

高濃度薬液改良体の流水環境下における長期耐久性について

早稲田大学 学生会員 ○中道 馨

早稲田大学 学生会員 山崎 知

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 渡邊 陽介

1. はじめに

液状化現象は東北地方太平洋沖地震で再度注目され、その対策工法として薬液注入工法は多く用いられている。薬液注入工法の課題として、「これまで使用されている薬液注入材により改良された地盤強度は $q_u=100\sim200\text{ kN/m}^2$ 程度であるため、その構造物が受けると考えられる最大地震(レベル2地震)に対しては強度面において、適用不可となる場合もあること」「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、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」の2つが挙げられる。

1つ目の課題については、既往の研究¹⁾でシリカ濃度を高めることで薬液の強度は高めることができると報告されており、高濃度薬液で改良された地盤はレベル2地震時の液状化対策に有効であると期待される。

現在地盤の液状化判定には、繰返し非排水三軸試験の結果から得られる液状化強度比 R と地震時に想定される繰返しせん断応力比 L との比 R/L が用いられており、 $R/L>1$ であれば液状化対策に有効であるとされる。レベル2地震時のせん断応力比 L は1.2程度であるとされており、 $R/L>1$ を得るためには一軸圧縮強度 q_u は現場強度で 200 kN/m^2 、室内強度で 400 kN/m^2 程度が求められる²⁾。以上より、本研究においては $q_u>400\text{ kN/m}^2$ を目標値として設定した。

2つ目の課題については、通常薬液改良体内のシリカ分が水中に溶脱するメカニズムや、耐久性についての挙動は解明されている³⁾。

ここでは、実地盤を模擬した環境下で高濃度薬液供試体($\phi 50\times h100\text{ mm}$)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高濃度薬液改良体の長期耐久性について検討した。

2. 試験内容

図2.1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。使用材料は珪砂7号、シリカ濃度11.8%の特殊中性・酸性薬液を使用した。流水期間を1か月、2か月、4か月と設定し、土槽内に各流水期間4本ずつ供試体を設置した。土槽内に地下水を模した水を循環させ、所定期間経過後に土槽を解体し、供試体に対し一軸圧縮試験、針貫入試験、ICP発光分析試験を行った。土槽の循環水については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。

・針貫入試験(JGS 3431)

各流水期間において、2本の供試体に対して針貫入試験を行った。携行型針貫入試験機(図2.2)を用い、供試体の上

下面に対し12箇所ずつ(図2.3)針貫入試験を実施した。針の貫入長さが10mmに達するか、貫入荷重がその試験機の最大(本試験機では100N)に達した時点で針の貫入長さ L と貫入荷重 P を読み取り針貫入勾配 NP を算出する(式2.1)。

$$\text{針貫入勾配 (N/mm)} = \text{貫入荷重(N)} / \text{貫入長さ(mm)}$$

...(式2.1)

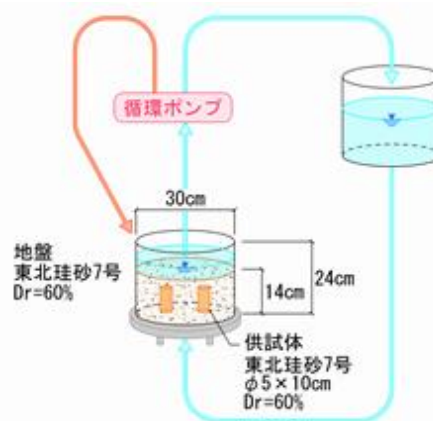
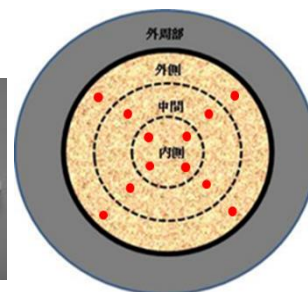


図2.1 地下水流動環境試験



図2.2 針貫入試験機



●: 針貫入試験箇所

図2.3 針貫入試験、

ICP 試験箇所

・一軸圧縮試験(JIS A 1216:2009)

各流水期間において、2本の供試体に対して一軸圧縮試験を行った。

・ICP発光分析試験(JIS K 0116:2014)

土槽内の循環水と流水試験終了後の供試体に対して、そのシリカ濃度を測定するためにICP発光分析試験を実施した。供試体は図2.3に示すように、半径方向に外側・中間・内側の3つに分割し、サンプリングを行った。

・劣化予測手法

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解くと、(式2.2)のようになる。この(式2.2)を用

いて劣化予測を行った。

$$c = s\sqrt{t} \left\{ \exp\left(-\frac{x^2}{4D \cdot t}\right) - \frac{x \cdot \sqrt{\pi}}{2\sqrt{D \cdot t}} \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}}\right) \right\} \dots \text{(式 2.2)}$$

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(mm²/年)， s ：固結砂供試体表面のシリカ濃度係数(mg/(g-dry/√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。

3. 試験結果

図 3.1 に所定の流水期間経過後の高濃度薬液供試体に対する一軸圧縮試験の結果を示す。一軸圧縮強さは流水期間 1 か月で 600kN/m² 程度であったが、4 か月で 960kN/m² 程度となり、流水期間 4 か月では、高濃度薬液改良体の一軸圧縮強さは増加する傾向が見られた。高濃度薬液として、 $qu > 400 \text{ kN/m}^2$ を目標値としているから、流水期間 4 か月以内においてはこの目標値を満足する結果となった。

図 3.2 に所定の流水期間経過後の高濃度薬液供試体に対して実施した針貫入試験の結果と ICP 発光分析試験結果により得られた供試体内のシリカ濃度を示す。流水期間が長くなるほど、流水環境下の高濃度薬液供試体の針貫入勾配は大きくなる傾向にあり、同流水期間においては、中心から外側にかけて高濃度薬液改良体の針貫入勾配は低下していく傾向が見られた。また、供試体内のシリカ濃度も同様に中心から外側にかけて低下していく傾向が見られた。これは、流水に接している供試体の外側部分から多くのシリカが水中に溶脱しており、それによって供試体の外側部分の強度が低下したためと考えられる。

ICP 発光分析試験で得られた経時変化に伴う薬液改良体のシリカ含有量の変化を(式 2.2)にフィッティングさせて各係数を求めた。なお、ここでの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 3.3 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。一般配合とは、森ら⁴⁾によるシリカ濃度 6.2%の薬液改良体を用いた同様の試験の結果を用いた。また、実験値と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。これによると高濃度配合は一般配合に比べ、シリカの水中への溶脱による劣化は小さく、100 年経過時においても 98.5%程度の改良半径比を保持していると推定できる。

4. まとめ

流水環境下ではシリカ濃度を高めた高濃度薬液改良体の一軸圧縮強さは増加する傾向にあり、4 か月経過時ではレベル 2 地震時の液状化対策に有効であると言える強度を得た。また、針貫入勾配は流水期間の経過に伴い外側と内側で強度の差が大きくなり、供試体の外側からシリカが溶脱していき、劣化していくことが分かった。だが、高濃度薬液改良体のシリカの溶脱による劣化は一般配合に比べて小さく、100 年経過時においても 98.5%程度の改良半径比を保持していると推定できる。

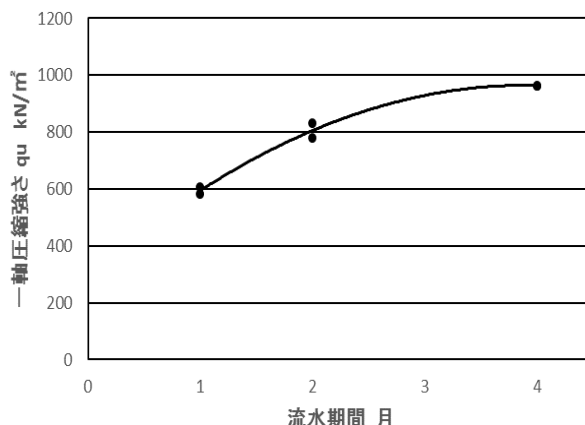


図 3.1 一軸圧縮強さの推移

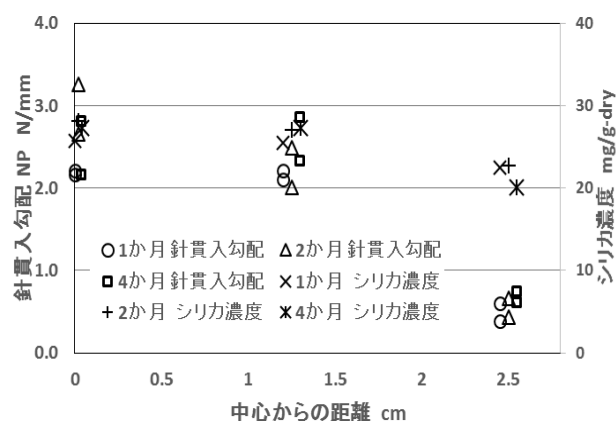


図 3.2 針貫入勾配とシリカ濃度の推移

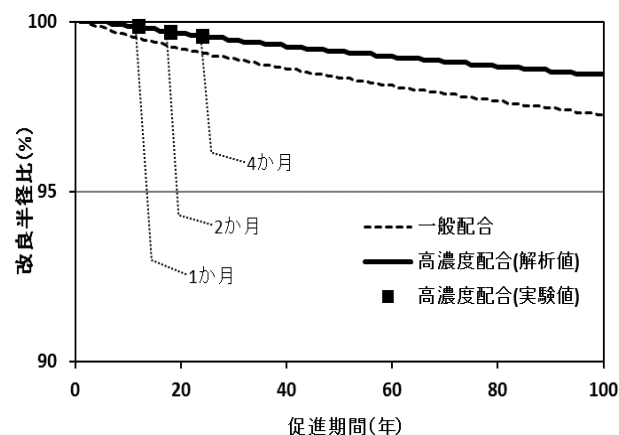


図 3.3 改良半径比

<参考文献>

- 1)山崎，赤木：薬液固結砂の高強度化と液状化強度特性，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016
- 2)浸透固化処理工法研究会“既設構造物の液状化対策浸透固化処理工法”
- 3)仲山，澤田，平岡，赤木：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（地圏工学）Vol. 69(No. 2) p.162 - 173，2013
- 4) 森，山崎，赤木：薬液改良体の流水環境下における長期耐久性能の評価，第 43 回土木学会関東支部技術研究発表会，2016