# 東北地方太平洋沖地震における

# 小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁の液状化による被災程度の再現解析

日本工営株式会社	正会員	〇森	篤史	佐藤	誠一
株式会社日本港湾コンサルタント	正会員	金子	浩士	柴田	大介
独立行政法人港湾空港技術研究所	正会員	大矢	陽介		
京都大学防災研究所	正会員	飛田	哲男		

## 1. はじめに

東日本大震災では多くの港湾構造物が地震動や津波によって被害を受けた。本検討では、地震動により被害 を受けた港湾構造物の中から小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁を対象として、FLIP<sup>1)</sup>を用いた再現解析を試みた。 再現解析では、継続時間の長い東日本大震災での推定地震動を入力地震動とすること、対象岸壁では液状化に よる過剰間隙水圧の消散に伴う沈下が発生していることを踏まえ、地震中及び地震後の間隙水の移動や液状化 に伴う体積収縮等の排水条件を考慮可能なカクテルグラスモデル<sup>2)</sup>を用いることとした。

### 2. 検討断面·被災状況·入力加速度

再現解析を検討する検討断面位置は各測線の被災状況(沈下量・傾斜角等)を整理し、被害の大きな沖側の No. 20 測線を選定した。図-1 に断面図および No. 20 測線の被害状況図を示す。No. 20 測線の被害は、傾斜角 2. 2 度、前出し量 80cm、天端沈下量 65cm(地殻沈降量を除く)であった。入力地震動は小名浜港における事後推 定によって得られた波形<sup>3)</sup>とし、図-2 に示す岸壁法線直角方向に変換した波形を工学的基盤と判断した固結 シルト層に入力した。また、液状化パラメータを設定した層は、土質条件を踏まえ、背後地盤の埋立土とした。



#### 3. 地盤定数

<sub>固結シルト</sub>→工学的基盤 図-1 断面図および被害状況

地盤パラメータは当該岸壁にて実施されている試験が標準貫入試 験、物理試験であることから、N値から換算式を用いて設定すること を基本とした(表-1)。埋立土を対象とした液状化パラメータは、 液状化試験が実施されていないことを踏まえ、従来より提案さ れているN値と細粒分含有率Fcによる簡易設定法<sup>4)</sup>によりマル チスプリングモデルの液状化パラメータを設定し、得られた結 果に対してカクテルグラスモデルの要素シミュレーションを行 い、過剰間隙水圧比の上昇程度、発生ひずみレベル等に着目し たフィッテングを行った。フィッテング結果を図-3に示す。



凶 2 八刀地辰到

表-1 地盤パラメータ

地層名	湿潤 密度 ρt (g/cm <sup>3</sup> )	飽和 密度 ρsat (g/cm <sup>3</sup> )	基準 拘束圧 σ'ma (kN/m <sup>2</sup> )	せん断 剛性 Gma (kN/m <sup>2</sup> )	粘着力 C (kN/m <sup>2</sup> )	内部 摩擦角 (°)
埋立土	1.8	2.0	98	75400	-	39
岩ずり	1.8	2.0	98	86600	-	39
砂質土	-	2.0	98	140600	-	41
固結シルト (風化部)	-	1.8	171.88	10200	30	I

キーワード 液状化,地震応答解析,東日本大震災

連絡先 〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-2 麹町 4 丁目共同ビル 7F TEL 03-3238-8355 FAX 03-3238-8320

<sup>0.5</sup>

5

過剰間隙水圧比時刻歴

10

繰り返し回数

15

マルヨ

										カクオルグラネ			
マルチスプリングモデル※									0.4				
N65	Fc(%)	$\varphi p$	S1	W1	<i>P1</i>	P2	Cl		-0.3				
8.3	9	28	0.005	5.409	0.5	0.966	2.404		1/0m0				
※簡易設定法(改訂版)にて設定									0.2				
カクテルグラスモデル										液状化強度曲線(等方圧密)			
$\phi_p$	ст Е d	$r_{\rm edc}$	r <sub>ed</sub>	$q_{1}$	$q_2$	l <sub>k</sub>	$H_{maxL}$	r <sub>k</sub>	<sup>0.1</sup> 1 10				
28	0.2	1.5	0.2	10	1.25	2	0	0.5	有効応力減少比(=1-σ <sub>m</sub> /σ <sub>m0</sub> )時刻歴				
$r_{\rm k}$ "	$S_1$	<i>C</i> <sub>1</sub>	$q_{4}$	$r_{\gamma}$	r <sub>mtmp</sub>	1965SW	$q_{ m us}$	STOL					
0.5	0.005	2.5	1	0.1	0.5	0	0	10E-6	0.6				
図-3 液状化パラメータフィッテング結果							0.2	等方圧密 応力比0.35					

## 4. 解析結果

地震後 4.5h 後の解析結果として、変形図及び過剰間隙水圧比分布図を図-4 に、過剰間隙水圧比の時刻歴を 図-5 に示す。図-4 より、岸壁天端の残留変形量は水平方向-99cm(被災状況-80cm)、鉛直方向-36cm(被災状 況-65cm)となっている。過剰間隙水圧比は地震後4.5hの時点で一部の範囲で水圧比0.6程度の箇所もあるが、 概ね消散傾向にあることが確認できる。被災状況との比較(**表-2**)では、従来用いられてきたマルチスプリン グモデルと比較すると、被災状況の再現性が向上している結果となったが、鉛直方向の変形量が過小評価とな っている点が課題として挙げられる。



## 5. まとめ

本検討では、東日本大震災で地震動の被害を受けた小名浜港5号埠頭耐震強化岸壁を対象にカクテルグラス モデルを用いた再現解析を実施した。従来用いられてきたモデルと比較し、被災状況を再現している結果とな ったが、鉛直変形量についてやや差異の見られる結果となった。この要因の一つとして、ケーソン周辺の岩ズ リの揺すり込みによる沈下の考慮がされていない点が考えられることから、引き続き精度の向上を図っていく。 謝辞 : 本検討は 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 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。

図-5

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) Iai,S. et al. : Dilatancy of granular materials in astrain space multiple mechanism model, Int J Numer Anal Meth Geomech, 2010. 3)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 2011 年東北地方太平洋沖地震による小名浜港における地 震動の事後推定(http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/) 4)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 港研資料 No.869,1997.