

東北地方太平洋沖地震における 小名浜港 3 号埠頭第 3 岸壁の液状化による被災程度の再現解析

(株)ニュージェック 正会員 ○村上 巧一, 杉原 弘一
中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 芋野 智成
(独)港湾空港技術研究所 正会員 小濱 英司
広島大学大学院 正会員 一井 康二

1. 目的

二次元有効応力解析プログラム FLIP¹⁾は、非排水条件を前提とした液状化解析プログラムとして開発されたが、その後の継続的な改良を経て、現在は過剰間隙水圧の消散(移動)過程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。また、当モデルを用いた幾つかの事例解析²⁾によって排水条件(透水解析)での妥当性検証も行われているが、これらの事例解析は東日本大震災より前の事例を用いたものとなっている。一方、東日本大震災では比較的継続時間の長い地震動が観測されており、排水条件による透水解析の有効性が高い事例であると推察できることから、本報告では小名浜港の被災事例を対象として、カクテルグラスモデル要素を組み込んだ FLIP2D による再現解析を試み、当モデルによる解析結果の妥当性を検証した。

2. 解析対象断面

東日本大震災において比較的軽微な被災に収まっている小名浜港 3 号埠頭第 3 岸壁(図 1 参照)を解析対象とした。当岸壁は、埋め立てによって構築された控え組杭式岸壁であり液状化対策として岸壁背後約 26m の範囲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が実施されていた。被害状況は、岸壁天端の水平変位が約 40cm、埋立地盤の液状化によるエプロン部の沈下(約 30~60cm)³⁾や段差の発生が報告されていたが、矢板(海中での目視調査)や杭(弾性波調査)の損傷は確認されていなかった。⁴⁾⁵⁾(図 2 参照)

3. 解析条件

再現解析は排水条件を考慮したカクテルグラスモデルの他、従来から実績のあるマルチスプリングモデル(非排水条件)による解析も実施した。N 値と細粒分含有率 F_c から時松・吉見⁶⁾による手法で液状化抵抗曲線を設定し、これをターゲットとしてマルチスプリングモデルの要素シミュレーションを実施し液状化パラメータを決定した。またカクテルグラスモデルの液状化パラメータはマルチスプリングモデルの要素シミュレーションで得られたひずみ時刻歴や過剰間隙水圧比時刻歴を再現するようにパラメータフィッティングを行い決定した。原地盤の透水係数は土質縦断図を参考に Creager の方法より推定した。(本検討では、グラベルドレーンによる透水係数の増加については考慮していない。)入力地震動は港湾空港技術研究所より公開された事後推定波⁷⁾の NS、EW 方向波を岸壁法線直角方向に変換(図 3 参照)して用いた。鋼材の腐食については、当該施設の整備年次、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 年として設定した。鋼管矢板・控え組杭はバイリニア型の非線形はり要素で、タイロッドは非線形ばね要素でモデル化した。控え組杭のモデル化手法については従来からある控え組杭下端部と地盤要



図 1 位置図

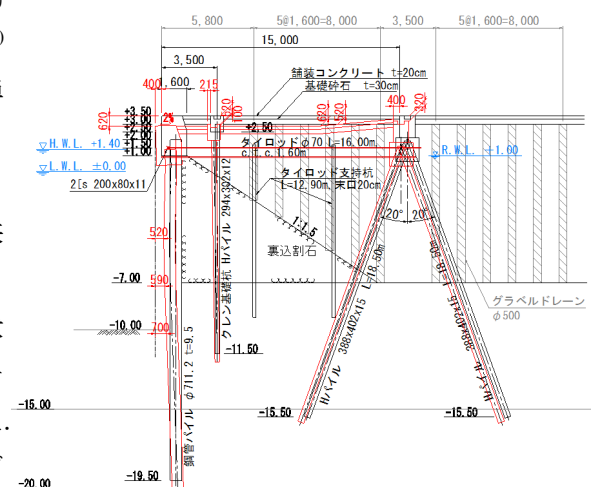


図 2 標準断面図(被災状況)

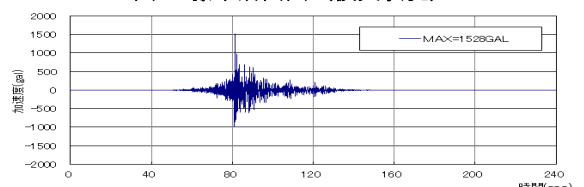


図 3 入力地震動の時刻歴図

キーワード 有効応力解析, 東日本大震災, 液状化, 岸壁

連絡先 〒450-0002 名古屋市中村区名駅 5-27-13 名駅錦橋ビル 4F (株)ニュージェック中部支店 Tel.052-541-8561

素を拘束する控え固定杭モデルの他、新しく提案されている圧縮力のみに抵抗する非線形ばねモデルで杭下端部と地盤要素を拘束し、杭周面の摩擦力をせん断方向のみに抵抗させるジョイント要素を用いる控え摩擦杭モデル(図4参照)とした。

4．解析結果

検討ケースは液状化対象層をカクテルグラスモデル要素を用いて、間隙水圧の消散を考慮した排水(透水考慮)条件と、マルチスプリングモデル要素を用いた非排水(透水考慮せず)条件のそれぞれに対して、控え杭のモデル化方法を摩擦杭モデルとした場合と、固定杭モデルとした場合の4ケースとした。表1に検討結果一覧を、図5・6にcase1・case3における変形図(240sec)と最大過剰間隙水圧比分布図を示す。case1では透水による間隙水圧の消散を考慮しているため、同時刻に対する過剰間隙水圧比分布がcase3に比べ小さくなっていることが分かる。表-1より矢板天端の水平変位量(case1~4)は、1.3~1.6m程度であり、被災状況の0.4mと比べるとかなり大きくなっているが、解析条件の違いに大きな差はないことが分かる。鋼材の被災状況に対する再現性は、case3(マルチスプリング要素+摩擦杭モデル)の場合が最もよい結果となり、カクテルグラスモデル要素を用いた排水条件の解析(case1・2)では、被災状況を十分に再現することはできなかった。また、上記よりマルチスプリング要素の場合、鋼材被災状況に対する再現性は、固定杭モデルよりも摩擦杭モデルの方が良いことが分かった。

5．まとめと今後の課題

本検討では、東日本大震災において被災した小名浜港3号埠頭第3岸壁の再現解析をマルチスプリングモデルと、排水を考慮したカクテルグラスモデルによって行っ

た。マルチスプリングモデルで控え杭のモデル化方法を摩擦杭モデルとすると、矢板天端の水平変位量は被災状況より大きかったが、鋼材の被災状況はほぼ再現することができた。しかし、排水を考慮したカクテルグラスモデルによる解析では、矢板天端の水平変位量・鋼材の被災状況について十分に再現することはできなかった。これは、本検討では、岸壁背後で実施されているグラベルドレーンによる液状化対策の効果を考慮していなかったこと、また乱流状態となっている液状化地盤の透水係数を層流状態と仮定している Creager の方法により設定したためと考えられるので、今後透水係数に着目した精査を実施していく予定である。

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)Iai,Matsunaga,Kameoka,;Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol.32, No.2,pp.1-15,1992. 2)第四期 FLIP 研究会透水解析作業部会II FLIP 研究会透水解析 WGII 平成 22 年度成果報告書。 3)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。 4)仙台港湾空港技術調査事務所 潜水調査報告書2011.5)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 荷役機レーン基礎杭調査報告書(H 鋼杭、鋼管杭調査),pp17-26,2011.6)吉見吉昭;第二版 砂地盤の液状化,技報堂出版株式会社, pp82-87,1991.7)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

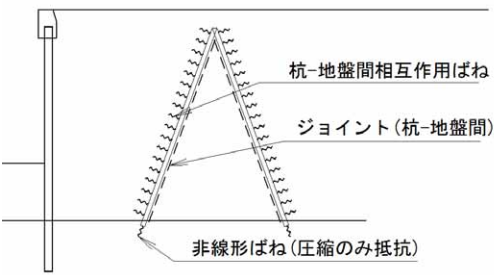


図4 控え摩擦杭モデル

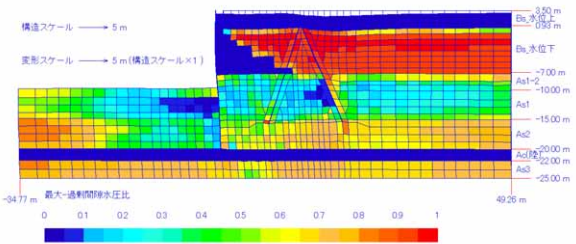


図5 変形図+過剰間隙水圧比(case1)

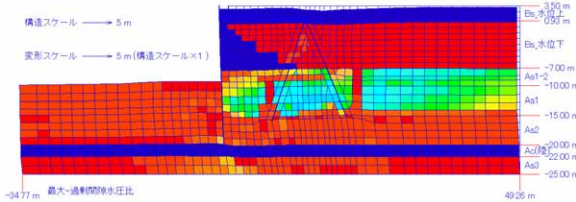


図6 変形図+過剰間隙水圧比(case3)

表1 検討結果一覧

ケース		矢板天端 水平変位量 (m)	鋼管矢板損傷		押込杭 損傷	引抜杭 損傷
			海中	地中		
	被災状況(実測値)	0.40	無し	不明	無し	無し
case1	カクテル+摩擦杭	1.30	有り	有り	無し	無し
case2	カクテル+固定杭	1.30	有り	有り	無し	-
case3	マルチ+摩擦杭	1.58	ほぼ無し	有り	無し	無し
case4	マルチ+固定杭	1.41	無し	有り	無し	有り