

岸壁・護岸を対象とした地盤固化による低コスト液状化対策技術の解析的評価

鹿島建設(株) 正会員 ○京川 裕之、大谷 芳輝、鎗田 哲也、田口 勝則、山田 岳峰
ケミカルグラウト(株) 正会員 鎌田 敏幸、北山 真

1. はじめに

既設岸壁や護岸並びにその背面地盤に立地する重要施設を対象とした液状化対策工を設計する場合、地盤の液状化を考慮できる FEM 解析により、地盤の液状化の程度や構造物の変位・断面力などに関して要求性能を満足するかどうかを評価することが多くなってきている。この際、民間の臨海施設の場合では、地震波や地盤性状の不確実性を考慮して、ある程度の変形（例えば護岸変位が 1m 程度）が許容されるが、種々の対策技術に対して、実際の応答を解析でどの程度再現できるかどうかを把握・確認しておけば、経済的な設計を行う上で意義があると考えられる。そこで本研究では、地盤固化工法を利用した液状化対策工を対象とした遠心模型実験¹⁾のシミュレーション解析により、新技術の実務展開に向けた今後の課題と更なる利活用方法について考察する。

2. 遠心模型実験シミュレーションの概要

2次元液状化解析プログラム FLIP²⁾を用いて、各種対策工（CASE1：無対策、CASE2：低置換格子状固化、CASE3：側方流動抑制壁）を想定した遠心模型実験¹⁾の解析を実施する。解析では、実験遠心場（70G 場）を想定した実スケールモデル（図-1 参照）、地盤および構造物（矢板、控え版、タイロッド、改良体）の物性値も実験で使用したものを実スケール換算した値を使用した（表-1 参照：液状化層の液状化パラメータは三軸液状化試験結果にフィッティングさせて決定）。また、低置換格子状固化では、奥行き方向の改良率を考慮した貼り合わせモデルとし、改良体周りにはジョイント要素を配置することで、格子状固化体の 3 次元挙動を模擬する。なお、実験では異なる地震波によって連続して加振させたが、解析は連続加振の影響が比較的小さいと考えられる STEP1（東京湾岸で想定されるレベル 1 地震動、最大加速度 102[Gal]、継続時間 180 [sec.]）を用いて実施した。

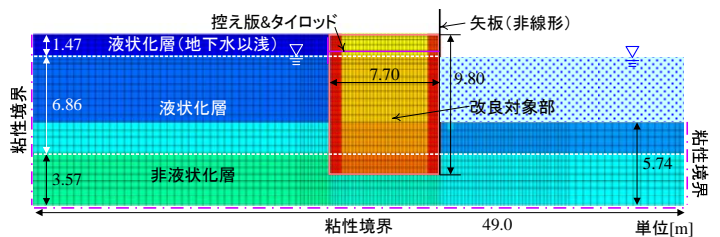


図-1 解析モデル概要

表-1 解析物性値

	マルクスプリングモデル	単位	液状化層 (地下水以浅)	液状化層 (地下水以深)	非液状化層	改良体
物理特性	間隙率: n	-	0.44	0.44	0.39	-
	密度: ρ	t/m ³	1.472	1.915	1.999	1.515
変形特性	基準せん断剛性: G_{ms}	kPa	4.104×10^3	4.104×10^3	1.175×10^4	1.664×10^6
	基準体積弾性: K_{ms}	kPa	1.077×10^4	1.077×10^4	3.063×10^4	7.767×10^6
	基準拘束圧: σ'_{ms}	kPa	33.7	33.7	74.8	-
	拘束圧依存指数: m_G, m_K	-	0.5	0.5	0.5	0.0
	ポアソン比: ν	-	0.33	0.33	0.33	0.40
	内部摩擦角: ϕ_f	deg.	35.91	35.91	41.96	0.0
液状化 パラメータ	粘着力: c	kPa	0.0	0.0	0.0	890.5
	減衰上限値: h_{max}	-	0.24	0.24	0.24	0.05
	変相角: ϕ_p	deg.	0.0	28.0	0.0	0.0
	w_1	-	-	1.7	-	-
	p_1	-	-	0.6	-	-
	p_2	-	-	1.1	-	-
c_1	-	-	1.79	-	-	
S_1	-	-	0.005	-	-	

ビーム要素	単位	矢板	控え版	H鋼
せん断剛性: G	kPa	7.692×10^7	9.615×10^7	7.692×10^7
ポアソン比: ν	-	0.3	0.3	0.3
断面積: A	m ²	0.070	0.196	0.196
断面二次モーメント: I	m ⁴	9.676×10^{-5}	2.500×10^{-2}	1.162×10^{-3}
有効せん断面積率(長方形)	-	0.8333	0.8333	0.8333

※タイロッドは引張方向に16520[kN/m]の非線形ばね

3. シミュレーション結果と考察

表-2 に実験結果と解析結果の加振終了時の概況をまとめる。矢板天端の水平変位を見ると、解析値は、無対策で 1.4m（実験の 1.08 倍）、低置換格子状固化で 0.4m（実験の 2.0 倍）、側方流動抑制壁で 0.9m（実験の 1.5 倍）となり、対策工によって護岸変位が抑制されている実験値の結果を概ね捉えていることが分かる。

表-3 に解析での過剰間隙水圧比（時刻歴最大）ならびに水平変位（加振終了時）コンター図をまとめる。過剰間隙水圧比コンター図より、無対策と側方流動抑制壁では、矢板下部におけるせん断により過剰間隙水圧があまり上昇していないが、表層ではほぼ液状化していることが分かる。これに対して、低置換格子状固化では、拘束効果によって格子状内上部での水圧発生が抑制されていることが分かる。続いて、水平変位コンター図より、対

キーワード：岸壁 護岸 液状化対策 格子状改良 側方流動抑制壁

連絡先：東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部解析技術部 TEL 03-6229-6666

表-2 加振終了時の概況 (上段：遠心模型実験、下段：解析)

CASE1：無対策	CASE2：低置換格子状固化	CASE3：側方流動抑制壁

表-3 解析コンター図 (上段：過剰間隙水圧比 (時刻歴最大)、下段：水平変位 (加振終了時))

CASE1：無対策	CASE2：低置換格子状固化	CASE3：側方流動抑制壁

策工背面地盤 (控え版裏) における水平変位は、無対策では 1.2m に対して、低置換格子状固化では 0.4m (33%)、側方流動抑制壁では 0.86m (61%)に抑制されている。また、図-2 に示す地表面変状より、格子状固化、流動抑制壁、無対策の順に背面地盤の沈下量が小さいことが分かる。

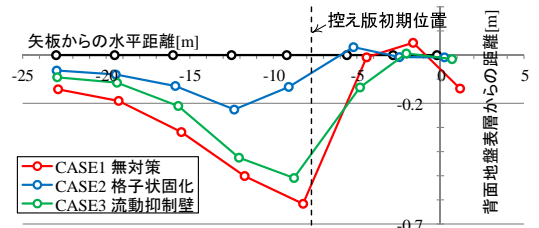


図-2 加振終了時の地表面変状

今回の遠心模型実験は連続して波形を入力したため、加振毎に地盤物性が変化していると考えられる。現在、レベル2地震動を直接入力する実験および解析を検討しており、その際には、地盤の液状化および大変形だけでなく、改良体の内部応力など対策工自体の安定性も評価する。

4. まとめ

レベル 1 地震動が作用する既設の鋼矢板岸壁を対象に、液状化対策工 (低置換格子状固化、地盤固化を利用した側方流動抑制壁) の遠心模型実験のシミュレーションを実施した。その結果、矢板天端変位を概ね再現でき、対策工の変形と水圧の抑制効果を確認した。今後、レベル 2 地震動を対象に、三次元解析や改良体の非線形挙動を考慮した検討を行い、対策効果並びにその適用限界について分析する予定である。地盤特性のばらつきや数値解析の適用性等の影響を受ける予測精度を向上させるため、対策工の施工初期段階において、実際の地盤や構造物の応答を地震観測し、その結果を以後の対策工の設計と施工に役立てることで更に合理的な対策を実現できる可能性がある。

謝辞 本報文を取り纏めるにあたり、石原研而中央大学教授からご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 石井ら, 岸壁・護岸を対象とした地盤固化による低コスト液状化対策技術の遠心模型実験, 第 70 回土木学会年次学術講演会, 2015 年 9 月 (投稿中) 2) Iai, S. et al., Strain space plasticity model for cyclic mobility, Report of the Port and Harbor Research Institute, Vol.29, No.4, pp.27-56