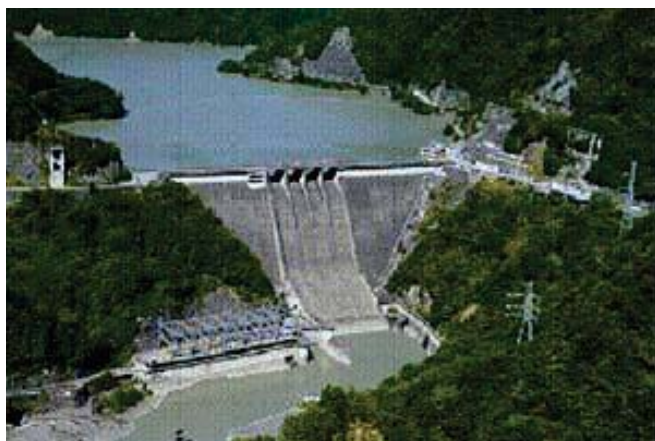


大規模地震に対するダム耐震性能照査について (中空重力式コンクリートダム)

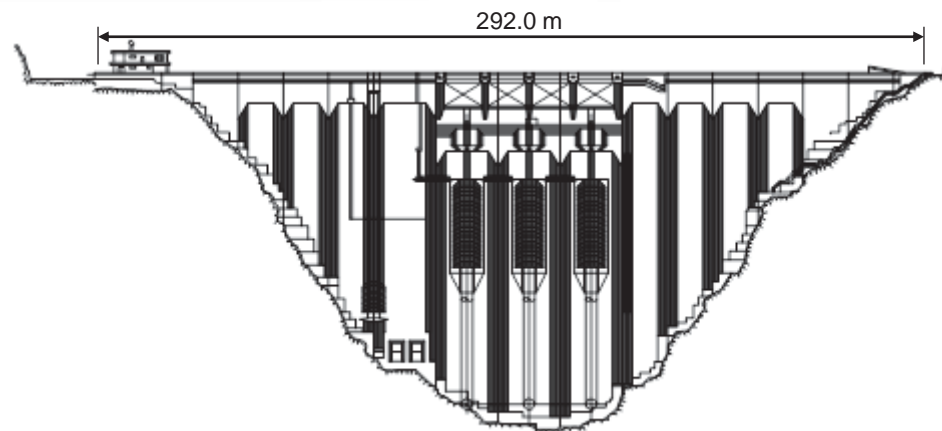
平成26年6月3日

中部電力株式会社

対象ダムの概要



ダム全景

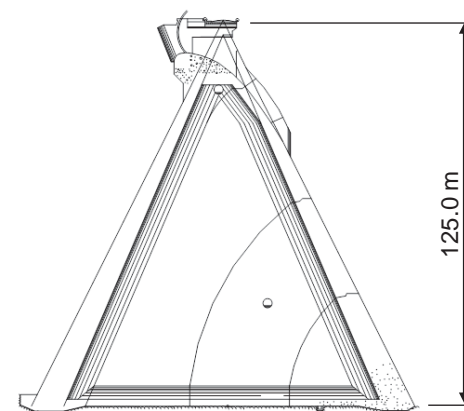


ダム上流面図



ダム諸元

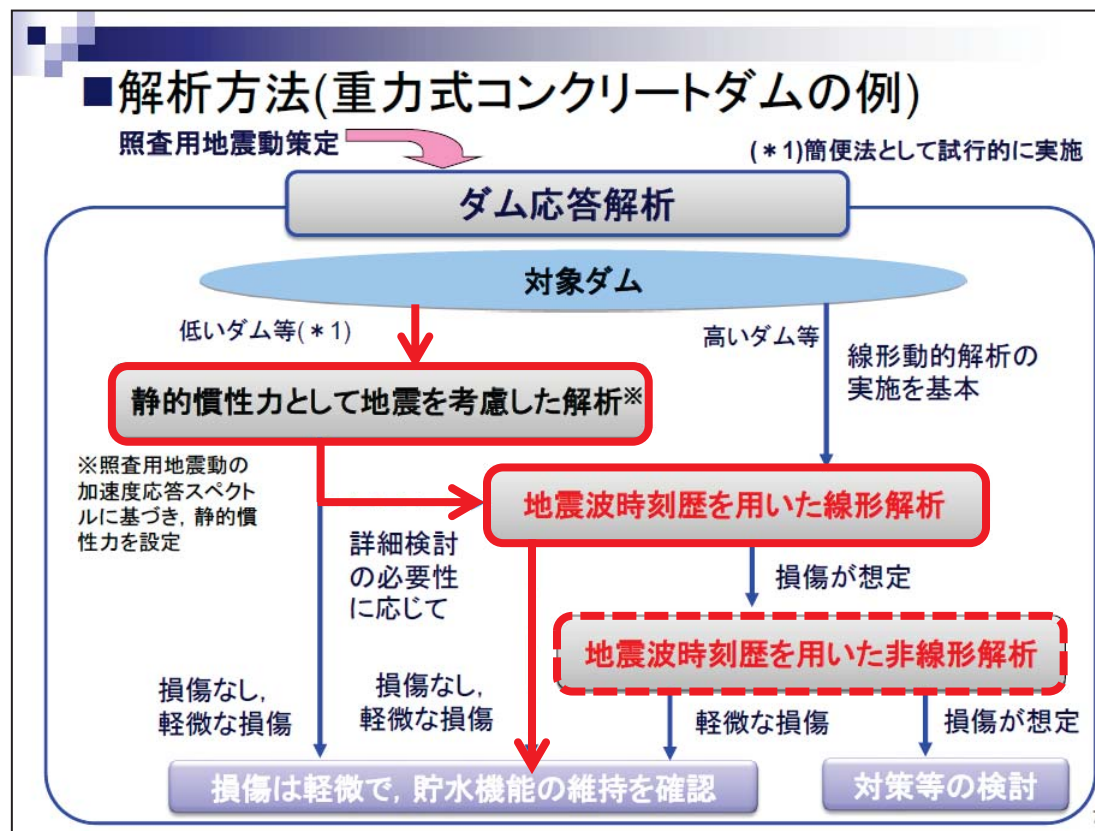
| | |
|-----|---------------|
| 河川名 | 大井川水系大井川 |
| 型式 | 中空重力式コンクリートダム |
| 堤高 | 125. 0m |
| 堤頂長 | 292. 0m |
| 竣工年 | 1962年 |



ダム断面図

耐震性能照査の進め方

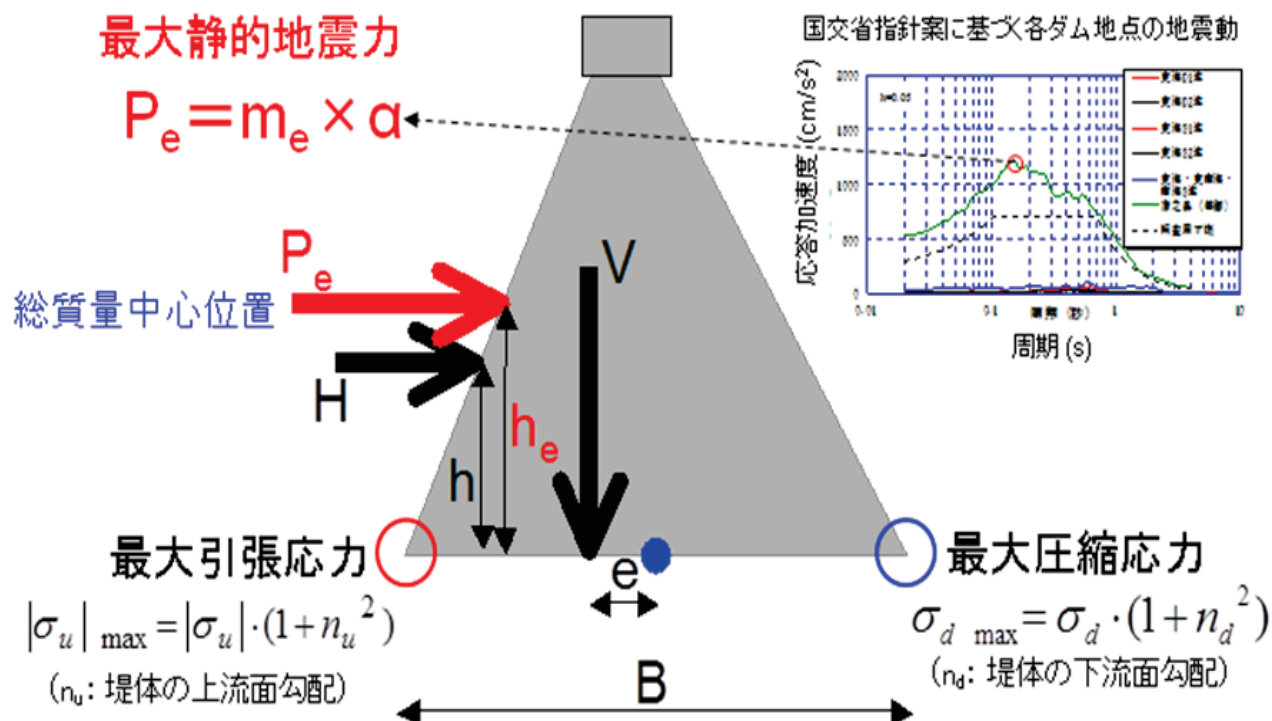
- 対象ダムへの耐震性能照査にあたっては、静的慣性力として地震を考慮した解析（静的解析）を実施する。（簡便法として試行的に実施）
- 静的解析による裕度が小さい場合、地震波時刻歴を用いた線形解析・非線形解析（動的解析）を実施する。



↓ 今回の照査フロー

静的解析について

- 静的解析では、ダム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。



地震力の設定(1)

➤ 対象ダムレベル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

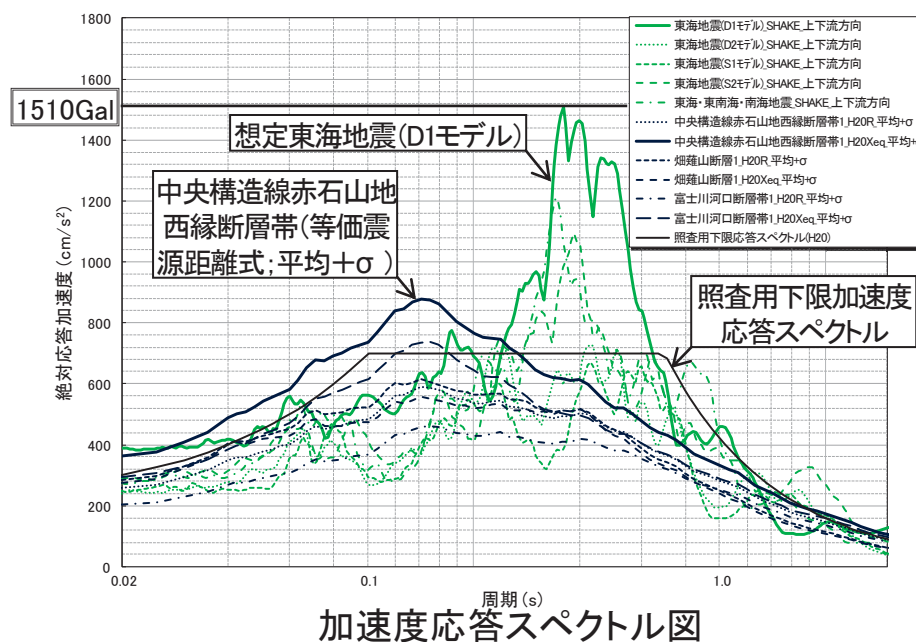
③照査用下限加速度応答スペクトル(国交省指針案)

➤ 上記について、ダム基礎位置($V_s=1400\text{m/s}$)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 $+\sigma$)を用いて算定した加速度応答スペクトルを用いる。

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。



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。)

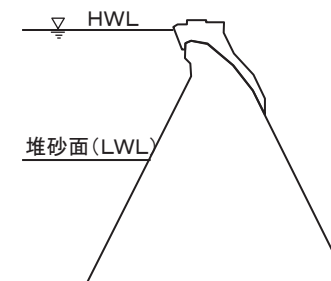
⇒今回の事例では、建設時の品質管理試験結果に基づき設定する。

| | | | |
|--------|------|-----------------------|---|
| コンクリート | 圧縮強度 | 48.5N/mm ² | 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 |
| | 引張強度 | 4.8N/mm ² | 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。)

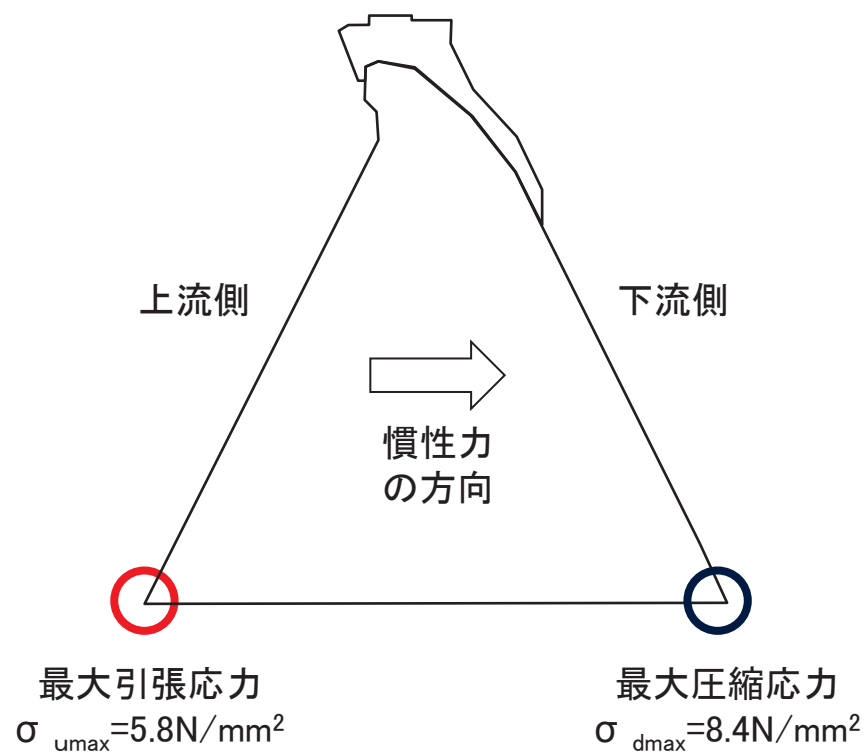


➤ 照査基準

- ・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。)

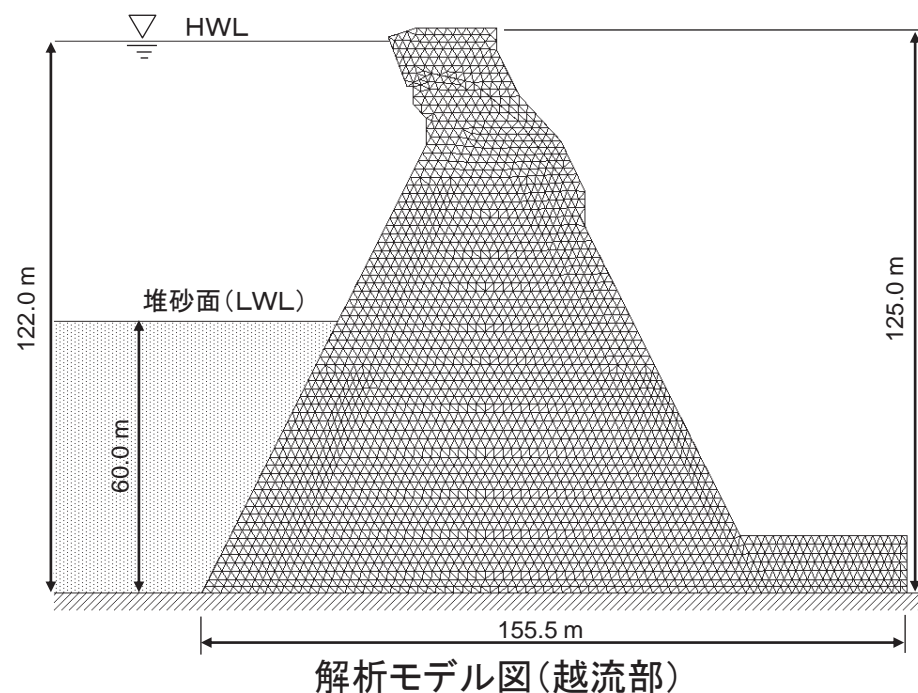
静的解析による照査結果

- 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。



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。
- 線形解析によってダム堤体に引張クラックが発生する場合には、二次元FEM解析(非線形解析)による詳細検討を行う。



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、単位奥行きあ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 |
| 奥行き換算係数※ ² | 1.0 | 0.7727 | 0.5455 | 0.5455 | 0.5455 | 0.1282 |

※¹ 地震時の割り増し(×1.3)を考慮した強度

※² 材料物性を単位奥行きあたりに換算するための係数

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

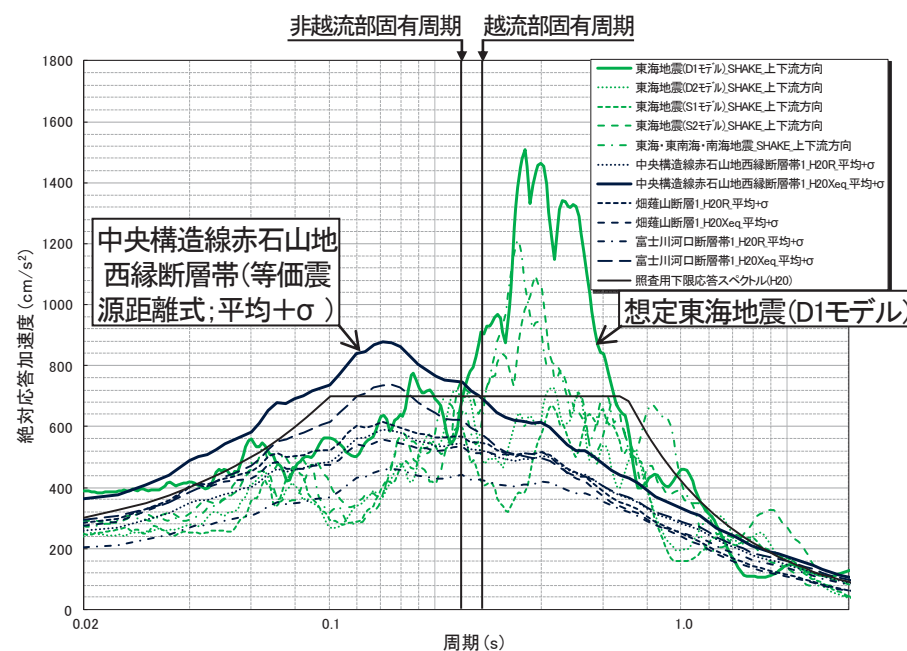
非線形解析で用いるコンクリートの引張構成モデルは単直線軟化構成モデルとし、圧縮を線形弾性として表現する。(※今回の事例では非線形解析は行っていない。)

➤ 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、堤体に発生するクラックが貫通しないことを確認する。

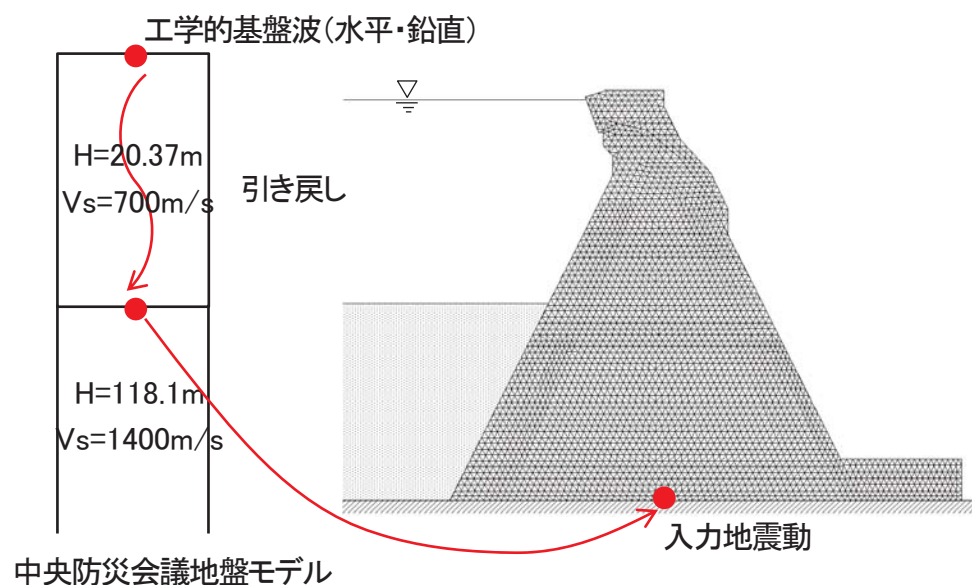
照査用地震動の設定(1)

- 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 $+\sigma$)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。)

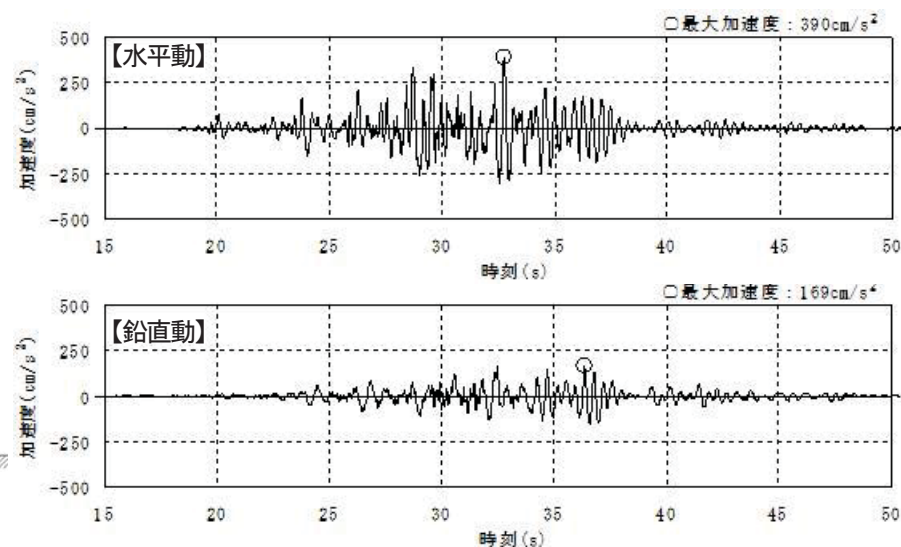


照査用地震動の設定(2)

- 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。



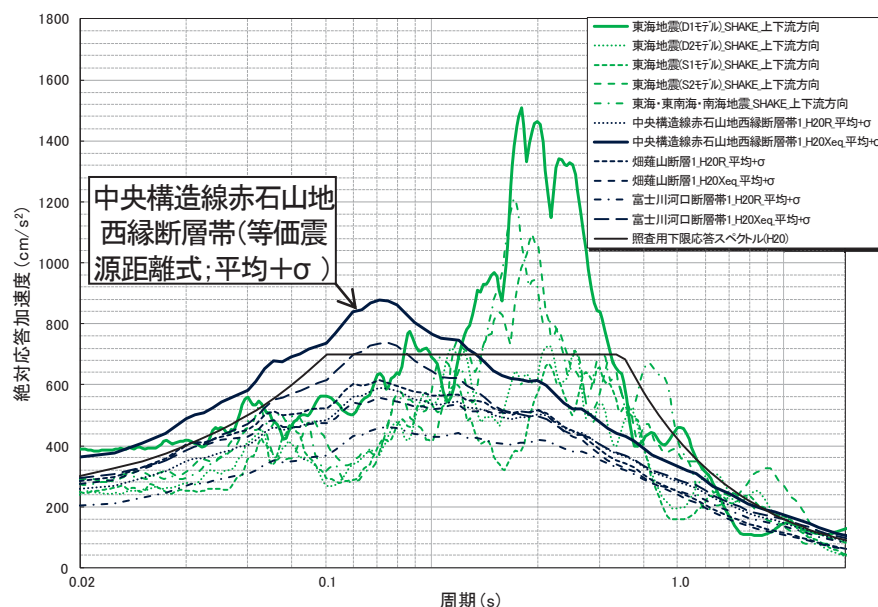
入力地震動の作成方法(想定東海地震)



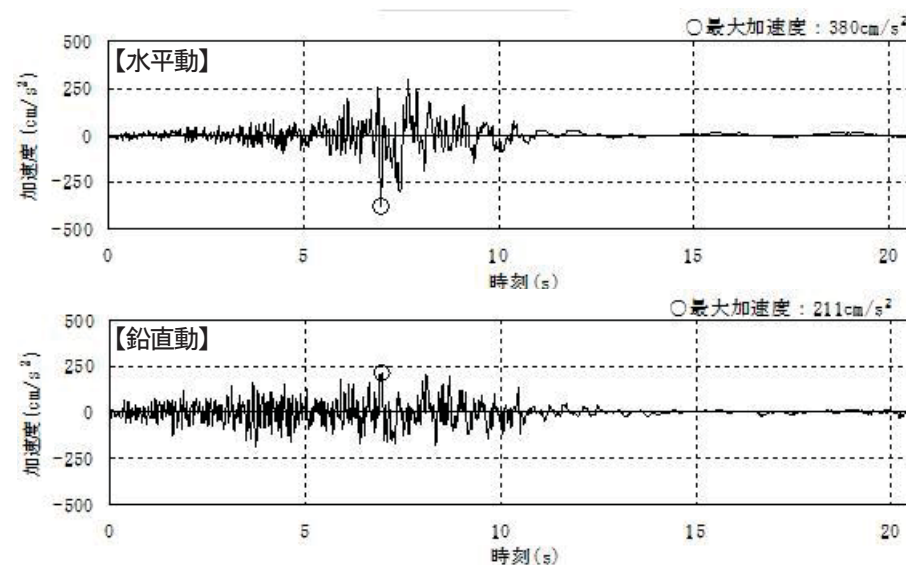
照査用地震動(想定東海地震)

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。



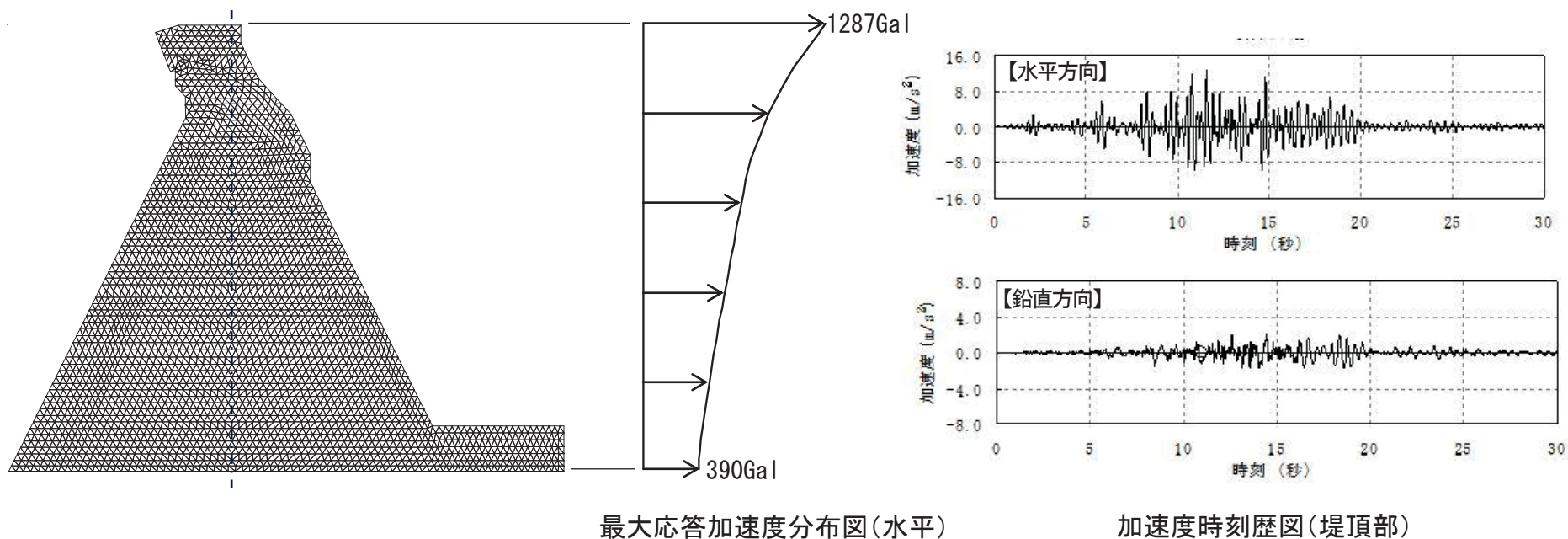
加速度応答スペクトル図(水平動)



照査用地震動(中央構造線赤石山地西縁断層帯)

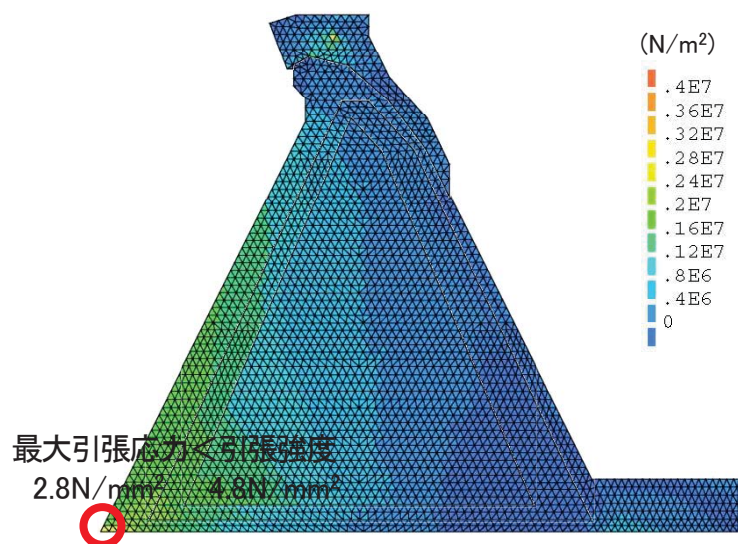
動的解析による照査結果(1)

- 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。

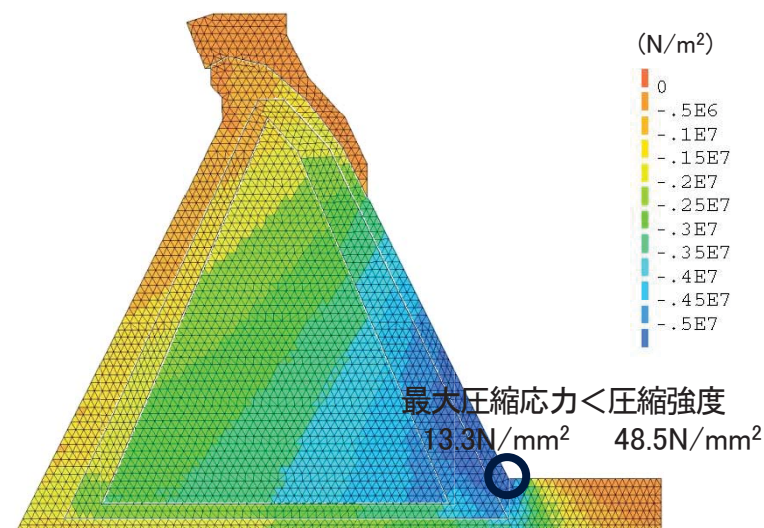


動的解析による照査結果(2)

- 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。



最小主応力分布図(想定東海地震14.61秒)
〔越流部モデル〕

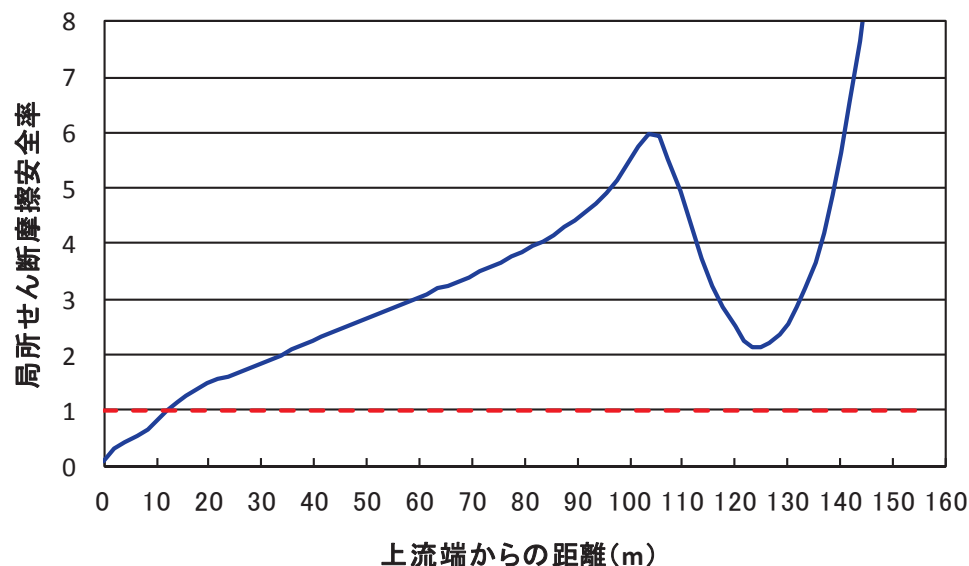


最大主応力分布図(想定東海地震14.61秒)
〔越流部モデル〕

※引張破壊する要素、圧縮破壊する要素は無い。

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)〕

$$\text{局所せん断摩擦安全率 } f_s' = \{ \tau_0 + f \cdot \sigma \} / \tau$$

τ : せん断面に作用するせん断力

τ_0 : 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