

薬液改良体の流水環境下における長期耐久性能の評価

早稲田大学 学生会員 ○森 拓之

早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一

早稲田大学 学生会員 山崎 智

ケミカルグラウト (株) 正会員 川村 淳, 渡邊 陽介

1. 研究目的

我が国は世界有数の地震大国として知られており、平成23年(2011年)3月11日には東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震はマグニチュード9.0を記録し、日本の近代地震観測史上最大の地震であり、2000年以降に世界で発生した地震の中ではマグニチュード9.3を記録したスマトラ島沖地震に次ぐ規模となる地震である。この地震で再度注目を浴びたのは液状化現象である。被害は広域に及び、震源からの距離が遠い関東地方でも埋立地で大規模な液状化が起きた。このような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が挙げられる。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。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。

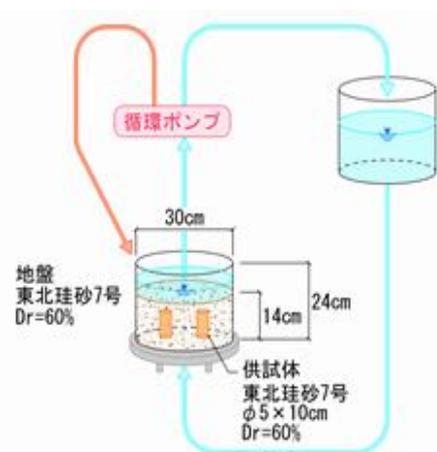


図-1 地下水流動環境試験

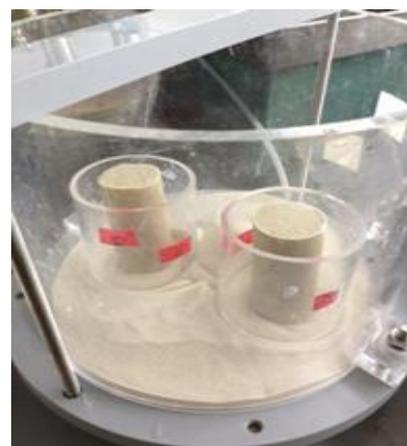


図-2 土槽の状況

2. 実験方法

図-1に示す装置を用いて、地下水流動環境を模擬した流水試験を行った。図-2に実験に用いた土槽と供試体の状況を示した。使用材料は珪砂7号、特殊水ガラス濃度25%の注入材を使用した。流水期間を1か月、2か月、3か月、6か月、8か月と設定し、所定期間経過後に土槽を解体し、ICP発光分析試験により供試体内部のシリカ含有量を調査した。土槽を循環する水については1か月ごとに採取し、供試体から溶脱していると考えられるシリカ量を調査した。これらの実験結果と数値解析により、100年後の劣化予測を行った。

また、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。

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

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 ($\text{mg}/(\text{g-dry}/\sqrt{\text{年}})$)、 x : 固結砂供試体中心からの距離 (mm)、 t : 経過時間 (年) である。

キーワード 薬液注入 流水試験 長期耐久性

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

3. 結果と考察

所定の流水期間終了後、ICP 発光分析試験により供試体内部と供試体外周部のシリカ含有量を調査した。供試体中心部からの距離とシリカ含有量の関係をまとめたものが図-3である。今回の試験では、φ5×h10 cmの薬液供試体を使用しているため3cmのプロットは供試体外周部に含まれるシリカ含有量を表している。

この結果から、供試体内部から供試体外周部に向けてシリカ含有量の減少傾向がみられること、供試体外周部のシリカ含有量はほぼゼロであることが確認できた。また、供試体中心部からの距離が1.25cm～2.5cm にかけてのシリカ含有量の変化量は流水期間が長くなるとともに増加することが分かった。

図-4 は固結砂のシリカ含有量と循環水のシリカ含有量をもとに、水ガラス配合に基づくシリカ含有量の理論値と実験値（供試体内部のシリカ含有量+循環水中のシリカ含有量）の時間的変化を示したものである。この結果から、多少のばらつきはあるものの、実験期間3,6か月では理論値と実験値がほぼ一致した。このことから、供試体内部から溶脱したシリカが水中に溶け出しており、薬液の水ガラス配合に基づくシリカ含有量収支が確認できた。

所定の流水期間終了後、実験で得られた改良体内部の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各係数を求めた。なお、拡散係数は改良体内部のシリカ濃度分布を支配するものであり、土粒子間隙媒質の物性に依存するものであると考えられるので、初期の水ガラス濃度に応じて定める定数とした。図-5 は、半径1mの球状改良体における100年後の劣化予測を数値計算したものである。実験値は流水土槽中に設置した薬液改良体の改良半径を実測により求めた値である。

4. まとめ

短期間の促進流水試験により、実験結果に基づく簡便な数値計算を用いることで長期的な劣化予測を行うことができた。また、薬液の水ガラス配合に基づく薬液固結砂からのシリカ溶脱に伴うシリカ含有量収支を実験的に確認することができた。

参考文献

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 C, Vol.69, No2,162-173, 2013

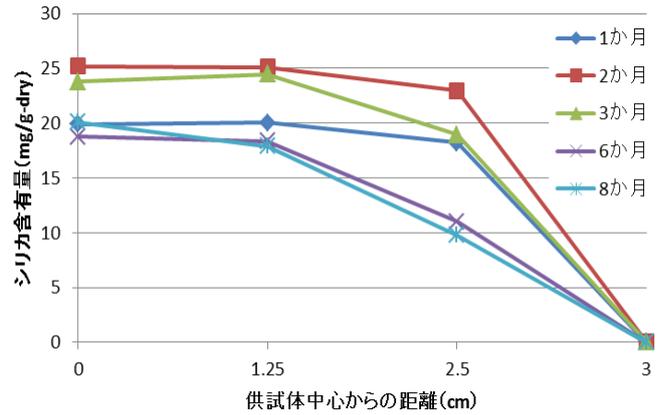


図-3 シリカ含有量と距離の関係

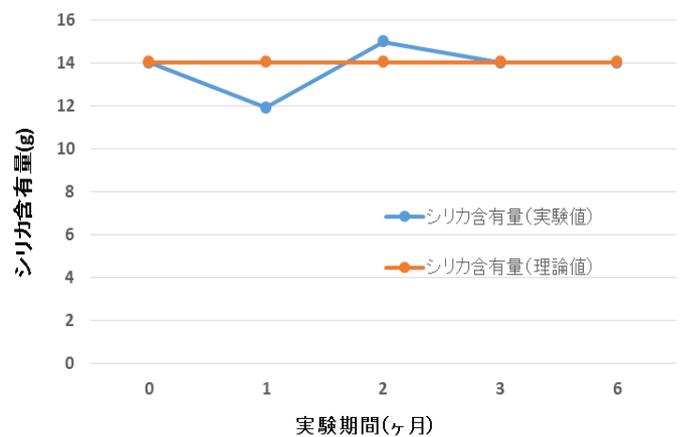


図-4 シリカ含有量収支

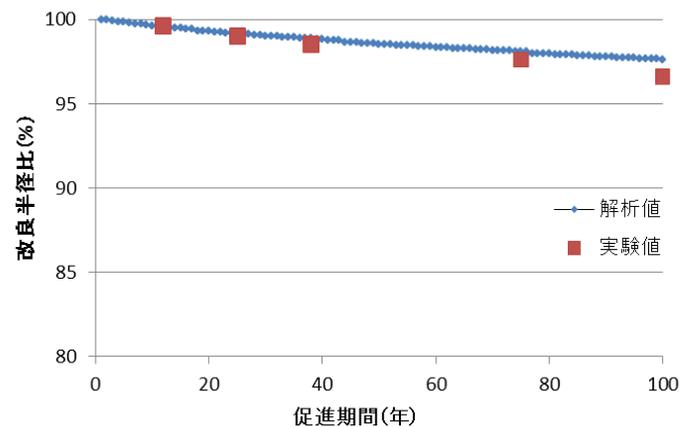


図-5 改良半径比