

液状化対策工を施した護岸構造物の耐震性に関する解析的研究

九州工業大学工学部 正会員 廣岡明彦 清水恵助 永瀬英生  
九州工業大学工学部 学生会員 ○陣内幸一

1. はじめに

1995 年阪神・淡路大震災を契機として、護岸構造物の耐震性の検討においてその残留変形、残留耐力の評価が極めて重要であると認識されるようになってきた。従来の耐震設計で想定していたレベル以上の地震動を受けた場合の護岸構造物の耐震性評価が、このような地震災害を軽減するために必要とされるからである。

そこで本研究では、液状化被害予測プログラム FLIP を用いて、有効応力解析による地震時の地盤並びに構造物の変形予測を行い、重力場での振動台実験結果との比較、検討をすることを目的とした。

2. 解析モデル及び解析条件

解析モデルは、本研究室で実施された振動台実験での実験モデル<sup>1)</sup>をもとに、図1のように設定した。実験では背後地盤に杭基礎構造物を入れていたが、解析ではそれが無い場合を想定した。また、左右、底面の境界位置には、粘性境界を設定した。

入力波は実験条件より加速度振幅 200gal、周波数 0.28Hz の正弦波、振動時間 9(s)とし、解析モデル底面の粘性境界に入力した。時間積分手法は Wilson  $\theta$ 法( $\theta=1.4$ )とし、時間ステップ間隔は 0.01 秒とした。

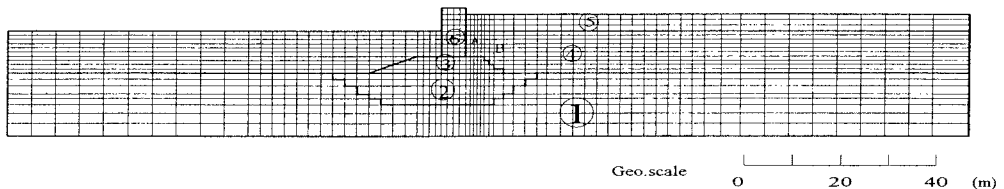


図1 解析モデル

3. 各種パラメータの設定

置換砂、液状化層および

基礎は実験条件から、それぞれ  $Dr=40\%$ 、 $70\%$ の豊浦砂とした。FLIP による解析では、初期せん断弾性を有効拘束圧に依存する形で与える必要がある。そこで、まず過去の動的変形特性試験結果をもとに、初期せん断弾性係数および最大減衰定数を設定した。初期体積弾性係数は、初期状態で水平成層地盤の静止土圧係数が 0.5 になるようにポアソン比を 0.33 とし、等方線形弾性体の関係式を用いて、せん断弾性係数から算定した。マウンド、表土、ケーソンのパラメータについては、文献<sup>2)</sup>を参考に設定した。このように設定したパラメータを表1、2に示す。

表1 材料定数 (マルチスプリング要素)

	平均有効拘束圧 $\sigma_{mv}$ KN/m <sup>2</sup>	せん断弾性係数 $G_m$ KN/m <sup>2</sup>	体積弾性係数 $K_m$ KN/m <sup>2</sup>	*参照 $m_G$	*参照 $m_K$	湿潤密度 $\rho_t$ KN/m <sup>3</sup>	間隙率 $n$	最大減衰 $h_{max}$	内部摩擦角 $\phi_f$ 度
①基礎	113.0	86291	255000	0.5	0.5	20.0	0.42	0.30	41.0
②置換砂	45.0	67483	175990	0.5	0.5	20.0	0.45	0.27	37.0
③マウンド	9.80	179930	469224	0.5	0.5	20.0	0.45	0.24	40.0
④液状化層	67.5	82650	215540	0.5	0.5	20.0	0.45	0.27	37.0
⑤表土	17.2	38710	100950	0.5	0.5	18.0	0.45	0.24	37.0

$$* G_0 = G_{ma} (\sigma'_m / \sigma'_{ma})^{m_G}, K_0 = K_{ma} (\sigma'_m / \sigma'_{ma})^{m_K}$$

表2 材料定数 (線形平面要素)

	ヤング率 E KN/m <sup>2</sup>	ポアソン比 $\nu$	湿潤密度 $\gamma$ KN/m <sup>3</sup>
⑥ケーソン	$3.0 \times 10^7$	0.2	20.0

表3 液状化パラメータ

$\phi_p$	$S_1$	$w_1$	$p_1$	$p_2$	$c_1$
28.0	0.005	1.15	0.5	1.12	1.2

液状化パラメータについては、置換砂、液状化層の2層を液状化を考慮するとして、本研究室で実施された繰返し三軸試験で得られた液状化抵抗曲線を目標値とし、要素シミュレーションを行い設定した。表3に設定した液状化パラメータ、図2に目標値および要素シミュレーション結果を示す。

#### 4. 解析結果及び考察

##### (1)解析結果

今回、なるべく実験条件(160gal、6Hz、振動時間9秒：実物では160gal、0.28Hz、振動時間173秒)に基づいて解析を行う予定であったが、途中で解析が終了してしまうことから、振動開始後9秒までの解析結果となった。

図5に解析モデル主要部の残留変形図(実規模)を示す。ケーソンの天端位置での変形量は、海側(水平変位)へ1.77m、沈下量(鉛直変位)0.71m、重心位置では、それぞれ1.64m、0.65mとなった。また、過剰間隙水圧比はA、B点ともに、一度0.7程度の値まで上昇した後、増減を繰返し最終的には非常に大きな負の値となった。

##### (2)実験結果との比較及び考察

実験により得られた変位ベクトル図を図4に、ケーソン天端位置、重心位置での変形量(水平、鉛直変位)の解析結果と実験結果との比較図を図3に示す。実験結果は解析条件を考慮して、振動開始後入力加速度振幅が一定となってから約3波目の値を算定し、比較の対象とした。算定値は、実物換算にて天端位置で水平、鉛直変位それぞれ0.92m、0.25m、重心位置でそれぞれ0.75m、0.21mとなった。天端位置では水平変位で約2倍、鉛直変位で約3倍の違いがあり、とても整合性があるとは言えない結果となった。一方、図4と図5を比較すると、全体の変形状況としては置換砂層、ケーソン近傍の背後地盤に大きな変形が両者とも生じており、ある程度の類似は認められよう。このような結果となった原因としては、過剰間隙水圧比がケーソン直背後、置換砂部で振動開始1秒前後でピークをむかえ早々と液状化していることから考えて、液状化パラメータの設定に問題があることが考えられ、更に液状化パラメータを含めて検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 廣岡 明彦：護岸構造物に近接した杭基礎構造物の地震時挙動に関する振動台模型実験、第32回地盤工学研究発表会、1997年7月
- 2) 沢田 俊一：護岸構造物の残留変形解析 p 247~256、地震時の地盤・土構造物の流動性と永久変形に関するシンポジウム、1998年5月

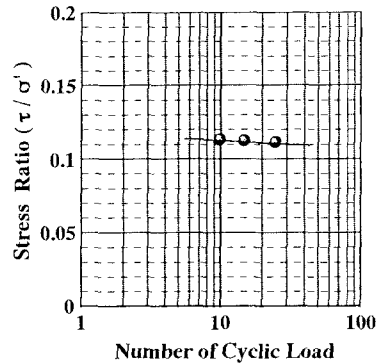


図2 要素シミュレーション結果

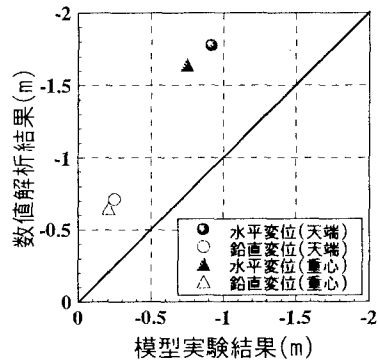


図3 解析結果と実験結果の比較

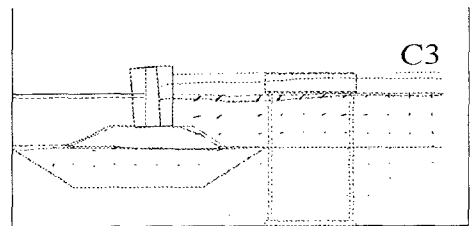


図4 変位ベクトル図

STRUCTURE SCALE 0.5:1  
UNIT SCALE 1.0

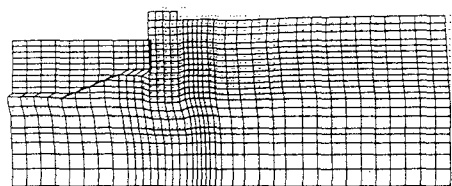


図5 残留変形図(主要部)