

ダム水門柱の左右岸方向に作用する動水圧評価方法の提案

清水建設(株) 正会員○小松 太 玉井 誠司 新美 勝之
 中部電力(株) 正会員 櫻井 友彰 亀谷 泰久
 (株)シーテック 早瀬 松一

1. はじめに

ダム水門柱は洪水吐ゲートを開閉するための支持構造物であり、大規模地震が発生した場合でも洪水処理機能を維持できる耐震性能を保有する必要がある。水門柱は、左右岸方向の地震動の影響を大きく受けるため、左右岸方向に作用する動水圧を適切に評価することが重要である。しかし、水門柱の左右岸方向の応答とダム堤体やゲートの上下流方向の応答が複合して、動水圧が水門柱に与える影響は複雑な様相を呈する。地震応答解析では、Abaqus FEAの流体要素を用いることにより、複雑な動水圧を評価できると考えられるが、解析コストの増大が懸念される。そこで、本報では、動水圧を模擬した付加質量の算定で一般的に用いられている Westergaard の近似式（以下、「Westergaard 近似式」と称す）に補正係数を乗じる手法で、簡易に水門柱の左右岸方向に作用する動水圧を評価する方法を提案する。

2. 付加質量の設定方法の検討

左右岸方向の動水圧を模擬した付加質量の設定方法を水門柱の越流部側の側面（以下、内側側面と称す）と、端部水門柱の非越流部側の側面（以下、外側側面と称す）に分けて検討する。

2.1 内側側面

図 1 に示すようにダム越流部内の貯水は、両側面の水門柱、底面の堤体越流部及びゲートに囲まれている。これに対し、水道施設耐震工法指針¹⁾で示された自由液面を有する矩形水槽の動水圧分布と概ね同程度であると仮定する。この方法は、Westergaard 近似式に水槽の幅 B と水深 H の比 B/H に応じて定まる補正係数 β を乗じた式（以下、「Westergaard 補正式」と称す）を用いて設定する。Westergaard 補正式の適用性を検証するために、図 2 に示すように流体要素を用いた二次元解析と Westergaard 補正式の動水圧分布を比較する。検討ケースは既存ダムにおける B/H を参考に、表 1 に示す

3 ケースを設定した。また、いずれのケースも入力地震動は周期 1s、加速度振幅 1m/s^2 の正弦波とする。各ケースにおける貯水側面の動水圧分布を図 3 に示す。 B/H の小さいケース 1-3 は両者の傾向が若干異なるが、 B/H が一定以上の場合、Westergaard 補正式による動水圧分布を近似できると考えられる。

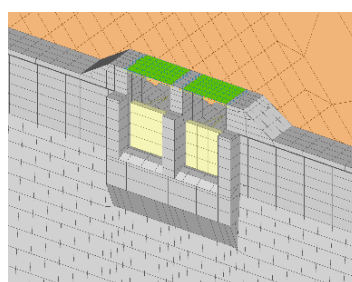


図 1 水門柱周辺

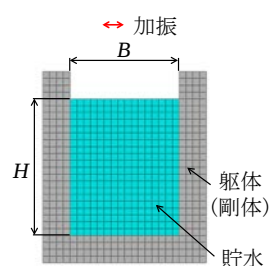
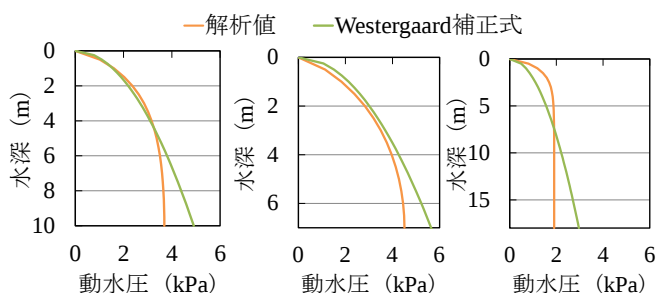


図 2 解析モデル

表 1 検討ケース

ケース	幅 B (m)	水深 H (m)	B/H	補正 係数 $\beta^{(1)(2)}$
1-1	8	10	0.80	0.561
1-2	14	7	2.00	0.921
1-3	4	18	0.22	0.188



(1) ケース 1-1 (2) ケース 1-2 (3) ケース 1-3

図 3 貯水側面における動水圧最大時の動水圧分布

2.2 外側側面

外側側面に作用する左右岸方向の動水圧を模擬する付加質量の設定方法について、図 4 に示す解析モデルを用いて、表 2 に示す 4 ケースを比較することで、適切な付加質量の設定方法を模索する。

解析結果より、水門柱における曲げモーメントの絶対値の時刻歴最大値の分布を図 5 に示す。

キーワード : ダム水門柱, 左右岸方向動水圧, Westergaard 式

〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 TEL 03-3561-3895 FAX 03-3561-8672

同図より、ケース 2-4 を基準とすると、付加質量を用いるといずれも安全側に評価できると考えられる。付加質量の適用性検討にあたり、今回はケース 2-2 を適用する。

表 2 検討ケース

ケース	作用位置	動水圧の考慮方法
2-1	内側側面	Westergaard 補正式
	外側側面	Westergaard 近似式
2-2	内側側面	Westergaard 補正式
	外側側面	Westergaard 近似式×0.7
2-3	内側側面	Westergaard 補正式
	外側側面	道路橋示方書式 ³⁾
2-4	-	流体要素

Westergaard補正式 (Westergaard近似式)
$$P = \frac{7}{8} \beta w_0 \alpha \sqrt{Hz}$$

道路橋示方書式
$$m = \begin{cases} w_0 \frac{A}{a} \left(1 - \frac{p}{2h}\right)^3 \sqrt{\frac{z}{h}} & \frac{p}{h} \leq 1 \\ w_0 \frac{A}{a} \left(0.7 - \frac{p}{5h}\right)^3 \sqrt{\frac{z}{h}} & 1 < \frac{p}{h} \leq 2 \\ \frac{3}{10} w_0 \frac{A}{a} \sqrt{\frac{z}{h}} & \frac{p}{h} > 2 \end{cases}$$

P : 動水圧, z : 任意水深, H : 水深, α : 地震の水平震度, β : B/H により定まる補正係数
(Westergaard 近似式では, $\beta=1$),
 m : 単位面積当りの表面付加質量, p : 水門柱張出し長さ, h : 水門柱張出し基部の水深, a : 水門柱厚さ, w_0 : 貯水単位重量

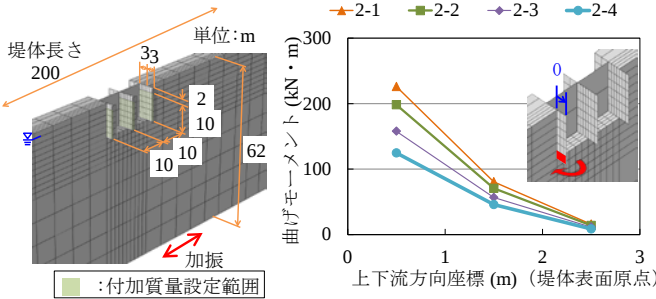


図 4 解析モデル 図 5 曲げモーメント分布

3. 付加質量の適用性検討

前述の方法による付加質量の適用性を詳細に検証するため、図 6 に示す解析モデルを用いて、表 3 に示す検討ケースを比較する。いずれのケースも入力地震動は、周期 0.2s, 加速度振幅 1m/s² の正弦波である。

流体要素を用いた各検討ケースの中央水門柱における深さ方向の動水圧分布を図 7 に示す。流体要素による動水圧は、付加質量によるものと同様に深さが大きくなるにつれて増加しているものの、両者は勾配が異なっており、深い水深での差異が顕著である。また、付加質量による動水圧は張出し部の長さによらず、一定であるが、流体要素による動水圧は張出し長さによって異なる分布を示している。しかしながら、図 8 に

示す中央水門柱の基部に生じる鉛直軸回りの曲げモーメントについて、張出し方向の分布を比較すると、同様の傾向を示しており、流体要素を用いたモデルの曲げモーメントは、付加質量を用いたモデルの曲げモーメントより概ね小さい。したがって、上記付加質量の設定方法は、動水圧については、必ずしも安全側の評価を与えないものの、実用的に用いられる曲げモーメントに対しては、概ね安全側の評価を与えると推測される。

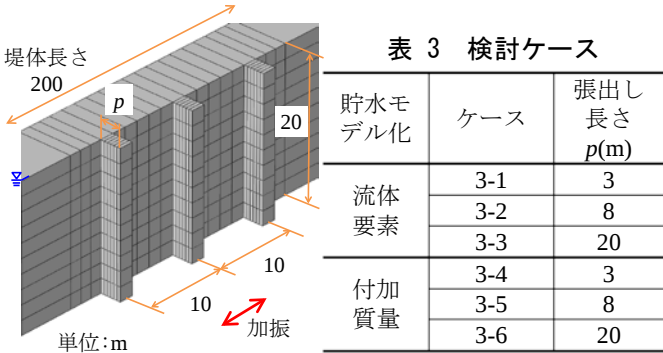


図 6 解析モデル 図 7 動水圧分布 図 8 曲げモーメント分布

4. まとめ

水門柱に生じる複雑な動水圧を付加質量により簡易に評価する方法を検討した。流体要素を用いたモデルと比較すると、Westergaard 近似式に対して、内側水門柱では B/H から応じて定まる補正係数を、外側水門柱に対しては 0.7 を乗じて付加質量を設定したモデルは、水門柱基部に生じる曲げモーメントを安全側に評価できると推測される。

5. 参考文献

- 1) 社団法人日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 1, 社団法人日本水道協会, 2009
- 2) 社団法人日本下水道協会：下水道施設耐震計算例－処理場・ポンプ場編－, 社団法人日本下水道協会, 2002
- 3) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説－Ⅴ 耐震設計編－, 公益社団法人日本道路協会, 2012