

I-B 403

液状化解析に基づく長大橋ケーソン基礎に対する地盤改良工の有効性検証

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 出羽克之 木全宏之 塩谷俊之
桑重和昭 大槻 明 藤川 智

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、基礎の滑动、傾斜に伴い、可動量が60cm程度ずれた。このため、復旧工事の一環として、液状化対策を目的とした地盤改良工事が実施された。本報は、前報¹⁾に続き、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に対して行われた地盤改良工の有効性検証結果について示したものである。

2. 地盤改良工の概要 図1に第四突堤側の地盤改良図を示すが、P2ケーソン基礎前面地盤については、周辺地盤の液状化時にも基礎の安定性が確保できるよう、高圧噴射置換工法による地盤改良が実施された。一方、背面地盤に関しては、液状化時の過剰間隙水圧の消散を促進するため、碎石置換工法による地盤改良が行われた。ポートアイランド側P3ケーソン基礎についても同様の地盤改良が実施されている。

3. 液状化解析・残留変形解析 前報¹⁾と同様の条件にて、液状化解析ならびに残留変形解析を実施した。液状化解析において、改良地盤の解析定数(表1参照)は、以下のようにして設定した。

(1) 高圧噴射置換工法による改良地盤 ケーソン前面の高圧噴射置換工法による改良地盤のヤング係数は、地盤改良の検討書^{2) 3)}を参照し、 30000tf/m^2 と設定した。応力・ひずみ関係については、改良地盤は非線形性を呈しないものとし、線形弾性体と仮定して解析を実施することとした。

(2) 碎石置換工法による改良地盤 ケーソン背面の碎石置換(グラベルドレーン)工法による改良地盤に関しては、各種基準^{4) 5)}を参照し、(1)式～(3)式に示す置換率、応力分担比ならびに応力低減係数から、改良地盤のみかけの初期ヤング係数、初期せん断弾性係数を(4)式、(5)式より算定した。

$$a_s = 0.785 (d_s/d) \cdots (1) \quad n = \sigma_s / \sigma_c \cdots (2) \quad \mu_c = 1 / \{1 + (n-1) a_s\} \cdots (3)$$

a_s : 置換率, n : 応力分担比, μ_c : 応力低減係数, d_s : グラベルドレーンの径, d : グラベルドレーンのピッチ, σ_s : グラベルドレーンに生じる応力度, σ_c : 原地盤に生じる応力度

$$E_0 = E_c (1 - a_s) \mu_c + E_s a_s n \mu_c \cdots (4) \quad G_0 = G_c (1 - a_s) \mu_c + G_s a_s n \mu_c \cdots (5)$$

E_0 : 改良地盤のみかけの初期ヤング係数, G_0 : 改良地盤のみかけの初期せん断弾性係数, E_c : 原地盤の初期ヤング係数, E_s : グラベルドレーンの初期ヤング係数, G_c : 原地盤の初期せん断弾性係数, G_s : グラベルドレーンの初期せん断弾性係数

4. 解析結果 液状化解析結果として、図2にP2ならびにP3橋脚ケーソン基礎頂部の水平変位波形を示す。これより、解析終了時刻である20秒付近でほぼ静止状態となっており、液状化時の残留変位が認められる。20秒後の時間断面において、図3に変形図とともに過剰間隙水圧比の分布をコンター表示した。図3と前報¹⁾の地盤改良前の結果とを比較すると、過剰間隙水圧比について観れば、P3橋脚ケーソン基礎の前面地盤の過剰間隙水圧は上昇せず、背面地盤についても水圧比が0.6～0.8に抑制され、地盤改良による液状化対策効果が確認される。

表2には、地盤改良前後について、両橋脚ケーソン基礎頂部の水平残留変形量の和と平均傾斜角の対比結果を示す。これより、液状化解析結果と残留変形解析結果の和すなわち最終残留変形状態において、地盤改良後は水平残留変形量の和が51cm、平均傾斜角は 0.03° となり、地盤改良前に比してそれぞれ60%および10%程度に低減され、地盤改良による液状化対策効果が確認される。

参考文献 1) 岡下他：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、土木学会第51回年次学術講演会、平成8年9月。2) 神戸市港湾局：港幹P7(神戸大橋第四突堤側主橋脚)基礎・地盤改良設計計算書、平成7年5月。3) 神戸市港湾局：神戸大橋(P6)地盤改良工・設計計算書、平成7年5月。4) 社)日本道路公団：設計要領、第一集、土工・舗装・排水・造園、昭和58年4月。5) 社)日本道路協会：道路土工・軟弱地盤対策工指針、昭和61年11月。

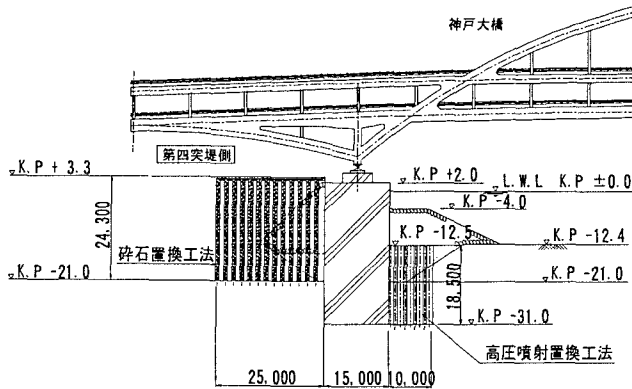


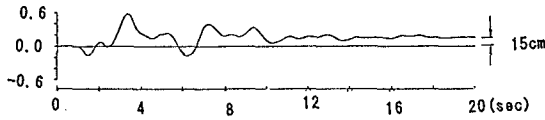
図-1 地盤改良計画図

表-1 改良地盤の解析定数一覧

土層	層厚 H (m)	物性番号	単位体積重量 γ (tf/m ³)	初期剛性			応力-ひずみ特性 (修正R-0モデル)		ひずみ-ダイン特性 (おわんモデル)				レーリー減衰			
				せん断弾性係数 E_0 (tf/m ²)	せん断弾性係数 G_0 (tf/m ²)	ポアソン比	基準ひずみ γ_f	最大減衰定数 h_{max}	A	B	C	D	膨張指数・初期間隙比 $C_s/(1+e_0)$	液化化係数 X_1	α	β
砕石置換工法 (埋立土層・置換砂層)	24.30	12	1.80	26500	8800	0.33	4.26E-04	0.32	-1.2	1.6	15.0	30.0	0.005	0.25	0.0	0.0005
砕石置換工法 (沖積層)	3.00	13	1.80	24300	8100	0.33	4.26E-04	0.32	-1.2	1.6	15.0	30.0	0.005	0.25		
砕石置換工法 (基岩石)	-	14	1.80	32000	10600	0.33	4.26E-04	0.32	-1.7	1.6	20.0	40.0	0.005	0.35		
高圧噴射置換工法	-	15	1.80	30000	10000	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-		

注) 応力-ひずみ特性(修正R-0モデル)の定数は、有効応力 $\sigma' = 1 \text{ kgf/cm}^2$ の値を示す。

< P 2 橋脚ケーソン基礎頂部(第四突堤) >



< P 3 橋脚ケーソン基礎頂部(ホートアイランド) >

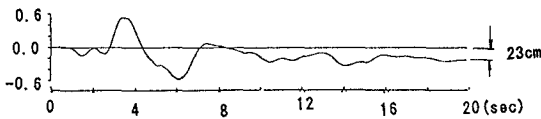


図-2 ケーソン基礎頂部の水平変位波形 (地盤改良後)

表-2 地盤改良前後のケーソン頂部の水平残留変形量の和と平均傾斜角の対比

	水平残留変形量の和 (P2ケーソン+P3ケーソン)	
	地盤改良前	地盤改良後
液化化解析 $\Sigma \delta$ (cm)	64	38
残留変形解析 $\Sigma \Delta \delta$ (cm)	18	14
$\Sigma (\delta + \Delta \delta)$ (cm)	82	51

	平均傾斜角 (P2ケーソンとP3ケーソンの平均)	
	地盤改良前	地盤改良後
液化化解析 θ (°)	0.17	0.01
残留変形解析 $\Delta \theta$ (°)	0.08	0.03
$\theta + \Delta \theta$ (°)	0.26	0.03

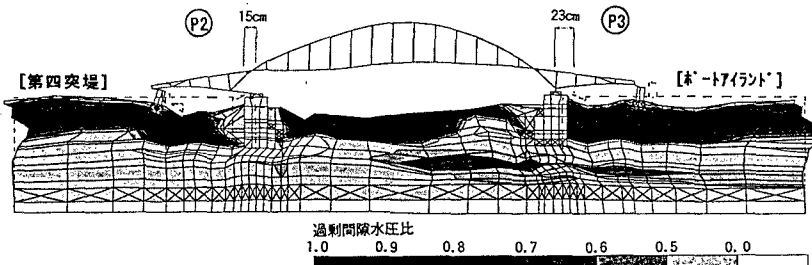


図-3 液化化解析結果(地盤改良後):残留変形図と過剰間隙水圧比分布