

吸水ポリマーの浸透注入と改良土の透水性

高吸水性ポリマー 浸透注入 透水係数

早稲田大学 学生会員 ○廣瀬 雅弥
早稲田大学 国際会員 赤木 寛一
早稲田大学 学生会員 中村 淳

1. はじめに

トンネル施工時のシールド機の発進、到達立坑、地下鉄駅部や地下ジャンクション等の施工のような大深度地下利用においては、地下掘削の際に山留め壁の構築が不可欠である。そして、従来の山留め壁は、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。

筆者らは、これらのような恒久的、かつ剛性の高い山留め壁の代替として、高吸水性ポリマー(以下、ポリマーとする)を水と混合攪拌させ、ポリマーを吸水膨潤させたポリマー溶液を地盤に注入または混合する事によって、ポリマー改良土(以下、改良土とする)による遮水壁を造成する工法の開発を目的としている。

本報では、その一環として、東北珪砂5号に対し吸水膨潤量を変化させたポリマー溶液を浸透注入したときの改良土の性状とその透水性についての試験結果を報告する。

2. ポリマー溶液の物性

ポリマー溶液はポリマーに水を加えて、混合攪拌することで吸水膨潤させた溶液である。ポリマーが吸水膨潤することで、所定の粘度を持つ溶液となる。ポリマーは周囲の溶液とのイオン濃度差によって生じる浸透圧によって吸水作用を発揮する。そこで、膨潤に用いる水道水に塩化ナトリウムを添加することで電気伝導率を変化させ、ポリマーの質量に対する吸水した水(塩化ナトリウム添加)の質量比(以下、吸水倍率とする)を変化させた。この結果を図-1に示す。

図-1より、ポリマーは、吸水する水の電気伝導率が大きいほど吸水倍率が小さくなるのがわかる。さらに、電気伝導率が一定値(約3000 μ S/cm)を超えると、吸水倍率はほぼ一定の値(90倍程度)を示すことが分かった。

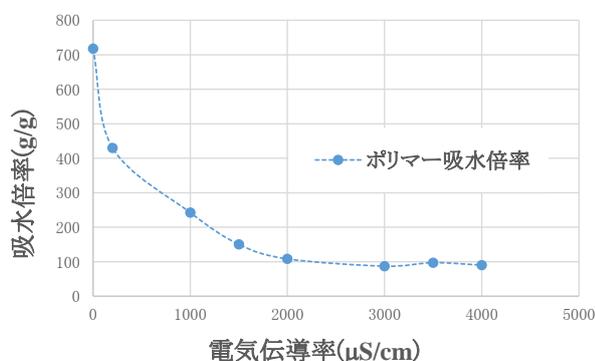


図-1 高吸水性ポリマーの吸水倍率の変化

ポリマーの吸水倍率は、ポリマー溶液の粘度および粒径に影響する。吸水倍率が大きいほど、個々のポリマー粒子が吸水する水分量が増加するため、粘度は小さくなる。そして、より多くの吸水により、粒径は大きくなる。

後述3.の実験において、物性の異なるポリマー溶液の浸透性および透水性の違いを確認するため、2種類のポリマー溶液 A,B(以降、それぞれ溶液 A,B とする)を用いた。溶液 A,B の物性および粘度を表-1,図-2に示す。なお、ポリマー溶液の粘度は回転粘度計を用いて測定した。

表-1 ポリマー溶液 A,B の物性

	電気伝導率(μ S/cm)	吸水倍率(g/g)	吸水後粒径(m)
ポリマー溶液A	4000	90	1.57E-04
ポリマー溶液B	1500	150	1.86E-04

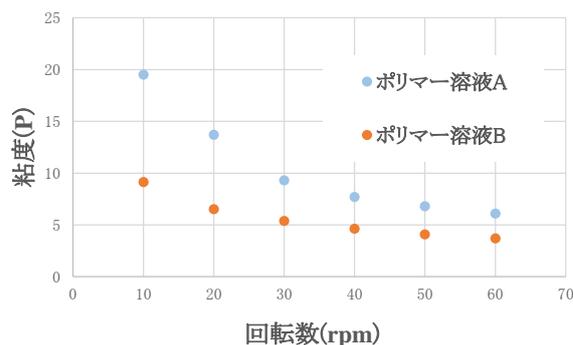


図-2 ポリマー溶液 A,B の粘度比較

表-1 および図-2より、吸水後の粒径は溶液 Bの方が大きく、粘度は溶液 Aの方が大きい。

3. 高吸水性ポリマーの浸透注入および透水試験

3.1 試験概要

溶液 A,B を用いて、空気圧を介したポリマー溶液の砂地盤への浸透注入試験と浸透注入後の改良土供試体(以下、供試体とする)に対する透水試験を実施した。

3.2 試験手順

i) 浸透注入試験

土粒子骨格を乱さずに供試体を作成するため、図-3に示す試験装置を用いて浸透注入試験を行った。試験手順を以下に示す。

- ① 左側の円筒容器内に東北珪砂 5 号を間隙比が 0.75 前後となるよう、漏斗を介して空中落下法にて均等に詰める。
- ② 珪砂の表面を均し、水道水で珪砂を飽和させる。
- ③ 珪砂を乱さないように、所定の電気伝導率に調整した水道水で吸水膨潤させたポリマー溶液を投入し、円筒容器の上蓋を被せる。
- ④ 円筒容器上部から 200kPa の空気圧を供給する。空気圧は、浸透量の限界値を確認するため、20 時間程度維持した。
- ⑤ 円筒容器下部のコックを開き、ポリマー溶液表面の低下量を時間毎に測定し、経過時間におけるポリマー溶液の浸透量を算出する。



図-3 試験機全体図

ii) 透水試験

- 浸透注入試験終了後の供試体を用いて、i)と同じ試験装置で引き続き透水試験を行った。その手順を以下に示す。
- ⑥ 円筒容器下部のコックを閉じて、空気圧の供給を止め、上蓋を取り外し、円筒容器内に残留しているポリマー溶液および供試体の上部 1mm を取り除く。
 - ⑦ 供試体上部にいわき珪砂 2 号を約 2 cm の高さになるように投入する。
 - ⑧ 水道水を 2000cm³ 静かに入れる。
 - ⑨ 上蓋を取りつけ、実施工を想定した動水勾配として、円筒容器上部から 40kPa の空気圧を供給する。
 - ⑩ 円筒容器下部のコックを開き、電子ばかりを用いて一定時間間隔毎の排水量を計測して、透水量を測定する。

3.3 試験条件

砂およびポリマー溶液の試験条件を表-2 に示す。

表-2 試験条件

使用ポリマー		A		B	
		ポリマー溶液A①	ポリマー溶液A②	ポリマー溶液B①	ポリマー溶液B②
試験ケース					
土粒子体積	V _t (cm ³)	731.41	609.51	731.41	731.41
土粒子質量	m _s (g)	1901.66	1584.72	1901.66	1901.66
乾燥密度	ρ _d (g/cm ³)	1.510	1.477	1.482	1.482
間隙比	e	0.72	0.76	0.75	0.75
電気伝導率	α (μS/cm)	4000	4000	1500	1500
ポリマーの吸水倍率	a (g/g)	90	90	150	150
ポリマーの吸水前粒径	D ₀ (m)	3.50E-05	3.50E-05	3.50E-05	3.50E-05
ポリマーの吸水後粒径	D ₁ (m)	1.57E-04	1.57E-04	1.86E-04	1.86E-04
粒径比		2.74	2.74	2.31	2.31
浸透圧	P (kPa)	200	200	200	200

$$\text{粒径比} = \frac{D_{15}}{\text{吸水後ポリマー粒径}}$$

D₁₅: 試料砂15%粒径

3.4 試験結果

浸透注入試験の結果を図-4 に示す。なお、再現性を確認するために実施した、短時間の浸透試験の結果(図中、△印)も併記した。図より、粒径の大きい溶液 B を用いた場合の方が溶液 A よりも高い浸透性が見られることから、浸透性に関しては、ポリマー粒径よりも溶液の粘度の方が支配的だと推定される。

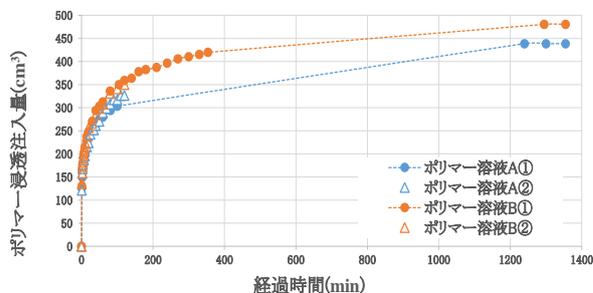


図-4 浸透注入試験結果

透水試験の結果を表-3 に示す。なお、東北珪砂 5 号の透水係数も併記する。表より、改良土と東北珪砂 5 号の透水係数を比較すると、5~7 オーダー程度の透水係数の低下が見られ、一定の遮水性が得られている。また、同じ溶液間で比較すると、注入時間が長い方(それぞれ①)が良好な遮水性を示している。注入時間が增加することで、溶液の注入量が増え、遮水性を発揮する改良土層の層厚が大きくなったためと思われる。

表-3 透水試験結果

試験条件	ポリマー改良土の透水係数(cm/s)	東北珪砂5号の透水係数(cm/s)
ポリマー溶液A①	3.59E-09	2.72E-02
ポリマー溶液A②	1.14E-07	
ポリマー溶液B①	透水量0のため算出不可	
ポリマー溶液B②	1.71E-08	

4. まとめ

本試験で得られた成果は以下の通りである。

- 1) 浸透注入によって作成したポリマー改良土はいずれも高い遮水性を有し、ポリマー溶液を地盤に注入することで遮水壁を構築できる可能性を確認した。
- 2) ポリマー溶液の浸透性はポリマー粒径よりも粘度に大きく影響され、粘度を小さくすることで浸透性の向上が見られる。
- 3) ポリマー溶液の浸透注入により、透水係数が 5~7 オーダーの低下が見られ、遮水壁として機能する。

今後の検討項目を以下に示す。

- ① 遮水性の長期的挙動の確認
- ② 三軸圧力下におけるポリマー改良土の遮水性の確認

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)、(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)、(有)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、謝意を表する。

参考文献

- 1) 三洋化成工業株式会社：サンフレッシュアクアパール,p.1, 2014.
- 2) 請川, 浅野, 下坂：特殊吸水性ポリマーによる地盤掘削技術の開発, 戸田建設技術研究報告第 39 号, 2013