

高濃度薬液固結砂の長期強度特性について (その1) —薬液ホモゲルの体積変化メカニズムの検討—

早稲田大学 学生会員 ○山崎 知

早稲田大学 学生会員 中道 馨

早稲田大学 国際会員 赤木 寛一

ケミカルグラウト (株) 正会員 川村 淳 渡邊 陽介

薬液注入 高強度 体積収縮

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。既設構造物直下の地盤の液状化対策には薬液注入工法が有効であるとされているが、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。

一般に、繰返し非排水三軸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 が地盤の液状化判定に用いられる。 R/L は液状化安全率と呼ばれるものであり、 $R/L > 1$ 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程度であるとされており、 $R/L > 1$ を得るためには一軸圧縮強さ q_u は現場強度で 200 kN/m^2 、室内強度で 400 kN/m^2 程度が求められる¹⁾。以上より、本研究においては $q_u > 400\text{ kN/m}^2$ を目標値として設定した。

本研究では薬液固結砂の適用範囲拡大を目指すために、一般配合と比較してシリカ濃度を高めた薬液注入材を使用し、最長180日の長期間養生した薬液改良体に対して一軸圧縮試験を実施することで強度特性を確認した。

また、薬液固結砂の強度発現メカニズムに関して薬液ホモゲルの体積変化に着目した研究²⁾があるが解明には至っていない。そのため、一軸圧縮試験と同時に一般配合および高濃度配合による薬液ホモゲルの体積収縮量を確認し、ホモゲルの収縮と強度増加に相関性があるのかを比較検討した。

2. 実験内容

2.1 実験条件

特殊中性・酸性系薬液 A および珪砂7号を使用し、浸透注入法により供試体を作製した。供試体の寸法は $\phi 50\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 、シリカ濃度 6.2%(一般配合)および11.8%(高濃度配合)、目標相対密度60%である。作製した供試体は密閉容器内に保管し、容器底面に水を張ることで温度 22°C 程度、湿度90%以上の湿潤状態を保ちながら養生を行った。

珪砂7号の物性値を表2.1に示す。

2.2 実験手順

・浸透注入法による供試体作製

アクリルモールド ($\phi 50 \times 150\text{ mm}$) に、高さが 100 mm になるように砂を詰めてケース内に設置し、薬液注入時の改良体の飽和度を高めるためにケースの中を脱気し、脱気が完了したら気圧差を利用して薬液をモールド内に浸透させていく。

・一軸圧縮試験 (JIS A 1216:2009)

3,7,14,28,90,180 日間養生時に一軸圧縮試験を実施した。試験本数は各養生日につき4本である。(図2.1参照)

また、施工現場によっては十分な試料を確保できず一軸圧縮試験を行えない場合もある。ここでは、薬液改良体の一軸圧縮強さを推定する手法として針貫入試験に着目した。その2で詳しく述べるが、本試験において、一軸圧縮試験を実施する前に針貫入試験も併せて実施している。

・薬液ホモゲルの体積変化測定試験

容積 100 ml のメスフラスコに薬液を 50 ml 投入し、薬液ゲル化後に 100 ml になるように養生水を加える。メスフラスコは恒温恒湿環境で保管し、3,7,14,28,90,180 日経過時に養生水を摂取する。メスフラスコ内に残った薬液ホモゲルの質量を計測し、初期状態からの収縮率を求めた。メスフラスコは A, B の2種類用意した。(図2.2参照)

表 2.1 珪砂7号の物性値

項目	記号	単位	数値
土粒子密度	ρ_s	g/cm^3	2.62
最大間隙比	e_{\max}	-	0.931
最小間隙比	e_{\min}	-	0.613
60%粒径	D_{60}	mm	0.18

3. 試験結果

図3.1に一軸圧縮試験結果を示す。

今回使用した高濃度特殊中性・酸性系薬液による供試体は養生日の経過とともに、ばらつきはあるが一軸圧縮強さが増加する傾向を示し、180日養生時で平均強度 735 kN/m^2 を得られた。これは一般配合の特殊中性・酸性系薬液改良体 (シリカ濃度6.2%) と比較して2倍程度高い強度となっており、目標強度 $q_u > 400\text{ kN/m}^2$ も満足する結果となった。シ

リカ濃度を高めた薬液改良体は長期間にわたりその強度を保持することが確認できた。

図 3.2 より、シリカ濃度 11.8%の薬液ホモゲルはシリカ濃度 6.2%のホモゲルと比較して体積収縮率が大きくなる傾向が得られた。シリカ濃度が高いことで薬液の反応が促進され薬液ホモゲルの収縮率も増大したと考えられる。上記の2種類の配合では薬液のゲルタイム(GT)が異なることから、薬液ホモゲルの収縮率を単純な経過日数では比較できないと考え、横軸をゲルタイム倍(経過日数/ゲルタイム)としている。今回はシリカ濃度 6.2%薬液のゲルタイムを12時間、シリカ濃度 11.8%薬液では18時間に設定している。シリカ濃度 11.8%の薬液ホモゲルについて、ゲルタイムの240倍(180日)経過した時点で体積収縮率は増加傾向を続け、22%程度となっている。ただし、サンドゲルにそのような収縮は確認されない。

図 3.3 に各養生日数に対応した体積収縮率と一軸圧縮強さの関係を示す。両配合共に薬液ホモゲルの収縮に伴って一軸圧縮強さが増加していくことが確認できる。この結果より薬液改良体の強度発現には時間経過による薬液ホモゲルの体積収縮の影響があり、収縮の早い高濃度配合の方が短期間でその強度を発現することができると考えた。

4. まとめ

- ・薬液固結砂の適用範囲拡大を目指して、一般配合(シリカ濃度 6.2%)よりもシリカ濃度を高めた特殊中性・酸性系薬液(シリカ濃度 11.8%)を用いて改良体を作製し、最大180日間の長期養生を行い一軸圧縮試験および体積収縮確認試験を実施した。

- ・シリカ濃度 11.8%の薬液改良体について、養生期間の経過に伴って一軸圧縮強さが増加していく結果が得られた。180日養生時においてシリカ濃度 6.2%の薬液改良体と比較して2倍程度高い強度が発現しており、目標強度としていた $q_u > 400 \text{ kN/m}^2$ も満足する結果となった。高濃度特殊中性・酸性系薬液改良体は長期的にその強度を十分に発現することが確認できた。

- ・時間経過に伴って薬液ホモゲルの体積は収縮する傾向を示し、シリカ濃度の高い薬液の方が収縮率の高い結果となった。シリカ濃度が高いことで薬液の反応が促進されホモゲルの収縮率が増大したと考えられる。

参考文献

- 1) 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”
- 2) 加賀: 水ガラス系地盤注入材による固結砂の強度および耐久性に関する研究, 土木学会論文集 C, Vol70, No.1, 1-15, 2014

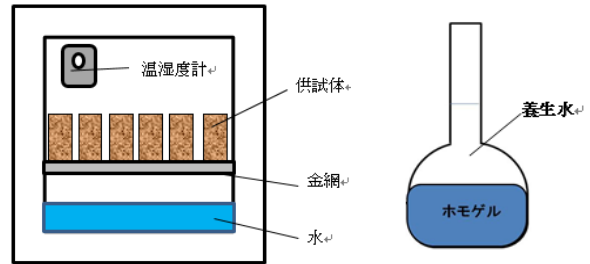


図 2.1 養生方法

図 2.2 体積収縮試験

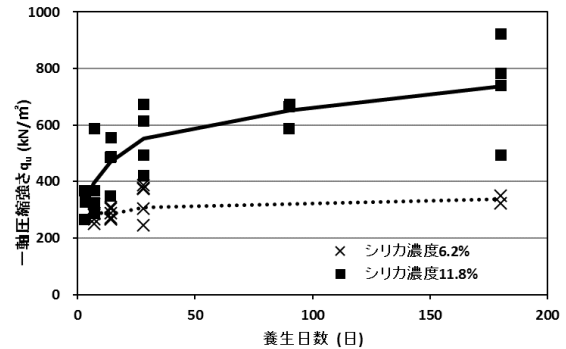


図 3.1 一軸圧縮試験結果

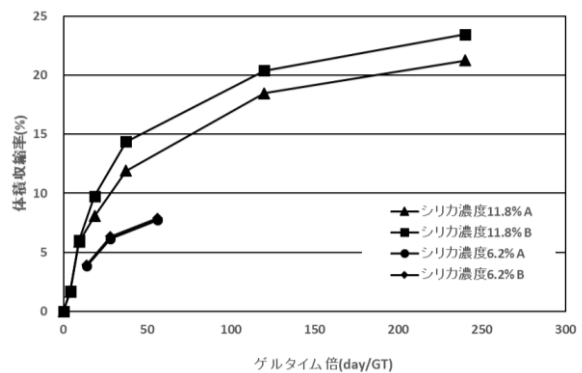


図 3.2 薬液ホモゲルの体積収縮率の推移

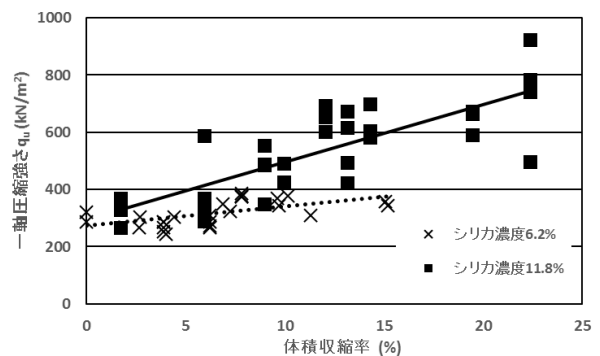


図 3.3 一軸圧縮強さと体積収縮率の関係