

沿岸構造物における固有振動数を用いた機能診断方法の検討

日本ミクニヤ株式会社 正会員     ○藤田 孝康  
東海大学大学院 学生会員 齋藤 将貴  
丸山 敏生  
東海大学 正会員 笠井 哲郎

1. はじめに

高度経済成長期以降に集中的に整備された様々なインフラは、今後一斉に老朽化することが懸念され、適切な対応が求められている<sup>1)</sup>。沿岸構造物の中で、その主要施設である岸壁が今後 20 年で供用開始後 50 年以上を経過する施設が全体の半数以上になるなど、施設の老朽化が進行することが報告されている。これらの港湾施設の基礎部はその大部分が地中または海中にあることもあり、老朽化を確認する点検でも目視に頼っている部分が多く、海中部は潜水を伴い海水の濁りや付着物等によってその労力も大きい。膨大に存在する港湾施設の基礎部を診断する方法を簡略化することは、今後の維持管理を進める上で重要であると考えられる。前年度の報告では基礎部欠陥の有無を室内試験において評価できる可能性があることを示した<sup>2)</sup>。

そこで本研究では、港湾施設の基礎洗掘等を上部構造物の固有振動数の変化から評価できる手法を検討し、さらに 2 点同時計測を行い、その変位量の差からロッキング中心を明らかにすることで、基礎洗掘を評価できる手法の有効性を検討した。

2. 実験概要

2. 1 測定機器と供試体

測定機器は、速度計(携帯用振動計 SPC-51A, (株)東京測振社製)を用いて測定した。供試体は、漁港施設におけるブロック防波堤を想定して、400×500×600mm のコンクリート供試体(質量: 270Kg)を作製した。供試体の使用材料および配合は、表-1, 2 の通りである。

表-1 使用材料配合

|      | 種類           | 記号 | 物性または主成分                                          |
|------|--------------|----|---------------------------------------------------|
| セメント | 普通ポルトランドセメント | C  | 密度: 3.16g/cm <sup>3</sup>                         |
| 細骨材  | 菊川支流産山砂      | S  | 密度: 2.59g/cm <sup>3</sup> , 吸水率: 2.18%            |
| 粗骨材  | 青梅産砕石        | G  | 密度: 2.70g/cm <sup>3</sup> , 吸水率: 0.62% 最大寸法: 20mm |
| 混和材料 | 高性能AE減水剤     | SP | アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤                                |
|      | AE助剤         | AE | マイクローア202                                         |

表-2 示方配合

| W/C (%) | Gmax (mm) | 目標スランプ (cm) | 目標空気量 (%) | s/a  | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     | 混和剤 (C×%) |       |
|---------|-----------|-------------|-----------|------|--------------------------|-----|-----|-----|-----------|-------|
|         |           |             |           |      | W                        | C   | S   | G   | SP        | AE    |
| 50      | 20        | 10±2.5      | 4.5±1.5   | 45.8 | 172                      | 344 | 800 | 986 | 0.30      | 0.005 |

2. 2 実験方法

港湾施設における構造物の振動特性は、基礎の状態が影響すると考えられるため、構造物との接地状態によって、振動特性が変化することが想定される。そこでばね定数が既知の圧縮ばね(198.61N/mm)を基礎と仮定し、上部コンクリート供試体の振動特性を計測した。さらに、鉛直方向の振動を 2 点同時に計測することで供試体のロッキング中心を明らかにした。測定は以下の方法で行った。

- ① 圧縮ばねを、4 個、6 個、8 個、12 個、24 個、48 個、63 個とした。それぞれ供試体底面に均等に配置し測定を行った(図-1)。速度計の設定はサンプリング周波数 100Hz, 測定時間 3 分間で行った。
- ② 基礎洗掘を想定して、圧縮ばねを、全面敷詰め(63 個)、片側 10cm 削り(49 個)、両側 10cm 削り(35 個)、中央 10cm 削り(56 個)のように配置し測定を行った。なお、速度計の設定や測定位置は①と同様とした。
- ③ 基礎洗掘の規模を明らかにするため、鉛直方向について 2 点同時計測を行った(図-2)。圧縮ばねの配置と速度計の設定は②と同様とした。

3. 実験結果

3. 1 鉛直方向の振動

供試体底面に配置する圧縮ばねを 4~63 個とした場合の理論値は、(1)式によって、それぞれ算出した。実測値は、計測したデータを高速フーリエ変換し、得られたパワースペクトル値から卓越周波数を求めた。なお、測定した室内施設近傍の地盤振動も同様に卓越周

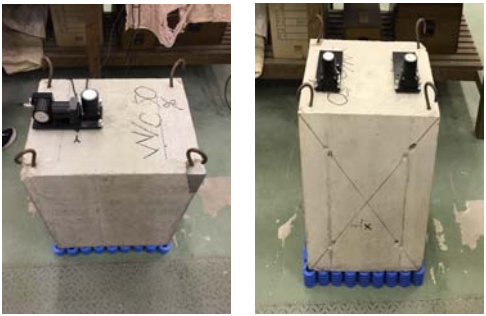


図-1 1点計測状況 図-2 2点計測状況

波数を求め、地盤振動と異なることを確認した。

$$f = 1/2\pi\sqrt{K/M} \cdots (1)$$

ここに、M：供試体の質量、K：ばね定数

理論値と実測値は、図-3 に示すとおりである。圧縮ばね個数が 63 個と供試体底面に全面敷詰めた場合では、ずれがでるものの両者は高い相関を示した。また、ばねを抜いた場合でも同様な傾向が確認された(表-3)。以上より、鉛直方向の振動は(1)式と高い相関があり、従来言われているように、基礎のばね定数と構造物質量によって卓越周波数が定まることを確認した。

3. 2 水平方向の振動

水平方向の理論値は、ロッキング中心が供試体底面中央にあると仮定し、(2)式を用いて算出した。実測値は、鉛直方向と同様に卓越周波数を求めた。理論値と実測値は図-4 の通りであり、両者は高い相関を示した。また、ばねを抜いた場合でも同様な傾向が確認された(表-3)。

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{K_R/J} \cdots (2)$$

ここに、K<sub>R</sub>：回転剛性、J：慣性モーメント

3. 3 基礎洗掘の規模

供試体における鉛直方向の振動は、ロッキング中心を供試体底面中央にあると仮定した理論値と実測値が整合することが確認された。ここでは、このロッキング振動を活用して、基礎洗掘の規模を把握する方法を室内試験で検証した。表-4 にそれぞれの供試体における変位量を示した。表より、全面敷詰め(63 個)、両側 10cm 削り(35 個)、中央 10cm 削り(56 個)では、若干の違いがあるものの、1ch、2ch の変位量はほぼ同じであった。一方、片側 10cm 削りについては、1ch=0.100mm、2ch=0.059mm であり、両者に明らかな差が確認された。この値をもとにロッキング中心を算出すると、図-5 (d) のような箇所となり、片側 10cm 抜きでは、供試体中心から圧縮ばねを除いた方向に 6.25cm ずれた位置にあると考えられる。これより、卓越周波数の絶対値によらず、前面の洗掘の規模を評価可能である。

4. まとめ

沿岸構造物の主要な施設である防波堤を想定し、固有振動数を用いて基礎洗掘の変状を評価する方法を検討し、以下の結論を得た。

- 1) 室内試験によって、鉛直方向の振動は、(1)式と高い相関があり、基礎のばね定数と構造物質量によって卓越周波数が定まることを確認した。また、水平方向の振動も(2)式と高い相関があり、ロッキング振動をしていることが分かった。
- 2) 基礎部に洗掘等の欠陥があり供試体が基礎と接地していない場合、ロッキング中心位置は洗掘方向にずれることから、構造物基礎部の洗掘の規模を推定できる可能性があることがわかった。

<参考文献>

1) 三上信雄, 藤田孝康, 極檀邦夫, 笠井哲郎:既設漁港コンクリート構造物の表層部劣化診断への衝撃弾性波法の適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.131, NO.2, pp.1555-1560, 2009.

2) 丸山敏生, 笠井哲郎, 藤田孝康, 中村克彦:固有振動を用いた漁港施設における機能診断方法の検討, 第44回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 2017.

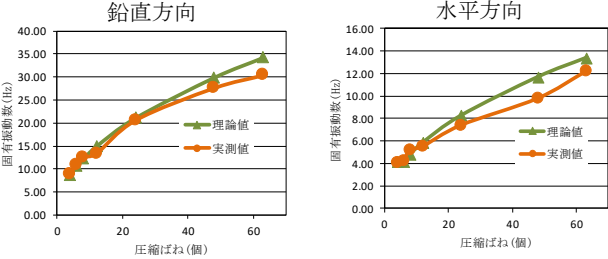


図-3 鉛直方向における理論値と実測値の関係 図-4 水平方向における理論値と実測値の関係

表-3 ばねを削った場合の卓越周波数

|                   | 卓越周波数 (Hz) |        |        |        |
|-------------------|------------|--------|--------|--------|
|                   | 水平方向       |        | 鉛直方向   |        |
|                   | 実測値        | 理論値    | 実測値    | 理論値    |
| 全面敷詰め(圧縮ばね63個)    | 11.740     | 13.400 | 29.200 | 34.300 |
| 片側10cm削り(圧縮ばね49個) | 7.890      | 8.150  | 26.773 | 30.200 |
| 両側10cm削り(圧縮ばね35個) | 5.380      | 4.520  | 23.910 | 25.500 |
| 中央10cm削り(圧縮ばね56個) | 12.570     | 12.240 | 28.670 | 32.300 |

表-4 ばねを削った場合の変位量

|                   | 変位量 (mm) |       |
|-------------------|----------|-------|
|                   | 1ch      | 2ch   |
| 全面敷詰め(圧縮ばね63個)    | 0.053    | 0.051 |
| 片側10cm削り(圧縮ばね49個) | 0.100    | 0.059 |
| 両側10cm削り(圧縮ばね35個) | 0.112    | 0.131 |
| 中央10cm削り(圧縮ばね56個) | 0.060    | 0.056 |

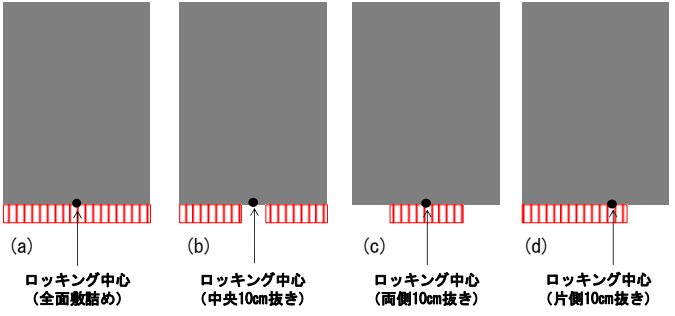


図-5 室内試験での4パターン模式図