

不溶化処理をしたフライアッシュからの六価クロム溶出特性の評価

九州産業大学

学生会員

砂田 幸太郎

九州産業大学

正会員

林 泰弘

九州産業大学

正会員

松尾 雄治

1. はじめに

フライアッシュからは土壌環境基準を超える有害重金属が溶出する懸念があり、地盤材料として再利用するためには、不溶化処理で土壌環境基準を満足するだけではなく長期的な溶出挙動を評価する必要がある。

本研究では、不溶化処理をしたフライアッシュからの六価クロムの溶出抑制の効果を検討するために、これまでの研究¹⁾で得られた液固比バッチ試験と上向流カラム通水試験の結果をもとに、最大溶出濃度、長期の総溶出推定量、溶出の継続性から溶出特性の評価を行った。

2. 不溶化フライアッシュ試料の作製

不溶化剤には多硫化カルシウム(CaSx)や硫化水素ナトリウム(NaSH)、固化材には高炉セメント B 種(BB)を用いた。不溶化剤の混合方法は表-1 に示した type-a と type-b の 2 種類とした。不溶化剤の種類や混合方法、固化材の混合の有無を組み合わせ、F、FC-a、FC-b、FCB-a、FCB-b、FN-a、FNB-a の試料を作製した。大文字は材料(F はフライアッシュ、C は多硫化カルシウム、N は硫化水素ナトリウム、B は高炉セメント B 種)を表し、小文字の-a、-b は不溶化剤の混合方法を表している。添加率はフライアッシュの乾燥質量に対して不溶化剤 0.2%、固化材 4%とした。不溶化処理をした試料の六価クロム溶出濃度はいずれも土壌環境基準を満足していた。

3. 試験の評価方法と指標

長期的な六価クロムの溶出特性を判断するために、液固比バッチ試験や上向流カラム通水試験から得られる情報をもとに表-2 に示す評価方法と指標を設定した。なお、六価クロム溶出濃度は液固比バッチ試験では JIS 法、上向流カラム通水試験では簡便法を用いて測定した。

3.1. 液固比バッチ試験による評価指標

液固比 L/S と六価クロム溶出濃度 C の関係から、液相に存在する汚染物質質量 M_L を取得し、吸脱着パラメーターとして吸脱着関与総量 M_T と平衡定数 K_d を得た²⁾(表-3)。 M_T が小さいことで長期の総溶出推定量が小さく、 K_d が小さいことで溶出が早く収束するため六価クロムの溶出抑制効果を見込めると判断した。

3.2. 上向流カラム通水試験による評価指標

液固比で整理した通水量と各試料の六価クロム溶出濃度の関係から最大溶出濃度 C_{max} 、上向流カラム通水試験における積算溶出量 M_T を求めた。さらにカラム試験後の試料を用いて行った環告 46 号試験の溶出量 M'_{46} と M_T の和として総溶出推定量 M_{LT} および M'_{46}/M_{LT} を得た(表-4)。 M_{LT} が小さいと長期の総溶出推定量が小さく、 M'_{46}/M_{LT} が小さいことはカラム試験後の試料からの六価クロム溶出量の割

表-1 不溶化剤の混合方法

名称	不溶化剤の混合方法
type-a	フライアッシュに直接不溶化剤を添加し、超純水を加えて最適含水比28.5%にしたもの
type-b	不溶化剤を添加した超純水をフライアッシュの含水比が70%になるように加えて、約1日放置させてから最適含水比28.5%まで風乾したもの

表-2 試験の評価方法と指標

評価項目		評価指標
	液固比バッチ試験	上向流カラム通水試験
最大溶出濃度		溶出濃度の最大値 C_{max}
長期の総溶出推定量	吸脱着関与総量 M_T	積算溶出量 M_{LC} とカラム試験後の試料を用いた環告46号試験の溶出量 M'_{46} の和 総溶出推定量 $M_{LT} = M_{LC} + M'_{46}$
溶出の継続性	平衡定数 K_d	溶出濃度が土壌環境基準を下回る液固比 $L/S @ C_{0.05}$ 溶出濃度が最大値の半分となる液固比 $L/S @ C_{max}/2$
		総溶出推定量 M_{LT} に対するカラム試験後の試料を用いた環告46号試験の溶出量 M'_{46} M'_{46}/M_{LT}

表-3 吸脱着パラメーターの結果

材料	吸脱着関与総量 M_T (mg/kg)	平衡定数 K_d (L/kg)	重相関係数 R^2
F	1.68	5	0.923
FC-a	2.93	50	0.949
FC-b	1.00	15	0.250
FCB-a	2.93	50	0.949
FCB-b	1.05	20	0.571
FN-a	-	-	-
FNB-a	-	-	-

フライアッシュ、六価クロム、不溶化処理、液固比バッチ試験、上向流カラム通水試験、溶出特性

連絡先:福岡市東区松香台 2-3-1 九州産業大学建築都市工学部都市デザイン工学科, 092-673-5682

合が小さいと判断した。また、溶出濃度の最大値が半分まで低下したときの液固比 $L/S@C_{max}/2$ ，溶出濃度が六価クロムの土壤環境基準 (0.05mg/L)まで低下したときの液固比 $L/S@C_{0.05}$ を得た(表-5)。 $L/S@C_{max}/2$ ， $L/S@C_{0.05}$ が小さいと通水環境下において六価クロムの溶出が早く収束すると判断した。

4. 六価クロム溶出特性の評価

4.1. 液固比バッチ試験による評価

表-3 によって評価する。不溶化剤種類については FN-a， FNB-a は検出限界以下の値¹⁾となったため硫化水素ナトリウムの方が小さくなった。不溶化剤の混合方法では M_T ， K_d とともに $FC-a>FC-b$ ， $FCB-a>FCB-b$ であったため type-b の方が小さくなった。固化材を加えることによる大きな違いは見られなかった。

4.2. 上向流カラム通水試験による評価

表-4， 表-5 によって評価する。表-4 より最大溶出濃度と長期の総溶出推定量ともに不溶化剤は多硫化カルシウム，不溶化剤の混合方法は type-b の方が小さくなった。また，固化材を加えることで長期の総溶出推定量は小さくなった。表-5 より $L/S@C_{max}/2$ は，不溶化剤の種類に着目すると $FCB-a>FNB-a$ から硫化水素ナトリウムの方が小さく，不溶化剤の混合方法では $FC-a>FC-b$ ， $FCB-a>FCB-b$ から type-b の方が小さくなった。また，多硫化カルシウムを使用した場合は $FCB-a>FC-a$ ， $FCB-b>FC-b$ から固化材を加えた方が大きいものの，硫化水素ナトリウムを使用した場合は $FN-a>FNB-a$ から固化材を加えた方が小さくなったため固化材の混合の影響は明確ではなかった。 $L/S@C_{0.05}$ については，F， FN-a は大きい値を示したが， $FC-a>FC-b$ ， $FCB-a>FCB-b$ から type-b の方が小さくなった。 M'_{46}/M_{LT} は type-b の方が大きくなった。

5. 液固比バッチ試験と上向流カラム通水試験の結果による総合評価

液固比バッチ試験と上向流カラム通水試験による評価から六価クロムの溶出抑制効果を見込める不溶化剤の種類と混合方法，固化材の混合の有無を判断した。不溶化剤の種類は硫化水素ナトリウムについては液固比バッチ試験で検出限界以下の結果があったにもかかわらず，上向流カラム通水試験で長期の総溶出推定量が大きいリスクがあるため，六価クロム溶出濃度を土壤環境基準値以下に抑制し，長期の総溶出推定量が小さい多硫化カルシウムの方が溶出抑制効果を見込める。不溶化剤の混合方法では type-b が最大溶出濃度と長期の総溶出推定量が小さく，溶出が早く収束するため溶出抑制効果が見込める。固化材の混合の有無については固化材を加えると上向流カラム通水試験で長期の総溶出推定量小さくなるためさらに溶出量抑制効果が見込める。

6. まとめ

不溶化したフライアッシュからの六価クロムの溶出特性を評価したところ，不溶化剤の多硫化カルシウムを水と共に良く浸み込ませ高炉セメントを加え養生させた試料の溶出抑制効果が最も高いと考える。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 20K04690 の助成を受けて実施した研究の一部である。

参考文献 1) 砂田ら：フライアッシュからの六価クロム溶出抑制における不溶化剤やセメント混合の影響， 令和4年度土木学会西部支部研究発表会， pp-， 2023. 3 3) 肴倉宏史ら：「液固比バッチ試験」による汚染物質を保有する材料の吸脱着パラメーターの取得法， 第53地盤工学研究発表会， pp. 2167-2168， 2018. 7.

表-4 長期の総溶出推定量と溶出の継続性

試料	M_{Lc} (mg/kg)	M'_{46} (mg/kg)	M_{LT} (mg/kg)	M'_{46}/M_{LT}
F	1.44	0.72	2.16	0.33
FC-a	0.89	0.24	1.13	0.21
FC-b	0.53	0.55	1.08	0.51
FCB-a	1.23	0.18	1.41	0.13
FCB-b	0.58	0.37	0.95	0.39
FN-a	1.36	0.63	1.99	0.32
FNB-a	2.39	0.23	2.62	0.09

表-5 溶出の継続性

	F	FC-a	FC-b	FCB-a	FCB-b	FN-a	FNB-a
$C_{max}(\text{mg/L})$	0.32	0.34	0.08	0.297	0.191	0.35	0.514
$L/S@C_{max}/2$	2.55	1.75	1.26	2.40	2.12	2.33	0.42
$L/S@C_{0.05}$	-	4.00	1.14	8.50	3.52	-	5.00

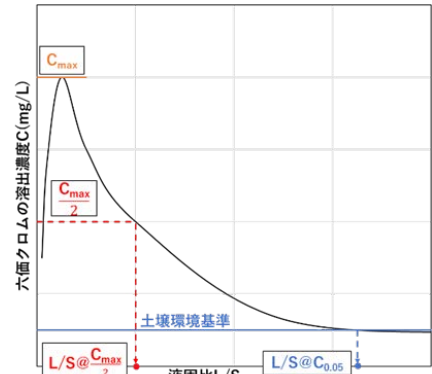


図-1 液固比～溶出濃度