

石炭灰の地下空洞充填材への利用可能性評価

石炭灰の利用用途拡大に向けて

Evaluation of the Usability of Coal Ash as an Underground Cavity Filling Material

For the expansion of the application of coal ash

(電力技術研究所 材料技術G 化学T)

(Chemistry Team, Materials Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

石炭火力発電所の副産物である石炭灰を有効利用するため、石炭灰の地下空洞充填材への利用可能性を評価する研究を行った。実際に施工されている充填材の品質管理項目およびその範囲を満たす石炭灰等配合割合を検証するとともに、微量物質溶出に関する長期的な環境安全性について評価し、安全性が保たれていることを確認した。

Research was performed to evaluate the feasibility of using coal ash, a by-product generated by coal-fired power plants, as an underground cavity filling material, in order to utilize it effectively. The blending ratios of coal ash and other components which would be able to satisfy the quality control items and their ranges for filling materials actually being constructed were tested, long-term environmental safety was evaluated regarding the elution of trace materials, and the results confirmed that safety can be sufficiently maintained.

1 研究の背景

石炭灰は、1991年に制定された「資源有効利用促進法（リサイクル法）」によって、利用促進すべき指定副産物に定められており、当社では碧南火力発電所から排出される石炭灰の有効利用に取り組んでいる。これまでに、コンクリートブロック等の土木建築材料やトンネル掘削直後の壁面の崩落防止のために用いられる吹付けコンクリートへの石炭灰の適用性を明らかにしてきた。

全国には石炭、亜炭、地下採石場、戦中の防空壕などの人工空洞（第1図）や鍾乳洞などの自然空洞があり、しばしば各地で地表面の陥没・沈下などの被害が発生している。このような地下空洞に対し、固化材を混練したスラリーを地上からボーリング孔により注入し閉塞させることで地盤の安定化を図る対策が取られている。スラリーの材料として砂や粘土が使用されているが、石炭灰の中でフライアッシュは平均粒径20～30 μm と砂や粘土に粒径が近く、球形であることからボールベアリング効果による流動性の向上が期待されることから、その利用可能性について評価した。



第1図 亜炭鉱廃坑の内部状況例

2 石炭灰の地下空洞充填材への適用課題

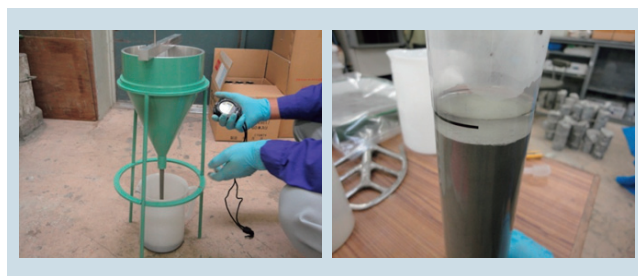
充填材の品質管理項目として①固化材と各種材料を製造プラントで混合しボーリング孔まで圧送するために必要な流動性、②充填後浮き水が発生すると当該箇所は充填材で満たされないこととなるためこれを回避する低い体積変化率、③充填材固化後の圧縮強度の維持などがある。石炭灰を用いる場合、どのような配合とすれば品質管理項目およびその範囲を満足するかを把握する必要がある。

また、充填材は長期に渡って使用されるため、充填材からのフッ素等の微量物質の溶出に関する環境安全性の評価が大切である。しかし、長期に渡る環境安全性を評価したデータは少ないのが現状である。

3 試験結果

(1) 品質管理項目およびその範囲を満たす配合検討

石炭灰を含む各種材料（石炭灰：18種類、粘土：3種類、固化材、助材、水）で調製した充填材について、使用材料、配合割合による品質管理項目およびその範囲への影響について検討を行った。第2図に流動性試験および体積変化率試験状況を示す。



第2図 流動性試験(左)と体積変化率試験状況

その結果、第1表の材料および配合割合が品質管理項目およびその範囲を満たすことが分かった。その試験結果例を第2表に示す。品質管理項目およびその範囲への影響度は、配合割合および助剤の種類・配合量の変更に

よる変動が大きく、石炭灰および粘土の種類による変動は小さいことが分かった。

第1表 配合割合 (重量%)

母材	粘土	27
	石炭灰	13
固化材		4
助剤		1
水		55

第2表 品質管理項目試験結果例

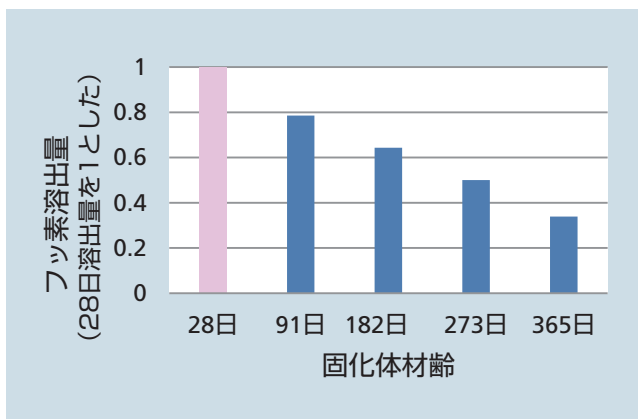
	流動性 (秒)	体積変化率 (%)	圧縮強度 (kN/mm ²)
試験結果	10.2	0.0	67
品質管理範囲	9 ~ 14	3以下	50以上

(2) 固化した充填材の長期環境安全性評価

第1表に示す配合割合で調製した充填材について、環境安全性を把握するため石炭灰(石炭銘柄、ロット)および助剤の種類による微量物質溶出量への影響を評価した。微量物質溶出量の評価は、①材齢28日固化体を対象とした公定法(土壤の汚染に係る環境基準について:平成3年8月23日 環境庁告示第46号)、②長期材齢品(材齢1年までの固化体を対象)の公定法、そしてより長期的な挙動を予測できる③シリアルバッチ試験(オランダ規格 NEN7343)により行った。

ア 長期材齢品の公定法による評価結果

材齢28日固化体を対象とした公定法による溶出試験で土壤環境基準を満たした固化体の経年的な溶出量の変化を把握するため、同一試料から作製した材齢91日、182日、273日、365日固化体の溶出試験を実施した。試験結果例を第3図に示す。微量物質溶出量は通常の溶出試験を行う28日材齢品に対して減少する傾向であった。固化体の圧縮強度も測定しており、材齢が長くなるに従い圧縮強度が高くなっていることから、より強固な固化体となったため溶出量が減少していると考えられる。



第3図 固化体材齢とフッ素溶出量の関係

イ シリアルバッチ試験による評価結果

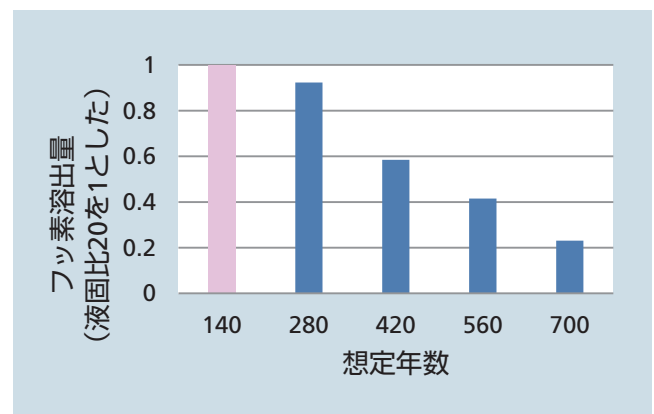
シリアルバッチ試験は、定義した試験条件(酸性雨などの過酷環境など)で環境中へ放出する最大量を評価する手法であり、長期的な挙動の予測に使用される。

シリアルバッチ試験と公定法の試験方法の比較を第3表に示す。シリアルバッチ試験は公定法に比べ溶媒のpHが低く、同一の試料に対して液固比20の試験を繰り返すところが大きく異なる。年間降水量1,800mm、雨水の浸透を50%と仮定すると、液固比20で140年分程度、酸性雨に暴露した状態と同等となると想定される。

試験結果例を第4図に示す。微量物質溶出量は長期的に低下する傾向であることが分かった。

第3表 シリアルバッチ試験と公定法の比較

	シリアルバッチ試験	公定法
粒径	3mm以下	2mm以下
溶媒のpH	4	5.8 ~ 6.3
液固比	20、40、60、80、100	10
溶出時間	24時間	6時間
抽出回数	5回	1回



第4図 シリアルバッチ試験結果例(フッ素)

以上のことより、長期材齢および長期的に酸性雨に暴露される状況であっても微量物質溶出量は初期より減少し、環境安全性は保たれることが分かった。

4 まとめ

石炭灰の地下空洞充填材への利用可能性を評価し、充填材の品質管理項目およびその範囲を満たすための配合割合を検証するとともに、長期的には微量物質溶出量は減少し、環境安全性は保たれることが分かった。

今後、石炭灰の地下空洞充填材への適用に向けたデータとして活用予定である。



執筆/小池良洋