

3-3-9. コンクリート中空重カ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

	堤体外部	ハンチ部	堤体内部			ピア
			上部	中部	下部	
単位体積重量(kN/m ³)	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
圧縮強度*1(N/mm ²)	48.5	48.5	36.5	39.3	48.5	48.5
引張強度*1(N/mm ²)	4.8	4.8	3.6	3.9	4.8	4.8
弾性係数(N/mm ²)	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

※1 地震時の割増し(×1.3)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 Electric Power Co., Inc. All rights reserved. 9

3-3-10. コンクリート中空重カ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、堤体に発生するクラックが貫通しないことを確認する。

©2014 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved. 10

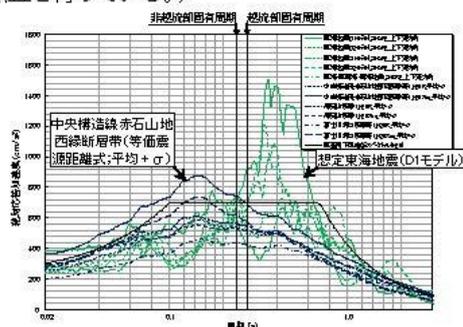
<<参考資料>>

3-3-1 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】

照査用地震動の設定(1)



- ▶ 動的解析で用いる照査用地震動は、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。)



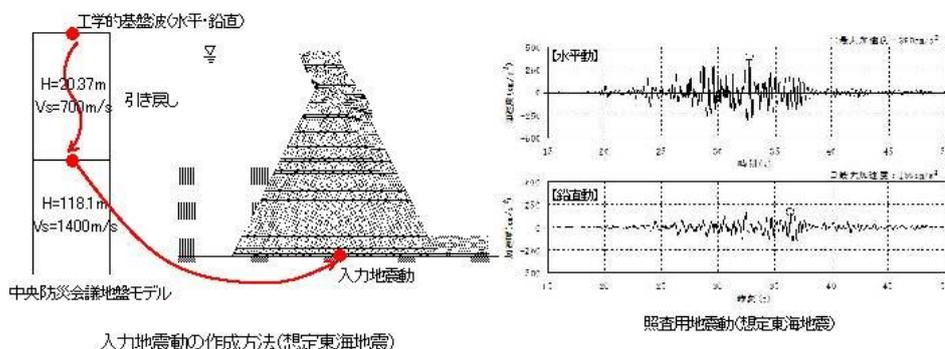
加速度応答スペクトル図(水平動) ©2014 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved 11

3-3-1 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】

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位置($V_s=1400\text{m/s}$)での地震波を用いる。



©2014 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved 12

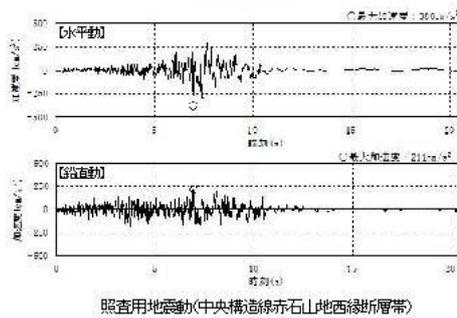
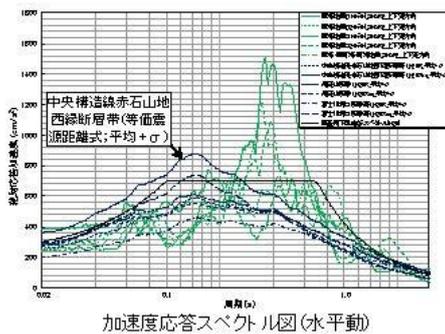
<<参考資料>>

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182Gal)を用いる。



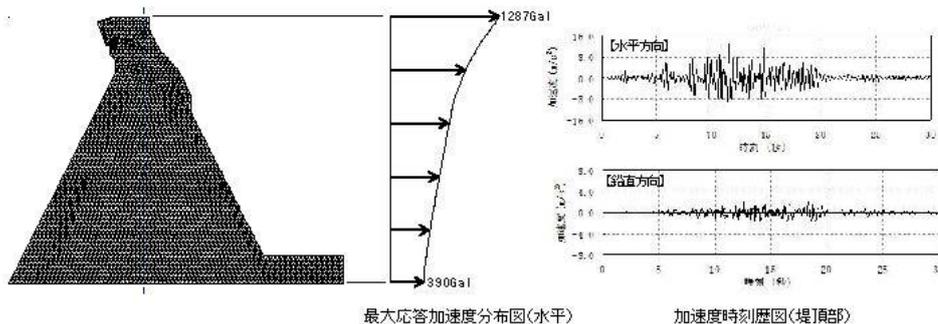
©2014 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved 13

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 Electric Power Co., Inc. All rights reserved 14

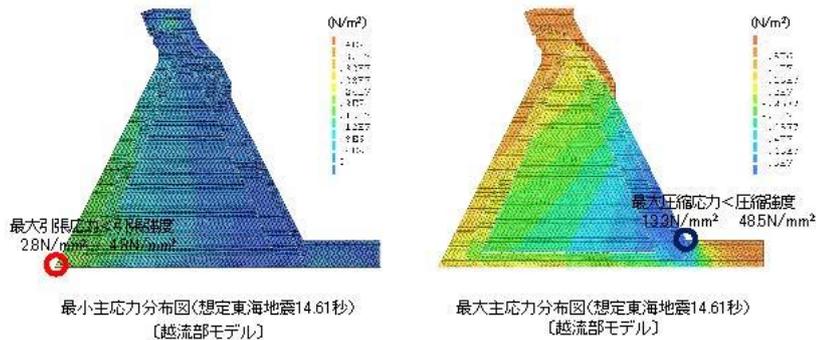
<<参考資料>>

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。



※引張破壊する要素、圧縮破壊する要素は無い。

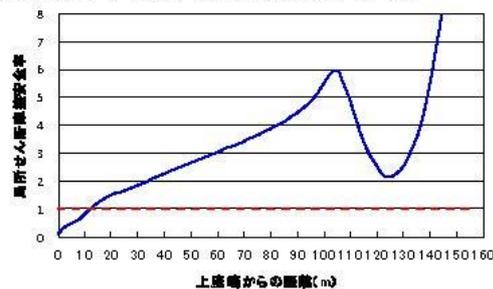
©2014 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved 15

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。



局所せん断摩擦安全率分布図(想定東海地震14.57秒)
【越流部モデル(堤敷長155.5m)】

$$\text{局所せん断摩擦安全率 } f_s = \frac{\tau_s + f \cdot \sigma}{\tau_c}$$

τ_s : せん断面に作用するせん断力
 τ_c : せん断面のせん断強度(2.5N/mm²)
 f : せん断摩擦係数(0.75)
 σ : せん断面に作用する垂直応力

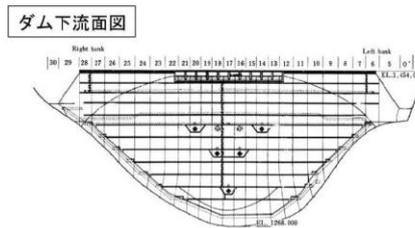
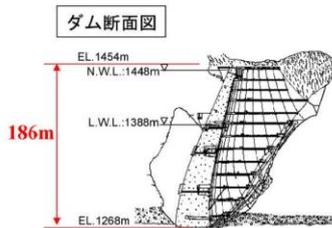
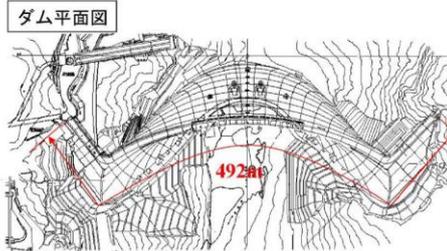
©2014 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved 16

<<参考資料>>

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	1,600千 m ³
総貯水容量	約1.8億 m ³



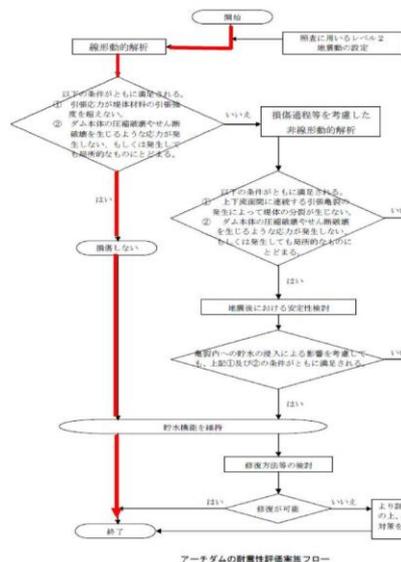
1

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

ダム耐震性能照査の進め方

当社のレベル2地震動に対する耐震性能照査については、「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)(国交省)」(以下、国交省指針(案)という)に準拠し実施している

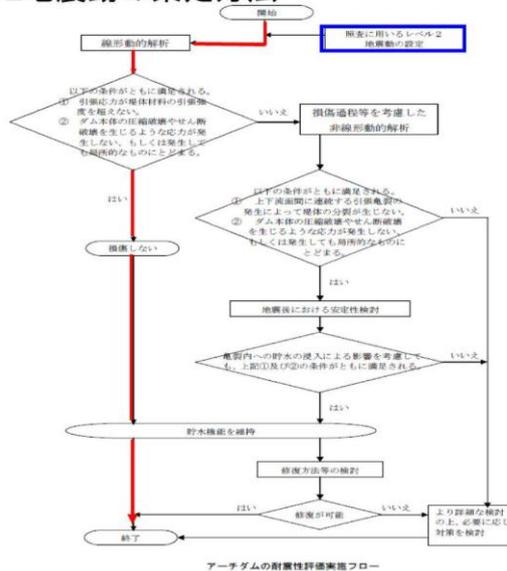


2

<<参考資料>>

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

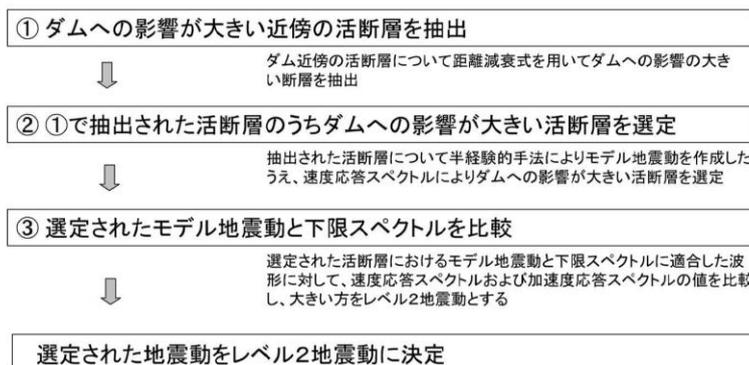


3

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で、以下の手順で近傍断層による内陸型地震のうち最大のものと指針(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。



4

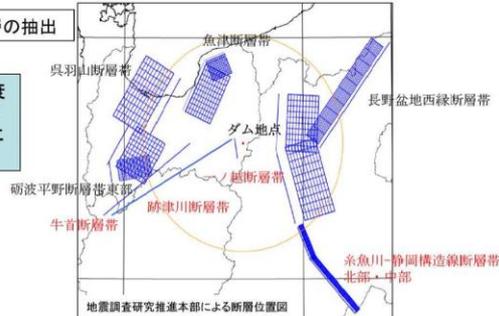
<<参考資料>>

3-4-5. 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

①ダムへの影響が大きい近傍の活断層の抽出

ダム近傍の活断層について、距離減衰式(司・翠川)を用いて計測震度および最大加速度を算出し、下記選定基準により右図赤字の断層帯を抽出



<選定基準> (計測震度: 5以上) または (最大加速度: 250cm/s/s以上)

断層名	断層最短距離 (km)	Mw	断層中心深さ (km)	計測震度※1	最大加速度※2 (cm/s/s)	判定
跡津川断層帯	6.2	7.2	10.5	5.6	513.0	○
牛首断層帯	26.6	7.1	10.5	4.8	289.2	○
ノ越断層帯	3.9	5.9	10.5	5.0	437.3	○
糸魚川-静岡構造線断層帯 北部・中部	21.6	7.4	10.4	5.2	397.2	○
長野盆地西縁断層帯	35.3	7.1	9.1	4.6	226.1	
魚津断層帯	24.9	6.8	11.2	4.6	248.6	
奥羽山断層帯	46.2	6.9	12.1	4.3	152.5	
砺波平野断層帯東部	43.8	6.8	12.1	4.2	148.0	

断層規模については、地震調査研究推進本部等の文献により設定

※1 計測震度は、距離減衰式(司・翠川)による最大速度から、翠川らによる式を用いて算出

※1, ※2 Vs=600m/s相当の基盤における計測震度および最大加速度を算出したものであり、対象ダム基盤における最大加速度を算出したものではない

3-4-6. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

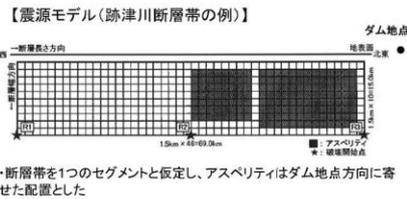
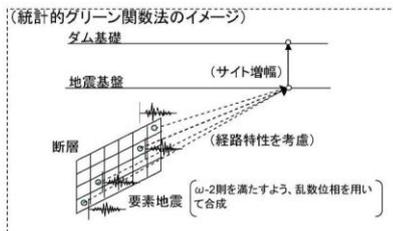
3. レベル2地震動の策定方法

②①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

①で抽出された断層に対して、半経験的手法により断層モデル地震動を作成し、ダムへの影響が大きい活断層を選定

《近傍活断層による地震動の作成方法》

- ・半経験的手法のうちの統計的グリーン関数法によって断層モデル地震動を作成
- ・震源モデルは、地震調査推進本部のレシピを基本として設定
- ・サイト増幅特性については、一般的な硬岩サイト上に設置されたダムにおける地震観測記録をもとに得られた経験則(Soda et al.)を参考とした。



6

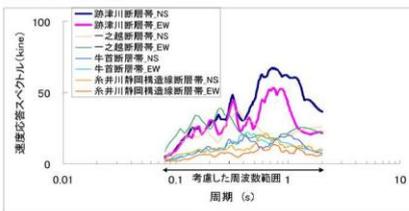
<<参考資料>>

3-4-7. アーチダムの耐性評価の事例【関西電力(株)の例】

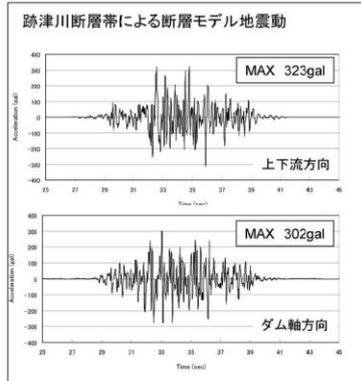
3. レベル2地震動の策定方法

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

ダムへの影響度については、地震動のもつエネルギーで評価することとし、サイト増幅特性(Soda et al. (2004))の周波数範囲を考慮した速度応答スペクトルの平均的な値により比較
(各断層代表ケースの比較)



ダムへの影響が大きい跡津川断層帯を選定



跡津川断層帯の長期評価(参照:地震調査研究推進本部)

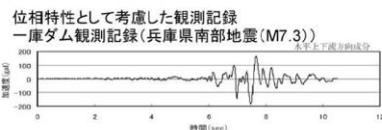
活断層名	Mj	断層長さ	発生確率	最新活動時期	平均活動間隔
跡津川断層帯	7.9	69km	300年以内でほぼ0%	1858年飛越地震 (地形・地質調査では17世紀以後)	約2,300~2,700年

3-4-8. 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

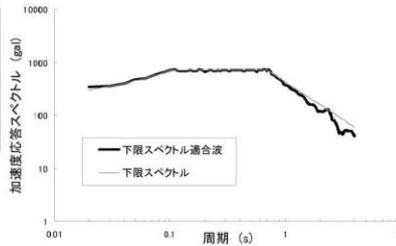
③ 断層モデル地震動と下限スペクトルとの比較

下限スペクトル(国交省指針(案))適合波の作成



一庫ダム観測記録を位相特性として考慮した理由

一般的な硬岩上に設置されたダムにおける地震観測記録のうち、直下型地震のタイプであり、下限スペクトルがターゲットとしているM7クラスの地震を観測した記録であるため



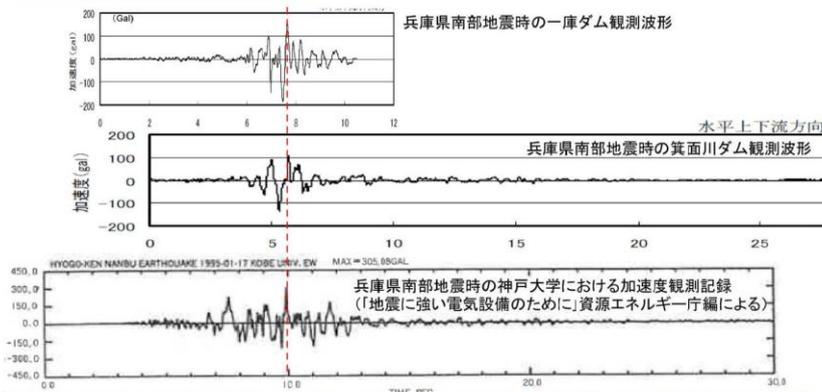
作成した地震波形が下限スペクトルに適合した加速度応答スペクトルとなることを確認

3-4-9. 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断層モデル地震動と下限スペクトルとの比較

第4回WGにおける委員コメント回答



別箇所における兵庫県南部地震時の観測記録と比較し、一庫ダム観測記録が主要動部を概ね含んでいるという事が確認できる。コンクリートダムの地震応答解析において最大応力が発生するのは概ね最大加速度を有する主要動の継続時間内であるため、一庫ダム観測記録を位相特性として考慮した下限スペクトル適合波によって解析を実施しても発生応力が過小に算出されるものではないと考えられる。

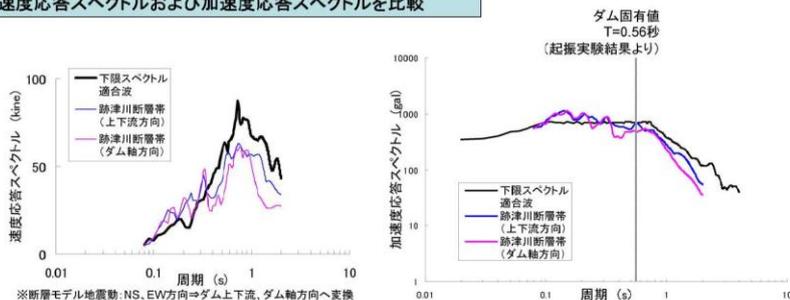
9

3-4-10. 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断層モデル地震動と下限スペクトルとの比較

選定された活断層における地震動と下限スペクトル適合波の速度応答スペクトルおよび加速度応答スペクトルを比較



※断層モデル地震動: NS, EW方向⇒ダム上下流、ダム軸方向へ変換

下限スペクトル適合波を照査対象地震動に決定

※1 下限スペクトル適合波作成後、断層モデル地震動(跡津川断層帯)と速度応答スペクトルを比較し、下限スペクトル適合波のほうが大きくなる事を確認

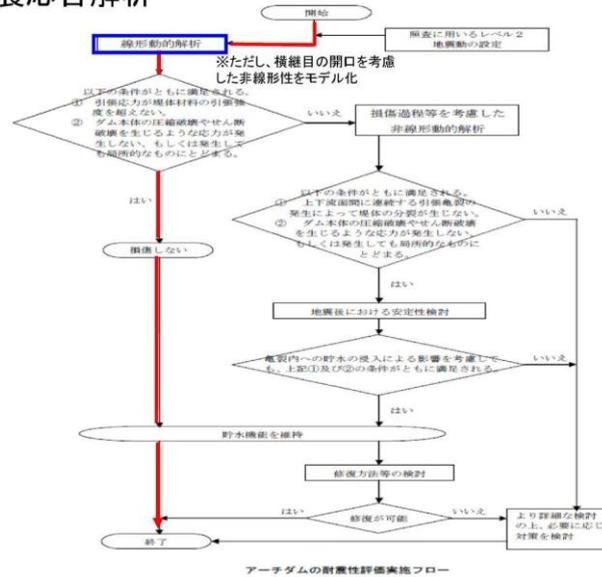
※2 跡津川断層帯による地震動に対する地震応答解析を実施しており、下限スペクトル適合波による発生応力値未滿(約8割)となることを確認済

10

<<参考資料>>

3-4-11. 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

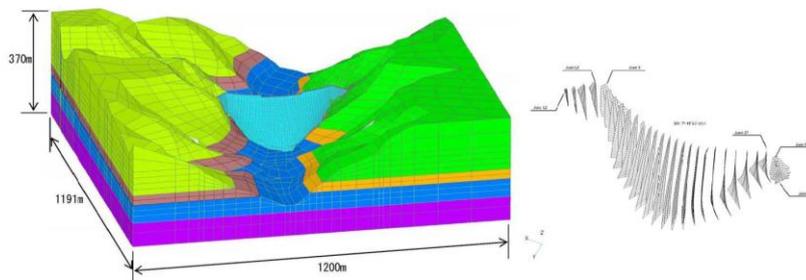


11

3-4-12. 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

(1) 解析モデル



【解析モデル】

- ・解析モデルは3次元ダム-岩盤連成モデル(約3万節点)
- ・上下流方向には3分割、ダム軸方向は約7mごと、高さ方向は約5mごとにメッシュを区切った
- ・貯水の影響は、「Westergaardの近似式」を用いて、ダムに対する付加質量で評価
- ・堤体の横継目には引張力が作用することにより開口するように非線形ジョイント要素を設け、圧縮力作用時は剛となり、引張力作用時には剛性が非常に小さくなるよう設定した
- ・境界条件について、基礎岩盤底面および側面は粘性境界とした
- ・地震動は、引き戻し計算を実施したうえモデル底面より入力した

12

<<参考資料>>