

養生条件が薬液改良体の長期安定性に及ぼす影響

強化土エンジニアリング(株) 正会員 ○佐々木隆光

東京都市大学 正会員 末政 直晃

強化土(株) 正会員 島田 俊介

1. はじめに

シリカゾルは劣化要因となるゲル化物からのシリカの溶解が少ないことや、長いゲルタイムに設定でき施工性に優れるため、長期耐久性が求められる地盤改良に適用されている。しかし、ゲル化後の薬液単体（以下、ホモゲル）はシロキサン結合によって体積が収縮し、これによって強度や止水性などの改良効果が低下することされている¹⁾が、そのメカニズムは明確化されていない。このような問題に対し、既往の研究^{1) 2) 3)}では様々な手法によって劣化を促進する方法が検討されているが、いずれも実際の設計に反映されるまでには至っていない。そこで、本研究ではシリカゾルの劣化要因の把握と、長期間のシリカゾルによる改良の効果を短期間にて予測する手法を検討している。本報告では、シリカゾルによる改良体（以下、サンドゲル）を様々な条件で養生し、改良体の強度と改良体からのシリカの溶解量、ホモゲルの強度と体積変化の測定を行い、改良効果の低下要因について考察を行った。

2. 試験概要

表-1 に試験条件を示す。サンドゲルの作製方法⁴⁾は真空圧下で相対密度 D_r が 60%に調整された豊浦砂に脱気した薬液を浸透注入する方法を採用した。また、試験に用いた注入材はシリカゾルであり、シリカ濃度 $\text{SiO}_2=9\%$ 、ゲルタイム 3 時間のもので使用した。注入した供試体は、1 日養生した後に脱型し、Case1 は PVC フィルムで被覆し、濡れたウェスと一緒に密閉容器に入れ、湿潤状態を保つようにした。一方、Case2~5 は脱型したままの供試体を所定の体積比（供試体体積：養生水体積）となるように、水中（イオン交換水）に浸漬し、Case2~4 は養生水の交換を行わず、Case5 では 1 ヶ月に一度、養生水を入れ替えた。なお、いずれの供試体も $25\pm 5^\circ\text{C}$ の状態を保つ室温にて静置した。

試験項目は、所定期間ごとに供試体の一軸圧縮試験と供試体を養生した水を採取し、ICP-AES により溶解したシリカの量を測定した。また、ホモゲルの物性を把握する目的で、直径 $\phi 5\text{cm}$ 、高さ $h10\text{cm}$ の供試体を作製し、湿潤状態で養生を行い、所定期間ごとに供試体寸法と一軸圧縮強度の測定を行った。

3. 試験結果

図-1 に材令と溶解シリカ量の関係を示す。Case2~4 の材令 30 日までの溶解シリカ量は、同一材令において体積比が低いものほど溶解シリカ量が多くなる傾向を示した。これは、シリカの溶解速度が一定であるため、養生水が少ないほど同一材令における溶解量が多くなったものと考えられる。また、溶解量は 160mg/L 付近に達した以降はほとんど平衡状態となった。次に、

表-1 試験条件

	養生	体積比	水交換
Case 1	湿潤	—	—
Case 2	水中	1 : 1	なし
Case 3	水中	1 : 5	なし
Case 4	水中	1 : 10	なし
Case5	水中	1 : 10	あり(1 回/月)

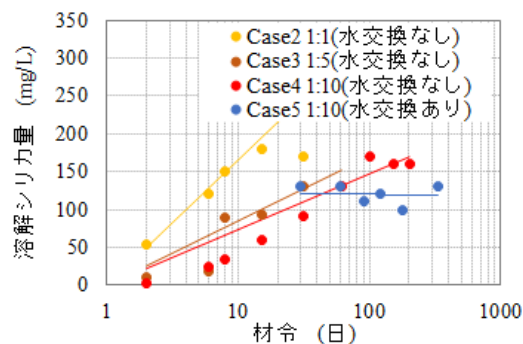


図-1 材令と溶解シリカ量の関係

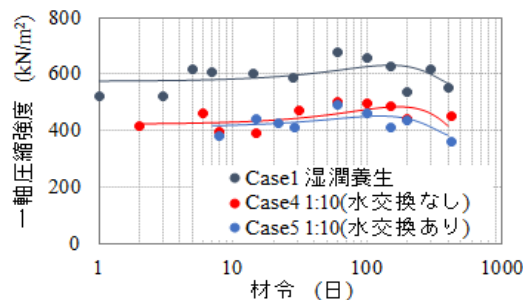


図-2 一軸圧縮強度の経時変化

キーワード 薬液注入、養生条件、一軸圧縮強度、シリカ溶脱、長期安定性

連絡先 〒113-0033 東京都文京区本郷 3-15-1 強化土エンジニアリング(株) TEL 03-3815-1687

Case5 に着目すると、一ヶ月での溶解量は 100~130mg/L 程度となっている。

図-2 に薬液改良体の一軸圧縮強度の経時変化を、図-3 にホモゲルの一軸圧縮強度と体積変化の経時変化を示す。Case1 のサンドゲル強度に着目すると、養生開始から 60 日頃まで強度が増加する傾向を示し、その後は強度が低下する傾向を示した。これは、図-3 に示すようにサンドゲル強度が増加傾向にある区間は、間隙中のホモゲルの強度増加や、間隙中のホモゲルが体積収縮したことにより砂の骨格を拘束したことによると考えられる。一方、サンドゲル強度が低下した区間では、ホモゲルの強度が増加傾向にあるにもかかわらず、体積収縮が大きいと、ゲルが切断され強度が低下したものと考えられる。

次に養生条件の違いに着目すると、水中養生を行ったサンドゲルの強度は養生初期から、湿潤養生を行ったものより弱くなる傾向を示した。この要因として、写真-1 (1) に示すように、ホモゲルを水中に浸漬すると、ゲルと養生水中のイオン濃度の差によって、ゲルに浸透圧が加わり体積が膨張したことによると考えられる。また、材令 400 日の強度を比較すると、湿潤養生を行ったものが最も強く、水中養生を行ったものでは、水交換を行ったものが弱くなる傾向を示した。これは、図-1 や写真-1 (2) に示すように、サンドゲルからシリカが溶解したことによると考えられる。

図-5 に湿潤養生されたサンドゲルの材令 400 日の薬液シリカ濃度と一軸圧縮強度の関係を示す。また、同図には、水中養生を行った Case4 と Case5 の強度の実測値と計算値を示す。計算値とは、溶解シリカ量から間隙中の薬液シリカ濃度を算定し、薬液シリカ濃度と一軸圧縮強度の関係より算出した。なお、材令 400 日におけるシリカの溶解量は、図-1 に示す材令と溶解シリカ量を用い、Case4

は材令 100 日の溶解量は 160mg/L と判断し、Case5 では材令 120 日までの 1 ヶ月の平均溶解量 (120mg/L) を積算しそれぞれの溶解量を決定した。算定された間隙中の薬液シリカ濃度は、Case4 は 8.6%、Case5 では 5.0%である。

実測の一軸圧縮強度は、Case4 は計算値より弱くなり、Case5 では計算値より強くなる結果となった。この要因として、Case4 はシリカの溶解の影響よりゲル中のイオン濃度が高いことにより浸透圧が加わり、ゲルの構造が弱くなったことなど従来想定されていない要因などが想定される。また、Case5 ではシリカは溶解するが、その溶解現象はサンドゲル全体から生じているのではなく、表面からの溶解と考えられる。

4. まとめ

本試験結果より、シリカゾルの劣化要因は湿潤養生の結果、体積収縮に伴い間隙中のゲルが切断されることが想定された。また、水中養生を行った結果、水中での劣化要因はイオン濃度差により生じた浸透圧によるゲルの膨張と、水へのシリカの溶解が挙げられる。なお、シリカの溶解は改良体周面より生じるものと思われる。

<参考文献>

- 1) 米倉，島田：薬液注入における長期耐久性の研究，土と基礎，第 40 巻，12 号，pp.17-22，1992。
- 2) 小山，島田，佐々木，米倉：薬液注入の恒久性と耐久性，第 48 回地盤工学研究発表会，pp.759-760，2013。
- 3) 平岡，赤木，澤田：薬液で改良した砂地盤の経時変化特性について，土木学会第 65 回年次学術講演会，pp.973-974，2010。
- 4) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，pp.442，2010。

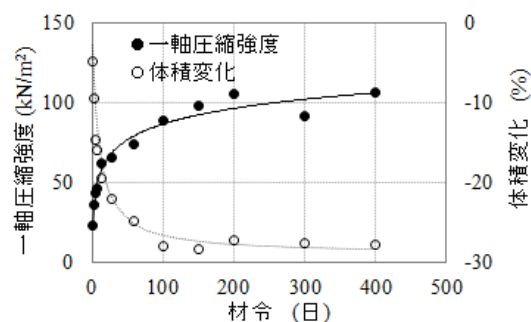


図-3 ホモゲルの一軸圧縮強度と体積変化



(1) ホモゲル (2) サンドゲル

写真-1 水中養生を行った供試体の状況

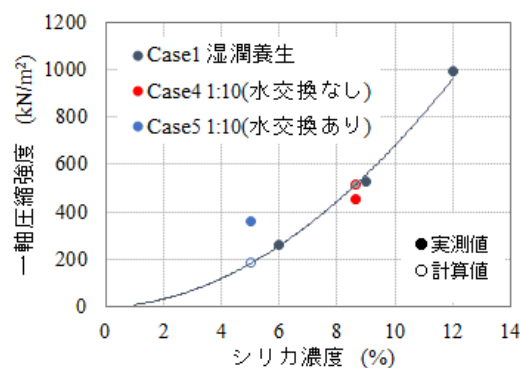


図-4 溶解シリカ