

薬液注入定量分析値と諸物性の関係について

J R 東日本研究開発センター 正会員 ○藤沢 一
ジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社 正会員 土井 博己

1. はじめに

現在の注入薬液の9割以上は水ガラス系である。水ガラス ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) の成分であるシリカ (SiO_2) とナトリウム (Na) を地盤採取試料より定量分析することで注入薬液量を確認することが可能であり、それらから注入率等の算出が可能である。注入地盤のこれらの分析値と比抵抗、地盤強度定数の関係を検討したので以下に報告する。

2. 試験地盤、及び注入概要

注入した地盤の土質柱状図、及び注入深度を図1、物理定数、透水係数を表1に示す。注入地盤は砂、シルトが卓越するシルト質細砂層であり、透水係数は 10^{-4} オーダーである。

注入概要を表2に示す。注入は図1に示すように GL-10~12 付近のシルト質細砂層に2深度で行った。注入孔の平面的配置は、縦6孔 (1.5m離れ) 横2列 (2m離れ) の全12孔であり、2深度の全24点で注入した。注入速度は浸透注入を行うために限界注入速度¹⁾を測定し、限界注入速度 q_r は約 $2 \sim 3$ $\%$ /min となったため、各注入点の注入速度は $1 \sim 8$ $\%$ /min とした。注入固結体は、深度10.7mでは高さ約1m、直径約0.6mの形状であったが、深度12mでは、一部砂層に注入固結体が認められたが、密なシルトの互層の影響により明瞭な固結体は形成されなかった。

3. 定量分析、及び比抵抗測定

定量分析²⁾は、一軸圧縮試験の供試体形成時の削りくずを用いて注入薬液に含まれる非晶質シリカとナトリウムの含有量をフレーム光度法とモリブデン黄吸光度法で分析した。同様の検体で比抵抗を4極法で測定した。

4. 定量分析値と強度特性値等の関係

(1) 注入率の推定値と一軸圧縮強さの相関性

注入率の推定値と一軸圧縮強さの関係を図2に示す。明瞭な正の相関を示しており、直線回帰をみても相関係数が0.85以上である。シリカの溶出量から推定した注入率とナトリウムの溶出量から推定した注入率との比較では前者の方が、わずかに相関が良いことがわかる。注入部分の強度や剛性の増加は、シリカゲルの填充状態に支配されることから、ナトリウムからの推定値よりもシリカからの推定値との相関が高くなるものと考えられる。

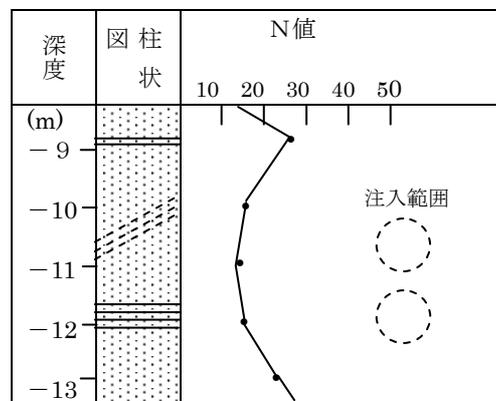


図1 土質柱状図、及び注入深度

表1 地盤の物理定数・透水係数

深度 (GL-m)	10.8~11.3	12.0~12.5
土質	シルト質細砂	
湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	1.69~1.88	1.65~1.74
含水比 W_n (%)	32.9~49.8	41.4~53.4
間隙比 e	0.89~0.37	1.16~1.47
粒度組成 (%)		
砂分	66.0	32.0
シルト分	26.0	56.0
粘土分	8.0	12.0
均等係数 U_c	15	23
曲率係数 U_c'	3.7	4.6
一軸圧縮強さ (kN/m^2)	78.0~ 158.0	98.0~ 200.0
変形係数 (kN/m^2)	5280~ 8860	4400~ 9790
透水係数 (cm/sec)		
回復法	1.2×10^{-3}	4.0×10^{-4}
注入法	8.72×10^{-4}	4.84×10^{-5}

表2 注入概要

注入深度 (GL-m)	10.7	12.0
注入工法	右側 6孔	二重管ロッド複合法
	左側 6孔	二重管ダブルバッカー工法
使用薬液	溶液型水ガラス系薬液	
注入量 ($\%$)	ショット9/ロング 100	
注入速度 ($\%$ /min)	2,4,8 (二重管ロッド複合) 1,2,4 (二重管ダブルバッカー)	
ゲルタイム (分)	ショット2 sec/ロング 2~60 min	

キーワード 薬液注入、定量分析、比抵抗、一軸圧縮強さ

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目0番地 J R 東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 TEL048-651-2552

(2) 比抵抗と諸物性の相関性

比抵抗とシリカ、ナトリウムの注入率との関係を図3に示す。いずれも明瞭な正の相関関係にあるが、特にナトリウムとの相関が極めて高いことがわかる。このことは、電導体としての特性にナトリウムの含有量が強く関与していることを示唆している。固結体の部分の比抵抗に着目すると、概ね $1 \sim 2 \Omega \cdot m$ の範囲（図の逆数では $0.5 \sim 1.0 (\Omega \cdot m)^{-1}$ ）にあり、溶液型薬液の比抵抗（一般に $1 \Omega \cdot m$ 以下）に近い値まで低下している。ただし、比抵抗が $10 \Omega \cdot m$ 以下（逆数で 0.1 以上）の部分については、水洗いでは流出するものの、明らかに薬液が充填されていることがわかる。ちなみに、自然状態での土の比抵抗は、GL-10.7m で $50 \Omega \cdot m$ 程度、GL-12.0m で $20 \Omega \cdot m$ 程度の値である。このような比抵抗と注入率との関係は、いずれも同一線上に整理されている。次に、比抵抗の対数を取り、自然状態での比抵抗を基準として、上記の関係を比抵抗変化率で表したものを、図4に示す。ここで、比抵抗の対数で整理しているのは、改良域に相当する比抵抗が $10 \Omega \cdot m$ 以下の狭い範囲に集中していることから、この間での相関を拡大して見るためである。一軸圧縮強さ・変形係数とも、比抵抗変化率が60%を越すあたりから、増加傾向が顕著になる。この境界値は、薬液の含有量に対する値40%に比べて大きくなっている。以上の結果から、土の比抵抗は改良効果を評価する有効な指標になることがわかる。変化率が40%以下では薬液の存在はほとんどみられないことがわかる。このことから、薬液の充填に伴って、水質（例えばイオン濃度）等の変化が周囲に及んでいることも考えられる。電気探査手法を用いた改良体の評価において、このような現象が、改良域との境界を不明瞭にする1つの要因となっていると考えられる。

5. まとめ

定量分析からの注入率と一軸圧縮強さ、比抵抗値と関係には線形的な明瞭の関係があることがわかる。また、比抵抗変化率は改良効果を評価するには、端的に変化を表す上で有効と思われる。

課題として、比抵抗は測定方法や測定条件によって変化するため、室内で得られた結果を原位置で得られた結果に適用するには、更に検討が必要と思われる。また、自然状態での比抵抗値が土の種類によって大きく変化するため、変化率と物性の関係を多様な条件で調べる必要があると思われる。

参考文献 1) 森麟他：割裂浸透注入で有効な固結形状を得るための限界注入速度について，土木学会第4回年次学術講演会，1992.9 2) 藤沢一他：化学分析による薬液注入量確認に関する研究，土木学会第40回年次学術講演会，1991.9

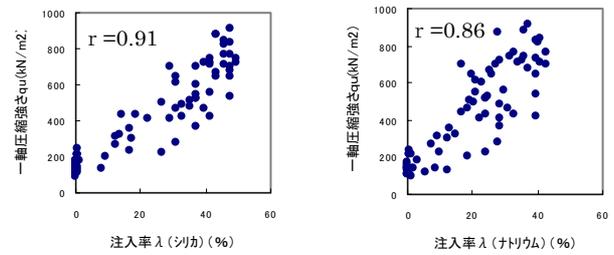


図2 一軸圧縮強さと注入率の関係

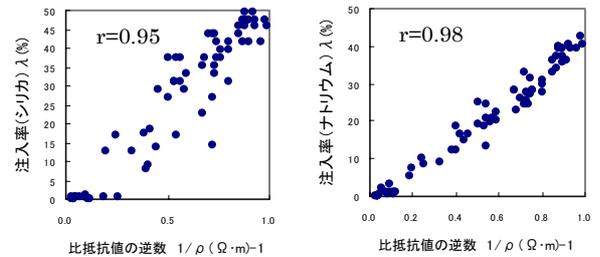
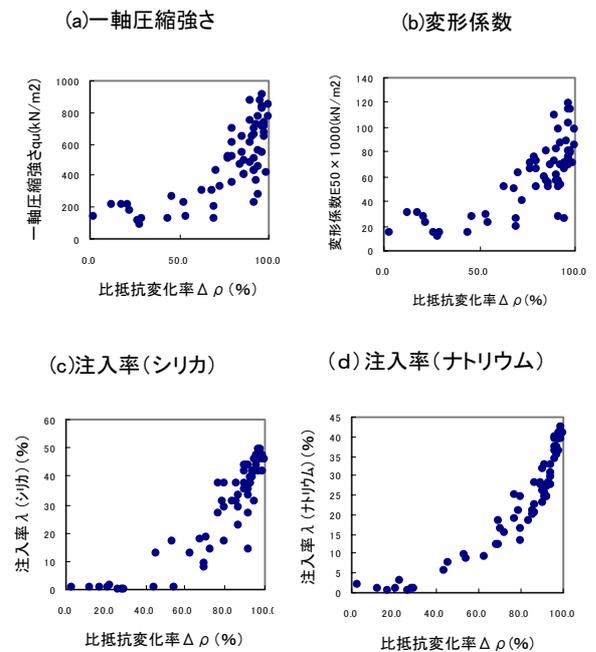


図3 注入率と比抵抗値の関係



$$\Delta \rho = \{ (\log_{10} \rho' - \log_{10} \rho) / \log_{10} \rho \} \times 100 (\%)$$

ρ : 注入前の比抵抗 ρ' : 注入後の比抵抗

図4 比抵抗変化率と諸物性の関係