

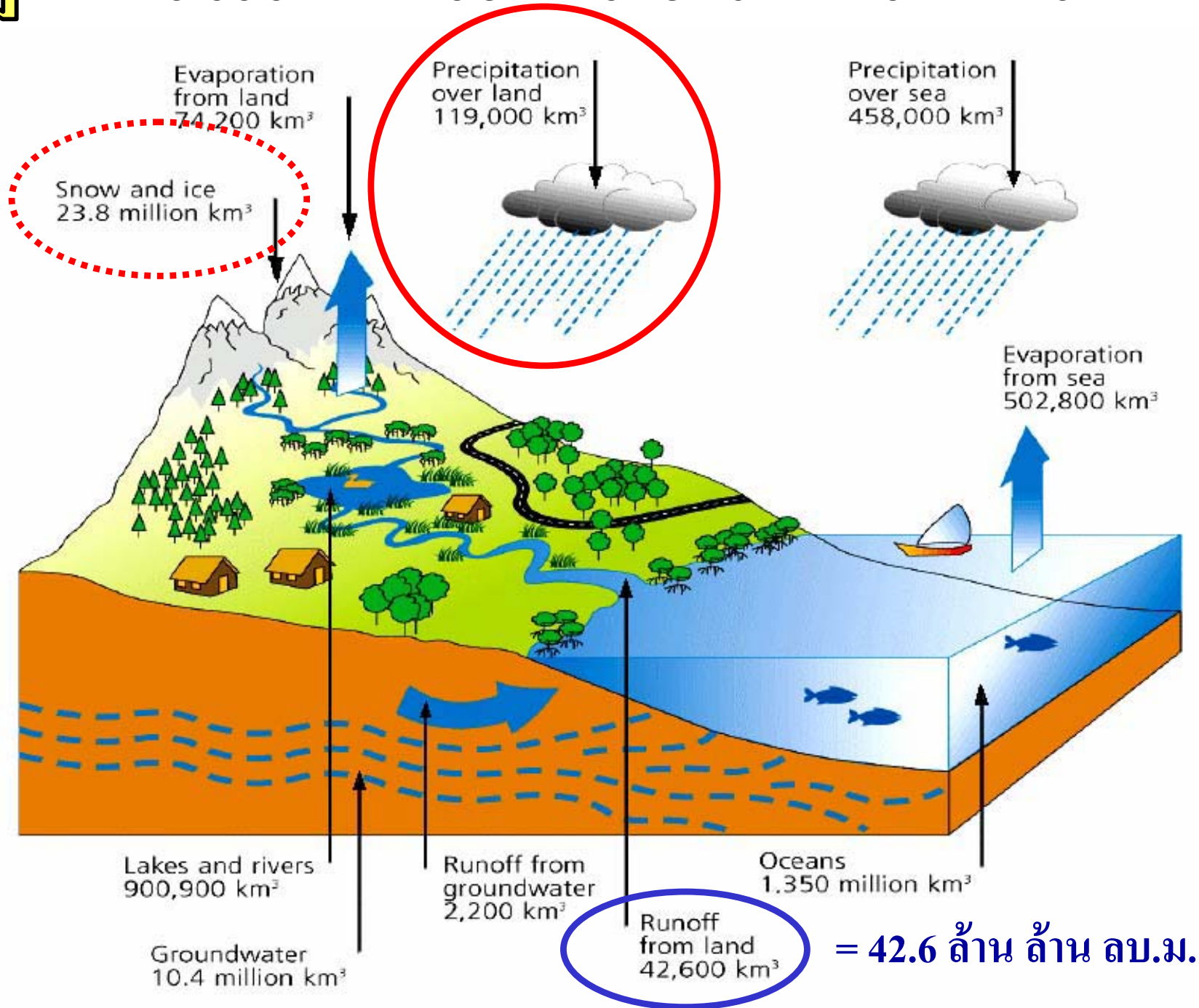
หลักการออกแบบเขื่อนทางวิศวกรรมปฐพี

Reference:

วรากร ไม้เรียง. 2554. หลักการออกแบบเขื่อนทางวิศวกรรมปฐพี. เอกสารประกอบการอบรม "การวิเคราะห์เพื่อออกแบบและประเมินความปลอดภัยเขื่อน", ระหว่างวันที่ 5,7 และ 8 เมษายน 2554, จัดโดย ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ Thai Geotechnical Society (TGS), ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น, กรุงเทพฯ.

รศ. ดร. วรากร ไม้เรียง
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัฏจักรและปริมาณน้ำที่เกี่ยวข้อง



ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำเก็บกักที่นำไปใช้งานได้ของกลุ่มน้ำหลักในประเทศ

รหัส กลุ่มน้ำ	ชื่อกลุ่มน้ำ	พื้นที่กลุ่มน้ำ	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย/ปี	ปริมาณน้ำเก็บกักใช้งาน	ปริมาณน้ำท่าเหลือ/ปี	%น้ำท่าที่เหลือเทียบกับศักยภาพ ของกลุ่มน้ำ
				ได้/ปี	(ล้าน ลบ.ม.)	
1	แม่น้ำสาละวิน	17,920	8,156	18	3,134	99.8
2	แม่น้ำโขง	57,422	15,800	1,378	14,422	91.3
3	แม่น้ำกก	7,895	5,119	22	50,97	99.6
4	แม่น้ำชี	49,447	8,035	4,179	3,856	8.0
5	แม่น้ำมูล	69,000	2,000	2,330	3,340	34.0
6	แม่น้ำยม	3,998	6,680	6,210	468	10.0
7	แม่น้ำวัง	10,791	1,429	120	1,309	91.6
8	แม่น้ำยม	23,616	1,430	75	1,355	94.8
9	แม่น้ำน่าน	34,330	9,581	5,800	3,781	39.5
10	แม่น้ำเจ้าพระยา	20,125	4,925	175	4,750	96.4
11	แม่น้ำสะแกกรัง	5,191	519	162	357	68.8
12	แม่น้ำป่าสัก	16,292	2,708	0.2 ล้าน ล้าน ลบ.ม.		89.6
13	แม่น้ำท่าจีน	13,682	2,815			90.5
14	แม่น้ำแม่กลอง	30,837	12,943			22.7
15	แม่น้ำปราจีนบุรี	10,481	4,502	37	4,465	99.2
16	แม่น้ำบางปะกง	7,978	49,000	94	4,806	98.1
17	โตนเลสาบ(ทะเลสาบเขมร)	4,150	1,193	25		
18	ชายฝั่งทะเลตะวันออก	13,830	10,623	273		
19	แม่น้ำเพชรบุรี	5,603	1,410	655		
20	ชายฝั่งทะเลตะวันตก	6,745	1,013	510	503	49.7
21	ภาคใต้ฝั่งทะเลตะวันออก	26,353	35,614	4	35,610	100.0
22	แม่น้ำตาปี	12,225	17,380	3,080	14,300	82.3
23	ทะเลสาบสงขลา	8,495	7,301	9	7,292	99.9
24	แม่น้ำปัตตานี	3,858	3,024	1,150	1,874	62.0
25	ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	21,172	9,918	12	9,906	99.8
รวมทั้งประเทศ		512,066	198,791	37,746	161,047	81

Thailand Stream Water Situation

0.2 ล้าน ล้าน ลบ.ม.

0.16 ล้าน ล้าน ลบ.ม.

81

เขื่อน

- เขื่อนเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาแหล่งน้ำ โดยการกักเก็บน้ำส่วนเกินที่จะต้องไหลทิ้งไปสู่ท้ายน้ำไว้ใช้ประโยชน์
- เทคโนโลยีของงานเขื่อนมีลักษณะเป็นสหวิทยาการซึ่งต้องอาศัยความรู้จากหลายด้าน
 - วิศวกรรมแหล่งน้ำและชลศาสตร์
 - วิศวกรรมโยธา และธรณีวิทยา
 - วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เป็นต้น
- เขื่อนยังมีได้มีกฎหมายในการควบคุม ใน การออกแบบ ก่อสร้าง และใช้งาน (จะเป็นอันตรายหากอยู่ในมือของผู้ที่ไม่มีความรู้ความชำนาญ)

การสร้างเขื่อนในภาพรวม

กว่า **5000** ปีมาแล้ว ที่เขื่อนถูกสร้างให้มีการเก็บกักน้ำส่วนเกินไว้ใช้ในยามที่มีการขาดแคลน ในปัจจุบันมีเขื่อนใหญ่มากกว่า **45,000** เขื่อนทั่วโลก(ประมาณ **50%** อยู่ในจีน) ที่ใช้งานหลายวัตถุประสงค์ เช่นเพื่อการชลประทาน การป้องกันอุทกภัย การจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การผลิตกระแสไฟฟ้า การคมนาคม การท่องเที่ยว และหลายๆวัตถุประสงค์รวมกัน



2600 ปีก่อนคริสต์ศักราช

เขื่อน Saad-el-Kafara ประเทศอียิปต์



ประมาณ 1000 ปีก่อน

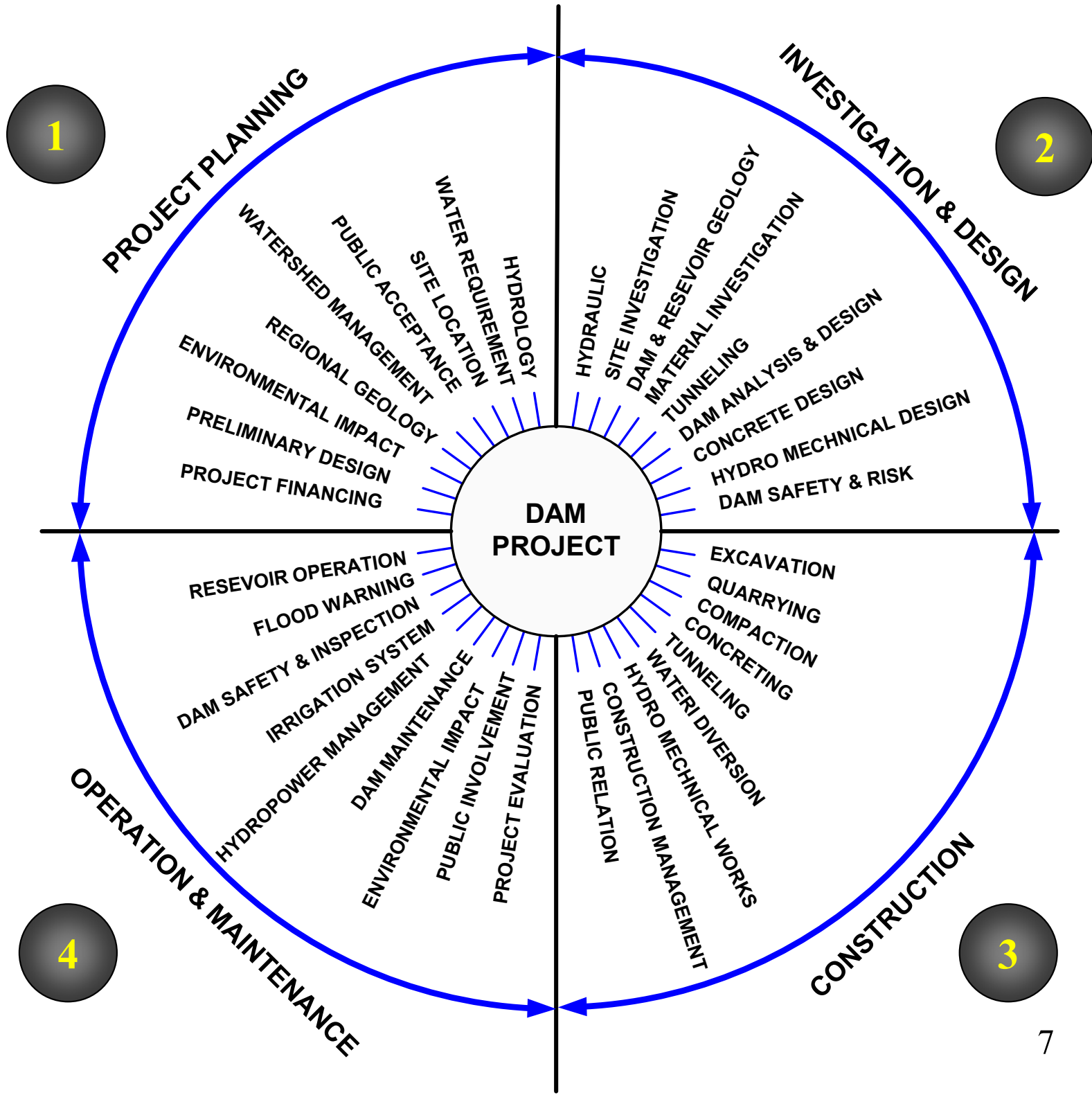
เขื่อน Khaybar Dam ประเทศซาอุดีอาระเบีย

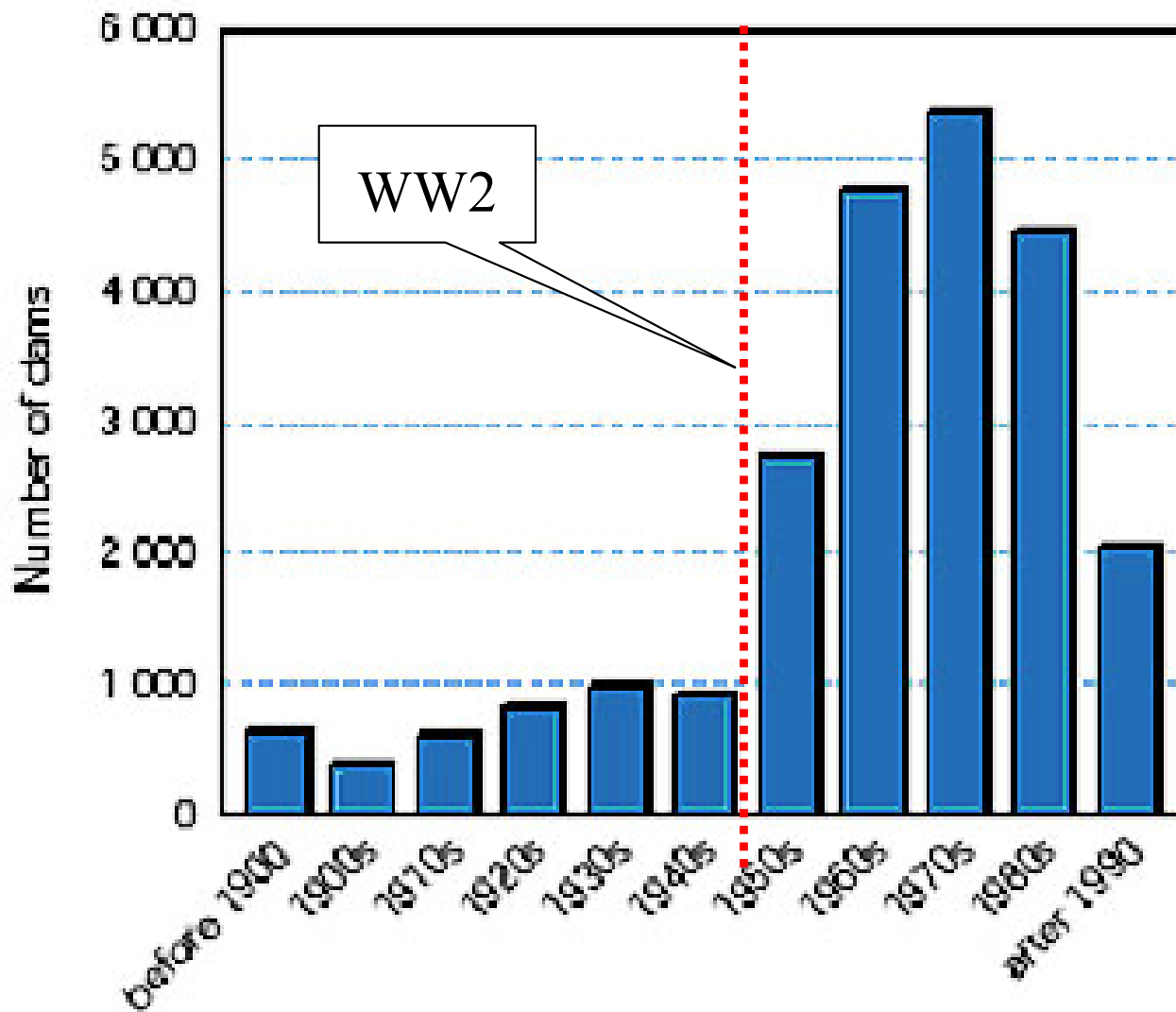


เขื่อนทดน้ำ Mulanbei Dam ในมณฑลฟูเจี้ยนประเทศจีน ยังใช้งานที่อายุประมาณ 1000 ปี

เขื่อนยุคโบราณ

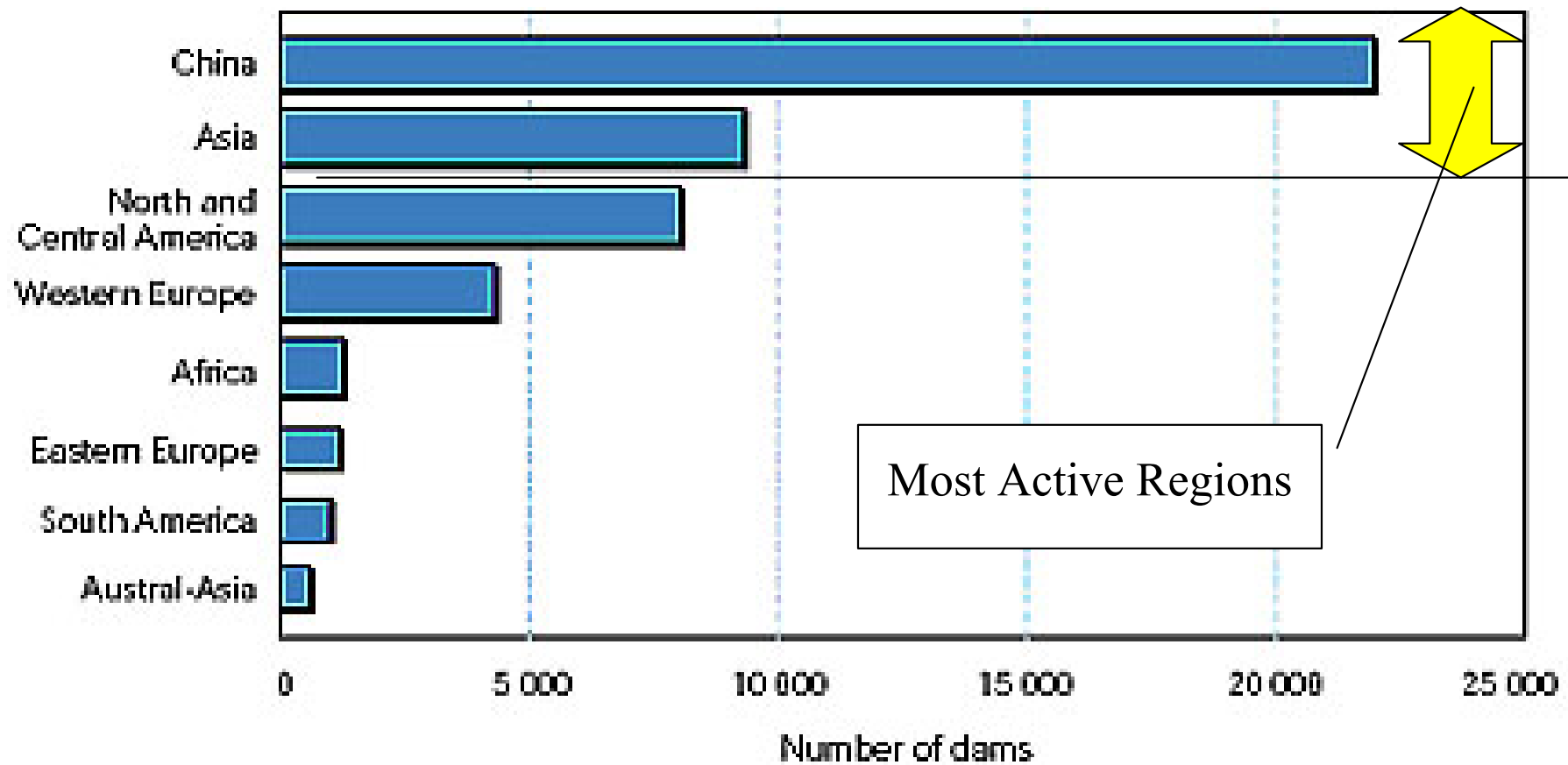
Dam Project Activity and Disciplines





Source : ICOLD, 1998. Note: Information excludes dams in China

จำนวนเขื่อนที่สร้างในช่วงศตวรรษที่ 20



Source : WCDestimates base on ICOLD, 1998 and other sources

จำนวนเขื่อนใหญ่แยกตามส่วนต่างๆของโลก

ข้อมูลเบื้องต้นของเขื่อนใหญ่ในประเทศ

ลำดับที่	ชื่อเขื่อน	ที่ตั้ง	ชนิดของเขื่อน	ปริมาตรอ่าง	ความสูง	สันเขื่อนยาว	หน่วยงาน
				(ล้านล.บ.ม.)	(ม.)	(ม.)	
1.	ศรีนครินทร์	จ. กาญจนบุรี	RF	17745	140.0	610.0	EGAT
2.	ภูมิพล	จ. ตาก	CA	13462	154.0	486.0	EGAT
3.	สิริกิติ์	จ. อุดรดิตถ์	EF	9510	113.6	800.0	EGAT
4.	วชิราลงกรณ์	จ. กาญจนบุรี	CFRD	8860	92.0	1019.0	EGAT
5.	รัชชประภา	จ. สุราษฎร์ธานี	RF	5639	94.0	761.0	EGAT
6.	อุบลรัตน์	จ. ขอนแก่น	EF	2263	35.1	885.0	EGAT
7.	สิรินธร	จ. อุบลราชธานี	RF	1967	42.0	940.0	EGAT
8.	ลำปาว	จ. กาฬสินธุ์	EF	1430	33.0	7800.0	RID
9.	บางยาง	จ. ยะลา	RF	1404	85.0	422.0	EGAT
10.	ป่าสัก	จ. ลพบุรี	EF	960	31.5	4860.0	RID
11.	แก่งกระจาน	จ. เพชรบุรี	EF	710	58.0	760.0	RID
12.	น้ำอูน	จ. สกลนคร	EF	520	29.5	3300.0	RID
13.	ปราณบุรี	จ. ประจวบคีรีขันธ์	EF	445	42.0	1500.0	RID
14.	สิียด	จ. ฉะเชิงเทรา	EF	325	30.5	2462.0	RID
15.	ลำตะคอง	จ. นครราชสีมา	EF	324	40.3	521.0	RID

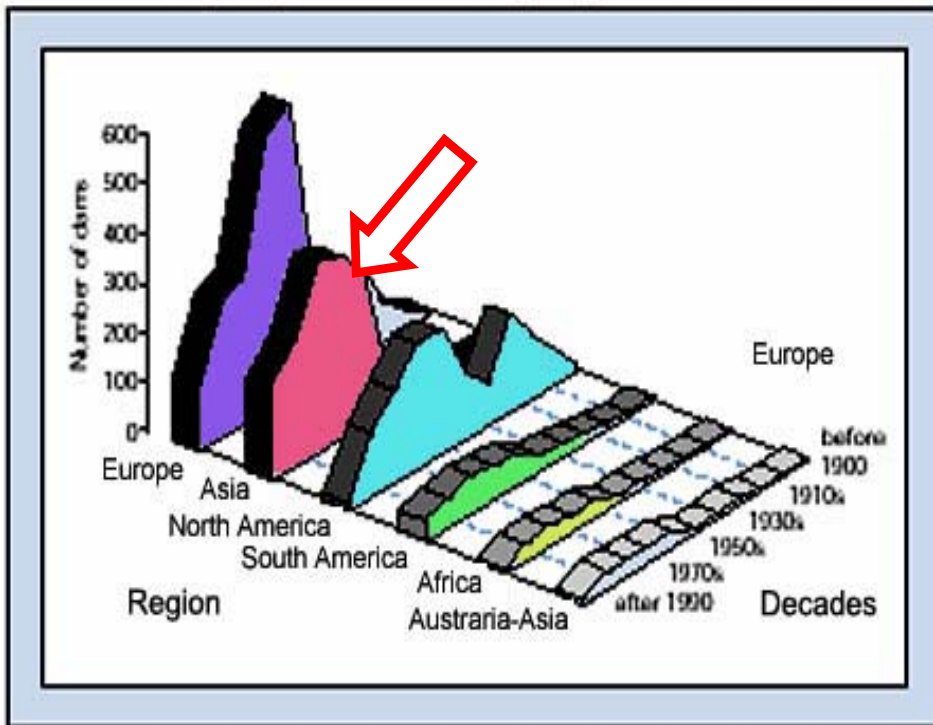
การใช้ประโยชน์ของเขื่อน

- ก) การประปาหรืออุปโภคบริโภค (Domestic uses)
- ข) การชลประทาน (Irrigation)
- ค) การผลิตไฟฟ้า (Power generation)
- ง) การป้องกันอุทกภัย (Flood protection)
- จ) การคมนาคม (Communication)
- ฉ) การประมง (Fishery)
- ช) การท่องเที่ยวและพักผ่อน (Tourism and Recreation)

การใช้ประโยชน์ของเขื่อนของพื้นที่ต่างๆของโลก

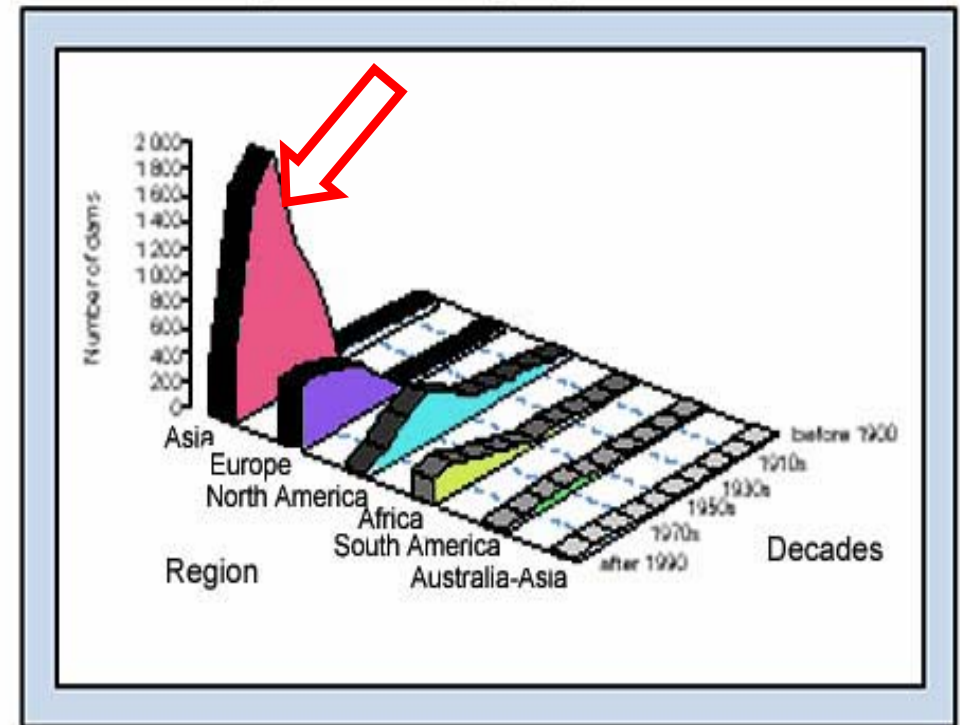
Functions of large dams, by region

Hydropower dams, by region



Source: ICOLD, 1998.

Irrigation dams, by region



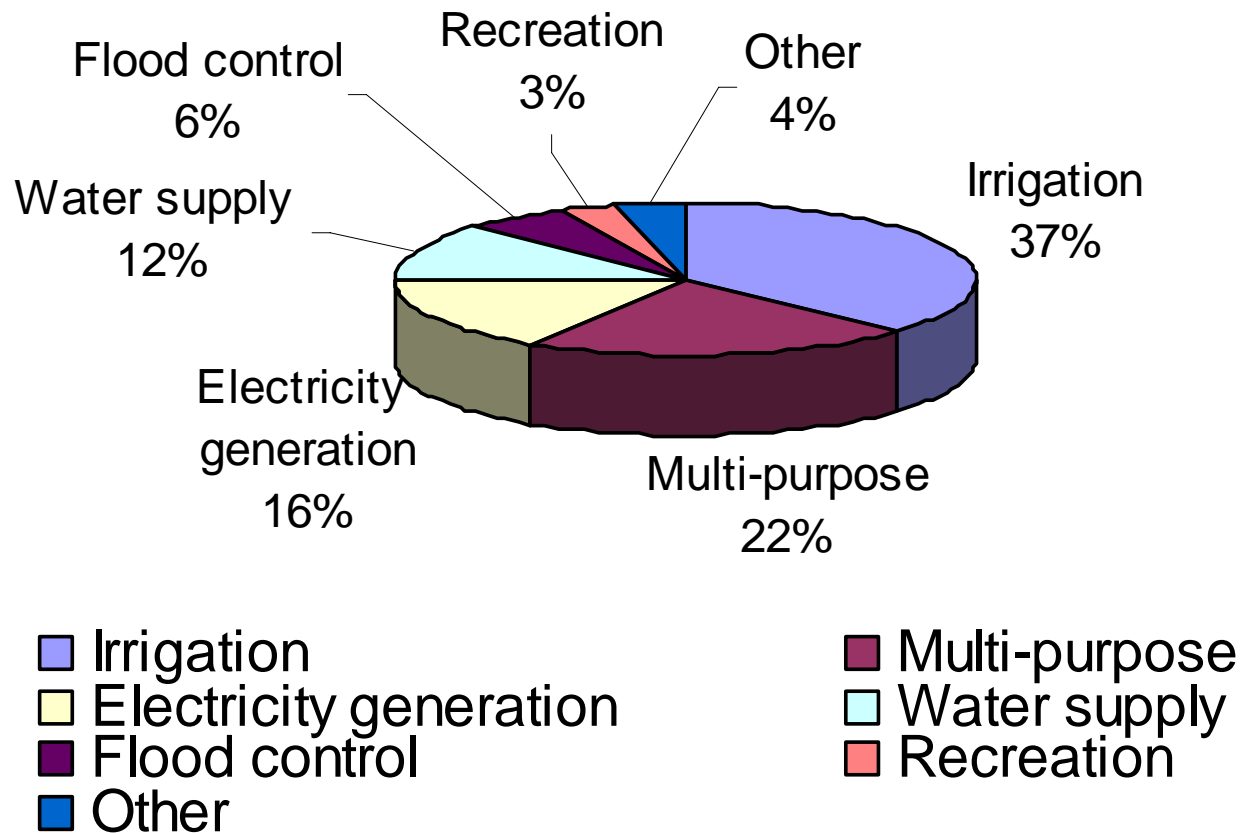
Source: ICOLD, 1998.

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการสร้างเขื่อน

1. มีแหล่งน้ำต้นทุนเพียงพอและมีลักษณะภูมิประเทศที่เหมาะสม
2. มีความต้องการของประชาชนในการใช้น้ำหรือยินยอมให้มีการมีการพัฒนาแหล่งน้ำ
3. มีนโยบายของรัฐบาลในการใช้ประโยชน์
4. มีงบประมาณหรือแหล่งเงินทุนสนับสนุน
5. มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่ยอมรับได้
6. มีความรู้ ความชำนาญในการศึกษา ออกแบบ และก่อสร้าง
7. มีการควบคุมการใช้ประโยชน์และบำรุงรักษาที่ถูกต้อง

สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของเขื่อน (แหล่งข้อมูล:

ICOLD World Register of Large Dams, 1998)



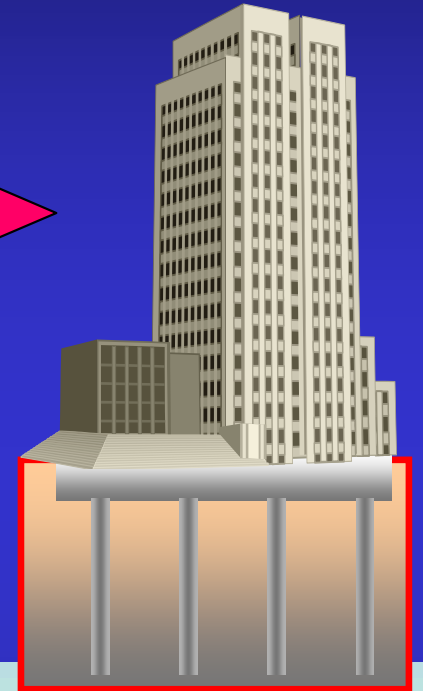
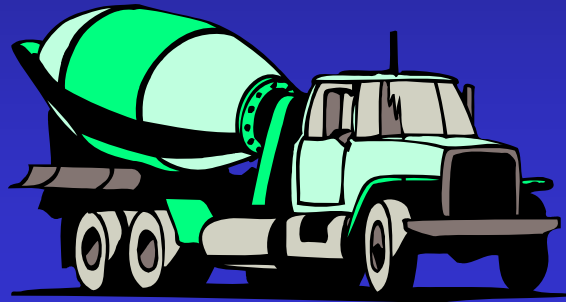
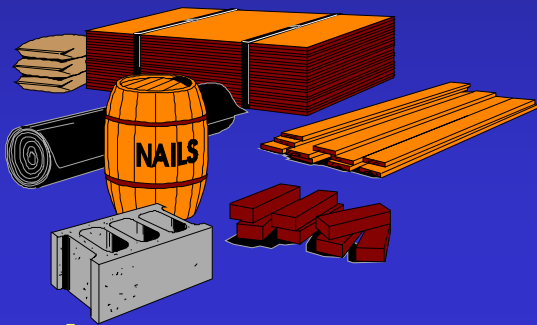
แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อน

1. ด้านการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง

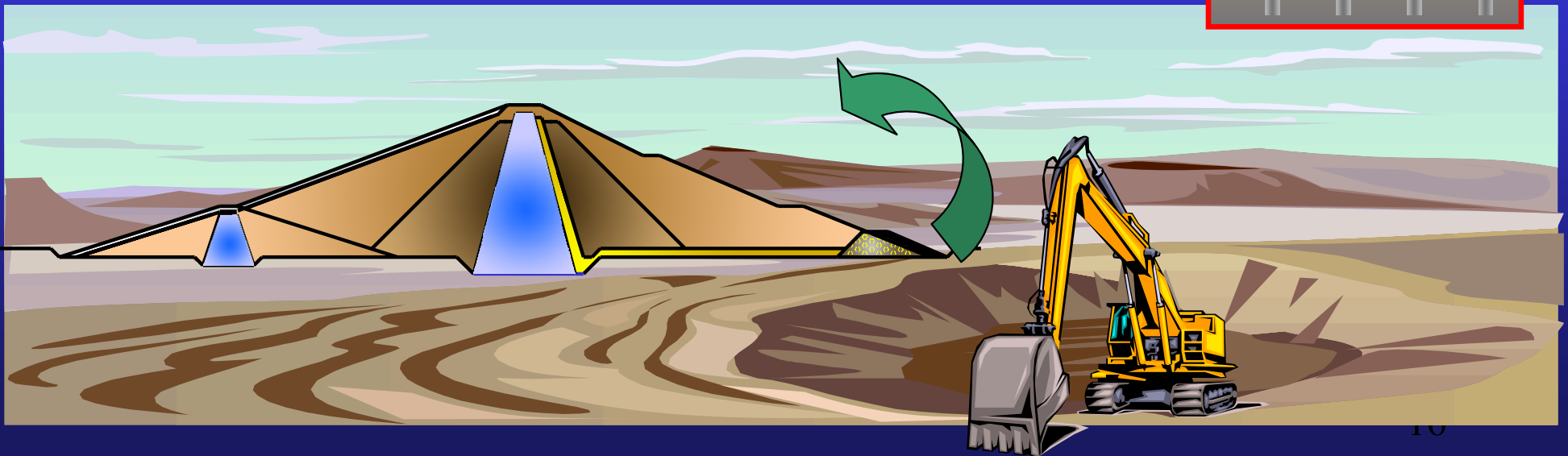
- เขื่อนเป็นสิ่งก่อสร้างที่จะต้องใช้วัสดุเป็นปริมาณมากดังนั้นการเลือกใช้วัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ในพื้นที่และมีปริมาณมากพอจึงเป็นแนวทางเลือกที่ดี
- เขื่อนจะต้องออกแบบโดยการสำรวจบ่อขุดดินและบริเวณที่จะทำเหมืองหินอย่างละเอียด แล้วประมวลปริมาณและคุณสมบัติวัสดุเป็นหน้าตัดเขื่อนและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อการออกแบบ
- มีการวิเคราะห์ออกแบบได้เรียบร้อยแล้วจึงเขียนข้อกำหนดทางวิศวกรรมให้สอดคล้องวัสดุที่มี จะไม่มีการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างไว้ก่อนล่วงหน้าดังเช่นการออกแบบอาคารคอนกรีต หรือสะพาน ซึ่งผู้รับจ้างจะต้องไปหาวัสดุมาให้ตรงตามแบบที่กำหนด

แนวคิดของการออกแบบและก่อสร้างเขื่อน

อาคาร, สะพาน: วัสดุที่วิศวกรระบุคุณภาพได้



เขื่อน: วัสดุธรรมชาติที่วิศวกรต้องออกแบบให้สอดคล้อง



แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อน (2)

2. ด้านการเลือกตำแหน่งเขื่อน

- ภูมิประเทศที่เหมาะสมเป็นช่องเขาแคบเพื่อให้เขื่อนสั้นและมีพื้นที่อ่างค้ำน้ำเหนือหน้าเปิดกว้างเพื่อให้จุน้ำได้มาก
- มีลักษณะทางธรณีวิทยาที่ดี ไม่อยู่บนรอยเลื่อนของชั้นหินที่เป็นอันตราย หินฐานรากสามารถปรับปรุงให้ทึบน้ำและกั้นการรั่วซึมผ่านได้
- ไม่อยู่ในสถานที่หวงห้าม เช่น เขตอุทยานหรือพื้นที่ต้นน้ำชนิด 1A เขตหวงห้ามทางศาสนา เป็นต้น
- มีผลกระทบต่อชุมชนน้อย เช่น ต้องอพยพหรือเวนคืนที่ราษฎรน้อย
- สามารถวางตำแหน่งอาคารประกอบเขื่อนได้สอดคล้องกับตัวเขื่อนและลำน้ำ
- สามารถมีความสูงของน้ำที่กักเก็บเพียงพอที่จะส่งน้ำ หรือ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้

แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อน (3)

3. ด้านการออกแบบการปิดกั้นน้ำ

การปิดกั้นน้ำที่ไหลซึมผ่านเขื่อนหรือฐานรากไม่สามารถทำให้ทึบน้ำได้โดยสมบูรณ์ แต่จะยอมให้มีการให้มีการไหลในอัตราที่ยอมรับได้และควบคุมได้และจะต้องไม่เกิดอันตรายจากการกัดเซาะและพัดพาวัสดุตัวเขื่อน ฐานรากเขื่อน หรือ ฐานยัน ทำให้เกิดการรั่วซึมที่เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง

4. ด้านการออกแบบความมั่นคงของลาดเขื่อนและลาดดิน

ลาดเขื่อนทั้งสองด้าน ลาดดินที่ฐานยัน ลาดดินที่ตัดเหนือทางน้ำล้น ลาดดินธรรมชาติ บริเวณขอบอ่างเก็บน้ำ จะต้องมีการตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ความมั่นคง และ ออกแบบให้มีอัตราส่วนปลอดภัยที่เหมาะสมที่จะไม่เกิดการเคลื่อนพิบัติทั้งใน ระหว่างการก่อสร้างและการใช้งานของเขื่อน

แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อน (4)

5. ด้านการตรวจสอบการทรุดตัว

เขื่อนจะยอมให้มีการทรุดตัวได้ระดับหนึ่งที่จะไม่ให้เกิดอันตรายจากน้ำล้นสันเขื่อน และการแตกร้าวในตัวเขื่อน การทรุดตัวอาจเกี่ยวข้องไปถึงอาคารประกอบเขื่อน เช่น ทางน้ำล้น ท่อส่งน้ำฯ ที่จะต้องไม่ให้เกิดการทรุดตัวที่ต่างกันจนเกิดรอยแตกแยกที่เป็นอันตรายได้

6. ด้านการออกแบบอาคารประกอบเขื่อน

อาคารประกอบเขื่อนนอกจากจะต้องออกแบบให้มีประโยชน์ใช้สอยได้ตามวัตถุประสงค์ เช่น สามารถ ระบายน้ำได้ตามกำหนด ควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าฯ แล้วยังต้องออกแบบให้สอดคล้องกับตัวเขื่อนโดยการวางตำแหน่งและกำหนดระดับให้เข้ากับการออกแบบเขื่อน ขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมใช้งานได้สะดวก และไม่เกิดอันตรายจากกระแสน้ำที่ระบายเกิดการปั่นป่วนวกเข้ามากัดเซาะตัวเขื่อนจนเป็นอันตรายได้

แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อน (5)

7. ด้านการป้องกันการกัดเซาะจากน้ำในอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำของเขื่อนมีพื้นที่ผิวน้ำมากทำให้เกิดคลื่น หากพัดเข้าสู่ลาดเขื่อนหรือลาดดินที่ต่อเชื่อมกับเขื่อนจะเกิดการกัดเซาะได้ จึงต้องมีการออกแบบชั้นหินกันคลื่นที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการกัดเซาะ

8. ด้านการป้องกันสภาวะแวดล้อมในระหว่างการก่อสร้างและการใช้งาน

การก่อสร้างหรือใช้งานเขื่อนมักจะมีมลภาวะเกิดขึ้นเสมอ เช่น ฝุ่นจากการระเบิดหรือไม่หิน น้ำเสียจากโรงผสมคอนกรีต การขนส่งวัสดุ โรงซ่อมเครื่องจักรก่อสร้างหรือบ้านพักคนงาน เป็นต้น ผู้ที่เกี่ยวข้องต้องพยายามลดมลภาวะดังกล่าวให้น้อยที่สุดและอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

9. ด้านการตรวจสอบพฤติกรรมเขื่อน

เขื่อนขนาดกลางหรือขนาดใหญ่จะต้องคำนึงถึงการตรวจวัดพฤติกรรมเพื่อให้ทราบพฤติกรรมที่แท้จริงของเขื่อนและเป็นมาตรการความปลอดภัยของเขื่อนทั้งในระหว่างการก่อสร้างและการใช้งานของเขื่อน

1. เขื่อนถม (ดินและ/หรือหิน)

- ➔ เขื่อนดินเนื้อเดียว
- ➔ เขื่อนดินแบ่งส่วน
- ➔ เขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียว
- ➔ เขื่อนหินทิ้งคาบน้ำ

2. เขื่อนคอนกรีต

- ➔ เขื่อนคอนกรีตถ่วงน้ำหนัก (Concrete Gravity Dam)
- ➔ เขื่อนคอนกรีตโค้ง (Concrete Arch Dam)
- ➔ เขื่อนคอนกรีตค้ำยัน (Concrete Buttress Dam)

การกระจายของชนิดเขื่อน

เขื่อนถม		เขื่อนคอนกรีตและหินก่อ			
เขื่อนดิน	เขื่อนหินทิ้ง	Gravity	Arch	Buttress	Multi-Arch
9,890	760	3,970	760	280	140
62.6%	4.8%	25.1%	4.8%	1.8%	0.9%
67.4%		32.6%			

(ICOLD, 1975)

GERD

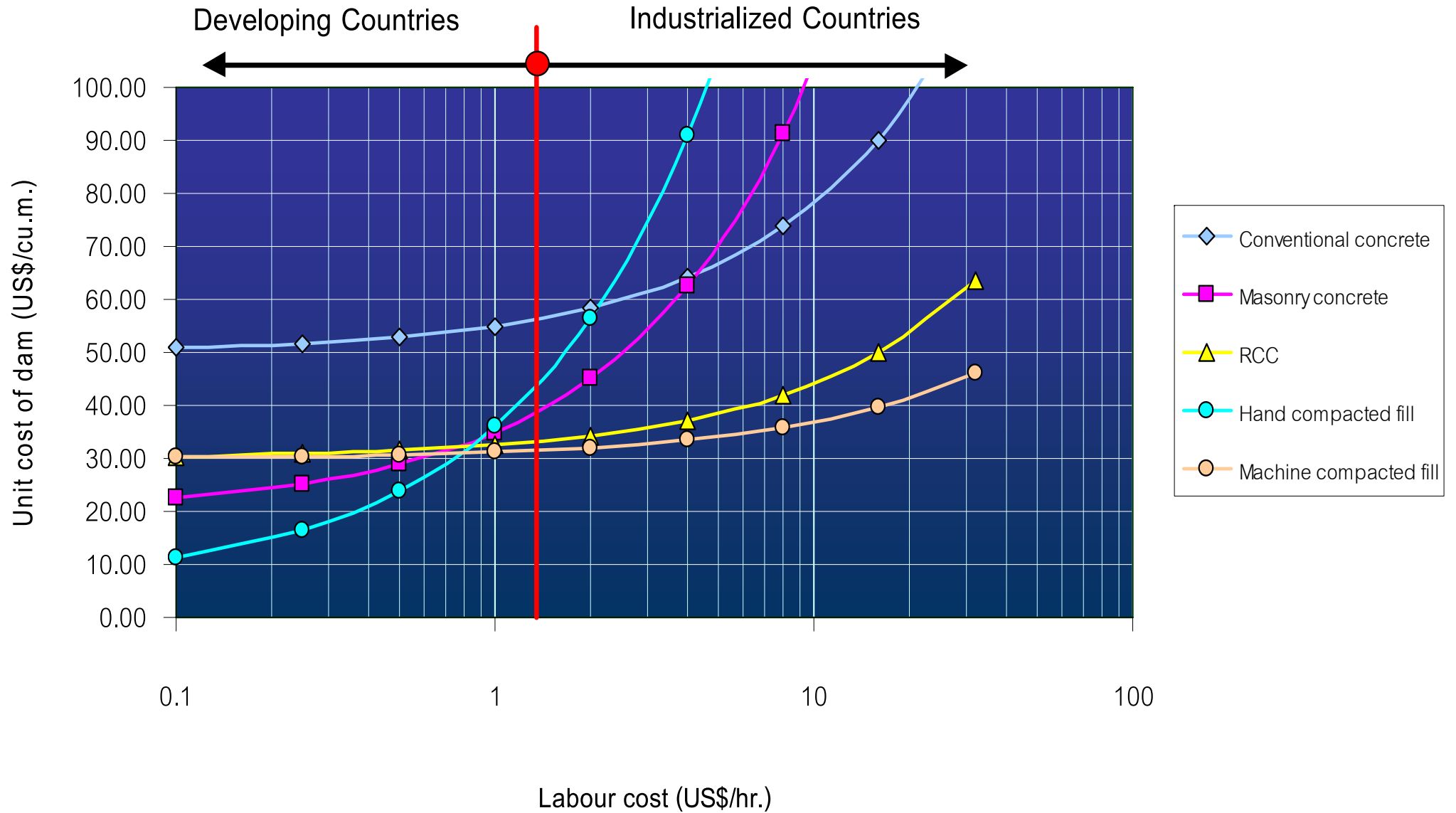
Number of Registered Dams

	Industrialized countries	Developing countries
Number of large dams	15,000	30,000
Gravity	22%	4%
Arch	6%	4%
Buttress and multiple arch	3%	-
Total concrete and masonry dams	32%	8%
Total embankment dams	69%	92%

After: ICOLD (1999)

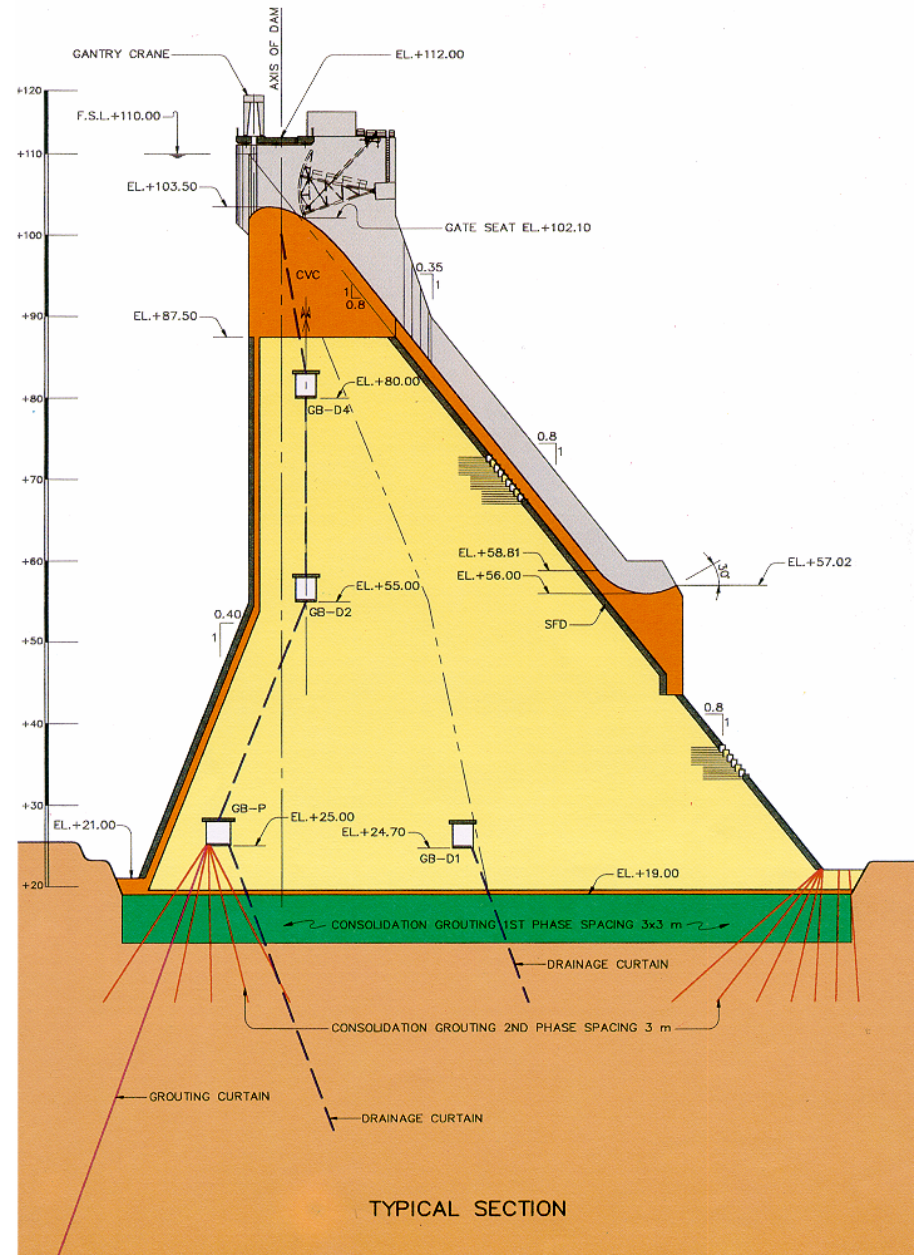


ESTIMATED COST COMPARISON





Concrete Gravity Dam



ตัวอย่างเขื่อน Concrete Gravity Dam



Concrete Arch Dam



Figure MF-3. Malpasset Dam before failure (after Bellier, 1967)

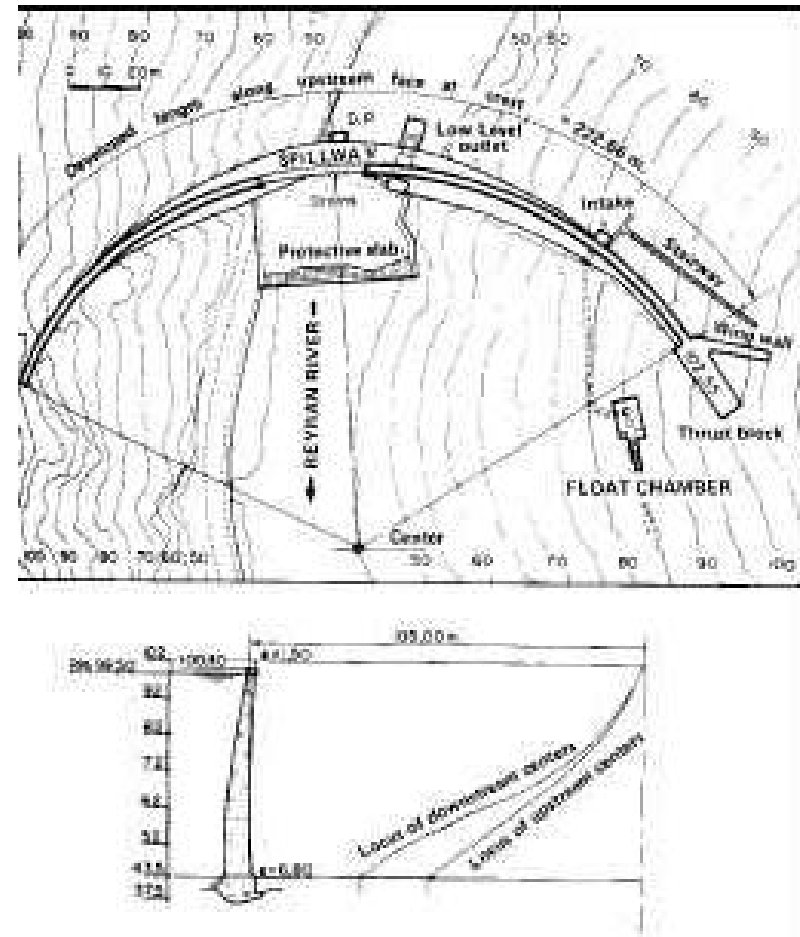
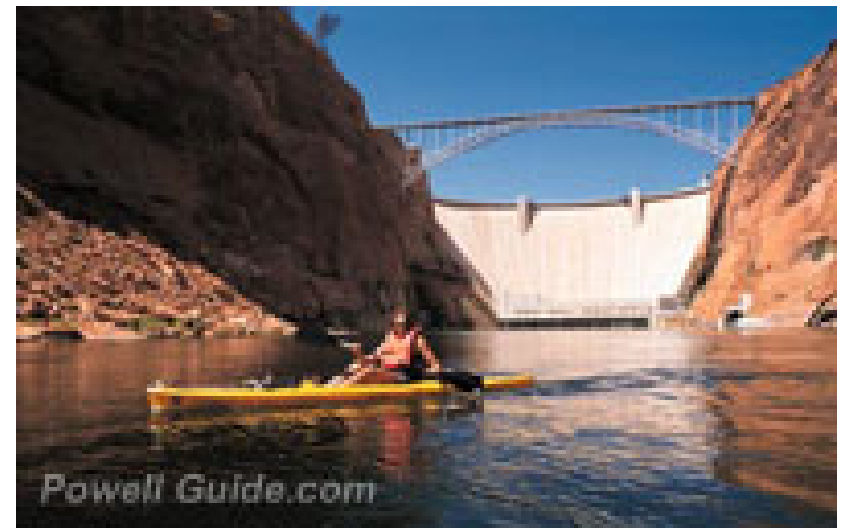
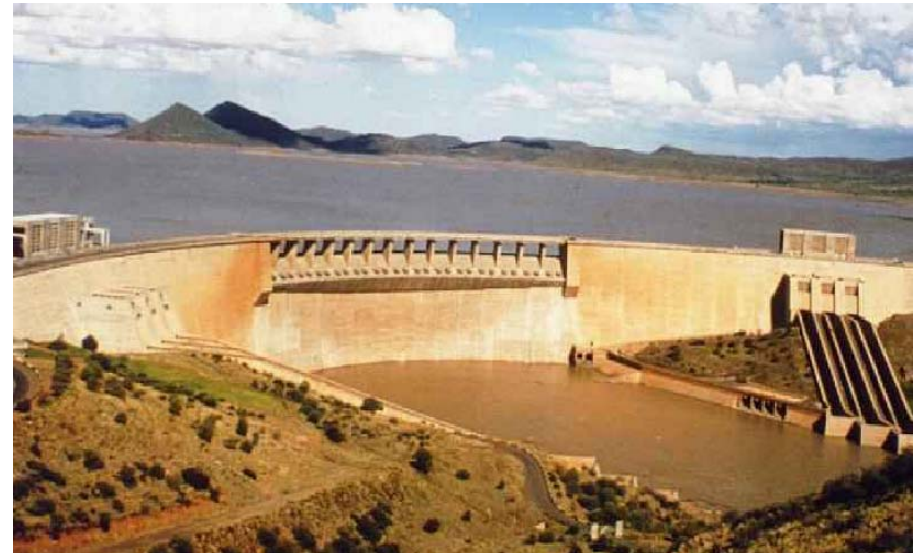


Figure MF-1. General plan and section of Malpasset Dam (after Londe, 1987)

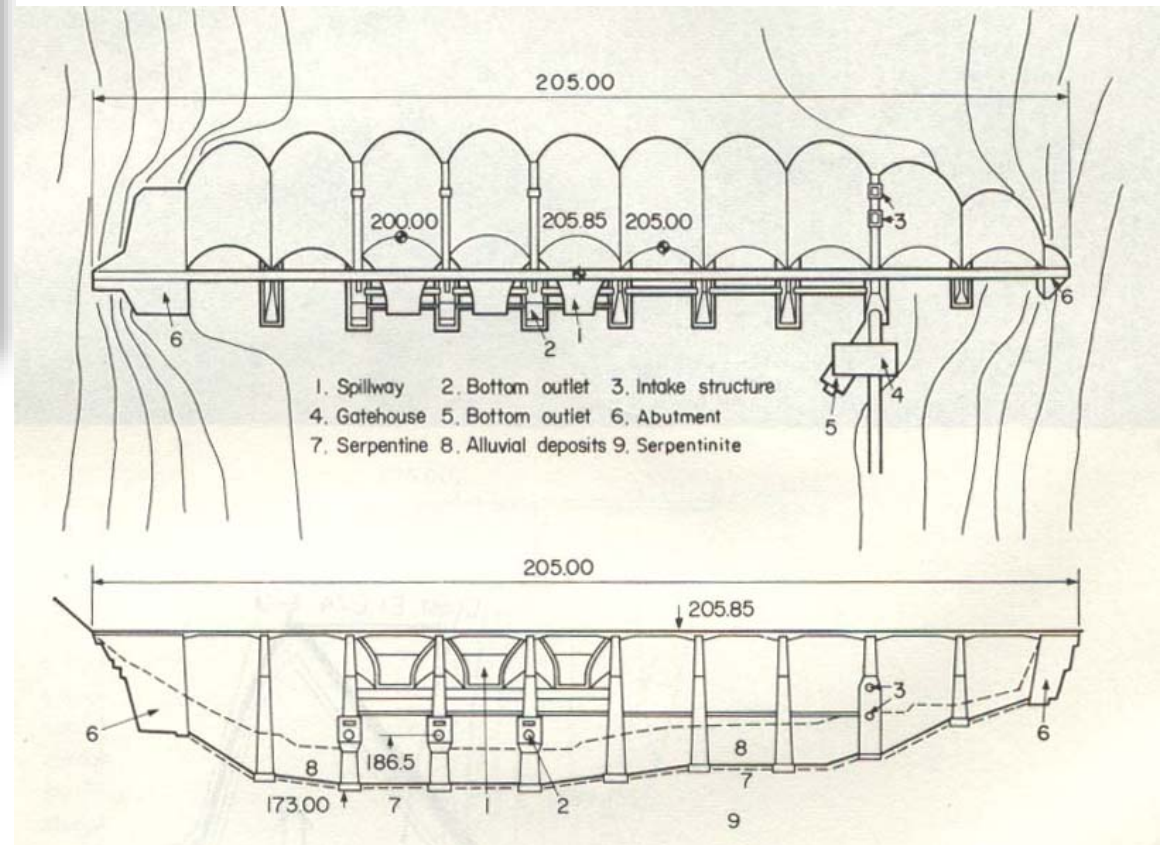
Concrete Arch Dam



ตัวอย่างเขื่อนคอนกรีตโค้ง (Concrete Arch Dams)

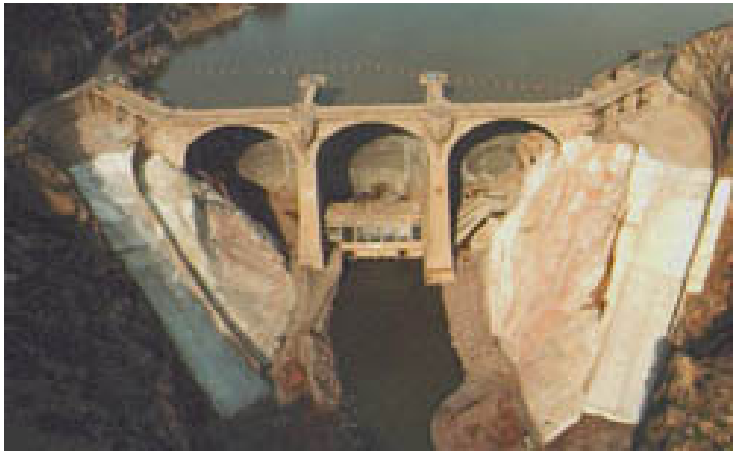


Concrete Buttress Dam



ตัวอย่างเขื่อน Concrete Buttress Dams

The Coolidge Dam



The Daniel-Johnson Dam



The Itaipu Dam

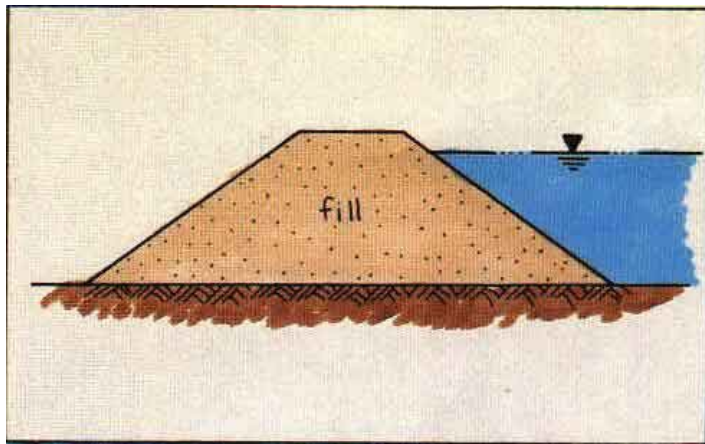


เขื่อนพระตำหนักภูพานราชนิเวศน์

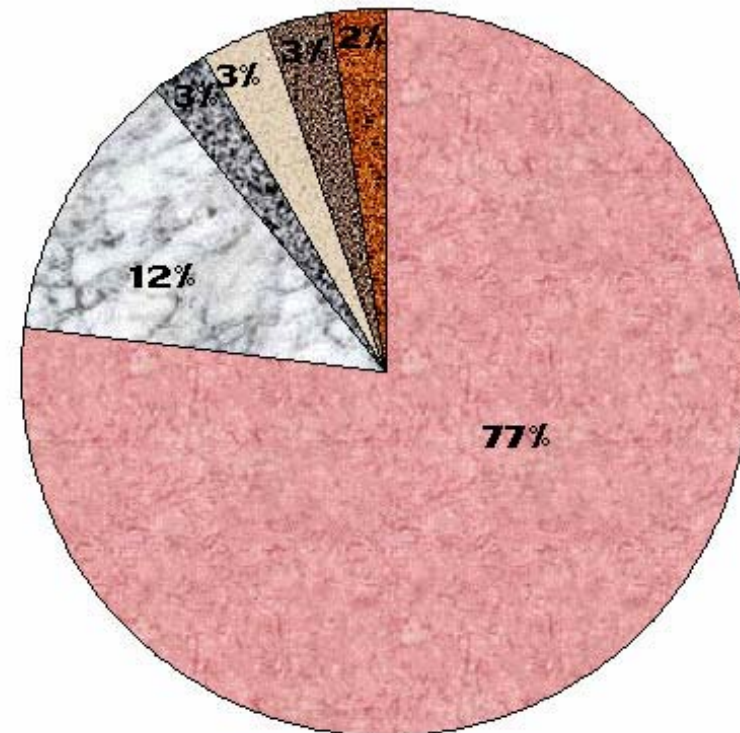
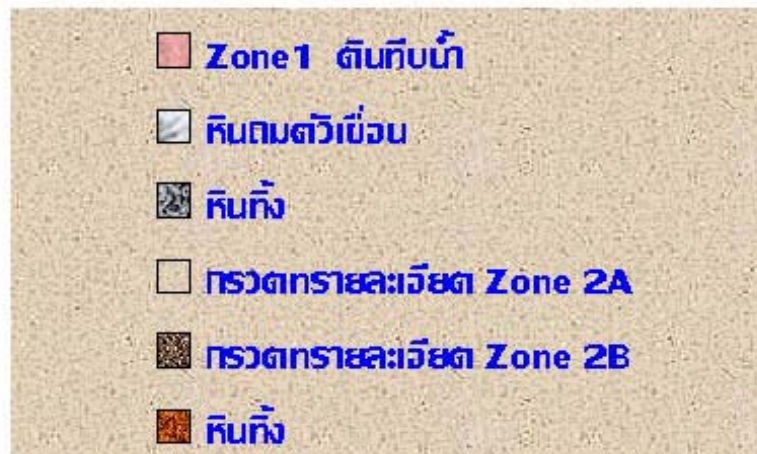
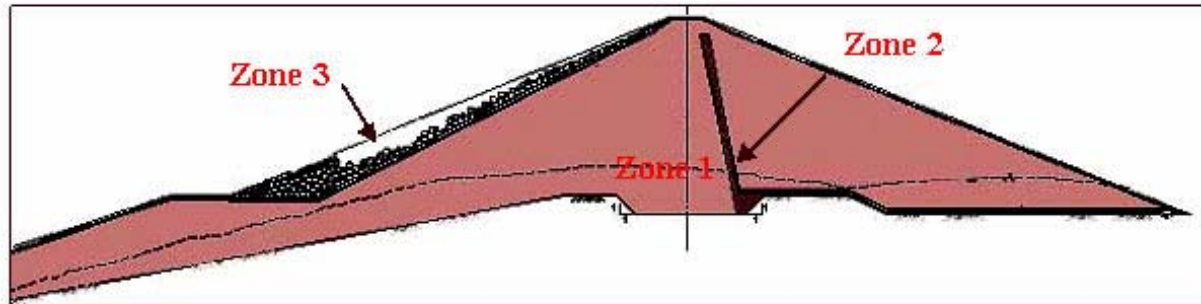


เขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous Earth Dams)

เขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous dam) เป็นเขื่อนที่ก่อสร้างจากการบดอัดวัสดุชนิดเดียวกันเป็นส่วนใหญ่ ส่วนมากจะเป็นดินในกลุ่มของ GC, SC, ML, CL (Unified Soil Classification) ซึ่งสามารถบดอัดได้ดีมีความแข็งแรงและที่บ้น้ำพอสมควร เขื่อนชนิดนี้จะต้องมีส่วนที่สำคัญ คือ ชั้นกรองน้ำ (Filter) หรือระบายน้ำ (Drain) ทางด้านท้ายน้ำที่ตีนเขื่อน หรือภายในตัวเขื่อน เพื่อเป็นทางระบายป้องกันการกัดเซาะที่เกิดจากน้ำไหลผ่านตัวเขื่อนหรือฐานราก เนื่องจากวัสดุที่ใช้ไม่มีความแข็งแรงมากนักจึงไม่ควรก่อสร้างเป็นเขื่อนขนาดใหญ่ ซึ่งความสูงเกิน 40 เมตร เพราะจะไม่ปลอดภัยและประหยัด



วัสดุก่อสร้างเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ

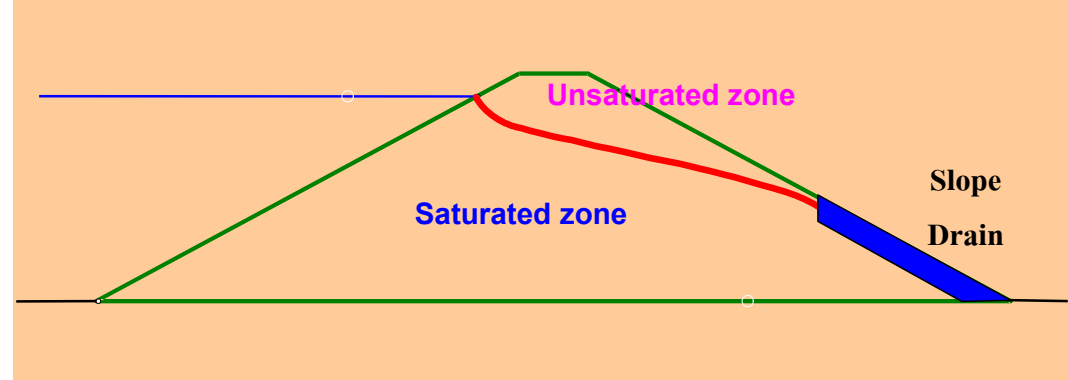


Homogeneous Dams

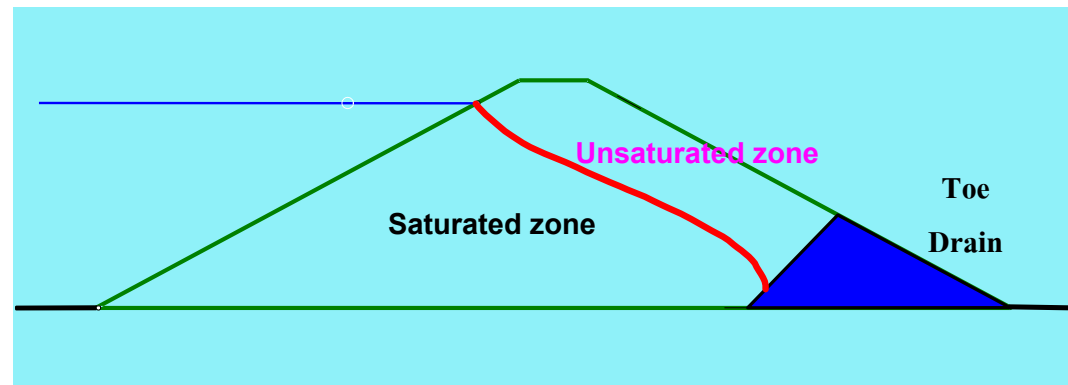


การจัดชั้นกรองใน เขื่อนดินเนื้อเดียว

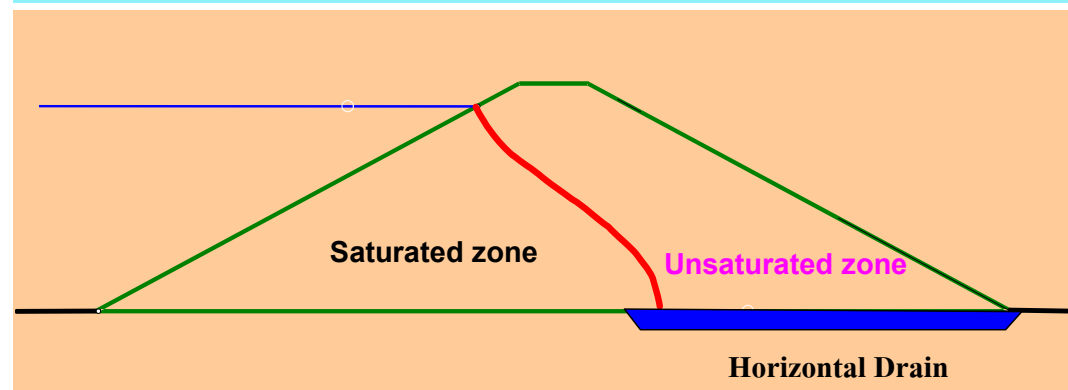
1. Slope Drain



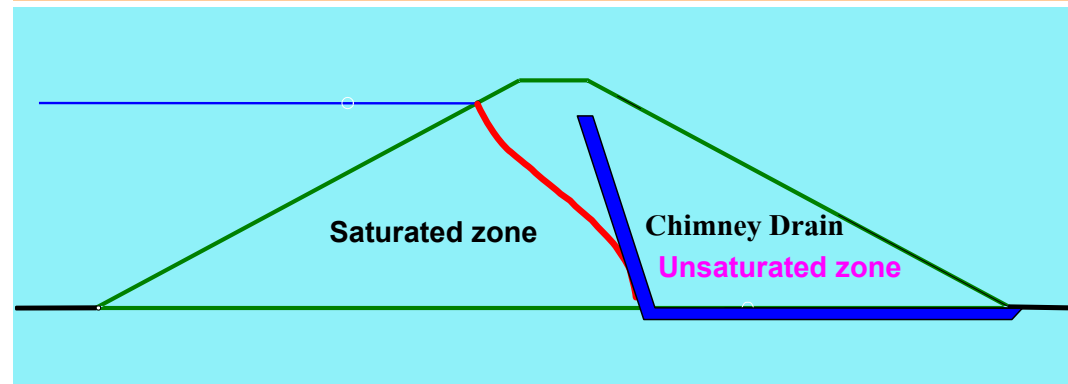
2. Toe Drain



3. Horizontal Drain

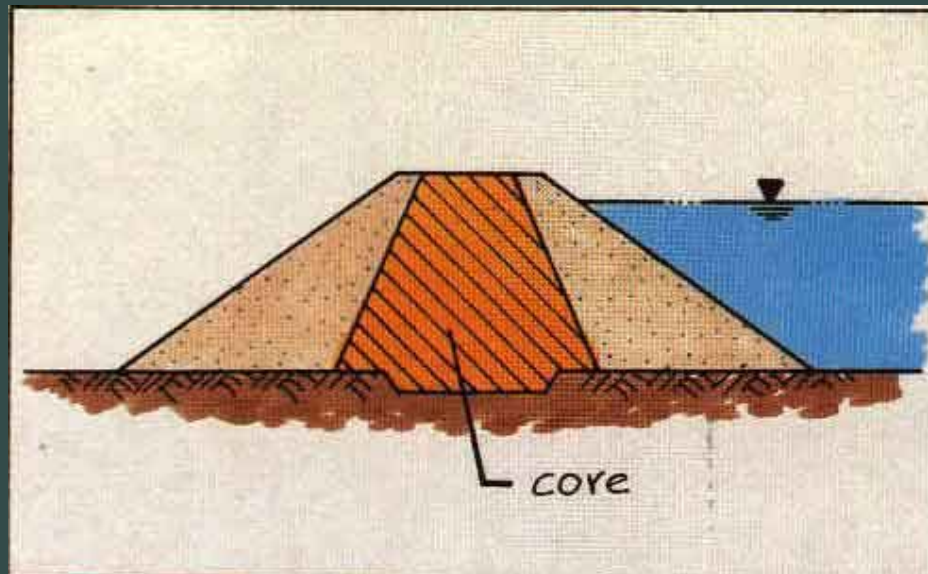


4. Chimney Drain

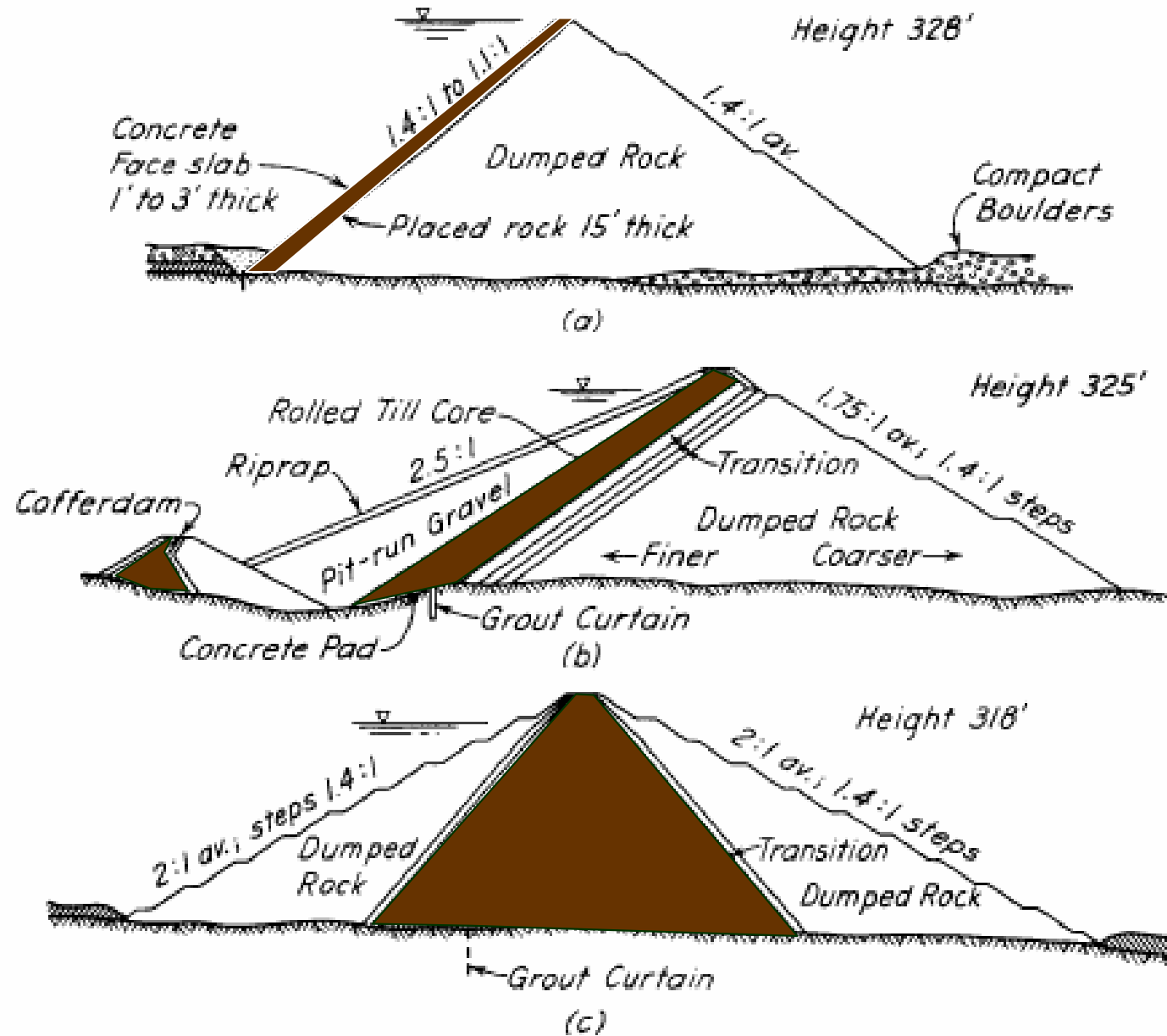


เขื่อนดินแบ่งส่วน (Earth Zoned Dam)

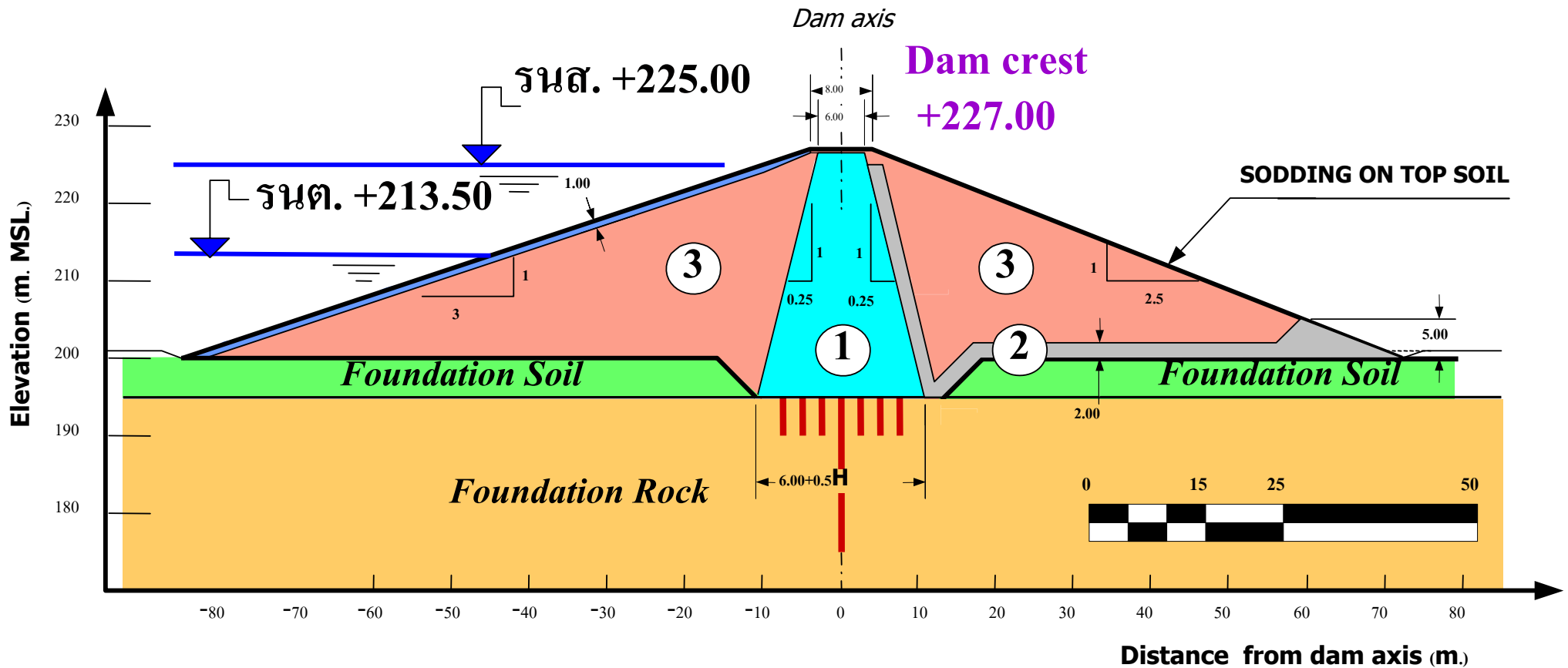
เขื่อนถมแบ่งส่วน (Zoned dam) ใช้ในกรณีเขื่อนถมที่ค่อนข้างใหญ่ มักจะใช้วัสดุหลายชนิดมาประกอบกัน โดยเลือกใช้วัสดุให้มีประสิทธิภาพสูงสุดตามศักยภาพ คือนำเอาคุณสมบัติที่ดีของแต่ละอย่างมาใช้อย่างเต็มที่ เช่น ใช้ดินเหนียวเป็นส่วนที่ทึบน้ำ เรียกว่า "แกนเขื่อน" (Core Zone) ดินปนกรวดหรือหินที่มีความแข็งแรงมากกว่ามาใช้ในส่วนนอก เพื่อให้เกิดความมั่นคง เรียกว่า "ส่วนเปลือก" (Shell) ในกรณีที่มีวัสดุมากกว่า 2 ชนิด



Zoned Earth and Rockfill Dams



เขื่อนห้วยบ้านพุ่ม

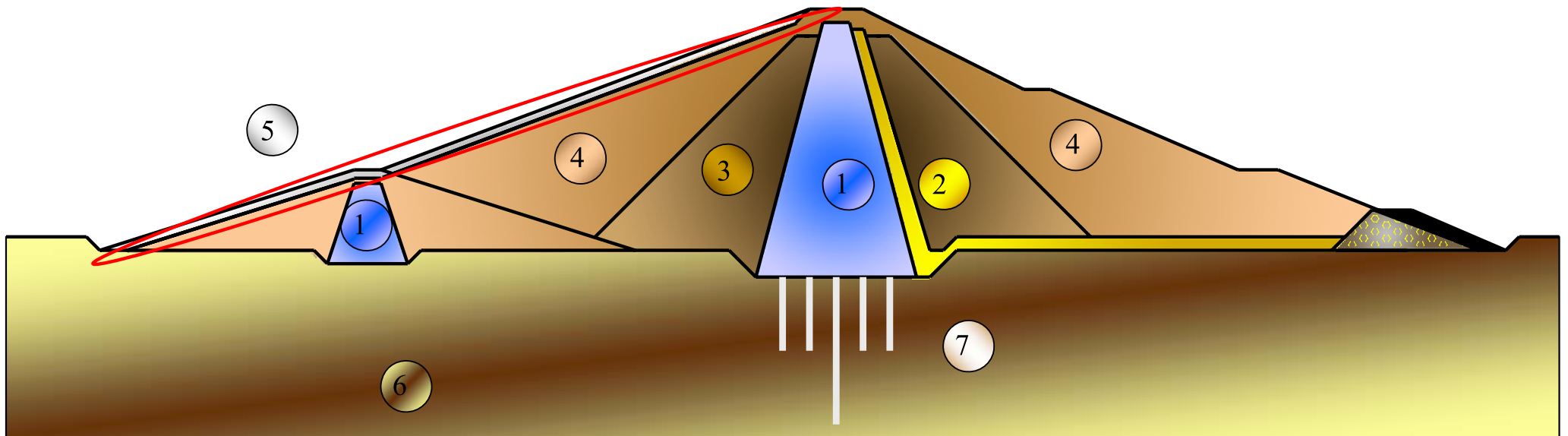


① **Impervious Core**

② **Filter Zone**

③ **Random Zone**

หน้าตัดเขื่อนกักน้ำคอนกรีต



1 Impervious Core Zone

3 Fine Random Zone

5 Rock Riprap

7 Grouting Zone

2 Filter Zone

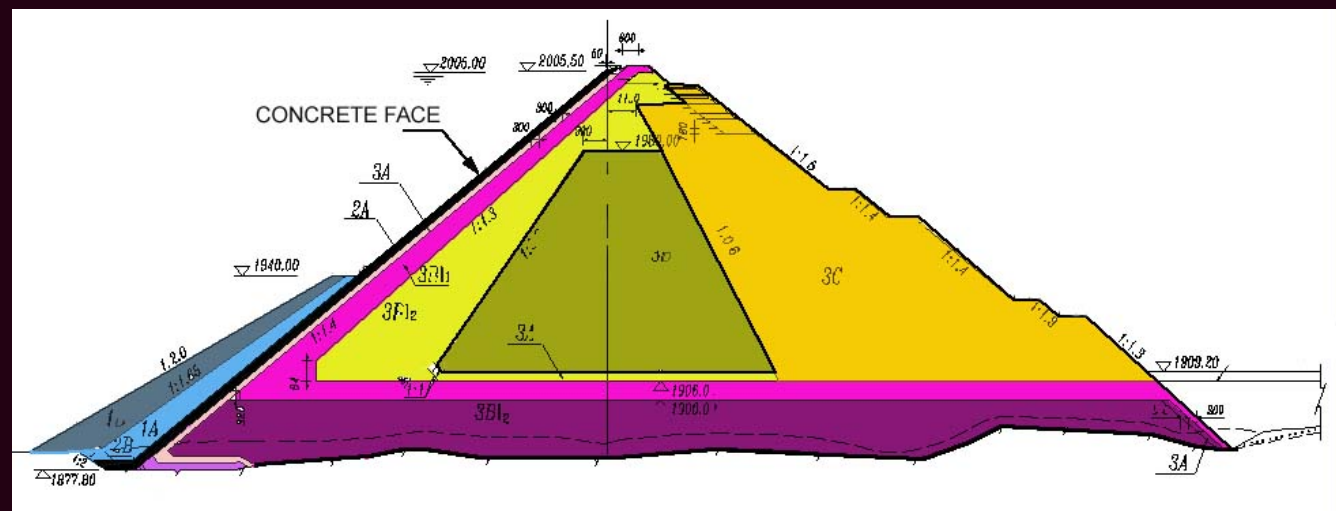
4 Coarse Random Zone

6 Foundation

Concrete Face Rockfilled Dams

- เขื่อนที่มีองค์ประกอบเป็นหินขนาดต่างๆ ในหน้าตัด โดยมีชั้นที่บดน้ำเป็นแกนกลางในแนวตั้ง หรือเอียงไปด้านเหนือน้ำ

หินทำหน้าที่เพิ่มความมั่นคง
ชั้นที่บดน้ำทำหน้าที่ปิดกั้นน้ำ

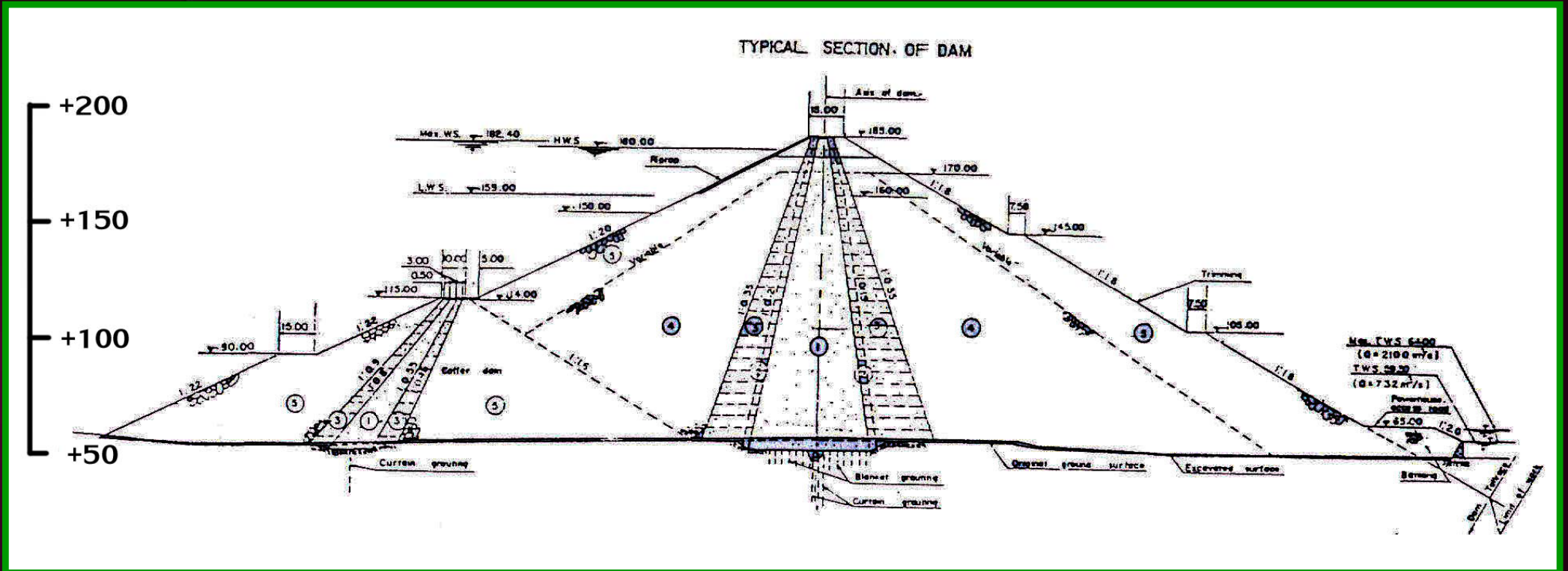




Rock Filled Dam



เขื่อนศรีนครินทร์



ชนิดเขื่อน : เขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียว

ระดับสันเขื่อน : +185.00 ม.รทก.

ธรณีวิทยา : Quarzite, Sandstone, Limestone

ระดับเก็บกักปกติ : +180.00 ม.รทก.

ความสูง : 140 เมตร

ความจุอ่างที่ รนส. : 17,745 ล้าน ลบ.ม.

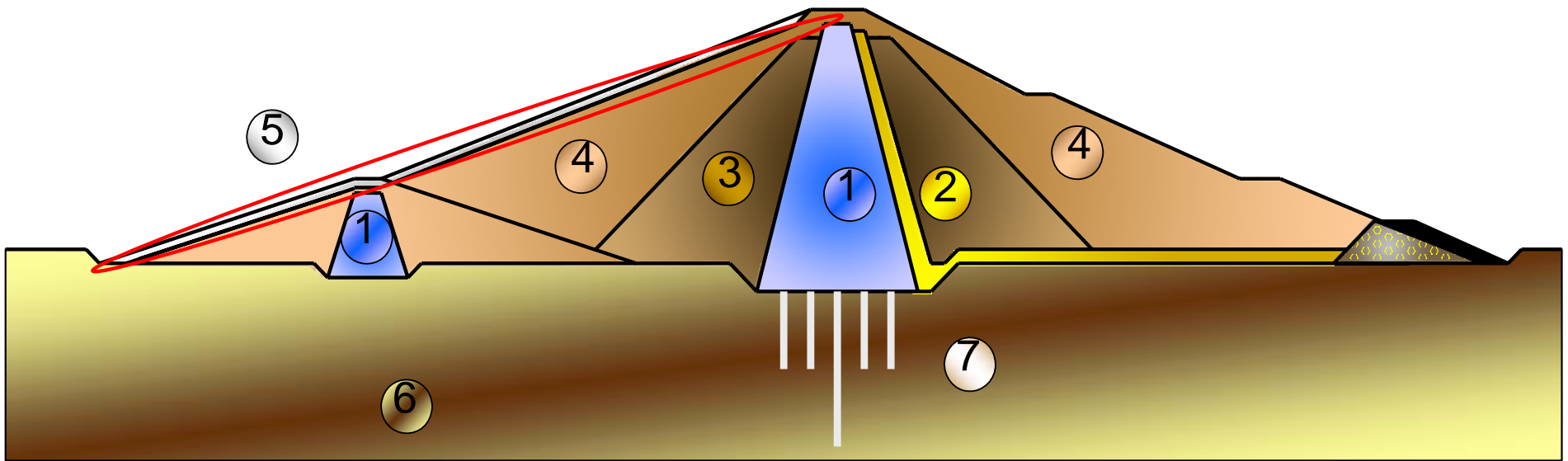
ปริมาตรวัสดุถมตัวเขื่อน : 12 ล้าน ลบ.ม.

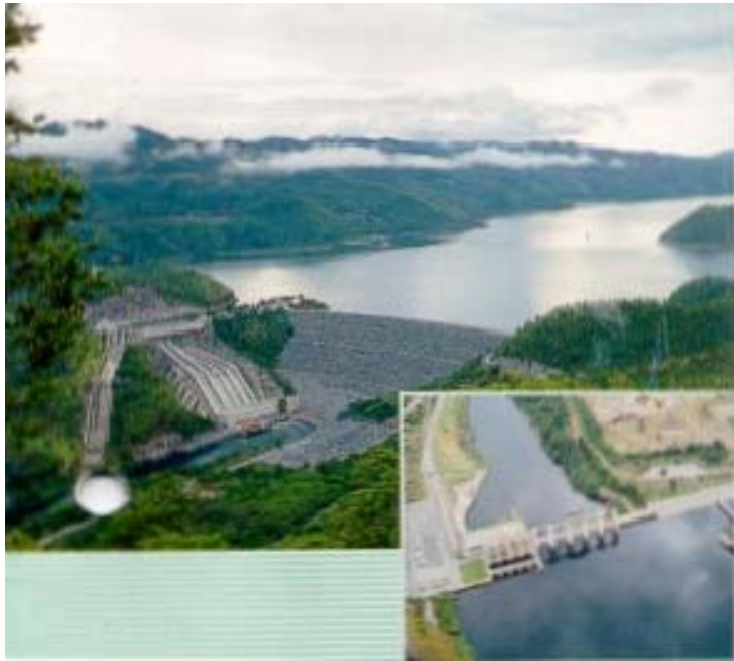
พื้นที่รับน้ำ : 10,880 ตร.กม.





Earth and Rock-filled Dam

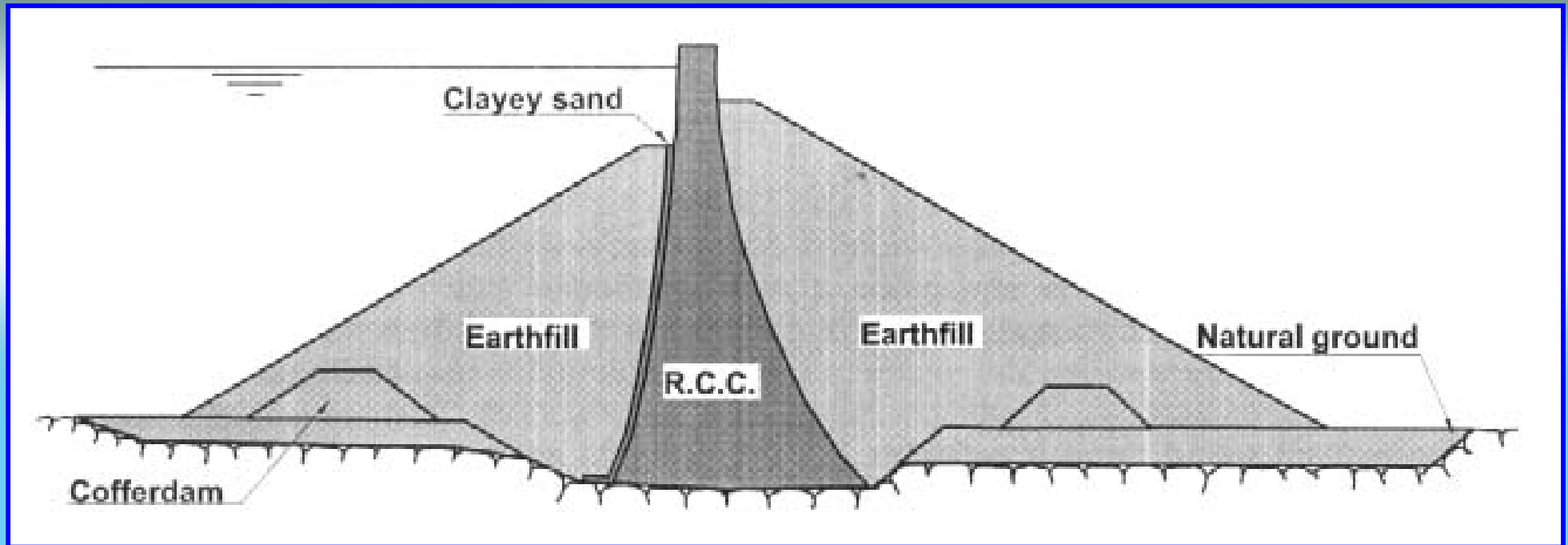




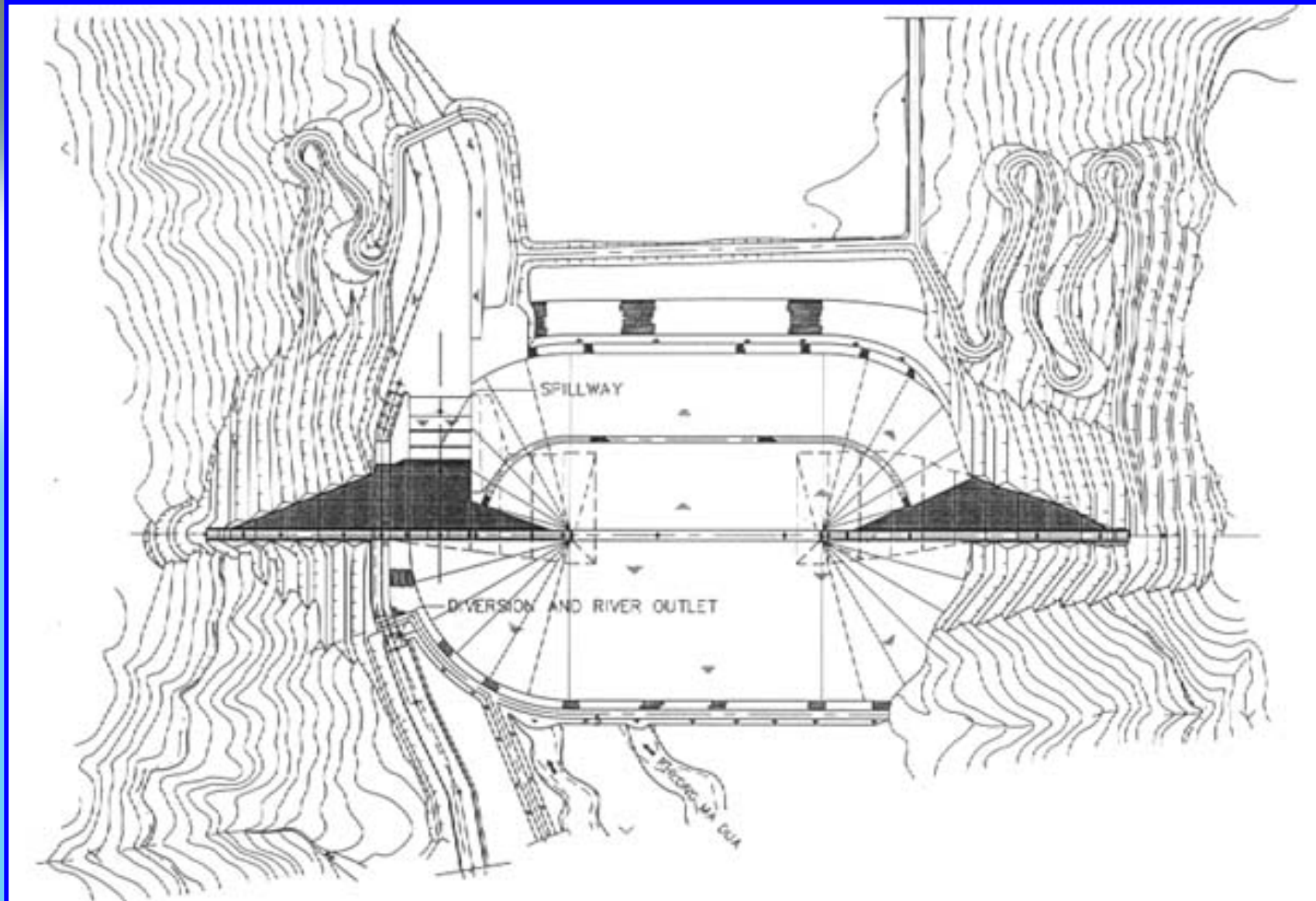
เขื่อนดินและหินถม



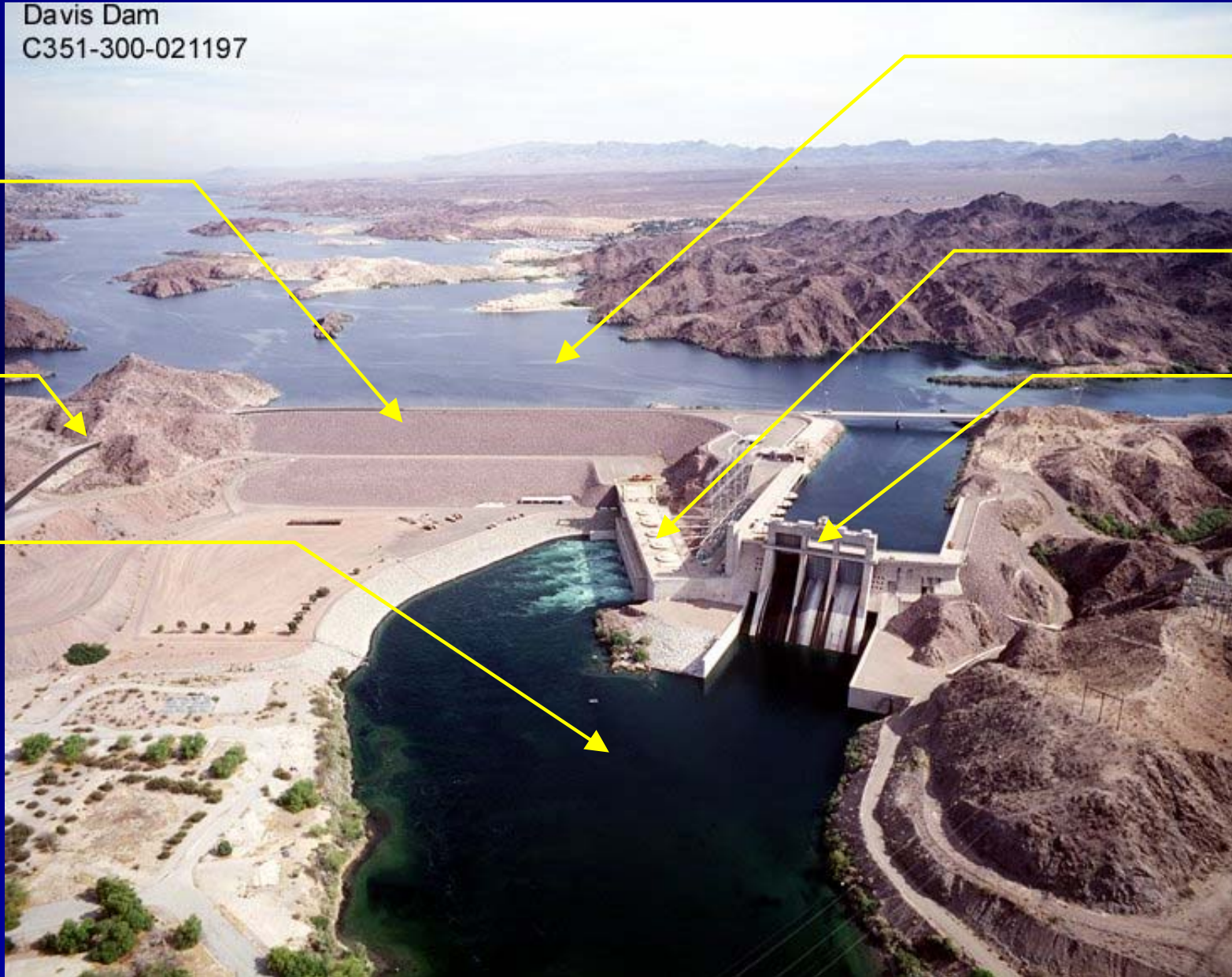
หน้าตัดเขื่อนแบบผสม



เขื่อนคลองมะเดื่อ จ.นครนายก



Davis Dam, USA.



เขื่อน

คลองส่งน้ำ

Tailace

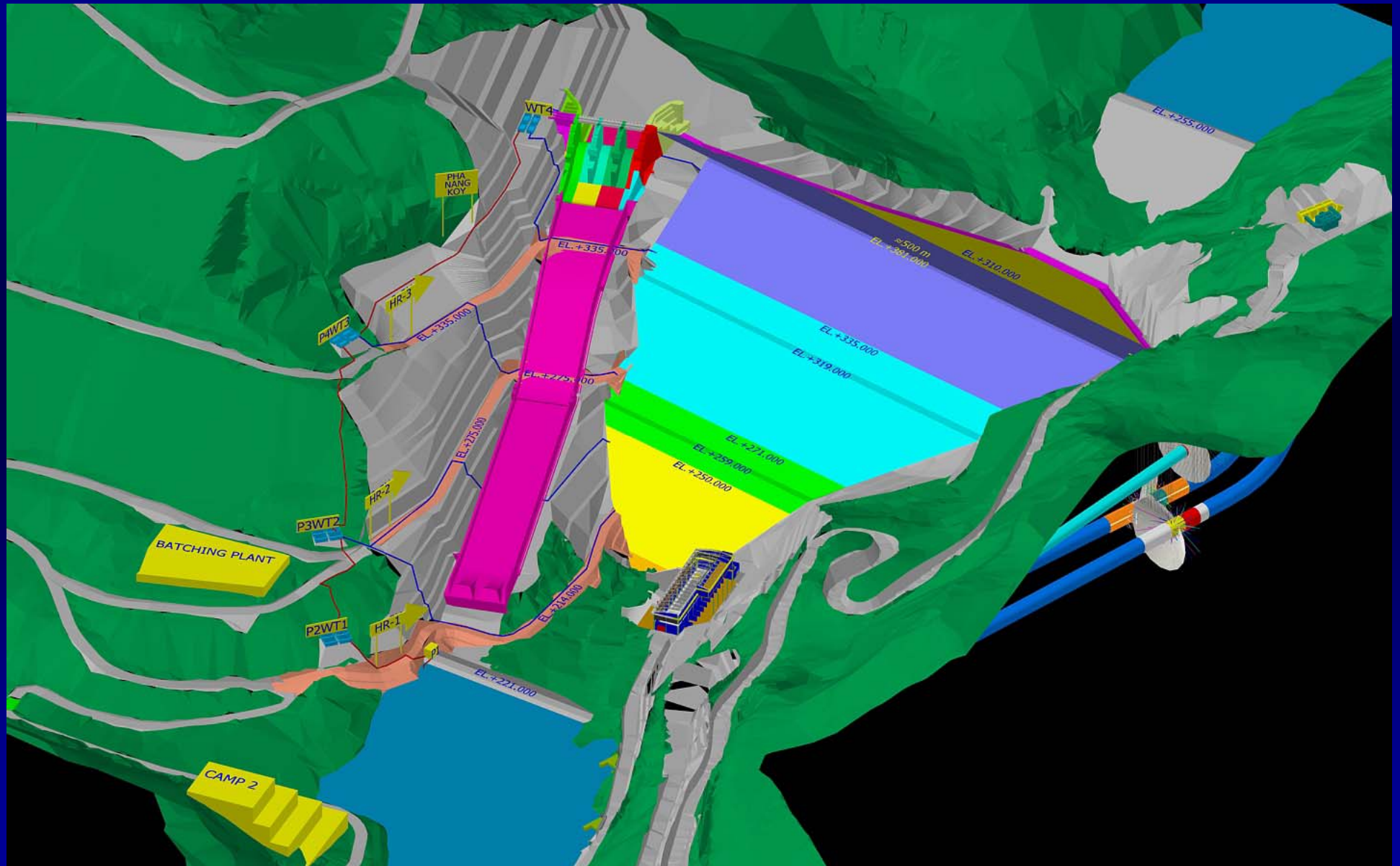
อ่างเก็บน้ำ

โรงไฟฟ้า

ทางน้ำล้น

NN2 HP

Nam Ngum 2 Hydroelectric Power Project



Three Gorges Dam Project

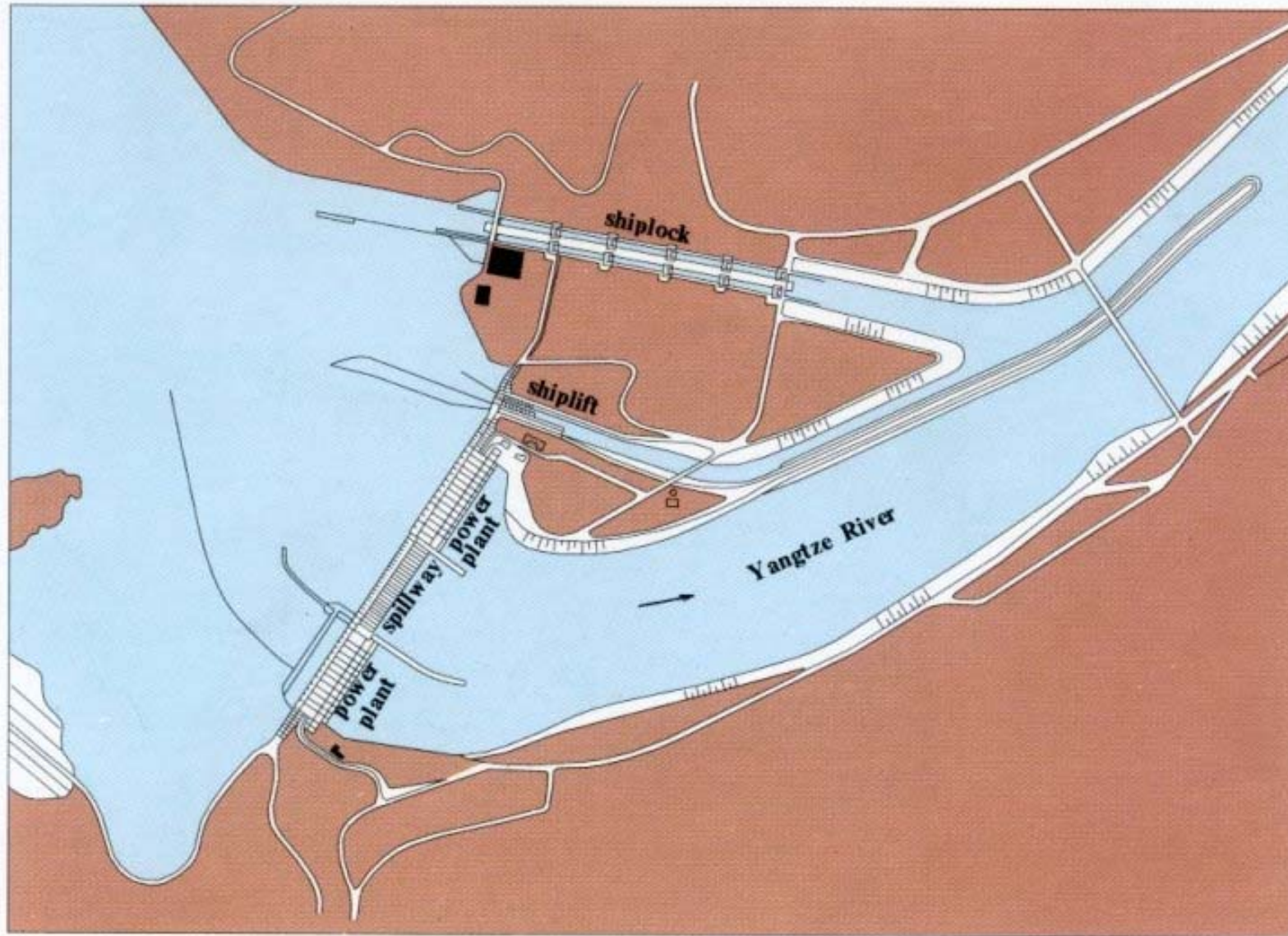
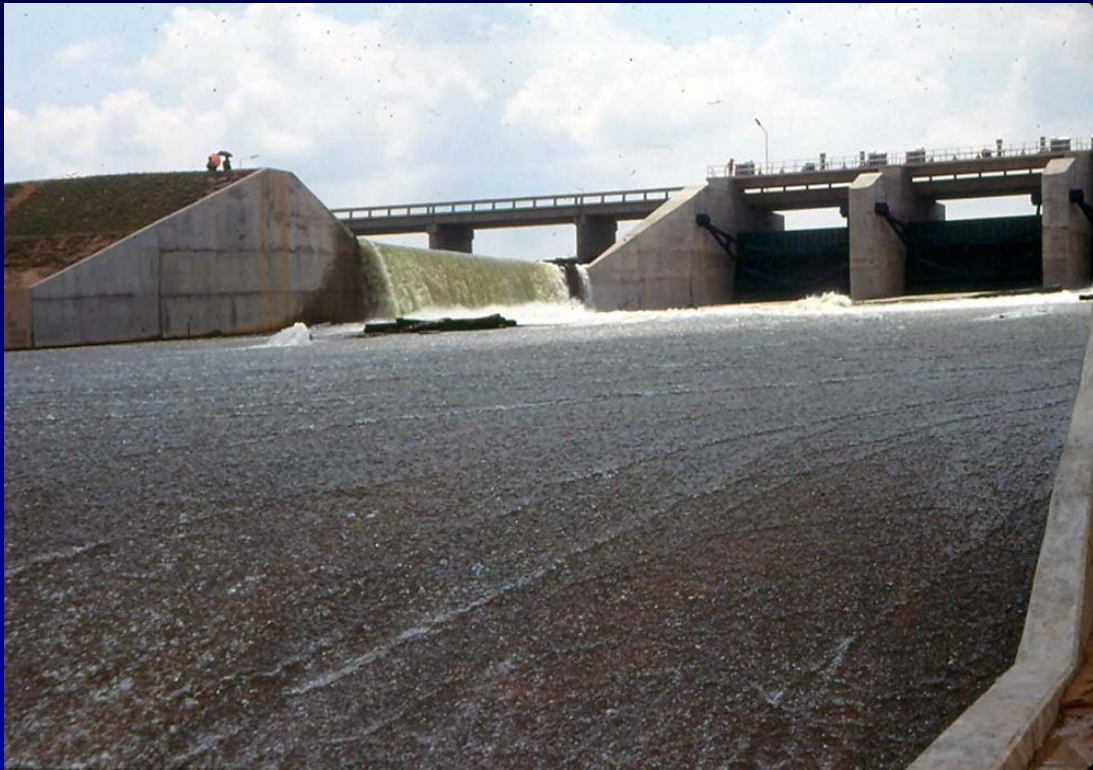
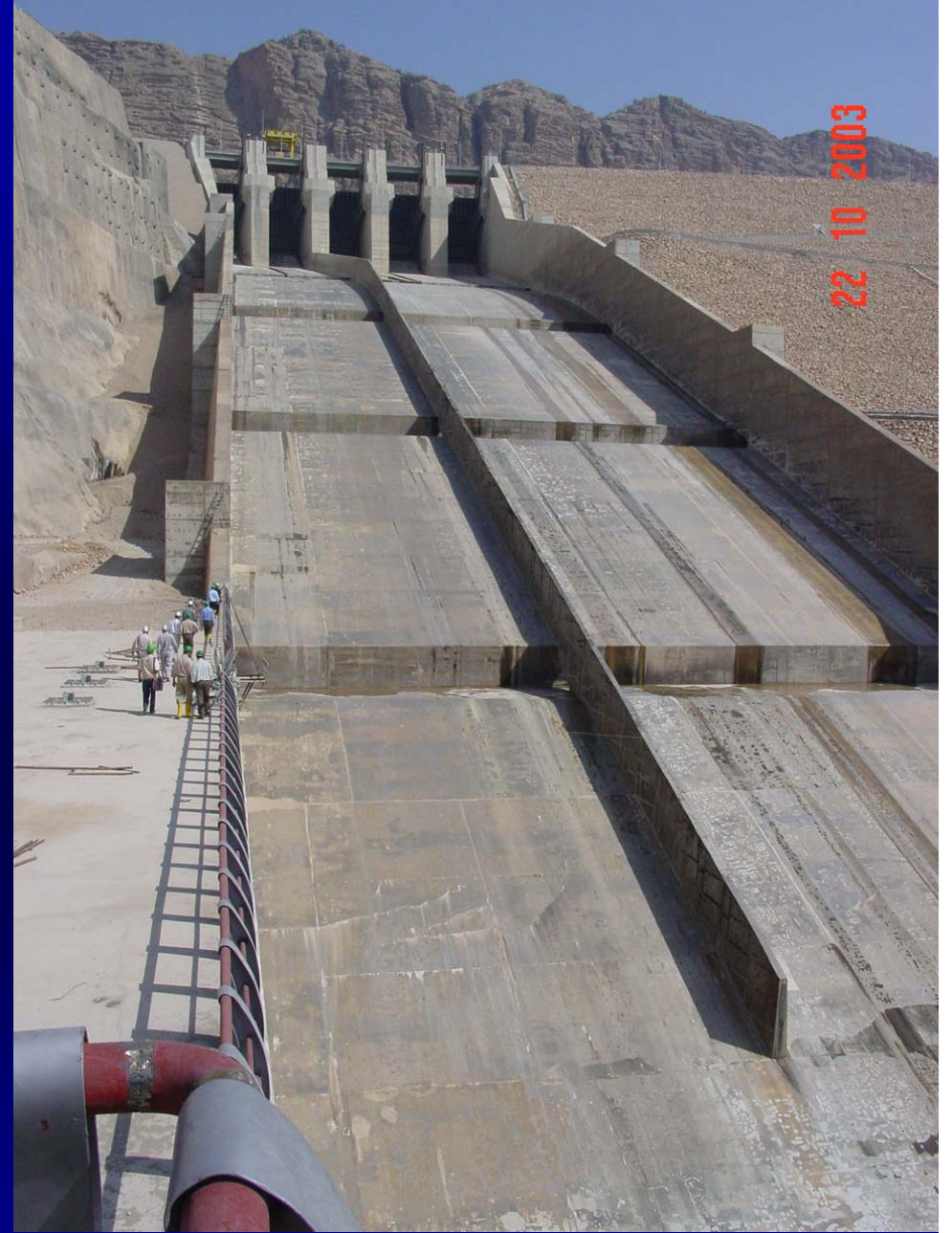


Fig.2-1 Layout of the Three Gorges Project

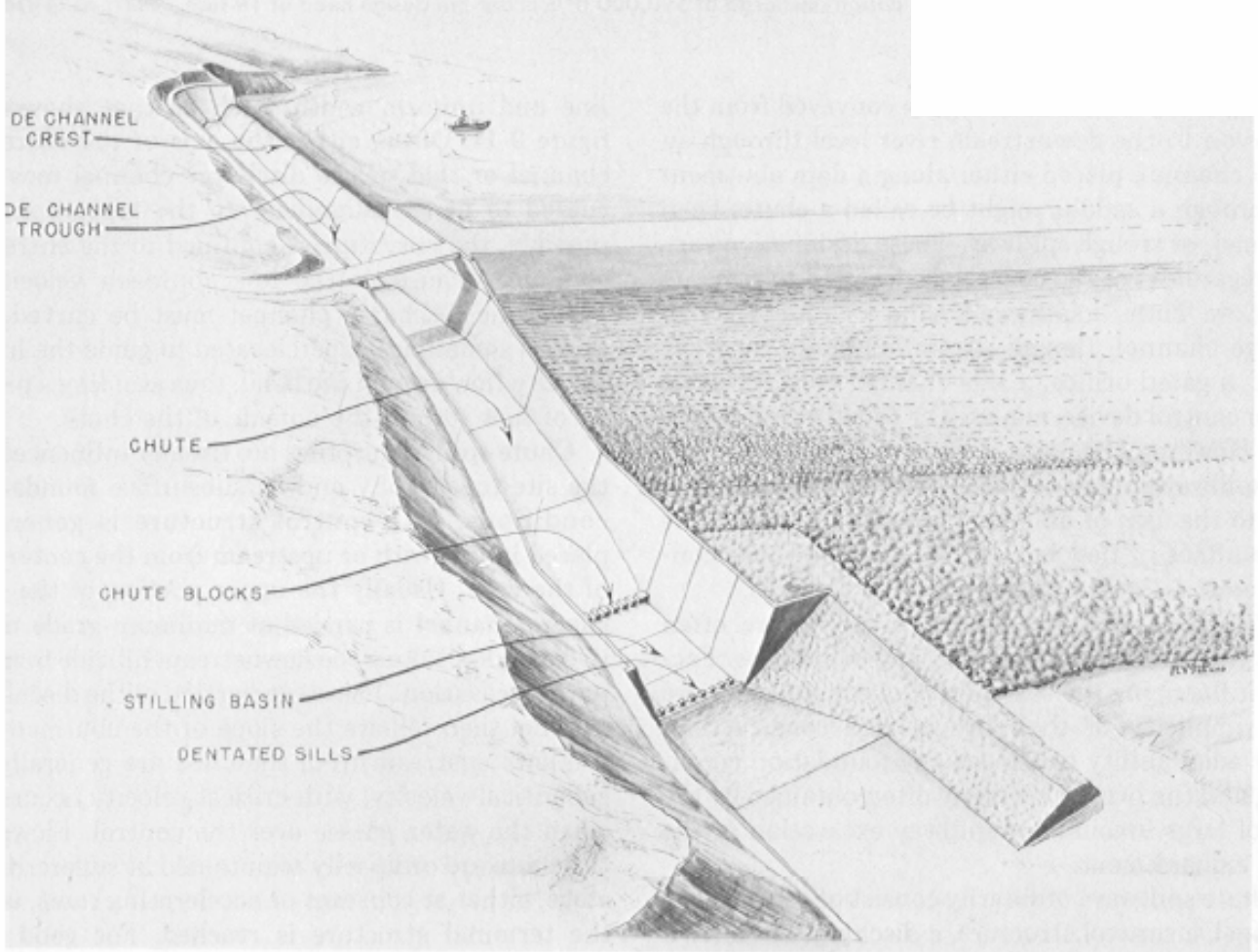
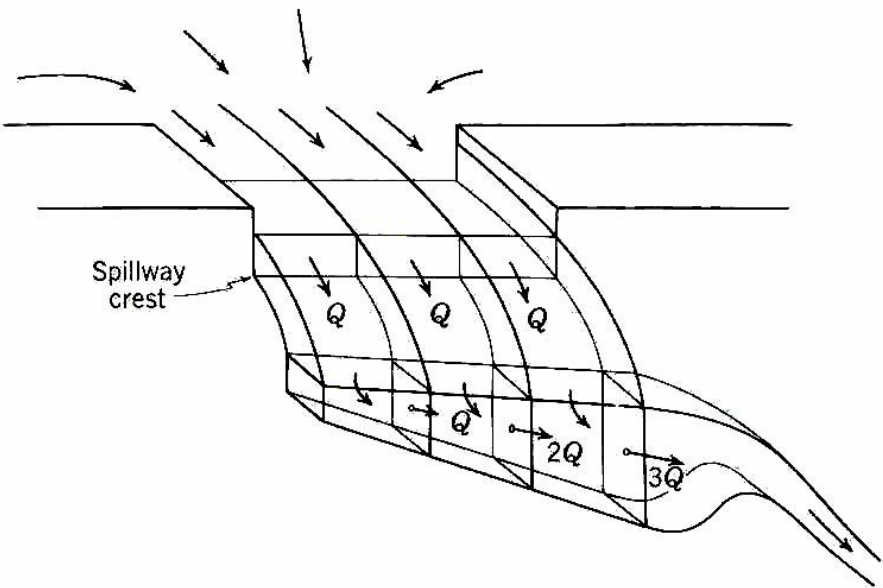
ทางระบายน้ำล้น



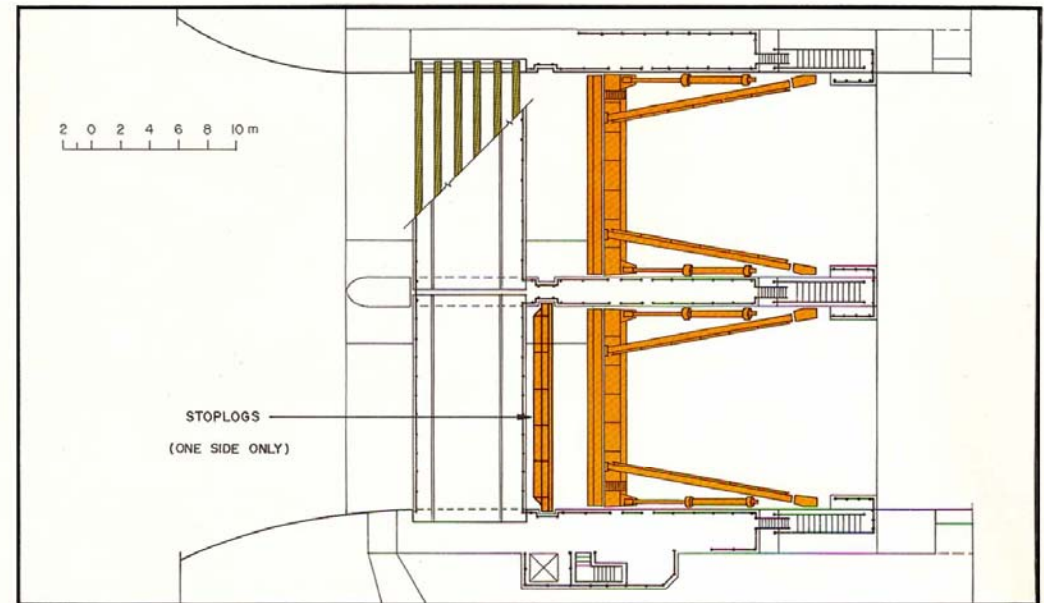
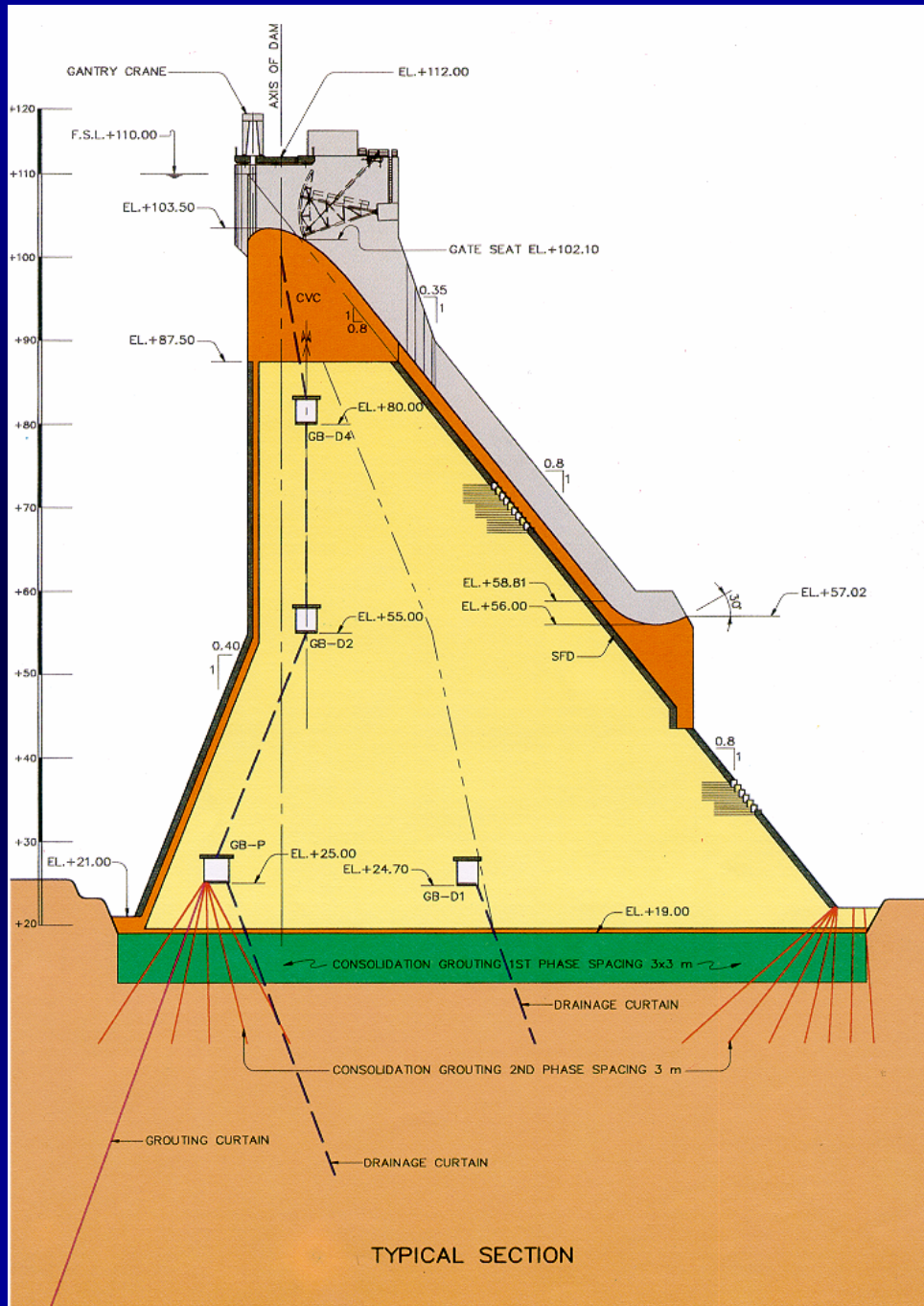




Side

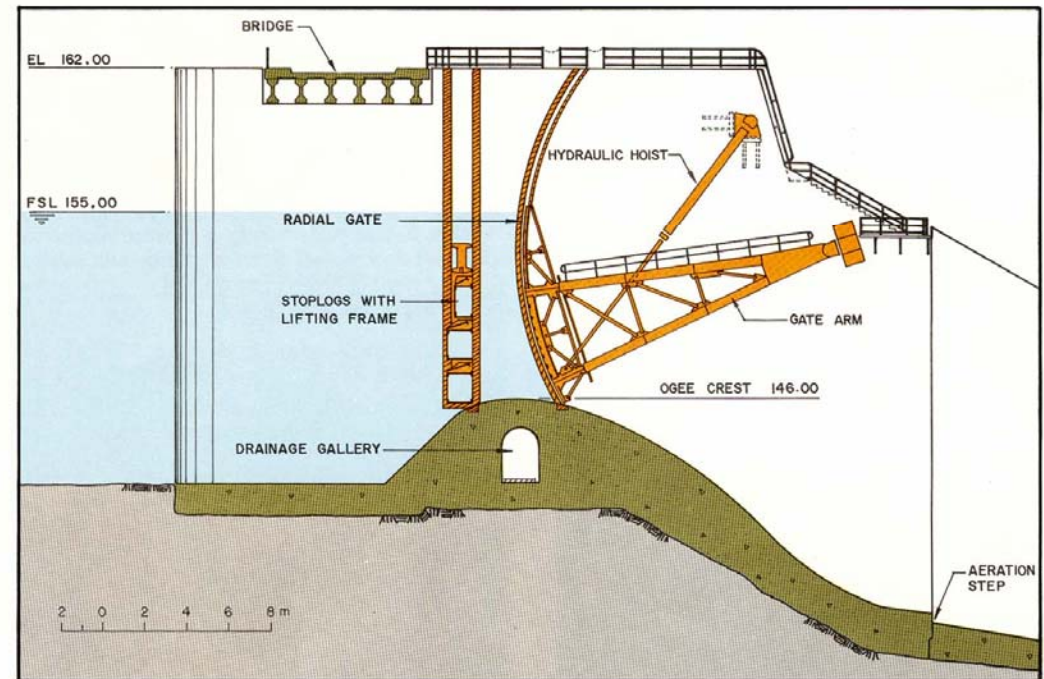


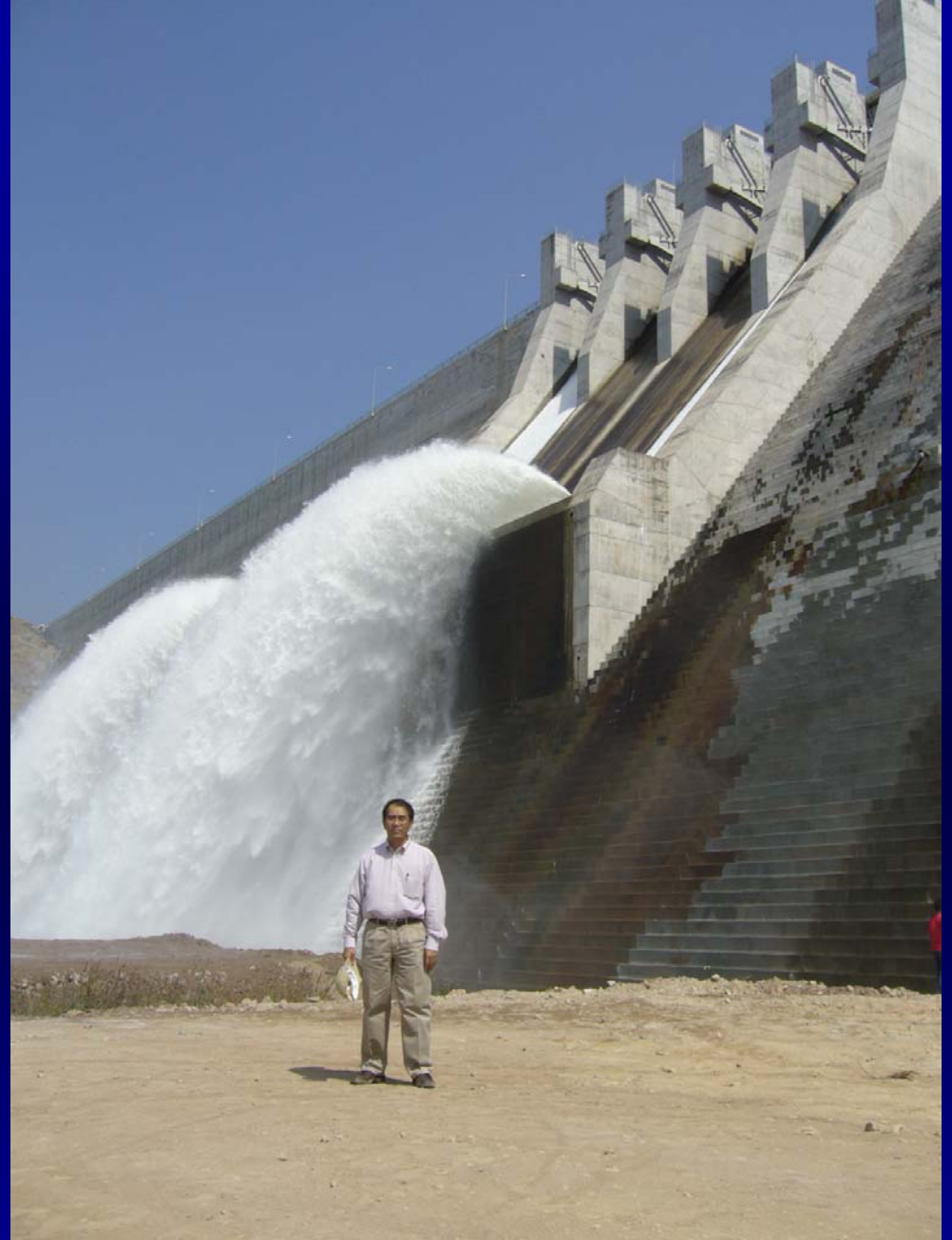
Side
Channel
Spillway



Plan of spillway gates

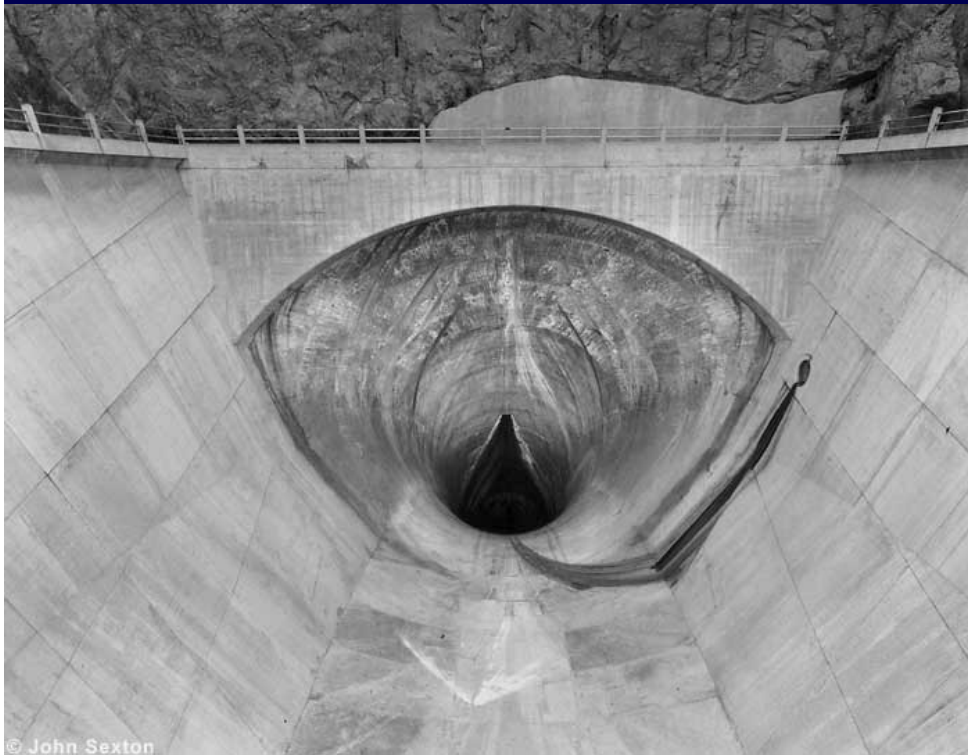
Section of spillway gate



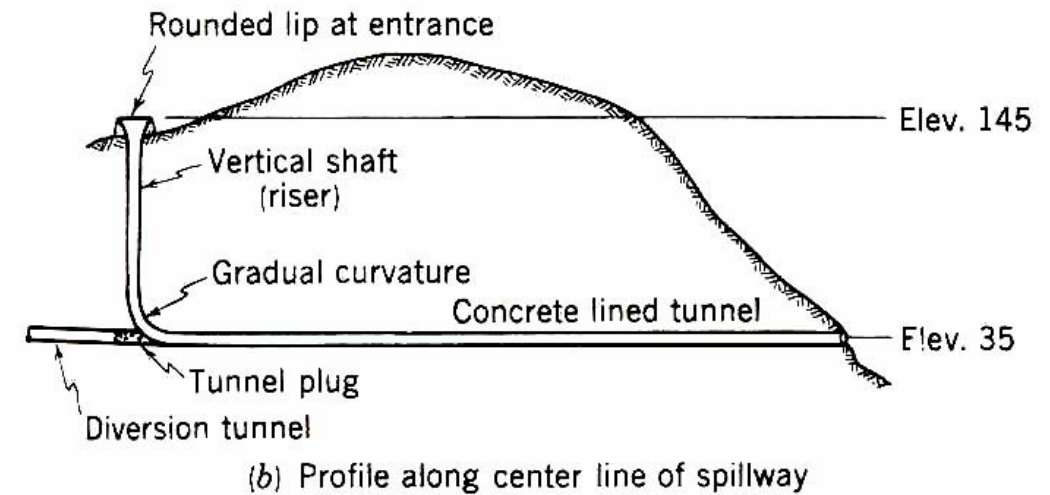
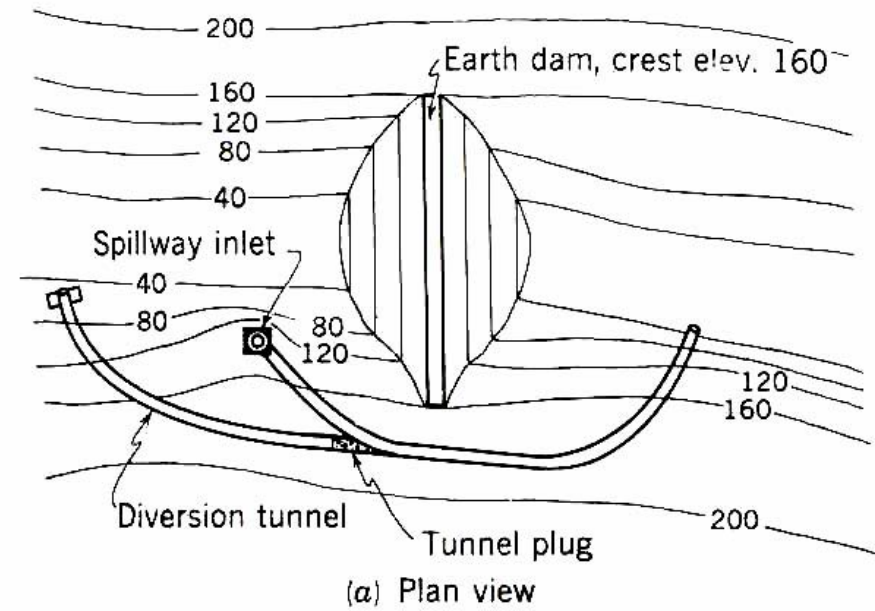


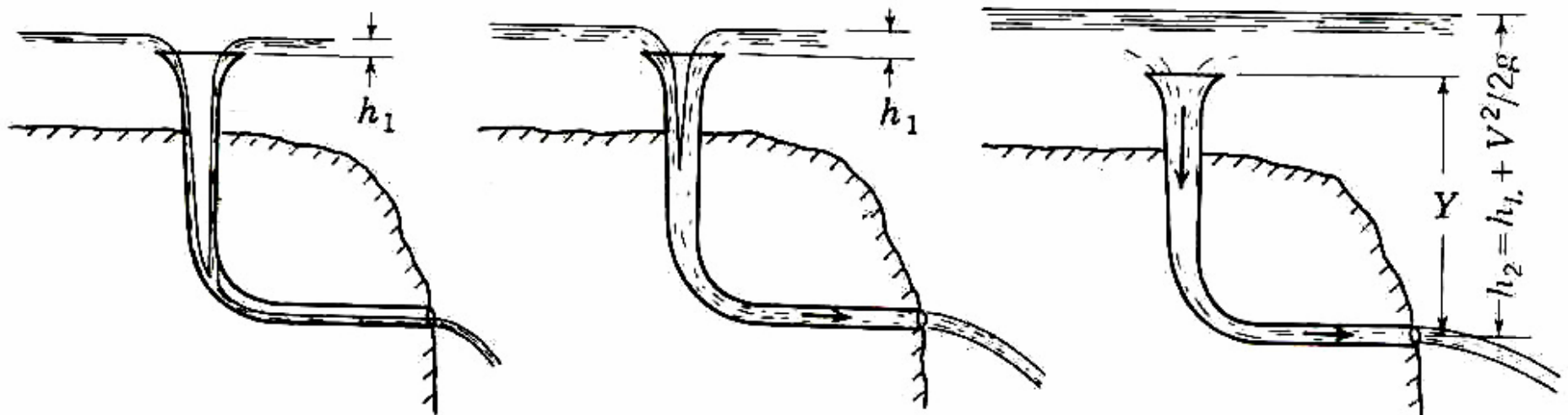
Spillway ของเขื่อนขุนด่านปราการชล

Spillway Tunnel Spillway



© John Sexton

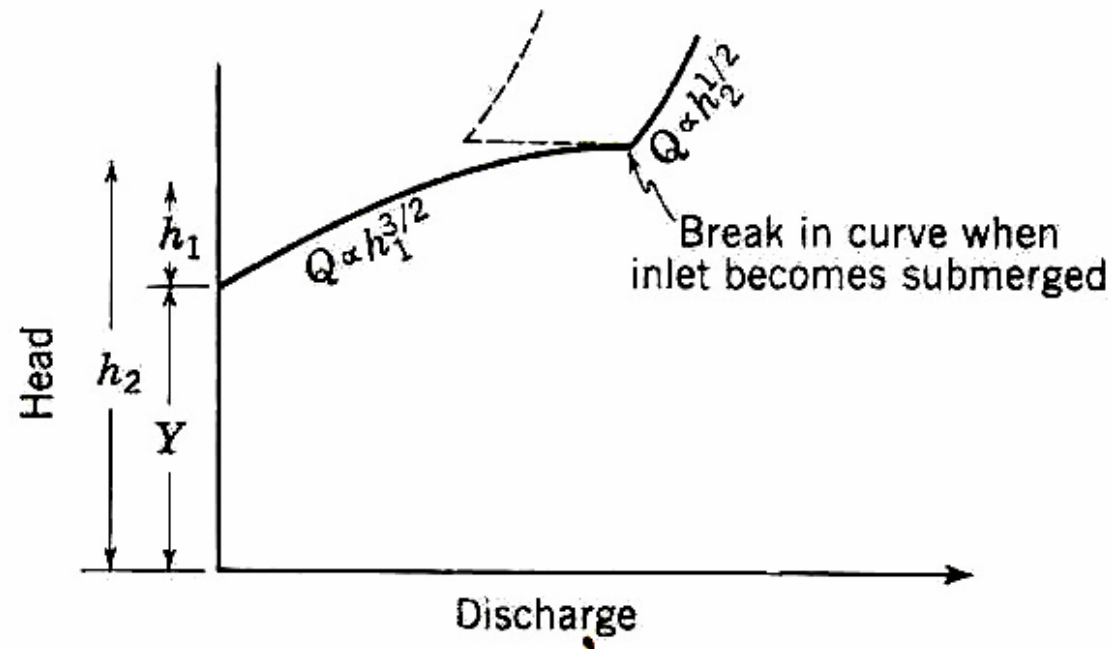




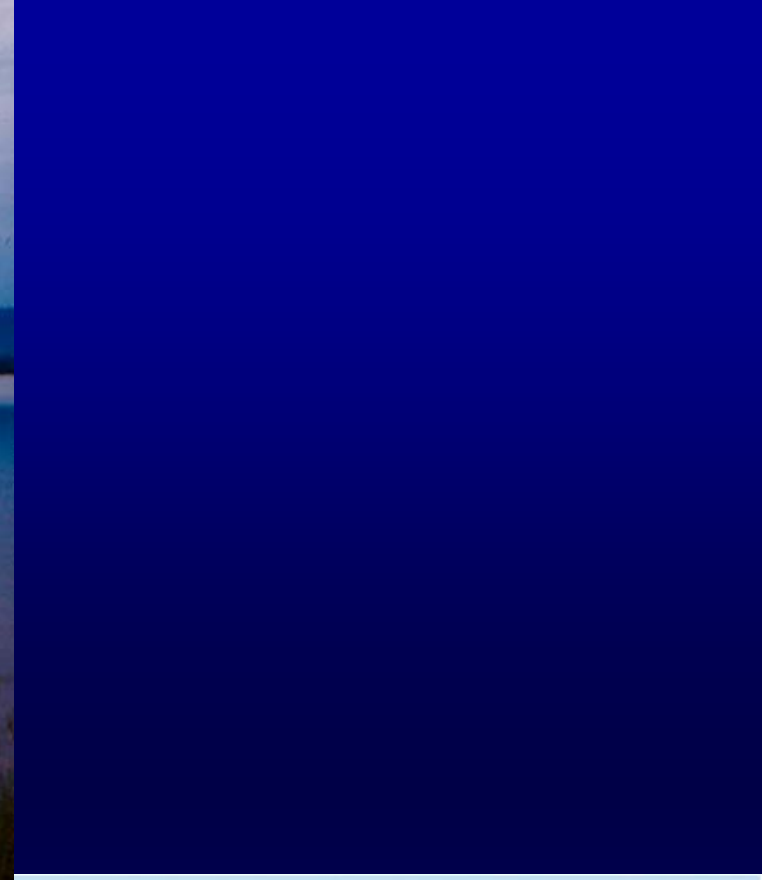
(a) Outlet conduit partly full
(weir flow)

(b) Intermediate condition

(c) Submerged inlet
(pipe flow)



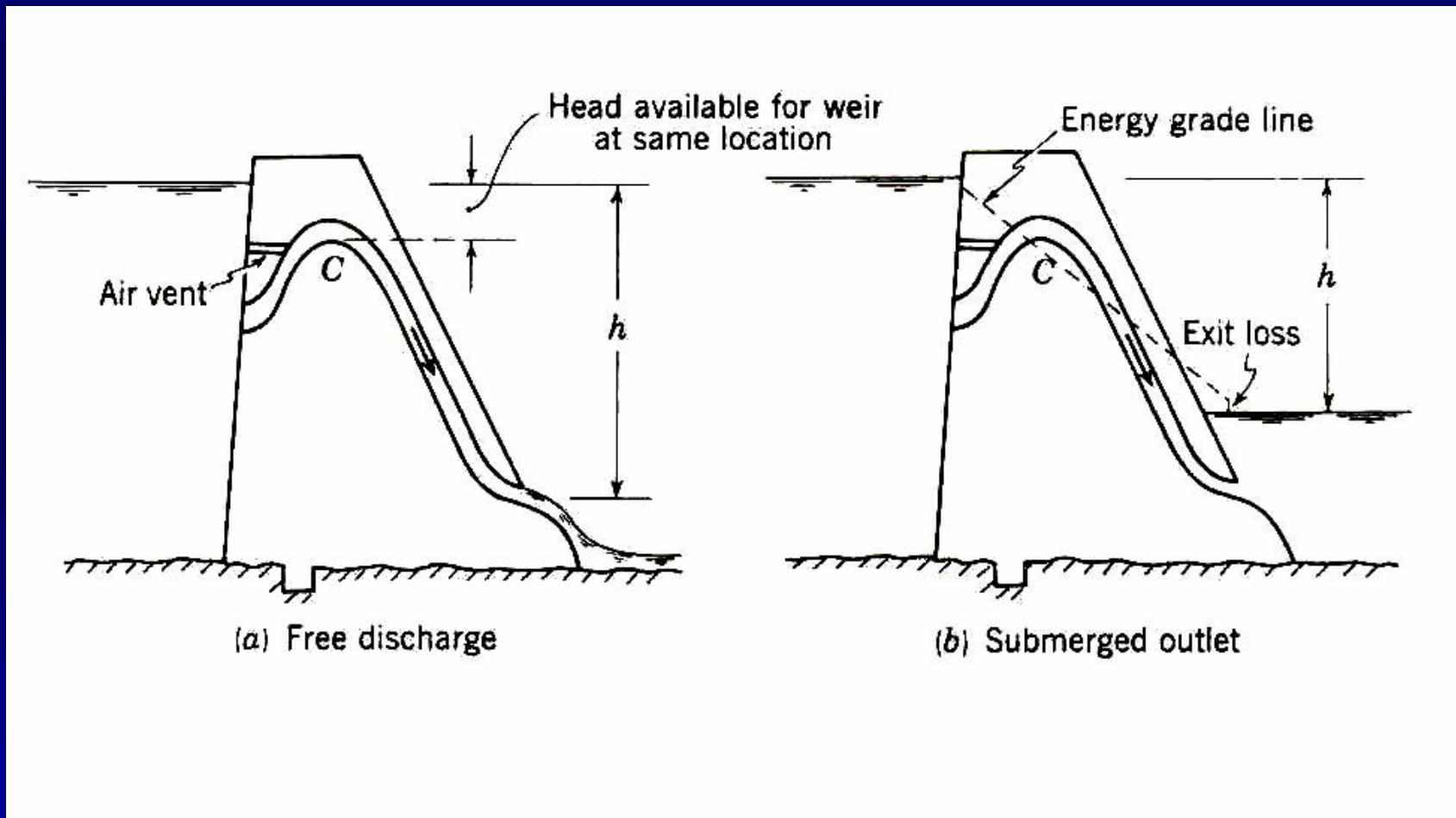
Flow Conditions in Shaft Spillway



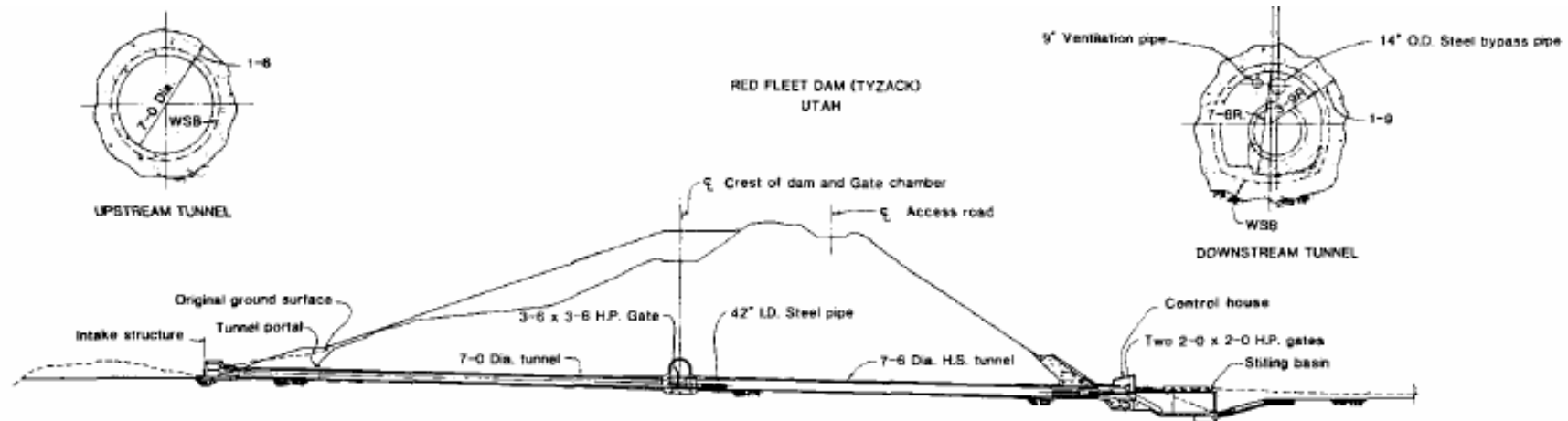
Morning Glory Spillway



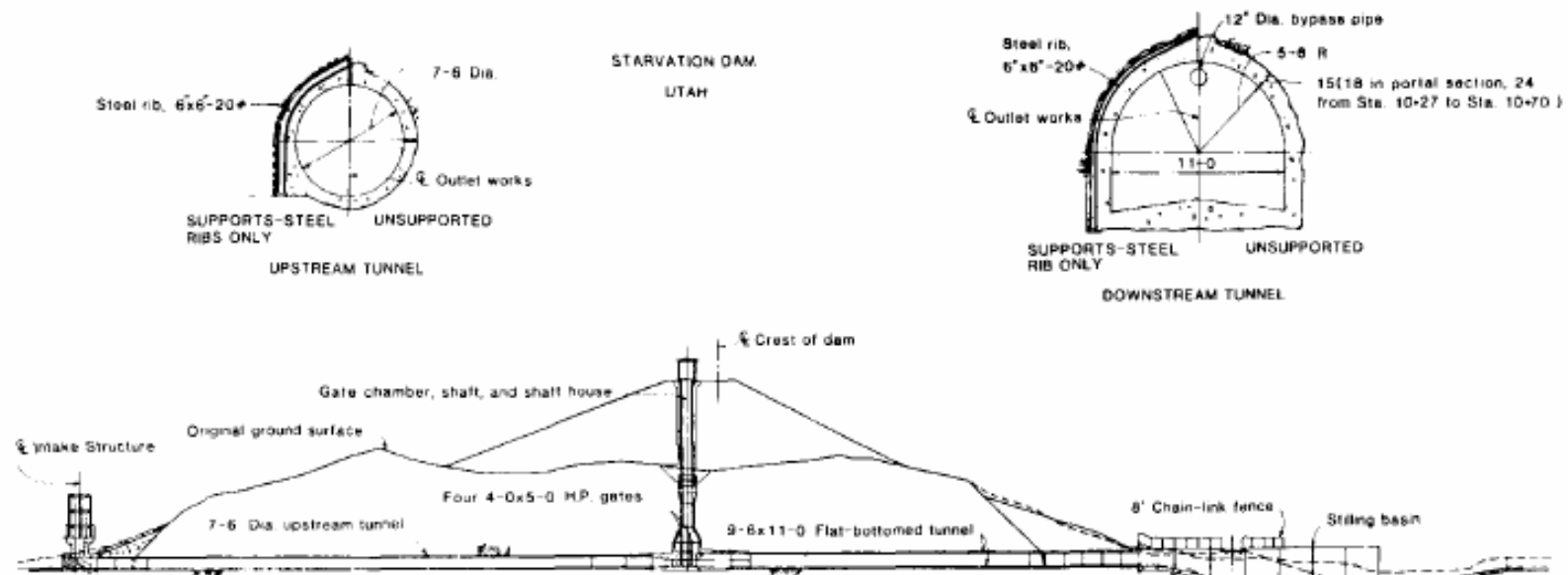
Siphon Spillway



Outlets



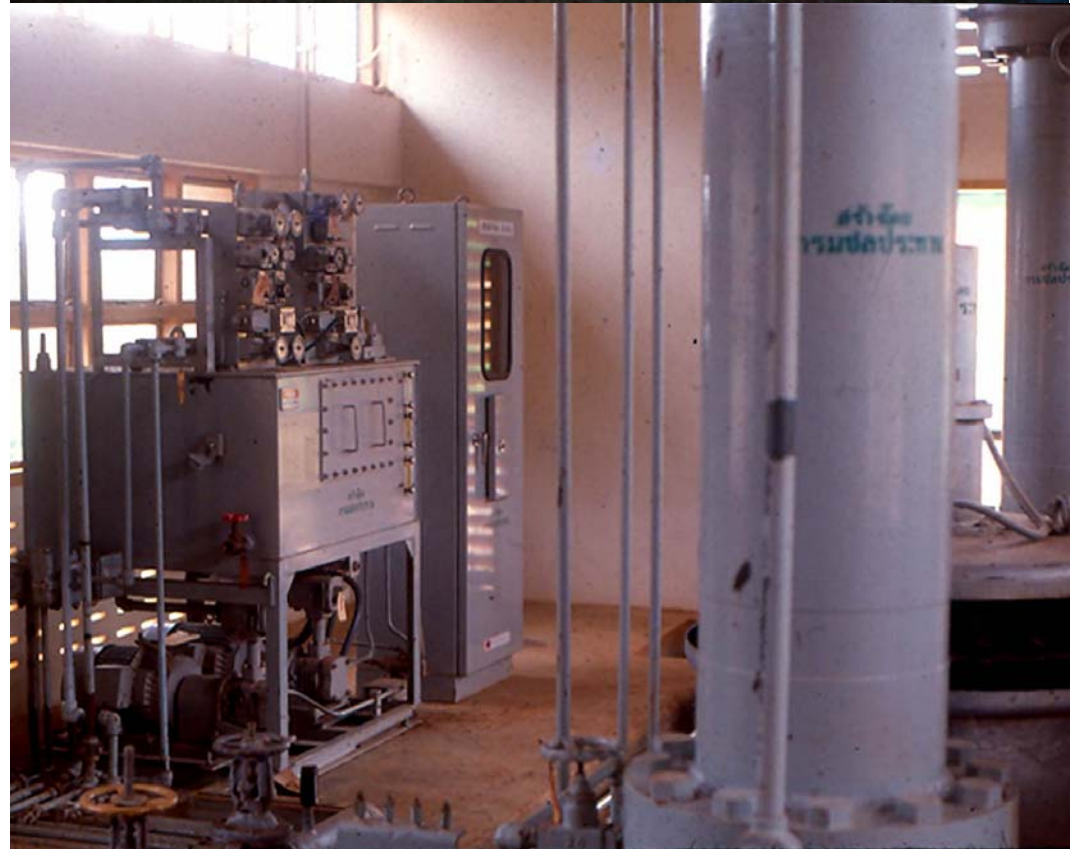
TRASHRACKED BOX INTAKE, PRESSURE UPSTREAM TUNNELS, HIGH PRESSURE GUARD GATE, PIPE IN DOWNSTREAM TUNNEL, CONTROL GATES, STILLING BASIN



UNCONTROLLED DROP INLET INTAKE, UPSTREAM PRESSURE TUNNEL, HIGH PRESSURE GATE CONTROL, FREE-FLOW DOWNSTREAM TUNNEL, STILLING BASIN

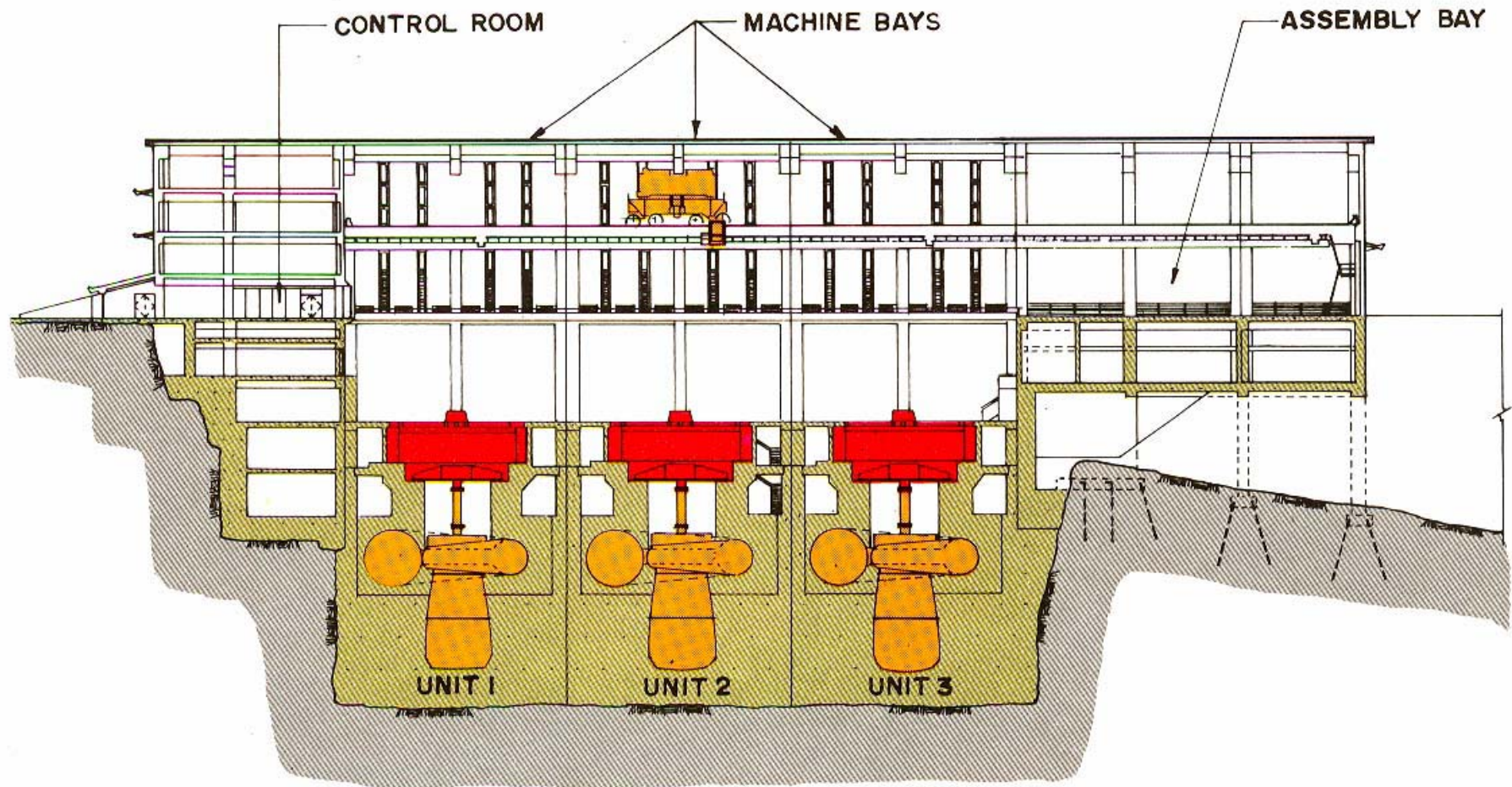








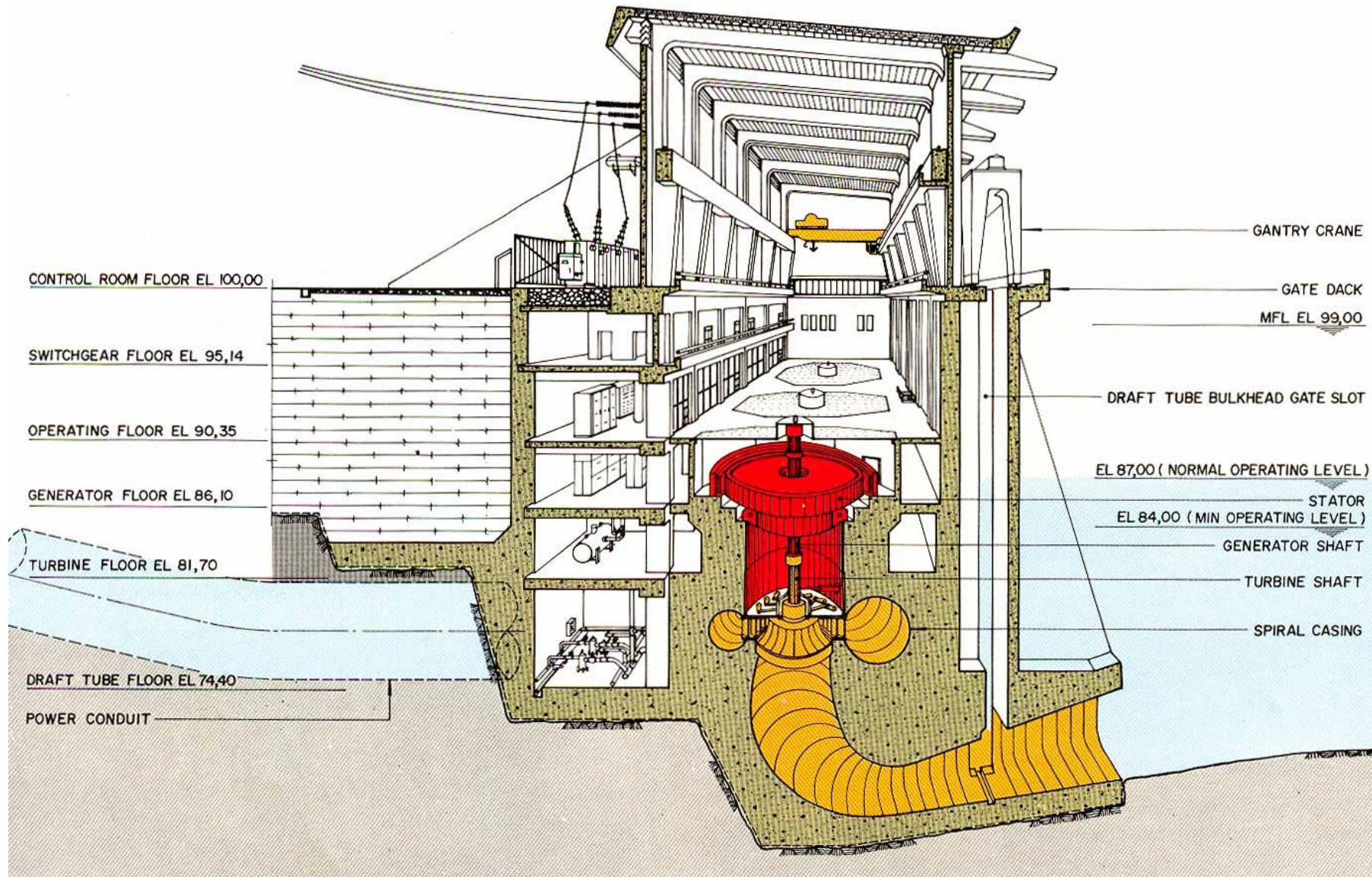
รูปตัดของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

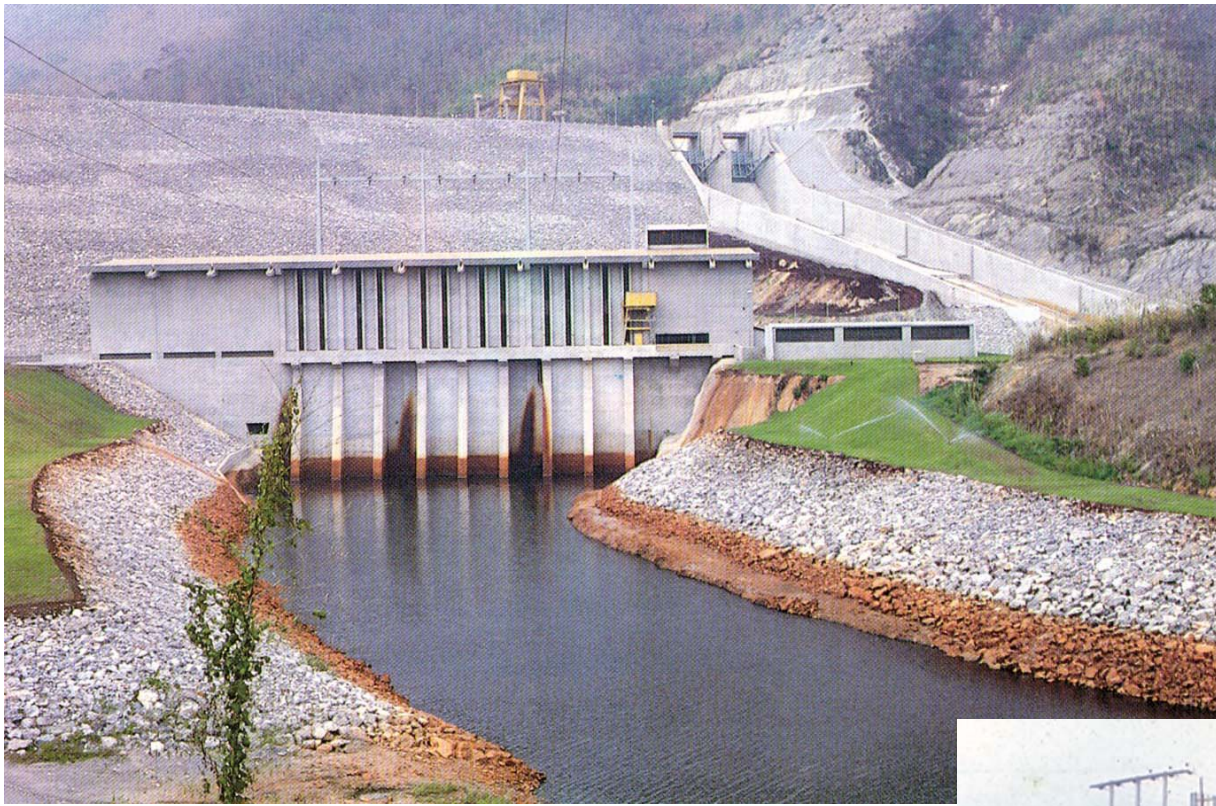


LONGITUDINAL SECTION

5 0 5 20 35 m

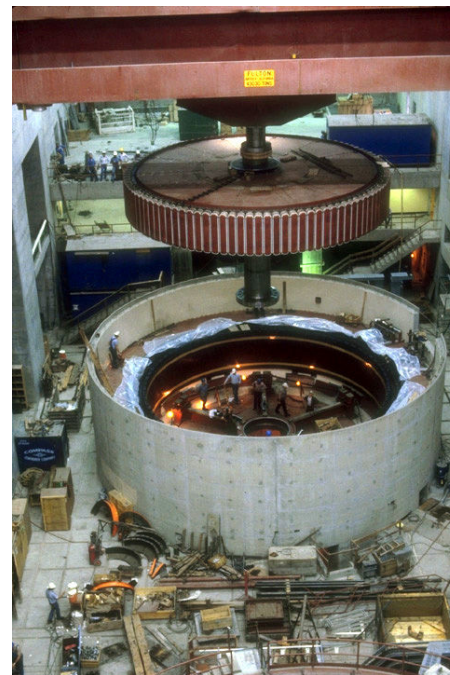
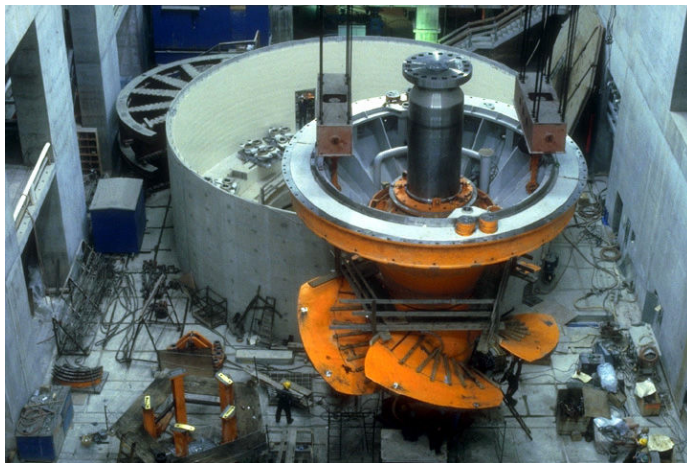
ลักษณะการติดตั้ง Turbine และ Generator



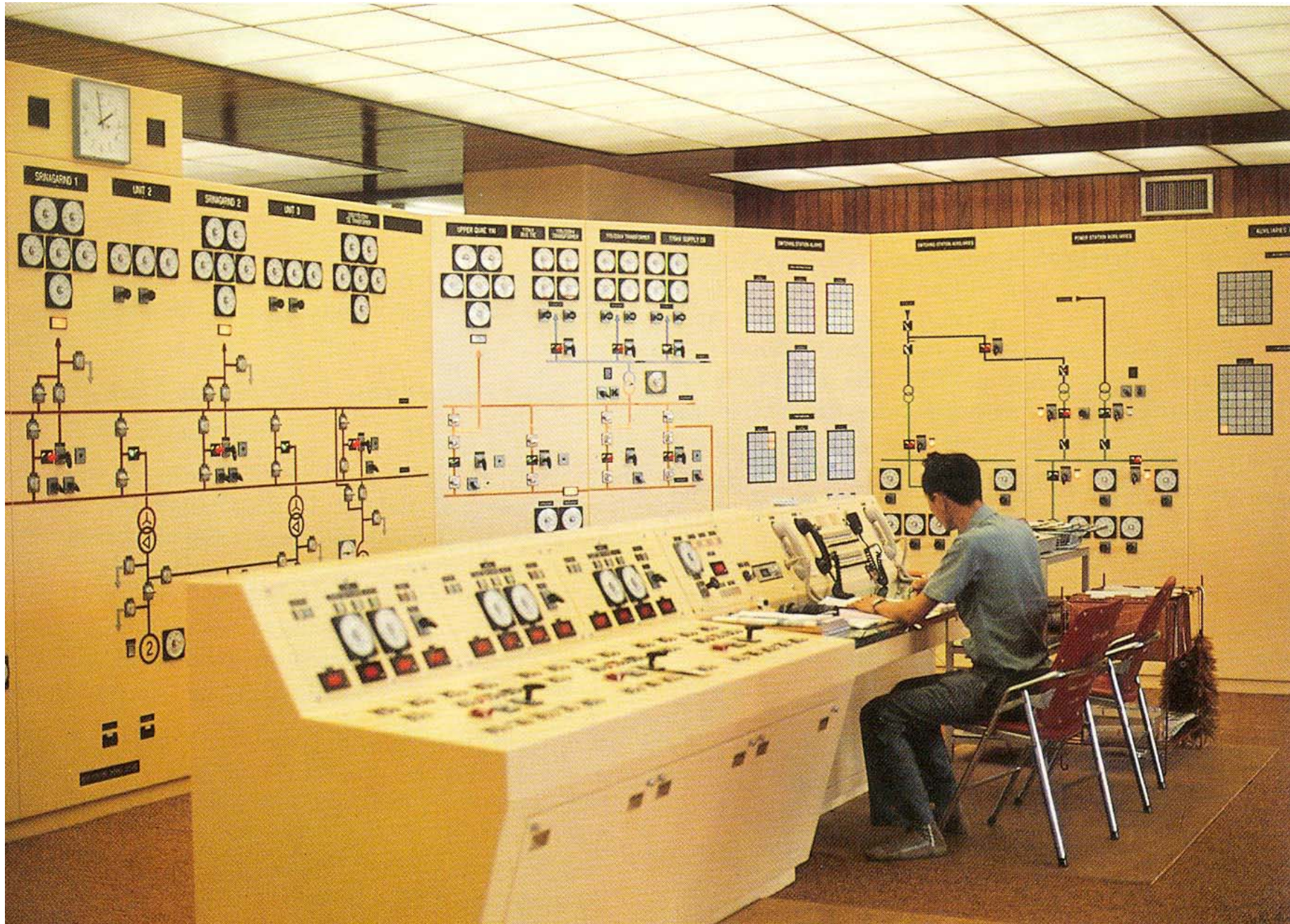




การติดตั้ง Turbine และ Generator



Power Plant Control Room





หลักการออกแบบเขื่อนดิน

หลักการออกแบบเขื่อน

Stability

ตัวเขื่อน ฐานรากและฐานยันของเขื่อน จะต้องมีความมั่นคงต่อการพังทลายในลักษณะการเคลื่อนพิบัติตลอดระยะเวลาการก่อสร้าง การเก็บกักน้ำใช้งาน และการลดระดับอย่างรวดเร็ว

Bearing Capacity

ระดับขุดของดินและหินฐานรากของตัวเขื่อนจะต้องอยู่ในระดับที่มีกำลังรับแรงแบกทาน (Bearing Capacity) ได้เพียงพอที่จะรับน้ำหนักของตัวเขื่อนได้

Seepage Control

น้ำที่ไหลซึมผ่านตัวเขื่อน ฐานรากและฐานยันของเขื่อน จะต้องถูกควบคุมให้การรั่วซึมในระดับต่ำกว่าที่กำหนด และไม่ก่อให้เกิดอันตรายในการกัดเซาะและพัดพาดินเม็ดละเอียดออกจนเป็นรูโพรง (Seepage erosion)

หลักการออกแบบเขื่อน

Free Board

ความสูงของสันเขื่อนจะต้องมีความสูงเผื่อ (Freeboard) เพื่อป้องกันการเอ่อล้นของน้ำและคลื่นในอ่าง และยังต้องเผื่อการทรุดตัว (Camber) ที่เกิดภายหลังการก่อสร้างให้เพียงพอเพื่อป้องกันน้ำล้นสันเขื่อน

Erosion Control

ผิวหน้าของลาดเขื่อนจะต้องมีการป้องกันการกัดเซาะจากคลื่นในอ่างในการกัดเซาะของน้ำผิวดินที่เกิดจากฝน

Material Management

การจัดใช้วัสดุก่อสร้างในตัวเขื่อนจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรม และความประหยัดเป็นเกณฑ์

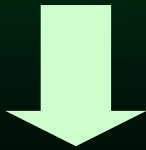
Detail Design



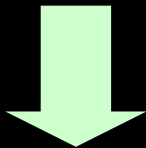
1. Detail Investigation

Foundation

Geological profile



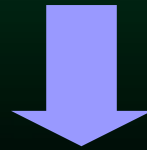
Excavation plan



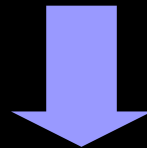
Foundation treatment

Construction Material

Material Quantities



Material Properties



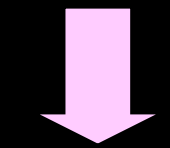
Borrow Area Concept

Loading

Water



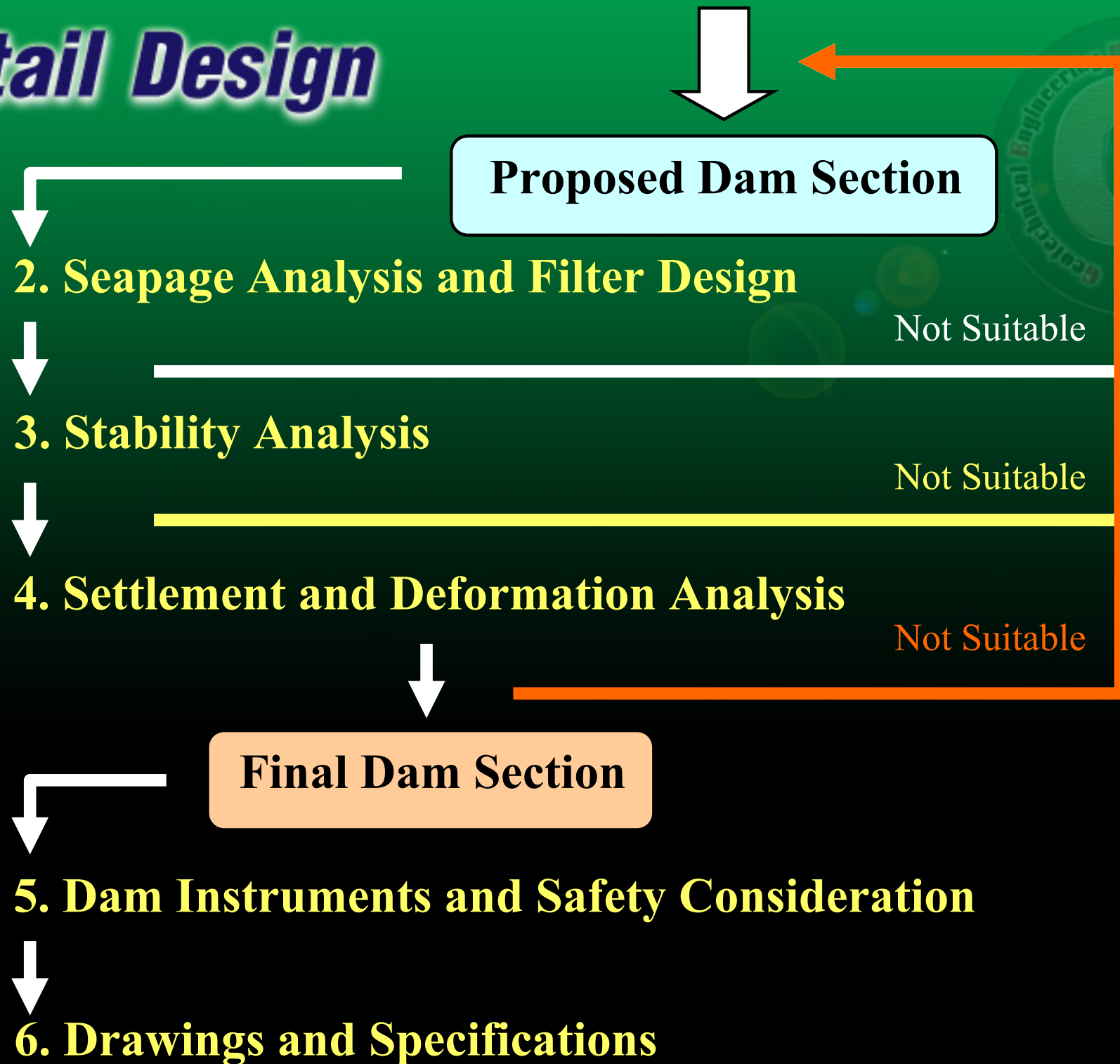
External Load



Earthquake

Proposed Dam Section

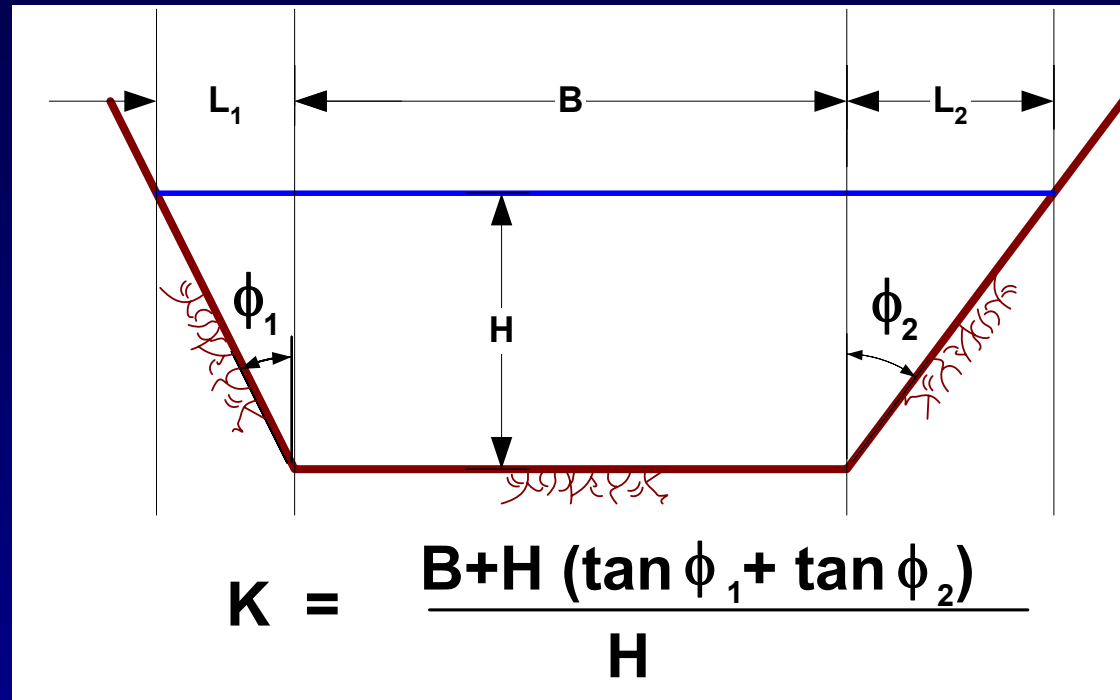
Detail Design



ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกชนิดเขื่อน

1. สภาพภูมิประเทศ
2. สภาพฐานรากและไหล่เขา
3. วัสดุก่อสร้าง
4. ลักษณะการใช้สอย
5. ลักษณะการผันน้ำ
6. ระยะเวลาการก่อสร้าง
7. สภาพภูมิอากาศ

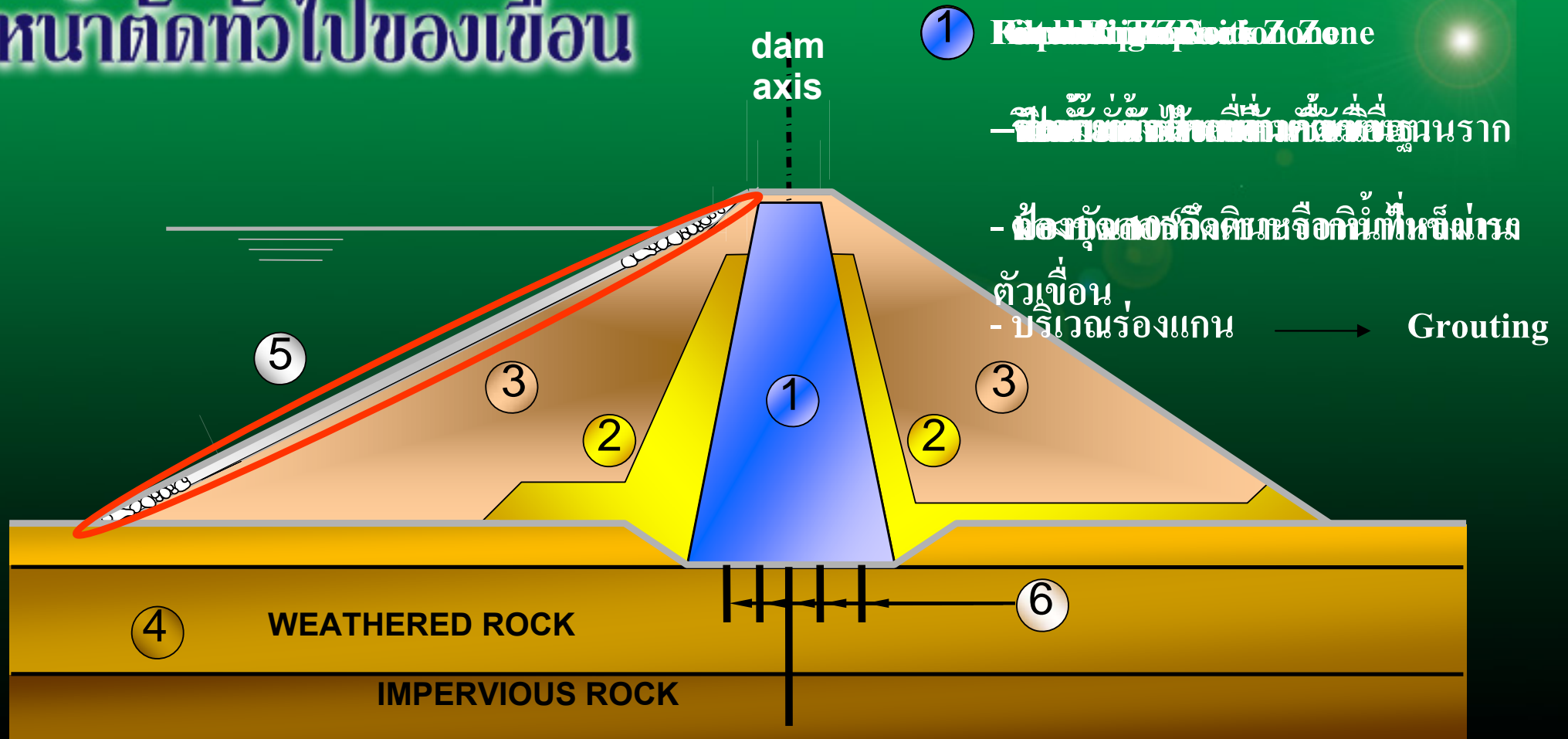
ลักษณะช่องเขา



Shape Valley Factor, K

- | | | | |
|---------------|-------------------------------|---|---------------------------|
| เมื่อ $K < 3$ | ช่องเขาลึกหรือเหว (Gorge) | ➡ | เขื่อนคอนกรีต |
| $3 < K < 6$ | ช่องเขาแคบ (Narrow Valley) | ➡ | เขื่อนคอนกรีต / เขื่อนหิน |
| $K > 6$ | ช่องเขาผายกว้าง (Wide Valley) | ➡ | เขื่อนหิน / เขื่อนดิน |

หน้าตัดทั่วไปของเขื่อน



① ~~Impervious Core Zone~~

- ผนังเขื่อนที่ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ

- ผนังกรองน้ำที่ป้องกันการกัดเซาะของดิน

ตัวเขื่อน
- บริเวณร่องแกน → Grouting

① Impervious Core Zone

② Filter and Transition Zone

③ Random Zone

④ Foundation Rock

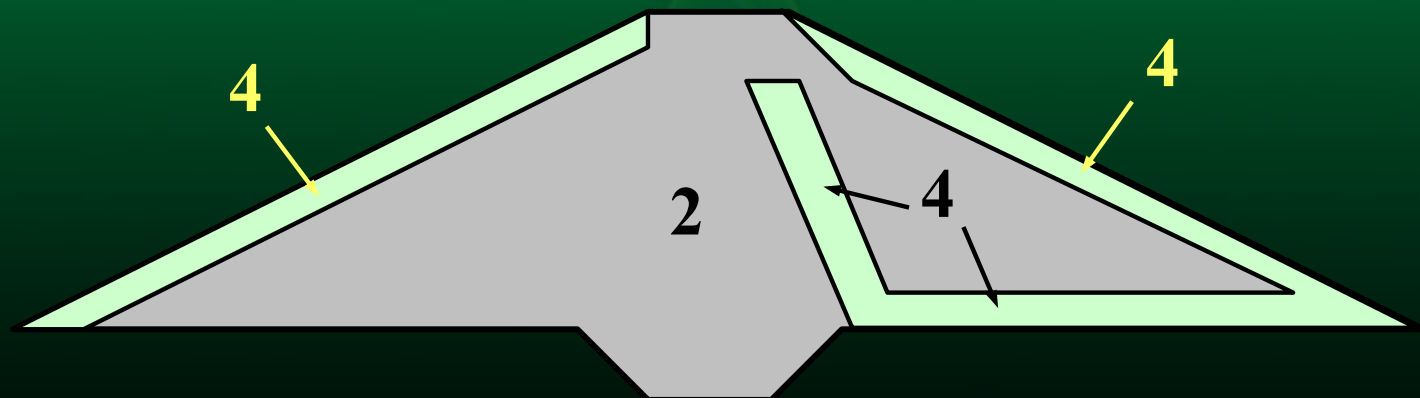
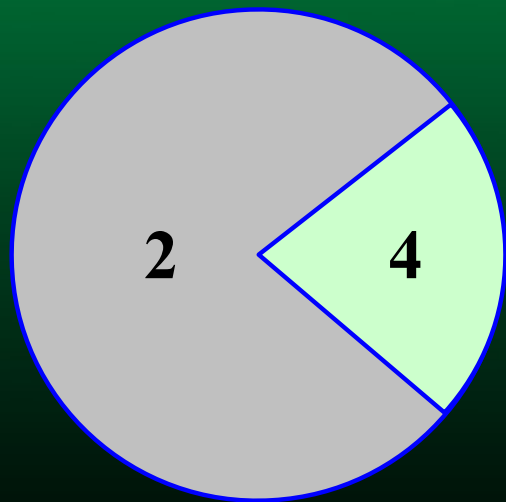
⑤ Rock Riprap

⑥ Grouting Zone

Proposed Dam Section



เขื่อนดินเนื้อเดียว



1 Impervious Material

2 Semi-Impervious Material

3 Semi-Pervious Material

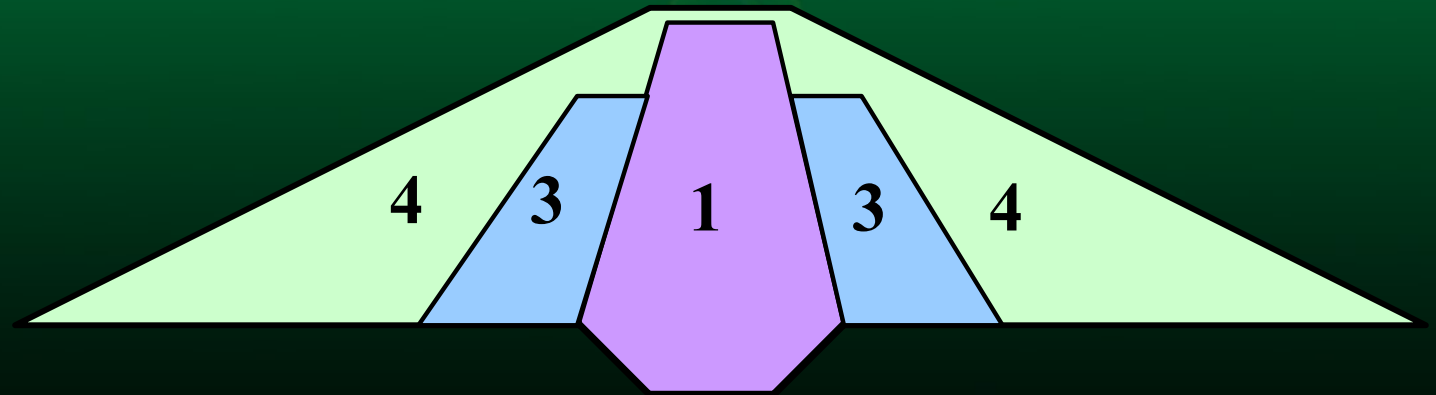
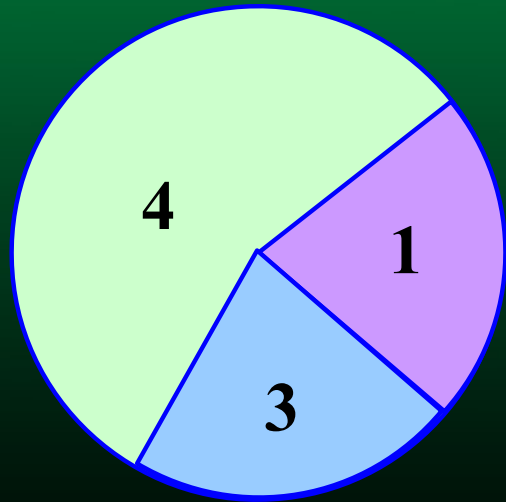
4 Pervious Material

5 Mixed Material
(Random)

Proposed Dam Section



เขื่อนดินแบ่งส่วน



1 Impervious Material

4 Pervious Material

2 Semi-Impervious Material

5 Mixed Material

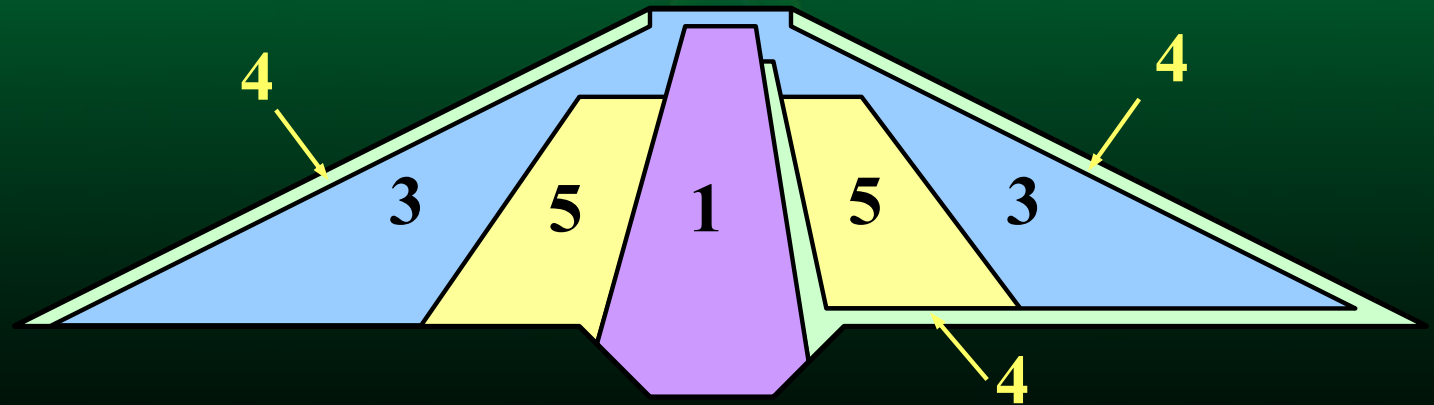
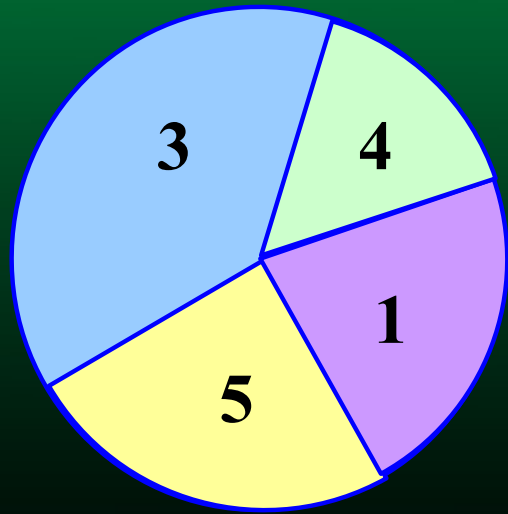
3 Semi-Pervious Material

(Random)

Proposed Dam Section



เขื่อนดินแบ่งส่วนแบบมี Random Zone



1 Impervious Material

4 Pervious Material

2 Semi-Impervious Material

5 Mixed Material

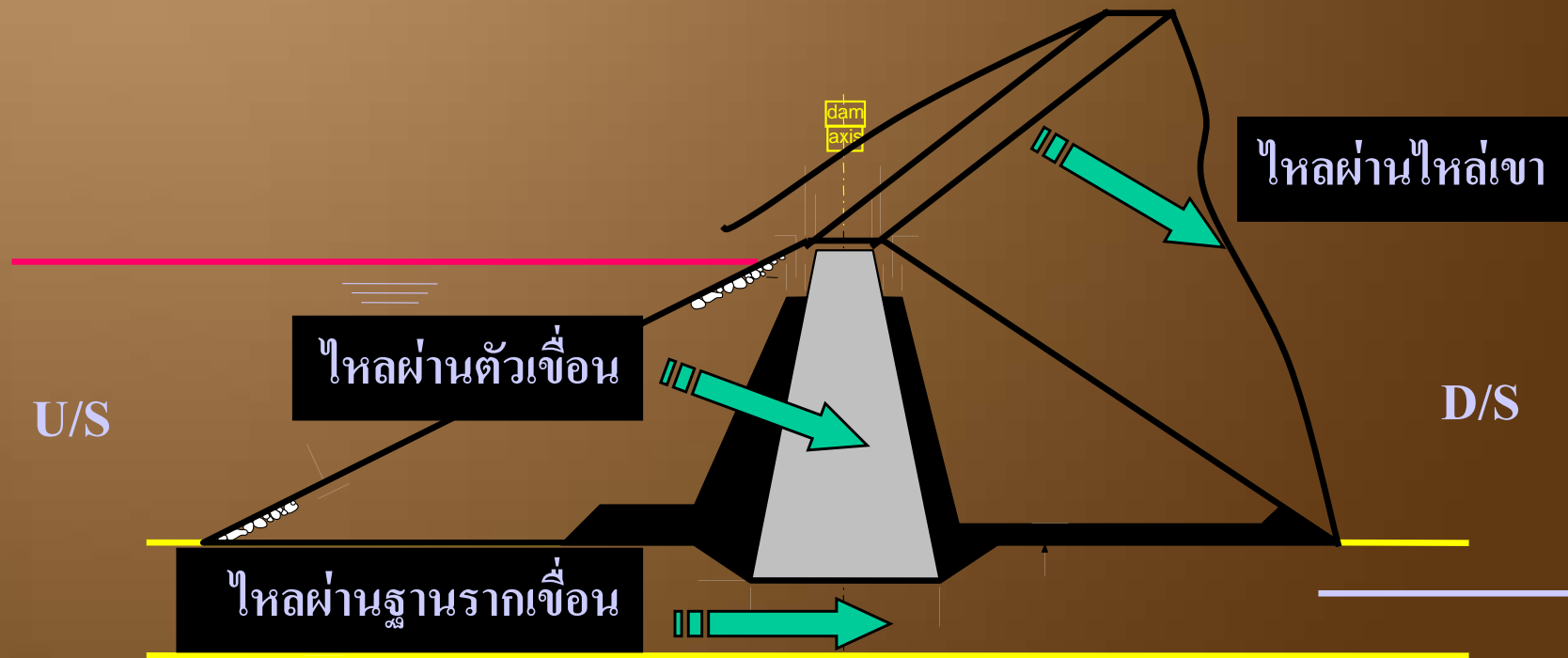
3 Semi-Pervious Material

(Random)

การวิเคราะห์การไหลซึม ของน้ำผ่านเขื่อน

การไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อน

เขื่อนปิดกั้นลำน้ำ → เกิดความต่างศักย์ระหว่าง U/S-D/S → เกิดการไหลของน้ำ

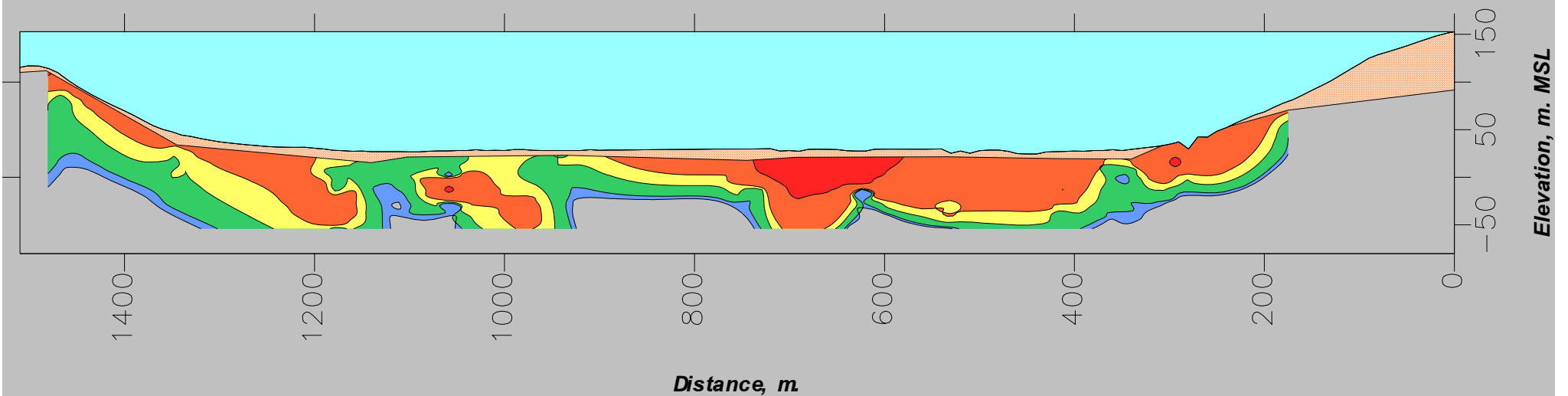


LUGEON MAP






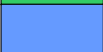


PROJECT: Khlong Tha Dan Dam

LOCATION: Along Dam Axis of RCC-B



LEGEND

	Overburden
	> 50 Lu = Previous Rock
	10 - 50 Lu = Rather Previous Rock
	5 - 10 Lu = Semi - Previous Rock
	1 - 5 Lu = Semi - Imprevious Rock
	< 1 Lu = Imprevious Rock

ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อน

การกัดเซาะและการพัดพาวัสดุ (Seepage Erosion)

- ลาดเขื่อน
- ภายในตัวเขื่อน
- ฐานรากเขื่อน
- ฐานยัน
- ข้างท่อลอด
- ใต้ทางระบายน้ำดิน

การรั่วซึมมากทำให้สูญเสียน้ำเก็บกัก (Excessive Leakage)

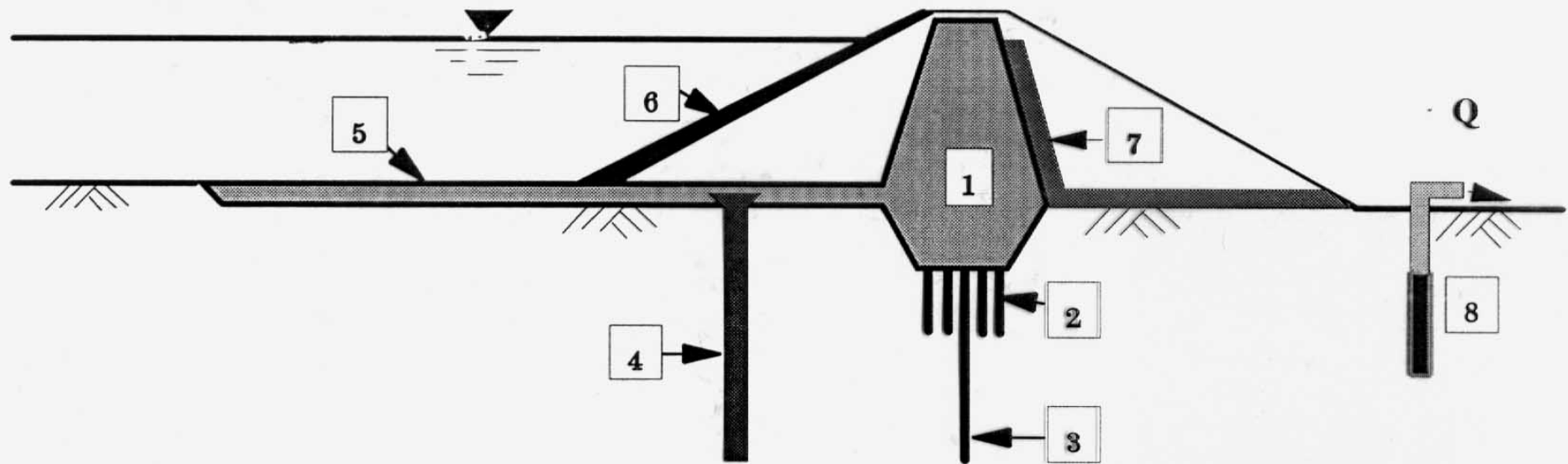
ผ่านตัวเขื่อนและบริเวณข้างเคียง
ผ่านขอบและกันอ่างเก็บน้ำ

ความดันสูงในบริเวณต่างๆ มีผลต่อเนื่องถึงการเคลื่อนพัง

ลาดเขื่อน

ลาดดินธรรมชาติบริเวณขอบอ่างเก็บน้ำ

รูปแบบการปิดกั้นและควบคุมน้ำผ่านเขื่อน

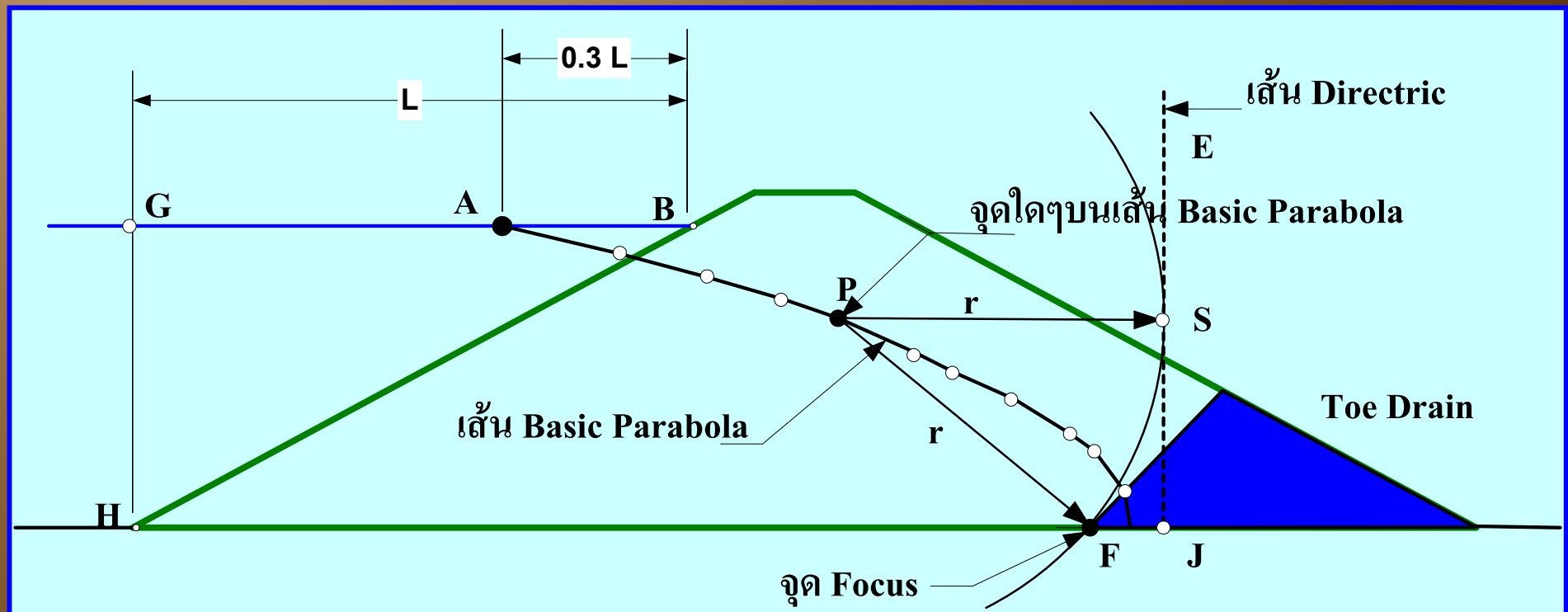


- 1 IMPERVIOUS CORE
- 2 BLANKET GROUTING
- 3 CURTAIN GROUTING
- 4 CUTOFF WALL

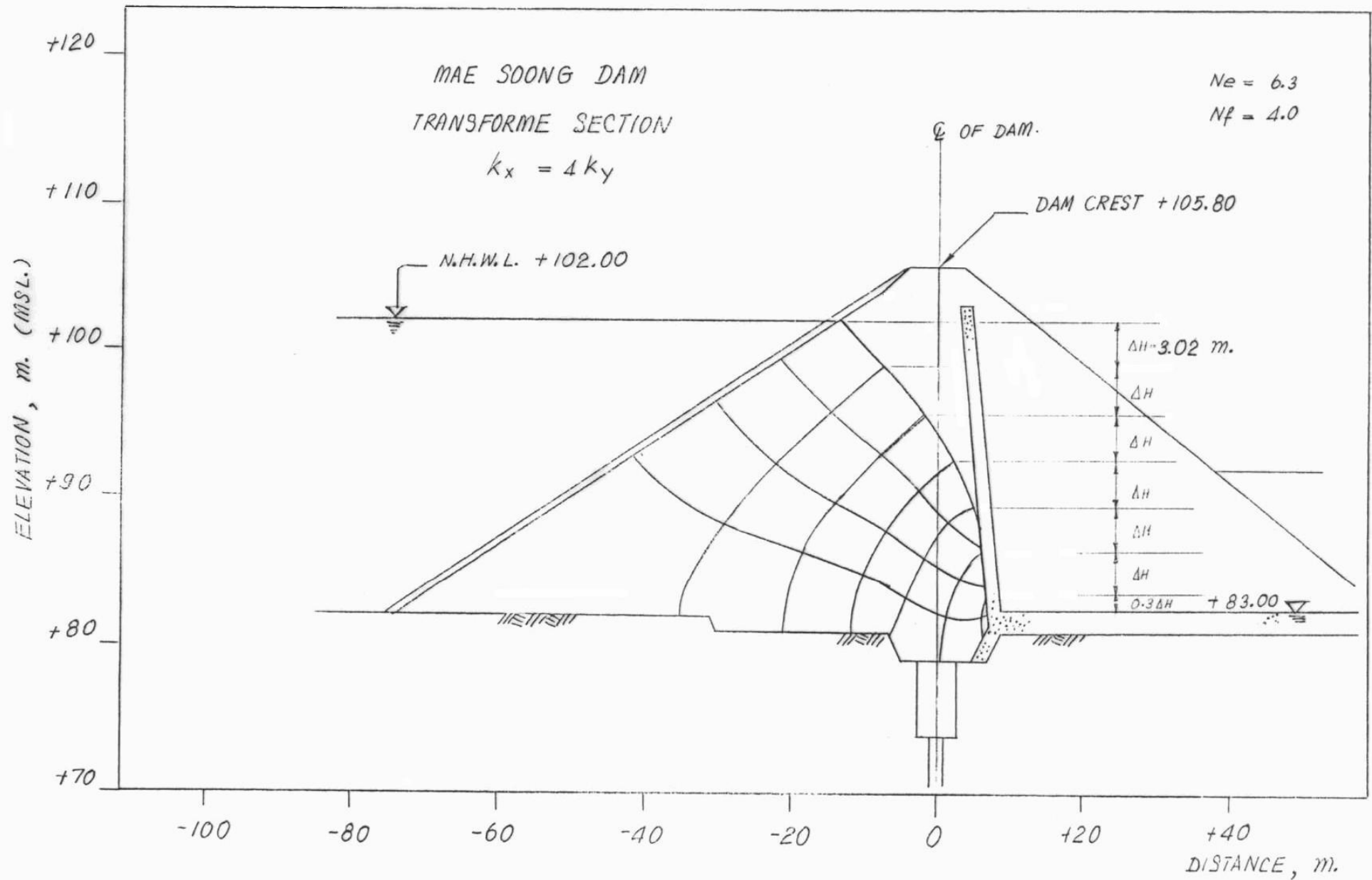
- 5 IMPERVIOUS BLANKET
- 6 IMPERVIOUS FACE
- 7 FILTER AND DRAIN
- 8 RELIEF WELL

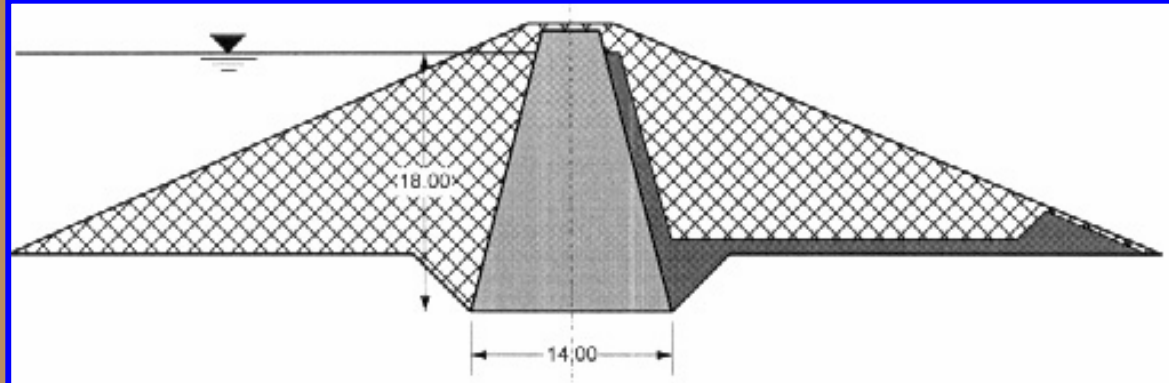
การเขียน Flownets ในงานเขื่อน

เขื่อนเป็นพื้นที่การไหลซึมที่ไม่มีขอบเขตของ Top Flow Line ที่ชัดเจน จึงต้องอาศัยวิธีการของ Casagrande (1937) ในการหาตำแหน่ง

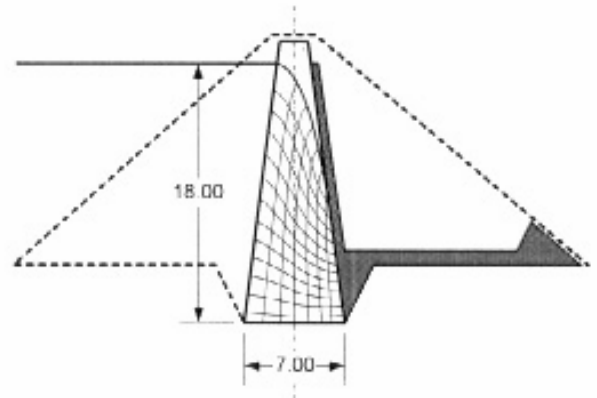


การเขียน Flownet ด้วยมือ

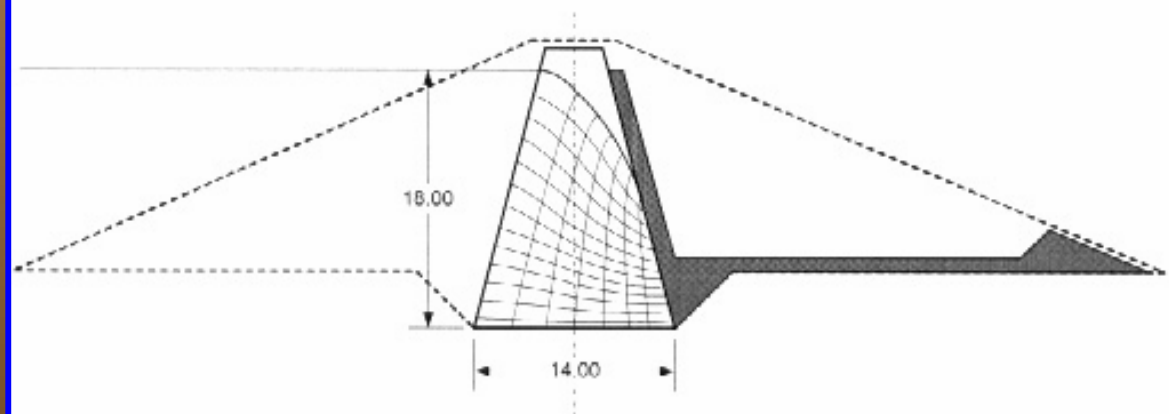




ก. หน้าตัดของเขื่อนใน Natural Scale



ข. Flownets ของหน้าตัดเขื่อนใน Transformed Scale ($X_1 = 0.5 X$)



ค. Flownets ของหน้าตัดเขื่อนใน Natural Scale

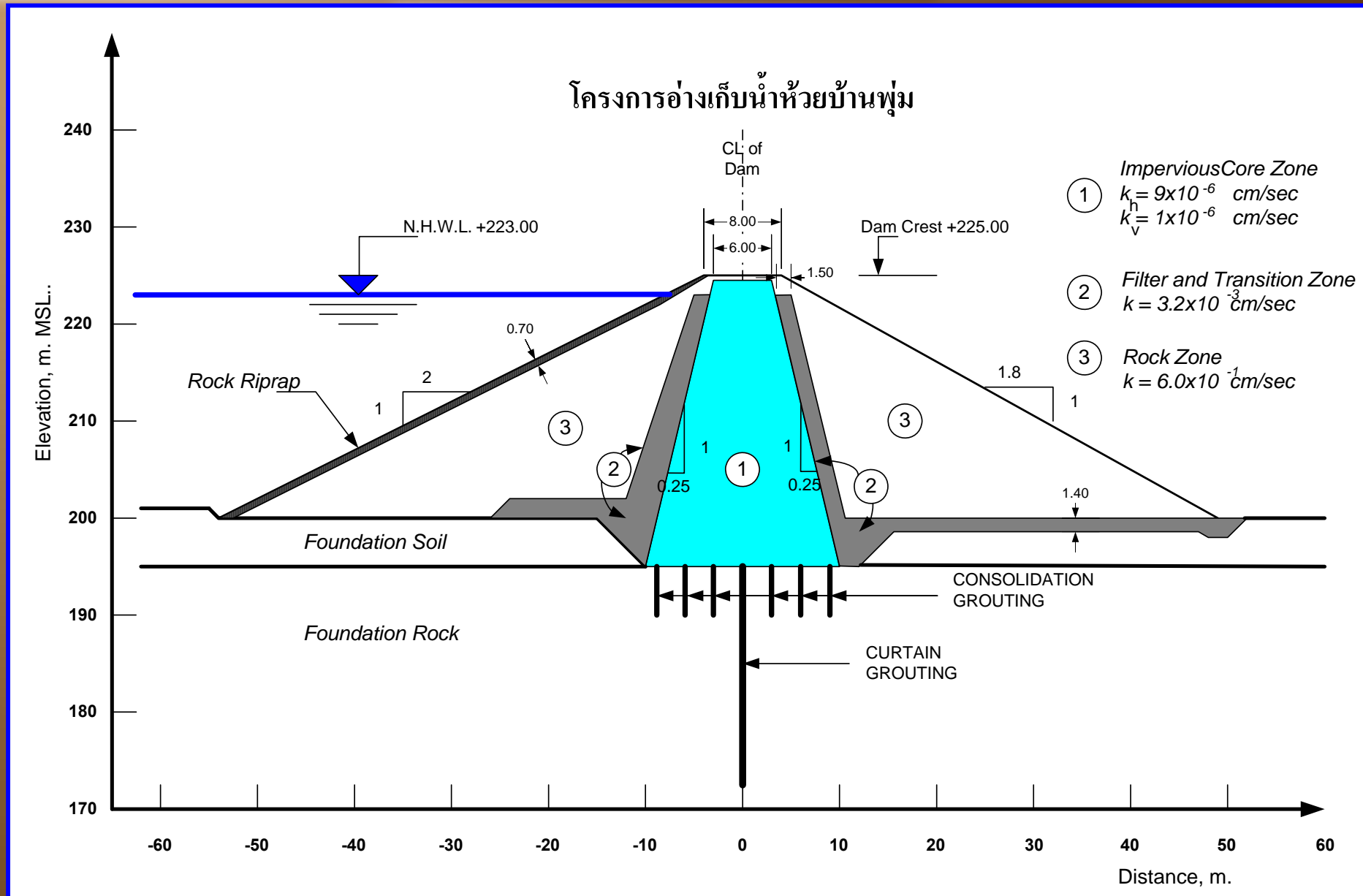
การเขียน Flownets
ของเขื่อน กรณีดิน
เป็น Anisotropic

การวิเคราะห์การไหลซึมในเขื่อนโดยวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์

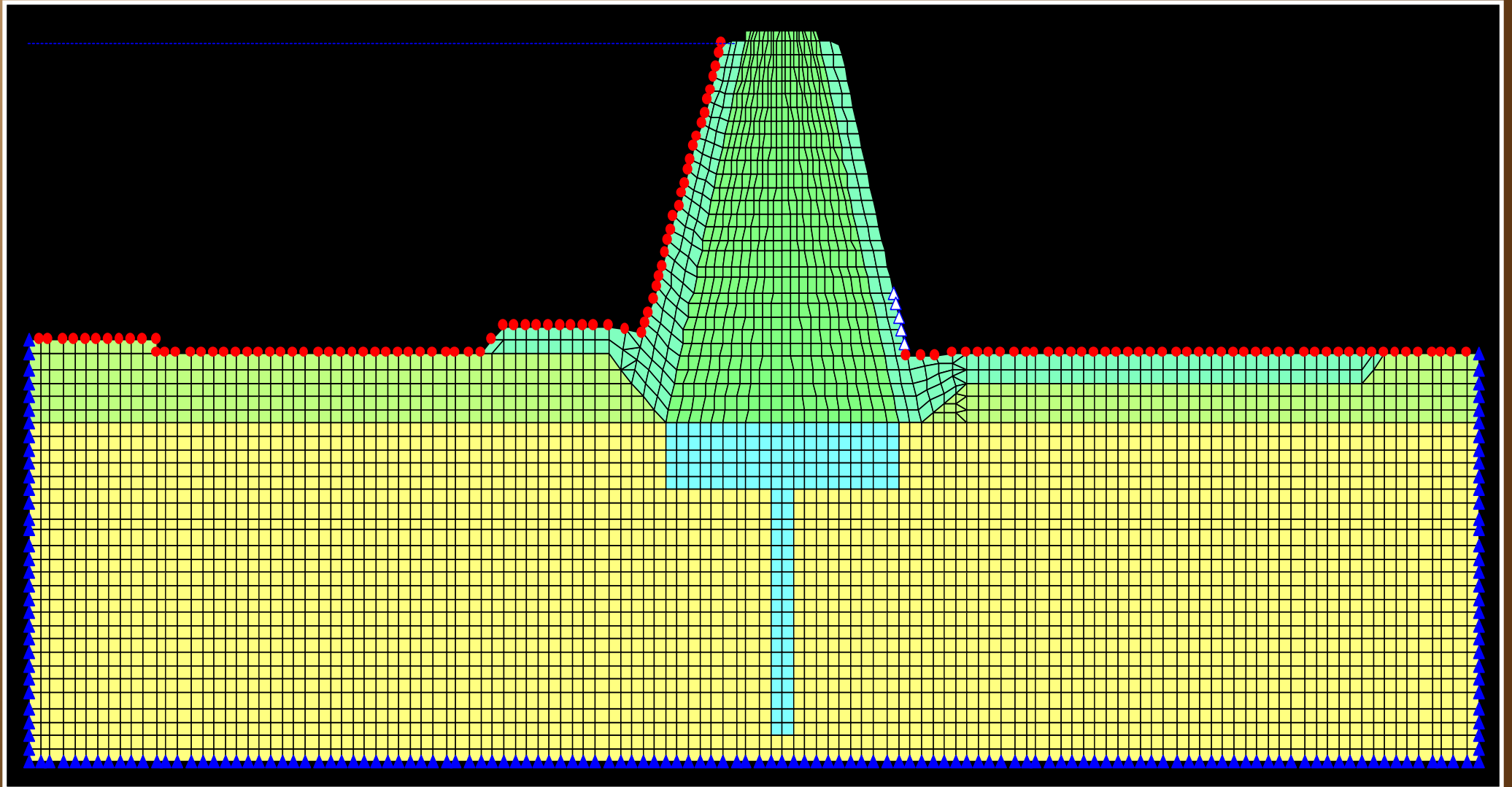
การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อนกรณีที่สลับซับซ้อนและมีหลายกรณีที่ต้องทำการศึกษาในปัจจุบันใช้วิธี Finite Element Method

1. โดยการแบ่ง พื้นที่การไหลซึมออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ
2. ระบุเงื่อนไขการไหลและความดันน้ำที่ขอบเขตการไหลในส่วนต่างๆให้ถูกต้อง
3. สร้าง Matrix จากสมการพื้นฐานของการไหลซึม
4. Invert Matrix เพื่อให้ได้คำตอบที่ต้องการ

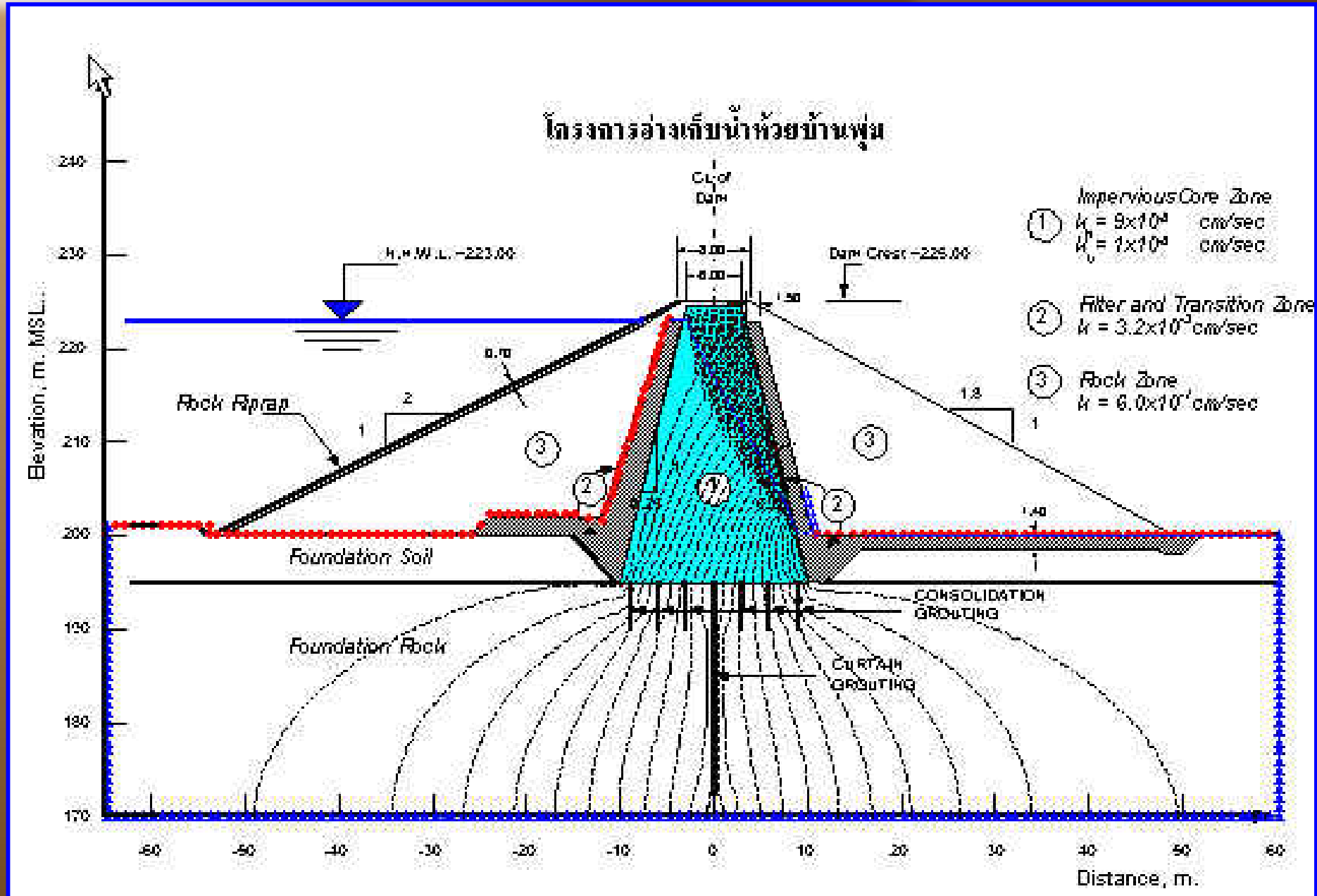
การวิเคราะห์การไหลซึมในเขื่อนโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



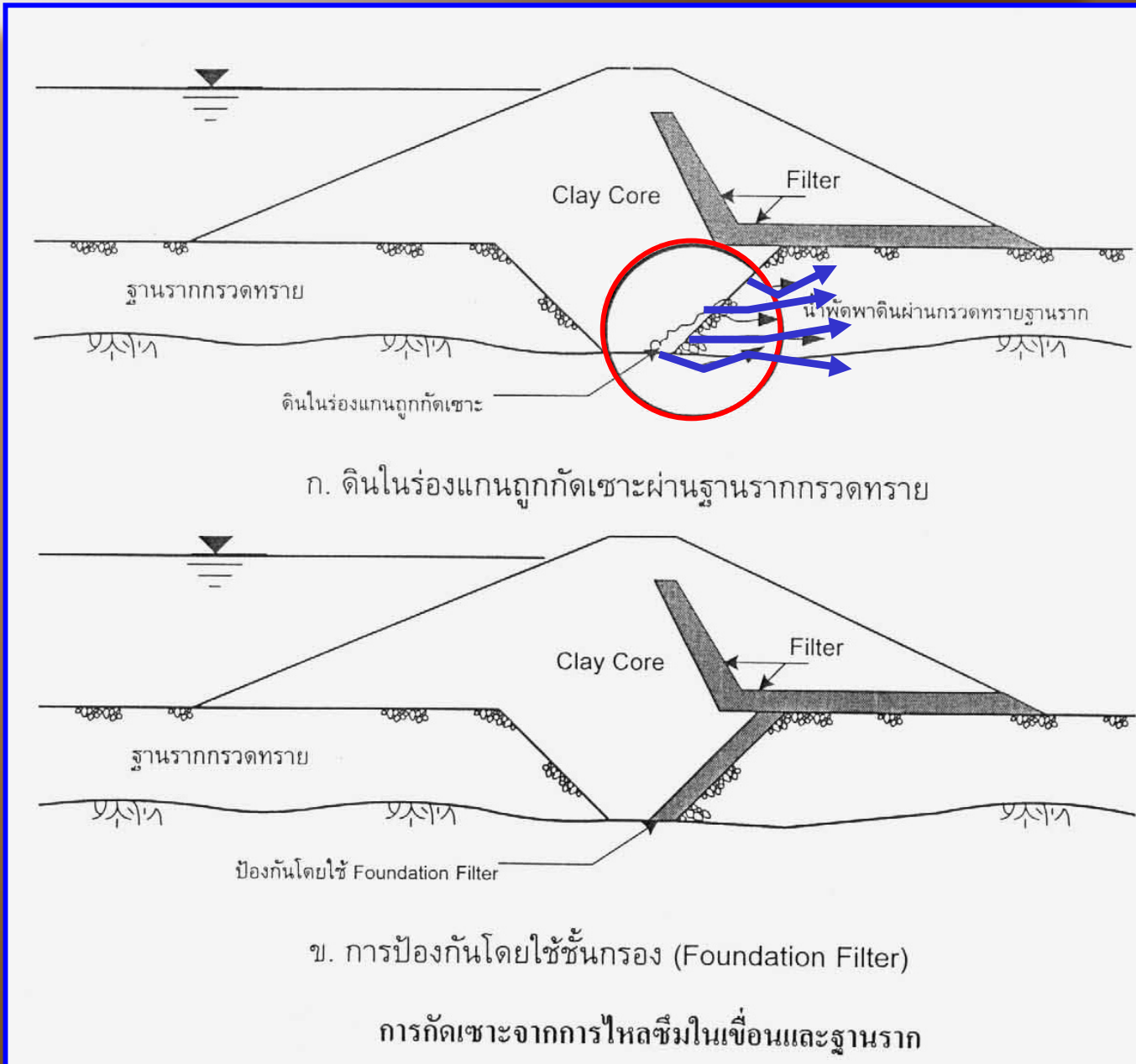
การวิเคราะห์การไหลซึมในเขื่อนโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



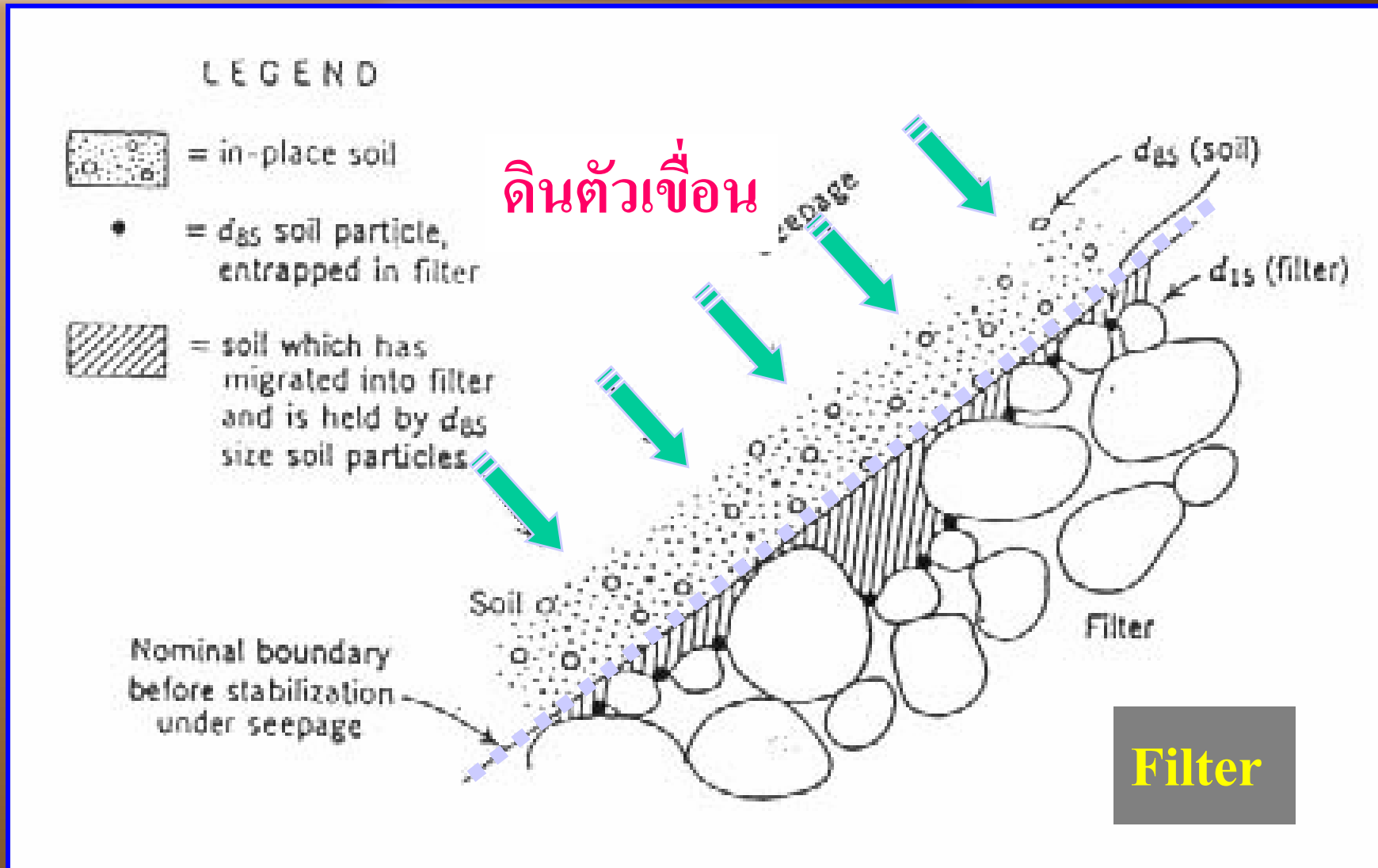
การวิเคราะห์การไหลซึมในเขื่อนโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



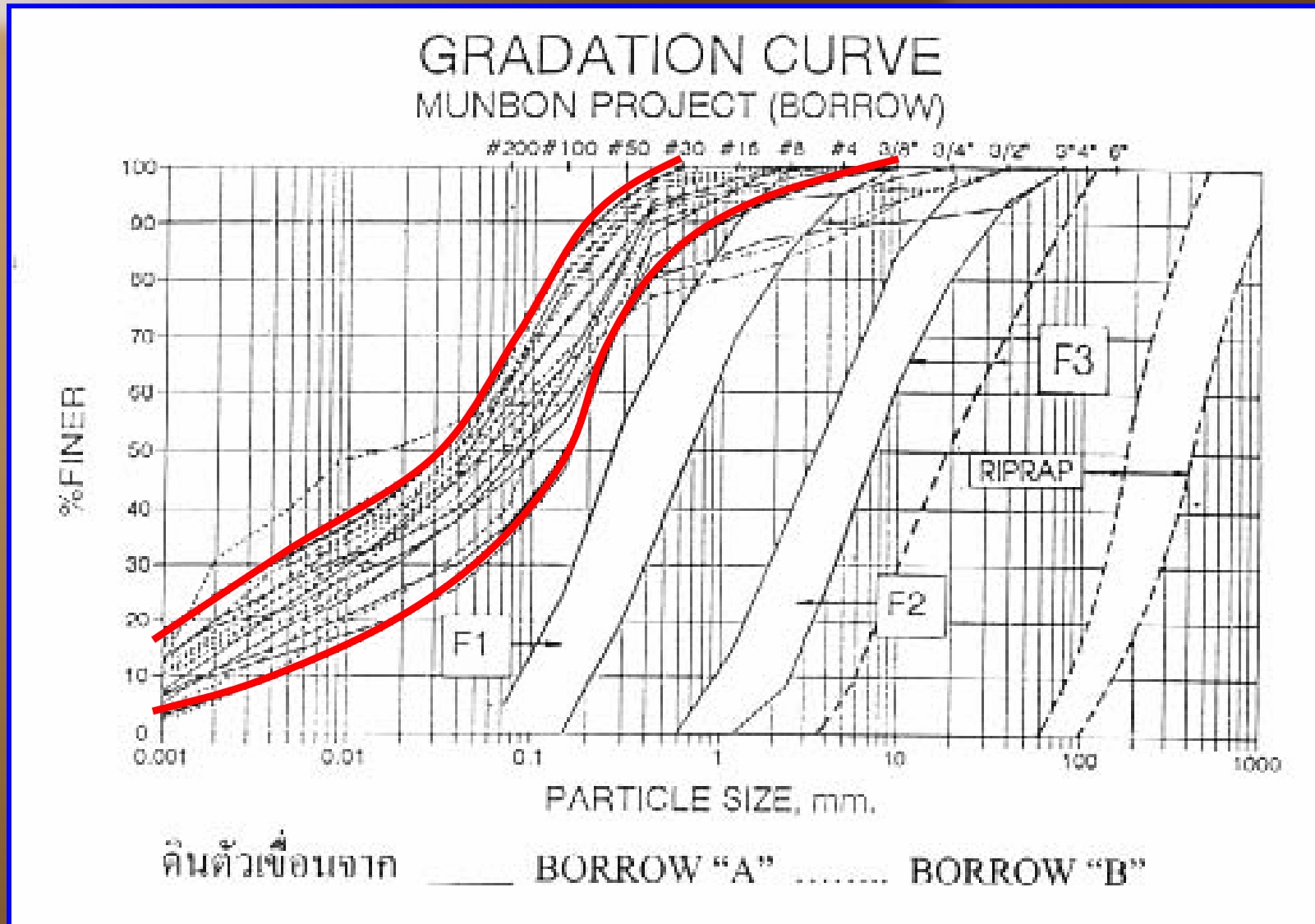
การกัดเซาะจากน้ำไหลซึมผ่านฐานรากเขื่อน



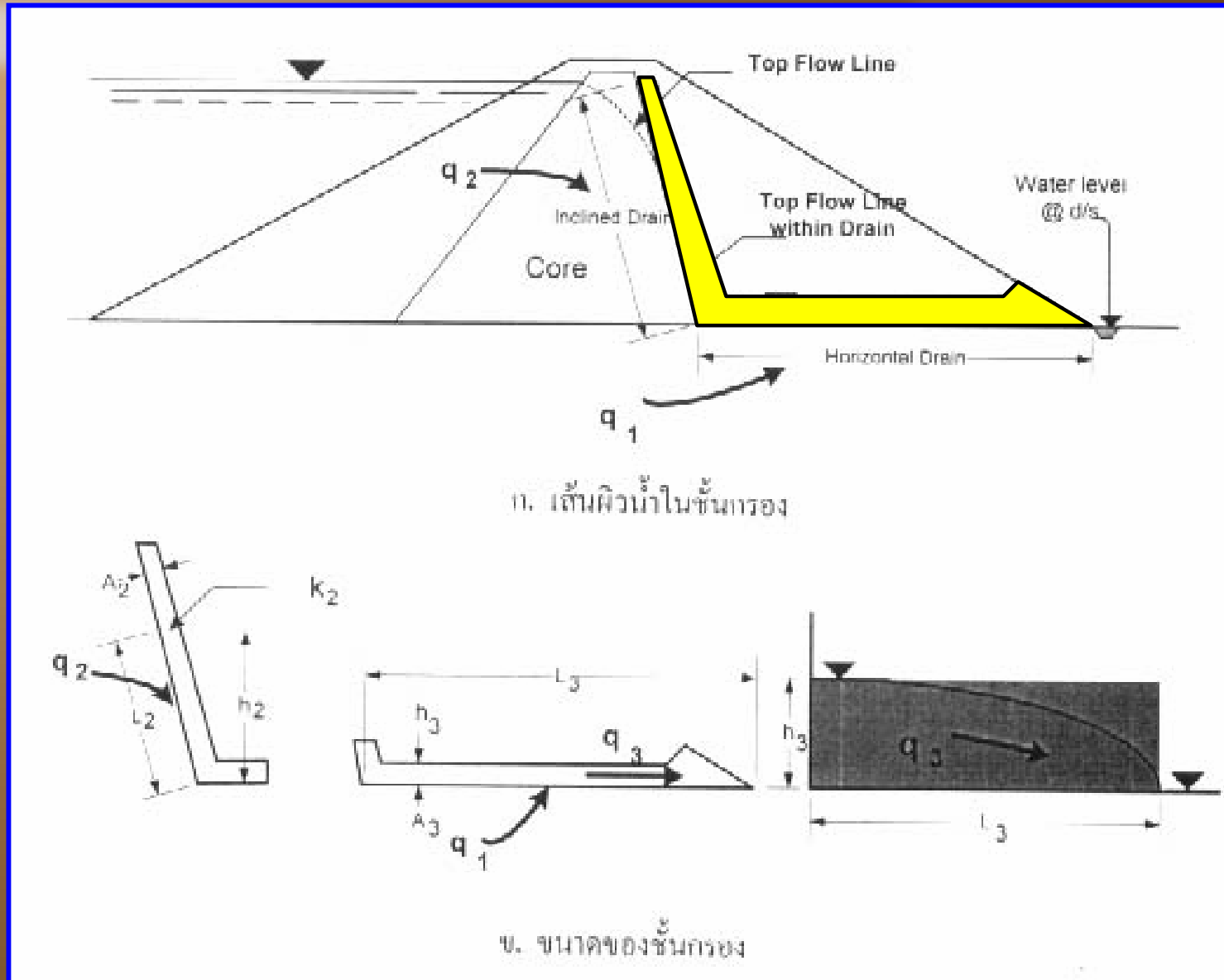
การพัดพาเม็ดดินผ่านชั้นกรอง



Gradation ของชั้นกรอง

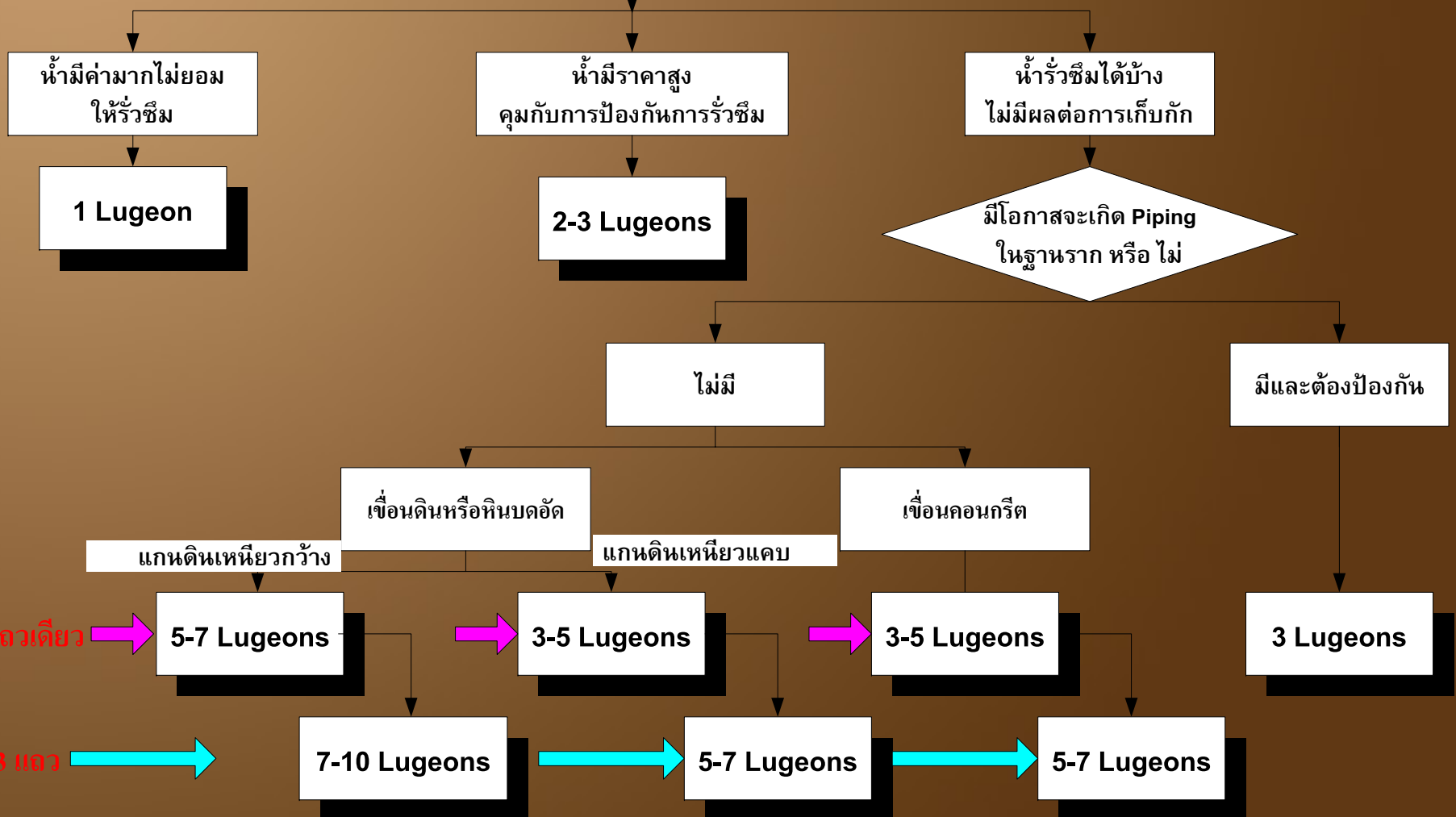


ความหนาของชั้นกรอง



การอัดฉีดน้ำปูนใต้ฐานเขื่อน

การสูญเสียน้ำจากการรั่วซึมมีความจำเป็นเพียงใด



GERD

เครื่องมือและวิธีการ





Stability Analysis

Stability Analysis

การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อน

คือ ขั้นตอนสำคัญในการออกแบบหน้าตัดเขื่อนและกำหนดความเอียงของลาดเขื่อนทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ โดยต้องออกแบบให้มีอัตราส่วนปลอดภัย (F.S.) ที่เหมาะสมในทุกกรณีของการใช้งาน

ข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์ ได้แก่

1. รูปร่างหน้าตัดของเขื่อนที่วิกฤต
2. ความแข็งแรงและหน่วยน้ำหนักของดินและหินในส่วนต่างๆของหน้าตัดเขื่อน
3. ความดันน้ำในตัวเขื่อน
4. แรงกระทำภายนอกแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหวในบริเวณที่ตั้งเขื่อน

สภาวะของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. Total Strength (S_u , c , ϕ)

กำลังรับแรงเฉือนของดินรวมความดันน้ำที่เกิดขึ้นภายใต้
อัตราการบรรทุกน้ำหนัก ความแน่นและความชื้นใกล้เคียงกับที่
เกิดขึ้นจริงในสนาม ซึ่งการวัดหรือประมาณค่าแรงดันน้ำใน
มวลดินได้อย่างถูกต้องและแม่นยำทำได้ยาก ดังนั้นค่าแรงดัน
น้ำจะถูกพิจารณา รวมไปกับค่ากำลังของดินในขณะทดสอบ

สภาวะของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์

2. Effective Strength (c , ϕ , u)

กำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลของดินแยกจากความดันน้ำ เนื่องจากการวิเคราะห์คาดการณ์หรือควบคุมค่าแรงดันน้ำในมวลดินทำได้ถูกต้องและแม่นยำ

Simplified Bishop

วิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้กันโดยมีสมมุติฐานว่า

เช่นเดียวกับ Slices Method แต่ได้พิจารณาแรง
- เชื่อมมีการพิบัติเป็นส่วนโค้งของวงกลม
และสมดุลงของแรงละเอียดขึ้น คือ คัดสมดุลงของ

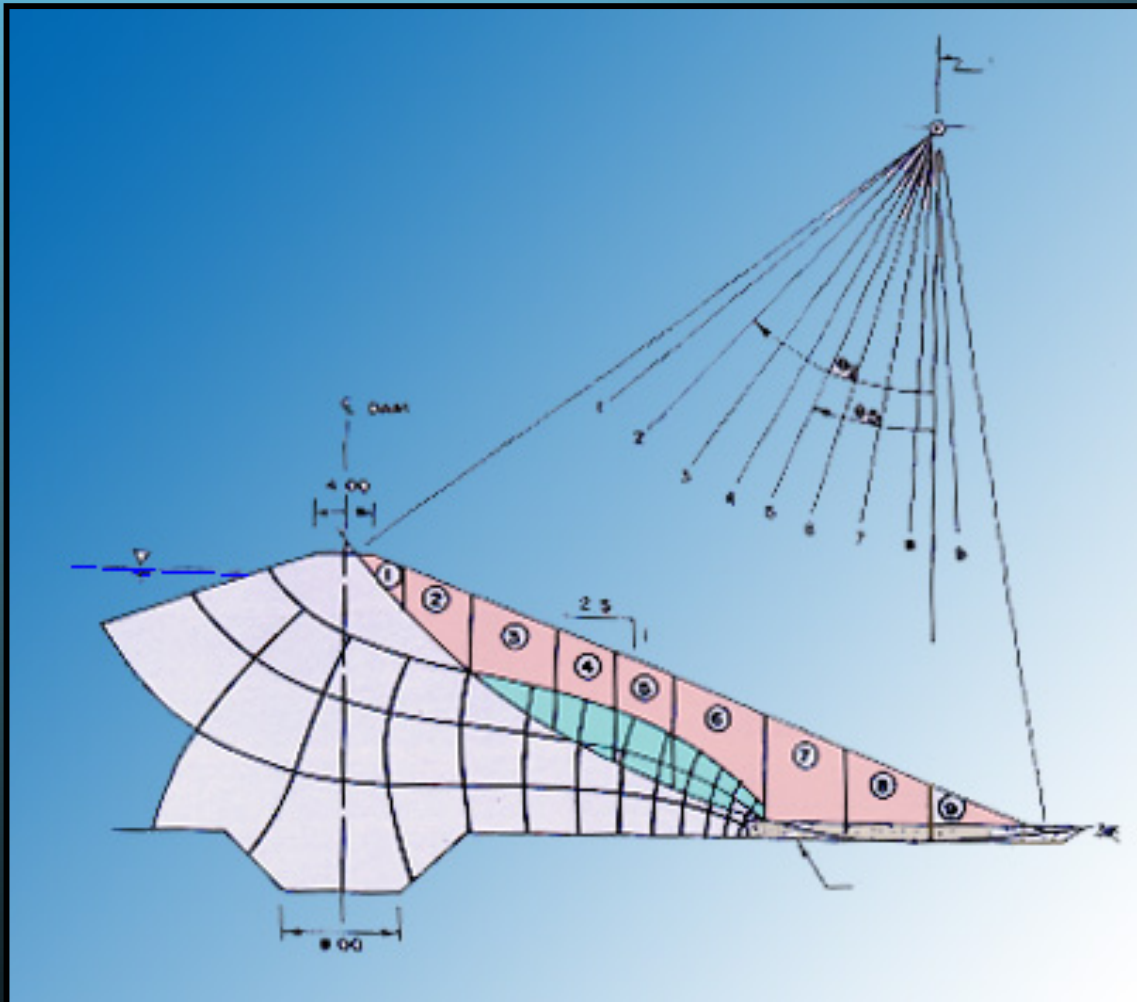
Moment ของมวลดินถึงจุดพิบัติแต่เพียงอย่างเดียว

เฉพาะแรงของมวลดินทั้งหมดแต่เพียงอย่างเดียว

แล้วยังนำเอาแรงที่กระทำด้านข้างของแท่งดินมา

พิจารณาด้วย

Simplified Bishop



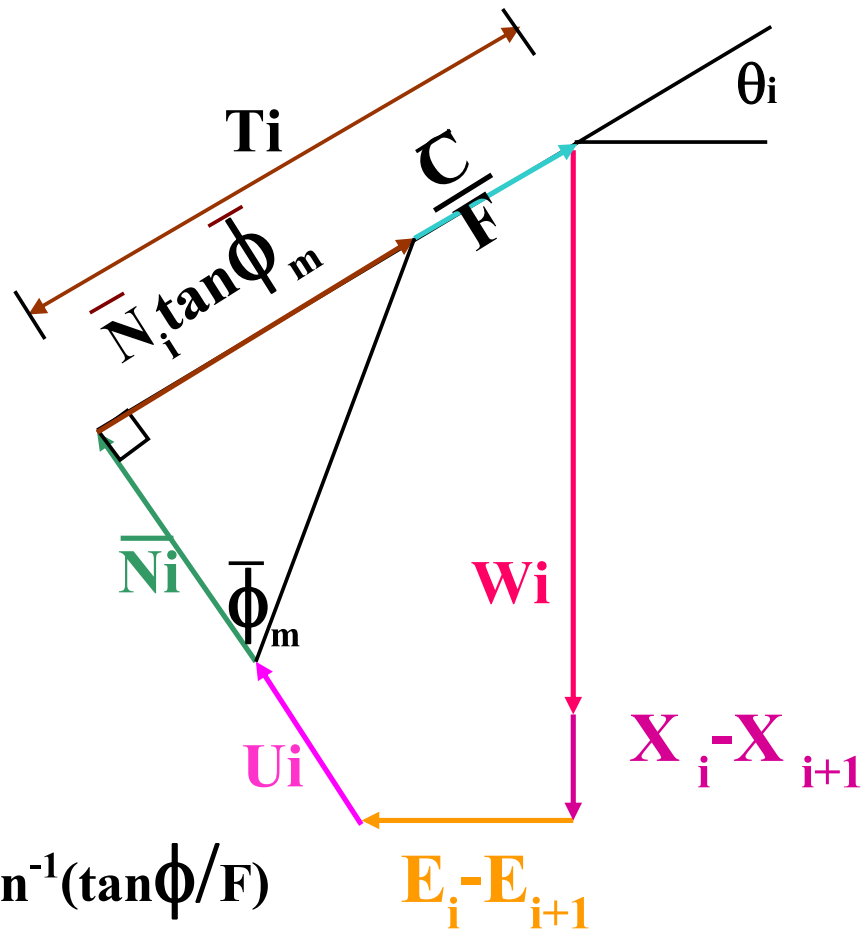
กำหนดผิวเคลื่อนและจุด
ศูนย์กลางของวงกลม แบ่งมวล
ดินในส่วนที่เคลื่อนพังออกเป็น
ชั้นย่อยๆ

สมมุติค่า F_{ai} แล้วคำนวณหา
 F_{ci} ตามสมการของวิธี Bishop

เปรียบเทียบค่า F_{ai} กับ F_{ci}
ให้ได้ละเอียดถูกต้องตามที่
ต้องการ

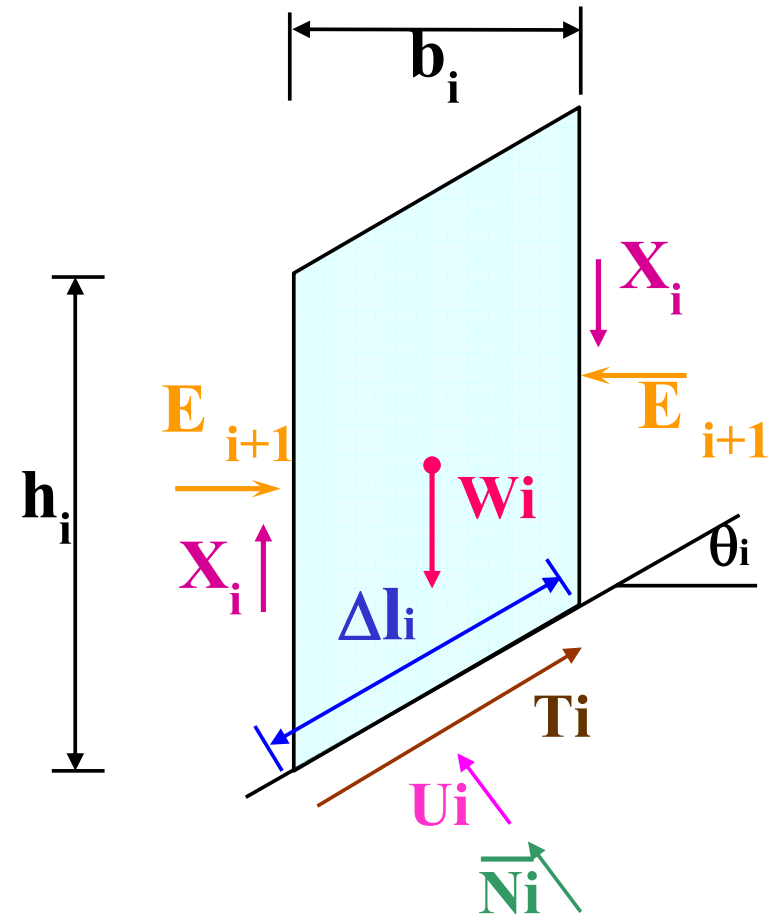
Simplified Bishop

Force Polygon

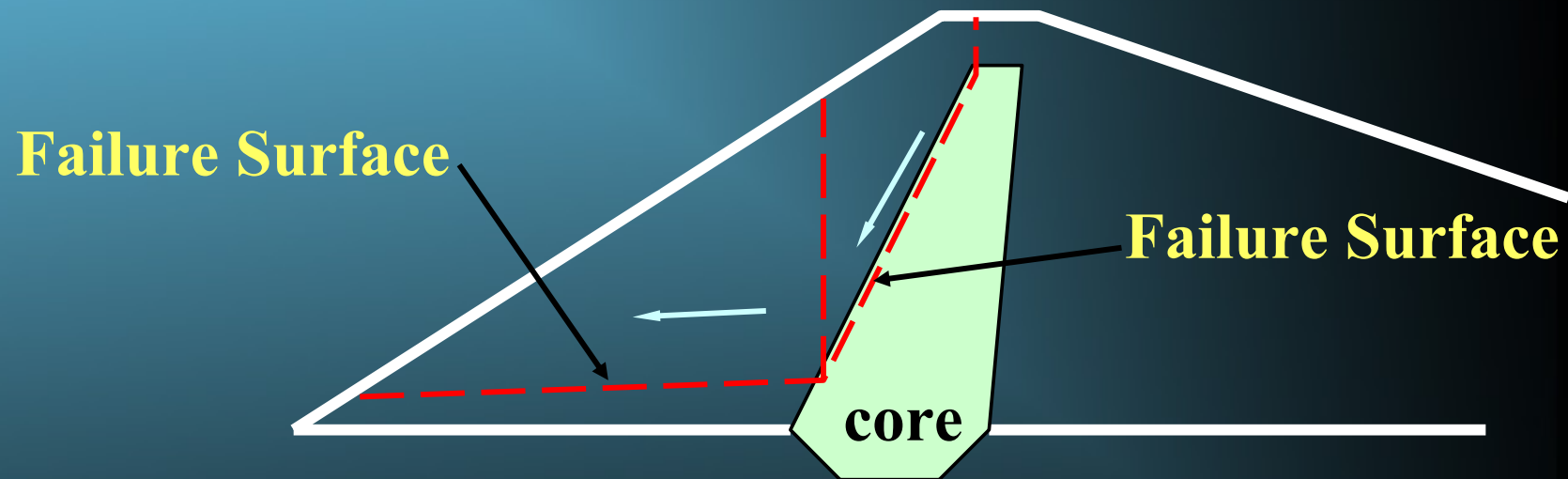


$$\phi_m = \tan^{-1}(\tan\phi/F)$$

Free Body Diagram

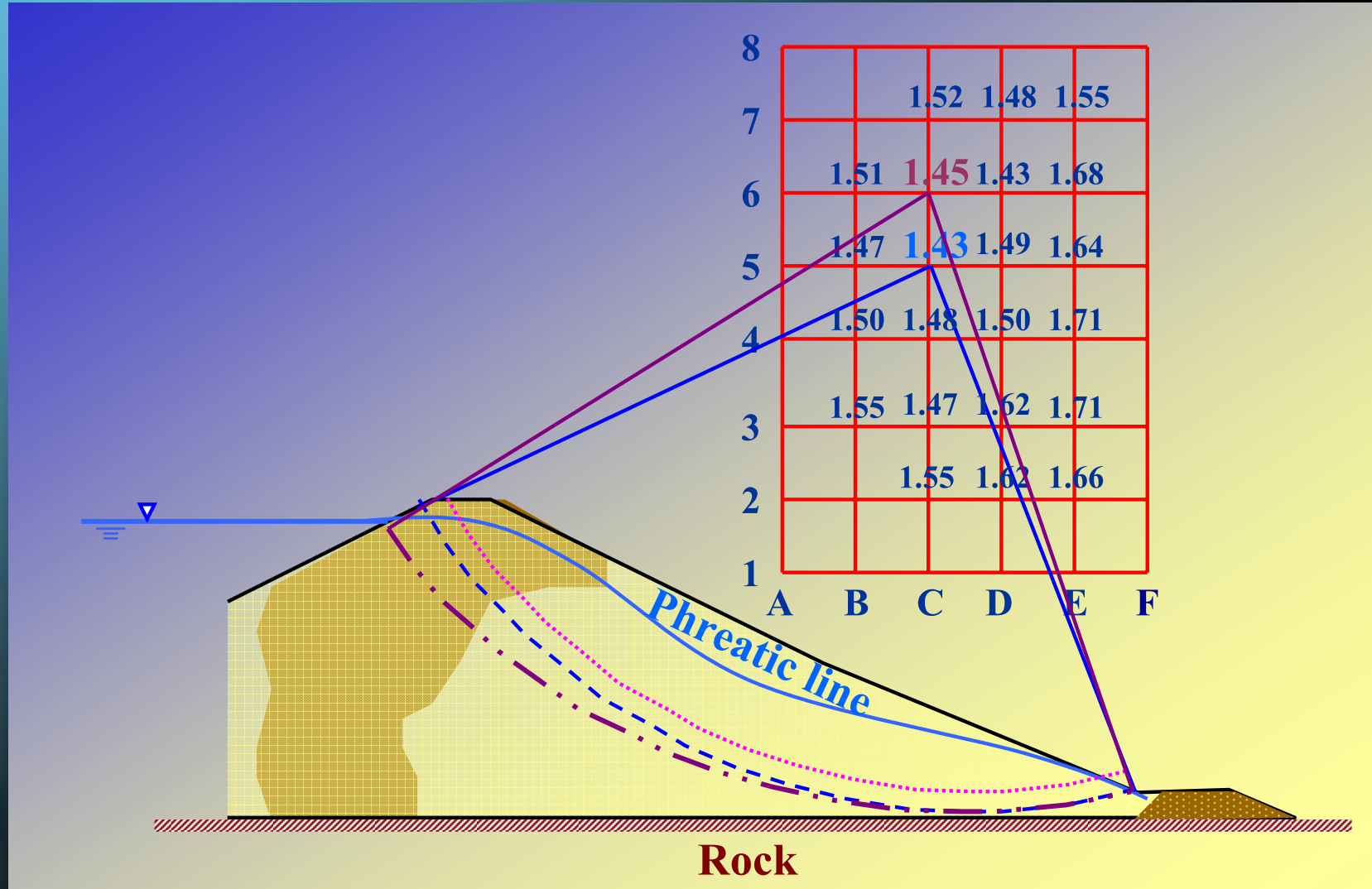


Wedge Method



เขื่อนแกนดินเหนียวเอียง

การหาค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด



KUslope - Stability Analysis

D:\MUK\StepRun\StepRun.ksd

File Edit Option Calculation Graphic Help

KUslope SOIL SLOPE STABILITY ANALYSIS

Civil Engineering Department, Kasetsart University, Thailand.

Project Name Step Run

Title Sample

Location Test

OPEN SAVE NEW CALCULATION GEOMETRY FAILURE

Boundary Line Bottom Line Circle Seepage Condition Search Condition Load Effect

Soil Properties Show Line Number

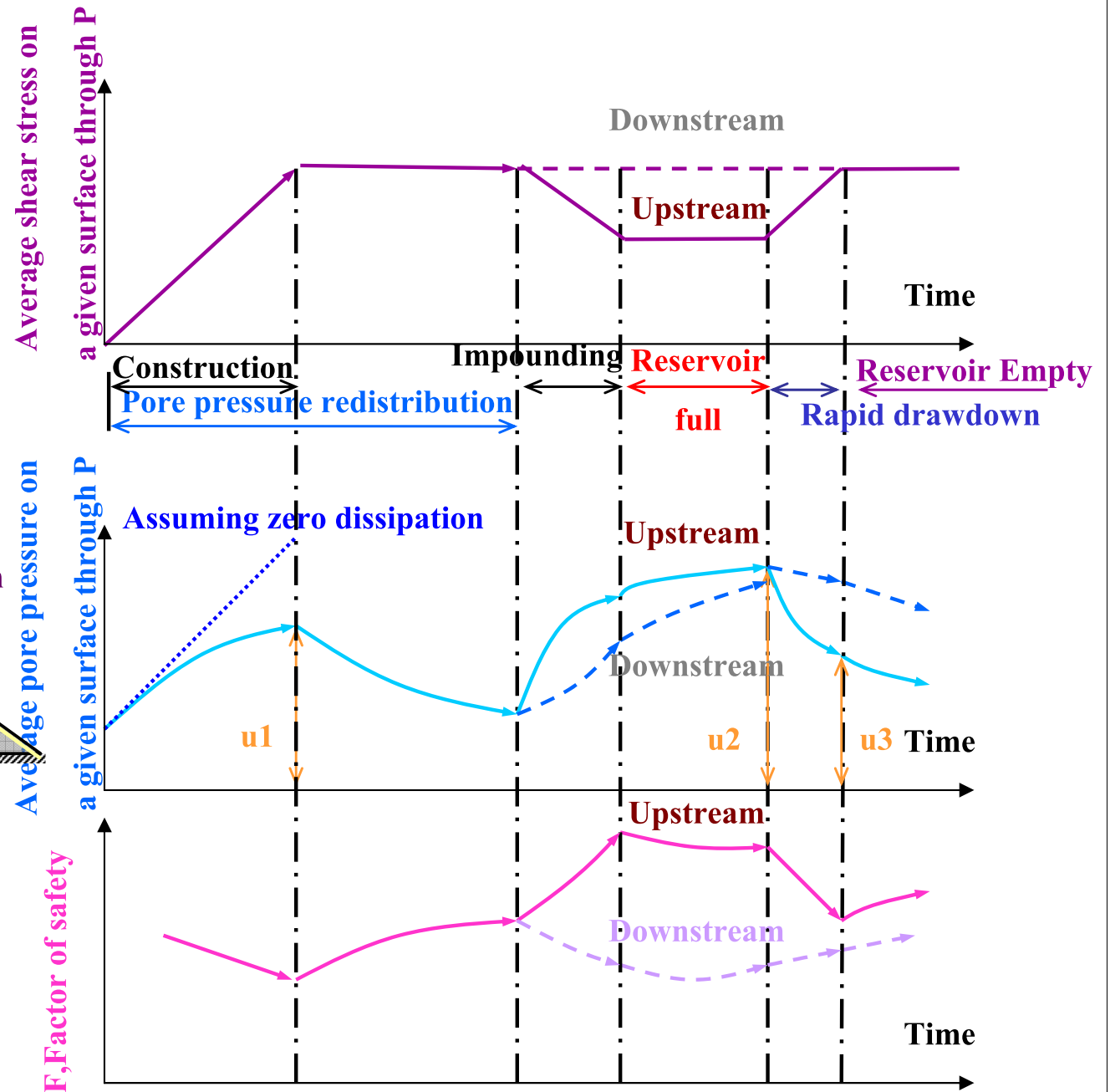
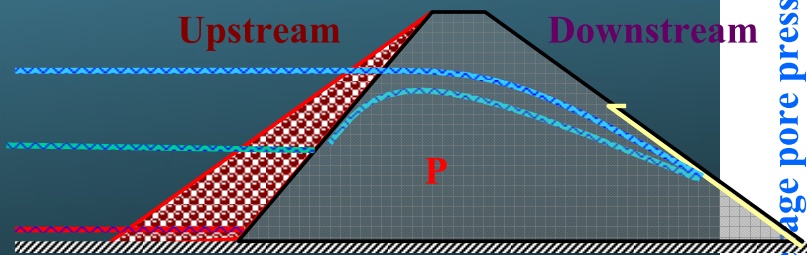
Line No.	Cohesion	Phi	Unit Weight
1	5	20	2
2	2	15	1.6
3	0	0	1
4	0	0	0

Coordinate Show Node Number

Line No.	Point No.	Coordi X	Coordi Y
3	1	30	25
3	2	40	20
3	3	60	20
4	1	0	30
4	2	15	30
4	3	20	30
4	4	24	28
4	5	30	25
4	6	60	25

ช่วงวิกฤตของความมั่นคงของลาดดิน/หิน

งานเขื่อนหรือคันดิน
ขนาดใหญ่



อัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดของเขื่อนดินและเขื่อนหินในต่างประเทศ

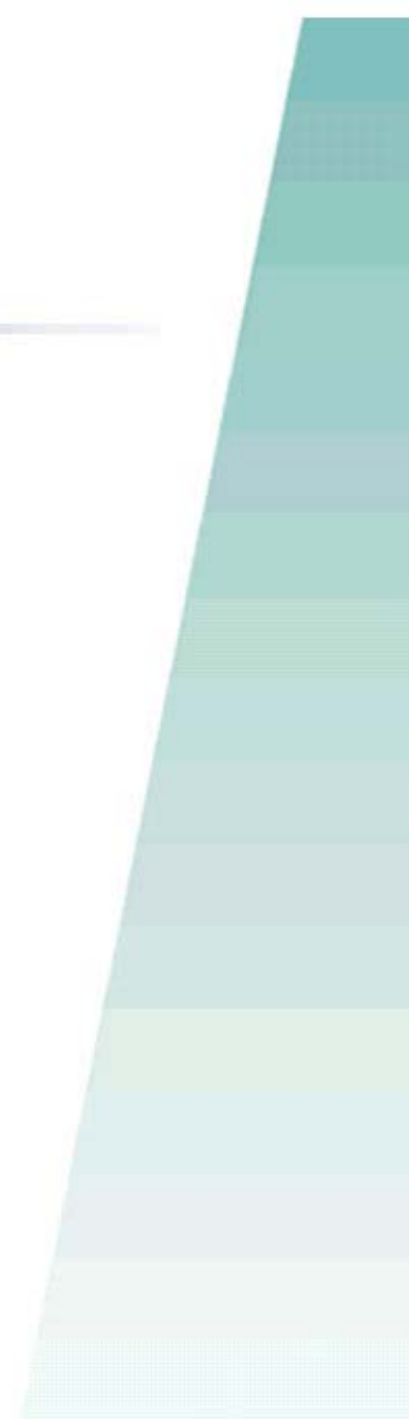
CASE	DESIGN	CONDITION	JAPAN	ICOLD	Corp.of Eng	SCDWR	Us. Federal Register	CANADA
I	End of Construction	Static	-	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
		Earthquake	1.2(K=50%)	1	1	-	-	-
II	MAX. water level	Static	1.2	1.5	1.4	-	-	-
		Earthquake	-	1	-	-	-	-
III	Normal water level	Static	-	-	1.5	1.5	1.5	1.5
		Earthquake	1.2	-	-	1.1	1	1.1
IV	Rapid drawdown	Static	-	1.2	1.2	1.2	-	1.3
		Earthquake	1.2	-	-	-	-	1.3
V	Intermediate water level	Static	-	1.5	1.5	1.5	1.5	-
		Earthquake	1.2	1	1	1.1	1	-

เกณฑ์การกำหนดอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด

CASE	DESIGN	CONDITION	เขื่อนใหญ่	เขื่อนเล็ก
1	เพื่งก่อสร้างเสร็จ (End of Construction)	Static	1.3	1.5
		Earthquake	1.1	-
2	ระดับน้ำสูงสุด (Maximum water level)	Static	1.5	1.5
		Earthquake	1.1	-
3	ระดับเก็บกักปกติ (Normal water level)	Static	1.5	1.5
		Earthquake	1.2	-
4	ระดับน้ำลดอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)	Static	1.3	1.3
		Earthquake	1.1	-
5	ระดับน้ำปานกลาง (Intermediate water level)	Static	1.5	-
		Earthquake	1.2	-



กรณีตัวอย่าง



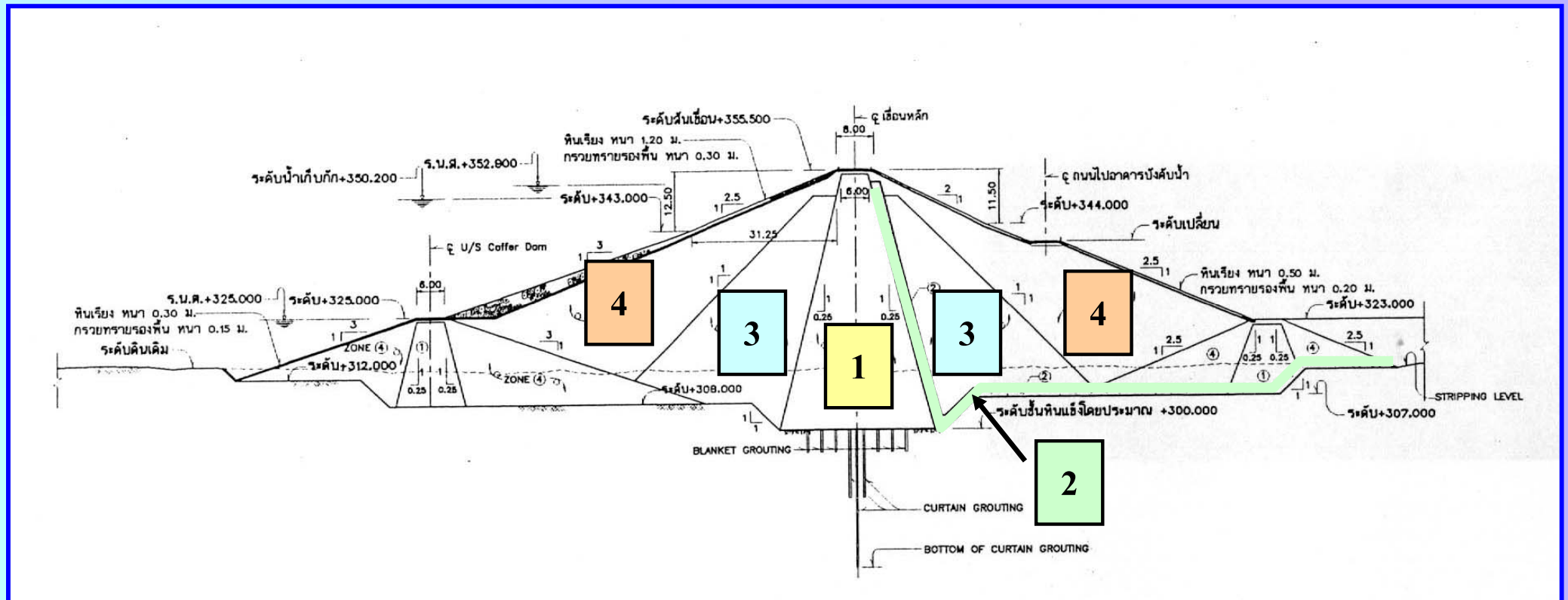
เขื่อนกัวคองหมา

กรณีศึกษาเขื่อนก๊วคหมา

เขื่อนก๊วคหมาเป็นเขื่อนหินแบ่งส่วนแกนดินเหนียว (Zoned Rock-filled Dam) ตั้งอยู่ที่บ้านห้วยสระหน้า ต.ปงดอน อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง ปิดกั้นลำน้ำแม่วังตอนบน ตัวเขื่อนอยู่ที่พิกัด Latitude $18^{\circ} - 48' - 24''$ เหนือ และ Longitude $99^{\circ} - 38' - 48''$ ตะวันออก ห่างจากเขื่อนก๊วลมไปทางเหนือราว 30 กิโลเมตร มีลักษณะทางธรณีฐานรากทั่วไปตั้งอยู่บนหิน Shale สลับ Sandstone ในชุดหินฮ่องฮอย

ระดับสันเขื่อน	+355.50	เมตร ร.ท.ก.
ความยาวของสันเขื่อน	500.00	เมตร
ความสูงของตัวเขื่อนจากระดับร่องน้ำลึก	43.50	เมตร
ความจุที่ระดับน้ำเก็บกัก	170	ล้าน ลบ.ม.

หน้าตัดทั่วไปของเขื่อนกักน้ำคอนกรีต



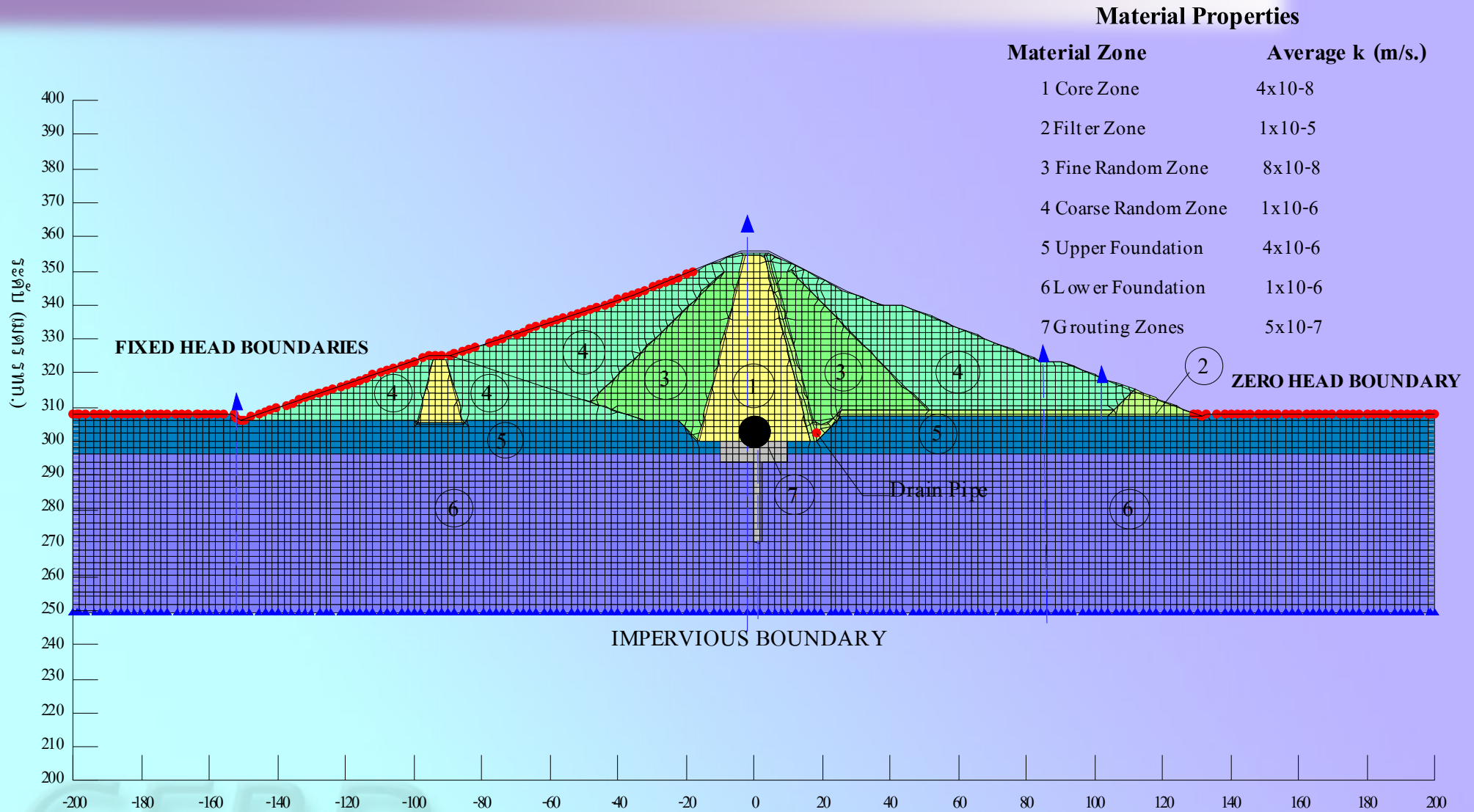
Zone 1 Core Zone

Zone 3 Fine Random Zone

Zone 2 Filter Zone

Zone 4 Rock Random Zone

FEM. MESH for KEW KOR MAH DAM



Material Properties

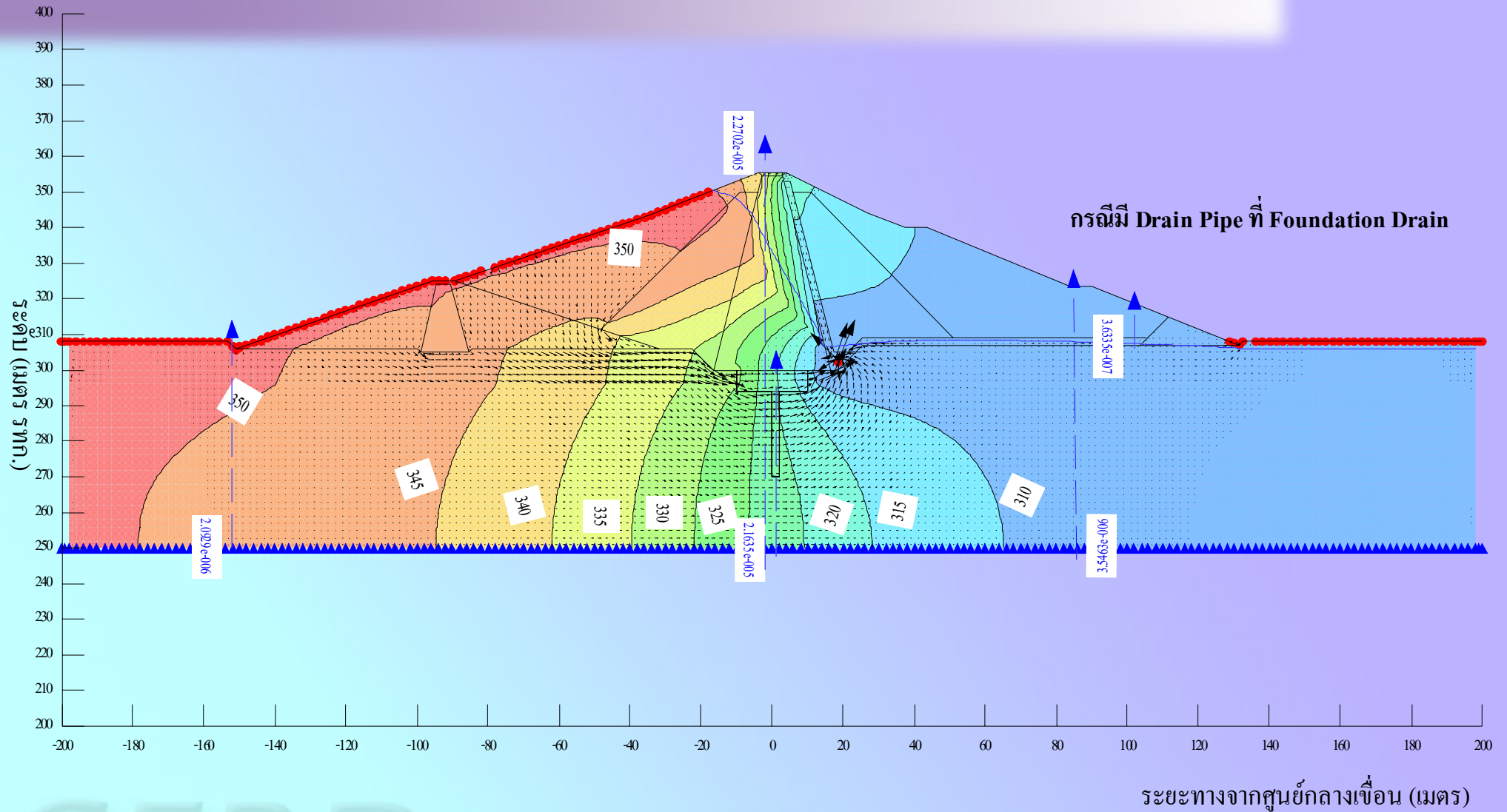
Material Zone	Average k (m/s.)
1 Core Zone	4×10^{-8}
2 Filter Zone	1×10^{-5}
3 Fine Random Zone	8×10^{-8}
4 Coarse Random Zone	1×10^{-6}
5 Upper Foundation	4×10^{-6}
6 Lower Foundation	1×10^{-6}
7 Grouting Zones	5×10^{-7}

โครงการเขื่อนกั้นน้ำจ.ลำปาง

ระยะทางจากศูนย์กลางเขื่อน (เมตร)

การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อนและฐานราก

EQUIPOTENTIAL LINES กรณีมีการอัดฉีดน้ำปูนและท่อระบาย

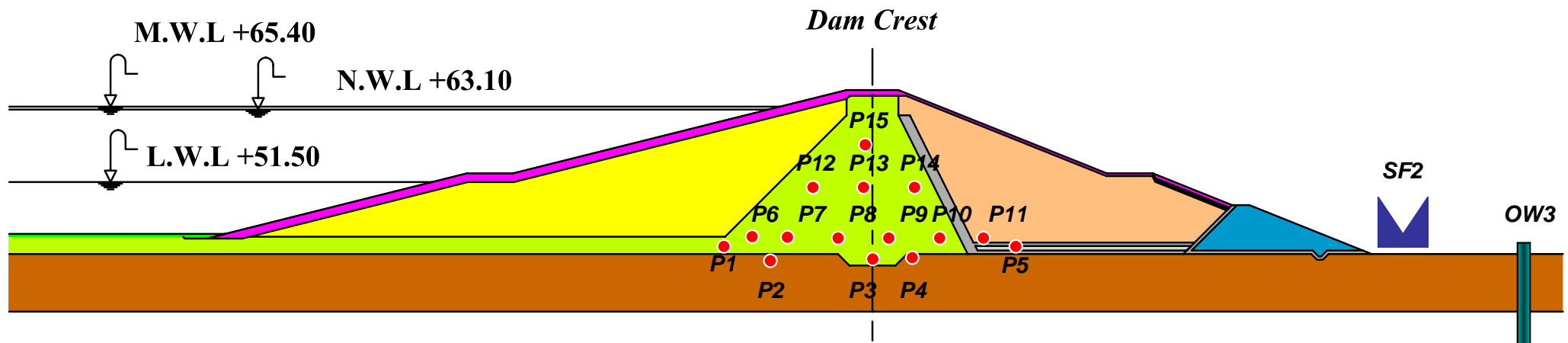


GERD

สรุปการวิเคราะห์ความมั่นคงของหน้าตัดเขื่อน

CASE	CONDITION		Ks	Location	Allowable FS.	FS.
	Dam	Water Level				
1	End of construction	-	0.00	U/S	1.30	1.756
2	End of construction	-	0.10	U/S	1.00	1.303
3	End of construction	-	0.00	D/S	1.30	1.947
4	End of construction	-	0.10	D/S	1.00	1.468
5	Maximum water level	+352.9	0.00	D/S	1.50	1.715
6	Maximum water level	+352.9	0.10	D/S	1.00	1.479
7	Normal high water level	+350.6	0.00	D/S	1.40	1.948
8	Intermediate water level	+335	0.00	U/S	1.50	1.873
9	Intermediate water level	+335	0.10	U/S	1.00	1.322
10	Intermediate water level	+342	0.00	U/S	1.50	1.835
11	Intermediate water level	+342	0.10	U/S	1.00	1.320
12	Rapid drawdown	350.6- > 325.0	0.00	U/S	1.20	1.926

ข้อมูลจากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน



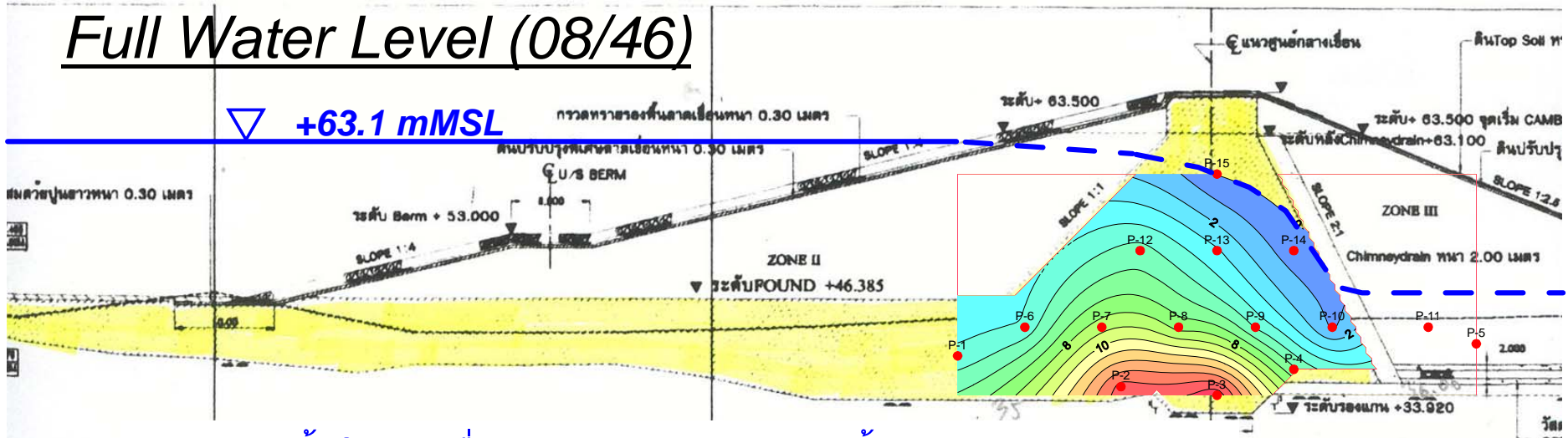
● พิโซมิเตอร์ (Piezometer)

┃ บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well)

▼ มาตรวัดปริมาณการไหลซึม (Seepage Flow Meter)

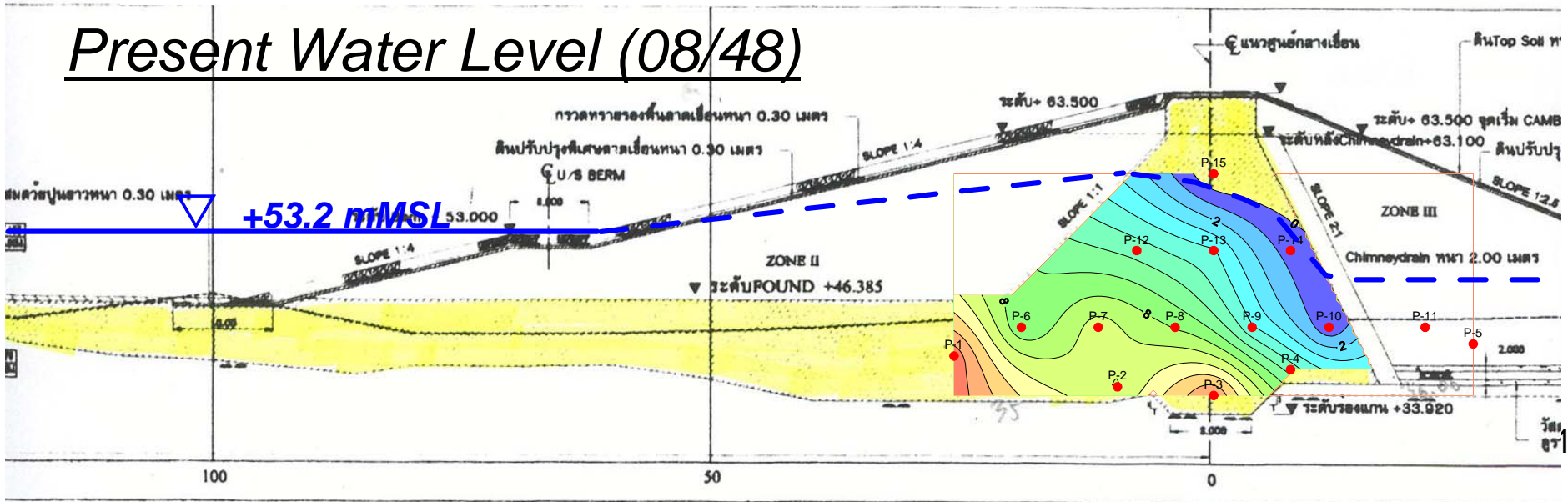
Piezometers

Full Water Level (08/46)

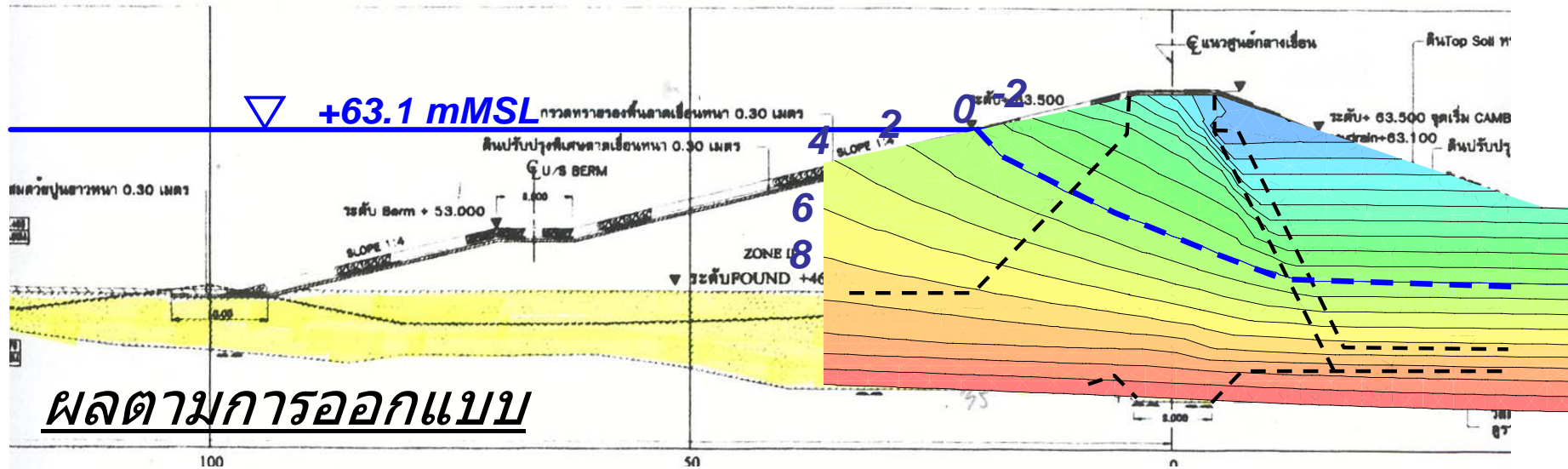


ความดันน้ำในตัวเขื่อนจะลดลงตามระดับน้ำหน้าอ่างอย่างช้าๆ
และระดับน้ำในชั้นกรองแนวราบสูงกว่าระดับน้ำท้ายน้ำ 1 เมตร

Present Water Level (08/48)

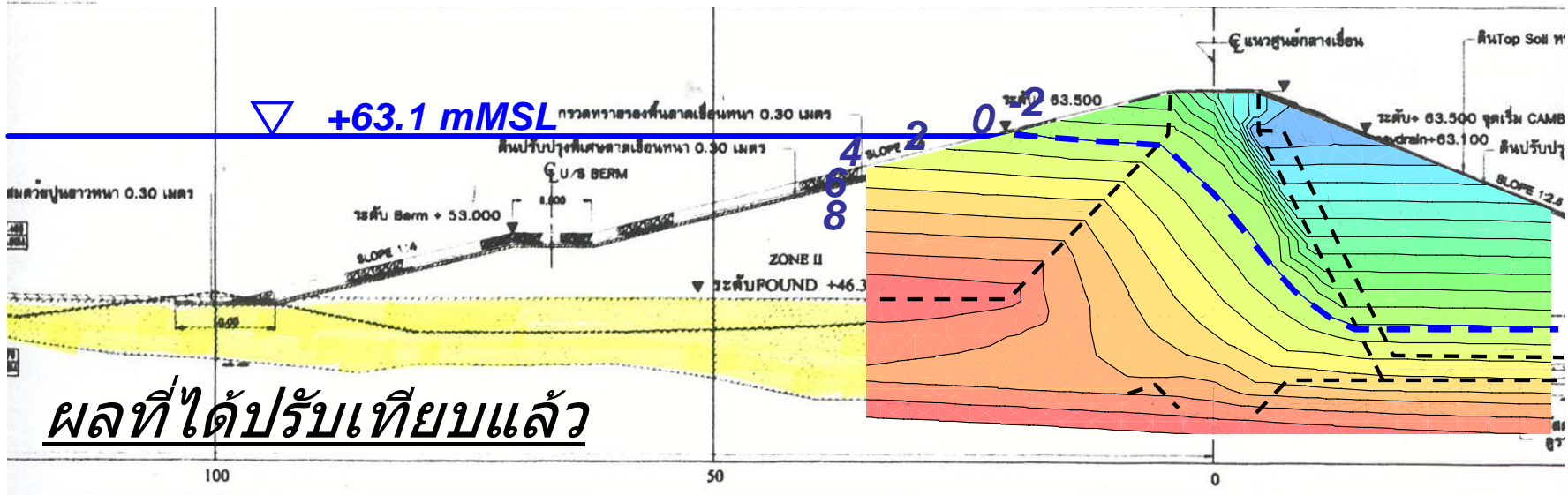


ผลการวิเคราะห์การไหลซึม



ผลตามการออกแบบ

เนื่องจากความตึบแน่นตัวเชื่อมตามการออกแบบกว่าปกติ ทำให้เส้นระดับน้ำในแกนเขื่อนต่ำกว่าที่ตรวจวัดได้



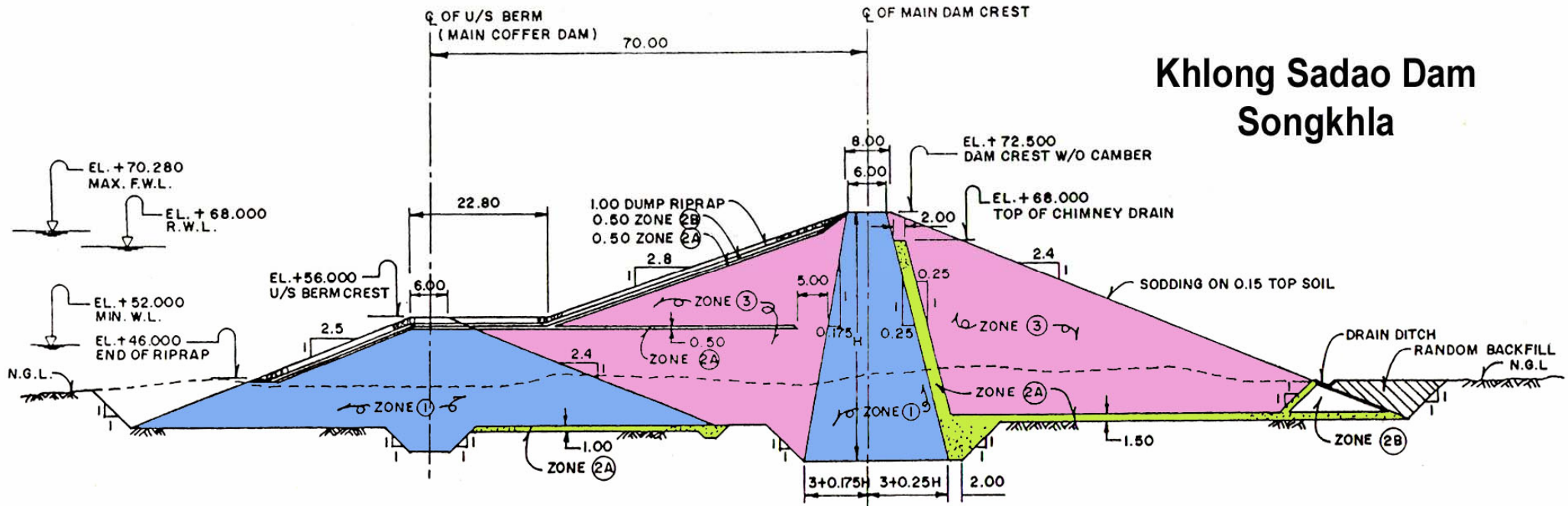
ผลที่ได้ปรับเทียบแล้ว

สรุปผลการวิเคราะห์

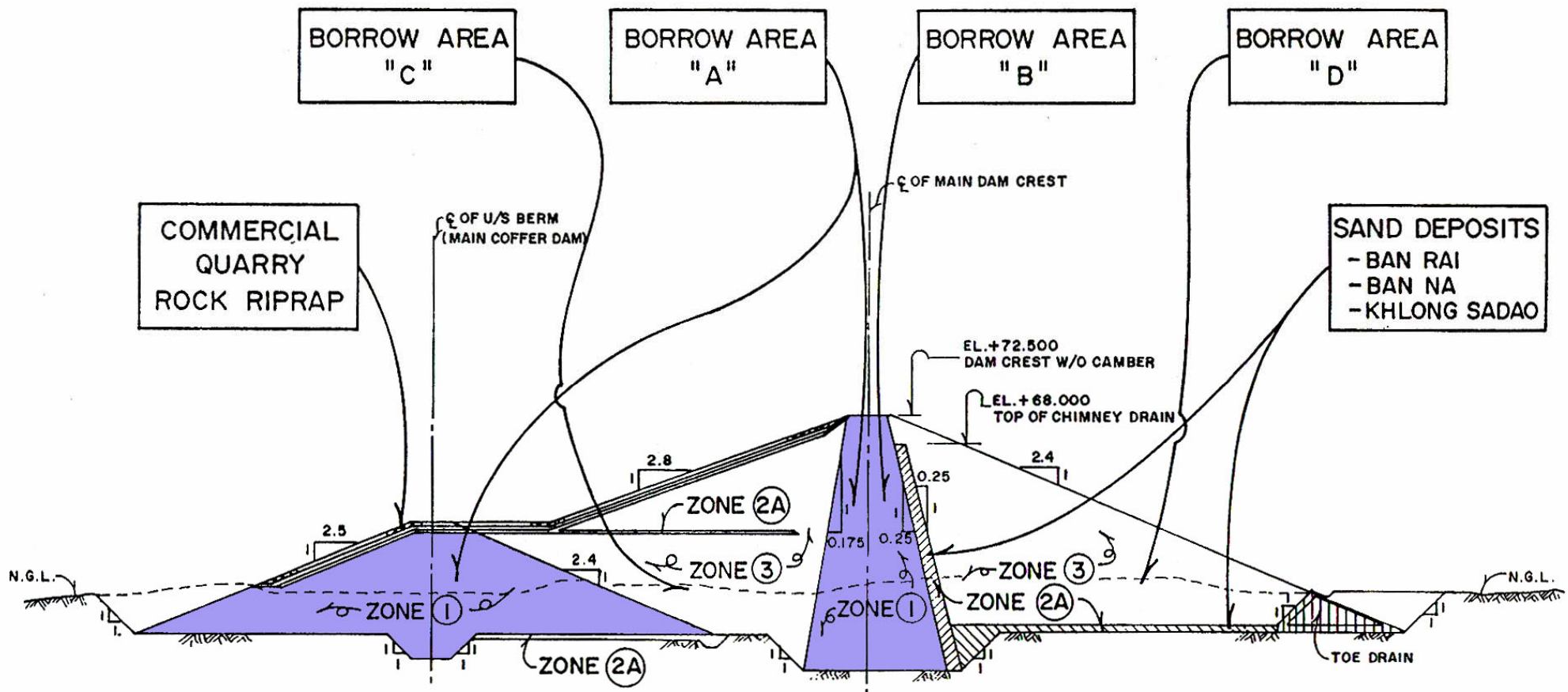
กรณีศึกษา	ระดับกักเก็บ (ม.รทก.)	เงื่อนไข	ปริมาณการไหลซึม (ม.3/วัน/ม.)			ความลาดชั้นชลศาสตร์	
			ตัวเขื่อน	ฐานราก	รวม	U/S Blanket	Core Trench
1	63.1	Steady State	2.03 $\times 10^{-3}$	7.28 $\times 10^{-1}$	7.30 $\times 10^{-1}$	0.15	0.32
2	64.1	Steady State	2.33 $\times 10^{-3}$	7.37 $\times 10^{-1}$	7.39 $\times 10^{-1}$	0.15	0.36
3	64.6	Steady State	2.44 $\times 10^{-3}$	7.54 $\times 10^{-1}$	7.56 $\times 10^{-1}$	0.16	0.37
4	65.1	Steady State	2.60 $\times 10^{-3}$	7.71 $\times 10^{-1}$	7.73 $\times 10^{-1}$	0.16	0.37

เขื่อนกั้นคอหมา

เขื่อนคลองสะเดา จ.สงขลา



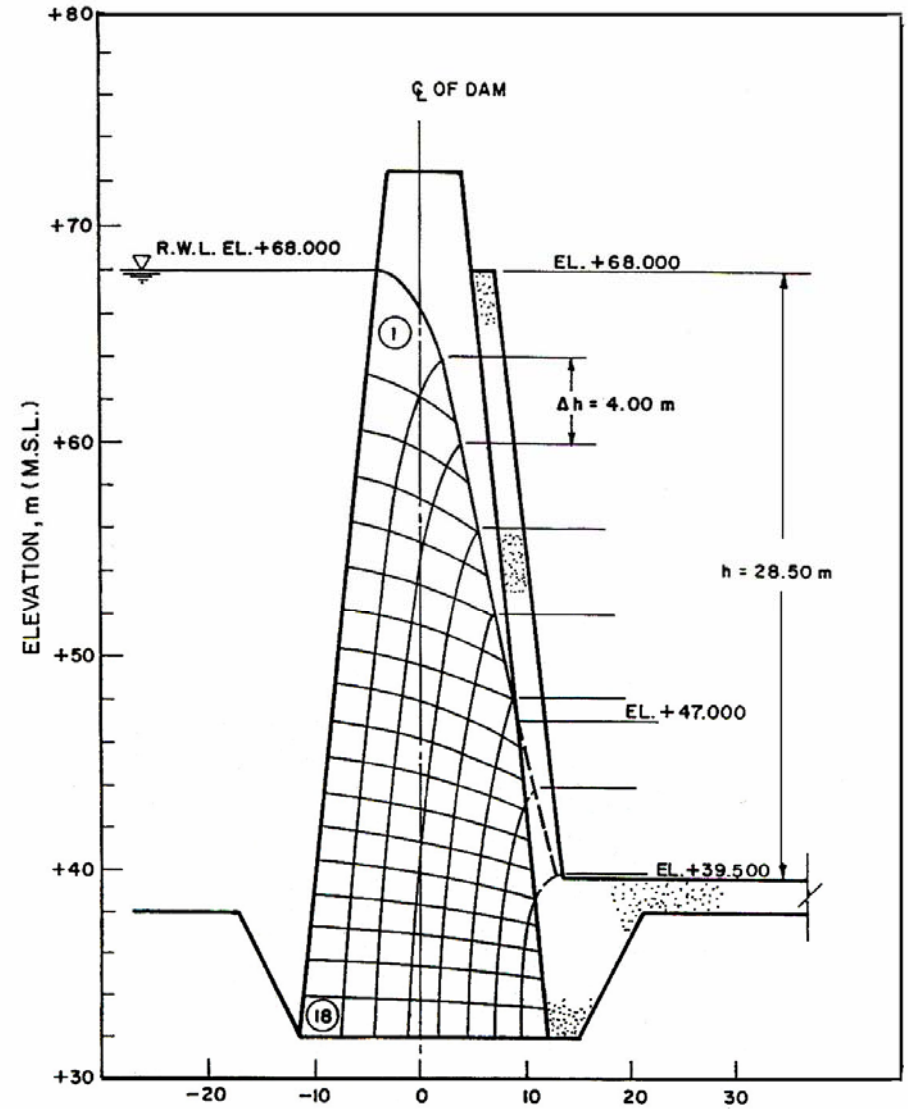
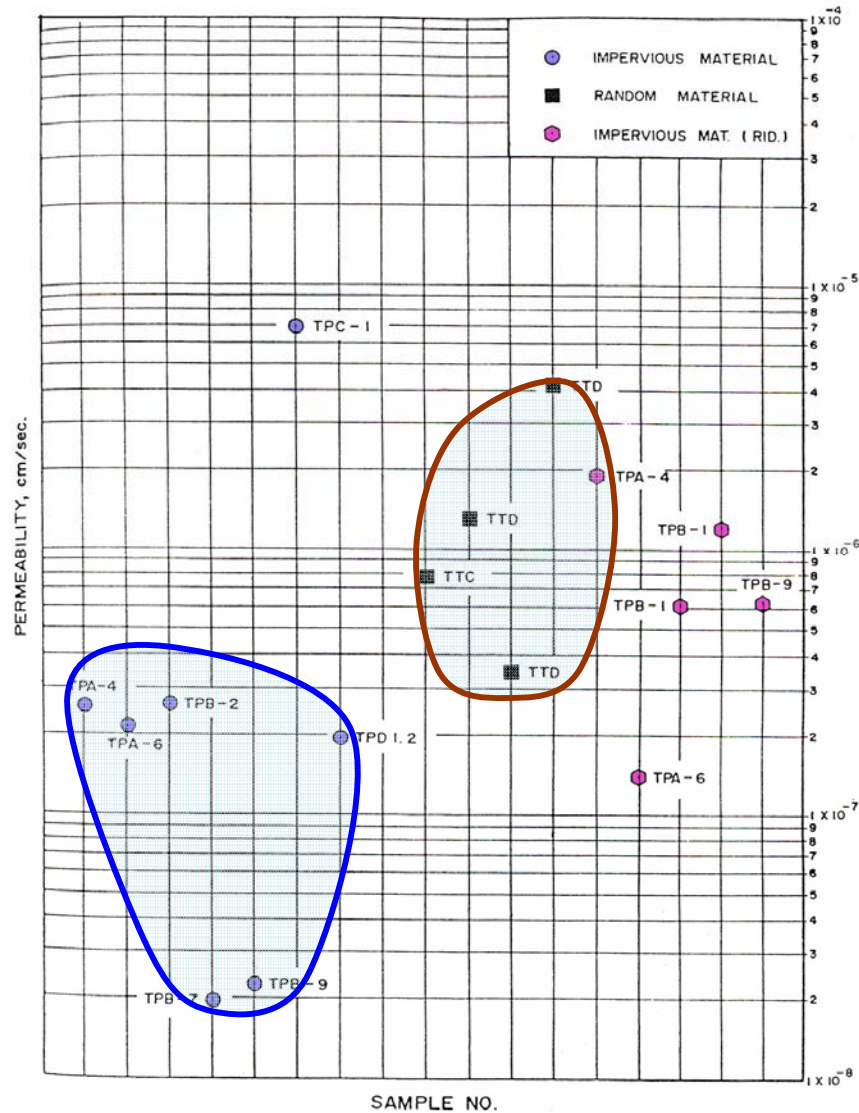
Material Zoning



**KHLONG SADAO DAM PROJECT
MATERIAL ZONING**

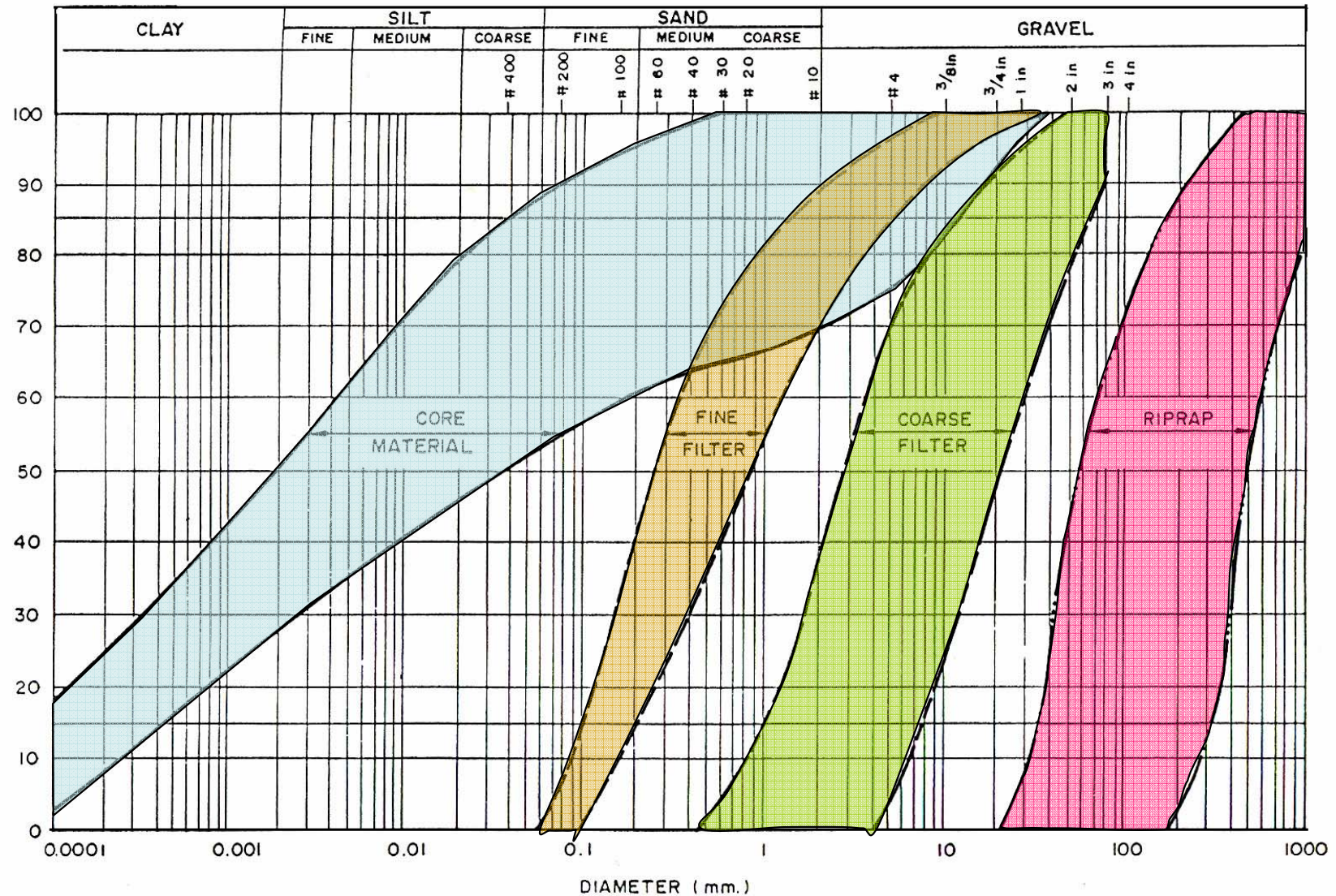
ค่าความซึมน้ำและFlownets

เขื่อนคลองสะเดา จ.สงขลา



$K_x = 4. K_y$
 $N_f = 18$
 $N_e = 8$

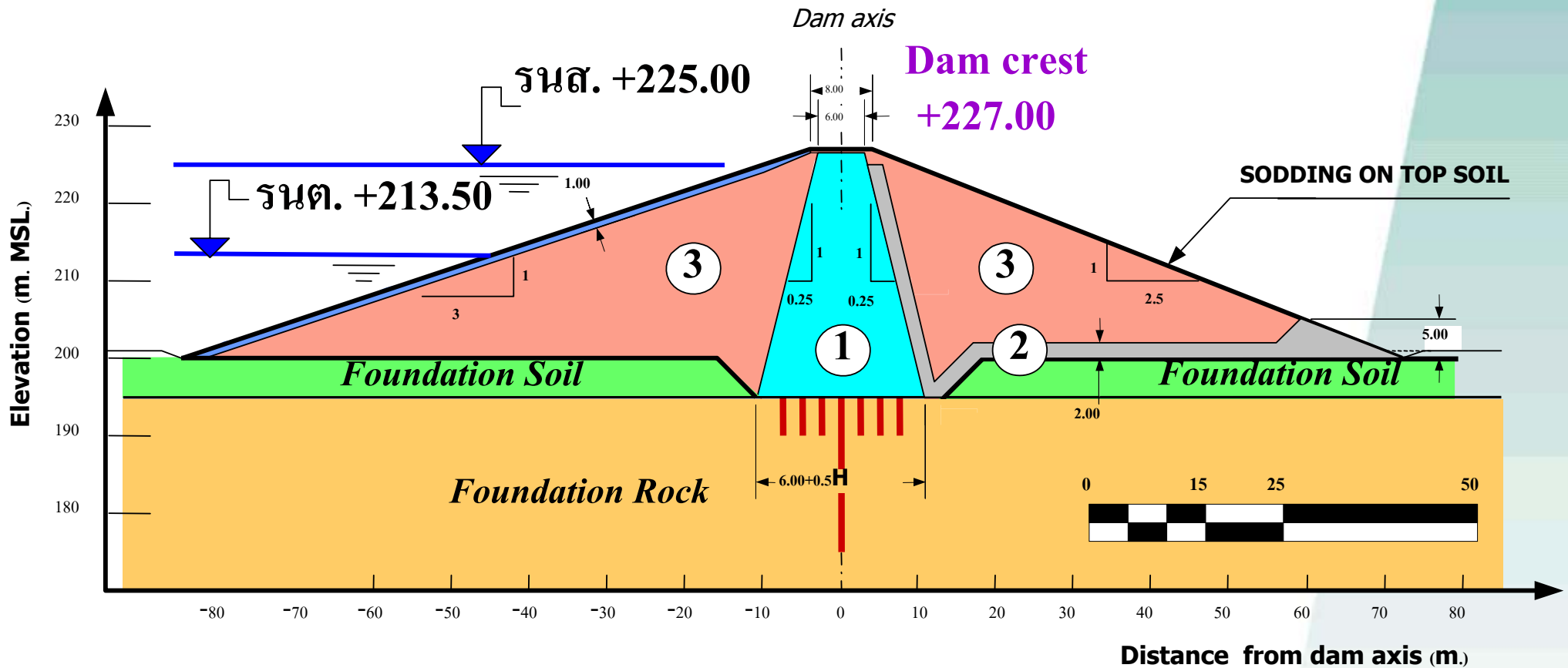
Filter Design for Khlong Sadao Songkhla Province



เขียนช่วยบ้านพุ่ม สักถนนคร



เขื่อนห้วยบ้านพุ่ม



①

Impervious Core

②

Filter Zone

③

Random Zone

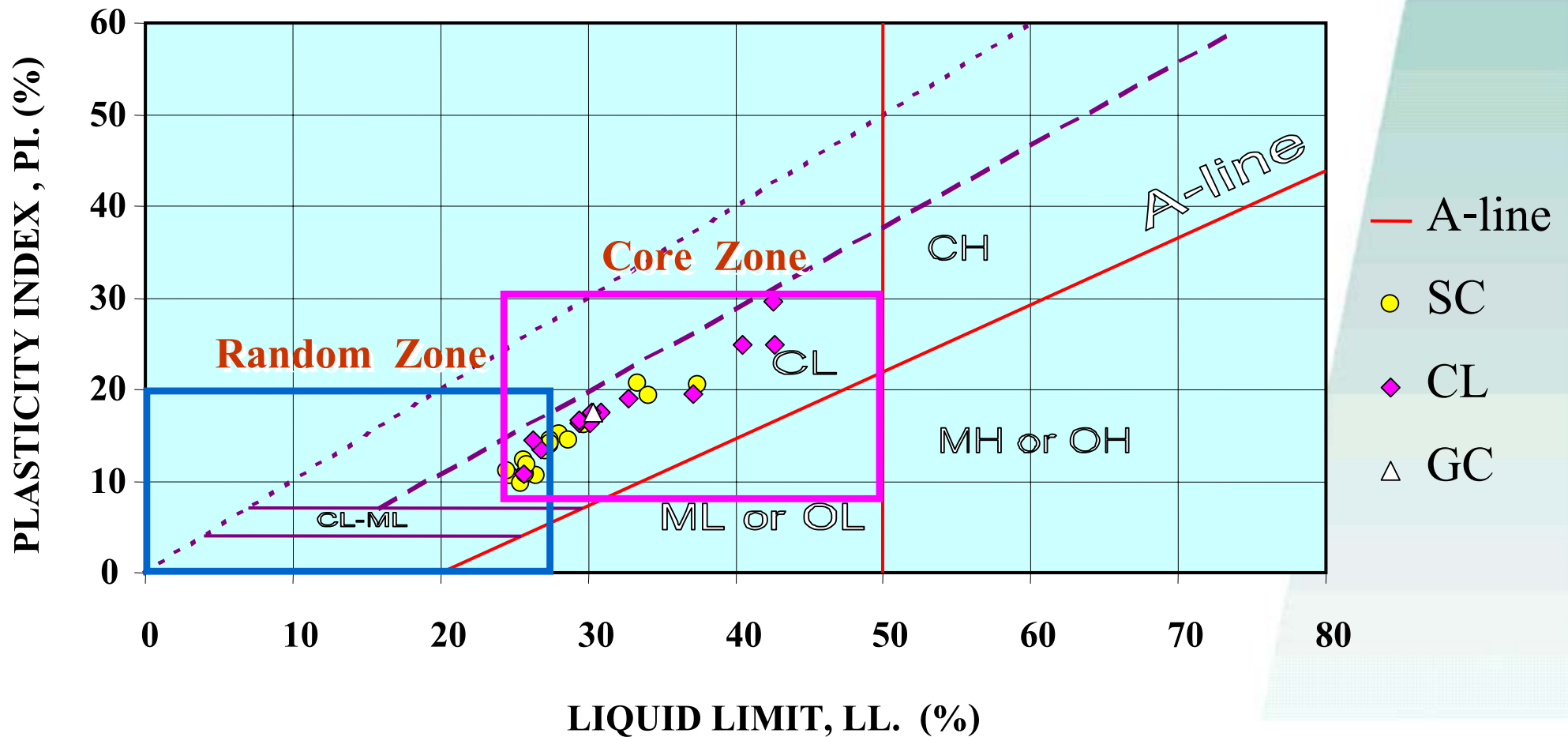


ลักษณะของตัวเขื่อน

ชนิดเขื่อน	เขื่อนดินแบ่งส่วน
ระดับสันเขื่อน	+227.00 เมตร รทก.
ความยาวของสันเขื่อน	1600.00 เมตร
ความสูงตัวเขื่อนจากระดับร่อนน้ำลึก	26.00 เมตร
ระดับน้ำเก็บกัก (รณก.)	+223.00 เมตร รทก.
ระดับน้ำสูงสุด (รณส.)	+225.00 เมตร รทก.
ระดับน้ำต่ำสุด (รณต.)	+213.50 เมตร รทก.
ระดับน้ำต่ำสุดของกันร่อนแกน	+195.00 เมตร รทก.

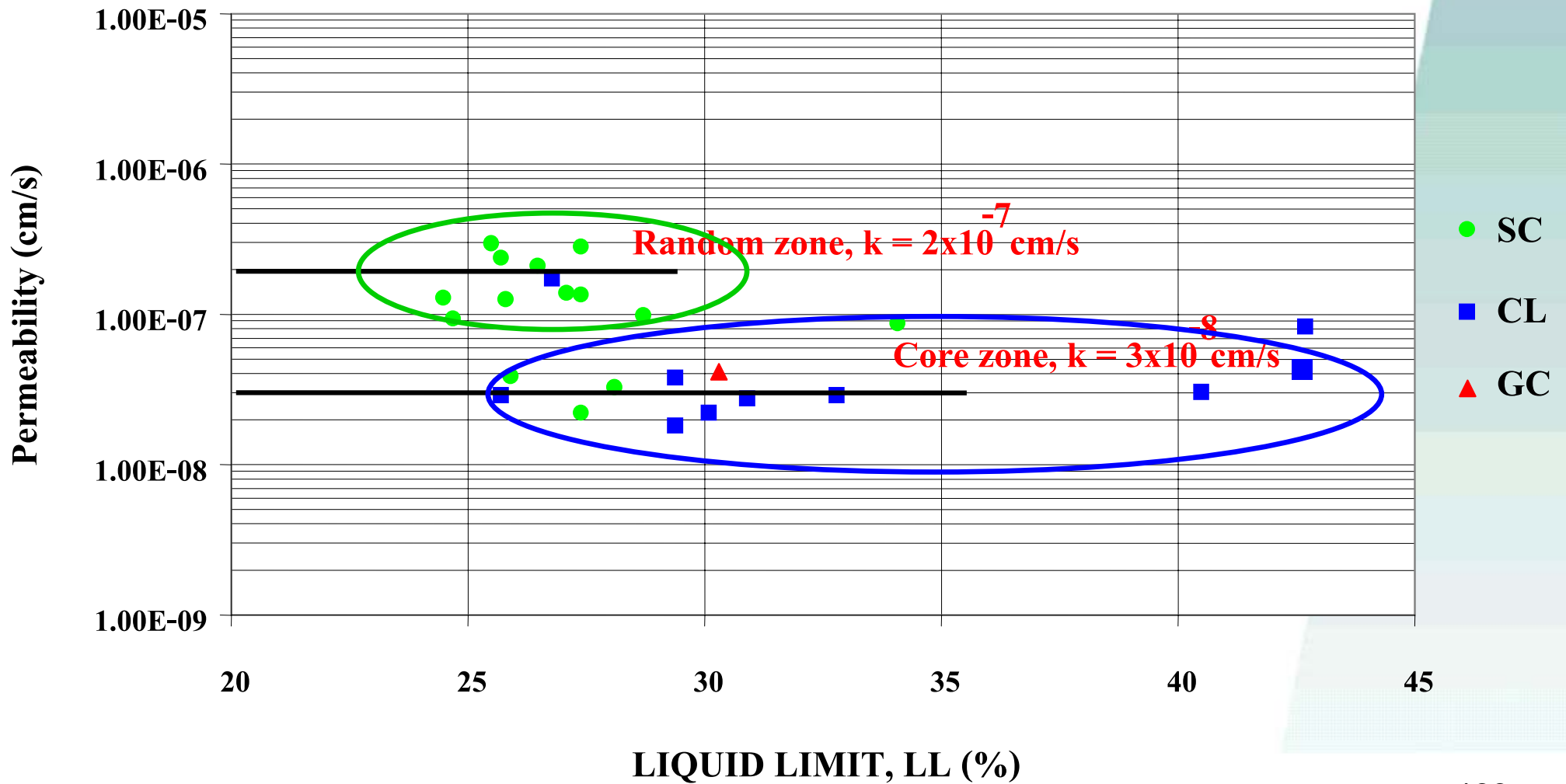


Plasticity Chart



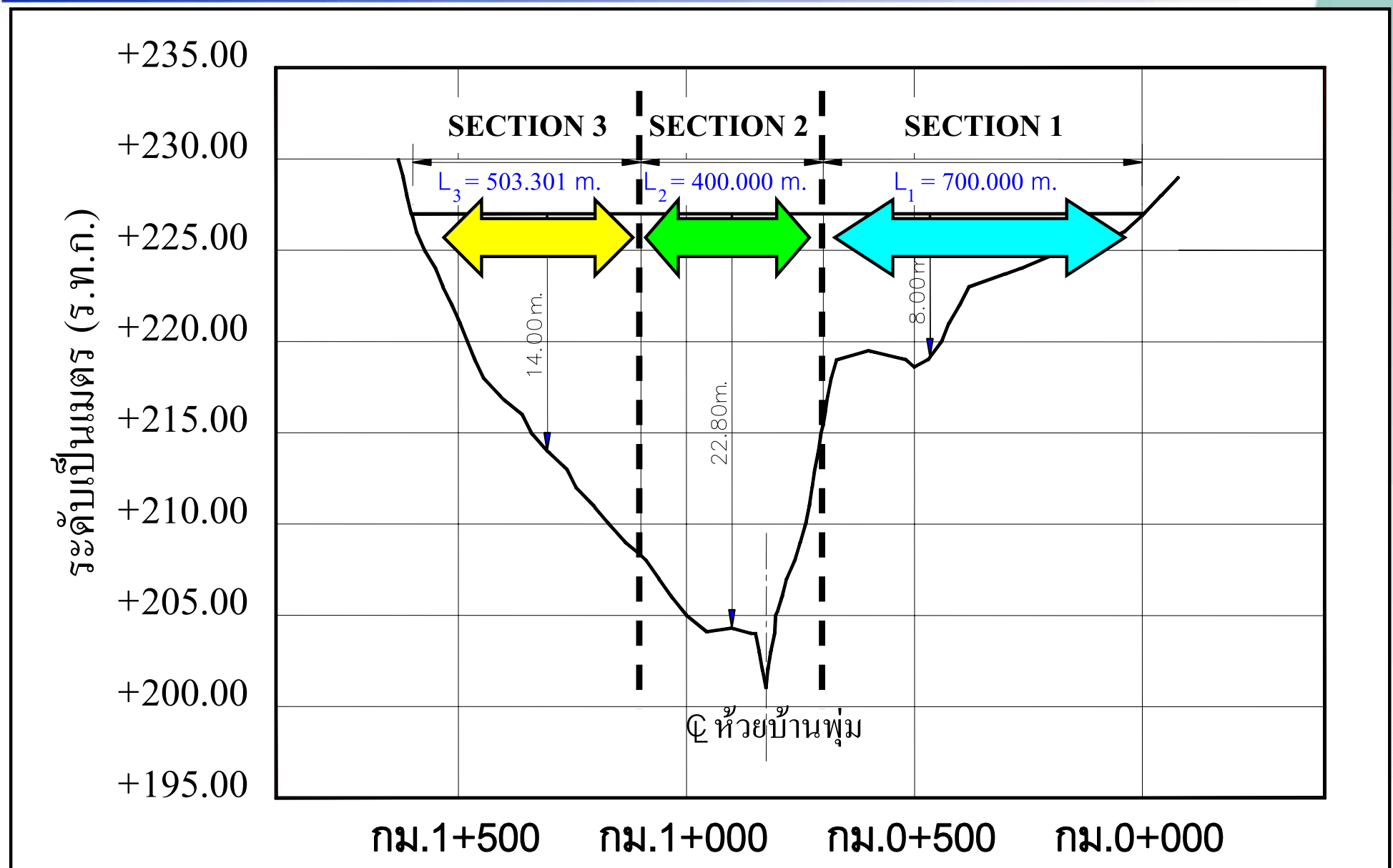


Permeability



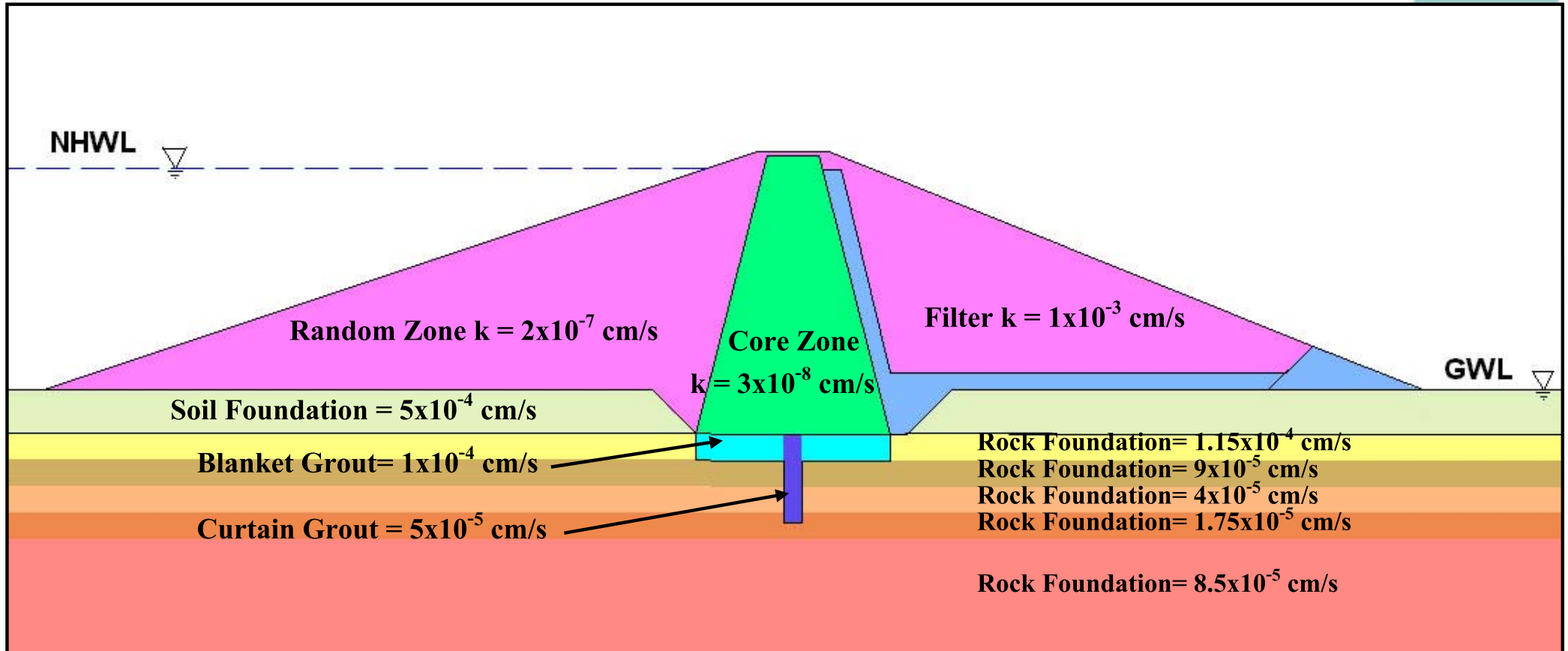


การแบ่งหน้าตัดสำหรับการวิเคราะห์การไหลซึม



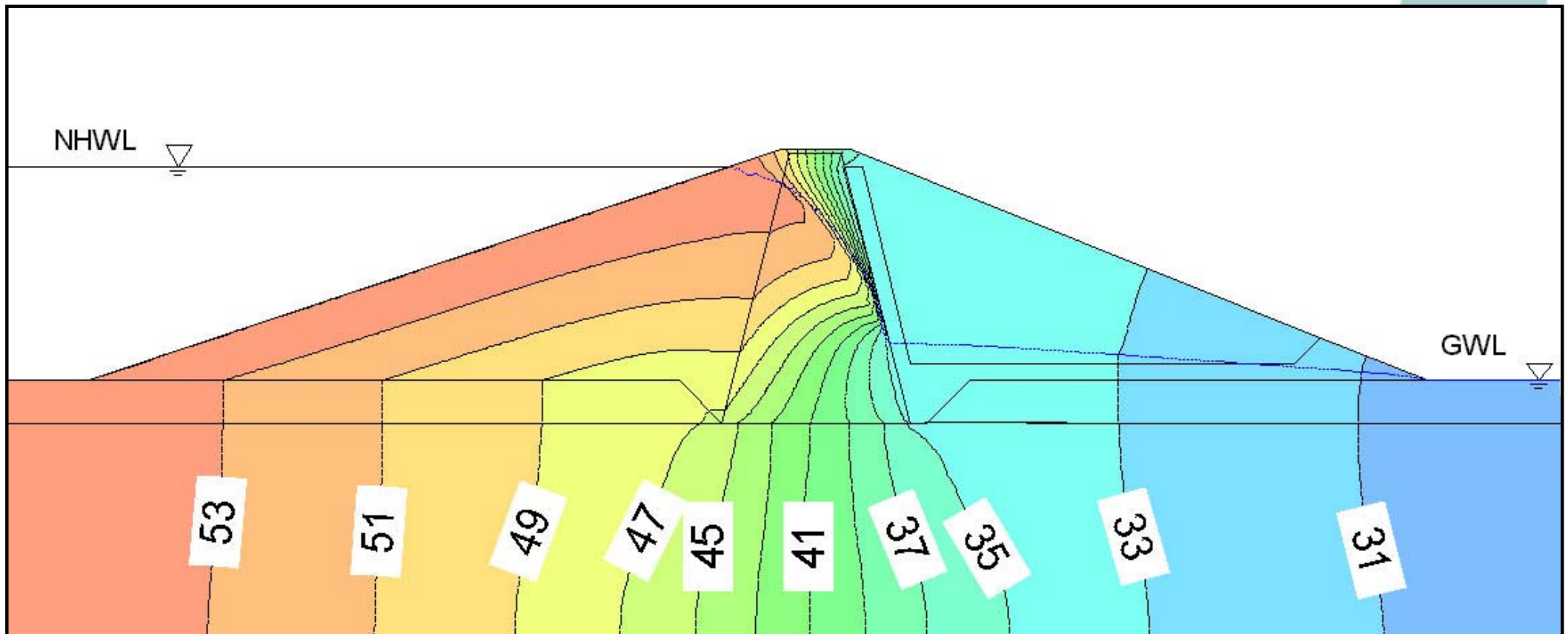


Material Properties



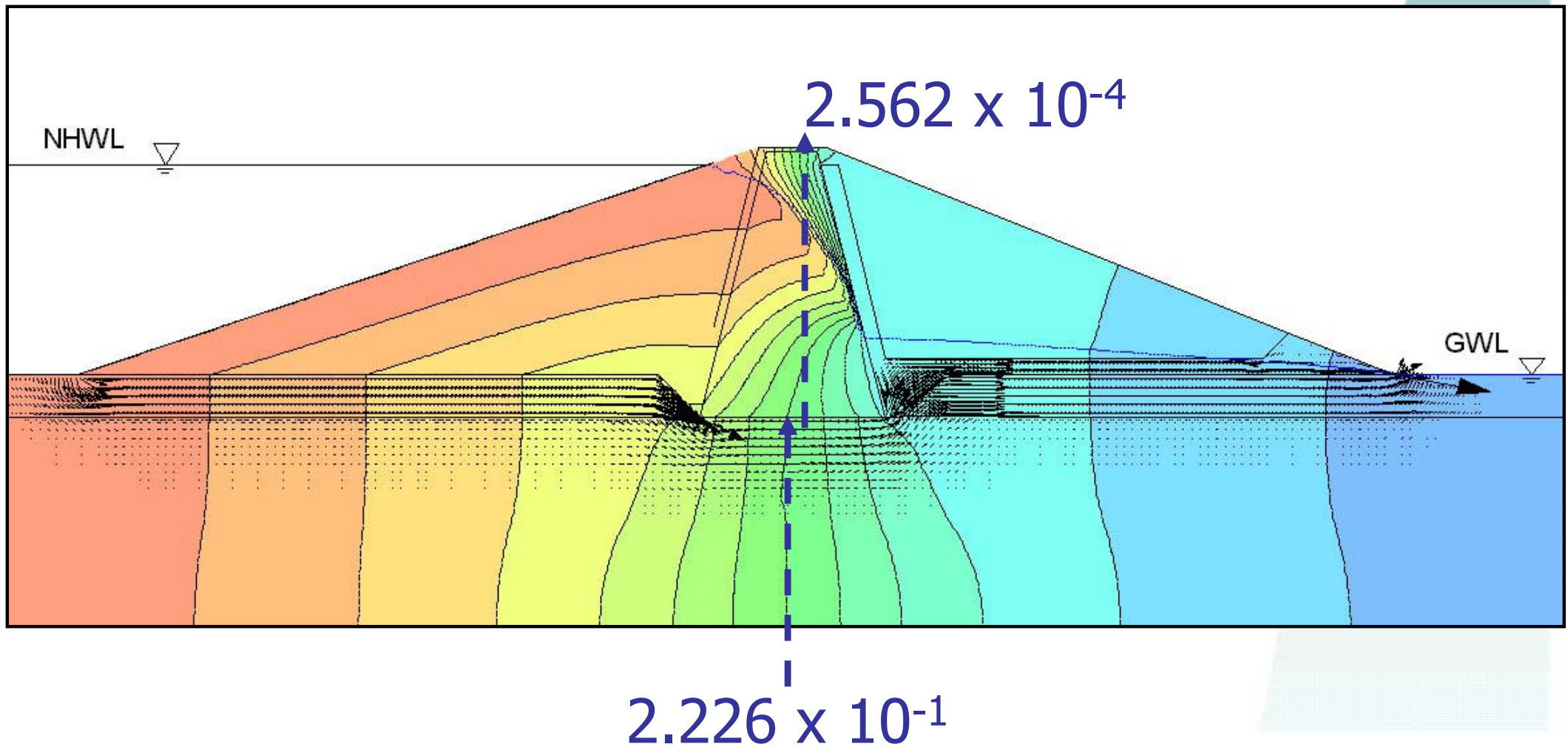


ผลการวิเคราะห์





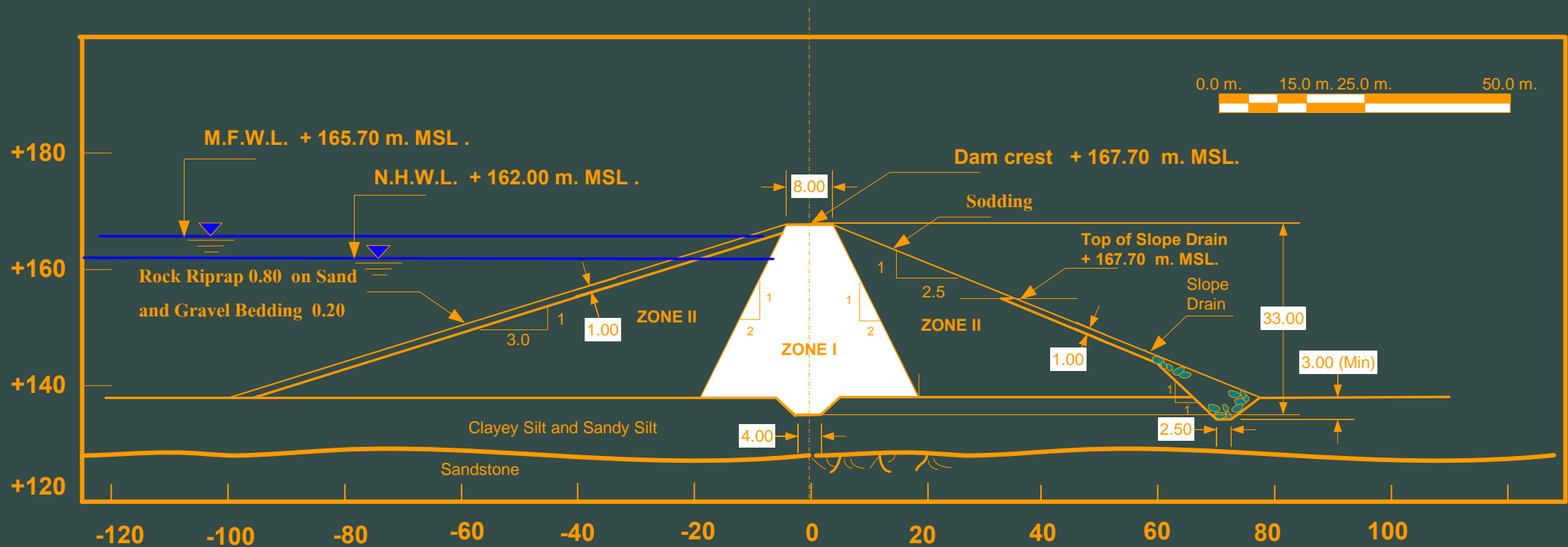
ผลการวิเคราะห์



เขื่อนลำปาว กาฬสินธุ์

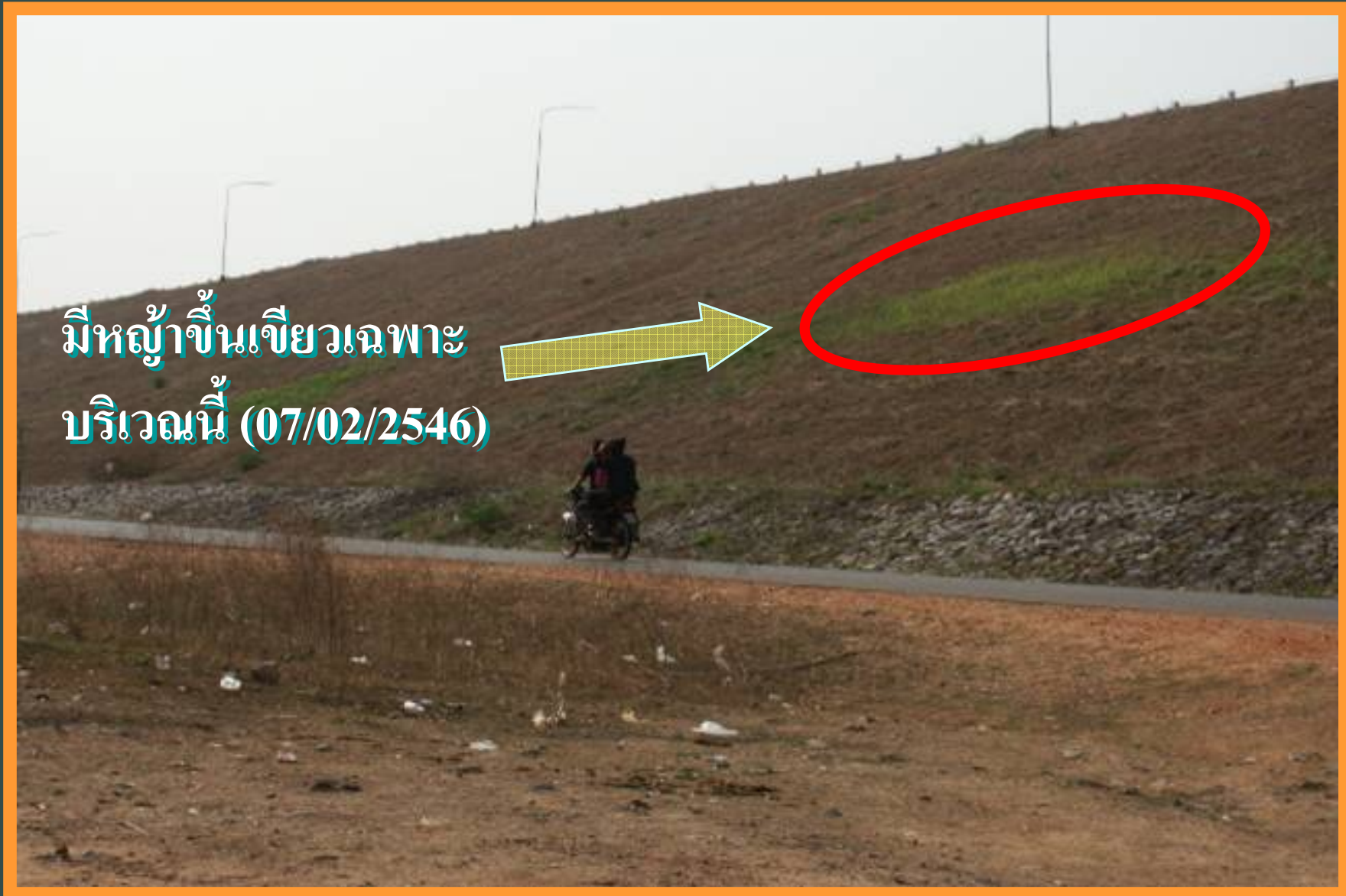
1. รูปสถาปัตยกรรม

จากการพิจารณาข้อมูลและการวิเคราะห์เบื้องต้น สามารถรูปสถาปัตยกรรมเขื่อนได้ดังนี้



หน้าตัดเขื่อนโดยทั่วไปของแบบเขื่อนลำปาว

- การไหลซึมและพื้นที่ชุ่มน้ำในบางบริเวณทางลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำของตัวเขื่อนลำปาว



มีหญ้าขึ้นเขียวเฉพาะ
บริเวณนี้ (07/02/2546)

เนื้อเนียนประกอบด้วยดินบดอัด ในกลุ่มดิน SM CL และ SC สลับชั้นกันอย่างเห็นได้ชัดเจน ตามชั้นของการบดอัดซึ่งแสดงว่าได้มีการนำวัสดุก่อสร้างมาจากหลายแหล่งที่แตกต่างกัน



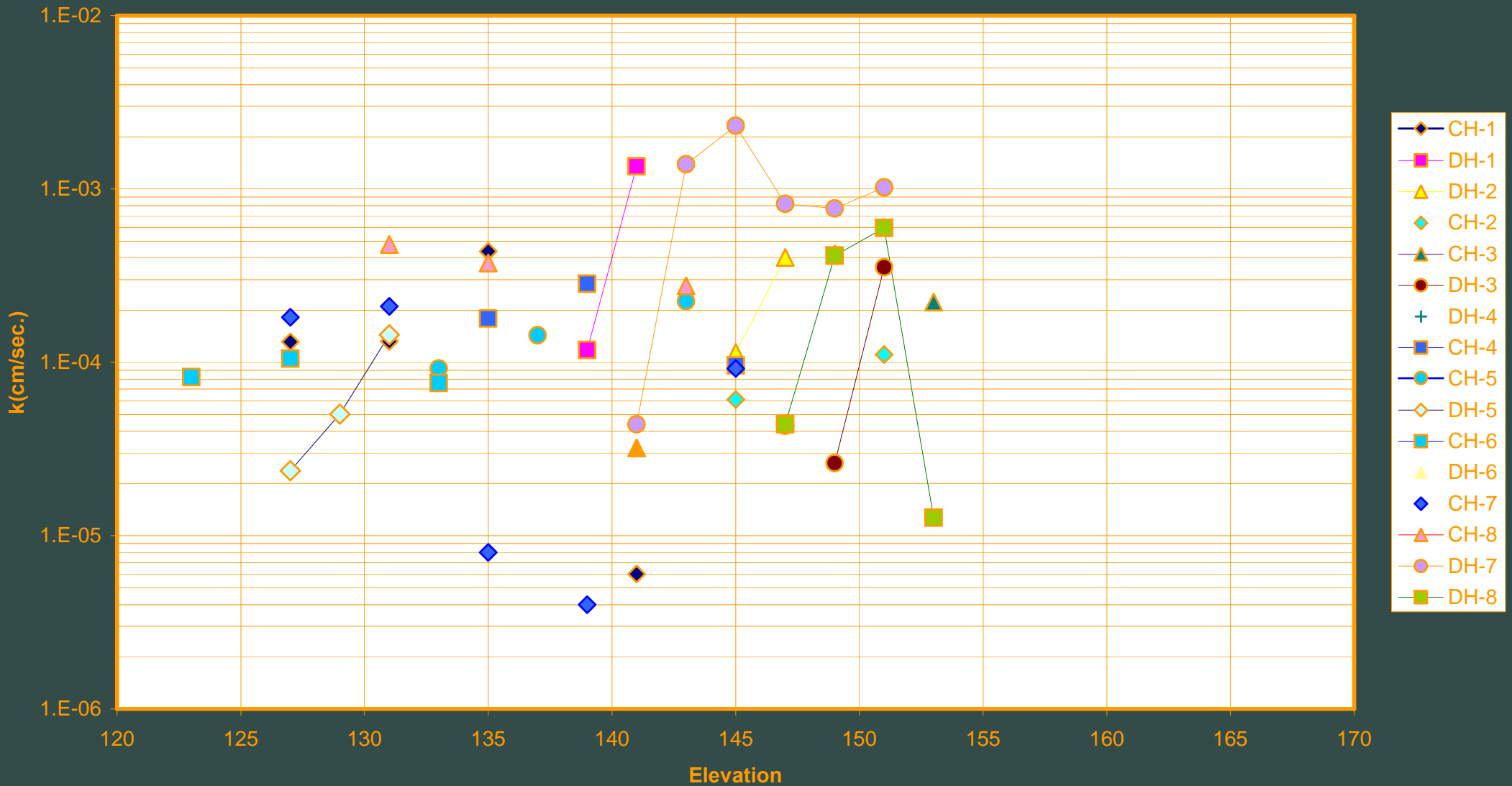
ชั้นดินตัวเชื่อมที่มีค่าความชื้นน้ำค่อนข้างสูง (SM) มีความชุ่มน้ำมากกว่าชั้นอื่นๆ และคาดว่าจะป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดพื้นที่ชุ่มน้ำในบริเวณลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ ถ้าหากชั้นดินดังกล่าวมีความต่อเนื่องตามความกว้างของหน้าตัดเขื่อน



ความลึก ม.รทก.	หลุมเจาะ และ STA.															
	CH-1	DH-1	DH-2	CH-2	CH-3	DH-3	DH-4	CH-4	CH-5	DH-5	CH-6	DH-6	CH-7	CH-8	DH-7	DH-8
	500	644.55	1060	2000	3200	3500	4750	5600	5900	5992	6100	6365	6500	6750	6870	7312
167																
165																
163																
161																
159																
157																
155																
153					2.23E-04											1.27E-05
151				1.11E-04		3.53E-05									1.02E-03	5.96E-04
149					4.22E-04	2.62E-05									7.71E-04	4.13E-04
147			4.03E-04						4.30E-05						8.20E-04	4.39E-05
145			1.14E-04	6.10E-05				9.60E-05					9.20E-05		2.32E-03	
143									2.25E-05					2.76E-04	1.39E-03	
141	6.00E-06	1.35E-03										3.21E-05			4.39E-05	
139		1.18E-04						2.84E-04					4.00E-06			
137									1.43E-04							
135	4.37E-04							1.79E-04					8.00E-06	3.74E-04		
133									9.20E-05			7.60E-05				
131	1.32E-04									1.44E-04			2.10E-04	4.78E-04		
129										5.02E-05						
127	1.31E-04									2.37E-05	1.05E-04		1.82E-04			
125																
123											8.20E-05					
121																
119											7.00E-06					

ค่าการรั่วซึมของหินฐานราก (หินทราย)

Foundation Permeability

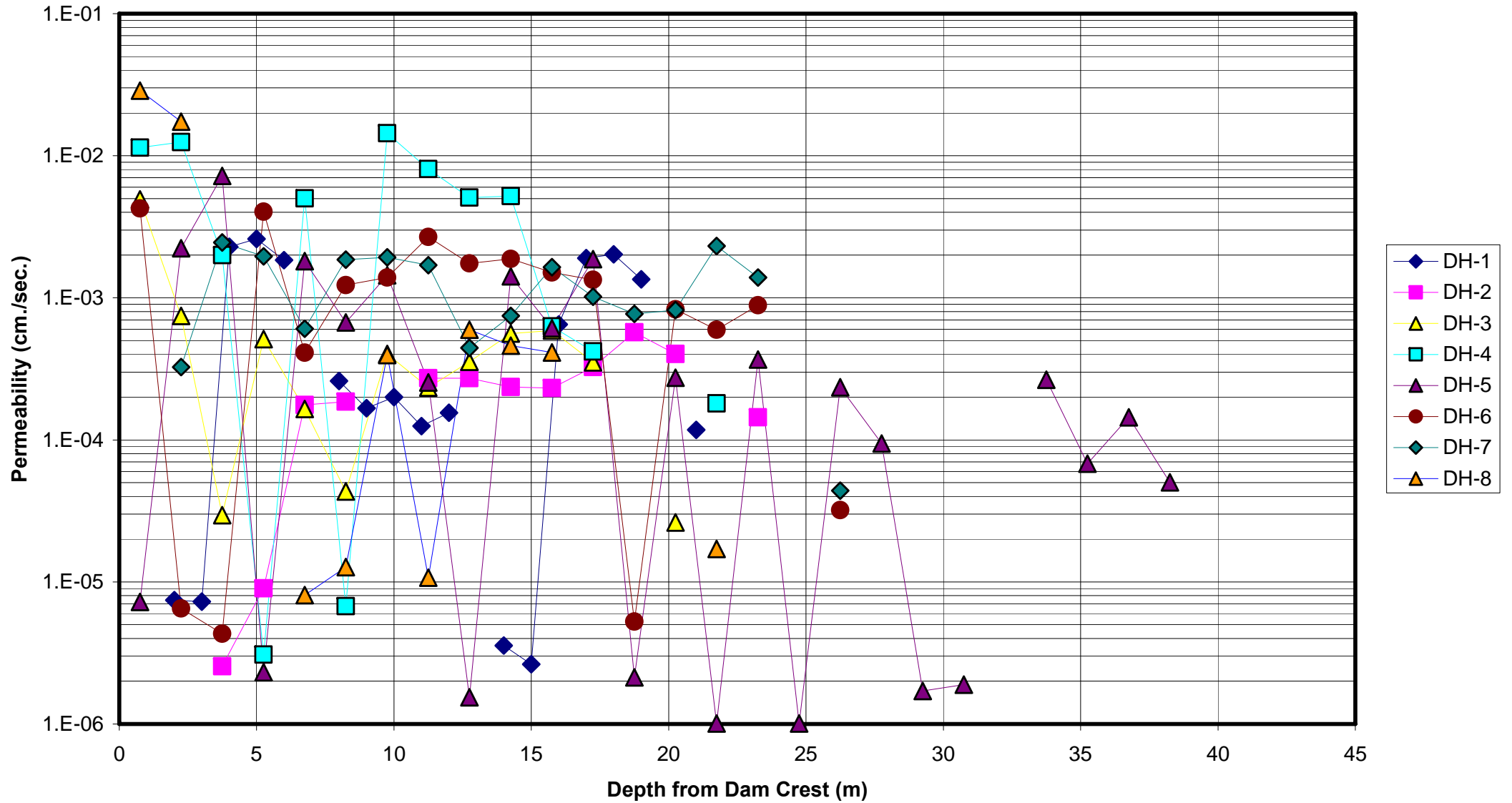


ผลการวิเคราะห์การรั่วซึมของหินฐานราก

ตารางค่าการรั่วซึมของตัวเขื่อน

ความลึก ม.รทก	ลึกจากสัน 167.8 (ม.)	หลุมเจาะ และ STA							
		DH-1	DH-2	DH-3	DH-4	DH-5	DH-6	DH-7	DH-8
		644.55	1060	3500	4750	5992	6365	6870	7312
167.05	0.75	0	0	4.94E-03	1.14E-02	7.23E-06	4.26E-03	0	2.87E-02
165.55	2.25	7.44E-06	0	7.45E-04	1.25E-02	2.23E-03	6.51E-06	3.25E-04	1.74E-02
164.05	3.75	7.25E-06	2.55E-06	2.95E-05	2.00E-03	7.21E-03	4.32E-06	2.45E-03	0
162.55	5.25	2.29E-03	9.01E-06	5.13E-04	3.08E-06	2.31E-06	4.03E-03	1.96E-03	0
161.05	6.75	2.60E-03	1.76E-04	1.65E-04	5.02E-03	1.81E-03	4.11E-04	6.07E-04	8.07E-06
159.55	8.25	1.84E-03	1.86E-04	4.33E-05	6.76E-06	6.70E-04	1.23E-03	1.86E-03	1.27E-05
158.05	9.75	0	0	4.02E-04	1.44E-02	1.44E-03	1.39E-03	1.93E-03	3.96E-04
156.55	11.25	2.60E-04	2.72E-04	2.34E-04	8.07E-03	2.54E-04	2.68E-03	1.70E-03	1.07E-05
155.05	12.75	1.67E-04	2.72E-04	3.54E-04	5.07E-03	1.54E-06	1.75E-03	4.44E-04	5.96E-04
153.55	14.25	2.00E-04	2.36E-04	5.61E-04	5.20E-03	1.42E-03	1.88E-03	7.45E-04	4.60E-04
152.05	15.75	1.25E-04	2.32E-04	5.89E-04	6.29E-04	6.12E-04	1.51E-03	1.64E-03	4.13E-04
150.55	17.25	1.55E-04	3.25E-04	3.52E-04	4.19E-04	1.87E-03	1.34E-03	1.02E-03	
149.05	18.75	0	5.73E-04			2.13E-06	5.25E-06	7.71E-04	
147.55	20.25	3.56E-06	4.03E-04	2.62E-05		2.74E-04	8.29E-04	8.20E-04	
146.05	21.75	2.64E-06			1.81E-04	1.01E-06	5.97E-04	2.32E-03	1.71E-05
144.55	23.25	6.50E-04	1.44E-04			3.68E-04	8.87E-04	1.39E-03	
143.05	24.75	1.90E-03				1.01E-06			
141.55	26.25	2.02E-03				2.35E-04	3.21E-05	4.39E-05	
140.05	27.75	1.35E-03				9.44E-05			
138.55	29.25					1.71E-06			
137.05	30.75	1.18E-04				1.89E-06			
135.55	32.25					0.00E+00			
134.05	33.75					2.65E-04			
132.55	35.25					6.81E-05			
131.05	36.75					1.44E-04			
129.55	38.25					5.02E-05			
128.05	39.75								
126.55	41.25								
125.05	42.75								
123.55	44.25								
122.05	45.75								
120.55	47.25								
average		6.44E-04	1.92E-04	8.93E-03	5.39E-03	7.32E-04	1.43E-03	1.25E-03	

EMBANKMENT PERMEABILITY

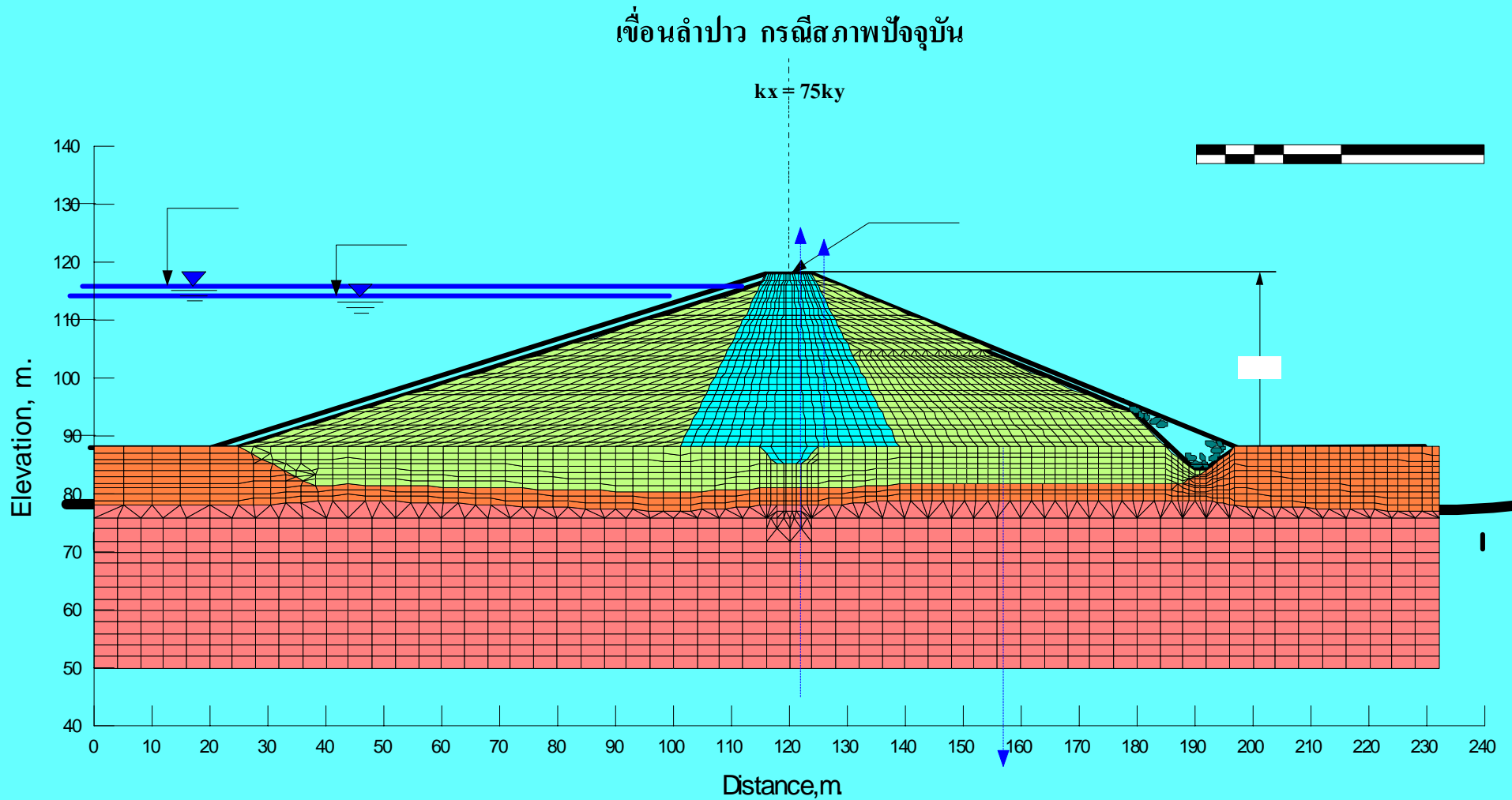


Seepage Analysis

Material Properties

ส่วนต่างๆ ของเขื่อน	ค่าความซึมน้ำ k_x , (cm/s)	อัตราส่วนความซึมน้ำ ($k_x:k_y$)
Rock Foundation	2×10^{-4}	10
Soil Foundation	5×10^{-4}	10
Core Zone (Zone1)	7×10^{-4}	75
Random Zone (Zone2)	7×10^{-4}	75
Filter	1×10^{-2}	1
Rock Toe Drain	1×10^{-2}	1
Plastic Concrete (Slurry Wall)	1×10^{-6}	1

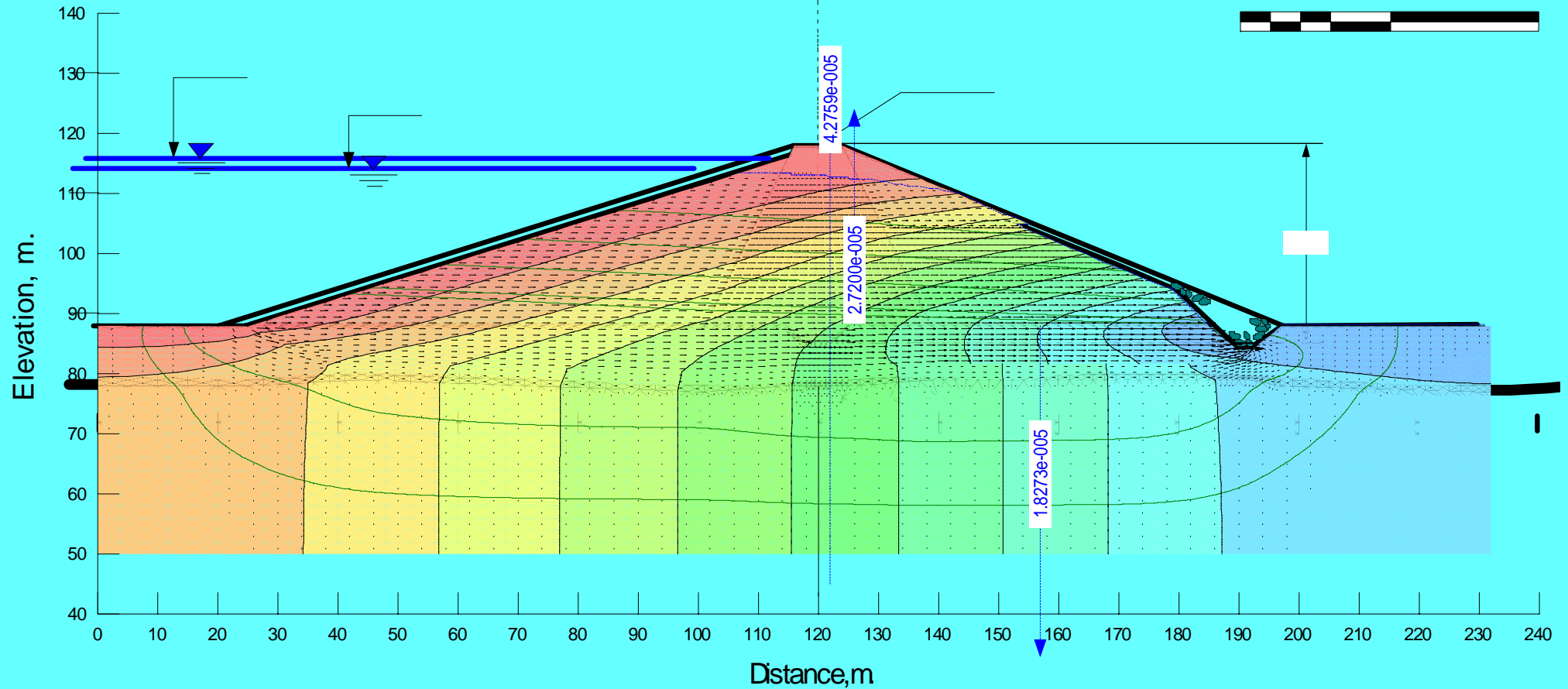
ตาข่ายการไหล กรณีเขื่อนปัจจุบัน



ผลการวิเคราะห์ กรณีเขื่อนปัจจุบัน

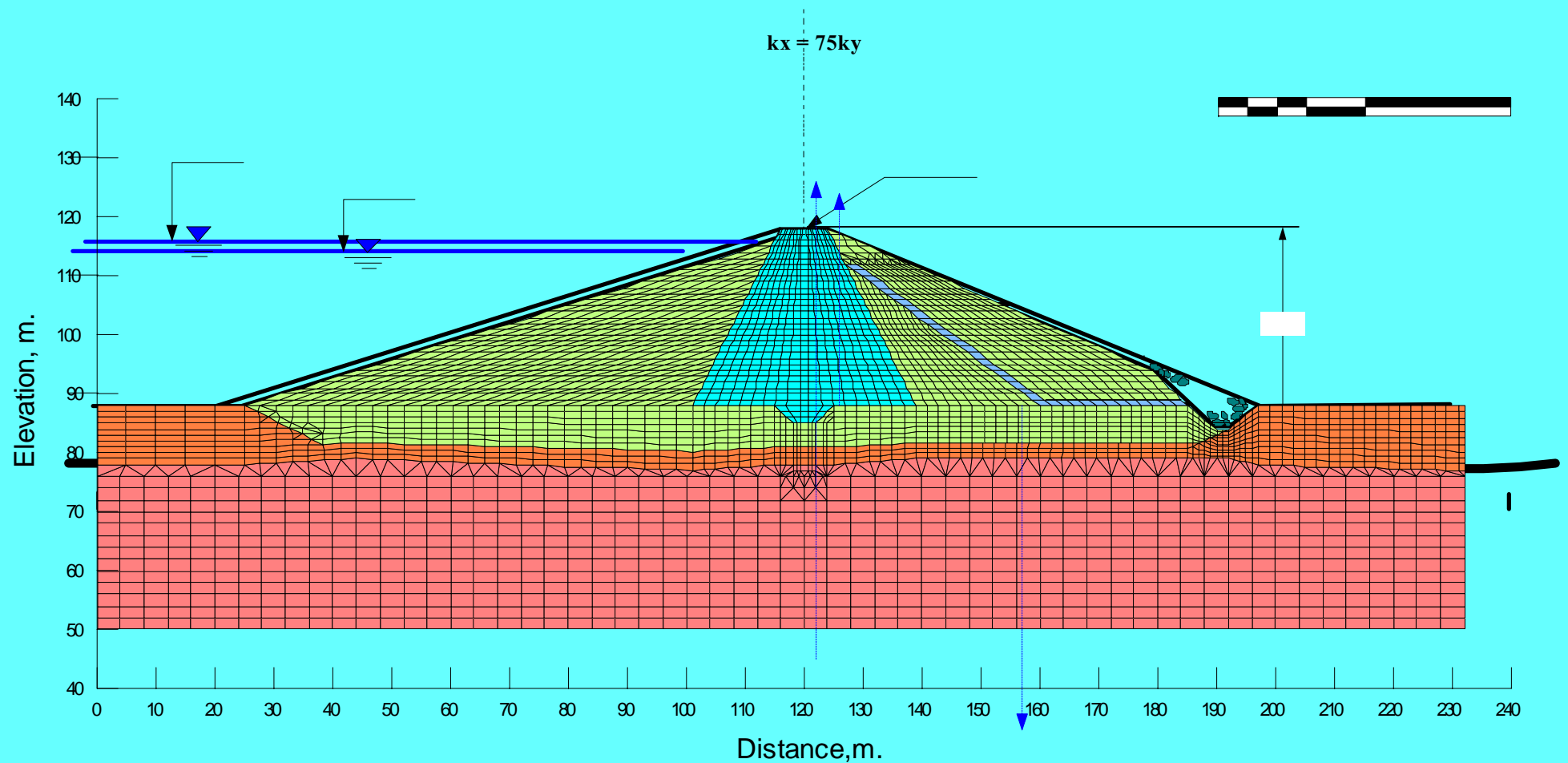
เขื่อนลำปาว กรณีสภาพปัจจุบัน

$k_x = 75k_y$



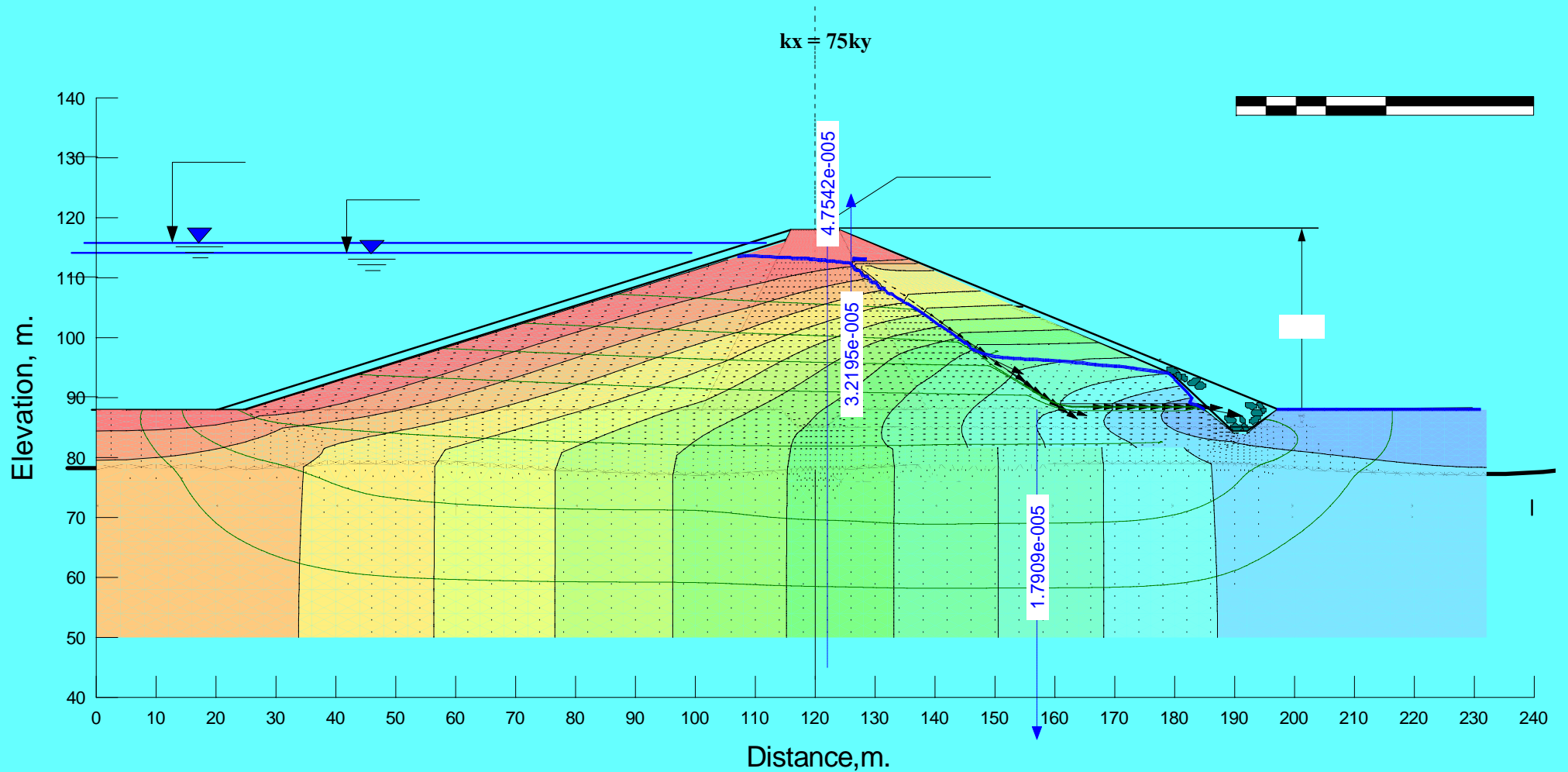
ตาข่ายการไหล กรณี Internal Drain

เขื่อนลำปาว กรณีก่อสร้าง D/S Chimney Filter

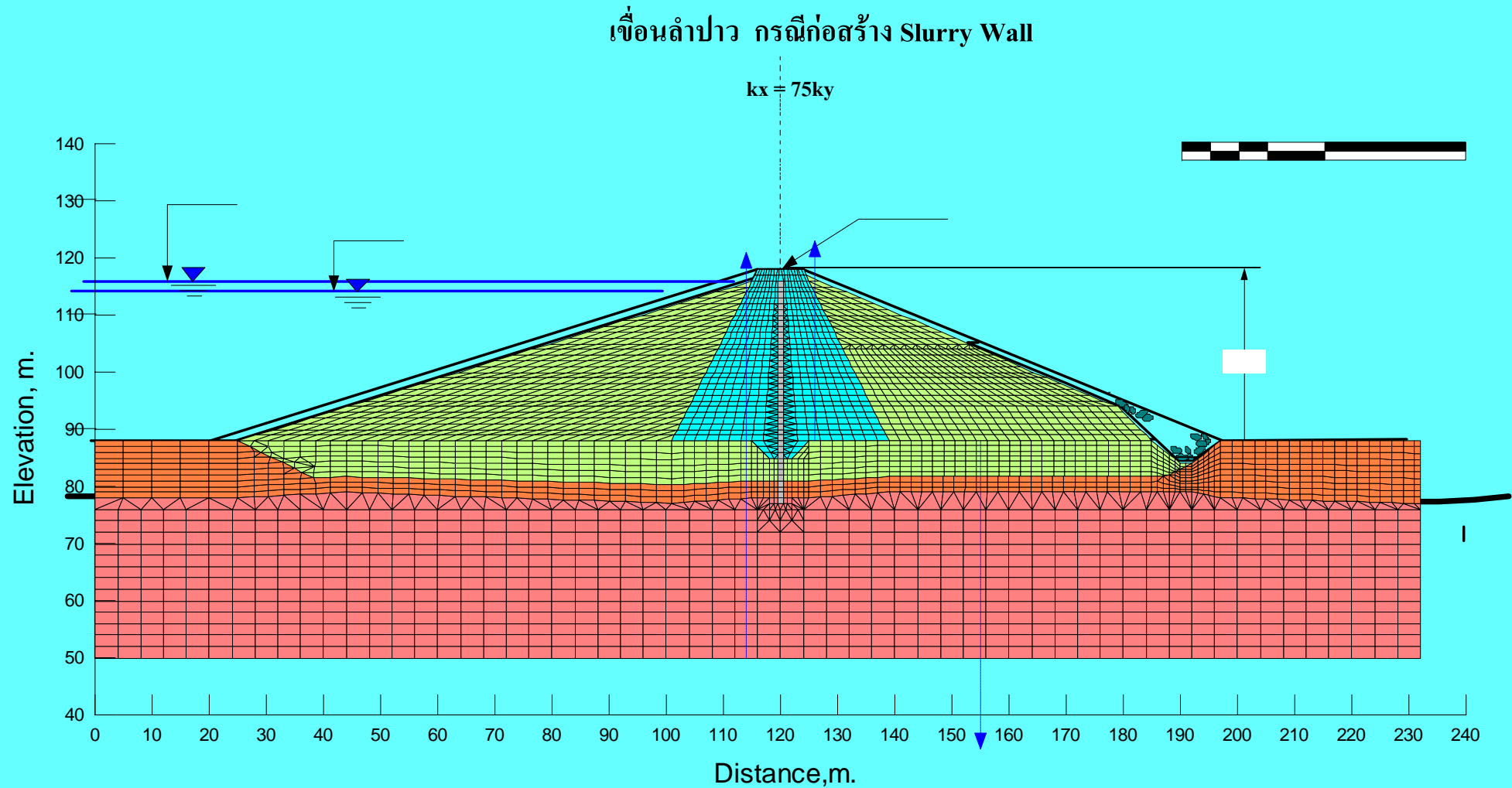


ผลการวิเคราะห์ กรณี Internal Drain

เขื่อนลำปาว กรณีก่อสร้าง D/S Chimney Filter



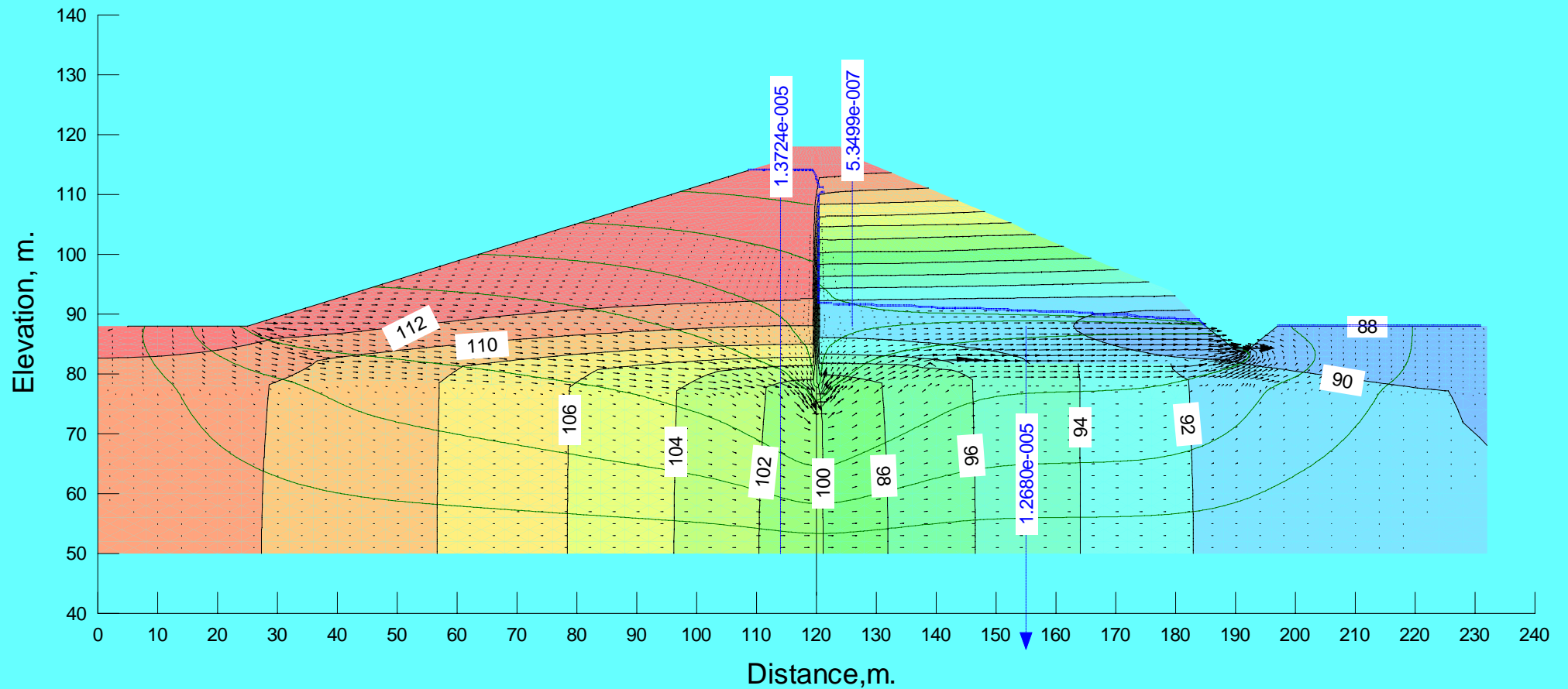
ตาข่ายการไหล กรณี Concrete Cut-off Wall



ผลการวิเคราะห์ กรณี Concrete Cut-off Wall

เขื่อนลำปาว กรณีก่อสร้าง Slurry Wall

$k_x = 75ky$



Seepage Analysis

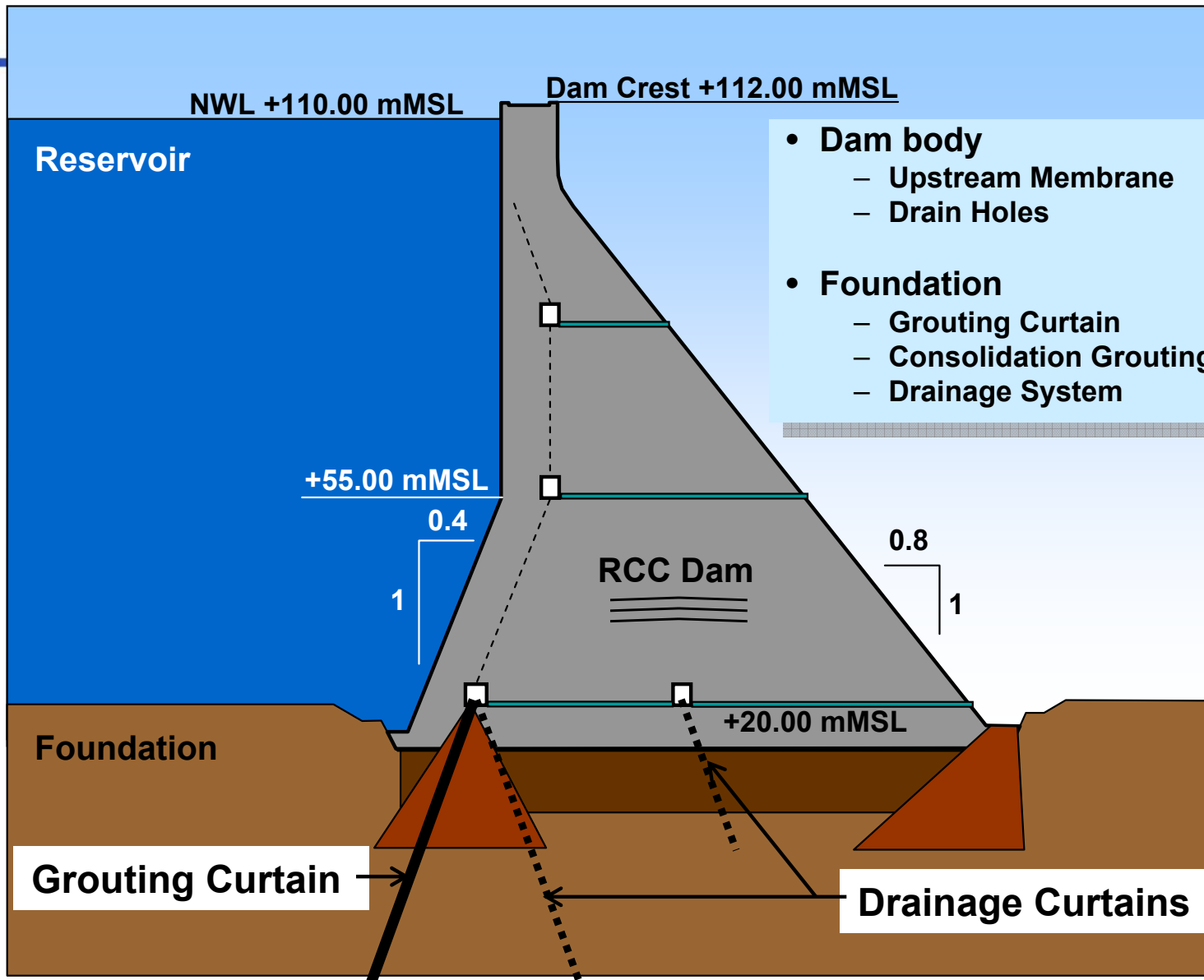
ผลการวิเคราะห์

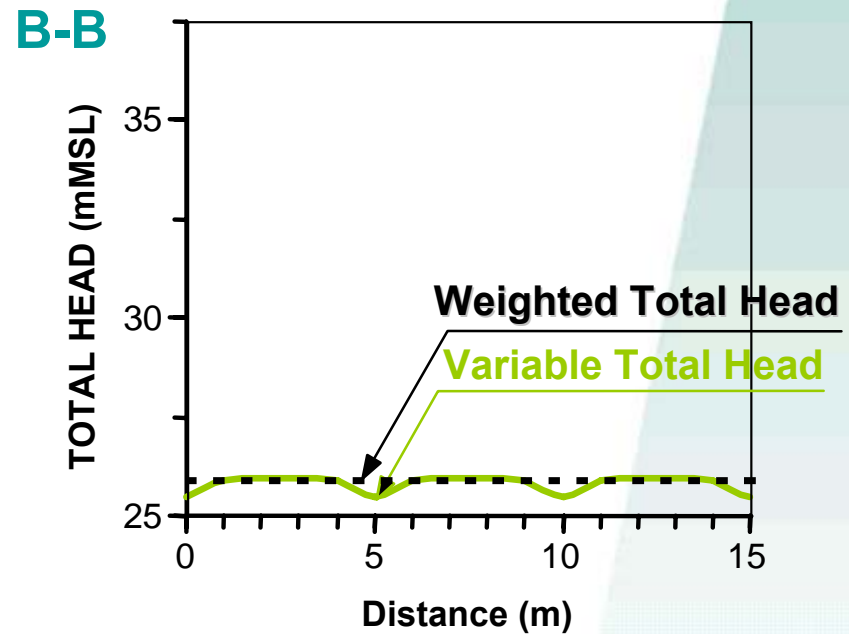
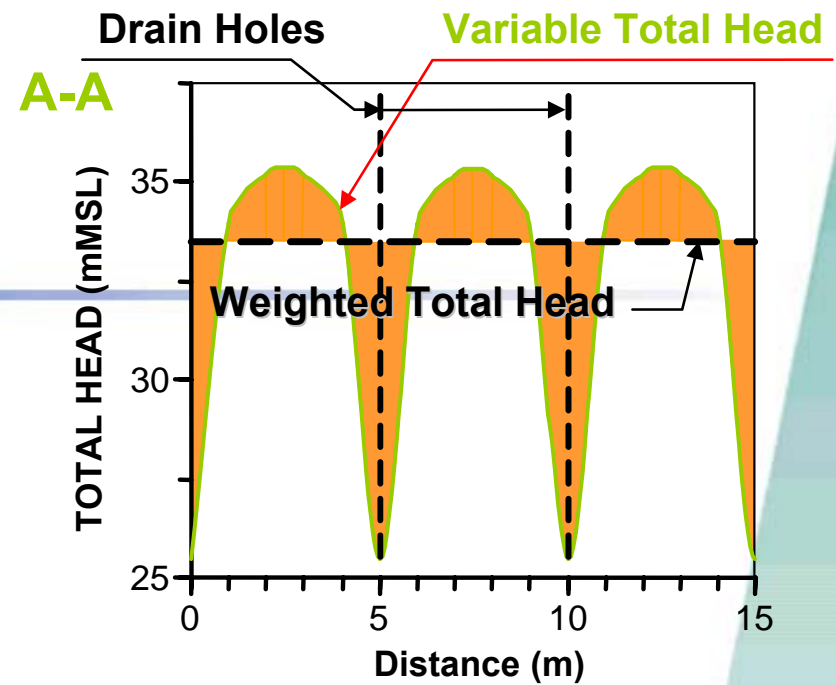
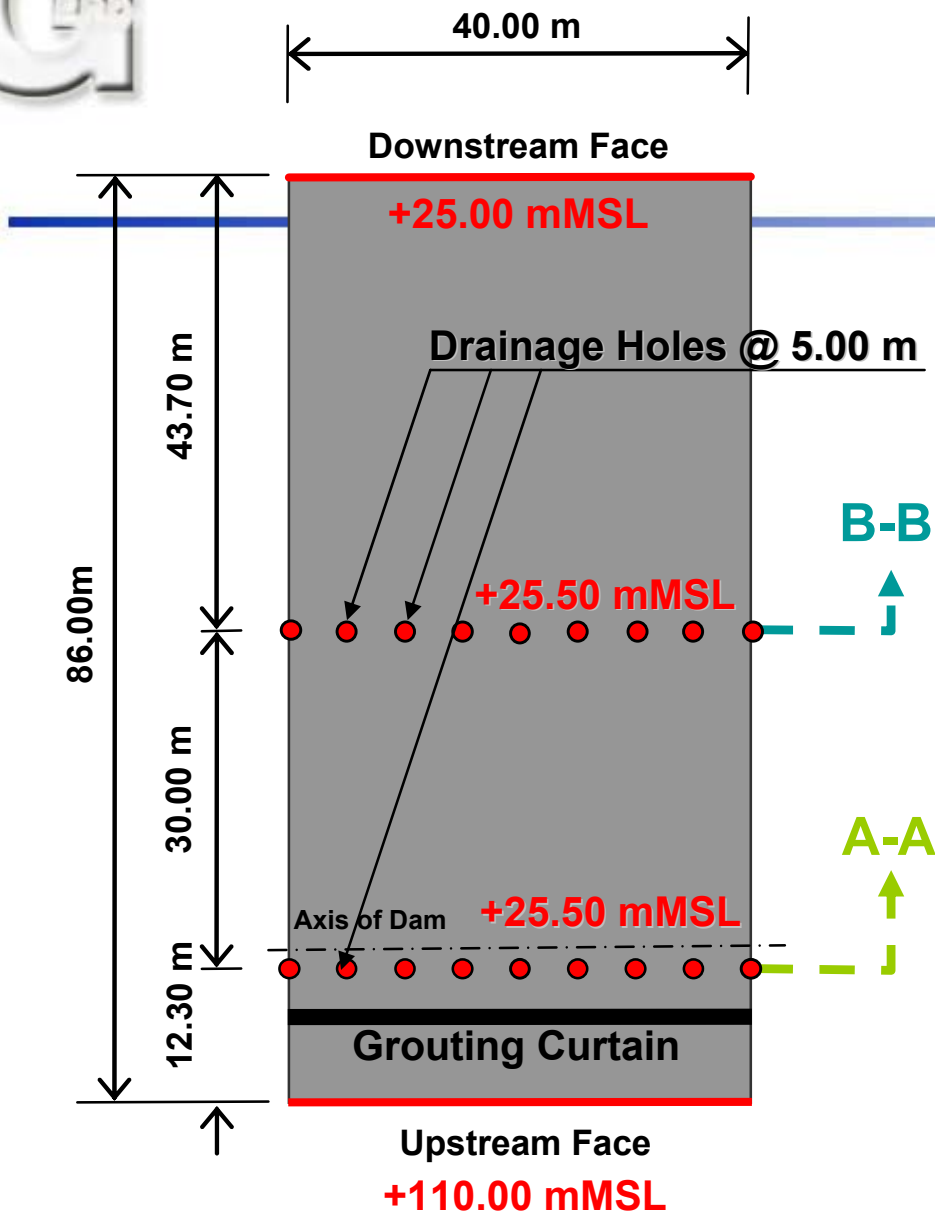
กรณีศึกษา	สภาพตัวเขื่อนและการแก้ไข	ปริมาณน้ำไหลซึม (ลบ.ม./ว./ม.)			ระดับผิวน้ำในตัวเขื่อนด้านท้ายน้ำ (ม. จากฐานราก)	ความเร็วการไหลซึมด้านท้ายน้ำ (ม. / วินาที)
		รวมทั้งหน้าตัด	เฉพาะตัวเขื่อน	เฉพาะฐานราก		
1	สภาพตัวเขื่อนปัจจุบัน	4.28E-05	2.72E-05	1.56E-05	22	8.67E-07
	เปรียบเทียบกับปัจจุบัน	100.0%	100.0%	100.0%		
2	ปรับปรุงด้วยการก่อสร้าง Internal Drain (D/S Filter)	4.75E-05	3.22E-05	1.53E-05	6	8.71E-07
	เปรียบเทียบกับปัจจุบัน	111.0%	118.4%	98.1%		
3	ปรับปรุงด้วยการก่อสร้าง Cut-off Wall (Slurry Wall)	1.37E-05	5.35E-07	1.32E-05	1	6.36E-07
	เปรียบเทียบกับปัจจุบัน	32.0%	1.7%	86.0%		

เงื่อนไขด้านประชากร (เงื่อนไขทางด้าน)



หน้าตัดเขื่อนคลองท่าด่าน

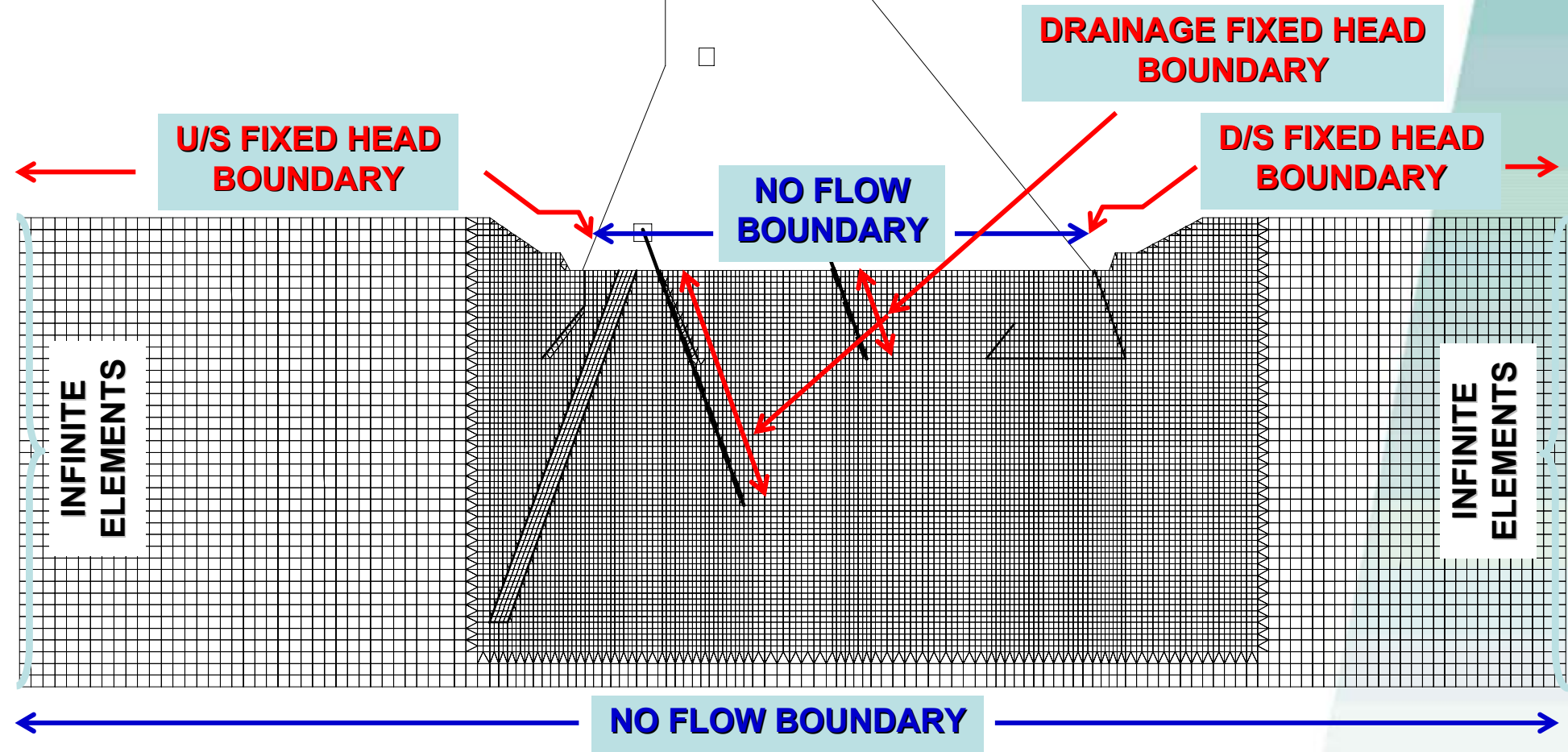




แบบจำลองแนวระนาบ



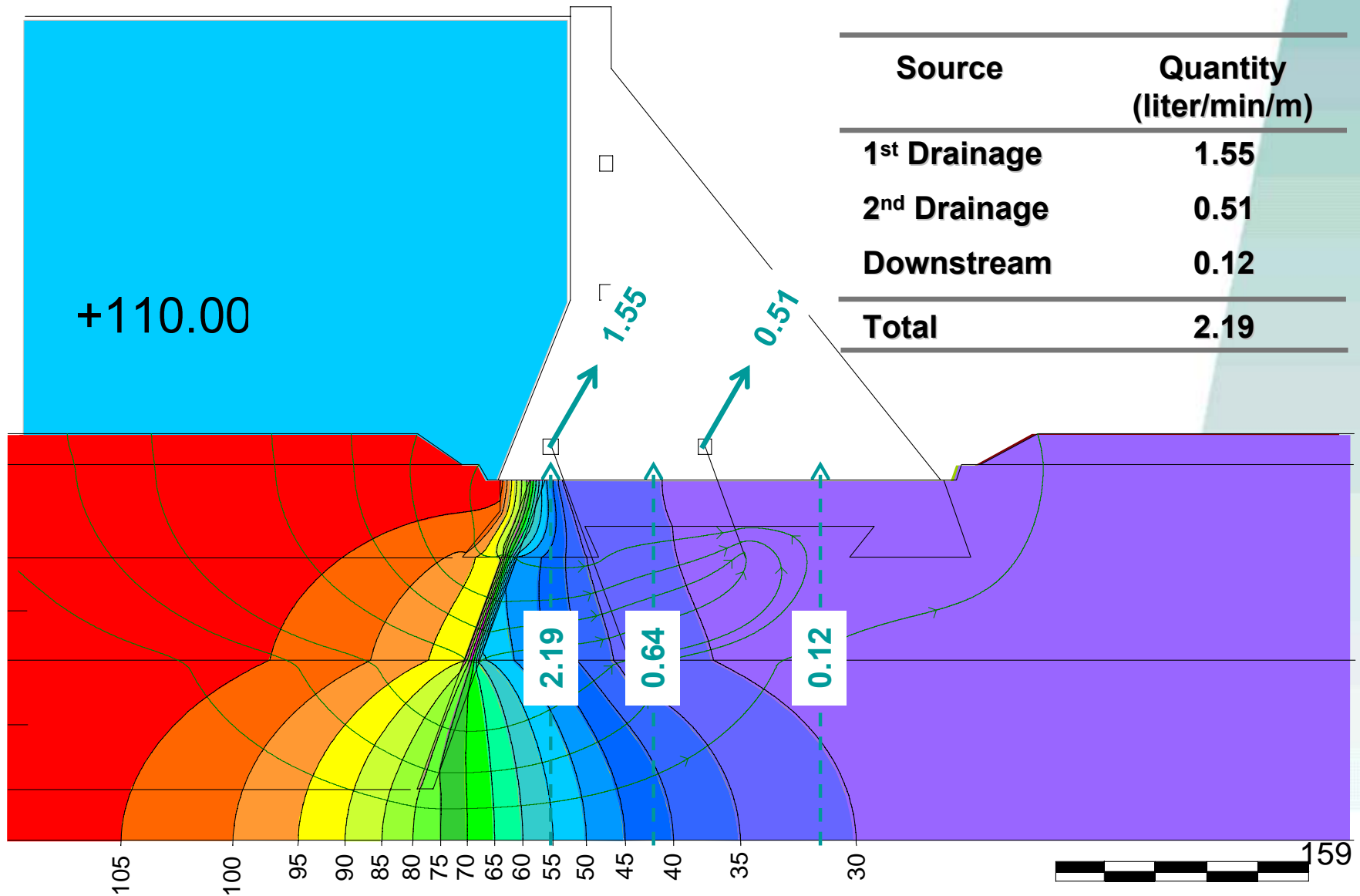
NO OF NODE \approx 14000
NO OF ELEMENT \approx 14000



แบบจำลองแนวหน้าตัด 2 มิติ

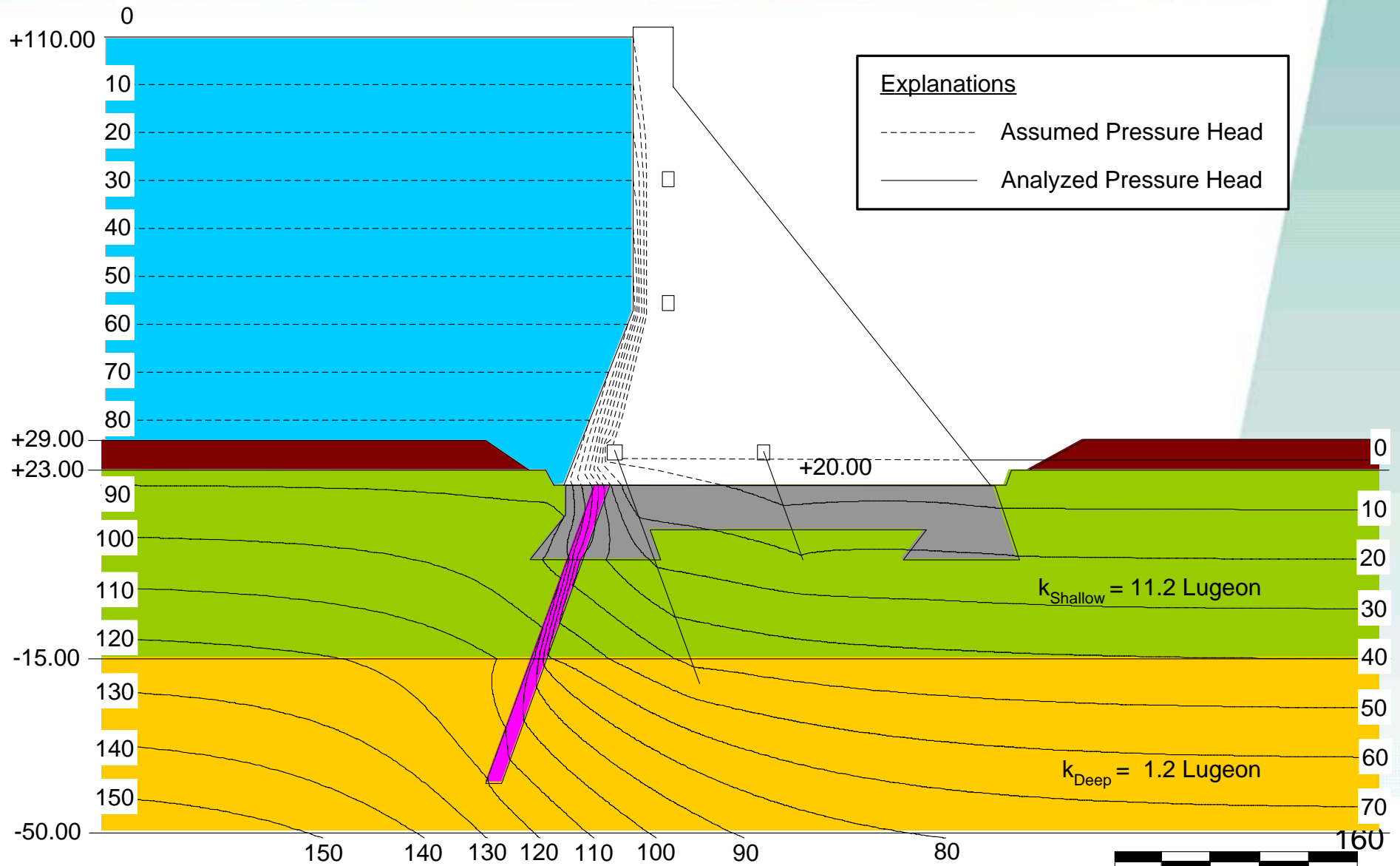


Equipotential Line และ Flow Path ในกรณีปกติ



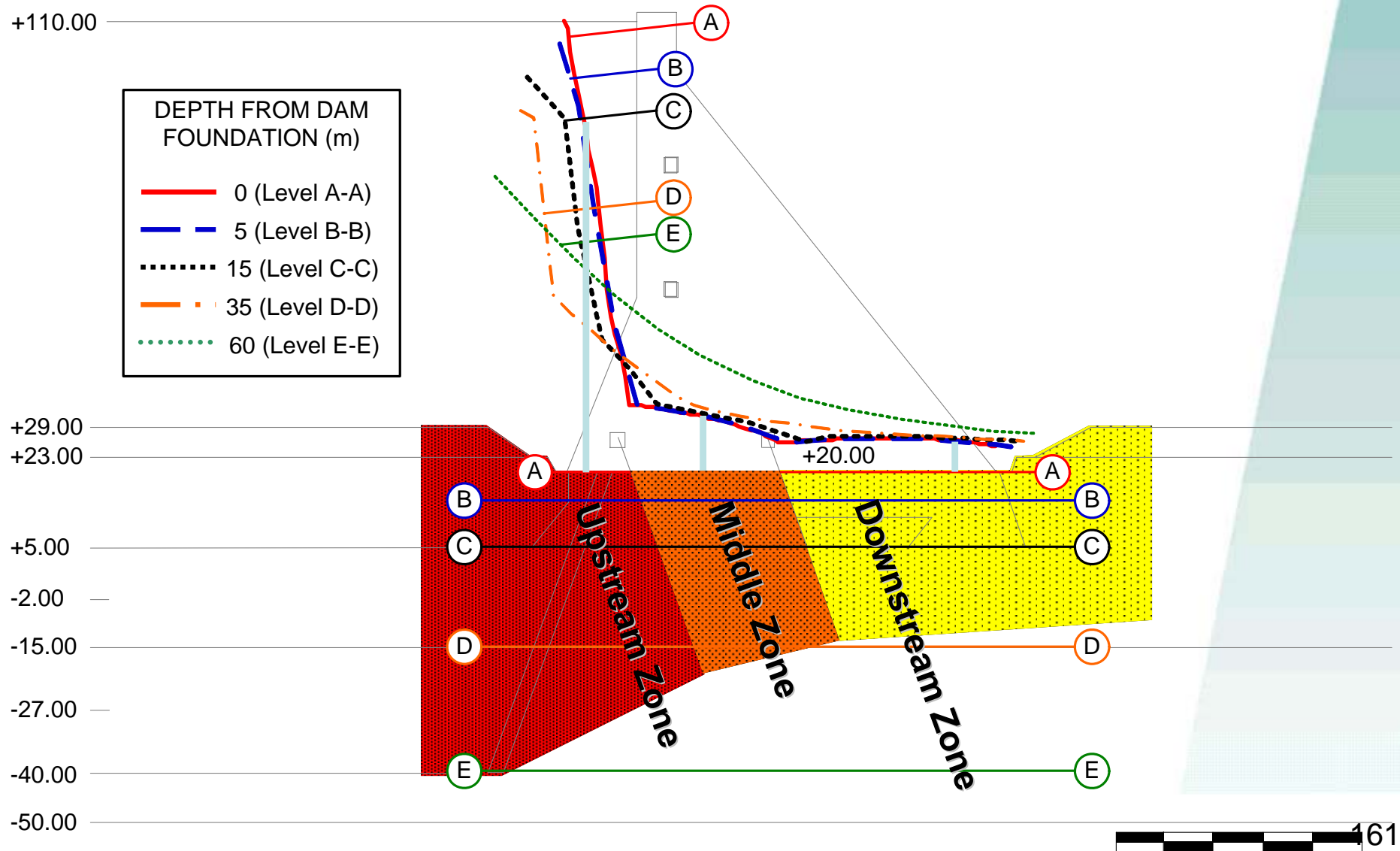


ศักยภาพความดัน



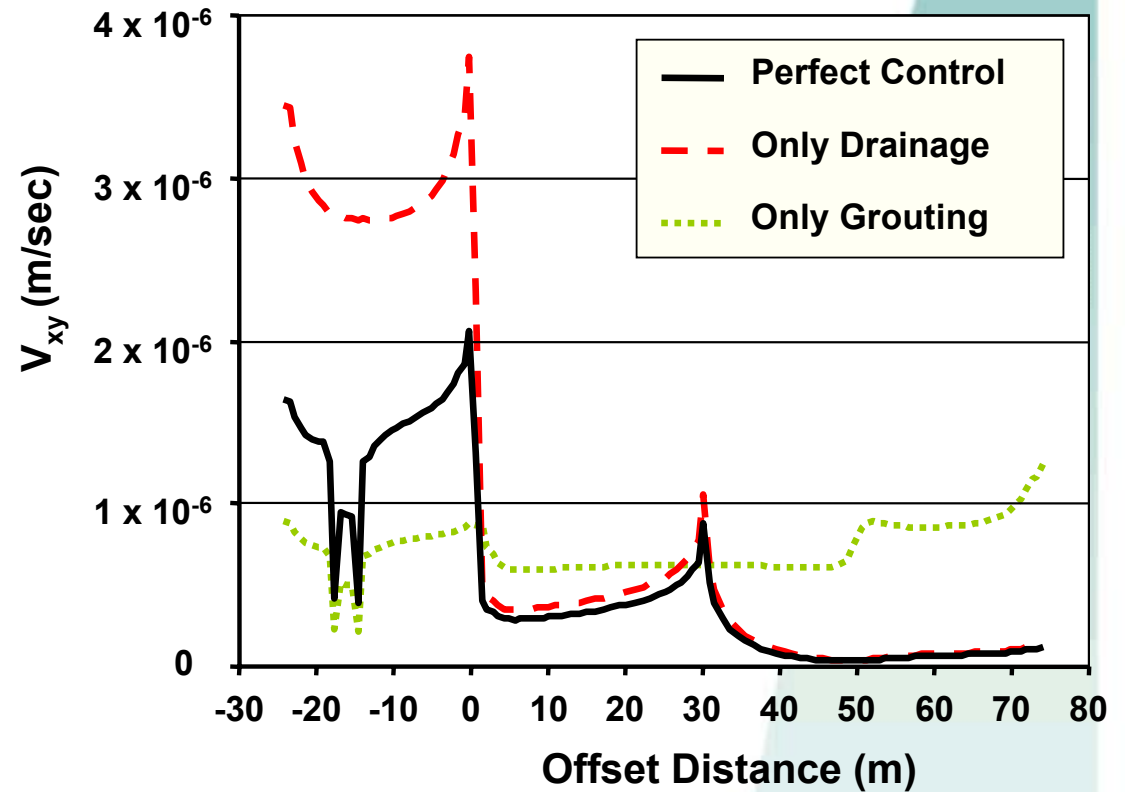
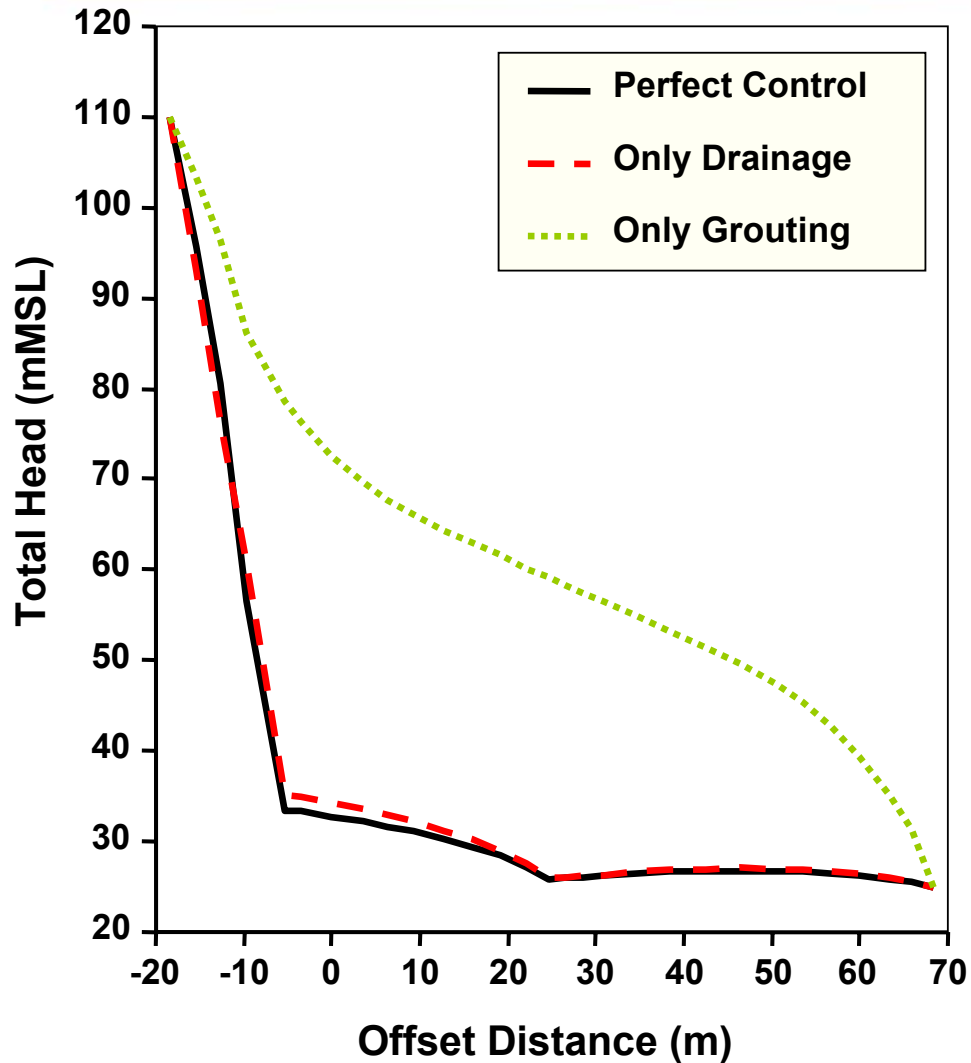


แรงดันลอยตัว



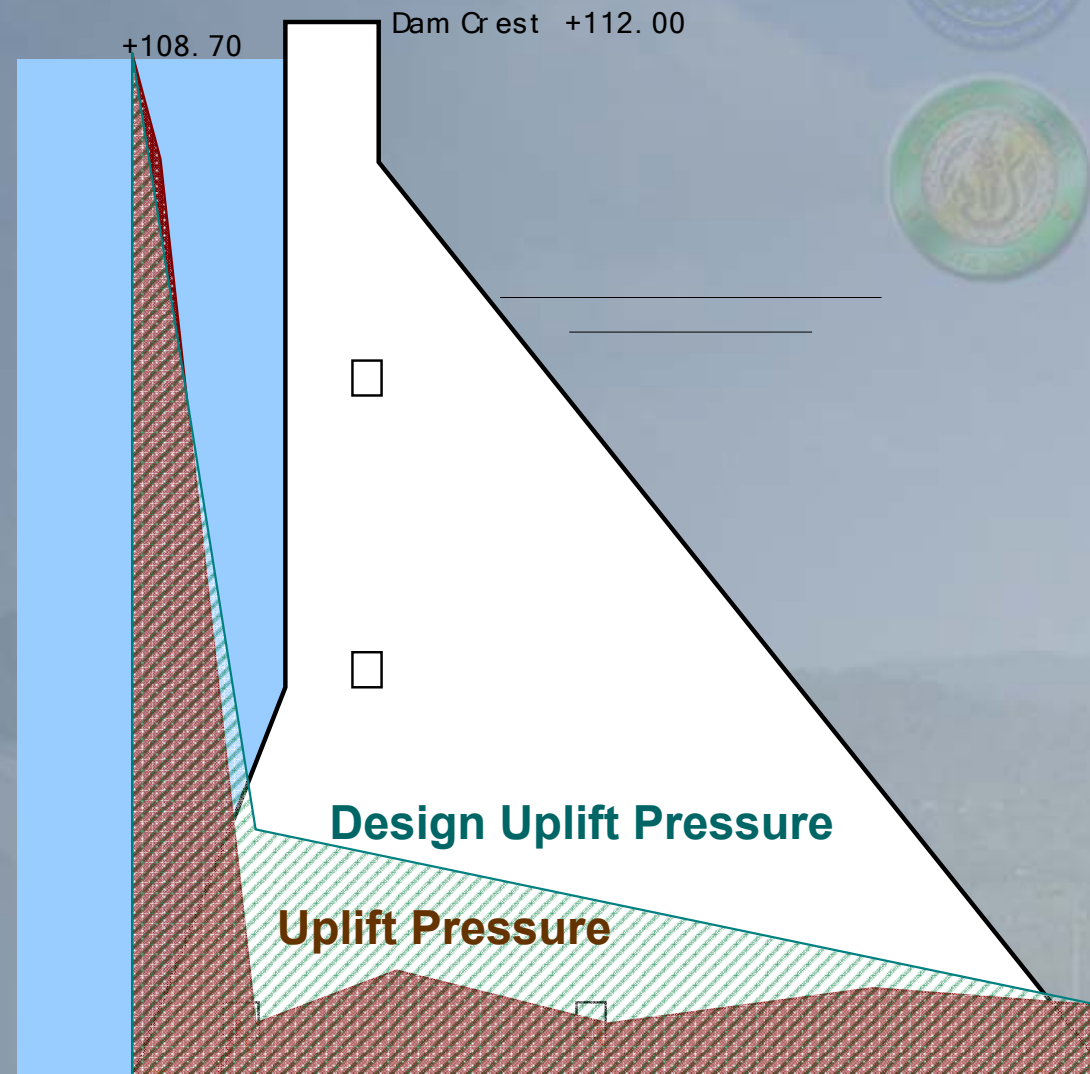
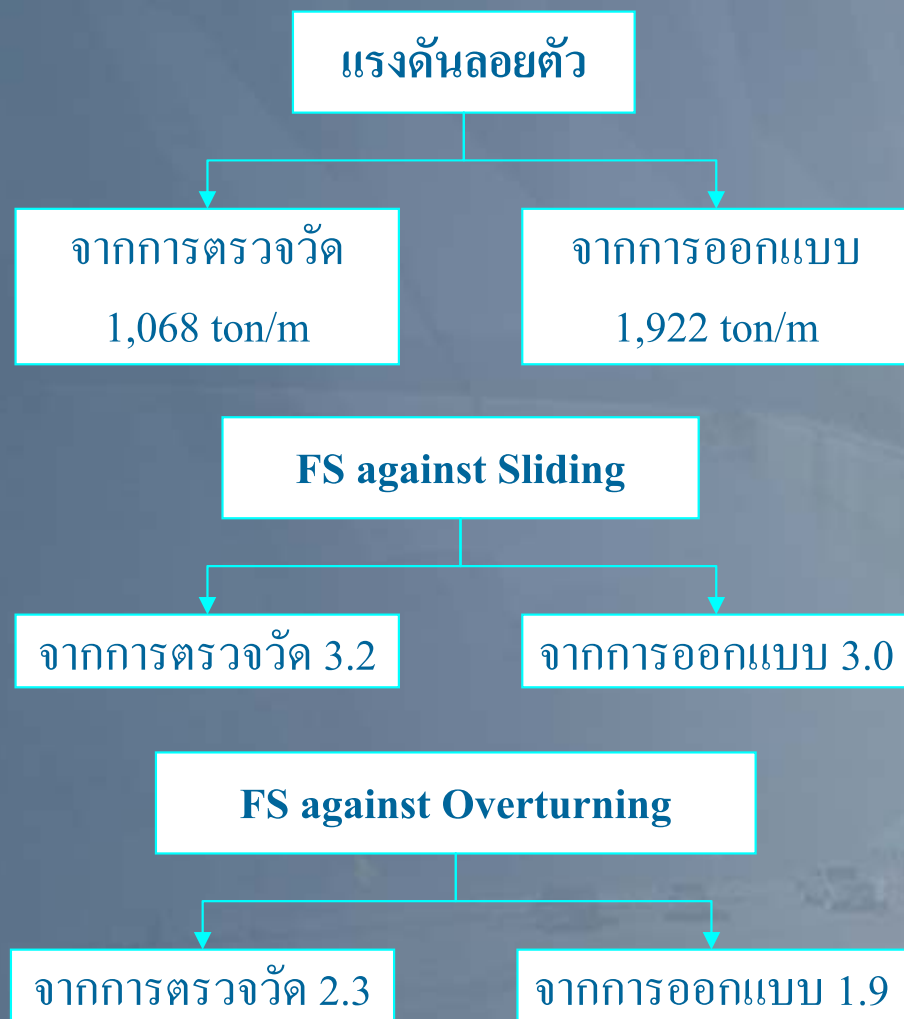


กลไกการควบคุมการไหลซึม



แรงดันลอยตัวใต้ฐานเขื่อน

วันที่ 29 พฤศจิกายน 2548
ระดับน้ำในอ่าง + 108.7 mMSL



สรุปแรงดันลอยตัวใต้ฐานเขื่อน

วันที่อ่านค่า	ระดับน้ำ (ม.รทก.)	แรงลอยตัว (ตัน/เมตร)		FSS*		FSO*	
		ผลการ ตรวจวัด	การ ออกแบบ	ผลการ ตรวจวัด	การ ออกแบบ	ผลการ ตรวจวัด	การ ออกแบบ
28 ต.ค. 48	+105.9	1,082	1,866	3.4	3.2	2.5	2.0
29 พ.ย. 48	+108.7	1,068	1,922	3.2	3.0	2.3	1.9
08 ก.พ. 49	+104.0	992	1,808	3.6	3.3	2.7	2.1
24 ก.ค. 49	+95.8	709	1,690	4.5	4.1	3.7	2.5

หมายเหตุ : FSS เป็นอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการเลื่อนไถล (Factor of Safety against Sliding)
FSO เป็นอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ (Factor of Safety against Overturning)

จบการบรรยาย