

コンクリート塊の地盤リサイクルにおける微量成分対策

鹿島建設 正会員 ○間宮 尚
鹿島建設 青木 孝一

1. 背景

わが国では毎年4～5億tのコンクリートが打設され、1億t弱の廃コンクリート（コンクリート塊）が発生している。コンクリート塊のリサイクル率はほぼ100%であるが、コンクリートは建設物として毎年3～4億t程蓄積されている状態にあり、近い将来に建設物の物理寿命が一気に到来し、コンクリート塊発生量の増加が懸念されている。一方、コンクリート塊のリサイクル先は専ら路盤材で、道路工事の減少や改修時の自家リサイクル推進により、新たなリサイクル先の探索が必須である。

2. コンクリート塊リサイクル手法の比較

コンクリート塊のリサイクル手法には表1に示すように路盤材、現場内盛土、骨材回収があるが、需要、コスト、環境特性（微量成分）は一長一短である。最近では経済的理由から現場内盛土へ移行しつつあり、微量成分の溶出が問題になる場合があるが、これを解決できればバランスの取れたリサイクル方法となりうる。

表1 コンクリート塊リサイクル手法の特徴

リサイクル先等		需要	コスト	微量成分
1	道路工事	路盤材	×減少	△競合
2	工事現場内	盛土	○創出	○
3	再生骨材 副産微粉→	地盤改良材	△品質	△競合
		混和材	×	△競合
		セメント原料	△競合	×

3. 微量成分対策

3.1 原因

コンクリート塊の地盤リサイクルでは、溶出する六価クロムが場合によって環境基準を超えることが問題となる。これはセメント焼成時に粘土中のクロムの一部が酸化されてセメントに含まれることが主因とされている。

3.2 対策法

コンクリートはセメント、水、混和材、骨材からなるが、その種類や構成の違いが溶出量に大きく影響する。微量成分対策には大別して無害化と封じ込めがあるが、地盤リサイクルでは前者は還元処理、後者は新たな水和物への固定に相当する。

3.3 還元法

六価クロム処理は通常酸性下での還元とアルカリ下での水酸化物としての沈殿分離からなる。コンクリートは強アルカリだが、還元剤を反応当量の数十倍以上添加すると、pH12程度でも還元反応が起きる[1]。問題は地盤リサイクルに適した還元剤の選定である。

3.4 水和固定法

六価クロム酸 CrO_4^{2-} はエトリンガイト $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ の SO_4 部分に固定されると言われている[2]。従って、石灰 CaO とアルミナ Al_2O_3 を添加すれば、六価クロムの一部が固定される。ただし、エトリンガイトの生成速度が速いため、固定量は限定的と思われる。

4. 還元剤・水和材の添加実験

4.1 概要

六価クロムの還元には NaHSO_3 等の亜硫酸塩が使用されるが、本報では亜硫酸カルシウム $\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ に注目する。それは、この還元剤が機能した後に生成される石膏がセメント中に含まれる成分であること、石膏に環境基準が設定されていないことによる。表2に実験概要をまとめて記す。実験Aでは複数のコンクリート塊を対象として亜硫酸カルシウム添加量を変え、実験Bでは骨材回収工程で発生した均一なコンクリート微粉に還元剤や水和材を添加して、六価クロム溶出への影響を評価する。

表2 実験対象とパラメータ

	対象	パラメータ	水準
実験A	コンクリート塊 破砕物	コンクリート塊出処	5
		$\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$	6
実験B	骨材回収 副産微粉	$\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$	5
		CaO	4
		Al_2O_3	6

4.2 還元剤添加量の影響（実験A）

出処の異なるコンクリート塊を各々2mmアンダーに破砕して試料を作成し、これに異なる量の亜硫酸カルシウムを添加して六価クロム溶出量を計量した。次に各試料に含まれる六価クロム量を把握（定量下限値未満のため読値を採用）し、これを還元するのに理論上必要となる亜硫酸カルシウム量を基準として当量比（添加量の倍数）を求めた。

まず、当量比と六価クロム溶出量の関係を図1に示す。亜硫酸カルシウムによる六価クロムの還元は、ある程度の添加後に初めて効果が認められる[1]。次に、六価クロム溶出量を定量下限値（0.01mg/L）未満にする当量比と六価クロム含有量の関係を図2に示す。この当量比は含有量の影響を受け、含有量が大きいほど小さいが、本実験では当量比で40倍程度の添加量が必要との結果を得た。この傾向から、還元に必要な条件は当量比（六価クロム量当たりの還元剤量）ではなく、溶液中の還元剤濃度に起因する還元雰囲気の高さと推察される。

キーワード コンクリート塊、リサイクル、微量成分、六価クロム、還元処理

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 Tel. 042-485-1111

4.3 還元剤と水和材の相互影響 (実験B)

コンクリート塊から骨材を回収する際に発生する副産微粉を対象として、亜硫酸カルシウム、石灰、アルミナの添加量を変えて六価クロム溶出量を計量した。添加量の水準を表3に示す。亜硫酸カルシウム添加量の水準は実験Aにおける溶出低減域を考慮して設定した。なお、微粉はセメントリッチであるため六価クロム含有量が2.8[mg/kg]と若干高かった。

表3 実験パラメータと水準

	単位	1	2	3	4	5	6
S: $\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$	ppm	0	200	400	600	1000	
	当量比	0	19	38	58	96	
C: CaO	ppm	0	1000	2000	10000		
A: Al_2O_3	ppm	0	600	1000	2000	4000	10000

亜硫酸カルシウム(S)、石灰(C)、アルミナ(A)の中で2つの添加量を固定して1つの添加量を変えた時の六価クロム溶出量を図3～5に示す。凡例は、C1A1であれば石灰が第1水準(0ppm)かつアルミナが第1水準(0ppm)で、亜硫酸カルシウム添加量を変えたことを意味する。

亜硫酸カルシウム添加量を変えた場合、六価クロム溶出量は石灰添加量の影響を受け、これが少ない場合のみ亜硫酸カルシウムの添加が有効となる(図3)。同様に石灰添加量を変えた場合、六価クロム溶出量は亜硫酸カルシウム添加量の影響を受け、これが少ない場合のみ石灰の添加が有効となる(図4)。また、アルミナ添加量を変えた場合、六価クロム溶出量は亜硫酸カルシウムあるいは石灰添加量の影響を受け、双方の添加量が少ない場合にのみアルミナ添加が効果を示す(図5)。

全体的傾向として、亜硫酸カルシウム、石灰、アルミナは六価クロム溶出低減効果を有するが、相乗効果はほとんどない。環境基準である0.05[mg/L]を単独で満足するには、亜硫酸カルシウムならば800ppm、石灰ならば10000ppm、アルミナならばさらに添加率を上げる必要がある。薬剤の添加量は経済性、環境性の観点から可能な限り少ない方が望ましいので、六価クロム対策としては還元法のみでの対策が有効と考えられる。

5. まとめ

コンクリート塊の地盤リサイクル時の微量成分対策として、還元法と水和固定法に要する添加剤の量と溶出低減効果を把握した。添加剤はどれも低減能を有するが、相乗効果は薄く、環境基準を満たすのに必要な添加剤量の観点からは亜硫酸カルシウムを用いた還元法が有効であることが分かった。

参考文献 [1]セメントの混練方法、特許公報2876441、1999、[2]セメント系固化処理土検討委員会、セメント系固化処理土に関する検討(案)、2003、[3]間宮他、含有・溶出特性からみたコンクリート塊リサイクルに関する考察、土木学会第59回年次学術講演会、2004

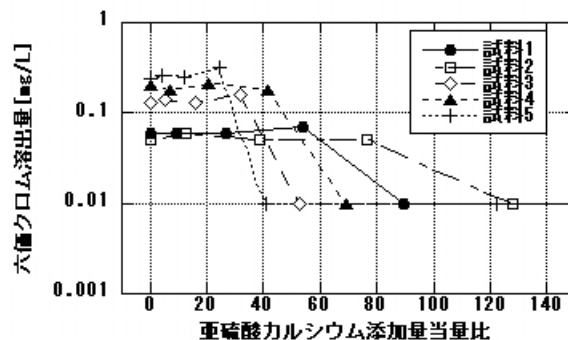


図1 還元剤添加量と六価クロム溶出量の関係

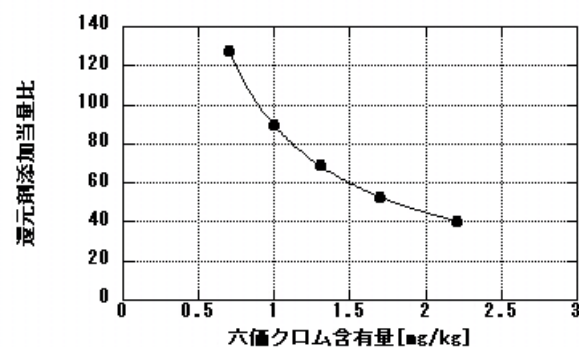


図2 六価クロム含有量と最適添加当量比の関係

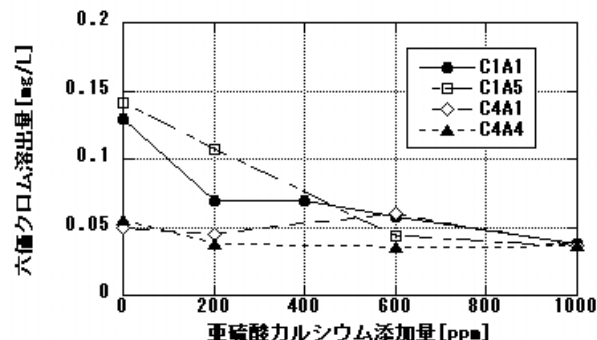


図3 還元剤・水和材と溶出量の関係1

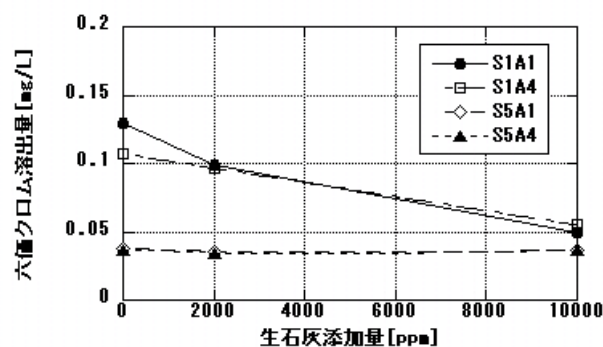


図4 還元剤・水和材と溶出量の関係2

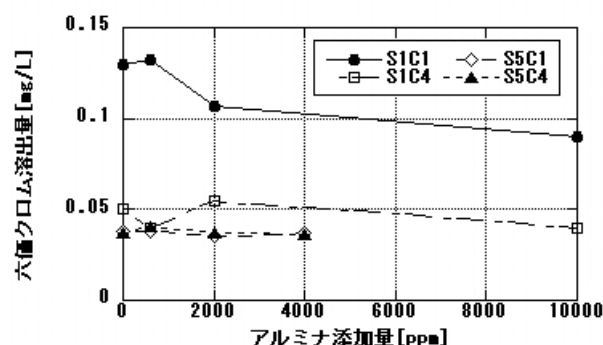


図5 還元剤・水和材と溶出量の関係3