

( I - 72) 兵庫県南部地震により被災した直杭式棧橋に関する模型振動実験について

五洋建設株式会社 正会員 岩佐貴史  
 運輸省港湾技術研究所 正会員 菅野高弘  
 運輸省港湾技術研究所 正会員 宮田正史  
 五洋建設株式会社 正会員 三藤正明

1.はじめに

兵庫県南部地震により神戸港の直杭式棧橋は損傷を受けた。そこで、兵庫県南部地震時の直杭式棧橋の挙動を検討するために水中型の大型振動台を用いて模型振動実験を実施した。実験結果より護岸に背後地盤の液状化などの影響により設計で想定した以上の外力が作用し、まず護岸が海側に変形した。それに伴い渡版を通して棧橋上部工にも設計で想定した以上の外力が伝達され、その結果鋼管杭の杭頭部と地中部に座屈が生じたものと考えられる。本報告では直杭式棧橋の被災メカニズム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.直杭式棧橋の被害状況

直杭式棧橋は3列の鋼管杭と上部工はRC床版で構成されている。棧橋背後の重力式護岸と棧橋はRC製の渡版を介して連結されている構造である。被災後の調査結果から鋼管杭頭部に関しては海側杭と中間杭に座屈の発生が認められ<sup>1)</sup>、鋼管杭地中部に関しては海側杭、中間杭、および陸側杭に座屈が発生していた。

3.模型振動実験概要

模型振動実験には、水深2mの水槽の底面に振動台が設置されている水中型の振動台を用いた。これは、水中に建設される直杭式棧橋の地震時の挙動をより忠実に再現するためである。図-1に長さに関する縮尺比を1/15とし実験模型の断面を示す。相似則は表-1に示す井合の提案する1G場の相似則<sup>2)</sup>を用いた。棧橋模型は杭の曲げ剛性が相似則を満足するようにし、杭と上部工の接合条件は剛結とした。また、上部工は重量が相似則と整合性が取れるようにした。護岸背後の埋立地盤は相馬砂を水中落下法により作製し、せん断波速度が相似則を満足するようにした。捨石は砕石4号、重力式護岸背後の裏込土は砕石6号を用いた。直杭式棧橋の沈下、および水平変位を計測するためにそれぞれ2個の変位計を配置した。また、護岸の水平変位と沈下も変位計を設置し計測した。杭模型には

表-1 適用相似則

パラメータ	実物/モデル	縮尺
長さ	$\lambda$	15
時間	$\lambda^{0.75}$	7.62
剛性	$\lambda^{4.5}$	196070

曲げモーメントの発生状況を把握するために適宜ひずみゲージを取り付けた。埋立地盤、重力式護岸の直下、および捨石の直下に間隙水圧計と加速度計を配置し、過剰間隙水圧と応答加速度の発生状況を調べた。模型振動実験では、兵庫県南部地震の際にポートアイランド地区(K.P.-2 8m地点)で観測された強震記録を相似則に従い時間軸を縮小した波形を、現地構造物の方向に合わせて水平2方向と上下方向に作用させた。

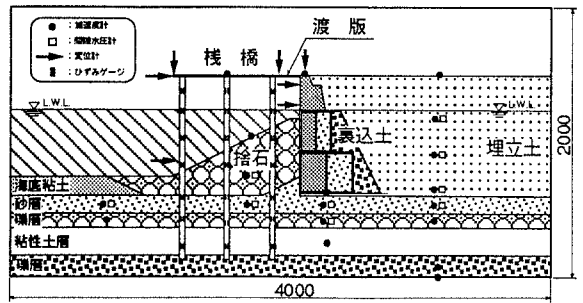


図-1 直杭式棧橋振動実験の模型断面

直杭式棧橋、被災メカニズム、水中振動台、兵庫県南部地震、液状化

〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1 TEL 0287-32-2111 FAX 0287-39-2132

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 TEL 0468-44-5029 FAX 0468-44-0839

#### 4. 模型振動実験結果の検討

図-2に埋立地盤に配置した間隙水圧、加速度の時刻歴、および栈橋上部工と重力式護岸の水平変位の時刻歴の実スケールでの値を示す。間隙水圧の時刻歴の図中の実線は有効上載圧を示す。埋立地盤の間隙水圧の時刻歴W2、W3、W4は9秒付近から過剰間隙水圧が上昇し、12秒付近で過剰間隙水圧比が概ね0.9程度まで達している。したがって、ほぼ液状化に近い状態が埋立地盤の全域にわたって発生したものと考えられる。この影響により埋立地盤に配置した加速度波形AH5、AH6、AH7も地表面に近づくのに従い最大加速度が小さくなるとともに長周期成分が卓越する傾向にある。護岸の水平変位D6の時刻歴は9秒付近から約12秒まで徐々に海側に変形し、最終的には0.7m程度の残留変形が生じている。

護岸の水平変位D6と埋立地盤の間隙水圧w3の時刻歴を比較すると、両者は良い対応関係にあるものと考えられる。したがって、埋立地盤の液状化の影響により護岸に背後から設計で想定した以上の水平力が作用し、護岸が海側に変形したものと判断される。栈橋上部の水平変位D2は護岸の水平変位D6を比較検討すると両者は良い一致が見られる。したがって、護岸が海側に変形した結果、栈橋と護岸を連結している渡版を通して栈橋上部工に水平力が作用し、栈橋が海側に変形したものと判断される。

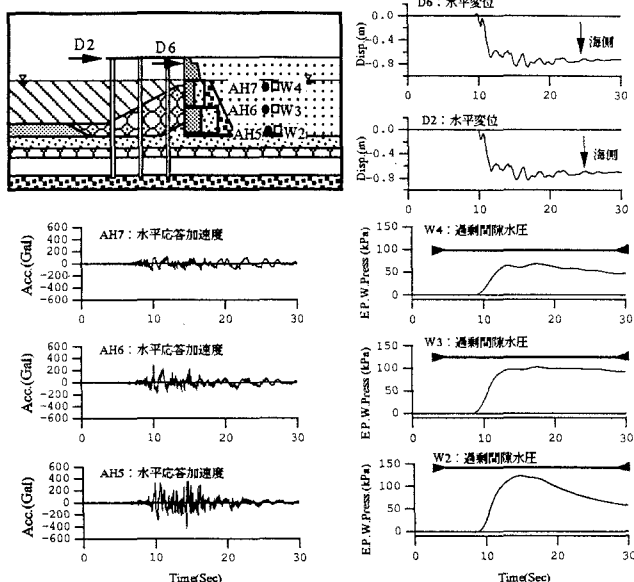


図-3は現地調査結果から得られた

座屈発生箇所と実験結果とをプロットし比較したものである。図中の●

印は残留変形状態での曲げモーメントの実験結果をプロットしたものである。杭頭部付近と地中部でそれぞれ正負の最大曲げモーメントが発生している。また、杭頭部付近の最大曲げモーメントは陸側杭に比べて海側と中間杭の方が大きい値を示し、座屈発生位置と良い対応を示した。また、地中部の最大曲げモーメントの発生位置と座屈発生箇所が概ね対応しているものと判断される。

以上の結果より護岸背後地盤の液状化などの影響により、設計で想定した以上の外力が護岸に作用し、その外力が渡版を介して栈橋に伝達され、その結果杭頭部と地中部に座屈が発生したものと考えられる。

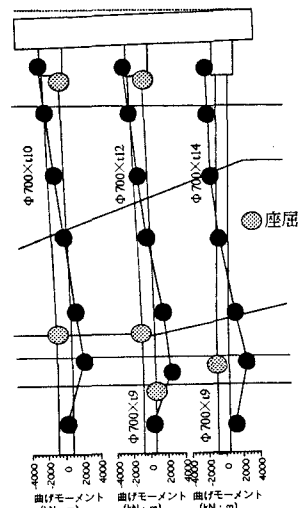


図-3 曲げモーメントの分布状況

#### 参考文献

- 1)南兼一郎、高橋邦夫、園山哲夫、横田弘、川端規行、関口宏二、辰見ター：神戸港における横栈橋の被害調査と動的相互作用解析、第24回地震工学研究発表会講演論文集、pp693-696,1997
- 2) S. Iai: Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fluid Model in 1G Gravitational Field, Report of the Port and Harbour Res. Inst., Vol.27, No.3, pp3-24, 1988