

Reference:

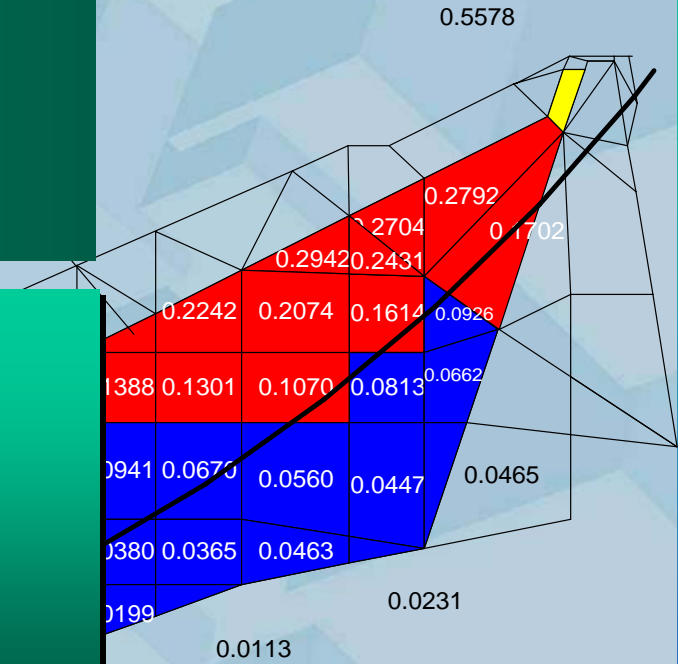
สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์. 2554. การวิเคราะห์เพื่อประเมินความปลอดภัยเชื่อมโยงในสภาวะแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบหรือประเมินเงื่อนไขปัจจุบัน. เอกสารประกอบการอบรม "การวิเคราะห์เพื่อออกแบบและประเมินความปลอดภัยเชื่อมโยง", ระหว่างวันที่ 5,7 และ 8 เมษายน 2554, จัดโดย ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ Thai Geotechnical Society (TGS), ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น, กรุงเทพฯ.



แผ่นดินไหวและเขื่อน

ผศ.ดร. สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์

๘ เมษายน ๒๕๕๔



0.0128

0.0063

0.0034

0.0022

0.0020

0.0017

Geotechnical Engineering Research and Development Center (GERD)

Civil Engineering Department, Faculty of Engineering

Kasetsart University, Bangkok, Thailand

WWW.GERD.ENG.KU.AC.TH



Magnitude 6.8 - MYANMAR

2011 March 24 13:55:12 UTC

Thursday, March 24, 2011 at
08:55:12 PM - Bangkok

Details

Summary

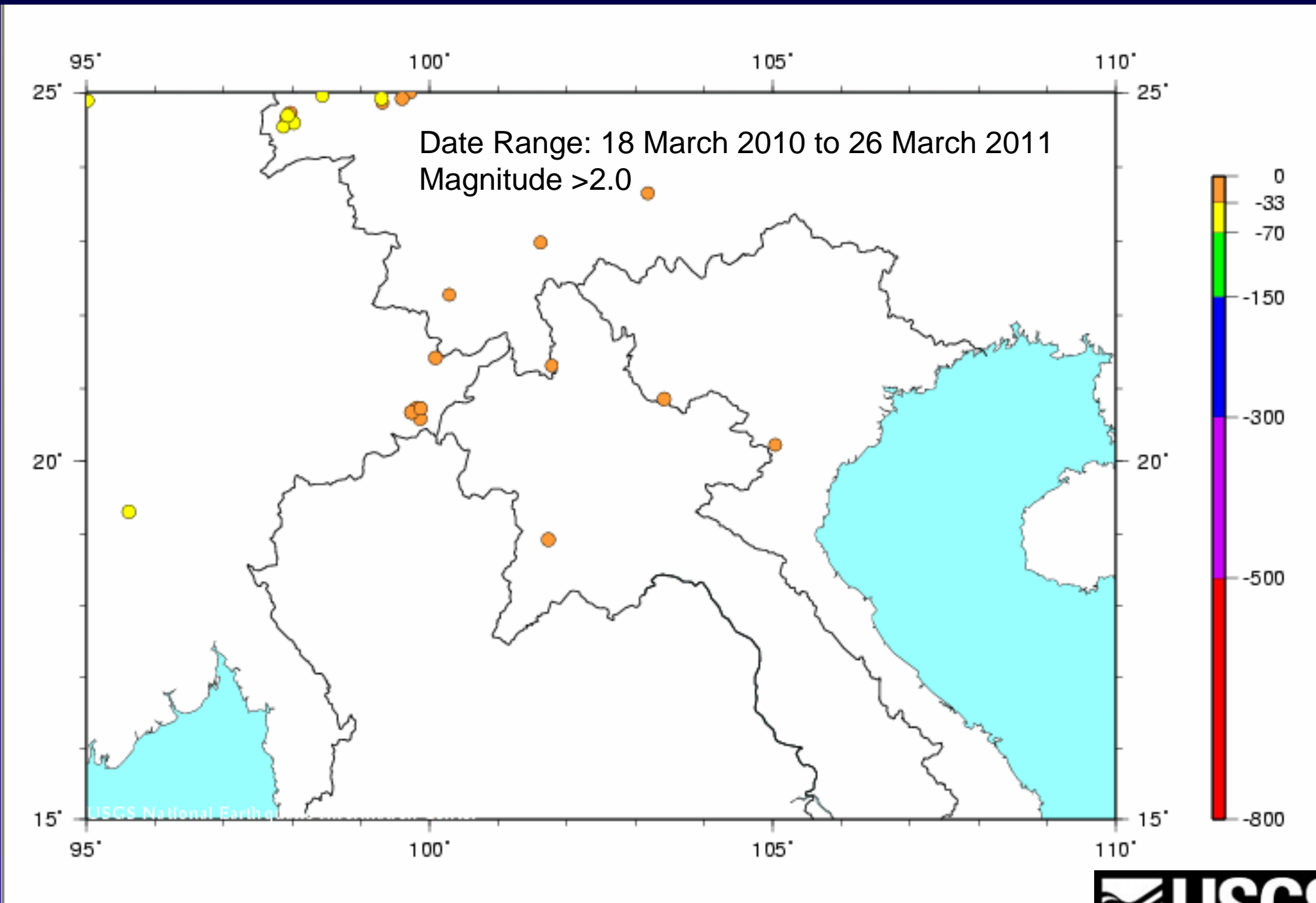
Maps

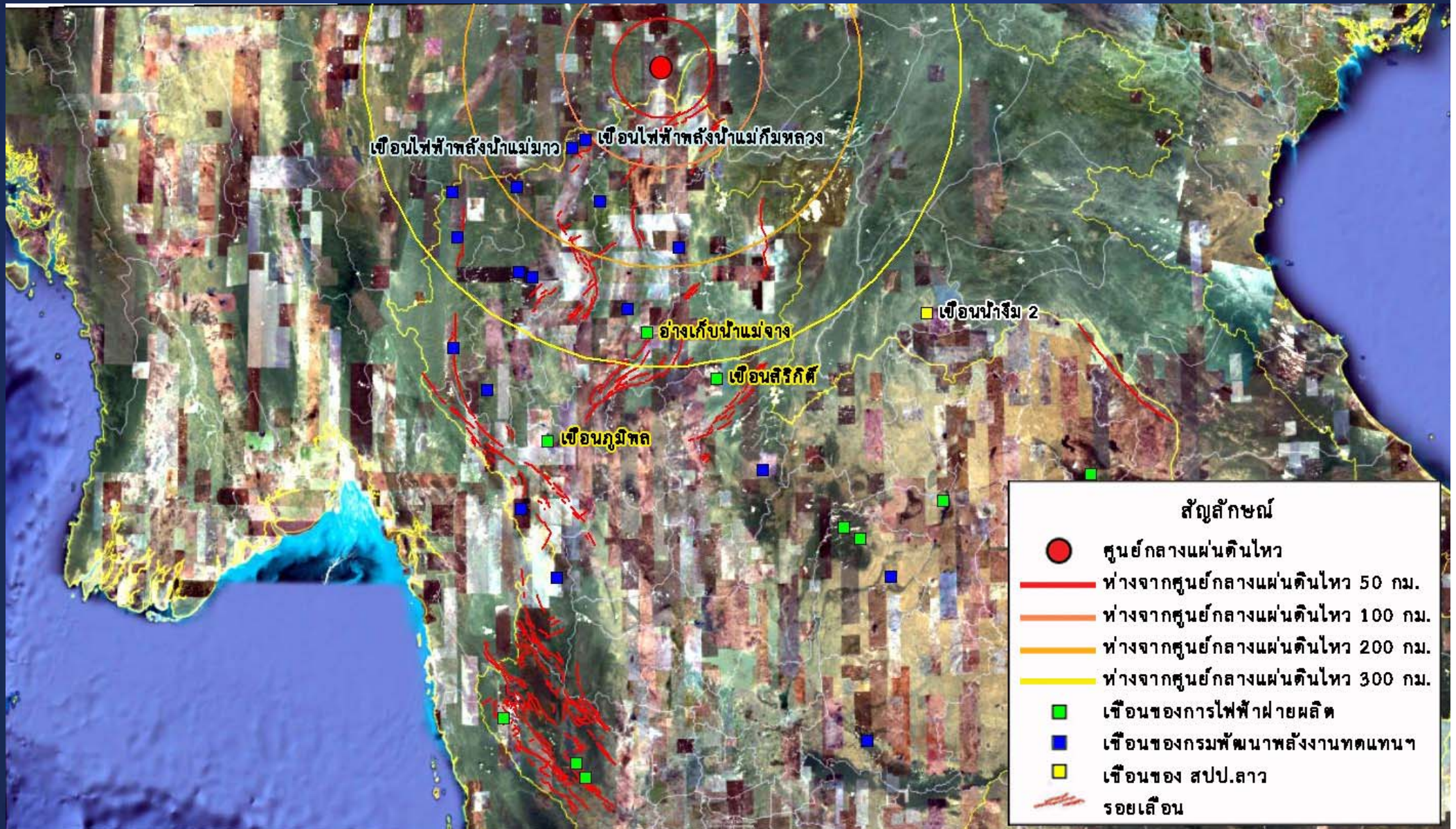
Scientific & Technical

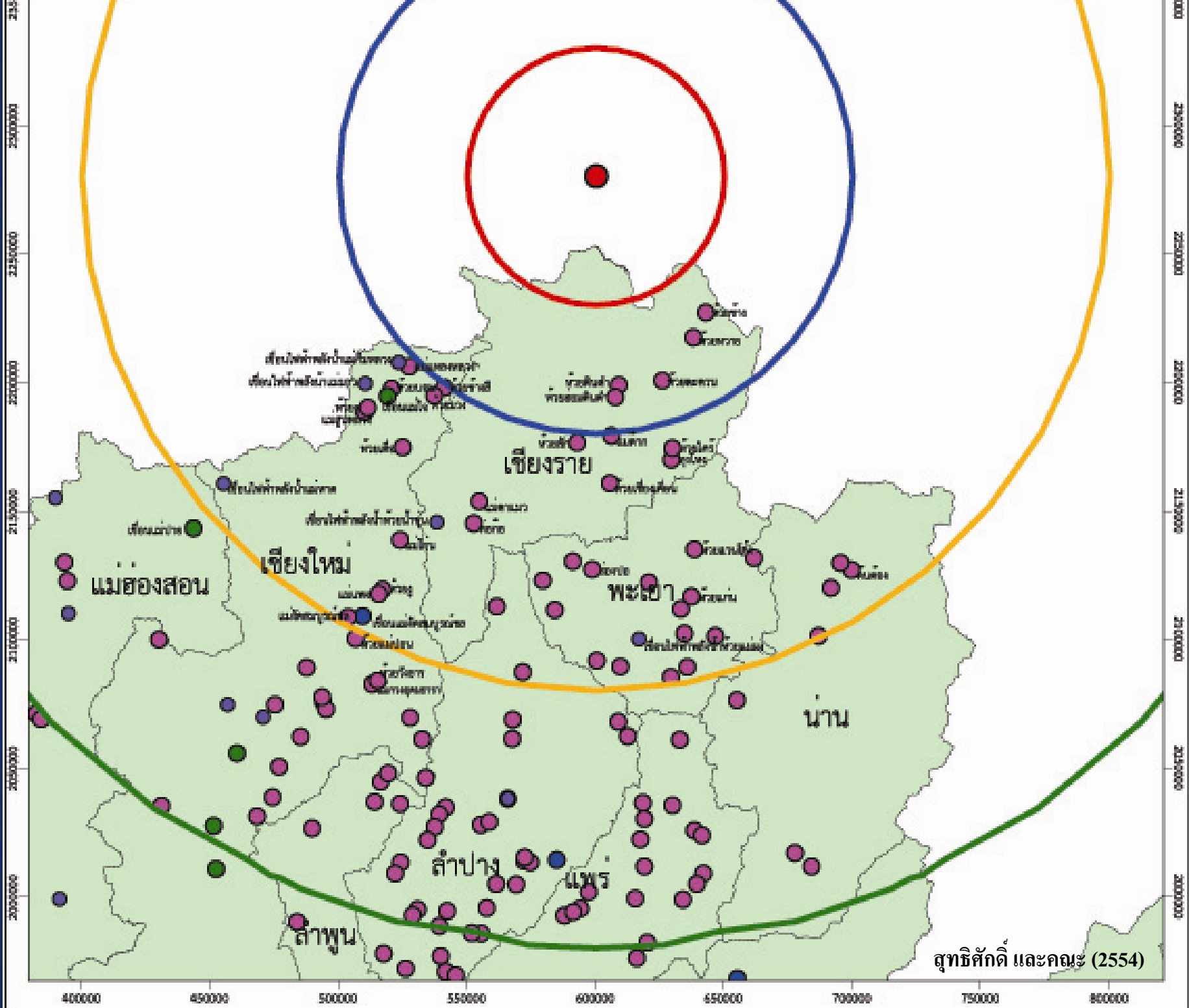
Earthquake Details

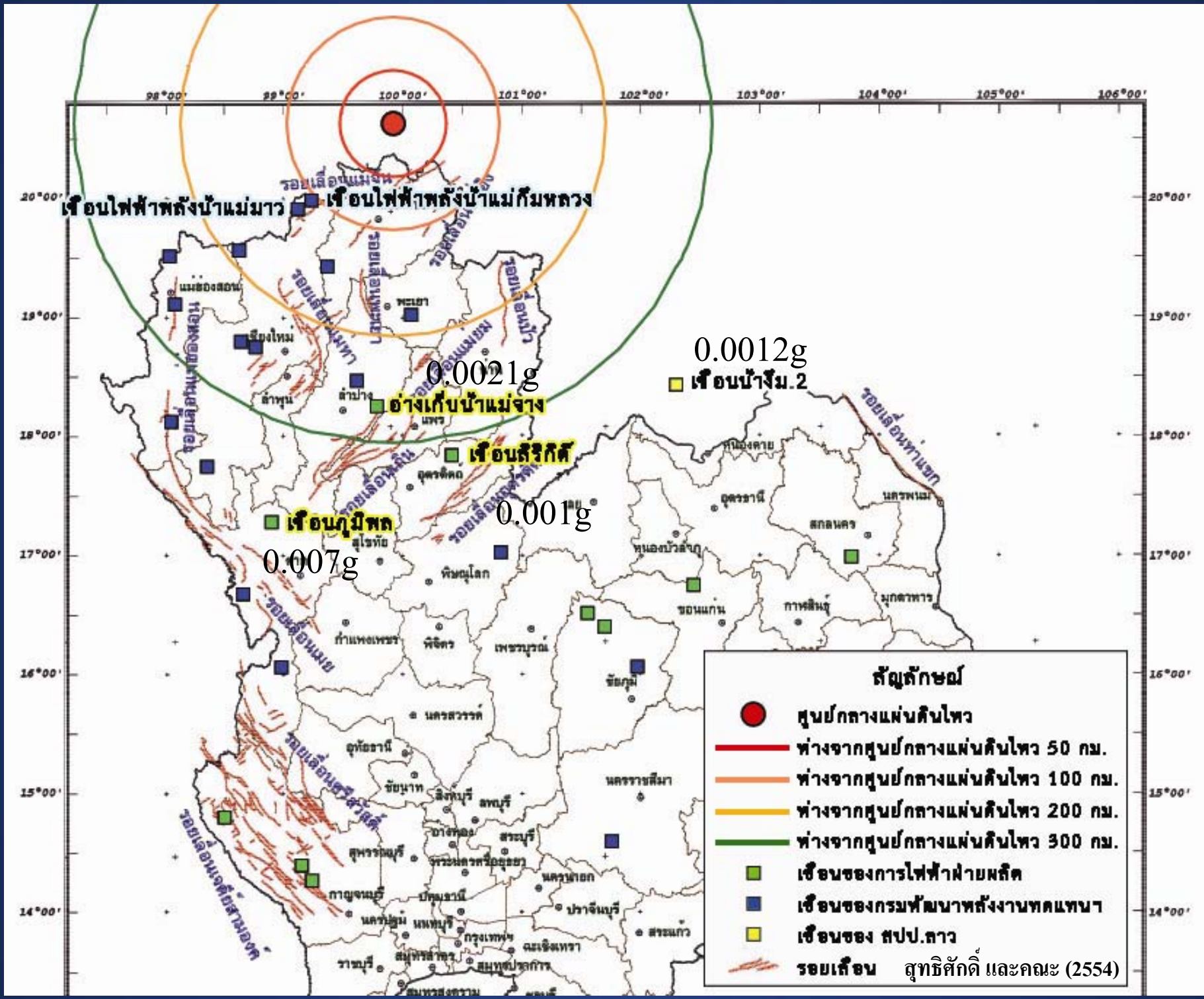
This event has been reviewed by a seismologist.

<u>Magnitude</u>	6.8
<u>Date-Time</u>	Thursday, March 24, 2011 at 13:55:12 UTC Thursday, March 24, 2011 at 08:25:12 PM at epicenter Time of Earthquake in other Time Zones
<u>Location</u>	20.705°N, 99.949°E
<u>Depth</u>	10 km (6.2 miles)
<u>Region</u>	MYANMAR
<u>Distances</u>	89 km (55 miles) N of Chiang Rai, Thailand 168 km (104 miles) SSW of Yunjinghong, Yunnan, China 589 km (365 miles) NE of Rangoon, Myanmar 772 km (479 miles) N of BANGKOK, Thailand
<u>Location Uncertainty</u>	horizontal +/- 15.4 km (9.6 miles); depth +/- 5.8 km (3.6 miles)
<u>Parameters</u>	NST=109, Nph=109, Dmin=234.9 km, Rmss=0.88 sec, Gp= 36°, M-type=regional moment magnitude (Mw), Version=C
<u>Source</u>	USGS NEIC (WDCS-D)
<u>Event ID</u>	usc0002aes









เขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำแม่มาว เขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำแม่กิมหลวง

0.0012g
■ เขื่อนน้ำจิม.2

0.0021g
■ อ่างเก็บน้ำแม่จาง

0.001g
■ เขื่อนสิริกิติ์

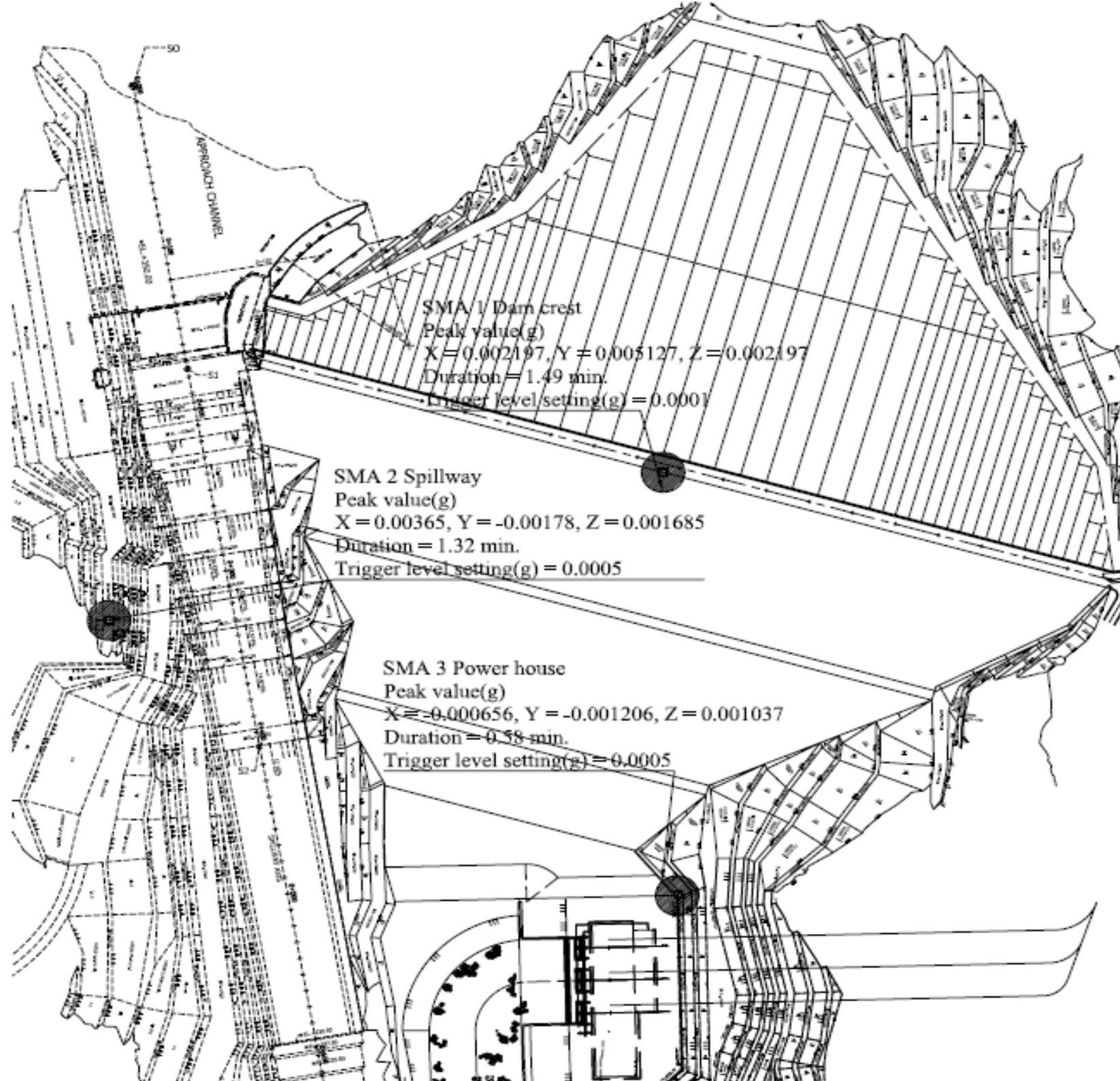
0.007g
■ เขื่อนภูมิพล

NN2

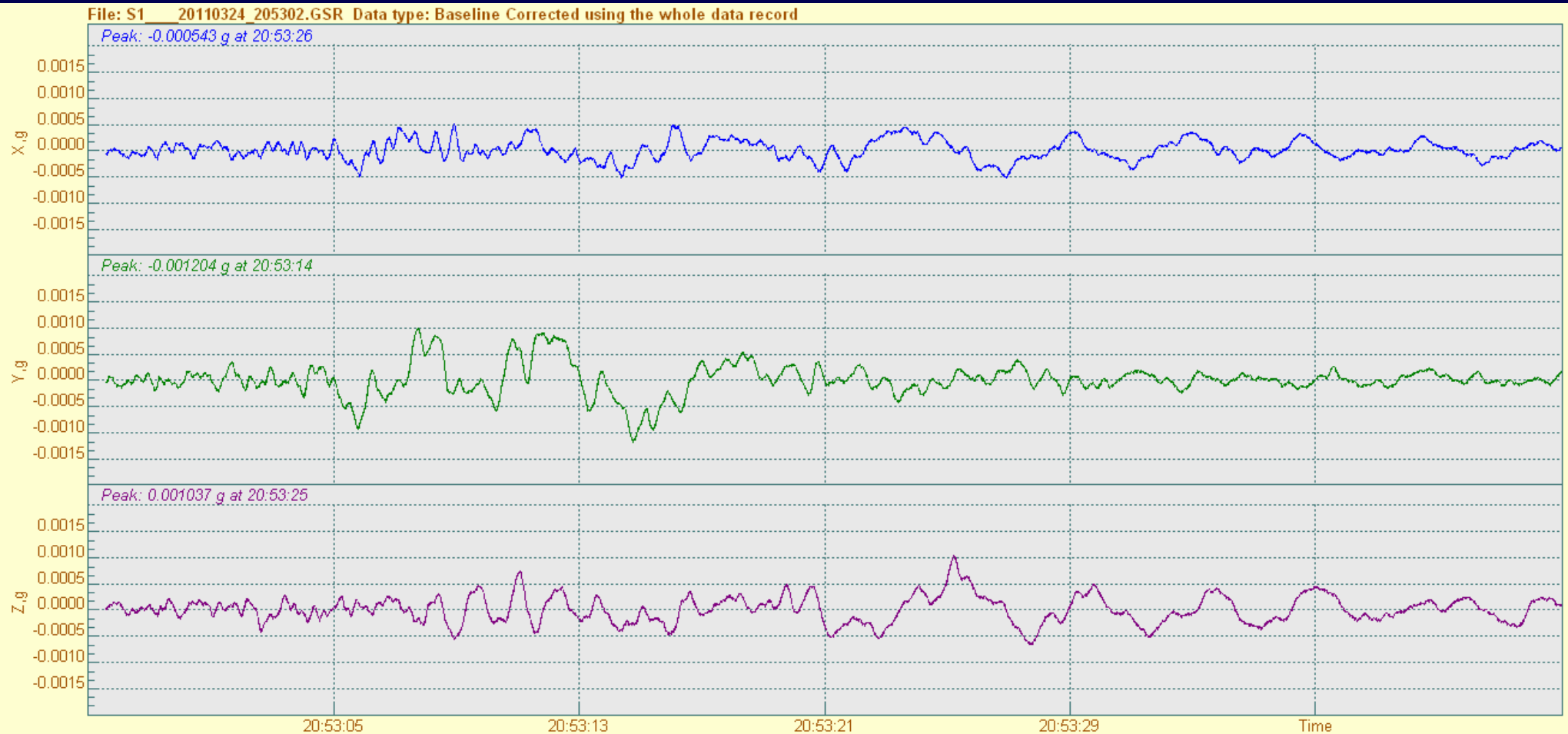


30 11 2008

PHOTO BY PR



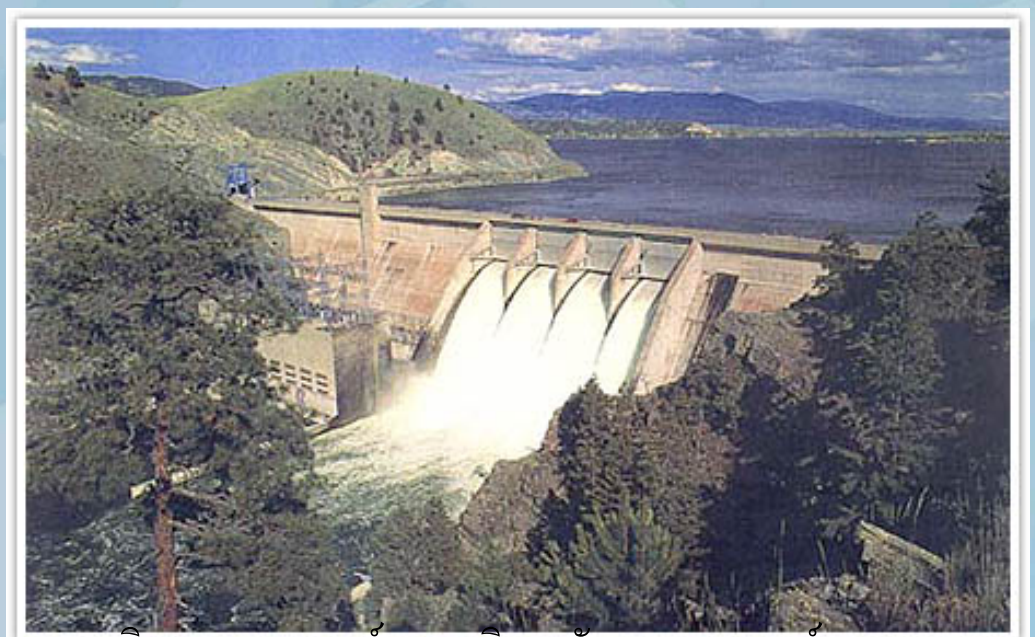
Downstream Toe Station



SMA 3, 24 March 2011, 20:53:02, Baseline corrected



DAMS AND EARTHQUAKE



สาเหตุการพิบัติของเขื่อนเนื่องจากแผ่นดินไหว

สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์, 2549

1. การเคลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนในแนวตั้งใกล้ตัวเขื่อน
2. การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อน
3. การเกิดคลื่นน้ำภายในอ่างเก็บน้ำ (Seiches) เนื่องจากความสั่นสะเทือน การเกิดแผ่นดินถล่มรอบอ่างเก็บน้ำจากแรงแผ่นดินไหวทำให้เกิดน้ำข้ามสันเขื่อน
4. เกิดการพิบัติของอาคารบังคับน้ำ ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำได้
5. การไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนตามรอยแตกในแนวขวางกับสันเขื่อน
6. การยุบตัวของสันเขื่อนในแนวตั้งเนื่องจากแรงสั่นสะเทือน
7. การสูญเสียกำลังของดินตัวเขื่อนหรือฐานรากเนื่องจากการเกิดLiquefactionทำให้เกิดการเลื่อนไถลหรือยุบตัวของเขื่อน

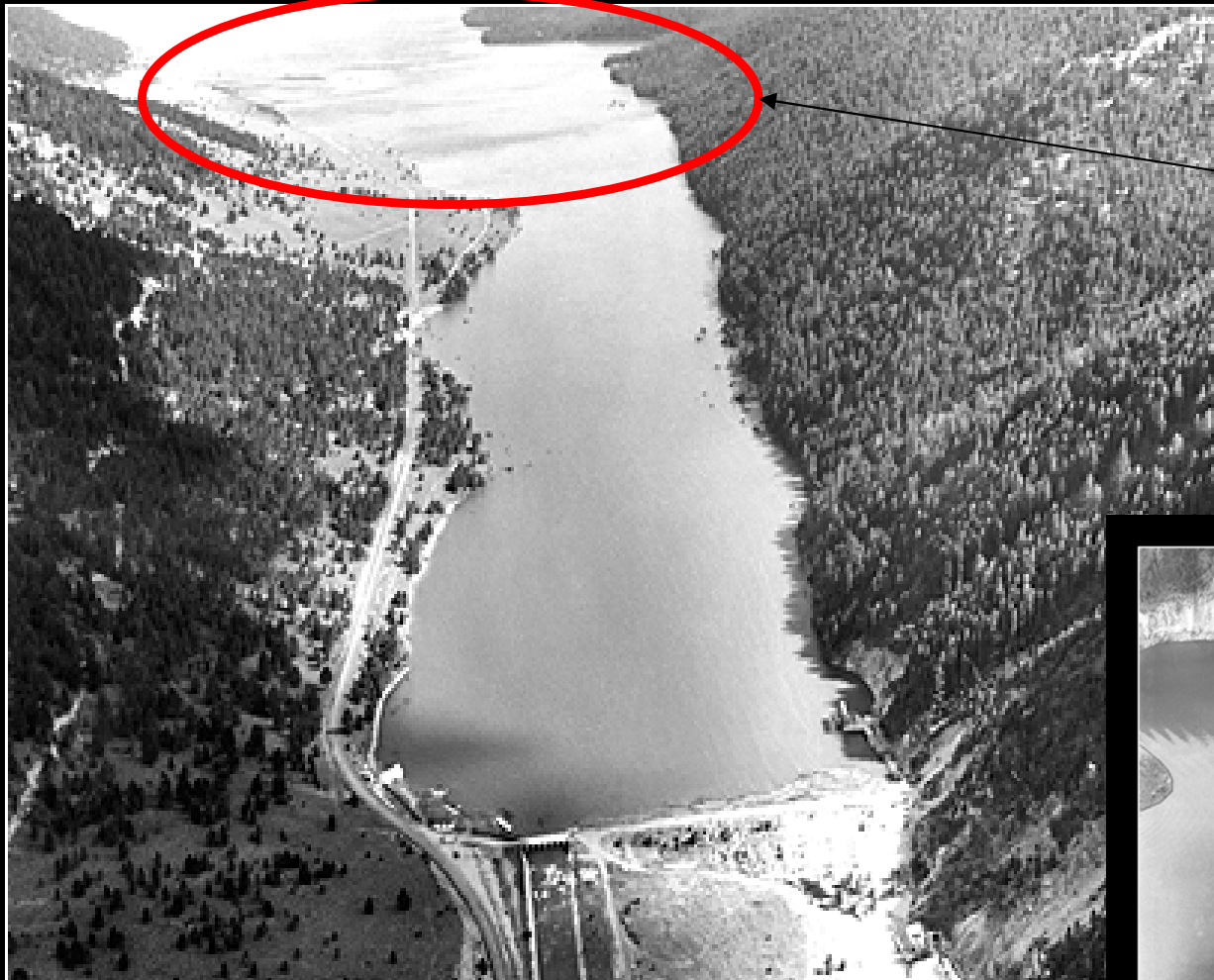
Chi-Kang Dam, Taiwan จาก Chi-Chi Earthquake

ขนาด 7.6 Mw วันที่ 20 ก.ย. 42



Hebgen Dam (hebgen lake earthquake, M7.5, 1959)

ชนิดเขื่อน Earth conc core ความสูง 37.5m ปีที่พิบัติ 1959



คลื่นน้ำกำลัง
เคลื่อน
เข้าหาตัวเขื่อน

Photo courtesy of U.S. Forest Service



Photo by J.M. Heslop, Deseret News
Courtesy of the Deseret News



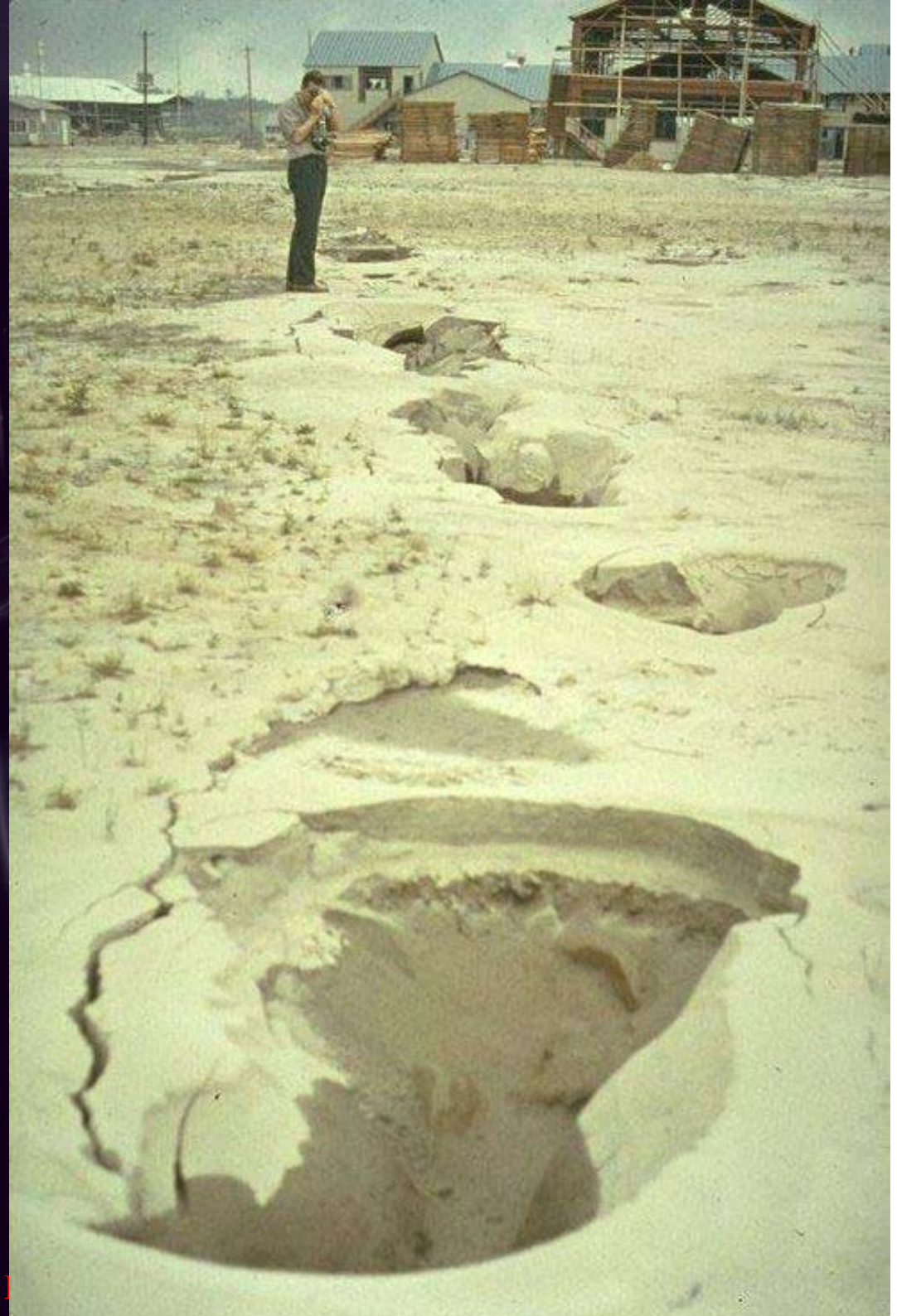
Photo courtesy of MT Bureau of Mines and Geology

Earthquake triggered landslide at Aratozawa Dam in Kurihara, Miyagi prefecture, Japan



Liquefaction

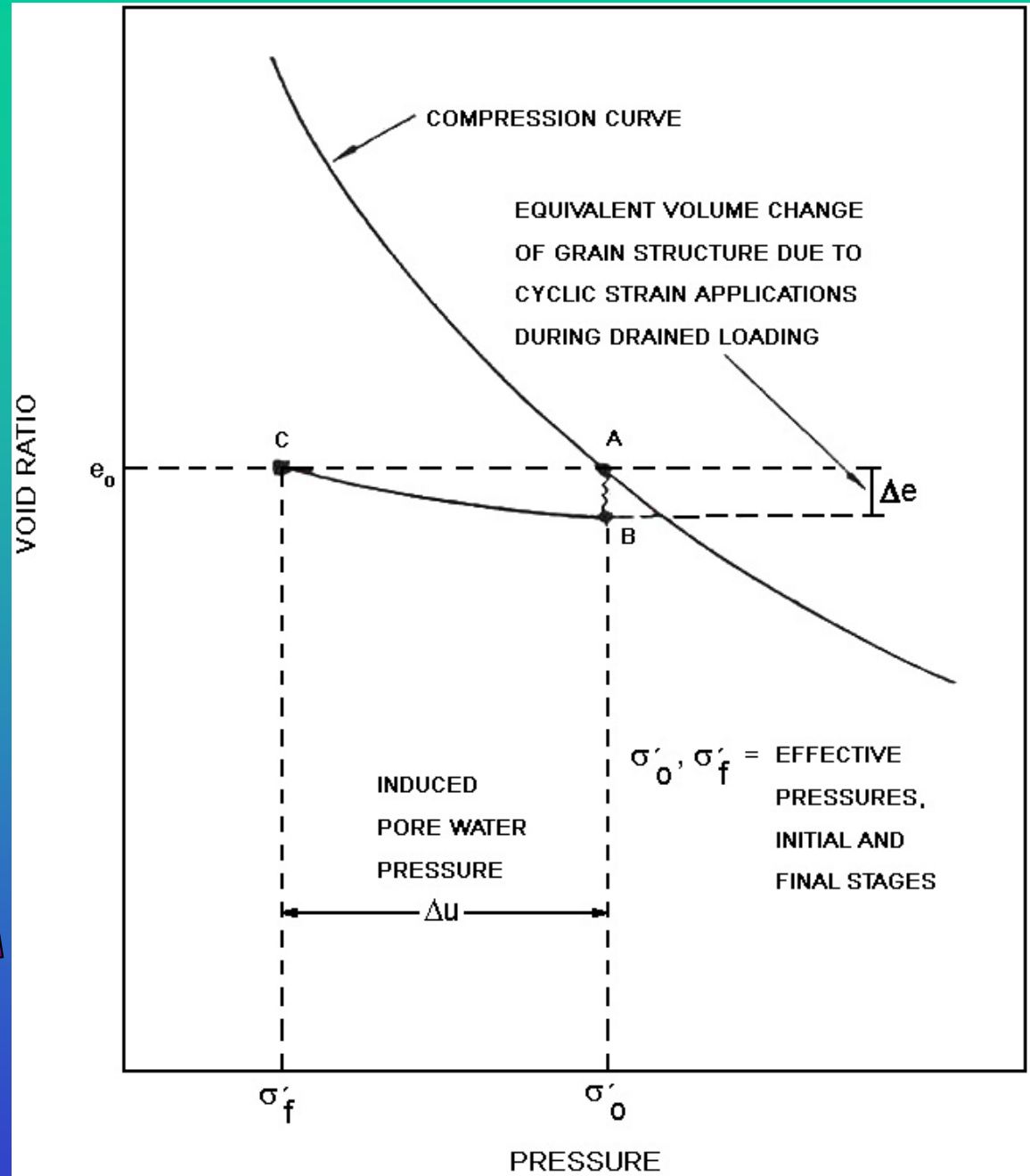
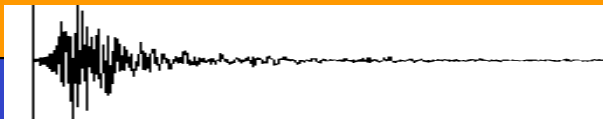
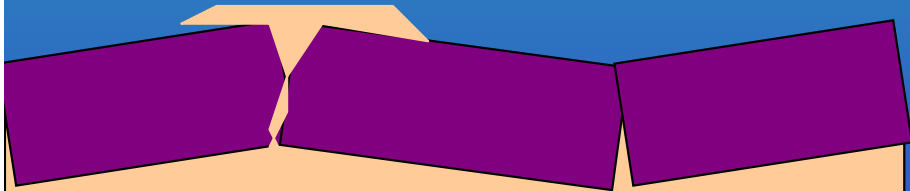
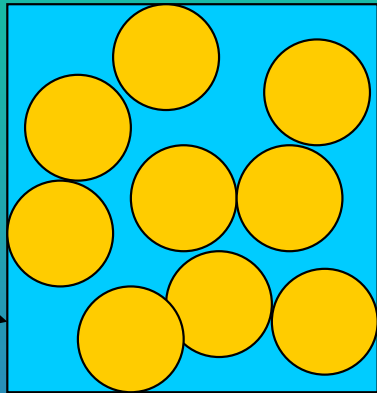
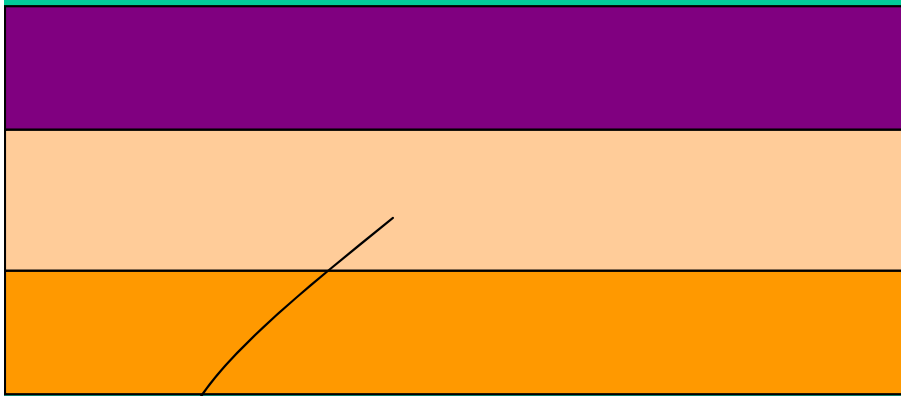
ปรากฏการณ์ ทรายเหลว





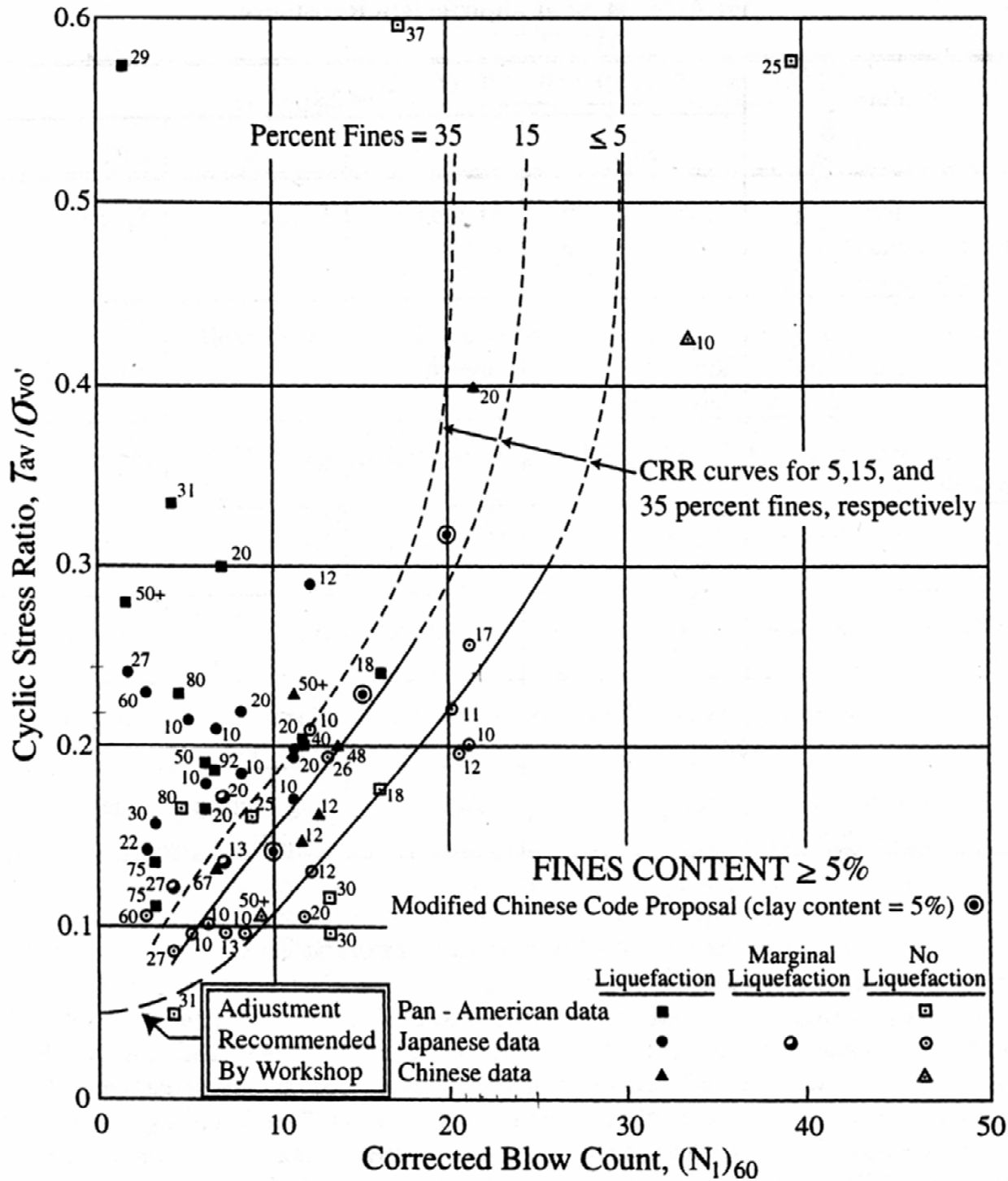




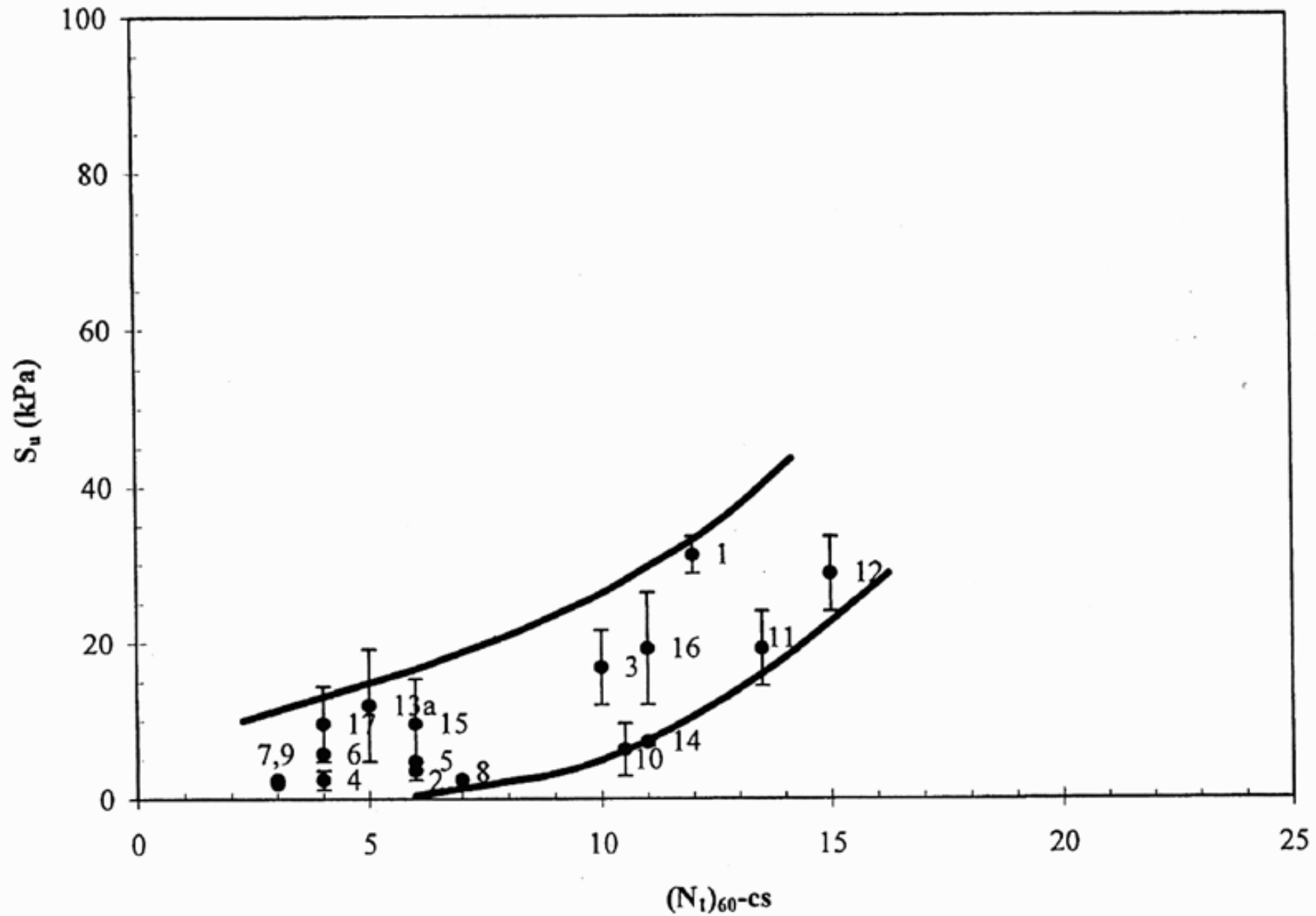


Seed & Idriss (1982)

Seed (1985)



Residual Strength

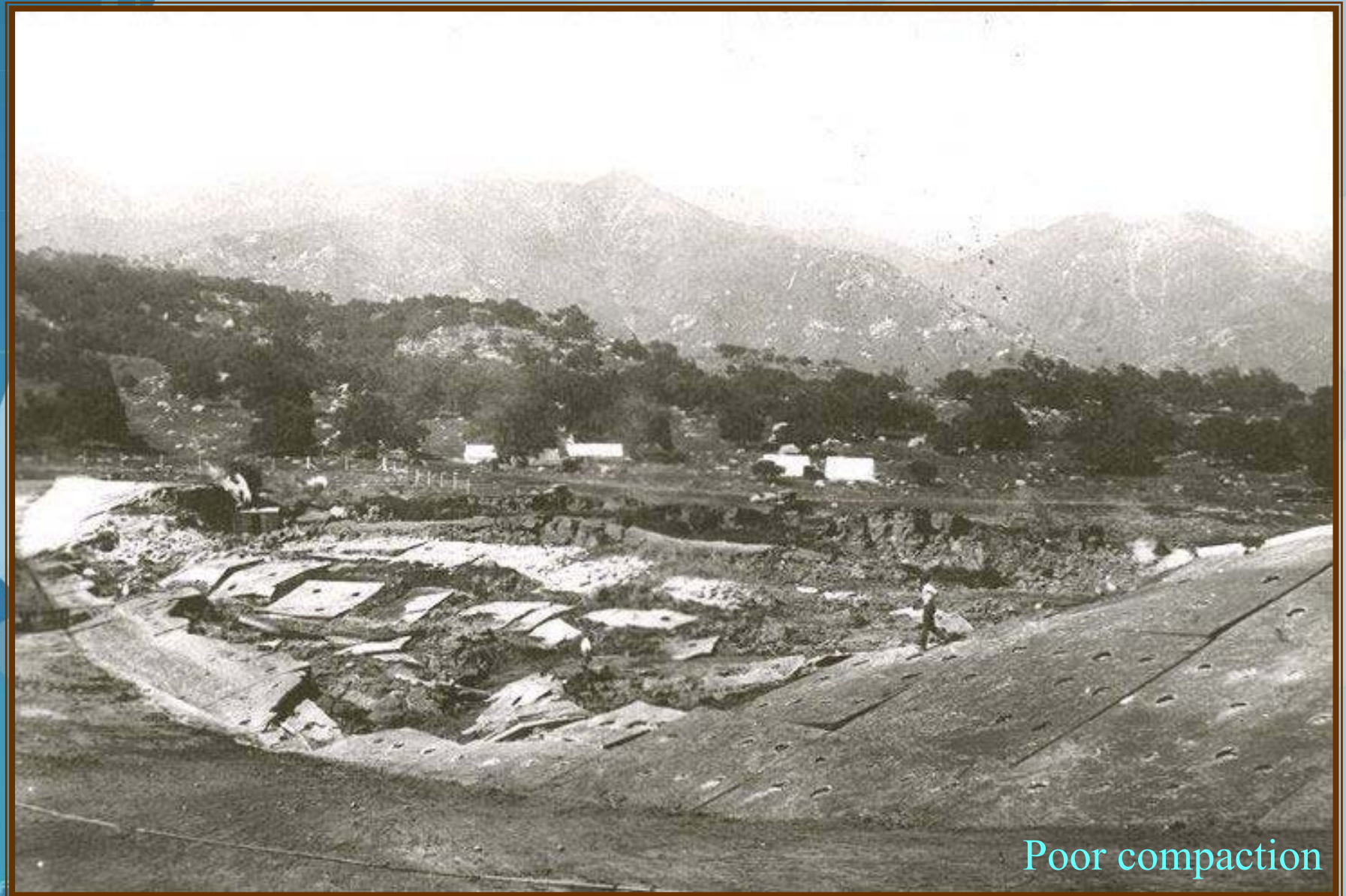






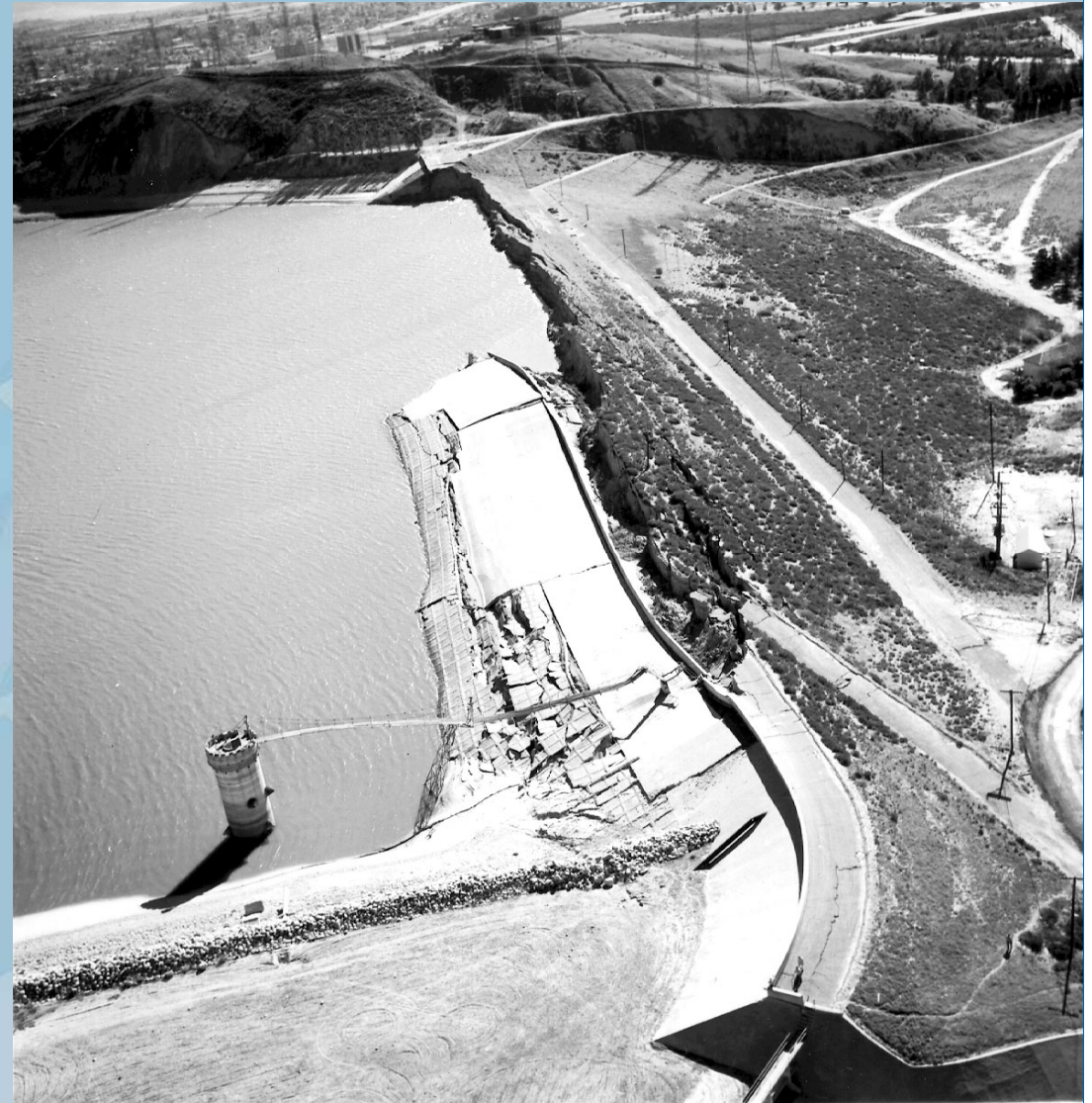
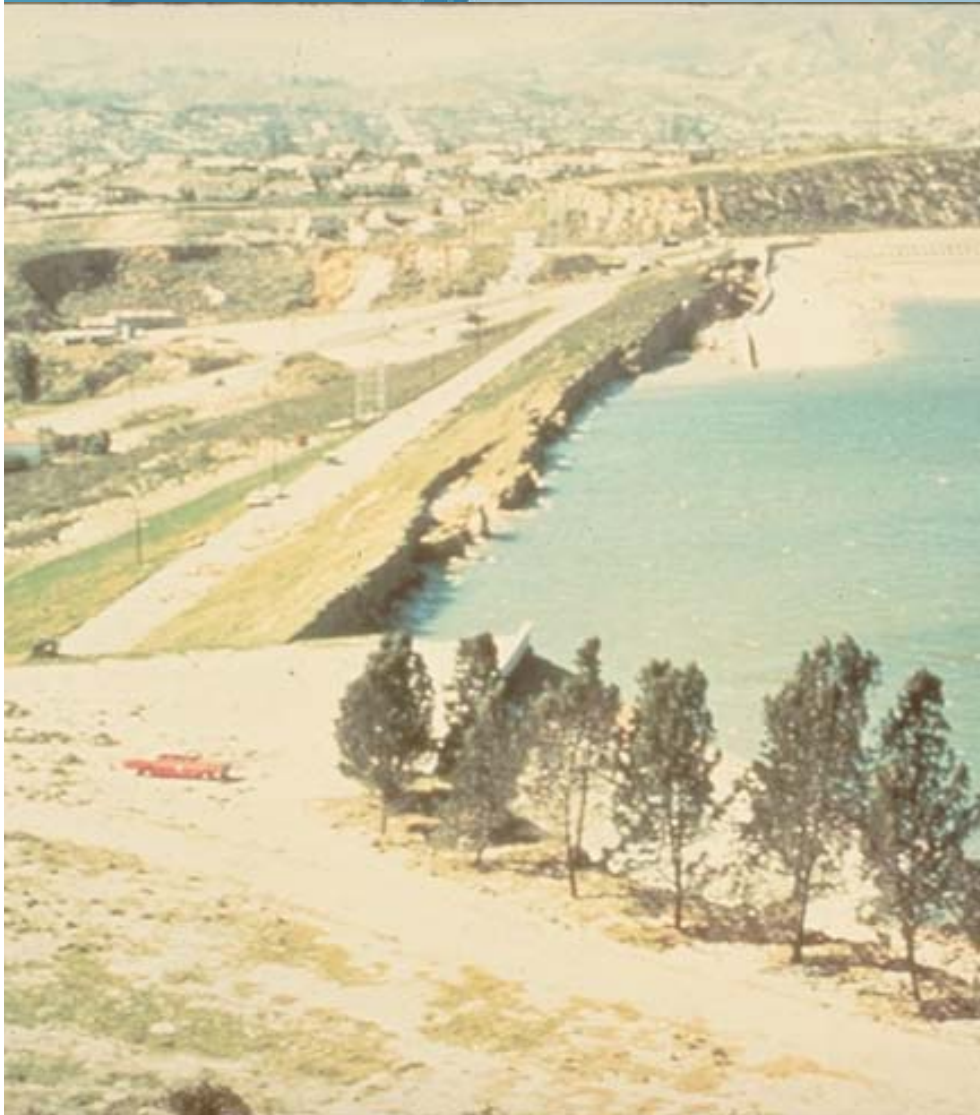
Sheffield Dam

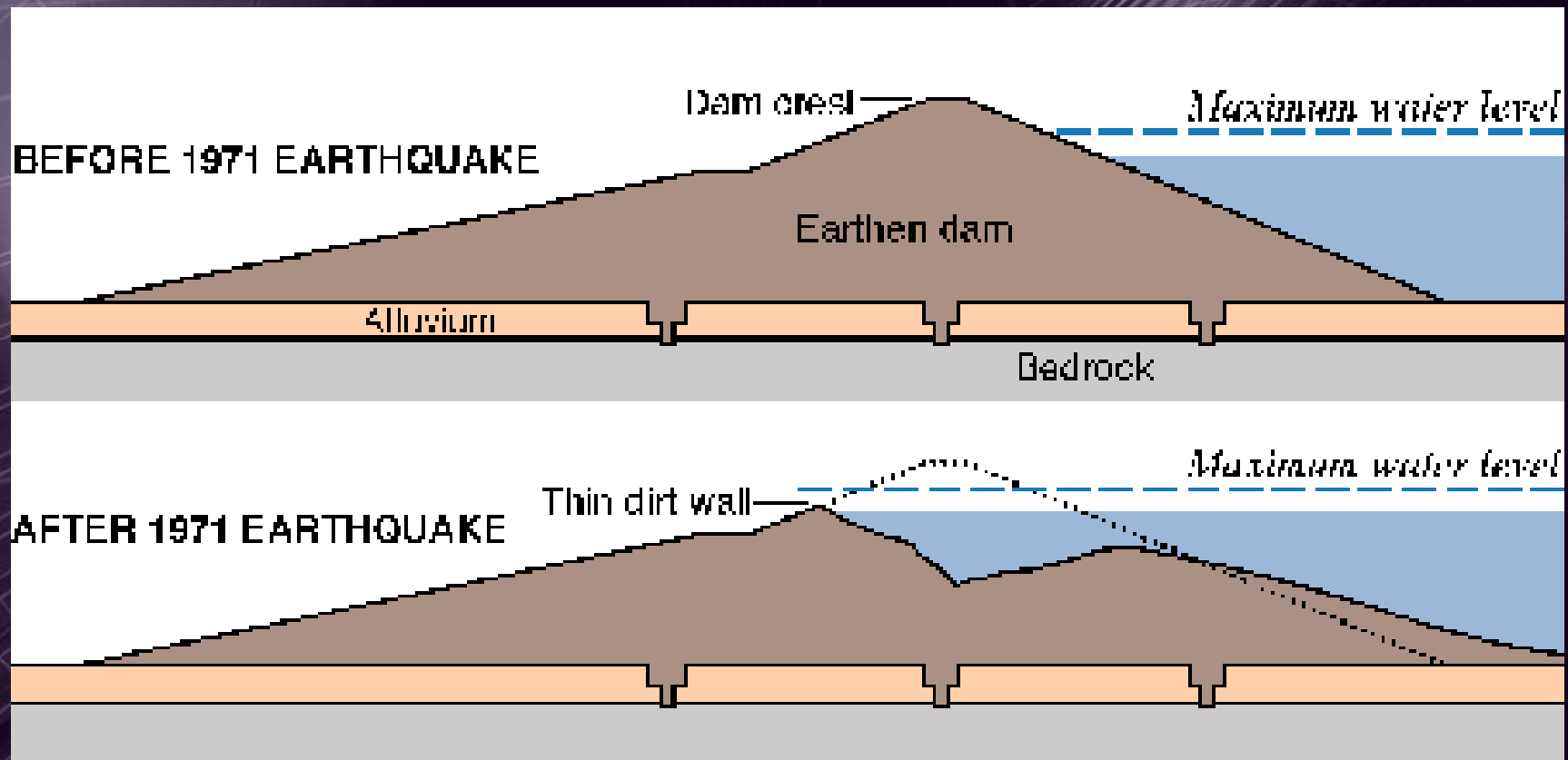
ชนิดเขื่อน Concrete facing Earth dam ความสูง 8m ปีที่พิบัติ 1925



Lower San Fernando Dam, near failure 1971

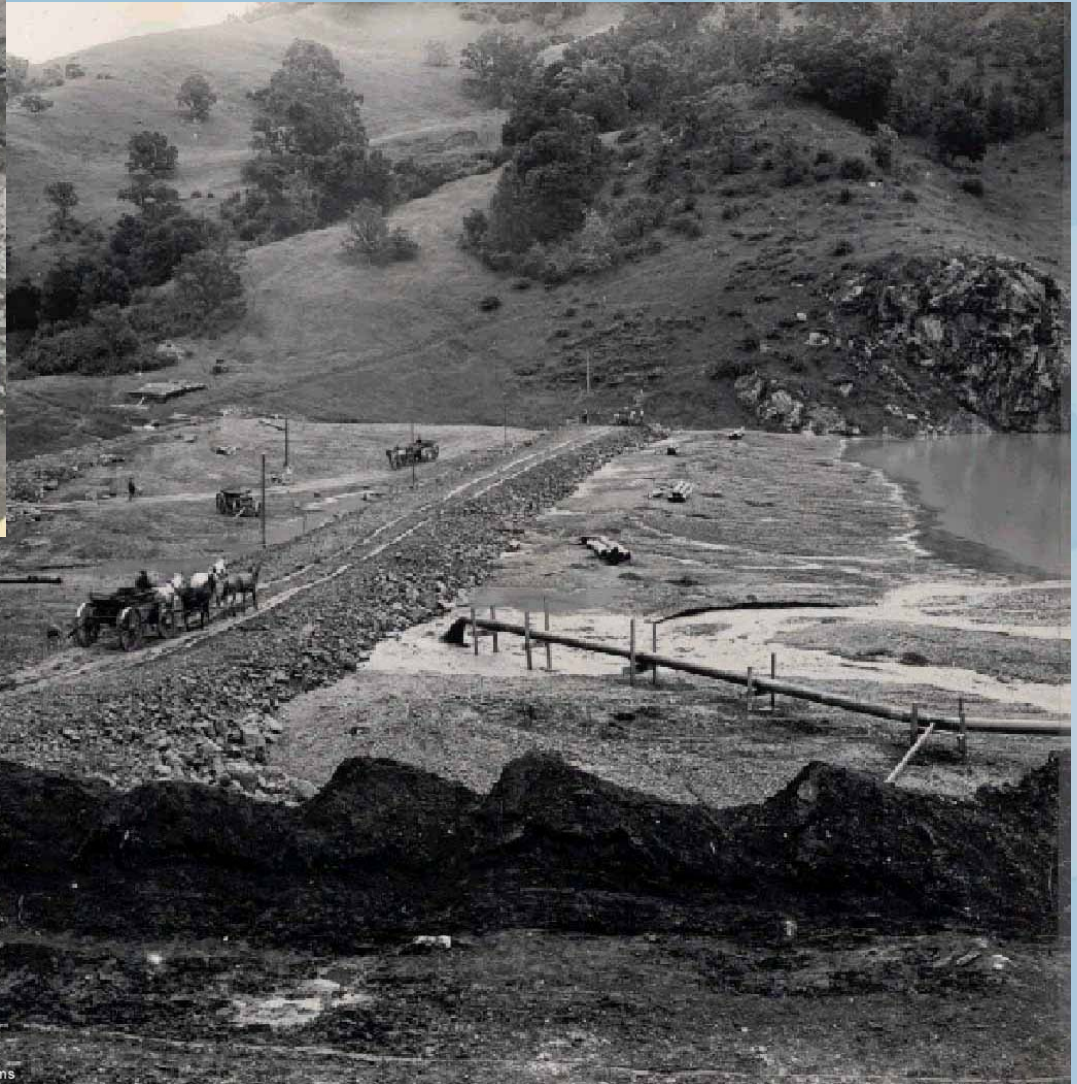
ชนิดเขื่อน Hydraulic fill ความสูง 43m ปีที่พิบัติ 1971







CA Dept. of Safety of Dams

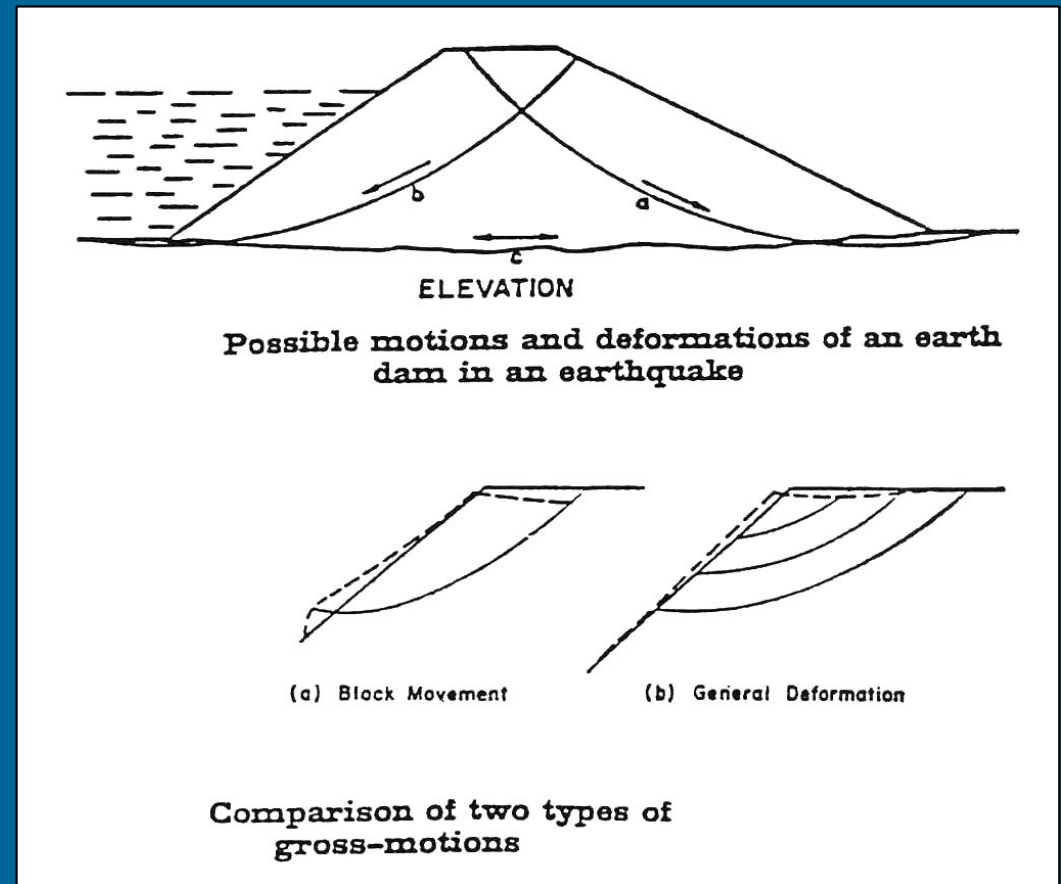
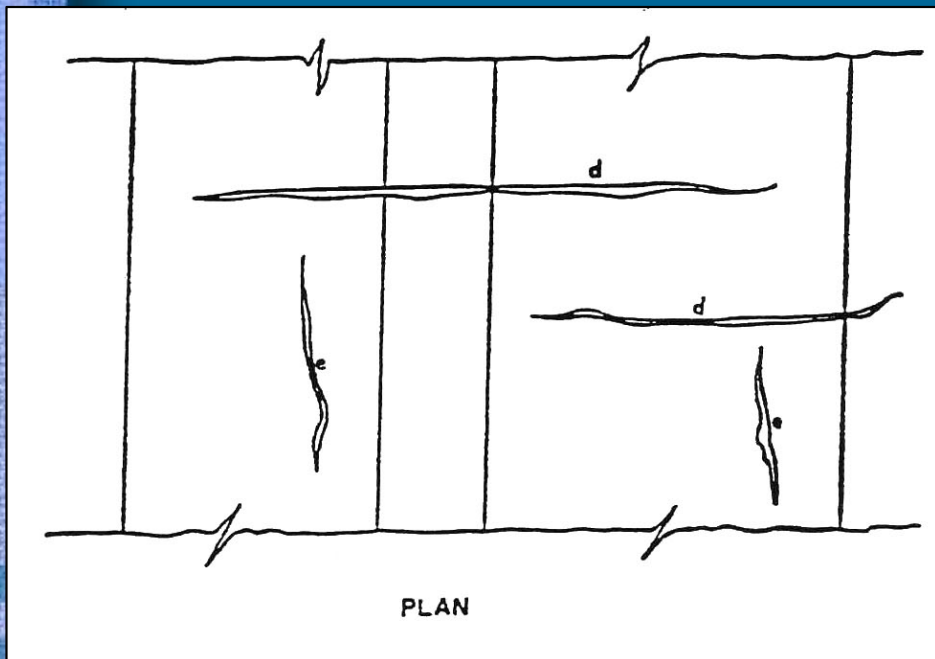


CA Dept. of Safety of Dams





Lateral spreading or seismic deformation



Kalpong hydro plant: Andaman & Nicobar Island

26 December 2005



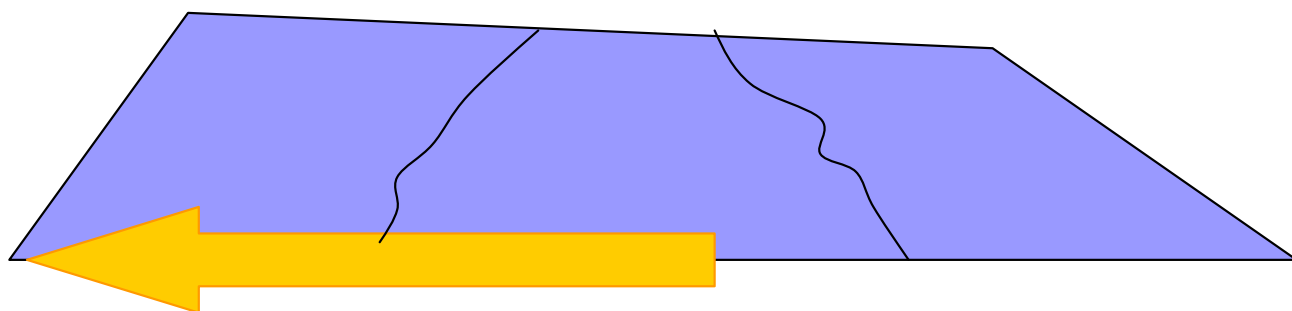
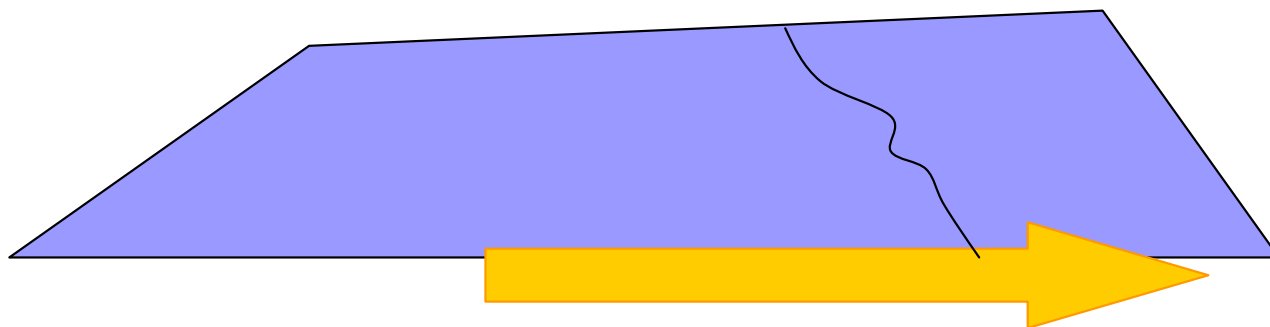
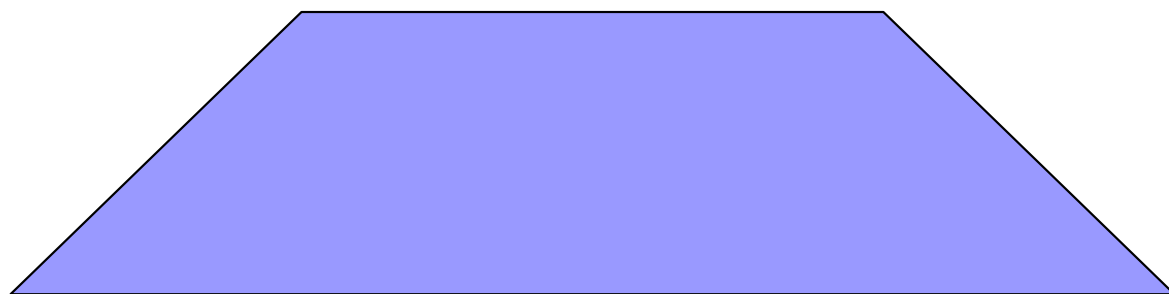
27m high, 146m long rockfill dam

เขื่อนชลประทาน India จาก Bhuj Earthquake, 7.4 Mw 26 ม.ค. 44

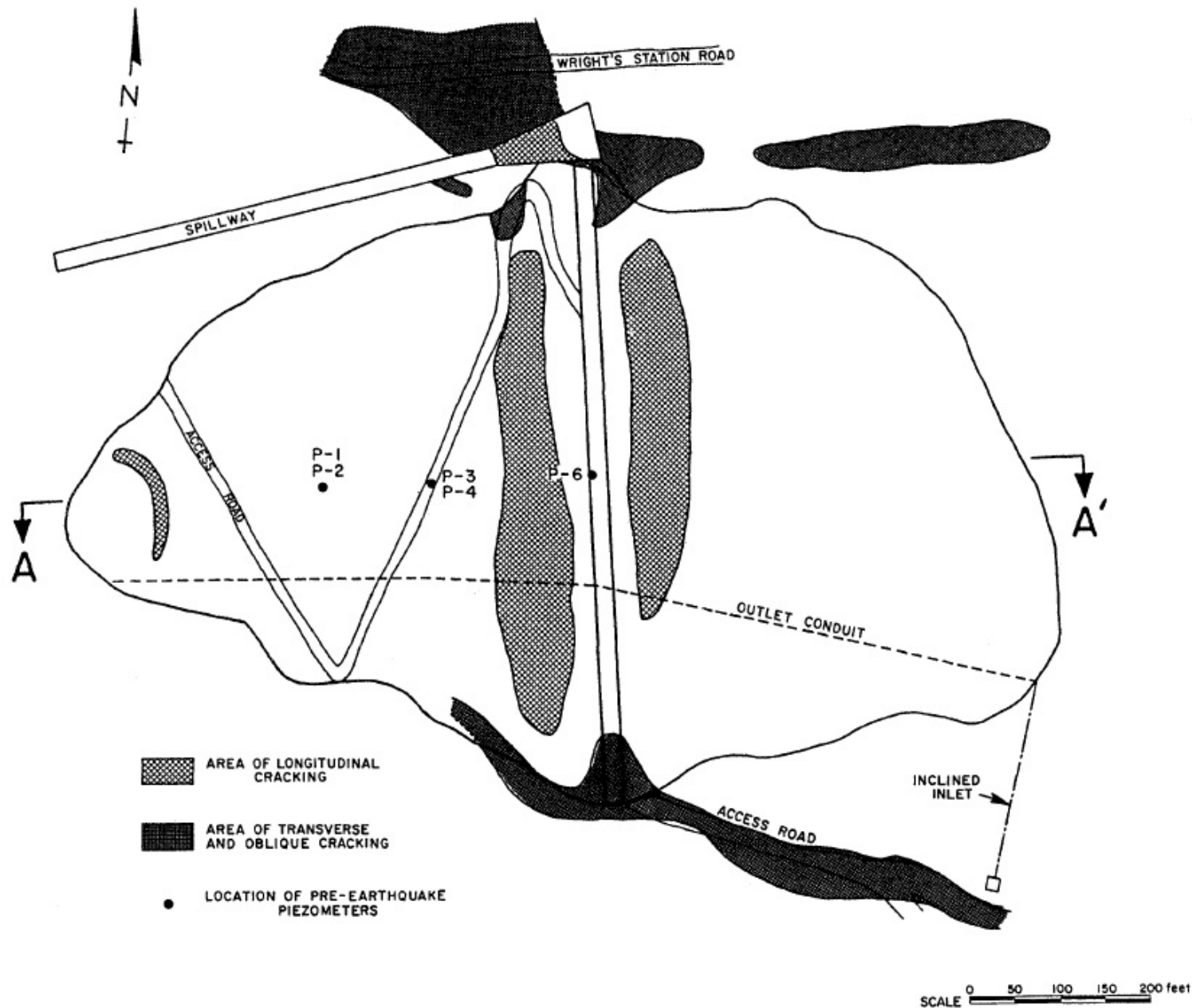






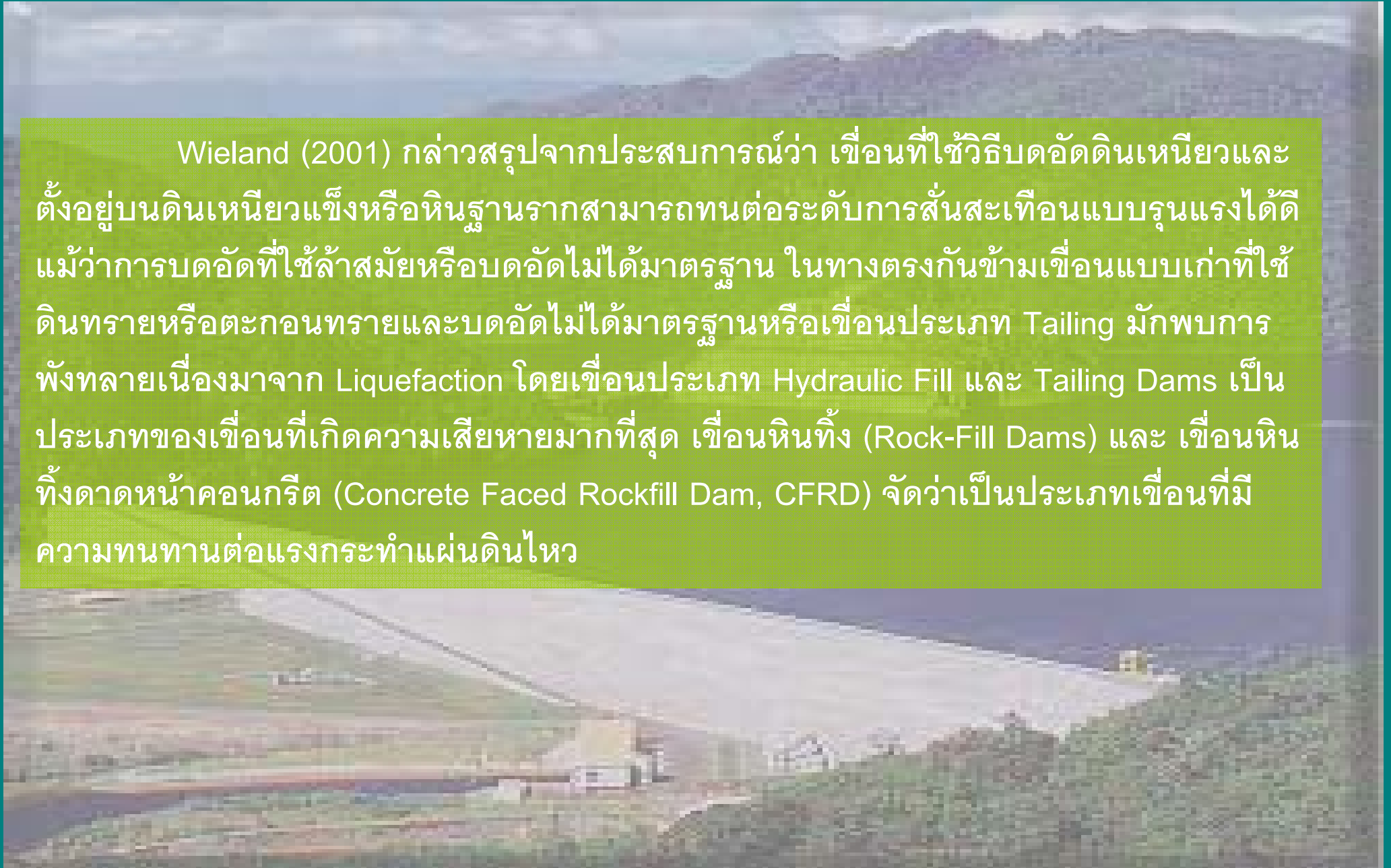


Austrian Dam-Loma Prieta Earthquake, 0.55-0.6g at base



ความเสียหายของเขื่อนดิน-เขื่อนหินถมจากแผ่นดินไหว

Wieland (2001) กล่าวสรุปจากประสบการณ์ว่า เขื่อนที่ใช้วิธีบดอัดดินเหนียวและตั้งอยู่บนดินเหนียวแข็งหรือหินฐานรากสามารถทนต่อระดับการสั่นสะเทือนแบบรุนแรงได้ดี แม้ว่าการบดอัดที่ใช้ล้าสมัยหรือบดอัดไม่ได้มาตรฐาน ในทางตรงกันข้ามเขื่อนแบบเก่าที่ใช้ดินทรายหรือตะกอนทรายและบดอัดไม่ได้มาตรฐานหรือเขื่อนประเภท Tailing มักพบการพังทลายเนื่องมาจาก Liquefaction โดยเขื่อนประเภท Hydraulic Fill และ Tailing Dams เป็นประเภทของเขื่อนที่เกิดความเสียหายมากที่สุด เขื่อนหินทิ้ง (Rock-Fill Dams) และ เขื่อนหินทิ้งคานหน้าคอนกรีต (Concrete Faced Rockfill Dam, CFRD) จัดว่าเป็นประเภทเขื่อนที่มีความทนทานต่อแรงกระทำแผ่นดินไหว



ความเสียหายของเขื่อนจากแผ่นดินไหว

เขื่อนหินทิ้งคานหน้าคอนกรีต (CFRD)

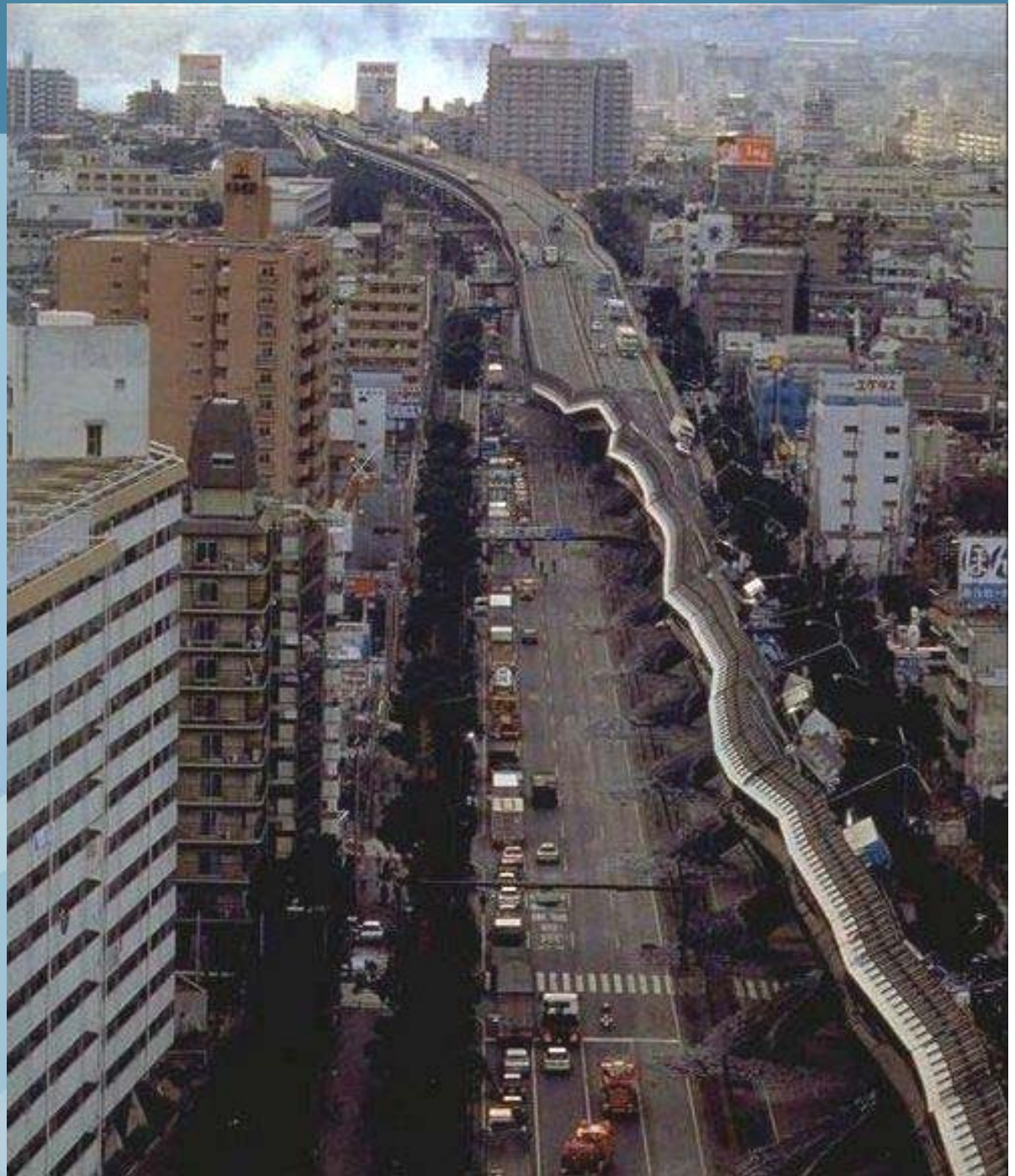
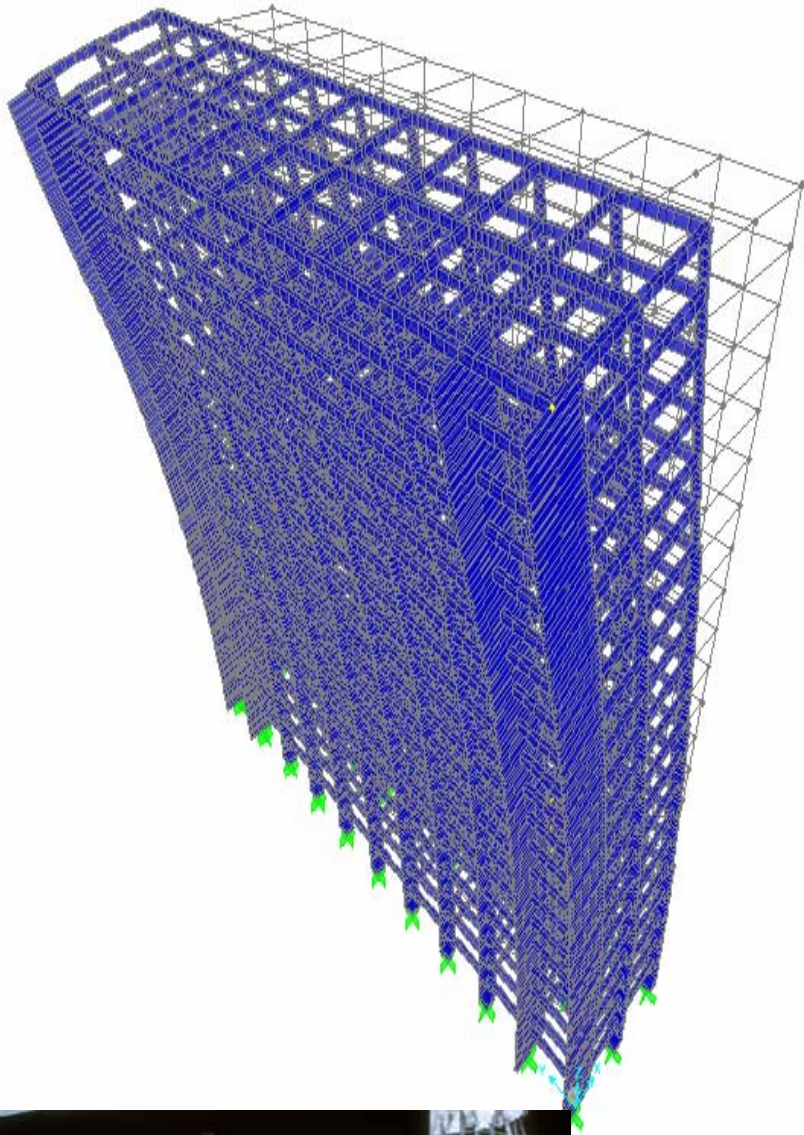


Sipingpu CFRD Dam After 12 May Sichuan Earthquake.
7.9 Richter and 17 km from dam site PGA 2.0g at crest

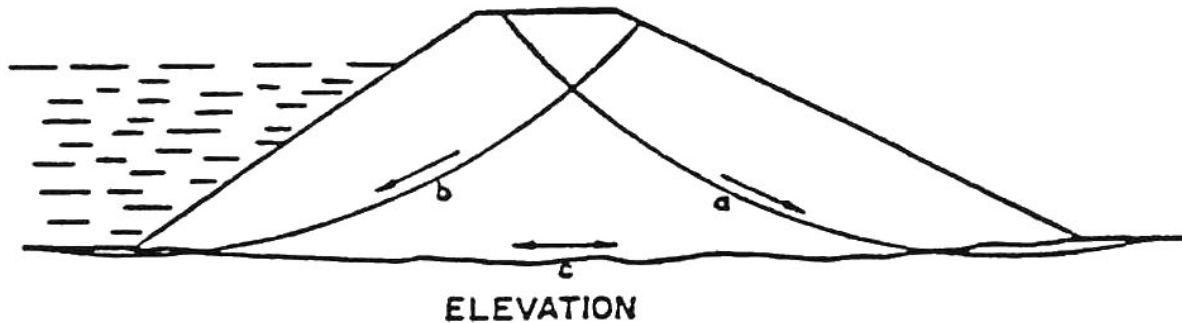
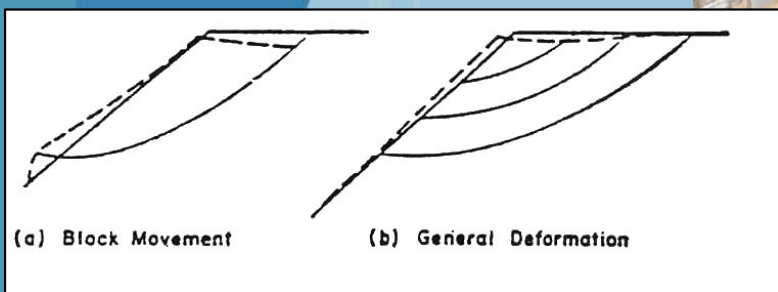
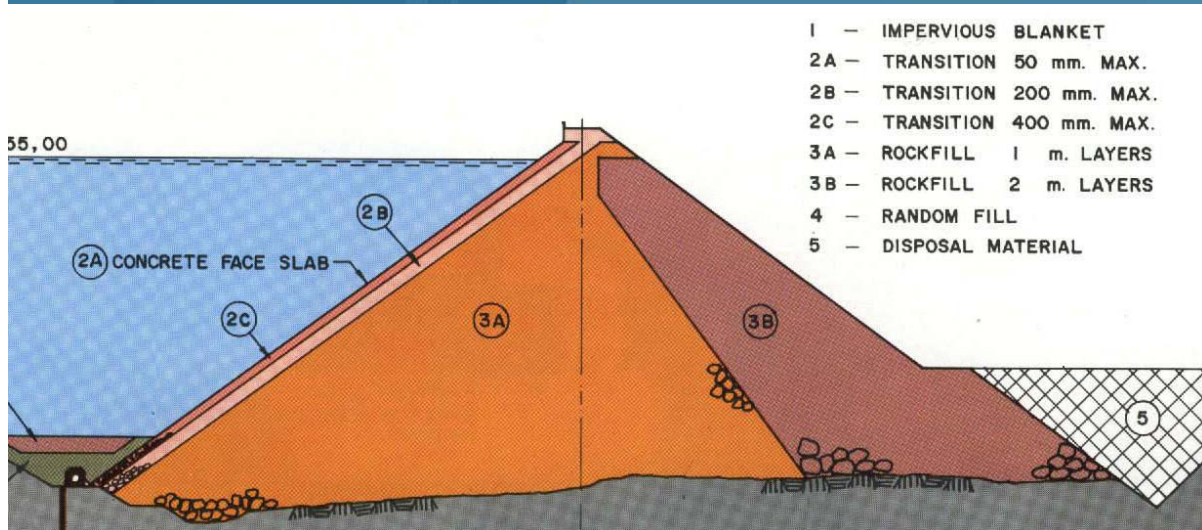


Dam Design Approach Against Earthquake Force

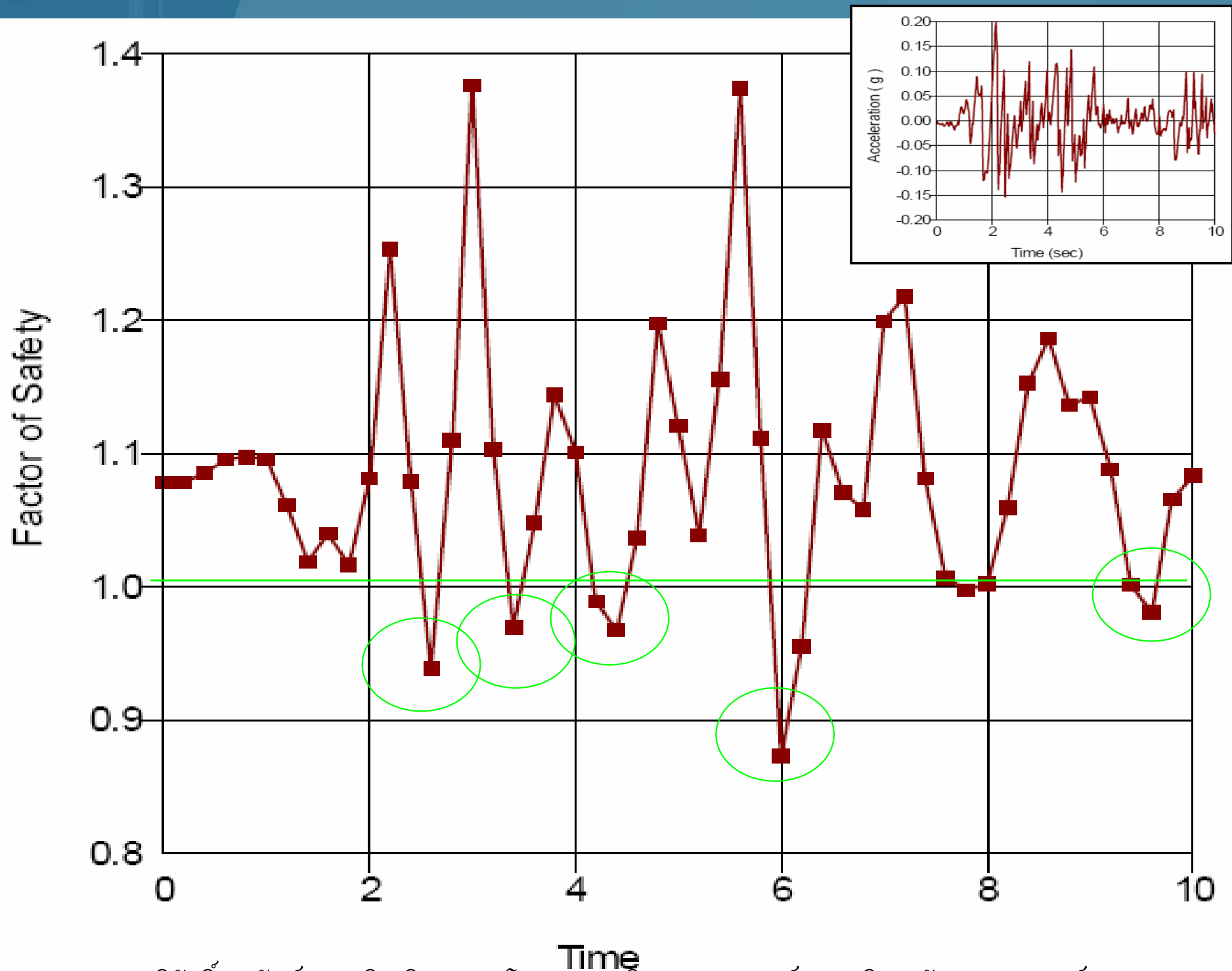
1. Pseudo Static Analysis
2. Dynamic Response Analysis



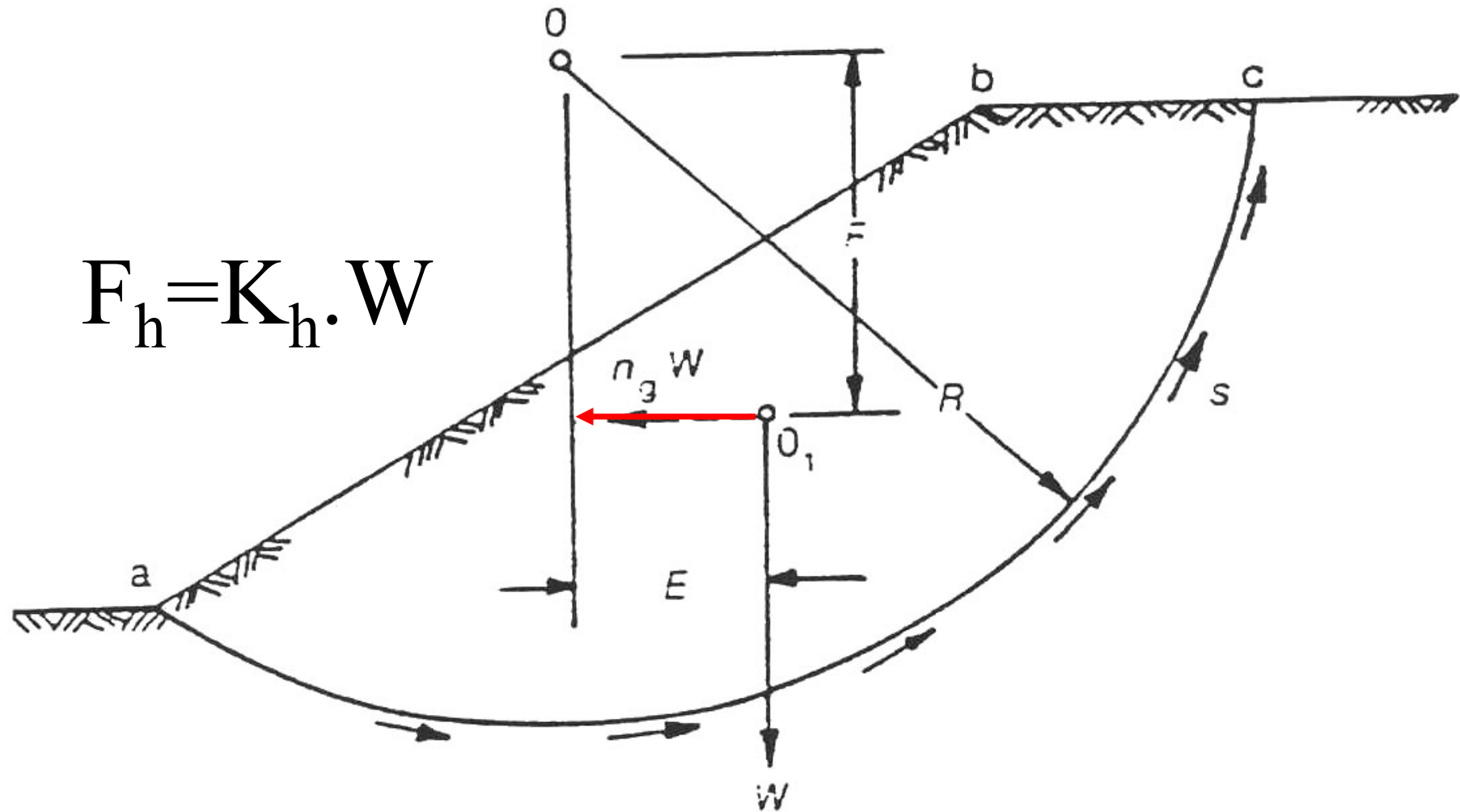
ผศ.ดร. สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



Possible motions and deformations of an earth dam in an earthquake



Pseudo-static Analysis



$$F_h = K_h \cdot W$$

Figure 2. Pseudo-static analysis for computing effect of earthquake on stability of a slope (after Terzaghi 1950) (Seed 1979)

Seismic Zone	Description of Seismic Zone	Seismic Coefficient
1	Minor damage, distant earthquakes may cause damage to structures with fundamental periods greater than 1.0 sec; corresponds to intensities V and VI of the Modified Mercalli scale.	0.005
2	Moderate damage; corresponds to Modified Mercalli Scale VII.	0.10
3	Major damage; corresponds to Modified Mercalli Scale VIII and higher.	0.15
4	Those areas within Zone 3 determined by the proximity to certain major fault systems.	0.20

Seed(1979) ยังได้กล่าวอีกว่าสำหรับ

เขื่อนที่เกิดแผ่นดินไหวและมีค่าความเร่งที่สันเขื่อนน้อยกว่า 0.75g สามารถวิเคราะห์ Pseudostatic โดยใช้ค่า F.S. จำกัดที่ 1.15 และ $K_h = 0.10$ สำหรับ $M=6.5$ และ $K_h=0.15$ สำหรับ $M=8.25$

PGA (PEAK GROUND ACCELERATION)

**Site Specific Seismic Hazard Analysis
(SHA, PHA)**

SEISMIC HAZARD MAPS

กรมป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย(ปภ.)

Seismic Hazard Map for Southeast Asia

Warnitchai and Ade Lisantono, 1996

PGA FOR DAM

OBE: Operating Basis Earthquake

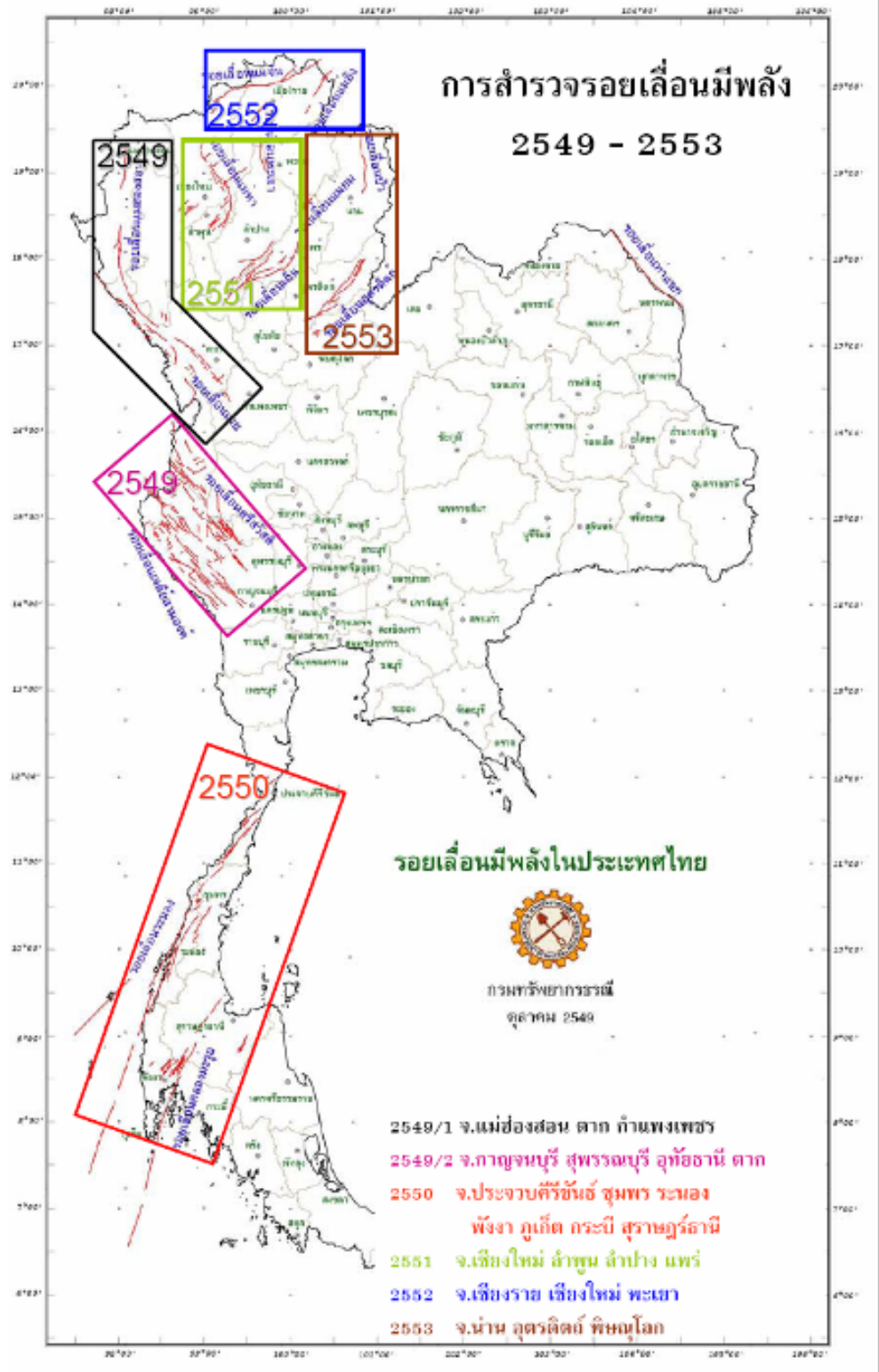
Earthquake that shall not cause any problem with the operation of the dam if lower than OBE. (50% probability of exceedance in 100 years)

MCE: Maximum Credible Earthquake

Earthquake that shall cause the operation disruption, some damage shall be found but the total failure shall not be occurred if lower than this.



การสำรวจรอยเลื่อนมีพลัง 2549 - 2553

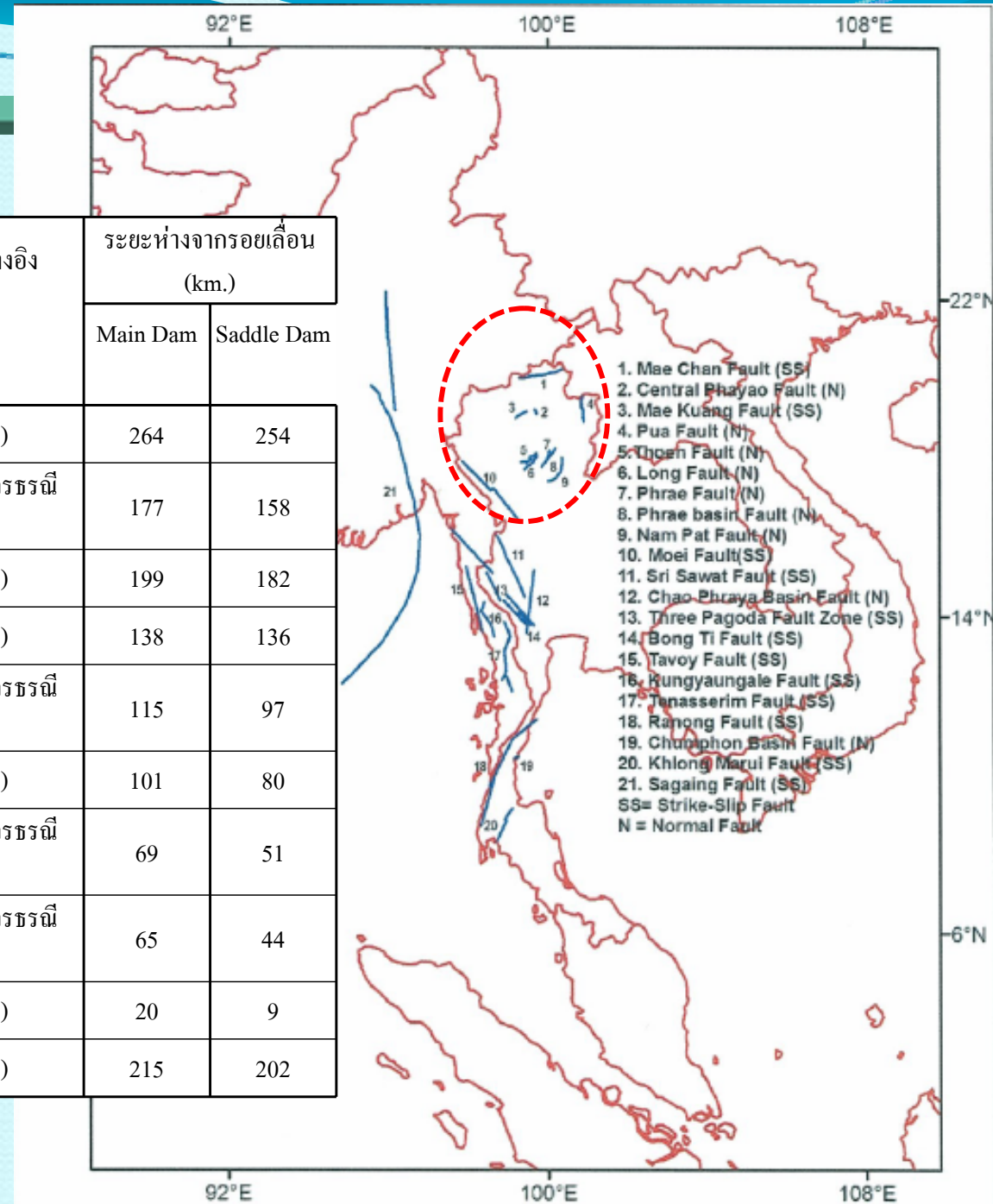


แผนการดำเนินงานของกรมทรัพยากรธรณี

ปี พ.ศ.	กลุ่มรอยเลื่อน	พื้นที่จังหวัด
2549/1	รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน รอยเลื่อนเมย	แม่ฮ่องสอน ตาก กำแพงเพชร
2549/2	รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ รอยเลื่อนเจดีย์สาม องค์	กาญจนบุรี สุพรรณบุรี อุทัยธานี ตาก
2550	รอยเลื่อนระนอง รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย	ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ สุราษฎร์ธานี
2551	รอยเลื่อนแม่ทา รอยเลื่อนเถิน	เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง แพร่
2552	รอยเลื่อนแม่จัน รอยเลื่อนพะเยา	เชียงราย เชียงใหม่ พะเยา
2553	รอยเลื่อนปัว รอยเลื่อนอุตรดิตถ์	น่าน อุตรดิตถ์ พิษณุโลก

1. Seismic hazard analysis (SHA)

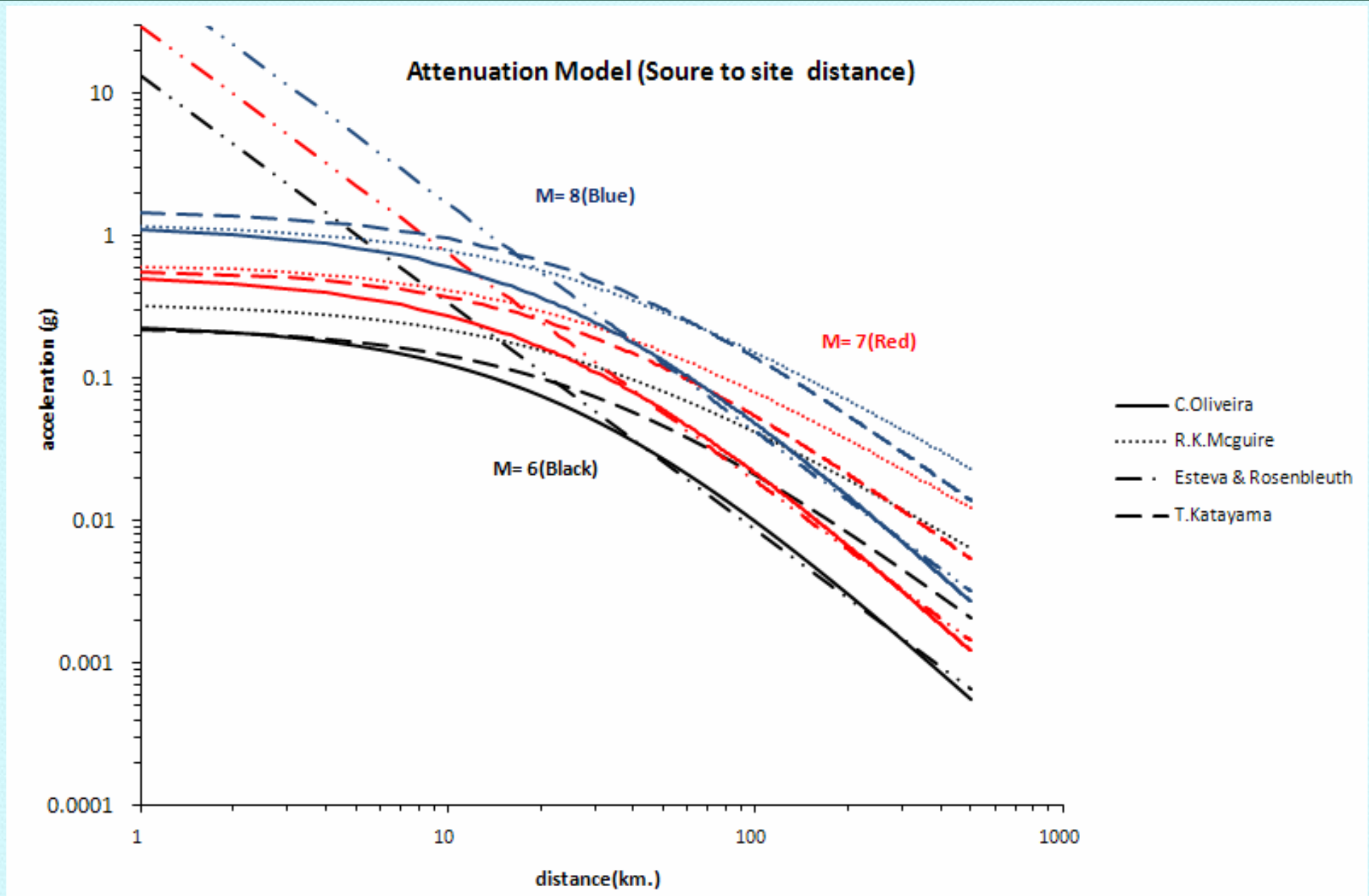
ชื่อรอยเลื่อน	ความยาว รอยเลื่อน (km.)	ขนาดแผ่นดินไหว เฉพาะ	คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	แหล่งอ้างอิง	ระยะห่างจากรอยเลื่อน (km.)	
					Main Dam	Saddle Dam
แม่จัน	118.00	7.5	19711	USGS (2007)	264	254
พะเยา	28.00	6.8	11439	กรมทรัพยากรธรณี (2539)	177	158
แม่กวาง	35.14	6.9	3367	USGS (2007)	199	182
ปัว(ทุ่งช้าง)	38.09	6.9	2346	USGS (2007)	138	136
เถิน(แม่เถิน)	40.00	7.0	2394	กรมทรัพยากรธรณี (2539)	115	97
ลอง(ส่วนเหนือ)	31.00	6.8	12245	USGS (2007)	101	80
แพร่(ส่วนกลาง)	26.00	6.7	10699	กรมทรัพยากรธรณี (2539)	69	51
อ่างแพร่ (ส่วนกลาง)	26.00	6.7	10699	กรมทรัพยากรธรณี (2539)	65	44
น้ำปาด	20.00	6.6	8878	USGS (2007)	20	9
เมย	226.00	7.5	5450	USGS (2007)	215	202



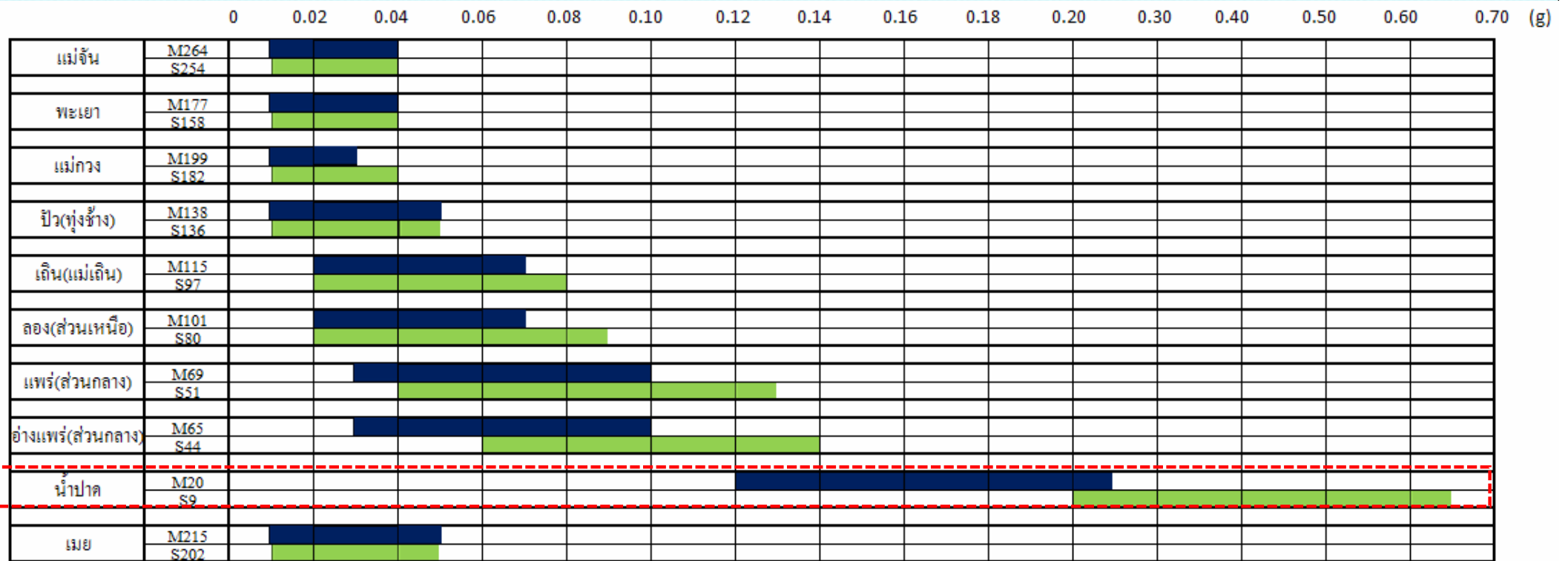
ที่มา : กรมป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย(ปภ.) (2552)

รูปที่ 5.2-9 แผนที่แสดงรอยเลื่อนที่ใช้ในแบบจำลองแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในโครงการ

1. Seismic hazard analysis (SHA)



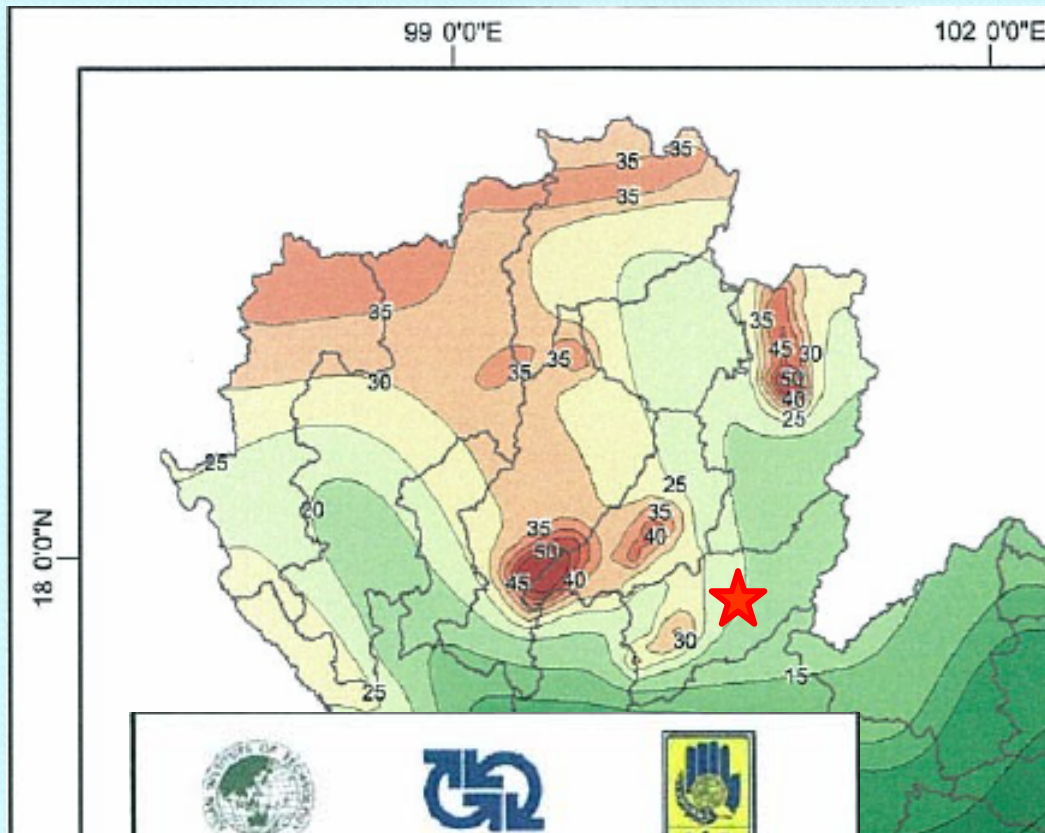
1. Seismic hazard analysis (SHA)



Criteria for earthquake events recorded by SMA

Major level	Vertical	Horizontal	Ref	Expected behavior if over	Required action
1	0.059	0.092	OBE	Possible minor damage to dam body but shall be safe	Immediate visual inspection, instrumentation analysis for every 6 hours for 48 hours or until normal, possible for reservoir lowering
2	0.217	0.322	MCE	Major damage is expected, Risk of dam break	Downstream warning issue, Evacuation preparation, Immediate reservoir lowering

2. SEISMIC HAZARD MAPS ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (ปภ.)



MAIN DAM >> 100.56E 17.76 N

SADDLE DAM >> 100.39E 17.83 N

PGA ประมาณ 0.20-0.25 g



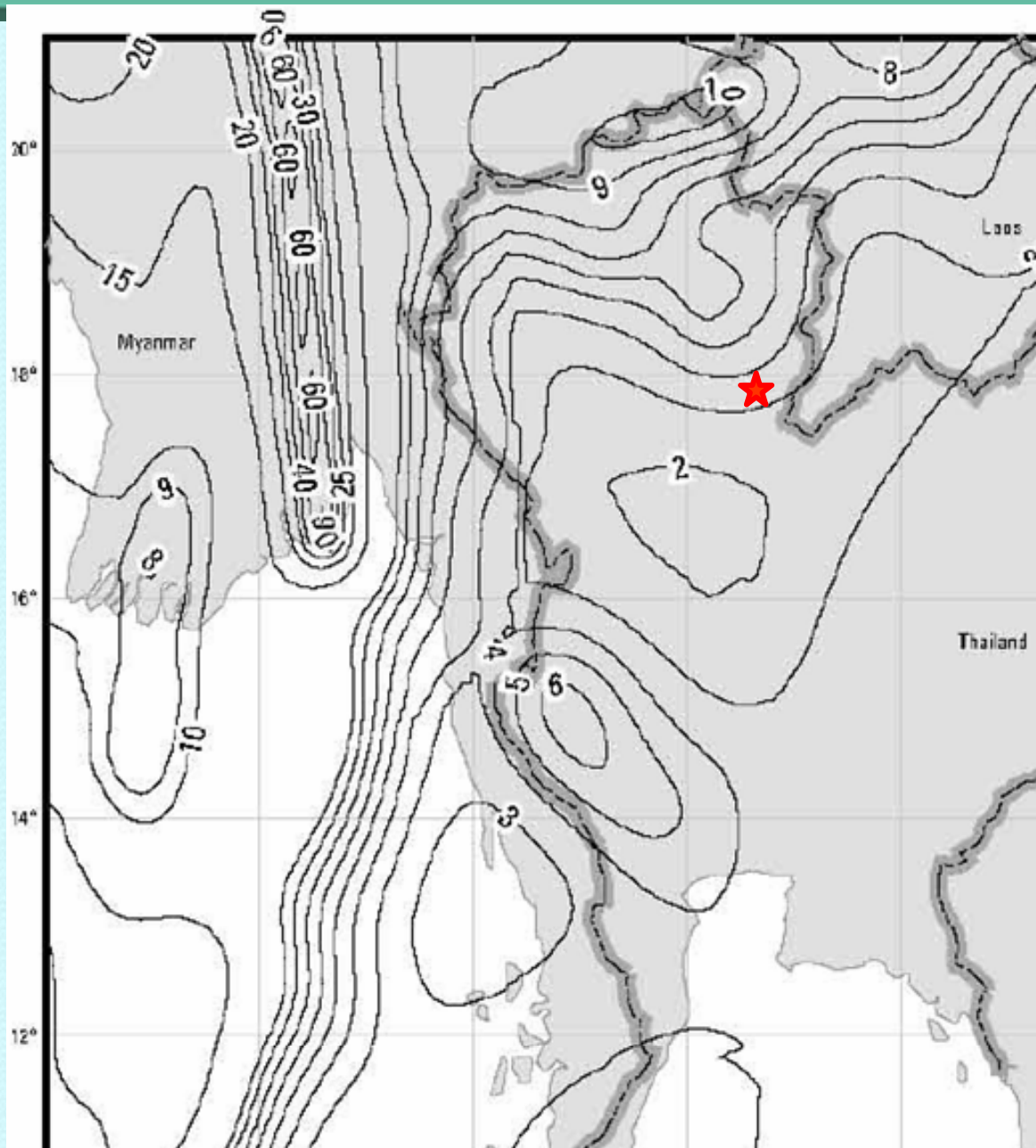


รูปที่ 5.3-6

**แผนที่แสดงค่าอัตราเร่งสูงสุด (PGA) ของแผ่นดินไหว
ที่มีโอกาสเพียง 2% ที่จะมีค่าสูงกว่าในคาบเวลา 50 ปี**
(สภาพชั้นดินสมมุติให้มีความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงจากผิวดิน
ถึงความลึก 30 เมตร เท่ากับ 760 เมตร/วินาที)

Site Class	Soil Type	Average Shear Wave Velocity (m/s)
A	หินแข็ง	$\bar{V}_{S,30} > 1,500$
B	หิน	$760 < \bar{V}_{S,30} \leq 1,500$
C	ดินแน่นมากและหินผุ	$360 < \bar{V}_{S,30} \leq 760$
D	ดินแข็ง	$180 < \bar{V}_{S,30} \leq 360$
E	ดินอ่อน	$\bar{V}_{S,30} < 180$

2. SEISMIC HAZARD MAPS FOR SOUTHEAST ASIA



MAIN DAM >> 100.56E 17.76 N

SADDLE DAM >> 100.39E 17.83 N

PGA ประมาณ 0.03-0.04 g

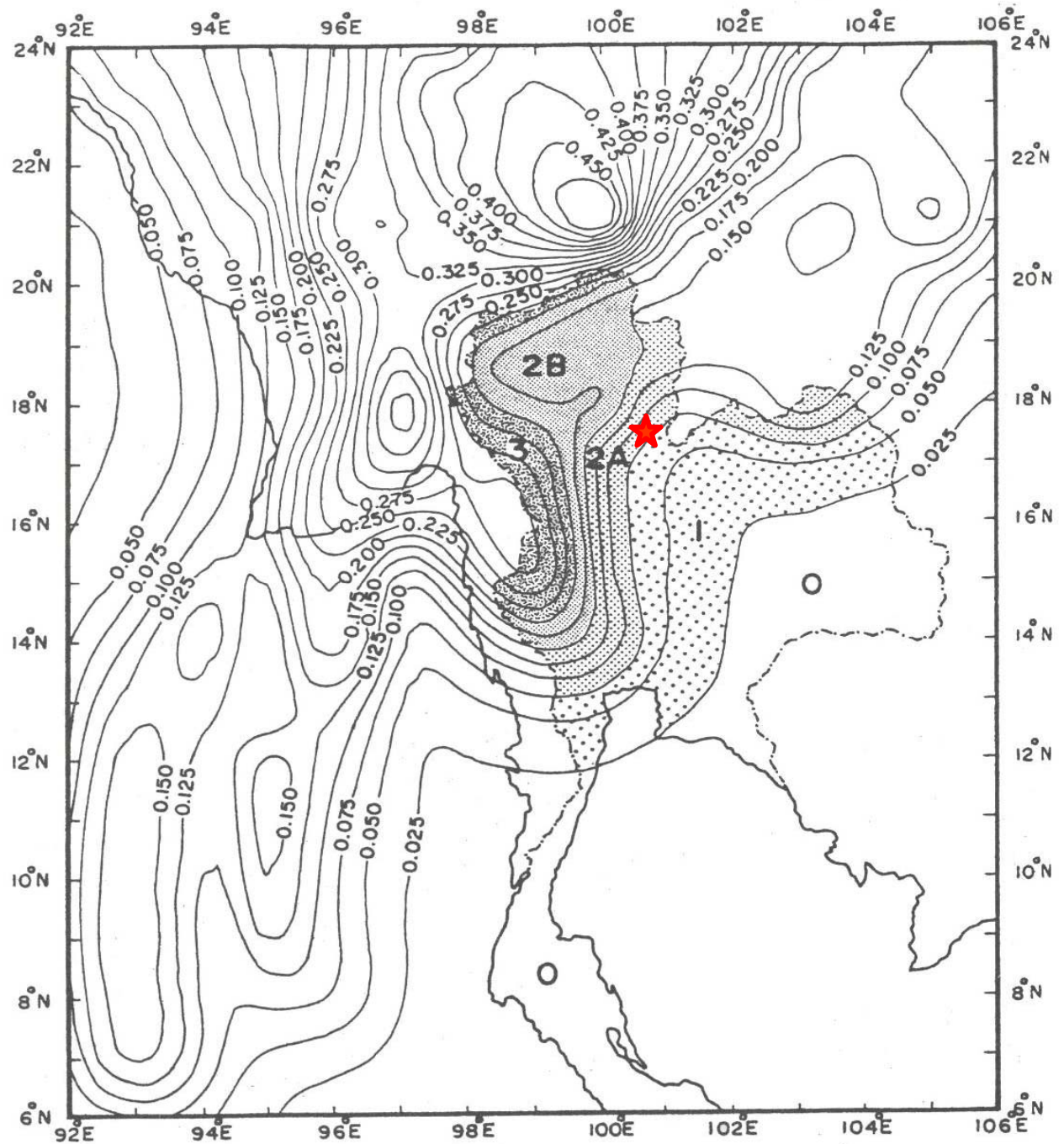
PGA ของแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเพียง
10 % ที่มีค่าสูงกว่าในคาบเวลา 50 ปี
(หรือ Return Period 500 ปี)
(Firm Rock)

2. SEISMIC HAZARD MAPS

MAIN DAM >> 100.56E 17.76 N

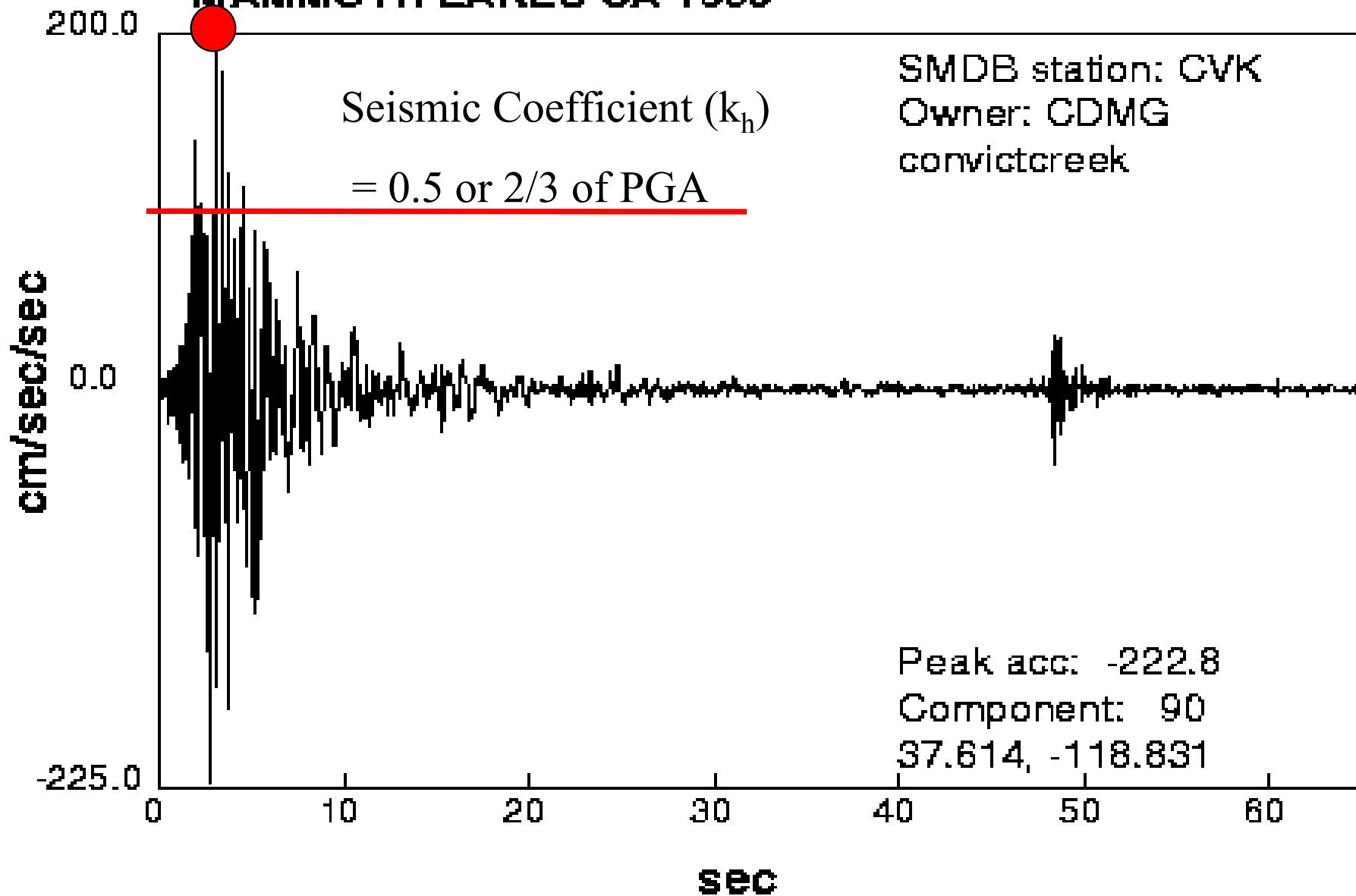
SADDLE DAM >> 100.39E 17.83 N

PGA ประมาณ 0.100-0.125 g



ที่มา : Warnitchai and Ade Lisantono(1996)

MAMMOTH LAKES CA 1980

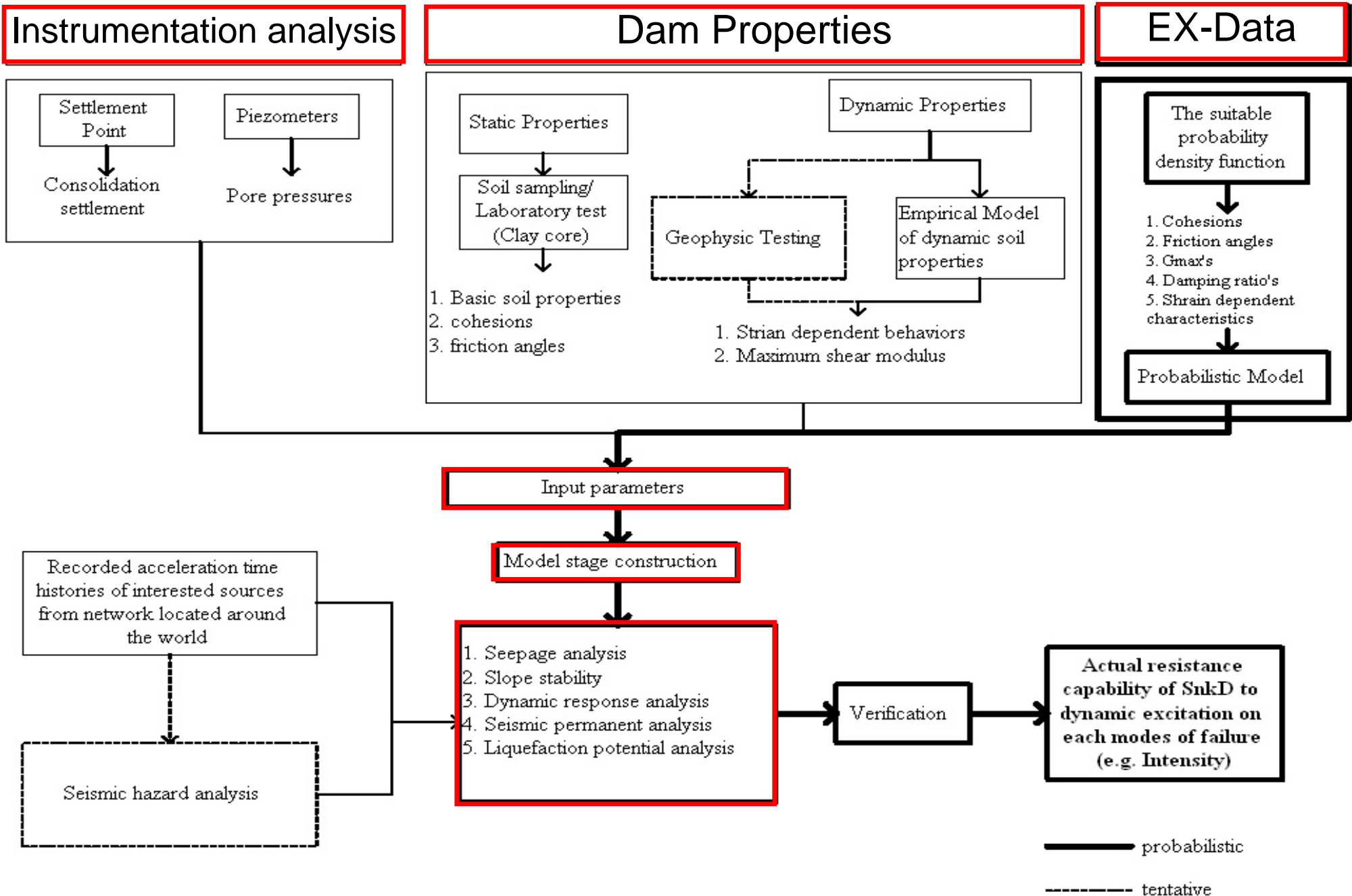


ผลการวิเคราะห์ความมั่นคงกรณีใช้ K_y เท่ากับ 0.15g

SLIP SURFACE	Safety Factor, F.S.	
	EGAT	GERD
Downstream Slope	1.054	1.050
Upstream Slope 1 (Smaller)	0.956	0.938
Upstream Slope 2 (Larger)	0.996	0.982



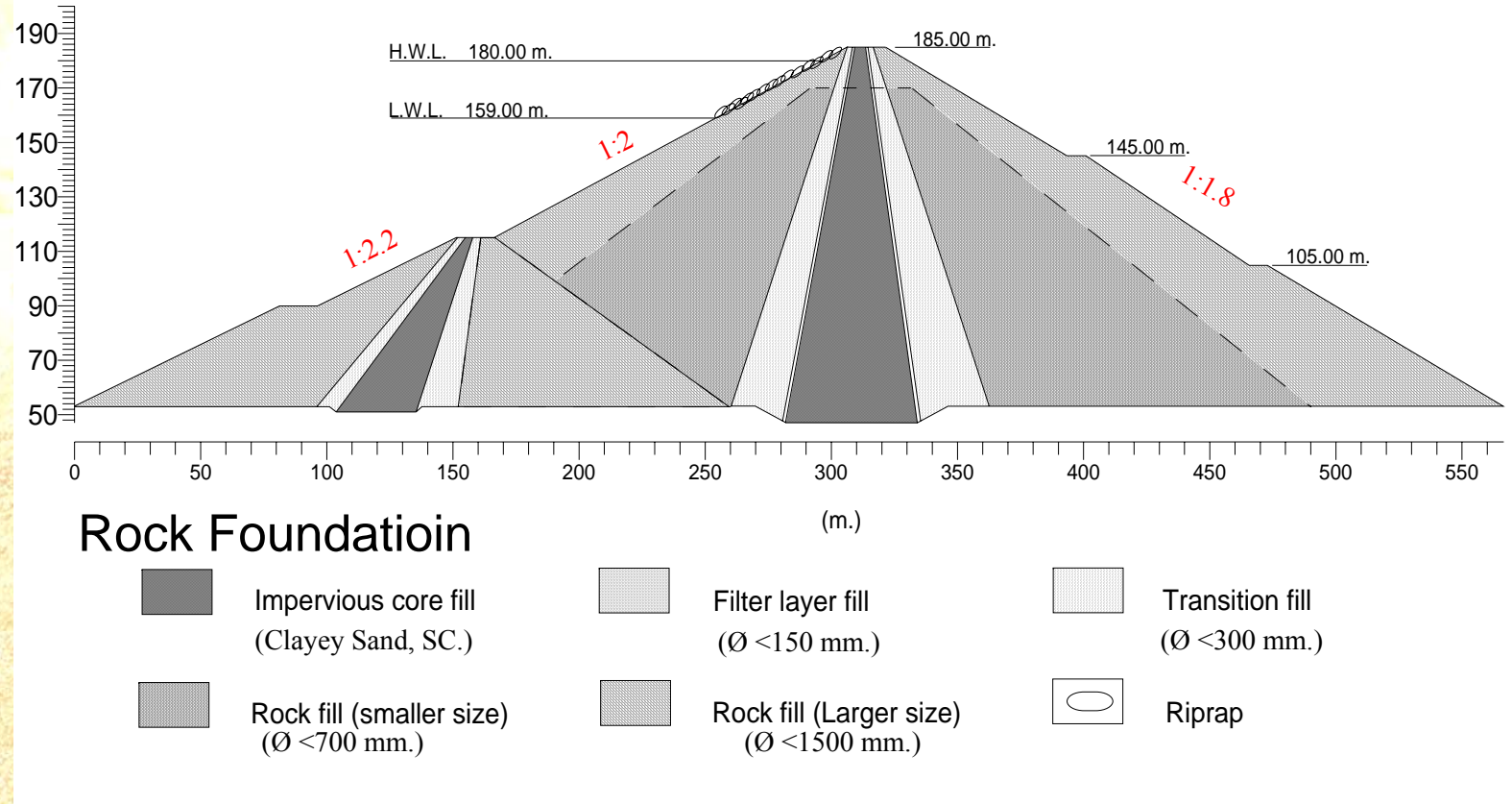
Dynamic Response Analysis



Construction
started: 1973

First filling: 1977

Year of service:
32 Years



Location : Western part of Thailand, 2A seismic zone

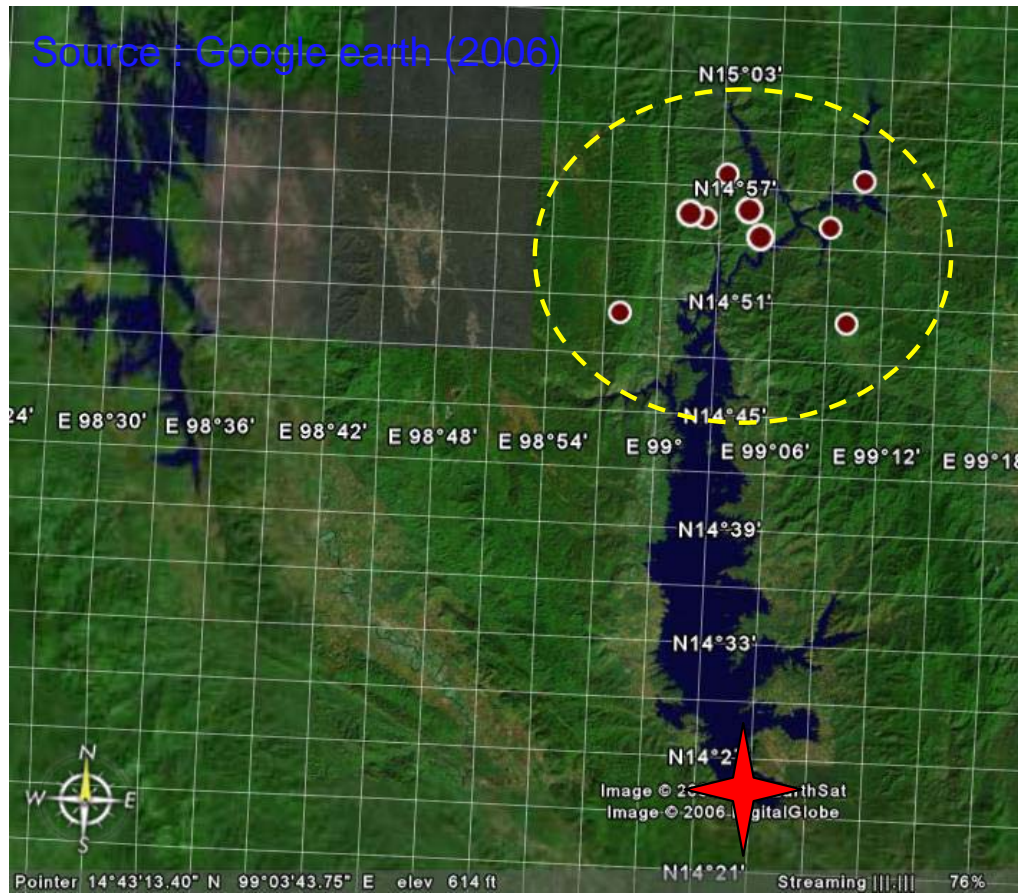
Type of dam : Rockfill with center impervious core

Height : 140 m. Crest length : 185 m.

Reservoir Capacity : 17,745 million m³

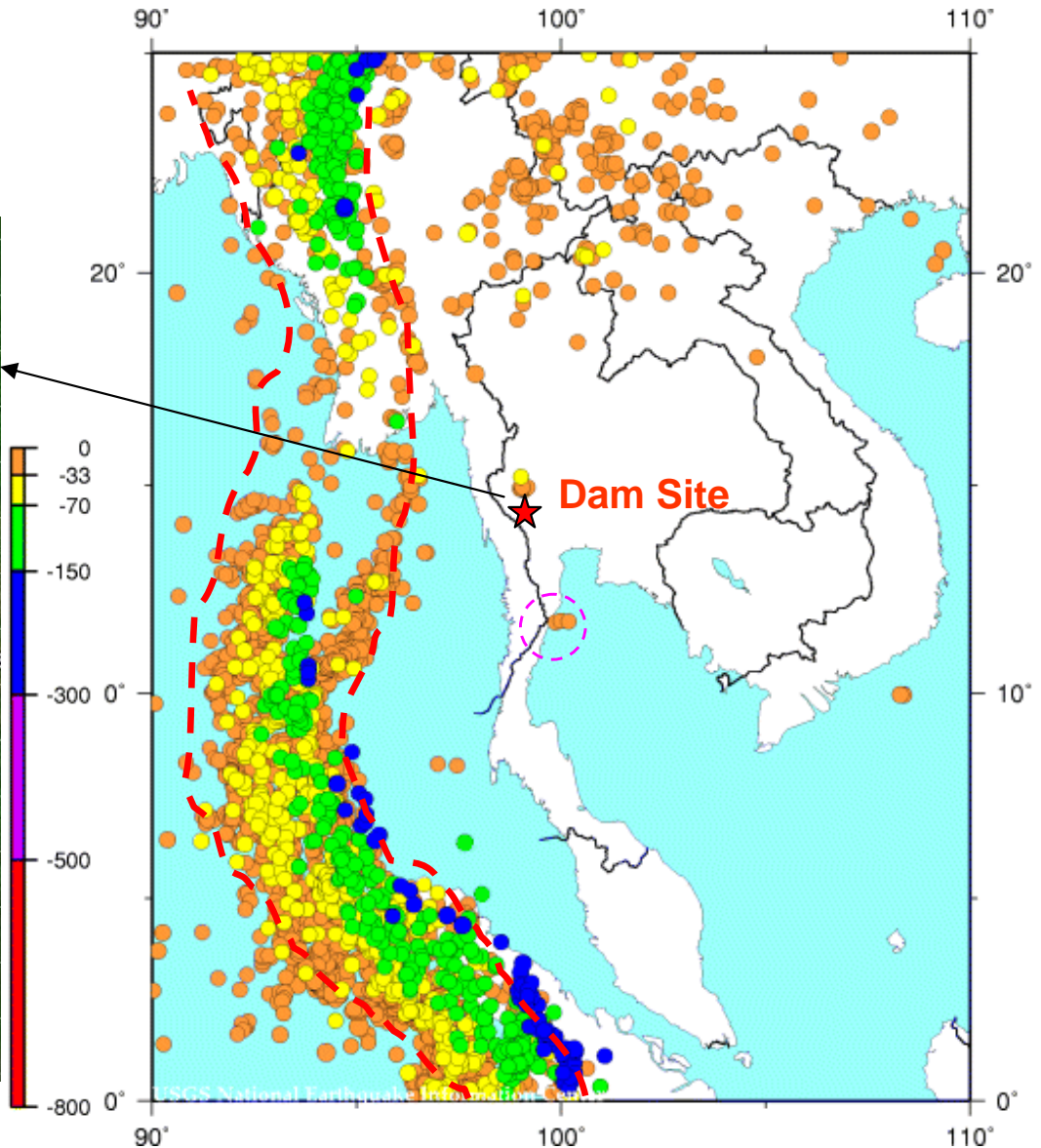
$K_h = 0.1$

Seismic Activities



RTS : 1983, 5.9 MI

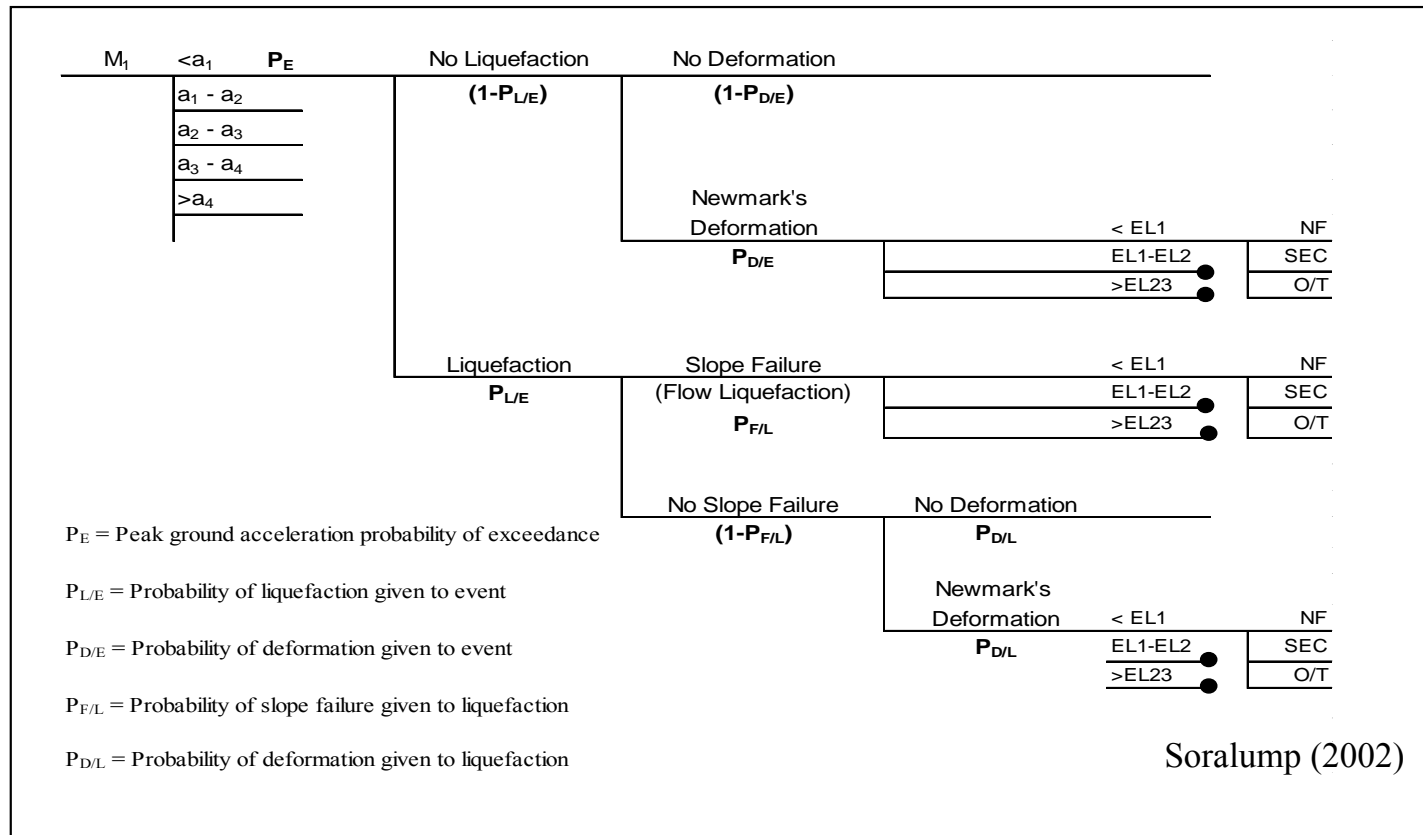
Epicenter distance from dam 58 km



Epicenter with magnitude >5 MI from 1973 – 2006.

Source: U.S. Geological Survey (2006)

Seismic safety analysis of dam as a preventive maintenance program by using dynamic response analysis



OT
SEC

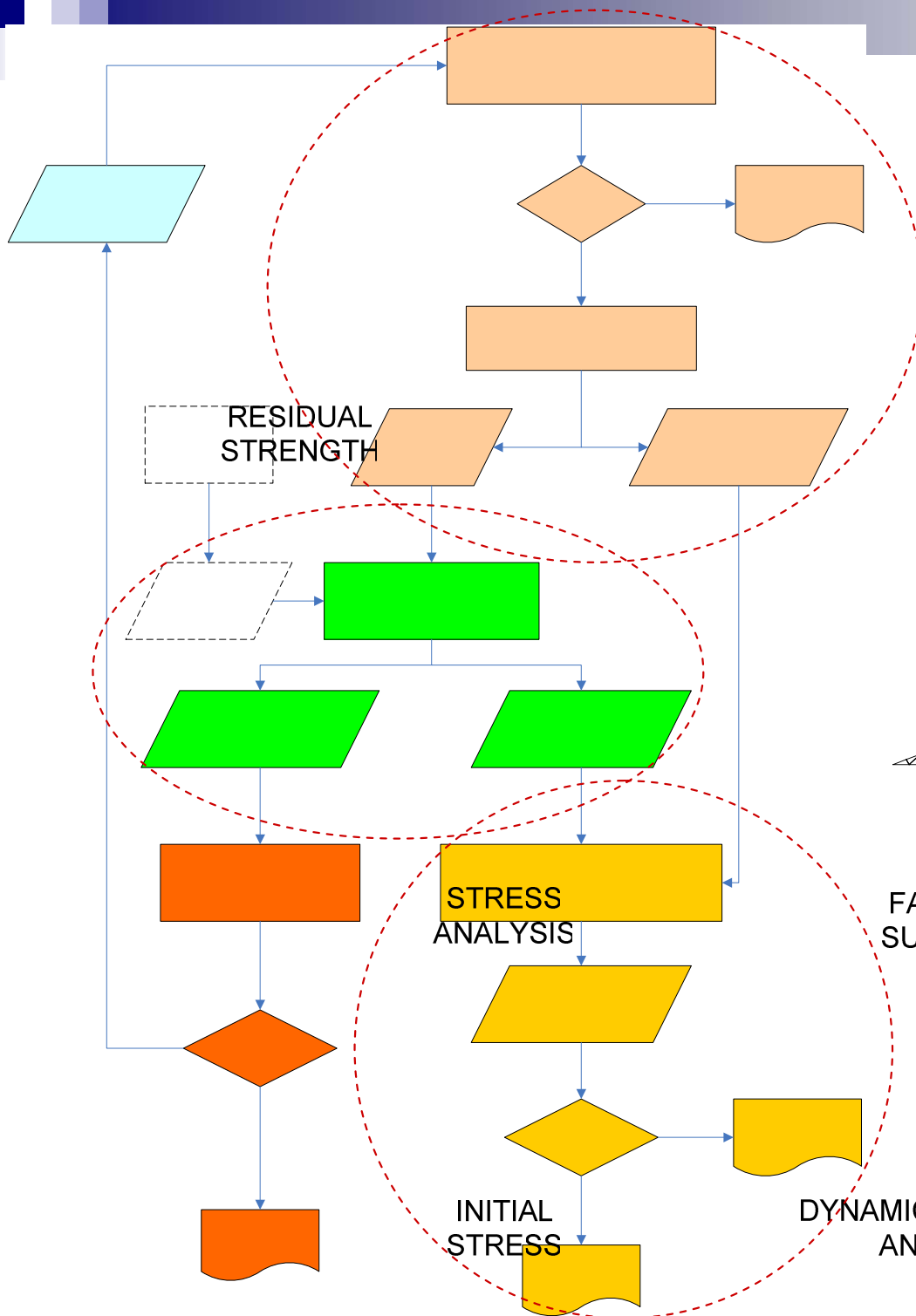
Seismic performance (short term) : Crest deformation

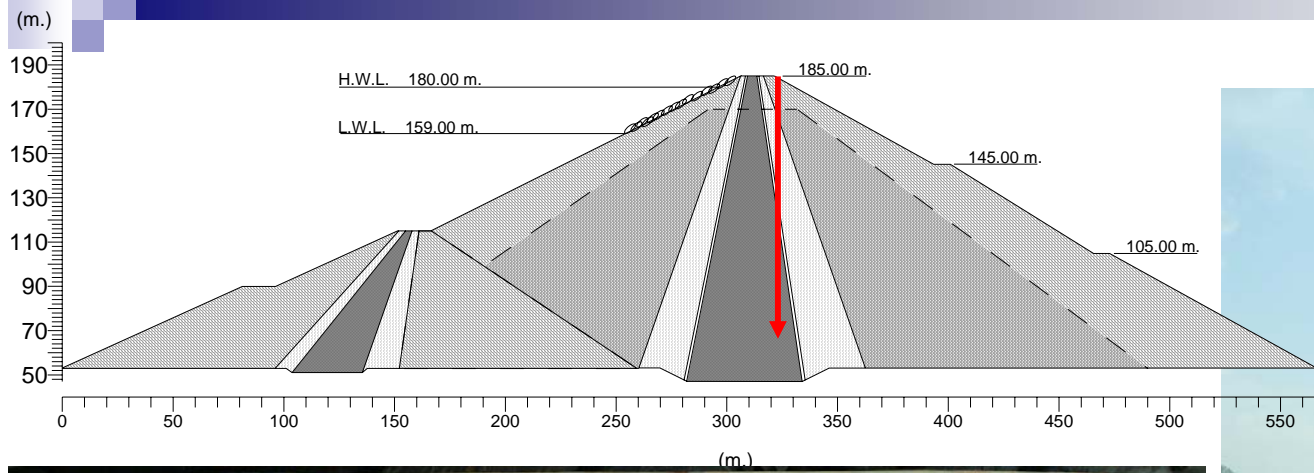
(long term) : SEC

System performance : Critical acceleration

SLOPE STABILITY ANALYSIS
(STATIC ANALYSIS)

Dynamic Analysis Approaches

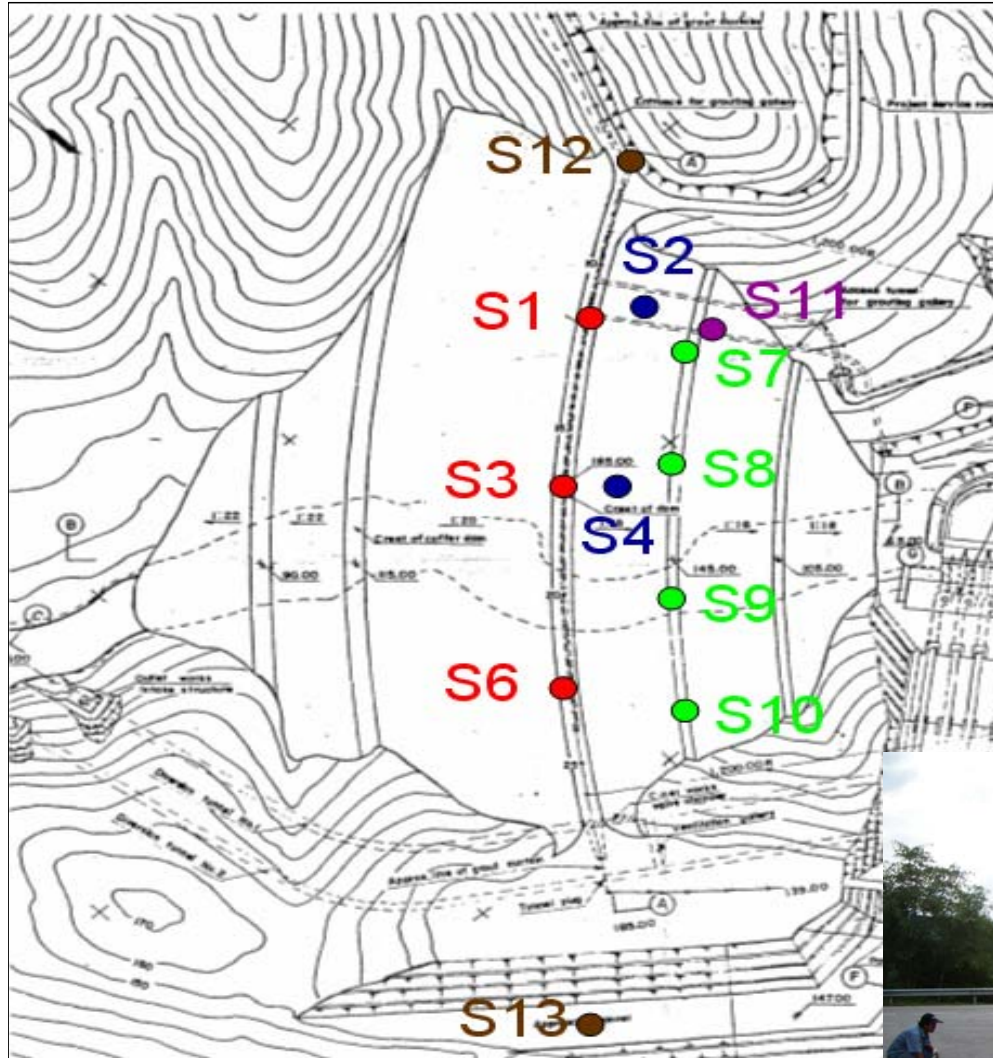




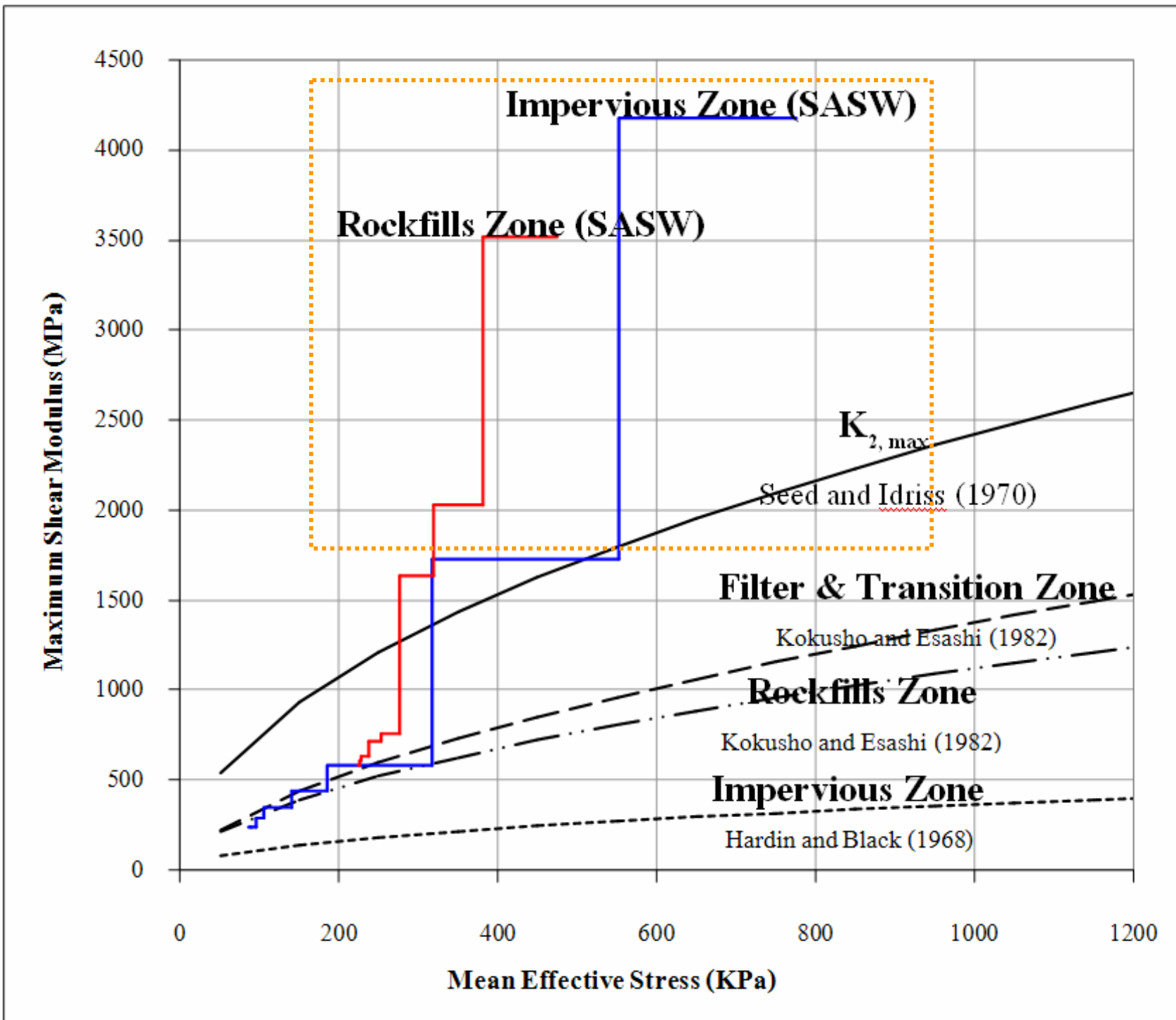
Sandy Clay with rock fragment of quartzite and limestone.



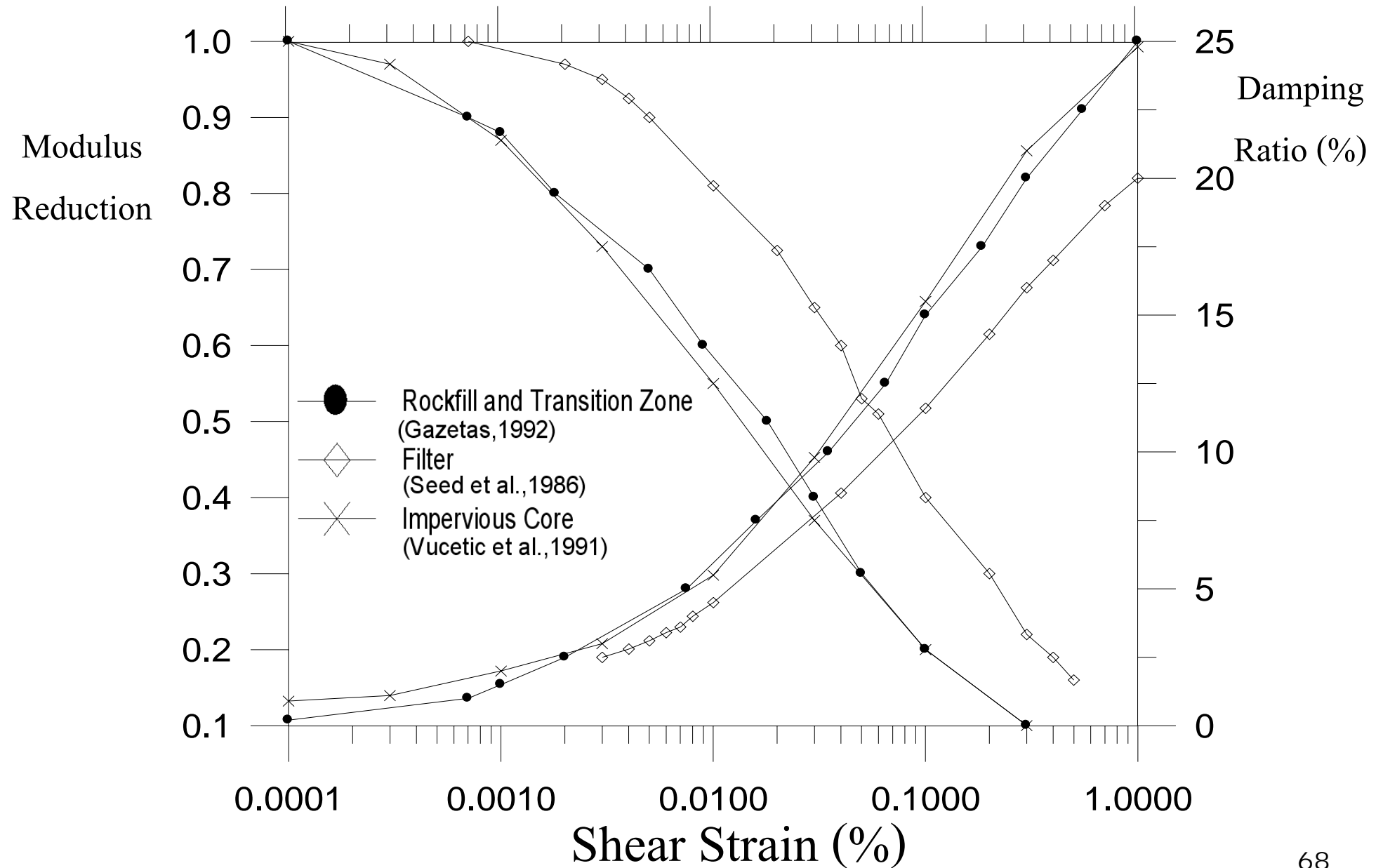
SASW Testing for Gmax by Utah State University (Dr. James A. Bay)



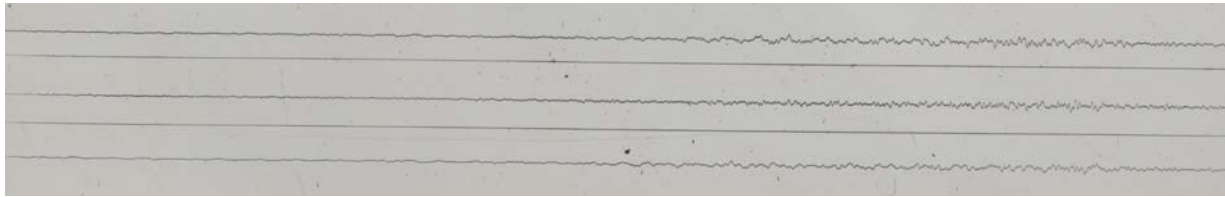
MAXIMUM SHEAR MODULUS



Strain-Compatible Properties for linear-equivalent method



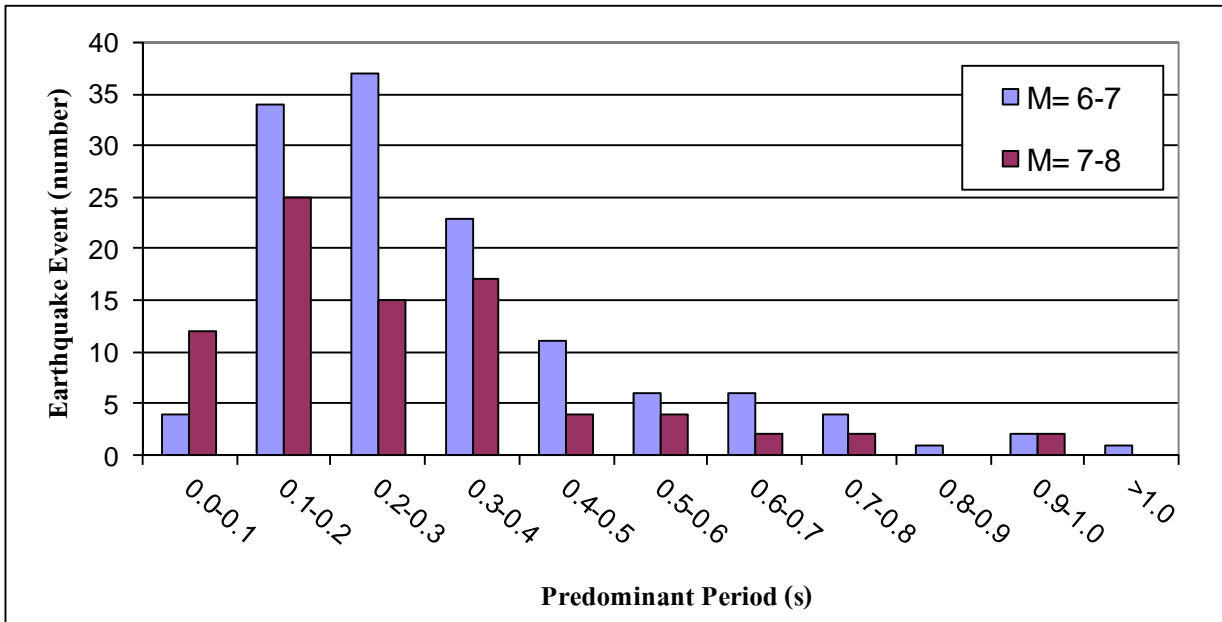
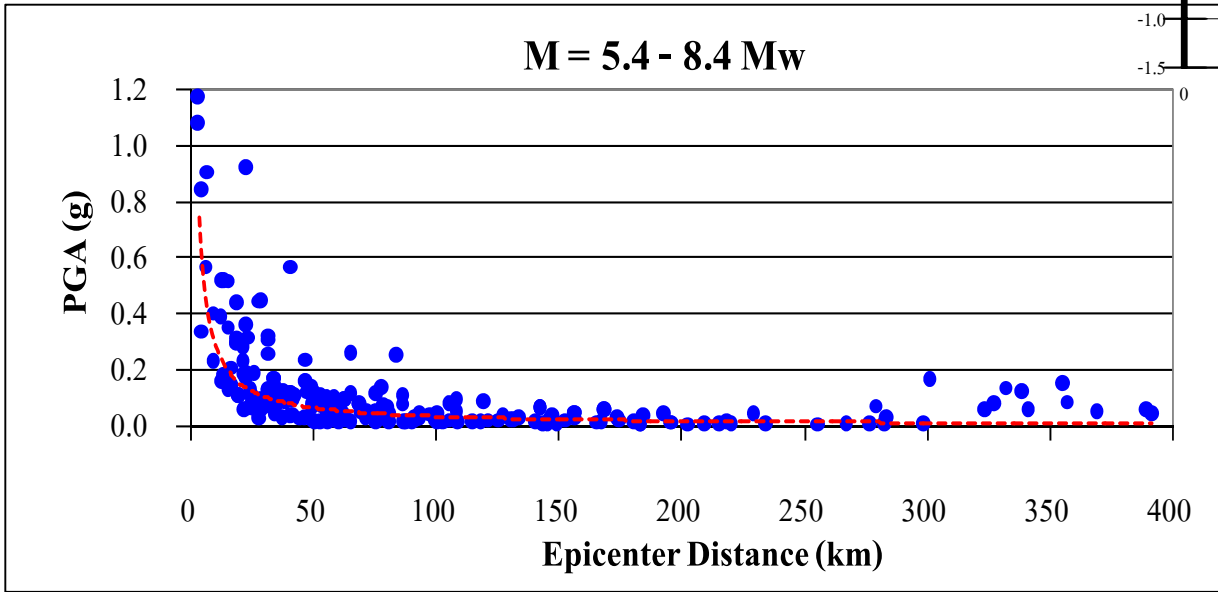
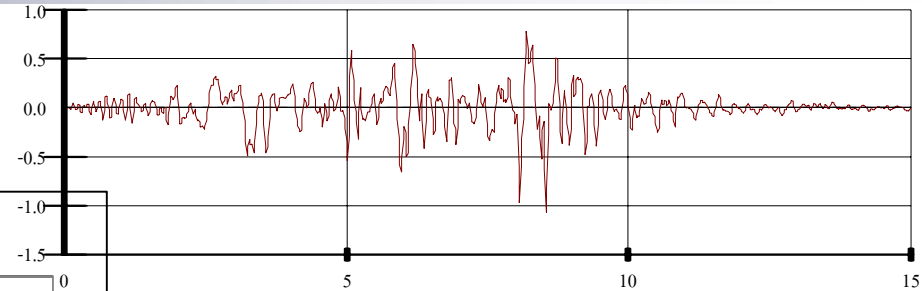
Limitations of time history records for analysis



1. Lack of strong ground motion records useful in the region
2. No reliable attenuation model for the country
3. Limited trenching and dating has been done



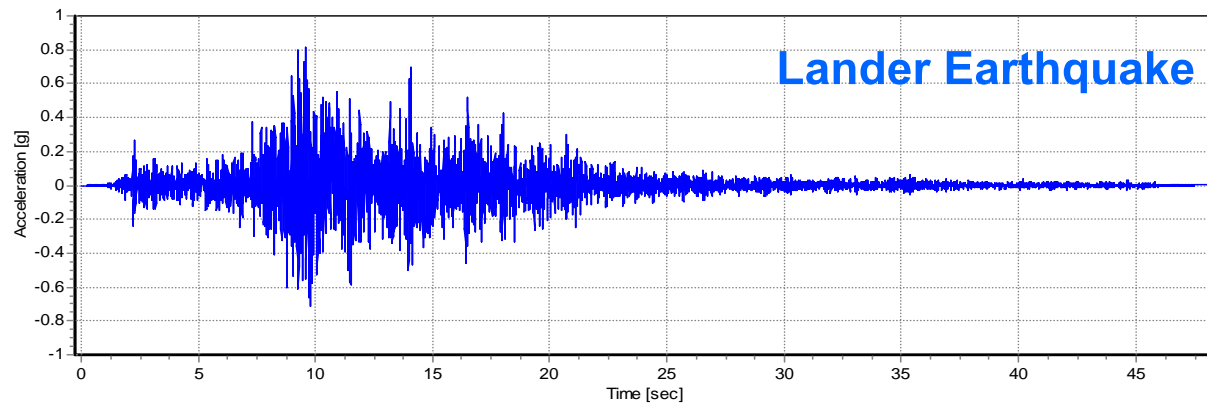
Input Ground Motions



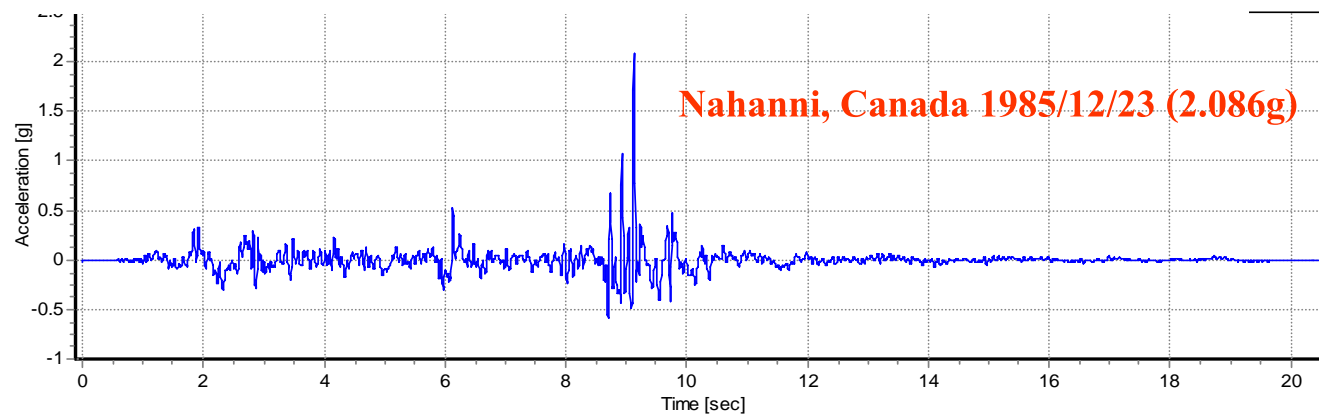
213 rock and outcrop ground motions from 35 major earthquakes were used

No scaling was done

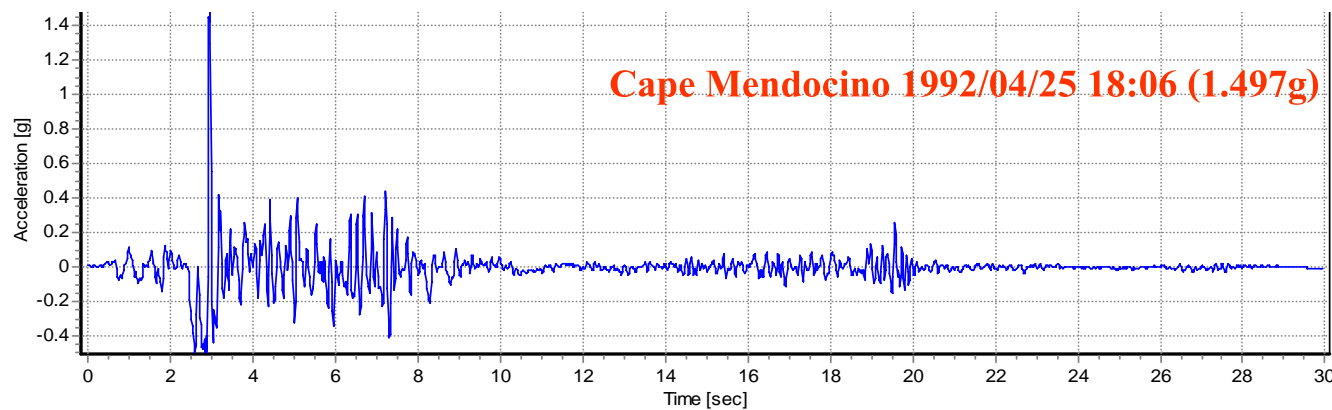
ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้และไม่ใช้ในการวิเคราะห์



ใช้ในการวิเคราะห์



ไม่ใช้ในการวิเคราะห์



การวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างแบบจำลอง

วิเคราะห์การทรุดตัวของหินถมและ
แผ่นคอนกรีตคานหน้า

แบบจำลองและขอบเขตปัญหา

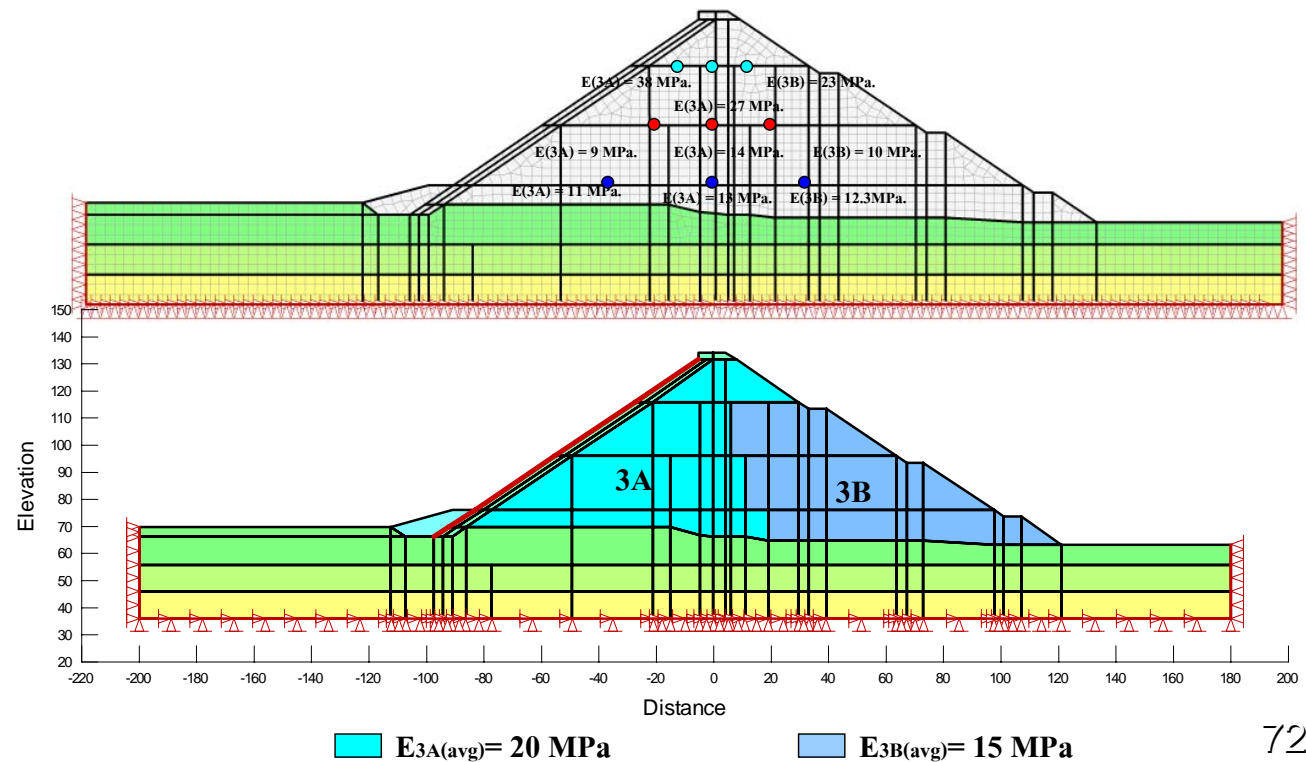
สรุปตัวแปรสำหรับแบบจำลอง
(Elastic Modulus, Poisson
Ration, Unit Weight, C, ϕ)

แบบจำลองของวัสดุ
(Linear Elastic, Elastic-Plastic)

ผลการวิเคราะห์

- การทรุดตัวของหินถม
- การเคลื่อนตัวของแผ่นคอนกรีต

Zone	Description	γ (KN/m ³)	ϕ (°)	C	E(MPa)	ν
Pervious Rock	Foudation	22.5 ⁽²⁾		0	40 ⁽²⁾	0.30 ⁽²⁾
Semi-Pervious Rock	Foudation	23.6 ⁽²⁾		0	50 ⁽²⁾	0.29 ⁽²⁾
Semi-impervious Rock	Foudation	23.5 ⁽²⁾		0	60 ⁽²⁾	0.28 ⁽²⁾
3A	Rockfill	22.9 ⁽¹⁾	38 ⁽²⁾	0	9-38 ⁽³⁾	0.20 ⁽⁴⁾
3B	Rockfill	22.5 ⁽¹⁾	38 ⁽²⁾	0	10-23 ⁽³⁾	0.20 ⁽⁴⁾
2C	Cushion	21.6 ⁽¹⁾	38 ⁽²⁾	0	40 ⁽²⁾	0.20 ⁽⁴⁾
2D	Cushion	23.1 ⁽¹⁾	38 ⁽²⁾	0	40 ⁽²⁾	0.20 ⁽⁴⁾



การวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างแบบจำลอง

วิเคราะห์การทรุดตัวของหินถมและ
แผ่นคอนกรีตคานหน้า

แบบจำลองและขอบเขตปัญหา

สรุปตัวแปรสำหรับแบบจำลอง
(Elastic Modulus, Poisson
Ration, Unit Weight, C, ϕ)

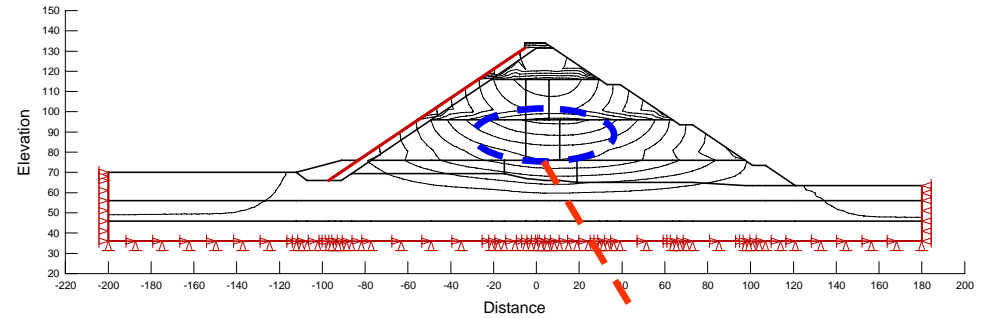
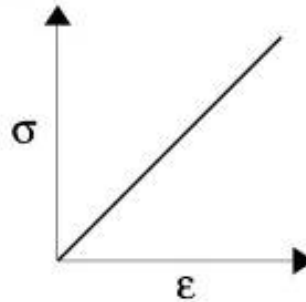
แบบจำลองของวัสดุ
(Linear Elastic, Elastic-Plastic)

ผลการวิเคราะห์

- การทรุดตัวของหินถม
- การเคลื่อนตัวของแผ่นคอนกรีต

Linear Elastic (Stage Construction Method)

• Linear-elastic



Elastic – Plastic (Stress Redistribution)

การทรุดตัวเปลี่ยนแปลง

(End of Construction , First Filling)

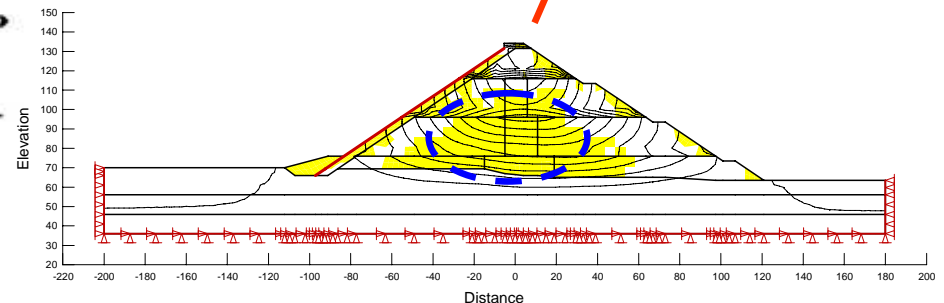
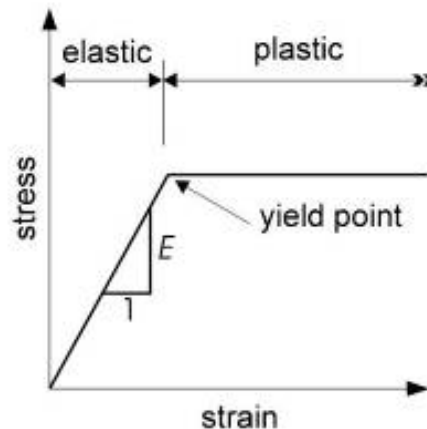


Figure 5-4 Elastic-perfectly plastic constitutive relationship

เปรียบเทียบกับเขื่อนวงรีลาดกรณ

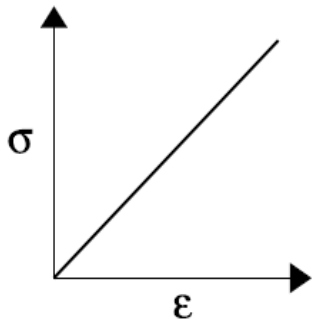
มนตรี, สุทธิศักดิ์และสมชาย (2553)



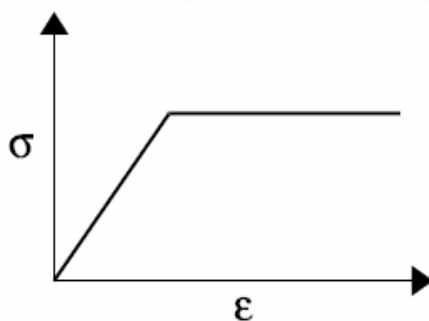
Stress-Deformation Modeling

with

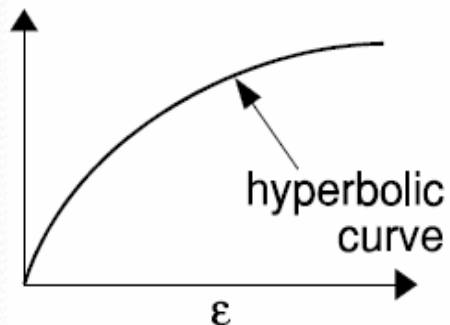
SIGMA/W 2007



Linear Elastic Model



Elastic-Plastic Model



Hyperbolic Model

คุณสมบัติของหินถมสำหรับแบบจำลอง Linear Elastic

Case	γ (kN/m ³)		E (MPa)		ν
	3A	3B	3A	3B	
1	22	21	90	70	0.25
2	22	21	60	40	0.25
3	22	21	45	30	0.25

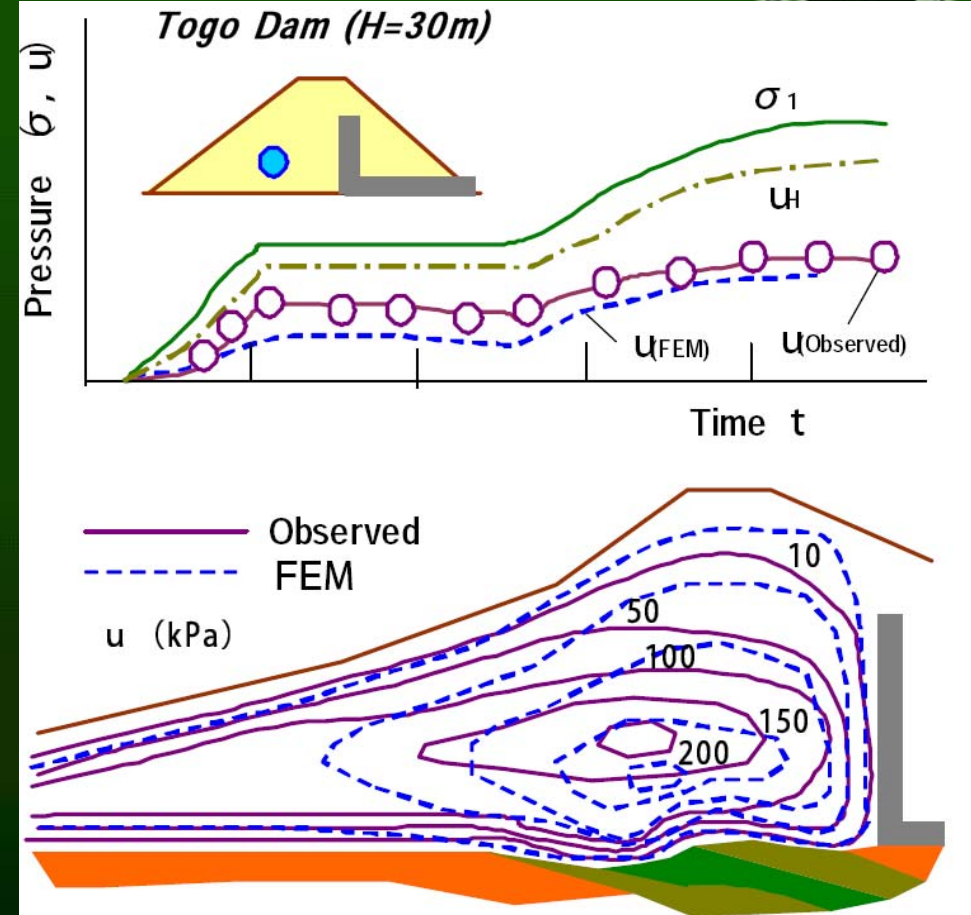
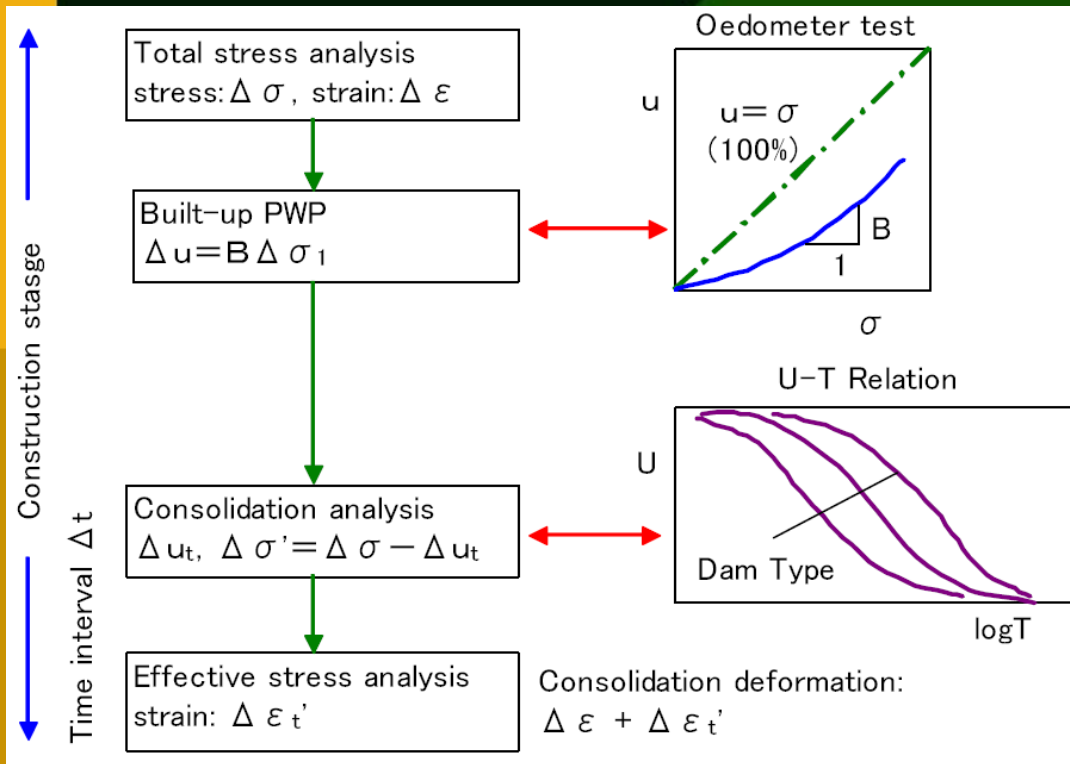
คุณสมบัติของหินถมสำหรับแบบจำลอง Elastic-Plastic

Case	γ (kN/m ³)		E (MPa)		ν	ϕ (degree)	
	3A	3B	3A	3B		3A	3B
1	22	21	90	70	0.25	41	40
2	22	21	60	40	0.25	41	40
3	22	21	45	30	0.25	41	40

คุณสมบัติของหินถมสำหรับแบบจำลอง Hyperbolic

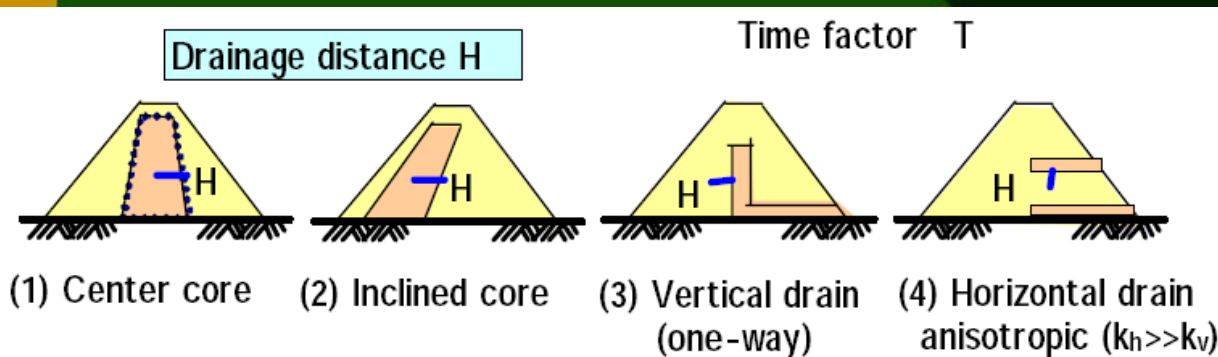
Zone	γ (kN/m ³)	ϕ	k-modulus (kPa)	n	k (0)	R_f	ν
3A	22	41	300	0.4	1	0.7	0.25
3B	21	40	200	0.4	1	0.7	0.25
Foundation	23	45	450	0.4	1	0.7	0.25

การวิเคราะห์หาหน่วยแรงประสิทธิผลของเขื่อนดินถม



Consolidation deformation:
 $\Delta \epsilon + \Delta \epsilon_t'$

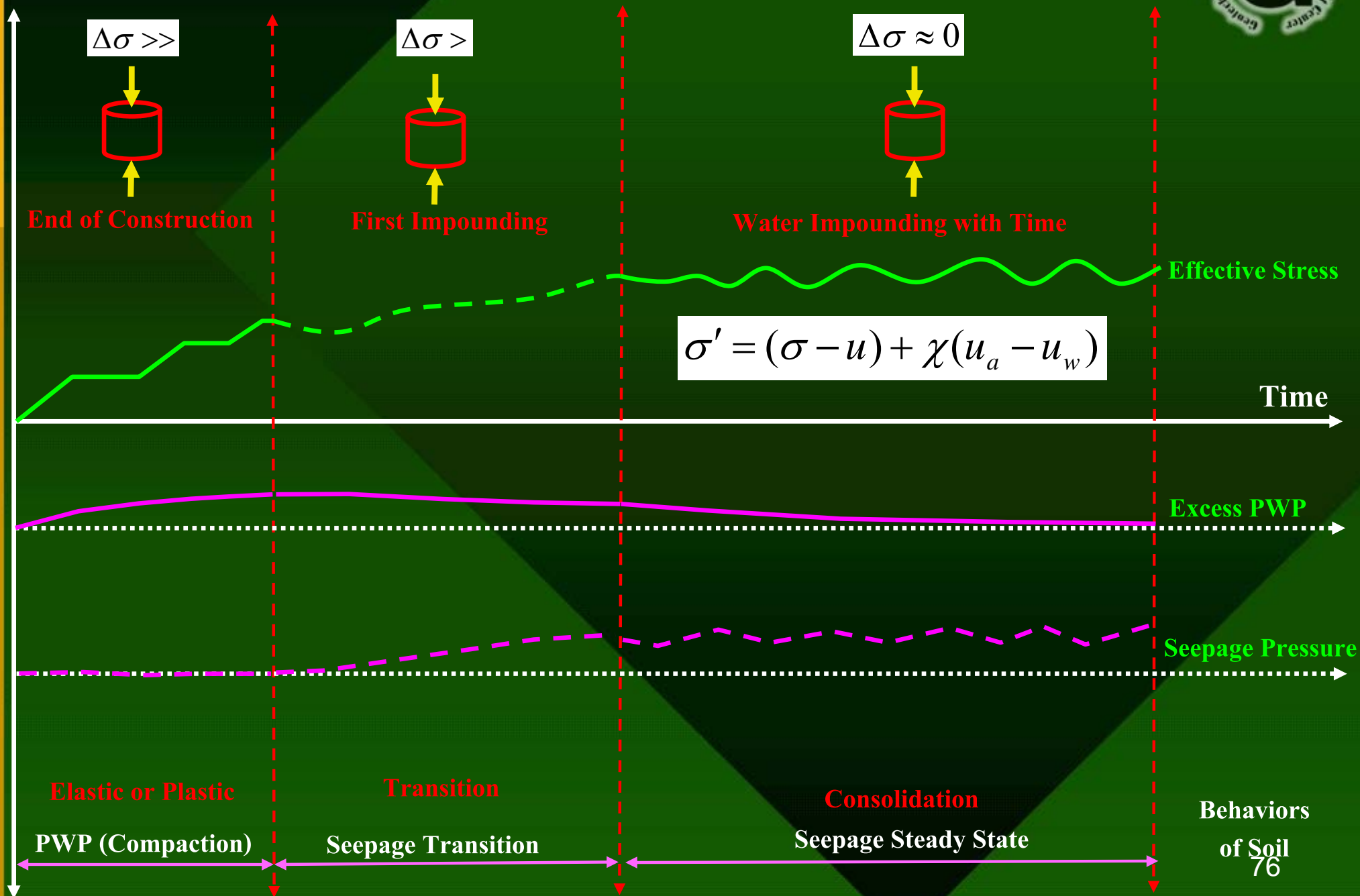
Narita, 2003



Dissipation of Pore-Water Pressure

**Effective Stress สอดคล้องกับ
แรงดันน้ำ (Pore Water Pressure)
และการทรุดตัว (Settlement)**

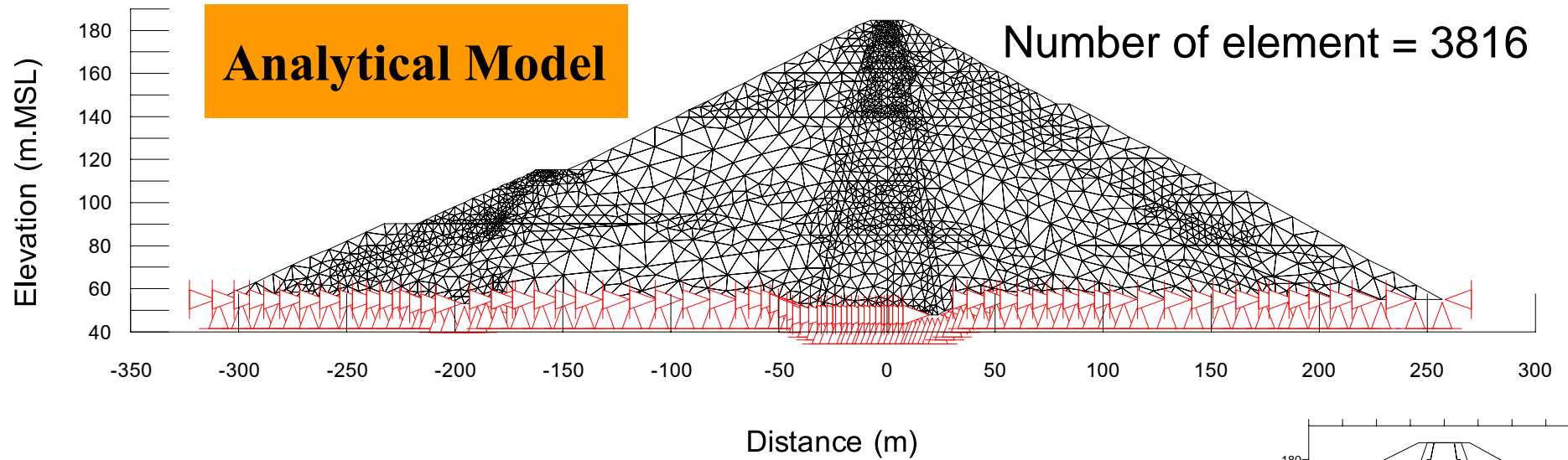
ภาพรวมการจำลองสภาพเขื่อนในสถานะปัจจุบัน



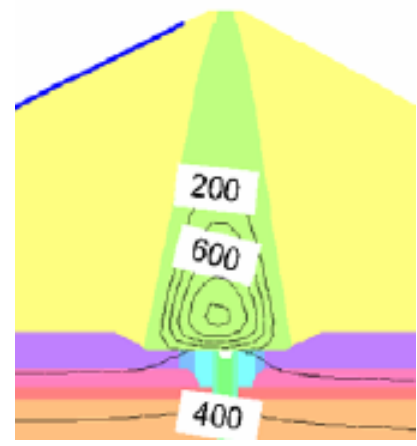
Maximum mesh size = 10 m.

Number of element = 3816

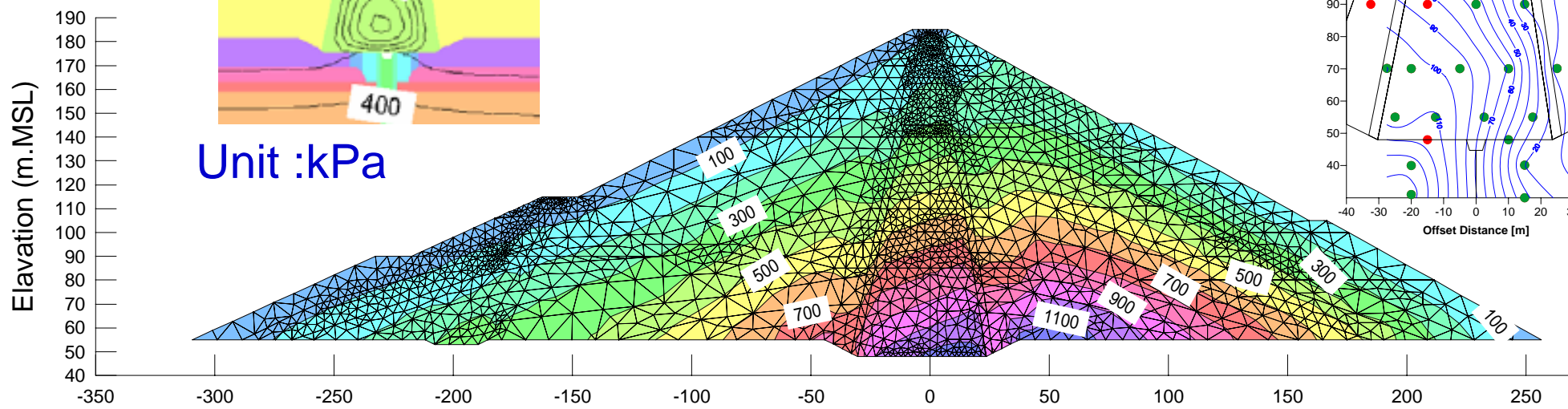
Analytical Model



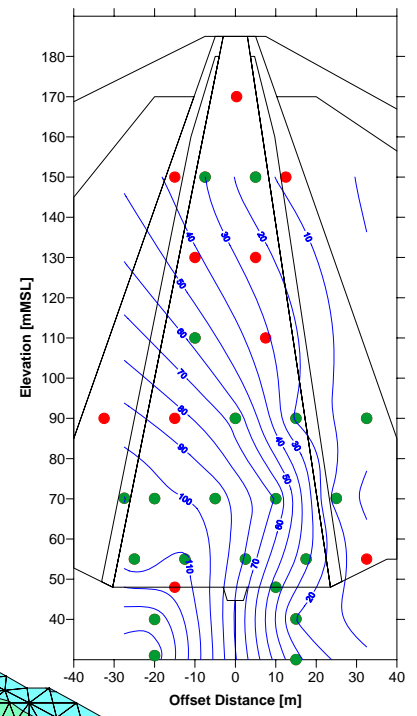
Initial stress analysis



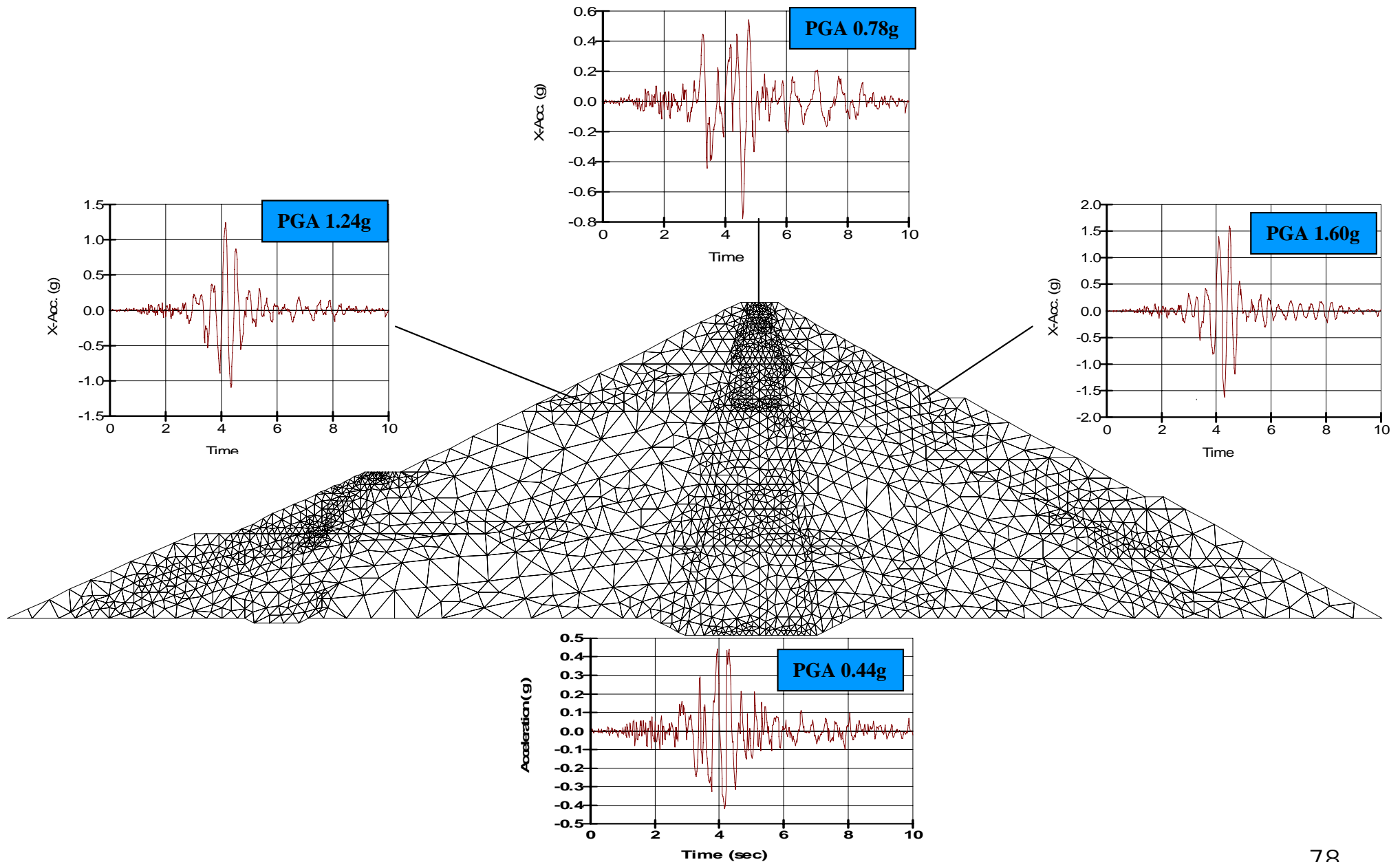
Unit :kPa



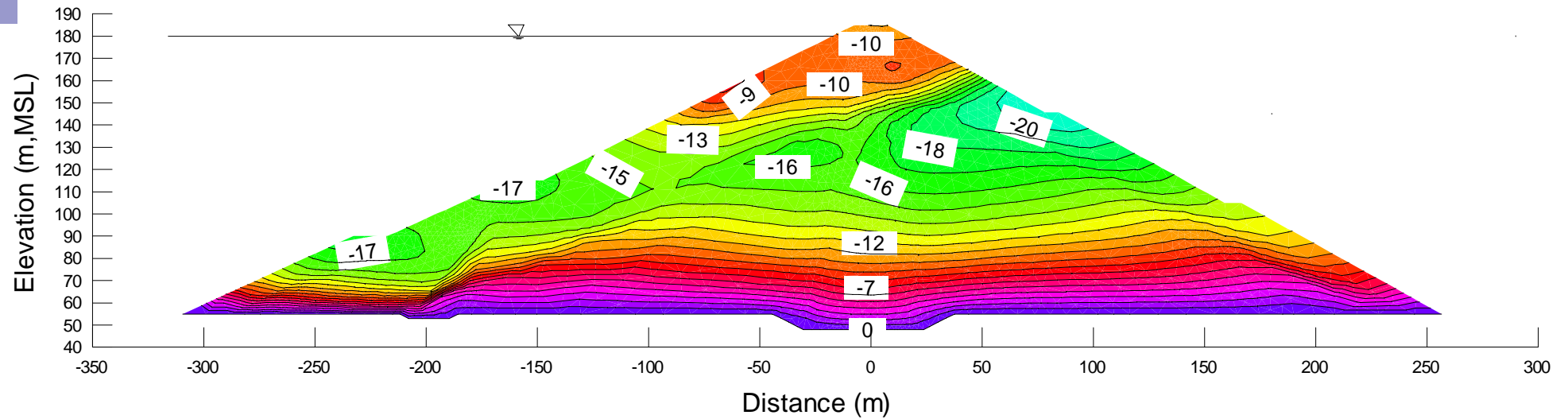
Mean Effective Stress (Unit:KPa)



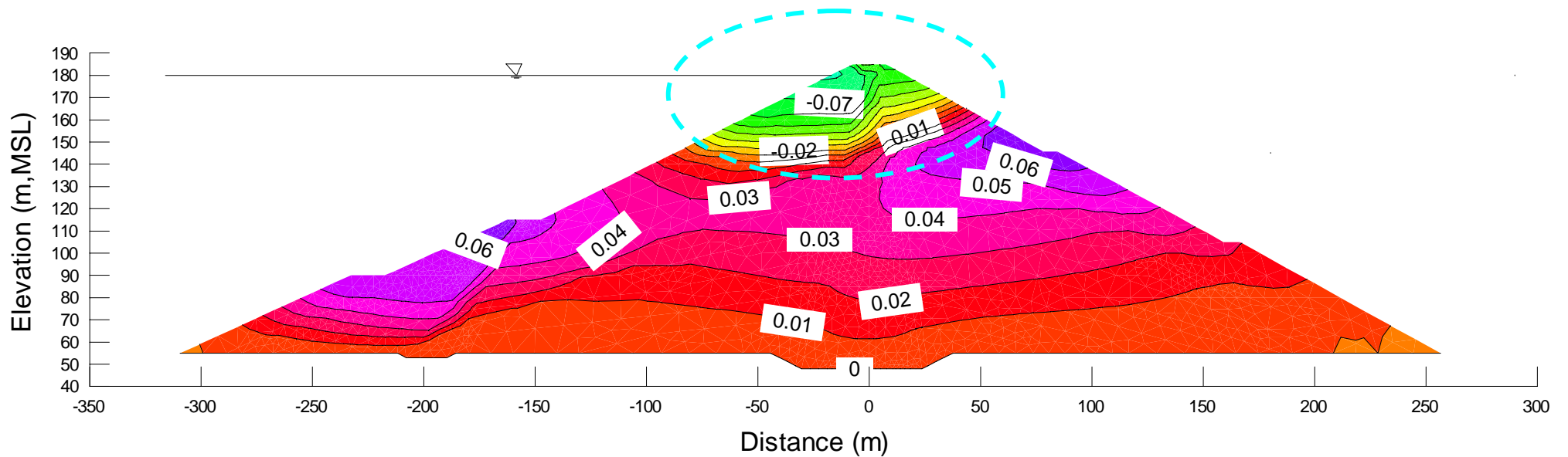
ผลตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหวในบริเวณต่างๆ ของเขื่อน กรณีเหตุการณ์แผ่นดินไหว Loma Prieta 1989



Dynamic Response Analysis



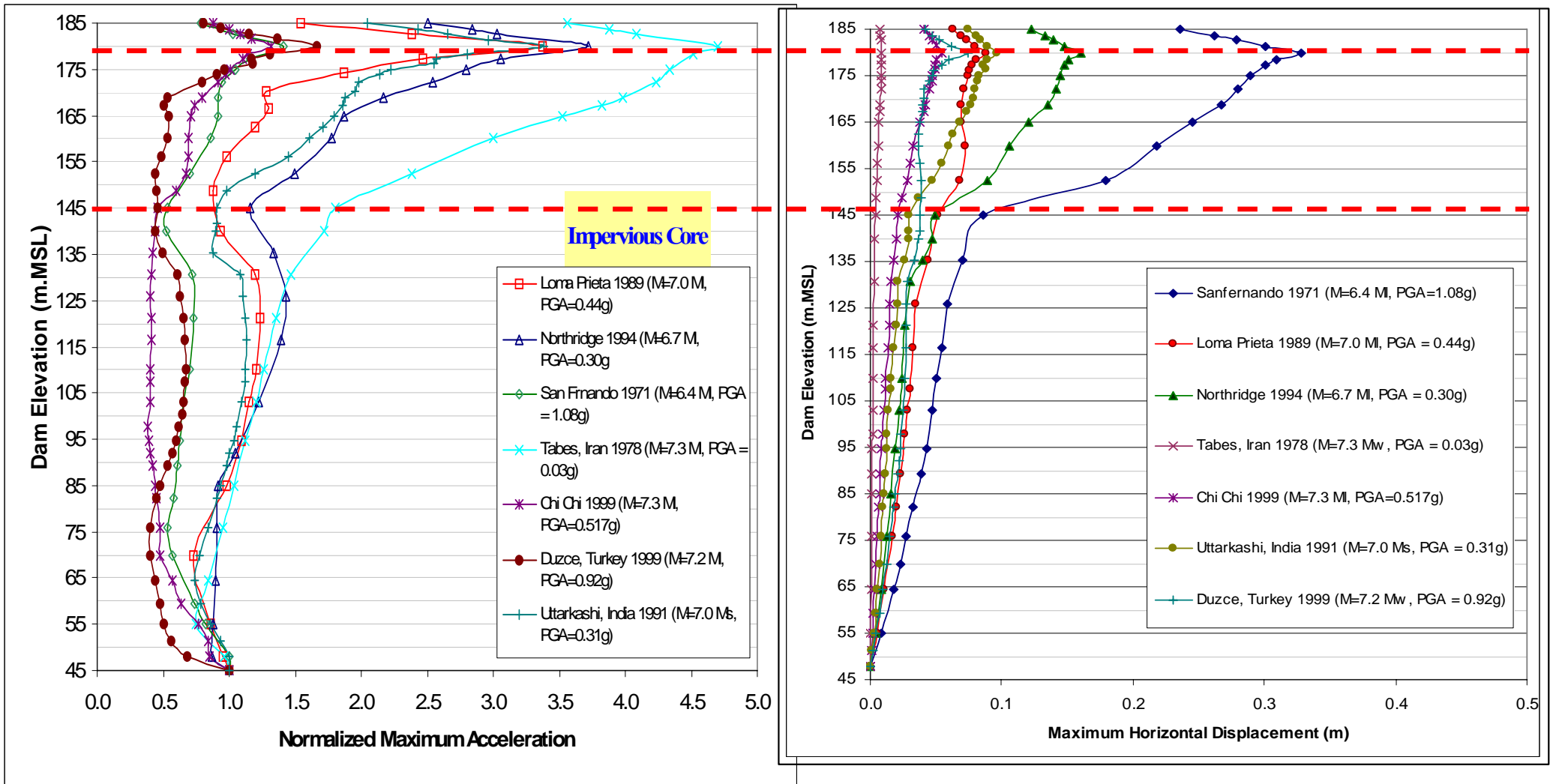
Relative horizontal acceleration of dam induced by 1971 San Fernando earthquake. (unit:m/s²)



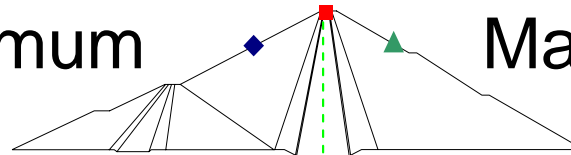
Relative horizontal displacement of dam induced by 1971 San Fernando earthquake. (unit:m)

M = 6.4 PGA = 1.17g

Response of core zone

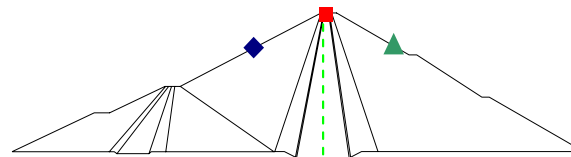
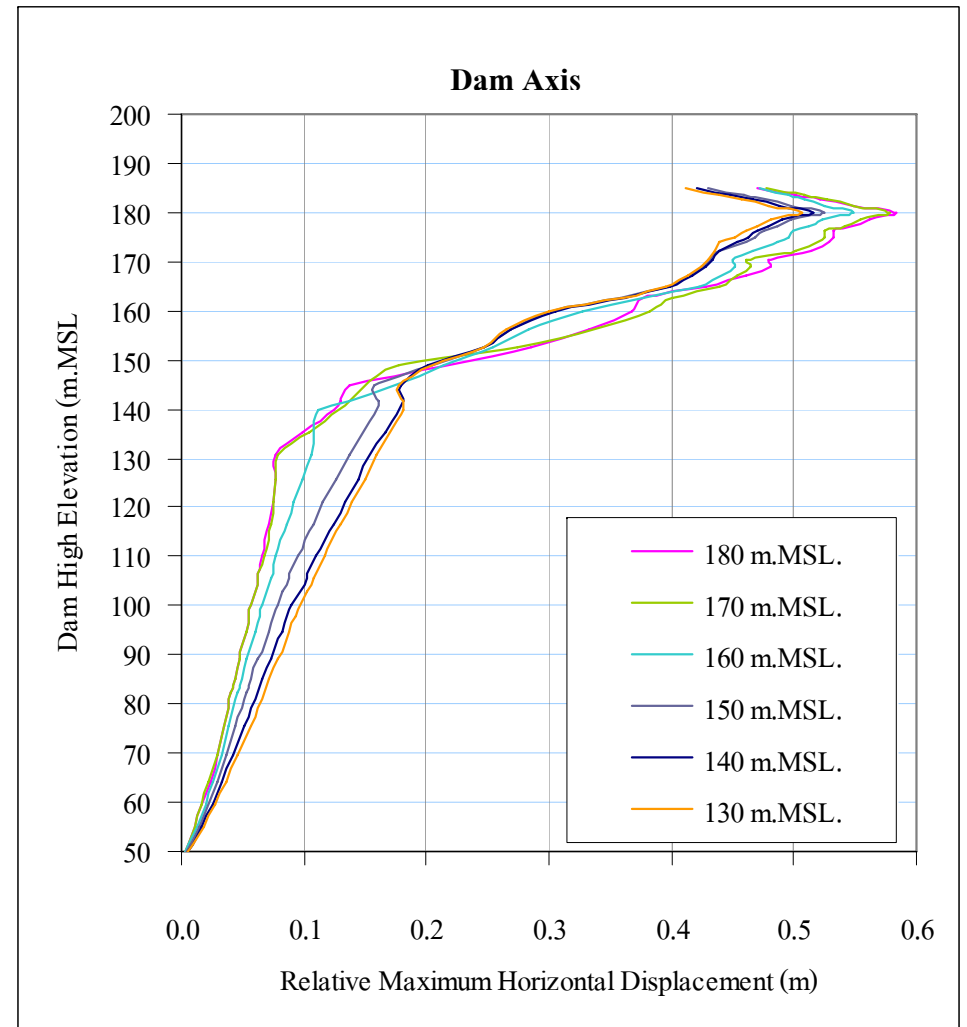
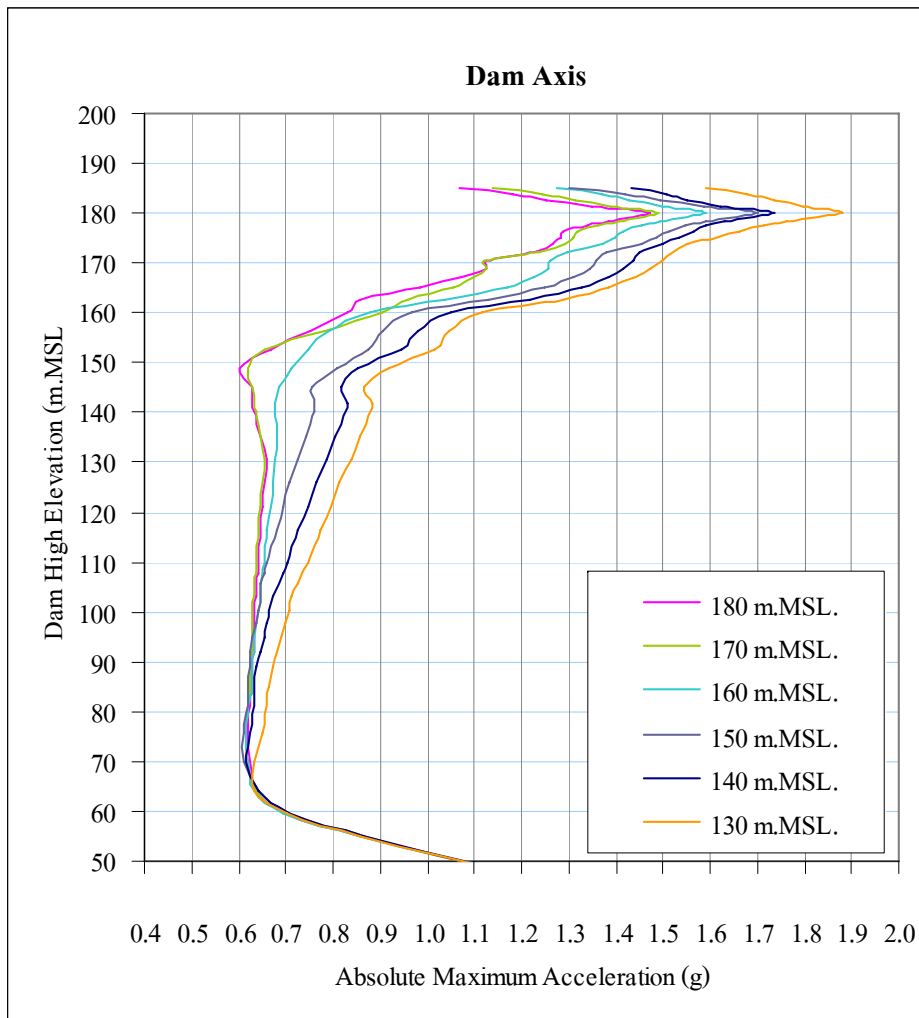


Normalized Maximum Acceleration



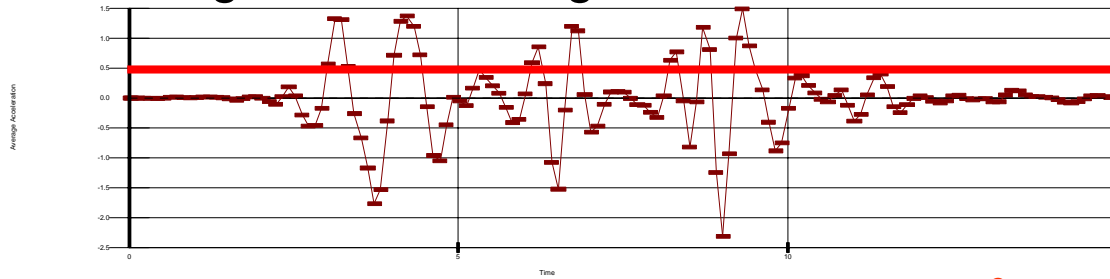
Maximum Horizontal Displacement

WATER LEVEL EFFECT

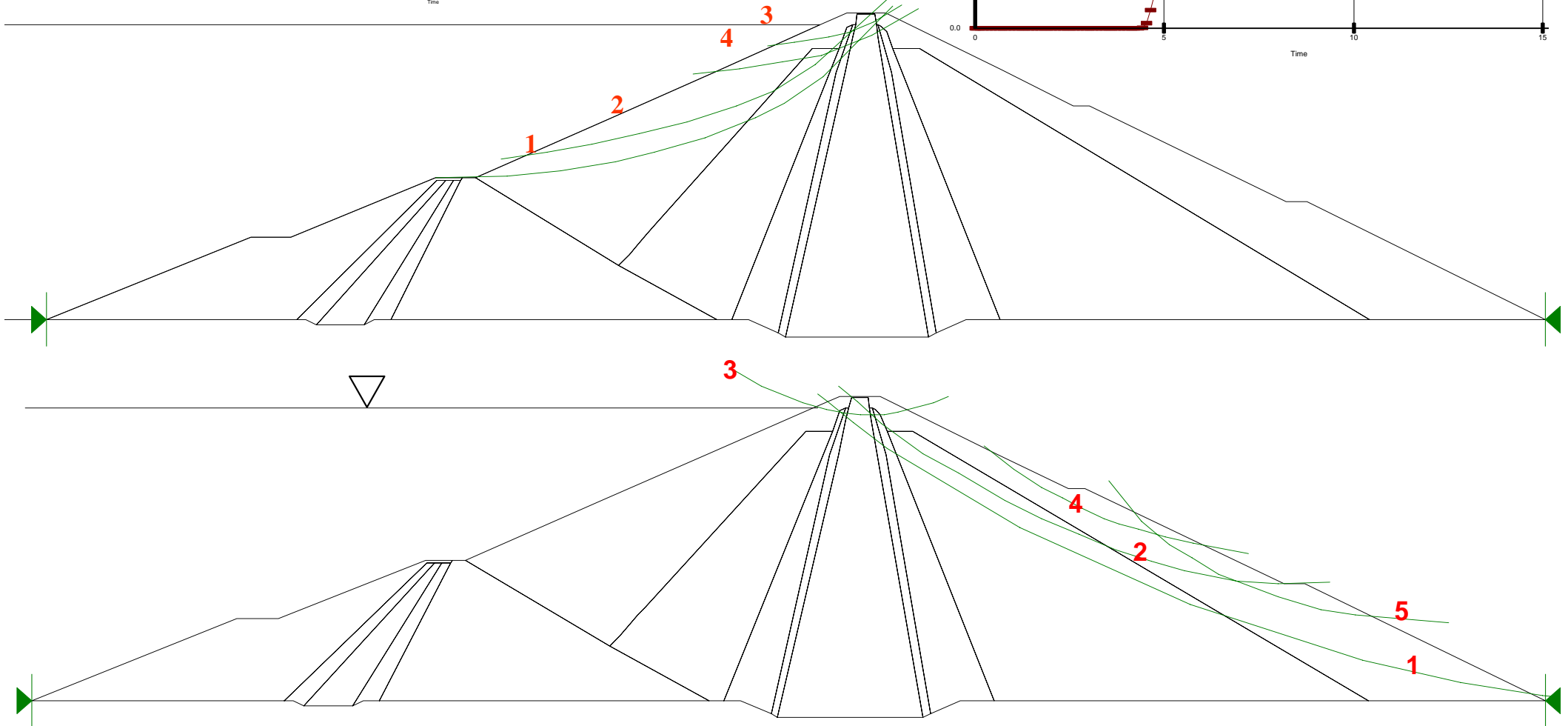
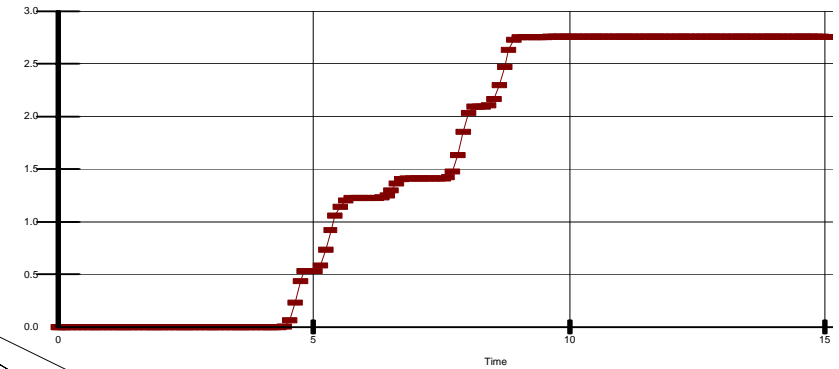


Permanent deformation by Newmark (1965)

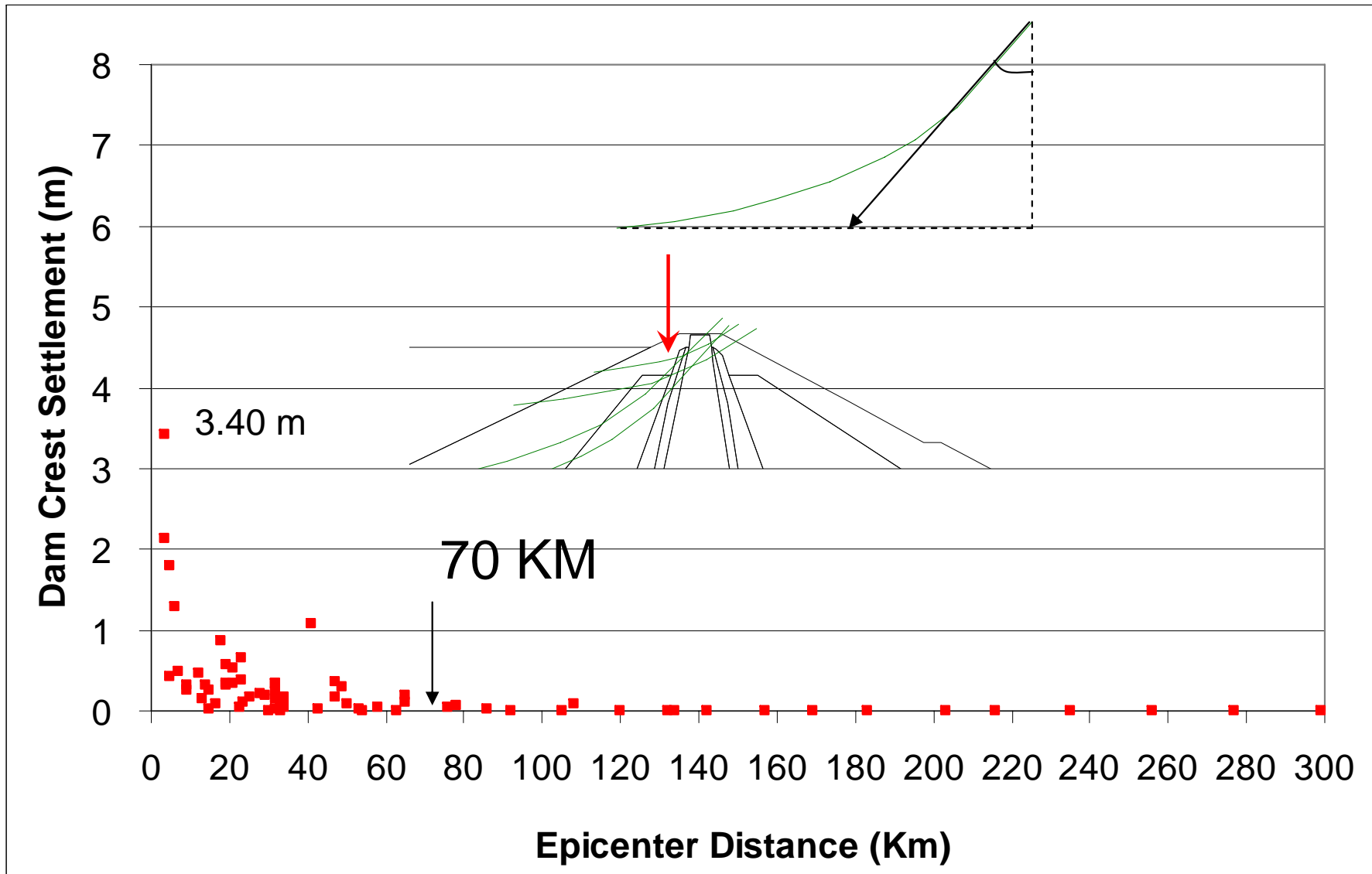
Avg. Acc. of sliding mass

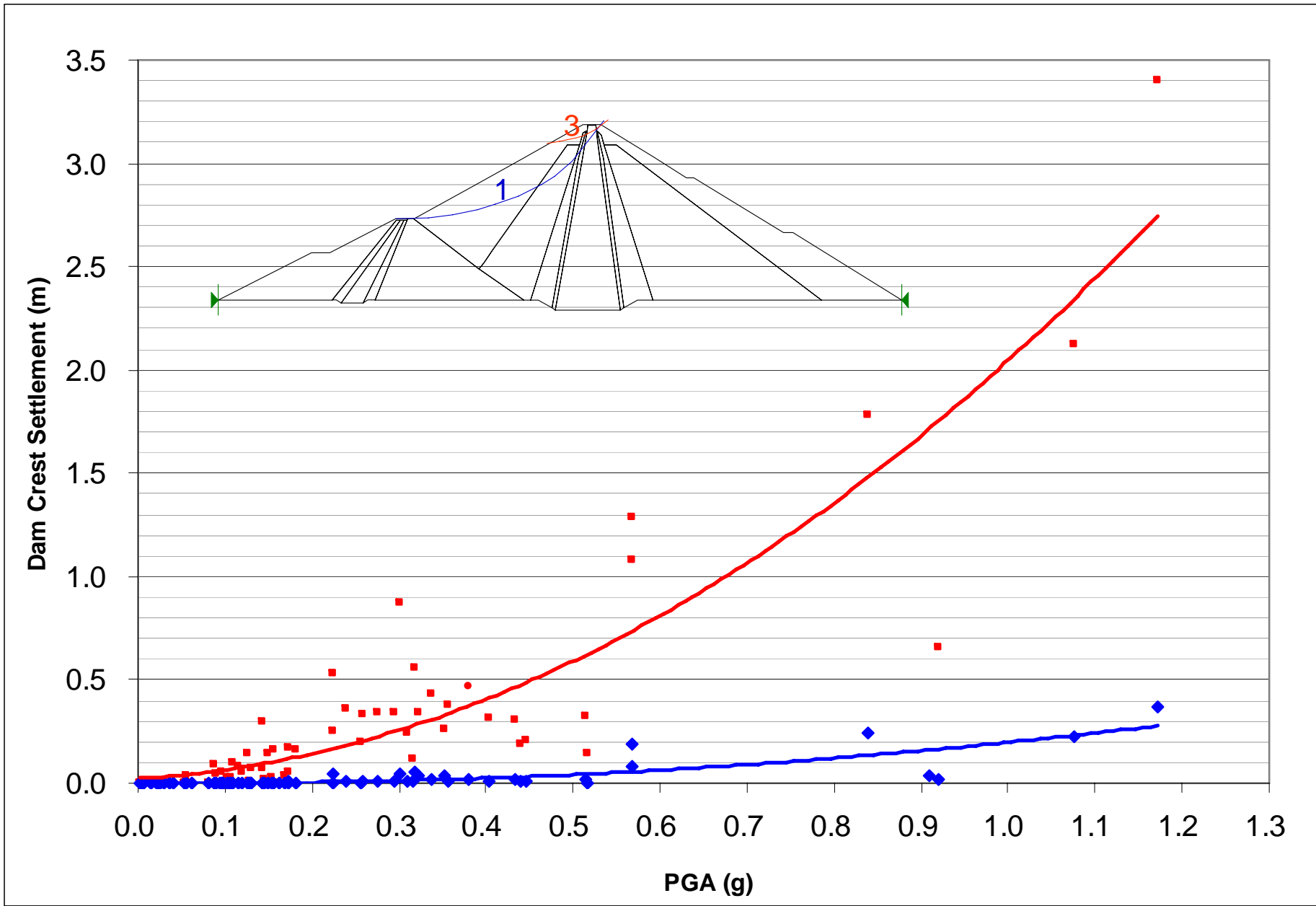


Deformation vs. Time

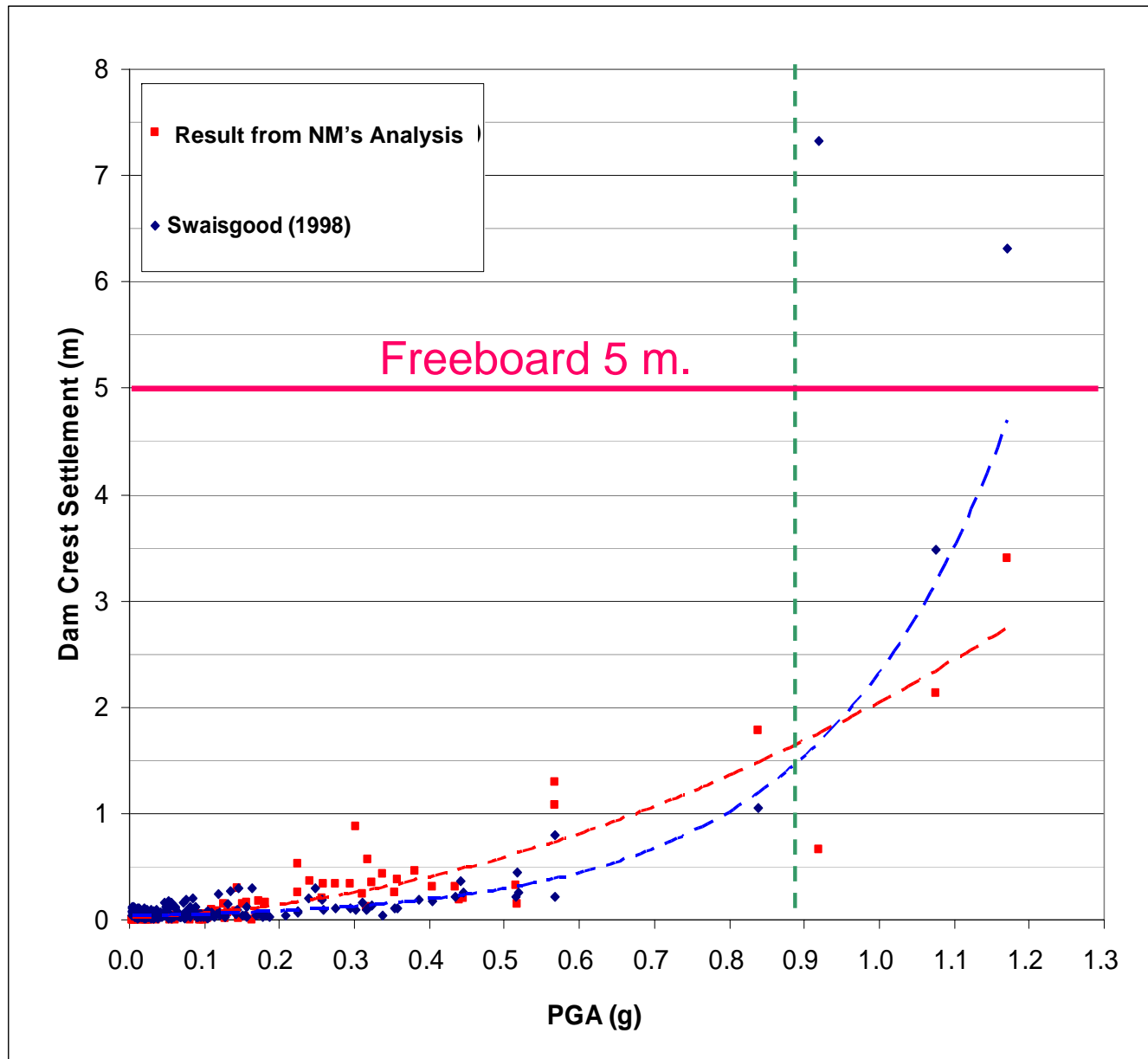


Crest Settlement & Epicenter Distance





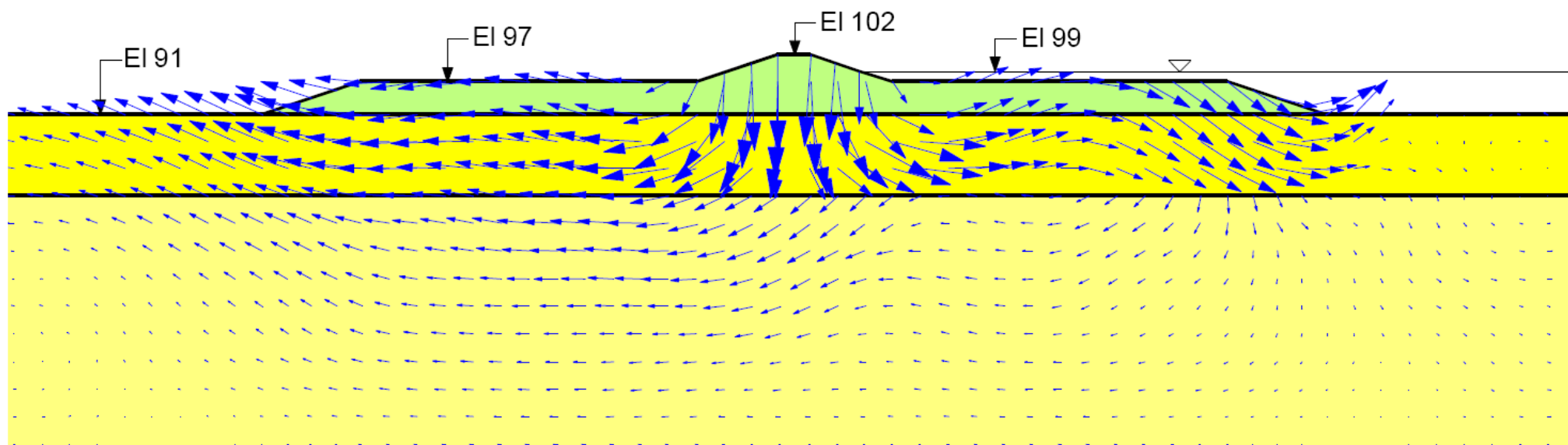
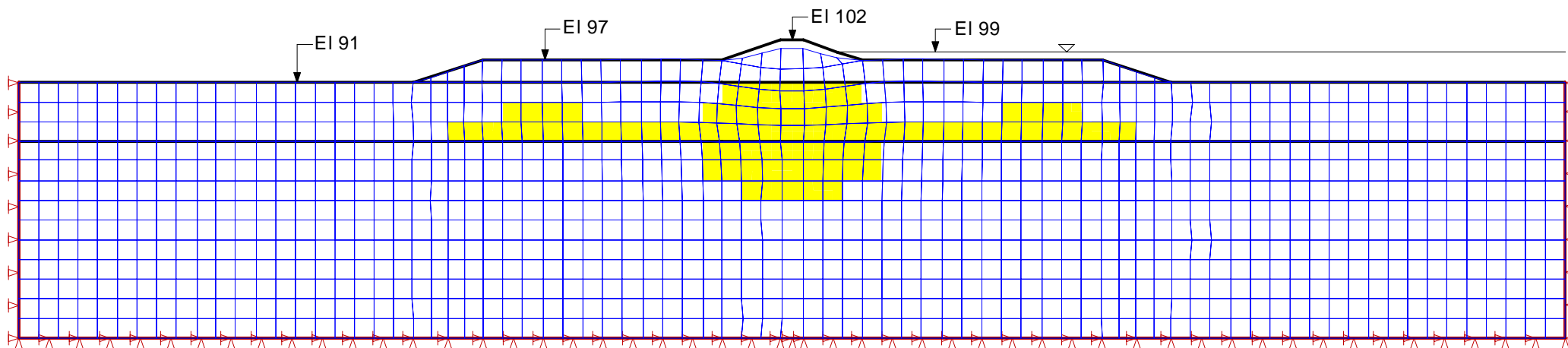
Comparing between the result from dynamic analysis and statistical-based method (Swaisgood, 1998)



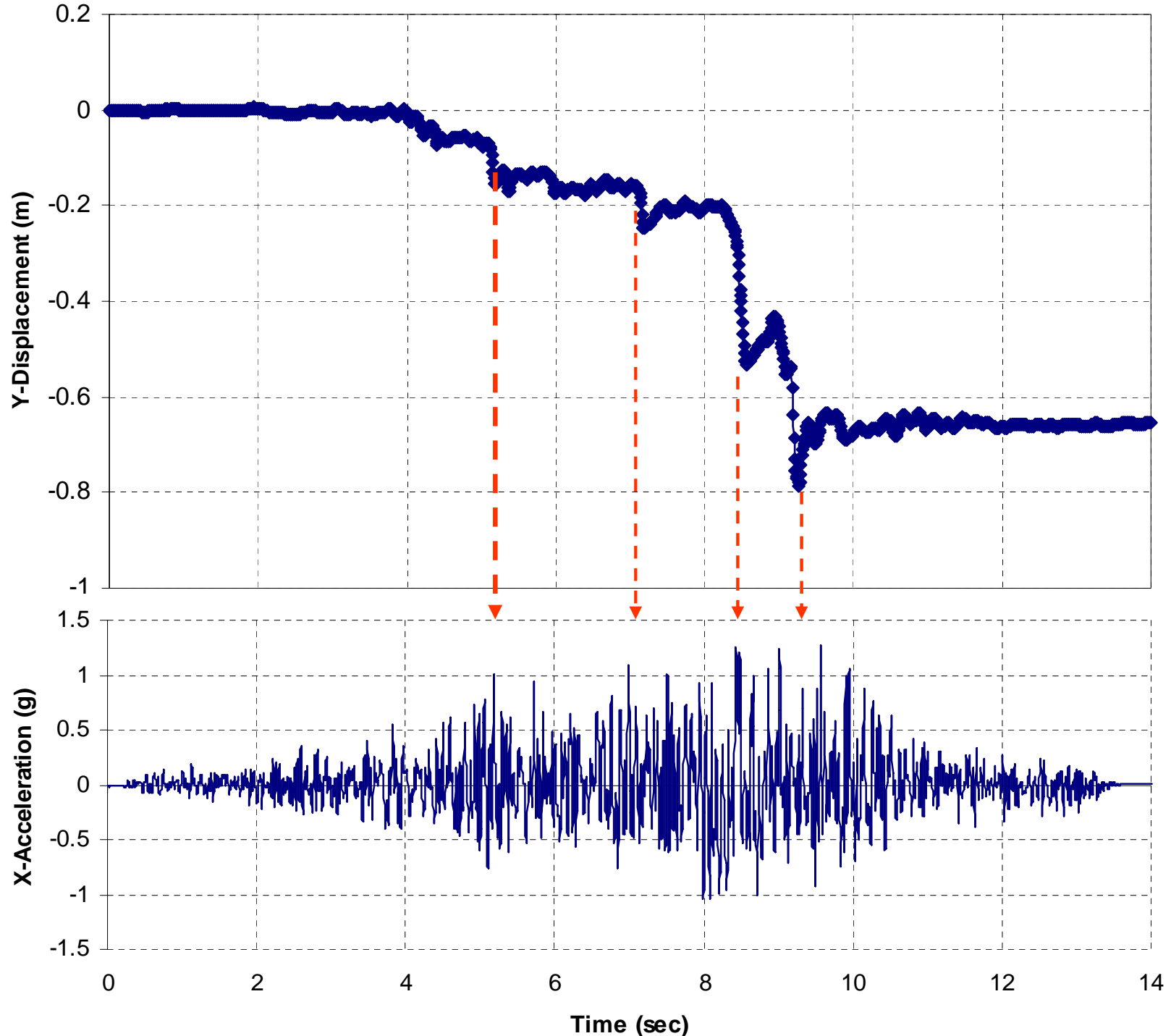
PGA of ground motion at dam base (g)	Crest Settlement (m) (from dynamic analysis)	Remarks
Kh=0.10	0.10	Kh used for design by pseudo-static analysis
0.15	0.29	PGA map of Thailand (Wanichaikul et al., 1996)
0.60	1.29	Design PGA in highly seismic region. (Wieland, 2003)
1.17	3.40	Maximum PGA used in this analysis.
2.20	5.00	PGA that make the crest settlement equal to freeboard. (Scale up 1971 San Fernando Earthquake)

การวิเคราะห์การทรุดตัวถาวร (Dynamic Deformation)

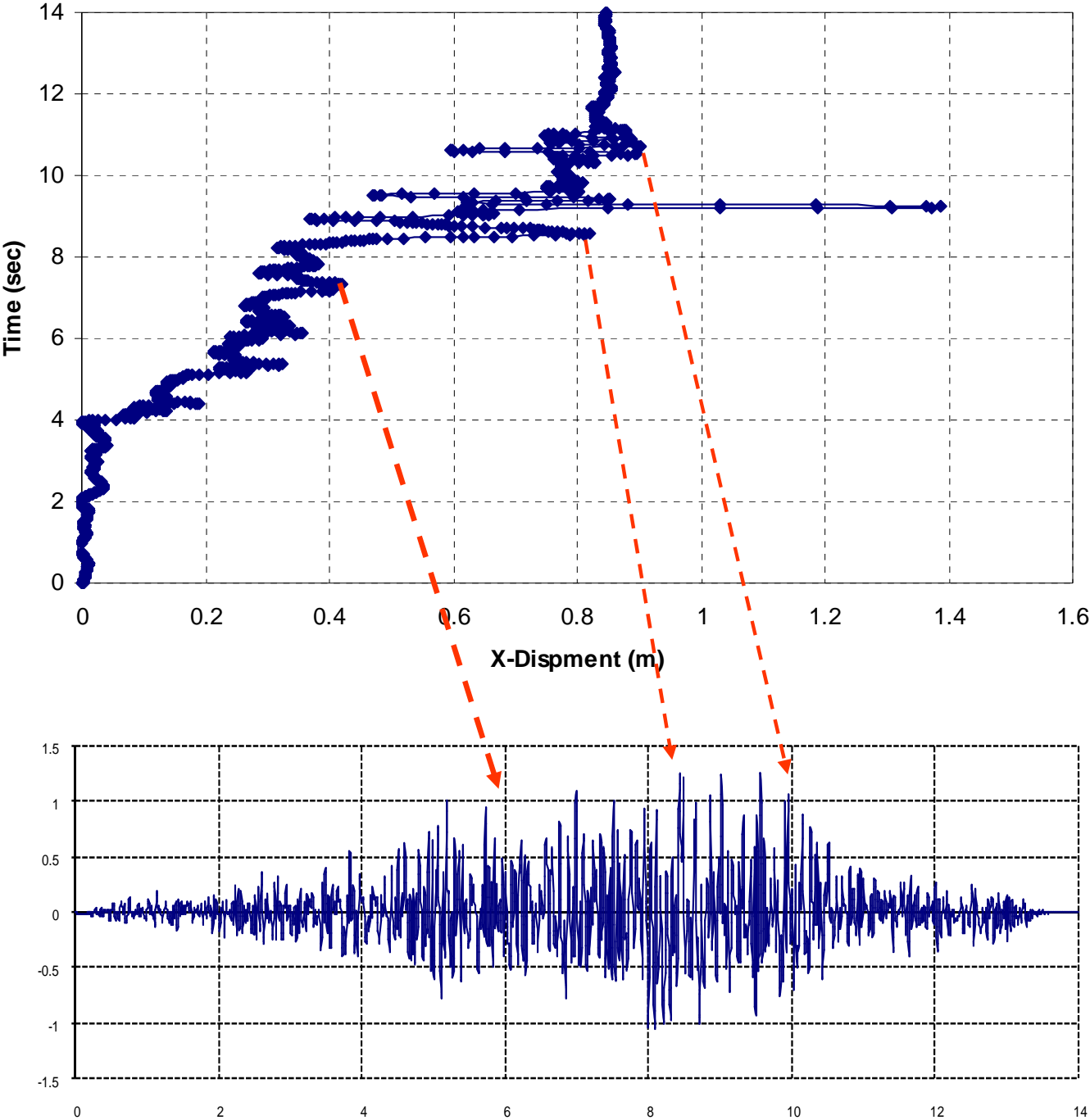
Waba Dam

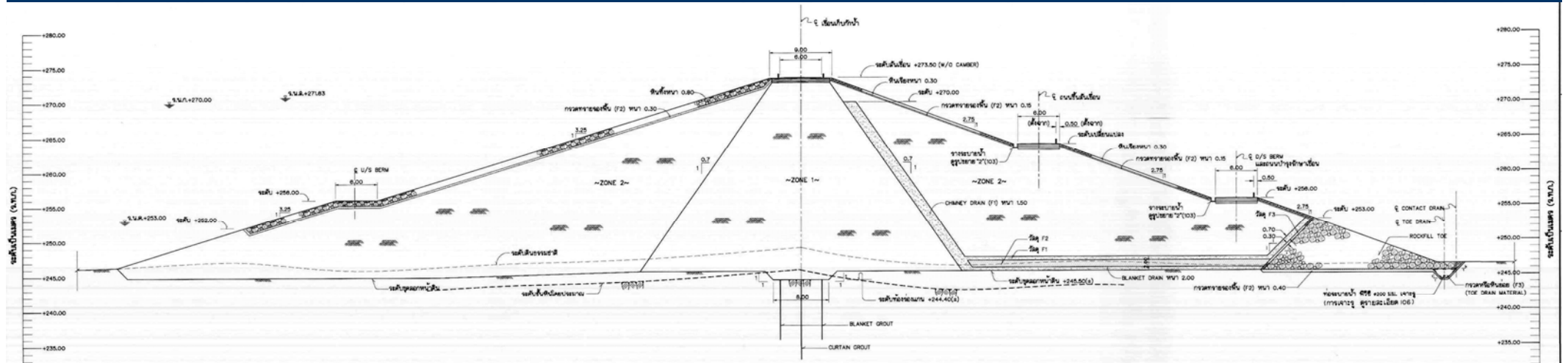
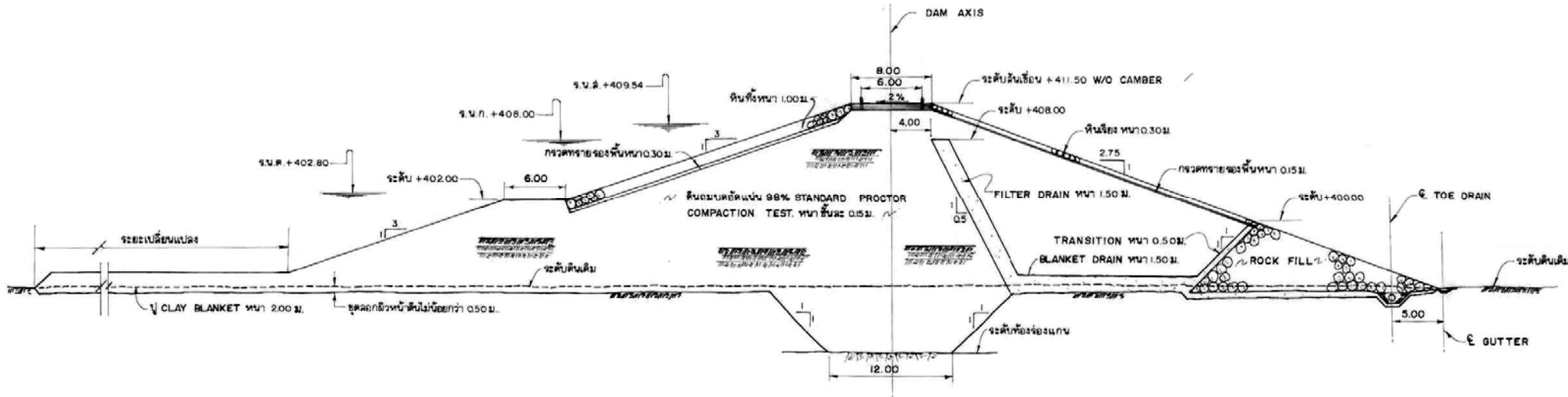
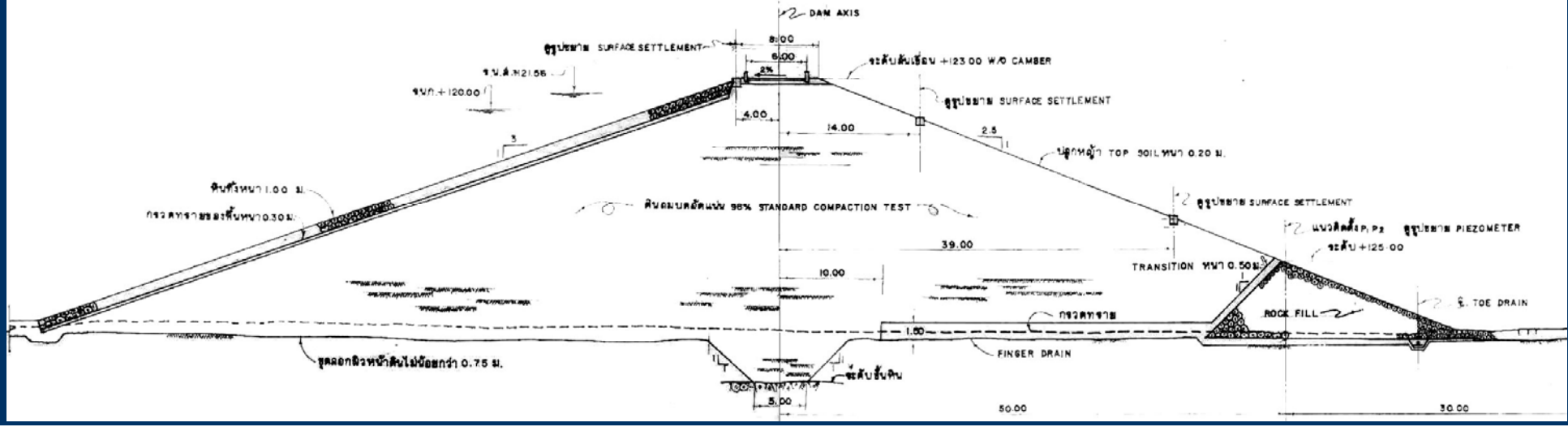


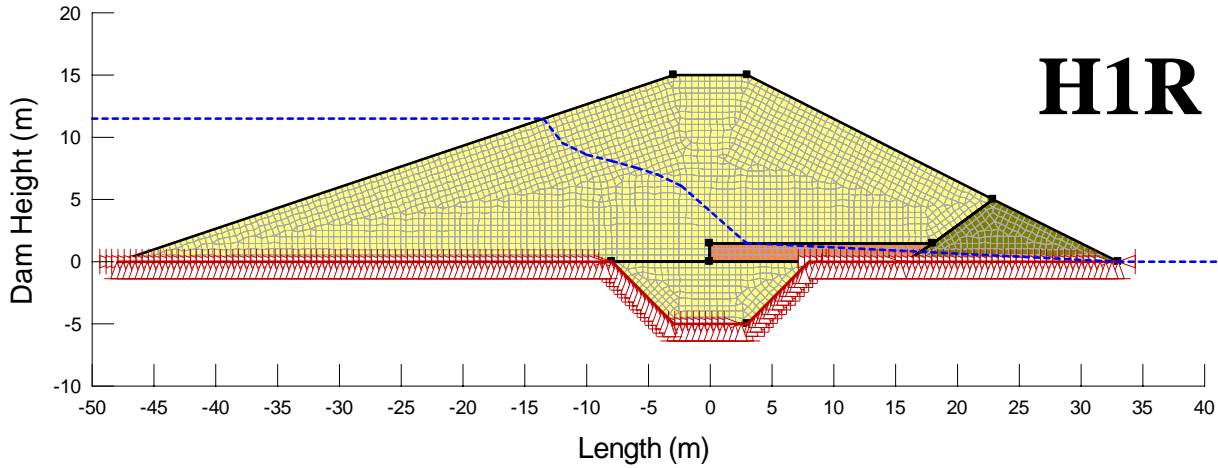
การทรุดตัวถาวรในแนวตั้ง (Dynamic Deformation)



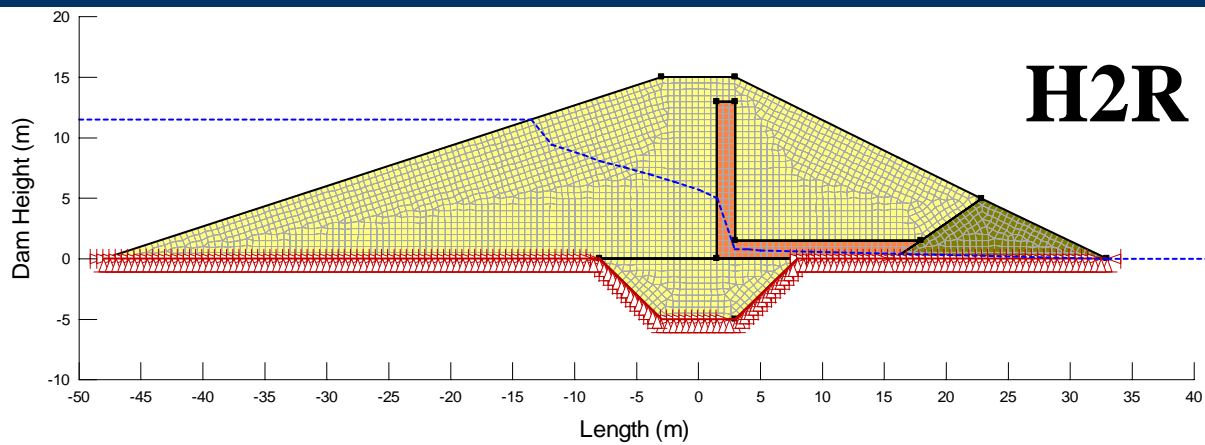
การทรุดตัวถาวรในแนวราบ (Dynamic Deformation)



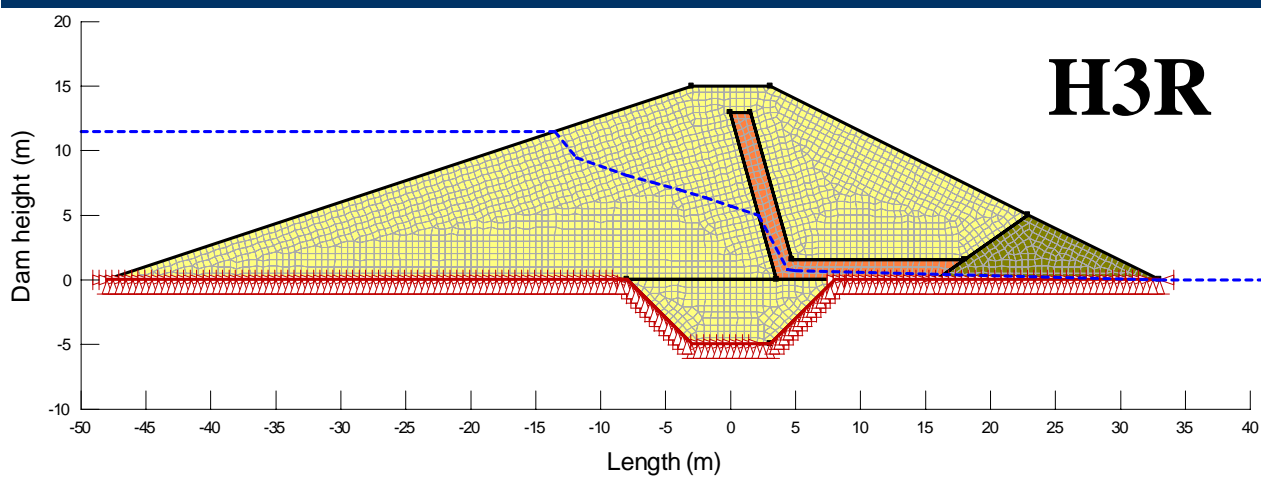




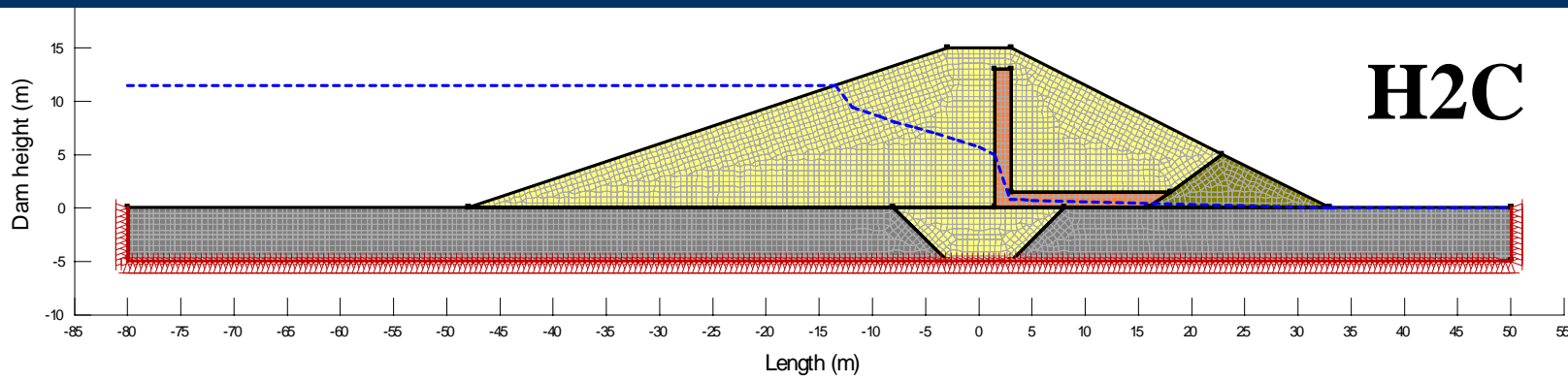
เขื่อนดินเนื้อเดี่ยวางบนฐานรากหินแข็งที่มี
ชั้นกรองแบบ Horizontal มีลาดชันเขื่อนด้านเหนือ
น้ำ 3:1 (H1R)



เขื่อนดินเนื้อเดี่ยวางบนฐานรากหินแข็งที่มี
ชั้นกรองแบบ Vertical มีลาดชันเขื่อนด้านเหนือ
น้ำ 3:1 (H2R)

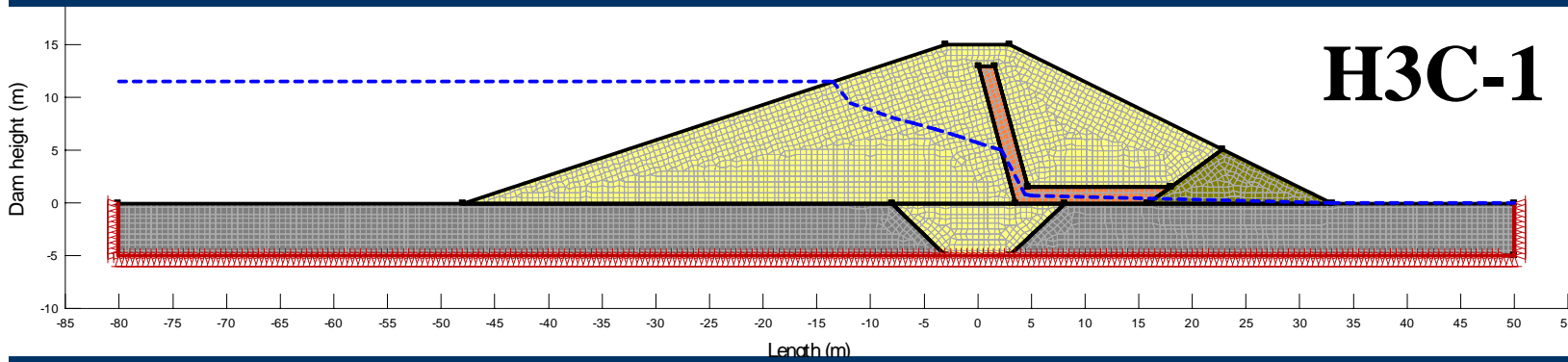


เขื่อนดินเนื้อเดี่ยวางบนฐานรากหินแข็งที่มีชั้น
กรองแบบ Chimney มีลาดชันเขื่อนด้านเหนือ
น้ำ 3:1 (H3R)



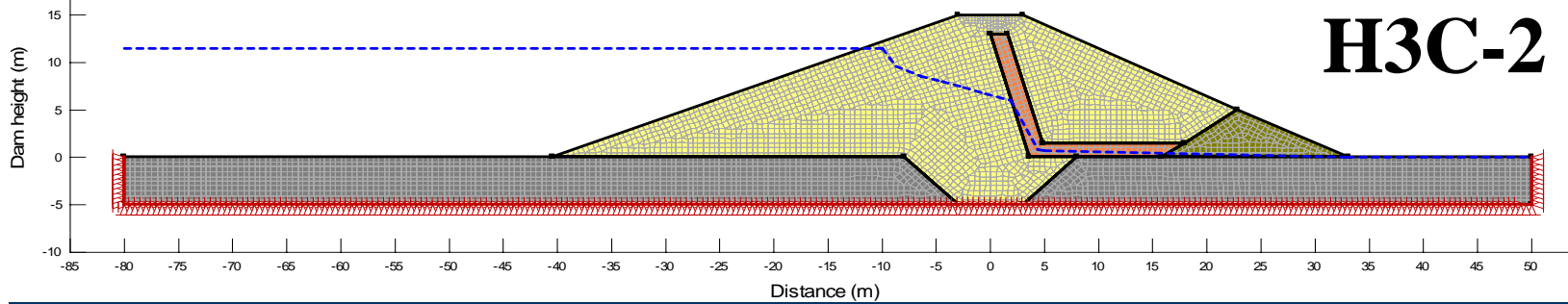
H2C

เขื่อนดินเนื้อเดียวที่มีชั้นกรองแบบ Vertical วางบนฐานรากหินแข็งแทรกด้วยชั้นหินผุ มีลาดชันเขื่อนด้านเหนือน้ำ 3:1 (H2C)



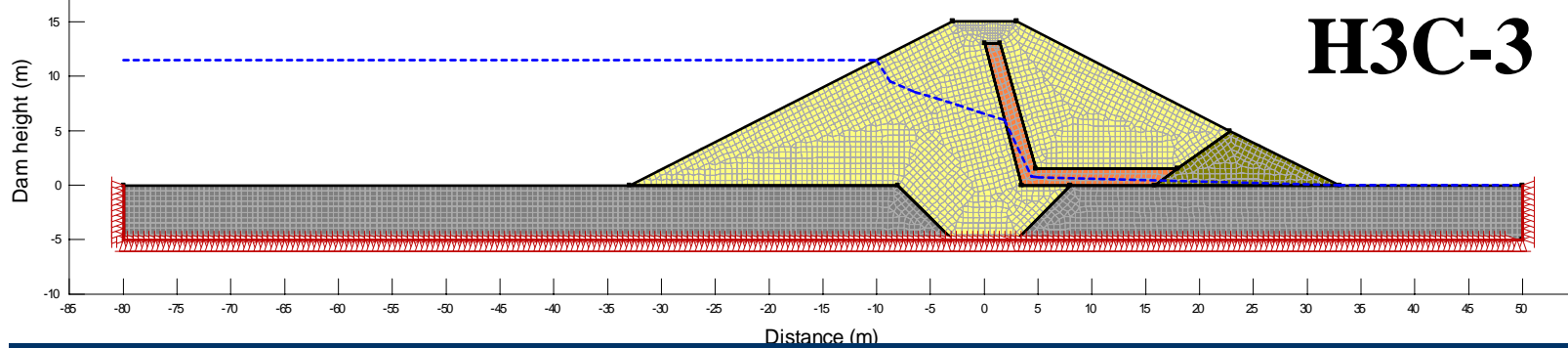
H3C-1

ดินเนื้อเดียวที่มีชั้นกรองแบบ Chimney วางบนฐานรากหินแข็งแทรกด้วยชั้นหินผุ มีลาดชันเขื่อนด้านเหนือน้ำ 3:1 (H3C-1)



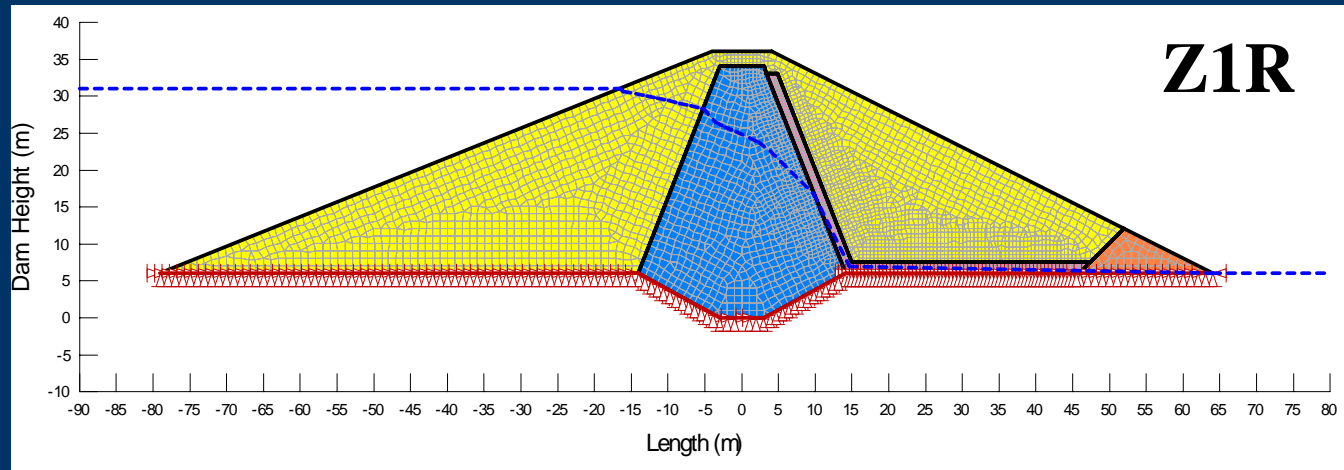
H3C-2

เขื่อนดินเนื้อเดียวที่มีชั้นกรองแบบ Chimney วางบนฐานรากหินแข็งแทรกด้วยชั้นหินผุ มีลาดชันเขื่อนด้านเหนือน้ำ 2.5:1 (H3C-2)



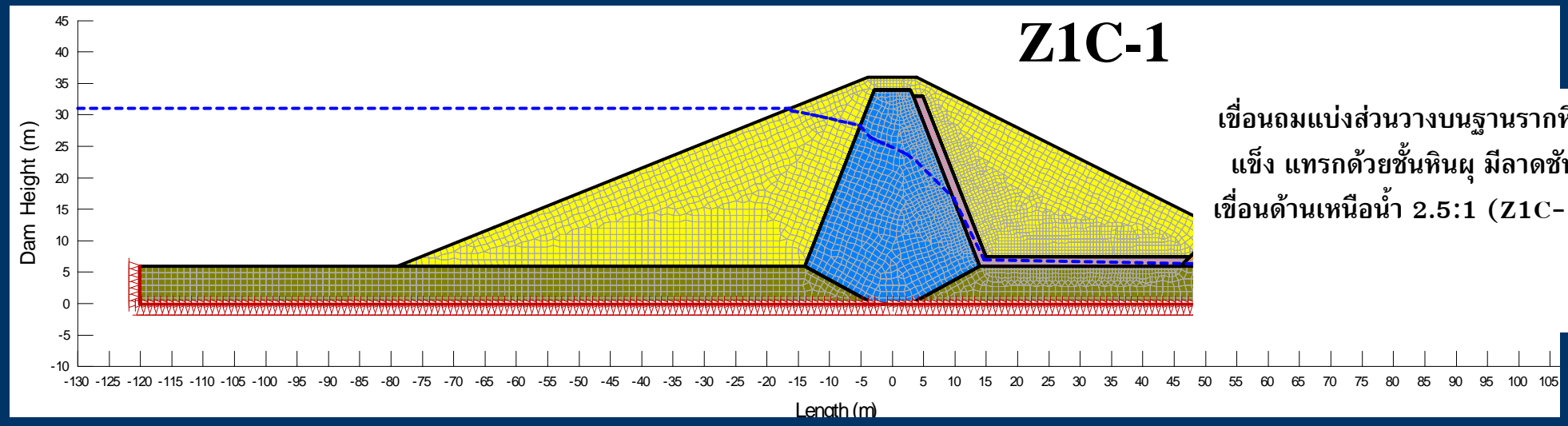
H3C-3

เขื่อนดินเนื้อเดียวที่มีชั้นกรองแบบ Chimney วางบนฐานรากหินแข็งแทรกด้วยชั้นหินผุ มีลาดชันเขื่อนด้านเหนือน้ำ 2:1 (H3C-3)



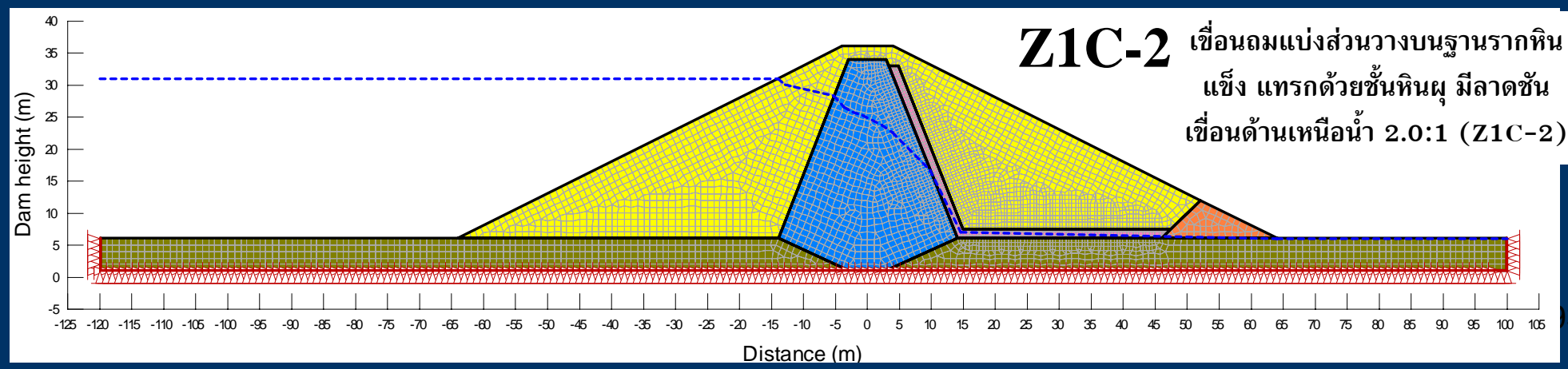
Z1R

เขื่อนถมแบ่งส่วนวางบนฐานราก
หินแข็ง มีลาดชันเขื่อนด้านเหนือ
น้ำ 2.5:1 (Z1R)



Z1C-1

เขื่อนถมแบ่งส่วนวางบนฐานรากหิน
แข็ง แทรกด้วยชั้นหินผุ มีลาดชัน
เขื่อนด้านเหนือ น้ำ 2.5:1 (Z1C-1)



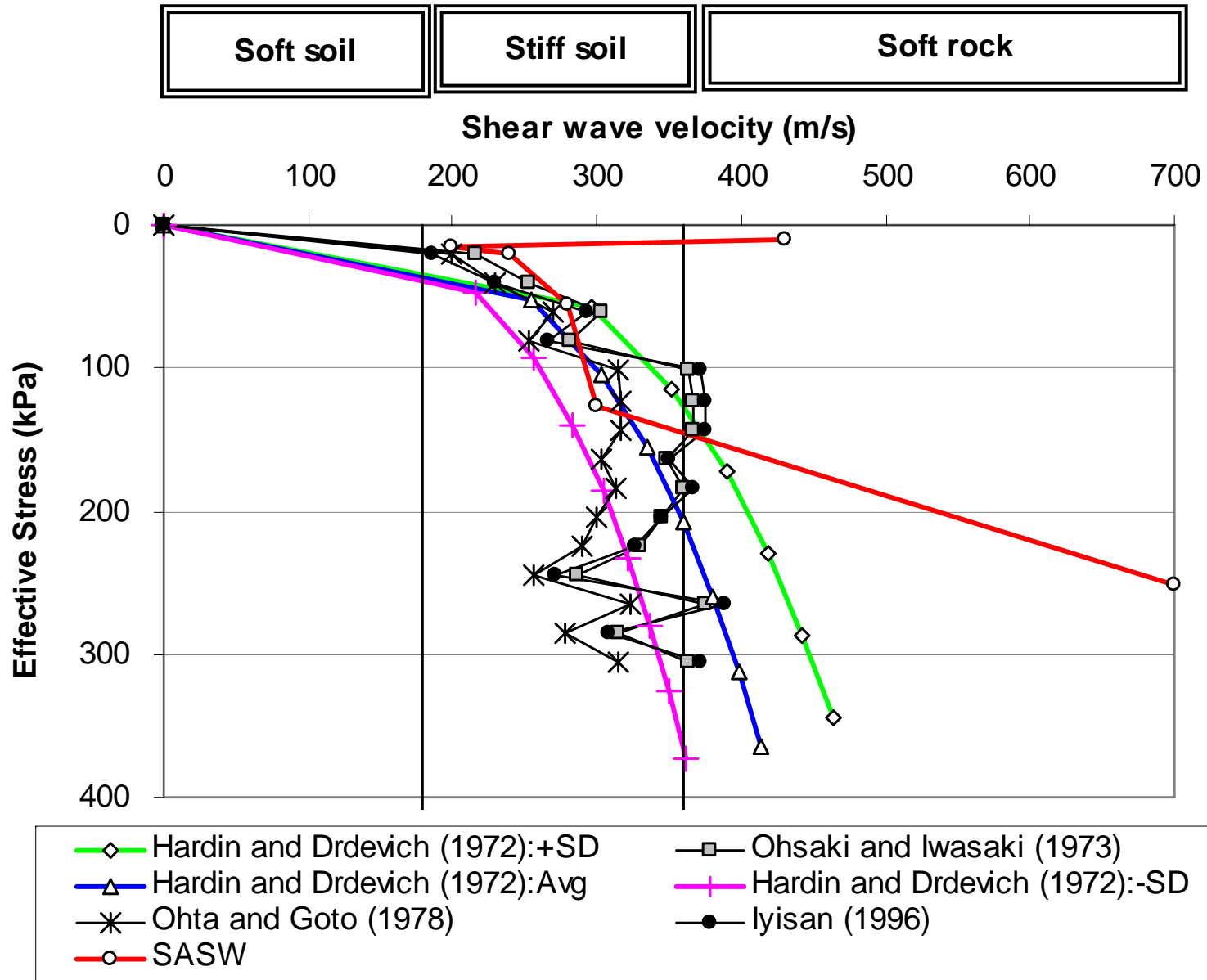
Z1C-2

เขื่อนถมแบ่งส่วนวางบนฐานรากหิน
แข็ง แทรกด้วยชั้นหินผุ มีลาดชัน
เขื่อนด้านเหนือ น้ำ 2.0:1 (Z1C-2)

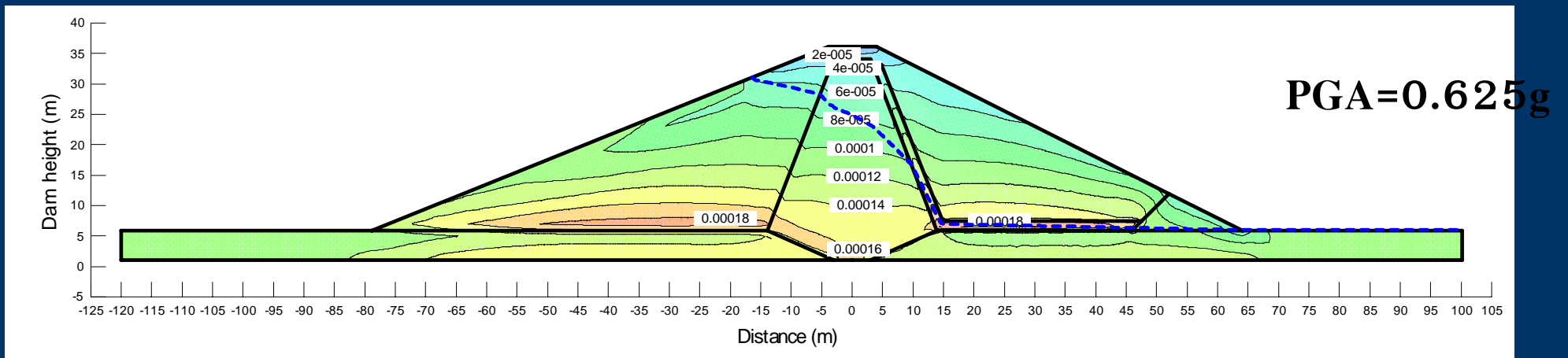
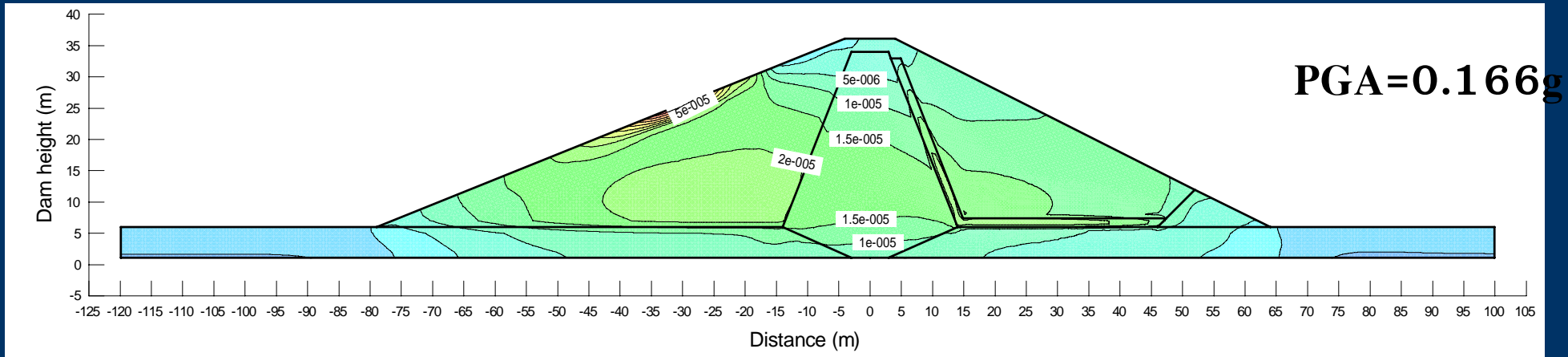
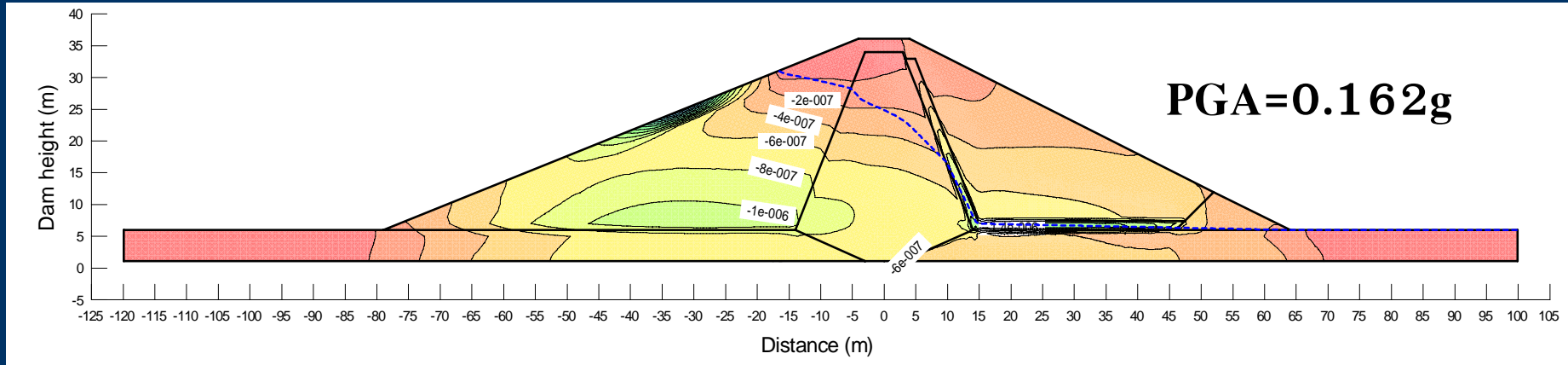
● ผลการศึกษาอัตราส่วนความปลอดภัยในสถานะสถิตย์

Dam code	Factor of safety	
	U/S	D/S
H1R	3.89	2.47
H2R	3.76	2.29
H2C	3.86	2.26
H3R	3.87	2.39
H3C-1	3.79	2.65
H3C-2	3.65	2.65
H3C-3	3.58	2.65
Z1R	2.88	2.12
Z1C-1	2.97	2.16
Z1C-2	2.71	2.21

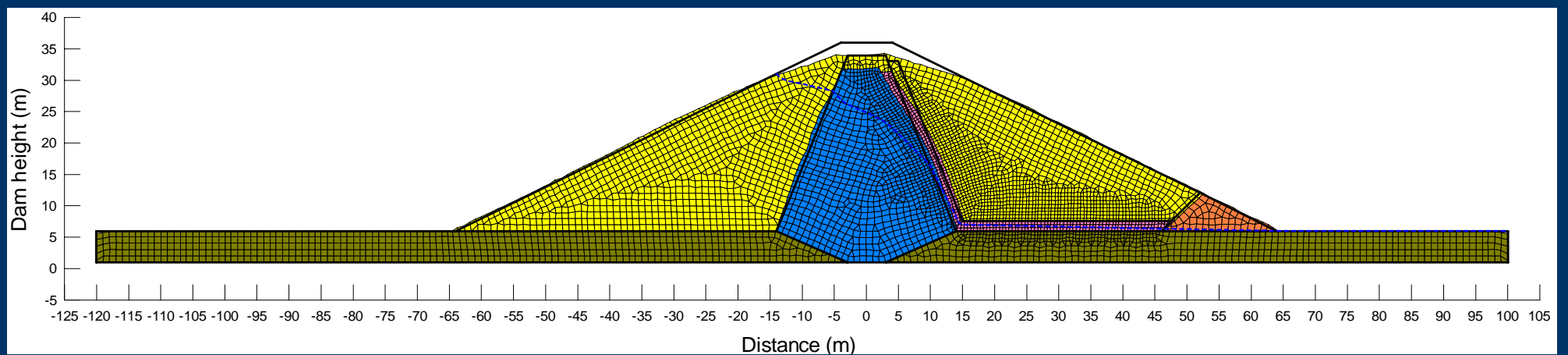
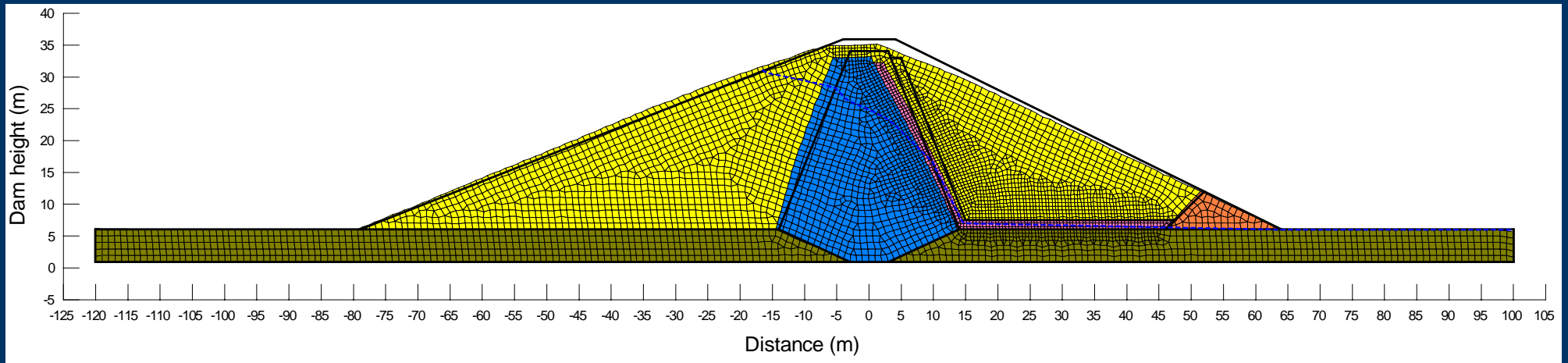
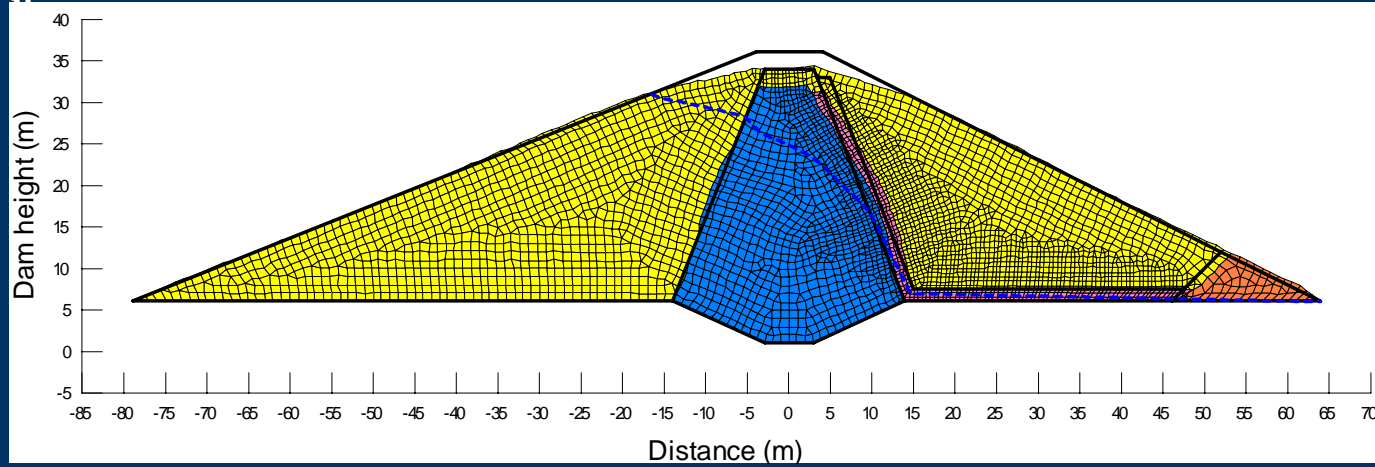
Shear wave velocity profile (Homogeneous zone)



● ความเครียดเฉือนที่เกิดจากแรงกระทำแผ่นดินไหวที่ Peak time ของเขื่อน Z1C-1

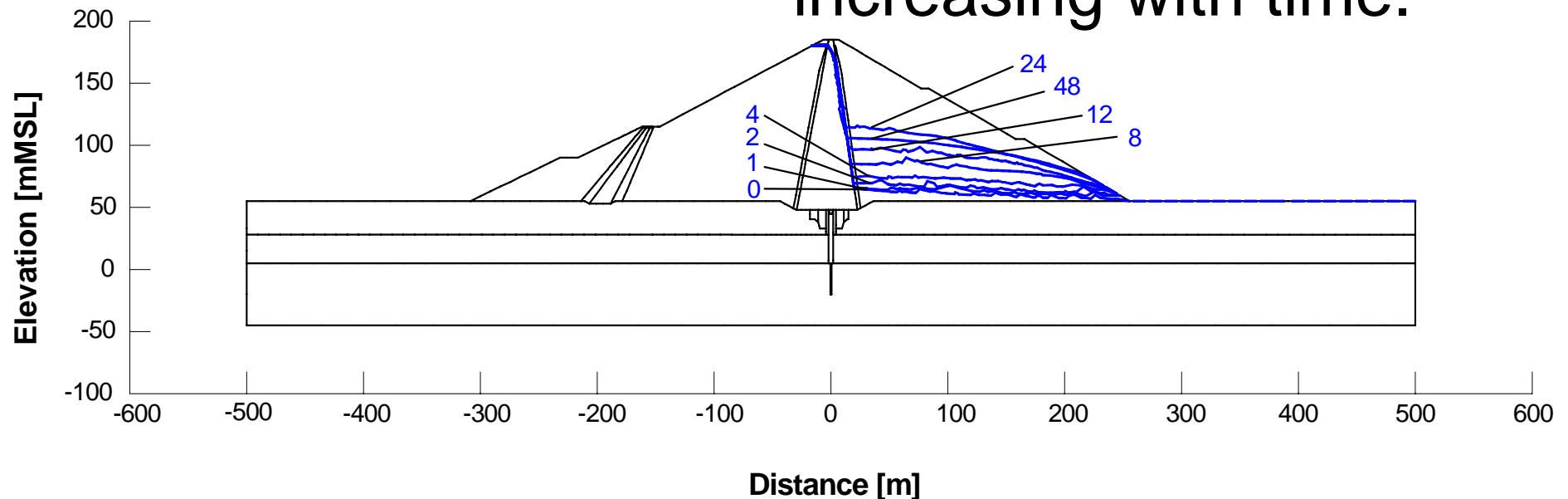


● การเสีรูปจาก Dynamic deformation ของเขื่อนดินเนื้อเดียว (แผ่นดินไหวชุด M3)



Seepage through crack zone from the movement (cont.)

The water level are obviously increasing with time.



Case 3, 4: Dam had moved transversally then dam section has been decreased apparently.

Stability Analysis

