

Ⅲ - B 369

下水汚泥焼却灰の地盤環境影響要因と地盤材料としての適用性

鹿島建設（株） 正会員 乾 徹
 京都大学防災研究所 フェロー 嘉門雅史
 京都大学防災研究所 正会員 勝見 武

1. はじめに 有害物質を含んだ廃棄物を地盤工学的に有効利用する際には、地盤環境に対する適切な影響評価を行う必要がある。下水汚泥焼却灰（Sewage Sludge Incinerated Ash; 以下 SS 焼却灰）についてもその生成過程から、地盤材料として利用した際の有害物質の溶出が危惧される。

本研究では、SS 焼却灰に対してカラム溶出試験を実施し、地盤環境影響要因の溶出特性の把握を行った。さらにその結果を用いたパラメトリックスタディを行い、SS 焼却灰の地盤材料としての適用性について議論を行った。

表-1 供試体の物性

焼却灰	一軸圧縮強さ (MPa)	1.6~2.3
	含水比 (%)	55.0
	乾燥密度 (g/cm ³)	0.87~0.89
	透水係数 (cm/s)	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁴
	まさ土含水比 (%)	15.6
	まさ土乾燥密度 (g/cm ³)	1.52~1.59

2. SS 焼却灰からの溶出特性 SS 焼却灰からの有害物質の溶出特性を検討するため、 $w = w_{opt}$ で加水締固めを施した SS 焼却灰に対してカラム溶出試験を実施した。溶出した有害物質と地盤の相互反応についても、焼却灰層（2.5、5.0、10 cm 長さ）と 5.0 cm 長のまさ土層（ $w = w_{opt}$ ）を併設したカラム試験により検討を行った。実験に用いた供試体の物性を表-1 に示す。

総流量と累積 Cr 溶出量の関係を図-1 に示す。焼却灰単体のケースでは、流下初期に 0.3 (mg/kg-ash) 程度の溶出を示した後はほとんど溶出しないが、総流量 $L/S = 50$ 以降から急激に溶出が増加し、その後収束する。この挙動は、水と長期間接触することによる材料の劣化に起因するものと考えられる¹⁾。一方、まさ土層を設けたケースでは、廃棄物層の長さに比例して Cr 溶出の立ち上がりが遅れており、Cr の吸着が生じていることが分かる。この実験結果によるまさ土の Cr 吸着量は約 4.5 (mg/kg-soil) となった。総流量と累積 Pb 溶出量の関係を図-2 に示す。焼却灰単体のケースでは、流下初期の溶出が大半であり、最大濃度 0.08 mg/L を示すが、その後 $L/S = 60$ 程度では溶出が終了する。一方、まさ土層を設けたケースでは有意な Pb の溶出はみられず、溶出した Pb のほぼ全量がまさ土に吸着されたと判断できる。総流量と溶出水の pH の関係を図-3 に示す。焼却灰単体からの溶出水の pH は 12 程度の値を維持し、高いアルカリ性を示した。一方、まさ土層を設けたケースにおいては廃棄物層の長さを問わず、通水初期に pH = 5~6 の値を示し、まさ土によるアルカリ緩衝能が発揮されていることが分かる。その後、徐々に pH 値は上昇を始め、最終的に廃棄物単体からの溶出水による pH 値に収束する。この実験結果からまさ土が発揮したアルカリ吸着能を算出すると、おおよそ 6×10^{-5} (mol/g-soil) となった。

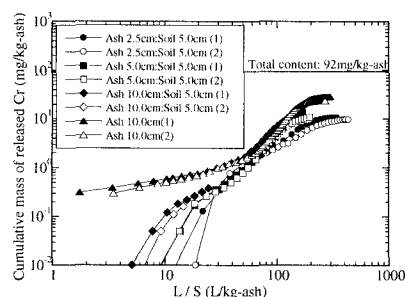


図-1 総流量と累積Cr溶出量

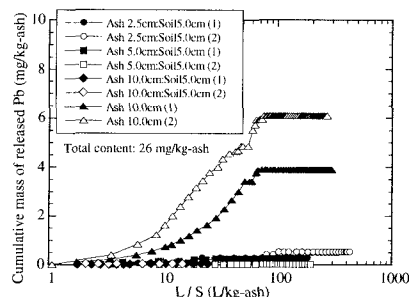


図-2 総流量と累積Pb溶出量

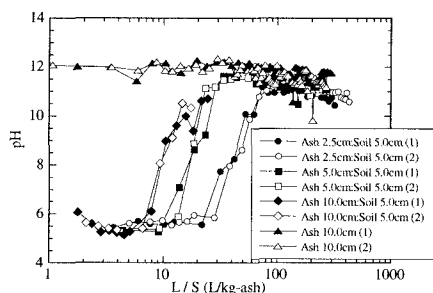


図-3 総流量と溶出水のpH

キーワード：下水汚泥焼却灰、地盤環境影響、重金属、アルカリ

〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 TEL: 0774-38-4093 / FAX: 0774-38-4094

3. パラメトリックスタディを用いた検討

1) 概要 図-4 に示すような地盤断面を用いてパラメトリックスタディを行い、SS 焼却灰を有効利用した際の地下水への Cr、アルカリ分の溶出量を算出し、地盤材料としての適用性について議論を行った。ただし計算は以下の仮定に従って行った。(1) 地盤内の鉛直方向のみの水の流れを考える。(2) 焼却灰から溶出する有害物質に対して吸着能を発揮するのは焼却灰層直下の地盤のみとする。(3) Pb については、地盤の緩衝能を考えた実験ではほぼ全量が吸着された点、理論的に得られる地盤の Pb 吸着能が溶出量に比べて十分大きい点を考慮し、検討の対象とはしない。(4) 廃棄物層の透水係数は $10^{-4}(\text{cm/s})$ 程度であることから、廃棄物層上に侵入した水の全量が廃棄物層内を通過する。

2) Cr 溶出による環境影響の評価 緩衝作用を発揮する地盤の層厚を H_s (m)、まさ土の Cr 吸着能を C (mg/kg)、まさ土の乾燥密度を ρ_d (kg/m³)、廃棄物層からの Cr の累積溶出量 M_c (mg) が次の関係を満たす場合、地下水中に Cr が漏出する。

$$M_c > C * \rho_d * H_s \quad (1)$$

なお、 C については実験的に求めた 4.5 (mg/kg)、 ρ_d は 1670 kg/m³ を用いた。計算では H_s および廃棄物層の層厚 H_w (m)、地盤に侵入する水量 Q_L (L/m²/year) をパラメトリックに変化させた。 Q_L については、日本の平均降雨量 $L=1760$ (mm) の $1/10$ 、 $1/3$ 、および $1/2$ が浸透すると設定した。図-5 は地盤中に $H_w = 5$ m の廃棄物層を構築した場合の地下水への Cr 漏出時期、累積漏出量を示したものである。浸透量の増加、および地下水までの地盤層厚が減少するにつれ、漏出時期が早くなる。地盤の緩衝能は有限であるため、最終的な累積溶出量は浸透量に関係なく一定の値を示すが、地盤への浸透量を降水量の $1/10$ 程度に抑えた場合、100 年以上の長期に渡り地下水中への Cr の漏出が生じない。

3) アルカリ溶出による環境影響の評価 計算は Kamon ら²⁾ が示した改良土に起因するアルカリ溶出への対策に関する評価方法を参考に行った。地下水中に $\text{pH} > 10$ のアルカリが溶出するのに要する時間を T (year)、緩衝層となる地盤の乾燥質量を M (g)、廃棄物から溶出した OH^- イオン量を OH^- (mol/g)、まさ土のアルカリ緩衝能を C_A (mol/g) とすると、以下の関係が成立する場合に地下水へのアルカリ溶出が生じる。

$$T > (C_A * M / Q_L) * \{10^{(\text{pH}-14.17)} - 10^{(10-14.17)}\} \quad (2)$$

なお、SS 焼却灰からの浸出水の pH は実験結果から $\text{pH}=12$ で一定とした。 C_A については実験的に求められた $C_{A1} = 6 \times 10^{-5}$ mol/g-soil、その $1/2$ の $C_{A2} = 3 \times 10^{-5}$ mol/g-soil を用いた。図-6 は緩衝層となる地盤の層厚と、高アルカリが地下水中に漏出する時間を各ケースについてプロットしたものである。廃棄物への浸透水の通過を抑制する、および緩衝層となる地盤層厚を十分確保することにより、地下水へのアルカリ漏出を抑えることが示される。例えば、浸透量を降水量の $1/3$ に抑え、地下水面までの距離を 4 m 確保することにより、 $C_1 = 6 \times 10^{-5}$ (mol/g-soil) の場合、100 年以上もアルカリの漏出を防止することが可能となる。

【参考文献】

- 1) 嘉門ら：固体系廃棄物の有効利用に伴う地盤環境影響要因の溶出特性、第 34 回地盤工学研究発表会、1999。
- 2) Kamon, M., T. Katsumi and S. Oyama: Environmental impact and control of alkaline migration by cement stabilized soil, Proc. of 2nd ICEG, Vol.2, pp751-756, 1996。

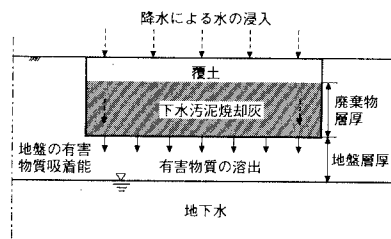


図-4 パラメトリックスタディに用いた断面

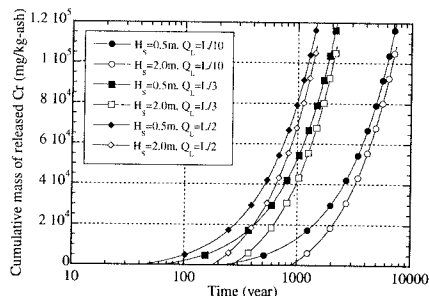


図-5 SS焼却灰の有効利用に伴うCr溶出

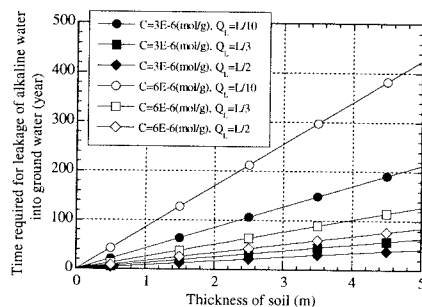


図-6 SS焼却灰の有効利用に伴うアルカリ漏出