

## 置換地盤上の重力式防波堤の地震時挙動に関する研究

五洋建設(株) 正会員 ○杉田 繁樹, 松本正一郎, 三藤 正明  
 京都大学防災研究所 正会員 井合 進  
 (独)港湾空港技術研究所 正会員 菅野 高弘

## 1. はじめに

置換砂上に形成された重力式防波堤は、阪神・淡路大震災において置換砂の液状化による堤体の沈下が報告されており<sup>1)</sup>、今後予想されるレベル2相当の地震動に対しても同様の被害が想定される。地震による防波堤の沈下は、その後に来襲する津波に対する防波機能の低下を意味し、こうした現象への対策は急務である。

本研究は、防波堤の液状化(沈下)対策工法の検討に先立ち、未改良地盤における重力式防波堤の沈下現象を水中振動台実験により把握し、地震応答解析によりその再現を実施することを目的とした。

## 2. 検討概要

(1) 水中振動台実験 図-1 に、水中振動台実験に用いた模型断面図を示す。水中振動台実験における模型縮尺は1/18(模型/実物)とし、S. Iai<sup>2)</sup>の相似則を適用した。また、実験には相馬硅砂5号を用い、砂質土、粘性土、置換砂の相対密度はそれぞれ目標値50%, 80%, 50%で作成した。

図-2 に、入力加速度波形を示す。入力加速度には、最大加速度を約300galとするレベル2相当の地震動を想定した模擬波を用いた。

(2) 地震応答解析 上記の防波堤液状化実験について、数値解析による再現を試みた。解析は有効応力法に基づく動的解析(解析プログラム: FLIP<sup>3)</sup>)により、非排水条件を仮定して実施した。解析では、FLIPにおけるせん断変形ロック問題解消のために導入された、定常状態における最大せん断応力 $S_{us}$ 値(以下、 $S_{us}$ 値とする)<sup>4)</sup>を適用した。また、置換砂等の物性値は、実験に使用した材料の室内土質試験等に基づき設定した。

## 3. 実験および解析結果

(1)  $S_{us}$ 値の設定 地震応答解析に先立ち、パラメスタディにより解析モデルの $S_{us}$ 値の設定を実施した。 $S_{us}$ 値は、FLIP研究会成果報告書<sup>4)</sup>を参考に $\infty$ , 400, 50, 5(kPa)と設定した。

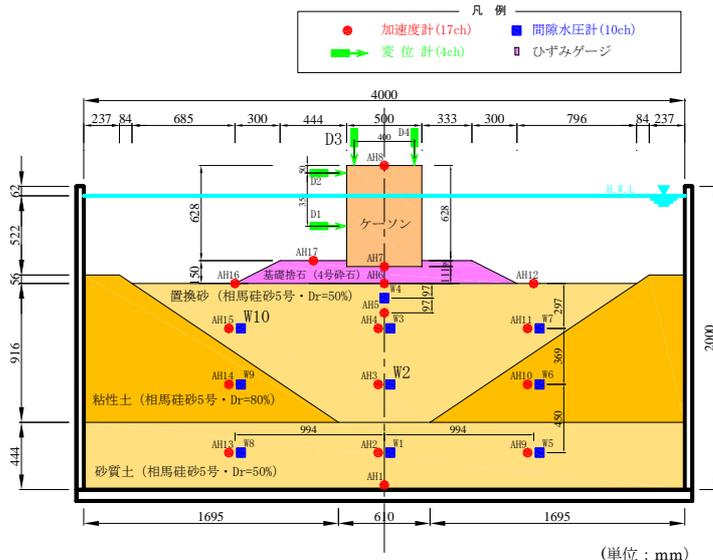


図-1 振動台実験 模型断面図

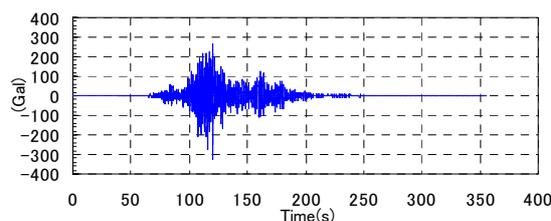


図-2 入力加速度波形(模擬波)

表-1 解析結果: ケーソン天端沈下量時刻歴 ( $S_{us}$ 値別)

ケース	$S_{us}$ (kPa)	天端沈下量 (m)	実験結果 (m)
①	$\infty$	0.41	2.29
②	400	0.42	
③	50	0.50	
④	5	2.54	

(※実物スケール)

キーワード 防波堤, 置換砂, 水中振動台実験, 地震応答解析

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽2丁目2-8 五洋建設株式会社土木設計部 TEL03-3817-7804

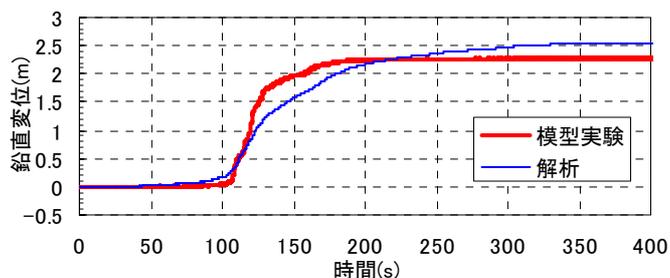


図-3 ケーソン天端変位時刻歴(D3) (実物スケール)

表-1 は解析結果と実験結果のケーソン天端の残留沈下量(実物スケール)を示す。実験における残留沈下量は2.29m(模型スケール3.0cm)となり、解析では $S_{us}=5$ (kPa)としたケース④において、実験と同等の変位量(残留沈下量2.54m(模型スケール3.3cm))を再現できることが明らかとなった。したがって、本検討においては $S_{us}$ 値を5kPaに設定した。

(2) ケーソン沈下量 図-3に、変位計D3(図-1)における実験結果と解析結果の鉛直変位時刻歴を示す。実験結果から、設定した実験条件においては100秒付近から急激に変位が増加し、残留沈下量2.29m(模型スケール3.0cm)へと至ることが分かる。また、解析結果の鉛直変位時刻歴は、実験結果を良好に再現していることが分かる。

図-4は解析結果の変形図を示し、実線が残留時、点線が初期状態を示す。これより、水平変位は鉛直変位に比べて極めて小さく、これは過去の防波堤の被災状況<sup>1)</sup>と同様の傾向を再現していることが分かる。

(3) 過剰間隙水圧比 図-5(a)(b)に、置換砂層に設置した間隙水圧計W2, W10(図-1)における実験結果と解析結果の過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。ケーソン直下のW2においては堤体の上載荷重により間隙水圧の上昇が抑えられていることが分かる。一方、W10においては、100秒付近から水圧が上昇し液状化に達していることがわかる。また、解析結果は、水圧の上昇開始時刻に実験と差異が生じているものの、W2, W10ともに比較的良好に実験結果を再現できていることがわかる。

#### 4. まとめ

置換砂上に形成された防波堤の液状化現象を水中振動台実験および地震応答解析により検証した。その結果、以下のことが明らかとなった。①設定した条件においては置換砂の液状化が発生し、ケーソンの沈下量は実物スケールで2.3m程度となることが明らかとなった。②地震応答解析では、 $S_{us}$ 値の適用により、変位、過剰間隙水圧比ともに実験結果を良好に再現することが可能となった。

今後は、本研究結果を基として、防波堤沈下対策工法の研究開発を継続する予定である。

**参考文献** 1)松永康男, 及川 研, 輪湖建雄: 阪神・淡路大震災による重力式港湾構造物の基礎地盤部の変形, 阪神淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp. 383-390, 1996. 2)Susumu Iai, Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure Model in 1G Gravitational Field, Report of the Port and Harbour Res. Inst. Vol. 27, No. 3, pp. 3-24, 1988. 3)Susumu Iai, Yasuo Matsunaga, Tomohiro Kameoka: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, Report of The Port and Harbour Research Institute, Vol. 29, No. 4, pp. 27-56, 1990. 4)第3期FLIP研究会, せん断変形ロック問題に関する検討 平成17年度 成果報告書, 2006.

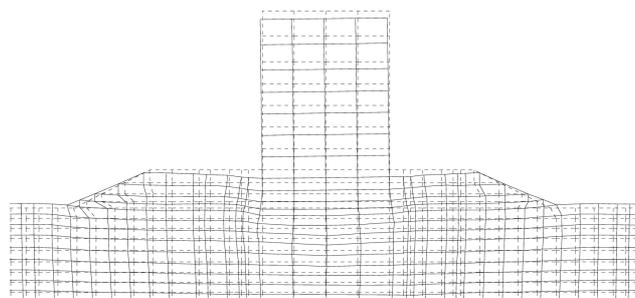


図-4 解析結果(残留変形図)

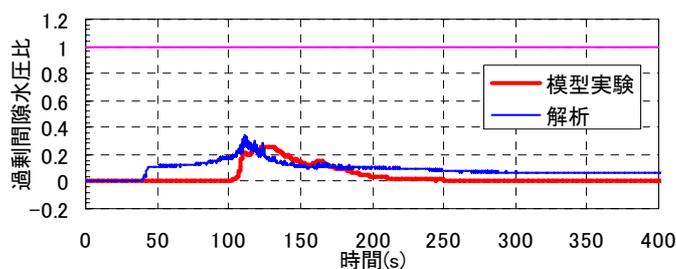


図-5(a) 過剰間隙水圧比(W2)

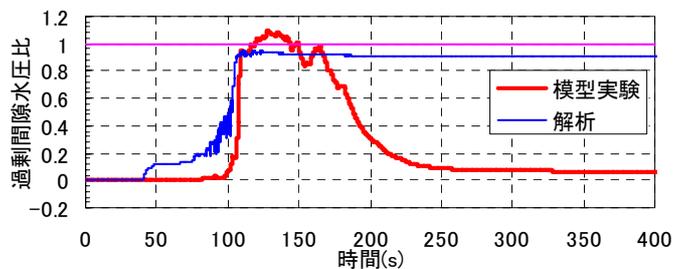


図-5(b) 過剰間隙水圧比(W10)