

長フーチングを有するケーソン式岸壁の 地震時挙動について

塩崎禎郎¹・菅野高弘²・山本俊介³・田中 剛⁴・関口宏二⁵

¹正会員 工修 NKK 基盤技術研究所 (〒210-0855川崎市川崎区南渡田町1-1)

²正会員 工博 運輸省 港湾技術研究所 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

³正会員 日本港湾コンサルタント (〒150-0022東京都渋谷区恵比寿南1-15-1)

⁴科学技術振興事業団 (〒332-0012川口市本町4-1-8)

⁵正会員 工博 NKK 基盤技術研究所 (〒210-0855川崎市川崎区南渡田町1-1)

長フーチングを有するケーソン式岸壁は、通常のケーソンよりフーチングを延ばして、ケーソン函体幅を狭くすることを特徴としている。設計時の安定計算では、通常のケーソンと同様、陸側フーチングの後趾を仮想背面として、フーチング直上の上載土を壁体の有効重量とみなして設計している。ところが、耐震強化岸壁など動的挙動の影響が大きい場合、フーチング上載土が壁体の有効重量として見なせるか明確な知見は得られていなかった。そこで、水中振動台を用いた大型模型振動実験を実施して地震時挙動について検討を行った。その結果、フーチング上載土はケーソンと一体となって挙動し、有効重量として働いていることが確認された。

Key Words : extended footing, caisson-type quay walls, under water shaking table tests

1. はじめに

兵庫県南部地震では、ケーソン式岸壁が大きな被害を受けた。そのため、1999年に改訂された基準では、耐震性能照査型の設計法が導入され、港湾構造物の耐震性照査（水中振動台実験、数値解析）は重要な課題となっている。長フーチングを有するケーソン式岸壁（図-1）は、通常のケーソンよりフーチングを延ばして、ケーソン函体幅を狭くすることを特徴としている。壁体の滑動や転倒等の安定計算では、通常のケーソンや、L型ブロック等と同様、壁体後趾（陸側フーチング先端）を仮想背面として、フーチング直上の上載土を壁体の有効重量とみなして設計している。ところが、耐震強化岸壁のように想定地震動が大きく、動的挙動の影響が大きい場合、

フーチング上載土が壁体の有効重量として見なせるか明確な知見は得られていなかった。そこで、水中振動台を用いた大型模型振動実験を実施して地震時挙動について検討を行った。

2. 実験概要

本実験では、設計水平震度0.25で設計した-16m水深の耐震強化岸壁（ケーソン函体幅：18.5m、フーチング長さ：海側3m、陸側5m：1999年改訂基準にて設計）を対象とし、縮尺比1/25でモデル化した。図-2に模型断面を示す。実験は、兵庫県南部地震時のケーソン式岸壁の被災事例解明に菅野ら¹⁾が行った方法を採用し、相似則は井合提案の1G場における相似則²⁾を適用した。各物理量の縮尺比を表-1に示す。

ケーソン模型はアルミニウム製で、荷重計を搭載することにより、受圧版を介して土圧合力が測定できるようにした計測用ケーソン模型（図-3）と、その両側に設置するダミーケーソンの3函から構成される。ケーソン模型内部に中詰砂および鋼板を入れ、重量と重心位置を調整し、ケーソン底面には摩擦増大マット（ゴムスポンジ）を張り付け、摩擦係数を0.7になるように調整した。

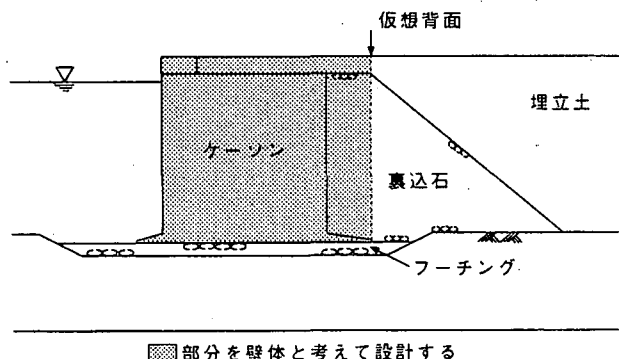


図-1 長フーチングを有するケーソン式岸壁

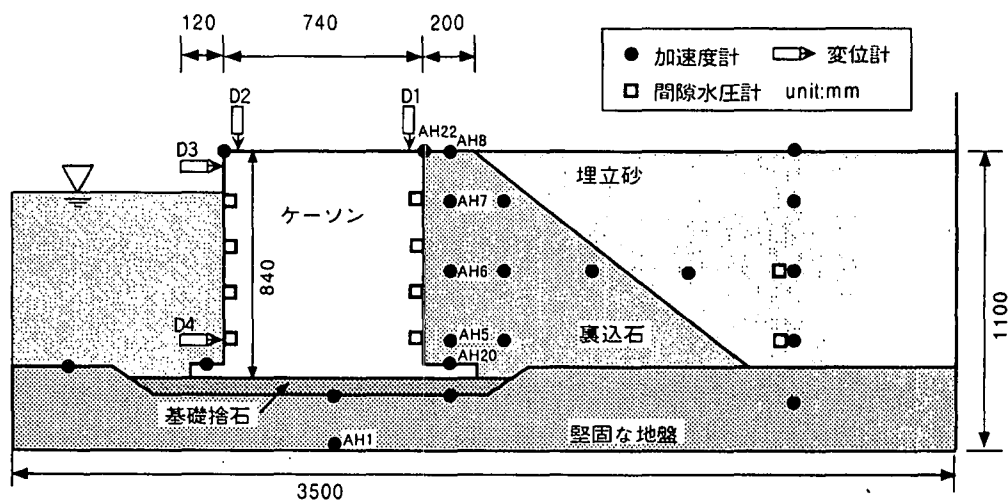


図-2 模型断面

表-1 適用相似則

パラメーター	実物/モデル	縮尺比
長さ	λ	25.00
密度	1	1.00
時間	$\lambda^{0.75}$	11.18
加速度	1	1.00
応力	λ	25.00
変位	$\lambda^{1.5}$	125.00
間隙水圧	λ	25.00

模型地盤は振動テーブルに間口150mmの鋼製土槽を設置して作成した。海底地盤は岩盤や深層混合処理地盤を想定し、相馬硅砂5号に重量比で3%の超早強セメントを混ぜて堅固な地盤とした。基礎捨石マウンドには碎石4号、裏込石は碎石6号を用いて形成した。埋立地盤は相馬硅砂5号を用い気中落下で投入し、加振時に液状化しないように十分締め付けた。

計測器は変位計、加速度計、間隙水圧計を適宜配置し、地震時のケーソンと地盤の挙動を把握できるようにした。

入力地震動は、兵庫県南部地震でポートアイランドにて観測された強震記録(KP-28m)を採用し、岸壁法線直角方向にNS成分(最大加速度544Gal)、法線方向にEW成分(最大加速度462Gal)、鉛直方向にUD成分(最大加速度200Gal)を同時に作用させた。

3. 実験結果

図-4に加振後のケーソン変形図を示す。変形量は実スケールに換算した値で、ケーソン天端の残留水平変位D3は11.8cm、鉛直変位D2は6.5cmであった。この値は、兵庫県南部地震時におけるケーソン式岸壁の被災変形量と比べると、かなり小さな値となっており、今回の検討断面は十分耐震性を有するものと判断できる。

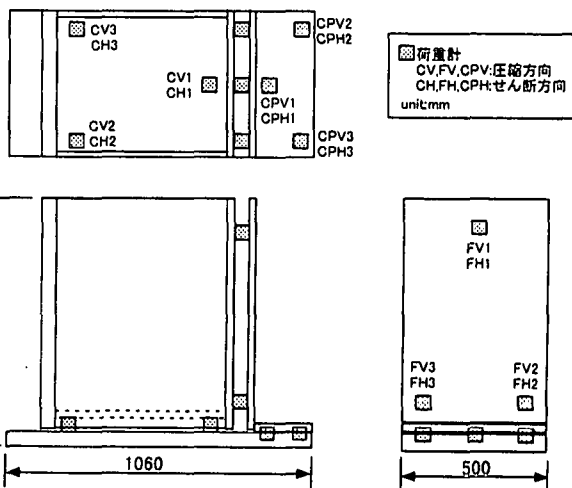


図-3 計測用ケーソン模型

図-5に変位、加速度、荷重計の時刻歴波形を示す。フーチング上載土部分の加速度波形(AH20, AH5~AH8, AH22)は、上方に向かうにしたがい増幅しているが、同位相で挙動していることが分かる。この加速度波形を2回積分して求めた変位波形を重ね合わせると図-6に示すように、フーチング上載土とケーソンは一体となって挙動していることがさらに明確になる。

フーチングの上面に作用する鉛直方向荷重CPVは、加振中に変動するものの、平均的には初期状態(加振前)の荷重が作用している。ケーソンが加振中最も大きく海側に変位する過程の時刻1.814secにおける荷重計の分布(動的成分:加振前を零としている)を図-7に示す。ケーソンは前傾しながら、前方に変位しており、特に海側の底面反力(CV2とCV3の合力)が増大している。また、背面の水平方向荷重FVも増加する側に作用しており、地震時土圧が海側に作用していることが分かる。同時刻において、フーチングの上面に作用する鉛直方向荷重CPVも増加しており(加振前と比較して)、フーチング上載土は有効重量として働いているものと判断できる。

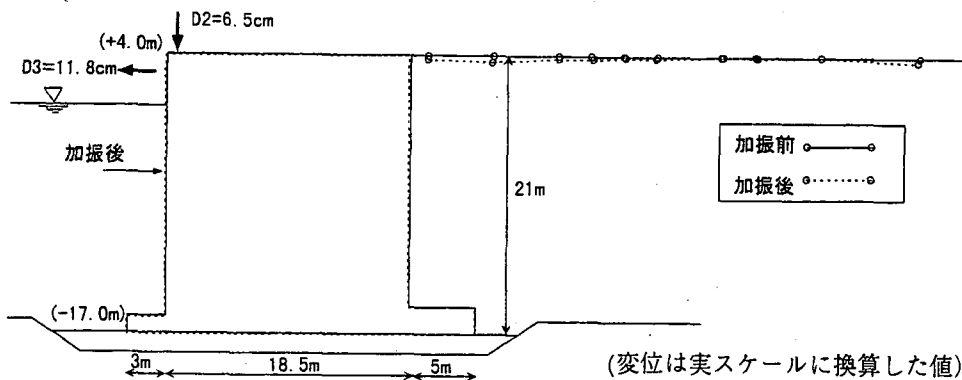
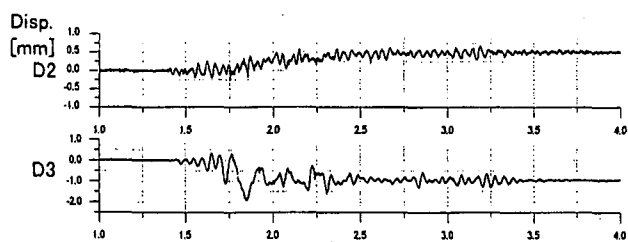
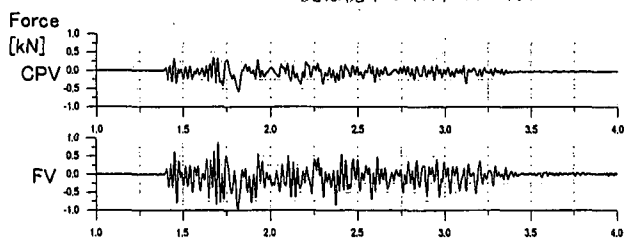


図-4 残留変形図

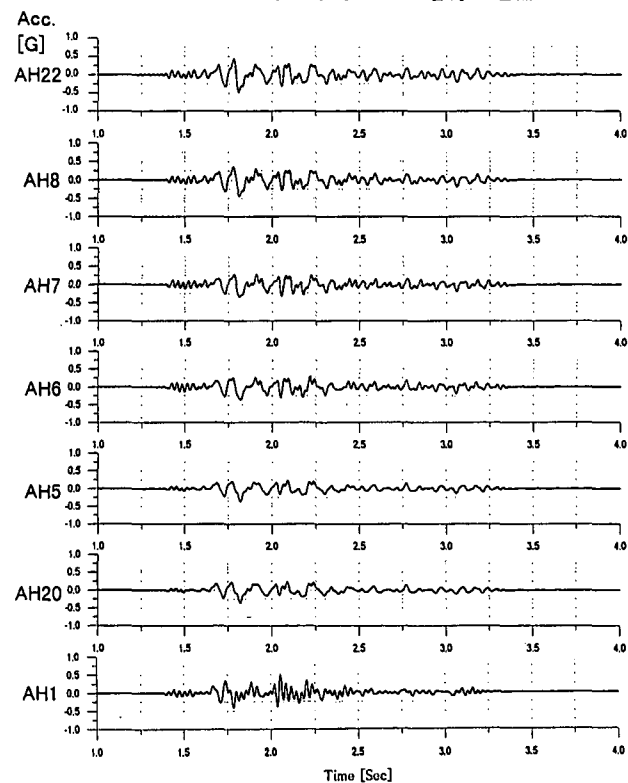
(変位は実スケールに換算した値)



D2は沈下が(+), D3は海側が(-)



CPVはCPV1~CPV3の合力で圧縮が(-)
FVはFV1~FV3の合力で圧縮が(-)



AHは海側が(-)

図-5 時刻歴波形

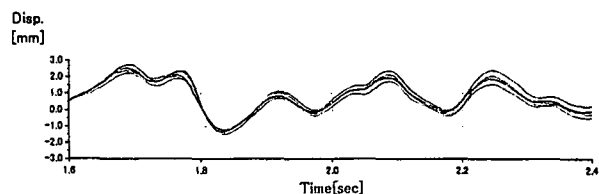


図-6 変位波形重ね合わせ (主要動部分)

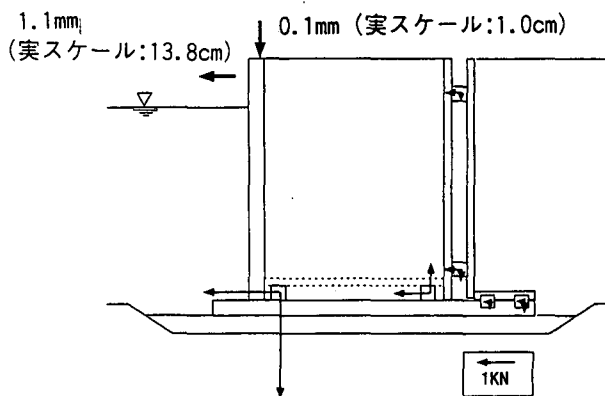


図-7 荷重分布図

4. 動的シミュレーション

動的有効応力解析プログラムFLIP³⁾を用いて、振動台実験のシミュレーションを実施した。解析で用いる地盤定数は、模型地盤の出来高(単位体積重量、間隙比)、パルス加振で得られたせん断波速度等を基に設定し、表-2に示す値を用いた。ケーソンと土要素が接する部分には、ジョイント要素を用い、コンクリート壁面に沿う滑りと剥離を考慮できるようにした。入力地震動は、実験で収録された振動台の加速度波形データを、水平、鉛直の2成分を同時に作用させた。

図-8に残留変形図を、図-9に変位および加速度の時刻歴波形を示す。実験値と比較して、ケーソン天端の鉛直方向の沈下量は小さくなっているが、ケーソンの水平方向残留変位はほぼ一致している。また、時刻歴波形も実験値とよく一致しており、加振時の挙動を再現できている。したがって、地盤の材料物性値を適切に設定することで、振動台実験をFLIPによりシミュレートできることが分かった。

表-2 解析に用いた地盤定数

	密度 ρ (t/m^3)	基準有効 拘束圧 σ_{v0}' (kPa)	初期せん断剛性 G_{v0} (kPa)	初期体積弾性 係数 K_{v0} (kPa)	せん断 抵抗角 ϕ_r' (deg.)
埋立砂 (気中)	1.58	0.82	21119	55076	38
埋立砂 (水中)	1.97	3.67	20541	53567	38
裏込石 (気中)	1.62	0.84	26323	68649	40
裏込石 (水中)	2.00	3.45	32526	86837	40
基礎捨石	1.86	98.0	4900	12779	40

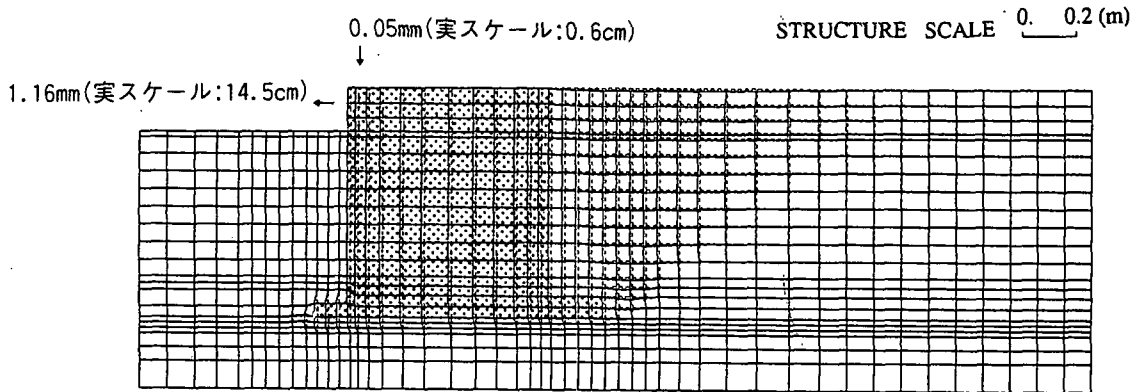


図-8 残留変形図

5. まとめ

長フーチングを有するケーソン式岸壁の模型振動実験を実施した。その結果、フーチング上載土はケーソンと一体となって挙動し、壁体の有効重量として働いていることが検証された。また、FLIPを用いて動的シミュレーションを実施し、模型振動実験への適用性を確認する事が出来た。今後は、地盤条件やケーソン形状等を変えて検討を進めていく予定である。なお、本実験は運輸省港湾技術研究所と日本鋼管株式会社の平成10年度共同研究「重力式港湾構造物～地盤系の地震時安定性に関する研究」の中で実施したものである。

謝辞：実験に際して、協力していただいた科学技術振興事業団重点研究支援協力員の巽裕一郎氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 菅野高弘, 三藤正明, 及川 研: 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その6) ケーソン式岸壁の被災に関する模型振動実験, 港湾技研資料, No. 813, pp. 207-252. 1995.
- 2) Susumu 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.
- 3) Iai, S., Matsunaga, Y., T. Kameoka: Parameter Identification for a Cyclic Mobility Model, Report of the Port and Harbour Res. Inst., Vol. 29, No. 4, pp. 57-83. 1990.

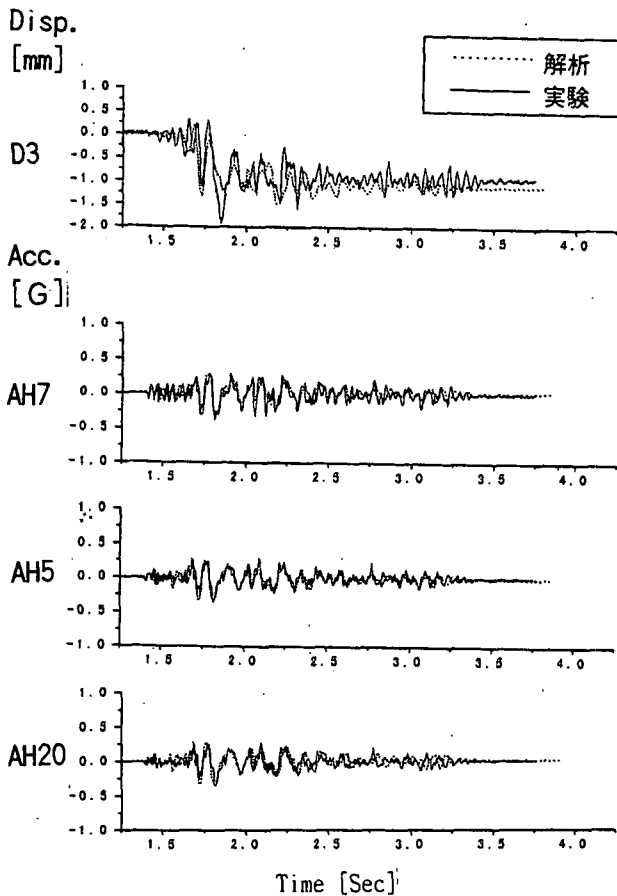


図-9 時刻歴波形