

高濃度薬液固結砂の長期強度特性および針貫入試験による強度推定について

早稲田大学 学生会員 ○山本 馨
 早稲田大学 学生会員 山崎 知
 早稲田大学 学生会員 中道 馨
 早稲田大学 国際会員 赤木 寛一
 ケミカルグラウト (株) 川村 淳 渡邊 陽介

薬液注入工法 高濃度 針貫入勾配

1. はじめに

日本は世界有数の地震大国であり、近年各地で大規模な地震による被害が発生している。既設構造物直下の地盤の液状化対策には薬液注入工法が有効であるとされているが、現在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 $q_u = 100\sim 200\text{kN/m}^2$ 程度であるため、大地震時に強度面において適用不可となる場合がある。本研究では薬液固結砂の適用範囲拡大を目指し、一般配合と比較してシリカ濃度の高い薬液注入材を使用し、 $q_u > 400\text{kN/m}^2$ を目標値として設定し、360日の長期間養生した薬液改良体に対して一軸圧縮試験を実施することで強度特性を確認した。

また液状化対策など薬液注入工法による改良体の長期耐久性を期待する工法では、施工後に改良地盤の強度確認が義務付けられている。しかし施工現場においては、一軸圧縮試験を実施することが可能な十分な長さでかつ自立する供試体を得られないこともあり、強度確認試験が直接的に行えない状況も存在する。その場合、事前の室内配合試験時に得られるシリカ濃度と一軸圧縮強さの推定式から間接的に換算する方法がある。しかし、これは間接的な方法であることから、より簡易かつ迅速に強度の推定ができることが望ましい。そこで針貫入試験を実施し、得られた貫入力を地盤の強度に変換することができれば、少量の試料でも簡易的に強度を評価する新たな手法になり得ると考え、一軸圧縮試験と同時に針貫入試験を実施し、一軸圧縮強さと針貫入勾配との関係を取りまとめた。

2. 試験内容

2.1 試験条件

特殊中性・酸性系薬液 A および東北珪砂 7号を使用し、浸透注入法により供試体を作製した。供試体の寸法は $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、シリカ濃度は 6.2% および 11.8%、目標相対密度 60% である。作製した改良体は密閉容器内に保管し、容器底面に水を張ることで温度 22°C 程度、湿度 90% 以上の湿潤状態を保ちながら養生を行った。

珪砂 7号の物性値を表 2.1 に示す。

2.2 実験手順

・浸透注入法による供試体作製

浸透注入法の様子を図 2.1 に示す。アクリルモールド ($\phi 50 \times 150\text{mm}$) に、高さが 100mm になるように砂を詰めてケース内に設置し、薬液注入時の改良体の飽和度を高めるためにケースの中を脱気し、脱気が完了したら気圧差を利用して薬液をモールド内に浸透させていく。

・針貫入試験 (JGS 3431)

中道らの研究⁴⁾より、自動針貫入試験機の試験結果のばらつきと、携帯型試験機の試験結果のばらつきはほぼ同程度とされている。したがって本研究では携帯型試験機 (図 2.2) を使用して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)。

携帯型針貫入試験は各材齢 2 本ずつ、合計 20 本の供試体について試験を実施した。供試体について針貫入試験を実施した箇所を図 2.3 に示す。各供試体の上部、中部、下部について、それぞれ 4 方向から、合計 12 か所について試験を実施した。

$$\text{針貫入勾配} = \frac{\text{貫入荷重}}{\text{貫入長さ}} \quad \dots (\text{式 2.1})$$

(N/mm) (N) (mm)

・一軸圧縮試験 (JGS 0511)

3, 7, 14, 28, 90, 180, 360 日間養生時に一軸圧縮試験を実施した。試験本数は各材齢 4 本ずつ、合計 28 本の供試体について試験を行った。このとき各材齢において、4 本の内 2 本は針貫入試験を実施した後のものを使用した。

表 2.1 珪砂 7号：物性値

項目	記号	単位	数値
土粒子密度	ρ_s	g/cm^3	2.62
最大間隙比	e_{max}	-	0.931
最小間隙比	e_{min}	-	0.613
60% 粒径	D_{60}	mm	0.18

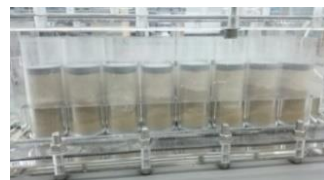


図 2.1 浸透注入法



図 2.2 携帯型針貫入試験機

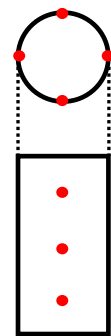


図 2.3 針貫入試験箇所

3. 試験結果

図 3.1 に一軸圧縮試験結果を示す。今回使用したシリカ濃度 11.8% の薬液による供試体は養生日の経過とともに一軸圧縮強さが増加する傾向を示し、360 日養生時で平均強度 742kN/m^2 を得た。これはシリカ濃度 6.2% の薬液改良体と比較して 2 倍程度高い強度となっており、目標強度 $q_u > 400\text{kN/m}^2$ も満足する結果となった。したがってシリカ濃度を高めた薬液改良体は長期間にわたりその強度を保持することが確認できた。

図 3.2 に一軸圧縮強さ q_u と変形係数 E_{50} の関係を示す。一軸圧縮強さが大きくなるに従い、変形係数も大きくなる傾向を示しており、以下の式のように線形近似できることがわかる。この結果は既往研究¹⁾と比較しても妥当な結果と言える。

$$E_{50} = 81q_u \quad \dots(\text{式 3.1})$$

図 3.3 に携行型試験機による針貫入試験の結果を示す。針貫入試験は材齢ごとに 2 本の供試体について 12 か所実施したため、針貫入勾配の全体平均値は、その計 24 か所の計測結果の平均を用いている。これによると、シリカ濃度 6.2% の薬液改良体は材齢 28 日時点では針貫入勾配は 1.0N/mm 程度であるが、シリカ濃度 11.8% の薬液改良体は材齢 28 日時点で 2.92N/mm 程度、180 日時点では 3.54N/mm 程度、更に 360 日時点では 4.00N/mm となり、一軸圧縮強さと同様に、養生日数の経過に伴い針貫入勾配は増加する傾向が見られた。

図 3.4 に、針貫入試験と一軸圧縮試験をどちらも実施した 20 本の供試体から得た、針貫入勾配と一軸圧縮強さの関係を示す。針貫入勾配の増加に伴い、一軸圧縮強さも指数関数的に増加する傾向が見られた。そこで、一軸圧縮強さ q_u を針貫入勾配 NP の指数関数と近似すると、以下の関係式が得られた。

$$q_u = 285NP^{0.599} \quad \dots(\text{式 3.2})$$

なお関係式とデータ間の決定係数は $R^2 = 0.637$ であった。

既往研究²⁾の通り、薬液改良土において針貫入勾配と一軸圧縮強さの相関関係は確認でき、一軸圧縮強さは針貫入勾配の指数関数として表せる結果が得られた。今回のように関係式が得られれば、針貫入試験を実施することにより、間接的に一軸圧縮強さを推定することができる。また、針貫入試験は少量な試料に対しても行える試験であることから、強度推定の簡易化が望める。

4. まとめ

本研究により、シリカ濃度 11.8% の薬液改良体について、養生期間の経過に伴って一軸圧縮強さが増加していく結果が得られた。360 日養生時においてシリカ濃度 6.2% の薬液改良体と比較して 2 倍程度高い強度が発現しており、目標強度としていた $q_u > 400\text{kN/mm}^2$ も満足する結果となった。高濃度特殊中性・酸性系薬液改良体は長期的にその強度を十分に発現することが確認できた。

また薬液固結砂に対して、針貫入勾配と一軸圧縮強さの相関関係が得られることが確認でき、この関係は針貫入試験によって一軸圧縮強さを簡易的に推定するのに役立つことが期待できる。

<参考文献>

- 1) 沿岸技術ライブラリー “浸透固化処理工法技術マニュアル”
- 2) 宗村・北村：針貫入試験による一軸圧縮強度の推定例全地連「技術 e-フォーラム 2009」, 2009 年
- 3) 山崎, 赤木：薬液固結砂の長期強度特性について (その 1), 第 52 回地盤工学会研究発表会, 2017 年
- 4) 中道, 赤木：高濃度薬液固結砂の長期強度特性について (その 2), 第 52 回地盤工学会研究発表会, 2017 年

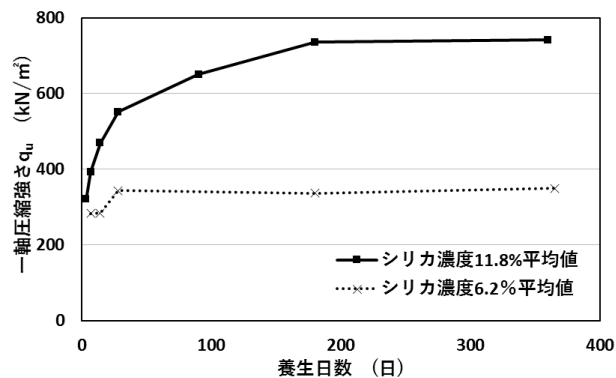


図 3.1 一軸圧縮試験結果

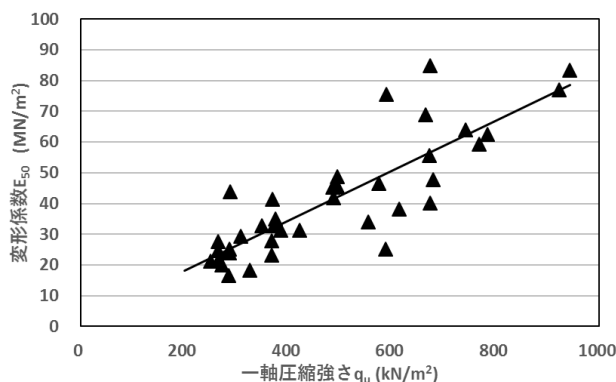


図 3.2 一軸圧縮強さと変形係数の関係

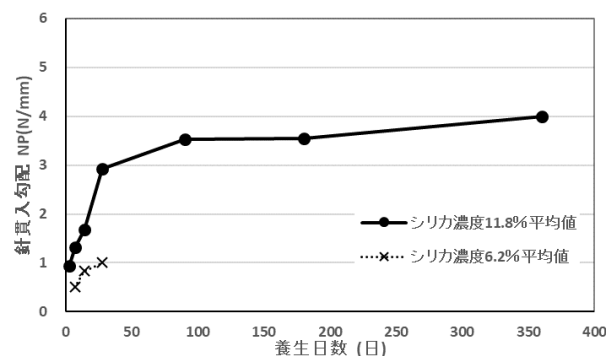


図 3.3 携行型試験機による針貫入勾配

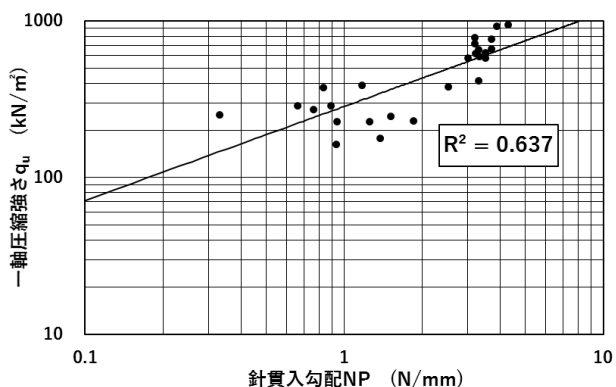


図 3.4 針貫入勾配と一軸圧縮強さの関係