

地下水流保全型山留め壁工法の研究開発

研究代表者 赤木 寛一
(創造理工学部 社会環境工学科 教授)

1. 研究課題

従来の山留め壁では止水性の高いシートパイルやSMWにより構築されるために、地盤に地下水流が存在する場合にはその流れを阻害する場合がある。これにより、地下水流の上流側では地下水位が上昇し、ゆるい砂地盤では液状化の危険性が増加し、地下施設の浮上や漏水や、植生への悪影響が生じることになる。一方、地下水流の下流側では、地下水位の低下により、地盤沈下、井戸水の枯渇などの環境への重大な悪影響を与えることになる。場所打ち杭等の掘削用安定液として高吸水性ポリマー材を使用した安定液(ポリマー安定液)は、遮水性を有し、使用後は分離剤により土砂と水に分離できることから、地下構造物構築で課題となっている地下水流動阻害において、透水性が回復できる土留壁としての利用が期待できる。

本研究では、既往の高吸水性ポリマーによる掘削用安定液の技術を応用し、高吸水性ポリマー材と土を混合したポリマー混合土について、珪砂粒径と吸水後ポリマー粒径の比による遮水性への影響、および塩化カルシウム添加による透水性の回復を検討した。

2. 主な研究成果

■ポリマー混合土の遮水性向上と透水性の回復

珪砂粒径と吸水後ポリマー粒径の比による遮水性への影響を調べるために、本実験では、3種類の珪砂(珪砂3号： $D_{15}=0.98\text{mm}$ ，5号： $D_{15}=0.43\text{mm}$ ，7号： $D_{15}=0.13\text{mm}$)に3種類のポリマー(ポリマーA，B，C)を添加し、作製したポリマー混合土を作製した。そして、図1に示すような空気圧を利用した加圧式透水試験により、ポリマー混合土の遮水性を実験的に確認した。図2に実験で使用した珪砂の粒径加積曲線を、表1にポリマー混合土の配合一覧を示す。

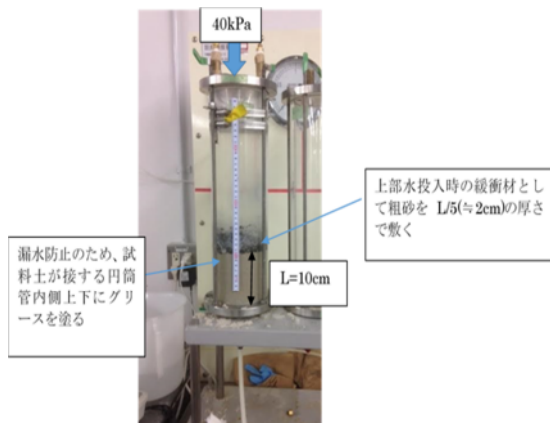


図-1 加圧式透水試験装置

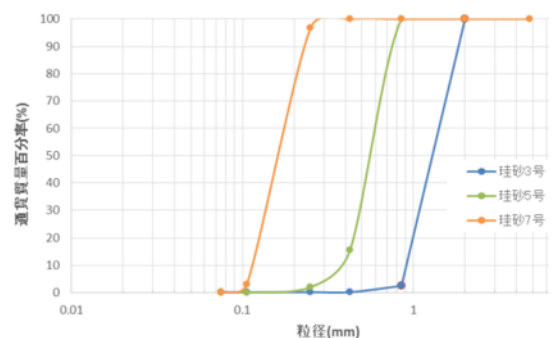


図-2 珪砂粒径加積曲線

表-1 ポリマー混合土の配合一覧

ポリマー 珪砂	A			B			C		
	珪砂3号	珪砂5号	珪砂7号	珪砂3号	珪砂5号	珪砂7号	珪砂3号	珪砂5号	珪砂7号
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.65	2.60	2.62	2.65	2.60	2.62	2.65	2.60	2.62
土粒子体積 V_s (cm ³)	406.48	447.43	408.78	406.48	447.43	408.78	406.48	447.43	408.78
土粒子質量 m_s (g)	1077.17	1163.32	1071.01	1077.17	1163.32	1071.01	1077.17	1163.32	1071.01
ポリマー吸水倍率 α (g/g)	388.4	388.4	388.4	410.0	410.0	410.0	150.0	150.0	150.0
ポリマーの吸水前粒径 (cm)	0.043	0.043	0.043	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
ポリマーの吸水後粒径 (cm)	0.313	0.313	0.313	0.0260	0.0260	0.0260	0.0186	0.0186	0.0186
ポリマーの比重 G	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
吸水前ポリマー添加量 m_p (g)	1.484	1.378	1.478	1.399	1.299	1.393	3.827	3.554	3.812
吸水後ポリマー添加量 (g)	574	533	571	575	532.5	571	574	533	572
水添加量 (g)	572.03	531.16	569.73	572.09	531.2	569.79	570.23	529.49	567.93
ポリマー充填率 F_p (%)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
混合土湿潤密度 ρ_{st} (g/cm ³)	1.885	1.731	1.878	1.885	1.731	1.878	1.888	1.732	1.877
珪砂とポリマーの粒径比	3.13	1.37	0.42	37.69	16.54	5.00	52.70	23.12	6.99

表-1 に示すポリマー充填率 F_p および粒径比の定義を以下に示す。

$$F_p = \frac{V_p}{V_{Vmax}} = \frac{\frac{m_p}{G\rho_w} + \frac{(\alpha-1)m_p}{\rho_w}}{\frac{V_{Vmax}}{D_{15}}} = \frac{m_p + G(\alpha-1)m_p}{G\rho_w V_{Vmax}}$$

粒径比 = $\frac{\text{吸水後ポリマー粒径}}{\text{吸水後ポリマー体積}(cm^3)}$
ここに、 V_p : 吸水後ポリマー体積(cm^3),

V_{Vmax} : 最大間隙体積(cm^3)

ρ_s : 土粒子密度(g/cm^3)

ρ_w : 水密度(g/cm^3)

G : ポリマー比重

m_p : ポリマー質量(g)

α : ポリマー吸水倍率(g/g)

V : 供試体体積(cm^3)

D_{15} : 試料砂15%粒径

上記の配合において、ポリマー充填率 F_p とは土粒子間隙体積に占める吸水後ポリマー体積の割合である。土粒子間隙体積を吸水後ポリマーで完全に充填する場合をポリマー充填率 $F_p=100\%$ とする。図と表に粒径比がポリマー混合土の透水性に及ぼす影響を示す。

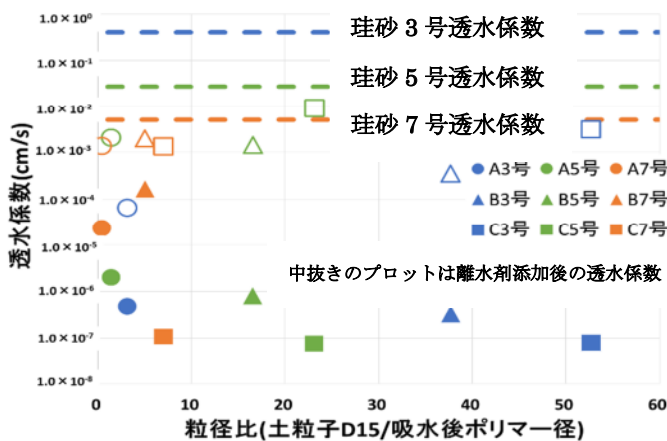


図-3 粒径比がポリマー混合土の透水性に及ぼす影響

表-2 粒径比がポリマー混合土の透水性に及ぼす影響

ポリマーA			
	珪砂 3 号	珪砂 5 号	珪砂 7 号
離水前	4.76E-07	2.02E-06	2.36E-05
離水後	6.48E-05	2.08E-03	1.38E-03
珪砂のみ	4.05E-01	2.72E-02	5.12E-03
ポリマーB			
	珪砂 3 号	珪砂 5 号	珪砂 7 号
離水前	3.31E-07	8.12E-07	1.63E-04
離水後	3.51E-04	1.45E-03	1.98E-03
珪砂のみ	4.05E-01	2.72E-02	5.12E-03
ポリマーC			
	珪砂 3 号	珪砂 5 号	珪砂 7 号
離水前	7.67E-08	7.42E-08	1.05E-07
離水後	3.18E-03	9.21E-03	1.35E-03
珪砂のみ	4.05E-01	2.72E-02	5.12E-03

i) 透水性回復確認試験結果

図-3 より、珪砂 3 号、5 号を用いたポリマー混合土の透水係数は $k = 1.0 \times 10^{-6}$ (cm/s) のオーダーまで低下している。ポリマー種類に着目すると、粒径比が大きくなるほど透水係数が小さくなる傾向が確認できた。これは珪砂の間隙径に対してポリマー径が小さい方が、間隙を充填しやすいため、遮水性が向上したと考えられる。

ii) 透水性回復確認試験結果

図-3 より、0.3%濃度 $CaCl_2$ 水溶液添加による離水後のポリマー混合土の透水係数はいずれも $k = 1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-4}$ (cm/s) 程度まで回復している。使用したポリマーの種類によって、離水後の透

水係数に差があり、ポリマーC, B, Aの順に透水性の回復率が高いという結果となった。

これは、粒径比が大きいほど、ポリマー混合土の間隙中に占めるポリマー粒子数が多くなるため、ポリマーの離水作用による透水性回復がより顕著に行われたからではないかと考えられる。

ただ、珪砂3号を用いたポリマー混合土は珪砂5号、7号を用いたケースと比べて透水性の回復が小さい。これは珪砂3号は間隙径が大きいいため、離水後のポリマーが間隙から抜け出して供試体下端のろ紙部へ移動し、ろ紙が目詰まりを起こしたことが原因と考えられる。

本実験で得られた成果を要約すると以下の通りである。

- 1) 粒径比の調整により、ポリマー混合土の遮水性を制御できる可能性を確認した。
- 2) 珪砂やポリマーの性状によっても異なるが、離水後に2～5オーダー程度の透水回復性が確認でき、地下水流保全への貢献が期待できる。

3. 共同研究者

近藤義正（理工学研究所・招聘研究員）

杉本隆男（理工学研究所・招聘研究員）

上原精治（理工学研究所・招聘研究員）

橋本正（理工学研究所・客員上級研究員）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- 1) 岩崎光紀、赤木寛一、浅野均、請川誠、下坂賢二、近藤義正、上原精治：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、第69回土木学会年次学術講演会、2014. 9, pp467-468
- 2) 佐藤雅恵、赤木寛一、岩崎光紀、下坂賢二、近藤義正：高吸水性ポリマーを用いた地下水流保全型山留め壁工法の研究開発、第11回地盤工学会関東支部発表会、2014. 10, pp23-24
- 3) 中村淳、赤木寛一、下坂賢二、近藤義正：高吸水性ポリマーを用いたポリマー混合土の遮水性向上と透水性の回復、第50回地盤工学研究発表会、2015. 9, pp1501-1502
- 4) 伊藤雅道、佐藤諒、赤木寛一、下坂賢二、近藤義正：高吸水性ポリマーを用いたポリマー混合土の遮水性向上、第12回地盤工学会関東支部発表会、2015. 10, pp71-72
- 5) 浅野均、赤木寛一、近藤義正、上原精治、請川誠、下坂賢二：特殊ポリマー安定液を用いた場所打ち杭の施工例、基礎工、2014. 3, pp46-49

5. 研究活動の課題と展望

近年、中央リニア新幹線、外郭環状道路などを始めとして、大深度地下を利用した大規模プロジェクトが注目されている。これらの大深度地下利用にあたっては、トンネル施工時のシールド機の発進、到達立坑、鉄道駅部やジャンクション等の施工に地下掘削用の山留め壁構築が不可欠である。これらの現場に適用できる透水性を回復できる山留壁の開発の社会的意義は高い。今後は加圧式透水試験装置に代わり、三軸圧縮試験装置を用いることで、ポリマー混合土の遮水・透水性の回復、強度の検討を行う。