

重力ダム堤頂洪水吐ピアの動的応答特性に関する基礎的検討

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水力発電所土木設備の安全性に関して、電力会社は、国土交通省や経済産業省から通知された指針案やマニュアル類を参考にしながら、順次、設備の耐震性能照査を進めている。ダム本体については計画的に照査が実施されている一方で、洪水吐ピア（ピアと称す）など本体付属構造物については、照査手法を整備しながら進めている状況にある。本報告では、静的地震力によるピアの左右岸方向に対する耐震性能照査で用いる加速度応答スペクトル比（上下流方向に対する左右岸方向の加速度応答値の比）を提示する目的で、堤高 50m モデルダムを対象に実施した地震応答解析結果について報告する。

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 3 次元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、鉛直方向である。モデルダムは堤高 50m で、ラジアルゲートとローラーゲートのピアを模擬した。解析パラメータは、ピア頂部橋梁および堤体天端橋梁の有無である。比較として、堤体に洪水吐開口部を設けないモデル（堤高 50m と 100m）も作成した。解析に用いた堤高 50m モデルダムの要素分割を図-1 に示す。

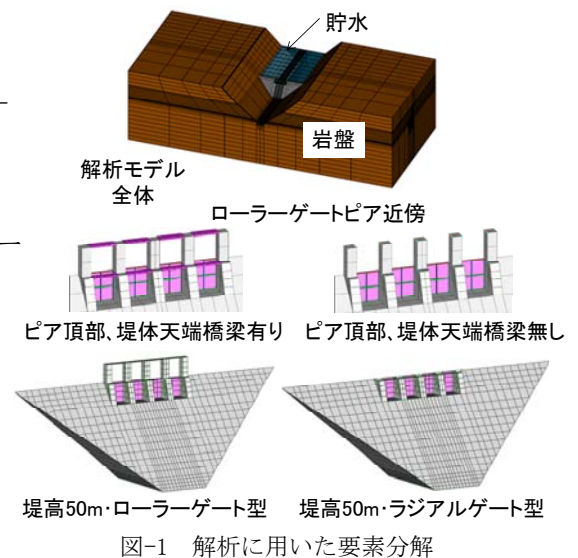


図-1 解析に用いた要素分解

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、兵庫県南部地震一庫ダム観測波の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 250gal 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 $2.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、基礎岩盤の動弾性係数は $1.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ とした。減衰の設定は、堤体の 1 次と 2 次の固有振動数を把握した後に、所定の減衰（堤体および基礎岩盤は 5%、ゲートは 2%）となるようにレイリー減衰定数を定めた。

3. 堤体応答の解析結果

3.1 最大加速度応答

堤体中央断面での最大加速度応答倍率を図-2 に示す。最大加速度応答倍率は、全時刻を通して評価する堤体断面の底面における最大加速度応答値で正規化した値と定義した。ラジアルゲートのピアにおいては、洪水吐開口部の有無や天端橋梁の有無が与える影響は

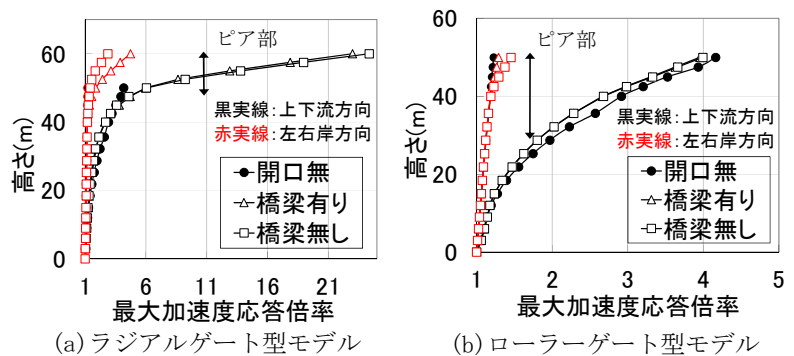


図-2 最大加速度応答倍率

キーワード 重力ダム、洪水吐ピア、加速度応答スペクトル比、耐震性能、地震応答解析

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

小さいことがわかる。ローラーゲートのピアにおいては、堤体天端からピア頂部までの10m標高で値が急増している。これは、堤体天端より鉛直上方に立ち上がったピアの構造的な特徴に起因した応答と考えられる。堤体天端標高での値は、ラジアルゲートのピアでの値と同程度である。また、ピア頂部橋梁と堤体天端橋梁の有無による影響は小さい。これは、ローラーゲートの側面はピアと剛結合であり、ゲート側面における拘束の影響が支配的となったためと考えられる。

3.2 最大変位応答

堤体中央断面での最大変位応答を図-3に示す。最大変位応答は、全時刻を通して上流方向と下流方向のそれぞれの方向における最大値が発生した時刻での変位分布と比較した。最大加速度応答の結果と同様に、ラジアルゲートのピアにおいては、洪水吐開口部の有無や天端橋梁の有無が与える影響は

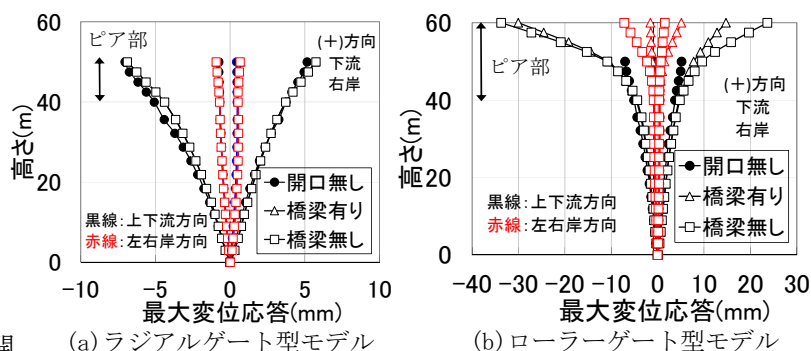


図-3 最大変位応答

小さいことがわかる。そして、上流側変位の方が下流方向変位よりも大きい傾向を示す。ローラーゲートのピアにおいてもラジアルゲートのピアの結果と同様である。ピア部の変位はラジアルゲートのピアに比べて大きく、特に上流側変位が下流方向変位よりも大きくなる傾向はより顕著に現れている。

3.3 上下流方向に対する左右岸方向の加速度応答スペクトル比

加速度応答スペクトル比（上下流方向に対する左右岸方向の加速度応答値の比率）の計算結果を図-4に示す。基本となる中央断面のピア取付部に加えて、開口無しモデルについては堤体天端を比較箇所とした。この箇所は、国土交通省・国土技術政策総合研究所の国総研資料第244号「参考資料1 指針（案）・同解説の補足説明資料」の「資料1-18 クレストゲート門柱部の照査」で記載されている箇所である。ラジアルゲート、ローラーゲートの値とも、開口部の無いモデルでの値より大きい。特に周期0.15秒より短周期側（周波数6.7Hz以上）で顕著となっている。また、開口無しモデルでも堤高の相違により加速度応答スペクトル比の分布と大きさは異なっている。加速度応答スペクトル比の分布やその大きさは、洪水吐開口部やピアの扱いなど解析モデルの作成方法や堤高の違いによる影響を受けることが確認された。

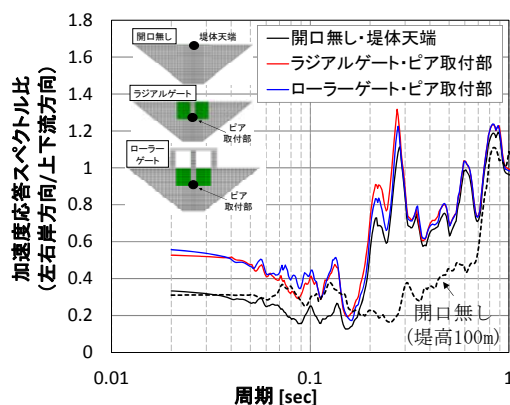


図-4 加速度応答スペクトル比

4. まとめ

ラジアルゲートとローラーゲートのピアを模擬した堤高50mの重力ダムを対象に、3次元線形時刻歴地震応答解析を実施した。解析パラメータは、ピア頂部橋梁および堤体天端橋梁の有無である。解析結果から、以下のことが明らかとなった。

- (1) ラジアルゲートおよびローラーゲートピアの加速度応答および変位応答は、ゲート開口部の影響により、これを設けない解析モデルでの応答値よりも大きい。特にローラーゲートピア頂部での応答値は卓越する。
- (2) ピアの耐震性能照査において、ゲート形式に応じたピアの形状を解析モデルで考慮する必要があるが示された。そして、ピア頂部橋梁や堤体天端橋梁については、安全側評価の観点から解析モデルとして考慮しなくてもよいことがわかった。
- (3) 静的地震力によるピアの左右岸方向に対する耐震性能照査において用いる加速度応答スペクトル比を提示した。一般に、重力ダムは上下流方向2次元断面で解析が実施されるため、ピアの左右岸方向の耐震性能照査が実施できないことへの対応法である。