

薬液固結砂の長期耐久性について

早稲田大学 学生会員 ○山崎 知

早稲田大学 国際会員 赤木 寛一

液状化対策 薬液注入工法 長期耐久性

ケミカルグラウト (株) 正会員 川村 淳 渡邊 陽介

1. はじめに

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、水ガラス系薬液注入材料には既存研究で長期耐久性を期待できることを確認できるものの、永久的に保持するものではないことが知られている。その原因は、水ガラス系薬液に含まれるシリカ (SiO₂) が、薬液注入後から時間経過とともに地盤周辺の地下水の流れとの物理・化学的相互作用で徐々に溶脱することにより、薬液改良土の劣化が進行していくと考えた。

本研究では、薬液改良土のシリカ溶脱に伴う長期耐久性を解明することを目的として、実地盤を模擬した土槽内に薬液改良体を設置し、6ヶ月間流水環境下の置くことで薬液改良体の内部や水槽内のシリカ含有量の変化を確認した。

2. 試験内容

2.1 試験条件

模擬地盤土槽は2つ準備し、使用した砂は珪砂7号である。模擬地盤内には供試体(φ5×10cm)を2本ずつ設置した。流水試験装置の様子を図2.1に示す。

供試体作製には東北珪砂7号を使用し、浸透注入法を用いた。目標相対密度は60%とし、使用した薬液は特殊中性・酸性系(シリカ濃度6.2%)である。

東北珪砂7号の物理的性質を表2.1に示す。

2.2 試験手順

・浸透注入法による供試体作製

アクリルモールド(φ5×15cm)に、高さが10cmになるように砂を詰めてケース内に設置し、ケースの中を脱気する。脱気が完了したら気圧差を利用して薬液を浸透させていく。

・ICP試験

流水期間1ヶ月経過ごとに水槽から水を採取し、ICP(Inductively Coupled Plasma)試験を行うことで水槽内を循環する水のシリカ含有量を調べた。また、6ヶ月経過した時点で土槽を解体し供試体のシリカ含有量を計測した。

・数値解析による経年劣化予測

昨年度実施した1,2,3ヶ月間流水試験と、今年度実施した6ヶ月間流水試験で使用した供試体について、流水環境試験開始前と土槽解体時の供試体寸法から劣化状態を確認し、数値解析の結果と比較する。試験で用いた供試体は円柱状であるが、数値解析による経年劣化予測では実地盤を球体状と仮定するため、供試体を同体積の球体状へと変換している。

表2.1 珪砂7号：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

表2.2 使用した薬液の情報

薬液種類	分類	シリカ濃度
薬液 A	特殊中性・酸性系	6.2%

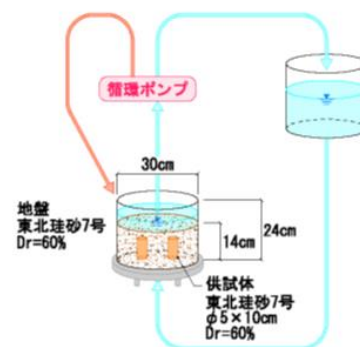


図2.1 流水試験装置の様式図

3. 試験結果

循環水に含まれるシリカ含有量の経時変化を図3.1に示す。経過期間に伴って循環水のシリカ含有量が増加していく結果になった。2種類の土槽のシリカ含有量は同様に増加していて、6ヶ月経過時にはどちらもシリカ含有量

Long term durability of the chemically stabilized sand

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

120mg/L 程度となった。

図 3.2 は、試験終了後の供試体のシリカ含有量と循環水のシリカ含有量をもとに、薬液配合に基づくシリカ含有量の理論値と実験値（供試体内部のシリカ含有量+循環水中のシリカ含有量）を示したものである。経過期間 1 ヶ月、2 ヶ月、3 ヶ月のデータは昨年度実施した流水環境試験の結果である²⁾。図 3.2 から、多少のばらつきはあるものの、実験期間 3,6 ヶ月では理論値と実験値がほぼ一致したという結果が得られた。すなわち供試体内部から溶脱したシリカが水中に溶け出しており、薬液配合に基づくシリカ含有量収支が確認できた。

図 3.3 は実地等で想定される半径 1m の薬液改良体における約 100 年間の劣化に伴う改良半径比を数値計算したものである。6 ヶ月分の供試体内部シリカ濃度をもとにして、式(1)に含まれる改良体表面のシリカ濃度係数 s をフィッティングにより求めた。拡散係数 D は使用する注入材料に依存するが、今回使用した薬液の拡散係数 D は相似則を考慮して $D=0.065 \text{ mm}^2/\text{年}$ と設定した²⁾。

$$c = s\sqrt{t} \left\{ \exp\left(-\frac{x^2}{4D \cdot t}\right) - \frac{x \cdot \sqrt{\pi}}{2\sqrt{D \cdot t}} \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}}\right)\right\} \dots (1)$$

ここに、 c : シリカ濃度 (mg/g-dry), D : 拡散係数 ($\text{mm}^2/\text{年}$), s : 改良体表面のシリカ濃度係数 (mg/g-dry/ $\sqrt{\text{年}}$), x : 位置 (mm), t : 時刻 (年)

図 3.3 のプロットは流水土槽中に設置した薬液改良体の改良半径を 1,2,3,6 ヶ月経過後に供試体質量変化の実測により求めた値である。今回の実験結果より、流水期間 3 ヶ月までは比較的劣化が早く進行するが、6 ヶ月経過時点の改良半径は数値計算における 108 年のものに相当する結果となった。

また、図 3.3 には別途行った、供試体を水中に設置した直接流水環境下における劣化試験をもとに得られた劣化関係をあわせて示している。実地盤を模擬した地下水環境下に置かれた薬液改良体の半径比の減少率は、直接流水環境下で行った試験結果の 3 分の 1 程度となった。この結果より、地下水環境下で試験を行った方が長期的な劣化傾向が緩やかになることが確認できた。

4. まとめ

薬液改良土のシリカ溶脱に伴う長期耐久性能を解明することを目的として、実地盤を模擬した流水環境下に薬液改良体を 6 ヶ月間設置することで実験的に劣化の挙動を調査した。

ICP 試験の結果より、薬液改良体を長期的に流水環境下

に置くと、経過期間に伴って改良体内のシリカが溶脱していくことが確認できた。

(1)水ガラス配合に基づくシリカ含有量の理論値と、供試体内のシリカ含有量と循環水中のシリカ含有量の合計が同等の値を示した。この結果から、供試体内部(過去の研究からも主に供試体外周部)からシリカが溶脱し水中に溶け出していることが確認できた。

(2)今回の流水試験の結果をもとにそれぞれ数値解析を行い、100 年後の半径 1m 薬液改良土の劣化予測を行った。室内実験による 6 ヶ月経過時の改良半径は、実地盤での 108 年経過時に相当する結果を得た。

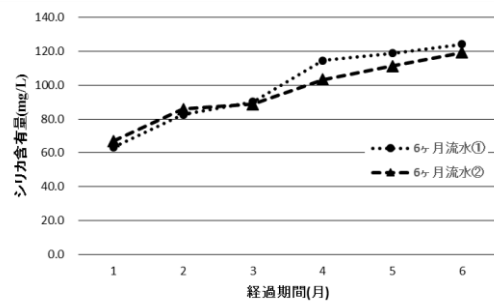


図 3.1 シリカ含有量の経時変化(循環水)

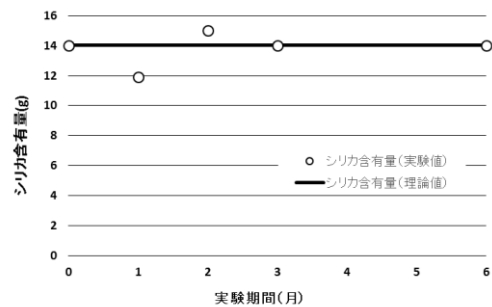


図 3.2 シリカ含有量収支

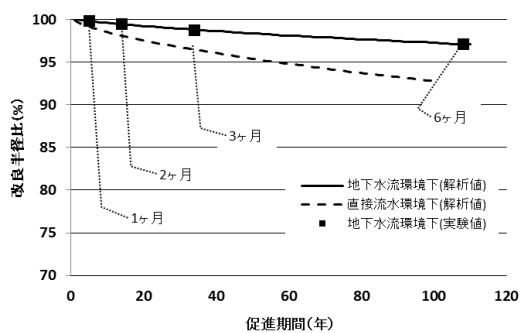


図 3.3 経年劣化予測と実験結果

【参考文献】

- 1) 「薬液注入工法の理論・設計・施工」編集委員会“薬液注入工法の理論・設計・施工” 社団法人地盤工学会 pp128 2009
- 2) 森, 赤木ら “数値解析を用いた薬液改良体の長期耐久性能の評価” 第 50 回地盤工学発表会 2015