

ダム洪水吐ゲートの動水圧の算定方法に関する比較検討

中部電力(株) 正会員 ○森下 和輝 亀谷 泰久 櫻井 友彰
 (株)シーテック 正会員 伊藤 真佑 非会員 早瀬 松一

1. はじめに

ダム洪水吐ゲートは、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。ダム洪水吐ゲートの耐震性能評価では、動水圧が与える影響が大きい。本報では、動水圧の算定で一般的に用いられている Westergaard 式¹⁾ (以下、「WG 式」と称す) とその近似式 (以下、「WG 近似式」と称す) による動水圧の差がゲートの耐震性能評価に及ぼす影響を報告する。

2. 動水圧の評価方法

2.1 Westergaard 式

ダム洪水吐ゲートの動水圧の評価では、壁状の剛体構造物に作用する動水圧を求める WG 式または WG 近似式を用いることが多く、簡易に動水圧を設定できる WG 近似式が実務上用いられるケースが多い。また、ゲートに作用する動水圧の設定にあたっては、ゲート部分のセットバックが動水圧に与える影響を、通常の動水圧分布に乗ずる比例係数として評価する手法が提案されている²⁾。この手法によりセットバックを考慮した動水圧評価式を WG 式 (SB 考慮)・WG 近似式 (SB 考慮) と称する (表 1)。

表 1 動水圧算定式

$$\begin{aligned}
 & \text{WG 式: } p = \frac{8\alpha w_0 H}{\pi^2} \cos \frac{2\pi t}{T} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^2 C_n} e^{-q_n z} \sin \frac{n\pi z}{2H} \\
 & \qquad C_n = \sqrt{1 - \frac{16w_0 H^2}{n^2 g K T^2}}, q_n = \frac{n\pi C_n x}{2H} \\
 & \text{WG 近似式: } p = \frac{7}{8} w_0 \alpha \sqrt{Hz} \\
 & \text{WG 式 (SB 考慮): } p = C(z) \frac{8\alpha w_0 H}{\pi^2} \cos \frac{2\pi t}{T} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^2 C_n} e^{-q_n z} \sin \frac{n\pi z}{2H} \\
 & \text{WG 近似式 (SB 考慮): } p = C(z) \frac{7}{8} w_0 \alpha \sqrt{Hz} \\
 & \qquad C(z) = \left(1 - \sqrt{\frac{H_1}{H}}\right) \exp\left(\frac{-1.4Sz}{H_1^2}\right) + \sqrt{\frac{H_1}{H}}
 \end{aligned}$$

p: 動水圧, z: 任意水深, H: 水深, α: 地震の水平震度, T: 周期, K: 貯水体積弾性率, w₀: 貯水単位重量, S: ゲートセットバック量, H₁: ゲート水深

化することで、従来の動水圧評価式によるモデル化より高精度な数値解析が可能になると期待される。今回流体要素モデルにおける動水圧と Westergaard 式における動水圧を比較検討するために、動水圧の理論解が得られる単純な問題をベンチマーク解析として実施した。具体的には、Westergaard 式の仮定に沿った解析モデルを作成した。解析モデルを図 1 に境界条件を表 2 に示す。入力地震動は堤体底面に周期 1 (s)・加速度振幅 1 (m/s²) の水平 (上下流) 方向正弦波加振を与えるものとする (図 2)。無限の長さを有する貯水を近似するために、貯水側面に無反射境界を設ける。

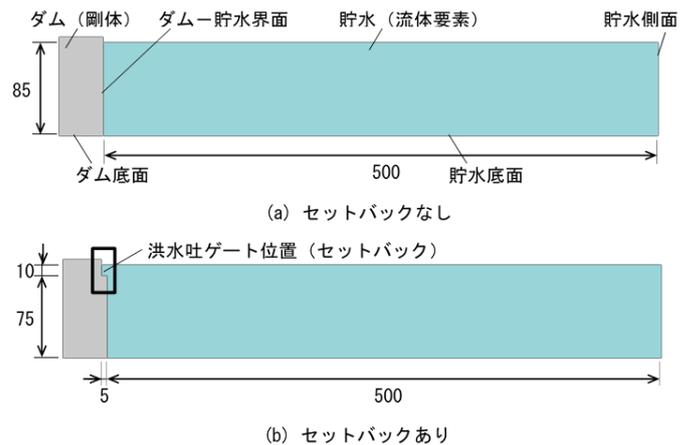


図 1 2次元解析モデル

表 2 境界条件

位置	境界条件
ダム底面	正弦波入力による加速度境界
ダム-貯水界面	速度の界面法線成分が堤体と貯水で一致
貯水水面	圧力がゼロ
貯水底面	壁境界 (速度の底面の法線成分がゼロ)
貯水側面	無反射境界 (境界面を通過した波のエネルギー反射がほぼゼロ)

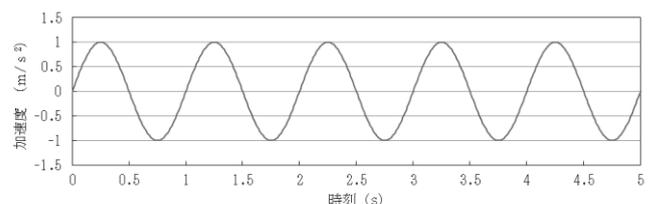


図 2 入力地震動

2.2 流体要素モデル

ダムの動水圧評価に際し、貯水を流体要素でモデル

キーワード: ダム洪水吐ゲート, 動水圧, Westergaard 式

〒461-8680 愛知県名古屋市東区東新町1番地 TEL 052-973-2263 FAX 052-973-3173

3. 動水圧の比較

解析結果より、ダム表面における動水圧分布比較を図3に示す。同図より、セットバックを考慮しないモデル（貯水を流体要素でモデル化）における解析結果はWG式とほぼ一致しており、WG近似式はWG式より全体的に動水圧を少し大きく算出する評価式になっていることが分かる。尚、若干の誤差は、モデル化における無反射境界や剛体の近似精度等によるものと推測される。次に、セットバックを考慮したモデル（貯水を流体要素でモデル化）における解析結果はWG式（SB考慮）とほぼ一致しており、WG近似式（SB考慮）はWG式（SB考慮）より全体的に動水圧を大きく評価しており、セットバックを考慮しないモデルと同様の傾向が確認でき、WG式（SB考慮）の適用性を確認することができた。

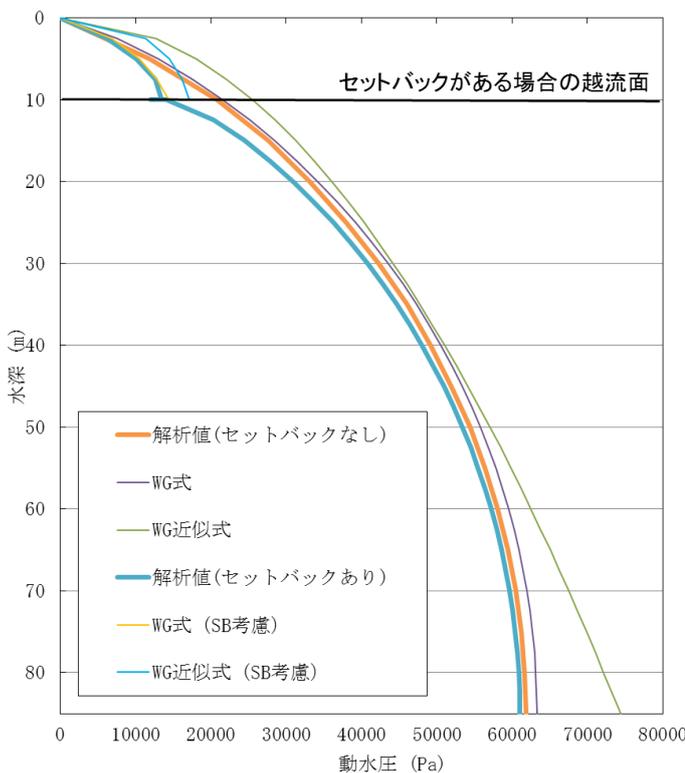


図3 ダム表面における動水圧分布比較

また、ダム上部の洪水吐ゲート位置の動水圧に着目すると、セットバックを考慮しないモデルの場合、表3のとおり解析値とWG式では、4~10%程度の違いを確認し、解析値とWG近似式では23~52%程度の大きな差があることを確認した。また、セットバックを考慮したモデルの場合、表4のとおり解析値とWG式（SB考

慮）では、4~7%程度の違いを確認し、解析値とWG近似式（SB考慮）では27~44%程度の大きな差があることを確認した。

表3 解析値(セットバックなし)に対する動水圧比率

	解析値に対する動水圧比率		
	解析値 (セットバック なし)	WG式	WG近似式
水深 5m	1	1.10	1.52
水深 10m	1	1.04	1.23

表4 解析値(セットバックあり)に対する動水圧比率

	解析値に対する動水圧比率		
	解析値 (セットバック あり)	WG式 (SB考 慮)	WG近似 式(SB 考慮)
水深 5m	1	1.04	1.44
水深 10m	1	1.07	1.27

4. まとめ

ダム洪水吐ゲートの耐震性能照査では動水圧が与える影響が大きいため、貯水を流体要素におけるモデル化とWestergaard式による動水圧を比較検討することにより、下記の知見が得られた。

- (1) WG式は、流体要素におけるモデルの解析値に近い値を示し、WG近似式は解析値より大きい値を示した。また、セットバックを考慮したモデルについても同様の傾向を示した。
- (2) ダム上部の洪水吐ゲート位置では、セットバック考慮の有無に関わらず、WG近似式は解析値に対して大きな値となっており、動水圧を過大に評価する可能性がある。

5. 参考文献

- 1) Westergaard, HM : Water pressure on dams during earthquakes, Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 98, pp.418-433, 1933
- 2) 中山 義紀, 大町 達夫, 井上 修作 : ダムゲートに作用する地震時動水圧の実用的評価式の提案, 土木学会論文集, Vol. 64, No. 4, pp.959-969, 2008.11