

薬液で改良した砂地盤の経時変化特性について

早稲田大学 学生会員 ○平岡 陽

早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 澤田 亮

1. はじめに

薬液注入工法とは、溶液型薬液を使用し、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、薬液注入工法が液状化対策としても用いられるようになり、合理的な設計・施工法が期待されている¹⁾。液状化対策の視点で見ると、薬液には長期的に改良強度を維持することが求められているが、改良強度を大きくするメカニズムを担う薬液中のシリカ (SiO_2) は、薬液注入後から時間経過とともに周辺の地下水との物理化学的相互作用により少しずつ溶脱してしまうことが懸念される。しかし、シリカ (SiO_2) の溶脱を考慮した薬液で固結改良した砂の耐久性に着目した研究は、未だ不十分である。ここでは、薬液で固結改良した砂の供試体を薬液の固化成分であるシリカ (SiO_2) の溶脱を促進させるために流水環境に設置して、薬液で固結改良した砂地盤の経時変化に伴う化学的劣化状況の把握と耐久性についての実験的検討を実施した。

2. 使用した材料

実験で使用した砂は東北珪砂 7 号で、物理的性質を表 1 に示す。薬液は非アルカリゾル系の中酸性薬液を用い、配合は表 2 に示したものに従うものとする。薬液は、B 剤に A 剤を攪拌しながらゆっくりと加えることにより作製した。

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
$D_{50}(\text{mm})$	0.18

表 2. 薬液の 10 当たりの配合表

A 剤		B 剤	
主剤	250(ml)	硬化剤	20(ml)
水	300(ml)	pH 調整剤	20(g)
		水	410(ml)

3. 流水による溶脱促進試験概要

供試体は、小型モールド ($\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$) 内に薬液を入れた後、砂の質量を調整しながらモールド内に落下させて作成した。ここで供試体の目標相対密度は、 $\text{Dr}=40\%$, 60% , 80% の 3 種類とした。供試体を作成した後、1 日モールド内で養生し、脱型後に図 1 に示す大型水槽内に供試体を設置した。図 1 の大型水槽は 2 種類用意した。流水条件を変化させるため、流水条件は、原地盤における地下水流速 ($3.01 \times 10^{-3}(\text{cm/s})$)

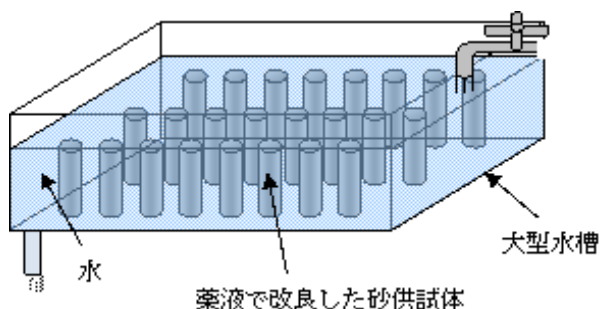


図 1. 薬液改良供試体の大型水槽への設置状況

を想定し、実際の薬液改良固結体周辺の地下水通過流量と相似な現象を起こすのに必要な流速を基準とし、促進倍率 10 倍、30 倍を乗じて流速を決定した。すなわち、蛇口からの供給水量を、それぞれ薬液改良供試体周辺の通過流速 v が $3.01 \times 10^{-2}(\text{cm/s})$ 、 $9.03 \times 10^{-2}(\text{cm/s})$ となるよう調整した。なお、水槽の水位は常に一定となるように排水条件を設定した。2 種類の流水条件で流水を開始した後、14 日・28 日・56 日・70 日が経過した後、大型水槽から供試体を取り出し、一軸圧縮試験を実施した。その後、ICP 発光分析を行い、シリカ含有量増加分 (mg/g-dry) を測定した。

キーワード 薬液注入 一軸圧縮強度 シリカ含有量 流水試験

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

4. 試験結果と考察

図 2 は、それぞれの促進倍率における一軸圧縮強度と経過日数の関係を示したものである。また、図 3 はシリカ含有量増加分と経過日数の関係を示したものである。ここでシリカ含有量増加分 (mg/g-dry) とは、改良後の砂のシリカ含有量 (mg/g-dry) から東北珪砂のみのシリカ含有量 (mg/g-dry) を差し引いたものを示している。

1) 促進倍率 10 倍: 図 2(a)より、経過日数 70 日目まで、経過日数が増えるにつれて一軸圧縮強度が単調に低下していることがわかる。これは、図 3(a)に示すシリカ含有量増加分の低下と関連が強いと考えられ、シリカの溶脱による化学的劣化が原因であると考えられる。だが、経過日数 56 日目から 70 日目

にかけては一軸圧縮強度が低下する一方で、シリカ含有量増加分はほぼ一定になっている。これは、シリカの溶脱が止まる一方で、供試体周辺の水の流れによって供試体が部分的に崩壊したために、一軸圧縮強度が低下したものと考えられる。

2) 促進倍率 30 倍: 図 2(b)より、経過日数が増えるにつれて、促進倍率 10 倍と同様に一軸圧縮強度が低下していることがわかる。だが、図 2(a)に比べて結果にばらつきが出ている。これは、供試体周りの流れが促進倍率 10 倍では層流となるが、30 倍では乱流となり、流速分布にばらつきがあるためだと考えられる。また、図 3(b)より、促進倍率 30 倍においても、経過日数 56 日目から 70 日目にかけては、シリカ含有量増加分は低下しないという結果になっている。この現象は、促進倍率 10 倍の時の結果と同じであるため、薬液改良した砂地盤からのシリカの溶脱はある時点で止まると推定される。また、図 3(a)と図 3(b)を比較すると、シリカ含有量増加分の変化は似た挙動を示しており、シリカの溶脱状況と流水速度に、大きな相関性はないと考えられる。

なお、浸透固化処理工法技術マニュアル²⁾では、薬液改良土に必要な一軸圧縮強度は 100kN/m^2 程度とされており、いずれの促進倍率であってもシリカの溶脱が収束した時点までは、その基準を満たしていた。さらに、本試験は拘束圧をかけていない試験であるため、より安全側の評価をしていると考えられる。

5. まとめ

本研究は、薬液で改良した砂地盤のシリカ溶脱に着目して物理化学的特性の経時的変化の把握と耐久性についての実験的検討を行ったものである。実験的検討で得られた知見は、以下のように要約できる。

- (1) 一軸圧縮強度の低下は見られたが、現段階では必要な強度の基準を満たすものであった。
- (2) シリカの溶脱はある時点で停止するので、薬液改良砂の化学的劣化には限界があると考えられる。
- (3) シリカの溶脱状況は、流水促進試験における流水速度に大きくは依存しないと考えられる。

参考文献: 1) 社団法人 地盤工学会 “薬液注入工法の理論・設計・施工”, 2009

2) 財団法人 沿岸開発技術研究センター “浸透固化処理工法技術マニュアル”, 2003

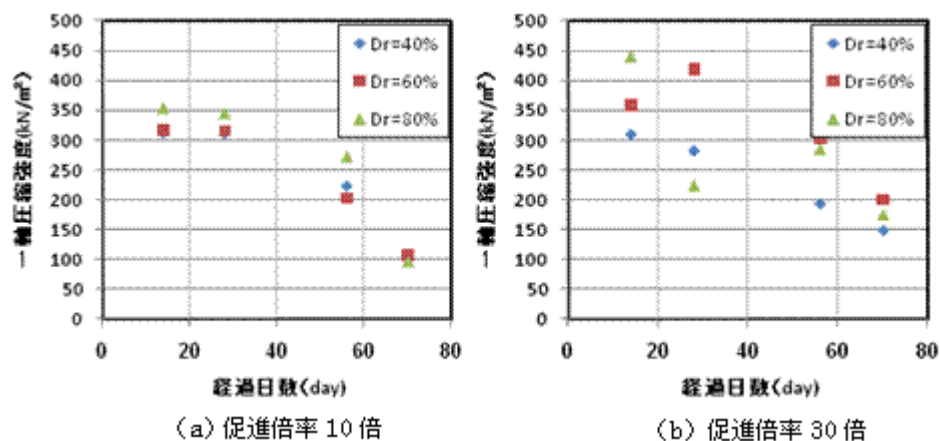


図 2. 一軸圧縮強度と経過日数の関係

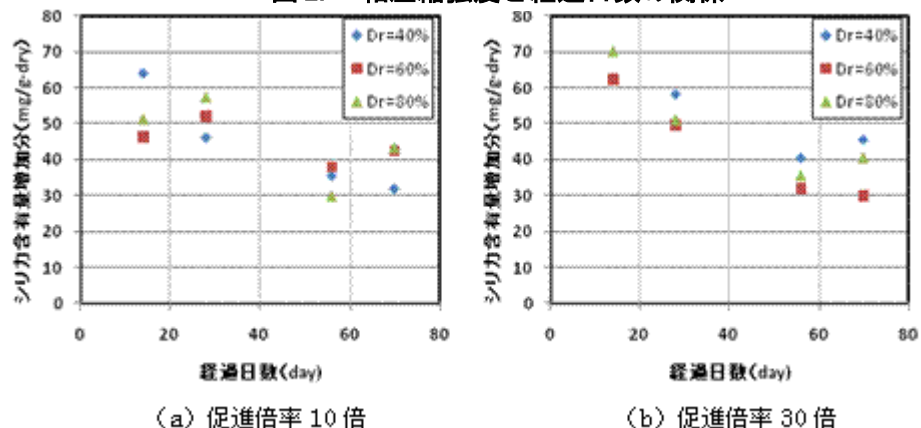


図 3. シリカ含有量増加分と経過日数の関係