

静的地震力を用いた重力ダム堤頂洪水吐ピアの左右岸方向の耐震性能照査法

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、設備の耐震性能照査を進めている。ダム本体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、ピアの左右岸方向の耐震性能照査法として、ピア単体モデルに対して静的地震力を与える静的解析法について、ピアを含む堤体全体での時刻歴地震応答解析法と比較して適用性を検討した。ここで、静的地震力を用いた静的解析法は、既報¹⁾で示した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の比）を用いる方法である。

2. 解析概要

2.1 解析モデルと解析方法、荷重条件

静的地震力を与える解析では、図-1 に示すピア単体の3次元有限要素解析モデルを作成し、荷重条件として、常時荷重は貯水の静水圧と自重、地震時荷重は左右岸方向の静的地震力を考慮した。静的地震力は図-2 中に示した手順で定めた。まず、図-2(a)に示す堤体と岩盤、貯水連成の2次元有限要素解析モデルによる線形時刻歴地震応答解析を実施して、ピア取付部の上下流方向の加速度応答値（図-2(b)、図-2(c)）を抽出した。次に、この応答値とピアの固有振動数

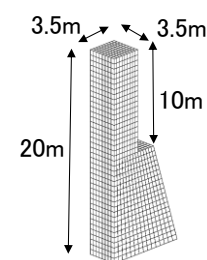


図-1 ピア単体の3次元有限要素解析モデル

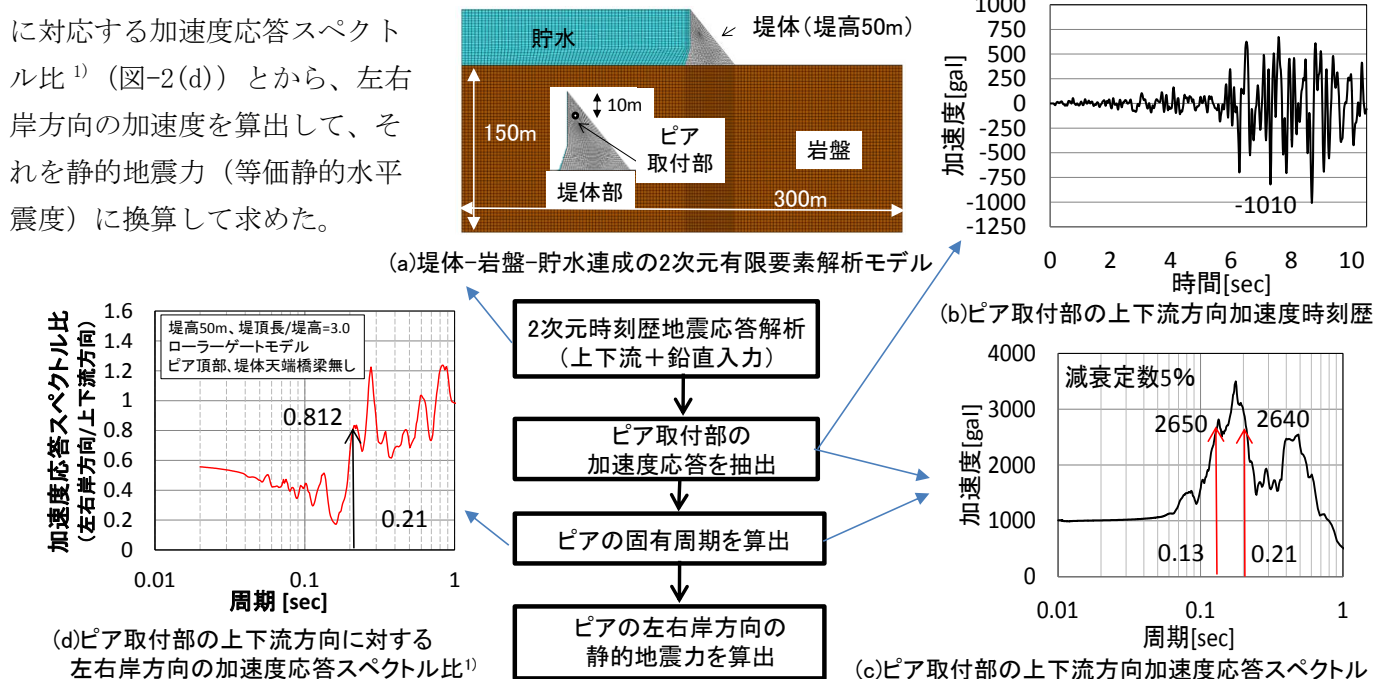


図-2 ピアに付与する左右岸方向の静的地震力の算出手順

具体的な手順と算出値を以下に示す。

手順①：ピアの上下流方向1次固有振動数（0.13秒）に対応するピア取付部での上下流方向の加速度応答値を図-2(c)から読み取る。→2650gal

手順②：ピアの左右岸方向1次固有振動数（0.21秒）に対応するピア取付部の上下流方向の加速度応答値を

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

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

図-2(c)から読み取る。→2640gal

手順③：ピアの左右岸方向 1 次固有振動数 (0.21 秒) に対応するピア取付部での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を図-2(d)から読み取る。→0.812

手順④：上記手順②と③より、左右岸方向 1 次固有振動数における左右岸方向の加速度の最大値を算出する。
→2640gal×0.812=2144gal

手順⑤：上記手順①と④より、上下流方向 1 次固有振動数における上下流方向の加速度の最大値と、左右岸方向 1 次固有振動数における左右岸方向の加速度の最大値の比を算出する。→2144gal/2650gal=0.809

手順⑥：ピア取付部での上下流方向の加速度の最大値を図-2(b)から読み取る。→1010gal

手順⑦：上記手順⑤と⑥より、ピアの左右岸方向の等価静的水平震度を算出する。

$$\rightarrow 1010\text{gal} \times 0.809 / 980\text{gal} = 0.834$$

比較の対象は、図-3 に示すピアを含む堤体全体の 3 次元有限要素解析モデルである。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 (3 方向入力) を考慮した。モデルダムは堤高 50m で、最大高 20m のローラーゲートのピアを模擬した。解析では汎用解析コード「ABAQUS (ver. 6.5-6)」を用いた。

2.2 地震動と物性値

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水平動と鉛直動の 3 成分波形を作成した。2 次元解析では、このうち上下流方向と鉛直方向の 2 成分を、3 次元解析では 3 成分の波形を用いた。解析に用いた物性値は一般値を想定して、単位体積重量は堤体 2.3t/m³、基礎岩盤 2.6t/m³ とした。動弾性係数は堤体 $2.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、基礎岩盤 $1.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、ゲート $20.6 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ とした。時刻歴地震応答解析における減衰の設定は、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. 変位応答の解析結果

ピア部の左右岸方向の変位分布の比較を図-4 に示す。変位はピア部の底面に対する相対変位とし、時刻歴地震応答解析の結果においては最大変位を示した時刻での分布とした。ピア単体の静的解析による最大変位は、堤体全体モデルでの時刻歴地震応答解析による最大変位よりも大きい。堤体全体モデルでは、堤体とピア部分の振動特性の違いにより、堤体と一体化されているピア部分の応答が減衰してしまったことや、全体モデルでのピア側面にはゲート要素が結合されており、これによりピア部分は変形しにくいことなどが理由として考えられる。また、最大応力についてもピア単体の静的解析の方が堤体全体モデルでの時刻歴地震応答解析よりも大きかった。

4. まとめ

堤高 50m の重力ダム堤頂ローラーゲート洪水吐ピアを対象に、ピアの左右岸方向の耐震性能照査法として、ピア単体モデルに対して静的地震力を与える静的解析法の適用性を検討した。ピア部の変位分布について堤体全体モデルでの時刻歴地震応答解析結果と比較したところ、ピア単体モデルを用いた静的解析は、ピアを含めた堤体全体モデルよりも大きな変位を示し、安全側の評価結果を与える可能性が示された。

参考文献

1) 西内達雄：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、第 73 回土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol. 73、I-599、2018

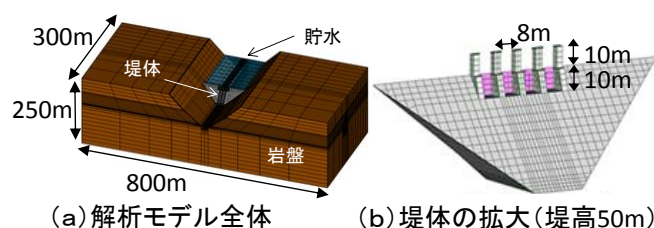


図-3 堤体-岩盤-貯水連成の3次元有限要素解析モデル

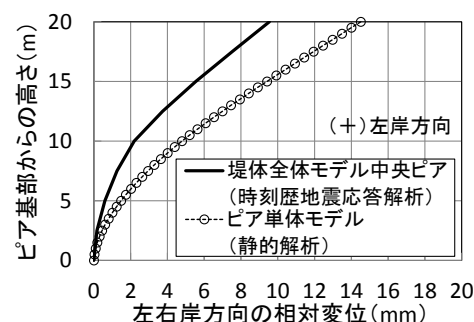


図-4 ピア部の左右岸方向の最大変位分布