

不連続面を有する岩盤上の重力式コンクリートダム of 動的クラック進展解析

清水建設(株) 正会員 ○木全宏之 藤田 豊
 東京大学 正会員 堀井秀之

Tarbiat Modares University Mahmoud YAZDANI

1. はじめに

重力式コンクリートダムの大規模地震に対する耐震安全性評価の対象となる主な破壊現象は、堤体のクラック発生、進展による貫通破壊である¹⁾。筆者らは重力式コンクリートダムのクラック進展挙動を精緻に評価するため、接線剛性比例型減衰を用いた評価手法を提案した²⁾。ところで、重力式コンクリートダムが不連続面を有する岩盤上に設置されている場合、大規模地震時に堤体にクラックが発生、進展するのみならず、岩盤の不連続面に開口やすべりが生じる。

本報では、岩盤の不連続面を考慮した動的クラック進展解析を実施し、岩盤の不連続性が重力式コンクリートダムのクラック進展挙動に及ぼす影響を解析的に検討した。

2. 解析モデルの概要

既報³⁾と同様に、堤高 100m のモデルダムを想定した。図 1 に解析モデルを示すが、上下流方向を対象に平面ひずみ状態を仮定したダム堤体-基礎岩盤-貯水連成系モデルとした。貯水の影響は、Westergaard 式から求められる付加質量を堤体上流面に付与することで考慮した。ダム近傍の基礎岩盤には直交する二方向の不連続面を想定し、鉛直方向に対して+45° と-45° (時計回りを正) の不連続面とした。

ダム堤体コンクリートと基礎岩盤の解析定数³⁾を表 1 に示す。基礎岩盤の不連続面の粘着力と内部摩擦角は、節理が発達した硬岩で不連続面が概ね新鮮であるとして想定した値である。

コンクリートのクラックは、スミアードクラックモデルを用いて表現し、引張応力-クラック開口変位関係は二直線型引張軟化構成モデル(1/4 モデル)を適用した。引張応力-クラック開口変位関係における除荷時には、原点指向型の履歴特性を設定した。基礎岩盤について、不連続面の構成モデルを図 2 に示す。不連続面が圧縮時には Mohr-Coulomb の破壊基準に従い、引張(開口)時にはせん断抵抗を有しないものとした。不連続面のせん断応力 τ -せん断ひずみ γ 関係は、バイリニア型の履歴特性を設定した。なお、減衰タイプは、堤体で瞬間剛性比例型減衰、基礎岩盤でレーリー減衰を採用し、1 次のモード減衰定数を堤体で 7%、基礎岩盤を 2% と仮定した²⁾。基礎岩盤の不連続面の減衰定数はゼロとした。

3. 入力地震動

入力地震動として、照査用下限加速度応答スペクトル¹⁾

をターゲットスペクトルとして作成した模擬地震動を適用した。位相特性には、1995 年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を適用した。

基礎岩盤表面(開放基盤面)で規定される模擬地震動を解析モデル底面まで引き戻し計算を行い、入力地震動として適用した。入力地震動の時刻歴加速度波形と加速度応答スペクトルを図 3 に示す。

4. 動的クラック進展解析結果

動的クラック進展解析より得られた堤体頂部と底部の時刻歴水平相対変位波形、基礎岩盤の不連続面の開口とすべりの状況および堤体のクラック進展状況を図 4~図 6 に示す。

相対変位は 8 秒当たりで急激に大きくなっている。基礎岩盤に着目すると、堤体が下流側へ変形した場合、上流側の岩盤には 45° 方向の不連続面に開口やすべりが生じ、下流側では-45° 方向の不連続面に開口やすべりが生じている。上流側の岩盤の開口やすべりは下流側に比べて小さく、これは静水圧による拘束圧効果があるためと考えられる。堤体が上流側へ変形した場合は、上流側の岩盤には静水圧と堤体の押し込みにより不連続面の開口やすべりは認められないが、下流側では 45° と-45° 方向の二方向に開口やすべりが生じている。ダム堤体に注目すると、既報³⁾で示した岩盤の不連続面を考慮しない解析結果より、不連続面を考慮した解析結果の方がクラック進展は少ない。これは、岩盤の不連続面の開口やすべりにより、堤体に作用する地震エネルギーが低減するためと考えられる。

5. まとめ

重力式コンクリートダムを対象として、堤体のクラックと基礎岩盤の不連続面の開口やすべりを考慮した動的クラック進展解析を実施した。その結果、不連続面を考慮すると堤体のクラック進展が低減することがわかった。今後、不連続面の強度や角度を変化させ、重力式コンクリートダムの耐震安全性について検討していく予定である。

参考文献

- 1)国土交通省: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)木全他: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:入力地震動の違いによる重力式コンクリートダムのクラック進展挙動特性、土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集、2008.9.

キーワード:重力式コンクリートダム 大規模地震 動的クラック進展解析 不連続性岩盤
 〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館 TEL 03-5441-0598 FAX 03-5441-0543

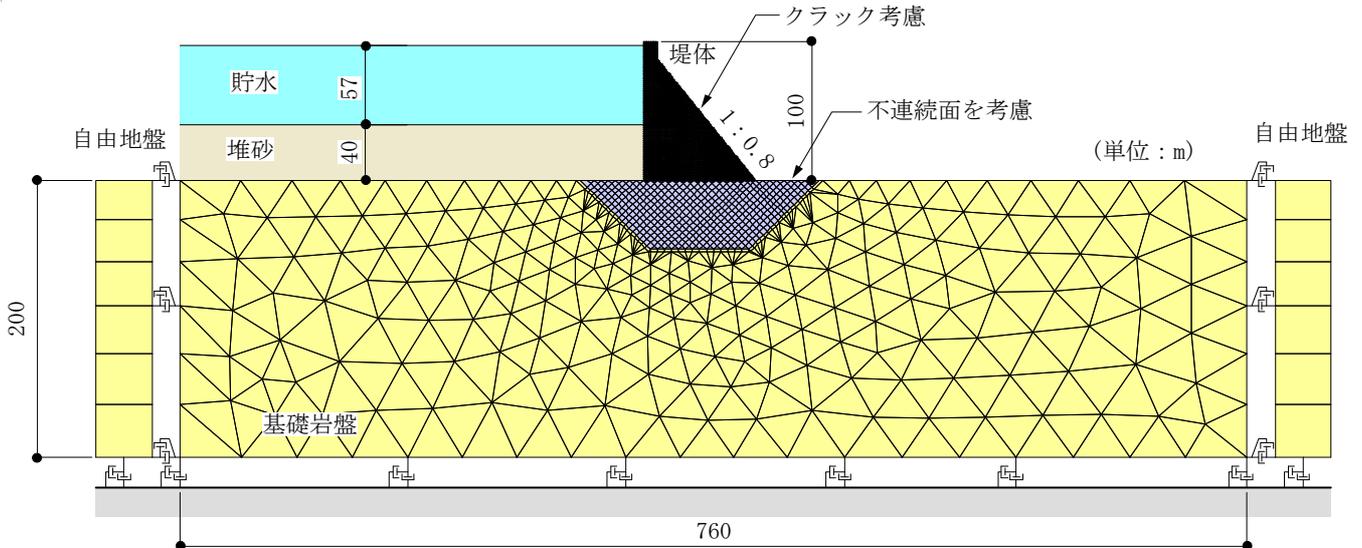


図1 解析モデル

表1 解析定数

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 $\gamma(\text{kg/m}^3)$	2300	2500
引張強度 $f_t(\text{MPa})$	3.0	—
破壊エネルギー $G_f(\text{N/m})$	400	—
粘着力 C(MPa)	—	0.16
内部摩擦角($^\circ$)	—	42

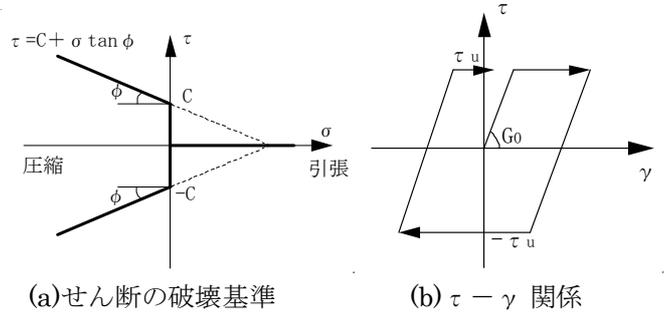


図2 不連続面の構成モデル

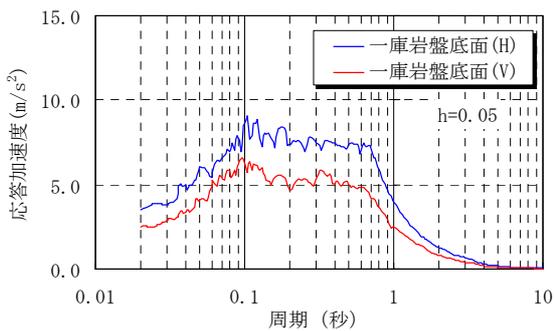
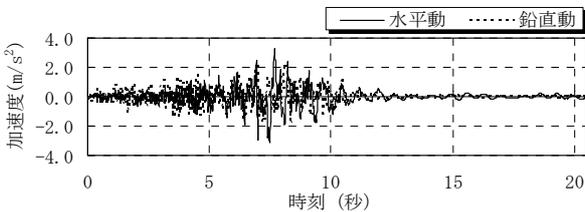


図3 入力地震動

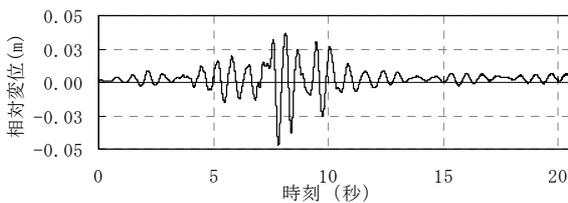
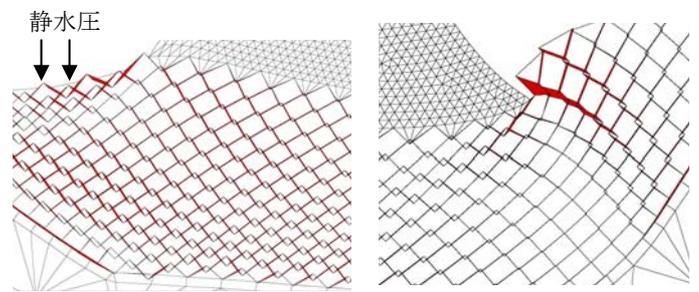
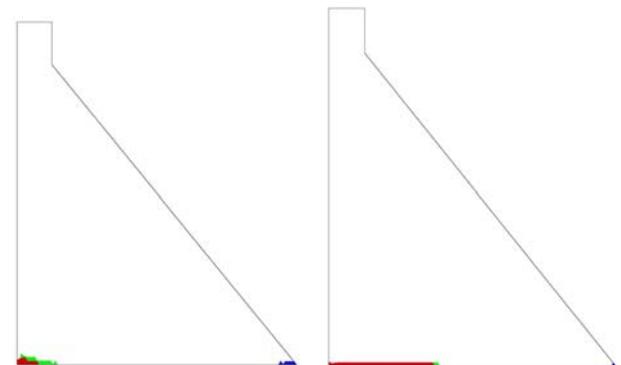


図4 堤体の時刻歴水平相対変位波形 (頂部-底部)



(a)上流側 (b)下流側

図5 不連続面の開口とすべりの状況 (堤体上流側へ最大変形時、変形拡大図)



(a)岩盤の不連続面を考慮 (b)岩盤の不連続面なし

図6 堤体のクラック進展状況