

直杭式横棧橋の改良設計に伴う常時微動観測による固有周期の算定例

一般財団法人 沿岸技術研究センター 正会員 ○佐藤昌宏* 山本修司
九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 服部俊朗 鬼童孝 川端稔教
株式会社 日本港湾コンサルタント 久保田崇仁 山内浩 柴下達哉

1. はじめに

近年、港湾施設は既存ストックの有効活用の面から、供用期間の延長を目的に改良設計が必要になる場合がある。直杭式横棧橋の供用期間延長を行うためには、「港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾」を踏まえて、設計条件の設定、既存部材の評価等を行う必要がある²⁾。ここでは、照査用震度を設定する際の「棧橋の固有周期」に着目し、現地での常時微動観測により固有周期を推定した。骨組解析による固有周期の算定では、横方向地盤反力係数を算定値の2倍にし、地表面は仮想固定点を仮想地表面ではなく、実地表面から1/β下方の位置とする方が実際の値に近いという報告がある^{1), 3), 4)}(以下、技術基準報告事例と呼ぶ)。そのため、骨組解析は、基準面や横方向地盤反力係数の条件を変えた固有周期を求め、常時微動観測結果から求めた値と比較した。

2. 検討内容

検討対象にした佐伯港の施設は、水深10mの直杭式横棧橋である(図-1)。棧橋は1972年に築造され木材埠頭として供用後約40年以上が経過し、その老朽化が懸念されている。そのため、改良が検討されている。

(1) 常時微動観測による棧橋の固有周期の推定方法

観測箇所は、棧橋上の中心位置(梁中央部)および、棧橋法線から約40mの背後地表面とした。棧橋上とその背後地表面の常時微動のスペクトル比(H/H スペクトル比)により、棧橋の固有周期を推定した⁵⁾。観測は、船舶の係留がなく車両通行が少ない時間帯に行った(棧橋上は2018年1月16日、背後地表面は1月25日、時間帯は18時～3時間)。ただし、観測箇所から約250mの箇所に位置するゴミ処理場が24時間稼働している条件下であった。

(2) 骨組解析による棧橋の固有周期の算定方法

骨組解析は、図-1に示す直杭式棧橋の形状、表-1に示す杭諸元、表-2に示す解析土層の物性値を用いた。直杭式棧橋の照査用震度は、棧橋中央部の地盤をモデル化した1次元地震応答解析を行い、仮想地表面下1/βでの応答加速度時刻歴から加速度応答スペクトルを算出し、棧橋の固有周期に対応する応答加速度から求めた値を用いる。棧橋の固有周期は、横方向地盤反力係数を特性値とし骨組解析による水平力と水平変位の関係からバネ定数を求め、式(1)により算定した。骨組解析は、式(2)に示す横方向地盤反力係数を用いた。

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}} \quad \text{式(1)}$$

$$k_{CH} = 1500N \quad \text{式(2)}$$

ここに、 T_s ：棧橋の固有周期 (s) ここに、
 W ：杭1列が受け持つ自重及び地震時の載荷重 (kN) k_{CH} ：横方向地盤反力係数 (kN/m³)
 g ：重力加速度 (m/s²) N ：地盤の1/β付近までの平均N値
 K ：棧橋のバネ定数 (kN/m)

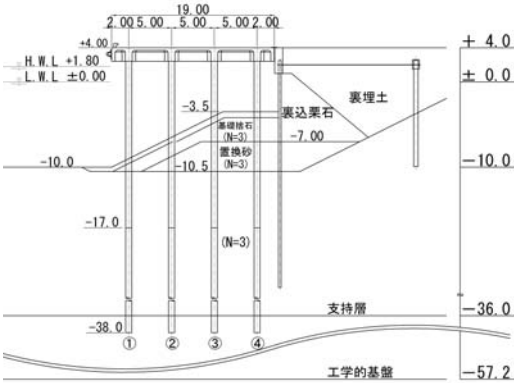


図-1 直杭式棧橋の形状

表-1 杭諸元

杭番号	支持形式	杭径 (mm)	肉厚 (mm)	材質	断面積 (cm ²)	断面2次モーメント (cm ⁴)	断面係数 (cm ³)
①②	支持	700	13	SKK400	281	165,600	4,730
③④	支持	700	16(13)	SKK400	344	201,200	5,750

表-2 解析土層の物性値

土層区分	層上面標高 (m)	単位体積重量 (kN/m ³)	基準有効拘束圧 (kN/m ²)	基準初期せん断剛性 (kN/m ²)	基準初期体積剛性 (kN/m ²)	内部摩擦角 (deg)	粘着力 (kN/m ²)	せん断波速度 (m/s)
基礎埋石	-3.5	18.0	98.0	55,051	143,564	38.9	—	99.4
置換砂	-7.0	18.0	98.0	45,441	118,503	38.5	—	118.8
シルト1	-10.5	17.0	66.94	15,555	40,565	—	45.8	94.7
シルト2	-16.0	17.0	133.88	22,759	59,351	—	66.9	114.5
砂礫	-36.0	18.0	98.0	150,225	391,763	42.4	—	327.6
シルト3	-41.9	16.0	244.28	69,914	182,325	—	205.6	206.9
砂	-48.1	18.0	98.0	98,771	257,579	40.5	—	289.1
基盤	-57.2	18.0	—	—	—	—	—	—

キーワード 改良設計, 直杭式横棧橋, 固有周期, 常時微動観測, 骨組解析, 横方向地盤反力係数

連絡先 *〒105-0003 東京都港区西新橋 1-14-2 TEL 03-6257-3702

3. 検討結果

(1) 常時微動計測による栈橋固有周期の推定結果

図-2 に、常時微動観測による栈橋上の H スペクトル、図-3 に背後地表面の H スペクトル、図-4 に栈橋上および背後地表面における H/H スペクトル比を示す。H/H スペクトル比では 3 箇所のピークを確認できた(0.2,0.9,2.0(s)付近)。栈橋の固有周期は 0.45~0.55(s)に多くの事例があり、約 8 割の栈橋が 0.4~0.7(s)の周期に集中(最短 0.24(s), 最長 1.1(s))しているとの報告がある³⁾。0.2(s)付近で高い値を示した理由は特定できていないが、実績の 0.24(s)より短周期であることに加えて、ごみ処理場の稼働が影響している可能性もあると推察し除外した。また、2.0(s)付近も、実績の 1.1(s)より長周期であることより除外した。以上より、微動観測結果の 0.9(s)は、0.4~0.7(s)の実績より長周期側であるが、当栈橋の固有周期と推定した。

(2) 骨組解析による栈橋固有周期の算定結果

栈橋の固有周期は、横方向地盤反力係数の設定や基準面の位置に応じて変わる。表-3 に、仮想地表面または実海底面から $1/\beta$ の深度を固定とし、静的な横方向地盤反力係数を 0.5~3.0 倍とした場合の固有周期を算定した。仮想地表面、かつ $k_h=1.0 \times 1500\text{N}$ とした場合の固有周期が 1.33(s) (Case2-①)に対して、技術基準報告事例の実海底面、かつ $k_h=2.0 \times 1500\text{N}$ とした場合の固有周期が 0.91(s)(Case4-②)と短周期になった。応答加速度は、図-5 に示す $1/\beta$ 地点の加速度応答スペクトルより、それぞれ 90,160(Gal)になった。

4. まとめ

常時微動観測結果から算定した固有周期 0.9(s)は、仮想地表面ではなく実海底面、横方向地盤反力係数は 2 倍の条件で算出した結果と同値になった。この結果は、技術基準報告事例における指摘と整合性があった。しかしながら、常時微動観測結果が 0.2(s)付近で高い値を示している理由が特定できていないことから、栈橋上(床版上、杭直上など)や背後地表面の測定箇所を変えた条件下での計測を追加し、固有周期を再検討する予定である。固有周期の値により、応答加速度が異なることから、より合理的な設計を行うには、常時微動観測による設定もあり得ることが示唆された。

参考文献

- 1) 社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説。
- 2) 高野向後 ほか：既存の港湾施設の改良における設計上の留意事項に関する検討，国総研資料 第 944 号。
- 3) 横田弘 ほか：鋼管杭式栈橋の地震応答解析結果に基づく設計水平震度の考察，港湾空港技術研究所 報告 037-02-04。
- 4) 栗原直範，長尾毅：直杭式栈橋の動的特性を考慮した照査用震度の算出方法に関する基礎的研究，国総研資料 第 591 号。
- 5) 長尾毅：栈橋の地震被災後の供用可能性判定手法の開発，平成 25 年度 港湾空港総合技術センター研究開発助成報告書。

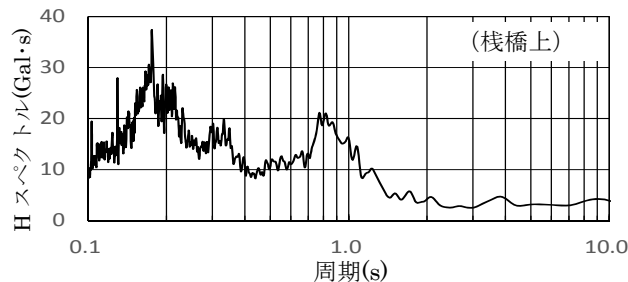


図-2 常時微動観測 H スペクトル(栈橋上)

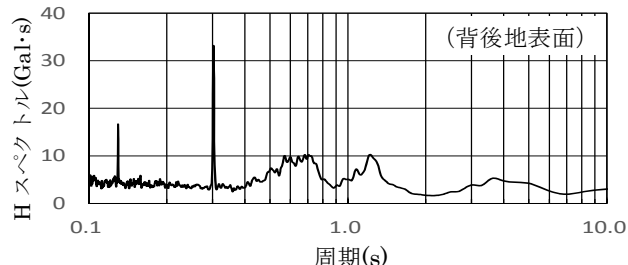


図-3 常時微動観測 H スペクトル(背後地表面)

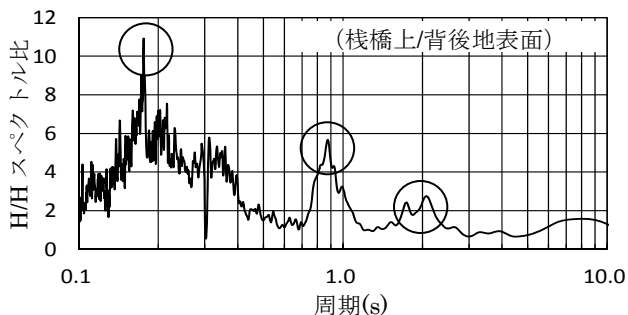


図-4 常時微動観測 H/H スペクトル比

表-3 地盤バネ定数及び基準面別の栈橋固有周期

Case	$1/\beta$ 算出時の 横方向地盤反力係数 (KN/m^3)	栈橋の固有周期 (s)	
		①仮想地表面	②実海底面
1	$k_h = 0.5 \times 1500\text{N}$	1.47	1.13
2	$k_h = 1.0 \times 1500\text{N}$	1.33	1.00
3	$k_h = 1.5 \times 1500\text{N}$	1.27	0.93
4	$k_h = 2.0 \times 1500\text{N}$	1.23	0.91
5	$k_h = 2.5 \times 1500\text{N}$	1.20	0.87
6	$k_h = 3.0 \times 1500\text{N}$	1.18	0.84

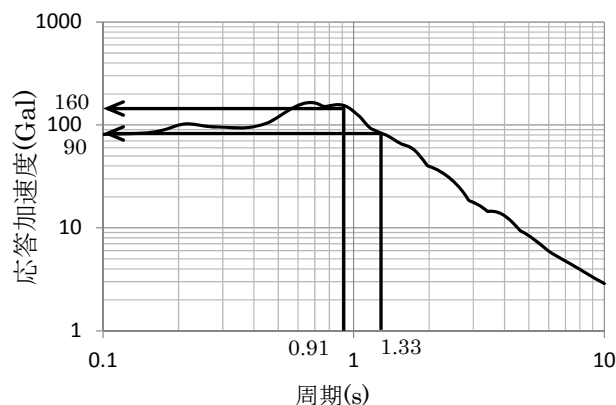


図-5 $1/\beta$ 地点の加速度応答スペクトル