

PS 灰による微粒珪砂キラの改良効果の検討

名古屋大学 (学生会員) 上野慎也 李琪 伊藤勇志 廣瀬称志
 名古屋大学 (正会員) 中野正樹 山田英司 浅岡顕

1.はじめに

窯業副産物である微粒珪砂キラは、細粒分を多く含むシルト質砂であり、圧縮プレスで脱水ケーキ状にして含水比を下けているが、そのままでは地盤材料として扱いにくい材料である¹⁾。今までに、石灰によるキラの改良を行っており、地盤材料として十分に利用できること、また弾塑性構成モデル SYS カムクレイモデルによる力学挙動の表現にも成功している²⁾。

本報告は、石灰に変わる安価な固化材として、製紙副産物である製紙汚泥を焼却したペーパースラッジ灰(以下 PS 灰)を取り上げ、キラと混合することにより物性および力学特性の改善を試み、地盤材料として有効利用するための基礎的データを示す。

2. PS 灰の性質

本研究では、清水市富士製紙共同組合から提供された PS 灰を固化材として使用する。PS 灰は、紙の製造および古紙再生における抄紙工程で発生する製紙汚泥を悪臭防止目的に焼却(900~1000)して得られたものである。PS 灰の組成成分は、主として SiO₂, Al₂O₃, CaO で構成されており、土質改良効果の高い石灰成分や粘土鉱物を多く含有している。表 - 1 に PS 灰の各種性質を、図 - 1 に粒径加積曲線を示す。pH は 12 以上の強アルカリ性で、灰粒子密度は 2.53g/cm³ と一般的な土よりも小さいが、シルト含有率は 70% で多孔質であり単位体積重量は $\rho_t = 0.6 \sim 0.7 \text{g/cm}^3$ と極端に軽く、保水性に優れる。

表 - 1 PS 灰の各種物性

灰粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.53
単位体積重量 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$	0.6 ~ 0.7
液・塑性限界 (%)	NP
pH	12.4
粘土分 (%)	3
シルト分 (%)	70
細砂分 (%)	26
粗砂分 (%)	1

3.改良土の作製方法

3.1 チェーン回転式破碎混合機の概要

本研究では、脱水ケーキ状のキラ(以降、脱水ケーキキラと称す)と PS 灰を混合する際に、チェーン回転式破碎混合機(以降、破碎混合機と称す)を用いて、破碎・混合している。この破碎混合機は、既存の安定処理工法の混合方式と比較して、脱水ケーキキラを細かく砕くとともに、固化材を均質に混合することが可能で、得られた材料は団粒集合体となり、取り扱いが格段に向上する。さらに、礫材料の破碎と粘性土の細粒化も可能であり、対象となる地盤材料の適用範囲が幅広くなる。

3.2 PS 灰の添加率と改良土の養生方法

脱水ケーキキラに対する PS 灰の添加率は以下に示す通りである。なお、PS 灰の添加率は脱水ケーキキラの乾燥重量に対する重量割合である。

改良土 PS18：脱水ケーキキラ + PS 灰 18%

改良土 PS27：脱水ケーキキラ + PS 灰 27%

改良土 PS36：脱水ケーキキラ + PS 灰 36%

供試体は、破碎混合機で得られたキラの団粒集合体を締固めることにより作製した。さらに固化材特有の長期的な固化反応効果を期待し、養生過程を施している。養生は、供試体の乾燥を防ぐためにモールド全体をラップで密閉し、コンテナで保管している。

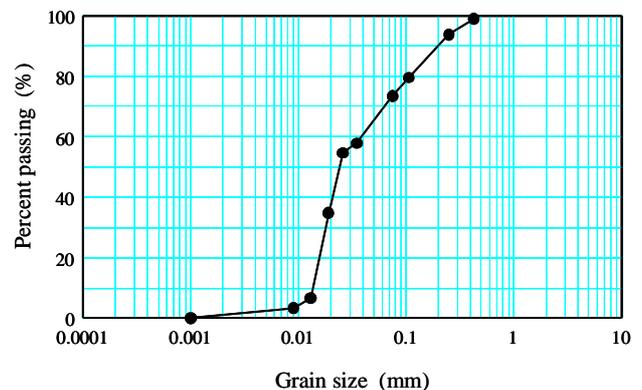


図 - 1 PS 灰の粒径加積曲線

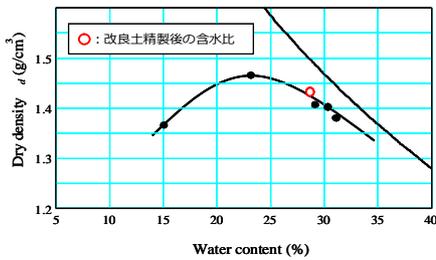


図 - 2 PS18 締固め曲線

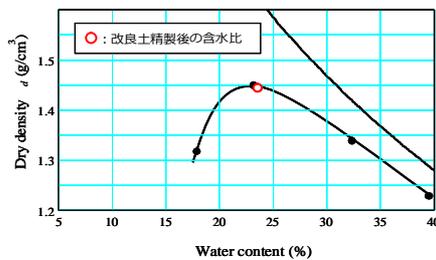


図 - 3 PS27 締固め曲線

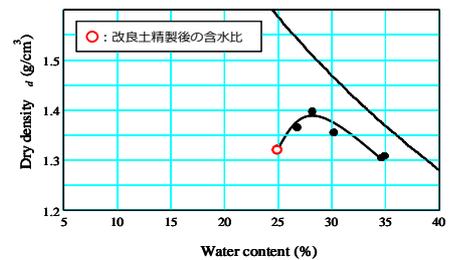


図 - 4 PS36 締固め曲線

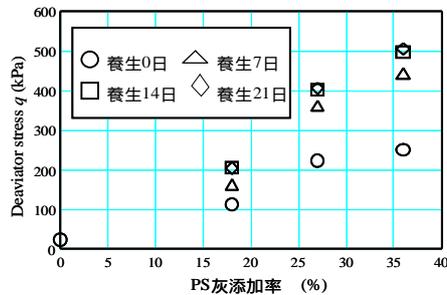


図 - 5 PS 灰添加率と一軸圧縮強度

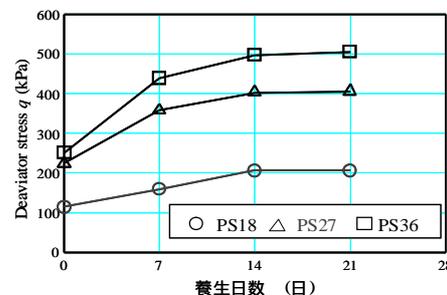


図 - 6 養生日数と一軸圧縮強度

表 - 3 一軸圧縮試験 試験結果

PS改良土		PSの添加率			
		18	27	36	
養生日数	0	qu(kPa)	114	224	252
		ρd(g/cm³)	1.43	1.39	1.34
	7	qu(kPa)	160	358	439
		ρd(g/cm³)	1.50	1.40	1.36
	14	qu(kPa)	207	403	498
		ρd(g/cm³)	1.43	1.38	1.33
21	qu(kPa)	206	406	506	
	ρd(g/cm³)	1.38	1.39	1.34	

4. 改良土の力学的性質

4.1 締固め特性

3種類のPS改良土について、締固め試験を日本工業規格(JIS A 1210:1999)³⁾に準じて実施した。図-2~4に各種PS改良土の締固め曲線を示す。図中の白丸は、破碎混合機から得られた材料を締固めた直後の含水比を表す。脱水ケーキキラが約33%の含水比をもつのに対し、PS灰を添加し破碎混合機により改良することで、改良土精製後の含水比は大きく低下する。乾燥したPS灰を入れることによる含水比の低下のほか、PS灰の消化吸水反応も起こすためである。特にPS27は最適含水比まで低下している。表-2に最大乾燥密度と最適含水比を示す。PS灰の添加率を上げるほど、最適含水比は大きく、最大乾燥密度は小さくなる。

表 - 2 PS改良土の最大乾燥密度と最適含水比

改良土	PS18	PS27	PS36
ρdmax(g/cm³)	1.47	1.45	1.40
wopt(%)	23.2	23.2	28.1

4.2 一軸圧縮特性

一軸圧縮試験(直径50mm,高さ100mm,せん断速度1mm/min)を、日本工業規格(JIS A 1216:1998)⁴⁾に準じて実施した。表-3に試験結果を、図-5,6にPS灰の添加率と一軸圧縮強度の関係および一軸圧縮強度に及ぼす養生効果を示す。なお、供試体の乾燥密度は、図-2~4の締固め曲線より、各種PS改良土の作製時における乾燥密度(図中白丸)としている。

表-3および図-5より、PS灰の添加率を上げるこ

とで、乾燥密度は小さくなるものの、一軸圧縮強度は著しく増加する傾向がみられる。これは、PS灰の添加率を上げることで、消化吸水反応や、イオン交換反応が活発化した結果であると考えられる。

図-6より、PS灰の添加率に依存することなく、養生過程を施すことで、強度は増加する傾向にあることがわかった。これは、ポゾラン反応によると考えられる。しかし、PS灰による養生効果は、長期的に継続するわけではない。養生日数14日を経過すると強度増加はみられない。このことは、PS灰による養生効果は14日程度で収束に向かうことを示している。

5. おわりに

本研究の成果より、PS灰は石灰などの固化材と同様の改良効果をもち、窯業副産物を含む建設発生土の改良には非常に有効であることがわかった。今後は、14日養生後の三軸圧縮試験、圧密試験を行い、圧密・変形挙動を把握するとともに、弾塑性構成モデルにより表現し、改良材の品質保証を目指す。

参考文献:

- 1) 李琪他(2008): 窯業副産物である微粒珪砂キラの力学特性の把握, 平成19年度土木学会中部支部研究発表会, 投稿中
- 2) 中野正樹他(2006): 破碎・石灰混合・締固めによるシルト改良土の構造の高位化, 第41回地盤工学研究発表会概要集, pp.759-760.
- 3) 地盤工学会: 土質試験の方法と解説, pp.252~265.
- 4) 前掲3), pp.425~440.