

数値解析を用いた薬液改良体の長期耐久性能の評価法について

早稲田大学 学生会員 ○仲田 泰大
 早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
 早稲田大学 学生会員 森拓之, 門田桃子
 ケミカルグラウト (株) 川村淳, 渡邊陽介

1. 研究目的

日本は世界でも有数の地震大国であり、近年日本各地で大規模な地震による被害が発生している。その中でも阪神淡路大震災や東日本大震災において、埋め立て地を中心に発生した液状化の被害は甚大なものであった。その液状化対策の工法として薬液注入工法が多く用いられている。

薬液注入工法の課題としては、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) が長期的に溶脱していくことにより、一部で強度低下を起すことである。さらに、そのシリカ分の溶脱におけるメカニズムや、耐久性についての挙動は詳細に解明されていないのが現状である。ここでは、実地盤を模擬した環境に薬液供試体 ($\phi 5 \times h 10$ cm) を設置し、流水試験を行った。さらに、大型改良体を作製し流水試験（周辺に地盤なし）を行った。この室内試験の結果と数値解析により薬液改良体の長期耐久性能について検討した。

2. 実験方法

大型注入装置（図1参照）を用いて、飽和砂地盤に浸透注入することで、固結砂の供試体を作製した。使用した砂は珪砂7号、注入速度は1L/min、設計改良半径は15cmとした。使用した薬液は、特殊水ガラス濃度25%の注入剤Aと特殊水ガラス濃度20%にコロイダルシリカ3.75%を添加した注入剤Bの2種類である。その後、固結砂供試体を流水環境下に設置し、所定期間養生した後、固結砂供試体の質量を測定し、その結果を用いて球状の固結砂供試体の形状変化に相当する改良半径比を求めた。

さらに図2に示す装置を用いて、実地盤を模擬した流水試験を行った。使用材料は珪砂7号、特殊水ガラス濃度25%の注入剤Aを使用した。流水期間を1か月、2か月、3か月と設定し、所定期間経過後に土槽を解体し、供試体内部のシリカ含有量を調査した。これらの実験結果を用いて100年後の劣化予測を行った。

3. 結果と考察

改良体内部のシリカの拡散はFick則により推定され、このFick則を改良体表面のシリカ濃度が経時的に変化するとして解くと、式(1)のようになる。この式(1)を用いて劣化予測を行った。

$$c = s\sqrt{t} \left\{ \exp\left(-\frac{x^2}{4D \cdot t}\right) - \frac{x \cdot \sqrt{\pi}}{2\sqrt{D \cdot t}} \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}}\right) \right\} \dots (1)$$

ここで、 c ：固結砂供試体内部のシリカ濃度 (mg/g-dry)、 D ：拡散係数 ($\text{mm}^2/\text{年}$)、 s ：固結砂供試体表面のシリカ濃度係数 (mg/(g-dry) $\sqrt{\text{年}}$)、 x ：固結砂供試体中心からの距離 (mm)、 t ：経過時間 (年) である。

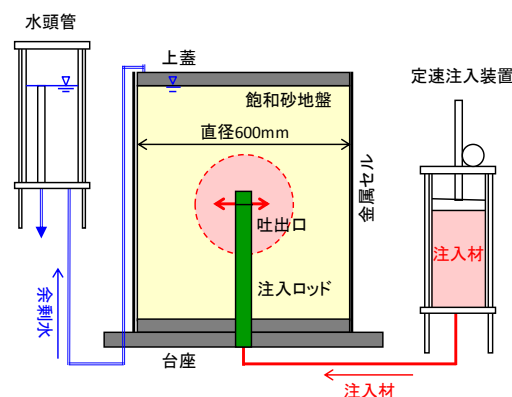


図1 大型改良体作製概要図

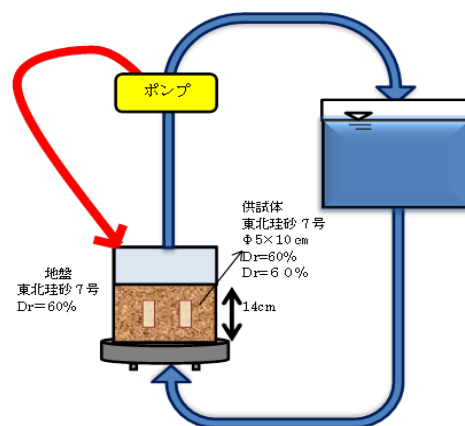


図2 流水試験装置概略図

キーワード 薬液注入 長期耐久性 拡散方程式

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

大型改良体においては、経時変化に伴う内部のシリカ濃度が分からないため、供試体が自立できるシリカの限界濃度を既往の研究¹⁾から 8.2mg/g-dry とし、実験で得られた改良半径比からフィッティングにより各係数を求めた(図3参照)。実地盤を模擬した流水試験は、実験で得られた経時変化に伴うシリカ濃度の変化を式(1)にフィッティングさせて係数を求めた(図4参照)。なお、拡散係数に関しては、改良体内部のシリカ濃度の移動速度を表すもので、使用する注入剤に依存することから、同じ注入剤を用いた場合は同様の値を用いた。さらに、相似則により拡散係数 D_A を異なる半径 $R_B (=N \cdot R_A, N>1)$ の球状改良体 B に用いると、拡散係数は N^2 倍されるため、改良体 B に用いるべき拡散係数 D_B は $D_B = D_A / N^2$ ($N = R_B / R_A$) で求められる。

上記の操作により各実験における式(1)を決定した。その式を用いて、半径 1m の改良体における 100 年後の劣化予測を数値計算した結果が図5である。改良体①は実地盤を模擬した流水試験の結果をもとに数値計算したものである。改良体②は2年間行った大型改良体(注入剤 B)の流水試験の結果をもとに数値計算したものである。改良体③は同じく2年間行った大型改良体(注入剤 A)の流水試験の結果をもとに数値計算したものである。改良体①と改良体③は同じ薬液を使用している。大型改良体(改良体②、改良体③)は周辺に地盤がなく、流水環境に直接さらしている。一方で、図2で示したように改良体①では、周辺に地盤がある。この地盤の有無が結果に影響しており、地盤がある方が劣化傾向は緩やかであり、地盤がないと劣化は早いことが確認できる。これは、以前中型供試体($\phi 10\text{ cm} \times h 20\text{ cm}$)を用いて流水試験を行った結果²⁾、崩落した上部の砂が供試体下部に堆積することによって、下部の半径減少が上部に比べて緩やかであったことから、今回の数値計算は妥当であると言える。また、注入剤 A の改良体に比べ注入剤 B の改良体の方が耐久性があるとされており、今回の結果も同様の結果が得られた。

3. まとめ

今回の実験により、一番劣化の激しい改良体③で 100 年後の劣化は $0.031 \times 1000\text{mm} = 31\text{mm}$ の劣化となることが予想される。また、試験環境において周辺に地盤があると劣化が緩やかであることが確認された。

～参考文献～

- 1) 仲山ら“薬液注入工法で固化した改良体の耐久性評価に関する研究” 土木学会論文集、2013 年 pp162-pp173
- 2) 仲田ら“薬液固結土のシリカ溶脱による耐久性性能について” 第 9 回地盤工学会関東支部発表会 2012 年

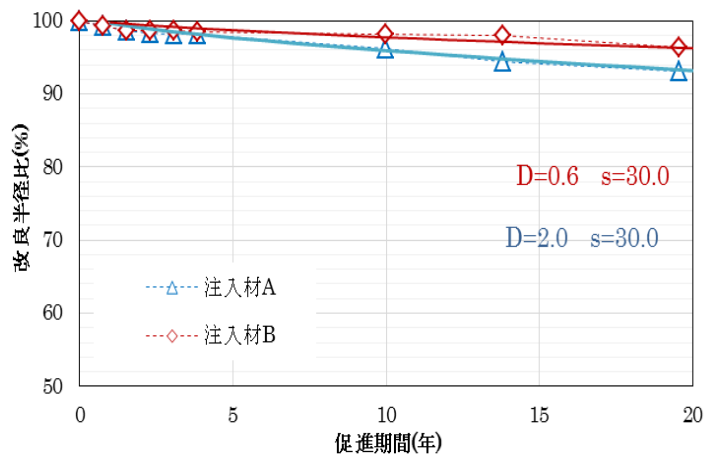


図3 改良半径比($r=0.15\text{m}$)

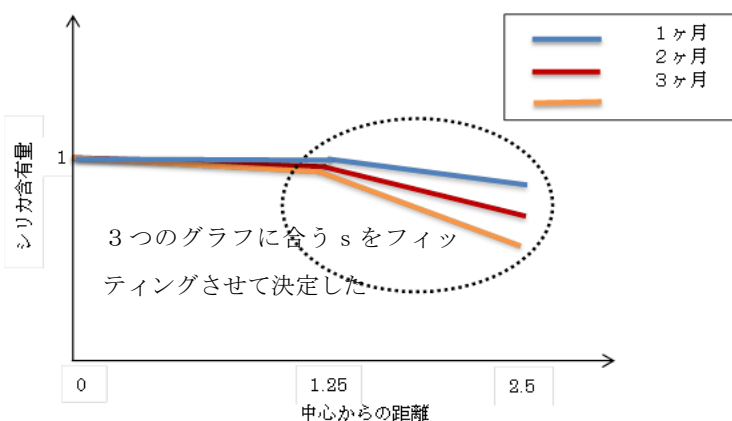


図4 実地盤を模擬した流水試験におけるフィッティング概要図

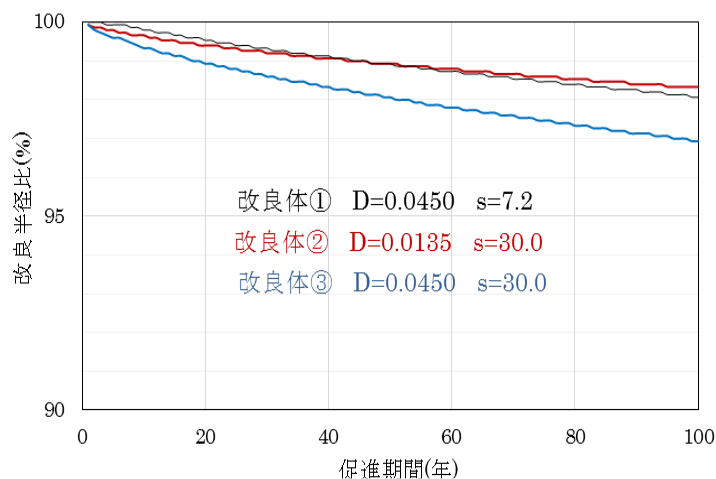


図5 100年後の改良半径比