

アーチダムの地震時挙動に及ぼす境界条件の影響

(株)ドーコン 正会員 ○米坂 俊介 室蘭工業大学 正会員 小室 雅人
 室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 北海道電力株式会社 正会員 当麻 誠司

1. はじめに

我が国には、社会的・経済的活動を支える重要な社会基盤施設の一つとして数多くのダムが建設されている。その中でも、アーチダムは総数が少ないこともあり、その地震時挙動特性に関しては十分に検討されておらず、また、周辺地盤の境界条件がダム堤体の応答特性に与える影響についても不明な点が多い。本研究では、アーチダムの適切な地震応答解析手法の確立を目的に、周辺地盤の境界条件がアーチダムの地震応答特性に与える影響について数値解析的に検討を行うこととし、三次元有限要素法を用いた時刻歴応答解析を実施した。なお、解析には汎用構造解析プログラム ABAQUS¹⁾を使用した。

2. 数値解析概要

アーチダムの三次元的な挙動を適切に評価するために、堤体および周辺地盤を含めた三次元有限要素モデルを作成した。図-1には、本解析に用いた有限要素モデルを示している。表-1には、本数値解析に使用した材料物性値を示している。なお、コンクリートの弾性係数は動弾性係数である。

本数値解析では、簡略化のために、ダム堤体に作用する動水圧を Westergaard 式²⁾を用いて評価することとし、これらが節点間で線形変化するものと仮定し、各節点に仮想質量として付加した。水位は常時満水位(水深 56 m)を

設定した。堆砂高は設計堆砂面とし、底面から 30 m の位置まで考慮し、水中単位体積質量を 1.0 g/cm³ と仮定した。また、泥圧係数は 0.5 に設定している。なお、堤体に作用する泥圧に関しては、静水圧の分布と同様に線形に作用するものとし、動水圧同様、仮想質量として各節点に付加することとした。

減衰定数は、質量比例型減衰を仮定し、事前の固有振動解析の結果³⁾より得られたダム堤体の 1 次固有振動モード(固有振動数 $f_1 = 4.36$ Hz)に対して 5% とした。

無反射境界は、図-1 に示すように、ダム周辺地盤に対する有限要素モデルの側面に無限要素を配置することで考慮することとした。本数値解析では、上述の無反射境界を考慮した場合と、無反射境界を考慮しない場合の 2 種類の境界条件について解析を行った。なお、解析における境界条件は、無反射境界の考慮の有無にかかわらず、地盤側面の節点の上下方向変位を固定している。

入力地震波形に関しては、ダム堤体底面における地震波形を基礎岩盤を一次元せん断層として仮定して、岩盤底面まで引き戻している⁴⁾

表-1 使用物性値一覧

使用材料	弾性係数 E (GPa)	密度 ρ (g/cm ³)	ポアソン比 ν
堤体コンクリート	35.4	2.50	0.20
基礎地盤	21.6	2.65	0.20

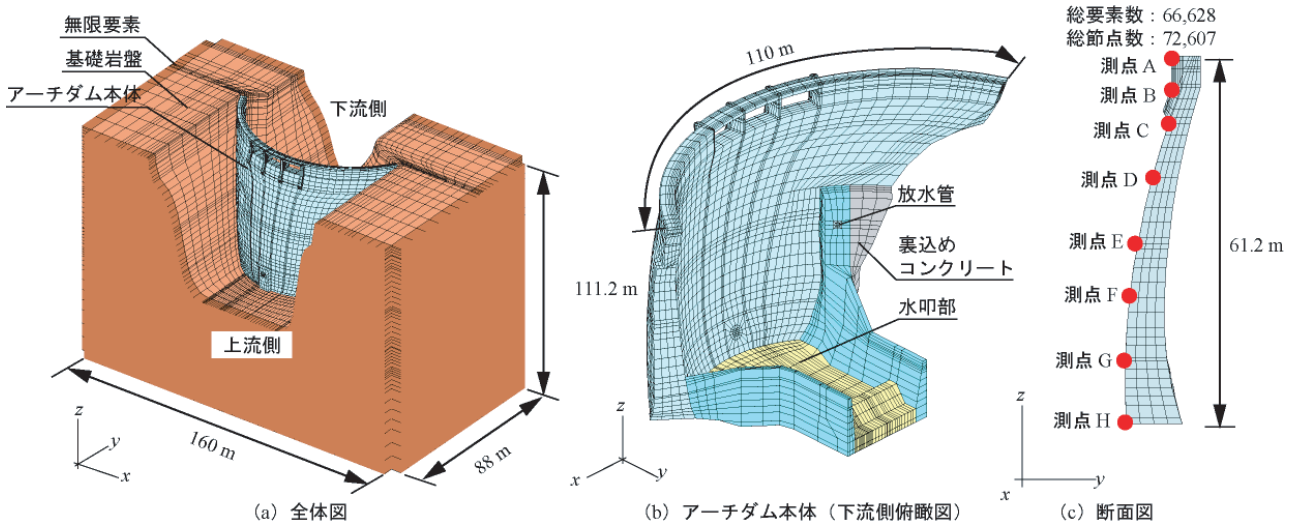


図-1 要素分割状況

キーワード：アーチダム, 地震時挙動特性, 有限要素法, エネルギー散逸, 地震応答解析, 境界条件

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 工学研究科 暮らし環境系領域 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

図-2には、最大加速度 50 gal に振幅調整した引き戻し解析前後の加速度波形を示している。本数値解析では、引き戻し波形を上下流方向に限定して解析モデルの底面に入力し、直接積分法による時刻歴応答解析を行った。なお、積分間隔は 1/100 秒と設定し、地震波入力時間は 30 秒間としている。

3. 数値解析結果及び考察

図-3には、数値解析結果より得られた B および G 測点に関する絶対速度応答波形について、無反射境界ありの場合と無反射境界なしの場合を比較して示している。(各測点の位置は 図-1 c 参照) 両者の波形を見ると、無反射境界を考慮する場合は、考慮した場合と比較して振幅が小さく、高周波成分が消失する傾向にあることがわかる。これは、無反射境界を考慮する場合には、ダム本体の応答波形による振動エネルギーが境界部を介して無限要素に透過していることを意味している。しかしながら、ダム底部を見ると、境界条件の差異の影響が小さく、底部では振幅が無反射境界を考慮しない場合の波形と類似の性状を示している。

図-4には、測点 B の応答波形から得られた絶対加速度の最大応答時における絶対加速度、絶対変位のダム高さ方向の分布図を示している。図には、無反射境界を考慮する場合と考慮しない場合の結果を比較して整理している。また、変位分布は、ダム堤体の底部(測点 H)を基準に整理している。まず、加速度分布図に着目すると、無反射境界を考慮する場合における加速度分布は、断面厚が小さいために応答が大きくなる天端付近を除いて、ほぼ 0 近傍に分布していることがわかる。一方、無反射境界を考慮しない場合には、天端の加速度も大きく、かつ、上部へ向かうほど加速度が増大する傾向を示している。次に、変位分布図に着目すると、無反射境界を考慮する場合としない場合を比較すると前者による解析結果が小さくなる傾向を示している。これは、無反射境界を考慮しない場合には、ダム応答波形が境界部で反射することにより、入力地震波による応答波形と反射による波が合成されて出力されるのに対して、無反射境界を考慮する場合には、応答波形が境界部を介して無限地盤に透過することにより、入力地震波による応答波形のみが出力するためと推察される。

4. まとめ

アーチダムの地震時挙動特性におよぼす境界条件の影響を明らかにした。また、実現象に近い形で地震応答解析を行うためには、エネルギー散逸を考慮した無反射境

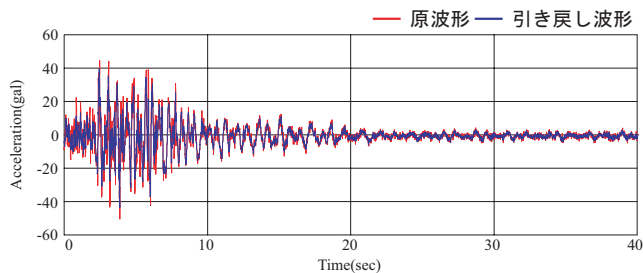


図-2 入力波形

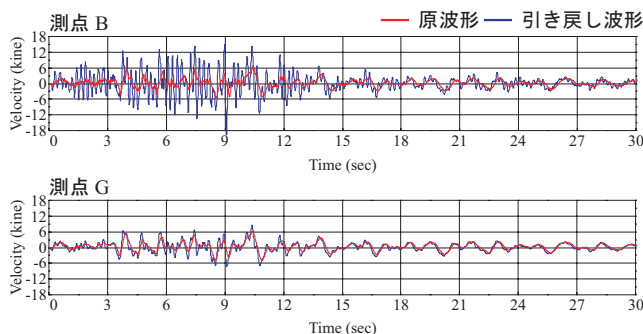


図-3 絶対速度応答波形の比較

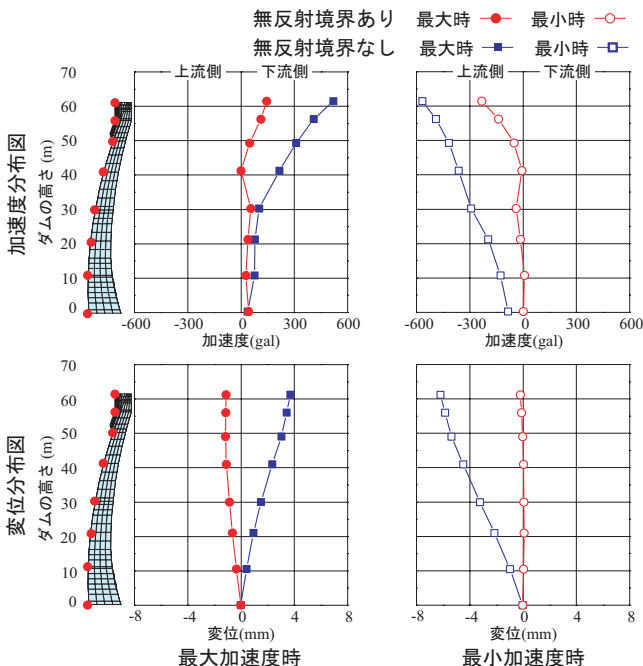


図-4 最大加速度時における変形モード分布図

界条件を適用すべきである。

参考文献

- 1) ABAQUS/Standard User's Manual, Ver. 5.8, Hibbitt Kalsson & Sorensen Inc., 1998.
- 2) Westergaard, H. M. (1933) : Water Pressures on Dams during Earthquakes, Trans. ASCE, Vol. 98, pp. 418-43
- 3) 岸 徳光, 小室雅人, 米坂俊介, 世戸洋行: 既設アーチダムの固有振動特性に関する動的応答解析, 土木学会第 63 回学術講演会概要集報告書, (CD-ROM), 2008.9
- 4) 財団法人電力中央研究所, 重力式ダムの耐震性に関する検討—動的応答解析法による検討—, 1982.