

常時微動・地震動観測による高経年化したアーチダムの動特性（その3）
—高密度観測と有限要素解析による振動特性の精緻な把握—

日本大学 正会員 ○仲村 成貴， 日本大学 正会員 塩尻 弘雄
宮城大学 正会員 上島 照幸， 弘前大学 フェロー会員 有賀 義明

1. はじめに

ダムの構造健全性手法を検討するための資料を得ることを目的とし、高経年化した実在アーチダムにおいて常時微動や地震動、堤体温度、気温の長期継続観測を実施している¹⁾。一方、ダムの構造健全性を検討するためには精緻なモデルによる検討が不可欠であることから、本研究では、測点を高密度に配置した常時微動観測（以降、高密度観測と記す）と、その結果を表現する3次元有限要素モデルの作成を目的とした。

2. 高密度観測の概要

図1に対象ダムの平面図と測点を示す。文献2)で報告した観測では左岸アーチを主な観測対象としており、ダム全体系の振動特性を十分に把握できなかったため、今回は兩岸アーチ天端上に測点を設けた。センサーには固有振動数1Hzの動コイル型速度計を用い、サンプリング間隔5ms、ローパスフィルタの遮断振動数40Hzとして約2時間連続して全測点同時に常時微動を観測した。

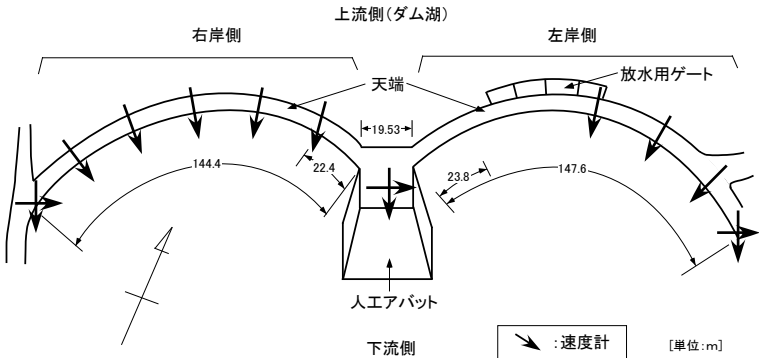


図1 ダム平面図と測点位置

3. 3次元有限要素モデル

堤体と基礎岩盤をモデル化の対象とした。モデル図を図2に示す。岩盤部分の大きさが堤体挙動に影響を及ぼさないように、堤体を中心として左右岸ダム軸方向は堤頂長の約3倍の900m、上下流方向は堤高の約2.5倍の300m、高さ方向は堤高の約2.5倍の182mをモデル化の範囲とした。ダム上流表面については、モデルの節点と対応した貯水位を設定できるように要素分割した。モデルに用いた要素は四面体、五面体、六面体の線形要素であり、総要素数は109,658(ダム堤体48,674、貯水部60,984)、総節点数は97,814(ダム堤体60,984、貯水部57,192)である。また、初期値として用いた静的加力下の代表的なコンクリートと基礎岩盤の材料特性を表1に示す。ダムの両岸は安山岩やデイサイトを中心とした堅固な岩盤である。本研究ではダム堤体の振動モードに着目しているため、岩盤については剛性のみを考慮した。なお、解析にはFEMLEEGを使用した。

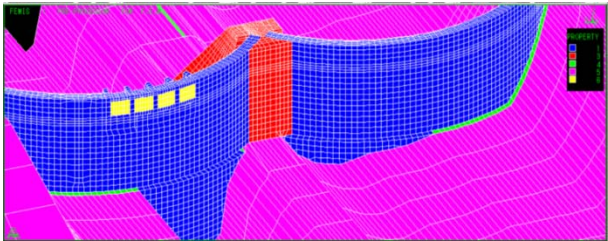


図2 解析モデル

表1 材料特性

図2中の色	材質	弾性係数(kN/m ²)	ポアソン比	密度(t/m ³)
青	コンクリート	0.241 × 10 ⁸	0.19	2.47
赤	コンクリート	0.241 × 10 ⁸	0.19	2.36
黄緑	グラウト注入部	0.241 × 10 ⁸	0.19	2.47
ピンク	岩盤	0.120 × 10 ⁸	0.20	-
黄	ゲート	2.06 × 10 ⁹	0.19	-

4. 高密度観測の結果

実稼働モード解析によって振動特性を同定した。観測記録を振動数領域に変換し、多点参照型の直交多項式法を適用して得られた固有振動数を表2に、モード形を図3に示す。固有振動数についてはパワースペクトルのピーク振動数および文献2)と一致し、それらに対応するダム全体のモード形を把握できた。

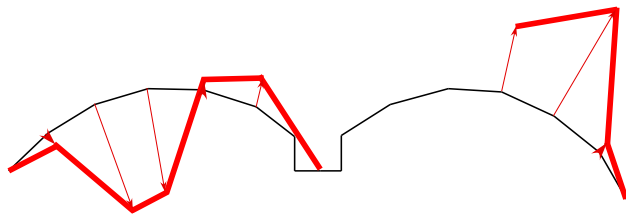
キーワード 常時微動観測，3次元有限要素モデル，振動特性，同定，アーチダム

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部土木工学科 TEL 03-3259-0689

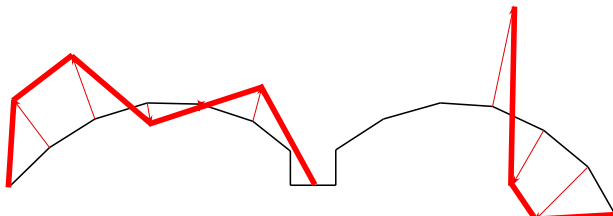
表2 固有振動数

モード次数	高密度観測	長期観測 ¹⁾	数値モデル	モード形状※
1次	—	6.9Hz	6.91Hz	対称1次
3次	7.90Hz	—	7.95Hz	逆対称2次
7次	10.9Hz	—	10.98Hz	逆対称3次
—	14.1Hz	—	—	逆対称4次

※ダム全体系のモード形状

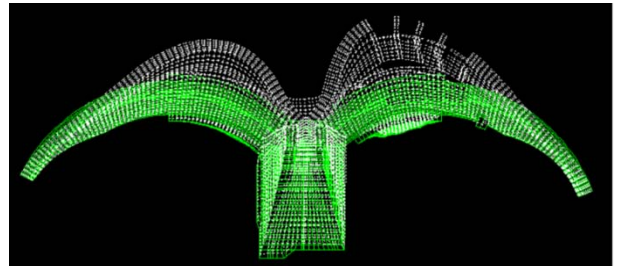


(1) 逆対称2次モード

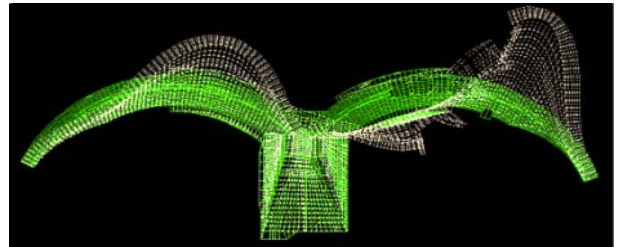


(2) 逆対称3次モード

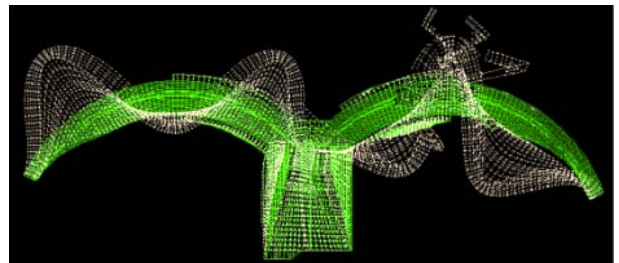
図3 モード形(高密度観測)



(1) 対称1次モード



(2) 逆対称2次モード



(3) 逆対称3次モード

図4 モード形(数値モデル)

5. 数値モデルの固有値解析結果

高密度観測から得られた固有振動数とモード形を表現できるように、表1に示したモデルの材料特性を変化させて検討した。変化させたパラメータはダムと岩盤の弾性係数である。結果として、表1に示した初期値に対して、コンクリート(赤色と青色の部分)の弾性係数を54%増、岩盤(ピンク色の部分)の弾性係数を25%増とすることで、観測結果を表現することができた。得られた固有振動数とモード形を表2と図4に示す。なお、1次固有振動数については高密度観測では抽出できなかったため、別途実施している長期継続観測結果¹⁾を参照した。逆対称2, 3次について、観測結果と極めてよく一致した固有振動数とモード形が得られた。

6. おわりに

高密度に測点配置した常時微動観測を用いてダム全体系における複数のモードを抽出し、その観測結果と一致する3次元有限要素モデルを作成することができた。健全性評価を検討するためのベンチマークとなる資料を得ることができた。

謝辞 本振動観測の実施にあたっては、(社)東北建設協会・技術開発支援制度より支援を受けていること、宮城県仙台地方ダム総合事務所からはフィールドの提供を受けていること、また研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究C(課題番号: 2356076. 研究代表者: 上島照幸)によっていることを付記致します。数値モデルの作成にあたり、日本工営(株)から提供いただいたデータをベースとして検討を行いました。現地観測およびデータ処理は元日本大学学生・田代靖和氏と柳沢千晶氏、数値計算は同・李睿氏と飯塚正実氏にご協力いただきました。関係各位に御礼申し上げます。

参考文献 1)上島照幸・金澤健司・村上弘太・仲村成貴・塩尻弘雄・有賀義明: 常時微動・地震動の長期継続観測による高経年化したアーチダムの振動特性同定と2011年東北地方太平洋沖地震時のダムの振動挙動, 第31回土木学会地震工学研究発表会講演論文集, 1-073, 2011, 2)仲村成貴, 上島照幸, 塩尻弘雄: 常時微動・地震観測による高経年化したアーチダムの動特性(その1) —高密度観測に基づく動特性の同定結果—, 土木学会第66回年次学術講演会, I-661, 2011