

石炭灰からの Cr^{6+} の溶出・浸出特性と対策について

佐賀大学理工学部 正会員 柴 錦春

佐賀大学低平地研究センター フェロー 林 重徳

佐賀大学理工学部 正会員 鬼塚克忠

1. まえがき

石炭火力等から大量に排出される石炭灰を建設材料として活用することは、資源の有効利用の観点からも重要である。しかし、この場合、重金属、特に6価クロム (Cr^{6+}) の溶出・浸出量が環境基準以下であることは、必須条件である。本研究は2種類の石炭灰について、バッチコンタクト（以下溶出試験）、コラム浸透及びタンクリーチング試験により、 Cr^{6+} の溶出・浸出特性を調べるとともに、溶出・浸出量を抑制する対策として石炭灰中に混合・添加する、有明粘土並びに固化材（セメントと石膏系固化材）の割合および養生期間の影響を検討した。

2. 試料

同じ銘柄の石炭を燃やした灰を2回に分けて採取した。その性質が異なっていたので、以下に石炭灰 A と B と記す。石炭灰 B の化学成分は表-1に示す。石炭灰 A の化学成分を測定しなかった。固化材として普通ポルトランドセメントと石膏系固化材を使用した。また、混合材として有明粘土を使用した。有明粘土の液性限界 W_L は 110~120%、塑性限界 W_p は 55~58%であった。

表-1 石炭灰 B の化学成分（太平洋セメント㈱により測定）

化学成分	含有量 (%)	化学成分	含有量 (%)
SiO_2	39.33	TiO_2	1.13
Al_2O_3	29.11	Na_2O	1.00
Fe_2O_3	14.04	MgO	0.81
CaO	7.15	SO_3	0.69
K_2O	3.02	Cr	0.01
P_2O_5	1.50	その他	2.18

3. 試験方法

溶出試験は環境庁告示第 46 号に基づくもので、石炭灰（および土）と水との固液比 1:10 であった。コラム浸透試験は高さ約 20mm の試料を試験装置に締め固め、上部から蒸留水を浸透させ、浸出してくる液を採取し Cr^{6+} 濃度変化を調べた。タンクリーチング試験は建設省技調発第 49 号に基づくもので、一軸圧縮試験で崩壊させた数個の塊状の試料を用いて、28 日間蒸留水中に浸漬させた後、溶液を採取し Cr^{6+} 濃度と pH 値を調べた。

4. 試験結果

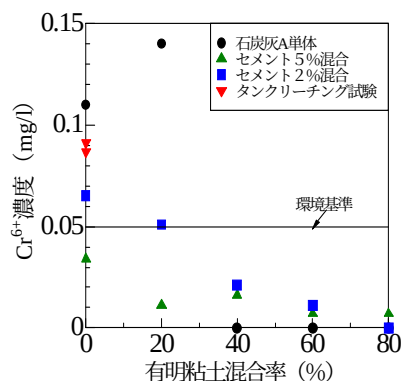


図-1 石炭灰 A の Cr^{6+} 濃度変化

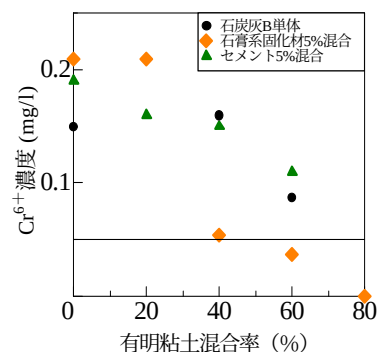


図-2 石炭灰 B の Cr^{6+} 濃度変化

(1) 溶出・タンクリーチング試験結果。石炭灰 A と B における Cr^{6+} 濃度の変化をそれぞれ図-1 と 2 に示す。これらの試験結果から以下のことが分かる。

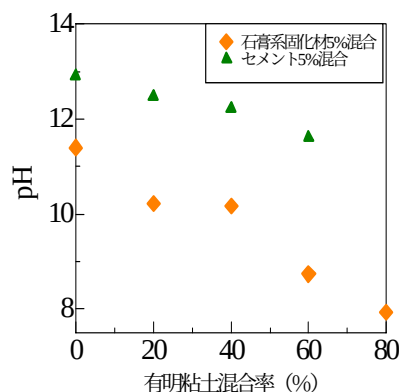
a) 石炭灰 A と B の比較：石炭灰 B からの Cr^{6+} の溶出量が A より多かった。同じ銘柄の石炭灰であっても、その性質が大きく異なる場合があるので、石炭灰を利用する時、定期的にその特性を測定する必要がある。また、石炭灰 A の場合、有明粘土 20%以上混合すると Cr^{6+} 濃度に関する環境基準をクリアできるが、石炭灰 B の場合、有明粘土 40%以上石膏系固化材 5%混合の場合のみ環境基準をクリアできる。

b) 有明粘土混合率（混合体全体に対する割合）の影響：有明粘土の混合によって石炭灰の相対量が減少し、 Cr^{6+} に対して有明粘土の吸着¹⁾によって、 Cr^{6+} の溶出量が減少する。その減少率は石炭灰 A の方が大きかった。データのばらつきはあるが、石炭灰 B の場合、有明粘土の吸着による Cr^{6+} 濃度の減少効果が薄かった。

キーワード：地盤環境、石炭灰、溶出試験、コラム浸透試験

連絡先：〒840-8502 佐賀市本庄町1番、Tel: 0952-28-8580, Fax: 0952-28-8189

c)セメントと石膏系固化材の効果：固液比 1:10 で使用したセメントと石膏系固化材からの Cr^{6+} 溶出量はそれぞれ 0.33 と 0.0 mg/l であった。石炭灰 A の場合、セメントの混入によって Cr^{6+} 濃度が下がったケース（有明粘土混合率 20%以下）と増えたケースがあったが、全体としてセメントの混合によって Cr^{6+} 濃度が大きく変化する傾向は見られなかった。石炭灰 B の場合、石膏系固化材の効果がセメントより良い。石膏系固化材を用いる効果の一つはアルカリ性の抑制である。図—3に示すように同じ量のセメントと石膏系固化材と比べると、石膏系固化材の場合溶液の pH 値は約3低かった。また、有明粘土の混合率の増加に伴って溶液の pH 値が低下した（図—3）。

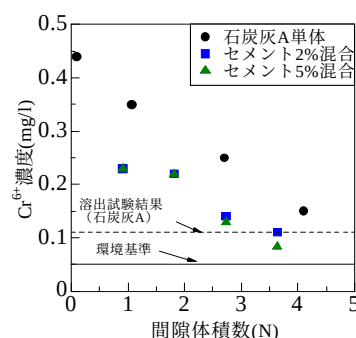


図—3 石炭灰 B の pH 変化

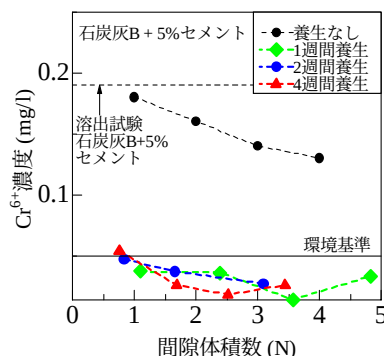
d)溶出試験とタンクリーチング試験結果の比較：溶出試験よりタンクリーチング試験の Cr^{6+} 濃度が低かった。その原因はタンクリーチング試験の試料は塊のままなので、液体と接触する表面積が相対的に小さいためと考えている。

(2) コラム浸透試験結果。まず浸出した溶液の体積を試料の間隙体積で割ったものを間隙体積数 (N) と定義する。石炭灰 A のコラム浸透試験結果を図—4 に示す。試料をセットした後養生期間なしで試験を開始した。N の増加に伴って Cr^{6+} 濃度が減少した。しかし、石炭灰単体と石炭灰+2%と+5%セメントの場合、 $N < 3$ で Cr^{6+} 濃度が環境基準を超えた。

溶出試験とコラム浸透試験を比べると、一定の時間で単位石炭灰と接触する液体の量は溶出試験の場合が多いが、溶出試験の方は化学物質が液体中に溶けやすい。石炭灰単体と石炭灰+セメントの場合、試料の間隙比が約 0.7 なので、 $N = 4$ までの固液比は約 1:1 で溶出試験の 1:10 より遥かに小さい。そして、コラム試験の Cr^{6+} 濃度が高かった。石炭灰 A に有明粘土を 20%混合して、コラム浸透試験を行った結果、殆どのケースで環境基準をクリアし、コラム試験は溶出試験結果に近い与えを得た²⁾。有明粘土を混合した場合、液体と固体との接触状態が Cr^{6+} の滲出量に大きく影響していると考えられる。



図—4 石炭灰 A のコラム浸透試験結果



図—5 石炭灰 B のコラム浸透試験結果

石炭灰 B のコラム試験結果は図—5 に示す。石炭灰 B の場合、溶出試験の結果は養生なしの $N=1$ のコラム試験結果とほぼ同じである。ここで注目すべきことは養生時間の増加に伴う浸出液中の Cr^{6+} 濃度の減少である。養生時間1週間以上であれば、環境基準をほぼクリアしている。このことは、実務上大きな意味を持っている。即ち、現場で施工後遮水シート等を用いて一週間以上水（雨水）の浸入を防ぐことが重要な意味を持つことを示している。

5. まとめ

(1)石炭灰単体では、溶出・浸出する溶液中の Cr^{6+} 濃度が環境基準値を超えた。有明粘土の混合による溶液中の Cr^{6+} 濃度と溶液の pH 値を抑える効果が大きかった。

(2)石炭灰から溶出・浸出する Cr^{6+} の濃度を検討する際、溶出試験とコラム浸透試験を行い、これらの試験結果により総合的に判断する必要がある。

(3)コラム浸透試験結果より、養生時間は Cr^{6+} 浸出量に大きく影響していることが分かった。

参考文献

- 1) Chai, J.-C., Miura, N. and K. Onitsuka (2004). Adsorption characteristics of Ariake clays to Chromium and the effect of pH-value. Proc. of 9th Australia New Zealand Conference on Geomechanics, Vol. 1, pp. 467-472.
- 2) 江口仁志・柴 錦春(2005).石炭灰の建設材料としての有効利用に関する検討。土木学会第 60 回年次学術講演概要集、CD-ROOM, 3-076.