

## 汚染廃棄物保管用のコンクリート容器の耐久性実証試験

太平洋セメント(株) 正会員 ○森 寛晃 太平洋セメント(株) 正会員 田中敏嗣  
 昭和コンクリート工業(株) 正会員 橋 修 日本大学 正会員 岩城一郎

## 1. はじめに

原発事故で発生した放射性廃棄物を安全に保管することを目的に、コンクリート容器の開発が行われている。これらの容器には高い物質漏洩防止性が要求され、特に、焼却飛灰を保管する場合には、多重防護の観点から、コンクリート自体も十分耐久であることが求められる。

焼却飛灰等の最終処分場に用いるコンクリートとして、対策コンクリート(フライアッシュ30%置換,膨張材使用)が提案されている<sup>1)</sup>。これらは容器製造に用いるコンクリートとしても有用と考えられるが、可溶性塩分を多量に含む焼却飛灰とコンクリートが接触した場合の材料耐久性に関するデータは極めて少なく、そのリスク評価はなされていないのが現状である。

そこで、コンクリート容器が遭遇する最も過酷な条件を想定し、実物大容器の中に加水分した焼却飛灰を投入し、約1年間屋外への暴露を行い、各種計測、容器内壁の観察、劣化分析を行って、コンクリートの耐久性を評価した。

## 2. 実験概要

コンクリート容器は、1m<sup>3</sup>のフレコン袋を収納可能な内寸(1.3×1.3×1.0m)、壁厚100mmの鉄筋コンクリート製箱型容器である。コンクリート種類は普通コンクリートおよび対策コンクリート(以下、OPCコンおよびFAコンと称す)、設計基準強度は40N/mm<sup>2</sup>(蒸気養生、材齢14日管理)とした。フライアッシュ(FA)は能代産のJIS II種相当品、膨張材(NEX)は石灰系早強性膨張材を用いた。

コンクリート配合を表1に示す

焼却飛灰(密度2.22g/cm<sup>3</sup>,湿分18.6%)の特性を表2に示す。飛灰中のCaCl<sub>2</sub>含有量20mass%,水/飛灰=0.5となるよう調整し、容器に直接投入した。容器は雨掛りを防ぐ目的で全体をシート掛けした状態で、約1年間屋外(福島県西白河市)に暴露した。

暴露前、暴露4ヶ月、および1年において、容器の壁外側6箇所ドレント法による表面透気係数を測定し、表層品質を評価した。測定箇所ではコンクリート抵抗値(四プローブ式電気抵抗率計)を併せて測定した。暴露4ヶ月と1年で蓋を開け、容器内壁の変状を観察した。さらに、暴露1年には北面の壁2箇所(飛灰接触部と非接触部)からφ10cmのコンクリートコア(以下、飛灰接触部コアをコアA、非接触部コアをコアBと称す)を採取し、コアAでは、塩化物イオン浸透深さ(硝酸銀法による)と劣化深さの測定、および劣化原因物質の同定(XRD)を、コアBでは硬化体の空隙構造(ポロシメーター)を調べた。

## 3. 実験結果

## 3.1 容器コンクリートの表面透気係数

表面透気係数とコンクリート抵抗値の関係を図1に示す。ドレントらの評価基準に基づく分類を図中に併せて示した。FAコンは期間を通じてvery goodの領域に分布し、OPCと比べて表面透気係数は小さく、コンクリート抵抗値は大きい。これよりFAコンの表層品質は極めて優れると判断できる。計測箇所のばらつきはあるが、コンクリート抵抗値は、暴露日数の経過に伴う水和進行や

表1 コンクリート配合

配合	W/B (%)	s/a (%)	目標 SL (cm)	目標 Air (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
					W	結合材			S	G	SP
						OPC	FA	NEX			
OPCコン	38.0	40.0	8±2.5	1.5±1.0	150	370	0	25	744	1116	5.39
FAコン	30.0	45.0	22±2.5	1.5±1.0	170	377	170	20	723	884	4.63

表2 焼却飛灰の化学組成(酸化物換算)

(mass%)

ig-loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl
7.28	5.18	2.66	0.50	38.1	1.38	5.87	8.38	5.23	21.9

キーワード コンクリート容器, 焼却飛灰, フライアッシュ, 表面透気係数, 塩化物イオン浸透性, 複塩

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL. 043-498-3804

乾燥等の影響を受け、徐々に大きくなる傾向であった。

### 3.2 飛灰接触部のコンクリート変状

OPC 容器内壁の飛灰接触部には、暴露 4 ヶ月で浮きや剥離が生じ、暴露 1 年ではこれらが広範囲に広がった。一方、FA コンでは、劣化の兆候は見られなかった。コア A とコア B から採取した粉末試料(骨材を極力除去、 $<125 \mu\text{m}$ )の XRD 分析結果を図 2 に示す。コア A では  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  が消失し、フリーデル氏塩および劣化原因物質と思われる複塩( $3\text{CaO}\cdot\text{CaCl}_2\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ , 以下、3-1-15 と称す)が検出された。3-1-15 は、セメント硬化体を高濃度  $\text{CaCl}_2$  溶液に浸漬する場合などに生成し、膨張劣化を引き起こすことが知られている<sup>2)</sup>。焼却飛灰との接触でも同じ複塩が生成し、早期劣化が生じたと考えられる。

### 3.3 コンクリートコアの分析

コア B 内部から採取したモルタルの空隙径分布を図 3 に示す。両コンクリートの総空隙量はほぼ同じであったが、FA コンでは径  $50\text{nm}\sim 1\mu\text{m}$  の空隙が少なく、 $10\text{nm}$  以下の微細な空隙が多い。FA コン容器では製造時にコンクリート温度が  $85^\circ\text{C}$  に達しており、FA 反応が促進され、硬化体が緻密化したと考えられる。これは FA コンの表面透気係数が極めて小さいことにも合致する。

次に、コア A で測定した塩化物イオン浸透深さと劣化で脆弱化した箇所の深さを図 4 に示す。FA コンは塩化物イオン浸透深さ、劣化深さともに OPC コンよりも小さい。これは、硬化体の緻密化によって塩化物イオンの浸透が抑制されたこと、FA 反応による  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の消費で、3-1-15 の生成が抑制されたことなどが原因と推察される。

## 4. まとめ

本試験で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) OPC コンでは、焼却飛灰との接触により、膨張性複塩が生成し、比較的早期にモルタル浮きや剥離が生じた。
- 2) 塩化物イオン浸透性および複塩生成に関して、FA コンの優位性が示された。

**謝辞** 国立環境研究所山田一夫博士、太平洋コンサルタント小川彰一博士、山梨大学斉藤准教授、広島大学半井准教授には多大なご協力とご指導を頂きました。謹んでここに謝意を表します。なお、本試験は、コンクリート容器耐久性研究会(旭コンクリート工業、住友大阪セメント、昭和コンクリート工業、太平洋セメント、前田製管)の活動の一環として実施したものである。

**参考文献** 1) 国立環境研究所: 汚染焼却飛灰等の最終処分場(遮断型構造)に用いるコンクリートに関する技術資料(第二報), 2015.2.20, <http://www.nics.go.jp/whatsnew/2014/20141203/20141203.html> 2) 森寛晃ほか: 塩化カルシウム溶液による各種セメント硬化体の劣化, セメントコンクリート論文集, No.66, pp.78-86, 2012

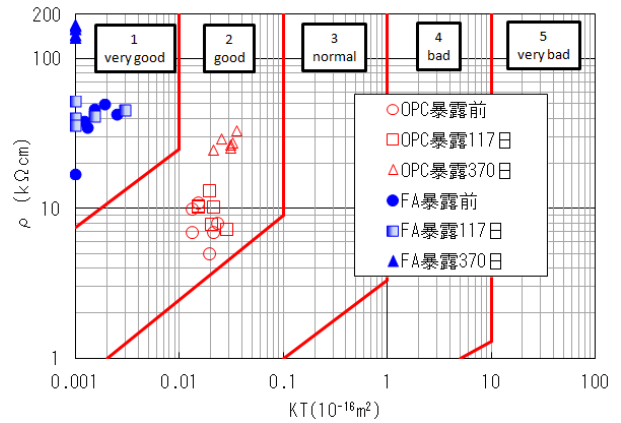


図 1 表面透気係数とコンクリート抵抗値の関係

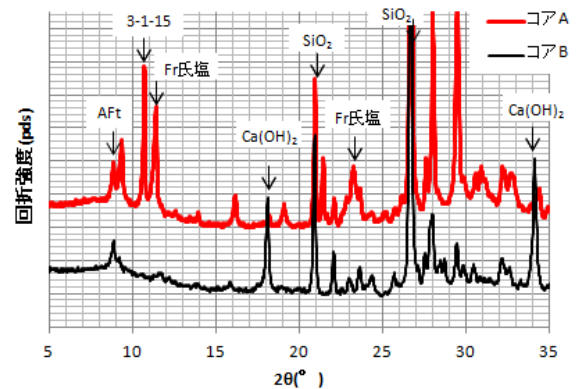


図 2 コアから採取した粉末試料の XRD

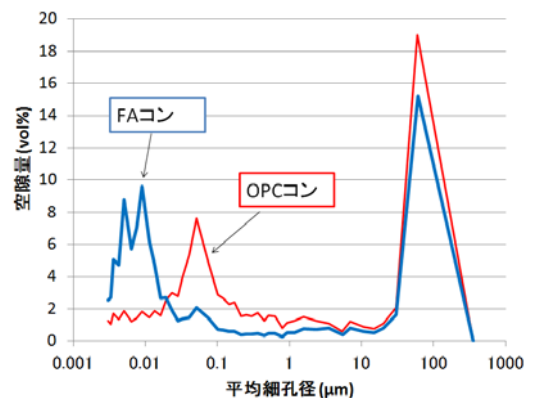


図 3 空隙径分布(コア B)

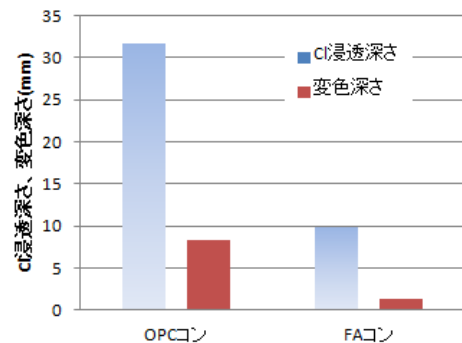


図 4 Cl 浸透深さおよび劣化深さ(コア A)