



การวิเคราะห์ความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงสร้างผนังตลิ่ง
แม่น้ำยม กรณีศึกษา เขตเทศบาลตำบลสามง่าม จังหวัดพิจิตร
A Preliminary Analysis of the Right Bank of The Dam Structure:
A Case Study of Yom River Bank; Sam Ngam District Pichit

นายไกรวิชญ์ สรรพอุดมชัย รหัส 49360112
นายวุฒิเลิศ ทองดี รหัส 49361935
นายกীরติ โกลยจนาทพันธ์ รหัส 49362871

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 14 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน..... 15070181 e.2
เลขเรียกหนังสือ..... ๕5.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๓๓๖๓
๒๕๕๓

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การวิเคราะห์ความเหมาะสมเบื้องต้นของ โครงสร้างผนังตั่งแม่ข่าย
กรณีศึกษา เขตเทศบาลตำบลสามง่าม จังหวัดพิจิตร

ผู้ดำเนินโครงการ นายไกรวิชญ์ สรรพอุดมชัย รหัส 49360112
นายวุฒิเลิศ ทองดี รหัส 49361935
นายเกียรติ โกญจนาทพันธ์ รหัส 49362871

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.ศิริชัย ตันรัตนวงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.ศิริชัย ตันรัตนวงศ์)

.....หัวหน้าภาควิศวกรรมโยธา
(ดร. กำพล ทรัพย์สมบูรณ์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สลิกรณ์ เหลืองวิเศษเจริญ)

ชื่อหัวข้อโครงการ การวิเคราะห์ความเหมาะสมเบื้องต้นของ โครงสร้างผนังค้ำ
แม่ข่ายม วิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสัตวศาสตร์ ตำบลสามง่าม จังหวัดพิจิตร

ผู้ดำเนินโครงการ นายไกรวิชญ์ สรรพอุดมชัย รหัส 49360112
นายวุฒิเลิศ ทองดี รหัส 49361935
นายเกียรติ โกญจนาทพันธ์ รหัส 49362871

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.ศิริชัย ตันรัตนวงษ์

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

โครงการเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิเคราะห์เลือกรูปแบบเขื่อนป้องกัน
ค้ำเบื้องต้นว่าเหมาะสมกับพื้นที่และงบประมาณของพื้นที่ก่อสร้างโดยใช้กรณีศึกษาแม่ข่ายม
บริเวณ ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร โดยนำข้อมูลทางวิศวกรรมที่จำเป็นมาใช้วิเคราะห์
และศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้น ในการเลือกแบบเขื่อนป้องกันค้ำแบบต่างๆให้เหมาะสมที่สุด

Project title Preliminary Analysis of The Right Bank of The Dam Structure:
A Case Study of Yom River Bank; Sam Ngam District Pichit

Name Mr.Kraivit Supudomchai ID 49360112
Mr.Wuttilerl Thongdee ID 49361935
Mr.Kerati Konchanatphan ID 49362871

Project advisor Dr. Sirichai Tanratanawong

Major Civil Engineering

Department Civil Engineering

Academic year 2009

Abstract

The objective of this project was to establish a preliminary analysis methodology to select the types dams for preventing shores that of dam structure that suitable for both the area conditions and the construction budget available. Theories and research related to the topic was reviewed and studied. Relevant relevant data was then collected from the study areas of Yom River, Pichit. The results of the analysis yielded the most suitable design of dam construction according to the information provided.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ศิริชัย ตันรัตนวงศ์เป็นอย่างยิ่งที่กรุณาให้ความรู้ ความเข้าใจ คำปรึกษา คำแนะนำ รวมถึงช่วยชี้แนะแนวทางต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาครั้งนี้เป็นอย่างดีตลอดจนให้ความกรุณาช่วยตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องและปัญหาต่างๆ ในการทำรายงาน การศึกษาอิสระด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจึงจนทำให้ครั้งนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วง และผ่านไป ได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ทุกท่านที่คอยกรุณาให้ คำแนะนำ คำปรึกษา แบรมสั่งสอน และให้ความรู้ทางด้านวิชาการต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อ การศึกษาอิสระในครั้งนี้ ตลอดจนคอยชี้แนะประสบการณ์ที่ดีที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหา และ นำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาอิสระให้ประสบสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลท่าโพธิ์ จังหวัดพิษณุโลก ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลเกี่ยวกับการ ออกแบบวิเคราะห์เขื่อนป้องกันตลิ่ง

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวเป็นอย่างสูงที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมาและ สนับสนุนในด้านการศึกษาเป็นอย่างดี รวมถึงคอยให้ความรักความเข้าใจและปรารถนาดีตลอดมา

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายไกรวิชญ์ สรรพอุดมชัย

นายวุฒิเลิศ ทองดี

นายกীরติ โกลุณนาทพันธ์

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเขื่อนป้องกันตลิ่ง.....	4
2.2 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งด้านวิศวกรรม.....	30
2.3 การประมาณราคา.....	54
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	61
3.1 ศึกษาสาเหตุการพังทลายของเขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำยม.....	61
ตำบลสามง่าม จังหวัดพิจิตร	
3.2 ศึกษาถึงประโยชน์และข้อจำกัดของเขื่อนป้องกันตลิ่งแต่ละประเภท.....	62
3.3 ข้อมูลที่ต้องการได้.....	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ขั้นตอนการคำนวณ.....	67
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	71
4.1 จากการศึกษาแนวทางในการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำยม.....	71
ตำบลสามง่าม อ. เมือง จ.พิจิตร แบ่งเป็นเขื่อนหินทิ้งกับเขื่อนแบบเสาเข็ม	
4.2 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งประเภทของหินทิ้งระยะทางรวม 2 จุด.....	73
คือจุดที่ 1 มีระยะทาง 110 m จุดที่ 5 ระยะทาง 71 m	
4.3 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งประเภทเสาเข็มระยะทางรวมที่จุด 2 ระยะ 54 m.....	73
4.4 การประมาณราคาจุดที่เลือกมาพิจารณา.....	74
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	76
5.1 สรุปผล.....	76
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	76
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก ก.....	78
ภาคผนวก ข.....	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบต่างๆของแม่น้ำ.....	5
2.2 รูปแสดงการไหลลัด.....	6
2.3 แสดงตัวอย่างรูปตัดของโค้งลำน้ำที่มีคดโค้งเป็นแบบผสม.....	7
2.4 การพังทลายบริเวณผิวลาด.....	9
2.5 การพังทลายเป็นระนาบ.....	10
2.6 การพังทลายแบบเลื่อนหมุน.....	10
2.7 การพังทลายของคดโค้งแบบผสม.....	11
2.8 การป้องกันคดโค้ง โดยใช้เขื่อนป้องกันคดโค้ง.....	11
2.9 การป้องกันคดโค้ง โดยใช้ Deflector.....	12
2.10 ส่วนประกอบของเขื่อนป้องกันคดโค้ง.....	13
2.11 การป้องกัน โดยใช้กำแพงที่บ้น้ำหรือขยายโครงสร้างลงไปในห้องน้ำ.....	13
2.12 การป้องกัน โดยใช้แวงกันการกัดเซาะหน้าเขื่อน.....	14
2.13 โครงสร้างปิดทับหน้าคดโค้ง.....	15
2.14 ตัวอย่างวัสดุที่ใช้เป็นชั้นป้องกันการกัดเซาะ.....	16
2.15 เขื่อนป้องกันคดโค้งแบบ Gravity Wall.....	16
2.16 เขื่อนป้องกันคดโค้งแบบ Retaining Wall.....	17
2.17 เขื่อนป้องกันคดโค้งแบบ Sheet - Piling Wall.....	17
2.18 เขื่อนป้องกันคดโค้งแบบเสริมกำลังของดิน.....	19
2.19 เขื่อนป้องกันคดโค้งแบบเป็นคอก.....	20
2.20 เขื่อนป้องกันคดโค้งชนิดอาศัยธรรมชาติ.....	20
2.21 แสดงชนิดของหน่วยแรงคั้นด้านข้างเป็นฟังก์ชันกับการเคลื่อนตัวของกำแพง.....	22
2.22 การวิบัติที่ผิวความลาด (Face Failure).....	24
2.23 การแก้ไขลดความลาดให้น้อยลง.....	25
2.24 การวิบัติปลายฐานล่าง (Toe Face).....	25
2.25 การแก้ไขการวิบัติปลายฐานล่าง (Toe Face).....	26
2.26 การวิบัติที่ฐานชั้นดินล่างของความลาด (Base Failure).....	26

สารบัญรูป (ต่อ)

2.27 การแก้ไขเพิ่มค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Stroagth).....	27
2.28 การแก้ไขลด Suchange Load.....	27
2.29 กำลังรับแรงเฉือนปลอดภัย.....	28
2.30 Effect of Partially Submerging The Bank.....	29
2.31 Stability of a Partialy Submerged Bank.....	29
2.32 ส่วนประกอบของโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง.....	30
2.33 ผลของความสามารถในการซึมผ่านได้ ของชั้นป้องกันการกัดเซาะต่อแรงกระทำของน้ำ.....	32
2.34 Effect of Amer Layer Form on Hydnody Namic Facos on Revetment.....	33
2.35 Dmax=Maximum scoure depth (m).....	40
2.36 ภาพแสดงแรงและน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับตัวเขื่อน.....	42
2.37 แสดงการวิบัติสำหรับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity Wall.....	43
2.38 แสดงการกระจายของแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Cantilever Wall.....	45
2.39 กระจายของแรงดันดินของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Cantilever Wall ที่มีดินฐานรากเป็นดิน... 45	
2.40 หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Cantilever Wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินทราย... 46	
2.41 หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Cantilever Wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียว.. 48	
2.42 หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Anhdored Wall.....	49
2.43 หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Anchored wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียว.....	50
2.44 แสดงการวิบัติสำหรับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Sheet - piling wall.....	52
2.45 กราฟแสดง เปอร์เซ็นต์งานนั่งร้านตอกเสาเข็ม/ความยาวตามแนวเขื่อน.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

2.46 รูปแบบเข็มเตี๋ยว.....	56
2.47 รูปแบบ โต๊ะ.....	57
2.48 รูปปรับพื้นที่.....	57
2.49 รูปทึงหึนใหญ่ตึนเช็อน.....	58
2.50 รูปถมทราชอัดน่น.....	58
2.51 รูปพื้นที่หน้าตักถูกรึง.....	59
2.52 รูปทึงหึนใหญ่ปัดหัว – ทำยเช็อน.....	59



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

เนื่องจากผนังกันคลื่นแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตรถูกกัดเซาะและพังทลายเป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณดังกล่าวเป็นจำนวนมาก หน่วยงานที่รับผิดชอบจำเป็นต้องวิเคราะห์ออกแบบผนังป้องกันคลื่นซึ่งมีหลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบมีความแตกต่างกันทั้งด้านคุณภาพ ทางกายภาพ ทางวิศวกรรม รวมทั้งราคาก่อสร้าง แต่เนื่องจากงบประมาณที่มีจำนวนจำกัดจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาสภาพพื้นที่และการออกแบบที่เหมาะสม

ผู้จัดทำโครงการได้ใช้ข้อมูลทางวิศวกรรมและลักษณะ สภาพการพังทลายของผนังป้องกันคลื่นแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร ทำการศึกษารูปแบบเพื่อเป็นทางเลือกในการสร้างผนังป้องกันคลื่นเบื้องต้นซึ่งเหมาะสมกับหน่วยงานราชการที่ต้องการเลือกรูปแบบเพื่อนำเสนองบประมาณก่อสร้างต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการสร้างผนังป้องกันคลื่น กรณีศึกษาผนังป้องกันคลื่นแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร

1.2.2) เพื่อพัฒนาวิธีการเลือกรูปแบบเบื้องต้นสำหรับผนังป้องกันคลื่นชนิดถมดินเรียงหินและโครงสร้างผนังชนิดตอกเข็ม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1) ทำให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสาเหตุลักษณะและสภาพการพังทลายของผนังป้องกันตลิ่ง
- 1.3.2) ทำให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบผนังป้องกันตลิ่ง
- 1.3.3) สามารถใช้ความรู้ที่ศึกษามาใช้ประโยชน์กับสังคมได้

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1) เป็นการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้น
- 1.4.2) ศึกษาเปรียบเทียบผนังป้องกันตลิ่ง 2 แบบคือเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบหินทิ้งและเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเสาเข็ม
- 1.4.3) ศึกษากรณีแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตรจำนวน 2 จุด คืออยู่ที่ หมู่ 2 ต.สามง่าม อ.สามง่าม จ.พิจิตรพื้นที่ที่ทำการสำรวจเริ่มจาก คอสะพานจนถึงปากล้วยด้านซ้ายมือ ระยะทางโดยประมาณ 110 เมตร ความกว้างของแม่น้ำ โดยเฉลี่ย 61.5 เมตร ความลึกของแม่น้ำจากระดับหลังถนนถึงท้องน้ำโดยประมาณ 12 เมตร และที่ หมู่ 6 ต.สามง่าม อ.สามง่าม จ.พิจิตรพื้นที่ที่ทำการสำรวจเริ่มจากคลองเพื่อการเกษตร จนถึง ป้ายกลุ่มอาชีพบ้านชาขระโค ระยะทางโดยประมาณ 135 เมตร ความกว้างของแม่น้ำที่กว้างที่สุด 70 เมตร และด้านที่แคบที่สุด 30 เมตร ความลึกของแม่น้ำโดยประมาณ 12 เมตร

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1) ศึกษารายงานสาเหตุและสภาพการพังทลายของผนังป้องกันคลื่นแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร

1.5.2) สรุปข้อมูลทางวิศวกรรมเพื่อใช้ในการออกแบบผนังป้องกันคลื่น

1.5.3) ศึกษาแบบผังบริเวณของผนังป้องกันคลื่นแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร

1.6 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือน				
	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์
1.ศึกษารายงาน					
2.สรุปข้อมูลทางวิศวกรรม					
3.ศึกษาแบบผังบริเวณ					
4.เลือกและออกแบบ					
5.สรุปผลการดำเนินงาน					

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| 1. คำน้ำมันรด | 300 บาท |
| 2. ค่าปริ้นเอกสาร | 1,700 บาท |
| 3. ค่าจัดทำปฏิญานិพนธ์ | 1,000 บาท |
| รวมเป็นเงิน | 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน) |

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเขื่อนป้องกันตลิ่ง

2.1.1 พื้นฐานของแม่น้ำและธรรมชาติการไหลของแม่น้ำ

ธรรมชาติของแม่น้ำมีการเคลื่อนไหวและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลำน้ำ ลักษณะและขนาดของหน้าตัด หรือการลาดเอียงของท้องน้ำ หรือการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจก่อให้เกิดความเดือดร้อนต่อประชาชนที่อาศัย ลักษณะของลำน้ำและการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญมีดังนี้ (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

-การเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำ

แม่น้ำสามารถจำแนกออกได้ตามสภาพธรณีวิทยาได้เป็น แม่น้ำในระยะเริ่มแรก (Young- River) แม่น้ำพัฒนาแล้ว (Mature River) และแม่น้ำที่อายุมาก (Old River) แม่น้ำทั้ง 3 มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

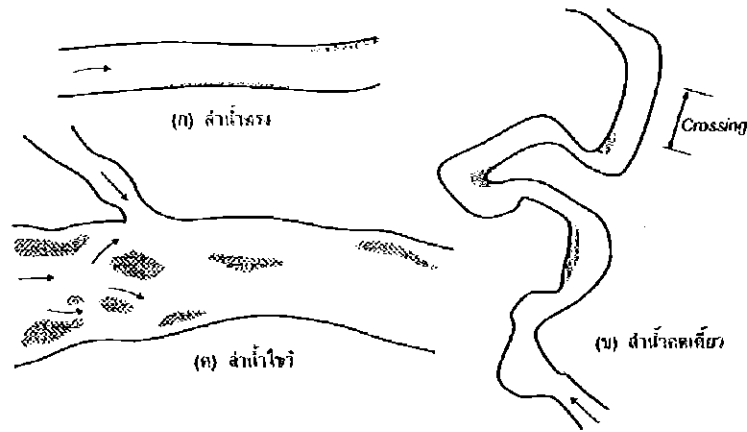
-รูปร่างของลำน้ำ (Channel Configurations)

โดยทั่วไปรูปร่างหรือเส้นทางของลำน้ำสามารถจำแนกได้ 3 รูปแบบด้วยกัน

ก. ลำน้ำตรง (Straight Channels)

ข. ลำน้ำคดเคี้ยว หรือ โกงัดวัด (Meandering Channels)

ค. ลำน้ำไขว้ (Braided Channels)



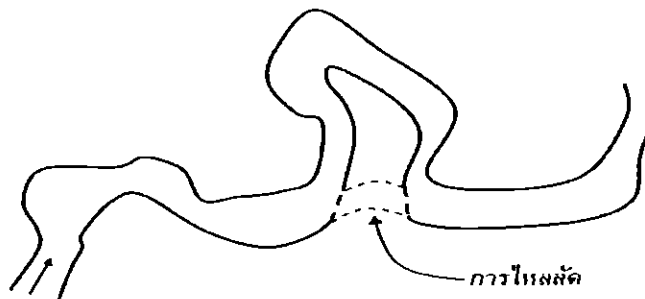
รูปที่ 2.1 รูปแบบต่างๆของแม่น้ำ

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

-ความโค้งของลำน้ำ

กระบวนการกัดเซาะในโค้งลำน้ำเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลำน้ำในทางราบ คือเมื่อน้ำไหลผ่านโค้งน้ำจะเกิดแรงสู่ศูนย์กลางขึ้น ทำให้เกิดการยกกระด้างของผิวน้ำบริเวณโค้งนอก และระดับที่บริเวณโค้งด้านใน จะทำให้เกิดการไหลแนวขวางกับหน้าตัดลำน้ำ และมีการหมุนวนเรียกว่า Helical spiral คือการหมุนวนที่ทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณด้านนอก และพัดพาตะกอนมาทับถมเป็นเนินทรายที่ตลิ่งด้านใน

การเปลี่ยนแปลงลักษณะของโค้งน้ำจะถูกกำจัดโดยกลไกตามธรรมชาติของลำน้ำเรียกว่า การไหลตัด หรือการตัดโค้ง (Cutoffs) คือ เมื่อโค้งน้ำมีการขยายตัวทางด้านข้าง ทำให้เกิดความยาวของลำน้ำเพิ่มมากขึ้น ความลาดเอียงของลำน้ำจะลดลง การตกตะกอนเป็นไปอย่างต่อเนื่องมากขึ้น ทำให้ลำน้ำต้นเงินธรรมชาติจะพยายามปรับตัวเพื่อให้เกิดช่องทางการไหลที่สะดวกขึ้น ดังรูป



รูปที่ 2.2 รูปแสดงการไหลตัด

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

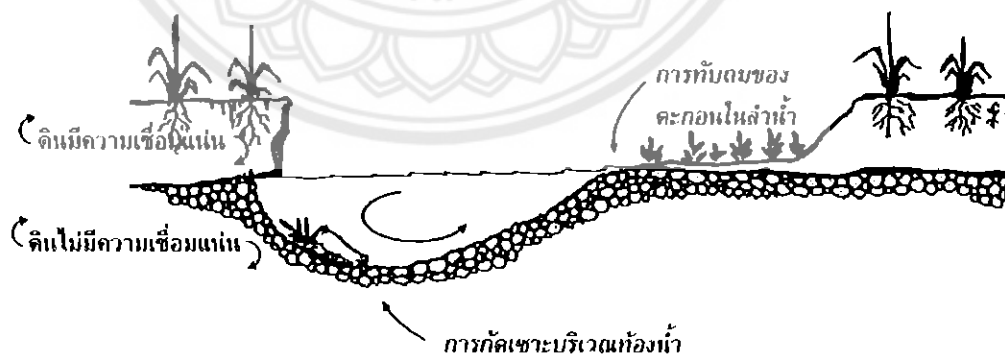
2.1.2 การพังทลายของตลิ่ง

การวิเคราะห์ การพังทลายแบบต่างๆของตลิ่ง จำเป็นต้องทราบข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเพื่อ ประเมินสาเหตุการพังทลายของตลิ่งได้ถูกต้อง (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

-ประเภทของตลิ่ง

สามารถแบ่งได้ 3 ประเภทตามลักษณะของดินดังนี้

1. ตลิ่งที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Banks) เป็นตลิ่งที่ประกอบจากดินประเภทที่มีความเชื่อมแน่นหรือดินเหนียวเป็นสำคัญ ตลิ่งประเภทนี้ทนการกัดเซาะของการไหลได้ดี
2. ตลิ่งที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Non - Cohesive Banks) เป็นตลิ่งที่ประกอบจากดินประเภทที่ไม่มีความความแน่นเช่น ทราย กรวด การยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดินอาศัยแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคเป็นหลักตลิ่งประเภทนี้จึงทนการกัดเซาะของการไหลได้ต่ำ
3. ตลิ่งแบบผสม (Composite Banks) เป็นตลิ่งที่พบเห็นทั่วไปในแม่น้ำที่มีการนำพาตะกอนตลิ่งประเภทนี้ประกอบด้วยดินที่มีความเชื่อมแน่นและ ไม่มีความเชื่อมแน่นวางตัวเป็นชั้นๆ ชั้นล่างของตลิ่งประเภทนี้ เป็นดินที่ไม่มีการเชื่อมแน่นจึงถูกกัดกร่อนและนำพาไปได้ง่าย ส่วนชั้นบนของตลิ่งเป็นดินประเภทที่มีความเชื่อมแน่นซึ่งเกิดจากการตะกอนและทับถมของอนุภาคตะกอนของการไหลของน้ำผิวดิน ดังรูป



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างรูปตัดของ โค้งลำน้ำที่มีตลิ่งเป็นแบบผสม
(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

-สาเหตุการพังทลายของตลิ่ง

สาเหตุการพังทลายของตลิ่งแบ่งได้ 3 สาเหตุดังนี้

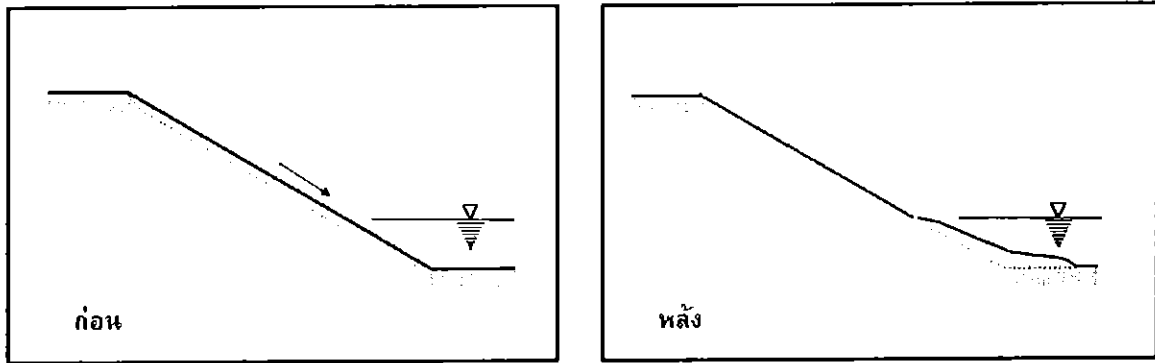
1. การกัดเซาะตลิ่ง (Bank Erosion) การกัดเซาะเป็นการกระทำที่เกิดขึ้นจากการไหลของน้ำผ่านผิวดิน ซึ่งการไหลของน้ำทำให้เกิดแรงเฉือนกระทำกับผิวดิน หากหน่วยแรงเฉือนมีค่ามากกว่าแรงต้านของผิวดิน จะเกิดการกัดเซาะเอาดินหลุดออกไป การกัดเซาะนี้เกิดได้ทั้งบริเวณลาดตลิ่ง และท้องน้ำ โดย การกัดเซาะท้องน้ำที่ตลิ่งเป็นสาเหตุให้ตลิ่งพัง
2. การขาดเสถียรภาพทางเทคนิคธรณี (Geotechnical Instabilities) คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน ไม่พอกับแรงที่มากกระทำกันตลิ่ง เกิดจากสาเหตุสำคัญได้แก่
 - ก. การลดระดับน้ำในลำน้ำอย่างกระทันหัน ทำให้แรงดันน้ำในดินสูงขึ้น กำลังของดินลดลง
 - ข. ตลิ่งที่มีชั้นดินทรายบางๆ อาจเกิดแรงดันน้ำในมวลดินสูง จนเกิดการกัดเซาะเม็ดทราย ออกเป็นโพรง (Piping) ส่งผลให้ดินชั้นบนพังลงมา
 - ค. ความตึงผิว (Capillary) สามารถทำให้ตลิ่งประเภทดินทรายมีความชันสูงกว่าความชันตามธรรมชาติของตัวตลิ่งได้ แต่เมื่อตลิ่งแห้ง แรงตึงผิวจะหายไปทำให้ตลิ่งพังลงมา
3. การพังทลายในแบบที่ (1) และ (2) รวมกัน การพังทลายส่วนใหญ่เกิดจากการกัดเซาะ ซึ่งการกัดเซาะทำให้เสียเสถียรภาพและพังทลายลงมา

• การกัดเซาะตลิ่ง

การกัดเซาะตลิ่งเกิดขึ้นเมื่อ แรงกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำเกินกว่าแรงต้านทานของดินริมตลิ่งทำให้เม็ดดินถูกพัดพาไหลหลุดออกมา อาจนำไปสู่การพังของตลิ่งได้ สาเหตุการกัดเซาะมีดังนี้

1. การกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำ (Erosion by Current Flow) ซึ่งความรุนแรงของกระแสน้ำเกิดจากปัจจัยอย่างเช่น ปริมาณการไหลของน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ ขนาดลาดเอียงของลำน้ำ รูปร่างความคดเคี้ยวของลำน้ำ ยิ่งคดเคี้ยวมากการกัดเซาะจะยิ่งรุนแรง
2. การกัดเซาะเนื่องจากคลื่น (Erosion by Wave Action) คลื่นเป็นสาเหตุหนึ่งของการกัดเซาะของบริเวณลาดตลิ่ง โดยคลื่นจะเกิดจาก 2 สาเหตุคือ คลื่นที่เกิดจากลม กับ คลื่นที่เกิดจากเรือ โดยความรุนแรงของคลื่นที่เกิดจากเรือจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ความเร็วของเรือ
3. การกัดเซาะทางกล (Erosion by Mechanical Action) เช่น
 - ก. การกระทบของเรือเมื่อเรือเทียบฝั่ง รวมทั้งการฝังหมุดเพื่อหยุดเรือ

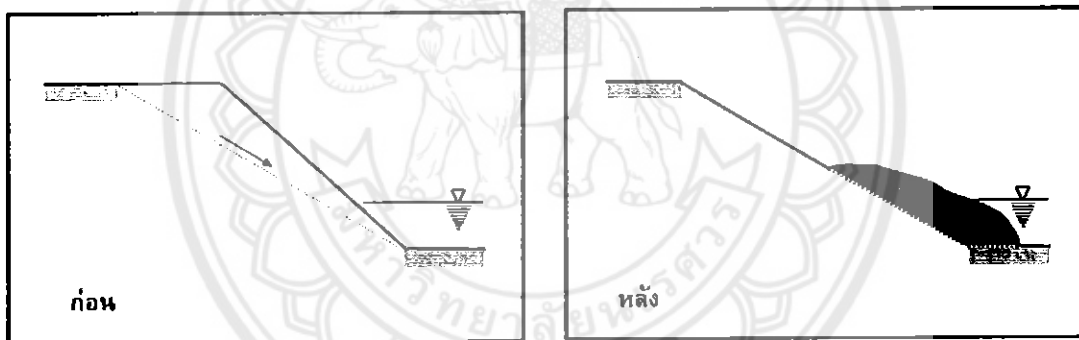
- ข. การขยายและหดตัวของดินสลับกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเกิดขึ้นจากดินมีสภาพชุ่มน้ำและแห้งสลับกัน ผลทำให้เกิดความล้าตัวและหลุดร่อน
- ค. เกิดการเซาะเนื่องจากการกระทำของมนุษย์ การกัดเซาะประเภทนี้ได้แก่ การก่อสร้างที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อลำน้ำแล้วการก่อสร้างนี้ฝังทำลายหญ้าหรือวัชพืชที่ปกคลุมดินซึ่งเป็นสาเหตุของการพังทลายได้
4. การกัดเซาะเนื่องจากซึมผ่านน้ำในผิวดิน (Erosion Due to Seepage) ซึ่งสามารถกัดเซาะเม็ดดินเป็นโพรงได้
5. การกัดเซาะเนื่องจากน้ำผิวดิน (Erosion Due to Surface runoff) การกัดเซาะในกรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำฝนสูงกว่าอัตราการซึมได้ของน้ำในดิน ทำให้เกิดการไหลหลากของน้ำผิวดิน การที่น้ำผิวดินไหลผ่านตลิ่งอาจทำให้ตลิ่งเกิดการกัดเซาะขึ้นได้
- องค์ประกอบที่มีผลต่อเสถียรภาพของตลิ่ง
- องค์ประกอบที่สำคัญได้แก่
- ก. ความลาดเอียงของตลิ่ง (Bank Slope Geometry) หากตลิ่งมีความลาดเอียงสูงกว่าความลาดเอียงตามธรรมชาติของตัวตลิ่งเอง ก็มีแนวโน้มที่จะพังได้ ปัจจัยที่มีผลต่อความลาดเอียงของตลิ่งคือ คุณสมบัติของดินตลิ่ง ระดับน้ำในดินและน้ำในลำน้ำ และการกัดเซาะบริเวณลาดตลิ่ง
- ข. การไหลของน้ำ (Water Flow) แบ่งออกได้เป็น
- ข.1 การไหลซึมของน้ำในมวลดิน (Seepage)
- ข.2 การไหลผ่านของน้ำผิวดิน (Infiltration)
- ค. น้ำหนักบรรทุกกัมมันต์ (Surcharge loads)
- ง. การแตกร้าวเนื่องจากแรงดึง (Tension Crack) เกิดกับดินเหนียว การแตกร้าวทำให้เสถียรภาพลดลง
- ลักษณะการพังของตลิ่ง
- สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)
1. การพังทลายบริเวณผิว (Shallow Failure) โดยทั่วไปเกิดกับตลิ่งที่เป็นดินประเภทดินทราย ระบายการพังจะอยู่ในระดับตื้นและขนานไปกับความลาดตลิ่ง การพังลักษณะนี้เกิดจากความลาดเอียงของตลิ่งสูงกว่าแรงเสียดทานภายในเม็ดดิน โดยเฉพาะถ้ามีน้ำไหลซึมผ่านในตลิ่งทำให้การพังเกิดขึ้นง่าย



รูปที่ 2.4 การพังทลายบริเวณผิวลาด

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

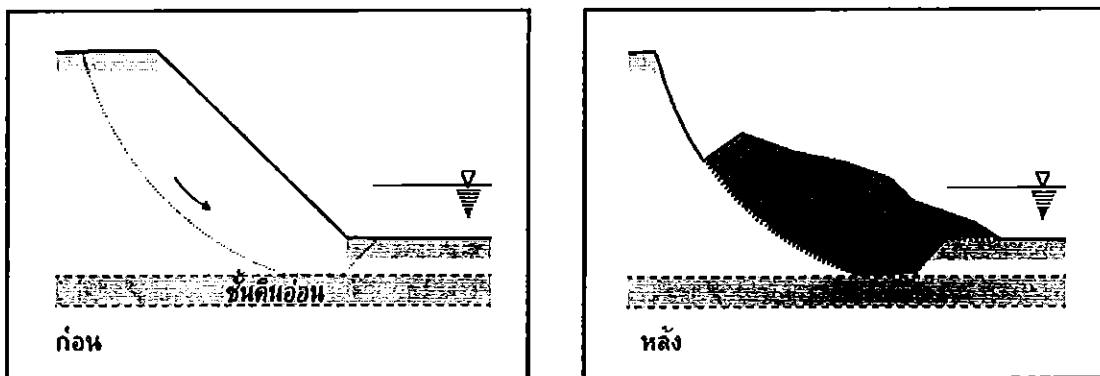
2. การพังทลายเป็นระนาบ (Planar Failure) หรือการวิบัติแบบบล็อก (Block Failure) โดยทั่วไปจะเกิดกับตลิ่งที่ความชันปานกลาง เนื่องจากดินตลิ่งบริเวณผิวบนเกิดการแตกร้าวเนื่องจากแรงดึง (Tension Crack) และน้ำอยู่ในรอยแตกกว้างดังกล่าว



รูปที่ 2.5 การพังทลายเป็นระนาบ

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

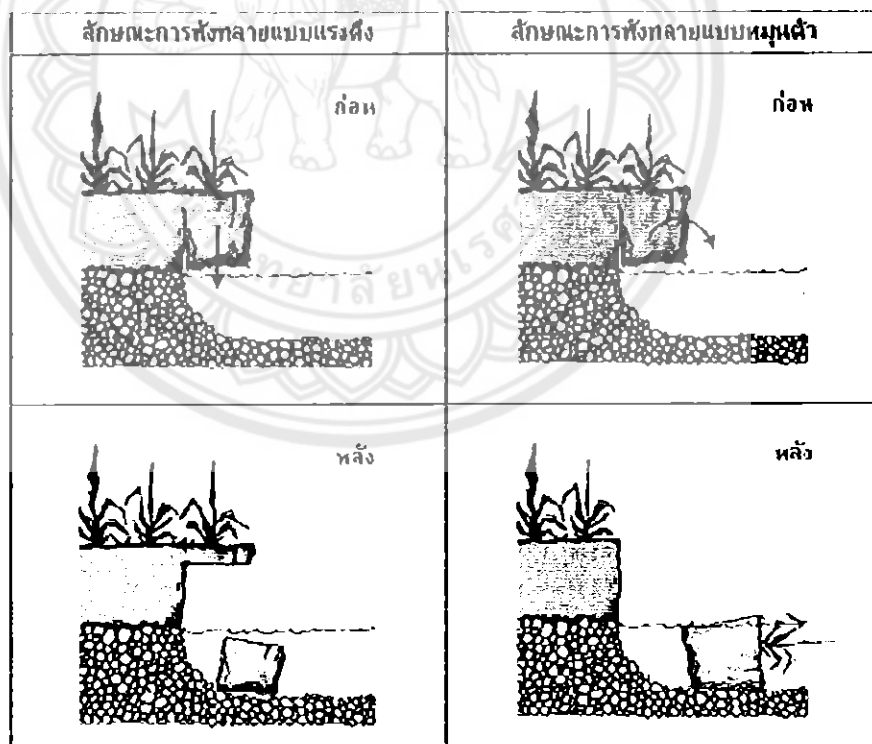
3. การพังทลายแบบเลื่อนหมุน (Rotational Failure) โดยทั่วไปเกิดจากตลิ่งที่เป็นดินเหนียวมีความสูงปานกลางถึงสูงมาก สาเหตุการพังลักษณะนี้เกิดจากมีชั้นดินอ่อนอยู่ใต้ตลิ่งหรือท้องน้ำ หรือเกิดจากการลดระดับน้ำในแม่น้ำอย่างกะทันหัน



รูปที่ 2.6 การพังทลายแบบเลื่อนหมุน

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

- การพังของตลิ่งแบบผสม (Failure of Composite Bank) เกิดจากดินชั้นล่างซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินที่ไม่มีความเชื่อมั่นแน่น ถูกกระแสน้ำกัดเซาะทำให้ดินชั้นบนเกิดเป็นส่วนคอด (Undercut) และพังลงมา ซึ่งการพังของดินส่วนบน อาจเกิดจากแรงดึงหรือการหมุน



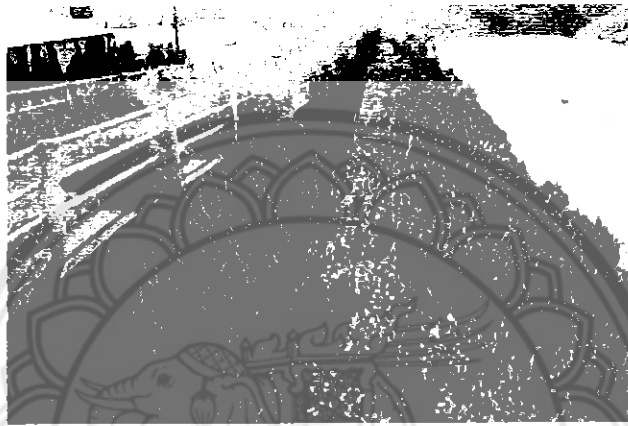
รูปที่ 2.7 การพังทลายของตลิ่งแบบผสม

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

2.1.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาการพังของตลิ่ง

นิยมใช้กันอยู่ 3 วิธีดังนี้ (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

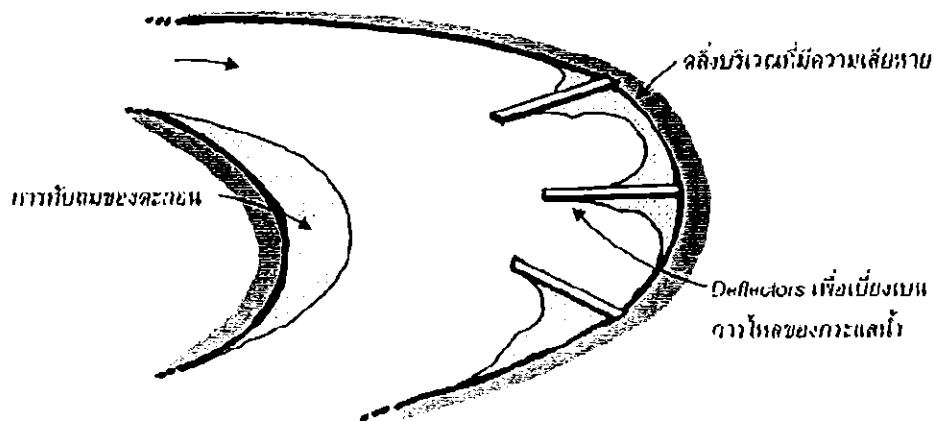
1. การป้องกัน โดยใช้เขื่อนป้องกันตลิ่ง เขื่อนป้องกันตลิ่งเป็นสิ่งที่ก่อสร้างที่วางตัวขนานไปกับแนวตลิ่ง ทำหน้าที่ป้องกันตลิ่งไม่ให้เกิดความเสียหายจากการกัดเซาะของกระแสน้ำหรือคลื่นตลอดจน เสถียรภาพของตัวตลิ่งเอง



รูปที่ 2.8 การป้องกันตลิ่ง โดยใช้เขื่อนป้องกันตลิ่ง

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

2. การป้องกัน โดยใช้โครงสร้างเบี่ยงเบนการไหลของกระแสน้ำ จะกระทำโดยก่อสร้างโครงสร้างประเภท Deflectors ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ยื่นล้ำเข้าไปด้านน้ำ เพื่อเบี่ยงเบนและชะลอการไหลของน้ำ



รูปที่ 2.9 การป้องกันตลิ่ง โดยใช้ Deflector

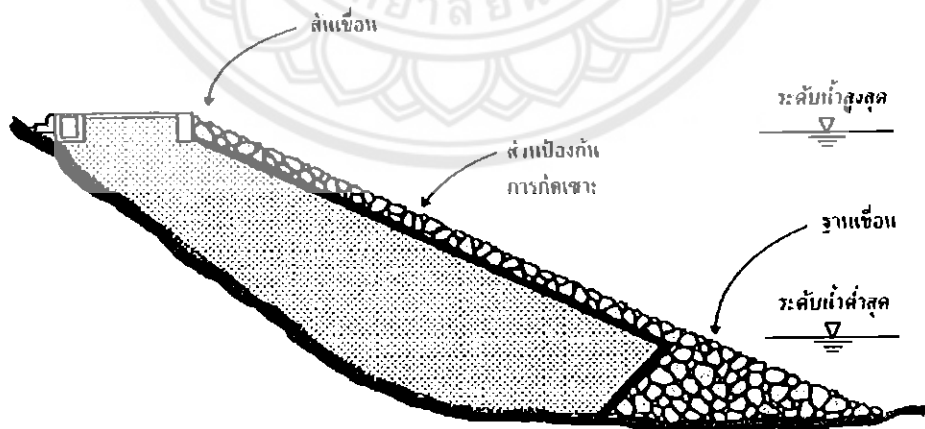
(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

- ป้องกัน โดยวิธีธรรมชาติคือการอาศัยธรรมชาติช่วยในการป้องกัน การพังทลายของตลิ่งเช่น การปรับปรุงปริมาณตะกอนได้น้ำ การปลูกพืชป้องกันลาดเขื่อน

2.1.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเขื่อนป้องกันตลิ่ง (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

โดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

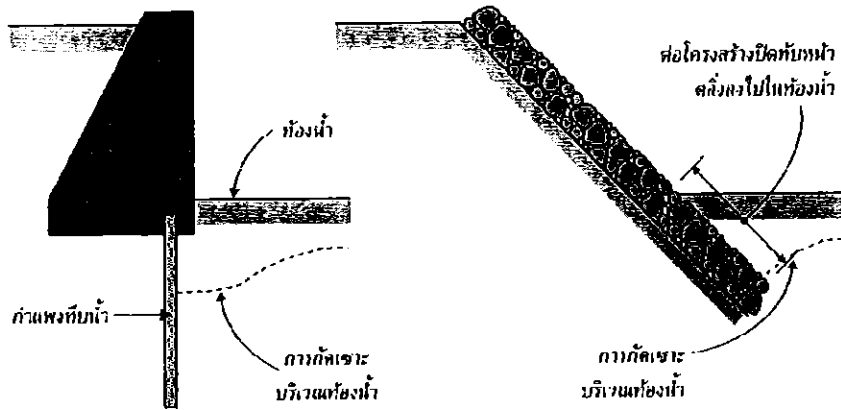
1. สันเขื่อน (Upper Part หรือ Crest) เป็นส่วนของเขื่อนที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด รวมถึงพื้นที่ใช้สอยด้านล่างเขื่อน ในการออกแบบส่วนนี้ความพิจารณา การกัดเซาะเนื่องจากการไหลของน้ำผิวดิน ป้องกัน โดยการปลูกหญ้า
2. ส่วนป้องกันการกัดเซาะ (Protection Part) ป้องกันจากการกัดเซาะเนื่องจากกระแสน้ำและคลื่น ผู้ออกแบบอาจจะใช้โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง หรือ โครงสร้างถาวรเช่น กำแพงกันดิน
3. ฐานเขื่อน (Lower Part หรือ Toe) ส่วนล่างสุดของเขื่อนทำหน้าที่เป็นฐานของเขื่อน และป้องกัน การกัดเซาะท้องน้ำบริเวณต้นตลิ่ง การป้องกัน สามารถทำได้ 2 วิธีดังนี้



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

- ใช้กำแพงกั้นน้ำ (Cut-off Wall) หรือขยายโครงสร้างไปให้ลึกกว่าความลึกที่คาดว่าจะเป็น โคน กัดเซาะ



รูปที่ 2.11 การป้องกันโดยใช้กำแพงทึบน้ำหรือขยายโครงสร้างลงไปในห้องน้ำ

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

- ข. ใช้แผงกันการกัดเซาะหน้าเขื่อน (Armour Skirt หรือ Apron) โครงสร้างชนิดนี้ สามารถปรับตัวให้เข้ากับห้องน้ำบริเวณที่กัดเซาะได้



รูปที่ 2.12 การป้องกันโดยใช้แผงกันการกัดเซาะหน้าเขื่อน

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

2.1.5 ชนิดของเขื่อนป้องกันตลิ่ง (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

การพิจารณาเลือกรูปแบบของเขื่อนป้องกันตลิ่งต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบรวมทั้งข้อมูลอื่นๆ เช่น ข้อมูลทางด้านชลศาสตร์และประจุพลศาสตร์ สภาพลำน้ำ และ แหล่งวัสดุเป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความสวยงามทางด้านสถาปัตยกรรม และประโยชน์การใช้สอยอีกด้วย

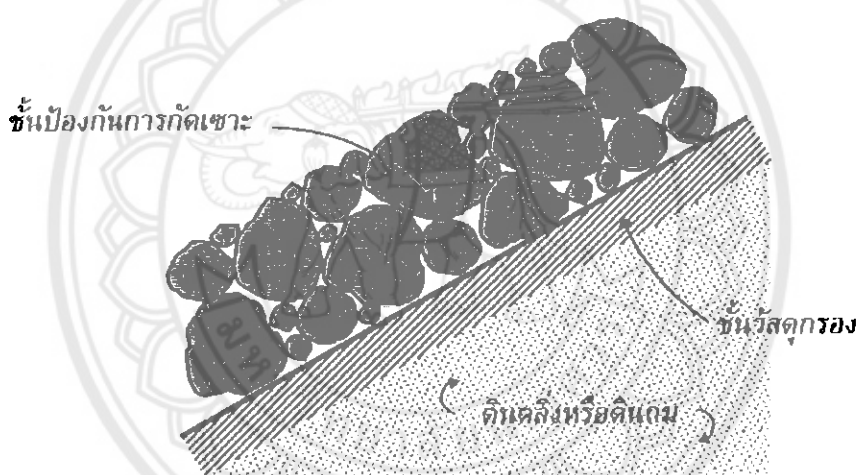
เขื่อนป้องกันตลิ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

-เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียง (Slope Bank Protection)

เป็นการป้องกันตลิ่งโดยการถมด้วยวัสดุที่คัดเลือกแล้ว จนมีความลาดเอียงที่พอเหมาะทำให้ตลิ่งมีความมั่นคงแข็งแรง โดยอัตราการลาดเอียงของเขื่อนโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1:2 หรือ 1:3 ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุถม และดินริมตลิ่ง หลังจากนั้นก็ปูทับด้วย โครงสร้างปิดทับหน้า หรือ Revetment เขื่อนชนิดนี้ก่อสร้างง่าย ไม่ต้องอาศัยช่างฝีมือ และราคาการก่อสร้างไม่สูงนัก แต่ข้อเสียคือ ถ้าตลิ่งมีความสูงมาก ทำให้ลาดของตัวเขื่อนยื่นไปในลำน้ำมาก อาจเกิดปัญหาในการใช้ลำน้ำ

-โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง

มีหน้าที่ป้องกันตลิ่งจากการกัดเซาะเนื่องจากคลื่น และกระแสน้ำ โดยทั่วไปโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ



รูปที่ 2.13 โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

ก. ชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Armour Layer)



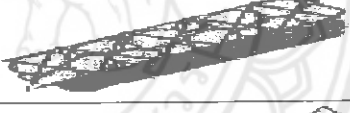



เป็นโครงสร้างที่ป้องกันตลิ่งจากการกัดเซาะจากคลื่นและน้ำโดยตรง โครงสร้างชั้นนี้ ต้องมีความแข็งแรงทนต่อการสึกกร่อนได้ดี รวมทั้งต้องมีน้ำหนักมากพอที่จะไม่โดนน้ำพัดไป

ข. ชั้นวัสดุกรอง (Filter Layer)

การที่วัสดุในชั้นป้องกันการกัดเซาะ มีขนาดใหญ่กว่าเม็ดดินริมตลิ่ง หรือดินถมมาก จะทำให้เม็ดดินริมตลิ่งสามารถหลุดออกมา ตามช่องว่างของชั้นป้องกันการกัดเซาะได้ จึงจำเป็นต้องมีชั้นวัสดุรอง เอาไว้กรองเม็ดดินริมตลิ่ง ไม่ให้หลุดออกมา ในการออกแบบชั้นวัสดุรอง ต้องคำนึงถึงขนาด และความหนาของชั้นวัสดุรองจากชั้นเม็ดดิน และขนาดป้องกันการกัดเซาะนอกจากนี้ ยังต้องพิจารณาถึงความสามารถ ในการให้น้ำซึมผ่าน เพื่อลดแรงดันของน้ำ วัสดุที่นิยมใช้ได้แก่ หิน กรวดคละ และแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile)

-เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้ง (Vertical Bank Protection)

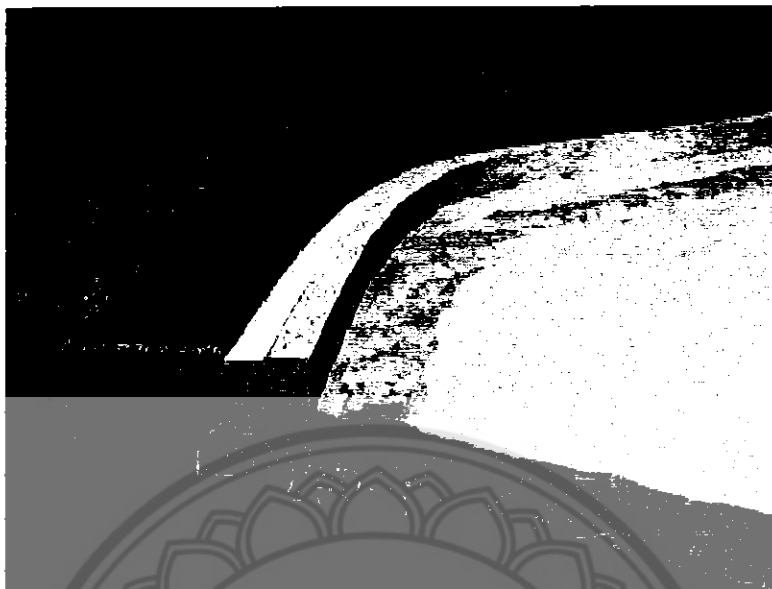
ความลาดเอียงในลำน้ำแคบ หรือตลิ่งมีความสูงชันมาก อาจไม่เหมาะสมกับการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบลาดเอียง จึงจำเป็นต้องสร้างเขื่อนแบบชนิดแนวตั้งซึ่งจำแนกได้แบบ ดังนี้

เรียงหินใหญ่	
เรียงหินยาแนว	
กล่องลวดตาข่าย	
แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป	
กระสอบทราย	
หญ้า	

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างวัสดุที่ใช้เป็นชั้นป้องกันการกัดเซาะ

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

-เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ (Gravity Wall)

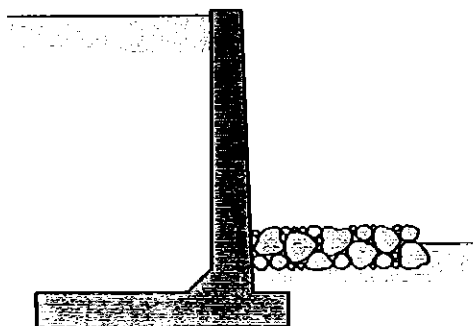


รูปที่ 2.15 เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity Wall

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

เป็นเขื่อนป้องกันตลิ่งที่อาศัยน้ำหนักของตัวเองเป็นตัวต้านแรงดันดินด้านหลังเขื่อน วัสดุที่ใช้มีทั้ง คอนกรีตล้วน อิฐก่อ ก่อลงลาดคาบ่าแยกเบ้นนำมาตั้งเป็นชั้นๆ และแท่งคอนกรีตสำเร็จรูป ข้อเสียในการใช้เขื่อนป้องกันตลิ่งนี้คือ ดินฐานรากต้องมีความแข็งแรง ในกรณีที่ดินอ่อนอาจใช้ฐานรากเสาเข็ม ทำให้ค่าก่อสร้างสูง จึงไม่เหมาะสมกับการก่อสร้าง บริเวณดินอ่อน

-เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ (Centilever Retaining Wall) หรือกำแพงดิน



รูปที่ 2.16 เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Retaining Wall

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

ประกอบด้วยกำแพงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่หล่อทับที่ เชื่อนประเภทนี้มีความสวยและเป็นระเบียบ แต่ก่อสร้างยาก เพราะอาจจะต้องปิดกันลำน้ำก่อนจะตั้งไม้แบบ

-เชื่อนป้องกันตลิ่งแบบ (Sheet – Piling) หรือเชื่อนตอกเข็มพีล



รูปที่ 2.17 เชื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Sheet - Piling Wall

(อ้างอิงการออกแบบเชื่อนป้องกันตลิ่ง : กรม โยธาธิการและผังเมือง,2549)

รูปแบบที่นิยมใช้มากที่สุดคือ เชื่อนตอกเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก พร้อมแผงกรุกกันดิน เนื่องจากไม่ต้องการปิดกันน้ำชั่วคราว เหมือนเชื่อนป้องกันตลิ่งแบบกำแพงดิน เชื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Sheet – Piling นี้สามารถแบ่งได้ 4 ประเภท คือ

1.Cantiliver Sheet – Piling Wall เป็น โครงสร้างที่อาศัยแรงค้ำดินด้านหน้าเชื่อนเป็นตัวต้านแรงดันด้านข้าง เหมาะสำหรับงานเชื่อนไม่สูงมากนัก หรือไม่มีที่ว่างด้านหลังเชื่อน เชื่อนชนิดนี้จะเกิดการเคลื่อนที่ด้านข้างสูง โดยเฉพาะ ขอบบนของตัวเชื่อน การเคลื่อนที่อาจไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวเชื่อน เนื่องจากคุณสมบัติของดิน และน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างจึงมีการทำคานรัดหัวเสาเข็ม (Cap Beam) เพื่อให้หัวเสาเข็มสวยงามเป็นระเบียบ

2.Anchored Sheet – Piling Wall คล้ายเชื่อน Cantiliver แต่มีการดึงสายสมอ (Tie Rod) ที่บริเวณขอบบนของตัวเชื่อน เพื่อช่วยต้านแรงด้านข้าง ซึ่งแรงดึงในสายสมอนี้ จะส่งผ่าน ไปยังแผงสมอ (Anchorage) เพื่อต้านแรงดึงที่เกิดขึ้น ดังนั้น แผงสมอต้องฝังลึกเพียงพอในการพัฒนาแรงค้ำดิน และอยู่ห่างจากกำแพงเพียงพอที่จะไม่ให้เกิด Overall Failure สำหรับเชื่อนกันดินที่สูงมากกว่า 2.5 – 3 เมตร การ

ก่อสร้าง Anchored Sheet – Piling Wall จะประหยัดมากกว่า Cantiliver Sheet – Piling ทั้งนี้ข้างหลังเขื่อนต้องมีพื้นที่เพียงพอ

3. Batter – Pile Wall ลักษณะคล้ายเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Anchored Wall แต่ใช้เข็มเอียงช่วยในการรับแรงทางด้านข้าง การก่อสร้างแบบนี้เหมาะสำหรับเขื่อนที่ไม่มีพื้นที่ก่อสร้างด้านหลัง แต่ค่าก่อสร้างแพงกว่า Anchored

4. Platform เป็นโครงสร้างตาม 1, 2 หรือ 3 และมีส่วนพื้นที่เป็นลาดออกไปในลำน้ำ เพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้สอยให้มากขึ้น

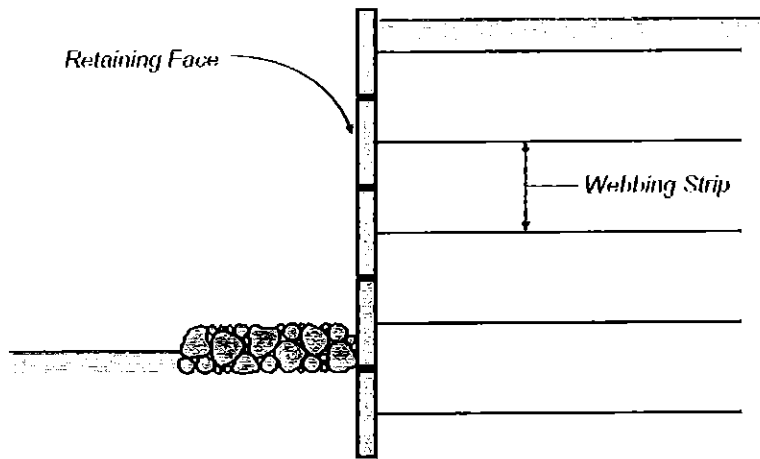
- เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Relieving Platform

เป็นโครงสร้างที่อาศัยกำแพงดินและฐานรากเสาเข็ม เพื่อช่วยในการรับแรงดันดินด้านข้าง โดยตัว Platform จะรับน้ำหนักดินถมส่วนที่อยู่เหนือขึ้นไปแล้วถ่ายลงเสาเข็ม ทำให้แรงดันดินด้านข้างที่กระทำกับ sheet – piling ที่อยู่ใต้ Platform ลดลง เหมาะสมสำหรับพื้นที่ดินฐานรากอ่อนหรือ ต้องมีการรับน้ำหนักมาก

- เขื่อนป้องกันตลิ่งที่อาศัยหลักเสริมกำลังดิน (Reinforced Earth)

เป็นการสร้างเขื่อน โดยเสริมความแข็งแรงของดิน ซึ่งอาศัยวัสดุอื่นที่มีความสามารถในการรับแรงดึงสูง แรงดึงนี้ดินจะสามารถรับแรงต่างๆ ได้มากขึ้น เขื่อนประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ

- ก. แผงกันดิน (Retaining Face) ทำหน้าที่ถ่ายแรงในแนวราบไปที่แถบเสริมกำลังแผงกันดิน ส่วนใหญ่เป็นแผ่นคอนกรีต สำเร็จรูปหรืออาจจะเป็น shotcrete
- ข. แถบเสริมกำลัง (Webbing Strip) เป็นวัสดุเสริมความแข็งแรงของดิน ทำหน้าที่ด้านการเคลื่อนที่ของ Retaining Face โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่าง strip ของดิน วัสดุเสริมความแข็งแรงของดินนี้อาจใช้ Geogrid, Anchor Bolt หรือ Gabion ก็ได้แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงความสามารถ ในการต้านทานการกัดกร่อน จากสภาพแวดล้อมและสารเคมี นอกจากนี้แถบเสริมกำลังจะต้องมีความยาวเพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงต้านทานดังกล่าว รวมทั้งจะต้องตัดผ่านระนาบการวิบัติที่อาจเกิดขึ้นได้

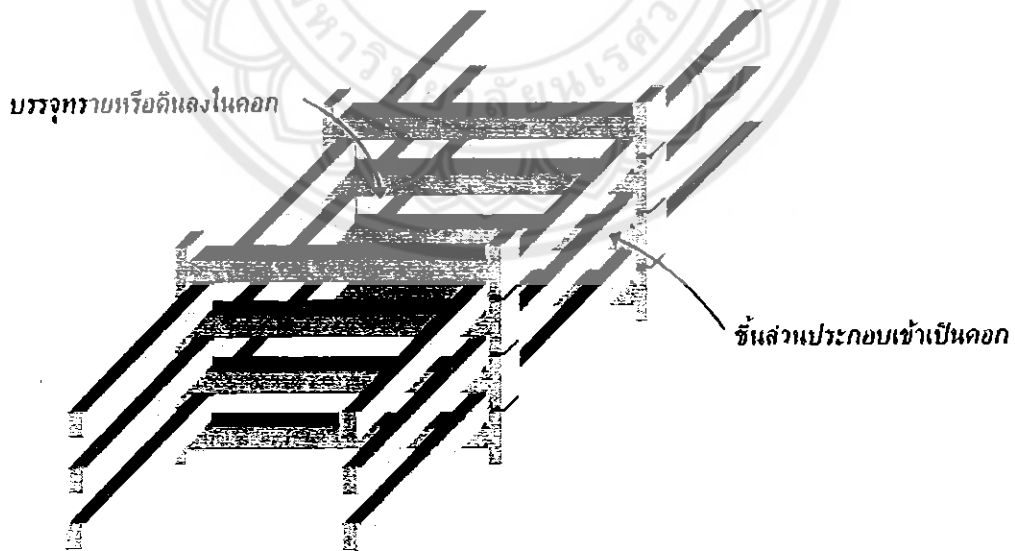


รูปที่ 2.18 เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเสริมกำลังของดิน

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

- เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเป็นคอก (Crib Wall)

ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่อาจทำด้วยไม้หรือแท่นคอนกรีต แล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นคอก หลังจากนั้นบรรจุทรายหรือดินลงไป ในคอก น้ำหนักดินในคอกจะทำหน้าที่เหมือน Gravity Wall ก็เป็นตัวต้านแรงดันดินด้านหลังเขื่อน

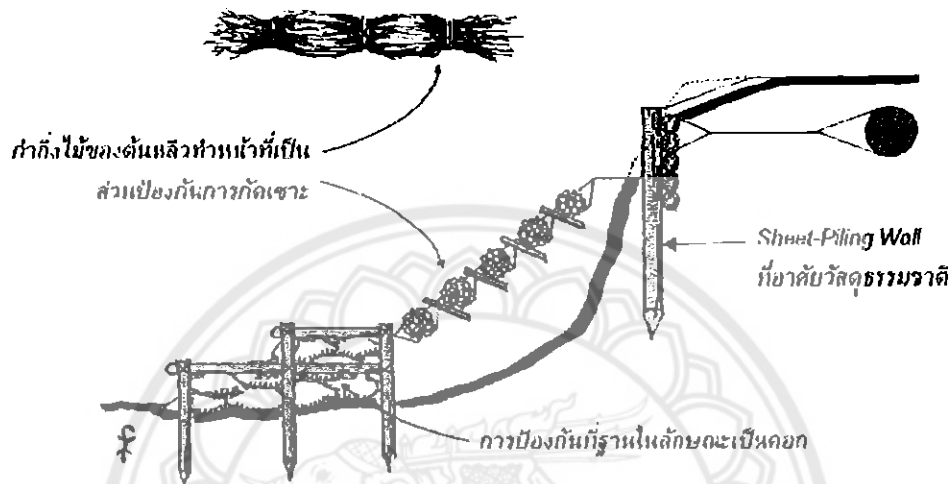


รูปที่ 2.19 เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเป็นคอก

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

-เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดอาศัยธรรมชาติ (Natural Bank Protection)

เป็นการผสมผสานระหว่าง การป้องกันตลิ่งโดยธรรมชาติและการก่อสร้างเขื่อน ป้องกัน โดยนำหลักการทาง Biotechnical stabilization มาให้กับ โครงสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง วัสดุที่นำมาใช้ เป็นวัสดุธรรมชาติท้องถิ่น เช่น พืชต่างๆที่นิยมคือต้นสน



รูปที่ 2.20 เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดอาศัยธรรมชาติ

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรม โยธาธิการและผังเมือง,2549)

2.1.6 คุณสมบัติทางวิศวกรรม (Engineering Properties)

-หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล (Principle of Stress)

หน่วยแรงประสิทธิผลคือ หน่วยแรงที่ส่งถ่ายกันโดยตรงระหว่าง อนุภาคเม็ดดินค่าหน่วย ประสิทธิผล(σ') วัดไม่ ได้ แต่คำนวณได้จากหน่วยแรงรวม (Total Stress, σ) กับแรงดันน้ำ (Pore Water Pressure, U) ที่เกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

$$\sigma = \sigma' + U \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.1}$$

ถ้าเป็นหน่วยแรงในแนวตั้งสมการที่ 1 เขียนได้เป็น

$$\sigma_v = \sigma'_v + U \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.2}$$

โดยที่ $\sigma_v = \gamma z + q$
 γ = หน่วยน้ำหนักของดิน (Total Unit Weight of Soil)

Z = ความลึกของจุดที่พิจารณาถึงผิวดิน

q = น้ำหนักแผ่กระจายที่กระทำที่ผิวดิน (Surcharge)

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ

หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผลเสนอโดย Bishop (1959) (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันคลื่น : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549) มีอยู่ 2 ข้อดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของรูปร่างและปริมาตรของดินขึ้นอยู่กับผลต่างของหน่วยแรงรวมและความดันน้ำ
2. กำลังรับแรงเฉือนของดิน (τ_f) ขึ้นอยู่กับหน่วยแรงประสิทธิผล (σ'_n) ไม่ใช่หน่วยแรงที่กระทำตั้งฉากกับระนาบที่พิจารณา สามารถเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \theta \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.3}$$

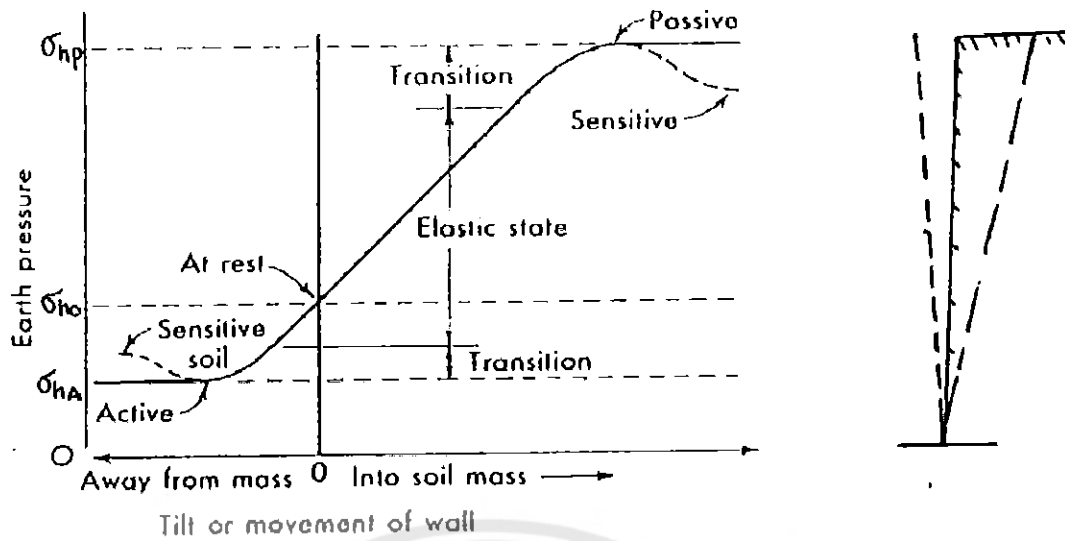
c' = ค่าความเชื่อมั่นที่ปรากฏ (Apparent Cohesion)

θ = เป็นมุมต้านทานแรงเฉือนในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล
-แรงดันดินด้านข้าง

หน่วยแรงดันดินด้านข้างรวม (σ_h) ประกอบด้วยหน่วยแรงดันดินด้านข้างซึ่งถ่ายผ่านเม็ดดิน (σ'_h) และแรงดันน้ำ (U) เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\sigma_h = \sigma'_h + U \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.4}$$

ซึ่งตามหลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล σ'_h เรียกว่าหน่วยแรงดันดินด้านข้างในรูปแบบของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) และ σ_h เรียกว่าหน่วยแรงดันดินด้านข้างในรูปแบบของหน่วยแรงรวม (Total Stress)



รูปที่ 2.21 แสดงชนิดของหน่วยแรงดันด้านข้างเป็นฟังก์ชันกับการเคลื่อนตัวของกำแพง (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

ตามรูปเมื่อ กำแพงเคลื่อนตัวออกไปจากดินจากสภาวะอยู่นิ่ง (At Rest) ที่จุดใดๆ กำหนดหน่วยแรงดันดินด้านข้างรวม (σ_h) ด้านหลังกำแพงจะมีค่าลดลง ในขณะที่หน่วยแรงรวมในแนวตั้ง (σ_v) ที่จุดพิจารณามีค่าคงที่ จนกระทั่งดินเกิดการวิบัติที่ซึ่ง σ_h มีจะค่าต่ำสุด แรงดันดินในสภาวะแบบผลักนี้เรียกว่าแรงดันดินแบบ Active (σ_{hA}) ในกรณีที่กำแพงกันดินเคลื่อนตัวเข้าหาดินจะเรียกว่าความดันดินแบบ Passive (σ_{hp}) จากทฤษฎีของ Rankine สร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\sigma_{hA} = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \sigma_v - \frac{2c\sqrt{1 - \sin \theta}}{\sqrt{1 + \sin \theta}} \dots \dots \dots \text{สมการที่ 2.5}$$

$$\sigma_{hp} = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \sigma_v + \frac{2c\sqrt{1 - \sin \theta}}{\sqrt{1 + \sin \theta}} \dots \dots \dots \text{สมการที่ 2.6}$$

ดินเหนียว (Clay) ระยะเวลาที่น้ำหนักมากระทำ (Loading) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการระบายแรงดันน้ำ (ΔU) ที่เกิดขึ้นในมวลดินจากน้ำหนักที่กระทำนั้น แรงดันน้ำส่วนเกิน (ΔU) ที่ระบายออกไปทำให้หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นกำลังรับแรงเฉือนของดินก่อนที่จะมีน้ำหนักมากระทำทันที (Short Term) โดยไม่มีการระบายน้ำ (Undrained) จึงมีค่าน้อยที่สุด และมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น การคาดคะเนแรงดันน้ำในระยะยาวทำได้ยากลำบาก การวิเคราะห์แรงดันดินในดินเหนียวจึงมักทำในรูปของหน่วยแรงรวม (ใช้ TSA = การวิเคราะห์หน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis - Short Term)) ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยหน่วยน้ำหนักรวม (γ) และกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (C_u) โดยที่ค่า $\theta_u = 0$ สมการที่ 1 และ 2 กลายเป็น

$$\sigma_{hA} = \sigma_v - 2C_u \dots \dots \dots \text{สมการที่ 2.7}$$

$$\sigma_{hp} = \sigma_v + 2C_u \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.8}$$

หน่วยแรงรวมในแนวตั้งหาได้จาก

$$\sigma_v = \gamma Z + q \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.9}$$

เมื่อ Z = ความลึกของจุดที่พิจารณาจากระดับผิวดิน

q = น้ำหนักแผ่กระจายภายนอกที่กระทำที่ผิวดิน (Surcharge)

ดินทราย (Sand) เป็นดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless Soil) แรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักกระทำสามารถระบายออกไปได้ทันที จึงสามารถคำนวณหาหน่วยแรงประสิทธิผลได้ง่าย การวิเคราะห์แรงดันดินในทรายจึงทำในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (ใช้ ESA = การวิเคราะห์หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis - Long Term)) ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยหน่วยน้ำหนักรวม (γ) หน่วยน้ำหนักน้ำ (γ_w) และค่ามุมด้านแรงเฉือนในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (θ') โดยที่ค่าความเชื่อมแน่นที่ปรากฏในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (C') = 0 ทำให้สมการที่ 1 และ 2 มีรูปเป็น

$$\sigma'_{hA} = \frac{1 - \sin \theta'}{1 + \sin \theta'} (\sigma_v - U) = K_A \sigma'_v \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.10}$$

$$\sigma'_{hp} = \frac{1 + \sin \theta'}{1 - \sin \theta'} (\sigma_v - U) = K_p \sigma'_v \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.11}$$

โดยที่

$$K_A = \frac{1 - \sin \theta'}{1 + \sin \theta'} = \text{Coefficient of Active Earth Pressure} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.12}$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \theta'}{1 - \sin \theta'} = \text{Coefficient of Passive Earth Pressure} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.13}$$

หน่วยแรงดันด้านข้างรวม σ_{hA} และ σ_{hp} ซึ่งเป็นหน่วยแรงที่กระทำต่อกำแพงหาได้จาก

$$\sigma_{hA} = \sigma'_{hA} + U \dots\dots\dots \text{สมการ 2.14}$$

$$\sigma_{hp} = \sigma'_{hp} + U \dots\dots\dots \text{สมการ 2.15}$$

ค่า U ในการหาหน่วยแรงดันแบบ Active และ Passive ที่ความลึกเดียวกัน ไม่จำเป็นต้องเท่ากันเสมอไป ถ้ามีการไหลของน้ำเกิดขึ้น โดยทั่วไปค่า U ที่จุดใดหาได้จาก

$$U = \gamma_w h \dots\dots\dots \text{สมการ 2.16}$$

เมื่อ γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ และ h คือ ระยะความสูงของระดับน้ำถึงจุดที่พิจารณา

2.1.6.3 เสถียรภาพความลาด (Slope Stability)

การที่เราจะสร้างอะไรเช่น เขื่อน ถนน อาคาร เราควรตรวจสอบเสถียรภาพของดินก่อน เพื่อไม่ให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างที่วางอยู่บนชั้นดิน

-ชนิดของการพังทลาย (Type of Failures)

การพังทลาย แบ่งออกเป็น 3 แบบ (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

(1) การวิบัติที่ผิวความลาด (Face Failure)

1.1 สาเหตุ : การวิบัติที่ผิวดินเกิดจาก

- ผิววัสดุเกิดการพังทลาย
- วัสดุเองเนื่องจาก Slope มากเกินไป
- มักเป็นพวก Granular Soil



รูปที่ 2.22 การวิบัติที่ผิวความลาด (Face Failure)

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

1.2 การแก้ไข

- ลดความลาดให้น้อยลง



รูปที่ 2.23 การแก้ไขลดความลาดให้น้อยลง

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

การวิบัติปลายฐานล่าง (Toe Face) คือ การพังทลายตรงส่วนที่ปลายฐานด้านล่างของความลาดคดโค้ง

- 2.1 สาเหตุ : การวิบัติปลายฐานล่าง เกิดจาก
- ดินผิวบนเป็นดินอ่อนและส่วนล่างแข็ง
 - เกิดกับพวกดินเหนียว (Cohesive Soil)
 - เป็นดินที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ต่ำ

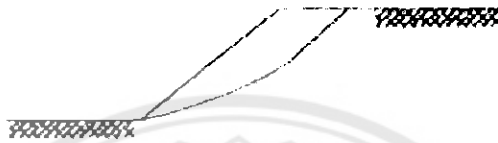
5070181.

ป.ร.

19761

2552

๒.๒

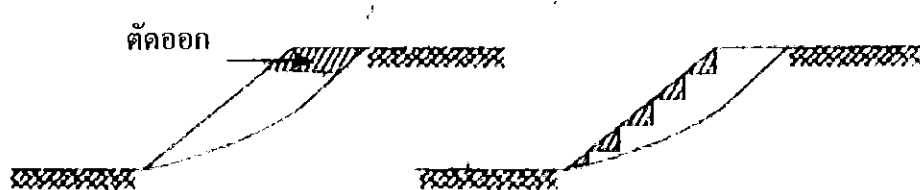


รูปที่ 2.24 การวิบัติปลายฐานล่าง (Toe Face)

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

2.2 การแก้ไข

- ลด Surcharge Load ที่ผิวบนออก
- ทำเป็นขั้นบันได
- เปลี่ยนวัสดุดินถมใหม่เป็นพวกทรายเพื่อต้องการให้น้ำระบายได้สะดวก

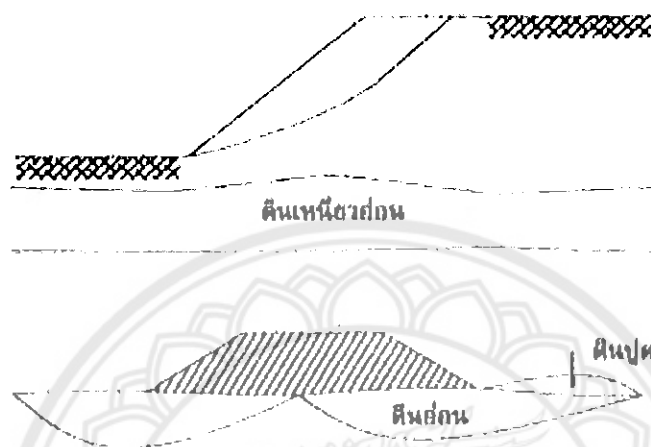


รูปที่ 2.25 การแก้ไขการวิบัติปลายฐานล่าง (Toe Face)

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

(3) การวิบัติที่ฐานชั้นดินล่างของความลาด(Base Failure) คือ การพังทลายที่ดินใต้ความลาดของ
ค้ำ

3.1 สาเหตุ : การวิบัติที่ฐานชั้นดินล่างของความลาด เกิดจากดินชั้นบนมีความแข็งกว่าดิน
ด้านล่าง ซึ่งเป็นดินที่อ่อนกว่า แล้วเกิดการพังทลายเนื่องจากค่ากำลังรับแรงเฉือนต่ำ

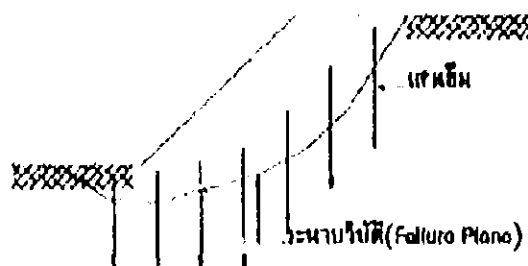


รูปที่ 2.26 การวิบัติที่ฐานชั้นดินล่างของความลาด (Base Failure)

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันค้ำ : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

3.2 การแก้ไข

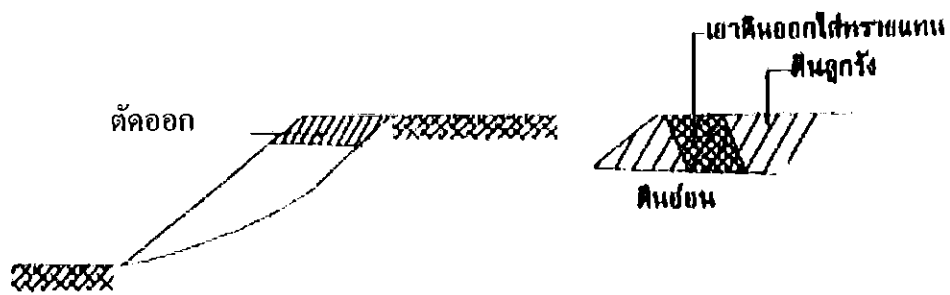
- เพิ่มค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ในดิน เช่น โดยการตอกเสาเข็มมารับแรงเฉือน



รูปที่ 2.27 การแก้ไขเพิ่มค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength)

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันค้ำ : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

* ลด Suchange Load หมายถึง ลดดินถมบนค้ำออก เพื่อให้เกิดแรงกดน้อยลง



รูปที่ 2.28 การแก้ไขลด Suchange Load

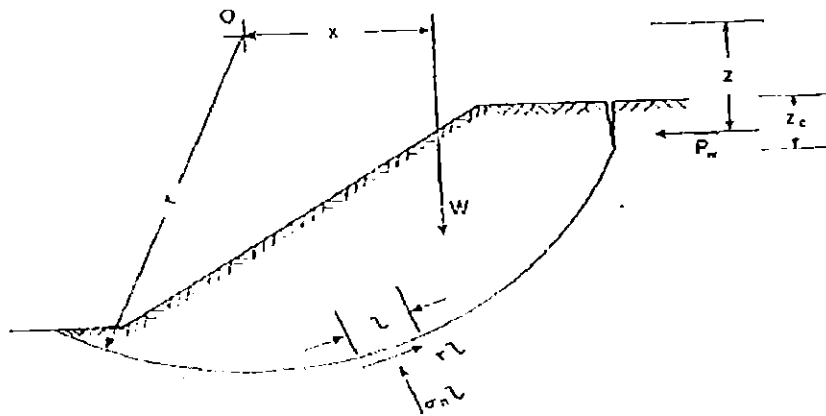
(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันคลื่น : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

-การคำนวณหาเสถียรภาพของความลาด (Slope Stability) (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันคลื่น : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

ก. เสถียรภาพของความลาดในดินเหนียว

ในกรณีที่เป็นดินถม (Embankment) หรือ ลาดดินตามธรรมชาติที่ไม่มีการไหลของน้ำใช้วิธีการวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis) ซึ่งเป็นกรณีที่มีหน่วยแรงกระทำต่อดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำทันทีโดยไม่มีการระบายน้ำ (Undrained) โดยมี $\tau_f = C_u$ และ $\theta_u = 0$ การเลือกใช้วิธีนี้เนื่องจากเป็นกรณีที่ดินเหนียวมีค่ากำลังรับแรงเฉือนต่ำที่สุดและการวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผลกระทำได้ยากสาเหตุจากความยุ่งยากในการประเมินแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในดินเหนียว

ในกรณีนี้กำลังรับแรงเฉือนปลอดภัย $\tau = \tau_f / F.S. = C_u / F.S.$ และเกิดรอยแตกขึ้นบริเวณบนลาดมีค่าความลึก $Z_c = 1.33 C_u / \gamma$ ทำให้ส่วนของดินที่ช่วยรับแรงเฉือนตามแนวผิวที่เกิดการวิบัติที่ช่วยต้านการเคลื่อนตัวมีค่าลดลง และถ้าเกิดมีน้ำขังในรอยแตก แรงดันน้ำ P_w ที่เกิดขึ้นในรอยแตกจะเป็นตัวเพิ่มแรงดันให้ลาดคลั่งเกิดการเคลื่อนตัว ตามรูป



Total stress analysis— $\phi_w = 0$.

รูปที่ 2.29 กำลังรับแรงเฉือนตลอดภัย

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

เกิดโมเมนต์รอบศูนย์กลาง O จะได้

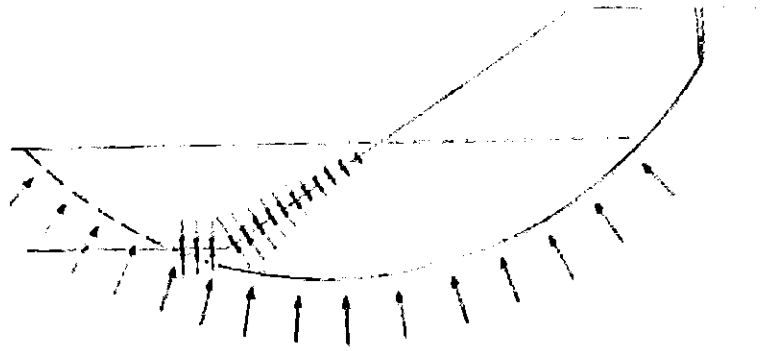
$$W_x + P_w Z = r \sum \tau l / F.S. \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.17}$$

$$F.S. = \frac{\gamma \sum C_u l}{W_x + P_w Z} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.18}$$

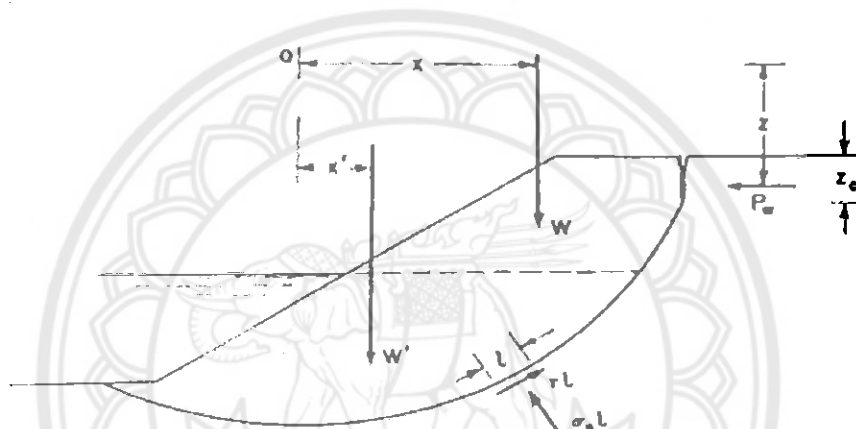
ในกรณีที่เกิดน้ำท่วมส่วนล่างของลาดตลิ่งตามรูป แรงดันน้ำที่ส่วนล่างของลาดตลิ่งจะเป็นตัวเพิ่มแรงต้านการเคลื่อนตัว และ โมเมนต์จากแรงดันน้ำที่ส่วนล่างของลาดตลิ่งรอบจุด O มีความสมดุลกับ โมเมนต์จากมวลของน้ำในเนื้อดินส่วนที่อยู่ใต้ระดับน้ำและอยู่เหนือแนวผิวที่เกิดการวิบัติ (Rupture Surface) ดังนั้นน้ำหนักดินส่วนที่อยู่ใต้ระดับน้ำจึงคำนวณโดยใช้ น้ำหนักน้ำหนักรวมของดินลบด้วยหน่วยน้ำหนักน้ำ ($\gamma - \gamma_w$) หรือ Submerged Unit Weight ดังนั้น โมเมนต์รอบศูนย์กลาง O ได้ดังนี้

$$W_x + W_x' + P_w Z = r \sum \tau l = \gamma \sum C_u / F.S. \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.19}$$

$$F.S. = \frac{\gamma \sum C_u l}{(W_x + W_x') + P_w Z} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.20}$$



รูปที่ 2.30 Effect of Partially Submerging The Bank
 (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)



รูปที่ 2.31 Stability of a Partially Submerged Bank

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

ข. เสถียรภาพของความลาดของทราย

ทรายมีความสามารถในการระบายน้ำได้ดี จึงวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล โดยวิธีการ Swedish Circle หรือ Bishop โดยใช้ค่ามุมต้านแรงเฉือนในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (θ) และค่าความเชื่อมแน่นที่ปรากฏในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล $C' = 0$ ในกรณีที่เป็นลาดที่มีความยาวไม่สิ้นสุด (Infinite Slope) ทำมุม β กับแนวราบและไม่มีน้ำไหลของน้ำ

$$m = 0 \text{ F.S.} = \frac{\tan \theta}{\tan \beta} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.21}$$

แต่ถ้ามีการไหลของน้ำโดยระดับน้ำขนานกับลาดตลิ่ง

$$m = 1 \text{ F.S.} = \frac{\gamma_{sub} \times \tan \theta}{\gamma_{sat} \times \tan \beta} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.22}$$

2.2 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง ด้านวิศวกรรม

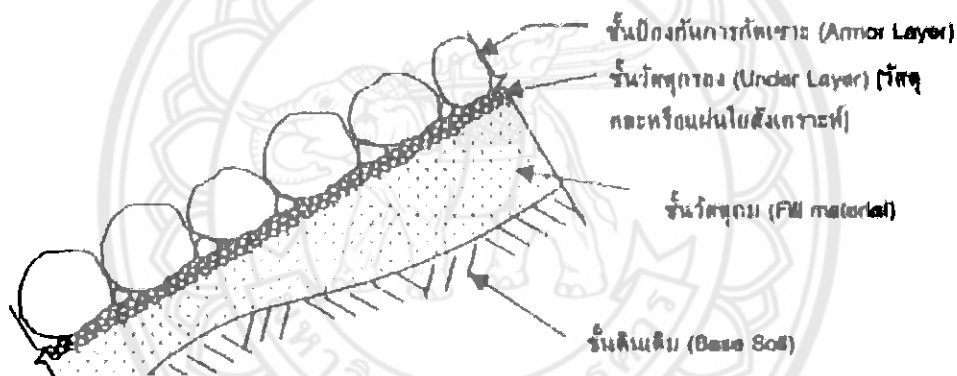
2.2.1 โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง (อ่างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง ,2549)

เป็นโครงสร้างที่มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหน้าตลิ่งจากการกัดกร่อนของกระแสน้ำหรือคลื่น โดยทั่วไป โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งมักจะเป็นโครงสร้างแบบผสม (Composite Structure) โดยตัวโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านความมั่นคงของตลิ่ง ดังนั้น ก่อนการก่อสร้างโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งจะต้องมีการตรวจสอบหรือปรับปรุงคุณภาพของดินหน้าตลิ่งให้มีความมั่นคงของตลิ่ง (Stability) เสียก่อน

-ส่วนประกอบของโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง (Components of Revetment)

โดยปกติทั่วไปโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

- ชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Armor Layer)
- ชั้นวัสดุกรอง (Filter Layer หรือ Under Layer)



รูปที่ 2.32 ส่วนประกอบของโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง

(อ่างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรม โยธาธิการและผังเมือง,2549)

ชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Armor Layer)

เป็นโครงสร้างส่วนที่ป้องกันการกัดเซาะ โดยตรงของแรงจากกระแสน้ำ หรือคลื่นหรือแรงกระทำภายนอกที่อาจเกิดขึ้นได้หลักการการพิจารณาวัสดุป้องกันการกัดเซาะ คือ

(ก.) ความสามารถในการซึมผ่านได้ (Permeability) เช่น แผลง ค.ส.ถ. กับชั้นหินเรียงมีความสามารถในการซึมผ่านได้ต่างกัน จะมีการออกแบบที่ต่างกัน

(ข.) ความยืดหยุ่น (Flexibility) เพราะ โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งเป็น โครงสร้างที่ก่อสร้างบนดิน ซึ่งมักจะมีการยุบตัวที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการวิบัติของโครงสร้างได้ถ้าไม่มีความยืดหยุ่นหรือความแข็งแรงเพียงพอ

ชั้นวัสดุกรอง (Under Layer หรือ Filter Layer)

เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างดินหน้าตลิ่งหรือวัสดุถมกับชั้นป้องกันการกัดเซาะ โดยมากจะเป็นวัสดุประเภทกรวดคละ, หินคละ, หรือแผ่นใยสังเคราะห์ โดยทั่วไปแล้วกรณีที่โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งเกิดการเสียหาย มักจะเกิดจากการที่ชั้นวัสดุกรองไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หน้าที่สำคัญของชั้นวัสดุกรองคือ

- (ก.) ทำหน้าที่เป็นตัวกรอง (Filter) เพื่อป้องกันการถูกพัดพาออกไปของดินภายใต้โครงสร้าง
- (ข.) ทำหน้าที่เป็นชั้นระบายน้ำในแนวนานกับระนาบตลิ่ง
- (ค.) ทำหน้าที่เป็นฐานให้กับชั้นป้องกันการกัดเซาะในกรณีที่ชั้นป้องกันการกัดเซาะเสียหายไป

บางส่วน

- (ง.) ทำหน้าที่ช่วยสลายพลังงานที่เกิดจากคลื่นหรือกระแสน้ำที่กระทำต่อโครงสร้าง
 - การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียง
- ขั้นตอนทั่วไปในการออกแบบ โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งมีดังนี้
- (1) กำหนดข้อกำหนดในการออกแบบ (Design Condition) เช่น น้ำหนักบรรทุก
 - (2) หน้าที่การป้องกันหน้าตลิ่ง
 - (3) สมบัติรูปแบบของ โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง
 - (4) ตรวจสอบความมั่นคงของตลิ่ง (Stability of Bank)
 - (5) ออกแบบชั้นป้องกันการกัดเซาะ
 - (6) ออกแบบชั้นวัสดุกรอง
 - (7) ออกแบบรายละเอียด เช่น สันเขื่อน, ดินเขื่อน, จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเขื่อนจุดสิ้นสุดของ

เขื่อน

-การออกแบบชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Design of Armor Layer)

- ชนิดของชั้นป้องกันการกัดเซาะ แบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

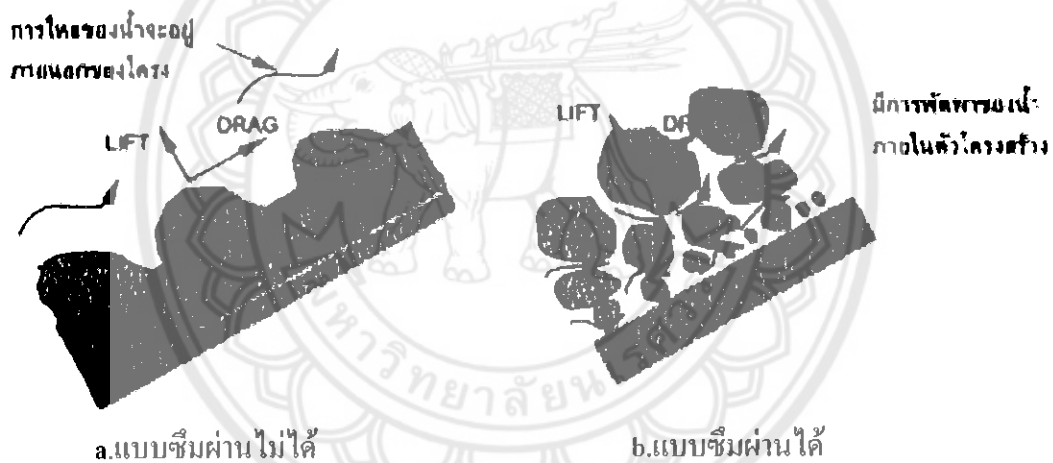
- (ก.) หิน
- (ข.) คอนกรีต
- (ค.) จีโอเท็กซ์ไทล์ (Geotextile)
- (ง.) แอสฟัลต์

● ความมั่นคงของชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Stability of Armor Layer)

แรงกระทำจากคลื่นและกระแสน้ำที่กระทำต่อชั้นป้องกันการกัดเซาะจะขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นป้องกันการกัดเซาะ ถ้าลักษณะของชั้นป้องกันการกัดเซาะเป็นแบบน้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impemcable) แรงกระทำส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะของแรงภายนอก โดยในกรณีนี้ชั้นป้องกันการกัดเซาะจะต้องออกแบบให้ป้องกัน

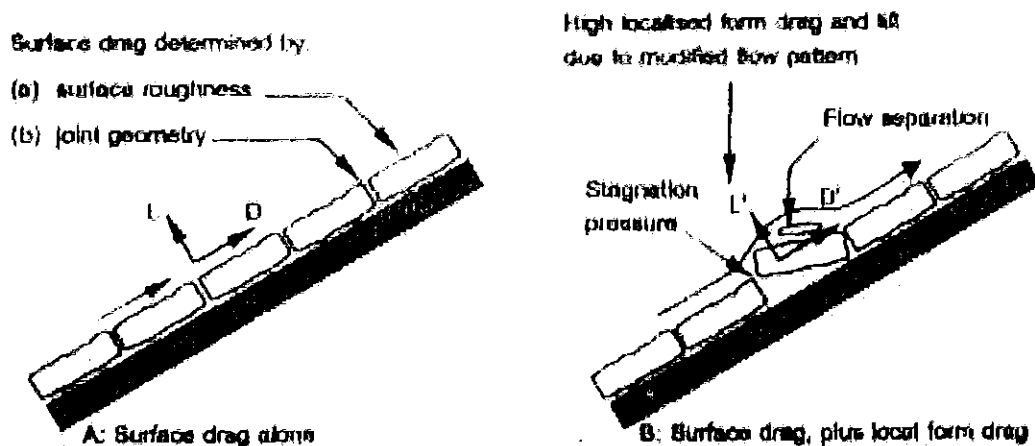
- รับแรงกระแทกจากคลื่น
- การเปลี่ยนแปลงแรงดันเนื่องจากกระแสน้ำที่ปั่นป่วน
- แรงลากที่ผิว(Drag Forces) เนื่องจากกระแสน้ำขึ้นน้ำลง

ถ้าลักษณะของชั้นป้องกันการกัดเซาะเป็นแบบน้ำซึมผ่านได้ ดังรูป จะมีการสลายของแรงภายในชั้นป้องกันการกัดเซาะเพราะน้ำไหลผ่านได้ ทำให้การออกแบบยุ่งยากมากขึ้น เพราะมีผลต่อความมั่นคงของชั้นป้องกันการกัดเซาะมากขึ้น



รูปที่ 2.33 ผลของความสามารถในการซึมผ่านได้ ของชั้นป้องกันการกัดเซาะต่อแรงกระทำของน้ำ (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

จากผลของการทดลองที่ทำขึ้นเพื่อหาค่าแรงดันยกขึ้น (Uplift Pressure) ที่กระทำต่อชั้นส่วนของชั้นป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากคลื่น (Blaauw et al, 1984) แสดงให้เห็นว่าความความหนาหรือความสามารถในการซึมผ่านได้มากขึ้น จะป้องกันการกัดกร่อนได้ดีขึ้น



รูปที่ 2.34 Effect of Amer Layer Form on Hydraulic Dynamic Forces on Revetment

(อ่างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความมั่นคงของชั้นป้องกันการกัดเซาะมีดังนี้

- น้ำหนักและขนาดของชิ้นส่วนประกอบของชั้นป้องกันการกัดเซาะ
- การรองรับของชั้นวัสดุรองและชั้นดินใต้ชั้นวัสดุรองหรือดินหน้าตลิ่ง
- แรงเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนของชั้นป้องกันการกัดเซาะและแรงเสียดทานระหว่างชั้นป้องกันการกัดเซาะกับชั้นวัสดุรอง และแรงเสียดทานระหว่างชั้นวัสดุรองกับชั้นดินใต้ชั้นวัสดุรอง
- แรงดันในระนาบของ โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง
- ความชันของ โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง
- แรงขัดทาน (Interlock) , การเชื่อมยึด (Grouting) และการห่อหุ้ม (Cabling) ระหว่างชิ้นส่วนของชั้นป้องกันการกัดเซาะ
- สมอ หรือ โครงสร้างใด ๆ ที่รับแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนของชั้นป้องกันการกัดเซาะกับชั้นดินใต้ชั้นวัสดุรอง

- การออกแบบชั้นชั้นวัสดุรอง

ชั้นวัสดุรองมีผลกับความแข็งแรงของชั้นป้องกันการกัดเซาะ โดยนิยมใช้วัสดุและมีข้อดี ดังต่อไปนี้

- แผ่นใยสังเคราะห์ มีคุณสมบัติดังนี้
- ความหนาแน่น
 - รับแรงดึงในแนวระนาบได้
 - ทำงานง่าย, รวดเร็ว
 - สามารถควบคุมคุณสมบัติต่าง ๆ ได้
 - การทำงานในพื้นที่ลาดชันทำได้ง่ายกว่า
 - คุณสมบัติในระยะยาวยังไม่แน่นอน
 - จะต้องทำการป้องกันในบริเวณขอบอย่างดี

- เสียหายง่าย-ซ่อมแซมยาก
- ต้องมีการออกแบบและติดตั้งอย่างระมัดระวังสำหรับการทรุดตัวและพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ

หินคละกรวดคละ มีคุณสมบัติดังนี้

- ราคาถูก
- สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ในบางกรณี(Self-Healing)
- ทนทาน
- ซ่อมแซมง่าย
- เปลี่ยนรูปร่างได้ (Deformable)
- สลายพลังงานจากแรงกระทำได้ดีกว่า
- ต้องมีการควบคุมขนาดคละและความหนาให้ถูกต้อง
- ทำงานยากในบริเวณที่มีความลาดชัน

ในการออกแบบชั้นวัสดุรองนั้นจะต้องพิจารณาถึงการไหลของน้ำในชั้นวัสดุรองด้วย ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 : การไหลตามแนวโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่ง (ตามทิศทางการไหลของน้ำ)

แบบที่ 2 : การไหลตามแนวขึ้น – ลง ของตลิ่ง

แบบที่ 3 : การไหลในแนวตั้งฉาก หรือ เข้า – ออก กับตลิ่ง

ก. การออกแบบชั้นวัสดุรอง (Filter Design)

หน้าที่ของชั้นวัสดุรองคือ การป้องกันการถูกพัดพาไปของทรายถมและดินเดิมใต้ชั้นวัสดุรองและให้น้ำซึมผ่านได้เพื่อลดแรงดันของน้ำ

ก.1 การออกแบบชั้นวัสดุรองโดยใช้แผ่นใยสังเคราะห์

คุณสมบัติในการกรองของแผ่นใยสังเคราะห์นั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับตัวแผ่นใยสังเคราะห์เองแล้วยังขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นดินใต้ชั้นวัสดุรองอีกด้วย ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

ก.1.1 ขนาดของเม็ดดิน (Particle Size) ซึ่งแสดงในรูปของ Sieve Size, D_n , โดย n คือ % โดย

น้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า

- สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient) โดยถ้า U มีค่ามากแสดงว่าดินมีใหญ่และเล็กคละกันแต่ถ้า $U \leq 4$ แสดงว่าดินมีขนาดเดียวกันเป็นส่วนใหญ่

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

- ลักษณะของดินแน่นหรือหลวม (Compact or Loose)
- ประเภทของดิน (Cohesive Soil or Non-cohesive Soil)
- ความสามารถในการซึมผ่านได้ (Permeability) K_b ในทิศทางการไหลของน้ำ

ก.1.2 คุณสมบัติที่สำคัญของแผ่นใยสังเคราะห์ มีดังนี้ คือ

- Opening Size โดย n คือ % ของรูที่เล็กกว่า
- Fabric Type (Woven or Non-Woven)
- Permeability

ก.1.3 สำหรับการกำหนดขนาด Opening Size มีข้อเสนอแนะสำหรับแต่ละกรณีดังนี้

- สำหรับการกั้นดินในการไหลแบบคงที่ (Steady Flow)

$$O_{90} = \lambda D_{90}$$

โดย λ มีค่าอยู่ระหว่าง 1-2 ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน คือ Density และ Uniformity

μ m.(0.05 mm.) และ INGOLD(1984) แนะนำว่า Opening Size ที่ใหญ่ที่สุดไม่ควรเกิน 0.3 ถึง

0.5 mm.

- สำหรับการกั้นดินในการไหลแบบกลับ ไปกลับมา (Cyclic Flow)

$O_{98} < D_{85}$ ในกรณีมีเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าทำหน้าที่เป็นตัวกรองให้กับเม็ด ดินที่มีขนาดเล็กกว่า

$O_{98} < D_{15}$ ในกรณีมีเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าไม่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองให้กับเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า

ในระหว่างการใช้งาน โดยการซึมผ่าน ได้ของแผ่นใยสังเคราะห์ ไม่ควร < ค่าการซึมผ่าน ได้ของดิน

ได้วัสดุกรอง และการออกแบบควรคำนึงค่าแรงดันของน้ำต้อง < F.S.

ในการออกแบบผู้ออกแบบจะต้องตรวจสอบว่าแผ่นใยสังเคราะห์มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อ

- หน้าที่ทางด้านวิศวกรรม (Engineering Function) เช่น คุณสมบัติการกรอง เป็นต้น
- ความทนทานในการก่อสร้าง
- ความทนทานในการใช้งานระยะยาว

โดยจะสามารถกำหนดเป็นค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นใยสังเคราะห์ได้ดังนี้

- น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ (Mass Per Unit Area)
- ความหนา (Nominal Thickness)
- ความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำ (Permeability)
- ขนาดช่องเปิด (Opening Size)
- สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of Friction)
- คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)
 1. กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)
 2. ความต้านทานการฉีกขาด (Tear Resistance)
 3. ความต้านทานการเจาะทะลุ (Puncture Resistance)
- ความทนทานต่อแสงอัลตราไวโอเลต (Resistance to Ultraviolet Light)
- การกักเก็บดินหรือความชื้น

- ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เช่น ความทนทานต่อการกัดกร่อนทางเคมี
- ค่าโมดูลัส (Modulus) ซึ่งแสดงถึงค่าความสามารถในการยืดตัว (Extensibility)

ก.2 การออกแบบชั้นวัสดุกรอง โดยใช้หินคละ, กรวดคละ

อาจจำเป็นต้องมีชั้นวัสดุกรองมากกว่า 1 ชั้น เพื่อการกรองที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีคำแนะนำสำหรับขนาดของวัสดุที่เหมาะสมดังนี้

$$D_{50f} < \beta D_{50b} \text{ สำหรับดินที่มีค่า Uniformity Coefficient, } U < 5$$

$$D_{15f} < \beta D_{85b} \text{ สำหรับดินที่มีค่า Uniformity Coefficient, } U > 10$$

โดย

f = filter

b = base soil

โดยค่าสัมประสิทธิ์ β นั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 3 – 5 โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลโดยถ้าเป็นการไหลแบบกลับไปกลับมาอย่างรุนแรง (Strong Cyclic Flow) ควรใช้ค่า $\beta = 3$ และสำหรับการไหลแบบคงที่ (Steady Flow) ควรใช้ค่า $\beta = 5$

เพื่อเป็นการป้องกันการแยกตัว (Segregation) ขนาดคละของทั้งดินใต้ชั้นวัสดุกรองและขนาดของวัสดุกรองควรที่จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$D_{50f} < 25 D_{50b}$$

และชั้นวัสดุกรองควรมีค่าการซึมผ่านได้ของน้ำไม่น้อยกว่าค่าการซึมผ่านได้ของชั้นดินใต้ชั้นวัสดุกรองโดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$D_{15f} < 5 D_{15b}$$

เพื่อเป็นการป้องกันการอุดตันควรมี D_{5f} ใหญ่กว่า $75 \mu\text{m}$. (0.075 mm.)

ข. การระบายน้ำ (Drainage)

ภายใต้ชั้นป้องกันการกัดเซาะ ชั้นวัสดุกรองจะทำหน้าที่ในการระบายน้ำในระนาบเดียวกับชั้นวัสดุกรองสำหรับวัสดุกรองที่เป็นวัสดุคละควรมีค่า $D_{50f} [10D_{10f}]$ เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุถม (ทราย หยาบ) หลุดออกไปได้ และการระบายน้ำออกสู่ด้านหน้าของโครงสร้างมีความสำคัญมากเพราะเป็นการลดความดันของน้ำที่กระทำต่อตัวโครงสร้าง ถ้าโครงสร้างระบายน้ำไม่เพียงพอ อาจต้องออกแบบระบายน้ำหรือ จุดเปิดน้ำออกทางด้านหน้าโครงสร้าง เพื่อลดความดัน

ค. การระบายน้ำ (Down Slope Migration of Subsoil)

การออกแบบโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งจะต้องคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของดินใต้ชั้นวัสดุกรองหรือดินเดิมด้วยเพราะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการวิบัติของโครงสร้างได้ การเคลื่อนที่ของดินเกิดจาก การลดลงของระดับน้ำ หรือประเภทดินเช่นดินที่เคลื่อนตัวง่าย ได้แก่ ดินตะกอน ดินตะกอนปนทราย และทรายละเอียด ซึ่งดินพวกนี้จะมีค่าความเชื่อมแน่นต่ำ (Low Cohesion)

- โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดหินเรียบ (Rip-Rap) มีข้อดีคือ

- ไม่มีข้อจำกัดทางด้านสถานที่ก่อสร้างรวมทั้งสามารถทำการก่อสร้างได้น้ำได้
- มีความยืดหยุ่น (Flexibility)
- มีค่า Hydraulic roughness สูง ทำให้สามารถสลายแรงกระทำจากคลื่นและกระแสน้ำได้ดี
- มีค่าบำรุงรักษาต่ำและการซ่อมแซมทำได้ง่ายและสะดวก
- มีความทนทาน

โครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดหินเรียบนี้สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การคำนวณหาขนาดของหินที่จะใช้ปิดทับหน้าโดยหินที่จะใช้จะต้องมีขนาดหรือน้ำหนักมากเพียงพอที่จะไม่ถูกพัดพาไปได้โดยกระแสน้ำ มีสูตรการหาขนาดหินดังนี้

$$d = \frac{cv^2}{g(s-1)\Omega} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.23}$$

d = ขนาดของหิน (m.)

V = ความเร็วของกระแสน้ำ (m/s)

g = 9.81 (m/s)

s = ความถ่วงจำเพาะของหิน = 2.65

C = 0.3 (Low Turbulence) เช่นกระแสน้ำทั่วไป

= 0.7 (High Turbulence) เช่น คลื่นจากเรือ

= 1.3 (Jets) เช่น กระแสน้ำจากใบพัดเรือขนาดใหญ่ หรือการเปิดประตูน้ำหรือเขื่อนอย่าง

กระทันหัน

$$\Omega = \left[1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \theta} \right]^{1/2} ; \alpha = \text{Angle of bank} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.24}$$

; $\theta = \text{Friction angle}$

สมการของเบอร์รี่ (Berry's Equation)

$$\delta = 0.4139v^2 \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.25}$$

โดย

δ = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหินกลม (เมตร)

v = ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที)

สมการของมาวิสและลอซซี่ (Mavis and Laushey)

$$\delta = 0.04v^2 / (s - 1) \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.26}$$

S = ความถ่วงจำเพาะของหินเท่ากับ 2.65

หรืออาจหาได้จากสมการ

$$\delta = \frac{66(vn^2)}{R^{1/3}} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.27}$$

n = Manning Roughness Coefficient

R = ความลึกเฉลี่ยชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) (เมตร)

= A/P

A = พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ (Cross Section) (m^2)

P = ผลรวมความยาวของด้านที่สัมผัสน้ำ (m)

สำหรับพื้นที่เอียงจะปรับค่าโดยการหารด้วย Reduction Factor, F

โดย $F = 1 - \left[\frac{\sin \beta'}{\sin \theta'} \right]^{1/2} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.28}$

เมื่อ ความลาดเอียงของเขื่อน (ตั้ง : ราบ) = $x : y$

$$\sin \beta = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.29}$$

ϕ = มุมเสียดทานธรรมชาติของวัสดุ

การหาความเร็วของกระแสน้ำเพื่อใช้คำนวณหาขนาดหินสำหรับชั้นหินเรียง

การคำนวณหาขนาดหินสำหรับชั้นหินเรียง

$$D_{30} = S_f C_s C_v C_T d \left[\left(\frac{\gamma_w}{\lambda_s - \lambda_w} \right)^{1/2} \frac{v}{\sqrt{k_1 g d}} \right]^{2.5} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.30}$$

โดย

g = Gravitational Constant, 9.81 m/s²

D_{30} = Stone Size of Which 30% Finer by Weight

S_f = Safety Factor (minimum = 1.1)

C_s = Stability Coefficient for Incipient Failure

= 0.30 for Angular Rock

= 0.375 for Rounded Rock

C_v = Vertical Velocity Distribution Coefficient

= 1.0 for Straight Channel, Inside of Bend

= 1.283 - 0.21 log (R/W), Outside of Bend, [=1 for (R/W) > 26]

= 1.25, Downstream of Concrete Channel

= 1.25, End of Dikes

C_T = Thickness Coefficient

= 1.0 for Thickness = 1.5D50

d = Local Depth of Flow

γ_w = Unit Weight of Water

V = Local Depth Average Velocity Use V_{ss} for Side Slope Riprap

k_1 = Side Slope Correction Factor

Side slope correction factor

$$K1 = \sqrt{1 - \frac{\sin \theta^2}{\sin \phi^2}} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.31}$$

เมื่อ

$K1$ = Side Slope Correction Factor

θ = Angle of Side Slope With Horizontal

ϕ = Angle of Repose of Riprap Material (Normally 35 – 40 Degree)

สำหรับความหนาของชั้นป้องกันกักตะกอนนั้น 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหินถม โดยทั่วไปควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 – 2.0 เท่า สำหรับค่า Manning Roughness Coefficient, n นั้นเป็นค่าเฉพาะของลำน้ำซึ่งหาได้ตามตารางนี้

Manning Roughness Coefficient, n	
<u>Major Rivers (Width more than 50 m.)</u>	
1. Straight, Alluvial, sand	0.020-0.040
2. Straight, gravel	0.020-0.045
3. Irregular section	0.035-0.100
<u>Minor Streams (Width less than 30m.)</u>	
1. Straight, short grass	0.025-0.035
2. Pasture, high grass	0.030-0.050
<u>Floodplains</u>	
1. Pasture, short grass	0.025-0.035
2. Winding, irregular	0.035-0.060
3. Cultivated, no crop	0.020-0.040
4. Cultivated, field crop	0.030-0.050
5. Light, scattered bush	0.035-0.070
6. Medium to dense bush	0.070-0.160
7. Trees land, stumps	0.050-0.080
8. Heavy stand trees	0.080-0.120
<u>Excavated Channel</u>	
1. Earth , recently completed	0.016-0.020
2. Earth with grass	0.018-0.033
3. Rock, smooth	0.025-0.040
4. Rock, jagged	0.035-0.050

ตาราง Manning Roughness Coefficient, nตารางที่ 2.1

การหาค่าความเร็วของกระแสน้ำ Estimation of Mean Flow Velocity by Manning's Equation (SI unit)

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.32}$$

เมื่อ

V = Mean Flow Velocity (m./s)

R = Hydraulic Radius (m.)

$$= \frac{\text{Cross Sectional Area (m}^2\text{)}}{\text{Wetted Perimeter (m.)}}$$

S = Energy Gradient

= Bed Gradient Under Uniform Flow

n = Manning's Coefficient of Roughness

การคำนวณหาค่า Hydraulic Roughness สำหรับชั้นป้องกันการกัดเซาะชนิดหินเรียง (Riprap)

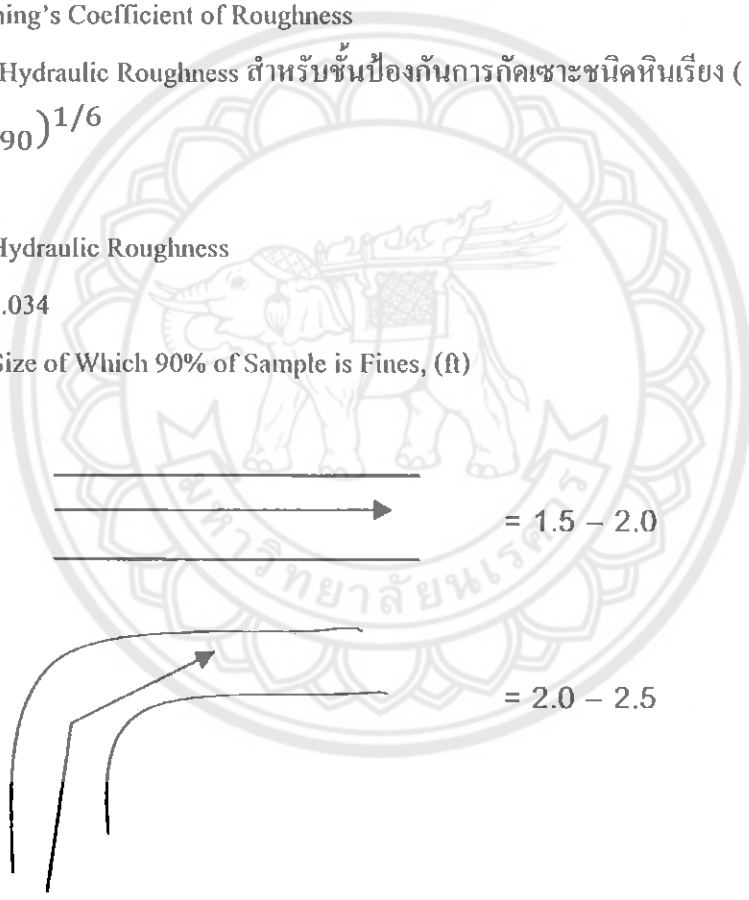
$$n = k(D_{90})^{1/6}$$

โดย

n = Hydraulic Roughness

K = 0.034

D₉₀ = Size of Which 90% of Sample is Fines, (ม)



รูปที่ 2.35 D_{max}=Maximum scoure depth (m)

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

2.2.2 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดตอกเข็ม (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

เหมาะสำหรับน้ำที่แคบและมีความชันสูง เพราะสามารถเลือกใช้เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้งได้
-แรงที่กระทำกับเขื่อนป้องกันตลิ่ง

การก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้ง เป็นการขัดต่อธรรมชาติ ดังนั้นเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดนี้จึงต้องต้านทานแรงกระทำที่สูงกว่าเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดอื่น ดังนั้นค่าก่อสร้างจึงแพงกว่าเขื่อนชนิดอื่น โดยมีแรงที่กระทำต่อเขื่อนดังนี้

- แรงดันดินด้านข้าง เป็นแรงกระทำในแนวราบ ประกอบด้วย แรงดันดิน เชิงรุก (Active Earth Pressure) และแรงดันดินเชิงรับ (Passive Earth Pressure)

- แรงดันเนื่องจากน้ำ เป็นได้ทั้งแรงในแนวราบและแรงในแนวตั้ง
- น้ำหนักบรรทุกจรด้านหลังเขื่อน
- น้ำหนักของตัวเขื่อน
- แรงกักเซาะเนื่องจากกระแส น้ำ คลื่น และอื่น ๆ
- แรงเนื่องจากการไหลของน้ำในมวลดิน
- แรงเนื่องจากแผ่นดินไหว

2.2.2.2 แรงดันดินด้านข้าง (Lateral Earth Pressure)

$$\sigma'_h = K\sigma'_v \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.33}$$

เมื่อ σ'_h เป็นหน่วยแรงดันดินด้านข้างประสิทธิผล

σ'_v เป็นหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง

K คือ สัมประสิทธิ์แรงดันดิน หรือ Earth Pressure Coefficient

แบ่งได้ 3 กรณี

กรณีที่ 1 ดินไม่เกิดการเคลื่อนที่ในแนวราบ

กรณีที่ 2 ดินมีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้เกิดการขยายตัวในแนวราบ

กรณีที่ 3 ดินมีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้เกิดการหดตัวในแนวราบ

- การวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง

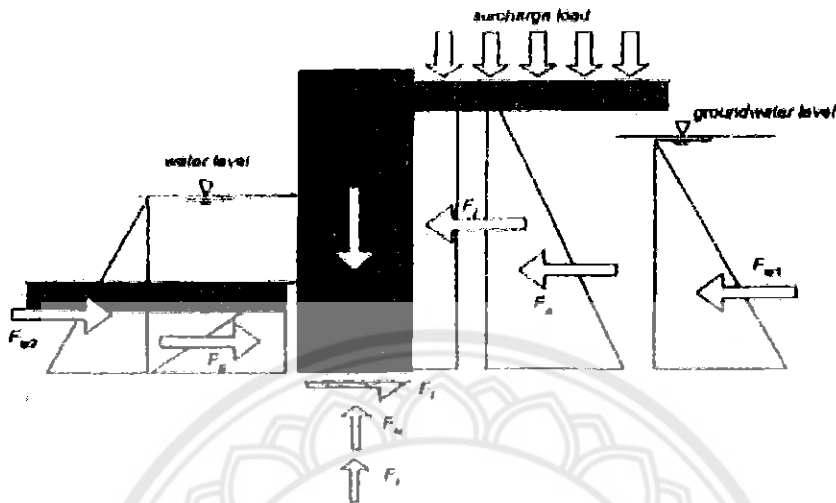
เขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้งที่นิยมมี 2 แบบคือ

ก. การวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity Wall

เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity Wall เป็นเขื่อนที่อาศัยน้ำหนักตัวเองต้านแรงดันดินด้านหลังเขื่อนวัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่มีหน่วยความหนาแน่นสูง รวมทั้งมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เช่น คอนกรีตอิฐก่อและ ก่อลงลวดตาข่ายเกเบียร์น เป็นต้น

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันมากในการก่อสร้างเขื่อนประเภทนี้ แต่กรณีการก่อคอนกรีตกับที่อาจลำบาก เช่น การก่อสร้างได้น้ำ ซึ่งอาจต้องทำ Coffier Dam แล้วสูบน้ำออก ทำให้ราคาก่อสร้างสูง แต่การ

ก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตสำเร็จรูปหรือ หิน อิฐก่อ เป็นวัสดุที่รับแรงดึง ได้ต่ำ การออกแบบควรคำนึงไม่ให้เกิดหน่วยแรงดึงขึ้นในตัวเขื่อน โดยมีหน่วยแรงดึงที่กระทำต่อเขื่อนดังรูป

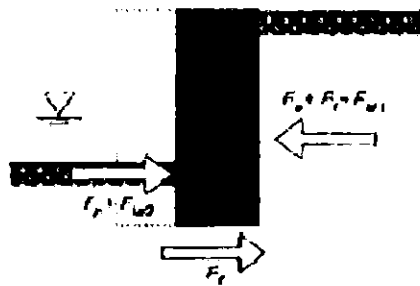


รูปที่ 2.36 ภาพแสดงแรงและน้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำกับตัวเขื่อน
(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

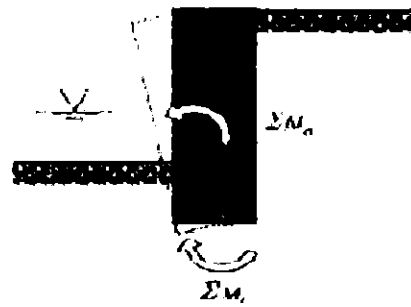
แรงที่กระทำกับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ gravity wall	
น้ำหนักของตัวเขื่อน	W
แรงดันเชิงรับด้านหลังเขื่อน	F_a
แรงดันเชิงรับด้านหน้าเขื่อน	F_p
น้ำหนักของตัวเขื่อน	F
แรงดันเชิงรับด้านหน้าเขื่อน	F_{w1}
แรงดันเชิงรับด้านหน้าเขื่อน	F_{w2}
น้ำหนักของตัวเขื่อน	F_u
แรงดันเชิงรับด้านหน้าเขื่อน	F_r
แรงดันเชิงรับด้านหน้าเขื่อน	F_r

ตารางสัญลักษณ์แรงกระทำกับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity Wallตารางที่ 2.2

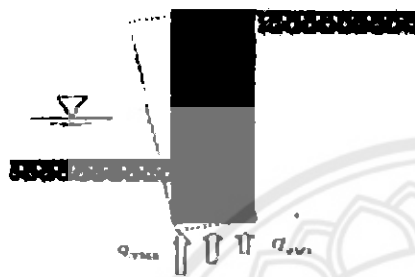
(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)



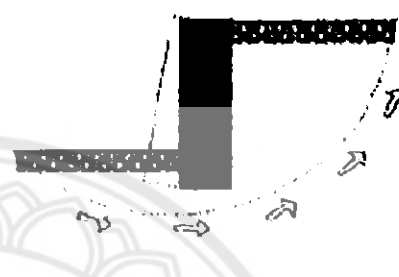
(ก.1) การเลื่อนตัว



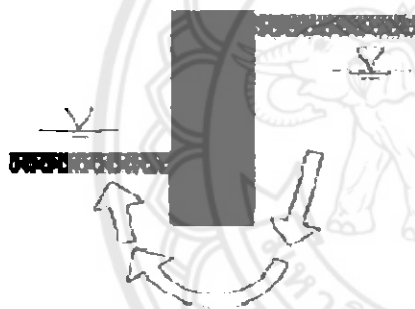
(ก.2) การพลิกคว่ำ



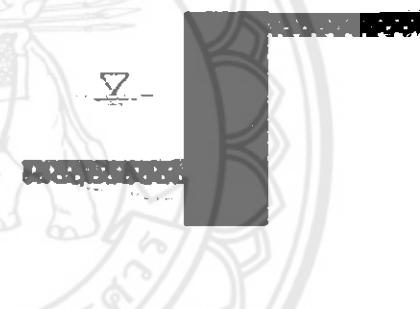
(ก.3) การรับแรงแบกทาน



(ก.4) การเลื่อนหมุน



(ก.5) การกัดเซาะในมวลดิน



(ก.6) การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ

รูปที่ 2.37 แสดงการวิบัติสำหรับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity Wall

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

รูปแบบการพังของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Gravity Wall แบ่งออกเป็น (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

ก.1 การเลื่อนตัว (Sliding)

การวิบัติในลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อผลรวมของแรงในแนวราบที่กระทำด้านหลังเขื่อนสูงกว่าแรงต้านทานของตัวเขื่อน ความปลอดภัยต่อการวิบัติลักษณะนี้สามารถตรวจสอบได้จากอัตราส่วนแรงต้านทานต่อแรงผลักในแนวราบ ซึ่งโดยทั่วไปอัตราส่วนนี้ควรมีค่ามากกว่า 1.5 สำหรับการเพิ่มความต้านทานต่อการเลื่อนตัวสามารถทำได้โดยใช้ Shear Key หรือ Share Key หรือ Cut-off Wall

ก.2 การพลิกคว่ำ (Overturning)

นี้เกิดขึ้นเมื่อ โมเมนต์พลิกคว่ำมีค่าสูงกว่า โมเมนต์ต้านทาน ซึ่งอาจเกิดขึ้นหลังจากที่น้ำในแม่น้ำมีการลดระดับลงอย่างกะทันหัน ค่าความปลอดภัยควรมีค่า $> 1.5 - 2.0$

ก.3 การรับแรงแบกทานของดินฐานราก (Bearing)

เกิดขึ้นเมื่อความสามารถในการรับแรงแบกทานของดินมีน้อยกว่าแรงดันที่กระทำกับดินฐานราก ค่าความปลอดภัยควรมีค่า > 3 การแก้ไขคือ ขยายฐานราก หรือ เพิ่มเสาเข็ม

ก.4 การเลื่อนหมุน (Rotational slip)

การวิบัติในลักษณะนี้จะเกิดเมื่อมีการลดระดับน้ำในแม่น้ำลงอย่างกระทันหัน หรือมีชั้นดินอ่อนอยู่ใต้ฐานราก การตรวจสอบกระทำได้โดยใช้วิธีการคำนวณเสถียรภาพของความลาดชันเดียวกับเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดลาดเอียง

ก.5 การกัดเซาะในมวลดินที่มีลาดระดับน้ำหรือไฮโดรลิกเกรเดียนสูง

ทำให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดินกัดเซาะเม็ดดินออกเป็น โพรง การแก้ไขสามารถกระทำได้โดยลดระดับน้ำดังกล่าวลง ซึ่งอาจใช้วิธีการเพิ่มระยะของการซึมผ่าน โดยการเพิ่มระยะในแนวตั้งเช่นการใช้กำแพง Cut-off หรือการเพิ่มระยะในแนวราบ เช่น การใช้ Apron ก็ได้ การตรวจสอบความปลอดภัยประเภทนี้สามารถตรวจสอบได้จากทฤษฎี Weighted-Creep ของ Land สำหรับดินฐานรากในแต่ละประเภท

ก.6 การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour)

เป็นการกัดเซาะบริเวณหน้าเขื่อน การกัดเซาะนี้จะทำให้ตัวเขื่อนต้องรับน้ำหนักมากขึ้น อันอาจนำไปสู่การวิบัติรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเลื่อนตัว การพลิกคว่ำ การกัดเซาะ บริเวณท้องน้ำนี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้ กำแพง Cut-off หรือ Apron

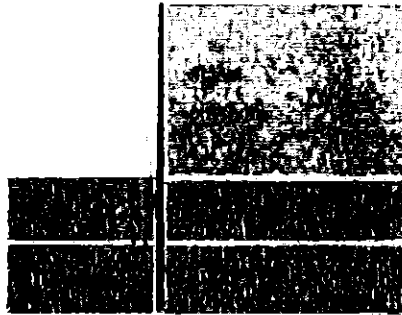
ข. การวิเคราะห์และออกแบบ เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Sheet-Piling Wall

ข.1 การวิเคราะห์เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Cantilever Wall

พิจารณาเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Cantilever Wall ที่ฝังอยู่ในดินเดิมและมีดินถมด้านหลัง ดังแสดงในรูป ผลของดินถมด้านหลังเขื่อนทำให้ส่วนบนเกิดการเบนตัวออกไปทางด้านหน้าเขื่อนและส่วนล่างเกิดการเอียงตัวเข้า จุดหมุนเกิดขึ้นในระดับที่ตัวเขื่อนไม่มีการเคลื่อนที่ (จุด O) ถ้าแบ่งพื้นที่ตามลักษณะการเกิดแรงสามารถแบ่งได้เป็น 3 พื้นที่ดังนี้คือ พื้นที่ A เป็นพื้นที่ที่เกิดแรงดันดินเชิงรุกจากดินถมด้านหลังเขื่อน พื้นที่ B เป็นบริเวณที่เกิดทั้งแรงดันดินเชิงรุก (ด้านหลังเขื่อน) และแรงดันดินเชิงรับ (ด้านหน้าเขื่อน) และพื้นที่ C ซึ่งอยู่ใต้จุดหมุนแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงในพื้นที่ B

ด้านหน้าเขื่อน

ด้านหลังเขื่อน



รูปที่ 2.38 แสดงการกระจายของแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Cantilever Wall

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

การกระจายของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นสำหรับเขื่อนที่ฝังอยู่ในดินที่เป็นดินทรายสามารถแสดงได้ด้วยรูป (ก) และฝังอยู่ในดินเดิมที่เป็นดินเหนียวด้วยรูป (ข)



รูป(ก) ดินฐานรากเป็นดินทราย

รูป (ข) ดินฐานรากเป็นดินเหนียว

รูปที่ 2.39 การกระจายของแรงดันดินของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Cantilever Wall ที่มีดินฐานรากเป็นดิน

ทรายสามารถแสดงได้ตามรูป(ก)และฝังอยู่ในดินเดิมที่เป็นดินเหนียวด้วยรูป (ข)

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

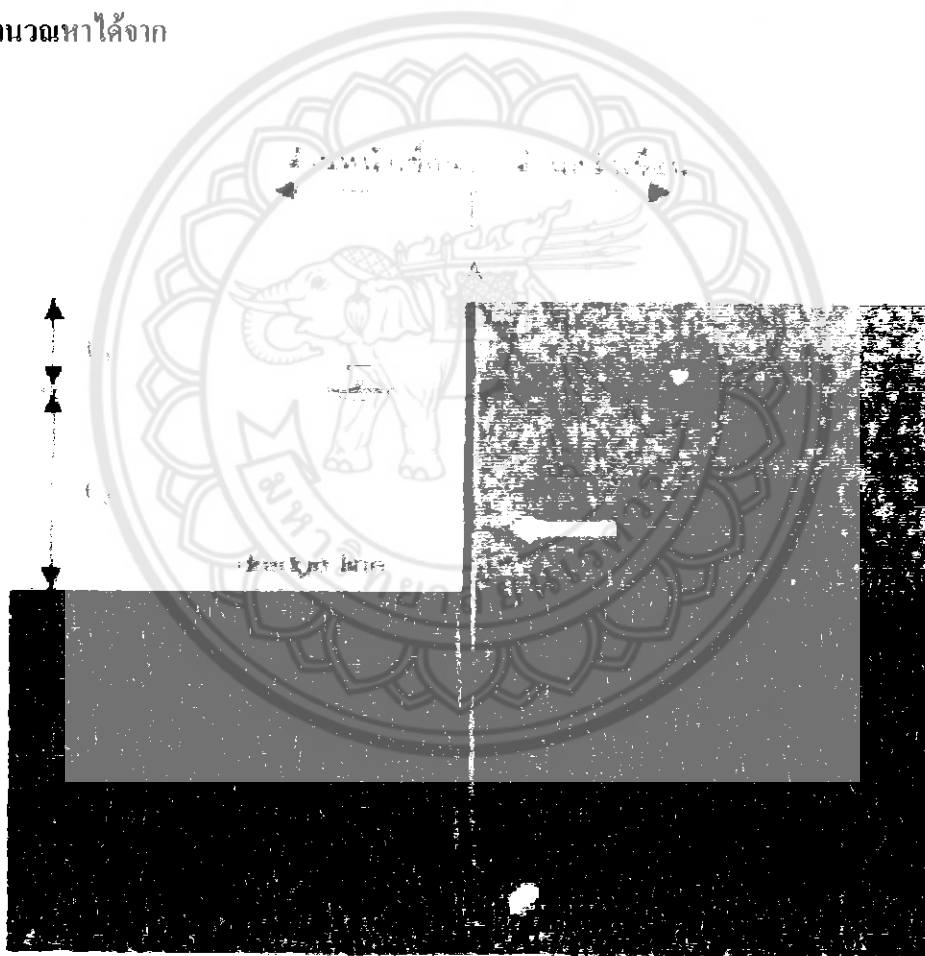
-เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Cantilever Wall ที่ฝังลงในชั้นดินเดิมหรือดินฐานรากที่เป็นดินทราย
พิจารณาเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Cantilever Wall ที่ฝังลงในชั้นดินเดิม หรือ ดินฐานรากที่เป็นทราย

สมมุติให้ดินเดิมและทรายถมเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน กล่าวคือ มีหน่วยความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับสันเขื่อนเป็นระยะเท่ากับ L_1 หน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่า ส่วนของดินที่อยู่เหนือ Dredge Line หน่วยแรงดันดินด้านหลังเขื่อนเป็นหน่วยแรงดันดินเชิงรุกซึ่งหน่วยแรงดันดินดังกล่าว อันได้แก่ หน่วยแรงดันดิน a และ b และสามารถหาได้จาก

$$a = k_a \gamma L_1 \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.34}$$

$$b = k_a (\gamma L_1 + \gamma L'_2) \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.35}$$

ส่วนดินที่อยู่ใต้ Dredge Line แต่อยู่เหนือจุดหมุน หน่วยแรงดันดินเชิงรุก และหน่วยแรงดันดินด้านหน้าเขื่อนเป็นหน่วยแรงดันดินรับ ซึ่งหน่วยแรงดันดินทั้งสองที่ความลึก z ใด ๆ จากการ Dredge Line สามารถคำนวณหาได้จาก



รูป 2.40 หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Cantilever Wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินทราย (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันคลื่น : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

$$\sigma_a(z) = k_a (\gamma L_1 + \gamma L_2 + \gamma' z) = b + k_a \gamma' z \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.36}$$

$$\sigma_p = k_a \gamma' z \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.37}$$

เมื่อ $\sigma_a(z)$ และ $\sigma_p(z)$ เป็นหน่วยแรงดันเชิงรุกและหน่วยแรงดันเชิงรับที่ความลึก z ใด ๆ จาก dredge line ดังนั้นหน่วยแรงดันดินด้านข้างสุทธิที่อยู่ระหว่าง Dredge Lind และจุดหมุนสามารถคำนวณได้จากผลต่างของหน่วยแรงดันดิน $\sigma_a(z)$ และ $\sigma_p(z)$ หรือ

$$\sigma(z) = \sigma_a(z) - \sigma_p(z) = b - (K_p - K_a)\gamma'z \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.38}$$

สำหรับความลึกที่หน่วยแรงดันดินมีค่าเท่ากับศูนย์ (Zero Pressure) หรือ ระยะ L_3 ได้ Dredge Line สามารถคำนวณได้จากการแทนค่าหน่วยแรงดันของค่าสุทธิในสมการ เท่ากับศูนย์ และความลึก z เท่ากับ L_3 หรือ ได้ Dredge Line สามารถคำนวณหาได้จากการแทนค่าหน่วยแรงดันสุทธิในสมการ เท่ากับศูนย์ และความลึก z เท่ากับ L_3 หรือ

$$\sigma(L_3) = \sigma_p(L_3) - \sigma_a(L_3) = 0 \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.39}$$

หรือ $b - (K_p - K_a) \gamma' L_3 = 0 \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.40}$

จะได้ $L_3 = b / [\gamma' (K_p - K_a)] \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.41}$

จากรูปและสมการ จะสังเกตได้ว่า การกระจายหน่วยแรงดันดินสุทธิ DEF มีความลาดเอียงเท่ากับ

$$\gamma' (K_p - K_a) \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.42}$$

ดังนั้นหน่วยแรงดันดิน C ที่ปลายเข็มด้านหน้าเข็มสามารถคำนวณหาได้จาก

$$C = \gamma' (K_p - K_a) \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.43}$$

สำหรับดินที่อยู่ใต้จุดหมุน หน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางตรงข้ามกับหน่วยแรงดันดินของดินในส่วนบน กล่าวคือด้านหลังเข็มจะเกิดแรงดันดินเชิงรับ และด้านหน้าเข็มจะเกิดแรงดันดินเชิงรุก ดังนั้นหน่วยแรงดันดินสุทธิที่ปลายเข็มด้านหลังเข็มมีขนาดเท่ากับ

$$\sigma(D) = d = \sigma_p(D) - \sigma_a(D) = K_p (\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma' D) - K_a \gamma' D \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.44}$$

หลังจากทราบขนาดของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นทั้งหมดแล้ว ก็สามารถคำนวณหาความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินฐานรากได้โดยอาศัยสมมูลย์ของ โมเมนต์รอบจุดใด ๆ ดังนี้

(ข.1.1) ผลรวมของแรงในแนวราบ

$$\text{พื้นที่หน่วยแรงดันดิน ACDE} - \text{พื้นที่ EFHB} + \text{พื้นที่ FHBG} = 0$$

$$\text{หรือ } P - 0.5 c L_4 + 0.5 L_5 (c + d) = 0 \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.45}$$

เมื่อ P คือ แรงลัพธ์ของพื้นที่หน่วยแรงดัน ACDE

(ข.1.2) ผลรวมของ โมเมนต์รอบปลายเข็ม (จุด B)

$$P(L_4 + \bar{Z}) - (0.5 c L_4)(L_4/3) + 0.5 L_5 (c + d)(L_5/3) = 0 \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.46}$$

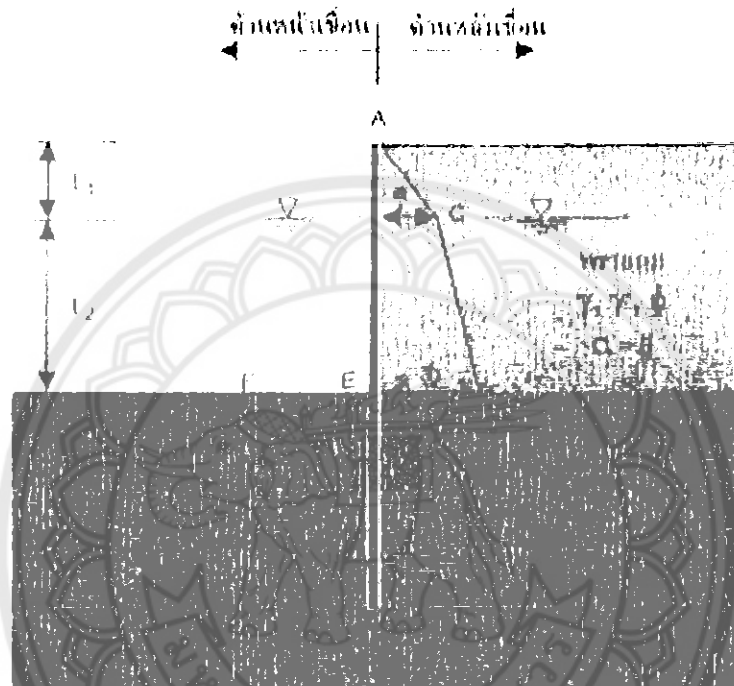
เมื่อ \bar{Z} คือ ระยะจากจุด E ถึงตำแหน่งที่แรงลัพธ์ P กระทำ

จากสมมูลย์ในสมการ สามารถแก้สมการเพื่อหาความยาว L_4 และ L_5 หลังจากนั้นความลึกของเข็มฝังที่ฝังในดินฐานรากหรือ D สามารถหาได้จาก

$$D = L_3 + L_4$$

การกำหนดความปลอดภัยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ เพิ่มความลึก D อีกประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 หรือลดค่า K_p ที่ใช้ในการคำนวณลงประมาณร้อยละ 40 ถึง 50

• เชื้อนป้องกันคลังแบบ Cantilever Wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียวพิจารณาเชื้อนคลังแบบ Cantilever wall เช่นเดียวกับกรณี (1) แต่ดินฐานรากในที่นี้เป็นดินเหนียวที่มีความเชื่อมั่นแน่น เท่ากับ C การกระจายของแรงดันดินสามารถแสดงได้ด้วยรูป



รูป 2.41 หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเชื้อนแบบ Cantilever Wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียว (อ้างอิงการออกแบบเชื้อนป้องกันคลัง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

หน่วยแรงดัน a และ b สามารถคำนวณหาได้เช่นเดียวกับกรณี สำหรับดินที่อยู่ใต้ Dredgeline แต่อยู่เหนือจุดหมุน ด้านหลังเชื้อนจะเกิดแรงดันดินเชิงรุก และด้านหน้าเชื้อนเกิดแรงดันดินเชิงรับ ซึ่งหน่วยแรงดันดินดังกล่าวที่ความลึกใดๆ จาก Dredge Line สามารถคำนวณได้จาก

$$\sigma_a(z) = K_a (\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma_{sat} z) - 2C\sqrt{K_a} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.47}$$

$$\text{และ } \sigma_p(z) = K_p (\gamma_{sat} z + 2C\sqrt{K_p}) \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.48}$$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินเชิงรุกและเชิงรับสำหรับดินเหนียวที่ไม่มีค่ามุมเสียดทานภายในจะมีขนาดเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นหน่วยแรงดันดินด้านข้างสุทธิที่อยู่ระหว่าง Dredge Line และจุดหมุน สามารถคำนวณได้จากผลต่างของสมการ และให้ค่า K_a และ K_p เท่ากับหนึ่ง จะได้

$$\sigma(z) = \sigma_p(z) - \sigma_a(z) = 4C - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.49}$$

สำหรับดินที่อยู่ใต้จุดหมุน หน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะตรงข้ามกับหน่วยแรงดันดินของดินที่อยู่เหนือจุดหมุนดังนั้นหน่วยแรงดันดินสุทธิที่ปลายเข็มจะมีขนาดเท่ากับ

$$\sigma(D) = d = \sigma_p(D) - \sigma_a(D) = 4C + (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.50}$$

หลังจากทราบขนาดของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นทั้งหมดแล้ว สามารถคำนวณหาความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินฐานรากได้เช่นเดียวกับกรณี (1) คือ อาศัยสมมูลย์ของแรงตามแนวราบและสมมูลย์ของโมเมนต์รอบจุดใด ๆ

ข.2 การวิเคราะห์เขื่อนป้องกันคลื่นแบบ Anchored Wall

วิธีการวิเคราะห์เขื่อนประเภท anchored wall ที่นิยมใช้ได้แก่วิธี Free Earth Support และวิธี Fixed Earth Support ซึ่งวิธี Free Earth Support เปรียบเสมือน โครงสร้างเป็นคานอย่างง่าย (Simply Supported - Beam) โดยปลายด้านที่ทำการยึดสายสมอและดินที่ปลายล่างของกำแพง เปรียบเสมือนเป็นจุดรองรับแบบยึดหมุน ส่วนวิธี Fixed Earth Support เปรียบเสมือนเป็น Propped Cantilever คือ ปลายด้านที่ทำการยึดสายสมอเปรียบเสมือนเป็นจุดรองรับแบบยึดหมุน ส่วนอีกด้านเป็นปลายแบบยึดแน่นที่ฝังลงในดิน การวิเคราะห์โดยวิธี Free Earth Support เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายกว่า ดังนั้น ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการวิเคราะห์โดยวิธีนี้เท่านั้น

$$L_3 = b / [\gamma' (K_p - K_a)] \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.51}$$

ที่ปลายเสาเข็มด้านล่าง (ความลึก z = D) หน่วยแรงดันสุทธิที่เกิดขึ้นมีขนาดเท่ากับ

$$C = \gamma' (K_p - K_a) L \dots\dots\dots\text{สมการที่ 2.52}$$



รูป 2.42 หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Anchored Wall
(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันคลื่น : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

หลังจากทราบขนาดของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นทั้งหมดแล้ว ความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินฐานรากและแรงดึงที่เกิดขึ้นในสายสมอ (แรง F) สามารถหาได้จากสมมูลย์ของแรงในแนวราบและสมมูลย์ของโมเมนต์รอบจุดใด ๆ

(ข.2.1) สมดุลย์ของแรงในแนวราบ

$$P - \frac{1}{2}CL_4 - F = 0$$

$$\text{หรือ } P - \frac{1}{2}CL_4 - F = 0$$

$$\text{หรือ } P - \frac{1}{2}[\gamma' (K_p + K_s)] L_4^2 - F = 0$$

เมื่อ P คือ แรงลัพธ์ของพื้นที่หน่วยแรงดันดิน ACDE

(ข.2.2) สมดุลย์ของของ โมเมนต์ที่ระดับสายสมอ

$$-P(L_1 + L_2 + L_3) - (Z + t) + \frac{1}{2}[\gamma' (K_p + K_s)] L_4^2 (L_1 + L_2 + L_3 - t + \frac{2}{3} L_4) = 0$$

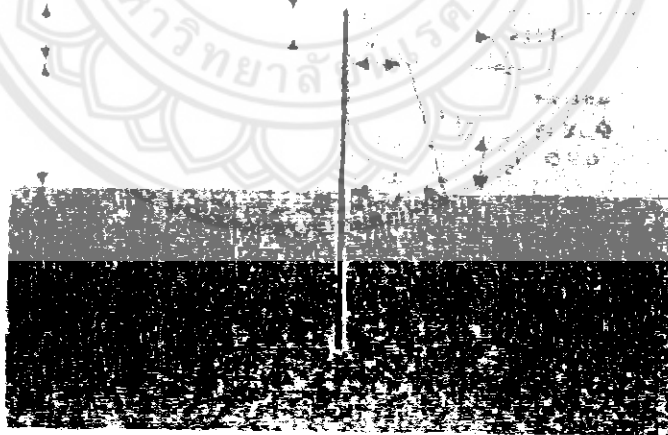
เงื่อนไขป้องกันตลิ่งแบบ Anchored Wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียวรากในที่พิจารณาเงื่อนไขป้องกันตลิ่งแบบ Anchored Wall เช่นเดียวกับกรณี (ข.2.1) แต่ดินฐานราก ในที่นี้เป็นดินเหนียวที่มีความเชื่อมแน่นเท่ากับ C การกระจายของหน่วยแรงดันดินสามารถแสดงได้ด้วยรูป หน่วยแรงดันดินที่อยู่เหนือ Dredge Line จะเหมือนกับกรณี (ข.2.1) ต่างกันที่หน่วยแรงดันนี้มีขนาดเท่ากับ

$$C = 4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.53}$$

จากสมดุลย์ของแรงในแนวราบ จะได้

$$P_1 - CD - F = 0 \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.54}$$

เมื่อ P1 คือ แรงลัพธ์ของพื้นที่หน่วยแรงดันดิน ACDE



รูปที่ 2.43 หน่วยแรงดินที่กระทำกับเขื่อนแบบ Anchored wall ที่ฝังในดินฐานรากที่เป็นดินเหนียว

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

จากสมดุลย์ของของ โมเมนต์ที่ระดับสายสมอ จะได้

$$-P(L_1 + L_2 + L_3) - (Z + t) - CD(L_1 + L_2 + t + D/2) = 0$$

เช่นเดียวกับกรณี Anchored Wall ที่ฝังในชั้นดินเดิมที่เป็นดินทราย ความยาวของเข็มพืดและแรงดึงที่เกิดขึ้นในสายสมอสามารถหาได้จากสมดุลย์ของแรงในแนวราบและสมดุลย์ของ โมเมนต์รอบจุด B

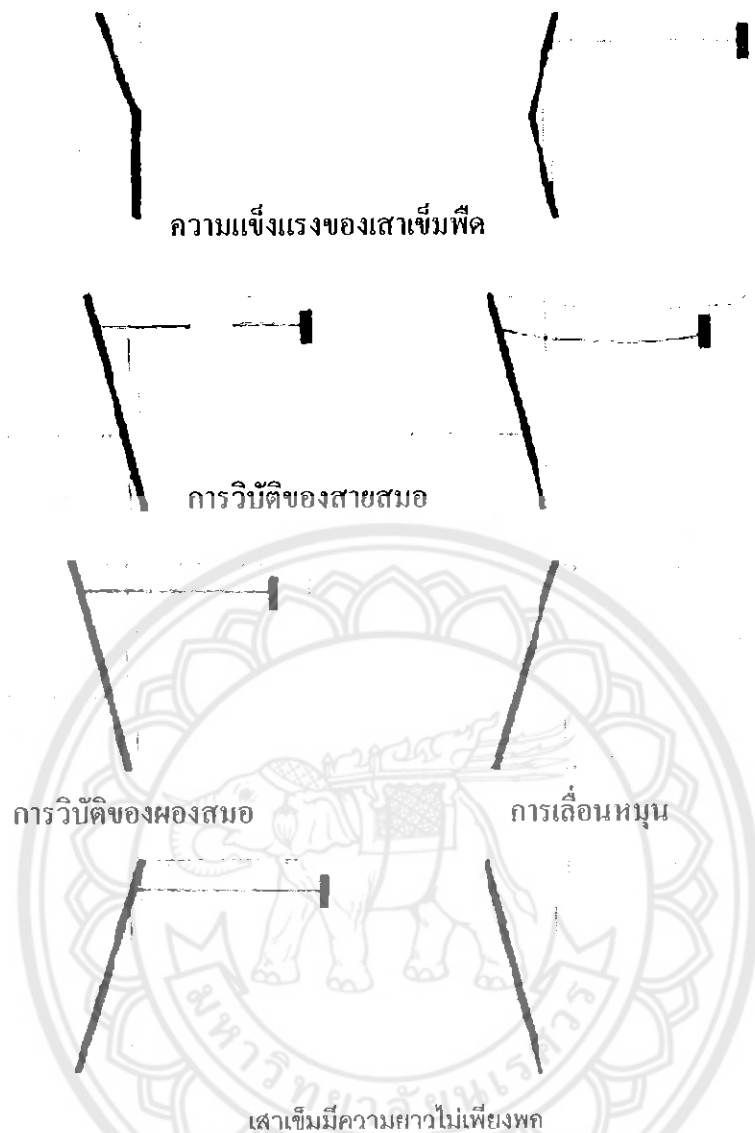
การวิบัติของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Sheet-Piling Wallสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

1. การวิบัติเนื่องจากความแข็งแรงของเสาเข็มพีล (Failure of Sheet Pile) เกิดขึ้นเมื่อเสาเข็มพีลที่ออกแบบไว้ไม่แข็งแรงเพียงพอในการต้านทานแรงที่เกิดขึ้น
 2. การวิบัติของสายสมอ (Failure of Tie Rod) เกิดขึ้นเนื่องจากสายสมอไม่สามารถรับแรงดึงที่เกิดขึ้นได้ หรือเนื่องมาจากการทรุดตัวของดินด้านหลังเขื่อน อันทำให้สายสมอหย่อนหรือขาด
 3. การวิบัติของแผงสมอ (Failure of Anchorage) เกิดขึ้นเนื่องจากแผงสมอไม่สามารถต้านแรงดึงจากสายสมอได้
 4. การวิบัติเนื่องจากเสาเข็มมีความยาวไม่เพียงพอ (Insufficient Length of Sheet Pile) การที่เสาเข็มมีความยาวไม่เพียงพอทำให้ แรงดันดินด้านหน้าไม่เพียงพอที่จะต้านแรงดันดินด้านหลังเขื่อนได้
 5. การเลื่อนหมุน (Slope Failure) เป็นการวิบัติในลักษณะเดียวกับการวิบัติเนื่องจากการขาดเสถียรภาพของความลาดของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบลาดเอียง
- ค. การออกแบบส่วนประกอบอื่น ๆ

การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งชนิดแนวตั้งต้องพิจารณาถึงส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น สายสมอ แผงสมอ และ ระบบระบายน้ำ เป็นต้น

ค.1 สายสมอ (Tie Rod)

สายสมอเป็นชิ้นส่วนที่ต้องสัมผัสกับดินและน้ำ จึงควรทำการป้องกันสายสมอไม่ให้เกิดการกัดกร่อนหรือเป็นสนิม การป้องกันอาจทำได้โดยเคลือบผิวด้วยสารประกอบ Asphaltic



รูปที่ 2.44 แสดงการวิบัติสำหรับเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Sheet - piling wall
(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

ก.2 แผงสมอ (Anchorage)

ในการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบ Anchored Sheet Piling จะต้องมีการคำนวณแรงดึงที่เกิดขึ้นใน tie rod ซึ่งแรงดึงนี้จะถูกถ่ายไปยัง Anchorage รูปแบบของ Anchorage มีอยู่หลายรูปแบบ เช่น

- Anchorage Plates of Walls ได้แก่การคำนวณขนาดและความลึกที่เหมาะสมของ Plate ส่วนหน้าจะเกิดแรงดันดินแบบ Passive และ ส่วนหลังเกิดแบบ Active และมีรูปแบบการวิบัติดังรูป
- Tie Backs เป็นการนำท่อนเหล็กหรือเคเบิลสอดเข้าไปในรูที่ได้ทำการเจาะเตรียมไว้ก่อน หลังจากนั้นจึงทำการ Grout การ Grout นี้ นอกจากจะเป็นการถ่ายเทจาก Tie Rod แล้วยังช่วยป้องกันการกัดกร่อนของตัว Tie Rod อีกด้วย

ก.3 การระบายน้ำด้านหลังเขื่อน

ผลจากระดับน้ำใต้ดินและน้ำฝนอาจทำให้ดินด้านหลังเขื่อนเกิดการอื่นตัว ทำให้เกิดแรงดันด้านหลังเขื่อนเพิ่มมากขึ้น การออกแบบเพื่อลดแรงดันน้ำดังกล่าวอาจทำได้โดยใช้ท่อลดแรงดันน้ำ Weep holes ท่อดังกล่าวควรห่างกันอย่างสม่ำเสมอ บริเวณท่อลดแรงดันนี้ควรเตรียมวัสดุกรอง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำชะเอาวัสดุการออกแบบเขื่อนป้องกันคลั่ง ด้านหลังเขื่อนหลุดผ่านมาทางท่อลดแรงดันและป้องกันการอุดตันของท่อ วัสดุกรองด้านหลังเขื่อนนี้สามารถใช้ได้ทั้งกรวดละเอียดและแผ่นใยสังเคราะห์ แต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้วัสดุกรองประเภทหลังเนื่องจากทำการก่อสร้างได้สะดวกกว่าโดยเฉพาะการก่อสร้างชั้นวัสดุกรองที่อยู่ในแนวค้ำ

ก.4 วัสดุถมหลังเขื่อน

วัสดุถมหลังเขื่อน โดยทั่วไปจะเป็นดินทรายหรือ Granular Soil เนื่องจากคุณสมบัติด้านการระบายน้ำและเป็นวัสดุที่ง่ายต่อการบดอัด ตัวอย่างของวัสดุถมที่ดีได้แก่ ทรายที่ผสมคอนกรีต

ก.5 โครงสร้างป้องกันการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ Toe Protection แบ่งออกได้ 2 ประเภท

1. กำแพงทึบน้ำ (Cut-off Wall) เป็นการต่อหรือขยายโครงสร้างลงไปให้ลึกกว่าความลึกที่เกิดการกัดเซาะ การใช้กำแพงทึบน้ำนั้นนอกจากเป็นโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะแล้วยังเพิ่มระยะของการซึมผ่าน ทำให้เพิ่มความสามารถในการกัดเซาะเนื่องจาก Seepage ได้ ความยาวของกำแพงทึบน้ำไม่ควรน้อยกว่า 1.5 เท่าของความลึก Scour Depth หรือชั้นดินแข็ง (ความลึก Scour Depth นี้คำนวณได้จากคุณสมบัติของวัสดุท้องน้ำ รูปแบบและการไหลของการระแสน้ำ)

2. แฉกป้องกันการกัดเซาะด้านหน้าเขื่อน (Armour Skirt หรือ Apron) โครงสร้างส่วนนี้มีคุณสมบัติอ่อนตัวสามารถปรับตัวให้เข้ากับท้องน้ำบริเวณที่มีการกัดเซาะได้ ความยาวของ Armour Skirt ขึ้นอยู่กับความลึก Scour Depth และความลาดเอียงของโครงสร้างป้องกันคลั่ง

2.3 การประมาณราคา (อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549)

2.3.1 วิธีการประมาณราคา

มีขั้นตอนการประมาณราคา ดังนี้

1. ถอดแบบ
2. กำหนดงาน ปริมาณงาน
3. กำหนดราคาวัสดุ
4. หาค่าแรงงาน
5. กำหนดราคาต้นทุน
6. แบ่งงวดงาน54

2.3.2 ตัวแปรที่มีผลต่อราคาค่าก่อสร้าง

(1) ชนิดของเขื่อน

(2) สภาพชั้นดิน เช่น ดินอ่อน ทำให้โครงสร้างของเขื่อนต้องออกแบบเป็นพิเศษเป็นผลให้ค่า

ก่อสร้างสูง

(3) สภาพตลิ่ง ตลิ่งที่มีการถมของวัสดุทรายถมสูงก็เป็นผลให้ค่าก่อสร้างเพิ่มสูงตาม

(4) แหล่งหินใหญ่ ทรายถม กล่าวคือหากแหล่งวัสดุอยู่ห่างไกลจากพื้นที่ก่อสร้างมากก็จะมีราคา

เพิ่มสูงตาม

(5) ค่าแรงงาน ค่าแรงงานจะขึ้นอยู่กับสภาพเศรษฐกิจของแต่ละท้องถิ่น

2.3.3 หลักเกณฑ์การถอดแบบหาปริมาณวัสดุของงานเขื่อนป้องกันตลิ่ง

โดยมีเกณฑ์การเผื่อวัสดุต่างๆ ในงานแต่ละประเภทไว้ดังนี้

-งานคอนกรีต

ก. คอนกรีตผสมเสร็จเผื่อ 5%

ข. คอนกรีตหล่อในที่เผื่อ 5%

สำหรับคอนกรีตหยาบ (1:3:5)

- ปูนซีเมนต์ Type I 252 กก.

- ทรายหยาบ 0.62 ลบ.ม.

- หิน 1-2 0.97 ลบ.ม

สำหรับ คอนกรีต โครงสร้าง (1:2:4:)

- ปูนซีเมนต์ Type I 336 กก.

- ทรายหยาบ 0.54 ลบ.ม.

- หิน 1-2 1.3 ลบ.ม.

-งานเหล็กเสริม

- (1) ขนาด Ø 6 มม เพื่อ 5%
- (2) ขนาด Ø 9 มม เพื่อ 7%
- (3) ขนาด Ø 12 มม เพื่อ 9%
- (4) ขนาด Ø 16 มม. เพื่อ 11%
- (5) ขนาด Ø 19 มม. เพื่อ 13%
- (6) ขนาด Ø 20 มม. เพื่อ 13%
- (7) ขนาด Ø 25 มม. เพื่อ 15%
- (8) ขนาด Ø 28 มม. เพื่อ 15%

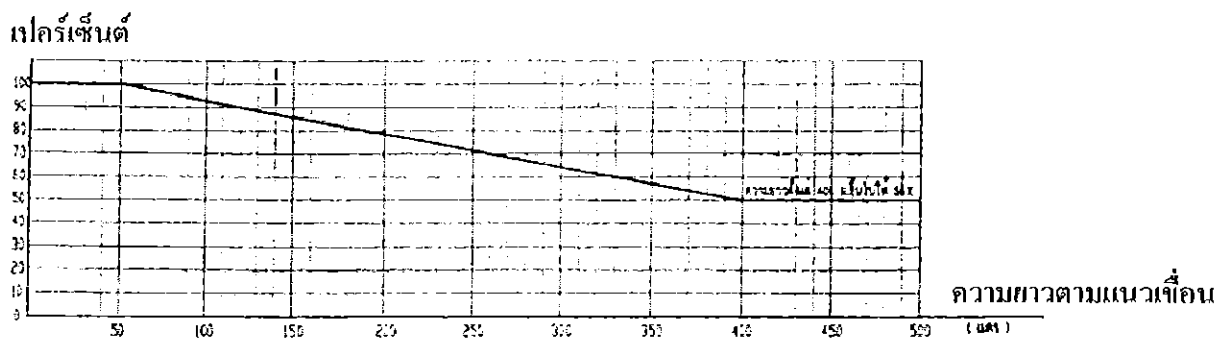
- สำหรับการลวดผูกเหล็กใช้ 20 กก./เหล็ก 1 เมตรกตัน

-งานหินใหญ่ ถมทราย ถมดิน

- (1) หินใหญ่ ตึ้นเขื่อน (คืนทั่วไป) เพื่อ 20%
- (2) หินใหญ่บีด (หัว-ท้าย) เขื่อน เพื่อ 20%
- (3) หินใหญ่หน้าเขื่อน (เรียงหิน) เพื่อ 15%
- (4) หินคละรองใต้พื้นหินใหญ่ เพื่อ 15%
- (5) กรวดคละรองใต้พื้นหินใหญ่-หลังแฉง เพื่อ 15%
- (6) หินใหญ่ในกล่องแกเบียน-เมทเทรส เพื่อ 15%
- (7) เรียงหินใหญ่บันได เพื่อ 15%
- (8) ถมทราย เพื่อ 20%
- (9) ถมดิน เพื่อ 20%

-งานไม้แบบ ให้ใช้ดังนี้

- (1) ค่าแรงไม้แบบ คิดให้ 50% ของปริมาณค่าแรงไม้แบบ
- (2) ไม้แบบ หนา 1" เนื้อที่ 1 ตร.ม. ใช้ไม้ปริมาตรประมาณ 1 ลบ.ฟ.
(คิดให้ 15% ของค่าแรงไม้แบบ)
- (3) ไม้เคร่ายึดไม้แบบ คิด 15% ของปริมาณไม้แบบ
- (4) ไม้ค้ำยันไม้แบบ
- ไม้ค้ำยันท้องคาน ประเภทคาน คิด 1 ต้น/ความยาว 1 ม.
- ไม้ค้ำยันท้องพื้นและงานประเภทพื้น คิด 1 ต้น/ตร.ม.
- (5) ตะปูยึดไม้แบบ คิด 0.20 กก./ไม้แบบ 1 ตร.ม.



รูปที่ 2.45 กราฟแสดง เปอร์เซ็นต์งานนึ่งร้านดอกเส้าเข็ม/ความยาวตามแนวเขื่อน
(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

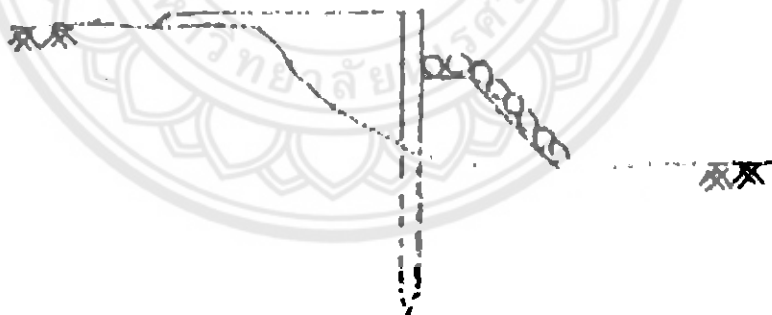
2.3.4 การถอดแบบคำนวณปริมาณงานเขื่อนป้องกันตลิ่ง

- งานคอนกรีตเสริมเหล็ก -

(1) นึ่งร้านดอกเส้าเข็ม (ตร.ม.) ให้พิจารณาการคิดปริมาณงานนึ่งร้าน ตามกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์งานนึ่งร้านดอกเส้าเข็ม/ความยาวแนวเขื่อน

แบบเข็มเดี่ยว

- คิดพื้นที่นึ่งร้าน กว้าง 4.00 ม. X ความยาวตามแนวเขื่อน

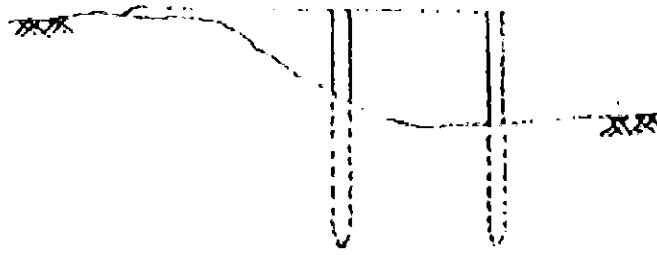


รูปที่ 2.46 รูปแบบเข็มเดี่ยว

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

แบบไต้

- คิดพื้นที่ตามความกว้างของไต้ x ความยาวตามแนวเขื่อน (ถ้าความกว้างน้อยกว่า 4.00 ม. ให้คิด 4.00 ม.)



รูปที่ 2.47 รูปแบบโตะ

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

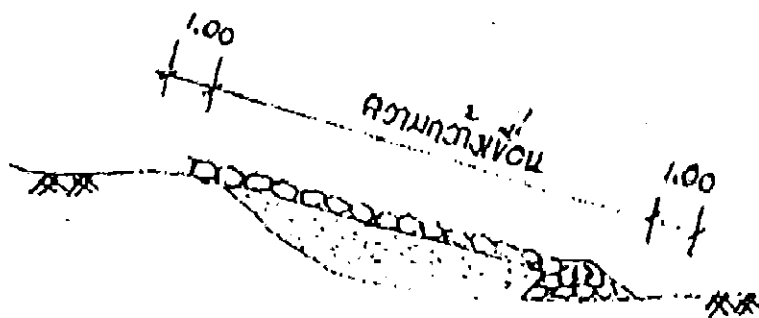
- (2) เสาเข็ม (ต้น)
- (3) สกัดหัวเสาเข็ม (ต้น)
- (4) แผงกันดิน (แผง)
- (5) คาน ค.ส.ล. ยึดหัวเสาเข็ม (เมตร)
- (6) แผงสมอ ค.ส.ล. (เมตร)
- (7) สายสมอพร้อมเกลียวเร่ง (ชุด)
- (8) รางระบายน้ำ ค.ส.ล. พร้อมฝาปิดสันเขื่อน (เมตร)
- (9) บ่อพัก ค.ส.ล. พร้อมท่อ (แห่ง)
- (10) บันได ค.ส.ล. (แห่ง)
- (11) รางระบายน้ำ ค.ส.ล. หน้าเขื่อน (แห่ง)
- (12) คันทัน ค.ส.ล. (เมตร)

- รายการที่ 2-12 ให้นำจำนวนตามแบบ

- งานหินเรียง

- (1) ปรับพื้นที่ (ตร.ม.)

- คัด (ความกว้างของเขื่อน + 2) x ความยาวตามแนวเขื่อน



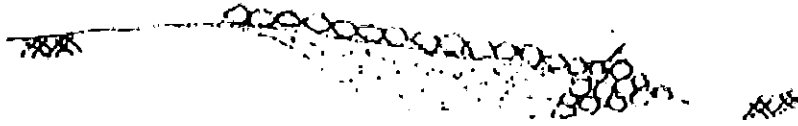
รูปที่ 2.48 รูปปรับพื้นที่

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

(2) ทิ้งหินใหญ่ดินเขื่อน (ลบ.ม.)

- คิดพื้นที่ทิ้งหินใหญ่ดินเขื่อน x ความยาวตามแนวเขื่อน (คิดทุกรูปตัด)

พื้นที่หน้าตัดทิ้งหินใหญ่



รูปที่ 2.49 รูปทิ้งหินใหญ่ดินเขื่อน

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

(3) ก่อล่องลวดตาข่ายเมทเทรสดินเขื่อน (ก่อล่อง)

- นับจำนวนตามแบบหินใหญ่ในก่อล่องเมทเทรสดินเขื่อน (ลบ.ม.)

- ปริมาณหินในแต่ละก่อล่อง x จำนวนก่อล่อง

(4) ถมทรายอัดแน่น (ลบ.ม.), ขุดดินปรับระดับ

- คิดพื้นที่รวมแต่ละหน้าตัด (ม.) x ระยะห่างระหว่างหน้าตัด (ม.)

พื้นที่หน้าตัดทรายถม



รูปที่ 2.50 รูปถมทรายอัดแน่น

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

(5) ปูแผ่นใยสังเคราะห์ (ตร.ม), วัสดุกรอง

- คิดความกว้างที่ปูตามแบบ x ความยาวตามแนวเขื่อน (คิดเพื่อการซ้อนทับตามแบบ)

(6) เรียงหินใหญ่พร้อมแทรกโพรงหินเล็กหน้าเขื่อน (ลบ.ม.)

- คิดความกว้างตามแนวเขื่อน x ความหนา x ความยาวตามแนวเขื่อน

(7) กาน ค.ส.ล. รับราวกันตล (เมตร)

- ราวเหล็กกันตล (เมตร)

(8) บ่อพัก ค.ส.ล. พร้อมท่อ (แห่ง)

(9) รางระบายน้ำ ค.ส.ล. พร้อมฝาปิด (เมตร)

(10) คันหิน ค.ส.ล. (เมตร)

รายการที่(7) – (10) ให้นับจำนวนตามแบบ

(11) บันไดหินเรียงยาแนว (แห่ง)

- คิดแยกแต่ละแห่ง
- ถอดแบบหาปริมาณหินใหญ่ตามรูปแบบ
- คิดพื้นที่ยาแนวตามรูปแบบ

(12) อัดจันทร์หินเรียงยาแนว (แห่ง)

- ถอดแบบหาปริมาณหินใหญ่เฉพาะส่วนที่เป็นอัดจันทร์
- คิดพื้นที่ยาแนวตามรูปแบบ

(13) ทางเท้า (ตร.ม.)

- คิดพื้นที่ตามความกว้างของทางเท้า x ความยาวตามแนวเขื่อน

(14) ถมดินลูกรังบดอัดแน่น (ลบ.ม.)

- คิดพื้นที่รวมแต่ละหน้าตัด (ม.) x ระยะห่างระหว่างหน้าตัด (ม.) (ลบ.ม.)

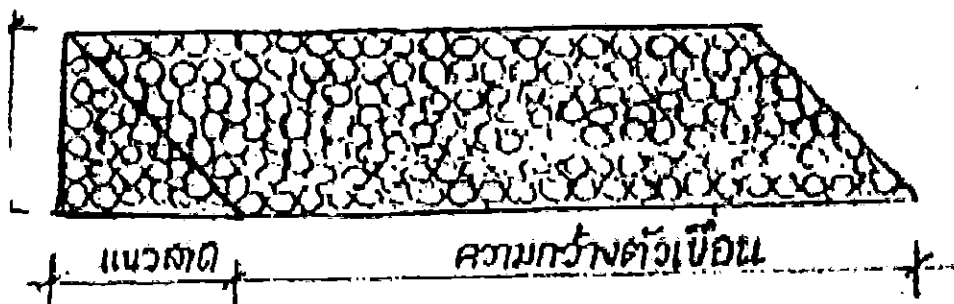


รูปที่ 2.51 รูปพื้นที่หน้าตัดลูกรัง

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

(15) ทิ้งหินใหญ่ปิดหัว - ทำเขื่อน (ลบ.ม.)

- คิดความสูงโดยเฉลี่ยระดับดินเดิมและระดับก่อสร้าง
- คิดความกว้างของแนวลาดตามแบบกำหนด
- คิดความกว้างของตัวเขื่อนตามรูปแบบ



รูปที่ 2.52 รูปทิ้งหินใหญ่ปิดหัว - ทำเขื่อน

(อ้างอิงการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549)

- ปริมาณวัสดุ = $\frac{1}{2} \times$ ความสูงเฉลี่ย \times แนวลาด \times ความกว้างตัวเขื่อน

2.3.5 การกำหนดแหล่งและราคาวัสดุ

สำหรับราคาของวัสดุ มีแหล่งข้อมูลที่อ้างอิงได้ ในการนำมาพิจารณาประกอบการประมาณราคา คือ ราคาของกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ และข้อมูลราคาวัสดุจากสำนักงานโยธาธิการจังหวัด เมื่อพิจารณาแล้ว เห็นว่าข้อมูลราคาวัสดุจากสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัด น่าจะมีความเหมาะสมในการใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงมากกว่า เพราะครอบคลุมวัสดุที่จะใช้ในการประมาณราคามากกว่า เช่น ราคาดินถม,ทราย, หิน, ลูกกรัง และเป็นราคาที่เป็นปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้การประมาณราคาได้ใกล้เคียงถูกต้องกับความเป็นจริงมากกว่า



บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

3.1 ศักยภาพเหตุการณ์พังทลายของเขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม จังหวัดพิจิตร

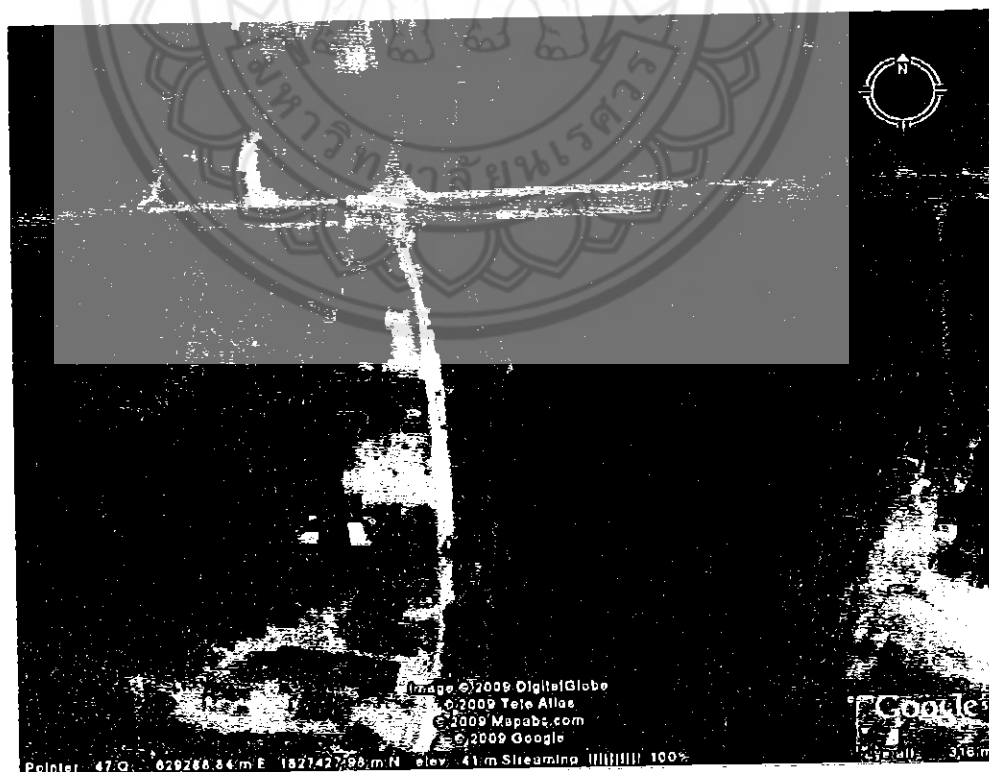
3.1.1 ข้อมูลทั่วไปและลักษณะของปัญหา

สำหรับตลิ่งแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตรบริเวณนี้ถูกสำรวจเบื้องต้นเพื่อเลือกเป็นกรณีศึกษาใน โครงการฉบับนี้ มีความยาวรวม 885 เมตร แบ่งเป็น 6 จุดจากนั้นจึงเลือกศึกษาออกแบบจุดที่น่าสนใจจำนวน 2 จุดคือจุดที่ 1 ยาว 110 เมตรและจุดที่ 2 ยาว 135 เมตร

- ข้อมูลตลิ่งแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม จังหวัดพิจิตร

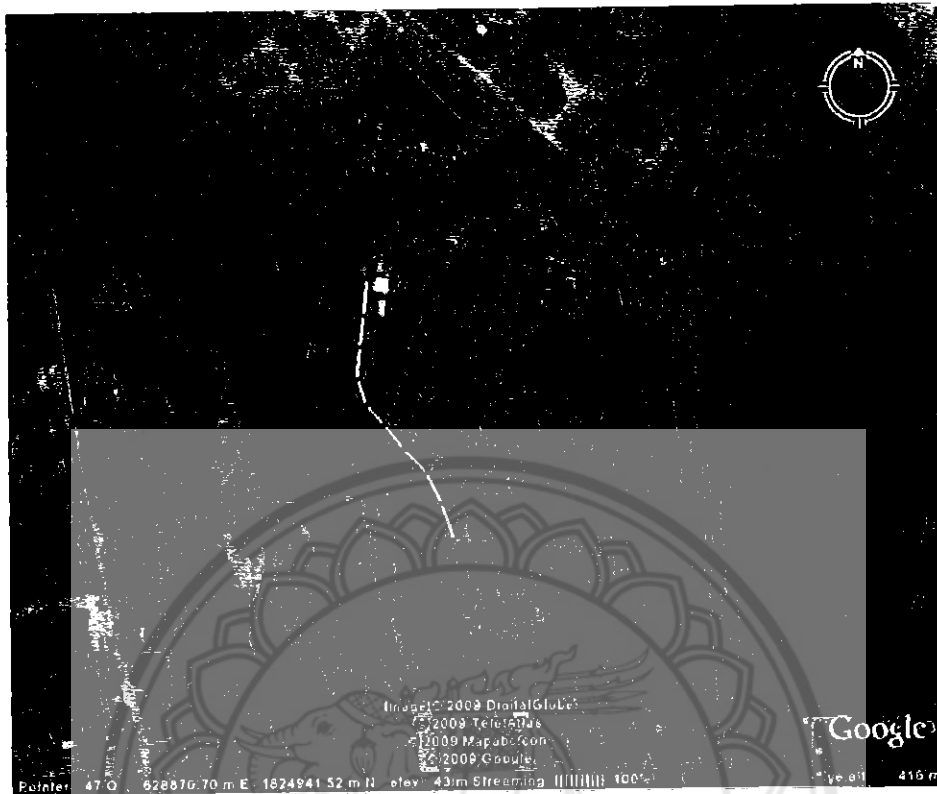
ตลิ่งแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตรมีความยาวรวม 885 เมตรมีลักษณะเป็นดินเหนียวรับน้ำหนักถนนคอนกรีต ส่วนใหญ่เป็นแหล่งชุมชนมีประชาชนอาศัยตลอดแนวมีรายละเอียดดังนี้

1. เป็นระยะทางจากคอสะพานถึงปากล้วยมีลักษณะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 (อ้างอิง Google Earth)

2. เป็นระยะทางจากคลองเพื่อการเกษตร จนถึง ป้ายกลุ่มอาชีพบ้านชายกระโดด้รูปที่ 3.2



รูปที่3.2(อ้างอิง Google Earth)

- ลักษณะและสภาพการพังทลายของตลิ่งแม่น้ำ

จากข้อมูลพื้นที่ที่ได้ศึกษาปรากฏว่าตลิ่งถูกกัดเซาะเนื่องจากพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะเป็น โคนของแม่น้ำ ส่วนนอกทำให้กระแสน้ำกัดเซาะตลิ่งและระดับน้ำสูงสุดในฤดูน้ำหลากมีปริมาณสูงท่วมชั้นรองพื้นทางแล้ว ทำให้ดินแปรสภาพเป็นดินโคลนทำให้รับน้ำหนักได้ไม่มากจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ตลิ่งพังทลายและ โครงสร้างของถนนเสียหาย

3.2 ศึกษาถึงประโยชน์และข้อจำกัดของเขื่อนป้องกันตลิ่งแต่ละประเภท

3.2.1 ทำนบหรือเขื่อนชนิดดินถมเรียงหิน

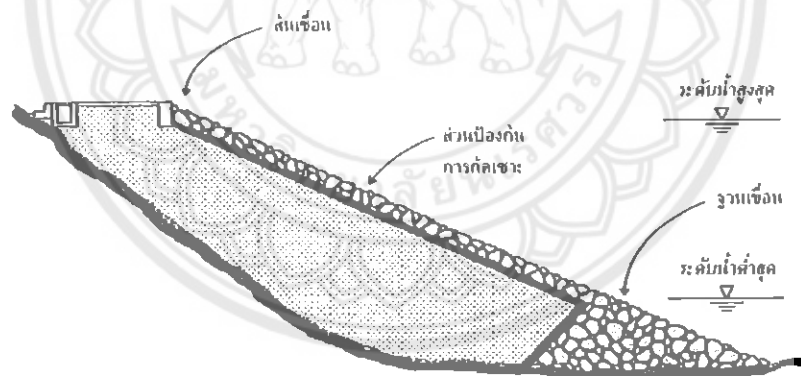
- ประโยชน์และการใช้งาน

- ก. ใช้ป้องกัน โคนอาศัยความลาดเอียงตามธรรมชาติ
- ข. ทำหน้าที่กักน้ำ เช่น เขื่อนกักน้ำ แม่น้ำ และฝายน้ำล้น

- ด. ในกรณีทางส่วนบนของทำนบยังทำให้เป็นทางเดินเท้าหรือออกแบบเป็นถนนได้อีกด้วย
- ง. กรณีที่เป็นหินเรียงก็ทำหน้าที่ป้องกันการกัดเซาะของน้ำที่กระทำกับตลิ่ง
- จ. ไม่ต้องอาศัยช่างฝีมือ และราคาค่าก่อสร้างไม่สูงมากนัก

- ข้อจำกัดของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

- ก. ไม่เหมาะกับการก่อสร้างเขื่อนริมตลิ่งลำน้ำแคบๆ เพราะความลาดเอียงของดินจะล้าขึ้นออกไปกลางลำน้ำทำให้ลำน้ำแคบซึ่งมีผลทำให้เกิดกระแสน้ำแรงหรืออาจเกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรง
- ข. ในกรณีที่ดินมีกำลังรับน้ำหนักต่ำ เขื่อนจะมีขีดจำกัดเรื่องความสูง จะไม่สามารถถมให้สูงได้ เพราะจะเกิดการพังทลายของเขื่อน
- ค. ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะที่ตีนเขื่อนริมตลิ่งให้ดีพอ



รูปที่ 3.3 ทำนบหรือเขื่อนชนิดถมดินเรียงหิน

อ้างอิงจากการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549

3.2.2 กำแพงกันดิน

- ประโยชน์และการใช้งาน

ก. เพื่อกันดินที่มีความลาดเอียงมากกว่าความลาดเอียงตามธรรมชาติ ซึ่งมีประโยชน์ในการถมดิน ไม้ ให้ล้าที่เลขเขตที่ดินและถมดินได้เต็มตามเนื้อที่ที่เรามีอยู่ ได้

ข. ใช้ทำหน้าที่กักเก็บน้ำหรือกันน้ำ

ค. ทำหน้าที่กันดินในการสร้างถนนยกระดับ โดยกำแพงกันดินจะกักดินที่ถมสูงๆจนถึงระดับที่ต้องการ

ง. ทำหน้าที่กักดินด้านข้างไม้ ให้พังทลายในการสร้างถนนลงใต้ดิน

จ. ช่วยในการจัดรูปร่างทางด้านภูมิสถาปัตยกรรม

ฉ. ทำคลองและคูกันน้ำ

ช. ก่อสร้างที่ริมตลิ่งเพื่อป้องกันการกัดเซาะจากแม่น้ำ หรือทะเล

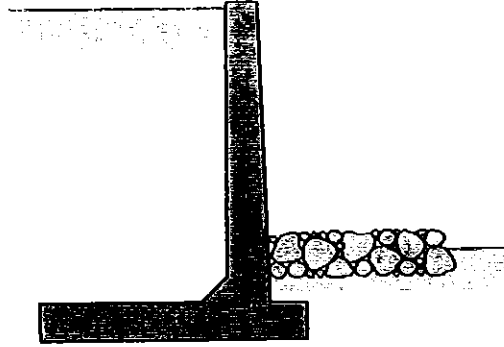
ฌ. ทำหน้าที่เป็นกำแพงป้องกันน้ำท่วม

- ข้อจำกัดของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

ก. ไม่เหมาะสมในกรณีที่จะต้องสร้างได้ระดับน้ำใต้ดินหรือในน้ำริมที่ริมตลิ่งมีระดับน้ำสูงท่วมถึงกำแพงกันดินที่จะทำการก่อสร้าง ต้องมีการระบายน้ำที่ดี

ข. ในดินที่มีคุณสมบัติการรับน้ำหนักต่ำ ไม่เพียงพอที่จะรับกำแพงกันดินที่จะสร้างได้

ค. การดำเนินการก่อสร้างกระทำได้ยาก อาจต้องมีการปิดกั้นลำน้ำหรือทำเขื่อนชั่วคราว (Coffer Dam) ก่อนที่จะทำการตั้งไม้แบบ



รูปที่ 3.4 กำแพงกันดิน

อ้างอิงจากการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549

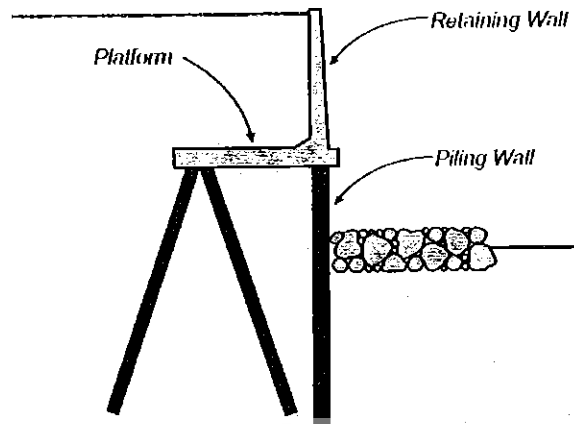
3.2.3 โครงสร้างเขื่อนชนิดตอกเสาเข็ม

- ประโยชน์และการใช้งาน

- ก. ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถสร้างแบบกำแพงกันดินได้ เนื่องจากจะต้องลดระดับน้ำในสถานที่
- ข. ใช้เป็นโครงสร้างชั่วคราวในการก่อสร้าง
- ค. ใช้ในการกักดินไม่ให้พังทลายเขตที่ดิน
- ง. เหมาะสมกับบริเวณที่มีฐานรากเป็นดินอ่อน
- จ. เหมาะกับบริเวณที่ต้องรับน้ำหนักมาก
- ฉ. ไม่มีข้อจำกัดเรื่องความสูงของเขื่อน

- ข้อจำกัดของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

- ก. ไม่เหมาะที่จะกักดินมากๆ ซึ่งต้องการแรงดันดินเกินสัดส่วนของหน้าตัดเสาเข็ม
- ข. เสาเข็มเขื่อนมีความยาวที่ฝังลงไปไม่เพียงพอตามที่ได้คำนวณ เนื่องจากมีกรวดขนาดโตๆ อยู่ในชั้นดินได้ปลายเสาเข็มเขื่อน หรือมีชั้นหินเป็นอุปสรรคไม่สามารถตอกเสาเข็มลงให้ได้ระยะ ความยาวของเสาเข็มเขื่อนที่ฝังในดินได้ตามระยะที่คำนวณออกแบบไว้ได้



รูปที่ 3.5 โครงสร้างเขื่อนชนิดคอกเสาเข็ม

อ้างอิงจากการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549

3.3 ข้อมูลที่ต้องการได้

3.3.1 ความสูงของท้องน้ำแม่น้ำยมถึงตลิ่งของแม่น้ำยม

3.3.2 พื้นที่หลังเขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำยมว่ามีพื้นที่กว้างเท่าไร ลักษณะการใช้งานอย่างไร

3.3.3 คุณสมบัติของดินบริเวณที่ใช้สร้างเขื่อนว่ามีค่า CBR เท่าไรเป็นดินชนิดอะไร

3.3.4 ลักษณะการใช้งานอื่นๆของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

- ต้องการใช้พื้นที่หลังเขื่อนเป็นถนนหรือไม่ ต้องการรับน้ำหนักบรรทุกทุกบริเวณหลังเขื่อนเท่าไร

- เขื่อนป้องกันตลิ่งต้องรับน้ำหนักหลังเขื่อนทั้ง น้ำหนักคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรมากน้อยเพียงใด

- ความสวยงามทางสถาปัตยกรรมของเขื่อนป้องกันตลิ่งว่าต้องการมากน้อยเพียงใด

3.3.5 ระดับน้ำใต้ดินบริเวณที่ต้องการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง

3.3.6 ความรุนแรงกระแสน้ำในแม่น้ำที่กระทำต่อตลิ่งบริเวณที่จะสร้างเขื่อน

3.4 ขั้นตอนการคำนวณ

3.4.1 การหาแรงดันดิน

3.4.2 ขั้นตอนการคำนวณเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบหินทิ้ง

- การหาค่าความเร็วของกระแสน้ำ Estimation of Mean Flow Velocity โดยวิธีของ Manning

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 3.1}$$

เมื่อ

V = Mean Flow Velocity (m./s)

R = Hydraulic radius (m.)

$$\frac{\text{Cross sectional area(m}^2\text{)}}{\text{Wetted perimeter(m.)}} = A/P$$

S = Energy Gradient

= Bad Gradient Under Uniform Flow

n = Manning's Coefficient of Roughness

- สูตรในการคำนวณหาขนาดของหินปิดทับหน้าตลิ่ง

$$d = \frac{CV^2}{g(s-1)\Omega} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 3.2}$$

d = ขนาดของหิน (m.)

v = ความเร็วของกระแสน้ำ (m/s)

g = แรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 (m/s²)

s = ความถ่วงจำเพาะของหินมีค่าประมาณ 2.65

- สมการของเบอร์รี่ (Berry's Equation)

$$\delta = 0.04139V^2 \dots\dots\dots \text{สมการที่ 3.3}$$

โดย

δ = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหินกลม (เมตร)

V = ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที)

- หากความหนาสำหรับความหนาของชั้นป้องกันการกัดเซาะนั้นไม่ควรน้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) ของหินกลม ($1.5d$) ซึ่งโดยทั่วไปควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 – 2.0 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของหินกลม ($1.8d - 2d$)

3.4.3 ขั้นตอนการคำนวณเขื่อนป้องกันคลื่นแบบเสาเข็ม

- พิจารณาแรงที่มากระทำกับตัวเสาเข็มว่ามีแรงอะไรบ้าง

- คำนวณแรงที่มากระทำกับตัวเสาเข็ม

$$\begin{aligned} P &= WK_a \dots\dots\dots \text{สมการที่ 3.4} \\ &= \gamma h K_a \\ &= \gamma h K_a + \gamma_w h \end{aligned}$$

- คำนวณคิด Shear และ Moment

$$R = \text{พื้นที่} \times \text{ความสูง} \times \text{ความกว้างเสา}$$

- ออกแบบ Anchor Rod

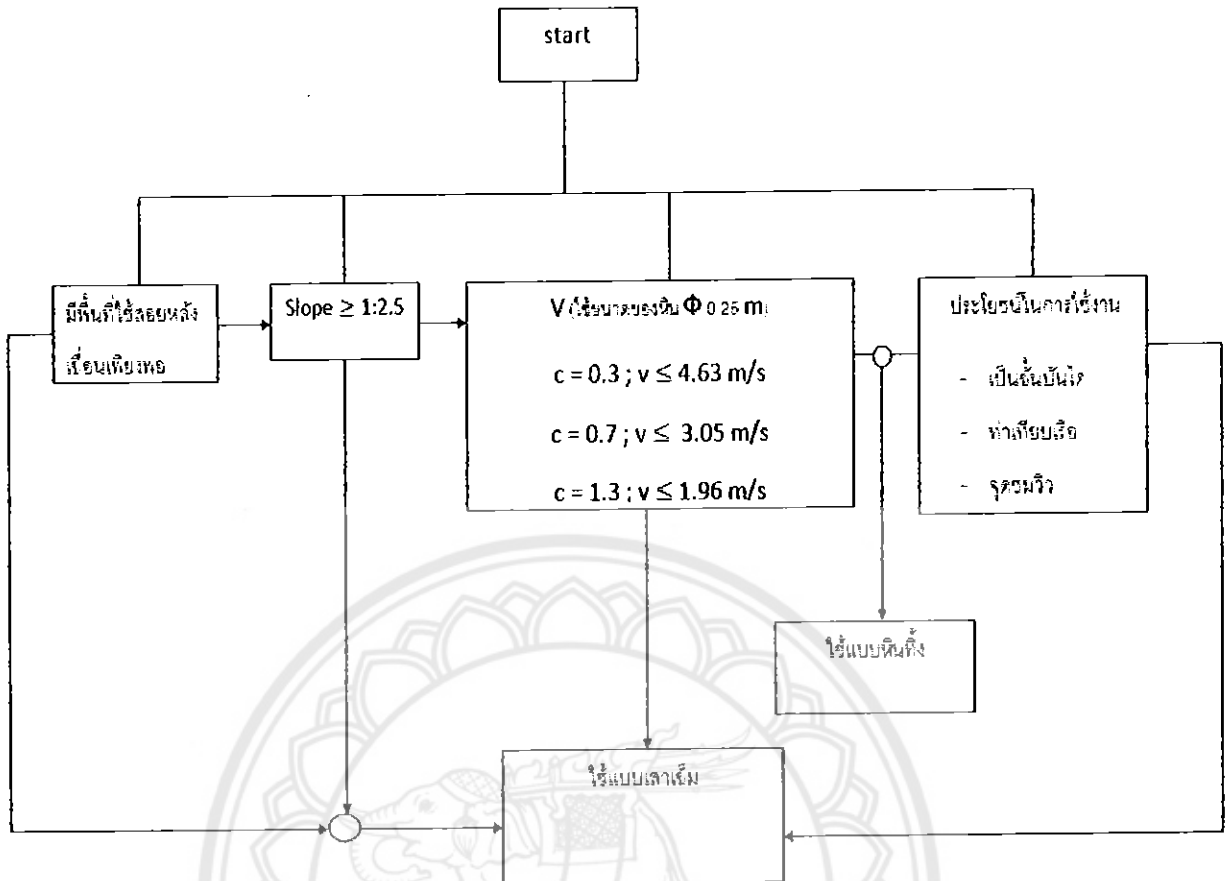
$$P = \frac{\left(\frac{Far}{2}\right)}{\sin \theta} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 3.5}$$

$$A_s = \frac{T}{F_s} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 3.6}$$

3.4.4 ขั้นตอนการตัดสินใจเลือกเขื่อนป้องกันตลิ่ง

สำหรับในการพิจารณาการตัดสินใจว่าจะออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบใดนั้น โดยให้เขื่อนป้องกันตลิ่งแบบหินทิ้งเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ ดังนี้

- 1.พิจารณาพื้นที่ใช้สอยหลังเขื่อนมีเพียงพอที่จะสร้างเขื่อนแบบหินทิ้งหรือไม่
- 2.พิจารณาความลาดเอียง (Slope) ของตลิ่ง ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1:2.5ถึงจะสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบหินทิ้งได้
- 3.พิจารณาความเร็วของกระแสน้ำโดยใช้ขนาดของหินเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.25 เมตร ความเร็วของกระแสน้ำนี้พิจารณาจากสมการที่ 3.2 โดยมีค่า c ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของกระแสน้ำในประเภทต่างๆ
- 4.พิจารณาประโยชน์การใช้งาน หลังจากก่อสร้างแล้วเราต้องการใช้งานอะไรบ้างจากตัวเขื่อนป้องกันตลิ่ง เช่น ต้องการให้มีท่าเทียบเรือควรจะต้องเลือกแบบหินทิ้ง เรื่องจะไม่สามารถเทียบท่าได้เนื่องจากความลาดเอียงของตลิ่ง จึงควรเลือกแบบเสาเข็ม
- 5.กระบวนการตัดสินใจ โดยใช้หินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตรเป็นเกณฑ์ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กระบวนการตัดสินใจ



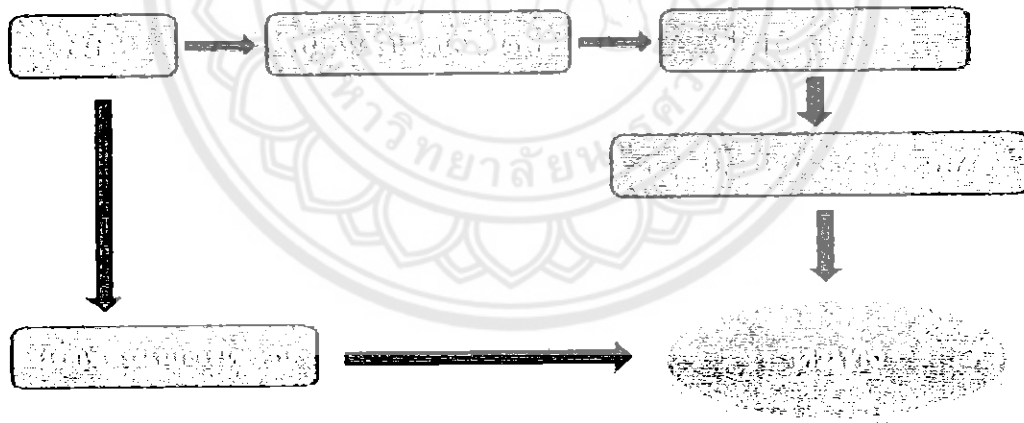
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 จากการศึกษาแนวทางในการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร แบ่งเป็นเขื่อนหินทิ้งกับเขื่อนแบบเสาเข็ม

4.1.1 การพิจารณาเลือกใช้เขื่อนป้องกันตลิ่งในจุดที่ 1 และ 2

จุดที่ 1 ระยะทาง 110 เมตร ความกว้างของแม่น้ำ 61.5 เมตรเริ่มต้นให้ตรวจสอบว่าพื้นที่หลังเขื่อนเพียงพอจะสร้างเป็นเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบหินทิ้งหรือไม่ซึ่งจุดนี้เพียงพอ ขึ้นต่อมาตรวจสอบความชันของตลิ่งว่าได้มากกว่าหรือเท่ากับ 1:2.5 หรือไม่ซึ่งจุดนี้ผ่านขั้นตอนต่อมาตรวจสอบค่าความเร็วกระแสน้ำว่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.63 เมตร/วินาทีหรือไม่ซึ่งจุดนี้ผ่าน ขั้นตอนสุดท้ายก่อนตัดสินใจให้ดำเนินถึงประโยชน์การใช้งานเช่นต้องการบันได ทำเทียบเรือ หรือไม่ทำไม่ต้องการก็เลือกเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบหินทิ้งเพราะประหยัดกว่าแต่ถ้าต้องการก็เลือกเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเสาเข็ม



รูปที่ 4.1 กระบวนการตัดสินใจจุดที่ 1

4.2 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งประเภทของหินทิ้งระยะทางรวม 2 จุดคือจุดที่ 1 มีระยะทาง 110 m จุดที่ 2 ระยะทาง 71 m (รายการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ข)

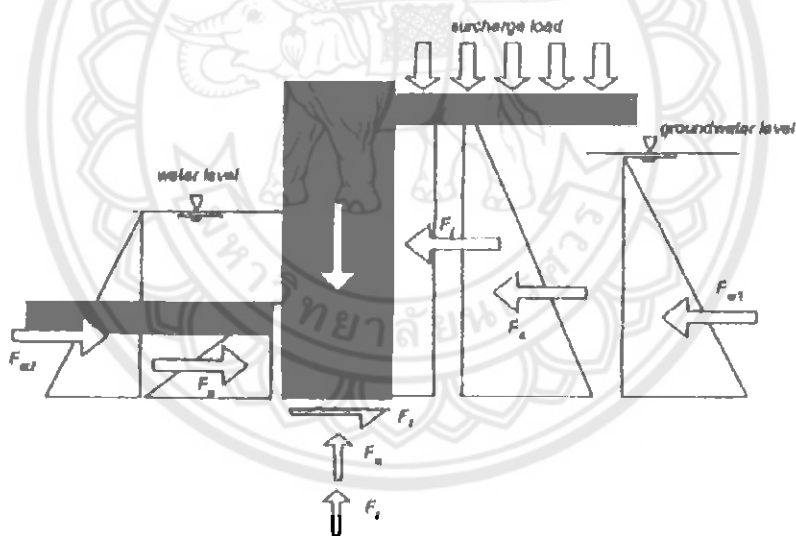
4.3 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งประเภทเสาเข็มระยะทางรวมที่จุด 2 ระยะ 54 m สำหรับในการพิจารณาแรงต่างๆที่กระทำต่อเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเสาเข็มสามารถพิจารณาแรงที่กระทำได้ดังรูป 4.4 โดยแบ่งเป็นแรงที่ต้องพิจารณาดังนี้(รายการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ข)

4.3.1 แรงดันน้ำทั้งบนผิวดินและใต้ดิน

4.3.2 แรงดันดินทั้งหน้าเขื่อนป้องกันตลิ่งและหลังเขื่อนป้องกันตลิ่ง

4.3.3 แรงน้ำหนักจากโครงสร้างของตัวเขื่อนป้องกันตลิ่ง

4.3.4 แรงต้านทานจากเสาเข็มจากเสาเข็ม



รูปที่ 4.4 แรงที่กระทำต่อเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเสาเข็ม

4.4 การประมาณราคาจุดที่เลือกมาพิจารณา

จุดที่ 1 มีระยะทาง 100 เมตรเป็นเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบหินทิ้ง

จุดที่ 2 มีระยะทาง 135 เมตรเป็นเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบหินทิ้งระยะทาง 8 เมตรเป็นเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเสาเข็มระยะทาง 54 เมตร

ประมาณราคาก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเสาเข็ม โดยอ้างอิงจากงานลักษณะเดียวกันที่คิดสร้างโดยเทศบาลตำบลพรหมพิราม อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก ประมาณราคาเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2549 ระยะทางก่อสร้าง 72 เมตร

ลำดับ ที่	รายการ	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรง(บาท)	รวมค่าแรงและ วัสดุ(บาท)	%ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด
1	งานผนังป้องกันตลิ่ง	5,257,051.34	901,847.12	6,158,898.46	89.6
2	งานบันได ขึ้น-ลง	413,329.16	77,365.15	490,694.31	7.1
3	อื่นๆ	168,883.20	57,830.4	226,713.6	3.3
	ค่าวัสดุและค่าแรงรวมเป็น เงิน	5,839,263.7	1,037,042.67	6,876,306.37	100
	ค่า Factor F 1.272			8,734,284.351	

เฉลี่ยราคาประมาณ 121,250 บาทต่อเมตรแต่ถ้าไม่ต้องการให้มีบันได ขึ้น-ลงค่าก่อสร้างจะเฉลี่ยประมาณ 112,812 บาทต่อเมตร

ดังนั้นบริเวณ จุดที่ 2 มีระยะทาง 54 เมตรค่าก่อสร้างเฉลี่ยประมาณ $121,250 \times 54 = 6,547,500$ บาท

การประมาณราคาเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบหินทิ้ง อ่างอิงโรงไม้หิน อำเภอนิมนะปราง จังหวัด
พินนุ โลกและค่าแรงขั้นต่ำของจังหวัดพิจิตร 143 บาท

ลำดับ	รายการ	ค่าวัสดุ(บาท ต่อเมตร)	ค่าแรง(บาท ต่อเมตร)	รวมค่าวัสดุ และค่าแรง	%ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด
1	งานขุดดินเพื่อปรับระดับ	2,673.24	1,568.47	4,241.71	11.1
2	งานเรียงหิน	30,282.27	1,172.56	31,456.83	82.3
3	อื่นๆ	1,726.42	780.3	2,546.72	6.6
	ค่าวัสดุและค่าแรงงานรวมเป็นเงิน	34,683.93	3,521.33	38,205.26	
	ค่า Factor F 1.272			48,597.09	

ดังนั้นบริเวณจุดที่ 1 กับจุดที่ 2 ระยะทางรวม $110 + 51$ เมตร = 191 เมตร

ค่าก่อสร้างเฉลี่ยราคาประมาณ $191 \times 48,597 = 9,282,027$ บาท



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งในสภาพจริง

บริเวณแม่น้ำยม ตำบลสามง่าม อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร และได้ข้อกำหนดในการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งพบว่าเขื่อนป้องกันตลิ่งประเภทหินทิ้งและเสาเข็มมีความเหมาะสมกับบริเวณที่ศึกษามากที่สุด

5.1.2 จำนวนออกแบบและวิเคราะห์ผลของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบหินทิ้งตามข้อกำหนดได้ข้อสรุป

5.1.2.1 ได้หินที่จะใช้เรียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.03 เมตร เลือกใช้หินเรียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตรเพื่อความสะดวกในการก่อสร้าง

5.1.2.2 ได้ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง ของหินถม 0.07 เมตรเลือกใช้หินถมขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตรเพื่อความสะดวกในการก่อสร้าง

5.1.2.3 ความหนาของชั้นป้องกันการกัดเซาะใช้ 2 เท่าของ เส้นผ่านศูนย์กลาง ของหินถมเพราะความหนาของชั้นป้องกันการกัดเซาะเท่ากับ 0.2 เมตรเพื่อความสะดวกในการก่อสร้าง

5.1.3 จำนวนออกแบบและวิเคราะห์ผลของเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเสาเข็มได้ข้อสรุปดังนี้

5.1.3.1 ได้ $M_{Max} = 53,000$ กิโลกรัม*เมตร ได้ $A_{S_{min}} = 80.01$ เซนติเมตร² ใช้เหล็ก 10 DB 32 มิลลิเมตร

5.1.3.2 ใช้เหล็กรับแรงเฉือน RB 9 มิลลิเมตร @ 0.20 เมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผู้สนใจศึกษาอาจเลือกเขื่อนรูปแบบอื่นๆ โดยเปรียบเทียบราคาก่อสร้างและความสะดวกในการก่อสร้าง ประกอบกัน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ตามมาหลังการก่อสร้าง

บรรณานุกรม

คณะผู้จัดการความรู้, การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง : กรมโยธาธิการและผังเมือง,2549

กรมโยธาธิการและผังเมือง, องค์ความรู้ที่ 3 เรื่อง เทคนิคการควบคุมงานก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง : สำนักควบคุมงานก่อสร้าง สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2552

Tuncivil.com ,SP-ออกแบบเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง - Design Prestressed Concrete Pile ,2552

สถาพร โกลา,ตำราคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีหน่วยแรงใช้งาน และวิธีกำลัง,2539



ภาคผนวก ก

รายการประมาณราคาต่อหน่วยของงานเขื่อนป้องกันตลิ่ง

I งานคอนกรีตเสริมเหล็ก

- (1) นั่งร้านคอกเสาเข็ม บาท/ตร.ม.
- (2) งานเสาเข็ม คสล.ขนาด (สำเร็จรูป) บาท/ต้น
งานเสาเข็ม คสล.ขนาด(หล่อที่) บาท/ต้น
- งานคอนกรีต ลบ.ม.
 - งานเหล็กเสริม กก.
 - งานลวดผูกเหล็ก กก.
 - ตะปู กก.
 - ไม้แบบ ตร.ม.
 - ไม้คร่า ลบ.ฟ.
 - รวมค่างานต้นทุน บาท
- (3) งานสกัดหัวเสาเข็ม บาท/ต้น
บาท/แผง
- (4) งานแผงกันดิน คสล. บาท/แผง
- งานคอนกรีต ลบ.ม.
 - งานเหล็กเสริม กก.
 - งานลวดผูกเหล็ก กก.
 - ตะปู กก.
 - ไม้แบบ ตร.ม.
 - ไม้คร่า ลบ.ฟ.
 - รวมค่างานต้นทุน บาท
- (5) งานคาน คสล.ยึดหัวเสาเข็ม บาท/เมตร
- งานคอนกรีต ลบ.ม.
 - งานเหล็กเสริม กก.
 - งานลวดผูกเหล็ก กก.
 - ตะปู กก.
 - ไม้แบบ ตร.ม.
 - ไม้คร่า ลบ.ฟ.
 - เสาค้ำไม้แบบ ต้น
 - รวมค่างานต้นทุน บาท

(6) งานแผงสมอ คสล.	บาท/เมตร
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่า	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(7) งานสายสมอพร้อมเกลียวเร่ง	บาท/ชุด
(8) งานวางระบายน้ำ คสล. พร้อมฝาปิดสันเขื่อน	บาท/เมตร
- งานขุดดิน	ลบ.ม.
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่า	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(9) บ่อพัก คสล.พร้อมท่อ	บาท/เมตร
- งานขุดดิน	ลบ.ม.
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	ตัน
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่า	ลบ.ฟ.
- ปูนทราย	บาท
รวมค่างานต้นทุน	บาท

(10) งานบันได คสล.	บาท/เมตร
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่า	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(11) งานวางระบายน้ำ คสล. ออกหน้าเขื่อน	บาท/แห่ง
- งานขุดดินหรือทราย	ลบ.ม.
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	ตัน
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่า	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
(12) งานขัดหิน คสล.	เมตร
- งานคอนกรีต	ลบ.ม.
- งานเหล็กเสริม	กก.
- งานลวดผูกเหล็ก	กก.
- ตะปู	กก.
- ไม้แบบ	ตร.ม.
ไม้คร่า	ลบ.ฟ.
รวมค่างานต้นทุน	บาท
2 งานหินเรียง	
(1) งานปรับพื้นที่	บาท/ตร.ม.
(2) งานทิ้งหินใหญ่ดินเขื่อน	บาท/ลบ.ม.
(3) งานก่อสร้างลวดตาข่ายเมทเทรลสตีลเขื่อน	บาท/กล่อง
งานหินใหญ่ในกล่องลวดตาข่ายเมทเทรลสตีลเขื่อน	บาท/ลบ.ม.
(4) งานทรายอัดแน่น	บาท/ลบ.ม.
(5) ปูแผ่นใยสังเคราะห์ (วัสดุกรอง)	บาท/ตร.ม.

- (6) เรียงหินใหญ่พร้อมแทรกโพรงด้วยหินเล็กหน้าเขื่อน บาท/ลบ.ม.
- (7) คาน คสล.รับราวกันตก บาท/เมตร
 ราวกันตก บาท/เมตร
- (8) บ่อพัก คสล.พร้อมท่อ บาท/แห่ง
- งานขุดดิน ลบ.ม.
 - งานคอนกรีต ลบ.ม.
 - งานเหล็กเสริม กก.
 - งานลวดผูกเหล็ก กก.
 - ตะปู กก.
 - ไม้แบบ ดร.ม.
 - ไม้คร่า ลบ.ฟ.
 - รวมค่างานต้นทุน บาท
- (9) งานวางระบายน้ำ คสล.พร้อมฝาปิดสันเขื่อน บาท/เมตร
- งานขุดดิน ลบ.ม.
 - งานคอนกรีต ลบ.ม.
 - งานเหล็กเสริม กก.
 - งานลวดผูกเหล็ก กก.
 - ตะปู กก.
 - ไม้แบบ ดร.ม.
 - ไม้คร่า ลบ.ฟ.
 - รวมค่างานต้นทุน บาท
- (10) งานกันหิน คสล. บาท/เมตร
- งานคอนกรีต ลบ.ม.
 - งานเหล็กเสริม กก.
 - งานลวดผูกเหล็ก กก.
 - ตะปู กก.
 - ไม้แบบ ดร.ม.
 - ไม้คร่า ลบ.ฟ.
 - รวมค่างานต้นทุน บาท

- | | |
|--------------------------------------|-----------|
| (11) งานบันไดหินเรียงยานาว | บาท/แห่ง |
| (12) งานอัครจันทร์หินเรียงยานาว | บาท/แห่ง |
| (13) งานทางเท้าปูนซีเมนต์บล็อกละ | บาท/ตร.ม. |
| (14) งานถมดินลูกรังอัดแน่น | บาท/ลบ.ม. |
| (15) งานทิ้งหินใหญ่ปิดหัว-ท้ายเขื่อน | บาท/ลบ.ม. |
| (16) งานปลูกหญ้า | บาท/ตร.ม. |



ภาคผนวก ข

1. การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งประเภทของหินทิ้ง

1.1 การหาค่าความเร็วของกระแสน้ำ จากสมการ 3.1 Estimation of Mean Flow Velocity โดยวิธี

ของ Manning

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

เมื่อ

V = Mean Flow Velocity (m./s)

R = Hydraulic Radius (m.)

$$\frac{\text{Cross Sectional Area(m}^2\text{)}}{\text{Wetted Perimeter(m.)}} = A/P$$

S = Energy Gradient

= Bed Gradient Under Uniform Flow

n = Manning's Coefficient of Roughness

ตัวอย่าง

$$\text{สมมติ } n = 0.045$$

$$S = \text{Bed Slope} = 1/5000$$

$$R = \frac{(61.5 \times 12)}{(12 + 12 + 61.5)} = \frac{738}{85.5} = 8.63$$

$$V = \frac{(8.63)^{2/3} \times (1/5000)^{1/2}}{0.045}$$

$$V = 1.383 \text{ เมตร/วินาที}^2$$

1.2 สูตรในการคำนวณหาขนาดของหินปิดทับหน้าตลิ่ง

จากสมการที่ 3.2

$$d = \frac{CV^2}{g(s-1)\Omega}$$

d = ขนาดของหิน (m.)

V = ความเร็วของกระแสน้ำ (m/s)

$g = 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

s = ความถ่วงจำเพาะของหิน = 2.65

$C = 0.3$ (Low Turbulence) เช่น กระแสน้ำทั่วไป

= 0.7 (High Turbulence) เช่น คลื่นจากเรือ

= 1.3 (Jets) เช่น กระแสน้ำจากใบพัดเรือขนาดใหญ่ หรือการเปิดประตูน้ำหรือเขื่อนอย่าง

กระทันหัน

$$\Omega = \left[1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi} \right]^{1/2}$$

: α = Angle of Bank

: ϕ = Friction Angle

ที่ $v = 1.383$ เมตร/วินาที

ความชันของโครงสร้างปิดทับหน้า 1: 2.56

$\alpha = 21.8^\circ$

$\phi = 35^\circ$

$\Omega = 0.762$

$$d = \frac{C \times 1.383^2}{9.81(2.65-1) \times 0.762} = 0.507C$$

$$= 0.0336 \text{ เมตร}$$

จะได้

$$d = 0.15 \text{ m. สำหรับ Low Turbulence}$$

$$= 0.35 \text{ m. สำหรับ High Turbulence}$$

$$= 0.66 \text{ m. สำหรับ Jets}$$

1.3 สมการของเบอร์รี่ (Berry's Equation) จากสมการที่ 3.3

$$\delta = 0.04139v^2$$

โดย

$$\delta = \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหินตม (เมตร)}$$

$$V = \text{ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที)}$$

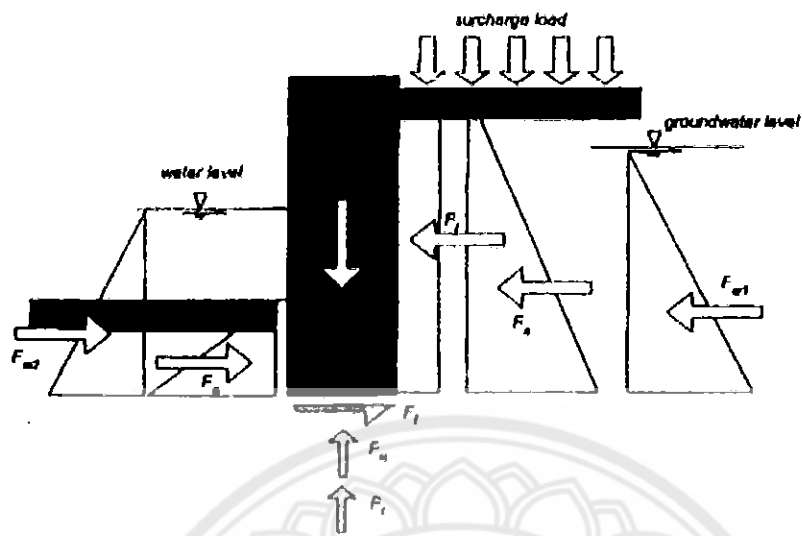
$$\delta = 0.04139 \times 1.383^2$$

$$= 0.079 \text{ เมตร}$$

สำหรับความหนาของชั้นป้องกันการกัดเซาะนั้นไม่ควรน้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหินตม (1.5d) ซึ่งโดยทั่วไปควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 – 2.0 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของหินตม (1.8d – 2d)

สำหรับค่า Manning Roughness Coefficient, n นั้นเป็นค่าเฉพาะของแต่ละลักษณะของลำน้ำ

2. การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งประเภทเสาเข็ม



รูปที่ 4.4 แรงที่กระทำต่อเขื่อนป้องกันตลิ่งแบบเสาเข็ม

2.1 คำนวณหาค่า P ต่างๆ

$$P = WK_s$$

$$P = r'hK_s + r_w h$$

$$P_1 = 20 \times 10^3 \times 0.295$$

$$= 5,900 \quad \text{kg/m}^2$$

$$R_1 = 5900 \times 9.5 \times 0.5$$

$$= 28,025 \quad \text{kg}$$

$$P_2 = 1750 \times 1 \times 0.295$$

$$= 516.25 \quad \text{kg/m}^2$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \times 516.25 \times 1 \times 0.5$$

$$= 129.06 \quad \text{kg}$$

$$P_3 = 516.25 \quad \text{kg/m}^2$$

$$R_3 = 516.25 \times 1 \times 0.5$$

$$= 258.13 \quad \text{kg}$$

$$P_4 = 750 \times 1 \times 0.295 + 1000 \times 1$$

$$= 1221.25 \text{ kg/m}^2$$

$$R_4 = \frac{1}{2} \times 1221.25 \times 1 \times 0.5$$

$$= 305.31 \quad \text{kg}$$

$$P_5 = P_3 + P_4$$

$$= 516.25 + 1221.25$$

$$= 1737.50 \text{ Kg/m}^2$$

$$R_5 = 1737.5 \times 7.5 \times 0.5$$

$$= 6515.63$$

$$P_6 = 750 \times 7.5 \times 0.29$$

$$= 1659.375 \quad \text{กิโลกรัม/เมตร}^2$$

$$R_6 = 0.5 \times 7.5 \times 0.295 \times 1659.375$$

$$= 3111.33 \quad \text{กิโลกรัม/เมตร}^2$$

$$P_a = P_1 + P_5 + P_6$$

$$= 5900 + 1737.50 + 1659.375$$

$$= 9296.875 \quad \text{กิโลกรัม}$$

$$\begin{aligned}
 R_a &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \\
 &= 28025 + 129.06 + 258.13 + 305.31 + 6515.63 + 3111.33 \\
 &= 38344.45 \quad \text{กิโลกรัม}
 \end{aligned}$$

2.2 ทาระยะ y

$$\sum \circ = 0$$

$$\begin{aligned}
 R_a * y &= 33537.75(4.75) + 1230.5(8.17) + 9225(3.75) + 3237.89(2.5) \\
 &= 212,045.97
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{212,045.97}{47231.14} \\
 &= 4.49 \quad \text{เมตร} \quad (\text{จากจุด } o \text{ หรือว่า } = 5.01 \text{ m จากผิวดิน})
 \end{aligned}$$

The Depth of Embedment

$$\sum M_b = 0$$

$$R_a y - R_p y' = 0$$

$$Y' = \frac{D}{2} + 7$$

$$\begin{aligned}
 R_p &= (4c - Pa) \times D \times 0.5 \\
 &= (4 \times 1600 - 9,296.875) \times D \times 0.5 \\
 &= 1448.44D
 \end{aligned}$$

$$212,045.97 - 1448.44 D \times \frac{D}{2} = 0$$

$$D = 2.27 \quad \text{เมตร}$$

$$D = 2.27 \times 1.95$$

$$= 4.43 \text{ เมตร}$$

$$\text{ใช้ } 4 \text{ เมตร}$$

$$L = 9.5 + 4$$

$$= 13.5 \text{ เมตร ใช้ทั้งหมด } 14 \text{ เมตร}$$

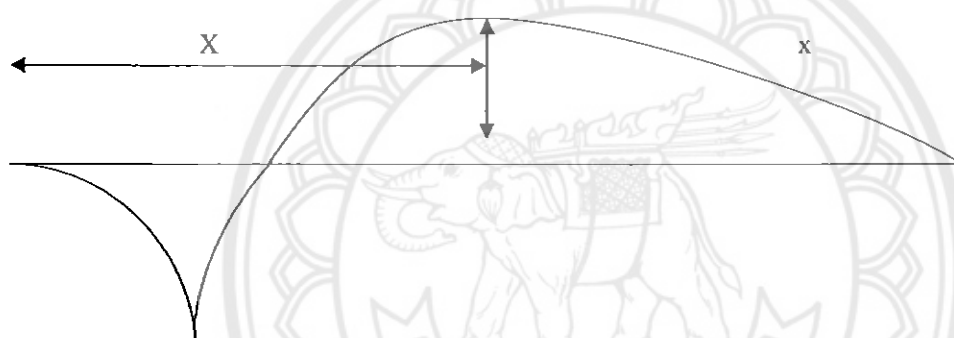
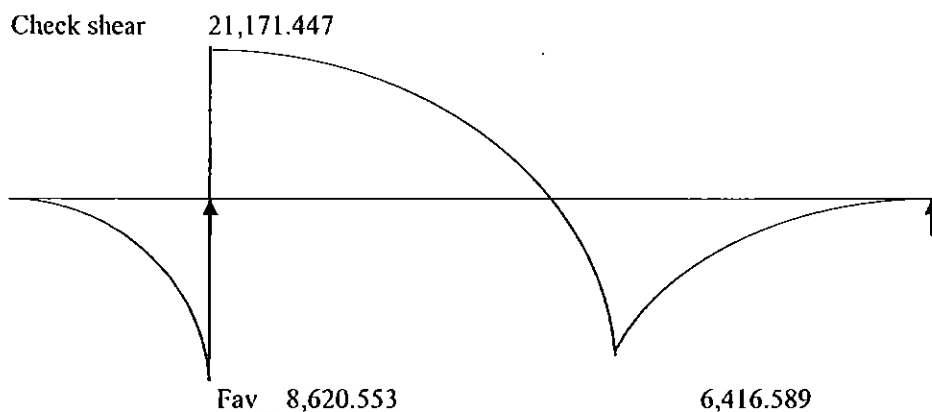
$$\sum F_x = 0$$

$$F_{av} = R_a + R_p$$

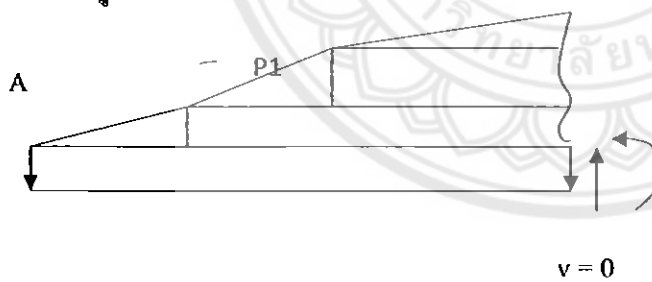
$$= 38344.45 + 1448.44(4)$$

$$= 44,138.21 \text{ เมตร}$$





คิดการตัดรูป



$$\sum F_y = 0$$

$$\begin{aligned} F_{av} &= (5900 \times 0.5)X + 129.06 + 258.13 + 305.31 + (7637.5(X-2)) \times 0.5 + (221.244X(X-2)) \\ &= 2950X + 692.5 + 3812.75X - 7637.5 + 221.224X^2 - 442.488X \\ &= 221.224X^2 + 6320.262X - 6945 \\ 0 &= 221.224X^2 + 6320.262X - 46737.89 \end{aligned}$$

$$X = 6.09 \text{ เมตร}$$

Check Moment

$$\text{At } C = M_{\max}$$

$$\begin{aligned}
 &= -[(5900 \times 0.5 \times \frac{6.09^2}{2}) + 129.06(5.76) + 258.13(4.59) + 305.31(4.42) + \\
 &\quad (7637.5 \times 0.5 \times \frac{4.09^2}{2}) + (1347.376 \times \frac{1}{2} \times 0.5 \times \frac{4.09^2}{3}) - 39792.89(3.59)] \\
 &= 52,474.407 \text{ กิโลกรัม*เมตร}
 \end{aligned}$$

Design Anchor rod

$$F_{av} = 39,792.89$$

$$T = 39,792.89 \times \frac{2.5}{0.5}$$

$$= 198,964.45$$

$$A_s = \frac{T}{f_s}$$

$$= \frac{198,964.45}{5000} \quad (f_s = 5000 ; \text{ใช้เหล็ก SD50})$$

$$= 39.8 \text{ เซนติเมตร}^2$$

Use 5 DB 32 มิลลิเมตร ($A_s = 40.2 \text{ เซนติเมตร}^2$) ok

2.3 Design Pile at Anchore Beam

$$\theta = 14.04^\circ$$

$$P = \frac{199/2}{\sin\theta}$$

$$= 410.14 \text{ ตัน}$$

$$2 \text{ ตัน P} = 205.07 \text{ ตัน/ตัน}$$

Use เสาค้ำ 0.4×0.4 เมตร

$$A_s = (199 \times 10^3) / 5000$$

$$= 39.8 \text{ เซนติเมตร}^2$$

Use 5 DB 32 มิลลิเมตร

ระยะฝ้า

$$L = \frac{Df_s}{4U}$$

$$= \frac{3.2 \times 0.5 \times 5,000}{4 \times 11}$$

$$= 181.82 \text{ เซนติเมตร}$$

Use 2 เมตร

Use 12 DB 32 มิลลิเมตร × 2 เมตร ($A_s = 193 \text{ เซนติเมตร}^2$) Ok

2.4 คำนวณเหล็กเสริมเสาเข็ม

$$f_c' = 240 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2$$

$$R = 7.414 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2$$

$$b = 50 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2$$

$$k = 30 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2$$

$$k = 0.249 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2$$

$$j = 0.917 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2$$

$$f_s = 1,700 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2$$

$$f_v = 1,200 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2$$

$$f'_s = 1,100 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2$$

$$M_c = R b d$$

$$M_c = 7,414 \times 50 \times 50^2$$

$$= 9267.5 \text{ กิโลกรัม}$$

$$M_{Max} = 53,000 \text{ กิโลกรัม}$$

$$M_s = 52474.407 - 9267.5 = 43206.9 \text{ กิโลกรัม*เมตร}$$

$$A_s = \frac{43,206.9 \times 100}{1200(50-5)}$$

$$= 80.01 \text{ เซนติเมตร}^2$$

Use 10 DB 32 มิลลิเมตร

ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงอัด

$$A_s = \frac{43,206.9 \times 100}{1200(50-5)}$$

$$= 80.01 \text{ เซนติเมตร}^2$$

Use 10 DB 32 มิลลิเมตร

เหล็กรับแรงเฉือน

ใช้ RB 9 มิลลิเมตร @ 0.20 เมตร

$$\begin{aligned}
 V_c &= 1.33\sqrt{f_c'} \\
 &= 1.33\sqrt{240} \\
 &= 20.60 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{21171.447}{10 \times 6 \times 0.917 \times 50} \\
 &= 7.7 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2 < V_c \quad \text{Ok}
 \end{aligned}$$

แรงยึดเหนี่ยว

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{V}{\epsilon_0 \times j \times d} \\
 &= 7.7 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{all} &= 2.29 \frac{\sqrt{f_c'}}{D} \\
 &= 11.1 \text{ กิโลกรัม/เซนติเมตร}^2 > V \quad \text{Ok}
 \end{aligned}$$

3. คำนวณหา Active Earth Force (ทฤษฎี Rankine)

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$\begin{aligned} \text{ที่ } \phi = 32^\circ \quad K_{a_1} &= \tan^2\left(45 - \frac{32}{2}\right) \\ &= 0.307 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ที่ } \phi = 30^\circ \quad K_{a_2} &= \tan^2\left(45 - \frac{30}{2}\right) \\ &= 0.333 \end{aligned}$$

4. คำนวณค่า Rankine Lateral Earth Pressure ของดินที่แต่ละระดับความลึก

$$P_a = \sigma'_v K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$\begin{aligned} \text{ที่ผิวดิน} \quad P_1 &= (23)(0.307) = 7.061 \text{ ตัน/เมตร}^2 \\ \text{ที่ } 0-6 \text{ m.} \quad P_2 &= [(23) + (1.9 - 1)6](0.307) = 44.02 \text{ ตัน/เมตร}^2 \\ P'_2 &= [(23) + (1.9 - 1)6](0.333) = 47.75 \text{ ตัน/เมตร}^2 \\ P_3 &= [(23) + (1.9 - 1)6](0.333) = 95.50 \text{ ตัน/เมตร}^2 \end{aligned}$$

แรงดันน้ำใต้ดิน (u)

$$\text{ที่ระดับ } 0-12 \text{ m, } u = 1 \times 12 = 12 \text{ ตัน/เมตร}^2$$

$$P_a = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$$

$$P_1 = 7.06(6) = 42.36 \text{ ตัน/เมตร}^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(44.02 - 7.06)6 = 110.88 \text{ ตัน/เมตร}^2$$

$$P_3 = 47.75(6) = 286.5 \text{ ตัน/เมตร}^2$$

$$P_4 = \frac{1}{2}(95.50 - 47.75)(6) = 143.25 \text{ ตัน/เมตร}^2$$

$$P_5 = \frac{1}{2}(12)(12) = 72 \text{ ตัน/เมตร}^2$$

$$\therefore Pa = 654.99 \text{ ตัน/เมตร}^2$$



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ

ไฟล์
รูปขนาด 1 นิ้ว
ชุดนิสิต

ชื่อ นายไกรวิชญ์ สรรพอุดมชัย
ภูมิลำเนา 90/116 หมู่ 7 ต.วาลีย์ อ. พงพระ จ. ตาก
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพระพิตยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Autobots_night@hotmail.com

ไฟล์
รูปขนาด 1 นิ้ว
ชุดนิสิต

ชื่อ นายวุฒิเลิศ ทองดี
ภูมิลำเนา 140/1 หมู่ 1 ต.หนองพระ อ.วังทรายพูน จ.พิจิตร
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสากเหล็กวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: kira_olo@hotmail.com

ไฟล์
รูปขนาด 1 นิ้ว
ชุดนิสิต

ชื่อ นายกীরติ โกญจนาทพันธ์
ภูมิลำเนา 275 ซ.สว่าง 6 อ.มหาพฤฒาราม เขตบางรัก
จ. กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนโพธิสารพิทยากร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: karatit@hotmail.com