

地震観測および常時微動計測による頭首工の固有振動数の推定 Estimation of natural frequency of headworks using earthquake observation and microtremor measurement

○渡嘉敷勝*, 浅野 勇*, 森 充広*, 川上昭彦*, 川邊翔平*, 黒田清一郎*

TOKASHIKI Masaru, ASANO Isamu, MORI Mitsuhiko, KAWAKAMI Akihiko, KAWABE Shohei
and KURODA Seiichiro

1. はじめに

構造物の健全度診断の一つの手法として、振動計測を用いて構造物の振動特性を把握する研究が数多く行われている¹⁾。振動特性の変化を把握することで地震や経年劣化により発生する構造物の損傷の有無を評価することが可能となる。これらは、目視診断では得られない情報を含み、将来的な頭首工等の機能診断に活用が期待される。

本論文では、実頭首工において地震観測および常時微動計測により1次モードの固有振動数を推定した結果について報告する。

2. 計測方法

計測対象とした頭首工は、茨城県つくばみらい市に位置する福岡堰（1971年竣工）である。福岡堰は、シェル構造ローラーゲート（純径間28.75m×扉高4.15m）2門と固定堰で構成される堰長270mの複合堰である。**Fig. 1**に示すように左岸堰柱の基部（以下、Base）および操作室内（以下、Top）に速度型地震計を設置して計測した。速度型地震計はChongqing Geolocal instrument factory製のCDJ-S2C-3（固有周波数2Hz、3成分）を使用し、データロガーは白山工業製のLS-7000XTを使用した。計測期間は、2015/02/09～02/27とし、サンプリング周波数は200Hzとした。

計測期間中に記録されたデータより、a)地震（中震動）、b)地震（小震動）、c)常時微動の3種類のデータを抽出した。地震（中震動）データは、**Table 1**に示す9事象であり、Baseにおける堰軸方向の最大速度が0.05cm/s以上のデータとした。地震（中震動）における応答波形の例を**Fig. 2**に示す。地震（小震動）データは、同じく最大速度が0.01cm/s以上、

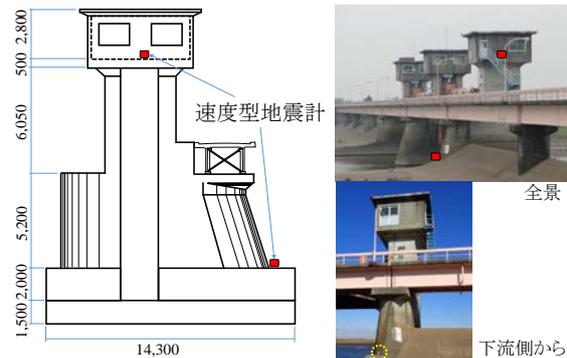


Fig. 1 左岸堰柱の概要および速度型地震計位置
Overview of left pier and placement of geophones

Table 1 対象頭首工での主要な地震観測事象
Major seismic events observed at the headworks

発生年月日	発生時刻	発生地域	気象庁マグニチュードMj
2015/02/11	15:22	茨城県南部	3.2
2015/02/15	09:14	茨城県沖	4.6
2015/02/17	02:47	千葉県北西部	3.7
2015/02/17	08:06	三陸沖	6.9
2015/02/17	13:46	岩手県沖	5.7
2015/02/17	16:20	茨城県沖	4.2
2015/02/20	13:25	三陸沖	6.1
2015/02/25	17:58	茨城県沖	4.1
2015/02/26	04:39	茨城県沖	3.8

0.05cm/s未満の13事象のデータとした。これらの地震時データは、地震動の影響時間により116～600秒を抽出した。常時微動データは、人工的な震動が少ないと考えられる午前1時から4時の間で地震が発生していない連続した20～60分のデータを51区間抽出した。地震発生の確認は、防災科学技術研究所のHi-net高感度地震観測網のつくば南観測点における連続波形画像により実施した。

分析は、抽出したデータの始点から10秒区間をフーリエ変換し、9.9秒のオーバーラップでデータの終点まで順次フーリエ変換を実施して求めたフーリエスペクトルを平均化し

* (独) 農研機構 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering

キーワード：頭首工，地震，常時微動，固有振動数

た。また、Top のフーリエスペクトルを Base のフーリエスペクトルで除したスペクトル比も求め、全データ区間で平均化した。そして、求められたスペクトル比のピークを検出し、堰軸方向における 1 次モードの固有振動数とした。フーリエスペクトルおよびスペクトル比の例を Fig. 3 に示す。

なお、ファイバーモデルによる数値解析を用いて固有振動数を推定した。作成したファイバーモデルは、簡易な独立堰柱モデルとし、ゲートおよび管理橋の荷重、そして、固定堰との接続は考慮されていない。

3. 結果および考察

Fig. 4 に堰軸方向の推定 1 次固有振動数のプロットを、また、Table 2 に Fig. 4 のデータ区別の平均値と標準偏差を示した。平均値は大きな順に、地震（中震動）の 7.23Hz、常時微動の 7.07Hz、地震（小震動）の 6.95Hz であった。また、ファイバーモデルの固有値解析では、堰軸方向の 1 次固有振動数は 6.82Hz と推定され、振動計測から推定された固有振動数とほぼ同程度であった。このため、振動計測による固有振動数の推定は、頭首工においても有効であると考えられる。

Fig. 4 および Table 2 から、常時微動データから求めた固有振動数は地震動から求めた固有振動数よりばらつきが小さく、分析に使用できるデータが多数収集できることがわかる。常時微動データを用いた分析は、使用可能なデータ数が多く、分析結果の質が高い点で地震データを用いた分析に比較して有効性が高いと考えられる。

4. 今後の課題

データの精査を進めて常時微動に基づく頭首工の固有振動数の推定値へ影響を及ぼす要因を検討するとともに、振動モードおよび減衰定数についての分析を進める予定である。

謝辞：頭首工の振動計測に際しては、福岡堰土地改良区の理事長はじめ職員の方々に多くのご支援をいただいた。また、計測データの分析にあたり、(独)防災科学技術研究所の Hi-net 高感度地震観測網の連続波形画像を参照した。ここに記して謝意を表す。

参考文献 1) 例えば、中島ら (2010)：常時微動に基づく独立橋脚および橋梁完成系の振動特性の把握、土木学会構造工学論文集, Vol.56A, pp. 305-314.

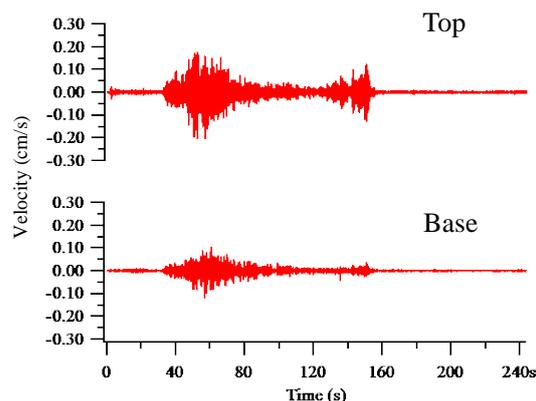


Fig. 2 応答波形の例 (2/15 茨城県沖地震)
Example of response waveform at earthquake

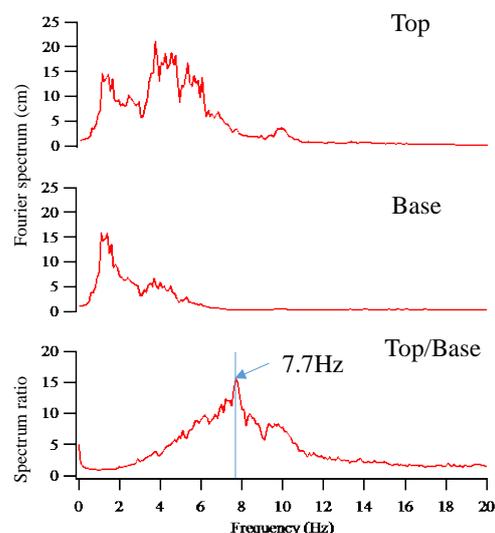


Fig. 3 フーリエスペクトルとスペクトル比の例
(2/15 茨城県沖地震)
Example of Fourier spectrum and spectrum ratio

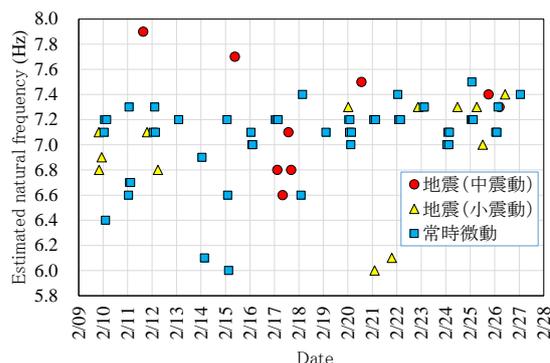


Fig. 4 堰軸方向の推定固有振動数
Estimated natural frequency of weir axis direction

Table 2 推定固有振動数の平均値と標準偏差
Mean and standard deviation of natural frequency

データ区分	平均 (Hz)	標準偏差 σ (Hz)
地震 (中震動)	7.23	0.44
地震 (小震動)	6.95	0.45
常時微動	7.07	0.30
全体	7.07	0.35