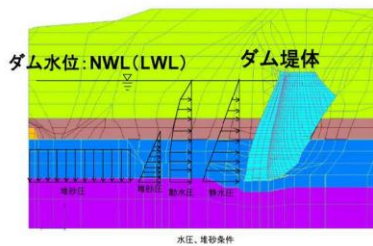


3-4-13. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

4. 地震応答解析

(2) 荷重条件



(3) 解析用物性値

	単位体積重量 (kN/m ³)	静弾性係数 (MN/m ²)	静ポアソン比	動弾性係数 (MN/m ²)	動ポアソン比
ダム堤体コンクリート	22.56	24,517	0.2	39,227	0.2
基礎岩盤	26.48	5,609 ~12,651	0.2	9,807 ~29,420	0.3

建設時の試験結果、建設後の測定値、および文献を考慮のうえ設定

ダム堤体コンクリート強度

圧縮強度	51 N/mm ²	建設時に実施した試験結果 (建設後の定期的な試験により強度低下していないことを確認済)
引張強度	5.1 N/mm ²	圧縮強度より算定 (動的割増後: 6.6N/mm ²)

減衰定数

ダム堤体	20 %	地震観測記録の再現解析をもとに設定
基礎岩盤	5 %	一般値

13

3-4-14. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

4. 地震応答解析

(3) 解析用物性値

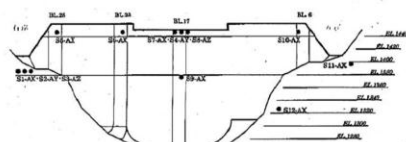
《ダム堤体 減衰定数の考え方》

基盤での観測地震記録を解析モデル底面に入力し、観測記録と解析結果の天端での応答加速度最大値を比較することで、地震毎に適切な減衰定数を検討した。

再現解析に用いた地震記録一覧

地震番号	発生日	時刻	M	震央距離 (km)	基盤最大加 速度(g ₀)	天端最大加 速度(g ₀)	水位(m)
238	2004/10/23	17:56:27	6.8	129.8	2.5	16.2	1442.54
197	1990/3/8	18:42	4.3	10.26	11.1	93.7	1404.04
208	1993/2/7	22:28	6.6	125	12.0	64.4	1419.45
245	2007/3/25	9:42:18	6.9	132.1	22.8	165.3	1381.68
136	1972/9/8	23:02	3.9	9.13	34.1	116.7	1414.68

下流面震動図



再現解析時の水位条件

水位条件	設定水位	地震番号
NWL	E.L.1448.0m	No.238
中間水位	E.L.1418.0m	No.197,208,136
LWL	E.L.1388.0m	No.245

再現解析にはch. 1~ch. 6のデータを用いる。

チャンネル	記号	設置標高	備考
ch.1	s1-ax	EL.1380	基盤x
ch.2	s4-by	EL.1440	天端y
ch.3	s7-ax	EL.1440	天端x
ch.4	s2-by	EL.1380	基盤y
ch.5	s5-by	EL.1440	天端z
ch.6	s3-ax	EL.1380	基盤z
ch.7	s11-ax	EL.1400	
ch.8	s5-ax	EL.1440	
ch.9	s6-ax	EL.1440	
ch.10	s9-ax	EL.1380	
ch.11	s10-ax	EL.1440	
ch.12	s12-ax	EL.1320	

x: 上下流方向
y: 左右岸方向
z: 鉛直方向

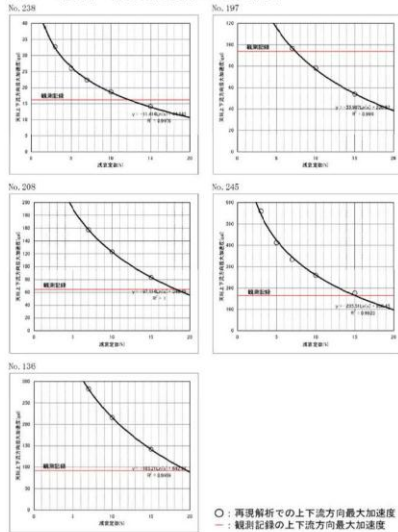
14

<<参考資料>>

3-4-15. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

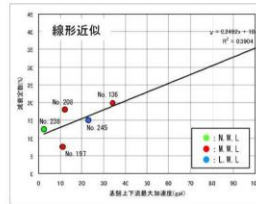
(3) 解析用物性値

《ダム堤体 減衰定数の考え方》



再現解析結果

地震番号	観測記録の 基礎上下流方向 最大加速度 (gal)	観測記録の 天端上下流方向 最大加速度 (gal)	減衰定数 (%)
No.238	2.5	16.2	12.5
No.197	11.1	63.7	7.5
No.208	12.0	64.4	18.0
No.245	22.8	185.3	15.0
No.136	34.1	116.7	20.0



加速度が大きくなると減衰定数も大きくなる傾向が見られ、基礎入力加速度が300galを上回る大規模地震時には、今回の解析モデルでは20%以上の減衰定数となっている可能性が高い。
→ 大規模地震時の耐震性評価においては、減衰定数として20%を使用

15

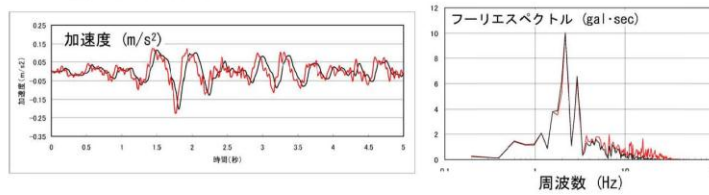
3-4-16. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

(3) 解析用物性値

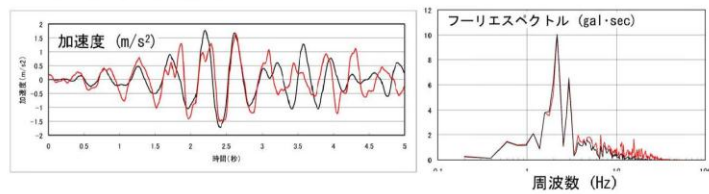
《ダム堤体 減衰定数の考え方》

ダム再現解析結果一例

ダム底部 (上下流方向)



ダム天端 (上下流方向)



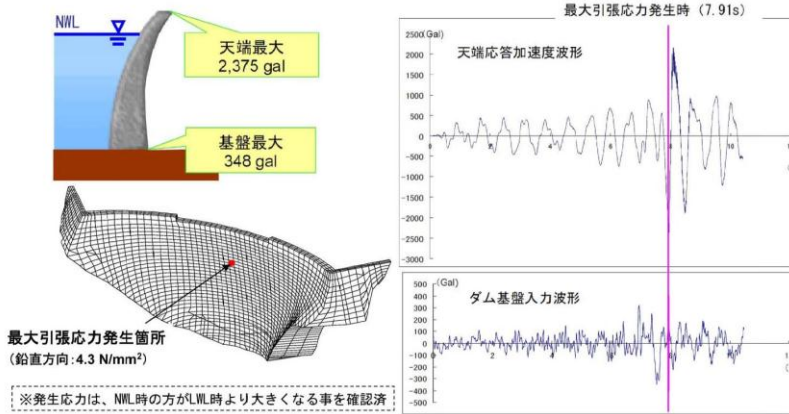
16

<<参考資料>>

3-4-17. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

5. 照査結果

応答加速度

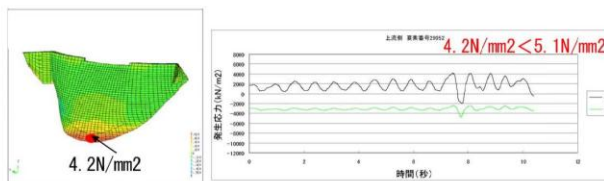


17

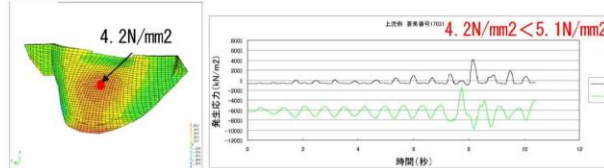
3-4-18. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

5. 照査結果

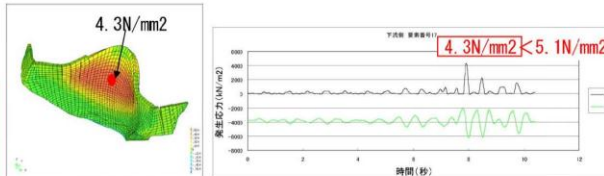
上流下端最大応力
発生時 (7.45s時)
の応力分布
(上流側)



上流面最大応力発生時 (8.15s時)
の応力分布
(上流側)



下流面最大応力発生時 (7.91s時)
の応力分布
(下流側)



上図は、変形量を500倍に拡大したもの

堤体内発生応力は堤体コンクリート引張強度以下となっている

18

<<参考資料>>

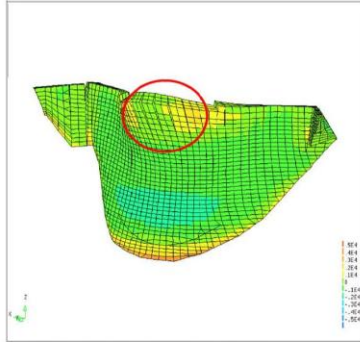
3-4-19. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

5. 照査結果

《横継目の開口について》

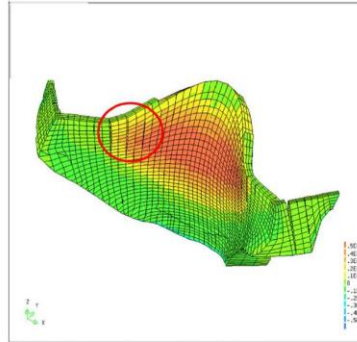
解析結果一例 (7.9秒時点)

上流側



上図は、変形量を500倍に拡大したもの

下流側



上図は、変形量を500倍に拡大したもの

横継目の開口は堤体上部に限られており、その開口幅は最大3mm程度のため、キーや止水板の構造を考慮して十分許容できる※範囲にとどまっている

※国土技術総合研究所資料 第244号 (平成17年3月) P121を参考とした

19

3-4-20. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

5. 照査結果

- ・ダムに発生する引張応力がダム堤体引張強度以下であり弾性範囲内となっている
- ・堤体横継目は堤体上部で最大3mm程度開口するが、キーや止水板の構造を考慮して十分許容できる範囲にとどまる
- ・以上のことから、レベル2地震動に対しても本ダムの貯水機能は維持され、耐震性能を有していることを確認した

20

<<参考資料>>

3-5. 堤体の高さ15m以上のダムにおける地震計の設置状況

ダムの地震計は、地震時のダムへの入力地震動の特性、ダムの振動特性や耐震性などを評価するために設置される。高さ15m以上の330ダムのうち、高さ100m以上のダムでは全て地震計が設置され、50m以上のダムでは63%に設置されている。

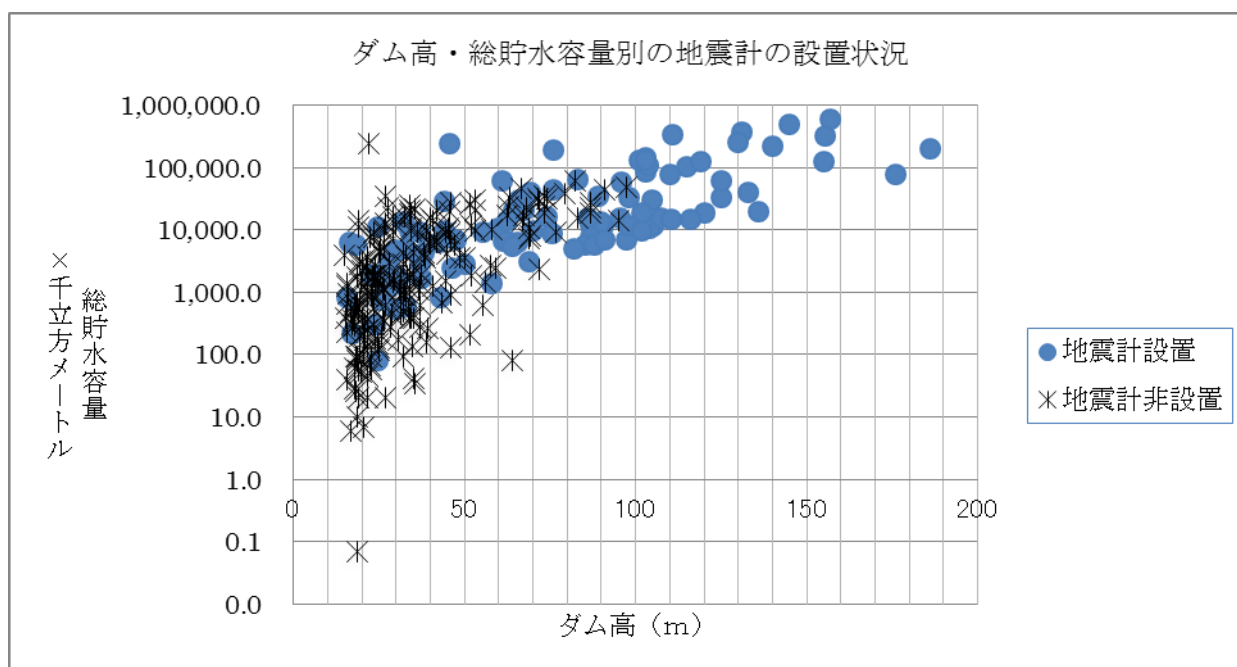
1. ダムの高さ別の地震計設置ダムの状況

全ダム			高さ100m以上のダム			高さ50m以上のダム			高さ50m未満のダム		
ダム数	地震計設置ダム数	%	ダム数	地震計設置ダム数	%	ダム数	地震計設置ダム数	%	ダム数	地震計設置ダム数	%
330	102	31	31	31	100	110	69	63	220	33	15

2. ダムのタイプ別の地震計設置ダムの状況

重力ダム			アーチダム			フィルダム			その他ダム		
ダム数	地震計設置ダム数	%	ダム数	地震計設置ダム数	%	ダム数	地震計設置ダム数	%	ダム数	地震計設置ダム数	%
245	47	19	28	17	61	52	37	71	5	1	20

3. ダムのダム高及び総貯水容量に対する地震計の設置状況



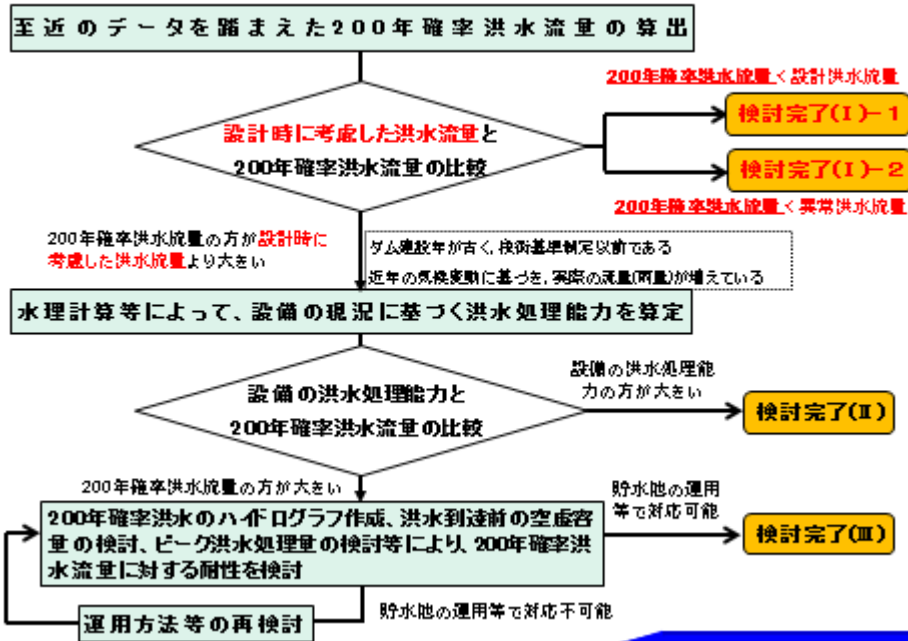
<<参考資料>>

<集中豪雨に対するダムの耐性評価の検討>

3-6-1. 集中豪雨に対する耐性評価の検討フロー

1. (1) 耐性評価の検討フロー

1



3-6-2. 集中豪雨に対する耐性評価の結果 (1)

1. (1) 検討結果一覧①

2

NO.	形式	竣工年	経過年数	集水面積	溢水面積	ダム高	既往最大洪水流量	設計(基準)洪水流量	200年確率洪水流量		検討結果 (I)-1,2 (II) (III)
				(km ²)	(km ²)			(m ³ /s)	(m ³ /s)	算定方法	
1	E	1920	94	9.00	0.188	20.30	1.08	11	122	合算式	(III)
2	E	1922	92	6.11	0.23	21.8	86	-	69	河川流量 (統計処理)	(II)
3	E	1932	82	2.9	0.8	18.5	9	18	85	合算式	(III)
4	FA	1956	57	9.29	1.8	44	79	147(流入量) 523(最高流量)	189	合算式	(III)
5	GE 連合	1960	54	94.2	0.19	18.8	160	420(504)	216	河川流量 (統計処理)	(I)-1
6	R	1961	53	399	8.8	131	3,273	1,800(3,000)	3,936	河川流量 (統計処理)	(II)
7	GE 連合	1961	53	34	0.21	35	962	1,100(1,320)	1,040	河川流量 (統計処理)	(I)-1
8	R	1963	51	20.1	0.97	95	340	330(400)	266	河川流量 (統計処理)	(I)-1
9	R	1965	49	69.1	0.8	32	166	300(350)	264	河川流量 (統計処理)	(I)-1
10	R	1965	49	5.2	0.087	34	69	110(130)	76	河川流量 (統計処理)	(I)-1
11	R	1965	49	100.7	2.91	115	1,320	1,900(2,300)	1,952	河川流量 (統計処理)	(I)-2
12	FA	1968	46	17.4	0.13	52	62	140(170)	60	河川流量 (統計処理)	(I)-1
13	R	1969	45	57.6	0.841	105	376	900(1,250)	519	河川流量 (統計処理)	(I)-1
14	R	1970	44	0.93	0.809	91	404mm	499(598)mm	460mm	河川流量 (統計処理)	(I)-1

(R例) E:アースダム, R:ロックフィルダム, FA:アスファルトフェイキングダム, G:重力式コンクリートダム

※対象: 高さ15m以上のフィルダム

<<参考資料>>

3-6-3. 集中豪雨に対する耐性評価の結果 (2)

1. (1) 検討結果一覧②

3

NO.	形式	竣工年	経過年数	集水面積	透水面積	ダム高	既往最大洪水流量	設計(基準)洪水流量	200年確率洪水流量	算定方法	検討結果 (I)-1,2 (II) (III)
				(km ²)	(km ²)						
15	R	1973	41	161.7	2.818	119	1,328	1,600(1,920)	1,827	河川流量 (統計処理)	(I)-2
16	R	1974	40	192.9	4.350	102.8	1,325	1,500(1,800)	1,507	河川流量 (統計処理)	(I)-2
17	R	1974	40	5.2	0.87	98	80	145(175)	104	河川流量 (統計処理)	(I)-1
18	FA	1974	40	13.4	0.87	64.5	104	310(375)	167	河川流量 (統計処理)	(I)-1
19	R	1975	39	12.0	0.24	85.5	92	395(475)	108	河川流量 (統計処理)	(I)-1
20	R	1975	39	13.62	0.23	82.0	113	450(520)	546	合算式 (II)	(II)
21	R	1975	39	2.42	0.31	84.0	50	110(135)	114	合算式	(I)-2
22	R	1976	38	1.4	0.25	88.5	1	85(80)	63	合算式	(I)-1
23	R	1978	35	131	1.78	176	524	1,400(1,700)	571	河川流量 (統計処理)	(I)-1
24	R	1978	35	150	0.72	125	600	1,600(1,950)	658	河川流量 (統計処理)	(I)-1
25	R	1978	36	2.9	0.48	110.5	71	190(230)	99	河川流量 (統計処理)	(I)-1
26	R	1978	36	4.5	0.66	90	43	95(114)	57	河川流量 (統計処理)	(I)-1
27	R	1978	36	107.8	0.77	87	390	1,620(1,950)	962	河川流量 (統計処理)	(I)-1
28	R	1980	34	270.7	0.220	15.5	262	1,350	611	河川流量 (統計処理)	(I)-1

(凡例) E:アースダム R:ロックフィルダム FA:アスファルトフェイシングダム G:重力式コンクリートダム
※対象: 高さ15m以上のフィルダム

3-6-4. 集中豪雨に対する耐性評価の結果 (3)

1. (1) 検討結果一覧③

4

NO.	形式	竣工年	経過年数	集水面積	透水面積	ダム高	既往最大洪水流量	設計(基準)洪水流量	200年確率洪水流量	算定方法	検討結果 (I)-1,2 (II) (III)
				(km ²)	(km ²)						
29	R	1982	31	6.5	0.057	116	15	133(160)	135	合算式	(I)-2
30	R	1982	32	2.35	0.29	88	41	230	59	河川流量 (統計処理)	(I)-1
31	R	1986	28	1.8	0.30	86.7	8	80	46	合算式	(I)-1
32	R	1986	28	0.76	0.14	89.0	11	51	49	合算式	(I)-1
33	R	1987	27	773	0.489	27.5	452	3,100	533	河川流量 (統計処理)	(I)-1
34	R	1988	25	0.9	0.32	98	-	52	34	合算式	(I)-1
35	R	1988	26	3.7	0.7	102	4	176	8	河川流量 (統計処理)	(I)-1
36	R	1989	25	742.2	0.8	30	2,850	6,000	2,860	河川流量 (統計処理)	(I)-1
37	FA	1994	19	2	0.47	91	8	110	76	合算式	(I)-1
38	R	1995	19	12	0.51	98	78	480	106	河川流量 (統計処理)	(I)-1
39	R	1995	19	1.64	0.588	44.5	22	75	41	河川流量 (統計処理)	(I)-1
40	R	1999	14	6.7	0.51	87	28	300	174	合算式	(I)-1
41	R	2005	8	6.2	0.59	136	17	280	116	合算式	(I)-1
42	FA	2007	7	1.70	0.27	65.5	-	113	83	合算式	(I)-1

(凡例) E:アースダム R:ロックフィルダム FA:アスファルトフェイシングダム G:重力式コンクリートダム
※対象: 高さ15m以上のフィルダム

<<参考資料>>

3-7-1. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（I）【北海道電力(株)の例】

1. (2) 評価事例②（NO. 16ダム）：検討結果（I）

17

○諸元

ダム形式	ロックフィルダム
竣工年	1974年
堤高	102.8m
堤長	326.0m
総貯水容量	145,000千m ³
有効貯水容量	117,000千m ³

3-7-2. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（I）【北海道電力(株)の例】

1. (2) 評価事例②（NO. 16ダム）：検討結果（I）

18

○設計時考慮した洪水流量

設計洪水流量 ¹⁾	1,500m ³ /s	←今回対象とする洪水流量
異常洪水流量 ²⁾	1,800m ³ /s	

1) 設計洪水流量

- ①降雨による100年確率洪水流量の20%増
 - ②既往最大洪水流量の20%増
 - ③実績洪水流量による100年確率洪水流量の20%増
- 上記のうち最大となる①により決定

2) 異常洪水流量

設計洪水流量の20%増

※異常洪水流量：計画洪水流量（設計洪水流量）を超える流量が万一発生しても、貯水池の水位上昇がダムの余裕高の範囲にとどまれば、越流に対して安全であることから、異常洪水流量はその意味でダムの放流能力およびそれに対する余裕高を検討するためのもの（ダム設計基準1967年3月改定版より抜粋）

<<参考資料>>

3-7-3. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（I）【北海道電力(株)の例】

1. (2) 評価事例②（NO. 16ダム）：検討結果（I）

19

○算定方法

・ダム流入量による統計処理

○データ

観測項目	ダム流入量 (m ³ /s)
データ種別	年最大流量 (m ³ /s)
データ期間	40年
期間最大流量	1,325m ³ /s

○統計処理方法

・使用ソフト: 水文統計ユーティリティver1.5(国土技術研究センター)
 ・13の確率分布モデルから適合度の高いモデルを選定(SLSC※を考慮)

※SLSC: Standard Least Square Criterionの略
 確率分布モデルに対する適合度判定の指標の一つ

3-7-4. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（I）【北海道電力(株)の例】

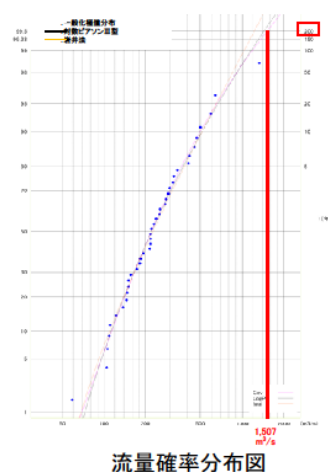
1. (2) 評価事例②（NO. 16ダム）：検討結果（I）

20

○算定結果

項目	一般化 極値分布	対数ピア ソンⅢ型	岩井法	
SLSC	0.026	0.028	0.033	
確率年	50年	920m ³ /s	923m ³ /s	856m ³ /s
	100年	1,181m ³ /s	1,157m ³ /s	1,030m ³ /s
	200年	1,507m ³ /s	1,434m ³ /s	1,221m ³ /s

↑
200年確率洪水流量



<<参考資料>>

3-8-1. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（Ⅱ）【電源開発(株)の例】

1. (2) 評価事例⑤（NO. 6ダム）：検討結果（Ⅱ）

33

ダムの概要

○諸元

ダム型式	ロックフィルダム
竣工年	1961年
堤高	131.0m
堤長	405.0m
総貯水容量	370百万m ³
有効貯水容量	330百万m ³

○設計時考慮した洪水流量

設計洪水流量 ¹⁾	1,800m ³ /s	← 今回対象とする洪水流量
異常洪水流量	3,000m ³ /s	

1) 設計洪水流量

近傍測水所の流量記録から求めた200年確率洪水流量

3-8-2. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（Ⅱ）【電源開発(株)の例】

1. (2) 評価事例⑤（NO. 6ダム）：検討結果（Ⅱ）

34

200年確率洪水流量の算定

○算定方法

- ダム流入量による統計処理

○データ

観測項目	貯水池流入量 (m ³ /s)
データ種別	年最大流量 (m ³ /s)
データ期間	53年
期間最大流量	3,273m ³ /s

○統計処理方法

- 使用ソフト：水文統計ユーティリティ ((一財)国土技術研究センター)
- 複数の確率分布モデルから最も適合度の高いモデルを選定
(確率分布モデルの適合度は、SLSC※で評価)

※ SLSC : Standard Least Square Criterion

3-8-3. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（Ⅱ）【電源開発(株)の例】

1. (2) 評価事例⑤ (NO. 6ダム) : 検討結果 (Ⅱ)

35

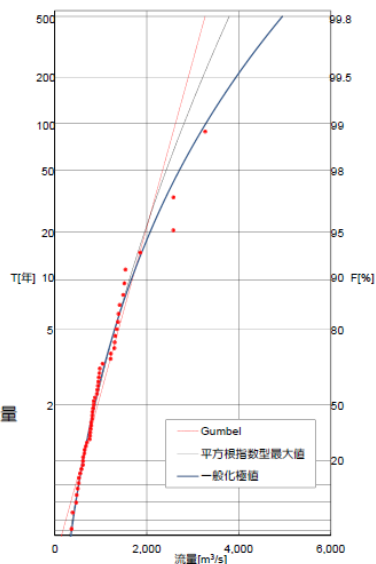
200年確率洪水流量の算定

○算定結果

(単位: m³/s)

確率分布モデル		Gumbel分布	平方根指数型最大値分布	一般化極値分布
SLSC		0.066	0.043	0.026
確率年	50年	2,345	2,425	2,713
	100年	2,624	2,809	3,283
	200年	2,902	3,216	3,938

↑
200年確率洪水流量



3-8-4. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（Ⅱ）【電源開発(株)の例】

1. (2) 評価事例⑤ (NO. 6ダム) : 検討結果 (Ⅱ)

36

検討結果

○設計時考慮した洪水流量と200年確率洪水流量の比較

- 200年確率洪水流量が設計時考慮した洪水流量を上回る結果となった。

設計時考慮した洪水流量 (a)	200年確率洪水流量 (b)	(b) / (a)
3,000m ³ /s	3,938m ³ /s	131%

<<参考資料>>

3-8-5. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（Ⅱ）【電源開発(株)の例】

1. (2) 評価事例⑤（NO. 6ダム）：検討結果（Ⅱ）

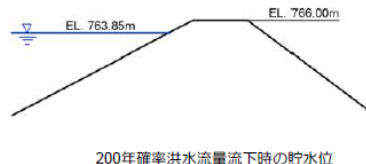
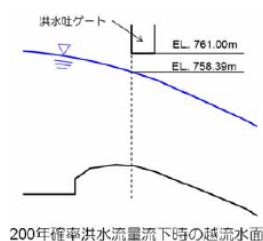
37

検討結果

○設備の洪水処理能力と200年確率洪水流量の比較

- 200年確率洪水流量流下時の越流水面と洪水吐ゲート下端の距離が1.5m以上となることを確認した。
- 200年確率洪水流量流下時の貯水位がダム天端より低くなることを確認した。

200年確率洪水流量流下時の越流水面標高	洪水吐ゲート下端標高	200年確率洪水流量流下時の貯水位	ダム天端標高
EL. 758.39m	EL. 761.00m	EL. 763.85m	EL. 766.00m



⇒ 大規模洪水流量に対する流下能力を有していることを確認した。

3-8-6. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（Ⅱ）【電源開発(株)の例】

1. (2) 評価事例⑤（NO. 6ダム）：検討結果（Ⅱ）

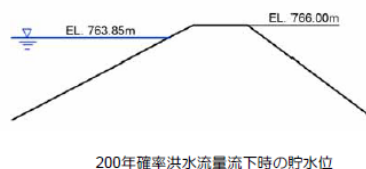
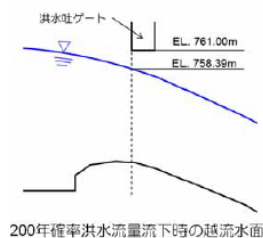
37

検討結果

○設備の洪水処理能力と200年確率洪水流量の比較

- 200年確率洪水流量流下時の越流水面と洪水吐ゲート下端の距離が1.5m以上となることを確認した。
- 200年確率洪水流量流下時の貯水位がダム天端より低くなることを確認した。

200年確率洪水流量流下時の越流水面標高	洪水吐ゲート下端標高	200年確率洪水流量流下時の貯水位	ダム天端標高
EL. 758.39m	EL. 761.00m	EL. 763.85m	EL. 766.00m



⇒ 大規模洪水流量に対する流下能力を有していることを確認した。

<<参考資料>>

3-9-1. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（Ⅲ）【北陸電力(株)の例】

1. (2) 評価事例⑦（NO. 1ダム）：検討結果（Ⅲ）

42

○ダムの諸元

ダム型式	アースダム
竣工年	1920年
ダム高	20.3m
堤長	91.5m
総貯水容量	2,236千m ³
有効貯水容量	903千m ³

○設計洪水流量

設計洪水流量 ¹⁾	11.12m ³ /s
----------------------	------------------------

1) ダム近傍の雨量観測所の日最大雨量（1910年～1914年の5年間）に
余裕を見込んだ想定最大雨量から合理式で算定した洪水流量

3-9-2. 集中豪雨に対する耐性評価の事例（Ⅲ）【北陸電力(株)の例】

1. (2) 評価事例⑦（NO. 1ダム）：検討結果（Ⅲ）

43

200年確率洪水流量の算定

○算定方法

- ・雨量データ（県の確率降雨強度式）を用いた合理式

○算定結果

算定方法	洪水流量
合理式による	122m ³ /s

↑

200年確率流量

<参考> 既往最大ダム流入量:108 m³/s・・・（1998.9.22発生）

<<参考資料>>