堰堤門柱の非線形静的解析における地震荷重分布の検討

中部電力株式会社	正会員	櫻井	友彰	正会員	亀谷	泰久			
清水建設株式会社	正会員	〇田中	栄次	正会員	玉井	誠司	正会員	新美	勝之

1. はじめに

堰堤の耐震性を検証する際には、ゲートを支持する門柱の耐震性能照査が求められる. 門柱の耐震性能照査 に用いる数値解析手法としては、地震応答解析の他に、より簡便なプッシュオーバーによる静的解析が考えら れる.しかし、静的解析を採用する場合、地震応答の慣性力と整合した荷重分布を適用する必要がある.そこ で本報では、複数の荷重分布における静的解析結果と地震応答解析結果を比較し、門柱の耐震性能照査に適し た荷重分布を検討した.尚、数値解析には汎用 FEM 解析プログラム DIANA10.2 を用いた.

2. 解析モデル

解析モデル及び諸元を図1及び表1,表2に各々示 す.同図のように、門柱1基と周辺の床板を解析対象 とした.門柱は一般に鉄筋比が小さく、耐震性能照査 においては、コンクリートのひび割れを考慮した非線 形解析が有効である.そのため、ひび割れの影響を精 緻に表現するため、3次元ソリッド要素で門柱コンク リートをモデル化し、固定ひび割れモデルによる材料 非線形性を導入した.また、鉄筋については、線材の 埋め込み鉄筋要素でモデル化し、バイリニア弾塑性に よって鉄筋の降伏を考慮した.その他、ゲートや管理 橋等の上載構造物及び動水圧は、付加質量として設定 した.境界条件は、床板底面を固定とした.荷重条件 は、自重や静水圧による初期応力解析を実施した上で、 静的解析または地震応答解析を行った.

静的解析では、加速度鉛直分布を仮定し、それによって生じる慣性力に等しい左右岸方向荷重を、弧長増 分法により漸増させた. 仮定する加速度分布は、表3 に示す2ケースを検討した. Casel では、一般的な土 木構造物で多く用いられる等分布加速度を採用した. Case2 は、次式で表される、固有モードに相似な加速 度分布とした¹⁾.

 $\mathbf{f} = a\mathbf{M}\mathbf{\phi}_{\mathbf{x}}$

(1)

ここで、f:荷重ベクトル、a:門柱天端の加速度、M: 質量行列、 ϕ_x :正規化した1次固有モードベクトルの 左右岸方向成分である.つまり、門柱の地震応答が1 次固有モード主体であると見做し、その場合の相対加 速度分布に対応する荷重分布を定義している.

地震応答解析は,静的解析との比較を目的とし,図

キーワード 堰堤,門柱,耐震,RC構造,材料非線形,FEM解析 連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 TEL 03-3561-3895



(a) コンクリートソリッド要素(b) 埋め込み鉄筋要素図 1 解析モデル

表 1	コンク	リー	卜材料諸元
-----	-----	----	-------

· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	圧縮強度	引張強度	ヤング率	ポアソン	密度
部亚	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	比	(kg/m^3)
門柱	51.5	5.1	30900	0.2	2398
床板	45.8	4.6	30600	0.2	2296

表 2 鉄筋材料諸元

降伏強度 (N/mm ²)	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比
345	200000	0.3



2に示す地震動を固定境界に入力した.

3. 解析結果

静的解析結果より,加速度-変位関係を図3に示す. 参考として,地震応答解析結果より,応答変位・加速 度時刻歴最大値を図 3 中に,応答変位時刻歴を図 4 に合わせて示す.同図より,両ケースの加速度-変位 関係に共通する定性的な傾向として,変位の増大に伴 い剛性が低下している.これは、後述のひび割れが発 生した門柱断面で,曲げモーメントにより引張側主筋 が降伏するためである.しかし,各ケースの加速度-変位関係は定量的には異なり、Case1 が総じて Case2 を下回る.この原因としては、各ケースの加速度分布 が異なるため,門柱天端の加速度が同一の場合におけ る, Casel の合計荷重が Case2 より大きい点が挙げら れる. さらに, 地震応答解析の応答変位・加速度時刻 歴最大値がなす交点と,両ケースの加速度-変位関係 を比較すると、Case2の方が地震応答と比較的良好に 対応している.

静的解析結果及び地震応答解析結果より,各ステッ プにおけるコンクリートのひび割れひずみ分布を図 5~図7に示す.同図より,ひび割れ進展の推移が各 ケースで異なることが確認できる.Caselでは,まず 門柱基部でひび割れが発生し,その後門柱中間及び頂 部にひび割れが発生した.一方,Case2では,門柱中 間で最初にひび割れが発生し,次に門柱基部・頂部で ひび割れが発生した.また,地震応答解析結果は, Case2と同様にひび割れ進展が推移し,Case1と異な り水門柱中間・頂部の損傷が大きいことが分かる.

4. まとめ

堰堤門柱の非線形静的解析を実施した結果,適用す る荷重分布によって,加速度-変位関係及びひび割れ 進展状況が異なることが分かった.本報の検討ケース では,等分布加速度を仮定した Casel と比べ,固有モ ードに相似した加速度分布の Case2 が,地震応答解析 に類似した傾向を示した.ただし,Case2 が相対加速 度分布を模擬しているのに対し,本来は,地震応答の 慣性力と厳密に対応する,絶対加速度分布に基づいた 手法がより望ましい.この点において,今後さらに適 切な荷重分布を模索する余地があると考えられる.

参考文献

 Antil K. Chopra, Rakesh K. Goel, A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings, Earthquake Eng. Struct. Dyn. 31, pp.561-582, 2002



(a) 変位 13.9mm(時刻 1.31s)
(b) 変位 73.2mm(時刻 7.60s)
図 7 ひび割れひずみ分布 地震応答解析