

# 地震動の作用方向がアーチダム堤体応答に及ぼす影響

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。本報告では、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。

## 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ダム軸方向、これら2方向を重ね合わせた水平方向とした。貯水部は水要素(流体要素)で扱った。モデルダムは堤高120m、堤頂長約300m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。

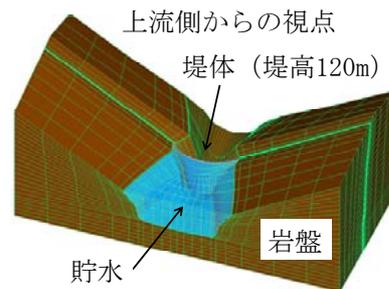
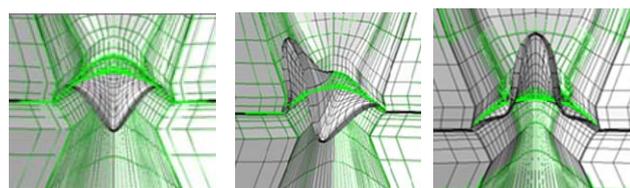


図-1 解析で用いた要素分割

### 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。解析ではこれを最大加速度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、常時荷重は温度荷重(冬季と夏季)、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<sup>3</sup>、基礎岩盤の単位体積重量2.6t/m<sup>3</sup>とした。堤体の動弾性係数は2.8×10<sup>4</sup>N/mm<sup>2</sup>、基礎岩盤の動弾性係数は2.0×10<sup>4</sup>N/mm<sup>2</sup>とした。減衰の設定は、堤体の1次と3次の固有振動数(3.1Hzと4.6Hz、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。



1次振動モード (対称1次、3.1Hz) 2次振動モード (逆対称1次、3.5Hz) 3次振動モード (対称2次、4.6Hz)

図-2 固有値解析結果

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

堤体を上空から眺めた冬季地震時の最大変形状態を図-3に示す。上下流方向の地震動入力に対しては、堤体は対称1次の変形を示しており、ダム軸方向の地震動入力に対しては、堤頂長1/4箇所が圧縮力で折れ曲がる変形を示している。水平2方向の地震動入力に対しては、それぞれの地震動入力方向に対する変形が重ね合わさった状態となっている。

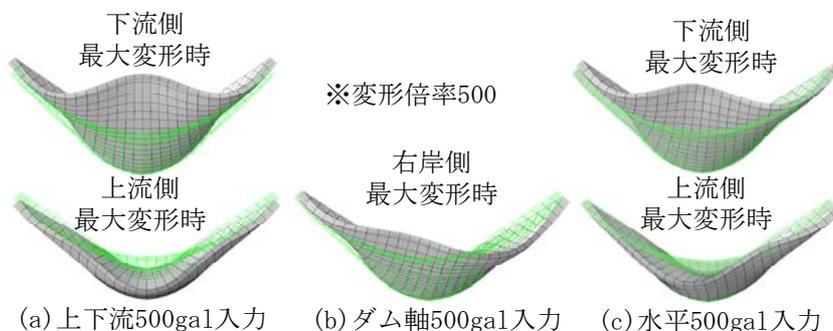


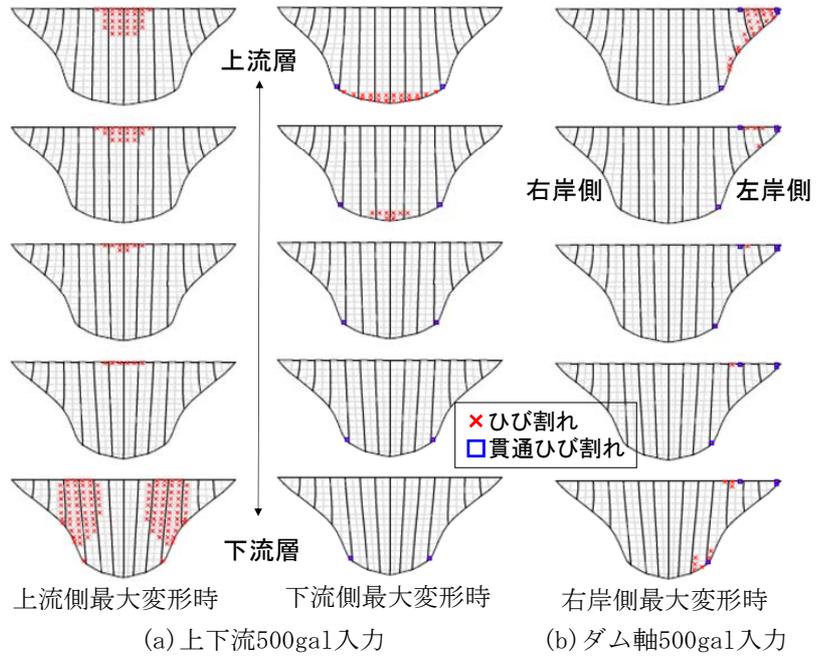
図-3 冬季地震時の最大変形状態

キーワード アーチダム、地震応答解析、耐震性能、ひび割れ、水平動

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

3.2 最大変形時の堤体ひび割れ性状

単一方向の地震動入力に対する最大変形時の堤体ひび割れ性状を図-4に示す。堤体は厚さ方向5層等分割しており、ひび割れ判定は引張強度  $3.0\text{N/mm}^2$  とした。上下流方向の地震動入力に対しては、堤体ブロックが鉛直片持梁の曲げ変形しようとする挙動に起因して堤体中央岩着部にひび割れが、この片持梁変形を隣接ブロックが拘束することで、堤頂長  $1/4$  と  $3/4$  箇所ではひび割れが発生する結果となった。ダム軸方向の地震動入力に対しては、堤体ブロックがダム軸方向の圧縮力で面外変形する挙動に起因して、堤頂長  $1/4$  から岩着部までの端部ブロックにひび割れが発生する結果となった。



(a) 上下流500gal入力 (b) ダム軸500gal入力

図-4 冬季地震時最大変形状態でのひび割れ性状

3.3 地震継続時間を通して発生する堤体ひび割れの履歴

約22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。

上下流方向の地震動入力よりもダム軸方向の地震動入力の方がひび割れの発生範囲は広い。これは、上下流方向の地震動入力は堤体の安定性に寄与するアーチ圧縮力を増減させる方向と一致することに対して、ダム軸方向の地震動入力は、アーチ圧縮力の増減と無関係で、逆に堤体の安定性を損なう方向であると考えられる。水平2方向の地震動入力に対しては、堤体が上流側へ変形してアーチ圧縮力が低下したところに、ダ

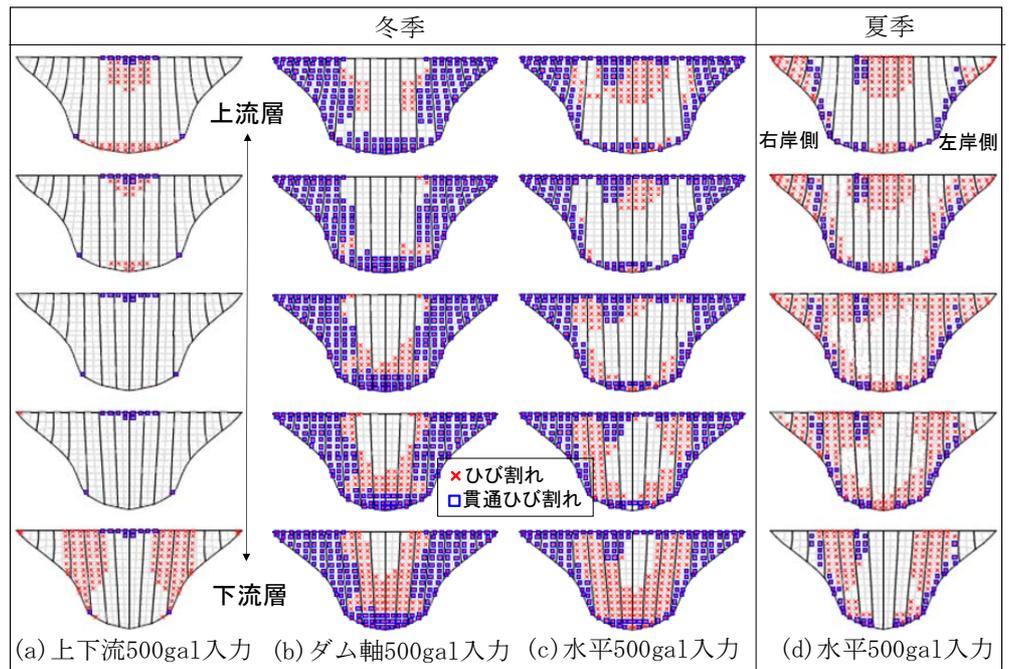


図-5 地震継続時間を通して発生するひび割れの履歴

ム軸方向の地震動入力の影響が重畳する状態となり、ひび割れの発生は広範囲となり、堤体の安定性上厳しいと考えられる。次に、常時の温度荷重の影響を考えると、夏季は冬季よりも堤体の圧縮力が増大するため、ダム軸方向の地震動入力の影響が若干軽減される傾向となる。

4. おわりに

アーチダムの3次元線形地震応答解析により、地震動の水平方向作用が堤体応答に与える影響を把握した。上下流方向の地震動入力はアーチ圧縮力を増減させて、ダムの耐荷機構(安定性)上大きな影響を与えないが、ダム軸方向の地震動入力は、ダムの安定性に与える影響が大きいことが示された。そして、常時の夏季温度荷重は冬季温度荷重よりもアーチ圧縮力を増大させるため、ダムの安定性は向上することが示された。