

三次元動的解析によるローダムの耐震安全性評価

清水建設(株) フェロー会員 ○木全宏之 正会員 坂井康伸 竹中 恵

1. はじめに

堤高の低い重力式コンクリートダム(以後、ローダムと称する)に関して、その耐震安全性を評価する場合、堤体より水門柱の地震時挙動について検討することが重要である。水門柱の地震時挙動については、上下流方向のみならず左右岩方向の地震時挙動にも注目する必要がある。このため、ローダムの耐震安全性評価に当たっては、三次元的な評価が必要となる。

本研究では、ローダムを対象として三次元 FEM 動的解析を実施し、耐震安全性を評価した結果について例示した。

2. 解析モデル・定数

ローダムとして、堤高約 30m で、13 基の水門柱を有するモデルダムを想定した。水門柱上部の管理橋は、ラーメン構造とした。ダム・基礎岩盤・貯水連成系の三次元 FEM 動的解析モデルを図 1 に示す。右岸側岩盤部には、崖地を設けた。また、ゲートとしてラジアルゲートを想定し、ゲートも併せてモデル化した。貯水レベルは HWL+78.2m とし、Westergaard 式³⁾から求められる付加質量として考慮した。解析モデル底面ならびに左右岸側面にはダッシュポットを設け、上下流側面は繰返し境界とし、地震波動の逸散を考慮した。

三次元 FEM 動的解析は、線形解析として実施することとした。解析定数は表 1 に示すとおりであり、一般的な値として設定した。

3. 入力地震動

入力地震動として、照査用下限加速度応答スペクトル²⁾をターゲットスペクトルとした適合波を適用した。位相特性には、1995 年兵庫県南部地震時に一庫ダムの監査廊内で観測された時刻歴加速度波形を用いた。図 2 に照査用下限加速度応答スペクトル適合波を示す。この適合波は、基礎岩盤表面(ダム堤体底面)で定義されたものあり、引き戻し計算を行って解析モデル底面での地震動を入力地震動として用いた。

4. 耐震安全性評価

三次元 FEM 動的解析を実施し、モデルダムの耐震安全性を評価した。動的解析結果として、ダム堤体、水門柱および管理橋の最大主応力分布を図 3 に示す。曲げ引張破壊に対する耐震安全性を評価するため、最大主応力に対するコンクリートの引張強度との比すなわち安全率 F_s を求め、その分布を図 4 に示す。年代の古いダムの水門柱については十分な量の鉄筋が配置されていないことが多く、管理橋を含め水門柱も堤体と同様に無筋コンクリート構造と見なし、最大主応力に対する引張強度との比で耐震安全性を評価した。

これより、ダム堤体、水門柱、管理橋は、左右岸岩盤近傍で安全率 F_s が 1.0 を下回り、耐震安全性が確保されない結果となっている。左岸側は堤体の一部で安全率 F_s が僅かに 1.0 を下回ったのに対し、右岸側は、ダム

堤体、水門柱、管理橋の広い範囲で安全率 F_s が 1.0 を大幅に下回っている。最小安全率 F_{smin} は、左岸側堤体で 0.93、右岸側最端部の水門柱基部で 0.25 となっている。図 5 にダムの変形図を示すが、右岸側では特に崖地の左右岩方向の振動の影響を受け、広い範囲で安全率 F_s が 1.0 を下回り、小さな値になったものと考えられる。同様に、最小主応力に対するコンクリートの圧縮強度との比や、最大せん断応力に対するコンクリートのせん断強度との比から、それぞれ圧縮破壊やせん断破壊に対する耐震安全性が評価できる。

ところで、国土技術政策総合研究所資料³⁾では、水門柱の耐震安全性評価において水門柱を単体モデルとして扱い、ダムの上流方向の二次元動的解析から得られた応答に、堤頂長と堤高の比に応じた係数を乗じて左右岸方向の震度を換算して求め、耐震安全性を評価する例示が行われている。しかし、水門柱を単体として扱うモデルでは、本解析の対象としたローダムのように、崖地を有していたり、管理橋がラーメン橋のような場合には、十分な耐震安全性評価ができないものと考えられる。

5. まとめ

ローダムのモデルダムを対象として三次元 FEM 動的解析を実施し、耐震安全性を評価した結果について例示した。また、ローダムの耐震安全性評価には、水門柱を単体モデルとして扱わず、ダム・基礎岩盤全体系での三次元動的解析が必要である。

参考文献

- 1) Westergaard, H.M.: Water Pressures on dams during earthquakes, Trans., ASCE, Vol.75, pp.418-433, 1933.
- 2) 国土交通省河川局: 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説, 2005.
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料, 国土技術政策総合研究所資料, 第 244 号, 2005.

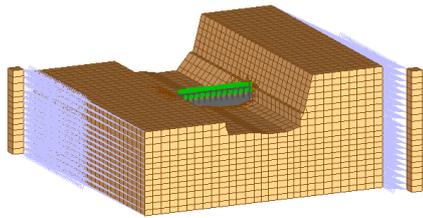
表 1 解析定数

項目	ダム堤体 水門柱 管理橋	基礎岩盤
ヤング係数 $E(N/mm^2)$	25000	11500
ポアソン比 ν	0.2	0.37
単位体積重量 $\gamma(kg/m^3)$	2300	2130
引張強度 $f_t(N/mm^2)$	3.12	—
圧縮強度 $f_c(N/mm^2)$	31.2	—
せん断強度 $\tau_u(N/mm^2)$	4.80	—
1,2 次減衰定数 h_1, h_2	0.05	0.05

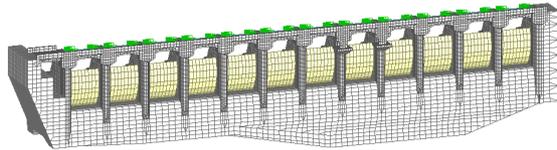
注) 減衰にはレーリー減衰を適用した。

キーワード: ローダム 三次元 FEM 動的解析 耐震安全性評価

〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 TEL 03-3561-3895 FAX 03-3561-8672



(a) 全体モデル(崖地あり)

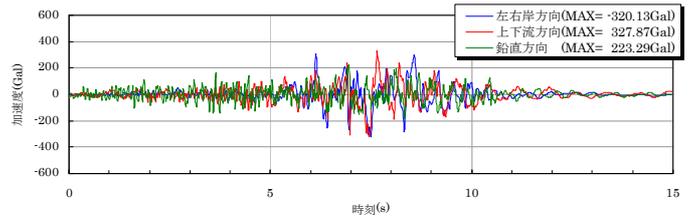


(b) ダム堤体・水門柱・管理橋モデル

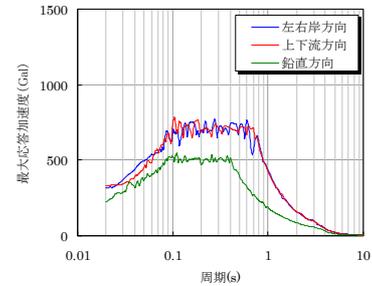


(c) ゲートモデル

図1 三次元 FEM 動的解析モデル

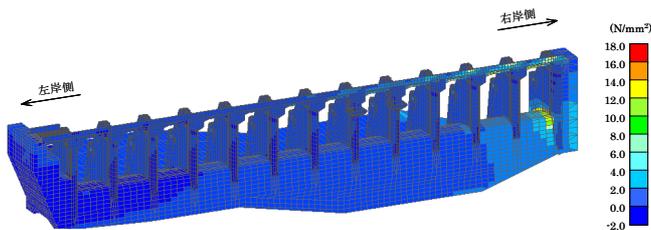


(a) 加速度時刻歴

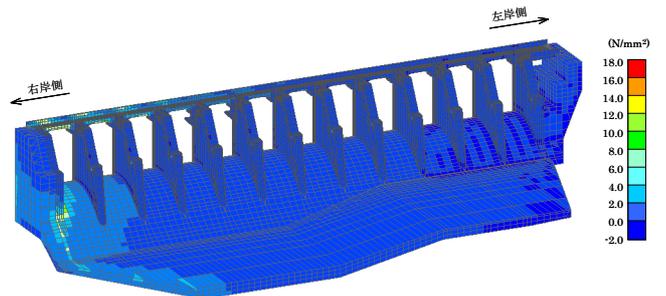


(b) 加速度応答スペクトル

図2 照査用下限加速度応答スペクトル適合波¹⁾

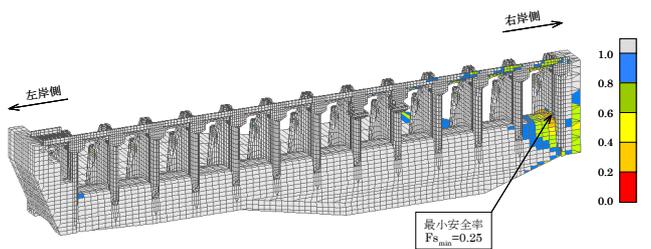


(a) 上流側

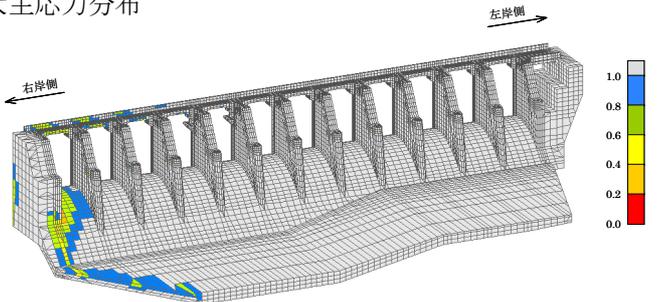


(b) 下流側

図3 ダムの最大主応力分布

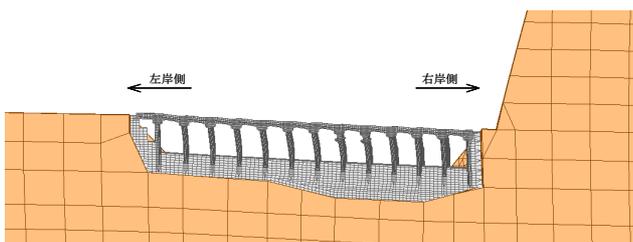


(a) 上流側

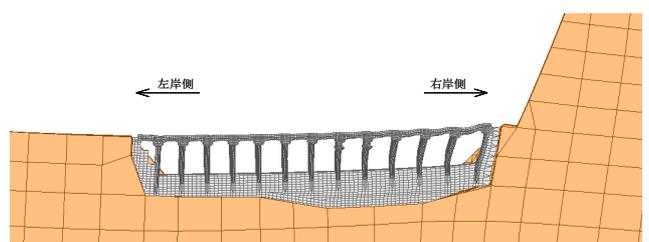


(b) 下流側

図4 ダムの曲げ引張破壊に対する安全率 F_s 分布



(a) 左岸側最小安全率発生時刻 ($t=7.46s$)



(b) 右岸側最小安全率発生時刻 ($t=8.67s$)

図5 ダムの変形図(変形倍率1000倍)