

โครงการจ้างศึกษาการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบ  
อาคารชลประทานที่สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



เทคนิคพิจารณา  
กลุ่มย่อย สาขาโครงสร้าง

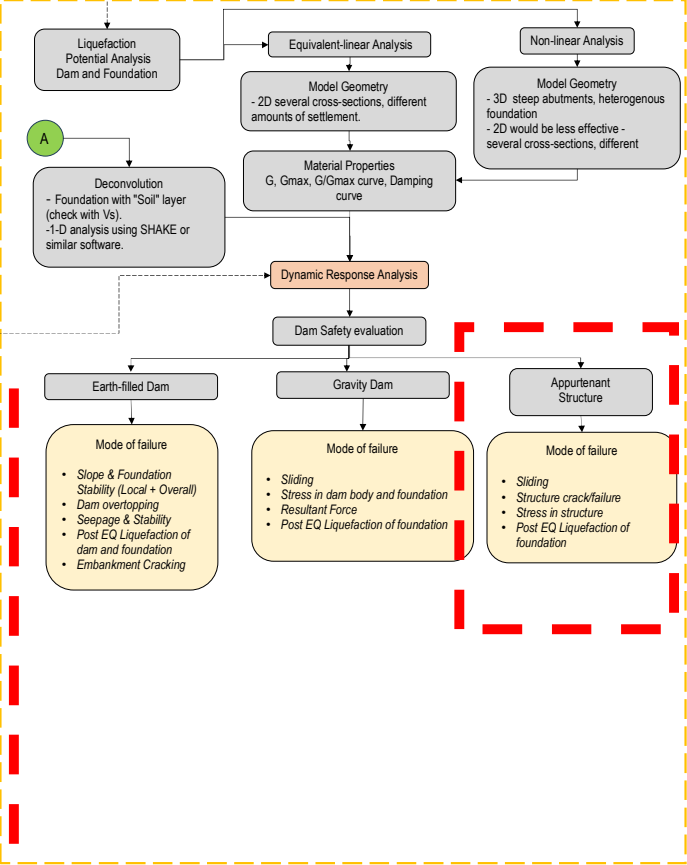
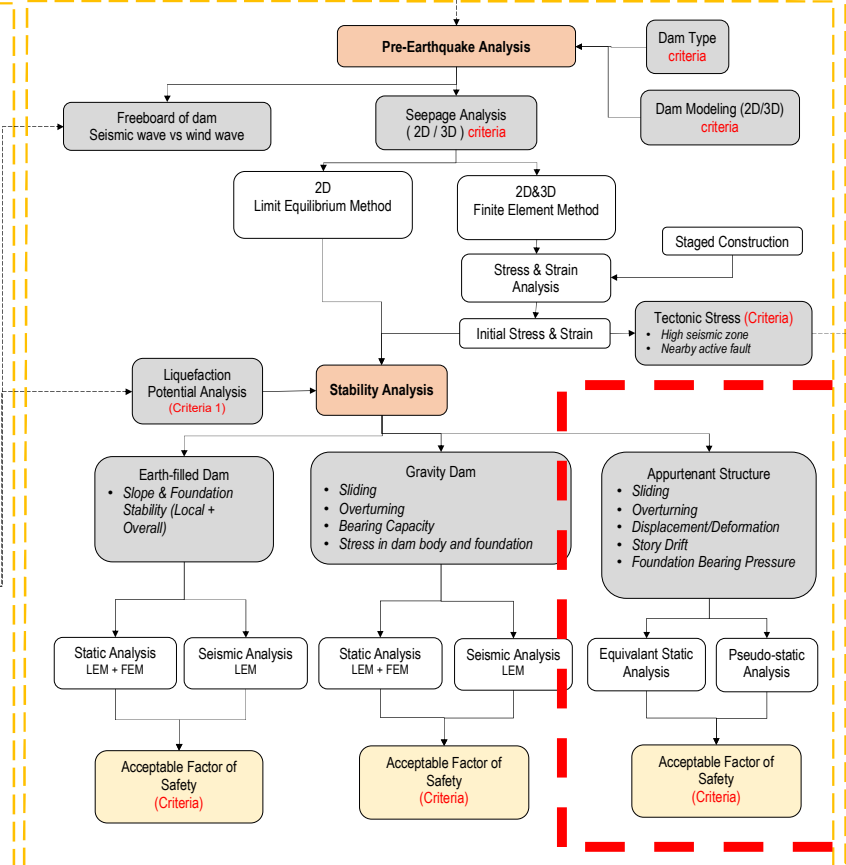
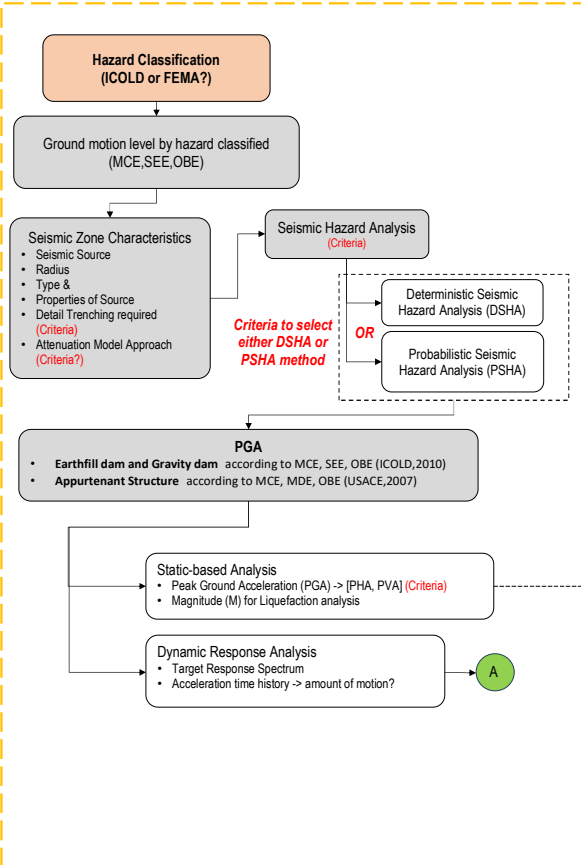
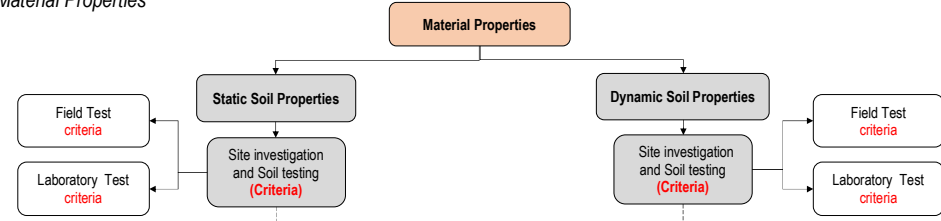
6 มิถุนายน 2568



ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

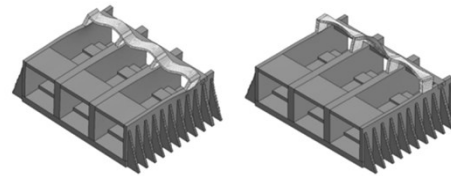
# ผังการวิเคราะห์เพื่อออกแบบเขื่อน เพื่อรับแรงแผ่นดินไหว

## Material Properties

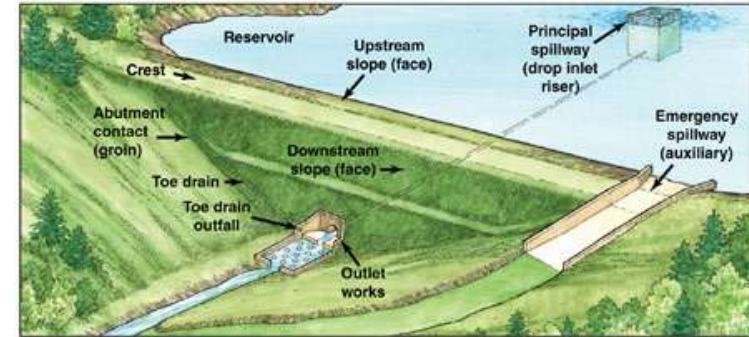


# Appurtenant Structure

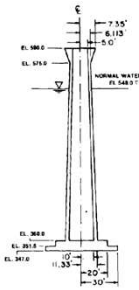
- Intake Towers
- Spillways
- Spillway gates
- Outlet Works (Water conduits, Gates and Valves)
- Retaining walls
- Parapet walls
- Bridge



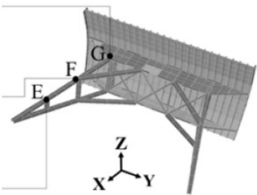
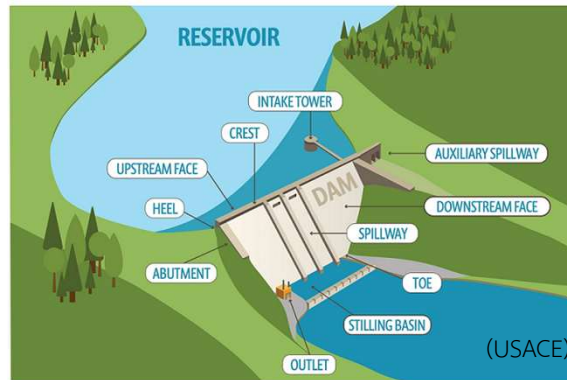
Spillways  
(Kanthakasikam, 2024)



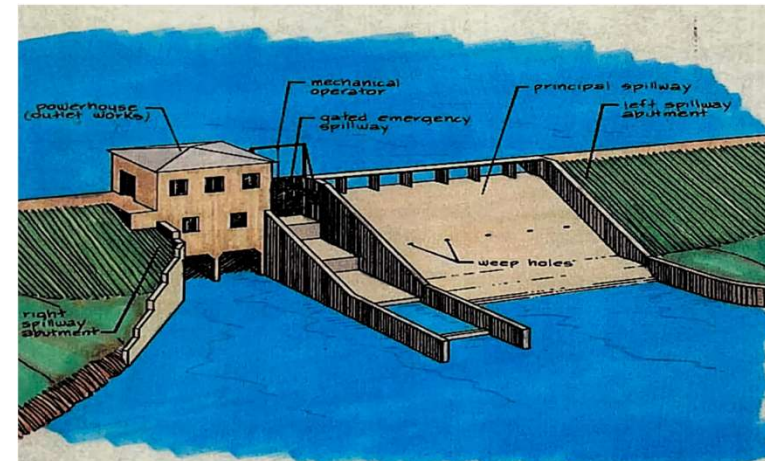
(USDA)



Intake Towers  
(Resatalab, 2020)



Spillway gates  
(Kanthakasikam, 2024)



<https://mders.org>

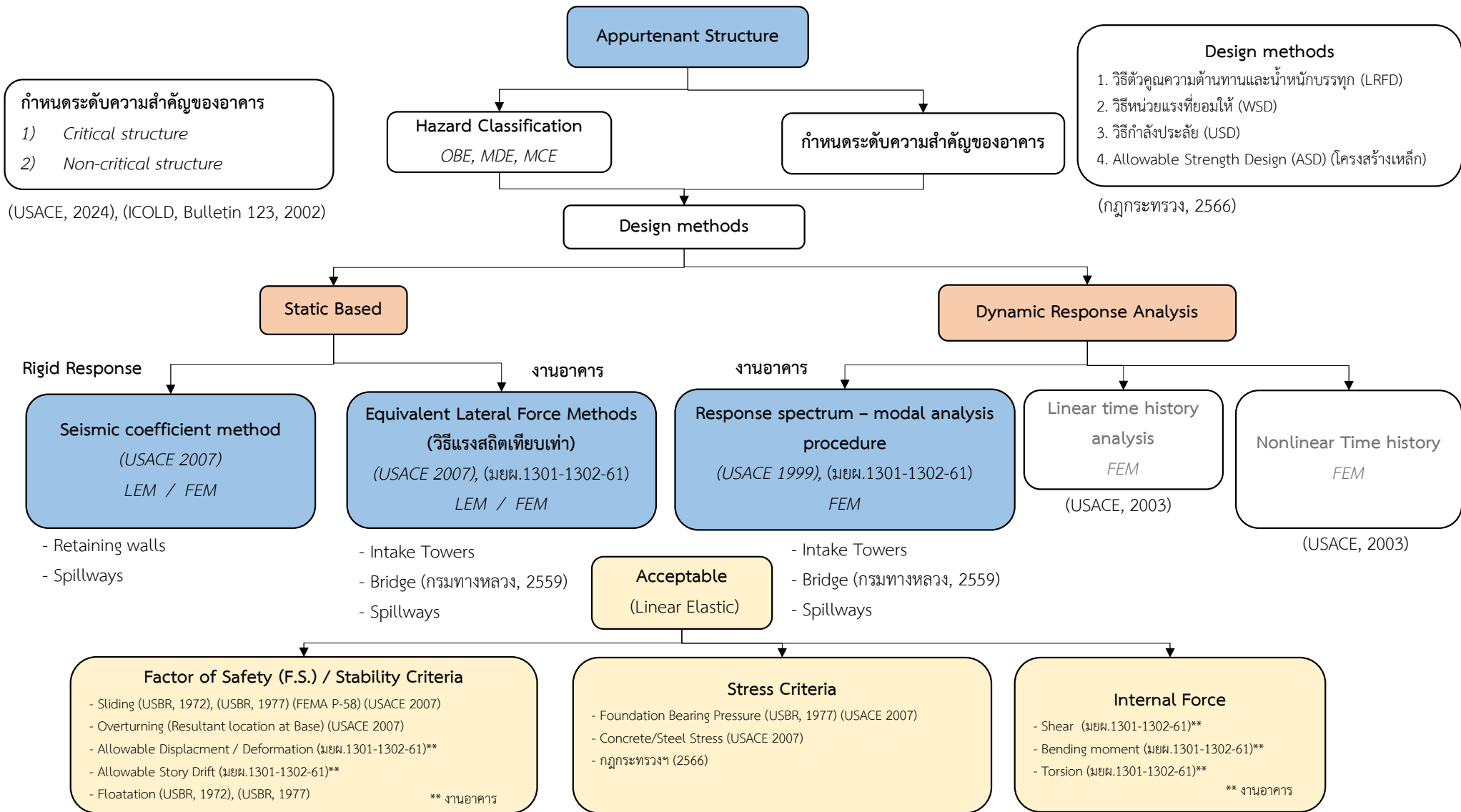


Intake Towers



Intake Towers

<https://structurae.net>



**กำหนดระดับความสำคัญของอาคาร**

- 1) Critical structure
- 2) Non-critical structure

(USACE, 2024), (ICOLD, Bulletin 123, 2002)

**Design methods**

1. วิธีควบคุมความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกทุก (LRFD)
2. วิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (WSD)
3. วิธีกำลังประลัย (USD)
4. Allowable Strength Design (ASD) (โครงสร้างเหล็ก)

(กฎกระทรวง, 2566)

Rigid Response

**Seismic coefficient method**  
(USACE 2007)  
LEM / FEM

- Retaining walls
- Spillways

งานอาคาร

**Equivalent Lateral Force Methods**  
(วิธีแรงสถิตเทียบเท่า)  
(USACE 2007), (มยพ.1301-1302-61)  
LEM / FEM

- Intake Towers
- Bridge (กรมทางหลวง, 2559)
- Spillways

งานอาคาร

**Response spectrum - modal analysis procedure**  
(USACE 1999), (มยพ.1301-1302-61)  
FEM

- Intake Towers
- Bridge (กรมทางหลวง, 2559)
- Spillways

**Acceptable**  
(Linear Elastic)

**Factor of Safety (F.S.) / Stability Criteria**

- Sliding (USBR, 1972), (USBR, 1977) (FEMA P-58) (USACE 2007)
- Overturning (Resultant location at Base) (USACE 2007)
- Allowable Displacment / Deformation (มยพ.1301-1302-61)\*\*
- Allowable Story Drift (มยพ.1301-1302-61)\*\*
- Floatation (USBR, 1972), (USBR, 1977)

\*\* งานอาคาร

**Stress Criteria**

- Foundation Bearing Pressure (USBR, 1977) (USACE 2007)
- Concrete/Steel Stress (USACE 2007)
- กฎกระทรวงฯ (2566)

**Internal Force**

- Shear (มยพ.1301-1302-61)\*\*
- Bending moment (มยพ.1301-1302-61)\*\*
- Torsion (มยพ.1301-1302-61)\*\*

\*\* งานอาคาร

## การกำหนดความสำคัญของอาคาร

**Table 1**  
Consequence-based project feature classification

Project Feature Type <sup>1</sup>	Direct Loss of Life <sup>2</sup>	Disruption or Loss of Project Feature Service or Functionality; Loss of Service or Access for Lifeline Facilities <sup>3</sup>	Property Losses <sup>4</sup>	Adverse Environmental Impacts <sup>5</sup>
Non-Critical	None expected	None or damages are cosmetic or rapidly repairable	Minimal	Minimal damage
Critical	None expected to probable or likely (one or more)	Probable or likely	Major to extensive	Major to extensive damage <sup>6</sup>

Notes:

<sup>1</sup> Categories are based on project feature performance. Project performance could be impacted by performance of a single or multiple individual project feature within a project or system.

<sup>2</sup> Loss of life potential is based on failure or inundation mapping of the area downstream of the dam or within the leveed area. In some cases, inundation mapping may also include upstream areas.

<sup>3</sup> Indirect threats to life caused by the interruption of lifeline or other facility services because of project failure or operation loss (such as direct loss of [or access to] critical medical facilities, safe water supply).

<sup>4</sup> Direct economic impact of property damages, project facilities, downstream property, and property within the leveed or upstream area, and indirect economic impact because of loss of project services (such as inundation impact on navigation industry because of the loss of a dam and navigation pool, impact on a community of the loss of water or power supply).

<sup>5</sup> Adverse environmental impacts caused by the project feature failure or loss of water supply for environmental purpose, beyond what would normally be expected for the magnitude flood event if the project did not exist.

<sup>6</sup> In some cases, major to extensive damage may require extensive mitigation and, in some cases, it may be difficult or impossible to mitigate the environmental damage.

(USACE, 2024)

ระดับความสำคัญของอาคาร

- 1) โครงสร้างสำคัญวิกฤติ *Critical structure*
- 2) โครงสร้างไม่สำคัญวิกฤติ *Non-Critical structure*

(USACE, 2024), (ICOLD, Bulletin 123, 2002)

## การพิจารณาใช้ OBE, MDE, MCE (อยู่ในหมวด Hazard Classification)

**Table 2**  
**Criteria for seismic design ground motions**

Project Feature Type	Minimum Earthquake Return Period for OBE-GM <sup>1</sup>	Earthquake Return Period for MDE-GM
Non-Critical	145-year return period <sup>2</sup>	975-year return period
Critical	475-year return period <sup>3</sup>	Greater <sup>4</sup> of the following: 1) 2,475-year return period <sup>5,6</sup> 2) MCE-GM (84th percentile values from ground motion models for source slip rate, $SR \geq 0.9$ mm/year, median or 50th percentile values for $SR \leq 0.3$ mm/year, and interpolation for SR values between 0.3 mm/year and 0.9 mm/year (see paragraph 9c(4))

Notes:

<sup>1</sup> Earthquake return periods are based on 50 years of new project feature service life or additional 50 years of service life for an existing project feature.

<sup>2</sup> A higher earthquake return period for OBE-GM, such as a 225-year return period, can be used for a Non-Critical project feature based on the consequences, project feature functionality, project feature service life, and/or post-earthquake response and repair.

<sup>3</sup> A higher earthquake return period for OBE-GM, such as a 975-year return period, can be used for a Critical project feature based on the consequences, project feature functionality, project feature service life, and/or post-earthquake response and repair.

<sup>4</sup> If the 84th percentile MCE-GM (irrespective of slip rates) is lower than the 2,475-year return period GM in a low seismic ground motion hazard region (paragraph 9d), the 84th percentile MCE-GM can be considered for MDE-GM of the Critical project feature based on the significance of the consequences, project feature functionality, project feature service life, and/or post-earthquake response and repair. However, the selected MCE-GM value cannot be lowered below 90 percent of the 2,475-year return period GM.

<sup>5</sup> A higher earthquake return period for MDE-GM (such as 5,000 or 10,000 years) can be used for a Critical project feature based on the consequences, project feature functionality, project feature service life, and/or post-earthquake response and repair.

<sup>6</sup> In regions where mapped seismic sources are not available for MCE-GM determination, a minimum earthquake return period of 2,475 years will be used for MDE-GM.

(USACE, 2024)

## Seismic coefficient method (Pseudo-static analysis)

### Rigid response structure

- Retaining walls
- Spillways
- แรงแผ่นดินไหวจะถูกแปลงเป็นแรงคงที่อย่างง่าย (simply as static forces) และจะรวมเข้ากับแรงดันน้ำแบบสถิต (hydrostatic pressures) แรงดันน้ำลอยตัว (uplift) แรงดันดิน (backfill soil pressures) และแรงโน้มถ่วง (gravity loads)
- การวิเคราะห์ในเบื้องต้นจะเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพต่อการหมุน (rotational) และการเลื่อนของโครงสร้าง (sliding) ที่ถือว่าโครงสร้างเป็นวัตถุแข็ง (rigid body)
- แรงที่กระทำต่อโครงสร้างจะคำนวณได้จากมวลของโครงสร้าง มวลที่เพิ่มขึ้นของน้ำ และผลกระทบของแรงดันดินแบบพลศาสตร์ แล้วคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์แผ่นดินไหว
- ขนาดของค่าสัมประสิทธิ์แผ่นดินไหว มักใช้เป็นเศษส่วนของความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่แสดงเป็นเศษส่วนทศนิยม (decimal fraction) ของความเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

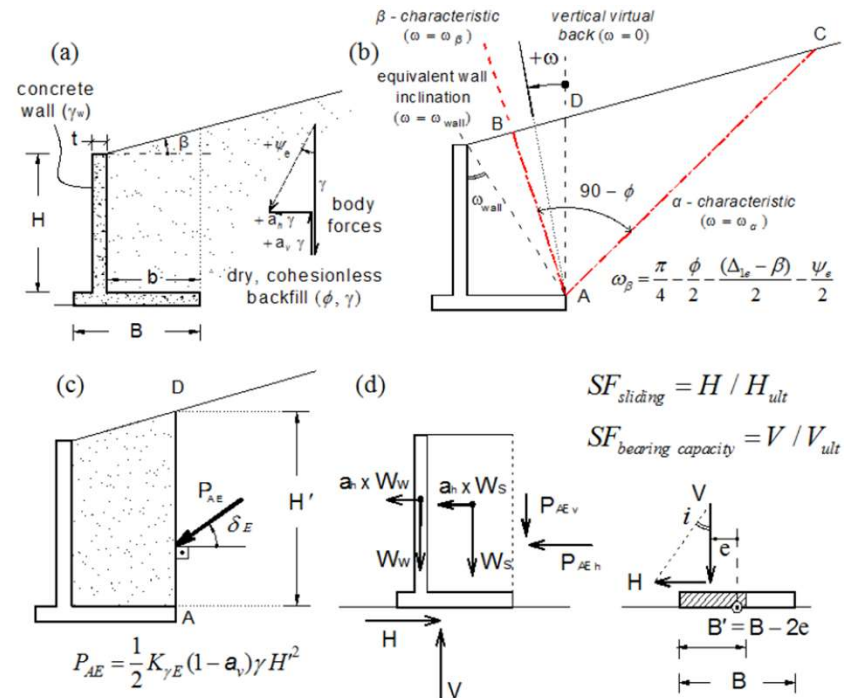


Figure 1: Pseudo-dynamic analysis of cantilever retaining walls for seismic loading: (a) Problem under consideration, (b) seismic Rankine stress field characteristics, (c) Modified virtual back approach by stress limit analysis, (d) Stability analysis of wall foundation according to Meyerhof (EC 7).

(Kloukinas, 2013)

## Equivalent Lateral Force Methods (แรงสถิตเทียบเท่า)

ใช้สำหรับการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว โดยถือว่าการตอบสนองของโครงสร้างส่วนใหญ่จะอยู่ในโหมดแรก โหมดการสั่นสะเทือนแรกอาจมีส่วนสำคัญในการตอบสนองต่อแผ่นดินไหวของโครงสร้างได้มากถึง 80 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่านั้น ดังนั้นคาบการสั่นและการเสียรูปโดยทั่วไปของโหมดแรกจึงเพียงพอสำหรับการประมาณแรงกระทำหรือแรงต้านข้างที่เทียบเท่าที่จำเป็นสำหรับการออกแบบหรือการประเมินแผ่นดินไหว

- Intake Towers
- Bridge
- Spillways

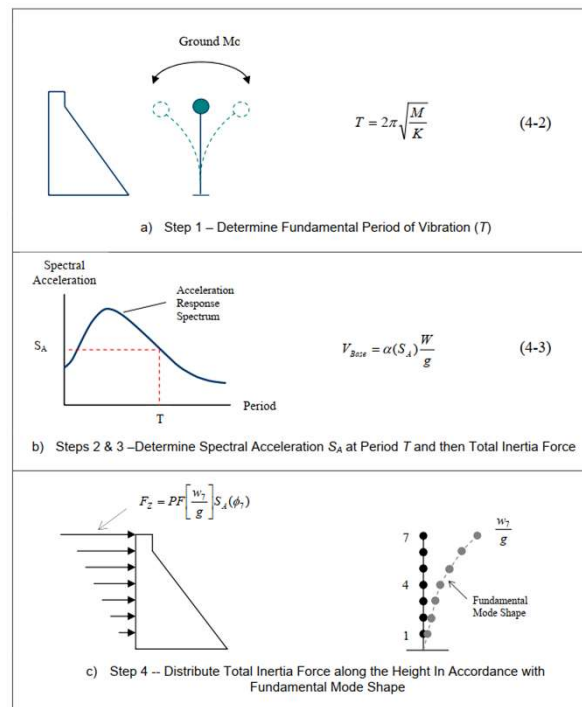
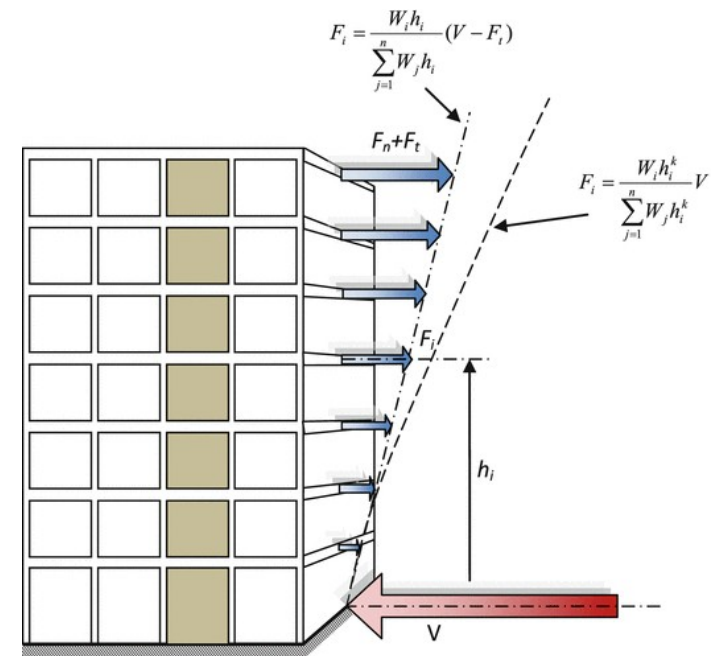


Figure 4-3. Illustration of Equivalent Lateral Force Method



(USACE, 2007)

(Bourahla, 2014)

# Response spectrum

- เป็นวิธีการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ โดยกำหนดจุดสูงสุดของการตอบสนองของโครงสร้างแบบเชิงเส้นต่อการเคลื่อนที่ของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวด้วยสเปกตรัมการตอบสนองจำนวนโหมดที่จำเป็นจะแตกต่างกันไปในแต่ละการวิเคราะห์
- โดยปกติแล้วจำนวนโหมดที่มีส่วนร่วมสำคัญจะเพียงพอหาผลรวมของแต่ละโหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์อย่างน้อย 90 เปอร์เซ็นต์ของมวลทั้งหมดของโครงสร้าง
- การวิเคราะห์โหมด (Modal analysis) โดยปกติจะดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการหาคาบการสั่นสะเทือนและรูปร่างของโหมด (mode shapes) ที่มีส่วนร่วมสำคัญทั้งหมด ในปัจจุบันนี้โปรแกรมการวิเคราะห์โครงสร้างส่วนใหญ่มีศักยภาพดังกล่าว

- Intake Towers
- Bridge
- Spillways

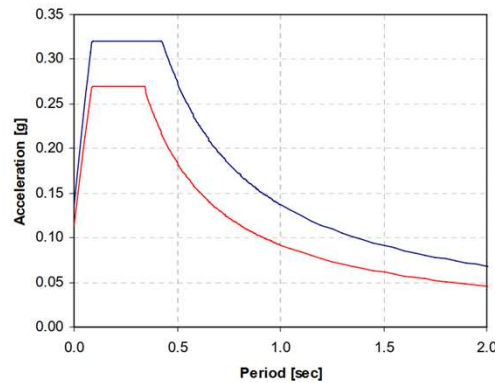
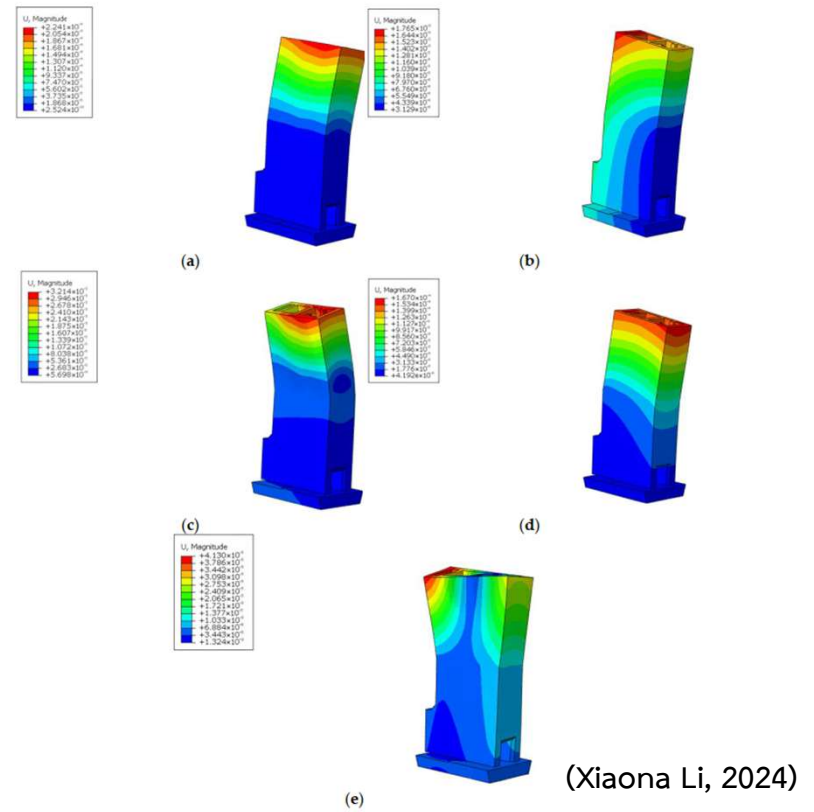


Figure C-2. Standard horizontal (blue) and vertical (red) acceleration response spectra for example C-2



modal analysis

(Xiaona Li, 2024)

# Linear time history

เป็นวิธีการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์คล้ายกับการวิเคราะห์สเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด แต่ความแรงแผ่นดินไหวจะอยู่ในรูปแบบของประวัติเวลาและความเร่ง ผลลัพธ์จะอยู่ในรูปของประวัติการเคลื่อนตัวและความเครียด (หรือแรง) ค่าสูงสุดของการตอบสนองต่างๆ จะได้มาจากประวัติการตอบสนอง ซึ่งไม่สามารถทำได้จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

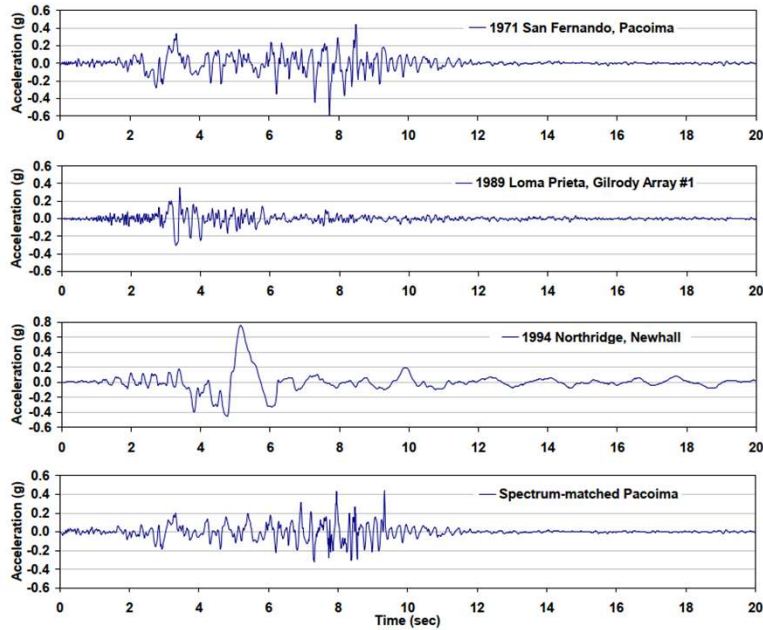
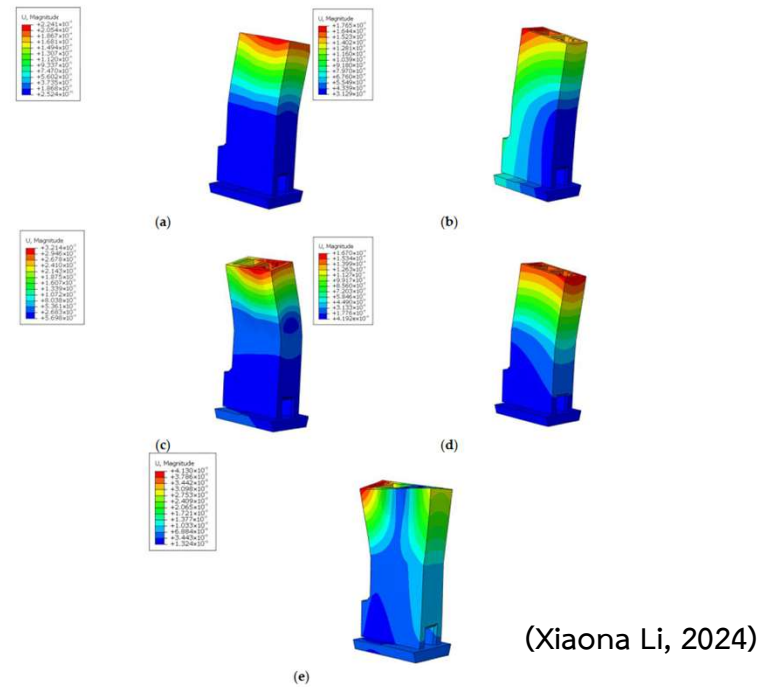


Figure 5. Horizontal component of earthquake input acceleration time histories



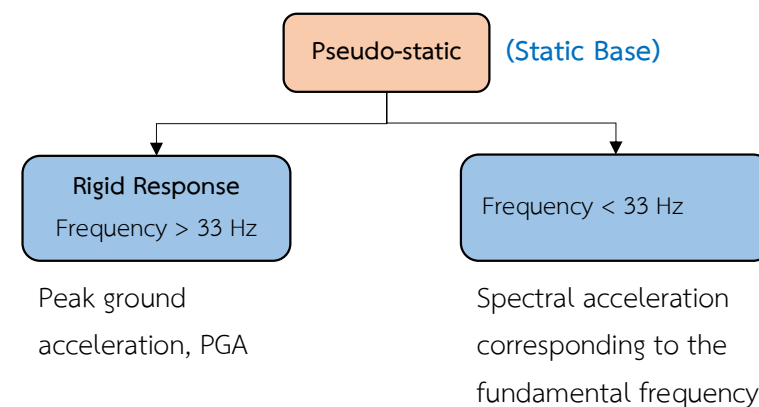
(Xiaona Li, 2024)

modal analysis

การกำหนดวิธีการวิเคราะห์แยกตามองค์ประกอบของ Spillways ประเภทต่างๆ ตาม ICOLD, 2002

**Table 1**  
Analysis method of spillway component structures

Spillway structures	Components	Usual approaches	Recommended models
inlet and crest structures	morning glory drop inlet structures	pseudo-static response spectrum	3D
	overflow structures : straight ogee crests, labyrinth	pseudo-static using elastic foundation	2D plane-strain or plane-stress or 3D
	siphon structures	response spectrum	2D or 3D
	fuse plug structures : zoned embankment	deformation analysis Newmark method or liquefaction potential	2D
chutes	conveyance structures : floor slab and connecting walls	pseudo-static using elastic foundation	2D plane-strain or plane-stress
terminal structures	hydraulic jump stilling basin flip bucket impact structures	pseudo-static using elastic foundation	2D



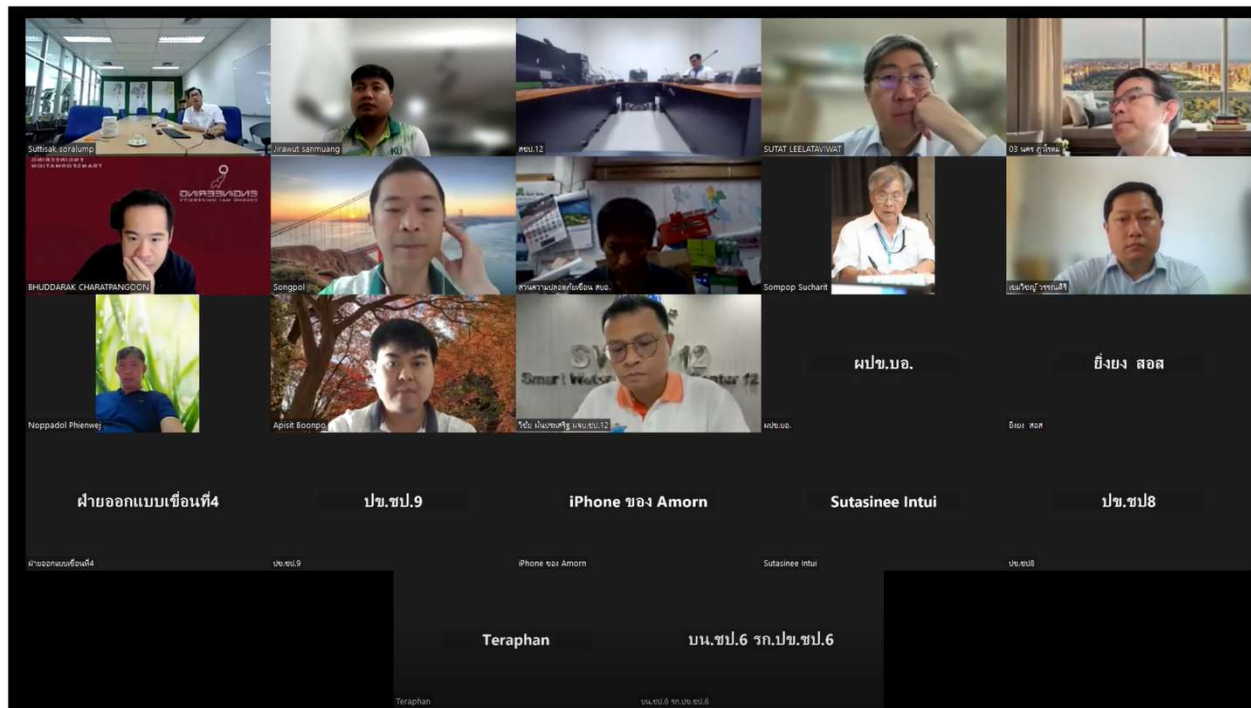
(ICOLD, 2002)

SEISMIC DESIGN AND EVALUATION OF STRUCTURES APPURTENANT TO DAMS  
(ICOLD, Bulletin 123, 2002)

# (กลุ่มวิศวกรรมโครงสร้าง) ประชุมกลุ่มย่อยกับผู้ทรงคุณวุฒิ ครั้งที่ 2

ประชุม Online ในวันจันทร์ ที่ 21 เมษายน 2568 เวลา 9.00-12.00 น.

Topic: เกณฑ์มาตรฐาน-เขื่อน-แผ่นดินไหว (โครงสร้าง)



## ความคิดเห็นเบื้องต้นที่ได้จากผู้ทรงคุณวุฒิ

ศ.ดร.นคร ภู่วโรดม

- ควรมีเกณฑ์อ้างอิงที่จะกำหนดว่าโครงสร้างมีความสำคัญหรือไม่สำคัญ
- รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ตอบกลับ ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงเกณฑ์การตัดสินใจโครงสร้างเป็น Critical / Non-critical
- เนื้อหาฉบับล่าสุดได้กำหนดให้แบ่งความสำคัญของโครงสร้างออกเป็น 1) โครงสร้างสำคัญวิกฤติ (Critical structure) 2) โครงสร้างไม่สำคัญวิกฤติ (Non-Critical structure)

รศ.ดร.สุทัศน์ ลีลา  
ทวีวัฒน์

- การนำเอาเกณฑ์ต่างๆของ มยผ. มาใช้อ้างอิงกับโครงสร้างเกี่ยวข้องกับน้ำ มีความเหมาะสมหรือไม่
- รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ตอบกลับ เกณฑ์ต่างๆที่ใช้สำหรับอาคารประกอบ จะอ้างอิงจากมาตรฐานเฉพาะของโครงสร้างนั้นๆ เช่น ICOLD, USBR, USACE ฯ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

รศ.ดร.ธีรพันธ์ ธรธรรมรัตน์

- การใช้ Return period ของ มยผ. มาใช้ในงานโครงสร้างอาคารประกอบเขื่อน มีความเหมาะสมหรือไม่
- รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ตอบกลับ Return period ที่จะนำมาใช้ในงานโครงสร้างอาคารประกอบ จะใช้ตามความสำคัญของอาคาร ซึ่งจะขอหารือในหัวข้อต่อไป เช่น สามารถปรับค่าแรงจาก มยผ. มาใช้อย่างไรได้บ้าง
- เนื้อหาฉบับล่าสุดได้กำหนดใช้ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวแยกตามระดับความสำคัญของอาคาร อ้างอิงตาม USACE (2024)

## ความคิดเห็นเบื้องต้นที่ได้จากผู้ทรงคุณวุฒิ

รศ.ดร.นพดล เพียร  
เวช

- เกณฑ์มาตรฐานที่กำลังทำ รวมไปถึงงานอุโมงค์ด้วยหรือไม่
- รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ตอบกลับ ขอกลับไปศึกษาเรื่องอุโมงค์
- การนำเอา มยผ.มาใช้ ไม่มีความเหมาะสม เพราะอาคารทางชลศาสตร์หลายอย่างวางบนชั้นดิน/หินแข็ง จะต้องใช้ค่า PGA แต่ใน มยผ. เป็นความเร่งตอบสนอง
- รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ในเกณฑ์มาตรฐานนี้มีการกำหนดให้ทำ Hazard classification อยู่แล้ว แต่อาจมีบางโครงการที่ประเมินได้ต่ำกว่า มยผ. จึงควรใช้ให้ไม่ต่ำกว่า มยผ. เนื่องจากกฎกระทรวงกำหนดไว้

ดร. สมภพ สุจริต

- อยากให้ศึกษาเรื่อง Critical structure ให้ดี เพราะโครงสร้างอาคารประกอบหลายอย่างที่ใช้ในไทยมีความสำคัญและขนาดค่อนข้างใหญ่
- รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ตอบกลับ เห็นด้วยกับ ดร. สมภพ ให้ทีมงานไปศึกษาเรื่องนี้ให้ดี

ศ.ดร.นคร ภู่วโรดม

- หากไม่นับรวมโครงสร้างเขื่อน อาคารประกอบต่างๆไม่มีผู้อยู่อาศัย จะพิจารณาความสำคัญอย่างไร
- รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ตอบกลับ มีอาคารประกอบบางประเภทที่เมื่อเกิดความเสียหายแล้ว จะส่งผลให้เขื่อนหลักเกิดการวิบัติตาม