

直杭式栈橋の振動制御技術に関する 実験的研究

三藤正明¹・上部達生²・中原知洋³・大山洋志⁴

1正会員 工博 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

2正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 構造部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

3正会員 工修 運輸施設整備事業団 技術部 (〒100-0011 東京都千代田区内幸町2-2-1)

4 (財) 沿岸開発技術研究センター 企画部 (〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16)

直杭式栈橋の耐震性能を向上させる技術として、免震装置を配置した免震栈橋と制震版付き栈橋の2種類について模型振動実験を行い、その耐震性能を実験的に検討した。免震栈橋に関しては、免震装置による固有周期の長周期化、および減衰効果により、従来式栈橋に比較して栈橋上部工の応答加速が小さくなるとともに直杭に発生する曲げモーメントが小さくなった。制震版付き栈橋は、栈橋上部工から水中まで制震版を設置し、制震版と水との動的相互作用を利用して耐震性能を向上させる技術である。共振実験から、制震版の効果により従来式栈橋に比較して上部工の応答加速度などが小さくなり、耐震性能の向上が確認された。

Key Words : Pier, Isolation system, Passive control, Shaking table tests

1. 目的

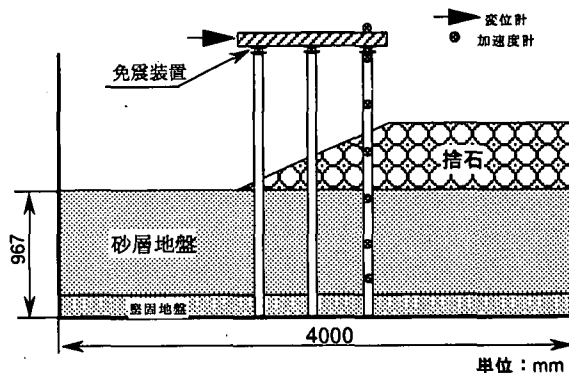
兵庫県南部地震により神戸港の大半の港湾施設が被災し、港湾機能がほとんど麻痺状態に陥った。この被災経験を踏まえて、港湾施設の耐震性をさらに合理的に確保する技術が求められている。そこで、直杭式栈橋の耐震性能を向上させる技術として、免震装置を配置した免震栈橋と制震版付き栈橋の2種類について模型振動実験を行い、その耐震性能を実験的に検討した。免震構造は積層ゴム等を用いて構造物を長周期化させるとともに地震動の入力エネルギーを吸収する減衰性能を持たせることにより、構造物の耐震性能を向上させる技術である^{1)~3)}。制震版付き栈橋は、制震版を栈橋上部工から水中まで設置することにより、直杭式栈橋の耐震性能を向上させるものである。

本報告では、免震装置、および制震版を設置した直杭式栈橋に関する模型振動実験概要、および実験結果について説明する。

2. 免震栈橋に関する検討

(1) 模型振動実験概要

図一1に水深-7.5mの直杭式横栈橋に関する模型振動実験の標準断面を示す。この横栈橋模型は長さに関する相似比を1/12としたものである。免震装置は直杭頭部と上部工の間に設置した。本実験で適用



図一1 免震栈橋振動実験の模型断面

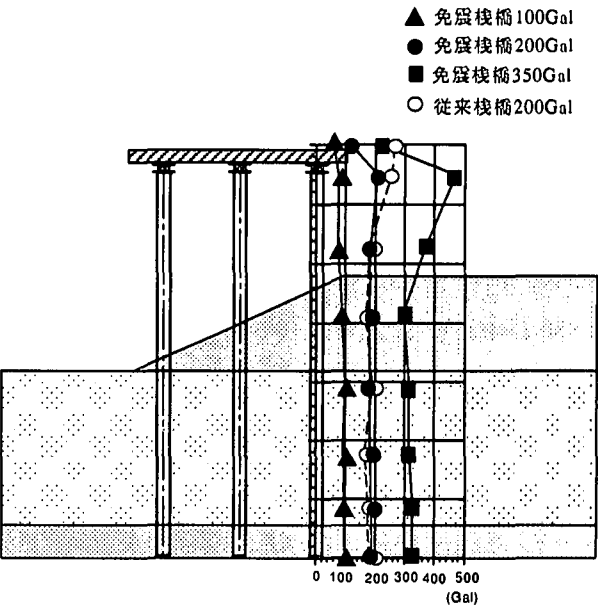
した相似則は加速度と免震装置に作用する面圧の相似比が1になるようにした。したがって、上部工模型の重量は面圧に関する相似比を満足するようにした。砂地盤は相馬砂を締め固めることにより作製し、捨石マウンドは碎石4号を用いた。地盤の剛性、及び重量に関しては相似則を満足せず、相似則から得られる物性値に対して小さ目である。計測器としては加速度計、変位計、およびひずみゲージを適宜配置した。入力地震動は八戸波を用い、相似則に従い時間軸を縮小した波形を用いた。入力加速度は100、200、350Galの段階加振とした。なお、免震栈橋の耐震性能を実験的に比較検討するため、杭頭部と上部工を剛結合した従来式の直杭栈橋に関する模型振動実験も実施した。

(2) 模型振動実験結果の検討

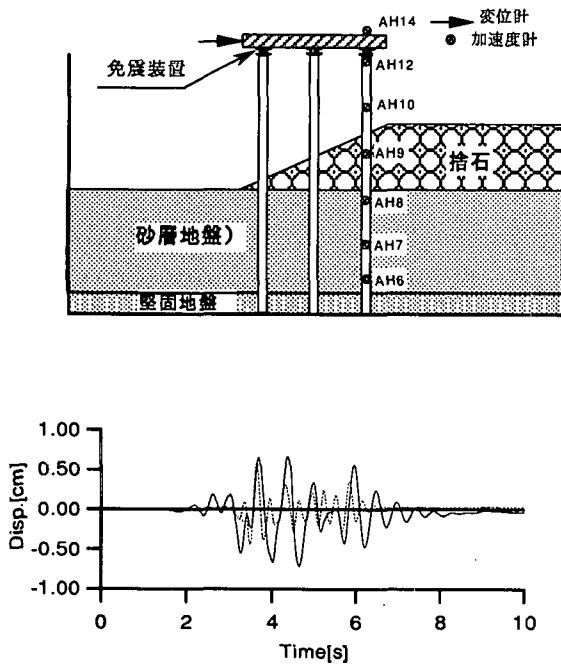
図一2に免震栈橋の直杭、および上部工の最大加速度分布を示す。図中の▲、●、■印はそれぞれ入力最大加速度100、200、350Gal加振時の免震栈橋の実験結果である。免震装置の効果により、杭頭部に比較して上部工の最大応答加速度が大幅に低減している。なお、免震栈橋と従来栈橋の最大加速度分布を比較検討するために、200Gal加振時の従来栈橋

の実験結果を○印の点線で示している。従来栈橋に比較して免震栈橋の方が上部工の応答加速度が小さくなっている。

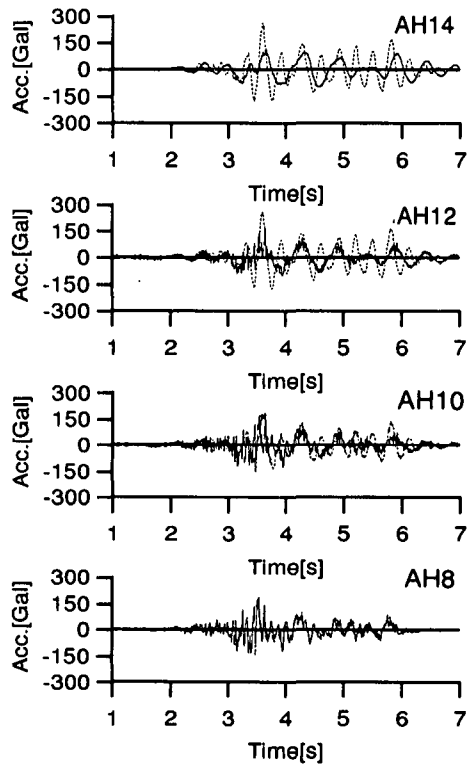
上部工、及び直杭の応答特性を検討するために、200Gal加振時の上部工、及び直杭の応答加速度の時刻歴、上部工の応答変位の時刻歴を図一3に示す。図中の実線が免震栈橋、点線が従来栈橋の実験結果



図一2 最大応答加速度分布

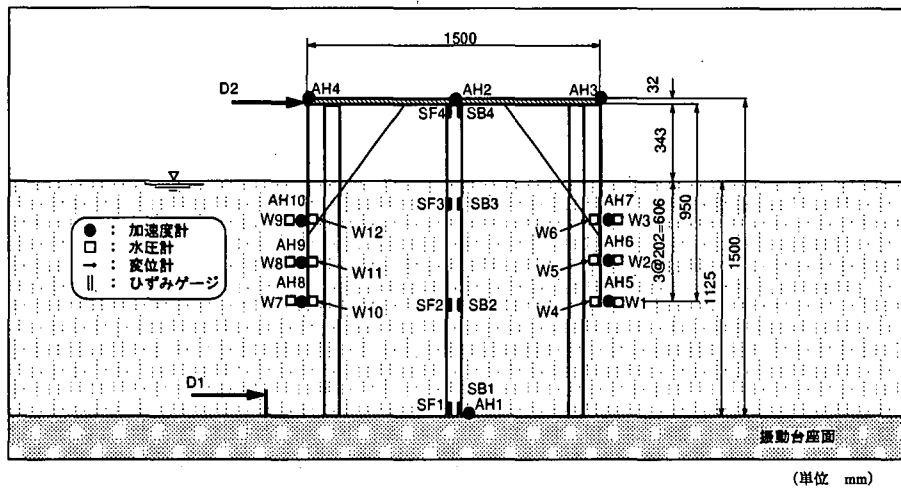


上部工の応答変位



上部工、直杭の応答加速度

図一3 免震栈橋振動実験での応答加速度、応答変位の時刻歴



図一 4 制震版付き栈橋振動実験の模型断面

である。応答加速度に関しては免震栈橋の方が周期が長くなるがその最大値は小さくなっている。これは免震装置による栈橋の固有周期の長周期化、及び減衰効果と判断される。応答変位の時刻歴からは、免震栈橋は免震装置の影響により最大応答変位が従来栈橋に比較して大き目の値を示している。

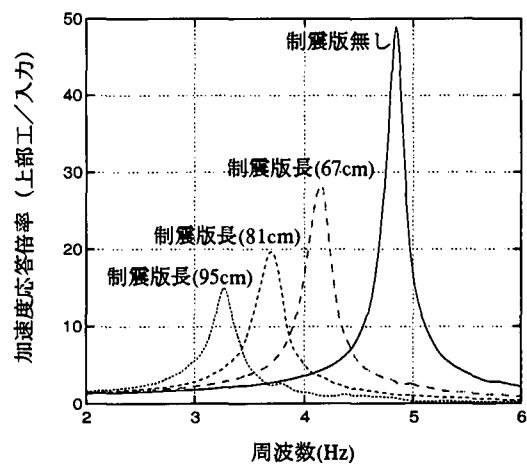
3. 制震版付き栈橋に関する検討

(1) 模型振動実験概要

図一 4 に制震版を設置した直杭式栈橋に関する模型振動実験の標準断面を示す。振動実験模型は、仮想固定点より上を取り出し、長さに関する相似比を 1/8 とした。したがって、仮想固定点に相当する杭模型の下端は固定条件とした。栈橋上部工と杭は剛結とし、杭の曲げ剛性は相似比を満足するようにした⁴⁾。また、上部工の重量は栈橋模型の 1 次の固有周期が時間の相似比を満足するように決めた。

制震版は上部工の両端から水中にまで設置した。その際、制震版の剛性を高めるために制震版と栈橋上部工の間に斜材を設けた。制震版の長さによる制震効果を検討するために、制震版の長さを 3 種類変化させて振動実験を行った。また、制震版が無い場合も比較検討のために実施した。計測器は加速度計、水圧計、変位計、およびひずみゲージを適宜配置した。振動実験では、最初に共振実験から固有周期を求めた。その後、加振加速度を一定にして周期を変えて正弦波加振を行った。

振動実験では、水深 2m の水槽の底面に振動台が設置されている大型水中振動台を用いた。これは、



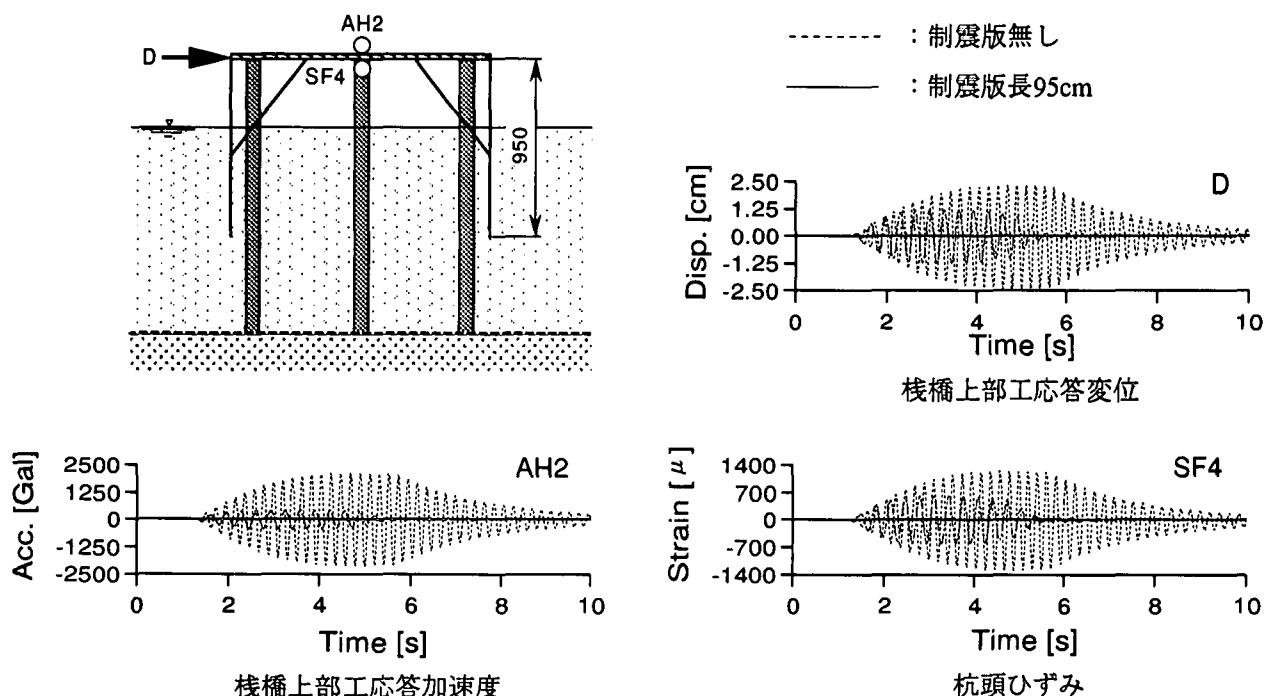
図一 5 共振実験結果

制震版と水との地震時相互作用を忠実に再現するためである。

(2) 模型振動実験結果の検討

図一 5 に共振実験結果を示す。横軸は周波数、縦軸は入力加速度に対する上部工の応答加速度の倍率を示す。制震版の長さは 3 種類 (67cm、81cm、95cm) に変化させた。制震版が無い場合に比較して、制震版を設置することにより、共振周波数が小さくなるとともに応答倍率も低減している。また、制震版が長いほど制震版が無い場合に比較して共振周波数と応答倍率の変化の程度が顕著に表れている。共振周波数が小さくなるのは、制震版による付加質量の効果によるものと判断される。また、応答倍率が低減しているのは、制震版による水の減衰効果によるものと推測される。

図一 6 の実線は制震版が有る場合、点線は制震版



図一 6 制震版付き栈橋模型振動実験での応答加速度、応答変位、杭頭ひずみの時刻歴

が無い場合の加振加速度100Galでの正弦波加振の実験結果を示す。正弦波加振では周波数を2～6Hzまで適宜変化させた。図一 6 は栈橋上部工の応答加速度が最大値を示した周波数でのそれぞれの実験結果である。

制震版が有る場合は無い場合に比較して、制震版の効果により栈橋上部工の最大応答変位が小さくなっている。同様の傾向が杭頭のひずみの応答波形からも得られている。さらに、栈橋上部工の応答加速度も大幅に低減している。したがって、制震版の効果により、上部工変位、杭頭ひずみが小さくなることが分かった。

4.まとめと今後の課題

直杭式栈橋の耐震性能を向上させる技術として、免震装置を配置した免震栈橋と制震版付き栈橋の2種類について模型振動実験を行い、その耐震性能を実験的に検討した。免震栈橋に関しては、今回の模型振動実験から判断する限りでは、従来栈橋に比較して免震栈橋の方が耐震性能が良いことが分かった。また、制震版を取り付けた直杭式栈橋に関しては、制震版の効果により栈橋上部工の応答変位、杭頭の応答ひずみは制震版の有る場合と無い場合とを比較し大幅に低減することが分かった。

今後は免震栈橋、および制震版付き栈橋の耐震性

能を今回の模型振動実験結果を踏まえて、数値解析などによる種々の観点から詳細に検討する予定である。

謝辞：本研究は運輸施設整備事業団基礎研究制度に基づいて行ったものである。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 三藤正明、磯貝哲也、五十嵐信一、清水欽也、森田秀美：免震建築物に関する研究（その3）実物大の高減衰積層ゴムの鉛直方向特性実験および水平方向特性把握実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.513～514、1993年9月
- 2) 三藤正明、磯貝哲也：免震建築物に関する研究（その5）免震装置のモデル化の違いが免震免震建築物に及ぼす影響について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.799～800、1994年9月
- 3) 三藤正明、磯貝哲也、清水欽也：免震建築物に関する研究（その7）地震観測結果と応答解析シミュレーション、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.625～626、1996年9月
- 4) Susumu IAI :Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure Model in 1G Gravitational Field, Report of the Port and Harbour Res. Inst. No.3, 1988