

流水試験を利用した薬液固結砂の長期耐久性調査について

ケミカルグラウト(株) 正会員 ○渡邊 陽介
早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
ケミカルグラウト(株) 正会員 川村 淳
早稲田大学 学生会員 小川 航平

1. はじめに

我が国では 2011 年の東日本大震災をはじめとして、液状化現象の被害事例が多数存在する。特に、阪神大震災以降薬液注入工法は液状化対策としての需要が高まり長期的な改良強度を維持することが求められている。しかし、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などにおいては、薬液改良体中のシリカ分 (SiO_2) が地下水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¹⁾。一方、注入の設計施工マニュアル²⁾においては薬液で改良した砂地盤の長期耐久性は未解明であるとされており、改良後の強度増加から劣化の一連のメカニズムを解明する必要がある。本研究では、地下水の流れを模擬した流水試験を実施し、薬液固結砂の長期耐久性について調査した結果の中間報告を行う。

2. 実験内容

(1) 供試体条件

当実験では、表 1. に示す配合の特殊中性・酸性薬液と珪砂 7 号を用いて薬液改良供試体を作製した。珪砂 7 号の物理的性質は表 2. に示す。また、

薬液改良供試体の大きさは供試体寸法がシリカ分溶脱に及ぼす影響を把握するために、中型・大型の 2 種類とした。中型改良体は $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ の円柱供試体とし、相対密度が 60% となるように水中落下法によりプラモールド中の薬液に投入し作製した。大型改良体は、大型注入試験装置³⁾を利用して、目標設計範囲が 30cm となるように珪砂 7 号に薬液を浸透注入し、球状供試体を作製した。

(2) 実験概要

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。

中型の薬液改良供試体を作製後 1 日間空気中で養生させた後、6 日間の水中養生を行う。その後、薬液改良供試体を図 1. に示すように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) 供試体体積減少率確認、シリカ含有量の分布確認試験、一軸圧縮強度試験を実施する。ここでいう経過日数 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。なお、52 週以降については、未実施である。大型供試体については、球状供試体を等分割し、半球状の供試体について同じ条件で流水試験を実施している。

(a) シリカ分布確認試験

所定日数経過後、写真 1 に示すように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し、供試体内部の強度特性を把握することにより、供試体内部の劣化が見られるかどうかについて評価を行う。

表 1. 薬液 1ℓ 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)

表 2. 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

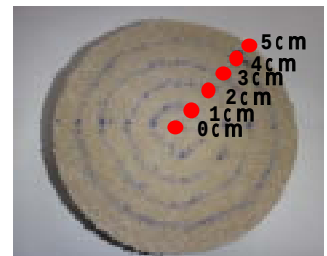


写真 1. サンプル位置

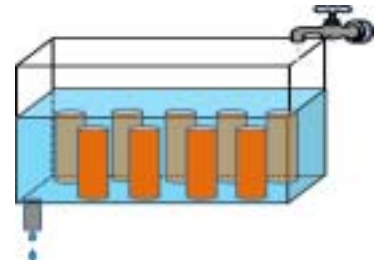


図 1. 流水試験状況

キーワード 薬液注入 一軸圧縮強度 シリカ 耐久性

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-2-5 共同通信会館 TEL 03-5575-0471

3. 実験結果

図2は流水環境下に設置した薬液改良体の体積変化をもとに求めた等価半径減少率の経時変化を示している。ここで、円柱形の中型供試体の等価半径減少率 dr/R は式(1)、半球形の大型供試体については式(2)より求めた。

$$\frac{dr}{R} = \frac{dV}{2\pi R^2 H} \dots \text{式(1)} \quad \frac{dr}{R} = \frac{dV}{2\pi R^3} \dots \text{式(2)}$$

(dr :半径減少量、 R :初期半径、 dV :体積減少量、 H :中型供試体高さ)

図2より、中型に比べ大型は等価半径の減少率が小さい。しかしながら、劣化し体積変化した半径減少量 dr は、中型が外周から約4.5mm、大型が外周から約4.7mmとほぼ同等となっている。このことから、同条件の場合(経過週数と流水環境など) 実現場における大型注入範囲の場合についても、劣化し体積減少する範囲は当試験と同等の有限な領域に限定されることが推測される。

図3は、中型供試体のシリカ含有量に関するICP試験の結果を示している。この結果よりシリカ含有量に一部バラツキはあるものの、概ね一定の値を示している。ただし、中心からの距離5cm(供試体外周部)のシリカ含有量については低下傾向にあることがわかる。これよりシリカの溶脱は地下水と接触する改良体の外周部から起こることがわかる。

図4は、中型供試体中心部の一軸圧縮強度の経時変化を示している。この結果より供試体中心部の一軸圧縮強度は経過週数とともに増加傾向にあることから、地下水の影響を受けていない部分の薬液改良に関しては強度・耐久性を保持すると考えられる。当結果の内部の強度保持は図3のシリカ含有量の結果からも確認できる。

また、中心部の強度増加は、薬液ホモゲルの体積収縮による見かけの拘束圧付加によるものだと考えられる。

以上のことより、薬液改良体は流水による物理的な影響を受け、外周部からのシリカ分の溶脱に劣化・体積減少を起こす一方で、経過週数とともに中心部の強度増加とシリカ含有量の安定が確認できた。

4. まとめ

- 1) 薬液改良体の劣化・体積減少は、改良体外側のシリカが溶脱することにより起こり、今回の条件の場合その範囲は改良体サイズによらず外周から5mm程度であることが確認できた。
- 2) 流水環境により薬液改良体の周囲はその影響を受けるが、内部に関してはシリカ含有量・強度など耐久性を保持することが確認できた。
- 3) 薬液の体積収縮に伴うみかけの拘束圧付加により、改良体中心部分の一軸圧縮強度が増加する。

5. 今後の方針

引き続き流水試験により、中型改良体と大型供試体の比較を行うと共に、薬液の体積収縮による見かけの拘束圧を定量化することで、薬液改良土の強度発現メカニズムと耐久性の保持を実証していく。

参考文献

- 1) 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” 土木学会第66回年次学術講演会、2011.9
- 2) 公益財団法人 鉄道総合技術研究所 “注入の設計施工マニュアル” p46,2011.10
- 3) 佐藤、赤木 “砂質土を対象とした動的および静的注入工法における固結形態について” 第47回地盤工学研究発表会 2012.7

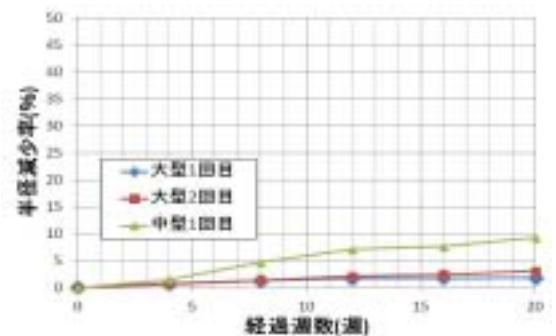


図2. 半径減少率と経過週数の関係

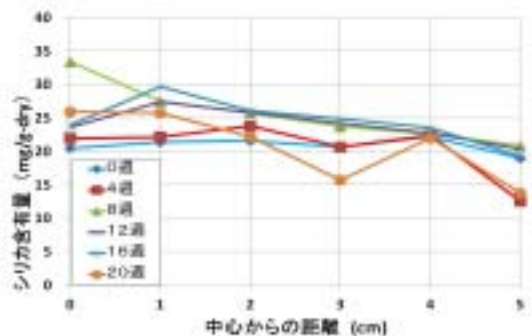


図3.シリカ含有量と中心からの距離の関係

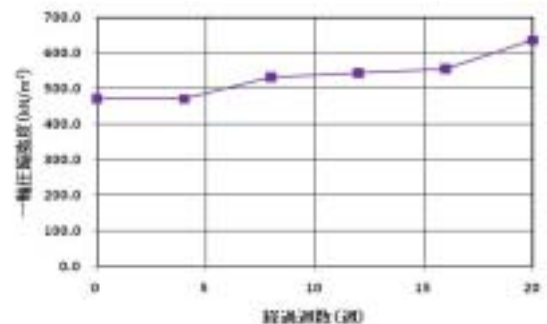


図4.一軸圧縮強度と経過週数の関係