ダム洪水吐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

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

１．はじめに

大規模地震時におけるダムの洪水吐ゲートに作用する動水圧を算定する方法は，ゲートの弾性挙動を考慮する方法と，そうでない方法があり，ゲートの耐震性能照査においては後者の方法が用いられることが多い．本研究では，各方法で算定した動水圧 [1] をローラゲートの解析モデルに作用させ，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について検討した．

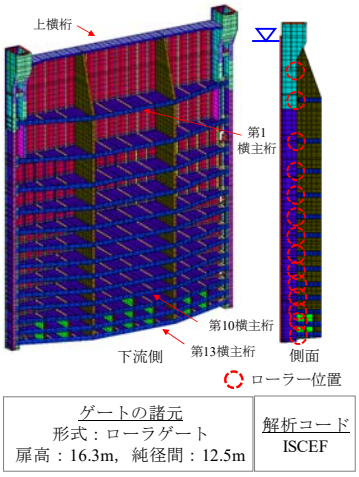
２．解析条件

解析の対象としたゲートは，扉高 16.3m，純径間 12.5m のローラゲートである．当該ゲートは，最上部に配置された 1 本の上横桁と 13 本の横主桁で水圧を負担する設計であり，作用水圧が小さいゲート上部は横桁の間隔が広く，下部は密に配置されている．

解析モデルを図-1 に示す．ほぼ全ての構造部材をシェル要素で詳細にモデル化した（以下，ゲート詳細モデルと称す）．

解析条件を表-1 に示す．単位体積重量は，実ゲートの重量と解析モデルの重量が一致するよう調整した値を使用し，弾性係数とポアソン比は標準的な鋼材の値を使用した．減衰定数と境界条件は，ローラゲートの解析事例 [2] を参考に設定した．表に示す固有振動数は，この条件で固有値解析を行い算出した値である．なお，固有値解析では貯水の影響を Westergaard の付加質量で考慮した．

解析は，次の①～④のケースを実施した．各ケースにおけるゲート詳細モデルへの作用水圧の最大値を図-2 に示す．①は，三次元全体モデルに組み込んだゲートに作用する動水圧 [1] を，時刻歴荷重として作用させたケースである．②は，三次元全体モデルのピアに作用する動水圧 [1] を時刻歴荷重として作用させたケースである．③は，Westergaard 式より求めた動水圧を静的に作用させたケースである．ここで，



図－1　解析モデル

表－1　解析条件

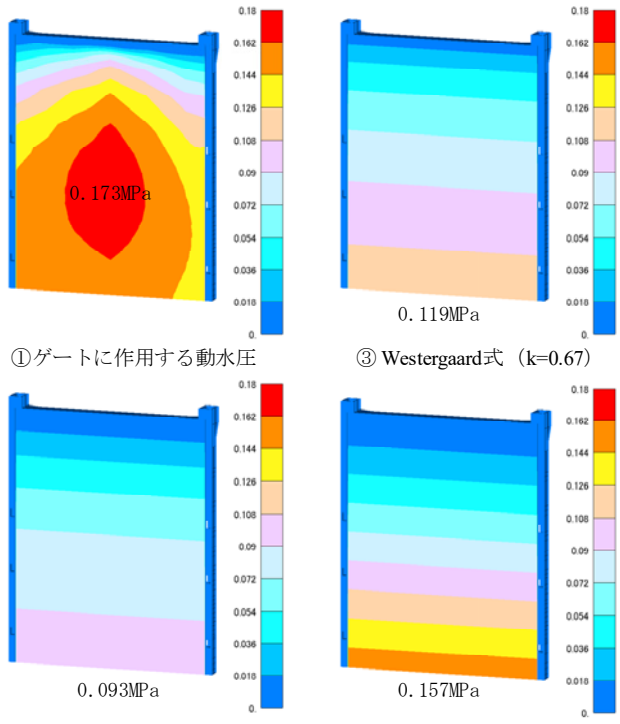
物性値	単位	値
単位体積重量	(kN/m³)	104.7
弾性係数	(N/mm²)	206,000
ポアソン比	(－)	0.3
減衰定数	(%)	5

備考：単位体積重量は，実ゲートの重量と解析モデルの重量が一致するよう調整した値を使用した．

境界条件	上下流	ダム軸	鉛直
ローラー	固定	固定	自由
ゲート敷	自由	自由	固定

固有振動数	貯水あり	貯水なし
1次モード	5.9Hz	19.2Hz
2次モード	8.2Hz	26.9Hz

備考：1次モードはゲート上部の応答が卓越するモード，2次モードはゲート下部の応答が卓越するモードである．



①ゲートに作用する動水圧　③ Westergaard式（k=0.67）
②ピアに作用する動水圧　④常時（自重＋静水圧）

備考：コンターのスケールは，①，②，③，④とも0～0.18MPa
①，②は全時刻における上流向きと下流向きの動水圧の最大値
図中の数字はゲートに作用する動水圧の最大値

図－2　ゲートに作用させる動水圧の最大値

Westergaard 式による動水圧は，当該ダムの想定地震動の最大加速度 661gal[1] より水平震度を k=661/980≒

キーワード　洪水吐ゲート，動水圧，発生応力，三次元動的 FEM 解析，耐震性能照査
連絡先　〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町 2 番 8 号 センチュリテクノ㈱　TEL 03-3664-0800

© Japan Society of Civil Engineers

0.67 とし，常時満水位から堤敷までの距離 27.0m[1)]を最大水深として計算した．④は参考として実施したケースであり，常時荷重（ゲート自重＋静水圧）を静的に作用させたケースである．なお，①がゲートの弾性挙動を考慮して算出した動水圧を用いる方法であり，②と③はゲートの弾性挙動を考慮せずに算出した動水圧を用いる方法に位置づけられる [1)].

①～③のケースに共通する条件として，作用荷重は動水圧のみとし，常時荷重や加速度（慣性力）はあえて考慮していない．また，ゲートに作用する動水圧を間接的に求める②や③の方法では，ゲートのセットバックによる動水圧の低減効果 [3)]を考慮する場合もあるが，本検討ではこれを考慮していない．

３．解析結果

ゲートの発生応力分布を図-3 に，上横桁と各横主桁の下流側フランジ中央位置の引張応力を図-4 に示す．これらの図に示すフランジの応力は，フランジ長手方向の向きに発生する応力である．

①～③の動水圧により発生する応力は，上部の主桁が大きく下部の主桁が小さい．これは，当該ゲート上部の主桁間隔が広いためと考えられる．

①の動水圧により発生する応力は，②や③と比較して上部の主桁の発生応力が 3 倍程度大きく，下部の主桁の発生応力が 1.5 倍程度大きくなる．これは，①の方法で求めた動水圧にはゲートが弾性挙動することにより動水圧が増幅した影響が含まれており，②や③の方法で求めた動水圧と比較して動水圧自体が大きいことや，ゲート上部の動水圧が大きくなりやすい傾向があることが原因と考えられる．

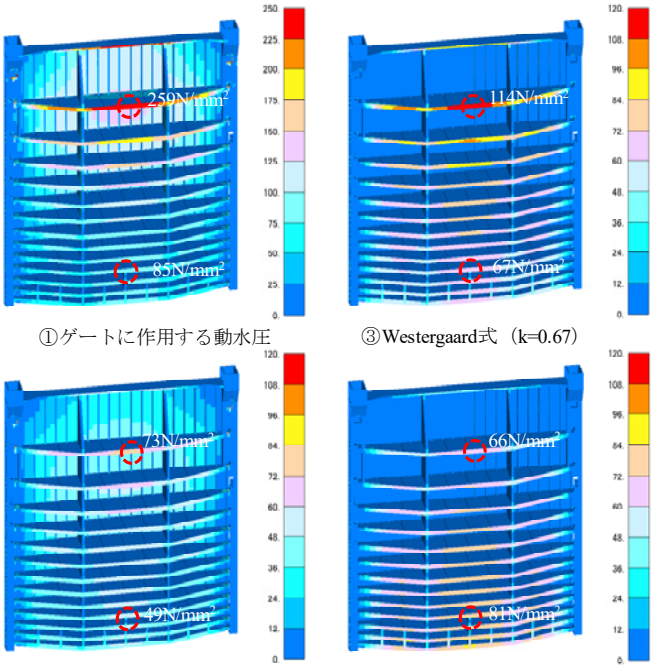
常時荷重により発生する応力に対する①～③の発生応力の比を図-5 に示す．ゲートの上部ほど，常時荷重により発生する応力に対して動水圧により発生する応力の比が大きくなる．特に，①の方法ではその傾向が顕著である．

４．まとめ

今回の検討では，ゲートの弾性挙動を考慮して求めた動水圧（①の方法）と，ゲートの弾性挙動を考慮しない方法で求めた動水圧（②と③の方法）をゲートの解析モデルに作用させ，横桁の発生応力を比較した．その結果，当該ゲートの場合には，①～③の方法で算定した動水圧に共通する傾向として，大規模地震時には動水圧に起因して発生する応力が常時応力に対して大きいことや，その傾向はゲートの上部ほど大きくなりやすいことが分かった．また，①の方法で求めたゲートの発生応力は，②や③の方法で求めた応力に対して 1.5～3 倍程度大きくなったことから，動水圧の算定方法の違いにより，ゲートの耐震性の判断に差が生じる可能性が示唆される結果となった．

参考文献

1）松本 他：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，第 74 回土木学会年次学術講演会,2019.（投稿中）　2) 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.　3）中山 他：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 A,Vol.64,No.4,pp959-969，2008.

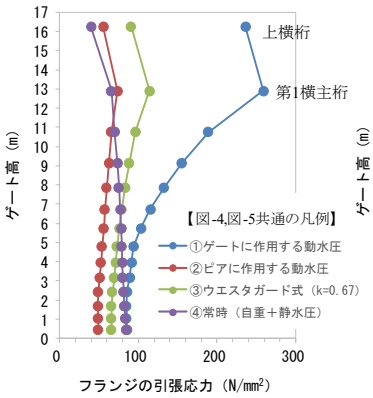


①ゲートに作用する動水圧　③Westergaard式（k=0.67）

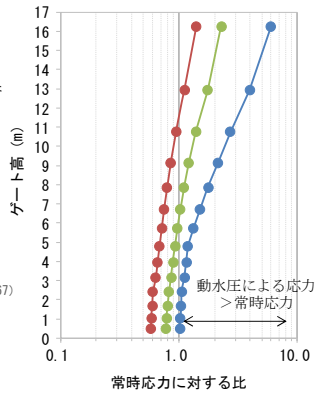
②ピアに作用する動水圧　④常時（自重＋静水圧）

備考：コンターのスケールは，①が0～250N/mm²,②，③，④が0～120N/mm²

図―3　発生応力分布（水平応力σx_mid）



図―4　横桁フランジ中央の引張応力



図―5　常時応力に対する比

© Japan Society of Civil Engineers