

小規模建築物を対象とした液状化対策の設計法に関する研究 (その2)

正 真島 正人 1* 正 高田 徹 1*
 正 ○ 磯部 有作 2* 正 里 優 2*
 正 松下 克也 3*

戸建住宅 液状化 地盤調査
 地盤補強工法 液状化対策

1. はじめに

その 1¹⁾では、小規模建築物を対象とした地盤調査から液状化対策の必要性の判断フローと補強対策を提案した。本稿では提案した液状化対策の補強効果について有限要素法 (FEM) による有効応力動的解析を実施し、過去に液状化によって不同沈下した建物の被害事例をもとに検討解析を行った。

2. 液状化によって不同沈下した建物の被害事例

対象宅地は、柏崎市松波にある木造 2 階建ての住宅で、2007 年新潟県中越沖地震 (マグニチュード $M = 6.8$, 推定最大水平加速度値 $\alpha_{max} = 513 \text{ cm/s}^2$) により液状化が起り、不同沈下が生じている。この宅地は当地震により、液状化に伴う噴砂が生じており、宅地中央部に向かってすり鉢状に約 0.4 m の地盤沈下が生じた。しかし、建物には支持力増加と不同沈下抑止を目的として、直接基礎 (基礎幅 450 mm) 下に改良深さ 4 m の杭状地盤補強 (柱状改良体) を施していたため、建物の被害程度は軽微な部類 (不同沈下量 50 mm) であった。

図 1 に地震後に当宅地内で実施した地盤調査 (SPT, SWS, CPT, 粒度試験) の結果を、図 2 に F_L 値の深度分布と建物への危険度評価を示す。図 2 より地下水位 (GL-

3.3 m) 以下の細砂層がほぼ一様に液状化層 ($F_L \leq 1$) であることが確認された。

3. 解析手法の概要

当解析の検討プログラムには、FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program) を使用した。FLIP は、地盤-構造物系の有限要素法による 2 次元動的有効応力解析プログラムであり、地震動による地盤や構造物の残留変形、構造部材に生じる応力などを求めることができ、現在、港湾・空港をはじめとする土木構造物の耐震性能照査に広く利用されている。

解析には、(1)家屋と地盤の二次元モデル、(2)入力地震動、(3)地盤物性値、(4)対策工の設定を行う必要がある。図 3 に今回の解析に用いた有限要素解析モデルを、図 4 に入力地震動 (柏崎 K-Net より) を、表 1 に解析に必要な地盤物性値の決定方法を示す。ここでは簡易手法による解析の検討を行うことを目的としているため、各種サウンディングデータで推定される N 値、細粒分含有率 F_c 、地下水位 (表 2) から各物性値を求めた。

検討ケースは地盤調査方法から求めた物性の違いによる比較検討と柱状改良を行った場合と行っていない場合についてそれぞれ実施した。

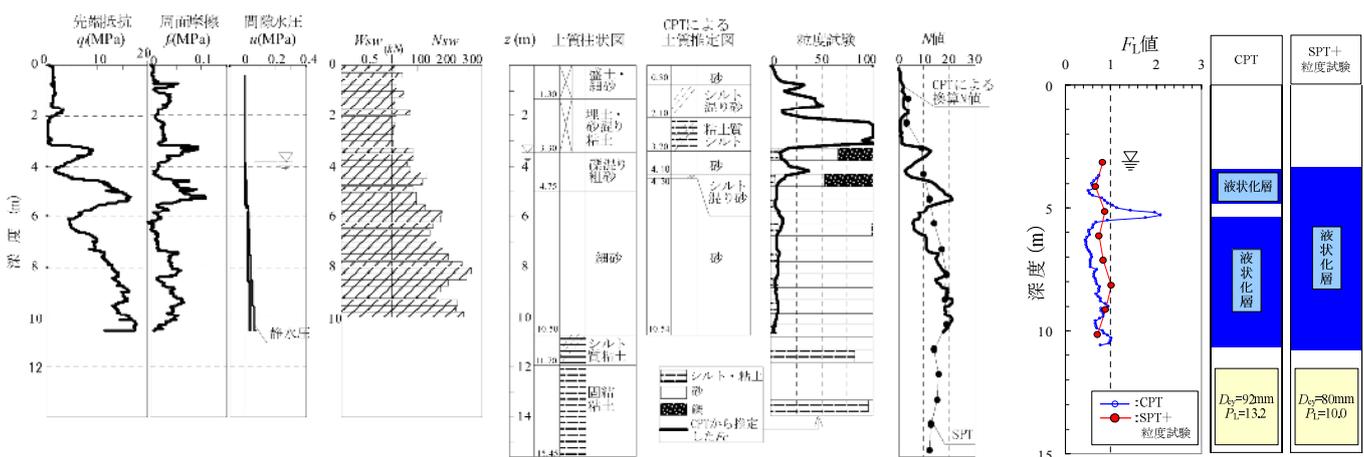


図 1 各種地盤調査の結果

図 2 F_L 値の深度分布と建物への危険度評価

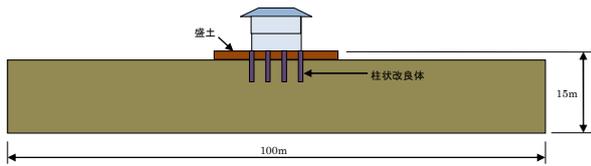


図3 解析モデル

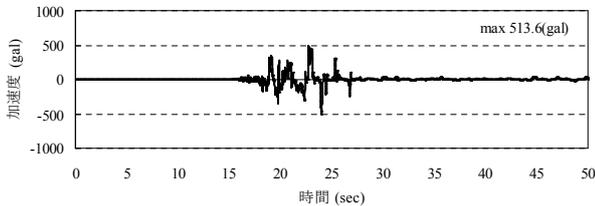


図4 入力地震動

表1 解析に必要な地盤物性値の決め方²⁾

分類	モデルパラメータ	変換式
動的変形特性	G_{ma} せん断弾性係数	$G_{ma} = 144N_{0.66}$
	K_{ma} 体積弾性係数	$K_{ma} = \frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)} G_{ma}$
	ν ボアソン比	0.33
	ϕ 内部摩擦角	$D_r = 21\{N_{0.66}/(\sigma'_v + 0.7)\}^{0.5}$ および文献2)の図-10より推定
	h_{max} 履歴減衰の上限值	0.24
液状化特性	ϕ_b 変形角	28 (度)
	W_i 液状化特性全体を規定するパラメータ	$w_1 = 0.623 \exp(0.180(N)_{0.66})$ if $F_c \leq 5\%$ $= 3.620 \exp(0.116(N)_{0.66})$ if $F_c = 10\%$ $= 3.830 \exp(0.143(N)_{0.66})$ if $F_c = 20\%$ $= 4.400 \exp(0.168(N)_{0.66})$ if $F_c = 40\%$
	p_1 液状化特性の前半を規定するパラメータ	0.5
	p_2 液状化特性の後半を規定するパラメータ	$P_2 = -0.0166N_a + 1.215$
	c_1 液状化発生の下限値を規定するパラメータ	$c_1 = 1.6$ if $N_a \leq 16$ $= 1.3$ if $16 < N_a < 22$ $= 1.0$ if $N_a \geq 22$
	s_1 液状化の終局状態を規定するパラメータ	0.005

* $(N)_{0.66}$, N_1 および N_a の算定方法は文献2)を参照

表2 各調査結果から求めた地盤モデル

深度 (m)	地層名			N値			細粒含有率 F_c (%)		
	CPT	SPT+粒度試験	SWS+粒度試験	CPT	SPT+粒度試験	SWS+粒度試験	CPT	SPT+粒度試験	SWS+粒度試験
1	盛土	盛土	盛土	15	15	7	15	15	15
2	シルト混じり砂	盛土	砂	3		4	30		30
3	砂	埋土	砂	1		1.5	100		30
4	砂	砂	砂	8		10	10		6
5	砂	砂	砂	12		5.5		7	
6	砂	砂	砂			10			7
7	砂	砂	砂	5		10			
8	砂	砂圧砂	砂		17			7	
9	砂	砂	砂	18		20		7	
10									
11									
12									
13	泥岩	泥岩	泥岩	14	14	13	90	90	90
14									
15									

*1 設計室ソイル

*2 地層科学研究所

*3 ミサワホーム総合研究所

*1 Soil Design Inc.

*2 Geoscience Research Laboratory Co., Ltd.

*3 Misawa Homes Institute of Research and Development Co.,Ltd.

4. 解析結果と考察

図5に各地盤調査別の過剰間隙水圧比の分布図を、図6に50秒後の残留鉛直変位を示す。図5より、地下水位より下部の砂層がほぼ一様に過剰間隙水圧が高まることとわかる。ただし地下水位より下部の柱状改良体周面部と底部は、その周囲に比して間隙水圧の上昇は抑えられており液状化の抑制効果と言える。図6より、SPTによる調査法で求めた残留沈下量は約115mm、CPTおよびSWSによる調査法で求めた残留沈下量は153~162mmとなりSPTによる結果より沈下量はやや大きく出ている。

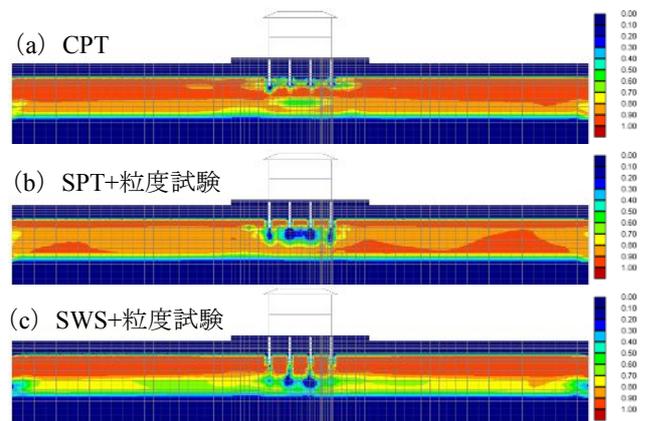


図5 過剰間隙水圧比分布 (50秒後)

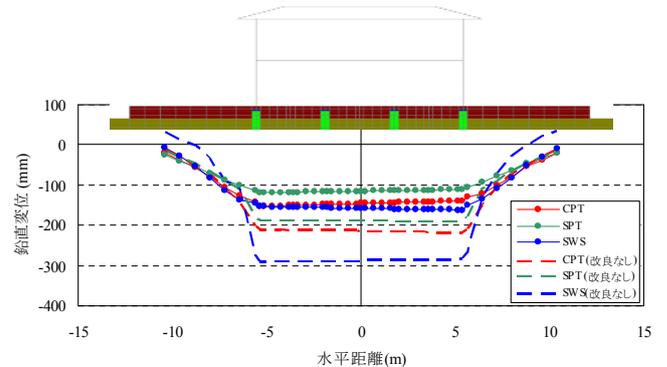


図6 地表面の鉛直変位の時刻歴

5. おわりに

ここでは、小規模建築物の液状化の補強効果をFLIPによる有効応力解析で表現し、地盤物性値(地盤調査法)が与える影響や実被害量との違いを見た。今回は1箇所の結果を示しており、今後データを蓄積して本手法の有効性をさらに検証したいと考える。

参考文献

- 高田他：小規模建築物を対象とした液状化対策の設計法に関する研究(その1)、日本建築学会大会学術講演集、2009(投稿中)。
- 森田年一、井合進他：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ータの簡易設定法、港湾技研資料No.869、1997