

兵庫県南部地震におけるケーソン式防波堤の被災メカニズムに関する模型振動実験

菅野高弘¹・三藤正明²・稲富隆昌³・宮田正史⁴

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

²正会員 工博 五洋建設(株) 技術研究所 (〒329-27 栃木県那須郡西那須野四区町1534-1)

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

⁴正会員 工修 運輸省港湾技術研究所 構造部構造振動研究室 (〒239 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

兵庫県南部地震により、重力式構造物であるケーソン式防波堤も被災した。ケーソン式防波堤の被災形態は、防波堤法線の水平移動は比較的小さく、沈下が卓越した。そこで、被災メカニズム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行った。その結果、ケーソン直下の置換層の軟化に伴って支持力が低下したことにより、ケーソンが沈下したものと判断された。

Key Words: Hyogoken-nanbu Earthquake, Caisson type break water, shaking table tests

1. はじめに

兵庫県南部地震により、兵庫県、大阪府、徳島県の24港において大きな被害が生じ、神戸港は大半の施設が被災し、港湾機能は麻痺状態に陥った。重力式構造物であるケーソン式防波堤も被災した。ケーソン式防波堤の被災形態はケーソン本体の沈下が支配的であり、水平変位は小さかった。そこで、兵庫県南部地震時のケーソン式防波堤の被災の原因を検討するために、水中型の大型振動台を用いて模型振動実験を実施した。本報告ではケーソン式防波堤の被災メカニズムに関する模型振動実験概要、及び実験結果について説明する。

2. ケーソン式防波堤の被害状況

図-1に実験対象としたケーソン式の第七防波堤の標準断面と被災状況を示す¹⁾。構造形式は海底の軟弱な粘土層を床堀し置換土を入れ、置換土の上に捨石を用いた基礎マウンドを施工し、その上にケーソンを据え付けたものである。被災状況は、防波堤法線の出入りは小さく、ケーソン間の目地の開きや段差も非常に小さかった。残留変位に関しては、図から判断されるように、ケーソンが基礎捨石にめり込みながら沈下し、最大残留沈下量は約2.6mである。一方、最大水平残留変位は0.6m程度であり、残留変位に関しては

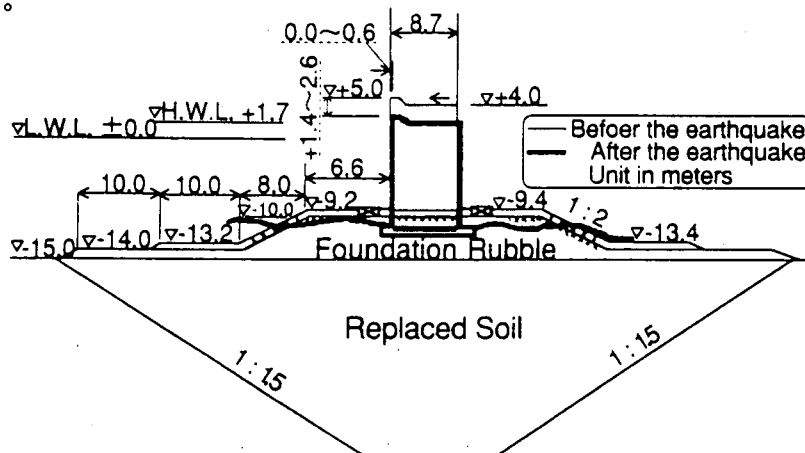


図-1 ケーソン式第7防波堤の標準断面と被災状況

沈下の方が支配的であることがわかる。すなわち、地震時における置換土の支持力の低下に伴ってケーソンが沈下したものと考えられる。

3. 模型振動実験概要

ケーソン式防波堤の模型振動実験には、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防波堤の地震時の挙動をより忠実に再現するためである。図-2に実験に用いたケーソン式防波堤模型の断面を示す²⁾。この模型は神戸港の第七防波堤の長さの縮尺比を1/18としたものである。ケーソン式防波堤模型は地震時外力を計測するための土圧計と応答加速度を計測するための加速度計を搭載した計測用模型とその両側に設置するダミー模型の合計3函用いた。

ケーソン式防波堤模型は振動台上に高さ150cm、幅350cmの2枚の鋼製枠を間口150cmになるように固定し、その中に土層を作成した。振動実験模型の置換層は図-3に示すように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。基礎捨石部は砕石4号を用いた。

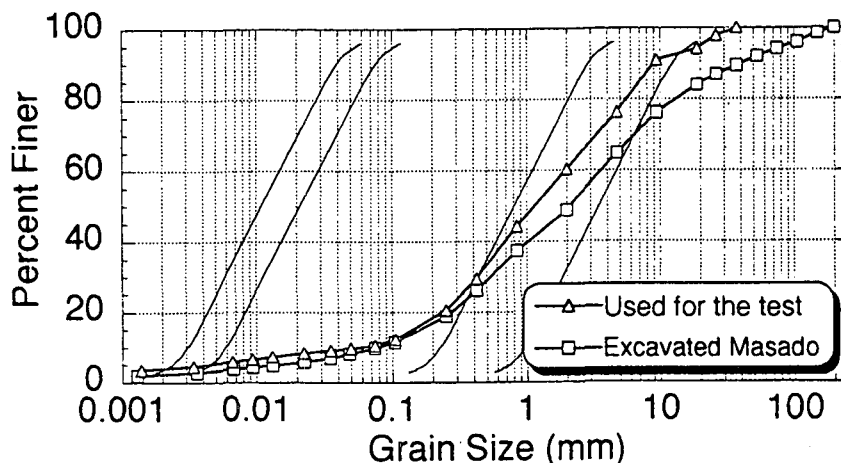


図-3 まさ土の粒径加積曲線

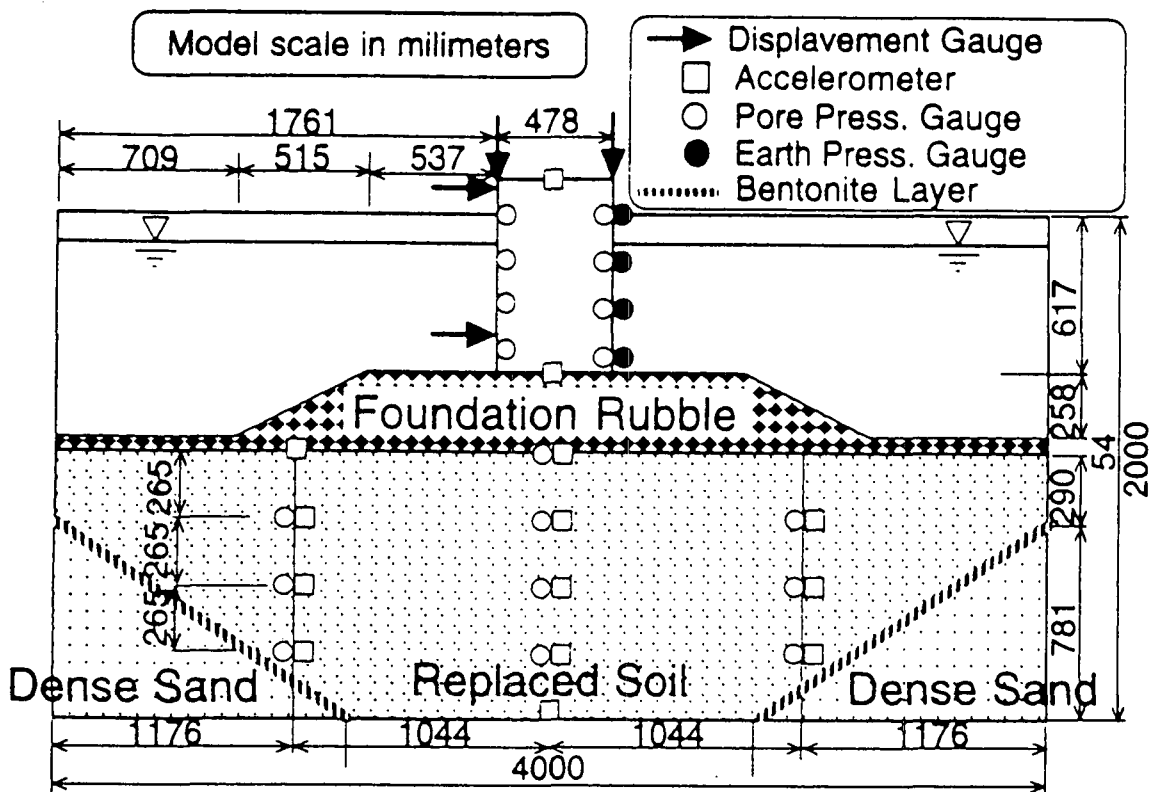


図-2 ケーソン式防波堤の模型断面

ケーソン式防波堤の沈下、及び水平変位を計測するためにそれぞれ2個の変位計を計測用ケーソン模型に配置した。置換層ではケーソン直下とケーソンの前方と後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。

模型振動実験に用いた相似則は、地盤を土粒子骨格と間隙水からなる二相系飽和材料と仮定したときの波動方程式を支配方程式から導き出された井合の提案する相似則を用いた³⁾。入力地震動は兵庫県南部地震の際にポートアイランド地区(K.P.-28m地点)で観測された強震記録を用いたが、今回採用した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方向および上下方向に同時に作用させた。図-4に模型振動実験に用いた入力地震動を示す。

4. 模型振動実験結果の検討

図-5はケーソンと基礎捨石に関する実験結果を実スケールに換算してプロットしたものだが、ケーソンが基礎捨石にめり込みながら2.6m程度沈下している。水平変位は防波堤天端で0.3m程度であり、沈下量の方が大きな変形を示した。模型振動実験結果からはケーソンは水平変位よりも基礎捨石にめり込みながら沈下する方が支配的であり、図-1に示す現地被災状況と概ね良い対応関係にあるものと判断される。

図-6は防波堤の変位と加速度、置換層の加速度、過剰間隙水圧に関する模型振動実験を実スケールに換算した時刻歴を示す。ケーソンの沈下の時刻歴D3、D4より、概ね10秒頃から沈下が発生し、20秒程度まで徐々に増加している。水平変位に関するD1、D2の

時刻歴は沈下の時刻歴と異なり、時間の経過とともに徐々に増加する傾向は見られず、最大0.6m程度発生しているが最終的には0.3m程度の残留変形した。

ケーソン前方の置換層に配置した過剰間隙水圧の時刻歴をw9、w10、加速度波形をA12、A13にそれぞれ示す。過剰間隙水圧の時刻歴の図中の実線は有効上載圧を示したものだが、図から判断されるように最大過剰間隙水圧比がほぼ1であることより、液状化が発生している。また、地盤の軟化の影響により地

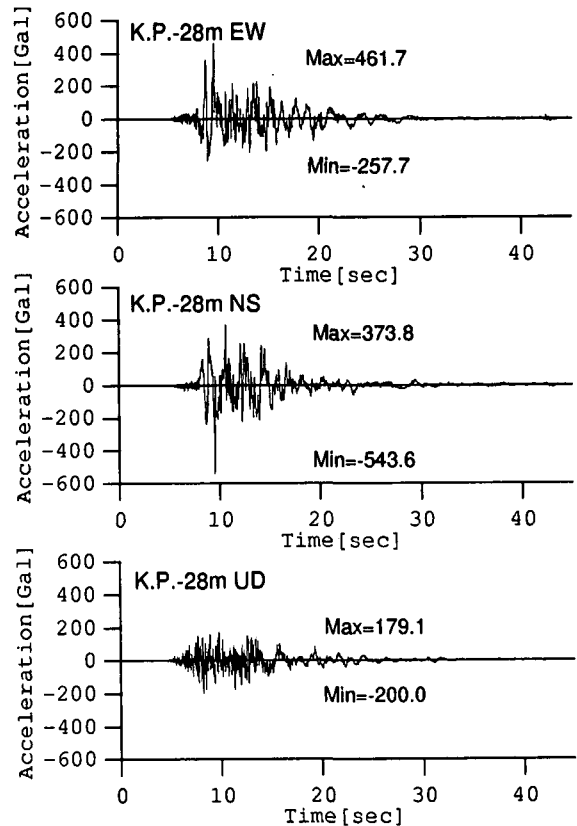


図-4 入力地震動

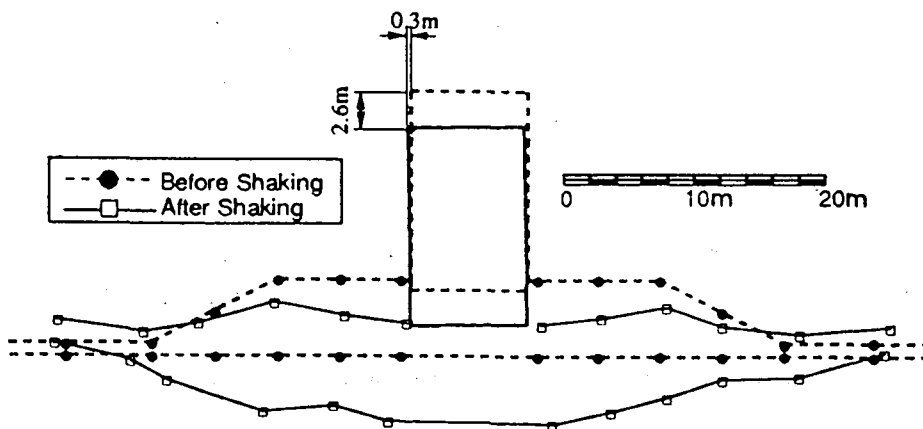


図-5 ケーソン式防波堤の残留変位に関する実験結果 (現地スケール)

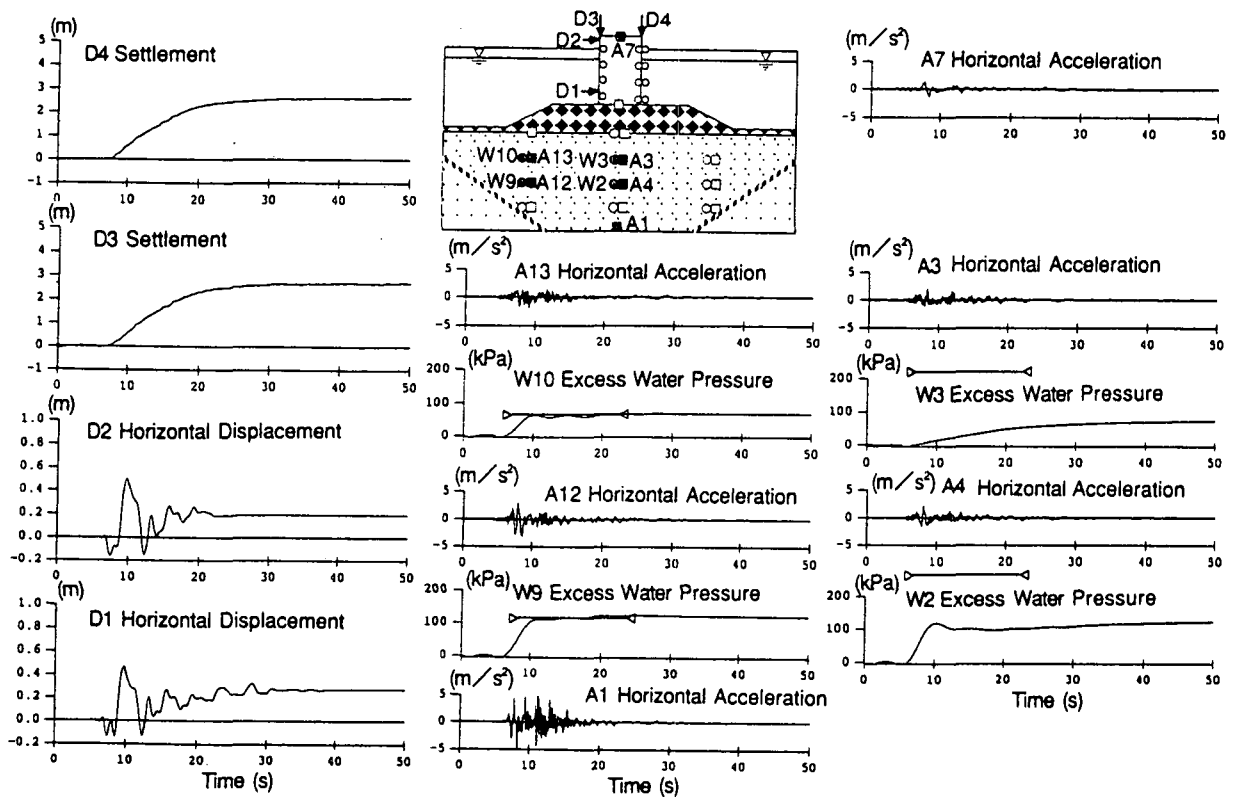


図-6 ケーソン式防波堤の応答加速度、過剰間隙水圧、変位に関する実験結果

表面に近づくほど最大加速度が小さくなっている。

ケーソン直下の置換層に配置した過剰間隙水圧の時刻歴をw2、w3、加速度波形をA3、A4にそれぞれ示す。過剰間隙水圧の時刻歴図から判断されるように、ケーソンの重量の影響により最大過剰間隙水圧比は半分以下の値を示しているが、同深度の加速度波形の最大値は入力波に比較して著しく低減しており、置換層の軟化の程度が大きいものと考えられる。

ケーソン直下の過剰間隙水圧の時刻歴はケーソンの沈下応答と良い対応が見られることより、置換層の軟化に伴って鉛直支持力が低下したことにより、ケーソンが沈下したものと判断される。

5. まとめ

兵庫県南部地震により、重力式構造物であるケーソン式防波堤も被災した。ケーソン式防波堤の被災形態は、防波堤法線の水平移動は比較的小さく、沈下が卓越した。そこで、被災メカニズムを検討するため

に水中型の大型振動台を用いて模型振動実験を行った。ケーソンの残留変位に関して現地計測と実験を比較検討した結果、両者は概ね良い対応関係にあった。また、ケーソン直下の過剰間隙水圧の時刻歴はケーソンの沈下応答と良い対応が見られることより、ケーソン直下の置換層の軟化に伴って支持力が低下したことにより、ケーソンが沈下したものと判断された。

参考文献

- 1) (財) 沿岸開発技術研究センター：地震対策に関する港湾技術セミナーテキスト、平成7年10月
- 2) 菅野高弘、宮田正史、三藤正明、稲垣紘史、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、Vol.43、pp.1311-1315、1996
- 3) 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