

PS 灰造粒材料の耐久性と物質溶出による環境への影響

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

1. はじめに

製紙工場では、紙パルプの製造過程で大量に製紙スラッジが排出される。また、中間処理として製紙スラッジを焼却することにより減量化や腐散防止の効果がある。この灰を製紙スラッジ焼却灰(PS 灰)といい、造粒加工したものを製紙スラッジ焼却灰造粒材料(PS 灰造粒材料)という。既往の研究^{1),2)}では、PS 灰造粒材料を骨材として用いたコンクリートの耐久性などは評価されてきたが、PS 灰造粒材料自体の耐久性は評価されていなかった。また、PS 灰には土壌環境対象物質が含まれているため、造粒加工により溶出を抑制しており、PS 灰造粒材料の利用を拡大するためには、PS 灰造粒材料に含まれる土壌環境対象物質の溶出量が土壌環境基準値以下であると確認する必要がある。本研究では、材齢 1 年の PS 灰造粒材料と材齢 2 年の PS 灰造粒材料を比較し、耐久性や溶出特性について述べる。

2. 耐久性

PS 灰造粒材料の耐久性を評価するために、スレーキング試験および単粒子破碎試験を実施する。まず、スレーキング試験は、岩のスレーキング試験(JIS110)³⁾に準じて行う。試験の概要は次のとおりである。

1) 試料を 105°C の乾燥炉に 24 時間入れ、その後、室温になるまで放冷する。

2) バットに水を注ぎ、試料を 24 時間水浸させる。

1), 2)を 1 サイクルとし、5 サイクル行った後に、スレーキング率およびスレーキング階級を判断する。試験結果は、式 (1) より求められたスレーキング率および目視により評価する。

$$R_s = \frac{m_b - m_c}{m_b} \cdot 100 \quad (1)$$

ここで、 R_s : スレーキング率 [%], m_b : 全乾燥土質量 [g],
 m_c : 10mm ふり残乾燥土質量 [g]である。

これより、材齢 1 年および材齢 2 年ともスレーキング率は 2 %以下であった。また、スレーキング階級は C, D と乾湿繰り返しによる劣化は見られなかった。

次に単粒子破碎試験は、1993 日本工業規格造粒物—強度試験(JIS Z 8841)に準じて行う。また、試験ではサーボ制御式疲労試験機を使用し、0.1mm/s の速度で載荷する。試験結果は、最初の荷重ピーク F_1 を試料の長径 l と短径 (高さ) h の積で除することにより破碎強度を求め評価する。図 1, 図 2 に材齢 1 年、材齢 2 年のスレーキング試験前後の破碎強度と試料の見かけ密度の関係を示す。また、青丸はスレーキング試験前の結果、赤丸はスレーキング試験後の結果を示す。見かけ密度は式 (2) より求められる値とする。

$$\rho_{ad} = \frac{m}{h^2 \cdot l} \cdot 10^3 \quad (2)$$

ここで、 ρ_{ad} : 見かけの密度 [g/cm³], m : 試料の質量 [g],
 h : 試料の短径 (高さ) [mm], l : 試料の長径 [mm]である。

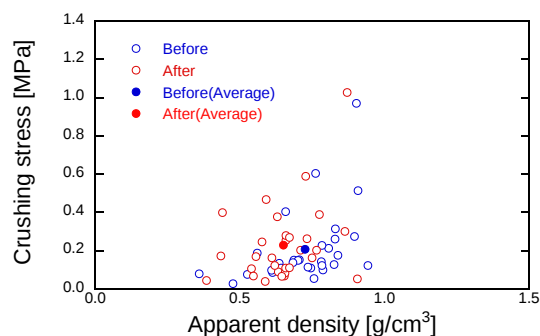


図 1 破碎強度と見かけの密度の関係(材齢 1 年)

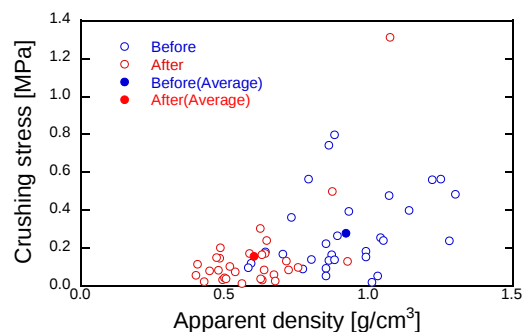


図 2 破碎強度と見かけの密度の関係(材齢 2 年)

図 1 より，材齢 1 年でのスレーキング試験前後の結果は変化がわずかである．しかし，図 2 より材齢 2 年でのスレーキング試験前後の結果ではスレーキング試験後の破砕強度および見かけの密度が低下していることがわかる．これらの結果より，時間経過により乾湿繰り返しによる影響を受けやすくなり劣化しやすくなったものと推察される．

ただし，スレーキング試験前の材齢 2 年の試料を，材齢 1 年と比較すると，破砕強度および見かけの密度とも増加しており，強度に関して劣化は進行していないことが推察される．

3. 溶出特性

PS 灰造粒材料の溶出特性を評価するために，溶出試験を実施し，土壤環境対象物質の溶出量を ICP 発光分光分析等で分析する．溶出試験は，環境告示第 18 号(土壤溶出調査に係る測定方法)に準じて行う．試料は 2mm 以下に調整したものを使用し，測定対象物質は六価クロム，ほう素，鉛，ふっ素の 4 種類である．また，周辺環境や酸性雨との接触による影響を評価するため，試験液作製時における溶媒を超純水 (pH6)，濃度 0.769 mmol/L の硫酸水溶液 (pH 3)，濃度 3.85 mmol/L 水酸化カルシウム水溶液 (pH 11) の 3 種類とする．

実験の結果，ほう素およびふっ素の濃度は基準値以下であった．図 3 および図 4 に鉛と六価クロム(三価クロムも含む)の材齢 1 年および材齢 2 年 PS 灰造粒材料から溶出した量を示す．これより，材齢 1 年では検出限界以下であった中性条件での溶出量が材齢 2 年では増加していることがわかった．また，六価クロムに関しては土壤環境基準値を上回っている可能性があり，詳細な検討が必要である．

4. おわりに

耐久性と物質溶出特性の結果から，経年変化により PS 灰造粒材料の耐久性および溶出抑制効果の劣化が進行していると考えられる．今後，更に経年変化を観察するとともに，土壤環境対象物質の溶出メカニズムを検証し，溶出量を軽減する対策を検討することを今後の課題とする．

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
- 3) 社団法人 日本道路協会：舗装調査・試験方法便覧〔第 4 分冊〕，第Ⅲ章 試験編，5.路盤材料 6.路床土 7.舗装の出来形・品質，pp. [4]137-[4]142, 2007

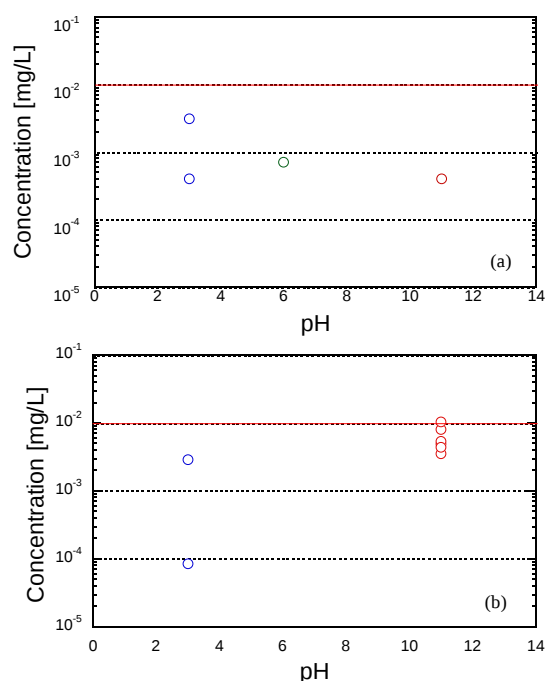


図 3 鉛の溶出量
(a)：材齢 1 年，(b)：材齢 2 年

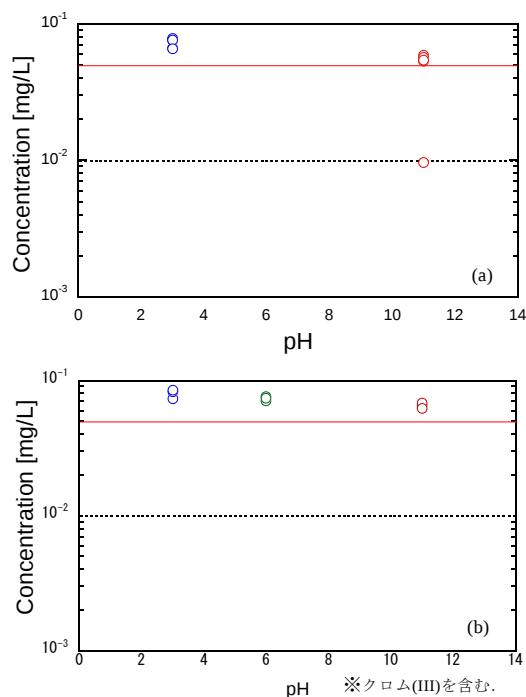


図 4 六価クロムの溶出量
(a)：材齢 1 年，(b)：材齢 2 年