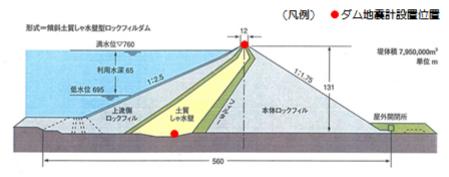
### 3-2-8. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 3. 照査用地震動の策定

(4) 地震動の作成 (半経験的手法(経験的ゲリー)関数)に用いた小地震記録)



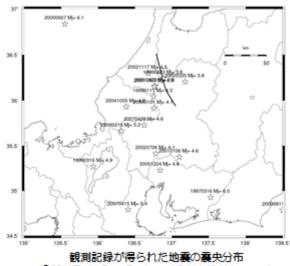
ダム地震計設置位置図

© 2014 Electric Power Development Co.L.td. All rights reserved.

3-2-9. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 3. 照査用地震動の策定

(4) 地震動の作成 (半経験的手法(経験的グリーン関数)に用いた小地震記録)



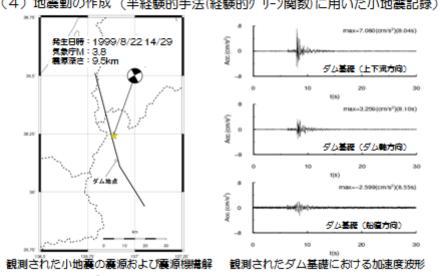
© 2014 Electric Power Development Co.L.td. All rights reserved.

<<参考資料>>

### 3-2-10. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 3. 照査用地震動の策定

(4) 地震動の作成 (半経験的手法(経験的ゲリー)関数)に用いた小地震記録)

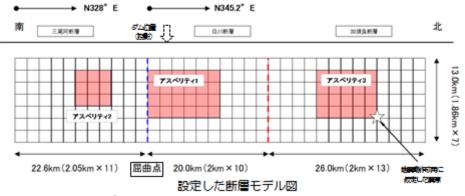


© 2014 Electric Power Development Co.L.td. All rights reserved.

3-2-11. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 3. 照査用地震動の策定

- (4) 地震動の作成
  - ・地震調査研究推進本部(文部科学省)で用いられている"レシピ" に則り、庄川断層帯をモデル化しました。
  - アスペリティはできるだけダムの近くに設定し、震源は地震動が 強くなるような位置に設定しました。



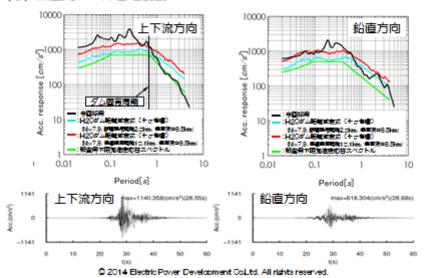
2014 Electric Power Development Co.Ltd. All rights reserved.

12

<<参考資料>>

## 3. 照査用地震動の策定

#### (5) 照査用レベル2地震動



## 3-2-13. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

# 4. 地震応答解析 (国交省指針(案)の照査項目)

- ✓ ダムの要求性能 (国交資指針第) 「1.5 前裏性能」より)
  - ①貯水機能が維持されること (制御できない貯水の流出を認めない)
- ②損傷が修復可能な範囲にとどまること

### ✓ 耐震性能照査の項目 (国交管指針係) 「3.3 フィルダム本体の耐震性能の照査」より)

- 等価線形化法等による動的解析を行い、その結果、地震時にすべり破壊が生じない と判断される場合は、ダム本体の損傷が生じるおそれはないため、所要の耐震性能 は確保されるとしてよい。
- 2. 上記1. における等価線形化法等による動的解析の結果、ダム本体の損傷が生じるおそれがある場合には、さらに1. による解析結果を用いた塑性変形解析により、地震によるすべり等の変形を推定する。その結果、変形に伴う沈下が貯水の越流を生じるおそれがないほどに小さく、かつ地震後において浸透破壊を生じるおそれがない場合には、ダムの貯水機能は維持されるとしてよく、かつ修復可能な範囲にとどまる場合には、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。

© 2014 Electric Power Development Co.L.td. All rights reserved

14

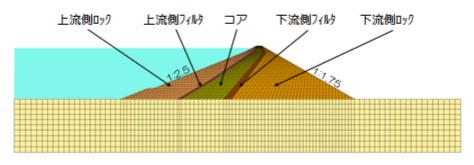
### 3-2-14. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 4. 地震応答解析 (解析フロー) ダム堤体の浸透流解析 堪水解析 ・塩水解析の初期条件として、盛立解析を行います。 塩水後の堤体水位(間隙圧)分布を求めます。 ・続いて、塩水後に堤体に発生する応力分布を求め、 動的解析の初期条件を設定します。 動的解析(等価線形解析) ・地震時に提体内に発生する応力分布を求めます。 すべり安定性の検討 すべりの発生 越流の有無に関する検討 天端沈下書を求め、越流の有無を検討します。 発生しない 浸透破壊に関する検討 終了 © 2014 Electric Power Development Co.L.td. All rights reserved.

### 3-2-15. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 4. 地震応答解析 (解析モデル)

- ・解析モデルは、基礎~ダム~貯水の2次元連成モデルとしました。
- 地震応答解析は、常時満水位を対象とした等価線形解析により行いました。

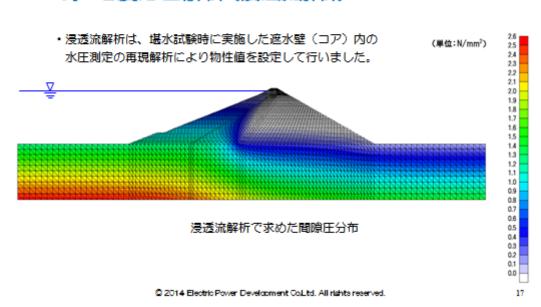


ダム解析モデル図

© 2014 Electric Power Development Co.L.td. All rights reserved.

## 3-2-16. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

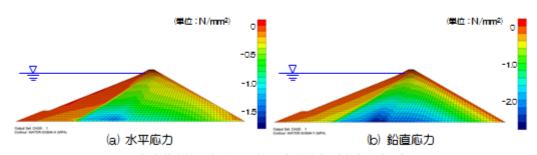
## 4. 地震応答解析(浸透流解析)



## 3-2-17. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 4. 地震応答解析(湛水解析)

・物性値は、工事記録や下記参考文献1)を参考に設定し、常時満水位を対象 とした盛立解析および湛水解析を行いました。



常時満水位における堤体の応力分布(全応力表示)

【参考文献】 1)原田次夫、松井家寺:ロックフィルダムの感迹中およびだん水後の挙動、講座一主と基礎に関する構造物の挙動、電力中央研究所、 1977.05

© 2014 Electric Power Development Co.L.td. All rights reserved.

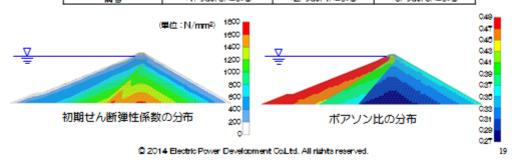
### 3-2-18. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 4. 地震応答解析

### (動的解析(等価線形解析)に用いた物性値 その①)

初期せん断弾性係数、ボアソン比、基準ひずみ、最大減衰定数等の物性値 は、下記参考文献2)~5)を参考に設定しました。

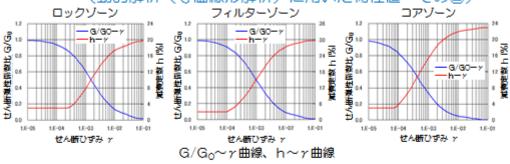
材料	ロック	フィルタ	コア
初期せん断弾性係数	参考文献	2) で求まるVsから要素的	事に設定
ポアソン比	参考	文献 2)を基に要素毎に設	走
基準ひずみ	1.56×10 <sup>-3 +1)</sup>	1.00×10 <sup>-3</sup> <sup>+2</sup>	5.00×10 <sup>-4</sup> <sup>+3</sup>
最大黨表定数	23 % +1)	30 % 🐿	23 % 🕫
機士	*1) 文献(3)による	*2) 文献 4)による	(3) 文献 5)による



## 3-2-19. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 4. 地震応答解析

(動的解析(等価線形解析)に用いた物性値 その②)



なお、物性値の妥当性は、固有値解析と岡本式<sup>®</sup>との比較により確認しました。 (※ダムの1次固有周期:固有値解析0.67秒、関本式0.66秒)

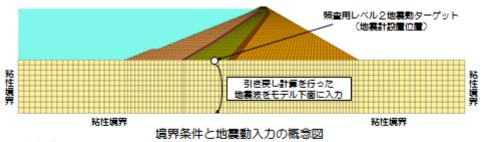
- 2) Sawada, Y. and F.E. Takahashi :Study on the material properties and the earthquake behaviors of rockfill dams. 第4回日本地震工学シンポジウム論文集、695-702、1975 3) Baba, K., Watanabe, H.: On a Consideration for an Earthquake-resistant Design Method for Rockfill Dams.
- 13th Consress on Large Dams, New Delhi、Q51、R15、1979 4) 上村洋司、大本家正、安養寺学:短周期成分の卓越する地震動におけるロックフィルダムの学動解析例、主と基礎、34-8(343)、
- 0027-33、1996 5)安田正幸、精力信英、嶋田光明:振動三軸試験によるコア材の動的変形特性、第14回主責工学研究発表会、1980
- 5) 女出比率、1971년では、1971年 6) 岡本舞三:耐養工学、オーム社、1971年 2014 Electric Power Development Co.L.td. All rights reserved.

### 3-2-20. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 4. 地震応答解析

### (解析モデルの境界条件と地震動の入力方法)

- 解析モデルの境界条件は、ダム基礎岩盤の下方、側方とも、下記参考文献7)
   に基づく、粘性境界としました。
- ・ 照査用レベル2地震動は、ダム監査廊の地震記録から半経験的手法(経験的 グリーン関数法)で求めたことから、E+F波として扱い、下記解析モデル で引き戻し計算を行った波を、モデル最下面に入力しました。



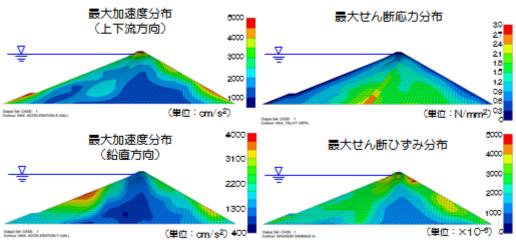
【数号文献】 7)三清房村、沖中忠志:仮想仕事の原理に基づく粘性境界を用いた三次元構造物一地望系の動的解析手法、土木学会請文惠、 第404号/1-11、395-404、1989

© 2014 Electric Power Development Co.L.td. All rights reserved.

3-2-21. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

## 4. 地震応答解析

### (動的解析(等価線形解析)の結果)



(注)上記は、全加振時間における要素毎の最大値のコンター表示

2014 Electric Power Development Co.Ltd. All rights reserved.

22

### 3-2-22. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】



### 3-2-23. ロックフィルダムの耐性評価の事例【電源開発(株)の例】

© 2014 Electric Power Development Co.Ltd. All rights reserved.

## 5. 耐震性能照查

(2) 検討結果

①越流の有無に関する検討結果 (すべり安定性の検討結果)

> 予想される天賞沈下量 < 常時滝水位~天賞の標高差 1.37m < 6.00m

②浸透破壊に関する検討結果

浸透流速 現界流速
0.00064 (cm/sec) < (土地手座: 0.001mmの場合)
0.32 (cm/sec)

(3) 照査結果

大規模地震(レベル2地震動)に対する当該ダムの耐震性能照査を行ったところ、 以下に示すとおり所定の耐震性能を有していることを確認しました。

①ダム本体は若干の変形(沈下)を伴うものの、地震後のダム天端標高は常時 満水位より十分高く、越流は生じないこと。

②すべり線沿いに浸み込む貯水(浸透流)により、堤体材料が流出しないこと。

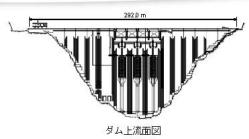
© 2014 Electric Power Development Co.Ltd. All rights reserved.

### 3-3-1. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 対象ダムの概要









 ダム諸元

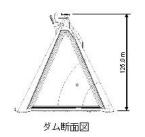
 河川名
 大井川休系大井川

 型式
 中空重力式コンクリートダム

 堤高
 1 25. Om

 堤頂長
 292. Om

 竣工年
 1 962年



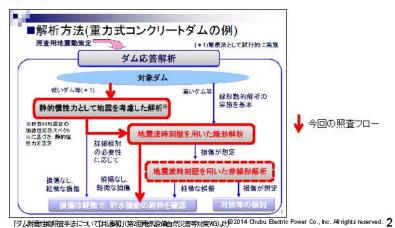
© 2014 Chubu Bectric Power Co., Inc. All rights reserved. 1

### 3-3-2. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 耐震性能照査の進め方



- ▶ 対象ダムの耐震性能照査にあたっては、静的慣性力として地震を考慮した解析(静的解析)を実施する。(簡便法として試行的に実施)
- ▶ 静的解析による裕度が小さい場合、地震波時刻歴を用いた線形解析・非線形解析(動的解析)を実施する。

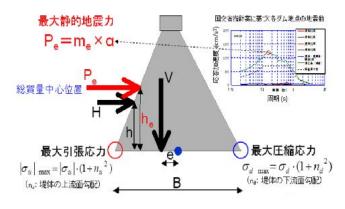


### 3-3-3. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 静的解析について



- ▶ 静的解析では、ダムの形状等の諸元をモデル化した剛体計算を行い、ダム堤体に発生する内部応力(引張応力・圧縮応力)に対する照査を行う。
- ▶ 対象ダムの固有周期に関する情報を得られていないため、静的地震力には、レベル2 地震動による加速度応答スペクトルの最大値を用いる。



@2014 Chubu Bectric Power Co., hc. All rights reserved. 3

### 3-3-4. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 地震力の設定(1)



- ▶ 対象ダムのレベル2地震動の設定にあたっては、下記①~③を考慮する。
  - ①プレート境界地震(中央防災会議による地震動) 想定東海地震、想定東海・東南海・南海地震
  - ②内陸活断層(国交省指針案の距離減衰式に基づき算定した地震動) 中央構造線赤石山地西縁断層帯、畑薙山断層、富士川河口断層帯、他
  - ③照査用下限加速度応答スペクトル(国交省指針案)
- ➤ 上記について、ダム基礎位置(Vs=1400m/s)における加速度応答スペクトル(水平動)を 算定し、その最大値を静的地震力(水平震度)として設定する。
- プレート境界地震については、中央防災会議から公開されている工学的基盤波を用いて 算定したダム基礎位置での加速度応答スペクトルを用いる。また、内陸活断層について は、国交省の距離減衰式(H20式)、回帰係数、地震タイプ別補正係数(標準+σ)を用い て算定した加速度応答スペクトルを用いる。

@2014 Chubu Bectric Power Co., hc. All rights reserved. 4

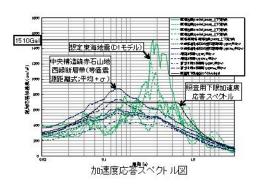
### 3-3-5. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 地震力の設定(2)



➤ 対象ダムでは、ダム基礎位置における加速度応答スペクトルのうち、想定東海地震 (D1モデル)による加速度応答スペクトルの最大値(1510Gal)を静的地震力として設 定する。





@2014 Chubu Bectric Power Co., Inc. All rights reserved. 5

### 3-3-6. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 解析条件(静的解析)



#### ▶ 諸定数の設定

#### コンクリート強度

- ・建設時の記録が残っている場合には、建設時の記録を用いる。
- ・建設年代が古く、建設時の記録が残っていない場合は、同年代のダムの記録を参照する。 (必要に応じて現地コア試験を行う。)
- ⇒今回の事例では、建設時の品質管理試験結果に基づき設定する。

コンクリート	圧縮強度	48.5N/mm²	建設時の品質管理試験結果に基づく強度に地震時の割り増し(×1.3)を考慮した値
4227	引張強度	4.8N/mm²	圧縮強度(地震時の割り増し考慮)の1/10

#### 荷重

常時荷重 : 自重, 機器荷重, 静水圧, 泥圧および揚圧力を考慮する。 (貯水位はHWL、堆砂面はLWLに設定する。)

地震時荷重:慣性力および動水圧を考慮する。

(動水圧はWestergaardの式を用いて算定する。)



#### > 照香基準

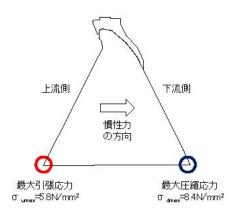
- ・堤体コンクリートに発生する応力(引張・圧縮)が、堤体コンクリートの強度を十分下回ることを確認する。
- ・静的解析による裕度が小さい※場合、動的解析による詳細検討を実施する。 (※静的解析と動的解析の両方を実施した複数のダムの解析結果から発生応力を比較し裕度の目安を設定している。) ◎2014 Oubu Bedric Power Co., hc. All rights reserved. 6

### 3-3-7. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 静的解析による照査結果



▶ 静的解析の結果、対象ダムでは、堤体コンクリートに発生する引張応力に対する裕度が小さいことから、動的解析による詳細検討を実施する。



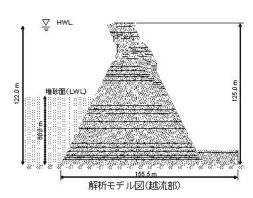
@2014 Chubu Bectric Power Co., hc. All rights reserved. 7

### 3-3-8. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 動的解析について



- ▶ 対象ダムの動的解析では、ダム堤体(越流部・非越流部)をモデル化した二次元FEM 解析(線形解析)を行い、ダム堤体に発生する応力に対する照査を行う。
- ➤ 線形解析(こよってダム堤体(ご引張クラックが発生する場合(こは、二次元FEM解析(非 線形解析)(こよる詳細検討を行う。



@2014 Chubu Bectric Power Co., hc. All rights reserved. 8

### 3-3-9. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 解析条件(動的解析)(1)



#### ➤ 諸定数の設定

#### 材料物性

- ・コンクリートの強度は、静的解析と同様、建設時の品質管理試験結果に基づき設定する。
- ・コンクリートの弾性係数は、コンクリートの圧縮強度(地震時の割り増し無し)から、コンクリート標準 示方書に基づき算定した値を設定する。
- ・堤体内部は3種類のコンクリートを用いており、それぞれの部位に対応した材料物性を設定する。
- ・中空部分の材料物性は、単位奥行当たりに換算した等価な値を設定する。

堤体コンクリートの材料物性

	+B/+ M +n			堤体内部		ピア
	堤体外部	ハンチ部・	上部	中部	下部	
単位体積重量(kN/m³)	23.5	23.5	235	23.5	23.5	23.5
圧縮強度*1(N/mm²)	48.5	48.5	365	39.3	48.5	48.5
引張強度*1(N/mm²)	4.8	4.8	3.6	3.9	4.8	4.8
弾性係数(N/mm²)	30,200	30,200	26,100	28,100	30,200	30,200
ポアソン比	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
奥行換算係数※2	1.0	0.7727	0.5455	0.5455	0.5455	0.1282

<sup>※1</sup> 地震時の割り増し(×13)を考慮した強度※2 材料物性を単位奥行き当たりに換算するための係数

@2014 Chubu Bectric Power Co., hc. All rights reserved. 9

### 3-3-10. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 解析条件(動的解析)(2)



#### ➤ 諸定数の設定

#### 荷重

常時荷重 :初期応力解析において、自重、機器荷重、静水圧、泥圧および揚圧力を考慮する。

(貯水位はHWL、堆砂面はLWLに設定する。)

地震時荷重:地震応答解析において、慣性力および動水圧を考慮する。

(動水圧はWestergaardの式を用いて算定した付加質量をダム堤体上流面に与える。)

#### 境界条件

初期応力解析では底面ばね境界、地震時解析では底面固定境界とする。

### 照査用地震動の入力方法

解析モデル底面に照査用地震動(水平動・鉛直動)を同時入力する。

#### 減衰

国交省指針案参考資料の事例を参照し、レーリー減衰(h=15%)を用いる。

#### 非線形モデル

非線形解析で用いるコンクリートの引張構成モデルは単直線軟化構成モデルとし、圧縮を線形弾 性として表現する。(※今回の事例では非線形解析は行っていない。)

#### > 照査基準

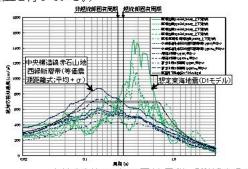
- ・線形解析では、堤体コンクリートに発生する応力(引張・圧縮)が、堤体コンクリート強度を下回ること を確認する。
- ・非線形解析では、場体に発生するクラックが貫通しないことを確認するby Beatic Power Co., hc. All rights reserved 10

## 3-3-11. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 照査用地震動の設定(1)



- ➤ 動的解析で用いる照査用地震動には、ダム基礎位置での加速度応答スペクトル(水平動)のうち、二次元FEMモデルによるダム堤体固有周期の値が最大となる地震動を選定する。
- 対象ダム越流部モデルでは想定東海地震(D1モデル)、非越流部モデルでは中央構造線赤石山地西縁断層帯(等価震源距離式、平均+σ)による地震動を選定する。(なお、今回の事例では、越流部と非越流部とで照査用地震動が異なることから、両方の照査用地震動により照査を行っている。)



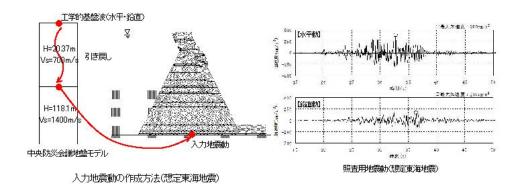
加速度応答スペク・ル図(水平動) @2014 Chubu Bectric Power Co., hc. All rights reserved 11

### 3-3-12. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 照査用地震動の設定(2)



➤ 想定東海地震については、中央防災会議から公開されている工学的基盤波を用いて算 定したダム基礎付置(Vs=1400m/s)での地震波を用いる。



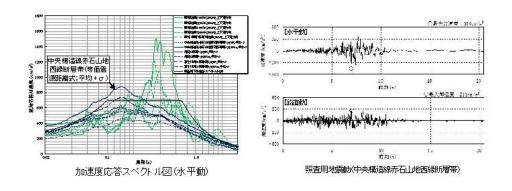
@2014 Chubu Bectric Power Co., Inc. All rights reserved 12

## 3-3-13. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 照査用地震動の設定(3)



➤ 中央構造線赤石山地西縁断層帯による地震動については、加速度応答スペクトルに適合する時刻歴波形を用いる。原種波形には、国交省指針案で例示されている兵庫県南部地震時における一庫ダム観測波(水平最大加速度182Ga)を用いる。



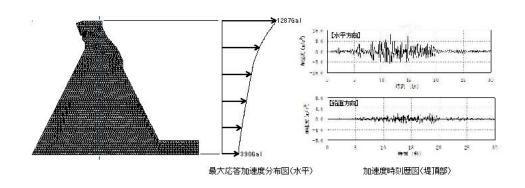
@2014 Chubu Bectric Power Co., hc. All rights reserved 13

### 3-3-14. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 動的解析による照査結果(1)



➤ 線形解析による想定東海地震(D1 モデル)に対する越流部モデルの加速度応答の例を以下に示す。



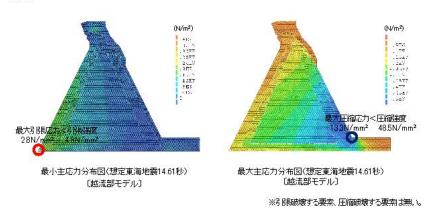
@ 2014 Chubu Bectric Power Co., hc. All rights reserved 4

## 3-3-15. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 動的解析による照査結果(2)



▶ 線形解析の結果、対象ダムでは、越流部・非越流部ともに、堤体コンクリートに発生する引張応力・圧縮応力が、堤体コンクリートの引張強度・圧縮強度を下回ることを確認した。



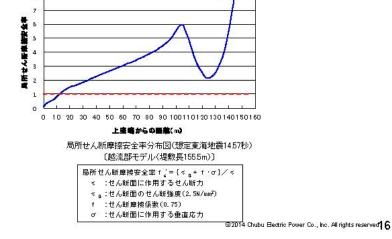
@2014 Chubu Bectric Power Co., hc. All rights reserved 15

## 3-3-16. コンクリート中空重力ダムの耐性評価の事例【中部電力(株)の例】

## 動的解析による照査結果(3)



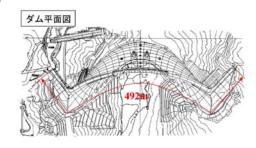
▶ 堤体底面でのせん断力が最大となる時刻の局所せん断摩擦安全率の分布によると、越流部・非越流部ともに、局所せん断摩擦安全率が1.0を下回る範囲は上流端付近の一部であり、堤敷長に対して十分小さい結果となっている。

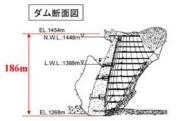


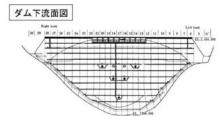
### 3-4-1. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

### 1. 解析対象ダムの概要

ダム諸元		
竣工年	1963年	
ダム高	186 m	
堤頂長	492 m	
堤体積	1,600∓ m3	
総貯水容量	約1.8億 m3	

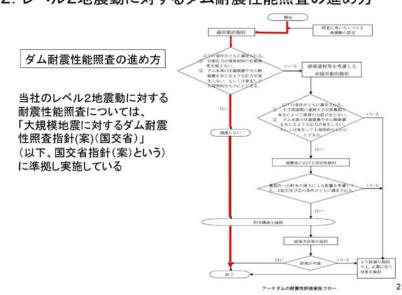






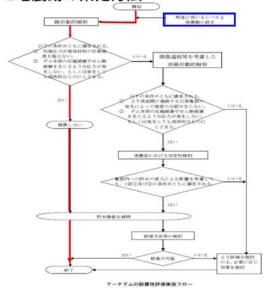
3-4-2. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

## 2. レベル2地震動に対するダム耐震性能照査の進め方



### 3-4-3. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

### 3. レベル2地震動の策定方法



3

### 3-4-4. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

### 3. レベル2地震動の策定方法

ダム耐震性能照査に用いるレベル2地震動は、地震調査研究推進本部等の文献や、当該ダムで過去に発生した地震を調査し、さらに、海溝型地震に対する影響が無いことを確認したうえ、以下の手順で近傍断層による内陸型地震のうちで最大のものと指針(案)に記載の照査用下限加速度応答スペクトル(以下、下限スペクトル)を比較し設定している。

### ① ダムへの影響が大きい近傍の活断層を抽出

ダム近傍の活断層について距離減衰式を用いてダムへの影響の大き い断層を抽出

② ①で抽出された活断層のうちダムへの影響が大きい活断層を選定

抽出された活断層について半経験的手法によりモデル地震動を作成した うえ、速度応答スペクトルによりダムへの影響が大きい活断層を選定

③ 選定されたモデル地震動と下限スペクトルを比較

選定された活断層におけるモデル地震動と下限スペクトルに適合した波 形に対して、速度応答スペクトルおよび加速度応答スペクトルの値を比較 し、大きい方をレベル2地震動とする

選定された地震動をレベル2地震動に決定