

薬液改良砂の劣化に伴う止水性低下メカニズムについて

早稲田大学 学生会員 ○佐藤 友彦

早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一

早稲田大学 学生会員 平岡 陽

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、従来は仮設注入として地盤の短期的な改良効果を期待して用いられていたが、近年においては液状化対策としても用いられるようになり、長期的な改良強度を維持することが求められている。既往の研究¹⁾にて、薬液改良体の劣化は地下水の流れにより、薬液中のシリカ (SiO₂) が溶脱することが大きな要因であることが確認されている。しかし、既往の研究¹⁾においても、流水へのシリカ溶脱により、薬液改良体の1つの役割である止水性機能がどのように低下していくかは未だ明らかにされていない。本研究では、薬液改良砂の供試体を流水環境下に設置し、シリカ (SiO₂) の溶脱を促進させた後、フローポンプ透水試験法を用いて、薬液改良体の止水性低下メカニズム解明を試みた。

2. 流水試験概要

流水による劣化試験は以下のように実施した。試験に用いる供試体は小型モールド (φ50mm×100mm) 内に薬液を入れた後、珪砂 (ρ_s=2.62(g/cm³), D₅₀=0.18(mm)) の投入質量を調整しながらモールド内に水中落下させて作製した。供試体の目標相対密度は Dr=60%,80% の2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

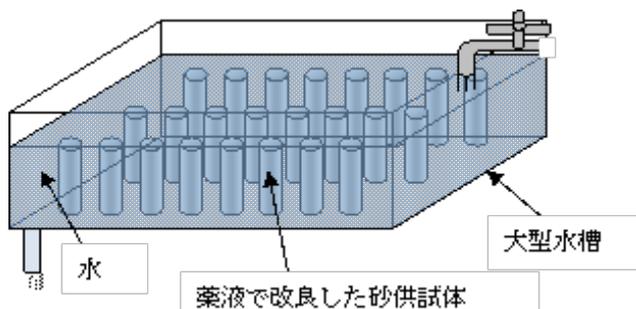


図1. 薬液改良供試体の大型水槽への設置状況

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、実地盤における地下水流速を 10⁻¹(cm/s) と仮定し、現場で直径 200 (cm) の球体で改良体を施工することを想定して、それと相似な現象を小型供試体で再現するための流速 3.01×10⁻³(cm/s) とした。なお、水槽は大型水槽の他に貯留水槽を1つ用意し、貯留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溶脱シリカの飽和を防いだ。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日が経過した後、大型水槽から供試体を取り出し透水試験を実施した。

3. フローポンプ透水試験概要

流水試験により、所定の経過日数の後、薬液改良体を流水環境下から取り出し、図2に示すフローポンプ透水試験装置を用いて透水係数を算出した。従来の透水試験は、10⁻⁵(cm/s) 以下のオーダーであれば JGS0311 に示すような変水位透水試験を用いるのが一般的である。本試験では、薬液改良供試体は透水性が非常に低く変水位透水試験が採用できなかったため、通常とは異なるフローポンプ法にて実施した。フローポンプ法は、送水流量と送水圧力および温度を継続的に測定することにより、それらの値から透水係数を算出する方法である。

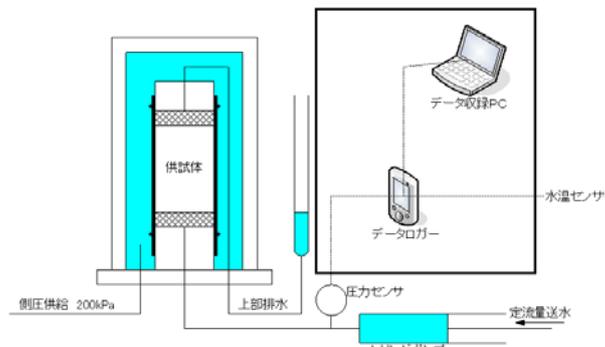


図2. フローポンプ透水試験装置

キーワード 薬液注入 透水係数 流水試験 有効断面積

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3に透水係数と経過日数の関係を示した。経過日数0日から28日にかけて、相対密度によらず経過日数に伴い透水係数が増加していることが分かる。したがって、この期間においては次第に薬液の止水性機能が低下していることが分かる。この透水係数の増加のオーダーとしては約2であり、薬液改良体は、流水との相互作用により、止水性機能が失われていくことが明らかとなった。しかし、その後28日以降は透水係数の増加は見られず、一定の値に収束する挙動を示している。

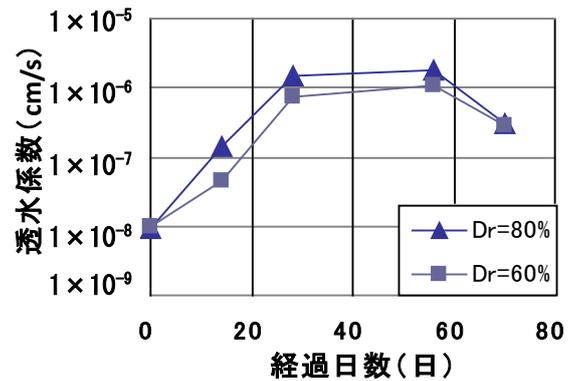


図3. 透水係数と経過日数の関係

この透水係数の増加の要因について考える。既往の研究²⁾より、流水環境下で、薬液改良体の強度を担うシリカが外周部から溶脱していくことが明らかとなっている。したがって、その薬液改良体の外周部から徐々に止水性機能が失われていると想定される。したがって図4に示すように、薬液改良体は、劣化に伴い改良体としての機能を果たす図3のフローポンプ試験の通水方向に対する有効断面積がシリカの溶脱により、少しずつ減少していくと考えられる。初期状態では薬液改良体の断面積は有効断面積と等しく、 A_0 の状態となっている。しかし、流水の影響により、薬液改良体の外周部のシリカが溶脱し、改良体としての機能を持つ有効な断面積が減少し A_c ($A_0 > A_c$) となったと考えられる。

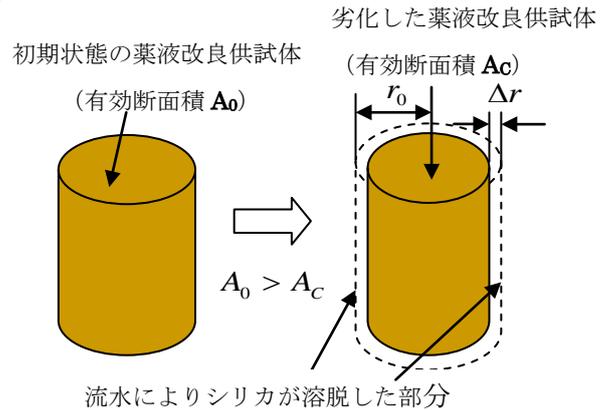


図4. 止水性低下メカニズム

次に図3の透水係数の値をもとに、有効断面積半径の減少値を試算してみる。図4より薬液改良体は改良体の機能を保つ有効断面とシリカが溶脱した範囲が混在していることに注意すると、平均透水係数 k_m は式(1)で求めることができる。

$$k_m = \frac{A_c k_c + A_1 k_1}{A_c + A_1} = \frac{\pi(r_0 - \Delta r)^2 k_c + \pi\{r_0^2 - (r_0 - \Delta r)^2\} k_1}{\pi(r_0 - \Delta r)^2 + \pi\{r_0^2 - (r_0 - \Delta r)^2\}} \quad \dots(1)$$

ここで、 A_c : 有効断面積 (cm²)、 A_1 : シリカ溶脱断面積 (cm²)、 k_c : 有効断面における透水係数(cm/s)、 k_1 : シリカ溶脱断面の透水係数(cm/s)、 Δr : 減少半径(cm)、 r_0 : 初期半径(cm)。

透水係数の測定値は k_m と等しいと考えられるので、式(1)を用いて薬液改良体の減少半径 Δr を求めることができる。 k_c は初期状態の透水係数とみなし 1×10^{-8} (cm/s)、 k_1 は初期状態より3オーダー大きい 1×10^{-5} (cm/s) とする。なお、経過日数28日以降は改良体の透水係数は約 1×10^{-6} (cm/s) でほぼ一定であり、平均透水係数 k_m を 1×10^{-6} (cm/s) とし、式(1)に代入し Δr を求めると0.13cmとなる。

すなわち改良体外周部からのわずかなシリカ溶脱により、平均透水係数は2オーダーの増加を生じるが、その後はほぼ一定の値となっているため、シリカ溶脱もその時点で生じなくなっていることが考えられる。この結果は別途行った溶脱試験の結果と対応している¹⁾。

5. まとめ

本研究は、改良体に対し流水試験で劣化を促進させ、フローポンプ透水試験により薬液改良体の止水性低下メカニズム解明を試みたものである。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) 改良体外周部からのわずかなシリカ溶脱により、平均透水係数は2オーダーの増加をしていた。
- (2) 透水係数は28日以降ほぼ一定となるため、シリカ溶脱もその時点でほぼ停止していると考えられる。

参考文献

1) 赤木、平岡、澤田“薬液で改良した砂地盤の経年変化特性について”土木学会第65回年次学術講演会、2010.9
 2) 平岡、赤木“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