

ダム独立塔型取水塔の耐震性能照査への3次元ファイバーモデルの適用検討

水資源機構 正会員 ○坂本 博紀 正会員 佐藤 信光 正会員 野中 樹夫

オリエンタルコンサルタンツ 正会員 大竹 省吾 正会員 梅林 福太郎

1. はじめに

ダムの独立塔型取水塔（以下、「取水塔」という）は主たる機能である取水機能のほか、地震災害時には安全性確認のための緊急水位低下や、低下させた水位の上昇を規制する役割を有する重要構造物である。現在、ダムに関する耐震性能照査指針(案)¹⁾に基づく耐震性能照査が試行されており、同指針(案)では、取水塔は重要な関連構造物として照査対象と位置づけられている。しかし、取水塔の照査に当たっては以下の課題がある。①通水方向に開口部を有する凹構造であり(図-2 参照)、配筋や断面変化が多く複雑な構造のため、一般的な橋脚の梁モデル²⁾の適用が困難である。②3次元非線形 FEM の適用が望ましいが、モデルの要素数が非常に多くなり動的解析の適用は実務的には難しい。

以上を踏まえ、複雑な断面形状、構造特性、非線形特性を考慮することが可能で、解析時間の短縮が可能なファイバーモデルの適用性を検討し、取水塔の耐震性能照査を実施した。

2. 検討の流れ

検討の流れを図-1 に示す。①3次元非線形 FEM モデル(以下、「FEM モデル」と記す)のプッシュオーバー

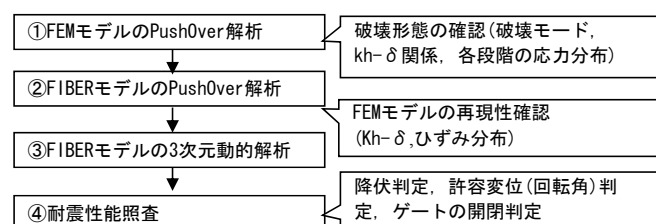
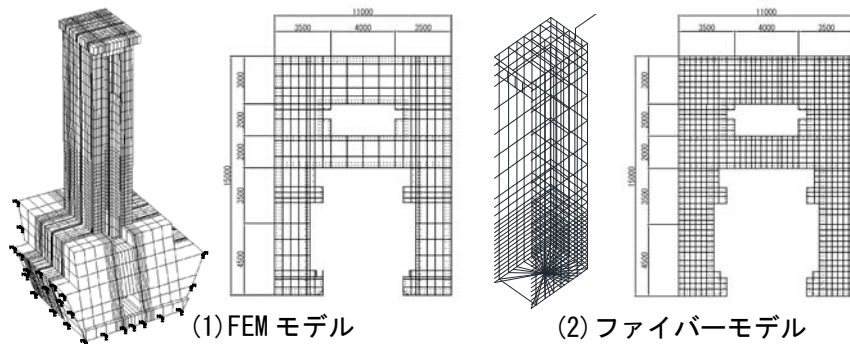


図-1 検討の流れ

表-1 解析対象とする取水塔の諸元

項 目	諸 元 等
取水塔形式	独立塔型
取水塔構造	鉄筋コンクリート
ゲート形式	直線多段ローラーゲート(5段) 下段扉保守ゲート付
緊急放流量	60m ³ /s
全高	78m
天端高	EL.420m
基礎	EL.342m
常時満水位*	EL.412m (水深=70m)

※ 解析条件水位



(1) FEM モデル

(2) ファイバーモデル

図-2 取水塔の解析モデル

一解析により、破壊形態(破壊モード, $kh-\delta$ 関係, 各段階の応力分布)を確認した。②3次元ファイバーモデル(以下、「ファイバーモデル」と記す)のプッシュオーバー解析により、FEMモデルの解析結果を概ね再現可能であることを確認した。③ファイバーモデルで取水塔の3次元動的解析を実施した。④③の結果を用いて、耐震性能照査(降伏判定, 許容変位判定, 許容回転角判定, ゲート影響判定)を実施した。

3. 解析対象

解析対象はAダムの取水塔とし、その諸元を表-1に示す。なお、解析モデルは取水塔天端に接続する連絡橋も併せてモデル化した(図-2)。

4. 解析手法

各モデルの解析コード及び構成則を表-2に示す。FEMモデルには汎用解析ソフト「FINAL」、ファイバーモデルには汎用解析ソフト「TDAPⅢ」を用いた。FEMモデルでは、事前にせん断破壊先行型のRC梁の破壊実験について、再現解析を実施し、せん断破壊についても概ね再現可能なことを確認した。

表-2 各モデルの解析コード及び構成則

解析モデル			FEMモデル	ファイバーモデル
解析コード			FINAL	TDAPⅢ
構成則	鉄筋	非線形特性	バイリニアモデル (移動硬化則)	バイリニアモデル (移動硬化則)
	コンクリート	テンション スティフニング特性	長沼・山口のモデル	指数関数型 コンクリートモデル
		圧縮強度点までの特性	修正Ahmadモデル	
		圧縮強度到達後の ひずみ軟化域	修正Ahmadモデル	
		ひび割れ後の せん断伝達特性	長沼のモデル	

キーワード 取水塔, 動的解析, 耐震性能照査, 3次元非線形 FEM, 3次元ファイバーモデル

連絡先

〒338-0812 埼玉県さいたま市桜区大字神田 936 番地 独立行政法人水資源機構 TEL 048-711-3084

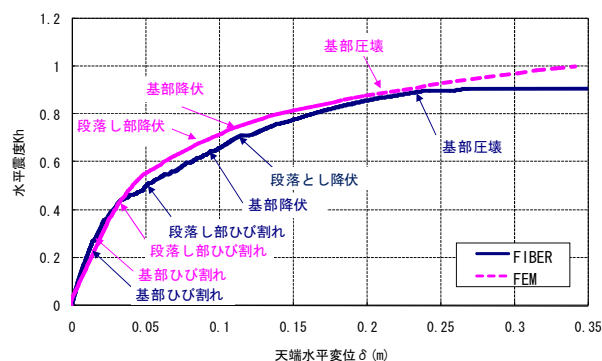
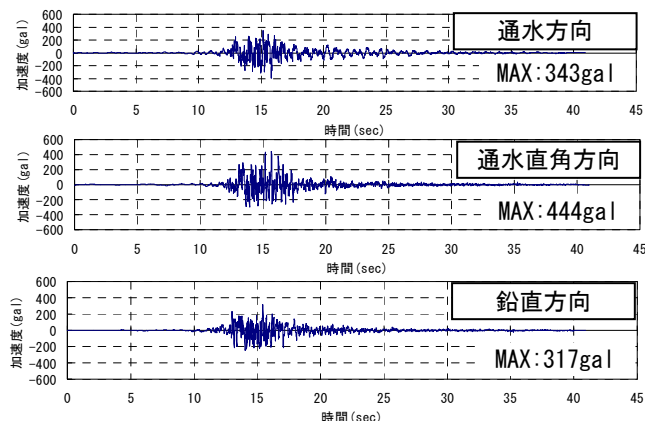
図-3 Kh- δ 関係の比較例(通水方向(背面→前面))

図-5 入力地震動

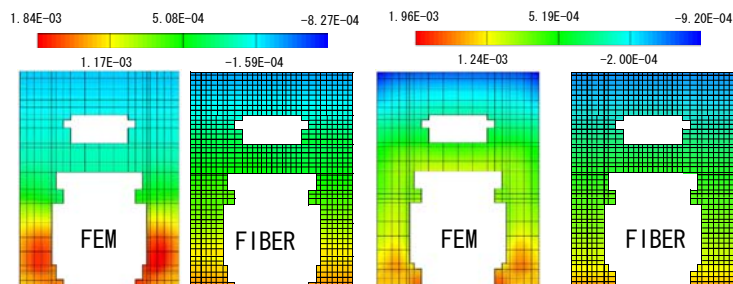
5. 解析結果

5. 1 FEMとファイバーモデルの比較

各モデルのプッシュオーバー解析結果について、代表として最も厳しい条件となる荷重の載荷方向を通水方向(背面→前面)とした場合の結果を図-3、図-4に示す。まず図-3のFEMモデルの解析結果より、せん断破壊の場合に見られる急激な耐力の低下が発生する前に、鉄筋降伏が発生することから、本取水塔が曲げ破壊先行型であることを確認した。次に各モデルの $kh-\delta$ 曲線の形状と破壊順序の関係が概ね一致すること(図-3)、同一震度における代表断面ひずみ分布が概ね一致すること(図-4)からファイバーモデルでFEMモデルの挙動を概ね再現できると判断した。なお、この判断は他の載荷方向のプッシュオーバー解析についても同様の結果が得られることを確認した上での判断である。

5. 2 ファイバーモデルの動的解析

動的解析は4波形を対象に実施したが、本稿では代表的な地震動(図-5)の解析結果を示す。入力3方向同時加振(通水方向、通水直角方向、鉛直方向)とした。ファイバーモデルの動的解析結果を用いた耐震性能照査結果を図-6、表-3に示す。本地震動に対しては、基部および段落し部付近で一部曲げ降伏



(1) 段落し降伏時の段落し

(2) 基部降伏時の基部

図-4 ひずみ分布の比較例(通水方向(背面→前面))

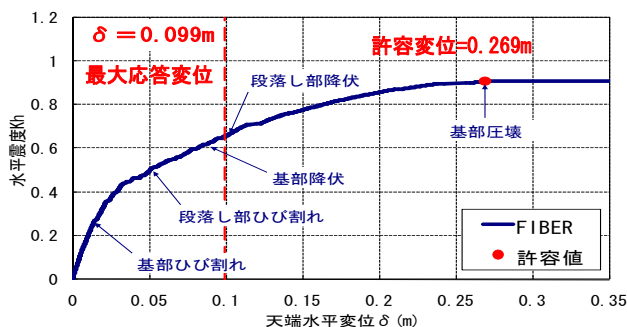


図-6 取水塔照査結果例(通水方向(背面→前面))

表-3 取水塔の耐震性能照査結果

照査項目	照査結果
曲げ	基部および段落とし部で一部が降伏するが、変位量は許容値(コンクリートが圧壊する変位)以下
基礎	基礎に発生する地盤反力は許容支持力以下
残留変位	残留変位は許容値(高さ/100)以下
残留変位角	残留変位角は許容値以下(=ゲートの開閉に影響しない)
耐震性能の判定	段落とし部で降伏に至るが、変位は許容値以下である。また、残留変位によるゲート開閉への影響はない。以上より、所要の耐震性能を満足する。

するものの、許容変位に対しては十分に余裕があることを確認した。また、表-3に示す通り、基礎の支持力照査、ゲートの開閉機能照査の結果、許容値以下となった。他の方向でも同様の照査結果が得られることを確認した。

6. まとめ

ファイバーモデルを用いることで、取水塔の複雑な破壊形態を、FEMモデルの解析結果に精度良く整合させることが出来た。また、ファイバーモデルを用いた動的解析により、取水塔本体とゲートの耐震性能照査を実施し、その適用性を確認した。

今後はさらに複雑な構造の取水塔の耐震性照査への適用性を検討する予定である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2012.3.