

โครงการจ้างศึกษาการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบ อาคารชลประทานที่สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

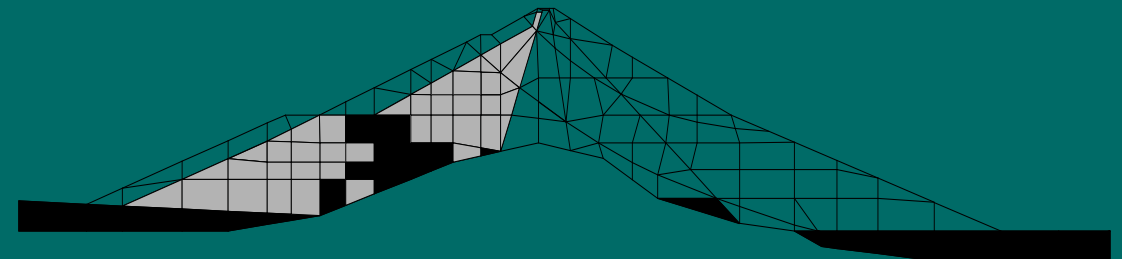
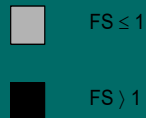


ประชุมเทคนิคพิจารณา

6 มิถุนายน 2568

รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์

Liquefaction Analysis, FS contour
Right Abutment



PGA = 0.42g, Shear Stress @ Mean + SD

Friction angle = 33 for Gravel shell

= 37 for Foundation soil

ที่มา: Soralump (2002)

คณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างที่ปรึกษา



1. นายยิ่งยง	แพร์ภิญโญ	ประธานกรรมการ	ผชช.อบ.6
2. นายธีรพงษ์	พินทอง	กรรมการ	ผปช.บอ.
3. นายศิริพงษ์	จิตรีพิทย์	กรรมการ	ผอช.อส.
4. นายคารม	โชติกรกุล	กรรมการ	อช.4 อส.
5. นางสาวรุจิรินทร์	ธูรรัตน์	กรรมการ	ผวธ.สธ.
6. นายเอกพงษ์	แน่นอุดร	กรรมการ	วศ.บอ.
7. นายวิรัตน์	ข้าทับทิม	กรรมการ	วต.บอ.

บุคลากรหลักภายในโครงการ



1. รศ.ดร.สุทธิตักดิ์	ศรลัมพ์	ผู้จัดการโครงการและ ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยเขื่อนและแผ่นดินไหว
2. ศ.ดร.นพดล	เพียรเวช	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมเขื่อน
3. รศ.ดร.ภาสกร	ปนานนท์	ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหว
4. ผศ.ดร.สุสิทธิ์	ฉายประกายแก้ว	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมปฐพีและแผ่นดินไหว
5. รศ.ดร.ทรงพล	จารุวิศิษฐ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโครงสร้างและแผ่นดินไหว

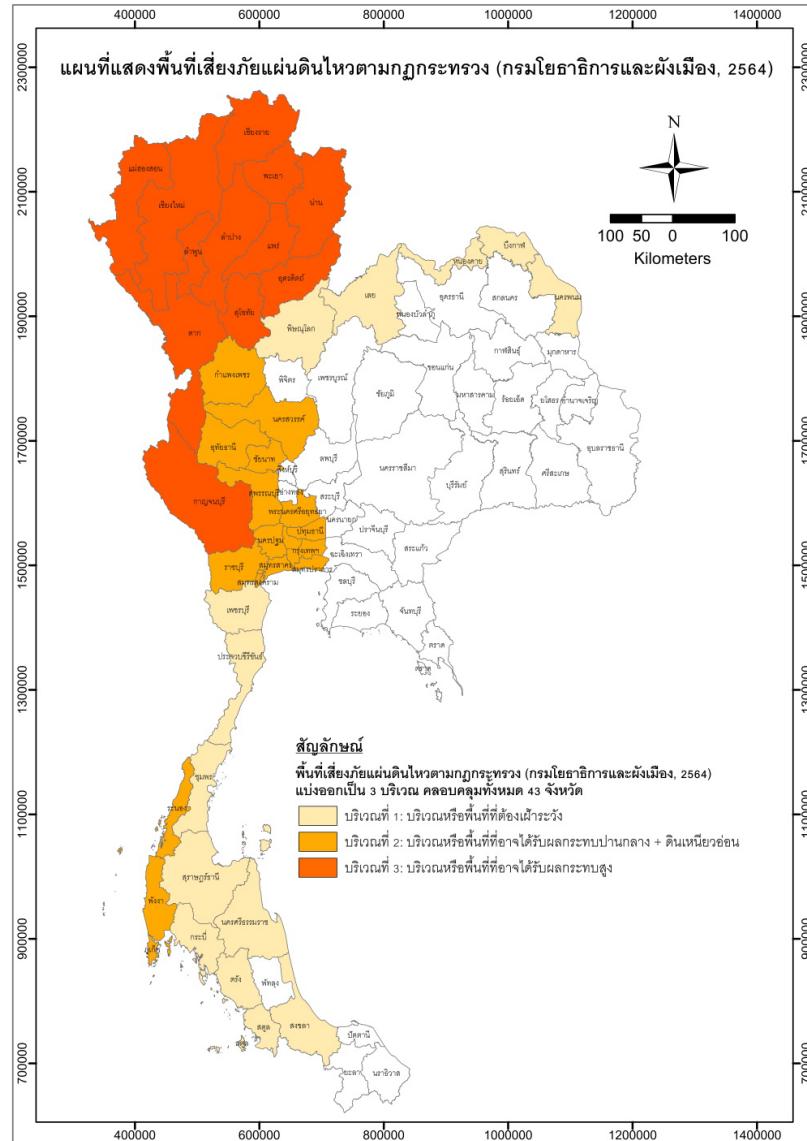
ผู้เชี่ยวชาญสนับสนุนภายในโครงการ

ดร.พุทธรักษ์	จรัสพันธุ์กุล	วิศวกรรมโครงสร้างอาคารประกอบ
ดร.เชมวิชญ์	วรรณศิริ	วิศวกรรมเขื่อนคอนกรีตถ่วงน้ำหนัก
ดร.จิตรกร	ประสมศรี	พลศาสตร์งานธรณีเทคนิคของเขื่อนดิน
ดร.สุธาสินี	อินตัย	วิศวกรรมปฐพี/การทดสอบชั้นสูง
นายรัฐธรรม	อิสโรฟาร	มาตรฐานงานวิศวกรรม/กฎหมาย
นายอภิสิทธิ์	บุญโพธิ์	ออกแบบเขื่อนดินและหินถม
นายจิรวุฒิ	แสนเมือง	วิศวกรรมความปลอดภัยเขื่อน
นายสิริศาสตร์	ยังแสนภู	ธรณีวิทยาแผ่นดินไหว



ที่มา

กฎกระทรวง : กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ.2564



ประกาศเขตพื้นที่เสี่ยงได้รับผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ซึ่งได้ควบคุมโครงสร้างที่รวมถึงเขื่อนเก็บกักน้ำ และอาคารประกอบที่มีความสูงตั้งแต่ 10 ม.

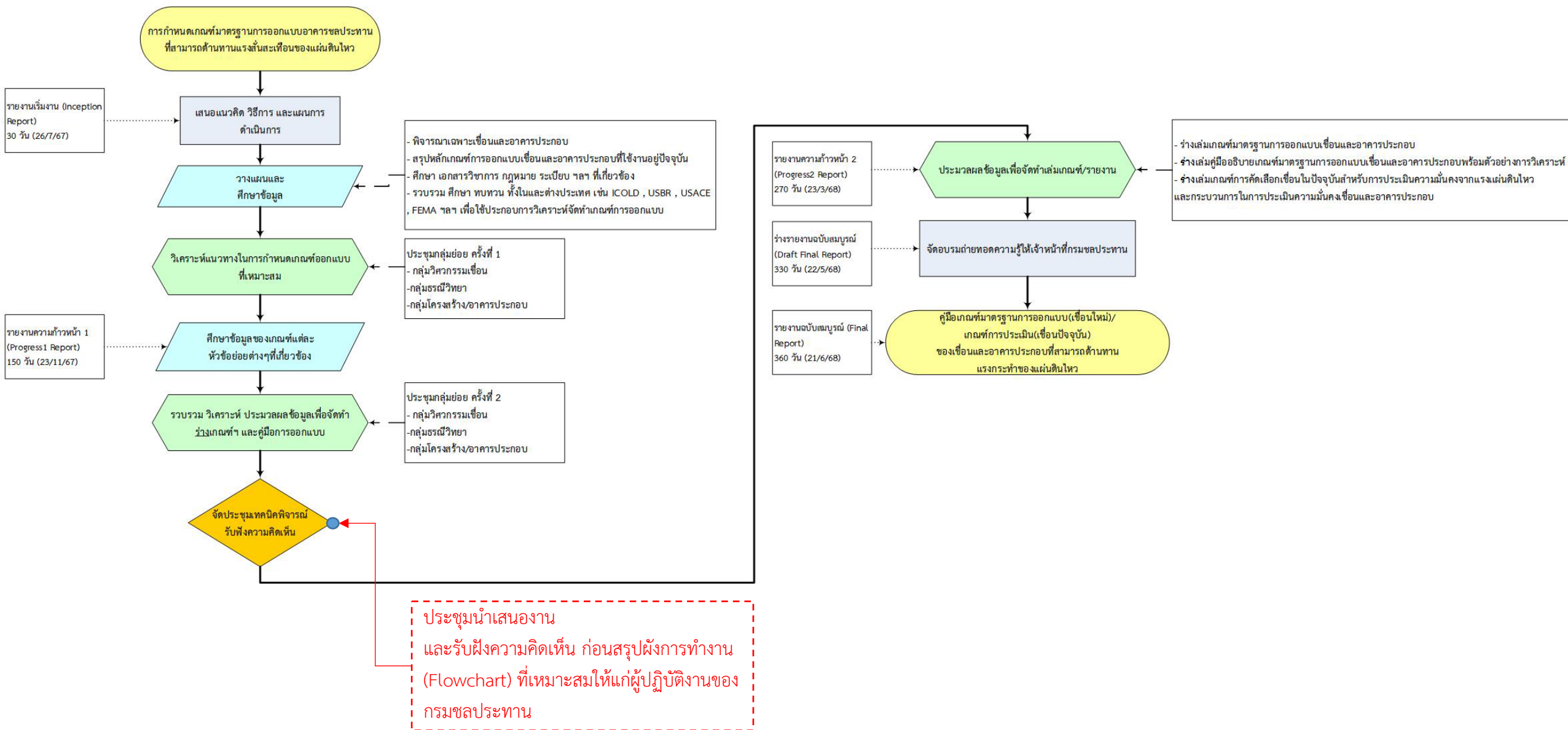


วัตถุประสงค์

- 1.จัดทำเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารชลประทาน ประกอบด้วย เขื่อนและอาคารประกอบ เพื่อรองรับแรงแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย โดยให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงที่กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2564 และกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง
- 2.รวบรวมเทคนิคและหลักวิชาการที่เป็นสากลที่ใช้ประกอบการออกแบบเขื่อนและอาคารประกอบที่รองรับแรงแผ่นดินไหวสำหรับสนับสนุนเกณฑ์มาตรฐานในข้อ 1
- 3.กำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกเขื่อนที่ใช้งานในปัจจุบันสำหรับการประเมินความมั่นคงเขื่อนจากแรงแผ่นดินไหว และกำหนดกระบวนการในการประเมินความมั่นคงเขื่อนและอาคารประกอบ
- 4.ฝึกอบรมเจ้าหน้าที่กรมชลประทานให้สามารถออกแบบและประเมินความปลอดภัยจากแรงแผ่นดินไหวของเขื่อนและอาคารประกอบ



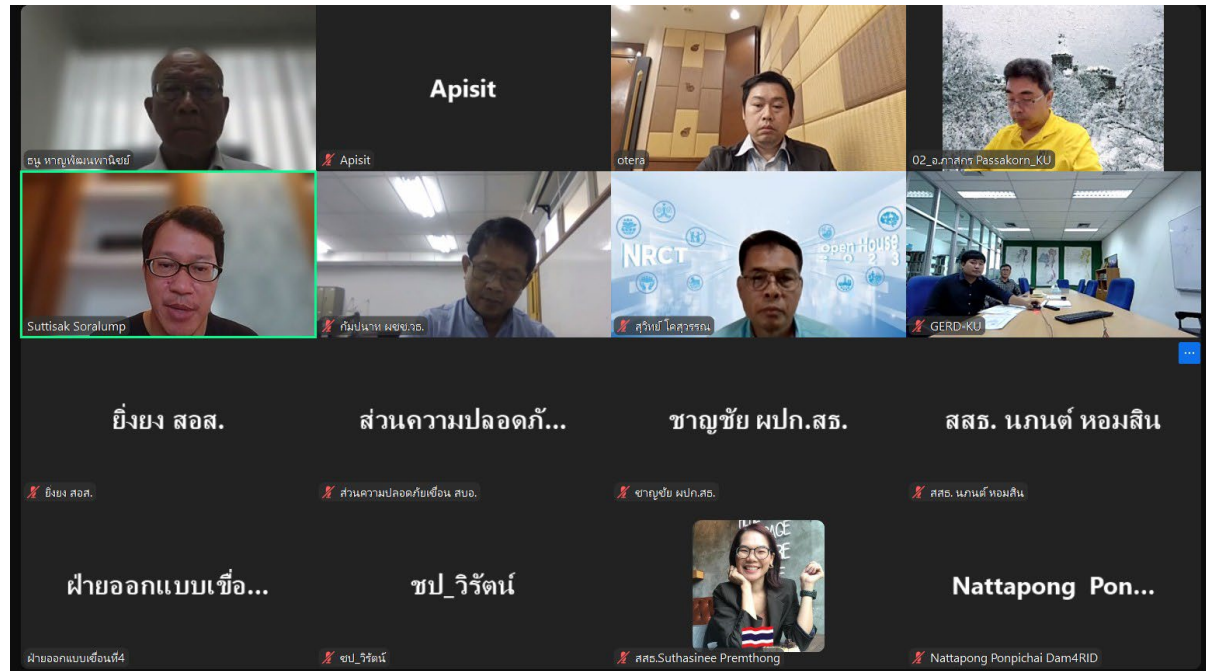
แผนการศึกษา



กลุ่มสาขาธรณี

ประชุมกลุ่มย่อยกับผู้ทรงคุณวุฒิ.

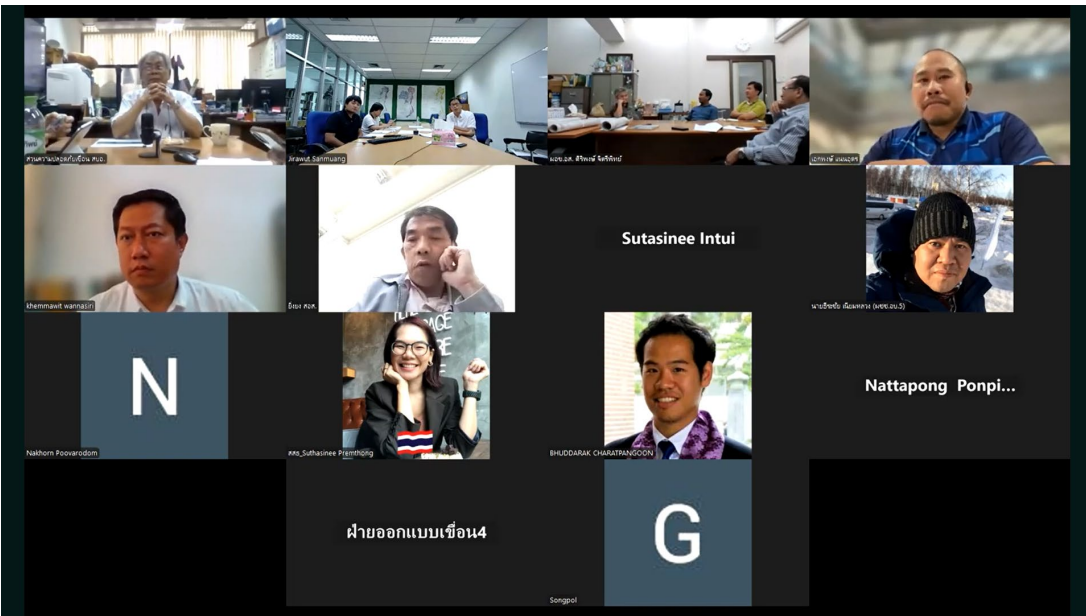
ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก



ดร.ธน
คุณสุวิทย์
รศ.ดร.ธีรพันธ์
ศ.ดร.ปัญญา
คุณสุวิทย์
ดร.วีระชาติ
ศ.ดร.สันติ

หาญพัฒน์พานิชย์
โคสุวรรณ
อรรถมรัตน์
จารุศิริ
โคสุวรรณ
วิเวกวิน
ภัยหลบลี

ประชุมกลุ่มย่อยกับผู้ทรงคุณวุฒิ



ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ศ.ดร.นุชร

ดร.พุทธรักษ์

ศ.ดร.อมร

รศ.ดร.สุทัศน์

รศ.ดร.ธีรพันธ์

ភ្នំពេញ

จรัสพันธุ์กุล

พืชมานมาศ

ลีลาทวิวัฒน์

อรชรรมรัตน์

กลุ่มสาขาวิศวกรรมเขื่อนดินและหิน

ประชุมกลุ่มย่อยกับผู้ทรงคุณวุฒิ



ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

รศ.ดร.วรากร

Dr.Goran

รศ.ดร.จิรวัตร

ดร.ลลนา

มนตรี

ไม้เรียง

Arangelovski

บุญญะฐิ

คงสุขประเสริฐ

จินากุลวิพัฒน์

ประชุมรอบ นำเสนอแก้เจ้าหน้าที่กรมชลประทาน ครั้งที่ 1

ในวันอังคาร ที่ 17 ธันวาคม 2567 เวลา 9.00-12.00 น.



ประชุมรอบ เพื่อหารือร่วมกับกองวางโครงการ กรมชลประทาน

ในวันพุธ ที่ 23 เมษายน 2568 เวลา 13.00-15.00 น.





25 เม.ย.68

นายสุวิทย์ โสสุวรรณ ผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านธรณีวิทยาและแผ่นดินไหว ในคณะกรรมการ
ผู้ชำนาญการพิจารณารายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการพัฒนาแหล่งน้ำ (คชก.)
เป็นวิทยากรผู้บรรยาย และ รศ.ดร.สุทธิตกดี ศรีลัมพ์ อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นผู้ร่วมบรรยาย



เอกสารการประชุมเพื่อรับฟังความคิดเห็นทางวิชาการ

เทคนิคพิจารณา

**โครงการจ้างศึกษาการกำหนดเกณฑ์
การออกแบบอาคารชลประทานที่สามารถ
ต้านแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
แขวงถนนนครไชยศรี เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร**

วันศุกร์ ที่ ๖ มิถุนายน ๒๕๖๔ เวลา ๐๘.๓๐-๑๓.๓๐ น.

ณ ห้องพระศิวะ โรงแรมอัสวิน แกรนด์ คอนเวนชัน
ถนนวิภาวดีรังสิต เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร

จัดโดย

กรมชลประทาน ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

EMAIL : GERD.KU@GMAIL.COM

- งานวางโครงการ
- การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- งานด้านความปลอดภัยเขื่อน
- **Emergency Action Plan**
- งานออกแบบรายละเอียด
- งานปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพตัวเขื่อน

๒. ขอบข่าย

๒.๑ กำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบเขื่อนเพื่อรองรับแรงแผ่นดินไหว

๒.๒ กำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการประเมินความปลอดภัยเขื่อนที่ใช้งานในปัจจุบันต่อแรงกระทำแผ่นดินไหว

๒.๓ ครอบคลุมโครงสร้างเขื่อน อาคารประกอบ หรือโครงการอ่างเก็บน้ำ ในทุกขนาด

๒.๔ ครอบคลุมเขื่อนประเภทดินถมเนื้อเดียว เขื่อนดินถมแบ่งส่วน เขื่อนหินถมแกนดินเหนียว เขื่อนคอนกรีตถ่วงน้ำหนักทั้งเขื่อนคอนกรีตและคอนกรีตบดอัด และอาคารประกอบเขื่อนทุกประเภทในพื้นที่ห้วยงาน

๒.๕ ไม่ครอบคลุมอาคารสำนักงานและระบบส่งชลประทาน

เกณฑ์มาตรฐานนี้ ไม่ใช้การเขียนมาตรฐานใหม่ ส่วนใหญ่จะอ้างอิงมาตรฐานที่ได้มีการกำหนดไว้อย่างดีแล้วเพื่อนำมาปรับใช้ให้เข้ากับบริบทของกรมชลประทาน

เกณฑ์มาตรฐาน ไม่ใช่ตำรา และไม่ใช่คู่มือ แต่คือข้อกำหนดที่ผู้ใช้งานต้องมีพื้นฐานในเรื่องที่จะใช้งานมาอยู่แล้ว

เกณฑ์มาตรฐาน มีความยืดหยุ่นในบางเรื่องให้สามารถใช้ผลการศึกษาวิจัยที่เป็นปัจจุบันมาใช้ดำเนินการ

เกณฑ์มาตรฐาน ให้อำนาจในการพิจารณาตัดสินภายใต้ความรับผิดชอบของวิชาชีพควบคุมด้าน วิศวกรรม และ ด้านวิทยาศาสตร์ สาขา ธรณีวิทยา

๓. มาตรฐานและคู่มืออ้างอิง

๓.๑ ICOLD: International Commission on Large Dams

- ICOLD Bulletin ๖๑ Dam design criteria - Philosophy of choice (๑๙๘๘)
- ICOLD Bulletin ๗๒ Selecting seismic parameters for large dams - Guidelines (๑๙๘๙)
- ICOLD Bulletin ๑๒๐ Design features of dams to resist seismic ground motion (๒๐๐๑)
- ICOLD Bulletin ๑๒๓ Seismic design and evaluation of structures appurtenant to dams (๒๐๐๒)

- ICOLD Bulletin ๑๔๘ Selecting seismic parameters for large dams (๒๐๑๖)
- ICOLD Bulletin ๑๕๗ Small Dams: Design, Surveillance and Rehabilitation (๒๐๑๖)
- ICOLD Bulletin ๑๕๘ Dam Surveillance Guide (๒๐๑๘)
- ICOLD Bulletin ๑๖๗ Regulation of dam safety: An overview of current practice worldwide (๒๐๒๕)

๓.๒ USBR : United States Bureau of Reclamation

- USBR (๑๙๗๒)
- USBR (๑๙๗๗)
- Design of Gravity Dams (๑๙๗๖)
- Design Standards No. ๑๓ : Seismic Analysis and Design (๒๐๑๕)

๓.๓ USACE : United States Army Corps of Engineers

- EM ๑๑๑๐-๒-๒๒๐๐ Gravity Dam Design (๑๙๙๕)
- EM ๑๑๑๐-๒-๖๐๕๐ Response Spectra and Seismic Analysis for Concrete Hydraulic Structures (๑๙๙๙)
- EM ๑๑๑๐-๒-๖๐๕๑ Time-history Dynamic Analysis of Concrete Hydraulic Structures (๒๐๐๓)
- EM ๑๑๑๐-๒-๖๐๕๓ Earthquake Design and Evaluation of Concrete Hydraulic Structures (๒๐๐๗)
- ER ๑๑๑๐-๒-๑๘๐๖ Earthquake Design and Evaluation for Civil Works Projects (๒๐๒๔)

๓.๔ FEMA : Federal Emergency Management Agency

- Earthquake Analyses and Design of Dams (๒๐๐๕)

๓.๕ ASTM : American Society for Testing and Materials

๓.๖ กฎกระทรวง กำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคาร และลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร (๒๕๖๖)

๓.๗ สผ. : สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

- แนวทางการจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการพัฒนาแหล่งน้ำ (๒๕๖๖)

๓.๘ กรมชลประทาน :

- แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ (๒๕๔๕)
- แนวทางและหลักเกณฑ์การบริหารจัดการด้านความปลอดภัยเขื่อน (๒๕๖๕)
- มาตรฐานการปฏิบัติงาน การทดสอบวัสดุด้านวิศวกรรมสำหรับหน่วยงานทดสอบประจำภูมิภาคของกรมชลประทาน, สำนักวิจัยและพัฒนา (๒๕๕๒)

๓.๙ กรมโยธาธิการและผังเมือง

- มยผ.๑๓๐๑-๑๓๐๒-๖๑

๓.๑๐ กรมทางหลวง

- คู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อต้านแผ่นดินไหว (๒๕๕๙)

๕. โครงสร้างของเกณฑ์มาตรฐาน

รูปที่ ๑ แสดงแผนผังการวิเคราะห์และการดำเนินงานต่างๆที่สัมพันธ์และเกี่ยวข้องกันสำหรับการเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบเขื่อนเพื่อรับแรงกระทำแผ่นดินไหวฉบับนี้ โดยรายละเอียดอยู่ในส่วนต่างๆที่ได้แบ่งโครงสร้างของเนื้อหาดังต่อไปนี้

หมวดที่ ๑ บทนำ

หมวดที่ ๒ การวิเคราะห์ค่าแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบ

หมวดที่ ๓ การสำรวจและทดสอบฐานรากและวัสดุตัวเขื่อน

หมวดที่ ๔ การวิเคราะห์และออกแบบ ประกอบด้วย

ส่วนที่ ๑ การออกแบบเขื่อนดินและหินถม (Earth and rockfill dam)

ส่วนที่ ๒ การออกแบบเขื่อนคอนกรีตถ่วงน้ำหนัก (Concrete gravity dam)

ส่วนที่ ๓ การออกแบบโครงสร้างอาคารประกอบ (Appurtenant structure)

หมวดที่ ๕ การดำเนินการเพื่อประเมินความปลอดภัยเขื่อนที่ใช้งานในปัจจุบันต่อแรงกระทำแผ่นดินไหว

๖. ข้อพิจารณาเริ่มต้นในการออกแบบเขื่อนเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว

สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ (๒๕๕๓) ได้รวบรวมข้อพิจารณาเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อนเพื่อรับรองการตอบสนองจากแรงกระทำแผ่นดินไหวได้อย่างปลอดภัย เพื่อใช้เป็นการวางแนวคิดเริ่มต้นในการออกแบบ (Conceptual design) โดยมีรายละเอียดดังนี้

๖.๑ เพื่อความหนาของระบบกรองเพื่อป้องกันการสูญเสียความหนาของระบบกรองจากการเลื่อนไถลของลาดเขื่อน, การทรุดตัวแตกต่างกัน หรือ การขยับของรอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อน (ระบบกรองควรเหลือ ๕๐%)

๖.๒ ใช้วัสดุแกนเขื่อนที่สามารถอุดตันได้เองหากเกิดรอยแตกภายใน (Self-healing material) ตามข้อเสนอแนะของ Sherald (๒๐xx)

๖.๓ ใช้สันเขื่อนที่กว้างกว่าปกติ เช่นเพิ่มจาก ๘ เมตรตามปกติ เป็น ๑๐ เมตร เป็นต้น

๖.๔ หลีกเลี่ยงวัสดุที่สามารถเกิด Liquefaction ได้มาเป็นวัสดุถม

๖.๕ ตรวจสอบโอกาสเกิด Liquefaction ที่ดินฐานราก และมาตรการในการปรับปรุง หรือพิจารณาในการขุดลอกวัสดุดังกล่าวออก

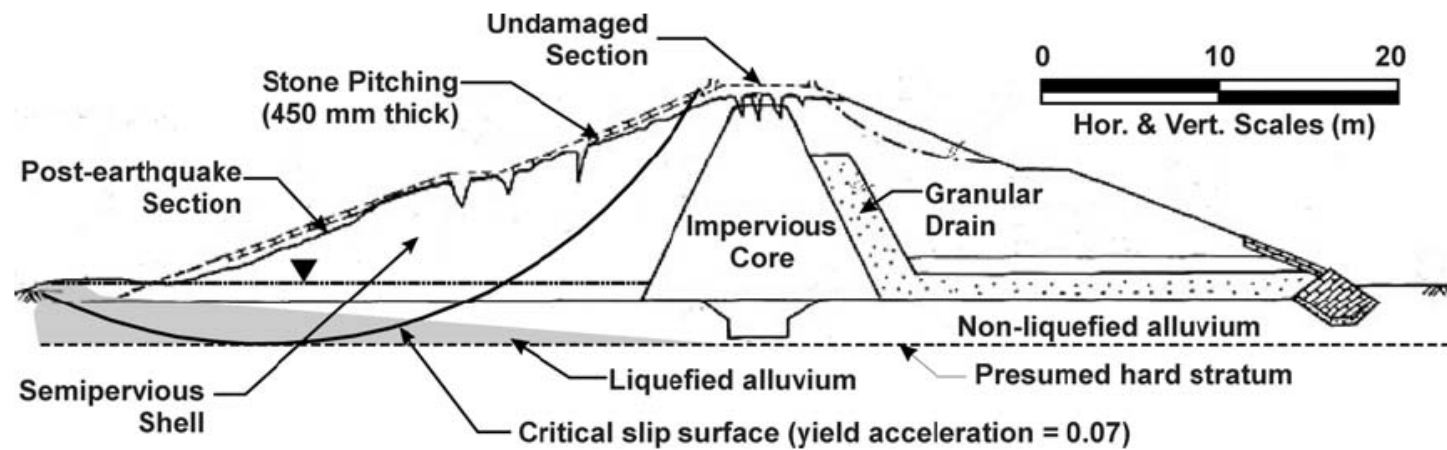
๖.๖ เพื่อความลาดชันโดยการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชันโดยวิธี Pseudostatic Analysis เป็นการเริ่มต้น

๖.๗ เพื่อ Free board จากโอกาสที่จะเกิด Seiches และ Seismic Deformation

๖.๘ ในกรณีที่ความเสี่ยงต่อความสูญเสียสูง หรือต้องการประหยัดค่าก่อสร้าง ควรออกแบบโดยพิจารณาพฤติกรรมเขื่อนที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Dynamic Response Analysis แต่จำเป็นจะต้องมีความพร้อมด้านทรัพยากรการวิเคราะห์ ไม่เช่นนั้นผลที่ได้อาจจะไม่น่าได้ไม่ถูกต้อง



Fatehgadh
Dam



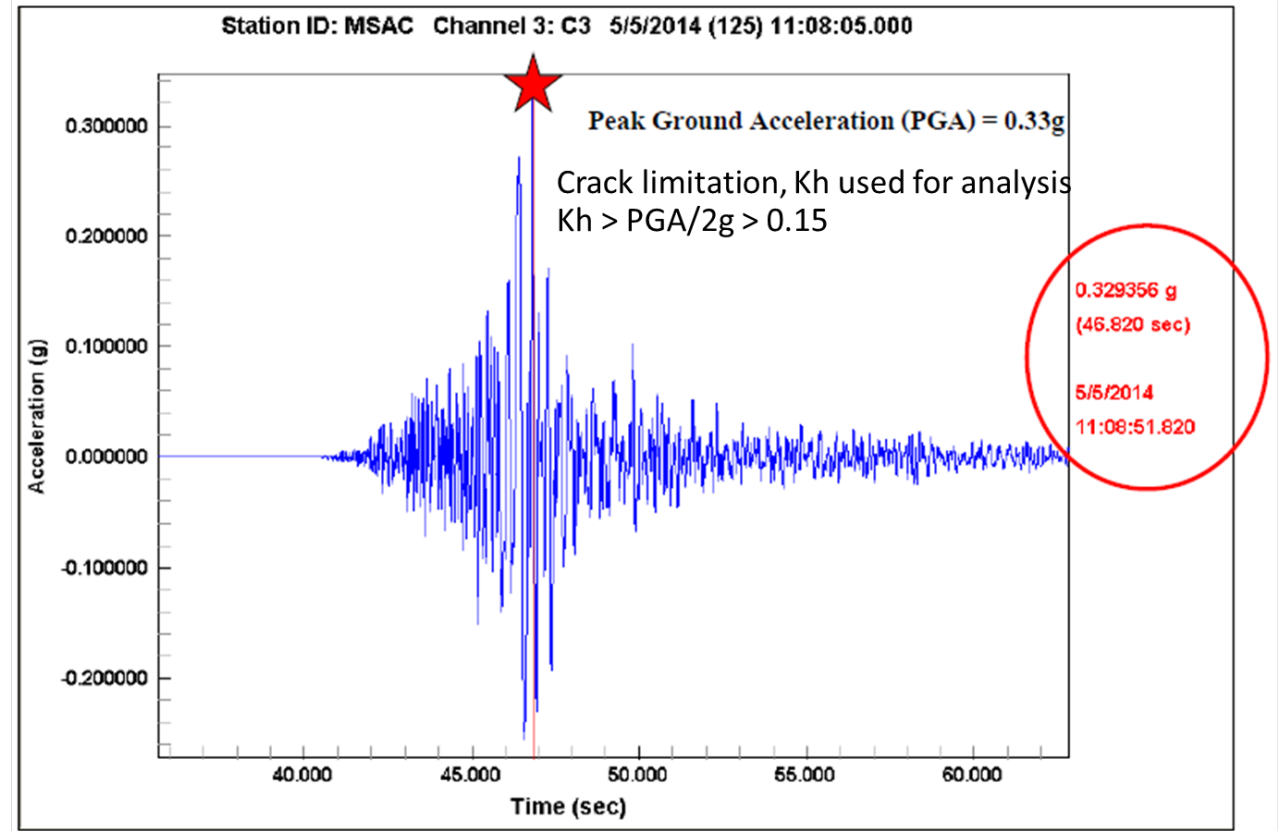


Mea Suai Dam

Damage from 6.3 M EQ

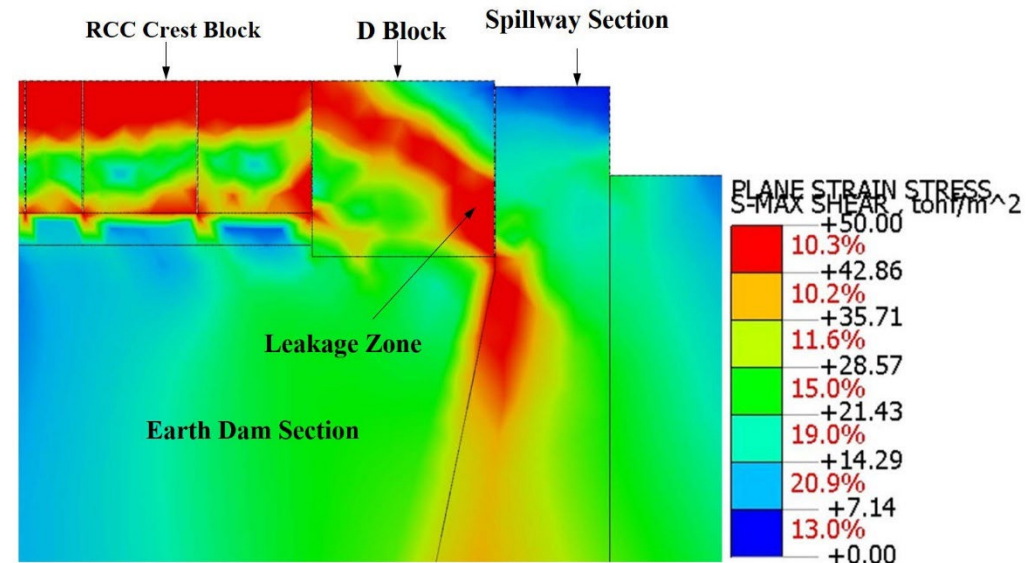
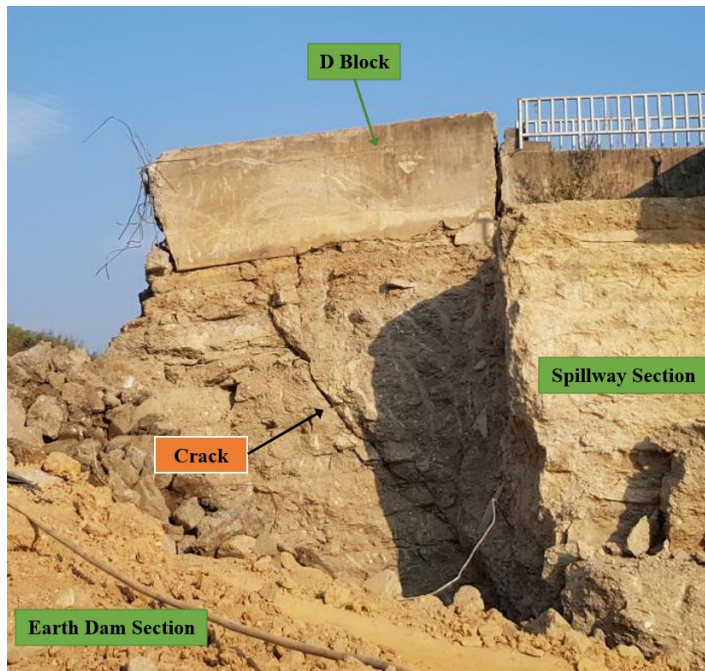
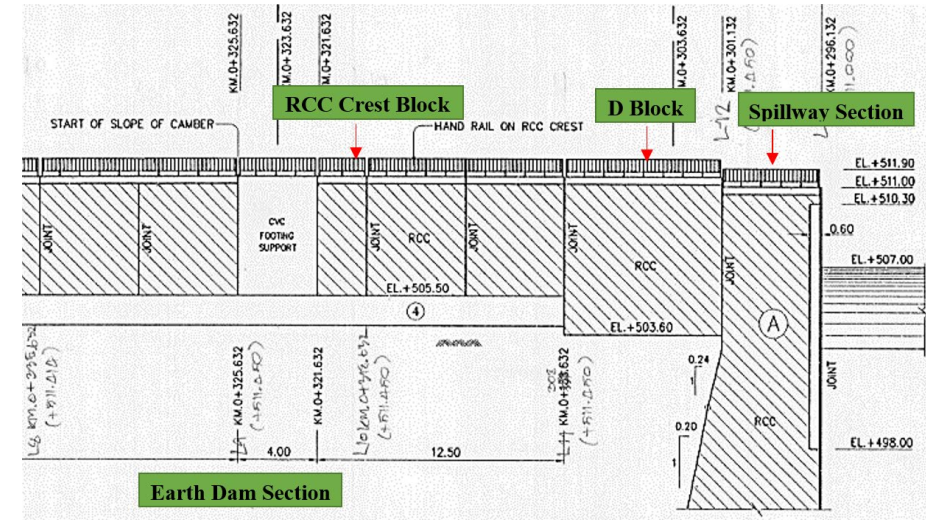
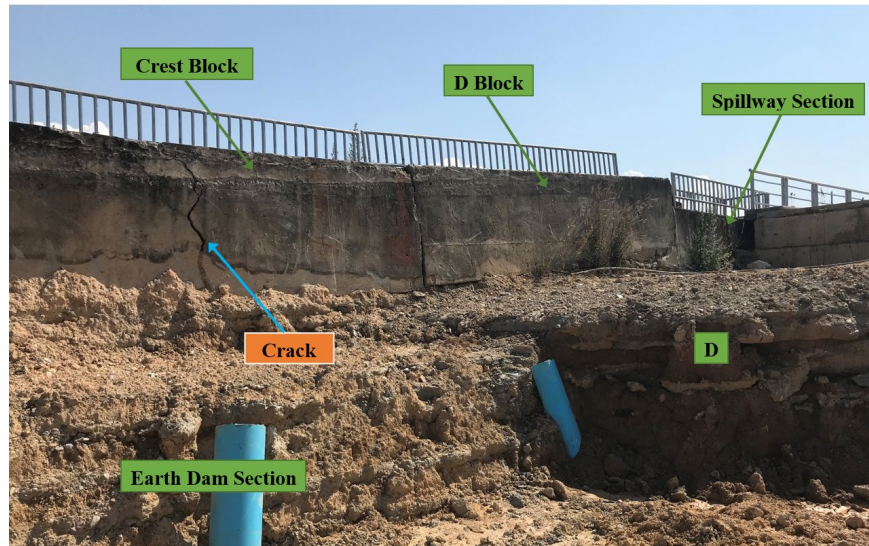


Acceleration-time history recorded at the right abutment



Designed $K_h = 0.1 < 0.15$ cracks can be expected on the dam crest

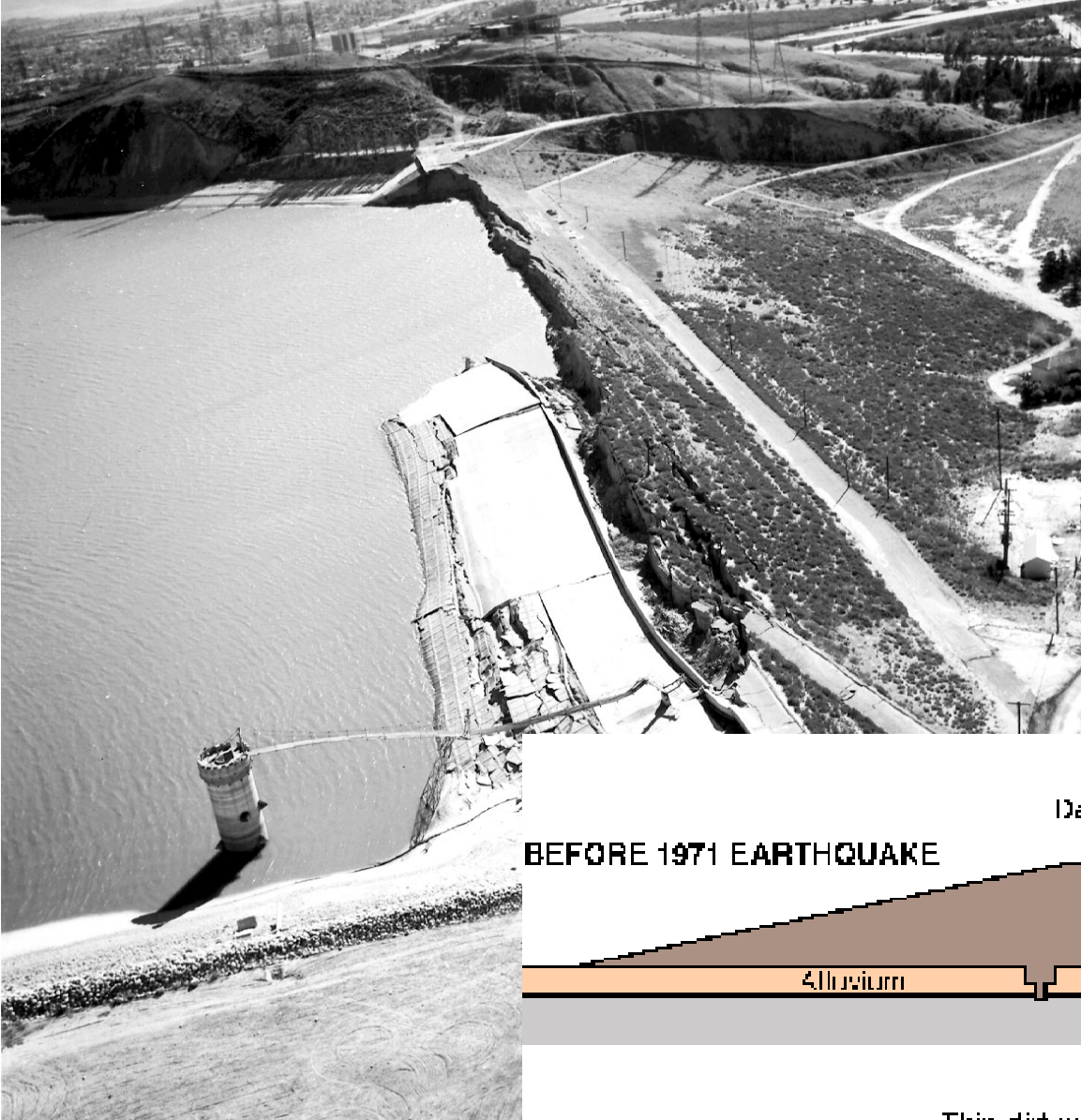
Crack appeared in rehabilitation processes of Mae Suai dam. 2019



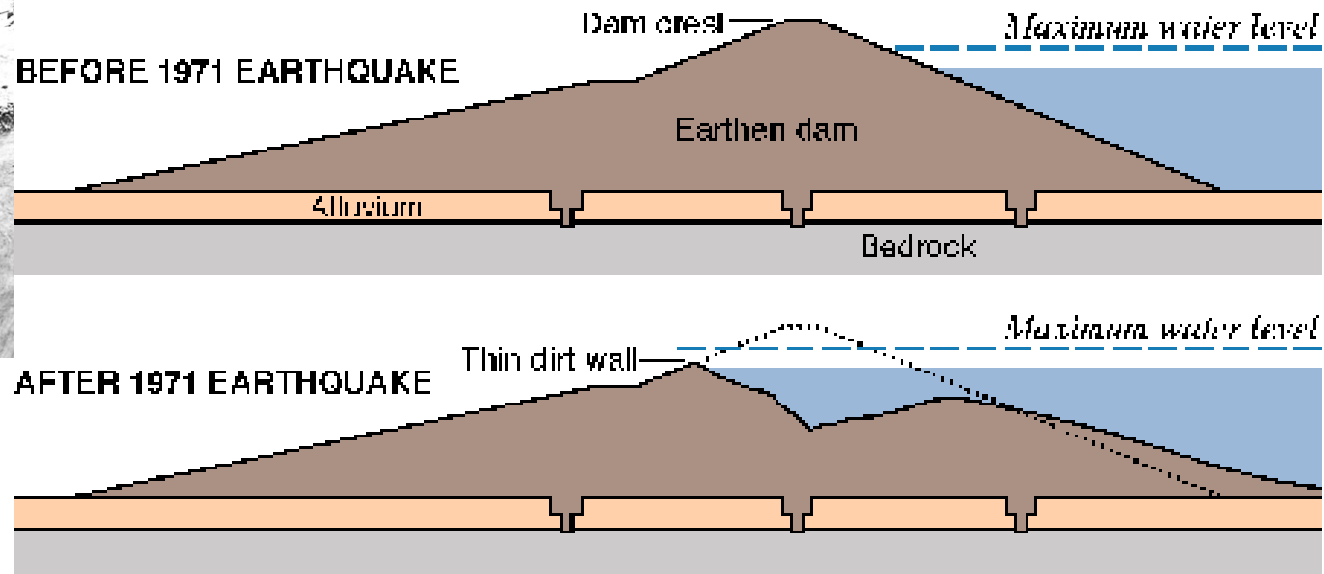
Maximum Shear Stress, 2D Finite Element Analysis







Liquefaction failure





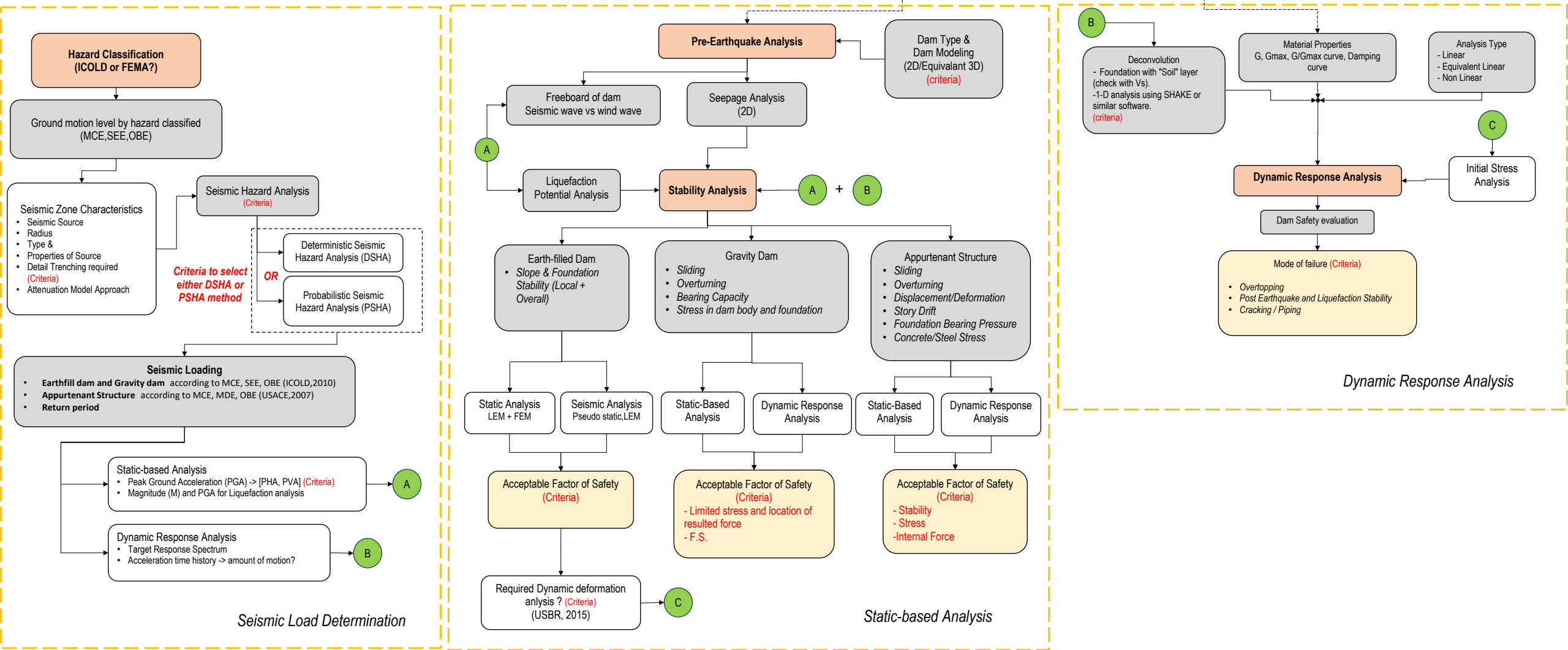
Manjil earthquake 1990



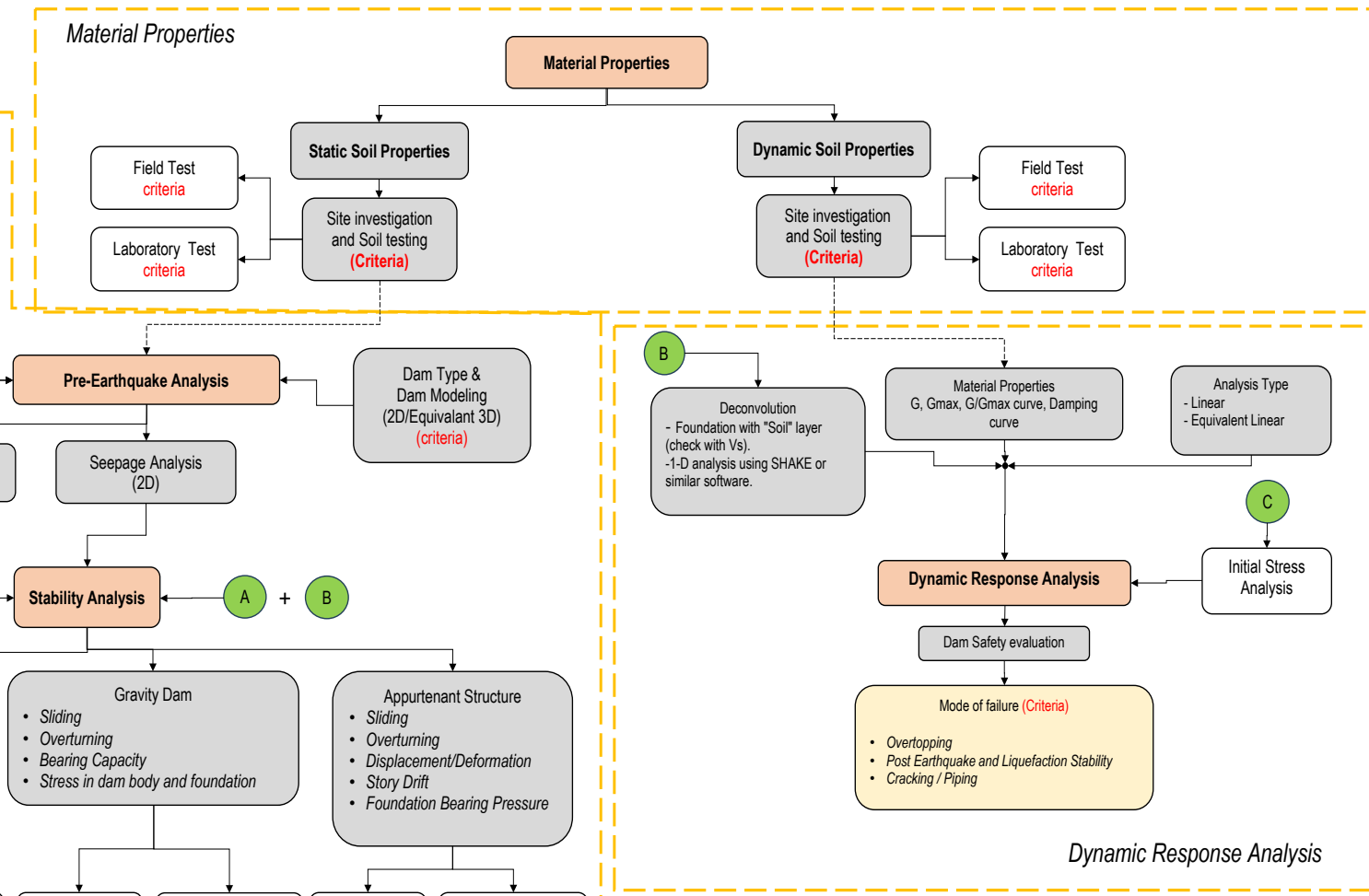
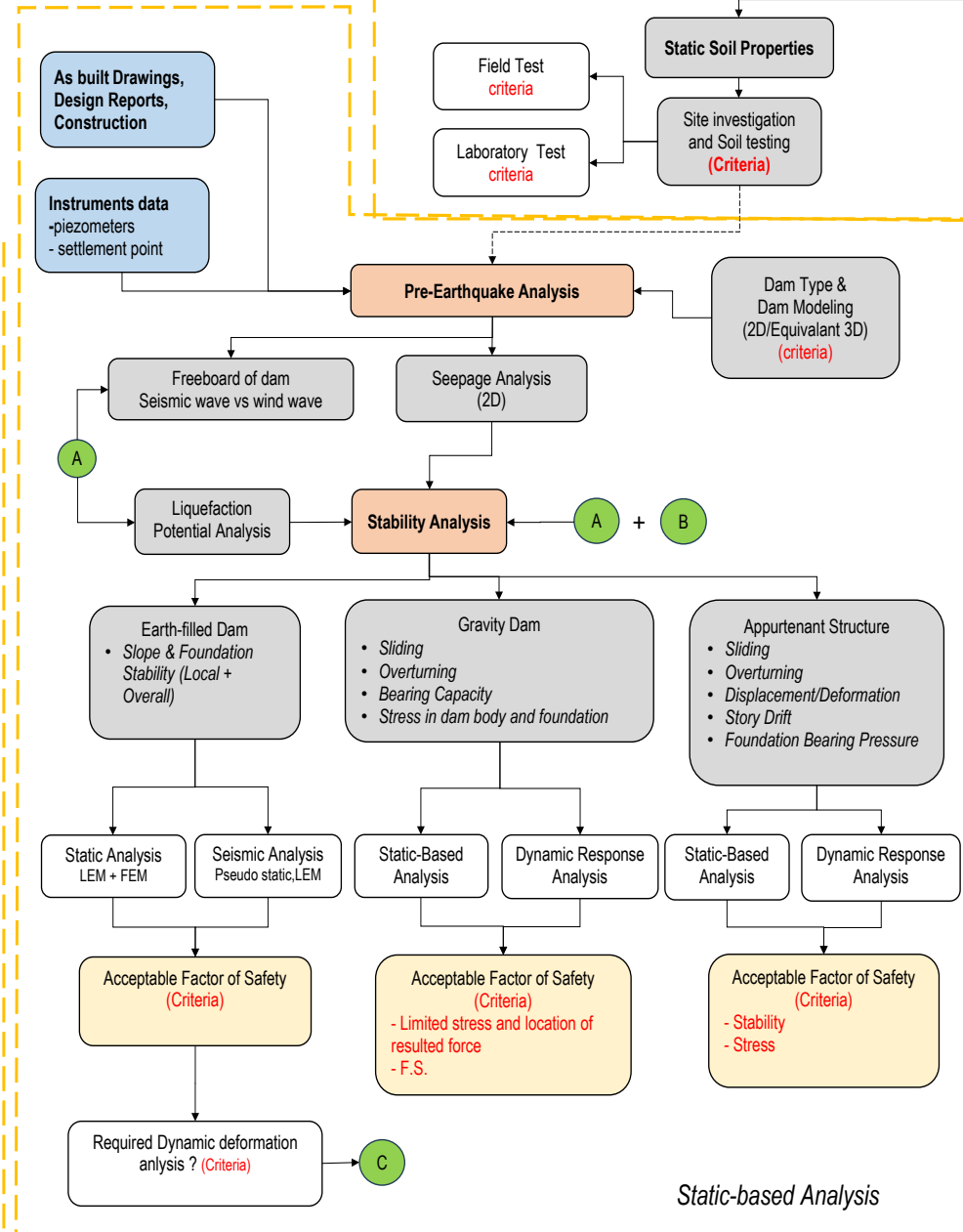
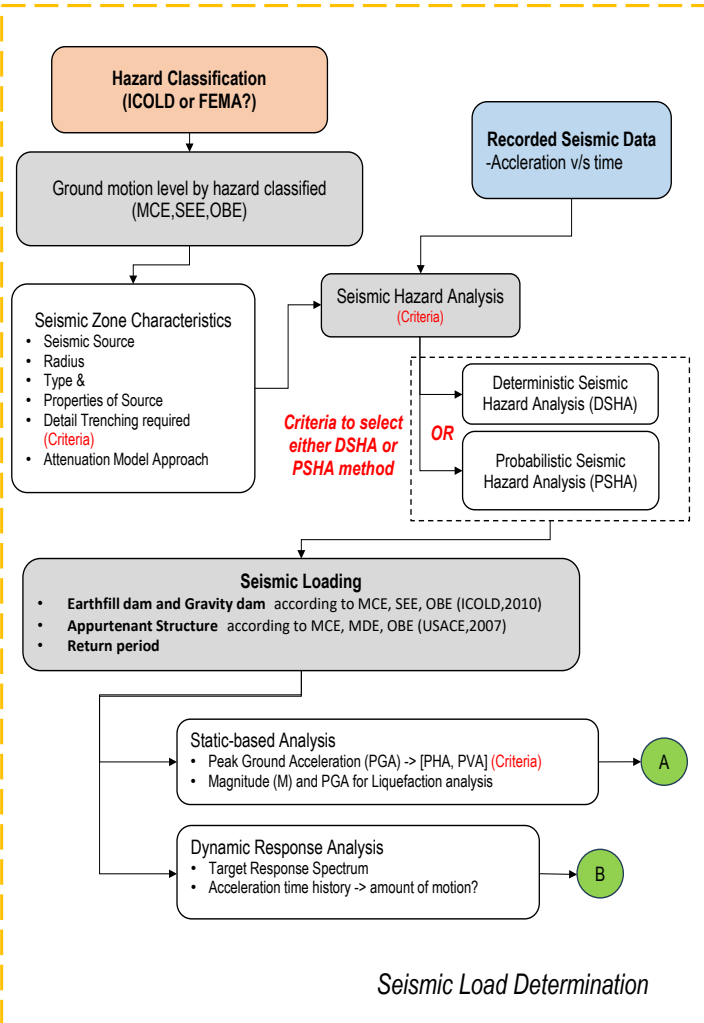
Chi-Kang Dam, Taiwan จาก Chi-Chi Earthquake ขนาด 7.6 Mw วันที่ 20 ก.ย. 42



ผังการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเขื่อน เพื่อรับแรงแผ่นดินไหว



ผังการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความ มั่นคงของเขื่อนปัจจุบันต่อแรงกระทำ แผ่นดินไหว



Dam Hazard Classification

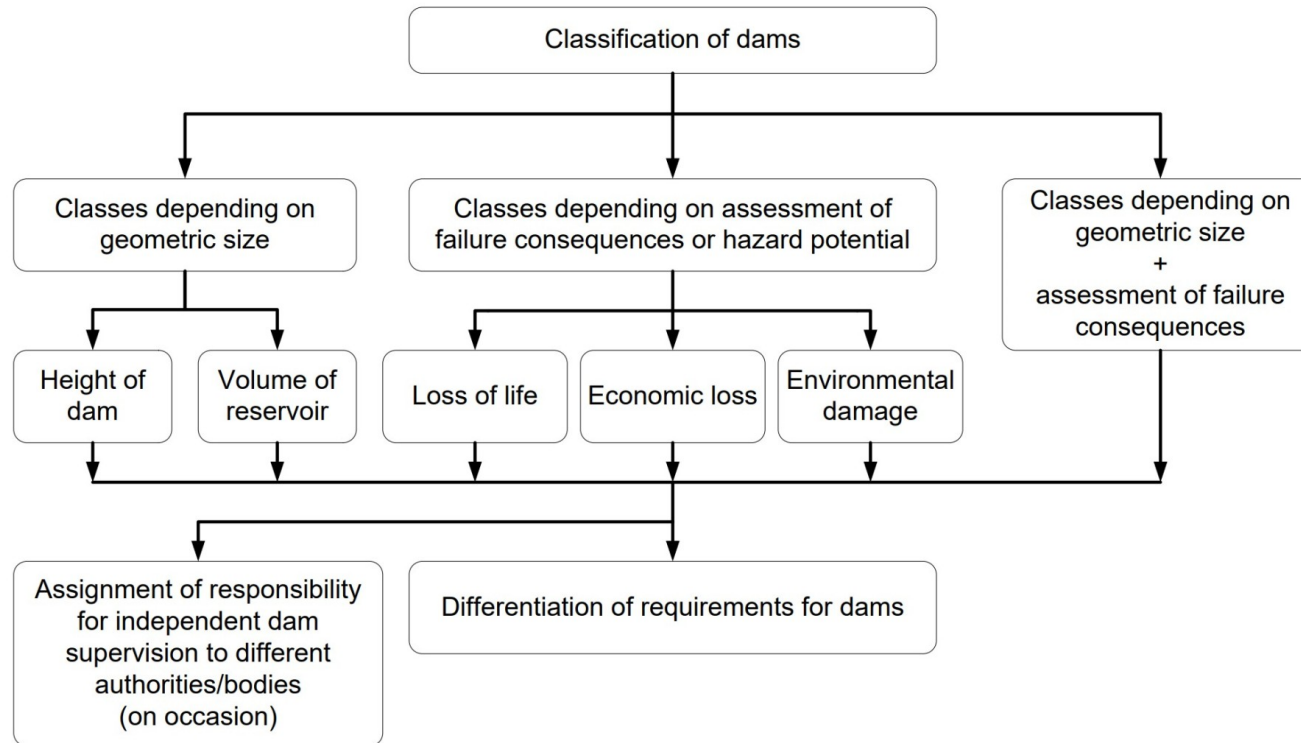


Figure 5: Approaches for dam classification and its goals

	Classification Factor			
Capacity (10 ⁶ m ³)	>120 (6)	120-1 (4)	1-0.1 (2)	<0.1 (0)
Height (m)	>45 (6)	45-30 (4)	30-15 (2)	<15 (0)
Evacuation requirements (No of per	>1000 (12)	1000-100 (8)	100-1 (4)	None (0)
Potential downstream damage	High (12)	Moderate (8)	Low (4)	None (0)

Total Classification	Dam Category
(0-6)	I (Low)
(7-18)	II (Moderate)
(19-30)	III (High)
(31-36)	IV (Extreme)

Low, Moderate, High, Extreme

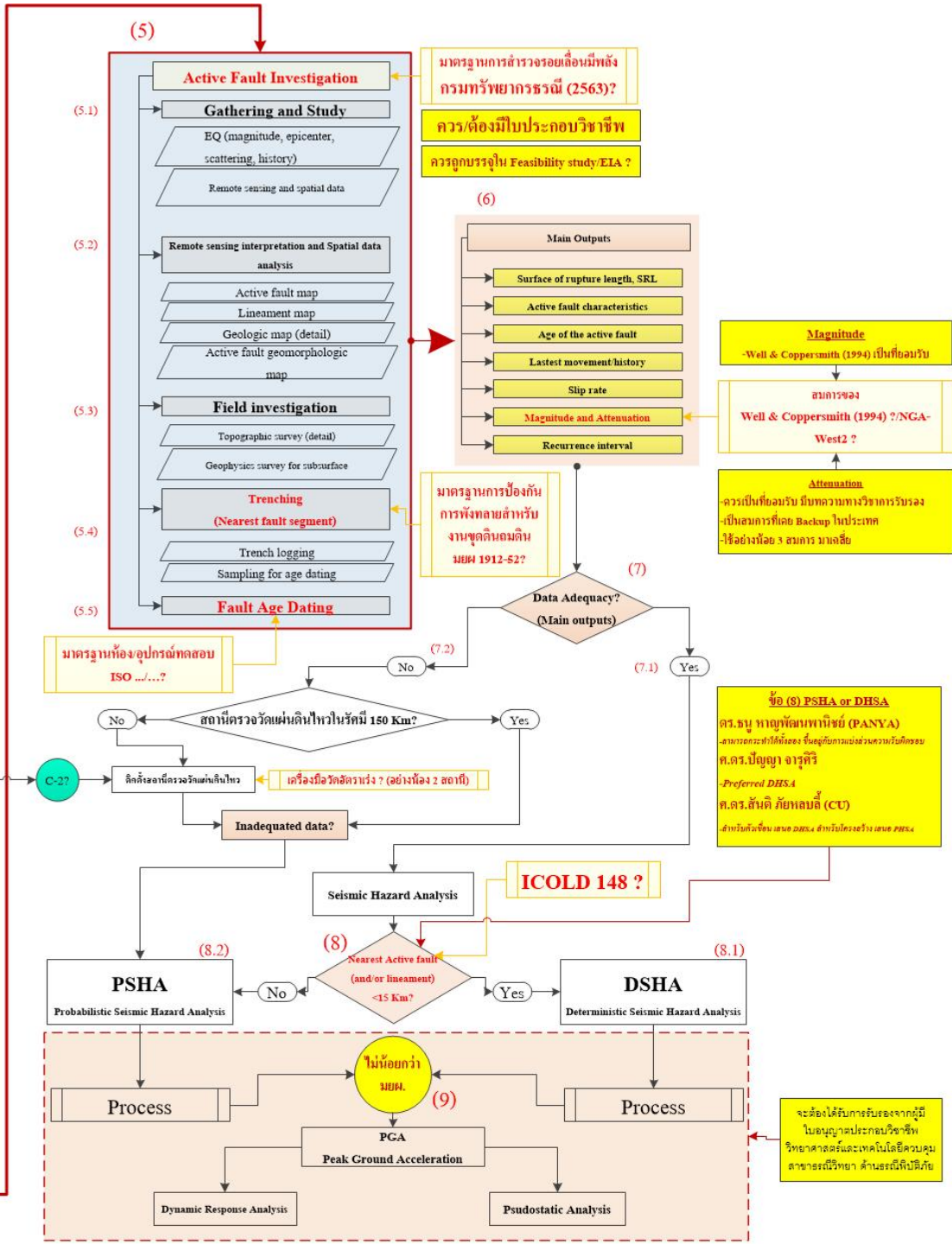
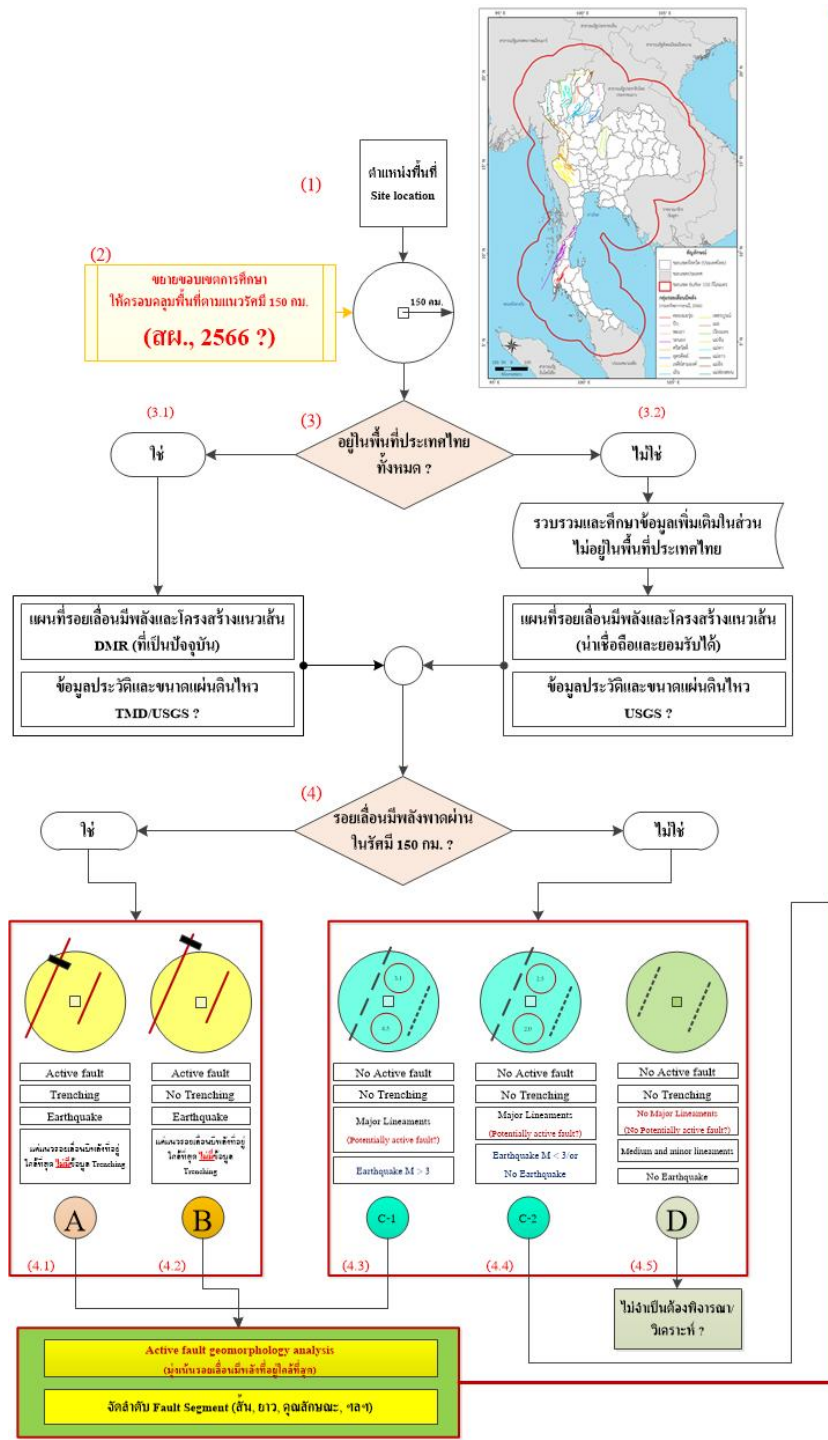
International Commission on Large Dams, Bulletin 167 (2023)

Regulation of Dam Safety : An overview of current practice world wide

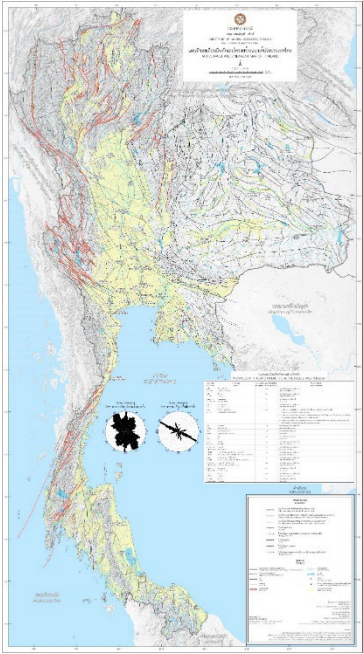
ตารางที่ ๒ ข้อกำหนดในการเลือกใช้ค่าระดับของแรงกระทำแผ่นดินไหวจาก ICOLD Bulletin๑๔๘ (๒๐๑๐)

ขนาดแผ่นดินไหว	ระดับความเสี่ยงภัยของเขื่อน		
	ระดับสูงหรือสูงสุด (Extreme or High)	ระดับกลาง (Moderate)	ระดับต่ำ (Low)
MCE (Maximum Credible Earthquake)	ต้องพิจารณาที่ระดับนี้	สามารถลดทอนขนาดลงจาก MCE ได้	สามารถลดทอนขนาดลงจาก MCE ได้
SEE* (Safety Evaluation Earthquake)	Deterministic เลือกเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 84 (84 th percentile) ซึ่งเทียบเท่า Mean + 1SD	Deterministic เลือกเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ถึง 84 (50 th to 84 th percentile)	Deterministic เลือกเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 (50 th percentile)
	Probabilistic เลือกที่ mean AEP ไม่น้อยกว่า 1/10,000	Probabilistic เลือกที่ mean AEP ไม่น้อยกว่า 1/3,000	Probabilistic เลือกที่ mean AEP ไม่น้อยกว่า 1/1,000
OBE* (Operation Basis Earthquake)	คำนวณจากข้อกำหนดการออกแบบ (Seismic Building Code) พิจารณาที่คาบอุบัติซ้ำ (Return Period) 475 ปี		

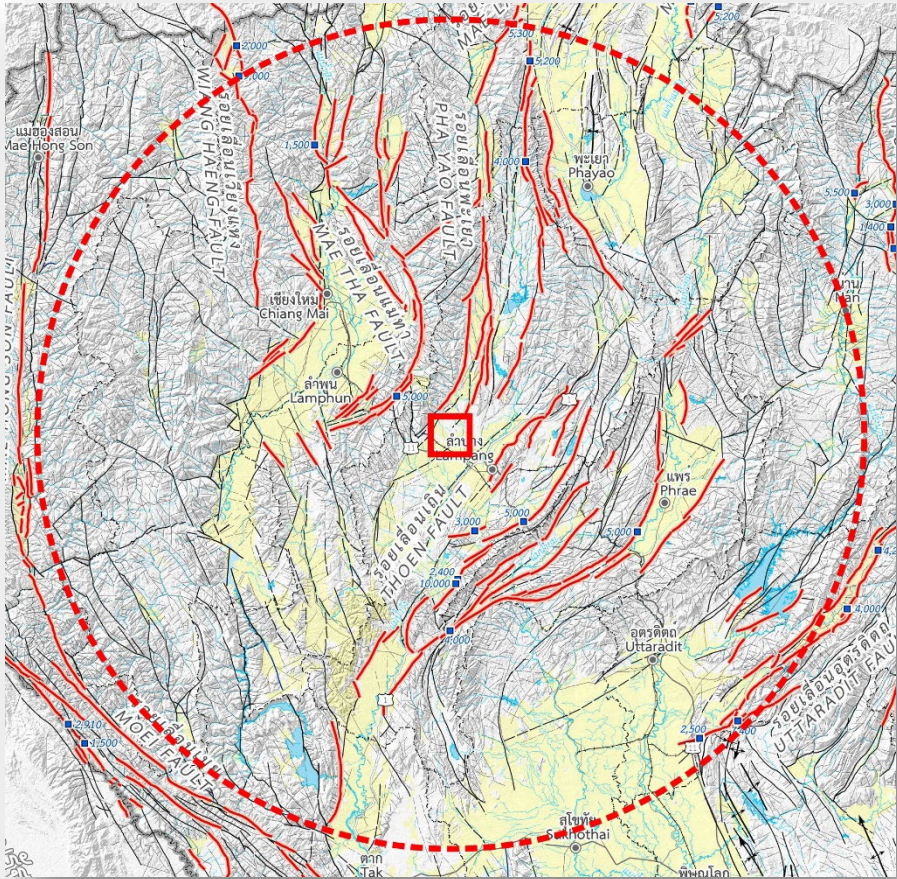
mean AEP: mean annual exceedance probability



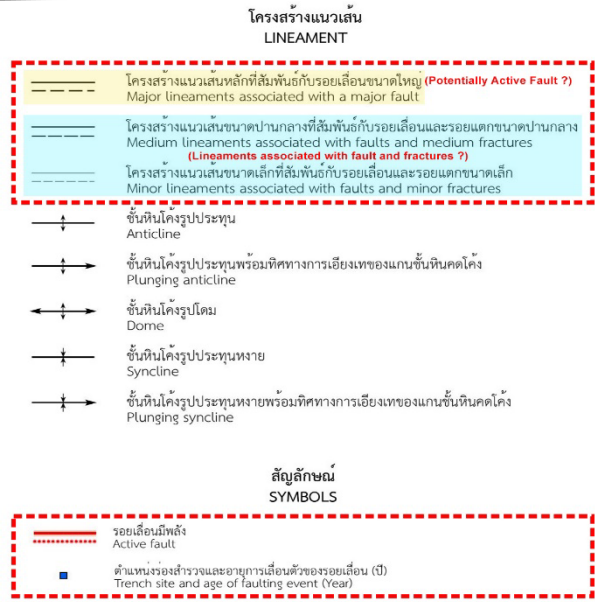
แผนที่รอยเลื่อนมีพลังและโครงสร้างแนวตั้งและตัวอย่างข้อมูลที่แสดงในแผนที่ กรมทรัพยากรธรณี (2566)



แผนที่รอยเลื่อนมีพลังและโครงสร้างแนวตั้ง



ตัวอย่างข้อมูลในแผนที่

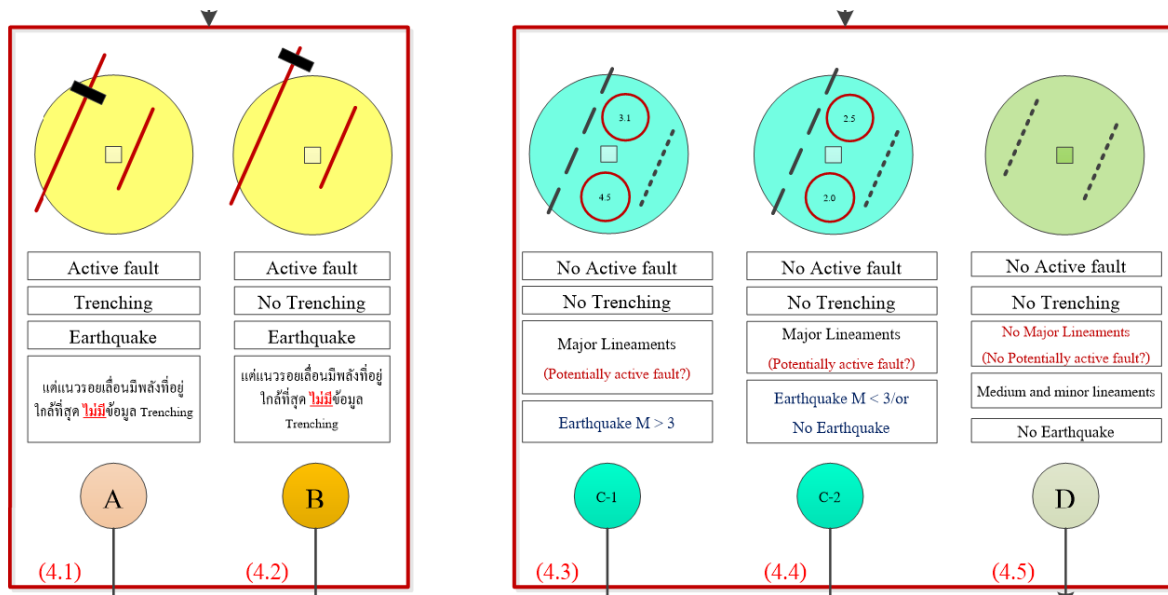


คำอธิบายสัญลักษณ์รอยเลื่อนมีพลังและโครงสร้างแนวตั้ง

ประเด็นพิจารณาที่สำคัญ

1. กำหนดให้ต้องทำการสำรวจรอยเลื่อนมีพลังด้วยการขุดร่องสำรวจ (Trenching) ถ้าจำเป็นต้องให้เกิดความกระจ่างต่อความปลอดภัยเขื่อน โดยดำเนินการตามมาตรฐานของกรมทรัพยากรธรณี มีกลไกเพื่อให้ได้รับการรับรองผลโดยกรมทรัพยากรธรณี เพื่อนำผลไปใช้ส่วนของกรมชลประทาน และเป็นการเพิ่มข้อมูลการสำรวจรอยเลื่อนมีพลังให้ประเทศ
2. การดำเนินการในส่วนนี้จะต้องได้รับการรับรองจาก ผู้มีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีควบคุม สาขาธรณีวิทยา ด้านธรณีพิบัติภัย

ประเด็นหารือ



กรณีใด (A, B, C, D) ที่จำเป็นต้องดำเนินการ
ขุดร่องสำรวจ (Trenching) เพิ่มเติม ?
(บางกลุ่ม/ทั้งหมด)

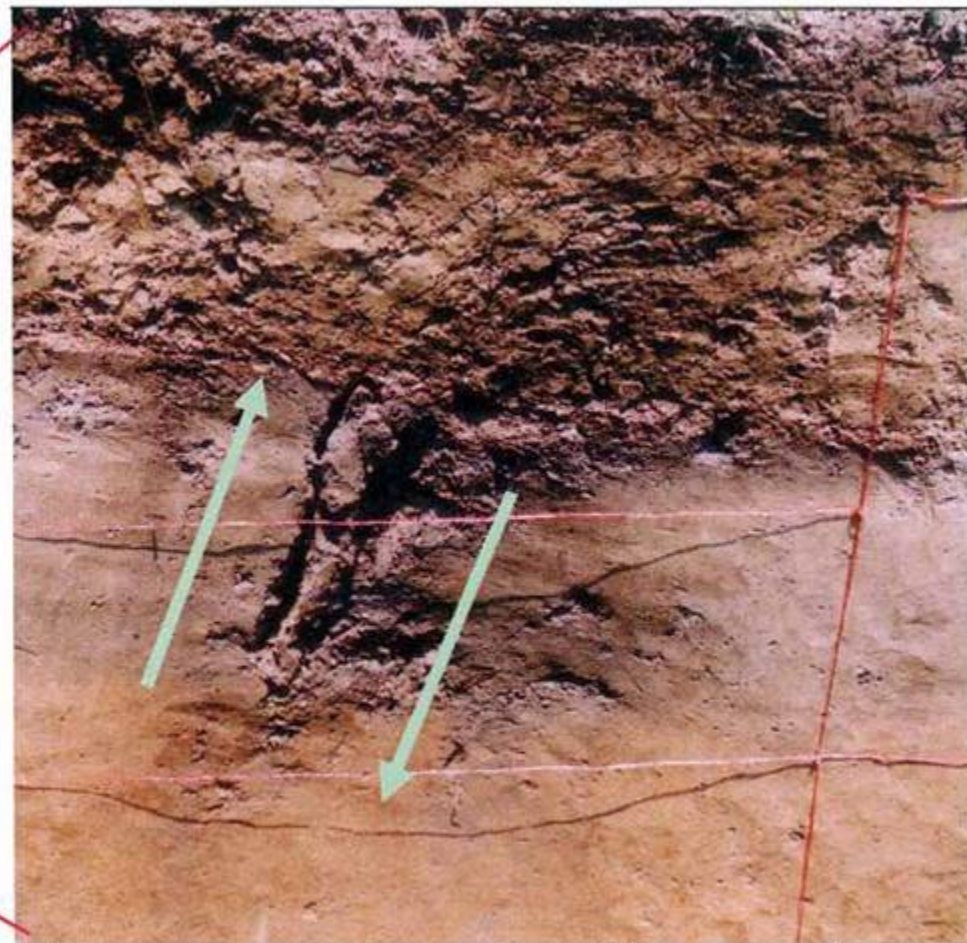


A : แม้จะมี Active fault แต่รอยเลื่อนมีพลังที่อยู่ใกล้ที่สุดไม่มีข้อมูล Trenching
B : Trenching อยู่ห่างเกินรัศมี 150 กิโลเมตร
C : ไม่มี Active fault แต่มีกิจกรรมของแผ่นดินไหว และมี Major lineaments
D : ไม่มี Active fault, ไม่มี Major lineaments และไม่มีแผ่นดินไหว

A, B, C จำเป็น ?
D ไม่จำเป็น ?



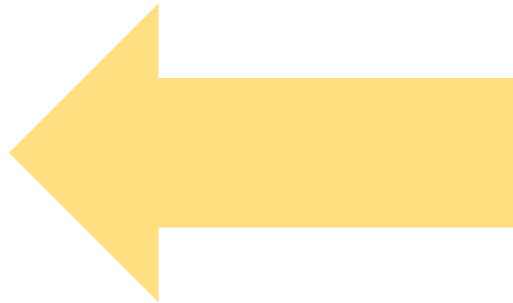
รูปที่ 3 การขุดแต่งหลุมทดลอง



รูปที่ 4 ภาพตัดขวาง (W-E) แสดงรอยเลื่อน (จากรูปที่ 3)

ประเด็นหารือ

จำเป็นต้องดำเนินการขุดร่องสำรวจ
(Trenching) เพิ่มเติม ?

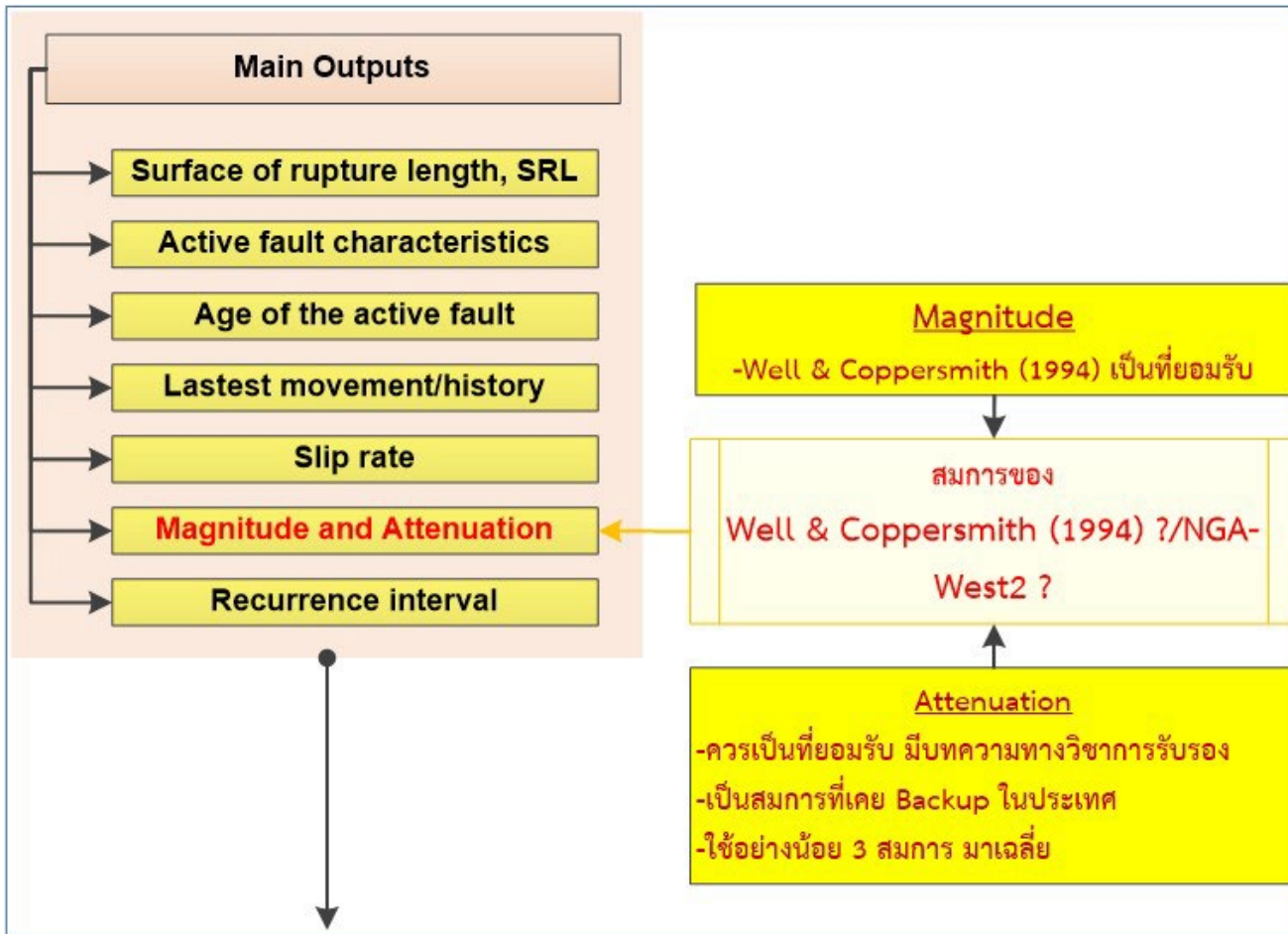


Active fault geomorphology analysis
(มุ่งเน้นรอยเลื่อนมีพลังที่อยู่ใกล้ที่สุด)

จัดลำดับ Fault Segment (สั้น, ยาว, คุณลักษณะ, ฯลฯ)

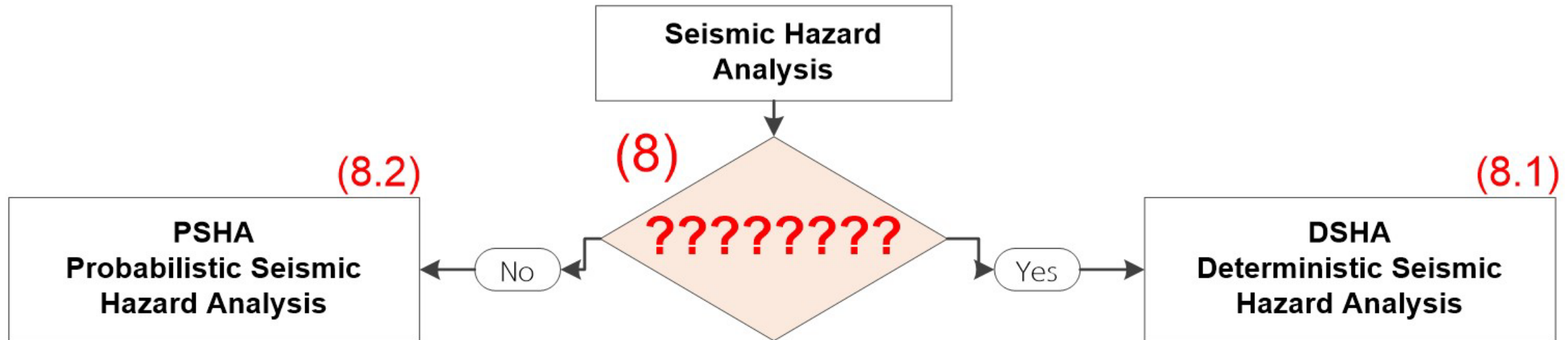
- มาตรฐานการสำรวจรอยเลื่อนมีพลัง (กรมทรัพยากรธรณี)?
- ผู้ดำเนินงานต้องมีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีควบคุม สาขา ธรณีวิทยา งานธรณีพิบัติภัย?

ประเด็นหารือ



การประเมิน earthquake magnitude
และใช้ GMPE (Attenuation model)
ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

เกณฑ์การพิจารณาเลือก PSHA หรือ DSHA?



Material Properties



Field Test

ICOLD (2016), USBR (1997, 2001), RID (2002)

- Soil and rock classification by using SPT *ASTM D248, ASTM D 3441*
- Geophysics (*RID, 2002*), Seismic Survey, Ground penetrating Radar
- Boring, test pits, trenches (*RID, 2002*)

Laboratory Test

ICOLD (2016), USBR (1997, 2001), RID (2002)

Static Soil Properties 2D/3D

Site investigation and Soil testing
(Criteria)

Dynamic Soil Properties 2D/3D

Site investigation and Soil testing
(Criteria)

Field Test

ICOLD (1999, 2016), USBR (1997, 2001), RID (2002)

- Shear wave velocity testing *ASTM D8295, D1586, D5778* (i.e. SASW, MASW, Micro-Tremor, down-hole, up-hole, cross-hole, seismic refraction survey)

Laboratory Test

ICOLD (2016, 1999), USBR (1997, 2001)

Testing

- Resonant Column test *ASTM D4015 - Dynamic shear modulus*
- Cyclic triaxial test *ASTM D 5311, ASTM D3999 - Damping ratio*
- Cyclic Hollow cylindrical Torsional shear test *ASTM D4253, D4254*
- Bender Elements *ASTM D8295-19*

Testing

- Physical properties test
(Sieve analysis *ASTM D4643-93, ASTM D422-63, ASTM D2487*, Atterberg's Limit *ASTM D4318-00*, Relative Density test *ASTM D2049*, Moisture Content *ASTM D2216*, Unit weight *ASTM D2937*, Specific gravity *ASTM C136-05, C128-01, ASTM D854-02*)
- Strength testing
(*Su* from Unconfined Compression test *ASTM D2166* or Vane shear test, *c, ϕ* from Unsaturated-Unconsolidated Undrained triaxial compression test (UU-Unsat) *ASTM D 2850* and *c, ϕ , c' , ϕ'* from Consolidated Undrained triaxial test (CU) *ASTM*)
- Permeability test (falling head, pressurized head, constant head) *ASTM D2434, ASTM D5084*
- Compaction test *ASTM D698-00a, ASTM D1557-02a ASTM D5080*
- California Bearing Capacity (CBR) *ASTM D1883-99*
- Dispersive soil Testing
(Pin Hole Test *ASTM D4647-06e1*, Crumb Test *ASTM D6572-06*, Dispersion Ratio Test *ASTM*)
- Rock for construction material
(Durability test *ASTM C535-03*, Dilution Turbidity Ratio *ASTM D7315-17*, Dispersion Ratio Test *ASTM D4221-99*, Point loading test *ASTM D5731-16*, Abrasion test *ASTM C136-05, C128-01, ASTM C33*, Absorption Test *ASTM D6473-15*, Soundness Test *ASTM C88-99a*)
- Swelling soil testing *ASTM D4546-21*

DESIGN CONCEPT

PRELIMINARY INFORMATIONS (Desk Study)

- Arial photo
- Adjacent site investigation report
- Mining or mineral report
- Topographic map
- Geological map
- Soil survey map

SITE INSPECTION

PRELIMINARY INVESTIGATION

BORING AND EXCAVATION

- Soil Boring
- Rock Coring
- Test Pit
- Test Trench
- Insitu Test
- Laboratory Test

GEOPHYSICAL SURVEY

- Seismic survey
- Resistivity survey

Preliminary Report

Preliminary Report

DETAIL INVESTIGATION

BORING , EXCAVATION AND LAB. TEST

- Soil boring
- Rock coring
- Test pitting
- Soil sampling
- Laboratory test

FIELD TEST

- Field vane shear test
- Plate bearing test
- Dutch cone penetration test
- Pumping test – Lugeon Test
- Borehole permeability - SPT

FIELD TRIAL

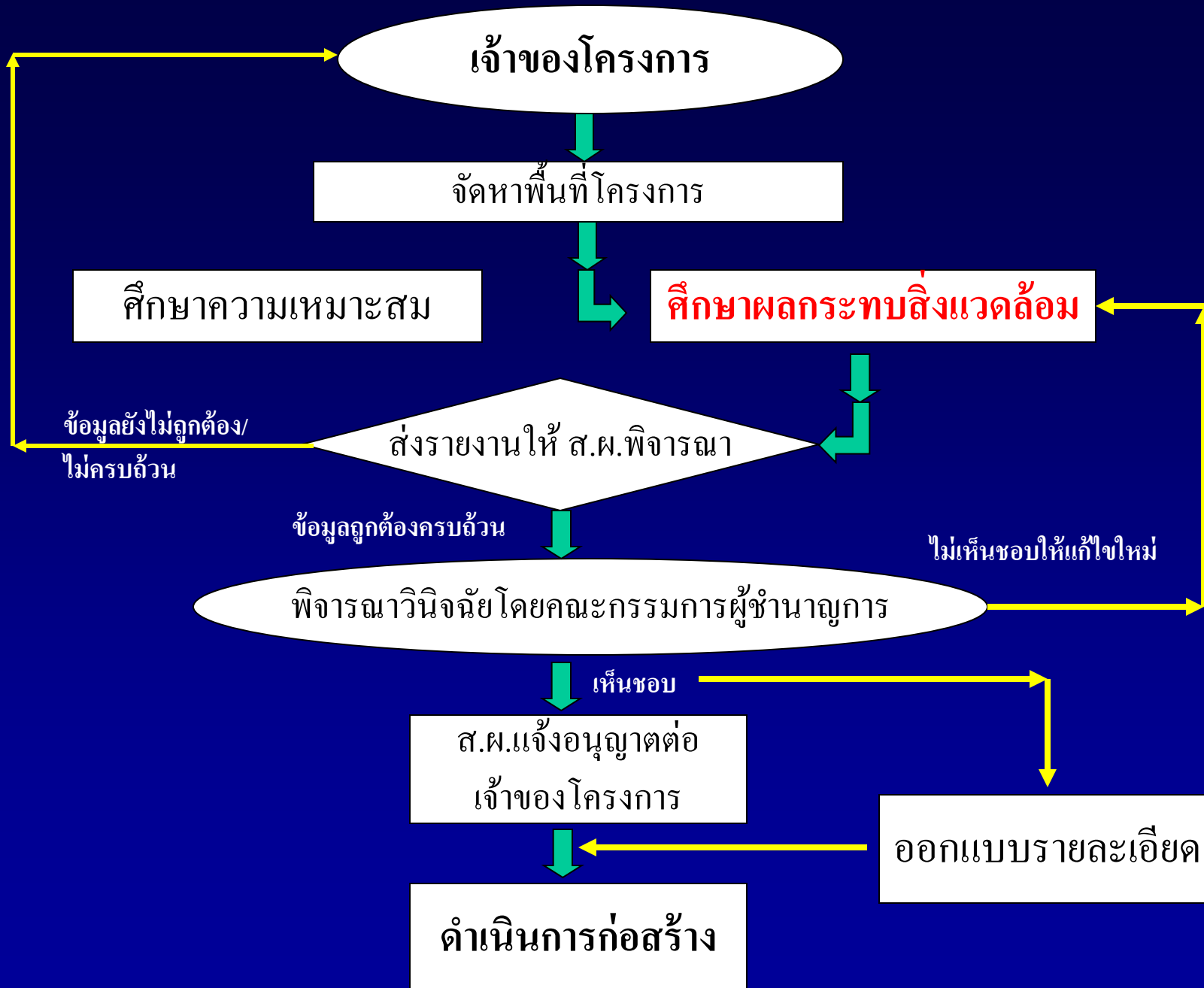
- Trial embankment
- Trial compaction
- Trial excavation
- Trial blasting

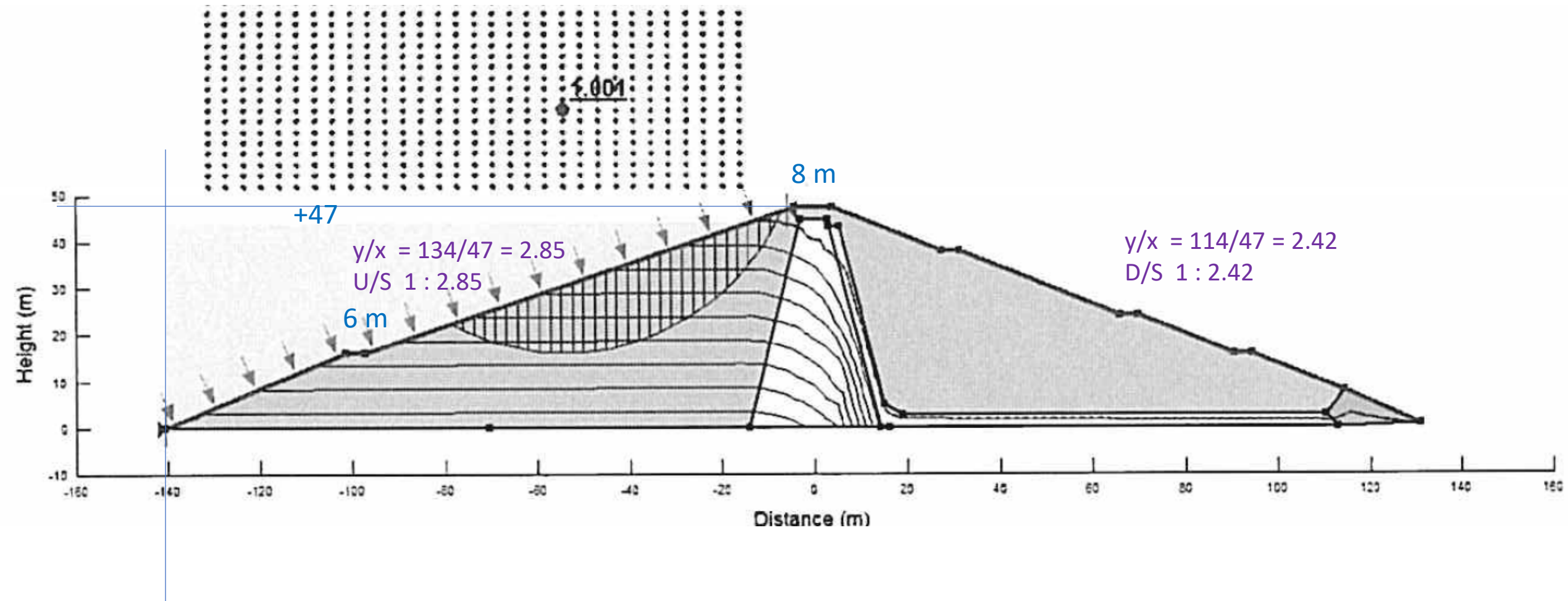
Final Report and Design

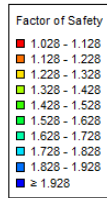
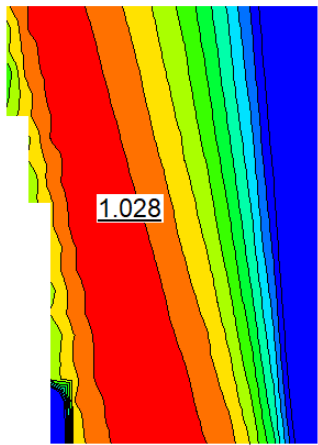
Recommendation

INVESTIGATION DURING CONSTRUCTION

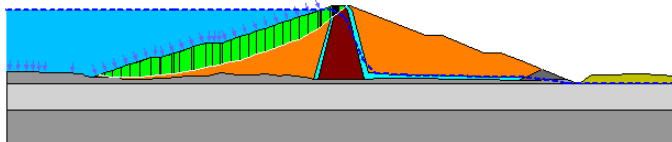
INVESTIGATION DURING OPERATION







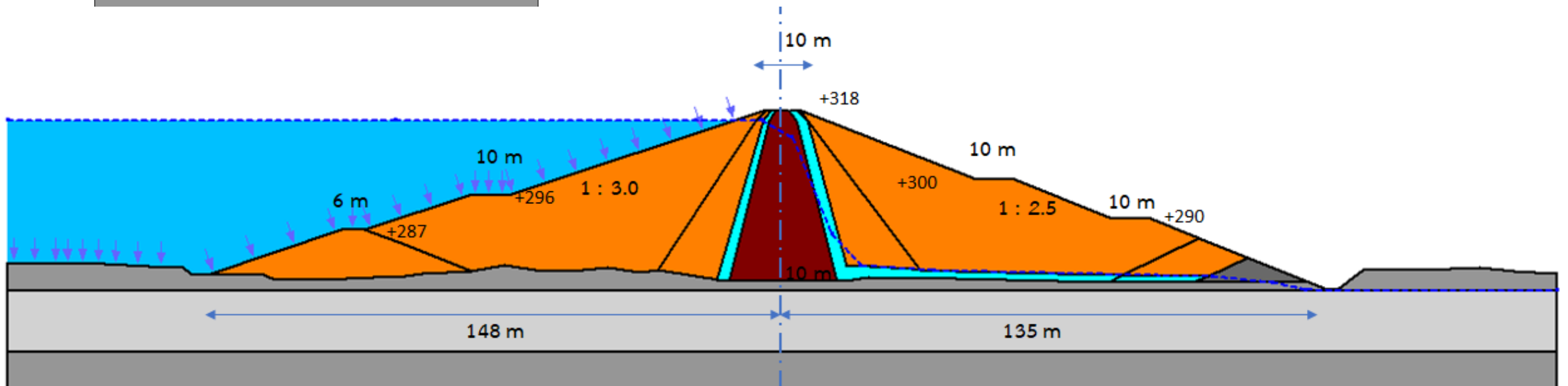
Pseudo-static
Max.WL U/S
F.S. = 1.028
PGA = 0.454 g
Kh = 1/2 PGA
= 0.227



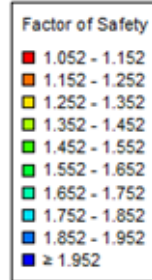
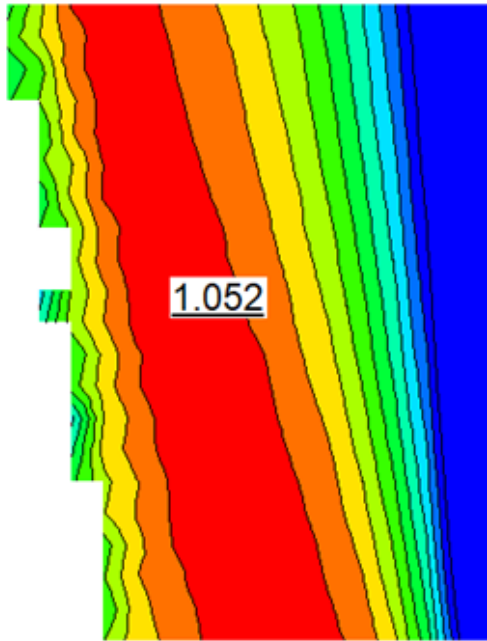
Back Analysis

ค่ากำลังของวัสดุเพื่อใช้สำหรับแบบจำลองเบื้องต้น

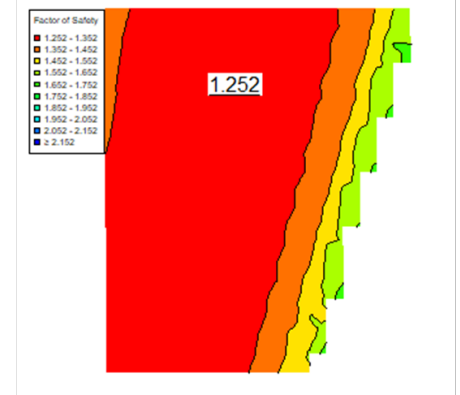
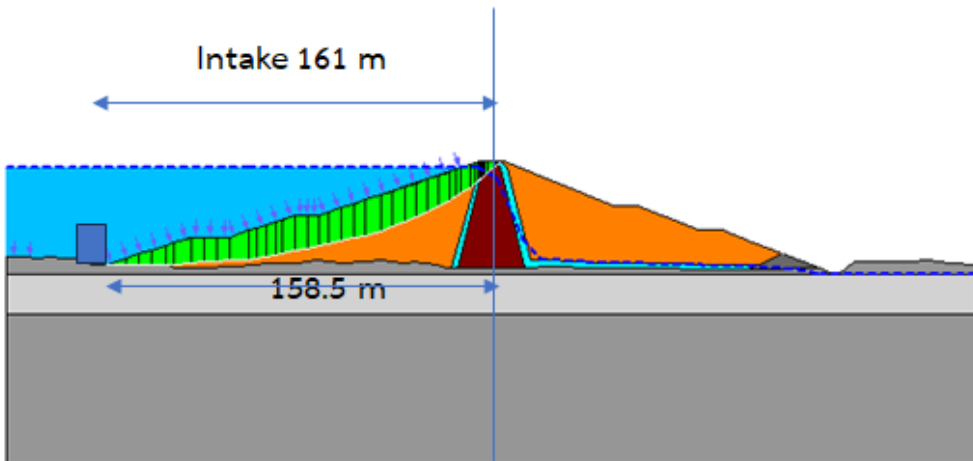
Materials	γ_t	C	ϕ
	t/m ³	kN/m ²	Degree
Random Zone	1.90	12	31
Coarse Filter	1.95	0	36
Clay Core	1.70	18	22
Foundation	2.20	50	45



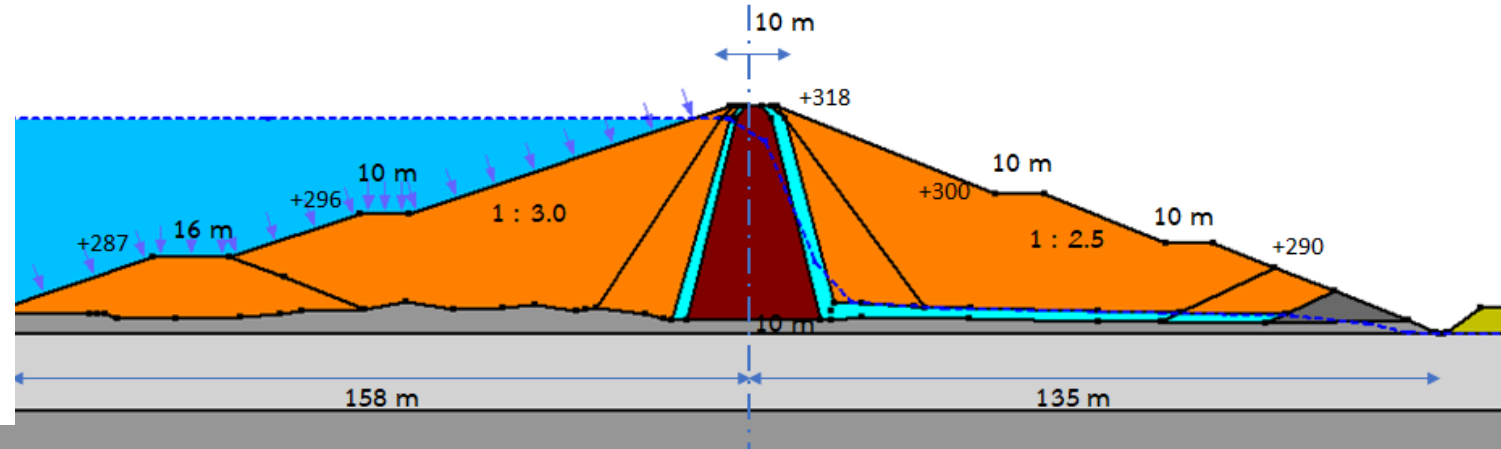
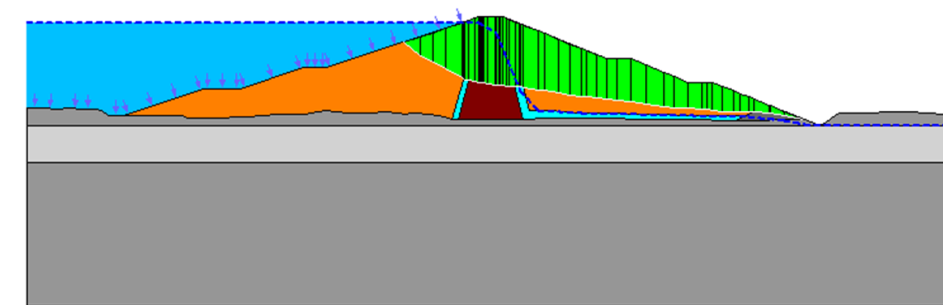
Max. Extend U/S Slope



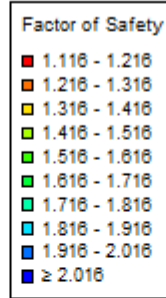
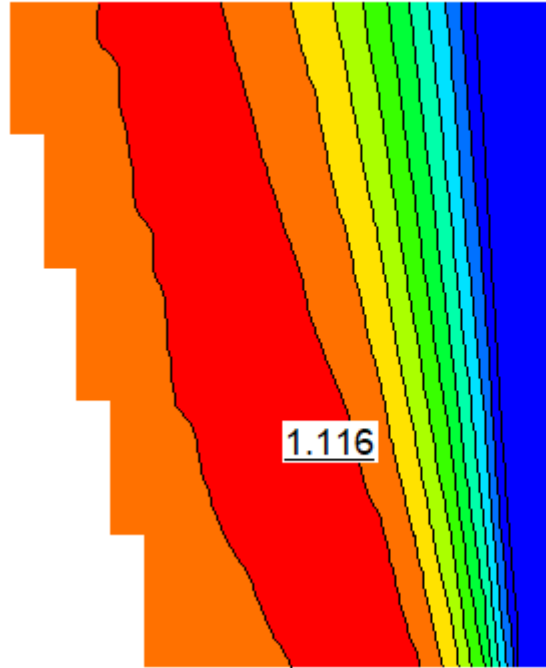
Pseudo-static
Max.WL U/S
F.S. = 1.052
PGA = 0.454 g
Kh = 1/2 PGA
= 0.227



Pseudo-static
Max.WL D/S
F.S. = 1.252
PGA = 0.454 g
Kh = 1/2 PGA
= 0.227

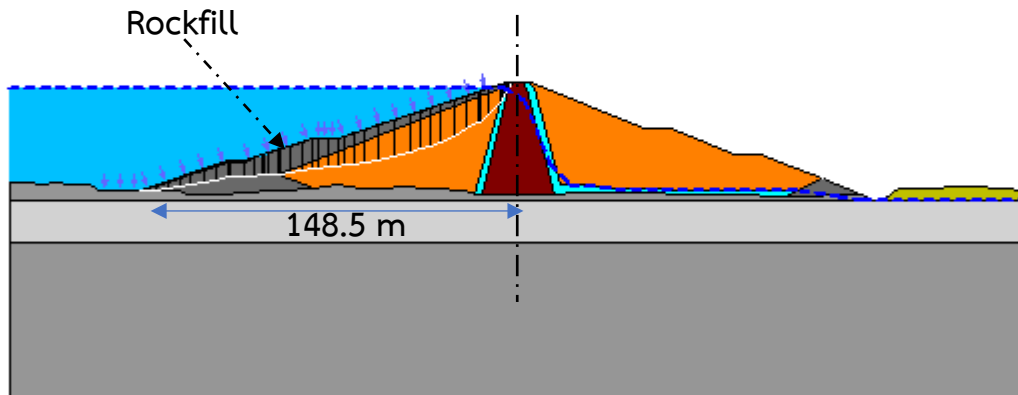


Rockfill Shell U/S Slope



Pseudo-static
 Max.WL U/S
 F.S. = 1.116
 PGA = 0.454 g
 Kh = 1/2 PGA
 = 0.227

กรณีที่พบว่ากำลังของวัสดุในบ่อถมดิน หรือ Abutment
 จำกัดระยะการขยายของฐานเขื่อนผู้ออกแบบได้วิเคราะห์การเสริม
 วัสดุหินถมเฉพาะด้านเหนือน้ำ เพื่อเสริมกำลังของวัสดุส่วนเปลือก
 เขื่อน ให้ผ่านเกณฑ์ FS > 1.10

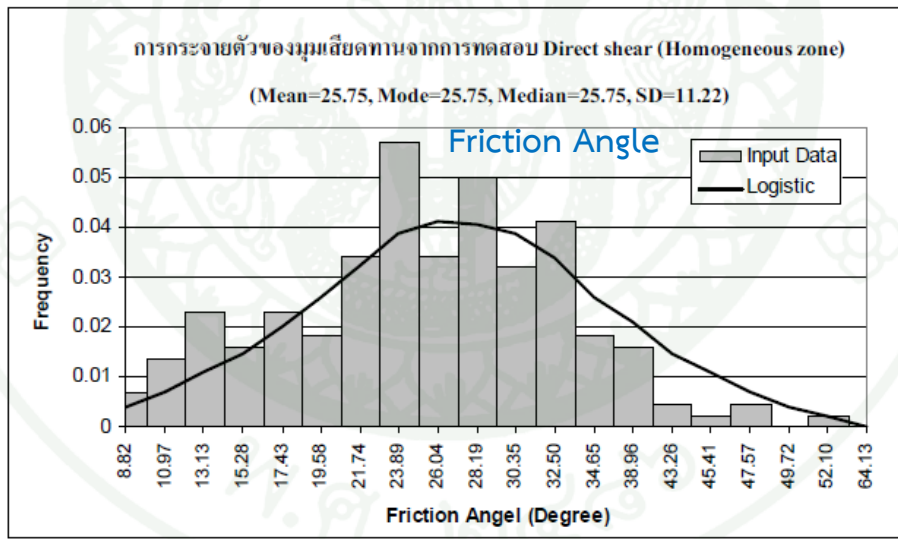


Materials	γ_t	C	ϕ
	t/m ³	kN/m ²	Degree
Rockfill Zone	2.25	0	40
Random Zone	1.90	12	31
Coarse Filter	1.95	0	36
Clay Core	1.70	18	22
Foundation	2.20	50	45

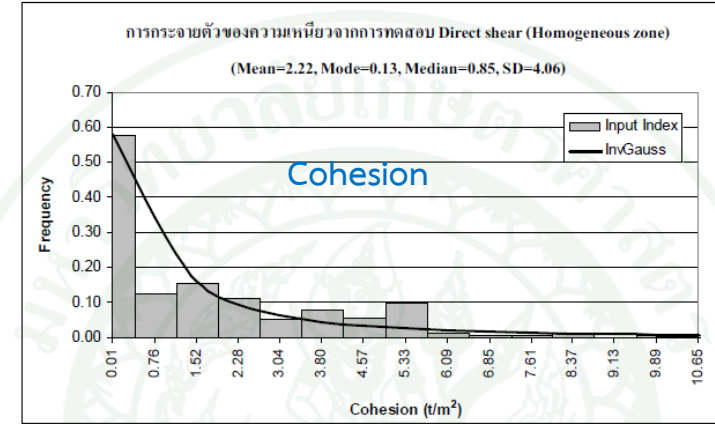
ประเด็นพิจารณาที่สำคัญ

1. ดำเนินการสำรวจรายละเอียดตั้งแต่ ขั้นตอนโครงการ ทั้งการสำรวจภูมิประเทศ ธรณีวิทยา ธรณีฟิสิกส์ ธรณีวิศวกรรม และ ธรณีเทคนิค รวมถึงการ ทดสอบในห้องปฏิบัติการ
2. แนะนำการทดสอบ **Shear strength** ของดินในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี **Triaxial test** เป็นหลัก ยกเลิกการใช้การทดสอบ **Direct shear**
3. จำนวนตัวอย่างการทดสอบนอกจากจะถูกกำหนดเป็นเบื้องต้นแล้ว แต่จะขึ้นอยู่กับผลความแปรปรวนของตัวแปรที่จะนำไปใช้ในการออกแบบ
4. การกำหนดวิธีการสำรวจและทดสอบทางพลศาสตร์ จะต้องกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญด้านแบบจำลอง ธรณีเทคนิคทางพลศาสตร์
5. การสำรวจและทดสอบทั้งหมดในเกณฑ์มาตรฐานนี้ จะต้องดำเนินการโดยกรมชลประทาน หน่วยงานราชการ มหาวิทยาลัย หรือบริษัทสำรวจและทดสอบ โดยทั้งหมดจะต้องมีศักยภาพที่เข้าเกณฑ์ข้อกำหนดของกรมชลประทาน (จะเสนอข้อกำหนดในภายหลัง)

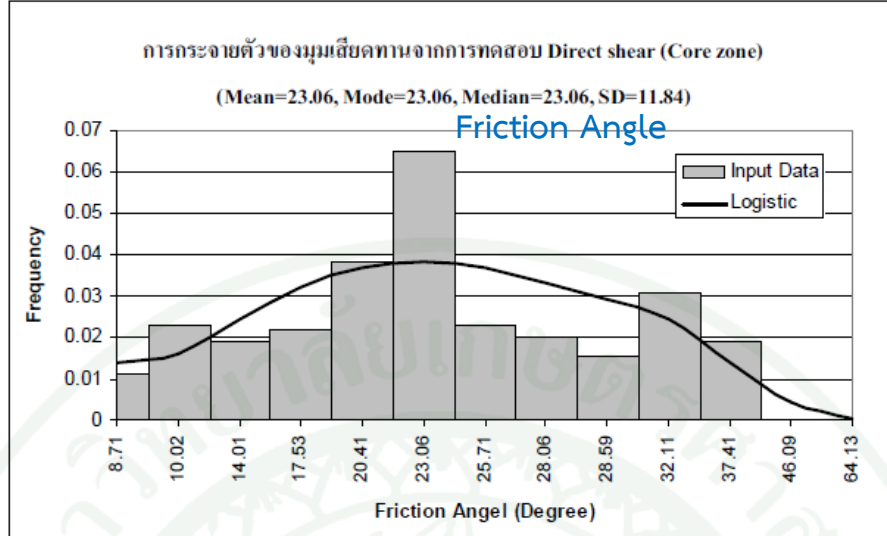
ข้อมูลความแปรปรวนของการทดสอบ Direct Shear



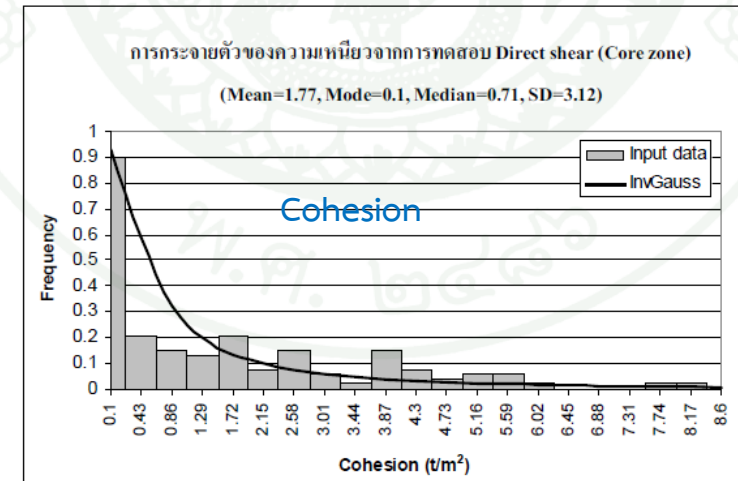
ภาพที่ 117 การกระจายตัวของมุมเสียดทานจากการทดสอบ Direct shear (Homogeneous zone)



ภาพที่ 114 การกระจายตัวของความเหนียวจากการทดสอบ Direct shear (Homogeneous zone)

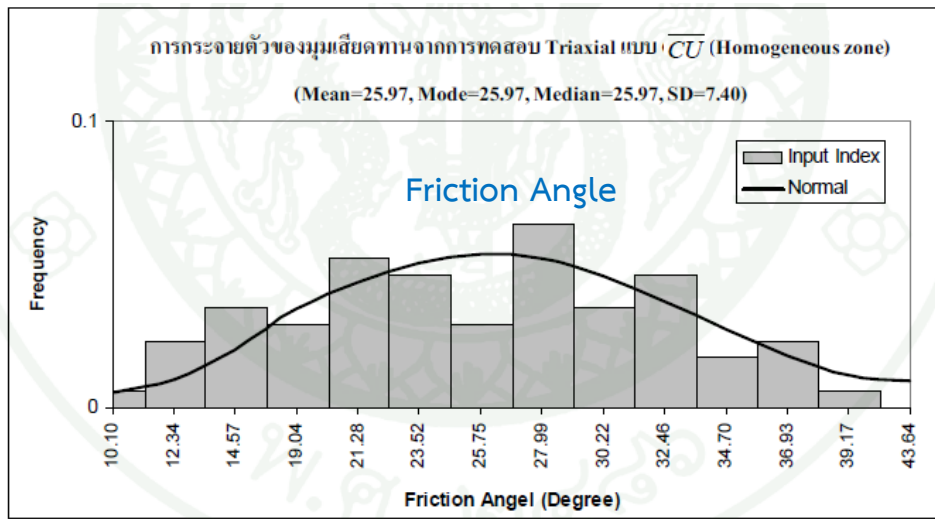


ภาพที่ 118 การกระจายตัวของมุมเสียดทานจากการทดสอบ Direct shear (Core zone)

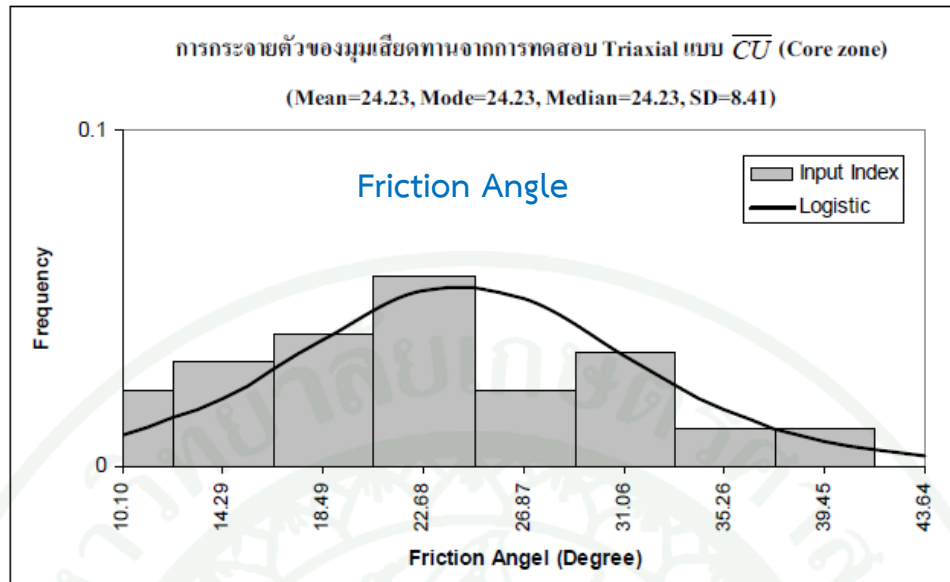


ภาพที่ 115 การกระจายตัวของความเหนียวจากการทดสอบ Direct shear (Core zone)

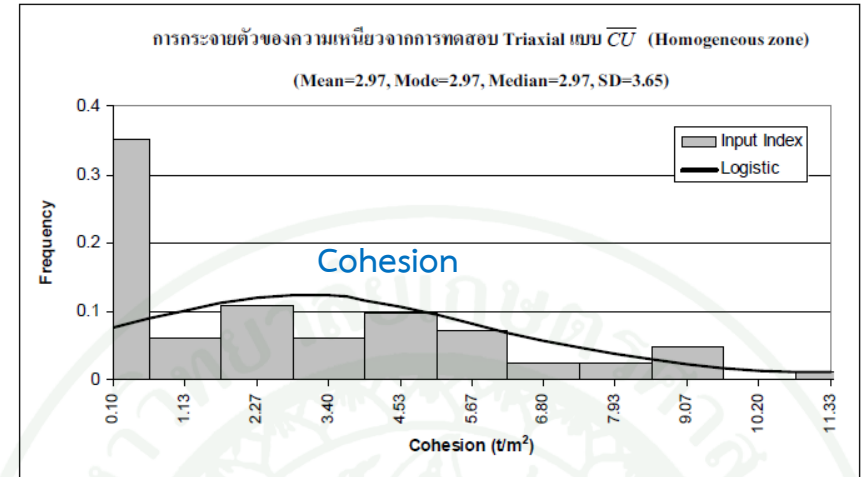
ข้อมูลความแปรปรวนของการทดสอบ CU-Triaxial (Effective Stress)



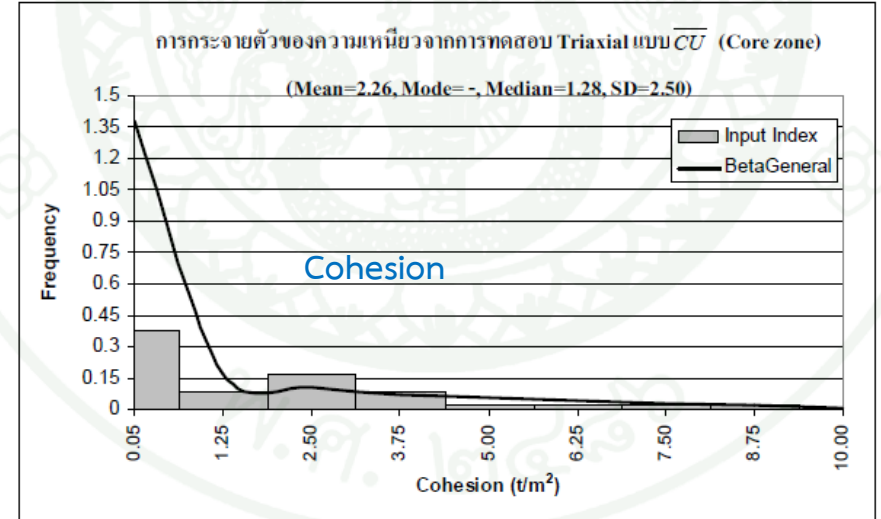
ภาพที่ 138 การกระจายตัวของมุมเสียดทานจากการทดสอบ Triaxial แบบ $\overline{CU}$ (Homogeneous zone)



ภาพที่ 139 การกระจายตัวของมุมเสียดทานจากการทดสอบ Triaxial แบบ $\overline{CU}$ (Core zone)



ภาพที่ 135 การกระจายตัวของความเหนียวจากการทดสอบ Triaxial แบบ $\overline{CU}$ (Homogeneous zone)



ภาพที่ 136 การกระจายตัวของความเหนียวจากการทดสอบ Triaxial แบบ $\overline{CU}$ (Core zone)

ตารางที่ 60 การเปรียบเทียบค่า COV ของคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ได้ในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ

Soil parameters		%COV ที่ได้ในงานวิจัย			%COV จากงานวิจัยอื่น
		H ⁽¹⁾	C ⁽²⁾	S ⁽³⁾	
Cohesion	Direct shear test	120.72%	108.47%	118.56%	57.36% (Kulhawy, 1991)
	Triaxial: UU	89.48%	93.32%	87.90%	
	Triaxial: CU	110.37%	125.39%	95.44%	
	Triaxial: $\overline{CU}$	108.43%	113.00%	91.81%	
Friction angel	Direct shear test	44.46%	50.81%	32.69%	17.57% (Kulhawy, 1991)
	Triaxial: UU	52.07%	44.90%	50.98%	
	Triaxial: CU	48.80%	39.75%	51.17%	
	Triaxial: $\overline{CU}$	28.49%	32.68%	22.81%	

หมายเหตุ (1) Homogeneous zone

(2) Core zone

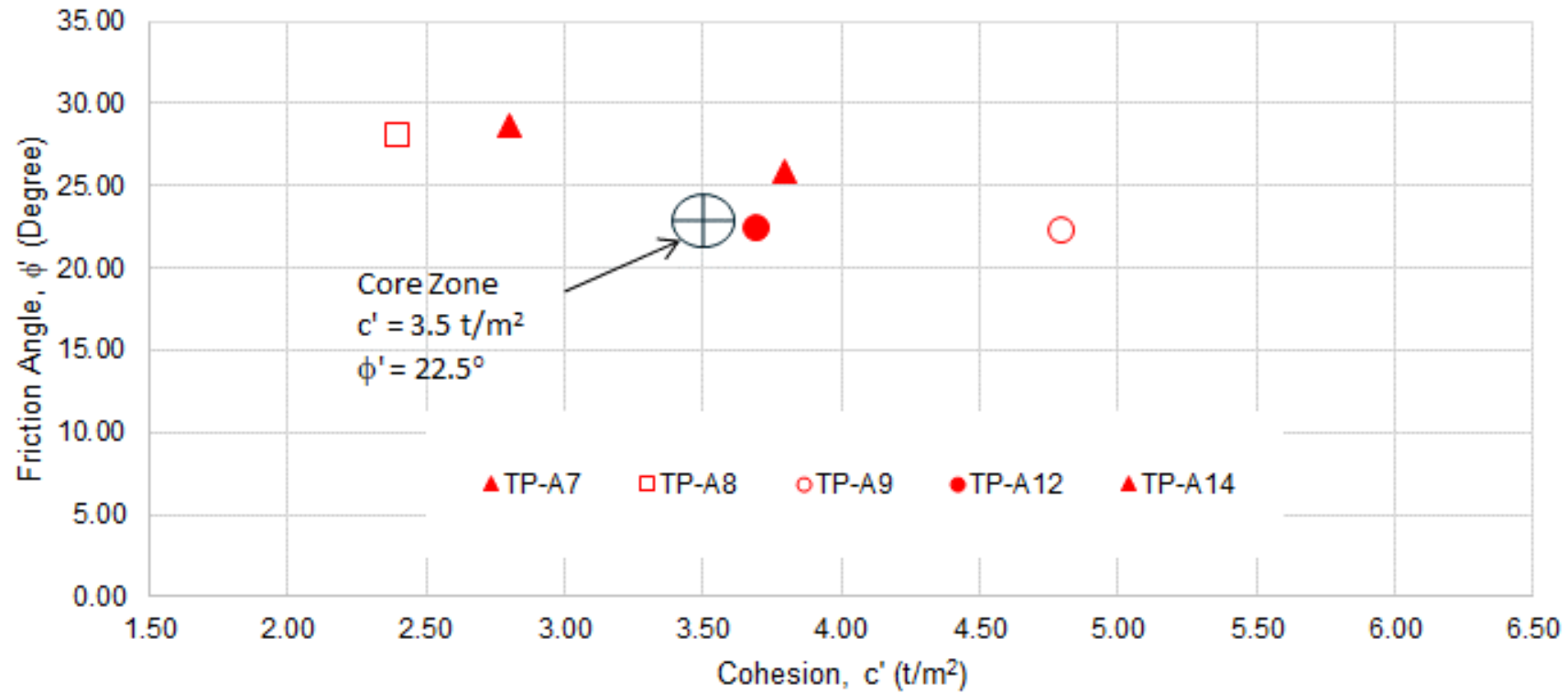
(3) Shell zone

อนึ่งการวิเคราะห์นี้ได้ใช้ค่าจากการรวบรวมข้อมูลมาจากบ่อเย็มดิน จำนวน 37 โครงการ ดังตารางผนวกที่ ค1 เท่านั้น

ความแปรปรวนของข้อมูล
จากการรวบรวมการทดสอบ
จากบ่อเย็มดิน 37 โครงการ
เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

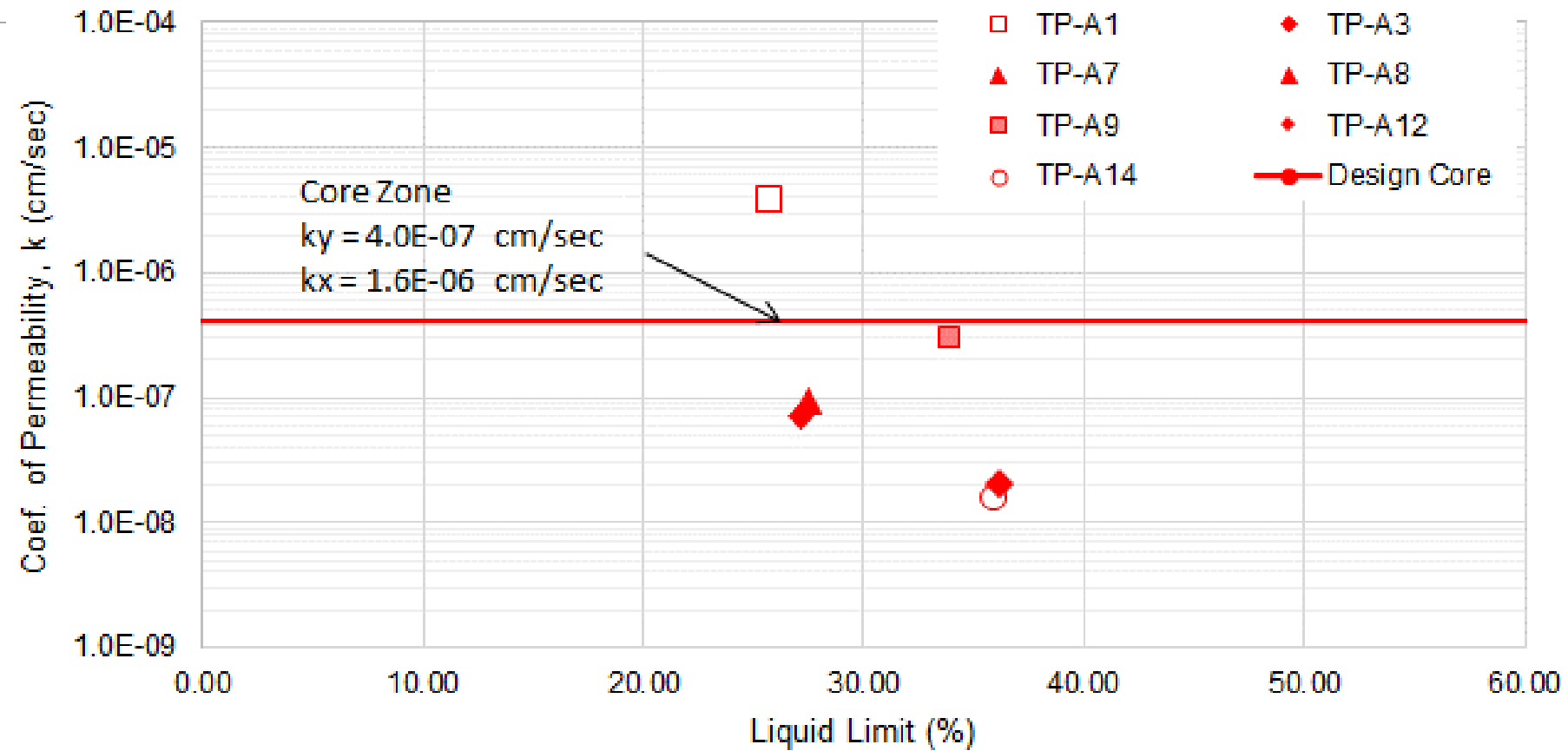
ค่าคุณสมบัติวัสดุ Core Zone

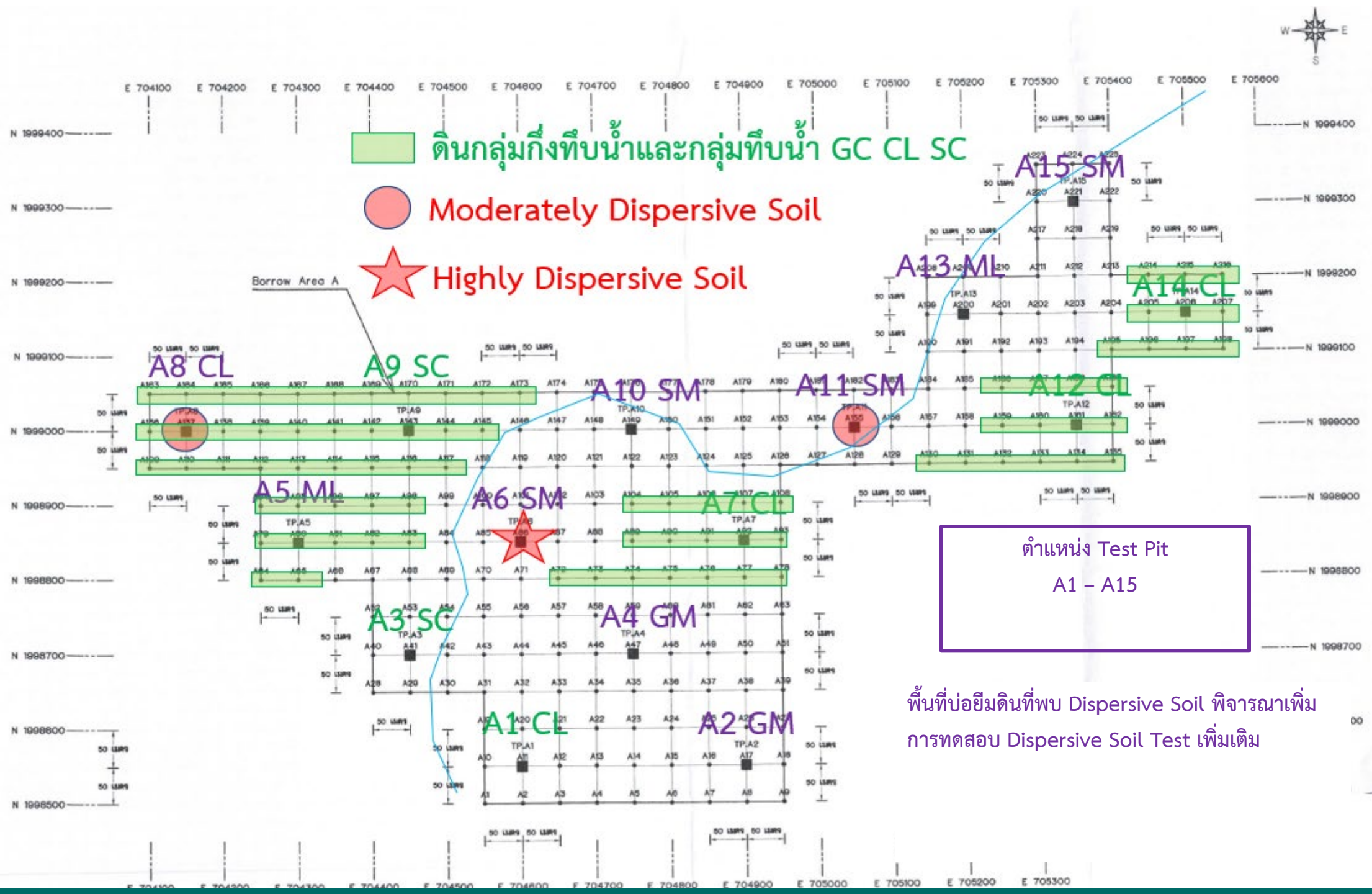
Effective Strength Test (Triaxial CU Test)

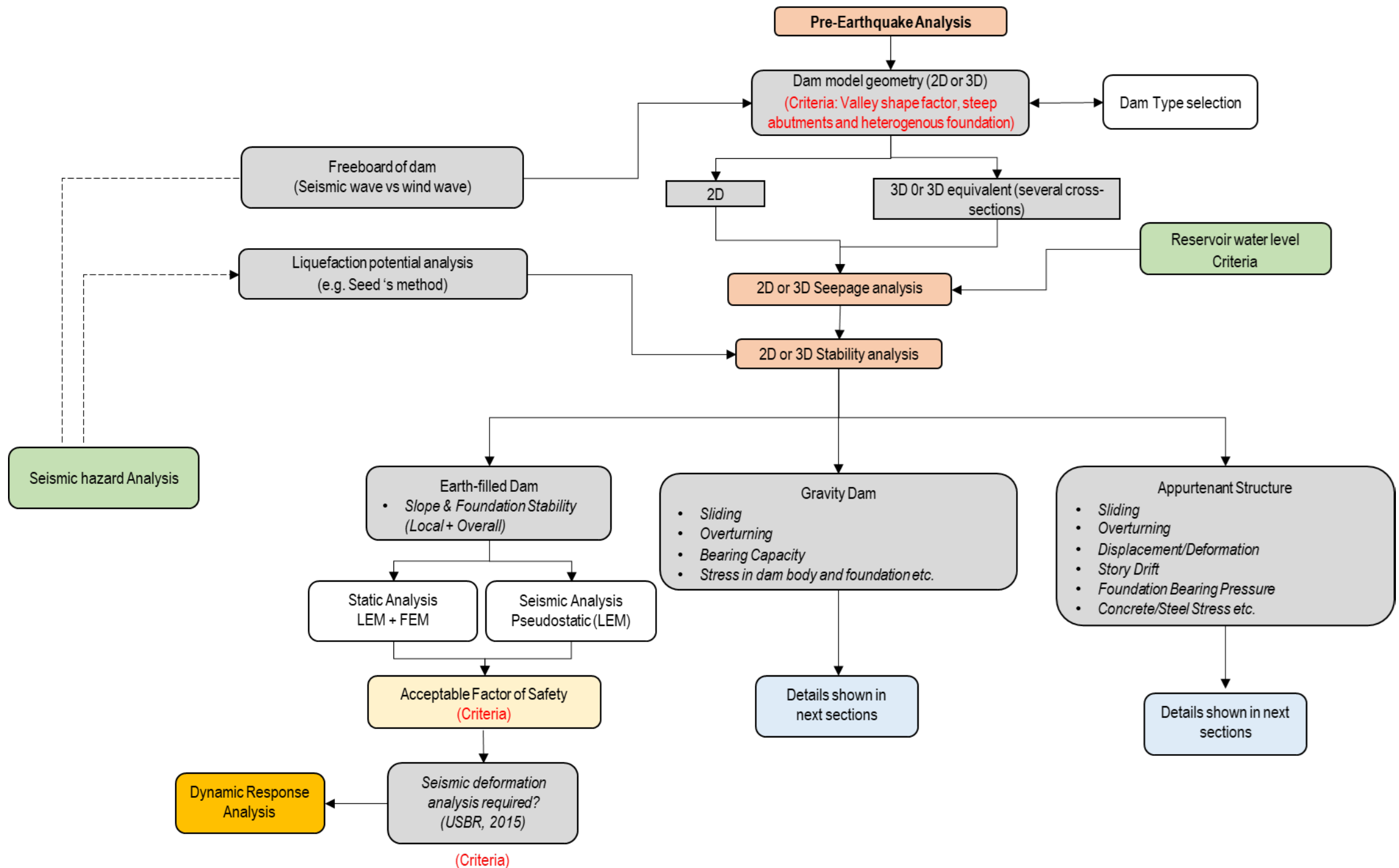


ค่าคุณสมบัติความซึมน้ำวัสดุ Core Zone

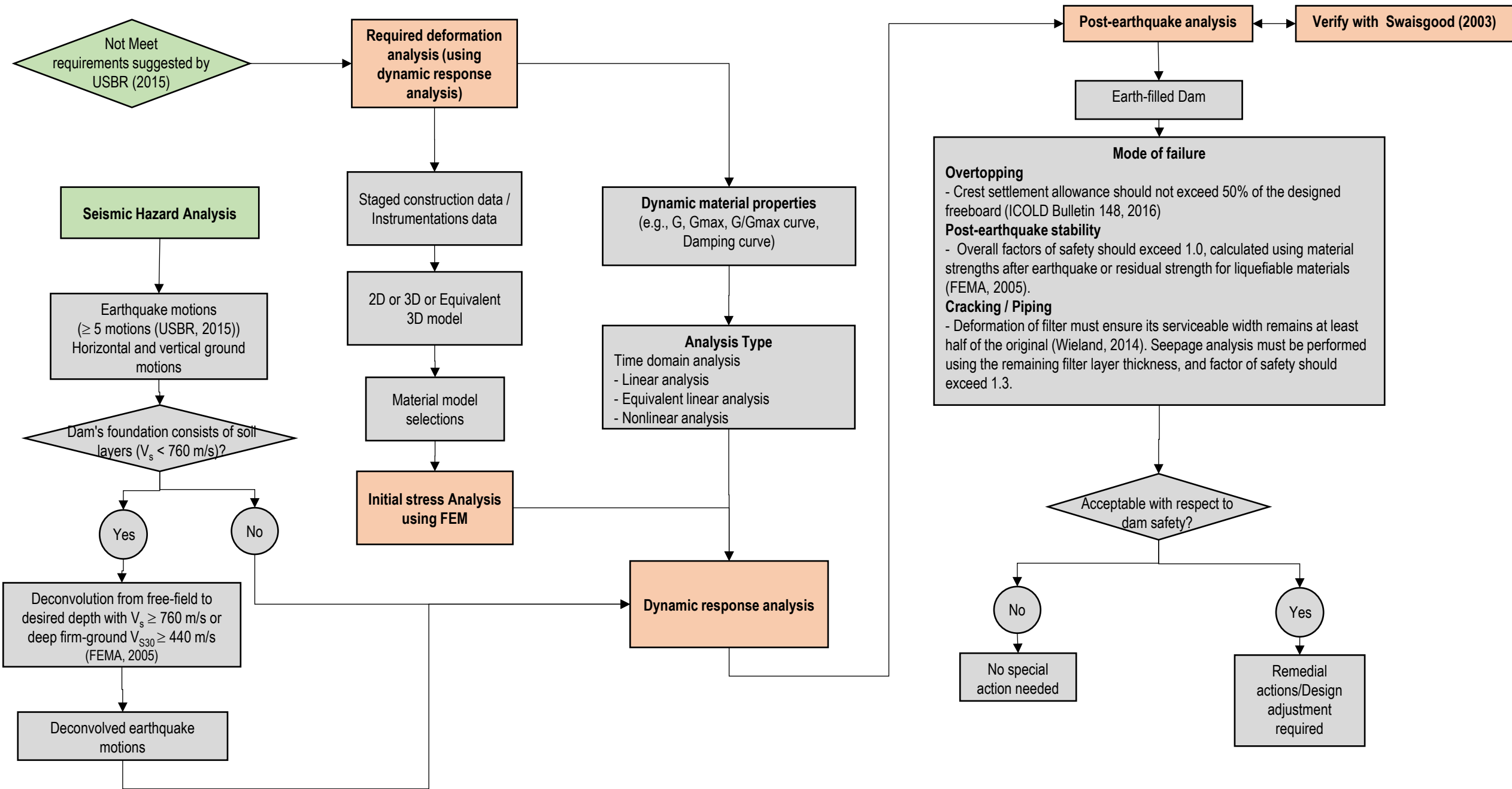
Permeability (Pressure Head)







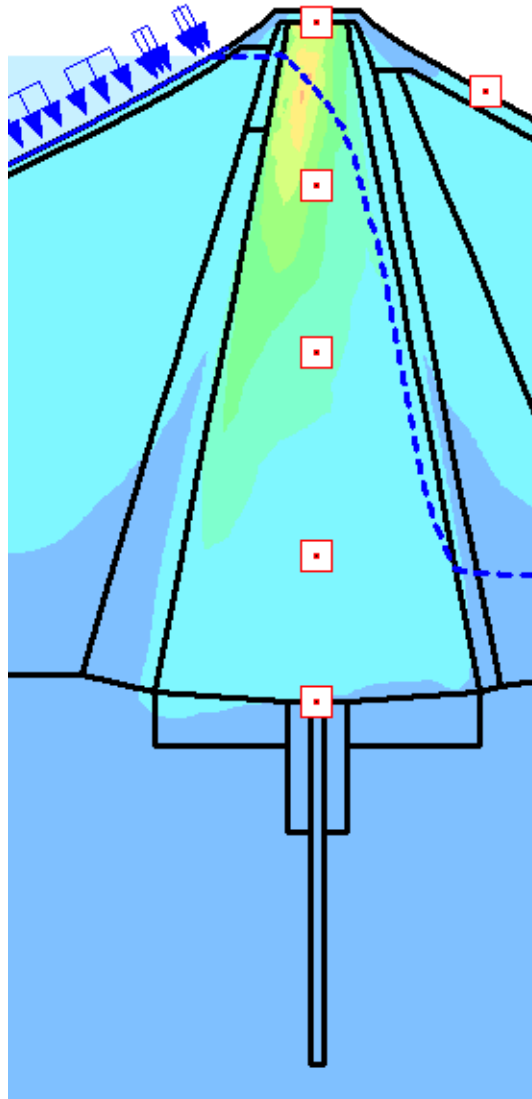
แผนผังย่อย เชื้อนดินและหิน (Existing Dam)



ประเด็นสำคัญ

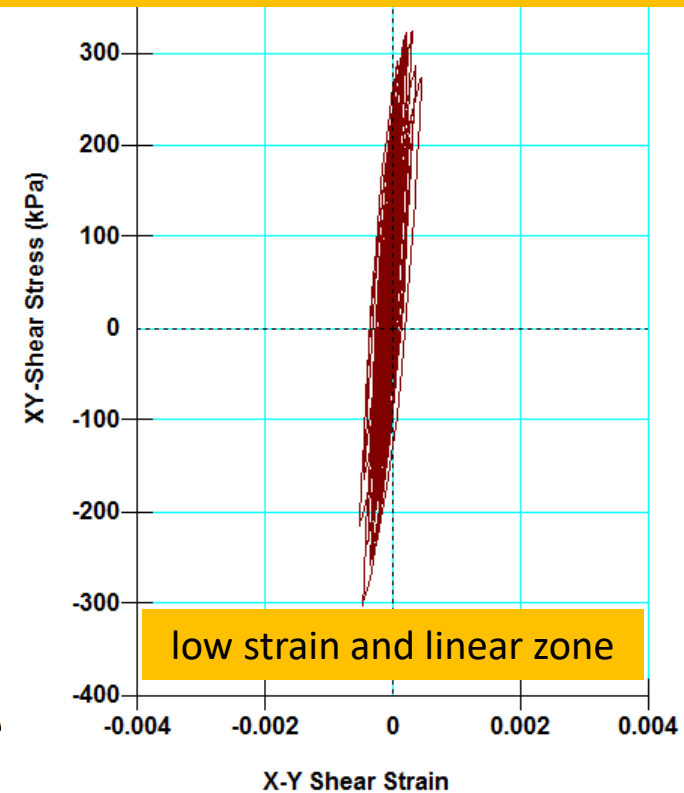
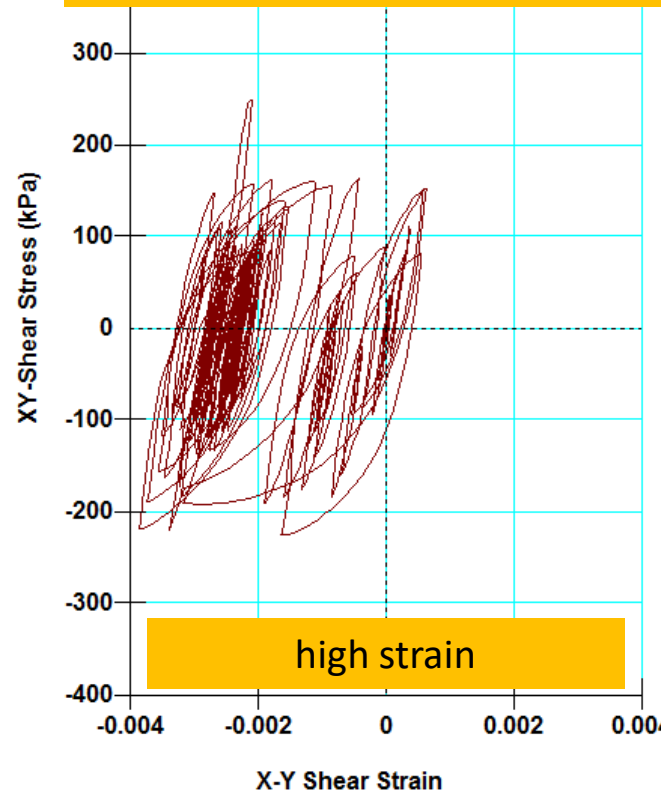
1. เกณฑ์การพิจารณาในการจะวิเคราะห์ **Dynamic analysis** หรือไม่ การพิจารณาความจำเป็นและทรัพยากรการวิเคราะห์ที่จะทำได้ผลที่น่าเชื่อถือได้
2. การ **Verify** ความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ **Dynamic analysis** และ การใช้วิธีการประเมินความปลอดภัยต่อการปฏิบัติในรูปแบบต่างๆมาเป็นตัวกำหนด โดยอาศัยผลจาก **Dynamic analysis** เป็นตัวช่วยในการออกแบบ

Dynamic shear stress and shear strain response in RPB clay core (During time of shaking)

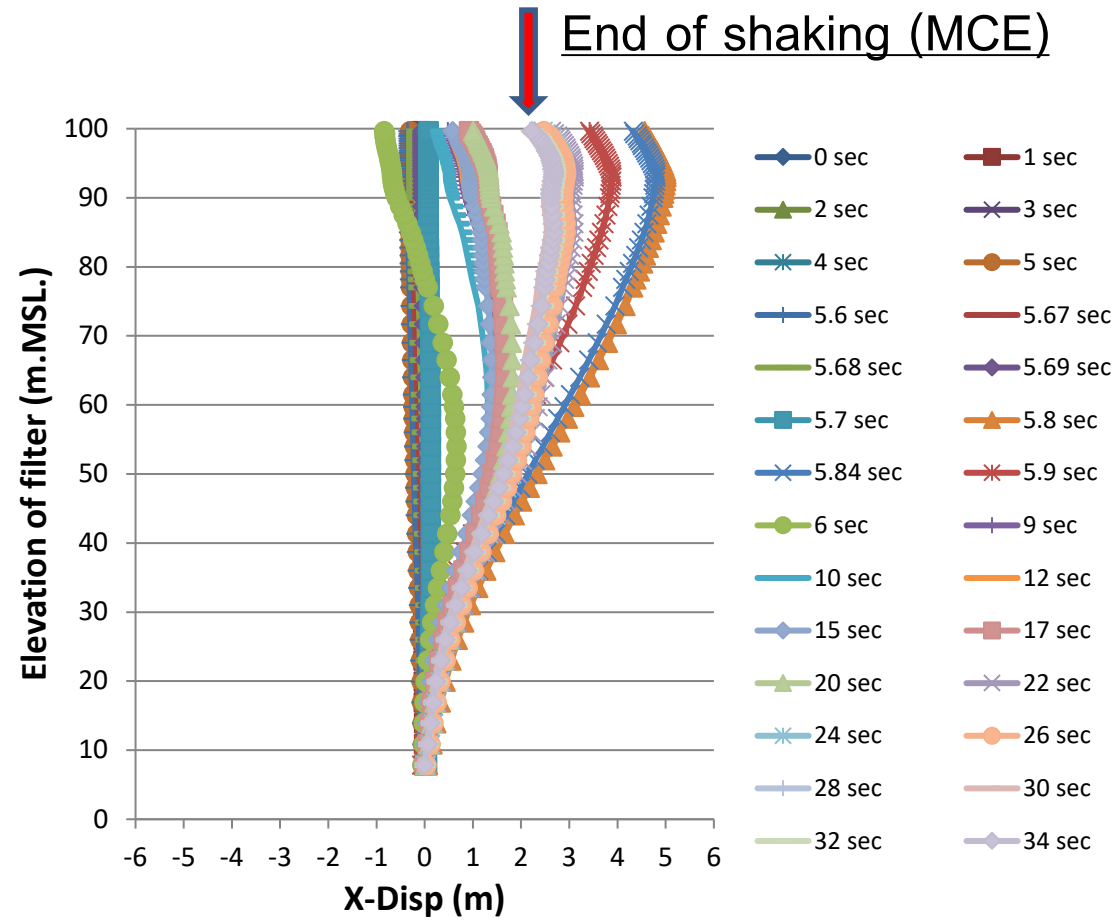
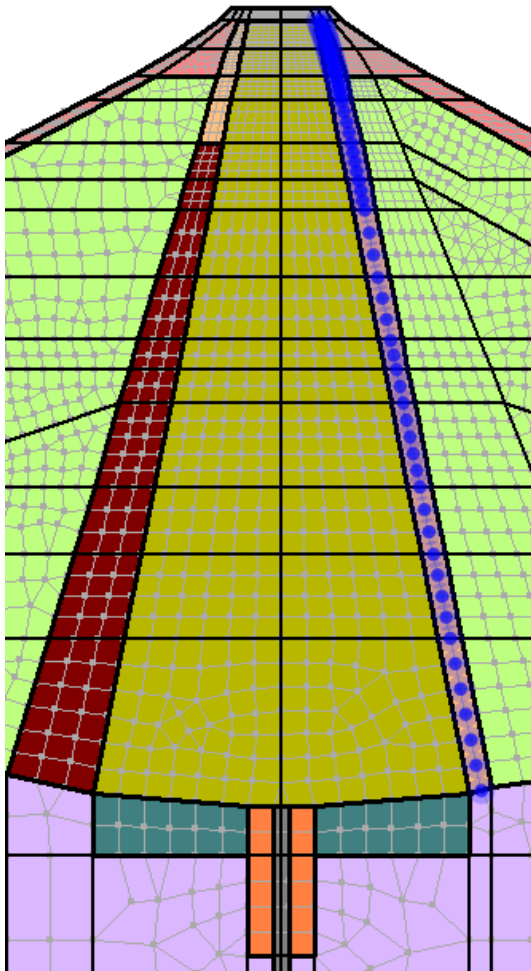


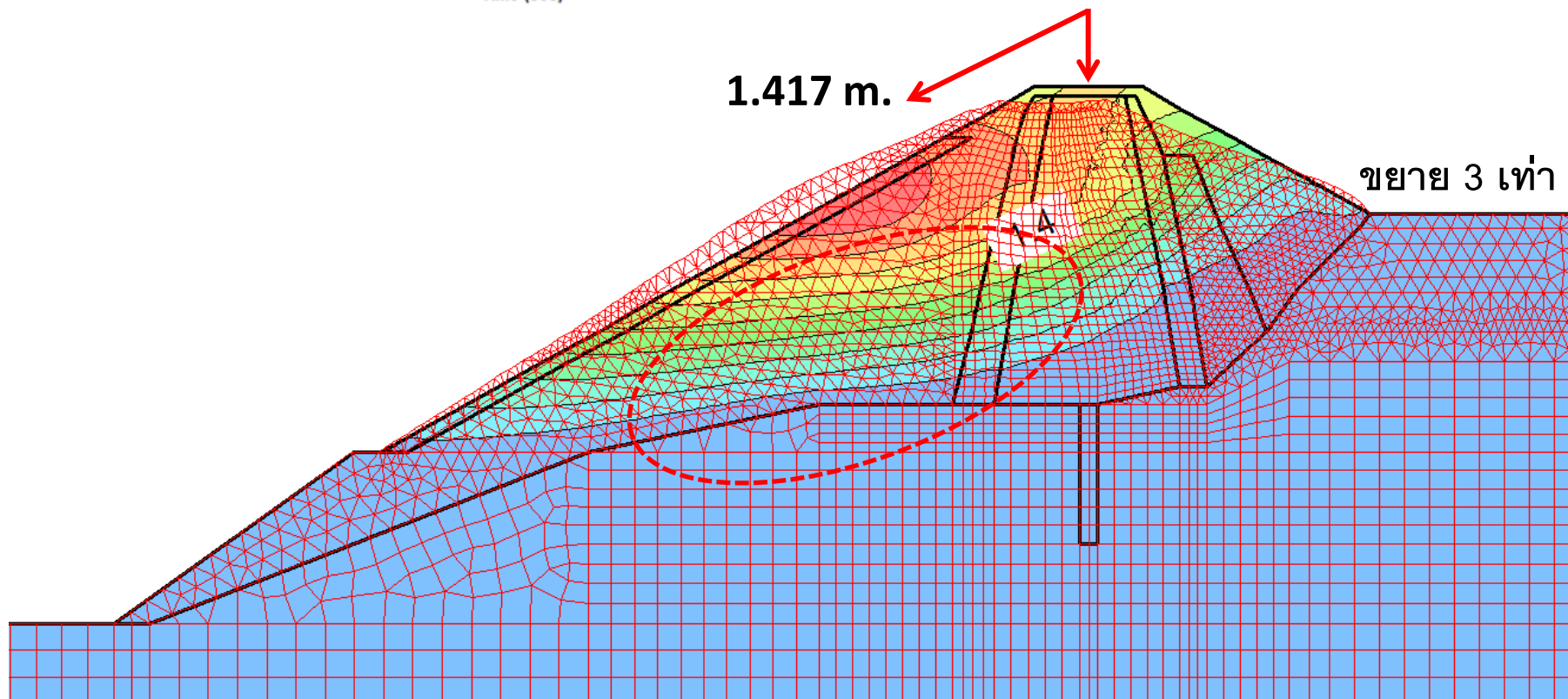
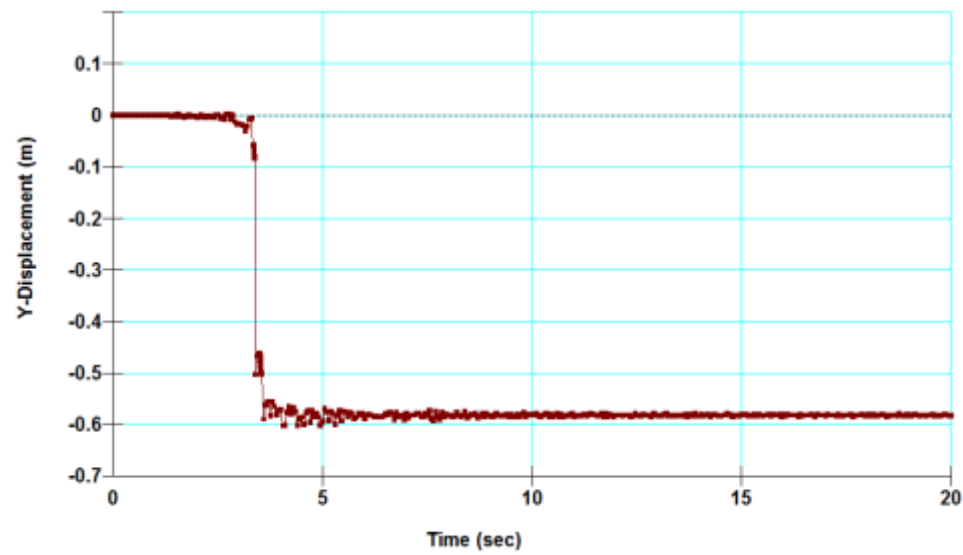
shear strain

1. $> 2-3\%$ - - Induced crack
2. $> 5-10\%$ - - Induced crack & Slope Instability



Filter performance

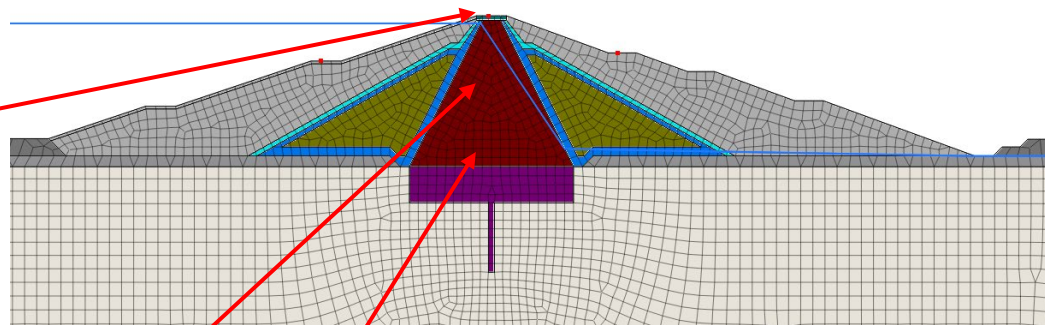




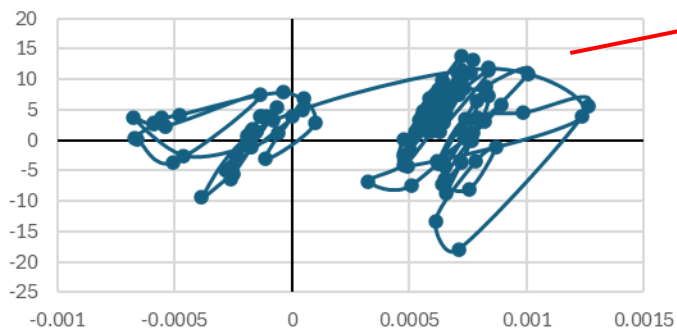
Stress-Strain curve

Case 1 with filter

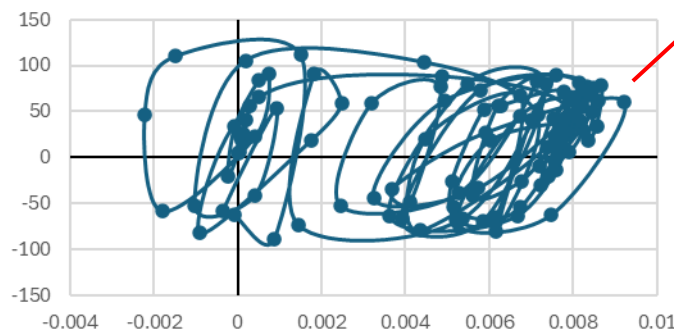
Case 2 without filter



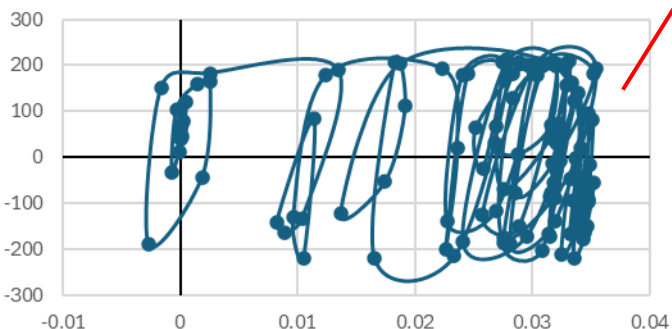
crest



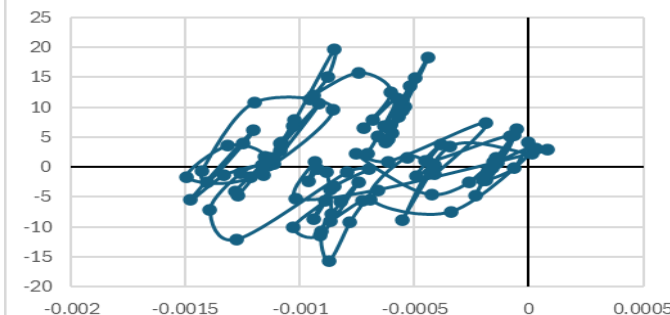
core center



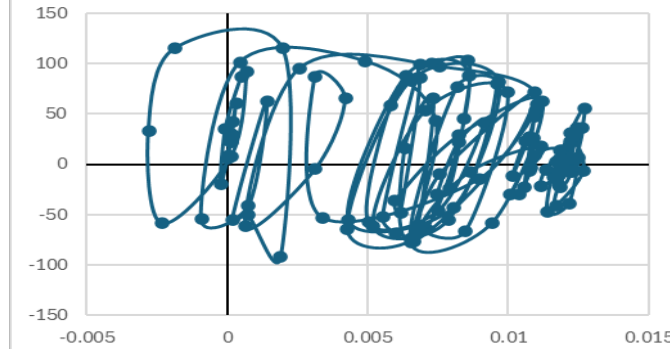
core bottom



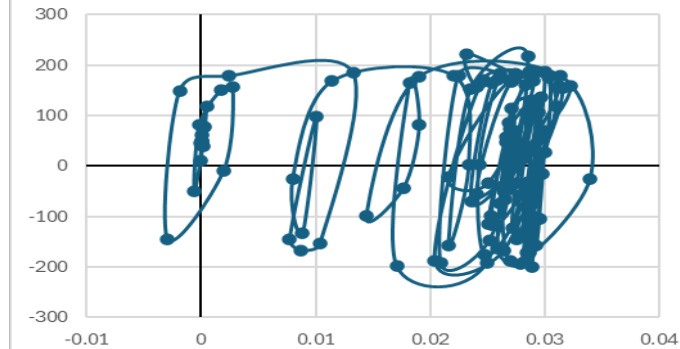
crest

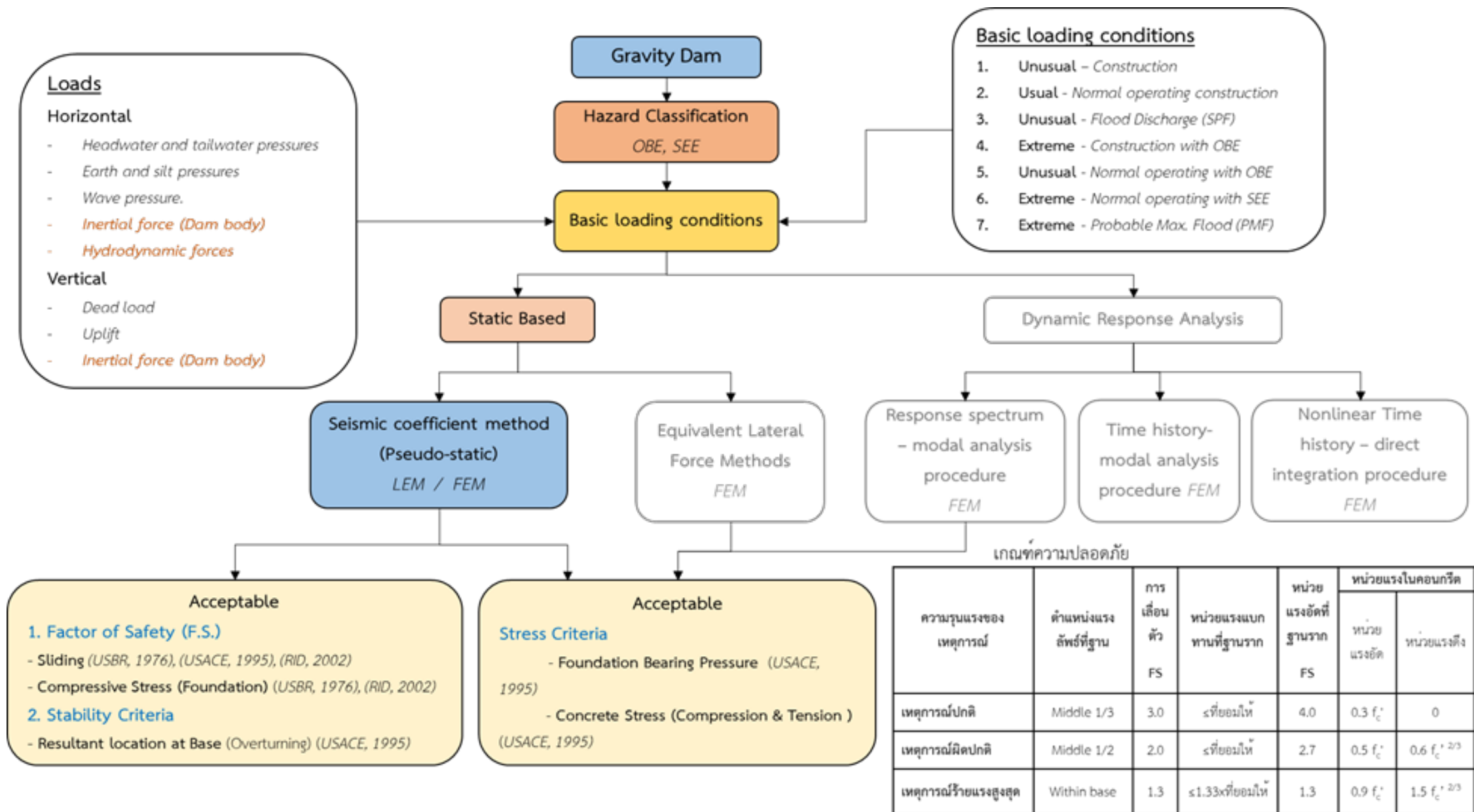


core center



core bottom





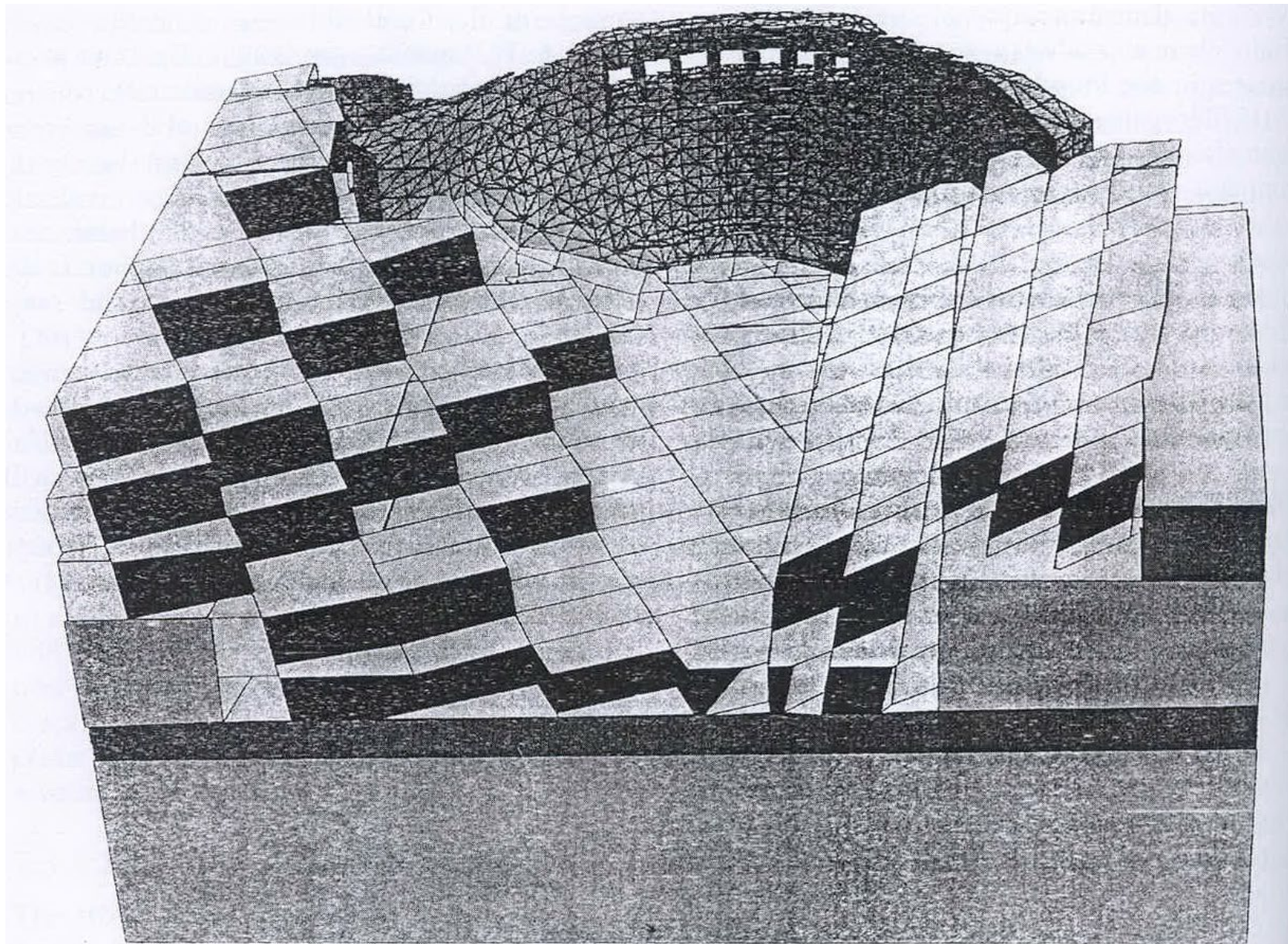
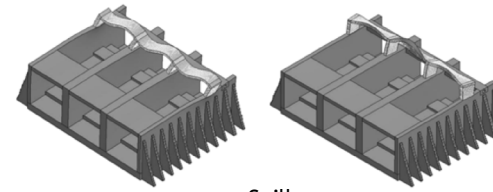


Figure 7.11 Three-dimensional 3DEC analysis of concrete arch dam, and foundation containing three joint sets, to compare calculated displacement with physical model (Lemos, 1996).

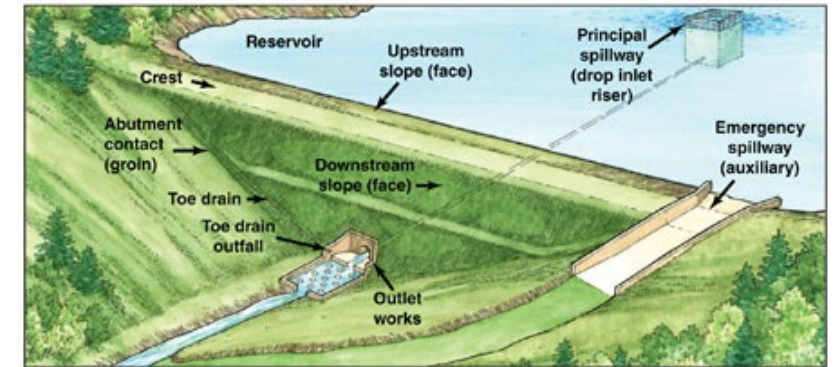
Appurtenant Structure

- Intake Towers
- Spillways
- Spillway gates
- Outlet Works (Water conduits, Gates and Valves)
- Retaining walls
- Parapet walls
- Bridge

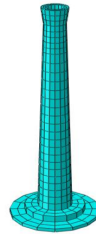
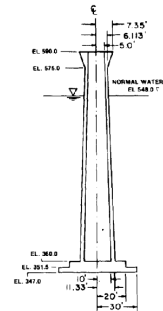


Spillways

(Kanthakasikam, 2024)

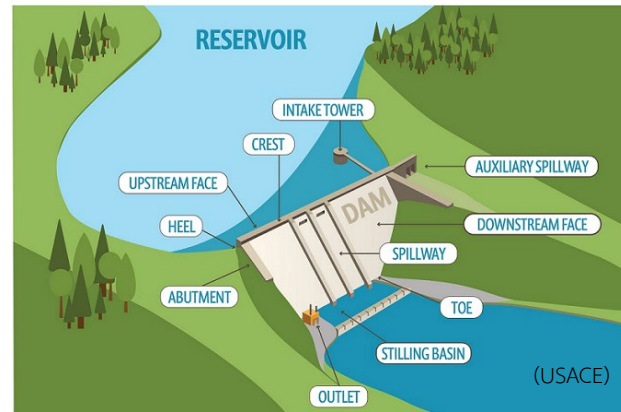


(USDA)

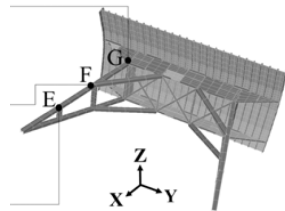


Intake Towers

(Resatalab, 2020)



(USACE)



Spillway gates

(Kanthakasikam, 2024)

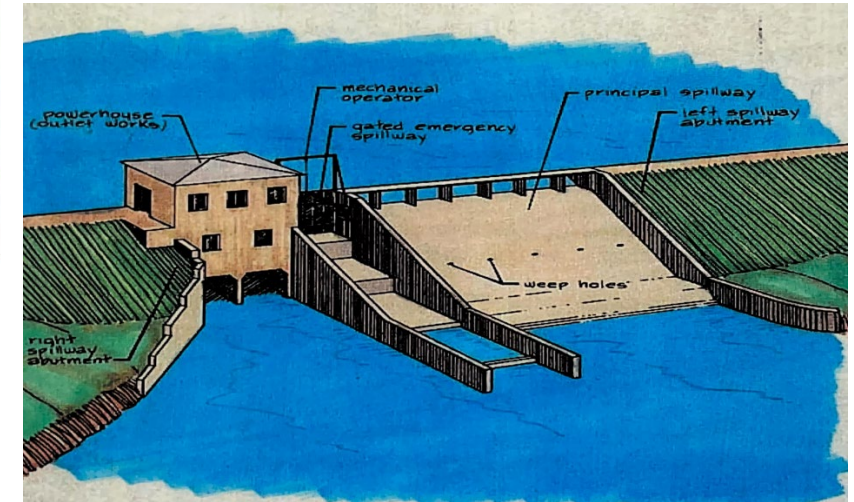


Intake Towers

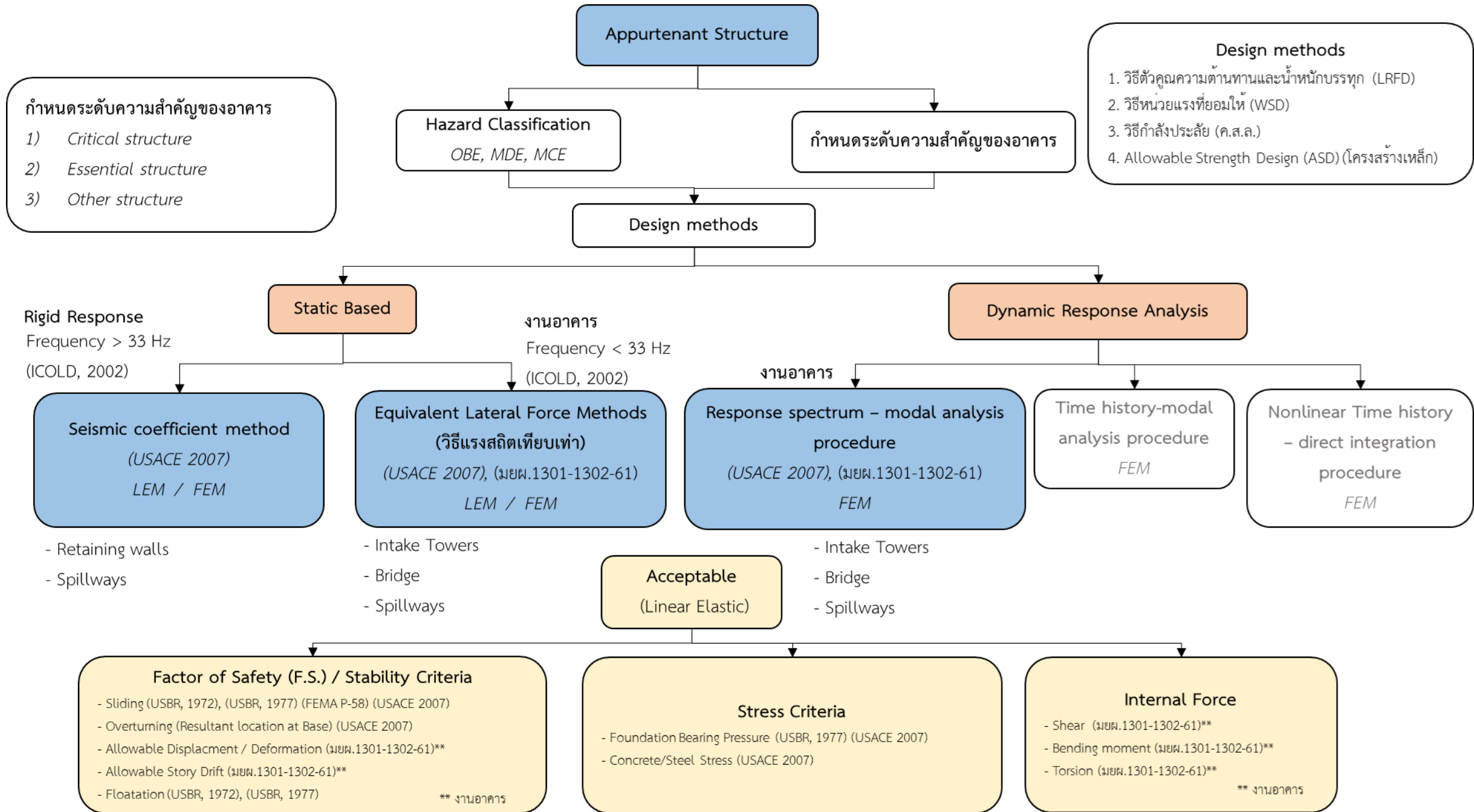


Intake Towers

<https://structurae.net>



<https://mders.org>



ประเด็นพิจารณาที่สำคัญ

1. การพิจารณาระดับแผ่นดินไหว หรือ **return period** สำหรับอาคารประกอบแต่ละประเภท พิจารณาอย่างไร
2. ค่าความถี่ของอาคารกำหนดค่าที่ **33 Hz** เพื่อจำแนก การใช้วิธี **Seismic coefficient, Equivalent static, Dynamic analysis** จะพิจารณาอย่างไร
3. การกำหนดค่า **Damping ratio 3-5%** จะใช้ในกรณีใด