



กรมชลประทาน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์



แนวทางการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา
สำหรับพื้นที่โครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำและอาคารประกอบ กรมชลประทาน

EG_PUB_02/65



ส่วนวิศวกรรมธรณี
สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา
พฤศจิกายน 2565

คำนำ

ด้วยข้อจำกัดและความจำเป็นในการกำหนดพื้นที่ที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำและอาคารประกอบ จึงทำให้ไม่สามารถกำหนดตำแหน่งที่ตั้งที่มีสภาพธรณีวิทยาของลาดไหล่เขาที่แข็งแรงและมีเสถียรภาพความมั่นคงตามธรรมชาติได้ โดยเฉพาะสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ลาดชันโดยรอบ มักเกิดปัญหาความมั่นคงของลาดไหล่เขาที่เกิดขึ้นเนื่องตามมาทั้งในขั้นตอนการก่อสร้างที่มีการขุดเปิดบ่อก่อสร้างและภายหลังการกักเก็บน้ำของเขื่อน ทั้งในส่วนที่ลาดดิน และลาดหิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสำรวจ วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดไหล่เขาเพื่อทำการป้องกัน และกำหนดวิธีการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้บริเวณพื้นที่ลาดไหล่เขามีความมั่นคง แข็งแรงสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ของการก่อสร้างเขื่อนและอาคารประกอบ

เอกสารฉบับนี้ได้ค้นคว้า รวบรวม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจและวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา ทั้งที่เป็นการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน (Soil slope stability) ความมั่นคงของลาดหิน (Rock slope stability) และแสดงถึงวิธีการและขั้นตอนการวิเคราะห์รวมทั้งจัดทำรายงานเป็นเอกสารทางวิชาการของงานสำรวจและวิเคราะห์ความมั่นคงลาดไหล่เขา ที่มีความเสี่ยงต่อการพังทลายของมวลดินมวลหิน ในบริเวณที่ตั้งเขื่อน โดยได้นำการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มาแสดงเป็นกรณีศึกษา เนื้อหาความรู้ทางวิชาการประกอบด้วย การสำรวจและศึกษาสภาพธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ ทฤษฎีการพังทลายของเชิงลาด หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดหินโดยวิธีจลนศาสตร์ (Kinematic analysis) การวิเคราะห์และประเมินความมั่นคงลาดหินโดยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating; SMR) รวมทั้งกำหนดวิธีการป้องกันการพังทลายของลาดไหล่เขา

จุดมุ่งหมายของเอกสารฉบับนี้เพื่อให้ให้นักธรณีวิทยาและผู้ปฏิบัติงานใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานที่ได้มาตรฐานและเป็นไปตามหลักวิชาการ สามารถอ้างอิงและนำไปใช้ประโยชน์ในงานสำรวจและวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดไหล่เขาทั้งที่เป็นลาดดินและลาดหิน ของโครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำและอาคารประกอบ กรมชลประทาน ต่อไป

กัมปนาท ขวัญศิริกุล
พฤศจิกายน 2565

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| คำนำ | ก |
| สารบัญ | ข |
| สารบัญตาราง | ง |
| สารบัญรูป | จ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 เหตุผล ความจำเป็น | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน | 1 |
| บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์ | 2 |
| 2.1 การสำรวจ ศึกษาสภาพธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้าง | 2 |
| 2.2 รูปแบบการวิบัติของลาด (Failure criteria) | 3 |
| 2.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพ | 6 |
| 2.3.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน (Soil slope stability analysis) | 6 |
| 2.3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดหิน (Rock slope stability analysis) | 8 |
| 2.3.2.1 การวิเคราะห์โดยวิธีจลนศาสตร์ (Kinematic analysis) | 9 |
| 2.3.2.2 การวิเคราะห์โดยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating; SMR) | 12 |
| บทที่ 3 กรณีศึกษา ; การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดไหล่เขา โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก | 19 |
| 3.1 ความเป็นมา/สภาพปัญหา | 19 |
| 3.2 รายละเอียดโครงการ | 19 |
| 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ | 21 |
| 3.4 สภาพธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้าง | 23 |
| 3.5 การสำรวจและการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน | 24 |
| 3.6 การสำรวจและวิเคราะห์เสถียรภาพลาดหิน | 36 |
| 3.6.1 การวิเคราะห์โดยวิธีจลนศาสตร์ (Kinematic analysis) | 39 |
| 3.6.2 การวิเคราะห์โดยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating; SMR) | 39 |
| 3.7 ผลการศึกษา | 39 |
| 3.7.1 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน | 39 |
| 3.7.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดหิน | 40 |
| 3.8 สรุปผลการวิเคราะห์ | 44 |
| บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ | 46 |
| 5.1 สรุป | 46 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 46 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง

48

ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ลาดดิน โดยใช้โปรแกรม Slope/W
- ภาคผนวก ข ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดหิน โดยวิธีจลนศาสตร์ (Kinematic Analysis)
- ภาคผนวก ค ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดหินโดยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating; SMR)
- ภาคผนวก ง แบบป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารระบายน้ำสัน โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก หมายเลขแบบ 286414-286421 (จำนวน 8 แผ่น)

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 2-1 | ระบบการจำแนกการพิบัติของลาดดิน หินของ Varnes (1978) | 6 |
| 2-2 | Bieniawski Ratings for Rock Mass Rating (RMR) | 15 |
| 2-3 | The adjustment rating for joint | 16 |
| 2-4 | Adjustment rating for methods of excavation of slopes | 16 |
| 2-5 | Probable failures according SMR values | 17 |
| 2-6 | Suggest support methods | 17 |
| 2-7 | ตารางสรุปค่าคะแนน Slope Mass Rating (SMR) และวิธีการเสริมความมั่นคงและป้องกันการพังทลายของลาดหิน | 18 |
| 3-1 | แสดงรายละเอียดการเก็บตัวอย่างผลการจำแนก แบ่งชนิดของกลุ่มดิน | 29 |
| 3-2 | Representative range of dry unit weight. | 34 |
| 3-3 | Effective strength of cohesive soils. | 35 |
| 3-4 | Typical shear strength of intact rock. | 35 |
| 3-5 | ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของลาดดิน | 42 |
| 3-6 | ข้อมูลการสำรวจหินในบริเวณพื้นที่ศึกษา | 43 |
| 3-7 | สรุปผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลหินบริเวณลาดไหล่เขาด้วยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating; SMR) และวิธีการออกแบบปรับปรุงความมั่นคงแข็งแรง | 44 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| 2-1 | ภาพแสดงการร่วงหล่นของหินจากหน้าผา | 4 |
| 2-2 | ภาพแสดงการเคลื่อนหมุน | 4 |
| 2-3 | แสดงรูปแบบการเคลื่อนแนวระนาบ | 5 |
| 2-4 | แสดงรูปแบบการเคลื่อนแนวระนาบชนิด Block slide | 5 |
| 2-5 | ภาพแสดงการเลื่อนไหล (Flow) ของดิน | 5 |
| 2-6 | แสดงการจำแนกประเภทการพิบัติของดิน หิน ตามกลไกการเกิด (Mechanism) และชนิดของวัสดุ | 7 |
| 2-7 | แสดงรูปแบบการเคลื่อนพังของมวลหินบนพื้นที่ลาดชัน | 9 |
| 2-8 | แสดงกราฟความสัมพันธ์ของ Shear stress กับ Normal stress | 10 |
| 2-9 | แสดงลักษณะการสร้างรูปแบบระนาบบน Stereo net และพิจารณาบริเวณที่เกิดการพังทลาย | 10 |
| 2-10 | แสดงลักษณะการพังทลายของพื้นที่ลาดหิน (ก) รูปลิ้ม (Wedge failure) (ข) ระนาบโค้ง (Circular failure) (ค) ระนาบพลิกคว่ำ (Toppling failure) | 11 |
| 2-11 | โมเดลแสดงลักษณะความสัมพันธ์เชิงมุมของพื้นที่ที่เกิดการพังทลาย (Daylight zone) | 12 |
| 2-12 | แสดงวิธีการวัดระยะห่างของแนวแตก (Joint spacing) | 13 |
| 3-1 | แสดงขั้นตอนการดำเนินการ | 22 |
| 3-2 | แผนที่แสดงขอบเขตและการแพร่กระจายของหน่วยหินทางธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา | 25 |
| 3-3 | สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ลาดชันตามไหล่เขา มีความลาดชันประมาณ 20-30 องศา | 26 |
| 3-4 | แผนที่หน่วยหินของบริเวณพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน จังหวัดตาก | 27 |
| 3-5 | แผนที่แสดงตำแหน่ง (Station) ศึกษาและวิเคราะห์หิน และแนวสำรวจชั้นดินบนลาดไหล่เขา | 28 |
| 3-6 | พื้นที่ลาดไหล่เขาบริเวณฐานยันฝั่งซ้ายของเขื่อน | 36 |
| 3-7 | พื้นที่ลาดไหล่เขาบริเวณฐานยันฝั่งซ้ายของเขื่อน | 37 |
| 3-8 | แสดงสภาพหินทรายแป้ง (Siltstone) ที่มีการผุพังแตกตัวในสภาพแห้ง (Slaking) | 37 |
| 3-9 | แสดงสภาพหินปูนเนื้อดิน (Argillaceous Limestone) วางตัวอยู่บนหินทรายแป้ง (Siltstone) | 38 |
| 3-10 | บริเวณ Abutment ฝั่งซ้ายของอาคารระบายน้ำล้น (Spillway) ที่อยู่ใกล้กับจุดสำรวจ Station 13 มีการขุดเปิดพื้นที่ที่เป็นหินปูนแทรกสลับกับหินทรายแป้ง จึงทำให้เกิดการเลื่อนไหลของมวลหินลงไปตามมุมลาดเอียง การพังทลายของหินเป็นรูประนาบ (Plane failure) | 38 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 เหตุผล ความจำเป็น

ด้วยข้อจำกัดและความจำเป็นในการกำหนดพื้นที่ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำและอาคารประกอบ จึงทำให้ไม่สามารถกำหนดตำแหน่งที่ตั้งที่มีสภาพธรณีวิทยาของลาดไหล่เขาที่แข็งแรงและมีเสถียรภาพความมั่นคงตามธรรมชาติได้ โดยเฉพาะสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ลาดชันโดยรอบ มักเกิดปัญหาความมั่นคงของลาดไหล่เขาที่เกิดต่อเนื่องตามมา ทั้งในขั้นตอนการก่อสร้างที่มีการขุดเปิดบ่อก่อสร้างและภายหลังการกักเก็บน้ำของเขื่อน ทั้งในส่วนที่ลาดดิน และลาดหิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสำรวจ วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดไหล่เขาเพื่อทำการป้องกัน และกำหนดวิธีการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้บริเวณพื้นที่ลาดไหล่เขาที่มีความมั่นคงแข็งแรงสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ของการก่อสร้างเขื่อนและอาคารประกอบ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อใช้เป็นเอกสารประกอบแนวทางการศึกษา และพิจารณางานสำรวจและวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดไหล่เขา ที่มีความเสี่ยงต่อการพังทลายของมวลดิน มวลหิน ในบริเวณที่ตั้งเขื่อน สำหรับนักธรณีวิทยาและผู้ปฏิบัติงานของกรมชลประทาน

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

เอกสารฉบับนี้ได้ค้นคว้า รวบรวม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจและวิเคราะห์เสถียรภาพของความมั่นคงของลาดไหล่เขา ทั้งที่เป็นการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน (Soil slope stability) ความมั่นคงของลาดหิน (Rock slope stability) และแสดงถึงวิธีการและขั้นตอนการวิเคราะห์รวมทั้งจัดทำรายงานเป็นเอกสารทางวิชาการเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดไหล่เขาสำหรับพื้นที่โครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำและอาคารประกอบ กรมชลประทาน โดยได้นำรายงานการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มาแสดงเป็นกรณีศึกษา

เนื้อหาความรู้ทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา ประกอบด้วย การสำรวจและศึกษาสภาพธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ ทฤษฎีการพังทลายของเชิงลาด หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดหินโดยวิธีจลนศาสตร์ (Kinematic analysis) การวิเคราะห์และประเมินความมั่นคงลาดหินโดยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating; SMR) รวมทั้งกำหนดวิธีการป้องกันการพังทลายของลาดไหล่เขา

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 การสำรวจ ศึกษาสภาพธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้าง

ลักษณะการพังทลายของมวลดินและหินบนลาดไหล่เขาจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสภาพธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณพื้นที่ศึกษา เพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องมีวิธีการแนวทางในการสำรวจ และวิเคราะห์ทางธรณีวิทยาอย่างถูกวิธีโดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องทำการสำรวจ ดังนี้

1) ข้อมูลธรณีวิทยาของพื้นที่จากแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทยเป็นข้อมูลเบื้องต้นของการศึกษาสำรวจ ซึ่งสามารถใช้แผนที่ในมาตราส่วน 1:250,000 หรือ 1:50,000 ร่วมกับแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร มาเป็นแนวทางในการศึกษา การสำรวจสภาพธรณีวิทยาในพื้นที่อย่างละเอียดประกอบด้วย ข้อมูลหน่วยหินในตำแหน่งที่ทำการศึกษา สำรวจ ตลอดจนหน่วยหินชุดอื่นที่เกี่ยวข้อง หรือมีอิทธิพลต่อสภาพธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ การจำแนกชนิดหิน ชื่อหิน การลำดับชั้นหิน การแทรกสลับของชั้นหิน การเรียงตัวของเม็ดตะกอนในหินตะกอน การแทรกซอนของหินหนืด ที่มีผลกระทบต่อความมั่นคงของพื้นที่ลาดชัน และมีโอกาสเกิดการพังทลายของมวลดิน และมวลหินได้ รวมถึงการเก็บข้อมูลรายละเอียดปลีกย่อยจากการบรรยายคุณสมบัติของหิน ทั้งทางกายภาพ และทางเคมี ตลอดจนการแทรกซอนของสายน้ำแร่ตามแนวแตกของหินที่ทำให้สภาพธรณีวิทยาโดยทั่วไปเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพต้นกำเนิดเดิม

2) สภาพธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณที่ทำการศึกษามีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากมีอิทธิพลโดยตรงกับเสถียรภาพความมั่นคงของพื้นที่ลาดไหล่เขา โดยมีโครงสร้างที่สำคัญ ได้แก่ รอยเลื่อน (Fault) แนวแตก (Joint) รอยแตก (Fracture) รอยชั้นคดโค้ง (Fold) การวางตัวของชั้นหิน (Bedding) และสภาพหินที่เกิดเป็นรูพรุนหรือเป็นโพรง (Cavity) ซึ่งสภาพธรณีวิทยาโครงสร้างดังกล่าว ทำให้เกิดคุณสมบัติทางวิศวกรรมของมวลหินที่เรียกว่าความไม่ต่อเนื่องของมวลหิน (Discontinuity of rock mass) ซึ่งส่งผลกระทบต่อความแข็งแรง และความมั่นคงของมวลหิน ข้อมูลที่ต้องทำการสำรวจและเก็บข้อมูลในสนามมาเพื่อวิเคราะห์ มีรายละเอียดดังนี้

- หน่วยหิน (Geological unit) หน่วยหินแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันมาก การจำแนก หน่วยหิน ชนิดหิน มีผลต่อชนิดของรอยไม่ต่อเนื่องของหินอย่างมาก เช่น หินอัคนี จะมีรอยไม่ต่อเนื่องที่เกิดจากรอยแตก (Fracture) และแนวแตก (Joint) หินแปรจะมีรอยไม่ต่อเนื่องจากการเรียงตัวของเม็ดแร่ (Foliation) รอยแตก และแนวแตก หินตะกอนจะมีรอยแตกเนื่องจากการวางตัวของชั้นหิน (Bedding) รอยแตก และแนวแตก ตลอดจนสภาพธรณีวิทยาโครงสร้างที่โค้งงอ ในแต่ละหน่วยหินมีความรุนแรงที่แตกต่างกัน และเกิดรอยแตกที่แตกต่างกันเช่นกัน

- ทิศทางการวางตัวของชั้นหิน (Bedding) หินตะกอนจะมีลักษณะเด่นที่มีชั้นหินที่ชัดเจน (Bedded) ซึ่งเป็นรอยไม่ต่อเนื่องประเภทหนึ่ง ที่นอกเหนือไปจากรอยไม่ต่อเนื่องที่เกิดทางเทคนิค ในบางกรณีชั้นหินอาจเป็นรอยไม่ต่อเนื่องมีผลต่อความมั่นคงของลาดไหล่เขาได้มากกว่าแนวแตก เช่น หน่วยหินดินดาน (Shale) หินชนวน (Slate) หินปูน (Bedded limestone) เป็นต้น

- Foliation การเรียงตัวของเม็ดแร่ เกิดจากหินถูกแปรสภาพ ซึ่งอาจเกิดเป็นชั้น (Layer) หรือเกิดเป็นชั้นหินคดโค้ง (Folded) จึงทำให้เกิดรอยไม่ต่อเนื่องระหว่างชั้นการเรียงตัวของเม็ดแร่ในหิน หรือเกิดแนวแตก ที่ทำมุมกับชั้นการเรียงตัวของเม็ดแร่ขณะที่เกิดการโค้งงอที่อาจมีมากกว่า 1 ครั้ง

- Shear zones เป็นลักษณะเฉพาะตัวของหน่วยหินที่เกิดรอยไม่ต่อเนื่องที่มาจากการขัดสี หรือมีแรงมากกระทำต่อหน่วยหินนั้นๆ ลักษณะของ Shear zones อาจเป็นเพียงการบดอัดของชั้นหิน (Slip layers) เท่านั้น ซึ่งอาจไม่ใช่ลักษณะของรอยเลื่อน โดยลักษณะรอยต่อเนื่องเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อความมั่นคงของลาดไหล่เขาเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะมีลักษณะเป็น Soft layer ที่เกิดขึ้นในระหว่างหน่วยหิน ทำให้เกิดการร่วงหล่นของมวลหินที่อยู่บริเวณใกล้เคียงได้ง่าย เมื่อทำการขุดเปิดพื้นที่ลาดชัน

- Fault planes เมื่อหน่วยหินมีรอยไม่ต่อเนื่องที่เกิดจากรอยเลื่อนตัดผ่าน จะมีระนาบที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของหน่วยหิน ซึ่งระนาบที่เกิดจากรอยเลื่อนจะมีลักษณะยาว และลึกทำให้เกิดรอยไม่ต่อเนื่องได้มาก และส่งผลกระทบต่อความมั่นคงต่อพื้นที่หน้าตัดลาดไหล่เขาได้อย่างรุนแรง โดยเฉพาะทิศทางการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนจะเป็นปัจจัยโดยตรงต่อเสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา

- Shear strength ความแกร่งของมวลหินบนลาดไหล่เขา สามารถวัดได้ 2 วิธี ได้แก่ วัดในตำแหน่งที่ศึกษา (Insitu-stress test) โดย Schmidth hammer, Point load test หรือวัดในห้องทดลอง โดย Uni-axial stress test, Tri-axial stress test โดยมีหน่วยเป็น Lbf/in^2 Kgf/cm^2 หรือ Mpa

2.2 รูปแบบการวิบัติของลาด (Failure criteria)

การพังทลายของเชิงลาด เกิดจากปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของมวลดิน มวลหิน อาจเกิดตามธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่นการเปลี่ยนแปลงความลาดชันของดิน หิน ในการก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างถนน เขื่อนและอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ในบทนี้จะอธิบายถึงการจำแนกลักษณะการพังทลาย โดยรายละเอียด ดังนี้ (Varns, 1978)

2.2.1 การร่วงหล่น (Fall)

การร่วงหล่น คือ การเคลื่อนที่โดยอิสระของมวลดิน มวลหินจากบริเวณที่มีความลาดชันสูง ดังแสดงในรูปที่ 2-1 มีได้หลายรูปแบบทั้งลักษณะ ขนาด อาจเป็นก้อนใหญ่ เล็ก หรือผสมหลายขนาด อาจเป็น หิน กรวดหรือดินก็ได้ การตกอาจเกิดได้ในหลายพื้นที่ ทั้งหน้าผาที่มีความลาดชัน งานดินถม หรือการตัดลาดดิน หินของพื้นที่ก่อสร้าง การร่วงหล่นนี้ไม่มีรูปแบบในการคำนวณวิเคราะห์ที่แน่นอน นอกจากการพิจารณาแรงสมดุลของหินแต่ละก้อนหรือมวลหินเป็นส่วนๆ ไป การคาดคะเนเบื้องต้นว่ามีโอกาสเกิดการตกได้ โดยพิจารณาจากลักษณะต่างๆ ในพื้นที่ ดังนี้

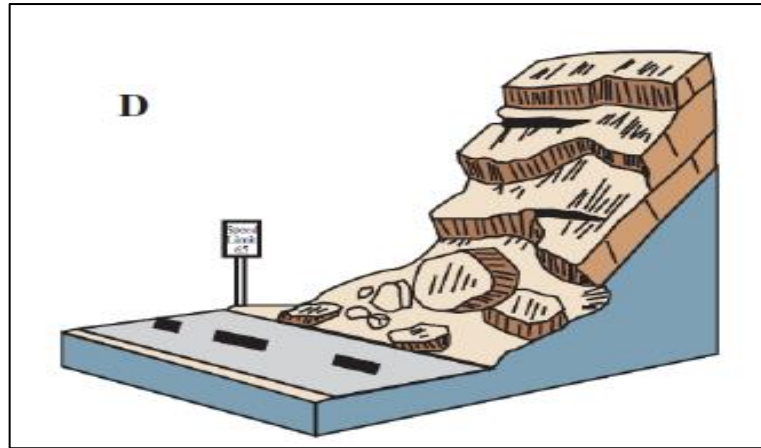
- ระนาบของหิน (Bedding plane) ในธรรมชาติที่มีความลาดชันสูง ที่มีลักษณะยื่น (Overhanging) และมีรอยแยกของหินใกล้ระนาบนั้น

- เป็นชั้นหินที่มีมุมเท (Dip angle) หรือแนวแตกของหินอยู่ในทิศทางเดียวกับความลาดเอียง (Slope angle)

- พื้นที่ในบริเวณลาดชันมีดินและหินปะปนกัน ดินจะถูกกัดกร่อนทำให้หินก้อนใหญ่ตก ซึ่งมักเกิดภายหลังฝนตกหนัก

- เป็นพื้นที่ที่มีแรงดันน้ำใต้ดินสูง หรือในแนวแตกของหินมีวัสดุอ่อนแทรกอยู่ เป็นต้น

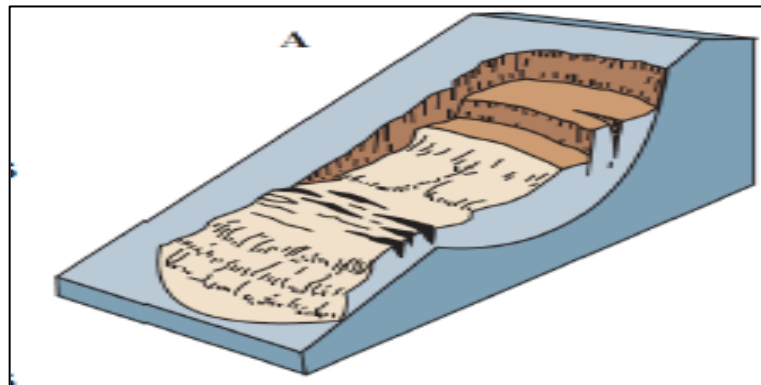
ในกรณีของพื้นที่ก่อสร้างที่มีหินแข็งวางตัวบนชั้นหินหรือดินที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า การขุดลอกหรือระเบิดจนถึงชั้นหินฐานที่รองรับอาจทำให้เกิดการล้มได้ หรือในกรณีที่เป็ชั้นหินที่มีความสม่ำเสมอแต่มีรอยแตก และแนวแตกลึก ถ้ามีการกัดเซาะหรือขุดเจาะหินฐานรากออกก็สามารถทำให้หินล้มได้



รูปที่ 2-1 ภาพแสดงการร่วงหล่นของหินจากหน้าผา

2.2.2 การเคลื่อนหมุน (Rotational slides)

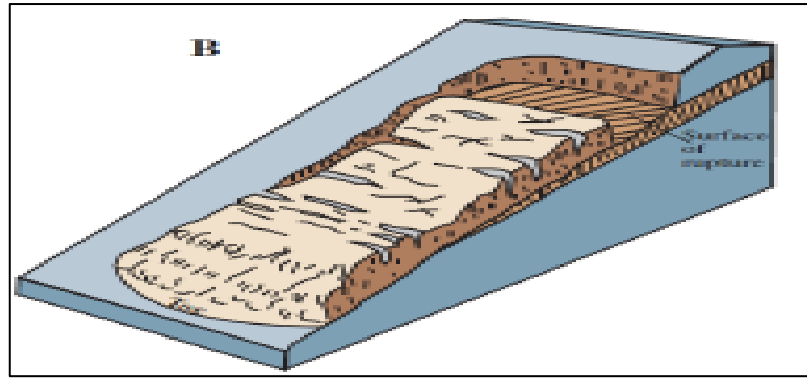
เป็นการเคลื่อนตัวของมวลไปตามระนาบเฉียงที่ใกล้เคียงส่วนโค้งของวงกลมและรูปร่างของมวลดินที่มีการเคลื่อนตัว การเคลื่อนหมุนมักเกิดขึ้นได้ในบริเวณที่มีดินมวลรวม หรือหินที่ผูกพัน แดกหักสะสมกันเป็นชั้นหนา โดยเฉพาะในบริเวณที่ไม่มีพืชปกคลุม การขุดเปิดพื้นที่ในการก่อสร้างอาจทำให้เกิดการเคลื่อนหมุนตามมาภายหลังเนื่องจากปริมาณน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีฝนตกหนัก และมีสาเหตุจากการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวหรือการระเบิด รวมทั้งในกรณีที่มีแรงดันน้ำใต้ดินสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 2-2 ภาพแสดงการเคลื่อนหมุน



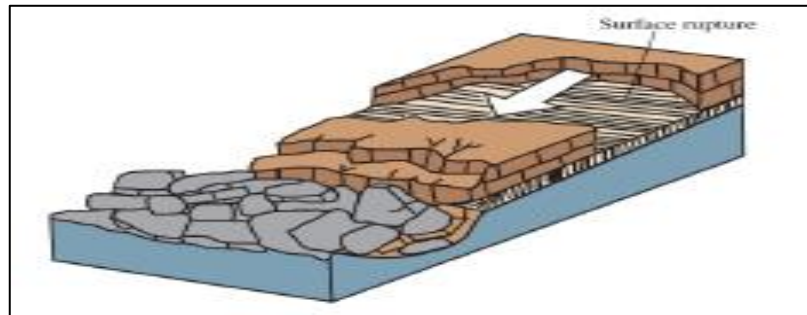
รูปที่ 2-2 ภาพแสดงการเคลื่อนหมุน

2.2.3 การเคลื่อนแนวระนาบ (Transitional slides)

การพิบัติในลักษณะนี้จะปรากฏผิวเคลื่อนเป็นพื้นระนาบ (Plane) ดังแสดงในรูปที่ 2-3 และรูปที่ 2-4 ซึ่งมักจะขนานกับผิวหน้าของมวลดินหรือหินที่พิบัติ ลักษณะเช่นนี้มักจะเกิดเมื่อมีผิวระนาบที่ลื่นหรืออ่อน อยู่ชัดเจน เช่น ดินหรือหินที่คลุมปิดหน้าหินฟืด หินทิ้งบนลาดเขื่อน เป็นต้น



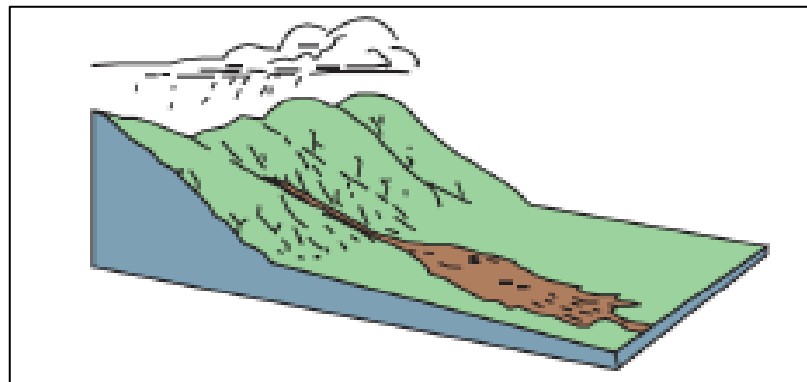
รูปที่ 2-3 แสดงรูปแบบการเคลื่อนแนวระนาบ



รูปที่ 2-4 แสดงรูปแบบการเคลื่อนแนวระนาบชนิด Block slide

2.2.4 การเลื่อนไหล (Flow)

มักเกิดขึ้นในลาดดินที่มีน้ำสมจนดินอ่อนเสียกำลังและเริ่มอิ่มตัว จนเกิดการไหลของวัสดุชั้นเหลวที่มีความหนืด (Viscous flow) เช่น กรณีการพังของลาดไหลเขาในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย อันเนื่องมาจากฝนตกหนัก ดังแสดงในรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 ภาพแสดงการเลื่อนไหล (Flow) ของดิน

แต่อย่างไรก็ตามการเคลื่อนพังในบางกรณีไม่สามารถจำแนกได้ว่าเป็นลักษณะใดแต่อาจเป็นหลายรูปแบบผสมกัน ซึ่งเรียกว่า “Complex slides” โดย Varnes (1978) ได้รวบรวมการพิบัติและจำแนกอย่างละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2-1 และดังแสดงในรูปที่ 2-6 แสดงการจำแนกประเภทการพิบัติของดิน หิน ตามกลไกการเกิด (Mechanism) และชนิดของวัสดุ

ตารางที่ 2-1 ระบบการจำแนกการพิบัติของลาดดิน หินของ Varnes (1978)

| TYPE OF MOVEMENT | | TYPE OF MATERIAL | | | |
|------------------|---------|------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| | | BEDROCK | DEBRIS (coarse soil and rocks) | EARTH (fine soil) | |
| I | FALLS | | rock fall | debris fall | earth fall |
| II | TOPPLES | | rock topple | debris topple | earth topple |
| III | SLIDES | ROTATIONAL | rock slump | debris slump | earth slump |
| | | TRANSLATIONAL | a. rock block slide b. rock slide | debris slide | earth slide |
| IV | SPREADS | | rock spread | | earth lateral spread |
| V | FLOWS | | bedrock flow | a. debris flow | a. wet sand flow |
| | | | | b. debris avalanche | b. rapid earth flow |
| | | | | c. block stream | c. earth flow |
| | | | | d. solifluction | d. loess flow |
| | | | | e. soil creep | e. dry sand flow |
| VI | COMPLEX | | Combination of above movements | | |

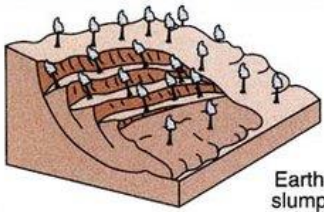
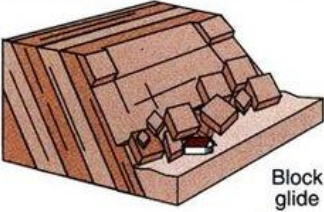
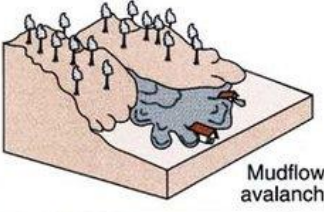
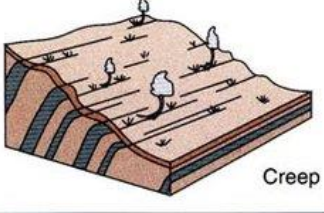
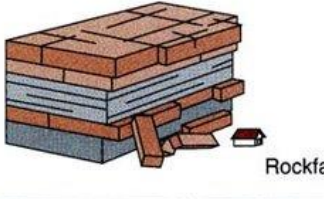
2.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพ

2.3.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน (Soil slope stability analysis)

การวิบัติของลาดดินถือเป็นเหตุการณ์ที่มีสิ่งบอกเหตุที่สามารถตรวจพบได้ก่อนหรือคาดการณ์ล่วงหน้าได้หากมีการตรวจหาหรือวิเคราะห์สาเหตุออกแบบแก้ไขไว้ดีเพียงพอ จะทำให้ลดความเสี่ยงลงได้ การก่อสร้างเขื่อน/อ่างเก็บน้ำถือเป็นสิ่งก่อสร้างเกี่ยวข้องกับความมั่นคงของลาดดิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประเมินสภาพความมั่นคงเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาขึ้นภายหลัง

วิธีการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินอาจทำได้หลายวิธี แต่การวิเคราะห์ในสภาวะสมดุล (Limit equilibrium methods) เป็นวิธีที่มีคุณลักษณะเหมาะสมที่สุดในงานวิศวกรรมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ (Duncan, 1996) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการสมดุลของแรงต่างๆ ที่มากระทำต่อมวลที่อยู่เหนือแนวพิบัติ การที่มวลของลาดดินจะสมดุลได้นั้น แรงที่ขับให้ลาดดินเลื่อนไถล (Overturning moments) จะต้องมีค่าเท่ากับแรงต้านทานการเลื่อนไถล (Resisting moments) ของมวลดิน และของแนวพิบัติค่าสัดส่วนของแรงต้านต่อแรงขับการเลื่อนไถลนี้ เรียกว่า อัตราส่วนของความปลอดภัย (Factor of safety, F.S.) ถ้า F.S. มีค่าน้อยกว่า 1.0 ถือว่าลาดดินไร้เสถียรภาพ ซึ่งสามารถเทียบเป็นสมการได้ ดังนี้

$$F.S. = \frac{\sum \text{Resisting moments}}{\sum \text{Overturning moments}}$$

| MECHANISM | | MATERIAL | | | VELOCITY |
|-----------|--|--|--------------------|-----------------------|------------------------------|
| | | Rock | Fine-grained soil | Coarse-grained soil | |
| Slide |  <p>Earth slump</p> | Slump | Earth slump | Debris slump | Slow (days to weeks) |
| |  <p>Block glide</p> | Block glide <i>Down the plane of inclined rock layers where inclination is parallel to slope.</i> | Earth slide | Debris slide | |
| Flow |  <p>Mudflow, avalanche</p> | Rock avalanche | Mudflow, avalanche | Debrisflow, avalanche | Very rapid (minutes) |
| |  <p>Creep</p> | Creep | Creep | Creep | |
| Fall |  <p>Rockfall</p> | Rockfall | Earthfall | Debrisfall | Extremely rapid (seconds) |

รูปที่ 2-6 แสดงการจำแนกประเภทการพังทลายของดิน หิน ตามกลไกการเกิด (Mechanism) และชนิดของวัสดุ Varnes (1978)

โดยทั่วไปแล้วขั้นตอนในการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดดินโดยวิธี Limit equilibrium มีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

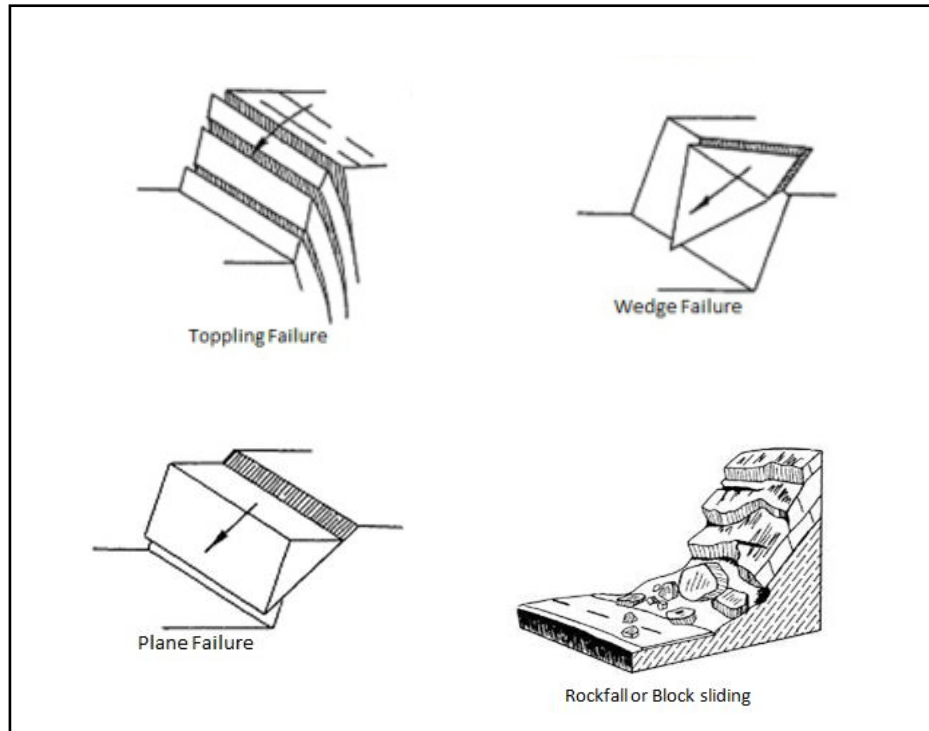
- 1) สมมุติหรือสันนิษฐานลักษณะของพิบัติหรือผิวการเคลื่อนพัง
- 2) คำนวณแรงต้านที่เพียงพอทำให้เกิดความสมดุลของมวลดินที่พิบัติ
- 3) เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกำลังของดินต่อหน่วยแรงต้านทานขณะสมดุลซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)
- 4) โดยการเปลี่ยนลักษณะหรือผิวการเคลื่อนพังที่น่าจะเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ จนพบค่าอัตราส่วนปลอดภัยน้อยที่สุด ซึ่งควรเป็นลักษณะการพิบัติที่น่าจะเกิดขึ้น และหาค่า F.S. ที่ควรจะเป็นนั้นมาใช้ในการวิเคราะห์หรือออกแบบ

ในรายงานการวิเคราะห์มวลดินพื้นที่นี้ได้ใช้วิธีการ Simplified Bishop ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความมั่นคงที่มีการแบ่งมวลดินออกเป็นชั้น หรือแท่งเช่นเดียวกับ Slices Method แต่ได้พิจารณาแรงและสมดุลของแรงละเอียดขึ้น คือ คัดสมดุลของโมเมนต์ ของแท่งดินแต่ละแท่งด้วย แทนที่จะคิดเฉพาะแรงของมวลดินทั้งหมดแต่เพียงอย่างเดียว โดยนำเอาแรงที่กระทำด้านข้างของดินมาพิจารณาด้วย ซึ่งเป็นวิธีที่เสนอโดย Prof. Bishop (1995) ซึ่งทำให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่คำนวณได้น่าเชื่อถือและถูกต้องมากขึ้น ซึ่งวิธีนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้โดย Janbu (1956) ซึ่งการวิเคราะห์คำนวณวิธีดังกล่าวนี้ได้โปรแกรม Slope/W (Geostudio) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สะดวกในการใช้งานและเป็นที่ยอมรับ การคำนวณโดยการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ วิเคราะห์ในสภาวะสมดุลเพื่อเปรียบเทียบหาค่าความปลอดภัย (Factors of Safety) ที่ค่าตัวแปรที่ใส่ลงไป ซึ่งได้แก่

1. การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่กักเก็บ
2. สภาวะไม่มีน้ำหนักกดทับ และไม่มีแรงจากแผ่นดินไหว
3. เพิ่มน้ำหนักกดทับบนลาดไหล่เขา (Surcharge load)
4. รับแรงกระทำจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว (Seismic load)

2.3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดหิน (Rock slope stability analysis)

แนวทางการศึกษาและวิเคราะห์สภาพความมั่นคงของลาดหินประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์โดยวิธีไคเนมาติกส์ (Kinematic) เพื่อประเมินโอกาสและรูปแบบของการพังทลายมวลหินบนที่ลาดชัน ที่มีโอกาสเกิดการพังทลายในรูปแบบต่างๆ ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การเคลื่อนพังแบบพลิกคว่ำ (Toppling failure) การเคลื่อนพังในแนวระนาบโค้ง (Plane failure) การเคลื่อนพังในแนวระนาบรูปสามเหลี่ยม (Wedge failure) การเคลื่อนพังหลุดออกเป็นบล็อก (Block slide) ดังแสดงในรูปที่ 2-7 และ 2) การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพความมั่นคงของมวลหินโดยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating; SMR) เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากการจำแนกคุณภาพมวลหิน (Rock Mass Rating; RMR) ของ Bieniawski (1989) เพื่อประเมินคุณภาพ ความมั่นคงของมวลหิน รูปแบบของการพังทลาย และกำหนดวิธีการป้องกันการพังทลายของลาดหิน โดยมีรายละเอียด ดังนี้



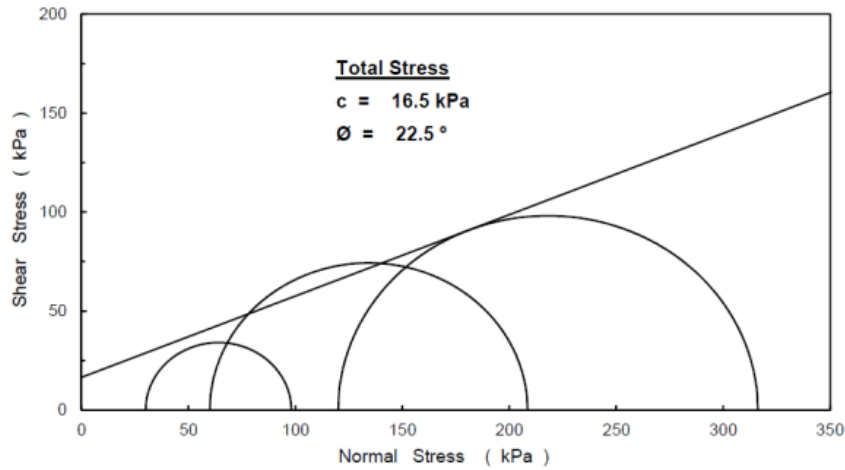
รูปที่ 2-7 แสดงรูปแบบการเคลื่อนพังของมวลหินบนพื้นที่ลาดชัน

2.3.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลวิธี Kinematic analysis (Stereographic interpretation)

การวิเคราะห์ข้อมูลวิธี Kinematic analysis หรือที่เรียกว่า Stereographic interpretation วิธีการสำรวจได้ดำเนินการสำรวจชนิด ลักษณะ ทิศทางการวางตัว มุมเอียงเท แนวแตก และความต่อเนื่องของหิน โครงสร้างทางธรณีวิทยา รวมทั้งทิศทาง และมุมเอียงของการตัดลาดไหล่เขาที่ปรากฏ บริเวณพื้นที่สำรวจ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดไหล่เขาที่เป็นหินโดยมีค่าต่างๆ ที่เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ พารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยหลักที่นำมาประกอบการวิเคราะห์ ได้แก่

- 1) ทิศทางและมุมเอียงตัวของหน้าตัดลาดไหล่เขา (Slope face)
- 2) ทิศทางและมุมเอียงตัวของระนาบรอยไม่ต่อเนื่อง (Joint, Fault, Bedding, Contact boundary rock unit)
- 3) ชนิด และคุณสมบัติของหินบนพื้นที่ลาดไหล่เขา

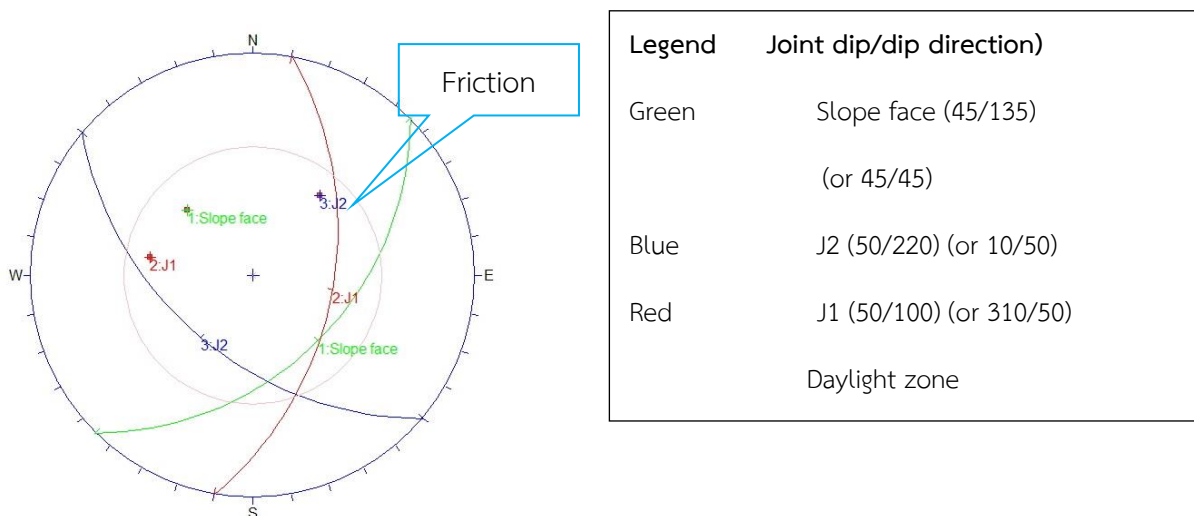
4) ค่ามุม Friction angle (มุม $\phi = \emptyset$) การหาค่ามุม Friction angle -มุม ϕ (\emptyset) จะได้มาจากการสร้างรูปแบบ Mohr coulomb จากผลการทดสอบค่าความแกร่งของตัวอย่างหินในห้องทดลองที่เป็น Tri-axial compressive stress test ซึ่งขั้นตอนการหาค่ามุม Friction angle โดยการนำแท่งตัวอย่างหินมาทดสอบค่าความแกร่ง 3 แกน ภายใต้ไขมันโดยการเพิ่มค่าแรงกด (Stress) ลงบนแท่งตัวอย่าง (σ_1) จนกระทั่งเกิดการวิบัติของแท่งตัวอย่าง ที่มีค่าแรงกดต่ำสุดปรากฏ (σ_3) แล้วนำค่าแรงกดต่ำสุด และแรงกดสูงสุดมา Plot ลงในกราฟ แสดงความสัมพันธ์ของ Shear stress กับ Normal stress ดังแสดงในรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของ Shear stress กับ Normal stress

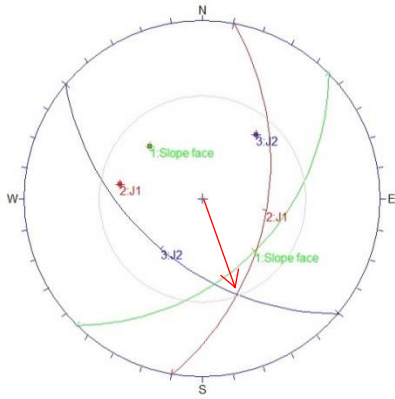
รูปแบบการวิเคราะห์จะอาศัยความสัมพันธ์ของการทำมุมเอียงตัวของระนาบรอยไม่ต่อเนื่อง (Joint) กับ การเอียงทำมุมของพื้นที่หน้าตัดของลาดไหล่เขา (Slope face) และความสัมพันธ์ของมุม Friction angle - มุมพี (ϕ) โดยความสัมพันธ์ของมุมดังกล่าว จะแสดงตามรูปแบบโมเดล ดังแสดงในรูปที่ 2-9 มีลำดับการดำเนินการ ดังนี้

- 1) สร้างระนาบของรอยไม่ต่อเนื่อง ทุกระนาบของตำแหน่งที่ศึกษาสำรวจ และระนาบของหน้าตัดลาดไหล่เขาลงบน Stereo net
- 2) สร้างวงกลมที่แสดงค่ามุมของ Friction angle ตามที่หาได้ในตำแหน่งที่ทำการศึกษาล่าวนั้นๆ โดยใช้จุดศูนย์กลางของ Stereo net เป็นรัศมี
- 3) พิจารณาตำแหน่งที่ตัดกันของวงกลมที่สร้างมาจากค่า Friction angle กับ ระนาบหน้าตัดลาดไหล่เขา จะเกิดพื้นที่รูปเสี้ยวพระจันทร์ ซึ่งเรียกพื้นที่ดังกล่าวนี้ว่า ตำแหน่งโผล่ (Daylight)
- 4) พิจารณาระนาบของรอยไม่ต่อเนื่องที่สร้างขึ้นมาทั้งหมด ที่ปรากฏในพื้นที่ตำแหน่งโผล่ว่าอยู่ในลักษณะใด
- 5) รูปแบบการปรากฏของระนาบของรอยไม่ต่อเนื่องดังกล่าวที่ปรากฏบนตำแหน่งโผล่ จะสามารถวิเคราะห์ได้ตามรูปแบบที่ปรากฏนั้น

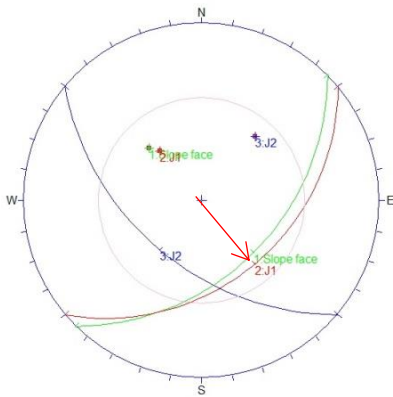


รูปที่ 2-9 แสดงลักษณะการสร้างรูปแบบระนาบบน Stereo net และพิจารณาบริเวณที่เกิดการพังทลาย

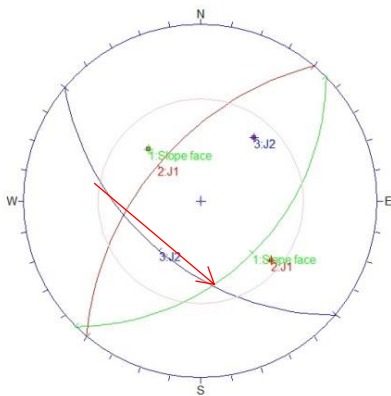
ผลการวิเคราะห์รูปแบบ ลักษณะการพังทลายของพื้นที่ลาดหิน ดังแสดงในรูปที่ 2-10 (ก) (ข) และ (ค) และโมเดลแสดงลักษณะความสัมพันธ์เชิงมุมของพื้นที่ที่เกิดการพังทลาย (Daylight zone) ดังแสดงในรูปที่ 2-11



(ก) ลักษณะการตัดกันของ 2 ระนาบแนวแตก ในพื้นที่ Daylight zone

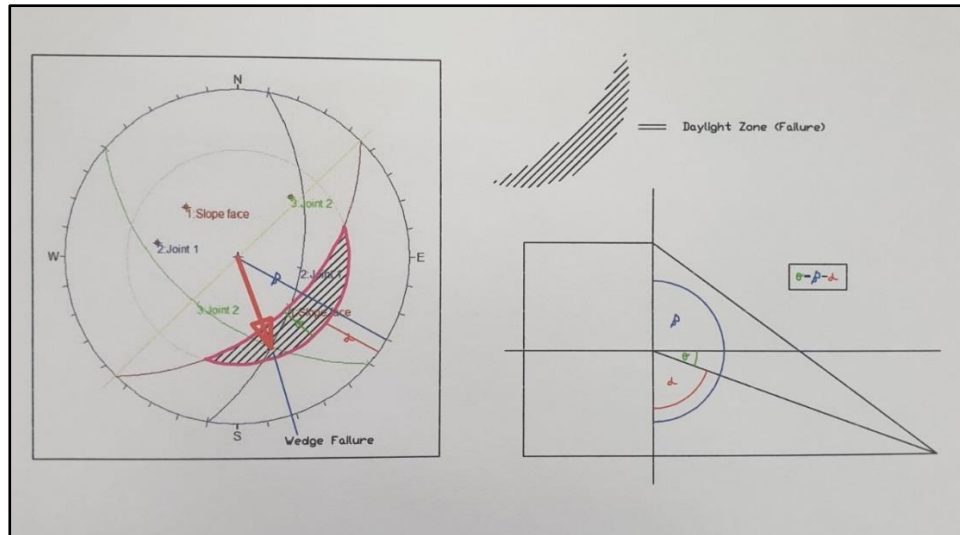


(ข) ลักษณะระนาบวางตัวขนาน/เกือบขนานกับพื้นที่หน้าตัดลาดไหล่เขา ในตำแหน่ง Daylight zone



(ค) ลักษณะระนาบที่วางตัวตรงข้ามกับพื้นที่หน้าตัดลาดไหล่เขา โดยมีชี้ของระนาบตกลงบนพื้นที่ Daylight zone และ/หรือ ทิศทางการวางตัวของระนาบ (Strike) กับพื้นที่หน้าตัดลาดไหล่เขา ทำมุมกันไม่เกิน 5 องศา

รูปที่ 2-10 แสดงลักษณะการพังทลายของพื้นที่ลาดหิน (ก) รูปลิ้ม (Wedge failure) (ข) ระนาบโค้ง (Circular failure) (ค) ระนาบพลิกคว่ำ (Toppling failure)



รูปที่ 2-11 โมเดลแสดงลักษณะความสัมพันธเชิงมุมของพื้นที่ที่เกิดการพังทลาย (Daylight zone)

2.3.2.2 การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพความมั่นคงของมวลหินโดยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating; SMR)

การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพความมั่นคงของมวลหินโดยวิธี Slope Mass Rating (SMR) เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับหลาย ซึ่งเป็นวิธีการที่พัฒนามาจากการจำแนกคุณภาพมวลหิน (Rock Mass Rating; RMR) ของ Bieniawski (1989) โดย RMR ประกอบด้วยพารามิเตอร์ของหินที่ต้องประเมิน 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ 1) ความแข็งแรงของหินที่ได้จากการทดสอบ (Strength of intact rock material) 2) คุณภาพมวลหิน (Rock Quality Designation; RQD) 3) ระยะห่างของความไม่ต่อเนื่อง (Spacing of discontinuities) 4) สภาพความไม่ต่อเนื่อง (Condition of discontinuities) และ 5) สภาพน้ำใต้ดิน (Groundwater in joint) โดยรายละเอียดของแต่ละพารามิเตอร์ มีดังนี้

1) ความแข็งแรงของหินที่ได้จากการทดสอบ (Strength of intact rock material)

การตรวจวัดค่าความแกร่งของมวลหินบริเวณตำแหน่งที่สำรวจศึกษา สามารถทดสอบได้หลายวิธี เช่น การทดสอบด้วย Point-load test หรือการทดสอบด้วย Uniaxial compressive strength โดยการนำตัวอย่างหินสด (Fresh rock) บริเวณที่ศึกษามาทดสอบความแกร่งจากแรงที่กดอัดลงไป ในเนื้อหิน จนกระทั่งมวลหินดังกล่าววิบัติ หรือแตกออกจากกัน แล้วนำค่าที่ได้ไปเทียบหาน้ำหนักคะแนนในตารางที่ 2-2

2) คุณภาพมวลหิน (Rock Quality Designation; RQD)

คุณภาพของตัวอย่างหินที่ได้จากการเจาะสำรวจแบบหมุน (Rotary drilling) เก็บตัวอย่างแกนหินทุกๆ 1 เมตร โดยเปอร์เซ็นต์ของคุณภาพหินคำนวณได้ ดังนี้

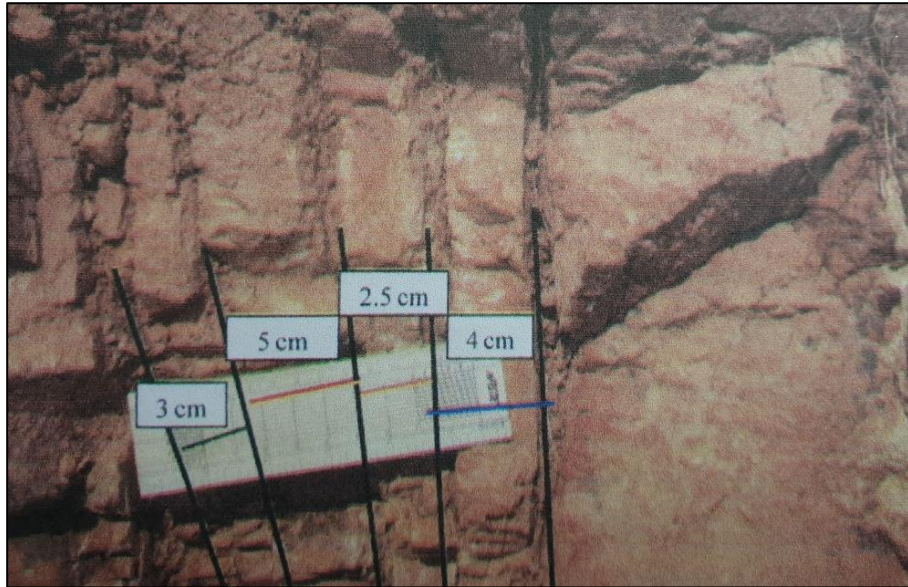
$$\text{Rock Quality Designation (RQD)} = \frac{\text{ผลรวมของ core ที่ยาว} \geq 10 \text{ cm.}}{\text{Core run}} \times 100$$

เปอร์เซ็นต์ของคุณภาพหินที่คำนวณได้จะนำไปเปรียบเทียบกับน้ำหนักคะแนนใน

ตารางที่ 2-2

3) ระยะห่างของความไม่ต่อเนื่อง (Spacing of discontinuities)

โดยทั่วไปทิศทางการวางตัวของแนวแตกในมวลหินจะมีระยะห่างของแนวแตก จาก ระยะแนวแตกหนึ่งไปอีกแนวแตกหนึ่งซึ่งอาจจะมีค่าที่วัดได้หลายค่า วิธีการวัดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยดังแสดง ในรูปที่ 2-12 แล้วนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวไปเทียบค่าคะแนนในตารางที่ 2-2



รูปที่ 2-12 แสดงวิธีการวัดระยะห่างของแนวแตก (Joint spacing)

4) สภาพของความไม่ต่อเนื่อง (Continuity of discontinuities)

ข้อมูลและลักษณะต่างๆของแนวแตก ได้แก่ ลักษณะพื้นผิวของแนวแตก ความต่อเนื่องของแนวแตก ความกว้างของแนวแตก และอัตราการผุพังของมวลหิน จะนำมาพิจารณาร่วมกัน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าคะแนนในตารางที่ 2-2

5) สภาพน้ำใต้ดิน (Groundwater in joints)

น้ำใต้ดินเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการจัดจำแนกมวลหิน เนื่องจากความชื้นในมวลหิน จนถึงการไหลของน้ำใต้ดินจะส่งผลต่อคุณภาพมวลหินบริเวณดังกล่าวทำให้มีคุณภาพลดลง ดังนั้นในตำแหน่ง ที่ทำการสำรวจควรต้องทำการระบุวัน เดือน ปี และฤดูกาลให้ชัดเจน เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินในแต่ละวัน เวลา และฤดูกาลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งจะมีผลต่อการวิเคราะห์ และการให้น้ำหนักคะแนนของปัจจัย น้ำใต้ดินเทียบในตารางที่ 2-2

โดยรายละเอียดการแบ่งช่วงค่าของแต่ละพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 2-2

$$\text{RMR} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

โดยที่ RMR มีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 0-100

การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพความมั่นคงของมวลหินด้วยวิธี Slope Mass Rating (SMR) ถูกคิดค้นและพัฒนาโดย Romana ในปี 1985 โดยอาศัยหลักการพิจารณาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของมวลหิน เป็นการพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการจัดอันดับคุณภาพของมวลหิน (Rock Mass Rating; RMR)

ร่วมกับความสัมพันธ์ของแนวแตกกับมุมเอียงของการตัด/ชุดเปิดลาดไหล่เขา (Joint-slope face relationship) เนื่องจากในกรณีการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพความมั่นคงของมวลหิน บริเวณฐานราก เขื่อน อุโมงค์ หรือลาดไหล่เขา มีความจำเป็นที่จะต้องทราบทิศทางการวางตัวของแนวแตกหลัก และแนวแตกรองที่มีผลต่อคุณภาพมวลหินที่จะทำการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดของลาดไหล่เขา (Slope face) กับทิศทางการวางตัวของแนวแตก (Joint) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$SMR = RMR + (F1.F2.F3) + F4$$

การพิจารณาค่าคะแนนสำหรับแนวแตก (Joints) สำหรับพารามิเตอร์ F1 F2 และ F3 ดังแสดงในตารางที่ 2-3 และวิธีการชุดเปิดลาดไหล่เขาสำหรับพารามิเตอร์ F4 ดังแสดงในตารางที่ 2-4 ซึ่งมีรายละเอียดของพารามิเตอร์ ดังนี้

1) F1 ขึ้นอยู่กับการขนานกันของทิศทางวางตัวของชั้นหินและทิศทางของการชุดเปิด (Joints and slope face strikes) มีค่าอยู่ในช่วง 1.0 (กรณีที่ทิศทางวางตัวของชั้นหินขนานกัน) ถึง 0.15 (กรณีที่มุมระหว่าง Joint และ Slope face มากกว่า 300°) โดยที่

$$F1 = (1 - \sin A)^2$$

โดยที่ A = มุมระหว่างทิศทางวางตัวของ Joints และ Slope face

2) F2 เป็นค่ามุมเอียงเทของแนวแตก (Joint dip angle; β_j)

$$F2 = \beta_j$$

3) F3 เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Slope face และ Joints dip

4) F4 เป็นค่าคะแนนสำหรับวิธีการชุดเปิด

ค่าคะแนนที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating ; SMR) จะแสดงถึงสภาพลักษณะของความมั่นคง และปัญหารูปแบบการพังทลายของมวลหินในบริเวณพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 2-5 และตารางที่ 2-6 และจะสามารถกำหนดวิธีการออกแบบปรับปรุงพื้นที่ลาดไหล่เขาดังกล่าวให้มีเสถียรภาพความมั่นคงได้ดังแสดงในตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-2 Bieniawski Ratings for Rock Mass Rating (RMR) (Romana, 1985)

| Parameter | | Ranges of values | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------|--|--|--|--|--|---------|--------|
| Strength of intact rock material | Point load index | >10 MPa | 4-10 MPa | 2-4MPa | 1-2MPa | For this low rang uniaxial compressive test in preferred | | |
| | Uniaxial compressive | >250 MPa | 100-250MPa | 50-100MPa | 25-50MPa | 5-25 MPa | 1-5 MPa | <1 MPa |
| | <i>Rating</i> | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| Rock quality designation; RQD | | 90-100 % | 75-90 % | 50-75 % | 25-50 % | <25% | | |
| | <i>Rating</i> | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| Spacing of discontinuities | | >2 m | 0.6-2 m | 200-600 mm | 60-200 mm | <60 mm | | |
| | <i>Rating</i> | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| Condition of discontinuities | | Very rough surfaces. Not discontinuous No separation Unweathered wall rock | Slightly rough Surfaces. Separation < 1 mm. Slightly weathered walls | Slightly rough Surfaces. Separation < 1 mm. Slightly weathered walls | Slicksided Surfaces or gouge < 5 mm thick or separation 1-5 mm. Continuous | Soft gouge > 5 mm. or separation > 5 mm. Continuous | | |
| | <i>Rating</i> | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | | |
| Groundwater in joints | | Completely | Damp | Wet | Dripping | Flowing | | |
| | <i>Rating</i> | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | |

ตารางที่ 2-3 The adjustment rating for joint (Romana, 1985)

| Case | | Very favorable | Favorable | Fair | Unfavorable | Very unfavorable |
|------|----------------------------------|----------------|------------|----------|-------------|------------------|
| P | $ \alpha_j - \alpha_s $ | > 30° | 30 – 20° | 20 – 10° | 10 – 5° | 5° |
| T | $ (\alpha_j - \alpha_s) - 180° $ | | | | | |
| P/T | F_1 | 0.15 | 0.40 | 0.70 | 0.85 | 1.00 |
| P | $ \beta_j $ | < 20° | 20 – 30° | 30 – 35° | 35 – 45° | 45° |
| P | F_2 | 0.15 | 0.40 | 0.70 | 0.85 | 1.00 |
| T | F_2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| P | $\beta_j - \beta_s$ | > 10° | 10° – 0° | 0° | 0° to – 10° | < – 10° |
| T | $\beta_j + \beta_s$ | < 110° | 110 – 120° | > 120° | – | – |
| P/T | F_3 | 0 | –6 | –25 | –50 | –60 |

P, plane failure; T, toppling failure; α_j , joint dip direction; α_s , slope dip direction; β_j , joint dip; β_s , slope dip

ตารางที่ 2-4 Adjustment rating for methods of excavation of slopes (Romana, 1985)

| Method | Natural Slope | Presplitting | Smooth blasting | Blasting or mechanical | Deficient blasting |
|--------|---------------|--------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| F_4 | +15 | +10 | +8 | 0 | –8 |

1) F1 ขึ้นอยู่กับการขนานกันของทิศทางการวางตัวของชั้นหินและทิศทางการวางตัวของรอยแตก (Joints and slope face strikes) มีค่าอยู่ในช่วง 1.0 (กรณีที่ทิศทางการวางตัวของชั้นหินขนานกัน) ถึง 0.15 (กรณีที่มุมระหว่างทิศทางการวางตัวของ Joint และ Slope face มากกว่า 30°) โดยที่

$$F1 = (1 - \sin A)^2$$

โดยที่ A = มุมระหว่างทิศทางการวางตัวของ Joints และ Slope face

2) F2 เป็นค่ามุมเอียงเทของแนวแตก (Joint dip angle; β_j)

$$F2 = \beta_j$$

3) F3 เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Slope face dip และ Joints dip

4) F4 เป็นค่าคะแนนสำหรับวิธีการขุดเปิด

ตารางที่ 2-5 Probable failures according SMR values (Romana, 1985)

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---|----------|-------|-------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|---------------|----|----|-----|
| Plane Failure | | VERY BIG | MAJOR | NONE | | | | | | | | | | | | |
| Wedge Failure | | | MANY | SOME | VERY FEW NONE | | | | | | | | | | | |
| Toppling | | MAJOR | | MINOR | NONE | | | | | | | | | | | |
| Mass Failure | | POSSIBLE | NONE | | | | | | | | | | | | | |
| SMR | 0 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 90 | 100 |
| REEXCAVATION | Excavation walls | | | | | | | | | | | | | | | |
| DRAINAGE | Surface drainage deep drainage | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONCRETE | Shotcrete, Dental concrete, Ribs and/or beams, Toe walls | | | | | | | | | | | | | | | |
| REINFORCEMENT | Bolts, Anchors | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROTECTION | Toe ditch, Toe or Slope Fences, Nets | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO SUPPORT | | | | | | | | | | | | | Scaling, None | | | |

ตารางที่ 2-6 Suggest support methods (Romana, 1985)

| lass | SMR | Description | Stability | Failures |
|------|--------|-------------|---------------------|----------------------------|
| I | 81-100 | Very good | Complete stable | None |
| II | 61-80 | Good | Stable | Some blocks |
| III | 41-60 | Normal | Partial stable | Some joints or many wedges |
| IV | 21-40 | Bad | Unstable | Planar or big wedges |
| V | 0-20 | Very bad | Completely unstable | Big planar or soil-like |

ตารางที่ 2-7 ตารางสรุปค่าคะแนน Slope Mass Rating (SMR) และวิธีการเสริมความมั่นคงและป้องกันการพังทลายของลาดหิน (Romana, 1985)

| Class | SMR | Protection |
|-------|--------|---|
| I A | 91-100 | None |
| II A | 81-90 | None, Scaling |
| I B | 71-80 | Toe ditch or fence, Nets spot |
| II B | 61-70 | Toe ditch or fence. Net spot or systematic bolting. |
| III A | 51-60 | Toe ditch and/or net spot or systematic bolting. Shotcrete. |
| III B | 41-50 | Toe ditch and/or nets. Systematic bolting. Anchors. Systematic shotcrete. Toe wall and/or dental concrete. |
| IV A | 31-40 | Toe ditch and/or nets. Systematic bolting. Anchors. Systematic shotcrete. Toe wall and shotcrete. |
| IV B | 21-30 | Systematic shotcrete. Toe wall or reinforce concrete. |
| V A | 10-20 | Protection wall or anchored wall. |

บทที่ 3
กรณีศึกษา
การวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา
โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

3.1 ความเป็นมา/สภาพปัญหา

ตามที่รองอธิบดีกรมชลประทานฝ่ายก่อสร้าง (นายประพิศ จันทร์มา) พร้อมคณะประกอบด้วยที่ปรึกษากรมด้านออกแบบ (นายสมเกียรติ ตั้งจิตตพร) ได้เดินทางเพื่อติดตามความก้าวหน้าของการก่อสร้างโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2560 และให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับความมั่นคงของลาดหินบริเวณลาดไหล่เขาฝั่งซ้ายของอาคารระบายน้ำล้น ซึ่งมีการตัด ลาดไหล่เขา และเกิดการเคลื่อนตัวของลาดหิน แต่ไม่ได้ออกแบบเสริมความมั่นคง และการป้องกันกัดเซาะและแนวโน้มการพังทลายของลาดดินลาดหิน บริเวณพื้นที่รอบอ่างเก็บน้ำโดยรอบ ซึ่งเห็นสมควรให้ทำการสำรวจวิเคราะห์ปัญหาและร่วมหาทางแก้ไขต่อไป

สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา โดยส่วนวิศวกรรมธรณี ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบการศึกษาความมั่นคงของลาดไหล่เขา ได้รับมอบหมายให้ทำการสำรวจและวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดไหล่เขาของลาดดิน-หิน ในบริเวณพื้นที่โดยรอบอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูล และกำหนดวิธีการปรับปรุงเสถียรภาพในการออกแบบการป้องกันการพังทลาย และการกัดเซาะบริเวณลาดไหล่เขาของโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2561-2562

3.2 รายละเอียดโครงการ

ลักษณะโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน สามารถสรุปได้ ดังนี้

(1) ที่ตั้ง

ที่ตั้ง หมู่ที่ 6 บ้านขุนห้วยแม่สอด ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
พิกัด 1847956.79 น. 461863.84 อ.
แผนที่ 1:50,000 ชุด L7018 ระวัง 4742III

(2) สภาพอุทกวิทยา

| | | |
|------------------------------------|---------|---------------------|
| พื้นที่รับน้ำฝน | 37 | ตารางกิโลเมตร |
| ความยาวลำน้ำประมาณ | 11.82 | กิโลเมตร |
| ความลาดเทลำน้ำโดยเฉลี่ย | 1:3 | |
| อัตราการกัดเซาะของลำน้ำโดยเฉลี่ย | 0.011 | มิลลิเมตร/ปี |
| ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย | 1,378.3 | มิลลิเมตร |
| ปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างฯ เฉลี่ยต่อปี | 27.17 | ล้านลูกบาศก์เมตร |
| ปริมาณน้ำนองสูงสุดรอบ 100 ปี | 158 | ลูกบาศก์เมตร/วินาที |
| 500 ปี | 234 | ลูกบาศก์เมตร/วินาที |

(3) ทำนบดิน

| | | |
|---------------------|-----------|------|
| ชนิดเขื่อน | เขื่อนดิน | |
| สันเขื่อนกว้าง | 9 | เมตร |
| ส่วนที่สูงที่สุดสูง | 61 | เมตร |

| | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------|
| สันเขื่อนยาว | 335 | เมตร |
| ระดับสันเขื่อน | +348.00 | เมตร (ร.ท.ก.) |
| (4) อ่างเก็บน้ำ | | |
| ระดับน้ำสูงสุด | +346.00 | เมตร (ร.ท.ก.) |
| ระดับน้ำเก็บกัก | +344.00 | เมตร (ร.ท.ก.) |
| ระดับน้ำต่ำสุด | +310.00 | เมตร (ร.ท.ก.) |
| ระดับท้องน้ำ | +287.00 | เมตร (ร.ท.ก.) |
| ความจุอ่างที่ระดับน้ำเก็บกัก | 13.33 | ล้านลูกบาศก์เมตร |
| ความจุอ่างที่ระดับน้ำต่ำสุด | 0.76 | ล้านลูกบาศก์เมตร |
| ความจุอ่างใช้งาน | 12.57 | ล้านลูกบาศก์เมตร |
| พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับน้ำเก็บกัก | 463 | ไร่ (0.74 ตารางกิโลเมตร) |
| พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับน้ำสูงสุด | 506 | ไร่ (0.81 ตารางกิโลเมตร) |
| (5) อาคารประกอบ | | |
| อาคารระบายน้ำล้น | ฝั่งซ้าย ชนิด Side Channel Spillway | |
| - ความยาวสันน้ำล้น | 45 | เมตร |
| อัตราการระบายน้ำสูงสุด | 262 | ลูกบาศก์เมตร/วินาที |
| อาคารท่อน้ำฝั่งซ้าย | | |
| - ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ | 1.50 | เมตร |
| (6) ระบบส่งน้ำ | | |
| ปล่อยน้ำลงลำน้ำเดิมผ่านอาคารท่อน้ำ (River Outlet) ลงอ่างเก็บน้ำห้วยแม่สอด และระบบชลประทานด้านท้ายน้ำ | | |
| ปล่อยน้ำผ่านอาคารท่อน้ำ (River Outlet) เข้าโรงไฟฟ้าพลังน้ำห้วยแม่สอด เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและปล่อยกลับลงอ่างเก็บน้ำห้วยแม่สอดหลังผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว | | |
| (7) การใช้น้ำของโครงการ | | |
| น้ำอุปโภค - บริโภค | | |
| ชุมชนชนบทบ้านเอื้องดอย บ้านหัวฝาย บ้านค้ำภิบาล | 0.17 | ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี |
| ชุมชนเมืองและอุตสาหกรรม | 5.41 | ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี |
| ปริมาณน้ำที่ผ่านโรงไฟฟ้าพลังน้ำห้วยแม่สอด | 14.226 | ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี |
| ปริมาณน้ำชลประทาน พื้นที่อ่างฯ แม่สอดตอนบน | 1.981 | ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี |
| ปริมาณน้ำชลประทาน พื้นที่แม่ดาวฝั่งขวา | 5.122 | ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี |
| ปริมาณน้ำชลประทาน พื้นที่ชลประทานปัจจุบัน | 13.840 | ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี |
| (8) พื้นที่ชลประทานสุทธิ | | |
| พื้นที่ชลประทานจากอ่างแม่สอดตอนบน | ฤดูฝน 1,740 | ไร่ |
| | ฤดูแล้ง 1,070 | ไร่ |
| พื้นที่ชลประทานแม่ดาวฝั่งขวา | ฤดูฝน 5,000 | ไร่ |
| | ฤดูแล้ง 4,280 | ไร่ |
| พื้นที่ชลประทานสุทธิรวม | ฤดูฝน 6,740 | ไร่ |
| | ฤดูแล้ง 5,350 | ไร่ |

(9) ชุมชนในเขตพื้นที่รับประโยชน์

ครอบคลุมบางส่วนของชุมชนดังต่อไปนี้

- ต.พระธาตุผาแดง - บ้านหัวฝาย
 - บ้านเอื้องคอย
 - บ้านค้ำภิบาล
 - บ้านพะเค๊ะ
 - บ้านแม่ตาวใหม่
- ต.แม่ตาว - แม่ตาวใต้
 - แม่ตาวกลาง
 - แม่ตาวแพะ

(10) ราคาค่าก่อสร้างโครงการ

| | | |
|--|-------|---------|
| ค่าก่อสร้างถนนทดแทน บ้านขุนห้วยแม่สอด | 35 | ล้านบาท |
| ค่าก่อสร้างเขื่อนและอาคารประกอบ และค่าชดเชย | 200 | ล้านบาท |
| ค่าก่อสร้างระบบชลประทาน | 74.32 | ล้านบาท |
| ค่าก่อสร้างปรับปรุงโรงไฟฟ้าพลังน้ำห้วยแม่สอด | 72.07 | ล้านบาท |

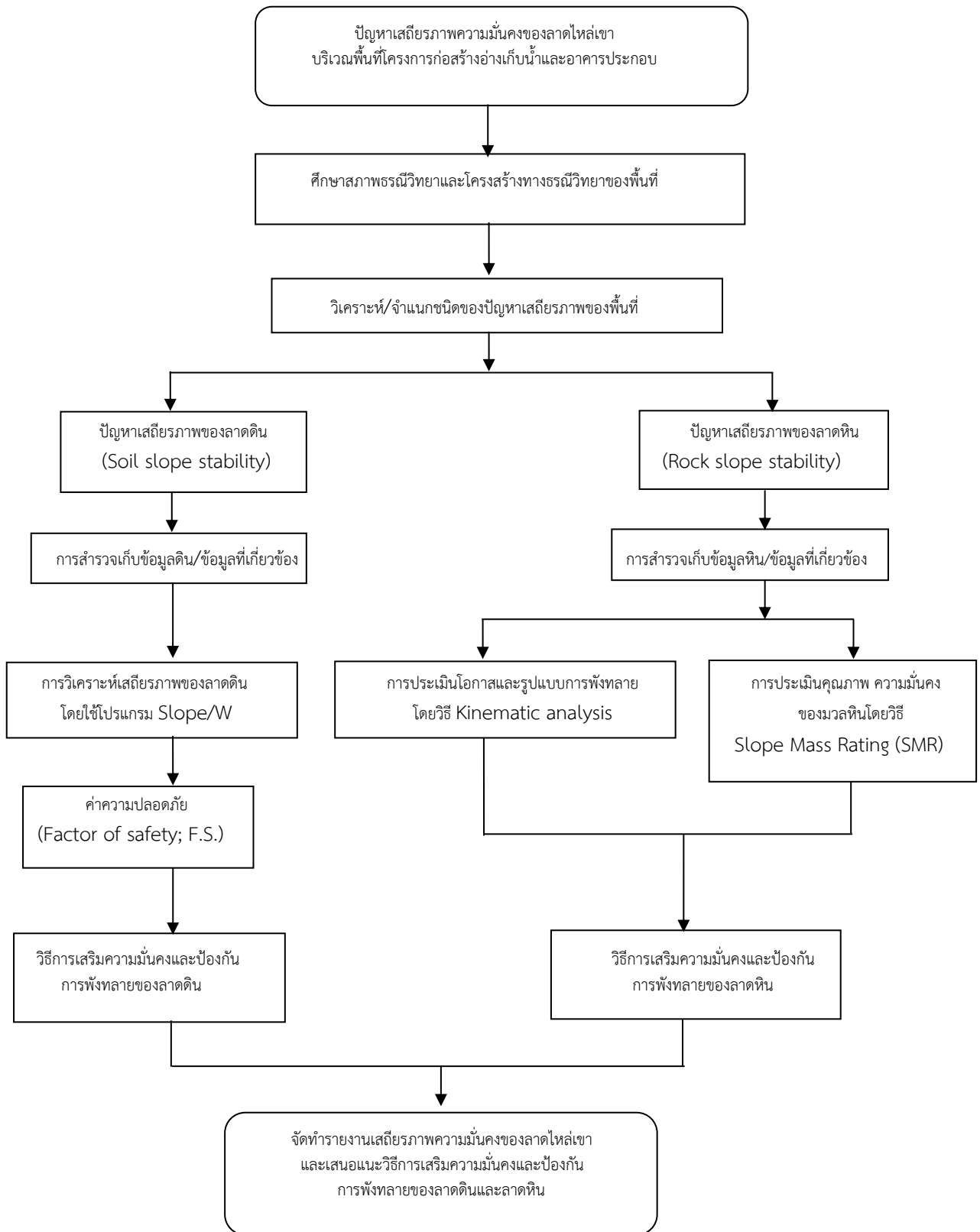
(11) ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ (ที่อัตราคิดลดร้อยละ 12)

| | | |
|---|-------|-------------|
| มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) | 83.71 | ล้านบาท |
| อัตราส่วนระหว่างผลตอบแทนต่อค่าลงทุน (B/C Ratio) | 1.26 | ล้านบาท |
| อัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ (EIRR) | 14.56 | เปอร์เซ็นต์ |

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

การวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขาของโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ประกอบด้วย การสำรวจและศึกษาสภาพธรณีวิทยา และธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ การวิเคราะห์และจำแนกชนิดของปัญหาเสถียรภาพของพื้นที่ การสำรวจเก็บข้อมูล การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดหินโดยวิธีจลนศาสตร์ (Kinematic analysis) การวิเคราะห์และประเมินความมั่นคงลาดหินโดยวิธี Slope Mass Rating (SMR) รวมทั้งเสนอวิธีการเสริมความมั่นคงและป้องกันการพังทลายของลาดดิน ลาดหิน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังแสดงในรูปที่ 3-1

ขั้นตอนการดำเนินการ



รูปที่ 3-1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการ

3.4 สภาพธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้าง

ข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยา ราวทางอำเภอแม่สอด มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ.2541 ดังแสดงในรูปที่ 3-2 สภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วย หินยุคเพอร์เมียน (Permian) หินยุคไทรแอสซิก (Triassic) และหินยุคจูแรสซิก (Jurassic) โดยหินยุคเพอร์เมียน พบกระจายตัวต่อเนื่อง บริเวณตอนบนด้านทิศตะวันออกและบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา สามารถแบ่งหน่วยหิน ออกเป็น 2 หน่วย คือ หน่วยหิน P1 ประกอบด้วย หินดินดาน (Shale) สีดำ แสดงการเรียงชั้นอย่างชัดเจน (Well-bedded) หินทราย (Sandstone) สีเทาเข้มถึงดำ เนื้อละเอียด (Fine-grained) เนื้อควอตซ์ (Quartzitic) แสดงการเรียงชั้นอย่างชัดเจนถึงไม่แสดงชั้น (Well-bedded to massive) หินทรายแป้ง (Siltstone) สีเทาเข้ม และหน่วยหิน P2 ประกอบด้วย หินปูน (Limestone) เนื้อโดโลไมต์ (Dolomitic) สีเทาอ่อน ถึงเทาเข้มไม่แสดงชั้น หินทราย (Sandstone) สีขาว เนื้อควอตซ์ แสดงชั้นหนาถึงไม่แสดงชั้น (Thick bedded to massive) การคัดขนาดดีและความกลมมนดี (Well sorted and Well rounded) หินเชิร์ต (Chert) แสดงการ เรียงชั้นอย่างชัดเจน (Well-bedded) สีน้ำตาลอ่อน และหินโคลน (Mudstone) เนื้อซิลิกา (Silicified) หินยุค ไทรแอสซิก พบบริเวณขอบด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา คือ หน่วยหิน Tr1 ประกอบด้วย หินกรวดมน (Conglomerate) กรวดของหินปูน หินดินดาน หินเชิร์ต หินควอตซ์ไซต์ (Pebble of limestone, shale, chert, quartzite) สมานเนื้อด้วยทรายแป้งสีแดง (Red silt cemented) แสดงชั้นหนาถึงไม่แสดงชั้น (Thick bedded to massive) หินทราย (Sandstone) สีแดง เนื้อละเอียดถึงหยาบ (Fine to coarse-grained) การคัดขนาดไม่ดี (Poor sorted) และหินทรายแป้ง (Siltstone) ส่วนหินยุคจูแรสซิก พบกระจายตัวต่อเนื่อง เป็นบริเวณกว้างทาง ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา คือ หน่วยหิน J1 ประกอบด้วย หินดินดานเนื้อปูน (Calcareous) สีเทา แสดงการเรียงชั้น อย่างชัดเจนถึงแสดงชั้นหนา พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกแอมโมไนต์ หินปูนเนื้อดิน (Argillaceous limestone) แสดงการเรียงชั้นอย่างชัดเจนถึงแสดงชั้นหนา (Well to thick bedded) สีเทาถึงสีดำ และหินทรายแป้ง (Siltstone) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มหินห้วยฝาย โดยพบว่าหินทั้ง 3 ยุค มีการวางตัวแบบรอยชั้นไม่ต่อเนื่อง (Unconformity)

จากการสำรวจสภาพธรณีวิทยาบริเวณลาดไหล่เขา พื้นที่อ่างเก็บน้ำ และบริเวณฐานยันทั้งสองข้าง พบว่าประกอบด้วยหน่วยหินอายุแอสซิก (J1) เป็นส่วนใหญ่ที่ประกอบด้วยหินปูนเนื้อดิน (Argillaceous limestone) สีเทา แสดงชั้นอย่างชัดเจนถึงแสดงชั้นหนา (Well to thick bedded) มีความแกร่งสูง (High strength) ชั้นหินส่วนใหญ่เอียงตัวไปทางท้ายน้ำประมาณ 25 องศา วางตัวแทรกสลับ หินทรายแป้ง (Siltstone) สีเทาถึงเทาเข้ม และสีม่วงแดง เนื้อหินถูกอัดแน่นดี (Well compaction) มีคุณสมบัติที่เปราะ แตกหักง่าย เมื่อสัมผัสอากาศเนื่องจากเกิดขบวนการแตกหักในสภาพแห้ง (Slaking) ชั้นหินทรายแป้งที่พบเกิดเป็นชั้นบางๆ ถึงหนาปานกลาง (Thin to medium bedded) วางตัวเอียงไปทิศทาง เดียวกันกับชั้นการวางตัวของหินปูนเนื้อดิน (Argillaceous limestone) โดยเอียงตัวไปทางท้ายน้ำ

สภาพธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นหินที่วางตัวปิดทับกันอยู่ระหว่างชุดหินปูนเนื้อดินกับชุดหินทราย แป้ง พบว่าเกิดการทรุดตัว แตกหัก และร่วงหล่นลงมาตามลาดไหล่เขาเนื่องจากหินปูนเนื้อดินดังกล่าววางตัว อยู่บนหินทรายแป้งที่มีคุณสมบัติแตกหักจนเป็นเศษหินขนาดเล็กได้ง่าย จากขบวนการแตกหักในสภาพแห้ง เกิดการแตกร่วน และทรุดตัวลง จึงทำให้หินปูนเนื้อดิน ที่วางตัวปิดทับอยู่เกิดการทรุดตัวตาม และหลุด เป็นบล็อกร่วงลงมาตามลาดไหล่เขาอย่างต่อเนื่อง

คุณสมบัติของชั้นดินด้านวิศวกรรม พบว่าชั้นดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายแป้งที่มีความเหนียว กลุ่ม Silt (ML) แทรกสลับด้วยดินทรายแป้งที่ไม่มีความเหนียวกลุ่ม Silty Sand (SM) และกลุ่มดินทรายแป้งปนกรวด

กลุ่ม Silty Gravel with Sand (GM) มีเศษหินปะปน (Rock fragments) มีความหนาประมาณ 0.5 – 4.0 เมตร มีคุณสมบัติความเป็นพลาสติก (Plasticity) อยู่ในระดับเล็กน้อย ถึงปานกลาง (Slight to Low plasticity) สีนํ้าตาล สีนํ้าตาลแดง และสีนํ้าตาลเข้ม

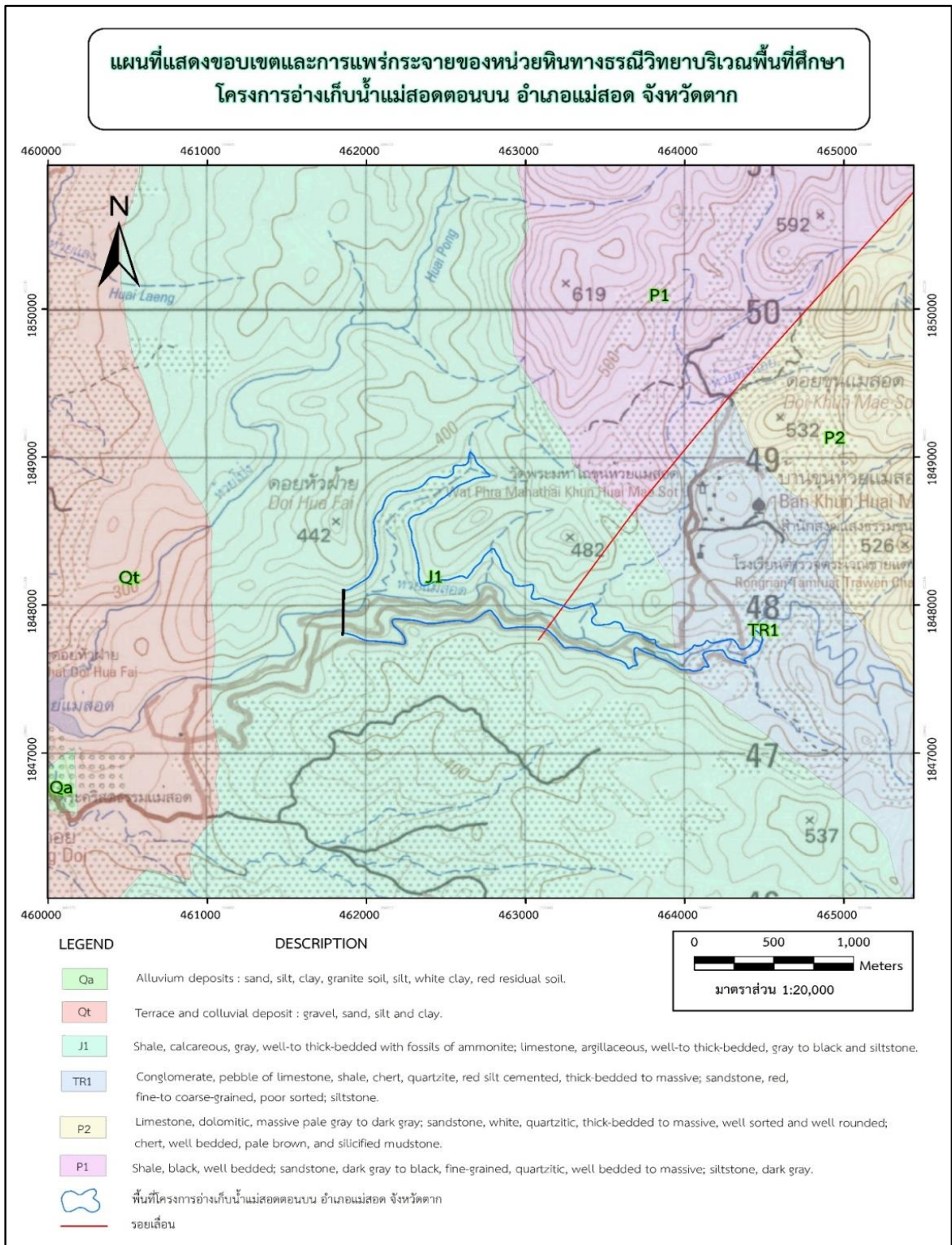
คุณสมบัติของหินทางด้านวิศวกรรม บริเวณพื้นที่พบว่า มีหน่วยหินอายุจูแรสซิก วางตัวแทรกสลับกัน จำนวน 2 ชุดใหญ่ๆ ได้แก่ ชุดหินปูนเนื้อดิน และชุดหินทรายแป้ง โดยหินปูนเนื้อดินพบเป็นชั้นค่อนข้างหนา ถึงหนามาก มีความแกร่งสูง มีแนวแตก (Joint) 3 ทิศทางใหญ่ๆ ได้แก่ แนวที่เกิดจากชั้นหินที่ตกตะกอน (Bedding) เอียงตัวไปทางท้ายน้ำ และแนวแตกอีก 2 แนววางตัวอยู่ในแนวตั้งฉากกัน มีมุมแนวแตกค่อนข้างชัน ถึงอยู่ในแนวตั้ง มีสนิมเหล็ก (FeO stained) ตามผิวของแนวแตก ซึ่งมีสภาพแนวแตกที่ขรุขระ (Rough surface) ส่วนชุดหินทรายแป้งพบชั้นหินทรายแทรกสลับเป็นชั้นบางๆ ชุดหินทรายแป้ง และหินทรายพบเป็นชั้นบางๆ ถึงชั้นหนापานกลาง มีคุณสมบัติที่แตกหักง่าย ทิศทางการวางตัวของแนวแตกในเนื้อหิน จะสอดคล้องกับแนวแตกที่เกิดในชุดหินปูนที่วางตัวปิดทับกันอยู่ แต่แนวแตกที่เกิดในหินทรายแป้งมีลักษณะค่อนข้างเรียบ (Smooth surface) จึงทำให้เกิดการเลื่อนไถลของมวลหินไปยังที่ลาดไหลเขาได้ง่ายมีลักษณะแตกหักที่เกิดจากการแตกหักในสภาพแห้ง (Slaking) จนมีสภาพปนร่วนเป็นเศษหินขนาดเล็ก

3.5 การสำรวจและการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน

สภาพภูมิประเทศบริเวณพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มีสภาพเป็นภูเขาสูง ความลาดชันของลาดไหลเขาประมาณ 20-30 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3-3 ชั้นดินส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดจากการผุพังของหินในพื้นที่ ซึ่งเป็นหินปูนเนื้อดิน (Argillaceous limestone) แทรกสลับด้วยหินทรายแป้ง (Siltstone) จึงทำให้กลุ่มดินที่พบส่วนใหญ่เป็นดินกลุ่ม SM (Silty sand), ML (Silt) กรวดทางน้ำ (Gravel, cobbles, boulders) และเศษหินปลัดห่อน (Rock fragments) ดังแสดงในรูปที่ 3-4 แผนที่หน่วยหินของบริเวณพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน

พื้นที่สำรวจกำหนดเป็นแนวสำรวจบนลาดไหลเขาโดยรอบพื้นที่ในอ่างเก็บน้ำมีความลาดชัน และชั้นดินที่คาดว่าจะมีความหนาพอที่จะมีความเสี่ยงต่อการพังทลายของมวลดินบนลาดไหลเขา โดยกำหนดแนวสำรวจทั้งหมดจำนวน 10 แนว ดังแสดงในรูปที่ 3-5 ใช้ส่วนเจาะดิน (Hand auger) เจาะอย่างน้อย 3 หลุมต่อแนวสำรวจกำหนดตำแหน่งเชิงเขา กลางเขา และยอดเขา พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างที่เจาะเก็บได้มาจำแนกวิเคราะห์ และแบ่งชนิดของกลุ่มดินแต่ละชั้น รายละเอียดการเก็บตัวอย่างผลการจำแนก แบ่งชนิดของกลุ่มดิน ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ผลการเจาะสำรวจ บริเวณพื้นที่สำรวจส่วนใหญ่พบว่าชั้นดินมีความหนาประมาณ 0.5-4 เมตร โดยเฉลี่ย 1.5 เมตร ประกอบด้วยชั้นดินทรายแป้งกลุ่ม Silt (ML) มีเม็ดตะกอนละเอียด (Fine grained) มีความเหนียวปานกลาง (Medium plasticity fines) สีนํ้าตาลอ่อนถึงเข้ม มีเศษหินปะปน นอกจากนี้ยังมีชั้นดินกลุ่ม SM (Silty sand) มีเม็ดตะกอนละเอียด ไม่มีความเหนียวถึงเหนียวเล็กน้อย (Non to slight plasticity fines) มีกรวดทางน้ำ และเศษหินปะปน



รูปที่ 3-2 แผนที่แสดงขอบเขตและการแพร่กระจายของหน่วยหินทางธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา (ดัดแปลงมาจากแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี พิมพ์และเผยแพร่ พ.ศ.2541 ราวทางอำเภอแม่สอด มาตราส่วน 1:50,000)

ความหนาของชั้นดินบนลาดไหล่เขา และคุณสมบัติของกลุ่มดินนำมาวิเคราะห์ความมั่นคงมวลดินบนลาดไหล่เขา โดยโปรแกรม Slope/W กำหนดสมมุติฐานการวิเคราะห์ออกเป็น 4 กรณี ได้แก่

- 1) กรณีอ่างเก็บน้ำมีระดับกักเก็บน้ำสูงสุด
- 2) กรณีอ่างเก็บน้ำมีระดับกักเก็บน้ำปกติ
- 3) กรณีอ่างเก็บน้ำมีระดับกักเก็บน้ำ 50% ของระดับกักเก็บ
- 4) กรณีอ่างเก็บน้ำมีระดับกักเก็บน้ำต่ำสุด

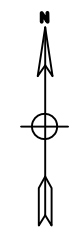
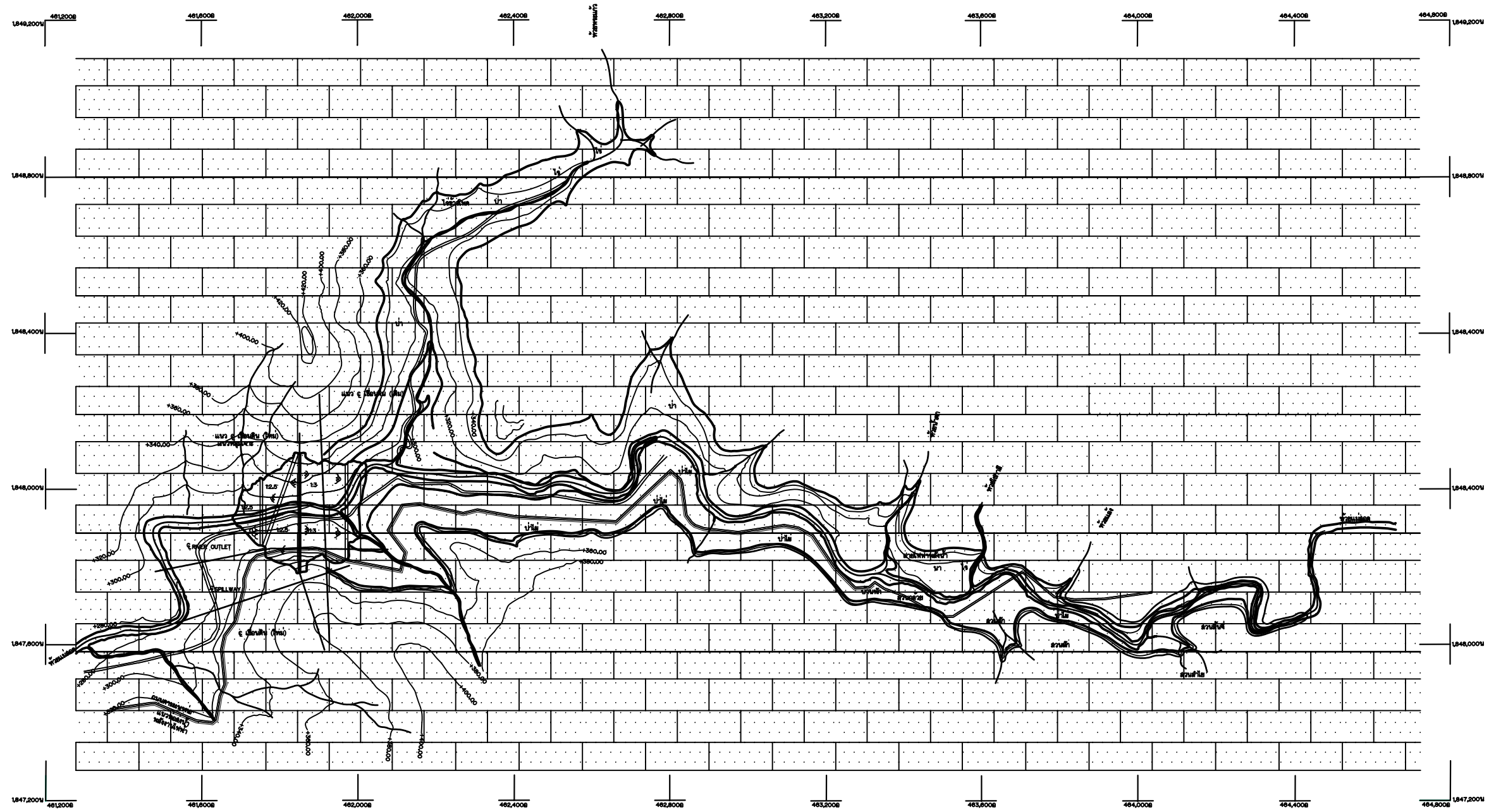
โดยแต่ละกรณีได้กำหนดรูปแบบในการวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลดินบนลาดไหล่เขาไว้ 3 รูปแบบ ได้แก่

- 1) รูปแบบที่ไม่มีน้ำหนักกดทับ (No load)
- 2) รูปแบบที่มีน้ำหนักกดทับบนลาดไหล่เขา (Surcharge load)
- 3) รูปแบบที่มีการรับแรงกระทำจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว (Seismic load)

ทำการวิเคราะห์แบบจำลองในสถานะที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Steady state) รูปแบบการวิเคราะห์ให้ชั้นดินทั้งหมดเป็น Silt (ML) ซึ่งเป็นกลุ่มดินส่วนใหญ่ที่กระจายตัว อยู่บนลาดไหล่เขา และเป็น Cohesion soil เทียบได้กับ Sandy Loan (ค่ามาตรฐานที่นำมาใช้เทียบหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นดินดังแสดงในตารางที่ 3-2 ตารางที่ 3-3 และตารางที่ 3-4) โดยชั้นดินกลุ่ม Silt (ML) เทียบคุณสมบัติค่า Density (ρ) = 1,600 Kg/m³ (15.69 KN/m³) เป็นชนิด Stiff clay มีค่า Friction angle (Φ) = 15 องศา และมีค่า Cohesion (C) = 2,000 lb/ft² (95.76 KPa) ผลการวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัย (Factor of safety) ของมวลดินบนพื้นที่ลาด บริเวณอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบนแสดงในหัวข้อที่ 3.6.1

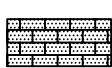


รูปที่ 3-3 สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ลาดชันตามไหล่เขา มีความลาดชันประมาณ 20-30 องศา



แปลน
มาตราส่วน 1:4,000

LEGEND

 ARGILLACEOUS LIMESTONE INTERCALATED WITH SANDSTONE AND SILTSTONE

AGE

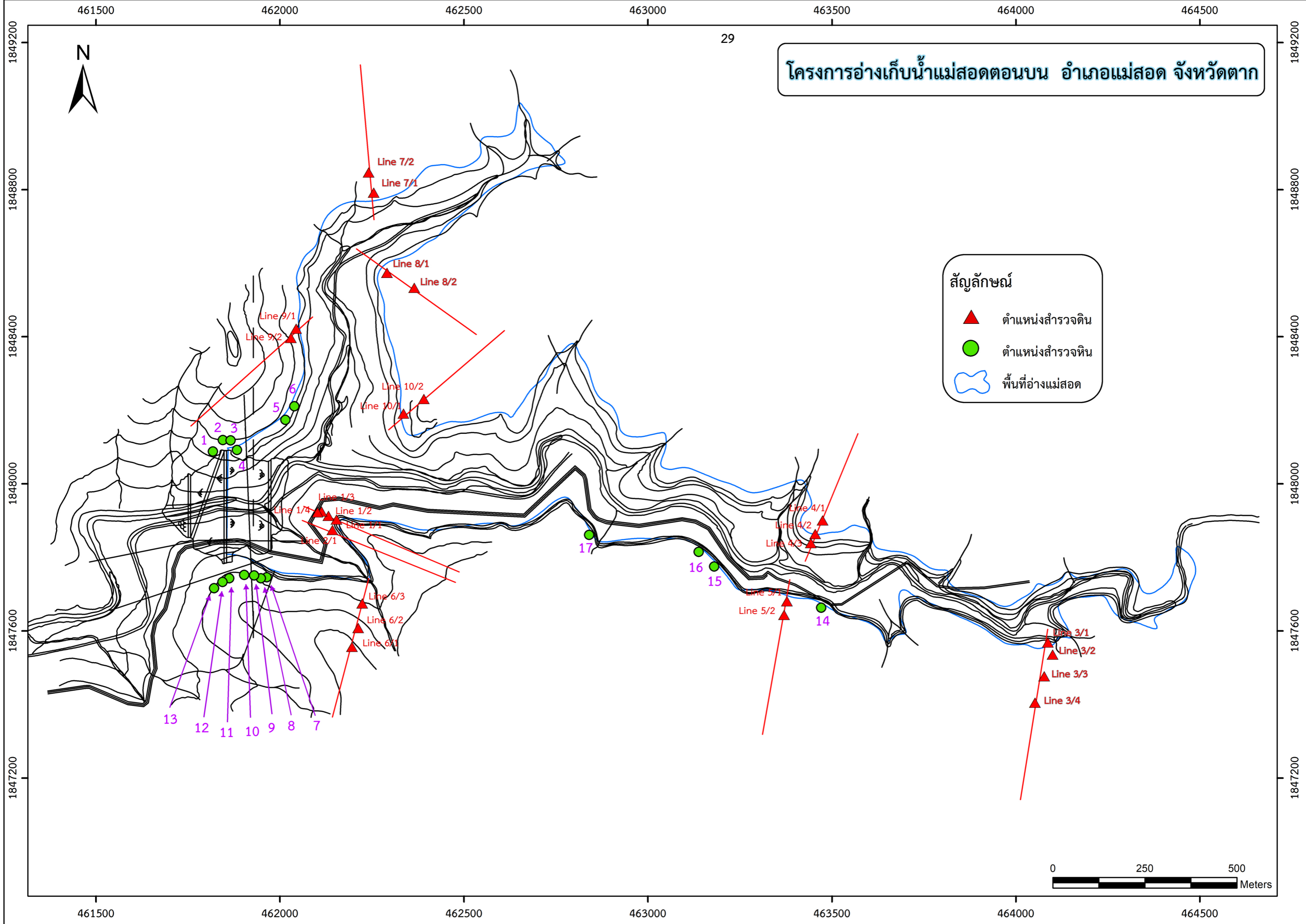
LOWER JURASSIC

DESCRIPTION

Argillaceous Limestone ; gray, HCL-reaction, moderately weathered, medium hard to hard rock, bedded.
Sandstone ; gray, fine grained, well carbonate cemented, well sorted, moderately weathered, medium hard to hard rock, bedded.
Siltstone ; gray, very fine grained, well carbonate cemented, some conchoidal fracture, slaking and weakness, thin bedded.

รูปที่ 3-4 แผนที่แสดงหน่วยหินในบริเวณพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สวดตอนบน จังหวัดตาก

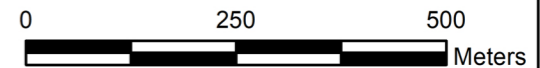
กรมชลประทาน
โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สวดตอนบน
อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก



โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สวดตอนบน อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก

สัญลักษณ์

- ▲ ตำแหน่งสำรวจดิน
- ตำแหน่งสำรวจหิน
- พื้นที่อ่างแม่สวด



รูปที่ 3-5 แผนที่แสดงตำแหน่ง (station) ศึกษาและวิเคราะห์หิน และแนวสำรวจชั้นดินบนลาดไหล่เขา

ตารางที่ 3-1 แสดงรายละเอียดการเก็บตัวอย่างผลการจำแนก แบ่งชนิดของกลุ่มดิน

| แนวสำรวจ | จุดที่ | บริเวณ (รูปภาพ) | หมายเลขตัวอย่าง | พิกัด | | Elevation (m) | บรรยายลักษณะดิน | ชนิดดิน | ความหนาของชั้นดิน (เมตร) | Slope face (องศา) | วันที่ |
|----------|--|---|---|---------|---------|---|--|---------|--------------------------|-------------------|----------|
| | | | | N | E | | | | | | |
| Line 1 | Line 1/1 | บนเนิน ติดถนน ฝั่งซ้ายของ D/S | Line 1/1 462154, 1847903 346 m 0-0.5 m | 462154 | 1847903 | 346 | App. 65% ,Coarse grained gravel,Subround 20% Coarse grained sand, 15% Slight to low plasticity fines, pale brown to brown, moist, some rock fragment. | GM | 0-0.5 | | 3/7/2561 |
| | Line 1/2 | Berm ด้านล่าง ในแอ่ง ฝั่งซ้ายของ D/S | Line 1/2 462132, 1847913 332 m 0-1 m | 462132 | 1847913 | 341 | App. 50% ,Medium grained gravel,Subangular 10% Fine sand, 40% Low plasticity fines,brown, moist,some rock fragment. | GM | 0-1 | | 3/7/2561 |
| | | | Line 1/2 462132, 1847913 332 m 1.1 m | | | | App.65%,Fine to coarse grained gravel,subangular 20% fine sand ,15% Low plasticity fines, brown to dark brown,moist. | GM | 1.1 | | |
| | Line 1/3 | Berm ด้านล่าง ในแอ่ง ฝั่งซ้ายของ D/S | Line 1/3 Line 1/3 | 462113 | 1847925 | 330 | App. 60% Fine to coarse grained gravel predomance, Subangular, 20% Fine grained sand, 20% low plasticity fines, pale brown,moist,some rock fracment | GM | 0-1 | | 3/7/2561 |
| Line 1/3 | App. 70% Coarse grained sand,10% Fine grained gravel, Subround,20% Slight to low plasticity fines, pale brown, moist,some rock fracment. | | SM | | | | 1-1.50 | | | | |
| Line 1/4 | Berm ด้านล่าง ในแอ่ง ฝั่งซ้ายของ D/S | Line 1/4 | 462102 | 1847923 | 326 | App. 70% Coarse grained sand, 10% fine grained gravel, Subround, 20% Slight to low plasticity fines, pale brown, moist, some rock fracment. | SM | 0-0.60 | | 3/7/2561 | |
| | | Line 1/4 | | | | Siltstone | Siltstone | 0.6 | | | |
| Line 2 | Line 2/1 | Berm ด้านล่าง ในแอ่ง ฝั่งซ้ายของ D/S | Line 2/1 | 462143 | 1847875 | 341 | App. 65% Coarse grained gravel, Subround, 20% Coarse grained sand, 15% Slight to low plasticity fines, dark brown and reddish brown to yellow, moist, some root. | GM | 0-0.5 | | 3/7/2561 |

| แนวสำรวจ | จุดที่ | บริเวณ (รูปภาพ) | หมายเลขตัวอย่าง | พิกัด | | Elevation (m) | บรรยายลักษณะดิน | ชนิดดิน | ความหนาของชั้นดิน (เมตร) | Slope face (องศา) | วันที่ |
|----------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------|---------|---------|---|---|-----------|--------------------------|-------------------|----------|
| | | | | N | E | | | | | | |
| | | | Line 2/1 | | | | Same Line 2/1 (0-0.5) | GM | 1.20 | | |
| Line 3 | Line 3/1 | สวนลำไย แนวล่าง ติดถนน กระท่อม | Line 3/1 | 464087 | 1847569 | 346 | App. 25% Fine to Coarse grained sand, 75% Low plasticity fines, dark brown, moist, some root | ML | 0-1.35 | 30.00 | 3/7/2561 |
| | | | Line 3/1 | | | | App. 20% Fine to Coarse grained gravel, 25% Fine to coarse grained sand, 55% Low plasticity fines, dark yellowish brown, orangish brown. | ML | 1.35-2.25 | | |
| | | | Line 3/1 | | | | App. 70% Fine grained sand, subround, 30% non plasticity fines, yellowish brown, moist. | SM | 2.25-5 | | |
| | | | Line 3/1 | | | | Siltstone | | 5 | | |
| | Line 3/2 | สวนลำไย แนวบน ติดถนน | Line 3/2 | 464100 | 1847536 | 359 | App. 75% Fine grained sand, 25% Slight to low plasticity fines, pale brown, moist, some rock fragment. | ML | 0-0.9 | 3/7/2561 | |
| | | | Line 3/2 | | | | App. 60% Fine to medium grained gravel, Subround, 20% Fine grained sand, 20% Slight to low plasticity, pale brown, moist, some FeO MnO | GM | 0.9-1.45 | | |
| | | | Line 3/2 | | | | Siltstone | Siltstone | 1.45 | | |
| | Line 3/3 | สวนลำไย แนวบน ติดถนน | Line 3/3 | 464077 | 1847477 | 368 | App. 75% Fine grained sand, 25% Slight to low plasticity fines, pale brown, moist, some rock fragment | ML | 0-0.25 | 3/7/2561 | |
| | | | Line 3/3 | | | | App. 60% Fine to medium grained gravel, 25% Slight to low plasticity fines, Subround, 20% Fine to coarse grained, 20% Slight to low plasticity, pale brown, moist, some FeO MnO | GM | 0.25-4.5 | | |
| | | | Line 3/3 | | | | Siltstone | Siltstone | 4.5 | | |
| Line 3/4 | สวนลำไย แนวบน ติดถนน | Line 3/4 | 464052 | 1847405 | 398 | App. 70% Fine grained sand, 25% Slight to low plasticity fines, 5% gravel, gray, moist. | ML | 0-0.20 | 4/7/2561 | | |
| | | 464052, 1847405 394? m 0-0.20 m | | | | App. 65% ,Fine to Medium grained gravel, 20% Fine to coarse grained sand, 15% Slight to Low plasticity fines, pale brown, some rock fragment. | GM | 0.2-1.55 | | | |

| แนวสำรวจ | จุดที่ | บริเวณ (รูปภาพ) | หมายเลขตัวอย่าง | พิกัด | | Elevation (m) | บรรยายลักษณะดิน | ชนิดดิน | ความหนาของชั้นดิน (เมตร) | Slope face (องศา) | วันที่ |
|----------|----------|---|-----------------|--------|---------|---------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------|
| | | | | N | E | | | | | | |
| | | | | | | | Siltstone | Siltstone | 1.55 | | |
| Line 4 | Line 4/1 | เนินบนเขา ตรงสายไฟฟ้าพลังน้ำ ฝั่งขวาของ D/S | Line 4/1 | 463475 | 1847901 | 357 | App.65% Fine to coarse grained gravel, Subangular to angular, 15% Fine grained sand, 20% Low to slight plasticity, reddish brown, moist, some fragment, some Mno Siltstone | GM Siltstone | 0-0.5 0.5 | 20?? | 4/7/2561 |
| | Line 4/2 | เนินบนเขา ตรงสายไฟฟ้าพลังน้ำ ฝั่งขวาของ D/S | Line 4/2 | 463455 | 1847864 | 346 | App. 50% Fine grained sand,50% plasticity fines, reddish brown, moist Fine sandstone | SM Sandstone | 0-0.6 0.6 | | 4/7/2561 |
| | Line 4/3 | เนินบนเขา ตรงสายไฟฟ้าพลังน้ำ ฝั่งขวาของ D/S | Line 4/3 | 463443 | 1847839 | 341 | Same Line 4/2 | SM | 0-0.4 | | 4/7/2561 |
| Line 5 | Line 5/1 | เนินเขา ที่มี Limestone เนินสวนกล้วยเชื่อมกับ Line 4 ,ฝั่งซ้ายของ D/S | Line 5/1 | 463378 | 1847681 | 361 | App.95% Low to medium plasticity fines, 10% Coarse grained gravel, 5% Coarse grained gravel, moist | ML | 0.75 | | 4/7/2561 |
| | Line 5/2 | เอียง Line 4 ,ฝั่งซ้ายของ D/S | Line 5/2 | 463370 | 1847644 | 375 | Same Line 5/1 | ML | 0.55 | | 4/7/2561 |
| Line 6 | Line 6/1 | เนินหลัง จุดจอตลอดวันแรก ฝั่งซ้ายของ D/S ใกล้ลำห้วย | Line 6/1 | 462196 | 1847557 | 411 | App. 95% low plasticity fines, 5% Fine grained sand, black to dark brown,moist,some rock fragment,some root. Host rock: Limestone Limestone | ML,CL Limestone | 0-0.75 0.75 | 20-30 | 4/7/2561 |
| | Line 6/2 | เนินหลัง จุดจอตลอดวันแรก ฝั่งซ้ายของ D/S ใกล้ลำห้วย | Line 6/2 | 462213 | 1847608 | 388 | Same Line 6/1 แต่ low to medium plasticity fines, yellowish brown, moist, some rock fragment, some root, some humus. Host rock: Limestone App.60% Fine grained sand, 40% low plasticity fines, yellowish brown and orangish brown, dry, MnO, Calcareous, some root. Host rock: Limestone Siltstone | ML,CL SM Siltstone | 0-1.04 1.04-2.30 3.00 | | 4/7/2561 |
| | Line 6/3 | เนินหลัง จุดจอตลอดวันแรก ฝั่งซ้ายของ D/S ใกล้ลำห้วย | Line 6/3 | 462224 | 1847675 | 365 | App. 95% low plasticity fines,5% Fine grained sand, สี? ,Calcareous,moist. | ML | 0-1.0 | | 4/7/2561 |

| แนวสำรวจ | จุดที่ | บริเวณ (รูปภาพ) | หมายเลขตัวอย่าง | พิกัด | | Elevation (m) | บรรยายลักษณะดิน | ชนิดดิน | ความหนาของชั้นดิน (เมตร) | Slope face (องศา) | วันที่ |
|----------|----------|--|-----------------|--------|---------|---------------|---|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------|----------|
| | | | | N | E | | | | | | |
| | | | | | | | App. 65% Fine to medium grained gravel, 35% low plasticity fines, yellowish brpwn, calcareous, moist. Limestone | GM | 1-1.18 1.18 | | |
| Line 7 | Line 7/1 | ในแอ่ง ฝั่งขวา D/S | Line 7/1 | 462255 | 1848792 | 350 | App. 65% Fine to Coarse grained sand, 35% Slight to low plasticity fines, blackish brown , moist,some root, some MnO. App. 50% Fine to Coarse grained gravel, angular, 45% low plasticity fines, 5% Fine grained sand,moist. App. 60% Fine to Coarse grained gravel, 10% Fine grained sand, 30% low plasticity fines, moist. Siltstone | SM GM GM Siltstone | 0-0.5 0.5-1.5 1.5-2.20 2.20 | | 4/7/2561 |
| | Line 7/2 | ในแอ่ง ฝั่งขวา D/S | Line 7/2 | 462241 | 1848847 | 368 | App. 70% Fine grained sand, 30% Slight to Low plasticity fines, gray,moist,some rock fracment. App. 65% Fine to Coarse grained gravel, 20% Fine to Coarse grained sand, 15% Slight to low plasticity fines ,pale brown, moist. Siltstone | ML GM Siltstone | 0-0.5 0.5-1.03 1.03 | | 4/7/2561 |
| Line 8 | Line 8/1 | ในแอ่ง ฝั่งขวา D/S ตรงข้ามกับ Line 7 และ Line 9 | Line 8/1 | 462291 | 1848574 | 352 | App. 50% Fine to coarse grained sand, 45% Slight to low plasticity fines, 5% Fine to medium grained gravel, blackish brown, moist, some root. App. 60% Fine to coarse grained gravel, 10% Fine to coarse grained sand, 30% low plasticity, yellowish brown, slight moist, some MnO, some root App. 65% coarse grained gravel, 15% Fine grained sand, 20% low plasticity,reddish violet, moist,vsome rock fracment Mudstone | SM GC GC Mudstone | 0-0.15 0.15-1.10 1.10-2.00 2 | | 4/7/2561 |
| | Line 8/2 | ในแอ่ง ฝั่งขวา D/S ตรงข้ามกับ Line 7 และ Line 9 | Line 8/2 | 462365 | 1848533 | 376 | App. 65% Coarse grained sand, 10% Fine grained gravel, subround, 25% Slight to low plasticity fines, pale brown | SC | 0-0.70 | | 4/7/2561 |

| แนวสำรวจ | จุดที่ | บริเวณ (รูปภาพ) | หมายเลขตัวอย่าง | พิกัด | | Elevation (m) | บรรยายลักษณะดิน | ชนิดดิน | ความหนาของชั้นดิน (เมตร) | Slope face (องศา) | วันที่ |
|----------|-----------|------------------------------------|-----------------|--------|---------|---------------|--|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------|----------|
| | | | | N | E | | | | | | |
| | | | | | | | App. 60% Fine to coarse grained sand ,30% Fine to Coarse grained gravel, 10% Slight to low plasticity fines,Subround, pale brown, Some rock fragment. App. 70% Fine to coarse grained gravel ,Subround, 20% Fine to Medium grained sand, 10% Slight to low plasticity fines, pale brown, moist, some rock fragment Siltstone | SC GC Siltstone | 0.70-2.10 2.10-4.40 4.4 | | |
| Line 9 | Line 9/1 | ในแอ่ง ฝั่งขวา D/S | Line 9/1 | 462044 | 1848422 | 343 | App. 90% Low to slight plasticity,10% Fine grained sand, blackish brown,moist,some root Limestone | ML Limestone | 0-0.7 0.7 | 38 | 4/7/2561 |
| | Line 9/2 | ในแอ่ง ฝั่งขวา D/S | Line 9/2 | 462030 | 1848397 | 389 | App. 90% Low to slight plasticity,10% Fine grained sand, black,moist,some root Limestone | ML Limestone | 0-0.9 0.9 | | 4/7/2561 |
| Line 10 | Line 10/1 | ในแอ่ง ฝั่งขวา D/S ใกล้แนว DH 4 | Line 10/1 | 462336 | 1848191 | 355 | App. 90% Slight to low plasticity,10% Fine grained sand, black to dark brown,moist,some root Same but difference in colour to reddish brown ,some rock fracment, MnO Limestone | ML ML Limestone | 0-0.15 0.9 0.9 | | 4/7/2561 |
| | Line 10/2 | ในแอ่ง ฝั่งขวา D/S ใกล้แนว DH 4 | Line 10/2 | 462391 | 1848231 | 366 | App. 65% Fine to coarse grained gravel, Subround 15% Slight to low plasticity,20% Fine grained sand, pale brown, moist, some rock fragment Siltstone อาจเป็น float rock | GC Siltstone | 0-1.60 1.6 | | 4/7/2561 |

ตารางที่ 3-2 Representative range of dry unit weight. (Burt G. Look, 2007)

| <i>Type</i> | <i>Soil description</i> | <i>Unit weight range (kN/m³)</i> | |
|-------------------|---|---|------------------|
| | | <i>Dry</i> | <i>Saturated</i> |
| Cohesionless | Soft sedimentary (chalk, shale, siltstone, coal) | 12 | 18 |
| Compacted | Hard sedimentary | 14 | 19 |
| Broken rock | (Conglomerate, sandstone) | | |
| | Metamorphic | 18 | 20 |
| | Igneous | 17 | 21 |
| Cohesionless | Very loose | 14 | 17 |
| | Loose | 15 | 18 |
| Sands and gravels | Medium dense | 17 | 20 |
| | Dense | 19 | 21 |
| | Very dense | 21 | 22 |
| Cohesionless | Loose | | |
| | Uniform graded | 14 | 17 |
| Sands | Well graded | 16 | 19 |
| | Dense | | |
| | Uniformly graded | 18 | 20 |
| | Well graded | 19 | 21 |
| Cohesive | Soft - organic | 8 | 14 |
| | Soft - non organic | 12 | 16 |
| | Stiff | 16 | 18 |
| | Hard | 18 | 20 |

ตารางที่ 3-3 Effective strength of cohesive soils. (Burt G. Look, 2007)

| <i>Type</i> | <i>Soil description/state</i> | <i>Effective cohesion (kPa)</i> | <i>Friction angle (degrees)</i> |
|-------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Cohesive | Soft – organic | 5-10 | 10-20 |
| | Soft – non organic | 10-20 | 15-25 |
| | Stiff | 20-50 | 20-30 |
| | Hard | 50-100 | 25-30 |

ตารางที่ 3-4 Typical shear strength of intact rock. (Burt G. Look, 2007)

| <i>Origin</i> | <i>Rock type</i> | <i>Shear strength</i> | |
|----------------------------|--|-----------------------|------------------------|
| | | <i>Cohesion (MPa)</i> | <i>Friction angle°</i> |
| Sedimentary – soft | Sandstone (Triassic), coal, chalk, shale, limestone (Triassic) | 1-20 | 25-35 |
| Sedimentary – hard | Limestone, dolomite, greywacke, sandstone (Carborniferous), | 10-30 | 35-45 |
| | Limestone (Carborniferous) | | |
| Metamorphic – non-foliated | Quartzite, marble, gneiss | 20-40 | 30-40 |
| Metamorphic – foliated | Schist, slate, phyllite | 10-30 | 25-35 |
| Igneous – acid | Granite | 30-50 | 45-55 |
| Igneous - basic | Basalt | 30-50 | 30-40 |

3.6 การสำรวจและการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดหิน

พื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก รองรับด้วยหินปูนเนื้อดิน ชั้นหนา สีเทา กลุ่มพื้นที่ ฐานยันทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวา ดังแสดงในรูปที่ 3-6 และรูปที่ 3-7 มีแร่ประกอบหลักเป็นแร่แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแร่ดิน (Clay mineral) ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (HCL dilute) มีรุกรุนน้อย มีความแกร่งสูง วางตัวแทรกสลับด้วยหินทรายแป้ง (Intercalated with siltstone) สีเทาเข้ม สีม่วงแดง แสดงชั้นบางๆ (Thin bedded) แตกหักง่าย และเกิดการแตกหักในสภาวะแห้ง (Slaking) ดังแสดงในรูปที่ 3-8 จนเป็นเศษหินปนละเอียด มีความหนาประมาณ 10-50 เซนติเมตร วางตัวแทรกสลับหินปูนเนื้อดิน โดยเอียงเททิศทางท้ายน้ำด้วยมุมประมาณ 20-30 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3-9 เมื่อขุดเปิดหน้าหินบนลาดไหล่เขาจึงเป็นการรบกวนสภาพธรรมชาติของมวลหิน โดยเฉพาะหินทรายแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการผุพังแตกร่วนอย่างรวดเร็ว และการหลุดร่วงลงมาตามลาดไหล่เขา ทำให้หินปูนเนื้อดินส่วนที่ปิดทับด้านบน เกิดการหักหล่น และเลื่อนไถลลงไปตามลาดไหล่เขาด้วย โดยเฉพาะในบริเวณฐานยันฝั่งซ้ายของอาคารระบายน้ำล้น (Spillway) เป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับจุดสำรวจ Station 13 ที่มีการขุดเปิดพื้นที่ที่เป็นหินปูนแทรกสลับกับหินทรายแป้ง จึงทำให้เกิดการเลื่อนไถลของมวลหิน ลงไปตามมุมลาดเอียง ดังแสดงในรูปที่ 3-10 ซึ่งเป็นปัญหาหลักของพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน ข้อมูลการสำรวจหิน ดังแสดงในตารางที่ 3-5

การวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลหินบนพื้นที่ลาดไหล่เขาดังกล่าว โดยการวิเคราะห์โอกาส และรูปแบบการพังทลายของมวลหินวิธีจลนศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Dip/Dip-direction ทั้งการกำหนดพื้นที่วิเคราะห์ในภาพละเอียด (Small scale) และการกำหนดพื้นที่วิเคราะห์แบบภาพรวม (Large scale) พร้อมทั้งจำแนกคุณภาพมวลหินด้วยวิธี Rock Mass Rating (RMR) และประเมินความมั่นคงของมวลหินบริเวณลาดไหล่เขาด้วยวิธี Slope Mass Rating (SMR) เพื่อวิเคราะห์และกำหนดแนวทางในการออกแบบป้องกันการเลื่อนไถลของมวลหินบนพื้นที่ลาดชัน โดยทำการวิเคราะห์ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-11 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 3-6 พื้นที่ลาดไหล่เขาบริเวณฐานยันฝั่งขวาของเขื่อน



รูปที่ 3-7 พื้นที่ลาดไหล่เขาบริเวณฐานยันฝั่งซ้ายของเขื่อน



รูปที่ 3-8 แสดงสภาพหินทรายแป้ง (Siltstone) ที่มีการผุพังแตกตัวในสภาพแห้ง (Slaking)



รูปที่ 3-9 แสดงสภาพหินปูนเนื้อดิน (Argillaceous Limestone) วางตัวอยู่บนหินทรายแป้ง (Siltstone)



รูปที่ 3-10 บริเวณฐานยันฝั่งซ้ายของอาคารระบายน้ำล้น (Spillway) ที่อยู่ใกล้กับจุดสำรวจ Station 13 มีการขุดเปิดพื้นที่ที่เป็นหินปูนแทรกสลับกับหินทรายแป้ง จึงทำให้เกิดการเลื่อนไถลของมวลหินลงไปตามมุมลาดเอียง การพังทลายของหินเป็นรูประนาบ (Plane failure)

3.6.1 การวิเคราะห์โอกาสและรูปแบบการพังทลายของมวลหินโดยวิธีทางจลนศาสตร์ (Kinematic analysis)

การวิเคราะห์โอกาสและรูปแบบการพังทลายของมวลหินวิธีทางจลนศาสตร์ ได้กำหนดพื้นที่วิเคราะห์ในภาพละเอียด (Small scale) โดยตำแหน่งของพื้นที่ทำการสำรวจและวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดหินจำนวน 13 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3-5 โดยแต่ละตำแหน่งจะกำหนดระยะห่างของพิกัดตามแนวลาดไหลเขาต่างๆ กัน และเพิ่มตำแหน่งวิเคราะห์ในบริเวณที่มีปัญหาโดยเฉพาะบริเวณลาดด้านท้ายน้ำบริเวณอาคารระบายน้ำล้นซึ่งพบการเลื่อนไถลของมวลหิน เนื่องมาจากการขุดเปิดบ่อก่อสร้าง

3.6.2 การประเมินความมั่นคงของมวลหินบริเวณลาดไหลเขาด้วยวิธี Slope Mass Rating (SMR)

เป็นวิธีการประเมินและวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางและวิธีการออกแบบการเสริมความแข็งแรงและป้องกันการเลื่อนไถลของมวลหินบนพื้นที่ลาดชัน โดยทำการวิเคราะห์ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-11 วิเคราะห์โดยวิธีการจำแนกคุณภาพมวลหิน ร่วมกับการประเมินความมั่นคงของมวลหินบริเวณลาดไหลเขา

การวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลหินบริเวณลาดไหลเขาด้วยวิธี Slope Mass Rating (SMR) เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากการจัดอันดับคุณภาพมวลหิน (Rock Mass Rating; RMR) โดยพิจารณาคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของมวลหินที่ได้จาก RMR ร่วมกับความสัมพันธ์ของแนวแตก (Joint) และมุมเอียงของการขุดเปิดลาดไหลเขา (Joint-slope face relationship) แสดงผลเป็นค่าคะแนน ที่จะสามารถบอกคุณภาพของมวลหินบนลาดไหลเขา วิธีการนี้จะเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลหินบนลาดไหลเขาในภาพรวม เพื่อนำมาพิจารณาวิธีการออกแบบวิธีปรับปรุงความแข็งแรง มั่นคงของลาดไหลเขา

3.7 ผลการศึกษา

3.7.1 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน

สภาพภูมิประเทศบริเวณพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน จังหวัดตาก มีสภาพเป็นภูเขาสูง มีความลาดชันของลาดไหลเขาประมาณ 20-30 องศา ชั้นดินส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดจากการผุพังของหินในพื้นที่ ซึ่งเป็นหินปูนเนื้อดินแทรกสลับด้วยหินทรายแป้ง จึงทำให้กลุ่มดินที่พบส่วนใหญ่เป็นดินกลุ่ม SM (Silty sand), ML (Silt) กรวดทางน้ำ (Gravel, cobbles, boulders) และเศษหินพลัดหล่น (Rock fragments) พื้นที่สำรวจกำหนดเป็นแนวสำรวจบนลาดไหลเขาโดยรอบพื้นที่ในอ่างเก็บน้ำมีความลาดชัน และชั้นดินที่คาดว่าจะมีความหนาพอที่จะมีความเสี่ยงต่อการพังทลายของมวลดินบนลาดไหลเขา โดยกำหนดแนวสำรวจทั้งหมดจำนวน 10 แนว ใช้ส่วนเจาะดิน เจาะอย่างน้อย 3 หลุมต่อแนวสำรวจ กำหนดตำแหน่งเชิงเขากลางเขา และยอดเขา พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างที่เจาะเก็บได้มาจำแนก วิเคราะห์ และแบ่งชนิดของกลุ่มดินแต่ละชั้น

ผลการเจาะสำรวจ บริเวณพื้นที่สำรวจส่วนใหญ่ พบว่าชั้นดินมีความหนาประมาณ 0.5-4 เมตร โดยเฉลี่ย 1.5 เมตร ประกอบด้วยชั้นดินทรายแป้งกลุ่ม Silt (ML) มีเม็ดตะกอนละเอียด มีความเหนียวปานกลาง สีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม มีเศษหินปะปน นอกจากนี้ยังมีชั้นดินกลุ่ม SM (Silty sand) มีเม็ดตะกอนละเอียด ไม่มีความเหนียว ถึงเหนียวเล็กน้อย มีกรวดทางน้ำ และเศษหินปะปน

การวิเคราะห์ความมั่นคงมวลดินบนลาดไหล่เขา โดยโปรแกรม Slope/W กำหนดสมมติฐานการวิเคราะห์ออกเป็น 4 กรณี ได้แก่

- 1) กรณีอ่างเก็บน้ำมีระดับกักเก็บน้ำสูงสุด
- 2) กรณีอ่างเก็บน้ำมีระดับกักเก็บน้ำปกติ
- 3) กรณีอ่างเก็บน้ำมีระดับกักเก็บน้ำ 50% ของระดับกักเก็บ
- 4) กรณีอ่างเก็บน้ำมีระดับกักเก็บน้ำต่ำสุด

โดยแต่ละกรณีได้กำหนดรูปแบบในการวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลดินบนลาดไหล่เขาไว้ 3 รูปแบบ ได้แก่

- 1) รูปแบบที่ไม่มีน้ำหนักกดทับ (No load)
- 2) รูปแบบที่มีน้ำหนักกดทับบนลาดไหล่เขา (Surcharge load)
- 3) รูปแบบที่มีการรับแรงกระทำจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว (Seismic load)

ทำการวิเคราะห์แบบจำลองในสถานะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Steady state) รูปแบบการวิเคราะห์ให้ชั้นดินทั้งหมดเป็น Silt (ML) ซึ่งเป็นกลุ่มดินส่วนใหญ่ที่กระจายตัวอยู่บนลาดไหล่เขา และเป็น Cohesion soil เทียบได้กับ Sandy Loan (ค่ามาตรฐานที่นำมาใช้เทียบหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นดินดังแสดงในตารางที่ 3-2 ตารางที่ 3-3 และตารางที่ 3-4 โดยชั้นดินกลุ่ม Silt (ML) เทียบคุณสมบัติค่า Density (ρ) = 1,600 Kg/m³ (15.69 KN/m³) เป็นชนิด Stiff clay มีค่า Friction angle (Φ) = 15 องศา และมีค่า Cohesion (C) = 2,000 lb/ft² (95.76 KPa) ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงถึงค่าความปลอดภัย (Factor of safety ; F.S.) ของลาดดิน

ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของลาดดินในพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Slope/W พบว่ามีค่าความปลอดภัยที่สูงกว่าค่าความปลอดภัยมาตรฐานของ International Safety Regulation Codes ทุกกรณี (ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของลาดดิน ดังแสดงในตารางที่ 3-5 สรุปได้ว่า พื้นที่ลาดดินบริเวณพื้นที่ในอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน มีความมั่นคง ปลอดภัย ทั้งนี้ความหนาของชั้นดิน และความลาดชันของลาดไหล่เขาในพื้นที่สำรวจเป็นตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย ซึ่งบริเวณพื้นที่ในอ่างเก็บน้ำ แม่สอดตอนบน มีความหนาของชั้นดิน และความลาดชันของไหล่เขาไม่มาก จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์สูง (ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ลาดดินโดยใช้โปรแกรม Slope/W ดังแสดงในภาคผนวก ก)

3.7.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดหิน

พื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก รองรับด้วยหินปูนเนื้อดินชั้นหนา สีเทา ครอบคลุมพื้นที่ฐานยันทั้งฝั่งซ้าย และฝั่งขวา มีแร่ประกอบหลักเป็นแร่แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) และแร่ดิน (Clay mineral) ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (HCL dilute) มีรูพรุนน้อย มีความแกร่งสูง วางตัวแทรกสลับด้วยหินทรายแป้ง สีเทาเข้ม สีม่วงแดง เป็นชั้นบางๆ แตกหักง่าย และเกิดการแตกหักในสถานะแห้ง จนเป็นเศษหินป่นละเอียด มีความหนาประมาณ 10-50 เซนติเมตร วางตัวแทรกสลับหินปูนเนื้อดิน โดยเอียงเททิศทางทำนบน้ำด้วยมุมประมาณ 20-30 องศา เมื่อขุดเปิดหน้าหินบนลาดไหล่เขา จึงเป็นการรบกวนสภาพธรรมชาติของมวลหิน โดยเฉพาะหินทรายแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการผุพังแตกกร่อนอย่างรวดเร็ว และการหลุดร่วงลงมาตามลาดไหล่เขา ทำให้หินปูนเนื้อดินส่วนที่ปิดทับด้านบน เกิดการหักหล่น และเลื่อนไถลลงไปตามลาดไหล่เขาด้วย โดยเฉพาะในบริเวณฐานยันฝั่งซ้ายของอาคารระบายน้ำล้น

มีการขุดเปิดพื้นที่ที่เป็นหินปูนแทรกสลับกับหินทรายแข็ง จึงทำให้เกิดการเลื่อนไถลของมวลหิน ลงไปตามมุมลาดเอียงซึ่งเป็นปัญหาหลักของพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน

การวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลหินบนพื้นที่ลาดไหล่เขาดังกล่าว โดยการวิเคราะห์โอกาสและรูปแบบการพังทลายของมวลหินวิธีจลนศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Dip/Dip-direction ทั้งการกำหนดพื้นที่วิเคราะห์ในภาพละเอียด (Small scale) และการกำหนดพื้นที่วิเคราะห์แบบภาพรวม (Large scale) พร้อมทั้งจำแนกคุณภาพมวลหินด้วยวิธี Rock Mass Rating (RMR) และประเมินความมั่นคงของมวลหินบริเวณลาดไหล่เขาด้วยวิธี Slope Mass Rating (SMR) เพื่อวิเคราะห์และกำหนดแนวทางในการออกแบบป้องกันการเลื่อนไถลของมวลหินบนพื้นที่ลาดชัน โดยทำการวิเคราะห์ที่ตำแหน่งต่างๆ ข้อมูลการสำรวจหินดังแสดงในตารางที่ 3-6

3.7.2.1 การวิเคราะห์โอกาสและรูปแบบการพังทลายของมวลหินโดยวิธีทางจลนศาสตร์ (Kinematic analysis)

การวิเคราะห์โอกาสและรูปแบบการพังทลายของมวลหินวิธีทางจลนศาสตร์ได้กำหนดพื้นที่วิเคราะห์ในภาพละเอียด (Small scale) ผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลหินบนลาดไหล่เขาในภาพละเอียด พบว่ามวลหินบนลาดไหล่เขามีสภาพแตกต่างกัน บางบริเวณมีความมั่นคงแต่ในบางบริเวณ มีโอกาสเกิดการพังทลายรวมทั้งมีรูปแบบการพังทลายกระจายตัวในรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในภาพรวม (Large scale) เพื่อประเมินสภาพปัญหาและกำหนดพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดการพังทลาย โดยการวางพิกัดสำรวจครอบคลุมพื้นที่ที่วิเคราะห์ในภาพละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ผลการสำรวจและวิเคราะห์สรุปได้ ดังนี้

- บริเวณลาดไหล่เขาทางด้านฐานยันฝั่งซ้าย มีโอกาสเกิดการพังทลายของมวลหินเป็นรูปปลี (Wedge failure) และการพังทลายของหินเป็นรูประนาบ (Plane failure)
- บริเวณพื้นที่ขอบอ่างเก็บน้ำด้านเหนือน้ำ มีโอกาสเกิดการพังทลายของมวลหินเป็นรูปปลี (Wedge failure) และการร่วงหล่นของมวลหิน (Topping failure)

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดหินโดยวิธีจลนศาสตร์ ดังแสดงใน

ภาคผนวก ข

3.7.2.2 การประเมินความมั่นคงของมวลหินบริเวณลาดไหล่เขาด้วยวิธี Slope Mass Rating (SMR)

เป็นวิธีการประเมินและวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางและวิธีการออกแบบการเสริมความแข็งแรง และป้องกันการเลื่อนไถลของมวลหินบนพื้นที่ลาดชัน การวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลหินบริเวณลาดไหล่เขาด้วยวิธี Slope Mass Rating (SMR) เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากการจัดอันดับคุณภาพมวลหิน (Rock Mass Rating; RMR) โดยพิจารณาคูณสมบัติด้านวิศวกรรมของมวลหินที่ได้จาก RMR ร่วมกับความสัมพันธ์ของแนวแตก และมุมเอียงของการขุดเปิดลาดไหล่เขา แสดงผลเป็นค่าคะแนนของ SMR ที่จะสามารถบอกคุณภาพของมวลหินบนลาดไหล่เขา วิธีการนี้จะเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลหินบนลาดไหล่เขาในภาพรวม เพื่อนำมาพิจารณาวิธีการออกแบบวิธีปรับปรุงความแข็งแรง มั่นคงของลาดไหล่เขา โดยผลการวิเคราะห์สรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-5 ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของลาดดิน

| Line | Case | + No load | + Surcharge load | + Seismic load |
|------|---|-----------|------------------|----------------|
| 1 | 1. Full Supply Level (กักเก็บน้ำสูงสุด) | 34.208 | 30.304 | 14.844 |
| | 2. Reservoir Water Level (กักเก็บน้ำปกติ) | 33.276 | 29.575 | 14.671 |
| | 3. 50% of Reservoir Water Level (50% ของระดับกักเก็บ) | 26.049 | 23.877 | 13.177 |
| | 4. Dead Storage Level (กักเก็บน้ำต่ำสุด) | 20.313 | 19.311 | 11.606 |
| 2 | 1. Full Supply Level (กักเก็บน้ำสูงสุด) | 23.958 | 14.383 | 14.269 |
| | 2. Reservoir Water Level (กักเก็บน้ำปกติ) | 22.478 | 14.383 | 13.903 |
| | 3. 50% of Reservoir Water Level (50% ของระดับกักเก็บ) | 20.617 | 14.383 | 12.880 |
| | 4. Dead Storage Level (กักเก็บน้ำต่ำสุด) | 20.212 | 14.383 | 12.616 |
| 3 | 1. Full Supply Level (กักเก็บน้ำสูงสุด) | 6.845 | 6.713 | 4.075 |
| | 2. Reservoir Water Level (กักเก็บน้ำปกติ) | 6.828 | 6.630 | 4.075 |
| 4 | 1. Full Supply Level (กักเก็บน้ำสูงสุด) | 122.019 | 88.958 | 41.473 |
| | 2. Reservoir Water Level (กักเก็บน้ำปกติ) | 112.153 | 83.629 | 40.292 |
| | 3. 50% of Reservoir Water Level (50% ของระดับกักเก็บ) | 58.940 | 50.112 | 30.572 |
| | 4. Dead Storage Level (กักเก็บน้ำต่ำสุด) | - | - | - |
| 5 | 1. Full Supply Level (กักเก็บน้ำสูงสุด) | 36.932 | 35.148 | 22.131 |
| | 2. Reservoir Water Level (กักเก็บน้ำปกติ) | 32.617 | 32.617 | 20.998 |
| | 3. 50% of Reservoir Water Level (50% ของระดับกักเก็บ) | 26.071 | 25.869 | 17.788 |
| | 4. Dead Storage Level (กักเก็บน้ำต่ำสุด) | - | - | - |
| 6 | 1. Full Supply Level (กักเก็บน้ำสูงสุด) | 12.285 | 11.429 | 6.548 |
| | 2. Reservoir Water Level (กักเก็บน้ำปกติ) | 11.991 | 11.178 | 6.471 |
| | 3. 50% of Reservoir Water Level (50% ของระดับกักเก็บ) | 11.271 | 10.9 | 6.243 |
| | 4. Dead Storage Level (กักเก็บน้ำต่ำสุด) | 11.198 | 10.9 | 6.204 |
| 7 | 1. Full Supply Level (กักเก็บน้ำสูงสุด) | 10.623 | 8.701 | 6.917 |
| | 2. Reservoir Water Level (กักเก็บน้ำปกติ) | 10.629 | 8.701 | 6.921 |
| | 3. 50% of Reservoir Water Level | 10.346 | 8.701 | 6.744 |
| | 4. Dead Storage Level (กักเก็บน้ำต่ำสุด) | 10.275 | 8.701 | 6.7 |
| 8 | 1. Full Supply Level (กักเก็บน้ำสูงสุด) | 6.469 | 6.295 | 4.106 |
| | 2. Reservoir Water Level (กักเก็บน้ำปกติ) | 6.420 | 6.295 | 4.080 |
| | 3. 50% of Reservoir Water Level (50% ของระดับกักเก็บ) | 6.389 | 6.274 | 4.057 |
| | 4. Dead Storage Level (กักเก็บน้ำต่ำสุด) | 6.358 | 6.265 | 4.041 |
| 9 | 1. Full Supply Level (กักเก็บน้ำสูงสุด) | 15.166 | 13.877 | 10.617 |
| | 2. Reservoir Water Level (กักเก็บน้ำปกติ) | 15.146 | 13.877 | 10.602 |
| | 3. 50% of Reservoir Water Level (50% ของระดับกักเก็บ) | 15.093 | 13.877 | 10.562 |
| | 4. Dead Storage Level (กักเก็บน้ำต่ำสุด) | 15.072 | 13.877 | 10.544 |
| 10 | 1. Full Supply Level (กักเก็บน้ำสูงสุด) | 13.929 | 13.069 | 8.627 |
| | 2. Reservoir Water Level (กักเก็บน้ำปกติ) | 13.929 | 13.069 | 8.627 |
| | 3. 50% of Reservoir Water Level (50% ของระดับกักเก็บ) | 13.825 | 13.069 | 8.570 |
| | 4. Dead Storage Level (กักเก็บน้ำต่ำสุด) | 13.771 | 13.069 | 8.537 |

ตารางที่ 3-6 ข้อมูลการสำรวจหินในบริเวณพื้นที่ศึกษา

| DATE | No. | Eating (X) | Northing (Y) | Location | Rock Type | Slope face | Bed/J1 | J2 | J3 | J4 | Fault |
|----------|-----------|------------|--------------|----------------|---------------------|------------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| 5/7/2561 | Station1 | 461818 | 1848088 | Right Abutment | Limestone | 220/20 | | 195/15 | 115/35 | | |
| 5/7/2561 | Station2 | 461845 | 1848119 | Right Abutment | Limestone/Siltstone | 75/55 | 210/20 | 145/85 | 345/30 | | |
| 5/7/2561 | Station3 | 461866 | 1848118 | Right Abutment | Limestone | 95/40 | 240/15 | 180/80 | 80/90 | | |
| 5/7/2561 | Station4 | 461883 | 1848092 | Right Abutment | Limestone | 155/50 | 165/30 | 185/90 | 110/85 | | |
| 5/7/2561 | Station5 | 462015 | 1848174 | Right Abutment | Limestone/Siltstone | | 220/20 | 0/90 | 0/50 | | |
| 5/7/2561 | Station6 | 462039 | 1848211 | Right Abutment | Limestone | 45/65 | 220/25 | 85/65 | 120/90 | | |
| 5/7/2561 | Station7 | 461964 | 1847746 | Left Abutment | Limestone/Siltstone | 290/65 | 200/21 | 55/62 | 0/70 | | |
| 5/7/2561 | Station8 | 461948 | 1847743 | Left Abutment | Limestone/Siltstone | 260/60 | 125/32 | 10/85 | 320/70 | | |
| 5/7/2561 | Station9 | 461930 | 1847751 | Left Abutment | Limestone/Siltstone | 252/80 | 190/24 | 340/42 | 4/72 | | |
| 5/7/2561 | Station10 | 461903 | 1847752 | Left Abutment | Limestone | 270/68 | 200/35 | 227/85 | 285/90 | | |
| 5/7/2561 | Station11 | 461862 | 1847743 | Left Abutment | Limestone/Siltstone | 202/56 | 95/28 | 102/86 | 126/75 | | 130/90 |
| 5/7/2561 | Station12 | 461844 | 1847733 | Left Abutment | Siltstone | 26/75 | 170/45 | 335/57 | 275/74 | 65/67 | 300/52 |
| 5/7/2561 | Station13 | 461821 | 1847716 | Left Abutment | Limestone/Siltstone | 240/45 | 200/36 | 359/84 | 70/80 | | 30/70 |
| 5/7/2561 | Station14 | 463471 | 1847663 | Left Abutment | Limestone/Siltstone | 302/84 | 215/14 | 250/85 | 302/84 | 335/70 | |
| 5/7/2561 | Station15 | 463180 | 1847775 | Left Abutment | Limestone | 315/74 | 164/32 | 95/86 | 340/70 | | |
| 5/7/2561 | Station16 | 463138 | 1847815 | Left Abutment | Limestone | 320/70 | 67/44 | 212/65 | 358/56 | | 170/10, 245/53 |
| 5/7/2561 | Station17 | 462840 | 1847861 | Left Abutment | Limestone/Siltstone | 350/78 | 145/22 | 58/74 | 319/71 | | |

ตารางที่ 3-7 สรุปผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลหินบริเวณลาดไหล่เขา ด้วยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating; SMR) และวิธีการออกแบบปรับปรุงความมั่นคงแข็งแรง

| Station | Class | SMR | Description | Stability | Failures | Support |
|-----------------------------------|-------|--------|-------------|---------------------|----------------------------|-----------------------|
| 15 | I | 81-100 | Very good | Completely stable | None | None |
| 1, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 14, 17 | II | 61-80 | Good | Stable | Some blocks | Occasional |
| 6, 8, 9, 16 | III | 41-60 | Normal | Partially stable | Some joints or many wedges | Systematic |
| 2, 13 | IV | 21-40 | Bad | Unstable | Planar or big wedges | Important /corrective |
| | V | 0-20 | Very bad | Completely unstable | Big planar or soil-like | Re-excavation |

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดหินโดยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด (Slope Mass Rating; SMR) ดังแสดงในภาคผนวก ค

3.8 สรุปผลการวิเคราะห์

ผลการสำรวจและวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่ประกอบด้วยผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน (Soil slope stability) โดยใช้โปรแกรม Slope/W และวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดหิน โดยวิธี Kinematic analysis (Stereographic interpretation) ร่วมกับวิธี Slope Mass Rating (SMR) ได้นำมาประเมินรูปแบบของการพังทลายและกำหนดวิธีการป้องกันการพังทลายของลาดไหล่เขา สรุปได้ ดังนี้

1) ชั้นดินบริเวณพื้นที่ลาดไหล่เขาโดยรอบพื้นที่อ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน มีความหนาไม่มากโดยเฉลี่ย 1.5 เมตร และเป็นดินทรายแข็งที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินค่อนข้างมาก เมื่อทำการวิเคราะห์ความมั่นคงโดยโปรแกรม Slope/W แล้วมีค่าความปลอดภัยที่สูง (F.S.>1.5) จึงไม่พบโอกาสที่จะเกิดการพังทลายทุกกรณี ของแบบทดสอบ

2) เสถียรภาพของลาดหินที่ทำการขุดเปิด เมื่อทำการวิเคราะห์ทางจลนศาสตร์ (Kinematic analysis) โดยโปรแกรม dip/dip-direction พบว่ามีโอกาสเกิดการพังทลายอยู่ 3 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่ การพังทลายเป็นรูปปลี (Wedge failure) การพังทลายเป็นระนาบ (Plane failure) และการพังทลายแบบพลิกคว่ำ (Toppling failure) บริเวณพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดการพังทลายพบอยู่บริเวณฐานยันฝั่งซ้าย ตำแหน่งที่อยู่สูงกว่าอาคารระบายน้ำล้นค่อนข้างน้อยไปทางท้ายน้ำ และกระจายตัวอยู่เล็กน้อยบริเวณต้นน้ำลาดไหล่เขาภายในพื้นที่อ่างเก็บน้ำ

3) ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดหินด้วยการวิเคราะห์และประเมินความมั่นคงด้วยวิธี Slope Mass Rating (SMR) พบว่าบริเวณฐานยันฝั่งซ้าย คุณภาพหินบนลาดไหล่เขามีค่า SMR ต่ำกว่า 50 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณภาพหินที่ไม่ดี ในกรณีที่ทำกรขุดเปิดพื้นที่หรือบ่อก่อสร้างต้องทำการป้องกันการพิบัติหรือป้องกันการพังทลาย เช่นเดียวกันกับบริเวณฐานยันฝั่งขวา คุณภาพหินบนลาดไหล่เขามีค่าคะแนนของ SMR อยู่ในช่วง

50-60 ซึ่งบอกคุณภาพหินที่ดีปานกลาง ประกอบกับบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีผลการวิเคราะห์ทางจลนศาสตร์ พบว่ามีโอกาสเกิดการพิบัติทั้ง 3 รูปแบบ จึงเป็นตำแหน่งที่ต้องทำการป้องกันการพังทลาย และเสริมความมั่นคงของลาดไหล่เขา

วิธีการป้องกันการพังทลายและเสริมความมั่นคง (Supports)

1) บริเวณฐานยันฝั่งขวาควรป้องกันการวิบัติของมวลหินบนลาดไหล่เขาโดยการชิงตาข่ายพร้อมยึดหมุดลงไปใ้เนื้อหิน และทำการพ่นปูนปิดทับ (Shotcrete) พร้อมทั้งจัดระบบการระบายน้ำ (Pipe drain) ให้ดีและมากพอ

2) บริเวณฐานยันฝั่งซ้ายตำแหน่งที่อยู่สูงกว่าอาคารระบายน้ำล้นค่อนข้างชันควรป้องกันการพิบัติของมวลหินบนลาดไหล่เขา โดยการปรับพื้นที่ลาดชันให้มีความชันลดลง และเสริมความมั่นคงของพื้นที่ลาดไหล่เขา โดยการเจาะและยึดเหล็ก (Rock anchorage) ที่มีความยาวเท่ากับหรือไม่น้อยกว่า 10 เมตร ในมวลหินที่มีขนาดใหญ่ ส่วนบริเวณพื้นผิวทำการปูด้วยตาข่าย (Wire mesh) และพ่นปูน (Shotcrete) พร้อมทั้งสร้างกำแพง (Gravity wall) ในบริเวณฐานยันโดยให้พิจารณาถึงระบบการระบายน้ำที่ดีและมากพอ

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุป

1) เนื้อหาในเอกสารฉบับนี้เป็นการค้นคว้า รวบรวม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจและวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา ทั้งที่เป็นการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน (Soil slope stability) ความมั่นคงของลาดหิน (Rock slope stability) และแสดงถึงวิธีการและขั้นตอนการวิเคราะห์รวมทั้งจัดทำรายงานเป็นเอกสารทางวิชาการเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดไหล่เขาสำหรับพื้นที่โครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำและอาคารประกอบ กรมชลประทาน โดยได้นำรายงานการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขาโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มาแสดงเป็นกรณีศึกษา นักธรณีวิทยาหรือวิศวกรผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการสำรวจและออกแบบเสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขาและผู้สนใจทั่วไปสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการสำรวจและวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดดินและลาดหินและอ้างอิงทางวิชาการได้

2) การสำรวจและวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา ทั้งที่เป็นการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน ความมั่นคงของลาดหิน ที่เหมาะสมกับสภาพธรณีวิทยารากของพื้นที่ มีความถูกต้องได้มาตรฐานเป็นไปตามหลักวิชาการ สามารถเสนอแนะวิธีการป้องกันการพังทลายและเสริมความมั่นคง (Supports) เพื่อให้วิศวกรนำข้อมูลไปออกแบบได้ถูกต้อง เหมาะสม เพื่อให้ลาดไหล่เขามีความมั่นคงแข็งแรง จะทำให้สามารถลดปัญหาการพังทลายของลาดดินและลาดหิน ประหยัดเวลาและงบประมาณในการก่อสร้างรวมทั้งเขื่อนและอาคารประกอบมีความแข็งแรงมั่นคงและมีประสิทธิภาพ

3) ผู้เขียนได้นำผลการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขาโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ไปใช้เป็นข้อมูลและกำหนดวิธีการร่วมกับวิศวกรผู้ออกแบบในการออกแบบเสริมความมั่นคงของลาดหินบริเวณฐานยันฝั่งซ้ายบริเวณอาคารระบายน้ำล้น โดยการปรับพื้นที่ลาดชันให้มีความชันลดลง และเสริมความมั่นคงของพื้นที่ลาดไหล่เขา โดยการเจาะและยึดเหล็ก (Rock anchorage) ที่มีความยาวเท่ากับหรือไม่น้อยกว่า 10 เมตร ในมวลหินที่มีขนาดใหญ่ ส่วนบริเวณพื้นผิวทำการพ่นปูน (Shotcrete) พร้อมทั้งสร้างกำแพง (Gravity wall) ในบริเวณฐานยันโดยให้มีระบบการระบายน้ำที่ดี และได้มีการดำเนินงานก่อสร้างเพื่อเสริมความมั่นคง ในปี พ.ศ. 2563 ซึ่งสามารถแก้ไข ป้องกันการเคลื่อนตัวและพังทลายของมวลหินในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวได้อย่างแข็งแรงและมีความมั่นคง (แบบป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารระบายน้ำล้น โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (หมายเลขแบบ 286414-286421 ดังแสดงในภาคผนวก ง)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การกำหนดวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา ในแต่ละวิธีให้เหมาะสมกับสภาพธรณีวิทยาและมีคุณสมบัติครบถ้วนเป็นไปตามเกณฑ์ นักธรณีวิทยาผู้ทำการสำรวจและวิเคราะห์จะต้องพิจารณา/ให้ข้อคิดเห็น ร่วมกับวิศวกรผู้ออกแบบ ทั้งนี้เนื่องจากเสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขาเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อความมั่นคง แข็งแรง ของเขื่อนและอาคารประกอบ

2) โดยทั่วไปสภาพธรณีวิทยาของฐานรากเขื่อนของแต่ละพื้นที่โครงการมักจะประกอบด้วยชนิดของฐานรากมากกว่า 2 ประเภทหรือหลายประเภทรวมอยู่ด้วยกัน ดังนั้นในการขุดเปิดบ่อก่อสร้างโดยทั่วไปมักมีปัญหาในเรื่องของความมั่นคงของลาดดิน ลาดหิน นักธรณีวิทยาผู้สำรวจธรณีวิทยารากของโครงการนั้นๆ

ควรต้องพิจารณาให้ความเห็นเบื้องต้นเกี่ยวกับปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการขุดเปิดบ่อก่อสร้าง อันเนื่องมาจากสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินและหินที่ได้จากการสำรวจ เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบและการปฏิบัติงานก่อสร้าง

3) เพื่อเป็นการเพิ่มพูน องค์ความรู้ ความสามารถในการปฏิบัติงาน โดยเฉพาะการกำหนดวิธีการเสริมความมั่นคงและป้องกันการพังทลายของลาดดินและลาดหินให้ถูกต้อง เหมาะสมกับสภาพธรณีวิทยาของบริเวณพื้นที่ เพื่อให้ได้เขื่อนและอาคารประกอบที่มีความปลอดภัยและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้สำรวจและวิเคราะห์ควรต้องติดตามและประเมินผลการปฏิบัติงานและวิธีการในการเสริมความมั่นคงและป้องกันการพังทลายของโครงการก่อสร้างที่ได้ดำเนินการก่อสร้างเพื่อรับทราบปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อที่จะร่วมกันแก้ไขปัญหา ซึ่งจะเป็นหลักประกันได้อย่างดีว่างานที่ดำเนินการจะแล้วเสร็จตามที่กำหนดไว้ เป็นไปตามมาตรฐานตามหลักวิชาการ และใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างเขื่อนและอาคารประกอบของกรมชลประทาน

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี (2541). แผนที่ธรณีวิทยา ระวังอำเภอแม่สอด มาตราส่วน 1: 50,000
- ส่วนวิศวกรรมธรณี (2562). รายงานการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (EG_SS_01/62) สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน
- Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classification, New York; Wiley Casagrande Volume, Eds. Hirschfeld & Poulos. pp. 47-86.
- Duncan, J.M. (1996). State of the Art: Limit Equilibrium and Finite-element Analysis of slopes. Journal of Geotechnical Engineering. pp. 577-596.
- Romana, M. (1985). New Adjustment Rating for Application of Bieniawski Classification to Slopes. Proceeding of International Symposium on the Role of Rock Mechanics. Salzburg: International Society for Rock Mechanics. pp. 49-53.
- Varnes, D.J. (1978). Slope Movement type and Process Landslides and Engineering Practice, Special Report 28. Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington. DC.
- Burt, G. Look. (2007). Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables (1st ed.). Taylor & Francis e-Library. pp. 356.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

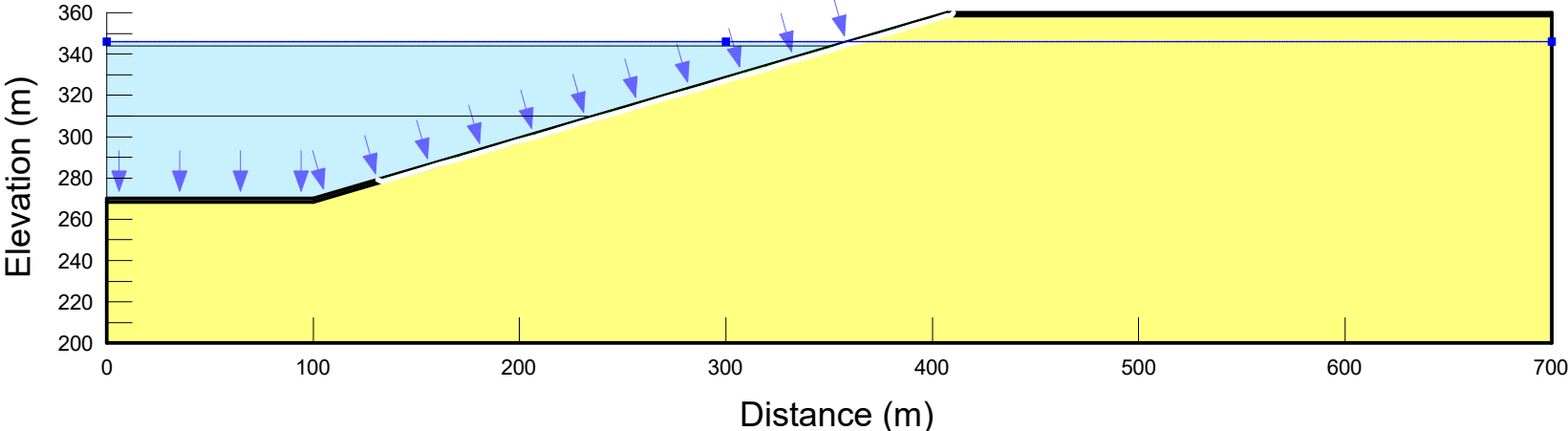
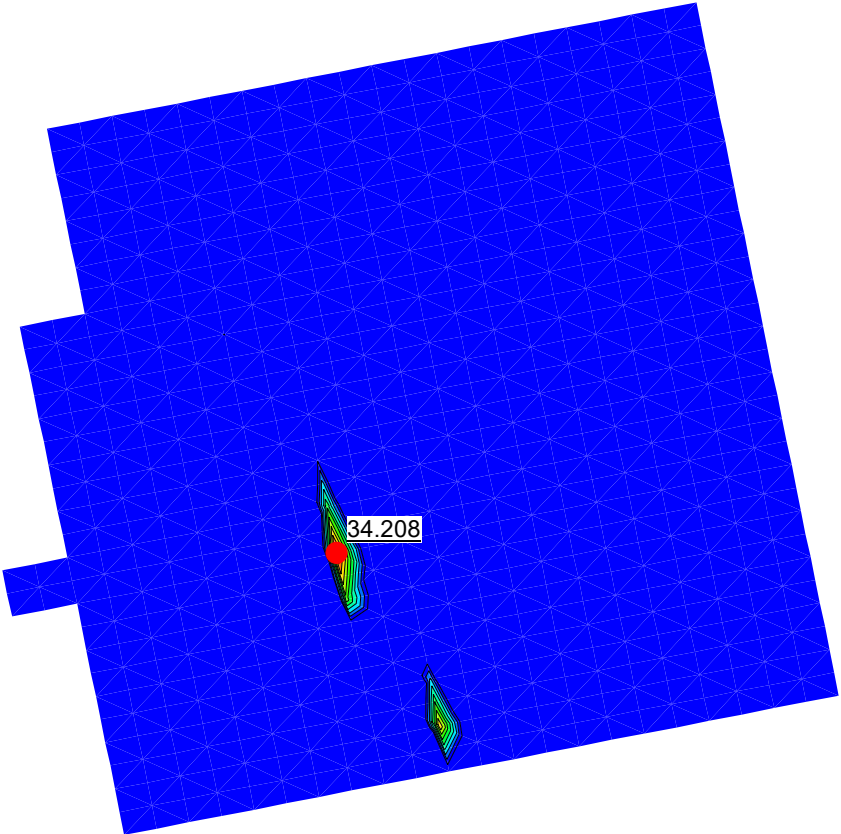
ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ลาดดิน โดยใช้โปรแกรม Slope/W

Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon
Line : 1
Case : Full Supply Level

Detailed :
Overburden : Silt (ML)
Unit Weight : 15.69 KN/m³
Cohesion : 95.76 KPa
Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)

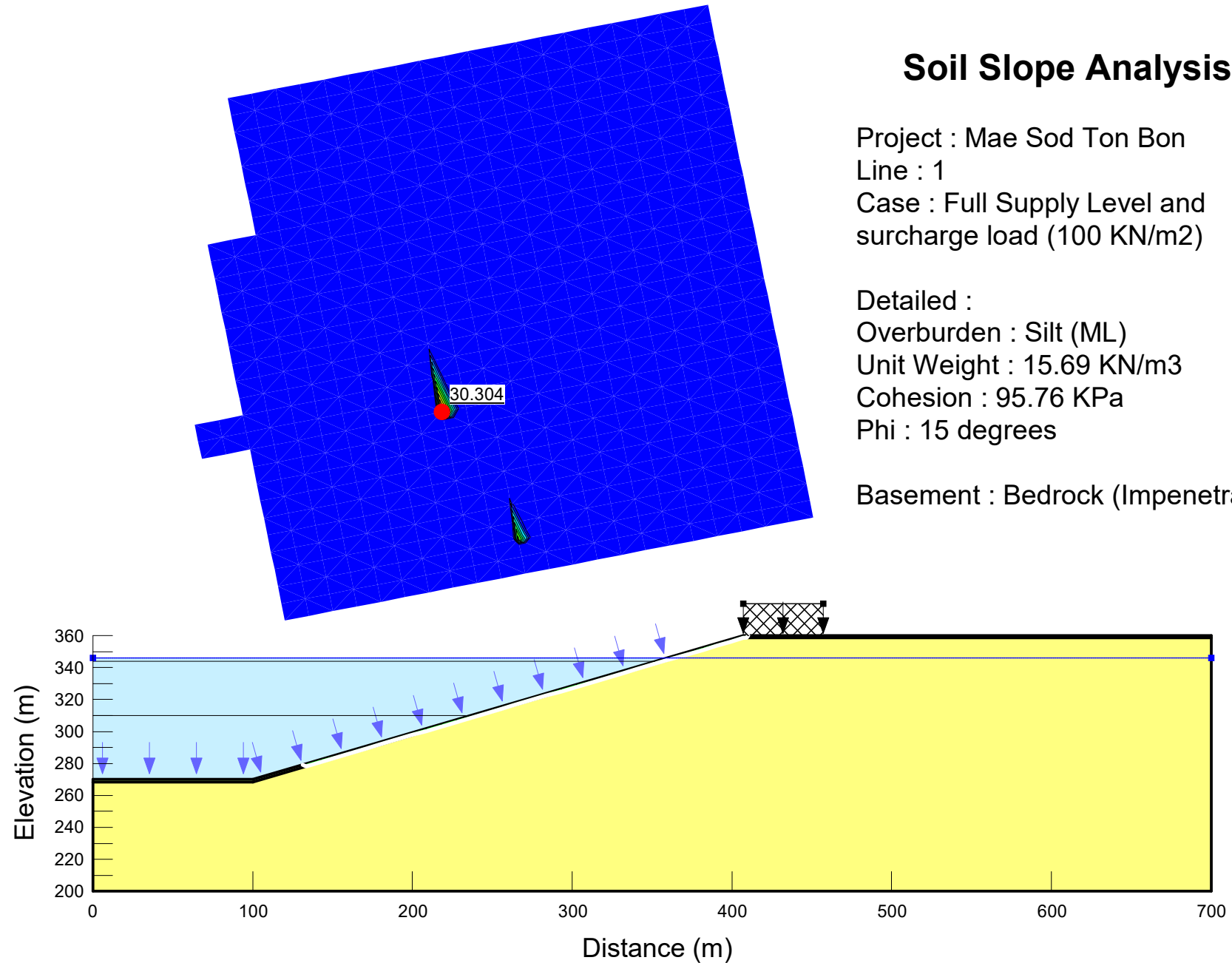


Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon
Line : 1
Case : Full Supply Level and
surcharge load (100 KN/m²)

Detailed :
Overburden : Silt (ML)
Unit Weight : 15.69 KN/m³
Cohesion : 95.76 KPa
Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)

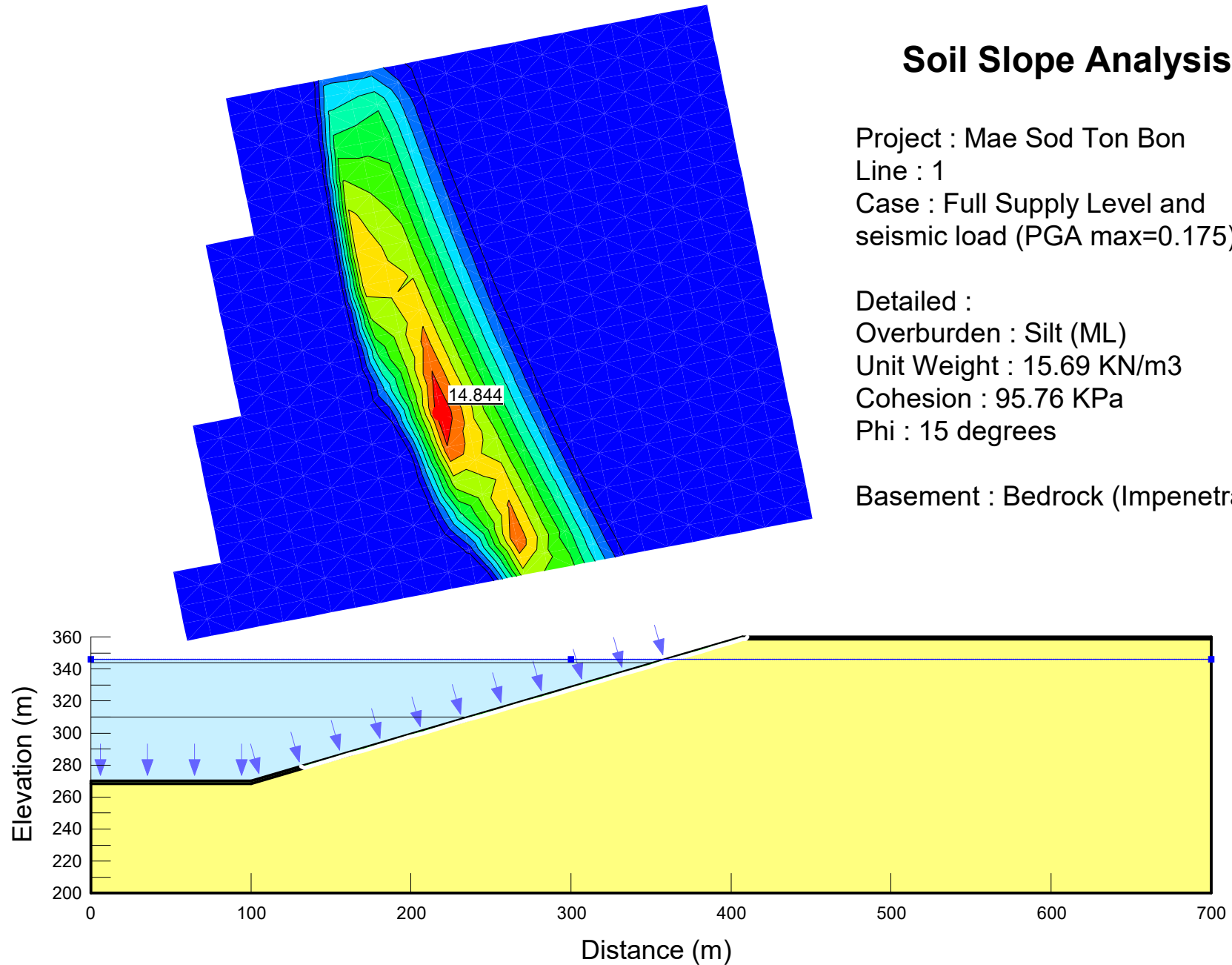


Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon
Line : 1
Case : Full Supply Level and seismic load (PGA max=0.175)

Detailed :
Overburden : Silt (ML)
Unit Weight : 15.69 KN/m³
Cohesion : 95.76 KPa
Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)

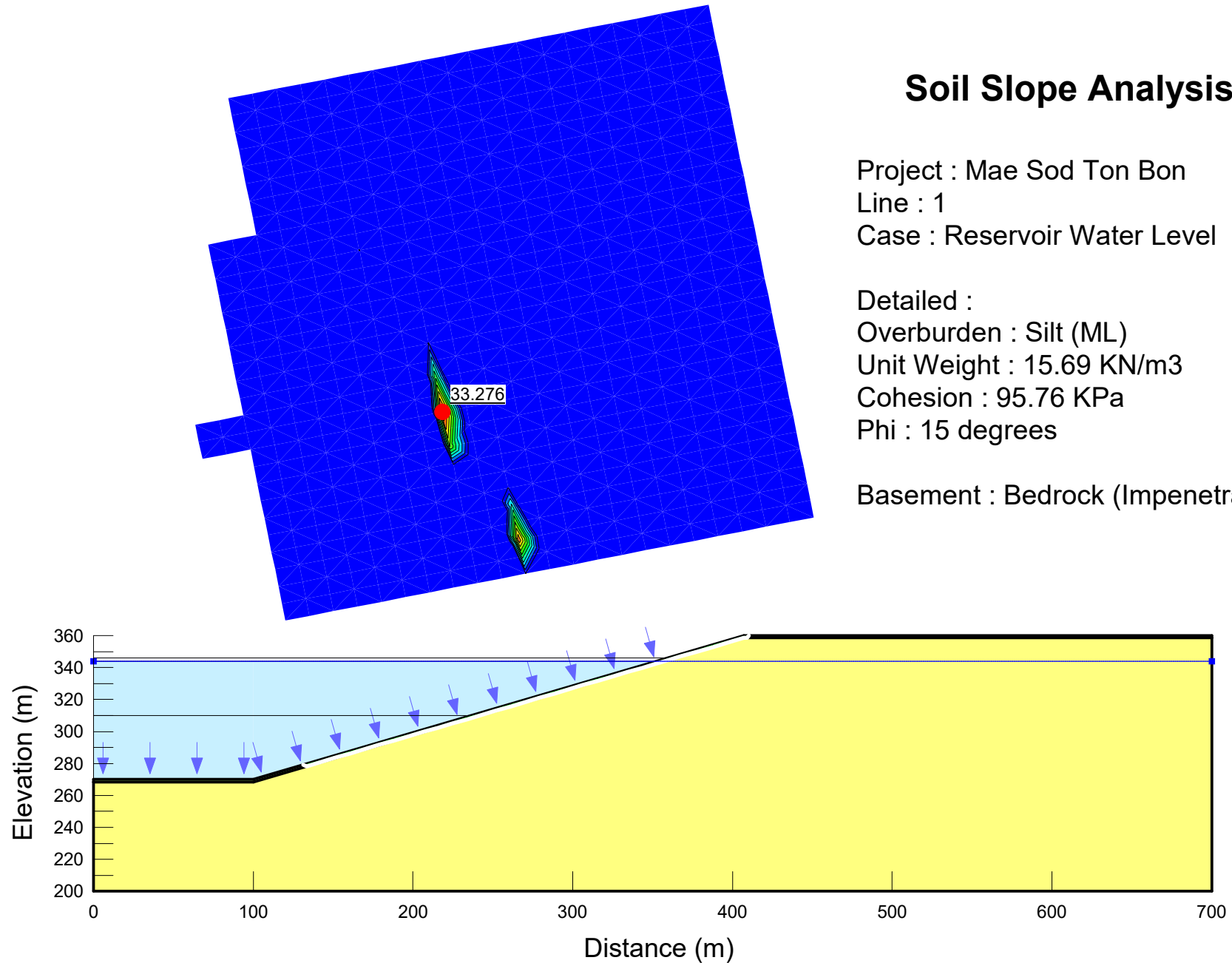


Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon
Line : 1
Case : Reservoir Water Level

Detailed :
Overburden : Silt (ML)
Unit Weight : 15.69 KN/m³
Cohesion : 95.76 KPa
Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)



Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon

Line : 1

Case : Reservoir Water Level and
surcharge load (100 KN/m²)

Detailed :

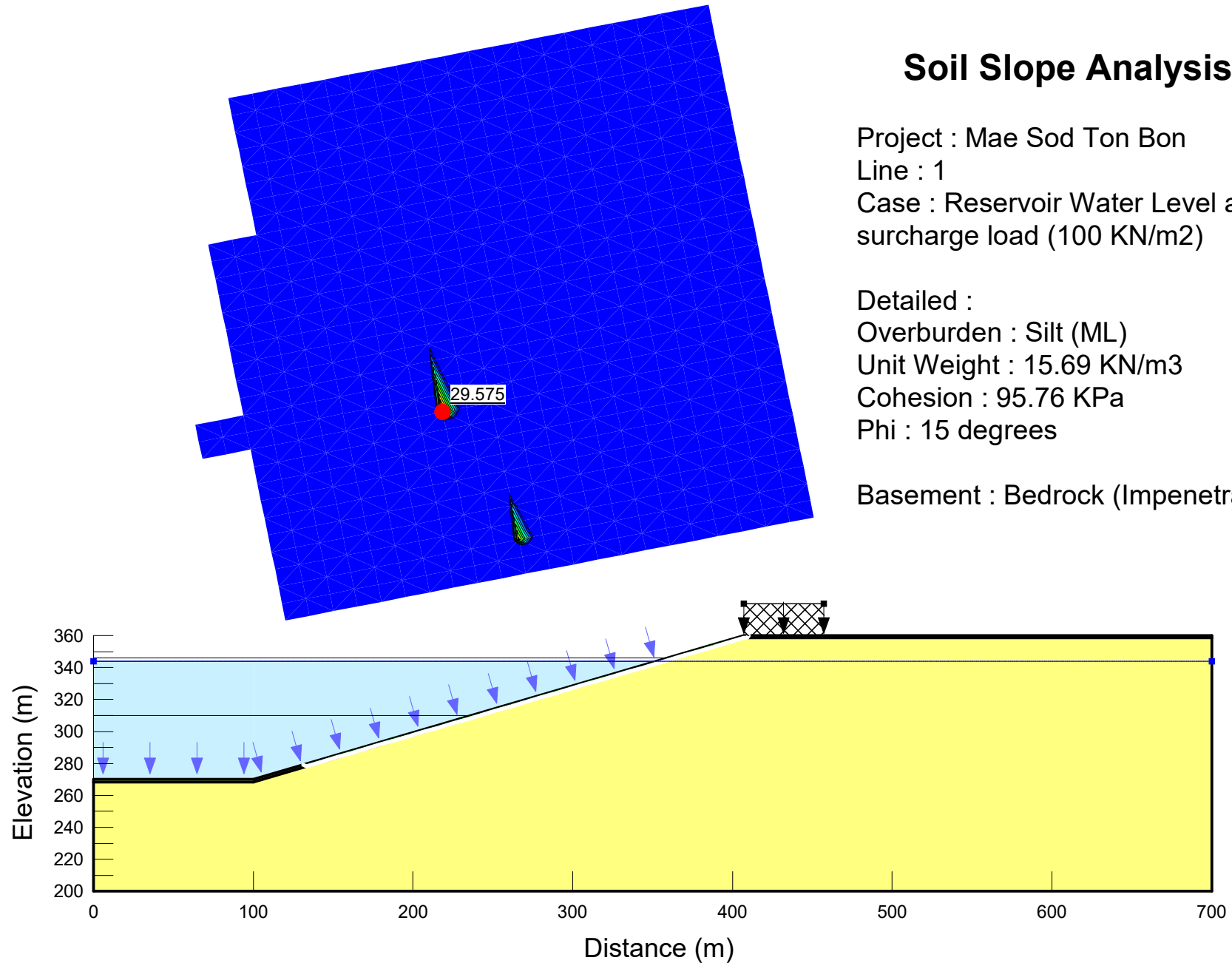
Overburden : Silt (ML)

Unit Weight : 15.69 KN/m³

Cohesion : 95.76 KPa

Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)



Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon

Line : 1

Case : Reservoir Water Level and seismic load (PGA max=0.175)

Detailed :

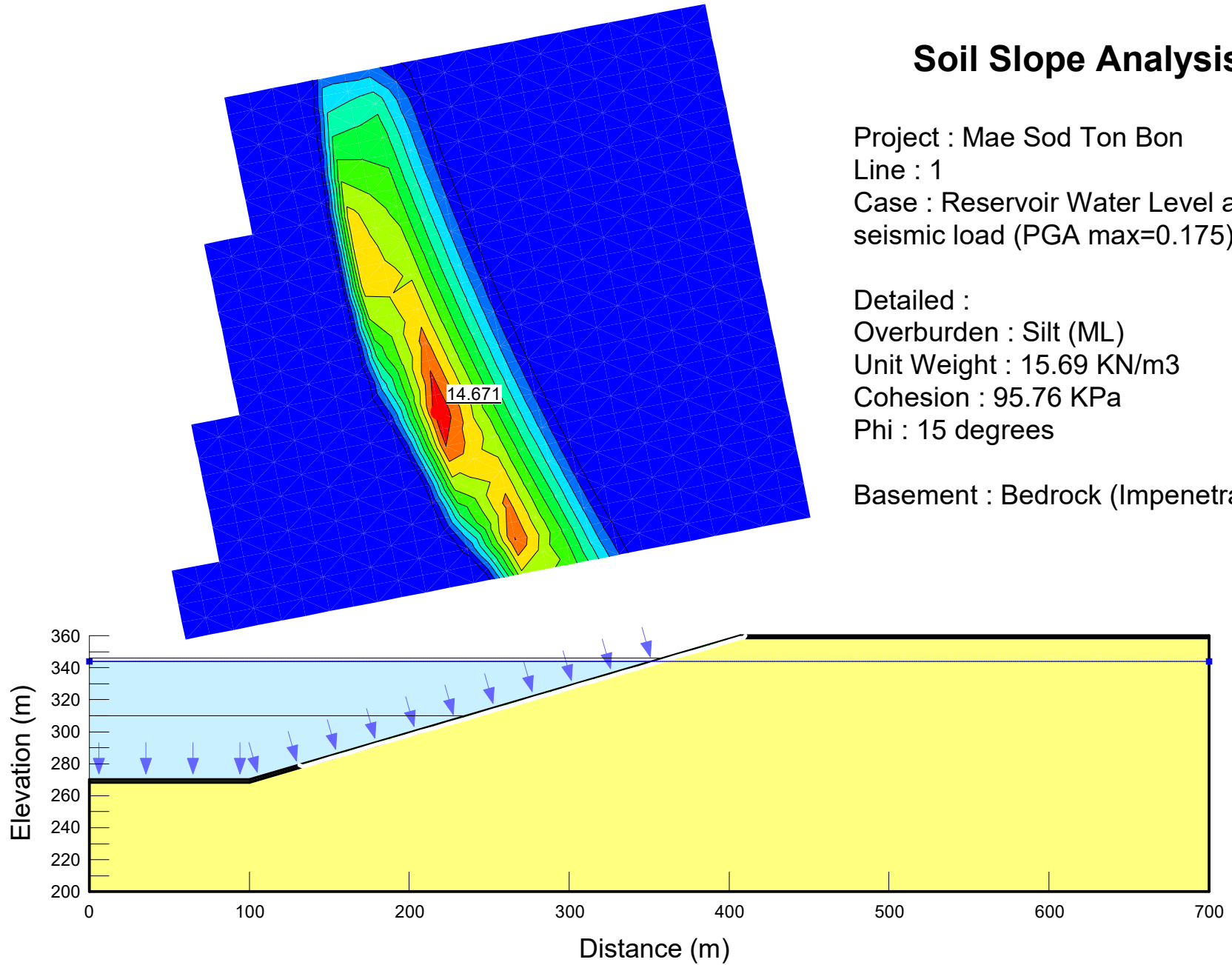
Overburden : Silt (ML)

Unit Weight : 15.69 KN/m³

Cohesion : 95.76 KPa

Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)

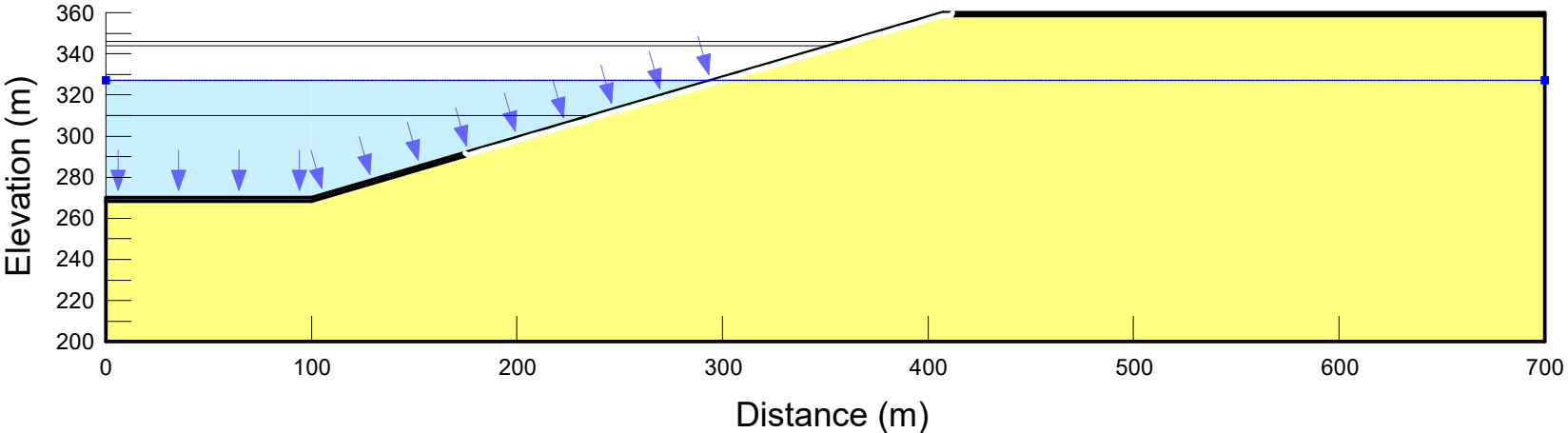
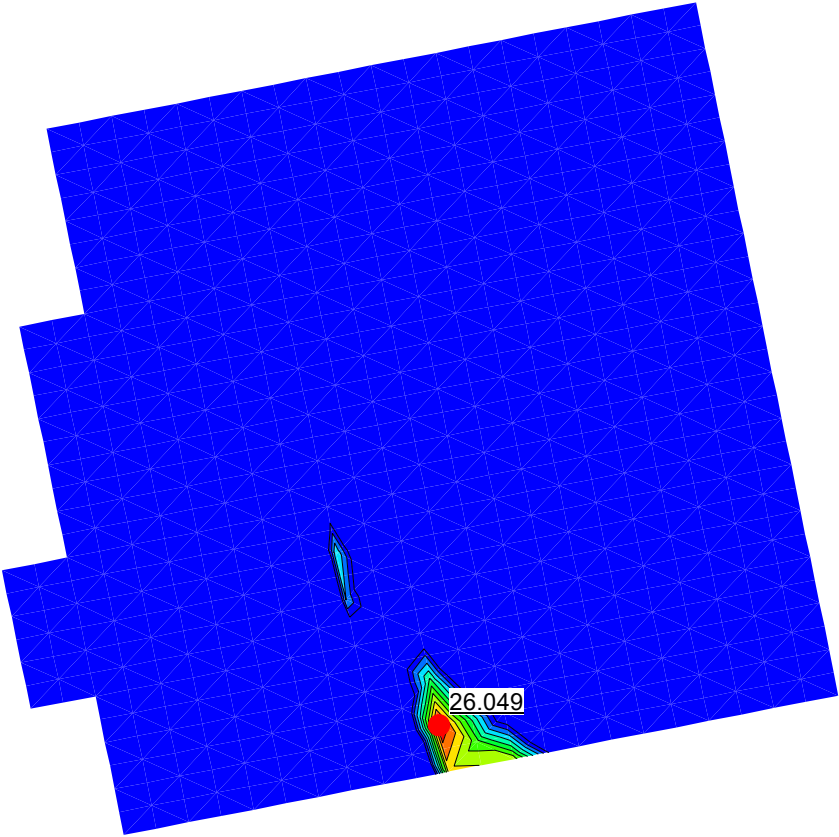


Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon
Line : 1
Case : 50% of Reservoir Water Level

Detailed :
Overburden : Silt (ML)
Unit Weight : 15.69 KN/m³
Cohesion : 95.76 KPa
Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)

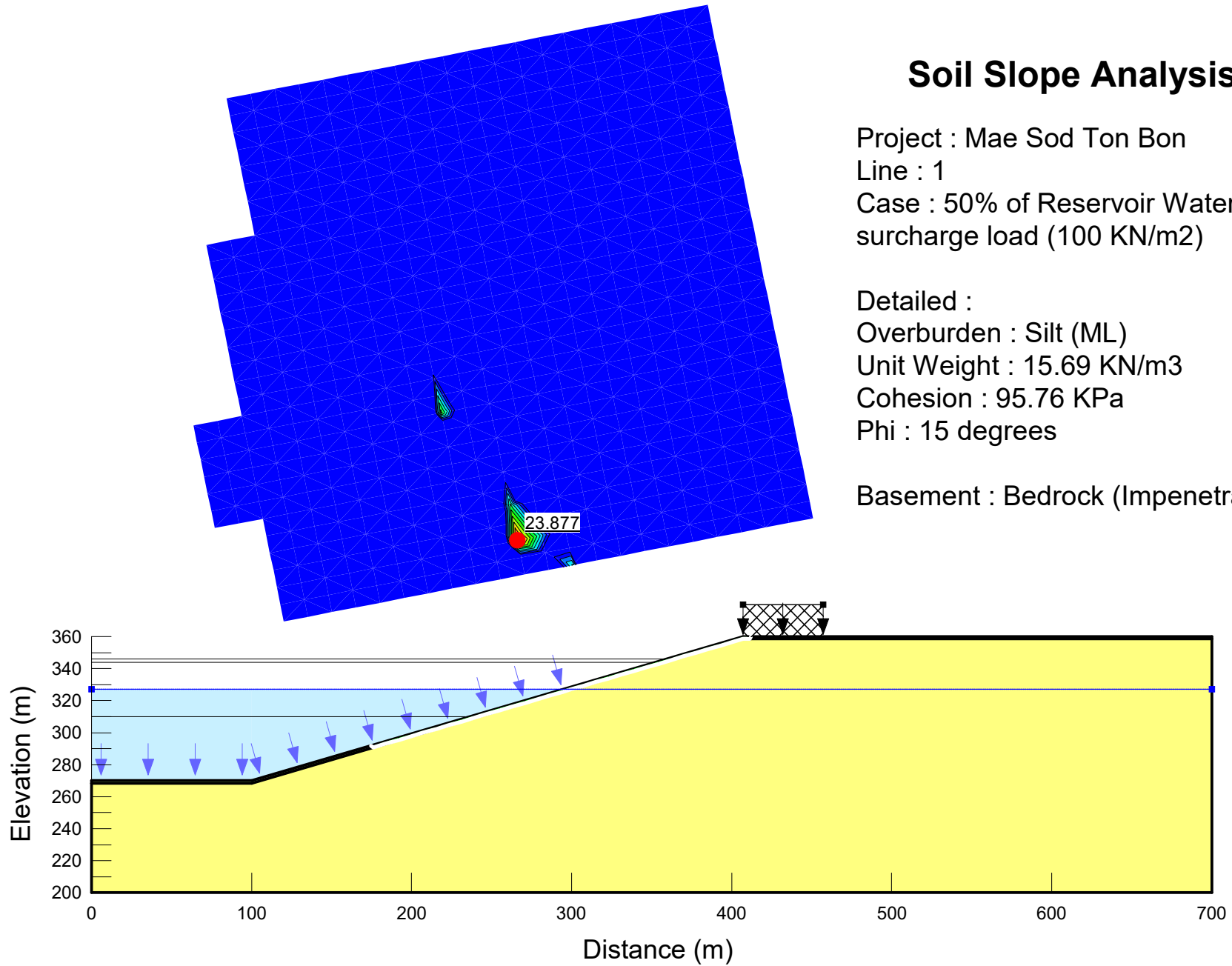


Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon
Line : 1
Case : 50% of Reservoir Water Level and surcharge load (100 KN/m²)

Detailed :
Overburden : Silt (ML)
Unit Weight : 15.69 KN/m³
Cohesion : 95.76 KPa
Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)

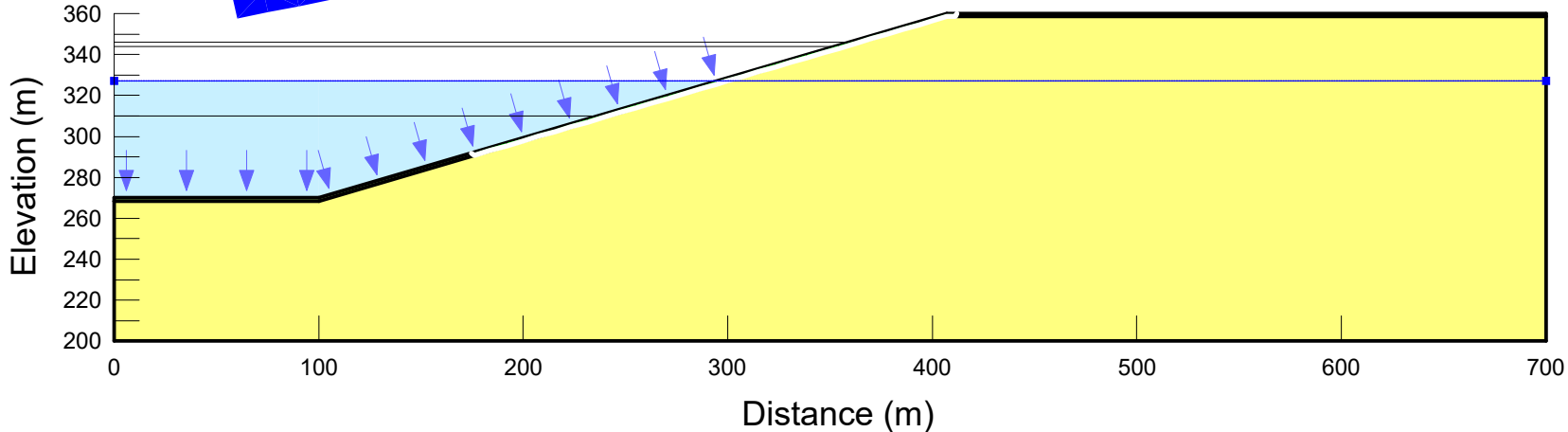
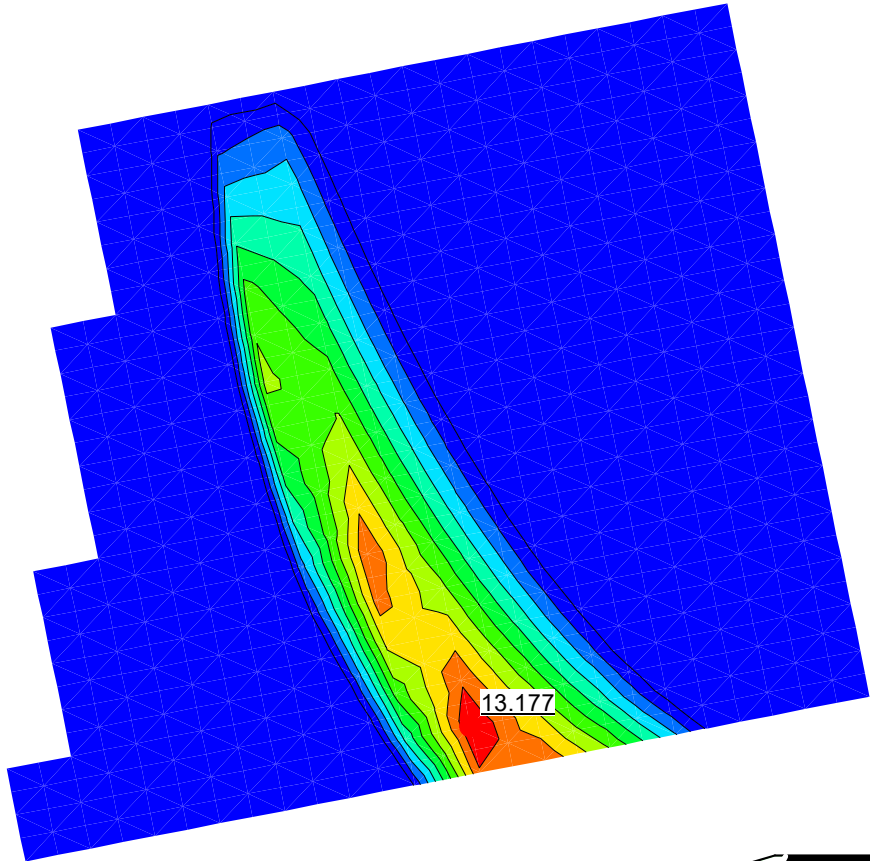


Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon
Line : 1
Case : 50% of Reservoir Water Level and seismic load (PGA max=0.175)

Detailed :
Overburden : Silt (ML)
Unit Weight : 15.69 KN/m³
Cohesion : 95.76 KPa
Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)

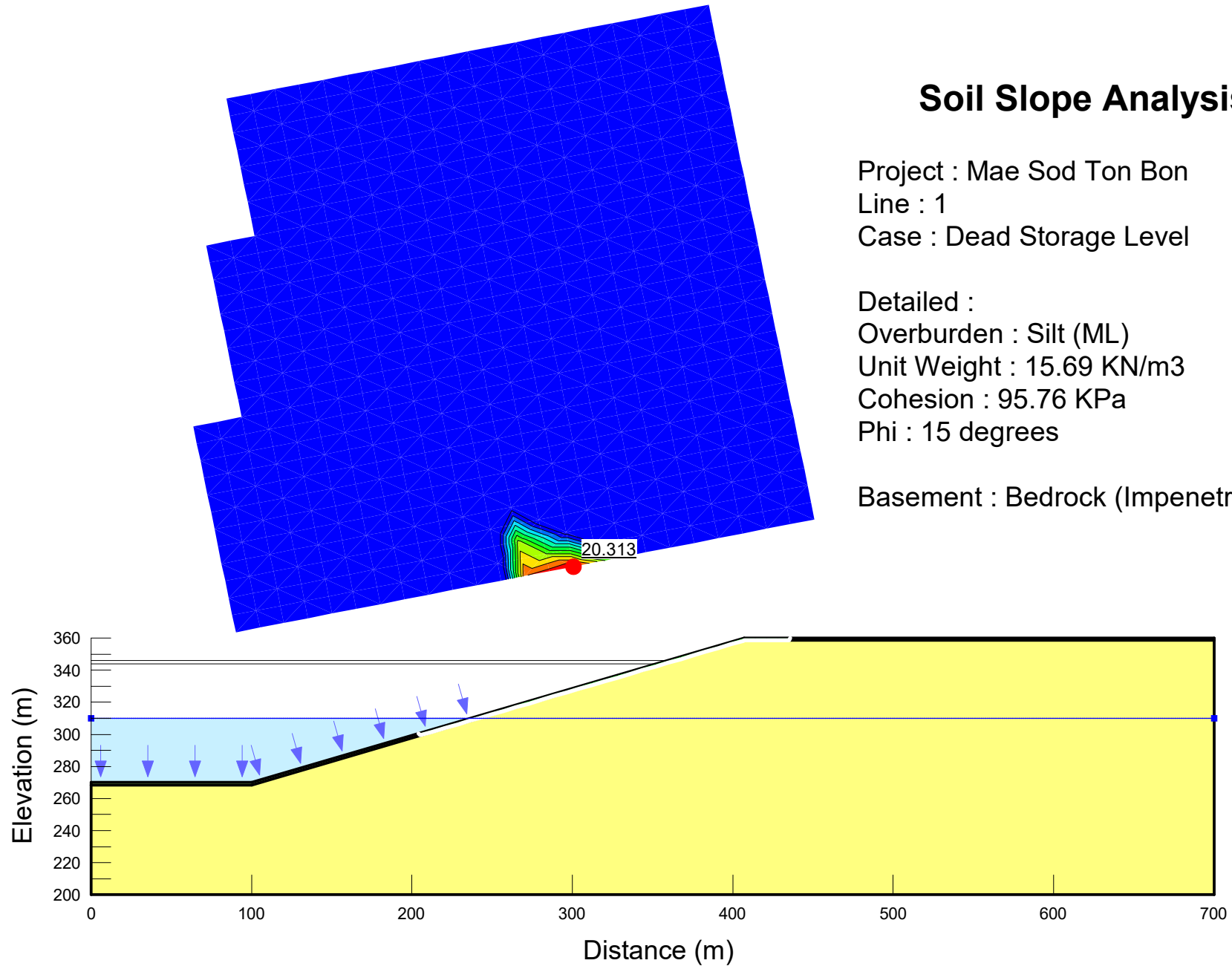


Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon
Line : 1
Case : Dead Storage Level

Detailed :
Overburden : Silt (ML)
Unit Weight : 15.69 KN/m³
Cohesion : 95.76 KPa
Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)

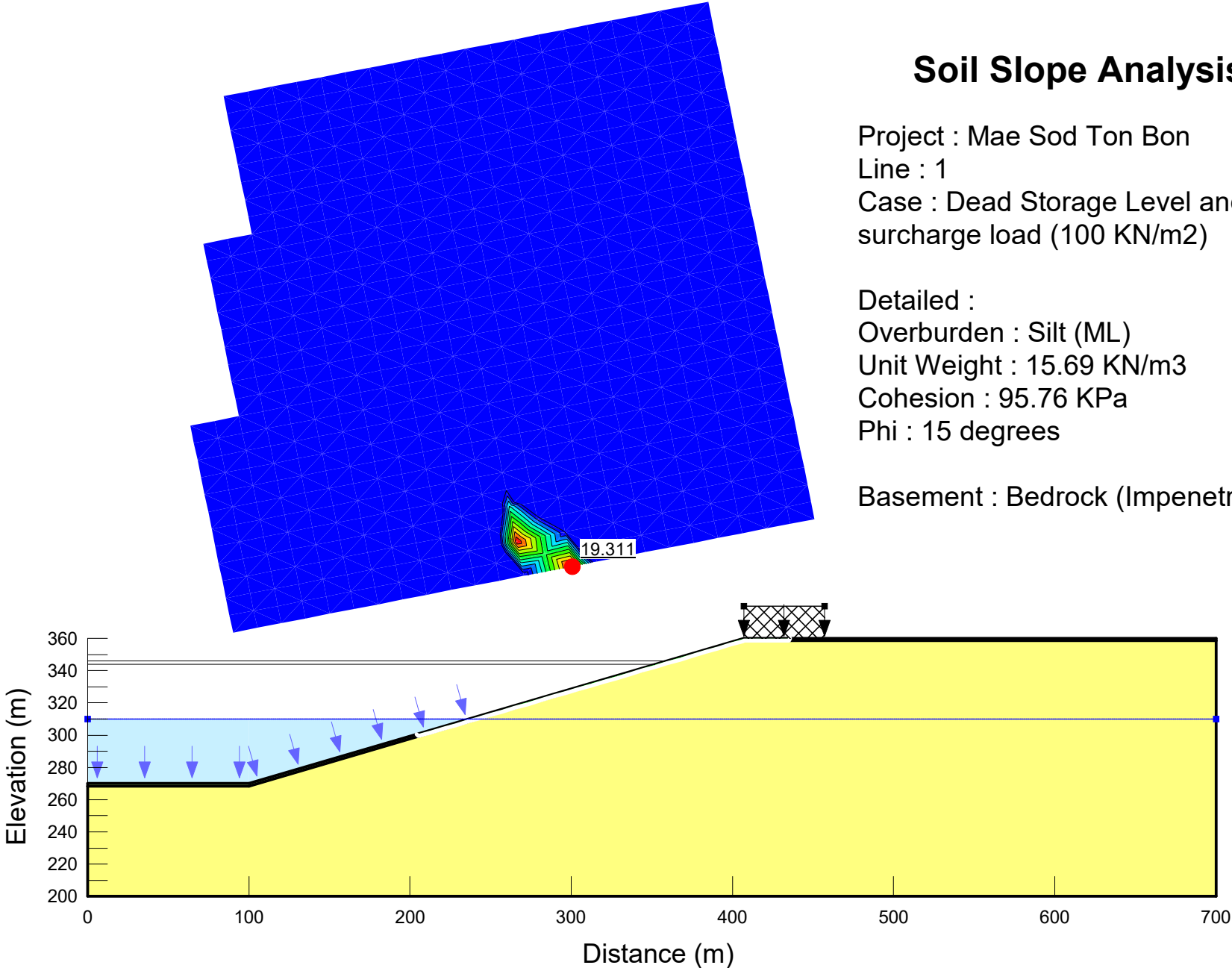


Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon
Line : 1
Case : Dead Storage Level and surcharge load (100 KN/m²)

Detailed :
Overburden : Silt (ML)
Unit Weight : 15.69 KN/m³
Cohesion : 95.76 KPa
Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)

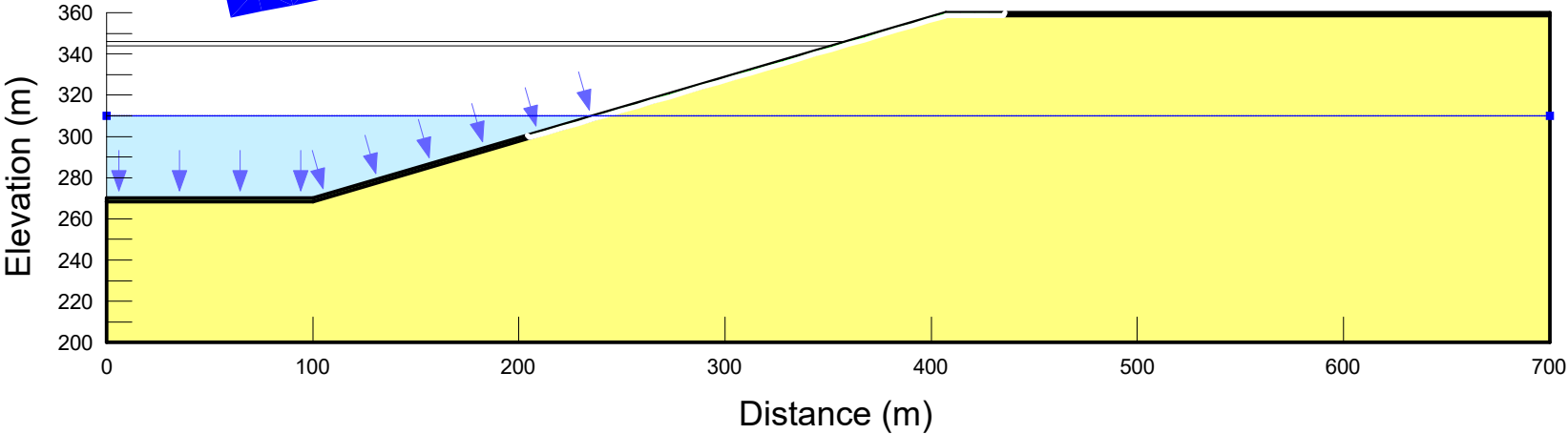
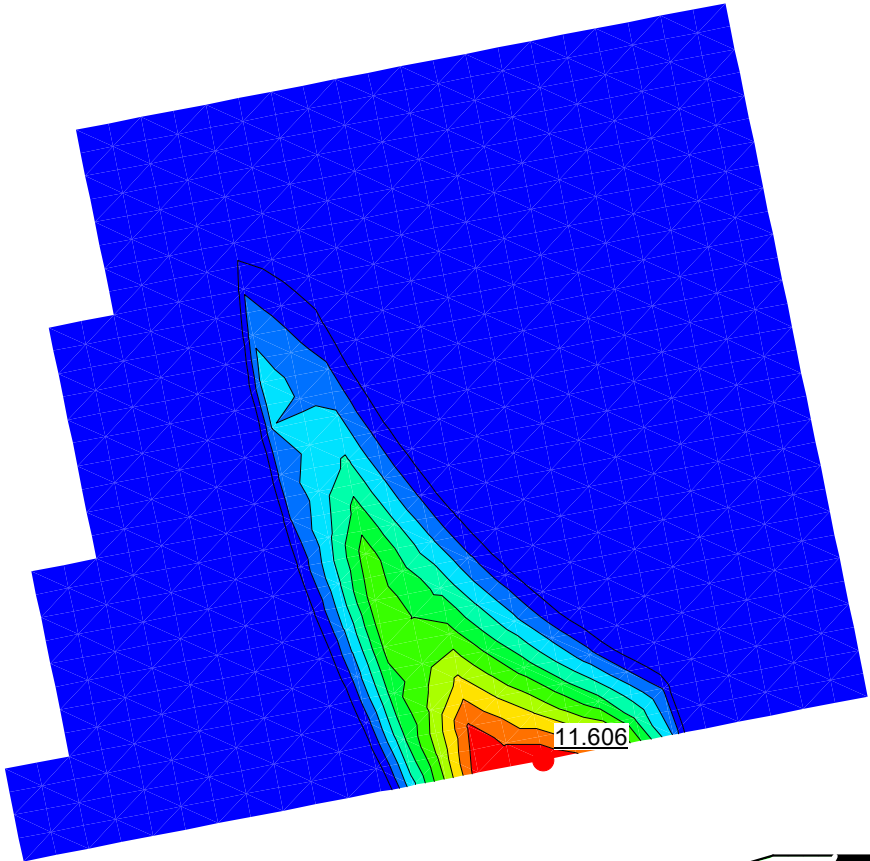


Soil Slope Analysis

Project : Mae Sod Ton Bon
Line : 1
Case : Dead Storage Level and seismic load (PGA max=0.175)

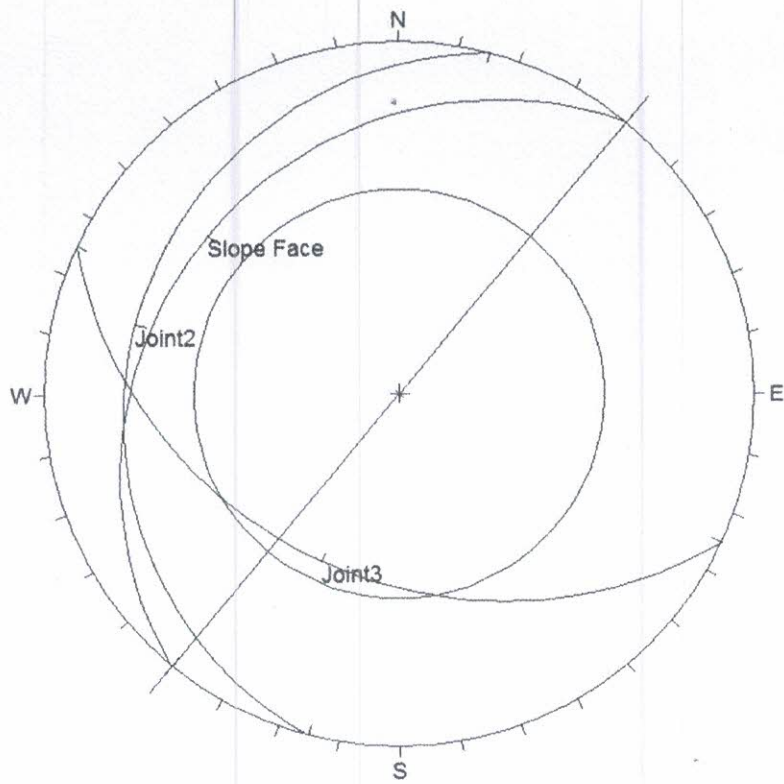
Detailed :
Overburden : Silt (ML)
Unit Weight : 15.69 KN/m³
Cohesion : 95.76 KPa
Phi : 15 degrees

Basement : Bedrock (Impenetrable)



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดหิน โดยวิธีจลนศาสตร์ (Kinematic Analysis)



Mae Sod Reservoir Project ; Tak

Station 1

Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 115 / 35 |
| 2 | 195 / 15 |
| 3 | 220 / 20 |

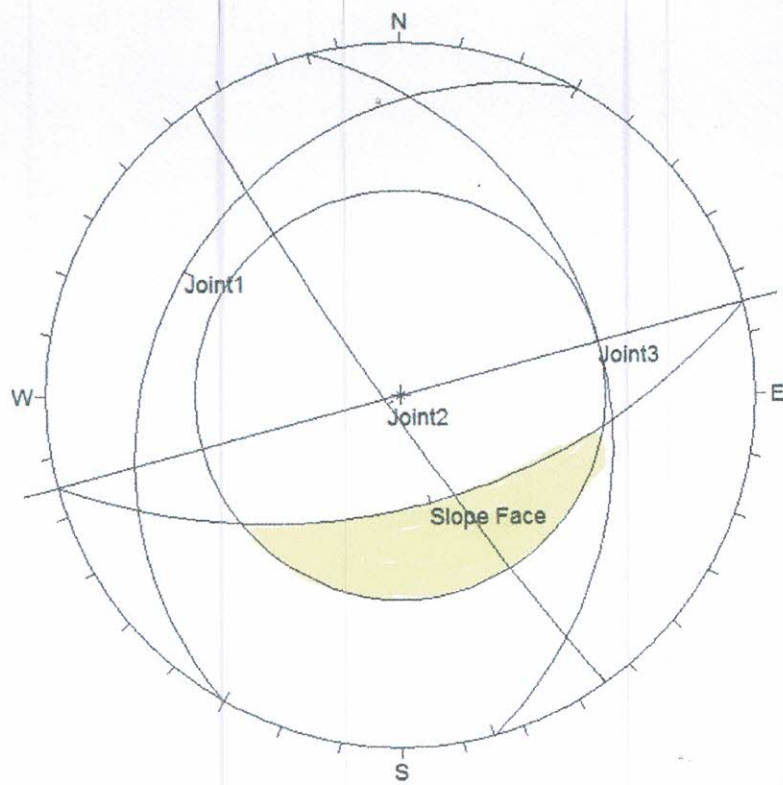
Rock Slope Analysis

Argillaceous Limestone

Phe 30 degree

Result : Stable

Equal Angle
Lower Hemisphere
3 Poles
3 Entries



Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 2

Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 210 / 20 |
| 2 | 345 / 30 |
| 3 | 075 / 55 |
| 4 | 145 / 85 |

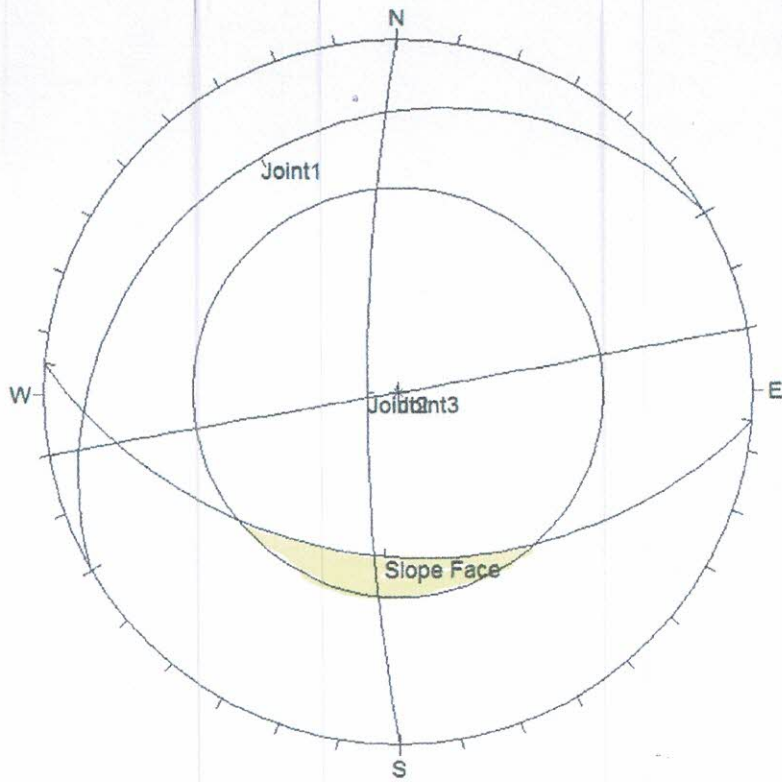
Rock Slope Analysis

Argillaceous Limestone

Phe 30 degree

Result : Stable

Equal Angle
Lower Hemisphere
4 Poles
4 Entries



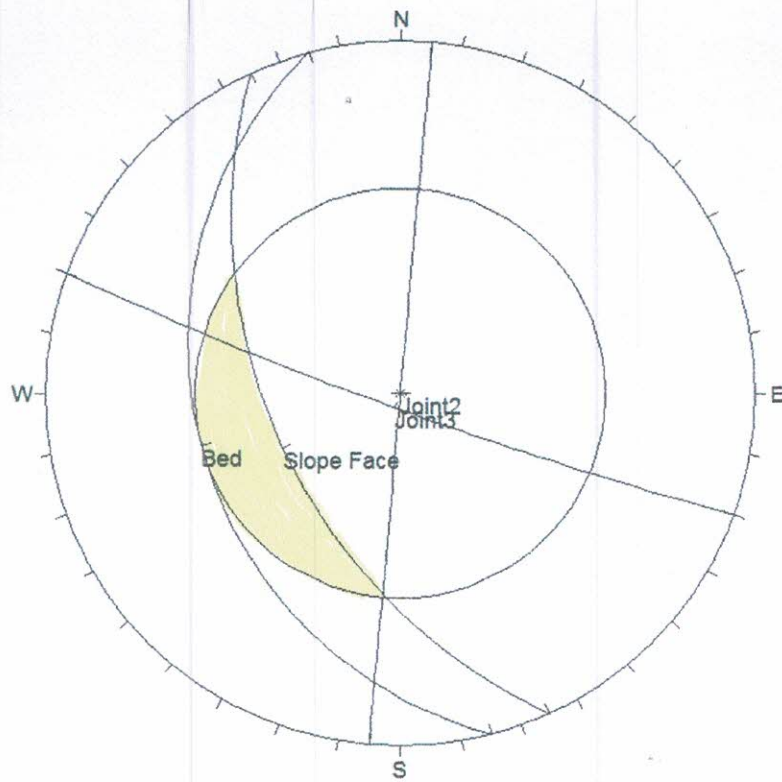
Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 3

Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 080 / 90 |
| 2 | 240 / 15 |
| 3 | 095 / 40 |
| 4 | 180 / 80 |

Rock Slope Analysis
Argillaceous Limestone
Phe 30 degree
Result : Stable

Equal Angle
Lower Hemisphere
4 Poles
4 Entries



Mae Sod Reservoir Project : Tak
Station 4

Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 110 / 85 |
| 2 | 185 / 90 |
| 3 | 155 / 50 |
| 4 | 165 / 30 |

Rock Slope Analysis

Argillaceous Limestone

Phe 30 degree

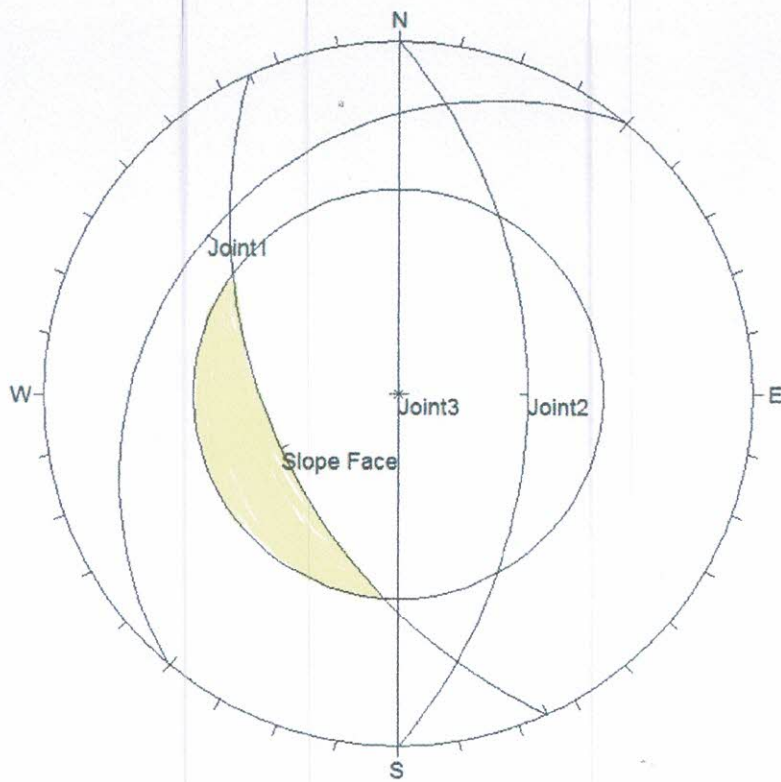
Result : May be Plane failure of beddin

Equal Angle

Lower Hemisphere

4 Poles

4 Entries

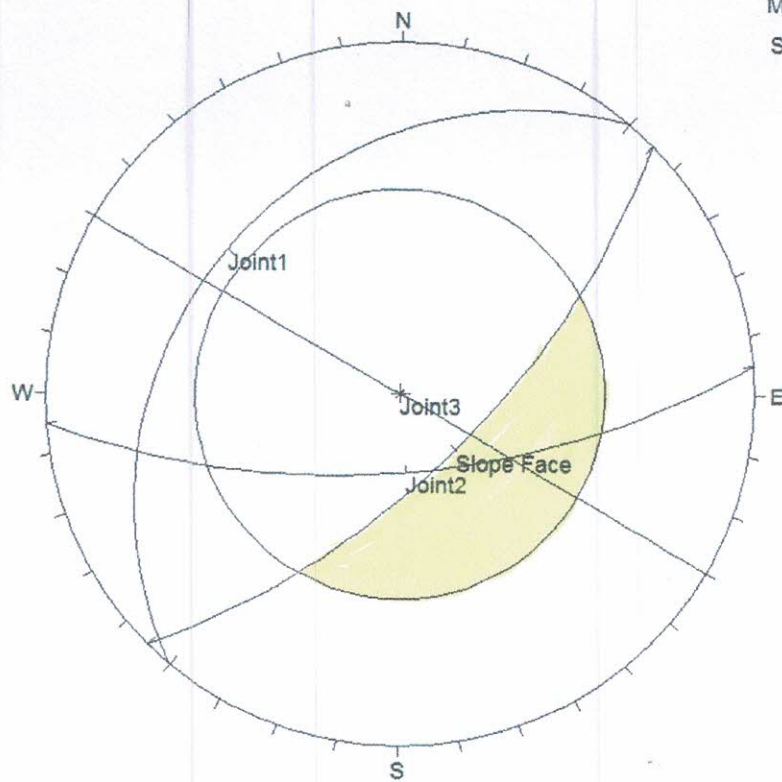


Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 5

| Orientations | |
|--------------|--------------------|
| ID | Strike / Dip Right |
| 1 | 360 / 90 |
| 2 | 220 / 20 |
| 3 | 360 / 50 |
| 4 | 155 / 50 |

Rock Slope Analysis
Argillaceous Limestone
Phe 30 degree
Result : Stable

Equal Angle
Lower Hemisphere
4 Poles
4 Entries

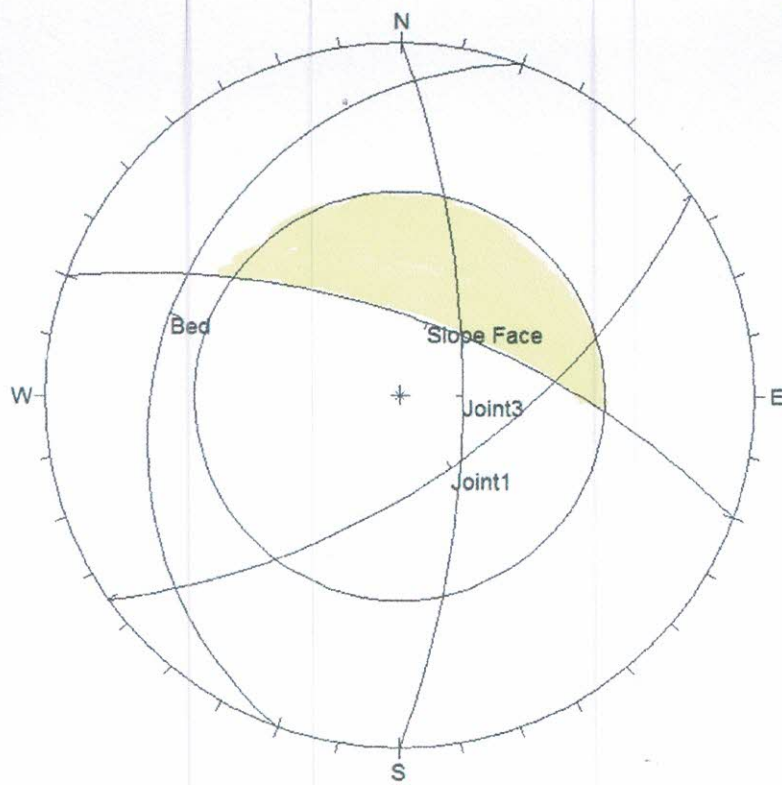


Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 6

| Orientations | |
|--------------|--------------------|
| ID | Strike / Dip Right |
| 1 | 045 / 65 |
| 2 | 220 / 25 |
| 3 | 085 / 65 |
| 4 | 120 / 90 |

Rock Slope Analysis
Argillaceous Limestone
Phe 30 degree
Result Stable

Equal Angle
Lower Hemisphere
4 Poles
4 Entries



Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 7

Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 055 / 62 |
| 2 | 360 / 70 |
| 3 | 200 / 21 |
| 4 | 290 / 65 |

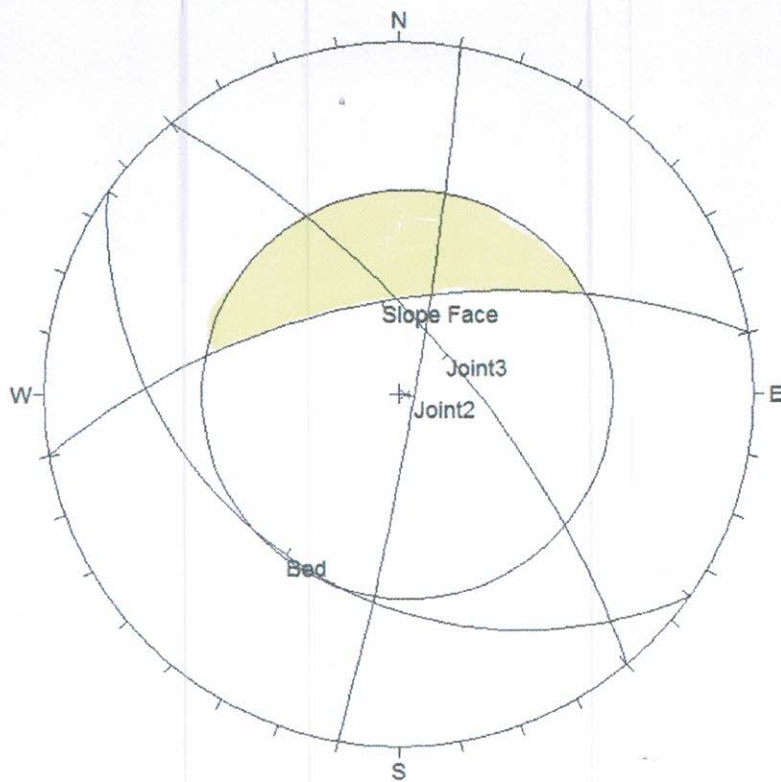
Rock Slope Analysis

Argillaceous Limestone / Siltstone

Phe 30 degree

Result : Stable

Equal Angle
Lower Hemisphere
4 Poles
4 Entries

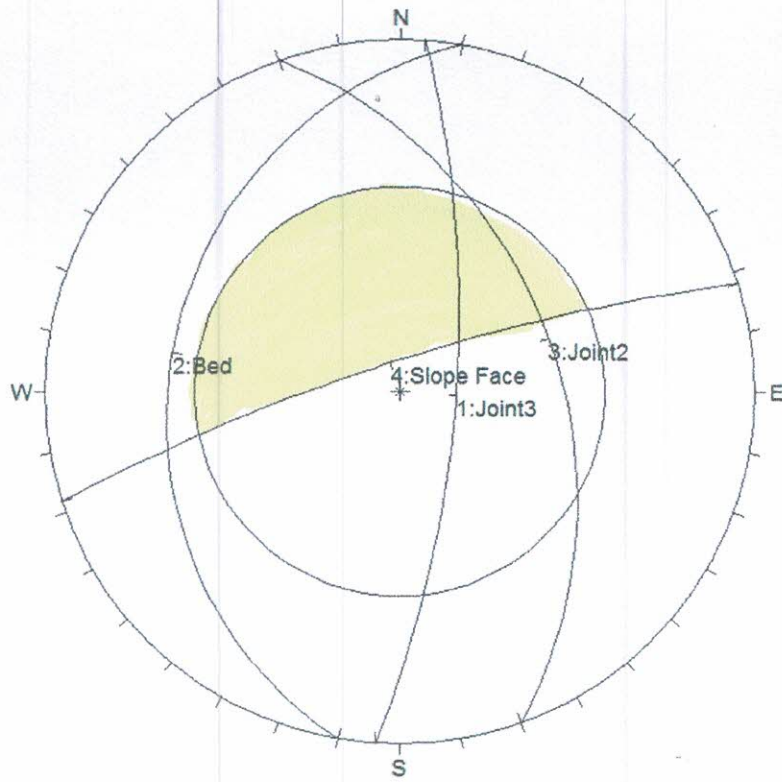


Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 8

| Orientations | |
|--------------|--------------------|
| ID | Strike / Dip Right |
| 1 | 125 / 32 |
| 2 | 260 / 60 |
| 3 | 320 / 70 |
| 4 | 010 / 85 |

Rock Slope Analysis
Argillaceous Limestone / Siltstone
Phe 30 degree
Result :Stable

Equal Angle
Lower Hemisphere
4 Poles
4 Entries



Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 9

Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 004 / 72 |
| 2 | 190 / 24 |
| 3 | 340 / 42 |
| 4 | 252 / 80 |

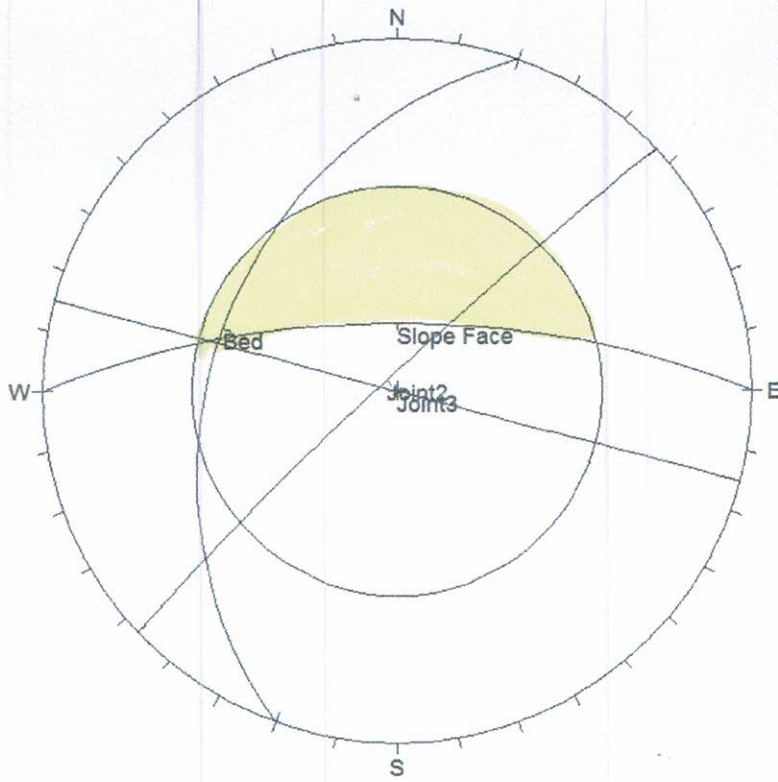
Rock Slope Analysis

Argillaceous Limestone / Siltstone

Phe 30 degree

Result : Stable

Equal Angle
Lower Hemisphere
4 Poles
4 Entries



Mae Sod Reservoir Project : Tak
Station 10

Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 285 / 90 |
| 2 | 200 / 35 |
| 3 | 270 / 68 |
| 4 | 227 / 85 |

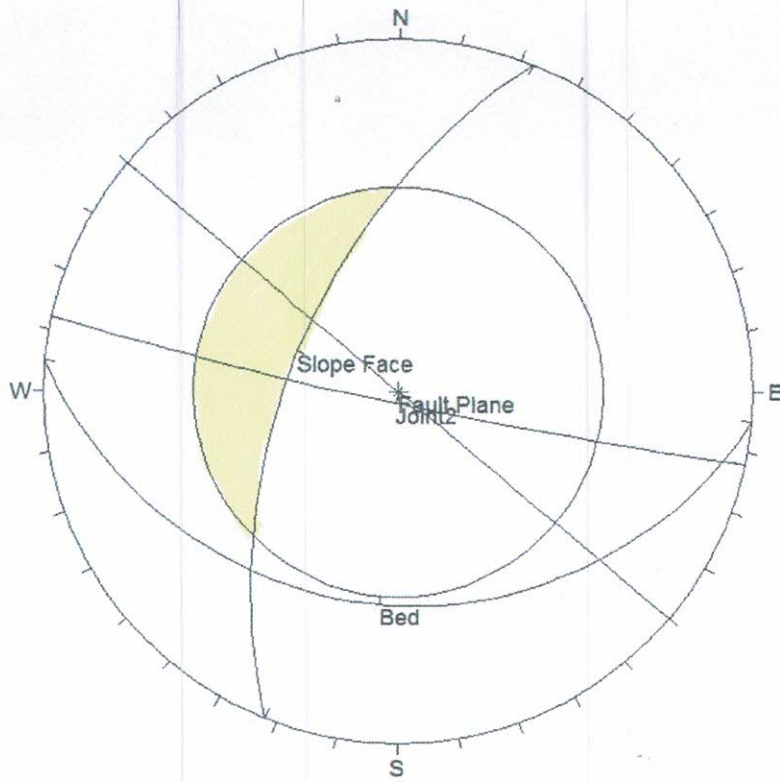
Rock Slope Analysis

Argillaceous Limestone / Siltstone

Phe 30 degree

Result : Stable

Equal Angle
Lower Hemisphere
4 Poles
4 Entries

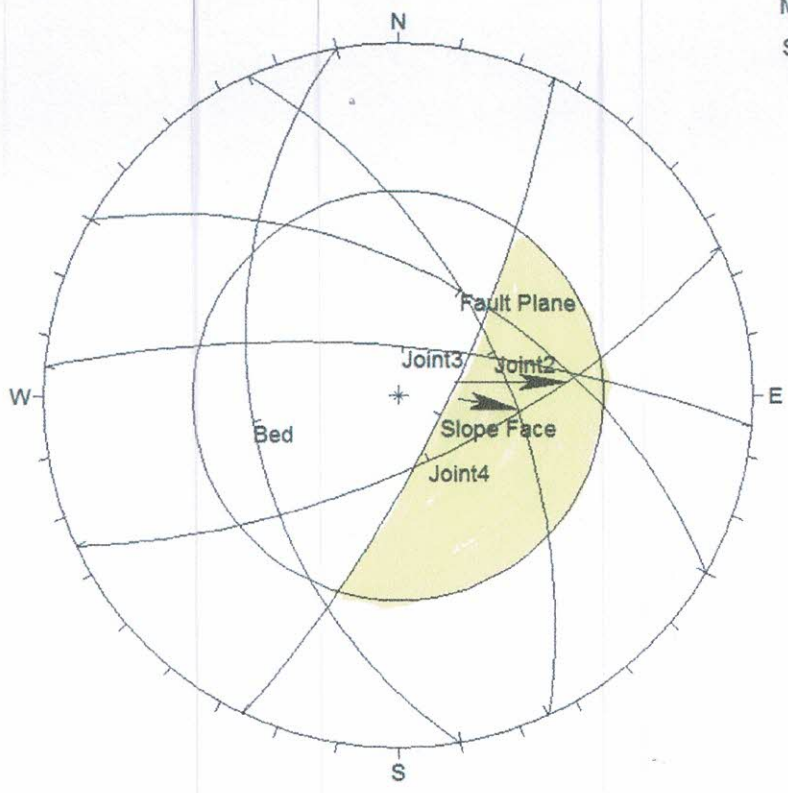


Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 11

| Orientations | |
|--------------|--------------------|
| ID | Strike / Dip Right |
| 1 | 130 / 90 |
| 2 | 102 / 86 |
| 3 | 202 / 56 |
| 4 | 095 / 28 |

Rock Slope Analysis
Argillaceous Limestone / Siltstone
Phe 30 degree
Result ; Stable

Equal Angle
Lower Hemisphere
5 Poles
5 Entries



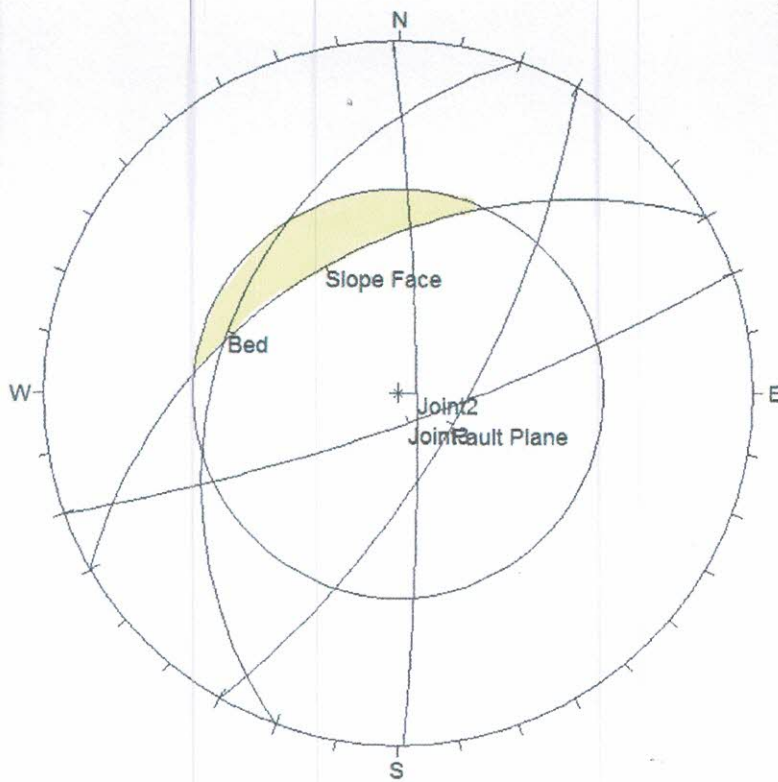
Mae Sod Reservoir Project: Tak
Station 12

| Orientations | |
|--------------|--------------------|
| ID | Strike / Dip Right |
| 1 | 065 / 67 |
| 2 | 026 / 75 |
| 3 | 170 / 45 |
| 4 | 335 / 57 |
| 5 | 300 / 52 |
| 6 | 275 / 74 |

Rock Slope Analysis
Argillaceous Limestone / Siltstone
Phe 30 degree
Result : Wedge failure J3# J4# Fault

Equal Angle
Lower Hemisphere
6 Poles
6 Entries

Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 13



Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 240 / 45 |
| 2 | 200 / 36 |
| 3 | 359 / 84 |
| 4 | 030 / 70 |
| 5 | 070 / 80 |

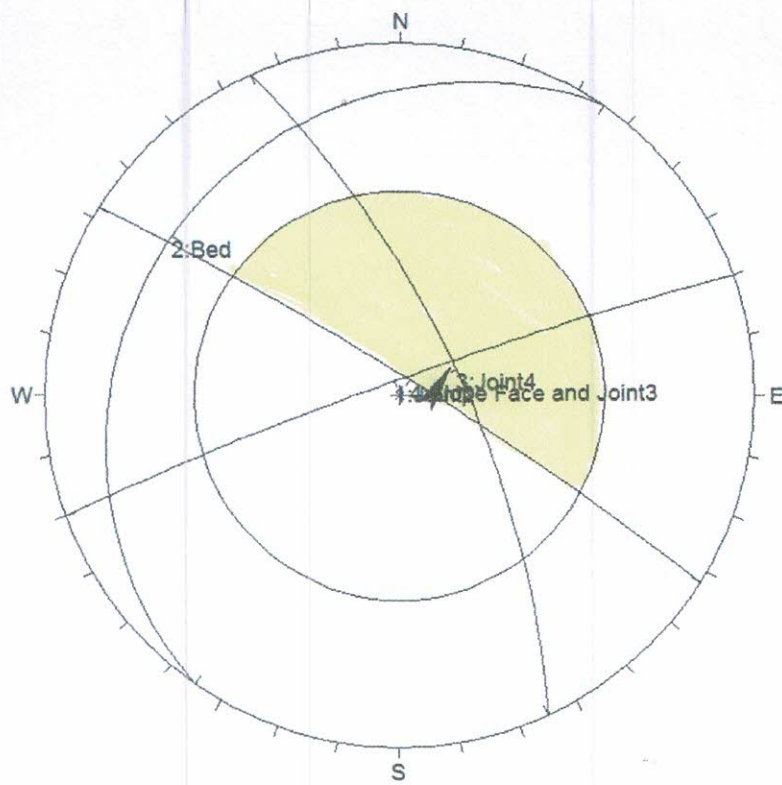
Rock Slope Analysis

Argillaceous Limestone / Siltstone

Phe 30 degree

Result : May be Toppling failure of J2

Equal Angle
Lower Hemisphere
5 Poles
5 Entries



Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 14

Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 250 / 85 |
| 2 | 215 / 14 |
| 3 | 335 / 70 |
| 4 | 302 / 84 |

Rock Slope Analysis

Argillaceous Limestone / Siltstone

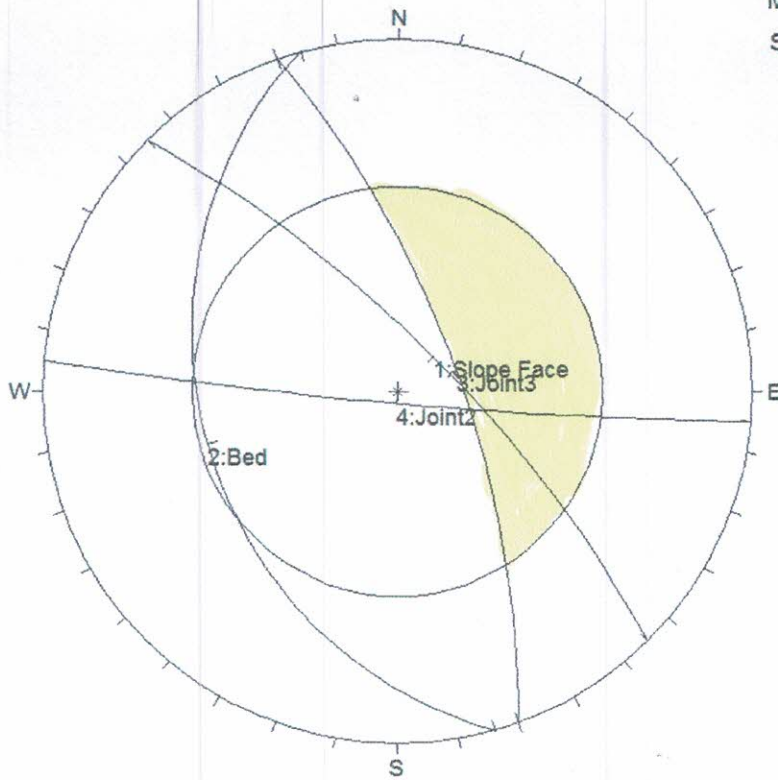
Phe 30 degree

Result : Wedge failure J1# J4

Equal Angle
Lower Hemisphere
5 Poles
5 Entries

Mae Sod Reservoir Project ; Tak

Station 15



Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 315 / 74 |
| 2 | 164 / 32 |
| 3 | 340 / 70 |
| 4 | 095 / 86 |

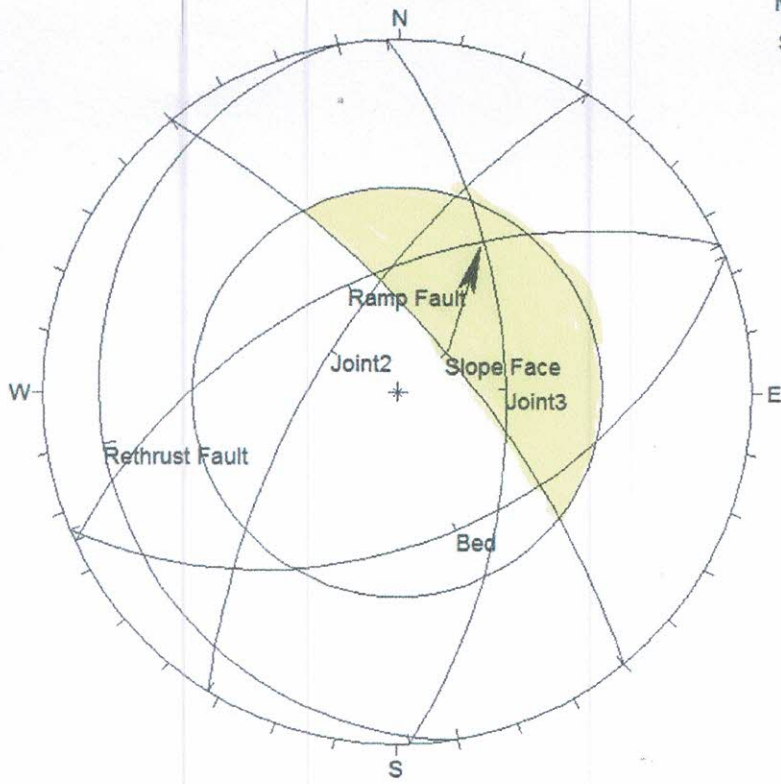
Rock Slope Analysis

Argillaceous Limestone / Siltstone

Phe 30 degree

Result : May be Toppling failure of be

Equal Angle
Lower Hemisphere
4 Poles
4 Entries



Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 16

Orientations

| ID | Strike / Dip Right |
|----|--------------------|
| 1 | 212 / 65 |
| 2 | 245 / 53 |
| 3 | 320 / 70 |
| 4 | 170 / 10 |
| 5 | 358 / 56 |
| 6 | 067 / 44 |

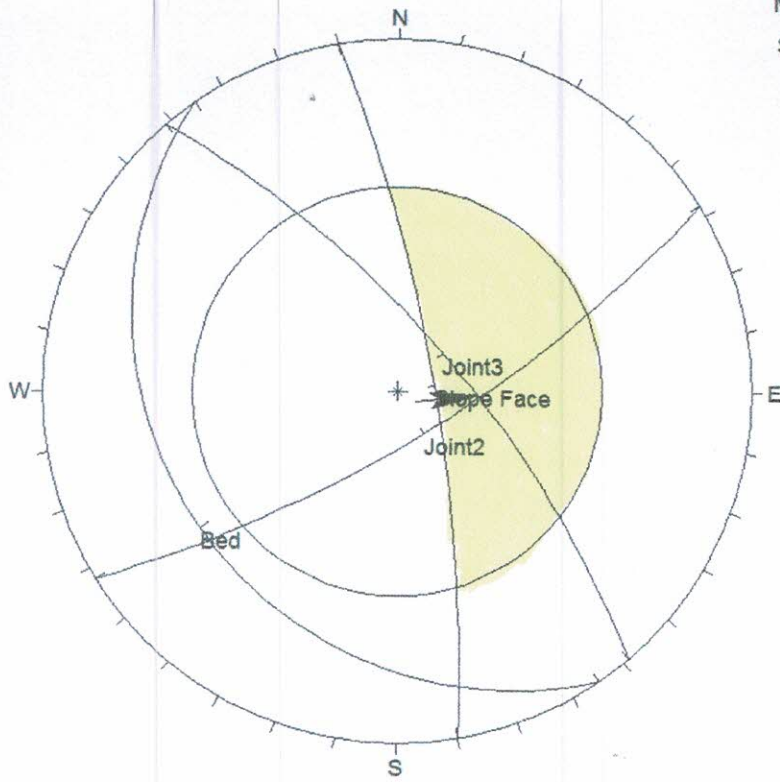
Rock Slope Analysis

Argillaceous Limestone / Siltstone

Phe 30 degree

Result : Wedge failure Ramp fault # J3

Equal Angle
Lower Hemisphere
6 Poles
6 Entries



Mae Sod Reservoir Project ; Tak
Station 17

| Orientations | |
|--------------|--------------------|
| ID | Strike / Dip Right |
| 1 | 319 / 71 |
| 2 | 145 / 22 |
| 3 | 350 / 78 |
| 4 | 058 / 74 |

Rock Slope Analysis
Argillaceous Limestone / Siltstone
Phe 30 degree
Result : Wedge failure J2# J3

Equal Angle
Lower Hemisphere
4 Poles
4 Entries

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดหินโดยวิธีการประเมินคุณภาพมวลรวมของลาด
(Slope Mass Rating ; SMR)

ผลการวิเคราะห์ Slope Mass Rating (SMR)

| Station | Joint | SMR | avg | Description | Stabilty | Failures | Supports/Comments |
|---------|-------|-------|-------|-------------|-------------------|----------------------|---|
| 1 | 1 | 71.35 | 72.12 | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| | 2 | 73.00 | | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| | 3 | 72.00 | | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| 2 | 1 | 38.35 | 38.65 | Bad | Unstable | Important/Corrective | Anchors. Sistematic shotcrete. Toe wall and/or concrete(Reexcavation). Drainage. |
| | 2 | 37.00 | | Bad | Unstable | Important/Corrective | Anchors. Sistematic shotcrete. Toe wall and/or concrete(Reexcavation). Drainage. |
| | 3 | 40.60 | | Normal | Partially stable | Systematic | (Toe ditch and/or nets) Sistematic bolting. Anchors. Sistematic shotcrete. Toe wall and/or dental concrete. |
| 3 | 1 | 71.35 | 71.12 | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| | 2 | 70.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 3 | 72.00 | | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| 4 | 1 | 66.00 | 72.80 | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 2 | 66.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 3 | 86.40 | | Very good | Completely stable | None | None Scaling |
| 5 | 1 | 69.00 | 69.00 | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 2 | 69.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 3 | 69.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| 6 | 1 | 58.60 | 58.12 | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| | 2 | 60.75 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 3 | 55.00 | | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |

| Station | Joint | SMR | avg | Description | Stabilty | Failures | Supports/Comments |
|---------|-------|-------|-------|-------------|-------------------|------------|---|
| 7 | 1 | 77.60 | 79.33 | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| | 2 | 83.50 | | Very good | Completely stable | None | None Scaling |
| | 3 | 76.90 | | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| 8 | 1 | 54.30 | 51.07 | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| | 2 | 48.00 | | Normal | Partially stable | Systematic | (Toe ditch and/or nets) Sistematic bolting. Anchors. Sistematic shotcrete. Toe wall and/or dental concrete. |
| | 3 | 50.90 | | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| 9 | 1 | 58.60 | 60.57 | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| | 2 | 58.60 | | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| | 3 | 64.50 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| 10 | 1 | 71.30 | 66.43 | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| | 2 | 65.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 3 | 63.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| 11 | 1 | 70.60 | 65.65 | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| | 2 | 65.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 3 | 65.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 4 | 62.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| 12 | 1 | 67.65 | 67.13 | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 2 | 69.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 3 | 67.50 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 4 | 67.50 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 5 | 64.00 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |

| Station | Joint | SMR | avg | Description | Stabilty | Failures | Supports/Comments |
|---------|-------|-------|-------|-------------|------------------|------------|---|
| 13 | 1 | 58.38 | 52.85 | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| | 2 | 52.00 | | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| | 3 | 52.00 | | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| | 4 | 49.00 | | Normal | Partially stable | Systematic | (Toe ditch and/or nets) Sistematic bolting. Anchors. Sistematic shotcrete. Toe wall and/or dental concrete. |
| 14 | 1 | 64.35 | 72.08 | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 2 | 63.90 | | Good | Stable | Occasional | Toe ditch or fence. Nets Spot or sistematic bolting |
| | 3 | 88.00 | | Very good | Completely st | None | None Scaling |
| 15 | 1 | 82.30 | 84.77 | Very good | Completely st | None | None Scaling |
| | 2 | 76.00 | | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| | 3 | 96.00 | | Very good | Completely st | None | None |
| 16 | 1 | 54.65 | 53.72 | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| | 2 | 52.50 | | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| | 3 | 54.00 | | Normal | Partially stable | Systematic | Toe ditch and/or nets. Spot or sistematic bolting. Spot shotcrete |
| 17 | 1 | 74.60 | 77.20 | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| | 2 | 78.50 | | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |
| | 3 | 78.50 | | Good | Stable | Occasional | (None)(Toe ditch or fence) Spot bolting |

ภาคผนวก ง

แบบป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารระบายน้ำล้น
โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
หมายเลขแบบ 286414-286421

หมายเหตุทั่วไปสำหรับกำแพงกันดิน (RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4)

- นอกเหนือจากที่แสดงไว้ในแบบแปลนแล้ว หากมีได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้ตามหมายเหตุต่อไปนี้
- ระดับ (จ.ท.ก.) และมีทิศทาง กำหนดให้เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
 - การกำหนดรายละเอียดของงานการขุดดินและหิน ให้พิจารณาตามสภาพทางธรณีวิทยาที่เป็นจริงในสนามเป็นหลัก ทั้งนี้ให้เป็นไปตามความเห็นชอบของวิศวกรโยธาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง
 - ลาดบ่ออย่างง่ายในกรณีที่เป็นลาดดินให้ใช้ลาด 1:1 หรือชันกว่า และในกรณีที่เป็นหินให้ใช้ลาด 1:0.5 หรือชันกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพทางประติมาศาสตร์และทางธรณีวิทยา โดยความเห็นชอบของวิศวกรโยธาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง
 - ความลาดชัน (1:5) งานดินขุดสามารถเปลี่ยนแปลงได้จาก 1:1 ถึง 1:2 และสำหรับงานหินขุดสามารถเปลี่ยนแปลงได้จาก 1:0.5 ถึง 1:1 โดยให้กำหนดตามสภาพทางธรณีวิทยาที่เป็นจริงในสนาม โดยความเห็นชอบของวิศวกรโยธาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง
 - ส่วนขึงที่กำแพงซึ่งเป็นโครงสร้างรับน้ำหนักของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องวางบนชั้นดินฐานราก ในกรณีชั้นดินฐานรากอยู่ต่ำกว่าพื้นอาคารของกำแพง จะต้องทำการปรับระดับด้วยคอนกรีตด้วยผลผลิตใหม่ 60% จนถึงระดับของพื้นฐานรากของกำแพง โดยที่ คอนกรีตควร ต้องรับแรงกดประลัยของคอนกรีต ไม่น้อยกว่า 175 กก./ตร.ซม. โดยการทดสอบแท่งคอนกรีต มาตรฐานรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่อายุ 28 วัน (กำลังรับแรงอัดคอนกรีต เหล็กเสริม ของกำแพงกันดิน ให้ดูหมายเหตุทั่วไปสำหรับคอนกรีตและการเสริมเหล็ก)
 - ท่อ พีวีซี สำหรับทำท่อระบายน้ำ ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 17-2561 ชั้นคุณภาพ 13.5 และอุปกรณ์ยึดต้องมียุคคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 1131-2535 ชั้นคุณภาพ 13.5
 - การอนุมัติใช้วัสดุ ผู้รับจ้างจะต้องเสนอรายละเอียดวัสดุที่จะใช้ภายในโครงการต่อหน่วยงานพิจารณา ก่อนเริ่มดำเนินงานก่อสร้างไม่น้อยกว่า 30 วัน

หมายเหตุทั่วไปสำหรับปลั๊กยึดหิน (ANCHOR BAR)

- นอกเหนือจากที่แสดงไว้ในแบบแปลนแล้ว หากมีได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้ตามหมายเหตุต่อไปนี้
- ระดับ (จ.ท.ก.) และมีทิศทาง กำหนดให้เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
 - ขนาดของเหล็กเสริม ROCK ANCHORAGE กำหนดให้เป็นมิลลิเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
 - เหล็กเสริม ROCK ANCHORAGE ใช้เหล็กข้ออ้อย (DEFROMED BARS) ต้องรับแรงดึง (fs) ได้ไม่น้อยกว่า 1,700 กก./ตร.ซม. ชั้นคุณภาพ SD-40 หรือสูงกว่า ตามมาตรฐาน มอก.24-2559
 - ตำแหน่งหลุมเจาะ ROCK ANCHORAGE สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะทางธรณีวิทยาที่อยู่ในคู่มือของวิศวกรโยธา หัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง
 - การอนุมัติใช้วัสดุ ผู้รับจ้างจะต้องเสนอรายละเอียดวัสดุที่จะใช้ภายในโครงการต่อหน่วยงานพิจารณา ก่อนเริ่มดำเนินงานก่อสร้างไม่น้อยกว่า 30 วัน
 - ผู้รับจ้างจะต้องเสนอรายละเอียดวิธีการติดตั้งปลั๊กยึดหิน (ROCK ANCHORAGE) ต่อคณะกรรมการตรวจรับพัสดุ ก่อนเริ่มดำเนินงานก่อสร้างไม่น้อยกว่า 30 วัน
 - หลังจากติดตั้ง ANCHOR BAR แล้วเสร็จ ผู้รับจ้างจะต้องทดสอบความสามารรถรับแรงดึงได้ไม่น้อยกว่า 10 ต้น/ตัว ก่อนทดสอบผู้รับจ้างจะต้องเสนอรายละเอียดวิธีการทดสอบต่อหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง เพื่อให้ความเห็นชอบก่อนดำเนินการ

หมายเหตุทั่วไปสำหรับคอนกรีตพ่น (SHOTCRETE)

- นอกเหนือจากที่แสดงไว้ในแบบแปลนแล้ว หากมีได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้ตามหมายเหตุต่อไปนี้
- คอนกรีตพ่น (SHOTCRETE) ต้องรับแรงกดประลัยของคอนกรีต ไม่น้อยกว่า 250 กก./ตร.ซม. โดยการทดสอบแท่งคอนกรีต มาตรฐานรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่อายุ 28 วัน
 - คุณสมบัติอื่นๆ เกี่ยวกับคอนกรีตพ่น (SHOTCRETE) เช่น วัสดุที่ใช้ การผสม การปฏิบัติงานของคอนกรีตพ่น การทดสอบกำลังอัด เป็นต้น ให้ดูในรายการรายละเอียดด้านวิศวกรรม (TECHNICAL SPECIFICATIONS)
 - ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมลวดเสริมคอนกรีต (WIRE MESH) ให้ใช้ตามมาตรฐาน มอก.737-2549 หรือสูงกว่า เว้นแต่จะระบุเป็นอย่างอื่น
 - การอนุมัติใช้วัสดุ ผู้รับจ้างจะต้องเสนอรายละเอียดวัสดุที่จะใช้ภายในโครงการต่อหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง เพื่อให้ความเห็นชอบก่อนดำเนินการ ก่อนเริ่มดำเนินงานก่อสร้างไม่น้อยกว่า 30 วัน

หมายเหตุทั่วไป

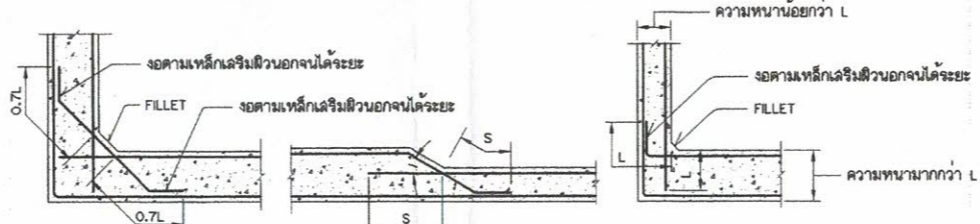
- หากว่าดินในแบบของโครงการนี้ มีรายละเอียดไม่ครบถ้วนสมบูรณ์เพียงพอที่จะใช้ก่อสร้าง หรือหากก่อสร้างตามแบบแล้วพบว่ามีปัญหาอุปสรรคในการก่อสร้างหรือการใช้งานในอนาคต หรือต้องการให้มีความสัมพันธ์มากขึ้น หรือเพื่อให้ทราบถึงแนวลดน้อยที่สุด ให้ผู้ก่อสร้างจัดทำแบบรายละเอียดในแต่ละส่วน (SHOP DRAWING) นำเสนอต่อหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้างพิจารณาเห็นชอบก่อนดำเนินการก่อสร้าง
- ค่าระดับต่างๆ ที่ปรากฏในแบบแปลนของโครงการแห่งนี้ เป็นระดับโดยประมาณเท่านั้น ผู้ก่อสร้างต้องทำการสำรวจและตรวจสอบระดับที่แท้จริง หากพบข้อผิดพลาดเพียงเล็กน้อยให้ดำเนินการก่อสร้างได้เลย หากผิดพลาดมากจนมีผลทำให้รูปแบบของอาคารเปลี่ยนแปลงจะต้องดำเนินการแก้ไขให้ สำนักรูปแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมทราบก่อนดำเนินการก่อสร้าง ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง
- กำแพงกันดิน RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4 เป็นการออกแบบสำหรับดินและหิน ที่เกิดจากการกัดเซาะลาดเขาเขาด้านบน เพื่อให้ได้ค่าคงที่กับอาคารทางระบายน้ำ
- งานออกแบบป้องกันลาดเขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำนั้น โครงการอ่างเก็บน้ำแม่เลือดตอนบน จ.ตาก ออกแบบตามบันทึกข้อความที่ ทบข. 5/2563 ลงวันที่ 3 มกราคม 2563 เรื่อง การดูแลโครงการอ่างเก็บน้ำแม่เลือดตอนบน และโครงการเชื่อมถนนโกกัก อ.แม่เลือด จ.ตาก

หมายเหตุเกี่ยวกับพัสดุประเภทวัสดุหรือครุภัณฑ์

การใช้พัสดุเสริมกำลังภายในประเทศ ให้ใช้ตามกฎกระทรวง เรื่อง กำหนดพัสดุและวิธีการจัดจ้างพัสดุที่รัฐต้องการลงเสริมหรือสนับสนุน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2563 เพื่อเป็นการส่งเสริมพัสดุที่ผลิตภายในประเทศ ให้ผู้รับจ้าง ใช้พัสดุประเภทวัสดุหรือครุภัณฑ์ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของมูลค่าพัสดุที่จะใช้ในงานก่อสร้างทั้งหมดของสัญญา

หมายเหตุทั่วไปสำหรับคอนกรีตและเสาเข็มเหล็ก

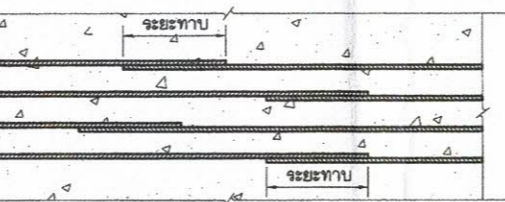
- นอกเหนือจากที่แสดงไว้ในแบบแปลนแล้ว หากมีได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้ตามหมายเหตุต่อไปนี้
- ระดับ (จ.ท.ก.) และมีทิศทาง กำหนดให้เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
 - ขนาดของเหล็กเสริมกำหนดให้เป็นมิลลิเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
 - ปูนซีเมนต์จะต้องเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 15 เล่ม 1-2555 ประเภท 1 หรือ ปูนซีเมนต์เอนค็อกซ์ ชนิดใช้งานทั่วไป (GU) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 2564-2566
 - คอนกรีตสำหรับอาคารให้เป็นไปตามเกณฑ์ดังนี้
 - คอนกรีตสำหรับกำแพงกันดิน ต้องรับแรงกดประลัยของคอนกรีต ไม่น้อยกว่า 210 กก./ตร.ซม. โดยการทดสอบแท่งคอนกรีต มาตรฐานรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. หรือไม่น้อยกว่า 260 กก./ตร.ซม. โดยการทดสอบแท่งคอนกรีตมาตรฐานทรงลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม. ที่อายุ 28 วัน
 - คอนกรีตสำหรับอาคารทั่วไปหรืองานโครงสร้างของอาคารขนาดเล็ก ต้องรับแรงกดประลัยของคอนกรีต ไม่น้อยกว่า 175 กก./ตร.ซม. โดยการทดสอบแท่งคอนกรีตมาตรฐานรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. หรือไม่น้อยกว่า 220 กก./ตร.ซม. โดยการทดสอบแท่งคอนกรีตมาตรฐานทรงลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม. ที่อายุ 28 วัน
 - ลมนอบอาคารต้องมีขนาด 2 ซม. นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
 - เหล็กเสริมใช้เหล็กข้ออ้อย (DEFROMED BARS) ต้องรับแรงดึง (fs) ได้ไม่น้อยกว่า 1,700 กก./ตร.ซม. ชั้นคุณภาพ SD-40 หรือสูงกว่า ตามมาตรฐาน มอก.24-2559 และเหล็กเส้นกลม (ROUND BARS) ต้องรับแรงดึง (fs) ได้ไม่น้อยกว่า 1,200 กก./ตร.ซม. ชั้นคุณภาพ SR-24 ตามมาตรฐาน มอก. 20-2559 สำหรับเหล็กเสริมขนาด 10 มม. ขึ้นไปเป็นเหล็กข้ออ้อย
 - คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมให้เป็นไปตามเกณฑ์ดังนี้
 - เหล็กเสริมชั้นเดียว ถ้าไม่แสดงไว้เป็นอย่างอื่น ให้วางตรงกลางความหนา
 - เหล็กเสริมสองชั้น ระยะระหว่างผิวเหล็กถึงผิวคอนกรีตที่ติดกับแบบให้ใช้ 5 ซม. และถ้าติดกับดินหรือหินให้ใช้ 8 ซม.
 - คอนกรีตที่สัมผัสกับน้ำ หรืออากาศ
 - เหล็กขนาดตั้งแต่เส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มม. 5 ซม.
 - เหล็กขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มม. 4 ซม.
 - คอนกรีตที่สัมผัสกับดิน น้ำ หรืออากาศ
 - ได้พื้นละหนา 4 ซม.
 - กำแพงเสา 4 ซม.
 - ระยะสัมผัสคอนกรีตเหล็กเสริม (LAPPED SPICES) ถ้าไม่แสดงไว้เป็นอย่างอื่น ให้ถือกำหนดตามมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีตของกรมชลประทาน มีนาคม 2535 สำหรับเหล็กข้ออ้อยตาม มธย-4-080 สำหรับเหล็กเสริมกลมตาม มธย-4-058
 - การต่อเหล็กเสริมในแต่ละแนวให้ต่อเนื่องกัน (STAGGERED) อย่างน้อยเท่ากับระยะตาม (LAPPED SPLICES)
 - ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมที่แสดงไว้เป็นระยะห่างศูนย์กลางเหล็กถึงศูนย์กลางเหล็ก
 - สัญลักษณ์ของเหล็กเสริม การย่อ การย่นเหล็กคู่ต่างๆ ให้ใช้ตามมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีตของกรมชลประทาน มีนาคม 2535 ทั้งนี้ให้เป็นไปตามความเห็นชอบของหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง
 - การจัดเรียงเหล็กเสริม ในกรณีมีการเสริมเหล็กชั้นที่ 2 ระยะห่างว่างของเหล็กระหว่างผิวเหล็กต้องไม่ต่ำกว่า 5 ซม. หรือไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดวัสดุมวลหยาบ ที่ใช้ผสมคอนกรีต (COARSE AGGREGATES) ทั้งนี้เหล็กที่อยู่บนต้องเรียงให้ตรงกับเหล็กในชั้นล่าง
 - อาคารที่สร้างบนดิน ต้องแผ่ผิวดินให้เรียบด้วยคอนกรีตความหนาไม่เกิน 0.10 ม. ก่อนวางเหล็กเสริม
 - การจัดเรียงเหล็กเสริมบริเวณมุมและส่วนที่ระดับต่างกันหรือแนวเรียงซ้อนกัน ให้ยึดถือตามที่แสดงไว้ดังภาพ นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น



ระยะห่างของเหล็กเสริม (เหล็กข้ออ้อย)

| เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.) | L (ซม.) | S (ซม.) | | |
|------------------------|---------|------------|-------------|-------------|
| | | I (0°-30°) | I (30°-65°) | I (65°-90°) |
| 12 | 20 | 15 | 20 | 20 |
| 16 | 30 | 20 | 30 | 30 |
| 20 | 50 | 30 | 50 | 50 |
| 25 | 80 | 50 | 80 | 80 |
| 28 | 100 | 70 | 100 | 100 |
| 32 | 125 | 90 | 125 | 125 |

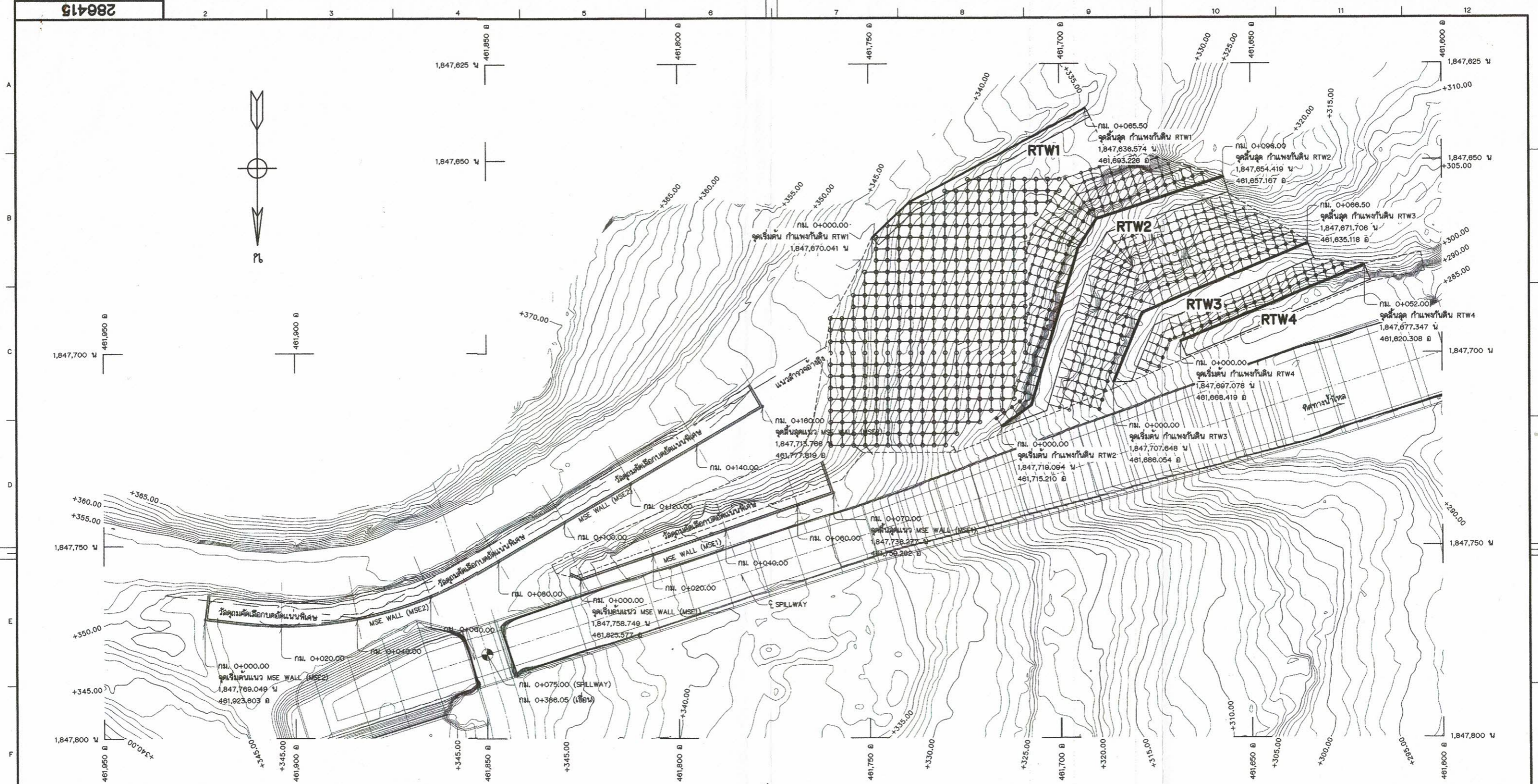
15. ตำแหน่งการต่อเหล็กเสริมโดยวิธีทับ (LAPPED SPLICES) ที่แสดงไว้ในแบบเป็นเพียงคำแนะนำโดยประมาณเท่านั้น ในการก่อสร้างจริงจะต้องกำหนดตำแหน่งการต่อเหล็กให้สอดคล้องกับคอนกรีตแบบโดยอาจจัดเรียงได้ตามรูปดังนี้



การต่อทาบในผนังกำแพงและแผ่นพื้น

กรมชลประทาน
โครงการอ่างเก็บน้ำแม่เลือดตอนบน
อ.แม่เลือด จ.ตาก
ป้องกันลาดไหลเขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำด้าน
กำแพงกันดิน RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4
หมายเหตุทั่วไป

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|------|----------|----------|-------------|-------------|--------|------|---------|---|---|--------|
| ออกแบบ | เชียน | สถา | ตรวจ | ครั้งที่ | ตำแหน่ง | รายการแก้ไข | วันที่ | ตรวจ | ผ่าน | อนุมัติ | สำเนาแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม 21 ก.ค. 65 | 286414 |
| เชียน | สถา | ตรวจ | ครั้งที่ | ตำแหน่ง | รายการแก้ไข | วันที่ | ตรวจ | ผ่าน | อนุมัติ | สำเนาแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม 21 ก.ค. 65 | 286414 | |



หมายเหตุ

- ระดับ(ร.ท.บ.) และมิติต่างๆกำหนดให้เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
- หมายเหตุทั่วไป ดูแบบหมายเหตุแบบหมายเลข 286414
- ระดับดินธรรมชาติตามผลสำรวจ ใช้ข้อมูลผลสำรวจจากสำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลางที่ 4 กองพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง กรมชลประทาน งานสำรวจภาคสนาม เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562
- ตำแหน่งของเสาเข็มที่จะดำเนินการติดตั้ง ROCK ANCHORAGE สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพจริงด้านธรณีวิทยา โดยให้อยู่ในดุลยพินิจของนักธรณีวิทยาหรือหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานก่อสร้าง
- ก่อนดำเนินการเจาะหลุมจะติดตั้ง ROCK ANCHORAGE, WEEP HOLES และ HORIZONTAL DRAINS ให้ทำ SLUSH GROUT & DENTAL GROUT ปิดผิวหน้าดินแตกทั้งหมดก่อนดำเนินการ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนักธรณีวิทยาหรือหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานก่อสร้าง
- ให้ทำการขมขยหินล้อยหินแตก ที่สามารถขยได้ ออกไปให้เหลือแต่หินที่มีรากหิน แล้วทำการเจาะยึดด้วย ROCK ANCHORAGE รวมทั้งหินล้อยที่มีขนาดใหญ่ ให้แน่นเพื่อป้องกันการร่วงหล่นของหิน

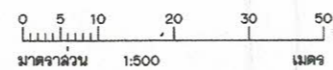
แบบประกอบ

- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำด้าน กำแพงกันดิน RTW1 รูปตัด 286415
- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำด้าน กำแพงกันดิน RTW2 รูปตัด 286416
- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำด้าน กำแพงกันดิน RTW3 รูปตัด 286417
- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำด้าน กำแพงกันดิน RTW4 รูปตัด 286418
- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำด้าน MSE WALL (MSE1 และ MSE2) แปลน 286510

แบบหมายเลข

- 286415
- 286416
- 286417
- 286418
- 286510

คีย์แปลน
มาตราส่วน 1:500

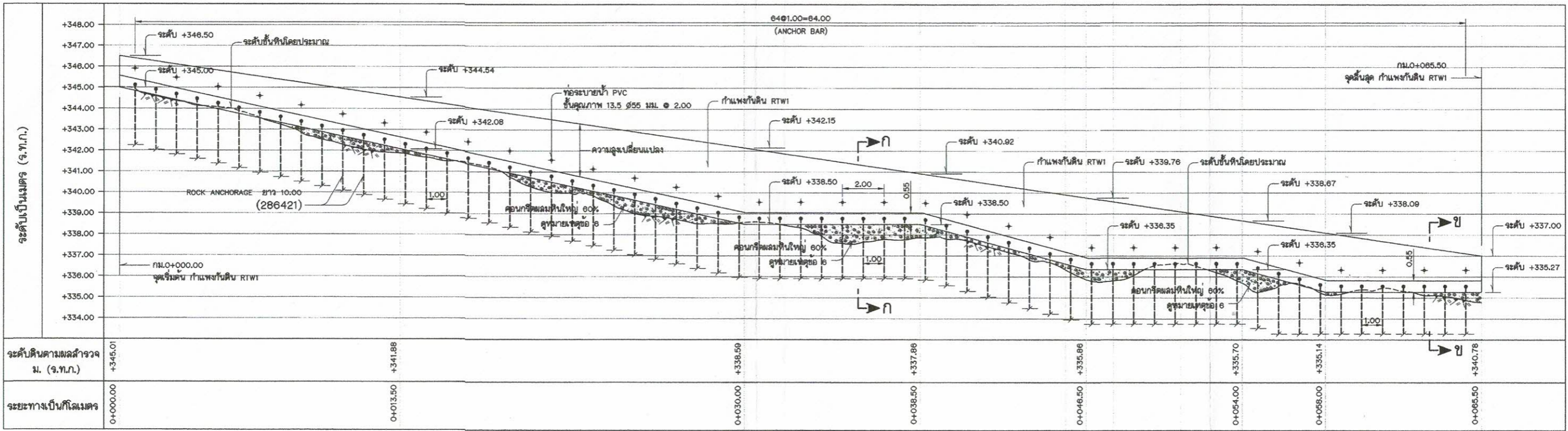


สัญลักษณ์

- ROCK ANCHORAGE เดิม DB32 มม. ยาว 10.00 FULLY GROUTED ๑3.00x3.00
- HORIZONTAL DRAIN เดิม ท่อพีวีซีขนาด ๑๕๕ มม. (2") ยาว 8.00 ชนิดเจาะร่องตรงรอบท่อ
- WEEP HOLES เดิม ท่อพีวีซีขนาด ๑๕๕ มม. (2") ชนิดเจาะร่องตรงรอบท่อ
- RTW กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก

กรมชลประทาน
โครงการอ่างเก็บน้ำแม่ล่อตตอนบน
อ.แม่ล่อต จ.ตาก
ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำด้าน
คีย์แปลน

| | | | | |
|---------|-------------|---------|---------|--------|
| ออกแบบ | เสนอ | ตรวจสอบ | อนุมัติ | วันที่ |
| เขียน | คำนวณ | เห็นชอบ | อนุมัติ | วันที่ |
| ตรวจ | อนุมัติ | อนุมัติ | อนุมัติ | วันที่ |
| ตำแหน่ง | รายการแก้ไข | วันที่ | ตรวจ | เขียน |
| ตำแหน่ง | รายการแก้ไข | วันที่ | ตรวจ | เขียน |



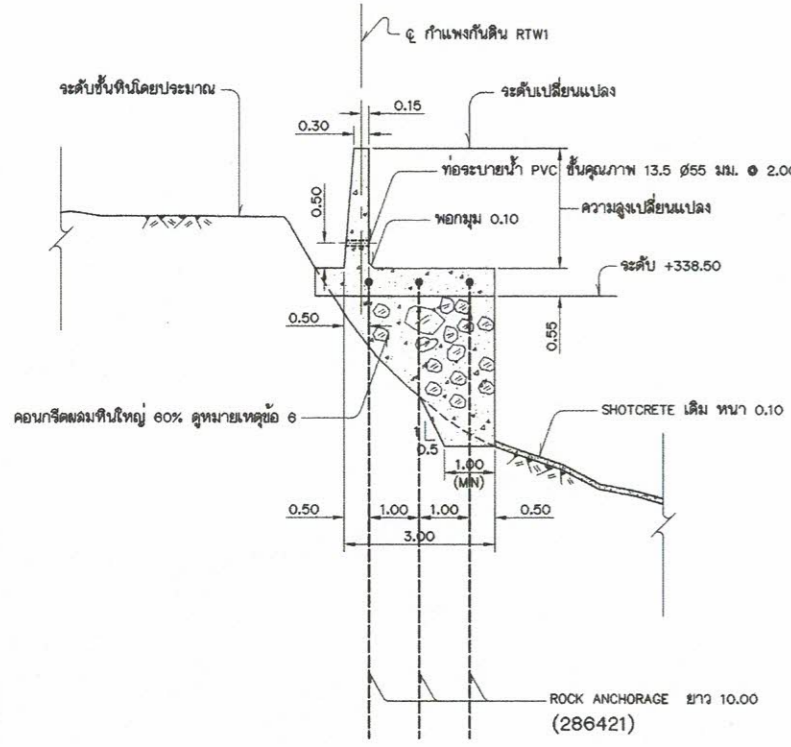
รูปตัดตามยาวแนวศูนย์กลางกำแพง RTW1
มาตราส่วน 1:100

หมายเหตุ

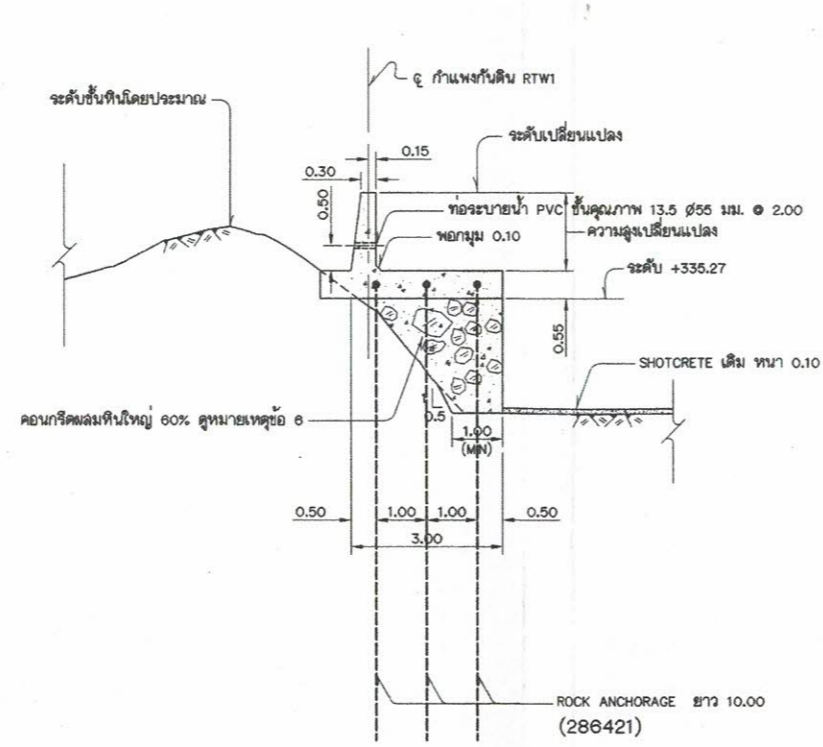
- ระดับ (จ.ท.ก.) และมิติต่างๆ กำหนดไว้เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
- หมายเหตุทั่วไป ดูแบบรายละเอียดแบบหมายเลข 286414
- การกำหนดรายละเอียดของงานการขุดดินและดิน ให้พิจารณาตามสภาพทางธรณีวิทยาที่เป็นจริงในสนามเป็นหลัก ทั้งนี้ให้เป็นไปตามความเห็นชอบของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจสอบหรือผู้รับจ้างก่อสร้าง
- ลาดเอียงก่อสร้างในกรณีที่เป็นลาดดินตัดให้ใช้ลาด 1:1 หรือชันกว่า และในกรณีที่เป็นดินให้ใช้ลาด 1:0.5 หรือชันกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพทางปฐพีและทางธรณีวิทยา โดยความเห็นชอบของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจสอบหรือผู้รับจ้างก่อสร้าง
- ความลาดชัน (1:5) งานดินขุดสามารถเปลี่ยนแปลงได้จาก 1:1 ถึง 1:2 และสำหรับงานดินขุดสามารถเปลี่ยนแปลงได้จาก 1:0.5 ถึง 1:1 โดยให้กำหนดตามสภาพทางธรณีวิทยาที่เป็นจริงในสนาม โดยความเห็นชอบของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจสอบหรือผู้รับจ้างก่อสร้าง
- ส่วนของกำแพงซึ่งเป็นโครงสร้างรับน้ำหนักของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กจะตั้งวางบนชั้นดินฐานจาก โบนกรีตชั้นดินฐานจากอยู่ต่ำกว่าพื้นอาคารของกำแพง จะต้องทำการปรับระดับด้วยคอนกรีตมวลผสมหินใหญ่ 80% จนถึงระดับของพื้นฐานจากของกำแพง
- การเสริมเสถียรภาพของลาดดินที่แสดงในแบบ เป็นรูปแบบการเสริมเสถียรภาพทั่วไป ทั้งนี้รูปแบบการเสริมเสถียรภาพสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสภาพความมั่นคงของลาดดินที่หน้างาน ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจสอบหรือผู้รับจ้างก่อสร้าง
- คอนกรีต
 - คอนกรีตมวลผสมหินใหญ่ 80%

แบบประกอบ

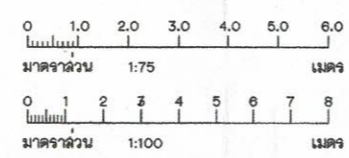
- | แบบประกอบ | แบบหมายเลข |
|---|------------|
| 1. ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน แปลน | 286409 |
| 2. ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน รูปตัด (แผ่นที่ 2/3) | 286411 |
| 3. ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน รูปตัด (แผ่นที่ 3/3) | 286412 |
| 4. ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน รูปตัด รายละเอียด และรูปขยาย | 286413 |
| 5. ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4 หมายเหตุทั่วไป | 286414 |
| 6. ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน คีย์แปลน | 286415 |
| 7. ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4 รูปตัด แสดงการเสริมเหล็ก | 286420 |
| 8. ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4 รายละเอียด ANCHOR BAR | 286421 |



รูปตัด ก-ก
มาตราส่วน 1:75



รูปตัด ข-ข
มาตราส่วน 1:75

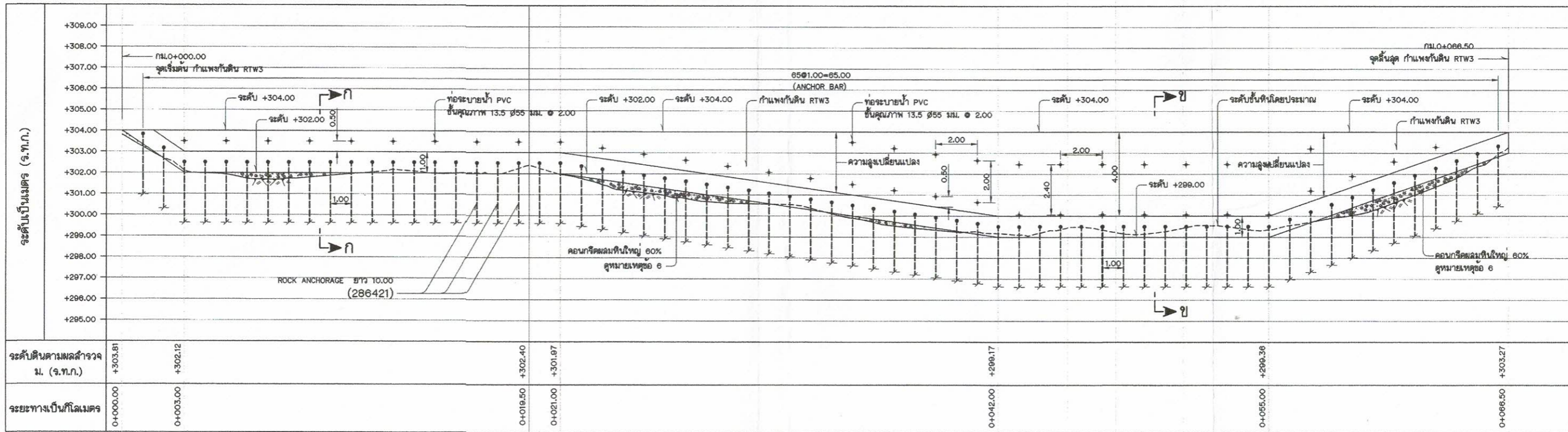


กรมชลประทาน
โครงการอ่างเก็บน้ำแม่ลือดตอนบน
อ.แม่ลือด จ.ตาก
ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน
กำแพงกันดิน RTW1
รูปตัด

| | | | | |
|---------|--------|------|--------|------|
| ออกแบบ | เลขที่ | หน้า | วันที่ | ชื่อ |
| เขียน | เลขที่ | หน้า | วันที่ | ชื่อ |
| ตรวจ | เลขที่ | หน้า | วันที่ | ชื่อ |
| อนุมัติ | เลขที่ | หน้า | วันที่ | ชื่อ |

สำนักงานชลประทานที่ 2
อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
วันที่ 21 ก.ค. 65
หน้า 2 จาก 2

286416



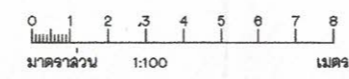
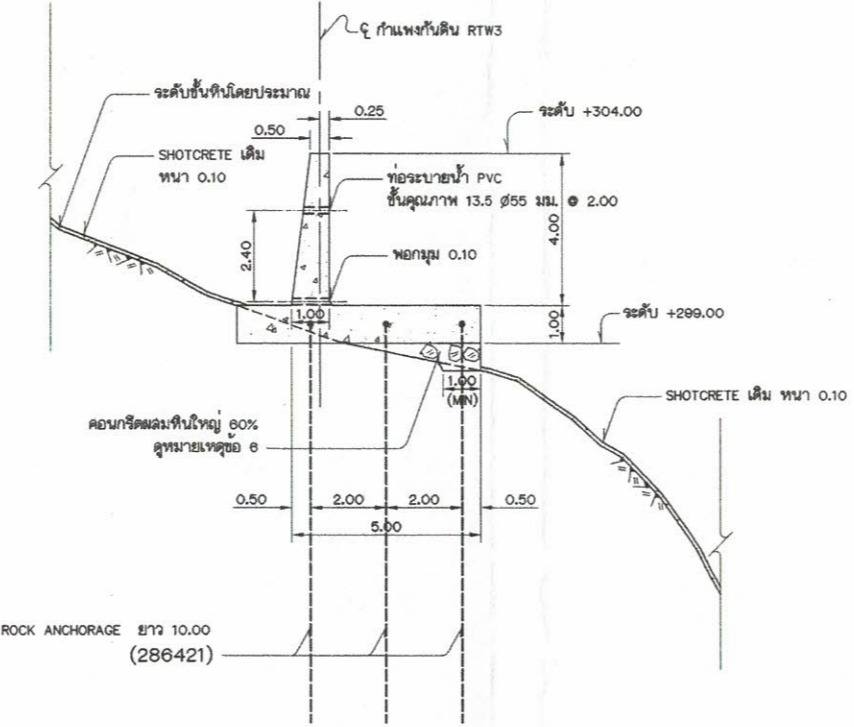
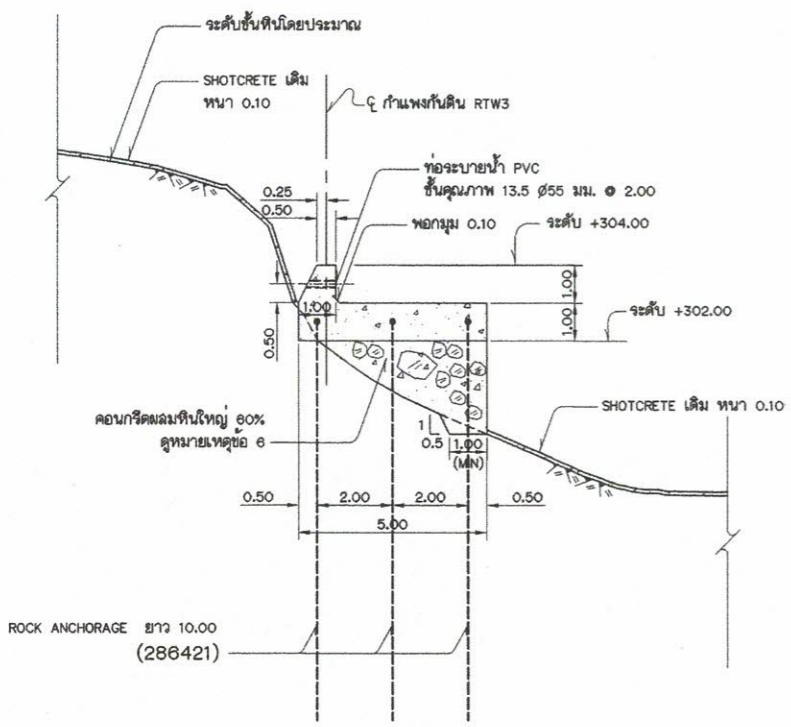
รูปตัดตามยาวแนวศูนย์กึ่งกลางกำแพง RTW3
มาตราส่วน 1:100

หมายเหตุ

- ระดับ (จ.ท.ก.) และมิติต่างๆ กำหนดไว้เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
- หมายเหตุทั่วไป ดูแบบหมายเหตุแบบหมายเลข 286414
- การกำหนดรายละเอียดของงานการขุดดินและดิน ให้พิจารณาตามสภาพทางธรณีวิทยาที่เป็นจริงในสนามเป็นหลัก ทั้งนี้ให้เป็นไปตามความเห็นชอบของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง
- ลาดบ่อก่อสร้างในกรณีที่เป็นลาดดินดีให้ใช้ลาด 1:1 หรือชันกว่า และในกรณีที่เป็นดินให้ใช้ลาด 1:0.5 หรือชันกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพทางปฐพีและทางธรณีวิทยา โดยความเห็นชอบของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง
- ความลาดชัน (1S) งานดินขุดสามารถเปลี่ยนแปลงได้จาก 1:1 ถึง 1:2 และสำหรับงานดินตามการเปลี่ยนแปลงได้จาก 1:0.5 ถึง 1:1 โดยให้กำหนดตามสภาพทางธรณีวิทยาที่เป็นจริงในสนาม โดยความเห็นชอบของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง
- ส่วนของพื้นที่กำแพงซึ่งเป็นที่ตั้งของรับน้ำหนักของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องวางบนชั้นดินฐานราก ในกรณีชั้นดินฐานรากอยู่ต่ำกว่าพื้นอาคารของกำแพง จะต้องทำการปรับระดับด้วยคอนกรีตความหนาแน่นใหญ่ 80% จนถึงระดับของชั้นฐานรากของกำแพง
- การเสริมเสถียรภาพของลาดดินที่แสดงในแบบ เป็นรูปแบบการเสริมเสถียรภาพทั่วไป ทั้งนี้รูปแบบการเสริมเสถียรภาพสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสภาพความมั่นคงของลาดดินที่หน้างาน ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างก่อสร้าง
- | | |
|--|----------------------------|
| | คอนกรีต |
| | คอนกรีตความหนาแน่นใหญ่ 80% |

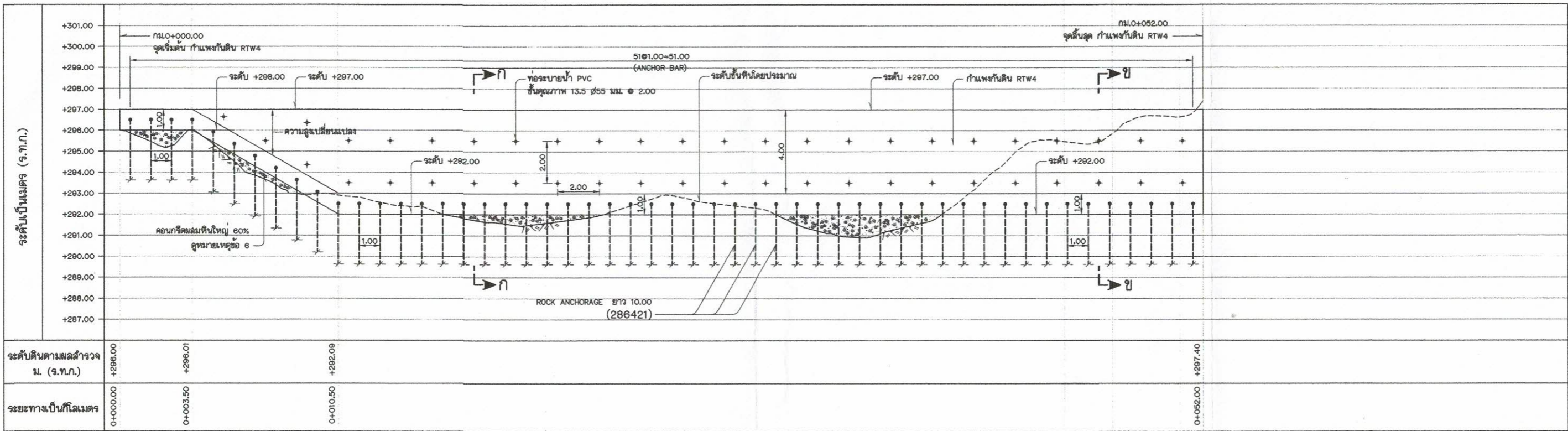
แบบประกอบ

- | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <ol style="list-style-type: none"> ป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำ ลาด ป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำ ลาด (แผ่นที่ 1/3) ป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำ ลาด (แผ่นที่ 2/3) ป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำ ลาด (แผ่นที่ 3/3) ป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำ ลาด รายละเอียด และรูปขยาย ป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำ RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4 หมายเหตุทั่วไป ป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำ ลาด ป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำ RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4 รูปตัด แลดูการเสริมเหล็ก ป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำ RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4 รายละเอียด ANCHOR BAR | <p>แบบหมายเลข</p> <table border="0"> <tr><td>286409</td></tr> <tr><td>286410</td></tr> <tr><td>286411</td></tr> <tr><td>286412</td></tr> <tr><td>286413</td></tr> <tr><td>286414</td></tr> <tr><td>286415</td></tr> <tr><td>286420</td></tr> <tr><td>286421</td></tr> </table> | 286409 | 286410 | 286411 | 286412 | 286413 | 286414 | 286415 | 286420 | 286421 |
| 286409 | | | | | | | | | | |
| 286410 | | | | | | | | | | |
| 286411 | | | | | | | | | | |
| 286412 | | | | | | | | | | |
| 286413 | | | | | | | | | | |
| 286414 | | | | | | | | | | |
| 286415 | | | | | | | | | | |
| 286420 | | | | | | | | | | |
| 286421 | | | | | | | | | | |

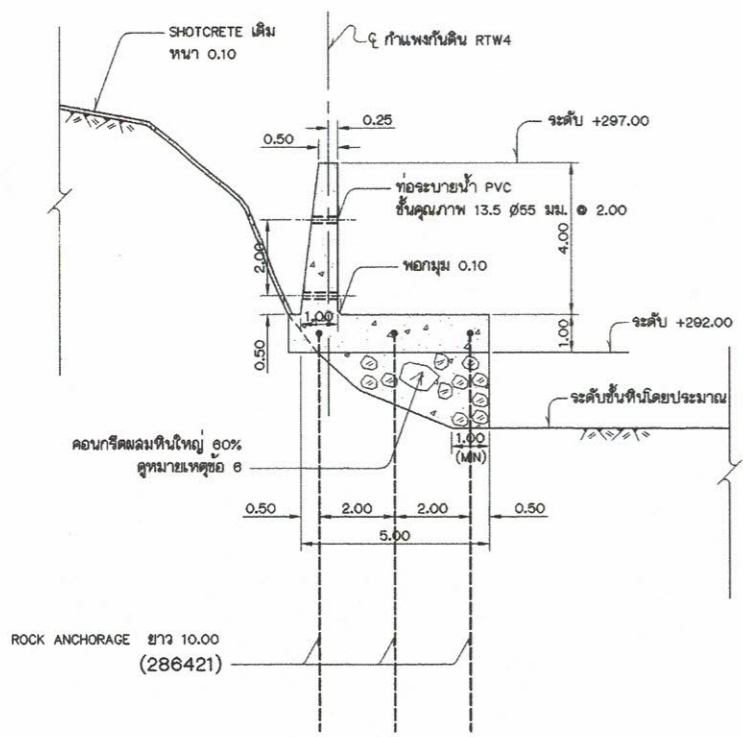


กรมชลประทาน
โครงการอ่างเก็บน้ำแม่ถอดตอนบน
อ.แม่ถอด จ.ตาก
ป้องกันลาดไหล่เขาบริเวณอาคารทางระบายน้ำ
กำแพงกันดิน RTW3
รูปตัด

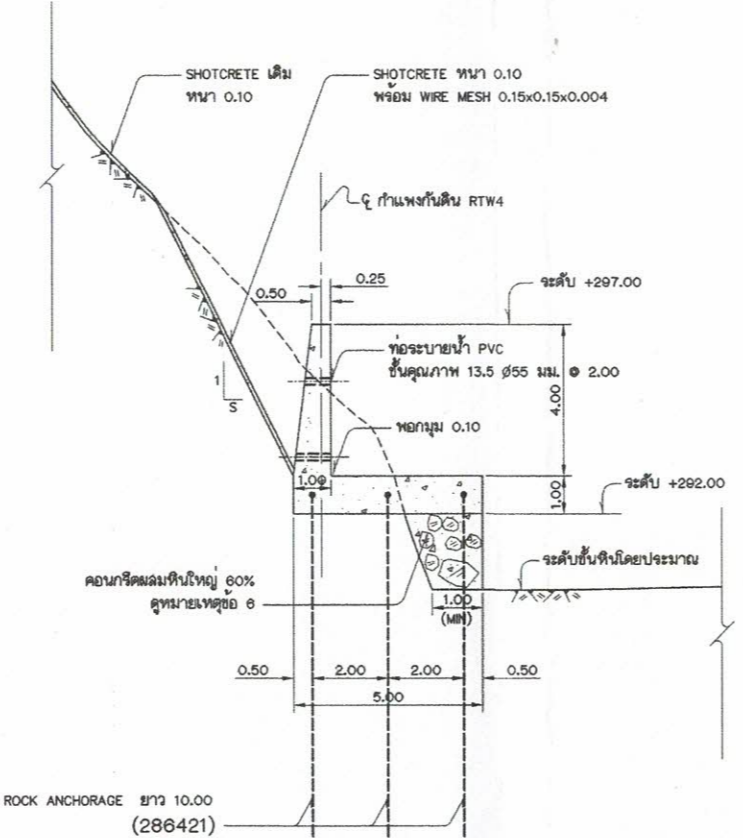
| | | | | | | | | |
|--------|---------|-------------|--------|------|------|---------|---|---------------|
| วันที่ | ตำแหน่ง | รายการแก้ไข | วันที่ | ตรวจ | ผ่าน | อนุมัติ | สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตย์กรรม 21 ก.ค. 65 ฝ่ายออกแบบเบื้องต้นที่ 2 | 286418 |
|--------|---------|-------------|--------|------|------|---------|---|---------------|



รูปตัดตามยาวแนวศูนย์กึ่งกลางกำแพง RTW4
 มาตรฐาน 1:100



รูปตัด ก-ก
 มาตรฐาน 1:100



รูปตัด ข-ข
 มาตรฐาน 1:100

หมายเหตุ

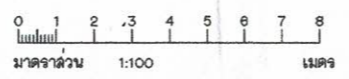
- ระดับ (ร.ท.ก.) และมิติต่างๆ กำหนดไว้เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
- หมายเหตุทั่วไป ดูแบบรายละเอียดแบบหมายเลข 286414
- การกำหนดรายละเอียดของงานการขุดดินและดิน ให้พิจารณาตามสภาพทางธรณีวิทยาที่เป็นจริงในสนามเป็นหลัก ทั้งนี้ให้เป็นไปตามความเห็นชอบของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจสอบที่ผู้รับจ้างก่อสร้าง
- ลาดบ่ออุ้มน้ำในกรณีที่เป็นลาดดินตัดให้ใช้ลาด 1:1 หรือชันกว่า และในกรณีที่เป็นดินให้ใช้ลาด 1:0.5 หรือชันกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพทางปฐพีและทางธรณีวิทยา โดยความเห็นชอบของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจสอบที่ผู้รับจ้างก่อสร้าง
- ความลาดชัน (1:5) งานหินชุดลาดมากรเปลี่ยนแปลงได้จาก 1:1 ถึง 1:2 และสำหรับงานหินชุดลาดมากรเปลี่ยนแปลงได้จาก 1:0.5 ถึง 1:1 โดยให้กำหนดตามสภาพทางธรณีวิทยาที่เป็นจริงในสนาม โดยความเห็นชอบของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจสอบที่ผู้รับจ้างก่อสร้าง
- ส่วนของพื้นที่กำแพงซึ่งเป็นที่รองรับน้ำหนักของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องวางบนชั้นหินฐานราก ในกรณีชั้นหินฐานรากอยู่ต่ำกว่าพื้นอาคารของกำแพง จะต้องทำการปรับระดับด้วยคอนกรีตความหนาแน่นใหญ่ 80% จนถึงระดับของพื้นฐานรากของกำแพง
- การเสริมเสถียรภาพของลาดดินที่แสดงในแบบ เป็นรูปแบบการเสริมเสถียรภาพทั่วไป ทั้งนี้รูปแบบการเสริมเสถียรภาพลาดมากรับเปลี่ยนได้ตามสภาพความมั่นคงของลาดดินที่หน้างาน ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนักธรณีวิทยาและหัวหน้าโครงการหรือคณะกรรมการตรวจสอบที่ผู้รับจ้างก่อสร้าง

- คอนกรีต
- คอนกรีตผสมหินใหญ่ 80%

แบบประกอบ

- | แบบประกอบ | แบบหมายเลข |
|--|------------|
| 1. บ่อเก็บลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน แปลน | 286409 |
| 2. บ่อเก็บลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน รูปตัด (แผ่นที่ 1/3) | 286410 |
| 3. บ่อเก็บลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน รูปตัด (แผ่นที่ 2/3) | 286411 |
| 4. บ่อเก็บลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน รูปตัด (แผ่นที่ 3/3) | 286412 |
| 5. บ่อเก็บลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน รูปตัด รายละเอียด และรูปขยาย | 286413 |
| 6. บ่อเก็บลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4 หมายเหตุทั่วไป | 286414 |
| 7. บ่อเก็บลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน คีย์แปลน | 286415 |
| 8. บ่อเก็บลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4 รูปตัด และตารางเสริมเหล็ก | 286420 |
| 9. บ่อเก็บลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4 รายละเอียด ANCHOR BAR | 286421 |

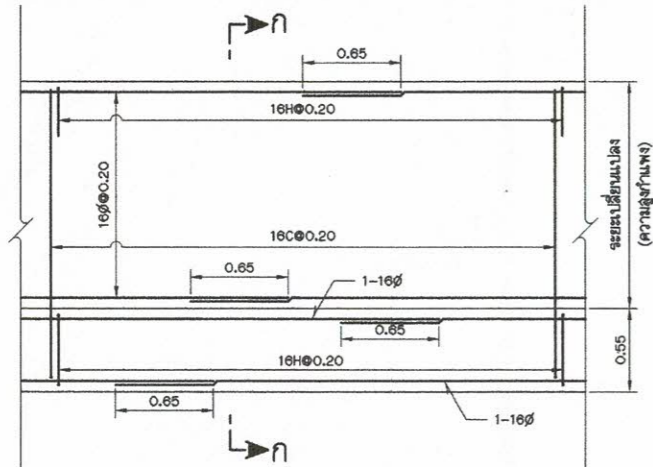
กรมชลประทาน
 โครงการอ่างเก็บน้ำแม่เลือดตอนบน
 อ.แม่เลือด จ.ตาก
 บ่อเก็บลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน
 กำแพงกันดิน RTW4
 รูปตัด



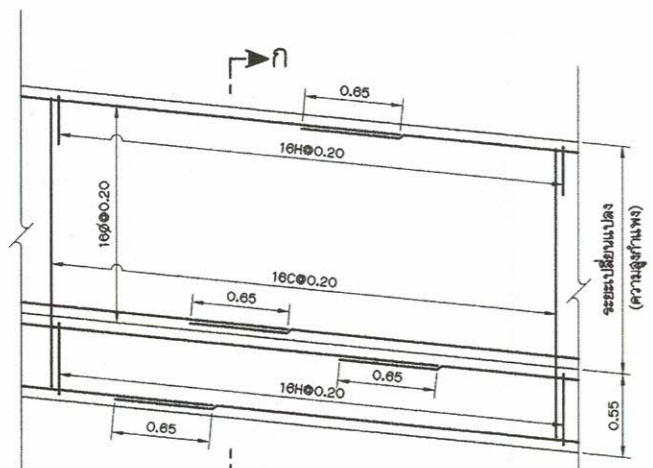
| | | | | |
|---------|--------|------|---------|--------|
| ออกแบบ | เลขที่ | ชื่อ | ตำแหน่ง | วันที่ |
| เขียน | เลขที่ | ชื่อ | ตำแหน่ง | วันที่ |
| สถาปนิก | เลขที่ | ชื่อ | ตำแหน่ง | วันที่ |
| ตรวจสอบ | เลขที่ | ชื่อ | ตำแหน่ง | วันที่ |

สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม 210.0.65
 ฝ่ายออกแบบเบื้องต้นที่ 2

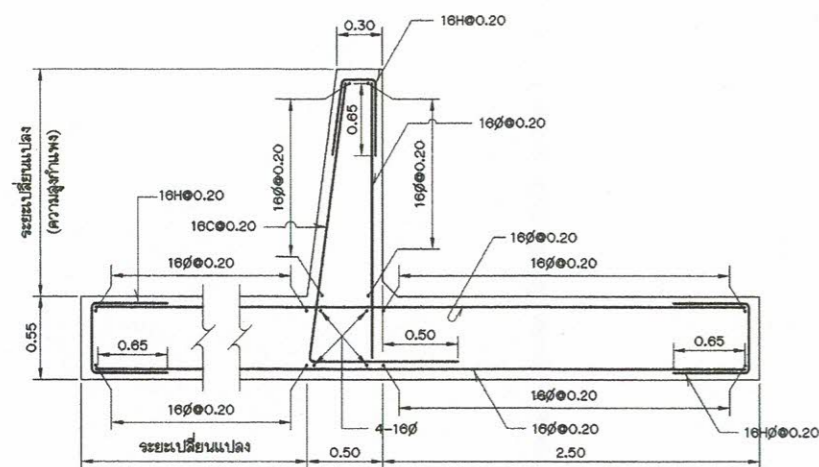
286419



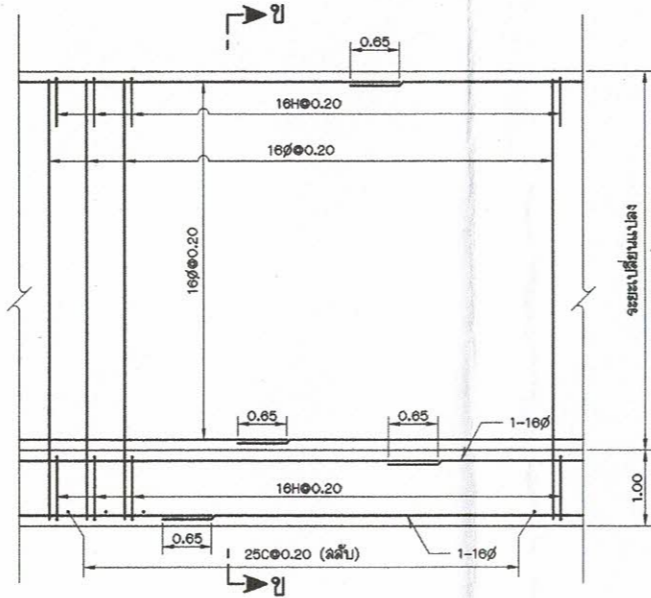
รูปตัดตามยาว RTW1 (กรณี 1)
มาตราส่วน 1:25



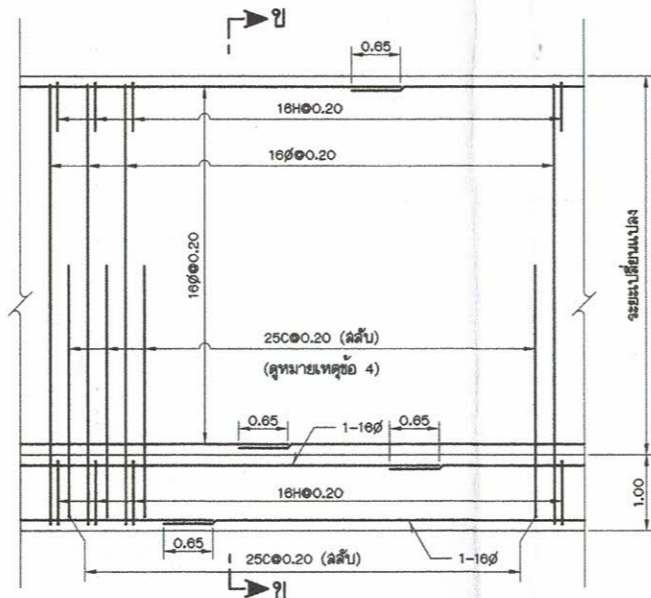
รูปตัดตามยาว RTW1 (กรณี 2)
มาตราส่วน 1:25



รูปตัด ก-ก
มาตราส่วน 1:25



รูปตัดตามยาว RTW2 RTW3 และ RTW4
(แสดงการเสริมเหล็กผิวโค้ง)
มาตราส่วน 1:50



รูปตัดตามยาว RTW2 RTW3 และ RTW4
(แสดงการเสริมเหล็กผิวโค้ง)
มาตราส่วน 1:50

หมายเหตุ

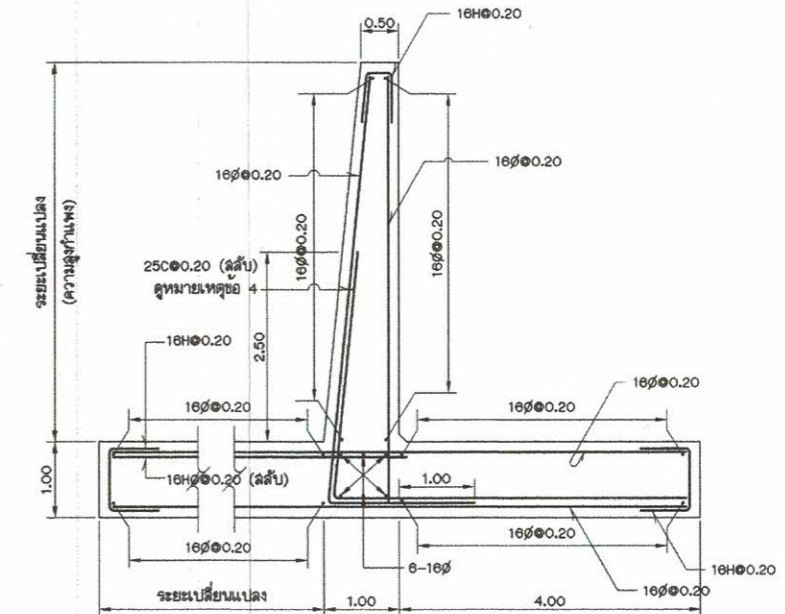
- ระดับ (จ.ท.ก.) และมิติต่างๆ กำหนดให้เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
- หมายเหตุทั่วไป ข้อกำหนดเกี่ยวกับคอนกรีตและการเสริมเหล็ก ดูแบบหมายเลข 286414
- แบบแผ่นนี้ ไม่แสดงรายละเอียด ANCHOR BAR
- ในกรณีที่ความสูงของกำแพง RTW2, RTW3 และ RTW4 สูงไม่เกิน 2.60 เมตร การเสริมเหล็ก 25C@0.20 (สลับ) สามารถทำได้ดังนี้
 - ปรับลดความสูงของเหล็กเสริม 25C@0.20 (สลับ) ให้ต่ำกว่าผิวคอนกรีตด้านบนของกำแพง ไม่นเกิน 0.50 เมตร
 - กรณีความสูงของกำแพง สูงไม่เกิน 1.00 เมตร ไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็ก 25C@0.20 (สลับ) โดยผู้รับจ้างจะต้องแจ้งต่อหัวหน้าโครงการ หรือคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานก่อสร้าง เพื่อให้ความเห็นชอบก่อนดำเนินการ

แบบประกอบ

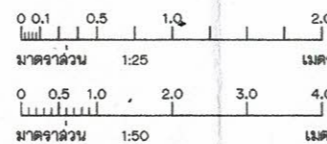
- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน แบบลง
- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน กำแพงกันดิน RTW1 รูปตัด
- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน กำแพงกันดิน RTW2 รูปตัด
- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน กำแพงกันดิน RTW3 รูปตัด
- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน กำแพงกันดิน RTW4 รูปตัด

แบบหมายเลข

- 286409
- 286416
- 286417
- 286418
- 286419



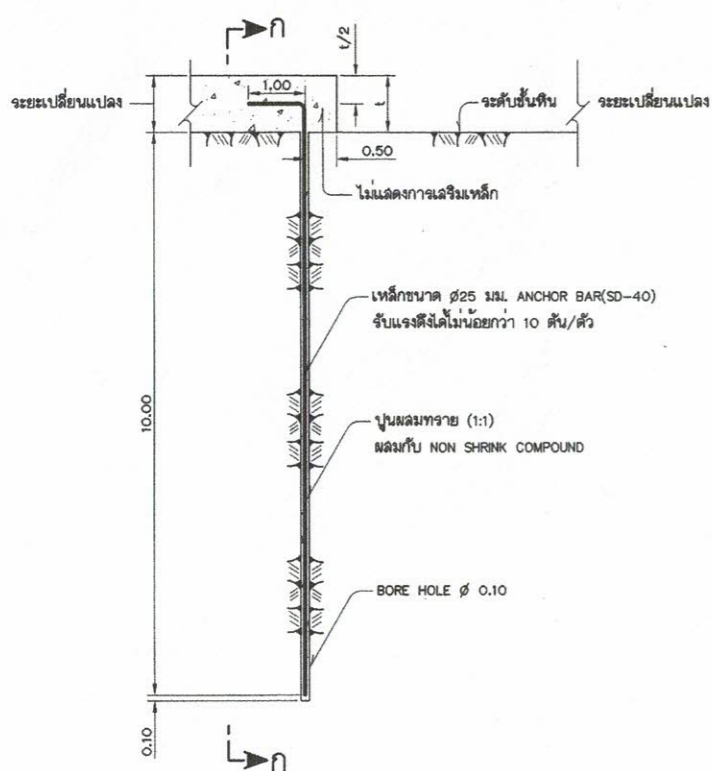
รูปตัด ข-ข
มาตราส่วน 1:50



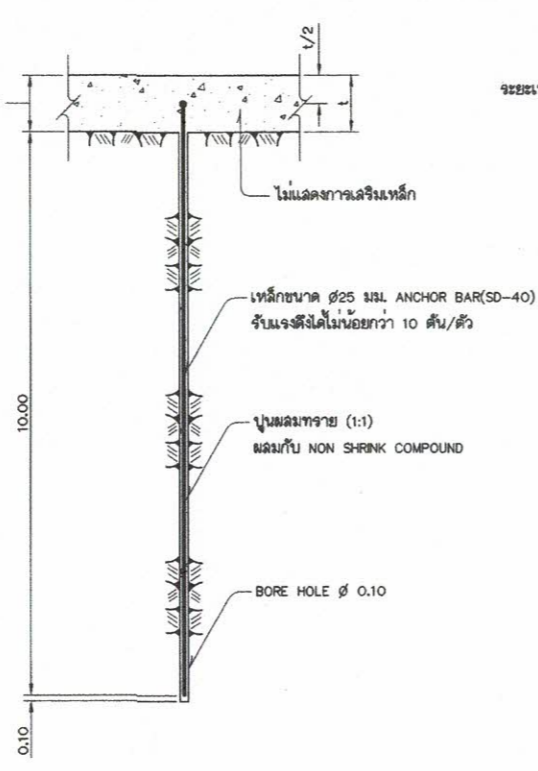
กรมชลประทาน
โครงการอ่างเก็บน้ำแม่ถอดตอนบน
อ.แม่ถอด จ.ตาก
ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน
กำแพงกันดิน RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4
รูปตัด แลดูการเสริมเหล็ก

| | | | | |
|---------|--------|----------|---------|--------|
| ชื่อแบบ | เลขที่ | ชื่อ | ตำแหน่ง | วันที่ |
| เขียน | หน้า | อ.จ.ก.ก. | หน้า | หน้า |
| สอบ | หน้า | หน้า | หน้า | หน้า |
| ตรวจ | หน้า | หน้า | หน้า | หน้า |

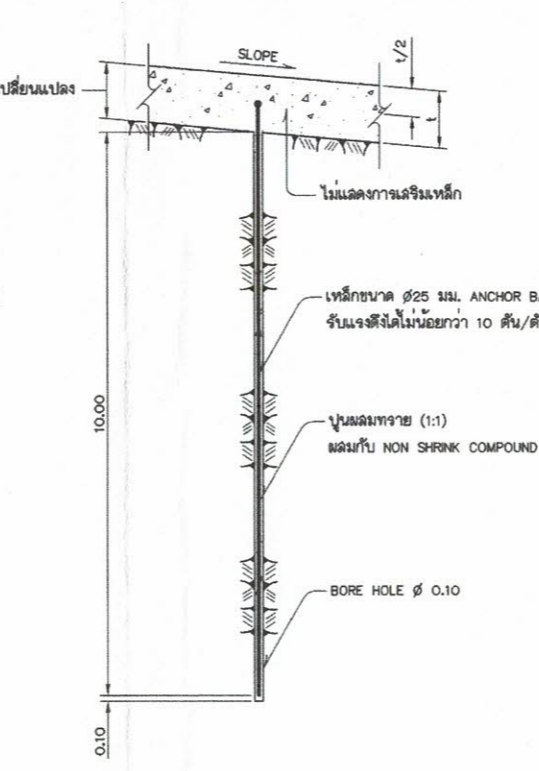
สำหรับออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม 21 ก.ค. 65
ฝ่ายออกแบบเขียนที่ 2



รายละเอียด ANCHOR BAR
(กรณี 1 ปรับระดับชั้นดินเดิม)
ไม้แสดงขนาดจาล้วน



รูปตัด ก-ก
(กรณี 1.1 จะค้ำขึ้นดินเดิมไม่มีความลาดเอียง)
ไม้แสดงขนาดจาล้วน



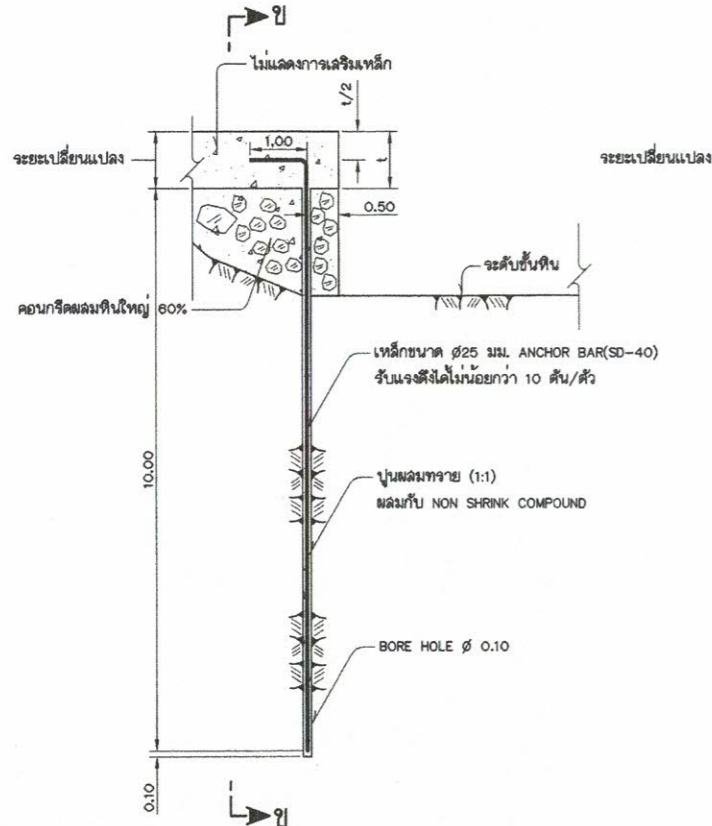
รูปตัด ก-ก
(กรณี 1.2 จะค้ำขึ้นดินเดิมมีความลาดเอียง)
ไม้แสดงขนาดจาล้วน

- หมายเหตุ**
- ระดับ (จ.ท.ก.) และมีติต่างๆ กำหนดให้เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
 - หมายเหตุทั่วไป ข้อกำหนดเกี่ยวกับคอนกรีตและเหล็กยึดดิน (ANCHOR BAR) ดูแบบหมายเลข 286414
 - ทิศทางวางองเหล็กยึดดิน (ANCHOR BAR) ให้เป็นไปตามความเหมาะสมและสภาพหน้างานจริง

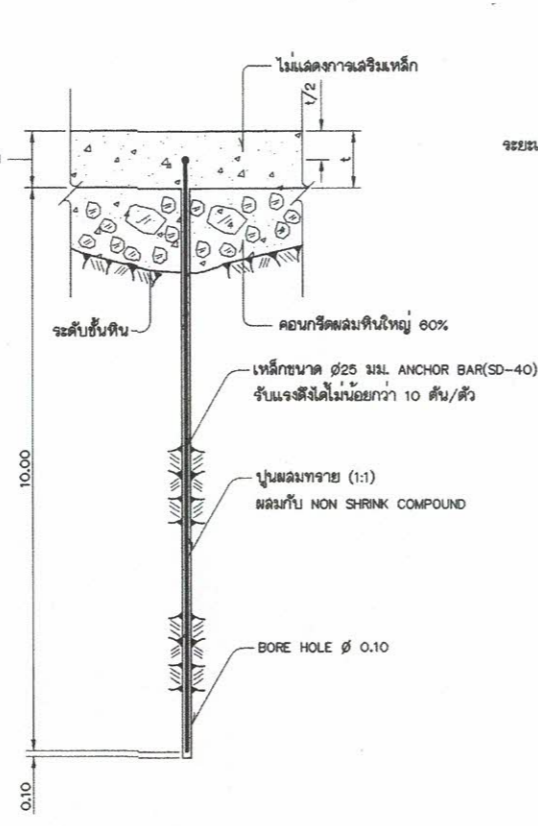
- แบบประกอบ**
- ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน แปลน
 - ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน กำแพงกันดิน RTW1 รูปตัด
 - ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน กำแพงกันดิน RTW2 รูปตัด
 - ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน กำแพงกันดิน RTW3 รูปตัด
 - ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน กำแพงกันดิน RTW4 รูปตัด

แบบหมายเลข

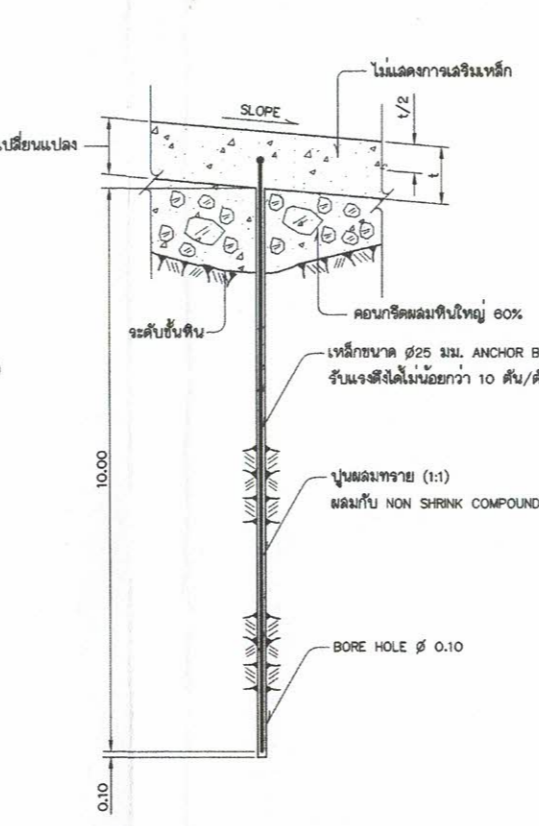
| |
|--------|
| 286409 |
| 286416 |
| 286417 |
| 286418 |
| 286419 |



รายละเอียด ANCHOR BAR
(กรณี 2 ปรับระดับด้วยคอนกรีตผสมหินใหญ่)
ไม้แสดงขนาดจาล้วน



รูปตัด ข-ข
(กรณี 2.1 จะค้ำคอนกรีตผสมหินใหญ่ไม่มีความลาดเอียง)
ไม้แสดงขนาดจาล้วน



รูปตัด ข-ข
(กรณี 2.2 จะค้ำคอนกรีตผสมหินใหญ่มีความลาดเอียง)
ไม้แสดงขนาดจาล้วน

กรมชลประทาน
โครงการอ่างเก็บน้ำแม่เลือดตอนบน
อ.แม่เลือด จ.ตาก
ป้องกันลาดไหลเข้าบริเวณอาคารทางระบายน้ำฝน
กำแพงกันดิน RTW1, RTW2, RTW3 และ RTW4
รายละเอียด ANCHOR BAR

| | | | | |
|-----------|--------|-----------|--------|----------|
| ออกแบบ | เลขที่ | ออกแบบ | วันที่ | 21.03.65 |
| เขียน | เลขที่ | เขียน | วันที่ | |
| ตรวจ | เลขที่ | ตรวจ | วันที่ | |
| กำกับ | เลขที่ | กำกับ | วันที่ | |
| อนุมัติ | เลขที่ | อนุมัติ | วันที่ | |
| ดำเนินการ | เลขที่ | ดำเนินการ | วันที่ | |

สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตย์กรม 21.03.65
ฝ่ายออกแบบเขียนที่ 2

286421

