

ダムゲートの時刻歴応答解析におけるモデルの簡易化に伴う応答の変化

電力中央研究所 正会員 ○府川 和樹
同 正会員 塩竈 裕三

1. はじめに

現在、ダムゲートの大規模地震動に対する耐震性能照査を行うために要する時間と労力は大きく、照査方法の合理化および簡便化が望まれる。

本報告は、ラジアルゲートを対象に、数値解析モデルの構成要素の違いによる時刻歴応答解析結果の差を整理し、照査方法の簡便化における留意事項の検討の一助となることを目的とする。

2. 数値解析モデル

対象構造物は、文献 1) に示されるラジアルゲート(純径間 10.0m, 扉高 11.5m, 扉体半径 12.5m)を対象とする。数値解析には、図 1 のような 3 つの有限要素解析モデルを用いる。それぞれ詳細シェルモデル、簡易シェルモデル、骨組モデルとよぶ。各モデルは構成される要素が異なる。詳細シェルモデルは、主要構造部材を全てシェル要素でモデル化している。それに対し、簡易シェルモデルは、主桁フランジと脚柱を梁要素でモデル化する。骨組モデルは、スキンプレート以外の部材を梁要素でモデル化する。降伏応力は、下段主桁が 315MPa, その他の部材は 235MPa とする。解析ソフトは、汎用有限要素解析ソフト ABAQUS(Ver.6.11-5)を用いる。

ひずみの評価は、図 2 の示される箇所を断面を対象とし、これを評価断面とよぶ。

検討用地震動には、2次元のダム堤体、貯水池および基礎岩盤の連成解析で得る堤体上部の加速度時刻歴および動水圧時刻歴²⁾を用いる。

3. 荷重漸増解析

各解析モデルに対して、静水圧を負荷した状態で地震荷重である動水圧および慣性力を漸増させることで、荷重漸増解析を行う。荷重倍率の基準は、検討用地震動を入力したときの最大動水圧発生時刻における動水圧と慣性力とする(図 3)。幾何学的非線形性を考慮する。

図 4 に代表的な箇所の荷重倍率-変位関係を示す。上下段の脚柱接合部では剛性の差が生じるが、各モデル

の最大耐力に大きな差がないことがわかる。モデル内の評価断面が降伏する状態、ほぼ弾性域にとどまる状態 ($2\epsilon_y$), 限定的な塑性化にとどまる状態 ($10\epsilon_y$), 終局

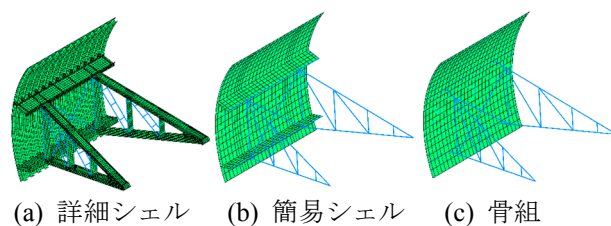


図 1 解析モデル

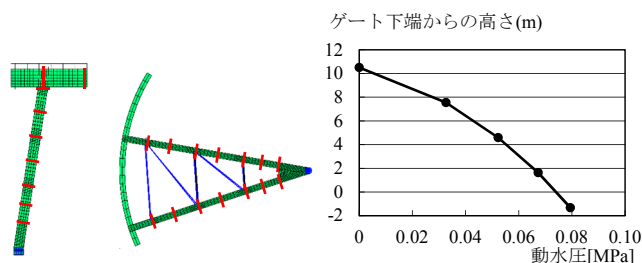


図 2 ひずみ評価断面 図 3 最大時の動水圧分布

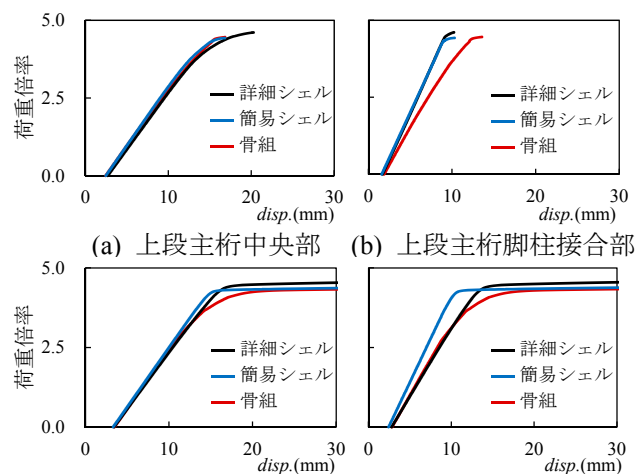


図 4 荷重倍率-変位関係 (上下流方向)

表 1 ひずみと地震荷重倍率の関係

	詳細シェル	簡易シェル	骨組
降伏	1.77	2.03	2.46
$2\epsilon_y$ 発生	3.05	3.59	3.72
$10\epsilon_y$ 発生	4.57	4.38	4.36
終局耐力	4.61	4.43	4.46

キーワード ダムゲート, 時刻歴応答解析, 耐震性能, ひずみ分布, 鋼構造

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 一般財団法人 電力中央研究所 構造工学領域
Tel : 070-5555-6806, FAX : 04-7183-2962, E-mail : k-fukawa@criepi.denken.or.jp

状態に達する地震荷重倍率を表 1 に示す。降伏ひずみに達する荷重倍率は詳細シェルモデル，簡易シェルモデル，骨組モデルの順に大きくなる。また，荷重の増加に伴い地震荷重倍率のモデル間の差は減少する。

4. 時刻歴応答解析結果

各モデルにおいて時刻歴応答解析を行う。ゲート前面に動水圧時刻歴波形を，ゲート支持部に加速度時刻歴波形（図 5）を上下流方向に入力する。幾何学的非線形性は考慮しない。減衰定数は 1% とする。

骨組モデルにおいて，最大ひずみが ε_y ， $2\varepsilon_y$ ， $10\varepsilon_y$ となる検討用地震動の入力倍率を表 2 に示す。動的解析と静的解析で対象のひずみに達する入力倍率は異なるが， $2\varepsilon_y$ までは差は 1% 未満である。 $10\varepsilon_y$ では 14% 程度の差が生じる。骨組モデルにおいて最大ひずみが $2\varepsilon_y$ を生じる入力地震動を他モデルに入力することで，モデル間の応答の差異を確認する。最大ひずみの発生箇所は，詳細シェルは下段脚柱主桁接合部，簡易シェルモデルは上段脚柱接合部の主桁フランジ，骨組モデルは下段脚柱の主桁接合部である（図 6）。経験ひずみの最大値は，入力地震動の最大加速度の発生時刻の直後に観測される。最大ひずみは，骨組モデル，簡易シェルモデル，詳細シェルモデルの順に大きくなる（表 3）。詳細シェルモデルの最大ひずみは他モデルより大きな値であるが，発生箇所は脚柱および主桁の各フランジの接合部における隅角部で発生する局所的な応力であり，構造物全体としての耐力に大きな影響を与えるものではないと考える。

代表的な箇所の時刻歴応答変位から，入力地震動に対する構造物の応答を巨視的に確認する（図 7）。骨組モデルにおいて，評価断面の最大ひずみは最も小さいが，残留変位量は他モデルよりも大きいことから（図 7），構造物全体としての降伏率は最も大きいと考える。また，詳細シェルの残留変位量は相対的に小さく，隅角部に生じるひずみが構造物の耐力や応答に大きな影響を与えていないことが示唆される。

5. まとめ

ラジアルゲートを対象に数値解析を行い，主要構造物材の要素種別の違いから生じる荷重漸増解析および時刻歴応答解析の結果を整理した。

今後，本報告の解析結果をもとに，ダムゲートの耐震詳細照査手法を検討する。また，耐震補強の方法について検討を進める。

表 2 ひずみと入力倍率の関係

ひずみ	骨組モデル	
	入力倍率	
	動的	静的
ε_y	2.44	2.46
$2\varepsilon_y$	3.69	3.72
$10\varepsilon_y$	4.95	4.36

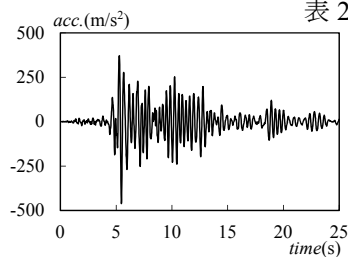


図 5 検討用地震動

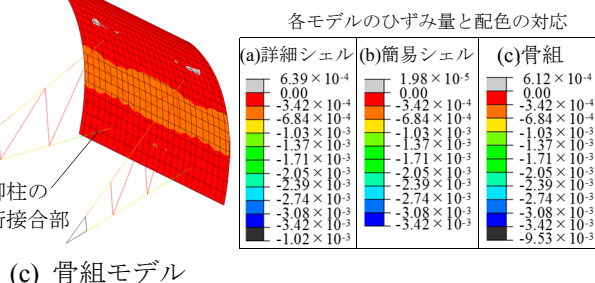
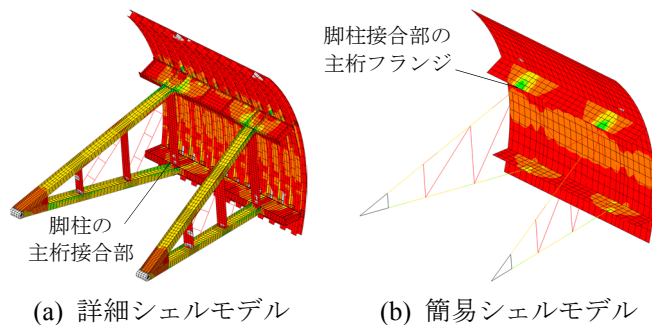


図 6 最大ひずみが生じる時点でのひずみ分布

表 3 経験ひずみの最大値

	経験ひずみ
骨組モデル	2.290×10^{-3}
簡易シェルモデル	2.430×10^{-3}
詳細シェルモデル	3.364×10^{-3}

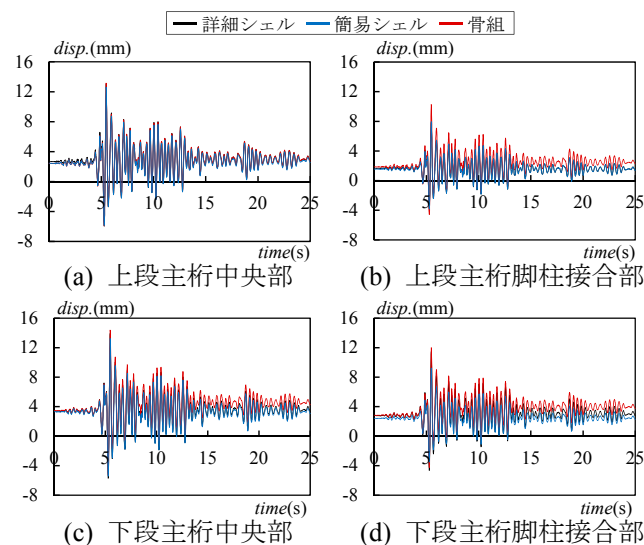


図 7 時刻歴応答変位（上下流方向）

参考文献

- 1) 水門鉄管協会：水門扉設計参考例，1986.3
- 2) 山本広祐，齋藤潔：有限要素法を用いたダムゲートの耐震解析マニュアル，電力中央研究所報告書 N22，2014