

III-775

薬液注入固結砂強度の推定方法(その1)

—固結砂粘着力の定量的評価方法—

(株)青木建設 技術本部研究所 正会員 ○森川義人

1. はじめに

薬液注入工法は、シールド工事や、開削工事において頻繁に行われる地盤改良工法であるが、注入後の改良効果を評価することが困難な工法でもある。特に都市部における砂質地盤中には、浸透性の良い溶液型水ガラス系薬液が一般に用いられるが、固結砂の一軸圧縮強度が $2\sim 15\text{kgf/cm}^2$ 程度であり、ボーリング調査によるサンプリングを行っても不攪乱試料を採取することは非常に困難である。また、確実な試料採取法として行われるブロックサンプリングも、実施できる現場が限られてしまうのが現状である。

そこで、筆者は溶液型水ガラス系薬液が浸透固結したサンプリングの難しいサンドゲルの固結強度を推定する方法について研究を行っている。本報文では、固結砂強度を評価する方法として固結砂の動水半径 $R_{H\#}$ とホモゲルの引張り強度 σ_{tH} に着目し、砂の粒度分布や相対密度の違い、ホモゲル強度の異なる場合においてモデル実験を行った結果、固結砂の粘着力 C は動水半径 $R_{H\#}$ の指数関数で評価できることが分かった。

2. 注入固結砂の粘着力と動水半径について

一般に砂質土に浸透注入された固結砂の強度発現は、注入により間隙水が薬液に置換され、粘着力 C が増加することによるものであり、砂の内部摩擦角 ϕ は注入前後ではほとんど変化がないことが報告されている。そこで、薬液注入固結砂は砂粒子と注入材マトリックスからなる複合材モデルで考えることができる¹⁾ので、粘着力が増加された固結砂は、せん断破壊特性を示すが、粘着力の増加は、砂の間隙中に存在するホモゲルの引張り抵抗力と破壊時の体積膨張により発生する負圧によるものと考えられる。一方、固結砂の強度発現は砂の相対密度(間隙比)と粒径が支配的因子であり、砂の相対密度が大きいほど、また砂の粒径が小さいほど、固結砂の粘着力 C が大きくなることが経験的に知られている。そこで、砂の間隙中に存在するホモゲルの引張り応力は、ホモゲルに接している砂の表面積(間隙比、粒径により異なる)に支配されると考えられるので、砂の相対密度(間隙比)と粒径を包括できる物理量として、間隙が薬液で満たされた固結砂の動水半径²⁾を用いて固結砂強度の評価を行った。動水半径は(1)式に示されるように、砂の間隙を砂の表面積で除したものであり、間隙比と粒径に比例する。

$$R_{H\#} = (e \cdot V_s) / A_s = (e/6) \cdot D \quad \text{---(1)}$$

砂の間隙、粒径と動水半径の関係を図-1に示す。

ここで、(1)式は粒径が均一な場合を理論的算定により求めたものであるため、実際の砂は粒度分布により砂の表面積が大きく異なる。そこで、ある砂の比表面積 A_s と、有効径 D_{10} 以上は均一とした砂の比表面積 A_s' との比率 A_s/A_s' を、各種砂の均等係数 U_c について調べた結果(図-2)から、砂の比表面積の補正係数を $\lambda (=A_s/A_s')$ とした。また、薬液の浸透性は砂の透水性と同様に考えることができるので、砂の粒径は20%粒径 D_{20} を用いて表すこととした。以上より、固結砂の動水半径 $R_{H\#}$ は、(2)式のようになる。

$$R_{H\#} = (1/\lambda) \cdot (e_g/6) \cdot D_{20} \quad \text{---(2)}$$

ただし $\lambda = A_s/A_s' = -0.242 \cdot U_c + 1.095$

λ :補正係数 e_g :固結砂間隙比 D_{20} :20%粒径

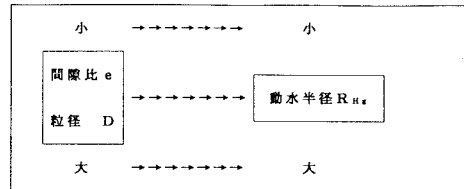


図-1 間隙比, 粒径と動水半径の関係

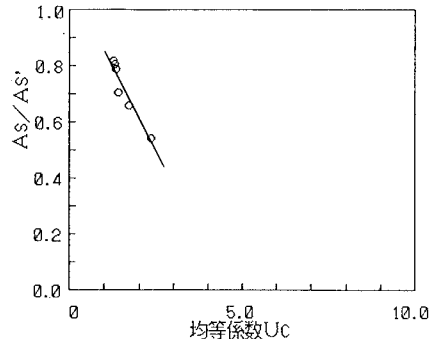


図-2 U_c と A_s/A_s' の関係

3. 実験概要

実験に使用した砂の粒度分布を図-3に、砂の物理定数を表-1にそれぞれ示す。また、薬液は主剤濃度35%と50%の溶液型水ガラス系薬液（有機）を用いた。薬液の種類と引張り強度を表-2に示す。注入固結砂供試

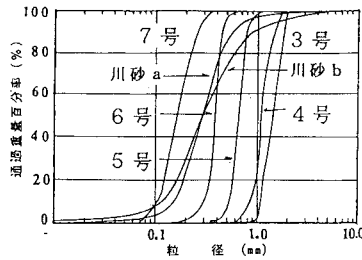


図-3 砂の粒度分布

表-1 砂の物理定数

種類	D ₁₀	D ₂₀	均等係数 U _c
珪砂 3号	1.08	1.15	1.39
珪砂 4号	0.85	0.94	1.32
珪砂 5号	0.52	0.57	1.27
珪砂 6号	0.30	0.33	1.30
珪砂 7号	0.10	0.12	1.70
川砂 a	0.14	0.19	2.34
川砂 b	0.11	0.16	3.16

※川砂 b は貝殻若干混入

表-2 薬液の種類とホモゲル引張り強度

種類	配合	σ_{tH}
薬液 A	主剤 35%	0.286
薬液 B	主剤 50%	1.217

体は、円筒モールドに各種砂を密詰めと緩る詰め二種類で飽和状態に作成し、注入後材令7日の密封水浸養生(20℃)で強度試験を行った。強度試験は一軸圧縮試験と三軸圧縮試験(UU)を行い、一軸圧縮強度 qu と三軸圧縮試験より得られた ϕ_u から $C=(qu/2) \cdot \tan(45-\phi/2)$ より粘着力 C を求めた。

4. 固結砂粘着力の定量的評価方法

強度試験の結果について、まず薬液Aによる固結砂の粘着力 C と動水半径 R_{Hg} の関係を図-4に示す。試料砂は、珪砂3号から7号、および川砂a、川砂bを用いた。ここで、固結砂の動水半径 R_{Hg} が大きくなりホモゲルの占める割合が大きくなるに従い、固結砂の粘着力 C はホモゲルの引張り強度 σ_{tH} に近づくと考えられるので、 $C=\sigma_{tH}$ を漸近線とする指数曲線を最小自乗法により求めると図の実線のようになった。また、川砂の結果より粒度分布の異なる砂に対しても十分適用していることが分かる。図-5には、薬液Aと薬液Bによる結果を、同様の方法で求め示した。これより、ホモゲル強度の大小にかかわらず固結砂の粘着力 C と固結砂の動水半径 R_{Hg} は同様な指数関数で表現できることが分かった。以上より固結砂粘着力 C は(3)式のような一般式で表現できる。

$$C = A \cdot B^{R_{Hg}} + \sigma_{tH} \quad \text{——— (3)}$$

C : 固結砂粘着力
 σ_{tH} : ホモゲル引張り強度
 R_{Hg} : 固結砂動水半径
 A, B : 係数 ($A > 0, 0 < B < 1$)

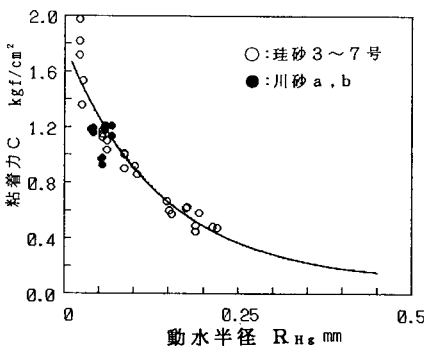


図-4 薬液Aによる粘着力 C と動水半径 R_{Hg}

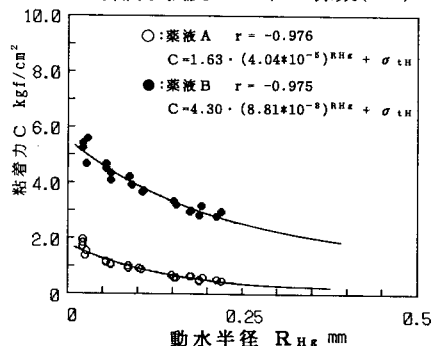


図-5 薬液A, Bによる粘着力 C と動水半径 R_{Hg}

5. まとめ

水ガラス系薬液による浸透注入固結砂の粘着力 C は、間隙中のゲルの大きさを表した動水半径 R_{Hg} とホモゲルの引張り強度 σ_{tH} を用いることにより、ホモゲル強度の違い、及び相対密度や粒度分布の異なる砂について評価できることが分かった。なお、(2)式 R_{Hg} の D_{20} と λ についてはボーリング調査により知ることができるが、間隙比 e_g については次の報文その2において電気比抵抗法が適用できることを述べている。

参考文献: 1) 加賀, 米倉: 「注入材で充填された砂地盤の固結強度の推定」 薬液注入工法における注入効果の予測確認手法に関するシンポジウム発表論文集, PP.243~250

2) (社)土質工学会: 「浸透と地下水」 土質工学ハンドブック, PP68