

弾性波試験による薬液改良砂の劣化評価について

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

鉄道総合技術研究所 正会員 澤田 亮, 仲山 貴司

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。1995年に発生した兵庫県南部地震以降、既設構造物直下の地盤に対する液状化対策の要請が急増したことから、本工法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、薬液注入における長期耐久性実証実験²⁾に見受けられるように、薬液改良体の劣化を評価する手段としては、限られた部分の結果から全体の改良効果を予測する方法(透水試験や標準貫入試験)が多く、改良体全体の劣化具合を定量評価する方法は未だ確立されていないのが現状である。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、薬液改良砂の改良強度を比較的精度良く評価できることが確認されている弾性波試験³⁾を適用して劣化状況について実験的に検討した。

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特殊中酸性薬液を用い、表2に示す配合により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 (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

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

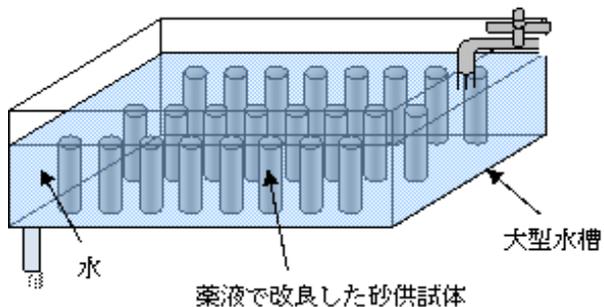


図1. 薬液改良供試体の大型水槽への設置状況

10⁻¹(cm/s)と仮定し、現場で直径200(cm)の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とした。計算の結果得られた流速は3.01×10⁻³(cm/s)であった。次にシリカの溶脱を促進させるため、促進倍率が10倍に相当する流速v=3.01×10⁻²(cm/s)を設定し供試体の劣化を促進させた。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実地盤と近い状態にした。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弾性波速度測定試験を実施した。その後、同じ供試体について一軸圧縮試験・シリカ含有量測定試験・透水試験を実施した。

キーワード 薬液注入 弾性波速度 透水係数 一軸圧縮強度

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に弾性波速度と経過日数の関係を示し、図3に一軸圧縮強度と経過日数の関係を示した。図3より、一軸圧縮強度は経過日数14日目までは増加しているが、これは薬液改良体が強度発現期間であったためと考えられる。14日目を最大強度として、その後は全体として低下していく傾向を示している。一方、図2よりP波速度もS波速度も14日目まで増加傾向を示しており、その後は全体として低下の傾向を示しており、弾性波速度と薬液改良砂の改良強度の変化は相関があると考えられる。P波速度はいずれの相対密度においても低下しており、Dr=60%においてはピーク時の速度から約350(m/s)ほど低下していた。一方で、S波速度はピーク時の速度から約150(m/s)ほどの低下であったため、薬液改良体の劣化を評価する際に、P波速度の方がS波速度に比べてより感度が良いといえる。

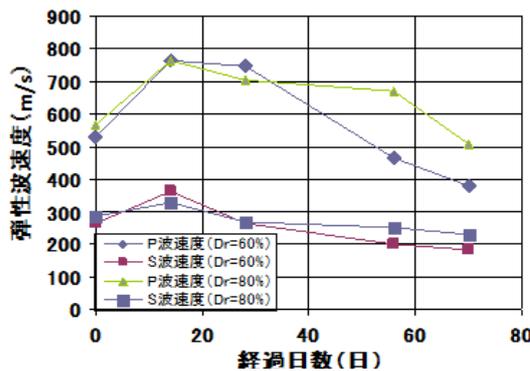


図2. 弾性波速度と経過日数の関係

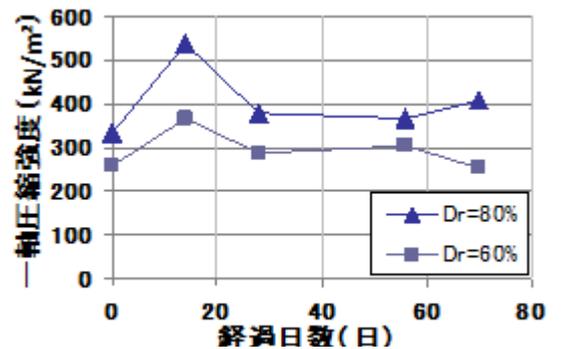


図3. 一軸圧縮強度と経過日数の関係

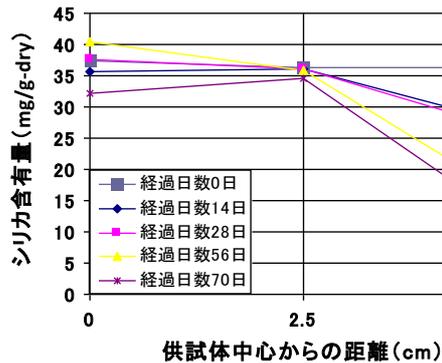


図4. シリカ含有量と供試体中心からの距離の関係

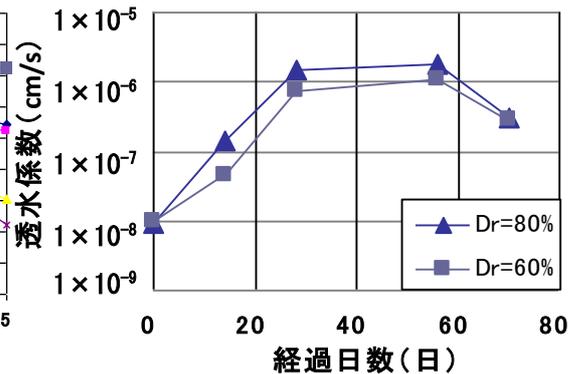


図5. 透水係数と経過日数の関係

この薬液改良供試体の劣化要因は、図4に示したシリカ含有量と供試体中心からの距離の関係から推定することができる。これはDr=80%の促進試験において、それぞれの経過日数において薬液改良供試体の中心からの距離が異なる位置で採取したシリカ含有量を測定した結果である。図4より、シリカ含有量は供試体中心付近では経過日数に伴う大きな低下は見られず、供試体外周部のみ経過日数とともに低下していくことが分かる。そのため、薬液改良体のシリカの溶脱による劣化は外周部から進行していることが明らかである。

図5に透水係数と経過日数の関係を示した。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ため、次第に薬液の止水機能が低下していることが分かる。これは図4より供試体外周部のシリカ溶脱に伴い、ゲル化部分の透水係数が増加したためと考えられる。また、透水係数の増加のオーダーとしては約2であり、図2を考慮するとこの透水係数の増加をより顕著に反映しているのはP波速度であると考えられる。

図5に透水係数と経過日数の関係を示した。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ため、次第に薬液の止水機能が低下していることが分かる。これは図4より供試体外周部のシリカ溶脱に伴い、ゲル化部分の透水係数が増加したためと考えられる。また、透水係数の増加のオーダーとしては約2であり、図2を考慮するとこの透水係数の増加をより顕著に反映しているのはP波速度であると考えられる。

5. まとめ

本研究は、薬液で改良した砂の劣化評価に対して、弾性波試験の適用性を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) 薬液改良砂の強度劣化評価において、P波速度の方がS波速度に比べてより感度が良いといえる。
- (2) シリカの溶脱は薬液改良体の外周部から進行し、それに伴い止水性が低下していくことが分かった。
- (3) 止水性の低下に関しても、S波速度よりP波速度の方が薬液改良体の劣化を適切に評価できると分かる。

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) 社団法人 地盤工学会 “薬液注入工法の理論・設計・施工”， pp128~130, 2009
- 3) 赤木、平岡“弾性波法に基づく薬液改良砂の力学特性評価について”地盤工学会第46回発表会、2011.7