

既設栈橋の増深・耐震補強に関する実験的研究

五洋建設株式会社 技術研究所 正会員 ○白 可  
 五洋建設株式会社 技術研究所 正会員 宇野 州彦  
 五洋建設株式会社 技術研究所 正会員 池野 勝哉

1. はじめに

近年、船舶の大型化に伴う既設栈橋の増深化や、老朽化した栈橋の耐震補強に関する需要が増えている。その一つの方策として、既設栈橋の前面に矢板を新設し、その背後に地盤材料を投入することで杭体の横抵抗を向上させる対策<sup>1)</sup>が考えられるが、その効果に関する研究はあまり多くない。そこで、本研究では上記対策の効果を把握するために、振動台実験を実施した。

2. 実験概要

本研究では、水深 10~15m の直杭式横栈橋を対象に、重力場の相似則<sup>2)</sup>を適用した縮尺 1/25 の水中振動台実験（以下、動的実験）を行った。動的実験に先立ち、模型上部工に  $kh=0.2$  相当の静的載荷力を海側方向に作用させ（以下、静的実験）、栈橋の静的な横抵抗を把握した。実験模型断面を図-1 に示す。振動台テーブルには長さ 4.0m、高さ 1.5m、奥行き 1.8m の剛土槽を設置し、中仕切り板を設置することで 2 断面同時加振を可能とした。実験ケースは、表-1 に示すように、前面水深 10m の Case1 に対して、対策を行わずに増深のみを行った Case2、栈橋前面に矢板を打設し、背後に  $Dr=80\%$  の砂地盤を投入して増深化を図った Case3、背後地盤にセメントを添加して  $qu=30.1kN/m^3$  の改良体を作成した Case4 の計 4 ケースである。模型地盤は、非液状化を仮定し、飯豊珪砂 6 号を  $Dr=80\%$  で締め固めた。杭はアルミ棒（外径 20mm、厚さ 2mm）を 4 本×4 列とし、矢板はアルミ板で奥行き 800mm、厚さ 7mm とした。なお、杭と矢板は曲げ剛性 EI が相似則を満足するように設定している。杭及び矢板の下端はピン条件とし、回転の拘束が無いように配慮した。入力波は正弦波の 20 波とし、加速度振幅を 50gal, 100gal, 200gal, 300gal のステップ加振で与えた。事前のパルス波加振より、栈橋模型の固有振動数  $f$  は 9.44Hz~13.10Hz の範囲であったが、対策ケースである Case3 及び Case4 が振動しやすい  $f=13Hz$  を正弦波の振動数とした。

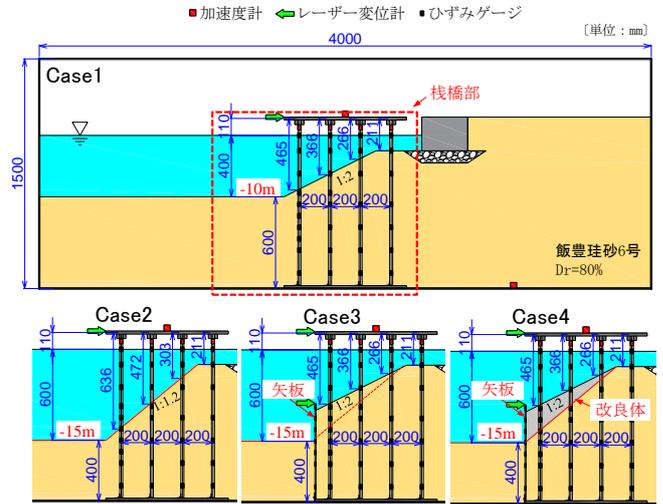


図-1 実験模型断面図 (Case2~4 は栈橋部のみ掲載)

表-1 実験ケース一覧

ケース名	前面水深	矢板	投入材料
Case1	10m	-	-
Case2	15m	-	-
Case3	15m	○	砂地盤
Case4	15m	○	改良体

3. 実験結果及び考察

静的実験で得られた矢板及び海側 1 列目 (Pile1) と 4 列目の杭 (Pile4) の曲げモーメント分布を図-2 に示す。なお、縦軸は標高、図中のプロットは各深度で計測した曲げひずみから模型スケールで曲げモーメントを算出したものである。Pile1 では、Case1 は水深 12.5m ( $H=-500mm$ ) 付近に最大曲げモーメントが発生しているのに対し、Case2 は杭の突出長が増えたことで水深 15m ( $H=-600mm$ ) 付近に Case1 の約 1.5 倍となる最大曲げモーメントが発生している。一方、対策を行った Case3 及び Case4 は Case1 と近い位置に最大曲げモーメントが発生しており、Case2 に比べ約 3~5 割低減した。また Pile4 は、地中部に加え杭頭部に関しても Case2 の曲げモーメントに比べ、Case3 及び Case4 は明確に低減した。他杭の結果は紙面上割愛するが、Pile4 と同様の傾向を示した。この様に、杭体の曲げモーメントが低減したことで、上記対策の効果が示されたと言える。

キーワード 増深化, 耐震補強, 直杭式横栈橋, 振動台実験

連絡先 〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1 TEL 0287-39-2109

次に動の実験で得られた矢板及び Pile1 と Pile4 の前ステップからの曲げモーメント増分分布を図-3 に示す。ここでは、静的実験と比較するために、上部工の応答加速度が図-3 の凡例に示すように概ね 200gal となる加振ステップを選定した。なお、Case4 は他のケースに比べ上部工の応答加速度が大きくなった（応答加速度は 329gal）。杭の曲げモーメント分布に着目すると、Case2 と比較して Case3 及び Case4 は約 5 割低減されていることから、静的実験と概ね同等の補強効果が確認できる。矢板については、Case4 では水深 15m ( $H=-600\text{mm}$ ) の直下に大きな曲げモーメントが発生しているが、これは改良体と背後地盤の剛性差によるためと推測される。

表-2 に入力加速度 300gal における各ケースの上部工残留変位を示す。Case2 の残留変位と比較して、Case3 及び Case4 の変位が抑制されていることから、上記対策の効果が確認できる。時松ら<sup>3)</sup>の方法に倣い、矢板・杭の曲げモーメントの残留値から算出した変位分布を図-4 に示す。改良体の範囲 ( $H=-400\sim-600\text{mm}$ ) に着目すると、Case4 は杭変位量がほとんど変わらないことや撤去時に改良体に割れが生じていなかったことから、改良体は剛体として挙動したことが推測される。したがって、改良体の慣性力により、上記範囲内の杭及び矢板の変位は Case3 より大きくなり、その結果、表-2 に示すように Case4 の上部工残留変位も大きくなったことが考えられる。なお、紙面の制約上ここでは入力加速度が最大の 300gal のみについて考察したが、他の加振ステップも同様の傾向を示していた。

4. まとめ

本研究では、水深 10~15m の直杭式横棧橋を対象に、増深化・耐震補強対策の効果を把握するために振動台実験を行った。対策を行ったケースでは、杭の曲げモーメント及び残留変位が低減したことで、上記対策の効果が発揮されていることが分かった。また、新設した矢板の背後に地盤と剛性差がある改良体を投入する場合、杭に大きな曲げモーメント及び残留変位が生じる可能性も示唆された。今後は解析的な検討を進め、上記対策の合理化検討も行う予定である。

参考文献

1) 山本ら：港湾施設の改良設計に係る課題・問題点の整理，沿岸技術研究センター論文集，No.16，2016。

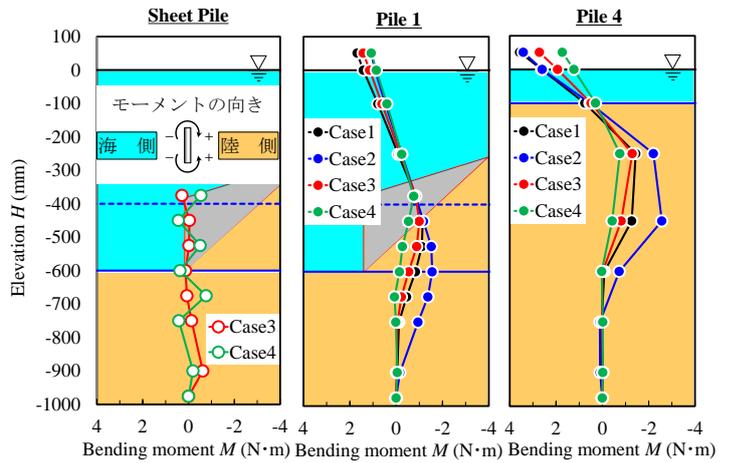


図-2 矢板・杭の曲げモーメント分布（静的実験）

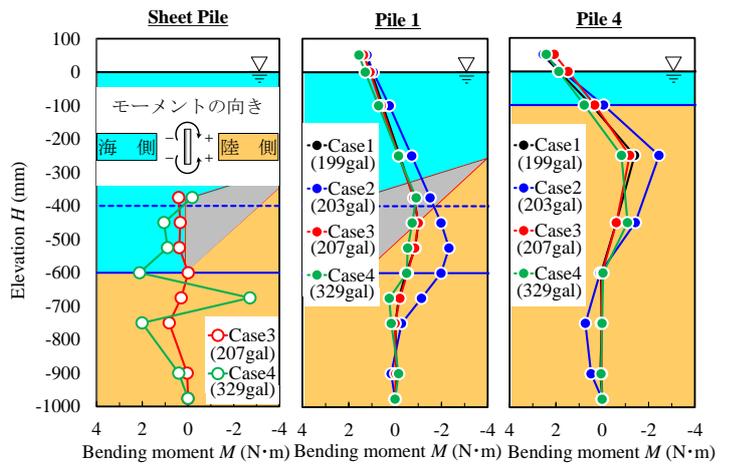


図-3 矢板・杭の曲げモーメント増分分布（動の実験）

表-2 上部工の残留変位（入力加速度 300gal）

ケース名	Case1	Case2	Case3	Case4
残留変位(mm)	6.86	8.67	4.93	7.57

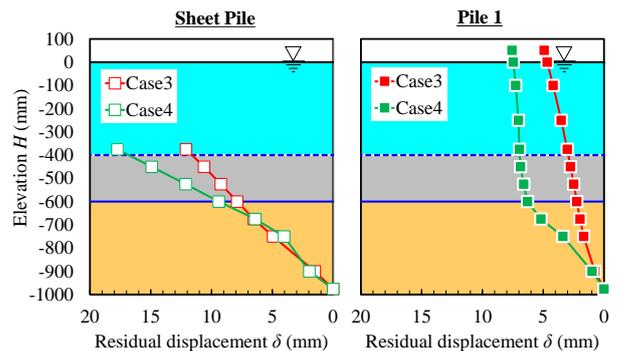


図-4 矢板・杭の残留変位分布（入力加速度 300gal）

2) 井合進：1g 場での地盤—構造物—流体系の模型振動実験の相似則，港湾技術研究所報告，Vol.27，No.3，1988。

3) 時松ら：大型振動台実験に基づく液化化過程における杭の水平地盤反力の評価，日本建築学会構造系論文集，No.553，pp.57-64，2002。