

各種条件下における造粒石炭灰からの微量物質溶出特性に関する実験的検討

山口大学大学院 学生会員 ○西原浩一郎 古森幸作

山口大学工学部 正会員 吉本憲正 中田幸男 村田秀一

山口大学大学院 正会員 兵動正幸

1. はじめに

石炭灰の有効利用技術の一つとして、石炭灰に固化剤を添加し、砂礫大に造粒化した造粒石炭灰を地盤材料として利用する方法が提案されている。すでに力学特性の面からは様々な試験を行い、地盤材料として有用であることが確認されつつある¹⁾。一方で、石炭灰のような微量有害物質を含む材料の地盤工学的な有効利用に際しては、その材料の溶出特性を把握し、周辺地盤環境に与える影響を十分に考慮することが不可欠である。ここでは、特に地盤環境下での溶出特性を把握することを念頭に置き、実地盤条件を比較的良く再現できるとされる室内カラム試験装置を用いることで、様々な条件下における造粒石炭灰の微量物質溶出特性を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2-1 溶出試験の概要

溶出試験はバッチ試験とカラム試験に大別される。本研究では、締固め・固化などを行った成形体の試料に溶媒を接触させ、有害物質の溶出を促す試験であり、実際の溶出挙動に近いとされているカラム試験を行うことで造粒石炭灰からの微量物質の溶出特性を調べた。本研究で用いたカラム試験装置の概要を図-1に示す。本試験装置は、モールド+ゴムスリーブ+アクリルセルの組み合わせにより、カラム内において締固めた供試体の作成が可能である事、拘束圧の

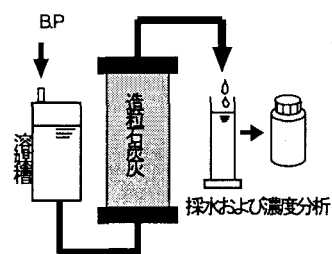


図-1 カラム試験装置

載荷による周面流れの影響を軽減できるなどの特徴を有している。カラムは内径5cm高さ20cmであり、2mm以下に粒度調整した試料を所定の密度条件となるように充填して試験を行った。溶媒の流入は動水勾配一定でカラム下からのアップフローとし、固液比（液体mL/試料乾燥質量g）1:0.1~1:10までの浸出液を分析した。

2-2 用いた試料

造粒石炭灰は、石炭灰に少量のセメントや水および補助剤を加えることで製造する。本研究で用いた造粒石炭灰はE、FおよびF_{wet}の3種類である。これらの製造過程および養生含水比条件は同様であるが、製造時の配合割合は異なり、EがF、F_{wet}よりも石炭灰の割合が若干高いものとなっている。E、Fはカラム充填前に気乾状態にして保管し、試験時に含水比調整したが、F_{wet}は養生中の湿潤状態を保持したまま保管しカラムに充填した。各試料の粒度は、EはFおよびF_{wet}よりも細粒分が若干多く含まれているが、砂分の粒度はいずれも類似しており、粒径0.03mm~2mmの幅を持つ粒度分布の良い材料である。なお、表-1に環境庁告示第46号法による溶出試験の結果を示す。これにより、本研究で用いた造粒石炭灰は土壤環境基準を満たしている試料であることが分かる。本研究では造粒石炭灰からの微量物質の溶出特性についてホウ素、セレン、ヒ素、カルシウム、フッ素に着目しpHとの関連性を検討したが、ここでは、その中でも石炭灰に多く含まれるヒ素(As)と近年着目されているホウ素(B)を代表例としてあげる。なお、造粒石炭灰からの溶出が懸念される六価クロムについては、全ての検液において検出限界以下であった。

表-1 溶出試験結果

試料名	E	F	F _{wet}	土壤環境基準
Cr(VI)	ND(<0.01)	ND(<0.01)	ND(<0.01)	0.05
As	0.004	0.003	0.002	0.01
B (mg/l)	0.8	0.6	0.2	1
Se	ND(<0.001)	ND	ND(<0.001)	0.01
pH	11.3	10.5	11.2	-

造粒石炭灰は、石炭灰に少量のセメントや水および補助剤を加えることで製造する。本研究で用いた造粒石炭灰はE、FおよびF_{wet}の3種類である。これらの製造過程および養生含水比条件は同様であるが、製造時の配合割合は異なり、EがF、F_{wet}よりも石炭灰の割合が若干高いものとなっている。E、Fはカラム充填前に気乾状態にして保管し、試験時に含水比調整したが、F_{wet}は養生中の湿潤状態を保持したまま保管しカラムに充填した。各試料の粒度は、EはFおよびF_{wet}よりも細粒分が若干多く含まれているが、砂分の粒度はいずれも類似しており、粒径0.03mm~2mmの幅を持つ粒度分布の良い材料である。なお、表-1に環境庁告示第46号法による溶出試験の結果を示す。これにより、本研究で用いた造粒石炭灰は土壤環境基準を満たしている試料であることが分かる。本研究では造粒石炭灰からの微量物質の溶出特性についてホウ素、セレン、ヒ素、カルシウム、フッ素に着目しpHとの関連性を検討したが、ここでは、その中でも石炭灰に多く含まれるヒ素(As)と近年着目されているホウ素(B)を代表例としてあげる。なお、造粒石炭灰からの溶出が懸念される六価クロムについては、全ての検液において検出限界以下であった。

3. 実験結果と考察

試験は表-2に示したように試験No. ①~⑧の8パターン実施した。ここで、表中の σ_c は拘束圧、B.Pは動水勾配を与えるための背圧である。模擬海水には人工海水を使用し、日本近海の海水のpH(pH $\approx$ 8.2)に調整した。

なお、試験結果の検討に際しては、造粒の効果と溶媒の影響を中心に考察を進める。図-2, 3 に造粒石炭灰からの As, B の通水量に対する溶出濃度の変化を示し、図-4 に pH の推移を示す。なお、図-4 より造粒石炭灰からの浸出液は高い pH を示しているが、これは一般的に知られているように $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の解離反応に起因する OH^- の溶脱によるものと考えられる。図-2, 4 から、石炭灰を造粒化する事で pH が上昇すること、B, As の溶出は大きく抑制されていることがわかる。これは、石炭灰の造粒化に伴い微量物質が固定化されるためと考えられる。図-3, 4 より、海水を溶媒とした場合は、通水初期には pH=11 程度と高い値を示すが通水を継続することにより、浸出水の pH は、最終的に 8.5 程度まで下がることを確認できる。これより、海水は

表-2 カラム試験条件

試料	No.	ρ_s (g/cm ³)	σ_c (kPa)	B.P (kPa)	供試体作成方法	溶媒
造粒石炭灰 E	①	0.899($D_p=90\%$)	100	10	締固め法	精製水
	②	0.899($D_p=90\%$)	100	5	締固め法	精製水
造粒石炭灰 F	③	0.987($D_p=90\%$)	100	5	締固め法	精製水
	④	0.900	100	5	空中落下法	精製水
造粒石炭灰 Fwet	⑤	0.876($D_p=90\%$)	100	5	締固め法	模擬海水
	⑥	0.876($D_p=90\%$)	100	5	締固め法	精製水
石炭灰 F	⑦	0.900	100	5	空中落下法	精製水
	⑧	0.900	100	10	空中落下法	精製水

溶出するアルカリに対して緩衝能を示すと判断できる。一方、As と B の溶出濃度は、pH の下降に伴い高くなることがわかる。模擬海水を溶媒として用いた場合に pH の上昇が抑制された主な理由は、海水が弱アルカリ性であるために試料からのアルカリ分の溶脱が比較的少ない事、および海水に含まれる各種ミネラル分のうち、 MgSO_4 が溶液中の OH^- を式 (1) の反応によって低減させることが挙げられる²⁾。

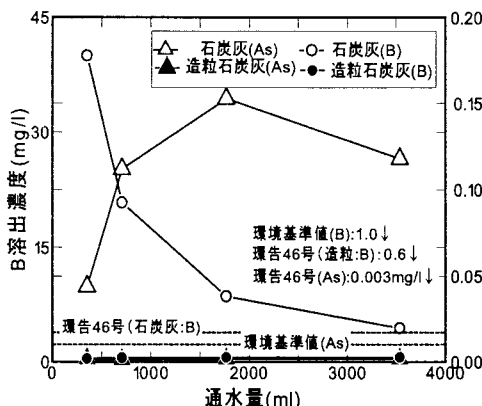


図-2 As, B の溶出特性

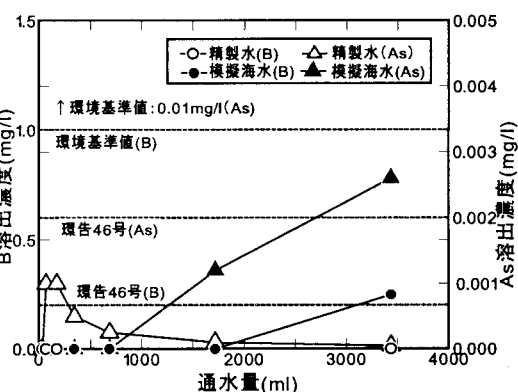


図-3 As, B の溶出特性

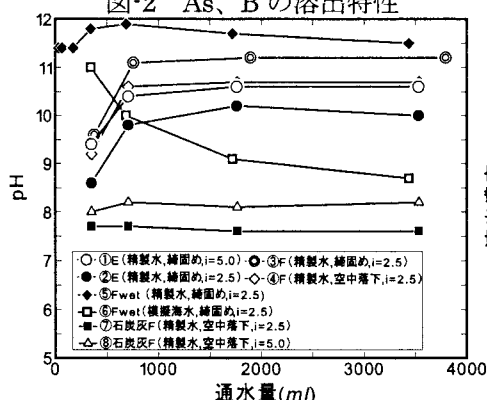


図-4 通水量と pH の関係

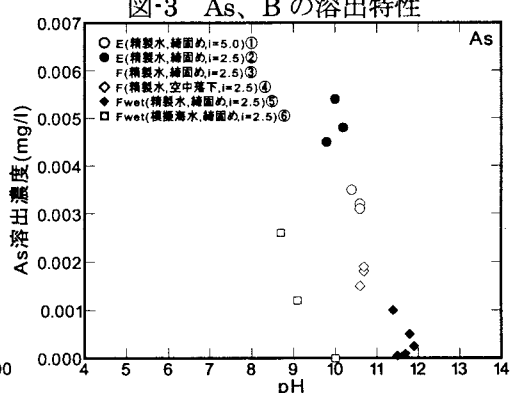
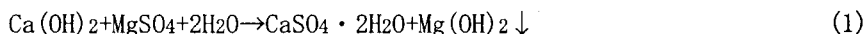


図-5 pH と As 溶出濃度の関係

において得られた全ての pH と As 溶出濃度の関係を示したものが図-5 である。これより、造粒石炭灰からの As の溶出濃度は pH の低下に伴い上昇する事が分かった。また B についても同様の pH 依存性が確認された。



4. まとめ

本研究では、カラム溶出試験により造粒石炭灰の微量物質溶出特性について調べた。その結果、石炭灰に造粒化技術を適用することで微量物質の溶出は大きく抑制されることがわかった。また、造粒石炭灰の微量物質溶出挙動には浸出液の pH が大きく影響していることがわかり、ここで取り上げたホウ素とヒ素に関しては、pH が中性側になるほど微量物質は溶出しやすくなることがわかった。

〈参考文献〉1) 大上敏弘・吉本憲正・兵動正幸・中田幸男・濱野吉章：盛土材料としての石炭灰の有効利用に関する研究, 土木学会中国支部第 55 回研究発表会 (平成 15 年度), pp.339-340 2) 嘉門雅史・乾徹・佐々木和憲：重金属汚染土およびその固化体の溶出特性に関する実験的検討, 材料, Vol.32, No.1, pp.45-48, Jan.2004.