

グラベルドレーンを考慮した鋼管矢板式岸壁の再現解析(小名浜港3号ふ頭岸壁)

村上 巧一¹・杉原 弘一²・村上 裕宣³・田代 聡一⁴・小濱 英司⁵・飛田 哲男⁶

正会員¹ 株式会社ニュージェック (〒450-0002 名古屋市中村区名駅5-27-13)

E-mail: murakamkc@newjec.co.jp

正会員² 株式会社ニュージェック (〒136-0071 東京都江東区亀戸 1-5-7)

E-mail: sugiharac@newjec.co.jp

正会員³ 中央復建コンサルタンツ株式会社 (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10)

E-mail: murakami_hi@cfk.co.jp

正会員⁴ 東亜建設工業株式会社 (〒163-1031 東京都新宿区西新宿 3-7-1 新宿パークタワー31F)

E-mail: s_tashiro@toa-const.co.jp

正会員⁵ 独立行政法人港湾空港技術研究所 (〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)

E-mail: kohama-e83ab@pari.go.jp

正会員⁶ 京都大学防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: tobita.tetsuo.8e@kyoto-u.ac.jp

港湾構造物の耐震設計に広く用いられているFLIP2Dは、非排水条件を前提とした液状化解析プログラム(マルチスプリングモデル要素を使用)として開発されたが、その後の継続的な改良により、過剰間隙水圧の消散やせん断に伴う体積変形が考慮できるカクテルグラスモデル要素が導入され、排水条件による透水解析も可能となっている。本報告では、東日本大震災で被災したグラベルドレーンの液状化対策が実施された鋼管矢板式岸壁に対する再現解析を排水条件を考慮したFLIP2Dによって行い、当モデルを用いた解析結果の妥当性について検証した。

Key Words : *effective stress analysis, liquefaction, finite element method, gravel drain, sheet pile quay wall*

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(震央:北緯38度6.2分,東経142度51.6分付近)では、M9.0の地震動とその後に到達した津波によって東北地方を中心とした太平洋側の港湾施設に甚大な被害が生じた。

小名浜港の第4埠頭、第7埠頭では被災後に津波痕跡調査が実施されているが、防波堤や西防波堤により防護された地域であったこともあり約4mの浸水高にとどまっておき、津波による港湾施設の被害はほとんどなかったと報告¹⁾されている。一方、今回の地震動の特徴は、従来考えられていたよりも地震動の継続時間が長かった。港湾施設の耐震設計では、非排水条件を前提としたマルチスプリングモデル要素を用いた液状化解析プログラムのFLIP2Dが現在広く用いられているが、これは継続時間の短い地震動を想定しており、今回のような継続時間の



図-1 小名浜港3号ふ頭岸壁の被災後写真²⁾

長い地震動を対象とした場合は、地震中の排水の影響が無視できないと考えられるため、適用が困難と考えられる。今後、発生が予想されている南海トラフ地震では、

強い揺れが長時間続くと予想されており、排水の影響を考慮できる解析手法を用いることが必要と考えられる。FLIP2Dでは、排水条件を考慮できるカクテルグラスモデル要素が導入されているが、比較的新しく提案されたモデルであるため、被災事例に対する再現解析が十分に行われておらず、実務設計にはほとんど用いられていない。本報告では、2011年東北地方太平洋沖地震で被災した液状化対策としてグラベルドレーンが実施された小名浜港3号ふ頭岸壁に対する再現解析を排水条件を考慮したFLIP2D(カクテルグラスモデル要素を使用)によって行い、当モデルを用いた解析結果の妥当性について検証した。

2. 対象岸壁と被災状況

図-2、3に対象岸壁の位置図と断面図を示す。対象岸壁は、埋め立てにより構築された控え組杭式岸壁であり、岸壁背後約26mの埋め立て土に対してグラベルドレーンによる液状化対策工が実施されていた。被害状況は、岸壁天端が約40cm海側に変位しており、埋め立て地盤は液状化が発生し、エプロン部が約30~60cm²沈下していた。また、海中部の鋼管矢板に対する目視調査と控え杭に対する弾性波調査では損傷は確認されておらず、比較的軽微な被災状況に収まっていた(図-4,5)。

3. 解析条件

(1) 入力地震動

再現解析に用いた入力地震動は、湾空港技術研究所より公開されているNS、EW方向の事後推定波⁵⁾を岸壁法線直角方向に変換した加速度時刻歴波形とした。図-6に入力地震動を示す。

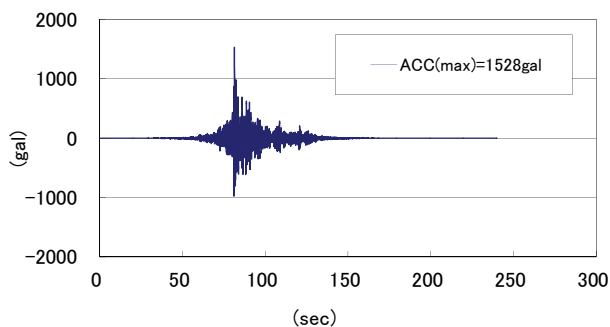


図-6 入力地震動

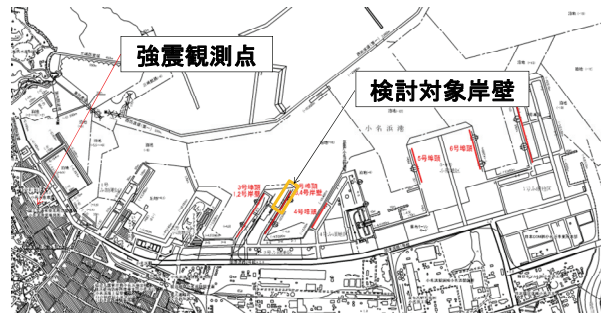


図-2 検討対象岸壁位置図

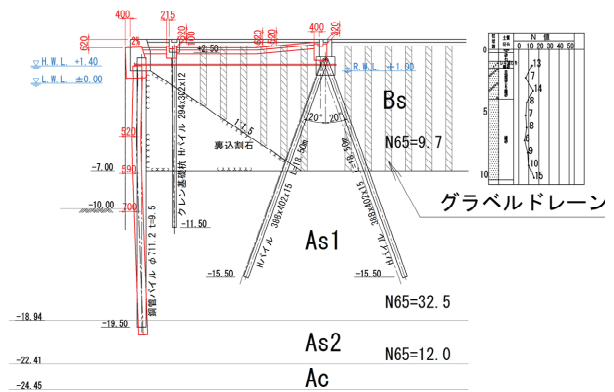


図-3 対象岸壁断面図

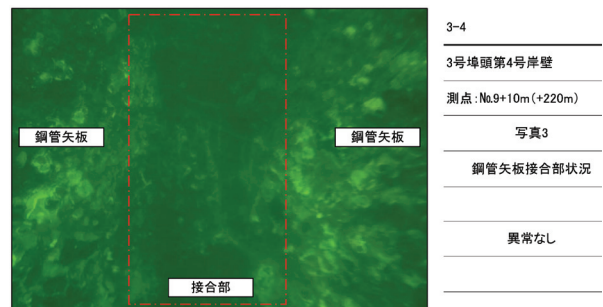


図-4 鋼管矢板の潜水調査結果³⁾

表-3.1 <H鋼杭>解析結果

測点番号	波形図番号	伝播時間 Δt (ms)	Ave. Δt 平均伝播時間 (ms)	Vp 設定速度 (m/s)	H 深度 (m)	H' 既知深度 (m)	Vp' 伝播速度 (m/s)	所見
3号埠頭 No. 6+10.8 (陸側 船庫)	3.2.1.1	7.52	7.60	4.250	16.2			端部反射波よりも内側での漏出反射無 ⇒健全
	3.2.1.2	7.84						
	3.2.1.3	7.44						
3号埠頭 No. 6+10.8 (海側 船庫)	3.2.2.1	8.68	8.65	4.250	18.4			端部反射波よりも内側での漏出反射無 ⇒健全
	3.2.2.2	8.56						
	3.2.2.3	8.72						
3号埠頭 No. 7+0.3 (陸側 船庫)	3.2.3.1	7.52	7.63	4.250	16.2			端部反射波よりも内側での漏出反射無 ⇒健全
	3.2.3.2	7.64						
	3.2.3.3	7.72						
3号埠頭 No. 7+0.3 (海側 船庫)	3.2.4.1	8.56	8.67	4.250	18.4			端部反射波よりも内側での漏出反射無 ⇒健全
	3.2.4.2	8.76						
	3.2.4.3	8.68						
3号埠頭 No. 16+1.0 (陸側 ±20)	3.2.5.1	11.04	10.95	4.250	23.3			端部反射波よりも内側での漏出反射無 ⇒健全
	3.2.5.2	11.12						
	3.2.5.3	10.68						
3号埠頭 No. 16+1.0 (海側 船庫)	3.2.6.1	8.64	8.71	4.250	18.5			端部反射波よりも内側での漏出反射無 ⇒健全
	3.2.6.2	8.94						
	3.2.6.3	8.64						
3号埠頭 No. 17+1.0 (陸側 ±20)	3.2.7.1	10.40	10.31	4.250	21.9			端部反射波よりも内側での漏出反射無 ⇒健全
	3.2.7.2	10.28						
	3.2.7.3	10.24						
3号埠頭 No. 17+1.0 (海側 船庫)	3.2.8.1	8.72	8.88	4.250	18.9			端部反射波よりも内側での漏出反射無 ⇒健全
	3.2.8.2	8.96						
	3.2.8.3	8.96						
3号埠頭 No. 17+9.2 (陸側 ±20)	3.2.9.1	調査不能						
	3.2.9.2	調査不能						
	3.2.9.3	調査不能						
3号埠頭 No. 17+9.2 (海側 船庫)	3.2.10.1	8.60	8.51	4.250	18.1			端部反射波よりも内側での漏出反射無 ⇒健全
	3.2.10.2	8.60						
	3.2.10.3	8.32						

図-5 控え組杭の弾性波調査結果⁴⁾

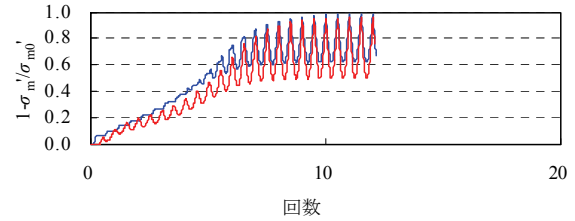
(2) 地盤物性値

図-7に解析メッシュと排水条件を示すBs層とAs2層は液状化対象層であったが、繰り返し三軸試験が実施されていないため、As2層については岸壁設計時に使用された海上ボーリングのN値(図-8)と近傍施設における細粒分含有率を、Bs層は被災後に実施された標準貫入試験N値⁷⁾と細粒分含有率⁷⁾を用いて、時松・吉見による手法⁸⁾で液状化強度曲線を推定し、これをターゲットとした要素シミュレーションをマルチスプリングモデル要素で実施した。次に、得られたマルチスプリング要素のひずみ時刻歴や間隙水圧比時刻歴をカクテルグラスモデル要素で再現できるように液状化パラメータを設定した。図-9に要素シミュレーション結果例を示す。なお、マルチスプリング要素の力学特性などの物性値設定は、簡易パラメータ法⁹⁾によって設定した。As1層は等価N値の算定の結果 $N_{60}=32.5$ となったため、非液状化層とした。透水係数は有効径 D_{20} を用いて、クレーガーの方法により推定した。表-1, 2にマルチスプリングモデル要素とカクテルグラスモデル要素の入力パラメータを示す。

青線:マルチスプリング

赤線:カクテルグラスモデル

有効応力減少比(=1- σ'_m/σ'_{m0})時刻歴



せん断ひずみ γ_{xy} 時刻歴図

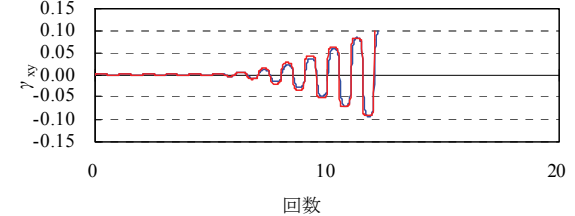


図-9 Bs層の要素シミュレーション結果の一例
($\tau/\sigma' = 0.239$)

表-1 入力パラメータ:マルチスプリングモデル

土層	σ'_{ms}	G_{ms}	m_g	K_{ms}	m_k	ν	ρ	n	K_f
	h_{max}	c	ϕ_f	ϕ_f	s_1	W_l	D_1	D_2	c_1
Bs	98	8.47E+04	0.5	2.21E+05	2.21E+05	0.33	2.04	0.45	2.20E+06
	0.24	0	39.67	28	0.005	3.764	0.5	1.008	2.12
As1	98	1.81E+05	0.5	4.71E+05	4.71E+05	0.33	2.04	0.45	2.20E+06
	0.24	0	43.31	-	-	-	-	-	-
As2	98	9.49E+04	0.5	2.47E+05	2.47E+05	0.33	2.04	0.45	2.20E+06
	0.24	0	40.07	28	0.005	7.500	0.5	0.853	4.2
Ac	98	2.69E+04	0.5	7.00E+04	7.00E+04	0.33	1.5	0.55	2.20E+06
	0.2	0	30	-	-	-	-	-	-
裏込石	98	1.80E+05	0.5	4.70E+05	4.70E+05	0.33	2	0.45	2.20E+06
	0.24	0	40	-	-	-	-	-	-

表-2 入力パラメータ:カクテルグラスモデル

土層	P_a	G_{ms}	m_g	K_{LA}	K_{UA}	η_k	ρ	n	h_{max}
	ϕ_f	ϕ_p	ϵ_d^{cm}	$\gamma \epsilon_d^c$	$\gamma \epsilon_d^d$	q_1	q_2	r_{kpp}	l_k
Bs	98	8.47E+04	0.5	2.21E+05	2.21E+05	0.5	2.04	0.45	0.24
	39.67	28	0.20	1	0.2	6.20	0.65	0.5	2
As1	98	1.81E+05	0.5	4.71E+05	4.71E+05	0.5	2.04	0.45	0.24
	43.31	-	-	-	-	-	-	-	-
As2	98	9.49E+04	0.5	2.47E+05	2.47E+05	0.5	2.04	0.45	0.24
	40.07	28	0.20	0.9	0.2	10.00	1.6	0.5	2
裏込石	98	1.80E+05	0.5	4.70E+05	4.70E+05	0.5	2.04	0.45	0.24
	0.5	0.005	3.8	0.00	1	0.1	0.5	0	4.60E-06

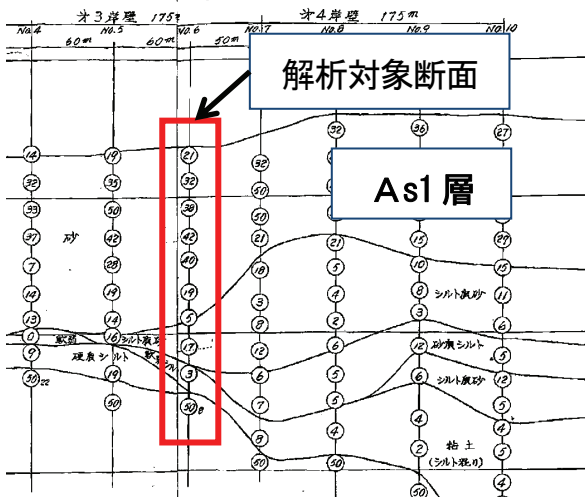


図-8 想定土質断面図⁶⁾

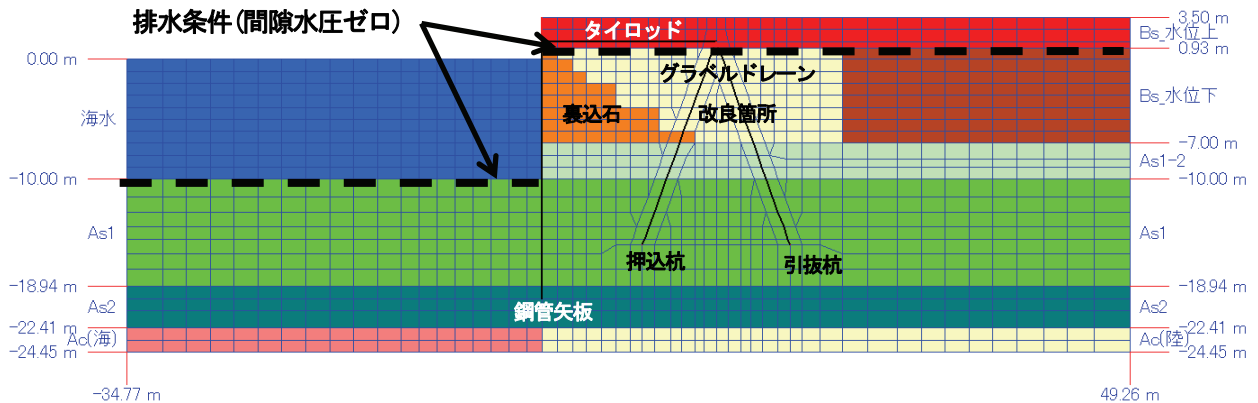


図-7 解析メッシュ・排水条件

(3) グラベルドレーンのモデル化

グラベルドレーンによる液状化対策の効果は、ドレーン打設箇所における透水係数を変更することによって評価する。グラベルドレーンによる圧密は、軸対称の放射流れとなるので、平面ひずみ問題として解析することはできない。そこで、近似として放射流れに対する圧密問題(Barron)を透水係数を変えて等価な圧密速度を持つ水平流れの一次元圧密(Terzaghi)に置き換える¹⁰⁾。

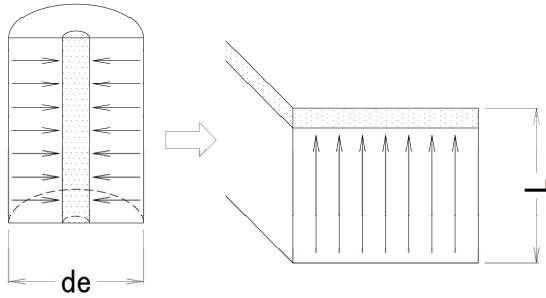


図-10 放射流れと水平一次元流れ

式(1)(2)に両者の式を示す。

放射流れ圧密方程式：Barron

$$t_h = \frac{de^2}{k} \cdot T_h \quad (1)$$

$$\gamma_w \cdot m_v$$

de: 等価有効集水径

一次元圧密方程式：Terzaghi

$$t_v = \frac{L^2}{k_H} \cdot T_v \quad (2)$$

$$\gamma_w \cdot m_v$$

L: 排水距離

しかし、両者の解の一致は理論的には困難なため、平均圧密度U=40, 60, 80%において圧密度を一致させる。時間係数と平均圧密度の関係式は、式(3)(4)の近似式を用いた。

Barronの近似式

$$U = 1 - \exp\left(-\frac{8T_h}{F(n)}\right) \quad (3)$$

ここに、

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \log_e n - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

$$n = de / dw$$

dw: ドレーンパイプ径

Terzaghiの近似式

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 T_v}{4}\right) \quad (4)$$

表-3に上記の方法で計算した二次元モデルにおける透水係数の計算シートを示す。換算した等価透水係数は、埋め立て地盤の約80倍程度であり、圧密度の違いによる透水係数の違いは少ないことが分かる。

表-3 グラベルドレーン換算透水係数計算シート

グラベルドレーン				平均圧密度		時間係数			Terzaghiより求められた排水距離	改良層厚さ (両面排水)	透水係数	
ドレーン改良ピッチ	ドレーンパイプ径	等価有効集水径	de/de	n	U (%)	Barron	Terzaghi		H (m)	H ₀ (m)	k (m/sec)	等価換算値
□1.6x1.6m	0.5	1.808	3.616	80	0.660933	0.132966	0.567163	0.88	7.93	3.50E-04	2.84E-02	
□1.6x1.6m	0.5	1.808	3.616	60	0.660933	0.075701	0.286241	0.93	7.93	3.50E-04	2.54E-02	
□1.6x1.6m	0.5	1.808	3.616	40	0.660933	0.042203	0.125664	1.05	7.93	3.50E-04	2.00E-02	

(4) 鋼材物性値

鋼材物性値は、鋼管矢板、控え組杭はバイリニア型の非線形はり要素、タイロッドは非線形ばね要素でモデル化した。鋼材の腐食については、当該岸壁の整備年次、当該海域の腐食環境、また実査の腐食状況などが不明のため、腐食期間を50年と仮定して設定した(表-4,5)。

表-4 入力パラメータ:非線形はり要素

部材	サイズ規格	継手間隔	弾性係数	断面積	曲げ剛性第1次配	全塑性モーメント	降伏軸方向力
		m	E	A	EI0	Mo	Ny
			kN/m2	m2	kN・m2	kN・m	kN
岸壁矢板	φ711.2.t9.5	0.8	2.00E+08	2.339E-02	2.87E+05	1226	-
控え組杭	H-388×402×15×15	1.6	2.00E+08	1.115E-02	6.12E+04	412	2621

表-5 入力パラメータ:非線形ばね要素

部材	サイズ規格 (腐食考慮)	タイロッド長 (m)	タイピッチ c.t.c (m)	単位幅奥行き(1m)当たりの断面積量			
				材質	断面積 A (m2)	上限荷重 Pu (kN)	変位の目安 du (m)
タイロッド	φ67	16	1.6	SS400	2.23E-04	881	0.032

(5) 控え組杭のモデル化方法

控え組杭のモデル化方法は、従来からある控え組杭の下端と地盤要素を拘束する固定杭モデル(図-11)のほか、新しく提案されている摩擦杭モデル(図-12)とした。摩擦杭モデルは、控え組杭と地盤との拘束を押し込みのみに抵抗する非線形ばね(図-13)で拘束し、杭軸方向に作用する摩擦力はせん断のみに抵抗するジョイント要素(図-14)で拘束する方法である。なお、杭軸直角方向に作用する地盤抵抗は両モデルとも、杭-地盤間相互作用ばねによってモデル化した。

表-6に各モデルの特徴を示す。

4. 解析結果と考察

検討ケースは、排水条件を考慮したカクテルグラスモデル要素の他、従来から実績のあるマルチスプリングモデル要素による検討も実施した。カクテルグラスモデル要素の解析では、ドレーン打設箇所¹の透水係数を変更しない場合と、圧密度(40, 60, 80%)に応じた換算透水係数を与えた場合とする。さらに、上記の5ケースに対して、控え組杭のモデル化方法を固定杭モデルとした場合、摩擦杭モデルとした場合の計10ケースについて解析を実施した。表-7に検討ケース一覧と矢板天端水平変位量の結果を示す。矢板天端水平変位の計測値は40cmであったが、マルチスプリングモデル要素を用いた結果では、水平変位量は160cmとなり、計測値よりかなり大きい結果となった。カクテルグラスモデル要素の場合、ドレーン箇所¹の透水係数を変更しなかった場合は130cm、ドレーンを考慮した透水係数に変更した場合は、約90cmとなり、ドレーンを考慮することによって計測値に近い解析結果となった。図-15, 16にcase3, 5の残留変形図及び最大過剰間隙水圧比分布図を示す。図-16は、ドレーンの透水係数を考慮した結果であり、考慮していない図-15と比較すると、ドレーン打設箇所の間隙水圧の上昇が抑制されていることがわかる。よって、ドレーン打設箇所¹の透水係数を変更することにより、液状化対策としてのグラベルドレーンの効果を評価できることが分かった。

図-17に、鋼管矢板残留変形図の計測値と解析結果を示す。解析結果は、計測値よりいずれも大きくなっているが、非排水条件(マルチスプリングモデル)・ドレーン考慮せず、ドレーン考慮ありの順に計測値に近い結果となった。

図-18に岸壁背後地盤における残留沈下量の計測値と解析結果を示す。ドレーンを考慮していないcase1とcase3の解析結果は計測値に比べ、沈下量を過大評価しているが、ドレーンを考慮したcase5では計測値に概ね整合する結果となっていることが分かる。

図-19~21に鋼管杭・控え組杭の曲率比分布図(最大曲率/全塑性モーメント発生時における曲率)を示す。鋼材の被災状況はいずれも「損傷なし」であった。鋼管矢板ではドレーンを考慮しない(case1, 2, 3, 7)の解析結果は、曲率比が1.0よりかなり大きくなっているため、被災状況とは異なる結果となっている。しかし、ドレーンを考慮した(case5, 9)の結果では、曲率比がほぼ1.0程度であり、被災状況と概ね整合する結果となっている。

押し込み杭は、いずれのケースもほぼ1.0程度であり被災状況に適合する結果である。引き抜き杭は、ドレーンを考慮していない(case1, 2, 3, 7)結果が、曲率比は1.0程度となっているが、ドレーンを考慮した(case5, 9)

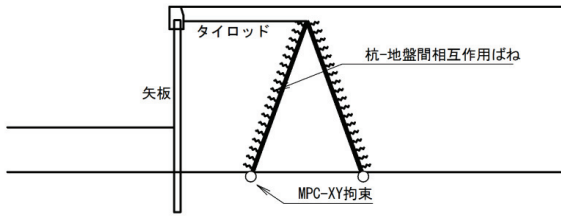


図-11 固定杭モデル

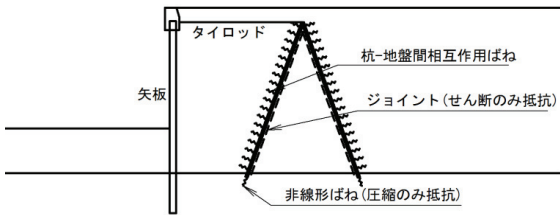


図-12 摩擦杭モデル

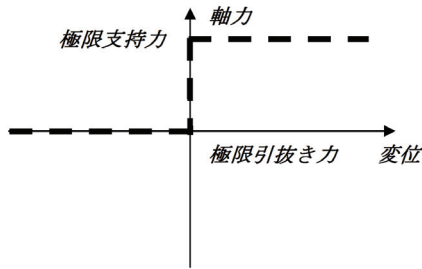


図-13 非線形ばね要素設定：杭先端-地盤間拘束

- 垂直方向(杭軸直角方向)初期剛性 $K_n : 0$
- せん断方向(杭軸方向)初期剛性 $K_s : 1.0E+06 \text{ kN/m}^2$
- 摩擦角 $: 15^\circ$
- 奥行き方向幅 $: \text{単位幅奥行き}$ の杭の周長

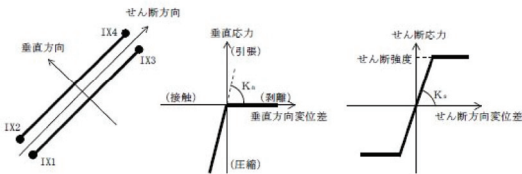


図-14 ジョイント要素設定：杭軸方向拘束-地盤間拘束

表-6 各モデルの特徴

	控え杭下端固定モデル	控え摩擦杭モデル
杭軸直角方向-地盤間拘束	杭-地盤間相互作用ばね	杭-地盤間相互作用ばね
杭軸方向-地盤間拘束	拘束なし	ジョイント要素
杭先端-地盤間拘束	水平・鉛直方向 MPC	非線形ばね (押し込み力のみ抵抗)
押し込み抵抗力の考慮方法	杭下端の MPC 拘束 押し込み抵抗力は無限大	杭先端支持力+ ジョイント要素の摩擦力
引き抜き抵抗力の考慮方法	杭下端の MPC 拘束 押し込み抵抗力は無限大	ジョイント要素の摩擦力

結果は、5.0程度となっており被災状況とは異なる結果となっている。しかし、総合的に判断するとドレーンを考慮したcase5, 9の解析結果は、被災状況を概ね再現する結果となっている。なお、本検討では、控え組杭のモデル化方法の違いによる解析結果の違いは少なく、摩擦杭モデルとした方が計測値に若干近い結果となった。また、圧密度による透水係数の違いは小さかったため、解析結果に与える影響はほとんどなかった。

表-7 検討ケースと矢板天端水平変位

case	地盤モデル	杭モデル方法	ドレーン部透水係数 (m/sec)	圧密度 (%)	矢板天端水平変位量 (m)
計測値	-	-	-	-	0.40
1	マルチスプリング	摩擦杭	-	-	1.62
2		固定杭	-	-	1.60
3		-	-	-	1.29
4	カクテグラス (透水解析)	摩擦杭	3.50E-05	ドレーン考慮せず	1.29
5			2.84E-03	80	0.84
6			2.54E-03	60	0.84
7		2.00E-03	40	0.84	
8		3.50E-05	ドレーン考慮せず	1.25	
9		2.84E-03	80	0.87	
10	2.54E-03	60	0.87		
		固定杭	2.00E-03	40	0.88

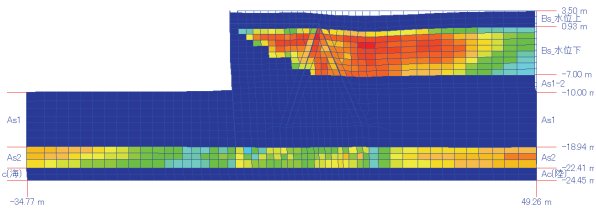


図-15 残留変形図及び最大過剰間隙水圧比分布図
: case3(ドレーンによる透水係数を考慮せず)

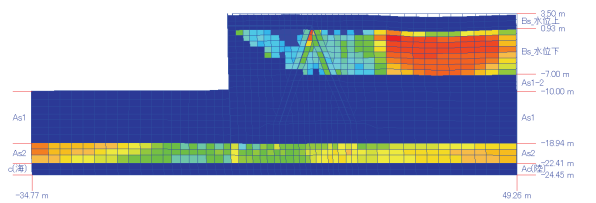


図-16 残留変形図及び最大過剰間隙水圧比分布図
: case5(ドレーンによる透水係数を考慮)

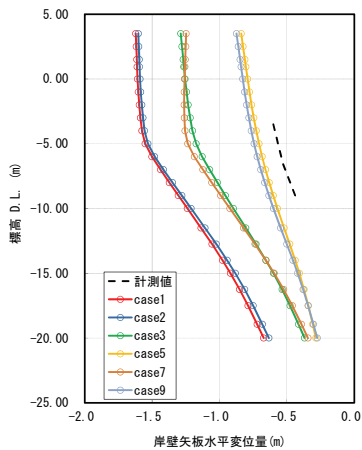


図-17 鋼管矢板の残留変形図

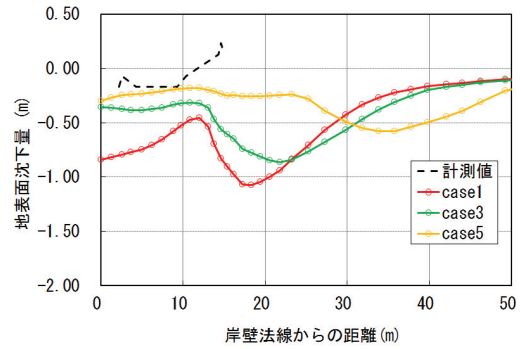


図-18 背後地盤の沈下量

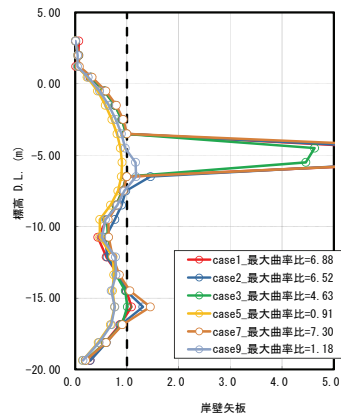


図-19 鋼管杭の最大曲率比分布図

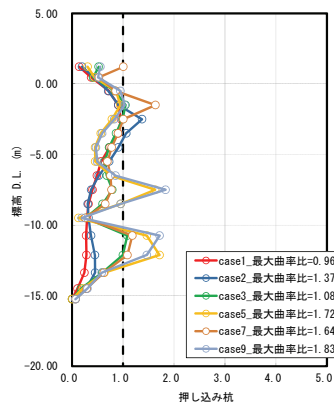


図-20 押し込み杭の最大曲率比分布図

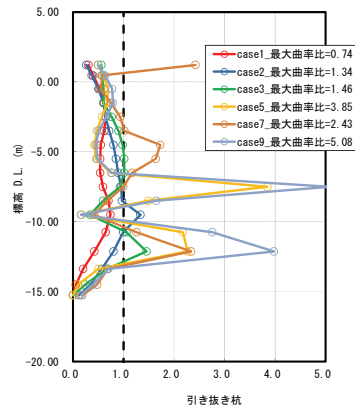


図-21 引き抜き杭の最大曲率比分布図

5. まとめ

本報告では、2011年東北地方太平洋沖地震で被災したグラベルドレーンによる液状化対策が行われた鋼管矢板式岸壁に対する再現解析を排水条件を考慮したFLIPによって行った。

ドレーンの打設箇所の透水係数を変更することによってグラベルドレーンによる液状化対策の効果を概ね評価することができた。

ドレーンの圧密度の違いに等価透水係数の差は小さく、解析結果に与える影響もほとんどないことが分かった。

本検討の場合、控え組杭のモデル化の違いによる解析結果への違いは小さく、摩擦杭モデルとした方が計測値に若干近い結果となった。

排水条件のFLIPの解析結果は、被災状況をほぼ再現することができ、排水条件を考慮したFLIPは妥当な解析結果が得られることが分かった。

今後、さらに再現解析事例を増やし、解析精度の向上をはかっていく必要がある。

謝辞：本報告はFLIPの改良と高度利用法の研究を推進する目的で設立された一般社団法人FLIPコンソーシアムのWGの活動の一環として実施されたものである。関係者の方々、特に貴重なデータを提供して頂いた国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所に謝意を表します。

参考文献

- 1)高橋重雄, 戸田和彦, 菊池喜昭, 菅野高弘, 栗山喜昭, 山崎浩之, 長尾毅, 下迫健一郎, 根木貴史, 菅野甚活, 富田孝史, 河合弘泰, 中川康之, 野津厚, 岡本修, 鈴木高二朗, 森川嘉之, 有川太郎, 岩波光保, 水谷崇亮, 小濱英司, 山路徹, 熊谷兼太郎, 辰巳大介, 鷺崎誠, 泉山拓也, 関克己, 廉慶善, 竹信正寛, 加島寛章, 伴野雅之, 福永勇介, 作中淳一郎, 渡邊祐二: 2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報, 港湾空港技術研究所資料, No.1231, 2011.4.
- 2)仙台港湾空港技術調査事務所小名浜港外港湾施設等被災状況調査 コア抜きによる空洞化調査報告.
- 3)仙台港湾空港技術調査事務所潜水調査報告書2011.
- 4)仙台港湾空港技術調査事務所小名浜港外港湾施設等被災状況調査 荷役機レール基礎杭調査報告書(H鋼杭, 鋼管杭調査), pp17-26.2011.
- 5)港湾空港技術研究所 地震防災研究領域 耐震構造研究チーム/地震動研究チームノート2011年東北地方太平洋地震による地震動の事後推定)
- 6)旧運輸省第二港湾局 横浜調査設計事務所小名浜港設計計算書 三号埠頭第二, 第三, 第四岸壁, 先端護岸, 西防波堤嵩上げ 昭和42年9月1日
- 7)小名浜港湾事務所小名浜港外港湾施設等被災状況調査液状化判定調査報告書, 2011.6
- 8)吉見吉昭:第二版 砂地盤の液状化, 技報堂出版株式会社, pp82-87, 1991
- 9)森田年一, 井合進, Hanlong Liu, 一井康二, 佐藤幸博: 液状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タの簡易設定法, 港湾技研資料No.869,1997.
- 10)(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部: 弾・粘塑性モデルを用いた地盤の変形予測, 1983.3.

The replicative simulation analysis on sheet pile quay wall with the back fill ground improved
by the gravel drain in the Onahama harbor No. 3 wharf

Kouich MURAKAMI, kouichi SUGIHARA, Hironobu MURAKAMI, Souichi TASHIRO
Eiji KOHAMA, and Tetsuo TOBITA

The seismic-response-analysis technique (FLIP2D) is widely used for the anti-earthquake design of the harbor structure in Japan. This analytic method has been developed as a liquefaction analysis program (using a multi-spring model elements) under undrain conditions. By the subsequent continuous research, the analysis technique is introduced in Cocktail-glass Model analyzed under the dispersion of excess pore water pressure and the occurred volume change during the shear state. The analysis is possible for the one of the percolation and permeable analysis under the drainage conditions. In this paper, the replicative simulation analysis was carried out on the steel sheet pipe type quay wall on the sea bed ground improved by the gravel drain, in which was attacked by the Great East Japan Earthquake. The analysis was verified about the validity of the analysis result using the FLIP analysis under drainage conditions.