

薬液で改良した砂地盤の耐久性能について

薬液注入 シリカ含有量 一軸圧縮強度

早稲田大学 特別会員 ○小川 航平

早稲田大学 国際会員 赤木 寛一

早稲田大学 学生会員 平岡 陽

ケミカルグラウト㈱ 川村 淳、渡邊陽介

1. はじめに

溶液型薬液注入工法とは、その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。本工法は、地盤改良工法の重要な 1 分野であり、主に地盤の各種掘削工事において漏水、出水や地盤崩壊を防ぐため、地盤自身の不透水化や強度増加のために使用するのが一般的であった。その後、1995 年に発生した兵庫県南部地震以降、既設構造物直下地盤に対する液状化対策の要請が急増したことから、近年において、薬液注入工法には液状化対策性能が期待されている。既往研究¹⁾において、薬液で改良した砂地盤は耐久性能を保持すると報告されているが、地下水の流れを考慮した既往研究²⁾などにおいては、薬液改良体中のシリカ分 (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すことが確認されている。ただし、そのシリカ分の溶脱におけるメカニズムや、耐久性についての挙動は詳細に解明されていないのが現状である。

そこで本研究では、多数のサンプリングが可能な大型の薬液改良供試体を地下水の流れを模擬した流水条件下に設置し、シリカ分溶脱の詳細なメカニズムと長期耐久性を把握することを目的とした実験的検討を実施した。

2. 試験内容

(1) 供試体条件

当試験では特殊中性・酸性薬液を用いて、薬液改良供試体 ($\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$) を作製した。作業にあたっては、薬液改良供試体の相対密度が 60%となるように、東北珪砂 7 号を水中落下法によりプラモールド中の薬液に投入した。東北珪砂 7 号の物理的性質を表-1 に示す。今回使用した薬液は非アルカリゾル系の特殊中酸性薬液で、10 あたりの配合表を表-2 に示す。

表-1.東北珪砂 7号の物理的性質

土粒子密度	(g/cm^3)	2.62
最大間隙比		0.931
最小間隙比		0.613
D ₅₀	(mm)	0.18

(2) 試験手順

薬液改良供試体による流水試験の試験手順を以下に示す。

薬液改良供試体を作製後 1 日間空气中で養生させた後、6 日間の水中養生を行う。その後、薬液改良供試体を循環型流水装置に配置し、所定浸漬日数経過後 (0 週・4 週・8 週・12 週・16 週・20 週・52 週・100 週・130 週)、シリカ含有量の分布確認試験と一軸圧縮強度試験を実施する。ここで経過日数 0 週とは、供試体作製後 1 日の気中養生と 6 日間の水中養生を経過した計 7 日間の養生を終了した流水条件を与えていない供試体を示す。

表-2.薬液 10 当りの配合表

A液		B液	
主剤	250 (mL)	反応剤	25 (mL)
水	650 (mL)	添加剤	10 (g)
		水	69 (mL)

(a) シリカ分布確認試験

所定日数経過後、供試体中心から外側に向かって 1cm 間隔で改良体の一部をサンプルとして採取し、それぞれシリカ含有量測定試験 (ICP 試験) を実施することで、流水環境下での供試体内部のシリカ含有量の分布と経時変化について確認する。

(b) 一軸圧縮強度試験

所定日数経過後の供試体より、シリカ分布確認試験用の試料を除いた箇所から、一軸圧縮試験用の供試体を採取する。一軸圧縮試験を行い供試体内部の強度特性を把握することにより、供試体内部について検証する。

(3) 流水試験実施概要

当試験は実地盤の透水係数と改良体寸法から相似則を適用して室内試験用の流水速度を算出している。今回、想定実地盤における地下水の流速をダルシー則より $k=1.0 \times 10^{-1}(\text{cm}/\text{s})$ と仮定した。(動水勾配 $i=1.0$ と想定した) そのため、当試験は透水係数を過大に想定した非常に厳しい流水環境を模擬した流水試験である。実地盤における薬液改良体は直径 200(cm)の球体を想定し、その想定した改良体と今回作製した供試体の相似則 (単位質量あたりに通過する流量を実地盤と本試験で等しくなるようにした) より、実地盤を再現するための透過流量から室内試験流速を算出した。この結果、得られた室内試験流速は $6.69 \times 10^{-3}(\text{cm}/\text{s})$ となった。今回は動水勾配 $i=1.0$ と仮定しているため、現場と比較した場合においては、非常に厳しい条件であると考えている。

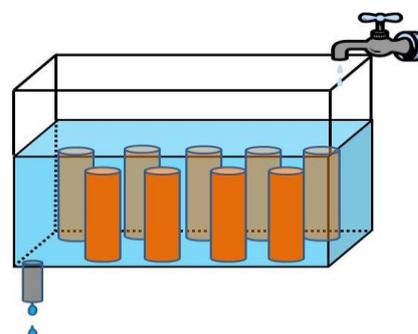


図-1. 供試体の大型水槽での設置状況

なお、循環水は1日に1回新しい水に取り換え、シリカ濃度を含まない実地盤に近い状態とした。

3. 試験結果と考察

図-2 に流水試験による供試体への影響範囲と経過日数について示す。ここで供試体への影響範囲とは、流水による影響で供試体の変化を体積重量換算と周囲の計測により確認し、表示したものである。図-2 より、日数経過に伴い供試体周囲が小さくなっていることが確認できた。その値は0週の初期値と比較して12週の現時点で表面から4mm幅の減少であった。

図-3 に一軸圧縮強度と経過日数の関係を示した。この一軸圧縮強度の挙動より、0週目から4週目の間ではほぼ一定の値になっているのに対し、4週から8週にかけては一軸圧縮強度が増加する傾向を示した。図-2 で供試体外周径の減少は確認されたが、同供試体の内部より採取した一軸圧縮強度試験用の供試体に強度低下はなく、むしろ強度が増加していることから、供試体内部は流水環境の影響を受けておらず、初期以上の状態を維持していると考えられる。

図-4 に8週目までの供試体中心から1cmごとに測定したシリカ含有量との関係を示す。この結果を見ると0週から8週にかけて概ね全体的にシリカ含有量の大きな変化がないことが確認できる。しかし、図-2の結果で減少が確認された供試体外側に関しては、シリカ含有量もやや減少傾向にある。このことから、これまで考えられてきたシリカ分の溶脱が薬液改良体の品質低下に関係することがわかる。一方、状態を維持している供試体内部に関しては、図-4の結果からも分かるように同供試体であっても強度低下を起しておらず、かつシリカ含有量が減少していないことが確認できた。

また8週目の供試体において、中心部の一箇所で急激なシリカ含有量の増加を示していた。この数値が特異な評価をしていたことも考えられるが、既往の研究³⁾で薬液ホモゲルが離しよう水を伴い体積収縮を起こすというものがああり、サンドゲルも似た挙動を示すことが考えられるため、体積収縮により中心部のシリカ含有量が高くなる傾向があることも考えられる。図-3で4週目から8週目にかけて一軸圧縮強度が増加したことも、供試体中心部分の薬液ホモゲルの体積収縮と関係している可能性が考えられる。このため、今後も動向を検証していく必要がある。また、4週目と比較して8週目で供試体外側のシリカが増加しているのは、供試体の外周部が流水により減少し、残存している比較的健全な部分でサンプリングを行ったことによると考えられる。

4. まとめ

本研究は、特殊中性・酸性薬液改良体の流水環境下における耐久性能を把握することを目的としたものである。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) 改良体表面はシリカ分の溶脱など流水の影響を受けるが、内部に関しては強度・シリカ含有量など初期状態を維持する。
 - (2) 経時変化に伴うシリカ分溶脱速度を評価することにより、薬液の耐久性能を評価することが可能である。
 - (3) 薬液のゲル化に伴う体積収縮は強度増加に寄与しており、劣化メカニズムを把握する上で重要な要素となりえる。
- 今後の方針として、同試験で長期耐久性の挙動を引き続き確認しながら、流水条件が薬液改良体に及ぼす影響について検証する。また、本試験では非常に厳しい動水勾配を設定しているため、実現場と対比したときの妥当性について検証する必要がある。

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、仲山 “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) 平岡、赤木、澤田、仲山 “薬液注入における填充率と注入率について” 土木学会関東支部講演会 2011年

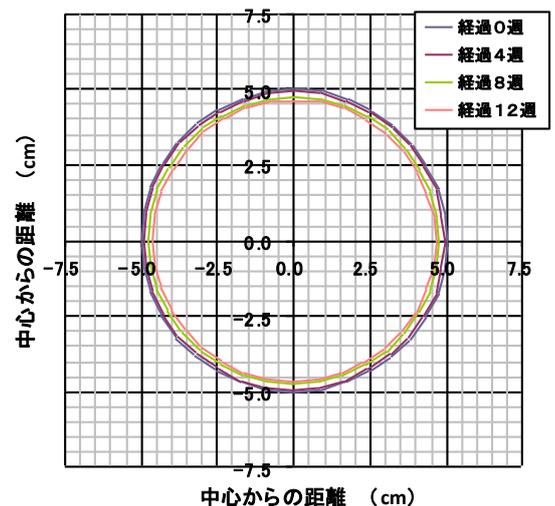


図-2.流水による影響範囲

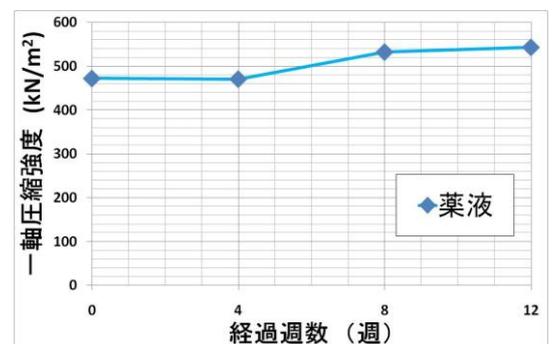


図-3. 一軸圧縮強度と経過週数の関係

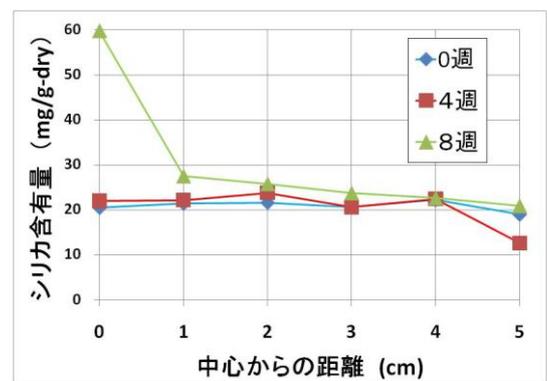


図-4. シリカ含有量と中心からの距離の関係