

希釈した薬液による改良砂地盤の長期耐久性について

薬液注入 長期耐久性 濃度変化

早稲田大学 国際会員 赤木 寛一

早稲田大学 学生会員 ○一色 康広 平岡 陽

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 澤田 亮 仲山 貴司

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震において、液状化現象が大きな被害を及ぼした。それ以降、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成分であるシリカ(SiO₂)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徐々に溶脱してしまうことが懸念される。既往の研究²⁾では、地下流水を考慮した、通常の薬液濃度の耐久性試験を実施している。一方で、薬液は粘性が高いため、地盤注入に多くの労力を必要とし、施工性や経済性の向上から、比較的低濃度の薬液を液状化対策に用いることも検討されている³⁾。しかし、低濃度薬液で改良した砂地盤の耐久性についての検討は未だ不十分である。そこで本研究では、通常使用される薬液を水で希釈し調整した低濃度薬液で改良した砂供試体を、シリカ(SiO₂)の溶脱を促進させるために流水環境に設置し、低濃度薬液で固結改良した砂地盤の経時変化に伴う物理化学的劣化状況の把握と耐久性について実験的に検討した。

2. 使用した材料

本実験で使用した珪砂は東北珪砂7号で、表1に物理的性質を示す。薬液は非アルカリゾル系の特殊中酸性薬液(エクリオン)を用い、基本配合は表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、直後に加水による希釈を行い濃度変化させた。なお、希釈率 = {薬液量 / (薬液量 + 加水量)} × 100と定義する。

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

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(φ50mm×100mm)内に薬液を入れた後、珪砂の質量を調整しながらモールド内に落下させる水中落下法で作製した。供試体は、目標相対密度 Dr=60%・80%でそれぞれ濃度希釈率 100%・75%・50%の計6種類とした。モールド内で1日間空気養生し、3日間水中養生した後に脱型を行って図1に示すような大型水槽内に供試体を設置した。流水条件は、まず地下水流速を10⁻¹(cm/s)と仮定し、現場で直径200(cm)の改良体が出来たことを想定した際に、それと相似な現象を本試験で行う際の流速を計算すると、3.01×10⁻³(cm/s)となる。また、本試験ではシリカの溶脱をより早く促進させるため、促進倍率10倍に相当する流速3.01×10⁻²(cm/s)となるよう調整した。なお、水槽は大型水槽の他に排水水槽を1つ用意し、排水水槽と大型水槽間で水を所定の流速で常に循環するようにし、1日に1回、循環させる水は新しいものに入れ替えることとする。流水環境下への供試体設置を開始日とし、0日・14日・28日・56日・70日・84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(Inductively Coupled Plasma)発光分析を行い、シリカ含有量増加分(mg/g-dry)を測定した。

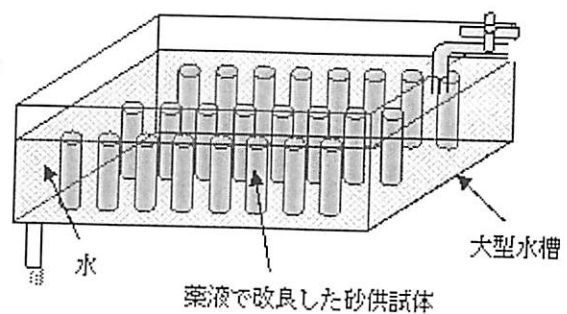


図1. 薬液改良供試体の大型水槽への設置状況

4. 試験結果と考察

図2には、経過日数と一軸圧縮強度の関係を示す。図3には、経過日数とシリカ含有量増加分の関係を示し、図4には、薬液改良供試体の中心からの距離とシリカ含有量増加分の関係(目標相対密度 60%,希釈率 100%)を示す。ここでの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7号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。実施した試験ケースを、表3に示す。なお、それぞれのケースの供試体は3本ずつ用意し、図2-4の値は、3本の試験を行なって得た値の平均値である。

表3. 試験ケース一覧

	目標相対密度 (%)	希釈率 (%)
case1-1	60	100
case1-2	60	75
case1-3	60	50
case2-1	80	100
case2-2	80	75
case2-3	80	50

図2より、希釈率 50%を除く薬液では、経過日数 28 日目まで一軸圧縮強度が増加していることが、これは薬液改良土の強度発現期間であると考えられる。28 日目以降、一軸圧縮強度はいずれのケースでも減少傾向にあり、56 日目から 70 日目の間では、特に大きく減少していることが分かる。なお浸透固化処理工法技術マニュアル²⁾での薬液注入施工事例を参照すると、設計基準強度を 70 kN/m² から 100 kN/m² としている事例が多い。そのため、希釈率 100%の通常薬液は 70 日目まで十分な強度を満たしていたが、希釈率 75%と希釈率 50%の薬液改良土は、70 日目では基準強度よりも少し小さい値となっている。なお、本試験は拘束圧のない小型モールド試験のため、より安全側の評価をしていると考えられる。

図3より、シリカ含有量増加分は、若干のばらつきはあるが、各試験ケースにおいて一定の値で落ち着いている。供試体全体の平均的な値でみたシリカ濃度は全体的に大きな変化はないが、供試体の一軸強度が低下している原因を調査するために、供試体内部のシリカ濃度分布を詳細に調査した結果が図4である。

図4より、薬液改良供試体の表面付近において大きくシリカ含有量が低下していることが分かる。そのため、シリカの溶脱は供試体の表面から進行し、供試体中心付近ではシリカの溶脱は大きく起こらないことが分かる。すなわち、供試体表面付近で生じたシリカ溶脱に伴って、薬液改良供試体は表面付近にシリカが溶脱した低強度領域を有するきわめて不均一な供試体となっていることがわかる。この低強度領域の発生、進展のために、薬液改良供試体は図2に示すような強度低下を示したものと推定される。

5. まとめ

本研究は、シリカの溶脱に着目して低濃度薬液で固結改良した砂地盤の経時変化に伴う、物理化学的劣化状況の把握と耐久性について実験的に検討したものである。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) 通常濃度薬液は十分な耐久性を持つが、低濃度薬液は物理的劣化が激しく、基準強度を満たしていなかった。
- (2) 薬液改良土の化学的劣化の特長として、シリカの溶脱は薬液改良土の外周部から進行していく。
- (3) シリカ溶脱に伴う低強度領域の発生、進展によって、薬液改良供試体の強度低下が生じる。

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) 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 pp975~976, 2010.9

3) 後藤・宮本 “比較的希薄な薬液を混入した砂の液状化特性” 第 32 回地盤工学発表会 pp745~746,1997.7

4) 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”，pp123~133 2003

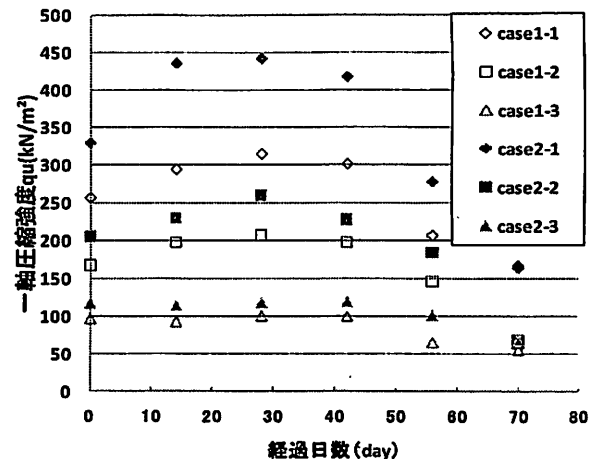


図2. 経過日数と一軸圧縮強度の関係

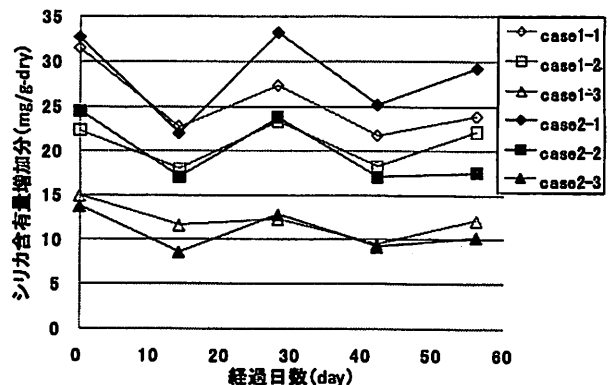


図3. 経過日数とシリカ含有量増加分の関係

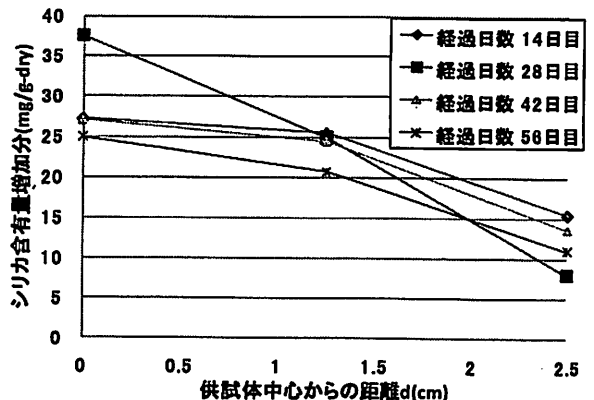


図4. 供試体中心からの距離とシリカ含有量増加分の関係