

薬液固結土のシリカ溶脱による耐久性能について

早稲田大学 学生会員 ○佐藤友彦

早稲田大学 フェロー会員 赤木寛一

早稲田大学 学生会員 小川航平、岩崎光紀、仲田泰大
ケミカルグラウト（株）川村淳、渡邊陽介

1. はじめに

我が国は世界有数の地震大国であり、近年日本各地で大規模な地震による被害が発生している。その中でも、1995年の阪神淡路大震災や2011年の東日本大震災における液状化の被害は甚大なものであった。このような背景から、さまざまな液状化防止対策について考案・検討がなされており、既存施設直下地盤の液状化対策としては、薬液注入工法が有効であるとされている。

この薬液注入工法は、薬液が砂粒子間の水と置き換わりながら浸透し、地盤を固結させる工法である。既往の研究¹⁾においては、薬液で改良した砂地盤は耐久性能を保持することが報告されている。しかしながら、シリカは可溶性であるということから地下水の流れを考慮した既往の研究²⁾においては、薬液改良体中のシリカ (SiO_2) が長期的に溶脱していくことにより、一部で強度低下を起こすと報告されているが、そのシリカ分の溶脱におけるメカニズムや耐久性の挙動については、いまだ詳細に解明されていないのが現状である。

このような現状から、本研究では多数のサンプリングが可能な中型の薬液改良体を作製し、それを地下水の流れを模擬した流水条件下に設置することで、シリカ溶脱のメカニズムと長期耐久性能を詳細に把握することを目的とした実験的検討を行っている。なお、この研究は昨年度から行っている研究³⁾で、引き続き調査しているものである。

2. 実験内容

2.1 供試体の条件

供試体の作製は、プラモールド ($\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$) を用いて行い、薬液については特殊シリカ系薬液 (シリカ濃度 8%) を用いた。供試体作製に使用した東北珪砂 7 号の物理的性質を表 1 に示す。

2.2 実験手順

流水試験の実験手順のフローチャートを図 1 に示した。

表 1 東北珪砂 7 号物理的性質

土粒子密度 (g/cm^3)	2.62
最大間隙比 e_{max}	0.931
最小間隙比 e_{min}	0.613
D_{50}	0.18

①供試体の作製

東北珪砂 7 号を水中落下法によって、プラモールド中に流し込むことで、供試体を作製する。このとき、薬液改良体の相対密度は、60%となるようにした。

②流水装置で養生 (所定の週数)

供試体を作製後、1 日空気養生し、その後 6 日間水中養生を行う。その後、供試体を循環型流水装置に設置する。流水装置中の水は 1 日に 1 回入れ替えることで、地下水の流れを模擬した地盤に近いものとした。また、室内試験流速は過大ではあるが、透水係数 $k=1.0 \times 10^{-1} (\text{cm}/\text{s})$ ・動水勾配 $i=1.0$ の実地盤を再現するための透過流量から算出し、 $6.69 \times 10^{-3} (\text{cm}/\text{s})$ とした。養生期間は 0 週、4 週、8 週、12 週、52 週、100 週、130 週と設定する。実験装置の概略図を、図 2 に示す。

③シリカ分布測定

所定週数経過した供試体の養生を終了させ、以下の方法でシリカ分布を測定する。供試体中心から外側に向かって 1cm 間隔 (0~5cm) で測り、その一部をサンプルとして採取する。サンプルの採取位置を図 3 に示す。各サンプルにおいて、シリカ含有量測定試験 (ICP 試験) を行い、流水環境におけるシリカ含有量の経時変化について把握する。

④一軸圧縮強度試験

シリカ分布測定用の試料を除いた箇所から、一軸圧縮試験用の供試体 ($\phi 5\text{cm} \times h10\text{cm}$) を採取する。

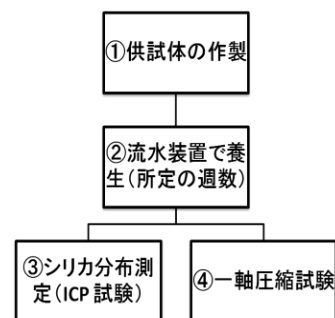


図 1 実験手順

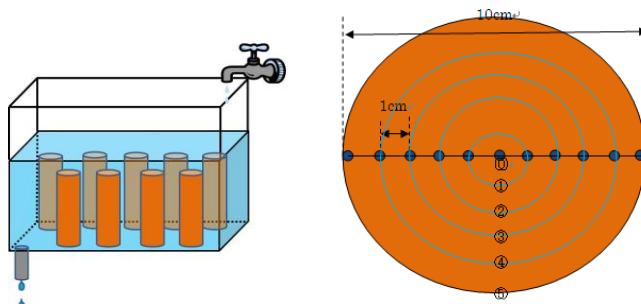


図 2 供試体の流水試験状況

図 3 サンプリング概略図

キーワード 薬液注入、長期耐久性、一軸圧縮試験

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 西早稲田キャンパス 58 号館 205 号室 TEL 03-5286-3405

3. 実験結果

図4はICP試験によるシリカ含有量の結果と中心からの距離の関係、経過週数ごとに表したものである。

この結果によると、改良体外周部のシリカ含有量は低下傾向にあることが確認できた。また、52週目においては、供試体の外周部が流水による半径減少により半径が小さくなったため、中心部からの距離4cmまでのサンプル採取となった。しかし、今回の透水係数 $k=1.0 \times 10^{-1}$ (cm/sec) の実地盤を模擬した条件下では改良体の周囲はシリカ分の溶脱により劣化傾向にあることは確認されたが、内部のシリカ含有量は20(mg/g-dry)を保持していることが確認できた。

次に経過週数と一軸圧縮強度の関係を図5に示す。ただし、これは供試体中心部の一軸圧縮強度の経時変化を示したものである。図5より養生52週目における一軸圧縮強度は450(kN/m²)程度の値を維持しており、またその値は養生初期より大きく増加していることが確認できた。また、以上のシリカの溶脱と一軸圧縮強度の経時変化に関する結果は以前行った異なる薬液における結果とも一致する⁴⁾。今後も長期にわたり流水環境の影響を受け続けることで強度低下が生じるかどうか²⁾、100週、130週と引き続き注視していきたい。

ここで、養生日数52週目を迎えた薬液改良体にて当試験を実施しようとしたところ、改良体が写真1のような形状となっていた。これについての検討を行う。図2のように当試験の薬液改良体は流水環境にあるため、これまで報告したとおり改良体外周部のシリカの溶脱により改良砂がその形状を保持することができず、崩落していくことで半径が減少していくことが確認されている。崩落した砂は図6のように残存する薬液改良体の周りに堆積していた。その崩落した砂が堆積した部分と、流水が直接接触している部分の改良体半径を比較した場合、砂が堆積した改良体下部の半径減少率が明らかに少ないことが確認できた。つまり、流水試験の流水速度は共通であっても、周囲に砂がある場合とない場合では、流水が改良体に与える影響は大きく異なるということが確認できた。これらのことより当試験の改良体はこれまで直接流水に接触してきてお

4. まとめ

今回の実験的検討から得られた知見は以下のように要約できる。

(1) 流水環境下の薬液改良体は、流水と接触する外周部よりシリカが溶脱していくことで周囲から縮小していく。ただし、影響を受けにくい内部に関しては、シリカ含有量・強度の観点から耐久性を概ね保持することが確認できた。

(2) 当試験は流水の影響を直接受ける条件であり、実地盤と比較した場合促進的な観点からの検討が必要になる。今後も同試験でシリカ溶脱と耐久性の挙動を引き続き確認していき、流水条件が薬液改良体に及ぼす影響について検証していく。また、実現場よりも厳しい条件のもとで実験を行っているため、実現場と対比した時の妥当性についても検証していく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 石田、赤木、鈴木、野中“薬液で固結させた砂の長期耐久性について”土木学会年次学術講演会 2003 年
- 2) 平岡、赤木、澤田“弾性波試験による薬液改良砂の劣化評価について”土木学会年次学術講演会 2011 年
- 3) 小川、赤木、川村、渡邊“薬液で改良した砂地盤の耐久性能について”地盤工学会関東支部 2011 年
- 4) 仲田、赤木、川村、“薬液固結土のシリカ溶脱による耐久性能について”地盤工学会関東支部 2012 年

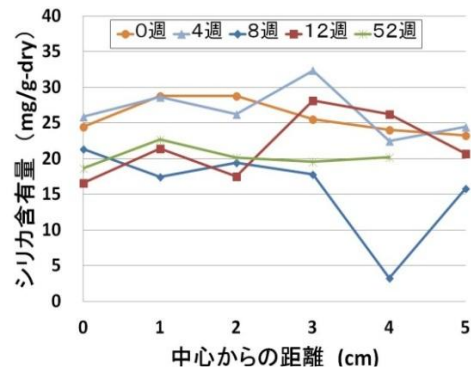


図4 シリカ含有量と供試体中心からの距離

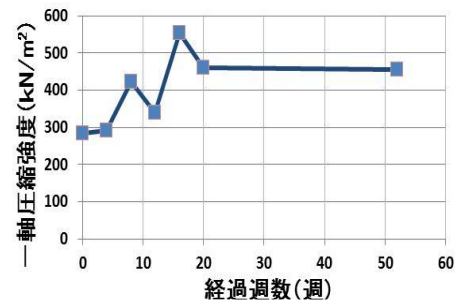


図5 一軸圧縮試験強度結果（改良体中心部）

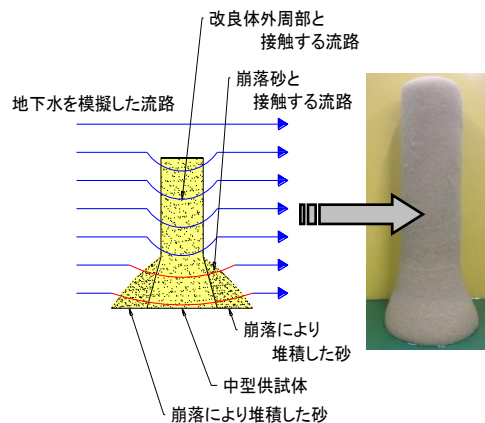


図6 流水環境供試体 概略図 写真1 52週経過後供試体

り、実地盤条件と比較した場合により厳しい条件であるため、今後は当試験条件について促進的な観点からも検討する必要があると考えられる。