

五洋建設(株) 技術研究所 正会員 中原知洋  
運輸省港湾技術研究所 正会員 菅野高弘

### 1.はじめに

1995年1月に発生した兵庫県南部地震により様々な社会基盤に甚大な被害が発生したが、港湾施設についても同様であった。神戸港は大半の施設が被災し、港湾機能は地震直後ほとんど麻痺状態となった。特に被害が大きかったケーソン式岸壁の被災メカニズムを検討する目的で、縮尺1/17の岸壁模型を作製し、水中振動台を用いて大規模な再現性実験を行った。実験結果と現地被災調査結果を比較検討した結果、被災原因は当初予想されていたケーソン底面とマウンド間の滑りだけによるのではなく、マウンドおよび置換土の変形が主な原因であることが明らかになった。本報告では模型振動実験より得られた被災メカニズムの検討結果について報告する。

### 2.模型振動実験の概要

模型振動実験では、水深2mの水槽の底面に振動台が設置されている水中型の振動台を用いた。これは、水中に建設されているケーソン式岸壁の地震時の挙動をより忠実に再現するためである。写真-1に実験模型の写真を示す。この模型は、ポートアイランド地区のコンテナ埠頭-12m岸壁PC-1をモデルに長さの縮尺比を1/17として作製したものである。模型の置換部およびケーソン背後裏込部分はポートアイランドで採取したまさ土の30mmフルイ通過分を用い、水中落下法により作製した。基礎捨石部分は碎石4号、裏込石



写真-1 実験模型

は碎石6号を用いた。ケーソンに作用する動土圧および動水圧を計測するために、ケーソン背後に土圧計と間隙水圧計をそれぞれ4個設置した。置換部ではケーソン直下およびその前方位置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。裏込部にも間隙水圧計と加速度計を配置した。実験に用いた入力波は、神戸市開発局がポートアイランド地区K.P.-28mレベルで観測した強震記録を時間の縮尺比で圧縮したものである。模型振動実験の縮尺比は、地盤を二相系飽和材と仮定したときの波動方程式を支配方程式として井合が提案した1G場における相似則<sup>1)</sup>に従って決定した。

### 3.実験結果の検討

図-1に実験により得られた応答加速度、過剰間隙水圧、ケーソン変位の測定結果を相似則に従い実スケールに変換して図示した。まず、応答加速度の検討を行うために、同図の右上にポートアイランド鉛直アレーの地表面K.P.+4mのEW方向の観測波と模型振動実験より得られた地表面のEW方向の加速度波形を示す。最大加速度は観測波の方が大きめであるが、全体的な波形はほぼ一致している。これにより、本実験が実現象を良く再現しているものと考えられる。つぎに、過剰間隙水圧の検討を行う。同図にケーソン直下の置換土層内(W2)と背後地盤内(W5)の過剰間隙水圧の時刻歴を各観測点での有効上載圧の値とともに図示した。過剰間隙水圧は強い地震動により急激に増加するのではなく、加振開始から10秒程度を必要としながら徐々に増加することが新たに確認された。さらに、ケーソンの変位に関する検討を行う。ケーソンの変位は過剰間隙水圧と同様に強い地震動により急激に増加するのではなく徐々に増している。これよりケー

キーワード：港湾構造物、模型振動実験、液状化、水中振動台  
連絡先：五洋建設(株) 技術研究所 電329-27 栃木県 那須郡 西那須野町 四区町1534-1 TEL：0287-39-2111

ソンの変位は、加速度応答よりも間隙水圧の上昇による地盤の軟化と強い相関があることが明らかである。この現象はケーソンの移動が、慣性力により突然生じたのではなく、強い地震動が過ぎた後に遅れて進行した間隙水圧の上昇、つまり液状化による地盤の軟化がケーソンの移動、沈下に大きな影響を及ぼしたことを示唆している。図-2に実験により計測されたケーソン式岸壁の変形状況を実スケールに換算して表示した。同図よりケーソン本体と捨石マウンドの相対変位は小さく、ケーソンを載せたマウンド全体が置換土層にめり込み、沈みながら海側に移動していることが読みとれる。これより岸壁の被災形態としては、これまで推定されていたケーソン本体底面とマウンド間の滑りよりは、置換土層およびマウンド全体の変形がより大きく影響しているものと推測される。

4.まとめ  
 兵庫県南部地震で被災したケーソン式岸壁に関する模型振動実験を行い、被災のメカニズムに関する検討を行った。今回の実験結果によりケーソンの変位に大きな影響を与えているのは、置換土層の軟化に伴う地盤のせん断変形であることが明らかになった。このことは、ケーソンは最初の数秒間に繰り返される大きな加速度で変位が生じ始め、その後続く小さな加速度の段階でより大きく変位していることより説明できる。また、被災形態としては、ケーソンとマウンドが一体となって、軟化した地盤に沈みながら海側に移動している。これは、現地の測定の結果と整合性がとれており、設計段階では考慮されていない現象であった。さらに、地表面の沈下量およびケーソンの移動量に関しては、実験による値と現地被害の実測値は良い対応関係にあり、行われた模型実験の精度と用いた相似則の適応性を示す結果となった。

#### 4.まとめ

兵庫県南部地震で被災したケーソン式岸壁に関する模型振動実験を行い、被災のメカニズムに関する検討を行った。今回の実験結果によりケーソンの変位に大きな影響を与えているのは、置換土層の軟化に伴う地盤のせん断変形であることが明らかになった。このことは、ケーソンは最初の数秒間に繰り返される大きな加速度で変位が生じ始め、その後続く小さな加速度の段階でより大きく変位していることより説明できる。また、被災形態としては、ケーソンとマウンドが一体となって、軟化した地盤に沈みながら海側に移動している。これは、現地の測定の結果と整合性がとれており、設計段階では考慮されていない現象であった。さらに、地表面の沈下量およびケーソンの移動量に関しては、実験による値と現地被害の実測値は良い対応関係にあり、行われた模型実験の精度と用いた相似則の適応性を示す結果となった。

#### 謝 辞

本研究は、運輸省港湾技術研究所との共同研究の一環として実施したものであり、構造部地盤震動研究室井合進室長からは実験手法および結果について貴重な御意見を頂きました。紙面を借りて深甚なる謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 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, pp.3-24, 1988.
- 2) 菅野高弘、宮田正史、三藤正明、稲垣敏史、及川研、飯塚栄寿：平成7年兵庫県南部地震時の港湾・海岸施設の挙動に関する研究、海岸工学論文集、第43巻、pp.1311-1315、1996。

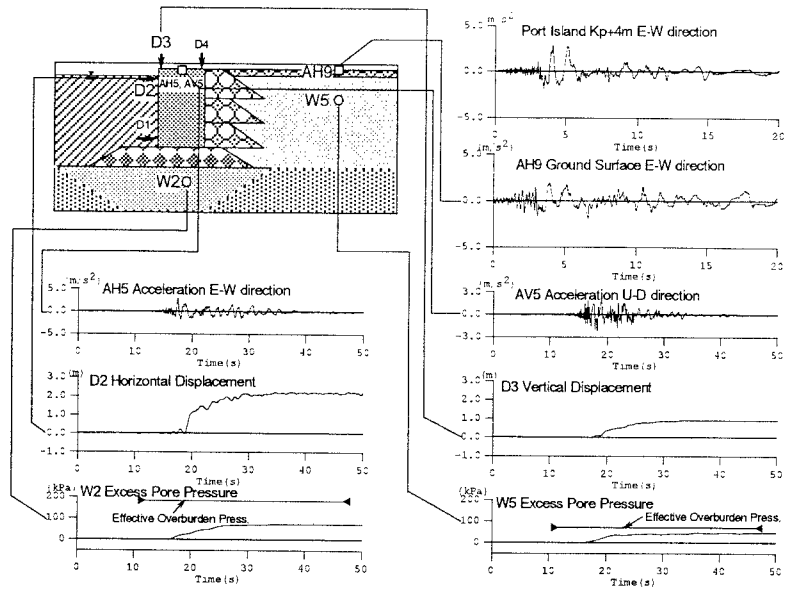


図-1 模型実験の時刻歴波形および観測波（実スケール）

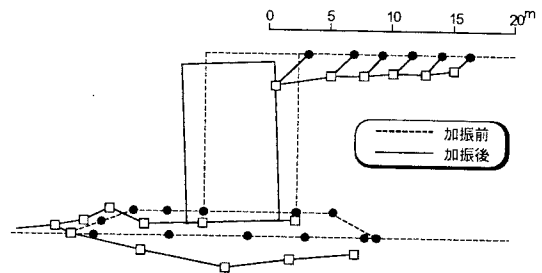


図-2 変形形状<sup>2)</sup>（実スケール）