

基礎岩盤の引張破壊を考慮した重力式コンクリートダムの耐震性能照査解析

独立行政法人土木研究所 正会員 ○村山邦彦、正会員 山口嘉一、正会員 岩下友也、正会員 小堀俊秀

1. はじめに

現在試行中の「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」¹⁾では、ダム本体についてレベル2地震動に対する耐震性能として、貯水機能の維持ならびに修復可能性の確保を求めている。重力式コンクリートダムの地震時損傷を考慮した解析では、堤体の引張破壊をモデル化した手法が用いられることが多く、基礎岩盤の变形や破壊が堤体の応答に与える影響について検討を行った事例は少ない²⁾。本報では、基礎岩盤の引張破壊を考慮した動的解析を実施し、基礎岩盤と堤体の亀裂進展状況について検討を行った結果について報告する。

2. 解析モデル

解析モデルは図-1 に示すように堤体の高さを100m とし、二次元有限要素を用いて堤体 - 岩盤 - 貯水池の連成を考慮できるものとした。貯水位は常時満水位を考慮して90m とし、動水圧は付加質量を用いて堤体上流面に作用させた。領域外へのエネルギーの逸散が考慮できるように、基礎岩盤の側面には自由地盤を設け、境界には三浦・沖中³⁾が提案する仮想仕事の原理に基づく粘性境界を設けた。堤体の要素は三角形要素とし、亀裂進展が考慮できるようにスミアードクラックモデルを用いた。基礎岩盤の堤敷から深さ35mの範囲の台形状領域にもスミアードクラックモデルを用いて亀裂進展を考慮し、亀裂進展の要素形状依存性を排除するためデローニ要素分割とした。

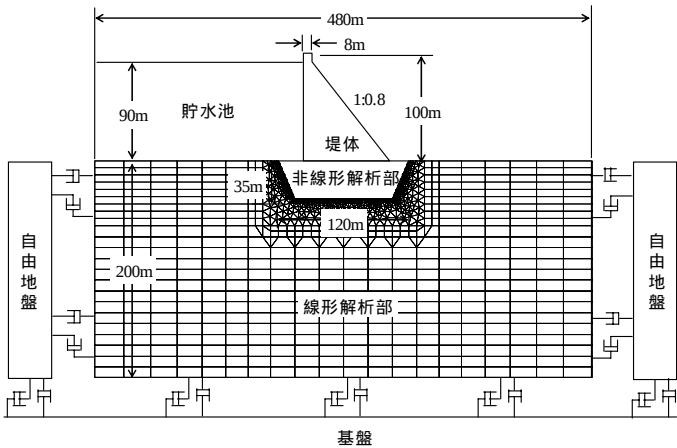


図-1 解析モデルの概要
(堤体と岩盤非線形解析部のメッシュは省略)

表-1 解析に用いた物性値

項目	堤体	基礎岩盤
動弾性係数E(N/mm ²)	29,000	10,000 40,000
ポアソン比ν	0.2	0.3
単位体積質量(kg/m ³)	2,300	2,300
減衰型	レイリー型	レイリー型
減衰定数h(%)	10	5
引張強度ft(N/mm ²)	2.8	1.5 3
破壊エネルギーGf(N/m)	400	120 400

3. モデルの物性値

解析に用いた物性値を表-1 に示す。堤体の物性値は、土木研究所で行った解析事例⁴⁾を参考とした。基礎岩盤の動弾性係数は、100m 級の重力式コンクリートダムの基礎岩盤となる CM 級以上の岩盤の弾性波速度から設定した。基礎岩盤の物性値はばらつきが大きいと考え、引張強度と破壊エネルギーは動弾性係数に対応させて、堤体コンクリートより小さい値と、やや大きな値となるように設定した。引張軟化曲線は、スナップバック現象が生じ難い条件を考慮して単直線型を用いた。

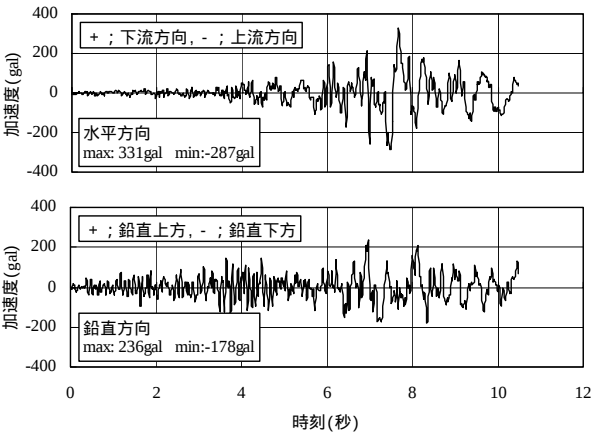


図-2 入力地震動の基本加速度波形

4. 入力地震動

入力地震動の基本加速度波形を図-2 に示す。この地震動は、1995 年兵庫県南部地震で観測された一庫ダム地震動の加速度振幅スペクトルをダムの照査用下限加速度応答スペクトル¹⁾に合わせ、再度フーリエ逆変換により求めたものである。本解析では、亀裂進展状況を明確に確認するために振幅倍率を 1.6、1.8、2.0 倍に

キーワード：重力式コンクリートダム 大規模地震動 基礎岩盤 引張破壊
連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 TEL029-879-6781 E-mail:k-mura44@pwri.go.jp

変化させた。

5. 解析結果

5.1 亀裂の進展状況

図-3 は、堤体を引張破壊を考慮した非線形条件とし、基礎岩盤は引張破壊を考慮しない(線形)条件と、引張破壊を考慮した(非線形)条件とした場合の、全解析時間における各要素の亀裂の最大開口幅の分布状況である。基礎岩盤を線形条件とした場合、図-3 の(a)、(c)のように堤体下流面および上下流面の堤体と基礎岩盤の接合部で堤体に亀裂が進展する。一方、基礎岩盤を非線形条件とした場合は、図-3 の(b)、(d)のように基礎岩盤の上下流側に亀裂が進展し、堤体と基礎岩盤の接合部の亀裂はほとんど認められない。基礎岩盤の亀裂進展は、上流側では鉛直またはやや下流方向に、下流側では上流方向に進む傾向となった。また、基礎岩盤の動弾性係数が $10,000\text{N/mm}^2$ の時には、基礎岩盤を非線形条件とすることで、堤体下流面の亀裂進展長の低下が認められる。これは、堤体よりも強度の小さい基礎岩盤で亀裂が進展し易く、堤体に伝達されるエネルギーが減少するためと考えられる。以上のように、基礎岩盤の破壊を考慮することで、堤体に進展する亀裂が低減する結果が得られた。

5.2 堤体の損傷状態の比較

図-4 は、波形振幅倍率と図-3 に示すように求めた堤体のリガメント長の関係である。凡例中の線形/非線形は、基礎岩盤の解析条件を示している。波形振幅倍率の増加により、リガメント長はほぼ直線的に減少する傾向が認められる。本解析条件では、基礎岩盤を非線形条件とする場合は、線形条件とする場合よりもリガメント長は 10m 程度大きな値となり、この傾向には基礎岩盤の動弾性係数の依存は少ない結果が得られた。

6. まとめ

本報告では、堤体と基礎岩盤の引張破壊をスミアードクラックモデルを用いて考慮し、大規模地震動による重力式コンクリートダムに亀裂進展状況に着目した検討を行った。その結果、堤体の亀裂進展は基礎岩盤に亀裂が進展することにより減少し、基礎岩盤の動弾性係数等の物性値に依存する傾向が認められた。今後は、入力地震動や基礎岩盤の引張軟化特性を変化させ、基礎岩盤の亀裂進展方向と範囲について検討を行う予定である。

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)木全宏之，藤田 豊，堀井秀之，Mahmoud YAZDAHI：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 回年次学術講演会集，2009.9.
- 3)三浦房紀，沖中宏志：仮想仕事の原理に基づく粘性境界を用いた三次元構造物-地盤系の動的解析手法，土木学会論文集，第 404 号 /I-11，1989.4.
- 4)岩下友也，原 基樹，吉永寿幸，山口嘉一：短周期成分が卓越する地震動のダムに及ぼす影響，地震工学論文集，Vol.66，No.1，115-134，2010.

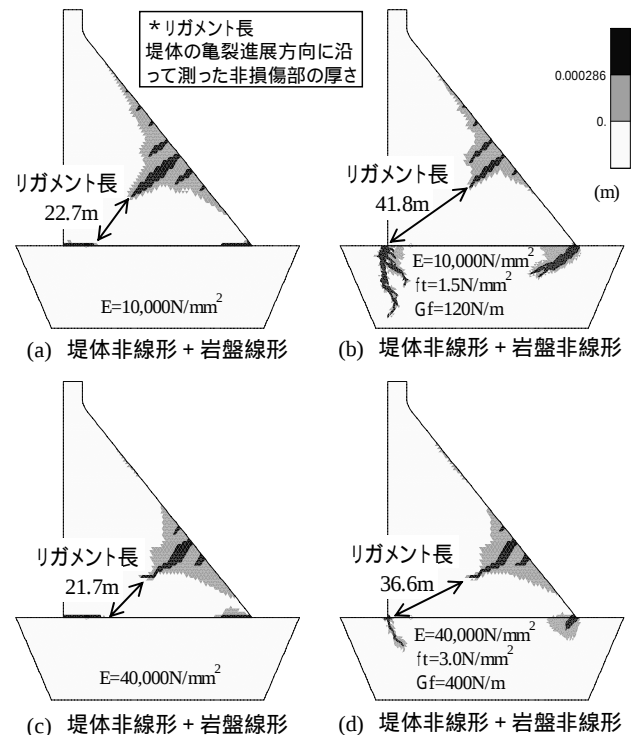


図-3 全解析時間における各要素の亀裂の最大開口幅の分布状況（波形振幅倍率：2.0 倍）

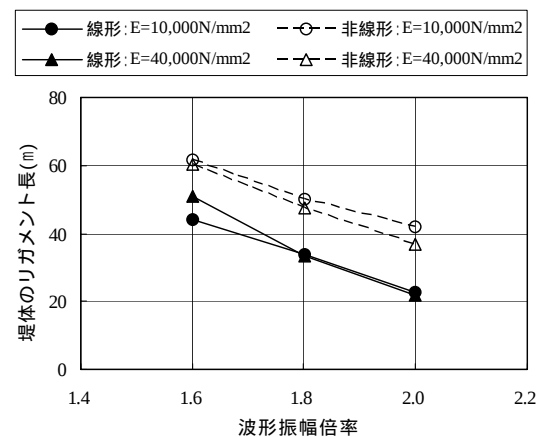


図-4 波形振幅倍率とリガメント長の関係