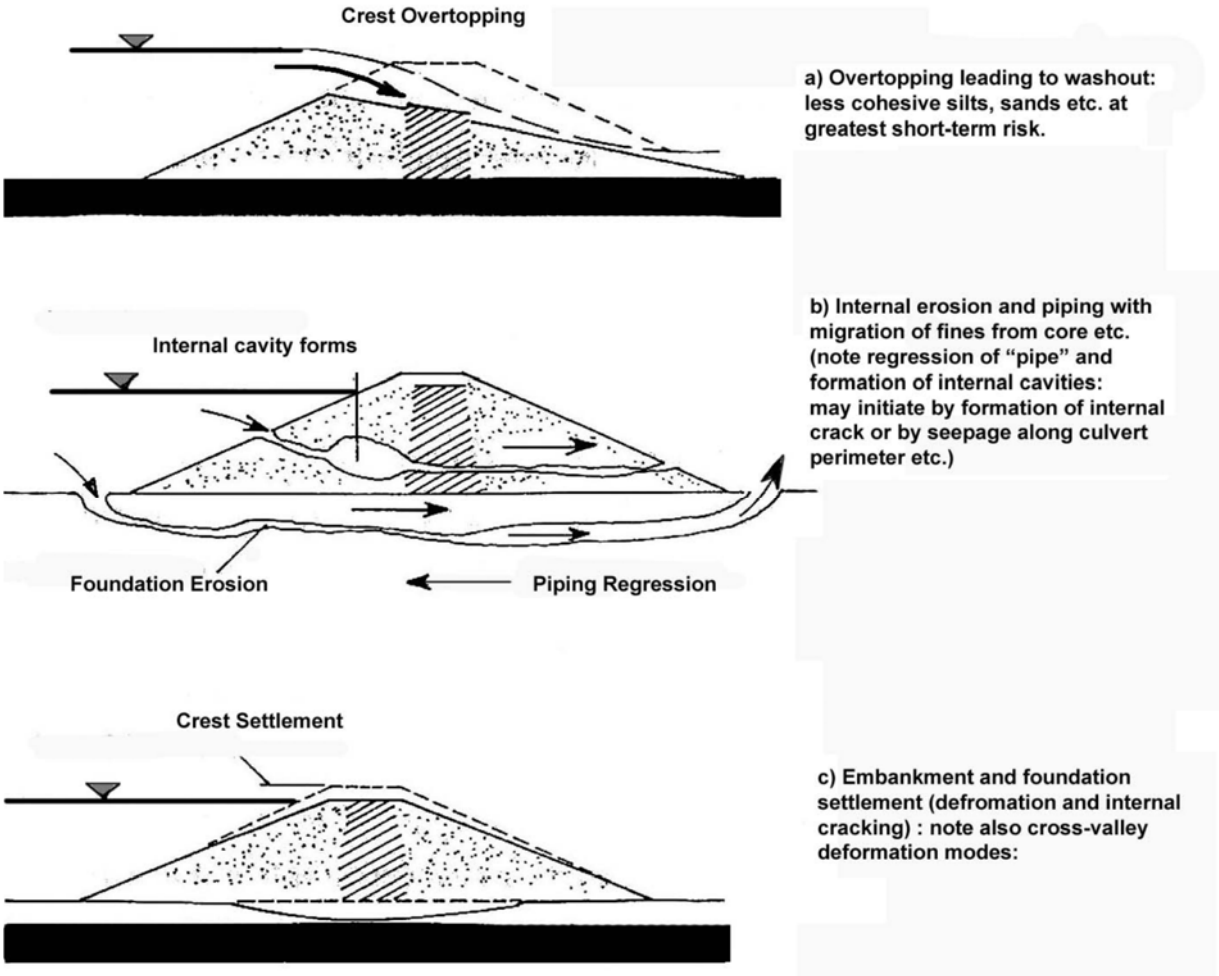
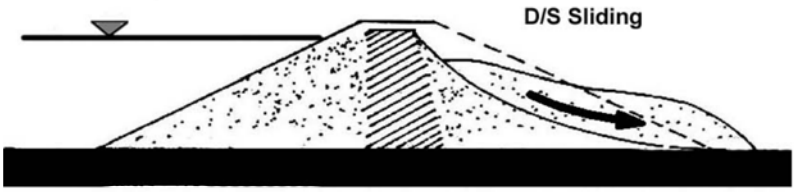
Real time monitoring and pre-decision making system for Dam safety practice in Thailand

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

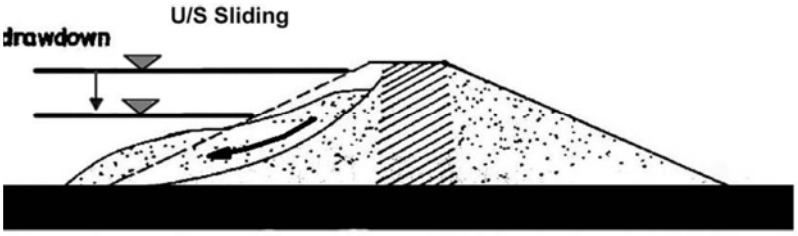
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Geotechnical Engineering Research and Development Center (GERD)
Civil Engineering Department, Faculty of Engineering
Kasetsart University, Bangkok, Thailand
WWW.GERD.ENG.KU.AC.TH

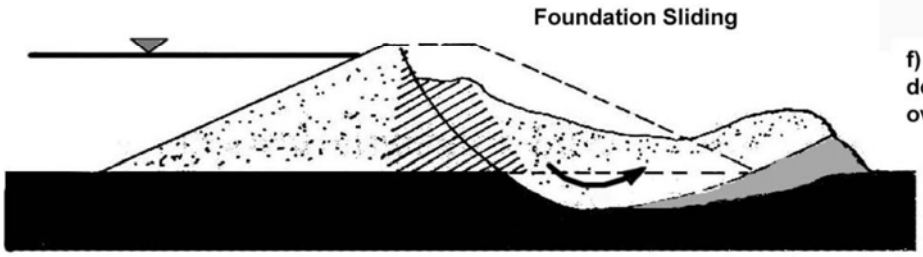




d) Instability (1): downstream slope too high and/or too steep in relation to shear strength of the shoulder material.



e) Instability (2): upstream slope slips following rapid drawdown of water level.



f) Instability (3): failure of downstream foundation due to overstress of soft horizons.

Rainbow Dam, Michigan 1986

SITU GINTUNG DAM

27 มีนาคม 2009

สูง 16 เมตร.

ผู้เสียชีวิต 100 คน

เขื่อนอายุกว่า 100 ปี

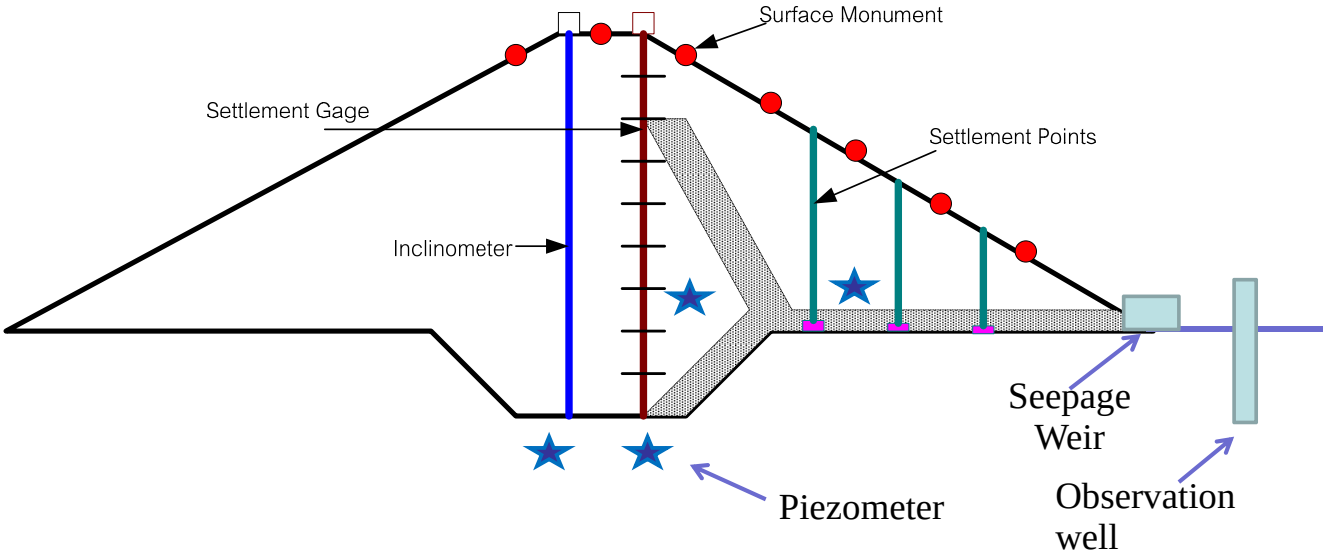
การพิบัติที่เกิดช่องเปิด (Breach Failure)

Fujinuma Dam failure

เครื่องมือวัดข้อมูลด้านความปลอดภัยเขื่อน

- เครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน
- เครื่องมือทางอุตุ-อุทกวิทยา และระบบโทรมาตร
- เครื่องมือวัดทางแผ่นดินไหว

เครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนดิน



ข้อมูลสำคัญด้านความปลอดภัยเขื่อน

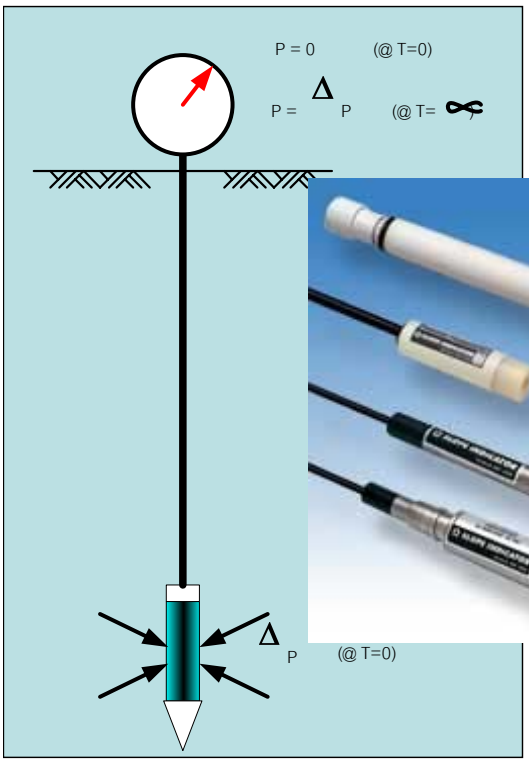
1. แรงดันน้ำในช่องว่างของเม็ดดิน (Pore Water Pressure)

2. การเคลื่อนตัวของตัวเขื่อนและฐานราก

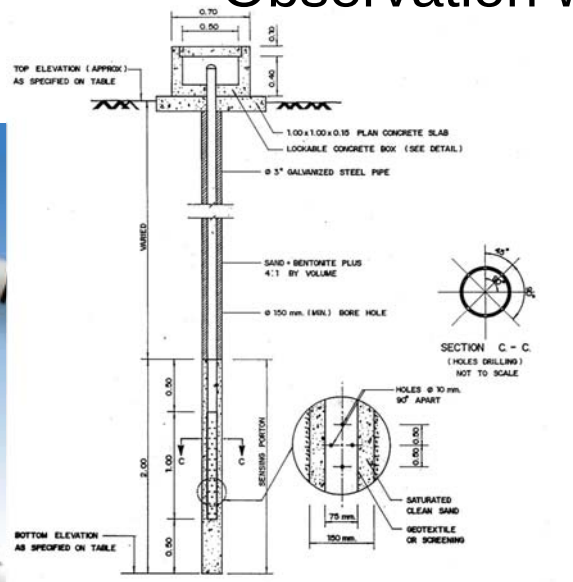
3. การไหลของน้ำผ่านตัวเขื่อน

4. การสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

5. ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ

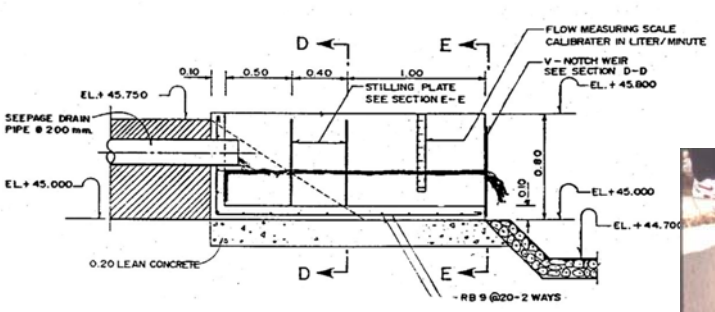


Observation well

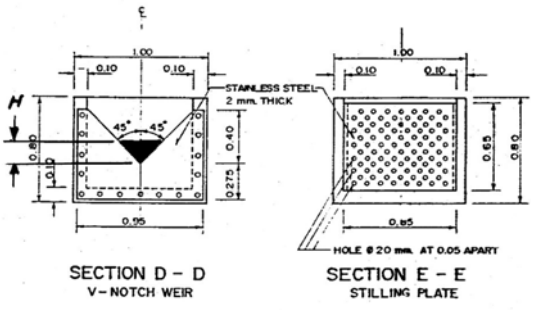


Piezometer

Seepage Flow meter (V-Notch Weir)



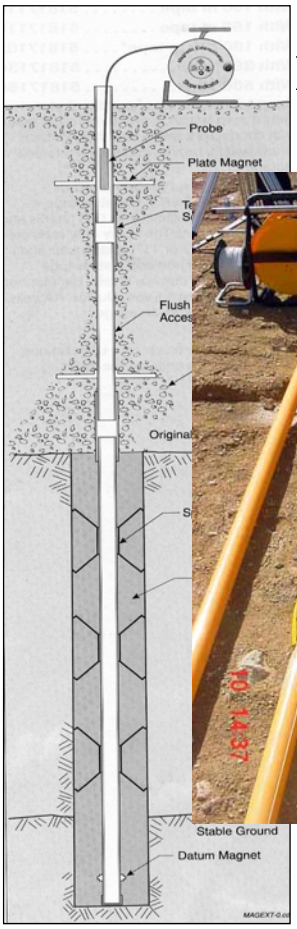
DETAIL OF SEEPAGE FLOWMETER



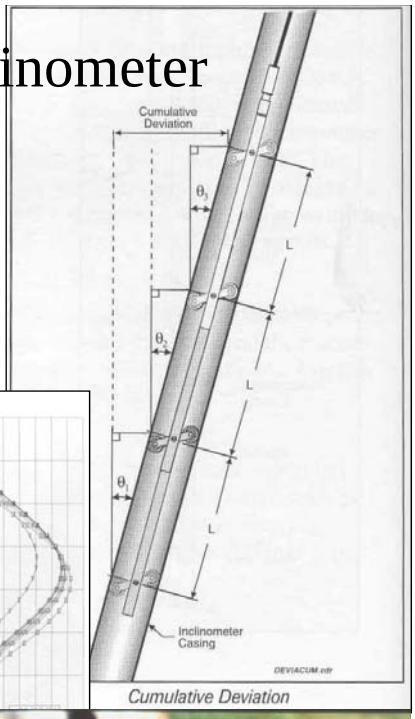
SECTION D - D
V-NOTCH WEIR

SECTION E - E
STILLING PLATE

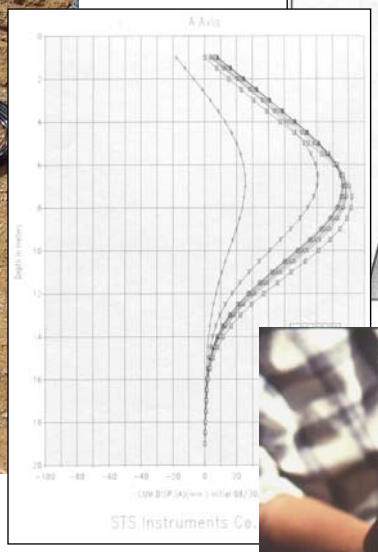
Extensometer

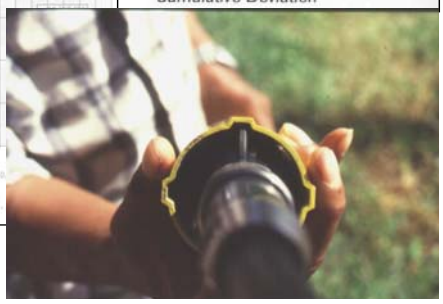


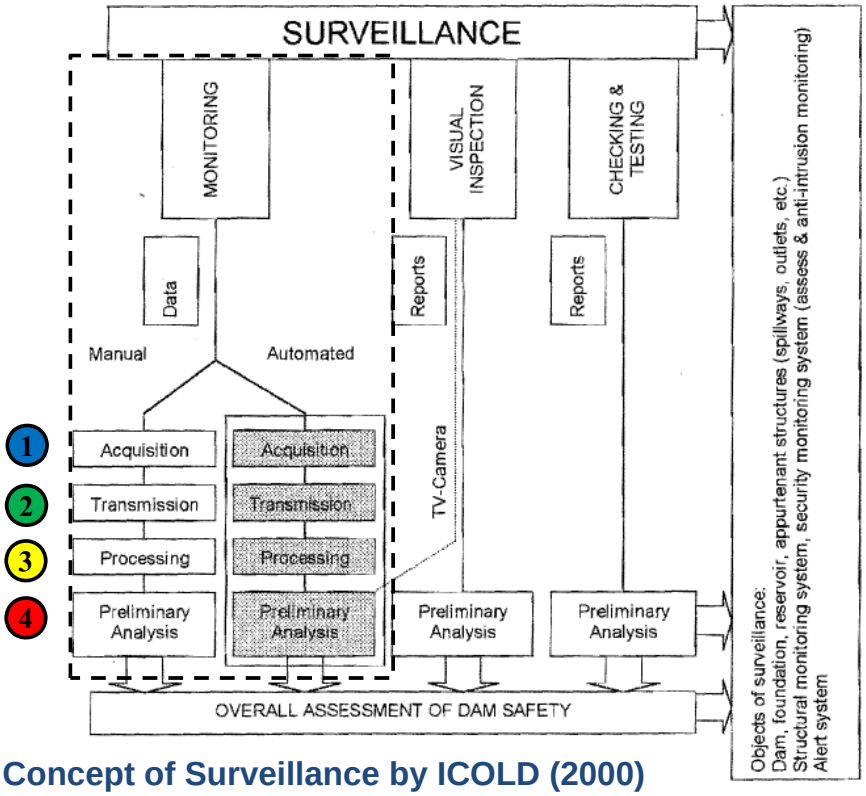
Inclinometer



Cumulative Deviation







Concept of Surveillance by ICOLD (2000)

No.	Observation or measurement	Recommendations for Automation 1: mandatory 2: recommended 3: possible			
		Arch Dam	Gravity Dam	Earth-/ Rockfill Dam	Degree of Automation
1	Reservoir level	1	1	1	Full AMS
2	Tailrace water level	1	1	1	Full AMS
3	Seepage and leakage – overall	1	1	1	Full AMS
4	– local sections	2	2	1-2	Partial AMS possible
5	Uplift, pore-pressure	2	1-2	1-3	Partial AMS possible
6	Characteristic deformation	1	1-3	3	VA/PG full AMS combined with nos. 1,7
7	Strains	3	3	–	Partial AMS possible
8	Temperatures – air	1-2	2	3	TE/ER: Partial AMS possible
9	– internal water			3	
10	– dam and foundation	1-2	2	3	
11	– concrete	2-3	2-3	–	Partial AMS possible
12	Precipitation	3	3	2-3	Partial AMS possible
13	Reservoir in-/ outflow	1-3	1-3	1-3	Partial AMS possible
14	Position of gates, outlets	1-3	1-3	1-3	Partial AMS possible
15	Seismic acceleration				According to seismicity of dam area
16	Security (access)				Automation possible
17	TV camera	1-3	1-3	1-3	Remote camera control possible
18	Seepage turbidity	1-3	1-3	1-3	More important for embankment dams

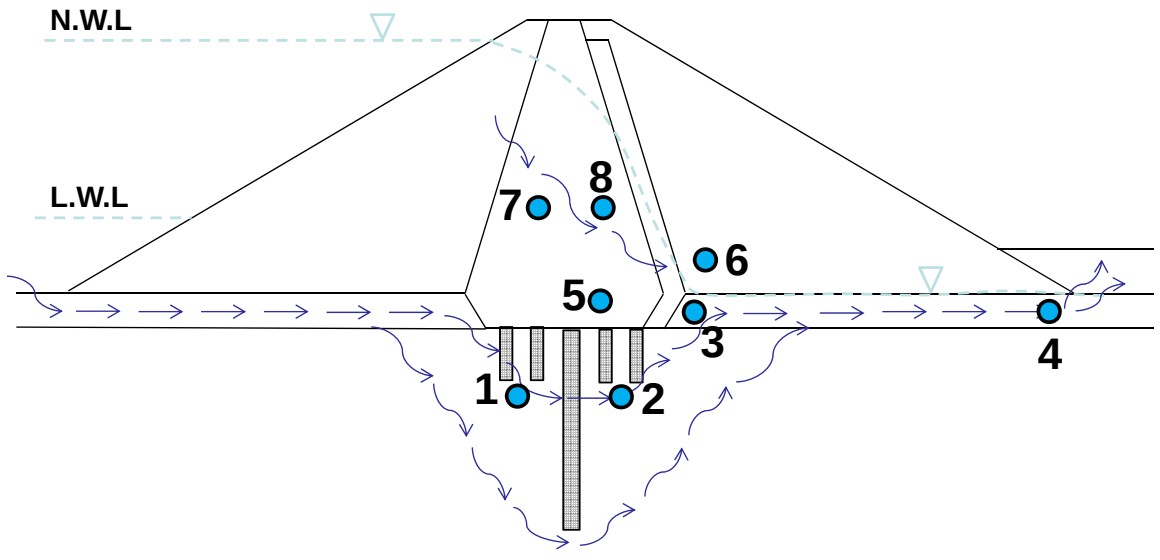
Legend: AMS : Automated Monitoring System
VA : Arch dam
PG : Gravity dam
TE : Earthfill dam
ER : Rockfill dam

What sensor should be automated?

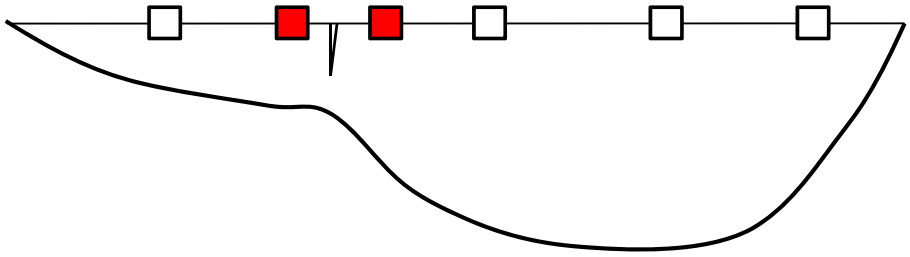
หน้าที่ของเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดที่เลือกติดตั้ง รวมถึงตำแหน่งการติดตั้งต้องสามารถใช้ระบุความผิดปกติที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ แม้ว่าในปัจจุบันจะไม่พบความผิดปกติ แต่เมื่อใดที่มีพฤติกรรมที่ผิดปกติเกิดขึ้นต้องสามารถใช้วินิจฉัยได้

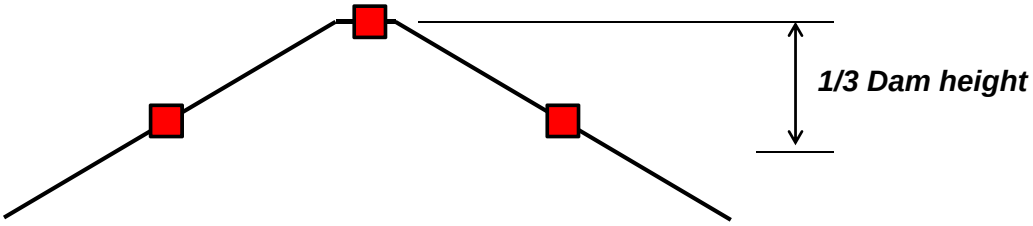
ตำแหน่งพิโซมิเตอร์ที่ควร Automated



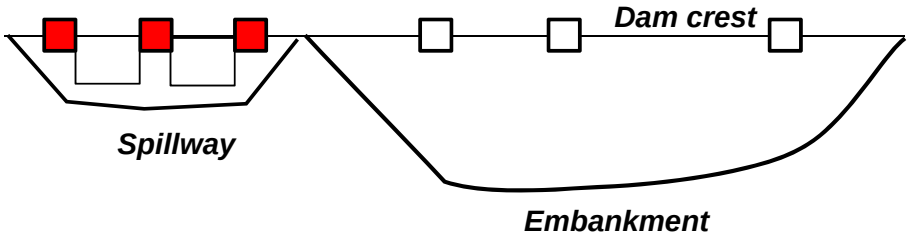
Irregular valley shape



Seismic deformation

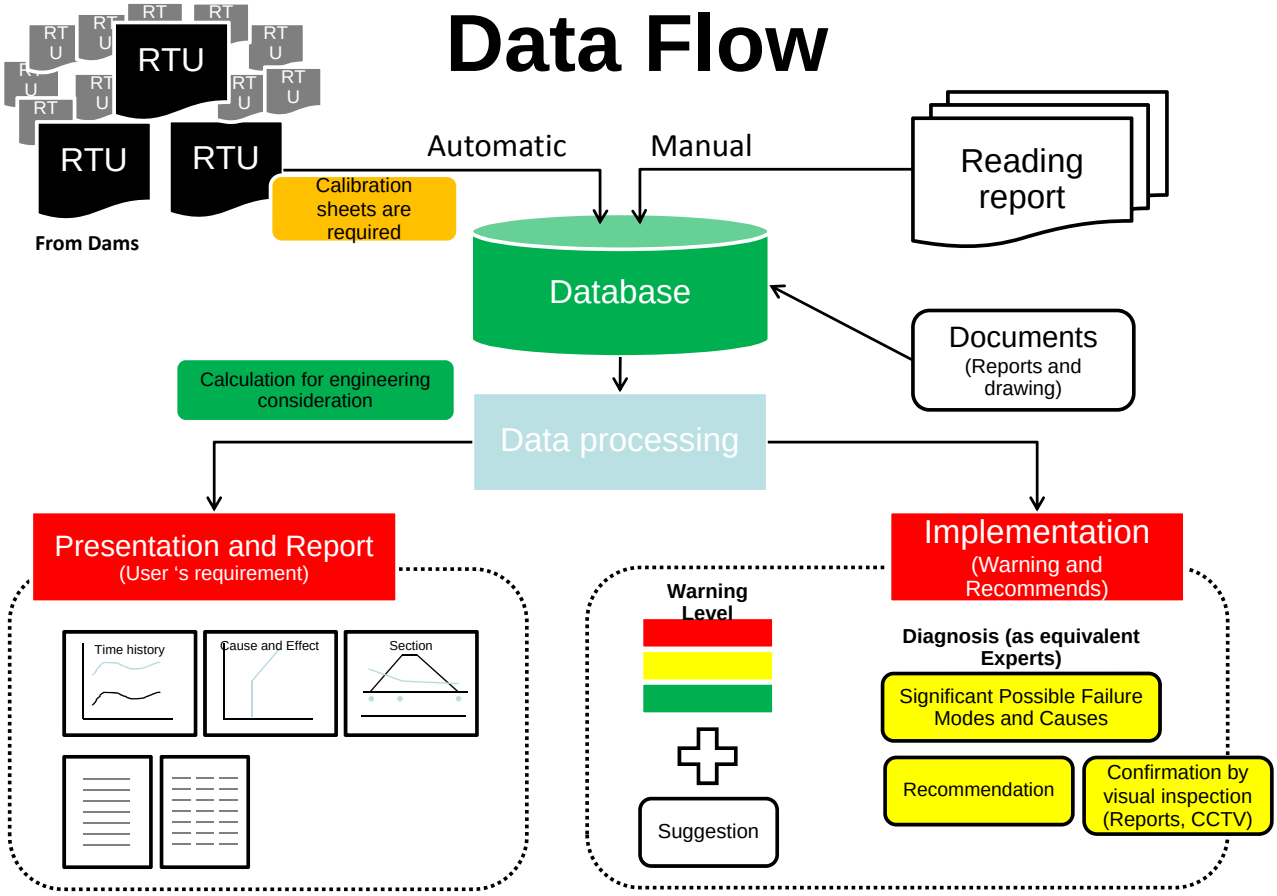


Differential movement between embankment and adjacent structure



	Category of Monitoring		
	Pre-operation	**Short-term**	**Long-term**
Aim	Knowledge of overall behavior during construction and first impounding	" Quick " assessment of safety and operability	Comprehensive assessment of safety
Number of sensors	Large	Small	Large
Reading frequency	High	High	Low
Data processing	Complex	Simple (statistics, limit values, etc.)	Simple to complex
Degree of automation	High	High	Small (partly)

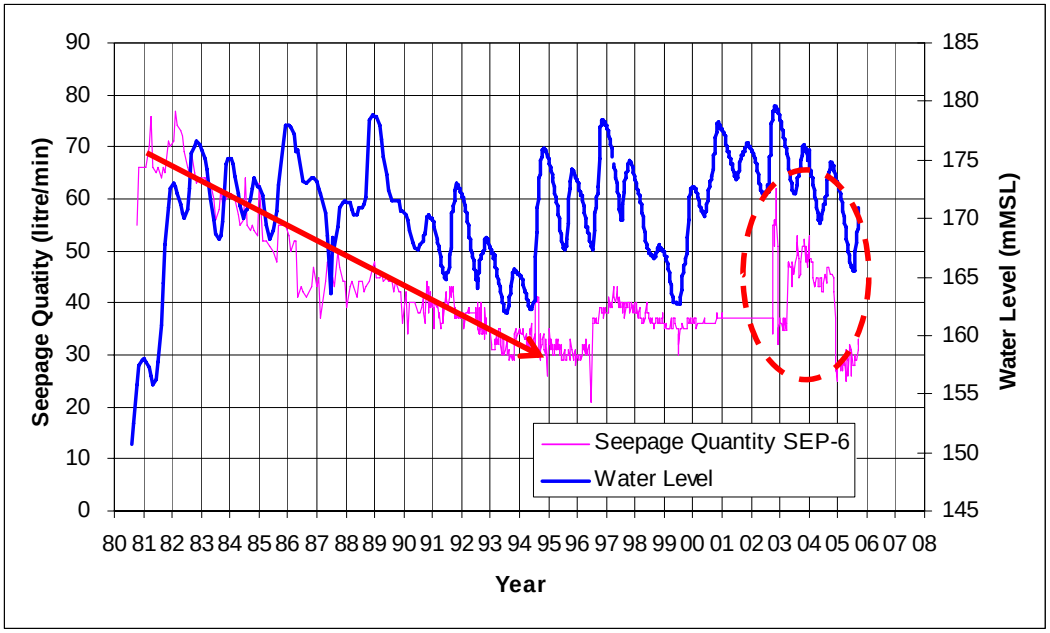
Data Flow

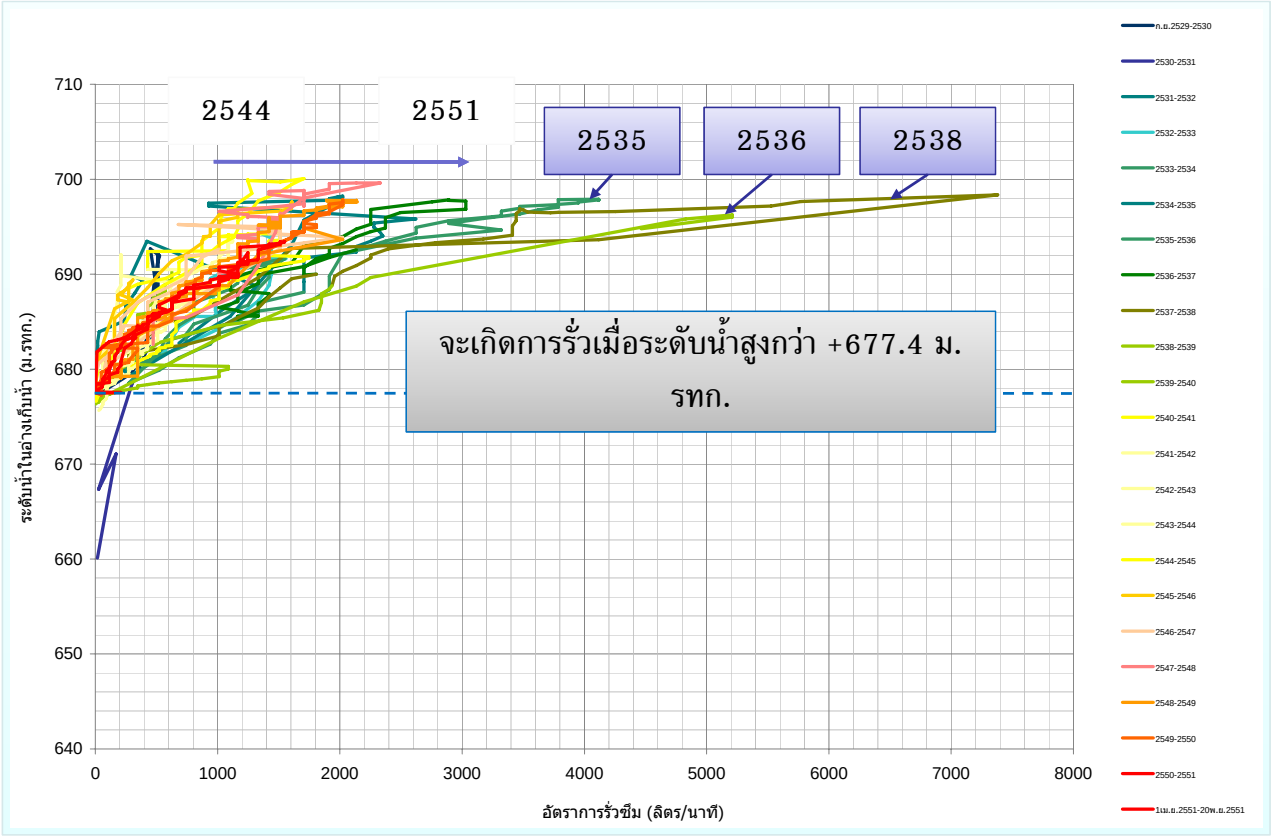


Criteria

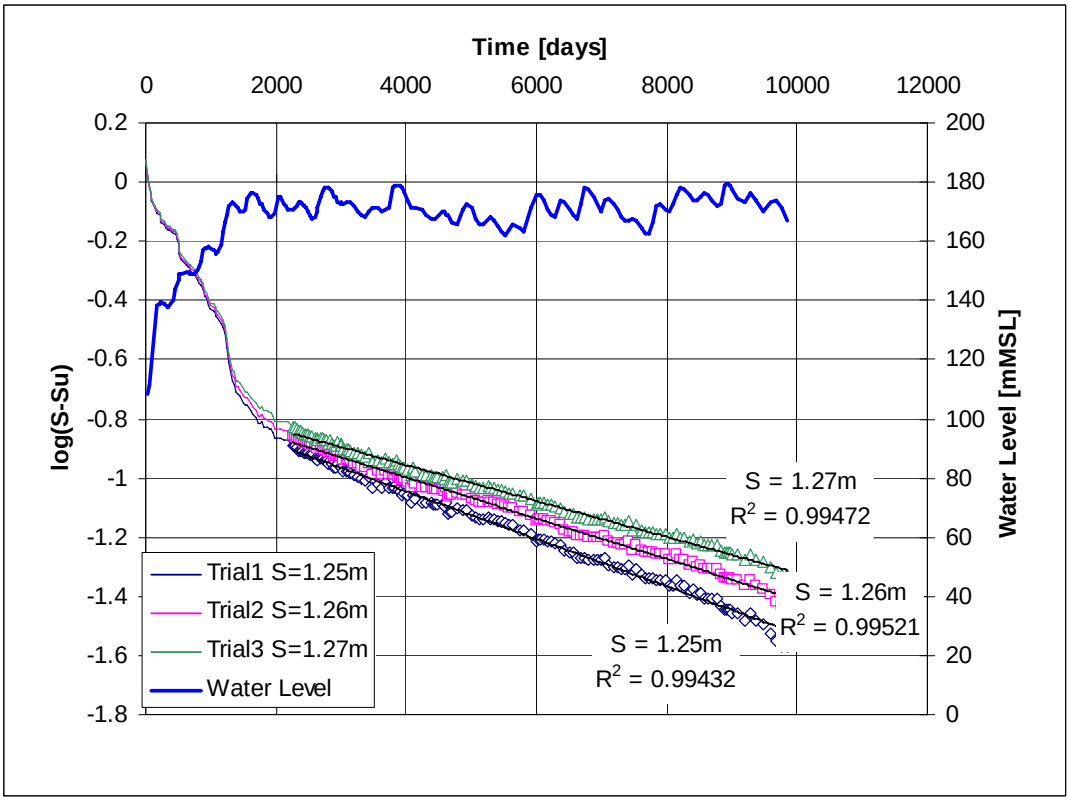
- **ความผิดปกติที่อ้างอิงหลักการออกแบบเขื่อน**
- **ความผิดปกติที่อ้างอิงจากผลการตรวจวัดของเขื่อนนั้นในอดีต**
- **ความผิดปกติที่อ้างอิงจากผลการตรวจวัดเขื่อนทั่วไปตามเอกสารที่เชื่อถือได้**
  ตัวอย่างเช่น การทรุดตัวที่สันเขื่อนที่หลายแหล่งระบุว่าไม่เกิด 1%ของความสูงเขื่อน

Seepage Quantity

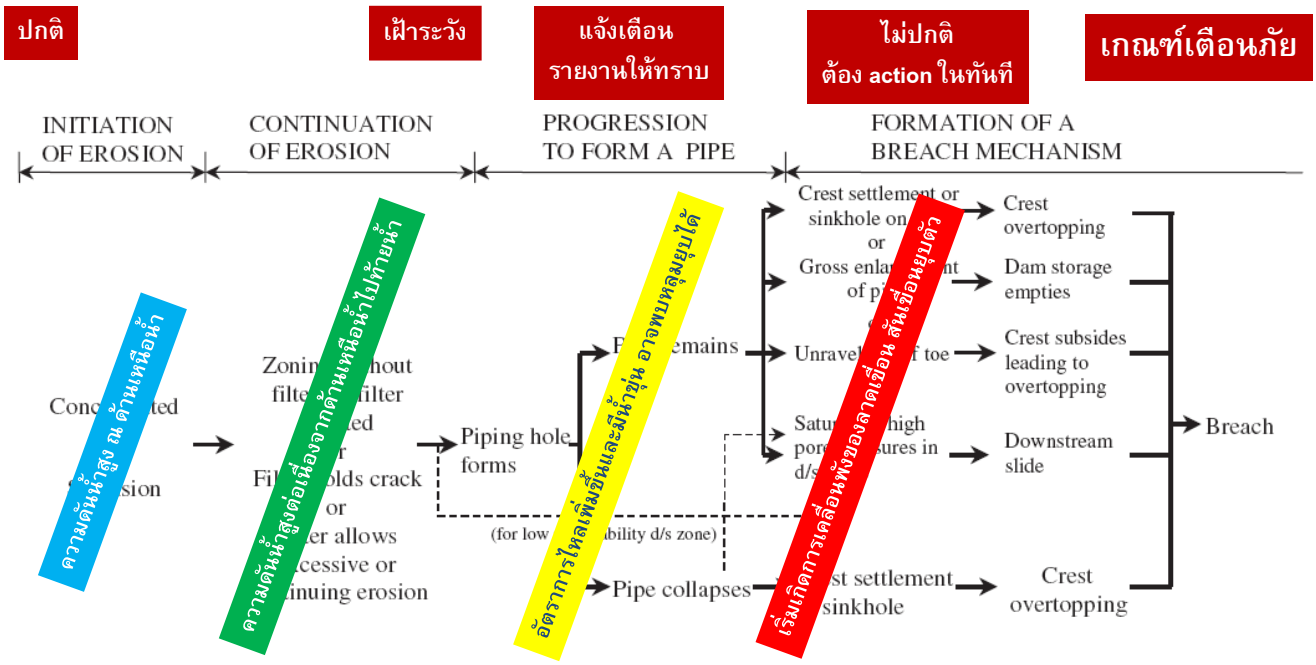




Estimated Final Settlement of Rockfill



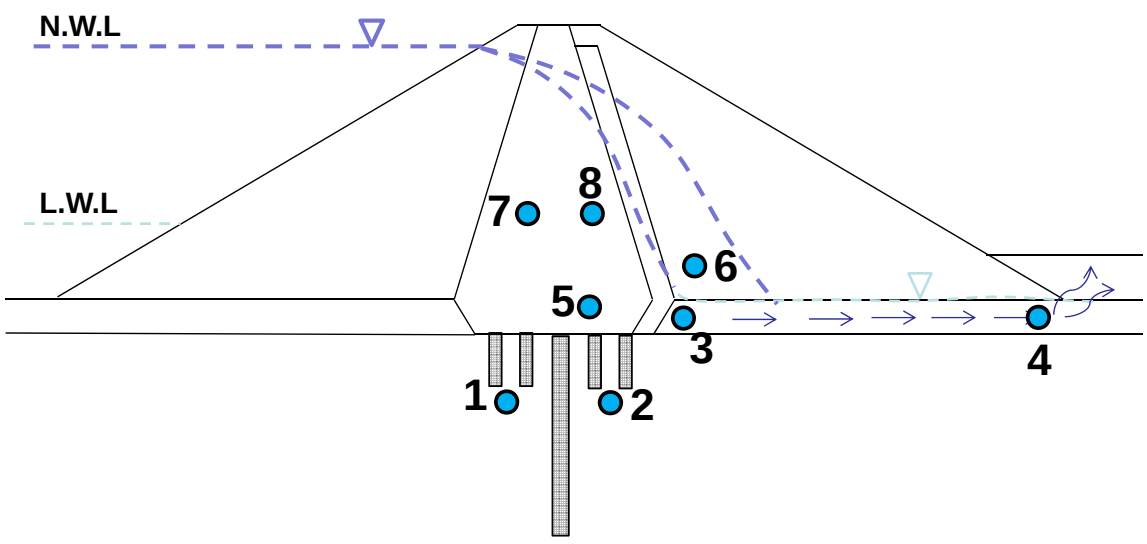
เกณฑ์ต้องสามารถระบุความปลอดภัยตามการตอบสนองของเขื่อน



Fell et al (2005) “Geotechnical Engineering of Dams”,
Note: this event tree was developed since 1999.

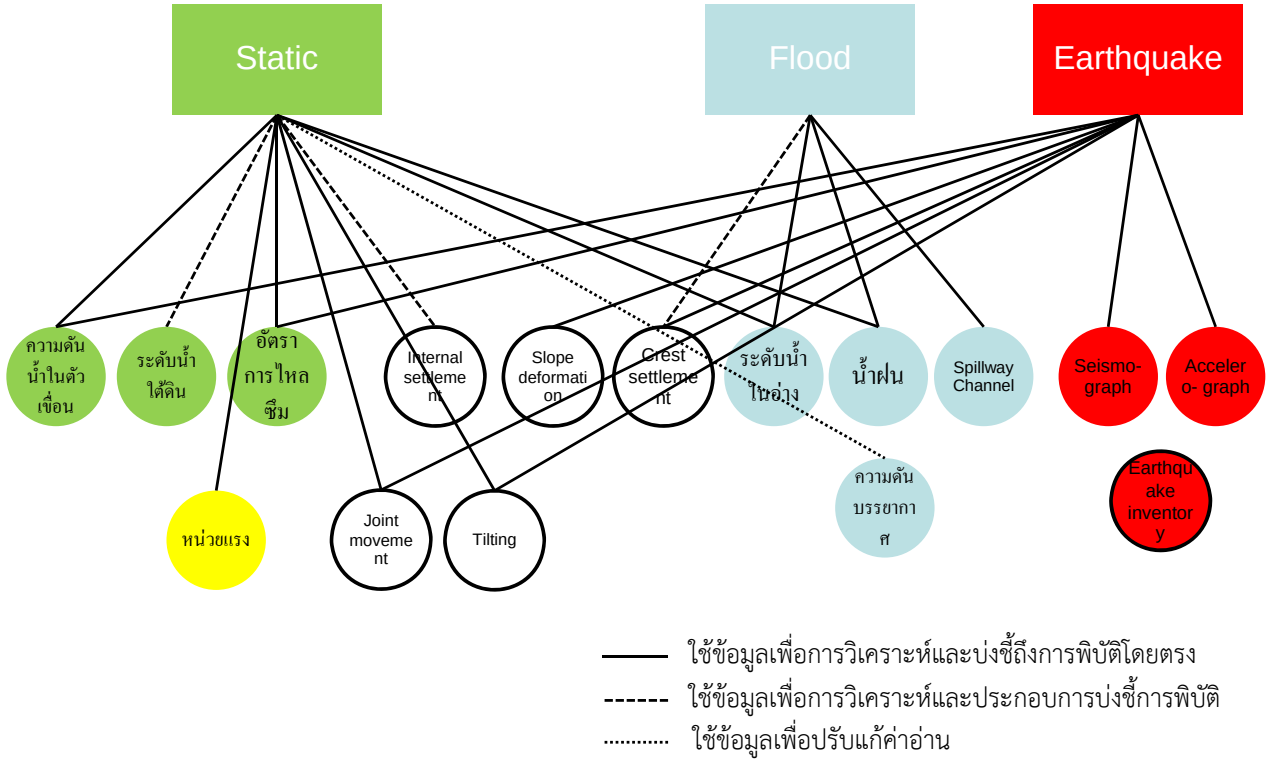
วิธีการสร้างเกณฑ์-การวิเคราะห์สมมุติและการใช้สถิติ

รูปแบบการวิเคราะห์	องค์ประกอบเขื่อนที่เกี่ยวข้อง	เครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้อง	ข้อมูลที่ต้องการ	สมมติฐานของการวิเคราะห์
การไหลซึมด้วยวิธี FEM	ดินถมเขื่อน, ชั้นกรอง, ม่านอัดฉีดน้ำปูน, ฐานรากเขื่อน	พิโซมิเตอร์, ฝายวัดอัตราการไหล	สปส. ความซึมน้ำของวัสดุ, ลักษณะธรณีวิทยาของฐานราก	ความผิดปกติของระบบควบคุมการไหลซึม
การเคลื่อนตัวด้วยวิธี FEM	ดินถมเขื่อน, ฐานรากเขื่อน	หมุดสำรวจ, inclinometer	โมดูลัส, กำลังรับแรงเฉือน	
เสถียรภาพของลาดเขื่อน	ลาดเขื่อน	หมุดสำรวจหรือ inclinometer อาจกำหนดด้วยอัตราการเคลื่อนตัวจากเอกสาร	กำลังรับแรงเฉือน, เส้นระดับน้ำหรือความดันน้ำในตัวเขื่อน	การวิเคราะห์ในสองมิติ
เทคนิคทางคณิตศาสตร์หรือวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ สำหรับการทรุดตัว	ตัวเขื่อน	หมุดวัดการทรุดตัว	ข้อมูลการทรุดตัว, ความสูงของดินถม, ประเภทของวัสดุถมและวิธีการบดอัด	การทรุดตัวในหนึ่งมิติ
HST model กับการเคลื่อนตัวของเขื่อนคอนกรีตโค้ง	ตัวเขื่อน	Plumbline (ดิ่งวัดการเอียงตัว), Tiltmeter	ระดับน้ำ, ค่าการเคลื่อนตัว, อุณหภูมิที่ด้านท้ายน้ำ (ถ้ามี)	การอ่านค่ามีค่าเบี่ยงเบนได้ ซึ่งวิเคราะห์ได้จากข้อมูลเดิม
การวิเคราะห์โอกาสน้ำล้นข้ามสันเขื่อน	ตัวเขื่อน, อาคารระบายน้ำล้น, อาคารระบายน้ำ	อุตุโทรมาตร	อัตราน้ำไหลเข้าอ่างจำนวนมาก, ลักษณะการปล่อยน้ำ, Volume vs EL curve	



Pre-dicision

การแบ่งการตัดสินใจตามสภาพแรงกระทำ



สถานะ	เครื่องมือวัด	อุตุ-อุทกวิทยา	แผ่นดินไหว
ปกติ	สรุปสถานการณ์ความปลอดภัยของแต่ละเขื่อนจากเครื่องมือวัด, อุตุ-อุทกวิทยา และแผ่นดินไหว CCTV	สถานการณ์ปริมาณน้ำ (เปรียบเทียบกับความจุอ่าง) กรมชลประทาน ระดับน้ำเก็บกับหรือความจุ กับ Rule Curve พยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา	รายงานแผ่นดินไหว สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว, USGS, โดยครอบคลุมทวีปเอเชีย
เฝ้าระวัง	ตรวจสอบพฤติกรรมที่พบว่าผิดปกติ ลำดับการนำเสนอที่จากพฤติกรรมที่ผิดปกติ ไปยังเครื่องมือและจุดที่พบความผิดปกติ	สถานการณ์น้ำฝน พยากรณ์น้ำเข้าอ่าง ตรวจสอบเส้นทางพายุ กรมอุตุนิยมวิทยา ภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่น้ำท่วมด้านท้ายน้ำ (ถ้ามี) GISDA, สถานีรับสัญญาณดาวเทียมจุฬาภรณ์	ข้อมูลมาตำแหน่งแผ่นดินไหว พร้อมระยะห่างจากตัวเขื่อน โดยเฉพาะที่มีระยะห่างจากตัวเขื่อนไม่เกิน 200 กม. (ทั้งนี้เกณฑ์ข้างต้นอาจเปลี่ยนแปลงได้)
	แสดงตำแหน่ง เครื่องมือที่พบความผิดปกติ สั่งอ่านค่าซ้ำสำหรับเครื่องมืออัตโนมัติ หรือส่งข้อความถึงผู้ปฏิบัติงานอ่านค่าซ้ำหากเป็นเครื่องมือแบบอ่านด้วยคน	ระดับน้ำในอ่างปัจจุบันและที่คาดการณ์ล่วงหน้า 7 วัน ผลการคำนวณระดับน้ำจากการระบายน้ำออกจากอ่างในกรณีต่างๆ เพื่อควบคุมให้ระดับน้ำไม่สูงกว่าร.น.ก.	No trigger - Trigger level 0.01g ข้อมูลพฤติกรรมของตัวเขื่อนที่อาจตอบสนองหลังแผ่นดินไหว ได้แก่ ความดันน้ำ และอัตราการไหล รวมถึงผลตรวจสภาพเขื่อน
แจ้งเตือน	ให้คำแนะนำเรื่องการตรวจสภาพเขื่อน	ปริมาณน้ำมากเกินความสามารถของ spillway หรือไม่ คำแนะนำเรื่องการเปิดประตูระบายน้ำล้น	Trigger level 0.05g ขนาดอัตราเร่งเปรียบเทียบกับการออกแบบหรือผลการวิเคราะห์ทบทวน

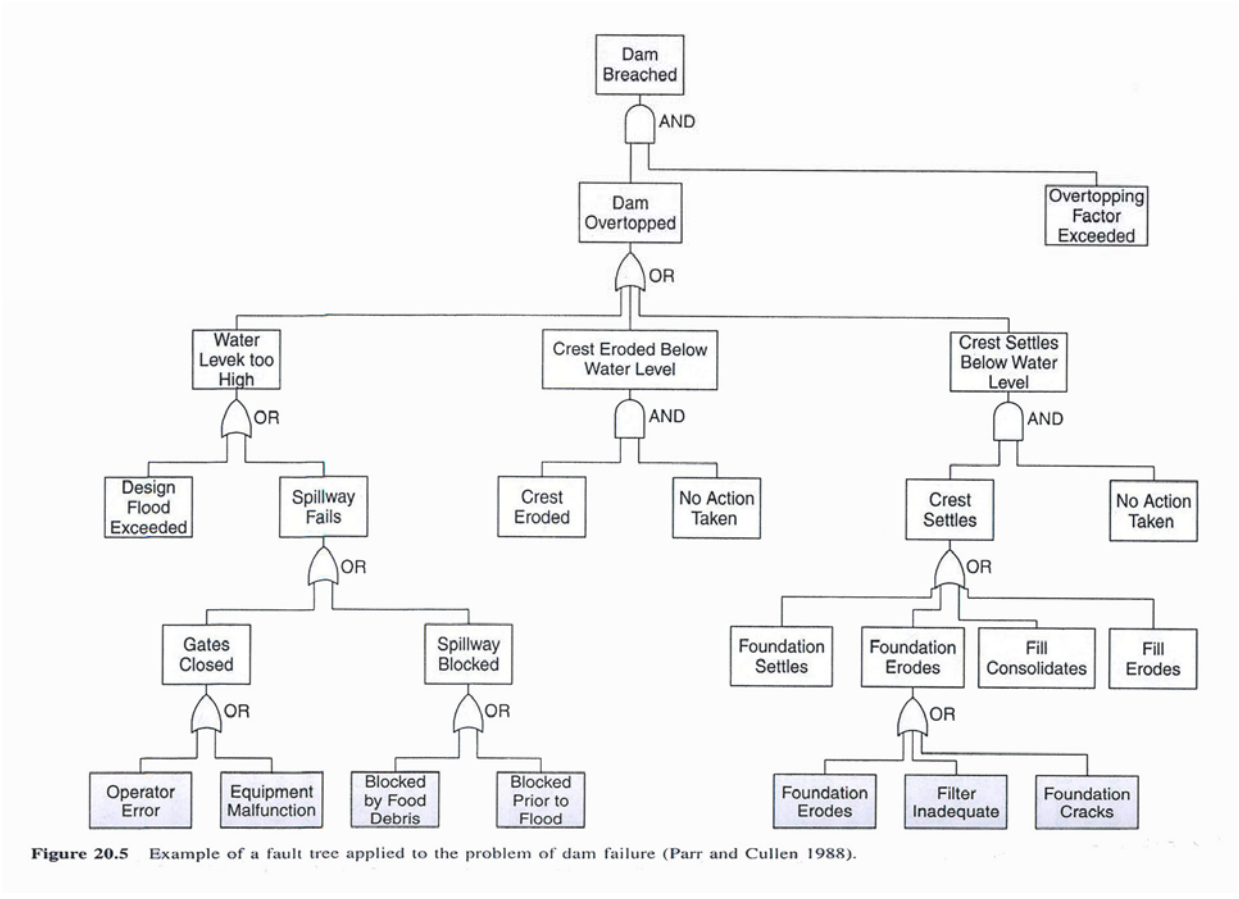
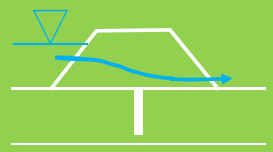


Figure 20.5 Example of a fault tree applied to the problem of dam failure (Parr and Cullen 1988).

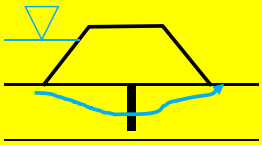
Pre-decision for Embankment Dams

ปกติ



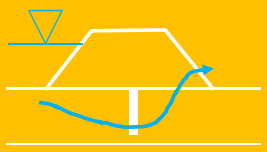
การไหลซึมผ่านตัวเขื่อน

เฝ้าระวัง



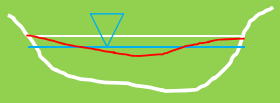
การไหลซึมผ่านฐานรากเขื่อน

แจ้งเตือน



การไหลซึมผ่านฐานรากไปสู่ตัวเขื่อน

ปกติ



การทรุดตัวของสันเขื่อนจนอาจทำให้น้ำล้นสันเขื่อน

ปกติ

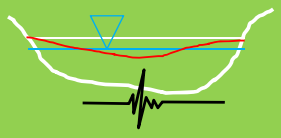
การเคลื่อนพังของลาดเขื่อนจนอาจทำให้น้ำล้นสันเขื่อน

คำอธิบาย

- แจ้งเตือน / Alarm
- เฝ้าระวัง / Alert
- ปกติ / Normal

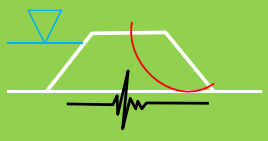
Pre-decision for Embankment Dams

ปกติ



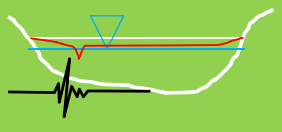
การทรุดตัวของสันเขื่อนจนอาจทำให้น้ำล้นสันเขื่อน

ปกติ



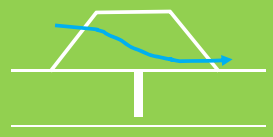
การเคลื่อนพังของลาดเขื่อนจนอาจทำให้น้ำล้นสันเขื่อน

ปกติ



การไหลผ่านรอยแตก

ปกติ



การไหลซึมผ่านรอยแตกภายในตัวเขื่อน

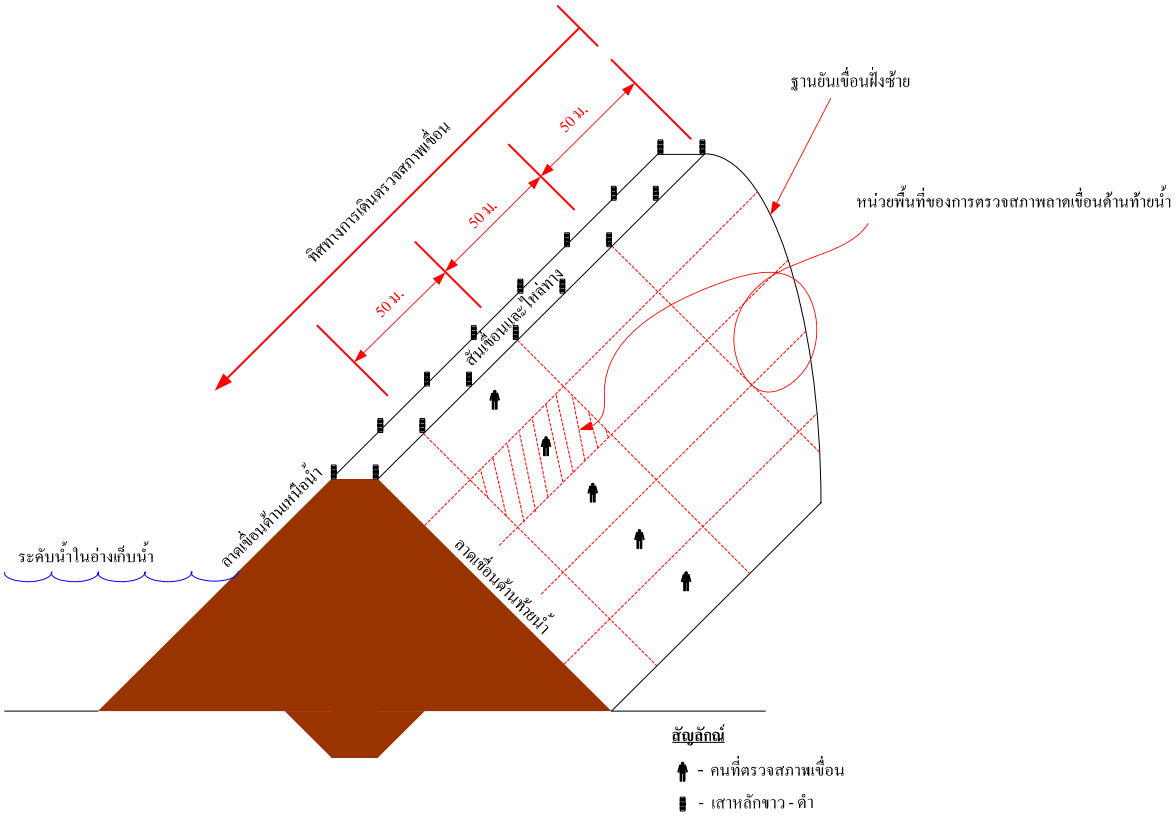
- After Earthquake

คำอธิบาย

- แจ้งเตือน / Alarm
- เฝ้าระวัง / Alert
- ปกติ / Normal

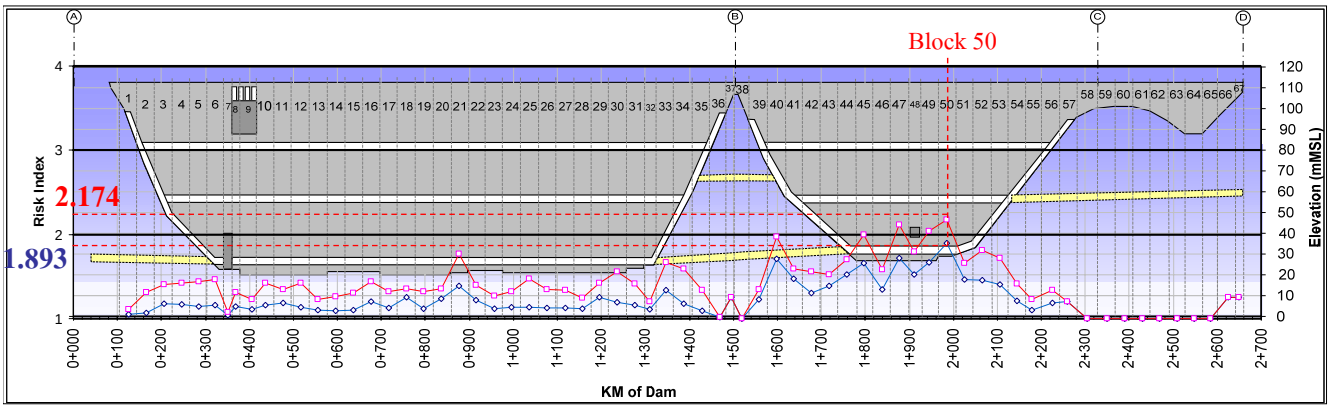
สิ่งสำคัญที่ต้องไม่ละทิ้งเมื่อใช้ระบบ Real time monitoring

- ต้องไม่ใช้ในการทดแทนการตรวจสอบด้วยสายตา
- ต้องไม่วางใจที่จะเชื่อเครื่องมือ100%



การตรวจสอบเขื่อนเพื่อการประเมินสภาพเสี่ยงภัย

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเสี่ยงในแต่ละ Block



RI_{max}

$RI_{average}$

$$RI_{\max} = 2.174$$

$$RI_{average} = 1.893$$

ผศ.ดร. สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

GEOTECHNICAL ENGINEERING
RESEARCH AND DEVELOPMENT
CENTER
WWW.GERD.ENG.KU.AC.TH