

固有振動数同定手法を用いた防波堤の健全度評価に関する基礎実験

豊橋技術科学大学 学生会員 ○森田 悠聖, 上田 竜也
豊橋技術科学大学 正会員 松田 達也, 内藤 直人

1. はじめに

我が国において、港湾は経済活動に欠かすことができない社会資本であるが、津波、波浪の作用により被害が生じることがある。例えば、東北地方太平洋沖地震による津波により、防波堤等に被害が発生した。このような大規模災害の発生後に港湾の早期利活用を図るため、迅速に構造物の健全度を評価することが求められる。

鉄道分野においては、ケーソンと同様の躯体構造物である直接基礎橋脚の基礎地盤の洗掘に対する健全度を評価する手法として、衝撃振動試験により固有振動数を求める方法が一般的に実施されてきた。しかし、作業性・安全性の観点から洗掘が懸念される洪水外力の作用時や作用後の試験が容易に行えないという課題を抱えていた。近年では、微動計測結果のみから固有振動数を自動的に同定する手法¹⁾が新たに提案され、上述した課題が解決できるとして有用視されている。一方で、躯体高さが低い条件や根入れが大きい条件への適用性は低いとされている。

本研究では、ケーソン防波堤の健全度評価に対して固有振動数同定手法を援用し、その適用性を検討した。

2. 固有振動数の同定手法¹⁾

ケーソン防波堤の1次振動であるロッキング振動の概念図を図-1に示す。固有振動数同定手法とは、常時微動波形の差分及び速度計位置の幾何学的関係から地盤振動を推定し、ケーソン振動を推定地盤振動で除し、得られたフーリエ振幅比を式(1)にフィッティングさせることで固有振動数及び減衰定数が得られるという手法である。式(1)で与えられる正弦波による変位共振曲線を図-2に示す。

$$\frac{A}{a_0} = \sqrt{\frac{1 + \left(2h \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right) + \left(2h \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (1)$$

ここで、 A ：ケーソン振動、 a_0 ：地盤振動、 ω ：振動数、 ω_n ：固有振動数、 h ：減衰定数である。

3. 実験概要

3.1 防波堤ケーソンの概要

本実験は、矩形形状（幅 640mm、高さ 720mm、奥行き 390mm）で重量 4.27kN の無筋コンクリート製のケーソン

と碎石 6 号（最小 5mm、最大 13mm）を捨石マウンド材として用い、所定断面を形成して実験を行った。

3.2 常時微動計測及び衝撃振動試験の概要

常時微動計測は、速度計を使用し、計測のサンプリングレートは 1,000 Hz、計測時間は 1 回あたり 1 分間とした。解析対象とするデータは、ケーソン両天端の鉛直・水平成分の計 4 成分とした。

衝撃振動試験は、重量が異なる 3 種類の载荷装置を使用し、重量により打撃強さを変化させた。解析対象とする

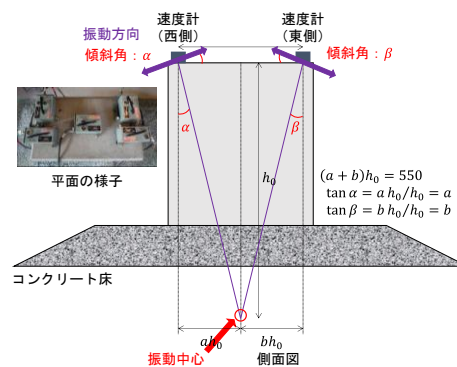


図-1 1次振動であるロッキング振動の概念図

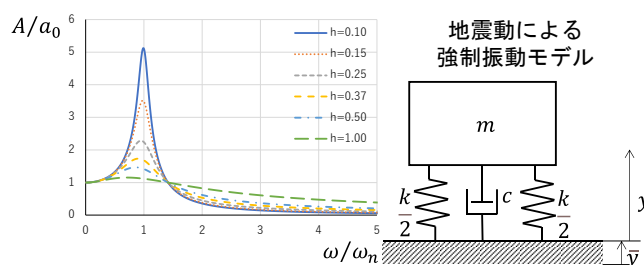


図-2 正弦波による変位共振曲線

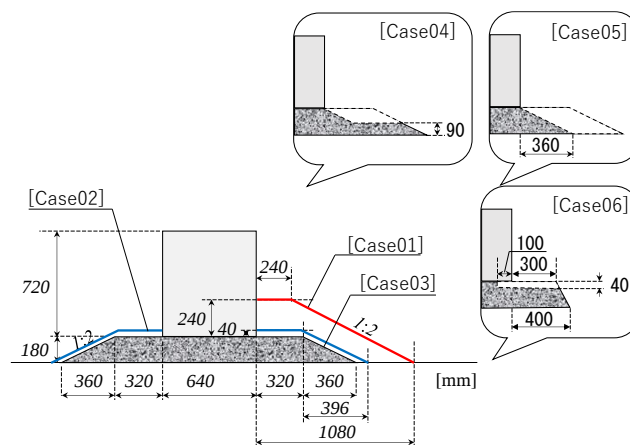


図-3 実験概要図

データは、ケーソン天端の水平成分とした。

3.3 実験ケース

図-3 に実験概要図を示す。基本断面(Case03)は現行の設計規格を参照し、裏込材を有する Case01, 被覆材を有する Case02 とした。また、ケーソン背後の捨石が洗掘された場合を想定し、Case04~Case06 の断面で検討した。

4. 実験結果

4.1 衝撃振動試験

Case03 における応答速度の時刻歴データに対するフーリエ振幅スペクトルとフーリエ位相スペクトルを図-4 に示す。本稿では載荷力が小さいときの結果のみを示す。

4.2 常時微動計測

4.2.1 固有振動数同定手法の適用結果

Case03 における常時微動計測より得られた結果を図-5 に示し、各ケースの衝撃振動試験及び常時微動計測より得られた固有振動数を図-6 に示す。分析結果より、衝撃振動試験で得られた値と常時微動計測より得られた結果がほぼ等しく、固有振動数を同定できることを確認した。

4.2.2 固有振動数及び減衰定数の比較

各ケースの固有振動数及び減衰定数の大小関係を示したグラフを図-7 として示す。Case01 から Case02, Case03 にかけて固有振動数は大きく減少し、Case03~Case05 にかけて緩やかな減少傾向を示した。また、Case05 から Case06 にかけても固有振動数は大きく減少した。これより、ケーソンとマウンドが接する面積が小さくなると固有振動数は大きく減少することが確認された。

4.2.3 振動中心位置の算定

振動中心の位置を図-8 に示す。Case01 と Case06 を除くケースは中心から 20mm 以内に分布している。一方で、Case01 は裏込め土側に振動中心があり、Case06 は洗掘で掘削された方とは反対側に振動中心があった。

5. 結論

本研究結果より常時微動計測から得られた固有振動数がマウンドの洗掘により変化することが確認でき、固有振動数同定手法がケーソン防波堤の健全度評価に活用できることが明らかとなった。また、ロッキング振動中心の水平位置に着目することで腹付け盛土やケーソン底面のマウンドが洗掘されることによる港内外のケーソンの支持条件の変化を検知できる可能性が示唆された。

参考文献

1) 樺健典ら：地盤工学ジャーナル, Vol.13, No.4, pp.319-327, 2018.

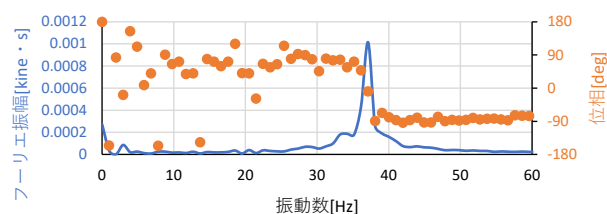


図-4 衝撃振動計測の結果 (Case03)

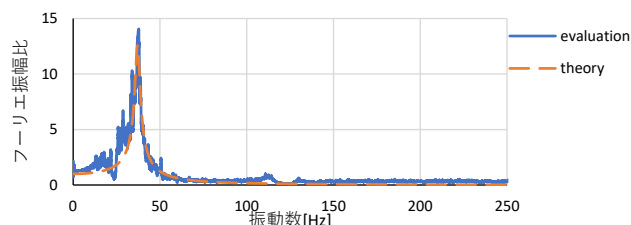


図-5 常時微動計測の結果 (Case03)

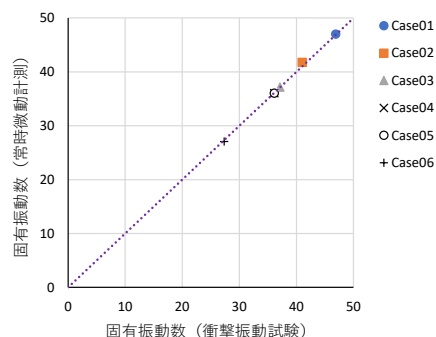


図-6 各試験より得られた固有振動数

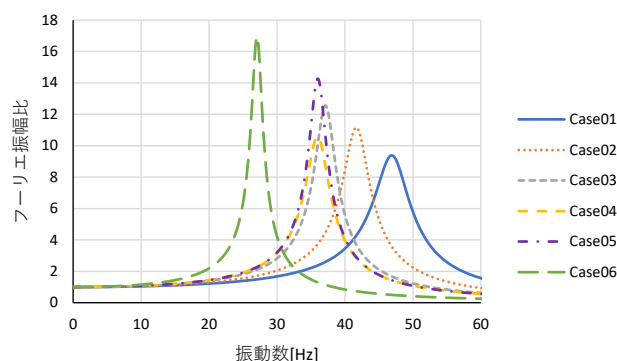


図-7 各ケースにフィッティングした共振曲線

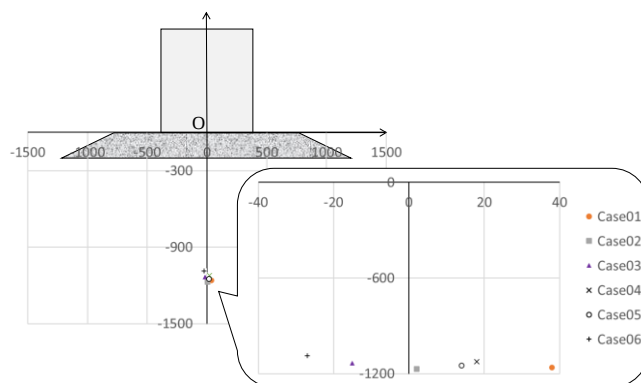


図-8 各ケースの振動中心の位置