

重力式コンクリートダム地震時損傷度推定方法に関する一検討

独立行政法人土木研究所 正会員 ○佐々木隆、正会員 金縄健一、正会員 山口嘉一

1. はじめに

大地震時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のクラック発生があり¹⁾、その挙動を評価するためにクラック発生・進展を考慮した非線形動的解析法の研究が進められてきている²⁾。しかし、設定した材料物性が非線形解析結果へ与える影響が大きいこと³⁾、非線形解析では損傷モデルあるいは解析プログラムの違いにより解析結果が大きく異なる場合があることなど、ダムの安全性を評価するに当たっては解決すべき課題がある。一方、米国陸軍工兵隊においては通常の線形解析手法を用いた結果からダムの被害推定を行う手法の提案もなされている。そこで、本論文では、線形解析手法より被害推定を行う手法の可能性を探ることを目的とし、分散ひび割れモデルを用いたクラック進展解析（非線形動的解析）と線形動的解析手法による結果を比較することにより、線形解析結果から重力式コンクリートダムの損傷度（クラック長さ）を推定するための評価指標を検討した。

2. 解析モデルと解析条件

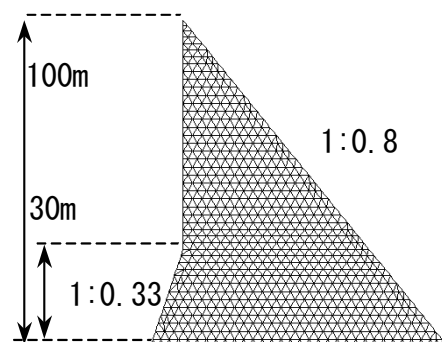
解析モデルは図－1に示す堤高100mの重力式コンクリートダムである。静的な荷重として自重と静水圧のみを考慮した。設定した材料物性値を表－1に示す。境界条件については、堤体底面は剛結とし、貯水の影響は非圧縮性流体仮定の付加質量マトリックスで考慮した。入力地震動としては、1995年兵庫県南部地震時に一庫ダム、権現ダム、箕面川ダムで観測された上下流方向水平地震波形を、表－2に示すように振幅のみを引き延ばして堤体底部より入力した。解析には汎用有限要素法解析プログラム“DIANA”を用いた。

表－1 材料物性値

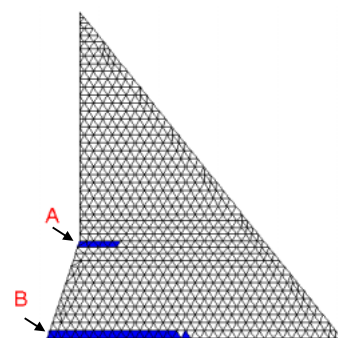
構成モデル	線形弾性-直線軟化
分散ひび割れモデル	固定ひび割れモデル
弾性係数(MPa)	3.00E+04
ポアソン比	0.2
引張軟化開始応力(MPa)	2.5
破壊エネルギー-Gf(N/m)	300
圧縮強度 f_c (MPa)	25.0
単位容積質量(kg/m ³)	2,300
減衰定数(%)	10（レイリー減衰、1,3次）

表－2 解析ケース

波形種類 (1995年兵庫県南部地震時計測波)	最大加速度(gal)
一庫ダム計測波	250、300、400
権現ダム計測波	400、500
箕面川ダム計測波	400、500



図－1 解析モデル



図－2 クラック発生位置

3. 解析結果と考察

3. 1 地震時クラック発生位置

図－2は、入力波を箕面川ダム波（最大加速度 500gal）としたケースのクラック進展解析による最終的なクラック発生位置図（発生位置：塗潰し要素、開始位置：A、B）である。大規模地震時には上流面の勾配変化点と堤体底部にクラックが発生しやすい。図－3は、同じ入力波に対する線形時刻歴解析で得られた点A、Bの引張側主応力時刻歴を示したものであるが、引張強度（引張軟化開始応力）を超える引張応力が数回発生しており、線形解析で大きな応力が発生している時刻付近において非線形解析でクラックが進展している。

キーワード：ダム、動的解析、クラック進展、地震動

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 線形解析結果に基づく堤体損傷評価指標の検討

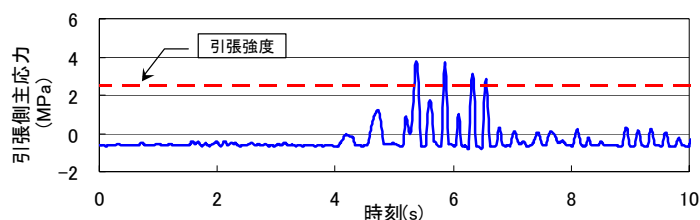
線形解析で引張強度を超える引張応力が発生する程度と非線形解析でのクラック長さを比較するため、勾配変化点（A点）、底部（B点）で発生する主応力時刻歴から、クラック長さと、引張強度を超える累積時間との関係（図－4（1））、引張強度を超える部分の総面積（[超過応力×時間]の積分値）との関係（図－4（2））、引張応力最大値との関係（図－4（3））、引張応力最大となる1波形で引張強度を超える部分の面積との関係（図－4（4））を求めた。図より、最終的に発生したクラック長さが同程度であっても引張強度を超える累積時間は同程度とはならず、引張強度を超える部分の総面積でもクラック長さを推定することが難しい。それに対し、引張応力最大値あるいは引張応力最大となる1波形で引張強度を超える部分の面積は、クラック長さと良い対応を示すことがわかった。これは、線形解析で引張強度を超える応力が発生する時刻付近で非線形解析でのクラックは徐々に進展するものの、そのクラック進展履歴によらず、最終的なクラック長さは線形解析で経験する最大応力の大きさとの関連が強いことを示すものである。

4. まとめ

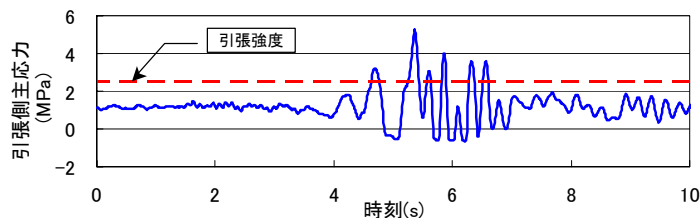
今回の検討結果では非線形解析に基づく簡便な評価指標による堤体損傷程度の推定の可能性があることが示唆される。今後、さらに地震波種類を数多く設定し、また種々のダム形状にも対応した適切な評価指標の検討を継続する必要がある。

参考文献

- 1) Chopra A.K. and Chakrabarti P.: The Koyna earthquake and the damage to Koyna Dam, Bull. Seism. Soc. Am., 63, pp.381-397, 1973
- 2) 例えば、Fenves, G. L.: Earthquake induced cracking in concrete gravity dams, Structures Congress '89: Seismic engineering: research and practice, American Society of Civil Engineers, pp.337-346, 1989
- 3) 金縄健一、山口嘉一、佐々木隆: 重力式コンクリートダムの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、第57回年次学術講演会講演概要集、I-679、2002

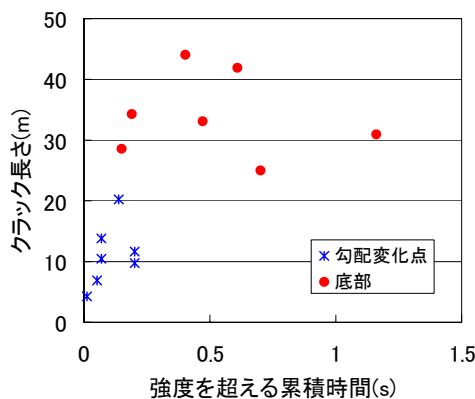


(a) 勾配変化点（図－2のA点）

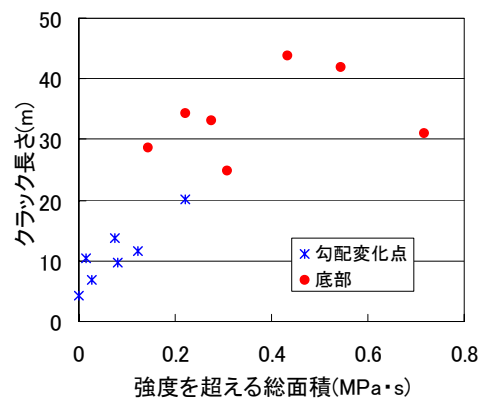


(b) 底部（図－2のB点）

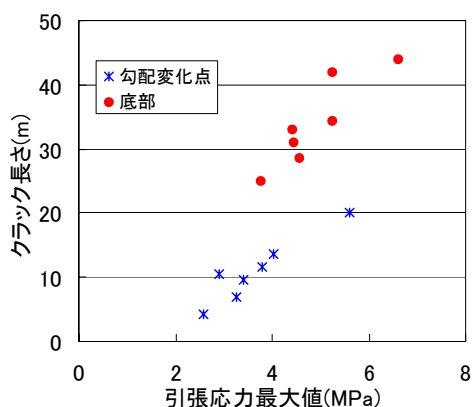
図－3 引張側主応力時刻歴



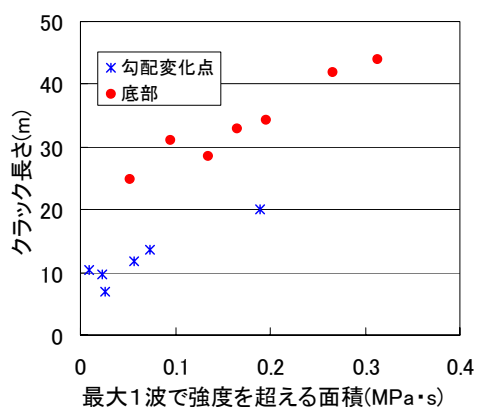
(1) 強度を超える累積時間との関係



(2) 強度を超える総面積との関係



(3) 応力最大値との関係



(4) 最大1波で強度を超える面積との関係

図－4 クラック進展長さ