

## アーチダムの地震応答における減衰定数の影響

国土技術政策総合研究所 正会員 ○平松 大周、佐藤 弘行、金銅 将史

## 1. 概要

アーチ式コンクリートダム(以下アーチダム)の大規模地震に対する耐震性能を合理的に照査するには、地震時応答を左右する減衰特性を適切に考慮することが重要と考えられる。しかし、国内のアーチダムでは大規模地震による強震観測例がほとんどなく、強震時の応答記録に基づく減衰特性の同定は難しい。このため中小規模の地震記録を用いた再現解析事例<sup>1)</sup>などを参考に堤体の減衰定数を5%程度に設定することが多いが、減衰定数の大きさは加速度レベルに依存するとの指摘もある<sup>2)</sup>。そこで、本報ではFEM動的解析により堤体の減衰定数の違いが大規模地震時のアーチダムの堤体応答に及ぼす影響を調べた。そして、海外のアーチダムでの強震記録も含めた地震観測記録における加速度応答倍率(天端/基礎)に着目し、アーチダムの強震時の減衰特性について考察した。

## 2. 解析方法

(1)線形動的解析、(2)継目の開閉・すべりの非線形挙動を考慮した解析(継目非線形解析)、(3)継目の非線形性に加えてスミアドクラックモデルにより堤体コンクリートの引張軟化も考慮した解析(継目・材料非線形解析)の3種類の解析手法により、堤体減衰定数の違いがアーチダムの地震時応答に及ぼす影響を調べた。解析には図-1に示す堤体・貯水・岩盤の連成モデルを用いた。解析物性値は表-1の値を用い、上記(1)～(3)の各解析で堤体の減衰定数を変化させた。なお、減衰はレーリー減衰を用いた。また(2)・(3)の解析では継目の開口・すべりを考慮するため、文献<sup>3)</sup>を参考に横継目および周辺継目の位置に図-2に示す応力-ひずみ関係を有するジョイント要素を配置し、文献<sup>1)</sup>を参考に横継目で1%、周辺継目で10%の減衰を考慮した。入力地震動はダムの照査用下限加速度応答スペクトル<sup>4)</sup>とし、種波は賀祥波(2000年鳥取県西部地震 M7.3,賀祥ダム観測波形)を用いた。

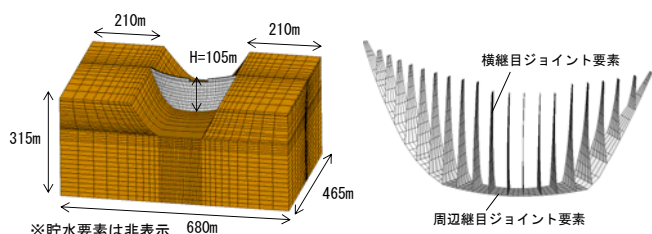


図-1 解析モデル

表-1 解析物性値

|     | 単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> ) | 弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比 | 引張強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 減衰定数 (%) |
|-----|-----------------------------|---------------------------|-------|---------------------------|----------|
| 堤体  | 24.5                        | 45600                     | 0.2   | 3.3                       | 5~20     |
| 岩盤  | 26.5                        | 32500                     | 0.25  | -                         | 5        |
| 貯水池 | 9.8                         | 圧縮性流体 (c=1472m/s)         |       |                           |          |

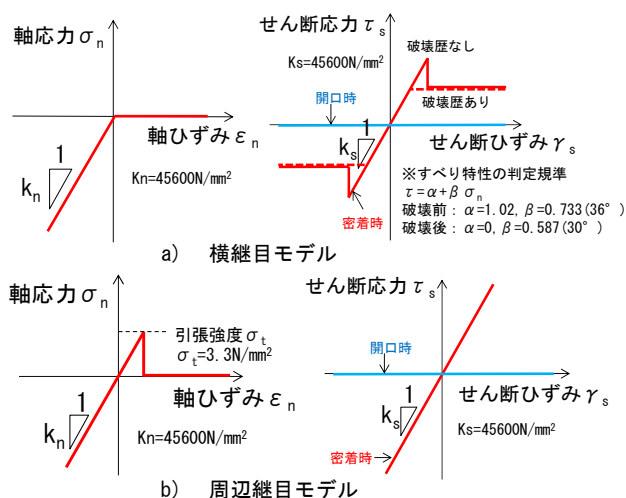


図-2 ジョイント部力学モデル

## 3. 解析結果

解析結果から求めたモデルダムの上下流方向最大加速度応答倍率(天端/基礎)と減衰定数の関係を図-3に示す。継目非線形解析の応答倍率は線形解析と比較して若干小さい値となった。継目・材料非線形解析の応答倍率が高いのは引張軟化に伴う局所的な加速度増加の影響があるものと思われる。また、堤体の最大主応力の最大値と減衰定数の関係を図-4に示す。継目非線形解析ではジョイントの開口に伴う応力解放が生じるため、上流面・下流面ともに引張応力が線形解析より低減している。減衰定数を5%,15%とした継目非線形および継目・材料非線形解析結果の比較を図-5に示す。図中a)の最大主応力、図中b)の引張軟化領域ともに減衰15%のケースは5%のケースに比べ大幅に小さくなっており、アーチダムの地震応答解析では減衰定数が重要なパラメータであることを示している。

キーワード：アーチダム、耐震性能照査、減衰定数、加速度応答倍率

連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市旭1番 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部大規模河川構造物研究室 TEL:029-864-4733

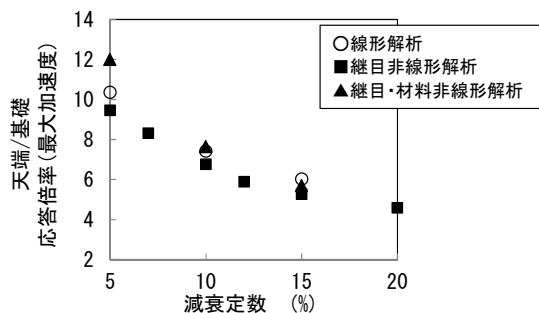


図-3 減衰定数-加速度応答倍率

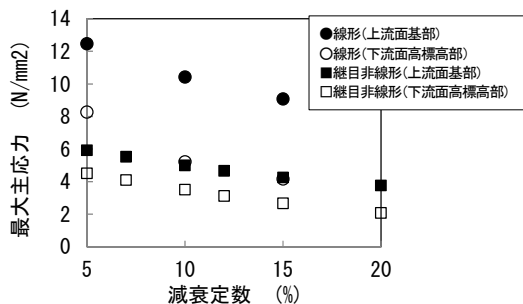
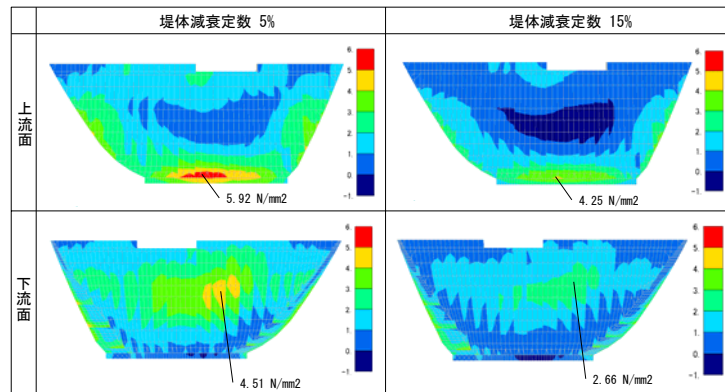
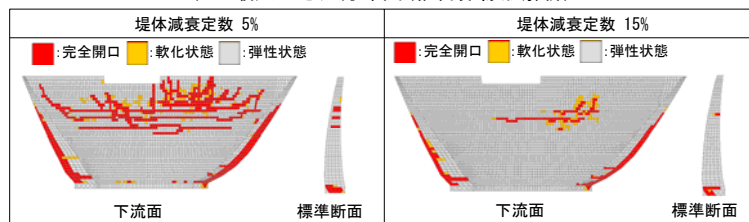


図-4 減衰定数-堤体最大主応力



a) 最大主応力分布図(継目非線形解析)



b) 引張軟化領域の分布図(継目・材料非線形解析)

図-5 解析結果

#### 4. 既往地震記録(加速度応答倍率)との比較

アーチダムで観測された既往地震記録<sup>1),5)~7)</sup>より基礎部の最大加速度と上下流方向の加速度応答倍率(天端/基礎)の関係を整理した結果を図-6に示す。数十gal程度の加速度レベルでは応答倍率のばらつきが大きく、10倍を超える記録も見られる。一方、基礎で100gal以上の観測記録が得られているが、米国Pacoimaダムの強震記録(基礎最大加速度480gal、応答倍率4~5倍)では、数十gal程度の加速度レベルでの記録と比べ応答倍率が小さくなっている。これは、強震時には

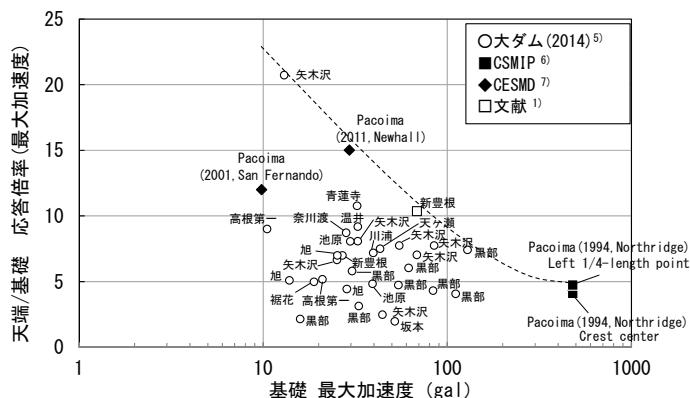


図-6 基礎最大加速度と加速度応答倍率の関係

ジョイント部の非線形挙動等による減衰が加わることによる堤体応答の低減を示している可能性がある。なお、この考えに基づき、図-6中に付記した応答倍率の上限(破線)を考慮して、前述の解析で考慮した入力地震動の加速度レベル(基礎部で300gal程度)に対する応答倍率を推定すると5倍~6倍程度となる。そして、図-3からこの応答倍率に対応する減衰定数を読みとると十数%程度となり、一般に用いられる値(5%程度)より大きくなる。解析で用いた横継目のモデルは開口時の剛性をゼロとしているが、実際の横継目には堤体の一体化を確保するためにシアキーが設けられている。開口量が極端に大きくならず、キーの噛み合いにより応力が伝達される状態でブロック間(横継目)に僅かな相対変位が生じれば、接触部の摩擦によるエネルギー消費が生じることが考えられ、強震時のアーチダムの挙動を精度よく再現するには、この点も考慮して適切な減衰を考慮する必要があると考えられる。

#### 5. まとめ

アーチダムの地震応答解析においては、減衰定数が加速度応答や発生応力に及ぼす影響が大きい。耐震性能照査をより合理的に行うためには、加速度レベルに応じた減衰を適切に考慮することが重要と考えられる。

【参考文献】1)有賀義明ほか：強震時のジョイントの非連続的挙動を考慮したアーチダムの三次元動的解析に関する研究，土木学会論文集，No.759，I-67，2004。2)上田稔ほか：アーチダムの地震観測記録などから求めた減衰定数，第24回地震工学研究発表会講演論文集，1997。3)西内達雄ほか：鉛直方向の施工ジョイント部での離接を考慮したアーチダムの常時挙動解析，土木学会論文集E，Vol.62，No.4，2006。4)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。5)日本大ダム会議：Acceleration Records on Dams and Foundations No.3，2014。6)California Department of Conservation：CSMIP Strong-Motion Records from the Northridge, California Earthquake of January 17, 1994, Report No.OSMS 94-07，1994。7)Center for Engineering Strong Motion Data(<https://www.strongmotioncenter.org/>)