

クラック進展解析を用いた重力式コンクリートダム の耐震補強検討

清水建設 正会員 新美勝之 正会員 木全宏之
 清水建設 正会員 宝示戸恒夫 正会員 藤田 豊
 土木研究所 正会員 佐々木 隆 正会員 金縄健一

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震以後、大規模地震時における土木構造物の耐震性の確認は、重要な課題になっている。ダムについても、震度法で想定した地震力を上回る大規模地震動に対し、安全性を確保することが求められており、数値解析により耐震性を評価しようという試みがなされている^{1),2)}。

著者らは、大規模地震時に重力式コンクリートダム堤体に発生する引張応力によるクラックの発生・進展挙動を精緻に追跡する手法として、コンクリートの引張軟化特性を考慮した動的非線形解析（以後、クラック進展解析と称する）を開発し、ダムの地震時挙動の把握を試みてきた^{3),4)}。その結果、ダムの形状、基礎岩盤、想定地震動などの条件によっては、クラックがかなりの規模まで進行することが分かってきた。

一方、耐震性を評価した結果、クラック進展による影響が大きいと判断された場合には、ダム堤体の耐震補強の必要性を検討することが考えられる。重力式コンクリートダムの補強効果に関しては、アンカー工による補強等を対象にした数値解析的、実験的検討例がある^{5),6)}が、アンカー工を含めダム毎の状況に応じて採用できる補強方法を具体的に検討していくことが必要であると考えられる。

以上の背景から、本検討では、重力式コンクリートダムのモデルケースを対象にして3種類の耐震補強方法を想定し、クラック進展解析を用いて耐震補強によるクラック低減効果について検討を行った。

2. クラック進展解析によるダムの地震時挙動

本検討では、モデルケースとして、堤高150mの国内最大級のダムに、国内既往最大級の内陸直下型地震が作用した場合を想定した。解析における諸条件を以下に示すが、これは参考文献1)に準じて設定したものである。

(1) 解析モデル

耐震補強を施す前の基本ケースの解析モデルを、図-1に示す。また、主な解析条件を表-1に、ダム堤体コンクリートの引張軟化構成則を図-2に示す。

(2) 入力地震動

入力地震動は、基礎岩盤表面で大崎スペクトルをターゲットスペクトルとして、マグニチュード8.0、震源距離25kmの地震を想定して作成した。地震応答スペクトルは、ダムの1次共振周波数帯域では、ほぼ様な加速度応答倍率となる周波数特性を持っており、補強に伴う共振周波数の変化が応答に及ぼす影響は小さいと考えられる。入力地震動の時刻歴波形を図-3に示す。

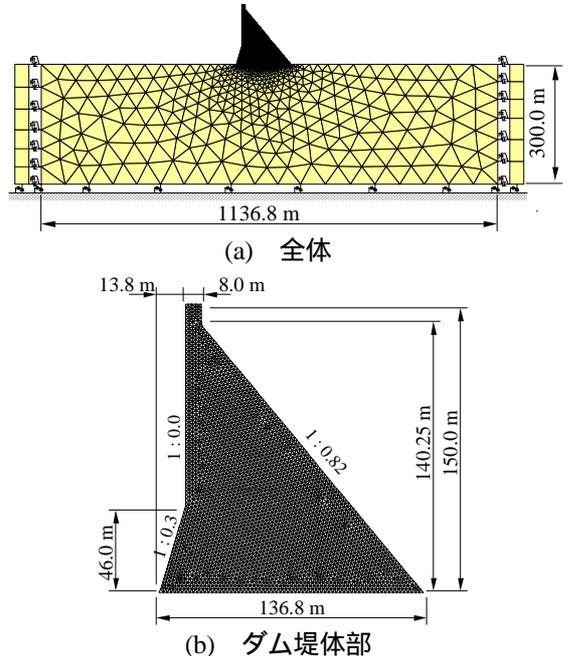


図-1 解析モデル（基本ケース）

表-1 主な解析条件

項目	ダム堤体	基礎岩盤
ヤング係数 E [GPa]	23	10
ポアソン比 ν	0.19	0.25
密度 γ [kg/m^3]	2400	2500
圧縮強度 f_c [MPa]	21.0	-
引張強度 f_t [MPa]	2.1	-
破壊エネルギー G_F [N/m]	365	-
1次モード減衰定数 h_1	0.05	0.05

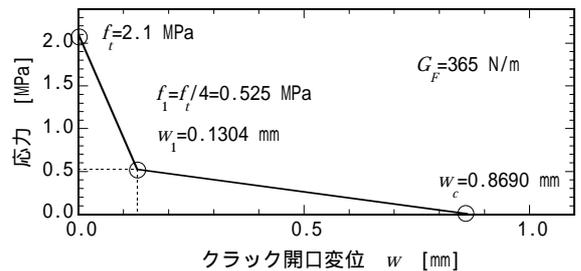


図-2 引張軟化構成則

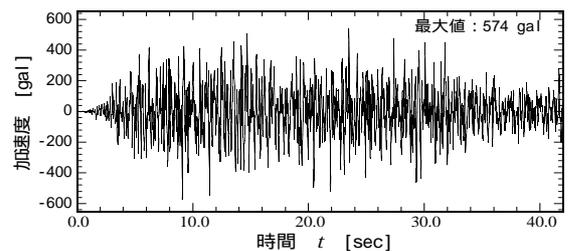


図-3 入力地震動

キーワード： 重力式コンクリートダム，クラック進展解析，耐震補強

連絡先： 〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2-3 シーバンスS館 清水建設土木事業本部設計部 03(5441)0598

(3) 基本ケースの解析結果

補強を施さない基本ケースでの、クラック最大進展時のクラック発生状況と最大主応力分布を、図-4 に示す。ダムの上流側のフィレット取付部および堤体底面からクラックが発生して進展している。

3. クラック進展解析による耐震補強効果の把握

(1) ダムの耐震補強方法

ダム堤体に発生するクラックを低減する目的で、下記の3種類の耐震補強を検討した。概念図を図-5 に示す。

表-2 検討した補強方法

No	補強方法	特徴
1	上流面増打コンクリート	フィレット部の応力集中緩和を図る 増打厚さ：13.8m（フィレット幅）
2	ポストテンションアンカー（併用）	上流側堤体底面のクラック発生位置にプレストレスを導入し引張応力低減仕様（1束あたり）：15.2mm×50本、公称断面積：6935mm ² 、初期張力：7830kN、剛性（パネ定数、自由長50m）：27.7kN/mm
3	下流面増打コンクリート	下流側勾配を1:1にするよう厚さ設定 ダムを運用したままでも施工可能

(2) 解析結果

解析結果より補強方法の効果は、以下のとおりである。

- (a) 補強案1では、フィレット部のクラック発生は抑制できたが、全体的に堤体の剛性が上がり、ロッキング変位が卓越し、底部で進展が大きくなった。
- (b) 補強案2では、上流増打コンクリートのみの場合に比較して、顕著な効果が見られない。これは、アンカー長が長いためにはばね剛性としては小さいためと考えられる。また、堤体コンクリート内のアンカー定着位置近傍では、新たに引張応力が発生している。
- (c) 補強案3では、フィレット部のクラックの発生が抑えられ、底部クラック進展長も無補強の基本ケースに比べ60%程度に低減でき、比較的效果が高い。

4. まとめ

クラック進展解析を用いて、耐震補強方法の効果の評価した。今回は、特定のダム断面を対象に、3種類の補強案のみの検討であり、また、補強の範囲や数量などの詳細は未検討のため定性的な評価に留まった。今後は他の方策も含めて、また入力地震動の周波数特性の影響なども考慮し、詳細な検討を進めていく。

謝辞

本研究を進めるに当たり、堀井秀之東京大学教授と内田善久東京電力グループマネージャーから貴重な御指導と御助言を賜った。ここに、記して深謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁、(社)電力土木技術協会：ダム耐震設計高度化調査報告書、平成12年度電力施設地震対策調査（発電設備耐震信頼性実証試験）、平成13年3月
- 2) 佐々木隆、金縄健一、山口嘉一：大規模地震時における重力式コンクリートダムのクラック進展に関する数値解析的検討、土木技術資料、Vol.45, No.6, pp.60-67、平成15年6月
- 3) 内田善久他：重力式コンクリートダムのクラック進展解析における減衰特性の影響について、土木学会地震工学論文集、Vol.27、

p_018, 平成15年12月

- 4) 木全宏之他：重力式コンクリートダムの動的クラック進展解析、ダム工学会研究発表会講演集、pp.14-16、平成15年12月
- 5) P.B.Morin, P.Leger and R. Tiwani: Seismic behavior of Post-tensioned Gravity Dams - Shake Table Experiments and Numerical Simulations, J.Structural Engineering, ASCE, Vol.128 No.2, pp.140-152, 2002
- 6) J.F.Hall, M.J.Dowling and B.El-Aidi: Defensive earthquake design of concrete gravity dams, Dam Engineering Vo. III, Issue 4, pp.249-263, 1992

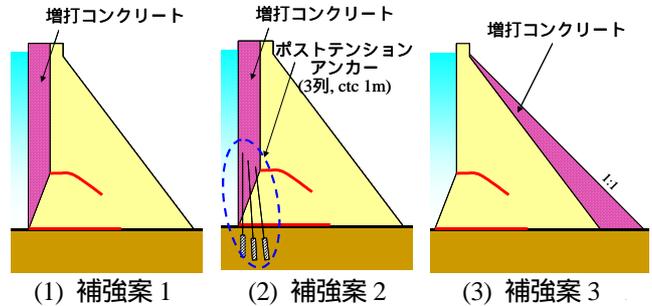


図-5 補強方法

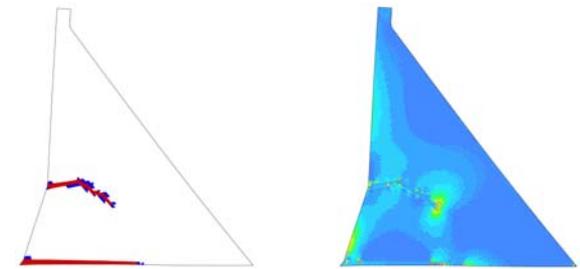
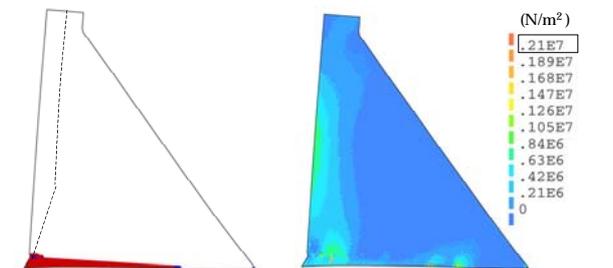
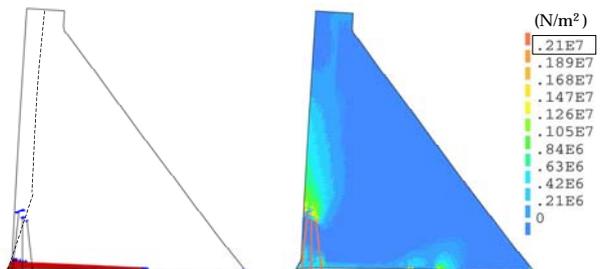


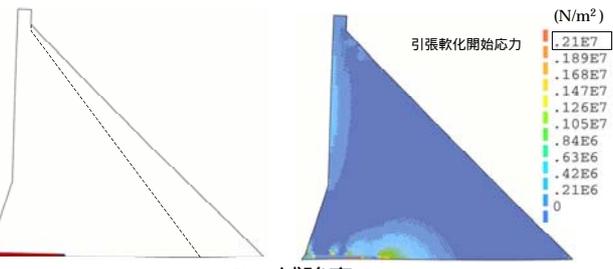
図-4 基本ケース解析結果（t=19.24sec）



(1) 補強案1



(2) 補強案2（アンカー：3ヶ所 - ctc 1m）



(3) 補強案3

図-6 耐震補強時のクラック発生状況と最大主応力分布