

引張軟化特性を考慮した重力式コンクリートダム基礎岩盤の地震時損傷

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、重力式コンクリートダムの大規模地震動に対する耐震性能照査では、堤体の損傷について離散型クラックモデル(ジョイント要素)や分布型クラックモデル(スミアドクラックモデル)により引張破壊を考慮する方法が用いられる。一方で、基礎岩盤は不連続性を有することからモデル化が困難であるため、基礎岩盤の損傷まで考慮した照査事例は少ない。筆者等は、基礎岩盤にスミアドクラックモデルを用いた動的解析を行い、堤体と基礎岩盤の引張亀裂進展について検討を行っている^{1),2)}。本報では、基礎岩盤の引張軟化特性と亀裂進展の関連について検討した結果について報告を行う。

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に作用させた。基礎岩盤の側面には自由地盤を設け、境界には仮想仕事の原理に基づく粘性境界を設けて領域外へのエネルギーの逸散を考慮した。堤体の要素は三角形要素とし、亀裂モデルはスミア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。

3. モデルの物性値

解析に用いた物性値を表-1 に示す。堤体の物性値は既往の解析^{1),2)}と同一とした。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。基礎岩盤の引張軟化特性のうち、引張強度と破壊エネルギーは堤体の値を超えない範囲で3条件想定した。引張軟化曲線は、スナップバック現象を考慮して単直線型を用いた。

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³⁾に合わせ、再度フーリエ逆変換により求めたものである。本解析では振幅倍率を1.8倍に増幅させた。図-2からも明らかなように、増幅後の入力地震動はその最大水平加速度が600galを超えるレベル2地震動である。

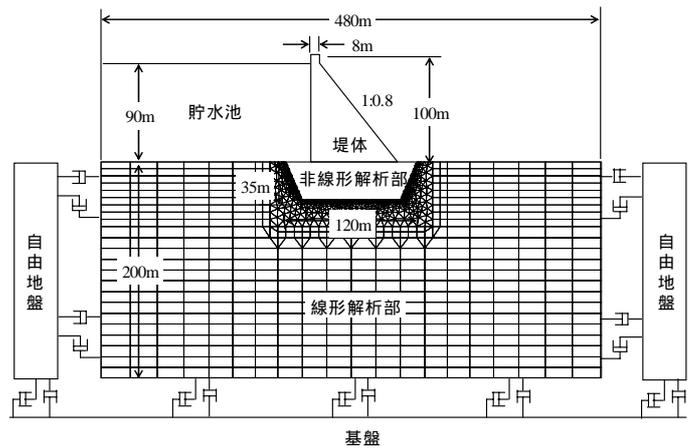


図-1 解析モデルの概要 (堤体と岩盤非線形解析部のメッシュは省略)

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		
ポアソン比	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	1.0	1.5	2.0
破壊エネルギーGf(N/m)	400	200	120, 200, 300	200

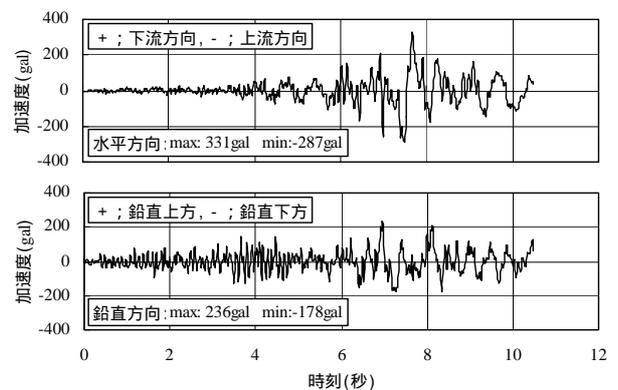


図-2 入力地震動の基本加速度波形

キーワード：重力式コンクリートダム 基礎岩盤 動的解析 引張軟化特性

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 TEL：029-879-6781 E-mail:k-mura44@pwri.go.jp

5. 解析結果

図-3は全解析時間における各要素の亀裂の最大開口幅の分布である。図中の灰色の部分には図-4に示す引張軟化曲線において相対的に亀裂の幅が小さく引張強度を有する要素の分布範囲(以下、微小開口部と呼ぶ)である。黒色の部分は相対的に亀裂幅が大きく引張強度を有しない要素の分布範囲(以下、完全開口部と呼ぶ)である。ここで、亀裂の分布範囲の深さが深くかつ遮水性上重要な上流部に当たる堤踵部に着目し、図-5の例に示すように亀裂の分布範囲の深さと幅を定義し、基礎岩盤の引張強度と破壊エネルギーとの関係を図-6のように整理した。引張強度が大きい場合は微小開口部が狭くなり完全開口部が局所化する。破壊エネルギーが大きい場合は完全開口部が減少して微小開口部の分散が起こる。よって、引張強度が大きく、破壊エネルギーが小さいほど亀裂は局所的に進展・完全開口する。この結果は、図-4から破壊エネルギーが一定の場合は引張強度の増加により相対的に粘り強さが低下することで完全開口と判定される要素が多くなり、引張強度が一定の場合は破壊エネルギーの増加により相対的に粘り強さが増加することで完全開口と判定される要素が減るためである。なお、基礎岩盤の亀裂は、堤踵部では鉛直からやや下流向きに、堤趾部では上流向きにほぼ共通して進展する。さらに、堤体の亀裂状態には顕著な変化は認められない。

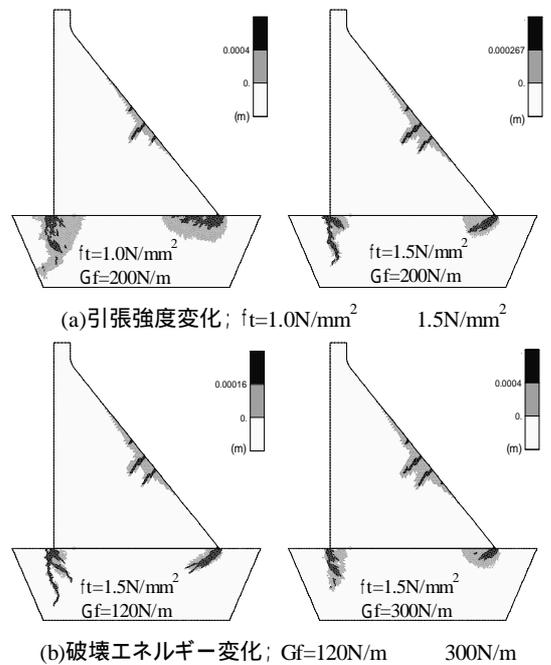


図-3 全解析時間における各要素の亀裂の最大開口幅の分布状況

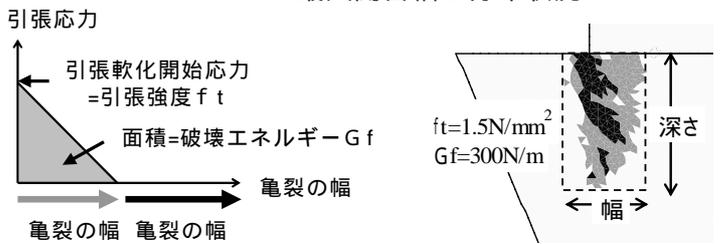


図-4 単直線型の引張軟化曲線

図-5 亀裂の分布範囲の定義(微小開口部)

6. まとめ

本報告では、重力式コンクリートダム基礎岩盤の損傷モデルとしてスミアドクラックモデルを用い、引張強度および破壊エネルギーの亀裂進展との関連について検討し、その結果として基礎岩盤の亀裂分布範囲や完全開口部は引張軟化特性により変化したが、亀裂の進展方向や堤体の亀裂状態には顕著な変化がないことがわかった。今後は、ダム堤敷部に弱層を含む不連続性岩盤の亀裂発生後の安全性について、異なるモデルを用いて検討を行いたい。

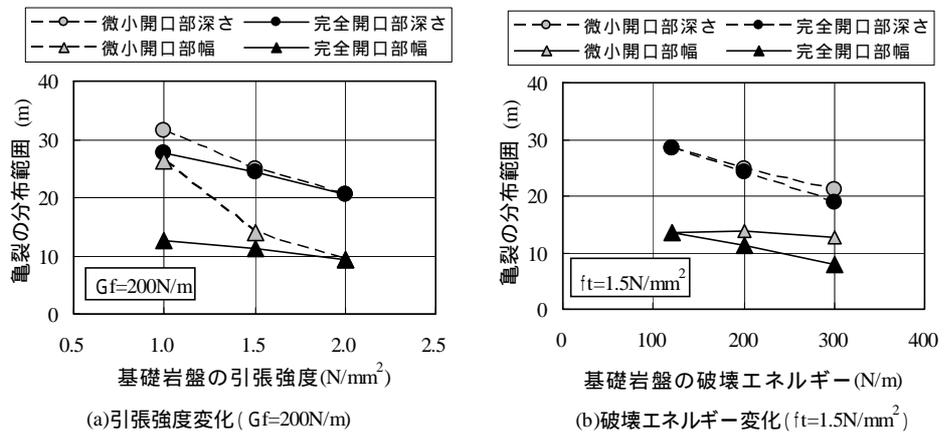


図-6 基礎岩盤の引張応力・破壊エネルギーと堤踵部の亀裂分布の関係

参考文献

- 1)村山邦彦,山口嘉一,岩下友也,小堀俊秀: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,土木学会第38回関東支部技術研究発表会,2011.3.
- 2)山口嘉一,村山邦彦,岩下友也,小堀俊秀:重力式コンクリートダムと基礎岩盤の亀裂進展に対する地震動の影響,土木学会第38回関東支部技術研究発表会,2011.3.
- 3)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.