

重力式コンクリートダム地震時クラック解析における非線形材料特性の影響に関する一考察

独立行政法人土木研究所 正会員 ○金縄健一 山口嘉一 佐々木隆

1. はじめに

現在コンクリートダムの設計は震度法により行われているが、震度法によって設計されたダムについては過去の地震においてダムの安全性に関わるような被害が発生していないことから、その設計手法の妥当性が認知されている。しかし、近年の大地震では土木構造物が大きな被害を受けていることから、ダムに関しても大地震に対する耐震性能を明確にしていくことが求められている。大地震における重力式コンクリートダムの被害の一つとして堤体コンクリートへのクラック発生が考えられ、ダムコンクリートの破壊物性研究、クラックを考慮したコンクリートダムの動的解析手法の研究が行われてきている^{1,2)}。本論文では、Smearred Cracking Model を用いた動的解析法により、重力式コンクリートダム地震時挙動解析を実施し、コンクリートの非線形材料特性がクラックの発生、進展に与える影響について基礎的な検討を行った結果を報告するものである。

2. 解析モデルと解析条件

解析モデルは図-1に示す堤高100mの重力式コンクリートダムである。静的な荷重として自重と静水圧のみを考慮した。解析に用いた基本とする材料物性値を表-1に示す。材料物性については、一般的なダムコンクリートの物性値、参考文献2)を参考にして粗骨材最大寸法150mmのコンクリートを想定して設定した。図-2に示す一直線による引張軟化曲線を用いて、固定ひび割れモデルで解析を行った。境界条件については、堤体底面は剛結とし、貯水の影響は非圧縮性流体仮定の付加質量マトリクスで考慮した。解析には汎用有限要素法解析プログラム“DIANA”を用い、入力地震動として1995年兵庫県南部地震時に一庫ダム下段監査廊で観測された加速度波形(図-3、水平最大加速度186gal)の振幅のみを引き伸ばして用いた(水平最大加速度450gal)。

3. 解析結果と考察

3.1. 地震時クラック発生位置

水平動入力のみで、破壊エネルギー300N/m、引張軟化開始応力2.5MPaの条件で解析をした場合のクラック発生位置を図-4に示す。これは、解析中に発生したクラックすべての位置を示したもので、黒塗要素にクラックが発生している。今回の解析では岩盤はモデル化していないため、底部付近は応力的に厳しい条件となっているため、その部分におけるクラックの進展が目立つ。図-4より、地震時には底部とフィレット取付位置付近にクラックが発生しやすいことが分かる。解析条件によっては、下流面にもクラックが発生する結果となる場合がある。図-4に示した○印の部分に着目し、その部分に発生するクラックをそれぞれA、Bとする。

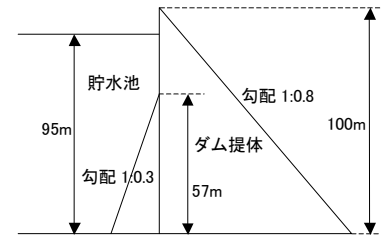


図-1 解析モデル

表-1 基本材料物性値

構成モデル	線形弾性-直線軟化
ヤング係数E(MPa)	3.0E+04
ポアソン比	0.2
1軸引張強度 f_t (MPa) (1軸引張軟化開始応力)	2.5
破壊エネルギーGf(N/m)	300
圧縮強度 f_c (MPa)	18.6
単位容積質量(kg/m ³)	2300
減衰定数(%)	10 (レイリー減衰1.3次)

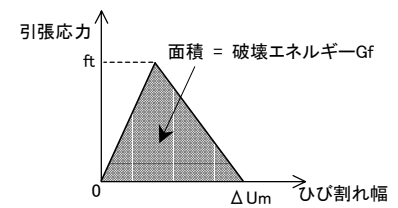


図-2 引張軟化曲線

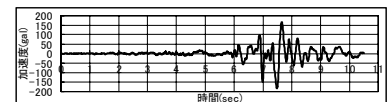


図-3 実測水平加速度波形

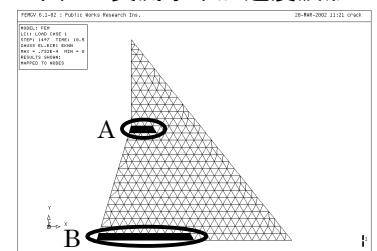


図-4 クラック発生位置図

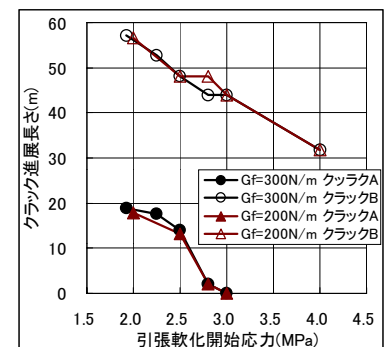


図-5 引張軟化開始応力とクラック進展長さの関係

【キーワード】地震動、クラック進展、ダム、Smearred Cracking Model

【連絡先】〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 Tel.0298-79-6781 Fax.0298-79-6737

3.2. 引張軟化開始応力と破壊エネルギーのクラック進展に与える影響度合

3.2.1. 引張軟化開始応力の影響

図-5は、引張軟化開始応力とクラック進展長さ(ダム表面からクラック先端までの最長距離)の関係であり、破壊エネルギーは200、300N/mの場合の結果を示した。図より、クラックBについてはクラック進展長さと引張軟化開始応力の間にはほぼ線形の関係があることが分かる。クラックAについては、引張軟化開始応力が大きくなると急激にクラック進展長さが短くなる結果となった。破壊エネルギー200N/mと300N/mの違いによる差はほとんど見られない。

3.2.2. 破壊エネルギーの影響

図-6は、破壊エネルギーとクラック進展長さの関係であり、引張軟化開始応力2.0、2.5MPaの場合の結果を示した。破壊エネルギーの増加にともないクラック進展長さは減少し、クラックが進展しにくくなっている。図より、引張軟化開始応力が小さいとクラック進展長さは大きい、破壊エネルギーの増加にともなってクラック進展長さが減少する程度についてはほぼ同じであることが分かる。

3.2.3. 引張軟化開始応力と破壊エネルギーの影響度合の比較

引張軟化開始応力2.5MPa、破壊エネルギー300N/mでのクラックA進展長さを基準として、クラック進展長さ、引張軟化開始応力、破壊エネルギーの変化率の関係を示したのが図-7である。図より引張軟化開始応力を変えた場合の方が傾きが急となり、破壊エネルギーよりクラック進展に与える影響がかなり大きいことが分かる。

3.3. 鉛直動を同時入力した際の引張軟化開始応力のクラック進展に与える影響

破壊エネルギー300N/m、水平とともに鉛直地震動(鉛直方向は一庫ダム監査廊で観測された鉛直方向実測波形(図-8、鉛直最大加速度63.6gal)に水平成分と同じ倍率で振幅のみを引き伸ばした波形(鉛直最大加速度156.4gal))を入力した際の引張軟化開始応力とクラック進展長さの関係を示したものが図-9である。図より、クラックBは水平動のみの時より鉛直動が加わるとクラック進展長さが長くなるもののその差は小さい。本解析に用いた波形についてはクラックの進展長さと引張軟化開始応力との関係は鉛直動の有無にかかわらず、ほぼ同様の線形関係にある。

4. まとめ

Smearred Cracking Modelを用いた重力式コンクリートダムの動的解析結果をまとめると以下のようなことになる。底部クラックについてクラック進展長さと引張軟化開始応力の間にはほぼ線形の関係がある。引張軟化開始応力が小さいとクラック進展長さは大きい、破壊エネルギーの増加にともなってクラック進展長さが減少する程度については引張軟化開始応力によらずほぼ同じである。また、引張軟化開始応力の方が破壊エネルギーよりクラック進展に与える影響が大きい。クラック進展長さに与える鉛直動の影響は小さく、鉛直動の有無にかかわらず、クラック進展長さと引張軟化開始応力はほぼ同様の線形関係にある。

【参考文献】

- 1) 張宏遠、大町達夫:重力式コンクリートダム-貯水系の地震時クラック解析のためのFE-BE手法、ダム工学、Vol.11 No.4、pp.266-274、2001.12.15.
- 2) ダム耐震設計高度化調査委員会:ダム耐震設計高度化調査報告書、資源エネルギー庁、電力土木技術協会、1997~2000

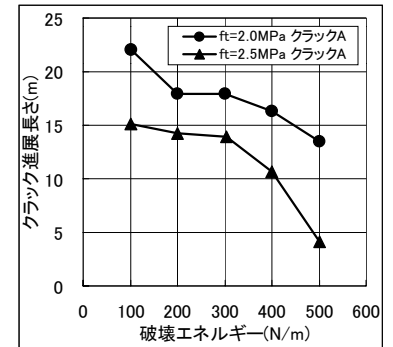


図-6 破壊エネルギーとクラック進展長さの関係

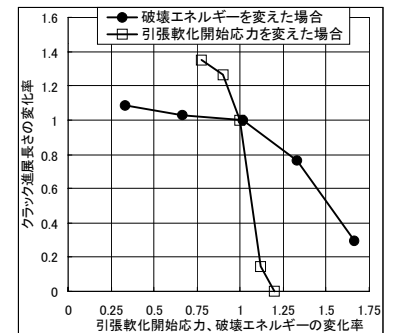


図-7 クラック進展長さの変化率と引張軟化開始応力、破壊エネルギーの変化率の関係

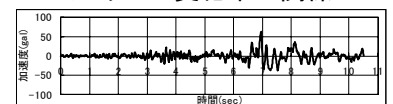


図-8 実測鉛直加速度波形

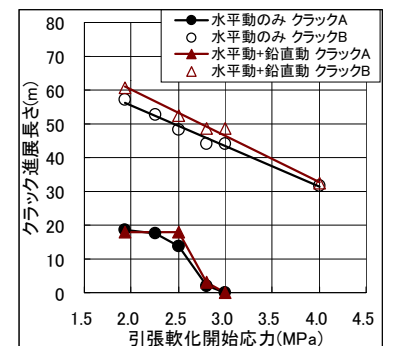


図-9 鉛直動も入力した際の引張軟化開始応力とクラック進展長さの関係