

## การพิบัติของเขื่อน

ผศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์

รศ.ดร.วรากร ไม้เรียง

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การพิบัติของเขื่อนส่งผลกระทบต่อความเสียหายในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างสูงทั้งระยะสั้นและระยะยาว วิศวกรเขื่อนได้อาศัยบทเรียนจากการพิบัติในอดีต มาทำการปรับปรุงการสำรวจออกแบบ ก่อสร้าง และบำรุงรักษา เพื่อให้เขื่อนมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น บทความนี้มุ่งเน้นถึงสถิติการพิบัติ รวมไปถึงสาเหตุ และลักษณะการพิบัติของเขื่อนเพื่อประโยชน์ในการสร้างเขื่อนให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น รวมทั้งเพื่อการบำรุงรักษาเขื่อนอย่างถูกต้อง

### 1. สถิติการพิบัติของเขื่อน

ความเสียหายหรือการพิบัติในงานเขื่อน อาจแบ่งเป็น 2 ระดับของความรุนแรงคือ

ก. **การพิบัติที่รุนแรง (Catastrophic Failure)** หมายถึง การพิบัติเกิดขึ้นฉับพลัน มีความรุนแรงมาก และทำความเสียหายอย่างกว้างขวาง การพิบัติในกรณีนี้มักมีสาเหตุมาจากน้ำล้นสันเขื่อน การกัดเซาะภายในตัวเขื่อนและฐานราก การเคลื่อนพังของลาดเขื่อน การเกิด Liquefaction จากแผ่นดินไหว เป็นต้น

ข. **ความเสียหายที่แก้ไขได้ (Repairable Damage)** หมายถึง ความเสียหายที่มีปรากฏการณ์หรือข้อบ่งชี้ให้เห็นล่วงหน้า เมื่อสามารถตรวจพบตั้งแต่ระยะแรกก็จะเป็นความเสียหายซึ่งสามารถซ่อมแซมแก้ไขได้ แต่ถ้ามมีการปล่อยปะละเลยก็อาจขยายตัวเป็นการพิบัติที่รุนแรงต่อมาได้

มีหลายหน่วยงานที่รวบรวมสถิติการพิบัติของเขื่อนไว้ พร้อมทั้งสาเหตุของการพิบัติเหล่านั้น สำหรับในสหรัฐอเมริกา ซึ่งตั้งเป็นหน่วยตรวจสอบความปลอดภัยของเขื่อน (U.S. Army Corps of Engineer's, National Dam Inspection Program) ภายหลังจากได้เกิดการพิบัติของหลายเขื่อนติดต่อกัน ได้แถลงว่า จาก 4906 เขื่อนซึ่งได้ตรวจสอบถึงเดือนมีนาคม ค.ศ. 1980 มีเขื่อนที่ไม่ปลอดภัยอยู่ถึง 32% หรือ 1563 เขื่อน ในระดับนานาชาติ "คณะกรรมการเขื่อนใหญ่ระหว่างประเทศ" (International Commission of Large Dams, ICOLD) ได้รายงานการพิบัติในเขื่อนใหญ่ใน ค.ศ. 1973 ไว้ตามขั้นตอนของการดำเนินโครงการเขื่อนดังแสดงในตารางที่ 1 โดยสำรวจจาก 466 กรณีพิบัติในเขื่อนประเภทต่างๆ ซึ่งมีข้อน่าสังเกตว่า ในเขื่อนดินจะมีจำนวนการพิบัติมากกว่าเขื่อนประเภทอื่นและส่วนมากจากสาเหตุของขั้นตอนการสำรวจและออกแบบ ตารางที่ 2 แสดงอัตราการพิบัติของเขื่อนแยกตามกลุ่มประเทศ

ตารางที่ 1 สาเหตุแห่งการพิบัติของเขื่อนใหญ่จากขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้าง โดย ICOLD (Thomas, H.H., 1976)

ขั้นตอนที่เป็นสาเหตุ	จำนวนที่เกิดขึ้น						รวม
	A	B	G	E	R	M	
การสำรวจ	9	5	6	49	2	1	72
วัสดุก่อสร้าง	1	-	2	8	-	-	11
การวางตำแหน่ง	-	1	4	17	3	-	25
การออกแบบ	4	6	13	48	3	2	76
การก่อสร้าง	1	1	2	32	5	-	41
การใช้งาน	-	-	-	5	1	-	6
การควบคุม	1	1	-	3	-	-	5
รวม	16	14	27	162	14	3	236

A = Arch, B = Buttress, G = Gravity, E = Earthfill, R = Rockfill, M = Miscellaneous

ตารางที่ 2 ผลการสำรวจอัตราการพิบัติของเขื่อน

Area	Reference	Failures	Total Dam Years	Period (years)	Rate (dam years) <sup>-1</sup>
United State	Gruner (1976)	33	1764	40	$5 \times 10^{-4}$
	Babb and Mermel (1968)	12	3100	14	$3 \times 10^{-4}$
	USCOLD (1975)	74	4914	23	$7 \times 10^{-4}$
World	Mark and Stuart-Alexander (1977)	125	7500	40	$4 \times 10^{-4}$
	Middlebrooks (1953)	9	7833	6	$2 \times 10^{-4}$
Japan	Takase (1967)	1046	$2 \times 10^6$	15	$4 \times 10^{-5}$
Spain	Gruner (1967)	150	1620	145	$6 \times 10^{-4}$

ที่มา : Baecher และคณะ (1980)

ถ้าจะพิจารณาทางด้านลักษณะ หรือพฤติกรรมในการพิบัติของเขื่อนในหลายประเทศ ซึ่ง V.P. Jauhari (1999) ได้รวบรวมเขื่อนที่เกิดการพิบัติอย่างรุนแรงอันเป็นเหตุให้มีคนเสียชีวิตมากกว่า 10 คนขึ้นไป โดยมีแหล่งที่มาของข้อมูลจากหลายแห่งดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 บันทึกการพิบัติของเขื่อนที่ทำให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 10 คน ตั้งแต่ปี ค.ศ.1860  
(Jauhari, V.P., 1999)

Dam	Country	Type	Height (m)	Year completed	Year failed	Cause of failure	People killed	Cost of damage
Dale Dyke (Bradfield)	England	E	29	1858	1864		250(1)	£0.5 m
Iruhaike	Japan	E	28	1863	1868	OT	>1000(2)	
Mill River	MA, USA	E	13	1865	1874	SF	143	>\$1m
El Habra†	Algeria	R	36		1881	OT	209	
Valparaíso	Chile	E	17		1888	SF	>100	
South Fork, Johnstown	PA, USA	E	22	1853	1889	OT	2,209	
Walnut Grove	AZ, USA	R	34	1888	1890	OT	150	
Bouzey	France	G	15	1881	1895	SF	150(1)	
Austin	PA, USA	G	15	1909	1911	SF	80	
Lower Otay	CA, USA	R	40	1897	1916	OT	30	
Bila Desna	Czecho-slovakia	E	17	1915	1916	SF	65	
Tigra	India	G	24	1917	1917	OT	>1,000(2)	
Gleno	Italy	M, G	44	1923	1923	SF	600	
Eigiau/Coedty §	Wales	G/E	11	1908/19	1925	PI/OT	16	
St.Francis	CA, USA	A	62	1926	1928	SF	450	
Alla Sella Zerbino	Italy	G	12	1923	1935	OT	> 100	
Vega de Terra (Ribadelago)	Spain	B	34	1957	1959	SF	145	
Malpasset (Fréjus)	France	A	61	1954	1959	F	421	
Orós	Brazil	E	54	const	1960	OT	c.1,000	
Babii Yar	Ukraine	E			1961	OT	145	
Panshet/ Khadakwasla	India	E/R	54/4 2	const/18 79	1961	SF, OT/OT	> 1,000(2)	
Vaiont	Italy	A	261	1960	1963	OT	2,600	
Zgorigrad (Vratza)	Bulgaria	Ta	12			OT	> 96	
Nanaksagar	India	E	16	1962	1967	SF/OT	c.100	
Sempor	Indonesia	R	54	const	1967	SF/OT	c.200	
Frías	Argentina	R	15	1940	1970	OT	> 42	

โครงการอบรม ความปลอดภัยเขื่อนในสภาวะปกติและสภาวะอันตราย  
ระหว่างวันที่ 20-21 กันยายน 2550 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ คอนเวนชั่น

Dam	Country	Type	Height (m)	Year completed	Year failed	Cause of failure	People killed	Cost of damage
Buffalo Creek	WV, USA	Ta	32	const	1972	OT	125	\$30-50m(15)
Canyon Lake	SD, USA	E	6	1938	1972	OT	237*	\$60m
Baniqao, Shimantan,	China	E		late 1950s	1975	OT	≤230,000 (4)	
Teton	ID, USA	E	90	1976	1976	SF	11-14	\$0.4-1bn
Laurel Run	PA, USA				1977		39(3)	\$20-45m(2)
Kelly Barnes (Toccoa Falls)	GA, USA	E	13	1899	1977	SF	39(3)	
Machhu II	India	E	26	1972	1979	OT	> 2000	\$15m
Gopinatham	India			1980	1981	OT	47(5)	
Taus	Sapin	R	77	1980	1982	OT	> 20(6)	
Stava	Italy	Ta		1960s	1985		269(7)	
Kantalai	Sri Lanka	R	15	1952	1986	PI	82(8)	
Sargazon	Tadjikis-tan		23	1980	1987		> 19(9)	
Belci	Romania	E	18	1962	1991	OT	c.48(10)	
Gouhou	China	R	71	1987	1993	PI	342(11)	\$18m
Tirlyan	Russia	E	10	<1987	1994	OT	19-37 (12)	Rs40bn
Virginia No.15	S.Africa	Ta	47		1994		39(13)	\$15m
Lake Blackshear, Flint River Dam	GA, USA	E	< 15		1994	OT	15(14)	

**Notes:**

*Dam types:* E=Earthfill; R=Rockfill; G=Gravity; M=Multi-arch; B=Buttress; A=Arch; Ta=Tailings

*Cause of failure :* OT=overtopping; PI=piping; SF=structural failure; F=geological/foundation weakness.

\* unable to distinguish dam break fatalities with those caused by 'natural' flood.

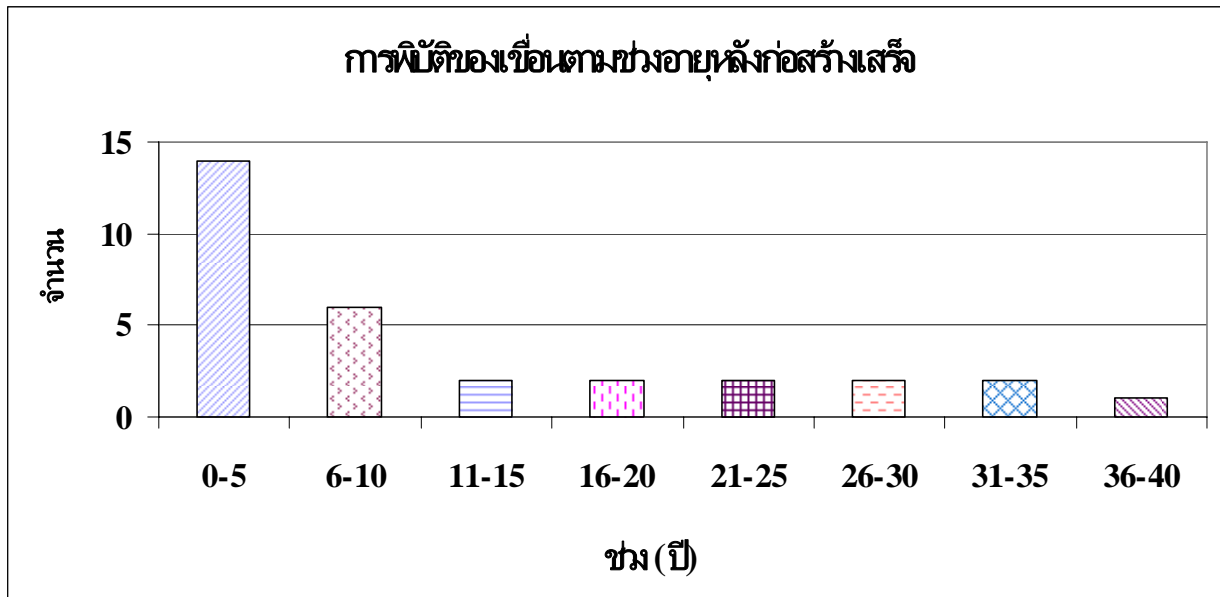
† EI Habra first failed in 1872 without loss of life. It was then rebuilt, failed again in 1881, rebuilt again, then failed again in 1927 (without fatalities) and was then abandoned.

§ The flood from the collapse of the first dam breached the second dam downstreams.

Source:

1. N. Smith, *A History of Dams*, Peter Davies, London 1971.
  2. F. Lemperiere, 'Dams That Have Failed by Flooding. An Analysis of 70 Failures', *Water Power and Dam Construction*, October 1993.
  3. J.E. Costa, 'Floods from Dam Failures', in V.R. Baker et al. (eds.), *Flood Geomorphology*, Wiley, New York 1998.
  4. Human Rights Watch/Asia. *The Three Gorges Dam in China: Forced Resettlement, Suppression of Dissent and Labour Rights Concerns*. New York, February, 1995.
  5. Centre of Science and Environment, *The State of India's Environment-1982: A Citizen's Report*, CSE, New Delhi 1982.
  6. 'Overtopped Spanish Dam Collapses as Spillway Gates Stay Shut', *World Water*, November 1982.
  7. 'South African Dam Breach Followed Warnings', *Construction Today*, March, 1994.
  8. 'Kantalai Failure Leaves 18,000 Homeless', *Water Power & Dam Construction*, May 1986.
  9. 'Burst Raises Doubts about Soviet Hydroelectricity Dam', *Nature*, 26 March 1987.
  10. 'Flooding and Landslides Cause Three Major Failures in Romania', *Water Power & Dam Construction*, October 1991.
  11. 'China Disciplines 15 for Dam Break', *Tibetan Environment & Development News*, Issue 16, 1994.
  12. 'The Tirlyan Breakthrough', *Moscow News*, 19 August, 1994.
  13. 'When the Bough Breaks...', *Higher values* (Minewatch Bulletin), April 1994.
  14. 'Georgia Flood Deaths', *International Water Power & Dam Construction*, August 1994.
  15. B. Ellingwood et al. 'Assessing Costs of Dam Failure', *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 119, No.1, January/February 1993.
- All others : R.B.Jansen, *Dams and Public Safety*, US Department of the Interior, Washington DC, 1990.

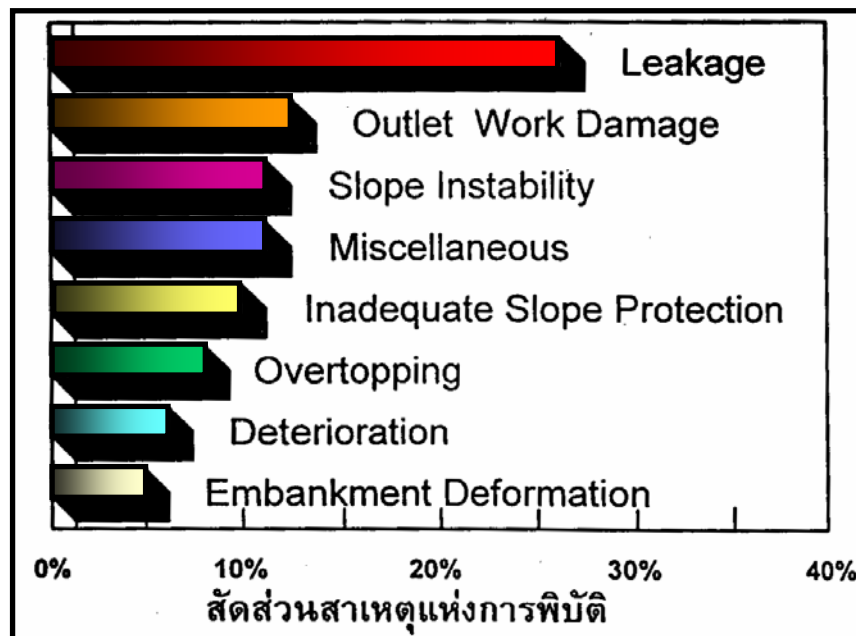
จากสถิติดังกล่าว หากทำการศึกษาถึงสถิติของอายุเขื่อนที่เกี่ยวข้องกับการพิบัติ จะสามารถเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 1 จากรูปดังกล่าวพบว่าเขื่อนโดยทั่วไปมีสถิติการพิบัติในช่วง 10 ปีแรกที่ค่อนข้างสูง จากนั้นสถิติการพิบัติจะลดลง แต่ยังคงพบสถิติการพิบัติอย่างต่อเนื่อง



ข้อมูลในการวิเคราะห์ : Jauhari, 1999

รูปที่ 1 แสดงผลการพิบัติของเขื่อนตามช่วงอายุหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ (สุทธิศักดิ์, 2550)

ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการรวบรวมและประมวลสาเหตุของเขื่อนพิบัติโดยนำเสนอข้อมูลใน Engineering News Record แสดงในรูปที่ 2

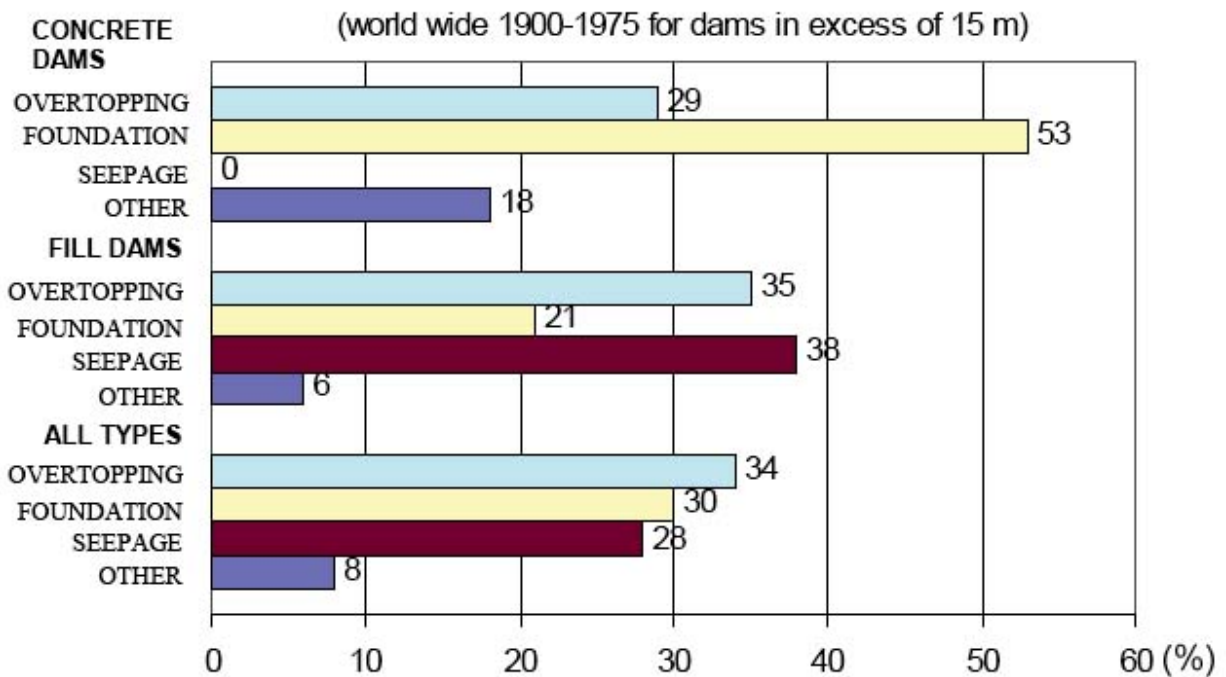


รูปที่ 2 ลักษณะการพิบัติของเขื่อนในสหรัฐอเมริกา (จาก ENR.)

ในประเทศสเปน รายงานใน คศ. 1961 จากเขื่อนจำนวน 1620 เขื่อน 19% อยู่ในสภาพ  
วิกฤตจากสาเหตุ

เกี่ยวกับฐานราก	40%
ทางระบายน้ำล้นไม่เพียงพอ	23%
การก่อสร้างไม่เหมาะสม	12%

จะเห็นได้ว่าสาเหตุใหญ่อยู่กับการรั่วซึมเสียเป็นส่วนใหญ่ ต่อมาคือ ทางระบายน้ำล้นไม่  
เหมาะสมอาจทำให้เกิดการเอ่อล้นสันเขื่อน และการเคลื่อนพังของลาดเขื่อนหรือส่วนอื่น ๆ ภายในอ่างเป็น  
สาเหตุที่มีมากเป็นอันดับรอง นอกจากนี้ Gulliver and Arndt ได้กล่าวว่า National Research Council ได้ทำ  
การรวบรวมเปอร์เซ็นต์การพิบัติของเขื่อนประเภทต่าง ๆ ในช่วงปี 1900-1975 ดังรูปที่ 3



ที่มา : Gulliver and Arndt, 1991

### รูปที่ 3 ลักษณะการพิบัติที่พบในเขื่อนประเภทต่างๆ

ในปี ค.ศ. 1983 USCOLD ได้สรุปสถิติสาเหตุการพิบัติของเขื่อนจำนวน 240 เขื่อน ใน  
สหรัฐอเมริกาดังแสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4 สรุปสถิติสาเหตุการพิบัติของเขื่อนโดย USCOLD**

Causes of Incident or failure	% of 240 dam
External erosion (overtopping / wave action)	29
Internal erosion (in dam body / foundation)	38
Foundation instability	14
Excessive dam deformations	13
Deterioration (chemical / physical)	2
Malfunction of gate	2
Earthquake effects	1
Construction error	1

ที่มา : Hoeg (1996)

ในปี ค.ศ 1995 ICOLD ได้ออกเอกสารแสดงสถิติการพิบัติของเขื่อนทั่วโลกยกเว้นประเทศจีน จำนวน 181 เขื่อน ซึ่งเป็นเขื่อนดินจำนวน 129 เขื่อน โดยสามารถสรุปสถิติสาเหตุการพิบัติของเขื่อนดินได้ดังตารางที่ 5

**ตารางที่ 5 สรุปสถิติสาเหตุการพิบัติของเขื่อนดินโดย ICOLD ในปี 1995**

Cause of Embankment Failures	Earthfill (%)	Rockfill (%)	Rockfill and Earthfill (%)
Overtopping (of crown)	23	45	31
Internal erosion (piping)-in dam body	20	8	23
Internal erosion (piping)-in foundation	13	13	15
Other structure causes	29	25	23
Other causes	15	9	8
Total (percentage)	100	100	100
Total number of dams	92	24	13

ที่มา : Hoeg (1996)

ในขณะที่การศึกษาของ U.S.B.R. (1998) ด้านความเสี่ยงของลักษณะการพิบัติของเขื่อนที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงานของตัวเองโดยวิเคราะห์จากประวัติที่มีการบันทึกไว้ พบว่าโอกาสเกิดการพิบัติมากที่สุดมาจากสาเหตุของฐานรากเขื่อน รongลงมาได้แก่จากแผ่นดินไหว ดังแสดงในตารางที่ 6



ตารางที่ 6 โอกาสเกิดการพิบัติจากสาเหตุต่างๆ ของเขื่อนของ USBR (Tatalovich ,J.,1998)

Type	Von Thun accident probabilities	Von Thun failure probabilities	Assessment probabilities averages	Number of samples from risk assessments
Overtopping	1.84e-05	1.57e-04	4.70e-05	16
Foundation	9.22e-05	1.88e-05	1.34e-03	17
Piping	9.24e-05	9.51e-05	3.19e-05	20
Sliding	8.07e-05	6.90e-06	6.38e-07	5
Structural	1.69e-04	3.52e-05	9.71e-05	9
Spillway	2.82e-05	8.86e-06	6.81e-05	12
Earthquake	1.18e-05	6.90e-06	1.85e-04	42

Foster และคณะ (2000) ได้สรุปสถิติการพิบัติของเขื่อนดินขนาดใหญ่ ถึงปี คศ. 1986  
ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 สถิติการพิบัติของเขื่อนดินขนาดใหญ่ถึงปี 1986

Mode of failure	No. of cases		% failures (where known)		Average frequency of failure ( $\times 10^{-3}$ )	
	All failures	Failures in operation	All failures	Failures in operation	All failures	Failures in operation
<b>Overtopping and appurtenant</b>						
Overtopping	46	40	35.9	34.2	4.1	3.6
Spillway-gate	16	15	12.5	12.8	1.4	1.3
Subtotal	62	55	48.4	47.0	5.5	4.9
<b>Piping</b>						
Through embankment	39	38	30.5	32.5	3.5	3.4
Through foundation	19	18	14.8	15.4	1.7	1.6
From embankment into foundation	2	2	1.6	1.7	0.18	0.18
Subtotal	59	57	46.1	48.7	5.3	5.1
<b>Slides</b>						
Downstream	6	4	4.7	3.4	0.54	0.36
Upstream	1	1	0.8	0.9	0.09	0.09
Subtotal	7	5	5.5	4.3	0.63	0.45
Earthquake-liquefaction	2	2	1.6	1.7	0.18	0.18
Unknown mode	8	7				
Total no. of failures	136	124			12.2 (1.2%)	11.1 (1.1%)
Total no. of failures where mode of failure known	128	117				
No. of embankment dams	11 192	11 192				

Note: Subtotals and totals do not necessarily sum to 100%, as some failures were classified as multiple modes of failure.

ที่มา : Foster และคณะ (2000)

ตารางที่ 8 สถิติการพิบัติของเขื่อนดินขนาดใหญ๋(Zone dams) ถึงปี 1986

Dam zoning type	Mode of failure												
	% of population	No. of failure cases	% of failure cases	Piping			Slope instability			Spillway-gate failure	Unknown		
				Through embankment	Through foundation	From embankment into foundation	Downstream slide	Upstream slide	Earthquake			Overtopping	
Homogeneous earthfill	9.5	23 (17)	28 (32)	14	2	0	1	0	0	1	6	0	0
Earthfill with filter	15	4 (2)	5 (4)	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Earthfill with rock toe	6.1	9 (9)	11 (17)	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0
Zoned earthfill	35.9	7 (5)	9 (9)	4	1	0	0	0	0	0	2	0	0
Zoned earth and rockfill	9.3	4 (3)	5 (6)	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
Central core earthfill and rockfill	8.4	4 (1)	5 (2)	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0
Concrete face earthfill	4.1	4 (4)	5 (8)	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Concrete face rockfill	2.8	1 (0)	1 (0)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Puddle core earthfill	4.7	5 (4)	6 (8)	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Earthfill with concrete corewall	2.4	11 (3)	13 (6)	0	2	0	0	0	1	0	4	3	1
Rockfill with concrete corewall	0.9	0 (0)	0 (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydraulic fill	0.9	5 (3)	6 (6)	0	1	0	2	0	0	0	0	2	0
Other	—	5 (3)	6 (6)	1	2	0	0	0	0	0	1	1	0
Unknown	—	54 (13)	—	6	5	0	1	0	1	1	26	9	7
Total	100	136 (66)	100 (100)	39	19	2	6	1	2	46	16	8	8

Note: The values in parentheses refer to statistics for structural modes of failure, comprising piping, slope instability, and earthquake modes of failure. The number of failure cases for the modes of failure do not necessarily sum to the total number of failure cases because some dams were classified as multiple modes of failure.

ที่มา : Foster และคณะ (2000)

จากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมาพอสรุปได้ว่า เขื่อนดินถมจะมีรูปแบบการพิบัติอันเนื่องจากการรั่วซึมมากที่สุด โดยมีการพิบัติมาในช่วงก่อน ค.ศ.1950 อาจเนื่องจากยังไม่มีเครื่องมือในการก่อสร้างหรือบดอัดที่มีประสิทธิภาพมากพอ จนถึงในปัจจุบันจะมีอัตราการรั่วซึมน้อยลงเมื่อเทียบกับสมัยก่อนแต่ก็ยังมีเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าการพิบัติกรณีอื่น ๆ รองลงมาเป็นการพิบัติอันเนื่องมาจากน้ำล้นสันเขื่อน โดยจะมีมากกว่าสมัยก่อนอาจเนื่องมาจากในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางธรรมชาติมากทำให้ค่าปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ไว้ต่างจากข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

สำหรับในประเทศไทยภายหลังวิกฤตการณ์การรั่วของเขื่อนมูลบน เมื่อตุลาคม พ.ศ.2533 ทางรัฐบาลก็ได้แต่งตั้ง คณะอนุกรรมการตรวจสอบสภาพเขื่อนทั่วประเทศที่อยู่ในข่ายที่มีอันตรายความเสี่ยงสูง ซึ่งเป็นเขื่อนขนาดกลางและใหญ่ ที่มีขนาดความจุตั้งแต่ 20 ล้านลบ.เมตร และ/หรือ ความสูงตั้งแต่ 15 เมตรขึ้นไป จำนวน 225 เขื่อน ปรากฏผลการตรวจตั้งแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปผลการตรวจเขื่อนดินในประเทศไทย (สำนักนายกรัฐมนตรี, มิถุนายน 2534)

หน่วยงานที่ดำเนินการ	จำนวนเขื่อน	สภาพเขื่อน			
		มั่นคง	ใช้ได้	ต้องแก้ไข	อื่น ๆ
กรมชลประทาน	188	122	29	4	33
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ	3	1	2	-	-
การพลังงานฯ	2	1	1	-	-
รพช.	32	4	16	8	4
รวม	225	128	48	12	37

หมายเหตุ อื่น ๆ หมายถึง เขื่อนดินที่ไม่เข้าหลักเกณฑ์ในการตรวจสอบ เช่น กำลังก่อสร้าง หรือยังไม่ได้ก่อสร้างและมีการยกเลิกโครงการจึงไม่ได้ดำเนินการตรวจสอบ

ตารางที่ 10 แสดงรายละเอียดความเสียหายของเขื่อนในประเทศไทยเท่าที่สามารถบันทึกข้อมูลได้

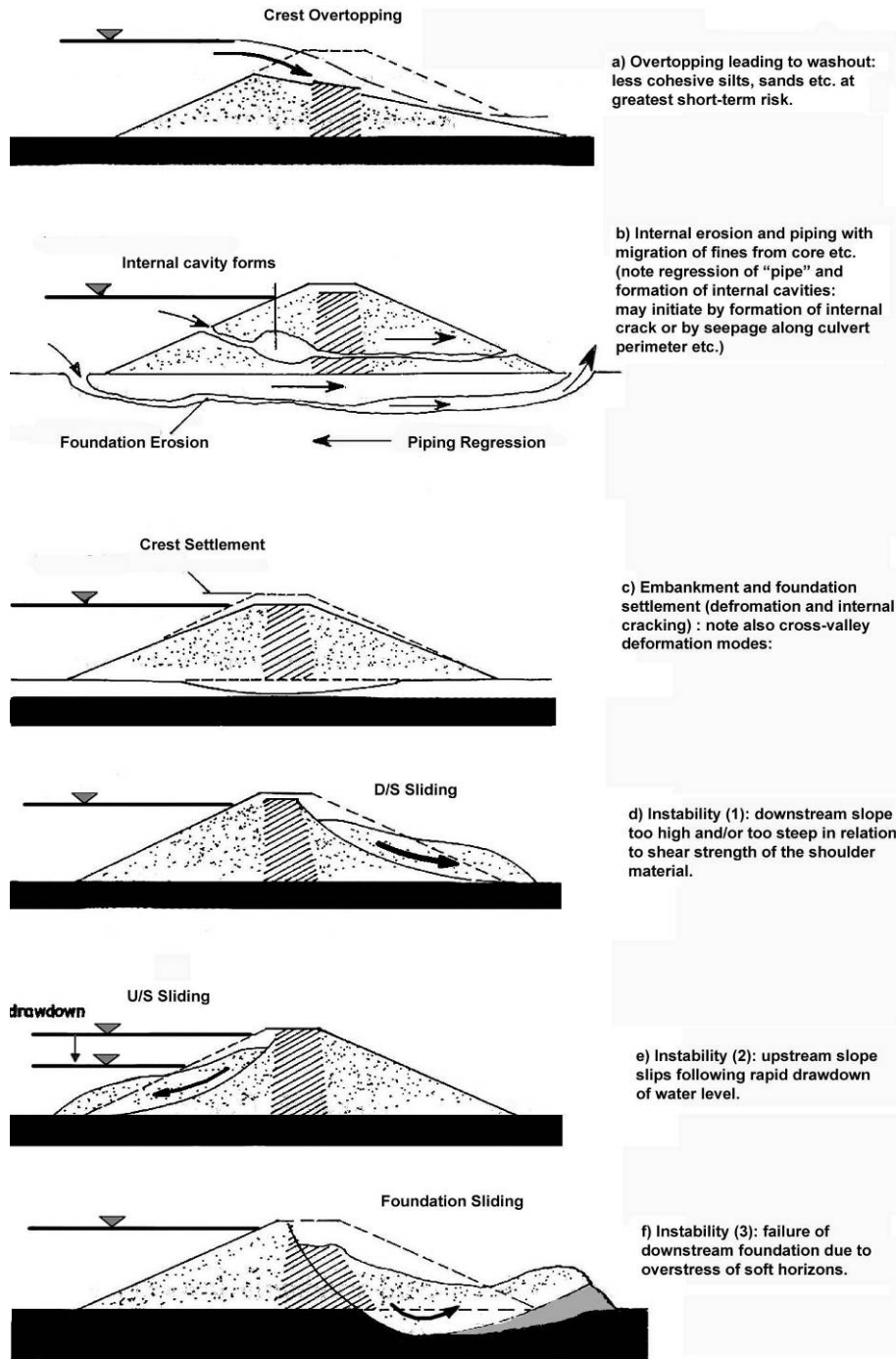
ตารางที่ 10 กรณีการพิบัติหรือความเสียหายของเขื่อนในประเทศไทย

ปี พ.ศ.	ชื่อเขื่อน	จังหวัด	สังกัด	สาเหตุ	ผลสืบเนื่อง
2513 ถึง 2515	- ลำสำราย - ลำเชียงไกร - อ่าปีล - ห้วยสวาย	นครราชสีมา นครราชสีมา สุรินทร์ บุรีรัมย์	กรมชลฯ กรมชลฯ กรมชลฯ กรมชลฯ	- ดินตัวเขื่อนเป็นดิน กระจายตัว เกิดการ กัดเซาะละลายน้ำได้	- เสียหายทั้งหมด และมีการก่อสร้าง ขึ้นใหม่ โดยใช้ปูน ขาวผสม - มีการศึกษาปัญหา ดินกระจายตัวและ กำหนดการทดสอบ และแก้ไข
2521	- อุบลรัตน์	ขอนแก่น	กฟผ.	- ปริมาณน้ำหลาก มากกว่าที่ออกแบบ - น้ำในอ่างสูงเกือบล้น สันเขื่อนและเกิดน้ำ ท่วมท้ายน้ำจากการ ระบาย	- ทบทวนการคำนวณ ทางอุทกวิทยา - ยกระดับสันเขื่อน และทางระบายน้ำ ล้น - การจัดตั้ง "กอง ตรวจสอบและ บำรุงรักษาเขื่อน" กฟผ.
2533	- มูลบน	นครราชสีมา	กรมชลฯ	- การรั่วซึมผ่านฐาน รากเขื่อน	- การซ่อมแซม ปรับปรุงเขื่อนโดย ใช้กำแพงทึบน้ำใต้ ดิน - การตั้งคณะกรรมการ การตรวจสอบ สภาพเขื่อนดินทั่ว ประเทศ - จัดทำคู่มือตรวจ สอบและประเมิน ความปลอดภัย เขื่อน

ที่มา: ปรับปรุงจาก Dam Safety Project preparation report (1996)

## 2 ลักษณะการพิบัติของเขื่อน

อนุกรมการเขื่อนใหญ่ของสหรัฐอเมริกา (USCOLD) ได้สรุปการพิบัติของเขื่อนไว้ 6 ลักษณะด้วยกันซึ่งสามารถเกิดจากสาเหตุที่ต่างกัันดังแสดงใน รูปที่ 4



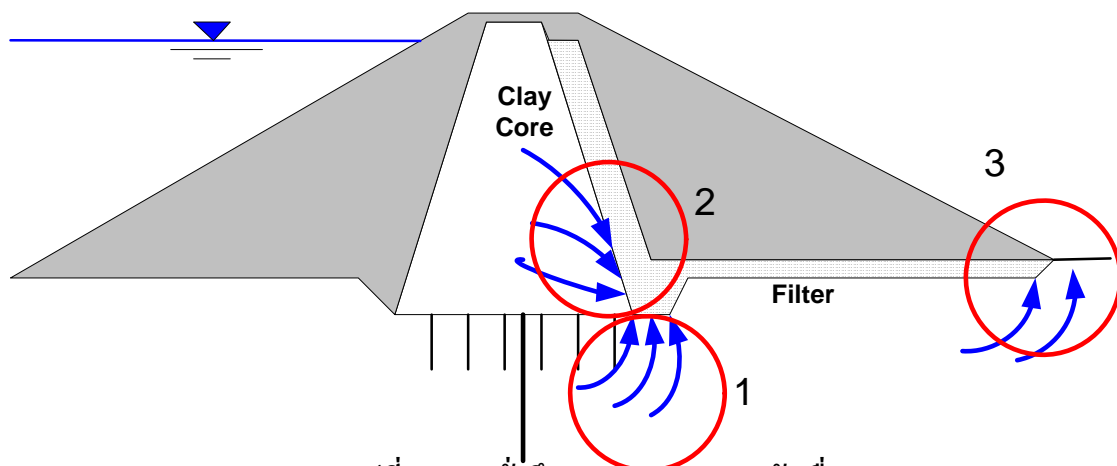
รูปที่ 4 การพิบัติของเขื่อน 6 ลักษณะ ตามข้อสรุปของ USCOLD

ที่มา : USCOLD

จากหลักฐานทางสถิติของการพิบัติที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าเขื่อนจะมีปัญหารั่วซึมเป็นตัวการสำคัญ แต่ก็มีกรพังของสาเหตุรองๆ ลงมา ซึ่งในหลายกรณีจะเป็นสาเหตุเสริมเกี่ยวข้องกัน ซึ่งบางครั้งก็ยากที่จะวินิจฉัยลงไปให้แน่ชัดว่าเกิดจากสาเหตุใด สาเหตุสำคัญ ๆ มีดังต่อไปนี้

## 2.1 การรั่วซึมของฐานรากและตัวเขื่อน

เมื่อสร้างเขื่อนขึ้นขึ้นกักน้ำ ย่อมทำให้เกิดความต่างระดับของน้ำในอ่าง และทำให้น้ำเป็นธรรมชาติของน้ำที่จะพยายามหาทางซึมจากระดับสูงไปต่ำ โดยผ่านทั้งตัวเขื่อนและฐานรากดังนั้นในการออกแบบวิศวกรจะพยายามลดการรั่วซึมนี้ให้น้อยที่สุด โดยการบดอัดดินเหนียวเป็นแกนเขื่อนหรืออัดฉีดย้ำปูนในฐานราก แต่น้ำก็จะพยายามหาช่องทางที่จะซึมผ่านง่ายที่สุดโดยหากมีความเร็วหรือแรงดันมากพอก็จะกัดเซาะพาเอาเม็ดดินไหลตามไปพร้อมๆ กันด้วย การกัดเซาะที่เกิดขึ้นภายในตัวเขื่อนดังกล่าวไม่สามารถตรวจพบได้โดยง่าย จึงอาจจะเกิดการกัดเซาะต่อเนื่องจนเป็นสาเหตุให้เขื่อนพังได้ในที่สุด ตำแหน่งสำคัญในตัวเขื่อนที่เกิดการกัดเซาะได้โดยง่าย ได้แสดงในรูปที่ 5 คือ



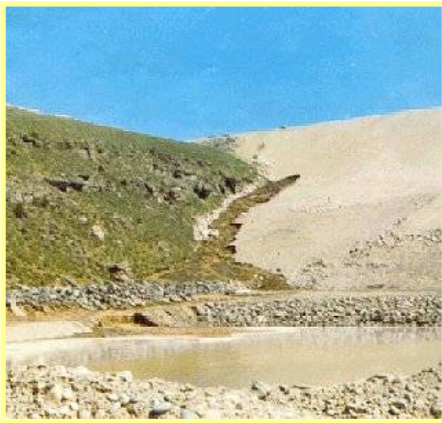
รูปที่ 5 การรั่วซึมของฐานรากและตัวเขื่อน

- บริเวณที่ 1 รอยต่อของฐานราก แกนดินเหนียว และ Filter น้ำจากฐานรากที่ไหลผ่านแนวฉนวนน้ำปูนจะไหลเข้าสู่ Filter โดยเร็ว
- บริเวณที่ 2 รอยต่อของแกนดินเหนียว และ Filter ด้านท้ายน้ำ โดยน้ำที่ซึมผ่านแกนจะไหลเข้าสู่ Filter
- บริเวณที่ 3 ฐานรากด้านท้ายน้ำ โดยน้ำที่ซึมจากฐานรากจะไหลขึ้นสู่ผิวดินอาจเกิดการลอยตัวของเม็ดดิน (Boiling) ได้

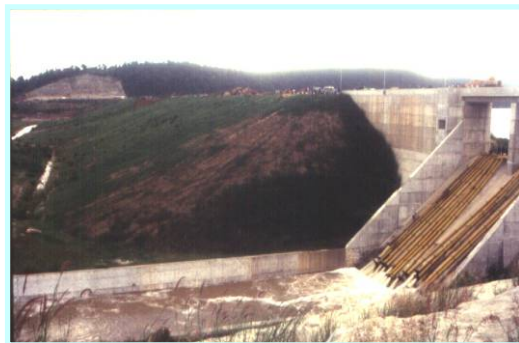
ในบริเวณที่ 1 และ 2 ถ้ามีการออกแบบ Filter ที่ดีพอ การกัดเซาะก็จะไม่เกิดขึ้น ส่วนกรณีที่เกิดในบริเวณที่ 3 อาจต้องทำ Relief Well หรือ Toe Drain ที่จะทำให้การระบายน้ำออกจากฐานรากได้โดยไม่ให้เกิดการกัดเซาะ นอกจากสาเหตุที่เกี่ยวกับการออกแบบดังกล่าวแล้วการรั่วซึมสามารถเกิดได้จากคุณภาพการบดอัดที่ไม่ได้มาตรฐานและการเลือกวัสดุถมตัวเขื่อนที่เป็นดินกระจายตัวเข้ามาใช้บดอัด (Dispersive Soil)



ตัวอย่างของการพิบัติในกรณีนี้ได้แก่เขื่อน Teton ที่รัฐไอดาโฮ สหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1976 ซึ่งให้คนเสียชีวิต 14 คน และทำให้มีการกระตุ้นทำให้เกิดการออกกฎหมายด้านความปลอดภัยเขื่อนเพิ่มเติม ในกรณีของประเทศไทยได้แก่เขื่อนมูลบนที่มีการรั่วซึมผ่านฐานราก ในปี พ.ศ. 2533 แต่ได้มีการแก้ไขได้ทันเวลาโดยไม่มีผู้ใดเป็นอันตรายและต่อมาได้มีการซ่อมแซมแก้ไขให้ใช้งานได้ตามปกติ (รูปที่ 6 ข)



ก) เขื่อน Teton Dam



ข) เขื่อนมูลบน

### รูปที่ 6 การพิบัติที่เกิดจากการรั่วซึมของเขื่อนมูลบน

#### 2.2 การพิบัติจากน้ำล้นสันเขื่อน

การพิบัติจากน้ำล้นสันเขื่อน เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการพิบัติในอันดับต้น ๆ รูปที่ 7 แสดงสถิติการพิบัติเนื่องจากน้ำล้นสันเขื่อน สำหรับสาเหตุอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ดังสรุปได้ดังนี้ คือ

- ก. การคาดการณ์ทางอุทกวิทยาไม่เหมาะสม
- ข. การเปิดปิดบานระบายน้ำล้นไม่ถูกต้อง
- ค. มีการถล่มของดินลงในอ่างทำให้เกิดคลื่นใหญ่

- ง. การออกแบบ Freeboard ไม่เหมาะสม
- จ. การชำรุดของบานระบาย
- ฉ. การปิดกั้นบานระบายน้ำเนื่องจากเศษวัสดุ (รูปที่ 8)

ความน่าจะเป็นในการพิบัติยังขึ้นอยู่กับชนิดของเขื่อนอีกด้วย Bowles และ Anderson (1997) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง Probability of Failure กับความสูงของน้ำที่ล้นสันเขื่อน ตามชนิดของเขื่อนดังแสดงในรูปที่ 9

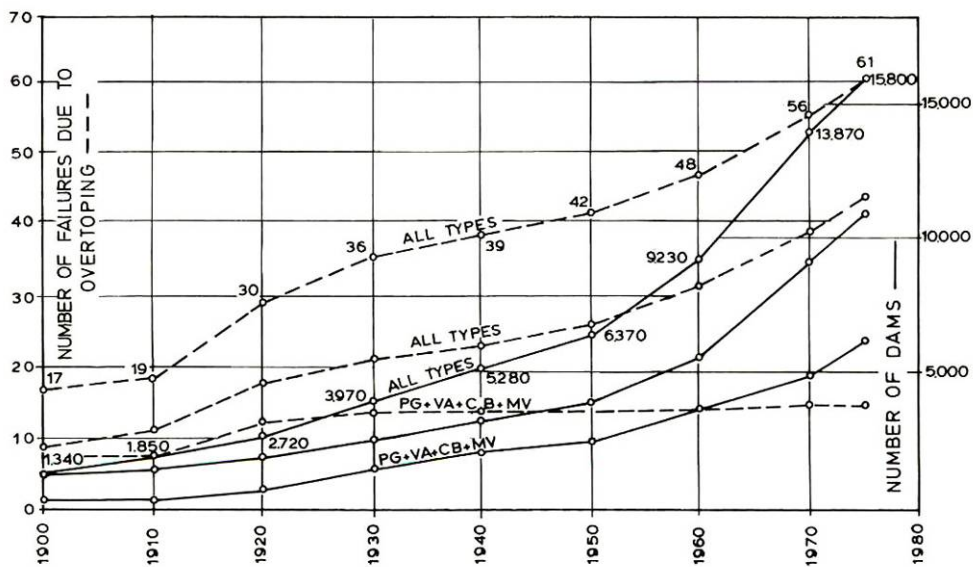


FIG.1-NUMBER OF DAMS AND FAILURES DUE TO OVERTOPPING BY YEARS OF CONSTRUCTION

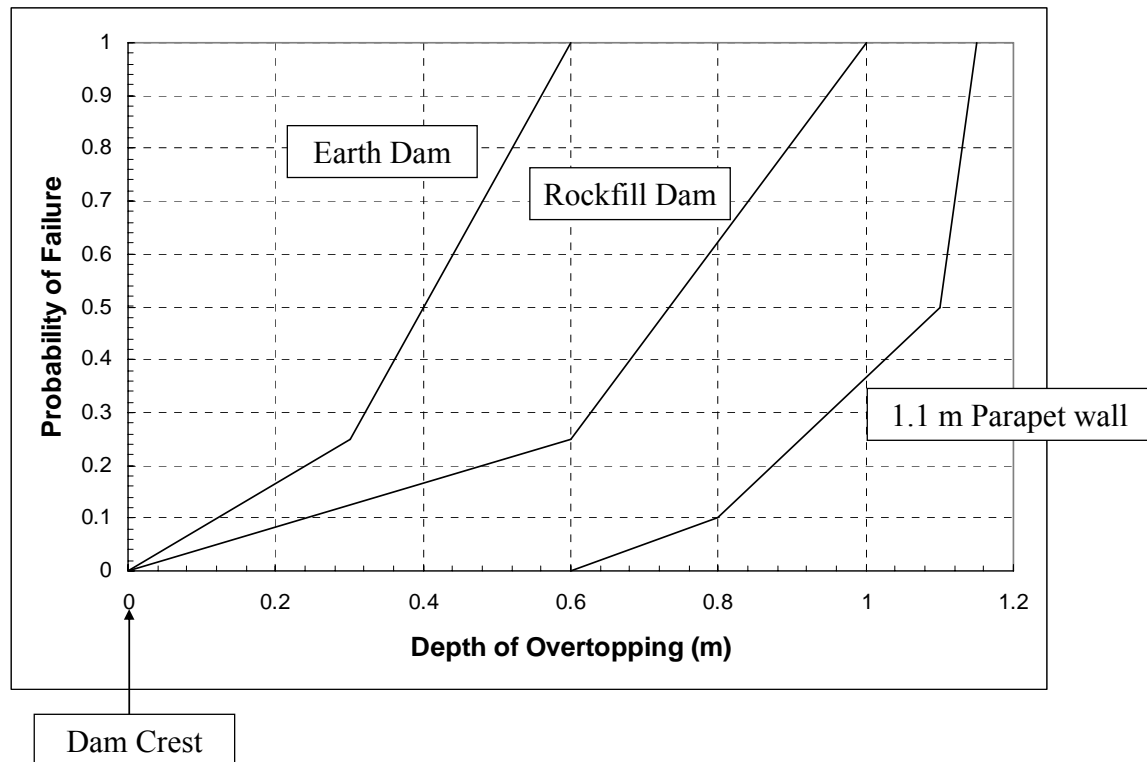
### รูปที่ 7 สถิติการพิบัติเนื่องจากน้ำล้นสันเขื่อน



### รูปที่ 8 ตัวอย่างการพิบัติจากน้ำล้นสันเขื่อน



## Typical Overtopping System Response Probabilities



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability of Failure กับความสูงของน้ำที่ล้นสันเขื่อน

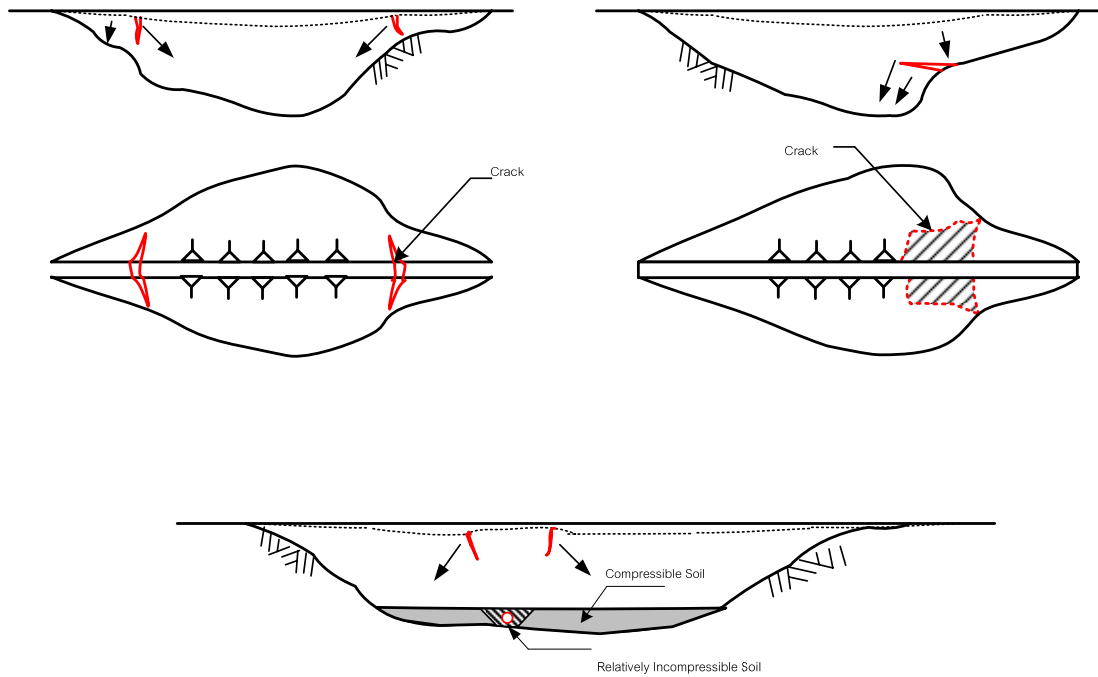
ที่มา : Bowles and Anderson (1997)

### 2.3 การทรุดตัวต่างกันทำให้เกิดรอยแยกในตัวเขื่อน

เขื่อนและฐานรากประกอบด้วยวัสดุก่อสร้างที่เป็นดิน กรวด ทราย หิน หรือคอนกรีต วางอยู่บนฐานรากที่เป็นดินหรือหินตามธรรมชาติ เมื่อมีแรงหรือน้ำหนักมากกดทับหรือได้รับแรงจากแผ่นดินไหวย่อมจะมีการเคลื่อนตัวโดยเฉพาะอย่างยิ่งการทรุดตัวในแนวดิ่ง ถ้าการทรุดตัวเกิดขึ้นสม่ำเสมอก็ไม่ค่อยมีอันตราย แต่ถ้าเกิดขึ้นต่างกันก็มักจะมีผลทำให้เกิดรอยแตกแยกขึ้นได้ทั้งผิวนอกของตัวเขื่อน ซึ่งสามารถเห็นได้ หรือภายในตัวเขื่อนซึ่งยากต่อการตรวจพบ แล้วยังอาจเป็นสาเหตุสืบเนื่องก่อให้เกิดการรั่วซึมของตัวเขื่อนได้ ลักษณะการทรุดตัวและแตกแยกในตัวเขื่อน อาจเกิดขึ้นได้ดังนี้

#### ก. การแตกตามขวาง (Transverse crack)

เกิดจากลักษณะช่องเขาเป็นขั้นตะพัก (Terrace) โดยมีความลาดไม่สม่ำเสมอหรือความหนาของชั้นดินฐานรากไม่สม่ำเสมอ (รูปที่ 10) หรือการก่อสร้างที่มีการทิ้งค้างไว้แล้วมาก่อสร้างต่อภายหลัง อาจทำให้เกิดรอยแตกขวางกับแนวล้นเขื่อน (รูปที่ 11) ซึ่งมีอันตรายสูงในการที่จะเกิดการรั่วของน้ำผ่านตัวเขื่อน



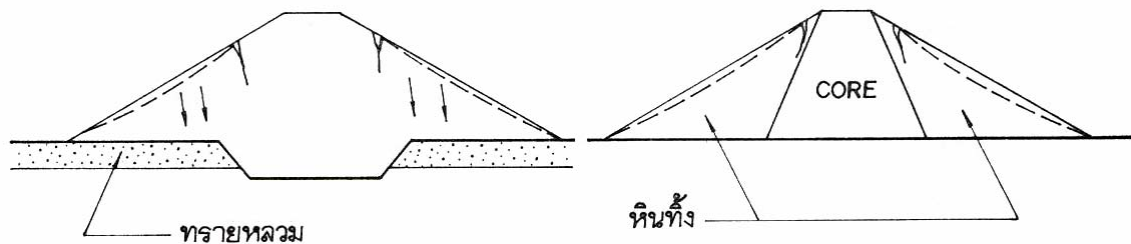
รูปที่ 10 รอยแตกตามขวางแนวสันเขื่อน



รูปที่ 11 การแตกของดินแกนเขื่อนเนื่องจากการทิ้งค้างให้เกิดการระเหยของน้ำ

### ข. การแตกตามแนวนาน (Longitudinal crack)

ส่วนมากจะเกิดจากการทรุดตัวของตัวเขื่อนไม่เท่ากัน ก่อให้เกิดรอยแตกตามแนวนานกับแกนเขื่อน (รูปที่ 12) อาจเพราะมีอิทธิพลของสิ่งต่างๆ เช่น วัสดุต่างชนิดในส่วนต่างๆ ของตัวเขื่อน ความลึกของร่องแกน (Cutoff trench) ที่ทำให้ความสูงของเขื่อนต่างกัน การเพิ่มความสูงของสันเขื่อนโดยการบดอัดเพิ่ม เช่น ในกรณีของเขื่อนอุบลรัตน์ (รูปที่ 13) หรือจากการสูญเสียความชื้นในส่วนต่างๆ ของเขื่อน เป็นต้น



ตัวอย่างของการพิบัติในกรณีนี้ได้แก่



รูปที่ 12 รอยแตกขนานแนวสันเขื่อน

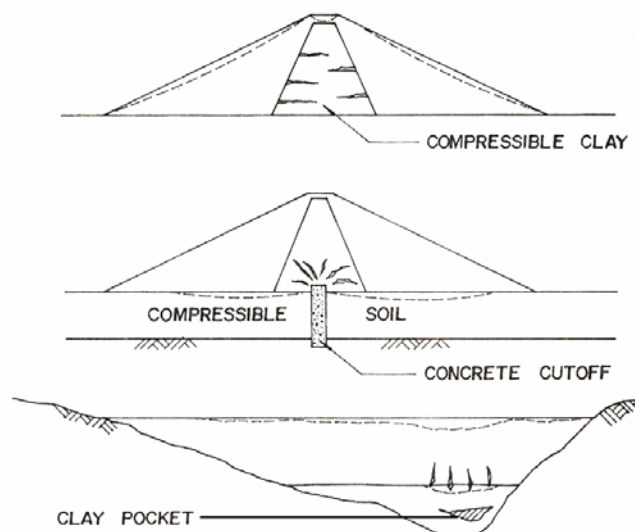




รูปที่ 13 การแตกตามยาวของเขื่อนอุบลรัตน์เนื่องจากการเสริมสันเขื่อน

### ค. การแตกภายในตัวเขื่อน (Internal crack)

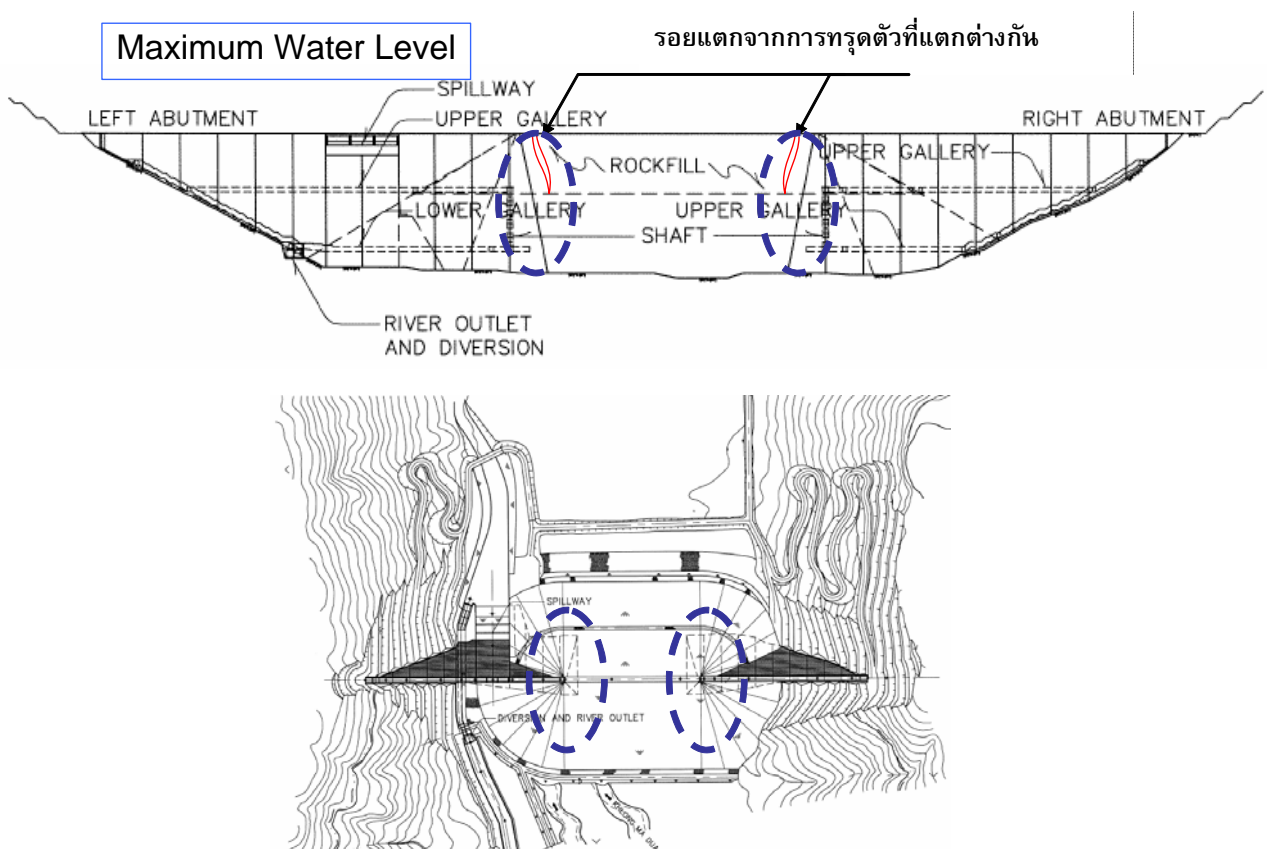
เกิดจากการทรุดตัวต่างกันของวัสดุก่อสร้างสองชนิด เช่น แกนดินเหนียว ซึ่งทรุดตัวมากกว่า ส่วนหินภายนอก หรือส่วนที่เป็นคอนกรีตกับส่วนที่เป็นดิน เป็นต้น (รูปที่ 14) การแตกจะเกิดในลักษณะ Tension crack เป็นส่วนมาก และมีอันตรายสูงสุด เพราะไม่สามารถตรวจพบจากภายนอกได้ ซึ่งอาจเกิดการพิบัติอย่างทันทีทันใด (รูปที่ 15) นอกจากนี้จะมีการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวในเขื่อน (รูปที่ 16) แสดงลักษณะการเกิดรอยแยกจากแรงดึง (Tension Crack) ที่เกิดจากการทรุดตัวแตกต่างกันระหว่างรอยต่อของชนิดเขื่อนที่ต่างกัน ในกรณีนี้เป็นแนวโน้มการทรุดตัวแตกต่างกันระหว่างเขื่อน RCC และเขื่อนหินถมแกนดินเหนียวของเขื่อนคลองมะเดื่อ



รูปที่ 14 รอยแตกภายในตัวเขื่อน



รูปที่ 15 การพิบัติเนื่องจากการแตกภายในตัวเขื่อน

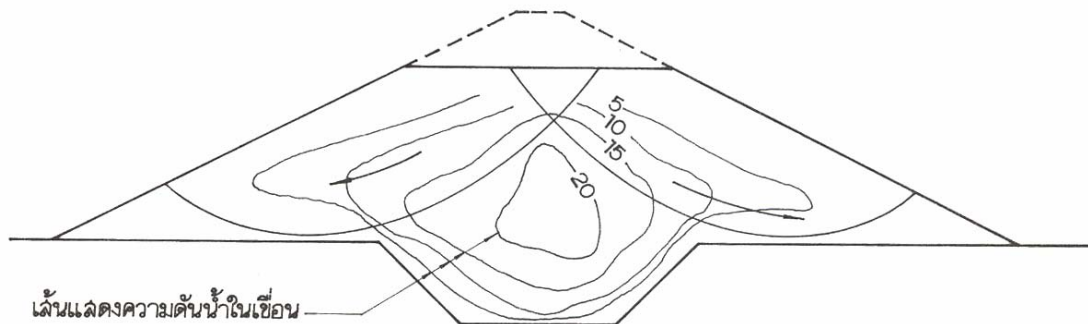


รูปที่ 16 การทรุดตัวแตกต่างกันระหว่างรอยต่อของเขื่อน RCC และเขื่อนหินถมแกนดินเหนียว  
ของเขื่อนคลองมะเดื่อ (สุทธิศักดิ์, 2550)

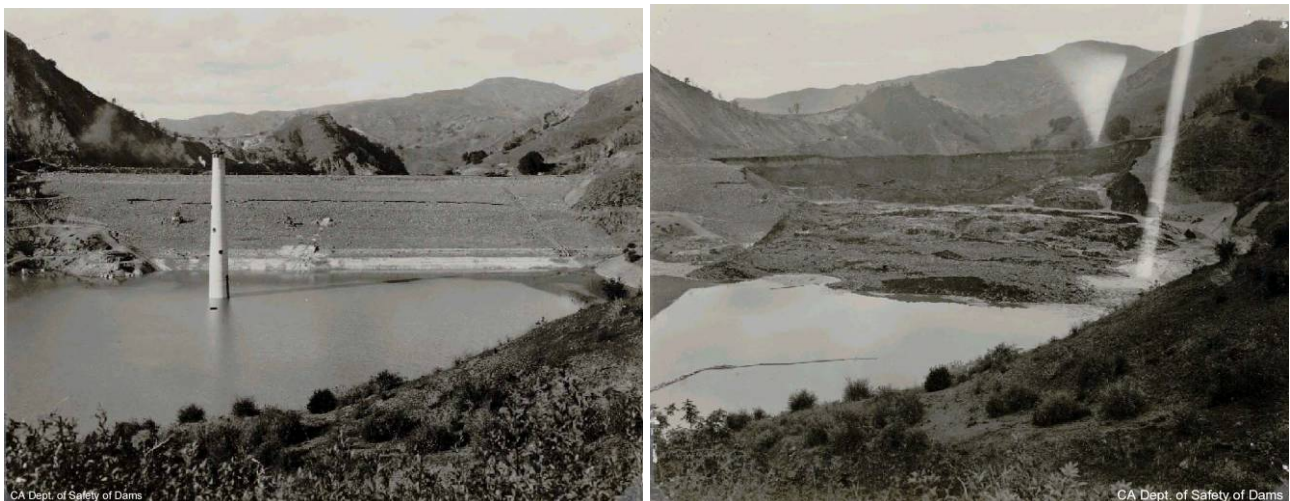
## 2.4 การเคลื่อนพังของลาดเขื่อนและฐานราก

การพิบัติลักษณะนี้มักจะเกิดขึ้นอย่างฉับพลัน โดยมีการบอเหตุล่วงหน้าน้อยมาก และมักเกิดร่วมกับการเปลี่ยนแปลงความดันน้ำภายในตัวเขื่อนหรือฐานราก ช่วงวิกฤตที่อาจเกิดการพิบัติ คือ

ก. ระหว่างหรือหลังการก่อสร้าง (End of Construction) ในระหว่างการบดอัดตัวเขื่อนจะทำให้เพิ่มความดันน้ำขึ้นในตัวเขื่อน ยิ่งเขื่อนสูงขึ้นความดันน้ำก็จะยิ่งมาก ทำให้ความแข็งแรงของดินลดลงจนอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินที่ถมตัวเขื่อนขึ้นได้ (รูปที่ 17) ซึ่งจะสามารถเกิดได้ทั้งทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ กรณีนี้ดังเช่นการพิบัติของเขื่อน Calaveras ปี ค.ศ.1918 ที่เกิดการพิบัติระหว่างการก่อสร้าง (รูปที่ 18)

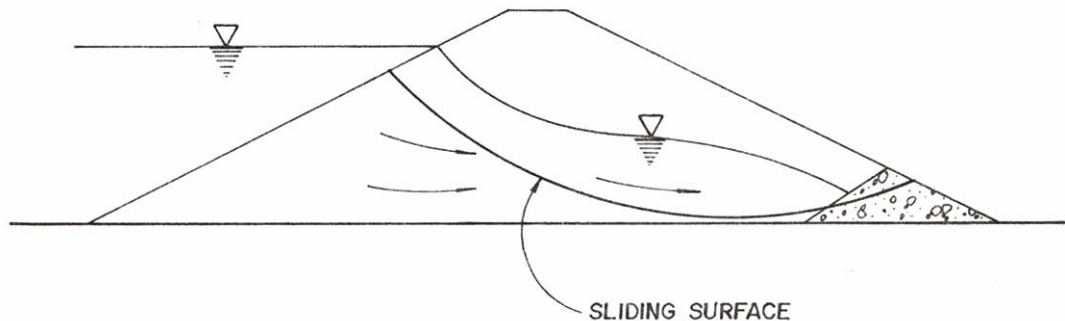


รูปที่ 17 การเคลื่อนพังของเขื่อนในระหว่างการก่อสร้าง



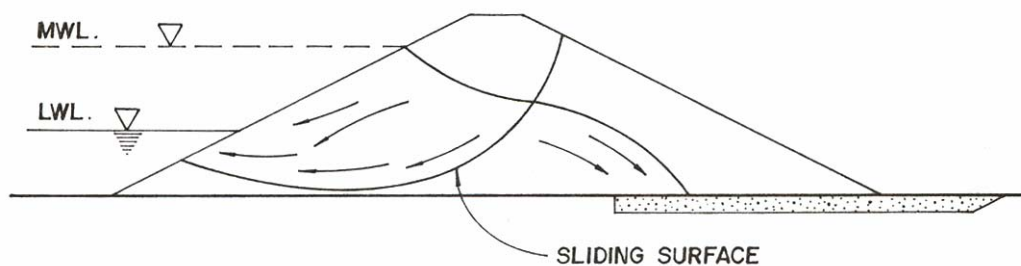
รูปที่ 18 การพิบัติแบบเลื่อนไถลของเขื่อน Calaveras ระหว่างการก่อสร้าง

ข. ระหว่างเก็บกักน้ำ (Impounding of Reservoir) ในระหว่างการเก็บกักน้ำจะมีการไหลของน้ำซึมผ่านตัวเขื่อน จากด้านเหนือน้ำไปท้ายน้ำ ความดันน้ำในตัวเขื่อนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น โอกาสที่จะเกิดการเคลื่อนพังทางด้านท้ายน้ำจะมีมาก ดังแสดงในรูปที่ 19



รูปที่ 19 การเคลื่อนพังของเขื่อนในระหว่างเก็บกักน้ำ

ค. ระหว่างการลดระดับของน้ำในอ่างอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) เมื่อระดับน้ำในอ่างลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการนำน้ำไปใช้ในอัตราสูง หรือระบายทิ้งเพื่อซ่อมแซมแก้ไข หรือเหตุผลอื่นใดก็ตาม ทิศทางการไหลซึมของน้ำในตัวเขื่อนจะย้อนกลับมาทางด้านเหนือน้ำ ก่อให้เกิดการเคลื่อนพังทางด้านเหนือน้ำได้ (รูปที่ 20)



รูปที่ 20 การเคลื่อนพังในระหว่างการลดระดับน้ำ

นอกจากการเคลื่อนพังของตัวเขื่อนเองแล้ว ในกรณีที่ดินหรือหินฐานรากมีชั้นอ่อนอยู่ ฝิว่าการเคลื่อนพังอาจเกิดขึ้นลึกลงไปถึงฐานรากด้วย ซึ่งจะมีลักษณะเป็นไปตามผิวของชั้นอ่อนนั้น

ส่วนการเคลื่อนพังของลาดดินธรรมชาติในบริเวณขอบอ่าง ก็อาจเป็นอันตรายต่อเขื่อนได้ กล่าวคือจะทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ เนื่องจากการถล่มของดินลงในอ่างขนาดของคลื่นจะใหญ่กว่าที่คาดการณ์ไว้จากแรงลม ซึ่งอาจจะทำให้ซัดปะทะและล้นสันเขื่อนได้ ตัวอย่างการพิบัติดังกล่าว เช่น กรณีเขื่อน Vaiont ในประเทศอิตาลีที่เกิดดินถล่มลงรอบอ่างเก็บน้ำ เนื่องจากลักษณะทางธรณีวิทยาและฝนตกทำให้น้ำล้นข้ามสันเขื่อนและมีผู้เสียชีวิตถึง 2,000 คน (รูปที่ 21)



โครงการอบรม ความปลอดภัยเขื่อนในสภาวะปกติและสภาวะอันตราย  
ระหว่างวันที่ 20-21 กันยายน 2550 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ คอนเวนชั่น

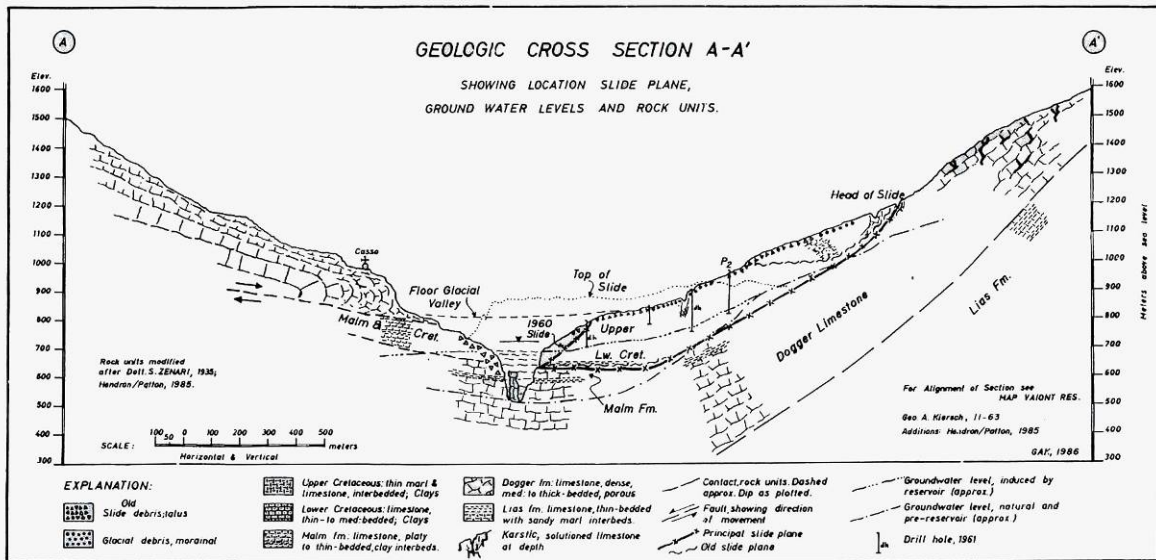


Fig. 2-29. Geologic cross section A-A', showing location of main slide plane of 1963, the earlier slide plane of 1960, and the Old slide plane (ancient), as well as groundwater levels before and after impoundment, the principal rock formations and critical units, and the general outline of slide material filling Vaiont Valley. From Kiersch<sup>1,2</sup> with additional new data.<sup>3</sup>

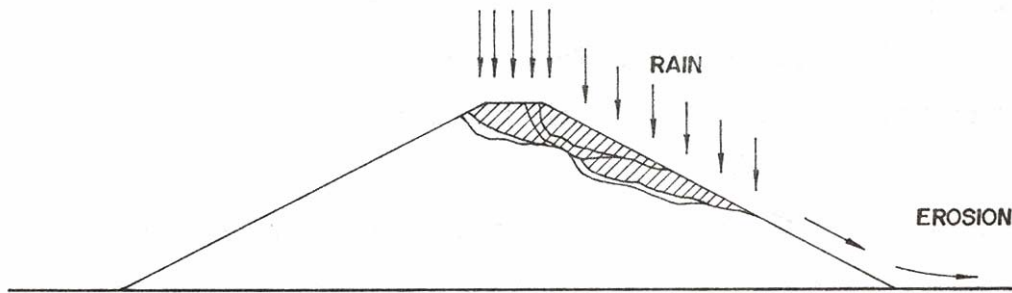


รูปที่ 21 สภาพทางธรณีที่เอื้ออำนวยในการเกิดดินถล่มลงในอ่างเก็บน้ำเขื่อน Vaiont



## 2.5 การพิบัติจากการกัดเซาะ

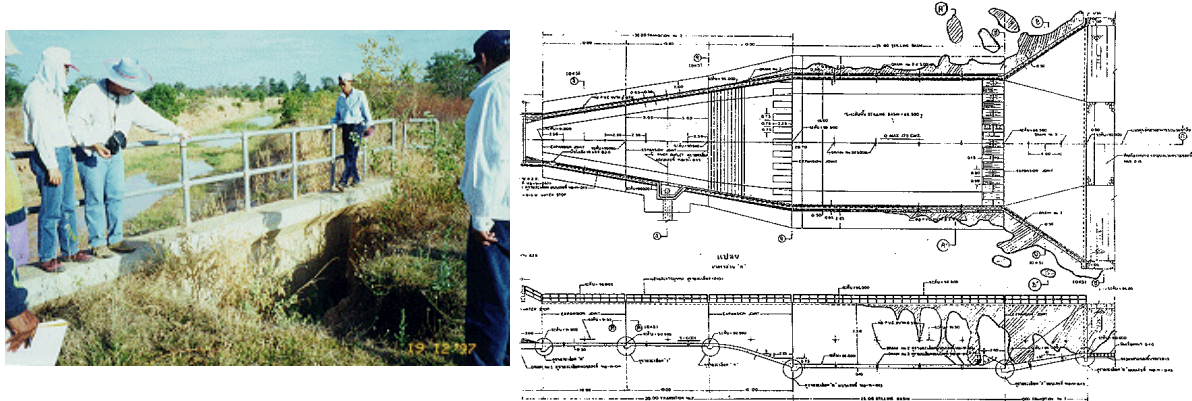
การพิบัติของเขื่อนยังอาจเกิดจากการกัดเซาะของคลื่น ที่พัดเข้ากระทบลาดเขื่อนเหนือน้ำ ส่วนการกัดเซาะจากน้ำฝนปกติจะป้องกัน ได้จากการปลูกหญ้า หรือทำหินเรียงคลุมไว้ แต่ถ้าดินมีลักษณะ กระจายตัวในน้ำได้ง่าย (Dispersive Clay) ก็จะทำให้เกิดการกัดเซาะบนลาดเขื่อนได้มากจนเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายได้ ดังที่เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้ (รูปที่ 22 และ 23)



รูปที่ 22 การพิบัติจากการกัดเซาะ



รูปที่ 23 การกัดเซาะตัวเขื่อน



รูปที่ 23 (ต่อ) การกีดเซาะตัวเขื่อน

## 2.6 การพิบัติหรือเสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวส่งผลต่อความมั่นคงของเขื่อนเนื่องจากสามารถก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนทั้งในแนวตั้งและแนวราบ ทำให้เกิดแรงกระทำเพิ่มขึ้นในวัสดุตัวเขื่อน นอกจากนี้ยังอาจส่งผลต่อเขื่อนเนื่องจากการเคลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนใกล้บริเวณเขื่อน Sorallump (2002) ได้สรุปพฤติกรรมความเสียหายที่อาจนำไปสู่การพิบัติของเขื่อนได้ดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนในแนวตั้งใกล้ตัวเขื่อน
2. การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อน(รูปที่ 24)
3. การเกิดคลื่นน้ำภายในอ่างเก็บน้ำ (Seiches) เนื่องจากความสั่นสะเทือน (รูปที่ 25)
4. การเกิดแผ่นดินถล่มรอบอ่างเก็บน้ำจากแรงแผ่นดินไหวทำให้เกิดน้ำข้ามสันเขื่อน
5. เกิดการพิบัติของอาคารบังคับน้ำ ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำได้
6. การไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนตามรอยแตกในแนวขวางกับสันเขื่อน
7. การยุบตัวของสันเขื่อนในแนวตั้งเนื่องมาจากแรงสั่นสะเทือน ทำให้เกิดรอยแตกตามแนวแกนเขื่อน (รูปที่ 26)
8. การสูญเสียกำลังของดินตัวเขื่อนหรือฐานรากเนื่องจากการเกิด Liquefaction ทำให้เกิดการเลื่อนไถลหรือยุบตัวของเขื่อน





รูปที่ 24 ความเสียหายของเขื่อน SHI-KONG ประเทศไต้หวัน (R.S.OLSEN, 1999)



รูปที่ 25 คลื่นในอ่างเก็บน้ำเนื่องจากแผ่นดินไหว (Seiches) เขื่อน Hebgen ประเทศสหรัฐอเมริกา



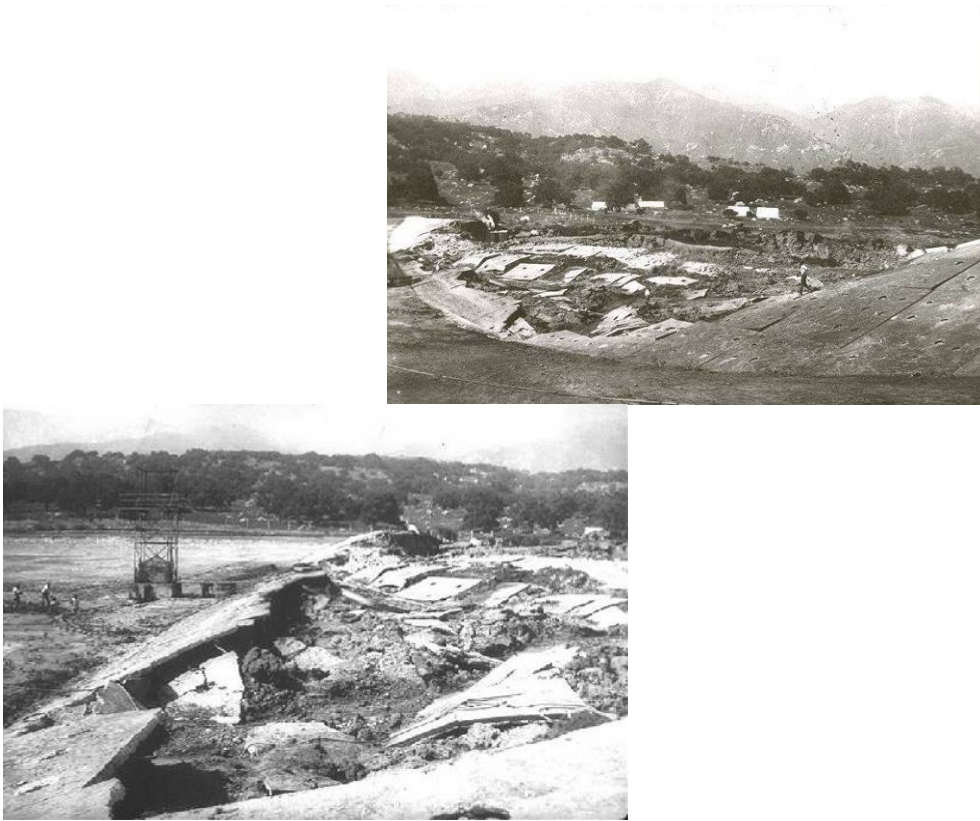
รูปที่ 26 รอยแตกขนานแนวสันเขื่อน

สาเหตุดังกล่าวข้างต้นเรียงลำดับตามโอกาสในการเกิดน้อยที่สุดไปถึงโอกาสเกิดสูงสุด สาเหตุที่ 1-4 เป็นสาเหตุที่มีโอกาสเกิดต่ำและดำเนินการวิเคราะห์เพื่อคาดเดาความเสียหายยาก สาเหตุที่ 5-8 เป็นสาเหตุที่มีโอกาสเกิดมากกว่าและสามารถประเมินความเสียหายโดยใช้หลักทฤษฎีด้านวิศวกรรม ปฐพีมาดำเนินการวิเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตามจากสถิติที่ผ่านมาความเสียหายที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ การเกิดรอยแตกตามแนวขนานกับสันเขื่อน (กรณีที่ 7) ทำให้เขื่อนเกิดการยุบตัว แต่ส่วนใหญ่จะไม่รุนแรงถึงการพิบัติ สำหรับสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเขื่อนได้รุนแรงที่สุดคือการเกิด Liquefaction ทั้งที่บริเวณฐานรากหรือภายในตัวเขื่อน

#### การพิบัติจากการเกิด Liquefaction

Liquefaction คือปรากฏการณ์ที่ดินทรายหรือกรวดที่อิ่มตัวด้วยน้ำเกิดการสูญเสียกำลังเนื่องจากแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เหตุดังกล่าวเกิดจากความสั่นสะเทือนของคลื่นแผ่นดินไหวที่แรงพอที่จะทำให้แรงดันน้ำในเม็ดดินเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เม็ดดินอยู่ห่างกันมากขึ้น กำลังรับน้ำหนักของดินจึงตกลง เหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดเฉพาะดินทรายหลวมหรือกรวดที่มีความแน่นต่ำ Liquefaction สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งดินตัวเขื่อนหรือดินฐานราก และสามารถทำให้เขื่อนเกิดการพิบัติได้อย่างรวดเร็ว เขื่อนที่ก่อสร้างด้วยเทคนิคการก่อสร้างในปัจจุบันแทบจะไม่มีโอกาสเกิด Liquefaction ได้ สำหรับเขื่อนเก่าประเภทเขื่อนที่มีโอกาสเกิด Liquefaction ได้ง่ายที่สุดได้แก่เขื่อนที่ก่อสร้างโดยเทคนิค Hydraulic Fill หรือบดอัดดินโดยใช้น้ำฉีด

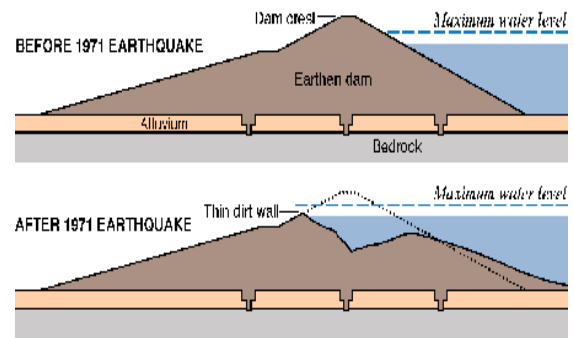
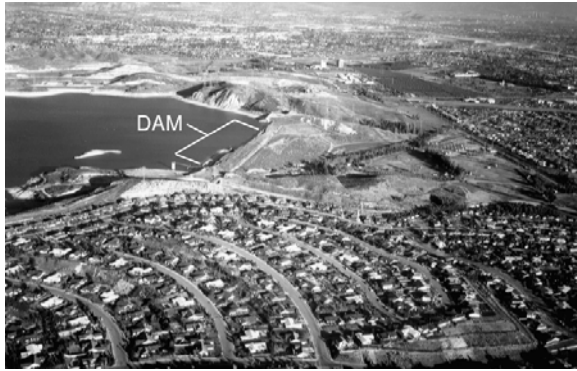
ปี พ.ศ. 2468 เกิดแผ่นดินไหวที่เมือง Santa Barbara ขนาดความรุนแรง 9 Rossi-Forsell แสกล ทำให้เกิดการพิบัติอย่างสมบูรณ์ของเขื่อน Sheffield ซึ่งเป็นเขื่อนดินคาน้ำคอนกรีต (รูปที่ 27)



รูปที่ 27 การพังทลายของเขื่อน Sheffield ปี พ.ศ. 2461 (Sherard et al., 1963)

เขื่อนดังกล่าวเปิดใช้งานในปี พ.ศ. 2461 และก่อสร้างโดยขาดการבודอัดที่ดีทำให้ดินอยู่ในสภาพหลวม ผู้เชี่ยวชาญคาดว่าสาเหตุการพังทลายของเขื่อนเกิดจากการเกิด Liquefaction ที่บริเวณฐานรากด้านบนหรือส่วนล่างของตัวเขื่อน อย่างไรก็ตามในขณะนั้นวิศวกรปฐพียังไม่คุ้นเคยและรู้จักปรากฏการณ์ Liquefaction ดีพอ 46 ปีต่อมา ปี พ.ศ. 2514 ได้เกิดแผ่นดินไหวที่รัฐแคลิฟอร์เนีย ขนาดความรุนแรง 6.6 ริกเตอร์ แฉกแผ่นดินไหวดังกล่าวทำให้เขื่อน Lower San Fernando เกิดความเสียหายแต่ไม่ถึงกับพังทลายอย่างสมบูรณ์ เขื่อนดังกล่าวตั้งอยู่ห่างจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวประมาณ 20 กม. แผ่นดินไหวทำให้เกิด Liquefaction ภายในตัวเขื่อนทำให้ ตัวเขื่อนไถลลงไปตามด้านเหนือน้ำหรือไถลลงในอ่างเก็บน้ำ ส่งผลให้ระดับสันเขื่อนลดต่ำลงดังแสดงในรูปที่ 28 ในเวลานั้นเหลืออีกเพียง 1 เมตร ที่น้ำจะสามารถข้ามสันเขื่อนได้ ถ้าเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นเขื่อนอาจแตกได้และจะก่อให้เกิดสูญเสียอย่างใหญ่หลวงตามมา หลังจากเหตุการณ์เกือบพังทลายของเขื่อน Lower San Fernando ได้เกิดการศึกษาเรื่อง Liquefaction ที่ค่อนข้างจะดีในปัจจุบันอย่างจริงจัง ส่งผลให้เกิดการพัฒนาทฤษฎีในการวิเคราะห์และเทคนิคการก่อสร้างเพื่อป้องกันการเกิด Liquefaction ที่ค่อนข้างจะดีในปัจจุบัน

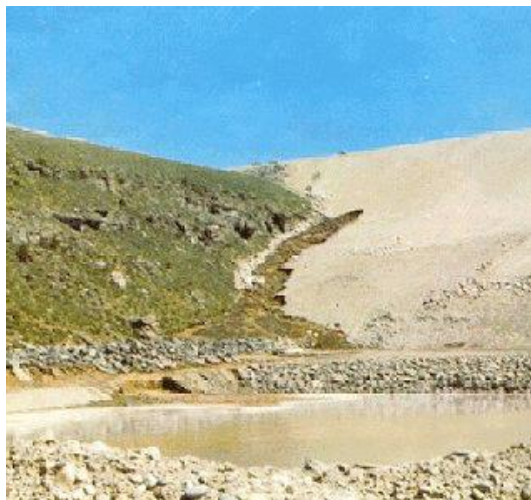




รูปที่ 28 ความเสียหายของเขื่อน Lower San Fernando ปี พ.ศ. 2514 (USGS, 1995)

### 3 กรณีศึกษาการพิบัติของเขื่อน

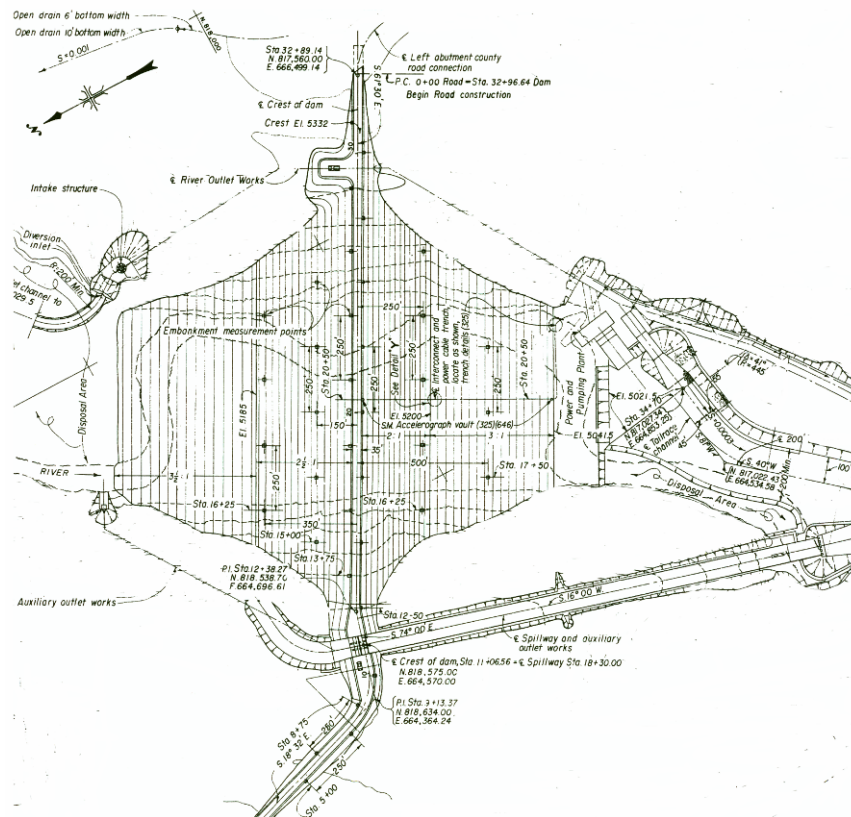
#### 3.1 กรณีการพิบัติเขื่อน Teton (รูปที่ 29-31)



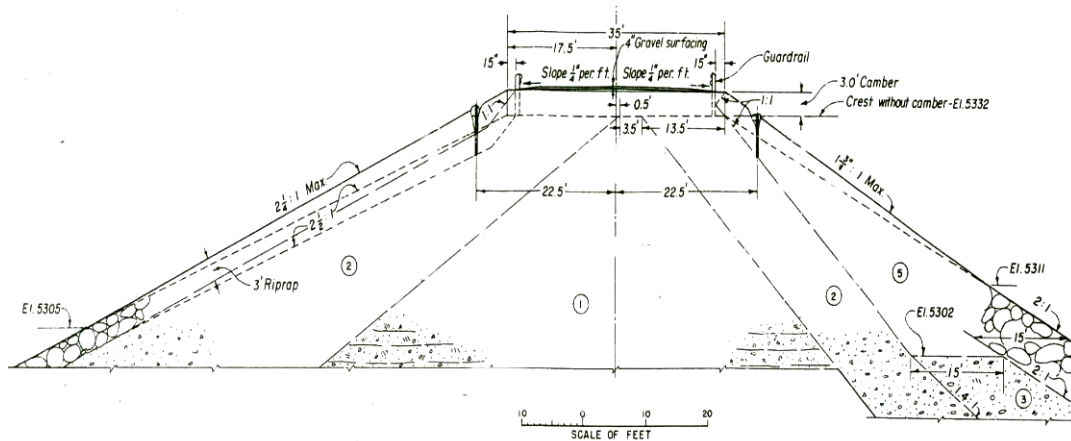
รูปที่ 29 ลักษณะการพิบัติของเขื่อน Teton Dam

Teton dam ตั้งอยู่มลรัฐไฮดาโฮ สหรัฐอเมริกา ค.ศ.1976 เป็นเขื่อนดินสูง 90 เมตร เก็บกักน้ำประมาณ 360 ลบ.ม. แกนกลางเป็นดินทรายปน (Silt) มีร่องแกนลึก 21 เมตร ความกว้างของกันร่องแกน 10 เมตร ที่บดอัดด้วยวัสดุชนิดเดียวกับแกนเขื่อน สาเหตุการพิบัติเชื่อว่าเกิดจากการกัดเซาะภายใน (Internal Erosion) ผ่านร่องแกน ซึ่งสาเหตุการพิบัติเบื้องต้นแบ่งออกได้เป็น ทางธรณีวิทยาและการออกแบบ (วารสาร, 2546)

1. ลักษณะหินที่ปักเขื่อนมีรอยแตก
2. จำเป็นต้องใช้ดินทรายปนมาทำแกนเขื่อน
3. การควบคุมการซึมน้ำไหลผ่านร่องแกน และแนวอัดฉีดน้ำปูนไม่ดี
4. เกิด arching crack และ hydraulic fracturing
5. การอุดรอยแยกเพื่อป้องกันการเกิด piping ไม่เพียงพอ
6. ไม่มีส่วนที่จะรับน้ำที่ไหลออกมาให้ไหลออกไปได้อย่างปลอดภัย



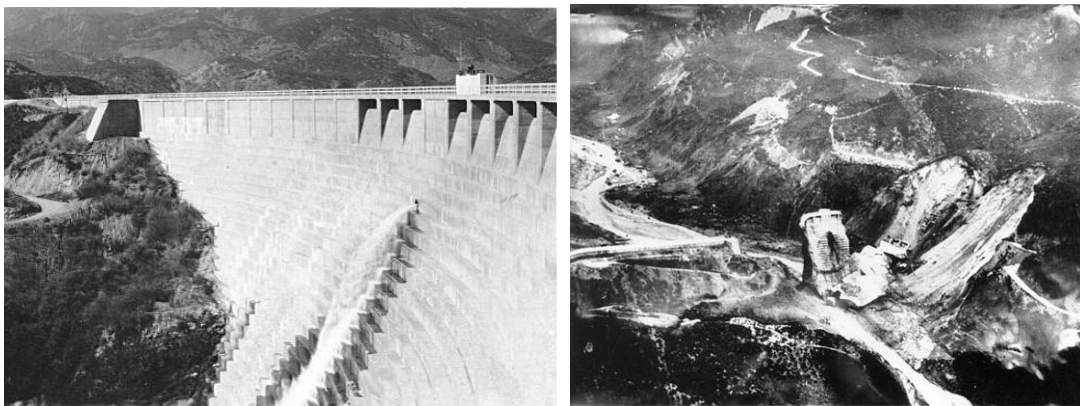
รูปที่ 30 รูปแปลนเขื่อน Teton Dam



รูปที่ 31 รูปหน้าตัดเขื่อน Teton Dam

### 3.2 กรณีการพิบัติเขื่อน Saint Francis

กรณีการพิบัติของเขื่อน Saint Francis ที่ Southern California ประเทศสหรัฐอเมริกา ก่อสร้างเสร็จในปี ค.ศ. 1926 เป็นเขื่อนคอนกรีตโค้งแบบน้ำหนักถ่วงความสูง 60 ม. ในปี ค.ศ. 1927 เจ้าหน้าที่ตรวจพบการรั่วซึมที่บริเวณไหล่เขา ปีต่อมาจึงเกิดการพิบัติแบบทันทีทันใด ในวันที่ 12 มีนาคม 1928 สร้างความเสียหายมากกว่า 10 ล้านเหรียญสหรัฐ มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 500 คน (รูปที่ 32)



รูปที่ 32 สภาพเขื่อน Saint Francis ก่อนและหลังการพิบัติ

Thomas (1976) สรุปสาเหตุในการพิบัติของเขื่อนว่า เกิดจากการพิบัติของฐานรากบริเวณไหล่เขาฝั่งขวาที่รองรับด้วยหิน Shale ซึ่งมีความสามารถในการรับกำลังต่ำ แม้ว่าตัวเขื่อนคอนกรีตจะมีกำลังรับแรงได้สูง แต่สาเหตุสำคัญเกิดจากแนวรอยเลื่อนที่เป็นกรวด ซึ่งมีการเชื่อมประสานกับแร่ยิปซัมและกลุ่มแร่ดินเหนียว ในสภาพที่แห้งจะแข็งแรงสูง แต่เมื่ออยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ ทำให้เกิดการผุพัง ความแข็งแรงจะลดลง และทำให้เกิดการพังได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นสาเหตุหลักของการพิบัติ เกิดจากโครงสร้างทางธรณีวิทยา และลักษณะฐานรากซึ่งมีความแข็งแรงต่ำเมื่ออยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ



### 3.3 การศึกษาการพิบัติของเขื่อน Malpasset

เขื่อน Malpasset ตั้งอยู่ในประเทศฝรั่งเศส อยู่ห่างจาก Nice ประมาณ 80 กม. ตัวเขื่อนเป็นเขื่อนคอนกรีตโค้ง มีความสูง 66 ม. ความหนาที่สันเขื่อน 1.5 ม. และหนา 6.7 ม. ที่ฐานราก ความยาว 220 ม. ฐานรากเขื่อนเป็นหิน สร้างเสร็จในปี 1954 (รูปที่ 33)

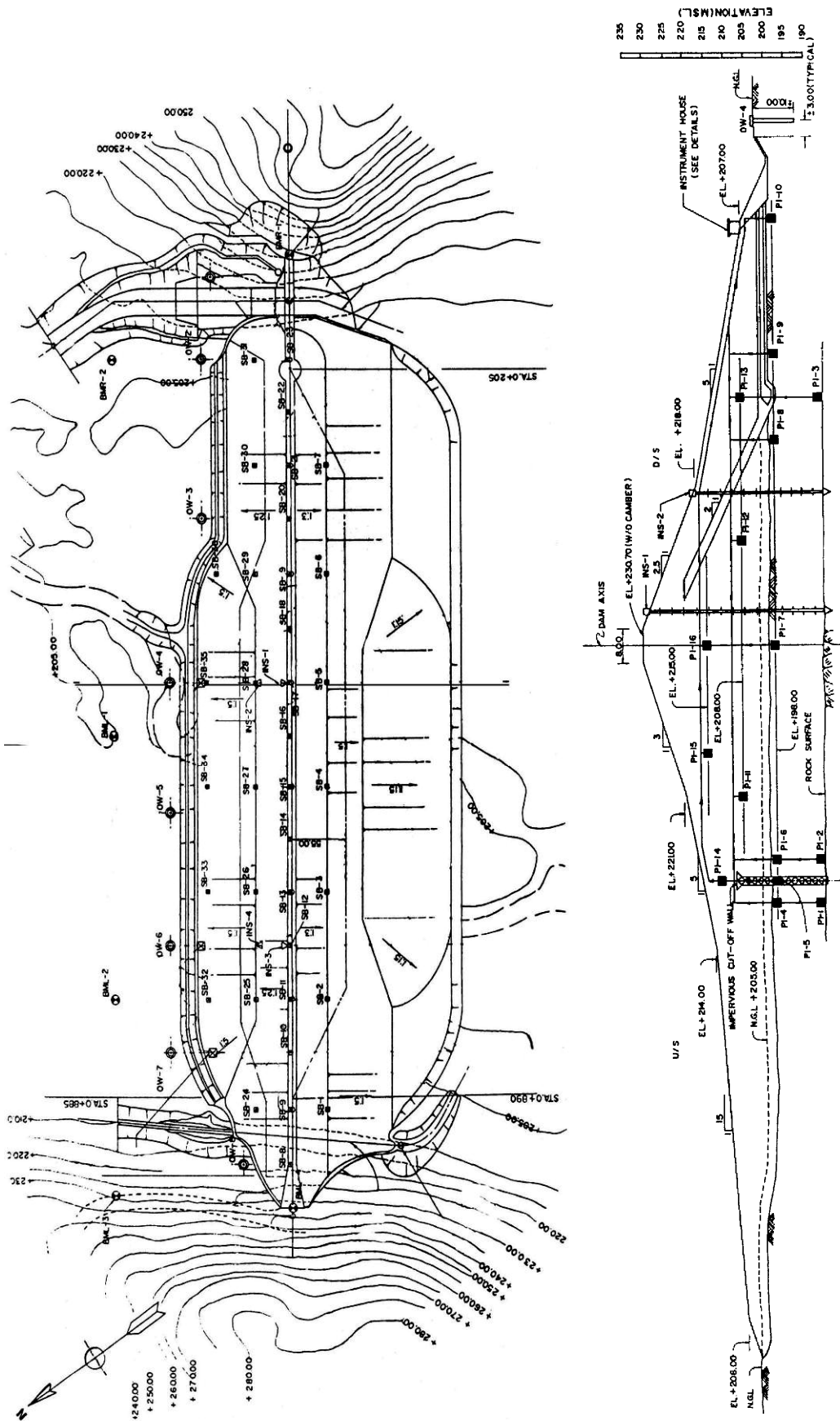
ในเดือนธันวาคม ปี 1959 เกิดการพิบัติทันทีทันใด หลังจากเพิ่มระดับน้ำในเขื่อนอย่างรวดเร็ว ในภายหลังได้มีการวิเคราะห์สภาพการพิบัติพบว่า ความเสียหายเกิดขึ้นจากฐานยันฝั่งขวา ซึ่งมีสาเหตุจาก การเพิ่มปริมาณน้ำอย่างรวดเร็วจนก่อให้เกิดหน่วยแรงอัดในหินฐานรากเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้นน้ำใต้ของหินจะลดลง ทำให้ที่ฐานเขื่อนเกิดแรงดันน้ำกระทำ รอยต่อเกิดแรงเฉือนและแรงดึง เพิ่มขึ้นจนเกิดรอยแยกบริเวณฐานรากเขื่อน ในบริเวณรอย Foliation shear รอยต่อเป็นแร่ดินเหนียว เมื่อตัวเขื่อนรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเคลื่อนพังที่รอยต่อดังกล่าว



รูปที่ 33 เขื่อน Malpasset ก่อนและหลังการพิบัติ

### 3.4 กรณีความเสียหายของเขื่อนมูลบน

เขื่อนมูลบน ตั้งอยู่ อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา เป็นเขื่อนดินแบบเนื้อเดียว สูง 32 ม. ก่อสร้างในเดือน พฤศจิกายน 2529 เสร็จเดือน มกราคม 2532 เปิดเก็บกักน้ำปลายฤดูฝน ปี 2532 ถัดมาในเดือนตุลาคม 2533 มีปริมาณเก็บกัก 20 ล้านลูกบาศก์เมตร หลังเกิดพายุฝนจากไต้ฝุ่นมีน้ำไหลเข้าอ่างอย่างรวดเร็ว เป็น 131 ล้าน ลูกบาศก์เมตร จากการเพิ่มของระดับน้ำอย่างรวดเร็วทำให้เกิดรูรั่วที่บริเวณที่ 1 เหนือ Toe Drain (ใกล้ Outlet) บริเวณที่ 2 ที่ลาดท้ายเขื่อน โดยมีการพัฒนาเอาดินตะกอนออกมาพร้อมน้ำ สูงถึง 6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ได้มีความพยายามอุดรอยรั่วด้วยวิธีต่างๆและลดระดับน้ำในอ่างโดยวิธีกักน้ำ โดยใช้เวลา 10 วัน จึงสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่รั่วให้อยู่ในระดับปลอดภัย ดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 แสดงรูปด้านบนและรูปตัดเขื่อนที่แสดงให้เห็นถึงการแก้ไขการรั่วซึมโดยการแนวกำแพงที่น้ำเพื่อปิดกั้นการไหลซึม