

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษา มีผลดังต่อไปนี้

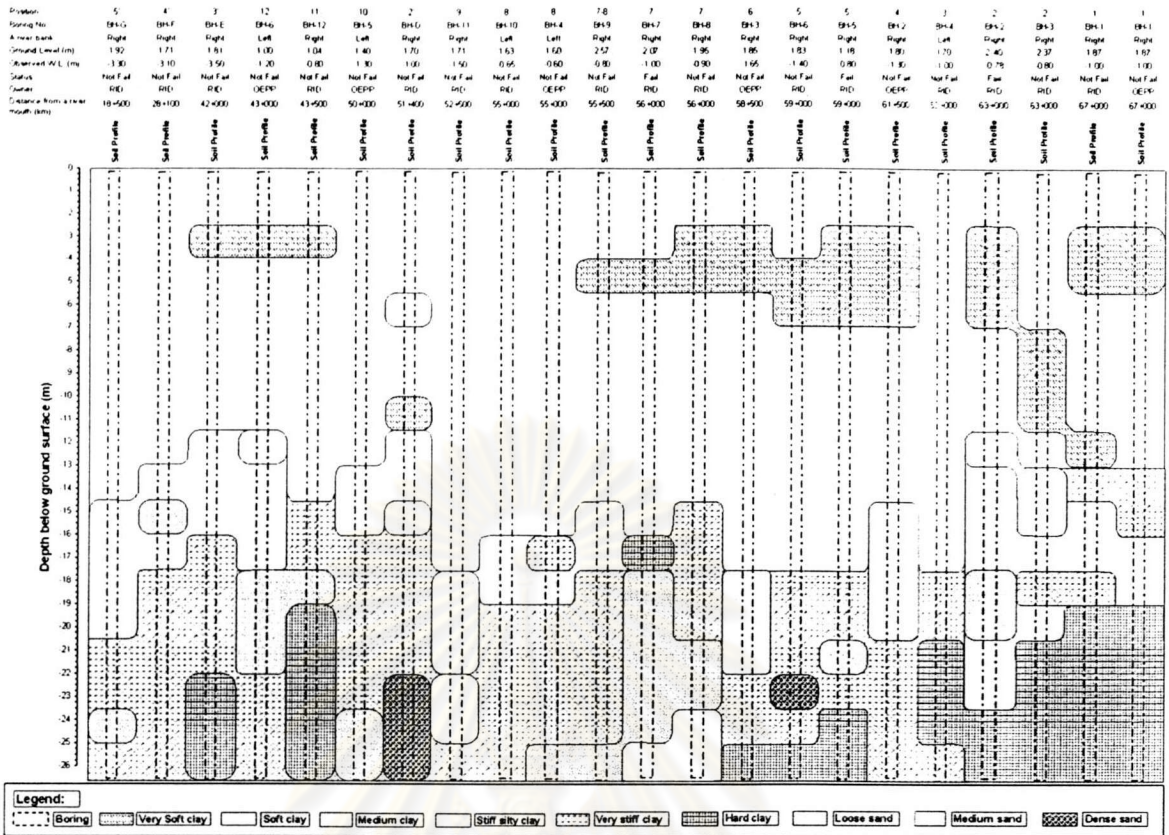
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง

4.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติชั้นพื้นฐานของดิน

ผลการศึกษาคุณสมบัติของดินในบริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกงทั้งการทดสอบในสนาม และการศึกษาในห้องปฏิบัติการ จากที่ได้ทำการเจาะสำรวจและนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ จำนวน ทั้งหมด 22 หลุมจากปากแม่น้ำบางปะกงถึงตัวเขื่อนดิน พบว่าลักษณะของชั้นดินในบริเวณดังกล่าว ระยะทางจากปากแม่น้ำบางปะกง กม.18+500 - กม.51+400 และกม.63+000 – กม.67+000 จะเป็น ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) จากระดับผิวดินถึงความลึกประมาณ 11.50 – 14.50 เมตร ส่วน ระยะทางที่อยู่ระหว่างกึ่งกลางจาก กม.51+400 – กม.63+000 จะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) จากระดับผิวดินถึงความลึกประมาณ 14.50 – 17.50 เมตร และบางช่วงจะมีชั้นดินเหนียวอ่อนมาก (Very Soft Clay) อยู่ระหว่างชั้น ซึ่งมีความหนาประมาณ 1.50 – 4.50 เมตร ถัดจากชั้นดินเหนียว อ่อน จะมีความเปลี่ยนแปลงของชั้นดินหลายๆและแต่ละช่วงจะมีชั้นดินที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็งมากๆ (Medium Clay to Hard Clay) ถึงระดับ ความลึกที่ได้ทำการเจาะสำรวจที่ระดับ 25.95 เมตร และบางช่วงจะมีชั้นทรายหลวม (Loose Sand) ทรายแน่นปานกลาง (Medium Dense Sand) และทรายแน่น (Dense Sand) ปะปนอยู่ในระหว่างชั้น หรือถัดจากชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็งมากๆ ซึ่งชั้นดินดังกล่าวมีความหนาประมาณ 1.50- 7.50 เมตร ลักษณะชั้นดินดังที่กล่าวมาข้างต้น แสดงดังในรูปที่ 4.1 เนื่องจากลักษณะของชั้นดินมี การเปลี่ยนแปลงมากทำให้ยากต่อการแบ่งชั้นดินเป็นชั้นๆตลอดลำน้ำบางปะกงได้และระยะห่าง ของแต่ละหลุมเจาะก็ห่างกันมากด้วย ดังนั้นจึงได้แสดงลักษณะและค่าคุณสมบัติของชั้นดินแต่ละ ชั้นดินที่แบ่งไว้ดังในรูปที่ 4.1 ของแต่ละหลุมเจาะไว้ด้วย โดยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข รูปที่ ข-1 ถึง รูปที่ ข-22 ผลข้อมูลคุณสมบัติของดิน ณ.สถานที่ทำการศึกษาที่ได้แนบได้มาจากการเจาะสำรวจ แล้วทดสอบในสนามและเก็บตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ผลการศึกษาสมบัติชั้นพื้นฐานของลักษณะชั้นดินในแต่ละชั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

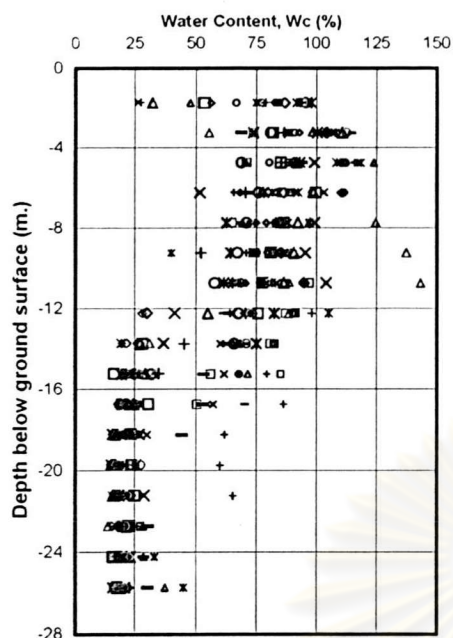
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้น และหน่วยน้ำหนักของดินที่ได้จากการทดสอบใน ห้องปฏิบัติการแสดงในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



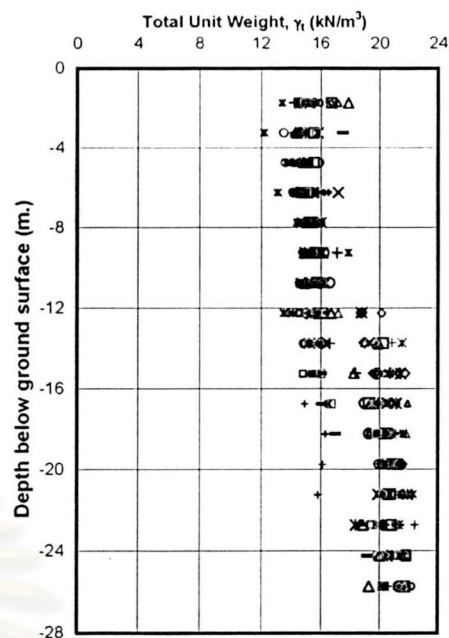
รูปที่ 4.1 ลักษณะชั้นดินบริเวณคลังทำยเขื่อนทดน้ำบางปะกงตามยาวของแม่น้ำบางปะกง

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติชั้นพื้นฐานของลักษณะชั้นดินในแต่ละชั้น

Soil Layer	Water Contents, Wc(%)	Liquid Limit, LL (%)	Plastic Limit, PL (%)	Plasticity, PI (%)	Liquidity Index, LI	Total Unit Weight, γ_t (kN/m ³)
Very Soft Clay	100 - 143	97 - 122	33 - 53	56 - 71	0.72 - 1.71	14 - 15
Soft Clay	60 - 100	71 - 107	27 - 41	40 - 75	0.60 - 1.30	14 - 16
Medium Clay	35 - 55	62 - 85	31 - 33	30 - 54	0.27 - 0.38	17 - 19
Stiff Clay	17 - 32	52 - 78	25 - 28	27 - 49	(-0.10) - 0.19	19 - 20
Very Stiff Clay	15 - 30	-	-	-	-	20 - 21
Hard Clay	14 - 24	-	-	-	-	21 - 22
Loose Sand	18 - 44	-	-	-	-	-
Medium Dense Sand	15 - 21	-	-	-	-	-
Dense Sand	21 - 23	-	-	-	-	-



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนัก กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน

4.1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านวิศวกรรม

ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดิน ได้แยกออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน ดังนี้

1. ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบในสนาม
2. ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

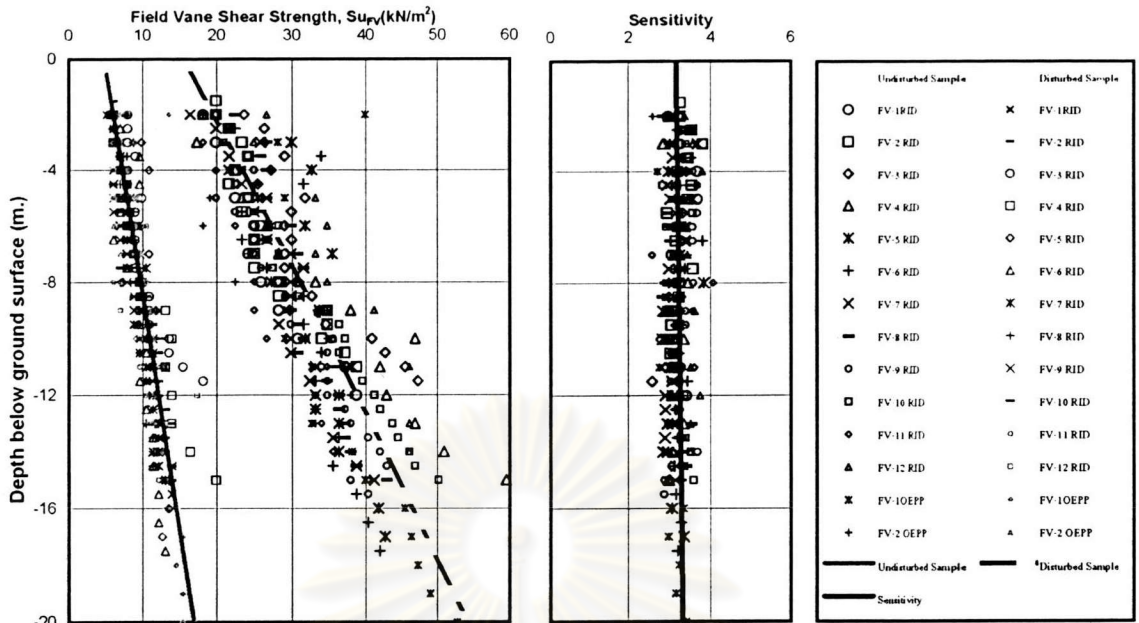
4.1.2.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบในสนาม

ได้มีการทดสอบ 2 วิธีด้วยกันดังนี้

1. การทดสอบแรงเฉือนในสนาม (Field Vane Shear Strength, Su_{FV})
2. การทดสอบ Standard Penetration Test, SPT

4.1.2.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในสนาม (Field Vane Shear Strength, Su_{FV})

สำหรับผลคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในสนาม (Field Vane Shear Strength, Su_{FV}) ในชั้นดินเหนียวอ่อนในช่วง 16.00 เมตรแรก โดยมีผลทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ถูกรบกวนและแบบถูกรบกวน กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน เนื่องจากชั้นดินมีการเปลี่ยนแปลงมากและแต่ละหลุมก็อยู่ห่างกันมาก ดังนั้นจึงได้แสดงผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยแบ่งตามลักษณะชั้นดินดังแสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ถูกรบกวน แบบถูกรบกวน และ Sensitivity กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน

4.1.2.1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติดินที่ได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test, SPT

สำหรับผลการศึกษาคุณสมบัติดินที่ได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test, SPT ได้แสดงผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SPT N Value กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน และได้ผลการศึกษาคุณสมบัติดินโดยแบ่งตามลักษณะชั้นดินดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

4.1.2.2. ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4.1.2.2.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบ การอัดตัวแบบอิสระ (Unconfined Compression Test, UC)

ได้แสดงผลค่ากำลังรับแรงเฉือน, Su_{uc} ของดินดังแสดงในรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือน กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน และได้ผลการศึกษาคุณสมบัติดินโดยแบ่งตามลักษณะชั้นดินดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ลักษณะและค่าคุณสมบัติของชั้นดินของหลุมเจาะทั้งหมดบริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกงตามยาวของแม่น้ำบางปะกง ดังแสดงในรูปที่ 4.7

4.1.3 ผลการวัดระดับน้ำใต้ดิน (Piezometer)

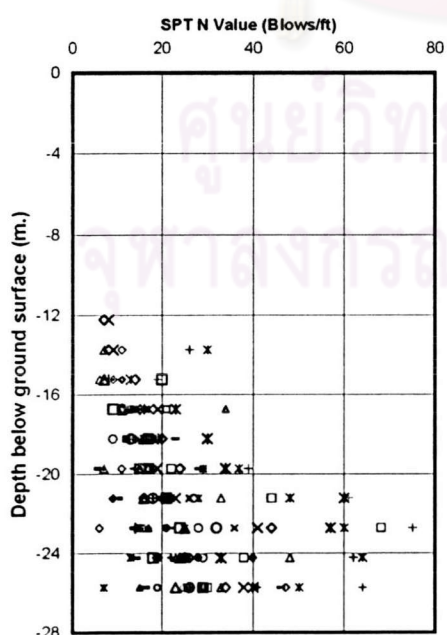
ผลที่ได้จากการวัดระดับน้ำใต้ดินบริเวณตลิ่งใกล้วัดสัมประทวน ซึ่งได้ทำการวัดระดับน้ำ และแรงดันน้ำด้วยเครื่องมือวัดระดับน้ำใต้ดิน (Piezometer) เป็นจำนวน 3 จุด คือ P-1 ที่ความลึก 10 เมตร P-2 ที่ความลึก 15 เมตร และ P-3 ที่ความลึก 5 เมตร สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ

น้ำและแรงดันน้ำ กับ เวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกิน กับ เวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.9

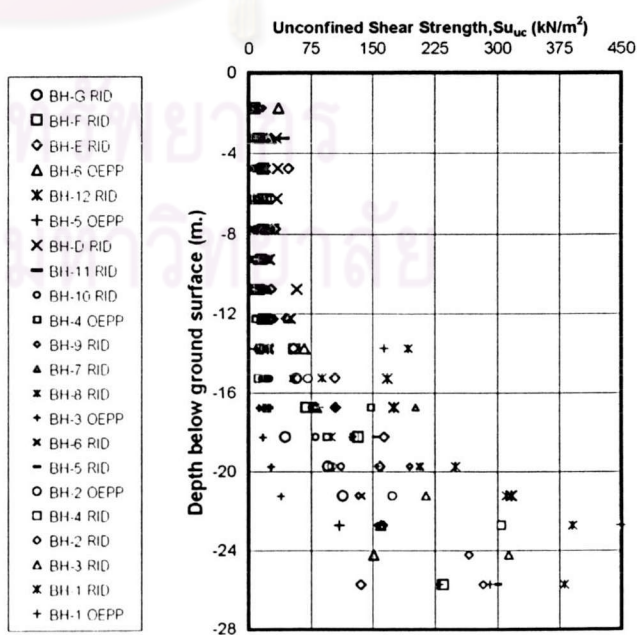
ผลที่ได้จากการวัดระดับน้ำใต้ดินบริเวณตลิ่งหน้าจวนผู้ว่าราชการจังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งได้ ทำการวัดระดับน้ำและแรงดันน้ำ เป็นจำนวน 6 จุด คือ P-4 ที่ความลึก 10 เมตร P-5 ที่ความลึก 15 เมตร P-6 ที่ความลึก 5 เมตร P-7 ที่ความลึก 10 เมตร P-8 ที่ความลึก 15 เมตร และ P-9 ที่ความลึก 5 เมตร สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและแรงดันน้ำ กับ เวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกิน กับ เวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของลักษณะชั้นดินในแต่ละชั้น

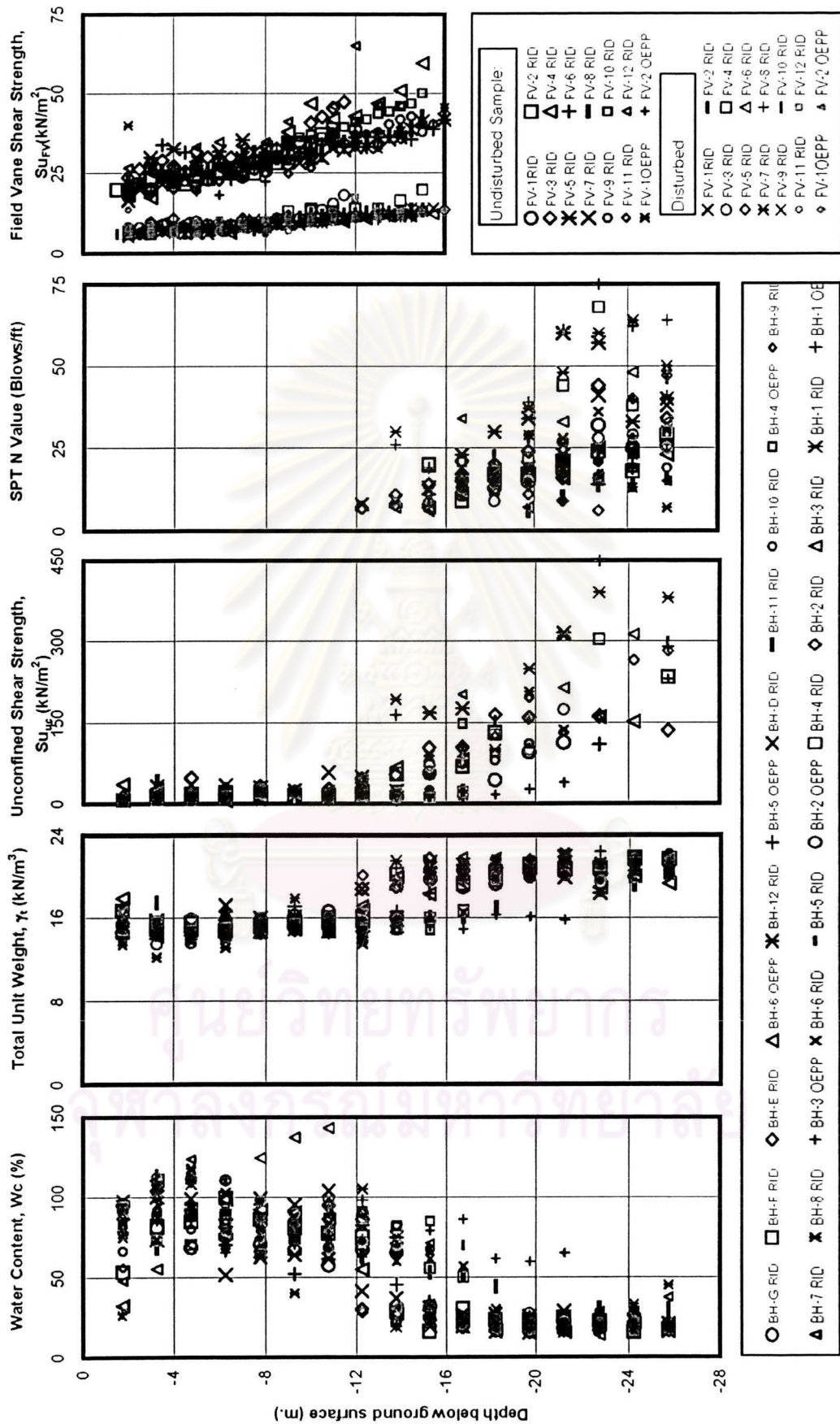
Soil Layer	SPT N Value, (Blows/ft)	Unconfined Shear Strength, $S_{u_{uc}}$ (kN/m ²)	Field Vane Shear Strength, $S_{u_{FV}}$ (kN/m ²)
Very Soft Clay	-	11 – 22	21 – 32
Soft Clay	-	6 – 42	18 – 47
Medium Clay	6-8	22 – 52	-
Stiff Clay	8-15	54 – 104	-
Very Stiff Clay	15-30	113 – 236	-
Hard Clay	30-68	230 – 449	-
Loose Sand	6-10	-	-
Medium Dense Sand	11-30	-	-
Dense Sand	33-41	-	-



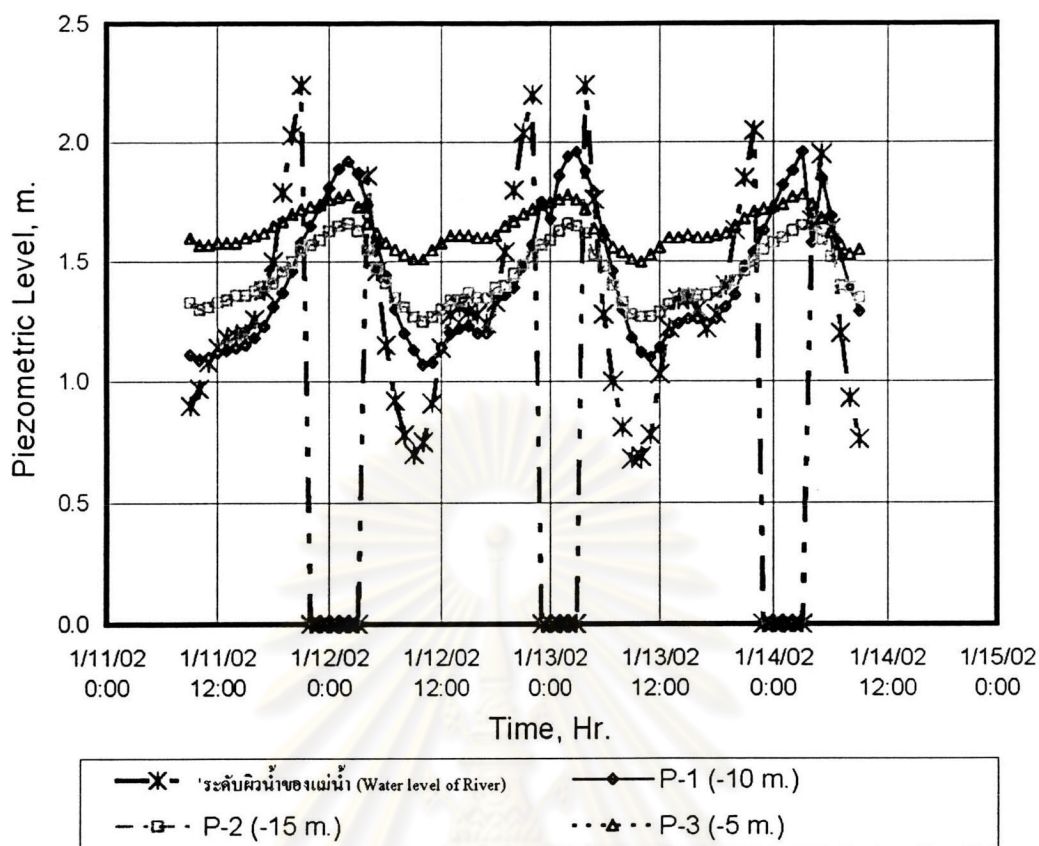
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง SPT N Value (Blows/ft) กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน



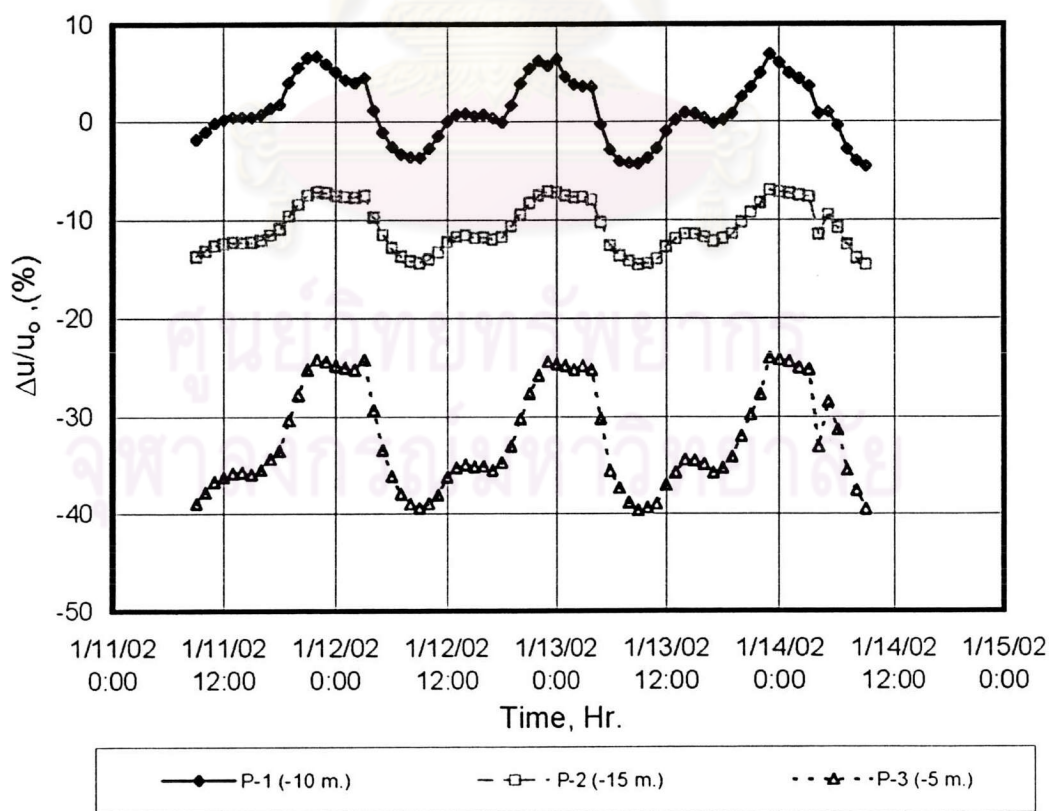
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารับแรงเฉือน กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน



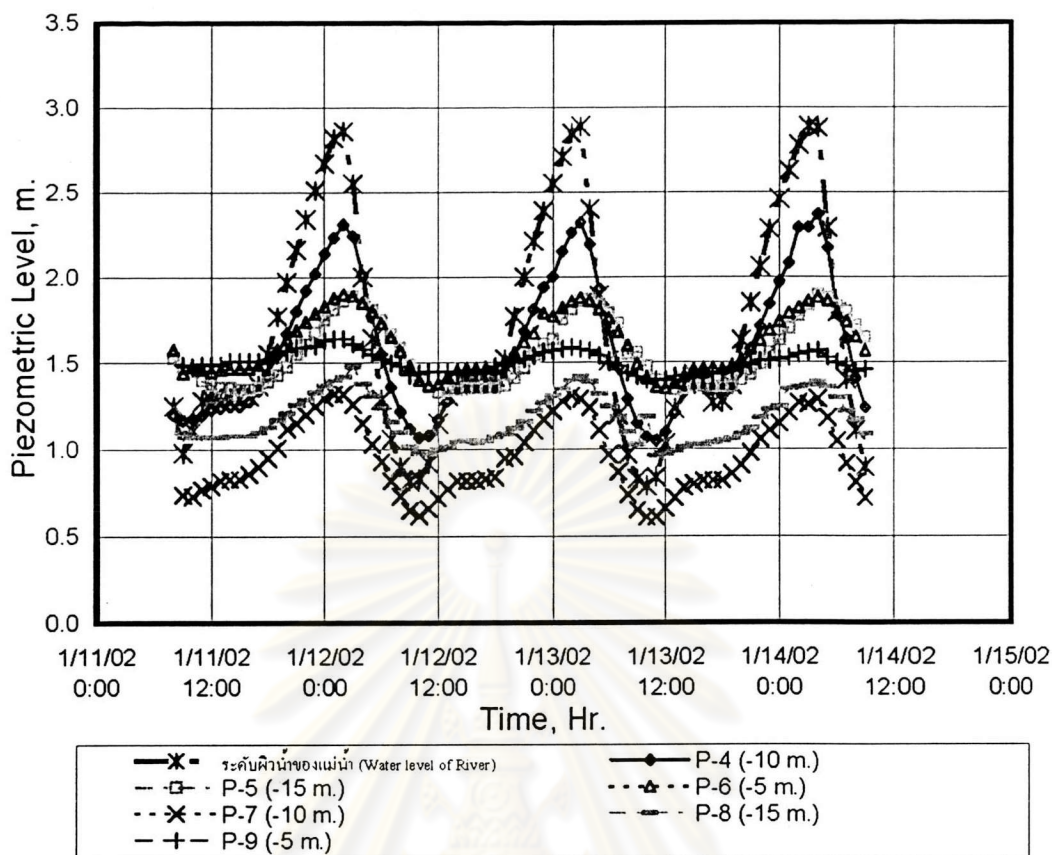
รูปที่ 4.7 คุณสมบัติของชั้นดินของหลุมเจาะบริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนตลิ่งน้ำบางปะกงตามยาวของแม่น้ำบางปะกง



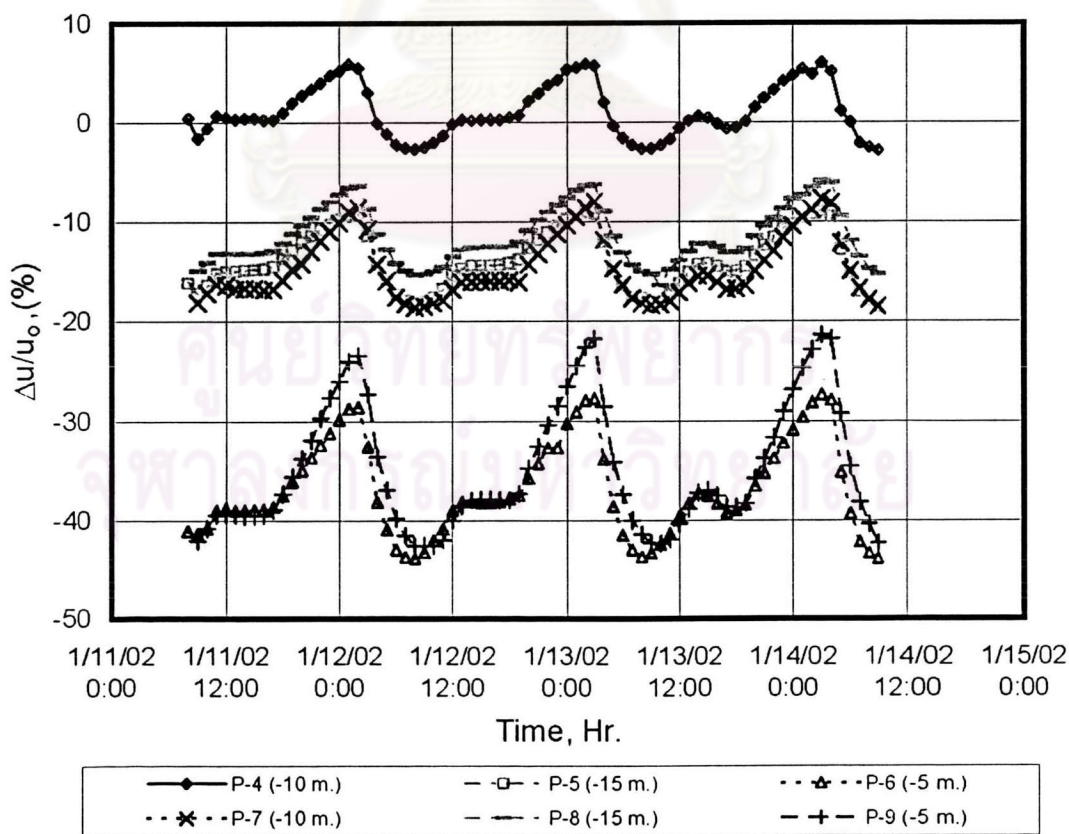
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและแรงดันน้ำ กับ เวลา บริเวณตลิ่งใกล้วัดสัมประชวน



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกิน กับ เวลา บริเวณตลิ่งใกล้วัดสัมประชวน



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและแรงดันน้ำกับเวลา บริเวณตลิ่งหน้าจวนผู้ว่าราชการยะเชิงเตรา



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกิน กับ เวลา บริเวณตลิ่งหน้าจวนผู้ว่าราชการยะเชิงเตรา

4.2 ผลการทดลองคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินในห้องปฏิบัติการบริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง

จากที่ได้ทำการทดลองตัวอย่างดินทั้ง 11 ตัวอย่างด้วยการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการทดลองคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินของแต่ละตัวอย่างดินได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

จากการเปรียบเทียบการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบการอัดตัวคลายน้ำแบบเท่ากันทุกทิศทางด้วยเครื่องไตรเอกเซียลในสภาพไม่ระบายน้ำ (Isotropically Consolidated – Undrained Triaxial Compression Test, CIUC Test), Su_{cu} กับ การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบการอัดตัวอิสระ (Unconfined Shear Strength, Su_{uc}) และการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสนาม (Field Vane Shear Strength, Su_{FV}) ซึ่งมีความแตกต่างของผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับแรงเฉือน กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.12

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนโมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ ต่อ กำลังรับแรงเฉือนแบบการอัดตัวคลายน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.13

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสของดินแบบการอัดตัวคลายน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ กับ ความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 4.14

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนโมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ ต่อ กำลังรับแรงเฉือนแบบการอัดตัวคลายน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ กับ ความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 4.15

4.3 ผลการศึกษาด้านการพังทลายของตลิ่ง

ในการศึกษาสภาพการพังทลายของตลิ่งบริเวณเขื่อนในภาคสนาม ได้ทำการศึกษาสภาพโดยรวมของบริเวณที่มีการพังทลาย ซึ่งได้มีการแก้ไขการพังทลายไป และได้พูดคุยซักถามกับประชาชนถึงสภาพก่อนปิดเขื่อนทดน้ำ และสภาพที่เกิดขึ้นจริงในวันที่ผู้รับเหมาทำการปิดบานประตูเขื่อน และช่วงเวลาที่กรมชลประทานปิดบานประตูเขื่อนอีกครั้งหนึ่ง อันพอจะสรุปได้ดังนี้

1. สภาพตลิ่งก่อนปิดประตูเขื่อนทดน้ำบางปะกง

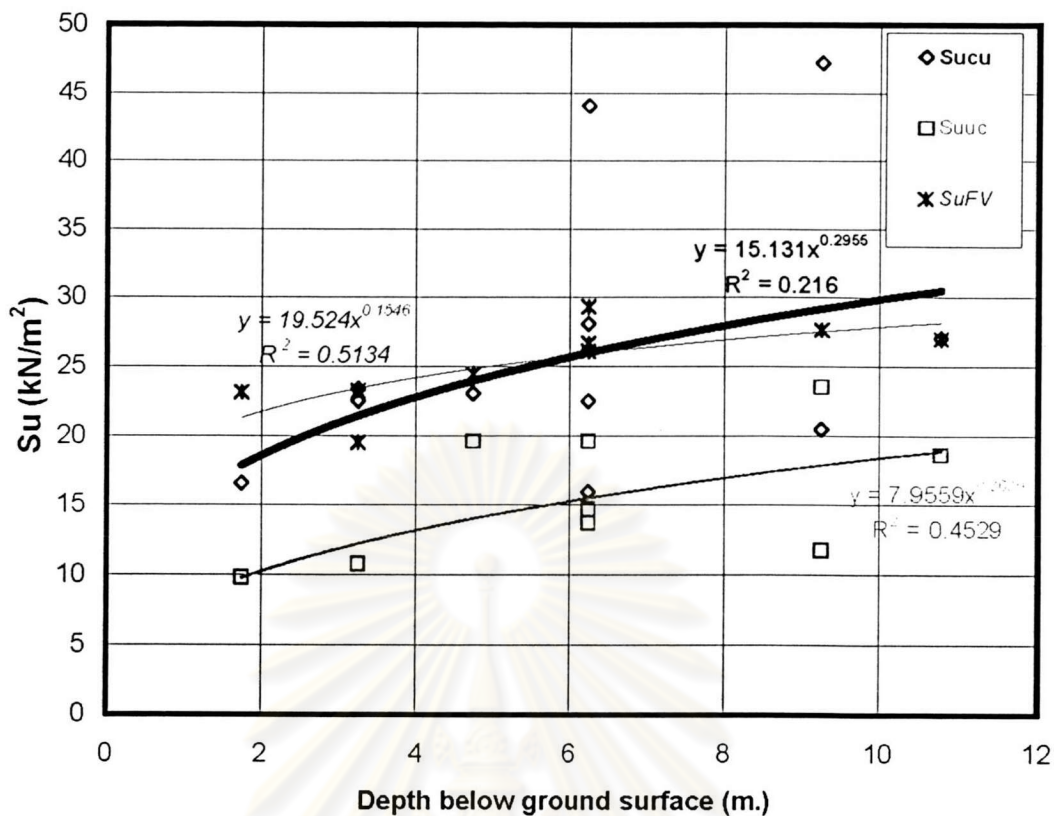
จากการตรวจสอบและสอบถามประชาชนพบว่า ขณะทำการก่อสร้างเขื่อนทดน้ำบางปะกงและก่อนปิดบานประตูเขื่อนไม่ปรากฏเหตุการณ์ใดๆ ไม่มีการพังทลายของตลิ่ง ยกเว้นบางพื้นที่

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติดินฐานและคุณสมบัติทางฝั่งวิศวกรรมของดินของแต่ละตัวอย่างดิน

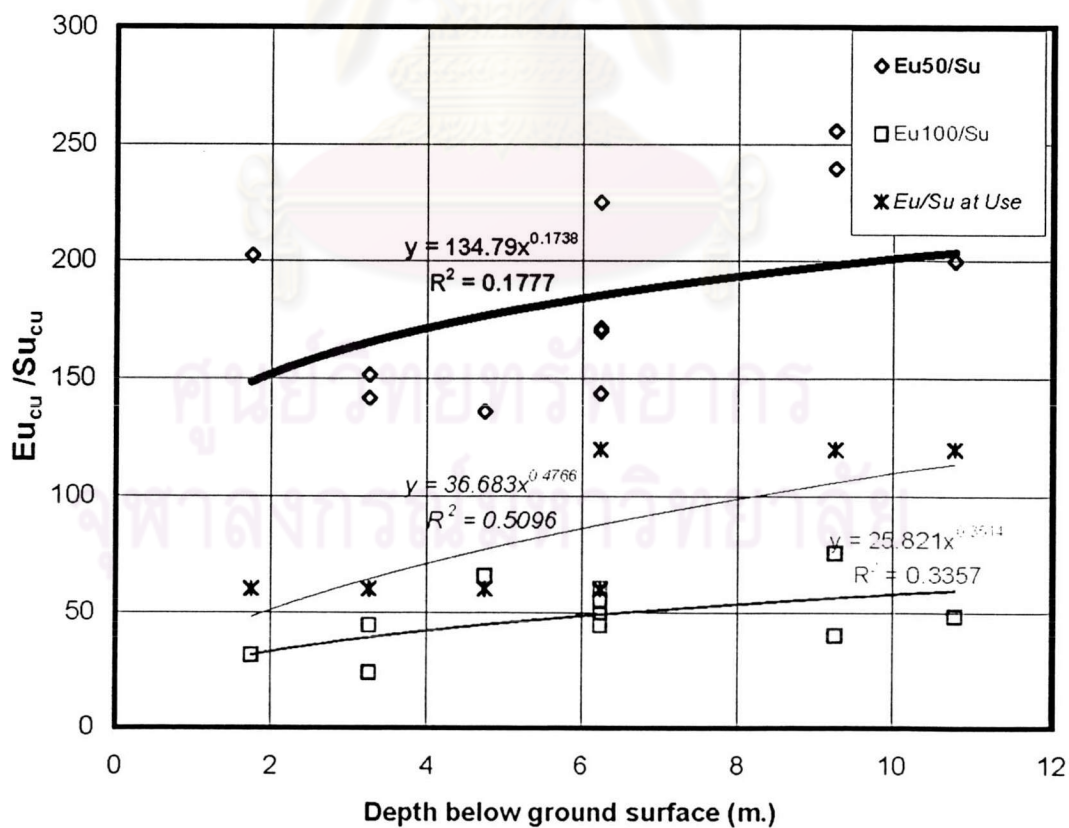
Test No.	Location	Borehole No.	Sample No.	Depth	Soil layer	ATTERBERG LIMIT (%)			Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Test, CIU Test										Strain (%)			Unconfined Compression Test			Field Vane Test		
						LL	PL	PI	WC (%)	Pore pressure (kN/m ²)	S _{u,w} (kN/m ²)	E _{u0} (kN/m ²)	E _{u0} /S _{u0} (kN/m ²)	E _{u0} /S _{u0} (kN/m ²)	E _u (kN/m ²)	E _u /S _u at 2% strain	E _u /S _u at 2% strain	E _u /S _u at Use	ε ₁₀₀ (%)	ε ₅₀ (%)	ε _u /S _u (%)	Wc (%)	S _{u,c} (kN/m ²)	Borehole No.	Depth	S _{u,v} (kN/m ²)	
1	บ้านคูขุดรังนิคมชัยสงคราม	BH-1 OEPP	ST-02	3.00-3.50	CH	103.7	41.4	62.3	82.71	34.5	22.52	3413	152	540	24	1605	71	0.7	8.0	60	104.2	10.79	FV-1 RID	3.00	19.52		
2	บ้านคูขุดรังนิคมชัยสงคราม	BH-1 OEPP	ST-06	9.00-9.50	CH	96.4	42.4	53.0	71.66	30.22	20.47	5230	255	819	40	1718	84	0.4	5.0	120	82.6	11.77	FV-1 RID	9.00	27.66		
3	บ้านคูขุดเขารัตน์ จุฬาลงกรณ์	BH-2 OEPP	ST-04	6.00-6.50	CH	109.1	44.6	64.5	113.95	27.87	16.95	2735	171	874	55	1515	95	0.6	3.7	60	111	13.73					
4	บ้านคูขุดเขารัตน์ จุฬาลงกรณ์	BH-2 OEPP	ST-06	9.00-9.50	CH	70.7	28.7	42.0	75.03	40.46	47.22	11305	239	3578	76	5662	120	0.4	2.5	120	90.1	23.54					
5	คลังสินค้าวัดสันประทาน	BH-2 RID	ST-01	1.50-2.00	CH	104.5	44.4	60.1	80.13	25.87	16.58	3354	202	520	31	1408	85	0.3	6.0	60	77.4	9.81	FV-3 RID	2.00	23.15		
6	คลังสินค้าวัดสันประทาน	BH-2 RID	ST-04	6.00-6.50	CH	715.5	34.4	81.1	104.54	30.77	28.09	4037	144	1702	61	2331	83	0.7	3.3	60	110.3	14.72	FV-3 RID	6.50	29.33		
7	วัดแหลมบัว	BH-3 OEPP	ST-04	6.00-6.50	CH	82.6	29.8	52.8	56.35	35.88	44.04	9909	225	2192	50	3666	88	0.4	4.0	120			FV-1 OEPP	6.00	26.68		
8	งานผู้ว่าการการประปาจังหวัด	BH-8 RID	ST-07	10.5-11.00	CH	87.1	29.6	57.5	67.2	37.19	27.07	5409	200	1311	48	3050	113	0.5	5.3	120	65.2	18.64	FV-10 RID	10.75	27.00		
9	งานผู้ว่าการการประปาจังหวัด	BH-7 RID	ST-02	3.00-3.50	CH	93.7	38.2	55.5	99.33	24.49	23.37	3311	142	1039	44	2116	91	0.7	4.5	60	98.1	10.79	FV-7 RID	3.25	23.25		
10	งานผู้ว่าการการประปาจังหวัด	BH-7 RID	ST-03	4.50-5.00	CH	109.6	30.1	79.5	119.66	31.39	23.07	3137	136	1518	66	2062	89	0.7	3.0	60	123.9	19.62	FV-7 RID	4.75	24.48		
11	งานผู้ว่าการการประปาจังหวัด	BH-7 RID	ST-04	6.00-6.50	CH	89.2	32.1	57.1	85.4	32.15	22.51	3826	170	1000	44	1943	86	0.6	4.5	120	76.9	19.62	FV-7 RID	6.25	26.09		

ตารางที่ 4.4 แสดงความแตกต่างของการทดสอบบิต่างด้านวิศวกรรมของดิน

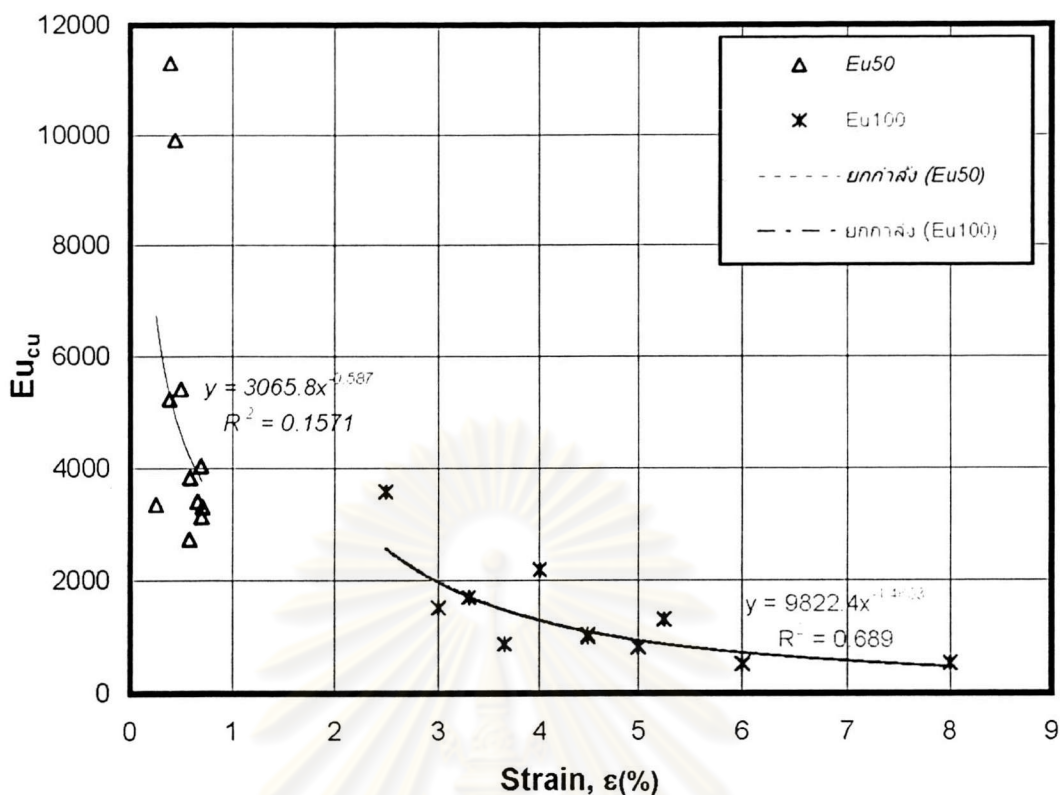
Test No	Location	Borehole No	Sample No.	Depth	Soil layer	ATTERBERG LIMIT (%)				Unconfined Compression Test				Field Vane Test				Difference				Difference (%)			
						LL	PL	FI	Wc (%)	Pore pressure (kN/m ²)	S _u _{cu} (kN/m ²)	E _u ₉₀ (kN/m ²)	Wc (%)	S _u _{cu} (kN/m ²)	Depth	SuFV (kN/m ²)	Wc(%) at Test after and Before	S _u _{cu} - S _u _{cu} (kN/m ²)	S _u _{cu} - S _u _{cu} (kN/m ²)	Wc(%) at Test after and Before	S _u _{cu} - S _u _{cu} (kN/m ²)	S _u _{cu} - S _u _{cu} (kN/m ²)	Wc(%) at Test after and Before	S _u _{cu} - S _u _{cu} (kN/m ²)	S _u _{cu} - S _u _{cu} (kN/m ²)
1	บ้านคนไร่ ๒ เขตจตุจักร	BH-1 OEPP	ST-02	3.00-3.50	CH	103.7	41.4	62.3	82.71	34.5	22.52	3413	104.2	10.79	FV-1 RID	3.00	19.52	-21.49	11.73	3.00	-25.98	52.09	13.32		
2	บ้านคนไร่ ๒ เขตจตุจักร	BH-1 OEPP	ST-06	9.00-9.50	CH	96.4	42.4	53.0	71.66	30.22	20.47	5230	82.6	11.77	FV-1 RID	9.00	27.66	-10.94	8.70	-7.19	-15.27	42.50	-35.12		
3	บ้านคนเขาวัง ๒ เขตจตุจักร	BH-2 OEPP	ST-04	6.00-6.50	CH	109.1	44.6	64.5	113.95	27.87	15.96	2735	111	13.73				2.95	2.22	2.59	13.92				
4	บ้านคนเขาวัง ๒ เขตจตุจักร	BH-2 OEPP	ST-06	9.00-9.50	CH	70.7	28.7	42.0	75.03	40.46	47.22	11305	90.1	23.54				-15.07	23.68	-20.09	50.15				
5	คลังไม้สัก ๒ เขตจตุจักร	BH-2 RID	ST-01	1.50-2.00	CH	104.5	44.4	60.1	80.13	25.87	16.58	3354	77.4	9.81	FV-3 RID	2.00	23.15	2.73	6.77	-6.57	3.41	40.83	-29.63		
6	คลังไม้สัก ๒ เขตจตุจักร	BH-2 RID	ST-04	6.00-6.50	CH	115.5	34.4	81.1	104.54	30.77	28.09	4037	110.3	14.72	FV-3 RID	6.50	29.33	-5.76	13.37	-1.24	-5.51	47.60	-4.41		
7	วัดหนองไผ่	BH-3 OEPP	ST-04	6.00-6.50	CH	82.6	29.8	52.8	56.35	35.88	44.04	9909			FV-1 OEPP	6.00	26.68			17.36			39.42		
8	งานผู้ว่าราชการจังหวัดเชียงใหม่	BH-8 RID	ST-07	10.5-11.00	CH	87.1	29.6	57.5	67.2	37.19	27.07	5409	65.2	18.64	FV-10 RID	10.75	27.00	2.00	8.43	0.07	2.98	31.14	0.26		
9	งานผู้ว่าราชการจังหวัดเชียงใหม่	BH-7 RID	ST-02	3.00-3.50	CH	93.7	38.2	55.5	59.33	24.49	23.37	3311	96.1	10.79	FV-7 RID	3.25	23.25	1.23	12.58	0.12	1.24	53.83	0.51		
10	งานผู้ว่าราชการจังหวัดเชียงใหม่	BH-7 RID	ST-03	4.50-5.00	CH	109.6	30.1	79.5	119.66	31.32	23.07	3137	123.9	19.62	FV-7 RID	4.75	24.48	-4.24	3.45	-1.41	-3.54	14.95	-6.11		
11	งานผู้ว่าราชการจังหวัดเชียงใหม่	BH-7 RID	ST-04	6.00-6.50	CH	89.2	32.1	57.1	86.4	32.15	22.51	3826	76.9	19.62	FV-7 RID	6.25	26.09	8.50	2.89	-3.58	9.95	12.84	-15.90		



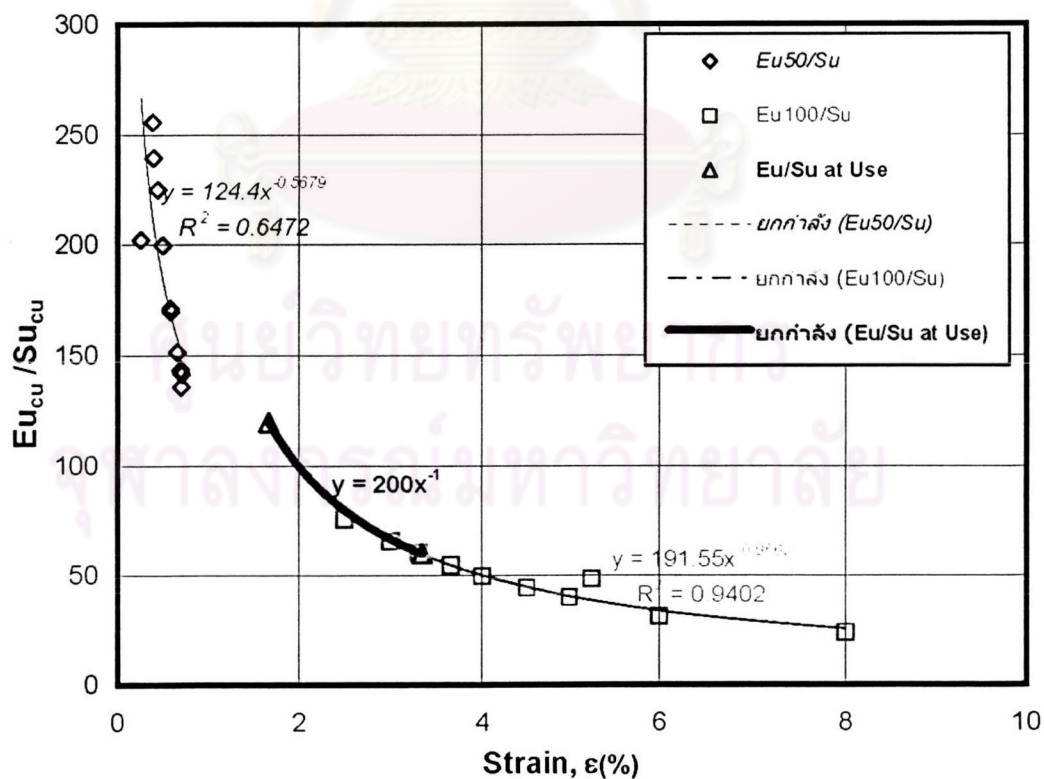
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับแรงเฉือน กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนโมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ ต่อ กำลังรับแรงเฉือนแบบการอัดตัวคลายน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ กับ ความลึกที่ต่ำกว่าผิวดิน



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสของดินแบบการอัดตัวกลายน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ กับ ความเครียด



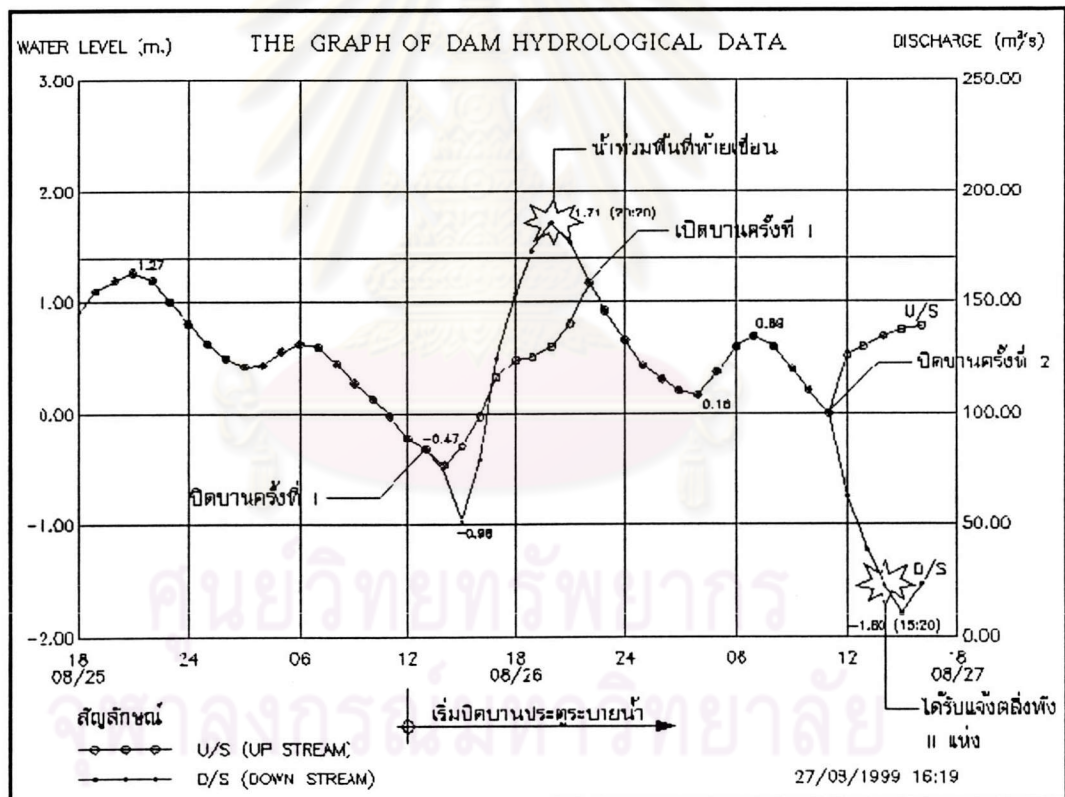
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนโมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ ต่อ กำลังรับแรงเฉือนแบบการอัดตัวกลายน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ กับ ความเครียด

ที่อยู่ในบริเวณที่เสถียรภาพของตลิ่งไม่ได้อยู่แล้ว และมีการพังของตลิ่งเองต่างๆ ที่น้ำขึ้นสูงก็ตาม และยกเว้นบางพื้นที่ที่มีการกัดเซาะของตลิ่งเนื่องจากการไหลของทิศทางน้ำอยู่แล้ว ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าตลิ่งโดยทั่วไปไม่มีการพังทลายก่อนทำการปิดบานประตูเขื่อน

2. สภาพตลิ่งภายหลังการปิดบานประตูเขื่อนทดน้ำ

เมื่อมีการทดสอบปิดประตูระบายน้ำเขื่อนทดน้ำบางปะกงโดยผู้รับเหมาก่อสร้าง เมื่อวันที่ 26-27 สิงหาคม 2542 ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำอย่างมากมาข ดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยมีระดับน้ำแตกต่างกันระหว่างระดับสูงสุดและต่ำสุดถึงประมาณ 3.50 ม. จากความแตกต่างดังกล่าวได้เกิดการพังทลายของตลิ่งขึ้นจำนวน 12 แห่งบริเวณท้ายเขื่อนดังรูปที่ 4.17 และหลังจากส่งมอบงานให้กรมชลประทานแล้ว ได้มีการปิดประตูทดน้ำอีกครั้งหนึ่งประมาณวันที่ 6 มกราคม 2543 ได้เกิดการพังทลายเพิ่มเติมขึ้นอีก 1 แห่ง บริเวณจวนผู้ว่าราชการจังหวัดฉะเชิงเทรา

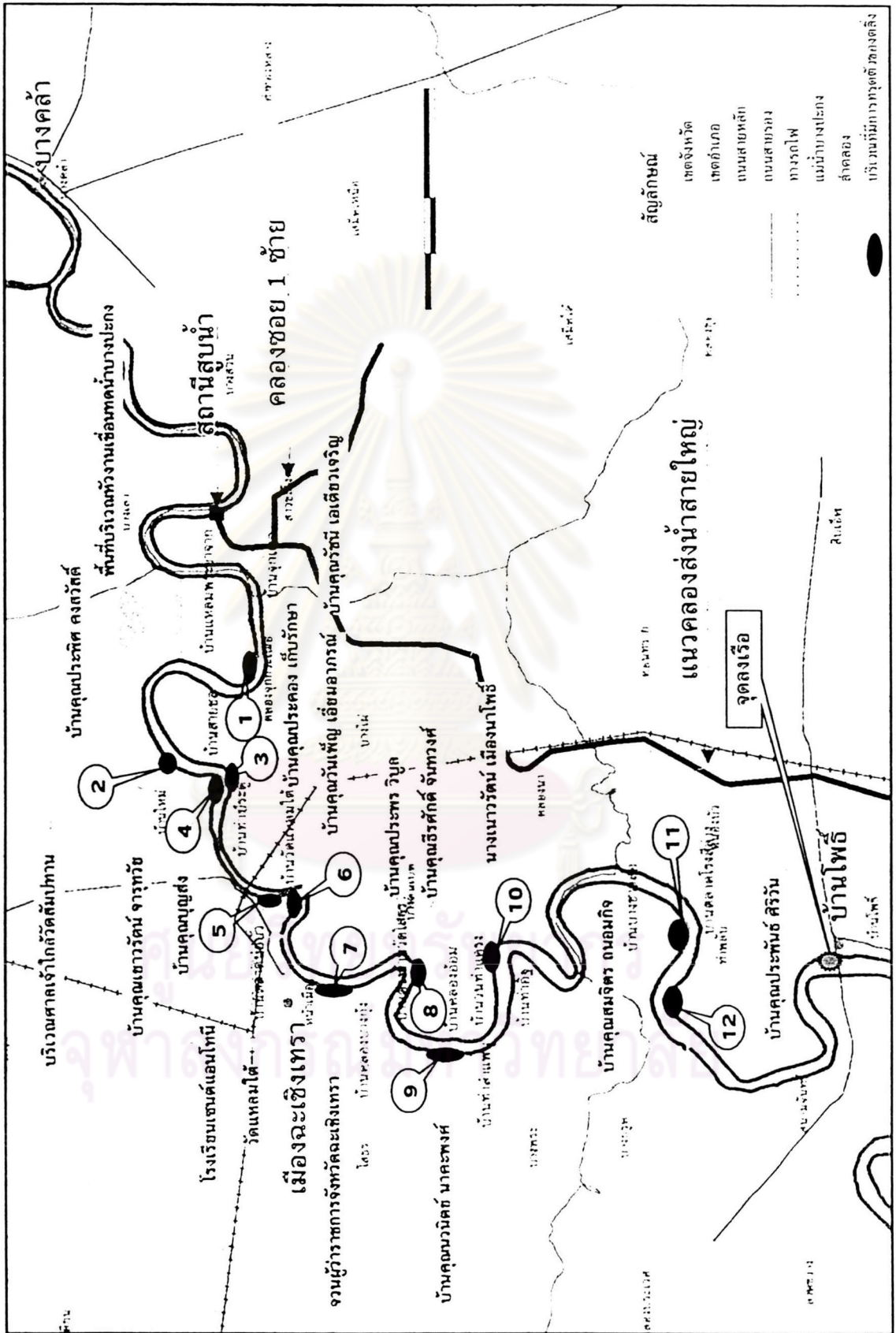
จากการตรวจสอบการพังทลายในภาคสนามดังแสดงในภาพถ่ายรูปที่ 4.18 ถึงรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.16 ข้อมูลระดับน้ำระหว่างวันที่ 26-27 สิงหาคม 2542

4.3.1 ลักษณะทางธรณีวิทยาและปัจจัยที่ทำให้เกิดการพังทลายของตลิ่งในพื้นที่โครงการ

ลักษณะทางธรณีวิทยาและปัจจัยที่ทำให้เกิดการพังทลายของตลิ่งในพื้นที่โครงการ เกิดจากลักษณะของดินชั้นบนลึกประมาณ 6 เมตร ของตลิ่งริมฝั่งแม่น้ำบางปะกง ซึ่งเป็นดินเหนียวอ่อน



รูปที่ 4.17 แผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ที่มีตั้งฟงทลายท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง



บ้านคุณเขาวรัตน์ จารุทวย



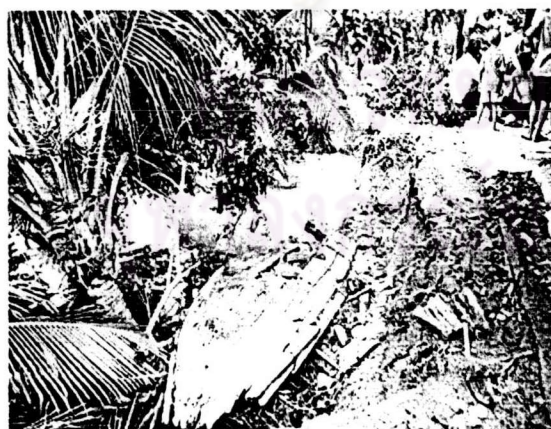
บริเวณศาลเจ้าไถ่วัดสัมปทวน



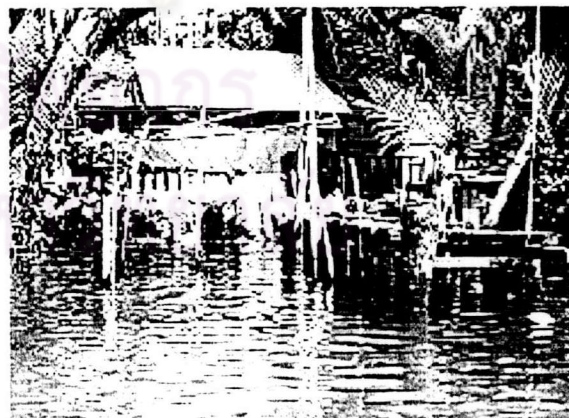
วัดแหลมไต้



บ้านคุณประพันธ์ ศิริวัน



บ้านคุณประคอง เก็บรักษา



บ้านคุณรัชนี้ เอเตียวเจริญ

รูปที่ 4.18 รูปแสดงส่วนหนึ่งของบริเวณที่ดลิ่งพังทลายหลังจากทดสอบปิดประตูระบายน้ำ ระหว่างวันที่ 26-27 สิงหาคม 2542



รูปที่ 4.19 รูปแสดงตลิ่งหน้าจวนผู้ว่าราชการจะเชิงเทราที่พังทลายหลังการทดลอง ปิดประตูระบายน้ำวันที่ 6 มกราคม 2543

มาก อุ้มน้ำได้ดี ทำให้แรงดันของดินและน้ำในดินสูงอยู่ตลอดเวลา โดยจะพบว่าดินชั้นบนที่มีความลึกประมาณ 6 เมตร มีค่าแรงดัน Piezometric level ค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับชั้นลงของน้ำในแม่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.11 หัวข้อที่ 4.1.3 ดังนั้น เมื่อแรงดันของดินสูงกว่าแรงเสียดทานในดินตามแนวการเคลื่อนที่ตัวของมวลดิน (หรือรวมแรงต้านของกำแพงกันดินในกรณีที่มีการก่อสร้างกำแพงกันดินไว้ด้วย) ก็จะทำให้เกิดการพังทลายของตลิ่ง ทั้งในกรณีที่ระดับน้ำขึ้นลงที่เกิดจากการดำเนินการเขื่อนดังนี้

โดยสามารถประเมินพฤติกรรมและสาเหตุการพังทลายของตลิ่ง 2 ประการด้วยกัน คือ

1. การพังทลาย ตามธรรมชาติ
2. การพังทลายเนื่องจากการปิด-เปิดประตูระบายน้ำ

4.3.1.1 การพังทลายตามธรรมชาติ

จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ

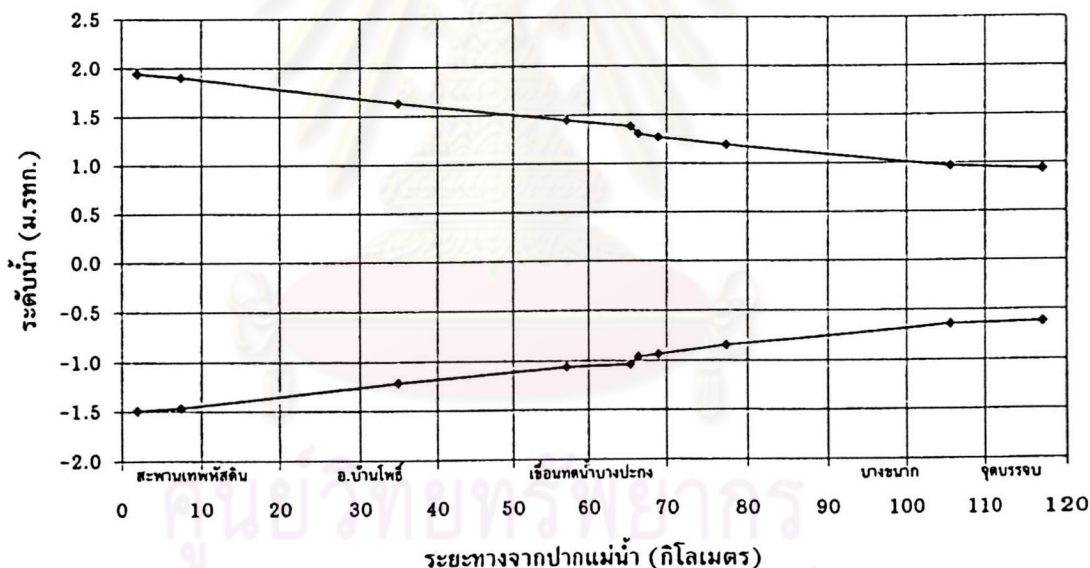
1. ลักษณะการขึ้นลงของน้ำหรือการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ
2. ความลาดชันของตลิ่งและสภาพของสิ่งก่อสร้างเพื่อป้องกันตลิ่งที่มีอยู่

ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.3.1.1.1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ

แม่น้ำบางปะกงเป็นแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลอยู่ตลอดเวลา ดังจะเห็นได้จากการที่มีการขึ้นลงของระดับน้ำตลอดเวลาใน 1 วัน ด้วยเหตุนี้ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจึงเป็นปัจจัยที่มีอยู่เองตามธรรมชาติอยู่แล้วในแม่น้ำบางปะกง จากการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า เมื่อใช้ค่าอัตราการไหลออกแบบและลักษณะการขึ้นลงของน้ำทะเลเฉลี่ย มาทำการหาลักษณะการขึ้นลงของแม่น้ำบางปะกง จะมีค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดลำน้ำ ตามแสดงในรูปที่ 4.20 จุดที่อยู่ใกล้ทะเลก็มีความแตกต่างของระดับน้ำสูงสุดและระดับน้ำต่ำสุดมาก เช่น ที่สะพานบางปะกงใกล้โรงไฟฟ้า จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำถึง จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามธรรมชาติ ในช่วง +1.80 ม.รทก. และ -1.30 ม.รทก. หรือคิดเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำถึง 3.2 ม. ในช่วงเวลา 1 วัน ส่วนตำแหน่งที่เป็นที่ตั้งของเขื่อนทดน้ำบางปะกงในปัจจุบันจะมีระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดตามธรรมชาติอยู่ที่ +1.35 ม.รทก. และ -1.05 ม.รทก. หรือคิดเป็นความแตกต่างของระดับน้ำ 2.4 ม.

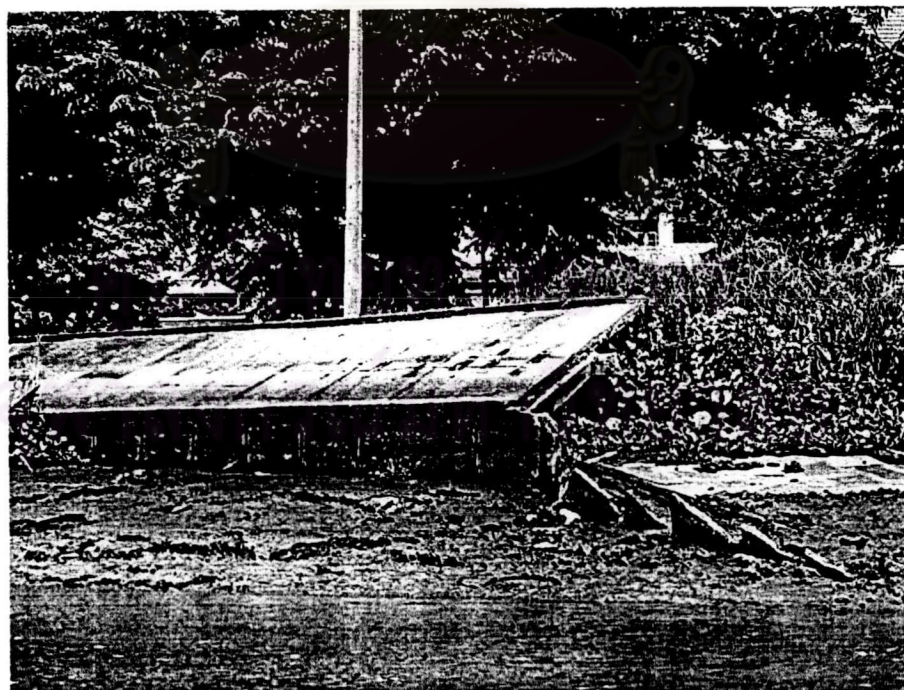
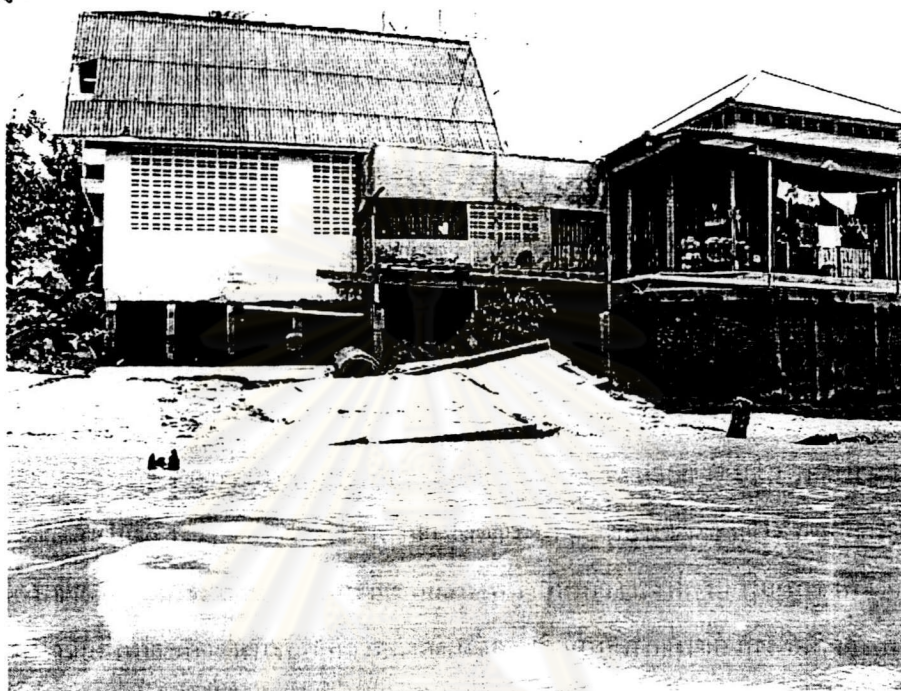
ระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดในกรณีไม่เปิดดำเนินการเขื่อน



รูปที่ 4.20 ลักษณะการขึ้นลงในแม่น้ำบางปะกงในกรณีปกติ

เมื่อระดับน้ำในแม่น้ำลดลงแต่ระดับน้ำในดินเหนียวชั้นบนไม่ได้ลดลงตามระดับน้ำในแม่น้ำทำให้แรงดันดินค่อยๆ สูงขึ้น และเมื่อน้ำลดลงจนถึงระดับที่แรงดันดินสูงกว่าแรงต้านการเคลื่อนที่ของมวลดิน (ซึ่งก็คือแรงเสียดทานของดินเพียงอย่างเดียว เนื่องจากไม่มีแรงดันน้ำภายนอกช่วยพยุงเพราะระดับน้ำภายนอกลดต่ำลงไปแล้ว) ก็จะทำให้เกิดการพังทลายจากการขึ้นลงของระดับน้ำตามธรรมชาติที่กล่าวมา ตามรูปที่ 4.20 จะพบว่าในสภาพธรรมชาติที่ไม่มีการเปิดดำเนินการเขื่อนก็จะมีพังทลาย ของตลิ่งตามธรรมชาติ เกิดขึ้นได้ในจุดที่ตลิ่งมีความชันมาก

หรือมีกำแพงกันดินที่ไม่เหมาะสมกับสภาพความชันของตลิ่ง ซึ่งประชาชนในพื้นที่ประสบปัญหา อยู่เป็นประจำตามที่แสดงในรูปที่ 4.21 ในกรณีเปิดดำเนินการเขื่อนซึ่งจะทำให้พิสัยการขึ้นลงของ ระดับน้ำตามธรรมชาติก็จะส่งผลให้ตลิ่งมีเสถียรภาพต่ำเกิดการพังทลายเพิ่มขึ้นจากธรรมชาติได้ ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยอีกประการหนึ่งคือ ความลาดชันของตลิ่งและสภาพของสิ่งก่อสร้างเพื่อป้องกัน ตลิ่งที่มีอยู่ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.21 การพังทลายของตลิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในกรณีไม่มีการเปิดดำเนินการ

4.3.1.1.2 ความลาดชันของตลิ่งและสภาพของสิ่งก่อสร้างเพื่อป้องกันตลิ่งที่มีอยู่

จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งที่ผ่านมาสรุปได้ว่า ตลิ่งที่มีความชันมากๆ จะมีโอกาสพังทลายได้มากกว่าตลิ่งที่มีความชันน้อย โดยเมื่อสำรวจสภาพของตลิ่งตลอดลำน้ำบางปะกง จะพบว่าตลิ่งมีความชันแตกต่างกันหลายรูปแบบ ตามตัวอย่างในรูปที่ 4.22



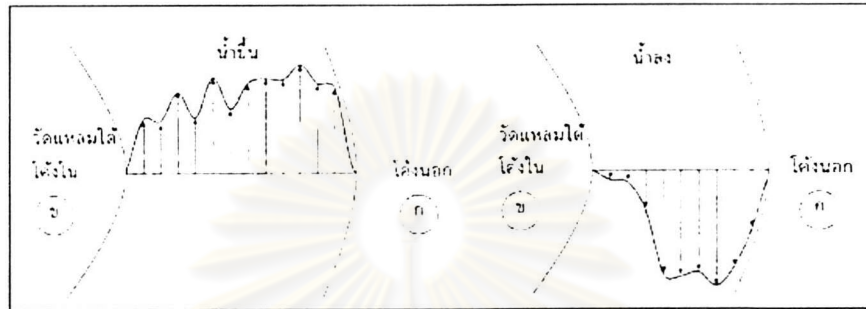
รูปที่ 4.22 ตัวอย่างลักษณะของตลิ่งริมแม่น้ำบางปะกงในสภาพปัจจุบัน

ปัจจัยที่ทำให้ตลิ่งมีสภาพเปลี่ยนไปหรือมีความลาดชันต่างๆกัน จะเกิดจาก 2 ปัจจัยหลักคือ

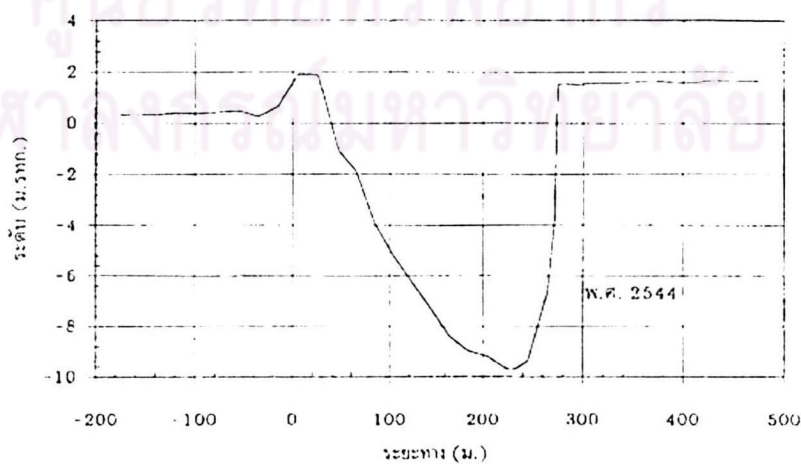
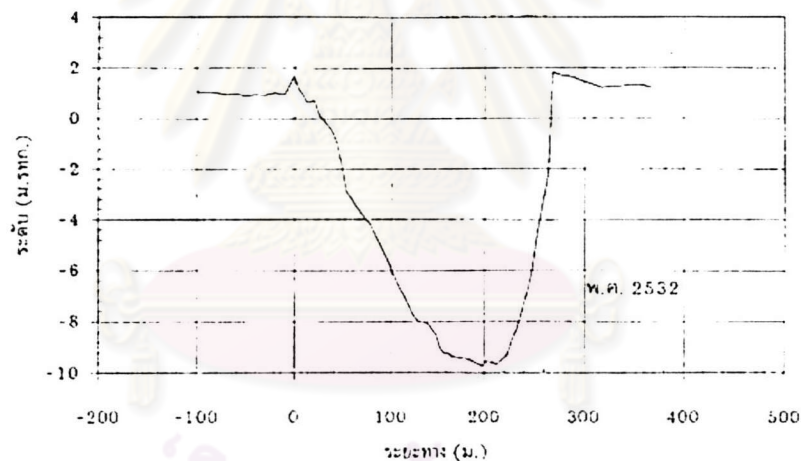
4.3.1.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงความชันของตลิ่งตามธรรมชาติ

การเปลี่ยนแปลงความชันของตลิ่งตามธรรมชาติเกิดจากลักษณะการขึ้นลงของน้ำในแม่น้ำบางปะกง โดยการขึ้นลงของน้ำตามธรรมชาติก็สามารถทำให้เกิดการพังทลายของตลิ่งได้ นอกจากนี้ความคดเคี้ยวของลำน้ำและการขึ้นลงของน้ำ ทำให้เกิดอัตราการไหลของน้ำในลำน้ำที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทั้งในด้านปริมาณและทิศทาง ซึ่งจะเห็นผลชัดเจนที่สุดในช่วงที่เป็นโค้งของลำน้ำ ตัวอย่างเช่น จากการวัดอัตราความเร็วของกระแสน้ำเมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2545 พบว่าความเร็วของน้ำ ในหน้าตัดลำน้ำช่วงนั้นจะมีการกระจายความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอดังในแสดงในรูปที่ 4.23 ซึ่งเป็นรูป Velocity Profile ของลำน้ำที่โค้งบริเวณวัดแหลมใต้ซึ่งอยู่ท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง ประมาณ 8 กิโลเมตร จากรูปจะเห็นว่าในช่วงโค้งนอก (ส่วน ก) ซึ่งเป็นส่วนที่มีความยาวของโค้ง

มากกว่าจะมีความเร็วของน้ำมากกว่าโค้งในจากลักษณะดังกล่าวทำให้ตลิ่งที่โค้งนอกถูกกัดเซาะมากกว่าโค้งใน ทำให้มีความชันมากกว่า ตามที่แสดงในรูปที่ 4.24 การกัดเซาะในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นทุกวันตามธรรมชาติทำให้ตลิ่งมีความชันเปลี่ยนไปอยู่ตลอดเวลาตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.24 จนถึงจุดที่มีความชันที่เกิดจากการกัดเซาะตามธรรมชาตินี้ชันมากจนถึงจุดที่การขึ้นลงของน้ำตามปกติ (+1.35 ม.รทก. ถึง -1.05 ม.รทก.) ก็อาจทำให้ตลิ่งพังได้ ตลิ่งดังกล่าวก็จะพังลงได้ตามธรรมชาติ



รูปที่ 4.23 Velocity Profile ของลำน้ำบริเวณ โค้งวัดแหลมใต้



รูปที่ 4.24 รูปตัดลำน้ำในบริเวณที่โค้งของลำน้ำ

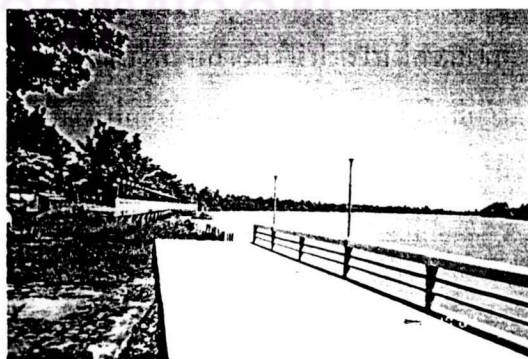
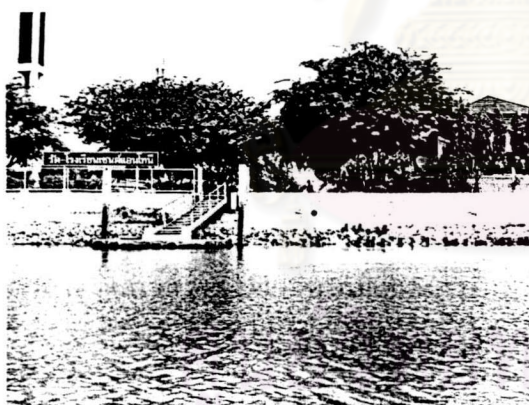
4.3.1.1.2.2 การเปลี่ยนแปลงจากความชันของตลิ่งจากการกระทำของมนุษย์

ในตลอดสองฝั่งแม่น้ำบางปะกงจะมีการปรับสภาพตลิ่งและโครงสร้างป้องกันตลิ่ง ในลักษณะต่างหลายรูปแบบ ตามที่แสดงในรูปที่ 4.25 การตัดแปลงสภาพตลิ่งโดยการกระทำของ มนุษย์จะมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการคือ

1. เพื่อป้องกันการลดการกัดเซาะตามธรรมชาติ ตามที่กล่าวมาข้างต้นมิให้เกิด ขึ้นกับที่ดินของตน

2. เพื่อขยายพื้นที่ใช้สอยริมน้ำให้มากขึ้น โดยการปรับความชันของตลิ่งหรือถม ตลิ่งให้ชันขึ้นจะได้มีพื้นที่จากเดิมที่เป็นลาดตลิ่งก็จะกลายเป็นที่ราบเพื่อใช้สอยเพิ่มขึ้น โดยบาง แห่งอาจมีโครงสร้างป้องกันตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.25

การปรับสภาพตลิ่งอย่างไม่ถูกวิธีจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของตลิ่งหรือ สมดุลของแรงในดินในช่วงแรกหลังจากก่อสร้างโครงสร้างแล้วเสร็จใหม่ ๆ ตลิ่งที่ปรับปรุงขึ้นจะคง รูปอยู่ได้แต่เมื่อเวลาผ่านไปการกัดเซาะจากการขึ้นลงของน้ำและการสึกหรอของ โครงสร้างก็จะทำให้เสถียรภาพของ โครงสร้างและตลิ่งต่ำลงจนพังทลายได้ ตลิ่งที่ได้รับการปรับปรุงให้มีความชัน มากๆอย่างไม่ถูกวิธีก็จะมีเสถียรภาพต่ำและมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ โดยเมื่อมีการ เปิดดำเนินการเขื่อนซึ่งทำให้พิสัยการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงขึ้น ตลิ่งที่มีเสถียรภาพต่ำเหล่านี้ก็มี โอกาสพังทลายได้



รูปที่ 4.25 การปรับสภาพตลิ่งและสร้าง โครงสร้างป้องกันตลิ่งตลอด 2 ฝั่งแม่น้ำบางปะกง

4.3.1.2 การพังทลายเนื่องจากการปิด-เปิดประตูระบายน้ำ

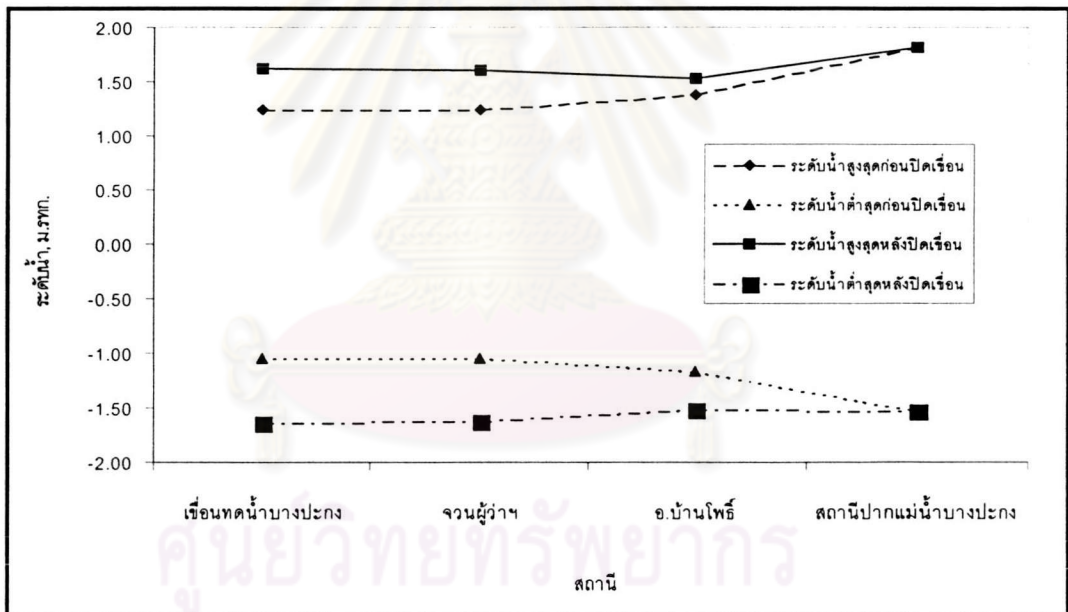
จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ

1. ทางด้านชลศาสตร์
2. การลดลงของระดับน้ำทันทีทันใด (Rapid Drawdown)

ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.3.1.2.1 ทางด้านชลศาสตร์

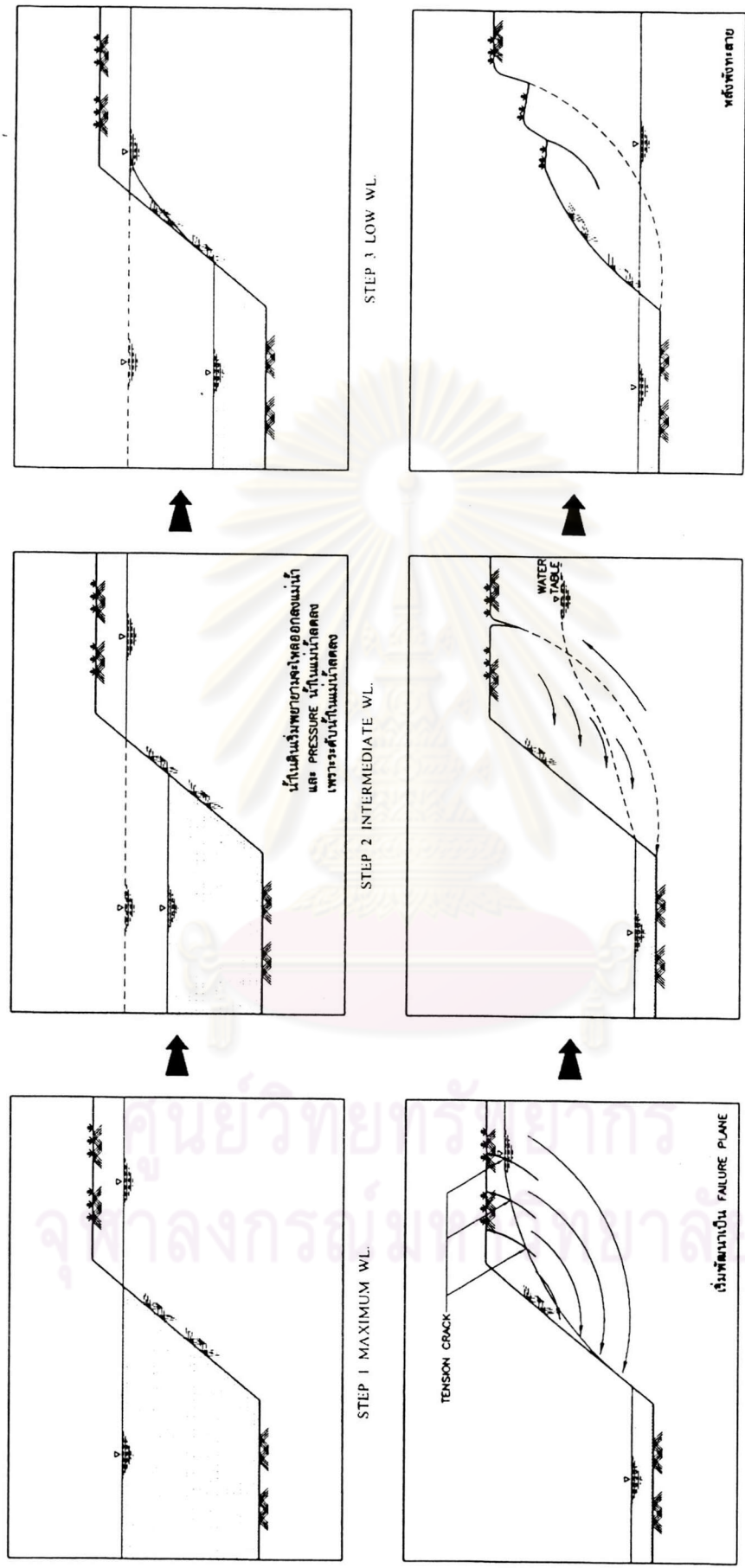
ทั้งนี้เนื่องจากการปิดบานประตูระบายน้ำปิดในทันทีทันใด โดยมีได้ควบคุมให้มีการลดระดับน้ำอย่างช้าๆ ตามธรรมชาติ แต่เป็นการลดระดับน้ำหลังเขื่อนอย่างรวดเร็ว โดยระดับน้ำลดมากที่สุดบริเวณเขื่อนทดน้ำและน้อยลงเรื่อยๆ ตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผลต่างของระดับน้ำขึ้นและลงในกรณีที่ปิดบานประตูระบายน้ำจะมากกว่าผลต่างของระดับน้ำในกรณีไม่ปิดบานประตูระบายน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.26 ส่งผลให้เกิดการพังทลายของตลิ่งมากขึ้นกว่าสภาพปกติที่เคยเกิดขึ้นตามธรรมชาติ



รูปที่ 4.26 แสดงระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้งกรณีเปิดบานประตูและระหว่างปิดบานประตูระบายน้ำ

4.3.1.2.2 การลดลงของระดับน้ำทันทีทันใด (Rapid Drawdown)

เนื่องจากระดับน้ำในแม่น้ำลดลงทันทีทันใด เมื่อปิดบานประตูระบายน้ำทำให้แรงดันน้ำในดินเชิงลาดตลิ่งสูงกว่าระดับน้ำในแม่น้ำ (Excess Pore Pressure) ประกอบกับพื้นที่ที่มีการกัดเซาะเกิดขึ้นทำให้เชิงลาดชันขึ้น จึงเกิดการพังทลายของเชิงลาดตลิ่งในอัตราที่สูงขึ้นกว่าเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.27



STEP 6 COMPLETE FAILURE TO NEW STABLE POSITION

STEP 5 FULLY DEVELOPED FAILURE PLANE

STEP 4 START FAILURE

STEP 3 LOW WL

STEP 2 INTERMEDIATE WL

STEP 1 MAXIMUM WL

รูปที่ 4.27 กลไกการเกิด RAPID DRAWDOWN

แต่หากศึกษาจากสภาพทั่วไป, พฤติกรรม และระยะเวลาในการเกิดการพังทลายแล้ว กรณี Rapid Draw Down น่าจะเกิดขึ้นมากกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่งการเกิด Draw Down Failure มาจากสาเหตุ 3 ประการ คือ

1. การปิดประตูระบายน้ำทันทีทันใด (ปัญหาทางด้านชลศาสตร์)
2. การลดระดับน้ำทันทีอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดแรงดันของน้ำในมวลดิน (Excess Pore Pressure) ไหลย้อนกลับ ทำให้เสถียรภาพลดลงทันทีและพังทลาย
3. การกักเซาะตลิ่ง (ที่เกิดในระยะยาว) ทำให้ความชันของตลิ่งมากขึ้น

4.4 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่ง

4.4.1 ผลการรวบรวมข้อมูลชั้นดินตำแหน่งและรูปตัดลำนํ้าของบริเวณที่มีการพังทลายของตลิ่ง

จากที่ได้ทำการเปรียบเทียบตำแหน่งและรูปตัดลำนํ้าของบริเวณที่มีการพังทลายและใกล้กับบริเวณที่พังทลายตลอดลำนํ้าท้ายเขื่อนทดน้ำบางประกงในปี พ.ศ.2532 (ก่อนการพังทลาย) กับ ปี พ.ศ.2544 (หลังการพังทลาย) ทำให้ได้ตำแหน่งและรูปตัดของตลิ่งที่สามารถจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาเสถียรภาพและการเคลื่อนตัวของตลิ่ง 5 ตำแหน่งด้วยกันดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และลักษณะชั้นดิน ค่าพารามิเตอร์และคุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้สรุปและแสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ตำแหน่งและรูปตัดของตลิ่งที่สามารถจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาเสถียรภาพและการเคลื่อนตัวของตลิ่ง 5 ตำแหน่ง

สถานที่	แผนที่ตำแหน่งของรูปตัด แสดงไว้ในภาคผนวก ก รูปที่	รูปร่างหน้าตัดทั้งก่อนและหลังการพังทลายของตลิ่งแสดงไว้ในภาคผนวก					
		รูปร่างหน้าตัดทั้งก่อนและหลังการพังทลายของตลิ่ง	รูปที่	รูปร่างหน้าตัดก่อนการพังทลายในปี พ.ศ.2532	รูปที่	รูปร่างหน้าตัดหลังการพังทลายในปี พ.ศ.2544	รูปที่
จวนผู้ว่าราชการจังหวัดฉะเชิงเทรา	ก-1	BO-31r และ bp-00 ถึง bp-05	ง-1.1	BO-31r	ง-1.2	bp-02	ง-1.3
วัดแหลมไต้	ก-2	BO-32r และ wl-05 ถึง wl-11	ง-2.1	BO-32r	ง-2.2	wl-08	ง-2.3
บ้านคุณ เขาวรัตน์จรรยา	ก-3	BO-33r และ yr-15 ถึง yr-21	ง-3.1	BO-33r	ง-3.2	yr-18	ง-3.3
ใกล้วัดส้มประทวน	ก-4	BO-34r และ kk-59 ถึง kk-66	ง-4.1	BO-34r	ง-4.2	kk-63	ง-4.3
บ้านคุณรัชนี เอเดียวเจริญ	ก-5	BO-36r และ m-00 ถึง m-05	ง-5.1	BO-36r	ง-5.2	m-02	ง-5.3

ตารางที่ 4.6 ลักษณะชั้นดิน ค่าพารามิเตอร์และคุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์

Location	Boring No.	Soil Layer	Depth (m.)	Wc (%)	γ_t (kN/m ³)	Su _{uc} (kN/m ²)	SPT N Value, (Blows/ft)
จวนผู้ว่าราชการจังหวัดฉะเชิงเทรา	BH-7, BH-8 RID และ FV-7, 8, 9 และ 10 RID	Very Soft Clay	0-5.5	112	14.13	11.77	-
		Soft Clay	5.5-14.5	76.5	15.3	17.24	-
		Very Stiff clay	14.5-20.5	22	20.38	116.45	17
วัดแหลมใต้	BH-3 OEPP และ FV-1 OEPP	Very Soft Clay	0-5.5	100	14.32	12.5	-
		Soft Clay1	5.5-11.5	73.58	15.4	19.45	-
		Soft Clay2	11.5-17.5	76.6	15.09	22.38	-
บ้านคุณเขาวรัตน์ จารุทวีย	BH-2 OEPP	Very Soft Clay	0-7	112	13.47	11.77	-
		Soft Clay	7-14.5	80	15.13	19.62	-
		Stiff Clay	14.5-20.5	23.88	20.06	78.48	12
ใกล้วัดส้มประทวน	BH-2, BH-3 RID และ FV-2, FV-3 RID	Very Soft Clay	0-6.5	110	13.9	13.73	-
		Soft Clay	6.5-11.5	75	15.21	17	-
		Stiff Clay	11.5-17.5	24.35	19.77	75.4	11
บ้านคุณรัชณี เอเดียวเจริญ	BH-1 RID, BH-1 OEPP และ FV-1 RID	Very Soft Clay	0-5.5	110	14.6	9	-
		Soft Clay	5.5-13	86.62	16.1	13	-
		Very Stiff Clay	13-19	21.43	20.7	123.3	18

4.4.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งโดยวิธีการพังทลายในรูปวงกลม (Circular Failure)

การวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งได้ทำการวิเคราะห์ในกรณีมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) เนื่องจากดินบริเวณนั้นมีความซึมได้ต่ำ (Low Permeability) และสมมุติให้การเคลื่อนตัวของดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การวิเคราะห์เสถียรภาพพิจารณาว่าเวลาที่ใช้ในการอัดตัวคายน้ำของดินจะมากกว่าเวลาที่เปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (Consolidation time much larger than drawdown) จากข้อจำกัดเรื่องการคาดคะเนแรงดันน้ำในโพรงดิน (Pore pressure) ในการวิเคราะห์ทำให้ไม่สามารถพิจารณาในกรณีหน่วยแรงประสิทธิผลได้ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีหน่วยแรงรวม เพราะไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มจากผลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำและดินจะเคลื่อนตัวในลักษณะไม่ระบายน้ำ (Undrained condition)

พิจารณาว่ากรณีของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็ว จะเกิดขึ้นเนื่องจากการปิด-เปิดประตูระบายน้ำในช่วงที่มีการทดสอบ ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างมาดดังรูปที่ 4.16 โดยมีระดับน้ำแตกต่างกันระหว่างระดับสูงสุดและต่ำสุด ประมาณ 3.50 ม. (รทก.) โดยมีระดับน้ำสูงสุดที่ระดับ 1.71 ม. (รทก.) และระดับน้ำต่ำสุดที่ระดับ - 1.80 ม. (รทก.)

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพนี้ได้ใช้ค่าระดับน้ำนี้ทุกจุดในการวิเคราะห์และจะใช้สมมุติฐานว่าน้ำในดินไม่ลดลงตามระดับน้ำภายนอก หรือไม่เกิด Release Excess Pore Pressure ซึ่งจะทำให้แรงดันน้ำที่คำนวณได้ในกรณีนี้เป็นแรงกระทำสูงสุด

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ ประกอบด้วย

1. รูปร่างหน้าตัดของตลิ่ง

จะเป็นรูปร่างหน้าตัดของตลิ่งก่อนการพังทลายในปี พ.ศ. 2532 และรูปร่างหน้าตัดหลังการพังทลายในปี พ.ศ. 2544 ที่ได้คัดเลือกไว้แล้วดังแสดงในหัวข้อ 4.4.1

2. ค่าความหนาแน่นของดิน

ได้จากการศึกษาคุณสมบัติชั้นพื้นฐานของดินในหัวข้อที่ 4.1.1 ดังแสดงในตารางที่ 4.6

3. ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน

ได้เลือกใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบการอัดตัวแบบอิสระ (Unconfined Compression Test, UC) ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์หาเสถียรภาพแล้วจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในสนาม

4. ระดับน้ำที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการปิดเปิดเขื่อน

ระดับน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้ระดับน้ำสูงสุดที่ระดับ 1.71 เมตร(รทก.)และระดับน้ำต่ำสุดที่ระดับ -1.80 เมตร(รทก.)

เมื่อพิจารณาการรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำจะพบว่ามีความลึกจากผิวดินมากขึ้น(Shear Strength Increased With Depth) ดังนั้นการวิเคราะห์เสถียรภาพจึงเลือกใช้วิธี Simplified Bishop Method และ Circular Failure โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์นี้ได้เลือกทำการวิเคราะห์ 2 เหตุการณ์ด้วยกัน คือ

1. ก่อนการพังทลายของตลิ่ง
2. หลังการพังทลายของตลิ่ง

ได้ทำการเลือกบริเวณที่จะทำการวิเคราะห์ 5 ตำแหน่งด้วยกันดังแสดงในหัวข้อที่ 4.4.1

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพก่อนการพังทลายและหลังการพังทลายของตลิ่งทั้ง 5 ตำแหน่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพก่อนการพังทลายและหลังการพังทลายของตลิ่งทั้ง 5 ตำแหน่ง โดยวิธีการพังทลายในรูปวงกลม (Circular Failure)

สถานที่	การวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งทั้งก่อนและหลังการพังทลายของตลิ่งแสดงไว้ในภาคผนวก จ							
	รูปตัด ก่อนการ พังทลาย	อัตราส่วน ปลอดภัย ต่ำสุด	รูปที่	รูปตัด หลังการ พังทลาย	อัตราส่วน ปลอดภัย ต่ำสุด	รูปที่	รูปตัดหลังการ พังทลาย	อัตราส่วน ปลอดภัยต่ำสุด อยู่ ระหว่าง
จวนผู้ว่าราชการ จังหวัดฉะเชิงเทรา	BO-31r	0.897	จ-1.1	bp-02	1.372	จ-1.2	bp-00 ถึง bp-05	1.094 – 1.372
วัดแหลมใต้	BO-32r	0.909	จ-2.1	wl-08	1.187	จ-2.2	wl-05 ถึง wl-11	1.081 – 1.303
บ้านคุณ เขาวรัตน์ จารุทวิชัย	BO-33r	0.947	จ-3.1	yr-18	1.472	จ-3.2	yr-15 ถึง yr-21	1.003 – 1.472
ใกล้วัดส้ม ประทวน	BO-34r	0.906	จ-4.1	kk-63	1.161	จ-4.2	kk-59 ถึง kk-66	1.047 – 1.491
บ้านคุณรัชนี้ เอ เดี่ยวเจริญ	BO-36r	0.925	จ-5.1	m-02	1.28	จ-5.2	m-00 ถึง m-05	1.012 – 1.280

4.4.3 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่งโดยวิธี Finite Element Method (FEM)

4.4.3.1 แนวทางในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่งนั้น จะทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม “PLAXIS7.2” ซึ่งในการวิเคราะห์จะพิจารณาลักษณะของปัญหาเป็นแบบ 2 มิติ (Plane Strain) และใช้แบบจำลองดินชนิด Mohr Coulomb ในการจำลองพฤติกรรมของมวลดิน โดยในการวิเคราะห์พฤติกรรมและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่งในชั้นดินเหนียวนั้น จะทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีของหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis) และอาศัยหลักการ $\phi = 0$ concept มาร่วมในการวิเคราะห์ สำหรับการวิเคราะห์ในชั้นทรายจะทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis) ในครั้งนี้ได้จำลองพฤติกรรมในการพังทลายดังนี้

วิเคราะห์กรณี Draw Down คือมีการลดลงของระดับน้ำโดยกำหนดพิสัยการขึ้นลงสูงสุดไว้ที่ 3.51 เมตร ซึ่งเป็นพิสัยสูงสุดที่บันทึกไว้ในช่วงที่มีการพังทลายของตลิ่ง

ใช้สมมุติฐานว่าไม่เกิดการ Release Excess Pore Pressure ดังนั้นจะวิเคราะห์ในรูปแบบของ Undrained Condition กล่าวคือไม่เกิดการระบายน้ำออกจากดิน ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการวัด Piezometer ที่เคยนำเสนอแล้วในหัวข้อที่ 4.1.3

4.4.3.2 ค่าพารามิเตอร์ของดินและตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้อง

ในการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจำเป็นต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดและประเภทของปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ด้วย สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของดินรวมทั้งตัวแปรและปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องในการวิจัยครั้งนี้จะมีด้วยกันหลายตัวแปร ซึ่งพอจะอธิบายได้ดังนี้

4.4.3.2.1 กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Undrained Shear Strength)

กำลังรับแรงเฉือนของดินในสภาพไม่ระบายน้ำ (S_u) จะมีผลต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่งโดยค่า S_u ต่ำ ค่าทรุดตัวจะเกิดขึ้นสูง ดังนั้นการเลือกใช้ค่า S_u จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดิน จึงเป็นสิ่งสำคัญในการเคลื่อนตัวเพื่อให้ได้ผลการเคลื่อนตัวของดินถูกต้อง

ได้เลือกใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบการอัดตัวแบบอิสระ (Unconfined Compression Test, UC) ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์หาเสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่งโดยใช้โปรแกรม PLAXIS7.2 แล้วจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในสนาม

สำหรับวิธีการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนในสนาม (In-situ Test) ของดินกรุงเทพฯที่นิยมใช้กันมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ การหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบ Field Vane Shear Test และการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test) ซึ่งการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินทั้ง 2 วิธีพอจะอธิบายได้ดังนี้

ก) การหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบ Field Vane Shear Test

การทดสอบแบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันในการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อน เนื่องจากการทดสอบที่รบกวนโครงสร้างของดินน้อยกว่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่มีค่าความไวมีค่าความไว (Sensitivity) สูงมาก

Bjerrum(1972) พบว่าสำหรับดินเหนียวอ่อน และดินเหนียวแข็งปานกลาง ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบในสนาม ($S_{u_{FV}}$)จะมีค่าสูงเกินไป ดังนั้นเมื่อนำค่าที่ได้ไปใช้จำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าที่จากการทดสอบในสนามก่อนด้วยค่า μ ดังแสดงไว้ในสมการดังนี้

$$S_{u_{Field}} = \mu S_{u_{FV}}$$

เมื่อ $S_{u_{Field}}$ = ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนในสนาม

$S_{u_{FV}}$ = ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนที่วัดได้จากการทดสอบแบบ

เวนในสนาม

μ = ค่าปรับแก้ของ Bjerrum (1972)

สำหรับชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ค่าปรับแก้ μ ที่เหมาะสมที่จะใช้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.7-0.85

ข) การหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT-N value)

การหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบการทดสอบ SPT (Standard Penetration Test) เป็นวิธี Empirical ที่นิยมใช้กันในการประมาณหาค่า S_u ของดินเหนียวแข็ง (Stiff clay) จากค่า N ที่ได้จากการทดสอบ SPT (ครั้ง/ฟุต) โดยในดินเหนียวแข็งกรุงเทพฯ ชั้นแรกนั้น วิจารณ์ันท์ (2526) ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่าง S_u กับ N ที่ได้จากการทดสอบ SPT ดังนี้

$$S_u = 0.685N \text{ (ตัน/ม}^2\text{)} \quad \text{สำหรับดินเหนียวชนิด CH}$$

$$S_u = 0.520N \text{ (ตัน/ม}^2\text{)} \quad \text{สำหรับดินเหนียวชนิด CL}$$

4.4.3.2.2 สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต

สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต(K_o) จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นพลาสติกของดิน (PI) และประวัติหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง ซึ่งจะแสดงในรูปของสัดส่วนการอัดแน่นเกินตัว (OCR)

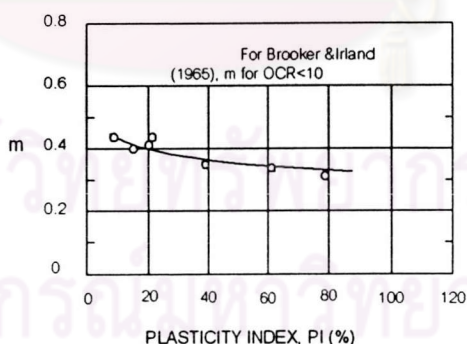
โดยปกติค่า K_o จะหาจากสูตร Empirical ซึ่ง Alpan (1967) ได้เสนอความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิตของดินอัดแน่นปกติ $K_{o(NC)}$ กับ PI ที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้

$$K_{o(NC)} = 0.190 + 0.233 \log PI \quad (4.5)$$

Schmidt (1966) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิตของดินอัดแน่นเกินตัว ($K_{o(OC)}$) เป็นฟังก์ชันกับ OCR ได้ดังนี้

$$K_{o(OC)} = K_{o(NC)} \cdot (OCR)^m \quad (4.6)$$

ค่า m เป็นค่าคงที่ขึ้นกับค่า PI ของดิน สำหรับดินกรุงเทพฯ ใช้ค่า $m = 0.39$



รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ m กับ PI ของดินเหนียว (Ladd et al.1977)

ในการวิเคราะห์แบบ Short term หรือ Total Stress Analysis ค่า K_o ที่ใช้จะเป็นค่า $K_{o(Total)}$ คือ อัตราส่วนหน่วยแรงรวมด้านข้างต่อหน่วยแรงรวมในแนวตั้ง ซึ่งไม่จำเป็นต้องทราบค่าแรงดันน้ำ Pender (1980) ได้เสนอการหาค่า $K_{o(Total)}$ ดังนี้

$$\sigma_h' = K_o \cdot \sigma_v'$$

$$K_{o(Total)} = K_o - \frac{\rho_w}{\rho} (K_o - 1)$$

σ'_h	หน่วยแรงประสิทธิผลด้านข้าง
σ'_v	หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง
K_0	สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิตแบบประสิทธิผล
ρ, ρ_w	หน่วยน้ำหนักของดินและน้ำ ตามลำดับ

สำหรับดินเม็ดหยาบการวิเคราะห์แบบ Total Stress Analysis ค่า K_0 ขึ้นกับสถานะอัดแน่นของดิน ซึ่ง Jacky (1944) ได้ประเมินค่า K_0 ของดินทรายแน่นปานกลางถึงแน่น (Medium dense to dense sand) และ OCR เท่ากับ 1 ซึ่งการวิเคราะห์ใน Short term ก็จะใช้ Effective Stress เนื่องจากสามารถระบายน้ำได้ โดยหาค่า K_0 ได้ดังนี้

$$K_0 = 1 - \sin \phi'$$

โดยที่ ϕ' เป็นค่ามุมต้านทานแรงเฉือนประสิทธิผล (Friction Angle) ของดินทราย ในการวิเคราะห์ค่า K_0 ในดินกรุงเทพฯ ได้ค่า K_0 ของดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 0.75 และของดินเหนียวแข็งเท่ากับ 0.65

4.4.3.2.3 ค่าโมดูลัสของดิน(Soil Modulus)

ในการวิเคราะห์แบบ Short term โดยใช้ Total Stress Analysis จะใช้ค่าโมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ (E_u) โดยที่ค่า E_u จะมีผลต่อค่าโมดูลัสแรงเฉือนของดิน (Shear Modulus, G) ตามทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Theory) ดังสมการข้างล่างนี้

$$G = \frac{E_u}{2(1 + \nu)}$$

โดยที่ G คือ โมดูลัสแรงเฉือนของดิน

E_u คือ โมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ

ν คือ อัตราส่วนปัวซองของดิน ในสภาพไม่ระบายน้ำ $\nu = 0.5$

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างของตลิ่งนั้นจะทำการ Trial ค่า E_u/S_u ของดินในแต่ละชั้นจนกระทั่งได้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety, FS) ที่ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์เสถียรภาพ ด้วยวิธีการพังทลายในรูปวงกลม (Circular Failure)

ในการวิเคราะห์นี้ได้เลือกทำการวิเคราะห์ 2 เหตุการณ์ด้วยกัน คือ

1. ก่อนการพังทลายของตลิ่ง
2. หลังการพังทลายของตลิ่ง

ได้ทำการเลือกบริเวณที่จะทำการวิเคราะห์ 5 ตำแหน่งด้วยกันดังแสดงในหัวข้อที่ 4.4.1

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างก่อนการพังทลายและหลังการพังทลายของตลิ่งทั้ง 5 ตำแหน่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 และได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างก่อนการพังทลายและหลังการพังทลายของตลิ่งทั้ง 5 ตำแหน่ง โดยวิธี Finite Element Method (FEM)

สถานที่	รูปตัด	ลักษณะการพังทลาย	อัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด	การเคลื่อนตัวทั้งหมด (ม.)	แสดงไว้ในภาคผนวก จ รูปที่
จวนผู้ว่าราชการจังหวัดฉะเชิงเทรา	BO-31r	ก่อน	1.022	0.622	จ-1
	bp-02	หลัง	1.399	0.127	จ-2
	bp-00 ถึง bp-05	หลัง	1.141 – 1.399	0.172 – 0.357	
วัดแหลมไต้	BO-32r	ก่อน	1.012	0.425	จ-3
	wl-08	หลัง	1.281	0.246	จ-4
	wl-05 ถึง wl-11	หลัง	1.003 – 1.320	0.234 – 0.605	
บ้านคุณเยาวรัตน์ จารุทวีย	BO-33r	ก่อน	1.042	0.54	จ-5
	yr-18	หลัง	1.448	0.217	จ-6
	yr-15 ถึง yr-21	หลัง	1.011 – 1.448	0.217 – 0.682	
ใกล้วัดส้มประทวน	BO-34r	ก่อน	1.011	0.707	จ-7
	kk-63	หลัง	1.159	0.217	จ-8
	kk-59 ถึง kk-66	หลัง	1.027 – 1.529	0.149 – 0.351	
บ้านคุณรัชณี เอเตียวเจริญ	BO-36r	ก่อน	1.037	0.473	จ-9
	m-02	หลัง	1.218	0.275	จ-10
	m-00 ถึง m-05	หลัง	1.135 – 1.270	0.207 – 0.308	

4.4.4 สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวด้านข้างก่อนการพังทลายและหลังการพังทลายของตลิ่งทั้ง 5 ตำแหน่ง บริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง

สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งโดยวิธี Finite Element Method เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งโดยวิธีการพังทลายในรูปร่างกลม (Circular Failure) ที่ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety) ที่ใกล้เคียงกันทำให้ได้ค่า E_u/S_u และการเคลื่อนตัวของตลิ่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และได้แสดงความสัมพันธ์ต่างๆดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety, FS) กับ การเคลื่อนตัว (Displacement) บริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง ดังแสดงในรูปที่ 4.29

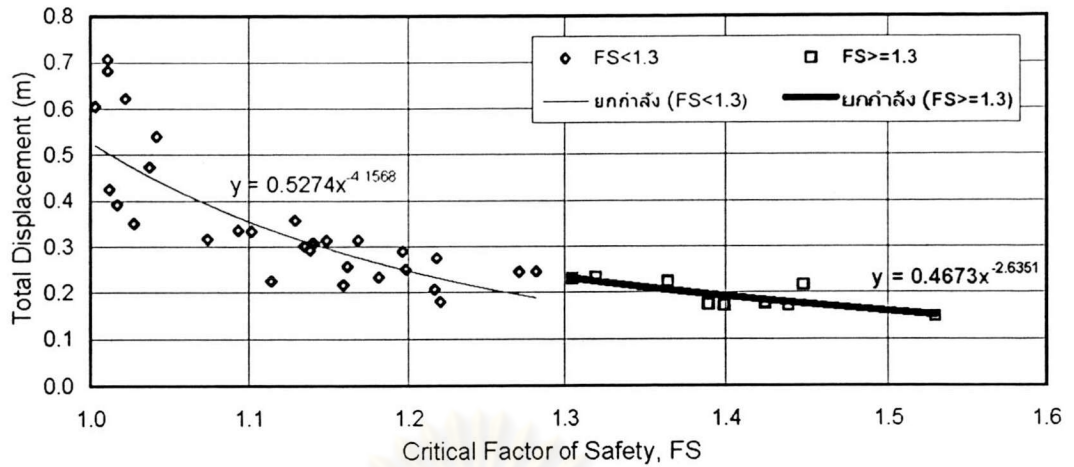
ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety, FS) กับการเคลื่อนตัว (Displacement) ของแต่ละบริเวณ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ รูปที่ ช-1 ถึง ช-5

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวทั้งก่อนและหลังการทิ้งกองและหลังการทิ้งหลาย บริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง

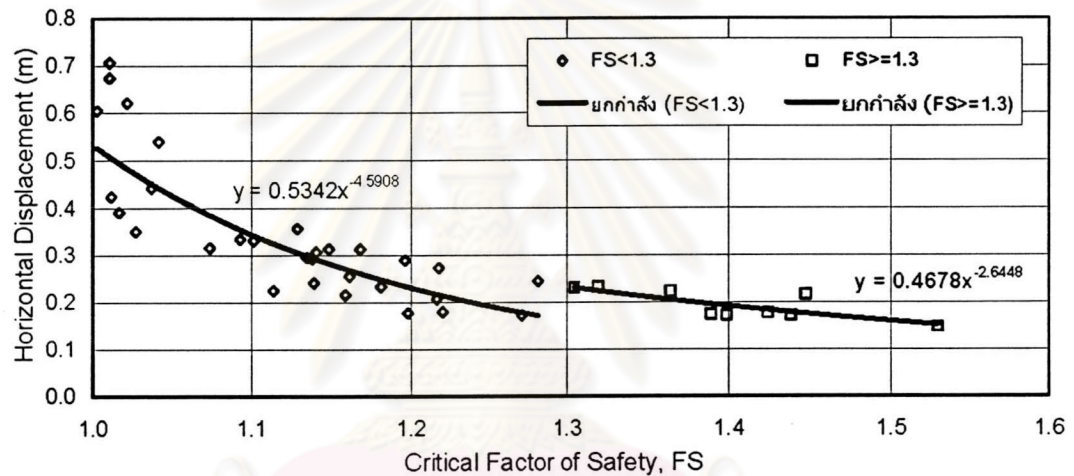
Position	Distance from a river mouth (km)	Section	Status	Initial X-Coordinate	Initial Y-Coordinate	Tan to Min Radius	FS of Slope	Very soft clay		soft clay		Medium to Very stiff clay		Eu/Su			FS of Plaxis	Displacement (m)			Total Strain (%)	Different of FS			
								γ_t (kN/m ³)	Su_{uc} (kN/m ²)	γ_t (kN/m ³)	Su_{uc} (kN/m ²)	γ_t (kN/m ³)	Su_{uc} (kN/m ²)	Very soft clay	soft clay	Medium to Very stiff clay		Total	Horizontal	Vertical					
บริเวณคันทางขุดขุดบริเวณ 13	กม. 56+000	bp00	After Fail	-3	5.3	-3.9	1.218	14.13	11.77	15.30	17.24	20.38	116.45	60	120	480	1.196	0.290	0.289	0.162	-5.09	1.80			
		bp01		-2.8	4.4	-3.7	1.079								60	120	480	1.129	0.357	0.357	0.186	6.26	-4.64		
		bp02		-0.5	12.4	-13.8	1.372									60	120	480	1.399	0.172	0.172	0.115	-1.72	-1.97	
		bp03		-4	3.6	-4	1.135									60	100	480	1.141	0.307	0.307	0.150	-5.50	-0.46	
		bp04		-3	4.7	-3.8	1.094									60	120	480	1.168	0.314	0.313	0.151	4.77	-6.82	
bp05	-2.5	4.6	-4.1	1.306									60	120	480	1.305	0.231	0.231	0.103	2.45	0.11				
BO-31R			Before Fail	-3.44	6.4	-3.9	0.897							60	120	480	1.022	0.622	0.622	0.342	-33.99	-13.91			
บริเวณคันทางตอนใต้	กม. 63+000	w05	After Fail	-3.1	5	-3.7	1.081	14.32	12.50	15.40	19.45	15.09	22.38	60	120	120	1.017	0.392	0.391	0.209	6.70	5.91			
		w06		-3.5	5.4	-3.6	1.009								60	120	120	1.003	0.605	0.605	0.350	9.81	0.60		
		w07		-3.5	5.1	-3.4	1.096									60	120	120	1.148	0.314	0.314	0.180	5.31	-4.81	
		w08		-3.1	4.96	-3.4	1.187									60	120	120	1.281	0.246	0.245	0.120	3.60	-7.89	
		w09		-3.6	5.3	-3.4	1.077									60	120	120	1.074	0.317	0.316	0.164	5.51	0.36	
		w10		-8.2	10.8	-9.4	1.091									60	120	120	1.138	0.292	0.292	0.163	3.66	-4.27	
		w11		-3	4.6	-3.3	1.303									60	120	120	1.320	0.234	0.233	0.120	2.78	-1.28	
		BO-32R				Before Fail	-6.3	10.2	-8.6	0.909							60	100	120	1.012	0.425	0.425	0.280	7.79	-11.30
		yr15				After Fail	-6.1	8	-4.9	1.210	13.47	11.77	15.13	19.62	19.68	78.48	60	120	480	1.365	0.225	0.224	0.104	-2.64	-12.79
		yr16					-3.3	5.3	-5.1	1.003							60	120	480	1.011	0.682	0.674	0.377	-23.26	-0.80
yr17			-6.8	8.3	-5.1		1.104							80	120	480	1.181	0.234	0.233	0.103	-3.59	-6.97			
yr18			-3.6	6.7	-6.3		1.472							60	140	480	1.448	0.217	0.217	0.089	2.29	1.64			
yr19			-3.5	5.2	-5.1		1.054							60	140	480	1.093	0.336	0.334	0.157	-7.74	-3.71			
yr20			-3.9	5.6	-4.9		1.023							60	140	480	1.102	0.333	0.331	0.160	-6.38	-7.69			
yr21			-2.5	5.5	-4.7	1.198							60	140	480	1.161	0.257	0.255	0.121	-4.21	3.05				
BO-33R			Before Fail	-3.56	6.55	-5.2	0.947							60	140	480	1.042	0.540	0.540	0.280	-11.92	-9.99			

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวทั้งก่อนและหลังการพังทลาย บริเวณท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง

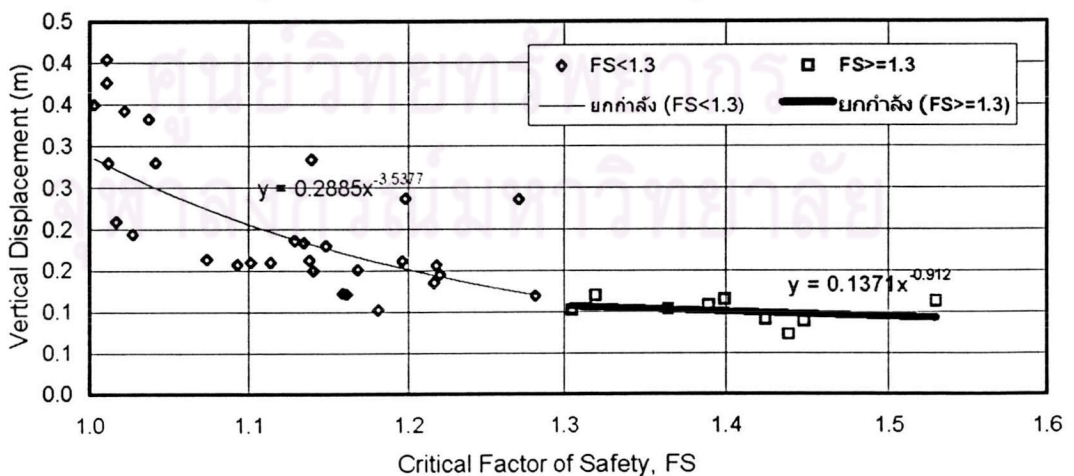
Position	Distance from a river mouth (km)	Section	Status	Initial X-Coordinate	Initial Y-Coordinate	Tan to Min Radius	FS of Slope Stability	Very soft clay		soft clay		Medium to Very stiff clay		Eu/Su			FS of Plaxis	Displacement (m)			Total Strain (%)	Differnt of FS		
								γ_t (kN/m ³)	Su_{uc} (kN/m ²)	γ_t (kN/m ³)	Su_{uc} (kN/m ²)	γ_t (kN/m ³)	Su_{uc} (kN/m ²)	Very soft clay	soft clay	Medium to Very stiff clay		Very soft clay	soft clay	Very stiff clay			Total	Horizontal
บริเวณตลิ่งใกล้ตัวเขื่อน	กม. 62+250	kk59	After Fail	-3.5	4.4	-3.5	1.437	13.90	13.73	15.21	17.00	19.77	30.40	80	120	480	1.439	0.172	0.172	0.073	-1.82	-0.14		
		kk60		-3.1	4.4	-3.3	1.384								60	120	480	1.389	0.174	0.174	0.108	-2.25	-0.40	
		kk61		-4.7	4.8	-4.6	1.207									60	120	480	1.220	0.180	0.180	0.145	4.88	-1.12
		kk62		-5.9	6.7	-4.6	1.047									60	120	480	1.027	0.351	0.351	0.194	-10.82	1.90
		kk63		-4.8	6.3	-4.5	1.161									60	120	480	1.159	0.217	0.216	0.123	2.61	0.19
		kk64		-4.1	4.3	-4.4	1.048									60	110	480	1.114	0.225	0.225	0.160	-5.06	-6.33
บริเวณตลิ่งใกล้ตัวเขื่อน	กม. 67+000	kk65	After Fail	-4.8	3.9	-4.8	1.491	14.60	9.00	16.10	13.00	20.70	125.60	60	110	480	1.529	0.149	0.149	0.114	2.49	-2.58		
		kk66		-7.6	8.8	-4.7	1.488								60	120	480	1.424	0.178	0.178	0.091	-2.09	4.27	
		BO-34R		-3.9	6.15	-4.0	0.906									60	120	480	1.011	0.707	0.706	0.405	-9.37	-11.56
		rn00		-5.4	5.5	-3.5	1.130									60	120	480	1.270	0.245	0.172	0.236	4.25	-12.37
		rn01		-5.7	6.4	-3.6	1.037									80	100	480	1.139	0.308	0.241	0.284	-4.56	-9.83
		rn02		-4.35	4.24	-3.6	1.280									60	120	480	1.218	0.275	0.273	0.156	-5.16	4.86
บริเวณตลิ่งใกล้ตัวเขื่อน	กม. 67+000	rn03	After Fail	-5.6	7.5	-3.8	1.012							60	120	480	1.135	0.301	0.296	0.184	-5.27	-12.08		
		rn04		-5.8	8	-3.4	1.078								80	120	480	1.198	0.250	0.177	0.237	3.93	-11.19	
		rn05		-6.1	8.5	-3.5	1.017								60	120	480	1.216	0.207	0.207	0.135	-3.04	-19.58	
BO-36R	-5	7	-3.5	0.925									60	120	480	1.037	0.473	0.442	0.332	4.46	-12.13			



รูปที่ 4.29-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety, FS) กับการเคลื่อนตัวทั้งหมด (Total Displacement) บริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง



รูปที่ 4.29-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety, FS) กับการเคลื่อนตัวแนวราบ (Horizontal Displacement) บริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง



รูปที่ 4.29-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety, FS) กับการเคลื่อนตัวแนวตั้ง (Vertical Displacement) บริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง