให้กับโครงสร้างด้วยดินหรือหินลงไปในล้อยางรถยนต์ดังกล่าว น้ำหนักของมวลดินหรือหินในล้อยางรถยนต์ประกอบกับการผูกติดกันจนเป็นโครงสร้างเดียวจะสามารถต้านทานการไหลของวัสดุบนเชิงลาดได้




| ความกว้าง, B (ม.) | ความสูง, H (ม.) |
|---|---|
| B ~ 0.5 ม. (เรียง 1 แถว) | 1.25 |
| B ~ 1.0 ม. (เรียง 2 แถว) | 2.50 |

**รูปที่** 3.3-16 **รูปแบบการใช้ยางรถยนต์เก่าและรั้วไม้ต้านทานการไหลของดิน/หิน**

ในส่วนของขั้นตอนการคัดเลือกมาตรการแก้ไข ได้สรุปไว้ดังแสดงใน**รูปที่** 3.3-17




**รูปที่ 3.3-17 ขั้นตอนการคัดเลือกมาตรการแก้ไขการเคลื่อนตัวของมวลดิน เนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด**

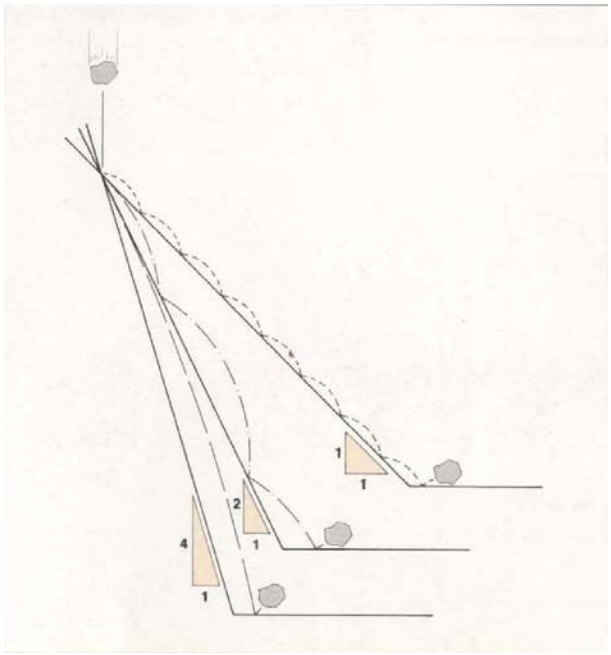
### 3.3.4 หินร่วง

#### 3.3.4.1 สาเหตุของหินร่วง

ความไม่มีเสถียรภาพของเชิงลาดหินตัดเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ สาเหตุภายนอกและสาเหตุภายใน สาเหตุภายนอกเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผิวนอกของหิน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การกัดเซาะของน้ำ (Surface Scour by Water) อิทธิพลของลม การกัดเซาะบริเวณปลายของเชิงลาดและอิทธิพลของรากต้นไม้ที่ชอนไชในดิน/หิน สำหรับสาเหตุภายในเป็นสาเหตุเกิดจากสภาพทางธรณี รอยแตก และความไม่ต่อเนื่องของมวลหิน แต่ทั้งหมดนี้สาเหตุสำคัญที่สุดและไม่อาจจะคาดเดาได้ คือ อิทธิพลของน้ำซึ่งจะสังเกตได้ชัดว่าช่วงใดที่มีฝนตกหนักปรากฏการณ์หินร่วงหรือการเคลื่อนตัวของดินปนหินก็จะเกิดในช่วงเวลาเดียวกันด้วย

#### 3.3.4.2 ลักษณะการตกของหินร่วงและวิธีการแก้ไขป้องกัน

ปรากฏการณ์การตกกระแทกจากการเคลื่อนตัวของมวลหิน ขึ้นอยู่กับลักษณะของความลาดชันและความสูงของเชิงลาดและขนาดของมวลหิน เป็นต้น ตามที่แสดงใน **รูปที่** 3.3-18 มวลหินที่มีขนาดเล็ก (ไม่เกิน 0.5 ลบ.ม.) จะตกได้เร็วกว่า มวลหินที่มีขนาดใหญ่ (เกิน 0.5 ลบ.ม.) และโดยทั่วไปลักษณะของการตกอาจจะเป็นแบบกลิ้ง (Rotation) มาตามผิวหน้าเชิงลาด หรือ กระดอนและกระแทกกับผิวหน้าเชิงลาดเป็นจังหวะหรือเลื่อนไถล (Sliding) หรือร่วงหล่นลงมาโดยมิได้มีการสัมผัสกับผิวหน้าเชิงลาดเลยซึ่งจะเกิดในกรณีที่เชิงลาดมีความลาดชันสูง




**รูปที่** 3.3-18 **แสดงลักษณะการตกของหินร่วง** [10]

วิธีการแก้ไขป้องกันหินร่วงดังกล่าว โดยทั่วไปกระทำได้ 5 มาตรการ คือ

ก) การเปลี่ยนแนวถนน

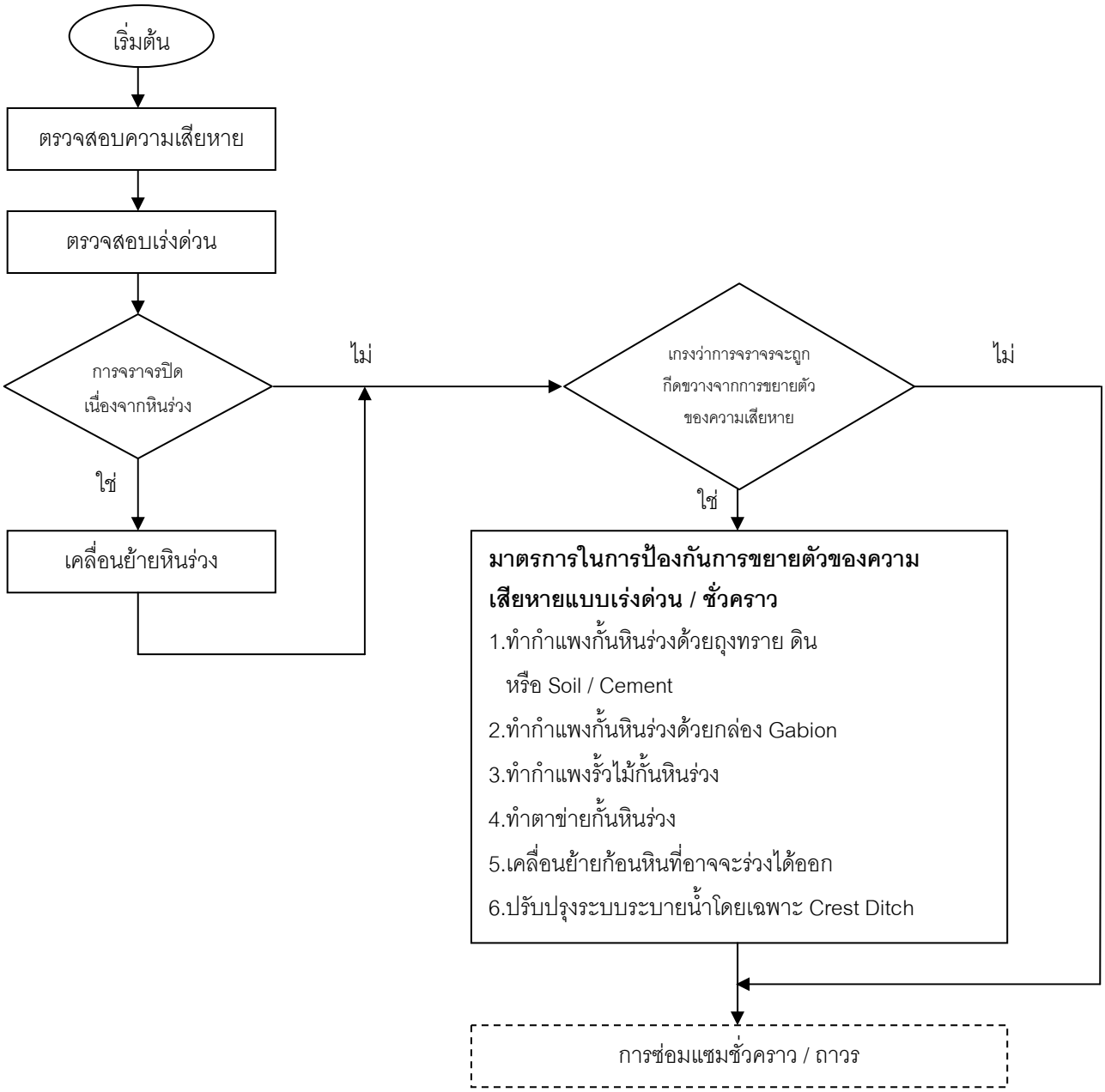
ข) เสริมเสถียรภาพ หรือป้องกันการเคลื่อนตัวของมวลหิน โดยวิธีการใช้สมอยึด (Anchoring) การฉีดพ่นคอนกรีต (Grouting หรือ Shotcrete) หรือปรับความลาดชันให้น้อยลง เป็นต้น

ค) การดักหินร่วง (Catching) โดยใช้แผงหรือรั้วกั้น (Barrier or Fence) และการชะลอการตกของมวลหิน (Retaining Falling) โดยใช้ตาข่ายป้องกันหินร่วง (Rock Fall Netting Protection) รวมทั้งวิธีการพ่นปลูกหญ้า (Hydroseeding) หรือที่เรียกว่าระบบ Bio Engineering เป็นต้น

ง) การใช้ป้ายเตือนหรือสัญญาณเตือนในช่วงที่คาดว่าจะมีหินร่วง

จ) การตักหินที่ร่วงบนผิวจราจรออก

ซึ่งมาตรการที่ ง) และ จ) เป็นมาตรการชั่วคราว ซึ่งเป็นมาตรการที่จะได้กล่าวไว้ในบทนี้ มาตรการ ค) เป็นทั้งแบบถาวรและกึ่งถาวร (ชั่วคราว) จะได้กล่าวไว้ในบทนี้ และในบทต่อไปรวมกับมาตรการ ก) และ ข) ซึ่งเป็นมาตรการแบบถาวร ตาม Flow Chart **รูปที่** 3.3-19 ที่แสดงการเลือกมาตรการการซ่อมแซมเร่งด่วน / ชั่วคราว ในกรณีหินร่วง




**รูปที่** 3.3-19 **การคัดเลือกมาตรการซ่อมแซมแบบเร่งด่วน / ชั่วคราว ในกรณีหินร่วง** [1]

### 3.3.4.3 มาตรการชั่วคราวในการแก้ไขป้องกันหินร่วง

หลักการสำคัญในการปฏิบัติการ คือ มาตรการเร่งด่วนที่จะต้องดำเนินการเอาหินร่วงออกจากผิวจราจรให้ไวที่สุด ไม่ว่าสายทางเส้นนั้นจะมีปริมาณการจราจรมากน้อยเพียงไร หรือเป็นมาตรฐานทางชั้นไหน จากนั้นจึงพิจารณาว่าจะดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขป้องกันแบบชั่วคราวหรือแบบถาวร ซึ่งขึ้นอยู่กับการพิจารณาหลายองค์ประกอบตามที่ได้กล่าวในบทที่ 2 ในบทนี้จะได้กล่าวเฉพาะมาตรการชั่วคราวในการดำเนินการแก้ไขป้องกันหินร่วงซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1) ใช้มาตรการวิธีการบำรุงปรกติกับวิธีการบำรุงแบบป้องกัน (Routine Maintenance and preventive Maintenance) เจ้าหน้าที่บำรุงรักษาทางหลวงในพื้นที่ประกอบด้วยผู้อำนวยการแขวงการทางและหมวดการทางจะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษในการดำเนินการบำรุงรักษาเชิงลาดในเส้นทางผ่านบริเวณภูเขาที่เป็นลาดเหนือคันทาง (Back Slope) ที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดหินร่วงซึ่งสังเกตได้จากลักษณะของเชิงลาดที่มีหินลอย ไม่ว่าจะเป็นก้อนใหญ่หรือก้อนเล็ก สังเกตตำแหน่งของก้อนหินทั้งก่อนฝนตกหนักและหลังฝนตกหนักว่ามีร่องรอยการขยับตัวหรือการเคลื่อนตัวหรือการร่วงของมวลหินดังกล่าวหรือไม่ หากหลังฝนตกหนักพบก้อนหินร่วงหล่นลงมาแม้เพียงเล็กน้อยให้รีบเอาออกและแม้ไม่มีหินก้อนใดร่วงหล่นแต่อาจจะมีบางก้อนที่มีแนวโน้มว่าจะร่วงหล่น หากสามารถดำเนินการออกได้ให้รีบดำเนินการทันทีและหากไม่สามารถดำเนินการเอาออกได้จะต้องหาวิธีป้องกันแบบชั่วคราวพร้อมติดตั้งป้ายเตือนหรือสัญญาณเตือนให้ระวังหินร่วงช่วงบริเวณดังกล่าวให้ชัดเจนและให้รีบปรับปรุงระบบระบายน้ำ ผิวหน้าเชิงลาดให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อลดการกัดเซาะบริเวณหน้าเชิงลาด ทั้ง Interceptor Ditch และ Crest Ditch โดยเฉพาะ Crest Ditch จะต้องให้มีขนาดเพียงพอและมีระบบ Drain Chute ที่เหมาะสม

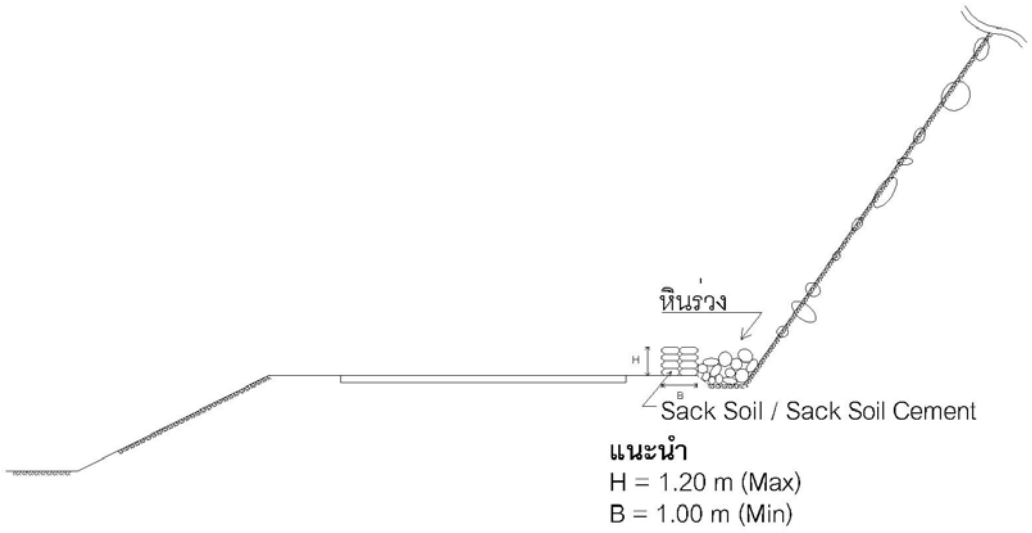
2) หมั่นเฝ้าระวังบริเวณที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดหินร่วงอย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะในช่วงหน้าฝนพร้อม**เตรียมเครื่องจักรอุปกรณ์ให้เพียงพอ** ที่จะตักและขนหินร่วงออกจากผิวจราจรให้ไวที่สุดตาม**รูปที่** 3.3-20

3) ช่วงใดของถนนที่เคยเกิดหินร่วงและได้ดำเนินการเอาออกแล้วแต่ยังมิได้มีมาตรการป้องกันแบบถาวรและมีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นอีกในช่วงหน้าฝน นอกจากจะมีป้ายและมีสัญญาณเตือนแล้ว**ควรมีป้ายแนะนำให้ผู้ใช้เส้นทางหลีกไปใช้เส้นทางอื่น**

**รูปที่** 3.3-20 **แสดงหินร่วงกีดขวางการจราจรและปฏิบัติการตักออก** [10]

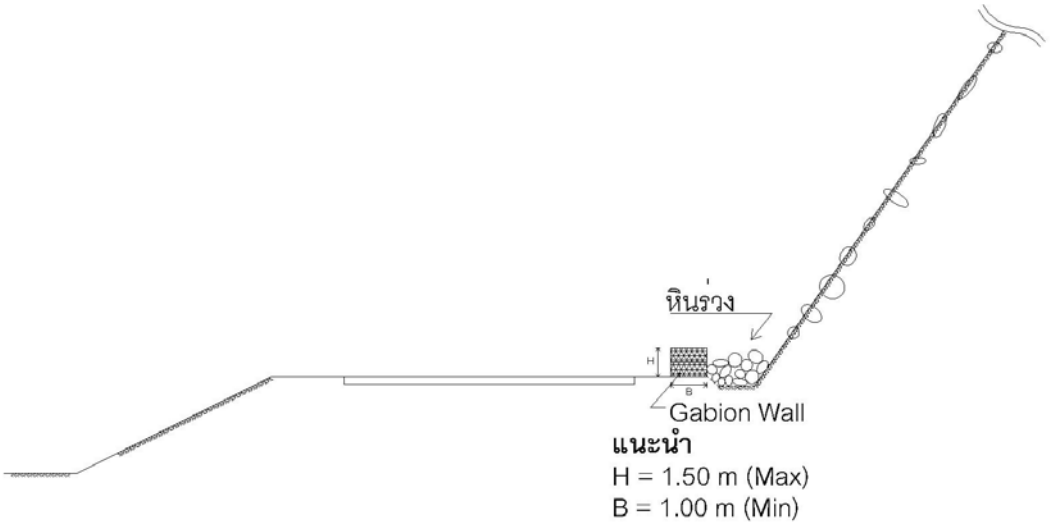
4) เทคนิควิธีซ่อมมาตรการปฏิบัติการแก้ไขป้องกันหินร่วงแบบชั่วคราวโดยหมวดการทางหรือแขวงการทางจะต้องดำเนินการแก้ไขป้องกันหินร่วงแบบชั่วคราวซึ่งมีหลายเทคนิควิธีขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ความเร่งด่วน สภาพการจราจร ความกว้างของเขตทาง ลักษณะความรุนแรงของหินร่วง งบประมาณ และวัสดุท้องถิ่น เป็นต้น ซึ่งเทคนิควิธีของมาตรการปฏิบัติการแก้ไขป้องกัน เริ่มตั้งแต่ ง่ายที่สุด ถูกที่สุดไปจนถึงมีความยากและราคาก็จะแพงขึ้นไปด้วยดังนี้

ก) **กำแพงกั้นหินร่วงด้วยถุงบรรจุทราย หรือดิน หรือ** Soil Cement ตามที่แสดงใน **รูปที่** 3.3-21



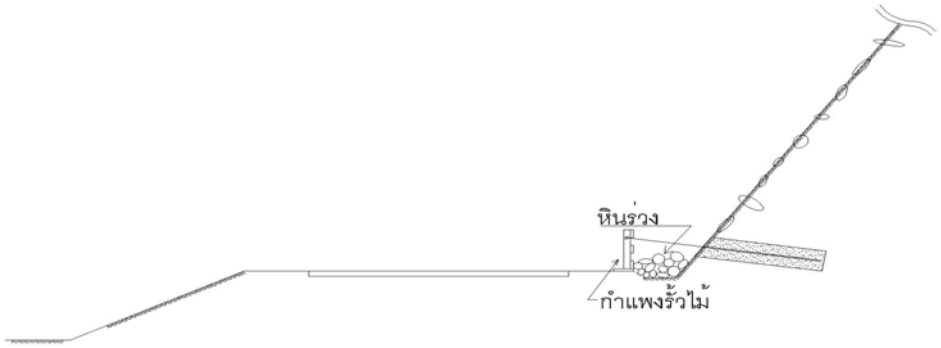

**รูปที่** 3.3-21 **การก่อสร้างกำแพงกั้นหินร่วงด้วยการใช้ถุงทรายหรือดิน หรือ** Soil Cement

ข) **กำแพงกั้นหินร่วงด้วยกล่อง** Gabion ตามที่แสดงใน**รูปที่** 3.3-22

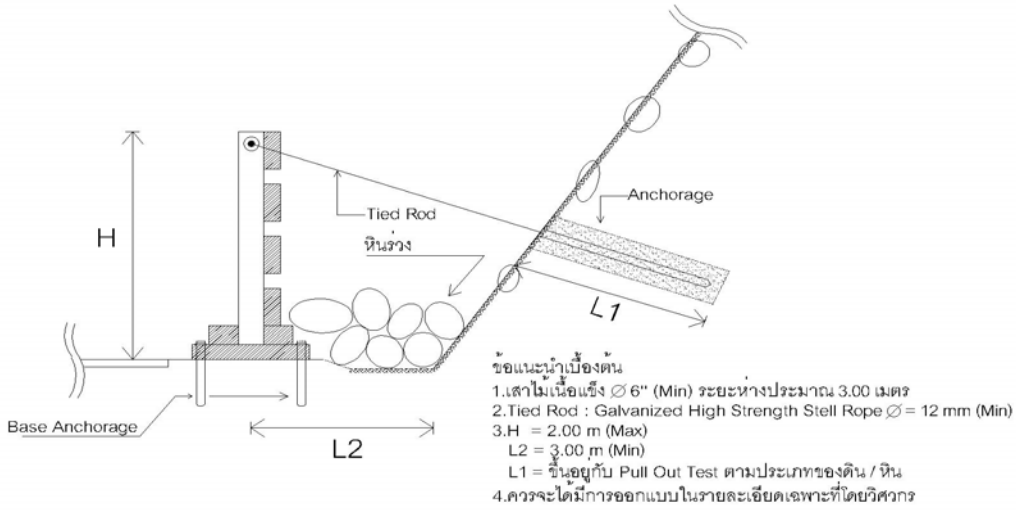



**รูปที่** 3.3-22 **แสดงกำแพงกั้นหินร่วงด้วย กล่อง** Gabion

ค) **กำแพงรั้วไม้ป้องกันหินร่วง** ตามที่แสดงใน**รูปที่** 3.3-23




(ก) รูปแบบการใช้งานทั่วไป




(ข) แบบขยาย

**รูปที่** 3.3-23 **แสดงกำแพงรั้วไม้ป้องกันหินร่วง**

วิธีนี้เหมาะสมสำหรับช่วงที่เขตทางแคบและไม้ที่ใช้ให้ใช้ไม้เนื้อแข็ง ไม้แปรรูป หรือไม้กลมก็ได้ที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น

ง) **แบบปลูกพืชคลุมหน้าเชิงลาด** หรือแบบ Hydroseeding ที่เรียกว่าระบบ Bio-Engineering เพื่อลดการกัดเซาะของหน้าเชิงลาดและช่วยพยุงยึดดินให้แน่นจะช่วยให้มวลก้อนหินมีเสถียรมากขึ้น ช่วยป้องกันการร่วงของมวลก้อนหินได้ วิธีดังกล่าวนี้ก็จะเป็นลักษณะแบบกึ่งถาวรเช่นเดียวกัน

## 3.4 สรุปรูปแบบและข้อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบชั่วคราว

เพื่อให้การแก้ไขปัญหาเชิงลาดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมตามประเภทความเสียหายที่เกิดขึ้น ในที่นี้จึงได้ทำการสรุปข้อพิจารณาการเลือกใช้วิธีการแก้ไขปัญหาเชิงลาดต่าง ๆ ไว้ดังแสดงใน**ตารางที่** 3.4-1 **ถึง** 3.4-4

**ตารางที่ 3.4-1 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทางแบบชั่วคราว**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | หินทิ้ง | Sacked Soil Cement | ถมถุงทรายและเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้ | กล่องไม้บรรจุกรวดหรือหินใหญ่ |
| ขั้นตอนการออกแบบ | ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ | ไม่ต้องการ | | | |
| | ความต้องการโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ | ไม่ต้องการ | | | |
| | ความละเอียดของแบบก่อสร้าง | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุน้อย | | | |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง | ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมงาน | ไม่ต้องการ | | | |
| | การประยุกต์ใช้วัสดุท้องถิ่น | สามารถใช้หินในลำน้ำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขได้ | ปูนซีเมนต์มีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | | หินหรือกรวดแม่น้ำขนาดกลางสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาได้เป็นการลดข้อจำกัดในเชิงขนาดหินที่ใช้ต้านทานกระแสน้ำ |
| | ความซับซ้อนด้านการก่อสร้าง | ไม่ซับซ้อน | | | |
| | ความต้องการเครื่องจักรช่วยในการก่อสร้าง | ต้องการในขั้นตอนการเรียงหิน/การเรียงถุงทราย/การบรรจุกรวด | | | |
| | การทดสอบวัสดุก่อสร้างก่อนนำไปใช้งาน | ไม่จำเป็น | | | |

**ตารางที่ 3.4-1 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทางแบบชั่วคราว (ต่อ)**

<table>
<tr><th rowspan="2">ข้อพิจารณา</th><th rowspan="2">รายละเอียด</th><th colspan="4">รูปแบบการแก้ไข</th></tr>
<tr><th>หินทิ้ง</th><th>Sacked Soil Cement</th><th>ถมถุงทรายและเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้</th><th>กล่องไม้บรรจุกรวดหรือหินใหญ่</th></tr>
<tr><td rowspan="3">ขั้นตอนการก่อสร้าง (ต่อ)</td><td>ความปราณีต</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>ระยะเวลาก่อสร้าง</td><td colspan="2">ก่อสร้างได้รวดเร็ว</td><td colspan="2">ใช้เวลาก่อสร้างนาน</td></tr>
<tr><td>ราคาค่าก่อสร้าง</td><td colspan="4">แปรผันไปตามแหล่งวัสดุและค่าขนส่งในแต่ละพื้นที่</td></tr>
<tr><td>ผู้รับจ้าง</td><td>-</td><td colspan="4">หาได้ง่าย</td></tr>
<tr><td rowspan="2">การบำรุงรักษา</td><td>ความถี่ในการบำรุงรักษา</td><td colspan="4">ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย</td></tr>
<tr><td>งบประมาณในการบำรุงรักษา</td><td colspan="4">น้อย</td></tr>
<tr><td rowspan="2">คุณสมบัติของโครงสร้างเชิงวิศวกรรม</td><td>ความสามารถในการระบายน้ำ</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>ความมีเสถียรภาพของโครงสร้างในระยะยาว</td><td colspan="4">ต่ำจึงมีปัญหาด้านการเคลื่อนตัวและเสียหายได้บ่อยครั้ง</td></tr>
</table>

**ตารางที่ 3.4-1 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทางแบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | หินทิ้ง | Sacked Soil Cement | ถมถุงทรายและเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้ | กล่องไม้บรรจุกรวดหรือหินใหญ่ |
| ความเหมาะสมต่อสภาพดิน/ธรณีวิทยา | - | เหมาะสมกับชั้นดิน/หินแข็ง | เหมาะสมกับชั้นดินอ่อน | | เหมาะสมกับชั้นดิน/หินแข็ง |
| สิ่งแวดล้อม | ความสวยงาม | - | | | |
| | ความกลมกลืนกับสภาพธรรมชาติ | - | | | |
| | มลภาวะที่เกิดขึ้นในขณะดำเนินการก่อสร้าง | มีฝุ่นและควันขณะก่อสร้าง | | | |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ | ความสูงจากระดับน้ำสูงสุด (เมตร) | ไม่น้อยกว่า 0.50 | | | |
| | ความลาดชัน (อัตราส่วนแนวราบต่อแนวดิ่ง) | 1:2 หรือไม่เกิน 1:1.5 | - | ไม่น้อยกว่า 1:1.5 | 1:2 หรือไม่เกิน 1:1.5 |

**ตารางที่ 3.4-1 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทางแบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | หินทิ้ง | Sacked Soil Cement | ถมถุงทรายและเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้ | กล่องไม้บรรจุกรวดหรือหินใหญ่ |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ (ต่อ) | อื่น ๆ | เหมาะสมกับบริเวณที่มีวัสดุประเภทหินในพื้นที่ก่อสร้างเป็นจำนวนมาก | มีโอกาสฉีกขาดได้ง่ายเนื่องจากกระแสน้ำและแสงแดด | - ต้องจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์เป็นผลให้ใช้เวลาก่อสร้างนาน<br>- ช่วงฤดูน้ำหลาก การปักไม้ทำได้ยาก | - ต้องจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์และอาจต้องใช้ช่างฝีมือ เช่น ช่างไม้ เป็นผลให้ใช้เวลาก่อสร้างนาน<br>- ช่วงฤดูน้ำหลากการทำกล่องไม้และการปักเสาทำได้ยากจึงต้องเตรียมการก่อนฤดูน้ำหลากจะมาถึง |
| ความแพร่หลาย | - | แพร่หลาย | - | | |

**ตารางที่ 3.4-1 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทางแบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | หินทิ้ง | Sacked Soil Cement | ถมถุงทรายและเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้ | กล่องไม้บรรจุกรวดหรือหินใหญ่ |
| ข้อเสนอแนะ | - | - ควรมีการสำรวจและบันทึกแหล่งวัสดุที่มีอยู่ในพื้นที่รับผิดชอบเพื่อเป็นการประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุตลอดจนราคาในการก่อสร้าง<br>- ควรถมหินให้มีระดับสูงกว่าระดับน้ำท่วมสูงสุด | - ควรจัดเตรียมให้มีจำนวนเพียงพอโดยสามารถประเมินเบื้องต้นได้จากพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายในอดีต | - ควรมีการทดลองสร้างและติดตามผลการประยุกต์ใช้งานจริง | - ควรมีการฝึกทักษะให้ผู้ปฏิบัติงานจนมีความเชี่ยวชาญเนื่องจากการก่อสร้างกล่องต้องอาศัยความชำนาญและระยะเวลา<br>- ควรมีการทดลองสร้างและติดตามผลการประยุกต์ใช้งานจริง |

**ตารางที่ 3.4-2 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทางแบบชั่วคราว**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ขนย้ายวัสดุออกจากเส้นทางและทำความสะอาดรางระบายน้ำ | เปลี่ยนทิศทางการไหลและทำรางระบายน้ำชั่วคราว | ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สาน | ตาข่ายพลางแสง (ผ้าแสลน) ยึดด้วยหมุด |
| ขั้นตอนการออกแบบ | ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ | ไม่ต้องการ | | | |
| | ความต้องการโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ | ไม่ต้องการ | | | |
| | ความละเอียดของแบบก่อสร้าง | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุน้อย | | | |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง | ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมงาน | ไม่ต้องการ | | | |
| | การประยุกต์ใช้วัสดุท้องถิ่น | - | ถัง 200 ลิตร มีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | ฟางข้าวเป็นวัสดุทางการเกษตรที่หาได้ทั่วไป | ผ้าแสลนมีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป |
| | ความซับซ้อนด้านการก่อสร้าง | ไม่ซับซ้อน | | | |
| | ความต้องการเครื่องจักรช่วยในการก่อสร้าง | ต้องการในขั้นตอนการขุดย้ายวัสดุและทำรางระบายน้ำ | | อาจไม่จำเป็นเนื่องจากสามารถใช้แรงงานคนเป็นหลักได้ | |
| | การทดสอบวัสดุก่อสร้างก่อนนำไปใช้งาน | ไม่จำเป็น | | | |

**ตารางที่ 3.4-2 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทางแบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ขนย้ายวัสดุออกจากเส้นทางและทำความสะอาดรางระบายน้ำ | เปลี่ยนทิศทางการไหลและทำรางระบายน้ำชั่วคราว | ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สาน | ตาข่ายพลางแสง (ผ้าแสลน) ยึดด้วยหมุด |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง (ต่อ) | ความปราณีต | - | | | |
| | ระยะเวลาก่อสร้าง | ก่อสร้างได้รวดเร็ว | | ใช้เวลาก่อสร้างนาน | |
| | ราคาค่าก่อสร้าง | - | | แปรผันไปตามแหล่งวัสดุและค่าขนส่งในแต่ละพื้นที่ | |
| ผู้รับจ้าง | - | หาได้ง่าย | | | |
| การบำรุงรักษา | ความถี่ในการบำรุงรักษา | - | - | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | |
| | งบประมาณในการบำรุงรักษา | น้อย | | | |
| คุณสมบัติของโครงสร้างเชิงวิศวกรรม | ความสามารถในการระบายน้ำ | - | | | |
| | ความมีเสถียรภาพของโครงสร้างในระยะยาว | - | | | |

**ตารางที่ 3.4-2 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทางแบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ขนย้ายวัสดุออกจากเส้นทางและทำความสะอาดรางระบายน้ำ | เปลี่ยนทิศทางการไหลและทำรางระบายน้ำชั่วคราว | ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สาน | ตาข่ายพลางแสง (ผ้าแสลน) ยึดด้วยหมุด |
| ความเหมาะสมต่อสภาพดิน/ธรณีวิทยา | - | - | | เหมาะกับทุกสภาพพื้นที่ | |
| สิ่งแวดล้อม | ความสวยงาม | - | | | |
| | ความกลมกลืนกับสภาพธรรมชาติ | - | | | |
| | มลภาวะที่เกิดขึ้นในขณะดำเนินการก่อสร้าง | มีฝุ่นและควันขณะก่อสร้าง | | - | - |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ | ความสูง | - | | | |
| | ความลาดชัน (อัตราส่วนแนวราบต่อแนวดิ่ง) | - | | | |

**ตารางที่ 3.4-2 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทางแบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ขนย้ายวัสดุออกจากเส้นทางและทำความสะอาดรางระบายน้ำ | เปลี่ยนทิศทางการไหลและทำรางระบายน้ำชั่วคราว | ฟางข้าวยึดด้วยไม้ไผ่สาน | ตาข่ายพลางแสง (ผ้าแสลน) ยึดด้วยหมุด |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ (ต่อ) | - | - | - การวางถุงทรายในพื้นที่ลาดชันทำได้ยาก<br>- น้ำมีโอกาสไหลล้นหรือรั่วออกจากรางระบายน้ำชั่วคราวหากขนาดความกว้างและรอยต่อ ระหว่างถังไม่ได้ทำการก่อสร้างอย่างรอบคอบ | - การก่อสร้างอาจต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก<br>- ในกรณีเชิงลาดมีความลาดชันสูงการปลูกพืชคลุมดินอาจใช้ไม่ได้ผล<br>- ต้องใช้ฟางข้าวเป็นจำนวนมาก<br>- ไม่สามารถใช้กับเชิงลาดหินได้<br>- ไม่สามารถใช้ได้กับที่สูงและมีความลาดชันมาก | - การก่อสร้างอาจต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก จึงมีข้อจำกัดด้านการติดตั้งหากต้องปีนป่ายในที่สูงและลาดชัน<br>- มีโอกาสฉีกขาดได้ง่าย<br>- ไม่สามารถใช้ได้กับที่สูงและมีความลาดชันมาก |

**ตารางที่ 3.4-2 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทางแบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ขนย้ายวัสดุออกจากเส้นทางและทำความสะอาดรางระบายน้ำ | เปลี่ยนทิศทางการไหลและทำรางระบายน้ำชั่วคราว | ฟางข้าวยึดด้วย ไม้ไผ่สาน | ตาข่ายพลางแสง (ผ้าแสลน) ยึดด้วยหมุด |
| ความแพร่หลาย | - | แพร่หลาย | | - | - |
| ข้อเสนอแนะ | - | - ควรจัดเตรียมเครื่องจักรให้พร้อมใช้งานและควรจัดทำป้ายเตือนให้ผู้ใช้ทางเกิดความระมัดระวังขณะเดินทางผ่าน | - ควรจัดเตรียมเครื่องจักรให้พร้อมใช้งานและควรจัดทำป้ายเตือนให้ผู้ใช้ทางเกิดความระมัดระวังขณะเดินทางผ่าน<br>- ควรศึกษาแผนที่ภูมิประเทศโดยเฉพาะระดับความสูงต่ำในพื้นที่เสียหายเพื่อจัดระบบการระบายน้ำได้อย่างเหมาะสม | - ควรมีการฝึกทักษะให้ผู้ปฏิบัติงานจนมีความเชี่ยวชาญเนื่องจากการก่อสร้างต้องอาศัยความชำนาญและระยะเวลา<br>- ควรมีการทดลองสร้างและติดตามผลการประยุกต์ใช้งานจริง | - ควรมีการฝึกทักษะให้ผู้ปฏิบัติงานจนมีความเชี่ยวชาญเนื่องจากการก่อสร้างกล่องต้องอาศัยความชำนาญและระยะเวลา<br>- ควรมีการทดลองสร้างและติดตามผลการประยุกต์ใช้งานจริง |

**ตารางที่ 3.4-3 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาดแบบชั่วคราว**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ขนย้ายเศษวัสดุจากผิวทางและติดตั้งป้ายเตือน | ถังขนาด 200 ลิตร บรรจุดิน/หิน | ยางรถยนต์เก่าบรรจุ ดิน/ หิน และเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้ |
| ขั้นตอนการออกแบบ | ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ | ไม่ต้องการ | | |
| | ความต้องการโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ | ไม่ต้องการ | | |
| | ความละเอียดของแบบก่อสร้าง | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุน้อย | | |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง | ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมงาน | ไม่ต้องการ | | |
| | การประยุกต์ใช้วัสดุท้องถิ่น | - | ถัง 200 ลิตร มีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | เป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาเพิ่มคุณค่าและสร้างประโยชน์ |
| | ความซับซ้อนด้านการก่อสร้าง | ไม่ซับซ้อน | | |
| | ความต้องการเครื่องจักรช่วยในการก่อสร้าง | ต้องการในขั้นตอนการขุดย้ายวัสดุ | ต้องการในขั้นตอนตักดิน/หินลงในถังหรือยางรถยนต์ | |
| | การทดสอบวัสดุก่อสร้างก่อนนำไปใช้งาน | ไม่จำเป็น | | |

**ตารางที่ 3.4-3 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาดแบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ขนย้ายเศษวัสดุจากผิวทางและติดตั้งป้ายเตือน | ถังขนาด 200 ลิตร บรรจุดิน/หิน | ยางรถยนต์เก่าบรรจุ ดิน/ หิน และเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้ |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง (ต่อ) | ความปราณีต | - | | |
| | ระยะเวลาก่อสร้าง | ก่อสร้างได้รวดเร็ว | | ใช้เวลาก่อสร้างนาน |
| | ราคาค่าก่อสร้าง | - | แปรผันไปตามแหล่งวัสดุและ ค่าขนส่งในแต่ละพื้นที่ | |
| ผู้รับจ้าง | - | หาได้ง่าย | | |
| การบำรุงรักษา | ความถี่ในการบำรุงรักษา | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | | |
| | งบประมาณในการบำรุงรักษา | น้อย | | |
| คุณสมบัติของโครงสร้างเชิงวิศวกรรม | ความสามารถในการระบายน้ำ | - | | |
| | ความมีเสถียรภาพของโครงสร้างในระยะยาว | - | น้อย | ยืดหยุ่นเนื่องจากเป็นยางจึงไม่สร้างปัญหาเมื่อดินเกิดการทรุดตัว |

**ตารางที่ 3.4-3 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาดแบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ขนย้ายเศษวัสดุจากผิวทางและติดตั้งป้ายเตือน | ถังขนาด 200 ลิตร บรรจุดิน/หิน | ยางรถยนต์เก่าบรรจุ ดิน/ หิน และเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้ |
| ความเหมาะสมต่อสภาพดิน/ธรณีวิทยา | - | - | เหมาะสมกับดิน/หินแข็ง | เหมาะสมกับทุกกรณี |
| สิ่งแวดล้อม | ความสวยงาม | - | | |
| | ความกลมกลืนกับสภาพธรรมชาติ | - | | |
| | มลภาวะที่เกิดขึ้นในขณะดำเนินการก่อสร้าง | มีฝุ่นและควันขณะก่อสร้าง | | |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ | ความสูง (เมตร) | - | | จำกัดความสูงดังแสดงใน **รูปที่** 3.3-16 |
| | ความลาดชัน (อัตราส่วนแนวราบต่อแนวดิ่ง) | - | | - |

**ตารางที่ 3.4-3 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาดแบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ขนย้ายเศษวัสดุจากผิวทางและติดตั้งป้ายเตือน | ถังขนาด 200 ลิตร บรรจุดิน/หิน | ยางรถยนต์เก่าบรรจุ ดิน/ หิน และเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้ |
| ความแพร่หลาย | - | แพร่หลาย | แพร่หลาย | - |
| ข้อเสนอแนะ | - | - ควรจัดเตรียมเครื่องจักรให้พร้อมใช้งานและควรจัดทำป้ายเตือนให้ผู้ใช้ทางเกิดความระมัดระวังขณะเดินทางผ่าน | - ควรจัดเตรียมให้มีจำนวนเพียงพอโดยสามารถประเมินเบื้องต้นได้จากพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายในอดีต | - ควรมีการฝึกทักษะให้ผู้ปฏิบัติงานจนมีความเชี่ยวชาญเนื่องจากการก่อสร้างต้องอาศัยความชำนาญและระยะเวลา<br>- ควรมีการทดลองสร้างและติดตามผลการประยุกต์ใช้งานจริง |

**ตารางที่ 3.4-4 ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว แบบชั่วคราว**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | กำแพงกั้นหินร่วงด้วยถุงบรรจุทรายหรือดินหรือ Soil Cement | กำแพงกั้นหินร่วงด้วยกล่อง Gabion | กำแพงรั้วไม้ป้องกันหินร่วง | แบบปลูกพืชคลุมหน้าเชิงลาด |
| ขั้นตอนการออกแบบ | ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ | ไม่ต้องการ | ต้องการ | ไม่ต้องการ | ต้องการผู้เชี่ยวชาญด้านพันธุ์พืช |
| | ความต้องการโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ | ไม่ต้องการ | ต้องการ | ไม่ต้องการ | ไม่ต้องการ |
| | ความละเอียดของแบบก่อสร้าง | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุน้อย | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุเป็นจำนวนมาก | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุน้อย | |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง | ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมงาน | ไม่ต้องการ | ต้องการ | ไม่ต้องการ | ต้องการ |
| | การประยุกต์ใช้วัสดุท้องถิ่น | ปูนซีเมนต์และทรายมีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | สามารถใช้หินแม่น้ำในบริเวณพื้นที่ได้ | ไม้หรือไม้แปรรูปมีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | สามารถประยุกต์ใช้พืชในท้องถิ่นมาใช้ในบริเวณเชิงลาดได้ |
| | ความซับซ้อนด้านการก่อสร้าง | ไม่ซับซ้อน | ซับซ้อน | ไม่ซับซ้อน | ไม่ซับซ้อน |
| | ความต้องการเครื่องจักรช่วยในการก่อสร้าง | อาจไม่จำเป็นเนื่องจากสามารถใช้แรงงานคนได้ | อาจไม่มีความจำเป็นเนื่องจากการเรียงหินต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก | อาจไม่จำเป็นเนื่องจากสามารถใช้แรงงานคนได้ | จำเป็นในกรณีใช้วิธีการปลูกแบบ Hydroseeding |

**ตารางที่ 3.4-4 ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว แบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | กำแพงกั้นหินร่วงด้วยถุงบรรจุทรายหรือดินหรือ Soil Cement | กำแพงกั้นหินร่วงด้วยกล่อง Gabion | กำแพงรั้วไม้ป้องกันหินร่วง | แบบปลูกพืชคลุมหน้าเชิงลาด |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง (ต่อ) | การทดสอบวัสดุก่อสร้างก่อนนำไปใช้งาน | ไม่จำเป็น | จำเป็น | ไม่จำเป็น | |
| | ความปราณีต | - | จำเป็นและมีผลต่อความมั่นคงและสวยงามของโครงสร้างมาก | - | - |
| | ระยะเวลาก่อสร้าง | ก่อสร้างได้รวดเร็ว | ใช้เวลาก่อสร้างนาน | ใช้เวลาก่อสร้างนาน | ใช้เวลานานอีกทั้งยังต้องรอจนกว่าพืชจะเจริญเติบโตจนป้องกันการชะล้างพังทลายได้ |
| | ราคาค่าก่อสร้าง | ถูกเนื่องจากใช้วัสดุท้องถิ่น | แปรผันไปตามแหล่งวัสดุและ ค่าขนส่งในแต่ละพื้นที่ | ถูกเนื่องจากใช้วัสดุท้องถิ่น | |

**ตารางที่ 3.4-4 ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว แบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | กำแพงกั้นหินร่วงด้วยถุงบรรจุทรายหรือดินหรือ Soil Cement | กำแพงกั้นหินร่วงด้วยกล่อง Gabion | กำแพงรั้วไม้ป้องกันหินร่วง | แบบปลูกพืชคลุมหน้าเชิงลาด |
| ผู้รับจ้าง | - | หาได้ง่าย | มีน้อยราย | หาได้ง่าย | มีน้อยราย |
| การบำรุงรักษา | ความถี่ในการบำรุงรักษา | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | น้อย | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | |
| | งบประมาณในการบำรุงรักษา | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | | |
| | ความมีเสถียรภาพของโครงสร้างในระยะยาว | - | สูงจึงไม่มีปัญหาด้านการแตกร้าวของโครงสร้าง | ต่ำ | - |
| สิ่งแวดล้อม | ความสวยงาม | - | สวยงาม | - | สวยงาม |
| | ความกลมกลืนกับสภาพธรรมชาติ | - | กลมกลืน | - | กลมกลืน |

**ตารางที่ 3.4-4 ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว แบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | กำแพงกั้นหินร่วงด้วยถุงบรรจุทรายหรือดินหรือ Soil Cement | กำแพงกั้นหินร่วงด้วยกล่อง Gabion | กำแพงรั้วไม้ป้องกันหินร่วง | แบบปลูกพืชคลุมหน้าเชิงลาด |
| สิ่งแวดล้อม (ต่อ) | มลภาวะที่เกิดขึ้นในขณะดำเนินการก่อสร้าง | มีฝุ่นและควันจำนวนมากขณะก่อสร้าง | น้อย | มีฝุ่นและควัน | น้อย |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ | ความสูง (เมตร) | 1.20 | 1.50 | แสดงไว้ใน**รูปที่** 3.3-23 | - |
| | ความกว้าง | 1.00 | 1.00 | | - |
| ความแพร่หลาย | - | แพร่หลาย | มีการนำมาประยุกต์ใช้มากขึ้นตามลำดับ | - | - |

**ตารางที่ 3.4-4 ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว แบบชั่วคราว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | กำแพงกั้นหินร่วงด้วยถุงบรรจุทรายหรือดินหรือ Soil Cement | กำแพงกั้นหินร่วงด้วยกล่อง Gabion | กำแพงรั้วไม้ป้องกันหินร่วง | แบบปลูกพืชคลุมหน้าเชิงลาด |
| ข้อเสนอแนะ | - | - ควรมีการสำรวจและบันทึกแหล่งวัสดุที่มีอยู่ในพื้นที่รับผิดชอบเพื่อเป็นการประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุ | - กรณีที่พบว่าในพื้นที่มีหินร่วงลงมาน้อย การเลือกใช้วิธีการนี้อาจถือเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาแบบถาวร ดังนั้น การก่อสร้างโดยเฉพาะขั้นตอนการเรียงหินจึงควรทำอย่างปราณีตเพื่อลดการบวมตัวของกล่องซึ่งเป็นการช่วยให้สามารถรับน้ำหนักของกล่องในชั้นที่สูงกว่าได้ดีและมีความสวยงาม | - ควรมีการฝึกทักษะให้ผู้ปฏิบัติงานจนมีความเชี่ยวชาญ เนื่องจากการก่อสร้างต้องอาศัยความชำนาญและระยะเวลา | - ควรศึกษาลักษณะพันธุ์พืชที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ก่อนดำเนินการจริง |

# บทที่ 4
# แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวร

## 4.1 นิยามและวัตถุประสงค์

แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรเป็นการแก้ไขความเสียหายของเชิงลาดที่ช่วยให้เชิงลาดมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี ขึ้นไปและจะนำมาพิจารณาก่อสร้างต่อเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานของเชิงลาดที่ได้รับการแก้ไขเบื้องต้นแล้วแต่ยังพบว่าเชิงลาดดังกล่าวมีโอกาสพังทลายได้อีกในอนาคตหรือจุดที่เกิดความเสียหายอยู่ในบริเวณโครงข่ายทางหลวงที่สำคัญ เกิดผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจและสังคมในระยะยาว

การแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรจำเป็นต้องใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค การสำรวจพื้นที่เชิงลึก การทดสอบดินทั้งในสนามหรือห้องปฏิบัติการ ข้อมูลเชิงสถิติ และเครื่องจักรสมัยใหม่เพื่อให้งานแก้ไขเชิงลาดประสบผลสำเร็จ อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความสวยงามและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญมากขึ้นทุกขณะ สำหรับรูปแบบการแก้ไขเชิงลาดในปัจจุบันมีอยู่หลากหลายวิธีด้วยกัน โดยการเลือกใช้ต้องพิจารณาถึงสาเหตุของความเสียหายเป็นสำคัญดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

## 4.2 ข้อพิจารณาในการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวร

### 4.2.1 เทคนิคก่อสร้าง

การออกแบบและก่อสร้างงานซ่อมแซมเชิงลาดแบบถาวร นอกจากจะต้องใช้ผู้มีความรู้ทางทฤษฎีและความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านแล้ว เทคนิคขั้นตอนการดำเนินงานเป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้น ลักษณะทางธรณีวิทยา ข้อจำกัดของพื้นที่ทำงาน แหล่งวัสดุที่ต้องจัดหามาใช้ในงานก่อสร้าง สภาพภูมิอากาศหรือการทำงานในช่วงฤดูต่าง ๆ ทั้งหมดเหล่านี้มักแปรเปลี่ยนไปตามสภาพพื้นที่ ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องตระหนักถึงหลักการก่อสร้าง ความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติแหล่งวัสดุท้องถิ่นเป็นเรื่องจำเป็นจะต้องทราบรายละเอียดว่ามีวัสดุพอเพียงหรือได้มาตรฐานหรือไม่ หากไม่มีวัสดุที่ต้องการจำเป็นจะต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุท้องถิ่นให้ได้มาตรฐานเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่ง เช่น แหล่งดินที่จะนำมาใช้บดอัดเป็นวัสดุคัดเลือก หากไม่มีอาจต้องใช้วิธีผสมซีเมนต์เพื่อให้ได้คุณภาพงานตามที่ต้องการ เป็นต้น

ในด้านวิธีการก่อสร้างที่ซับซ้อนจะต้องพิจารณาถึงเครื่องจักร ความสามารถของผู้รับจ้างว่าสามารถทำงานตามที่ออกแบบไว้ได้หรือไม่ เช่น การทำ Soil Nailing, Rock Bolt หรือ Shotcrete เป็นต้น

เทคนิคอื่น ๆ ที่แนะนำในการพิจารณาเลือกมาตรการสำหรับการแก้ไขปัญหาอาจพิจารณาจากองค์ประกอบอื่นเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มทางเลือกในการแก้ปัญหา [1] ซึ่งได้แก่

- การประยุกต์ใช้นวัตกรรมใหม่ โดยมีการศึกษา ทดลอง หรือนำวัสดุชนิดใหม่มาปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพความเสียหาย
- การนำวัสดุท้องถิ่นมาใช้จะช่วยลดต้นทุนในงานแก้ไขลงได้ อีกทั้งยังควรมีการสำรวจและจัดทำรายการวัสดุที่มีในท้องถิ่นเพื่อให้การดำเนินการแก้ไขสามารถทำได้สะดวก รวดเร็ว และราคาเหมาะสม
- การเปลี่ยนแนวของทางหลวงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งควรนำมาพิจารณาหากความเสียหายเกิดขึ้นซ้ำซากและไม่คุ้มค่าต่อการแก้ไข
- การหลีกเลี่ยงวิธีการแก้ไขทางหลวงที่เกิดการพังทลายที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ผลกระทบต่อพื้นที่ป่าไม้ สัตว์ป่า หรือการปิดกั้นเส้นทางน้ำ เป็นต้น

### 4.2.2 ระยะเวลาการดำเนินการ

ปัญหาเชิงลาดเป็นปัญหาที่จะต้องรีบแก้ไขอย่างเร่งด่วน หากมีความล่าช้าในด้านงบประมาณจะต้องนำมาตรการแก้ไขแบบชั่วคราวมาดำเนินการแก้ไขก่อนเพื่อยับยั้งการลุกลามของปัญหาในกรณีที่เกิดความเสียหายรุนแรงและซ้ำซ้อน หลังจากที่มีการเคลื่อนตัวและพังทลายลงมาอย่างเห็นได้ชัดแล้วอาจยังมีมวลดิน/หินบางส่วนยังคงมีการเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมจะต้องทำโดยเร็ว ตั้งแต่ขั้นตอนสำรวจและทดสอบคุณสมบัติในสนาม การทดสอบในห้องปฏิบัติการ การออกแบบเบื้องต้นและออกแบบรายละเอียด การดำเนินงานเรื่องงบประมาณ และการสรรหาผู้รับจ้างซ่อมแซมจนไปถึงการดำเนินงานก่อสร้างจริง

ในข้างต้นจะเห็นได้ว่า มีขั้นตอนการดำเนินงานอยู่หลายขั้นตอนด้วยกัน ดังนั้นการแก้ปัญหาเชิงลาดให้สำเร็จลุล่วงนั้นจึงเป็นงานที่อาศัยการทำงานอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม คุณภาพของงานจะต้องดี มีประสิทธิผล จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมี

การควบคุมงานขณะก่อสร้างอย่างใกล้ชิดมีการทดสอบในสนามและห้องปฏิบัติการอย่างเคร่งครัดตามรายการข้อกำหนด

ข้อควรคำนึงถึงในขั้นออกแบบและก่อสร้างเพื่อลดผลกระทบในด้านระยะเวลา

- ควรออกแบบและก่อสร้างให้เร็วที่สุดก่อนเข้าสู่ช่วงฤดูฝนเพื่อควบคุมการลุกลามของปัญหา
- หากต้องรองบประมาณควรใช้มาตรการซ่อมแซมแบบชั่วคราวก่อน
- ในขั้นออกแบบผู้ออกแบบต้องกำหนดแผนการทำงาน (Schedule Plan) ให้สอดคล้องกับปริมาณงานซึ่งต้องพิจารณาจากสถิติการทำงานในอดีตหรือสอบถามจากผู้รับจ้างหรือผู้เชี่ยวชาญ
- ให้คำแนะนำด้านเทคนิคก่อสร้างเพื่อลดระยะเวลาดำเนินงาน
- การออกแบบควรพิจารณาความยากง่าย ความสะดวกในการปฏิบัติงาน

### 4.2.3 งบประมาณในการออกแบบและก่อสร้าง

งบประมาณถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบและก่อสร้างเป็นอย่างมาก ส่วนหนึ่งอาจทำให้การแก้ไขซ่อมแซมเกิดความล่าช้า ผลกระทบในด้านอื่น ๆ ก็อาจจะตามมาได้ เช่น หากจุดที่เกิดความเสียหายนั้นอยู่บริเวณโครงข่ายทางหลวงที่สำคัญ ระบบการจราจรมีปัญหาจะเกิดผลกระทบต่อสภาพสังคม – เศรษฐกิจ ได้ หากปัญหาไม่ได้รับการซ่อมแซมอย่างถาวร

ในอีกด้านหนึ่งของการออกแบบซ่อมแซม คือ เขต/แขวงการทาง หรือผู้ที่อยู่ใกล้ชิดพื้นที่ไม่สามารถเข้าใจปัญหาที่เกิดได้อย่างแท้จริง มีการของบประมาณเพื่อซ่อมแซมเชิงลาดอยู่เป็นประจำแต่ปัญหาก็ยังเกิดอย่างซ้ำซากทำให้ต้องเสียงบประมาณในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการให้ความรู้ความเข้าใจแก่บุคคลากรในเขต/แขวงที่ดูแลพื้นที่ที่มีความเสี่ยงของการพังทลายของเชิงลาดให้สามารถจำแนกความเสียหายที่เกิดขึ้นว่ามีความซับซ้อนรุนแรงและมีควรมีการแจ้งและให้ข้อมูลมายังส่วนกลางเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาแนวทางในการซ่อมแซมแก้ไขต่อไปหากมีการจัดการ

ด้านการสำรวจและรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบแล้วและปัญหาต่างๆได้รับการแก้ไขอย่างถูกต้องในระยะยาวจะสามารถลดงบประมาณในการซ่อมแซมแก้ไขแบบที่ซ้ำซากได้

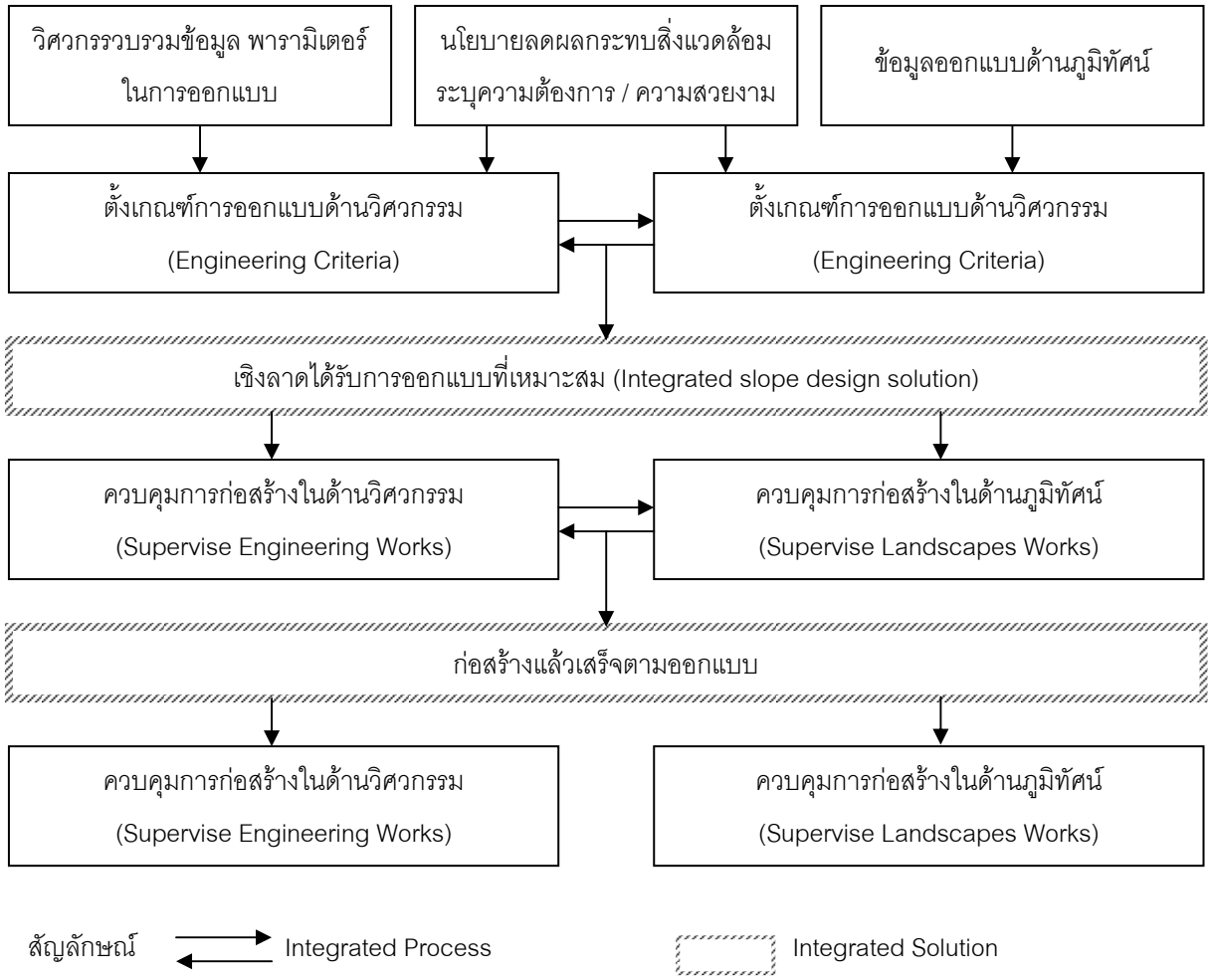
เพื่อให้ผู้ออกแบบแก้ไขเชิงลาดสามารถประมาณจำนวนวัสดุที่ใช้ต่อหน่วยเบื้องต้นได้ จึงได้จัดทำตัวอย่างการคำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้ต่อหน่วยไว้ดังแสดงในภาคผนวก ค

### 4.2.4 การประยุกต์ใช้วัสดุก่อสร้างในท้องถิ่น

การประยุกต์ใช้วัสดุท้องถิ่นถือเป็นเทคนิคการก่อสร้างอย่างหนึ่งเพราะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุได้ในขั้นตอนการสำรวจเพื่อการออกแบบรายละเอียด ผู้สำรวจควรเก็บตัวอย่างวัสดุท้องถิ่น เช่น วัสดุดินทราย กรวด หิน ดินลูกรัง เป็นต้น มาทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ออกแบบ หรือหากพบว่าวัสดุในท้องถิ่นมีคุณสมบัติไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ผู้ออกแบบจะได้หามาตรการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุดังกล่าวนำมาใช้งานซ่อมแซมเชิงลาดได้ การบันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมในแหล่งต่าง ๆ ไว้เป็นฐานข้อมูลจะมีประโยชน์ต่อพิจารณาเลือกใช้วัสดุในขั้นตอนออกแบบได้ในอนาคต

### 4.2.5 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและความสวยงาม

ในด้านการออกแบบแก้ไข ไม่เพียงแต่พิจารณาถึงเสถียรภาพของเชิงลาดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังหมายรวมถึงความสวยงามและผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่จะตามมา การพิจารณาภาพรวมของพื้นที่ ตามแนวเขตทางร่วมกับระบบป้องกันเชิงลาดให้มีความกลมกลืนเป็นธรรมชาติหากเป็นโครงข่ายถนนที่มีความสำคัญต้องการความสวยงามเป็นพิเศษ เช่น เส้นทางท่องเที่ยว เส้นทางสู่พระตำหนัก วิศวกรผู้ออกแบบควรหารือกับสถาปนิกที่มีความชำนาญด้านภูมิทัศน์ (Landscape Architect) ทั้งช่วงการออกแบบและก่อสร้าง การทำงานควบคู่กันในลักษณะนี้จะต้องมีการวางแผน การออกแบบที่ดีนำไปสู่การก่อสร้างและการซ่อมบำรุง ความสัมพันธ์ในแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติงานดังแสดงใน**รูปที่** 4.2-1




**รูปที่** 4.2-1 **ลำดับขั้นของระบบการทำงานเชิงลาดโดยพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อม** [2]

การบำรุงรักษาระบบป้องกันความเสียหายที่ได้ก่อสร้างและใช้งานไปแล้วนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่หน่วยงานซ่อมบำรุงทางจะต้องมีความเข้าใจ และปฏิบัติการตรวจสอบเป็นประจำเมื่อพบจุดบกพร่องหรือเริ่มเสียหายเพียงเล็กน้อยก็ต้องดำเนินการซ่อมบำรุงโดยด่วนด้วยเทคนิควิธีที่เหมาะสมซึ่งจะช่วยลดงบประมาณการแก้ไข ความเสียหายพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดที่อาจเกิดซ้ำได้ถึงแม้จะมีระบบป้องกันอยู่แล้ว ทั้งนี้ผู้ดำเนินการสำรวจซึ่งอาจเป็นเจ้าหน้าที่ฝ่ายบำรุงรักษาจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในระบบป้องกัน ลักษณะการใช้งาน หากตรวจพบความเสียหายเกิดขึ้นจึงสามารถเข้าปฏิบัติการได้อย่างถูกต้อง การบำรุงรักษาระบบป้องกันต่าง ๆ มีรายละเอียดในคู่มือบำรุงรักษาทางหลวงเพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด

## 4.3 แนวทางการแก้ไขตามประเภทความเสียหาย

### 4.3.1 น้ำกัดเซาะบริเวณปลายของลาดคันทาง

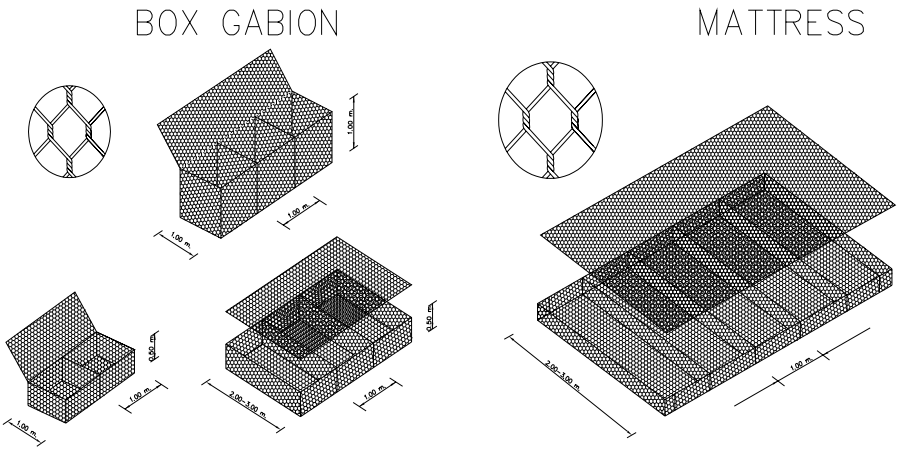
การแก้ไขในกรณีนี้ ควรใช้โครงสร้างที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเพียงพอเพื่อต้านทานการลอยตัวรวมถึงการกัดเซาะของน้ำ อีกทั้งวัสดุที่ใช้ควรทนต่อการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดี มาตรการแก้ไขโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี ได้แก่

ก) Gabion และ Mattress
ข) หินเรียงยาแนว/หินทิ้ง
ค) คอนกรีตดาด

ในส่วนของรูปแบบการก่อสร้างแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

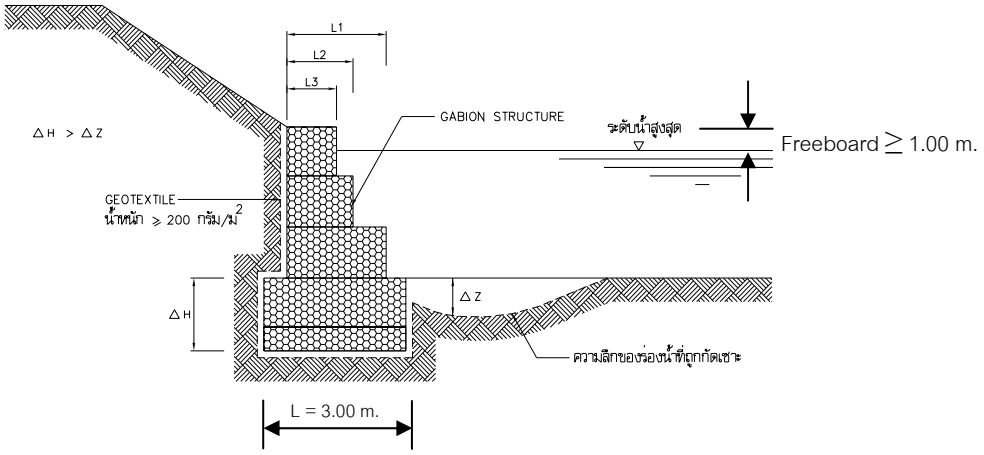
ก) **Gabion และ Mattress**

Gabion Wall เป็นโครงสร้างลวดตาข่ายประกอบเป็นกล่องที่มีประสิทธิภาพอย่างยิ่งในการป้องกันการกัดเซาะบริเวณริมน้ำ [3, 4] และยังทำหน้าที่เสมือนกำแพงกันดินได้ในเวลาเดียวกัน [3] ลักษณะและส่วนประกอบของ Gabion Wall ได้แสดงไว้ใน **รูปที่** 4.3-1



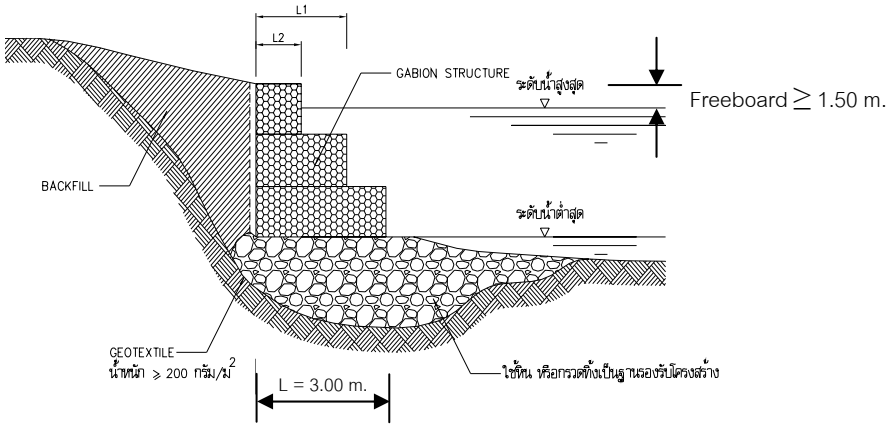

**รูปที่** 4.3-1 **ลักษณะของ** Gabion **และ** Mattress

กล่องลวดตาข่ายดังกล่าวเป็นการนำลวดมาถักทอเป็นตาข่าย 6 เหลี่ยม มีขนาดช่องเปิดกว้างประมาณ 60-100 มิลลิเมตร และสานเข้าด้วยกันเป็นกล่องภายในบรรจุหินหรือกรวดแม่น้ำ ดังแสดงใน**รูปที่** 4.3-2 ลวดตาข่ายจะถูกเคลือบด้วยสารกันสนิมหรือพลาสติกตามมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไป เช่น มาตรฐานการทดสอบวัสดุของสหรัฐอเมริกา (ASTM A 975-97) หรือมาตรฐานเฉพาะในแต่ละภูมิภาค เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของน้ำหรืออากาศ ขนาดความยาวของกล่องที่ใช้ในการก่อสร้างมีหลายขนาด เช่น 1, 2, 3 และ 4 เมตร เป็นต้น ข้อกำหนดของวัสดุ วิธีการประกอบ หรือขั้นตอนการก่อสร้างได้สรุปไว้ในภาคผนวก ค สำหรับกรวดแม่น้ำหรือหินที่บรรจุภายในกล่อง Gabion ควรมีขนาดใหญ่กว่าขนาดช่องเปิดของลวดตาข่ายซึ่งโดยทั่วไปควรมีขนาดระหว่าง 100 - 200 มิลลิเมตร (4 - 8 นิ้ว) กล่อง Gabion สามารถผูกยึดเป็นแนวได้ด้วยลวดเบอร์ 13 (2.2 มิลลิเมตร) หรือลวดที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน BS 1052/1980 [3] สำหรับชั้นดินฐานรากอาจเป็นได้ทั้งหินแข็ง ทรายแป้ง หรือดินบดอัด ในกรณีดินถมหลังกำแพงเป็นดินเม็ดละเอียดจะต้องติดตั้งวัสดุกรอง เช่น Geotextile เพื่อป้องกันไม่ให้ดินลอดออกตามช่องหินใน Gabion สำหรับรูปแบบการก่อสร้างตามสภาพพื้นที่และการประยุกต์ใช้งานได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 4.3-2 และ **รูปที่** 4.3-3 ตามลำดับ

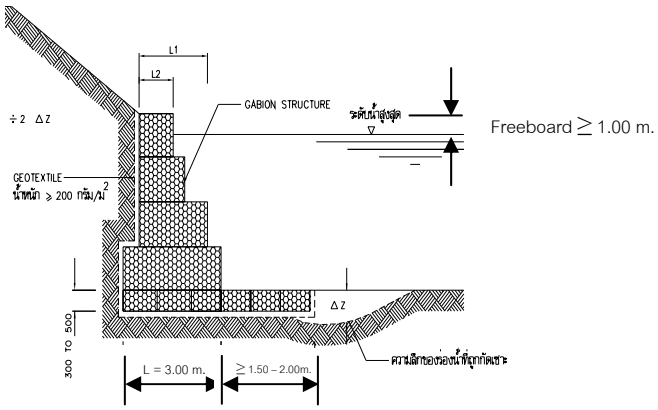



(ก) รูปแบบการใช้งานทั่วไป

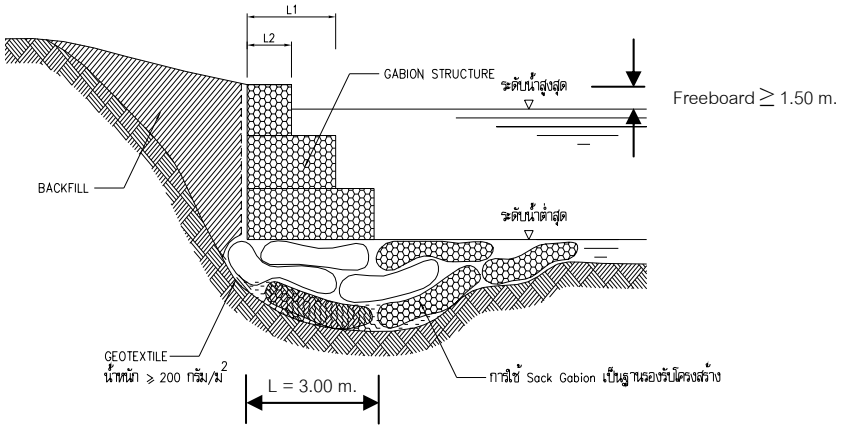
**รูปที่** 4.3-2 **รูปแบบการก่อสร้าง Gabion เพื่อป้องกันการกัดเซาะของน้ำในรูปแบบต่าง ๆ**




(ข) รูปแบบการใช้หินหรือกรวดทิ้งเป็นฐานรองรับโครงสร้าง




(ค) รูปแบบการใช้กล่อง Gabion เป็นฐานรองรับโครงสร้าง




(ง) รูปแบบการใช้ Sack Gabion เป็นฐานรองรับโครงสร้าง

**รูปที่ 4.3-2 รูปแบบการก่อสร้าง Gabion เพื่อป้องกันการกัดเซาะของน้ำในรูปแบบต่าง ๆ (ต่อ)**

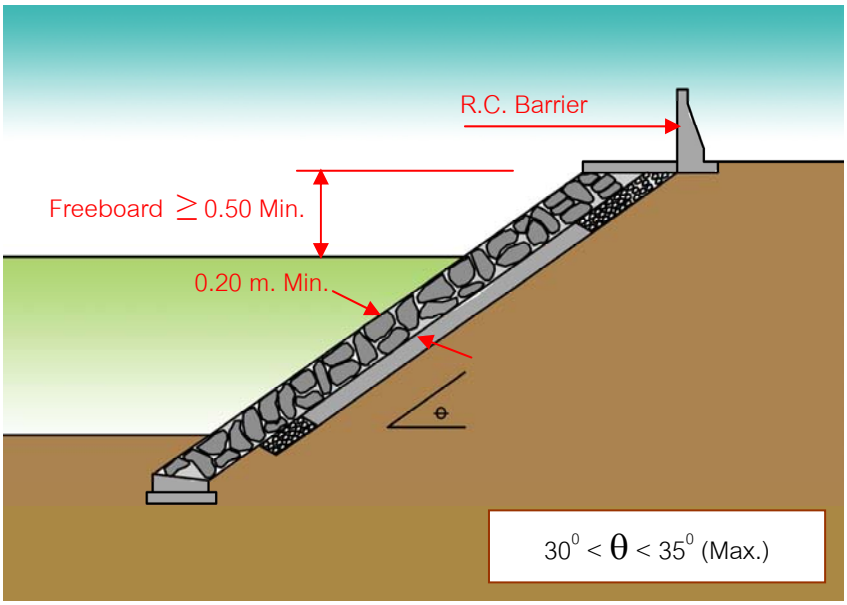
**รูปที่** 4.3-3 **การประยุกต์ใช้** Gabion **ป้องกันการกัดเซาะของน้ำบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง**

Mattress เป็นโครงสร้างลวดตาข่ายประกอบเป็นกล่องเช่นเดียวกับ Gabion Wall ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดแต่ขนาดช่องเปิดเล็กกว่า (ขนาดช่องเปิดประมาณ 60 มิลลิเมตร) คุณสมบัติของวัสดุโดยทั่วไปมีความสอดคล้องกับ Gabion Wall ดังแสดงในภาคผนวก ค สำหรับการประยุกต์ใช้งานได้แสดงไว้ใน **รูปที่** 4.3-4

**รูปที่** 4.3-4 การประยุกต์ใช้ **Mattress** บริเวณเชิงลาดและริมน้ำ

ข) **หินเรียงยาแนว**

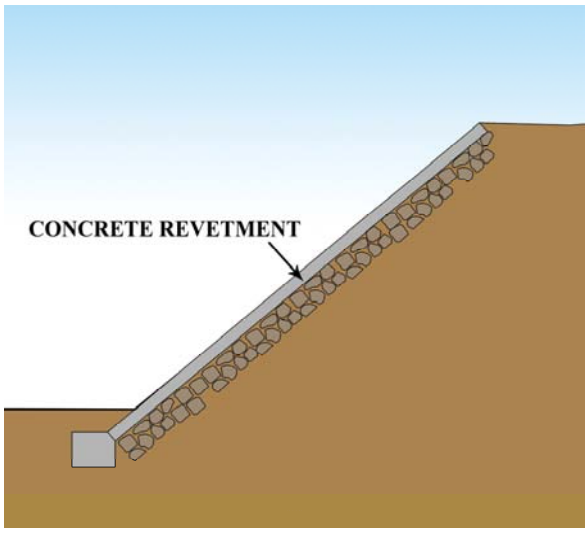
หินเรียงยาแนว (Rip-Rap Protection) เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับป้องกันน้ำกัดเซาะ โดยการใช้หินก้อนขนาดกลางถึงใหญ่เชื่อมประสานให้เป็นแผ่นด้วยซีเมนต์-ทราย (Mortar) บริเวณผิวหน้าเชิงลาด ดังแสดงใน**รูปที่** 4.3-5




**รูปที่** 4.3-5 **รูปแบบการก่อสร้างหินเรียงยาแนว**

ค) **คอนกรีตดาด**

คอนกรีตดาด (Concrete Revetment) เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับป้องกันน้ำกัดเซาะ โดยการใช้วิธีการดาดผิวหน้าเชิงลาดด้วยคอนกรีต ดังแสดงใน**รูปที่** 4.3-6




**รูปที่** 4.3-6 **รูปแบบการป้องกันการกัดเซาะโดยใช้คอนกรีตดาด**

### 4.3.2 น้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง

การแก้ไขในกรณีนี้จะมุ่งเน้นไปที่การควบคุมปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำให้เข้ามาในบริเวณเชิงลาดทั้งด้านลาดเหนือคันทางและลาดคันทางน้อยที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงการกัดเซาะจากน้ำผิวดินซึ่งจะช่วยให้เชิงลาดมีเสถียรภาพมากขึ้นเนื่องจากโอกาสที่น้ำผิวดินจะไหลซึมจนสร้างความเสียหายในรูปแบบของการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากน้ำใต้ดินลดลง ในส่วนของน้ำผิวดินในลักษณะอื่น ๆ เช่น ฝน หรือ การไหลบ่าของน้ำจากที่สูงซึ่งไม่อาจควบคุมทิศทางได้ (กรณีร่องเขา) การออกแบบแก้ไขจะมุ่งเน้นไปที่การป้องกันการกัดเซาะผิวดิน (Surface Erosion) ด้วยการป้องกันผิวหน้าเชิงลาด สาเหตุในส่วนนี้นับว่ามีความสำคัญเนื่องจากมวลดินที่พังทลายจะส่งผลกระทบต่อแม่น้ำ ลำคลอง จนเกิดสภาวะตื้นเขิน เป็นผลให้เกิดน้ำท่วม [4] มาตรการแก้ไขโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี ได้แก่

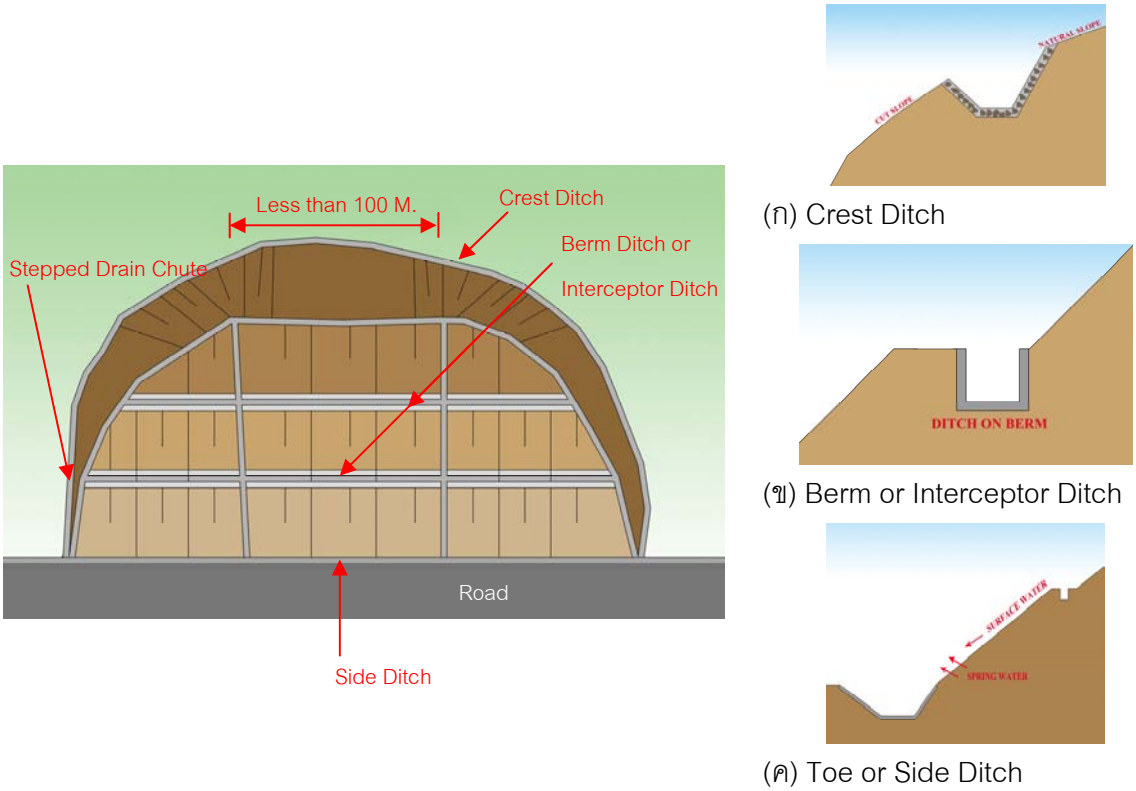
ก) ระบบระบายน้ำบนเชิงลาด

ข) ปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาด

ในส่วนของรูปแบบการก่อสร้างแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) **ระบบรางระบายน้ำบนเชิงลาด**

รางระบายน้ำบนเชิงลาดหรือรางระบายน้ำผิวดินถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในการป้องกันการชะล้างพังทลายของเชิงลาด รางระบายน้ำเป็นโครงสร้างที่ควบคุมการไหลของน้ำ อีกทั้งยังเป็นแนวป้องกันการไหลบ่าของน้ำจากภายนอกเชิงลาดที่อาจเข้ามาสร้างความเสียหายได้ [6] ตำแหน่งการติดตั้งรางระบายน้ำที่เหมาะสมได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 4.3-7 อย่างไรก็ดี การใช้รางระบายน้ำแต่ละประเภทนี้อาจเป็นการเพิ่มปัญหาให้กับพื้นที่เสียหายได้มากขึ้นหากไม่มีการออกแบบและศึกษาข้อมูลปริมาณฝนในพื้นที่อย่างเพียงพอตลอดจนในขั้นตอนการก่อสร้าง ยังต้องตรวจสอบความถูกต้องและแน่ใจว่าจุดปล่อยน้ำต้องอยู่นอกพื้นที่ของเชิงลาด หรือไม่สร้างความเสียหายในอนาคต สำหรับการประยุกต์ใช้งานได้แสดงไว้ใน **รูปที่** 4.3-8




**รูปที่** 4.3-7 **ตำแหน่งการติดตั้งรางระบายน้ำผิวดิน**

(ก) Berm Ditch (ข) Drain Chute (ค) Toe Ditch

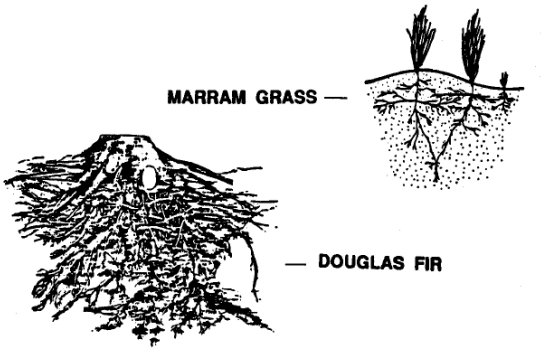
**รูปที่** 4.3-8 **รูปแบบการใช้รางระบายน้ำป้องกันการกัดเซาะบริเวณผิวหน้าเชิงลาด**

ข) **ปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาด**

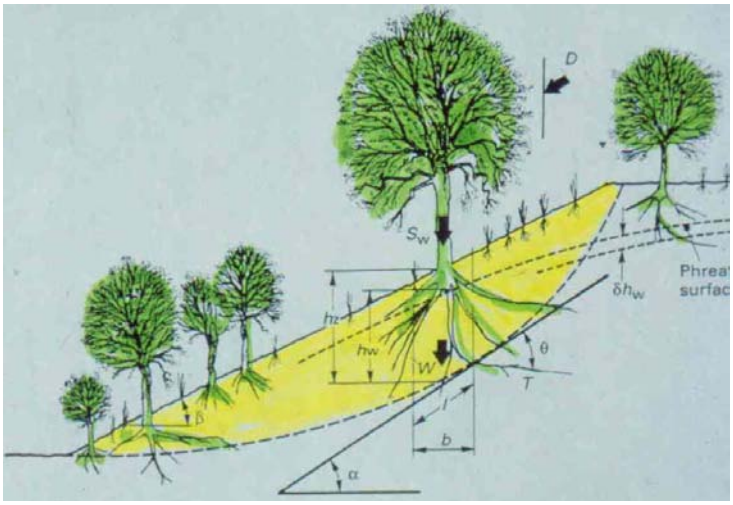
พืชคลุมดินเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะเชิงลาดที่ดีวิธีหนึ่งโดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าเชิงลาด รากพืชบางชนิดเมื่อเจริญเติบโตในดินแล้วจะมีความหนาแน่นของรากพืชเป็นจำนวนมากจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดาดผิวตามธรรมชาติสำหรับรางระบายน้ำผิวดิน วิธีการนี้มีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับลาดคันทางที่ต้องก่อสร้างใหม่หรือลาดคันทางที่ต้องปรับปรุงแก้ไขหลังจากเกิดการพังทลายในส่วนของลาดเหนือคันทางบางประเภทวิธีการนี้อาจไม่มีประสิทธิผลมากนัก ทั้งนี้เป็นเพราะสภาพพื้นดินที่อาจมีความลาดชันมากเกินไปจนไม่เหมาะสมกับการปลูกพืช อีกทั้งมวลดินในบริเวณดังกล่าวไม่มีธาตุอาหารอย่างเพียงพอ

ในบริเวณลาดคันทาง การประยุกต์ใช้พืชคลุมดินนอกจากจะสามารถป้องกันการกัดเซาะได้แล้วยังสามารถป้องกันการพังทลายของเชิงลาดขนาดเล็กหรือแนวการวิบัติที่เกิดขึ้นในระดับตื้นได้เนื่องจากพืชบางชนิด ดังแสดงใน**รูปที่** 4.3-9 **และรูปที่** 4.3-10 มีการขยายตัวของรากเป็นร่างแหลึกลงไปในชั้นดินซึ่งเป็นการช่วยยึดและเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนในมวลดิน [3] อย่างไรก็ดี การเลือกใช้พันธุ์พืชในแต่ละภูมิภาคอาจมีความแตกต่างกันตามสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศจึงจำเป็นต้องปรึกษาผู้เชี่ยวชาญในแต่ละพื้นที่ซึ่งสามารถแนะนำข้อมูลของพืชที่มีความเหมาะสมในบริเวณนั้น ๆ วิธีการนี้ยังให้ผลประโยชน์ทางอ้อมในเชิงการแจ้งเตือนให้มีความระมัดระวังหรือจัดการแก้ไขปัญหาด้านการพังทลายเนื่องจากน้ำใต้ดินทั้งบริเวณลาดเหนือคันทางหรือลาดคันทาง กล่าวคือ หากสังเกตเห็นว่าพืชเจริญงอกงามในบริเวณเชิงลาดได้ดีเฉพาะส่วน ขณะที่บริเวณอื่นของเชิงลาดตายทั้งหมดในช่วง

ฤดูแล้งแสดงว่ามีน้ำใต้ดินไหลผ่านบริเวณดังกล่าว [3] นอกจากนี้ การใช้พืชคลุมดินยังมีความสวยงามและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 4.3-11




**รูปที่** 4.3–9 **การกระจายของรากพืชบางชนิดในการป้องกันการกัดเซาะของเชิงลาด** [3]




**รูปที่** 4.3–10 **ประโยชน์ของรากพืชในการป้องกันการเคลื่อนตัวของเชิงลาด** [3]

(ก) การปลูกหญ้าบริเวณผิวหน้าเชิงลาดช่วงเริ่มแรก

(ข) หญ้าแฝกเจริญเติบโตคลุมผิวหน้าเชิงลาดแลดูสวยงามกลมกลืนกับธรรมชาติ

**รูปที่** 4.3–11 **ความสวยงามที่เกิดจากการปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาด**

สำหรับการปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาดสามารถทำได้หลายรูปแบบ **[1]** เช่น การปลูกหญ้าเป็นจุด การหว่านถุงบรรจุเมล็ดพืช หรือการใช้เครื่องพ่น โดยในกรณีปลูกพืชด้วยเมล็ดจะต้องใช้วัสดุประเภทใยสังเคราะห์หรือธรรมชาติ เช่น ฟางข้าว หรือใยมะพร้าวนำมาทอเป็นผืนเพื่อคลุมดิน ที่เรียกว่า ผ้าห่มดิน โดยมีหมุดยึดป้องกันการชะล้างผิวดินก่อนหว่านเมล็ดพืช **[4]** รูปแบบการปลูกพืชคลุมดินได้แสดงไว้ใน **รูปที่** 4.3-12

(ก) วิธีการปลูกเป็นจุด

(ข) วิธีการปลูกโดยใช้ถุงบรรจุเมล็ดพืช

**รูปที่** 4.3–12 **วิธีการปลูกพืชคลุมดินบริเวณผิวหน้าเชิงลาด**

### 4.3.3 การเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด

การแก้ไขในกรณีนี้จะมุ่งเน้นไปที่การควบคุมปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินให้เข้ามาในบริเวณเชิงลาดให้น้อยที่สุด นอกจากนี้ ยังต้องพิจารณาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มแรงต้าน (Resisting Force) การเสริมกำลังให้แก่เชิงลาดหรือลดน้ำหนักมวลดินเหนือเชิงลาดนั้น มาตรการแก้ไขโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 10 วิธี ได้แก่

ก) ระบบระบายน้ำบนเชิงลาด

ข) ระบบระบายน้ำใต้ดิน

ค) ก่อสร้างคันดิน/หิน บริเวณปลายของเชิงลาด (Berm)

ง) กำแพงกันดินคอนกรีต

จ) Gabion Wall

ฉ) วัสดุเสริมแรงในมวลดิน

ช) Soil Nailing

ซ) การขุดรื้อวัสดุหรือมวลดินที่มีสภาพหลวมออก

ฌ) การปรับความลาดชันให้ลดลง

ญ) การขุดตัดลาดเชิงเขาแบบขั้นบันได (Benching)

ในส่วนของรูปแบบการก่อสร้างแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

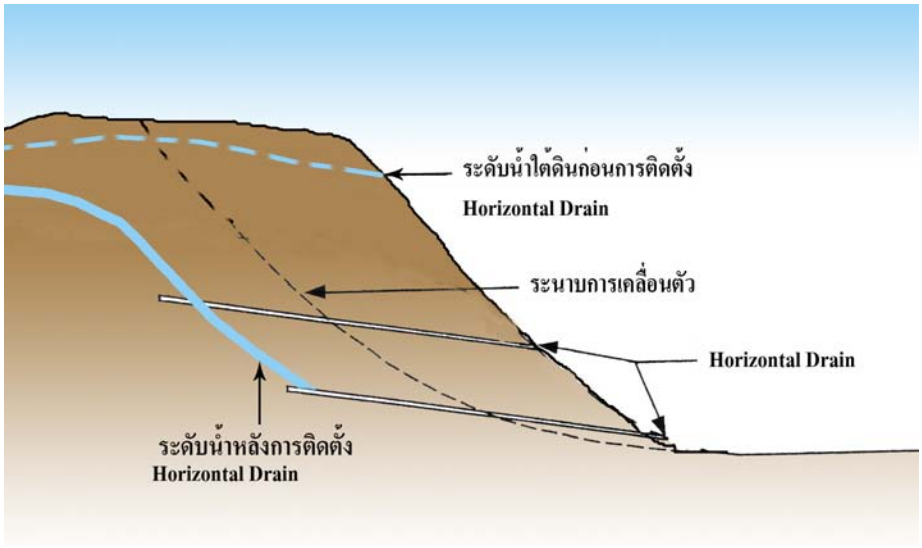
ก) **ระบบระบายน้ำบนเชิงลาด** รายละเอียดก่อสร้างกล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3.2

ข) **ระบบระบายน้ำใต้ดิน**

- **ท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ**

  ท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ (Horizontal Drain) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งบริเวณฐานของเชิงลาดหรือตำแหน่งอื่นที่เหมาะสมเพื่อลดระดับและความดันน้ำใต้ดิน วิธีการนี้มีความเหมาะสมในกรณีที่เชิงลาดเกิดความเสียหายเป็นวงกว้างและแนวการวิบัติลึกลงไปในชั้นดินฐานราก [3] อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดินอีกวิธีหนึ่ง การติดตั้งโดยทั่วไปมักใช้ท่อ P.V.C. หรือท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38-50 มิลลิเมตร เจาะรูพรุนสอดเข้าไปในช่องที่เจาะเตรียมไว้ที่ผิวหน้าเชิงลาดด้วยเครื่องมือเฉพาะและเพื่อให้การระบายน้ำภายในท่อเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงควรเจาะช่องดังกล่าวให้มีความลาดเอียงประมาณร้อยละ 3-20 [3] และหุ้มด้วยแผ่น Geotextile สำหรับความยาวของท่อดังกล่าวควรให้มีความยาวมากกว่าระนาบการเคลื่อนตัวออกไปประมาณ 5-20 เมตร [6] เพื่อให้แน่ใจได้ว่าสามารถดักน้ำใต้ดินก่อนเข้ามาในบริเวณเชิงลาดได้จริง รูปแบบการติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดินได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 4.3-13 นอกจากนี้ในการออกแบบยังจำเป็นต้องทราบระดับน้ำใต้ดินให้แน่ชัดโดยอาจติดตั้งบ่อสังเกตระดับน้ำ (Observation Well) ไปตามระดับความลาดชันของเชิงลาด

ซึ่งระดับน้ำที่แน่นอนอาจต้องใช้เวลาตรวจวัดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายวัน ถึงหนึ่งสัปดาห์ [3]



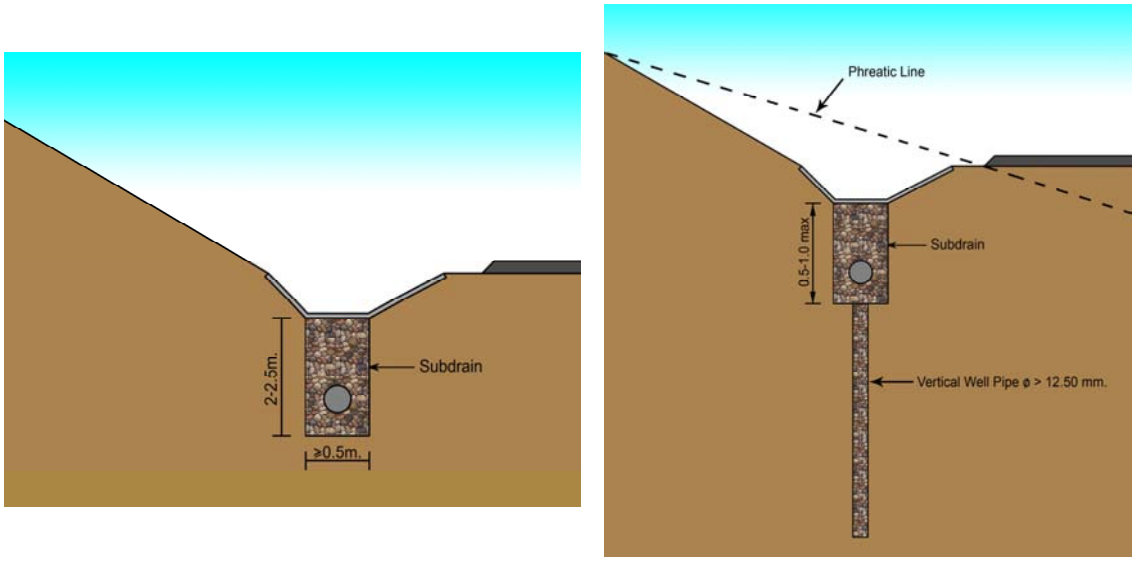

(ก) แนวทางการติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดิน

(ข) ท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบติดตั้งบริเวณปลายของลาดคันทาง

**รูปที่ 4.3-13 รูปแบบการติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดิน** [6]

- Subdrain และ Vertical Well Point

เป็นการขุดร่องขวางทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเพื่อลดระดับน้ำใต้ดินบริเวณเชิงลาด น้ำที่ซึมผ่านจะไหลไปตามแนวร่องขุดโดยไม่ซึมผ่านเข้ามาในบริเวณเชิงลาด [3,6] ในกรณีที่พบว่ามีปริมาณน้ำใต้ดินเป็นจำนวนมาก เช่น ในช่วงฤดูน้ำหลาก การก่อสร้างอาจมีการติดตั้งท่อลงไปในชั้นดินระดับลึก (Vertical Well Point) เพื่อสูบน้ำออกจากชั้นดินได้อย่างรวดเร็วขึ้นเป็นการลดความเสี่ยงต่อการเกิดการพังทลายของเชิงลาด วิธีการนี้มักนำมาใช้ในกรณีตัดทางหลวงผ่านเขตภูเขาที่มีระดับน้ำใต้ดินเดิมสูงกว่าระดับการก่อสร้างทางและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งในบริเวณส่วนบนหรือบริเวณปลายเชิงลาดของลาดเหนือคันทาง รูปแบบการก่อสร้างได้ดังแสดงใน**รูปที่** 4.3-14



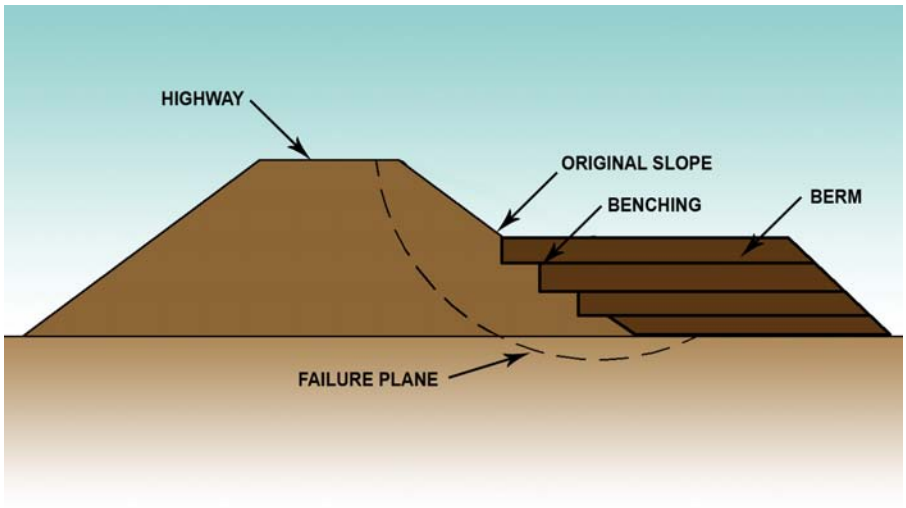

(ก) Subdrain [6] (ข) Subdrain with Vertical Well Point

**รูปที่** 4.3-14 **รูปแบบการติดตั้งร่องดักน้ำใต้ดิน**

ค) **ก่อสร้างคันดิน/หิน บริเวณปลายของเชิงลาด (Berm)**

คันดินหรือหินที่ก่อสร้างขึ้นมีหน้าที่ในการเพิ่มเสถียรภาพเชิงลาดโดยมีน้ำหนักของดิน/หิน ที่สามารถต้านทานการเคลื่อนตัวของเชิงลาดได้ วิธีนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเชิงลาดดินเหนียวหรือทรายแป้งที่มีรูปแบบการพังทลายแบบวงกลมและมีแนวการวิบัติแบบ Earth Slip ดังแสดงใน**รูปที่** 4.3-1**5** นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้แก้ไขความเสียหายขนาดเล็กบริเวณปลายของลาดคันทางที่อาจมี

ความลาดชันมากเกินไปซึ่งอาจเป็นผลมาจากการกัดเซาะ (Erosion) การออกแบบก่อสร้างหรือการควบคุมงานไม่ดี โดยทั่วไปปริมาตรตลอดจนความกว้างของมวลดิน/หินถม สำหรับใช้ในการก่อสร้างมีค่าอยู่ระหว่าง 1/4 - 1/2 เท่าของมวลดินบนเชิงลาดที่ได้รับความเสียหาย อีกทั้งยังต้องมีการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าดิน/หินถมบางส่วนทำให้เชิงลาดเกิดการเคลื่อนตัวได้เนื่องจากมวลดินหรือหินดังกล่าวกลับกลายเป็นแรงกระทำต่อเชิงลาดหรือไม่ [3]



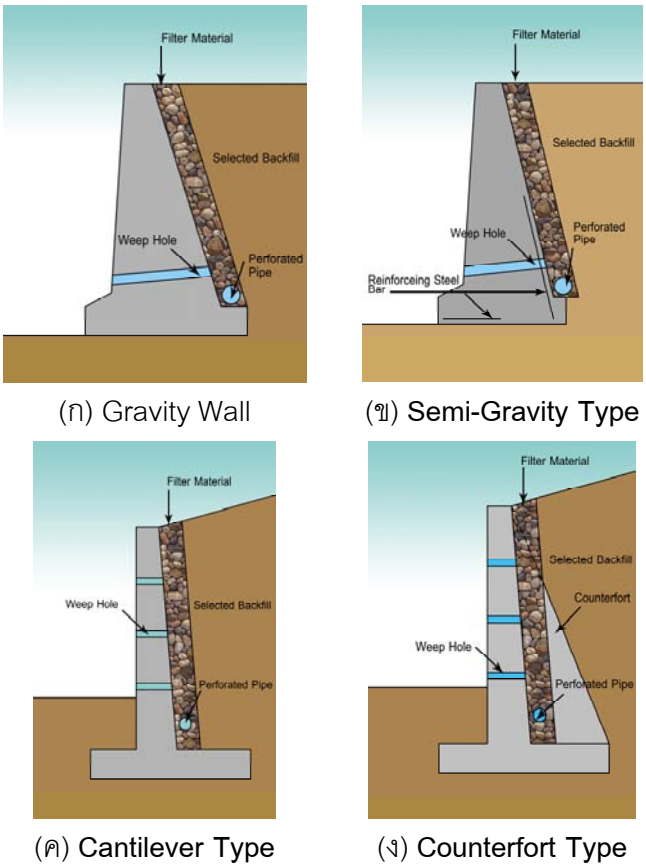

**รูปที่** 4.3-15 **รูปแบบการก่อสร้างคันดิน/หินบริเวณปลายเชิงลาด** [3]

ง) **กำแพงกันดินคอนกรีต**

กำแพงกันดินโดยส่วนใหญ่สร้างจากคอนกรีตและมีรูปแบบที่นิยมใช้ 4 ประเภท [3] โดยมีรูปแบบก่อสร้างดังแสดงใน**รูปที่** 4.3-16 สำหรับรายละเอียดของกำแพงกันดินแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Gravity Concrete Wall กำแพงคอนกรีตประเภทนี้สามารถต้านทานการเคลื่อนและการหมุนตัว (Overturning) เนื่องจากมวลดินตามแนวการวิบัติได้ด้วยน้ำหนักของโครงสร้างเอง โดยปกติจะไม่มีการเสริมเหล็กภายในยกเว้นในกรณีต้องการป้องกันการขยายตัวของคอนกรีตเนื่องจากอุณหภูมิ

- Semi-Gravity Concrete Wall กำแพงคอนกรีตประเภทนี้สามารถต้านทานการเคลื่อนและการหมุนตัวเนื่องจากมวลดินตามแนวการวิบัติได้จากน้ำหนักของโครงสร้าง




(ก) Gravity Wall (ข) Semi-Gravity Type

(ค) Cantilever Type (ง) Counterfort Type

**รูปที่ 4.3-16 ตัวอย่างรูปแบบกำแพงกันดินคอนกรีต** [3]

- Cantilever Concrete Wall ลักษณะของกำแพงคอนกรีตประเภทนี้สามารถต้านทานการเคลื่อนตัวและการหมุนตัวเนื่องจากมวลดินตามแนวการวิบัติได้จากน้ำหนักของมวลดินที่ถมทับอยู่เหนือฐานของกำแพงคอนกรีต และต้องเสริมเหล็กภายในโครงสร้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ขนาดหน้าตัดของกำแพงคอนกรีตประเภทนี้จะมีความหนาน้อยกว่ากำแพงของคอนกรีต 2 ประเภทข้างต้น

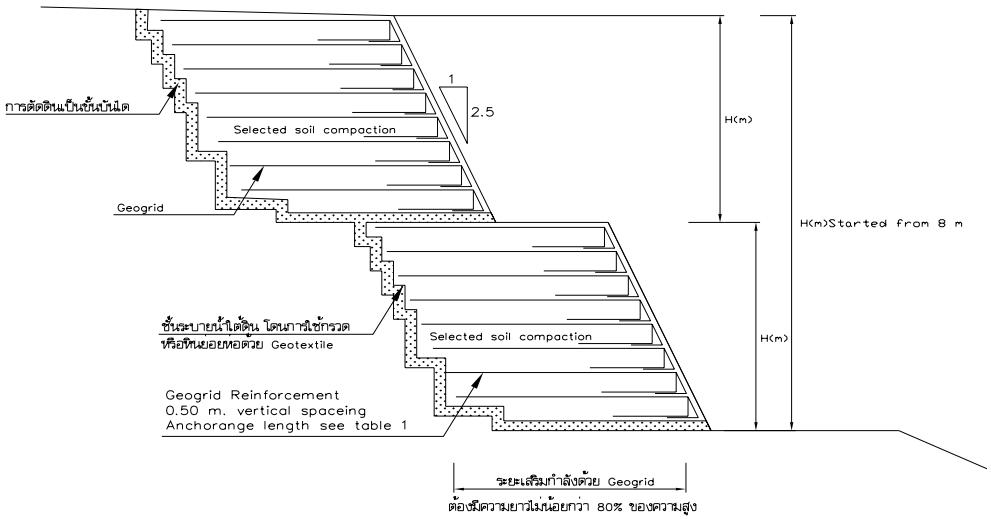
- Counterfort Concrete Wall กำแพงคอนกรีตประเภทนี้มีความคล้ายคลึงกับ Cantilever Concrete Wall โดยมีส่วนโครงสร้าง Counterfort เข้ามาช่วยเพิ่มความแข็งแรงในส่วนกำแพงกันดิน

จ) **Gabion Wall** รายละเอียดการก่อสร้างกล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3.1 สำหรับรูปแบบในการก่อสร้างได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 4.3-17

**รูปที่** 4.3-17 **Gabion Wall ป้องกันการเคลื่อนตัวด้านลาดเหนือคันทาง**

ฉ) **วัสดุเสริมแรงในมวลดิน (Soil Reinforcement)**

ลาดคันทางที่ได้รับความเสียหายเนื่องจากการพังทลายสามารถก่อสร้างได้ใหม่ด้วยการใช้ดินคันทางที่เสียหายเดิมร่วมกับวัสดุเสริมแรง (Reinforcing Material) [3, 7] ซึ่งผลิตจากใยสังเคราะห์ เช่น Polypropylene, Polypropylene และ Polyester [7] นอกจากนี้ วัสดุเสริมแรงยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกำแพงกันดินทั่วไปในกรณีขยายเขตทางจราจรหรือการซ่อมแซมการพังทลายของไหล่ทาง ดังแสดงใน**รูปที่** 4.3-18

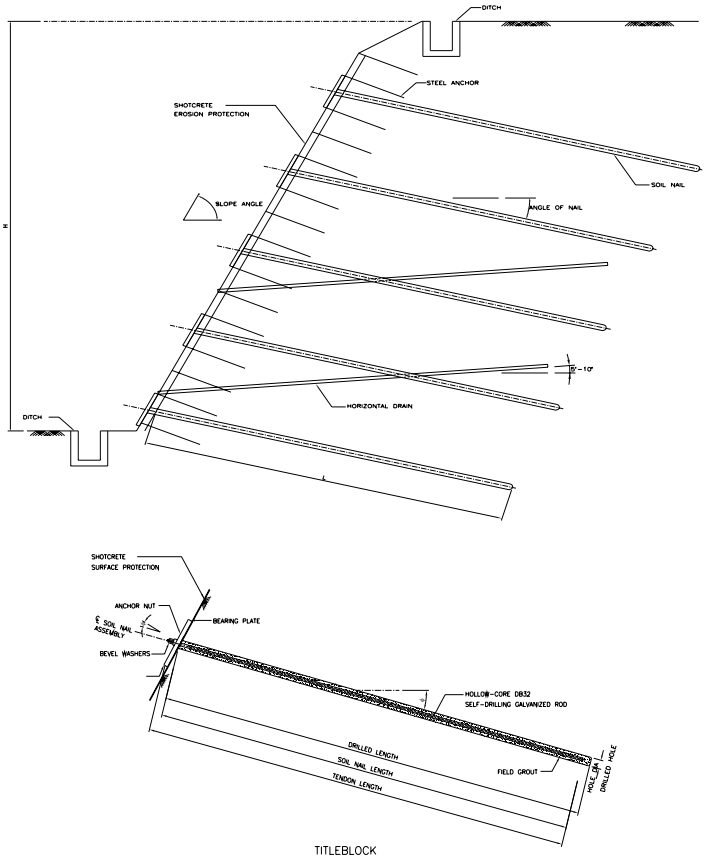



**รูปที่** 4.3-18 **ตัวอย่างการใช้วัสดุเสริมแรงในลาดคันทาง**

ช) **Soil Nailing**

เป็นการเจาะเพื่อเสียบเหล็กลงไปในเชิงลาดหรือเสียบลงในหลุมเจาะแล้วทำการ Grout โครงสร้างดังกล่าวจะเสริมกำลังให้กับเชิงลาดและช่วยพยุงมวลดินเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัว โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างวัสดุและแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) ของดิน [8] วิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์กับงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค ได้หลายประเภท เช่น งานตัดถนนบนเขาซึ่งมีไหล่ทางแคบและกำแพงกันดิน (Retaining Structure) เป็นต้น

สำหรับขั้นตอนการก่อสร้างจะเริ่มจากการขุดดินให้มีความลึกระดับหนึ่งจากนั้นจึงทำการเจาะหลุมในแนวราบลงไปถึงความลึกที่ต้องการ ติดตั้ง Nail และทำการ Grout พร้อมทั้งติดตั้งแผ่นเหล็กยึด (Bearing Plate) โดยทั่วไปจะต้องทำการปิดผิวหน้าเชิงลาดด้วยการใช้คอนกรีตพ่น (Shotcrete) จึงจะทำให้ระบบทำงานได้อย่างสมบูรณ์ รูปแบบการติดตั้งบนเชิงลาดได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 4.3-19 สำหรับเครื่องจักรและรูปแบบในการก่อสร้างได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 4.3-20




**รูปที่** 4.3-19 **ตัวอย่างการใช้** Soil Nailing

(ก) การก่อสร้าง Soil Nailing บริเวณลาดคันทาง

(ข) เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง Soil Nailing

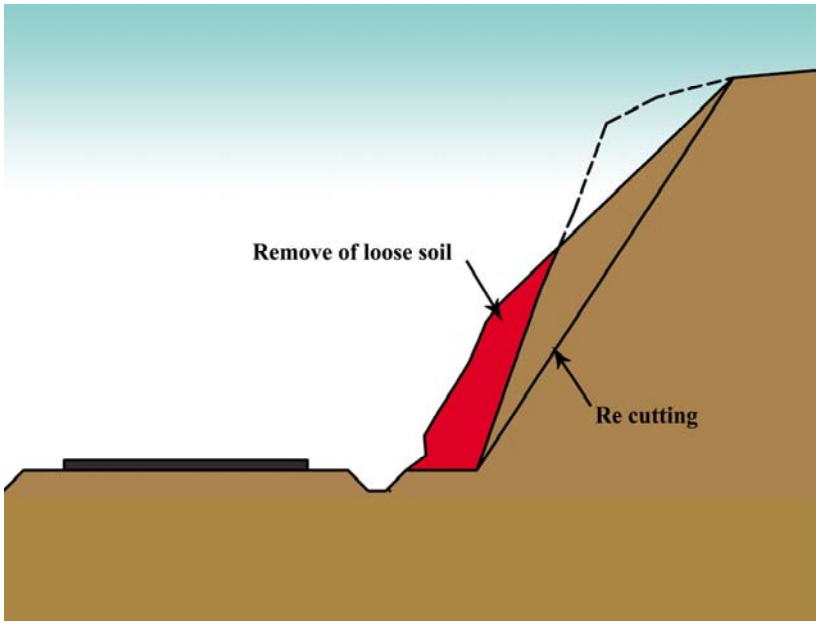
**รูปที่ 4.3-20 รูปแบบและเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง Soil Nailing**

ซ) การขุดรื้อวัสดุหรือมวลดินที่มีสภาพหลวมออก

วิธีการนี้เป็นการเพิ่มเสถียรภาพของเชิงลาดที่มีค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำด้วยการขุดเอามวลดินที่มีสภาพหลวมในส่วนบนของเชิงลาดออกไปดังแสดงใน**รูปที่** 4.3-21 วิธีการนี้มักใช้ในบริเวณลาดเหนือคันทาง [1]

ฌ) การปรับความลาดชันให้ลดลง

วิธีการนี้เป็นการเพิ่มเสถียรภาพของเชิงลาดที่ดำเนินการได้สะดวกและประหยัดที่สุด ลักษณะการแก้ไขปัญหาในกรณีนี้มักจะถูกพิจารณาเป็นทางเลือกแรกเพื่อปรับปรุงเชิงลาด การปรับลาดเชิงเขายังเป็นการช่วยให้แนวการพังทลายอยู่ลึกลงไปจากชั้นดินเดิมและมีโอกาสเกิดการพังทลายลดลง



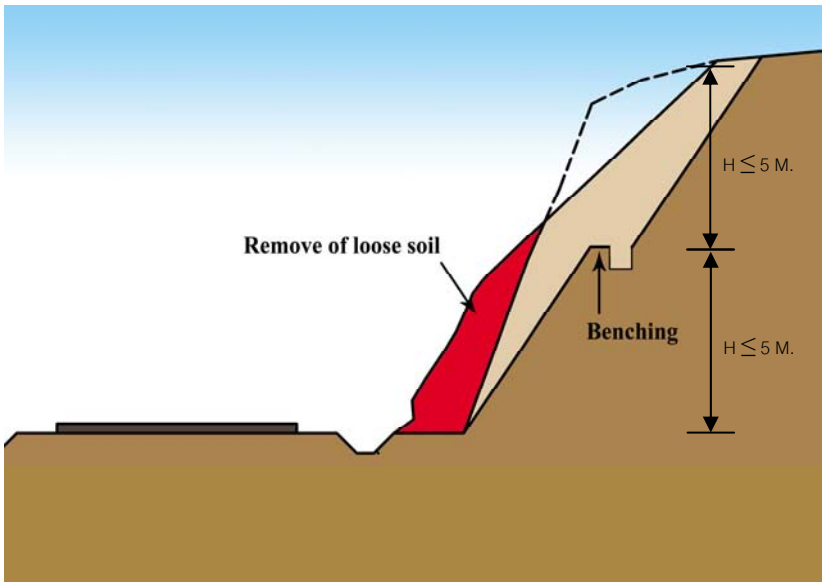

| ชนิด | ความชันสูงสุด V:H |
|---|---|
| เชิงลาดดิน | 1:1 |
| เชิงลาดหิน | 1:0.5 |

**รูปที่** 4.3-21 **รูปแบบการขุดรื้อวัสดุหรือมวลดินที่มีสภาพหลวมออก**

ญ) การขุดตัดลาดเชิงเขาแบบขั้นบันได (Benching)

วิธีการนี้เป็นการเพิ่มเสถียรภาพของเชิงลาดโดยตัดหน้าดินของเชิงลาดให้มีลักษณะเป็นขั้นบันไดหรือการปรับความชันของเชิงลาดดังแสดงใน**รูปที่** 4.3-22 วิธีการนี้มีความเหมาะสมกับเชิงลาดดินที่มีค่าแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) และค่ามุมเสียดทานภายใน (Friction Angle) เช่น ดินเหนียวปนทราย การทำขั้นบันไดยังใช้สำหรับควบคุมการชะล้างพังทลายและเป็นแนวปลูกหญ้า ความสูงของขั้นบันไดโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ที่

ประมาณ 5 -7 เมตร และควรทำระบบระบายน้ำในบนขั้นบันได (Interceptor Ditch) เพื่อควบคุมระบบการไหลของน้ำผิวดินไปสู่จุดทิ้งน้ำที่เหมาะสม



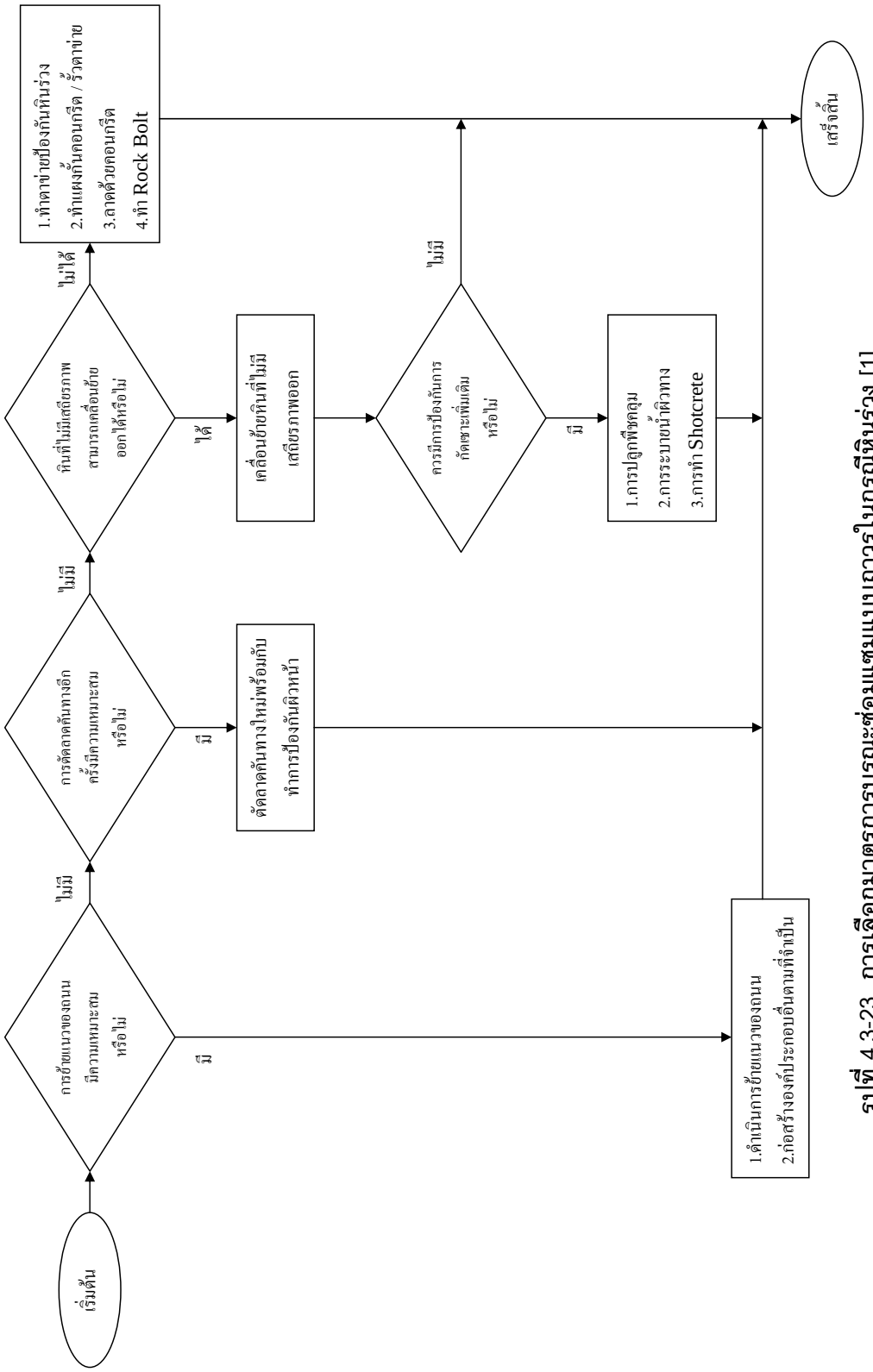

| ชนิด | ความชันสูงสุด V:H |
|---|---|
| เชิงลาดดิน | 1:1 |
| เชิงลาดหินผุ | 1:0.5 |

**รูปที่** 4.3-22 **รูปแบบการขุดตัดลาดเชิงเขาแบบขั้นบันได**

### 4.3.4 หินร่วง

#### 4.3.4.1 หลักเกณฑ์และแนวทางในการแก้ไขปัญหาหินร่วงแบบถาวร

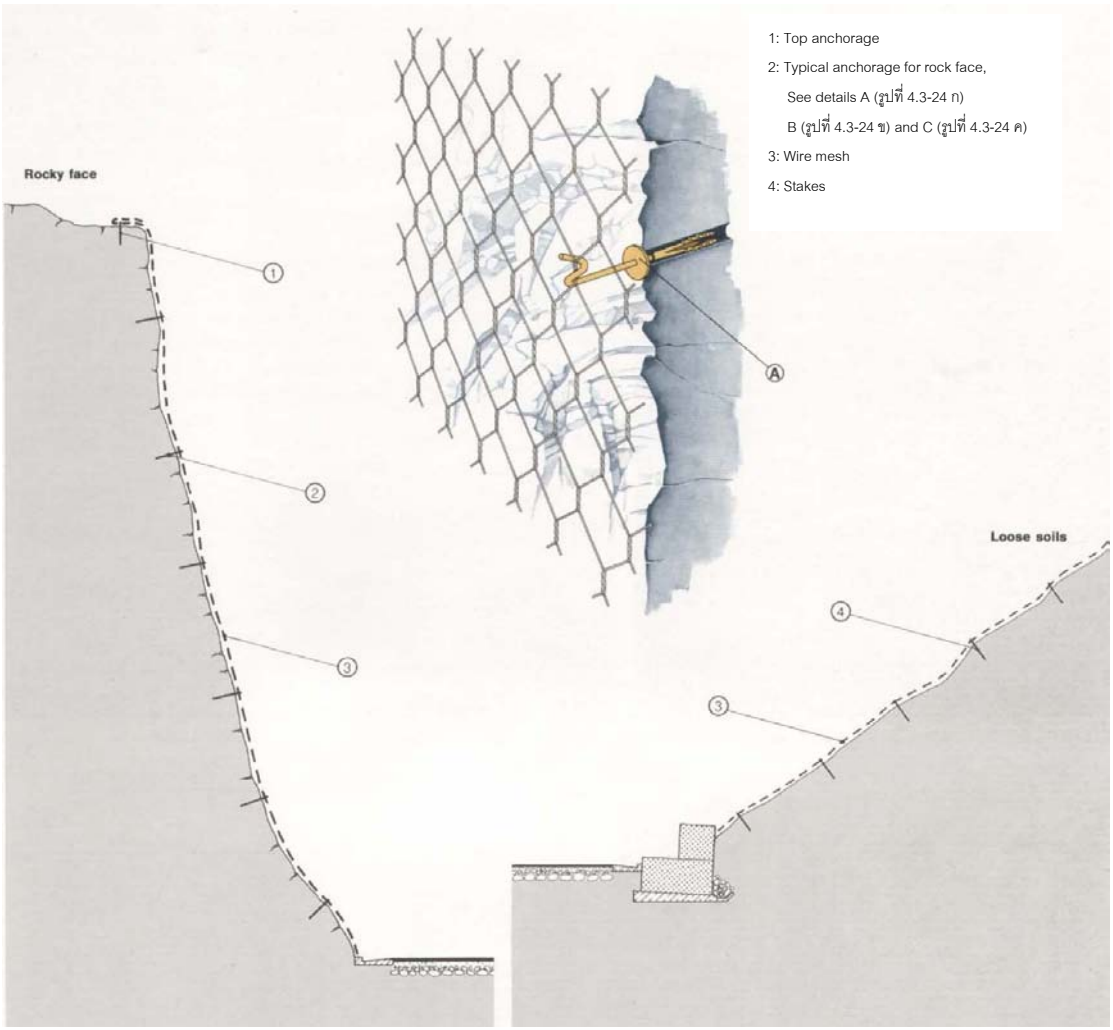
ตามที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.3.4 ในการแก้ไขป้องกันหินร่วงแบบเร่งด่วนและแบบชั่วคราว ประกอบกับเกณฑ์พิจารณาในการตัดสินใจว่า ณ จุดใด สายทางใด ที่ประสบปัญหา เรื่องหินร่วงควรดำเนินการแบบชั่วคราวหรือถาวร โดยหลักการสำคัญของการเลือกแนวทางการแก้ไขปัญหาแบบถาวรเมื่อจุดเสียหายเกิดขึ้นบนเส้นทางที่มีปริมาณการจราจรสูง และเกิดปรากฏการณ์หินร่วงบ่อยครั้งหรือเป็นประจำทุกปีในช่วงหน้าฝน การซ่อมแซมแบบถาวรจึงมีความจำเป็น มาตรการการซ่อมแซมแบบถาวรมีหลายเทคนิควิธี การขยับแนวหรือเปลี่ยนแนวถนนช่วงที่เกิดปัญหาดังกล่าวก็เป็นมาตรการหนึ่ง แต่การขยับแนว เปลี่ยนแนวหรือย้ายแนวถนนเพื่อไม่ให้ผ่านภูมิประเทศที่ทางธรณีวิทยามีโอกาสเกิดหินร่วงได้ง่ายนั้นไม่อาจจะกล่าวได้ว่า มีความเหมาะสมและเป็นไปได้ง่าย เพราะอาจจะมีผลกระทบทางด้านอื่น ๆ นอกเสียจากว่าลักษณะภูมิประเทศอำนวย ขยับแนวหรือย้ายแนวเพียงเล็กน้อยและไม่มีผลกระทบทางด้านอื่น วิธีนี้จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมและถาวร โดยทั่วไปเกณฑ์พิจารณามาตรการปฏิบัติการแสดงไว้ใน**รูปที่** 4.3-23 มาตรการแก้ไขป้องกันแบบถาวรสามารถดำเนินการได้ดังนี้




**รูปที่ 4.3-23 การเลือกมาตรการปรับปรุงและซ่อมแซมแบบถาวรในกรณีหินร่วง [1]**

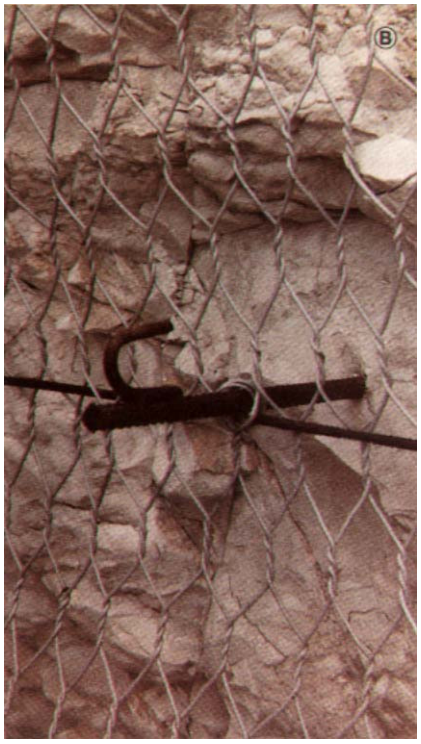
ก) **การใช้ตาข่ายป้องกันหินร่วง** (Rock Fall Netting Protection)

การใช้ตาข่ายป้องกันหินร่วงนับว่าเป็นวิธีการที่ดีและเหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่งสามารถหยุดยั้งการตกของหินลงบนผิวจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากนิยมใช้กันทั่วไปและในทุกลักษณะหรือประเภทของเชิงลาดไม่ว่าจะเป็นเชิงลาดหิน (Rock Slope) หรือเชิงลาดดินปนหินหรือ Loose Soil ตามที่แสดงใน**รูปที่** 4.3-24

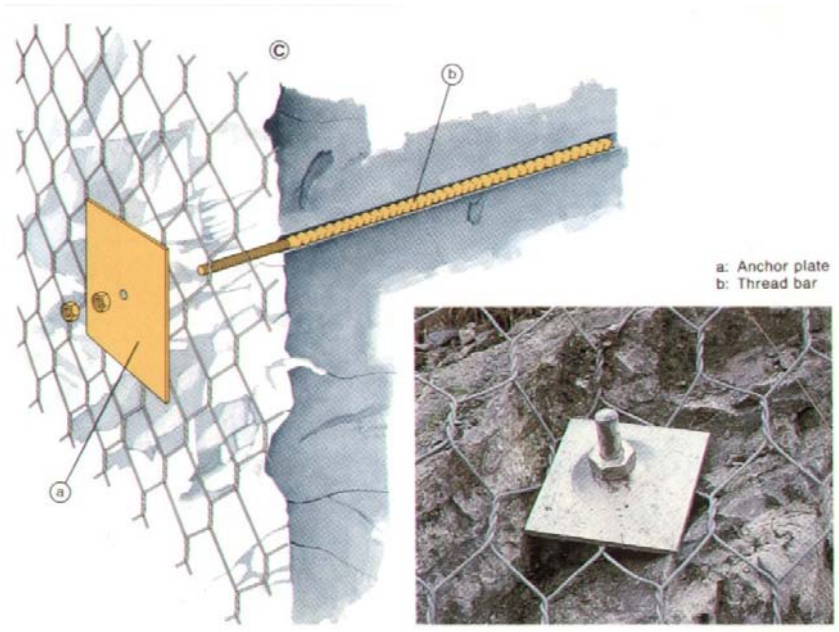



(ก) รูปแบบการใช้งานทั่วไป

**รูปที่** 4.3-24 **แสดงการประยุกต์ใช้ตาข่ายกับหินร่วงกับลักษณะดินประเภทต่าง ๆ** [9]




(ข) Anchorage



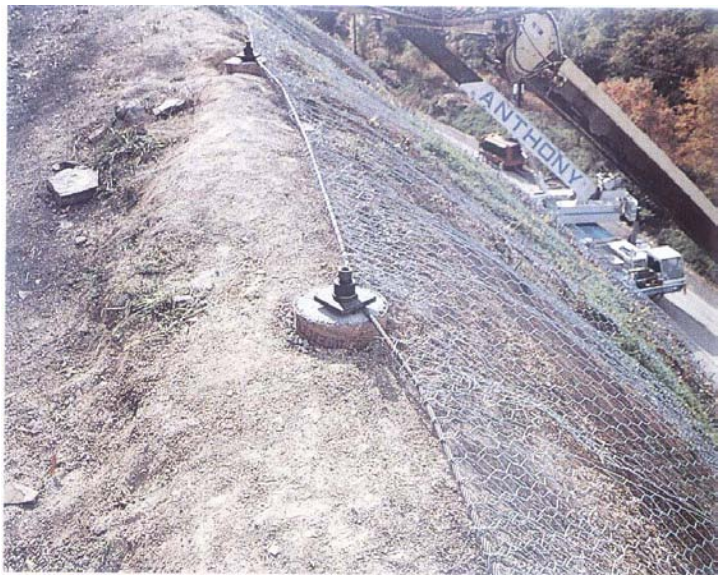

(ค) Anchorage with Plate

**รูปที่ 4.3-24 แสดงการประยุกต์ใช้ตาข่ายกับหินร่วงกับลักษณะดินประเภทต่าง ๆ [9] (ต่อ)**

การก่อสร้าง ติดตั้ง ถูกต้องตามรูปแบบต้องมีการยึดแน่นทั้งสมอยึดบริเวณด้านบน (Top Anchorage) ตามที่แสดงใน**รูปที่** 4.3-25 ตามลักษณะของดินหรือหินบริเวณเชิงลาด ในการออกแบบเพื่อติดตั้งสำหรับบริเวณส่วนล่างของตาข่าย มีการออกแบบอยู่ 2 วิธี คือ แบบ Open End เพื่อให้มีช่องเปิดออกได้ประมาณ 0.30 – 0.60 เมตร พร้อมก่อสร้างรางรับก้อนหินที่ร่วงไถลลงมา โดยมีทรายหรือกรวดขนาดเล็กหรือวัสดุที่สามารถดูดซับพลังงานของการตก และในบางกรณีที่เขตทางจำกัดและเพื่อความปลอดภัย อาจจะก่อสร้างกำแพงเหนือขอบรางเพื่อให้รางรองรับปริมาณหินร่วงได้มากขึ้นตาม**รูปที่** 4.3-26 หรือแบบที่เปิดได้เพื่อจะเอาก้อนหินที่ร่วงหล่นลงมาพร้อมทั้งมีการบำรุงรักษาอย่างถูกต้อง โดยเฉพาะการบำรุงปรกติ(Routine Maintenance) โดยการเอาก้อนหินที่เคลื่อนตัวลงมาอยู่ที่บริเวณปลายของเชิงลาดออกเป็นระยะๆ

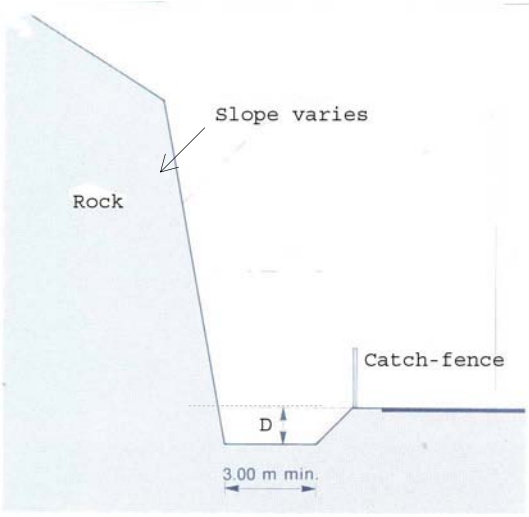
ก) Fissured Hard Rock ข) Compact Rock

**รูปที่** 4.3-25 **แสดงการยึดส่วนบนของตาข่ายตามลักษณะดิน/หินประเภทต่างๆ** [9]

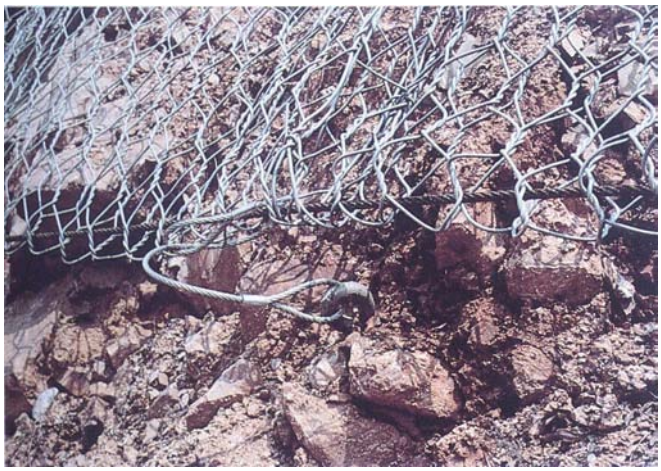



ค) Compact Soil

**รูปที่** 4.3-25 **แสดงการยึดส่วนบนของตาข่ายตามลักษณะดิน/หินประเภทต่าง ๆ** [9] **(ต่อ)**



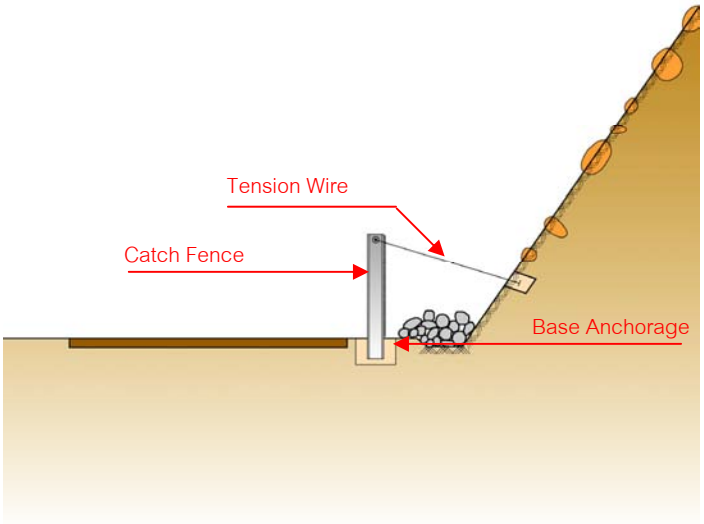

**รูปที่** 4.3-26 **แสดงราง และ**Catch Fence **รับหินร่วง** [9]



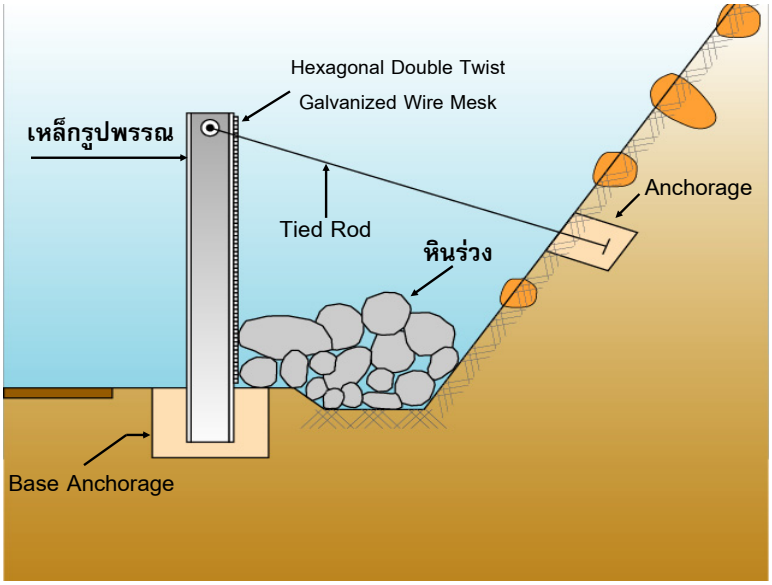
**รูปที่** 4.3-27 **แสดงแบบส่วนล่างของตาข่ายที่เปิดออกได้** [9]

**ข) กำแพงกั้นรั้วป้องกันหินร่วง** (Rock Fall Catch Fence/Rock Fall Barriers)

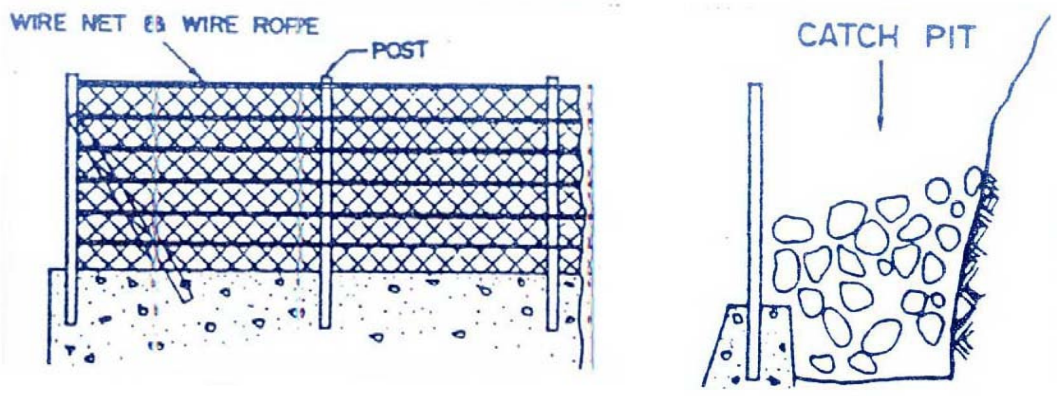
รั้วดักหินร่วงหรือป้องกันหินร่วง โดยทั่วไปจะเป็นลักษณะ Flexible Catch Fence เป็นมาตรการตั้งรับ (Passive Defence measures) โดยใช้ตาข่ายที่เรียกว่า Hexagonal Double twist wire mesh ร่วมกับเสาเหล็ก (Wide Flange Steel Post) และ Tension Wire หรือ Wire Rope เพื่อยึดรั้ง ทั้งระบบสามารถรับแรงกระแทกของมวลหิน และดักมวลหินร่วงไว้ได้ ฐานของเสาเหล็กจะฝังอยู่ในดินหรือฐานคอนกรีต หรือ Concrete Barrier อาจจะมีร่องดักเก็บก้อนหินร่วง (Catch Pit) หรือไม่มีก็ได้ ตามที่แสดงใน**รูปที่** 4.3-28 ถึง **รูปที่** 4.3-35




**รูปที่** 4.3-28 **แสดงระบบตาข่ายป้องกันหินร่วง**

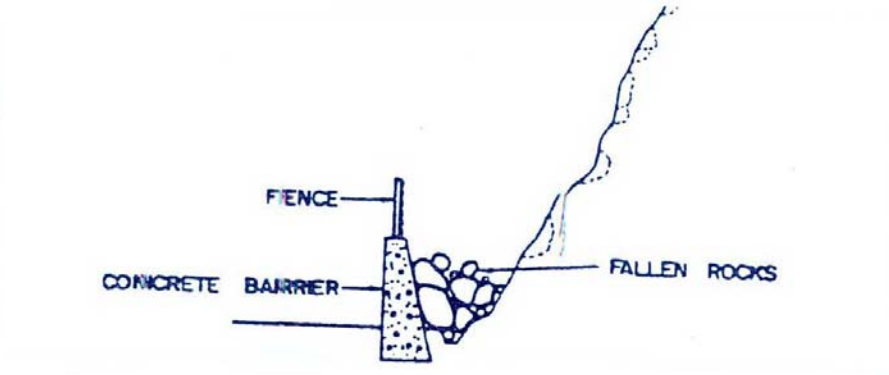



รูปที่ 4.3-29 แสดงระบบตาข่ายป้องกันหินร่วง

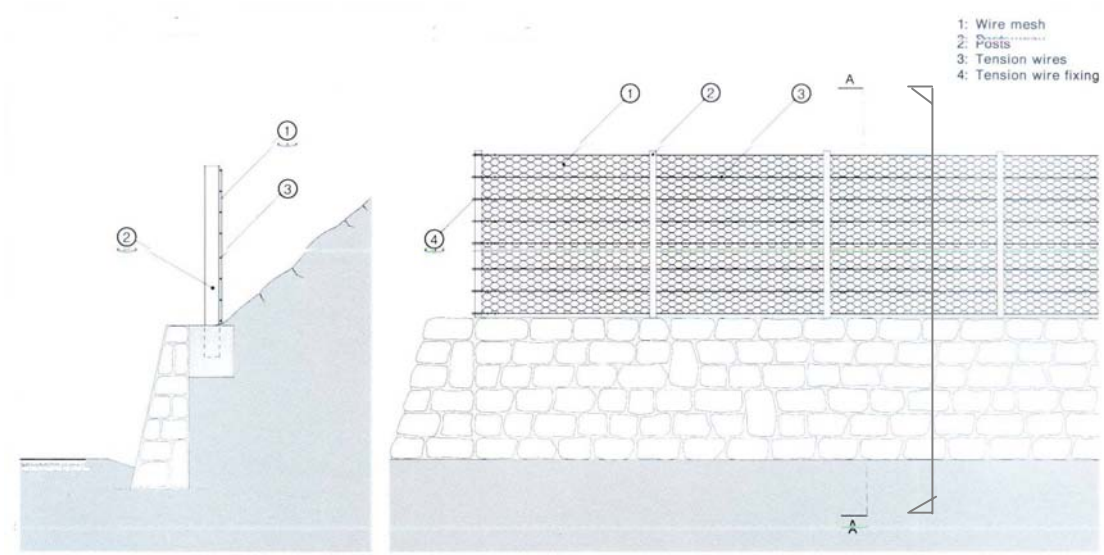



(ก) Front View (ข) Section

รูปที่ 4.3-30 แสดง Rock Fall Catch Fence ที่มี Catch Pit [1]




**รูปที่** 4.3-31 **แสดง** Rock Fall Catch Fence **ที่ก่อสร้างบน** Concrete Barrier [1]




(ก) Section A-A (ข) Elevation

**รูปที่** 4.3-32 **แสดงรายละเอียด** Rock Fall Catch Fence **ก่อสร้างหลังแนวกำแพง** [10]

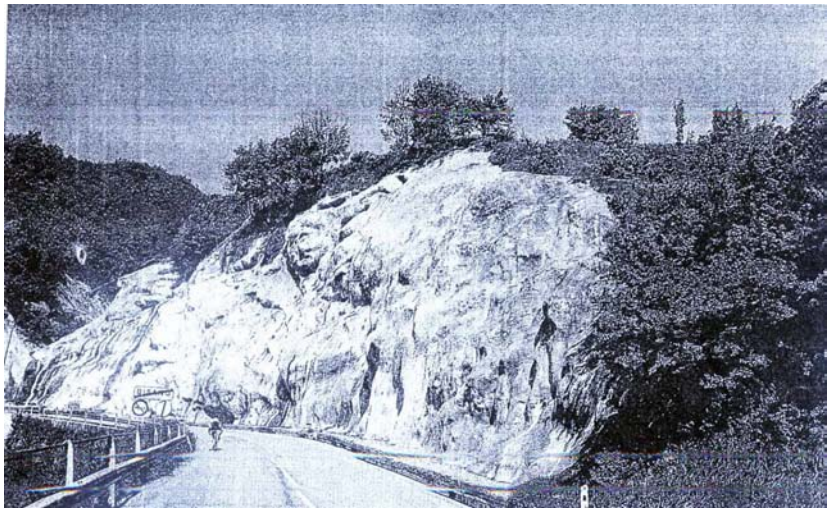
รูปที่ 4.3-33 แสดง Rock Fall Catch Fence ที่วางบน Concrete Barrier [10]

รูปที่ 4.3-34 แสดงรายละเอียด Rock Fall Catch Fence ประกอบด้วย Steel Post, Netting และ Tension wire [9]

รูปที่ 4.3-35 แสดงระบบตาข่ายป้องกันหินร่วงสำหรับช่วงที่มีเขตทางแคบ [9]

**ค) การทำ Sprayed Concrete หรือ Shortcrete**

การฉีดพ่นคอนกรีต (Sprayed Concrete หรือ Shotcrete) บนเชิงลาดหินที่มีแนวโน้มหรือลักษณะของความไม่เสถียรภาพ ที่ก้อนหินมีโอกาสร่วงหล่นลงมาได้ เป็นเทคนิควิธีการแก้ไขแบบถาวรอีกวิธีหนึ่ง โดยการฉีดพ่นคอนกรีตหนาประมาณ 15 เซนติเมตร และใช้ Wire Mesh เป็น Reinforcement ตามที่แสดงใน**รูปที่** 4.3-36



**(ก)**

**(ข)**

**รูปที่** 4.3-36 **แสดง** Sprayed Concrete **หรือ** Shotcrete **บนเชิงลาดหิน หินปนดิน เพื่อป้องกันหินร่วง** [9] **(ต่อ)**

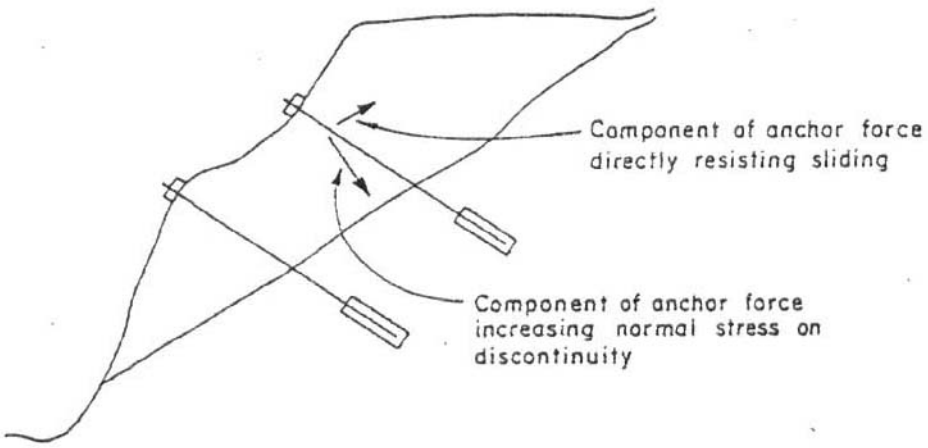
**(ค)**

**รูปที่** 4.3-36 **แสดง** Sprayed Concrete **หรือ** Shotcrete **บนเชิงลาดหิน หินปนดินเพื่อป้องกันหินร่วง** [9] **(ต่อ)**

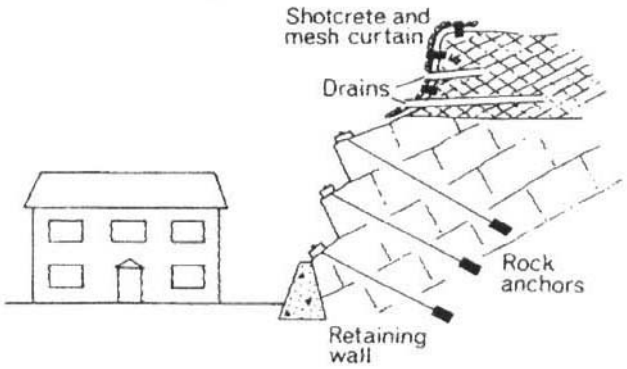
**ง) แบบใช้เหล็กเย็บหรือสมอยึด** (Rock Bolt **หรือ** Rock Anchor)

การใช้เหล็กเย็บ (Rock Bolt) หรือเหล็กสมอยึด (Rock Anchor) จะสามารถเพิ่มเสถียรภาพลาดเขาหินได้อย่างดียิ่ง แต่ราคาจะสูง โดยเฉพาะกรณีที่ใช้ Rock Anchor ขนาดยาว 40 – 50 เมตร เพิ่มเสถียรภาพให้กับลาดเขาขนาดใหญ่ที่มีแนวเลื่อนอยู่ลึก

Rock Bolt ซึ่งอาจทำด้วยเหล็กข้ออ้อย มักจะมีความยาวไม่เกิน 6 – 8 เมตร และมีกำลังรับแรงดึงประมาณ 5 – 10 ตัน ส่วน Rock Anchor ซึ่งมีลักษณะเป็นสายเคเบิลเหล็กจะมีความยาวได้เกินกว่า 50 เมตร และมีกำลังเส้นละถึง 100 ตัน หลักการที่สำคัญของวิธีการนี้คือ เหล็กเย็บหรือเหล็กสมอยึดดังกล่าวจะต้องติดตั้งให้มีความยาวพอที่จะฝังยึดข้ามแนวรอยเลื่อน เพื่อฝังยึดในหินด้านใต้หินส่วนที่จะเลื่อนตัว แรงดึงที่เกิดขึ้นตามแนวเหล็กสมอจะช่วยเพิ่มแรงต้านทานการเลื่อนตัวและเพิ่มกำลังให้กับแนวรอยเลื่อน ตามที่แสดงใน**รูปที่** 4.3-37 **และ** 4.3-38




**รูปที่** 4.3-37 **การรับแรงของเหล็กเย็บหรือสมอยึดในงานลาดเขาหิน** [10]




**รูปที่** 4.3-38 **แสดงการปรับปรุงเสถียรภาพของลาดเขาหินด้วย** Rock Anchor [10]

**จ) แบบหลังคาคลุมภาพ** (Rock Shed)

เป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาหินร่วง โดยก่อสร้างเป็นแบบหลังคาเอียง (Roof) เพื่อให้หินที่ร่วงลงมาบนหลังคาเอียงไหลข้ามถนนไป แต่การแก้ปัญหาโดยวิธีนี้จะสิ้นเปลืองมากเกินไป

**ฉ) อุโมงค์** (Tunnel)

เป็นการเจาะอุโมงค์ลอดบริเวณที่มีหินร่วงค่อนข้างมากและรุนแรง การแก้ปัญหาโดยวิธีนี้จะเป็นการแก้ปัญหาแบบถาวรที่สุด แต่ราคาแพงมากเช่นเดียวกัน จะใช้วิธีการแบบนี้ได้เฉพาะในบางกรณีบางที่ที่มีความจำเป็นเท่านั้น

## 4.4 สรุปรูปแบบและข้อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวร

เพื่อให้การแก้ไขปัญหาเชิงลาดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมตามประเภทความเสียหายที่เกิดขึ้น ในที่นี้จึงได้ทำการสรุปข้อพิจารณาการเลือกใช้วิธีการแก้ไขปัญหาเชิงลาดต่าง ๆ ไว้ดังแสดงใน**ตารางที่** 4.4-1 **ถึง** 4.4-4

**ตารางที่ 4.3-1 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Gabion และ Mattress | หินเรียงยาแนว/หินทิ้ง | คอนกรีตดาด |
| ขั้นตอนการออกแบบ | ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ | ต้องการ | ไม่ต้องการ | |
| | ความต้องการโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ | ต้องการ | ไม่ต้องการ | |
| | รายละเอียดของแบบก่อสร้าง | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุเป็นจำนวนมาก | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุน้อย | |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง | ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมงาน | ต้องการ | ไม่ต้องการ | |
| | การประยุกต์ใช้วัสดุท้องถิ่น | สามารถใช้หินแม่น้ำในบริเวณพื้นที่ได้ | สามารถใช้หินแม่น้ำในบริเวณพื้นที่ได้ | วัสดุผสมคอนกรีตมีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป |
| | ความซับซ้อนด้านการก่อสร้าง | ซับซ้อน | ไม่ซับซ้อน | ไม่ซับซ้อน |
| | ความต้องการเครื่องจักรช่วยในการก่อสร้าง | อาจไม่มีความจำเป็นเนื่องจากการเรียงหินต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก | ต้องการในขั้นตอนการเรียงหินและเทปูนทราย (Mortar) | ต้องการในขั้นตอนการผสมและเทคอนกรีต |
| | การทดสอบวัสดุก่อสร้างก่อนนำไปใช้งาน | จำเป็น | ไม่จำเป็น | |

**ตารางที่ 4.3-1 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Gabion และ Mattress | หินเรียงยาแนว/หินทิ้ง | คอนกรีตดาด |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง (ต่อ) | ความปราณีต | จำเป็นและมีผลต่อความมั่นคงและสวยงามของโครงสร้างมาก | ใช้มาตรฐานและข้อกำหนดทั่วไป | |
| | ระยะเวลาก่อสร้าง | ใช้เวลาก่อสร้างนาน | ก่อสร้างได้รวดเร็ว | |
| | ราคาค่าก่อสร้าง | แปรผันไปตามแหล่งวัสดุและค่าขนส่งในแต่ละพื้นที่ | แปรผันไปตามแหล่งวัสดุและค่าขนส่งในแต่ละพื้นที่ | ถูกเนื่องจากวัสดุหาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีจำหน่ายทั่วไป |
| ผู้รับจ้าง | - | มีน้อยราย | หาได้ทั่วไป | |
| การบำรุงรักษา | ความถี่ในการบำรุงรักษา | น้อย | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | |
| | งบประมาณในการบำรุงรักษา | น้อย | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | |
| คุณสมบัติของโครงสร้างเชิงวิศวกรรม | ความสามารถในการระบายน้ำ | สามารถระบายน้ำได้ดี | สามารถระบายน้ำได้โดยใช้ Weep Hole แต่มักมีปัญหาการอุดตันภายหลัง | |
| | ความยืดหยุ่นของโครงสร้าง | สูงจึงไม่มีปัญหาด้านการแตกร้าวของโครงสร้าง | ต่ำจึงมีปัญหาด้านการแตกร้าวเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง | |

**ตารางที่ 4.3-1 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Gabion และ Mattress | หินเรียงยาแนว/หินทิ้ง | คอนกรีตดาด |
| ความเหมาะสมต่อสภาพดิน/ธรณีวิทยา | - | ใช้ได้กับฐานรากทั้งดินแข็งและดินอ่อน | ใช้ได้กับฐานรากดินแข็งและอาจนำมาใช้ได้ในดินอ่อน | ใช้ได้กับฐานรากทั้งดินแข็งและดินอ่อน |
| สิ่งแวดล้อม | ความสวยงาม | สวยงาม | | ไม่สวยงาม |
| | ความกลมกลืนกับสภาพธรรมชาติ | กลมกลืนเนื่องจากโครงสร้างยอมให้พืชเจริญเติบผ่านโครงสร้างได้ | ไม่กลมกลืน | |
| | มลภาวะที่เกิดขึ้นในขณะดำเนินการก่อสร้าง | น้อย | มีฝุ่นและควันจำนวนมากขณะก่อสร้าง | |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ | ความสูง | $\leq$ 6 เมตร [3] | $\leq$ 5 เมตร **[1]** | - |
| | ความลาดชัน (อัตราส่วนแนวราบต่อแนวดิ่ง) | $\leq$ 1:6 | - | $\leq$ 10 : **1 [1]** |
| ความแพร่หลาย | - | มีการนำมาประยุกต์ใช้มากขึ้นตามลำดับ | แพร่หลาย | |

**ตารางที่ 4.3-1 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Gabion และ Mattress | หินเรียงยาแนว/หินทิ้ง | คอนกรีตดาด |
| ข้อเสนอแนะ | - | - ควรหาแหล่งวัสดุที่ใกล้กับสถานที่ก่อสร้างเพื่อลดค่าขนส่ง เช่น การใช้หินในลำน้ำเป็นต้น<br>- ควรให้ความสำคัญเกี่ยวกับลำดับขั้นตอนในการก่อสร้าง โดยเฉพาะช่วงการเรียงหินซึ่งหากมีการควบคุมงานไม่รอบคอบจะส่งผลให้กล่อง Gabion บวมตัว ขาดความสวยงาม และมีผลต่อการรับน้ำหนักกล่อง Gabion ในชั้นที่สูงกว่า | - สามารถประยุกต์ใช้กรวดแม่น้ำในพื้นที่เสียหายมาใช้ในการก่อสร้างได้<br>- บริเวณส่วนปลายของโครงสร้างควรทำการทิ้งหินให้มีระยะเกินกว่าปลายเชิงลาดเพื่อป้องกันกระแสน้ำกัดเซาะซึ่งอาจส่งผลให้โครงสร้างเกิดความเสียหาย | - เพื่อแก้ปัญหาการแตกร้าวที่เกิดจากอุณหภูมิอาจเสริมเหล็กภายในผิวคอนกรีตดาดได้<br>- เพื่อแก้ปัญหาการทรุดตัวของดินฐานรากเนื่องจากการกัดเซาะของกระแสน้ำควรทำการทิ้งหินให้มีระยะเกินกว่าปลายเชิงลาดเพื่อป้องกันกระแสน้ำกัดเซาะหรือออกแบบส่วนปลายโครงสร้างเป็นเสาเข็มสั้นรองรับแผ่นคอนกรีตดาด |

**ตารางที่ 4.3-2 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | |
|---|---|---|---|
| | | ปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาด | คอนกรีตดาด |
| ขั้นตอนการออกแบบ | ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ | ต้องการผู้เชี่ยวชาญด้านพันธุ์พืช | ไม่ต้องการ |
| | ความต้องการโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ | ไม่ต้องการ | |
| | รายละเอียดของแบบก่อสร้าง | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุน้อย | |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง | ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมงาน | ไม่ต้องการ | ต้องการ |
| | การประยุกต์ใช้วัสดุท้องถิ่น | สามารถประยุกต์ใช้พืชในท้องถิ่นมาใช้ในบริเวณเชิงลาดได้ | วัสดุผสมคอนกรีตมีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป |
| | ความซับซ้อนด้านการก่อสร้าง | ไม่ซับซ้อน | ไม่ซับซ้อน |
| | ความต้องการเครื่องจักรช่วยในการก่อสร้าง | จำเป็นในกรณีใช้วิธีการปลูกแบบ Hydroseeding แต่หากเป็นวิธีการปลูกแบบขุดหลุมอาจต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก | ต้องการในขั้นตอนการผสมและเทคอนกรีต |
| | การทดสอบวัสดุก่อสร้างก่อนนำไปใช้งาน | ไม่จำเป็น | จำเป็น |

**ตารางที่ 4.3-2 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | |
|---|---|---|---|
| | | ปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาด | คอนกรีตดาด |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง (ต่อ) | ความปราณีต | จำเป็นและมีผลต่อความสวยงามของเชิงลาด | ใช้มาตรฐานและข้อกำหนดทั่วไป |
| | ระยะเวลาก่อสร้าง | ใช้เวลานานอีกทั้งยังต้องรอจนกว่าพืชจะเจริญเติบโตจนป้องกันการชะล้างพังทลายได้ | ก่อสร้างได้รวดเร็ว |
| | ราคาค่าก่อสร้าง | ถูกเนื่องจากพืชที่ใช้เป็นชนิดที่มีอยู่ในท้องถิ่น | ถูกเนื่องจากวัสดุหาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีจำหน่ายทั่วไป |
| ผู้รับจ้าง | - | มีน้อยราย | |
| การบำรุงรักษา | ความถี่ในการบำรุงรักษา | ขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตและความสามารถในการยืนต้นได้เองของพืช | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย |
| | งบประมาณในการบำรุงรักษา | น้อย | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย |
| คุณสมบัติของโครงสร้างเชิงวิศวกรรม | ความสามารถในการระบายน้ำ | สามารถระบายน้ำได้โดยใช้ระบบรางระบายน้ำผิวดินส่วนพืชคลุมดินจะช่วยป้องกันการกัดเซาะและชะลอความเร็วของกระแสน้ำ | สามารถระบายน้ำได้โดยใช้ระบบรางระบายน้ำผิวดิน |
| | ความยืดหยุ่นของโครงสร้าง | - | ต่ำจึงมีปัญหาด้านการแตกร้าวเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง |

**ตารางที่ 4.3-2 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | |
|---|---|---|---|
| | | ปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาด | คอนกรีตดาด |
| ความเหมาะสมต่อสภาพดิน/ธรณีวิทยา | - | ใช้ได้กับลาดคันทางและไม่เหมาะสมในกรณีใช้กับลาดเหนือคันทางที่เป็นหิน | แนะนำให้ใช้ในดิน/หินแข็งและไม่แนะนำให้ใช้ในดินอ่อน |
| สิ่งแวดล้อม | ความสวยงาม | สวยงามและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม | ไม่สวยงาม |
| | ความกลมกลืนกับสภาพธรรมชาติ | กลมกลืน | ไม่กลมกลืน |
| | มลภาวะที่เกิดขึ้นในขณะดำเนินการก่อสร้าง | น้อย | มีฝุ่นและควันจำนวนมากขณะก่อสร้าง อีกทั้งยังสร้างมลภาวะทางเสียง |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ | ความสูง | ไม่เหมาะกับพื้นที่สูงชันมาก | - |
| | ความลาดชัน (อัตราส่วนแนวราบต่อแนวดิ่ง) | ไม่เหมาะกับพื้นที่สูงชันมาก | $\leq 10:1$ |
| ความแพร่หลาย | - | แพร่หลาย | แพร่หลาย |

**ตารางที่** 4.3-2 **ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดินและน้ำท่วมทาง (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | |
|---|---|---|---|
| | | ปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาด | คอนกรีตดาด |
| ข้อเสนอแนะ | - | การปลูกพืชคลุมดินจำเป็นต้องปลูกในช่วงฤดูฝน เพื่อช่วยให้พืชเจริญเติบโตและยืนต้นได้เอง เพราะการรดน้ำให้พืชคลุมดินในบริเวณเชิงลาดทั้งหมดจะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก | - เพื่อแก้ปัญหาการแตกร้าวที่เกิดจากอุณหภูมิอาจเสริมเหล็กภายในผิวคอนกรีตดาดได้<br>- เพื่อแก้ปัญหาการทรุดตัวของดินฐานราก เนื่องจากการกัดเซาะของกระแสน้ำควรทำการทิ้งหินให้มีระยะเกินกว่าปลายเชิงลาดเพื่อป้องกันกระแสน้ำกัดเซาะหรือออกแบบส่วนปลายโครงสร้างเป็นเสาเข็มสั้นรองรับแผ่นคอนกรีตดาด |

**ตารางที่ 4.3-3 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ขั้นตอนการออกแบบ | ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ | ไม่ต้องการ | ต้องการ | | | | | | | | |
| | ความต้องการโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ | ไม่ต้องการ | | ต้องการ | | | | | | | |
| | รายละเอียดของแบบก่อสร้าง | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุน้อย | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุเป็น จำนวนมาก | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุน้อย | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุเป็นจำนวนมาก | | | | | | |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง | ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมงาน | ไม่ต้องการ | ต้องการ | ไม่ต้องการ | ต้องการ | | | | | | |
| | การประยุกต์ใช้วัสดุท้องถิ่น | วัสดุผสมคอนกรีตมีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | วัสดุผสมคอนกรีตท่อพีวีซี และแผ่นใยสังเคราะห์ มีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | สามารถใช้ดินในท้องถิ่นมาก่อสร้างได้ | วัสดุผสมคอนกรีตมีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | สามารถใช้หินแม่น้ำในบริเวณพื้นที่ได้ | สามารถสั่งซื้อโดยตรงจากผู้ผลิต | วัสดุผสมคอนกรีตเหล็กเสริม และวัสดุ Grout มีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | - | - | - |
| | ความซับซ้อนด้านการก่อสร้าง | ไม่ซับซ้อน | | ไม่ซับซ้อน | | ซับซ้อน | | | ไม่ซับซ้อน | | |
| | ความต้องการเครื่องจักรช่วยในการก่อสร้าง | ต้องการในขั้นตอนการผสมและเทคอนกรีต | ต้องการในขั้นตอนการเจาะรูท่อระบายน้ำใต้ดิน | ต้องการในขั้นตอนการถมและบดอัด | ต้องการในขั้นตอนการผสมและเทคอนกรีต | อาจไม่มีความจำเป็นเนื่องจากการเรียงหินต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก | ต้องการในขั้นตอนการถมและบดอัด | ต้องการในขั้นตอนการเจาะรูและ Grout | ต้องการในขั้นตอนการขุดและ ขนย้ายวัสดุ | | |
| | การทดสอบวัสดุก่อสร้างก่อนนำไปใช้งาน | จำเป็น | ไม่จำเป็น | จำเป็น | | | ไม่จำเป็น | | | | |

รูปแบบการแก้ไข (1) ระบบระบายน้ำบนเชิงลาด 2) ระบบระบายน้ำใต้ดิน 3) ก่อสร้างคันดิน/หิน บริเวณปลายของเชิงลาด 4) กำแพงกันดินคอนกรีต 5) Gabion Wall 6) วัสดุเสริมแรงในมวลดิน 7) Soil Nailing 8) ขุดรื้อวัสดุหรือมวลดินที่มีสภาพหลวมออก 9) ปรับความลาดชันให้ลดลง 10) ขุดตัดลาดเชิงเขาแบบขั้นบันได (Benching))

**ตารางที่ 4.3-3 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง (ต่อ) | ความปราณีต | ใช้มาตรฐานและข้อกำหนดทั่วไป | | | | จำเป็นและมีผลต่อความมั่นคงและสวยงามของโครงสร้างมาก | | | ใช้มาตรฐานและข้อกำหนดทั่วไป | | |
| | ระยะเวลาก่อสร้าง | ก่อสร้างได้รวดเร็ว | ใช้เวลาก่อสร้างนาน | ก่อสร้างได้รวดเร็ว | ใช้เวลาก่อสร้างนาน | ใช้เวลาก่อสร้างนาน | | | ก่อสร้างได้รวดเร็ว | | |
| | ราคาค่าก่อสร้าง | ถูกเนื่องจากวัสดุหาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีจำหน่ายทั่วไป | | | | แปรผันไปตามแหล่งวัสดุและค่าขนส่งใน แต่ละพื้นที่ | | | - | - | - |
| ผู้รับจ้าง | - | หาได้ทั่วไป | มีน้อยราย | หาได้ทั่วไป | | มีน้อยราย | | | หาได้ทั่วไป | | |
| การบำรุงรักษา | ความถี่ในการบำรุงรักษา | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | ต้องดูแลอย่างสม่ำเสมอ | น้อย | ต้องดูแลอย่างสม่ำเสมอ | น้อย | | | น้อย | | |
| | งบประมาณในการบำรุงรักษา | น้อย | | | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | | | | น้อย | | |
| คุณสมบัติของโครงสร้างเชิงวิศวกรรม | ความสามารถในการระบายน้ำ | ระบายน้ำได้ดี | ระบายน้ำได้ดีแต่มักมีปัญหาการอุดตันภายหลัง | - | สามารถระบายน้ำได้โดยใช้ Weep Hole แต่มักมีปัญหาการอุดตันภายหลัง | สามารถระบายน้ำได้ดี | สามารถระบายน้ำได้ดี | - | | | |
| | ความยืดหยุ่นของโครงสร้าง | ต่ำจึงมีปัญหาด้านการแตกร้าวเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง | - | | ต่ำจึงมีปัญหาด้านการแตกร้าวเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง | สูงจึงไม่มีปัญหาด้านการแตกร้าวของโครงสร้าง | | - | | | |

รูปแบบการแก้ไข (1) ระบบระบายน้ำบนเชิงลาด 2) ระบบระบายน้ำใต้ดิน 3) ก่อสร้างคันดิน/หิน บริเวณปลายของเชิงลาด 4) กำแพงกันดินคอนกรีต 5) Gabion Wall 6) วัสดุเสริมแรงในมวลดิน 7) Soil Nailing 8) ขุดรื้อวัสดุหรือมวลดินที่มีสภาพหลวมออก 9) ปรับความลาดชันให้ลดลง 10) ขุดตัดลาดเชิงเขาแบบขั้นบันได (Benching))

**ตารางที่ 4.3-3 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ความเหมาะสมต่อสภาพดิน/ธรณีวิทยา | - | ใช้ได้กับฐานรากทั้งดินแข็งและดินอ่อน | | แนะนำให้ใช้ในดิน/หินแข็งและไม่แนะนำให้ใช้ในดินอ่อน | | ใช้ได้กับฐานรากทั้งดินแข็งและดินอ่อน | | ใช้ได้กับทุกกรณี | | | |
| สิ่งแวดล้อม | ความสวยงาม | สวยงาม | - | | ไม่สวยงาม | สวยงามและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาก | | สวยงามและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกรณี Facing ปลูกหญ้า | - | | |
| | ความกลมกลืนกับสภาพธรรมชาติ | ไม่กลมกลืน | กลมกลืน | - | | กลมกลืน | | กลมกลืนกรณี Facing ปลูกหญ้า | - | | |
| | มลภาวะที่เกิดขึ้นในขณะดำเนินการก่อสร้าง | มีฝุ่นและควันจำนวนมากขณะก่อสร้าง | น้อย | มีฝุ่นและควันจำนวนมากขณะก่อสร้าง | | น้อย | มีฝุ่นและควันจำนวนมากขณะก่อสร้าง | | | | |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ | ความสูง | ในกรณีลาดเหนือคันทางมีความลาดชันมาก การก่อสร้างอาจทำได้ยากและไม่มีประสิทธิภาพในการระบายน้ำ เนื่องจากความชันทำให้กระแสน้ำไหลเร็วจนเกิดภาวะน้ำล้นออกจากรางระบายน้ำได้รวมถึงอาจทำระบบสลายพลังงาน เช่น Stepped Drain Chute | - | | ≤ 3.0-3.5 เมตร | ≤ 5 เมตร [1] | ≤ 5 เมตร [1] | - | | | ≤ 5.0 – 7.0 เมตร |
| | ความลาดชัน (อัตราส่วนแนวราบต่อแนวดิ่ง) | - | | ≤ 2-3: 1 | | - | | | ดิน 1:1 หิน 1:0.5 | - | ดิน 1:1 หิน 1:0.5 |

รูปแบบการแก้ไข (1) ระบบระบายน้ำบนเชิงลาด 2) ระบบระบายน้ำใต้ดิน 3) ก่อสร้างคันดิน/หิน บริเวณปลายของเชิงลาด 4) กำแพงกันดินคอนกรีต 5) Gabion Wall 6) วัสดุเสริมแรงในมวลดิน 7) Soil Nailing 8) ขุดรื้อวัสดุหรือมวลดินที่มีสภาพหลวมออก 9) ปรับความลาดชันให้ลดลง 10) ขุดตัดลาดเชิงเขาแบบขั้นบันได (Benching))

**ตารางที่ 4.3-3 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ (ต่อ) | อื่น ๆ | - | - ท่อระบายน้ำใต้ดิน ต้องทราบระดับน้ำใต้ดินที่แน่นอนเพื่อให้การติดตั้งท่อสามารถนำน้ำออกจากเชิงลาดได้อย่างมีประสิทธิผล<br>- Subdrain ไม่ควรมีความลึกมากกว่า 3 เมตร [3] ซึ่งอาจเป็นระดับความลึกที่น้อยเกินไปและไม่สามารถป้องกันการไหลซึมของน้ำใต้ดินเข้าสู่ภายในเชิงลาดได้<br>- Vertical Well Drain จำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำในการลดระดับน้ำใต้ดินซึ่งเป็นการสิ้นเปลือง<br>1) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Well ควรอยู่ในช่วง 0.15 - 0.30 เมตร<br>2) Vertical Well ควรมีระยะห่างประมาณ 6 - 9 เมตร<br>3) วัสดุภายในควรเป็น กรวด หรือหิน โดยปราศจากมวลละเอียด | ไม่เหมาะกับทางหลวงที่มีเขตทางแคบ | โครงสร้างต้องมีน้ำหนักเพียงพอเพื่อต้านทานการเคลื่อนตัวของเชิงลาด | - | - มีการยึดตัวสูงคันทางอาจเกิดการเคลื่อนตัวและทรุดตัวได้<br>- ดินที่ใช้ในส่วนที่มีการเสริมแรงต้องเป็นดินที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมดีเพื่อให้การถ่ายแรงระหว่างวัสดุเสริมแรงกับดินถมเกิดขึ้นอย่างเต็มประสิทธิภาพ | บริเวณที่มีความชื้นสูงอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ง่าย | - ความสูงในการแก้ไขปัญหาแปรผันไปตามเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้<br>- งานขุดรื้อต้องทำด้วยความระมัดระวังอีกทั้งต้องทราบข้อมูลดินและหินบริเวณเชิงลาดอย่างถูกต้อง | ดินที่ถมกลับต้องมีการบดอัดให้ได้ตามมาตรฐาน | ขั้นตอนการบดอัดดินต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวัง |

รูปแบบการแก้ไข (1) ระบบระบายน้ำบนเชิงลาด 2) ระบบระบายน้ำใต้ดิน 3) ก่อสร้างคันดิน/หิน บริเวณปลายของเชิงลาด 4) กำแพงกันดินคอนกรีต 5) Gabion Wall 6) วัสดุเสริมแรงในมวลดิน 7) Soil Nailing 8) ขุดรื้อวัสดุหรือมวลดินที่มีสภาพหลวมออก 9) ปรับความลาดชันให้ลดลง 10) ขุดตัดลาดเชิงเขาแบบขั้นบันได (Benching))

**ตารางที่ 4.3-3 ข้อพิจารณาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาเชิงลาดประเภทการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือ การขาดเสถียรภาพของเชิงลาด (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ความแพร่หลาย | - | แพร่หลาย | | | | มีการนำมาประยุกต์ใช้มากขึ้นตามลำดับ | | | แพร่หลาย | | |
| ข้อเสนอแนะ | - | - ควรออกแบบขนาดรางระบายน้ำให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำที่ไหลบ่าเข้ามาในบริเวณเชิงลาดโดยศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ตกจากหน่วยงานอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่รับผิดชอบ<br>- ควรพิจารณาหรือทดลองใช้วัสดุสมัยใหม่ เช่น วัสดุประเภท HDPE ซึ่งมียืดหยุ่นตัวสูง มาใช้แทนระบบระบายน้ำคอนกรีตเพื่อแก้ปัญหาความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวของดิน | - ควรพิจารณาหรือทดลองใช้วัสดุสมัยใหม่ เช่น การประยุกต์ใช้วัสดุประเภท HDPE ซึ่งมีความเหนียวและยืดหยุ่นตัวสูง หรือวัสดุประเภทGeocomposite ซึ่งมีคุณสมบัติในการระบายน้ำและวัสดุกรองมาใช้แทนระบบระบายน้ำใต้ดินที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน | - ปริมาตรของมวลดิน/หิน สำหรับใช้ในการก่อสร้างควรมีค่าระหว่าง 1/4 – 1/2 เท่าของมวลดินบนเชิงลาดที่ได้รับความเสียหาย<br>- ในกรณีถมคันดิน/หิน บนชั้นดินฐานรากที่เป็นดินอ่อนต้องใช้วัสดุเสริมแรงชนิดกำลังสูง (High-Strength) ปูรองดินฐานรากก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้างเพื่อลดการทรุดหรือเคลื่อนตัว | - ควรออกแบบฐานรากเป็นแบบเสาเข็มในกรณีชั้นดินฐานรากเป็นดินอ่อน<br>- ควรให้ความสำคัญ กับระบบระบายน้ำหลังกำแพงซึ่งมักพบว่า Weep Hole มักมีการอุดตันเมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง | - ควรหาแหล่งวัสดุที่ใกล้กับสถานที่ก่อสร้างเพื่อลดค่าขนส่ง เช่น การใช้หินในลำน้ำ เป็นต้น<br>- ควรให้ความสำคัญเกี่ยวกับลำดับขั้นตอนในการก่อสร้างโดยเฉพาะช่วงการเรียงหินซึ่งหากมีการควบคุมงานไม่รอบคอบจะส่งผลให้กล่อง Gabion บวมตัว ขาดความสวยงาม และมีผลต่อการรับน้ำหนักกล่อง Gabion ในชั้นที่สูงกว่า | - ผู้ควบคุมงานควรมีความเข้าใจลักษณะการทำงานของระบบเสริมแรง<br>- วัสดุเสริมแรงที่ใช้ต้องเป็นประเภทรับแรงดึงสูงและสามารถระบายน้ำได้ หากใช้วัสดุเสริมแรงชนิด Geogrid ต้องมี Facing เสริมบริเวณผิวหน้าเชิงลาด | - ไม่ควรใช้โครงสร้างเสริมแรงประเภทนี้ในมวลดินที่มีค่าขีดพิกัดเหลว (Liquid Limit) มากกว่าร้อยละ 50 หรือ ดัชนีพิกัดเหลว (Liquidity Index) มากกว่า 0.2 หรือดินอินทรีย์ (Organic Soil) [3] | - การแก้ไขควรระวังไม่ให้เศษดินหรือหินที่ขุดรื้อสร้างความเสียหายหรืออันตรายต่อผู้ใช้ทางโดยอาจมีการติดตั้งป้ายเตือน | - ควรให้ผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดก่อนดำเนินการแก้ไขจริง | - ควรให้ผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดก่อนดำเนินการแก้ไขจริง<br>- ควรออกแบบและก่อสร้างระบบระบายน้ำผิวดินควบคู่ไปด้วยซึ่งจะเป็นการช่วยให้เสถียรภาพของเชิงลาดตลอดจนอายุการใช้งานยาวนานขึ้น |

รูปแบบการแก้ไข (1) ระบบระบายน้ำบนเชิงลาด 2) ระบบระบายน้ำใต้ดิน 3) ก่อสร้างคันดิน/หิน บริเวณปลายของเชิงลาด 4) กำแพงกันดินคอนกรีต 5) Gabion Wall 6) วัสดุเสริมแรงในมวลดิน 7) Soil Nailing 8) ขุดรื้อวัสดุหรือมวลดินที่มีสภาพหลวมออก 9) ปรับความลาดชันให้ลดลง 10) ขุดตัดลาดเชิงเขาแบบขั้นบันได (Benching))

**ตารางที่ 4.3-4 ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ตาข่ายป้องกันหินร่วง | กำแพงกั้นรั้วป้องกันหินร่วง | Shortcrete | สมอยึด | หลังคาคลุมภาพ | อุโมงค์ |
| ขั้นตอนการออกแบบ | ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ | ต้องการ | | ไม่ต้องการ | ต้องการ | | |
| | ความต้องการโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ | ต้องการ | ไม่ต้องการ | | ต้องการ | | |
| | รายละเอียดของแบบก่อสร้าง | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุน้อย | | | | | มีรายละเอียดของแบบและข้อกำหนดของวัสดุเป็นจำนวนมาก |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง | ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมงาน | ต้องการ | ไม่ต้องการ | | ต้องการ | | |
| | การประยุกต์ใช้วัสดุท้องถิ่น | ตาข่ายสามารถสามารถสั่งซื้อโดยตรงจากผู้ผลิต | วัสดุก่อสร้างมีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | วัสดุผสมคอนกรีตมีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | วัสดุก่อสร้างมีจำหน่ายและหาได้ทั่วไป | | - |
| | ความซับซ้อนด้านการก่อสร้าง | ไม่ซับซ้อน | | | | | ซับซ้อนมาก |
| | ความต้องการเครื่องจักรช่วยในการก่อสร้าง | ต้องการในขั้นตอนการติดตั้ง | อาจใช้แรงงานคนเป็นหลักได้ | ต้องการในขั้นตอนการฉีดพ่นคอนกรีต | ต้องการในขั้นตอนการติดตั้ง | ต้องการในขั้นตอนการติดตั้ง | ต้องการทุกขั้นตอนการก่อสร้าง |

**ตารางที่** 4.3-4 **ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ตาข่ายป้องกันหินร่วง | กำแพงกั้นรั้วป้องกันหินร่วง | Shortcrete | สมอยึด | หลังคาคลุมภาพ | อุโมงค์ |
| ขั้นตอนการก่อสร้าง (ต่อ) | การทดสอบวัสดุก่อสร้างก่อนนำไปใช้งาน | จำเป็น | ไม่จำเป็น | | จำเป็น | | |
| | ความปราณีต | จำเป็นและมีผลต่อความมั่นคงของโครงสร้างมาก | | - | จำเป็นและมีผลต่อความมั่นคงของโครงสร้างมาก | | |
| | ระยะเวลาก่อสร้าง | ก่อสร้างได้รวดเร็ว | | | ใช้เวลาก่อสร้างนาน | ก่อสร้างได้รวดเร็ว | ใช้เวลาก่อสร้างนาน |
| | ราคาค่าก่อสร้าง | แปรผันไปตามแหล่งวัสดุและค่าขนส่งในแต่ละพื้นที่ | ถูกเนื่องจากวัสดุหาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีจำหน่ายทั่วไป | | แปรผันไปตามแหล่งวัสดุ ขนาด และค่าขนส่งในแต่ละพื้นที่ | | แพงมาก |
| ผู้รับจ้าง | - | มีน้อยราย | หาได้ทั่วไป | มีน้อยราย | | - | มีน้อยราย |
| การบำรุงรักษา | ความถี่ในการบำรุงรักษา | ขึ้นอยู่กับปริมาณการร่วงของหิน | | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | | | - |
| | งบประมาณในการบำรุงรักษา | น้อย | ขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหาย | | | | |

**ตารางที่** 4.3-4 **ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ตาข่ายป้องกันหินร่วง | กำแพงกั้นรั้วป้องกันหินร่วง | Shortcrete | สมอยึด | หลังคาคลุมภาพ | อุโมงค์ |
| คุณสมบัติของโครงสร้างเชิงวิศวกรรม | ความสามารถในการระบายน้ำ | สามารถระบายน้ำได้ดี | - | สามารถระบายน้ำได้โดยใช้ Weep Hole แต่มักมีปัญหาการอุดตันภายหลัง | - | - | มีรับบระบายน้ำภายในโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพ |
| | ความยืดหยุ่นของโครงสร้าง | สูง | สูง | ต่ำจึงมีปัญหาด้านการแตกร้าวเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง | - | สูง สามารถต้านทานแรงกระแทกได้เป็นอย่างดี | - |
| สิ่งแวดล้อม | ความสวยงาม | สวยงาม | | ไม่สวยงาม | - | สวยงาม | สวยงาม |
| | ความกลมกลืนกับสภาพธรรมชาติ | กลมกลืน | ไม่กลมกลืน | | | | กลมกลืน |

**ตารางที่ 4.3-4 ข้อพิจารณาการแก้ไขปัญหาเชิงลาดแบบถาวรประเภทหินร่วงและเชิงลาดดิน-หินเคลื่อนตัว (ต่อ)**

| ข้อพิจารณา | รายละเอียด | รูปแบบการแก้ไข | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ตาข่ายป้องกันหินร่วง | กำแพงกั้นรั้วป้องกันหินร่วง | Shortcrete | สมอยึด | หลังคาคลุมภาพ | อุโมงค์ |
| สิ่งแวดล้อม (ต่อ) | มลภาวะที่เกิดขึ้นในขณะดำเนินการก่อสร้าง | น้อย | น้อย | มีฝุ่นและควันจำนวนมากขณะก่อสร้าง | | | |
| ข้อจำกัดอื่น ๆ | ความสูง | - | | | | | |
| | ความลาดชัน (อัตราส่วนแนวราบต่อแนวดิ่ง) | - | | | | | |
| ความแพร่หลาย | - | แพร่หลาย | | | | ไม่แพร่หลาย | |
| ข้อเสนอแนะ | - | ควรหมั่นตรวจสอบสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างอย่างสม่ำเสมอ | | | | | - |

# บทที่ 5
# เทคนิคและขั้นตอนการดำเนินงาน และการควบคุมคุณภาพงานระหว่างการก่อสร้าง

## 5.1 ยุทธศาสตร์และหลักการบริหารโครงการก่อสร้าง/แก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด

หน้าที่ของวิศวกรควบคุมงาน กล่าวอย่างย่อๆ คือ ดำเนินงานภารกิจการก่อสร้าง แก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลาย และการเคลื่อนตัวของเชิงลาดให้ประสบความสำเร็จ ซึ่งอาจจำแนกตามประเภทของงานได้เป็น 4 ด้านคือ

1) การบริหารสัญญาการก่อสร้าง
2) การบริหารงานวิศวกรรมด้านการตรวจสอบแบบ
3) การบริหารงานวิศวกรรมด้านการก่อสร้าง
4) การตรวจสอบคุณภาพงาน มาตรฐานการทดสอบวัสดุและมาตรฐานการก่อสร้าง

โดยงานทั้ง 4 ด้านจะต้องดำเนินการไปอย่างสอดคล้อง พร้อมเพรียงและต่อเนื่องจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง ซึ่งต้องอาศัยปัจจัยและยุทธศาสตร์การบริหารโครงการสนับสนุนในระหว่างก่อสร้างซึ่งยุทธศาสตร์ดังกล่าวประกอบด้วย

- **ยุทธศาสตร์การบริหารตารางเวลาและต้นทุน** เป็นการบริหารแผนงานก่อสร้างและประเมินผลการทำงานของผู้รับจ้างอย่างทันสถานการณ์สามารถคาดหมายและให้คำแนะนำ เพื่อปรับปรุงแผนงานก่อสร้างให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งยังประเมินความก้าวหน้าของงานในรูปของต้นทุนโครงการได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว
- **ยุทธศาสตร์การตรวจสอบคุณภาพงาน** ที่มุ่งเน้นการให้คำแนะนำที่จำเป็นด้านเทคนิคแก่ผู้รับจ้างและร่วมตรวจสอบคุณภาพของงานก่อสร้างอย่างถูกต้องครบถ้วน มีคุณภาพและประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่องเป็นขั้นเป็นตอน อันเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างผู้ควบคุมงาน และผู้รับจ้าง
- **ยุทธศาสตร์การตรวจสอบความปลอดภัย** ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อการจราจรและชุมชน ด้วยความตระหนักในความสำคัญของการหลีกเลี่ยงปัญหาอันเป็นผลกระทบต่อสาธารณะจากกิจกรรมการก่อสร้างของโครงการแก้ไขป้องกันการชะล้าง

พังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด ในการทำงานนั้นหัวใจอยู่ที่การให้ความสำคัญกับมาตรการป้องกันและการวางแผนที่ดี โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานทั้งจากฝ่ายวิศวกรผู้ควบคุมงานร่วมกับวิศวกรฝ่ายผู้รับจ้าง พร้อมทั้งมีแผนรองรับในกรณีฉุกเฉินหรืออุบัติเหตุไว้อย่างพร้อมเพรียง ซึ่งยุทธศาสตร์นี้จะมีส่วนทำให้การก่อสร้างโครงการสำเร็จลุล่วงด้วยดี

- **ยุทธศาสตร์การประสานงานอย่างมีประสิทธิภาพ** เป็นปัจจัยสนับสนุนที่สำคัญต่อการทำงานทุก ๆ กิจกรรมที่เกิดขึ้น การประสานงานภายในกรมทางหลวง สำนักที่เกี่ยวข้อง การจัดประชุมทั้งในลักษณะกลุ่มย่อย การประชุมเป็นประจำ และการประชุมเฉพาะกรณีจะถูกนำมาใช้เป็นวิธีการสำคัญของการประสานงานควบคู่กับมาตรการติดตามผลการประสานงาน

### 5.1.1 การบริหารสัญญา

งานทุกงานของโครงการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดส่วนมากจะเป็นงานจ้างเหมา และมีการทำสัญญากับผู้รับจ้าง ผู้ควบคุมงานก่อสร้างจะต้องปฏิบัติงานตามนโยบายของกรมทางหลวง เพื่อบริหารสัญญาให้บรรลุเป้าหมายของโครงการ หน้าที่และภารกิจในการบริหารสัญญาประกอบด้วย กรอบของภารกิจดังแสดงใน**ตารางที่** 5.1-1

### 5.1.2 การบริหารงานวิศวกรรมการตรวจสอบแบบ

ถึงแม้ว่าการก่อสร้างของโครงการก่อสร้าง/แก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดจะเป็นงานก่อสร้างตามแบบรายละเอียดก็ตาม แต่บางครั้งแบบอาจจะขาดรายละเอียดบางส่วนหรือไม่ชัดเจน ผู้ควบคุมงานจะต้องทำการตรวจสอบและเข้าใจแบบก่อนและบางครั้งมีความจำเป็นในการจัดทำ Working Drawing โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เกี่ยวกับงานโครงสร้างชั่วคราว (Temporary Work) อาทิ ทางเบี่ยง สะพานชั่วคราว หรือแผนผังการจัดการจราจร ป้าย หรือ สัญญาณ เป็นต้น แม้ว่าเป็นภาระหน้าที่ของผู้รับจ้างในการจัดทำแบบดังกล่าว แต่ผู้ควบคุมงานยังคงมีบทบาทในการตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงตามหลักวิศวกรรม และสอดคล้องกับขั้นตอนการก่อสร้างที่นำมาใช้ในภาคสนามของผู้รับจ้าง

**ตารางที่ 5.1-1 หน้าที่และภารกิจในการบริหารสัญญา**

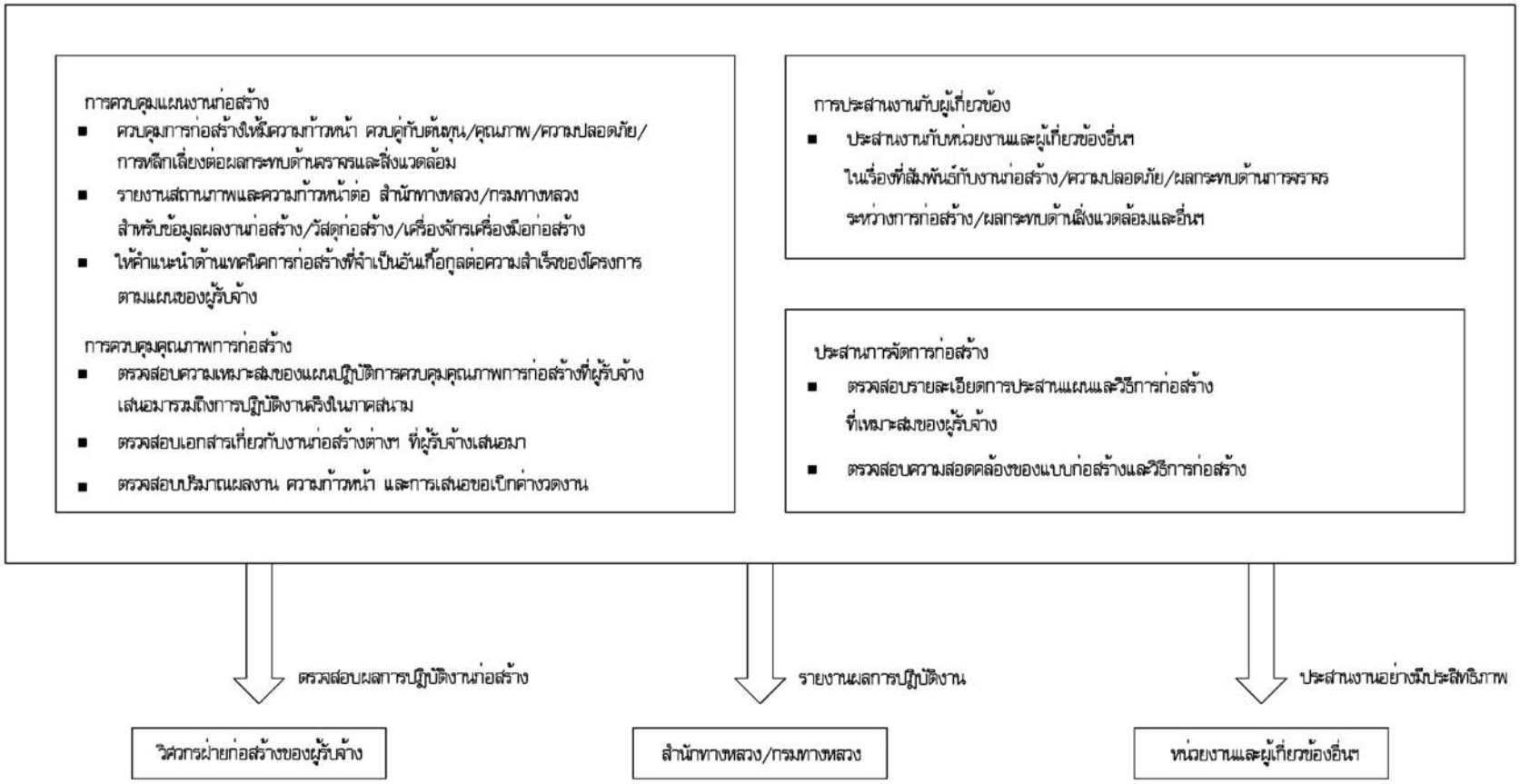
| ช่วงก่อนการก่อสร้าง | ช่วงก่อสร้าง | ช่วงสิ้นสุดสัญญาก่อสร้าง | ภายหลังก่อสร้าง (ช่วงประกันผลงาน) |
|---|---|---|---|
| การตรวจสอบเอกสารสัญญา | การตรวจสอบเอกสารข้อเสนอของผู้รับจ้างที่สัมพันธ์กับลักษณะสภาพพื้นที่ก่อสร้างและผลสำรวจภาคสนาม | การพิจารณารายละเอียดกรณีงานก่อสร้างล่าช้ากว่าสัญญา | การตรวจสอบข้อบกพร่องของผลงานภายหลังการใช้งานในช่วงเวลาประกันผลงาน |
| การจัดทำบัญชีเอกสารที่สัญญาระบุให้ผู้รับจ้างต้องจัดทำและส่งต่อกรมทางหลวง ทั้งเพื่อทราบและเพื่อพิจารณาเห็นชอบ | การตรวจสอบเอกสารข้อเสนอทางเทคนิคที่สัญญากำหนดให้ผู้รับจ้างต้องเสนอขอความเห็นชอบ | การพิจารณาปรับเงิน กรณีก่อสร้างล่าช้า<br>การพิจารณาต่ออายุสัญญา | การแจ้งให้ผู้รับจ้างแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวและตรวจสอบความเรียบร้อยของการแก้ไข |
| การจัดทำรายละเอียดลำดับชั้นความสำคัญของเอกสาร (Priority of Contract Documents) | การตรวจสอบและส่งมอบพื้นที่ก่อสร้าง | การพิจารณาค่าชดเชย (Notice of Claim) | การออกใบรับรองประกันผลงาน<br>(Maintenance Certificate) (ถ้ามี) |
| การตรวจสอบความครบถ้วน ถูกต้อง ของหลักประกันกรมธรรม์ และหนังสือรับรองต่างๆ ที่สัญญากำหนดให้ผู้รับจ้างต้องจัดหา | การตรวจสอบความถูกต้องของการขอเบิกจ่ายค่างวดงาน (Progress Payment) | การตรวจสอบความสมบูรณ์และข้อบกพร่องของงานที่ส่งมอบเมื่อสิ้นสุดสัญญา | การคืนหลักประกันผลงาน |
| ประสานงานระหว่าง-ผู้รับจ้าง-หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการส่งมอบพื้นที่ก่อสร้าง | การพิจารณาปรับเปลี่ยนรายละเอียดของงานก่อสร้าง (Instruction of Variation)<br>การพิจารณาเพิ่มงานหรือลดงานก่อสร้าง ตามความเห็นของสำนัก/กรม | การพิจารณายอมรับผลงาน<br>(Substantial Completion)<br>การจัดทำบัญชีรายการปลีกย่อยที่ผู้รับจ้างต้องดำเนินการให้เรียบร้อย<br>การออกหนังสือรับรองผลงาน<br>(Certificate of Completion) (ถ้ามี) | |

### 5.1.3 การบริหารงานวิศวกรรมด้านการก่อสร้าง

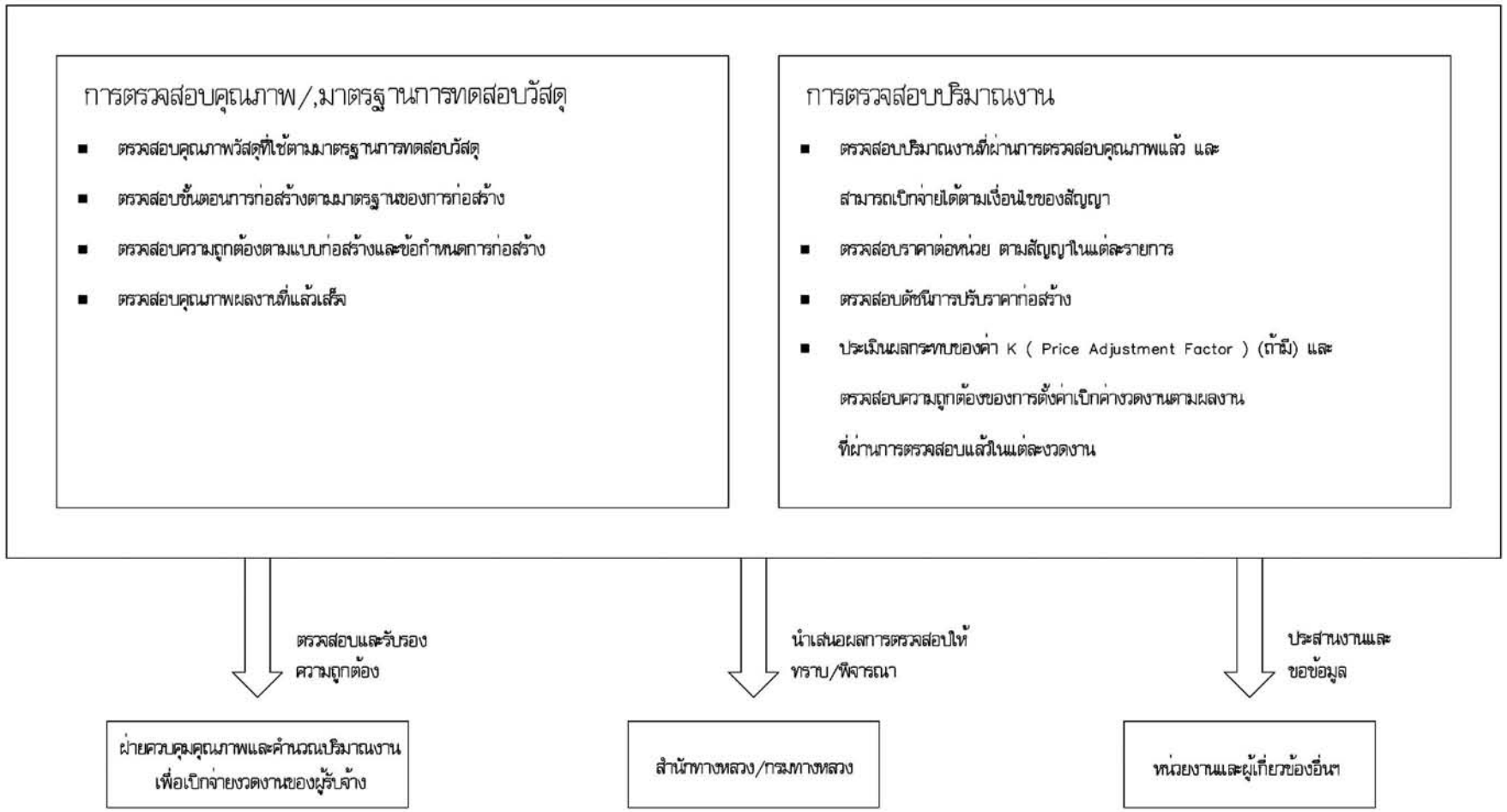
การวางแผนและการบริหารงานวิศวกรรมด้านการก่อสร้างนับเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง การบริหารโครงการที่มีประสิทธิภาพจะสามารถแก้ไขปัญหาการก่อสร้างด้านต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว โดยอาศัยการติดตามการปฏิบัติงานอย่างใกล้ชิดต่อเนื่อง และการจัดทำรายงานสรุปข้อปัญหาการก่อสร้าง พร้อมทั้งวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ไว้อย่างถี่ถ้วนพร้อมมูล แผนภูมิแสดงภารกิจหลักและยุทธศาสตร์การบริหารงานวิศวกรรมด้านการก่อสร้างของโครงการได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 5.1-1

### 5.1.4 การตรวจสอบคุณภาพงาน มาตรฐานการทดสอบวัสดุ และมาตรฐานการก่อสร้าง

ผู้ควบคุมงานจะต้องการตรวจสอบคุณภาพงานให้ได้ตามมาตรฐานต่าง ๆ ของการทดสอบวัสดุทั้ง General Test และ Control Test เพื่อควบคุมคุณภาพวัสดุ ทั้งจากแหล่งวัสดุ และขณะที่เอามาใช้งานระหว่างการก่อสร้าง ควบคุมการก่อสร้างให้ได้มาตรฐาน เป็นขั้นตอนของการก่อสร้างที่กำหนดไว้ในรายการรายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบเฉพาะของระบบแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด นอกจากนี้ต้องตรวจสอบการประเมินปริมาณงานเพื่อการเบิกจ่ายค่างวดงานก่อสร้าง เป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะทำให้เกิดการใช้งบประมาณในภาคผลิตที่แท้จริงซึ่งเป็นส่วนขับเคลื่อนให้โครงการดำเนินไปข้างหน้าจนบรรลุเป้าหมาย ภารกิจหลักและยุทธศาสตร์การดำเนินงานส่วนนี้ได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 5.1-2 และหากมีการนำราคาต่อหน่วยแบบปรับราคาได้ (Price Adjustment) ตามค่าดัชนีปรับราคา K (Escalation Factor) มาพิจารณาหรือกำหนดไว้ในสัญญามาใช้ประกอบการประเมินค่างวดงาน ผู้ควบคุมงานจึงมีหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณราคาที่ปรับในแต่ละรายการของงานแต่ละงวดที่ผู้รับจ้างขอตั้งเบิกจ่าย




**รูปที่ 5.1-1 แผนภูมิแสดงภารกิจหลักและยุทธศาสตร์การบริหารงานวิศวกรรม: ด้านการก่อสร้าง**




**รูปที่ 5.1-2 แผนภูมิแสดงภารกิจหลักและยุทธศาสตร์ การตรวจสอบคุณภาพ และปริมาณงานก่อสร้าง**

ผู้ควบคุมงานต้องทำการประมวลรายละเอียดและจัดทำตารางแสดงการทดสอบวัสดุต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง โดยแยกหมวดหมู่ตามลักษณะงานตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดรายละเอียดการก่อสร้าง (Specification) อาทิ งานดิน งานฐานราก งานโครงสร้างหรืองานส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายฯ งานทดสอบวัสดุ ต่าง ๆ ที่ใช้การแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด เช่น ทดสอบ เหล็กหรือลวด ที่ใช้ในงาน Gabion / Mattrass, ทดสอบ Geotextile, Tension Rod ของ M.S.E Wall เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการดำเนินการทดสอบคุณสมบัติวัสดุประเภทต่างๆ ที่ผู้รับจ้างต้องนำเสนอขออนุมัติตามข้อกำหนดในแบบหรือตามรายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง (Specification for Highway Construction) ของกรมทางหลวง ผู้ควบคุมงานจะต้องควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของวัสดุให้ได้ตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุนั้น ๆ ทุกประการ นอกจากนี้ผู้ควบคุมงานจะต้องควบคุมวิธีการก่อสร้าง ขั้นตอนการก่อสร้างให้เป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนดการก่อสร้างทุกประการเช่นเดียวกัน

## 5.2 การส่งมอบพื้นที่ก่อสร้าง

การส่งมอบพื้นที่ก่อสร้างให้แก่ผู้รับจ้างเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องดำเนินการให้เสร็จเรียบร้อยเป็นลำดับแรกของการดำเนินโครงการ การส่งมอบพื้นที่ก่อสร้างให้ผู้รับจ้างล่าช้าหรือไม่สอดคล้องกับแผนงานก่อสร้างของผู้รับจ้างจะมีผลทำให้งานก่อสร้างโครงการไม่สามารถดำเนินการได้แล้วเสร็จตามแผนงานและอาจเป็นสาเหตุที่ผู้รับจ้างนำมาใช้เป็นข้ออ้างในการขอขยายระยะเวลาของสัญญาหรือเรียกร้องเงินชดเชยได้ จากประสบการณ์ที่ผ่านมาของผู้ควบคุมงานพบว่าปัญหาการส่งมอบพื้นที่ก่อสร้างล่าช้า ไม่เหมาะสมกับเวลาก่อสร้าง ส่วนใหญ่เกิดจากขาดการประสานงานที่ดีจากแต่ละหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

## 5.3 แนวทางการดำเนินงานตามรายการข้อกำหนดและมาตรฐานการก่อสร้าง

ผู้ควบคุมงานจะต้องควบคุมงานให้เป็นไปตามสัญญาก่อสร้าง และถูกต้องตามหลักวิชาการทางด้านวิศวกรรมงานทาง งานโครงสร้าง และงานส่วนประกอบอื่นๆ จนกว่างานตามสัญญาก่อสร้างจะแล้วเสร็จตามรูปแบบรายละเอียด และข้อกำหนดในสัญญาก่อสร้างทุกประการ ซึ่งอย่างน้อยต้องประกอบด้วยงานดังต่อไปนี้

(1) ตรวจสอบพื้นที่ในการส่งมอบพื้นที่สำหรับก่อสร้าง พร้อมทั้งแนะนำผู้รับจ้างก่อสร้างถึงตำแหน่ง จุดพิกัด และระดับของหมุดหลักฐานของโครงการ รวมถึงให้คำแนะนำแก่ผู้รับจ้างทำการจัดทำหมุดหลักฐานชั่วคราวเพิ่มเติม เพื่อง่ายต่อการก่อสร้างและตรวจสอบ

(2) ตรวจสอบและอนุมัติแบบรายละเอียดสำหรับการก่อสร้าง และหากผู้ควบคุมงานเห็นว่างานก่อสร้างส่วนใดจะต้องปรับปรุงแก้ไขเพื่อประโยชน์ต่อโครงการจะต้องรีบดำเนินการเพื่อให้สำนักเจ้าสังกัดอนุมัติ

(3) ควบคุมการก่อสร้างตามรายละเอียดของงานทุกรายการที่ปรากฏอยู่ในสัญญาก่อสร้าง ระหว่างสำนักเจ้าสังกัด/กรมทางหลวง และผู้รับจ้าง เพื่อให้ได้รูปแบบและคุณภาพถูกต้องตามที่ระบุในเอกสารสัญญา โดยก่อนที่จะเริ่มงานก่อสร้างใด ๆ ผู้ควบคุมงานจะทำความเข้าใจในรายละเอียดของงานก่อสร้างทุกรายการ ร่วมกับผู้รับจ้างก่อสร้างเพื่อให้แน่ใจว่าทุกฝ่ายมีความเข้าใจตรงกัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้รูปแบบและคุณภาพของงานก่อสร้างทุกรายการถูกต้องตามที่ระบุในเอกสารสัญญา

(4) ตรวจสอบและให้ความเห็นชอบแผนงาน วิธีการก่อสร้าง องค์กรการทำงาน กำลังคน และเครื่องจักรเครื่องมือที่เสนอโดยผู้รับจ้าง ทั้งนี้จะต้องพิจารณาควบคุมดูแลให้การก่อสร้างมีผลกระทบกระเทือนต่อการจราจร สิ่งแวดล้อม และประชาชนให้น้อยที่สุด

ผู้ควบคุมงานจะใช้ประสบการณ์จากการควบคุมงานก่อสร้างโครงการต่าง ๆ ที่ผ่านมา ร่วมกับการพิจารณารายละเอียดต่าง ๆ ของโครงการ อาทิ สภาพพื้นที่โครงการ ลักษณะและรูปแบบของโครงการ ระยะเวลาในการก่อสร้าง ปัญหาและอุปสรรคที่คาดว่าจะเกิดขึ้น รวมทั้งข้อจำกัดอื่น ๆ ของโครงการโดยปัจจัยเหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบและให้ความเห็นชอบแผนงาน วิธีการก่อสร้าง องค์กรการทำงาน กำลังคน และเครื่องจักรเครื่องมือที่ผู้รับจ้างเสนอให้ผู้ควบคุมงานพิจารณา โดยผู้รับจ้างจะต้องเสนอรายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย

- **แผนงาน**

แผนงานก่อสร้างที่ผู้รับจ้างเสนอให้พิจารณานั้น จะต้องแสดงให้เห็นถึงระยะเวลาที่ผู้รับจ้างคาดว่าจะใช้ในการดำเนินงานด้านต่าง ๆ ทั้งหมดของโครงการตั้งแต่เริ่มต้นจนแล้วเสร็จ โดยแผนงานอาจจะจัดทำด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และนำเสนอในรูปแบบของ Critical Path Method (CPM)

โดยจะต้องแสดงในรูปกราฟแท่งหรือแผนภูมิโครงข่ายเวลาเทียบเป็นสัปดาห์หรือเดือน เพื่อที่จะได้ทราบถึงความก้าวหน้าและสามารถปรับแผนหรือเร่งรัดงานต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ แผนงานจะประกอบด้วยแผนงานของกิจกรรมต่าง ๆ อย่างน้อยดังนี้

- แผนงานก่อสร้างทั้งหมดในสนาม ซึ่งรวมถึงงานชั่วคราวต่าง ๆ
- แผนงานยื่นเสนอและขออนุมัติแบบขยายรายละเอียด (Shop Drawing) และแบบก่อสร้าง (Construction Drawing)
- แผนงานจัดหาและขนส่งวัสดุ รวมทั้งเครื่องจักร เครื่องมือหลักในการก่อสร้าง
- แผนจัดชุดของเครื่องจักรหนัก (Fleet) ในการทำงานดิน งานโครงสร้างต่าง ๆ
- แผนงานการทดสอบวัสดุ
- แผนงานจัดการจราจรระหว่างก่อสร้าง
- แผนงานรื้อย้ายและก่อสร้างระบบสาธารณูปโภค

- **วิธีการก่อสร้าง/มาตรฐานการก่อสร้าง**

วิธีการหรือขั้นตอนใดที่เป็นงานพื้นฐานหรือเป็นงานที่ได้กำหนดไว้ในรายการละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง ซึ่งได้กำหนดมาตรฐาน และวิธีการก่อสร้างรายการงาน (Item) นั้น ๆ ไว้ชัดเจนแล้ว เช่น การลงวัสดุ วิธีการบดอัด ความหนา ระดับ และความคลาดเคลื่อน (Tolerance) เป็นต้น ผู้ควบคุมงานจะต้องควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานดังกล่าวนั้น และรวมทั้งให้เป็นไปตามรายการก่อสร้างของแบบการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด นอกจากนี้ วิธีการก่อสร้างอื่นใดที่ผู้รับจ้างเสนอให้พิจารณานั้น จะต้องอธิบายให้เห็นอย่างชัดเจนถึงลำดับขั้นตอนในการก่อสร้างของงานแต่ละประเภท รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน วิธีการปฏิบัติงาน อัตรากำลังคนและเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานแต่ละขั้นตอน เป็นต้น

- **องค์กรการทำงาน กำลังคน และเครื่องจักรเครื่องมือ**

ผู้รับจ้างต้องเสนอแผนผังองค์กรการทำงาน (Organization Chart) ของบุคลากรหลัก พร้อมทั้งรายละเอียดประวัติและประสบการณ์ หน้าที่และความรับผิดชอบของบุคลากรหลักที่จะเข้าปฏิบัติงานในโครงการฯ รวมทั้งอัตรากำลังของบุคลากรสนับสนุน และเครื่องจักรเครื่องมือทั้งหมดที่ผู้รับจ้างจะนำมาใช้ในการก่อสร้าง

ทั้งนี้ ในการพิจารณา**ตรวจสอบและให้ความเห็นชอบแผนงาน** วิธีการก่อสร้าง องค์กรการทำงาน กำลังคน และเครื่องจักรเครื่องมือที่เสนอโดยผู้รับจ้างดังกล่าวข้างต้นนั้น ผู้ควบคุมงานจะพิจารณาตรวจสอบในประเด็นที่สำคัญ ซึ่งพอกล่าวโดยสังเขปดังนี้

- **ตรวจสอบความถูกต้อง** เช่น รูปแบบของแผนงานและวิธีการก่อสร้างเป็นไปตามข้อกำหนดของสัญญาหรือไม่ ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างถูกต้องหรือไม่ ปริมาณงานแต่ละประเภทถูกต้องตามสัญญาหรือไม่ เป็นต้น
- **ตรวจสอบความครบถ้วน** เช่น หัวข้องานที่ระบุในแผนงานครบถ้วนหรือไม่ รายละเอียดประวัติและประสบการณ์ของบุคลากรหลักครบถ้วนเพียงพอหรือไม่
- **ตรวจสอบความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ** เช่น ระยะเวลาและวิธีการก่อสร้างในแต่ละขั้นตอนมีความเหมาะสมและเป็นไปได้หรือไม่ การจัดหา และขนส่งวัสดุสอดคล้องกับแผนงานก่อสร้างหรือไม่ คุณสมบัติของบุคลากรหลัก ที่รับผิดชอบงานแต่ละด้านมีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ เป็นต้น
- **ตรวจสอบเครื่องจักร อุปกรณ์ที่ใช้ในงานแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลาย และการเคลื่อนตัวของเชิงลาด** ให้เหมาะสมกับประเภทของงาน เนื่องจากงานลักษณะนี้มีลักษณะเป็นจุดของความเสียหาย ไม่กว้าง ไม่ยาวมากนัก พื้นที่ทำงานจำกัด จะต้องเลือกขนาดของเครื่องจักรที่เหมาะสม ไม่ใหญ่จนเกินไปเหมือนงานถนนทั่วไป ควรจะเป็นขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น นอกจากนี้จะต้องมีเครื่องจักรเฉพาะงานด้วย เช่น งาน Soil Nailing งาน Horizontal Drain งาน ShotCrete งาน Hydroseeding จะต้องมีเครื่องจักรและอุปกรณ์พิเศษ เฉพาะงานนั้น ๆ

สำหรับในการตรวจสอบและให้ความเห็นชอบนั้น นอกจากจะมาจากการพิจารณาของผู้ควบคุมงานยังจะต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องช่วยกันให้ข้อมูลที่ถูกต้อง เสนอความเห็นและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติม ทั้งนี้เพื่อให้ผู้รับจ้างสามารถปรับปรุงแก้ไขและจัดทำแผนงาน วิธีการก่อสร้าง องค์กรการทำงาน กำลังคน และเครื่องจักรเครื่องมือดังกล่าวให้มีความเหมาะสมสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของโครงการมากที่สุด รวมทั้งมีผลกระทบต่อการจราจร สิ่งแวดล้อม และประชาชนให้น้อยที่สุด ตามมาตรฐานการติดตั้งเครื่องหมาย ป้าย และสัญญาณต่าง ๆ เพื่อความปลอดภัย ผู้ควบคุมงานจะควบคุมดูแลให้การก่อสร้างดำเนินไปตามแผนงานที่ได้รับความเห็นชอบแล้วนี้อย่างเคร่งครัด พร้อมทั้งให้คำแนะนำด้านความปลอดภัยระหว่างการก่อสร้างโดยยังคงให้งานก่อสร้างได้มาตรฐานทางด้านวิศวกรรม

(5) ตรวจสอบความถูกต้องจุดที่จะก่อสร้าง ความกว้าง ความยาวของการก่อสร้าง และค่าระดับก่อสร้างให้เป็นไปตามแบบ

การส่งมอบพื้นที่ก่อสร้างให้แก่ผู้รับจ้างเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องดำเนินการให้เสร็จเรียบร้อยเป็นลำดับแรกของการดำเนินโครงการ การส่งมอบพื้นที่ก่อสร้างให้ผู้รับจ้างก่อสร้างล่าช้าหรือไม่สอดคล้องกับแผนงานก่อสร้างของผู้รับจ้าง จะมีผลทำให้งานก่อสร้างโครงการไม่สามารถดำเนินการได้แล้วเสร็จตามแผนงาน และอาจเป็นสาเหตุที่ผู้รับจ้างก่อสร้างนำมาใช้เป็นข้ออ้างในการขอขยายระยะเวลาของสัญญา หรือเรียกร้องเงินชดเชยได้ จากประสบการณ์ที่ผ่านมาของผู้ควบคุมงาน พบว่าปัญหาการส่งมอบพื้นที่ก่อสร้างล่าช้า ส่วนใหญ่เกิดจากการขาดการประสานงานที่ดีจากแต่ละหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ก่อนเริ่มงานก่อสร้างผู้ควบคุมงานจะช่วยเหลือในการตรวจสอบตำแหน่ง ความกว้าง ความยาว และค่าระดับของงานก่อสร้างให้ถูกต้องและเป็นไปตามแบบที่กำหนดไว้ โดยอ้างอิงจากหมุดหลักฐานต่าง ๆ ที่ผ่านการตรวจสอบและได้รับความเห็นชอบแล้ว หากพบว่าจำเป็นต้องมีการปรับแก้แนวตำแหน่งหรือค่าระดับเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่หรือเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาอุปสรรคอื่น ๆ จะต้องแจ้งหรือรายงานให้สำนักเจ้าสังกัด/กรมทางหลวงเพื่อพิจารณา

(6) **ตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างให้มีมาตรฐานตามที่กำหนดไว้ในแบบและรายการข้อกำหนด** หากพบวัสดุใดที่ต่ำกว่ามาตรฐานหรือไม่ผ่านการทดสอบ ให้สั่งการไม่ให้ผู้รับจ้างนำวัสดุก่อสร้างนั้นมาใช้ในการก่อสร้าง นอกจากนี้ ยังจะต้องควบคุมการปฏิบัติงานของผู้รับจ้างก่อสร้างที่จะนำวัสดุดินตัดหรือหินตัดที่อาจจะเหลือเป็นจำนวนมากไปทิ้งหรือไปไว้ในที่ที่จะกำหนด

การทดสอบวัสดุก่อสร้างประเภทต่าง ๆ ที่นำมาใช้ภายในโครงการ เป็นการทดสอบและตรวจสอบคุณภาพ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณภาพตามมาตรฐานหรือตามที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ในแบบก่อสร้างหรือในรายการประกอบแบบ วัสดุทุกประเภทที่นำมาใช้งานไม่ว่าจะเป็น หิน ดิน ทราย ปูนซีเมนต์ เหล็กเสริมคอนกรีต วัสดุเสริมแรงอื่น ๆ น้ำที่จะนำมาใช้ในการผสมคอนกรีตและสำหรับกิจกรรมต่างๆ ในการก่อสร้าง จะต้องผ่านการทดสอบและตรวจคุณภาพก่อนการนำไปใช้งานทุกครั้ง โดยการทดสอบคุณภาพวัสดุจะทำการทดสอบทั้งในสนามและในห้องทดลองสนามของโครงการหรือของสำนักทางหลวงหรือห้องทดสอบของหน่วยราชการอื่นใด

งานควบคุมการทดสอบวัสดุจะครอบคลุมไปถึงการควบคุมคุณภาพของวัสดุทั้งก่อนและหลังการก่อสร้างให้ได้มาตรฐานตามที่ได้กำหนดไว้ เช่น การควบคุมคุณภาพของดินหรือวัสดุอื่นใด ดินที่นำมาใช้จะต้องได้คุณภาพตามที่กำหนด และภายหลังจากการก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยจะต้องได้ตามมาตรฐานหรือตามข้อกำหนด

นอกจากการควบคุมวัสดุที่จะใช้ก่อสร้างให้มีมาตรฐานตามที่กำหนดแล้ว ผู้ควบคุมงานจะต้องควบคุมการปฏิบัติงานผู้รับจ้างก่อสร้างให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ในแบบ เช่น การตรวจสอบความแน่นจากการบดอัดของงานดินและงานโครงสร้างต่าง ๆ หากว่าการตรวจสอบพบข้อชำรุดบกพร่องหรือความผิดพลาดในงานส่วนใด ๆ ก็ตาม ผู้ควบคุมงานจะต้องจะแจ้งให้ผู้รับจ้างก่อสร้างทราบทันที เพื่อแก้ไขข้อชำรุดบกพร่องหรือความผิดพลาดนั้นโดยไม่ชักช้า

(7) **ตรวจสอบอัตรากำลังของเครื่องจักรหนัก**(Fleet) ให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท ตั้งแต่งานถางป่าขุดตอ งานดินตัด งานดินถม งานบดอัด งานระบบแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายฯ งานชั้นโครงสร้างทางและงานผิวทาง เป็นต้น

(8) ในระหว่างการก่อสร้างหากพบว่ามีความจำเป็นจะต้องแก้ไขเปลี่ยนแปลงแบบ หรือวัสดุซึ่งแตกต่างจากข้อตกลงเดิม ผู้ควบคุมงานจะต้องศึกษาการขอเปลี่ยนแปลงดังกล่าวและสรุปเรื่องเสนอคำแนะนำให้แก่สำนักเจ้าของงานพิจารณา

(9) **ตรวจสอบผลงานและความก้าวหน้าของการทำงานของผู้รับจ้างก่อสร้างเป็นระยะ ๆ** และคำนวณปริมาณงานจริงที่ผู้รับจ้างก่อสร้างทำได้ในแต่ละเดือน เพื่อตรวจสอบการเบิกเงินของผู้รับจ้างก่อสร้างผู้ควบคุมงานจะต้องติดตามตรวจสอบบันทึกผลงานการทำงานและความก้าวหน้าการก่อสร้างของผู้รับจ้างก่อสร้างทุกวัน โดยติดตามผลงานจากการก่อสร้างแต่ละรายการตามแผนงานการก่อสร้างที่ได้วางแผนและอนุมัติไปแล้ว ทำการสรุปทั้งปริมาณงานและความก้าวหน้าของงานเป็นรายเดือนเพื่อรายงานสำนักเจ้าของงานทราบ จากข้อมูลความก้าวหน้าของงานเมื่อพบว่า ผู้รับจ้างก่อสร้างทำงานได้ล่าช้ากว่าแผนงานถึงจุดที่คาดว่าจะทำให้โครงการเสียหายได้ ผู้ควบคุมงานก็จะแจ้งเตือนให้ทั้งผู้รับจ้างและสำนักเจ้าของงาน ทราบ พร้อมทั้งแนะนำช่วยเหลือผู้รับจ้างทุกวิถีทางในการเร่งรัดงานก่อสร้าง

จากการติดตามตรวจสอบบันทึกผลงานทุกวัน ผู้ควบคุมงานจะใช้ข้อมูลการบันทึกต่างๆ เพื่อตรวจสอบการเบิกจ่ายเงิน ของค่างานก่อสร้างที่ผู้รับจ้างเสนอเบิกจ่ายมาก่อนที่จะนำเสนอต่อ

คณะกรรมการตรวจการจ้างของสำนักเจ้าของงาน เพื่อตรวจรับงานในแต่ละเดือน และในงวดสุดท้าย ผู้ควบคุมงานจะทำการตรวจสอบค่างานก่อสร้างทั้งหมดของโครงการ โดยตรวจสอบเงินลดเงินเพิ่ม เนื่องจากการเพิ่มลดของปริมาณงานจริงที่ได้ก่อสร้างไป (Overrun or Underrun) ผู้ควบคุมงานควรจะใช้ระบบจัดเก็บและคำนวณข้อมูล คำนวณผลงาน และการเบิกจ่ายเงินดังกล่าวข้างต้น ด้วยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และโปรแกรมการทำงานที่เหมาะสมที่สุด

(10) เก็บรวบรวมรายงานการปฏิบัติงานของผู้รับจ้างก่อสร้าง ตลอดจนสภาพดินฟ้าอากาศในสถานที่ก่อสร้างของแต่ละวันไว้ในสถานที่ทำงาน พร้อมทั้งสรุปการทำงานในแต่ละสัปดาห์ไว้เพื่อสำนักเจ้าของงานจะตรวจสอบได้ทุกเวลา

ผู้ควบคุมงานจะเก็บรวบรวมรายงานการปฏิบัติงานของผู้รับจ้างก่อสร้าง รวมทั้งปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น ตลอดจนสภาพดินฟ้าอากาศในสถานที่ก่อสร้างแต่ละวันไว้ หลังจากนั้น ผู้ควบคุมงานจะได้สรุปรวบรวมรายงานต่าง ๆ เหล่านี้ไว้เป็นรายสัปดาห์ และจัดเก็บไว้ในสำนักงานสนาม ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วต่อสำนักเจ้าของงาน ในการติดตามตรวจสอบได้ทุกเวลา

(11) ตรวจสอบและให้คำแนะนำกับสำนักเจ้าของงาน ต่อเรื่องที่ผู้รับจ้างก่อสร้างเรียกร้องขอต่อระยะเวลาของสัญญาของเรียกร้องการเพิ่มค่าจ้างงาน และเรื่องอื่น ๆ ในทำนองเดียวกัน

ในหลักการแล้ว ผู้ควบคุมงานต้องกำกับ ตรวจสอบ ดูแลให้งานของผู้รับจ้างก่อสร้างดำเนินการเป็นไปตามแผนงาน หากเกิดความล่าช้าผู้ควบคุมงานจะทำการวิเคราะห์ถึงปัญหาตลอดจนวิธีการแก้ไขและมีหนังสือแจ้งให้ผู้รับจ้างก่อสร้างปรับปรุง แก้ไข และ/หรือ ปรับแก้แผนงานให้สามารถดำเนินการได้ภายในกรอบของเวลาที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม อาจจะมีสาเหตุบางประการที่ทำให้การก่อสร้างไม่สามารถดำเนินการได้ภายในกรอบของเวลาที่กำหนด ผู้ควบคุมงานจะรวบรวมข้อมูลสรุปให้สำนักเจ้าของงาน ได้ทราบถึงสาเหตุเหล่านั้นรวมทั้งให้คำแนะนำ เพื่อที่สำนักเจ้าของงานจะได้ใช้ประกอบการพิจารณาในการเรียกร้องขอต่อระยะเวลาของสัญญาก่อสร้างของผู้รับจ้างก่อสร้างอย่างสมเหตุสมผล

ในกรณีที่ผู้รับจ้างก่อสร้างเรียกร้องขอเงินค่าจ้างเพิ่มเติมสำหรับงานก่อสร้างรายการใด ๆ หรือมีข้อเรียกร้องอื่น ๆ ในทำนองเดียวกันก็ตาม ผู้ควบคุมงานจะช่วยเหลือสำนักเจ้าของงานในการพิจารณาข้อเรียกร้องนั้น ๆ โดยตรวจสอบสาเหตุตามที่ผู้รับจ้างอ้างถึงว่ามีเหตุมีผลเพียงพอและยอมรับได้หรือไม่อย่างไร ทั้งนี้ผู้ควบคุมงานจะยึดถือเงื่อนไขและข้อกำหนดต่าง ๆ ตามสัญญาเป็นหลัก

ในการพิจารณาตรวจสอบ รวมทั้งการให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะแก่สำนักเจ้าของงาน ประกอบการพิจารณา เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมต่อทุกฝ่ายและเกิดประโยชน์ต่อโครงการมากที่สุด

ในการส่งงานของผู้รับจ้างในแต่ละงวด ผู้ควบคุมงานควรจะสรุปผลงานที่จะส่งมอบให้คณะกรรมการตรวจการจ้างได้พิจารณาโดยจัดทำเป็น Slide Presentation

หลังจากเมื่องานก่อสร้างของโครงการแล้วเสร็จ ผู้ควบคุมงานควรนำ Slide Presentation ที่จัดทำในแต่ละเดือนมาพิจารณาจัดทำเป็น Slide Presentation อีกชุดหนึ่ง เพื่อแสดงภาพรวมของการก่อสร้างตั้งแต่เริ่มต้นจนแล้วเสร็จ เก็บไว้เป็นหลักฐานต่อไป และจะเป็นประโยชน์สำหรับไว้อ้างอิงในโครงการอื่น ๆ ที่ลักษณะงานคล้าย ๆ กัน

14) เมื่อการก่อสร้างตามโครงการแล้วเสร็จทั้งหมดหรือบางส่วน ผู้ควบคุมงานจะต้องทำการตรวจสอบและรับรองวันที่การก่อสร้างแล้วเสร็จต่อสำนักเจ้าของงาน/กรมทางหลวงซึ่งวันที่ได้รับการรับรองดังกล่าวจะถือว่าเป็นวันเริ่มต้นของระยะเวลาการรับประกันผลงานของผู้รับจ้างก่อสร้างตามโครงการ

## 5.4 เทคนิคการควบคุมงานก่อสร้าง

### 5.4.1 งานก่อสร้างการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด

ผู้ควบคุมงานจะทำการตรวจสอบแผนการทำงาน และวิธีการก่อสร้างของผู้รับจ้างตามขั้นตอนของงานตั้งแต่การเตรียมงาน งานถางป่า ขุดตอ (Clearing of Grubbing) งานดิน (Earth Work) งานโครงสร้าง งานเกี่ยวกับระบบแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด และงานเบ็ดเตล็ดอื่น ๆ รวมทั้งตรวจสอบแผนการจัดกำลังเครื่องจักร ชุดของเครื่องจักร ว่าเหมาะสมกับลักษณะงานแต่ละอย่างหรือไม่ ผู้ควบคุมงานจะใช้เทคนิคการคุมงานที่ดี มีประสิทธิภาพมาใช้ในการก่อสร้าง โดยจะยึดถือตาม**รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง** (Specification for Highway Construction) เป็นมาตรฐานในการควบคุมงานซึ่งครอบคลุมถึงขอบเขต และขั้นตอนของงานดังนี้

- **การควบคุมด้านวัสดุ/และการขนส่ง**
  1) ตรวจสอบและควบคุมแหล่งและคุณภาพของวัสดุ จะต้องมีคุณภาพไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในแบบ แหล่งวัสดุต้องได้รับความเห็นจากผู้ควบคุมงานก่อน
  2) ตรวจสอบเครื่องมือ เครื่องจักร ที่ใช้การขุด ตัก ขนและการขนส่ง การกองหรือทิ้งวัสดุที่เหลือให้เป็นไปตามมาตรการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม
  3) ตรวจสอบการเก็บตัวอย่างวัสดุ และการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุ
- **การเตรียมและการปรับสภาพพื้นที่พร้อมที่จะเริ่มการก่อสร้าง**
- **ควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของงานทุกขั้นตอน ให้เป็นไปตามเทคนิควิธีของข้อกำหนดการก่อสร้างทาง**

ตามลักษณะงานที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) งานการขุดตอ (Clearing of Grubbing)
2) งานตัดคันทาง (Roadway Excavation)
3) งานถมคันทาง (Embankment)
4) งานหินถมคันทาง (Rock Embankment)
5) งานวัสดุคัดเลือก (Selected Material)
6) งานรองพื้นทางและพื้นทาง (Subbase and Base)
7) งานไหล่ทาง (Shoulder)
8) งานแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดทั้งระบบ
9) งานผิวทาง
   9.1) ผิวทางแบบเซอร์เฟส ทรีตเมนต์ (Surface Treatment)
   9.2) งานแอสฟัลต์ คอนกรีต (Asphalt Concrete)
   9.3) งานผิวทางคอนกรีต
   9.4) งานผิวทางแบบอื่น ๆ
10) งานเบ็ดเตล็ดและงานอำนวยความปลอดภัย

การควบคุมงาน จะต้องครอบคลุมตั้งแต่ วัสดุ วิธีการก่อสร้าง การวัดปริมาณงาน (Quantity Measurement) และวิธีการจ่ายค่างาน (Payment) เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนด

### *5.4.1.1 การควบคุมวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง*

การควบคุมวัสดุจะดำเนินการควบคุมตั้งแต่ก่อนเริ่มทำงาน ระหว่างดำเนินการ และสิ้นสุดงานก่อสร้าง การควบคุมคุณภาพวัสดุให้ได้ตามมาตรฐานนั้น ทำได้โดยการตรวจสอบ ทดสอบวัสดุให้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด และตามขั้นตอนการก่อสร้างนั้น ๆ มีการเก็บตัวอย่างวัสดุมาตรวจสอบและทำการทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ เป็นระยะ ๆ เพื่อควบคุมคุณภาพให้ได้สม่ำเสมอ การทดสอบวัสดุนั้นเป็นส่วนที่สำคัญมาก อาจจะกล่าวได้ว่า การทดสอบวัสดุเป็นหัวใจของการก่อสร้างเลยทีเดียว

**(1) การเก็บตัวอย่างวัสดุ**

ต้องเก็บตัวอย่างให้เป็นตัวแทนของวัสดุนั้นหรือวัสดุที่นำมาส่งชุดนั้นๆ ดังนั้นการเก็บตัวอย่างจึงต้องมีวิธีการสุ่มเก็บที่ถูกต้อง เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่ถูกต้องโดยมีหลักการในการเก็บตัวอย่างทั่ว ๆ ไป ดังต่อไปนี้

ก) มีคุณสมบัติเสมือนเป็นตัวแทนของวัสดุชุดนั้น หรือกองนั้นทั้งหมด ทั้งสี เนื้อวัสดุ ส่วนผสม คุณภาพ ฯลฯ รวมถึงวิธีการเก็บที่ถูกต้องและกรณีที่มีข้อระบุไว้ในมาตรฐานให้เก็บตามวิธีที่ระบุไว้

ข) เก็บตัวอย่างให้มีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ได้ตามที่ต้องการ โดยอาจเก็บตามน้ำหนัก ความยาว หรือจำนวนแล้วแต่ชนิดของวัสดุ

ค) เขียนชื่อกำกับตัวอย่างนั้นๆ อย่างชัดเจน ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปี สถานที่ที่เก็บ จุดที่เก็บ ผู้เก็บตัวอย่าง ระวังการสับสนเมื่อเก็บตัวอย่างหลายตัวอย่างพร้อม ๆ กัน

ง) ภาชนะที่ใช้ใส่วัสดุควรเหมาะสม แข็งแรง การขนส่งอาจจะทำให้เกิดความเสียหายแก่วัสดุหรือทำให้วัสดุเปลี่ยนแปลงได้

จ) ถ้าหากต้องมีการรอก่อนจะถึงวันทดสอบจะต้องมีการเก็บรักษาตัวอย่างให้คงสภาพเดิมเอาไว้จนกว่าจะถึงเวลานำไปทดสอบ

### (2) หลักการควบคุมวัสดุ

หลักการมีการควบคุมคุณภาพวัสดุ จะต้องดำเนินการทั้งก่อนจะนำวัสดุมาลง ระหว่างลงวัสดุ และลงวัสดุเรียบร้อยแล้ว ว่าใช้งานได้หรือไม่ ตามมาตรฐานของวัสดุแต่ละชนิด การทดสอบก่อนลงวัสดุ เรียกการดำเนินการในขั้นนี้ว่า General Test เป็นการเก็บวัสดุจากแหล่งของวัสดุ เช่น บ่อยืม (งานดิน) บ่อลูกรัง ถ้าเป็นวัสดุหินคลุกจะเก็บจากโรงโม่ที่จะนำไปใช้ จำนวนตัวอย่างที่เก็บส่งเพียง 1 หรือ 2 ตัวอย่าง แล้วแต่กรณี หรือจากโรงงานผู้ผลิต/ผู้จัดจำหน่ายจำนวนการเก็บตัวอย่างให้เป็นไปตามมาตรฐาน หรือข้อกำหนดของกรมทางหลวงหรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ การทดสอบ General Test เมื่อผ่านตามมาตรฐานและอนุมัติให้ใช้ได้แล้ว ในขั้นตอนที่ผู้รับจ้างนำวัสดุมาลงในโครงการฯ ผู้ควบคุมงานจะเก็บตัวอย่างวัสดุที่ได้นำมาลงในโครงการฯจริงไปทดสอบอีกครั้งหนึ่ง เรียกว่า การทำ Control Test การเก็บทดสอบครั้งนี้เพื่อควบคุมให้เกิดความแน่ใจว่าผู้รับจ้างได้นำวัสดุที่ดีเหมาะสมตามที่ได้ทดสอบ General Test ในครั้งแรกแล้วมาใช้งานจริงตาม Flow Chart แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน**รูปที่** 5.1-3

สำหรับในงานส่วนที่เป็นวัสดุอุปกรณ์ ที่ใช้ในระบบของการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด อาจจะมีทั้ง General Test และ Control Test ส่วนมากจะเป็นวัสดุอุปกรณ์ที่ผลิตมาจากโรงงาน อาทิ Geotextile, Geogrid, Gabion, Mattress, Tension Rod, Anchor Rod และ Wire Mesh เป็นต้น ในกรณีที่มีการใช้เป็นจำนวนมากจะมีทั้ง General Test และ Control Test แต่มีบางส่วนที่ใช้จำนวนไม่มากนัก อาจจะมีเฉพาะ Control Test ทั้งนี้แล้วแต่กรณี การเก็บตัวอย่าง การสุ่มตัวอย่างวัสดุ เพื่อการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานของสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบหรือตามข้อกำหนดในแบบ

### (3) การทดสอบวัสดุ

- งานดินถม (Subgrade)

  ก) General Test ทดสอบ ชั้นวัสดุดินถม โดยส่งวัสดุทดสอบค่าต่าง ๆ ดังนี้
  - Compaction Test (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 107/2517 หรือ 108/2517)
  - C.B.R. (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 109/2517)
  - Swelling

โดยการเก็บตัวอย่างให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

ข) Control Test ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุที่นำไปทดสอบในห้องทดลองกับที่นำไปใช้จริงมีค่าใกล้เคียงกัน

ค) Field Density Test จะทำการทดสอบตามตำแหน่งที่ผู้ควบคุมงานแนะนำหรือตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือข้อกำหนด

- งานวัสดุคัดเลือก (Selected Material)

ก) General Test ให้ดำเนินการทดสอบ ดังนี้

- Compaction (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 107/2517 หรือ 108/2517)
- C.B.R. (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 109/2517)
- Sieve Analysis (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 204/2516 หรือ 205/2517)
- Atterberg Limits (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 103/2515)
- Swelling

โดยการเก็บตัวอย่างให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

ข) Control Test ให้เก็บตัวอย่างในพื้นที่โครงการตามที่ผู้ควบคุมงานแนะนำหรือตามข้อกำหนด

ค) Field Density Test จะทำการทดสอบตามตำแหน่งที่ผู้ควบคุมงานแนะนำหรือตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือข้อกำหนด

- งานรองพื้นทาง (Subbase)

ก) General Test ทดสอบดังนี้

- Sieve Analysis (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 204/2516 หรือ 205/2517)
- Atterberg Limits (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 204/2516 หรือ 205/2517)
- Swelling
- C.B.R. (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 109/2517)
- Compaction (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 107/2517 หรือ 108/2517)
- Abrasion (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 202/2515)

โดยการเก็บตัวอย่างให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

ข) Control Test ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุที่นำไปทดสอบในห้องทดลองกับที่นำไปใช้จริงให้ตรงกัน

ค) Field Density Test จะทำการทดสอบตามตำแหน่งที่ผู้ควบคุมงานแนะนำหรือตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือข้อกำหนด

- งานพื้นทาง (Base)

ก) General Test ให้ดำเนินการทดสอบดังนี้

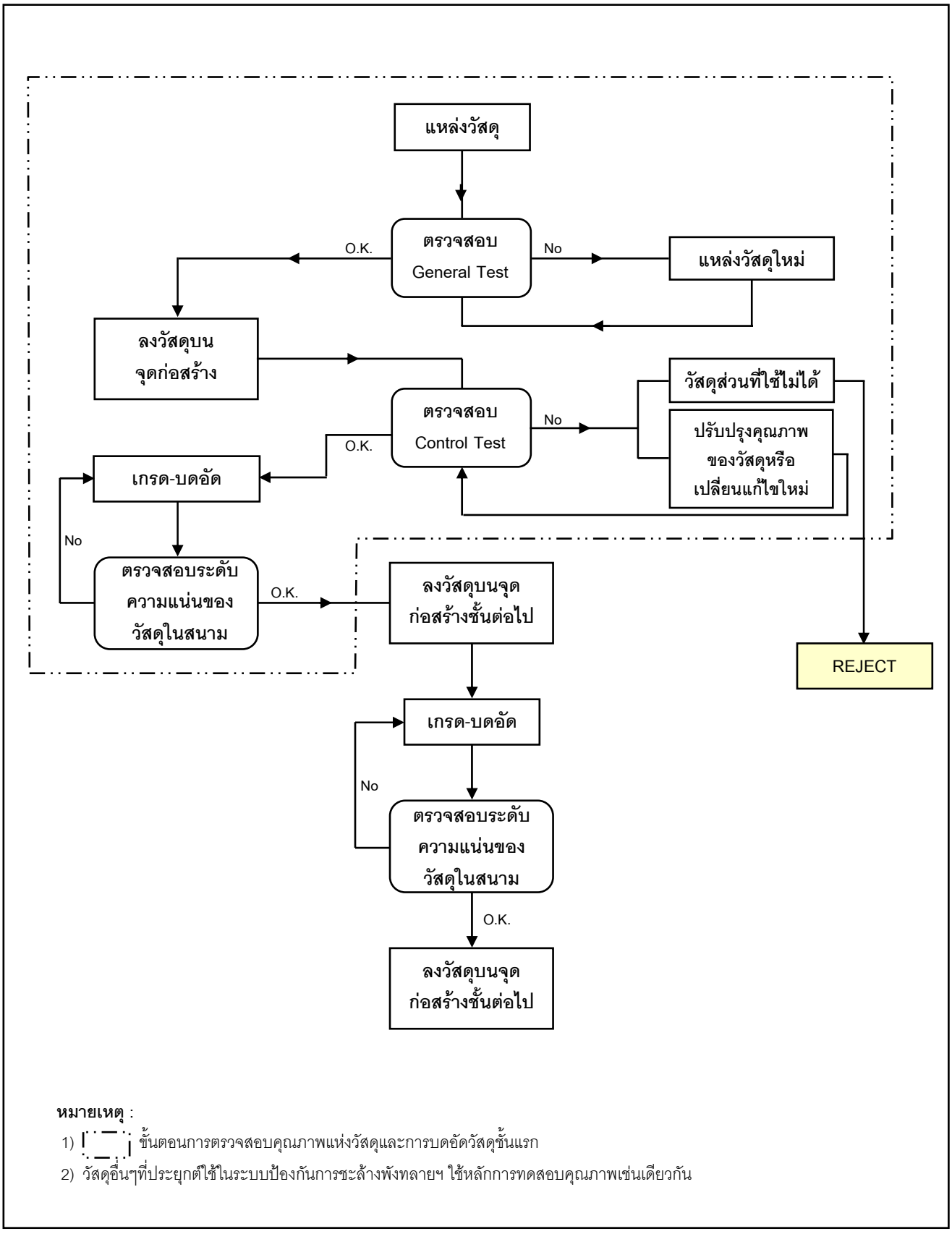
- Sieve Analysis (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 204/2516 หรือ 205/2517)
- Atterberg Limits (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 204/2516 หรือ 205/2517)
- Swelling
- C.B.R. (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 109/2517)
- Compaction (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 107/2517 หรือ 108/2517)
- Abrasion (ตามมาตรฐาน ทล.ท. 202/2515)

โดยการเก็บตัวอย่างตัวแทนให้เก็บ 1 ตัวอย่าง ต่อ 1 โรงโม่ หรือถ้าโรงโม่เดียวกันแต่เปลี่ยนแปลงแหล่งวัสดุจะต้องเก็บตัวอย่างเพิ่มตามที่เปลี่ยนแปลงแต่ละตัวอย่างเก็บไม่น้อยกว่า 30 กิโลกรัม

ข) Control Test จะเก็บตัวอย่างทดสอบ ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแบบหรือตามที่ผู้ควบคุมงานแนะนำ และทุกตำแหน่งที่วัสดุแปรเปลี่ยน การทดสอบเพียง Sieve Analysis และ Compaction เช่นกัน แต่ทั้งนี้หากเกิดความสงสัยวัสดุตำแหน่งใดสามารถทดสอบทั้งหมดเหมือน General Test ก็ได้

ค) Field Density Test ทำการทดสอบตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแบบหรือตามที่ผู้ควบคุมงานแนะนำ

**หมายเหตุ** วัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ที่ใช้ในระบบแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลาย ให้ดำเนินการในหลักการเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้วและให้เป็นไปตามแบบหรือตามข้อกำหนดของแบบ




**รูปที่** 5.1-3 Flow Chart **การตรวจสอบคุณภาพของวัสดุ (งานดินและงานโครงสร้างชั้นทางฯ)**

### *5.4.1.2 ลำดับขั้นตอนงานก่อสร้าง*

การก่อสร้าง ประกอบด้วยงานส่วนต่างๆ หลายส่วน นับตั้งแต่การเคลียร์เปิดพื้นที่ไปจนถึงการทำผิวจราจร แม้ว่างานก่อสร้างการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดจะแตกต่างกันในเรื่องขนาดของโครงการ แต่ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยงานรายการต่างๆ คล้ายๆ กัน ขบวนการของการก่อสร้างถนนมักจะเริ่มต้นด้วยการทำ Location Survey แล้วก่อสร้างชั้นต่างๆ ของการแก้ไขป้องกันฯ เริ่มจากชั้นล่าง ตามลำดับสู่ชั้นบน อย่างไรก็ตาม งานก่อสร้างอื่นๆ เช่น อุปกรณ์ระบายน้ำ รางระบายน้ำ Horizontal Drain สามารถกระทำได้ในช่วงเดียวกับที่ก่อสร้างคันทางและขั้นอื่นๆ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง ดังนี้

(1) งานกรุยทาง ถางป่า (Clearing and Grubbing) หรือการปรับพื้นที่

งานกรุยทางถางป่า หมายถึง การกำจัดต้นไม้ พุ่มไม้ ไม้ผุ ขยะ วัชพืช และสิ่งไม่พึงประสงค์ออกจากเขตทางหรือบริเวณที่จะก่อสร้างเป็นคันทาง คูระบายน้ำ หรือบริเวณที่จะก่อสร้างโครงสร้างต่าง ๆ วัสดุเหล่านี้หากคงไว้จะผุพังภายหลัง ทำให้เกิดช่องว่างอันทำให้ถนนทรุดตัวได้ นอกจากนี้ บ่อยืม (Borrow Pit) จะต้องถางป่าและขุดตอไม้ออกให้เรียบร้อยก่อนนำวัสดุมาใช้

เมื่อดำเนินการกรุยทาง ถางป่าเรียบร้อยแล้ว จะต้องมีการตรวจสอบระดับ Profile และ Section พร้อมทั้งวาง Slope Stake ในขั้นตอนนี้ควรกรุยทางหรือปรับพื้นที่ให้ได้ตลอดพื้นที่ก่อสร้างและวาง Toe Slope ให้ตลอดเพื่อให้รู้รอบเขตการก่อสร้างอีกทั้งหากเกิดปัญหาเรื่องกรรมสิทธิ์ที่ดินจะได้ทราบในขั้นต้นทำให้แก้ไขปัญหาได้ทันเหตุการณ์

(2) งานขุดตัด (Roadway Excavation)

งานดินตัดเป็นกระบวนการทำให้ดินหรือหินหลวม (Loosening) นำวัสดุที่ขุดได้ไปใช้ในบริเวณที่ต้องการถม หรือนำไปทิ้งแล้วแต่กรณี รวมทั้งการตกแต่งในบริเวณที่ตัดให้ได้คันทางที่มีรูปร่าง ระดับตามรูปแบบก่อสร้าง วิธีการขุดขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุ สถานที่ เวลา และระยะทางขนส่ง (Haul Distance) วัสดุที่ขุดตัดออกมาแล้วต้องพิจารณาว่าเป็นวัสดุที่จะนำไปใช้งานได้หรือไม่ หากใช้ไม่ได้ต้องนำไปทิ้งที่ที่เห็นสมควร แล้วนำวัสดุที่เหมาะสมมาใช้แทน

(3) งานวัสดุถม (Fill and Embankment)

งานถมนี้ หมายถึง การนำวัสดุจากแหล่งหนึ่งมาลงเพื่อใช้เป็นวัสดุคันทาง และวัสดุชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างของโครงการฯ วัสดุที่ใช้ถมแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามการรับน้ำหนัก โดยทั่วไปส่วนใหญ่ประกอบด้วยชั้นต่างๆ ตั้งแต่ ชั้นดินเดิม ชั้นดินถม ชั้นวัสดุคัดเลือก ชั้นรองพื้นทาง ชั้นพื้นทาง การก่อสร้างในแต่ละชั้นมีลักษณะเหมือนกันในหลักการ

(4) งานวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางและผิวทางให้ดำเนินการก่อสร้างไปตามมาตรฐานการควบคุมงานก่อสร้างของกรมทางหลวง

(5) งานอื่น ๆ ของระบบแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด อาทิ ระบบป้องกันการชะล้างฯ เช่น Shotcrete, Hydroseeding, การปลูกหญ้า, หญ้าแฝก, Mattress, ระบบกำแพงกันดิน(Retaining Structure) ทุกชนิด เช่น Concrete Retaining Wall, Gabion Wall, M.S.E. Wall, ระบบ Soil Nailing, ระบบ Geogrid, ระบบ Rock Fall Protection งานระบบระบายน้ำทั้งน้ำใต้ดิน (Underground Water) และน้ำผิวดิน (Surface Water) เป็นต้น จะต้องดำเนินการก่อสร้างเป็นไปตามแบบและข้อกำหนดในแบบนั้น ๆ

### 5.4.2 ข้อควรระวังเป็นพิเศษในระหว่างการก่อสร้าง

งานก่อสร้างเพื่อแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด แม้ว่าเป็นงานเฉพาะที่เฉพาะจุดก็ตามจะต้องมีการควบคุมเป็นพิเศษในหลายประการดังนี้

- **การควบคุมด้านความปลอดภัยต่อประชาชนและต่อผู้ปฏิบัติงาน**
  1) การอำนวยความสะดวก ความปลอดภัยแก่ประชาชนสัญจร และประชาชนสองข้างทางในพื้นที่โครงการ
  2) การติดตั้งป้ายและสัญญาณการควบคุมการจราจร
  3) การปฏิบัติบางครั้งต้องดำเนินการในที่สูงซึ่งมีความลาดชันมาก ผู้ควบคุมจะต้องแจ้งเตือนให้ผู้รับจ้างเพิ่มความระมัดระวังในการก่อสร้าง ทั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้และอุปกรณ์ด้านความปลอดภัย เป็นต้น

- **ควบคุมการมีและการใช้วัตถุระเบิด (ถ้ามี) จะต้องให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด**
- **ควบคุมด้านการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในพื้นที่โครงการ** ซึ่งการก่อสร้างจะต้องดำเนินการในลักษณะที่ไม่ทำลายธรรมชาติ ไม่ว่าต้นไม้ ลำน้ำ และพื้นดิน การขุด การถม และการกองวัสดุ จะต้องดำเนินการโดยความระมัดระวังเป็นพิเศษที่จะไม่ทำลายหรือเป็นสาเหตุให้ทำลายธรรมชาติ
- **มีมาตรการระวังภัยธรรมชาติ** โดยเฉพาะช่วงหน้าฝน ฝนตกหนัก น้ำป่าไหลหลาก เป็นต้น ในขณะที่การทำงานยังไม่แล้วเสร็จ ผู้ควบคุมงานจะต้องแจ้งเตือนให้ผู้รับจ้างมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ ต่อภัยธรรมชาติดังกล่าวนี้ โดยจะต้องเตรียมการป้องกันไม่ว่าจะใช้ในลักษณะวัสดุคลุมชั่วคราว หรือการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำให้ออกนอกพื้นที่ก่อสร้างให้เร็วที่สุด การจัดการเรื่องระบบระบายน้ำชั่วคราว เป็นต้น

## 5.5 การตรวจสอบติดตามในช่วงประกันผลงาน

ตามสัญญาก่อสร้างของกรมทางหลวง หลังจากส่งงานงวดสุดท้ายเรียบร้อยแล้ว ผู้รับจ้างจะขอเบิกเงินประกันสัญญาการก่อสร้างและจะมีการวางเงินหรือหนังสือค้ำประกันผลงาน โดยทั่วไปวงเงินค่าประกันผลงานคิดเป็น 5% ของมูลค่างานและระยะเวลาประกันผลงาน 2 ปี ซึ่งหน้าที่ของผู้ควบคุมงานหรือหน่วยงานหรือสำนักเจ้าสังกัดจะต้องมีการตรวจสอบความชำรุดบกพร่องเสียหายของงานดังกล่าว และเมื่อพบความเสียหายจะต้องมีหนังสือแจ้งให้ผู้รับจ้างทราบและให้ดำเนินการแก้ไขความชำรุดเสียหายนั้น ภายในเวลาที่กำหนดไว้ในสัญญาจ้างโดยเร็วแล้วแต่ลักษณะของงาน แต่โดยทั่วไปภายใน 15 วัน แต่เนื่องจากงานแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดหากเกิดความเสียหายจะมีผลกระทบต่อการจราจร ดังนั้น ผู้ควบคุมงานเมื่อตรวจสอบพบความชำรุดเสียหายจะต้องรีบดำเนินการแจ้งให้ผู้รับจ้างทราบและดำเนินการแก้ไขโดยด่วน

อนึ่ง จากประสบการณ์ที่ผ่านมา พบว่า มีหลายงานหลายโครงการของงานแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดเกิดความเสียหายในช่วงประกันผลงาน แต่การซ่อมแซมแก้ไขข้อชำรุดเสียหายนั้นมักดำเนินการค่อนข้างช้า บางครั้งความเสียหายได้ขยายตัวมากขึ้นและมีผลกระทบต่อการจราจร ดังนั้น จึงขอแนะนำให้ผู้ควบคุมงานหรือผู้รับผิดชอบงานโครงการดังกล่าวไม่ว่าแขวงการทาง เขตการทางหรือสำนักเจ้าของงาน ต้องให้ความสำคัญของเรื่องนี้จะต้องมีการกวดขัน กำชับให้ผู้รับจ้างปฏิบัติตามสัญญาโดยเคร่งครัด และบางครั้งพบว่า ความเสียหายอาจจะมีมากกว่าเงินค่าประกันผลงาน และมีโอกาสที่ผู้รับจ้างจะเพิกเฉยต่อการซ่อมแซมและยอมให้ริบเงินค่าประกันผลงาน **ดังนั้น ในงานแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัว**

ของเชิงลาดควรจะได้มีการพิจารณาเพิ่มวงเงินค่าประกันผลงานให้มากกว่า 5% อาจจะเป็น 10% เพื่อให้ผู้รับจ้างจะได้มีความกระตือรือร้นในการซ่อมแซมแก้ไขข้อบกพร่องของงานนั้นโดยเร็ว

# เอกสารอ้างอิง

1. องค์การความร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น และ กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม (2538), ***คู่มือการป้องกันและซ่อมแซมความเสียหายของถนนในประเทศไทย***, เล่มที่ 5

2. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region (2000), ***Technical Guidelines on Landscape Treatment and Bio-Engineering fo Man-Made Slopes and Retaining Walls***, Geotechnical Office, Civil Engineering Department, Hong Kong.

3. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (1988), ***Highway Slope Maintenance and Slide Restoration Workshop***

4. พิศิษฐ ศรีวิไลฤทธิ์ (2544), ***การใช้วัสดุสังเคราะห์ทางธรณีในงานป้องกัดการกัดเซาะและการตกตะกอนของดิน***, การสัมมนาเทคนิควิธีการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด, กรมทางหลวง, กรุงเทพมหานคร

5. Draper, I. (2544), ***Designing with Gabions***, การสัมมนาเทคนิควิธีการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด, กรมทางหลวง, กรุงเทพมหานคร

6. ยงยุทธ แต้ศิริ และ ปรนิก จิตต์อารีกุล (2544), ***ปัญหาน้ำใต้ดินในลาดคันทางและลาดธรรมชาติ***, การสัมมนาเทคนิควิธีการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด, กรมทางหลวง, กรุงเทพมหานคร

7. มนตรี เดชาสกุลสม (2544), ***การเสริมกำลังดินโดยวัสดุเสริมแรง***, การสัมมนาเทคนิควิธีการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด, กรมทางหลวง, กรุงเทพมหานคร

8. ก้องเกียรติ วิเศษรัตน์ (2544), ***การเพิ่มเสถียรภาพคันดินโดยวิธี Soil Nailing***, การสัมมนาเทคนิควิธีการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด, กรมทางหลวง ,กรุงเทพมหานคร

9. AGOSTINI, R.; MAZZALAI, P. and PAPETTI, A. (1988), Hexagonal Wire Mesh for Rock – Fall and Slope Stabilization, Bologna, Italy.

10. นพดล เพียรเวช (2544), ***การออกแบบและการรักษาเสถียรภาพลาดหิน***, การสัมมนาเทคนิควิธีการแก้ไขป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด, กรมทางหลวง, กรุงเทพมหานคร.

11. Day, R.W. (2001), ***Soil Testing Manual – Procedures***, Classification Data and Sampling Practices, McGraw-Hill, New York.

# ภาคผนวก ก

# รายละเอียดการออกแบบแก้ไขปัญหาเชิงลาด

# ภาคผนวก ก
# รายละเอียดการออกแบบแก้ไขปัญหาเชิงลาด

## 1. การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด

### 1.1 การคำนวณค่าเสถียรภาพเชิงลาด

อัตราส่วนปลอดภัยของเชิงลาด (Factor of Safety, F.S.) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของมวลดินต่อความเค้นเฉือนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นตามแนวการเคลื่อนตัว (Slip Surface) ของเชิงลาดหรือสามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$F.S. = \frac{\tau_f}{\tau_d} \qquad (ก.1)$$

โดย F.S. = อัตราส่วนปลอดภัยของเชิงลาด

$\tau_f$ = กำลังรับแรงเฉือนของมวลดิน

$\tau_d$ = ความเค้นเฉือนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นตามแนวการวิบัติ

อัตราส่วนปลอดภัยสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกได้เป็นหลายกรณีดังนี้

#### 1.1.1 อัตราส่วนปลอดภัยในสภาพปัจจุบัน

อัตราส่วนปลอดภัย ของเชิงลาดภายหลังจากเกิดการพังทลายสามารถคำนวณได้จากการตรวจสอบลักษณะทางเรขาคณิตและสภาพชั้นดินในบริเวณที่ได้รับความเสียหาย ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 0.90 อย่างไรก็ดี อัตราส่วนปลอดภัยอาจมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยมีค่าแปรผันกับแนวโน้มการเคลื่อนตัวของเชิงลาดในอนาคตดังแสดงใน**ตารางที่ ก**-1

**ตารางที่ ก-1 อัตราส่วนปลอดภัยของเชิงลาดตามแนวโน้มการเคลื่อนตัวในอนาคต**

| แนวโน้มการเคลื่อนตัวในอนาคต | อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.) |
|---|---|
| เกิดการเคลื่อนตัวขนาดใหญ่ | 0.90 |
| เกิดการเคลื่อนตัวเล็กน้อย | 0.95 |
| ไม่มีการเคลื่อนตัวหรือเชิงลาดอยู่ในสภาพสมดุล | 1.00 |

### 1.1.2 อัตราส่วนปลอดภัยที่ต้องการ

อัตราส่วนปลอดภัยที่ต้องการ หมายถึง ค่าอัตราส่วนปลอดภัยของเชิงลาดที่ได้รับความเสียหายมีเสถียรภาพจากการออกแบบแก้ไขโดยค่าดังกล่าวจะต้องพิจารณาจากระดับความรุนแรงของการพังทลาย ความปลอดภัยของผู้ใช้ทาง สิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ บริเวณทางหลวงรวมถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งควรมีค่าดังแสดงใน**ตารางที่ ก-2**

**ตารางที่ ก-2 อัตราส่วนปลอดภัยของเชิงลาดที่ต้องการภายหลังจากได้รับการออกแบบแก้ไข [1]**

| รูปแบบการออกแบบแก้ไข | อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.) |
|---|---|
| งานซ่อมแซมเร่งด่วน | 1.20 |
| งานออกแบบแก้ไขถาวร | 1.40 |

### 1.1.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด

ขั้นตอนการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดโดยทั่วไปประกอบด้วย

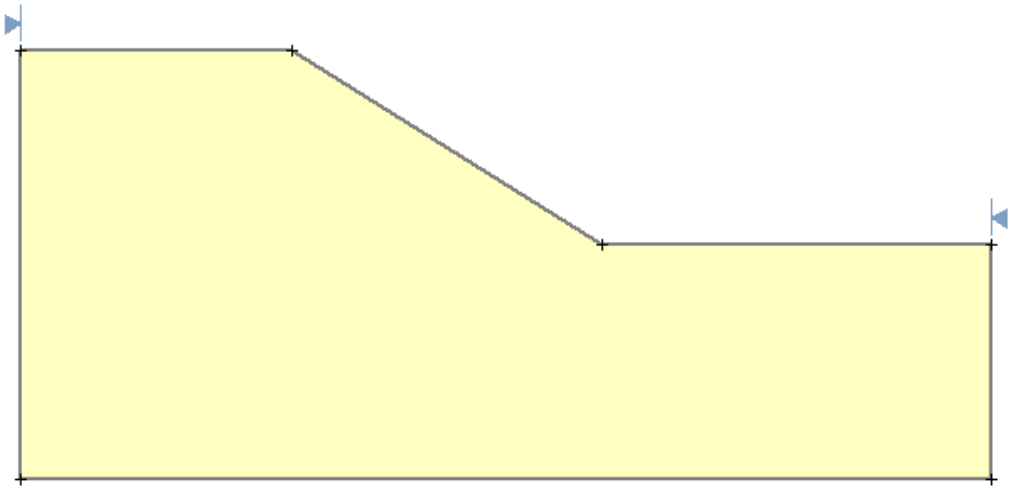
1.1.3.1 ประเมินลักษณะเชิงเรขาคณิต แนวการเคลื่อนตัว (Slip Surface) ระดับน้ำภายในเชิงลาด

โดยทั่วไป ลักษณะเชิงเรขาคณิตจะได้จากการสำรวจภูมิประเทศ แนวการเคลื่อนตัว มักกำหนดให้มีลักษณะเป็นวงกลม ดังแสดงใน**รูปที่ ก-1** ในส่วนของระดับน้ำใต้ดินนั้นจะได้จากการเจาะสำรวจสภาพชั้นดินในสนามหรือใช้ค่าประมาณดังนี้

เมื่อระดับน้ำใต้ดินปกติอยู่ในระดับลึกกว่าแนวการเคลื่อนตัว ระดับน้ำใต้ดินในช่วงฝนตกหนักจะสมมติให้มีค่าเพิ่มขึ้น 10-15 เมตร

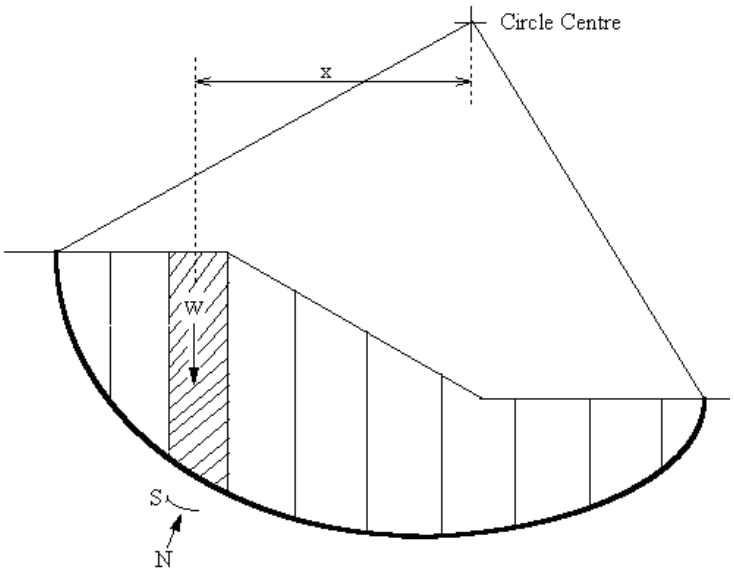
เมื่อระดับน้ำใต้ดินปกติอยู่ในระดับสูงกว่าแนวการเคลื่อนตัว 3-5 เมตร ในช่วงฝนตกหนักจะสมมติให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 5-7 เมตร

เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับ 5 เมตร จากผิวดินจะสมมติให้ระดับน้ำใต้ดินในช่วงฝนตกหนักเพิ่มขึ้นจนถึงระดับผิวดิน



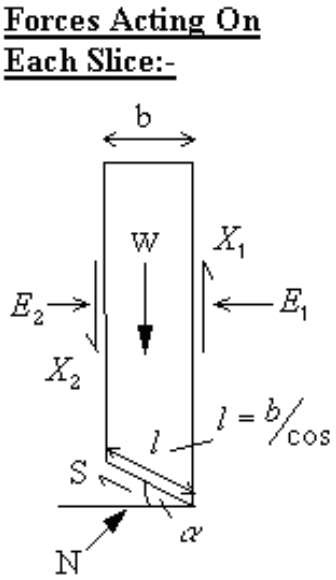
**รูปที่ ก-1 การกำหนดลักษณะเชิงเรขาคณิต แนวการเคลื่อนตัว และระดับน้ำภายในเชิงลาด**

1.1.3.2 แบ่งมวลดินภายในแนวการเคลื่อนตัวเพื่อคำนวณความสมดุลภายในดังแสดงใน **รูปที่ ก-2**




(ก) การแบ่งมวลดินภายในแนวการเคลื่อนตัวของเชิงลาด

**รูปที่ ก-2 การแบ่งมวลดินภายในแนวการเคลื่อนตัวเพื่อคำนวณความสมดุลภายใน**




(ข) หน่วยแรงภายในมวลดิน

**รูปที่ ก-2 การแบ่งมวลดินภายในแนวการเคลื่อนตัวเพื่อคำนวณความสมดุลภายใน (ต่อ)**

1.1.3.3 คำนวณอัตราส่วนปลอดภัย

สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดในกรณีที่ขาดข้อมูลเนื่องจากไม่มีงบประมาณในการเจาะสำรวจชั้นดินหรือสามารถเจาะสำรวจดินได้เป็นจำนวนน้อยและไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดอาจใช้ค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมธรณีทั่วไปของมวลดินและหินดังแสดงใน**ตารางที่ ก-3 และตารางที่ ก-4** มาประกอบในการคำนวณได้

**ตารางที่ ก-3 ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำโดยทั่วไป** [11]

| ชนิดดิน | ค่าแรงยึดเหนี่ยว, C (ตัน/ตร.ม.) |
|---|---|
| Very Soft | <1.2 |
| Soft | $1.2 \leq C < 2.5$ |
| Medium | $2.5 \leq C < 5.0$ |
| Stiff | $5.0 \leq C < 10.0$ |
| Very Stiff | $10.0 \leq C < 20.0$ |
| Hard | > 20.0 |

**ตารางที่ ก-4 ค่าแรงยึดเหนี่ยวและมุมเสียดทานภายในของมวลหินโดยทั่วไป [1]**

| ชนิดหิน | | แรงยึดเหนี่ยว, C (ตัน/ตร.ม.) | มุมเสียดทานภายใน (องศา) |
|---|---|---|---|
| หินแปร | | 0 - 0.2 | 20 - 28 |
| หินอัคนี | | 0 | 23 - 36 |
| หินชั้น | Palaeozoic | 0 - 0.4 | 23 - 32 |
| | Mesozoic | 0 - 1.0 | 21 - 26 |
| | Paleogene | 0 - 2.0 | 20 - 25 |
| | Neogene | 0 - 2.5 | 12 - 22 |

อัตราส่วนปลอดภัยของเชิงลาดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F.S. = \frac{\sum (C.L + (W.\text{Cos}\alpha - u.L)\tan\phi}{\sum W.\text{Sin}\phi} \qquad (ก.2)$$

โดย
- F.S. = อัตราส่วนปลอดภัย
- C = แรงยึดเหนี่ยว (ตัน/ตร.ม.)
- $\phi$ = มุมเสียดทานภายใน (องศา)
- L = ความยาวทั้งหมดของแนวเลื่อน (เมตร)
- W = น้ำหนักของมวลดินภายในแนวการวิบัติที่ได้แบ่งเป็นส่วนย่อย (ตัน/ม.)
- $\alpha$ = มุมระหว่างมวลดินที่แบ่งกับแนวการเคลื่อนตัว

## 2. การออกแบบแก้ไขเพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายและจัดการน้ำผิวดินบริเวณเชิงลาด

### 2.1 การปลูกพืชคลุมดิน

การปลูกพืชคลุมดินมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการกัดเซาะจากน้ำที่ไหลผ่านผิวหน้าดินและลดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณหน้าดินซึ่งช่วยลดการแตกร้าวอันเป็นสาเหตุทำให้น้ำไหลเข้าสู่ช่องว่างจนกลายเป็นแรงผลัก (Driving Force) ทำให้เชิงลาดเกิดการพังทลาย

#### 2.1.1 การใช้งาน

การเลือกใช้วิธีปลูกพืชคลุมดินสามารถนำมาใช้ในบริเวณเชิงลาดได้หลายกรณี ยกเว้นในพื้นที่ดังต่อไปนี้

2.1.1.1 บริเวณที่แสงแดดส่องไม่ถึงเนื่องจากถูกโครงสร้าง เช่น สะพาน สะพานยาว (Viaduct) บดบังอยู่

2.1.1.2 ความเป็นกรดของดินค่อนข้างสูง

2.1.1.3 เมื่อเชิงลาดมีความชันสูงหรือมีค่ามากกว่า 60 องศา

#### 2.1.2 การคัดเลือกพืชคลุมดิน

เพื่อให้การปลูกพืชคลุมดินมีประสิทธิภาพและสามารถเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี โดยไม่จำเป็นต้องดูแลรักษามากนัก จึงควรพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1.2.1 ความลาดชันของเชิงลาด

เมื่อความลาดชันของเชิงลาดมีค่าน้อยกว่า 2:1 ในกรณีของ Soft Rock และดินเหนียวหรือความลาดชันของเชิงลาดมีค่าน้อยกว่า 1:1.5 ในกรณีของทรายหรือดินร่วน งานปลูกพืชคลุมดินเพียงอย่างเดียว อาจป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากน้ำหรือการพังทลายของหน้าดินได้ อย่างไรก็ตาม หากความลาดชันสูงกว่าที่ระบุข้างต้น การปลูกพืชคลุมดินเพียงอย่างเดียวอาจใช้ไม่ได้ผลมากนัก ดังนั้น การใช้วิธีการอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น Cribwork และ Wicker Work จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า

2.1.2.2 วิธีการปลูก บริเวณของเชิงลาด และชนิดดินหรือหิน

วิธีการปลูกพืชคลุมดินที่เหมาะสมตามบริเวณของเชิงลาดและชนิดดินหรือหิน สามารถพิจารณาได้จาก**ตารางที่ ก**-5

**ตารางที่ ก-5 งานปลูกพืชคลุมดินตามวิธีการปลูก บริเวณของเชิงลาด และชนิดดินหรือหิน**

| วิธีการปลูก | ลาดเหนือคันทาง | | | | | | ลาดคันทาง | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sand | Sandy Soil/Sandy Soil with Gravel or Rock | | Clayey Soil, Clayey Soil with Gravel or Rock, Clay | | Hard Clay, Weathered, Soft Rock, MudStone | Sandy Soil,Soft Rock,Mud Stone | Clayey Soil, Clayey Soil with Gravel or Rock | Sand |
| | | Hardness of Soil[a] | | Hardness of Soil[a] | | | | | |
| | | ≤27 mm. | > 27 mm. | ≤27 mm. | > 27 mm. | | | | |
| การปลูกโดยใช้หญ้าแผ่น | A | A | | A | | | A | A | A |
| การปลูกเป็นแนวยาว | | | | | | | A | A | |
| ถุงใส่เมล็ด | | | A | | A | A | | | |
| ขุดหลุมปลูกกล้าไม้ | | | A | | A | A | | | |
| การพ่นเมล็ด | B | B | | B | | | A | A | C |
| Hydroseeding | A | A | A | A | A | A | | | A |

**หมายเหตุ**:

[a]Hardness of Soil หมายถึง ความแข็งของชั้นดินซึ่งสามารถประเมินได้จากเครื่องมือทดสอบ Yamanaka

A : Applicable Geology

B : Applicable for Fertile Soil

C : Applicable when Laying Top Soil

2.1.2.3 ความเป็นกรดของดิน

ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน (pH) มีผลอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น การตรวจสอบค่าดังกล่าวก่อนเริ่มเพาะปลูกพืชบนเชิงลาดจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไปหากวัสดุบนลาดคันทางมีค่าความเป็นกรดสูงควรทำให้เป็นกลางก่อนโดยใช้ Alkaline Carbonic Acidic Calcium

อย่างไรก็ดี ในกรณีลาดเหนือคันทางจะเป็นการยากในการลดความเป็นกรดของดิน การแก้ไขปัญหาในลักษณะนี้จึงควรใช้ดินใหม่ผสมด้วย Carbonic Acidic Calcium แล้วจึงดำเนินการปลูกโดยใช้ถุงบรรจุเมล็ดหรือขุดหลุมหยอดเมล็ด

หากพบว่าบริเวณผิวหน้าเชิงลาดมีน้ำผุดเกิดขึ้นทั้งในบริเวณลาดเหนือคันทางหรือลาดคันทาง วิธีการพ่นเมล็ดพร้อมส่วนผสมโดยให้มีความหนาแน่นมากกว่าปกติ

จะเป็นวิธีการที่ให้ผลดี ในที่นี้เมล็ดพืชจะถูกผสมเข้ากับ Binder เพื่อป้องกันการถูกชะล้าง

### 2.1.3 การออกแบบ

2.1.3.1 การคัดเลือกพันธุ์พืชและการคัดเลือกเมล็ด

การคัดเลือกพันธุ์พืชและการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ โดยทั่วไปจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยความเป็นไปได้ในกรณีต่าง ๆ หลายประการ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ประเภทดิน ความชัน ความชื้น อายุของพันธุ์พืช และความสามารถในการบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งานของเชิงลาด

จากประสบการณ์ที่ผ่านมา พบว่า การปลูกหญ้านั้นค่อนให้ผลดีในแง่การเจริญเติบโตในช่วงเริ่มแรกและสามารถป้องกันการชะล้างผิวหน้าได้ดีแต่ต้องการปุ๋ยเป็นจำนวนมาก อีกทั้งรากหญ้าค่อนข้างตื้นจึงไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการพังทลายมากนัก หากเป็นไม้ยืนต้นจะมีข้อได้เปรียบในการป้องกันการพังทลายได้ดีกว่าเนื่องจากมีรากลึกและไม่ต้องการปุ๋ยมากนักแต่อาจไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการชะล้างผิวหน้าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปลูกหญ้า ดังนั้น การผสมผสานระหว่างการปลูกต้นไม้และการปลูกหญ้าจึงเป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมในระยะยาวมากกว่าการเลือกใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงอย่างเดียว

สำหรับปริมาณเมล็ดหญ้าที่จะใช้นั้น สามารถหาได้โดยสมการ

$$W = \frac{G}{S \times \frac{P}{100} \times \frac{B}{100}} \qquad \text{(ก.3)}$$

โดยที่ W = ปริมาณเมล็ด (กรัม/ตร.ม.)

G = จำนวนเมล็ดที่คาดว่าจะงอก (เมล็ด/ตร.ม.)

S = จำนวนเมล็ดต่อกรัมเฉลี่ย (เมล็ด/กรัม)

P = จำนวนเมล็ดดีต่อ 100 เมล็ด (จำนวน)

B = จำนวนเมล็ดงอกจริงต่อ 100 เมล็ด (จำนวน)

สำหรับชนิดของหญ้าที่เหมาะสมมักขึ้นอยู่กับสถานที่ดำเนินงาน โดยควรมีการทดลองปลูกในบริเวณนั้น ๆ ก่อน ในกรณีที่ขาดข้อมูลสำหรับการประมาณเมล็ดหญ้าที่ต้องการอาจใช้ข้อมูลดังแสดงใน**ตารางที่ ก**-6 มาเป็นเกณฑ์พิจารณาเบื้องต้นได้

**ตารางที่ ก-6 ค่าตัวแปรสำหรับการคำนวณเพื่อประมาณเมล็ดหญ้าที่ใช้**

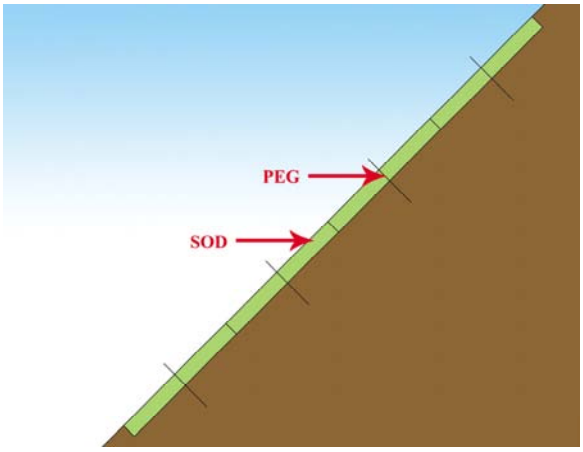
| ชื่อสามัญ | ชื่อทางวิทยาศาสตร์ | จำนวนเมล็ดดี/100เมล็ด | อัตราการงอก (%) |
|---|---|---|---|
| Ruzi Grass | Brachiaria Ruziziensis | 70 | 50 |
| Common Bermuda Grass | Cynodon Dactylon | 50 | 30 |
| Creeping Signal Grass | Brachiaria Humidicola | - | - |
| Star Grass | Cynodon Plectostachyus SPP | - | - |
| Weeping Love Grass | Enragrostis Parviflora | 50 | 30 |
| Goose Grass | Eleucine Indica | 40 | 25 |
| Regume | Stylosanthes Hamata | 70 | 30 |

2.1.3.2 ลักษณะและวัสดุตามประเภทของงานวิธีการปลูกพืช

ลักษณะและวัสดุตามประเภทของงานปลูกพืชสามารถอธิบายได้ดังนี้

**ก. การปลูกโดยใช้หญ้าแผ่น** (Block Sodding) ดังแสดงใน**รูปที่ ก**-3 วิธีการนี้เป็นการวางแผ่นหญ้าไว้บนเชิงลาดและยึดด้วยหมุด โดยเริ่มจากด้านบนลงมาสู่ปลายของเชิงลาดหลังจากนั้นจะโรยปุ๋ยและดินบาง ๆ แผ่นหญ้าควรวางให้ขอบเหลื่อมกับแผ่นหญ้าที่วางไว้ก่อนหน้า

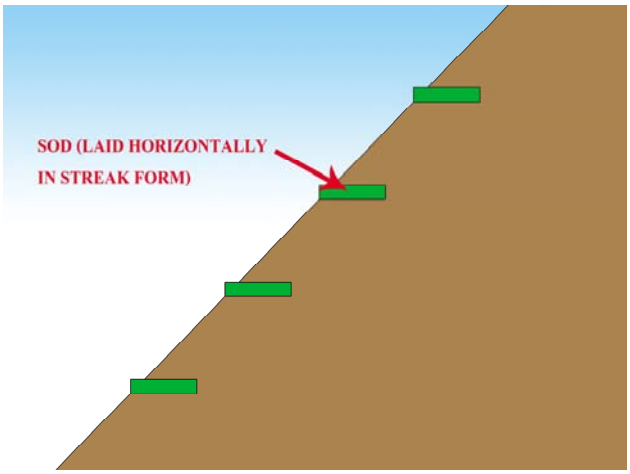
ลักษณะ : ใช้กับดินที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการกัดเซาะ
วัสดุ : แผ่นหญ้า หมุดยึดแผ่นหญ้า ปุ๋ย




**รูปที่ ก-3 การปลูกโดยใช้หญ้าแผ่น**

**ข. การปลูกเป็นแนวยาว** (Stripe Sodding) ดังได้แสดงใน**รูปที่ ก-4** เป็นการวางแผ่นหญ้ารูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตัดเป็นแถวยาวโดยเริ่มจากฐานของเชิงลาด หลังจากปูแผ่นหญ้าแล้วจะคลุมด้วยดินประมาณ 2/3 ของแผ่นหญ้าแล้วจึงทำแนวใหม่

ลักษณะ : ใช้สำหรับลาดคันทาง
วัสดุ : แผ่นหญ้า ดินชั้นบน

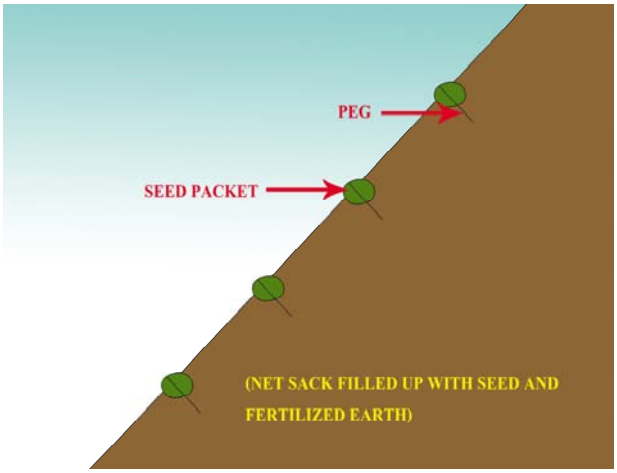



**รูปที่ ก-4 การปลูกโดยวางแผ่นหญ้า**

**ค. ถุงใส่เมล็ด** (Seed Packet Work) ดังแสดงใน**รูปที่ ก-5** เป็นวิธีการขุดหลุมเป็นระยะเท่า ๆ กัน ตามแนวยาวของเชิงลาด และใส่ถุงซึ่งบรรจุปุ๋ย ดิน เมล็ดพืช และสับฟางลงในแต่ละหลุมแล้วยึดด้วยหมุด ระยะห่างระหว่างหลุมโดยทั่วไปเท่ากับ 50 เซนติเมตร หรือประมาณ 6 ถุงต่อตารางเมตร

ลักษณะ : งานใช้ถุงใส่เมล็ดจะใช้กับลาดเหนือคันทาง ถุงที่บรรจุด้วยเมล็ดปุ๋ยและดินจะไม่ถูกชะล้างได้ง่ายและอาจนำมาประยุกต์ใช้กับเชิงลาดที่มีความชันสูง

วัสดุ : ถุง Polyethylene เมล็ดพืช ปุ๋ย ดิน และหมุดยึด

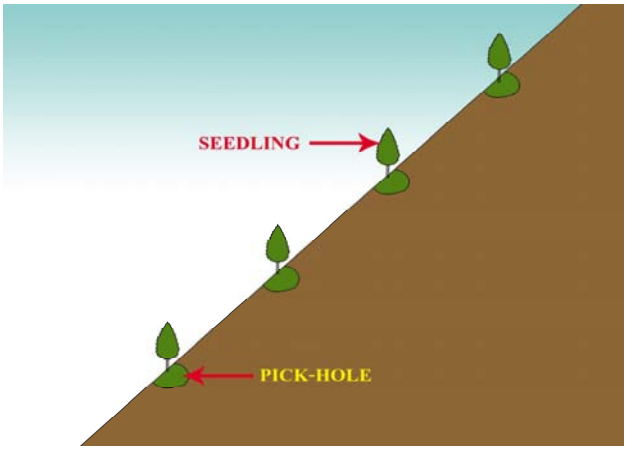



**รูปที่ ก-5 งานใช้ถุงใส่เมล็ด**

**ง. งานขุดหลุมปลูกกล้าไม้** ดังแสดงใน**รูปที่ ก-6** ทำได้โดยการขุดหลุมและใส่ปุ๋ยพร้อมกล้าไม้ลงไปพร้อมทั้งไม้พยุงต้นอ่อน

ลักษณะ : การขุดหลุมปลูกกล้าไม้จะใช้กับบริเวณลาดเหนือคันทางเพื่อป้องกันสภาพแวดล้อม และปรับปรุงสภาพภูมิทัศน์

วัสดุ : กล้าไม้ ปุ๋ย และไม้พยุง

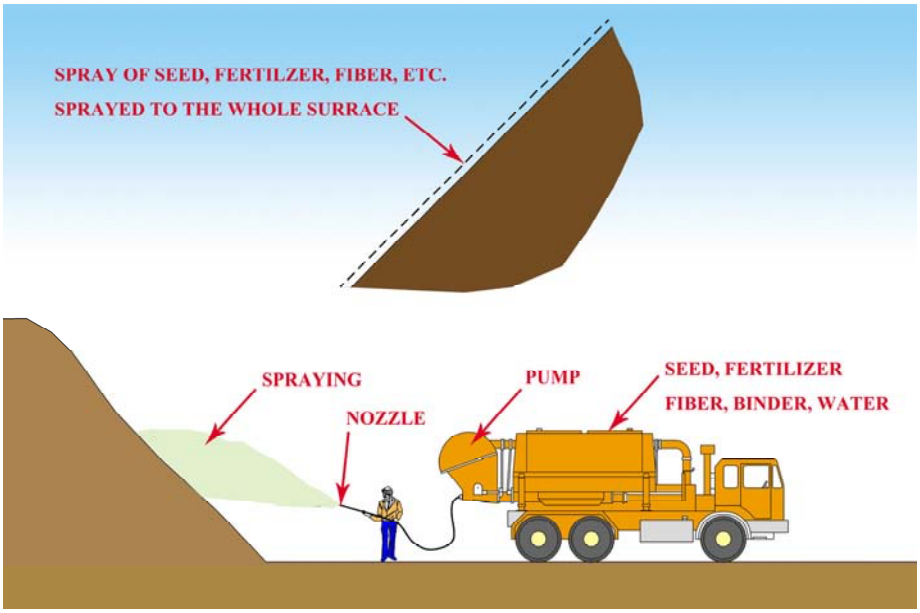



**รูปที่ ก-6 งานขุดหลุมปลูกกล้าไม้**

**จ. การพ่นเมล็ด** (Seed Spraying) ดังแสดงใน**รูปที่ ก-7** เมล็ด เส้นใย และตัวประสาน (Binder) จะถูกผสมด้วยน้ำแล้วพ่นบน Slope ด้วยเครื่องพ่น

ลักษณะ : การพ่นเมล็ดใช้กับลาดเหนือคันทางและลาดคันทางที่เป็นดินอ่อน วิธีการนี้มีความเหมาะสมสำหรับที่ลุ่มและมีความลาดชันน้อย

วัสดุ : เมล็ด ปุ๋ย เส้นใย (Pulp หรือ เส้นใยไม้อื่น ๆ) ตัวประสาน (Polyvinyle Alcohol, Polyvinyle Acelate และอื่น ๆ)



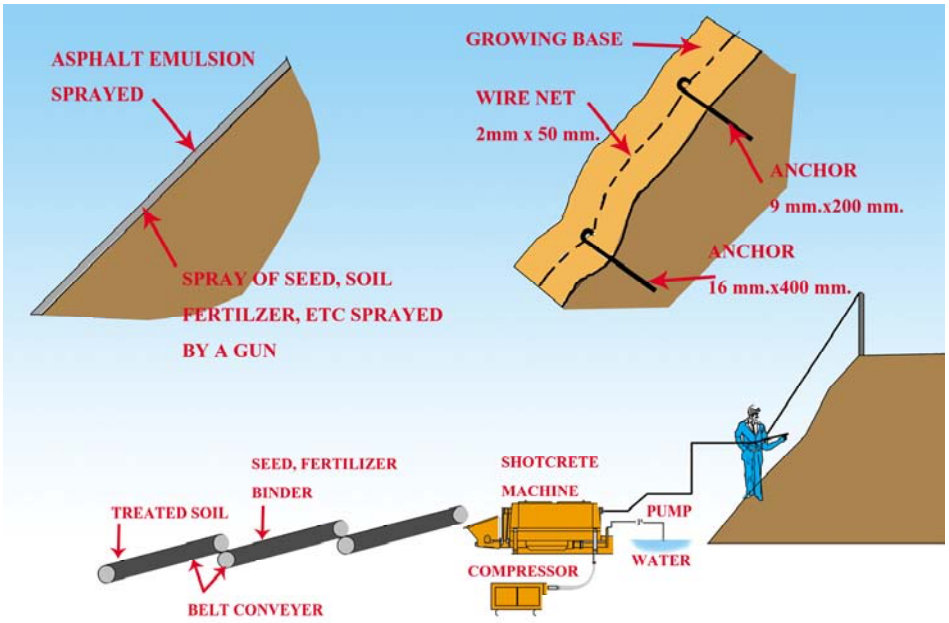

**รูปที่ ก-7 การพ่นเมล็ด**

**ฉ.** Hydroseeding ดังแสดงใน**รูปที่ ก**-8 ส่วนผสมของเมล็ด ปุ๋ย ดิน และน้ำจะฉีดบนผิวเชิงลาดด้วยหัวฉีด หลังจากนั้นจึงพ่นน้ำยาป้องกันการกัดเซาะลงบน Slope

ในกรณีที่ผิวหน้าเชิงลาดเป็นดินส่วนผสมดังกล่าวจะถูกพ่นจนกระทั่งมีความหนา 1-2 เซนติเมตร ในกรณีที่เป็น Soft Rock ส่วนผสมจะพ่นบนตาข่ายถี่เพื่อป้องกันส่วนผสมร่วงลงมาจนกระทั่งมีความหนา 2-3 เซนติเมตร และในกรณีที่ผิวหน้าเชิงลาดเป็นหินแข็งจะไม่เลือกใช้วิธีการนี้ อย่างไรก็ตามหากมีเหตุผลทางด้านสภาพแวดล้อม ส่วนผสมจะต้องพ่นให้ได้ความหนามากกว่า 5 เซนติเมตร

ลักษณะ : วิธีการนี้จะใช้บริเวณลาดเหนือคันทางและต้องเป็นพื้นที่ที่สามารถพ่นเมล็ด ปุ๋ย และส่วนผสมที่มีส่วนผสมของดินในปริมาณสูงได้ วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับบริเวณที่มีความลาดชันสูงและเชิงลาดดินปนหิน

วัสดุ : เมล็ด ปุ๋ย ดิน ซึ่งมีหินขนาดน้อยกว่า 6 มม. ปนอยู่ไม่เกินร้อยละ 5 น้ำยาป้องกันการกัดเซาะ (ยางมะตอยน้ำ) ตัวประสาน (ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์, High Polymer Plastics) น้ำ และตาข่าย




**รูปที่ ก**-8 Hydroseeding

## 2.2 คอนกรีตดาด (Shotcrete)

### 2.2.1 การใช้งาน

คอนกรีตดาดสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเชิงลาดเพื่อป้องกันการชะล้างผิวหน้าได้หลายกรณีดังต่อไปนี้

2.2.1.1 บริเวณผิวหน้าเชิงลาดที่ไม่มีน้ำผุดและหินที่มีโอกาสพังทลายได้หากสัมผัสกับน้ำ

2.2.1.2. บริเวณผิวหน้าเชิงลาดที่มีหินผุใกล้ร่วง

2.2.1.3 บริเวณผิวหน้าเชิงลาดหินที่มีรอยแตกและรอยต่อ

2.2.1.4 บริเวณผิวหน้าเชิงลาดที่มีหินค้างอยู่

2.2.1.5 บริเวณลาดเหนือคันทางที่ต้องการเปิดการใช้งานอย่างรวดเร็ว

2.2.1.6 บริเวณผิวหน้าเชิงลาดที่มีดินโคลนและงานปลูกพืชไม่เหมาะสม

### 2.2.2 วัสดุ

คอนกรีตชนิด Spray – Type ตาข่ายลวดชนิด Diamond-Shaped (2 x 50 มิลลิเมตร) หมุดยึด (16 x 40 เซนติเมตร) ท่อ P.V.C. (50 มิลลิเมตร) เครื่องพ่นคอนกรีต

### 2.2.3 การออกแบบ

2.2.3.1 โดยทั่วไปจะพ่นคอนกรีตดาดหนาประมาณ 10 เซนติเมตร ในกรณีที่ผิวหน้าเชิงลาดเป็นหินและมีลักษณะขรุขระควรพ่นให้มีความหนาประมาณ 15 เซนติเมตร

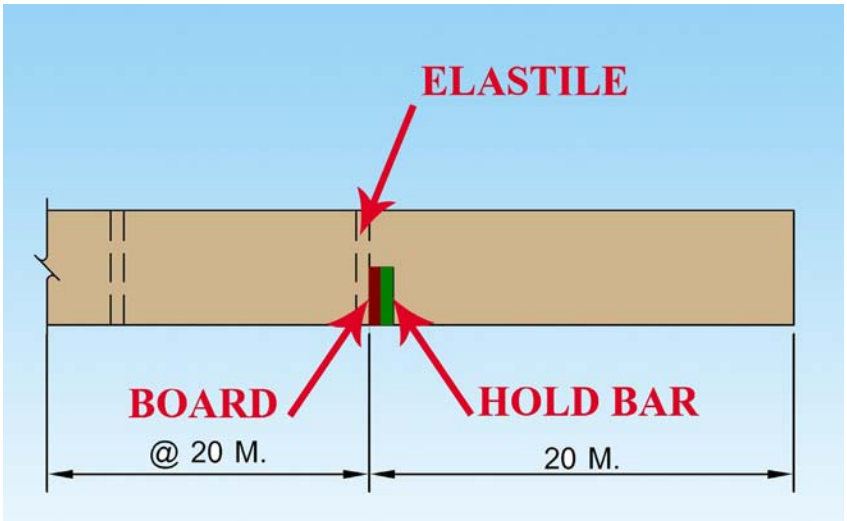
2.2.3.2 เพื่อป้องกันการแตกร้าวของผิวคอนกรีตดาดและป้องกันการหลุดร่อนควรคลุมผิวคอนกรีตด้วยลวดตาข่ายแบบ Diamond-Shaped (2 x 50 มิลลิเมตร) หรือเหล็กเสริม

2.2.3.3 ลวดตาข่ายต้องตอกยึดเข้ากับผิวหน้าเชิงลาดที่พ่นคอนกรีตดาดด้วยหมุดยึดขนาด 16 x 40 มิลลิเมตร โดยมีระยะห่างของหมุดอย่างน้อย 1 หมุดต่อตารางเมตร

2.2.3.4 ก่อสร้างรูระบายน้ำ (Weep Hole) ด้วยท่อ P.V.C. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทุก 2-4 ตารางเมตร

2.2.3.5 คอนกรีตที่ใช้ควรมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:3:2 (ซีเมนต์ ทราย และหิน) และมี Water Cement Ratio ประมาณร้อยละ 45

2.2.3.6 ในกรณีที่พื้นที่ก่อสร้างค่อนข้างกว้างและมีความลาดชันต่ำอาจมีโอกาสที่คอนกรีตดาดจะเกิดการหดตัวและเกิดรอยแตกได้จึงควรออกแบบรอยต่อเพื่อรองรับการขยายตัวตามแนวตั้ง (Vertical Expansion Joint) ที่เกิดขึ้นทุกระยะ 20 เมตร รูปแบบรอยต่อได้แสดงไว้ใน**รูปที่ ก**-9




**รูปที่ ก-9 รอยต่อเพื่อรองรับการขยายตัวตามแนวตั้ง**

เพื่อป้องกันน้ำซับหลังจากคลุมผิวเชิงลาดด้วยคอนกรีตดาดอาจใช้วิธี Partial Shotcrete Method และวิธี Complete Shotcrete Method ดังแสดงใน**รูปที่ ก-10** มาแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

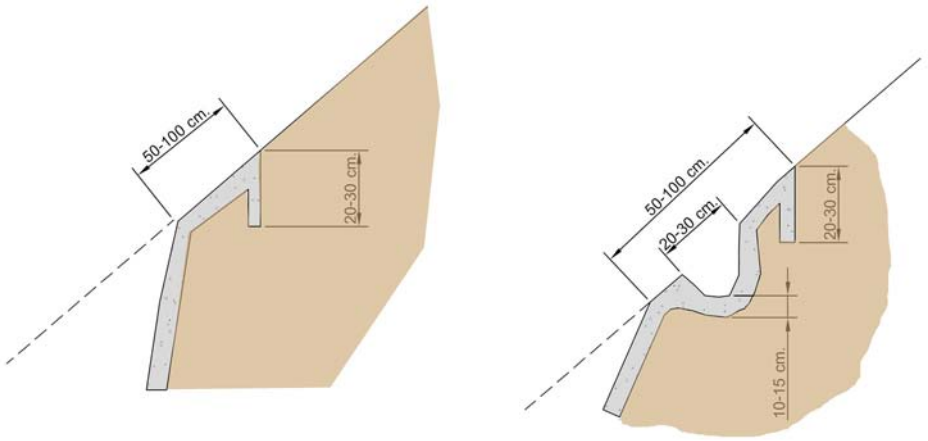
### 2.2.4 การก่อสร้าง

2.2.4.1 การก่อสร้างคอนกรีตดาดอาจเกิดความเสียได้ในขณะที่ดำเนินการก่อสร้าง เนื่องจากอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ โดยทั่วไปการก่อสร้างไม่ควรดำเนินการในช่วงเวลาดังต่อไปนี้

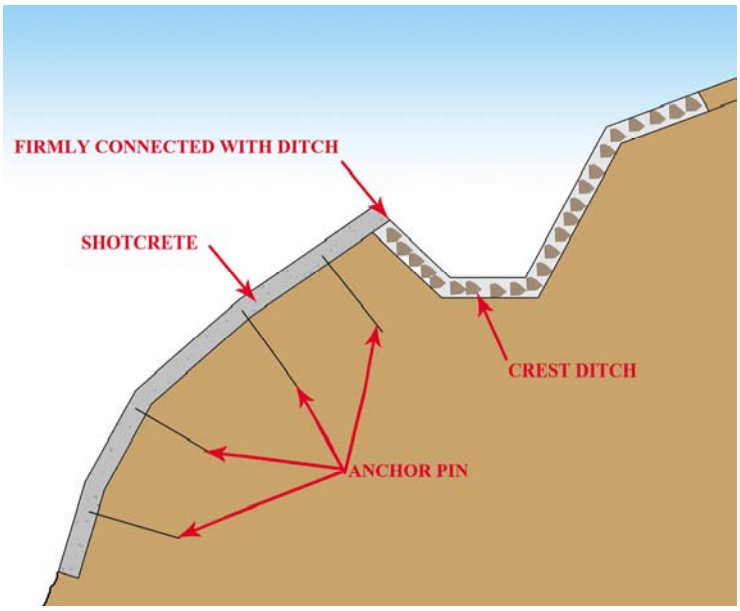
- สภาวะลมแรงที่อาจพัดพาผิวหน้าคอนกรีตดาด
- วันที่มีโอกาสเกิดฝนตก

- สภาวะลมแรงซึ่งเป็นสาเหตุทำให้การก่อสร้างทำได้ยากเนื่องจากคอนกรีตจะเกิดการแข็งตัวเร็วจนไม่สามารถแต่งผิวหน้าได้

2.2.4.2 ควรหยุดเทคอนกรีตในบริเวณที่ออกแบบไว้สำหรับทำเป็นรอยต่อเท่านั้น




(ก) Partial Shotcrete Method




(ข) Complete Shotcrete Method

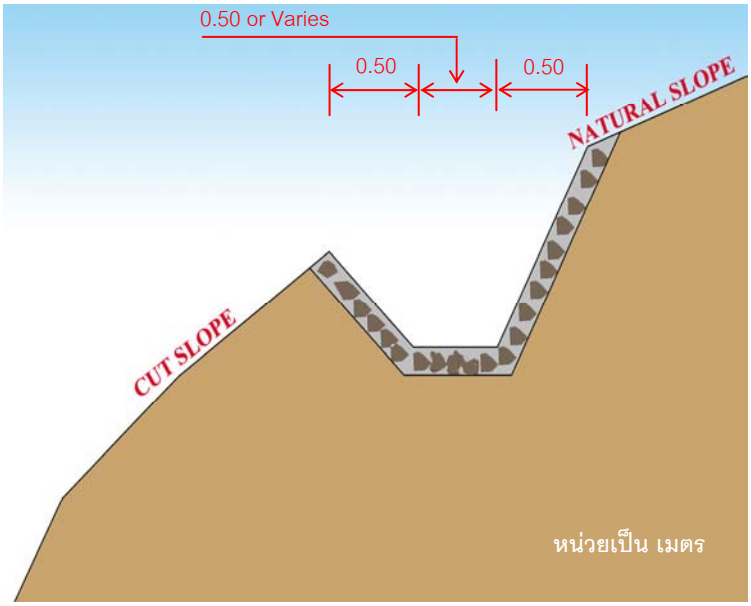
**รูปที่ ก-10 รูปแบบการป้องกันน้ำซับบริเวณผิวหน้าเชิงลาด**

### 2.3 ระบบระบายน้ำผิวดิน

รางระบายน้ำผิวดินประกอบด้วยรางระบายน้ำแนวดิ่งและรางระบายน้ำแนวราบโดยทั่วไป จำนวนในการก่อสร้างรางระบายน้ำแนวราบจะกำหนดโดยลักษณะภูมิประเทศหรือโดยทั่วไปจะทำการก่อสร้างทุกระยะ 10 เมตร ตามระดับความลาดชันของเชิงลาด สำหรับรางระบายน้ำตามแนวดิ่งจะกำหนดโดยการคำนวณปริมาณน้ำฝนและเพิ่มอีกร้อยละ 20 สำหรับรายละเอียดของรางระบายน้ำประเภทต่าง ๆ จะได้กล่าวถึงต่อไป

#### 2.3.1 รางระบายน้ำส่วนบน (Crest Ditch)

รางระบายน้ำส่วนบน มีหน้าที่ป้องกันน้ำฝนหรือน้ำผุดจากบริเวณส่วนที่อยู่สูงกว่าเชิงลาดไม่ให้ไหลผ่านเข้ามาในบริเวณพื้นที่ของลาดเหนือคันทาง ขนาดของรางระบายควรมีความกว้างเพียงพอเพื่อรองรับน้ำที่ไหลบ่าลงมาและครอบคลุมพื้นที่ส่วนบนของเชิงลาดทั้งหมด รูปแบบการก่อสร้างได้แสดงไว้ใน**รูปที่ ก**-11

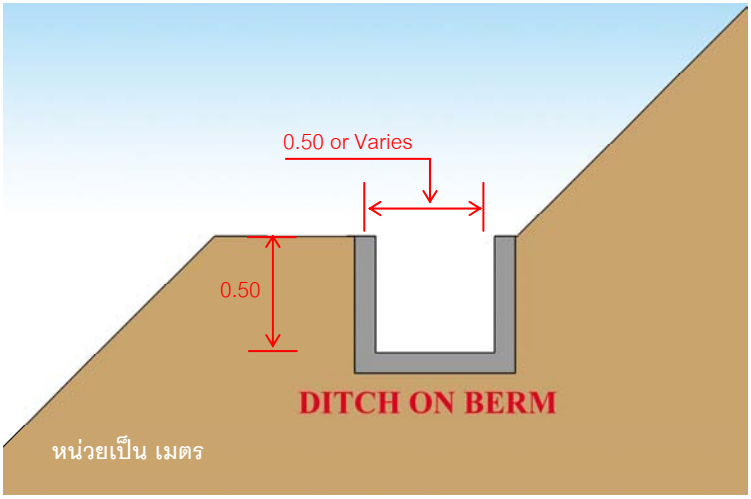



**รูปที่ ก-11 รางระบายน้ำส่วนบน**

#### 2.3.2 Berm Ditch หรือ Interceptor Ditch

Berm Ditch หรือ Interceptor Ditch มีหน้าที่ป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากน้ำฝนหรือน้ำผุดที่ไหลมาตามผิวหน้าลาดเหนือคันทางและลาดคันทาง รางระบายน้ำประเภทนี้ควรก่อสร้างบริเวณที่เป็นขั้นบันได (Berm) ทุกขั้นในบริเวณเชิงลาดและเชื่อมต่อเข้ากับรางระบายน้ำแนวดิ่ง

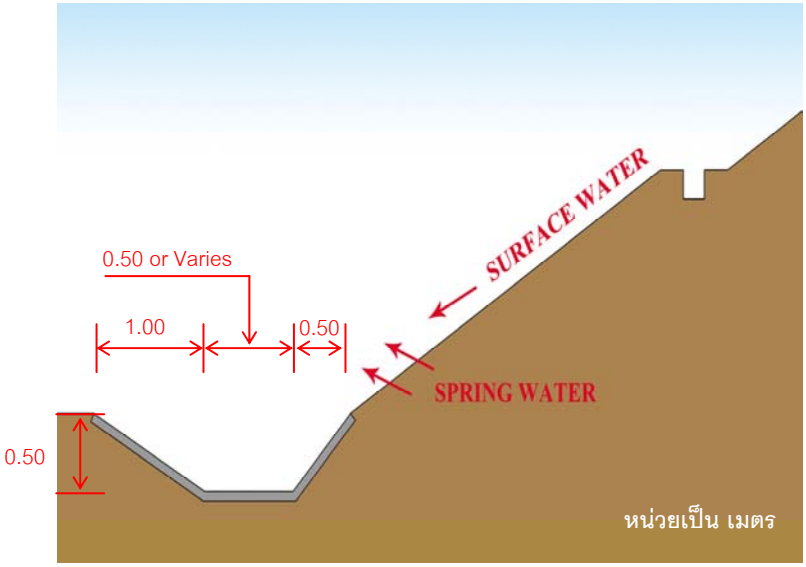
(Vertical Ditch) เพื่อให้การระบายน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ความลาดเอียงของรางระบายน้ำประเภทนี้ควรมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3-5 ในส่วนของรูปแบบการก่อสร้างโดยจะมีลักษณะเป็นรูปตัวยู (U-Shaped) ดังแสดงใน**รูปที่ ก**-12




**รูปที่ ก**-12 Berm Ditch **หรือ** Interceptor Ditch

2.3.3 Toe Ditch **หรือ** Side Ditch

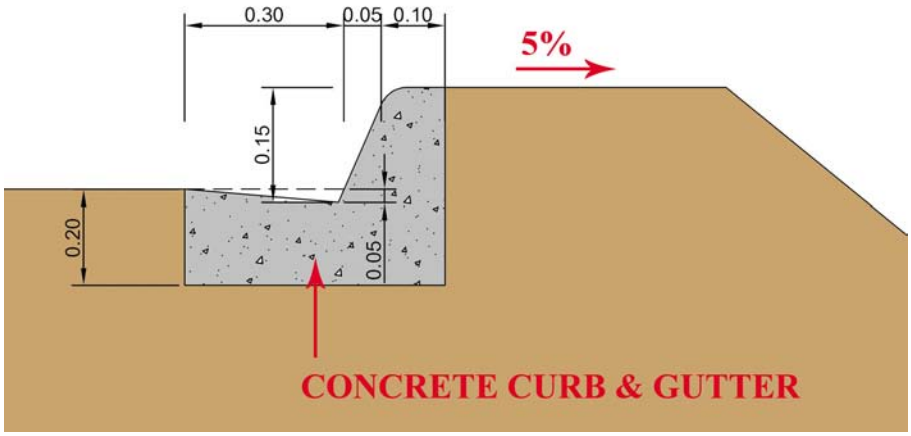
Toe Ditch หรือ Side Ditch มีหน้าที่ป้องกันการกัดเซาะบริเวณปลายของเชิงลาดและป้องกันน้ำจากลาดเหนือคันทางมาสู่ผิวทาง ในส่วนของรูปแบบการก่อสร้างได้แสดงไว้ใน**รูปที่ ก**-13




**รูปที่ ก**-13 Toe Ditch **หรือ** Side Ditch

2.3.4 **คันบังคับน้ำ** (Curb or Gutter)

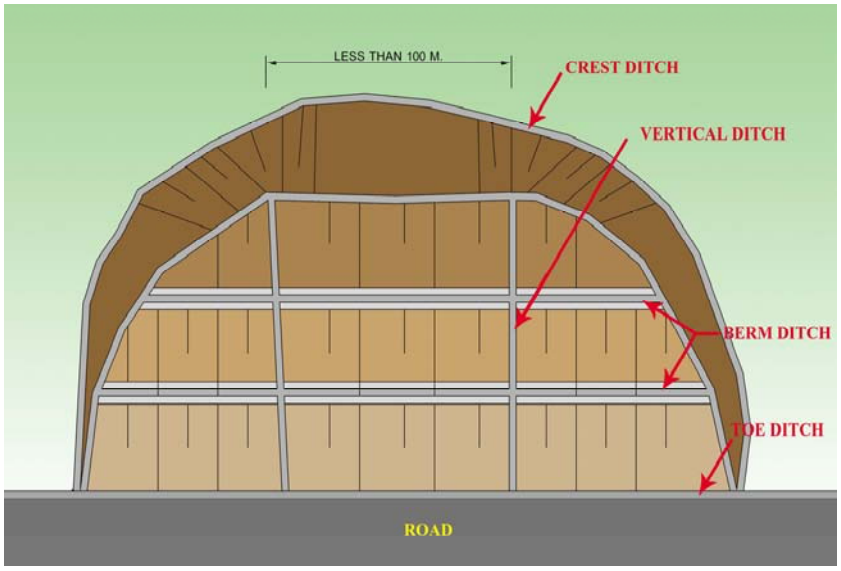
คันบังคับน้ำ มีหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของน้ำบริเวณผิวทางให้เป็นไปตามที่กำหนด โดยปกติคันบังคับน้ำจะควบคุมการไหลไปยังรางระบายน้ำแนวดิ่ง (Vertical Ditch) บริเวณลาดคันทาง รูปแบบการก่อสร้างได้แสดงไว้ใน**รูปที่ ก**-14




**รูปที่ ก-14 คันบังคับน้ำ**

2.3.5 **รางระบายน้ำแนวดิ่ง** (Vertical Ditch)

รางระบายน้ำแนวดิ่ง มีหน้าที่บังคับน้ำจากรางระบายน้ำส่วนบนและ Berm หรือ Interceptor Ditch มายัง Toe Ditch บริเวณปลายของเชิงลาดบริเวณลาดเหนือคันทางดังแสดงใน **รูปที่ ก**-15 หรือบังคับน้ำจากคันบังคับน้ำบริเวณผิวทางไปยังบริเวณจุดปล่อยน้ำของลาดคัน รางระบายน้ำประเภทนี้จะนำมาพิจารณาก่อสร้างเมื่อความสามารถในการระบายน้ำของ Berm Ditch ไม่เพียงพอหรือสภาพภูมิประเทศไม่เหมาะสม [1] อย่างไรก็ดี รางระบายน้ำแนวดิ่งอาจนำมาก่อสร้างในเชิงลาดทั่วไปได้หากความยาวของ Berm Ditch มีความยาวมากกว่า 100 เมตร สำหรับระยะห่างของรางระบายน้ำแนวดิ่งโดยทั่วไปไม่ควรมีค่ามากกว่า 100 เมตร ในส่วนของรูปแบบการก่อสร้างควรเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวยู (U-Shaped) เช่นเดียวกับ Berm Ditch




**รูปที่ ก-15 รางระบายน้ำแนวดิ่งบริเวณลาดเหนือคันทาง**

## 3. การเพิ่มเสถียรภาพโดยการปรับปรุงด้านเรขาคณิตเชิงลาด

### 3.1 การถม

#### 3.1.1 การใช้งาน

การถมเชิงลาดเป็นการดำเนินการเพื่อป้องกันปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการกัดเซาะเนื่องจากน้ำบริเวณปลายของลาดคันทางซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากน้ำที่ไหลผ่านผิวหน้าเชิงลาดหรือน้ำในลำน้ำที่ไหลเข้ามากัดเซาะปลายของลาดคันทางโดยเฉพาะบริเวณคุ้งน้ำ

#### 3.1.2 วัสดุที่ใช้ประกอบด้วย

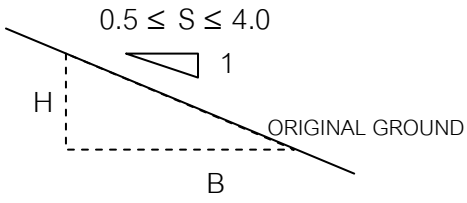
วัสดุที่ใช้ในการเพิ่มเสถียรภาพโดยการปรับปรุงด้านเรขาคณิตเชิงลาดประกอบด้วย

ดิน ดินซีเมนต์ (Soil Cement) ถุงทราย

#### 3.1.3 การออกแบบและการก่อสร้าง

การออกแบบและก่อสร้างสำหรับการปรับปรุงด้านเรขาคณิตของเชิงลาดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1.3.1 ขุดดินและหินบริเวณร่องน้ำออกแล้วดำเนินการตัด (Bench Cutting) ในกรณีที่เชิงลาดมีความลาดชันสูง งานก่อสร้างจะต้องดำเนินการตัดให้มีความลาดชันอยู่ในช่วงแนะนำดังแสดงใน**รูปที่ ก-16** หากทำการก่อสร้างตามที่ระบุแล้วยังพบว่าเชิงลาดยังไม่มีเสถียรภาพวิธีการนี้จะถือว่าไม่มีความเหมาะสมในการแก้ไขปัญหา




| S (m) | B (m) | H (m) |
|---|---|---|
| 2.0 - 4.0 | 2.0 | 0.5 – 1.0 |
| 0.5 - 2.0 | 1.0 | 0.5 – 2.0 |

**รูปที่ ก-16 Recommended Bench Cutting**

3.1.3.2 ความหนาของชั้นดินถมเพื่อบดอัดควรมีค่าไม่เกิน 0.20 เมตร ต่อชั้น

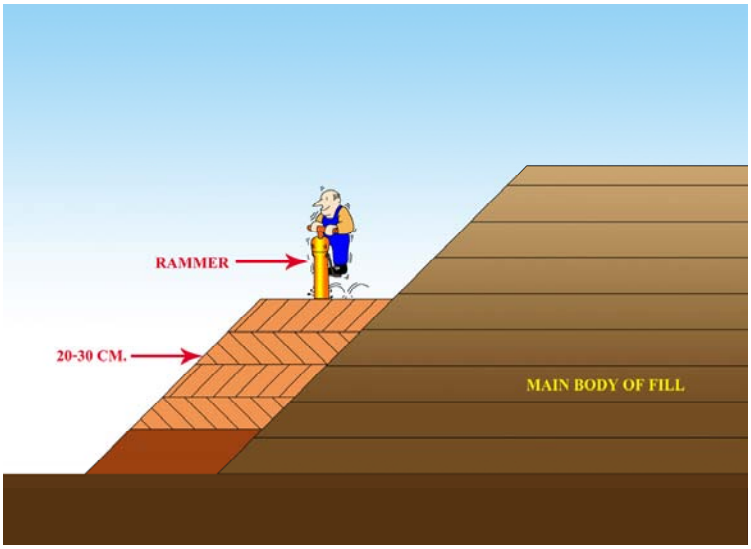
3.1.3.3 งานถมควรออกแบบให้มีความลาดชันตลอดจนความกว้างของ Berm ใกล้เคียงกับคันทางเดิม

3.1.3.4 ความลาดชัน ความกว้าง และความสูงของงานถมควรสอดคล้องกับสภาพทางธรณีวิทยาในพื้นที่หรือควรมีค่าอยู่ในช่วงแนะนำดังแสดงใน **ตารางที่ ก-7**

3.1.3.5 การถมร่องน้ำมักพบว่าเป็นงานที่ค่อนข้างยากสำหรับแรงงานคน ดังนั้นการใช้เครื่องจักรขนาดเล็กในการบดอัดจะมีความเหมาะสมมากกว่า เช่น เครื่องกระทุ้ง (Tamper) และ Rammer ดังได้แสดงใน**รูปที่ ก-17**

**ตารางที่ ก-7 โครงสร้างงานถมตามสภาพทางธรณีวิทยา [1]**

| ประเภท | สภาพทางธรณีวิทยา | | |
|---|---|---|---|
| | ดิน | หินอ่อน | หินแข็ง |
| ความลาดชันเชิงลาด (H:V) | 1.0 : 1 - 1.5 : 1 | 0.5 : 1 - 1.0 : 1 | 0.25 : 1 - 0.5 : 1 |
| ความกว้างของ Berm | 2.0 ม. | 2.0 ม. | 1.5 ม. |
| ความสูงของเชิงลาดระหว่าง Berm | < 7.0 ม. | < 7.0 ม. | < 7.0 ม. |




**รูปที่ ก-17 วิธีการบดอัดเชิงลาดด้วยเครื่องจักรขนาดเล็ก**

## 3.2 การถมใหม่บนลาดคันทางเดิม

### 3.2.1 การใช้งาน

การถมเชิงลาดเป็นการดำเนินการเพื่อป้องกันปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการกัดเซาะเนื่องจากน้ำบริเวณปลายเชิงลาดคันทางเดิมซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากน้ำที่ไหลผ่านผิวหน้าเชิงลาดหรือน้ำในลำน้ำที่ไหลเข้ามากัดเซาะปลายของลาดคันทางโดยเฉพาะบริเวณคุ้งน้ำ

### 3.2.2 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการถมใหม่บนลาดคันทางเดิม ประกอบด้วย

ดิน ดินซีเมนต์ (Soil Cement) และถุงทราย

### 3.2.3 การออกแบบและการก่อสร้าง

การออกแบบและการก่อสร้างสำหรับงานถมบนลาดคันทางเดิมให้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

3.2.3.1 ทำการตัด (Bench Cutting) หากพบว่าบริเวณที่พังทลายมีความลาดชันสูง Bench Cutting ควรดำเนินการตามที่ระบุไว้ใน**ตารางที่ ก-8**

3.2.3.2 ความหนาของชั้นดินถมเพื่อบดอัดควรมีค่าไม่เกิน 0.20 เมตร ต่อชั้น

3.2.3.3 งานถมควรออกแบบให้มีความลาดชันตลอดจนความกว้างของ Berm ใกล้เคียงกับคันทางเดิม

3.2.3.4 จากประสบการณ์ในอดีตเชิงลาดงานถมที่มี Berm ควรมีความสูงน้อยกว่า 20 เมตร หากไม่สามารถทำได้ในระดับดังกล่าว วัสดุถม ความกว้าง และความลาดชันระหว่าง Berm ควรมีการพิจารณาใหม่ในขั้นตอนการออกแบบ

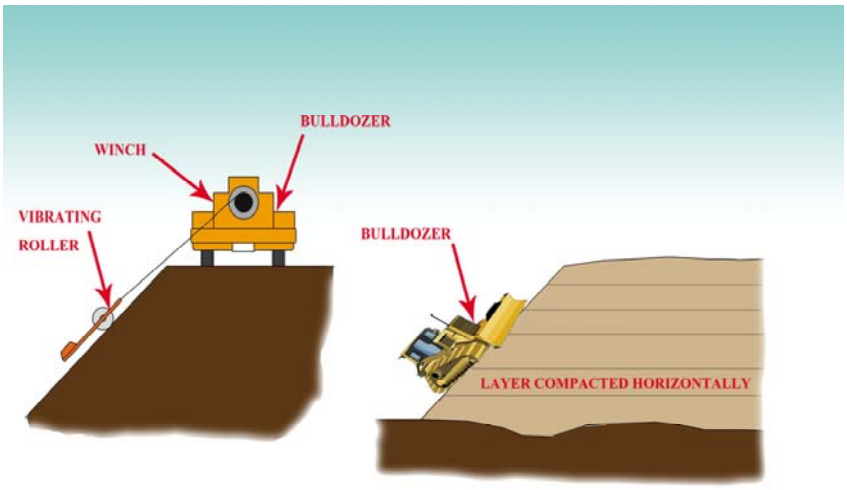
3.2.3.5 ในกรณีการถมใหม่บนคันทางเดิมควรเลือกใช้เครื่องจักรบดอัดขนาดใหญ่ ดังแสดงใน**รูปที่ ก**-18 สามารถที่จะนำมาใช้ได้ อย่างไรก็ตาม ในบริเวณที่แคบควรเลือกใช้เครื่องจักรที่มีขนาดเล็ก

3.2.3.6 ขณะดำเนินการถมบนพื้นลาดเอียงซึ่งอาจมีน้ำใต้ดินควรก่อสร้างชั้นระบายน้ำทุก Berm ดังได้แสดงไว้ใน**รูปที่ ก**-19

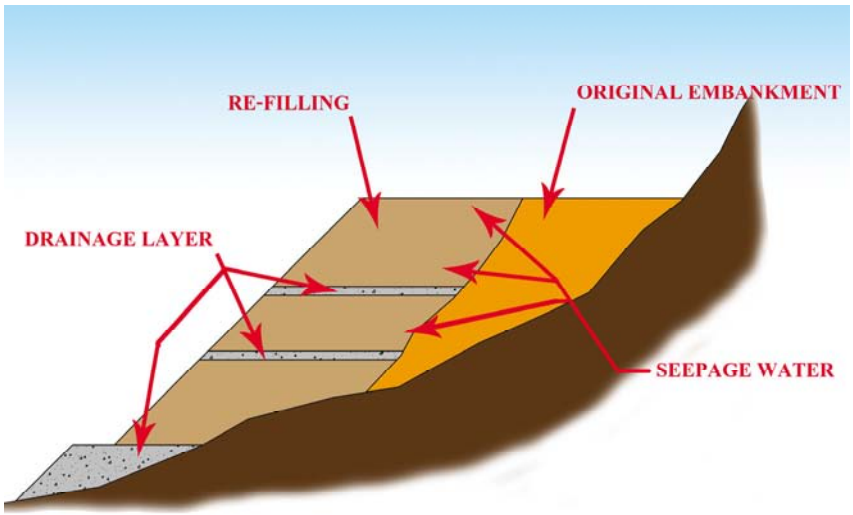
3.2.3.7 เพื่อป้องกันงานถมจากการกัดเซาะและการชะล้างอาจมีการปลูกพืชคลุมดินตามความเหมาะสม

**ตารางที่ ก-8 โครงสร้างของงานถมลาดคันทางตามสภาพทางธรณีวิทยา [1]**

| ประเภท | สภาพทางธรณีวิทยา | | |
|---|---|---|---|
| | ดิน | หินอ่อน | หินแข็ง |
| ความลาดชันของเชิงลาด (H:V) | 2 : 1 | - | - |
| ความกว้างของ Berm (ม.) | 2.0 | - | - |
| ความสูงของเชิงลาดระหว่าง Berm(ม.) | < 5.0 | - | - |




**รูปที่ ก-18 การใช้รถบดสั่นสะเทือนและเกรดในงานถมใหม่**




**รูปที่ ก-19 ชั้นระบายน้ำบน Berm ในงานถมใหม่**

### 3.3 การตัดใหม่ (Recutting)

#### 3.3.1 การใช้งาน

การตัดใหม่มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของลาดคันทางซึ่งความไม่มีเสถียรภาพโดยส่วนใหญ่มาจากปัจจัยดังต่อไปนี้

3.3.1.1 เชิงลาดถูกกัดเซาะเป็นเวลานาน

3.3.1.2 เกิดการพังทลายของดิน/หิน

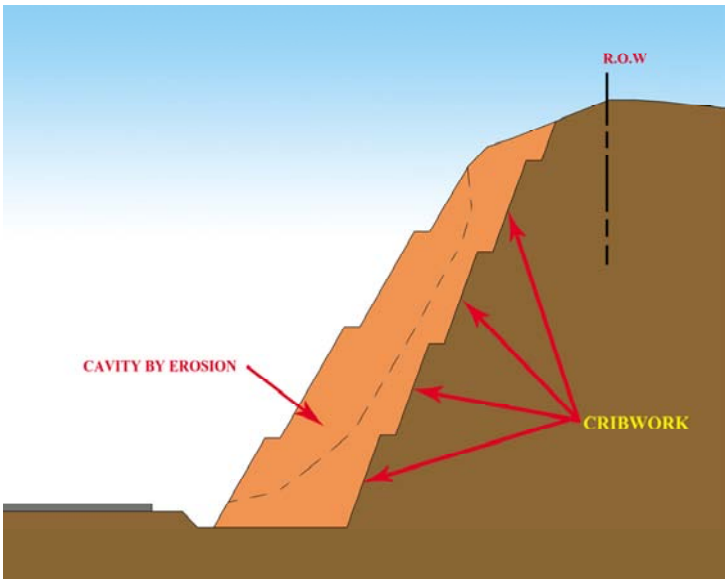
3.3.1.3 มีหินตั้งอยู่บริเวณเชิงลาดที่มีความลาดชันสูง

### 3.3.2 การออกแบบและการก่อสร้าง

การออกแบบและการก่อสร้างสำหรับงานตัดใหม่ควรดำเนินการ ดังนี้

3.3.2.1 เมื่องานตัดใหม่ควรทำให้เชิงลาดมีลักษณะเชิงเรขาคณิตตามที่ระบุไว้ใน **ตารางที่ ก-7**

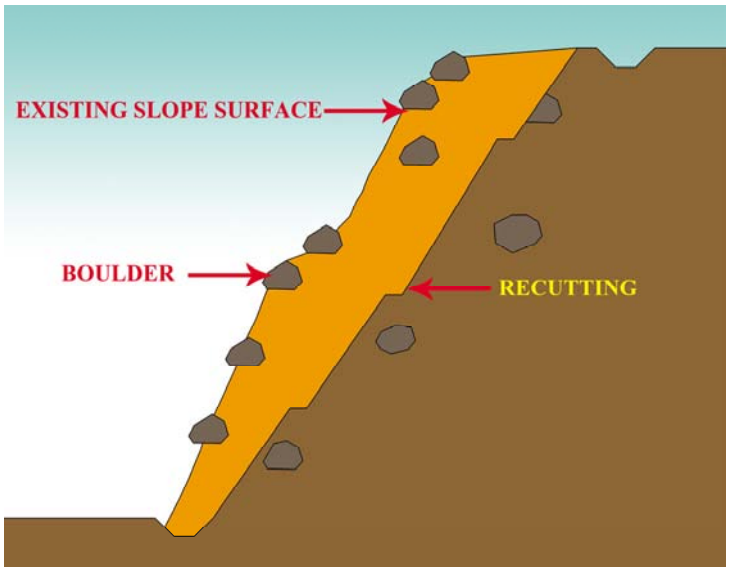
3.3.2.2 ในกรณีของการกัดเซาะงานตัดใหม่ควรกระทำไปพร้อมกับมาตรการป้องกันการกัดเซาะในอนาคต เช่น การใช้ Cribwork ดังแสดงใน**รูปที่ ก-20** งานระบายน้ำ และงานปลูกหญ้า โดยพิจารณาถึงต้นทุน (Cost-Effectiveness) ในการก่อสร้างเป็นสำคัญ




**รูปที่ ก-20** Cribwork

3.3.2.3 ในกรณีของการพังทลายของดิน/หิน ควรตัดเชิงลาดให้มีความลาดชันน้อยกว่าเชิงลาดเดิม อย่างไรก็ตาม เชิงลาดที่ตัดใหม่นี้ยังมีโอกาสเกิดการพังทลายได้อีกเนื่องจากการขุดย้ายมวลดินหรือหินมากเกินไปจนเป็นการลดแรงต้าน (Resisting Force) ดังนั้นการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดก่อนดำเนินการตัดจึงมีความจำเป็น

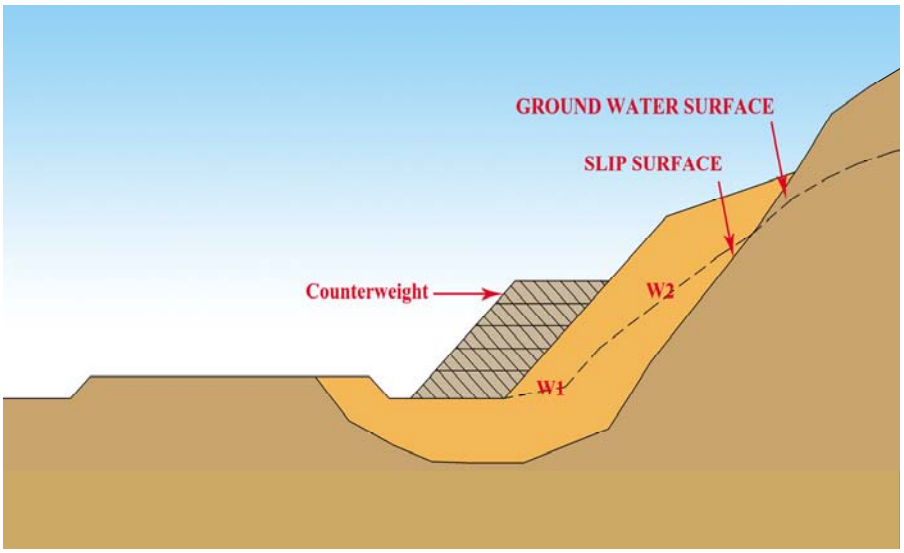
3.3.2.4 ในกรณีที่มีการตัดใหม่บริเวณที่มีหินอยู่บนเชิงลาด ดังแสดงใน**รูปที่ ก**-21 ควรมีการสำรวจสาเหตุของหินร่วงและการศึกษาเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพของต้นทุน รวมทั้งศึกษาความเหมาะสมทางด้านเทคนิคระหว่างการตัดใหม่กับวิธีการก่อสร้างแบบอื่นเพื่อให้ได้วิธีการที่เหมาะสมที่สุด



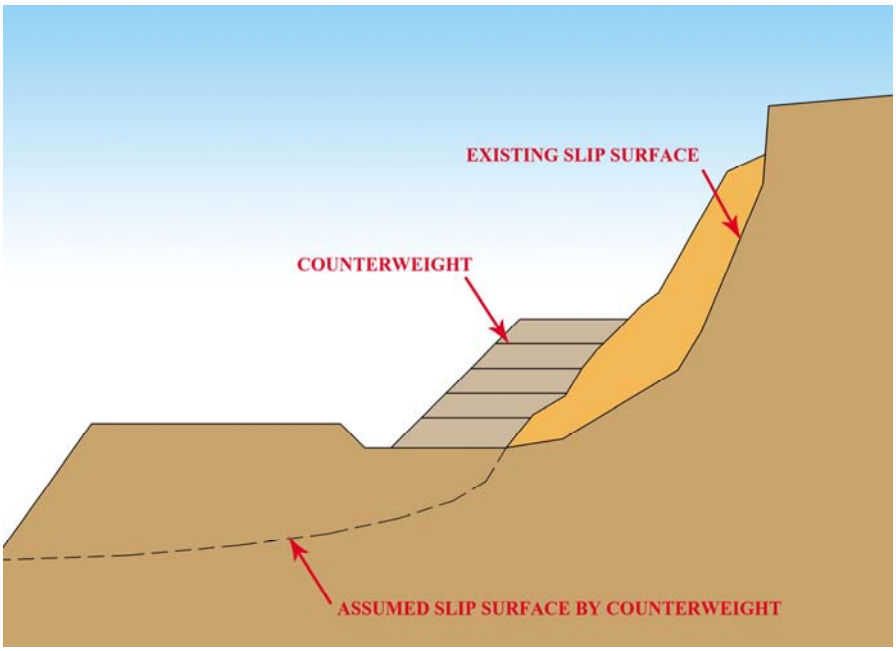

**รูปที่ ก-21 เชิงลาดที่มีมวลหินปะปน**

### 3.4 การใช้น้ำหนักกด (Counterweight)

การใช้น้ำหนักกดเป็นรูปแบบการเพิ่มเสถียรภาพวิธีหนึ่งที่ใช้วิธีการเพิ่มแรงต้าน (Resisting Force) ให้กับเชิงลาดโดยแรงต้านต้องมีค่ามากกว่าแรงผลัก (Driving Force) ที่เกิดขึ้น ดังแสดงใน**รูปที่ ก**-22 วัสดุที่ใช้อาจเป็นดินถมหรือ Gabion อย่างไรก็ดี น้ำหนักกดดังกล่าวอาจสร้างปัญหาการพังทลายเนื่องจากน้ำหนักกดทับเองดังแสดงใน**รูปที่ ก**-23 ดังนั้น การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดก่อนทำการก่อสร้างจึงมีความจำเป็นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น



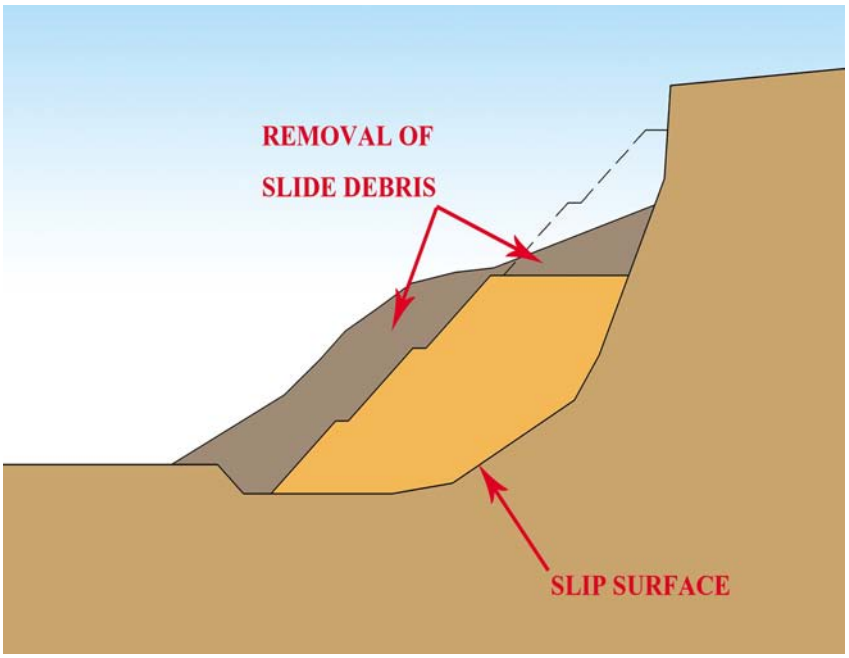

**รูปที่ ก-22 การใช้น้ำหนักกดบริเวณปลายของเชิงลาด**




**รูปที่ ก-23 การพังทลายของฐานรากดิน**

### 3.5 การเคลื่อนย้ายดินทลาย

การเคลื่อนย้ายดินทลายมีความเหมาะสมกับการแก้ไขเชิงลาดขนาดเล็กและปานกลาง วิธีการนี้เป็นการขุดย้ายมวลดินที่เกิดการเคลื่อนตัวออกจากบริเวณที่ได้รับความเสียหายดังแสดงใน **รูปที่** ก-24



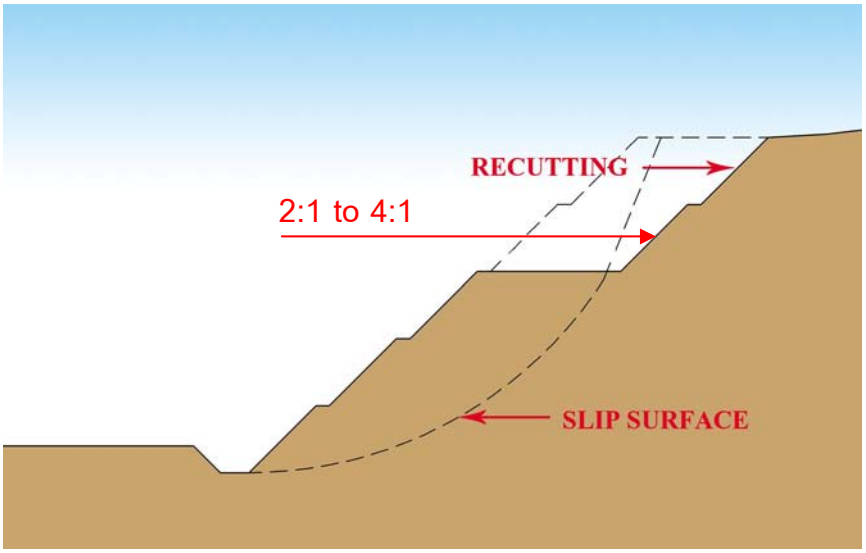

**รูปที่ ก-24 การเคลื่อนย้ายดินทลาย**

การขนย้ายดินในเบื้องต้นมีความจำเป็นที่จะต้องมีการคำนวณค่าเสถียรภาพของดินทลายจากผลการสำรวจดินในสนาม ขนาดของการพังทลาย และความแข็งแรงของดิน การขนย้ายดินในกรณีนี้ สามารถทำได้ทั้งแบบขนย้ายทั้งหมดหรือส่วนใดส่วนหนึ่งแต่ในทางปฏิบัติมักขนย้ายดินเฉพาะส่วนบนของเชิงลาดออกเท่านั้น สำหรับวิธีการขนย้ายสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

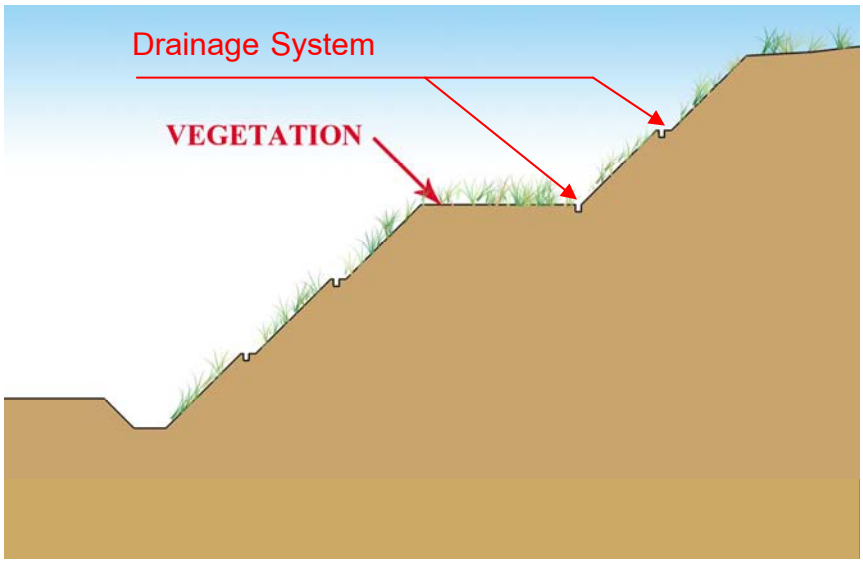
3.5.1 บริเวณที่ขนย้ายหากพบว่าดินส่วนฐานมีความอ่อนมากควรขุดย้ายออกไปพร้อมกับดินส่วนอื่น ๆ ด้วยเพื่อที่ทำให้เกิดความสมดุล

3.5.2 ความลาดชันของเชิงลาดบริเวณที่ขนย้ายดินทลายต่อความลาดชันของเชิงลาดบริเวณจุดขนถ่ายดินส่วนบนออกควรมีอัตราส่วนระหว่าง 2:1 ถึง 4:1 ดังแสดงใน **รูปที่ ก-25**

3.5.3 หลังจากปรับแก้ความลาดชันของเชิงลาดแล้วเสร็จ ควรพิจารณาออกแบบและก่อสร้างระบบระบายน้ำผิวดินตลอดจนระบบป้องกันการกัดเซาะผิวดิน เช่น พืชคลุมดินร่วมด้วย ดังแสดงใน**รูปที่ ก-26**




**รูปที่ ก-25 ความชันของเชิงลาดบริเวณจุดขนย้ายดิน**




**รูปที่ ก-26 รูปแบบการก่อสร้างระบบระบายน้ำผิวดินและพืชคลุมดิน**

## 4. การออกแบบระบบกำแพงกันดิน

### 4.1 ชนิดของกำแพงกันดิน

กำแพงกันดินเป็นโครงสร้างที่ใช้ในการต้านทานแรงดันดินบนเชิงลาดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งในบริเวณลาดเหนือคันทางและลาดคันทางเมื่อดินบริเวณเชิงลาดไม่สามารถคงตัว

อยู่ได้เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเขตทางและภูมิประเทศ เป็นต้น กำแพงกันดินสามารถแบ่งออกตามชนิดของวัสดุที่ใช้และรูปร่างได้ดังนี้

4.1.1 Gabion Wall

4.1.2 Stone Riprap Wall

4.1.3 Gravity Type Retaining Wall

4.1.4 T-Shaped Retaining Wall

ลักษณะรูปร่างและความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานกำแพงกันดินได้สรุปไว้ใน **ตารางที่ ก**-9

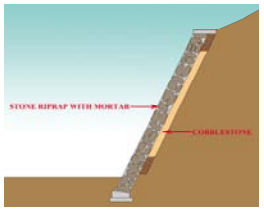
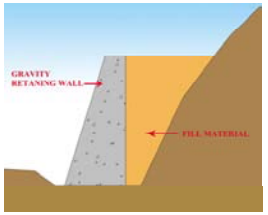
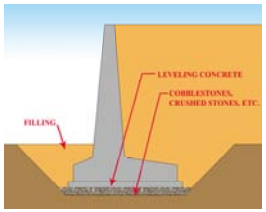
## 4.2 การออกแบบทั่วไป

### 4.2.1 ฐานราก

การออกแบบฐานรากจะกำหนดโดยใช้ความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นหินและดิน โดยทั่วไปความสามารถในการรับน้ำหนักดังกล่าวมีค่าดังแสดงใน **ตารางที่ ก**-10

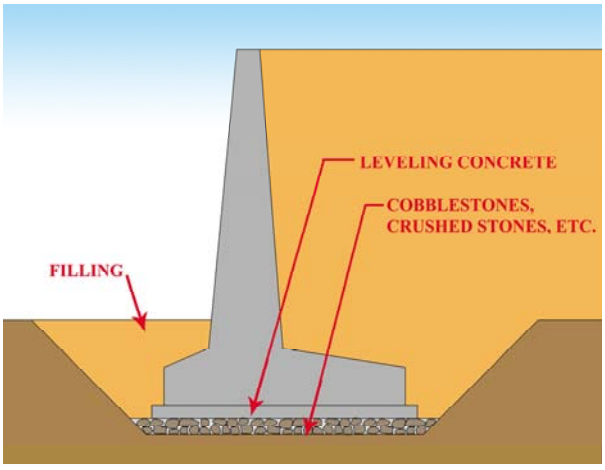
ในกรณีฐานรากอยู่บนชั้นดินอ่อนจะต้องขุดชั้นดินอ่อนออกและถมดินที่มีคุณภาพดีเข้ามาแทนที่เพื่อเพิ่มแรงต้านทานการเลื่อนไถล (Sliding Resistance) ของฐานรากดังแสดงใน**รูปที่ ก**-27 หรืออาจใช้วิธีเทคอนกรีตฐานรากแทนหากชั้นฐานรากเป็นหินควรปรับแต่งผิวหน้าให้เรียบและทำความสะอาดก่อนการก่อสร้างฐานราก

**ตารางที่ ก-9 ลักษณะรูปร่างและความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานกำแพงกันดิน**

| ประเภท | รูปร่าง | ความสูงที่แนะนำ (เมตร) | การประยุกต์ใช้ |
|---|---|---|---|
| Gabion Wall | | < 3.00 | - เพิ่มเสถียรภาพเชิงลาดไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัว โครงสร้างทำหน้าที่เสมือน Counter Weight |
| Stone Riprap Wall |  | < 5.00 | - ใช้ป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาด |
| Gravity Type Retaining Wall |  | < 3.00 | - เพิ่มเสถียรภาพเชิงลาดไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัว โดยก่อสร้างเป็นแนวเพื่อถมดินซึ่งทำหน้าที่เสมือน Counter Weight เหมาะสำหรับบริเวณดินฐานรากแข็งไม่จำเป็นต้องมีเสาเข็ม |
| T-Shaped Retaining Wall |  | 3.00 – 10.00 | - เพิ่มเสถียรภาพเชิงลาดไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัว โดยก่อสร้างเป็นแนวเพื่อถมดินซึ่งทำหน้าที่เสมือน Counter Weight โครงสร้างชนิดนี้จะประหยัดมากกว่ากำแพงกันดินแบบ Gravity Type |

**ตารางที่ ก-10** ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากตามประเภทหินและดินโดยทั่วไป

| Classification | | Allowable Bearing Capacity (ตัน/ตร.ม.) | Coefficient of Friction between Bearing Ground and Bottom Slab | Remark | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $q_u$ (ตัน/ตร.ม.) | N-Value |
| Rock | Hard Rock Few Crack | 100 | 0.7 | > 1000 | - |
| | Hard Rock with Many Crack | 60 | 0.7 | > 1000 | - |
| | Soft Rock | 30 | 0.7 | > 1000 | - |
| Gravel | High Density | 60 | 0.6 | - | - |
| | Low Density | 30 | 0.6 | - | - |
| Sandy | High Density | 30 | 0.6 | - | 30-50 |
| | Reasonable Density | 20 | 0.6 | - | 15-30 |
| Clay | Very Firm | 20 | 0.5 | 20-40 | 15-30 |
| | Firm | 10 | 0.45 | 10-20 | 8-15 |
| | Reasonable Firm | 5 | - | 5-10 | 4-8 |




**รูปที่ ก-27 การปรับปรุงชั้นดินฐานรากเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนัก**

4.2.2 **งานคอนกรีต**

ในกรณีของกำแพงกันดินรูปตัว T ฐานรากและกำแพงจะต้องหล่อเป็นชิ้นเดียวกัน หากไม่สามารถทำได้ควรสิ้นสุดการเทคอนกรีตเหนือฐานรากประมาณ 10 เซนติเมตร

นอกจากนี้ยังมักพบเสมอว่า กำแพงคอนกรีตจะปรากฏรอยแตกหนาแน่นบนผิวกำแพง ดังนั้น จึงควรทำเป็นระยะโดยมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

4.2.2.1 สำหรับกำแพงกันดินแบบรูปตัว T ระยะรอยต่อควรอยู่ระหว่าง 15-20 เมตร

4.2.2.2 สำหรับกำแพงกันดินชนิด Gravity Type ควรมีรอยต่อทุกระยะไม่เกิน 10 เมตร

4.2.3 **งานถมและระบบระบายน้ำ**

ดินถมควรมีความหนาประมาณ 20-30 เซนติเมตร ต่อชั้นโดยใช้เครื่องจักรที่สามารถบดอัดได้ตามที่มาตรฐานกำหนดและควรติดตั้งระบบระบายน้ำหลังกำแพงเพื่อลดแรงดันน้ำที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เชิงลาดเกิดการเคลื่อนตัว วัสดุที่ใช้ควรเป็นกรวดที่มีการซึมน้ำได้เร็วและมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-50 มิลลิเมตร ความหนาของชั้นกรวดระบายน้ำประมาณ 20 เซนติเมตร และควรวางท่อระบายน้ำ (Drainage Pipe) ทุกระยะ 2 เมตร ตลอดแนวกำแพงด้วย

4.2.4 **การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดิน**

4.2.4.1 **น้ำหนักและแรงกระทำ**

**ก) น้ำหนักคงที่**

น้ำหนักคงที่ หมายถึง น้ำหนักของโครงสร้างและน้ำหนักของดินบริเวณฐานราก ซึ่งน้ำหนักต่อหน่วยของวัสดุโดยทั่วไปได้แสดงไว้ใน**ตารางที่ ก-11**

**ตารางที่ ก-11 หน่วยน้ำหนักของวัสดุชนิดต่าง ๆ**

| วัสดุ | น้ำหนักต่อหน่วย (ตัน/ลูกบาศก์เมตร) |
|---|---|
| Reinforced Concrete | 2.40 |
| Concrete | 2.40 |
| Gravel, Gravelly Soil, Sand | 2.00 |
| Sandy Soil | 1.90 |
| Silt, Clayey Soil | 1.80 |

**ข) Surcharge Load**

Surcharge Load หมายถึง น้ำหนักกระทำที่เกิดจากการจราจรซึ่งโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 1.0 ตัน/ตารางเมตร

**ค) แรงดันดิน**

แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินสามารถคำนวณได้ด้วยวิธี Trial Wedge Shape อย่างไรก็ตาม การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้วยวิธี Coulomb จะง่ายในการคำนวณมากกว่า

คุณสมบัติของวัสดุถมหลังกำแพงที่ใช้ในการคำนวณสามารถหาได้โดยการทดสอบในสนามหรือห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ดี ในกรณีออกแบบกำแพงกันดินที่มีความสูงไม่เกิน 8 เมตร ค่ามุมเสียดทานภายในของวัสดุดินถมโดยทั่วไปสามารถใช้ค่าดังแสดงใน**ตารางที่ ก-12** มาเป็นแนวทางร่วมกับผลการทดสอบดินได้

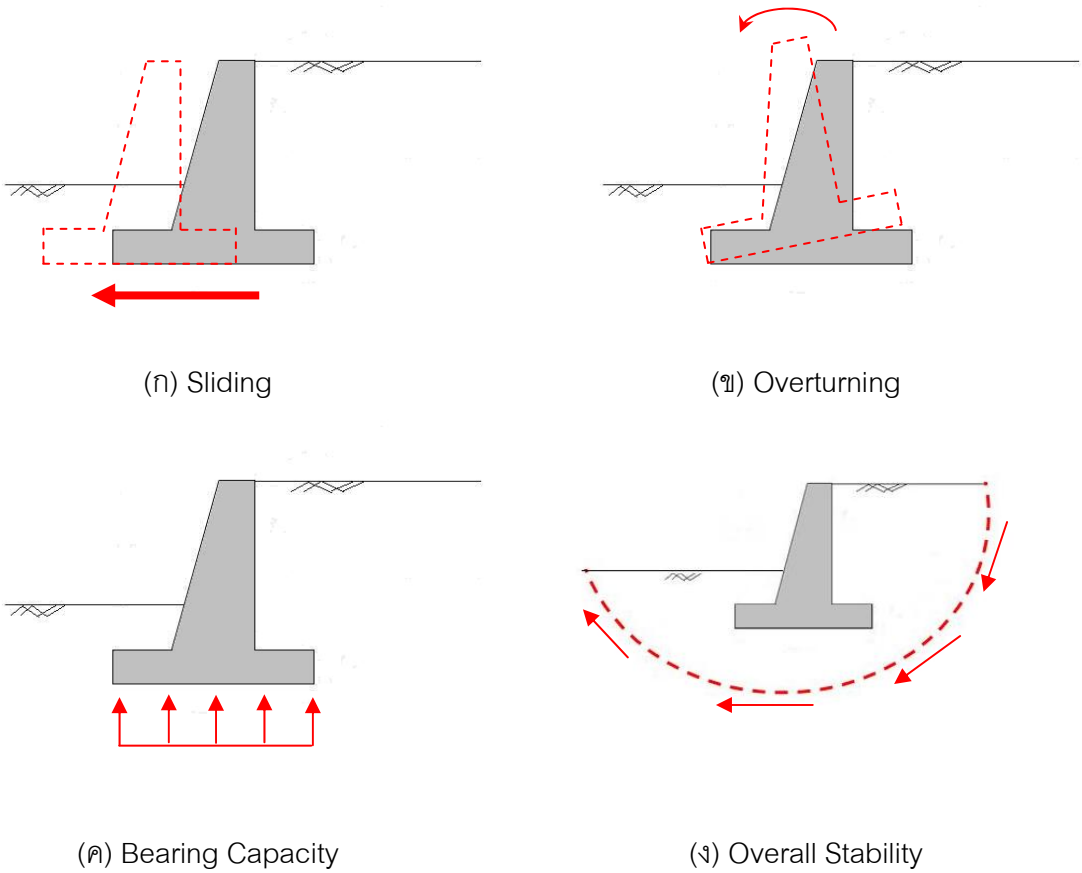
**ตารางที่ ก-12 มุมเสียดทานภายในทั่วไปสำหรับมวลดินชนิดต่าง ๆ**

| ชนิดดิน | มุมเสียดทานภายใน |
|---|---|
| กรวดปนทราย | $35^0$ |
| ดินทราย | $30^0$ |
| ดินโคลน | $25^0$ |

**ง) การคำนวณค่าเสถียรภาพเชิงลาด**

เสถียรภาพของกำแพงกันดินสามารถแบ่งการพิจารณาออกได้เป็น 4 รูปแบบ ดังแสดงใน**รูปที่** ก-28 หรือนั่นคือ

- เสถียรภาพต่อการต้านทานการเคลื่อนตัว (Sliding)
- เสถียรภาพต่อการต้านทานการล้มคว่ำ (Overturning)
- เสถียรภาพในการรับน้ำหนักของดินฐานราก (Bearing Capacity)
- เสถียรภาพโดยรวม (Overall Stability)



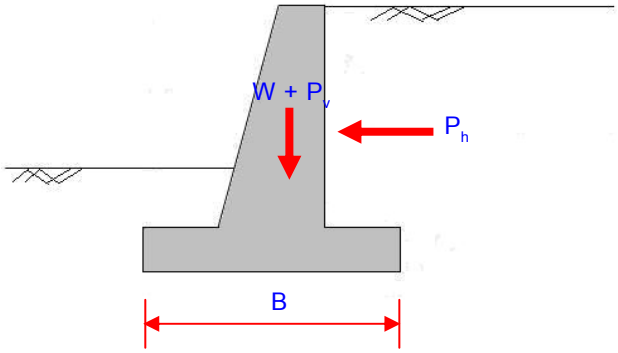
(ก) Sliding (ข) Overturning

(ค) Bearing Capacity (ง) Overall Stability

**รูปที่ ก-28 เสถียรภาพของกำแพงกันดิน**

**- เสถียรภาพต่อการต้านทานการเคลื่อนตัว**

เสถียรภาพต่อการต้านทานการเคลื่อนตัวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ ก.3 ประกอบกับ**รูปที่ ก-29**




**รูปที่ ก-29 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเสถียรภาพต่อการต้านทานการเคลื่อนตัว**

F.S. = แรงต้านทานต่อการเคลื่อนตัว/แรงดันดินตามแนวราบ หรือ

$$F.S. = \frac{(W + P_v)\tan\delta + CB}{P_h} \quad (> 1.5) \qquad (ก.3)$$

โดย

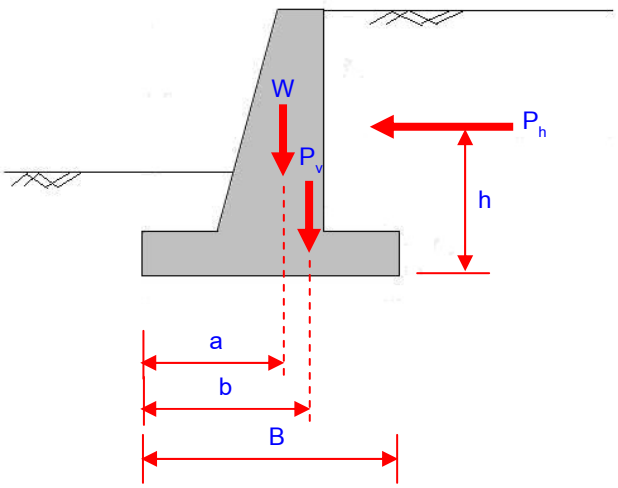
| | | | |
|---|---|---|---|
| F.S. | = | อัตราส่วนปลอดภัย |
| W | = | น้ำหนักของกำแพงกันดิน |
| $P_V$ | = | แรงดันดินตามแนวดิ่ง |
| $P_h$ | = | แรงดันดินตามแนวราบ |
| tan δ | = | สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างดินกับคอนกรีตโดยทั่วไป δ = 2/3 อย่างไรก็ดี tan δ ไม่ควรมีค่ามากกว่า 0.6 |
| C | = | แรงยึดเหนี่ยวของดินฐานราก |
| B | = | ความกว้างของฐานกำแพงกันดิน |

อัตราส่วนปลอดภัยในกรณีนี้ควรมีค่ามากกว่า 1.5 เสมอ ในกรณีที่ทำการวิเคราะห์กำแพงกันดินแล้วพบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยมีค่าน้อยกว่าที่ระบุควรออกแบบโครงสร้างใหม่ เช่น ใช้วิธีการเพิ่ม

ความกว้างของฐานกำแพง เพิ่มแรงต้านตามแนวนอนโดยใช้หมุดยึด (Shear Key) หรือลดความสูงของกำแพง เป็นต้น

**- เสถียรภาพต่อการต้านทานการล้มคว่ำ**

เสถียรภาพต่อการต้านทานการล้มคว่ำเป็นอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์แรงต้านต่อโมเมนต์แรงผลักโดยแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดินได้แสดงไว้ใน **รูปที่ ก-31**




**รูปที่ ก-30 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเสถียรภาพต่อการต้านทานการล้มคว่ำ**

ระยะห่าง (d) จากฐานไปสู่จุดที่ Resultant (R) กระทำซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$d = \frac{W.a + P_v.b - P_h.h}{W + P_v} \qquad (ก.4)$$

โดย $W$ = น้ำหนักของกำแพงกันดิน

$P_v$ = แรงดันดินตามแนวดิ่ง

$P_h$ = แรงดันดินตามแนวราบ

$a$ = ระยะห่างจากฐานไปยังจุดที่น้ำหนักกำแพงกระทำ

b = ระยะแนวราบจากฐานไปยังจุดที่ $P_v$ กระทำ

h = ระยะตามแนวดิ่งถึงจุดที่ $P_h$ กระทำ

ระยะเยื้องศูนย์ (Eccentricity, e) หมายถึง ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางฐานกำแพงไปยังจุดที่ Resultant (R) กระทำซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$e = \frac{B}{2} - d \qquad (ก.5)$$

เพื่อให้กำแพงกันดินมีเสถียรภาพ ระยะเยื้องศูนย์ควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ B/6 โดย B หมายถึง ความกว้างของฐานกำแพงกันดิน

**- เสถียรภาพในการรับน้ำหนักของดินฐานราก**

ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานราก (Bearing Capacity) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$q_u = CN_c + qN_q + 0.5\gamma BN_\gamma \qquad (ก.6)$$

โดย $q_u$ = ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานราก

C = แรงยึดเหนี่ยวในมวลดิน/หิน

$N_c$, $N_q$, $N_\gamma$ = Bearing Capacity Factor

ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากที่ยอมให้ (Allowable Bearing Capacity, $q_a$) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$q_a = \frac{q_u}{F.S.} \qquad (ก.7)$$

โดย $q_a$ = ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากที่ยอมให้

$q_u$ = ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานราก

F.S. = อัตราส่วนปลอดภัยซึ่งโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 3

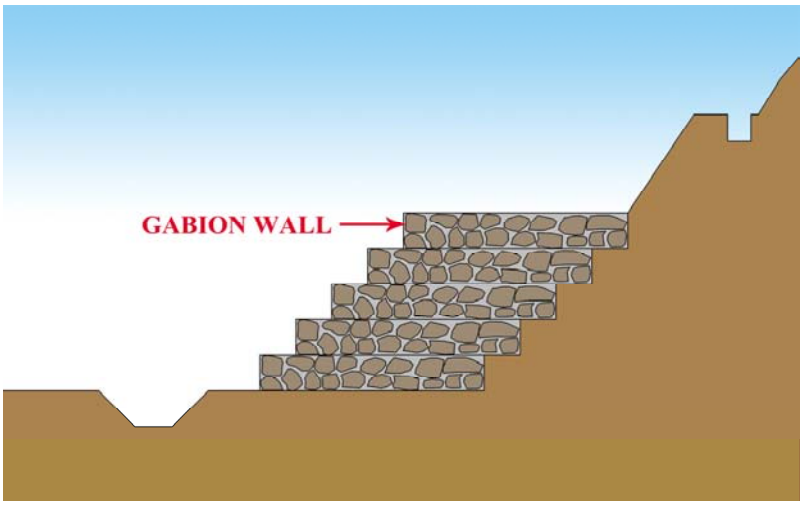
**- เสถียรภาพโดยรวม**

เสถียรภาพโดยรวมของโครงสร้างกำแพงกันดินสามารถคำนวณได้จากวิธี Method of Slice ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 1.1.3 เสถียรภาพโดยรวมสามารถคำนวณได้จากสมการ

## 4.3 การออกแบบกำแพงกันดินชนิดต่าง ๆ

### 4.3.1 Gabion Wall

Gabion Wall ใช้ในการป้องกันการพังทลายของเชิงลาดขนาดเล็กซึ่งอาจปรากฏน้ำซึมบริเวณปลายของเชิงลาด กำแพงประเภทนี้สามารถต้านทานการเคลื่อนตัวได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น รูปแบบกำแพงดังกล่าวได้แสดงไว้ใน**รูปที่ ก**-31




**รูปที่ ก**-31 Gabion Wall

4.3.2 **กำแพงหินเรียง** (Stone Riprap Wall)

กำแพงหินเรียงจะใช้ในการป้องกันการพังทลายของเชิงลาดในบริเวณที่มีการเคลื่อนตัวน้อย โดยทั่วไปจะออกแบบให้มีความสูงน้อยกว่า 5 เมตร ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกำแพงและความลาดชันบริเวณผิวหน้าเชิงลาดได้แสดงไว้ใน **ตารางที่ ก-13** วัสดุถมหลังกำแพงควรใช้วัสดุที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย โดยทั่วไปจะใช้กรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 10-50 มิลลิเมตร ความหนาของวัสดุงานถมเพื่อบดอัดมีค่าประมาณ 30 เซนติเมตร ต่อชั้น

**ตารางที่ ก-13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกำแพงกับความลาดของหน้ากำแพง**

| ความสูงของกำแพง (H), เมตร | | $H \leq 1.5$ | $1.5 < H \leq 3.0$ | $3.0 < H \leq 5.0$ |
|---|---|---|---|---|
| ความชันของเชิงลาด | ลาดคันทาง | 0.3 : 1 | 0.4 : 1 | 0.5 : 1 |
| | ลาดเหนือคันทาง | 0.3 : 1 | 0.3 : 1 | 0.4 : 1 |

4.3.3 **กำแพงกันดินชนิด** Gravity - Type

กำแพงกันดินชนิด Gravity – Type เป็นกำแพงที่ต้านแรงผลักของดินโดยใช้น้ำหนักของกำแพงเอง การก่อสร้างมักกำหนดให้มีความสูงไม่เกิน 3 เมตร ขนาดและรูปแบบของกำแพงกันดินโดยทั่วไปควรมีขนาดดังต่อไปนี้

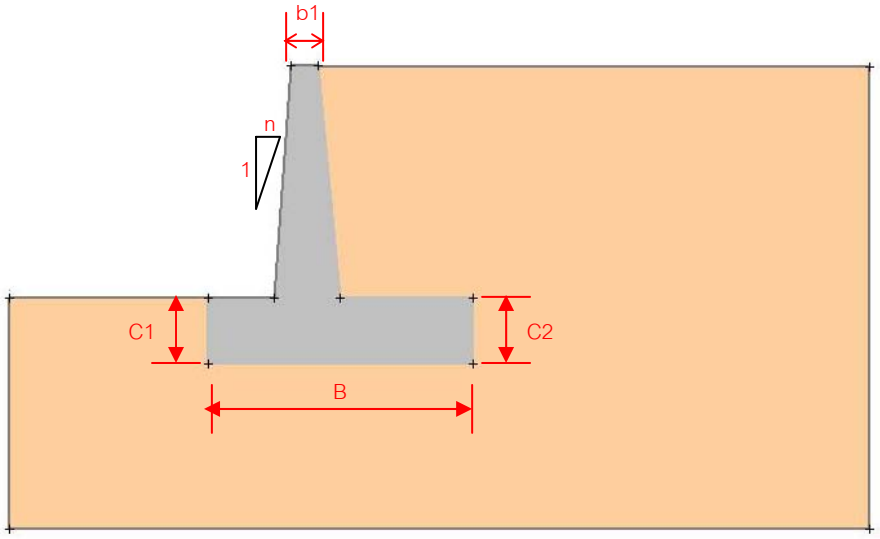
4.3.3.1 พื้นกำแพงจะกำหนดไว้ที่ 0.5-0.7 เท่าของความสูง

4.3.3.2 บริเวณยอดกำแพงควรมีความหนา 15-40 เซนติเมตร ค่าดังกล่าวได้กำหนดโดยขนาดของกำแพงไม่ว่าจะมีรั้วป้องกันหรือไม่ก็ตาม

4.3.3.3 รูระบายน้ำจะต้องก่อสร้างทุกระยะห่าง 2 เมตร

4.3.4 **กำแพงกันดินรูปตัว** T

กำแพงกันดินรูปตัว T จะต้านแรงกดของดินโดยใช้น้ำหนักของกำแพงและวัสดุถมที่อยู่บนฐานกำแพง ความสูงของกำแพงประมาณ 3-10 เมตร ขนาดและรูปแบบของกำแพงกันดินโดยทั่วไปควรมีขนาดดังต่อไปนี้ (ดู**รูปที่ ก**-32 ประกอบ)




**รูปที่ ก-32 กำแพงกันดินรูปตัว T**

4.3.4.1 ความลาดทางแนวตั้ง (n) ของกำแพงควรน้อยกว่า 0.2 : 1

4.3.4.2 ความกว้างของแผ่นพื้นกำแพง (B) โดยทั่วไปจะเป็น 0.5-0.8 เท่าของความสูง

4.3.4.3 ความยาวของหัวกำแพง (b1) เป็น 1/5 เท่าของความกว้างของพื้นกำแพง (B)

4.3.4.4 ความหนาของตีนกำแพง (C1, C2) จะต้องมากกว่า 30 เซนติเมตร

4.3.4.5 จุดบรรจบระหว่างกำแพงกับฐานกำแพงต้องมีความหนาเพียงพอที่จะต้านทานแรงเฉือนเนื่องจากแรงดันดิน

4.3.4.6 ฐานกำแพงจะต้องออกแบบให้มีลักษณะเป็นคานยื่น

## 5. การออกแบบระบบเสริมกำลังในเชิงลาด

### 5.1 Soil Nailing

#### 5.1.1 ทั่วไป

ในกรณีที่มีข้อจำกัดของเขตทางหรือสภาพของดิน หินตัดมีรอยแตก หรือรอยแยกของระนาบชั้นหินเอียงเข้าหาคันทาง สามารถเสริมเสถียรภาพโดยใช้เทคนิค Soil Nailing สำหรับสภาพที่เป็นดินหรือดินปนหิน หรือ Rock Bolting สำหรับหิน เทคนิคทั้งสองอย่างมีหลักการคล้ายกัน คือ การเจาะดินหรือหินเสียบเหล็กเส้นข้ออ้อยลงในหลุมเจาะและอัดด้วยน้ำปูน (Cement Grouting) ขนาดและความยาว

ของเหล็กข้ออ้อย โดยทั่วไปมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 มิลลิเมตร ยาว 6-15 เมตร และมีระยะห่างระหว่างกันประมาณ 1.50 – 3.00 เมตร หรือต้องมีความยาวเพียงพอที่จะโยงยึดข้ามรอยเลื่อนหรือข้ามระนาบวิบัติ (Sliding Plane) เมื่อติดตั้งแล้วเสร็จจะต้องปิดหัวเหล็กเสริมดังกล่าวด้วยแผ่นเหล็ก น๊อต จากนั้นจึงใช้เทคนิคการปกคลุมผิวหรือพื้นที่ที่ได้ดำเนินการแล้วอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการกัดกร่อนบริเวณส่วนผิวของแผ่นเหล็กและตัวยึด สำหรับขนาดความยาวและจำนวนจุดติดตั้งขึ้นอยู่กับผลการวิเคราะห์ สภาพธรณีวิทยา และคุณสมบัติของดินและหินในพื้นที่

### 5.1.2 การก่อสร้างและการประยุกต์ใช้งาน

การทำงานเริ่มจากการเจาะจากด้านหน้าเชิงลาดตามมุมเอียงและความยาวที่กำหนด ติดตั้ง Nail เข้าไปในหลุมเจาะและทำการ Grout ด้วยน้ำปูนจนเต็มหลุม ในกรณีที่ต้องมีการตัดเชิงลาดก่อนทำการติดตั้ง Nail การก่อสร้างจะเริ่มจากด้านบนลงมาทีละขั้นตามระดับที่กำหนด ขั้นตอนการก่อสร้างระบบเสริมแรงโดยใช้ Soil Nail แสดงใน**รูปที่ ก-33** กรณีที่ไม่มีงานตัดเชิงลาดเพิ่มเติมอาจเริ่มก่อสร้างจากด้านล่างของเชิงลาดขึ้นไปได้ ขั้นตอนสุดท้ายจะต้องยึด Nail ไว้ด้วยแผ่นเหล็ก (Bearing Plate) หรือติดตั้งเป็นแบบแผง (Facing) เพื่อป้องกันดินโดยระบบที่มีแผงหน้าสามารถก่อสร้างได้ทั้งในแนวดิ่ง ปรับเอียง หรือตัดเป็นขั้นขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และวิธีการออกแบบ

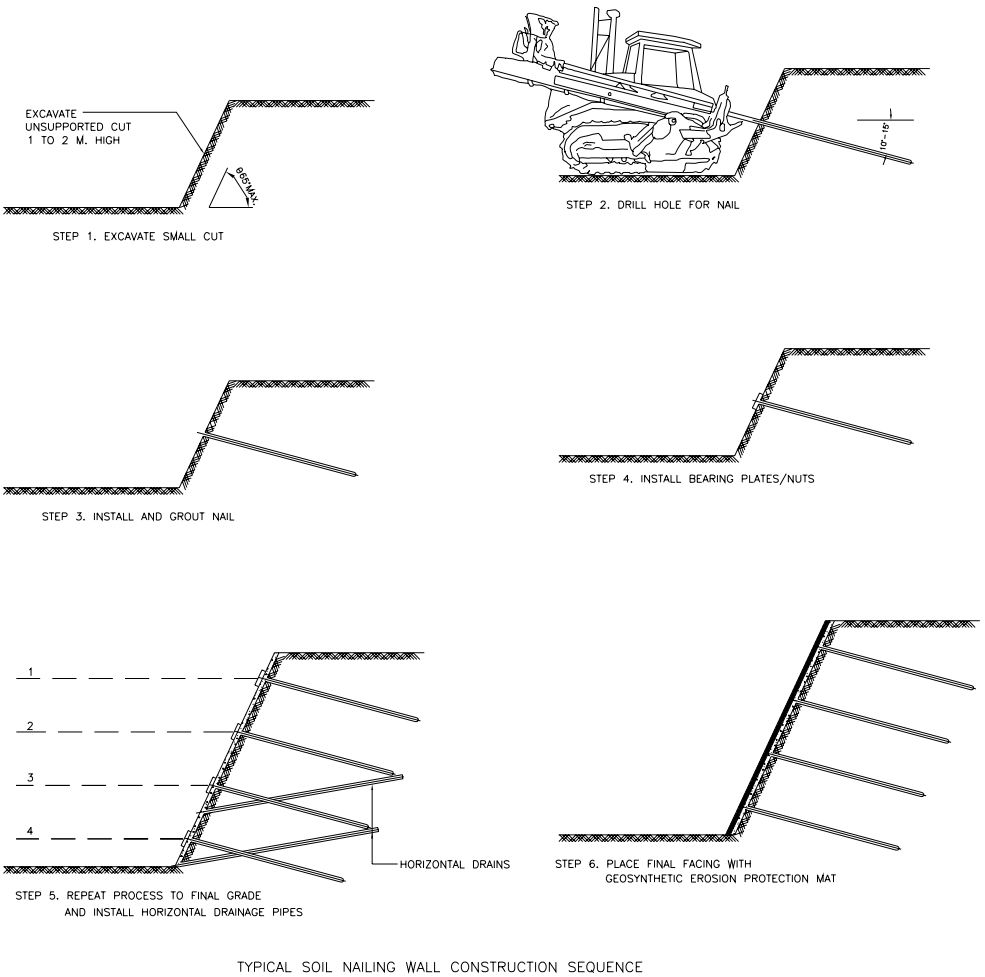
Soil Nail สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะกับงานในประเภทต่าง ๆ โดยเฉพาะงานที่ต้องการเพิ่มเสถียรภาพของเชิงลาดได้ในหลายกรณี เช่น

5.1.2.1 งานตัดถนนบนเขาซึ่งมีเขตทางแคบ

5.1.2.2 ใช้เป็น Retaining Structure

5.1.2.3 งานก่อสร้าง Transition Line บนพื้นที่เขา

5.1.2.4 งานก่อสร้างอาคารที่พักตามเชิงเขา

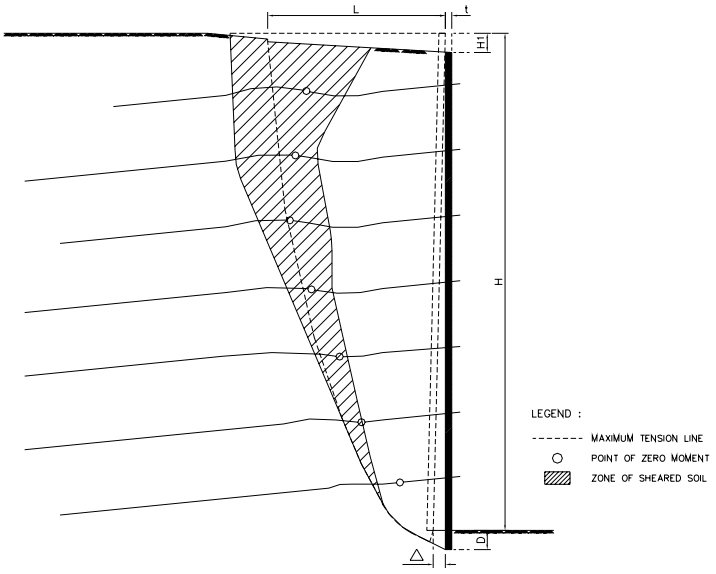



**รูปที่ ก-33 ขั้นตอนการก่อสร้างระบบเสริมแรง** Soil Nailing [3]

### 5.1.3 ลักษณะการพังทลายของระบบ Soil Nailing

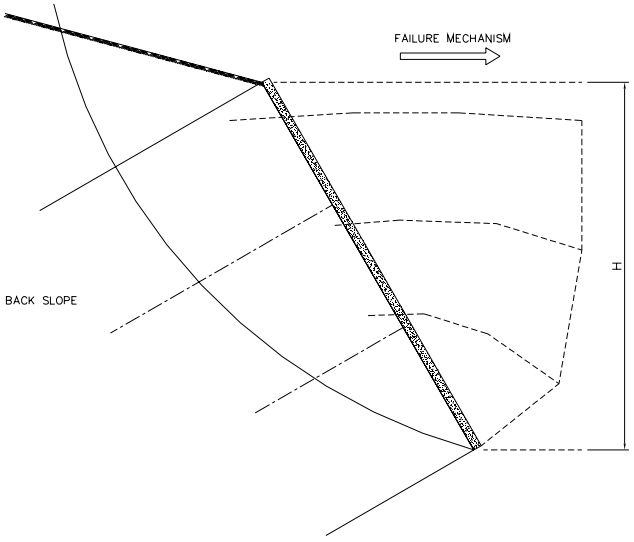
การพังทลายของระบบเสริมกำลังเชิงลาดโดยใช้ Soil Nailing เกิดได้จากปัจจัยด้านต่าง ๆ ประกอบกัน เช่น

5.1.3.1 การพังทลายเนื่องจาก Nail รับแรงดึงขาด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหน้าตัดเหล็กที่ออกแบบไว้ต่ำเกินไป การเกิดสนิมกัดกร่อน การมีน้ำหนักกดทับด้านบนมากเกินไป หรือผลจากการเคลื่อนตัวของเชิงลาด ลักษณะการพังทลายแสดงได้ดัง**รูปที่ ก-34**



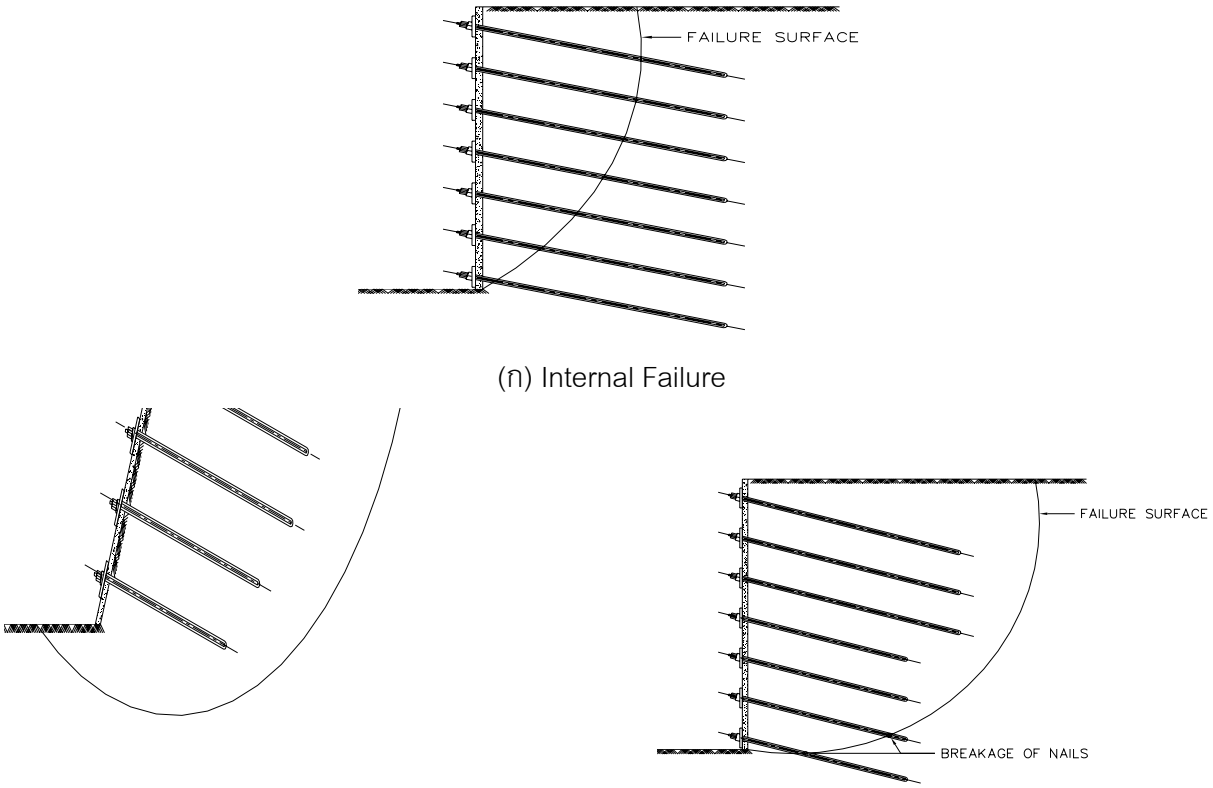

**รูปที่ ก-34 การพังทลายเนื่องจาก Nail รับแรงดึงขาด**

5.1.3.2 การพังทลายจากการเกิด Pull Out ของ Nail อาจเกิดจากเชิงลาดมีความชื้นเพิ่มขึ้นมากจนทำให้แรงเสียดทานระหว่าง Nail และดินลดลง หรือความยาวของ Nail ไม่เหมาะสม และเกิดการ Pull Out ออกมาลักษณะการพังทลายแสดงได้ดัง**รูปที่ ก-35**




**รูปที่ ก-35 การพังทลายจากการ Pull Out ของ Nail**

5.1.3.3 การพังทลายที่เกิดขึ้นระหว่างทำการขุดดินช่วงก่อสร้าง อาจมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติของดินที่มีความแข็งแรงต่ำ การตัดดินสูงหรือมีความชันสูงเกินไปหรือการพังทลายที่เกิดในช่วงใช้งาน ลักษณะการพังทลายแบบต่าง ๆ ได้แสดงไว้ใน **รูปที่ ก-36**




(ก) Internal Failure

(ข) External Failure

(ค) Combination Failure

**รูปที่ ก-36 ลักษณะการพังทลายของระบบเสริมแรง Soil Nail**

### 5.1.4 การออกแบบ

การออกแบบระบบเสริมกำลังเชิงลาดโดยวิธี Soil Nailing จำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางด้านกลศาสตร์และวิศวกรรมธรณีเทคนิคประกอบกับความรู้ทางด้านวัสดุวิศวกรรม โดยวัสดุที่เลือกใช้จะต้องมีการพิจารณาและระบุในรายการข้อกำหนด ได้แก่

5.1.4.1 วัสดุเหล็กเสริมที่ใช้ในการเสริมกำลัง

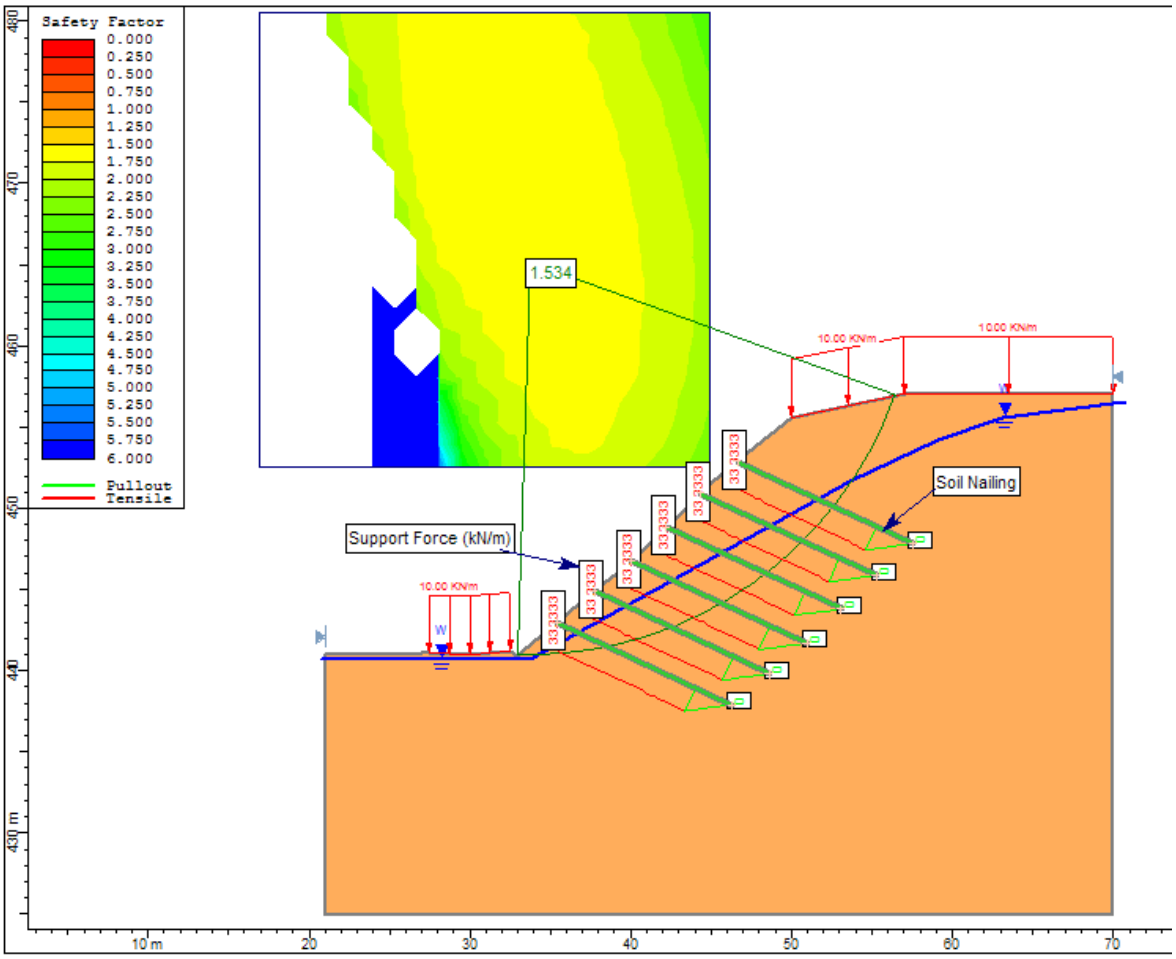
5.1.4.2 การป้องกันเหล็กเสริมและวัสดุประกอบไม่ให้เกิดการกัดกร่อน

5.1.4.3 การ Grout เพื่อรักษาเหล็กเสริม

5.1.4.4 แผ่นเหล็ก (Plate Bearing) หรือแผงกั้นหน้า (Facing)

5.1.4.5 คอนกรีตพ่น

การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดโดยมีระบบเสริมกำลังดิน Soil Nailing สามารถใช้โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ เนื่องจากสามารถสร้างแบบจำลองได้สะดวก มีความละเอียดสูง ช่วยให้การออกแบบสะดวกขึ้น การใช้โปรแกรมดังกล่าวจำเป็นต้องมีข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง เช่น ข้อมูลการสำรวจหน้าตัด Cross Section ของเชิงลาด ข้อมูลคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินจากการเจาะสำรวจและทดสอบในห้องปฏิบัติการ ระดับน้ำใต้ดิน และน้ำหนักกระทำ เป็นต้น ตัวอย่างการใช้โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดโดยมีระบบเสริมกำลังดิน Soil Nailing ได้แสดงไว้ใน**รูปที่ ก-37** สำหรับข้อมูลด้านคุณสมบัติของเหล็กเสริมเพื่อใช้เป็นข้อมูลให้กับโปรแกรมวิเคราะห์ เช่น ความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวแบบ Pullout Strength ตามวิธีการติดตั้ง ชนิดของดินและหิน ได้แสดงไว้ใน**ตารางที่ ก-14**




รูปที่ ก-37 ตัวอย่างการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดโดยใช้ Soil Nailing โปรแกรม Slide V.5.0

**ตารางที่ ก-14 ความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดของ Nail ในดินและหิน**

| วัสดุ | วิธีการก่อสร้าง | ชนิดของดิน/หิน | Ultimate Bond Strength, $q_u$ (kPa) |
|---|---|---|---|
| Rock | Rotary Drilled | Marl/Limestone | 300-400 |
| | | Phyllite | 100-300 |
| | | Chalk | 500-600 |
| | | Soft Dolomite | 400-600 |
| | | Fissured Dolomite | 600-1000 |
| | | Weathered Sandstone | 200-300 |
| | | Weathered Shale | 100-150 |
| | | Weathered Schist | 100-175 |
| | | Basalt | 500-600 |
| | | Slate/Hard Shale | 300-400 |
| Cohesionless Soil | Rotary Drilled | Sand/Gravel | 100-180 |
| | | Silty Sand | 100-150 |
| | | Silt | 60-75 |
| | | Piedmont Residual | 40-120 |
| | | Fine Colluvium | 75-100 |
| | Driven Casing | Sand/Gravel | |
| | | Low Overburden | 190-240 |
| | | High Overburden | 280-430 |
| | | Dense Moraine | 380-480 |
| | | Colluvium | 100-180 |
| | Augered | Silty Sand Fill | 20-40 |
| | | Silty Fine Sand | 55-90 |
| | | Silty Clayey Sand | 60-140 |
| | Jet Grouted | Sand | 380 |
| | | Sand/Gravel | 700 |

**ตารางที่ ก-14 ความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดของ Nail ในดินและหิน (ต่อ)**

| วัสดุ | วิธีการก่อสร้าง | ชนิดของดิน/หิน | Ultimate Bond Strength, $q_u$ (kPa) |
|---|---|---|---|
| Fine-Grained Soil | Augered | Loess | 25-75 |
| | | Soft Clay | 20-30 |
| | | Stiff Clay | 40-60 |
| | | Stiff Clayey Silt | 40-100 |
| | | Calcareous Sandy Clay | 90-140 |

### 5.1.5 สรุปข้อดีและข้อด้อยของการทำ Soil Nailing

การนำเทคนิค Soil Nailing ไปประยุกต์ใช้มีทั้งข้อดีและข้อด้อยซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงใน**ตารางที่ ก-15**

**ตารางที่ ก-15 สรุปข้อดีและข้อด้อยของการทำ Soil Nailing**

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|
| ลดเครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง | มีการเคลื่อนตัวด้านข้างหรือทรุดตัวซึ่งเป็นเรื่องปกติของวิธีการนี้ |
| ก่อสร้างได้รวดเร็ว | หากระดับน้ำใต้ดินสูงต้องทำการลดระดับน้ำใต้ดินก่อนทำการก่อสร้าง |
| สามารถใช้ได้กับดินหลายๆ ชนิด เปลี่ยนสถานที่ทำงานได้อย่างรวดเร็ว | ทำการก่อสร้างได้ยากในดินบางชนิด เช่น ดินทรายหลวมหรือเชิงลาดที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง |
| ราคาเหมาะสม | - |

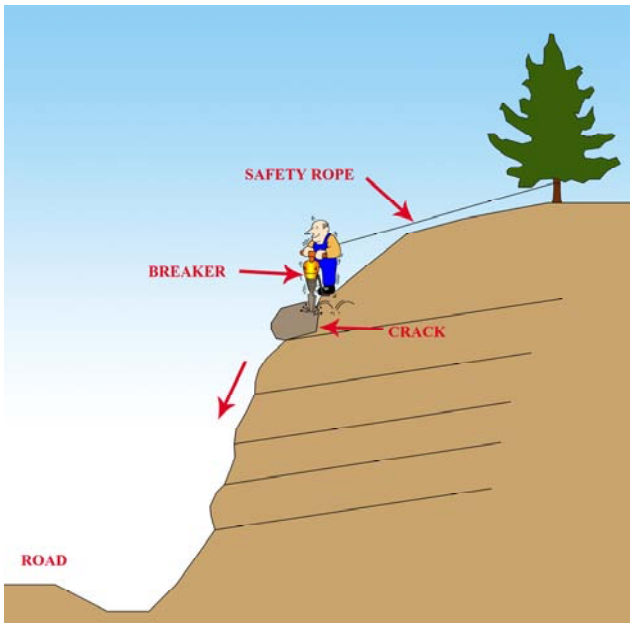
# 6 การออกแบบระบบป้องกันหินร่วง

## 6.1 การสำรวจและเคลื่อนย้ายหิน

วัตถุประสงค์ของวิธีการนี้ คือ การเคลื่อนย้ายหินที่อาจจะร่วงตกลงมาเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทางซึ่งมีความเหมาะสมกับกรณีที่เชิงลาดมีปริมาณหินที่มีความเสี่ยงต่อการร่วงหล่นไม่มากหรืออยู่ในระดับที่ไม่รุนแรง ขณะปฏิบัติงานจะต้องวางแผนด้านความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้ทาง เช่น ป้ายเตือนและต้องมีกำแพงชั่วคราวหรือใช้ Side Ditch รองรับหินที่จะร่วงลงมาเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทางได้ การเคลื่อนย้ายหินที่มีโอกาสร่วงหล่นในทางปฏิบัติสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

### 6.1.1 การใช้แรงงานคน

กรณีนี้เหมาะกับหินที่มีโอกาสหลุดร่วงได้ง่ายและเครื่องจักรขนาดใหญ่เข้าไม่ถึง การปฏิบัติทำได้โดยการย่อยหินที่มีโอกาสร่วงหล่นโดยเครื่องเจาะลงมาด้านล่าง ดังแสดงใน**รูปที่** ก-38

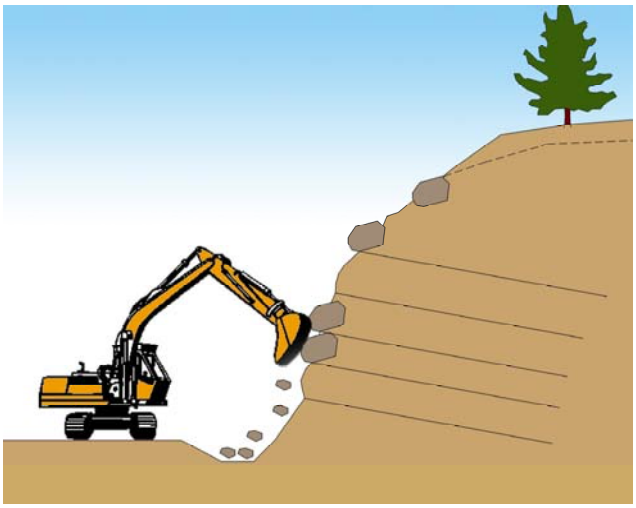



**รูปที่ ก-38 การเคลื่อนย้ายหินที่อาจหลุดร่วงได้โดยใช้แรงงานคน**

### 6.1.2 การใช้เครื่องจักรก่อสร้าง

ในกรณีนี้จะใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ที่สามารถเข้าถึงและทำงานได้หรือในกรณีที่มวลหินมีขนาดใหญ่มากจนเกินกำลังคน การเคลื่อนย้ายสามารถใช้รถ Back Hoe ดังแสดงใน**รูปที่** ก-39

ในการสำรวจเพื่อการเคลื่อนย้ายหินร่วงนั้น อาจสังเกตจากสถานที่ซึ่งเคยมีหินร่วงมาแล้วในอดีตและเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับสถานที่ ลักษณะและสภาพของหินและความพร้อมด้านเครื่องจักร



**รูปที่ ก-39 การเคลื่อนย้ายหินที่มีโอกาสร่วงหล่นได้โดยใช้เครื่องจักร**

## 6.2 ตาข่ายป้องกันหินร่วง

### 6.2.1 การใช้งาน

ตาข่ายป้องกันหินร่วงสามารถช่วยให้หินที่ร่วงหล่นไม่ล้ำเข้ามาในเขตทางเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทาง โดยช่วยประคองหินร่วงเหล่านั้นให้หล่นลงไปยังบริเวณด้านล่างของเชิงลาด

### 6.2.2 วัสดุ

6.2.2.1 ลวดตาข่าย ควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 ถึง 4.0 มิลลิเมตร ช่องตาข่ายเท่ากับ 50x50 มิลลิเมตร

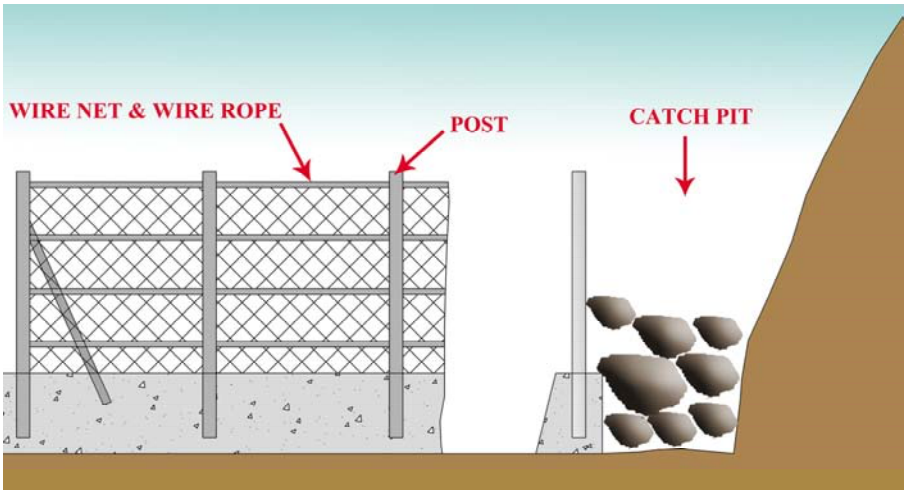
6.2.2.2 สายลวดหลัก ควรมีแรงดึงสูงสุดไม่น้อยกว่า 12,000 กิโลกรัม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร เส้นลวดรองควรมีแรงดึงสูงสุดไม่น้อยกว่า 7,000 กิโลกรัม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร

6.2.2.3 หมุดยึดตาข่าย ควรมีความยาวไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร

6.2.2.4 หมุดยึดแผ่นคอนกรีต ควรกว้าง 1 เมตร ลึก 1.2 เมตร ยาว 2 เมตร

## 6.3 รั้วหรือกำแพงป้องกันหินร่วง

กำแพงป้องกันหินร่วง มีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ลวดตาข่าย (Wire Mesh) และเสาเหล็กรูปตัว H (H-Shaped Steel Column) ลักษณะทั่วไปแสดงไว้ใน**รูปที่ ก-40**




**รูปที่ ก-40 รั้วตาข่าย** (Wire Mesh Fence)

### 6.3.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกั้น

การคำนวณหาเสถียรภาพของกำแพงกั้น (Wall Barrier) เป็นการพิจารณาเสถียรภาพภายนอก (External Stability) ได้แก่

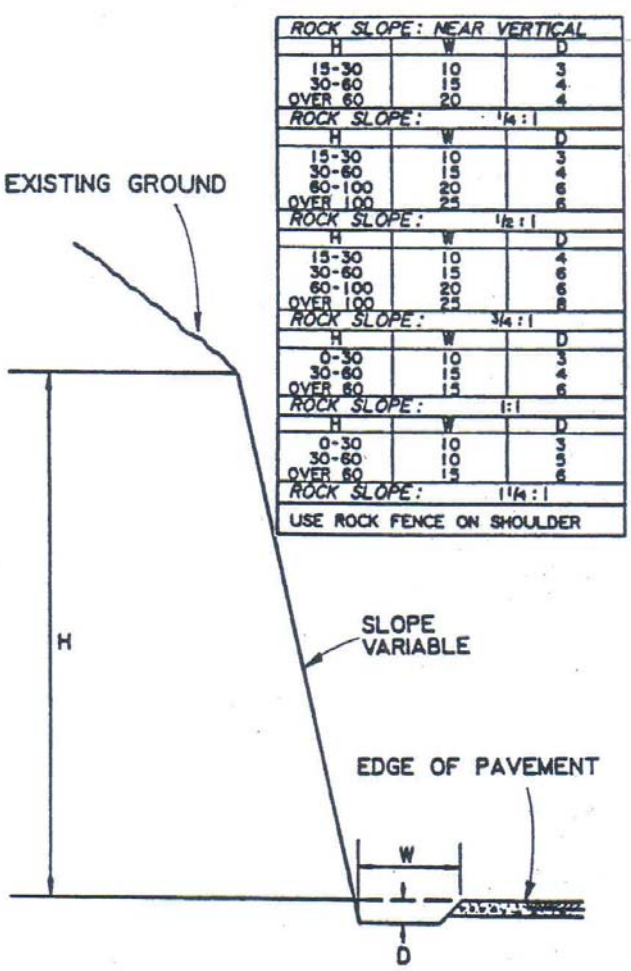
6.3.1.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานราก (Bearing Capacity)

6.3.1.2 ความสามารถต้านทานต่อการล้มคว่ำ (Overturning)

6.3.1.3 ความสามารถต้านทานต่อการเลื่อนไถล (Sliding)

## 6.4 **รางดักหินร่วง** (Catchment Ditch)

รางสำหรับดักหินร่วงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาพิจารณาป้องกันหินร่วงในกรณีที่มีพื้นที่ไหล่ทางเพียงพอสามารถทำรางดักหินที่ร่วงหล่นลงมาจากเชิงลาด โดยเฉพาะหินร่วงที่มีขนาดใหญ่ไม่ให้ล้ำเข้าไปในเขตจราจร **รูปที่ ก-41** (หน่วยที่ปรากฏในรูปเป็นหน่วย ฟุต) แนะนำแนวทางเบื้องต้นในการหาขนาดของรางดักหินโดยพิจารณาจากลักษณะทางเรขาคณิต ความสูง และความลาดชันของเชิงลาด




**รูปที่ ก-41 การหาขนาดของรางสำหรับดักหินร่วง** [3]

# ภาคผนวก ข

# ข้อกำหนด (Specification) และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ

# ภาคผนวก ข
# ข้อกำหนด (Specification) และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ

สำหรับงานออกแบบและก่อสร้างงานซ่อมแซมเชิงลาด สามารถอ้างอิงข้อกำหนด (Specification) และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ จากมาตรฐานงานทาง และข้อกำหนดวัสดุของกรมทางหลวง มาตรฐานที่เกี่ยวข้องดังแสดงในตารางต่อไปนี้

**ตารางที่ ข-1 มาตรฐานงานทาง (ทล.-ม.) ที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านเชิงลาด**

| ทล.-ม. | มาตรฐานงานทาง (ทล.-ม.) |
|---|---|
| 102/2532 | มาตรฐานดินถมคันทาง |
| 103/2532 | มาตรฐานทรายถมคันทาง |
| 104/2532 | มาตรฐานหินถมคันทาง |
| 105/2550 | มาตรฐานดินถมกำแพงดินเสริมกำลัง |
| 208/2532 | มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ก. |
| 209/2532 | มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ข. |
| 302/2532 | มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตสดในสนาม |
| 303/2532 | มาตรฐานการหล่อแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ |
| 304/2532 | มาตรฐานการหล่อแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก |

**ตารางที่ ข-2 ข้อกำหนดวัสดุ (ทล.-ก.) ที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านเชิงลาด**

| ทล.-ก. | ข้อกำหนดวัสดุ (ทล.-ก.) |
|---|---|
| 201/2544 | ข้อกำหนดมวลรวมละเอียดสำหรับผสมคอนกรีต |
| 202/2544 | ข้อกำหนดมวลรวมหยาบสำหรับผสมคอนกรีต |

**ตารางที่ ข-3 มาตรฐานวิธีการทดลอง (ทล.-ท.)**

| ทล.-ท. | มาตรฐานวิธีการทดลอง (ทล.-ท.) |
|---|---|
| 102/2515 | วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของดิน |
| 103/2515 | วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน |
| 105/2515 | วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน |
| 107/2517 | วิธีการทดลอง Compaction Test แบบมาตรฐาน |
| 108/2517 | วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน |
| 204/2516 | วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง |
| 205/2517 | วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง |

## ข้อกำหนดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

### 1. งานดิน (Earth Work)

งานดินประกอบด้วยงานขุดดิน งานถม การเคลื่อนย้ายวัตถุอื่น ภายในบริเวณที่กำหนดไว้สำหรับการก่อสร้าง การเตรียมการในบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง และอื่น ๆ ตามแนวที่กำหนดไว้ในแบบแปลนและที่ผู้ควบคุมงานกำหนดให้ รวมทั้งการเคลื่อนย้ายวัตถุที่ไม่พึงประสงค์ออกไปจากบริเวณหรือส่วนของบริเวณการก่อสร้าง ตลอดจนการนำวัตถุที่ต้องการเข้ามาแทนที่ด้วย

ถ้าปรากฏว่าในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างมีท่อระบายน้ำ เสาไฟฟ้า ท่อสายไฟฟ้า สายเคเบิลโทรศัพท์ใต้ดิน ท่อประปา หรือโครงสร้างใต้ดินอื่นๆ ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบป้องกันความเสียหายหรือจัดให้คงมีไว้ แต่ถ้าหากจำเป็นต้องเคลื่อนย้าย ผู้รับจ้างจะต้องแจ้งต่อเจ้าหน้าที่ควบคุมงานซึ่งจะกำหนดการเคลื่อนย้ายนอกจากการเคลื่อนย้ายสิ่งต่างๆ เหล่านั้นจำเป็นต้องดำเนินการให้เป็นไปตามที่ได้แจ้งไว้ในแบบหรือรายการเพื่อประโยชน์ในการก่อสร้างหรือเพื่อประโยชน์อื่น ทั้งนี้ผู้รับจ้างจะต้องรับผิดชอบเป็นผู้โยกย้ายและซ่อมแซมสิ่งซึ่งอาจเสียหายขึ้นในระหว่างทำการเคลื่อนย้ายหรือก่อสร้างหรือสิ่งอื่นใดที่เกิดเสียหายอันเนื่องมาจากการละเลยของผู้รับจ้างในระหว่างสัญญา

## 1.1 การขุดดิน

รวมความถึงการขุดดินเพื่อให้ได้แนวทาง และระดับตามกำหนดในแบบ การขุดเคลื่อนย้ายวัตถุต่างๆ ที่ไม่พึงประสงค์จากเขตก่อสร้าง ให้ดำเนินการตามรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

1.1.1 การขุดดินจะต้องให้ได้ระดับและได้แนวทางตามกำหนดในแบบ

1.1.2 การขุดดินและสกัดพื้นถนนเดิมจะต้องอยู่ในเขตซึ่งกำหนดในแบบแปลนห้ามขุดเกินกว่าที่กำหนด นอกจากจะได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมการก่อสร้าง

1.1.3 ผู้รับจ้างจะต้องทำการค้ำยันดินที่ขุดขึ้นใหม่ให้มั่นคงกันดินพังอาจต้องใช้เสาเข็มไม้เป็นโครงค้ำยันดิน ในกรณีที่จะต้องขุดร่องดินลึกมากกว่า 2.00 เมตร ผู้รับจ้างควรส่งแผนผังค้ำยันร่องดินอย่างละเอียด โดยวิศวกรของผู้รับจ้างเป็นผู้ออกแบบยื่นต่อผู้ออกแบบหรือผู้ควบคุมงานให้ความเห็นชอบก่อนดำเนินการก่อสร้าง

1.1.4 ห้ามมิให้กองวัตถุที่ขุดออกไว้ตรงปากหลุมดิน

1.1.5 ในการขุดดินหรือรื้อพื้น คสล. หรือรื้อท่อและรางระบายน้ำของเดิมออก ผู้รับจ้างจะต้องระมัดระวังไม่ให้โครงสร้างใต้ดินของเดิมและส่วนอื่นๆ ของเดิมที่คงไว้ชำรุดเสียหาย ถ้าหากเกิดการชำรุดเสียหาย ผู้รับจ้างจะต้องซ่อมทำให้ใหม่ให้อยู่ในสภาพเดิมตามความเห็นชอบของผู้ออกแบบ

1.1.6 ก่อนที่จะดำเนินการก่อสร้างใดๆ ต่อไป จะต้องให้ผู้ควบคุมการก่อสร้างตรวจสอบว่าการขุดดินเป็นที่เรียบร้อยก่อน

1.1.7 เครื่องมือในการขุดและทำลายผิวจราจร ผู้รับจ้างต้องใช้เครื่องมือกล เช่น เครื่องกลสำหรับตัดคอนกรีต หรือแอสฟัลท์ เครื่องกลสำหรับขุดดิน ซึ่งมีคุณภาพและประสิทธิภาพเหมาะสมแก่งาน ผู้ควบคุมงาน กรรมการตรวจการจ้างของผู้ออกแบบมีสิทธิที่จะสั่งระงับการใช้เครื่องมือที่ไม่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอต่อความต้องการของงาน ผู้รับจ้างต้องจัดหาเครื่องมือกลที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีกว่ามาใช้แทน และจะถือสาเหตุขอต่ออายุสัญญามิได้

1.1.8 การขนย้าย ผู้รับจ้างจะต้องมีรถบรรทุกอย่างเพียงพอสำหรับขนดินหรือวัสดุที่ขุดขึ้นมาเพื่อนำไปทิ้ง โดยไม่ยอมให้ดินหรือวัสดุที่ขุดขึ้นมาขวางการจราจร ณ ที่ก่อสร้าง

1.1.9 การขุด และทำการก่อสร้างบนพื้นผิวจราจร หรือพื้นที่ใช้สอยอื่น ๆ จะต้องติดตั้งแผงกั้นให้เห็นได้ชัดเจน และติดไฟสัญญาณในเวลากลางคืน

1.1.10 ห้ามมิให้ผู้รับจ้างขุดร่องดินเป็นระยะยาวทิ้งไว้โดยมิได้ทำการก่อสร้างแต่อย่างใด

## 1.2 การถมดิน

รวมถึงการถมดินหรือวัตถุจากแหล่งที่กำหนดให้หรือวัตถุที่มีคุณสมบัติตามกำหนดในแบบ ให้บดอัดแน่นได้ระดับแนวทางที่กำหนดไว้ในแบบแปลน ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้ คือ

1.2.1 ในบริเวณที่จะทำการถม จะต้องได้รับการตรวจสอบจากผู้ควบคุมการก่อสร้างก่อนว่าได้ทำการตระเตรียมไว้อย่างเรียบร้อยแล้ว

1.2.2 วัตถุที่ใช้ถม จะต้องได้เกณฑ์ตามที่กำหนดในแบบและรายละเอียดและจะต้องได้รับการทดสอบและอนุญาตให้ใช้ก่อน

1.2.3 การถม จะต้องเกลี่ยเป็นชั้นๆ ให้กว้างเต็มบริเวณที่จะทำการแต่ละชั้นหนาตามที่กำหนดไว้ในแบบและบดอัดตามเกณฑ์ที่กำหนดทีละชั้น แล้วจึงเกลี่ยใส่วัตถุและบดแต่ละชั้นต่อไปได้

1.2.4 การถม แต่ละชั้นจะต้องแต่งลาดให้อยู่ในลักษณะที่จะระบายน้ำได้ตลอดเวลา

1.2.5 แต่ละชั้นของการถม จะต้องบดอัดให้มีความแน่น และควบคุมความชื้นให้สม่ำเสมอกันด้วยเครื่องมือที่ผู้ควบคุมการก่อสร้างเห็นว่าเหมาะสม ในระหว่างการบดอัดจะต้องมีความชื้นใกล้เคียงกับผลการทดลองการบดอัดแน่นในห้องปฏิบัติการทดลอง

1.2.6 ในบริเวณซึ่งรถบดไม่สามารถเข้าทำการบดอัดได้ หรือบริเวณวัตถุถมหลังท่อน้อยกว่า 60 เซนติเมตร หรือบริเวณข้างบ่อพักน้ำ หรือท่อระบายน้ำของเดิม หรือโครงสร้างอื่น ๆ ของเดิมที่คงไว้ ให้ถมดินบดอัดด้วยเครื่องกระทุ้งเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นหนาไม่เกิน 10 เซนติเมตร (สำหรับวัตถุที่หลวมตัวก่อนบดอัด) และจะต้องมีความแน่นสัมพันธ์ของดินในสนามไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ

1.2.7 การถมดินในบริเวณข้างท่อระบายน้ำ และหรือโครงสร้างอื่นๆ ซึ่งหล่อในที่จะต้องรอจนกว่าโครงสร้างนั้นๆ จะได้รับการทดสอบว่ามีความแข็งแรงเพียงพอตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือรายละเอียด และจะต้องรอต่อไปอีกไม่น้อยกว่า 7 วัน หลังจากที่ทดสอบว่าแข็งแรงเพียงพอแล้ว

1.2.8 ในการถมดินและบดอัด ผู้รับจ้างจะต้องรับผิดชอบในข้อเสียหายต่างๆ อันเกิดจากการใช้เครื่องมือในการขนย้าย เกลี่ยวัสดุ และเครื่องมือบดอัดต่อทรัพย์สินต่างๆ ในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง และบริเวณใกล้เคียง

## 2. ท่อระบายน้ำแนวราบ (HORIZONTAL DRAIN)

### 2.1 วัสดุ (Materials)

- ท่อที่ใช้จะต้องเป็นวัสดุประเภท Polyvinyl Chloride (PVC) Grade 1 ตามมาตรฐานของ ASTM Designation: D 1785 หรือเทียบเท่า
- จำนวนและขนาดรูเจาะจะต้องเป็นไปตามที่กำหนดในแบบ หรือตามคำแนะนำของวิศวกร หรือตามตารางที่ 2.1-1 ต่อไปนี้

**ตารางที่ 2.1-1 ข้อกำหนดการเจาะรูท่อระบายน้ำแนวนอน**

| จำนวนของรูเจาะ ต่อเมตร | ความกว้างของช่องเจาะ (มิลลิเมตร) | ช่องเปิดน้อยสุดต่อเมตร (ตารางมิลลิเมตร) |
|---|---|---|
| 72 | 1.27 | 2110 |
| 75 | 0.51 | 975 |
| 151 | 0.25 | 975 |

- การติดตั้งท่อในหลุมเจาะจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM Designation D 2467
- ช่วงท่อที่ไม่ได้เจาะรู (Unslotted) ทำหน้าที่ระบายน้ำออกมาด้านหน้า จะต้องมีความยาวตามที่กำหนดในแบบ หรือตามคำแนะนำของวิศวกร

### 2.2 การติดตั้ง (Installation)

- ระยะห่างและความยาวของท่อระบายน้ำแนวราบ จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดในแบบ หรือ ตามคำแนะนำของวิศวกร
- การติดตั้งท่อระบายน้ำแนวราบ บน Bench จะต้องทำการก่อสร้าง Bench ให้แล้วเสร็จก่อนที่จะทำการติดตั้งท่อระบายน้ำแนวราบ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง
- การเจาะหลุมเพื่อติดตั้งท่อระบายน้ำแนวราบ จะกระทำโดยใช้เครื่องเจาะแบบ Precussion-Rotary ที่สามารถเจาะหลุมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15-75 มิลลิเมตร และลึกได้ไม่น้อยกว่า 60 เมตร หรือไม่น้อยกว่าความยาวสูงสุดของความยาวท่อที่กำหนดในแบบ หลุมเจาะจะเบี่ยงเบนไปจากที่กำหนดได้ไม่เกิน 2%

## 3. รางระบายน้ำ (DITCH LINING)

### 3.1 วัสดุ (Materials)

3.1.1 คอนกรีตสำหรับรางระบายน้ำจะต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับการทดสอบลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน โดยมีอัตราส่วนผสมดังนี้

**ตารางที่ 3.1.1-1 ข้อกำหนดส่วนผสมคอนกรีตสำหรับรางระบายน้ำ (ต่อ 1 ลบ.ม.)**

| | |
|---|---|
| ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ | อย่างน้อย 320 กิโลกรัม |
| ทราย | 0.43 ลูกบาศก์เมตร |
| เศษหิน หรือ กรวด | 0.86 ลูกบาศก์เมตร |
| อัตราการยุบตัว | ไม่เกิน 10 เซนติเมตร |

3.1.2 เสริมเหล็กจะต้องใช้ตามมาตรฐาน TIS.20 Grade SR 24 ขนาดและจำนวนจะต้องเป็นไปตามที่กำหนดในแบบ

3.1.3 วัสดุในการยาแนวรอยต่อ จะต้องมีอัตราส่วนผสมระหว่าง ทราย: แอสฟัลต์ซีเมนต์ เท่ากับ 3:1

### 3.2 การก่อสร้าง

3.2.1 ระดับ

ผู้รับจ้างต้องตรวจสอบ แนว ระดับ ความลาดเอียง และระดับอื่นๆ ตามที่ระบุในแบบก่อสร้าง หรือตามที่วิศวกรกำหนด โดยใช้กล้องระดับตรวจสอบทุกครั้งและแจ้งต่อวิศวกรควบคุมงานก่อนทำการเทคอนกรีต

3.2.2 การขุดดิน

การขุดดินปรับระดับรางระบายน้ำเดิม การย้ายแนวรางระบายน้ำ หรือการก่อสร้างรางระบายน้ำใหม่ จะต้องดำเนินการโดยพิจารณาให้น้ำระบายได้สะดวก การขุดดินจะต้องไม่เกิดผลกระทบต่อเสถียรภาพเชิงลาด

3.2.3 งานเหล็ก

- การดัดเหล็ก จะต้องไม่งอกลับไปกลับมาจนทำให้เหล็กเสียกำลัง
- ลวดผูกเหล็ก จะต้องมีคุณสมบัติเหนียว ไม่เป็นสนิม
- การวางเหล็กเสริมลงในแบบ จะต้องใช้ลูกปูน ทราย:ซีเมนต์ (1:1) หล่อให้ได้ตามระยะระหว่างเหล็กเสริมด้วยกัน หรือระหว่างเหล็กกับไม้แบบ กำหนดขนาดของลูกปูนที่ใช้ดังนี้
  - o ลูกปูนหนุนระหว่างเหล็กเสริมด้วยกันหนาประมาณ 2.5 ซ.ม.
  - o ลูกปูนหนุนระหว่างเหล็กเสริมกับไม้แบบหนาประมาณ 3 ซ.ม.
- การต่อเหล็กให้ใช้ได้ 2 วิธี คือ

  *การต่อโดยวิธีทาบ*
  - o เหล็กเส้นกลม ต้องมีระยะทาบยาวอย่างน้อย 60 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง
  - o เหล็กเส้นข้ออ้อย ต้องมีระยะทาบยาวอย่างน้อย 40 เท่าของ

เส้นผ่าศูนย์กลาง

*การต่อโดยวิธีเชื่อม*

- o การเชื่อมเหล็ก ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASHTO M55 – 75 (ASTM A185-73) หรือ ASHTO M32 -78 (ASTM A82-76)

**3.3 งานไม้แบบ**

3.3.1 ไม้แบบ จะต้องมีคุณสมบัติการยืดหดตัว ไม่เกิน 0.20% ไม่ดูดซับน้ำจากคอนกรีต ความหนาไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว และไม่บิดเบี้ยวโค้งงอ

***หมายเหตุ*** สามารถใช้แบบเหล็กแทนแบบไม้ได้ โดยต้องผ่านการพิจารณาจากวิศวกร

3.3.2 การประกอบไม้แบบ

- ไม้แบบต้องประกอบให้แนบสนิท ไม่มีรูรั่ว ติดตั้งค้ำยันที่มั่นคง แข็งแรง ทนต่อแรงดันของคอนกรีตและแรงกระแทกกระทุ้งของ เครื่องสั่นคอนกรีตได้เป็นอย่างดี ขนาดและระดับต้องถูกต้องตามแบบก่อสร้าง
- แบบหล่อต้องถอดได้ง่าย มีช่องสำหรับล้างแบบ ไม้แบบต้องสะอาด ไม่เปื้อนสี น้ำมันหรือสิ่งสกปรกอื่นใดที่ทำให้คอนกรีตเสื่อมคุณภาพ

3.3.3 การถอดไม้แบบ จะกระทำได้ตามระยะเวลาดังต่อไปนี้

- แบบด้านข้างของเสา คาน กำแพง ถอดแบบเมื่อครบกำหนด 3 วัน

- หลังถอดแบบ ผู้รับจ้างต้องแจ้งต่อวิศวกรควบคุมงานเพื่อตรวจสอบความเรียบร้อย หากปรากฏสิ่งบกพร่อง เช่น คอนกรีตมีรูพรุน หรือเหล็กผิดลักษณะ ผู้รับจ้างจะต้องแจ้งต่อวิศวกรควบคุมงาน
- การซ่อมแซมคอนกรีตที่มีรูพรุนให้ใช้ ซีเมนต์ : ทราย = 1 : 1 ผสมน้ำเหลวพอควรอุดให้เรียบเป็นผิวเดียวกัน ก่อนอุดต้องราดน้ำปูน (น้ำ + ปูนซีเมนต์) ที่ผิวคอนกรีตให้ชุ่ม

**3.4 งานคอนกรีต**

3.4.1 การผสมคอนกรีต

- เครื่องมือผสม โดยทั่วไปให้ใช้เครื่องมือผสมแบบถังหมุนด้วยเครื่องยนต์ (Rotating Drum Mixer) นอกจากการก่อสร้างปลีกย่อยจึงจะขออนุญาตให้ผสมด้วยมือในกระบะจากวิศวกรควบคุมงาน
- วัสดุผสมคอนกรีต ซีเมนต์ ทราย หิน หรือกรวด และน้ำ ต้องมีการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานงานคอนกรีตของกรมทางหลวง
- อัตราส่วนผสมคอนกรีต ให้ใช้อัตราส่วน 1:2:4 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน) โดยปริมาตร ซึ่งจะต้องมีกระบะตวงให้ได้อัตราส่วนผสมตามที่กำหนดการผสมต้องผสมคลุกเคล้าซีเมนต์ ทราย หิน หรือกรวด และน้ำ ให้เข้ากันโดยทั่วถึงเป็นเนื้อเดียวกัน

3.4.2 การเทคอนกรีต

- ผู้รับจ้างจะต้องแจ้งต่อวิศวกรควบคุมงาน ตรวจสอบความเรียบร้อยก่อนการเทคอนกรีตทุกครั้ง
- คอนกรีตจะต้องผสมไว้ไม่เกิน 30 นาที
- จะต้องใช้เครื่องสั่นคอนกรีต (Vibrator) ทุกครั้ง และระวังไม่ให้เครื่องสั่นไปกระทบเหล็กเสริมจนหลวมหรือหลุดจากตำแหน่ง
- การเทคอนกรีต ที่ไม่สามารถหล่อให้เสร็จในคราวเดียวได้จะต้องเตรียมผิวรอยต่อสำหรับการเทครั้งต่อไป โดยแจ้งต่อวิศวกรควบคุมงานรับทราบและตรวจสอบ

## 4. **งานคอนกรีตพ่น** (SHOTCRETE WORK)

### 4.1 **คอนกรีตพ่น** (Shotcrete)

4.1.1 คอนกรีตพ่นจะต้องใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 ตามมาตรฐาน TIS.15 อัตราส่วนผสมระหว่างปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) หรือทราย (Sand):และมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) หรือ หิน เท่ากับ 1:2:2 โดยปริมาตร โดยมีสัดส่วนของน้ำต่อ ซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.40

4.1.2 ขนาดของมวลรวมละเอียด (ทราย) และมวลรวมหยาบ (หิน) จะต้องเป็นไปตามตารางดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 4.1.2-1 เปอร์เซนต์ผ่านโดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ**

| ขนาดตะแกรงมาตรฐาน | เปอร์เซนต์ผ่านโดยน้ำหนัก | | | |
|---|---|---|---|---|
| | มวลรวมละเอียด | มวลรวมหยาบ | | |
| | | ชนิด A | ชนิด B | ชนิด C |
| 1” | - | - | - | 100 |
| 3/4” | - | - | 100 | 90-100 |
| 1/2” | - | 100 | 90-100 | - |
| 3/8” | 100 | 85-100 | 40-70 | 20-55 |
| No.4 | 95-100 | 10-30 | 0-15 | 0-10 |
| No.8 | 80-100 | 0-10 | 0-5 | 0-5 |
| No.16 | 50-85 | 0-5 | - | - |
| No.30 | 25-60 | - | - | - |
| No.50 | 10-30 | - | - | - |
| No.100 | 2-10 | - | - | - |

4.1.3 คอนกรีตพ่นจะต้องมีกำลังอัด (Compressive Strength) ต่ำสุดที่ 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ของลูกบาศก์คอนกรีตขนาด15X15X15 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน

4.1.4 เหล็กเสริมสำหรับงานคอนกรีตพ่น

4.1.4.1 ตะแกรงเหล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 3.15 มิลลิเมตร มีระยะห่างของตะแกรงเท่ากับ 0.75 X 0.75 เมตร เป็นไปตามมาตรฐาน TIS. 194 การเชื่อมต่อเหล็กจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASHTO M55-75 (ASTM A185-73) หรือ ASHTO M32 -78 (ASTM A82-76)

4.1.4.2 สำหรับตะแกรงลวดแบบหกเหลี่ยมจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน TIS.208 ชนิด A ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดไม่น้อยกว่า 1.25 มิลลิเมตร ขนาดตาของลวดตะแกรงเท่ากับ 52 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน TIS. 747

4.1.4.3 สำหรับตะแกรงเหล็กแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสต้องมีขนาด 50 X 50 มิลลิเมตร เหล็กตะแกรงจะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 2 มิลลิเมตร เป็นไปตามมาตรฐาน TIS. 747

4.1.5 หมุด หรือสมอยึดโครงเหล็กตะแกรง จะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน TIS. 20 เกรด SR.24

**4.2 Shear Key**

4.2.1 คอนกรีตที่ใช้ทำ Shear key จะต้องมีกำลังอัดต่ำสุด 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ของลูกบาศก์คอนกรีตขนาด15X15X15 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน โดยมีอัตราส่วนผสมและข้อกำหนดของคอนกรีต ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 4.2.1-1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ทำ Shear Key (ต่อ 1 ลบ.ม.)**

| | |
|---|---|
| ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ชนิด 1 | อย่างน้อย 350 กิโลกรัม |
| ทราย | 0.43 ลูกบาศก์เมตร |
| เศษหิน หรือ กรวด | 0.86 ลูกบาศก์เมตร |
| ค่าการยุบตัวของคอนกรีต | ไม่เกิน 10 เซนติเมตร |

4.2.2 เหล็กเสริมจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน TIS.20 เกรด SR.24

### 4.3 วัสดุกรอง (Filter Materials)

4.3.1 ขนาดของก้อนกรวดที่ใช้สำหรับระบบกรองจะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 3/8 - 2 นิ้ว

4.3.2 ท่อ PVC จะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน TIS. 17 Class 13.5

4.3.3 งาน Geotextile จะต้องเป็นแบบชนิด Non-woven มีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 140 กรัมต่อตารางเมตร ตามมาตรฐาน ASTM 3776

### 4.4 การก่อสร้าง (Construction)

4.4.1 งานป้องกันเชิงลาดตัด (Back Slope Protection)

- จะต้องทำการตบแต่งเชิงผิวลาดตัด และบดอัด ความลาดชันของเชิงลาดจะต้องไม่เกินจากที่ระบุในแบบ
- ในกรณีเชิงลาดตัดมีความลาดชันมากกว่าที่ระบุในแบบ จะต้องทำการตัด Benching ความกว้างประมาณ 1.0 – 1.5 เมตร ทุก ๆ ความสูง 7.5 เมตร

4.4.2 งานป้องกันเชิงลาดถม (Side Slope Protection)

- จะต้องตัดดินที่มีสภาพหลวม (Loose Soil) ซึ่งเป็นผิวดินเดิมออกก่อน
- ในกรณีเชิงลาดถมมีความลาดชันน้อยกว่าที่ระบุในแบบ ผู้รับจ้างจะต้องทำการบดอัด ก่อนทำการดาดคอนกรีต
- ในกรณีเชิงลาดถมมีความลาดชันมากกว่าที่ระบุในแบบ ผู้รับจ้างจะต้องตัด Benching และบดอัดด้วยวัสดุคัดเลือก มีความหนาของชั้นบดอัดไม่เกิน 30 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่นเท่ากับ 95% ของการบดอัดแบบมาตรฐาน (DOH.-T107/2517) ก่อนทำการดาดคอนกรีต

### 4.5 ข้อกำหนดทั่วไป

4.5.1 การเชื่อมต่อเหล็กตะแกรงจะต้องอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของผืน Shotcrete ต้องวางซ้อนทับกันทั้งด้านยาวและด้านกว้างไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร

4.5.2 ในกรณีของโครงลวดตาข่ายแบบ 6 เหลี่ยม (Hexagonal Steel Wire Mesh) หรือแบบสี่เหลี่ยม (Square Steel Wire Mesh) การเชื่อมต่อต้องวางซ้อนทับกันทั้งด้านยาวและด้านกว้างไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร

4.5.3 สำหรับดินอ่อนหรือทราย ในชั้นแรกของ Shotcrete จะต้องพ่นเป็นชั้นบางๆ ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด และรอประมาณ 15 นาที หรือรอให้คอนกรีตเริ่มแข็งตัว แล้วจึงทำการพ่นชั้นที่ 2 ทับ จนได้ความหนาตามแบบ

4.5.4 สำหรับดินเม็ดหยาบ (Granular Soil) จะต้องใช้กลุ่มสมอยึด (Anchorage) ขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยอัตราส่วน ซีเมนต์ : ทราย 1:3 โดยปริมาตร

4.5.5 จะต้องติดตั้ง รูเจาะ (Slot) และชั้นกรองเพิ่มเติม ถ้าตรวจพบมีน้ำซึมเกิดขึ้นที่ผิวหน้า โดยจะต้องได้รับคำแนะนำจากวิศวกรโครงการ

4.5.6 ถ้าพบว่ามีน้ำซึมจากเชิงลาดในปริมาณมาก ผู้รับจ้างจะต้องรายงานต่อวิศวกรควบคุมงานเพื่อพิจารณาติดตั้ง Perforated Pipe

4.5.7 อัตราส่วน ซีเมนต์ : ทราย = 1: 3 โดยปริมาตร ใช้สำหรับปิดแนวรอยต่อทั้ง Contraction Joint และ Expansion Joint

4.5.8 ขอบเขตของ Shotcrete ควรครอบคลุมพื้นที่ที่โดนกัดเซาะ หรือจุดที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดเซาะ

# ภาคผนวก ค

# แบบแนะนำสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด

## ภาคผนวก ค
## แบบแนะนำสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด

แบบแนะนำสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด (แยกส่วนจากคู่มือการแนะนำ แก้ไขฯ และจัดพิมพ์ด้วยกระดาษขนาด A3 เพื่อให้สามารถศึกษารายละเอียดได้อย่างชัดเจน) ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางให้กับ แขวงการทาง/สำนักทางหลวง ได้นำไปประยุกต์ใช้ในส่วนของความเสียหายที่ไม่มีความรุนแรงและไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน ตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ในบทที่ 2 แบบแนะนำประกอบไปด้วยแบบรายละเอียด ข้อกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ขั้นตอนการก่อสร้างในการประยุกต์ใช้แบบแนะนำให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่โดยรายละเอียดของแบบแนะนำได้แสดงไว้ใน**ตารางที่ ค-1** ในส่วนของการคำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้ในการแก้ไขป้องกันความเสียหายของเชิงลาดประเภทต่าง ๆ ได้นำเสนอไว้ดังแสดงใน**ตัวอย่างที่ ค-1** ถึง **ตัวอย่างที่ ค-4**

**ตารางที่ ค-1 รายละเอียดแบบแนะนำสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด**

| แผ่นที่ | ชื่อแบบ | แบบเลขที่ |
|---|---|---|
| 1 | สารบัญแบบ | - |
| 2 | กล่องลวดตาข่ายเกเบี้ยน (GABION) และรายละเอียดคุณลักษณะ (SPECFICATION) | ER-01 |
| 3 | กล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (MATRESS) และรายละเอียดคุณลักษณะ (SPECFICATION) | ER-02 |
| 4-6 | วิธีการติดตั้งกล่องลวดตาข่ายเกเบี้ยน (GABION) และแมทเทรส (MATRESS) | ER-03/1 – ER03/3 |
| 7 | กำแพงกันดินเกเบี้ยน (GABION RETAINING WALL) | ER-04 |
| 8 | การป้องกันน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาด (TOE SLOPE) ที่อยู่ติดลำน้ำ (GABION WALL FOR TOE SLOPE PROTECTION) | ER-05 |
| 9 | การป้องกันการกัดเซาะด้านต้นน้ำและท้ายน้ำของท่อลอดกลม $\phi$ 1.00-1.50 ม. (INLET & OUTLET PROTECTION OF PIPE CULVERT $\phi$ 1.00 - 1.50 M.) | ER-06 |
| 10 | การป้องกันการกัดเซาะด้านต้นน้ำและท้ายน้ำออกของท่อลอดคู่ $\phi$ > 1.00 ม. (INLET & OUTLET PROTECTION OF DOUBLE PIPE CULVERT $\phi$ > 1.00 M.) | ER-07 |

**ตารางที่ ค-1 รายละเอียดแบบแนะนำสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด (ต่อ)**

| แผ่นที่ | ชื่อแบบแนะนำ | แบบเลขที่ |
|---|---|---|
| 11 | การป้องกันการกัดเซาะด้านต้นน้ำและท้ายน้ำลดระดับของท่อลอด (INLET & OUTLET PROTECTION OF CULVERT WITH DROP STRUCTURE) | ER-08 |
| 12 | การป้องกันการกัดเซาะด้านต้นน้ำและท้ายน้ำของท่อลอดเหลี่ยม (INLET & OUTLET PROTECTION OF BOX CULVERT) | ER-09 |
| 13 | การป้องกันการกัดเซาะด้านท้ายน้ำของท่อลอดเหลี่ยมขนาดใหญ่ (OUTLET PROTECTION OF MULTIPLE BOX CULVERT) | ER-10 |
| 14 | การป้องกันการกัดเซาะคอสะพาน (BRIDGE ABUTMENT PROTECTION) | ER-11 |
| 15 | การป้องกันการกัดเซาะตอม่อสะพาน (BIRDGE PIER PROTECTION) | ER-12 |
| 16 - 17 | คันทางเสริมกำลังดินด้วย GEOGRID | ER13/1 – ER13/2 |
| 18 - 19 | SOIL NAIL | ER14/1 – ER14/2 |
| 20 - 21 | ตาข่ายป้องกันหินร่วง (ROCKFALL PROTECTION NETTING) แบบที่ 1 | ER-15/1 – ER15/2 |
| 22 - 24 | ตาข่ายป้องกันหินร่วง (ROCKFALL PROTECTION NETTING) แบบที่ 2 | ER16/1 – ER16/3 |
| 25 - 26 | ระบบระบายน้ำใต้ดิน (SUBDRAIN) | ER17/1 – ER17/2 |
| 27 | การปลูกหญ้า (SODDING) | SP-101 |
| 28 | SHOTCRETE BACK SLOPE AND SIDE SLOPE PROTECTION | SP-103 |
| 29 | กระสอบคอนกรีตเรียงป้องกันลาดคันทาง (SACKED-CONCRETE SLOPE PROTECTION) | SP-104 |
| 30 | RIP-RAP SLOPE PROTECTION FOR EMBANKMENT SLOPE | SP-105 |
| 31 | การปลูกหญ้าด้วยวิธีพ่นเมล็ดหญ้าเพื่อป้องกันเชิงลาดถนน (HYDROSEEDING FOR SLOPE PROTECTION) | SP-205 |
| 32 | การปลูกหญ้าแฝกป้องกันเชิงลาดถนน (VETIVER GRASSING FOR HIGHWAY SLOPE PROTECTION) | SP205/2 |
| 33 | SIDE DITCH LINING & DROP INLET CROSS DRAIN | DS-201 |
| 34 | CONCRETE DITCH AT HILL SIDE | DS-202 |
| 35 | R.C. DRAIN OUTLET FOR R.C.P. CULVERT | DS-203 |

**ตารางที่ ค-1 รายละเอียดแบบแนะนำสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด (ต่อ)**

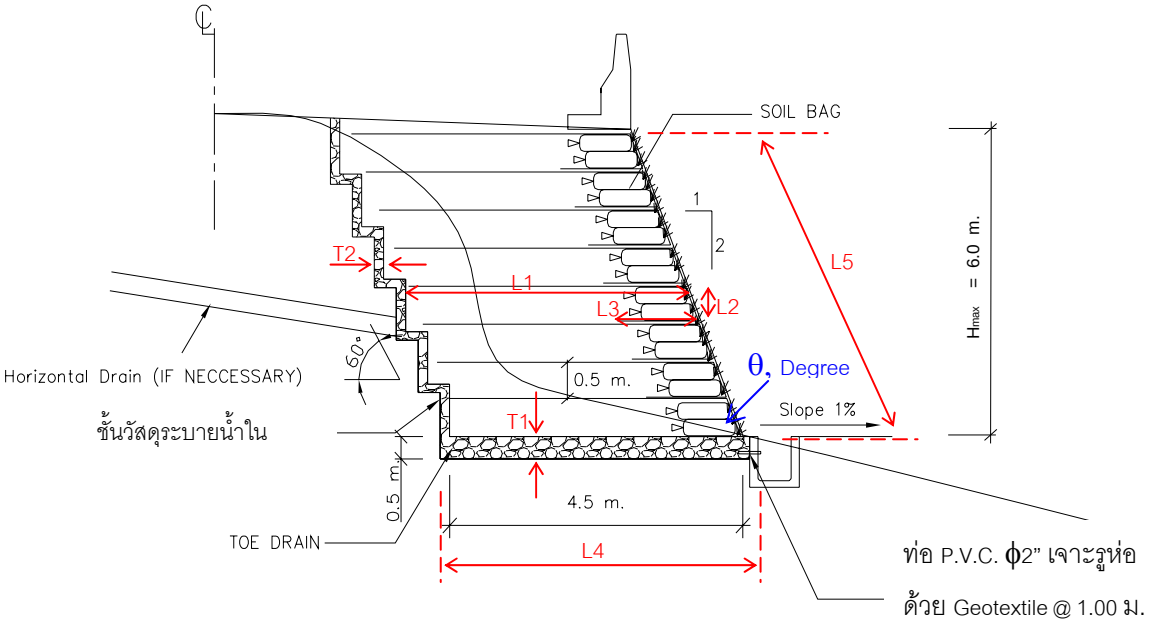
| แผ่นที่ | ชื่อแบบแนะนำ | แบบเลขที่ |
|---|---|---|
| 36 | CATCH BASIN AT INLET FOR R.C.P. CULVERT | DS-301 |
| 37 | CONCRETE CURB & GUTTER AND DRAIN CHUTE FOR EMBANKMENT PROTECTION | DS-302 |
| 38 | STEPPED DRAIN CHUTE | DS-303 |
| 39 | CROSS SECTION FOR DEEP CUT AND HIGH FILL | TS-501 |

**ตัวอย่างที่ ค-1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้ในการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด**

**โครงการ**: แก้ไข ป้องกัน การชะล้างพังทลาย และเคลื่อนตัวของเชิงลาด

**หน่วยงาน/ผู้ประมาณการ**:

**รูปแบบการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด**: Geogrid Embankment ความสูง 6.00 เมตร ความยาว 1.00 เมตร Reinforcement Length 4.50 เมตร



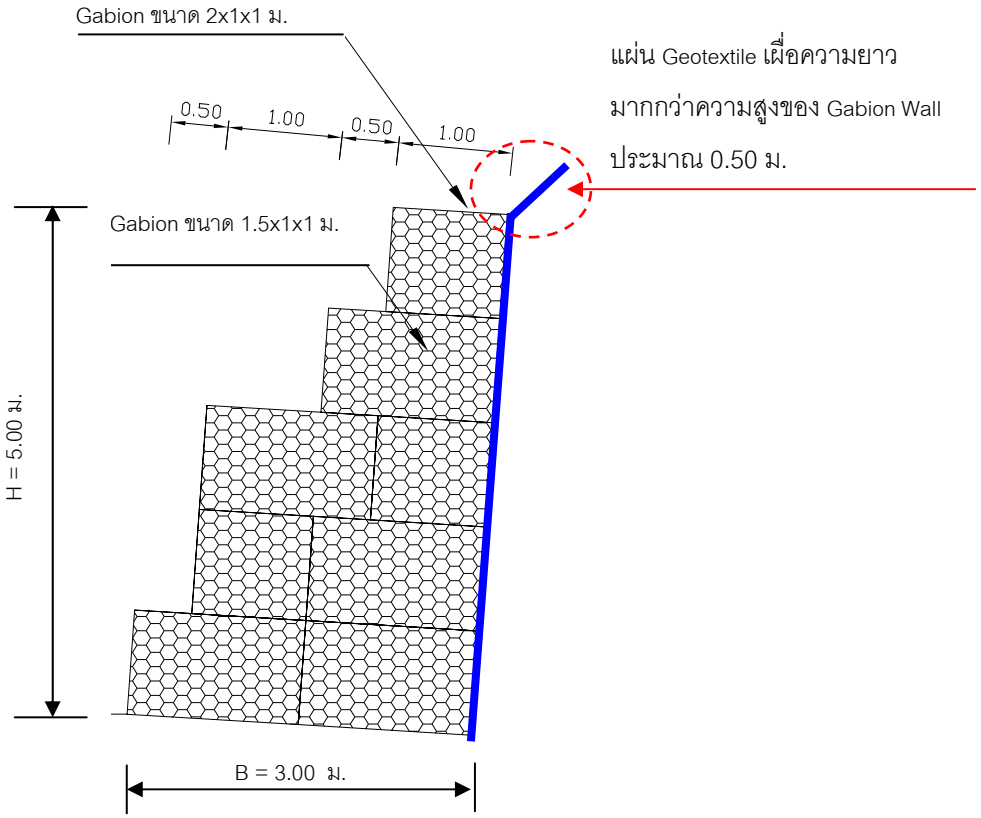

| ลำดับที่ | รายการวัสดุ | คำอธิบาย/สูตร | คำนวณ | หน่วย/ม. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | วัสดุเสริมแรง Geogrid | (L1 + L2 + L3) x จำนวนชั้น | (4.50+0.50+1.50) x 8 = 52.00 | ตร.ม. |
| 2 | ชั้นวัสดุระบายน้ำบริเวณฐานและด้านหลังของระบบเสริมกำลัง | (L4 x T1) + (L5 x T2) หรือเท่ากับ (L4 x T1) + (H/sinθ x T2) | (4.50 x 0.50) + (6/sin $60^0$ x 0.25) = 3.98 | ลบ.ม. |
| 3 | เหล็กยึดวัสดุเสริมแรง (เหล็ก RB9) | ยาว 2.50 เมตร ต่อชั้น x จำนวนชั้น x น้ำหนักเหล็กเสริมต่อเมตร | 2.50 x 8 x 0.499 = 9.98 | กก. |
| 4 | เมล็ดพันธุ์หญ้าและปุ๋ยน้ำ | H/sinθ | 6/sin $60^0$ = 6.93 | ตร.ม. |
| 5 | ท่อระบายน้ำบริเวณฐานคันทาง ท่อ P.V.C. ϕ 2 นิ้ว เจาะรูพรุน ยาว 0.50 ม. ระยะห่างระหว่างท่อ 1.00 ม. แผ่น Geotextile และ P.V.C. End Cap ปิดปลายท่อ | ความยาวท่อ/ระยะห่างระหว่างท่อ | 0.50/1.00 = 0.50 | ม. |
| | | Geotextile = π x D x L<br>โดย π = 3.14<br>D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ<br>L = ความยาวท่อ | π x (2 x 2.54/100) x 0.50 = 0.08 | ตร.ม. |
| | | P.V.C. End Cap = ความยาวท่อต่อเมตร/ความยาวท่อ | 0.50/0.50 = 1.00 | ชิ้น |

**ตัวอย่างที่ ค-2 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้ในการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด**

**โครงการ**: แก้ไข ป้องกัน การชะล้างพังทลาย และเคลื่อนตัวของเชิงลาด

**หน่วยงาน/ผู้ประมาณการ**:

**รูปแบบการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด**: Gabion Wall ความสูง 5.00 เมตร ความยาว 1.00 เมตร



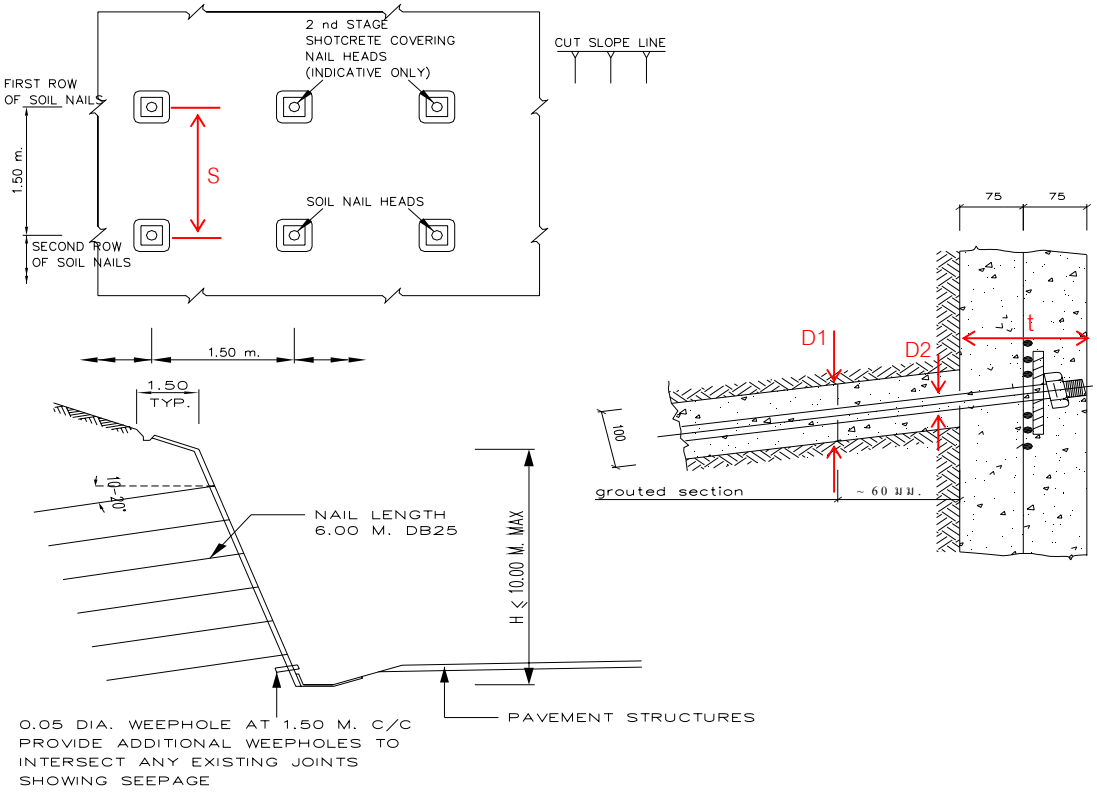

| ลำดับที่ | รายการวัสดุ | คำอธิบาย/สูตร | คำนวณ | หน่วย/ม. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | กล่อง Gabion ขนาด 2 x 1 x 1 (ม.) | จำนวนตามที่ระบุในแบบแนะนำ DWG NO. ER-04 | 1.50 | กล่อง |
| 2 | กล่อง Gabion ขนาด 1.5 x 1 x 1 (ม.) | จำนวนตามที่ระบุในแบบแนะนำ DWG NO. ER-04 | 5.00 | กล่อง |
| 3 | หินหรือกรวดแม่น้ำ | ปริมาตรกล่อง Gabion ทั้งหมด | [1.5 x 2 x 1 x 1] + [5 x 1.5 x 1 x1] = 10.50 | ลบ.ม. |
| 4 | แผ่น Geotextile | ความสูงของ Gabion Wall + ระยะเผื่อประมาณ 0.50 ม. | 5.00 + 0.50 = 5.50 | ม. |

## ตัวอย่างที่ ค-3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้ในการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด

**โครงการ**: แก้ไข ป้องกัน การชะล้างพังทลาย และเคลื่อนตัวของเชิงลาด

**หน่วยงาน/ผู้ประมาณการ**:

**รูปแบบการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด**: Soil Nail ความสูง 10.00 เมตร (คิดปริมาณวัสดุต่อ 1 จุดติดตั้ง)




| ลำดับที่ | รายการวัสดุ | คำอธิบาย/สูตร | คำนวณ | หน่วย/ม. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ค่าขนย้ายอุปกรณ์ | เหมารวม | - | บาท |
| 2 | เหล็กข้ออ้อย ϕ 25 มม. | ความยาวตามที่ระบุในแบบ | 6.00 | เมตร |
| 3 | Steel Plate | 1 แผ่นต่อ 1 จุดติดตั้ง | 1.00 | แผ่น |
| 4 | Nut | 1 ตัวต่อ 1 จุดติดตั้ง | 1.00 | ตัว |
| 5 | วัสดุ Grout | $\pi/4 \times (D_1-D_2)^2 \times L$ โดย $\pi$ = 3.14, $D_1$ และ $D_2$ = เส้นผ่าศูนย์กลางหลุม Grout และเหล็กเสริมตามลำดับ, L = ความยาว Nail | $\pi/4 \times (0.10 - 0.025)^2 \times 6 = 0.03$ | ลบ.ม. |
| 6 | Shotcrete | $t \times S^2$ โดย t = ความหนา Shotcrete และ S = ระยะห่างระหว่าง Nail | 1.50 x 1.50 x 0.14 = 0.32 | ลบ.ม. |
| 7 | ค่าเจาะและ Grout | เหมารวม | - | บาท |

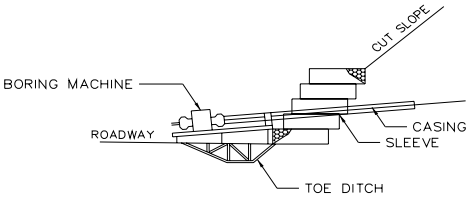
**หมายเหตุ**: งาน Nailing โดยทั่วไปนิยมคำนวณปริมาณและราคาต่อ 1 จุดติดตั้งหรือต่อความยาว 1 ม. โดยรวมค่าเจาะและวัสดุ

## ตัวอย่างที่ ค-4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้ในการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด

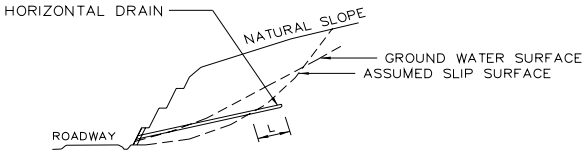
**โครงการ**: แก้ไข ป้องกัน การชะล้างพังทลาย และเคลื่อนตัวของเชิงลาด

**หน่วยงาน/ผู้ประมาณการ**:

**รูปแบบการแก้ไขซ่อมแซมเชิงลาด**: Horizontal Drain ความยาว 10.00 เมตร (คิดปริมาณวัสดุต่อ 1 จุดติดตั้ง)

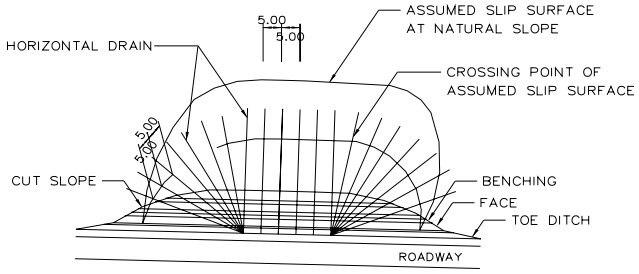



เครื่องเจาะ

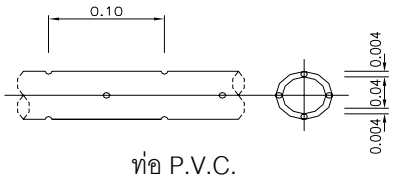



| ORIGINAL GROUND CONDITION | L |
|---|---|
| SOIL | 10.00 |
| ROCK | 3.00 |

ความลึกในการเจาะ




ระยะห่างของรูระบายน้ำ




ท่อ P.V.C.

| ลำดับที่ | รายการวัสดุ | คำอธิบาย/สูตร | คำนวณ | หน่วย/ม. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ค่าขนย้ายอุปกรณ์ | เหมารวม | - | บาท |
| 2 | ท่อ P.V.C. $\phi$ 1.5 นิ้ว เจาะรูพรุน | ความยาวตามที่ระบุในแบบ | 10.00 | ม. |
| 3 | แผ่น Geotextile | Geotextile $= \pi \times D \times L$<br>โดย D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ<br>L = ความยาวท่อตามที่ระบุในแบบ | $\pi$ x (1.50 x 2.54/100) x 10 = 1.20 | ตร.ม. |
| 4 | P.V.C. End Cap | 1 ชิ้นต่อ 1 Horizontal Drain | 1 | ชิ้น |
| 5 | ค่าเจาะ | เหมารวม | - | บาท |

**หมายเหตุ**: งาน Horizontal Drain โดยทั่วไปนิยมคำนวณปริมาณและราคาต่อ 1 จุดติดตั้งหรือต่อความยาว 1 ม. โดยรวมค่าเจาะและวัสดุ

# ภาคผนวก ง

## ตัวอย่างการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดใช้โปรแกรม Slide V. 5.0

# ภาคผนวก ง
# ตัวอย่างการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดใช้โปรแกรม Slide V.5.0

การคำนวณตรวจสอบเสถียรภาพเชิงลาด ได้จัดทำและผนวกเข้ามาในคู่มือฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ออกแบบหรือผู้ที่สนใจ ได้เห็นรูปแบบการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด ในรูปแบบของเสถียรภาพโดยรวม (Overall Stability) ซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์และออกแบบเชิงลาด เนื่องจากการออกแบบเชิงลาด โดยเฉพาะลาดคันทางที่เสริมด้วยวัสดุเสริมกำลังดิน เช่น Geogrid หรือ Geotextile (Reinforced Embankment) หรือการทำ Soil Nail เสริมเสถียรภาพลาดตัดนั้น ยังคงมีรายละเอียดอื่น ๆ ที่จะต้องพิจารณาประกอบเพื่อความสมบูรณ์ในการออกแบบ อาทิ การตรวจสอบเสถียรภาพภายในและเสถียรภาพภายนอกในส่วนอื่น ๆ เช่น ความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนตัวในแนวราบ (Sliding) ความสามารถในการรับกำลังแบกทานของดินฐานราก (Bearing Capacity) และความสามารถในการต้านทานต่อการล้มคว่ำ (Overturning) เป็นต้น ดังนั้น ตัวอย่างการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยรวม (Overall Stability) ที่นำเสนอนี้จึงเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์และออกแบบเชิงลาดในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมกำลังเท่านั้น ตัวอย่างการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดที่นำเสนอนี้ได้ทำการคัดเลือกจากจุดศึกษาในโครงการฯ จำนวน 5 จุด มีรายละเอียดดังแสดงใน**ตารางที่ ง-1** ต่อไปนี้

**ตารางที่ ง-1 ตำแหน่งจุดเสียหายที่คัดเลือกเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยรวม (Overall Stability)**

| ตัวอย่างที่ | หมายเลขทางหลวงแผ่นดิน | ตำแหน่ง | สน.ทล. | รายละเอียด |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1004 | กม. 14+000<br>ดอยสุเทพ จ. เชียงใหม่ | สน.ทล.ที่ 1 | ก่อสร้างดินถมคันทางเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid โดยใช้ Soil Nail เสริมเสถียรภาพลาดตัดในระหว่างการก่อสร้าง |
| 2 | 108 | กม. 86+587 ถึง กม. 87+140ตอนต่อเขตแขวงฯ เชียงใหม่ที่ 1<br>อ. แม่สะเรียง | สน.ทล.ที่ 1 | ขยายขอบคันทางเดิมด้านซ้ายของทาง โดยถมคันทางเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid |

**ตารางที่ ง-1 ตำแหน่งจุดเสียหายที่คัดเลือกเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยรวม (Overall Stability) (ต่อ)**

| ตัวอย่างที่ | หมายเลขทางหลวงแผ่นดิน | ตำแหน่ง | สน.ทล. | รายละเอียด |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 1263 | กม.15+290-กม.15+400 แยกทางหลวงหมายเลข 108 ขุนยวม - ปางอุ๋ง | สน.ทล.ที่ 1 | ก่อสร้างดินถมคันทางเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid |
| 4 | 1095 | กม.107+100-กม. 107+240 RT. ต่อเขตแขวงฯ เชียงใหม่ที่ 3 (กม. 64 + 400) - บ.แม่นะ | สน.ทล.ที่ 1 | ก่อสร้างคันทางใหม่ โดยเพิ่มเสถียรภาพของคันทางบริเวณปลายลาดคันทางด้วย Gabion Wall และ Mattress |
| 5 | 108 | กม.62+403 - กม. 62+453 สะพานห้วยบง - กม. 68 + 500 (ต่อเขตแขวง แม่ฮ่องสอน) | สน.ทล.ที่ 1 | ก่อสร้างคันทางใหม่ โดยเพิ่มเสถียรภาพของคันทางบริเวณปลายลาดคันทางด้วย Gabion Wall และปลูกหญ้าแฝก |

## ตัวอย่างที่ 1
## การคำนวณตรวจสอบเสถียรภาพเชิงลาดปรับปรุงโดยการเสริม Geogrid โดยใช้โปรแกรม Slide
## ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1004 กม. 14+000 ดอยสุเทพ จ. เชียงใหม่

**ลักษณะงาน**

1. ทำการขยายขอบคันทางเดิม โดยขุดตัดขอบคันทางเดิมด้านนอกถึงความลึกเพื่อการก่อสร้างดินถมคันทางเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid (Geogrid Reinforced Embankment) โดยการทำ Soil Nail เสริมเสถียรภาพลาดตัดในระหว่างการก่อสร้าง และขุดตัดขอบคันทางเดิมด้านล่างลงไปตลอดถึงฐานลาดคันทาง เพื่อทำการก่อสร้างคันหินถมฐานลาด (Rockfill Toe) และถมดินบดอัดแน่น (Compacted Fill) ขึ้นมาถึงระดับฐานคันทางดินถมเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid โดยใช้ความชันเฉลี่ยของลาด ด้านล่างบริเวณ หินถม ฐานลาด และถมดินบดอัดแน่นบริเวณคันทางดินถมเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid ผิวลาดชันเท่ากับ 0.5:1 (H:V)
2. ก่อนทำการถมคันหินฐานลาด และถมดินบดอัดแน่น ให้ทำการติดตั้งท่อระบายน้ำแนวราบ (Horizontal Drain) ในคันทางเดิม ณ ตำแหน่งตามที่ออกแบบ และบริเวณอื่นที่จำเป็นตามที่พิจารณาจากสภาพดินและน้ำใต้ดินตามที่ปรากฏระหว่างการก่อสร้าง
3. ก่อสร้างคันทางเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid (Geogrid Reinforced Embankment) ตามความกว้างและความลึกในแบบ
4. จัดทำระบบระบายน้ำบริเวณฐานคันทางเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid

**หมายเหตุ**: ตัวอย่างการคำนวณในกรณีนี้ไม่ได้คำนึงถึงเสถียรภาพของลาดตัดเมื่อเสริมกำลังดินด้วย Soil Nail แต่เป็นการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดของคันทางเมื่อเสริมแรงด้วย Geogrid เท่านั้น

**ค่าคุณสมบัติของดินและวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ**: แสดงไว้ใน**ตารางที่ ง-2**

**ตารางที่ ง-2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะหีเสถียรภาพเชิงลาด**

| วัสดุ | Unit Weight ($kN/m^3$) | Friction Angle (Degree) | Cohesion (kPa) |
|---|---|---|---|
| Backfill Material | 20.0 | 32.0 | 5.0 |
| Old Fill with Soil Nail | 20.0 | 35.0 | 50.0 |
| Deep Fill Material | 20.0 | 38.0 | 100.0 |

- Bond Strength 100 kPa ระหว่าง Cement Grout กับดิน
  (พิจารณาจากค่าตามตารางแนบและผลทดสอบ Unconfined Shear Strength ของดินในโครงการ 140-180 kPa)
- ค่า Undrained shear strength ของดินในการคำนวณ Punching Shear Resistance ของ Nail Head Face Plate = 100 kPa
- Surcharge Load 15 kPa (ในสภาพควบคุม)
- Nail เหล็กข้ออ้อย DB32 กำลัง SD35 ($f_y$ = 350 MPa), (F.S. = 2.0)
- Nail Face Pad คอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 0.40 x 0.40 (ม.) ความหนาตามคำนวณออกแบบ
- Ultimate Punching Resistance of Nail Head = Abp x 6C
  = 0.16 $m^2$ x 6 x 100 = 96 kN
- Surcharge Load 10 kPa (Long Term)
- Geogrid Reinforcement

  Primary Reinforcement (Uniaxial Geogrid) มีกำลังรับแรงดึง ดังนี้

  แรงดึงควบคุมคุณภาพ (Characteristic Tensile Strength, Tu)

  ขนาด Tu = 65 kN/m

  Tu = 88 kN/m

  Tu = 136 kN/m

  (Characteristic Tensile Strength เรียกอย่างว่า Quality Control Strength)

  ความแข็งแรงในระยะยาว ที่ 120 ปี (Creep Limit Strength, TB)

  ขนาด TB = Tu / fmc = 23.5 kN/m

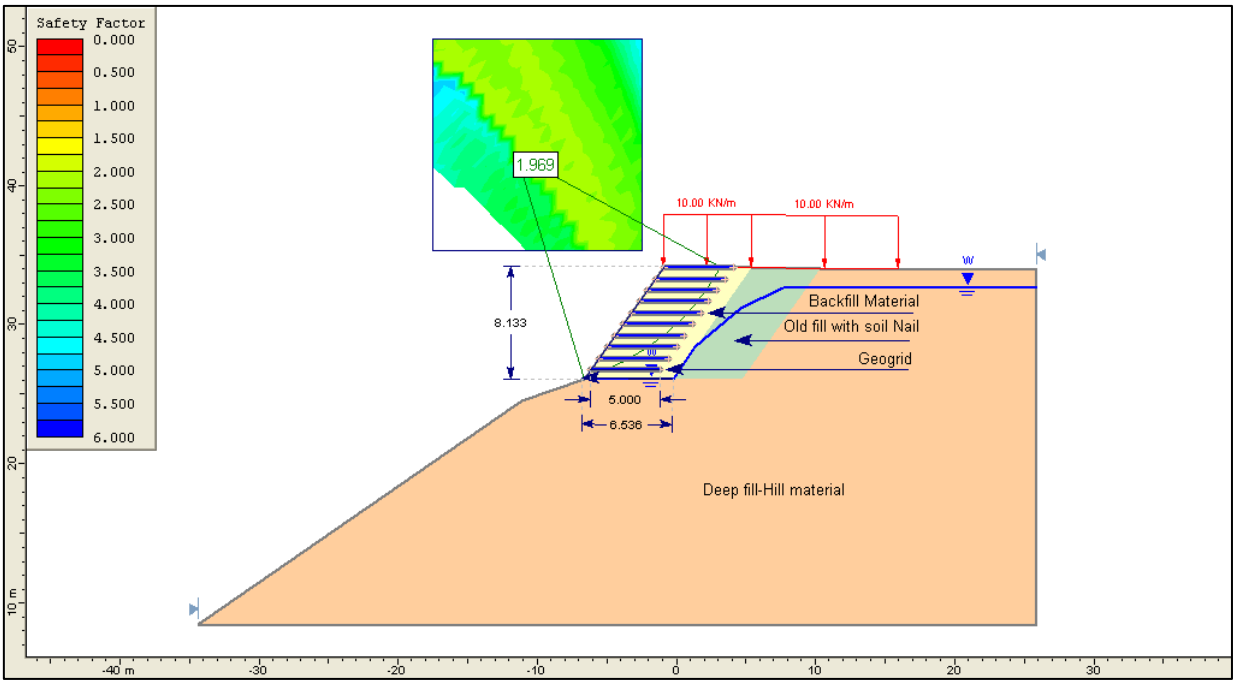
  TB = Tu / fmc = 30.5 kN/m

  TB = Tu / fmc = 45.5 kN/m

**(ในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Slide V. 5.0 ได้กำหนดให้ใช้ค่า TB = 45 kN/m)**

**วิธีการคำนวณออกแบบ**: วิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางด้วยวิธี Simplified Bishop

**ผลการวิเคราะห์** ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางในบริเวณที่ได้รับการเสริมแรงด้วย Geogrid เมื่อเปิดใช้งาน พบว่า ค่าอัตราส่วนปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 1.969 ซึ่งมากกว่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ยอมให้เท่ากับ 1.50 ในกรณีคันทางทั่วไป จึงสามารถสรุปได้ว่า เชิงลาดที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขมีความมั่นคงปลอดภัย สำหรับผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ใน**รูปที่ ง-1**




รูปที่ ง-1 แสดงค่าอัตราส่วนปลอดภัยบริเวณจุดที่เป็นหน้าตัดวิกฤตหลังจากทำการเสริมแรงให้ลาดคันทาง

## ตัวอย่างที่ 2
## ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 108 ตอนต่อเขตแขวงฯ เชียงใหม่ที่ 1 – อ. แม่สะเรียง
## กม. 86+587 ถึง กม. 87+140

**ลักษณะงาน**

1. ทำการขยายขอบคันทางเดิมด้านซ้ายของทาง เพื่อประโยชน์ในการเบี่ยงการจราจรระหว่างก่อสร้าง โดยการขุดตัดบริเวณลาดขอบคันทางถึงความลึกและความกว้างตามที่ออกแบบ เพื่อการก่อสร้างดินถมคันทางเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid (Geogrid Reinforced Embankment) ลาดตัดมีความชันเฉลี่ย 0.5:1 (H: V)
2. ขุดตัดขอบคันทางเดิมด้านนอก (ด้านขวาทาง) บริเวณขอบลาดด้านบนถึงความลึกเพื่อการก่อสร้างดินถมคันทางเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid (Geogrid Reinforced Embankment) และการทำ Soil Nail เสริมเสถียรภาพลาดตัดในระหว่างการก่อสร้างตามที่ออกแบบ (เฉพาะบริเวณที่จำเป็น) และขุดตัดขอบคันทางเดิมด้านล่างลงไปตลอดถึงฐานลาดคันทางเพื่อทำการก่อสร้างคันหินถมฐานลาด (Rockfill Toe) และถมดินบดอัดแน่น (Compacted Fill) ขึ้นมาถึงระดับฐาน คันทางดินถมเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid โดยใช้ ความชันเฉลี่ยของลาด ด้านล่างบริเวณ หินถมฐานลาดและถมดินบดอัดแน่น ประมาณเท่ากับ 1:1 (H:V) และด้านบนบริเวณคันทางดินถมเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid เท่ากับ 0.5:1 (H: V)
3. ก่อนทำการถมคันหินฐานลาด และถมดินบดอัดแน่น ให้ทำการติดตั้งท่อระบายน้ำแนวราบ (Horizontal Drain) ในคันทางเดิม ณ ตำแหน่งตามที่ออกแบบ และบริเวณอื่นที่จำเป็นตามที่พิจารณาจากสภาพดินและน้ำใต้ดินตามที่ปรากฏระหว่างการก่อสร้าง
4. ก่อสร้างคันทางเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid (Geogrid Reinforced Embankment) ตามความกว้างและความลึกในแบบ
5. จัดทำระบบระบายน้ำ บริเวณฐานคันทางเสริมกำลังด้วยตาข่าย Geogrid และบริเวณ ตะพัก (Bench) ของลาดดินถมดินบดอัดแน่นด้านขวาทาง

**หมายเหตุ**: ตัวอย่างการคำนวณในกรณีนี้ไม่ได้คำนึงถึงเสถียรภาพของลาดตัดเมื่อเสริมกำลังดินด้วย Soil Nail แต่เป็นการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดของคันทางเมื่อเสริมแรงด้วย Geogrid เท่านั้น

## สภาพชั้นดินและน้ำใต้ดิน

ผลเจาะสำรวจพบว่าดิน 13 หลุม (BH1-BH13) ส่วนใหญ่ เป็นดิน Silty Sand (SM) และบางส่วนเป็นดิน Silty to Clayey Sand (SM-SC) สภาพดินโดยทั่วไป ช่วงแรกจากผิวดินอยู่ในสภาพหลวม (SPT N 4-10) ประมาณ 3-5 เมตรแรก และใต้ลงไปเป็นดินในสภาพแน่นปานกลาง (SPT N = 11-20) หลุมเจาะทางด้านซ้ายทางชี้ว่า ชั้นดินคันทางด้านตะวันตก (BH8-BH9) บริเวณด้านบนของลาด ช่วงความลึก 1-2 เมตร แรกอยู่ในสภาพหลวม ใต้ลงไปอยู่ในสภาพแน่นปานกลาง (Medium Dense) ส่วนพื้นที่บริเวณด้านล่างของลาด (BH10, BH12 และ BH13) พบชั้นดินในสภาพหลวมใต้ผิวดินลงไปจนถึงความลึกประมาณ 4-5 เมตร และสำหรับพื้นที่บริเวณ แนวศูนย์กลางของ Slide (BH 3) พบชั้นดินหลวมตั้งแต่ระดับ 3 – 7 เมตร วางอยู่ใต้ชั้น ดิน Silty Gravel ที่ผิวดิน ใต้ระดับ 7 เมตรจนถึง ก้นหลุมที่ 10 เมตร ดินอยู่ในสภาพไม่แน่น (Medium Stiff, SPT N = 10-12) ในหลุมเจาะด้านเหนือนี้ ไม่พบน้ำใต้ดินในหลุมเจาะ สำหรับพื้นที่ฝั่งขวาทาง ด้าน Slide พบว่า ในส่วนบนบริเวณไหล่ทาง (BH1) มีชั้นดินหลวมประมาณ 4 เมตรแรก ส่วนในบริเวณด้านบนของพื้นที่ Slide (BH2, 4&6) ช่วง 4-6 เมตรแรกเป็นดินหลวม และสำหรับ หลุม BH4 บริเวณแนวศูนย์กลางของ Slide ระดับใต้ลงไปถึงก้นหลุมที่ ความลึก10 เมตร ดินอยู่ในสภาพไม่แน่น (SPT N =11-12 เท่านั้น) ในพื้นที่ด้านล่างลงไปบริเวณกลางความสูงลาด Slope (BH 7) พบว่าชั้นดินมีสภาพหลวมไม่แน่นเหมือนชั้นที่พบในหลุม BH4 ในหลุมเจาะ BH 7 นี้พบน้ำใต้ดินไหลออกถึงปากหลุม แต่ในหลุมเจาะ BH 2 ที่อยู่เหนือขึ้นไป พบระดับน้ำใต้ดินที่ความลึก 2.5 เมตรจากปากหลุม แต่สำหรับหลุมอื่นๆ รวมทั้ง หลุม BH5 ที่อยู่ใต้ BH 7 ลงไปด้านล่าง ที่ BH 5 มีชั้นดินหลวมอยู่ 4 เมตร ก่อนถึงชั้นดินแน่น

**ค่าคุณสมบัติของดินและวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ**: แสดงไว้ใน**ตารางที่ ง-3**

**ตารางที่ ง-3 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด**

| วัสดุ | Unit Weight (kN/m$^3$) | Friction Angle (Degree) | Cohesion (kPa) |
|---|---|---|---|
| Backfill Material | 20.0 | 32.0 | 5.0 |
| Old Fill below Pavement | 20.0 | 35.0 | 50.0 |
| Deep Fill-Hill Material | 20.0 | 35.0 | 50.0 |

- Bond Strength 100 kPa ระหว่าง Cement Grout กับดิน
  (พิจารณาจากค่าตามตารางแนบและผลทดสอบ Unconfined Shear Strength ของดินในโครงการ 140-180 kPa)
- ค่า Undrained shear strength ของดินในการคำนวณ Punching Shear Resistance ของ Nail Head Face Plate = 100 kPa
- Surcharge Load 15 kPa (ในสภาพควบคุม)
- Nail เหล็กข้ออ้อย DB32 กำลัง SD35 (fy = 350 Mpa), (F.S. = 2.0)
- Nail Face Pad คอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 0.40 x 0.40 (ม.) ความหนาตามคำนวณออกแบบ
- Ultimate Punching Resistance of Nail Head = Abp x 6C
  = 0.16 $m^2$ x 6 x 100 = 96 kN
- Surcharge Load 15 kPa (Long Term)
- Geogrid Reinforcement

  Primary Reinforcement (Uniaxial Geogrid) มีกำลังรับแรงดึง ดังนี้

  <u>แรงดึงควบคุมคุณภาพ</u> (Characteristic Tensile Strength, Tu)

  ขนาด E Grid R65 Tu = 65 kN/m

  E Grid R90 Tu = 88 kN/m

  E Grid R138 Tu = 136 kN/m

  (Characteristic Tensile Strength เรียกอย่างว่า Quality Control Strength)

  <u>ความแข็งแรงในระยะยาว ที่ 120 ปี</u> (Creep Limit Strength, TB)

  ขนาด E Grid R65 TB = Tu / fmc = 23.5 kN/m

  E Grid R90 TB = Tu / fmc = 30.5 kN/m

  E Grid R138 TB = Tu / fmc = 45.5 kN/m

  Secondary Reinforcement (Biaxial Geogrid)

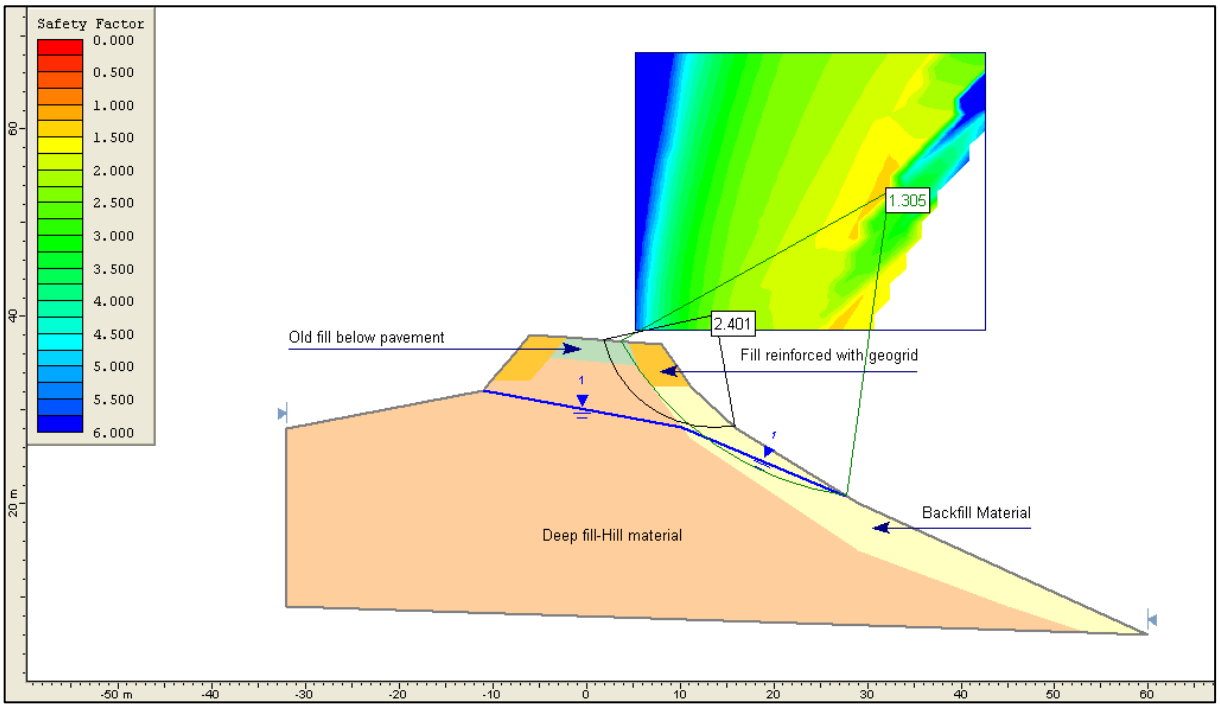
  ขนาด E Grid 3030 แรงดึงควบคุมคุณภาพ (Tu ) = 30 kN/m

**วิธีการคำนวณออกแบบ**: วิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางด้วยวิธี Simplified Bishop

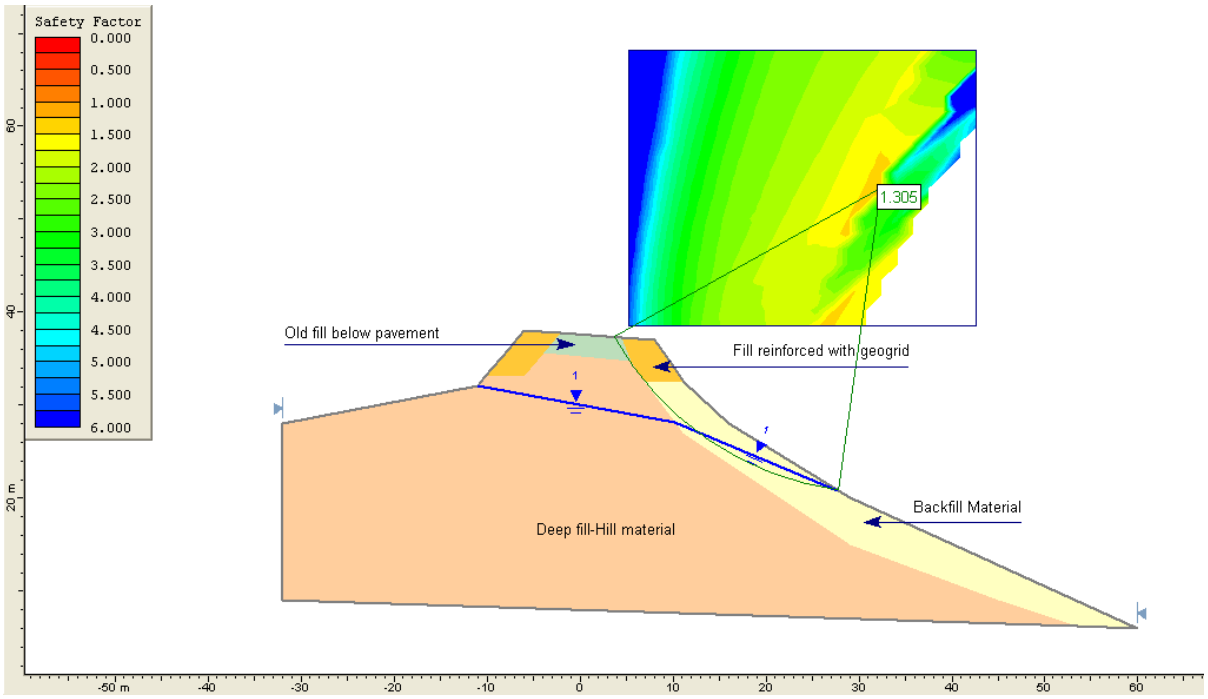
## วิธีการคำนวณออกแบบ

1. งานขุดตัดข้างคันทางเดิมโดยใช้ Soil Nail - การออกแบบ Nail
   - ตรวจสอบเสถียรภาพโดยรวม ใช้การคำนวณด้วย Program SLIDE ของ บริษัท Rocscience Inc. กำหนดใช้ F.S. ไม่น้อยกว่า 1.25
   - ตรวจสอบเสถียรภาพภายนอกและภายในของกำแพง Soil Nail โดยวิธีการออกแบบของ Retaining Wall และ Pullout Resistance (คำนวณด้วย MS EXCEL)
2. งานคันทางถมเสริมกำลังด้วย Geogrid (Reinforced Embankment)
   - ตรวจสอบเสถียรภาพโดยรวมใช้การคำนวณด้วย Program Slope Stability Analysis : SLIDE ใช้ F.S. ไม่น้อยกว่า 1.50

**ผลการวิเคราะห์** ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางในบริเวณที่ได้รับการเสริมแรงด้วย Geogrid เมื่อเปิดใช้งาน พบว่า ค่าอัตราส่วนปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 2.401 ซึ่งมากกว่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ยอมให้เท่ากับ 1.50 สำหรับในบริเวณดินถมบดอัดซึ่งเป็นชั้นดินฐานรากของคันทาง พบว่า มีค่าอัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 1.305 ซึ่งแม้ว่าจะมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนขั้นต่ำที่กำหนดแต่ยังถือว่ามีความมั่นคง ปลอดภัย ทั้งนี้เป็นเพราะอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมให้ในกรณีคันทางทั่วไปจะมีค่าระหว่าง 1.30 - 1.50 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้**รูปที่ ง**-2 และ **รูปที่ ง**-3




**รูปที่ ง-2 แสดงค่าอัตราส่วนปลอดภัยบริเวณที่มีการเสริมแรงด้วย Geogrid ของหน้าตัดวิกฤติ**




**รูปที่ ง-3 แสดงค่าอัตราส่วนปลอดภัยบริเวณจุดที่เป็นหน้าตัดวิกฤตหลังจากทำการเสริมแรงให้ลาดคันทาง**

# ตัวอย่างที่ 3
# ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1263 กม.15+290-กม.15+400
# แยกทางหลวงหมายเลข 108 ขุนยวม - ปางอุ๋ง

หมายเหตุ

1. การวิเคราะห์เสถียรภาพโดยรวมนี้ ได้ใช้ข้อมูล ตามแบบรูปตัด ซึ่งได้รับจาก เขต/แขวงการทางได้แก่ รูปทางเรขาคณิตของคันทาง ค่ากำลังดึงของระบบเสริมแรง
2. ผลการวิเคราะห์ อยู่ภายได้การสมมุติค่าความแข็งแรงของดิน รวมทั้งระดับน้ำใต้ดิน เนื่องจากไม่มีผลการเจาะสำรวจและทดสอบดิน
3. ใช้เป็นตัวอย่าง เพื่อการศึกษาถึงรูปแบบในการวิเคราะห์และลักษณะของแนวพังทลายเท่านั้น

## ลักษณะงาน

1.ก่อสร้างคันทางเสริมแรงด้วย Geogrid สูง 13 เมตร

**ค่าคุณสมบัติของดินและวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ**: แสดงไว้ใน**ตารางที่ ง-4** และ**ตารางที่ ง-5**

**ตารางที่ ง-4 เสถียรภาพงานถมคันทางเสริมกำลังด้วย** Geogrid

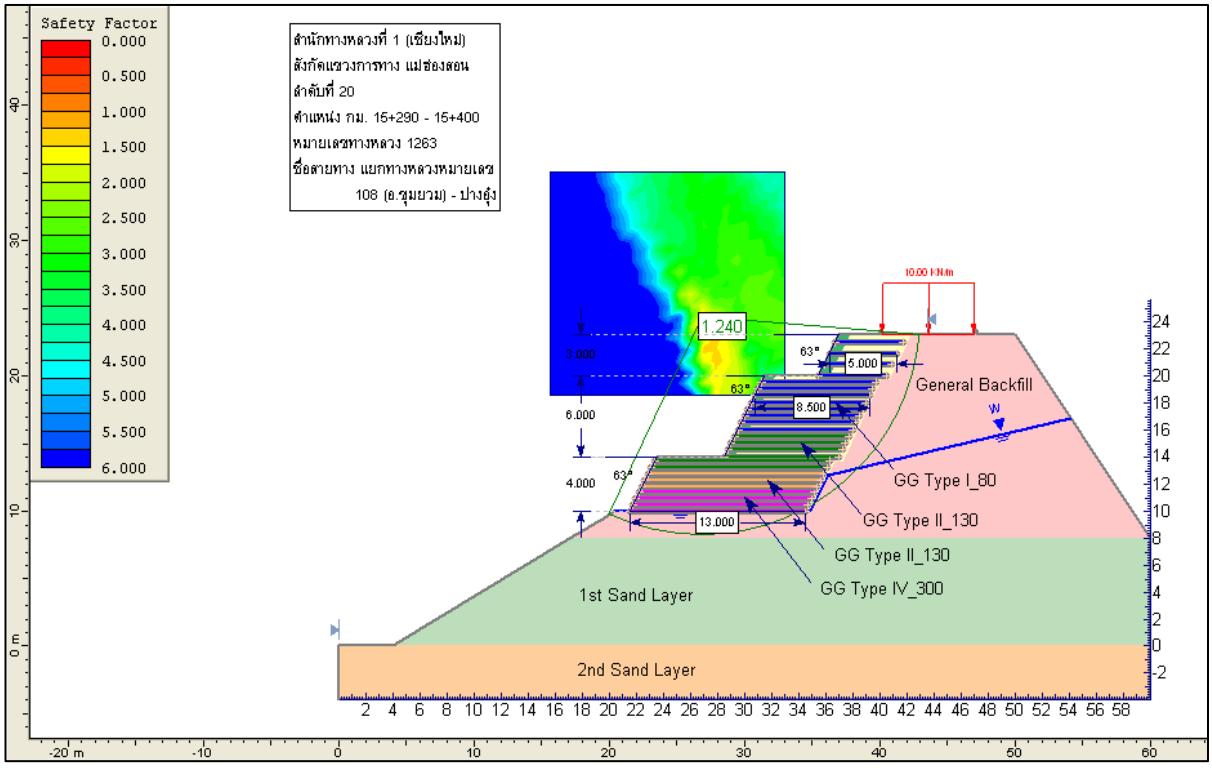
| วัสดุ | Unit Weight (kN/m$^3$) | Friction Angle (Degree) | Cohesion (kPa) |
|---|---|---|---|
| Selected Backfill | 18.0 | 35.0 | 1.0 |
| 1$^{st}$ Sand Layer | 19.5 | 35.0 | 1.0 |
| 2$^{nd}$ Sand Layer | 20.0 | 38.0 | 1.0 |
| General backfill | 18.0 | 30.0 | 10.0 |

**ตารางที่ ง-5 คุณสมบัติของ** Geogrid

| Geogrid Type | Tensile Strength (kN/m) |
|---|---|
| 1 | 80 |
| 2 | 130 |
| 3 | 250 |
| 4 | 300 |

**วิธีการคำนวณออกแบบ**: วิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางด้วยวิธี Simplified Bishop

**ผลการวิเคราะห์** ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางในบริเวณที่ได้รับการเสริมแรงด้วย Geogrid เมื่อเปิดใช้งาน พบว่า ค่าอัตราส่วนปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 1.240 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนปลอดภัยในกรณีคันทางทั่วไปเท่ากับ 1.30 – 1.50 จึงสามารถสรุปได้ว่าเชิงลาดที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขอาจเกิดการพังทลายขึ้นได้ในอนาคต สำหรับตัวอย่างผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้**รูปที่ ง-4**




**รูปที่ ง-4 แสดงค่าอัตราส่วนปลอดภัยของคันทางกรณีเสริมกำลังด้วย Geogrid**

## ตัวอย่างที่ 4

## ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1095 กม.107+100-กม.107+240 RT

## ต่อเขตแขวงฯ เชียงใหม่ที่ 3 (กม. 64 + 400) - บ.แม่นะ

หมายเหตุ

1 การวิเคราะห์เสถียรภาพโดยรวมนี้ ได้ใช้ข้อมูล ตามแบบรูปตัด ซึ่งได้รับจาก เขต/แขวงการทางได้แก่ รูปทางเรขาคณิตของคันทาง ขนาดของ Gabion

2 ผลการวิเคราะห์ อยู่ภายได้การสมมุติค่าความแข็งแรงของดิน และระดับน้ำใต้ดิน เนื่องจากไม่มีผลการเจาะสำรวจและทดสอบดิน รวมทั้งได้กำหนดระยะต่าง ๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ในแบบอย่างชัดเจน

3 ใช้เป็นตัวอย่าง เพื่อการศึกษาถึงรูปแบบในการวิเคราะห์และลักษณะของแนวพังทลายเท่านั้น

**ลักษณะงาน**

1.ก่อสร้างเชิงลาดและเสริมเสถียรภาพด้วย Gabion

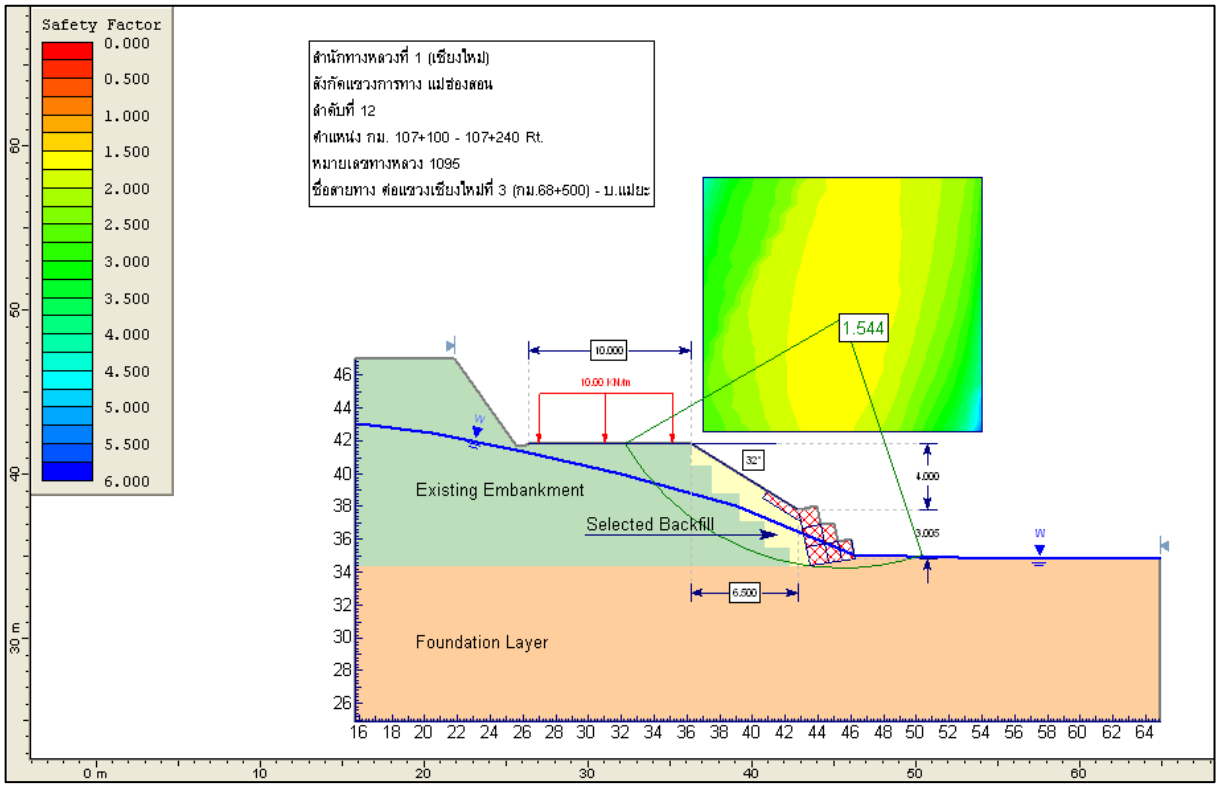
**ค่าคุณสมบัติของดินและวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ**: แสดงไว้ใน**ตารางที่ ง-6**

**ตารางที่ ง-6 เสถียรภาพงานถมคันทางและเสริมเสถียรภาพด้วย** Gabion

| วัสดุ | Unit Weight (kN/$m^3$) | Friction Angle (Degree) | Cohesion (kPa) |
|---|---|---|---|
| Selected Backfill | 19.0 | 28.0 | 5.0 |
| Existing Embankment | 19.5 | 32.0 | 5.0 |
| Foundation Layer | 19.0 | 30.0 | 10.0 |

**วิธีการคำนวณออกแบบ**: วิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางด้วยวิธี Simplified Bishop

**ผลการวิเคราะห์** ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางและเสริมเสถียรภาพด้วย Gabion เมื่อเปิดใช้งาน พบว่า ค่าอัตราส่วนปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 1.544 ซึ่งมากกว่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ยอมให้ 1.30 – 1.50 ในกรณีคันทางทั่วไป จึงสามารถสรุปได้ว่าเชิงลาดที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขมีความมั่นคง ปลอดภัย สำหรับตัวอย่างผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้**รูปที่ ง-5**




รูปที่ ง-5 แสดงค่าอัตราส่วนปลอดภัยของคันทางกรณีที่ใช้ระบบ Gabion

## ตัวอย่างที่ 5

## ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 108 กม.62+403 - กม.62+453 สะพานห้วยบง - กม. 68 + 500 (ต่อเขตแขวงฯแม่ฮ่องสอน)

หมายเหตุ

1 การวิเคราะห์เสถียรภาพโดยรวมนี้ ได้ใช้ข้อมูล ตามแบบรูปตัด ซึ่งได้รับจาก เขต/แขวงการทางได้แก่ รูปทางเรขาคณิตของคันทาง ขนาดของ Gabion

2 ผลการวิเคราะห์ อยู่ภายได้การสมมุติค่าความแข็งแรงของดิน และระดับน้ำใต้ดิน เนื่องจากไม่มีผลการเจาะสำรวจและทดสอบดิน รวมทั้งได้กำหนดระยะต่างๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ในแบบอย่างชัดเจน

3 ใช้เป็นตัวอย่าง เพื่อการศึกษาถึงรูปแบบในการวิเคราะห์และลักษณะของแนวพังทลายเท่านั้น

**ลักษณะงาน**

1.ก่อสร้างเชิงลาดและเสริมเสถียรภาพด้วย Gabion

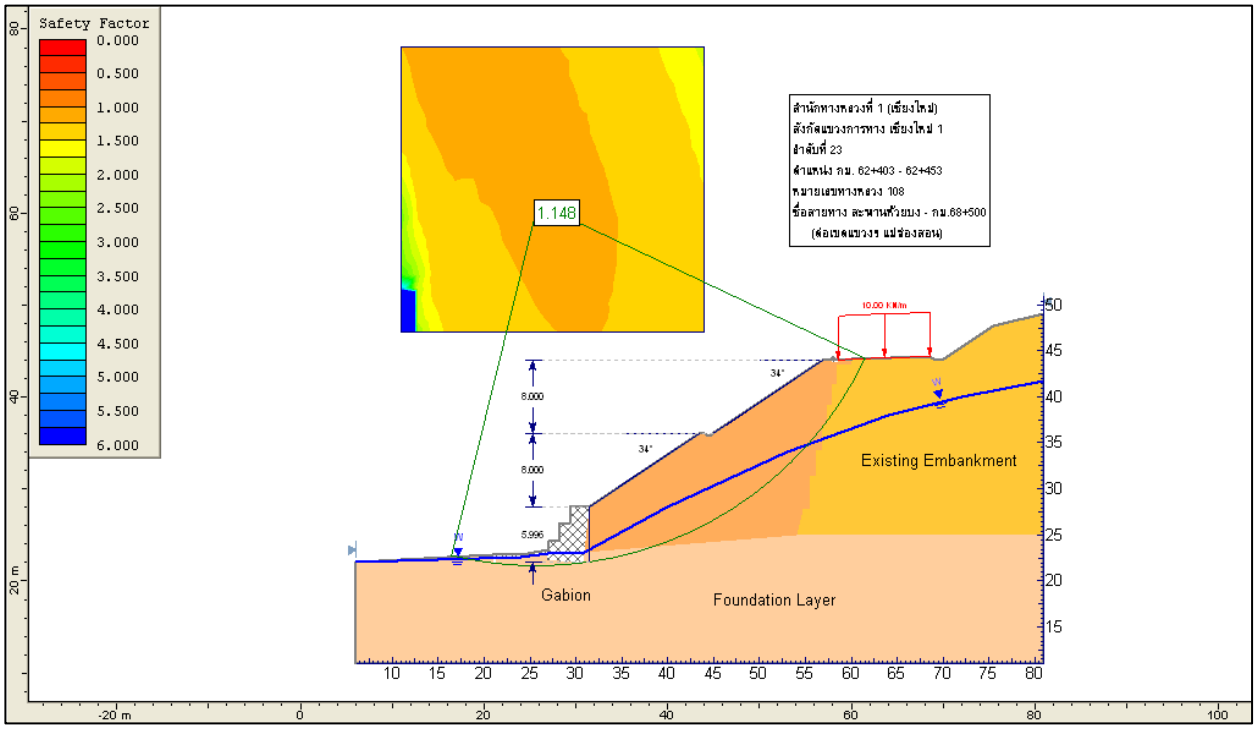
**ค่าคุณสมบัติของดินและวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ**: แสดงไว้ใน**ตารางที่ ง-7**

**ตารางที่ ง-7 เสถียรภาพงานถมคันทางและเสริมเสถียรภาพด้วย Gabion และ Matress**

| วัสดุ | Unit Weight (kN/m$^3$) | Friction Angle (Degree) | Cohesion (kPa) |
|---|---|---|---|
| Selected Backfill | 19.0 | 28.0 | 5.0 |
| Existing Embankment | 19.5 | 32.0 | 5.0 |
| Foundation Layer | 19.0 | 30.0 | 10.0 |

**วิธีการคำนวณออกแบบ**: วิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางด้วยวิธี Bishop Simplified

**ผลการวิเคราะห์** ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางและเสริมเสถียรภาพด้วย Gabion เมื่อเปิดใช้งาน พบว่า ค่าอัตราส่วนปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 1.148 ในขณะที่เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม GawacWin1.0 พบว่า อัตราส่วนปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 1.310 ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ยอมให้ 1.30 – 1.50 ในกรณีคันทางทั่วไป จึงสามารถสรุปได้ว่าเชิงลาดที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขมีความมั่นคง ปลอดภัย ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้**รูปที่ ง-6**




รูปที่ ง-6 แสดงค่าอัตราส่วนปลอดภัยของคันทางกรณีที่ใช้ระบบ Gabion

# ตัวอย่างที่ 5

## (วิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดโดยใช้โปรแกรม GawacWin1.0)

## ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 108 กม.62+403 - กม.62+453

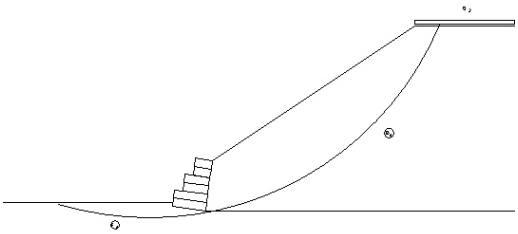
## สะพานห้วยบง - กม. 68 + 500 (ต่อเขตแขวงฯแม่ฮ่องสอน)

**INPUTDATA**

**Walldata**

| | | |
|---|---|---|
| Wallbatter | : | 7.00 deg |
| Rockfill unit weight | : | 25.00 kN/m³ |
| Porosity of gabions | : | 30.00 % |
| Geotextile in the backfill | : | Yes |
| Frictionreduction | : | 5.00 % |
| Geotextile on the base | : | Yes |
| Frictionreduction | : | 5.00 % |
| Mesh and the wire diam.: | | 8x10, ø 2.7 mm CD |

| Layer | Length m | Width m | Offset m |
|---|---|---|---|
| 1 | 4.00 | 1.00 | - |
| 2 | 4.00 | 1.00 | 0.00 |
| 3 | 3.00 | 1.00 | 1.00 |
| 4 | 3.00 | 1.00 | 1.00 |
| 5 | 2.00 | 1.00 | 2.00 |
| 6 | 2.00 | 1.00 | 2.00 |



**Backfill soildata**

| | | |
|---|---|---|
| Inclination of Stretch 1 | : | 33.70 deg |
| Length of stretch 1 | : | 24.00 m |
| Inclination of Stretch 2 | : | 0.00 deg |
| Soil unit weight | : | 19.00 kN/m³ |
| Soil friction angle | : | 28.00 deg |
| Soil cohesion | : | 5.00 kN/m² |

Additional Backfill Layers

| Layer | Initial height m | Incl.angle deg | Unit weight kN/m³ | Cohesion kN/m² | Frictionangle deg |
|---|---|---|---|---|---|

**Foundationdata**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Top surface height | : | 0.50 | m |
| Top surface init. length | : | 20.00 | m |
| Top surface incl. angle | : | 0.00 | deg |
| Soil unit weight | : | 19.00 | kN/m³ |
| Soil friction angle | : | 30.00 | deg |
| Soil cohesion | : | 10.00 | kN/m² |
| Foundation allowable pressure | : | | kN/m² |
| Water table height | : | | m |

Additional Foundation Layers

| Layer | Depth m | Unit weight kN/m³ | Cohesion kN/m² | Friction angle deg |
|---|---|---|---|---|

**Water profile data**

| | | |
|---|---|---|
| Initial height | : | m |
| Inclination of the 1st stretch | : | deg |
| Length of the 1st stretch | : | m |
| Inclination of the 2nd stretch | : | deg |
| Length of the 2nd stretch | : | m |

**Loadsdata**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Distributed loads on backfill | | | First stretch | : | kN/m² |
| | | | Second stretch | : 10.00 | kN/m² |
| Distributed loads on wall | | | Load | : | kN/m² |
| Line loads on backfill | | | | | |
| Load1 | : | kN/m | Distance from wall face | : | m |
| Load2 | : | kN/m | Distance from wall face | : | m |
| Load3 | : | kN/m | Distance from wall face | : | m |
| Line load on wall | | | | | |
| Load | : | kN/m | Distance from wall face | : | m |

**Seismic action data**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Horizontal coefficient | : | Vertical coefficient | : |

## STABILITY ANALYSIS RESULTS

### Active and Passive Thrust

| | | | |
|---|---|---|---|
| ActiveThrust | : | 189.38 | kN/m |
| Point of application ref. to X axis | : | 4.21 | m |
| Point of application ref. to Y axis | : | 1.50 | m |
| Direction of the thrust ref. to X axis | : | 19.60 | deg |
| Passive Thrust | : | 24.45 | kN/m |
| Point of application ref. to X axis | : | 0.03 | m |
| Point of application ref. to Y axis | : | 0.23 | m |
| Direction of the thrust ref. to X axis | : | 0.00 | deg |

### Sliding

| | | | |
|---|---|---|---|
| Normal force on the base | : | 394.47 | kN/m |
| Point of application ref. to X axis | : | 2.13 | m |
| Point of application ref. to Y axis | : | -0.26 | m |
| Shear force on the base | : | 106.68 | kN/m |
| Resisting force on the base | : | 263.89 | kN/m |
| **Sliding Safety Coefficient** | **:** | **1.79** | |

### Overturning

| | | | |
|---|---|---|---|
| Overturning Moment | : | 267.19 | kN/mxm |
| Restoring Moment | : | 1118.22 | kN/mxm |
| **Overturning Safety Coefficient** | **:** | **4.19** | |

### Stresses Acting on Foundation

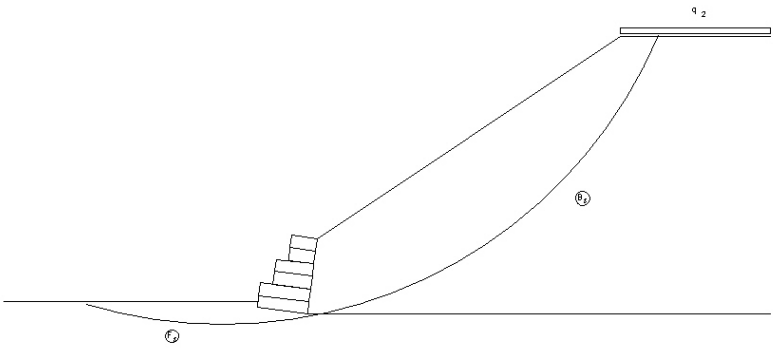
| | | | |
|---|---|---|---|
| Eccentricity | : | -0.14 | m |
| Normal stress on outer border | : | 81.29 | kN/m² |
| Normal stress on inner border | : | 118.92 | kN/m² |
| Max. allowable stress on the foundation | : | 295.26 | kN/m² |

**OverallStability**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Initial distance at pivot leftside | : | 30.00 | m |
| Initial distance at pivot rightside | : | 8.00 | m |
| Initial depth referred to base | : | 0.00 | m |
| Max depth allowed in calculation | : | | m |
| Center of the arch referred to X axis | : | -2.68 | m |
| Center of the arch referred to Y axis | : | 36.02 | m |
| Radius of the arch | : | 37.38 | m |
| Number of search surfaces | : | 63 | |
| **Overall Stability Safety Coefficient** | **:** | **1.31** | |

**InternalStability**

| Layer | H<br>m | N<br>kN/m | T<br>kN/m | M<br>kN/m x m | $\tau$ Max<br>kN/m² | $\tau$ All<br>kN/m² | $\sigma$ Max<br>kN/m² | $\sigma$ All<br>kN/m² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.96 | 295.76 | 75.16 | 707.24 | 18.79 | 70.84 | 61.84 | |
| 2 | 3.97 | 197.24 | 25.69 | 341.62 | 8.56 | 65.18 | 56.94 | 580.79 |
| 3 | 2.98 | 131.45 | 4.76 | 247.27 | 1.59 | 50.05 | 34.94 | |
| 4 | 1.99 | 72.54 | -2.42 | 80.06 | -1.21 | 44.84 | 32.86 | |
| 5 | 0.99 | 35.81 | -2.14 | 38.29 | -1.07 | 32.17 | 16.74 | |




**SOILDATA**

| Soil | γ kN/m³ | c kN/m² | ϕ deg | Soil | γ kN/m³ | c kN/m² | ϕ deg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $B_S$ | 19.00 | 5.00 | 28.00 | $F_S$ | 19.00 | 10.00 | 30.00 |

**LOADS**

| | Load | Value kN/m² | | Load | Value kN/m |
|---|---|---|---|---|---|
| | $q_2$ | 10.00 | | | |

**STABILITYCHECKS**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sliding Safety Coefficient | 1.79 | Base normal stress (left) | 81.29 kN/m² |
| Overturning Safety Coefficient | 4.19 | Base normal stress (right) | 118.92 kN/m² |
| Overall Stability Safety Coefficient | 1.31 | Max. allowable stress | 295.26 kN/m² |

# ภาคผนวก จ

# ศัพท์เทคนิค

**ศัพท์เทคนิค**

| | |
|---|---|
| Analysis | การวิเคราะห์ |
| Anchorage | สมอยึด |
| Apron | กะบังรับน้ำปลายเชิงลาด |
| Atterberg's Limit | ขีดพิกัดแอตเตอร์เบิร์ก |
| Auger Boring | การเจาะสำรวจด้วยสว่านมือ |
| Back Fill | ดินถม กลบ แต่ง |
| Back Slope | ลาดเหนือคันทาง |
| Bearing Capacity | ความสามารถในการรับแรงแบกทาน |
| Bed Rock | หินดาน |
| Benching | การตัดดินแบบขั้นบันได |
| Berm | คัน(ดิน) |
| Bolt | สลักยึด |
| Borehole | หลุมเจาะสำรวจชั้นดิน |
| Boulder Rock | หินกรวดมนใหญ่ |
| Box Culvert | ท่อลอดรูปกล่อง |
| Buttress | สันยึดกำแพง |
| Clay | ดินเหนียว |
| Cohesion | การยึดเกาะกัน |
| Cohesionless Soil | ดินทราย,ดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น |
| Cohesive Soil | ดินเหนียว,ดินที่มีความเชื่อมแน่น |
| Compacted Fill | ดินถมอัดแน่น |
| Compacted Sand | ทรายอัดแน่น |
| Compaction | การบดอัด(ดิน) |
| Concrete Barrier | ผนังคอนกรีตกั้นขอบทาง |
| Counterweight | น้ำหนักถ่วง |
| Crest Ditch | รางระบายน้ำชั้นบนสุด |
| Crib Wall | กำแพงกันดิน |
| Critical | วิกฤติ |
| Culvert | ช่องระบายน้ำใต้ผิวทาง,ท่อลอด |
| Curb | คันขอบทาง,คันขอบถนน |
| Cut and Fill | งานขุดและงานถม |
| Density | ความหนาแน่น |
| Direct Shear Test | การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง |
| Discontinuity | ความไม่ต่อเนื่องในมวลหิน |

**ศัพท์เทคนิค**

| | |
|---|---|
| Disturbed Sample | ตัวอย่างดินแบบแปรสภาพ |
| Ditch | คูน้ำ,ร่องระบายน้ำ |
| Drain Chute | รางระบายน้ำแนวดิ่ง |
| Drill | สว่าน,เจาะ |
| Earth | ดิน |
| Earth Pressure | แรงดันดิน |
| Earth Slip | การเคลื่อนตัวของมวลดิน |
| Embankment | คันทางดินถม |
| Erosion | การกัดเซาะ |
| Excavation | การขุด,งานขุด(ดิน) |
| Exploration | การสำรวจสภาพดิน |
| Factor of Safety | อัตราส่วนปลอดภัย |
| Failure | การวิบัติ,การพังทลาย |
| Fence | รั้ว |
| Field Survey | การสำรวจภาคสนาม |
| Field Test | การทดสอบในสนาม |
| Fill | งานถม,ดินถม |
| Filter | ตัวกรอง |
| Flood Protection | การป้องกันอุทกภัย |
| Gabion | เกเบียน,กล่องหินลวดตาข่าย |
| Geological Map | แผนที่ธรณีวิทยา |
| Geology | ธรณีวิทยา |
| Geosynthetics | วัสดุสังเคราะห์ทางวิศวกรรมเทคนิค |
| Geotechnical Engineering | วิศวกรรมธรณีเทคนิค |
| Gradation | ขนาดคละ,ส่วนคละ |
| Granite | หินแกรนิต |
| Gravel | กรวด,ก้อนกรวด |
| Ground | พื้นดิน |
| Ground Anchor | สมอยึด(ดิน) |
| Ground Improvement | การปรับปรุงคุณภาพดิน |
| Ground Water | น้ำใต้ดิน |
| Gully Erosion | การกัดเซาะแบบร่องเล็ก |
| Gutter | รางน้ำ |
| Hard & Soft Interbedded | ชั้นดิน/หิน ที่ผุวางสลับชั้นหินแข็ง |

**ศัพท์เทคนิค**

| | |
|---|---|
| Heave | ปูด,อูดขึ้น |
| Height | ความสูง |
| Horizontal Drain | ท่อระบายน้ำแนวราบ |
| Horizontal Load | แรงกระทำแนวราบ |
| Horizontal Stress | ความเค้นแนวราบ |
| Hydrology | อุทกวิทยา |
| In-situ | ในที่ |
| In-situ soil Test | การทดสอบดิน ในที่ |
| Inspection | การตรวจสอบ |
| Inspector | ผู้ตรวจงาน |
| Instability | ไร้เสถียรภาพ,ไม่มีเสถียรภาพ |
| Instrument | เครื่องมือ,เครื่องวัด |
| Interceptor Ditch | รางระบายน้ำบนชานพัก |
| Internal Friction | แรงเสียดทานภายใน |
| Investigation | การสำรวจตรวจสอบ |
| Key | ลิ่ม,สลัก |
| Laboratory Test | การทดสอบในห้องปฏิบัติการ |
| Landslide, Landslip | ดินถล่ม,ลาดเขาถล่ม |
| Lateral force | แรงกระทำด้านข้าง |
| Laterite | ลูกรัง |
| Manual | คู่มือ |
| Masonry | งานก่ออิฐฉาบปูน |
| Moisture | ความชื้น |
| Moisture Content | ปริมาณความชื้น |
| Mudflow | ทรายและดินที่น้ำพัดพามาจากลาดเขาถล่ม |
| Outcrop | ชั้นหินโผล่เหนือผิวดิน |
| Outlet | ทางน้ำไหลออก |
| Overburden | ชั้นดินข้างบน |
| Overburden Pressure | แรงดันจากน้ำหนักดินชั้นบน |
| Overflow | ไหลล้น |
| Overturning | การคว่ำ |
| Overturning Moment | โมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำ |
| Particle | อนุภาค |
| Particle Size Analysis | การวิเคราะห์ขนาดคละ |

**ศัพท์เทคนิค**

| | |
|---|---|
| Particle Size Distribution | การกระจายขนาดคละ |
| Pavement | ผิวทาง |
| Penetration Test | การทดสอบคุณสมบัติเชิงกำลังของดินด้วยการตอกทดลองในสนาม |
| Permeability | ความซึมผ่าน,การซึมผ่าน |
| Phreatic Surface | ระดับผิวน้ำใต้ดิน |
| Physical Property | คุณสมบัติเชิงกายภาพ |
| Piezometer | เครื่องมือวัดแรงดันน้ำใต้ดิน |
| Piezometric Level | ระดับแรงดันน้ำใต้ดิน |
| Pipe Culvert | ท่อลอดกลม |
| Piping | การสูญเสียเสถียรภาพในมวลดินเนื่องจากแรงดันน้ำ |
| Pit | บ่อ |
| Plane Slide | การเคลื่อนที่ของมวลหินแบบแผ่นไหล |
| Plastic Limit | พิกัดพลาสติก |
| Plasticity Index | ดัชนีพลาสติก |
| Pore Water Pressure | ความดันน้ำในโพรง |
| Pressure | ความดัน |
| Recommendation | ข้อเสนอแนะ,ข้อแนะนำ |
| Relative Density | ความหนาแน่นสัมพัทธ์ |
| Reno Mattress | แมทเทรส,กล่องหินลวดตาข่าย |
| Retaining Wall | กำแพงกันดิน |
| Revetment | การป้องกันผิวดิน |
| Right of Way | เขตทาง |
| Rill Erosion | การกัดเซาะแบบร่องลึก |
| Rip-Rap | หินดาดปิดทับหน้าดิน |
| Rock Anchor | เหล็กสมอยึดหิน |
| Rock Bolt | เหล็กยึดหิน |
| Rock Drill | เครื่องเจาะหิน |
| Rock Fall and Rock Slide | หินร่วงและหินเคลื่อนตัว |
| Rod | เหล็กท่อน |
| Rotary Drill | เครื่องเจาะแบบก้านหมุน |
| Rotation | การหมุน |
| Rotational Slide | การวิบัติลาดดินแบบเลื่อนหมุน |
| Routing | การวางแนวเส้นทาง |

**ศัพท์เทคนิค**

| | |
|---|---|
| Run-Off | การไหลนอง,น้ำไหลพื้นผิว |
| Sand | ทราย |
| Sandstone | หินทราย |
| Sedimentation Process | กระบวนการตกตะกอน |
| Seeding | การปลูกหญ้า(โดยใช้เมล็ดหว่าน) |
| Seepage | การซึมผ่าน,การไหลซึมของน้ำในดิน |
| Seepage Force | แรงดันเนื่องจากน้ำไหลซึม |
| Sensitivity | ความไวตัวของดินต่อการเสื่อมกำลัง |
| Shale | หินดินดาน |
| Shotcrete | คอนกรีตพ่น,ชอทกรีต |
| Shoulder | ไหล่ทาง |
| Shrinkage | การหดตัว |
| Shrinkage Crack | รอยร้าวเนื่องจากการหดตัว |
| Side Ditch | รางระบายน้ำข้างทาง |
| Side Slope | ลาดคันทาง |
| Sieve Analysis | การวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน |
| Silt | ดินตะกอน,ดินฝุ่น,ทรายแป้ง |
| Slope | เชิงลาด |
| Slope Stabilization | การปรับปรุงเสถียรภาพเชิงลาด |
| Slump | การยุบตัว |
| Soil | ดิน |
| Soil Investigation | การเจาะสำรวจชั้นดิน |
| Soil Nail | ตะปูยึดดิน |
| Soil Stabilization | การปรับปรุงคุณภาพดิน |
| Soil-Cement | ดินซีเมนต์(การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้ปูนซีเมนต์) |
| Specification | ข้อกำหนด |
| Stone Riprap | หินเรียง |
| Stratigraphy | วิชาธรณีวิทยาว่าด้วยลำดับชั้นของหิน |
| Stream | ทางน้ำ,ธารน้ำ |
| Strength and Deformation Property | คุณสมบัติเชิงกำลังและการเสียรูป |
| Sub-Base | รองพื้นทาง |
| Subdrain | แนวระบายน้ำใต้ดิน |
| Subgrade | ดินฐานราก,ดินคันทาง |
| Subsoil Drain | การระบายน้ำใต้ดิน |

**ศัพท์เทคนิค**

| | |
|---|---|
| Subsurface | ใต้ดิน |
| Surcharge | น้ำหนักบรรทุกสมทบบนผิวดิน |
| Surface Erosion | น้ำกัดเซาะบริเวณผิวหน้า |
| Survey | สำรวจ |
| Survey Data | ข้อมูลสำรวจ |
| Surveying | การสำรวจ |
| Test Pit | การขุดหลุมทดสอบ |
| Top Soil | หน้าดิน |
| Trench | ร่องขุด,ราง |
| Undisturbed Sample | ตัวอย่างดินแบบคงสภาพ |
| Unit Weight | หน่วยน้ำหนัก |
| Unstable Slope | เชิงลาดที่ไม่มีเสถียรภาพ |
| Upstream | เหนือน้ำ |
| Vegetation | พืช,ต้นไม้ |
| Velocity | ความเร็ว |
| Vertical or Normal Load | แรงกระทำแนวดิ่ง |
| Vertical Stress | ความเค้นแนวดิ่ง |
| Wall | ผนัง,กำแพง |
| Wash Boring | การเจาะสำรวจด้วยวิธีฉีดล้าง |
| Water Content | ปริมาณความชื้น |
| Weathering | การผุกร่อนตามสภาพดินฟ้าอากาศ |
| Wedge and Plane Slide | มวลหินรูปลิ่มและระนาบการเคลื่อนตัว |
| Wedge Slide | การเคลื่อนที่ของมวลหินแบบรูปลิ่ม |
| Weephole | รูระบายน้ำ |
| Wire | ลวด |
| Wire Mesh | ลวดเหล็กตะแกรง |