

明石工業高等専門学校	学生会員	○森 勇二
明石工業高等専門学校	正 会 員	稲積真哉
QI 企画株式会社	非 会 員	中岸良裕
富士化学株式会社	非 会 員	宮谷佳雄
富士化学株式会社	非 会 員	奥野 悠

1. はじめに

地盤改良工法の一つである薬液注入工法は、軟弱な砂地盤の間に液状の固結材（以降、注入剤）を注入し、砂地盤の液状化防止や強度増加等、安定した地盤に改良するために用いられる固結工法の一つである¹⁾。注入剤は土粒子の間隙で浸透・固結（ゲル）し、それが接着剤となって地盤強化や止水（透水性の減少）等の効力を発揮する²⁾。

本研究では、薬液注入工法で用いられる注入剤に着目し、より重合度の高い（ Na_2O に対する SiO_2 の分子数比で定義されるモル比の高い）水ガラスを用いた水ガラス系注入剤（以降は“5 号水ガラス系注入剤”と呼称）を開発・検討している。具体的には、開発・検討している 5 号水ガラス系注入剤の固結原理ならびに水ガラスのモル比がサンドゲルの強度および収縮特性に及ぼす影響を実験的に追究している。

2. 水ガラスのモル比がゲル特性に及ぼす影響

本研究ではモル比のより高い水ガラスの使用を試み、当該水ガラスと無機酸（硫酸）を主成分とした水ガラス系・無機溶液型・中酸性系に分類される 5 号水ガラス系注入剤を開発・検討している。具体的に、水ガラスはモル比の違いにより 1 号～5 号に分類され、一般的には 3 号の水ガラスが用いられているのに対し、本研究で検討している 5 号水ガラス系注入剤の主剤（水ガラス）は 5 号を用いている（Table 1 参照）。5 号は 1～4 号に比べてアルカリ（ Na_2O ）の量が少ないため、中和に必要な硫酸の量を減らすことができ、コストを抑えることができる。さらに、アルカリ分と硫酸の反応時に発生する硫酸ナトリウムが抑制できるため、環境への影響が少ない、といった利点を有する。ここで扱うモル比とは、 Na_2O に対する SiO_2 の分子数の比である。

2.1 一軸圧縮試験および収縮試験

Table 1 に示されるモル比の異なる水ガラス（珪酸ソーダ）を用いた水ガラス系注入剤の特性を比較するため、本研究では各サンドゲルに対する一軸圧縮試験ならびに各ホモゲルに対する収縮試験を実施している。

各サンドゲルに対する一軸圧縮試験では、相対密度 50%に調整した豊浦砂に対してモル比の異なる水ガラス系注入剤を混合することで各サンドゲル供試体を作製する。ここで、各水ガラス系注入剤のモル比は SiO_2 濃度ならびに pH が一定の下、 Na_2O 濃度を变化させることで Table 1 にて示される各モル比に調整している。供試体の作製方法は「薬液注入による安定処理土の供試体作製方法（JGS 0831）」に準拠しており、各モル比の水ガラス系注入剤が入ったモールド（直径 5cm、高さ 10cm）に、相対密度から計算した重量の豊浦砂を自由落下によって投入する。これらの供試体を 7 日間および 28 日間、密封状態にて気中養生した後、一軸圧縮試験を実施した。

ホモゲル収縮率は各モル比の水ガラス系注入剤の比重を測定し、400ml に相当する量の各注入剤をポリプロピレン製の 500ml 容器に入れてゲル化させる。さらに、7 日後、14 日後、21 日後、28 日後に離しょう水の重量を測定することで、ホモゲルの体積収縮率を算出した。なお、各水ガラス系注入剤につき 3 検体ずつ用意し、測定を行っている。

Table 1 Classification by molar ratio of liquid glass grouting agents based on the JIS K 1408

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Molar ratio	2.12	2.51	3.2	3.35	3.73
Concentration of SiO_2 [%]	32.11	28.62	29.12	24.21	25.49
Concentration of Na_2O [%]	15.63	11.78	9.38	7.45	7.04
Specific gravity	1.582	1.452	1.405	1.315	1.319

2.2 結果と考察

モル比の異なる水ガラスを用いた水ガラス系注入剤によるサンドゲルの一軸圧縮試験ならびにホモゲルに対する収縮試験を実施した結果、モル比の高い水ガラス系注入剤を混合したサンドゲルほど高い一軸圧縮強さが得られること (Fig. 1 参照), およびモル比の高い水ガラス系注入剤を混合したホモゲルほど収縮率が低くなること (Fig. 2 参照) が明らかになった。すなわち、5 号水ガラス系注入剤によるホモゲル・サンドゲルは、1~4 号水ガラス系注入剤に比べて強度が高く、ゲル化による収縮作用が小さい。そのため、地盤の強化効果は優れている。

Fig. 1 および Fig. 2 から、水ガラスのモル比と収縮率ならびに強度に関係性があることがわかる。 SiO_2 が $\text{Na}^+ \cdot \text{OH}^-$ により解重合された状態である水ガラスに硫酸 (H_2SO_4) を加えることにより、 $\text{Na}^+ \cdot \text{OH}^-$ が中和され、再び SiO_2 が重合してゲル化する。この構造中の水分が抜けることにより収縮が生じる。なお、ホモゲルの収縮が生じる際に抜ける水分量は、収縮率に影響している。さらに、この水分の流出量は Na_2O の多寡に支配されおり、 Na_2O の量が少ないほど流出量が小さくなるため、ここから算出される収縮率も小さくなる。従って、水ガラスのモル比が高くなれば、ホモゲルの収縮率は低くなると考えられる。水ガラス系注入剤は Fig. 3 に示すように、軟弱地盤中の間隙を埋めるために注入され、地盤粒子を接着する効果がある。この際、水ガラス系注入剤の収縮が大きいと、間隙を充填していたホモゲルが小さくなり、地盤粒子と離れ、結果的に地盤粒子を接着する効果が落ちる。よって、収縮率の小さい水ガラス系注入剤が求められる。また、開発・検討している 5 号水ガラス系注入材は水ガラスのモル比が高いため、既往の水ガラス系注入剤より地盤強化効果が優れている。ただし、5 号水ガラス系注入材の配合時、手練りでは配合にばらつきが生じ、ゲルタイムに影響する。そのため、5 号水ガラス系注入材の配合においては、機械的な専用自動プラントを設ける必要がある。

3. おわりに

5 号水ガラス系注入剤における主剤である水ガラスはモル比の大きい 5 号を用いているため、アルカリ (Na_2O) の濃度が低い。そのため、中和に必要な硬化剤 (硫酸) の量を減らすことができ、且つ反応時に発生する硫酸ナトリウムが抑制できる等、環境影響が少なく、且つコストダウンを図ることができる。また、5 号水ガラス系注入剤によるサンドゲルは強度が高く、且つゲル化後の収縮が小さい。そのため地盤の改良効果は優れていると判断できる。

【参考文献】

- 1) 社団法人グラウト協会：(新訂)正しい薬液注入工法，日刊建設工業新聞社，2011.
- 2) 林健太郎・善功企・山崎浩之：溶液型薬液による浸透注入時の移流分散解析，土木学会論文集，No.771/III-68，pp.11-20，2004.

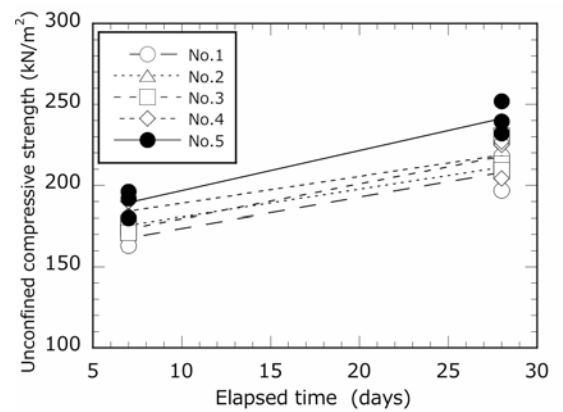


Fig. 1 Time series variation in unconfined compressive strength of the sand-gel specimens mixed with liquid glass grouting agents with each molar ratio

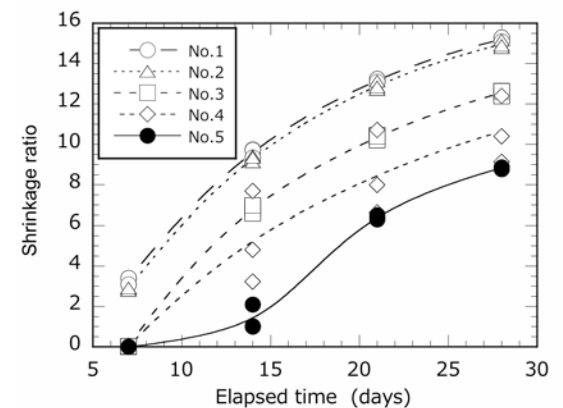


Fig. 2 Time series variation in shrinkage ratio of the homo-gel specimens mixed with liquid glass grouting agents with each molar ratio

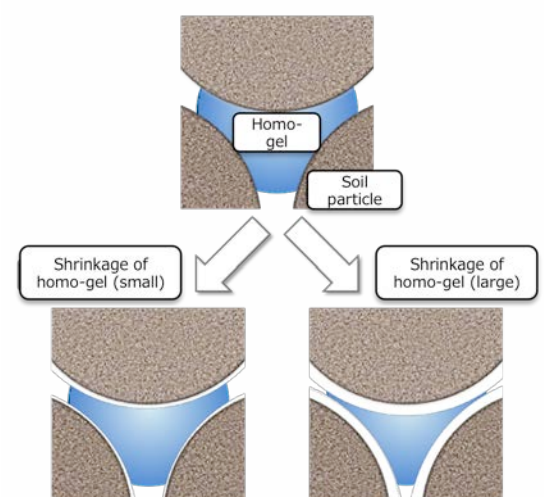


Fig. 3 Simple image on liquid glass grouting agents in voids of soil particles