# 塑性損傷モデルによる重力式コンクリートダムのクラック進展解析に関する基礎的検討

国土技術政策総合研究所 正会員 佐藤弘行 正会員 平松大周 株式会社建設技術研究所 正会員〇小島裕之 正会員 山根 惇

## 1. はじめに

大規模地震に対するダムの耐震性能照査<sup>1)</sup>では、地震によるダムの損傷過程を考慮する場合があり、重力式コン クリートダムの照査では、クラック進展解析の手法としてスミアドクラックモデルによる地震応答解析が多く用い られる.スミアドクラックモデルによる解析については、模型振動実験に対する逆解析等の知見<sup>2)</sup>の蓄積により、 地震時における堤体の引張亀裂の発生・進展過程の推定手法として十分実用的であると考えられる.しかし、スミ アドクラックモデルによる解析では、地震後のダムの構造安定性評価指標となり得る塑性ひずみを考慮することは 現状では困難であること等を鑑みると、他の解析手法についての検討を進めることも重要であると考えられる.

そこで本稿では、塑性ひずみの考慮が可能で、且つ RC 構造物分野での使用実績もある塑性損傷モデルに着目し、 重力式コンクリートダムのクラック進展解析に塑性損傷モデルを用いた場合の基礎的な検討結果について報告する.

### 2. 解析手法

本検討ではスミアドクラックモデルと塑性 損傷モデルにより重力式コンクリートダム堤 体のクラック進展解析を行い、クラック分布・ 進展過程を比較した.本検討に用いたスミアド クラックモデル及び塑性損傷モデルの特徴を 表-1 に示す.塑性損傷モデルは塑性ひずみと 剛性低下を考慮できる弾塑性モデルであり、塑 性ひずみと剛性低下は図-1 に示す応力 σ 及び 損傷度 d<sub>t</sub>の関係より定義される.解析には有 限要素法汎用構造解析コード ISCEF<sup>3)</sup>を用いた.

#### 3. 解析条件

解析モデルは図-2に示す堤高100mの重力式 コンクリートダムとした.二次元有限要素によ り堤体-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,動水圧は非 圧縮性流体として流体要素により堤体に作用 させた.基礎岩盤の境界には粘性境界を設けて 領域外へのエネルギー逸散を考慮した.堤体の 要素は2.0m×2.0mの四角形要素を基本とした.

解析に用いた物性値は 100m 級の重力式コン クリートダムの一般的な値を考慮して表-2 に 示すとおり設定した. 塑性損傷モデルの解析パ ラメータの一つであるクラック完全開口時の 損傷度 d<sub>tu</sub>については,ダムコンクリートを対 象とした既往研究がないため, d<sub>tu</sub>=0.99(剛性は 損傷度に応じて低下), d<sub>tu</sub>=0(剛性は初期値で一 定)の2ケースを設定した.

入力地震動の加速度波形(図-3)は,1995年

#### 表-1 スミアドクラックモデルと塑性損傷モデルの特徴

スミアドクラックモデル	塑性損傷モデル
・軟化領域における弾性係数は原点指向型	・軟化領域における弾性係数は損傷度 dt 見
で算出される	合いで算出される
・上記により、塑性ひずみは考慮されない	・上記により、塑性ひずみは考慮される
・軟化領域において要素内にひび割れ面(多	・軟化領域において要素内にひび割れ面と
方向固定ひび割れ面)を想定する	いう概念はない





キーワード 重力式コンクリートダム,クラック進展解析,塑性損傷モデル,スミアドクラックモデル 連絡先 〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町 3-21-1 株式会社建設技術研究所 ダム部 TEL03-3668-0615 兵庫県南部地震時に一庫ダムで観測された地震動について、クラックが発生しやすく両モデルの比較が容易となるように上下流方向の最大加速度が 500gal 及び1000gal になるよう振幅調整を行ったものを使用した.

## 4. 解析結果

最大水平加速度 500gal の条件でのスミアドクラッ クモデル,塑性損傷モデル( $d_{tu}$ =0.99,  $d_{tu}$ =0)によるク ラック分布を図-4の上段に示す.図-4の上段をみると, 両モデルによるクラック分布はよく似ている.また, 塑性損傷モデルの  $d_{tu}$ =0.99 と  $d_{tu}$ =0のクラック分布は ほぼ同様となることから,塑性ひずみが小さい場合に は  $d_{tu}$ の影響は軽微であると考えられる.

図-4の下段に最大水平加速度1000galの条件でのス ミアドクラックモデル, 塑性損傷モデル(d<sub>m</sub>=0.99, d<sub>tu</sub>=0)によるクラック分布を示す. 図-4 の下段をみる と、両モデルによるクラック分布は若干の違いはある もののほぼ同じパターンとなっている. ここで, 塑性 損傷モデルの d<sub>tu</sub>=0.99 と d<sub>tu</sub>=0 のクラック分布につい ては,500gal での結果と比べると両者の間で差異が現 れることから, 塑性ひずみが大きい場合には dtu の影響 が生じることが推察される.最大水平加速度 1000gal の場合のクラック進展過程を分析するため、主なクラ ックの発生時刻におけるクラック開口履歴・変形図を 図-5 に整理した.図-527.10 秒まではクラック進展過 程は概ね同様であることがわかる.ただし,図-5③7.41 秒以降においてはクラック進展過程に差異がみられ, 特に塑性損傷モデルでは図-567.70秒において赤丸 囲みで示したクラックが発生しているが、スミアドク ラックモデルではそのクラックは発生していない.

## 5. まとめ

塑性損傷モデルとスミアドクラックモデルのクラッ ク分布はほぼ同様となり、特にクラック発生領域が大き くない場合には塑性損傷モデルによるクラック進展解 析の重力式コンクリートダムへの適用性は高いと考え られる.ただし、最大加速度が大きくなると、塑性損傷 モデルではスミアドクラックモデルに比ベクラックが 多方向に発生する等の傾向が認められたことから、これ についての原因及び改良策の検討を進めていくととも に、門柱等の他構造物への適用についても検討したい.

#### 【参考文献】

- 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.
- 例えば、佐々木隆、山口嘉一、高藤啓: 無筋コンクリートのクラック進展解析における解析パラメータに関する検討、ダム工学 Vo. 16, No. 4, pp282-293, 2006.
- 3) センチュリテクノ株式会社: ISCEF マニュアル, 2017.







※1 変形倍率は 250 倍 ※2 凡例は図-4 と同じ ※3 図中の丸囲みは当該時刻までに新たに発生した主なクラック 図-5 各時刻におけるクラック開口履歴・変形図(外力 1000gal)