

軟弱土安定処理に石炭灰を利用した際の微量成分の影響について

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠
 (株)ドラムエンジニアリング 正会員 奥村樹郎
 五洋建設(株) 正会員 安井 章

1. はじめに

土木材料として扱いにくいとされる石炭灰を有効利用する方法のひとつとして、軟弱土の安定処理に安定材とともに固化助材として混合し、安定処理効果を補助する働きを期待する場合がある。しかし、石炭灰にはその種類によっては、ごく微量ではあるが六価クロムやヒ素などの人体に影響を及ぼす有害成分を含んでいることがある。また、近年セメント系安定材においても六価クロムを含有していることが注目され、2000年にはセメント系固化材改良土に対する措置も国土交通省(建設省)から通達されている。したがって、石炭灰を利用した安定処理土の環境への影響を評価する必要がある。評価方法として、処理土の溶出試験を行った。

2. 試料の諸物性

今回使用した石炭灰は微粉炭燃焼方式の石炭火力発電所から排出された石炭灰である。ヘドロは航路上での水深確保と人工島建設を兼ねて浚渫したものである。それぞれの諸物性を表-1、2に示す。

3. 微量成分の溶出低減

石炭灰の種類によって含有する微量成分の量は異なるが、ここでは小峯ら¹⁾の研究を参考にして、石炭灰自身と処理土の低害化を検討した。

3.1. 石炭灰の低害化

(1) 試験方法 500ml ビーカーを洗浄容器として、スラリー化した石炭灰をスターラーにより攪拌した。その後60分静置させ、上澄み液をろ紙でろ過したものを検液として重金属の濃度を調べた。また、ろ過で分離された残渣石炭灰は炉乾燥し、環告46号の溶出試験をおこなった。条件は、固液比1:5、洗浄時間(60分、24時間)、洗浄時の温度は(常温(23℃)、高温(70℃))の組合せで、4パターンとした。

(2) 試験結果 溶出結果を表-3、六価クロムの例を図-1に示す。結果からは、ばらつきはあるものの、上澄み検液中の各微量成分の濃度は、高温・長時間洗浄になるにつれて高くなる傾向が得られた。また、残渣石炭灰の溶出試験においても同様に、「70℃、24h」の場合が最も溶出量が少なくなる傾向が得られた。

石炭灰中の微量成分の除去・回収には高温で長時間の洗浄条件が最も効果的である。ただし、ヒ素(As)については除去・回収量、溶出量ともに洗浄温度、洗浄時間と関係が無い結果となった。ヒ素の除去・回収に関してはこの作業は効果が無いといえる。逆に、六価クロム(Cr(VI))、セレン(Se)、ホウ素(B)については石炭灰から微量成分の除去・回収効果が得られた。また、カドミウム(Cd)、鉛(Pb)については石炭灰からの溶出は問題ないと考えてよい。ホウ素(B)については洗浄により溶出量は低下しているが、基準値を上回っており、石炭灰を使用する際には検討する必要がある。

表-1 物理・力学的性質

	石炭灰	ヘドロ
粒子密度(g/cm ³)	2.21	2.66
液性限界(%)	NP	73.9
塑性限界(%)	NP	30.1
塑性指数	NP	43.8
最適含水比(%)	23.5	—
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.28	—

表-2 化学組成とpH

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	SO ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SrO	igloss	pH
石炭灰	54.0	27.5	5.1	5.9	1.0	0.9	1.8	Tr.	0.2	1.4	0.2	0.2	1.77	12.0
ヘドロ	54.2	18.1	1.9	6.2	2.5	2.6	0.8	0.2	0.4	2.3	0.1	Tr.	9.66	7.3

化学組成: %

表-3 石炭灰溶出成分分析

試料名	項目	六価クロム	ヒ素	セレン	ホウ素	カドミウム	鉛
		Cr(VI)	As	Se	B	Cd	Pb
上澄み検液 (溶出成分)	① 23℃ 60分	0.058	0.051	0.004	9.22	< 0.001	—
	② 70℃ 60分	0.066	0.012	0.005	7.76	< 0.001	—
	③ 23℃ 24h	0.076	< 0.005	0.005	10.6	< 0.001	—
	④ 70℃ 24h	0.115	0.027	0.006	13.8	< 0.001	—
残渣石炭灰 (溶出残渣成分)	① 23℃ 60分	0.039	0.051	< 0.002	3.80	< 0.001	—
	② 70℃ 60分	0.040	0.053	< 0.002	3.44	< 0.001	—
	③ 23℃ 24h	0.038	0.046	< 0.002	3.18	< 0.001	—
	④ 70℃ 24h	0.034	0.064	< 0.002	3.08	< 0.001	—
石炭灰		0.060	0.052	0.004	6.51	< 0.001	—
浚渫ヘドロ		< 0.005	0.013	< 0.002	0.78	< 0.001	< 0.005
地下水の水質汚濁に関する環境基準		0.05	0.01	0.01	1	0.01	0.01
土壌の環境基準値		0.05	0.01	0.01	—	0.01	0.01

—: 不検出 (mg/l)

キーワード 石炭灰、微量成分、溶出試験、安定処理

連絡先 〒700-8530 岡山市津島中3-1-1 岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科 地盤環境評価額研究室 Tel 086-251-8164

3.2. 処理土の低害化

処理土からの微量成分の溶出量を低減するため、未処理の石炭灰(FA)の代わりに、3.1. で低害化した石炭灰(以下:Clean FA)と石炭灰ゼオライト(Ca 型)(以下:FA Zeolite)を用いて安定処理を行った。石炭灰ゼオライトは吸着能力を改良された石炭灰の例として市販されているものを使用した。それぞれの場合において一軸圧縮強度試験を行い、その後、圧縮試験後の試料を水質分析することで処理土からの微量成分の溶出濃度を測定した。

(1) 試験方法 一軸圧縮試験についてはヘドロの含水比は 100% に調整し、安定材は普通ポルトランドセメント (C) と消石灰 (L) で、添加率は 10% とした。固化助材としての各種石炭灰 (FA, Clean FA, FA Zeolite) の添加率は一律 20% とした。径 5cm×高さ 10cm の供試体を各条件で 3 個作製し、恒温 (20±3℃) で密封養生した。供試体養生期間は 28 日とし、一軸圧縮試験を行った。水質分析については圧縮試験後の試料について 2、3 日風乾した後、粉碎して 2mm ふるいを通過したものを溶出用試料とした。その溶出試験は環告 46 号に従った。また、分析項目は六価クロムと 3.1. で環境基準値を超えていたヒ素とホウ素の 3 項目に設定した。

(2) 試験結果 試験結果を図-2、表-4 に示す。強度試験結果より、石炭灰(FA)の代わりに Clean FA、FA Zeolite を添加した場合も、強度低下は見うけられなかった。また、各改良土における微量成分の溶出試験結果は表-4 からわかるようにセメント、消石灰安定処理ともに、項目の 3 成分が全て環境基準値をクリアしていた。六価クロムについても溶出量が定量限界値以下で、セメント系固化材の使用による影響も現れていない。ヒ素に関しては「安定材なし」の場合に環境基準を超えているが、改良土では基準値以内におさまっており、セメント、消石灰の安定材によって固定化されたと考えられる。ホウ素に関しては、石炭灰粒子自体に多く含まれているにもかかわらず、改良土では基準値以下を示している。これは、全体に占める石炭灰の体積割合が減ったためであると思われる。しかし、ヒ素と同様、「安定材なし」では基準値を越えているものもあり、安定材によってホウ素も固定化された結果であると考えられる。さらに、未処理 FA 添加より Clean FA 添加のほうが溶出濃度はわずかに低い値を示し、それ以上に FA Zeolite のほうが低い値を示しており、石炭灰を固化助材とする際に石炭灰低害化の効果はあるものと考えられる。

4. おわりに

石炭灰を固化助材として利用した改良土が環境に及ぼす影響については、石炭灰の低害化により改良土からの微量成分の溶出低減が図られ、十分な配慮を行なうことで微量成分濃度も環境基準値以内に抑えることが可能であった。よって、環境面からも軟弱土の安定処理において石炭灰を固化助材として利用できる可能性が得られた。しかし、石炭灰からの微量成分の溶出濃度は大量のヘドロに混合されることで希釈され、さらに安定材で固定化されているとも考えられることから、石炭灰、改良土ともに今後更なる溶出試験が必要であると考えられた。

【参考文献】

- 1) 小峯秀雄・片岡哲之・田中幸久・川村欣史・赤木寛一：温水洗浄による石炭灰の無害化技術に関する基礎研究－六価クロム、ホウ素、ヒ素、セレンの除去・回収効果について－, 第3回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp. 163-168, 1999.

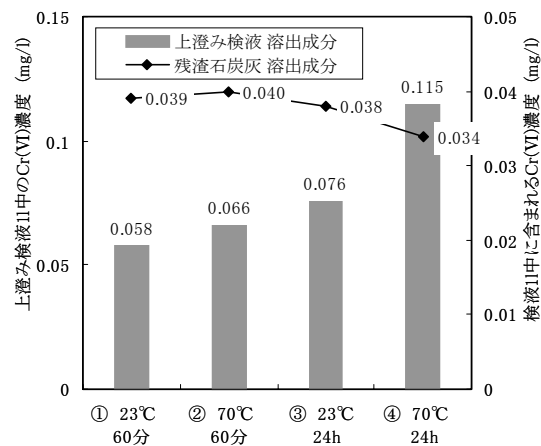


図-1 洗浄条件の違いによる六価クロムの除去・回収効果の違い

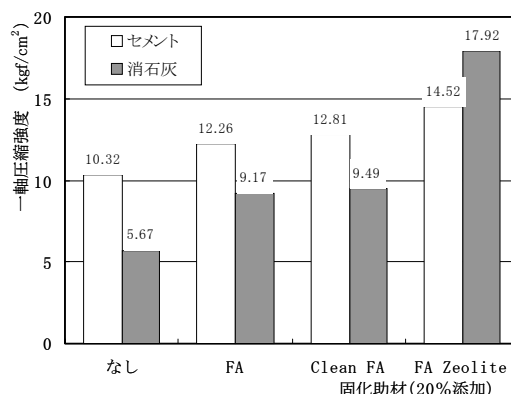


図-2 石炭灰の違いによるヘドロの強度比較(養生28日)

表-4 改良土溶出成分分析

試料名	項目	六価クロム Cr(VI)	ヒ素 As	ホウ素 B
セメント安定処理	① C10% FA20%	<0.005	0.008	0.99
	② C10% Clean FA20%	<0.005	0.006	0.76
	③ C10% FA Zeolite20%	<0.005	0.007	0.39
	④ C10% FA 0%	<0.005	<0.005	0.39
消石灰安定処理	⑤ L10% FA20%	<0.005	<0.005	0.90
	⑥ L10% Clean FA20%	<0.005	<0.005	0.73
	⑦ C10% FA Zeolite20%	<0.005	<0.005	0.45
	⑧ L10% FA 0%	<0.005	<0.005	0.29
安定材なし	⑨ 0% FA20%	<0.005	0.025	1.86
	⑩ 0% Clean FA20%	<0.005	0.028	1.30
	⑪ 0% FA Zeolite20%	<0.005	0.036	0.51
環境基準値		0.05	0.01	1

(mg/l)