

ダム洪水吐ゲートに作用する地震時動水圧の算定方法に関する考察

東電設計(株) 正会員 ○松本 陽介
 東京発電(株) 非会員 相沢 成樹
 センチュリテクノ(株) 正会員 鈴木 翔

1. はじめに

大規模地震時にゲートに作用する荷重は、動水圧の割合が大きいことが言われている¹⁾。ゲートに作用する動水圧を算定する方法としては、①ゲートと貯水池を連成した動的 FEM 解析により、ゲートに作用する動水圧を直接求める方法、②ダムやピアと貯水池を連成した動的 FEM 解析より、ダムやピアに作用する動水圧をゲートに作用させる方法、③Westergaard 式を用いる方法等がある。①の方法は、実験や実測で求めた動水圧が概ね再現できる方法である^{1), 2)}。この方法は、研究的な要素で用いられることが多いものの、近年では実務にも適用され、ゲートの耐震性能照査・補強検討が行われている^{3), 4)}。②の方法は、ゲートの耐震性能照査の実務において良く用いられる方法である。③の方法は、ゲートの設計時に用いられる方法である。

このように、動水圧の算定方法は複数あるが、これらを横並びで比較した研究事例は少なく、ゲートの耐震性能照査手法および耐震設計手法を確立するためには、それぞれの方法で求めた動水圧の位置づけや、適用限界等を明らかにする必要がある。そこで、本研究では、ダム-ピア-ゲート-貯水池-基礎岩盤の連成モデルによる三次元動的 FEM 解析の結果を基に、各方法で求めた動水圧を比較し、ゲートへの適用について考察した。

2. 解析条件

解析の対象としたダムは、堤高 32.0m、堤頂長 110.0m の重力式ダムであり、6 門の洪水吐ゲートを有している。当該ダム洪水吐ゲートの扉高は 16.3m であり、常時満水位はゲート天端から 0.3m 下方にある。

解析モデルを図-1 に示す。貯水池は非圧縮性流体要素でモデル化し、ダム-ピア-ゲートと連成した。解析モデルに組み込んだゲートは、スキンプレートと主桁ウェブをシェル要素で、その他はビーム要素で作成した。このゲートモデルは一部の部材を簡略

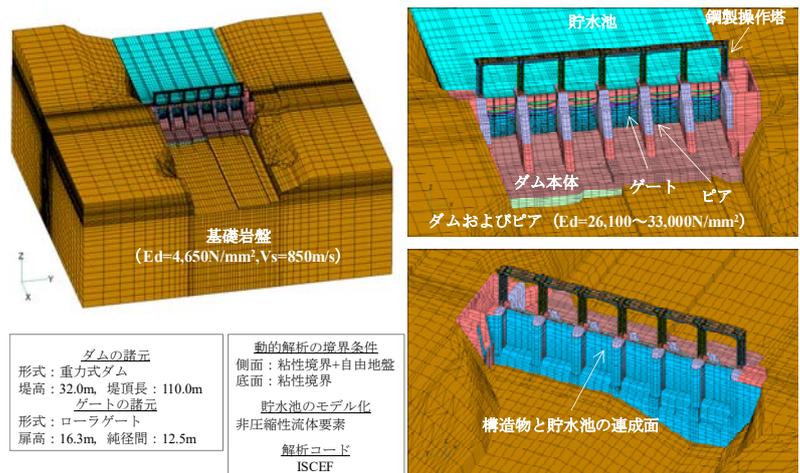


図-1 解析モデル (三次元全体モデル)

化して作成しているため、モデルの単位体積重量や弾性係数を調整し、別途作成した詳細なゲートモデル⁵⁾と固有振動数が一致するよう同定した。入力地震動はダムの近傍断層より設定した地震波(最大 661gal)とし、3 方向同時に入力した。減衰定数は、文献⁶⁾を参考にダムとゲートを 10%、基礎岩盤を 5%とした。

3. 解析結果と考察

ダム・ピア・ゲートの最大応答加速度分布(上下流方向)を図-2 に示す。ゲートの応答加速度は、ダムやピアに対して数倍大きくなった。特に、ゲート天端付近は加速度の増幅が著しい。この傾向は、既往の検討事例¹⁾と同様である。連成面に作用した最大動水圧分布を図-3 に示す。ゲートに作用する最大動水圧は、ダムやピアに対して 2 倍程度大きくなった。また、動水圧の分布は、ダムやピアに作用する動水圧が深部ほど大きくなる傾向があることに対して、ゲートに作用する動水圧はゲートの中央付近で最も大きくなった。

4 号ゲートの全節点とその右岸側ピアの中央節点、ならびにゲートとピア直下のダムの節点に作用する動水

キーワード 洪水吐ゲート, ダム, 動水圧, 三次元動的 FEM 解析, 耐震性能照査

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F 東電設計(株) TEL 03-6372-5111

圧を図-4のように標高で整理し、そこに Westergaard 式より求めた動水圧を併記した。また、図-5には、ゲートに作用する動水圧 (①の方法) に対するピアやダムに作用する動水圧 (②の方法) の比と、Westergaard 式より求まる動水圧 (③の方法) の比を示した。今回行った解析では、②の方法の場合、ゲートに作用する動水圧を 0.3~0.6 倍程度に過小評価する結果となった。また、③の方法に対しては、ゲート上部では $k=0.8\sim 1.0$ 、ゲート中腹では $k=0.6\sim 0.8$ 、ゲート下部では $k=0.4\sim 0.6$ と対応する結果となり、1つの水平震度に対して動水圧分布が決まる Westergaard 式では、当該ゲートに作用する動水圧分布を表現できない結果となった。なお、②の方法は③の方法 ($k=0.4$) と概ね対応が良い。

このように、①の方法と②・③の方法で求めた動水圧が乖離し、②・③の方法では動水圧を危険側に評価する可能性が示唆された原因として、次のことが考えられる。構造物に作用する動水圧は、構造物が弾性挙動することにより増幅する。ゲートは、ダムやピアに比べると弾性挙動しやすい構造物であり、ゲートの弾性挙動を考慮できない②・③の方法では、ゲートに作用する動水圧が過小に算定されたと考えられる。

4. まとめ

今回の検討では、ゲートの弾性挙動を考慮しない方法 (②ダムやピアに作用する動水圧を流用してゲートに作用させる方法、③Westergaard 式による方法) でゲートに作用する動水圧を算定した場合、動水圧を危険側に評価する結果となった。ゲートに作用する動水圧の算定には、ゲートの弾性挙動を適切に考慮できる方法を選択することが重要と考える。また、動水圧の算定精度の向上には、ゲートの弾性挙動を再現できるモデル化法の検討や、ゲートの減衰定数の設定に関する知見を蓄積することが必要であると考える。

参考文献

- 1) 経済産業省原子力安全・保安院 他：発電設備耐震性能照査 (平成 21~23 年度), 2012.
- 2) 藤田 他：地震時の重力式ダムクレストゲートの動水圧および加速度計測と再現解析, 第 73 回土木学会年次学術講演会, 2018.
- 3) 相沢 他：扉高の高いローラゲートの大規模地震時損傷想定, 電力土木, No.400, 2019.
- 4) 相沢 他：当板とスティフナーによるローラゲートの耐震補強, 電力土木, No.401, 2019.
- 5) 松本 他：ゲートに作用する動水圧の算定方法の違いがゲートの発生応力に及ぼす影響の検討, 第 74 回土木学会年次学術講演会, 2019. (投稿中).
- 6) 土居 他：実挙動観測結果を用いた洪水吐ゲートの動的解析モデルに関する検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 69 巻 4 号 p. I_601-I_608, 2013.

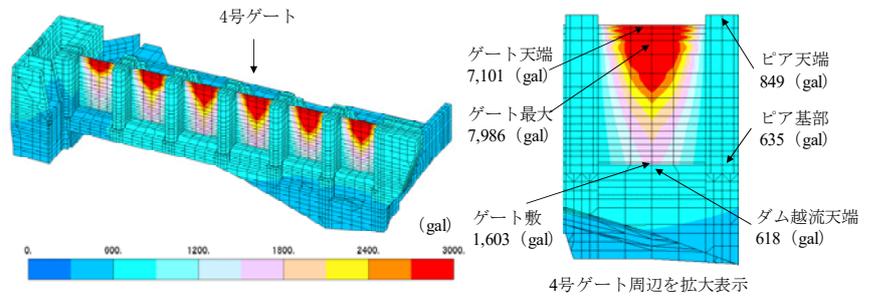


図-2 最大応答加速度分布 (上下流方向)

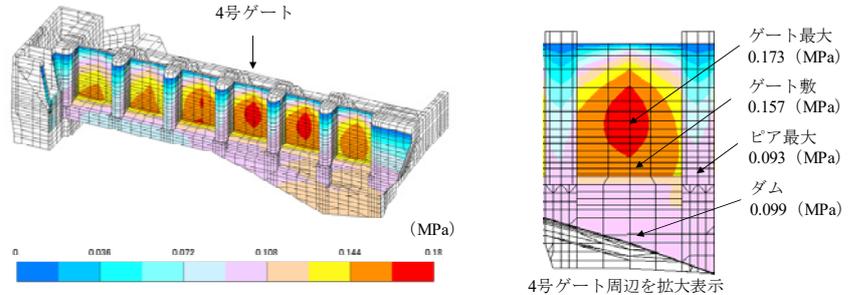


図-3 最大動水圧分布

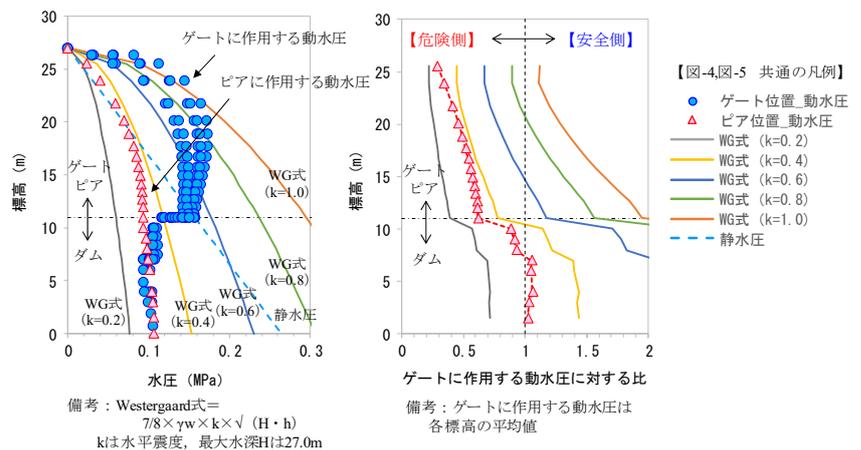


図-4 代表節点の加速度 図-5 ゲートに作用する動水圧と動水圧に対する比