

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6)

ー3次元有限要素モデルにおける岩盤の境界条件の検討ー

日本大学 正会員 ○仲村 成貴, 元日本大学学生 大湊 周作
 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

著者らは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て、常時微動の長期継続観測¹⁾および測点を高密度に配置した高密度観測²⁾を実施し、観測結果を表現できる精緻な3次元有限要素モデルの作成を検討している²⁾³⁾。本稿では、岩盤境界のモデリング条件を検討することを目的とし、解析モデルにおける岩盤の質量の有無と岩盤境界条件がダムの振動特性に与える影響について、インパルス応答解析を実施した結果について報告する。

2. 解析モデルと固有値解析結果³⁾

(1) 解析モデル

本検討ではダム堤体と基礎岩盤をモデル化の対象とした。図1に解析モデル構造図を示す。モデル化の範囲は、左右岸ダム軸方向は堤頂長の約3倍、上下流方向は堤高の約3.6倍、高さ方向は堤高の約2.2倍とした。要素には、四面体、五面体、六面体を用いた。総要素数は合計47,858(堤体17,296,岩盤30,562)である。表1に解析モデルの条件を示す。岩盤質量を無視する条件は、岩盤の密度を限りなく小さくすることとした。なお、解析にはTDAP IIIを使用した。

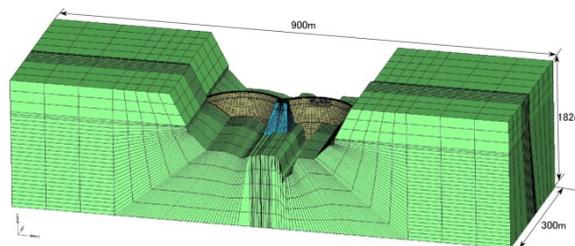


図1 解析モデル構造図

表1 モデル条件

モデル	岩盤質量	岩盤境界条件
Model 1	無視	固定
Model 2	考慮	固定
Model 3	考慮	粘性

(2) 固有値解析による検討結果

Model 1では、観測から得られた固有振動数とモード形に、モデルの固有値解析結果が合うように、ダム堤体コンクリートと岩盤の弾性係数を同定した。Model 2は、Model 1と同じ材料物性値を用い、かつ岩盤質量を考慮したモデルである。材料特性を表2に示す。Model 1, 2の固有値解析から得られた固有振動数を表3、モード形を図2に示す。Model 1では比較的低次で観測結果に対応したダム堤体の振動モードが得られた。一方、Model 2では低次に岩盤の振動モードが多数現れ、高次にダム堤体の振動モードが得られた。

表2 材料特性

材質	弾性係数 (kN/m ²)	ポアソン比	密度 (t/m ³)
コンクリート (ダム堤体)	3.41×10 ⁸	0.19	2.47
コンクリート (スラストブロック)	3.41×10 ⁸	0.19	2.47
グラウト注入部	1.50×10 ⁸	0.19	2.00
岩盤	1.50×10 ⁸	0.20	2.00
ゲート	2.06×10 ⁹	0.19	7.80

3. インパルス応答解析を用いた振動特性の検討

岩盤境界条件の影響を検討するために Model 1, 2, 3 を用い、インパルス応答解析で得られるピーク振動数が、常時微動観測結果または固有値解析から得られた固有振動数を再現できているかを検討した。それぞれのモデルについて、右岸アーチ天端のほぼ中央の位置にインパルス波を入力した。応答解析には、解析時間を $T = 40.96s$ 、時間間隔を $\Delta t = 0.01s$ とし、Newmark β 法を適用した。解析結果の一例として、右岸アーチ天端の岩盤寄りに対応する位置でのフーリエ振幅スペクトルを図3に示す。また、フーリエ振幅スペクトルから読み取ったピーク振動数を表3に示す。Model 1のピーク振動数は、固有値解析から得られた1次固有振動数とほぼ同じ値が得られた。Model 2の場合は Model 1 と比べてピークが非常に多く現れており、岩盤質量モデル化の

キーワード 3次元有限要素モデル, 岩盤, 境界条件, アーチダム, 振動特性

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8 日本大学理工学部まちづくり工学科 TEL 03-3259-0689

表 3 固有振動数とピーク振動数

固有値解析				インパルス応答解析						観測値	
Model 1		Model 2		Model 1		Model 2		Model 3		モード形	振動数
次数	振動数	次数	振動数	次数	振動数	次数	振動数	次数	振動数		
1次	6.87 Hz	19次	6.89 Hz	1次	6.76 Hz	7次	6.75 Hz	1次	6.97 Hz	対称1次	6.80 Hz
2次	7.24 Hz	22次	7.13 Hz	2次	7.11 Hz	8次	7.05 Hz	2次	7.81 Hz	-	-
3次	7.97 Hz	33次	8.10 Hz	3次	7.81 Hz	10次	7.68 Hz	3次	8.57 Hz	逆対称2次	7.90 Hz
4次	8.23 Hz	35次	8.17 Hz	4次	8.06 Hz	11次	7.95 Hz	4次	9.56 Hz	-	-
5次	9.59 Hz	61次	9.69 Hz	5次	9.30 Hz	18次	9.14 Hz	5次	10.5 Hz	-	-
6次	9.68 Hz	63次	9.76 Hz	6次	9.42 Hz	19次	9.35 Hz	6次	11.2 Hz	-	-
7次	10.9 Hz	89次	11.1 Hz	7次	10.5 Hz	24次	10.5 Hz	7次	12.3 Hz	逆対称3次	10.9 Hz

影響を受けていると考えられる。一方、Model 3 の場合は、Model 2 と比べてピークの数が増加しており、1 次ピーク振動数は観測値から得られた 1 次固有振動数と非常に近い値を示した。これは、粘性境界により岩盤境界からの反射波が抑えられたと考えられる。また、Model 1 と Model 3 の 1 次ピーク振動数は、固有値解析から得られた 1 次固有振動数とほぼ同じ値を示す。しかし、Model 3 から得られたフーリエ振幅スペクトルは起伏が小さく、ピークを判断するのに注意が必要であった。この結果より、インパルス応答法によって、より一般的な境界条件、岩盤条件で固有振動数を求めることが可能であるが、ピークの判定法のさらなる検討が望ましいと考えられる。

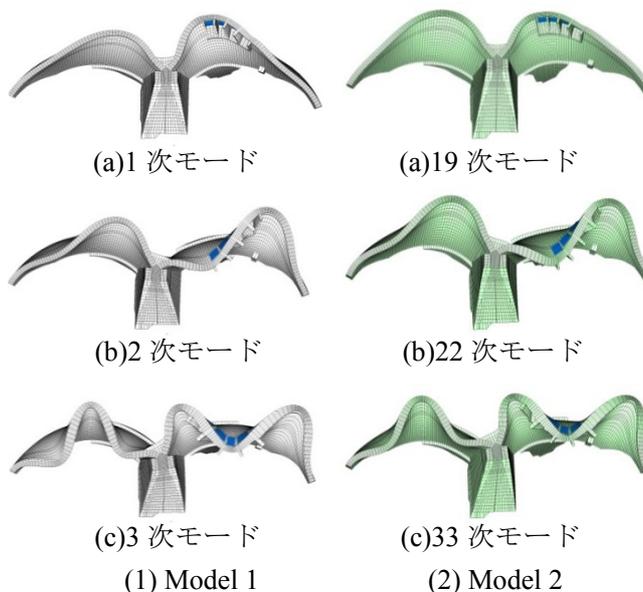


図 2 モード形

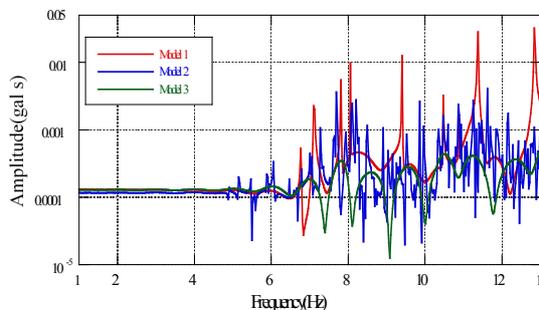


図 3 フーリエ振幅スペクトル

4. 結論

実在アーチダムの 3 次元有限要素モデル化における岩盤境界について検討した。粘性境界を用いたモデルのインパルス応答は、ピークの数が増加し、観測記録から得られた 1 次固有振動数とほぼ同じ値が得られた。しかし、得られた振幅が穏やかであり、ピークの判断に注意を要した。

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、仙台市大倉川土地改良区管理下にある建物の一角を借用して観測機器を設置させて頂いていること、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: 23560576) によっていることを付記致します。また、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。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, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.4, pp.I_186-I_194, 2012., 2) 仲村成貴, 塩尻弘雄, 上島照幸, 有賀義明: 常時微動観測と三次元有限要素解析に基づく実在アーチダムの振動特性把握, 土木学会第 32 回地震工学研究発表会論文集, ID 3-362, 2012., 3) 大湊周作, 仲村成貴, 塩尻弘雄, 鈴木順一, 上島照幸, 有賀義明: ダム堤体に対する岩盤部の影響を考慮したアーチダムの振動特性, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会論文集, CD-ROM, 2013.