

Ⅲ-A169

ケーソン式岸壁の残留変形におよぼす地盤改良効果の検討

飛島建設(株)技術研究所 正会員 池田 隆明

飛島建設(株)技術研究所 正会員 三輪 滋

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震では港湾構造物の多くが被災し、特にケーソン式岸壁には、基礎地盤の過剰間隙水圧の上昇による支持力および水平抵抗力の低下と、背後地盤(埋立土層)の液状化に伴う側方流動により、岸壁の傾斜や海側へのせり出し、背後地盤の陥没といった被害が見られた¹⁾。ここでは、ケーソン式岸壁の耐震性確保を目的に、地盤改良工法により基礎地盤と背後地盤を補強した場合について、液状化および側方流動に対する抵抗性を二次元有効応力解析により検討する。

2. 検討条件

神戸市東部の臨海埋立地のケーソン式岸壁を検討対象とする(図-1)。検討に用いる二次元有効応力解析プログラムはFLIP²⁾である。解析に用いる地盤物性値は、検討対象地点近傍で実施された地盤調査結果³⁾に基づいて設定した(表-1)。地下水位以下の埋立土層とケーソン下の置換砂を液状化が発生する層と考え、周辺地盤の埋立土層や置換砂から得られた試料を用いた液状化試験結果^{3), 4)}に基づいて液状化強度を設定した(図-2)。このモデルを用いた二次元有効応力解析(基本ケース)では、航空写真測量から得られた地盤の水平変位量と概ね等しい水平変位量が得られており⁵⁾適切なモデル化が出来ていると考えられる。

地盤改良は、埋立土層と置換砂について行う。地盤改良効果は密度増加(N値の増加)で評価し、N値の増分は $\Delta N=5$ と $\Delta N=10$ の2種類を設定する。埋立土層のN値は多少のばらつきはあるものの、平均的には $N=10$ と考えられる³⁾。置換砂のN値については試験結果がないため、 V_s からの推定式($V_s=80N^{1/3}$)⁶⁾を参考に埋立土層と同様に $N=10$ とする。 $N=10$ の地盤に対する $\Delta N=5$ と $\Delta N=10$ は、サンドコンパクションパイプ工法による5%と10%の改良率にほぼ相当する⁷⁾。地盤改良後の液状

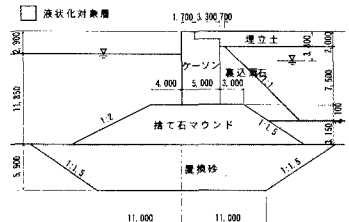


図-1 検討対象地点のケーソン式岸壁モデル

表-1 解析パラメータ

	基本モデル	ρ	V_s	液状化	改良率 ¹⁾	
					N=15	N=20
地盤	0m ~ -3.80m	2.1	100		210	230
	-3.80m ~ -6.55m	2.1	170	○	210	230
	-6.55m ~ -9.50m	2.1	160	○	210	230
	-9.50m ~ -14.75m	2.1	200	○	210	230
	-14.75m ~ -20.65m	1.7	160			
	-20.65m ~ -25.65m	1.7	200			
	-25.65m ~ -27.95m	2.1	240			
	-27.95m ~ -30.70m	2.1	210			
	-30.70m ~ -33.70m	2.1	270			
	置換砂	1.8	180	○	210	230
捨て石マウンド	裏込栗石	2.0	300			
	裏込栗石	2.0	300			

 ρ : 密度(t/m³), V_s : せん断波速度(m/s)

化強度は、文献8)の考え方に基づき改良後N値から推定した。図-2に地盤改良後の液状化強度とFLIPによる要素試験結果を示す。要素試験結果は設定した液状化強度と一致している。

埋立土層の改良範囲は岸壁から100mとし、入力地震動には兵庫県南部地震の際に検討地点近傍の東神戸大橋でのG.L.-34mの記録⁹⁾を用いる。

表-2に検討ケースを示す。置換砂・埋立土層を改良したケースに加え、置換砂を改良し、さらに捨て石マウンドの改良を想定した、強度が低下しない(線形)ケースも実施する。

3. 解析結果

図-3に基本ケース、ケース3、ケース5、ケース6における残留変形図を示す。ケーソンは海側に傾きせり出しているものの、その程度はケースにより異なる。

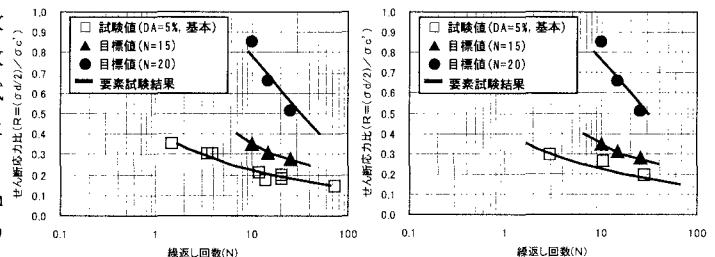


図-2 埋立土層と置換砂の液状化強度とFLIPによる要素試験結果

表-2 検討ケース

ケース	置換砂	埋立土層	捨て石マウンド
1 (基本)	N=10	N=10	全応力非線形
2	N=15	—	—
3	N=20	—	—
4	—	N=15	—
5	—	N=20	—
6	N=20	—	線形

「—」は基本ケースと同一

二次元有効応力解析、ケーソン式岸壁、液状化、側方流動、地盤改良、残留変形

千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472 Tel 0471-98-7553 Fax 0471-98-7586 e-mail Takaaki_ikeda@tobishima.co.jp

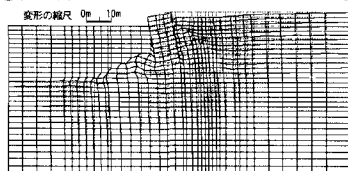
図-4 にケーソンの変形量(水平変位, 鉛直変位, 傾斜角)と解析ケースの関係, および各変形量を基本ケースの変形量で基準化した変形量の比と解析ケースとの関係を示す。ケース5の鉛直変位と傾斜角を除き, 地盤改良により変形量が抑制されている。また, 改良程度を高めることにより変形量はより抑制されることがわかる。

埋立土層だけを改良した場合(ケース4, ケース5)には, ケーソンの変位はせいぜい基本ケースの90%程度になるだけで, それほど小さくはならない。一方, 置換砂を改良することで変位量は60%程度まで低減できる。また捨て石マウンドをあわせて改良することにより, 40%程度にまで低減できる。

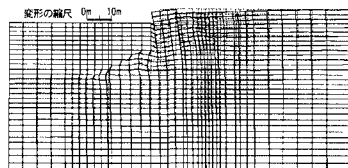
図-5 に基本ケース, ケース3, ケース5, ケース6における過剰間隙水圧比の分布図を示す。改良した部分の過剰間隙水圧が基本ケースと比較して低下していることがわかる。埋立土層のみを改良すると, 相対的に置換砂が弱くなり, 置換砂の過剰間隙水圧が基本ケースより高くなっている。ケース5において, 鉛直変位が基本ケースよりも大きくなったのは, 過剰間隙水圧の上昇により置換砂が大きく変形したこと起因すると考えられる。

4. 結論

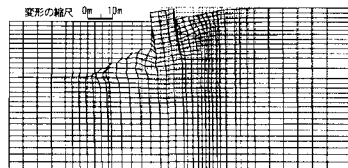
- ①置換砂もしくは埋立土層を地盤改良することにより, ケーソンの残留水平変位を低減させることができる。また, 埋立土層を改良するよりも置換砂を改良する方が効果的である。
- ②埋立土層のみの改良では, 必ずしもケーソンの残留変形を低減できるとはいえない。
- ③置換砂とともに捨て石マウンドを改良することにより, ケーソンの残留変形を大幅に低減できる。



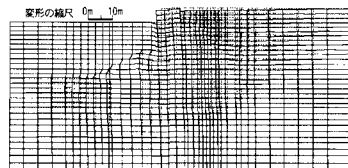
(a) ケース1(基本ケース)



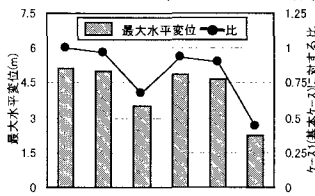
(b) ケース3(置換砂改良)



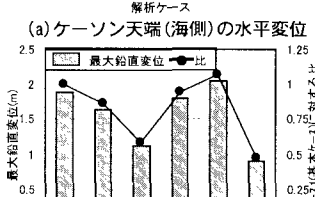
(c) ケース5(埋立土層改良)



(d) ケース6(置換砂と捨て石マウンド)



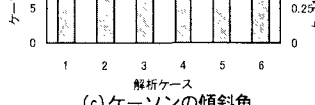
(a) ケーソン天端(海側)の水平変位



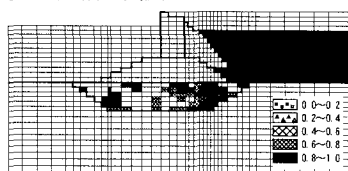
(b) ケーソン天端(海側)の鉛直変位



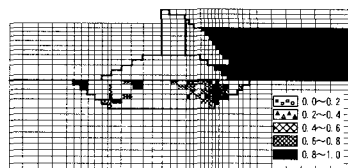
(c) ケーソンの傾斜角



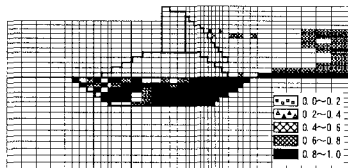
(d) ケーソン天端(海側)の水平変位



(a) ケース1(基本ケース)



(b) ケース3(置換砂改良)



(c) ケース5(埋立土層改良)



(d) ケース6(置換砂と捨て石マウンド)

図-3 ケーソン周辺の残留変形

図-4 ケーソンの変形量とケース1(基本ケース)に対する変形量の比

図-5 ケーソン周辺の過剰間隙水圧比分布

参考文献 1) 例えば, 外山進一, 松永康男: 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その2)被災状況一岸壁, 防波堤, 海岸保全施設一, 港湾技研資料, No.813, pp.51-75, 1995. 2) Iai, S., Matsunaga, Y., Kameoka, T.: Strain Plasticity Model for Cyclic Mobility, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, 1990. 3) 池田隆明, 三輪滋, 高津忠, 原田尚幸: 兵庫県南部地震における埋立地盤の地震時挙動の検討(その3: 液化化した地盤の地震応答解析), 第33回地盤工学研究発表会, pp.879-880, 1998. 4) 井合進, 井康二, 森田年一: 兵庫県南部地震における港湾施設の被害考察(その7)ケーソン式岸壁の有効応力解析, 港湾技研資料, No.813, pp.253-279, 1995. 5) 池田隆明, 三輪滋, 高津忠, 原田尚幸: 二次元有効応力解析による護岸近傍地盤の側方流動変形量の検討, 1998年度日本建築学会大会学術講演梗概集B1, pp.583-584, 1998. 6) (社)道路協会: 道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 1996.12. 7) 土質工学会: 地盤改良の調査・設計から施工まで. 8) 森田年一, 井合進, Hanlong Liu, 井康二, 佐藤幸博: 液化化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメータの簡易設定法, 港湾技研資料, No.869, 1997. 9) (財) 震災予防協会: 強震動アレー観測, No.3, 1998