

人工液状化実験の残留変形再現計算、 及び薬液注入工法の改良効果に関する検討

東亜建設工業
港湾空港技術研究所

正会員 ○斎藤崇嗣
正会員 中澤博志

笹井 剛
菅野高弘

1.はじめに 液状化が空港施設に与える影響の把握、及び合理的な液状化対策設計法の確立を目的に、平成19年10月に北海道石狩湾新港西地区において実物大空港施設を用いた人工液状化実験が実施された¹⁾。本報では、地盤の液状化対策工法の1つである超多点注入工法・超多点DP工法²⁾(以下、超多点)における合理的かつ経済的な改良仕様の提案を目的として、2次元有効応力解析プログラム(FILIP)、及び地震後の過剰間隙水圧消散過程、ならびにこれに伴う残留変形解析(FILIPDIS)を用いた地盤改良の実験再現計算、及び改良効果の検討を行ったので報告する。

2.実験概要 人工液状化実験は、発破の衝撃により液状化現象を再現させるもので、滑走路に模したアスファルト舗装(50m×60m)下の地盤に液状化対策を施した液状化対策エリアと未対策エリアとに分けられ実施された。液状化対策として薬液注入による超多点を採用し、当工法の改良領域は対策エリアのうち20m×25mの領域に改良深度の異なるゾーン1(改良深度10m:100%改良)とゾーン2(改良深度5.5m:40%部分改良)の2領域に分けられている。実験エリア平面図を図1、超多点改良部の断面図(断面③)を図2に示す。

3.地盤条件 実験エリアは、浚渫土を埋立造成した土地であり、地表から約5mまでは埋立土(Fs)が堆積しており、それ以深に沖積砂質土(As1,As2)が堆積している。N値は全体的に10程度の緩い砂地盤であり、粒度分布も全深度で「特に液状化の可能性が高い」範囲に位置しており、細粒分含有率F_cは11~16%の範囲である。また、想定液状化層を地下水位(GL-2.5m)からGL-10mとしている(図3参照)。

4.再現計算 実験の再現計算として、液状化対策がされた地盤と非改良地盤が通る計3断面を実施した(図1参照)。地盤モデルとして文献3)の地盤解析定数を使用した。(表1参照)。解析対象を舗装部(50m×60m)の範囲とし、解析モデル中心から左右100mを側方境界とした。また入力波形は、発破実験における振動を地震動と同様とみなし、現地計測された応答加速度(水平、鉛直2成分)を一樣加振として入力した(図4参照)。

5.再現計算結果 加振完了時の過剰間隙水圧比分布図(断面③)を図5に示す。実測で得られた未改良部の過剰間隙水圧比0.95と比較し、同程度の過剰間隙水圧の上昇が確認でき、超多点の部分改良下の地盤で、過剰間隙水圧比が0.8~1.0まで上昇している。断面②の部分改良下の地盤も同様の結果が見られた。

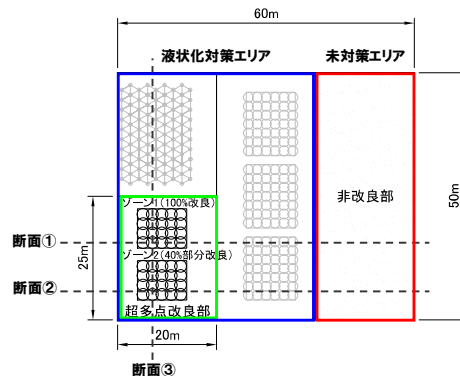


図1 実験エリア平面図、及び解析位置図

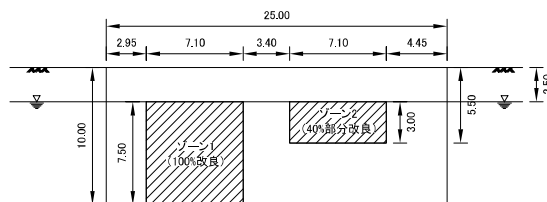


図2 超多点改良部断面図(断面③)

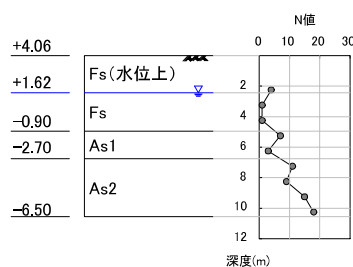


図3 土層構成図とN値の深度分布

表1 地盤の解析定数

		舗装部	Fs(水位上)	Fs	As1	As2
		非改良部	超多点	非改良部	超多点	非改良部
動的変形特性	N値	2~3	2~3	6~8	12~18	220
	せん断波速度 V_s m/sec	120	120	175	220	220
	基準平均有効拘束圧 σ_{v0} kN/m ²	15.3	12.5	35.3	53.7	66.0
	初期せん断剛性 G_{00} kN/m ²	39070	17700	29700	58640	89390
	初期体積弾性係数 K_{00} kN/m ²	103953	47094	79022	156022	237838
	G.Kの拘束圧依存係数 m_v	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	ポアソン比 ν	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333
	粘着力 c kN/m ²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	内部摩擦角 ϕ 度	40.0	38.0	39.0	39.0	40.0
	最大減衰定数 h_{max}	0.24	0.22	0.22	0.22	0.22
液状化特性	変相角 ϕ_v 度	-	-	28	28	28
	SI	-	-	0.005	0.005	0.005
	WI	-	-	2.51	3.04	2.95
	PI	-	-	0.5	0.5	0.5
	PZ	-	-	1.880	1.800	1.780
	CI	-	-	2.118	2.250	2.203
物理特性	密度 ρ kN/m ³	21.2	17.4	18.2	18.2	18.2
	間隙率 n	0.41	0.53	0.53	0.53	0.53
	細粒分含有率 F_c %	-	-	18	14	13
	等価N値 N_{eq}	-	-	2.5	6.9	11.0
	有効土体圧 σ_v' kN/m ²	-	-	52.8	70.5	91.4
	透水係数 k cm/s	-	-	1.00E-06	1.00E-03	1.00E-06

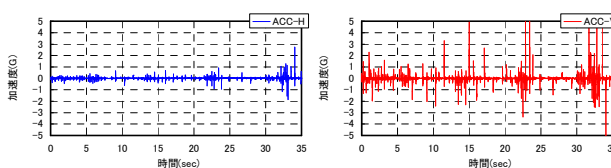


図4 入力波形

キーワード 人工液状化実験、残留変形、薬液注入工法、有効応力解析

連絡先 〒102-8451 東京都千代田区四番町5 土木事業本部設計部 TEL:03-3262-5105 FAX:03-3239-2793

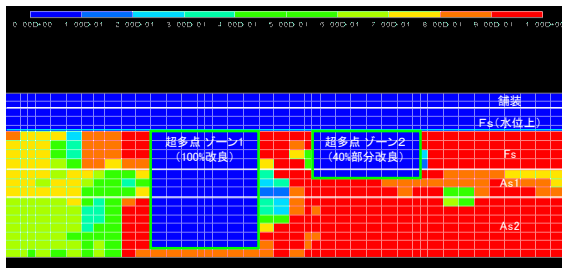


図 5 過剰間隙水圧比 分布図(断面③)

図 6 に、水圧消散による舗装面沈下量(発破直後、及び 7 日後)の水平分布図を示す。解析値と実測値を比較すると、超多点 100%改良で整合している。一方、超多点 40%部分改良で解析値が過大傾向となった。

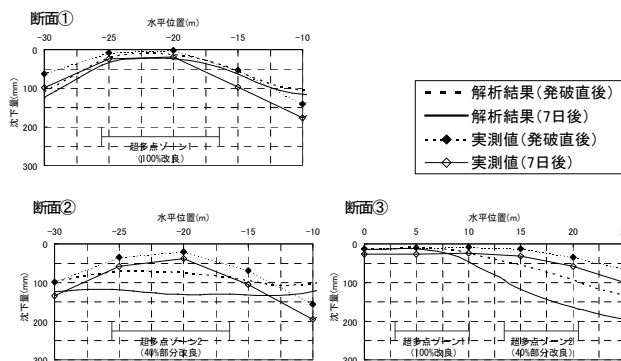


図 6 舗装面沈下量 水平分布図

この要因の一つとして、発破実験では周辺地盤からの水圧伝播による水圧上昇は見られるが、液状化による沈下は発生していないのに対し、解析では一様加振での地震入力により部分改良下の地盤で液状化による沈下が発生しており、液状化の発生メカニズムに関して、発破時と地震時で違いがあるためと考えられる。また、文献 3)により、非改良部の実測値と解析値の整合も確認されている。

6.改良効果の検討 実験の再現計算結果から、一様加振による地震後の、超多点 100%改良、及び非改良部の水圧消散による舗装面沈下量が再現可能であることを確認した。一方、超多点の部分改良(100%未満改良部)について、発破時と地震時で傾向が異なるが、地震時における改良厚の効果について検討した。解析ケースは、超多点の改良厚とアスファルト舗装幅を改良幅とした 2 つをパラメータとし、液状化対策の対象地盤厚 8m に対して、改良厚 0,20,40,60,80,100%の 6 ケース、改良幅 8,16,24,40,60,80m の 6 ケース、合計 36 ケースを実施した。(図 7 参照)

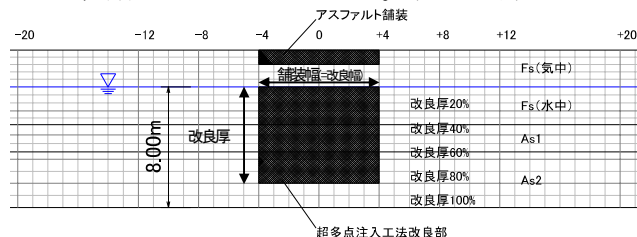


図 7 改良効果の検討における解析モデル

7.改良効果の検討結果 図 8 に水圧消散による最終沈下量(舗装面平均値)と改良厚の関係(舗装幅 24m,80m)を示す。最終沈下量は改良幅には依存せず、改良厚にのみ依

存しており、最終沈下量と改良厚は線形関係となるが、明確な改良効果が現れるポイントはない。また、図 9 に最終沈下量の水平分布図(舗装幅 24m,80m)を示す。改良厚の小さい範囲(20%、40%)では、舗装面内で沈下が一様でないため、不等沈下が発生する可能性がある。

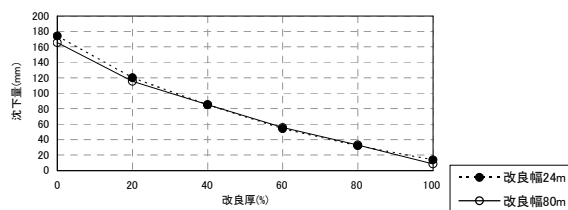


図 8 水圧消散による最終沈下量(舗装面平均値)と改良厚の関係

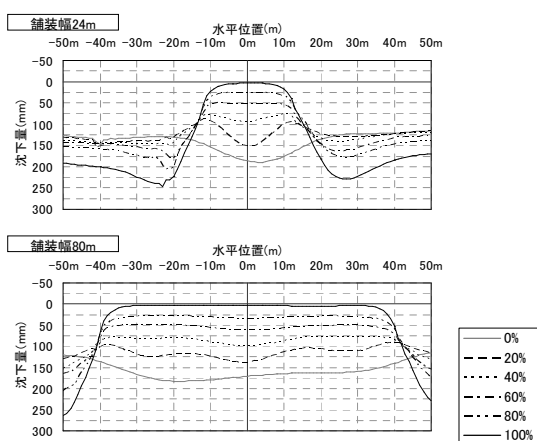


図 9 水圧消散による最終沈下量 水平分布図

7.まとめ 発破による人工液状化実験の再現計算、及び超多点の改良効果の検討により以下の結果が得られた。

- 1) 超多点 100%改良の水圧消散による沈下量について、2 次元有効応力解析プログラム (FLIP)、地震後の過剰間隙水圧の消散過程、及びこれに伴う残留変形解析 (FLIPDIS) により再現計算が可能であることを確認した。
- 2) 超多点部分改良について、一様加振による地震波入力を行っている再現計算では、部分改良下の地盤が液状化による沈下により、実測値と比較し沈下が過大傾向になることを確認した。発破実験では部分改良下の液状化地盤の地震時挙動を再現できないことが考えられる。
- 3) 超多点部分改良について、改良効果の検討を行った結果、本検討における土層構成、入力地震波での舗装面の最終沈下量は、改良幅には依存せず、改良厚と線形関係となることを確認した。また、改良厚が 60%未満で小さい場合、舗装面内で沈下が一様でないため、不等沈下が発生する可能性が考えられる。

謝辞：本内容は、超多点注入工法提案グループ(東亜建設工業(株)、(株)大木組、東洋建設(株)、(株)本間組、りんかい産業建設(株)、若葉建設(株))が参画した共同研究の成果である。本実験を実施するにあたり、多大なるご協力を頂いた関係各位に、ここに記して深謝の意を表します。

～参考文献～

- 1) 中瀬志郎ら：空港施設の液状化時挙動に関する実物大実験概要、第 43 回地盤工学研究発表会
- 2) たとは開口宏二ら：超多点注入工法による液状化対策技術、NKK 技報、No.175,pp1-5,2001.
- 3) 国土交通省航空局、国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)港湾空港技術研究所：実物大の空港施設を用いた液状化実験に関するシンポジウム～空港施設の液状化対策について考える～平成 20 年 10 月、pp317-324
- 4) 三枝弘幸ら：原位置実験における超多点注入工法の液状化抑制効果に関する検討、第 43 回地盤工学研究発表会
- 5) 三枝弘幸ら：人工液状化実験における薬液浸透注入工法の改良効果確認、土木学会 第 63 回年次学術講演会
- 6) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. (1990): Strain space plasticity model for cyclic mobility, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, pp.27-56