

(67) 兵庫県南部地震により被災したケーソン式岸壁に関する実験的研究

運輸省港湾技術研究所 正会員 菅野高弘

五洋建設株式会社 正会員 三藤正明

運輸省港湾技術研究所 正会員 稲富隆昌

1.はじめに

兵庫県南部地震により、神戸港は大半の施設が被災し、港湾機能は地震直後はほとんど麻痺状態に陥った。岸壁、護岸の被災の形態については、施設の設計震度、構造形式により被害の程度に明確な差が見られた。施設の設計震度に着目して被害程度を検討すると、設計震度の小さな施設は大半のものが被害を受けている。一方、神戸港の中で最大の設計震度をもつ耐震強化岸壁である摩耶埠頭地区の3バースは、ほとんど被害がなかった。構造形式について見ると、被災の程度は栈橋式等の軽い構造物に比べて、ケーソン式、ブロック式など重量の重い構造物の被害が大きかった。ケーソン式岸壁の被災形態は、ケーソンが海側に移動、前傾、沈下し、背後地盤が陥没した。本報告では、今回の地震で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ためにに行った模型振動実験の概要および実験結果について説明する。

2.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。図-1に実験に用いたケーソン式岸壁模型の断面を示す。この模型はポートアイランド地区のコンテナ埠頭の12m岸壁の長さの縮尺比を1/17としたものである。模型の置換部および裏込部分はポートアイランドで採取したまき土の30mmフルイ通過分を用い水中落下法により作製した。基礎捨石部は砕石4号、裏込石は砕石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。裏込部も間隙水圧計と加速度計を配置した。

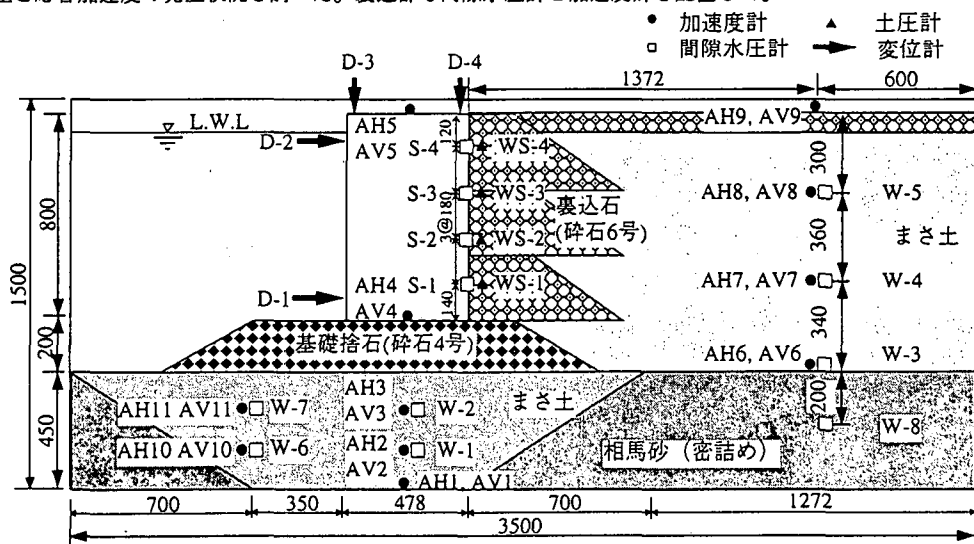


図-1 ケーソン式岸壁模型と計器配置状況

実験に用いた入力波は、兵庫県南部地震でポートアイランド地区のGL-2.8m地点で観測された強震記録を用いた。図-2に観測された水平2成分と上下成分の強震記録を示す。実際の加振では1G場の相似則¹⁾に従い時間軸を0.12倍に縮小した波形を、水平2方向および上下方向に同時に作用させた。

3. 模型振動実験結果の検討

3.1 応答加速度に関する検討

図-3に裏込部のまさ土に配置したAH6～AH9加速度計の水平方向の応答加速度を示す。AH9が地表面に設置した加速度計であり、AH6、AH7、AH8はそれぞれ地表面から100、66、30cmの深度に設置した。最深部のAH6では最大応答加速度が約344Galに対して、地表面のAH9では約190Gal程度である。図-4にAH6～AH9加速度計で計測された最大応答加速度の分布を示す。これより、地表面に近づくに従って最大応答加速度が小さくなっている。また、周波数特性について見ると、最深部のAH6に比べて地表面のAH9の方が長周期の波が卓越する傾向にある。すなわち、地表面に近づくに従って最大加速度が小さくなるとともに、長周期成分が卓越して行く。こ

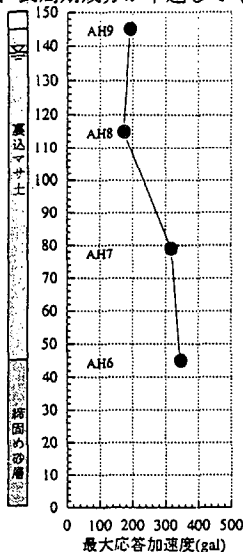


図-4 水平方向最大加速度分布

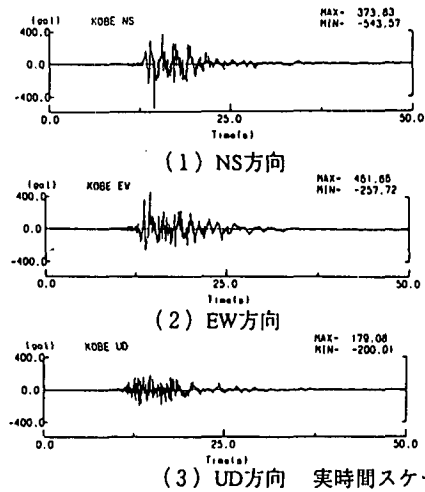


図-2 ポートアイランド地区での強震記録

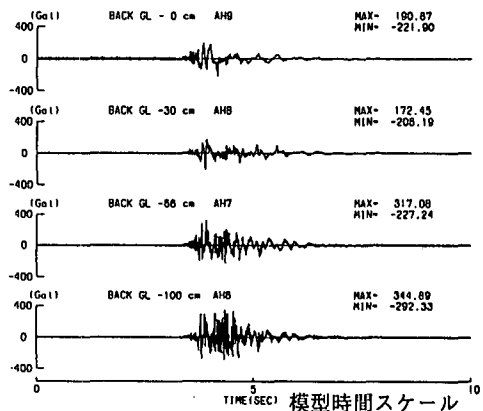


図-3 裏込部のまさ土の水平方向応答加速度

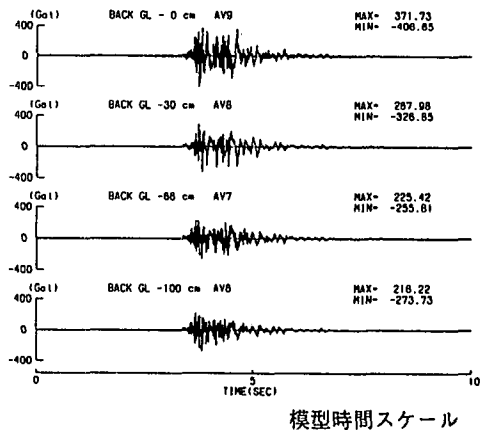


図-5 裏込部のまさ土の鉛直方向応答加速度

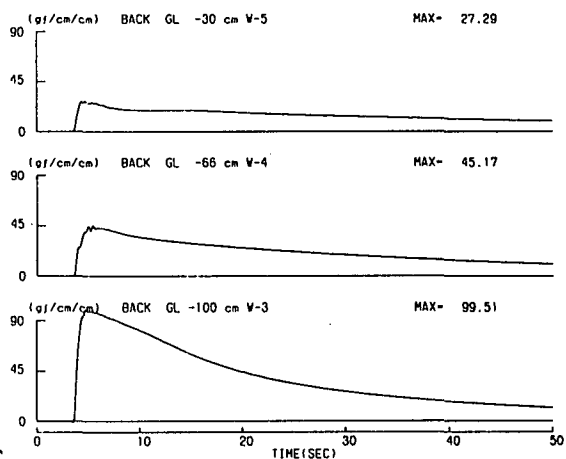
れは、地表面に近づくのに従い、過剰間隙水圧の上昇に伴いまさ土の軟化が顕著に現れたためである。図-5に同じ深度に配置したAV6～AV9加速度計の鉛直方向の応答加速度を示す。水平方向の応答加速度と異なり、地表面に近づくに従い最大応答加速度が増加している。また、周波数特性に関しても長周期成分が卓越する傾向も見られない。

3.2 過剰間隙水圧に関する検討

図-6に裏込部のまさ土に配置した間隙水圧計W3～W5、ケーソン直下のまさ土のW1、W2及び前方に配置したW6、W7の過剰間隙水圧の時刻歴を示す。W3～W5の時刻歴より、裏込部のまさ土では深くなるに従って最大過剰間隙水圧も増加している。最深部に配置したW3間隙水圧計の位置では最大過剰間隙水圧が約100gf/cm²発生し、鉛直有効上載圧に比較すると過剰間隙水圧比が0.8程度になっている。同様の傾向は裏込部のまさ土に配置した他の間隙水圧計からも観測された。従って、裏込部のまさ土は全域に渡って完全液状化に近い状態まで過剰間隙水圧が発生したものと判断される。

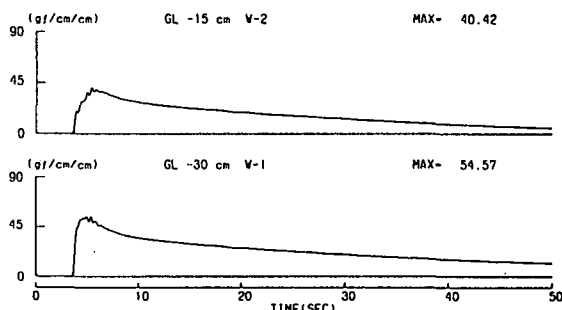
ケーソン直下のW1、W2間隙水圧計の時刻歴を中段に示す。W1の最大過剰間隙水圧は約54gf/cm²であり、過剰間隙水圧比では約0.45程度となり、地盤は安定していたものと判断される。W2についても同様の傾向が見られた。但し、ケーソンの上下動に伴う有効応力の変化によって過剰間隙水圧も変化している。

ケーソン直下より前方の置換部に設置した間隙水圧計W6、W7の時刻歴を下段に示す。間隙水圧計W6に関しては過剰間隙水圧が約47gf/cm²発生しており、過剰間隙水圧比では約0.8である。従って、置換部のこの部分はケーソン直下に比べてやや不安定な状態が発生したものと判断される。



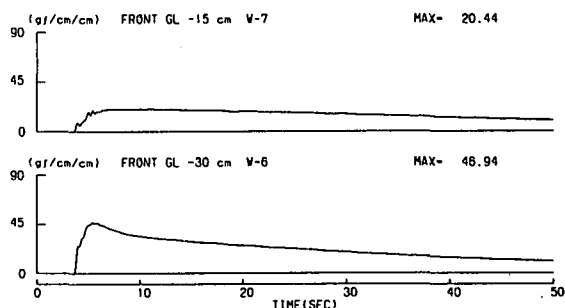
模型時間スケール

(1) 裏込部のまさ土 (W3～W5)



模型時間スケール

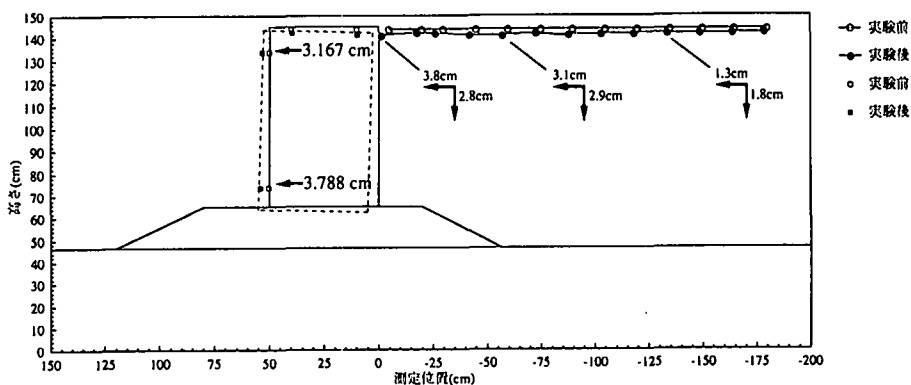
(2) 置換部のケーソン直下 (W1、W2)



模型時間スケール

(3) 置換部のケーソン前方側 (W6、W7)

図-6 過剰間隙水圧の時刻歴

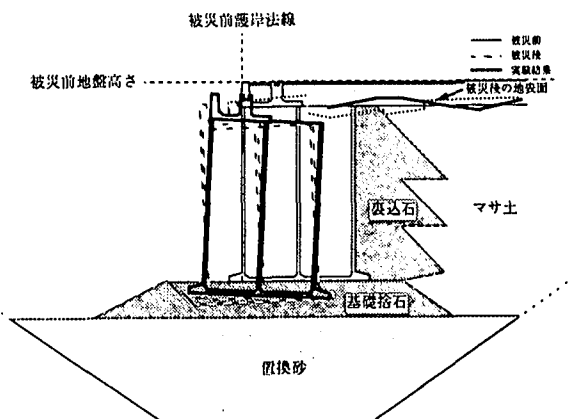


図ー7 実験でのケーソンの移動量と背後地盤の沈下量

3.3 ケーソン本体の移動量等に関する検討

図ー7に実験より得られたケーソン本体の移動量、および背後地盤の沈下量を示す。図から判断されるように、ケーソンの下端付近で約3.8 cm程度、上端付近で3.2 cm程度海側に移動している。従って、下端の方が上端に比較して前方に移動している。ケーソンの上下方向に関しては2 cm程度沈下した。

実際の被害との対応関係を調べるために、実験結果と被害の調査結果を比較した。図ー8にコンテナ埠頭のー12 m岸壁の被災後の地表面およびケーソンの変形状況を実線と点線で示す。模型振動実験から得られた地表面およびケーソンの残留変位を相似則¹⁾に従って実物に換算した残留変位を濃い実線で示す。地表面の沈下量およびケーソンの移動量に関しては、実験結果と実測値は比較的良好な対応関係にある。



図ー8 被災状況の実測値と実験値の比較

4. まとめ

兵庫県南部地震で被災したケーソン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した。今回の実験では、裏込部および置換部の一部のまき土は過剰間隙水圧が完全液化化近くまで上昇した。また、地表面の沈下量およびケーソンの移動量に関しては、実験結果と実測値は比較的良好な対応関係にあった。今後は種々の条件での実験を行い、被災のメカニズムに関して詳細に検討する予定である。

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, pp3-24, 1988