

# 薬液固結砂の高強度化について

早稲田大学 学生会員 ○山崎 知  
 早稲田大学 学生会員 森 拓之  
 早稲田大学 国際会員 赤木寛一  
 ケミカルグラウト(株) 川村 淳 渡邊陽介

液状化対策 一軸圧縮強度 水中落下法

## 1. はじめに

日本は世界有数の地震大国であり、近年各地で大規模な地震による被害が発生している。これまで既存施設基礎地盤の液状化対策に対しては、長期耐久性に優れた薬液注入材を用いた薬液注入工法が多く適用されてきた。しかしながら、これまで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  $q_u=100\sim 200 \text{ kN/m}^2$  程度であるため、その構造物が受けると考えられる最大地震（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。そのレベル 2 地震に対応した液状化対策では、地盤条件によっては改良強度の高度化が求められるようになってきており、高強度注入材料により改良した砂地盤はレベル 2 地震対策に有効であると期待できる。本研究では、薬液固結砂の適用範囲拡大をめざし、試験的に高強度薬液固結砂の強度特性について確認した。

## 2. 試験内容

### 2.1 試験条件

供試体作製には東北珪砂 7 号とプラモールド( $\phi 5\text{cm}\times 10\text{cm}$ )を使用した。薬液は A~C の 3 種類作液し、それら薬液での改良供試体作製方法には水中落下法を用いた。今回、特殊中性・酸性系薬液である A 配合において、従来配合よりも水ガラス濃度を高めることで高強度化を図ることが 1 つの目的であった。また、特殊シリカ系を B 配合、有機系薬液を C 配合として比較試験を実施した。

東北珪砂 7 号の物理的性質を表 1 に、各薬液のシリカ濃度を表 2 に示す。シリカ濃度は(式 1)にて算出した値とする。

### 2.2 試験手順

液状化地盤を想定して、上述の東北珪砂 7 号を目標相対密度 60% と設定した。供試体は水中落下法により作製した。

#### ・水中落下法

$\phi 5\text{cm}\times 10\text{cm}$  のプラモールド内に薬液を投入する。続いていくつかの層に分けて砂を投入し、締固めながらモールド内を満たしていく。水中落下法の様子を図 1、作製した供試体の様子を図 2 に示す。

今回行った一軸圧縮強度試験と含水比試験は、JIS で規定されている手法を用いた。

#### ・薬液ホモゲルの乾燥質量測定

薬液改良土（サンドゲル）は東北珪砂 7 号、水、薬液によって構成されており、物理試験で評価する場合、乾燥時に残留する薬液分を考慮することで、サンドゲルの正確な相対密度を評価できると考えた。そこで、薬液固化部分を考慮した相対密度(式 2)を、(式 3)を利用して算出する。

(式 3) の  $w$  は乾燥シリカを考慮した含水比を適用する。

A~C : 3 種類の薬液について、ホモゲル供試体を作製する。一軸圧縮強度試験後に炉乾燥させ重量を計測する。薬液ホモゲルに含まれる水分量と乾燥シリカ分の割合を求める。薬液改良土に含まれる乾燥シリカ分を考慮して相対密度を求める。

#### ・一軸圧縮強度試験

サンドゲルとホモゲル供試体を養生期間 3 日、7 日、14 日、28 日でそれぞれ一軸圧縮強度試験を実施した。

数量を表 3 に示す。サンドゲルは各材齢 3 本ずつの計 12 本を 3 種類の薬液で合計 36 本とホモゲル供試体 1 本ずつの計 48 本を用いた。

表 1. 東北珪砂 7 号：物性値

項目	記号	単位	数値
土粒子密度	$\rho_s$	$\text{g/cm}^3$	2.62
最大間隙比	$e_{\text{max}}$	-	0.931
最小間隙比	$e_{\text{min}}$	-	0.613

表 2. 各薬液分類とシリカ濃度

薬液種類	分類	シリカ濃度
薬液 A	特殊中性・酸性系	10.4%
薬液 B	特殊シリカ系	13.4%
薬液 C	有機系	14.3%

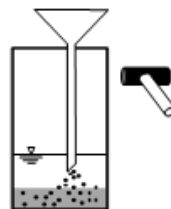


図 1. 水中落下法

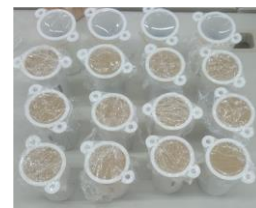


図 2. 作製供試体

$$\bullet \text{ シリカ濃度} = \frac{\text{シリカ分重量 (g)}}{\text{薬液全重量 (g)}} \quad \dots(\text{式 1})$$

$$\bullet D_r = \frac{\rho_{d\text{max}}(\rho_d - \rho_{d\text{min}})}{\rho_d(\rho_{d\text{max}} - \rho_{d\text{min}})} = \frac{e_{\text{max}} - e}{e_{\text{max}} - e_{\text{min}}} \quad \dots(\text{式 2})$$

$$\bullet \text{ 乾燥シリカを考慮した乾燥密度}(\text{g/cm}^3) \\ = \frac{\text{湿潤密度}(\text{g/cm}^3)}{1 + \left( \left( 1 + \left( \frac{\text{乾燥シリカ}}{\text{水}} \right) \right) \times \frac{\text{乾燥シリカ分考慮済含水比}(\%)}{100} \right)} \quad \dots(\text{式 3})$$

Strengthening of the chemically stabilized sand

T.Yamazaki, H.Akagi, H.Mori(Waseda University)  
 J.Kawamura, Y.Watanabe (Chemical Grouting Co.Ltd.)

### 3. 試験結果

A~C：3種類の薬液ホモゲルに対して炉乾燥を行い、薬液ホモゲルのうち乾燥シリカの占める割合を確認し、相対密度を算出した。

乾燥シリカ分の計算結果を表4に示す。また、乾燥シリカ分を考慮した相対密度を表5に示す。

目標相対密度に対して薬液Aは10%以上の差が出ており、薬液Bと薬液Cは目標に近い結果となった。相対密度について、目標と差が生じた理由としては、水中落下法にて締めるといった性質によるものが大きいと考えられる。

図3に全供試体の各材齢で一軸圧縮強度試験結果と特殊中性・酸性薬液一般配合の強度結果例を示す。特殊中性・酸性薬液一般配合のシリカ濃度は6.2%である。

図3より薬液A（特殊中性・酸性系）の平均強度は最初に確認した材齢3日時点で422 kN/m<sup>2</sup>であり、一般配合と同等以上であった。また3日から28日と養生期間経過に伴い強度増加傾向が確認でき（最大値で698 kN/m<sup>2</sup>）、28日においては一般配合を2倍以上、上回る結果を得ることができた。

薬液B（特殊シリカ系）・薬液C（有機系）はそれぞれ各材齢で強度にバラつきが確認されたが、薬液B：459~818 kN/m<sup>2</sup>、薬液C：412~831 kN/m<sup>2</sup>と、特殊中性・酸性系の一般配合を上回る結果を得ることができた。

図4は各薬液のホモゲル供試体における養生期間と一軸圧縮強度の関係である。3日経過時の薬液Aは、脱型の際にホモゲルが壊れてしまったためデータがないが、7日から28日までの強度変化を確認すると、薬液Aは42~93 kN/m<sup>2</sup>と養生期間経過に伴って強度が高くなる結果となり、サンドゲルの傾向と類似している。薬液Bについても強度増加傾向が確認できた。薬液Cのホモゲルについて、材齢初期の3日経過時は最も高い強度である182 kN/m<sup>2</sup>を確認したが、養生期間経過に伴って強度低下を確認した。

試験的に高強度化を期待した当試験について、特殊中性・酸性系である薬液Aは、一般配合から高強度化を確認できたことから、シリカ濃度の増加が強度増加に寄与するという既往研究と同様の結果を得ることができた。今後は実工事への適用を目指し、浸透性・長期耐久性の検証を行う。

薬液A以上のシリカ濃度で分類の異なる薬液B・薬液Cについては、薬液Aと同程度の強度結果であった。また、バラツきの多さや材令経過に伴うホモゲル強度の低下を確認した。これらの薬液については、薬液の分類とシリカ濃度の関連性を今後の課題として、検討していく。

### 4. まとめ

- (1) 薬液改良体に含まれる乾燥シリカ分の測定と、乾燥シリカ分を考慮した乾燥密度、相対密度を算出した。
- (2) 特殊中性・酸性系薬液は一般配合と比較して、シリカ濃度を高めることにより高強度化を実現できた。今後はそれら薬液の浸透性や耐久性についても検討する。

表3.一軸圧縮強度試験

薬液種類	供試体性状	材齢	数量
薬液A 薬液B 薬液C	サンドゲル	3日, 7日, 14日, 28日	各材齢 3本
薬液A 薬液B 薬液C	ホモゲル	3日, 7日, 14日, 28日	各材齢 1本

表4.乾燥シリカ分の計算 (ホモゲル)

質量	薬液A	薬液B	薬液C
皿+水+乾燥シリカ	57.40g	52.97g	56.22
皿+乾燥シリカ	46.52g	45.74g	46.58
水	10.88g	7.23g	9.64
皿	43.50g	43.26g	43.70
乾燥シリカ	3.02g	2.48g	2.88
乾燥シリカ/水	0.278	0.343	0.299

表5.相対密度

	薬液A	薬液B	薬液C
サンドゲル相対密度	72.63%	66.02%	64.89%

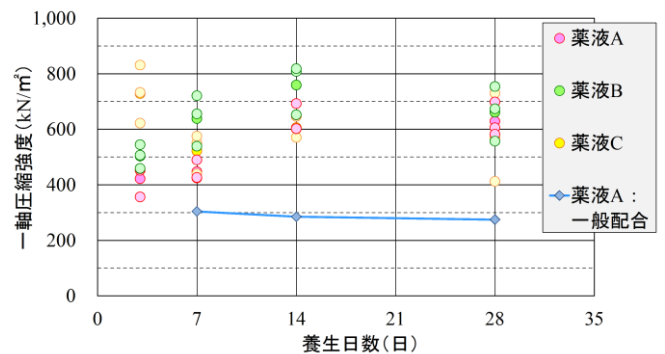


図3.サンドゲル一軸圧縮強度 (材齢28日)

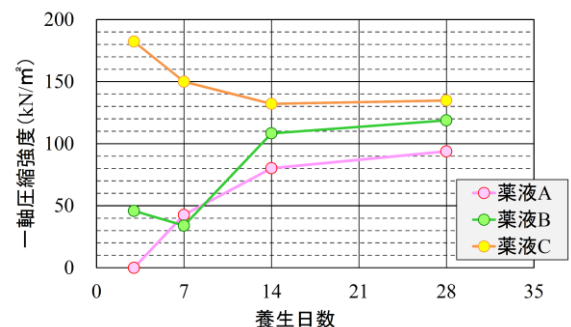


図4.ホモゲル一軸圧縮強度 (材齢28日)

<参考文献>

- 1) 森, 赤木: 供試体の作製方法が薬液固結砂の性状に及ぼす影響について, 第10回地盤工学会関東支部発表会, 2013年
- 2) 地盤工学会 (2011) 『土質試験—基本と手引き—』丸善出版.
- 3) 一般財団法人 沿岸技術研究センター (平成22年6月) 浸透固化処理工法技術マニュアル