

## 石炭灰を用いたセメント硬化体の有害元素溶出抑制対策の適用

安藤ハザマ 正会員 ○高木 亮一, 坂本 守, 田所 治  
東京電力HD 水野 卓弥, 荒川 大樹, 森本 良

## 1. はじめに

著者らは、石炭灰（原粉）（以下、石炭灰）を多量に用いたセメント硬化体（アッシュクリート）の有害元素溶出抑制について、溶出抑制用混和材の添加によるエトリンタイトの生成に着目した検討を進めてきている<sup>1) 2)</sup>。本稿では、福島第一原子力発電所港湾関係工事で盛土製造時に適用した有害元素の溶出抑制対策の検討結果について報告する。

## 2. 試験概要

本工事では専用プラントにて製造した硬練りの盛土材料をダンプトラックにて運搬し、バイバックを用いた振動締固めによって施工した<sup>3)</sup>。有害元素溶出抑制用混和材としては、既往の検討結果<sup>1) 2)</sup>やコスト面を考慮し、火力発電所から発生する脱硫石膏（以下、石膏）を用いた。2日間で石膏の使用量を変化させた水準（表-1）にて盛土材料を製造した。本工事では石膏の使用量を石炭灰の3%とした配合を基準としており、今回はこの使用量をさらに増加させた場合の諸物性について確認した。

## 2.1 使用材料

使用材料を表-2に示す、使用した石炭灰は分級等の前処理を実施していない原粉（JISⅡ種相当品）である。石炭灰材料単体の有害元素溶出量は、Cr<sup>6+</sup>、Se、F、Bが土壤環境基準値を超えていた（表-3）。

## 2.2 配合

セメント硬化体の配合例を表-4に示す。練混ぜは公称容量3.0m<sup>3</sup>の強制二軸ミキサによって1バッチ2.1m<sup>3</sup>で90秒行った。排出された混練物の振動フロー試験の結果(Vf20)から都度配合を修正した。

## 2.3 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-5に示す。管理値は振動フロー(Vf20)が200±25mm、圧縮強度は28日で10N/mm<sup>2</sup>とした。有害元素溶出試験は、石炭灰単体の有害元素の溶出量が多く、溶出リスクの高い5項目について測定した。

表-1 試験水準

石膏使用量	ダンプトラック(台目)						
	1	2	3	4	5	6	7
石炭灰×3%	○	—	—	○	—	—	○
石炭灰×6%	—	○	○	—	○	○	—

表-2 使用材料

材料名称	記号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	備考
水	W	1.03	海水
セメント	C	3.04	高炉セメントB種
石炭灰	FA	2.24	広野火力発電所産、原粉 強熱減量3.4%
石膏	GS	2.37	広野火力発電所産、脱硫石膏

表-3 石炭灰の有害元素溶出量

項目	溶出量(mg/L)		土壤環境 基準値
	1日目	2日目	
六価クロム(Cr <sup>6+</sup> )	0.11	0.11	0.05以下
砒素(As)	0.006	0.005	0.01以下
セレン(Se)	0.043	0.043	0.01以下
ふっ素(F)	1.8	2.0	0.8以下
ほう素(B)	2.7	2.3	1以下

※着色箇所：基準値超過，ND：検出下限値以下

表-4 セメント硬化体の配合例

石膏使用量	W/P (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		W	C	FA	GS
石炭灰×3%	31.2	409	182	1093	34
石炭灰×6%				1060	68

表-5 試験項目および試験方法

項目	試験方法
振動フロー	・テーブルバイブレーションの上でフローコンに混練物を詰め、フローコンを静かに鉛直に引き上げ、テーブルバイブレーションを20秒間加振させ、その時の広がりをVf20(mm)として測定した。
圧縮強度	・JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」 ・試験体寸法：φ5×10cm、試験材齢：28日 ・脱型：打設2日後、養生：水中
有害元素溶出	・環告46号(土壤環境基準) ・5項目(Cr <sup>6+</sup> , As, Se, F, B)

キーワード 石炭灰（原粉）、脱硫石膏、エトリンタイト、有害元素、福島第一原子力発電所

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間515-1 安藤ハザマ 技術研究所 TEL 029-858-8813

### 3. 試験結果

#### 3.1 フレッシュ性状

フレッシュ性状(Vf20)試験結果を図-1に示す。Vf20はすべての水準で目標管理値の範囲内で、連続した製造の間に石膏の使用量が増減してもフレッシュ性状に与える影響は少なく、適切な製造が可能であったと考えられる。石膏量を増やした場合、若干流動性が増す傾向にあり、単位水量低減の可能性が示唆された。

#### 3.2 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-2に示す。圧縮強度はすべての水準で目標管理値を満足していた。石膏の使用量による影響は見られず、約20N/mm<sup>2</sup>程度と安定した結果が得られていた。

#### 3.3 有害元素溶出量

有害元素溶出試験結果を図-3に示す。Cr<sup>6+</sup>、Asは石膏量を増やしても溶出量はほぼ同等であった。一方、Se、F、Bについては石膏量を増やすことで溶出量が減っていた。著者らはエトリンタイトの生成量が増加すると、溶出量が減少する傾向を確認している<sup>1)2)</sup>。本試験でも石膏量が増えたことでエトリンタイトの生成量が増加し、溶出量の低減に繋がったと考えられる。なお、本試験では溶出量に着目するため、敢えて試験条件の厳しい環告46号を実施した結果、Seで土壤環境基準値を上回った。しかし、本工事では環告14号(水底土砂基準値)が適用され、こちらは全ての項目が検出下限値以下であり、高い環境安全性を確認している。

#### 3.4 製造および施工状況

石膏量を増やした場合でも製造時間は変わらなかった。また、運搬および施工時もフレッシュ性状が同等であったことから、石膏量の違いによる影響は確認されなかった。石膏量を石炭灰の6%とした水準について累計で107m<sup>3</sup>を施工することができた。

### 4. まとめ

石炭灰(原粉)を用いたセメント硬化体の脱硫石膏を用いた有害元素溶出抑制対策を適用した。この対策による有害元素の溶出抑制効果は高く、実施工への適用が可能であることを確認した。

#### 参考文献

- 高木他：石炭灰を用いたセメント硬化体の有害元素溶出抑制に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 41，2019
- 高木他：石炭灰を用いたセメント硬化体のエトリンタイト生成量が有害元素溶出抑制に及ぼす影響，土木学会全国大会第75回年次学術講演会 2020.9，V-36
- 高木他：福島第一原子力発電所工事における石炭灰活用の取組，コンクリート工学，Vol158，No. 12，2020

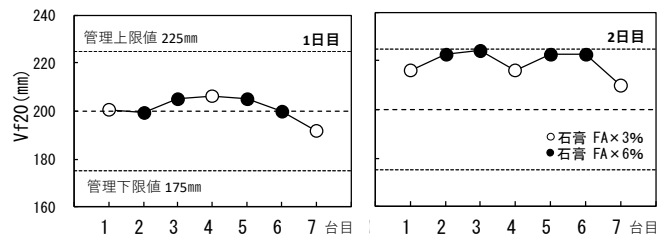


図-1 フレッシュ性状(Vf20)試験結果

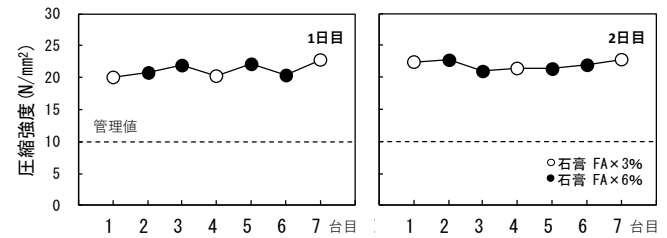


図-2 圧縮強度試験結果

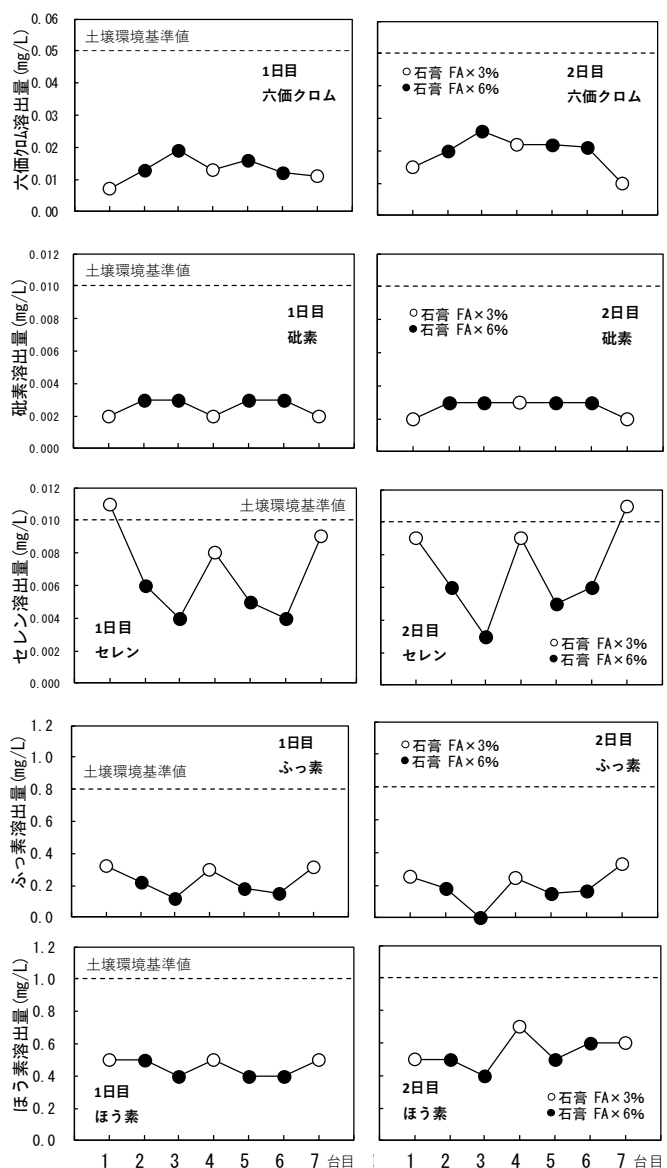


図-3 有害元素溶出試験結果  
(石膏添加率：○ FA×3%，● FA×6%)