

不連続面節理を有する岩盤上の重力式コンクリートダム of 動的的非線形挙動

清水建設(株)
清水建設(株)正会員 木全宏之 新美勝之 ○井上篤史 玉井誠司
藤田 豊 MohammadReza OKHOVAT

1. はじめに

重力式ダムの大規模地震動に対する耐震安全性評価は、堤体の破壊メカニズムを中心に議論^{1), 2)}されてきた。一方、重力式ダムが不連続を有する基礎岩盤上にある場合、地震時に堤体コンクリートのクラックのみならず、基礎岩盤における不連続面で、開口やすべりによる非線形性が生じると考えられる。このため、堤体クラックが減少し、ダム全体の耐震安全余裕が増加するものと予想される。本報では基礎岩盤に着目し、基礎岩盤の不連続面における非線形性を考慮した動的的非線形解析を実施し、重力式ダムを支持する基礎岩盤の耐震安全余裕について検討した結果を報告する。

2. 解析モデルの概要

解析モデルは、ダム上下流方向を対象に、二次元平面ひずみ状態を仮定したダム-基礎岩盤-貯水連成系モデルとする。解析モデルの概要を図1に示す。重力式ダムの堤高は100m、基礎岩盤の水平方向モデル化領域をダム底面幅の約10倍(760m)、鉛直方向モデル化領域をダム堤高の2.0倍(200m)とする。ダム直下近傍の基礎岩盤では、330m(水平)×150m(鉛直)の範囲で不連続面の非線形性を評価できるように詳細なモデル化³⁾を行っている。また、モデル底面にはダッシュポットを設けて、底面での波動逸散を考慮し、モデル側面には自由地盤を設け、自由地盤とのエネルギー伝達をダッシュポットにより考慮している。また、貯水の影響は、Westergaard式から求まる付加質量を堤体上流面に付与することで考慮している。

ダム堤体コンクリートと基礎岩盤の解析諸元を表1に示す。本報では堤体および基礎岩盤の有限要素を線形弾性としているが、不連続面を考慮している基礎岩盤では、要素単体の周辺境界に対して図2に示すMohr-Frictionモデルを組み込み、不連続面での開口とすべりの非線形性を評価³⁾できるようにしている。ここで、基礎岩盤の不連続面で生じるすべり抵抗($\tau-\gamma$ 関係)は、バイリニアでモデル化しているが、要素間に開口が生じた場合は、せん断抵抗を無視している。解析に用いた減衰は、要素別レーリー減衰としており、堤体で7%、基礎岩盤で2%と仮定しているが、不連続面については $\tau-\gamma$ 関係による履歴減衰のみを考慮している。

3. 入力地震動

採用する地震波は「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」(国土交通省河川局)¹⁾に示されている照査用下限加速度応答スペクトルをターゲットスペクト

ルとした時刻歴加速度波形とする。この地震波はダム堤体底面位置で定義されたもので、一次元波動論によりモデル底面まで引き戻したものを入力地震動とする。なお、位相特性は、兵庫県南部地震において一庫ダムの監査廊内で観測された時刻歴加速度波形(堤体底面岩盤位置相当の加速度波形)の位相を用いる。得られた時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図3に示す。

4. 地震応答解析結果

動的的非線形解析により得られた堤体頂部と堤体底面の相対変形を図4に示す。相対変形は、入力地震動に相対するようになり8秒当たりで急激に大きくなっている。特に、入力地震動が大きくなるに従い、不連続面の開口やすべりにもなる非線形性が急激に大きくなり、その影響が相対変形に現れているものと考えられる。次に、基礎岩盤の不連続面の開口およびすべりの発生状況を図5に示す。地震時に堤体頂部が下流側へ変形した場合、堤体上流側の基礎岩盤では開口やすべりによる不連続面が、堤体下45°方向(岩盤内部)に生じる。堤体下流側の基礎岩盤では、堤体による基礎岩盤の押し込みにもない不連続面が発生し、基礎岩盤が隆起する現象が現れている。一方、地震時に堤体頂部が上流側へ変形した場合、堤体下流側の基礎岩盤でも開口やすべりにもなる不連続面が堤体下45°方向(岩盤内部)に生じるが、基礎岩盤の破壊は比較的軽微である。

また、入力地震動の振幅を3倍にした場合、堤体上流側の不連続面は堤体の中央あたりの基礎岩盤まで進展しているが、下流側の不連続面と交差していない。ただし、下流側の基礎岩盤に生じる圧縮応力は、基礎岩盤の一軸圧縮強さ10MPaを超え、その一部に圧縮破壊を生じているが、堤体底面全体では耐震性能を確保できていると考えられる。

5. まとめ

基礎岩盤における不連続面の開口やすべりを考慮した連成系モデルにより、動的的非線形解析を実施した結果、基礎岩盤は入力地震動に対して3倍程度の安全余裕が認められた。

参考文献

- 1) 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説、国土交通省河川局、2005.3
- 2) 木全、藤田他：動的クラック進展解析による重力式コンクリートダムの耐震安全性評価、土木学会論文集No. 787/I-71、2005.4
- 3) 木全他：不連続面を有する岩盤上の重力式コンクリートダムの動的クラック進展解析、土木学会第64回年次学術講演会術講演梗概集、2009.9

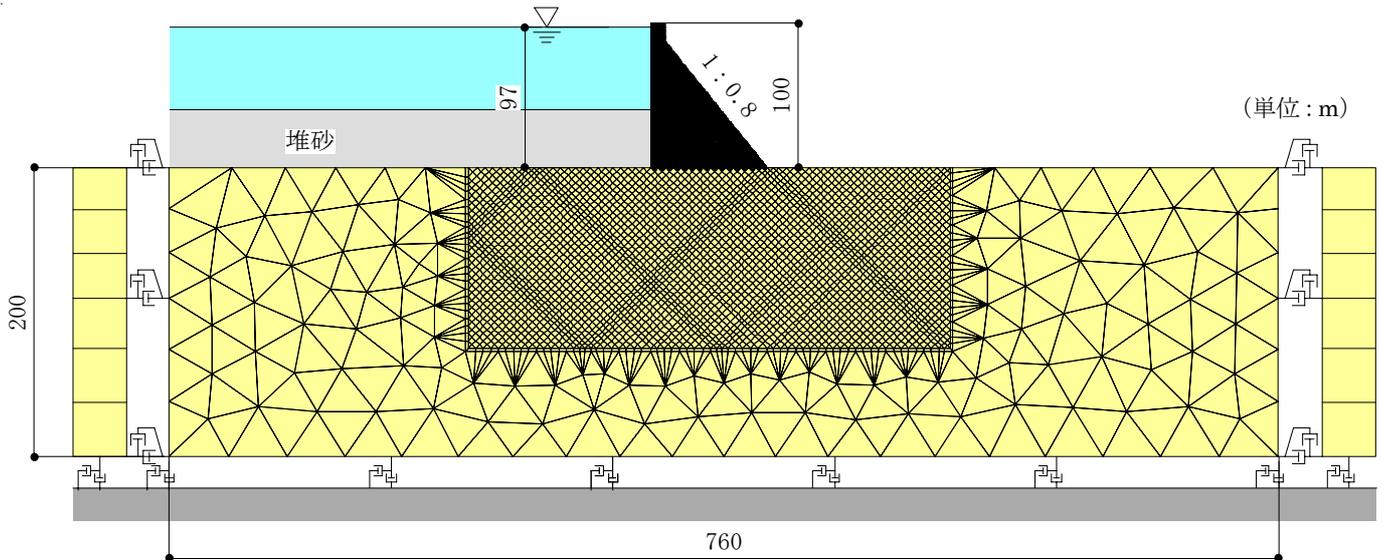


図1 連成系モデル

表1 解析諸元

項目	ダム堤体	基礎岩盤
ヤング係数 E (GPa)	28	10
ポアソン比 ν	0.2	0.25
密度 γ (kg/m ³)	2300	2500
粘着力 (MPa)	2.0	—
内部摩擦角 (°)	45	—

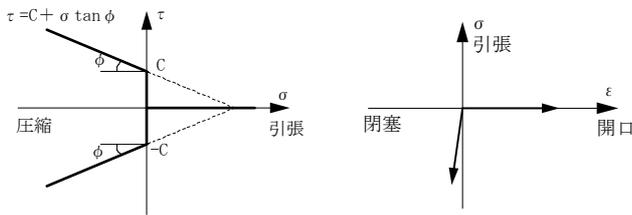
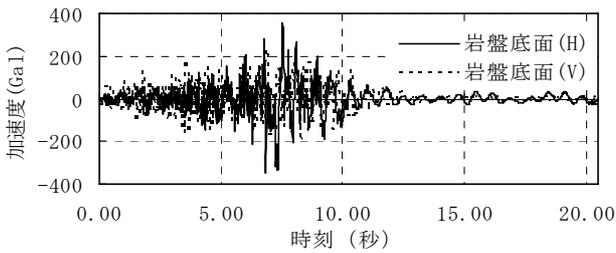
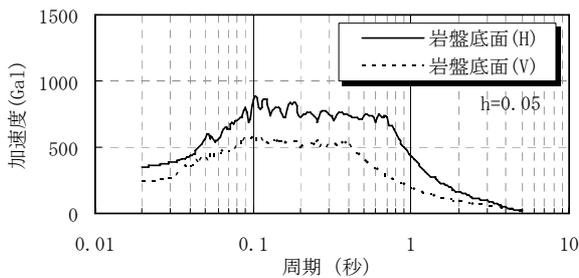


図2 不連続面の構成モデル



(a)時刻歴加速度波形



(b)加速度応答スペクトル

図3 入力地震動 (モデル底面位置)

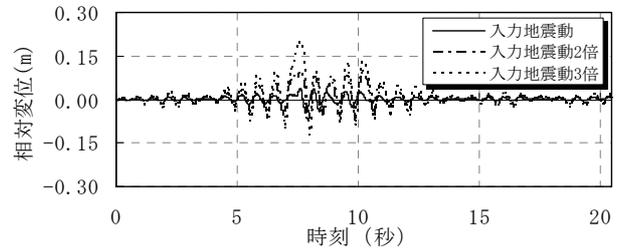
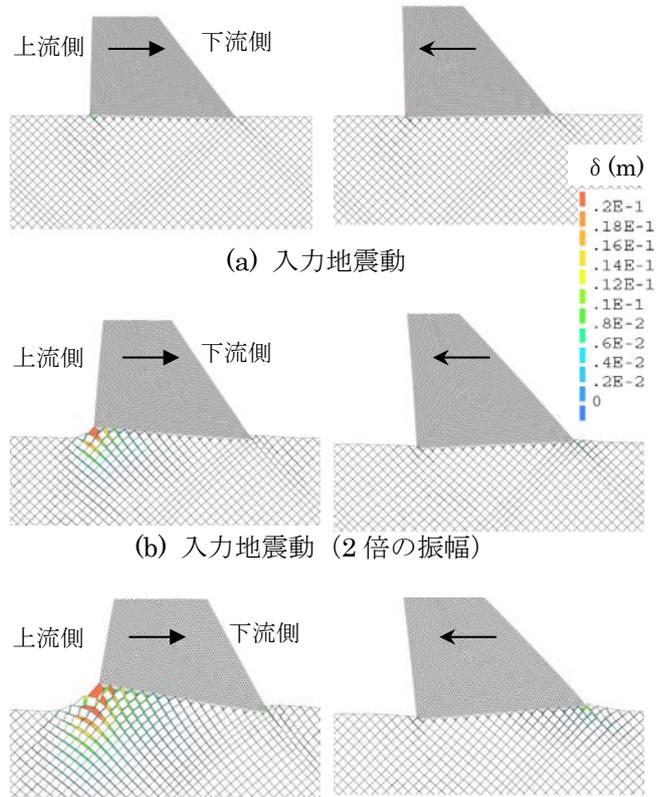


図4 堤体の相対水平変位 (頂部-底部)



(a) 入力地震動

(b) 入力地震動 (2倍の振幅)

(c) 入力地震動 (3倍の振幅)

図5 基礎岩盤の変形分布