

I-B 402 液状化解析に基づく長大橋ケーソン基礎の地震被害原因の推定

神戸市港湾局 正会員 岡下勝彦 小嶋省一
清水建設(株) 正会員 藤田 親 前 孝一 木全宏之
清水文夫 本島慎二 福武毅芳

1. はじめに 1995年1月17日の兵庫県南部地震により、神戸港新港第四突堤とポートアイランドを結ぶ神戸大橋の基礎が被害を受けた。主橋脚の基礎は、護岸兼用のニューマチックケーソン基礎であり、基礎の滑動、傾斜に伴い、可動量が60cm程度ずれた。本報は、2次元有限要素法による液状化解析を実施し、神戸大橋ケーソン基礎の地震被害原因の推定を行った結果について示したものである¹⁾。

2. 地震被害の概要 神戸大橋P2橋脚(新港第四突堤側)とP3橋脚(ポートアイランド側)のケーソン基礎(図2参照)が各々海側へ滑動し、支承間距離の測定の結果、震災前に比して約80cm短くなっていた。また、ケーソン基礎の函体調査とともに傾斜測定を行ったが、P2橋脚で約 0.5° 、P3橋脚で約 0.9° の傾斜が測定された。

3. 液状化解析・残留変形解析

(1) 解析フロー 図1に示す解析フローに基づき、解析を実施した。本報では、液状化時の残留変形を液状化解析(有効応力解析)から評価し、液状化後の残留変形を残留変形解析から把握して、両解析結果の和を最終残留変形として評価することとした。

(2) 液状化解析 2次元有限要素法による有効応力解析を実施した²⁾。土の応力・ひずみ関係には修正Ramberg-Osgoodモデルを用いることとし、ひずみ・ダイレイタンス関係にはおわんモデルを適用することとした。図2に解析モデルを示す。土質定数等の解析定数については、第四突堤およびポートアイランドで実施したPS検層結果ならびに既往の研究成果³⁾に基づいて設定した。入力地震波は、1995年1月17日の兵庫県南部地震時においてポートアイランド地中部KP-79.0mで観測された加速度記録を用いることとし、解析断面方向(橋軸方向)にほぼ対応するNS成分とUD成分を同時入力した。

(3) 残留変形解析 安田らによって提案された解析手法⁴⁾を用い、残留変形解析を実施することとした。本解析手法は、静的な2次元線形の有限要素法解析により、液状化前と液状化後の地盤物性を用い、それぞれの自重解析より得られる変形量の差が近似的に液状化地盤の残留変形量であるとする手法である。液状化後の地盤剛性に関しては、液状化解析によって得られる過剰間隙水圧分布より、剛性低下を表1のように仮定し、解析を実施した。

4. 解析結果 液状化解析結果として、図3にP2およびP3橋脚ケーソン基礎天端の水平変位波形と基礎根入部近傍地盤の過剰間隙水圧比の波形を示す。同図を概観すると、4~5秒以前では、両基礎の水平変位は同符号であるのに対し、4~5秒以後では逆符号となっている(各々海側に変位している)ことがわかる。過剰間隙水圧比は、4~5秒付近では50%程度に上昇している。7~8秒後に過剰間隙水圧比は100%に達し、両基礎とも15秒後にほぼ静止状態となって、残留変位が生じている。図4に15秒後の変形図と過剰間隙水圧比の分布を示す。両橋脚ケーソン基礎とも海側に滑動し、傾斜した状態にあり、震災後の被害状況と一致している。

最終残留変形は、液状化解析および残留変形解析から、液状化時の残留変形と液状化後の残留変形の和として与えられる。表2に、ケーソン基礎頂部の水平残留変形量と傾斜角をまとめたが、両基礎の水平残留変形量の和は82cmとなり、実測値と良い精度で一致している。一方、傾斜角については、十分な対応関係にないが、オーダー的には一致していることがわかる。

参考文献 1) 岡下他：液状化解析による長大橋ケーソン基礎の地震被害原因の推定と対策工の有効性検証、阪神・淡路大震災に関する学術講演会、平成8年1月。2) Fukutake, S., Ohtsuki, A. et al.: Analysis of saturated dense sand-structure system and comparison with results from shaking table test, Earthquake Eng. and Struct. Dyn., Vol. 19, 1990.

3) 例えば、赤司他：乱さないローム、しらす、まさ土の動的変形特性、第21回土質工学研究発表会、昭和61年6月。

4) 例えば、安田他：液状化による永久変位の対策に関する簡易解析、第24回土質工学研究発表会、平成元年6月。

表-1 液状化地盤の剛性低下

過剰間隙水圧比 $u/\sigma' c'$	初期剛性に対する低下率
$0.5 < u/\sigma' c'$	1/100
$0.0 < u/\sigma' c' \leq 0.5$	1/10
$u/\sigma' c' \leq 0.0$	1/1

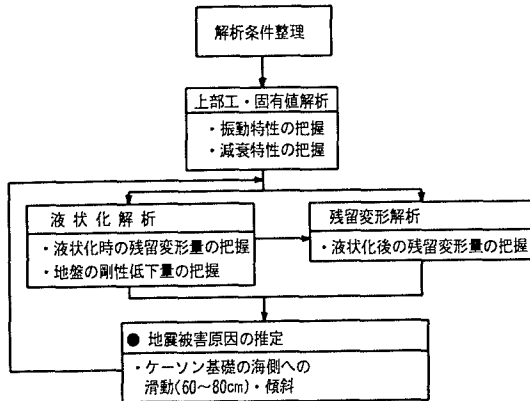
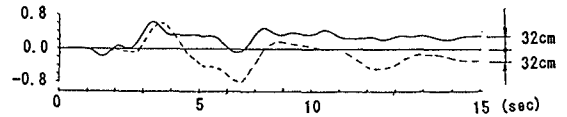


図-1 解析フロー

<水平変位>



<過剰間隙水圧比>

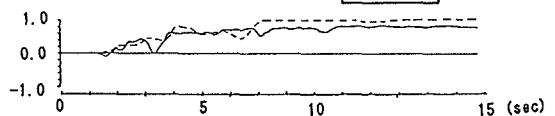


図-3 ケーソン基礎頂部の水平変位と基礎根入部近傍地盤の過剰間隙水圧比の波形

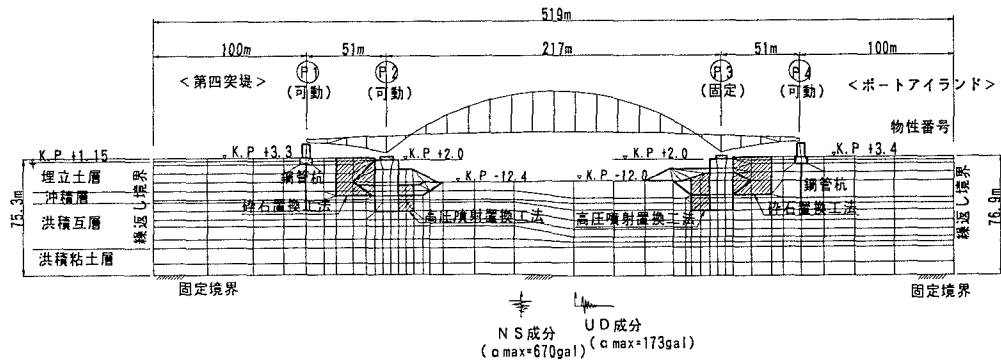


図-2 解析モデル

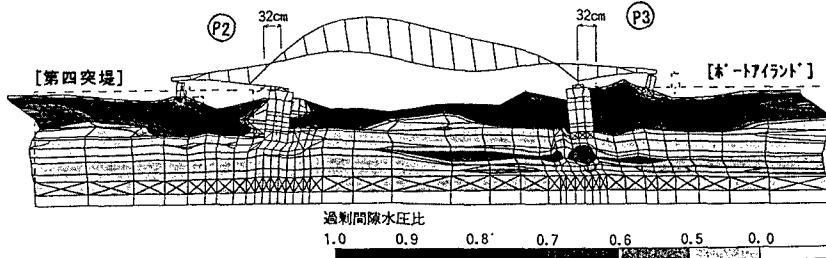


図-4 液状化解析結果：残留変形図と過剰間隙水圧比分布

表-2 ケーソン基礎頂部の水平残留変形量と傾斜角

水平残留変形量					傾斜角				
	P2ケーソン (第四突堤)	P3ケーソン (ホートアイランド)	P2ケーソン +P3ケーソン	測定値		P2ケーソン(第四突堤) 解析値	P3ケーソン(ホートアイランド) 解析値	測定値	
液状化解析 δ (cm)	32	32	64		液状化解析 θ (°)	0.21		0.13	
残留変形解析 $\Delta \delta$ (cm)	6	12	18		残留変形解析 $\Delta \theta$ (°)	0.03	0.36~0.73	0.12	0.78~0.93
$\delta + \Delta \delta$ (cm)	38	44	82	60~80	$\theta + \Delta \theta$ (°)	0.25	(平均 0.55)	0.26	(平均 0.87)