

PS 灰, セメント, 骨材を混合した微粒珪砂キヲ改良土の力学特性の把握

名古屋大学大学院 正会員 ○中野正樹, 山田英司

名古屋大学大学院 学生会員 上野慎也, 伊藤勇志, 廣瀬称志

1. はじめに

窯業副産物である微粒珪砂キヲを地盤材料として有効利用するために, 製紙工業の副産物である PS 灰 (ペーパースラッジ灰) との破碎・混合による団粒化, その後締固めにより得られた PS 灰改良土の物性, 力学特性を調べたところ, PS 灰混合率としてキヲ乾燥密度に対し 27% (PS27) の改良土が, 大きな一軸圧縮強度を有し, その圧縮量も減少した^{1),2)}. 本報告では, 地盤材料へのさらに広範囲な活用を目指し, PS27 に対しセメントを添加した改良土 PSC27, 骨材, 砂を混合し強固な粒をもつ団粒集合体を作製し, その力学特性を調べた.

2. セメント混合によるキヲ改良土の力学挙動とその記述

キヲとは, 珪砂精製時の汚泥水を沈殿させ, 高压フィルタープレスにかけて脱水ケーキ状態で排出される窯業副産物であり, 常時含水比 33%を有する (脱水ケーキキヲ). 主成分は SiO_2 と Al_2O_3 で, それぞれ 70%, 17%を占め, 地盤材料の工学的分類ではシルト(ML)に分類される. 脱水ケーキキヲ (含水比 $w=33\%$) の一軸圧縮強度は 24.8kPa で, 排出直後の強度は低く, 何らかの改良が必要である.

今回用いた PS 灰は, 成分調整を施された富士製紙共同組合から得たもので, 土質改良効果の高い石灰成分や粘土鉱物を多く含有し, キヲに及ぼす改良効果は確認している^{1),2)}. また, 灰粒子は多孔質材料で保水性に優れる特徴をもつ. 今回, PS 灰混合率 27%の PS27 に対し, さらにセメントを 7.5%混合した PSC27 を作製し, セメント混合が力学挙動に及ぼす影響を調べた.

図 1 に PS27 と PSC27 の一軸圧縮強度の養生効果の比較を示す. 養生しなかった場合, 両者の一軸圧縮強度に大きな差が見られないが, 養生することにより, PSC27 の一軸圧縮強度が PS27 より著しく大きくなる. PS27 は養生日数 14 日で収束に向かうのに対し, PSC27 は養生日数が 14 日を経過しても, 強度が増加する傾向にある. 養生 21 日のピーク強度に対する圧縮ひずみは, PSC27 が 0.7%程度で, PS27 は 1%程度 (図は省略) で, PSC27 の方がより脆性的な破壊を示した.

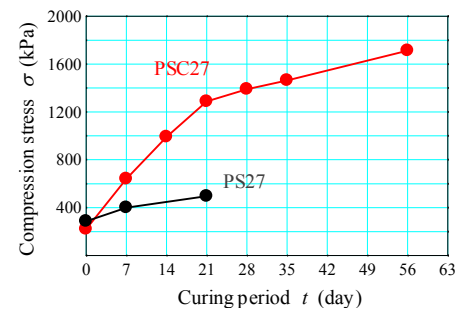


図 1 圧縮強度における養生効果

図 2 に PS27 と PSC27 改良土の, 固化材混合後, 締固めた改良土に対し, 養生 14 日での標準圧密試験結果を示す. PSC27 の圧縮量は PS27 より著しく小さくなる. PS 灰の添加率が同じであっても, セメントを添加することで, 耐圧縮性に関する改良効果は顕著に現れる.

図 3 に PS27 と PSC27 改良土の三軸圧縮試験結果を示す. 等方圧 294kPa で等方圧密した後, 側圧一定のままひずみ速度 0.007mm/min で非排水せん断を実施した. 初期比体積は両者とも 1.85 前後でほぼ等しく, 最大軸差応力は PSC27 の方が 2.6MPa で大きくなっている. 図中には SYS カムクレイモデル³⁾を用いた軸対称条件下における構成式応答の計算結果も示している. 材料定数等の詳細は 2)に譲る. 本計算結果より, PSC27 の

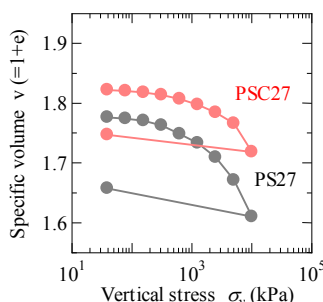


図 2 一次元圧縮挙動

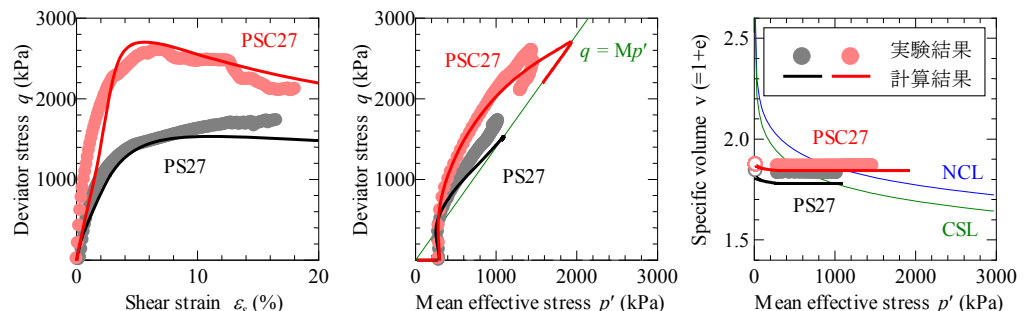


図 3 非排水せん断挙動と SYS カムクレイモデルによる再現

PS 灰・一軸圧縮試験・SYS カムクレイモデル

〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL:052-789-3834

方が、初期構造がより高位に、過圧密比もさらに大きな材料になった。

3. 骨材を混合したキラ改良土の力学挙動

キラの保水性、PS 灰の固化作用と保水性を生かし、保水能力を有する粒の集合体の作製を試みた。粒状集合体を構成する粒の強度を上げるため、骨材を混入し、粒の保水性を高めるため骨材の周りにキラ、セメント、PS 灰の混合材を付着させた。団粒集合体の作製方法は、骨材、砂、PS 灰、セメント、水を、コンクリートミキサーにより混合させ団粒集合体を作製し（芯材）、さらにキラ、PS 灰、セメント、砂の混合材（表層）を投入し、粒の周りに付着させた（写真 1）。配合率（乾燥重量比）は表 1 に示すように PS 灰の混合率に応じて 3 種類とした。

3 種類の改良土（以下、団粒集合体 1,2,3 と呼ぶ）に対し、同じ乾燥密度になるよう締固めて、一軸圧縮試験を実施したところ、表 2 に示す一軸圧縮強度を示した。PS27 よりもさらに強度が上昇している。ピーク強度における軸ひずみはどの供試体も 1%程度で、脆性的な破壊が観察された。

団粒集合体 3（緩詰め： $\rho_d=1.77\text{g/cm}^3$ ）の保水性試験を実施した。図 4 には保水性試験で得られた水分特性曲線を示している。なお、比較のためキラ改良土（PS27）、典型的砂である豊浦標準砂、粘土も合わせて示している^{4),5)}。団粒集合体 3 は団粒集合体 1 のセメント代替

材としてその半分为 PS 灰に置き換えており、PS 灰自身、多孔質材料であり保水性が高いことから、セメントの代わりに混合した PS 灰により固化作用だけでなく保水性をも高めたといえる。団粒集合体 3 は初期の体積含有率 θ が砂、粘土に比べ小さい。実験精度の影響もあるが、団粒集合体の粒同士の間隙は、キラ改良土の粒同士の間隙に比べ非常に大きい。したがって低い水頭差で粒同士の水が排水（透水）し、体積含水率 θ が小さくなる。しかし粒の表層のキラ、PS 灰により、保水効果があるため、その後の圧力水頭の上昇においても、体積含水率 θ が小さくならず、100cm の圧力水頭でも砂よりも高い保水性を有する。

4. まとめ

PS 灰の固化作用と保水性を、セメントの固化作用を利用し、また骨材、砂等を混入することにより、様々な変形特性、強度特性の地盤材料を作ることができる。今後は、対象とする土構造物の性能に応じ、必要となる性質をもつ地盤材料の開発も必要であろう。また新材料に品質保証を与えるためにも、力学挙動の再現も重要となろう。特に 3. で示した団粒集合体は、粒同士の間隙は透水性が高く、粒自身は保水性を有する地盤材料を念頭に置いており、保水・透水性舗装材の基礎研究と位置づけている。

謝辞

保水性試験について中部大学の杉井先生には試験方法の教授だけでなく貴重なデータをご提供頂いた。また団粒集合体の配合、作製方法は増岡窯業原料に教授頂いた。ここに付して感謝の意を表する。また本研究は、科学研究費基盤研究(C)（課題番号 18560483）の助成を得ている。

参考文献

- 1)中野他(2008): 窯業副産物である微粒珪砂キラの PS 灰による改良効果に関する実験的研究, 第43回地盤工学研究発表会概要集。
- 2)山田他(2008): PS 灰を用いた微粒珪砂キラ改良土の骨格構造概念に基づく改良原理の解釈, 第43回地盤工学研究発表会概要集。
- 3) Asaoka et al.(2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S & F, 42(5), pp.47-57.
- 4) 杉井他(2005): 水分分布近似法による砂質土の不飽和透水特性の評価, 土木学会論文集, No.792/III-71, pp.131-142.
- 5) 杉井他(2008): 水分特性曲線推定のための保水性試験について, 土木学会中部支部研究発表会, pp.229-230.

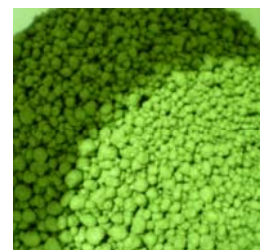


写真 1 団粒集合体

表 1 骨材を混合したキラ改良土の配合率

団粒集合体 1 (基本配合)					
	セメント	PS 灰	砂	砂利	キラ
芯材	0.2	0.0	0.223	0.577	0.0
表層	0.2	0.0	0.2	0.0	0.6
団粒集合体 2 (セメント:PS 灰=3:1)					
	セメント	PS 灰	砂	砂利	キラ
芯材	0.15	0.05	0.223	0.577	0.0
表層	0.15	0.05	0.2	0.0	0.6
団粒集合体 3 (セメント:PS 灰=1:1)					
	セメント	PS 灰	砂	砂利	キラ
芯材	0.1	0.1	0.223	0.577	0.0
表層	0.1	0.1	0.2	0.0	0.6

表 2 各種団粒集合体の一軸圧縮強度

	団粒集合体 1	団粒集合体 2	団粒集合体 3
一軸圧縮強度 q_u (kPa)	3023	4104	2683
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.77	1.77	1.77

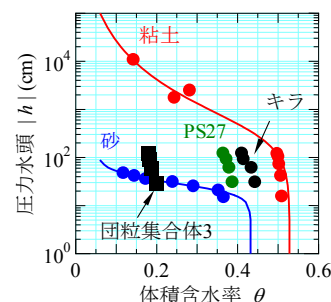


図 4 水分特性曲線