

### บทที่ 3

#### แนวทางในการแก้ไขปัญหา

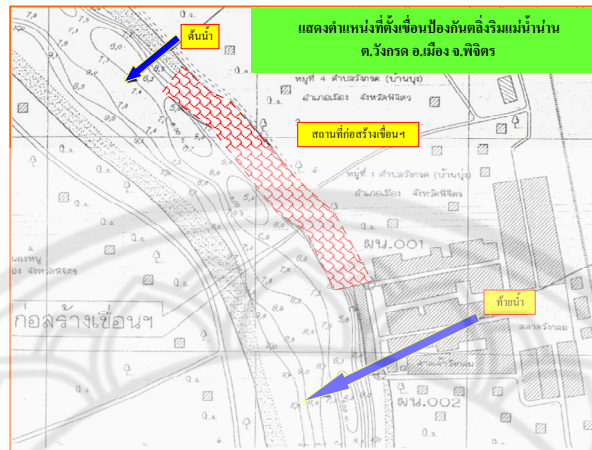
#### 3.1 ศึกษาสาเหตุการพังทลายของเขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำน่าน ตำบลวังกรด (บ้านบุ่ง) อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร

##### 3.1.1 ข้อมูลทั่วไปและลักษณะของปัญหา

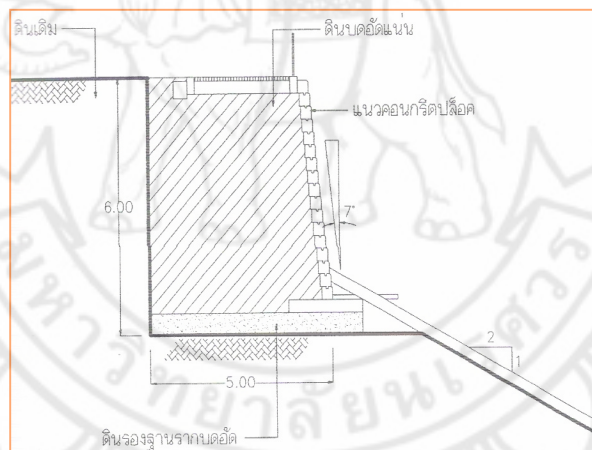
เขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำน่าน ตำบลวังกรด อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร มีความยาวรวม 360 เมตร ดำเนินการก่อสร้างเมื่อเดือน พฤศจิกายน 2547

##### 3.1.1.1 ข้อมูลเขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำน่าน ตำบลวังกรด (บ้านบุ่ง) อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร

เขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำน่าน ตำบลวังกรด อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร ความยาวประมาณ 360 เมตร (รูปที่ 3.1) มีลักษณะเป็นเขื่อนดินบดอัดแน่นกว้าง 5.00 เมตร ลึก 6.00 เมตร วางบนดินรองรับที่บดอัดแน่น 95 % และถ่ายน้ำหนักลงสู่ดินเดิม ผนังเป็นคอนกรีตบล็อก บนสันเขื่อนทำเป็นทางเท้ากว้างประมาณ 3.00 เมตร (รูปที่ 3.2)



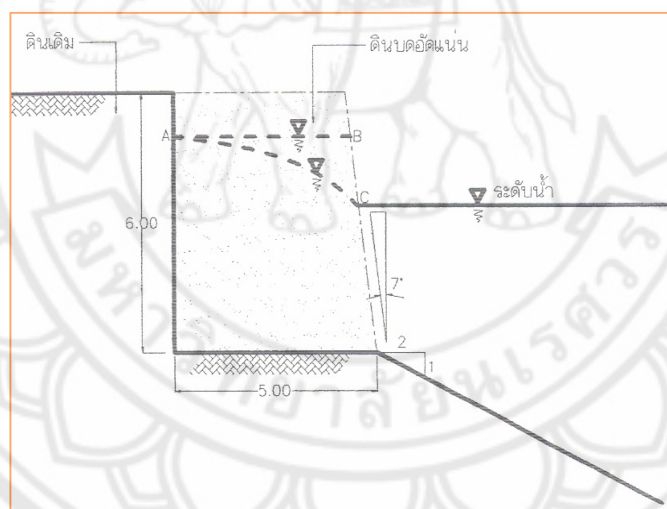
รูปที่ 3.1 บริเวณก่อสร้างเขื่อน



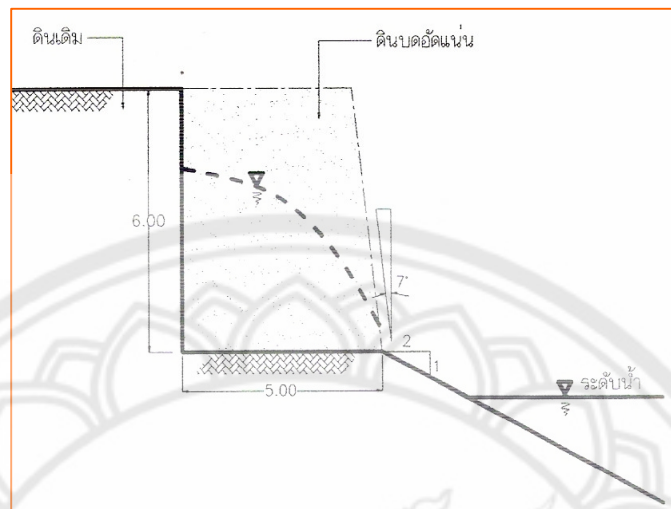
รูปที่ 3.2 ลักษณะของเขื่อนเดิมที่ใช้ในการก่อสร้าง

### 3.1.1.2 ลักษณะและสภาพการพังทลายของเขื่อน

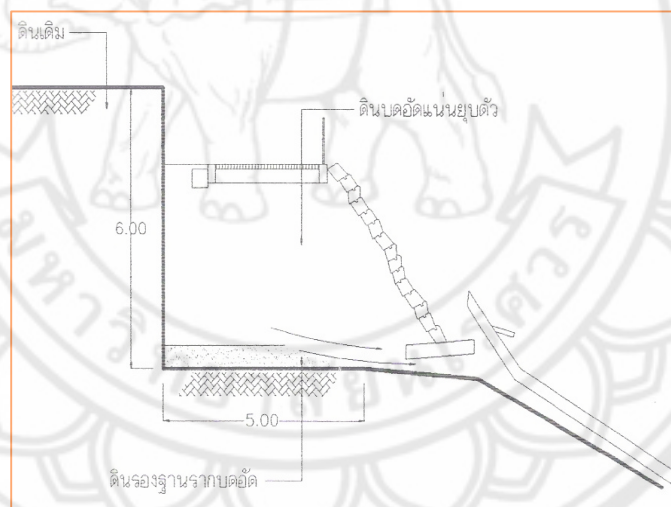
ตามข้อมูลที่ได้รับ งานก่อสร้างดำเนินการมาจนใกล้จะเสร็จอยู่ในระหว่างปรับผิวทางด้านบนเท่านั้น ในระหว่างนั้นมีเหตุการณ์น้ำหลากลงมามาก ระดับน้ำในแม่น้ำขึ้นสูงจนใกล้จะถึงระดับผิวทางอยู่ต่ำกว่าระดับผิวทางประมาณ 1 เมตร และคงสภาพเช่นนั้นอยู่ประมาณ 3-5 วัน หลังจากนั้นระดับน้ำเริ่มลดลง การลดลงของระดับน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องจนท้ายที่สุดระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าผิวทางประมาณ 8 เมตร ภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์ มีผู้พบเห็นว่าขณะที่น้ำลดต่ำลงประมาณ 2 เมตร เกิดรอยแยกที่ผิวดินขนานกับแนวเขื่อนป้องกันตลิ่ง รอยแยกอยู่ห่างจากริมตลิ่งประมาณ 3-4 เมตร เมื่อน้ำลดลงมากขึ้นรอยแยกก็กว้างขึ้นและเกิดการพังทลายลงในที่สุด ดังรูปที่ 3.3 รูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.3 เมื่อระดับน้ำในแม่น้ำต่ำลงน้ำในทรายถมจะไหลตามเพื่อปรับสมดุล



รูปที่ 3.4 เมื่อน้ำลดระดับลงน้ำจะไหลออกที่ส่วนล่างของกำแพงคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 3.5 ภาพตัดเขื่อนป้องกันตลิ่งขณะพังทลาย

### 3.1.1.3 ทำการศึกษารายงานการศึกษาสาเหตุการพังทลายของเขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำน่าน ตำบลวังกรด (บ้านบู่) อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ สาขาภาคเหนือ 2 ได้ข้อสรุปดังนี้

ก) ส่วนที่พังทลายเป็นส่วนที่ทำจากดินถมเท่านั้น และดินที่ยุบตัวลงคือดินทรายที่นำมาถมบดอัดเพื่อทำเขื่อน

ข) ดินเหนียวที่รองรับทรายถมไม่ได้เกิดการยุบตัว ดินเหนียวมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดมากกว่า 36 ตัน/ตารางเมตร ในสภาพปกติ แต่เมื่อชุ่มน้ำกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจะต่ำกว่า 36 ตัน/ตารางเมตร ทำให้ส่วนความปลอดภัยที่มีอยู่ลดลงแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้

ค) ผลวิเคราะห์ตามสภาพน้ำหนักและสิ่งแวดล้อมที่เป็นอยู่ ดินเหนียวที่รองรับดินถมไม่เกิดการวิบัติแบบฐานรากดินหรือการลื่นไถลแบบวงโค้ง (Slope failure)

ง) การลดระดับน้ำในแม่น้ำทำให้ทรายถมไหลออก หากช่องทางการไหลซึมออกที่บริเวณกำแพงมีน้อยหรือที่บ้น้ำจะก่อให้เกิดแรงดันเข้ามาหากำแพงเพิ่มขึ้น และถ้าระดับน้ำในแม่น้ำยังลดระดับอย่างต่อเนื่องจะทำให้เกิดการต่งศักดิ์มากขึ้นตามลำดับแรงไหลซึมผ่านจะยิ่งทำให้เม็ดดินขยับตัวและเกิดแรงดันที่กำแพงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะที่บริเวณส่วนล่างของกำแพง

จ) เมื่อระดับน้ำต่ำกว่าขอบบนสุดของลาดดิน น้ำจะไหลออกบริเวณส่วนล่างของกำแพงความแรงของน้ำที่ไหลออกจะทำให้ทรายถมยุบตัวและส่วนล่างของกำแพงเลื่อนไหลออกดันให้ดินด้านหน้าเขื่อนเพื่อยื่นและเกิดรอยแตกแยก

## 3.2 ศึกษาถึงประโยชน์และข้อจำกัดของเขื่อนป้องกันตลิ่งแต่ละประเภท

### 3.2.1 ทำนบหรือเขื่อนชนิดถมดินเรียงหิน

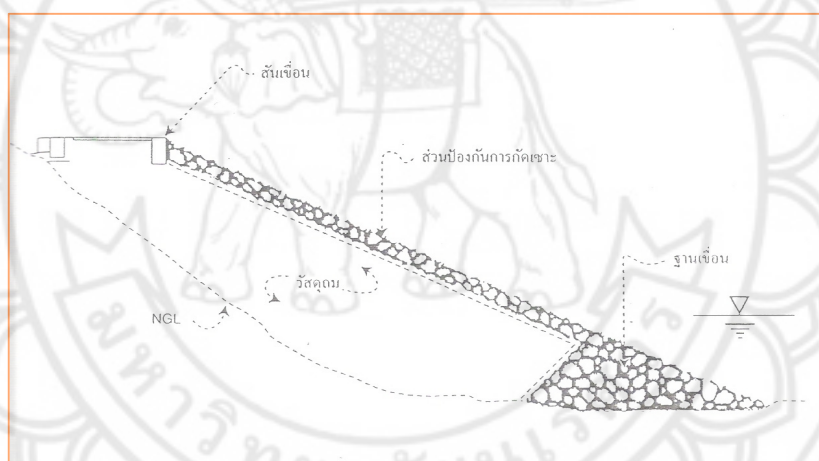
#### 1) ประโยชน์และการใช้งาน

- ก. ใช้ป้องกันโดยอาศัยความลาดเอียงตามธรรมชาติ
- ข. ทำหน้าที่กักน้ำ เช่น เขื่อนกักน้ำ แม่น้ำ และฝายน้ำล้น
- ค. ในบางกรณีทางส่วนบนของทำนบยังทำให้เป็นทางเดินเท้าหรือ  
ออกแบบเป็นถนนได้อีกด้วย

ง. กรณีที่เป็นหินเรียงก็จะทำหน้าที่ป้องกันการกัดเซาะของน้ำที่กระทำกับตลิ่ง

## 2) ข้อจำกัดของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

- ก. ไม่เหมาะกับการสร้างเขื่อนริมตลิ่งที่ลำนน้ำแคบๆ เพราะความลาดเอียงของดินจะฉีกขึ้นออกไปกลางลำน้ำทำให้ลำนน้ำแคบซึ่งมีผลทำให้เกิดกระแสน้ำแรงหรืออาจเกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรง
- ข. ในกรณีที่ดินมีกำลังรับน้ำหนักต่ำ เขื่อนจะมีขีดจำกัดเรื่องความสูง จะไม่สามารถถมให้สูงได้ เพราะจะเกิดการพังทลายของเขื่อน
- ค. ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะที่ตีนเขื่อนริมตลิ่งให้ดีพอ



รูปที่ 3.6 ทำนบหรือเขื่อนชนิดถมดินเรียงหิน

## 3.2.2 กำแพงกันดิน

### 1) ประโยชน์และการใช้งาน

- ก. เพื่อกันดินที่มีความลาดเอียงมากกว่าความลาดเอียงตามธรรมชาติ ซึ่งมีประโยชน์ในการถมดินไม่ให้ล้าที่เลยเขตที่ดินและถมดินได้เต็มตามเนื้อที่ที่เราได้อยู่ได้

ข. ใช้ทำหน้าที่กักเก็บน้ำหรือกั้นน้ำ

ค. ทำหน้าที่กั้นดินในการสร้างถนนยกระดับ โดยกำแพงกั้นดินจะกักดินที่ถม  
สูงๆจนถึงระดับที่ต้องการ

ง. ทำหน้าที่กักดินด้านข้างไม่ให้พังทลายในการสร้างถนนลงใต้ดิน

จ. ช่วยในการจัดรูปร่างทางด้านภูมิสถาปัตยกรรม

ฉ. ทำคลองและคูน้ำ

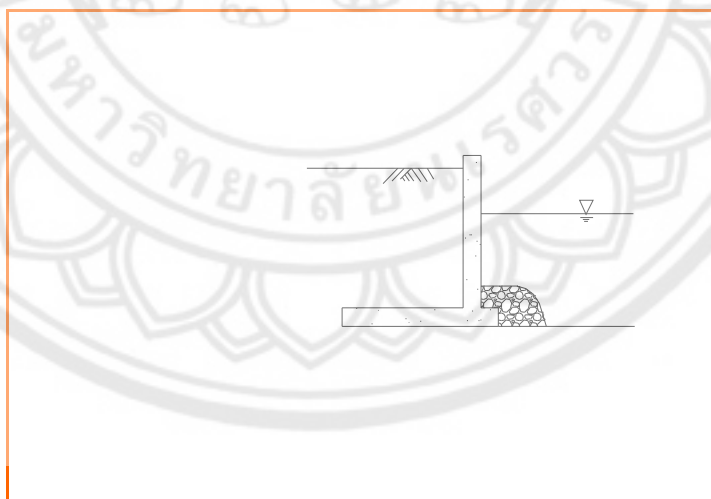
ช. ก่อสร้างที่ริมตลิ่งเพื่อป้องกันการกัดเซาะจากแม่น้ำ หรือทะเล

ฌ. ทำหน้าที่เป็นกำแพงป้องกันน้ำท่วม

## 2) ข้อจำกัดของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

ก. ไม่เหมาะสมในกรณีที่จะต้องสร้างได้ระดับน้ำใต้ดินหรือน้ำที่ริมตลิ่งมีระดับ  
น้ำสูงท่วมถึงตัวกำแพงกั้นดินที่จะทำการก่อสร้าง ต้องมีการระบายน้ำที่ดี

ข. ในดินที่มีคุณสมบัติการรับน้ำหนักต่ำไม่เพียงพอที่จะรับกำแพงกั้นดินที่จะ  
สร้างได้



รูปที่ 3.7 กำแพงกั้นดิน

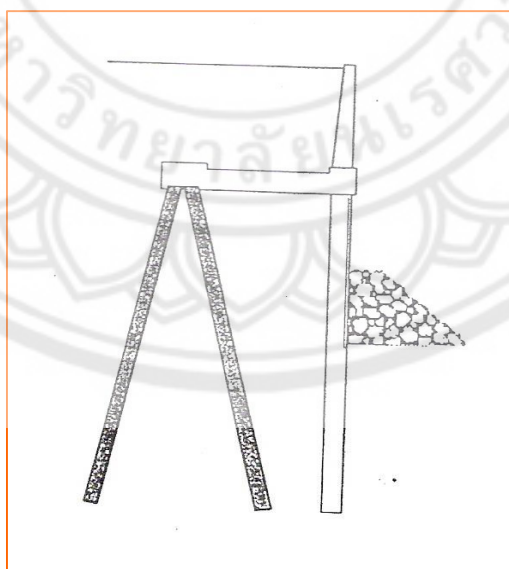
### 3.2.3 โครงสร้างเขื่อนชนิดตอกเสาเข็ม

#### 1) ประโยชน์และการใช้งาน

- ก. ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถสร้างแบบกำแพงกันดินได้ เนื่องจากจะต้องลดระดับน้ำในสถานที่
- ข. ใช้เป็นโครงสร้างชั่วคราวในการก่อสร้าง
- ค. ใช้ในการกักดินไม่ให้ไหลยวบที่ดิน

#### 2) ข้อจำกัดของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

- ก. ไม่เหมาะที่จะกักดินมาก ๆ ซึ่งต้องการแรงดันดินเกินสัดส่วนของหน้าตัดเสาเข็ม
- ข. เสาเข็มเขื่อนมีความยาวที่ฝังลงไปดินไม่เพียงพอตามที่ได้อำนาจ เนื่องจากมีกรวดขนาดโตๆ อยู่ในชั้นดินได้ปลายเสาเข็มเขื่อน หรือมีชั้นหินซึ่งเป็นอุปสรรคไม่สามารถตอกเสาเข็มลงให้ได้ ระยะ ความยาวของเสาเข็มเขื่อนที่ฝังในดินได้ตามระยะที่คำนวณออกแบบไว้ได้

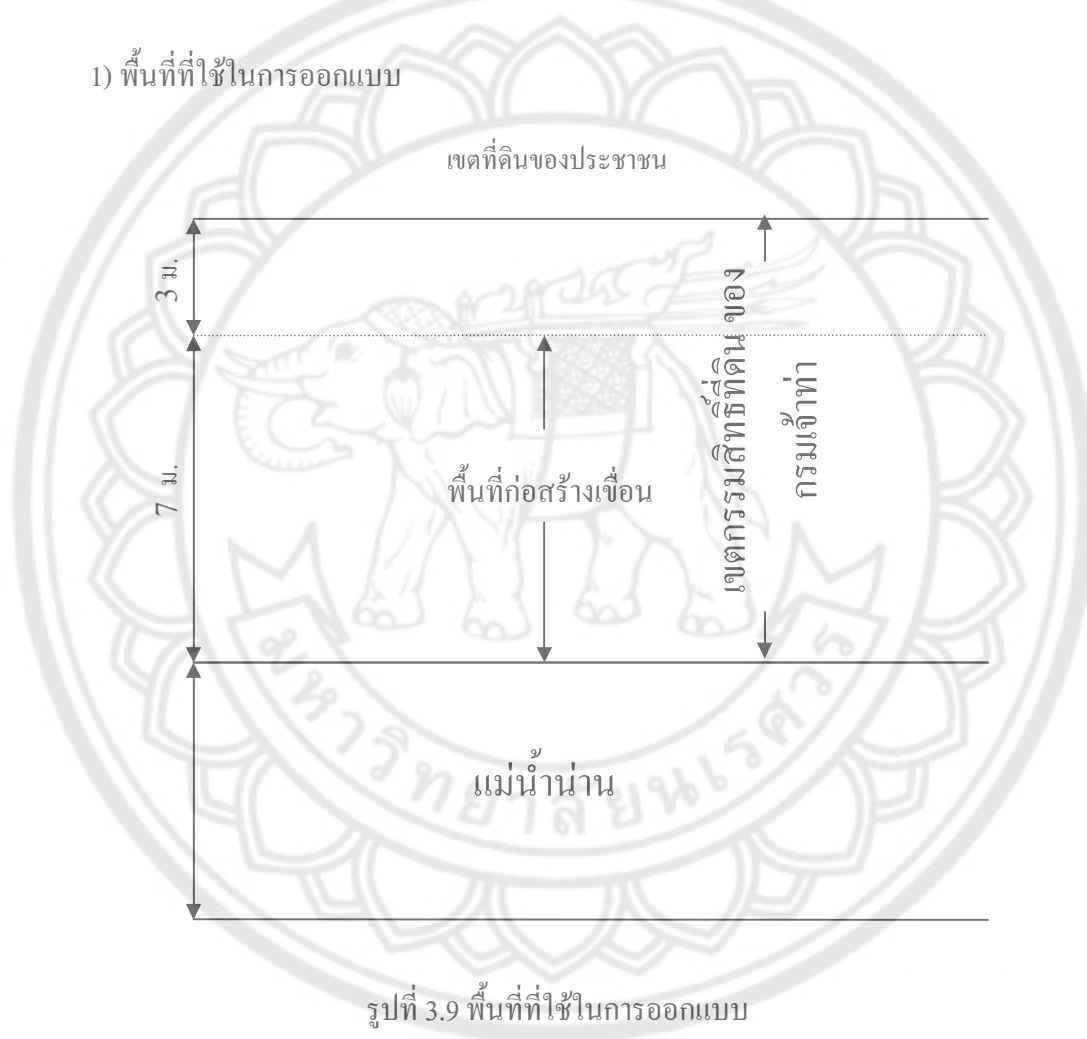


รูปที่ 3.8 โครงสร้างเขื่อนชนิดตอกเสาเข็ม

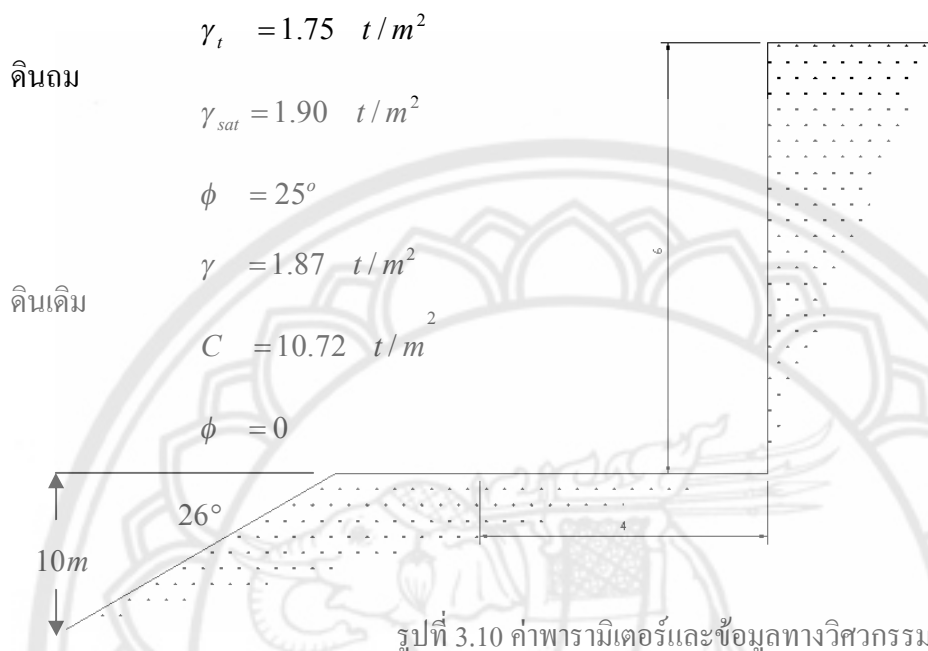
### 3.3 เลือกและออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งรูปแบบใหม่

#### 3.3.1 ข้อกำหนดในการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งใหม่

##### 1) พื้นที่ที่ใช้ในการออกแบบ



## 2) ค่าพารามิเตอร์และข้อมูลทางวิศวกรรมของดิน



## 3) ข้อมูลระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดของลำน้ำบริเวณที่ออกแบบ

ระดับน้ำสูงสุด -1 เมตร จากผิวถนน

ระดับน้ำต่ำสุด -8 เมตร จากผิวถนน

### 3.3.2 วิเคราะห์และเลือกรูปแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง

เนื่องจากตัวเขื่อนเดิมเป็นเขื่อนแบบ Retaining Wall ประเภท Reinforced earth wall มีหลักการโดยอาศัยน้ำหนักของตัวเขื่อนเองช่วยในการป้องกันแรงดันจากน้ำและแรงดันดิน เมื่อเกิดแรงดันทางด้านข้างมากขึ้น ทำให้เกิดแรงเฉือนที่บริเวณรอยต่อของบล็อกคอนกรีต แรงดันมีค่ามากพอทำให้รอยต่อเกิดการวิบัติและทำให้ตัวเขื่อนเกิดการพังทลาย ซึ่งในกรณีนี้มีการเกิดการเฉือนพังที่บริเวณรอยต่อระหว่างฐานรากและส่วนของกำแพง ดังนั้นควรแก้ไขโดยวิธีการทำให้บริเวณรอยต่อระหว่างฐานรากและตัวกำแพงมีความมั่นคงมากขึ้น อาจทำการถมหินบริเวณหน้าเขื่อนเพื่อเพิ่มแรงพยุง หรือเปลี่ยนรูปแบบของกำแพงให้มีลักษณะมั่นคงแข็งแรง

การพังทลายเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าขอบบนสุดของลาดดิน น้ำจะไหลออกบริเวณส่วนล่างของกำแพง ความแรงของน้ำที่ไหลออกทำให้ทรายถมยุบตัวและส่วนล่างของกำแพงเลื่อนไถลออก ดันให้ดินด้านหน้าเขื่อนเคลื่อนตัวและเกิดรอยแตกแยกซึ่งเขื่อนรูปแบบเดิมมีฐานรากที่สั้นมากไม่พอต่อการต้านทานแรงเสียดทานที่ทำให้เกิดการเลื่อนไถลได้ จึงมีการแก้ไขโดยการเพิ่มความยาวของฐานรากซึ่งจะทำให้มีน้ำหนักจากดินด้านบนกดทับด้วย ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะช่วยเพิ่มแรงเสียดทานที่ได้ฐานเขื่อนไม่ให้เกิดการเลื่อนไถลได้

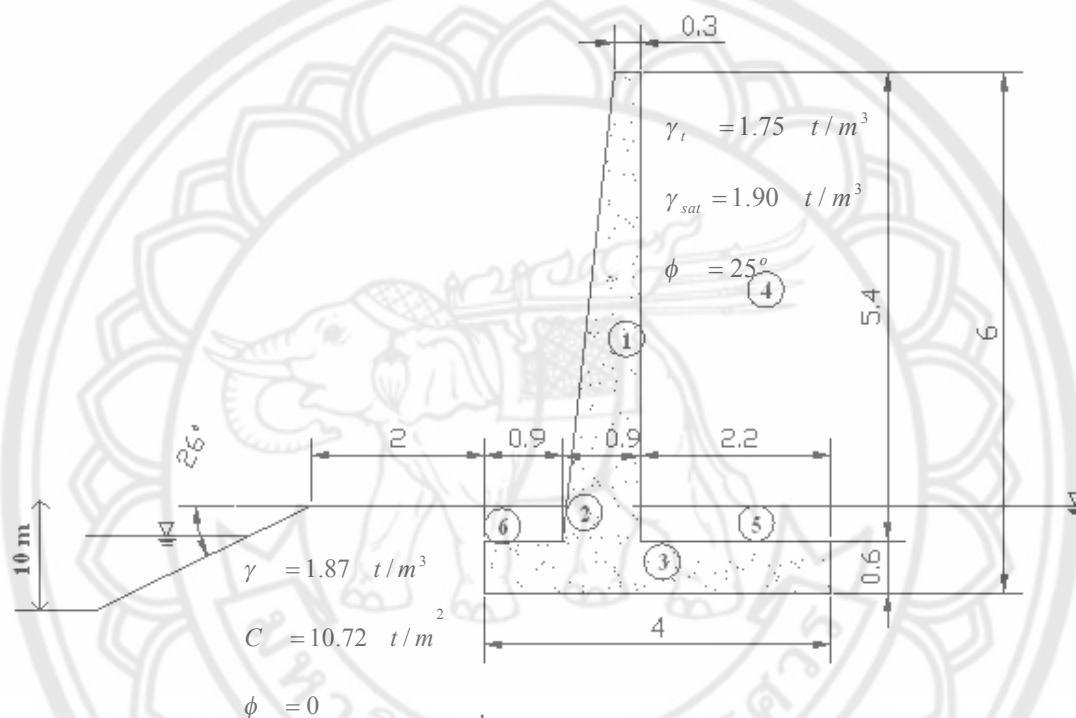
จากการวิเคราะห์ เพื่อทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยพิจารณาถึงสาเหตุการพังทลาย และ ข้อจำกัดในการออกแบบพบว่า บริเวณสถานที่ก่อสร้างมีเนื้อที่ในการก่อสร้างที่จำกัด จึงทำให้การเลือกรูปแบบของเขื่อนมีจำกัด และเนื่องจากมีเขื่อนป้องกันตลิ่งที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้หลายชนิด เขื่อนป้องกันตลิ่งประเภท Retaining Wall ชนิด Cantilever Wall เป็นรูปแบบหนึ่งที่มีความเหมาะสมสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ เพราะโดยธรรมชาติ ของเขื่อนป้องกัน ตลิ่งประเภทนี้ จะใช้น้ำหนักของดินที่อยู่บนฐานคอนกรีตเสริมเหล็กช่วยให้มีเสถียรภาพจากการลื่นไถล ผู้จัดทำโครงการจึงได้เลือกเขื่อนป้องกันตลิ่งประเภท Retaining Wall ชนิด Cantilever เป็นรูปแบบใหม่ เนื่องจากการระบาย ประกอบกับลักษณะรูปร่างของเขื่อนมีความคล้ายคลึงกันกับของเดิม

การปรับปรุงคุณสมบัติดินถมในส่วนของการระบายน้ำภายในดินถม เพื่อให้ความสามารถในการระบายน้ำที่ดีขึ้น อาจหาวัสดุดินถมที่มีค่าการซึมผ่านที่ดีมาใช้ทดแทนวัสดุดินถมเดิม หรืออาจทำชั้นกรองเพื่อให้ น้ำไหลได้สะดวกขึ้น เนื่องจากการพังทลายเกิดขึ้นในส่วนของดินถม ซึ่งมีการระบายน้ำภายในดินถมออกไม่ทัน ทำให้เกิดแรงดันมากบริเวณส่วนฐานเขื่อน จนเกิดการพังทลาย

ในส่วนของการระบายน้ำของตัวเขื่อนควรหาทางให้น้ำระบายออกได้อย่างสะดวก อาจทำการต่อท่อระบายน้ำขึ้นออกมาจากผนัง โดยอาจยื่นที่กึ่งกลางหรือด้านล่างของกำแพง หรืออาจใช้ วิธีวางท่อไว้บนฐานรากเพื่อรวบรวมน้ำแล้วปล่อยให้น้ำไหลไปตามท่อ และเลือกใช้วัสดุเม็ดหยาบที่มีขนาดเหมาะสมเรียงไว้บริเวณปากท่อหรือพันโดยรอบด้วย Geotextile เพื่อป้องกันการอุดตัน ซึ่งวิธีการเหล่านี้ จะช่วยให้การระบายน้ำออกจากฐานเขื่อนดีขึ้น และทำให้เกิดแรงดันบริเวณที่ฐานเขื่อนน้อยลง ลดความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการพังแบบลื่นไถล

### 3.4 ออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งประเภท Retaining Wall ชนิด Cantilever Wall

#### 3.4.1 รายการประกอบการคำนวณการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Retaining Wall



รูปที่ 3.11 ภาพประกอบการคำนวณ

กำหนด  $H = 6 \text{ m}$  และ ระดับน้ำ อยู่ที่ระดับ 1 m. จากฐานกำแพง Retaining Wall  
จะได้

ความกว้างของฐานราก  $B = 0.6H = 3.6$  ใช้ 4.0 m.

ความหนาของกำแพงด้านบน 0.30 m.

ความหนาของกำแพงด้านล่าง 0.90 m.

ความหนาของฐานราก  $= 0.10H = 0.60 \text{ m}$ .

ความยาวของส่วน Toe  $0.15 H = 0.90 \text{ m}$ .

กำหนดให้ ทรายถมใหม่

$$\gamma_t = 1.75 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = 1.90 \text{ t/m}^3$$

$$\phi = 25^\circ$$

ดินเดิม

$$\gamma = 1.87 \text{ t/m}^3$$

$$C = 10.72 \text{ t/m}^2$$

$$\phi = 0$$

1) การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดิน

ดินถมใหม่

$$K_a = \frac{1 - \sin 25^\circ}{1 + \sin 25^\circ} = 0.406$$

$$K_p = \frac{1}{K_a} = 2.464$$

ดินเดิม

$$K_a = 1$$

$$K_p = \frac{1}{K_a} = 1$$

2) หาค่าหน่วยแรง

$$\sigma_1 = \gamma_t H_1 K_a = 1.75 \times 5 \times 0.406 = 3.553 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_2 = (\gamma_t H_1 + \gamma' H_2) K_a = [(1.75 \times 5) + (1.90 - 1.0) \times 1] \times 0.406 = 3.918 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_3 = \gamma H K_a = 1.87 \times 1 \times 1 = 1.87 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_w = \gamma_w H = 1 \times 1 = 1 \text{ t/m}^2$$

$$P_1 = 0.5 \times 3.553 \times 5 = 8.883 \quad t/m$$

$$P_2 = 3.553 \times 1 = 3.553 \quad t/m$$

$$P_3 = 0.5 \times (3.918 - 3.553) \times 1 = 0.183 \quad t/m$$

$$P_4 = 0.5 \times 1 \times 1 = 0.5 \quad t/m$$

$$P_5 = 0.5 \times 1 \times 4 = 2 \quad t/m$$

$$P_6 = 0.5 \times 1.87 \times 1 = 0.935 \quad t/m$$

$$P_h = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - P_6 = 8.883 + 3.553 + 0.183 + 0.5 - 0.935 \\ = 12.184 \quad t/m$$

ตารางที่ 3.1 ตารางคำนวณก๊อนน้ำหนักและโมเมนต์รอบจุด Toe

| Section | Area ( $m^2$ ) | Weight/unit<br>length ( $t/m$ ) | Moment arm<br>from point C<br>(m) | Moment)<br>( $t-m/m$ ) |
|---------|----------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 1       | 1.62           | 3.888                           | 1.65                              | 6.415                  |
| 2       | 1.62           | 3.888                           | 1.3                               | 5.054                  |
| 3       | 2.40           | 5.760                           | 2.0                               | 11.520                 |
| 4       | 11.00          | 19.250                          | 2.9                               | 55.825                 |
| 5       | 0.88           | 0.792                           | 2.9                               | 2.297                  |
| 6       | 0.36           | 0.673                           | 0.45                              | 0.303                  |
|         |                | $\sum V = 34.251$               |                                   | $\sum M_R = 81.414$    |

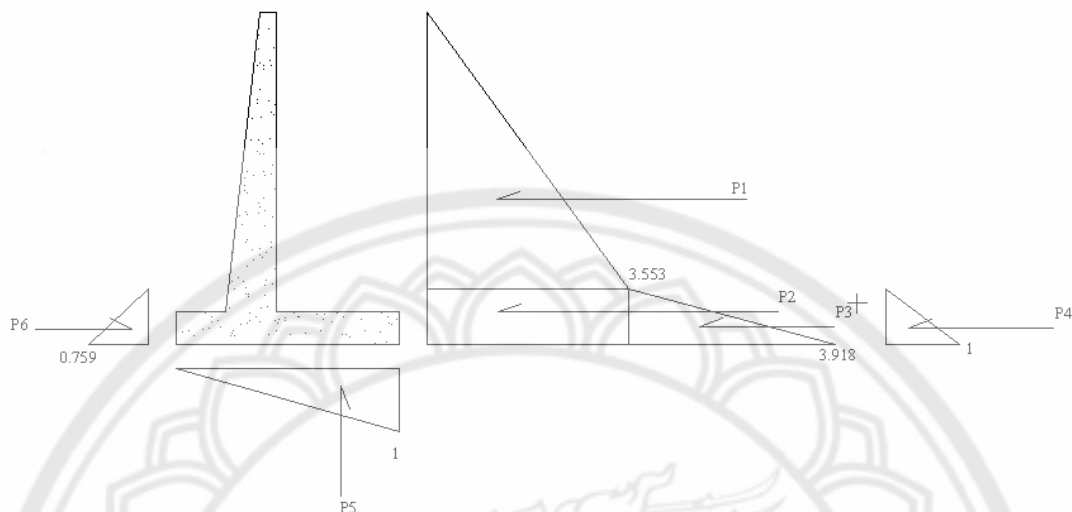
$$\gamma_{concrete} = 2.4 \quad t/m^3$$

$$\gamma_t = 1.75 \quad t/m^3$$

$$\gamma_{sat} = 1.90 \quad t/m^3$$

$$\gamma' = (1.90 - 1) = 0.9 \quad t/m^3$$

$$\gamma = 1.87 \quad t/m^3$$



รูปที่ 3.12 แรงที่กระทำกับกำแพงกันดิน

$$M_o = 8.883(0.6 + \frac{5.4}{3}) + 3.553(\frac{1}{2}) + 0.183(\frac{1}{3}) + 0.5(\frac{1}{3}) + 2(\frac{2}{3} \times 4) - 0.935(\frac{1}{3})$$

$$= 28.345 \quad t - m / m$$

3) ตรวจสอบการพลิกคว่ำ รอบจุด C

$$FS_{over} = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} = \frac{81.414}{28.345} = 2.872 > 2 \text{ (สำหรับดินเหนียวแข็งปานกลาง) OK.}$$

4) ตรวจสอบการเลื่อนของฐาน

$$FS_{sliding} = \frac{(\sum V) \tan(k_1 \phi'_2) + Bk_2 c'_2 + P_p}{P_a \cos \alpha}$$

$$\sum V = 34.251 \quad t/m$$

$$k_1 = k_2 = \frac{2}{3}$$

$$\phi_2 = 0$$

$$\alpha = 0$$

$$B = 4 \quad m$$

$$c'_2 = 10.72 \quad t/m^2$$

$$P_p = \frac{1}{2} k_p \gamma_2 D^2 + 2c'_2 \sqrt{k_p} D$$

$$\gamma_2 = 1.87 \quad t/m^3$$

$$D = 1 \quad m$$

$$k_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi_2}{2} \right) = 1$$

$$\therefore P_p = \left( \frac{1}{2} \times 1 \times 1.87 \times 1^2 \right) + (2 \times 10.72 \times \sqrt{1} \times 1) = 22.375$$

จะได้  $FS_{Sliding} = \frac{0 + (4 \times \frac{2}{3} \times 10.72) + 22.375}{12.184} = 4.18 > 2 \text{ (สำหรับดินเหนียว) OK}$

5) ตรวจสอบหน่วยแรงกดบนชั้นดิน

$$e = \frac{B}{2} - \left( \frac{\sum M_R - \sum M_O}{\sum V} \right) = \frac{4}{2} - \left( \frac{81.414 - 28.345}{34.251} \right) = 0.451 < \frac{B}{6}$$

$$q_{heel}^{toe} = \frac{\sum V}{B} \left( 1 \pm \frac{6e}{B} \right) = \frac{34.251}{4} \left( 1 \pm \frac{6(0.451)}{4} \right) = 14.355 \quad t/m^2 (toe)$$

$$= 2.770 \quad t/m^2 \text{ (heel)}$$

$$b = 2 \text{ m}, B = 4 \text{ m}, H = 10 \text{ m}$$

$$\therefore B < H \quad \therefore N_s = 0$$

จะได้

$$\frac{b}{H} = \frac{2}{10} = 0.2, \quad \frac{D_f}{B} = \frac{1}{4} = 0.25, \quad \frac{b}{B} = \frac{2}{4} = 0.5 \quad N_{cq} = 4.5$$

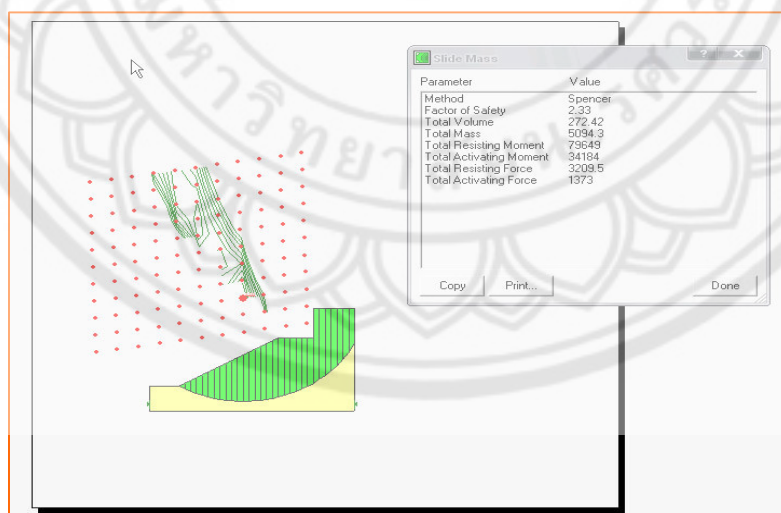
จะได้

$$q_u = cN_{cq} = 10.72 \times 4.5 = 48.24 \text{ t/m}^2$$

$$q_u = 48.24 \text{ t/m}^2$$

$$FS_{\text{Bearing}} = \frac{q_u}{q} = \frac{48.24}{14.42} = 3.345 > 3 \quad OK$$

6) วิเคราะห์เสถียรภาพของดินโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของดิน โปรแกรม Slop – W Votion 5.13. Geo – slop international, LTD.



รูปที่ 3.13 คำนวณเสถียรภาพโดยใช้โปรแกรม Slop – W Votion 5.13. Geo – slop international, LTD

## ผลการวิเคราะห์

Slice 17 - Spencer

**Method Factor of Safety 2.33 > 2 OK (for granular soil)**

Angle 0

(Strength) 107.2

(Force) 110.58

Slice Width 0.9962

Mid-Height 11.981

Base Length 1.0316

Base Angle 15.046

Polygon Closure 2.2319

Anisotropic Strength Modifier 1

Weight 223.19

Base Shear Force 47.466

Base Normal Force 215.56

Left Side Normal Force 928.51

Left Side Shear Force 239.81

Right Side Normal Force 918.07

Right Side Shear Force 237.12

Parameter Method Spencer Factor of Safety 2.33 Total Volume 272.42 Total Mass 5094.3

Total Resisting Moment 79649

Total Activating Moment 34184

Total Resisting Force 3209.5

Total Activating Force 1373

หมายเหตุ การวิเคราะห์ได้นำเฉพาะการประมวลผล ณ ตำแหน่งที่ดินเกิด สภาวะวิกฤตมาแสดง

### 3.4.2 รายการประกอบการคำนวณการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

ส่วนปลายยื่นจากฐาน

กำหนดใช้

SD40

$$f_y = 4000 \text{ ksc}$$

$$f_s = 1700 \text{ ksc}$$

$$E_s = 2,040,000 \text{ ksc}$$

$$f'_c = 210 \text{ ksc}$$

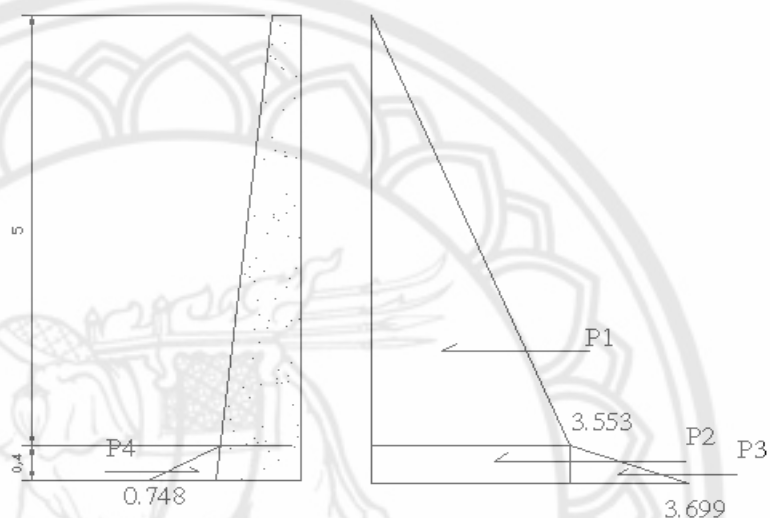
$$E_c = 220,414 \text{ ksc}$$

$$n = 9$$

$$k = 0.333$$

$$j = 0.889$$

$$R = 14.005 \text{ ksc}$$



รูปที่ 3.14 ส่วนปลายที่ยื่นจากฐานเขื่อน

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \left[ \frac{1}{2} \times 3.553 \times 5 \times \left( 0.4 + \frac{5}{3} \right) \right] + \left[ 3.553 \times 0.4 \times \frac{0.4}{2} \right] \\ &\quad + \left[ \frac{1}{2} \times 0.146 \times 0.4 \times \frac{0.4}{3} \right] - \left[ \frac{1}{2} \times 0.748 \times 0.4 \times \frac{0.4}{3} \right] \\ &= 18.626 \text{ t - m/m} \end{aligned}$$

$$\bar{y} = 5 \text{ cm}$$

$$d = 85 \text{ cm}$$

$$M_R = Rbd^2$$

$$= \frac{14.005 \times 1 \times 85^2}{1000}$$

$$= 101.18 \text{ t-m/m} > 18.637 \text{ t-m/m} \text{ (ok)}$$

$$A_{s-\min} = \frac{14}{f_y} \times b \times d = \frac{14}{4000} \times 100 \times 85$$

$$= 29.75 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{18.637}{1700 \times 0.889 \times 0.85}$$

$$= 14.508 \text{ cm}^2$$

$$\text{Use } 29.75 \text{ cm}^2$$

ใช้ DB 20 @ 10 cm.

$$\text{ตรวจสอบความลึกต่ำสุด} = \frac{l}{8} = \frac{5.4 \times 100}{8} = 67.5 \text{ cm} < 90 \text{ cm (ok)}$$

ตรวจสอบความลึกประสิทธิภาพ ระยะหุ้ม 5 cm

$$d = 90 - (5 - (2/2)) = 86 > 85 \text{ cm (ใช้ได้)}$$

$$A_{st} = 0.0018 \times 100 \times 90 = 16.2 \text{ cm}^2$$

Temperature steel ใช้ DB 20 @ 20 cm

ตรวจสอบแรงเฉือน

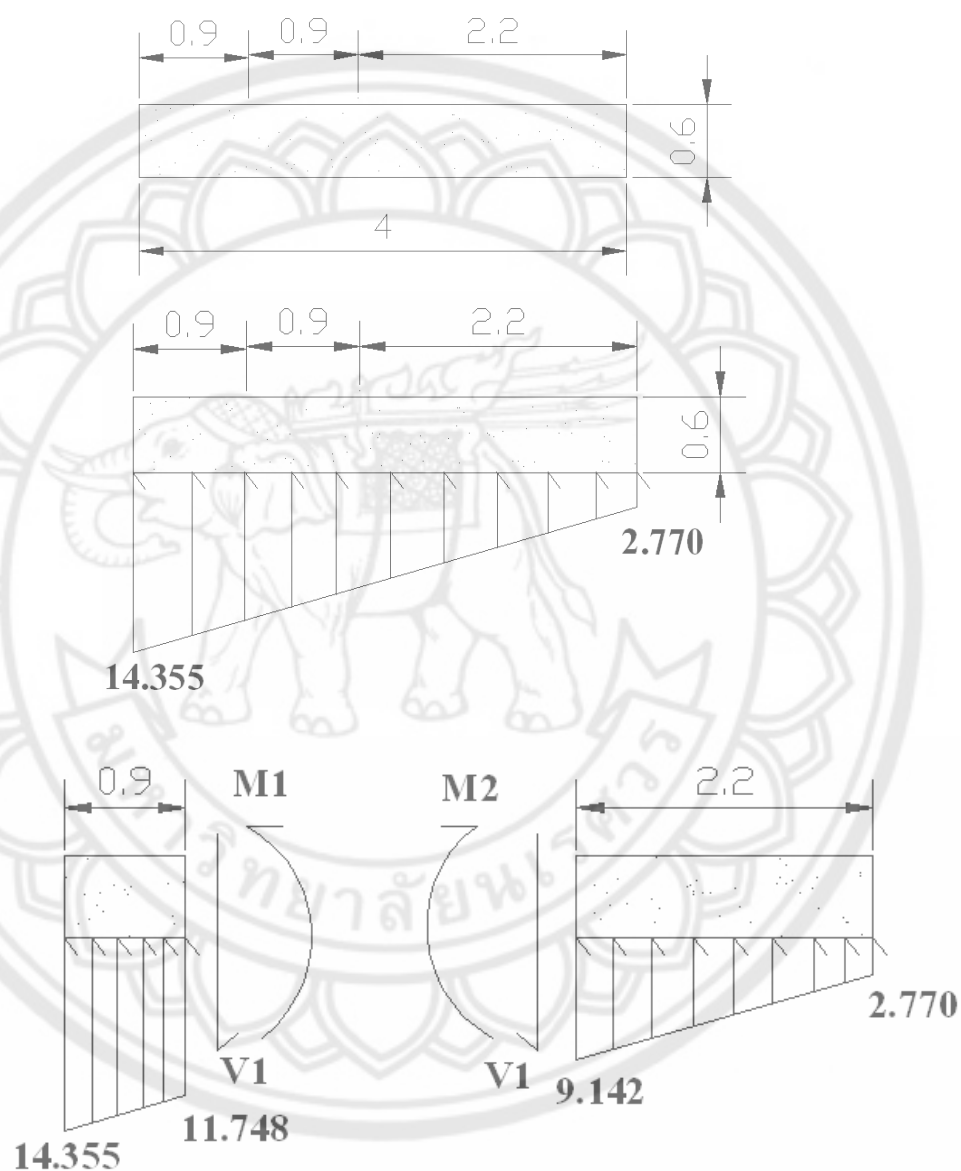
$$v = \left[ \frac{1}{2} \times 3.553 \times 5 \right] + [3.553 \times 0.4] + \left[ \frac{1}{2} \times 0.146 \times 0.4 \right] - \left[ \frac{1}{2} \times 0.4 \times 0.748 \right]$$

$$= 10.183 \text{ t/m}$$

$$V = \frac{10183.0}{85 \times 100} = 1.198$$

$$V_c = 0.292 \sqrt{f'_c} = 0.292 \sqrt{210} = 4.23 > 1.198 \text{ ok}$$

# ส่วนฐานเขื่อน



รูปที่ 3.15 ส่วนฐานเขื่อนป้องกันตลิ่ง

$$M_1 = \left[ \frac{2(14.355 - 11.748) \times (0.90)^2}{6} \right] + \left[ \frac{11.784 \times (0.90)^2}{2} \right] = 5.46 \quad t.m / m$$

$$V_1 = \left[ \frac{1}{2}(14.355 - 11.748)(0.9) \right] + [11.748 \times 0.9] = 11.75 \quad t / m$$

$$M_2 = \left[ \frac{(9.142 - 2.770) \times (2.2)^2}{6} \right] + \left[ \frac{2.770 \times (2.2)^2}{2} \right] = 11.84 \quad t.m / m$$

$$V_2 = \left[ \frac{1}{2}(9.142 - 2.770)(2.2) \right] + [2.770 \times 2.2] = 13.10 \quad t / m$$

สมมติ

$$\bar{y} = 5 \quad cm$$

$$d = 55 \quad cm$$

$$\begin{aligned} M_R &= Rbd^2 \\ &= \frac{14.005 \times 1 \times 55^2}{1000} \\ &= 42.365 \quad t-m / m > 11.840 \quad t-m / m \quad (ok) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s-min} &= \frac{14}{f_y} \times b \times d = \frac{14}{4000} \times 100 \times 55 \\ &= 19.25 \quad cm^2 / m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{M}{f_s j d} = \frac{11.84 \times 1000}{1700 \times 0.889 \times 0.55} \\ &= 14.24 \quad cm^2 / m < 19.25 \quad cm^2 / m \end{aligned}$$

$$Use \quad A_{s-min} = 19.25 \quad cm^2 / m$$

ใช้ DB 20 @ 15 cm

$$\text{ตรวจสอบความลึกต่ำสุด} = \frac{l}{8} = \frac{4 \times 100}{8} = 50 \quad cm < 60 \quad cm \quad (ok)$$

ตรวจสอบความลึกประสิทธิภาพ ระยะหุ้มเท่ากับ 5 cm

$$d = 60 - (5 - (2/2)) = 56 > 55 \text{ cm (ใช้ได้)}$$

$$A_{st} = 0.0018 \times 100 \times 60 = 10.8 \text{ cm}^2$$

Temperature steel ใช้ DB 20 @ 25 cm

ตรวจสอบแรงเฉือน

$$V_{\max} = 13.10 \text{ t/m}$$

$$V = \frac{13.10 \times 1000}{55 \times 100} = 2.38$$

$$V_c = 0.292 \sqrt{f'_c} = 0.292 \sqrt{210} = 4.231 > 2.38 \text{ (ok)}$$