

ダム水門柱を対象とした非線形動的解析

中部電力(株) 正会員○亀谷 泰久 櫻井 友彰

清水建設(株) 正会員 田中 栄次 玉井 誠司 新美 勝之

1. はじめに

ダムにおける水門柱は、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、ゲートに作用する上下流方向の水圧を支持するため、大断面の鉄筋コンクリート構造となる一方で、鉛直軸方向鉄筋の少ない低鉄筋比の構造となることが多い。また、水門柱は越流面に沿って基部が下流側に下がっている構造であるため、一般的な橋脚のような耐震性能照査が難しい。さらに、低鉄筋比の構造であるために、曲げひび割れの発生荷重が、ひび割れ断面での耐力よりも大きくなり、ひび割れの発生とともに大変形を生じることも考えられる。そこで、本稿では、水門柱を対象として、鉄筋とコンクリートの材料非線形性を考慮した三次元動的FEM解析を実施し、ひび割れ発生後の挙動を明らかにした。

2. 検討条件

材料非線形性を考慮した三次元動的FEM解析は、ダムの中で水門柱周辺を取り出した解析モデル（以下、「水門柱モデル」と称す）を用いることとする。そこで、水門柱モデルを用いた三次元動的FEM解析を実施するにあたり、ダム・基礎岩盤連成系の解析モデル（以下、「全体モデル」と称す）を用いた三次元動的FEM解析を実施した。全体モデルの解析結果より得られた応答加速度の時刻歴波形を水門柱モデルへの入力地震動として用いる。応答加速度は、図1に示す水門柱モデル底面近傍に位置する節点で抽出する。また、ダム軸回りの回転成分も考慮する。考慮する荷重は、自重、静水圧、堆砂圧、動水圧及び地震により生じる慣性力とする。水門柱モデルを図2に、水門柱モデルへの入力地震動を図3に示す。

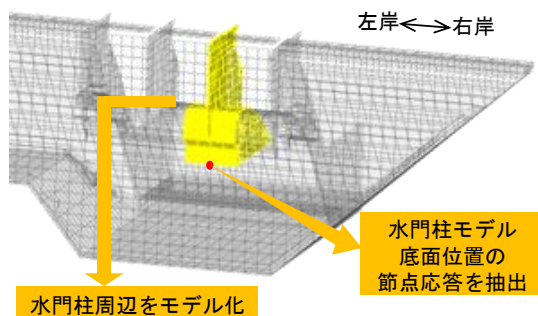


図1 応答加速度抽出位置

水門柱モデルの境界条件は、モデル底面を3方向固定境界とし、左右岸方向のモデル側面を周期境界とする。

材料構成則はコンクリート標準示方書²⁾を参照して定めた。鉄筋の塑性モデルには、バイリニア骨格曲線を採用し、二次勾配は一次勾配の1/100とした。鉄筋とコンクリートの物性値を表1に、採用した材料構成則を表2に示す。減衰には、文献³⁾より瞬間剛性比例型減衰を採用した。

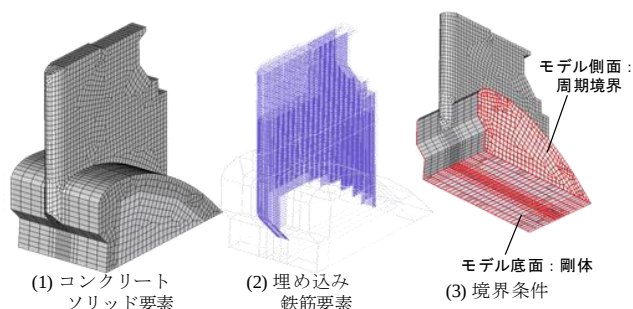


図2 水門柱モデル

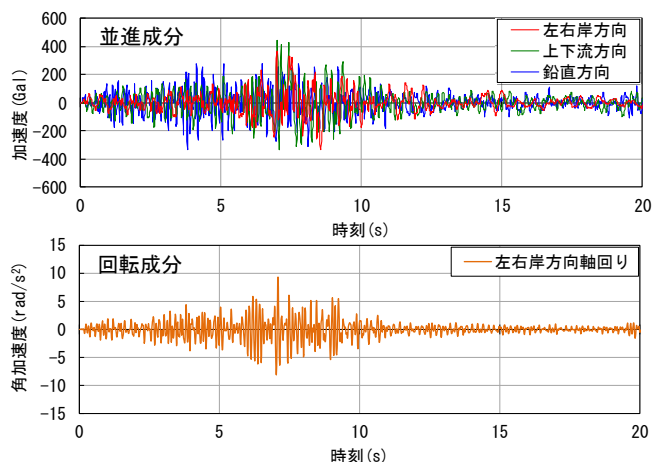


図3 水門柱モデルの入力地震動

表1 鉄筋とコンクリートの物性値

	項目	数値	単位
門柱 コン クリ ート	単位体積質量	2,400	kg/m ³
	圧縮強度	52.3	N/mm ²
	引張強度	5.2	N/mm ²
	弾性係数	31,000	N/mm ²
	ポアソン比	0.2	-
	最大粗骨材寸法	80	mm
鉄筋	破壊エネルギー ³⁾	0.379	N/mm
	降伏強度	235	N/mm ²
	弾性係数	200,000	N/mm ²
	ポアソン比	0.3	-

キーワード：ダム水門柱 材料非線形性 三次元動的FEM解析

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

表 2 材料構成則

材料		構成則
門柱コンクリート	ひび割れモデル	固定ひび割れモデル
	圧縮挙動	線形弾性
	引張挙動	二直線型引張軟化モデル
	せん断挙動	Al-Mahaidi モデル ⁴⁾
	横方向ひび割れによる圧縮強度低減	なし
鉄筋	塑性モデル	von-Mises 基準

3. 解析結果

材料非線形性を考慮した三次元動的 FEM 解析を実施した。ひび割れ進展状況を図 4 に、鉄筋に発生する鉛直方向ひずみの時刻歴最大値分布を図 5 に、水門柱基部と水門柱天端間の左右岸方向相対変位時刻歴を図 6 に示す。また、図 6 には図 4 における各状況の発生時刻も示す。今回の解析では、ひび割れは水門柱基部から発生し、水門柱と堤体との接合部に沿って進展した。その後、損傷の進行に伴って、広範囲にひび割れが発生した。水門柱基部のひび割れは、水門柱の断面を貫通しているが、解析終了時におけるひび割れは、ほとんど閉じている。対象とした水門柱は、低鉄筋比の構造物であるが、ひび割れ発生後にも大変形は生じず、基部が水平である通常の柱状構造物とは異なる挙動であると考えられる。

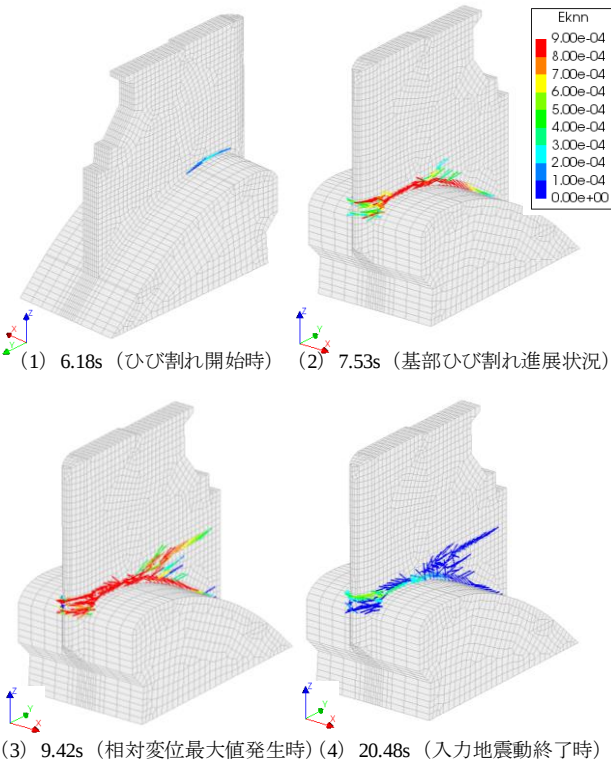


図 4 ひび割れ進展状況

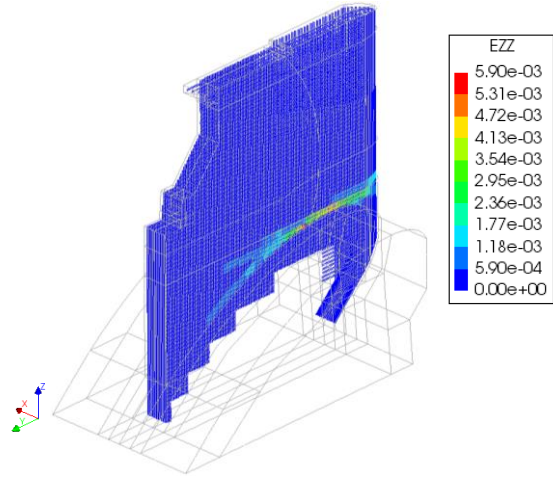


図 5 鉄筋鉛直方向ひずみの時刻歴最大値分布

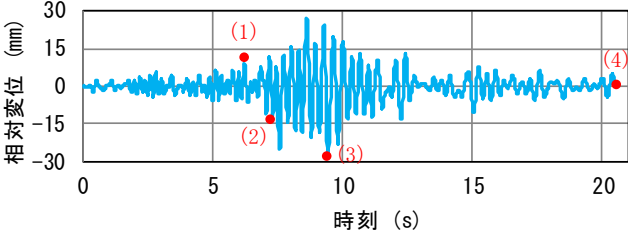


図 6 水門柱基部一天端間左右岸方向相対変位時刻歴

4. まとめ

大規模地震時に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に対して、材料非線形性を考慮した三次元動的 FEM 解析を実施した。ここまでの検討結果より、今回の解析では下記の知見が得られた。

- (1) 全体モデルと水門柱モデルを用いることにより、効率的に水門柱の挙動を評価できる。
- (2) ひび割れが水門柱の厚さ方向に貫通するが、地震後にはほとんど閉じた状態となり、図 5 に示す程度の鉄筋の鉛直方向軸ひずみ程度であれば水密性に支障を及ぼす影響は低いと考えられる。
- (3) 対象とした水門柱は低鉄筋比の構造物であるが、ひび割れが越流面に沿って進展するため、ひび割れ発生後の急激な大変形は生じづらいと推測される。

5. 参考文献

- 1) 木全宏之, 藤田豊, 堀井秀之: 動的クラック進展解析による重力式コンクリートダム耐震安全性評価, 土木学会論文集, No.787, pp.137-145, 2005
- 2) 土木学会 コンクリート委員会: コンクリート標準示方書設計編, 土木学会, 2012
- 3) 堀井秀之, 内田善久, 柏柳正幸, 木全宏之, 岡田武二: コンクリートダム耐震評価のための引張軟化特性の検討, 電力土木, No.286, pp.113-119, 2000
- 4) Al-Mahaidi, R.S.H.: Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members, Tech. Rep. 79-1, Department of Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, 1979