

薬液注入材の体積変化に伴う拘束効果に関する検討

東京都市大学大学院 学生会員 ○石川 喜章
 東京都市大学 正会員 末政 直晃
 強化土エンジニアリング株式会社 正会員 佐々木 隆光

1. はじめに

近年、大規模地震に向けた液状化対策や耐震補強などの本設用途として薬液注入工法を利用する機会が増えてきている。薬液注入工法は既設構造物を破壊することなく地盤を改良できることから、他の地盤改良工法に比べて優位性があり、適用される場合が多い。しかし、薬液注入改良体が高い強度を示すことは確認されているが、その強度発現メカニズムは明らかとなっていない。本研究では、薬液注入による改良効果の発現は、土間隙中の薬液注入材の圧縮強度に加えて、薬液注入材の体積収縮に起因する土粒子骨格の拘束効果に依存すると提案し調査を行っている。本報告では、シリカゾル（ホモゲル）が体積変化する際に生じる収縮圧力の測定を行った結果を報告する。

2. シリカゾルの体積変化率と一軸圧縮強度¹⁾

シリカゾルの体積変化率 ϵ_v と一軸圧縮強度 q_u および、その注入材によって改良されたサンドゲルの一軸圧縮強度 q_{us} の経時変化を図-1 に示す。ホモゲルの特徴として、体積変化率は収縮（マイナス値を示す）し、一軸圧縮強度は経時的に増加し、いずれも一定値に収束する。サンドゲルの一軸圧縮強度はシリカ濃度が高い場合は強度低下することなく増加するが、低い濃度では初期に増加した後、強度が低下し、いずれもその後は一定値に収束する。また、サンドゲルの一軸圧縮強度はいずれの濃度においてもホモゲルより高い値を示す。なお、強度が低下する要因としては、過剰な体積収縮が生じた場合、砂と薬液との付着が剥離することや、土粒子間での薬液のシリカゲルのネットワークが遮断されたと想定している。

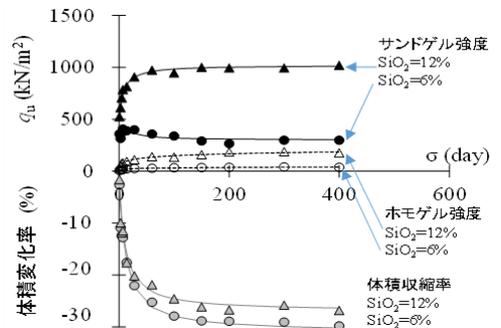


図-1 シリカゾルの体積収縮率と一軸圧縮強度¹⁾

3. 薬液注入改良体の強度発現メカニズム²⁾

非アルカリ系注入材の特徴から、一連のせん断試験結果より、図-2 に示す強度発現メカニズムを提案した。薬液注入改良体の強度増加を①ホモゲルの収縮に伴い土骨格に生じる拘束圧 P_1 (収縮効果) ②圧縮載荷時にホモゲルが土骨格の変形に応じて拘束する圧力 P_2 (バンド効果) ③ゲルの粘着力による仮想拘束圧 P_3 (粘着効果) の重ね合わせによることを示し、さらに間隙のゲルによるダイレイタンスー増大効果により増加した内部摩擦角 ϕ' を用い、一軸圧縮強度 q'_u を想定できる式-1 を提案した。

$$q'_u = \frac{2\sin\phi'}{1-\sin\phi'} (P_1 + P_2 + P_3) \quad \text{(式-1)}$$

4. 実験概要

マイクロメータで間隔調整できる二枚平行のガラス盤を有する装置を用い、ガラス盤間に表-1 に示す条件でシリカゾルを注入させて、体積収縮に伴う収縮圧力の測定を所定時間ごとに行った。

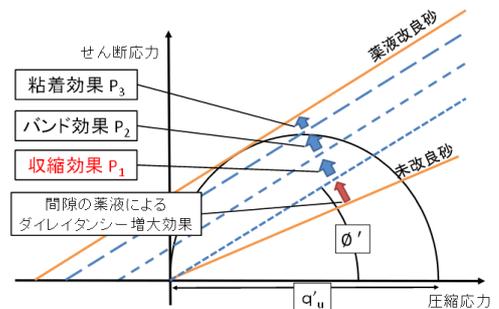


図-2 強度発現メカニズム²⁾

表-1 実験ケース

実験 case	シリカ濃度 (%)	層厚 (mm)
case 1	6%	0.3
case 2		0.5
case 3		1.0
case 4		1.5
case 5		2.0
case 6		2.5
case 7		3.0
case 8	12%	0.3
case 9		0.5
case 10		1.0
case 11		1.5
case 12		2.0
case 13		2.5
case 14		3.0

キーワード 体積収縮, 強度発現メカニズム, 拘束効果
 連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 地盤環境工学研究室 TEL.03-5707-2202 E-mail:g1581703@tcu.ac.jp

5. 実験結果

図-4 にシリカ濃度 6%, 図-5 にシリカ濃度 12%の収縮圧力の経時変化を示す. 収縮圧力はシリカゾルが高さ方向に縮まる力を正の力とした. いずれのケースにおいても, シリカゾルの収縮に伴い, 大きな圧力が発生していることを確認した. シリカ濃度 12%の層厚 0.3mm のケースを除いて, 層圧を小さくするほど収縮圧力は大きくなる傾向を示した. また, シリカ濃度 6%, 12%の層厚 0.3mm を除いて, 層圧を小さくするほど強度低下までの材令は長くなる傾向を示した. 収縮圧力の増減の傾向は, 最大収縮圧力に達した後, 0kPa まで急激に低下する傾向と, 大きく低下した後, 再び収縮圧力が増加する傾向の 2 種類を確認した. 再び強度が増加する原因としては, シリカゾルがガラス盤から完全に剥離されず, その後剥離されていない部分で収縮圧力が小さく上昇したと考えられる. また, 同じ濃度であるのに対し, 収縮圧力の材令に対して増加率は, 層厚 0.3mm, 層厚 0.5mm のケースを除いて, 全体的に層圧を小さくするほど, 大きくなる傾向を示した. 層厚が大きいケースではシリカゾルがゲル化する際, 収縮圧力に耐え切れず, ゲルが切断したと考えられる.

図-6 に層圧と最大収縮圧力の関係を示す. なお, 測定に失敗したと考えられるシリカ濃度 12%の層厚 0.3mm 以外をプロットした. シリカ濃度で比較すると, いずれのケースにおいても, 最大収縮圧力は 6%より 12%の方が大きい傾向を示した. 近似線の傾きは, 濃度の高い 12%の方が大きくなり, 層厚に対する収縮圧力の増加率は 6%より高いことが分かる. いずれのケースも, 層厚が小さくなるほど, 最大収縮圧力が大きくなる傾向を示し, この結果から, 実際の土粒子間隙は非常に小さなものであるため, 大きな収縮圧力が作用すると考えられる. また, 土粒子の粒径が小さくなるほど, 土粒子間隙が小さくなるため, 最大収縮圧力が上昇し, 改良効果が上昇する可能性を指摘できる.

図-7 にシリカ濃度 6%, 図-8 にシリカ濃度 12%の体積収縮率と収縮圧力の関係を示す. ここで体積収縮率は図-1 に示す材令と体積収縮率との関係より求めた. シリカ濃度 6%では, いずれのケースにおいても体積収縮率 5%未満で最大収縮圧力に達し剥離する傾向を示した. シリカ濃度 12%の層厚 0.5mm のケースは他のケースと比較し, 非常に大きな体積収縮率まで収縮圧力は上昇し続けた.

6. まとめ

層厚 0.3mm の結果を除けば, 層厚を小さくするほど最大収縮圧力は大きくなる傾向が見られた. 今後は層厚が小さい範囲での測定方法の検討や, 異なる薬液や濃度での測定を行う予定である.

<参考文献> 1) 佐々木ら: 薬液注入材の体積変化に伴う拘束効果に関する検討, 第 50 回地盤工学研究発表会, D-10, 297, pp.595-596, 2015 2) 諏訪ら: 薬液改良体の強度予測に影響する改良体構成要素の諸特性, 第 41 回地盤工学研究発表会, D-06, 395, pp.789-790, 2006

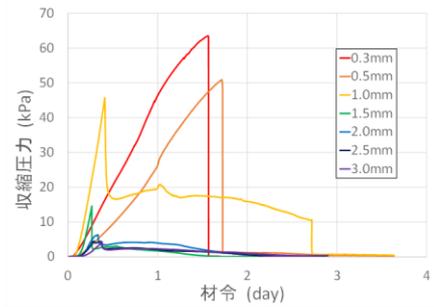


図-4 収縮圧力-材令(シリカ濃度 6%)

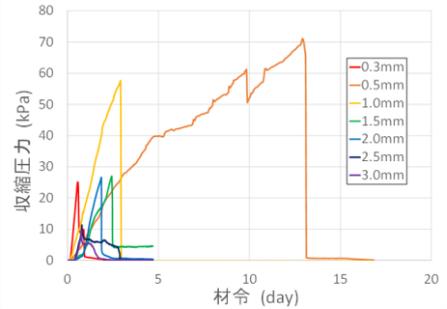


図-5 収縮圧力-材令(シリカ濃度 12%)

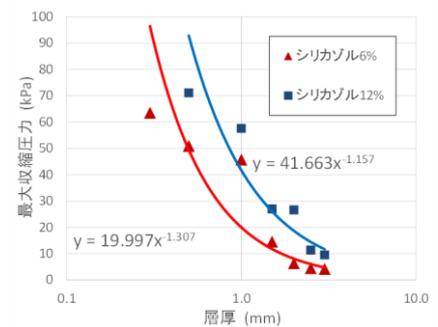


図-6 最大収縮圧力-層厚

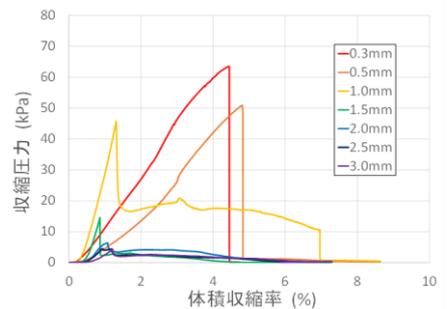


図-7 収縮圧力-体積収縮率(シリカ濃度 6%)

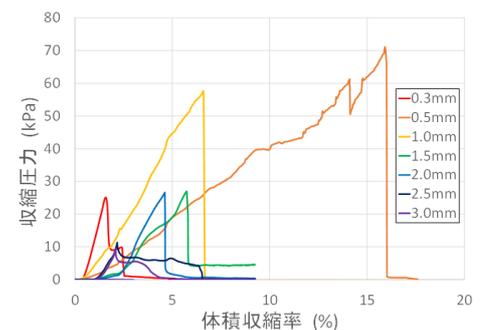


図-8 収縮圧力-体積収縮率(シリカ濃度 12%)