

# ケーソン式岸壁の耐震補強工法に関する 実験的研究

三藤正明<sup>1</sup>・北澤壮介<sup>2</sup>・真鍋昌司<sup>2</sup>・秋山義信<sup>3</sup>・龍田昌毅<sup>4</sup>

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 工修 (財) 沿岸開発技術研究センター 第二調査研究部 (〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16)

3正会員 工修 鹿島建設株式会社 土木設計本部 (〒107-8502 東京都港区赤坂6-5-30)

4正会員 鋼管杭協会 (〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10)

ケーソン式岸壁の耐震補強工法である前面矢板工法の耐震効果を検討するために模型振動実験を実施した。模型振動実験では前面矢板が有る場合と無い場合の2種類実施し、ケーソンの残留変形に着目して両者の実験結果を検討した。模型振動実験から、前面矢板はケーソンの水平残留変位を抑制する効果があること、および抑制効果は加振加速度が大きいほど顕著であることが分かった。また、残留変形モードは、ケーソンが水平変位するとともに前面矢板によるケーソン下端の変位抑制の影響により、回転が発生することが確認された。

**Key Words** : Caisson type quay wall, Earthquake resistant, Sheet pile, Shaking table tests

## 1. 目的

兵庫県南部地震は都市部に発生した直下型の大地震であり、多くの死傷者と多大な経済的損失を招いた。わが国を代表する貿易港である神戸港は、壊滅的な被害を被り、その機能を維持することがほとんど不可能であった。このような状況を踏まえて、既存の港湾施設の耐震性を評価し、適切な耐震補強対策を施す必要性が認識されている<sup>1)</sup>。ケーソン式岸壁の耐震補強工法として、ケーソン前面に鋼管矢板などの鋼材を打設し、既存のケーソン式岸壁と連結することにより、地震に対する水平抵抗力の増加を期待する前面矢板工法がある。前面矢板工法は、施工性、経済性に優れるとともに、既存岸壁の法線位置を変更しなくても良い等の利点を有している。そこで、前面矢板工法の有効性を確認するために模型振動実験を実施した。模型振動実験では前面矢板が有る場合と無い場合の2種類実施し、ケーソンの残留変形に着目して両者を比較検討した。

模型振動実験では、地盤を土粒子骨格と間隙水からなる二相系と仮定した支配方程式から導き出された井合の提案する1G場の相似則を用いた<sup>2)</sup>。表-1に相似比の一覧を示す。図-1に前面矢板で補強したケーソン式岸壁の長さに関する縮尺比を1/18とした振動実験模型を示す。実際のケーソン式岸壁は、水深-10.0m、設計水平震度0.15で設計したものである。ケーソン式岸壁背後の埋立地盤、およ

表-1 各物理量の相似比

| パラメータ | 実物/モデル           | 縮尺               |
|-------|------------------|------------------|
| 長さ    | $\lambda$        | 18               |
| 密度    | 1                | 1                |
| 時間    | $\lambda^{0.75}$ | 8.7              |
| 応力    | $\lambda$        | 18               |
| 間隙水圧  | $\lambda$        | 18               |
| 曲げ剛性  | $\lambda^{3.5}$  | $25 \times 10^3$ |
| 変位    | $\lambda^{1.5}$  | 76.4             |
| 速度    | $\lambda^{0.75}$ | 8.7              |
| 加速度   | 1                | 1                |

## 2. 模型振動実験概要

び砂層地盤は相馬砂を用いて作製し、せん断波速度が相似比を満足するようにした。岸壁背後の裏込石は碎石6号、基礎捨石は碎石4号を用いた。前面矢板模型は曲げ剛性が相似比を満足するように模型を製作した。また、ケーソン模型の下端と前面矢板の結合条件は水平力が伝達するようにした。

計測器に関しては、ケーソンの水平変位、および沈下を計測するためにそれぞれ2個の変位計をケーソン模型に取り付けた。さらに、前面矢板の杭頭部も変位計を設置した。岸壁背後の埋立地盤、基礎地盤、および基礎捨石には加速度計と間隙水圧計を配置し、応答加速度と過剰間隙水圧を計測した。

加振波は正弦波とし、周波数は5 Hz、波数は10波とした。加振加速度は100、150、200、250Galの段階加振とした。なお、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大型水中振動台を用いた。これは水中に建設されるケーソン式岸壁の地震時挙動をより忠実に再現するためである。

### 3. 模型振動実験結果の検討

#### (1) 埋立地盤模型の振動特性の検討

正弦波加振に先立ち共振実験を行い、埋立地盤、および基礎地盤の振動特性を調べた。これは、前面

矢板が有る場合と無い場合の埋立地盤、および基礎地盤模型の振動特性が異なる場合、ケーソンの残留変位に影響を与えるものと判断されるためである。図-2に埋立地盤に配置した加速度計の下端AH4と上端AH6の位置、および下端と上端の応答加速度のフーリエスペクトルの振幅比を示す。前面矢板

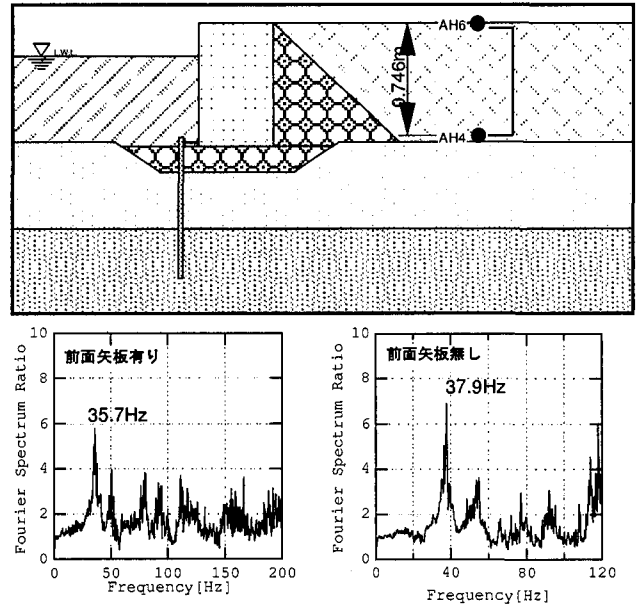


図-2 埋立地盤模型の振動特性

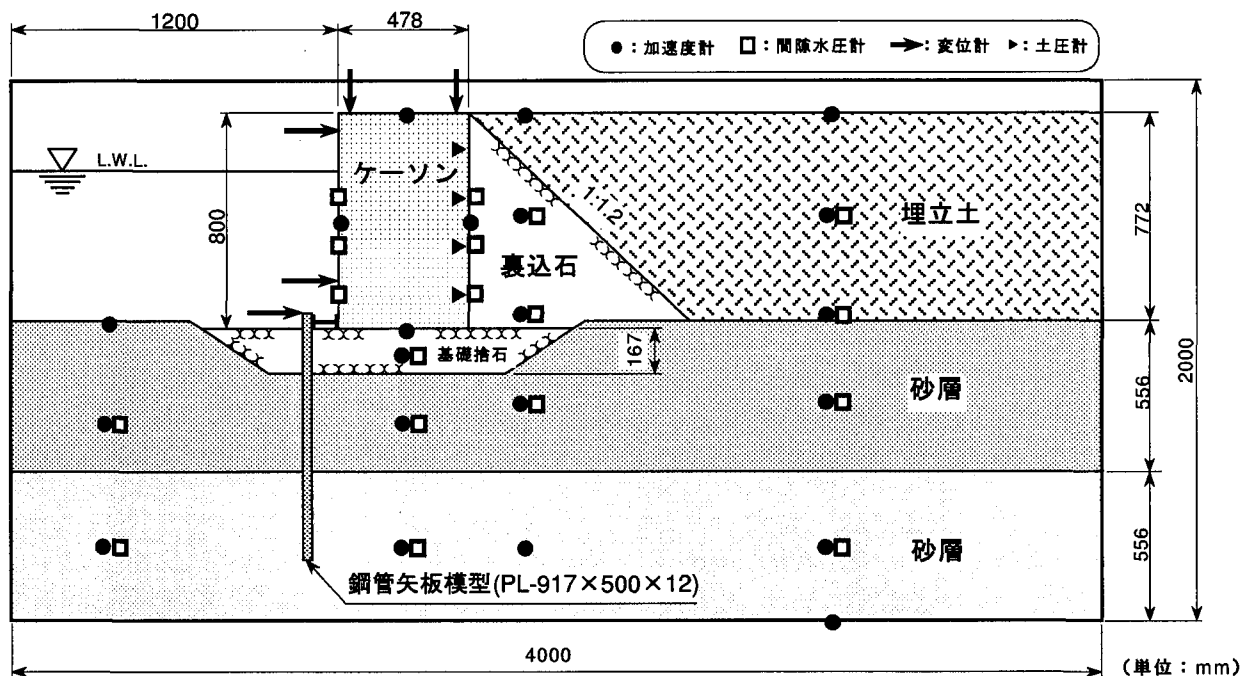


図-1 前面矢板で耐震補強したケーソン式岸壁の振動実験模型

がある場合の卓越周波数は35.7Hzに対して、前面矢板が無い場合は37.9Hzであり、両者は概ね良い一致が見られる。基礎地盤に関しても同様の結果が得られている。したがって、前面矢板がある場合と無い場合は、ほぼ同様な振動特性を有する埋立地盤、基礎地盤が作製されたものと考えられる。

### (2) 応答加速度に関する検討

図-3に加振加速度200Galでの埋立地盤模型、基礎地盤模型での応答加速度、過剰間隙水圧の時刻歴を示す。図中の実線が前面矢板がある場合、点線が前面矢板が無い場合の実験結果を表している。応答加速度に関しては、埋立地盤AH5、および基礎地盤AH3、AH13、AH18の応答加速度に関しては、両者は良く一致している。基礎地盤W2、W9、W12の過剰間隙水圧の時刻歴は、概ね良い一致が見られる。一方、埋立地盤W4は、前面矢板がある方が大きめの値を示している。しかしながら、前面矢板がある場合でも過剰間隙水圧比は0.2程度であり、過剰間隙水圧の上昇に伴う埋立地盤の軟化の程度は小さいものと判断される。

### (3) ケーソンの残留変形に関する検討

ケーソン式岸壁の耐震性能は地震時の残留変位によって決まる。そこで、前面矢板がある場合と無い場合の水平残留変位を比較検討した。図-4に加振加速度と実スケールでの水平残留変位の関係を示す。図中の○、□印はそれぞれ前面矢板が無い場合のケーソン前面の上部、および下部付近の水平残留変位を示している。また、●、■印は前面矢板がある場合の値を示している。

加振加速度が100Gal程度では、両者の水平残留変位はほぼ同じ値を示している。一方、加振加速度150Gal以上では、前面矢板がある場合の方が小さな水平残留変位を示している。したがって、前面矢板の効果によりケーソンの水平残留変位が抑制され、耐震性能が向上したものと判断される。特に加振加速度が250Gal程度の場合、前面矢板の変形抑制効果により約1/3まで水平残留変位が低減している。

残留変形モードに関しては、前面矢板が無い場合はケーソン上部(D1)と下部(D2)の水平残留変位がほぼ同じ値より、ケーソン全体が水平方向に移動した傾向を示している。一方、前面矢板がある場合、ケーソンの上部と下部の水平残留変位は加振加速度が大きくなるにつれて相違が見られ、加振加速度が250Gal程度では上端は下端の約2倍の水平残

留変位を示している。これは、ケーソンが水平方向に移動するとともに回転したため、両者の相違が生じたものと判断される。ケーソンに回転が発生した

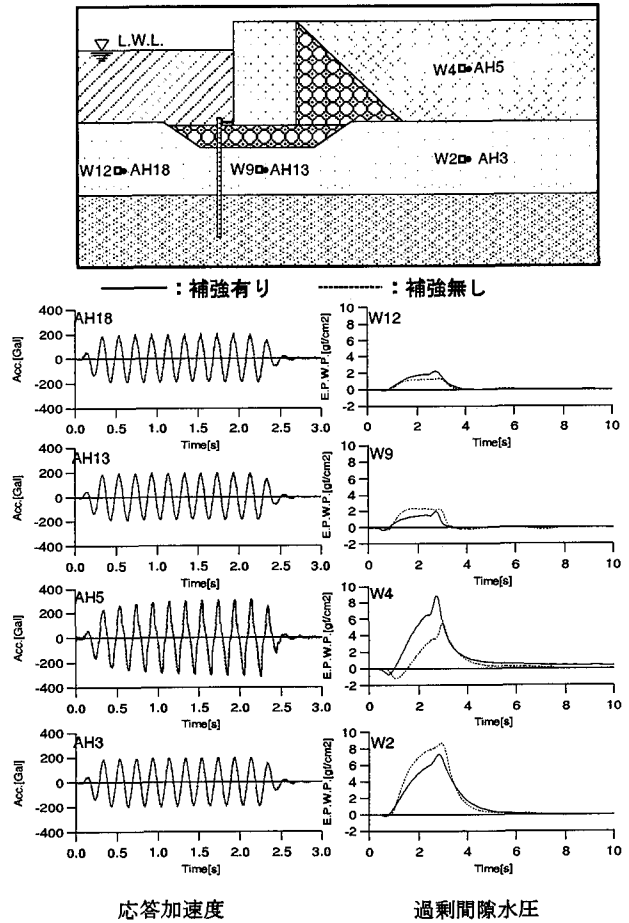


図-3 200Gal加振時の埋立地盤、基礎地盤の応答加速度、過剰間隙水圧の時刻歴

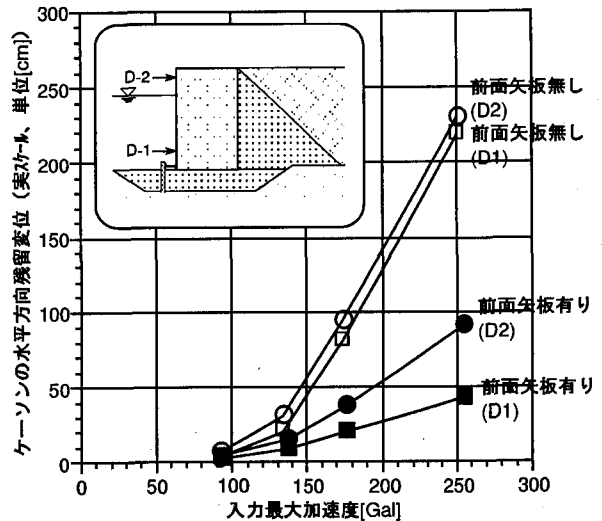
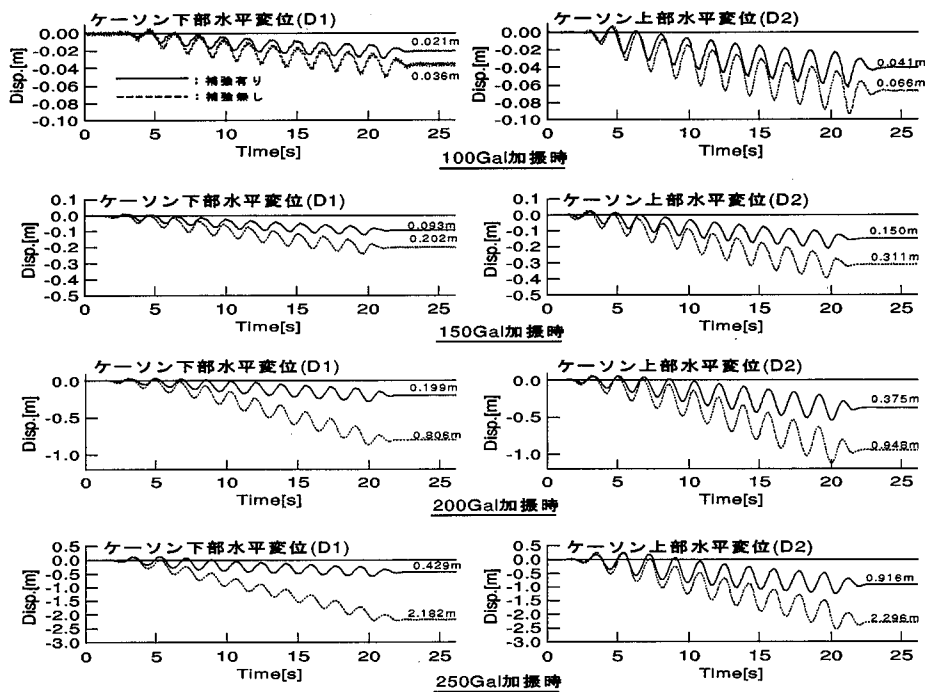


図-4 加振加速度とケーソンの残留変位



図一五 ケーソンの水平変位の時刻歴

のは、前面矢板によりケーソン下端の変位が抑制されたためと考えられる。

図一五に各加振段階でのケーソンの上部と下部の水平変位の時刻歴を示す。図中の実線が前面矢板が有る場合、点線が前面矢板が無い場合の結果を示している。各加振段階とも、加振波が作用した初期の段階からケーソンが海側に変位している。また、前面矢板が有る場合、前面矢板の影響によりケーソンの下部に比較して上部の方が大き目の変位を示している。

#### 4. まとめ

ケーソン式岸壁の耐震補強としての前面矢板工法の有効性を確認するため、大型水中振動台を用いた模型振動実験を行った。模型振動実験では、前面矢板が有る場合と無い場合の2ケースについて実施した。模型振動実験から以下のことが分かった。

- 1) ケーソンの水平残留変位は、前面矢板が有る場合の方が無い場合に比較して小さい。したがって、前面矢板によるケーソン式岸壁の耐震補強効果はあるものと判断される。
- 2) 加振加速度 250Gal の場合、前面矢板が有る場合のケーソン天端の水平残留変位は、無い場合に比較して 1/3 程度まで低減した。また、水平残留変位の低減の程度は、加振加速度の増加に

伴って大きくなる傾向を示した。

- 3) 残留変形モードに関しては、前面矢板が無い場合は水平変位のモードが卓越した。一方、前面矢板がある場合は、前面矢板による変位抑制の影響によりケーソンが水平移動するとともに回転が発生することが確認された。

**謝辞：**本研究は1997年度に(財)沿岸開発技術研究センター、鹿島建設(株)、五洋建設(株)、鋼管杭協会の共同研究として実施した内容の一部を取りまとめたものである。本研究に際しては「複合構造物専門委員会」(委員長：運輸省港湾技術研究所岩上前構造部長)のご指導を戴きました。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 沿岸開発技術研究センター、鹿島建設、五洋建設、鋼管杭協会：重力式岸壁・護岸の新しい耐震補強工法の開発報告書、平成10年3月
- 2) 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
- 3) 北澤壮介、真鍋昌司、秋山義信、三藤正明、龍田昌毅：根固め矢板による重力式岸壁の耐震補強工法の開発、海洋開発論文集、Vol.15、1999 年5月