

製紙スラッジ焼却灰による砂地盤の改良

愛媛大学大学院 学生会員 ○足立望美 愛媛大学大学院 正会員 木下尚樹
愛媛大学大学院 正会員 安原英明

1. はじめに

愛媛県の東予地方では、製紙業が盛んであり、製紙汚泥（製紙スラッジ）の排出量が多い。減容化のため焼却された製紙スラッジは、焼却灰（製紙スラッジ焼却灰：PS 灰）となり、多くが埋め立て処分されている。また、近年では最終処分場の残余年数、容量ともに急激に減少してきており、埋め立て処分地の確保が困難であることから、PS 灰の有効利用法の確立が求められている。産業廃棄物のばいじんの中には PS 灰の他に石炭灰があり、石炭灰は全国各地で排出されることから活発に有効利用に関して研究が進められている。しかし、PS 灰は製紙業の盛んな地域でしか排出されないため、有効利用法の研究開発が進んでいないことが現状である。既往の研究^{1),2)}では、PS 灰造粒材料や PS 灰のコンクリート用骨材としての利用などの建設材料としての有効性については評価してきたが、PS 灰混合材料の化学的特性や物理的特性、強度特性については評価していない。そこで、本研究では、PS 灰の地盤改良材としての適用性を評価することを目的とし、軟弱地盤（砂地盤）に PS 灰を混合することを想定した供試体にて性能評価を行う。

2. 実験概要

PS 灰の地盤改良材としての適用性を評価するために、相対密度 0.6 の砂地盤を想定し、その砂試料に PS 灰を混合し、供試体（ $\phi 50 \times 100$ mm）を作製する。この時の水 PS 灰比 w/p は 0.8~1.0 である。養生期間は 7, 28, 90 日間とし、養生条件は湿潤、室温 20°C、直射日光の当たらない場所とする。一軸圧縮試験ではサーボ式制御式疲労試験機を用いて実施し、強度特性を評価する。また、SEM 観察により PS 灰の水和反応を微視的に評価し、XRD により PS 灰の組成化合物の水和反応による変化を評価する。

3. PS 灰の構造および組成

SEM 観察による結果を図 1 に示す。水 PS 灰比 w/p=1.0、比較するために作製した水セメント比 w/c=1.0 の供試体を観察すると、w/p=1.0 の供試体には針状の水和物と平面状の水和物がみられ、w/c=1.0 の供試体には針状の水和物がみられる。このことより、PS 灰とセメントでは同様な水和反応が起こる可能性が考えられる。次に XRD による鉱物分析の結果を図 2 に示す。水 PS 灰比 w/p=1.0、水セメント比 w/c=1.0 の供試体の生成物を比較すると、どちらもケイ酸カルシウム水和物（C-S-H）と炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）が含まれていることが確認できた。PS 灰混合の供試体とセメント混合の供試体は同様な水和物が発生していることがわかった。このことから、PS 灰を混合した場合においても強度が発現する可能性が期待できる。

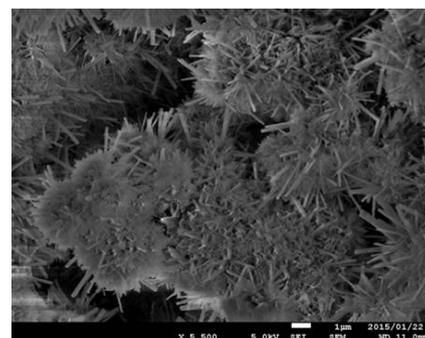
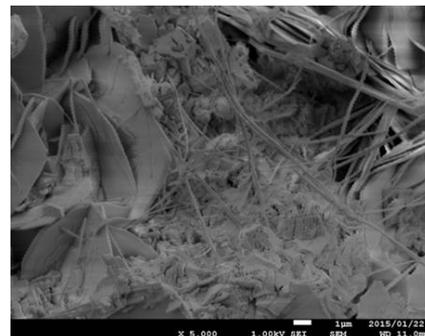


図 1 供試体の微視構造観察結果
上 w/p=1.0 の SEM 画像(5,000 倍)
下 w/c=1.0 の SEM 画像(5,500 倍)

4. 地盤改良材としての適用性

PS 灰混合の供試体の一軸圧縮試験の結果を評価し、考察する。表 1 に PS 灰混合の供試体の配合表を示す。一軸圧縮試験で、PS 灰混合による強度への影響を評価する。図 3 に PS 灰混合の供試体の一軸圧縮強さと材齢の関係を示す。材齢 7 日の一軸圧縮強さは、w/p=1.0 : 454 kPa, w/p=0.9 : 657 kPa, w/p=0.8 : 603 kPa であり、材齢 28 日では、w/p=1.0 : 657 kPa, w/p=0.9 : 740 kPa, w/p=0.8 : 1010 kPa である。また、材齢 90 日では、w/p=1.0 : 821 kPa, w/p=0.9 : 1162 kPa, w/p=0.8 : 1490 kPa である。これらの結果より、長期材齢では、一軸圧縮強さが増加することがわかった。また、w/p=0.8~1.0 を比較すると、PS 灰の混合量が多い供試体の方が、強度が高くなっている傾向がみられる。PS 灰の地盤改良材への有効利用ができるものと考えられる。

5. おわりに

PS 灰の有効利用を拡大するために、PS 灰の地盤改良材としての適用性と性能評価を行った。SEM および XRD の結果より、PS 灰混合の供試体には水和物が生成されており、セメント混合の供試体と同様な水和反応が起こっていると考えられる。また、一軸圧縮試験の結果より、長期強度が増進することがわかった。以上の結果より、PS 灰の地盤改良材としての適用性は高いものと考えられる。今後の課題としては、PS 灰の混合による強度発現のメカニズムを更に詳しく検証することが挙げられる。

参考文献

- 1) 木下尚樹, 川口隆, 松尾暁, 安原英明: 製紙スラッジ焼却灰造粒材料のコンクリート用骨材としての適用性評価, *Journal of MMIJ*, Vol.128, pp. 576-583, 2012
- 2) 木下尚樹, 川口隆, 松尾暁, 本田美紀, 安原英明: 製紙スラッジ焼却灰造粒材料を用いたモルタルのプレキャスト材料としての性能評価, *Journal of MMIJ*, Vol.128, pp. 611-619, 2012

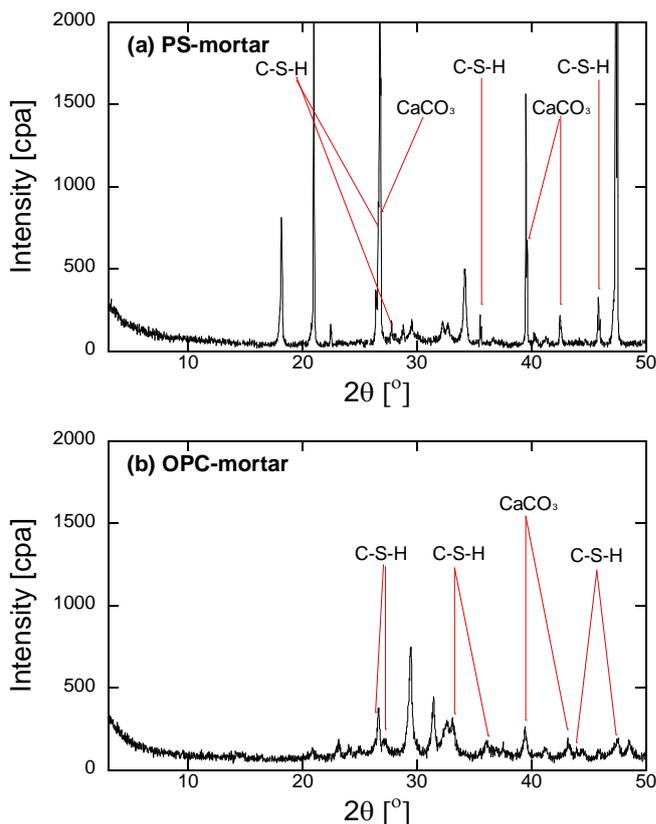


図 2 X 線回折分析結果

(a) PS 灰混合の供試体 (b) セメント混合の供試体

表 1 PS 灰混合の配合表(1 m³あたり)

w/p	珪砂 6 号 [kg]	水 [kg]	PS 灰 [kg]
1.0	1329	346	347
0.9	1310	340	378
0.8	1282	334	416

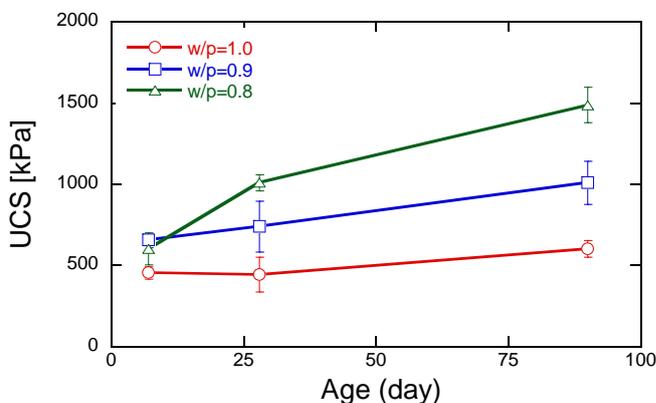


図 3 UCS と材齢の関係(w/p=0.8~1.0)