

薬液改良土のシリカ含有量測定方法の開発と応用

強化土エンジニアリング(株)	正会員	○佐々木隆光
日本化学工業(株)	非会員	宮部 慎介
東京都市大学	正会員	末政 直晃
強化土(株)	正会員	島田 俊介

1. はじめに

溶液型薬液注入材による改良一軸強度は数十～数百 kN/m^2 と低いため、乱れの少ない試料を採取し、力学試験による改良効果の確認が困難な場合がある。そこで、本研究では事前配合試験にて求めた注入材シリカ濃度と改良強度の関係、注入材シリカ濃度と改良体シリカ含有量の関係を用い、乱れのある試料の改良強度の推定を行う手法を開発した。また、本手法は改良強度の推定のみならず、最適な注入率の設定¹⁾や、改良強度を阻害する希釈²⁾および、化学反応³⁾を定量的に評価することが可能となった。

2. シリカ含有量測定の方法と改良効果の予測方法

一般に、水ガラスや活性シリカコロイドを主剤とする溶液型注入材の主成分はシリカであり、図-1に示すように、このゲル化物は、高アルカリ溶液に溶解する特徴⁴⁾がある。本手法は、このような特徴を生かし、一度ゲル化した注入材を溶解し、そのシリカ濃度を測定することにより、改良体の間隙の注入材の濃度を算出し、改良強度を予測するものである。

具体的な測定方法は、①サンプル試料を乾燥させる。②試料 5g を採取し、10%NaOH 20ml と純水 50ml を加え 1 時間攪拌する。③ろ紙(5B)でろ過を行い、ろ過をしながら沈殿した砂を水で数回洗う。④得られたろ液に純水を加え、250ml とした供試液とする。⑤供試液は ICP-AES にてシリカ濃度を測定する。また、評価方法は、事前配合試験にて注入材の濃度を変えた薬液の改良体を作製し、一軸圧縮試験とシリカ含有量測定を実施し、あらかじめ検量線を求める。さらに、事後調査にて現地より採取した試料のシリカ含有量を測定し、間隙のシリカ濃度を算出し、改良強度を推定する。

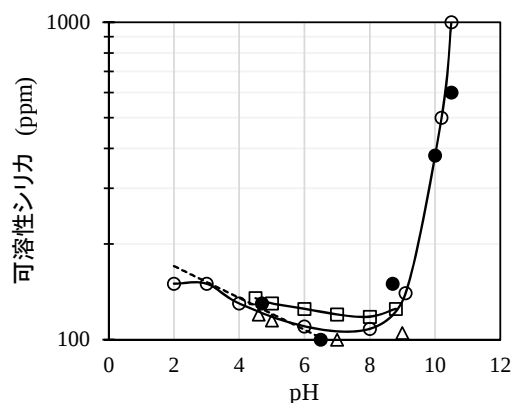
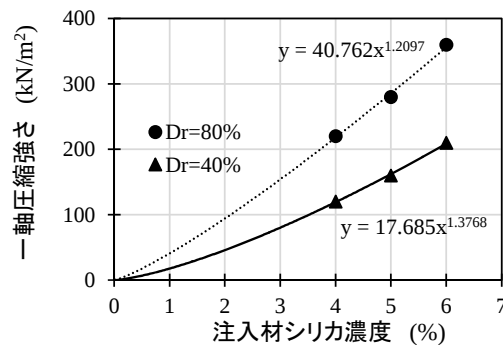
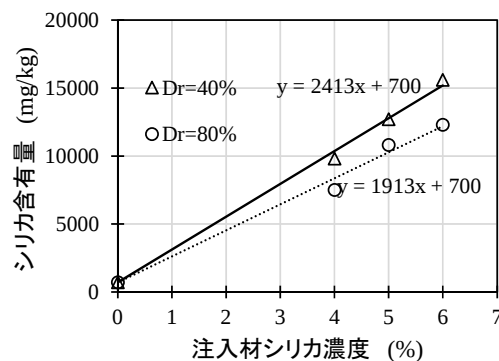
3. 豊浦砂における事例⁵⁾

図-2に注入材シリカ濃度 (SiO_{2G}) と一軸圧縮強さ (q_u) の関係を示す。ここでは、試料として乾燥した豊浦砂を用い、相対密度が 40, 80% となるように供試体を作製している。なお使用した注入材は活性複合シリカであり、そのシリカ濃度は 4, 5, 6% である。溶液型薬液注入材による改良体の強度は、シリカ濃度の増加に伴い強くなる傾向を示し、下式で近似することが出来る。なお、その割合は相対密度が高いほど大きくなる傾向を示す。

$$q_u = a \times \text{SiO}_{2G}^b \quad (1)$$

ここで、 a および b は実験定数である。

図-3に SiO_{2G} とシリカ含有量 (SiO_{2S}) の関係を示す。改良体のシリカ含有量は相対密度に関わらず、注入材シリカ濃度の増加に

図-1 シリカの溶解度⁴⁾図-2 注入材シリカ濃度と改良強度⁵⁾図-3 注入材シリカ濃度とシリカ含有量⁵⁾

伴い多くなる傾向を示し、その増加割合は相対密度が低いほど大きくなる傾向を示す。これは、相対密度が低いほど間隙率が高く、単位体積当たりの砂の量が少なくなるためである。また、図中の切片は試料に元々含まれるシリカ含有量 SiO_{250} であり、下式で近似することが出来る。

$$\text{SiO}_{25} = c \times \text{SiO}_{2G} + \text{SiO}_{250} \quad (2)$$

ここで、 c は実験定数であり、これらの関係式を用いることにより、乱れた試料においても改良強度を推定することが可能である。

4. 現場砂における事例

ここでは、現場より採取した試料を用いた事前配合試験において、作製した薬液改良体のシリカ含有量の測定結果について示す。本試験では、供試体を加圧法⁶⁾により作製しており、乾燥した試料を現場密度となるようにモールドに詰め、その後、脱気水で飽和を行った後に薬液を注入した。また、使用した注入材は活性複合シリカであり、そのシリカ濃度は3~11%である。

シリカ含有量の測定結果として図-4に計算値と実測値を示す。計算値とは、砂の間隙がすべて薬液に置き換えられた時のシリカ含有量であり、乾燥密度と間隙率、薬液シリカ濃度、薬液比重から求めることが出来る。基本的な傾向として、実測値は計算値に対応するものもあるが、実測値が極端に小さくなるケースがいくつか見られた。このような試料の諸特性に着目すると、試料に油や貝殻が多く含まれるものであった。

図-5にCa含有量⁶⁾と置換率の関係を示す。ここで、置換率とは図-4の実測値を計算値で除した値であり、間隙が完全に薬液に置き換えられている場合1となる。置換率はCa含有率が大きくなると低下する傾向を示し、特に1%以上含まれる場合では極端に低下する傾向が見られた。これは、貝殻の主成分である炭酸カルシウムと薬液の酸性反応剤が反応し、炭酸ガスが発生したため、供試体がポーラスな状態になったためである。

また、図-6に細粒分含有率 F_c と置換率の関係を示す。貝殻混じり砂を除く試料では、細粒分含有率の増加に伴い、置換率が低下する傾向が見られた。これは、本試験条件では、間隙を水で飽和した後に注入を行っているため、細粒分が多い砂では、吸着水が多く、間隙水を完全に薬液に置き換えられなかったことによると考えられる。

5. まとめ

溶液型薬液注入材による改良体のシリカ含有量を測定することにより、改良体中の薬液濃度を算出し、改良強度の推定を行える手法の開発を行った。また、現場砂を用いた配合試験の結果、シリカ含有量の測定を行うことにより、細粒分や貝殻など強度発現を阻害する要因を定量的に評価できる可能性が示唆された。

<参考文献>

- 1) 佐々木ら：東日本大震災で被災した霞ヶ浦用水施設の効用回復工事について（その2）、土木学会第68回年次学術講演会，pp.587-588，2013。
- 2) 佐々木ら：溶液型注入材のゲルタイムが浸透性と改良強度に及ぼす影響，第47回地盤工学研究発表会，396，pp.787-788，2012。
- 3) 佐々木ら：活性シリカグラウトに関する一考察，第42回地盤工学研究発表会，pp.889-890，2007。
- 4) Ralph K. Iler：The Chemistry of Silica, Wiley-Interscience, p.42, 1978。
- 5) 竹越ら：活性シリカ系薬液注入工法における土壌への薬液浸透状態の化学的評価方法，CREATIVE 技術報告書，No.7，日本化学工業株，pp.23-29，2006。
- 6) (社)地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説-二分冊の1-，p.443，2009。
- 6) 東畑ら：地震と地盤の液状化，インデックス出版，p.195，2010。

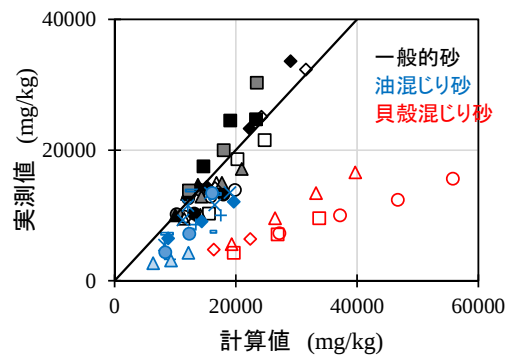


図-4 現場砂におけるシリカ含有量測定結果

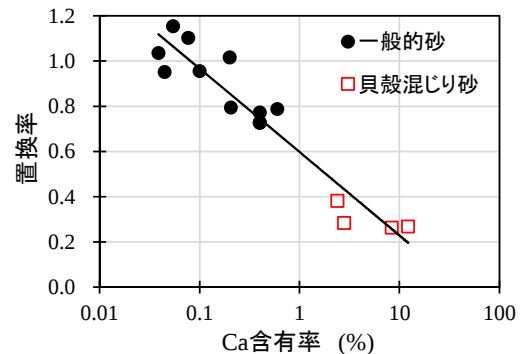


図-5 Ca含有率と置換率

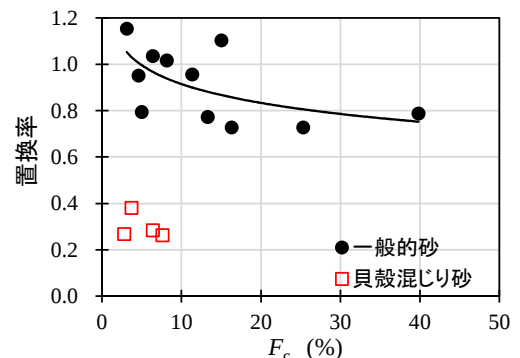


図-6 細粒分含有率と置換率