

堤高の異なるアーチダムの堤体応答と地震動強度の関係

電力中央研究所 正会員 西内 達雄

1. はじめに

大規模地震に対するダムの安全性検討が重要視されている。アーチ式コンクリートダム(アーチダムと称す)の設計では、水平荷重(例えば地震荷重)はアーチ半径方向に作用させるが、昨今の3次元モデルによる地震応答解析では、地震動は水平成分として扱われるため、堤体の耐荷力に寄与するアーチ圧縮力が必ずしも期待できないことが推測される。既報¹⁾では堤高120mモデルダムを対象として、3次元線形地震応答解析により、地震動の水平作用方向が堤体の安定性に及ぼす影響を解析的に把握した。本報告では、堤高60mモデルダムでの解析結果を加えて、地震動強度と堤体の動的応答の関係を解析的に把握した。

2. 解析概要

2.1 解析モデルと境界条件

解析は汎用解析コード「ABAQUS (ver. 6.5-6)」を用いた堤体-基礎岩盤-貯水連成モデルでの線形時刻歴地震応答解析である。地震動の入力方向は上下流方向と左右岸方向であり、これらを重ね合わせて水平方向で評価した。貯水部は水要素(流体要素)で扱った。モデルダムは堤高120mと60mである。解析に用いた要素分割を図-1に示す。解析モデルの境界条件として、基礎岩盤の側面を水平面ローラー支承、底面を鉛直拘束、水平面ローラー支承とした。

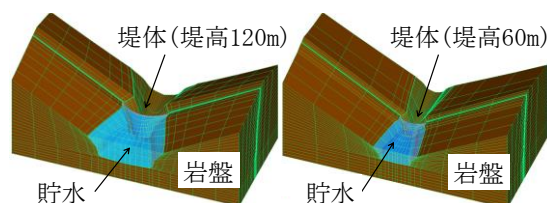


図-1 解析で用いた要素分割 (視点: 上流側)

2.2 地震動と荷重条件、物性値

地震動は国交省指針案の方法に準拠して、波形振幅は照査用下限加速度応答スペクトルで規定し、ランダム位相を用いて作成した。解析ではこれを水平方向最大加速度300galと500galとなるように振幅調整した波形を用いた。荷重条件として、常時荷重は冬季温度荷重、貯水の静水圧、揚圧力、堆泥圧、自重を、地震時荷重は貯水の動水圧と地震動を考慮した。荷重条件の算定に用いる係数等は河川管理施設等構造令に準拠した。解析に用いた物性値は一般値を想定して、堤体の単位体積重量は 2.3t/m^3 、基礎岩盤の単位体積重量 2.6t/m^3 とした。堤体の動弾性係数は $2.8 \times 10^4\text{N/mm}^2$ 、基礎岩盤の動弾性係数は $2.0 \times 10^4\text{N/mm}^2$ とした。減衰の設定は、堤体の1次と3次の固有振動数(図-2参照)を把握した後に、所定の減衰(堤体および基礎岩盤とも5%)となるようにレイリー減衰定数を定めた。

振動モード	対称1次	逆対称1次	対称2次
モード図 (堤高120m ダムの例)			
堤高120m	3.1 Hz	3.5 Hz	4.6 Hz
堤高60m	6.0 Hz	6.8 Hz	8.6 Hz

図-2 固有値解析結果

3. 堤体応答の解析結果

3.1 堤体変形と主応力分布

冬季地震時の上流側最大変形時の堤体変形と面内主応力分布を図-3に示す。堤高120mダムは上流側かつ若干左岸側へ偏心した変形を示しながら、堤頂長1/4と3/4位置が変形の腹となる対称2次モードの変形状態(図-2参照)を示している。一方、堤高60mダムは上流側かつ若干右岸側へ偏心した変形を示しながら、対称1次モードの変形状態(図-2参照)を示している。このような変形状態に応じた応力分布が、堤体の上下流表面で発生している。発生応力については、堤高120mダムでは堤体高標高部の水平方向の引張応力が卓越する傾向を示している。

3.2 堤体中央断面での最大加速度応答倍率

堤体中央断面での最大加速度応答倍率について、応答の方向別と堤高の違いで比較したものを図-4に示す。

キーワード アーチダム、地震応答解析、耐震性能、堤高、ひび割れ

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 電話 04-7182-1181、FAX 04-7183-2962

応答倍率は上下流方向が大きく、左右岸方向は小さい傾向を示す。上下流方向の応答倍率は、堤体天端の高標高に向かうにつれて大きくなり、堤体天端では堤高の高いダムの方がより大きくなっている。一方、左右岸方向の応答倍率は標高に応じて大きくなる傾向を示すが、堤高の違いによる倍率増加の差は小さい。堤体天端での上下流方向と左右岸方向の応答倍率の比は、堤高 120m ダムが 6.8 に対して堤高 60m ダムは 7.4 を示し、堤高 120m ダムの方が相対的に左右岸方向の応答の影響を大きく受けていると考えられる。なお、線形解析では同じ堤高であれば地震動強度に係わらず応答倍率は同じとなる。

3.3 地震時に発生する堤体ひび割れの履歴

約 20 秒間の地震動の継続時間を通して堤体コンクリートに発生するひび割れの全履歴を図-5 に示す。堤体は厚さ方向 5 層等分割しており、ひび割れの発生判定は引張強度 3.0N/mm^2 とした。同じ地震動強度に対して、堤高 120m ダムでの損傷よりも堤高 60m ダムでの損傷の方が軽微となっている。これは、前述 3.2 で考察したように、堤高 60m ダムの応答の方が堤高 120m ダムの応答よりも小さいこと、堤体の損傷に影響を与える左右岸方向の応答¹⁾が、堤高 60m ダムでは上下流方向の応答に対して相対的に小さいことが

考えられる。堤高 60m ダムで地震動強度の違いによる損傷状況を比較すると、500gal 入力の場合には損傷範囲が広範囲となり、貫通ひび割れの範囲も拡大している。地震動強度が 300gal 程度であれば、今回実施した線形解析の範疇で概ね堤体安定性評価は可能と推測されるが、それを上回る地震動強度の入力が想定される場合には、堤体横継目等の非線形性を考慮した解析の実施が必要と考えられる。

4. おわりに

アーチダムの 3 次元線形地震応答解析を実施して、堤高の違いや地震動強度の違いが堤体の動的応答に及ぼす影響を解析的に把握した。同じ地震動強度に対する応答は、堤高 60m ダムの方が堤高 120m ダムよりも小さくなり、堤高 60m

ダムでは堤体の損傷に影響を与える左右岸方向の応答が上下流方向の応答に対して相対的に小さくなる。このような応答に起因して、想定される損傷範囲も堤高 60m ダムの方が堤高 120m ダムよりも狭くなる。地震動強度 500gal では、堤高 60m ダムでも損傷範囲は広範囲と想定され、そのような想定地震の条件では、堤体横継目等の非線形性を考慮した解析の実施が必要と推察された。

参考文献

1) 西内達雄：地震動の作用方向がアーチダム堤体応答に及ぼす影響、第 71 回土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol. 71、I-477、2016

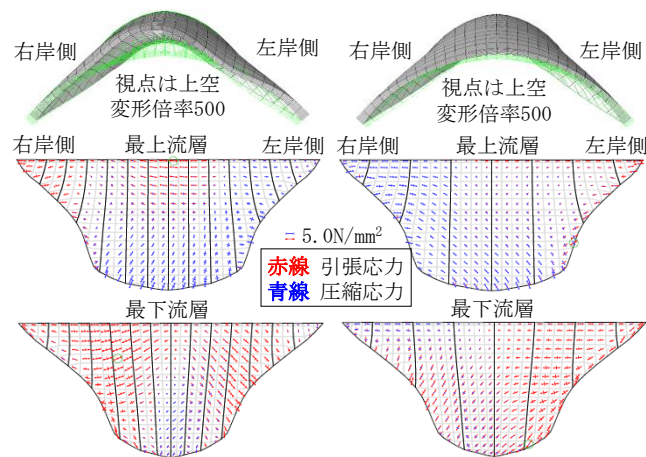


図-3 上流側最大変形時の堤体変形図と面内主応力図

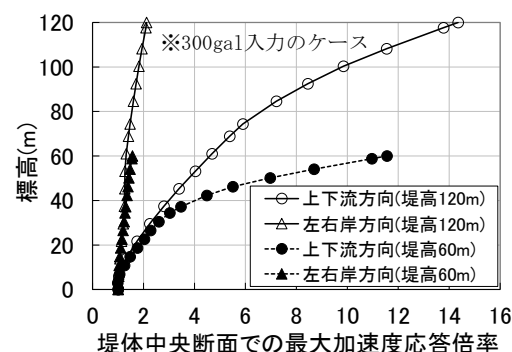


図-4 堤体中央断面での最大加速度応答倍率

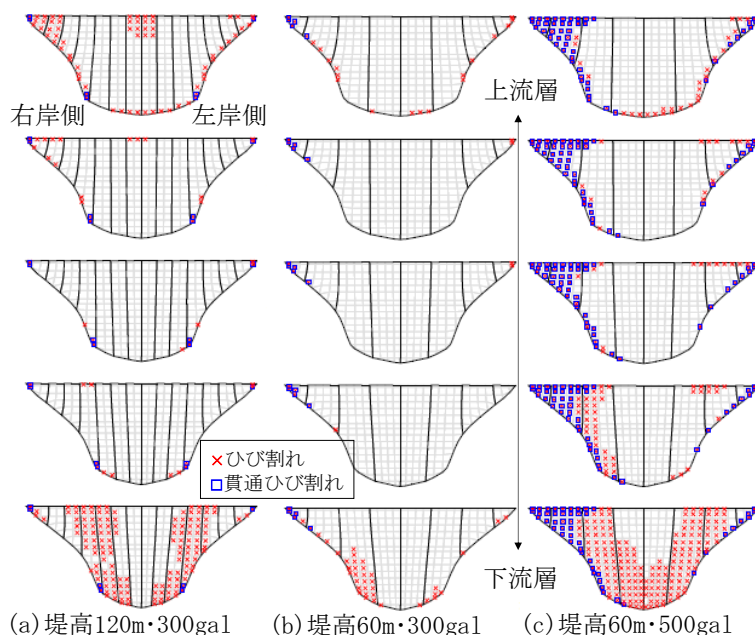


図-5 地震継続時間を通して発生するひび割れの履歴