

薬液注入地盤の強度特性に関する研究

武蔵工業大学 学生会員 ○栗原 聡

武蔵工業大学 正会員 末政 直晃

強化土エンジニアリング株式会社 正会員 島田俊介 佐々木隆光

1. はじめに

1995年に発生した阪神・淡路大震災以来、既設構造物基礎の耐震性強化を目的として、液状化防止対策や基礎の補強が要求されるようになってきた¹⁾。近年、薬液注入工法は、既設構造物直下の液状化対策工法としても注目されている。しかし、薬液注入による強度発現メカニズムは未だ不透明な点があり、実験または経験による設計法が行われている。強度発現メカニズムを解明することができれば、対象とする地盤の性質に応じて、適切な注入材あるいは薬液の配合を決定でき、薬液注入工法はコストや性能の面でより効果的な対策工法となる。本研究では、粒径の異なる砂を試料とした薬液注入供試体を用い、薬液注入による改良効果・強度特性の把握、既往の研究による豊浦砂薬液注入供試体との強度特性の比較、及び強度推定を検討した。

2. 一軸圧縮試験

薬液注入体の強度特性の把握を目的として、一軸圧縮試験を行った。供試体には、表-1に示す物性条件の硅砂4, 7, 8号を試料に用い、空中落下法により相対密度 $Dr=60\%$ に詰め、シリカ濃度 $SiO_2=6\%$ の薬液を注入したものを恒温恒湿槽で30日養生した。試験では、30日養生した注入供試体を直径35mm、高さ70mmに整形し、1%/minのひずみ速度で圧縮した。

図-1に一軸圧縮試験による圧縮応力 σ と圧縮ひずみ ε の関係を示す。一軸圧縮強度では、硅砂4号だけが値が著しく低くなっている。また、他の試料の供試体では破壊時にせん断面が確認できたのに対し、硅砂4号はせん断面が見られず、押しつぶされるような破壊形状をとった。破壊ひずみについては、それぞれ異なる値をとっている。これは、それぞれの供試体が相対密度は一致しているが間隙比は異なっているため、薬液充填量が異なるためであると考えられる。硅砂7, 8と豊浦砂に関しては、間隙比が小さいほど、破壊ひずみが小さくなった。

3. 強度推定

既往の研究²⁾では、強度発現の概念に基づき(1)式により豊浦砂の一軸圧縮強度の強度推定がなされた。

$$q_u^* = \frac{2 \sin \phi_d}{1 - \sin \phi_d} (P_1 + P_2) \quad (1)$$

ϕ_d : 注入体の内部摩擦角, P_1 : ゲルの収縮効果による拘束圧, P_2 : ゲルの粘着力による拘束圧である。硅砂4, 7, 8

表-1 試料の物理特性

硅砂4号	
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.666
平均粒径 D_{50} (mm)	0.373
最大間隙比 e_{max}	0.780
最小間隙比 e_{min}	0.521
硅砂7号	
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.640
平均粒径 D_{50} (mm)	0.179
最大間隙比 e_{max}	1.100
最小間隙比 e_{min}	0.645
硅砂8号	
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.630
平均粒径 D_{50} (mm)	0.122
最大間隙比 e_{max}	1.422
最小間隙比 e_{min}	0.757
豊浦砂	
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.648
平均粒径 D_{50} (mm)	0.190
最大間隙比 e_{max}	0.993
最小間隙比 e_{min}	0.604

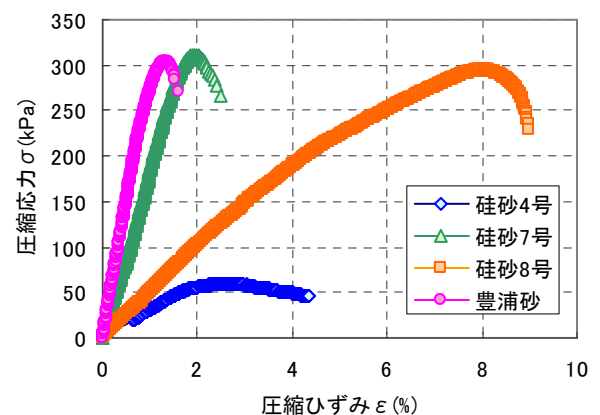


図-1 一軸圧縮試験結果

キーワード：薬液注入，液状化，一軸圧縮強度，強度推定

連絡先：〒158-8557 東京都世谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 TEL03-5707-2202 E-mail: nsuemasa@sc.musashi-tech.ac.jp

号の収縮量実験, 定圧一面せん断試験から得られた値から ϕ_d , P_1 , P_2 を求め, (1)式より強度推定を行い, 一軸圧縮試験の結果と比較し推定式の妥当性を検討した.

4-1. 収縮効果による拘束圧の発生

珪砂 4,7,8 号の収縮特性を求めるため, 収縮量測定実験を行った. 実験に用いる供試体は, 直径 50mm, 高さ 100mm の金属円筒中にゴムスリーブを負圧により密着させ, 空中落下法を用いて相対密度 60% となるように詰めて作製した. これを三軸圧縮試験機に設置し, 供試体に段階的に負圧を付与して圧縮させ, 軸ひずみと直径を測定した. ここで得られた測定値より, 体積ひずみ ε_s を求めた. 図-2 に収縮量測定実験の結果とホモゲルの ε_c-P 関係を示す. ゲルの収縮効果による拘束圧 P_1 は, 同実験から得られた砂の ε_s-P 線とホモゲルの ε_c-P 線の交点での拘束圧で定義される²⁾. 砂の収縮量は, 拘束圧が大きいくほど増大し, 間隙が大きい供試体ほど大きくなっている.

4-2. ゲルによる粘着力の付加

ゲルの粘着力による仮想的な拘束圧 P_2 は, (2)式より算

$$\text{出した. } P_2 = \frac{e}{1+e} \cdot \frac{q_{uc}}{2 \tan \phi_d} \quad (2)$$

$e/1+e$: 供試体におけるゲルの割合, q_{uc} : ゲルの一軸圧縮強度, ϕ_d : 注入供試体の内部摩擦角である.

4-3. 推定一軸圧縮強度

ϕ_d, P_1, P_2 より(1)式から強度推定を行った. 表-2 に推定一軸圧縮強度 q_u^* と一軸圧縮強度 q_u を示す. 珪砂 7 号では, 実験値と推定値が同じような値をとったが, 珪砂 4, 8 号では値が合致しなかった. 珪砂 4 号に関しては, 比表面積が小さく, 粘着力が低くなり, 収縮効果が発揮されなかった為に一軸圧縮強度が小さくなったと思われる. 珪砂 8 号に関しては, (1)式による推定強度が内部摩擦角 ϕ_d によるところが大きいのので, 粒径が小さく内部摩擦角 ϕ_d が小さくなるため, (1)式が適応できなかったと思われる.

5. 強度評価

強度推定を行うにあたり, 粒子径に左右されない強度指標を検討する必要がある. そこで, 比表面積に着目した. 比表面積は, $Dr=60\%$ における間隙比 e と平均粒径 D_{50} の値から算出した 1mm^3 当たりの粒子の数と粒子 1 粒の表面積の積で, 粒子が薬液に接する面積と仮定している. 図-3 に一軸圧縮強度と比表面積の関係を示す. 比表面積がゼロの点にホモゲルの一軸圧縮強度を用いた. また, 実験に用いた試料の他に, 佐々木らの研究³⁾による珪砂 6 号, 現場で採取した試料(古賀, 富津, 和歌山, 神戸)の値も併記した. 一軸圧縮強度と比表面積には線形関係がみられ, 比表面積に比例する薬液と粒子の付着力が一軸圧縮強度に影響を与えることが示唆される.

<参考文献>

1)米倉亮三, 島田俊介, 木下吉友: 恒久グラウト注入工法, p5, 2)諏訪裕哉ら: 低シリカ濃度の薬液を用いた改良体の強度増加メカニズム, 土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.61st No.Disk 1.3-128, 2006, 3)強化土エンジニアリング: 強化土技術資料

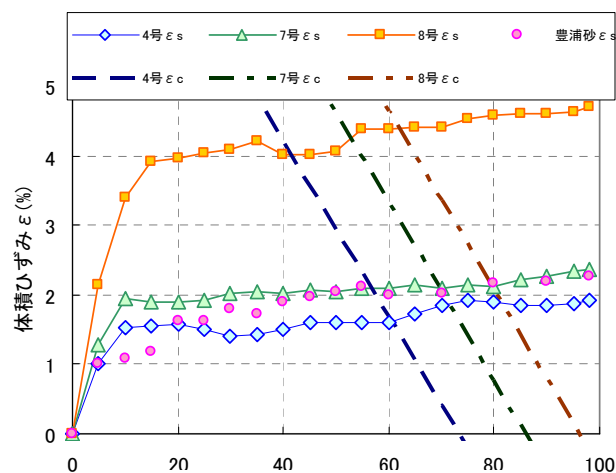


図-2 体積ひずみと拘束圧の関係

表-2 推定強度

	$\phi_d(^{\circ})$	$P_1(\text{kPa})$	$P_2(\text{kPa})$	$q_u^*(\text{kPa})$	$q_u(\text{kPa})$
珪砂4号	41.1	61.0	2.4	243.2	60
珪砂7号	43.5	70.0	2.6	320.6	311
珪砂8号	37.5	62.5	3.6	205.6	295
豊浦砂	41.5	65	2.6	265.4	304

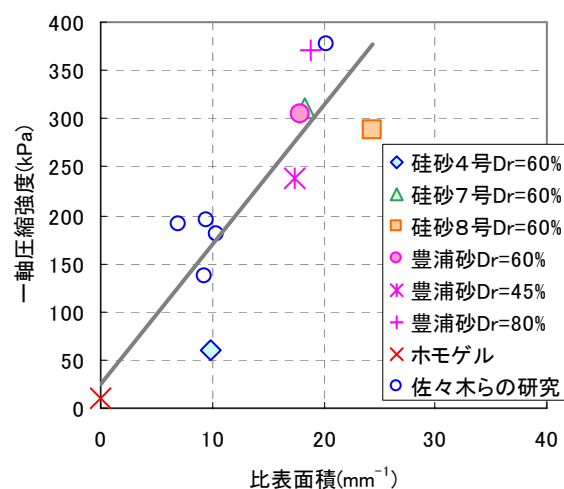


図-3 比表面積と一軸圧縮強度の関係