

東北地方太平洋沖地震の地震観測結果を踏まえたアーチダムの動的変形特性の評価

- 弘前大学 学生会員 ○早坂 友宏
弘前大学 F10-会員 有賀 義明
弘前大学 非会員 川上 和貴
宮城大学 正会員 上島 照幸
日本大学 正会員 仲村 成貴
日本大学 正会員 塩尻 弘雄

1. まえがき

仙台市を流れる大倉川に建設された大倉ダム（仙台環境開発大倉ダム）は、我が国で唯一のダブルアーチダムである。ダブルアーチダムは、図-1 に示したように、2つのアーチダムがスラストブロックを介して連結された、複合構造型のダムである。このダムでは、2011 年東北地方太平洋沖地震の際にダム天端で強震動が観測され、それに基づいてダムの固有振動数についての検討が行われている¹⁾。そこで、実地震観測データに基づいて評価された固有振動数を踏まえ、三次元解析モデルを用いた固有値解析を行い、実ダムの動的変形特性（動的せん断剛性）について基本的な評価を行った。

2. 固有値解析による動的変形特性の評価

2.1 評価対象

評価対象とした大倉ダム（管理：宮城県、竣工 1961 年）は、右岸側アーチダム（以下、右岸ダム）の堤高 42m、左岸側アーチダム（以下、左岸ダム）の堤高 82m、全体の堤頂長 323m、全体の堤体積 22.6 万 m³であり、洪水調節、上水道、灌漑用水、工業用水、発電を目的とした多目的ダムである。左岸ダムの天端には、放流設備があり、4 門の鋼製ローラーゲート（高さ 7.55m、幅 8.86m）が設置されている。

2.2 固有値解析に用いた解析モデル

ダムの動的変形特性を同定するための固有値解析に用いた三次元解析モデルを図-2 に示す。図-2 (1)は、左岸ダムのみをモデル化した、左岸ダム単独モデルであり、図-2 (2)は、左岸ダムと右岸ダムを連成させた、連成モデルである。これらの2種類の解析モデルを設定した理由は、固有値解析によりダムの動的変形特性を同定する際にどのような解析モデルが妥当かを検討するためである。解析モデルの境界条件は、いずれの解析モデルでも底面境界を固定境界とした。また、固有値解析では、表-1 に示した物性値を使用した。

2.3 固有値解析の目標値とした左岸ダムの固有振動数

大倉ダムでは 2011 年東北地方太平洋地震の本震（3 月 11 日）や余震（4 月 7 日）の際に左岸ダムの天端で

地震動が観測され、それらのデータからダムの固有振動数に関する知見が得られている¹⁾。その結果を踏まえ、ここでは、表-2 に示したように、固有値解析で再現するための固有振動数の目標値を設定した。



図-1 大倉ダムの全景

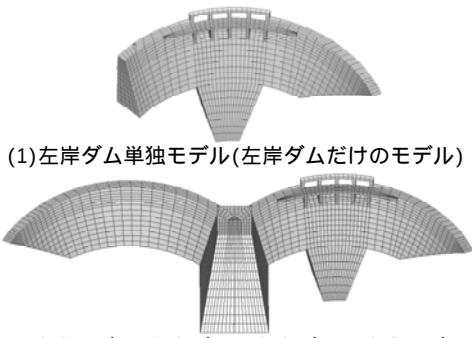


図-2 固有値解析に用いた解析モデル

表-1 固有値解析に用いた動的物性値

項 目	ダムコンクリート
動的せん断剛性：Gd	固有値解析により同定
密 度：ρ	2.40 (t/m ³)
動ポアソン比：νd	0.20

表-2 固有値解析の目標値とした左岸ダムの固有振動数

時 期	左岸ダムの固有振動数（目標値）
本震前の微動時	7.0 (Hz)
3 月 11 日の本震時，Amax = 626gal	5.8 (Hz)
本震後の微動時	7.0 (Hz)
4 月 7 日の余震時，Amax = 430gal	6.4 (Hz)
余震後の微動時	7.2 (Hz)

キーワード：ダブルアーチダム，東北地方太平洋沖地震，動的せん断剛性，固有値解析， 同定

連絡先：〒036-8561 弘前市文京町 3， 弘前大学大学院理工学研究科地球環境学コース Tel・Fax 0172-39-3608

2.4 解析結果

本震前，本震，本震後，余震，余震後のそれぞれの状態の固有振動数が再現されるように動的せん断剛性を評価した結果を表-3に示す．本震時の固有振動数 5.8Hz に対応するダムの動的せん断剛性は 6000N/mm^2 ，余震時 (4/7) の 6.4Hz に対しては 7310N/mm^2 ，余震後の微動時の 7.2Hz に対しては 9250N/mm^2 となった．動的せん断剛性を 6000N/mm^2 とした時の左岸ダム単独モデルと連成モデルの固有値解析結果の比較を表-4に示す．図-3には1次モードを，図-4には2次モードを示す．動的せん断剛性を 6000N/mm^2 とした場合，1次の固有振動数は，左岸ダムは 5.80Hz，右岸ダムは 5.94Hz，スラストブロックは 13.73Hz となった．図-5は，左岸ダムの天端に位置する放流施設に着目した振動モードである．図-5より放流施設の固有振動数は 12.1Hz 程度であると考察された．

3. あとがき

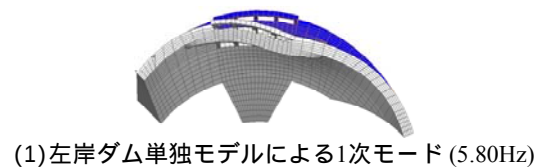
解析に先立ち，連成モデルを用いた場合は連成効果による低振動数のモードが出てくるものと予想したが，今回の検討では，1次モードに関しては単独モデルと連成モデルとで同様な評価結果となった．

表-3 固有値解析による動的せん断剛性の同定結果

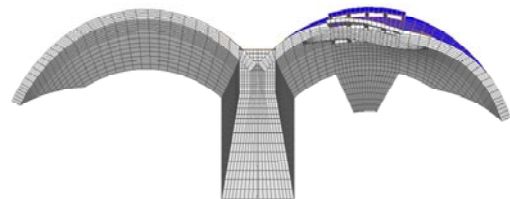
時 期	左岸ダムの固有振動数 (目標値)	固有値解析で同定した動的せん断剛性
本震前の微動時	7.0 (Hz)	8740 (N/mm^2)
3月11日の本震時 $A_{\max}=626\text{gal}$	5.8 (Hz)	6000 (N/mm^2)
本震後の微動時	7.0 (Hz)	8740 (N/mm^2)
4月7日の余震時 $A_{\max}=430\text{gal}$	6.4 (Hz)	7310 (N/mm^2)
余震後の微動時	7.2 (Hz)	9250 (N/mm^2)

表-4 動的せん断剛性を 6000N/mm^2 とした時の解析モデルによる固有値解析結果の比較

次数	左岸ダムの単独モデル	左岸ダムと右岸ダムの連成モデル
1	5.80 Hz	5.79 Hz
2	5.94 Hz	5.94 Hz
3	7.64 Hz	6.03 Hz
4	9.88 Hz	6.49 Hz
5	12.08 Hz	7.81 Hz
6	12.69 Hz	8.53 Hz
7	14.01 Hz	9.83 Hz
8	14.40 Hz	10.35 Hz
9	15.15 Hz	10.91 Hz
10	16.37 Hz	11.70 Hz
11	—	12.12 Hz
12	—	13.13 Hz

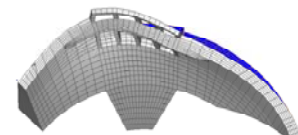


(1)左岸ダム単独モデルによる1次モード (5.80Hz)

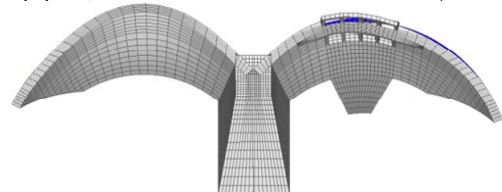


(2)連成モデルによる1次モード (5.79Hz)

図-3 $G_d=6000\text{N/mm}^2$ とした時の1次モード

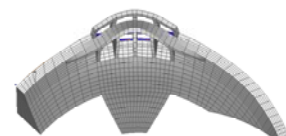


(1)左岸ダム単独モデルによる2次モード (5.94Hz)

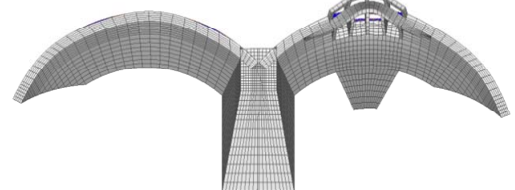


(2)連成モデルによる2次モード (5.94Hz)

図-4 $G_d=6000\text{N/mm}^2$ とした時の2次モード



(1)左岸ダム単独モデルによる5次モード (12.08Hz)



(2)連成モデルによる11次モード (12.12Hz)

図-5 $G_d=6000\text{N/mm}^2$ とした時の放流施設の振動特性

謝辞

本研究の実施に際しては，(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いただいていることを記して，感謝の意を表します。

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挙動と 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(地震工学論文集第 31-b 巻)，_186- _194, 2012