

重力式コンクリートダム地震後補修対策効果の解析的検討

独立行政法人土木研究所 正会員 岩下友也, 黒目剛, 山口嘉一

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)」¹⁾では, レベル2地震動に対するダムの耐震性能として, 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. コンクリートダムについては, 引張クラックが生じる場合でも, ダム堤体の上下流面間にクラックが連続して堤体が分断しない程度であれば, 貯水機能は維持されると判断されるが, 地震後の損傷したダム堤体を妥当な経費と期間の範囲で修復を施すことが可能であることを照査する必要がある.

本稿では, 地震で損傷した重力式コンクリートダム堤体の耐震性能の回復のための適切な補修方法の検討を目的とし, 補修工法として 断面増厚工(コンクリート腹付け), アンカー工の2工法を取り上げ, 両工法による対策効果について数値解析的検討を行った.

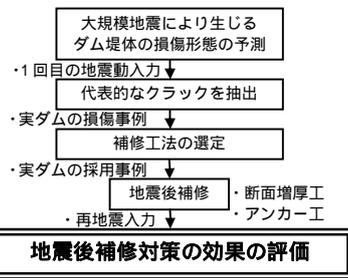


図-1 検討フロー

2. 検討概要

図-1に検討フローを示す. 3種類のダム堤体形状(図-2参照)と入力地震動の特性(位相, 加速度振幅)をパラメータとし, 堤体コンクリートの引張破壊を分布型ひび割れモデル

(smeared crack model)によりモデル化した非線形動的解析により, ダム堤体に発生する様々なクラック形態の推定を行った. 解析に用いた材料物性値を表-1に示す. 入力地震動は, ダムの照査用下限加速度応答スペクトル¹⁾に対し, 1995年兵庫県南部地震の際に観測された2ダムの地震動の位相特性を付与した加速度波形を用い, 加速度振幅を変化させて解析モデルに入力した.



図-2 解析モデル

表-1 解析に用いた材料物性値

材料物性	堤体	岩盤	貯水
単位容積質量 (kg/m ³)	2,300	2,300	1,000
弾性係数 E (N/mm ²)	29,000	40,000	
ポアソン比 ν	0.2	0.3	
減衰定数 h (%)	5	5	
	減衰マトリクス: [C(t)] = [K(t)]		
引張軟化開始応力 f _t (N/mm ²)	2.8		
破壊エネルギー G _F (N/m)	400		

解析結果から, 図-3に示す代表的なクラック発生形態(下流面, 堤頂部, フレット設置部)を抽出し, 本検討における補修の対象クラックとした.

本検討では, 補修工法として, 断面増厚工(上流面腹付け, 下流面腹付け)とアンカー工法の2工法を用いた. ダム堤体モデルに既存クラック(1回目の地震でクラックが発生した範囲の引張強度 = 0と設定)と補修工(断面増厚工, アンカー工)を設定し, 同じ地震動を再入力し, 地震後補修を行った後に再度地震を受けた場合における既存クラックの進展防止・抑制状況を検証することにより, 地震後補修による対策効果を検討した. なお, 本解析では, 腹付け厚さとプレストレス力を補修対策の度合いとして解析パラメータにした.

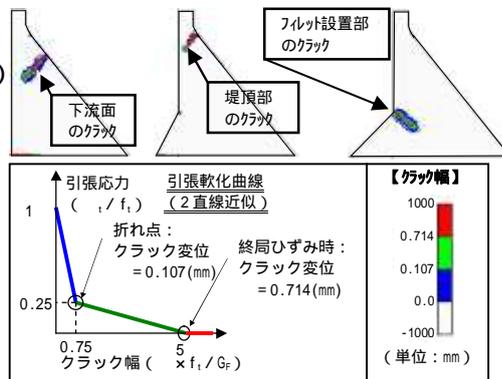


図-3 代表的なクラック(最大クラック変位コンター)

3. ダム堤体の地震後補修対策効果に関する検討

図-3に示す代表的なクラックを対象とした地震後補修の解析結果として, 表-2に補修後に再地震を受けた後のクラック図, および表-3に補修の度合い(クラック進展方向の断面増厚率, プレストレス力)とリガメント残存率(図-4参照)の関係を示す. ここに, リガメント残存率は, 図-4に示すクラック進展方向に測った堤体厚さのうちクラック未発生部分の割合を示すものであり, クラック発生による堤体分断に対する余裕度を示すものである. 表-3の各グラフ中の一点鎖線は, 1回目の地震で発生したクラックのリガメント残存率を示している. 表-3から, 補修後に再地震を受けた場合, 補修対策の度合いが大きければクラック進

キーワード コンクリートダム, レベル2地震動, 非線形解析, アンカー工, 断面増厚工, 耐震補強

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ TEL029-879-6781

表-2 地震後補修（再地震）の解析結果（クラック図）の例

クラック発生箇所と補修工法	クラック図
【モデル形状】フィレット無し 【クラック発生箇所】下流面 【補修工法】上流面腹付け	
【モデル形状】フィレット勾配 1:0.5 【クラック発生箇所】堤頂部 【補修工法】アンカー工	<p>【プレストレス力】別途実施した線形解析にて、クラック始端に相当する箇所発生した引張応力の合計Pを基準としてプレストレス力を導入。</p>
【モデル形状】フィレット勾配 1:1.0 【クラック発生箇所】フィレット設置部 【補修工法】下流面腹付け	

表-3 補修効果（リガメント残存率）

	フィレット無し形状モデル・下流面クラック	フィレット勾配 1:0.5 形状モデル・堤頂部クラック	フィレット勾配 1:1.0 形状モデル・フィレット設置部クラック	凡例
断面増厚工による補修				【断面増厚工による地震後補修】 ● 上流面腹付け ▲ 下流面腹付け
アンカー工による補修				【アンカー工による地震後補修】 ● アンカー工

展を防止あるいは抑制（一点鎖線から比してリガメント残存率が維持される、あるいはリガメント残存率の低下を小さくする）ことができることがわかる。上流面腹付けを行うことにより、直角三角形を基本とするダム堤体形状が構造的に安定的な台形に近付くため、クラック進展を抑制する効果が大きい。一方、下流面腹付けでは、上流面腹付けと同程度の断面追加ではクラック進展を抑制できない場合がある。アンカー工については、導入するプレストレス力が大きいほど既存クラックの開口量を抑制し、クラック進展を抑制する効果が大きくなる。

5. まとめ

堤体形状の異なる重力式コンクリートダムにおいて大規模地震により発生する代表的なクラック3種を対象として、各クラック種に対する腹付け工の厚さ及びアンカー工のプレストレス力の違いによる補修効果をリガメント残存率を用いて、概略的に定量的評価を行った。今後は、本検討結果や各工法の特徴を考慮し、各工法を組み合わせた補修対策についても検討する。

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

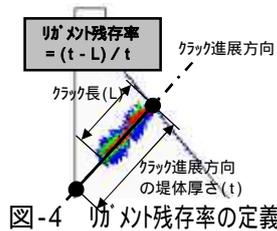


図-4 リガメント残存率の定義