一次元注入条件下での高吸水性ポリマーの遮水特性への母材粒度の影響

高吸水性ポリマー　遮水性　目詰まり

早稲田大学　学生会員　　○中村　裕貴、北村　真歩、水原　裕哉
早稲田大学　国際会員　　　赤木　寛一
前田建設工業　石黒　健　安藤ハザマ 足立　有史

1　はじめに

シールド工事の発進・到達立坑構築,地下鉄駅部や地下ジャンクション等の大規模な地下構造物を建設する際には，地下水の処理が重要であり，山留め壁の構築が不可欠である．従来の山留め壁は,恒久的に遮水性を有するため，地下水の流動を阻害し,周辺環境に影響を及ぼす場合がある．

本研究では，既往の高吸水性ポリマー(以降,ポリマー)を吸水膨潤させた吸水ポリマー水溶液(以降,ポリマー溶液)による地盤掘削技術 [1)] を応用し，分離材による透水性回復が可能な山留壁の工法(AWARD-Pmr 工法)の開発を目標としている．特に,工事の完了後,遮水壁が不要になった時点で分離材(塩化カルシウム等)の水溶液を改良壁体中に注入することで透水性の回復を図り,地下水流動阻害の対策となることを期待している．

本稿では，その研究の一環として実地盤の粒度分布を再現した母材を用いてポリマー溶液の一次元条件下での注入を行い、透水試験による遮水性の評価および強熱減量試験による注入の均一性の評価を行った結果を報告する.ここで，ポリマーには建設資料用ポリマー剤を使用している．

2　概要・目的

ポリマー溶液を注入する際、充填長が長く充填が均一であり、遮水性、抜け出し抵抗性が確保できる注入を目標とする．そのため本研究では粒度分布の異なる母材に対しポリマー溶液を注入し、充填長、遮水性、均一性およびポリマーの抜け出し抵抗性の 4 つ観点から評価を行い、ポリマー注入工法の適用範囲を探る．

3　試験手順

①内径 5.2cm、高さ 50cm の円筒容器に模型地盤を作製する．②模型地盤を水道水で飽和させる．③赤く着色したポリマー溶液を 300kPa で注入する．④注入量が収束した段階で、所定の水頭差(50,75,100kPa)で青く着色した水道水で透水試験を開始する．⑤透水量が急増し抜け出しが発生するまで圧力を上げる．⑥ポリマーの抜け出し発生後、低圧 25kPa、50kPa でも再度透水試験を実施する．⑦円筒容器を解体し、観察および強熱減量試験用試料を高さ 5cm ごとに採取する．⑧強熱減量試験を実施し、ポリマー含有量を測定する．

4　試験条件

母材の粒度分布が注入特性や遮水特性、抜け出し抵抗性に及ぼす影響を確認するために、図 1 に示す赤線の①有楽町層—中央粒度相当(Case1)、青線の②有楽町層—右側粒度相当(Case2)、黄色線の③武蔵野礫層相当(Case3)、緑線の④単粒武蔵野礫層相当(Case4)の 4 種類の母材に対してポリマー溶液の注入試験・透水試験・強熱減量試験を実施した．粒度は均等係数を Case1 および 2、4 を近しい値に設定し、Case3 をそれらより大きい値にした．平均粒径は Case1＜Case2＜Case3≒Case4 となるよう設定した．図 1 に 4 つの母材および吸水倍率 20 倍、479 倍のポリマー粒子の粒度分布を示す．

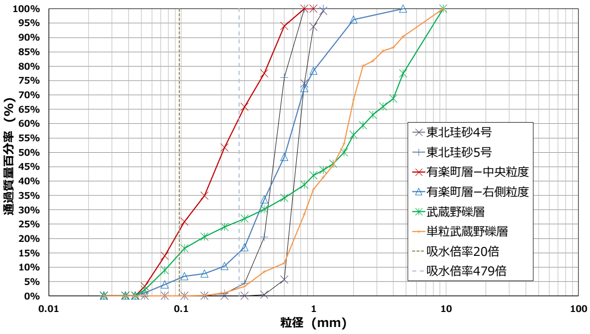

図 1　粒径加積曲線

Case1、2、3 で使用したポリマー溶液はポリマーの粒径および溶液の粘性が最も小さく、地盤中に浸透しやすい配合である「吸水倍率 20 倍自由水率 90%」で統一した．一方で、Case4(単粒武蔵野礫層相当)は平均粒径が大きく、細粒分が少ないため吸水倍率 20 倍では注入が収束しない可能性があった．そのため、目詰まりによるポリマー溶液の注入の収束がしやすくなるように、粒径が大きくその粒径で最も粘性が高くなるような配合の「水道水吸水(吸水倍率 479 倍)自由水率 0%」のポリマー溶液を用いて注入を行った．

つぎに表 2 として模型地盤条件およびポリマー溶液の配合を示す．模型地盤の相対密度は 50%に統一し、ポリマー溶液の注入は定圧 300kPa で行った．

表 2　試験条件

	模型地盤条件			ポリマー溶液配合		
	母材	間隙比 e	相対密度 D_r (%)	吸水倍率 Q (g/g)	自由水率 η (%)	粘度 μ (P)
Case1	有楽町層ー中央粒度	0.670	49.8	20	90	測定限界以下
Case2	有楽町層ー右側粒度	0.580	50.1	20	90	測定限界以下
Case3	武蔵野礫層	0.490	50.0	20	90	測定限界以下
Case4	単粒武蔵野礫層	0.601	49.9	479	0	0.68

5　試験結果

5.1　注入試験結果

図 2 のような試験装置を用い、定圧注入試験を実施した．図 3 に注入時間、注入量、充填長に示す．充填長に関して、供試体のうちポリマー溶液を含んだ箇所は硬化するため触診すると同時に、供試体内の色の違いから目視を行い判断した．Case3、Case4 では注入を一度中断し時間を空けた後再開したため動的注入として作用し、図 3 における急な注入量の増加がみられた．充填長は Case1 では 2cm、Case2 では 7cm、Case3 では 50cm、Case4 では 25cm であった．

Effect of Basematerial Granularity for Polymer Injection and Water Barrier Property

YUKI Nakamura(Waseda University), HIROKAZU Akagi(ditto)
MAHO Kitamura (ditto), YUYA Mizuhara (ditto)

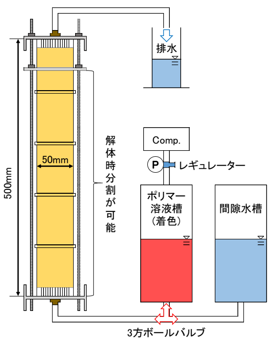

図 2　注入試験

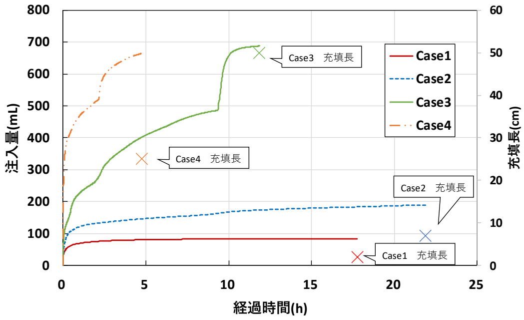

図 3　注入試験結果

5.2　透水試験結果

透水試験を行い母材自体の透水係数、抜け出し発生直前の透水係数、発生後の透水係数に加えて水頭差とポリマーの注入厚さの比を求め以下の表に示した．抜け出し発生直前の透水係数を遮水性の指標とし、水頭差とポリマーの注入厚さの比を抜け出し抵抗性の指標とした．

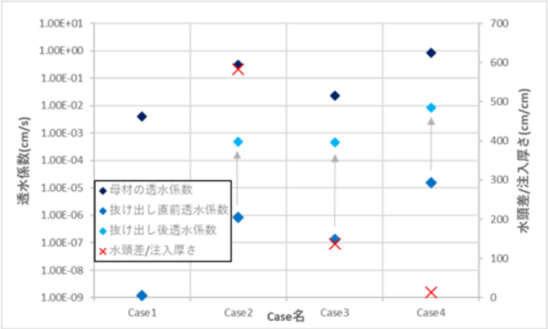

図 4　透水試験結果

5.3　強熱減量試験

強熱減量試験を行い、異なる高さで試料を採取し強熱をかけることで、土粒子とポリマーの減量分から各高さにおけるポリマー含有比を調べた．

図 5、図 6 に強熱減量試験結果を示す Case4 に関してはポリマーの吸水倍率が大きいため結晶水の減少量も増加し採取する位置によってポリマーの含有量が大きく変化する。そのため精度の高い結果が得られなかった．

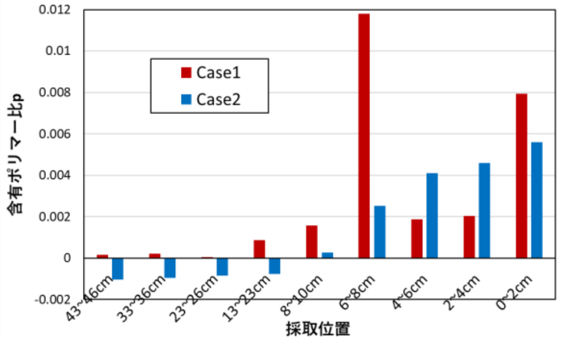

図 5　Case1・Case2 強熱減量試験結果

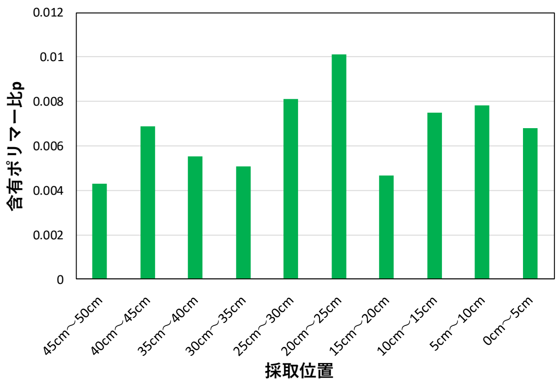

図 6　Case3 強熱減量試験結果

6　まとめ

本研究で得た充填長、透水係数、抜け出し抵抗性といった試験結果に加えて、参考として母材ごとの均等係数、細粒分含有率、50%粒径を以下の表にまとめる．

表 3　まとめ

		模型地盤物性			試験結果		
Case名	母材	均等係数	細粒分含有率 (%)	50%粒径 (mm)	充填長 (cm)	透水係数 (cm/s)	水頭差/注入厚さ (cm/cm)
Case1	有楽町層ー中央粒度	4	13.9	0.210	2.1	1.18×10^{-9}	-
Case2	有楽町層ー右側粒度	3.55	4.0	0.620	7.0	8.30×10^{-7}	583
Case3	武蔵野礫層	28.75	8.9	1.80	50	1.35×10^{-7}	137
Case4	単粒武蔵野礫層	3.7	0	1.60	25	1.58×10^{-5}	13

Case1、2 では充填長は短く、遮水性、抜け出し抵抗性は高い値を示した．均一性に関しては充填長が短いために評価が出来なかった．これらの要因としてはポリマーの粒径に対して間隙径が小さかったため注入側のごく近場で目詰まりを起こしたことが考えられる．Case3 では供試体上部までポリマーが均一に充填され、遮水性、抜け出し抵抗性も充分であった．充填長が長い要因としては間隙径の大きい部分を選択的に透過していったこと、遮水性、抜け出し抵抗性に関しては均等係数が大きいことにより平均粒径が大きいにも関わらず細粒分による小さな間隙径で目詰まりを起こしたからであると考察される．Case4 では、充填長は Case3 の半分程度であり、遮水性、抜け出し抵抗性は 4 つの母材のうち最小であった．均一性に関しては 5.3 で述べたとおりである．Case4 では間隙径が大きいためポリマーが透過し目詰まりを起こさなかったことが上記の結果となった要因であると予想される．

これらの結果から遮水性、抜け出し抵抗性を上げるためにはポリマーが目詰まりを起こすよう小さい間隙径が不可欠である．また充填長を伸ばすためにはポリマーが透過できるような大きい間隙径が、均一性を上げるためには透過と目詰まりのどちらも起こすよう幅広い粒径が必要であると考えられる．本研究において Case4 はこれら 4 つの指標すべてを十分に満たす母材でありポリマー注入工法の適用範囲に含まれているといえる．

本研究は,気泡工法研究会 AWARD-Pmr 工法研究会(前田建設工業㈱,㈱安藤・間,㈱地域地盤環境研究所,戸田建設㈱,西松建設㈱,日特建設㈱,㈲マグマ,㈱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.

7　参考文献

1) 岩崎　光紀：高吸水性ポリマーを添加した地盤掘削用安定液の基本性状，土木学会第 69 回年次学術講演
2) 廣瀬　雅弥：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