

砂地盤への溶液型薬液注入に関する水平一次元浸透実験

岡山大学大学院 正会員○高橋 啓介
(株)カテックス 正会員 岩本 昭仁
第一工業製薬(株) 非会員 北川 貴士
岡山大学 正会員 小松 満

1. はじめに

都市域でのトンネル建設において、建設条件の制限によって NATM 工法が採用されるケースが増えている。しかし、高透水性の砂層が工事の妨げになったり¹⁾、陥没事故の要因²⁾となるケースも見受けられる。現在、地盤の透水性を低下させる工法では、主に注入材として、恒久薬液を浸透させた後にゲル化させて間隙水をゲル状の物質で置換する溶液型の薬液が使用されており、液状化防止工法としても広く用いられている^{例えば 3)}。しかし、地下水の条件によっては対策工事費が膨大になるだけでなく、環境への負荷が大きな課題となる。特に切羽付近での湧水対策では、注入した薬液が地下水流の影響により、ゲル化する前に移動することで、注入量に対する効果が不十分であることも考えられる。従来の研究では、砂地盤に水ガラス系の溶液型薬液を浸透注入する際の効果について、主に改良土の強度の観点から検討^{例えば 4)}がなされている。この中で、間隙水による希釈の有無や水との比重差による沈殿の影響について考慮されているものの、動水勾配の違いによる注入効果を透水性の変化から明らかにした例は少ない。そこで本報では、砂地盤に溶液型薬液を注入する際の検討として、動水勾配が異なる条件下での注入後の透水性低下効果を評価する室内での基礎的な水平一次元浸透実験を実施した結果について報告する。

2. 実験方法

実験装置の概略図を**図-1**、実験状況を**写真-1**に示す⁵⁾。供試体は両端にステンレスメッシュ（109 μm ）および多孔板を設置した直径 $\phi 10\text{cm}$ ×長さ50cmの亚克力製カラムに試料を水中落下法によって投入し、カラムの周囲を打撃することにより相対密度を高めて作製した。供試体に作用する水頭は供試体両端における水頭差を差圧計により、通水流量は供試体の流出側に設置した流量計によりそれぞれ測定した。

注入管は、直径 $\phi 1\text{cm}$ ×長さ5cm、開口率45%、周囲にステンレスメッシュ（109 μm ）を巻きつけたものであり、供試体の中央位置に設置した。注入管には背圧が作用できるビュレットを接続し、マグネチックスターラにより溶液型薬液を攪拌させるとともに、注入量はビュレット内の溶液の水位変化から求めた。なお、通水には水道水を用い、流出側で測定した水温により温度補正を行った。また、注入圧は50kPaの一定とした。

試料には岡山県産の川砂を用い、試料自体の目詰まりを防ぐために106 μm のメッシュで水洗いした残留分を使用した。土粒子密度は $\rho_s=2.682(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、均等係数と曲率係数はそれぞれ $U_c=2.75$ 、 $U_c'=0.92$ である。注入した溶液型薬液は水ガラスと硬化剤の2液タイプで反応開始は混合後約18分、ゲルタイムは約20分である。また、実験条件は、トンネルの施工事例¹⁾を基にFEM浸透流解析を用いてトンネル切羽に作用する最大の動水勾配を求めた結果を目安として注入前の動水勾配を $i=2.8$ 、 2.1 、 1.5 の3ケースに設定して実験を実施した。

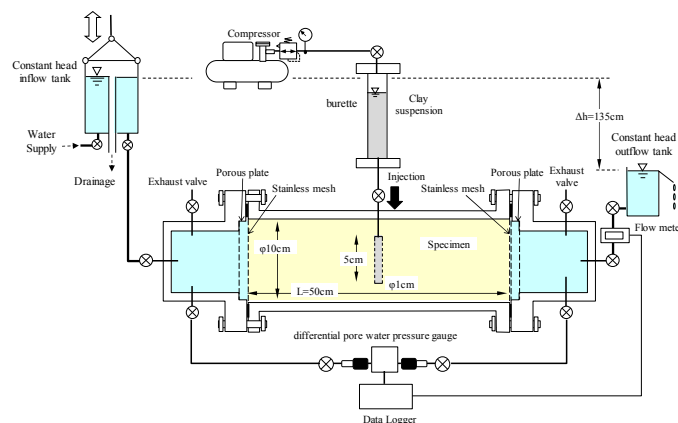


図-1 実験装置概略図⁵⁾

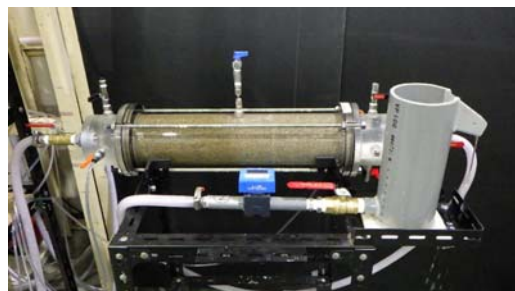


写真-1 実験状況

キーワード：注入工法，砂地盤，溶液型薬液，動水勾配，透水係数
連絡先：〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1 Tel・FAX:086-251-8160

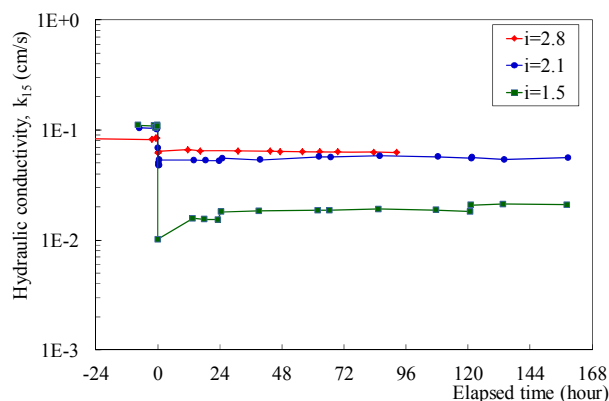


図-2 透水係数の経時変化

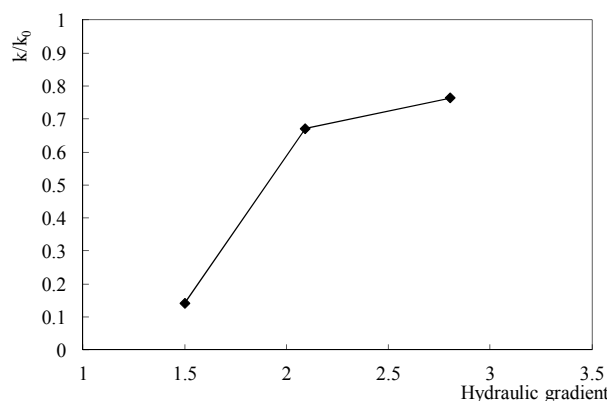


図-3 注入前の動水勾配と注入前後の透水係数比の関係

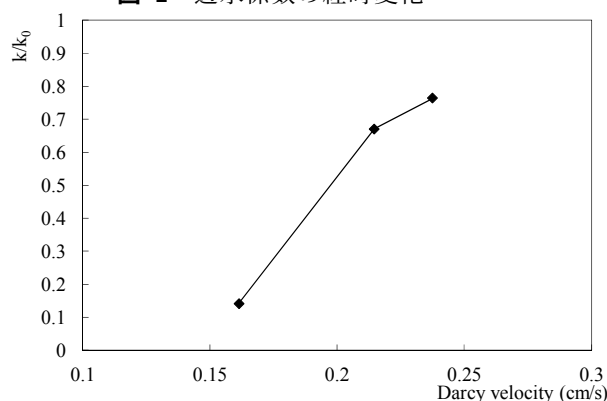


図-4 注入前のダルシー流速と注入前後の透水係数比の関係

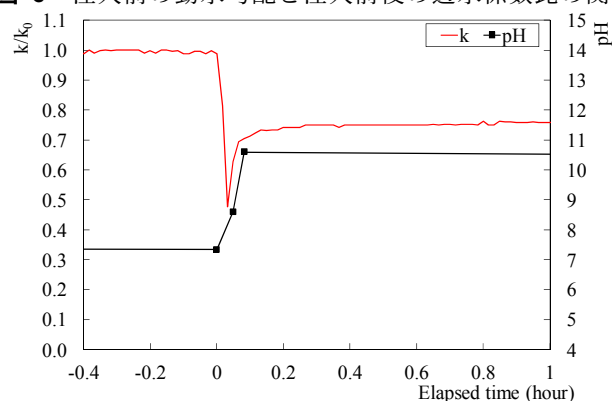


図-5 注入前後の透水係数比と pH の経時変化 ($i=2.8$)

3. 実験結果

図-2 に 15℃換算の透水係数の経時変化を示す。注入後に低下した透水係数は概ね一定値で推移した。また、図-3 および図-4 に注入前の動水勾配およびダルシー流速と注入前後の透水係数比との関係をそれぞれ示す。動水勾配が高い程、透水係数の低下がわずかである結果を示し、ダルシー流速との関係ではほぼ線形となった。供試体の間隙率が約 37% であること考慮すると、 $i=2.8$ のケースでは約 40 秒でカラムの半分の距離を移動することとなり、注入後、砂層内でゲル化する前に流亡した可能性がある。ここで、図-5 に $i=2.8$ のケースにおける流出水の pH の変化を示す。注入後に pH の増加が確認されたことから、薬液の流出によるものと判断できる。注入開始からゲル化までの時間は約 2 分程度であることから、流速の影響により注入した薬液が広がらず、下流に移動あるいは流亡する可能性があることが示唆された。

4. まとめ

砂地盤に溶液型薬液を注入する際の検討として、動水勾配が異なる条件下での注入後の透水性低下効果を評価する室内での基礎的な水平一次元浸透実験を実施した結果、高い動水勾配下では十分な透水性の低下が見込まれないことが判明した。今後は異なる透水性の供試体に対するデータを蓄積するとともに、例えば薬液の粘性を高めるなど、効果的な注入方法を検討することが課題である。

【謝辞】 本研究の一部は一般財団法人フソウ技術開発振興基金の助成を受けて実施された研究成果に基づくものである。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】 1) 高橋啓介, 光増朝久, 吉本治憲, 大金隆宏, 小松満: 都市域山岳 NATM 施工時における軟弱地山に対する補助工法の採用事例, 地盤と建設, Vol.36, No.1, pp153-160, 2018. 2) 三谷泰博: 福岡市営地下鉄七隈線博多駅陥没事故とその復旧工事, 地盤工学会誌 Vol.67, No.8, pp.4-7, 2019. 3) 池野勝哉, 吉田誠, 安楽宗一郎, 風間基樹, 渦岡良介, 仙頭紀明: 溶液型薬液注入工法を用いた盛土直下の液状化対策効果とその数値解析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.65, No.1, pp.622-628, 2009. 4) 林健太郎, 山崎浩之, 善功企: 溶液型薬液注入工法の施工管理方法に起因する改良土の強度低下のメカニズム, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.70, No.4, pp.387-394, 2014. 5) 高橋啓介, 小松満, 瀧本弘治: カオリンクレー注入による砂層の透水性低下工法に関する水平一次元浸透実験, 第 54 回地盤工学研究発表会, No.0432, pp.863-864, 2019.