

模擬地盤における高濃度薬液注入材の注入実証実験（その1） - 実証実験概要報告 -

ケミカルグラウト（株）正会員 ○渡邊 陽介 川村 淳
早稲田大学 学生会員 中道 馨 山本 馨
早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一

1. はじめに

我が国では近年各地で大規模な地震による被害が発生しており、特に液状化現象は甚大な被害を及ぼす可能性がある。薬液注入工法は液状化対策に有効であるとされているが、従来使用されている薬液注入材により改良された地盤強度は $q_u = 50 \sim 100 \text{ kN/m}^2$ 程度であるため、レベル2地震に対しては強度面において適用不可となる場合もある。既往研究¹⁾に引き続き、レベル2地震動に耐え得るとされるシリカ濃度を高めた高濃度配合の注入材について検討した。

ここで、繰返し非排水三軸圧縮試験の結果から得られる液状化強度比 R と地震時に想定される繰返しせん断応力比 L との比 R/L （液状化安全率）が地盤の液状化判定に用いられる。 $R/L > 1$ であれば液状化対策に有効であるとされる。レベル2地震時のせん断応力比 L は1.2程度と想定し、 $R/L > 1$ を得るための一軸圧縮強度 q_u は現場強度で 200 kN/m^2 、室内強度で 400 kN/m^2 を設定した²⁾。以上より、本研究においては一軸圧縮強度を室内配合試験では $q_u > 400 \text{ kN/m}^2$ 、注入実証実験では $q_u > 200 \text{ kN/m}^2$ 、液状化強度比 $R > 1.2$ を目標値として設定した。

2. 注入実証実験概要

注入実証実験フローを図2.1に示す。事前室内配合試験は参考文献^{3) 4)}に示す通りであり、本報告（その1）では注入実証実験概要と結果を示す。詳細な結果は（その2）で報告する。高濃度配合薬液注入材の改良効果を確認するために、大型土槽内の模擬地盤に高濃度配合（シリカ濃度11.8%）および標準配合（シリカ濃度6.2%）の特殊中性・酸性系薬液をニューマックス工法直線ボーリングタイプで注入した。改良体は1点あたり直径1.5mの改良径を目指し、改良体は上下2段各1本ずつ施工した。吐出量は限界注入速度試験により決定した。所定期間養生後、コアボーリングおよび掘り出した改良体に対して出来形の計測を行った。その後、ブロックサンプリングを行い、一軸圧縮試験及び繰返し非排水三軸試験、針貫入試験、透水試験により改良効果を確認した。

図2.2に注入実証実験平面図・断面図を示す。試験前に標準貫入試験及び、不攪乱試料採取により、対象地盤の物性値（表2-1）を確認した。

3. 試験結果

3.1 注入試験

注入吐出量を決定するために限界注入速度試験を実施した。図3.1に限界注入速度試験結果を示す。吐出量 12 L/min で有効注入圧力が上昇しており、この圧力で地盤に割裂が生じたと考えられる。この結果から、限界注入速度は $10 \sim 12 \text{ L/min}$ の範囲にあると考えられるため、注入する際の吐出量は 10 L/min とした。限界注入速度試験の結果をもとに、注入条件（表3-1）を設定した。

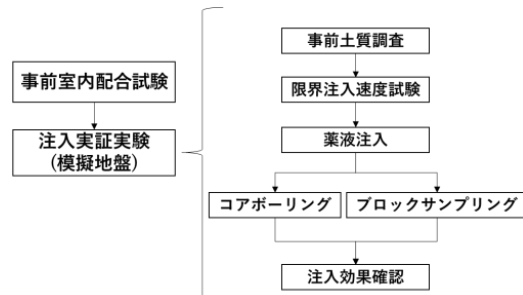


図2.1 注入実証実験フロー

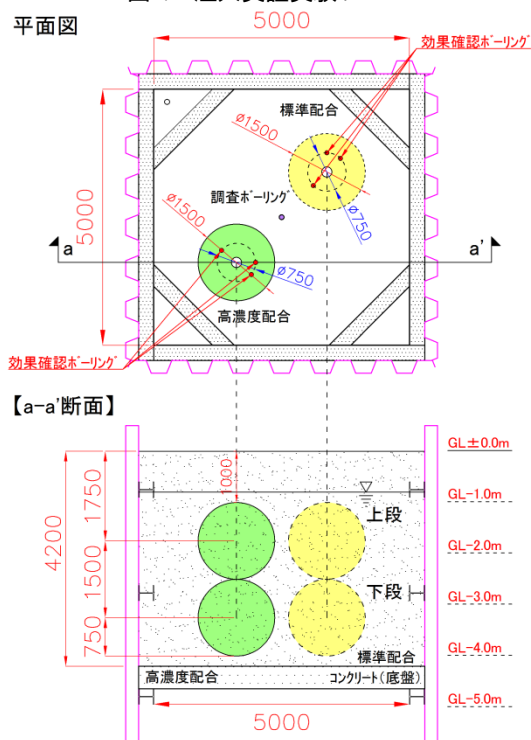


図2.2 注入実証実験 平面図・断面図

表2-1 模擬地盤の物性値

項目	記号	単位	数値
土粒子密度	ρ_s	g/cm^3	2.74
含水比	w	%	16.6
湿潤密度	ρ_t	g/cm^3	1.90
乾燥密度	ρ_d	g/cm^3	1.63
間隙比	e	—	0.68
最大間隙比	$e_{\max}$	—	1.04
最小間隙比	$e_{\min}$	—	0.675
60%粒径	D_{60}	mm	0.257
液状化強度	$R_{L20,5\%}$	—	0.206
N値	—	—	10 以下

キーワード 薬液注入工法 液状化対策 地盤改良 高強度 土槽実験

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-2-5 共同通信会館 技術本部技術開発部 Tel : 03-5575-0471

3.2 効果確認試験

1) 注入状況

注入は初めに上段から施工し、その後に下段を施工するステップダウン方式で注入した。標準配合の有効注入圧力は上段が 0.020MPa、下段が 0.054MPa で一定の注入圧力で注入できた。高濃度配合の有効注入圧力は上段が 0.079MPa、下段が 0.096MPa で一定の注入圧力であった。標準配合と比較して有効注入圧力は高くなったが、圧力は上昇することなく注入できた。高濃度配合の有効注入圧力が標準配合と比較して高いのは注入材の粘性が高いことによると思われる。ここで、高濃度配合：上段、標準配合：下段注入時、それぞれ薬液が山留壁周囲にリークした。注入圧力の上昇がないにもかかわらず、リークしたことから、模擬地盤の締め固め不具合が原因と思われる。リーク後は注入を中断したため、注入量と改良体積が減少している。

2) 改良体形状確認

注入した改良体を掘り出して改良体形状を確認した。結果を表3-2、図3.3に示す。表3-2に示すように実際の改良体の体積に間隙率 ($n=40.5\%$) を乗じ、理論注入量 (記号:C) を算出した。その注入量と実際の注入量 (記号:A) を比較したところ、標準配合1.19倍、高濃度配合1.16倍と実注入量が多くなった。

3) 一軸圧縮強さ

28日養生時の室内配合試験と注入実証実験のボーリングコアによる一軸圧縮試験結果を図3.4、表3-3に示す。注入実証実験における改良体の平均一軸圧縮強さ (現場平均強度) は、高濃度配合改良体で 306 kN/m^2 、標準配合改良体で 106 kN/m^2 を示した。また事前室内配合試験の一軸圧縮強さとの強度比は高濃度配合改良体では2.1、標準配合改良体では2.4となった。

4) 透水係数 (JIS A 1218)

三軸透水試験 (変水位法) により透水係数を確認した。結果を表3-4に示す。高濃度配合改良体の透水係数は標準配合と比較して小さいことを確認した。

4. まとめ

模擬地盤に高濃度配合薬液を注入した結果、注入圧力は高くなるが、問題なく注入することができた。改良体の一軸圧縮強さは設定した現場強度 200 kN/m^2 を満足できた。透水係数は 7.15×10^{-10} と低い値であった。また、標準配合と比較して、一軸圧縮強さは高い値を示し、透水係数は小さな値を示していることから、

5. 参考文献

- 1) 山本・赤木:高濃度薬液固結砂の長期強度特性および針貫入試験による強度推定について、第14回地盤工学会関東支部発表会、2017年
- 2) 浸透固化処理工法研究会 “既設構造物の液状化対策浸透固化処理工法”
- 3) 中道・赤木:大型土槽を用いた高濃度薬液注入材の注入実証実験その1、第53回地盤工学会研究発表会、2018年 (投稿中)
- 4) 山本・赤木:大型土槽を用いた高濃度薬液注入材の注入実証実験その2、第53回地盤工学会研究発表会、2018年 (投稿中)
- 5) 沿岸技術研究センター, “浸透固化処理工法技術マニュアル”, 2008年

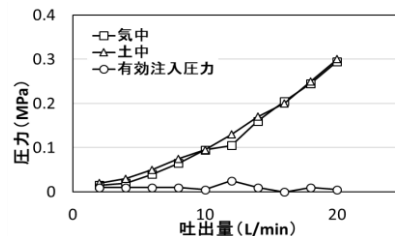


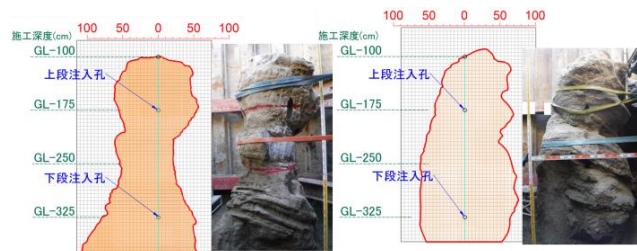
図3.1 限界注入速度試験結果

表3-1 注入条件 (計画)

改良体名称	改良径 m	シラ濃度 %	吐出量 m^3	注入量 kL
標準	上段	1.50	6.2	10
	下段	1.50	6.2	10
高濃度	上段	1.50	11.8	10
	下段	1.50	11.8	10

表3-2 出来形確認結果

配合	記号	単位	標準配合	高濃度配合
注入量	A	kL	上段 : 0.815	上段 : 0.439
			下段 : 0.488	下段 : 0.810
			合計 : 1.303	合計 : 1.249
改良体体積	B	m^3	2.70	2.65
改良体積*間隙率	C	m^3	1.094	1.073
注入量割増率	A/C	m^3	1.19	1.16



標準配合改良体

高濃度配合改良体

図3.3 改良体出来形

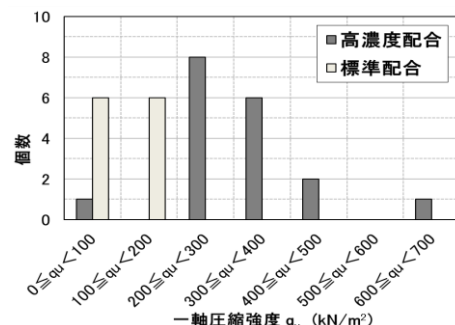


図3.4 一軸圧縮強度試験結果

表3-3 一軸圧縮試験結果

配合	標準配合	高濃度配合
標本数	12	18
変動係数	-	31
現場平均強度 a kN/m^2	106	306
室内配合試験強度 b kN/m^2	255	652
室内現場強度比 b/a	-	2.4

表3-4 透水試験結果

配合	標準配合	高濃度配合
透水係数 m/sec	2.75×10^{-8}	7.15×10^{-10}