

高吸水性ポリマー溶液の粘性が砂地盤における注入および遮水特性に及ぼす影響について

早稲田大学大学院 学生会員 ○廣瀬 雅弥 早稲田大学大学院 フェロー会員 赤木 寛一
早稲田大学大学院 学生会員 北村 真歩 早稲田大学大学院 学生会員 水原 祐哉
前田建設工業(株) フェロー会員 石黒 健 (株) 安藤・間 正会員 足立 有史

1. 研究目的

大規模な線状地下構造物建設においては、山留壁の構築が不可欠であり、従来はシートパイルやソイルセメント地中連続壁によって構築されている。一方、上記の壁体は先端が地盤深くまで達することで滞水層を遮断し、地下水の流動を恒久的に阻害する場合がある。その結果、地下水流の上流では地下水位の上昇に伴い、液状化危険度の上昇、地下施設の浮上や地盤の湿潤化による植生への悪影響を、下流では地下水位の低下による地盤沈下や井戸水の枯渇を誘発する恐れがある。本研究は、上記のような既往工法が誘発する地下水流動阻害の解決を目的とするものである。

筆者らは、既往の高吸水性ポリマー(以降、ポリマー)と水を混練したポリマー溶液による地盤掘削技術¹⁾を応用し、ポリマー溶液を地盤間隙中に注入することによる遮水性と透水回復性を両立した遮水構造の構築を目標としている。

2. 実験概要

ここでは、珪砂4号(D50=0.7266mm)で作製した一次元的模型土槽(D=5cm,H=50cm)に粘性の異なる3種のポリマー溶液(表1)を一定の空気圧を介して注入した際の注入状況・注入後地盤の遮水性に関して調査した。また、ポリマーの燃焼特性に着目して強熱減量試験を実施し、地盤中のポリマーの充填状況についても確認した。ここで、注入材であるポリマー溶液は、単位質量あたりのポリマーの吸水量(吸水倍率)と吸水量以上の水を添加した際に生じる余剰水の溶液中の比率(自由水率)によって配合を管理している。既往研究²⁾では、注入距離の長さ、低動水勾配下での遮水性、注入範囲内での充填均一性を検討しており、主に低吸水倍率下において一定の性状を確認してきた。一方で、ポリマーの添加量が多く、粘性が高いことから経済性と施工性(注入速度)が課題となっていた。ここでは高吸水倍率下で自由水率を変化させた際の結果を比較し、ポリマー添加量の低減と施工効率向上の可能性について検討した結果を報告する。

表1 ポリマー溶液物性

注入材	吸水倍率 (g/g)	自由水率 (%)	粘度 (P)	注入材1L当たりのポリマー量 (g/L)
ポリマー溶液A	400	0	0.89 ~0.97	2.45
ポリマー溶液B	400	70	0.14 ~0.24	0.74
ポリマー溶液C	400	90	測定限界 以下	0.24

表2 実験条件

Case No.	母材	注入材	相対密度(%)	透水試験の有無
Case 1	珪砂4号	ポリマー溶液A	99.0	未実施
Case 2				実施
Case 3		ポリマー溶液B		未実施
Case 4				実施
Case 5				実施
Case 6		ポリマー溶液C		未実施
Case 7				実施

3. 実験手順

今回実施した合計7ケースの実験条件を表2に示す。透水試験未実施のケースではポリマー充填状況確認のための強熱減量試験を実施している。

【一次元注入試験】①円筒容器中に空中落下法で珪砂の模型地盤を作製する。②所定配合のポリマー溶液を混練する。③模型地盤を水道水で飽和させる。④所定の注入圧(300kPa)を加え、模型地盤下端よりポリマー溶液を注入する。⑤排水量(≒ポリマー注入量)を時間ごとに計測する。(図1)

【透水試験】①注入完了後の土槽下端に二重管ビュレットを接続する。②ビュレット上部に空気圧を載荷し、所定の動水勾配に応じた水頭差を供試体に加える。③差圧計を介しビュレット水位を時間ごとに計測し、透水量および透水係数を求める。

【強熱減量試験】模型地盤解体後、高さ方向に5cm間隔で質量測定済みの容器に試料を採取し、強熱減量試験を行う。詳細な手順は参考文献³⁾に示す。

4. 実験結果と考察

4.1 一次元注入試験

ポリマー溶液の粘性が砂地盤における注入時の挙動に及ぼす影響を調べる目的で、ポリマー溶液の配合を変えた一連の注入試験を実施した。時間ごとの排水量を注入量として、間隙体積で除した値を記録した結果を図2に示す。自由水率が大きい(粘性が低い)注入材ほど注入量の増加が見られたが、自由水率90%のポリマー溶液Cを用いたケースのみ収斂が見られず、時間に対し注入量が線形的に増加する結果となった。ポリマー添加量を過剰に減らし粘性が極端に小さくなると、注入の過程で目詰まりが起こりにくく、ポリマーが土粒

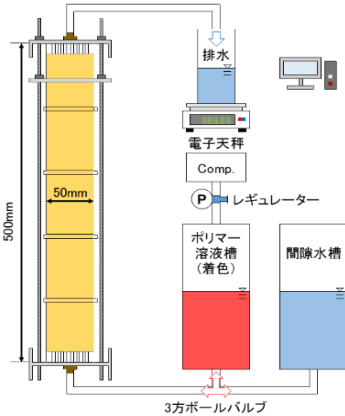


図1 注入試験模式図

子間隙を透過してしまうためと考えられる。

4.2 強熱減量試験・透水試験

図3は、解体後注入孔からの距離毎に採取した試料を用いて強熱減量試験を行い、得られた結果から間隙体積に占める吸水ポリマーの体積比を填充率²⁾としてその分布状況を示した結果である。ここで、色付きプロットは透水試験を実施していないケース、白抜きは実施したケースである。傾向を見ると、ポリマー添加量の大きいCase1,2で最も大きい填充率を示し、添加量が小さいCase3以降は前者よりやや小さい傾向を得たため、ポリマーの添加量が充填状況に影響することが分かる。また、注入量に収斂が見られたCase1～5では注入孔からの距離25cm前後から填充率が低下しており、目詰まりが発生した結果模型地盤内で填充率に差が出たものと思われる。一方、収斂が見られなかったCase6,7では、ポリマーが透過した結果模型地盤内でほぼ一定の填充率を示したものと考えられる。ここで、填充率は強熱減量比からポリマーの吸水倍率等を用いて算出した推定値であり、相対的な値として用いている。100%を大きく超えるのは、この算出過程で用いている数値誤差や試験中に生じた測定誤差が影響していると考えている。

図4は、Case2,4,5,7において、注入後模型地盤に対し所定の動水勾配で透水試験を実施した結果である。Case2,4,5の動水勾配5,10のケースでは、70~90時間程度放置しても透水量の増加は線形的（透水係数一定）であったが、動水勾配20において透水量が急増した。一方、粘性が極端に低いCase7では動水勾配5の段階で透水係数が急増し、透水試験時にもポリマーの一部が土粒子間隙から流出し、水みちが発生（この現象を便宜上パイピングと定義）したものである。パイピング発生後に再度低動水勾配で透水係数を再計測した結果を図中の白抜きプロットで併記した。いずれのケースも最終的に透水係数が母材近くまで増大しており、パイピングの発生後は水みち沿いに遮水性が失われてしまうことを示唆している。図2より、自由水率0,70%のCase1～5では透水試験前後でポリマー填充率に有意な差は見られなかったが、90%のCase6,7では透水試験後に填充率が大きく低下していた。図4の結果も併せ考えると、粘性が極端に低いCase7では、注入の段階のみならず、その後の透水試験の過程でも土粒子間隙からのポリマーの流出が顕著に生じたものと思われる。

5. まとめ

比較的粘性の高い自由水率0,70%のケースでは動水勾配10でも長期間に渡って安定した遮水性を維持したが、粘性が極端に低い自由水率90%のケースでは注入量が収斂せず、かつ遮水性能も前者に比べ大きく劣る結果となった。以上より、適切な配合の注入材を用いることで、注入コストと施工効率を最適化したうえで、所要の遮水性能を確保できると考えられる。一方、今回用いた珪砂4号の母材透水係数は 10^{-2}cm/sec オーダーと、中砂から粗砂に相当する値を示す。このような母材では、ポリマーの充填も、その後の遮水抵抗も中々発揮されにくいのではないかとと思われる。今後、より粒径の小さな母材に対して同様の実験を継続し、本工法の適用範囲の明確化を図っていく所存である。

本研究は、気泡工法研究会 AWARD-Pmr 工法研究会(前田建設工業(株), 安藤・間(株)地域地盤環境研究所, 戸田建設(株), 西松建設(株), 日特建設(株), 街)マグマ, (株)ミヤマ工業)の支援により得られた成果である。記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 浅野 均, 赤木 寛一, 下坂 賢二, 近藤 義正: 高吸水性ポリマー材を利用した地盤掘削安定液の基本性状と場所打ち杭工法への適用, 土木学会論文集, (トンネル工学), Vol. 73, No2 pp71~87, 2017.
- 2) 北村真歩, 水原祐哉, 上原精治, 安井利彰, 三反畑勇, 下坂賢二: 高吸水性ポリマーを利用した透水性回復遮水構造の構築に関する研究, 第13回地盤改良シンポジウム論文集, pp365~370, 2018.
- 3) 廣瀬雅弥, 赤木寛一: 強熱減量試験を用いた高吸水性ポリマー改良土の填充率の推定, 第53回地盤工学研究発表会, pp679~678

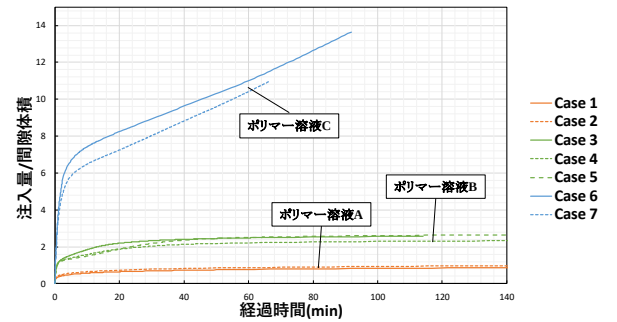


図2 一次元注入試験結果

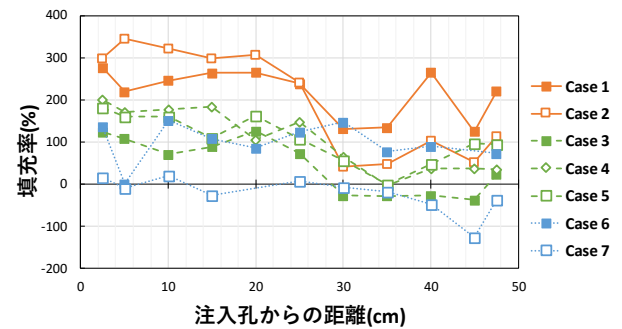


図3 強熱減量試験によるポリマー填充率の分布

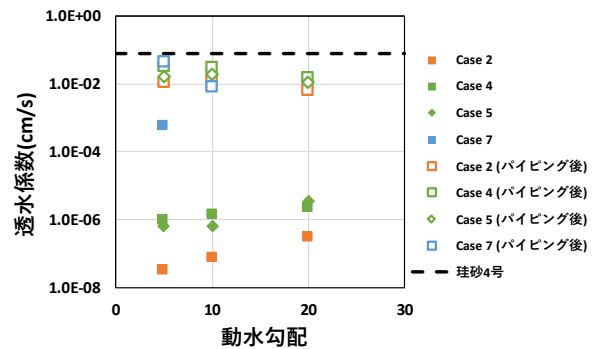


図4 透水試験結果