

บันทึกวิชาการฉบับที่ 9

ชลศาสตร์ช่องทางน้ำได้สะพาน
(Hydraulics of Bridge Waterways)

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด

บันทึกวิชาการฉบับที่ 9
ชลศาสตร์ช่องทางน้ำได้สะพาน
(*Hydraulics of Bridge Waterways*)

สารบัญ

หน้า

1. บทนำ

1.1	ทั่วไป	1 - 1
1.2	ธรรมชาติของกระแสน้ำย้อนกลับที่สะพาน	1 - 1
1.3	สัญลักษณ์การแทนความหมาย	1 - 3
1.4	คำจำกัดความ	1 - 10
1.5	การส่งผ่าน (Conveyance)	1 - 11
1.6	อัตราส่วนช่องเปิดสะพาน (Bridge Opening Ratio)	1 - 11
1.7	สัมประสิทธิ์พลังงานจลน์ (Kinetic Energy Coefficient)	1 - 11

2. การคำนวณกระแสน้ำย้อนกลับ (Computation of Backwater)

2.1	สมการคำนวณกระแสน้ำย้อนกลับ	2 - 1
2.2	สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับ (Backwater Coefficient)	2 - 2
2.3	ผลของค่า M และรูปร่างของตอม่อริมฝั่ง (Base Curve)	2 - 2
2.4	ผลของตอม่อ (ข้ามตั้งฉาก)	2 - 3
2.5	ผลของตอม่อ (ข้ามเฉียง)	2 - 3
2.6	ผลของการหนีศูนย์ (Effect of Eccentricity)	2 - 3
2.7	ผลของมุมเฉียง (Effect of Skew)	2 - 3

3. ขอบเขตของกระแสน้ำย้อนกลับ

3.1	ระยะทางยังจุดกระแสน้ำย้อนกลับสูงสุด	3 - 1
3.2	การข้ามต้งฉาก	3 - 1
3.3	การข้ามหนีศูนย์ (Eccentric Crossing)	3 - 1
3.4	การข้ามเฉียง (Skew Crossing)	3 - 1

4. ระดับที่แตกต่างกันสองข้างคันทางบรรจบ

4.1	นัยสำคัญ	4 - 1
4.2	Base Curves	4 - 1
4.3	ผลจากตอม่อ	4 - 2
4.4	ผลจากการหนีศูนย์	4 - 2
4.5	ระดับผิวหน้าที่ลดลงเมื่อข้ามคันทาง (การข้ามต้งฉาก)	4 - 2
4.6	ระดับผิวหน้าด้านท้ายน้ำของคันทาง (ข้ามเฉียง)	4 - 3

5. สะพานคู่ (Dual Bridges)

5.1	การจัดรูป (Arrangement)	5 - 1
5.2	การพิจารณากระแสน้ำย้อนกลับ	5 - 1
5.3	ระดับผิวหน้าที่ลดลงข้ามคันทาง	5 - 2

6. สภาพระดับ - การไหลที่ผิดปกติ (Abnormal Stage - discharge Condition)

6.1	คำจำกัดความ	6 - 1
6.2	การพิจารณากระแสน้ำย้อนกลับ	6 - 1
6.3	สมการกระแสน้ำย้อนกลับ	6 - 2
6.4	ระดับที่ลดลงข้ามคันทาง	6 - 3

7. ผลของการกีดเซาะต่อกระแสน้ำย้อนกลับ

7.1	ทั่วไป	7 - 1
7.2	ธรรมชาติการกีดเซาะ	7 - 2
7.3	การพิจารณากระแสน้ำย้อนกลับ	7 - 2
7.4	ทางน้ำที่ถูขยาย (Enlarged Waterways)	7 - 3

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 : เส้นการไหล (Flow line) สำหรับการไหลข้ามต้งฉาก	1 - 2
รูปที่ 2 : การข้ามต้งฉาก ตอม่อริมฝั่งแบบกำแพงปีก	1 - 4
รูปที่ 3 : การข้ามต้งฉาก ตอม่อริมฝั่งแบบ Spillthrough	1 - 5
รูปที่ 4 : การข้ามเฉียง (Skew Crossing)	1 - 6
รูปที่ 5 : BASE CURVES สำหรับตอม่อริมฝั่งแบบกำแพงปีก	2 - 5
รูปที่ 6 : BASE CURVES สำหรับตอม่อริมฝั่งแบบ SPILLTHROUGH	2 - 6
รูปที่ 7 : สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับส่วนเพิ่มสำหรับตอม่อกลางน้ำ	2 - 7
รูปที่ 8 : สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับส่วนเพิ่มสำหรับการหนีศูนย์ (ECCENTRICITY)	2 - 8
รูปที่ 9 : สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับสำหรับการข้ามเฉียง, ตอม่อริมฝั่งแบบกำแพงปีก	2 - 9
รูปที่ 10 : สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับส่วนเพิ่มสำหรับการข้ามเฉียง ตอม่อริมฝั่งแบบ SPILLTHROUGH	2 - 10
รูปที่ 11 : ระยะทางถึงบริเวณกระแสน้ำย้อนกลับสูงสุด	3 - 2
รูปที่ 12 : อัตราส่วนความแตกต่างระดับสำหรับตอม่อริมฝั่งแบบกำแพงปีก	4 - 4
รูปที่ 13 : อัตราส่วนความแตกต่างระดับตอม่อริมฝั่งแบบ SPILLTHROUGH	4 - 5
รูปที่ 14 : ตัวคูณเพิ่มกระแสน้ำย้อนกลับสำหรับสะพานคู่และขนานกัน	5 - 3
รูปที่ 15 : การขยายตัวคูณเพิ่มกระแสน้ำย้อนกลับสำหรับสะพานคู่และขนานกัน	5 - 4
รูปที่ 16 : ตัวคูณเพิ่มความแตกต่างระดับสำหรับสะพานคู่และขนานกัน	5 - 5
รูปที่ 17 : กระแสน้ำย้อนกลับกับการไหลที่ผิดปกติ	6 - 4
รูปที่ 18 : ผลของการกัดเซาะที่มีต่อกระแสน้ำย้อนกลับบริเวณสะพาน	7 - 4
รูปที่ 19 : ตัวคูณปรับแก้สำหรับกระแสน้ำย้อนกลับเมื่อมีการกัดเซาะ	7 - 5

คำนำ

บทความทางวิชาการฉบับนี้เป็นการนำเสนอช่องเปิดทางน้ำผ่านทางหลวงที่เหมาะสมในชื่อ “ชลศาสตร์ช่องทางน้ำได้สะพาน ” ซึ่งเป็นงานค้นคว้าและวิจัยของ U.S. Department of Commerce , Bureau of Public Roads และตีพิมพ์เป็นเอกสารในชื่อ Hydraulics of Bridge Waterways ซึ่งเป็น Hydraulic Design Series No.1 ดำเนินการโดย Division of Hydraulic , Bureau of Public Roads

ปัญหาการจัดความยาวให้เหมาะสมกับทางน้ำเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากปริมาณน้ำหลากที่คำนวณได้ขึ้นกับ Recurrence Interval และการคาดการณ์ก็ไม่แน่นอนนัก และการใช้ความยาวสะพานมากเกินไปจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเนื่องจากสภาพมีราคาต่อตารางเมตรสูงมาก เมื่อเทียบกับถนนที่มาบรรจบ การพิจารณาความยาวสะพานข้ามทางน้ำที่กระทำกันมา มักจะ ๆ กัน อาจมีคำนวณบ้างเล็กน้อย เช่น ใช้ Permissible Velocity ของกระแสไปหารปริมาณน้ำหลาก เพื่อให้ได้ Opening Area ได้สะพานซึ่งไม่เพียงพอ ในกรณีที่มีปริมาณน้ำมากกว่า Design Discharge จะเกิดกระแสน้ำย้อนกลับ (Backwater) ยกกระตือรือร้นขึ้นด้านเหนือน้ำ และอาจยกสูงจนท่วมสะพานและถนนที่มาบรรจบ บทความนี้จะช่วยให้การออกแบบความยาวสะพานมีความเหมาะสมและเป็น Scientific Approach มากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเพิ่มคุณภาพของงาน อันเป็นการยกระดับบริษัท ด้านการให้บริการทางวิศวกรรมการออกแบบ เป็นบริษัท ชำนาญด้านวิศวกรรมทางหลวง ซึ่งน่าจะบรรลุถึงได้ เพราะบริษัทที่ปรึกษาในแวดวงเดียวกันก็ดูไม่มีอะไรเด่นนัก เพียงแต่ตั้งมาก่อน มีบุคลากรมากกว่าหรือสนิทสนมกับเจ้าของงานมากกว่าเรียกว่า การตลาดดีกว่าเท่านั้น

การเตรียมความรู้ทางวิชาการให้พร้อมรองรับกับความยุ่งยากของปัญหาในงานต่าง ๆ ที่จะมีเข้ามา น่าจะเป็นหนทางที่ถูกต้องกว่าการไปปลุกกลุ่มวิชาชีพ เพื่อสร้างกระแสชาตินิยมในวิชาชีพที่เห็นทำ ๆ กันอยู่ โดยมีตัวชูโรงอยู่ไม่กี่คน เพื่อกีดกันไม่ให้ต่างชาติเข้ามาประกอบวิชาชีพ น่าจะไม่ถูกต้อง เนื่องจากคนของเรายังไม่พร้อมทั้ง วินัยในการทำงาน และ ความรู้ในวิชาชีพอย่างถ่องแท้ ทำงานพื้น ๆ ยังมีปัญหา ถ้าไปจ้างงาน High Tech. ยิ่งไปกันใหญ่

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ทัวไป

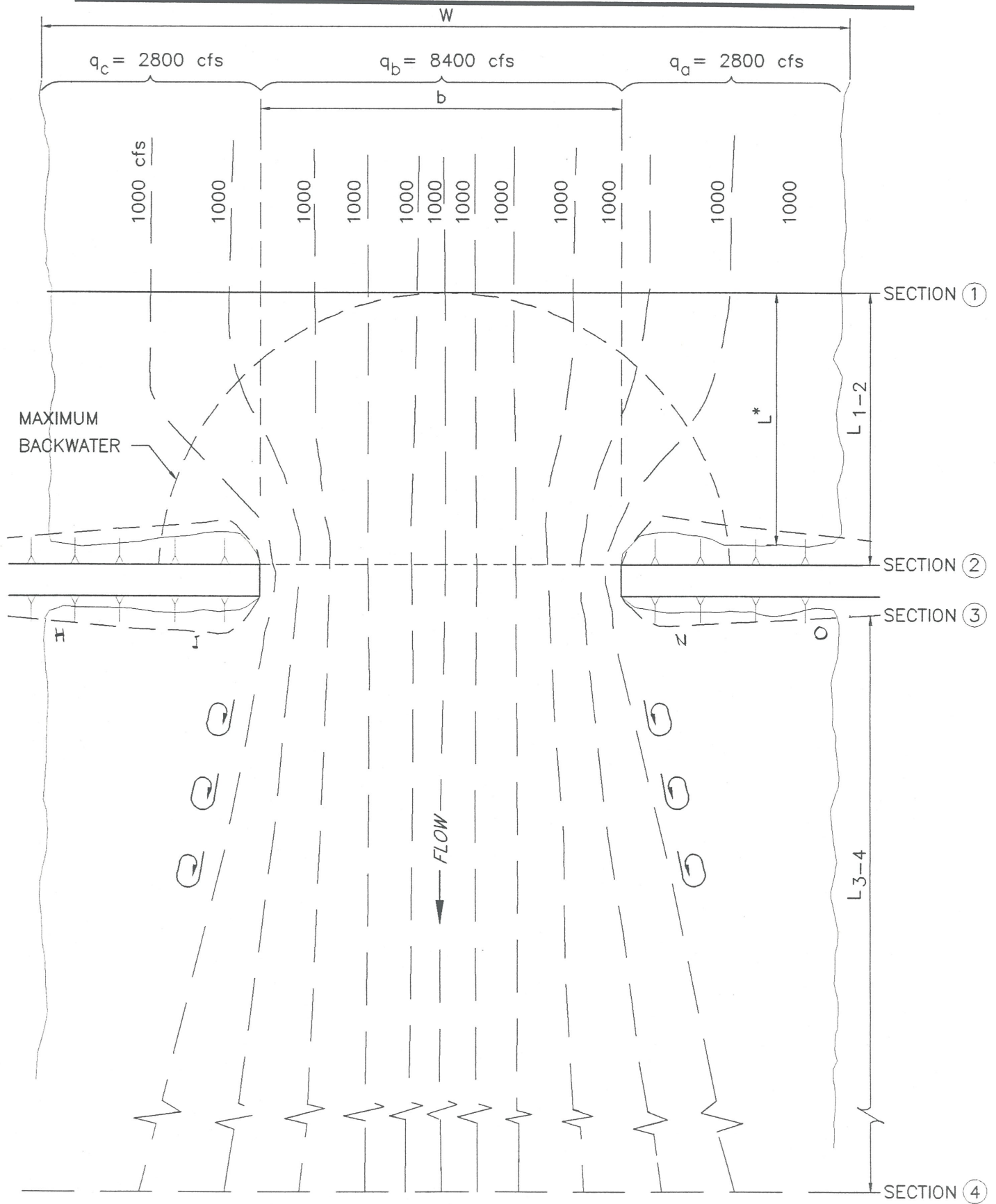
ผู้ออกแบบโครงสร้างทราบดีถึง การประหยัดที่กระทำได้ในการออกแบบโครงสร้างสะพานด้วยความยาวหนึ่งที่กำหนดให้ บทบาทของชลศาสตร์อยู่กับการกำหนดความยาวและช่องห่างแนวตั้งของสะพานและรวมถึงตำแหน่งที่ควรจะเป็น ซึ่งทั้งหมดไม่ค่อยเป็นที่ทราบกันดีนัก การบีบลำน้ำ โดยไม่จำเป็น อาจทำให้เกิดกระแสน้ำย้อนกลับมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายกับพื้นที่เหนือน้ำ และการไหลท่วมหลังทาง หรืออาจก่อให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงซึ่งทำให้สะพานอยู่ในสภาพอันตราย ถ้าสะพานยาวเกินไป ค่าก่อสร้างที่แพงขึ้นไปอาจไม่คุ้มกับผลประโยชน์ที่จะได้รับความยาวของสะพานที่อยู่ระหว่างนั้น (การบีบลำน้ำเพื่อให้สะพานสั้นและการกำหนดสะพานให้ยาว) ซึ่งเป็นการออกแบบจะเป็นการประหยัดที่สุดต่อสาธารณะในระยะเวลายาวนาน เป้าหมายสุดท้ายของผู้ออกแบบสะพานก็คือการหาขนาดความยาวของสะพานดังกล่าวข้างต้น

บันทึกวิชาการฉบับนี้ มีความมุ่งหมายเพื่อนำเสนอวิธีการคำนวณผลของสะพาน ความยาวที่กำหนดให้ที่มีต่อการไหลของน้ำในลำธาร แต่จะไม่นำเสนอเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณกระแสน้ำย้อนกลับหรือความถี่ของปริมาณน้ำหลาก

1.2 ธรรมชาติของกระแสน้ำย้อนกลับที่สะพาน

สะพานไม่จำเป็นต้องยาวเต็มความกว้างของลำธารขณะเกิดน้ำหลาก ซึ่งไม่ประหยัด ในบางพื้นที่ดินถมคอสะพานอาจยื่นเข้าไปในบริเวณที่ราบน้ำท่วม (Flood Plain) เพื่อลดค่าก่อสร้าง โดยสันนิษฐานว่าการทำเช่นนั้น คันทางจะบีบการไหลของน้ำในช่วงน้ำหลากดังกล่าวเป็นที่ยอมรับในการปฏิบัติ อย่างไรก็ตามเมื่อยื่นคันดินมากเกินไป การบีบลำน้ำอาจทำให้เกิดความเสียหายกับสะพาน ค่าบำรุงรักษา ความเสียหายจากกระแสน้ำย้อนกลับ หรือแม้แต่มีสวนทำให้สะพานหรือคอสะพานพัง

ลักษณะการไหลที่ถูกบีบผ่านช่องแคบ โดยพื้นฐานสามารถด้านการกัดเซาะได้แสดงในรูปที่ 1 ปริมาณการไหลของแต่ละคู่ของ Streamlines ที่อยู่ติดกัน คือ 1000 cfs. จะสังเกตเห็นได้ว่ารูปร่างของ Streamline บริเวณส่วนกลางของลำธารไม่เปลี่ยนแปลง ที่เปลี่ยนแปลงมากคือบริเวณใกล้กับคอสะพาน เมื่อไหลผ่านช่องแคบแล้ว Streamline จะขยาย (5 ถึง 7 องศาแต่ละด้าน) จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะปกติ

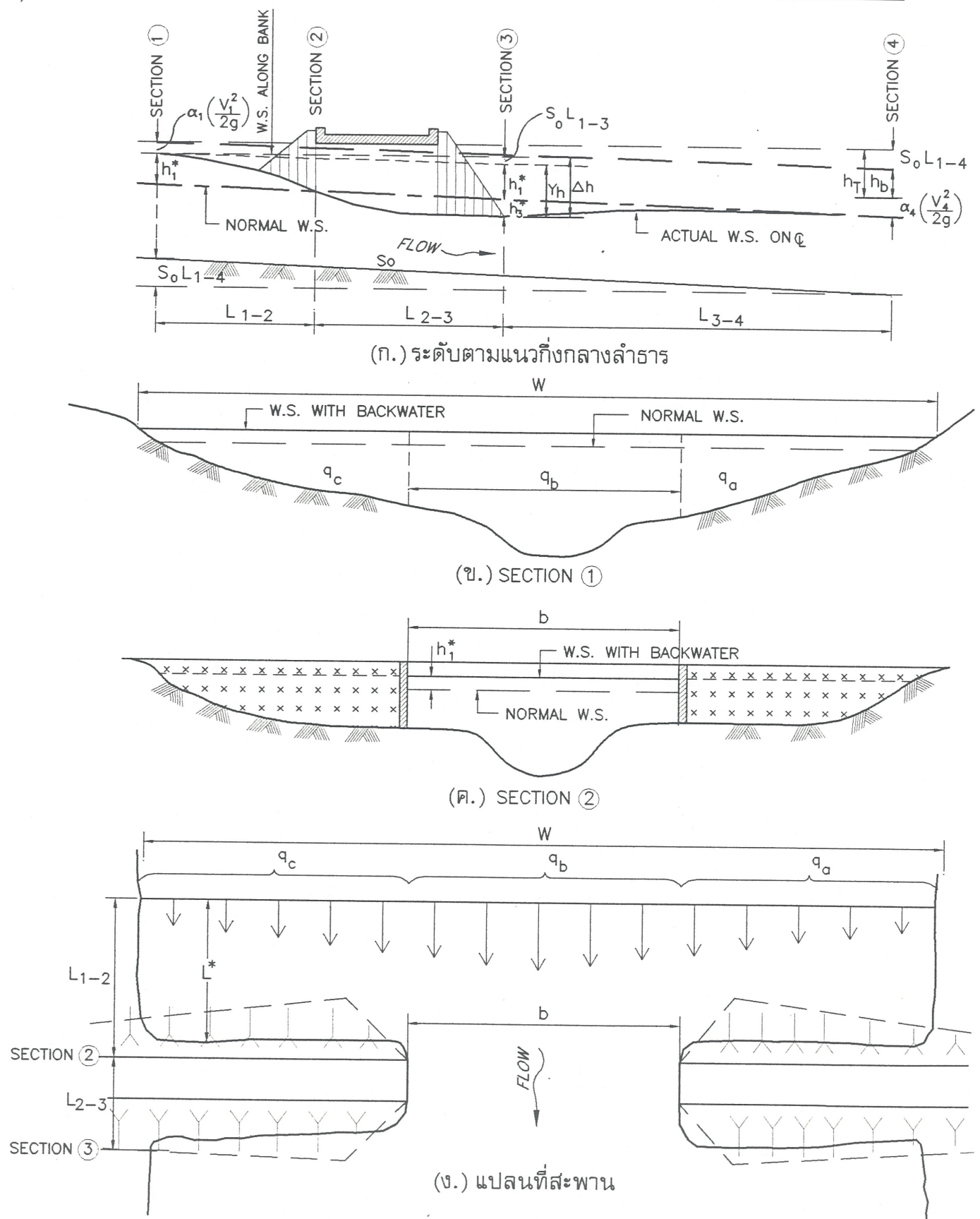


รูปที่ 1 เส้นการไหล (Flow line) สำหรับการไหลข้ามตัดขวาง

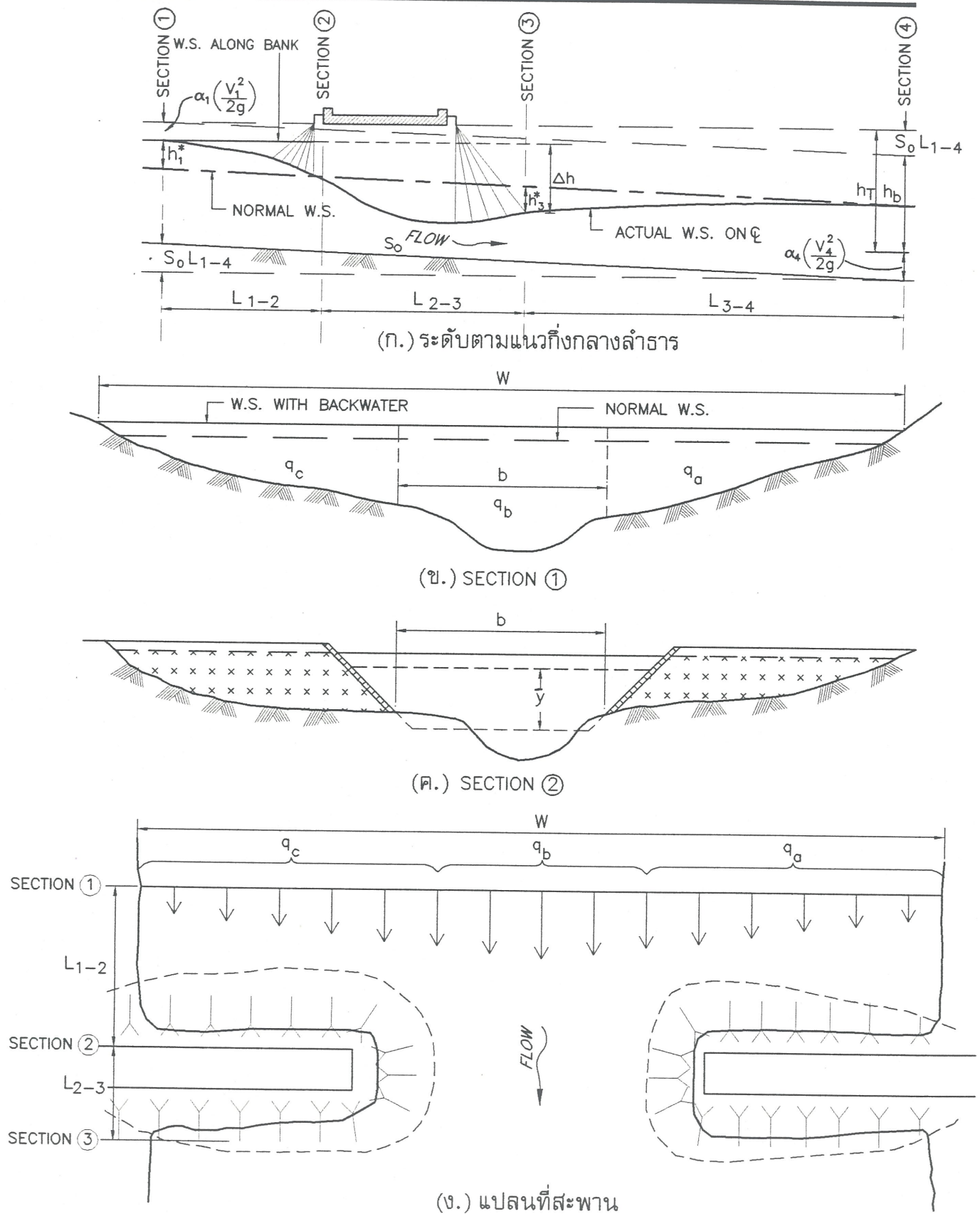
การบีบลำน้ำทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน เกิดขึ้นมากที่สุดบริเวณที่ขยายตัวทำน้ำ การสูญเสียพลังงานแสดงให้เห็น โดยระดับผิวน้ำและระดับ Energy Line สูงขึ้น เหนือน้ำขึ้นไปจากสะพาน ปรากฏให้เห็นได้จาก Profile ตามแนวกึ่งกลางของลำธารในรูปที่ 2 ก. ระดับปกติของลำธารสำหรับอัตราการไหลที่กำหนดให้ก่อนที่จะมีการบีบรัดช่องทางน้ำแสดงโดยเส้นประ เรียกว่า ระดับผิวน้ำปกติ (Normal Water Surface) ระดับผิวน้ำเมื่อมีการบีบช่องทางน้ำแสดงโดยเส้นเต็ม เรียกว่า ระดับผิวน้ำจริง (Actual Water Surface)

1.3 สัญลักษณ์แทนความหมาย

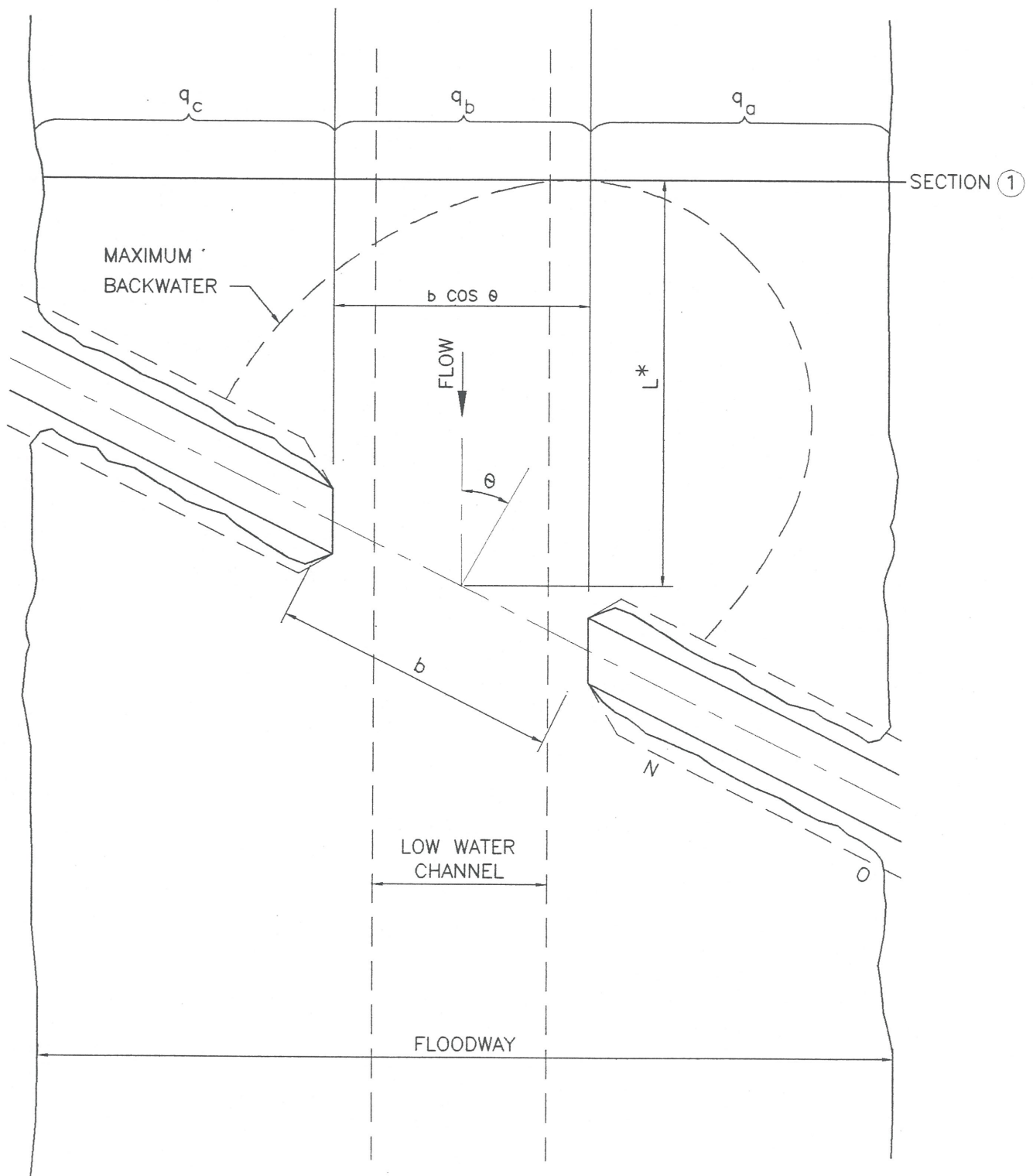
- A_1 = พื้นที่การไหล ซึ่งรวมถึงกระแสน้ำย้อนกลับ ที่ Section 1 (รูปที่ 2 ข) ตร.ฟุต
- A_{n1} = พื้นที่การไหลส่วนที่อยู่ต่ำกว่า Normal Water Surface ที่ Section 1, ตร.ฟุต
- A_{n2} = พื้นที่การไหลบริเวณบีบช่อง ส่วนที่อยู่ต่ำกว่า Normal Water Surface ที่ Section 2 (รูปที่ 2 ค) ตร.ฟุต
- A_4 = พื้นที่การไหลที่ Section 4 ซึ่งระดับน้ำกลับคืนสู่สภาพปกติ, ตร.ฟุต
- A_p = พื้นที่ฉายภาพ (Projected Area) ของตอม่อ ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (ระหว่างระดับผิวน้ำปกติ และพื้นลำธาร), ตร.ฟุต
- a = พื้นที่การไหลของรูปตัดย่อยของลำธาร (รูปที่ 2 ข), ตร.ฟุต
- b = ความกว้างของส่วนที่ถูกบีบ (รูปที่ 2 ค, 3 ค), ฟุต
- D_b = $h_b^* / h_3^\oplus$ = อัตราส่วนความแตกต่างของระดับ
- E = หนีศูนย์กลาง (Eccentricity) = $(1 - q_c/q_a)$ เมื่อ $q_c < q_a$ หรือ $(1 - q_a/q_c)$ เมื่อ $q_a < q_c$ (รูปที่ 8)
- g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง = 32.2 ฟุต/วินาที²
- h_T = การสูญเสียพลังงานทั้งหมดระหว่าง Section 1 และ 4 (รูปที่ 2 ก) , ฟุต
- h_b = $h_T - S_o L_{1-4}$ = การสูญเสียพลังงาน
- $h_1^\oplus$ = กระแสน้ำย้อนกลับทั้งหมด หรือระดับน้ำที่สูงขึ้น จากระดับปกติ ที่ Section 1₂ (รูปที่ 2 ก) , ฟุต
- $h_3^\oplus$ = ระยะตามแนวดิ่งจากระดับน้ำบริเวณท้ายน้ำของคันทางไปยังระดับน้ำปกติที่ Section 3 (รูปที่ 2 ก), ฟุต
- $h_b^\oplus$ = กระแสน้ำย้อนกลับ คำนวณจาก Base Curve, ฟุต
- $h_d^\oplus$ = กระแสน้ำย้อนกลับ เกิดจากสะพานควัดที่ Section 1 (รูปที่ 14)
- Δh = $h_b^\oplus + h_3^\oplus + S_o L_{1-3}$ = ความแตกต่างของระดับน้ำช่วงคันทาง (รูปที่ 12), ฟุต



รูปที่ 2 การข้ามต่งจาก ต่อม่อริมฝั่งแบบกำแพงปีก



รูปที่ 3 การข้ามต่งจาก ต่อม่อริมฝั่งแบบ Spillthrough



รูปที่ 4 การข้ามเฉียง (SKEW CROSSING)

- $J = A_p/A_{n2} =$ อัตราส่วนของพื้นที่ซึ่งถูกกีดขวางโดยตอม่อ ต่อพื้นที่ทั้งหมดของลำธาร ส่วนที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำปกติที่ Section 2 (รูปที่ 7)
- $K_b =$ สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับ จาก Base Curve (รูปที่ 5 และ 6)
- $\Delta K_p =$ สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับส่วนเพิ่มสำหรับการรับตอม่อ (รูปที่ 7)
- $\Delta K_E =$ สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับส่วนเพิ่มสำหรับการหนีศูนย์ (รูปที่ 8)
- $\Delta K_s =$ สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับส่วนเพิ่มสำหรับมุมเฉียง (รูปที่ 9 และ 10)
- $k^{\oplus} = k_b + \Delta k_p + \Delta k_E + \Delta k_s =$ สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับรวม
- $k_b =$ การส่งผ่าน (Conveyance) ของส่วนของลำธารภายในความยาวฉายภาพ (Projected Length) ของสะพานที่ Section 1 (รูปที่ 2 ข และ 2 ค)
- $k_a, k_c =$ การส่งผ่านของส่วนพื้นราบน้ำท่วมถูกกีดขวางด้วยคันทางของถนน (รูปที่ 2 ข และ 2 ค)
- $k_1 =$ การส่งผ่านรวมที่ Section 1
- $L_{1-4} =$ ระยะทางจากจุดที่กระแสน้ำย้อนกลับสูงสุด ไปยังจุดที่ระดับน้ำคืนสู่สภาพปกติทำให้น้ำ วัดตามแนวกึ่งกลางของลำธาร (รูปที่ 2 ก), ฟุต
- $L_{1-3} =$ ระยะทางจากจุดที่กระแสน้ำย้อนกลับสูงสุด ไปยังระดับน้ำทำให้น้ำของคันทาง (รูปที่ 2 ก), ฟุต
- $L_{1-2} =$ ระยะทางจากจุดที่กระแสน้ำย้อนกลับสูงสุด ไปยังด้านเหนือน้ำของพื้นสะพาน (รูปที่ 2 ก), ฟุต
- $L^{\oplus} =$ ระยะทางจากจุดที่กระแสน้ำย้อนกลับสูงสุดไปยังผิวน้ำด้านเหนือน้ำของคันทาง วัดขนานกับกึ่งกลางของลำธาร (รูปที่ 11), ฟุต
- $L_d =$ ระยะทางระหว่างกึ่งกลางของสะพานคู่ที่ขนานกัน (รูปที่ 14), ฟุต
- $M =$ อัตราส่วนช่องเปิดสะพาน
- $n =$ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (ตารางที่ 1)
- $P =$ ขอบรูปเปียกของรูปตัดย่อยของช่องทางน้ำ, ฟุต
- $q_b =$ การไหลในส่วนของช่องทางน้ำภายในความยาวฉายภาพของสะพานที่ Section 1 (รูปที่ 2 ข), cfs.
- $q_a, q_c =$ การไหลในส่วนของพื้นที่ราบน้ำท่วมถูกกีดขวางจากคันทางถนน (รูปที่ 2 ข), cfs.
- $Q = q_a + q_b + q_c =$ การไหลรวม, cfs.
- $r = a/p =$ รัศมีชลศาสตร์ของรูปตัดย่อยของที่ราบน้ำท่วมหรือร่องน้ำหลัก, ฟุต
- $S_o =$ ความลาดชันของพื้นร่องหรือผิวน้ำปกติ

$$V_1 = Q/A_1 = \text{ความเร็วเฉลี่ยที่ Section 1, ฟุต/วินาที}$$

$$V_4 = Q/A_4 = \text{ความเร็วเฉลี่ยที่ Section 4, ฟุต/วินาที}$$

$$V_{n2} = Q/A_{n2} = \text{ความเร็วเฉลี่ยบริเวณที่ถูกบีบสำหรับการไหลปกติ, ฟุต/วินาที}$$

$$W_p = \text{ความกว้างของตอม่อ ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (รูปที่ 7), ฟุต}$$

$$W = \text{ความกว้างที่ผิวของลำธาร ซึ่งรวมถึงบริเวณที่ราบน้ำท่วม (รูปที่ 1), ฟุต}$$

$$Y_n = \text{ความลึกการไหลปกติ, ฟุต}$$

$$\bar{y} = \text{ความสูงของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับบริเวณที่ถูกบีบรัด (รูปที่ 3 ค, Spillthrough Abutments)}$$

$$\alpha_1 = \frac{\sum(qv^2)}{QV_1^2} = \text{สัมประสิทธิ์ประยุกต์กับ Velocity Head เพื่อนำความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอของหน้าตัดการไหลมารวมเข้า}$$

$$n = \frac{hd^*}{h_1^\oplus} = \text{ตัวคูณกระแสน้ำย้อนกลับสำหรับสะพานคู่}$$

$$\sigma = \text{ตัวคูณสำหรับผลของ M ต่อสัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับส่วนเพิ่มสำหรับตอม่อ (รูปที่ 7 ข)}$$

$$\psi_{h_{3R}} = hd^\oplus + h_{3B}^\oplus = \text{จำนวนที่ใช้คำนวณความแตกต่างของระดับผิวน้ำข้ามระหว่างสองคันทาง (รูปที่ 16)}$$

$$\Sigma = \psi_{h_{3B}} / \psi_h = \text{ตัวคูณระดับที่แตกต่างกันสำหรับสะพานคู่}$$

ตารางที่ 1

สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning สำหรับร่องลำธารตามธรรมชาติ

ก. ลำธารขนาดเล็ก (ความกว้างผิวน้ำเมื่อน้ำหลาก < 100 ฟุต)	ช่วงค่า n ของ Manning
1. หน้าตัดสม่ำเสมอพอสมควร	
1.1 มีหญ้า, วัชพืชบ้าง พุ่มไม้เล็กน้อยหรือไม่มีเลย	0.030 - 0.035
1.2 มีวัชพืชขึ้นหนาแน่น น้ำลึกกว่าความสูงของวัชพืชมาก.....	0.035 - 0.05
1.3 มีวัชพืชบ้าง พุ่มไม้เบาบางบนขอบตลิ่ง	0.035 - 0.05
1.4 มีวัชพืชบ้าง พุ่มไม้หนาบอบตลิ่ง	0.05 - 0.07
1.5 มีวัชพืชบ้างมีตะไคร้หนาแน่นบนขอบตลิ่ง	0.06 - 0.08
1.6 มีต้นไม้อยู่ในร่องน้ำโดยกิ่งจมน้ำเมื่อน้ำขึ้นสูง ให้เพิ่มค่าดังกล่าวข้างต้น	0.01 - 0.02
ข. ที่ราบน้ำท่วม (อยู่ชิดลำธารธรรมชาติ)	
1. พุ่มหญ้าเลี้ยงสัตว์ ไม่มีพุ่มไม้	
1.1 หญ้าสั้น	0.030 - 0.035
1.2 หญ้าสูง	0.035 - 0.05
2. พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่	
2.1 ไม่มีพืช	0.03 - 0.04
2.2 พืชแก่ปลูกเป็นแถว	0.035 - 0.045
2.3 พืชแก่ปลูกกระจาย	0.04 - 0.05
3. วัชพืชหนาแน่น, พุ่มไม้กระจาย	0.05 - 0.07
4. พุ่มไม้และต้นไม้เบาบาง	
4.1 หน้าหนาว	0.05 - 0.06
4.2 หน้าแล้ง	0.06 - 0.08
5. การเพาะปลูก ปานกลางถึงแน่น	
5.1 หน้าหนาว	0.07 - 0.11
5.2 หน้าแล้ง	0.10 - 0.16
6. ดันสนุ่นหนาแน่น ในฤดูแล้ง เมื่อถูกกระแสน้ำไม่ล้ม	0.15 - 0.20
7. พืชที่ถางโดยมีต้นไม้ 100 - 150 ตอ ต่อ Acre	
7.1 ไม่มีหน่อ.....	0.04 - 0.05
7.2 มีหน่อขึ้นหนาแน่น	0.06 - 0.08
8. ไม้ยืนต้นหนาแน่น, ไม้ล้มเล็กน้อย, กำลั้งขึ้นน้อยมาก	
8.1 ความลึกน้ำหลากต่ำกว่ากึ่ง	0.10 - 0.12
8.2 ความลึกน้ำหลากเสมอกึ่ง (ค่า n เพิ่มตามความลึก)	0.12 - 0.16
ค. ลำธารขนาดใหญ่ (ความกว้างผิวน้ำเมื่อน้ำหลาก > 100 ฟุต)	
สัมประสิทธิ์ความขรุขระ ปกติจะน้อยกว่าลำธารขนาดเล็กที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยทั้งนี้เกิดจากความต้านทานของตลิ่งหรือพืชพันธุ์บนตลิ่งจะน้อยกว่า ค่า n จะลดลงได้จำนวนหนึ่ง ถ้าเป็นไปได้ให้ดำเนินการตามข้อแนะนำค่า n สำหรับลำธารขนาดใหญ่ หน้าตัดสม่ำเสมอเป็นส่วนมาก ไม่มีหินหรือพุ่มไม้อยู่ในช่วง	0.028 - 0.33

1.4 คำจำกัดความ

ระดับปกติ (Normal Stage) หมายถึงระดับผิวน้ำปกติของกระแสน้ำบริเวณสะพาน สำหรับอัตราการไหลเฉพาะก่อนถึงบริเวณที่บีบรัดลำธาร (รูปที่ 2 ก) Profile ของระดับผิวน้ำจะขนานกับท้องลำธาร

ระดับผิดปกติ (Abnormal Stage) ในกรณีที่ตำแหน่งสะพานอยู่เหนือน้ำและใกล้จุดบรรจบของ 2 ลำธาร ระดับน้ำที่สูงขึ้นจากลำธารหนึ่ง จะมีผลทำให้เกิดกระแสน้ำย้อนกลับไปยังอีกลำธาร ในระยะทางหนึ่งซึ่งจะทำให้ระดับน้ำบริเวณสะพานมีสภาพผิดปกติ ซึ่งหมายถึงสูงกว่าเมื่อสะพานข้ามลำธารปกติ ระดับผิดปกติอาจเกิดขึ้นจากเขื่อน , สะพานหรือสภาพที่บีบลำน้ำบริเวณท้ายน้ำ ระดับน้ำเมื่อมีระดับผิดปกติจะไม่ขนานกับท้องลำธาร

การข้ามฉาก (Normal Crossing) หมายถึง การข้ามด้วยมุมประมาณ 90 องศา กับทิศทางการไหลของน้ำ ขณะระดับน้ำสูง

การข้ามหนีศูนย์กลาง (Eccentric Crossing) หมายถึง ร่องน้ำหลักไม่ได้อยู่กึ่งกลางของที่ราบน้ำท่วม (รูปที่ 8)

การข้ามเฉียง (Skew Crossing) หมายถึง การข้ามไม่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำขณะเกิดน้ำหลาก

การข้ามคู่ (Dual Crossing) หมายถึง สะพานคู่ เช่น บนทางหลวงแยกช่องทางไปและกลับ

ความกว้างของช่องบีบ (Width of Constriction) , b ถ้าเป็นตอม่อริมฝั่งที่อยู่ในแนวตั้ง ระยะ b คือระยะทางตามแนวราบระหว่างผิวของตอม่อริมฝั่ง ในกรณีของ Spillthrough Abutment ให้เปลี่ยนรูปตัดเป็นรูปตัดสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีพื้นที่เท่ากัน ตามรูปที่ 3 ค ดังนั้นช่องเปิดของสะพานคำนวณจาก

$$b = \frac{An_2}{\bar{y}}$$

1.5 การส่งผ่าน (Conveyance)

การส่งผ่านเป็นการวัดความสามารถของร่องน้ำที่จะส่งน้ำผ่าน ในกรณีลำธารมีรูปตัดไม่ปกติ จำเป็นต้องแบ่งพื้นที่น้ำออกเป็นส่วนย่อย ๆ ซึ่งมีรูปตัดปกติมากบ้างน้อยบ้าง และกำหนดตัวคูณความหน่วง (Retardance Factor) แต่ละรูปตัดย่อย คำนวณการไหลของแต่ละรูปตัดย่อย ด้วย Manning Formula

$$q = \frac{1.49}{n} ar^{2/3} So^{1/2}$$

$$\frac{q}{So^{1/2}} = \frac{1.49}{n} ar^{2/3} = k$$

ค่า k คือค่าการส่งผ่านของรูปตัดย่อย

1.6 อัตราส่วนช่องเปิดสะพาน (Bridge Opening Ratio)

อัตราส่วนช่องเปิดสะพาน, M หมายถึง อัตราการไหลที่ลำธารถูกบีบรัด เทียบกับอัตราส่วนการไหลผ่านร่องที่ถูกบีบรัดต่อการไหลทั้งหมดของลำธาร

$$M = \frac{qb}{q_a + q_b + q_c} = \frac{qb}{Q}$$

$$M = \frac{kb}{k_a + k_b + k_c} = \frac{kb}{k_1}$$

1.7 สัมประสิทธิ์พลังงานจลน์ (Kinetic Energy Coefficient)

$$\alpha_1 = \frac{\sum(qv^2)}{QV_1^2}$$

โดย

$$v = \text{ความเร็วเฉลี่ยของรูปตัดย่อย}$$

$$q = \text{อัตราการไหลของรูปตัดย่อย}$$

$$Q = \text{อัตราการไหลรวมของลำธาร}$$

$$V_1 = \text{ความเร็วเฉลี่ยของลำธาร} = \frac{Q}{A_1}$$

บทที่ 2

การคำนวณกระแสน้ำย้อนกลับ (Computation of Backwater)

2.1 สมการคำนวณกระแสน้ำย้อนกลับ

ในบทนี้นำเสนอวิธีการคำนวณกระแสน้ำย้อนกลับที่เกิดจากการบีบรัดร่องน้ำ โดยการกีดขวางไม่มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย สมการคำนวณเกิดจากการประยุกต์ หลักการการอนุรักษ์พลังงานระหว่างจุดที่เกิดกระแสน้ำย้อนกลับสูงสุดเหนือจากสะพาน Section 1 และที่จุดท้ายน้ำจากสะพานที่ซึ่งระดับน้ำกลับสู่สภาวะปกติ Section 4 (**รูปที่ 2 ก**) สมการจะให้คำตอบที่ถูกต้องเมื่อร่องน้ำบริเวณสะพานค่อนข้างต่ำ และพื้นที่หน้าตัดค่อนข้างสม่ำเสมอ ความลาดชันของท้องลำธารประมาณเกือบคงที่ระหว่าง Section 1 และ Section 4 และไม่มีกีดขวางร่องน้ำ สมการที่ใช้คำนวณ

$$h_1^{\oplus} = k^{\oplus} \frac{Vn^2}{2g} + \alpha_1 \left[\left(\frac{An2}{A4} \right)^2 - \left(\frac{An2}{A1} \right)^2 \right] \frac{Vn^2}{2g}$$

โดยที่

- $h_1^{\oplus}$ = กระแสน้ำย้อนกลับรวม , ฟุต
- $k^{\oplus}$ = สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับรวม
- α_1 = ที่แสดงไว้ในบทก่อน
- $An2$ = พื้นที่น้ำทั้งหมดบริเวณบีบรัดน้ำวัดต่ำจากระดับน้ำปกติ , ตร.ฟุต
- $Vn2$ = ความเร็วเฉลี่ยบริเวณบีบรัดน้ำ หรือ $Q/An2$, ฟุตต่อวินาที
- A_4 = พื้นที่น้ำที่ Section 4 ซึ่งระดับน้ำเข้าอยู่สภาวะปกติ , ตร.ฟุต
- A_1 = พื้นที่น้ำทั้งหมดที่ Section 1 ซึ่งรวมถึงส่วนของกระแสน้ำย้อนกลับ , ตร.ฟุต

ค่ากระแสน้ำย้อนกลับ โดยประมาณโดยคิดเฉพาะส่วนแรกของสมการ

$$h_1^{\oplus} = k^{\oplus} \frac{Vn^2}{2g}$$

สำหรับ $\alpha_1 \left[\left(\frac{An2}{A4} \right)^2 - \left(\frac{An2}{A1} \right)^2 \right] \frac{Vn^2}{2g}$ นั้นแทนความแตกต่างของพลังงานจลน์

ระหว่าง Section 4 และ 1 ซึ่งแสดงในหน่วย Velocity Head $Vn^2/2g$

ส่วนที่ 2 ของสมการข้างต้นสามารถตัดออกได้เมื่อผลต่างของพลังงานจลน์ระหว่าง Section 4 และ 1 น้อยมากซึ่งไม่มีผลกับผลลัพธ์สุดท้าย

เพื่อให้ผู้ออกแบบทราบถึงกรณีที่สามารถตัดส่วนของพลังงานจลน์ออก ข้อแนะนำคือ

$$M > 0.7$$

$$V_{n2} < 7 \text{ ฟุตต่อวินาทีและ}$$

$$k^{\oplus} \frac{V_{n2}^2}{2g} < 0.5 \text{ ฟุต}$$

ถ้าค่าที่ได้ถูกต้องตามข้อกำหนดทั้งสาม ให้ใช้สมการ $h_1^{\oplus} = k^{\oplus} \frac{V_{n2}^2}{2g}$ ซึ่งมีความถูกต้องเพียงพอ

2.2 สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับ (Backwater Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับรวม $k^{\oplus}$ พิจารณาจากการทดสอบแปรเปลี่ยนไปตาม

1. การปิดรั่วลำธารวัดจากค่าอัตราส่วนช่องเปิดสะพาน, M
2. ประเภทตอม่อริมฝั่ง กำแพงปีก, Spillthrough ฯลฯ
3. จำนวน, ขนาด, รูปร่าง และการจัดเรียงของตอม่อบริเวณที่บีบลำน้ำ
4. การหนีศูนย์กลางของสะพานเมื่อเทียบกับพื้นที่น้ำท่วม และ
5. มุมเฉียง (สะพานข้ามพื้นที่น้ำท่วมที่มุมไม่ใช่ 90 องศา)

ค่า $k^{\oplus}$ โดยปรกติขึ้นกับอัตราการปิดรั่วลำน้ำ แต่ก็เปลี่ยนแปลงด้วยขีดจำกัดหนึ่งกับองค์ประกอบอื่น ๆ

2.3 ผลของค่า M และรูปร่างของตอม่อริมฝั่ง (Base Curve)

รูปที่ 5 แสดง Base Curve สำหรับค่าสัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับ k_b สัมพันธ์กับอัตราส่วนช่องเปิด M สำหรับกำแพงปีกของตอม่อริมฝั่งหลาย ๆ แบบ และประเภทกำแพงแนวดิ่ง จะสังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ k_b จะสูงขึ้นเมื่อบีบลำน้ำมากขึ้น Curve หลาย ๆ เส้นแทนมุมต่าง ๆ กันของกำแพงปีก Curve เส้นล่างสุด แสดงคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่ดีที่สุด

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับ k_b และค่า M สำหรับ Spillthrough Abutment โดยความลาดชันของคันทาง 3 แบบ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยจากค่าความลาดชันที่เปลี่ยนแปลง รูปที่ 5 และ 6 ถือว่าเป็น Base Curves และ k_b เรียกว่าเป็นสัมประสิทธิ์ Base Curve สัมประสิทธิ์ Base Curve นี้ประยุกต์สำหรับการข้ามตอม่อสำหรับรูปร่างตอม่อริมฝั่งเฉพาะ แต่ไม่รวมถึงผลของตอม่อ, การหนีศูนย์กลางหรือมุมเฉียง

2.4 ผลของตอม่อ (ข้ามตั่งฉาก)

ผลที่เกิดกับกระแสน้ำย้อนกลับจากตอม่อบริเวณบิบลำน้ำ ให้ถือว่าเป็นค่าสัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับเพิ่มขึ้น เรียกว่า ΔK_p ซึ่งบวกเข้ากับสัมประสิทธิ์ Base Curve ค่า ΔK_p ขึ้นกับอัตราส่วนของพื้นที่ตอม่อต่อพื้นที่ทั้งหมดของช่องเปิดสะพาน, ประเภทของตอม่อ (หรือเสาเข็ม ในกรณีของ Pile Bent) ค่าอัตราส่วนของช่องเปิดสะพาน M และความเป็นมุมของตอม่อ (Angularity of Piers) ค่า ΔK_p พิจารณาจากรูปที่ 7 และค่าปรับแก้ α จาก Chart B ในกรณีค่า n แตกต่างไปจาก 1.0

$$\Delta K_p = \Delta k \sigma$$

2.5 ผลของตอม่อ (ข้ามเฉียง)

ในกรณีข้ามเฉียง ผลของตอม่อจะเป็นเช่นเดียวกับข้ามตั่งฉาก ยกเว้นการคำนวณค่า J , An_2 และ M รายละเอียดให้ดูจากรูปที่ 7

2.6 ผลของการหนีศูนย์ (Effect of Eccentricity)

รูปที่ 8 แสดง q_a และ q_c ที่ Section 1 ซึ่งใช้แทนส่วนของการไหลที่ถูกกีดขวางจากคันทางบรรจบ ถ้ารูปตัดไม่สมมาตรอย่างมาก ซึ่งค่า q_a น้อยกว่าร้อยละ 20 ของค่า q_c หรือกลับกัน ค่าสัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับจะมีค่าสูงกว่าค่า n ที่ได้จาก Base Curve ค่า ΔK_E ซึ่งเกิดจากผลของการหนีศูนย์ แสดงในรูปที่ 8

$$\text{ค่า } E = 1 - \frac{q_c}{q_a} \text{ กรณี } q_c < q_a \text{ หรือ } E = 1 - \frac{q_a}{q_c} \text{ กรณี } q_a < q_c$$

ดังนั้นแล้ว

$$K^{\oplus} = K_b (\text{รูปที่ 5}) + \Delta K_p (\text{รูปที่ 7}) + \Delta K_E (\text{รูปที่ 8})$$

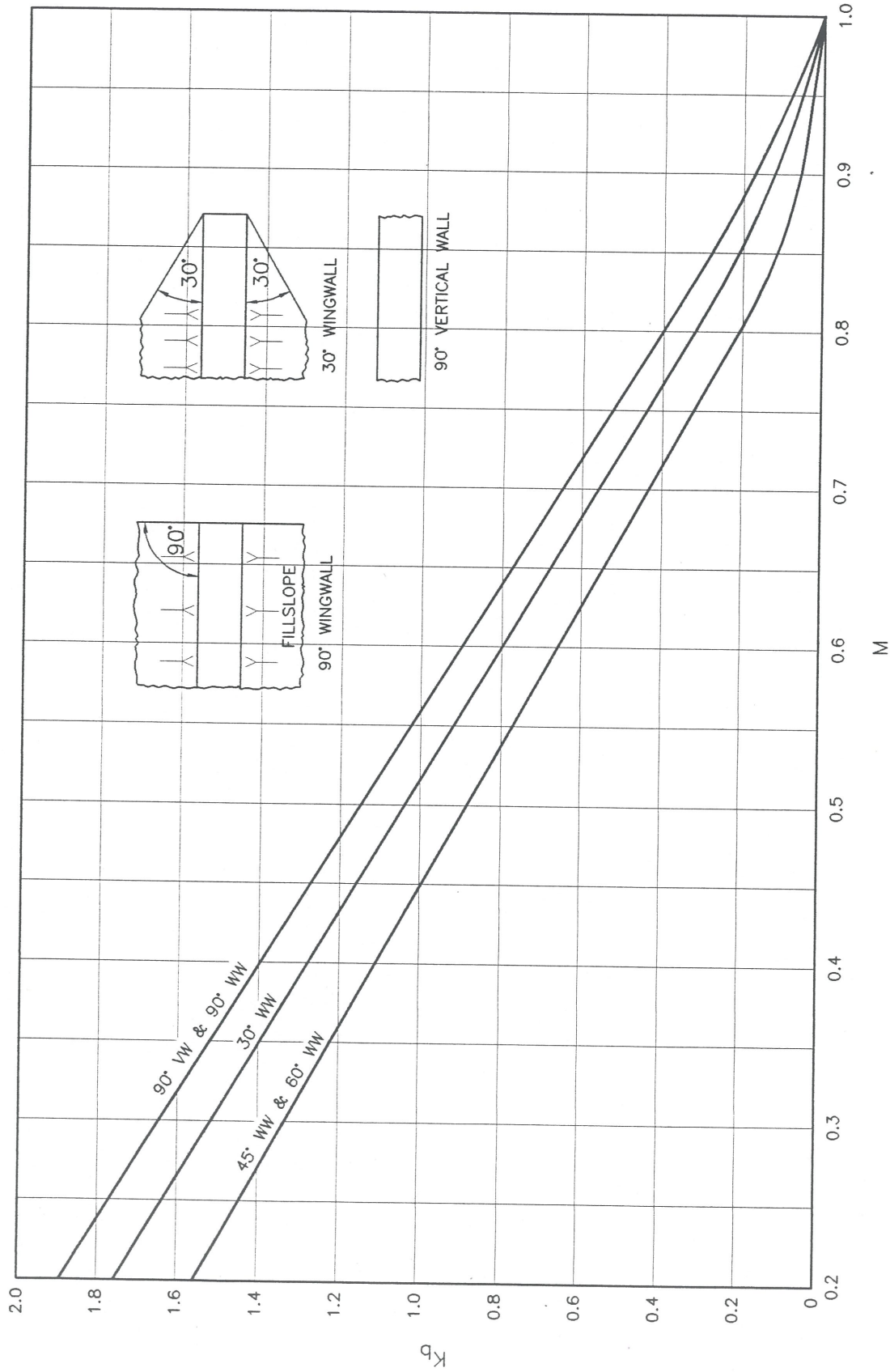
2.7 ผลของมุมเฉียง (Effect of Skew)

วิธีการคำนวณการข้ามมุมเฉียงแตกต่างจากการข้ามตั่งฉาก ในลักษณะดังนี้ อัตราส่วนของช่องเปิดสะพาน M คำนวณจากความยาวฉายภาพของสะพาน ไม่ใช่ความยาวเต็ม ความยาวได้จากการฉายภาพช่องเปิดสะพานด้านเหนือ น้ำ ขนานกับการไหลของน้ำดังแสดงในรูปที่ 4 ทิศทางการไหลโดยทั่วไปหมายถึงทิศทางการไหลที่ปรากฏก่อนที่จะมีการสร้างคันทางขวางทาง ความยาวของช่องเปิดที่ถูกกีดขวางคือ

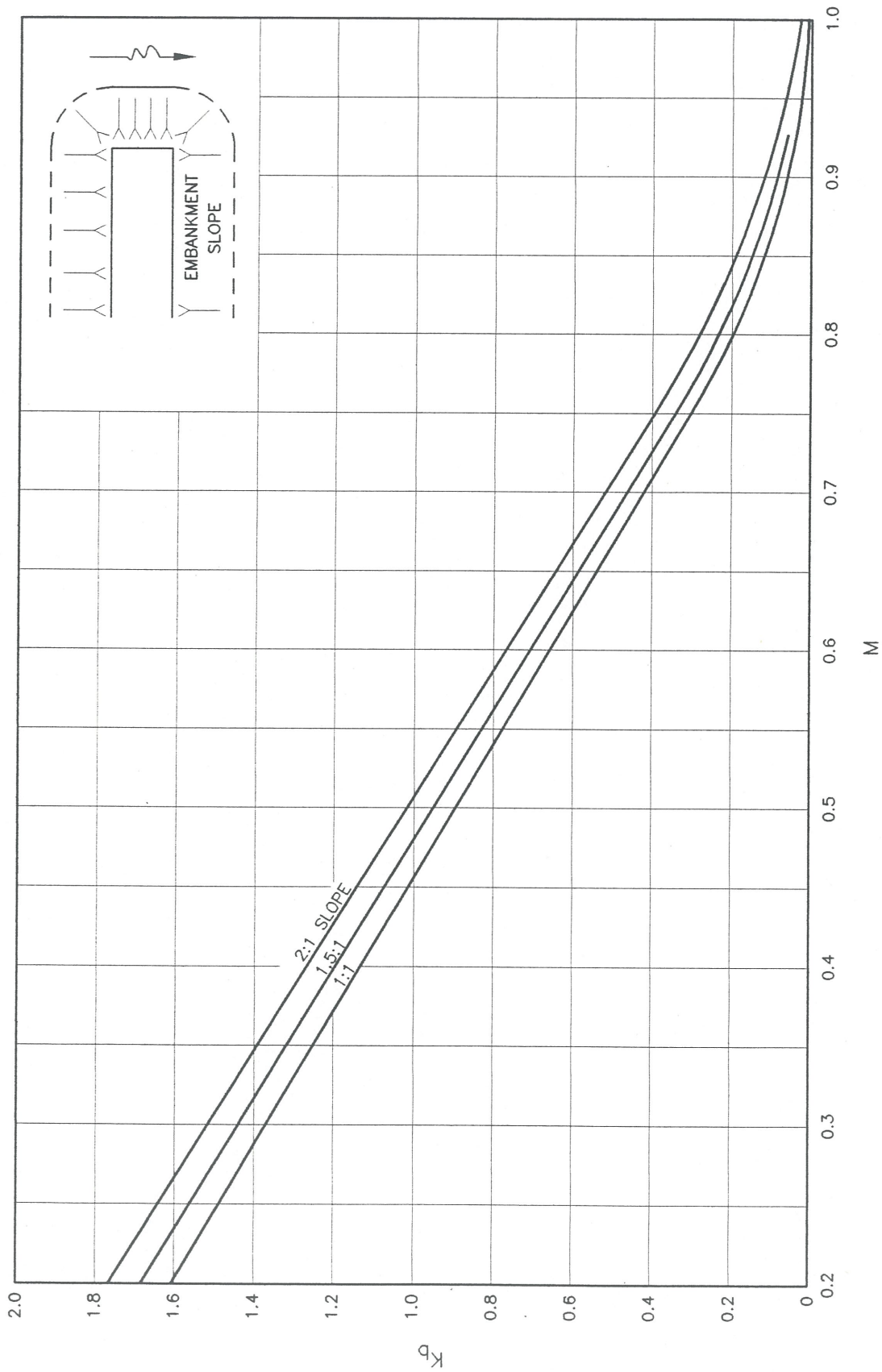
$$b \cos \phi \text{ และพื้นที่คือ } An_2 \text{ ซึ่งขึ้นกับความยาวดังกล่าว Velocity Head} = \frac{Vn^2}{2g}$$

รูปที่ 9 และ 10 เป็นสัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับส่วนเพิ่ม สำหรับผลของมุมเฉียง ΔK_s สำหรับกำแพงปีก และ Spillthrough Abutment ตามลำดับ สัมประสิทธิ์จะแปรเปลี่ยนกับอัตราส่วนช่องเปิด M , มุมเฉียงของสะพาน θ ที่กระทำกับทิศทางการไหลโดยทั่วไป และแนวของผิวตอม่อริมฝั่งตามที่แสดงในภาพร่างของแต่ละรูป ให้สังเกตว่าค่าสัมประสิทธิ์อาจเป็นได้ทั้งลบและบวก ซึ่งค่าจะต้องนำไปรวมทางพีชคณิตกับค่า K_b สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับรวมสำหรับการข้ามเฉียงกับ Spillthrough Abutment และตอม่อ คือ

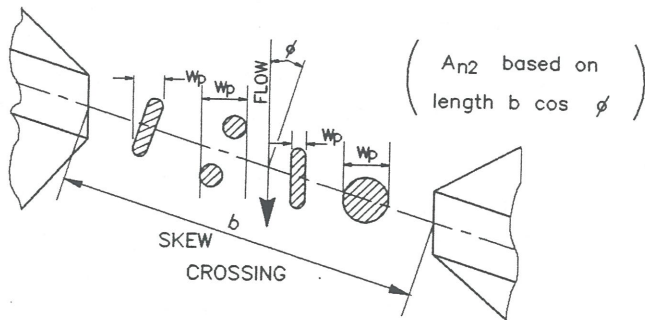
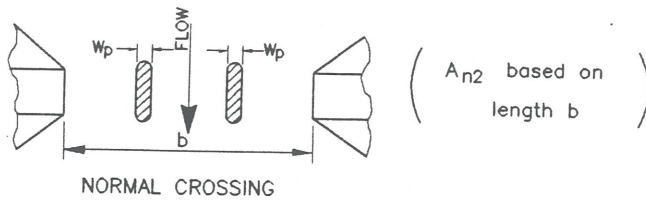
$$K^\oplus = K_b \text{ (รูปที่ 6)} + \Delta K_p \text{ (รูปที่ 7)} + \Delta K_s \text{ (รูปที่ 10)}$$



รูปที่ 5 BASE CURVES สำหรับตอม่อริมฝั่งแบบกำแพงปีก



รูปที่ 6 BASE CURVE สำหรับตอม่อรั้นแบบ SPILLTHROUGH



w_p = ความกว้างตอม่อกลางน้ำ

ตั้งฉากกับกระแส น้ำ, พุด

h_{n2} = ความสูงของตอม่อกลางน้ำ

กระทบกับกระแส น้ำ, พุด

N = จำนวนตอม่อกลางน้ำ

$A_p = \sum w_p \cdot h_{n2}$ พื้นที่ฉายแสง

ทั้งหมดของตอม่อกลางน้ำตั้งฉาก

กับกระแส น้ำ-ตร.พุด

A_{n2} = หน้าตัดน้ำรวมบริเวณบิบลำน้ำ

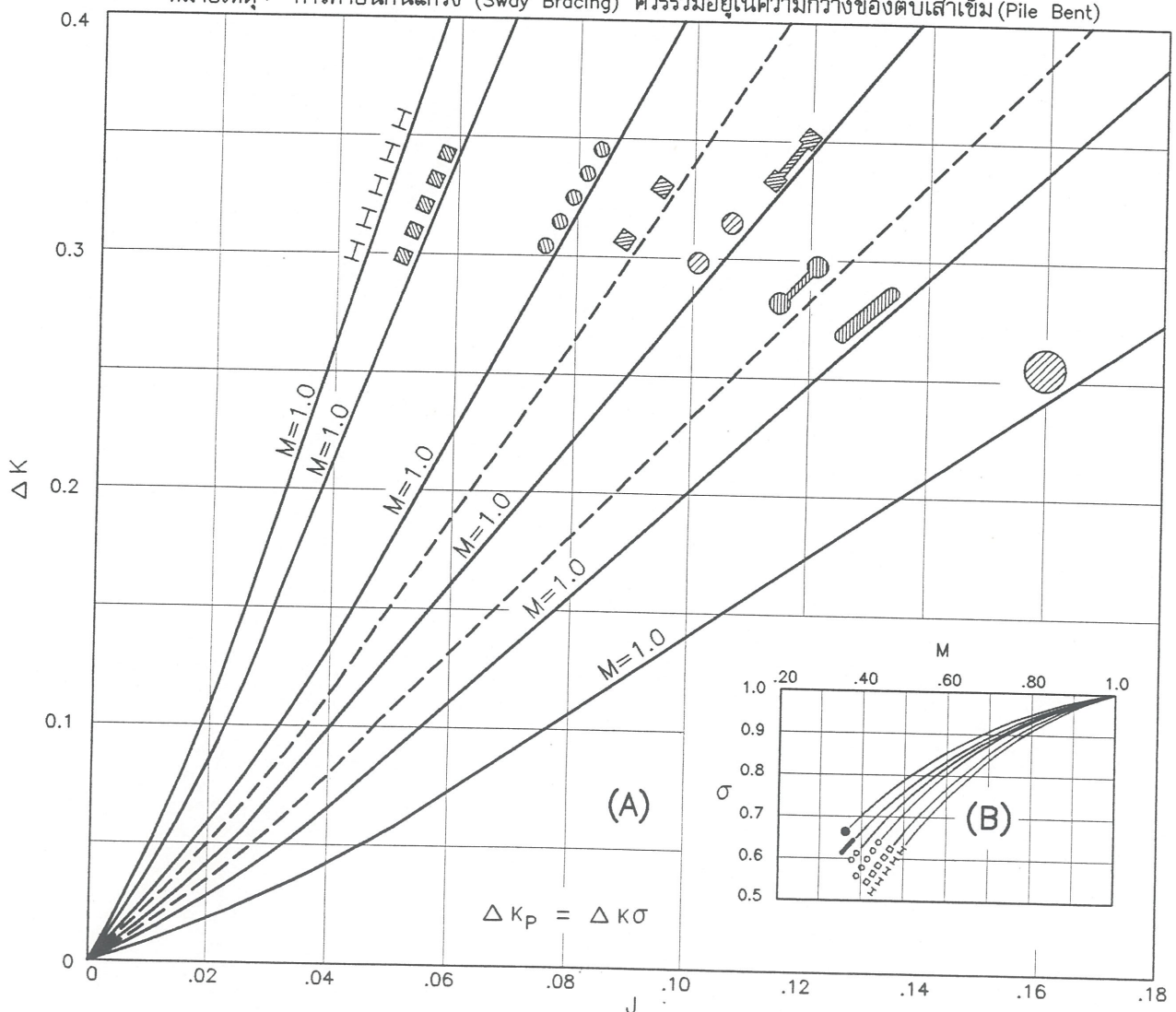
ตามพื้นฐานระดับน้ำปกติ

(ใช้ความยาวสะพานฉายแสงตั้งฉาก

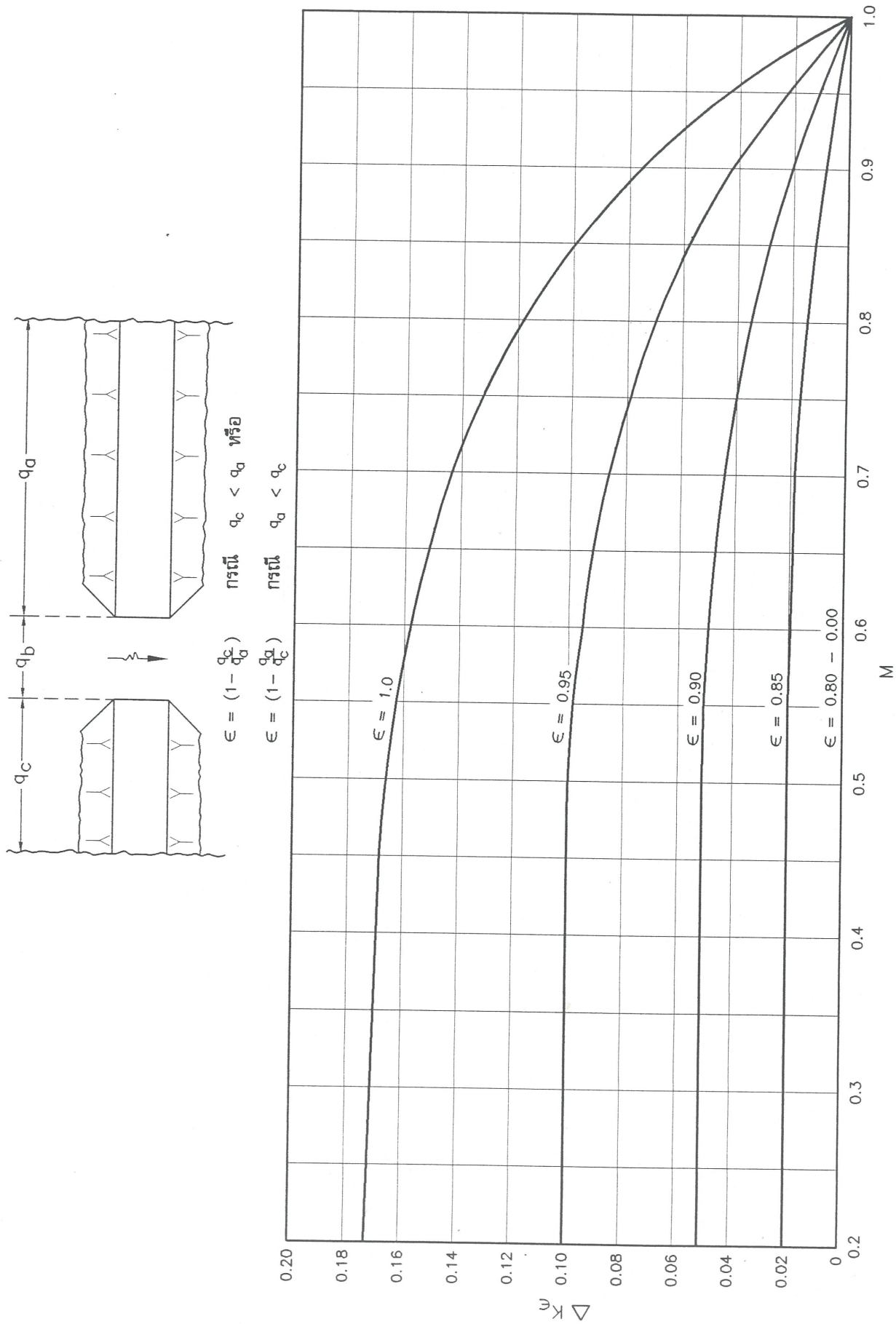
กับกระแส น้ำสำหรับการข้ามเฉียง)

$$J = \frac{A_p}{A_{n2}}$$

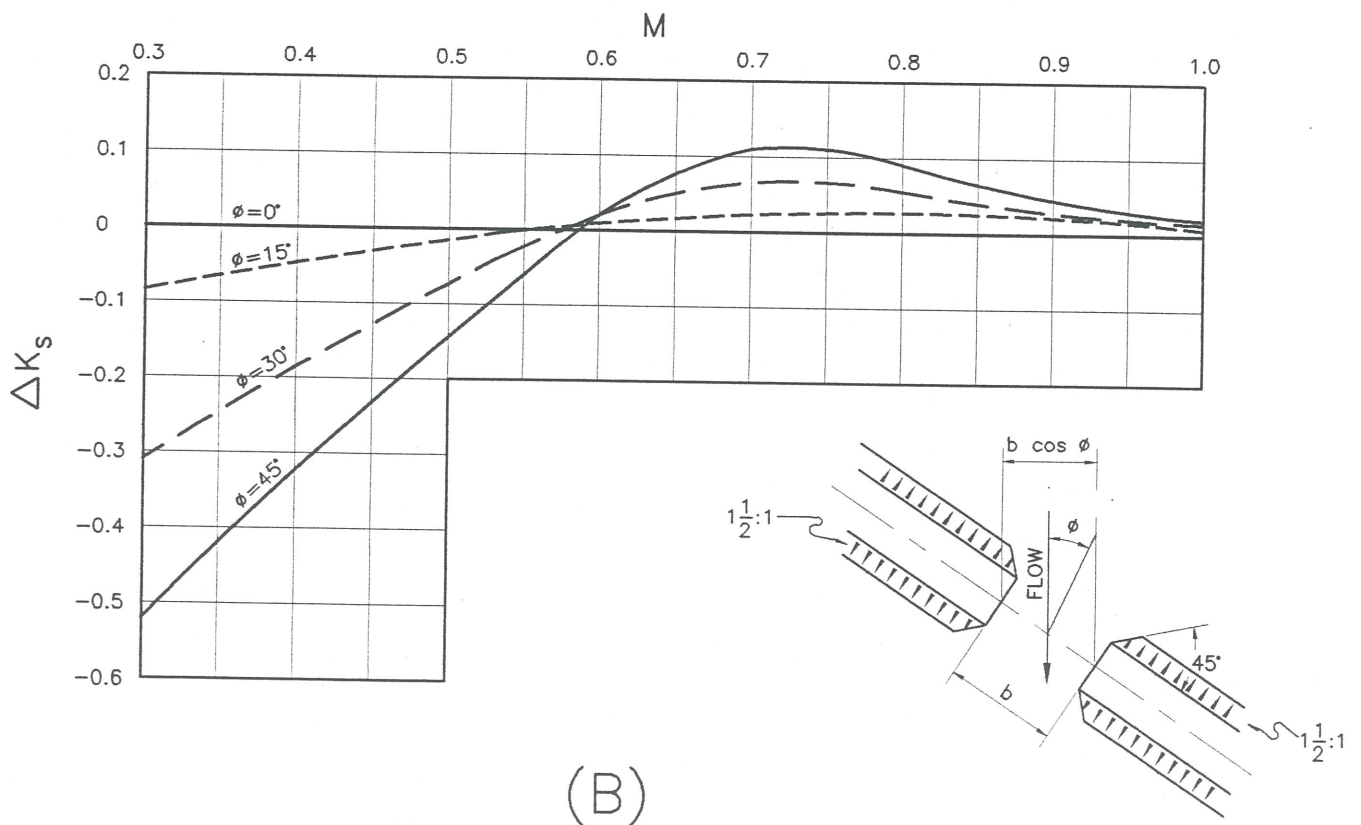
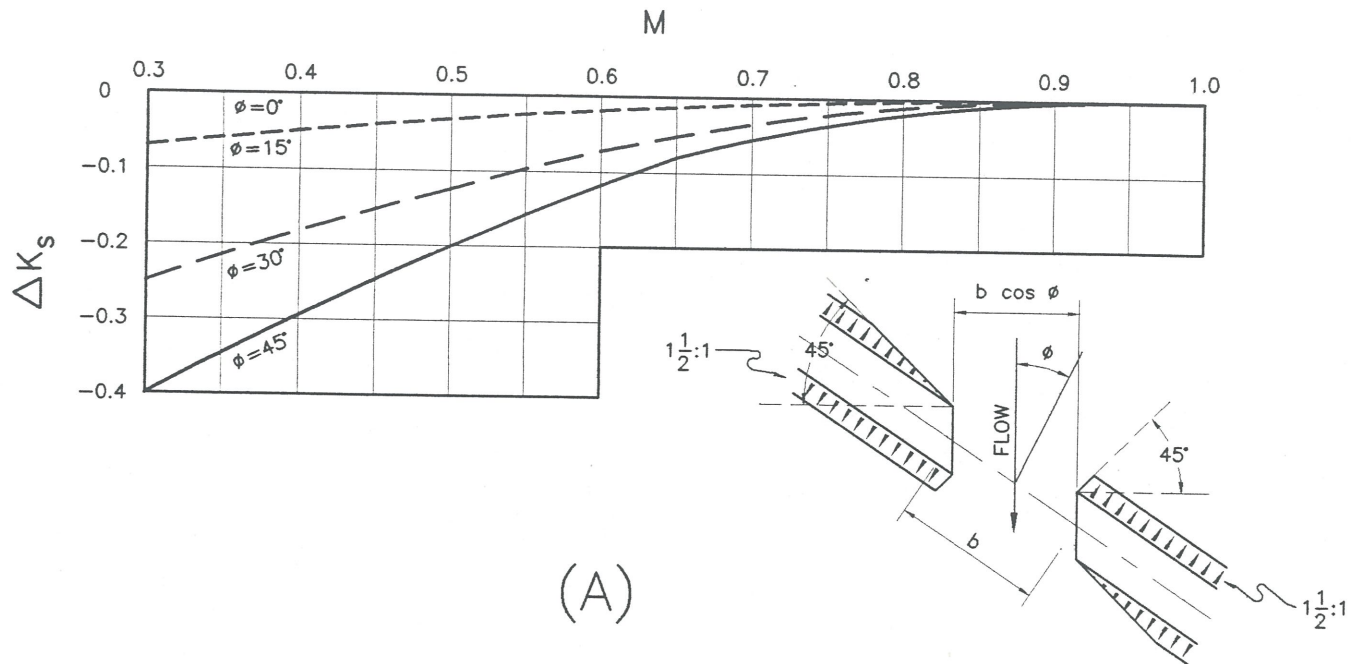
หมายเหตุ : การค้ำยันกันแกว่ง (Sway Bracing) ควรรวมอยู่ในความกว้างของตอม่อเสริม (Pile Bent)



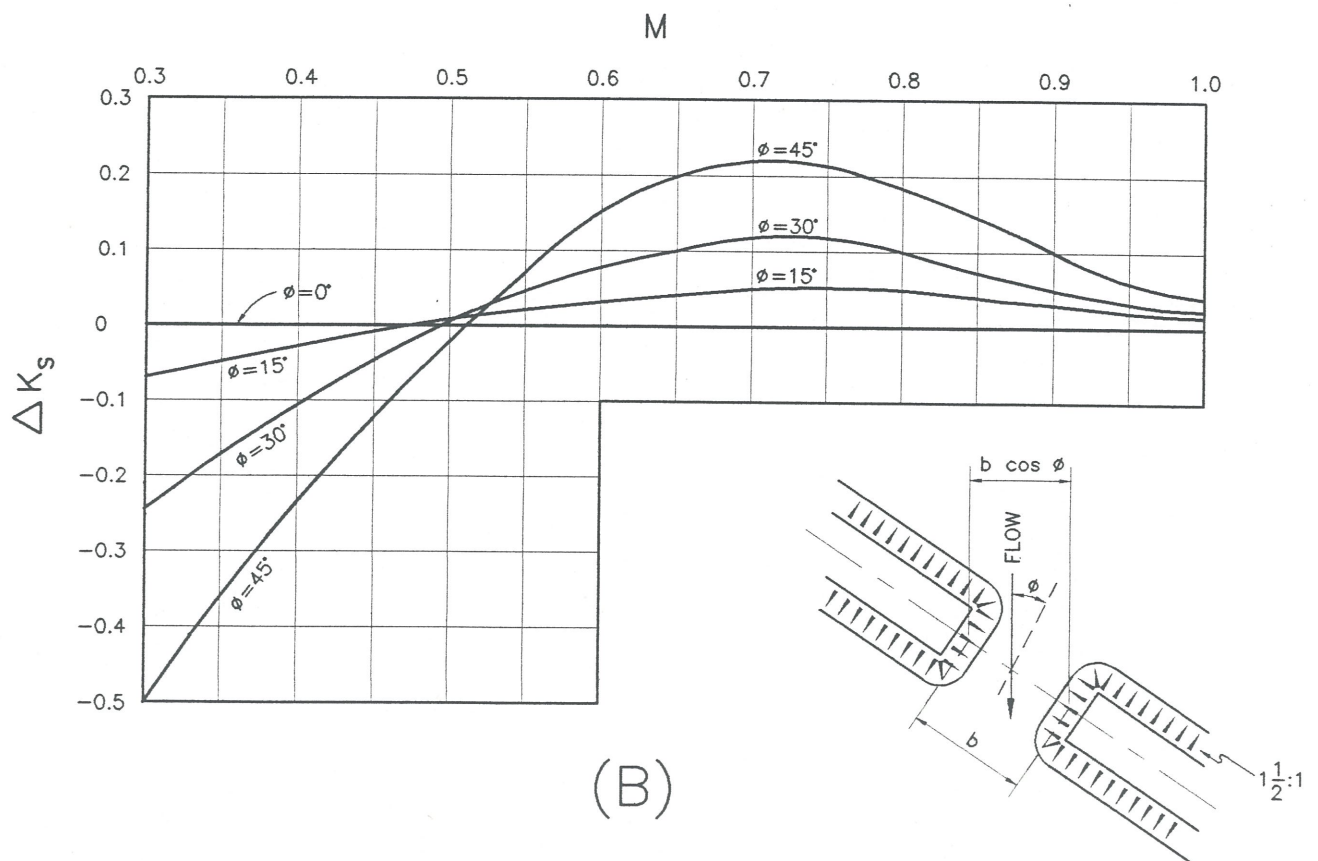
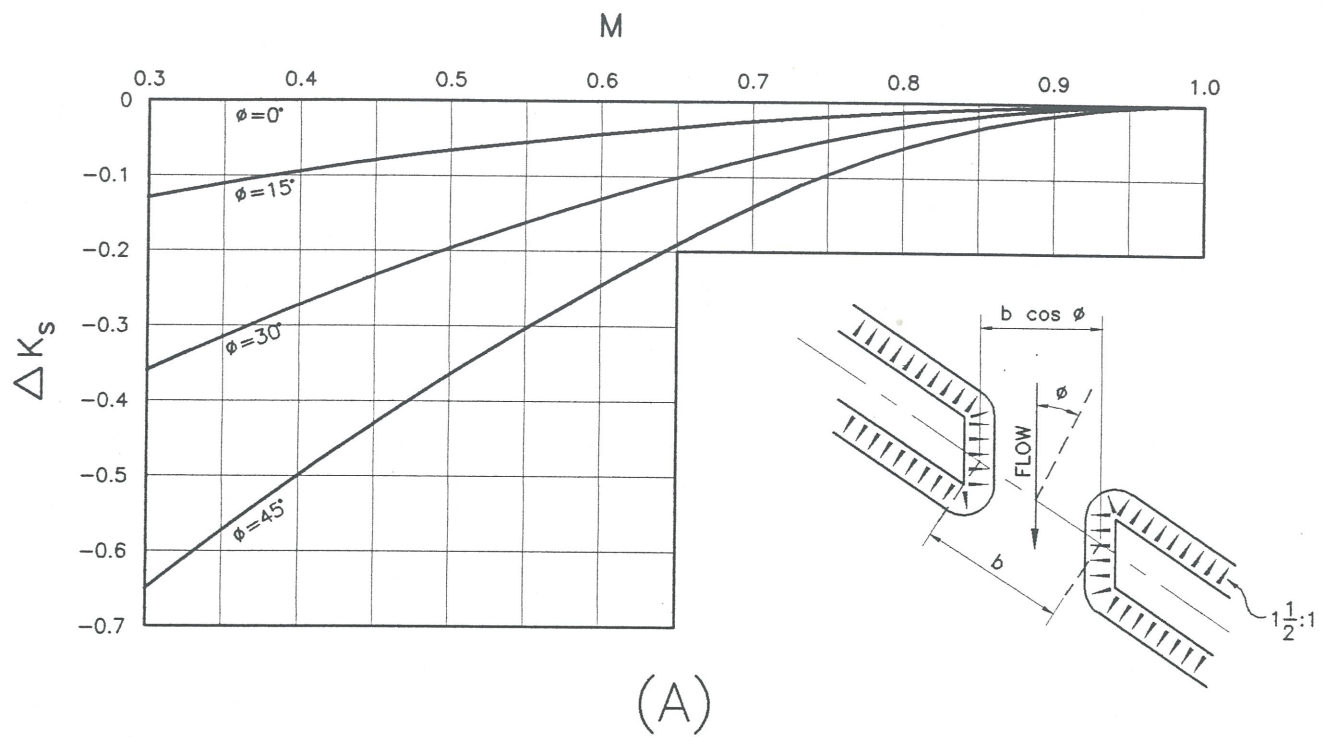
รูปที่ 7 สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับส่วนเพิ่มสำหรับตอม่อกลางน้ำ



รูปที่ 8 สัมประสิทธิ์การแก้ไขส่วนเพิ่มสำหรับการหนีศูนย์ (ECCENTRICITY)



รูปที่ 9 สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับสำหรับการข้ามเฉียง,
ตอม่อริมฝั่งแบบกำแพงปีก



รูปที่ 10 สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับส่วนเพิ่มสำหรับการข้ามเนิน
ตอม่อริมฝั่งแบบ SPILLTHROUGH

บทที่ 3

ขอบเขตของกระแสน้ำย้อนกลับ

3.1 ระยะทางยังจุดกระแสน้ำย้อนกลับสูงสุด

ในการคำนวณกระแสน้ำย้อนกลับ ในบางกรณีพบว่ามีความจำเป็นต้องกำหนดจุดกระแสน้ำย้อนกลับสูงสุดเมื่อเทียบกับจุดกึ่งกลางของสะพาน เพื่อที่จะกำหนดระดับผิวน้ำของบ่อเหนือน้ำ กระแสน้ำย้อนกลับสูงสุดตามแนวกึ่งกลางร่องน้ำสำหรับสะพานเกิดขึ้นที่จุด A (รูปที่ 11 ข) จุดนี้มีระยะห่าง L^* จากคันทาง สำหรับลำธารความกว้างปานกลาง ซึ่งน้ำท่วมพื้นราบ และคันทางปิดการไหล ระดับผิวน้ำตลอดทั่วพื้นที่ ABCD และ AEFG จะเท่ากับที่จุด A

3.2 การข้ามต้งฉาก

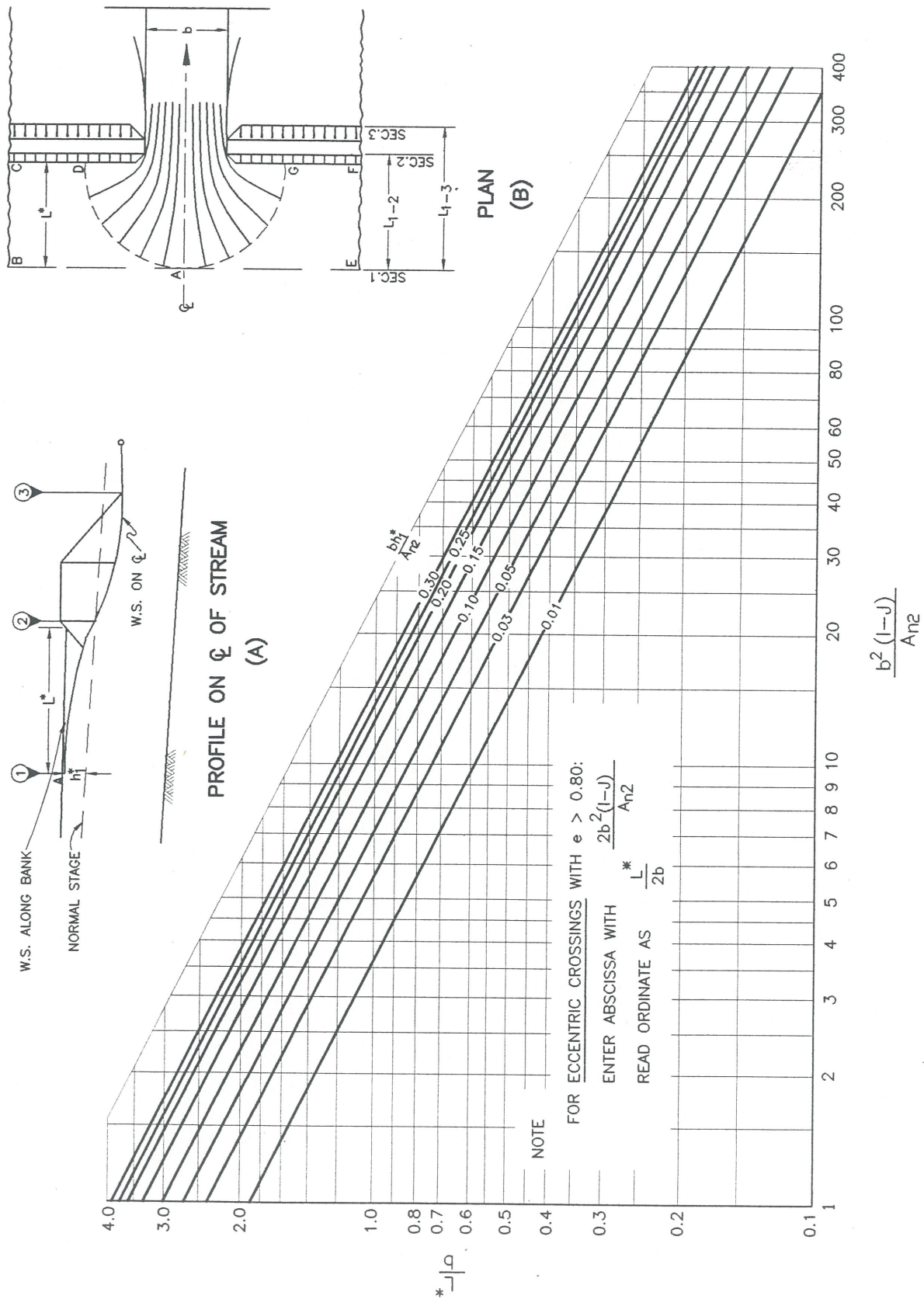
การหาระยะทาง L^* สำหรับการข้ามต้งฉาก พิจารณาจากรูปที่ 11 โดยใช้ค่า $b^2 (1 - J)/An^2$ และ bh_1^*/An^2 เพื่อหาค่า L^*/b โดยทั่วไปให้ถือ $L^* = L_{1-2}$ ถ้าการคำนวณกระแสน้ำย้อนกลับมีพื้นฐานจากอัตราการไหลออกแบบ (Design Discharge) สำหรับระดับปกติที่สะพาน ซึ่งเป็นกรณีโดยปกติ ระดับผิวน้ำที่ Section 1 เท่ากับระดับปกติที่สะพาน + $h_1^* + S_o L_{1-2}$

3.3 การข้ามหนีศูนย์ (Eccentric Crossing)

การข้ามหนีศูนย์ซึ่งไม่สมมาตรอย่างมากจะมีลักษณะคล้ายกับกึ่งหนึ่งของการข้ามสมมาตร และต้งฉาก โดยด้านหนึ่งถูกบีบและอีกด้านหนึ่งไม่ถูกบีบ ในกรณีที่ค่า E เกิน 0.80 ค่าที่สมจริงมากกว่าสำหรับระยะทางไปยังจุดที่ระดับน้ำลดสูงสุด (Maximum Drawdown) ได้มาจากการใช้แผนภูมิเดียวกันแต่ต้องตีความค่าพิกัด $2b^2 (1 - J) An^2$ สำหรับพิกัดราบ และ $L^*/2b$ สำหรับพิกัดฉาก

3.4 การข้ามเฉียง (Skew Crossing)

กรณีของการข้ามเฉียง ระดับผิวน้ำตามแนวฝั่งตรงข้ามของลำธาร ปกติจะแตกต่างจากจุด A ข้างหนึ่งอาจสูงกว่า และอีกข้างหนึ่งต่ำกว่าขึ้นกับมุมเฉียง , การจัดรูปของร่องน้ำเข้าหาสะพานและองค์ประกอบอื่น ๆ การหาระยะทางไปยังจุดที่กระแสน้ำย้อนกลับสูงสุดโดยประมาณ L^* สำหรับการข้ามเฉียง (รูปที่ 4) วิธีการแบบเดียวกับการข้ามต้งฉากโดยใช้ความยาวเต็มของสะพาน b อย่างไรก็ตามผลเป็นเพียงโดยประมาณเท่านั้น



รูปที่ 11 ระยะทางถึงบริเวณกระแสน้ำย้อนกลับสูงสุด

บทที่ 4

ระดับที่แตกต่างกันสองข้างคันทางบรรจบ

4.1 นัยสำคัญ

ระดับผิวหน้าที่แตกต่างกันระหว่างด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำของคันทางบรรจบ Δh กำหนดให้เท่ากับกระแสน้ำย้อนกลับที่เกิดจากสะพาน ซึ่งไม่เป็นเช่นนั้นโดยการตรวจสอบจากรูปที่ 2 ก ผิวหน้าที่ Section 3 วัดตามแนวด้านท้ายน้ำของคันทางจะต่ำกว่าระดับปกติเท่ากับ h_3^* ความแตกต่างของระดับข้ามคันทาง Δh จะมากกว่ากระแสน้ำย้อนกลับ h_1^* เสมอ เท่ากับผลรวมของ h_3^* และ $S_{OL\ 1-3}$

ความแตกต่างของระดับ, Δh มีนัยสำคัญในการพิจารณากระแสน้ำย้อนกลับที่โครงสร้างเนื่องจากค่า Δh เป็นค่าจากการวัดที่เชื่อถือได้ ระดับที่แตกต่างกันเกี่ยวข้องกับบริเวณที่คันทางบรรจบออกแบบเป็นทางน้ำฉุกเฉิน (Emergency Spillway) ในกรณีที่ปริมาณน้ำมากกว่าที่กำหนดในการออกแบบ ถนนบรรจบจะมีสภาพคล้ายฝายสันกว้าง (Broad - crested Weir) ซึ่งสมรรถนะขึ้นกับความยาว ความลึกของการไหล และอัตราการจมน้ำ (Degree of Submergence) ต้องการระดับน้ำด้านท้ายน้ำของคันทางเพื่อพิจารณาการจมน้ำ กระแสน้ำย้อนกลับจะมีความสัมพันธ์กับค่า Δh สำหรับโครงสร้างเฉพาะอย่าง เมื่อทราบค่าหนึ่งจะหาอีกค่าหนึ่งได้

4.2 Base Curves

Base Curves จะใช้สำหรับพิจารณาระดับด้านท้ายน้ำ อัตราส่วน $\frac{h_b^*}{h_3^*}$ แสดงสัมพันธ์กับอัตราส่วนช่องเปิด M สำหรับ Wingwall Abutments แบบต่าง ๆ ในรูปที่ 14 ตัวเลขเศษ h_b^* แทนน้ำย้อนกลับคำนวณจาก Base Curve Coefficient K_b จากรูปที่ 5 และ h_3^* เป็นระดับที่แตกต่างกันระหว่างระดับปกติและผิวด้านท้ายน้ำของคันทางที่ Section 3 คูภาพร่างในรูปที่ 12 จะช่วยในด้านการขยายข้อความ ผิวน้ำแสดงที่ Section 3 แทนระดับตามแนวด้านท้ายน้ำของคันทาง (จาก H ถึง I และ N ถึง O ในรูปที่ 1) และไม่จำเป็นที่จะแทนผิวน้ำที่บริเวณบีบรัด พิกัดจาก h_b^*/h_3^* ในรูปที่ 12 หมายถึงอัตราส่วนระดับที่แตกต่างกันแทนด้วย Db

สำหรับตอม่อริมฝั่งแบบ Spillthrough แสดงในรูปที่ 13 ดังนั้นรูปที่ 12 และ 13 แทนสภาพการข้ามสมมาตรและถือเป็น Base Curves สมมติว่าได้คำนวณกระแสน้ำย้อนกลับ $h_b^\oplus$ สำหรับการข้ามตั้งฉากไม่มีตอม่อ หนีศูนย์หรือมุมเฉียง ระดับผิวน้ำด้านท้ายน้ำของคันทางหาได้จากรูปที่ 12 หรือ 13 โดยใช้ค่าอัตราส่วนช่องเปิด M เพื่ออ่านค่าอัตราส่วนระดับแตกต่าง Db ดังนั้น

$$h_3^\oplus = h_b^\oplus / Db$$

ระดับผิวน้ำท้ายน้ำของคันทางเท่ากับ ระดับปกติที่สะพานลบด้วย $h_3^\oplus$

4.3 ผลจากตอม่อ

เนื่องจากตอม่อสะพานอยู่ในบริเวณสะพานซึ่งบีบลำน้ำ จากการทดสอบพบว่า กระแสน้ำย้อนกลับจะเพิ่มขึ้นขณะที่ค่า $h^\oplus$ คงเดิม โดยไม่เกี่ยวกับค่า J ดังนั้นปัญหาจะมีลักษณะเดียวกัน เว้นแต่มีตอม่อเข้ามาเกี่ยวข้อง การพิจารณาค่า $h_3^\oplus$ เหมือนกับข้อ 4.2

4.4 ผลจากการหนีศูนย์

ในการหนีศูนย์ค่อนข้างมาก ระดับที่แตกต่างกับข้ามคันทาง พิจารณาโดยประยุกต์เฉพาะด้านที่มีอัตราการไหลสูงกว่า จากการทดสอบพบว่าอัตราส่วนระดับที่แตกต่างกันเมื่อเทียบค่า M สำหรับการข้ามหนีศูนย์ ไม่มีตอม่อจุดจะลงตรงกับ Base Curves (รูปที่ 12 และ 13) ค่าเฉพาะของ $h_b^\oplus$ และ $h_3^\oplus$ สำหรับสภาพหนีศูนย์แตกต่างจากการข้ามสมมาตร แต่ค่าอัตราส่วนจากค่าหนึ่งไปยังอีกค่าหนึ่ง สำหรับค่า M ที่กำหนดให้ ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นรูปที่ 12 และ 13 จึงนำไปประยุกต์กับการข้ามหนีศูนย์ถ้าใช้ได้ถูกต้อง การหาค่า $h_3^\oplus$ สำหรับการข้ามหนีศูนย์ โดยมีหรือไม่มีตอม่อ ในรูปที่ 12 หรือ 13 จากค่า M อ่านค่า D_b ในกรณีนี้

$$h_3^\oplus = \frac{hb^\oplus + \Delta h_E^\oplus}{D_b}$$

$$\text{ซึ่ง } \Delta h_E^\oplus = \frac{\Delta K_E Vn^2}{2g}$$

4.5 ระดับผิวน้ำที่ลดลงเมื่อข้ามคันทาง (การข้ามต้งจาก)

เมื่อคำนวณ $h_3^\oplus$ ตามข้างต้นได้แล้ว และเมื่อทราบกระแสน้ำย้อนกลับรวม $h_1^\oplus$ (คำนวณตามวิธีการในบทที่ 2) ระดับผิวน้ำที่แตกต่างกับข้ามคันทาง คือ

$$\Delta h = h_3^\oplus + h_1^\oplus + S_0 L_{1-3}$$

โดยที่ $h_1^\oplus$ คือกระแสน้ำย้อนกลับรวม ซึ่งรวมถึงผลของตอม่อและการหนึ่ศูนย์ และ $S_0 L_{1-3}$ คือระดับที่ลดลงของพื้นลำธารจาก Section 1 ถึง Section 3

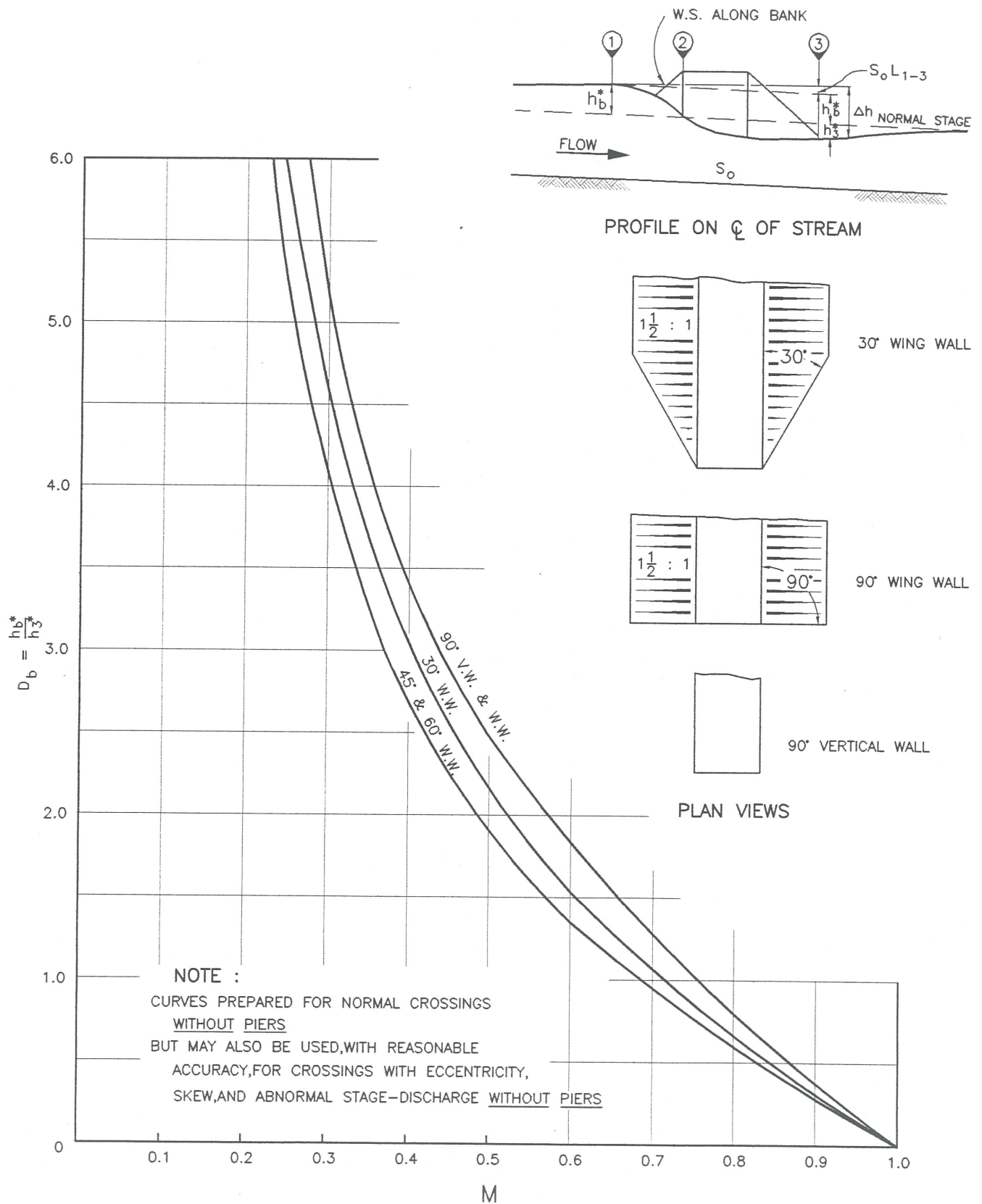
4.6 ระดับผิวน้ำด้านท้ายน้ำของคันทาง (ข้ามเฉียง)

ระดับที่แตกต่างกันข้ามคันทางสำหรับการข้ามเฉียง โดยธรรมชาติจะแตกต่างกันระหว่างสองด้านของลำธาร ปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดรูปของลำธารการหักทิศทางในบริเวณจุดข้าม , มุมเฉียง ฯลฯ

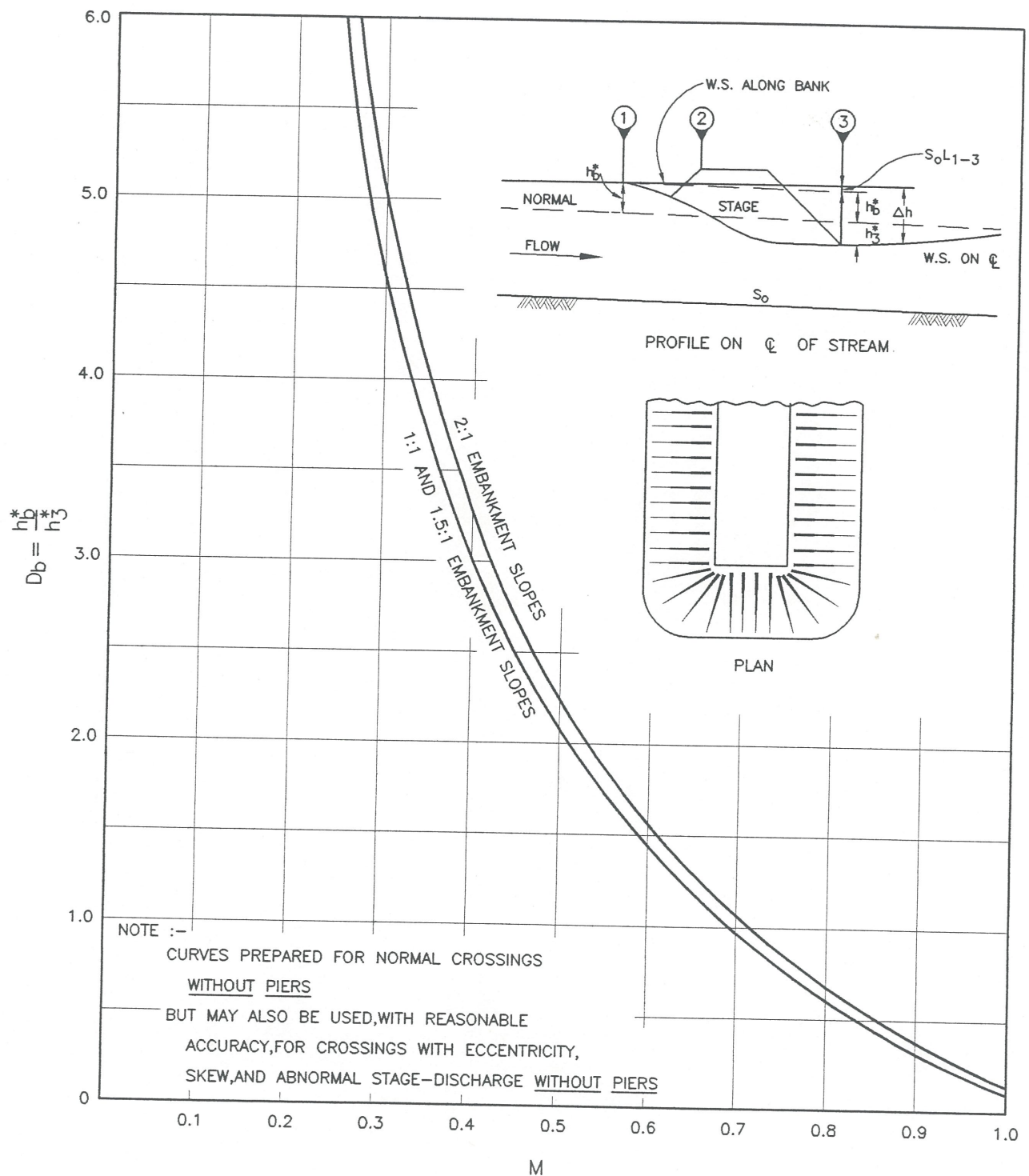
ค่าเฉพาะของ $h_1^\oplus$ และ $h_3^\oplus$ สำหรับการข้ามเฉียงจะแตกต่างกับค่าที่ข้ามสมมาตร แต่อัตราส่วนระดับที่แตกต่างกันให้ถือเท่ากับการข้ามต้งจากสำหรับค่า M ที่กำหนดให้ ดังนั้นสามารถใช้รูปที่ 12 และ 13 สำหรับการข้ามเฉียง ค่าอัตราส่วนระดับที่แตกต่าง D_b หาได้จากการใช้แผนภูมิที่เหมาะสมกับรูปร่างของตอม่อริมฝั่งและอัตราส่วนช่องเปิด M สำหรับคันทางที่อยู่ไกลสุดด้านท้ายน้ำ (มีหรือไม่มีตอม่อ)

$$h_3^\oplus = \frac{h_b^\oplus + \Delta h_s^\oplus}{D_b}$$

$$\text{โดยที่ } \Delta h_s^\oplus = \Delta k_s V n^2 / 2g$$



รูปที่ 12 อัตราส่วนความแตกต่างระดับสำหรับตอม่อริมฝั่งแบบกำแพงปีก



รูปที่ 13 อัตราส่วนความแตกต่างระดับตอม่อริมฝั่งแบบ SPILLTHROUGH

บทที่ 5

สะพานคู่ (Dual Bridges)

5.1 การจัดรูป (Arrangement)

จากการขยายถนนเป็นทางหลวงแยกช่องทางไปและกลับ สะพานคู่ซึ่งมีรูปแบบเหมือนกันจะอยู่ในตำแหน่งขนานและมีระยะห่างกันไม่มากนักปรากฏโดยทั่วไป กระแสน้ำย้อนกลับที่เกิดจากสะพานคู่โดยธรรมชาติจะมากกว่าที่เกิดจากสะพานเดี่ยว แต่ก็น้อยกว่าค่าที่คำนวณโดยพิจารณาสะพานทั้งสองแยกจากกัน เนื่องจากการผสมผสานของสะพานคู่มีรูปแบบหลากหลาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจำกัดการทดสอบกับรูปแบบที่ง่ายที่สุดนั่นคือ เป็นสะพานขนานที่เหมือนกัน ข้ามตั้งจากลำธาร (ดูรูปที่ 14) การทดสอบกระทำกับตอม่อแบบ Wingwall 45° แต่รวมถึงตอม่อประเภท Spillthrough จำนวนหนึ่งทั้งสองแบบคันทางมีความลาดชัน $1\frac{1}{2}$:

5.2 การพิจารณากระแสน้ำย้อนกลับ

วิธีการทดสอบประกอบด้วยการกำหนดสภาพการไหลปกติ หลังจากนั้นวางสะพานตัวแรกในรางน้ำ (Flume) และวัดค่ากระแสน้ำย้อนกลับ h_1^* ต่อจากนั้นวางสะพานตัวที่ 2 ซึ่งมีรูปร่างเหมือนสะพานที่ 1 อยู่ด้านท้ายน้ำและวัดค่ากระแสน้ำย้อนกลับรวม h_d^* เหนือน้ำจากสะพานที่ 1 นำค่า h_d^*/h_1^* แสดงความสัมพันธ์กับค่า bL_d/An^2 และ M ในรูปที่ 14 โดยที่ L_d เท่ากับระยะทางระหว่างเส้นกึ่งกลางของสะพานทั้งสอง และ b คือความกว้างของการบีบลำน้ำ เส้นโค้งเกิดจากผลการทดสอบ โดยมีและไม่มีตอม่อและสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้ง Wingwall และ Spillthrough Abutments ค่าอัตราส่วน h_d^*/h_1^* แทนด้วยสัญลักษณ์ n เพิ่มขึ้นเมื่อสะพานแยกห่างออกจากกัน ซึ่งจะไปถึงขีดจำกัดเมื่อค่า bL_d/An^2 เข้าใกล้ 30 ต่อจากนั้นค่า n จะลดลงเมื่อระยะห่างของสะพานเพิ่มขึ้นไปอีก ถ้าสะพานอยู่ใกล้กัน ลักษณะการไหลจะแตกต่างจากสะพานเดี่ยวเพียงเล็กน้อย ถ้าสะพานถูกแยกออกจากกัน สะพานตัวที่ 2 จะรบกวนการขยายตัวของกระแสไหลจากสะพานตัวที่ 1 ซึ่งทำให้เกิดการไหลวน (Turbulence) และการสูญเสียพลังงาน

การพิจารณากระแสน้ำย้อนกลับสำหรับสะพานคู่ที่สอดคล้องกับข้อกำหนดข้างต้น จำเป็นต้องคำนวณกระแสน้ำย้อนกลับ h_1^* สำหรับสะพานเดี่ยวที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 กระแสน้ำย้อนกลับสำหรับสะพานคู่วัดบริเวณเหนือน้ำจากสะพานแรก ดังนี้

$$h_d^* = h_1^* n$$

กรณีที่ค่า bL_d/An_2 เกิดจากขอบเขตของการทดลอง ให้ใช้ค่า n โดยประมาณจากรูปที่ 15 ซึ่งจัดเตรียมจากวิธีการทางคณิตศาสตร์

5.3 ระดับผิวน้ำที่ลดลงข้ามคันทาง

ในกรณีของสะพานคู่ที่เหมือนกัน ผู้ออกแบบต้องการทราบระดับผิวน้ำด้านท้ายน้ำของคันทางของสะพานแรก หรือระดับผิวน้ำด้านท้ายน้ำของคันทางของสะพานที่สอง ให้สังเกตลักษณะซึ่งระดับผิวน้ำระหว่างสะพานจะอยู่เหนือระดับน้ำปกติ (ดูรูปที่ 14)

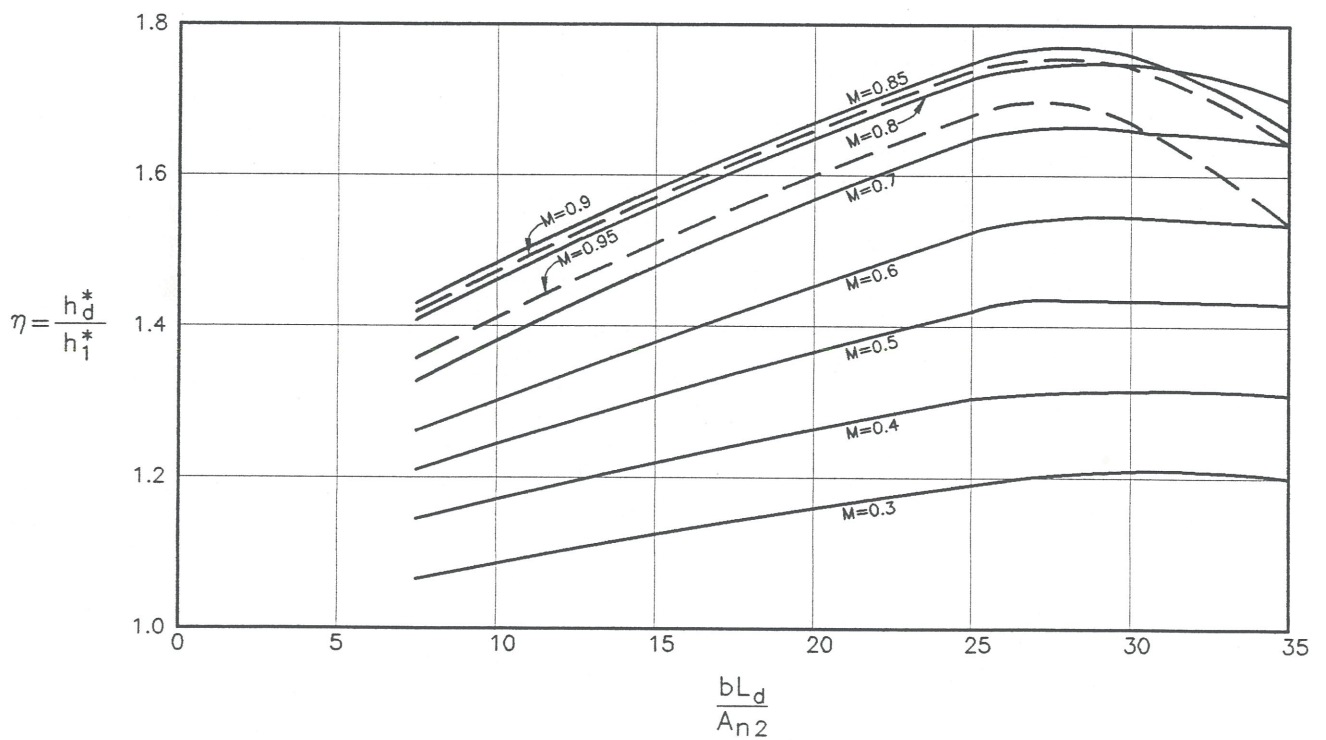
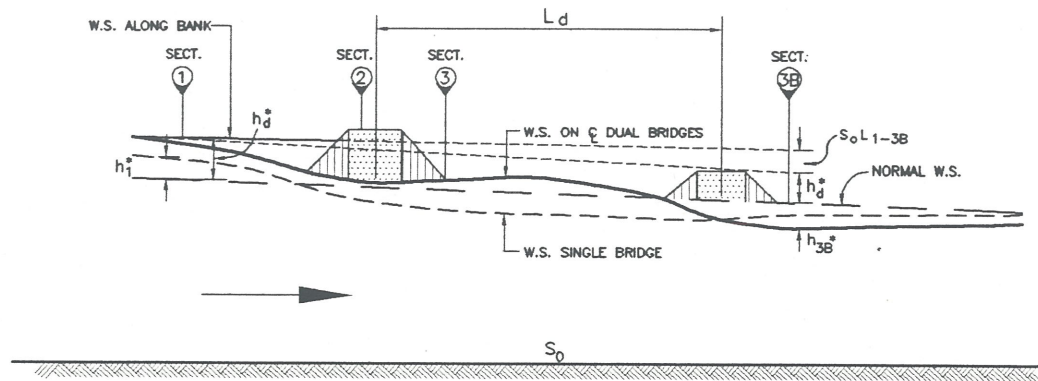
วิธีการคำนวณระดับผิวน้ำบริเวณท้ายน้ำจากคันทางของสะพานที่ 2 หรือ Section 3B (ดูรูปที่ 16) ประกอบด้วยการคำนวณค่า $h_1^\oplus$ และ $h_3^\oplus$ สำหรับสะพานเดี่ยวตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 และ 4 ตามลำดับ เพื่อความสะดวก ผลรวม $h_1^\oplus + h_3^\oplus$ สำหรับสะพานเดี่ยวให้ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย ψh การหาระดับที่ลดลงข้ามสองสะพานแทนด้วยสัญลักษณ์ ψh_{3B} จำเป็นต้องคูณ ψh สำหรับสะพานเดี่ยวด้วยค่า ϵ ค่า ϵ คืออัตราส่วน $\psi h_{3B}/\psi h$ ซึ่งหาได้จากรูปที่ 16 ก จากค่า bL_d/An_2 และอ่านค่าพิกัดจาก ดังนั้น $\psi h_{3B} = \psi h \epsilon$ ค่าความแตกต่างของระดับผิวน้ำข้ามสองคันทาง คือ

$$\Delta h_{3B} = \psi h_{3B} + S_o L_1 + 3B$$

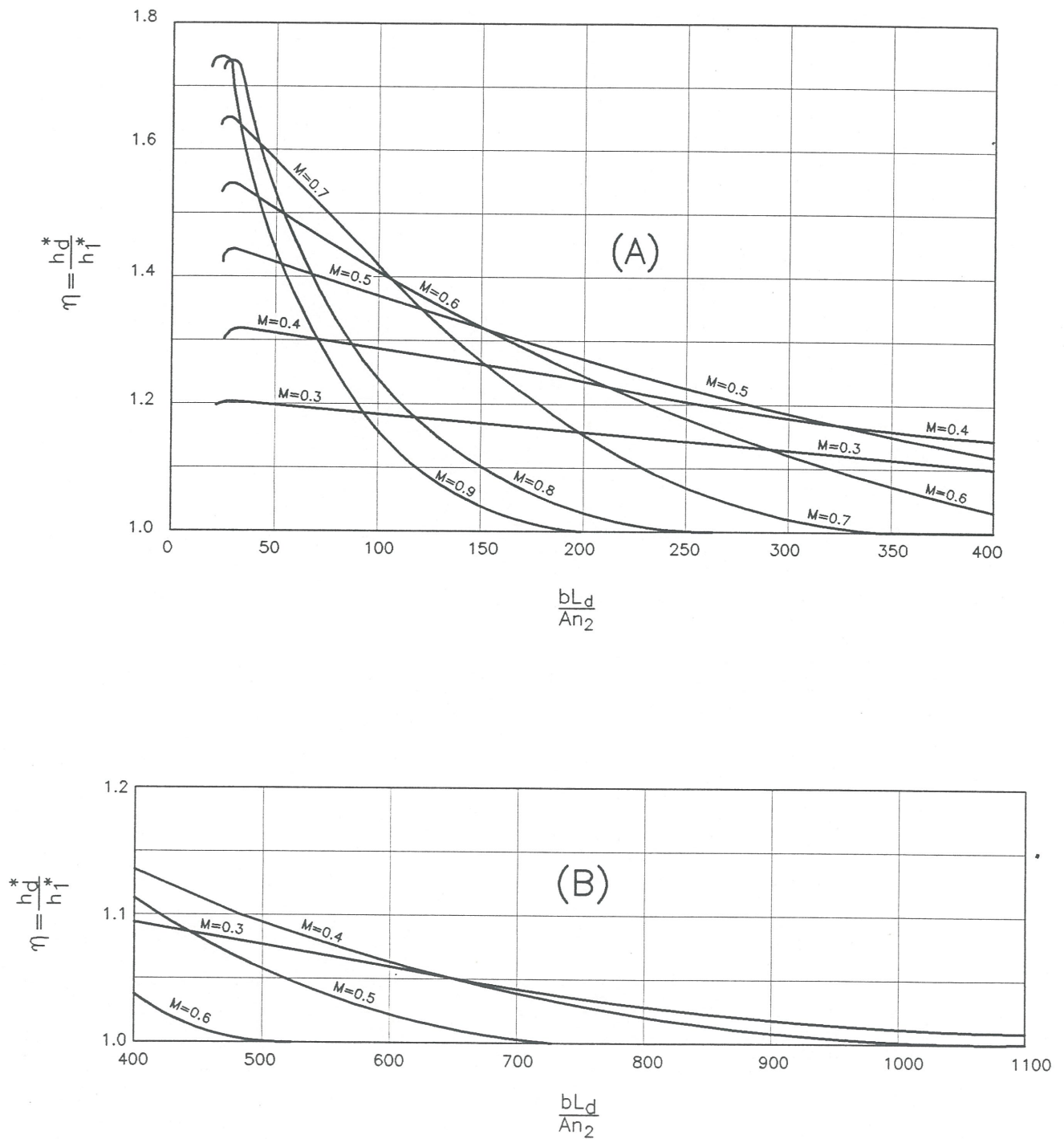
ถ้าต้องการทราบระดับผิวน้ำด้านท้ายน้ำของคันทางสะพานที่ 2 สัมพันธ์กับระดับปกติที่ Section 3B

$$h_{3B}^\oplus = \psi h_{3B} - h d^\oplus$$

กรณีที่ค่า bL_d/An_2 เกินจากช่วงของการทดสอบ ค่า ϵ โดยประมาณหาได้จากรูปที่ 16 ข



รูปที่ 14 ตัวคูณเพิ่มกระแสน้ำย้อนกลับสำหรับสะพานคู่และขนานกัน



รูปที่ 15 การขยายตัวคูณเพิ่มกระแสน้ำย้อนกลับสำหรับสะพานคู่และขนานกัน

6.3 สมการกระแสน้ำย้อนกลับ

สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับจากการทดลองสำหรับการไหลไม่ปกติ (ปราศจากตอม่อ , การหนีศูนย์และมุมเฉียง) คำนวณจากสมการ

$$K_{bA} = \frac{h_{1A}^{\oplus}}{V_{2A}^2 / 2g}$$

โดยที่ $h_{1A}^{\oplus} =$ กระแสน้ำย้อนกลับวัดเหนือจากระดับผิวน้ำที่ Section 1 และ $V_{2A} = \frac{Q}{A_{2A}}$ โดย $A_{2A} = b_A h_A$ หรือพื้นที่ทั้งหมดของลำน้ำที่บีบรัดและระดับน้ำผิวน้ำ

อักษรต่อท้าย A เพิ่มเข้าไปเพื่อแสดงให้เห็นว่าเป็นกรณีพิเศษเพื่อไม่ให้สับสนกับสมการอื่น ตามความเป็นจริงแล้วสมการข้างบนเป็นการปรับแก้จากสมการในบทที่ 2 สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับที่คำนวณจากสมการข้างบนจะอยู่เหนือจาก Base Curve สำหรับ Wingwall Abutment 45° เล็กน้อย (รูปที่ 5) และทั้งสองข้างของ Base Curve สำหรับ Spillthrough Abutment (รูปที่ 6)

เนื่องจากวิธีการคำนวณที่เลือกให้ผลลัพธ์สัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับประมาณใกล้เคียงกับ Base Curve นอกจากนี้ยังสมมติเส้นโค้งสำหรับสัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับ ส่วนเพิ่มที่กำหนดสำหรับตอม่อ , การหนีศูนย์และมุมเฉียงอาจนำมาประยุกต์กับสภาพระดับน้ำผิวน้ำผิวน้ำ โดยลักษณะดังกล่าวสมการสำหรับคำนวณกระแสน้ำย้อนกลับสำหรับการไหลผิวน้ำ คือ

$$h_{1A}^{\oplus} = K^{\oplus} \frac{V_{2A}^2}{2g}$$

โดยที่ $K^{\oplus} = K_b$ (รูปที่ 5 หรือ 6) + ΔK_p (รูปที่ 7) + ΔK_E (รูปที่ 8) + ΔK_S (รูปที่ 9 หรือ 10)

ดังนั้นวิธีการใช้คำนวณสัมประสิทธิ์กระแสน้ำย้อนกลับไม่เปลี่ยนแปลง มีสิ่งหนึ่งและเป็นความแตกต่างที่สำคัญสำหรับสมการ คือ การเพิ่ม Velocity Head สำหรับระดับน้ำผิวน้ำที่ไม่ใช่ระดับปกติ

6.4 ระดับที่ลดลงข้ามคันทาง

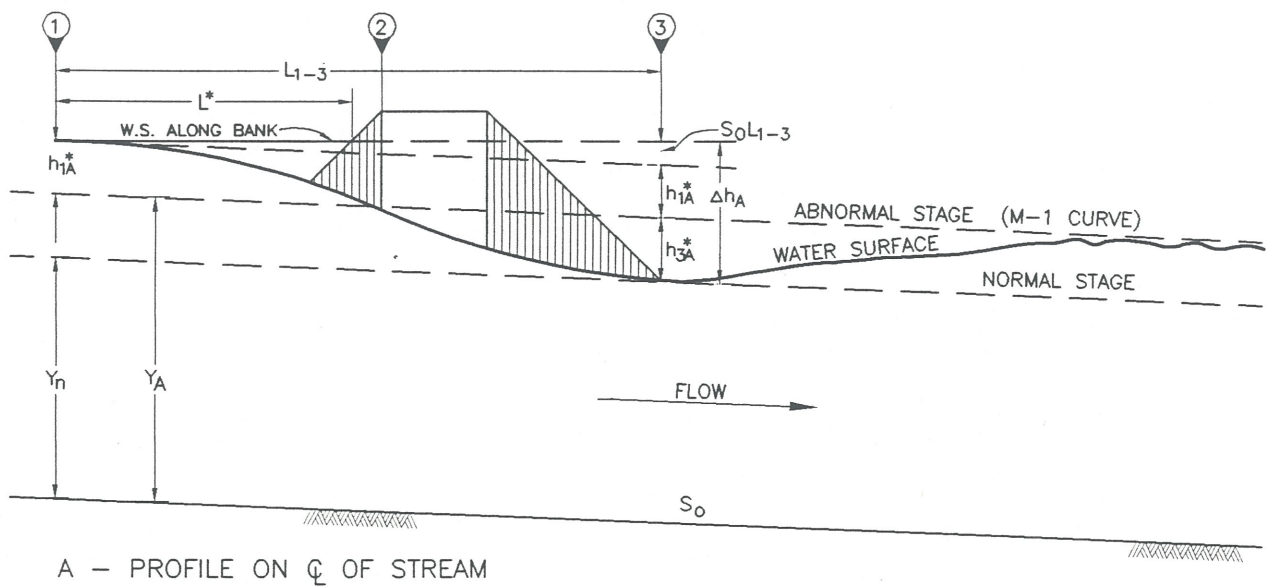
จากการทดสอบพบว่าอัตราส่วนระดับที่แตกต่างสำหรับการไหลแบบผิปกติ (ไม่มีตอม่อ) จะสอดคล้องกับ Base Curve สำหรับ Wingwall Abutment 45^0 (รูปที่ 12) แต่จะอยู่เหนือจาก Base Curve เล็กน้อย สำหรับ Spillthrough Abutment $1\frac{1}{2}:1$ (รูปที่ 13) ดังนั้นการหาระดับผิวน้ำด้านท้ายน้ำของคันทางสำหรับการไหลแบบผิปกติ ให้ใช้รูปที่ 12 และ 13 การคำนวณจะเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 4 ความแตกต่างในสาระสำคัญคือ การพิจารณาหาค่ากระแสน้ำย้อนกลับสำหรับสภาพการไหลแบบผิปกติ สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณการไหลแบบผิปกติ จะห้อยท้ายด้วย A เพื่อหลีกเลี่ยงการสับสน ดังนั้นอัตราส่วนระดับแตกต่าง

$$D_b = \frac{h_B^{\oplus A}}{h_3^{\oplus A}}$$

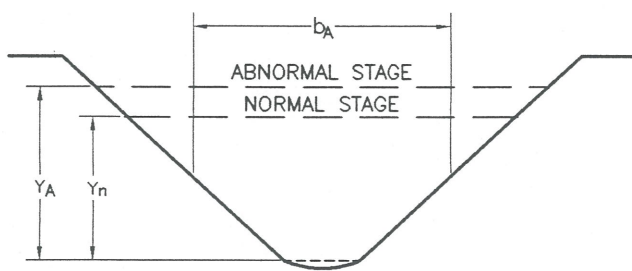
โดยที่ D_b = อัตราส่วนระดับแตกต่างจาก Base Curve จากรูปที่ 12 หรือ 13 (ไม่จำเป็นต้องปรับแก้สำหรับการข้ามหินคุนยหรือเฉียง)

$h_b^{\oplus A}$ = กระแสน้ำย้อนกลับสูงจากระดับผิปกติ (ไม่มีตอม่อ)

$h_3^{\oplus A}$ = ระยะตามแนวดิ่งจากระดับผิวน้ำไปยังระดับผิปกติที่ Section 3 (มิตินี้จะเช่นเดียวกันไม่ว่าจะมีตอม่อหรือไม่มีตอม่อ)



BACKWATER EXPRESSION



$$h_{1A}^* = K^* \frac{V_{2A}^2}{2g}$$

WHERE h_{1A}^* = BACKWATER MEASURED ABOVE ABNORMAL STAGE

$$K^* = K_b \text{ (FIGURE 5 OR 6)} + \Delta K_p \text{ (FIGURE 7)} + \Delta K_e \text{ (FIGURE 8)} + \Delta K_s \text{ (FIGURE 9 OR 10)}$$

$$V_{2A} = \frac{Q}{A_{2A}}$$

WHERE $A_{2A} = b_A h_A$ OR GROSS AREA OF CONSTRICTION
BASED ON ABNORMAL STAGE

รูปที่ 17 กระแสน้ำย้อนกลับกับการไหลที่ผิดปกติ

บทที่ 7

ผลของการกัดเซาะต่อกระแสน้ำย้อนกลับ

7.1 ทัวไป

การศึกษาเรื่องกระแสน้ำย้อนกลับในบทก่อน ๆ จำกัดขอบเขตโดยที่ท้องลำธารในบริเวณปีบริด ลำธารแข็งเกร็งและเคลื่อนย้ายไม่ได้ และจะต้องไม่ลดระดับเมื่อมีคันทาง , ตอม่อริมฝั่งหรือตอม่อกลางน้ำ ทั้งนี้โดยความจำเป็นที่ต้องทราบข้อมูลจากการทดสอบภายใต้สภาพในอุดมคติมากบ้างน้อยบ้าง ก่อนที่จะเข้าสู่ความยุ่งยากเมื่อพื้นฐานเคลื่อนย้ายได้ พื้นลำธารจริง ๆ แล้วปกติประกอบด้วยวัสดุที่หลวม ซึ่งบางส่วนจะเคลื่อนออกไปจากบริเวณปีบริดขณะน้ำหลาก ธรรมชาติจะใช้เวลาเพียงเล็กน้อยเพื่อคืนสภาพเดิมหรือความสัมพันธ์ระหว่างระดับและการไหลที่ปรากฏก่อนปีบริดน้ำ สำหรับการไหลบริเวณตลิ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าเป็นน้ำหลากจะปรากฏการเปลี่ยนแปลงโดยมีศักยภาพที่จะขยายพื้นที่ทางน้ำบริเวณที่ปีบริด

ต้องระลึกอยู่เสมอว่าขณะเกิดน้ำหลาก กระแสน้ำจะพัดพาตะกอน ขบวนการอธิบาย โดยอ้างถึงรูปที่ 18 ดังนี้ การปีบริดลำธารทำให้เกิดกระแสน้ำย้อนกลับขณะเกิดน้ำหลาก กระแสน้ำย้อนกลับเป็นตัวชี้ถึงพลังงานศักย์บริเวณเหนือน้ำ โดยจะทำให้ความเร็วบริเวณปีบริดสูงขึ้น ซึ่งจะเพิ่มการพัดพาตะกอนมากกว่าปกติ การเพิ่มสมรรถนะการพัดพา เป็นผลให้เกิดการกัดเซาะท้องลำธารในบริเวณปีบริดลำธาร วัสดุที่ถูกพัดพาจะถูกพัดไปไม่ไกลนักด้านท้ายน้ำ และจะลดลงเมื่อความเร็วของกระแสน้ำต่ำลง เมื่อการกัดเซาะเกิดขึ้น ช่องทางน้ำบริเวณใต้สะพานขยายขึ้น ดังนั้นความเร็วและความต้านทานการไหลลดลง ซึ่งเป็นผลต่อการลดขนาดกระแสน้ำย้อนกลับ ถ้าท้องลำธารประกอบด้วยวัสดุตะกอน (Alluvial Material) เคลื่อนได้โดยอิสระ และน้ำหลากอยู่ช่วงระยะเวลาหนึ่งที่นานพอสมควร การลดระดับบริเวณใต้สะพานจะเข้าสู่สภาวะสมดุล นั่นคือ หลุมการกัดเซาะจะเข้าสู่สัดส่วนที่อัตราการเคลื่อนย้ายออกจากหลุมจะลดลงไปยังอัตราการเคลื่อนย้ายเข้ายังหลุมจากด้านเหนือน้ำ เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วพบว่าลำธารจะกลับคืนสู่สภาพเดิม และกระแสน้ำย้อนกลับหายไปหมด

สภาพสุดขีดดังกล่าวรอการที่จะเกิดในสนามน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากท้องลำธารเป็นดินเหนียว ดินที่บดอัดและยึดเกาะแน่น รวมถึงกวอดขนาดใหญ่และพรรณพืช ซึ่งจะต้านการกัดเซาะ อย่างไรก็ตามในบทนี้จะช่วยในการพิจารณา ในกรณีสุดขีดการกัดเซาะสู่สมดุล , ในกรณีที่ตอม่อสามารถฝังยึดกับหินแผ่ (Bed Rock) ได้ อาจจะส่งเสริมให้เกิดการกัดเซาะ เพื่อประโยชน์ที่จะใช้สะพานได้สั้นลง วัตถุประสงค์ดังกล่าวอาจบรรลุได้โดยการขยายร่องน้ำใต้สะพาน โดยการใช้เครื่องจักรขุดขณะทำการก่อสร้าง ในกรณีเช่นนั้นควรพิจารณาปริมาณกระแสน้ำย้อนกลับที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหลังจากขยายช่องทางน้ำ

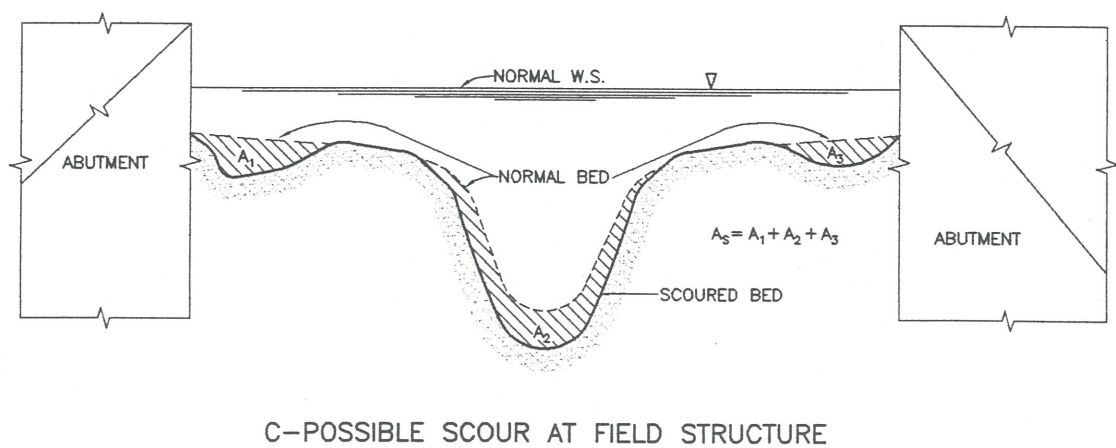
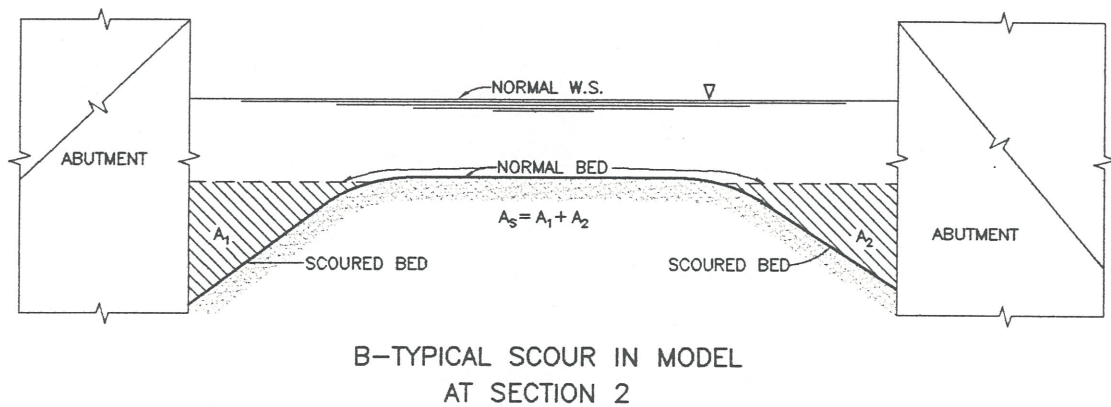
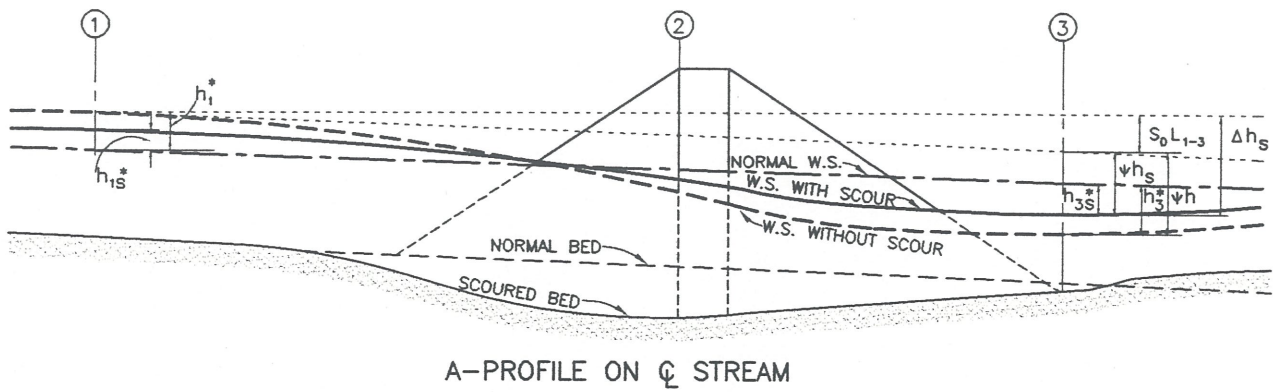
7.2 ธรรมชาติการกัดเซาะ

ในขณะทำการทดสอบก่อนที่จะพิจารณาผลของการกัดเซาะต่อกระแสน้ำย้อนกลับเมื่อความลึกของกระแสน้ำไหลสม่ำเสมอ และท้องลำธารประกอบด้วยทรายสะอาด การกัดเซาะจะเกิดขึ้นมากที่สุดบริเวณตอม่อริมฝั่ง แสดงในรูปที่ 18 ข. และบริเวณตอนกลางไม่ปรากฏการกัดเซาะ นอกจากการกัดเซาะขอบเขตมาทับกัน

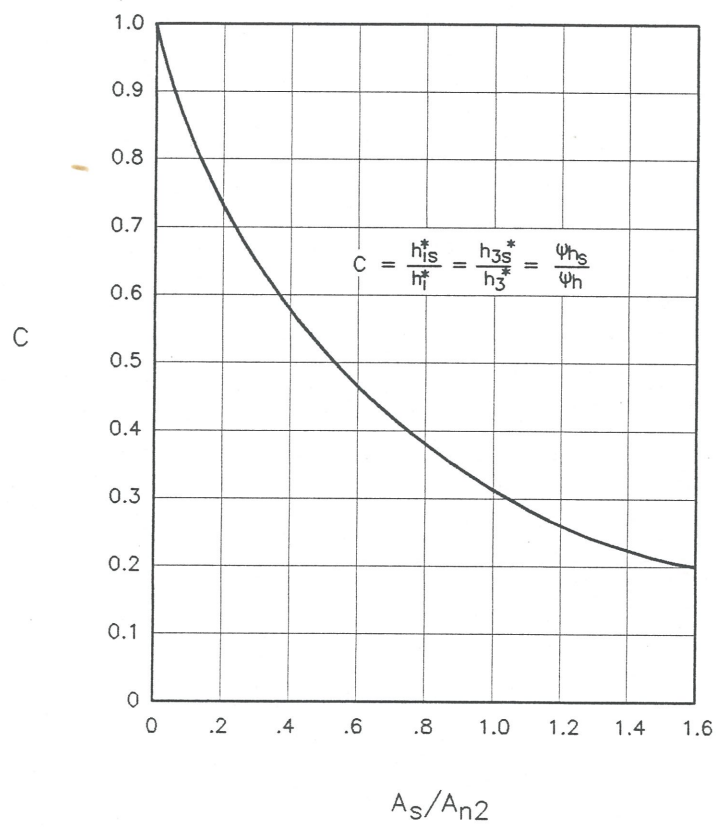
การคาดการณ์การกัดเซาะนั้นค่อนข้างยุ่งยากทั้งขนาดของการกัดเซาะ และตำแหน่งของการกัดเซาะ ทั้งนี้เนื่องจากความลึกของกระแสน้ำบริเวณที่ราบริมตลิ่งกับร่องน้ำหลักแตกต่างกันมาก รวมถึงทิศทางและบริเวณที่น้ำไหลเต็ม (Concentration of Flow) ในการทดลองการกัดเซาะจะเกิดบริเวณตอม่อริมฝั่ง ขณะที่ในสภาพจริงการกัดเซาะอาจเกิดขึ้นในร่องน้ำหลัก แสดงในรูปที่ 18 ค.

7.3 การพิจารณากระแสน้ำย้อนกลับ

ดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนแล้วว่า วิธีการใด ๆ ก็ตามที่ย้ายร่องน้ำได้สะพานจะมีผลลดกระแสน้ำย้อนกลับ การวัดกระแสน้ำย้อนกลับในแบบจำลองไม่ใช่เป็นภาระที่ง่าย โดยที่ท้องลำธารเป็นอิสระที่จะเคลื่อนซึ่งเกิดสันทราย ซึ่งจะค่อยขยับลงด้านท้ายน้ำมีแนวโน้มซึ่งจะเปลี่ยนสภาพเริ่มแรก การทดสอบส่วนใหญ่จะกระทำในรางระบาย (Flume) รูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 8 ฟุต ยาว 150 ฟุต โดยรองด้วยชั้นทราย การไหลปกติกำหนดระดับขึ้นสำหรับอัตราการไหลที่กำหนดให้ หลังจากนั้นจึงนำตอม่อริมฝั่งวางในรางระบายและปล่อยให้น้ำไหล จนกระทั่งการกัดเซาะในสภาพมีเสถียรภาพเกิดขึ้น ในขณะนี้จะทำการวัดกระแสน้ำย้อนกลับ ระดับที่แตกต่างกันเมื่อข้ามคันทาง และรูปตัดของพื้นลำธารที่ถูกกัดเซาะได้สะพาน ผลของกระแสน้ำย้อนกลับและระดับที่แตกต่างกันเมื่อข้ามคันทาง เมื่อเกิดการกัดเซาะนำไปเปรียบเทียบกับกระแสน้ำย้อนกลับ และระดับที่แตกต่างกันตามระดับสำหรับพื้นลำธารที่ไม่เคลื่อน ภายในสภาพที่เหมือนกัน ทั้งการไหลและรูปทรงเรขาคณิต ค่าที่นำมาใช้สำหรับพื้นลำธารที่แข็งเกร็ง (Rigid Bed) คำนวณตามวิธีการที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 และ 4 องค์ประกอบต่าง ๆ จะเท่าเดิมในทุกการทดสอบ ยกเว้นการกัดเซาะ การลดขนาดของกระแสน้ำย้อนกลับสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะ การกัดเซาะและความเร็วปกติจะวัดด้านท้ายน้ำของสะพาน ทั้งนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในเชิงปฏิบัติที่จะทำการวัดในขณะน้ำหลาก นอกจากนี้พื้นที่การกัดเซาะ ประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณกระแสน้ำย้อนกลับจะมีแนวโน้มสอดคล้องกับการกัดเซาะ จะวัดบริเวณด้านซ้ายมือ แทนด้วย A_s ซึ่งจะนำไปใช้คำนวณกระแสน้ำย้อนกลับ การทดสอบจากแบบจำลองพบว่า การกัดเซาะด้านท้ายน้ำเฉลี่ยโดยประมาณเท่ากับร้อยละ 75 ของด้านเหนือน้ำของสะพาน



รูปที่ 18 ผลของการกัดเซาะที่มีต่อกระแสน้ำย้อนกลับบริเวณสะพาน



รูปที่ 19 ตัวคูณปรับแก้สำหรับกระแสน้ำย้อนกลับเมื่อมีการกีดเซาะ