

ソイルセメント地中連続壁へのペーパースラッジの適用性の検討

西松建設㈱ 正会員 ○岩谷 隆文, 正会員 阿部 孝行, 正会員 吉野 修
宮城大学食産業学群 正会員 北辻 政文

1. はじめに

紙・パルプ製造業の産業廃棄物排出量の約 70%はペーパースラッジ（以下、PS）と呼ばれる有機汚泥である。この PS を再資源化することは、廃棄物の発生抑制に有効な手立てであり、その手法の確立が求められる。PS の活用技術としては、地中連続壁工法のソイルセメントに PS を混和材として添加することでソイルセメントの流動性などの品質が向上することが確認されている¹⁾。

本研究では、この既往研究成果を踏まえ、PS を添加したソイルセメント（以下、PS ソイルセメント）の流動性、材料分離抵抗性を確認し、PS のソイルセメント用混和材としての性能を評価した。さらに、PS に含まれる有機質の腐敗がソイルセメントの長期的（2～3 年程度）な品質に及ぼす影響を評価した。

2. 試験概要

2.1 PS ソイルセメントのフレッシュ性状

PS の基本物性を表-1 に示す。PS の組成は含水率、有機質分および無機質分からなり、それぞれ 50.0、18.5 および 31.5%が含まれている。

PS のソイルセメント用混和材としての適用性を確認するために、ソイルセメントのフレッシュ性状を確認した。試験に使用した配合を表-2 に示す。試験では、表-2 の各配合とケイ砂 5 号を混合・攪拌したソイルセメントを用いた。配合設計は、標準性能²⁾をもとにテーブルフロー値（以下、フロー値）が 180±10mm となるように W/C を設定し、PS の添加量を 0～20kg/m³ の範囲で 5kg ずつ変化させた。評価は、テーブルフロー試験（JIS R 5201）と密度比試験³⁾にて行った。テーブルフロー試験ではソイルセメントの流動性を確認し、密度比試験では材料分離抵抗性を確認する。

2.2 長期安定性の評価

本研究で用いた PS は高温蒸気および消石灰により腐敗対策を講じたものを使用した（表-1）。PS には表-1 に示すように、繊維状のセルロースなどの有機質成分が含まれている。このため、この有機質成分が微生物等の影響により腐食し、ソイルセメント壁に悪影響を及ぼすことが懸念される。そこで、この有機質成分がソイルセメントの品質に及ぼす長期安定性について評価を行った。

長期安定性の確認試験では、表-2 の各配合のうち、PS0、PS10 および PS15 のソイルセメント円柱供試体(φ50mm×100mm)を用いた。供試体を室内温度 20℃、湿度 100%で養生した「標準養生」と屋外の砂礫土地盤の深さ約 30cm の土中に埋設する「土中養生」を行い、作製から半年後、1 年後、2 年後について一軸圧縮試験（JIS A 1216）および透水試験（JIS A 1218）を行った。各試験の目標（基準）値は、室内試験法に従い²⁾、一軸圧縮強さ q_u は 2.0N/mm² 以上、透水係数 k は 2.0×10⁻⁶cm/s 以下に設定した。また、2 年経過後の供試体内部の PS 繊維について走査電子顕微鏡（SEM）を用いて腐食などの経年的影響を確認した。

表-1 PS の代表的な物性値

項目		物性値
密度※ (g/cm ³)		2.12
繊維長 (mm)		3.2
繊維径 (mm)		0.017
含水率 (%)		50.0
有機質成分 (%)	セルロース	4.7
	リグニン	4.3
	その他	9.5
無機質成分 (%)		31.5

※土粒子密度試験（JIS A 1202）により測定

表-2 セメントミルクの配合 (改良土 1m³ 当り)

試験ケース	セメントミルク (kg)				
	W/C	セメント	水	ベントナイト	PS
PS0	90	280	252	10	0
PS5	61		169		5
PS10	61		167		10
PS15	61		165		15
PS20	61		163		20



写真-1 土中養生場所

キーワード ペーパースラッジ, ソイルセメント地中連続壁, 混和材, 長期安定性

連絡先 〒105-6407 東京都港区虎ノ門一丁目 17 番 1 号 西松建設㈱ 技術研究所 TEL 03-3502-0247

3. 試験結果及び考察

3.1 PS ソイルセメントのフレッシュ性状

湿潤密度試験，テーブルフロー試験および密度比試験の結果を図-1，図-2 に示す．試験結果から，PS ソイルセメントは添加していない試験ケース PS0 に比べ，湿潤密度が低い結果となった．今回の試験ケースでは，PS を添加することで流動性が向上し，単位水量を約 4 割程度低減することがわかった．これらの結果は，PS に含まれるリグニンが影響し，優れたセメント分散性と適度な空気連行性を有したことに起因していると推察される．

密度比試験の結果では，試験ケース PS0 の場合，密度比の基準値 1.02 を超過しており，PS を添加しない場合でも，流動性は確保できたが，材料分離抵抗性は低い結果となった．一方，PS を添加したソイルセメントは全てのケースにおいて，いずれも基準値内に収まっており，PS を添加することで，ソイルセメントの材料分離抵抗性が向上したと判断できる．これは，PS のセルロース繊維が，ソイルセメントの土粒子と絡まることによると推察される．

3.2 長期安定性の検討

標準養生，土中養生の一軸圧縮試験の結果を図-3 に示す．全体的に土中養生に比べ，標準養生の一軸圧縮強さが高い値となった．各配合とも養生条件により発現強度の違いは多少あるが，基準強度を満足し，PS を添加した場合でも経年的な強度低下は生じていない．

標準養生，土中養生の透水試験結果を図-4 に示す．図中には 1 年後と 2 年後の透水試験結果を示す．PS ソイルセメント内の微細空気や PS 繊維の腐敗が透水係数に悪影響を及ぼすと懸念されていたが，土中養生 1 年後に比べて，土中養生 2 年後が透水係数は低く，また PS0 と比較しても透水係数は低い結果となった．このことから，2 年程度の期間では，セルロース繊維の腐敗に伴う透水係数の低下はないことが確認された．

次に，試験ケース PS15 に関する養生期間 2 年後の土中養生供試体の SEM 画像を写真-2 に示す．画像では，PS 繊維がソイルセメントと混合され，絡まっている様子が確認された．また，添加前の PS 繊維と比較しても，2 年後のソイルセメント中の PS 繊維の形状に変化はないことから，腐敗などの影響を受けていないことが観察された．

4. まとめ

本研究で得られた PS についての知見を以下に示す．

- ・ソイルセメントに PS を添加することで，ソイルセメントの W/C は低減し，流動性および材料分離抵抗性は向上する．
- ・PS を添加したソイルセメントでも長期的（2 年間）な強度特性や透水性など性能低下せずに保持できることが確認された．

参考文献

- 1) 阿部孝行：ペーパースラッジの農業水利施設補修材への利活用とその実用化，宮城大学大学院食産業学研究科博士論文，2017．2) 地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ 20 地中連続壁工法，2014．3) 気泡工法研究会：AWARD-Ccw 工法 技術・積算マニュアル（案），2013．

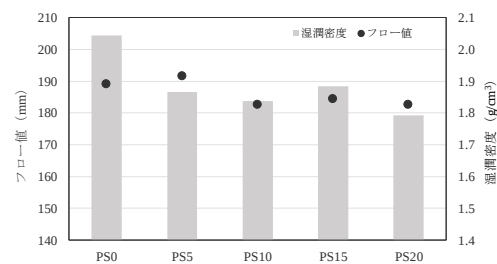


図-1 湿潤密度およびフロー値

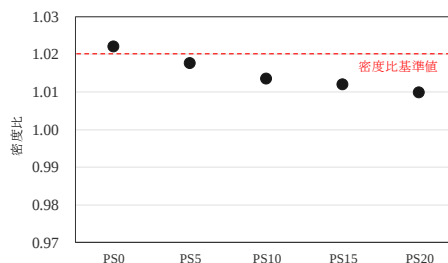


図-2 密度比試験の結果

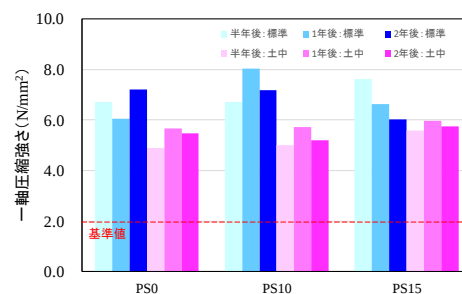


図-3 一軸圧縮試験の結果

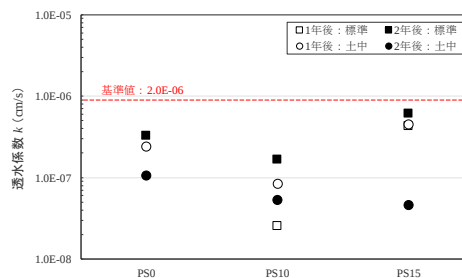


図-4 透水試験の結果

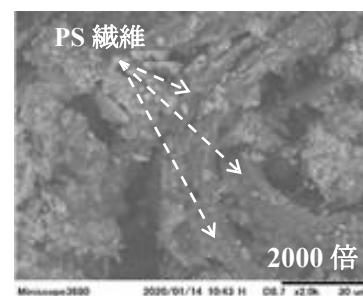


写真-1 2 年後の土中養生供試体 (PS15) の SEM 画像