

既設の直杭式横棧橋における常時微動観測による固有周期の推定について

佐藤 昌宏*・久保田崇仁**・山内浩**・柴下達哉**
 ・服部俊朗***・鬼童孝***・川端稔教***・野津厚****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主席研究員

** (株) 日本港湾コンサルタント 西日本事業本部

*** 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所

**** (国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 地震防災研究領域長

直杭式横棧橋の改良設計において、既に存在する施設を活用し常時微動観測による固有周期の算定を行った。棧橋上(杭頭部および梁中央)と背後地盤で行い H/H スペクトル比を求めた結果、1号バース、2号バース共に固有周期を1.6sと推定した。また背後地盤の H/V スペクトル比による地盤特性の把握を行った。

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, 強制加振

1. はじめに

高度経済成長期に集中して整備された港湾施設の老朽化が進行している。建設後 50 年以上の係留施設は、平成 28 年の約 1 割から平成 48 年には約 6 割に急増することが見込まれている¹⁾。そのため、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とした改良設計が求められている。施設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²⁾」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³⁾。直杭式横棧橋の場合、上部工は床版や梁などの目視調査や塩化物イオン濃度の調査等を踏まえた劣化度評価を行い、また下部工は鋼管杭の肉厚や防食状況等を踏まえた健全度評価を行う。新設棧橋の照査用震度は、骨組解析により必要となる固有周期を求めるが、既設棧橋の改良設計では、既に存在する施設を活用することができる。以上を踏まえて、本検討では、常時微動観測結果を用いた直接的な固有周期の推定を行った。

2. 検討内容

2.1 対象施設の概要

検討対象にした佐伯港の施設は、1号バースと2号バースで構成される延長 370m、水深 10m の直杭式横棧橋である。1号バースは 1972 年、2号バースは 1975 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。

図-1 に 1号バース、図-2 に 2号バースの断面図を示す。両バース共に、鋼管杭の杭径は 700mm、肉厚は図中の①②が 13mm、③④の上杭が 16mm、下杭が 13mm である。また、1号バースの土留護岸構造は控え矢板式で、棧橋と土留の遊間は小さく 10cm である。現況では、そ

の遊間に木材が挟まれている箇所や、その上に土砂が堆積している箇所があった。一方、2号バースの土留護岸構造は、重力式(L型ブロック)で、棧橋と土留の遊間は比較的大きく 2m である。その遊間には、渡版(グレーチング)が渡され、その上に敷鉄板が設置されている箇所があった。

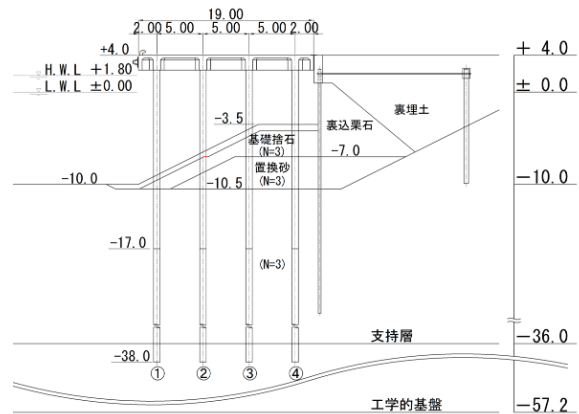


図-1 女島地区棧橋 (-10m) 1号バース

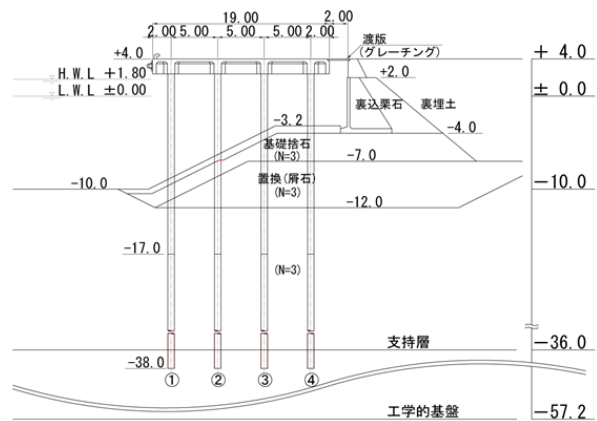


図-2 女島地区棧橋 (-10m) 2号バース

2.2 常時微動による栈橋固有周期の測定方法

1号バース, 2号バースともに, 栈橋上は杭頭部および梁中央の2箇所, 栈橋法線から約40mの背後地盤の1箇所に微動計(白山工業株式会社製 JU-210)を設置し, 3箇所ですべて同時に観測を行った. 図-3に栈橋上での常時微動観測箇所(1号バース)を示す.

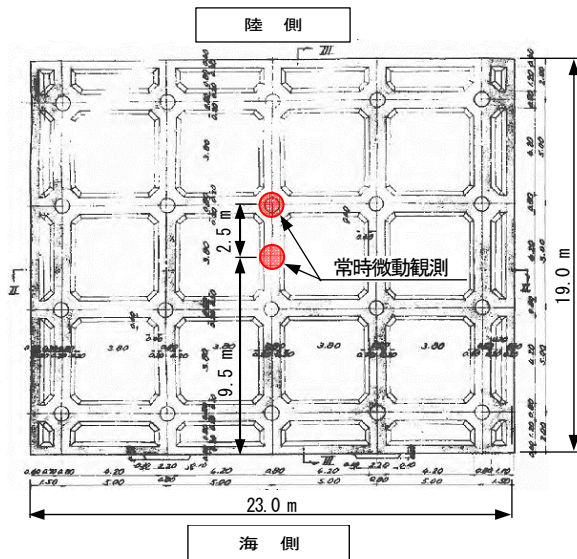


図-3 栈橋上での常時微動観測箇所(1号バース)

計測は, 水平2方向(法線直交, 法線平行)および, 上下1方向の3成分を同時に記録し, サンプルング周波数は100Hzとした. 15分以上の連続観測を行い163.84秒間のデータを3区間抽出し, 各区間に対し水平, 鉛直成分のフーリエ振幅を計算し, バンド幅0.05HzのParzen ウィンドウを適用した.

観測日時は, 2018年4月17日の船舶の係留がなく車両通行が少ない時間帯でハドルテストの時間を含めて18時~22時で行った.

さらに, 2号バースの栈橋上で7名による反復横跳びを行い, 人力による強制加振を行った. 強制加振は, 構造物の固有周期に合わせて共振現象の発生を期待した計測である⁴⁾.

常時微動観測により求めたフーリエスペクトルは, 震動源のスペクトル特性の影響を受ける. 栈橋の振動特性を抽出するには, 栈橋上とその背後地盤の常時微動のスペクトル比(H/Hスペクトル比)をとり, 震動源の影響をキャンセルする必要がある. H/Hスペクトル比により, 震動源のスペクトル特性を取り除き, 栈橋の固有周期を推定した⁵⁾.

3. 測定結果

3.1 H/Hスペクトル比(栈橋上と背後地盤)

図-4に1号バース, 図-5に2号バースの栈橋上および背後地盤におけるH/Hスペクトル比を示す.

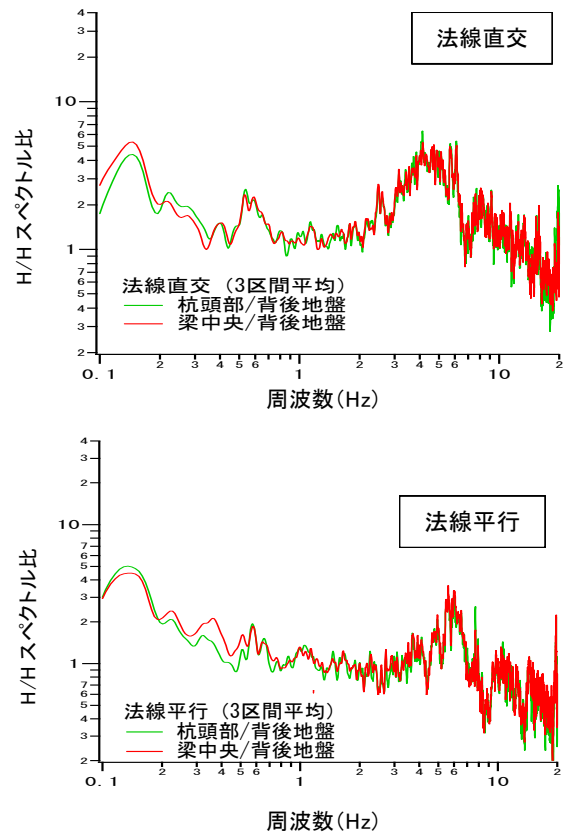


図-4 栈橋上(杭頭部,梁中央)と背後地盤のH/Hスペクトル比(1号バース)

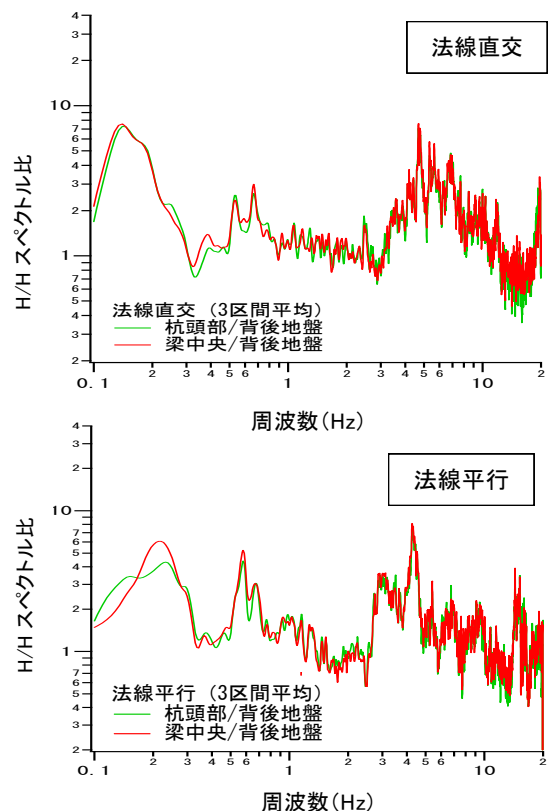


図-5 栈橋上(杭頭部,梁中央)と背後地盤のH/Hスペクトル比(2号バース)

両バースの法線直交方向のH/Hスペクトル比は3箇所ピークを確認した。両バース共にほぼ同周波数でピークを示し、栈橋と土留の遊間の違いによる差異は見られなかった。また、杭頭部と梁中央部の栈橋上の測定箇所による違いも同様に見られなかった。

H/Hスペクトルのピークが最も大きく目立つのは、4～5Hz (0.20～0.25s)であった。栈橋の固有周期は0.45～0.55sの事例が多く、約8割の栈橋で0.4～0.7sの範囲にあるとの報告⁶⁾を踏まえると、4～5Hz (0.20～0.25s)のピークは、設計時に想定する上部工が水平に揺れるモードの固有周期としては短かすぎる。4～5Hz (0.20～0.25s)付近で高い値を示した理由として、1号バースでは上部工と土留めの間に木材や土砂が入っている箇所が存在したこと、2号バースでは上部工と土留めの遊間にグレーチングが設置されていたことにより、上部工固定の条件での高次モードが生じたものと推察し、固有周期の対象から除外した。

次に目立つのは、0.2Hz以下 (5.0s以上)のピークであり、前述の事例と比較し長周期側である。また、波浪の卓越する周期帯域であることから、背後地盤よりも栈橋が波浪の影響を強く受けた結果としてこの周期帯域にスペクトルが生じたものと推察し、こちらも固有周期の対象から除外した。

これに次ぐものとして、0.6Hz (1.6s)付近にピークがあり、1号バースの法線平行成分を除きすべてのデータに見られた。特に2号バースの法線平行成分において顕著であった。そのため、事例より長周期側であるが、1号バース、2号バースともに固有周期は0.6Hz (1.6s)と推定した。

1号バースでの微動観測は、佐藤ら⁷⁾により本検討とは別の機会に測定した結果が示されている。その報告では、栈橋上と背後地盤は異なる日時での微動観測 (栈橋上は2018年1月16日、背後地表面は1月25日の18時～21時)であったのに対し、本稿の検討は、栈橋上 (杭頭部および梁中央) と背後地盤で同時に観測を行った点が異なる (2018年4月17日18時～22時)。前者のピークが0.5Hz (2.0s)、1.1Hz (0.9s)、5Hz (0.2s)であったのに対し、後者の本検討のピークは0.2Hz以下 (5.0s以上)、0.6Hz (1.6s)、4～5Hz (0.20～0.25s)であった。後者には存在しない1.1Hz (0.9s)のピークが前者で現れたのは、栈橋上と背後地盤の計測日時の違いにより震動源が異なったことが要因と考えた。栈橋の固有周期を求める際の常時微動観測は、栈橋上と背後地盤で同時計測することが重要であると考えられる。

次に参考として、図-6に、2号バース栈橋上で行った反復横跳びによる栈橋の強制加振時の状況写真、図-7にその際のH/Hスペクトル比を示す。その結果、高周波数側における振動レベルが特に法線直交方向成分において増加する傾向がみられたが、栈橋の固有周期と推定される新たなピークは現れなかった。

3.2 H/Vスペクトル比(背後地盤)

背後地盤の地盤特性を把握する目的で、H/Vスペクトル比について検討を行った。H/Vスペクトルの算定の際に、水平動のスペクトルは、水平2成分の自乗平均の平方根とすることが多かったが、最近の研究⁸⁾では、提体の直上を避けたとしても、法線直交成分の低周波側に地盤振動特性とは関係のないピークが現れる場合があることが指摘されている。また、平成30年版の「港湾の施設の技術上の基準・同解説²⁾」では、常時微動によるH/Vスペクトルの算出において、通常用いられる水平2成分の自乗平均の平方根以外に、必要であれば、岸壁法線平行方向成分からもH/Vスペクトルの算出を行い以降の検討を行うことが望ましいとの記載が追加されている。そのため、本検討では、H/Vスペクトル比を両方の方法で求めその傾向を比較した。



図-6 反復横跳びによる栈橋の強制加振状況

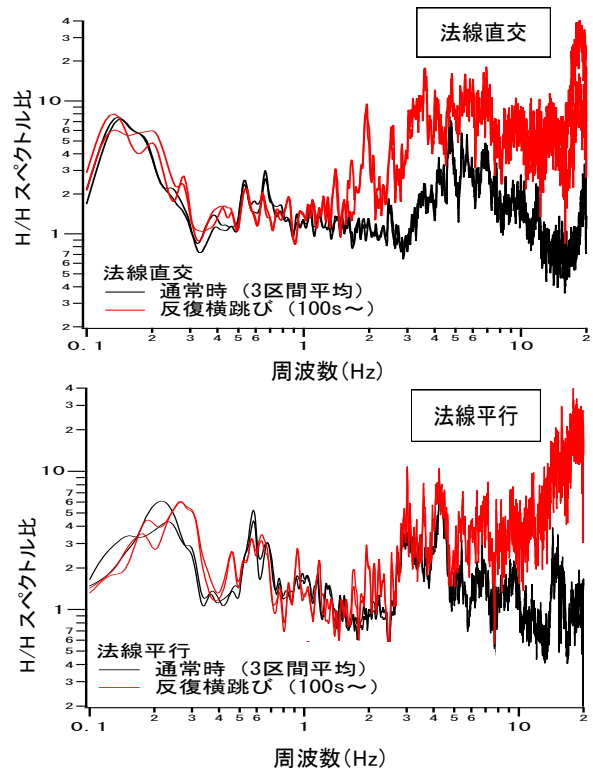


図-7 反復横跳びによる栈橋の強制加振によるH/Hスペクトル比の比較 (2号バース)

図-8に、1号バース及び2号バースの背後地盤上で得られたH/Vスペクトル比を示す。1号バースは、水平2成分の自乗平均の平方根から計算したH/Vスペクトル比と法線平行方向から計算したH/Vスペクトル比を比較すると、1.0Hz以下(1.0s以上)において大きな違いがあり、前者は0.3Hz(3.3s)付近と1.0Hz(1.0s)付近にピークがあるのに対して、後者は1.0Hz(1.0s)付近のみにピークを有していた。2号バースは、1号バースほど顕著ではないが同様の傾向を示した。1.0Hz(1.0s)付近のピークは、水平方向の成分によらず出現していることにより、背後地盤の地盤特性と判断した。一方、0.3Hz(3.3s)付近のピークは、法線直交方向を含む水平2成分の方が大きな値を示したことより、護岸近くでの計測により水圧の周期的な影響を受けたものと想定した。

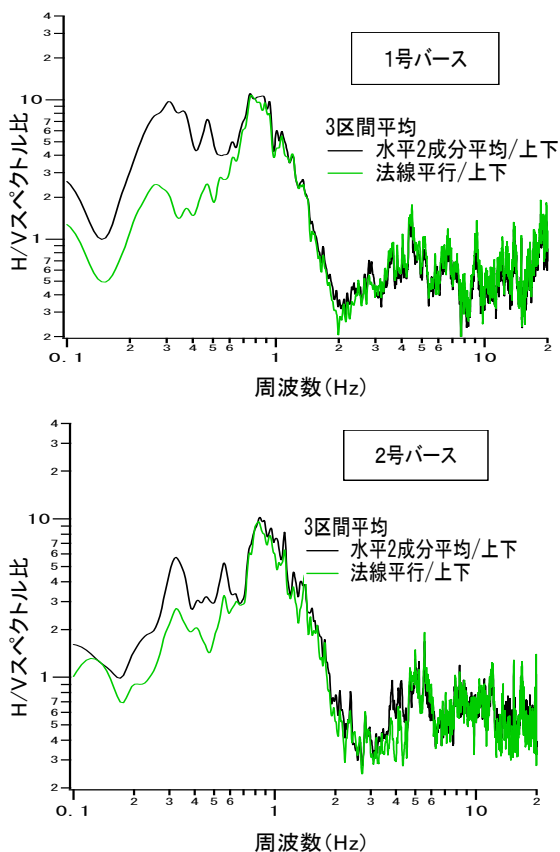


図-8 背後地盤のH/Vスペクトル比
(1号バース, 2号バース)

4. まとめ

直杭式横栈橋の改良設計において、既に存在する施設を活用し常時微動観測による固有周期の算定を行った。以下にその結果を示す。

①常時微動観測は、栈橋上(杭頭部および梁中央)と背後地盤で行いH/Hスペクトル比を求めた。その結果、1号バース, 2号バース共に3箇所のピークを確認したが、当栈橋の固有周期を1.6sと推定した。杭頭部およ

び梁中央での観測結果に差異はなかった。また、土留構造や栈橋との遊間による違いも確認できなかった。短周期側に現れた顕著なピークは上部工固定の条件での高次モードが生じたものと推察された。

常時微動観測を行う際には、様々な震動源が影響することより、波浪の影響や周辺施設の影響なども考慮に入れる必要がある。また、栈橋の固有周期を明らかにするためには、栈橋上と背後地盤で同時観測を行いH/Hスペクトル比を求める必要があることを確認した。②背後地盤はH/Vスペクトル比より、1.0Hz(1.0s)のピークが地盤特性を示すと判断した。常時微動によるH/Vスペクトルの算出において、法線平行成分から算出したH/Vスペクトルを用いた検討が有効であった。

謝辞

本稿は、国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所発注の「平成29年度管内技術課題検討業務」の成果及びその後の追加計測について取りまとめたものである。業務実施にあたっては、善功企委員長や委員の皆様及び関係各所から貴重なご意見、ご指導をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局技術企画課港湾保全政策室：港湾施設・海岸保全施設の維持管理に関する最近の話題，平成30年8月23日 海洋・港湾構造物維持管理基礎講座講習会。
- 2) 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，平成30年9月。
- 3) 高野向後，宮田正史，藤井敦，井山繁，加藤絵万，山路徹，坂田憲治：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 外郭施設および係留施設を対象として，国総研資料 第944号，平成29年1月。
- 4) 奥津宣孝，佐藤純哉，風野裕明，野口孝俊：ジャケット式栈橋の常時微動・人力加振計測，土木学会第64回年次学術講演会，平成21年9月。
- 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，平成27年4月。
- 6) 横田弘，竹鼻直人，南兼一郎，高橋邦夫，川端規之：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，第37巻第2号，1998.6
- 7) 佐藤昌宏，山本修司，服部俊朗，鬼童孝，川端稔教，久保田崇仁，山内浩，柴下達哉：直杭式横栈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，土木学会第73回年次学術講演会，平成30年8月。
- 8) 鈴木晴彦，眞鍋俊平，永田伸也，山田能弘，長坂陽介，野津厚：岸壁の存在が常時微動観測結果に及ぼす影響に関する一検討 焼津漁港の事例，地盤工学会誌，Vol. 64, No7, pp. 28-31, 2016. 7