

V-169

地中におけるコンクリートの長期耐久性（その2）

— 低濃度硫酸塩溶液によるコンクリートの変質特性 —

日本国土開発(株) 正会員 大西 利満、同 正会員 瀬尾 有一
 埼玉大学 正会員 町田 篤彦、群馬大学 正会員 辻 幸和
 (財)原子力環境整備センター 正会員 藪内 耕一

1. はじめに

本研究は、我が国の原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物の埋設施設の安全性を実証する目的で実施した研究のうち、鉄筋コンクリート造の埋設設備の長期安定性に関する研究の一環として行ったものである。カルシウムの溶出について報告した「その1」¹⁾に続き、「その2」では埋設設備周辺に置かれるベントレから溶出する低濃度の硫酸塩と炭酸塩 (SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 濃度は 1,000mg/l程度以下) のうち、— 低濃度硫酸塩溶液によるコンクリートの変質特性 — について報告する。

2. 試験概要

埋設設備のコンクリートの変質は、「その1」¹⁾で述べたように、地下水へのカルシウムの溶出の他に、ベントレから溶出する炭酸塩および硫酸塩が原因であると考えられる。また、コンクリートに微細なひび割れが存在した場合に、これらの変質が促進される可能性も懸念される。

埋設設備の変質現象を把握するため、各種の溶液への浸漬試験を行った。そのうち、本研究で報告する硫酸塩溶液への浸漬試験では、低濃度溶液では変質が緩やかであることが予測され、変質の状況や速度を把握するために濃度をパラメータとした促進試験も併用した。

3. 試験条件

(1) 供試体

試験に用いたモルタル供試体の配合を表-1に示す。養生は、84日間封かん養生後、浸漬面以外をアルミシートにより被覆し、その後91日まで水中標準養生を行った。

(2) 浸漬溶液

硫酸塩には Na_2SO_4 を用い、溶液濃度は SO_4^{2-} 濃度で1,000、5,000、10,000、50,000mg/lの4水準とした。溶液は、浸漬後1,2,3,4週、3,6,9,12,18ヶ月に全量交換し、温度は $20 \pm 2^\circ\text{C}$ に保った。溶液量は、供試体浸漬面の面積 1 cm^2 当り 10 cm^3 以上とした。

(3) 試験分析項目

低濃度の硫酸塩の影響を把握するため、表-2に示す分析を実施した。

4. 試験結果

一般に硫酸塩によるコンクリートの変質は、硫酸イオンがコンクリート内部に侵入してセメント硬化体の一部と反応し、膨張性の鉍物(エtringait)を生成する際に、その大きな膨張圧によりコンクリートにひび割れや崩壊を引き起こす現象をいう。

埋設設備の環境条件に最も近い SO_4^{2-} 濃度 1,000mg/l硫酸塩溶液への24ヶ月の浸漬結果では、物理的变化はみられなかった。化学的变化は、粉末X線回折測定、EPMA

表-1 モルタル供試体の配合（単位量）

(kg/m ³)				
水	セメント	豊浦標準砂	相馬標準砂	混和剤
247	459	587	881	5.41

セメント：B種高炉セメント（高炉スラグ置換率55%）
 混和剤：AE減水剤5倍希釈溶液
 水セメント比：55%

表-2 試験項目と浸漬期間

試験目的	試験項目	浸 漬 期 間 (ヶ月)					
		3	6	9	12	18	24
変質状況 の把握	外観観察	○	○	○	○	○	○
	透水試験		○		○		○
	吸水率・損失重量		○		○		○
変質深さ および 生成物の 把握	EPMA観察	○	○	○	○	○	○
	化学分析		○		○		○
	中性化深さ測定		○		○		○
	粉末X線回折測定	○	○		○		○
電子顕微鏡観察			○		○		○
備考：各浸漬期間満了時、○で示した試験を実施した。							

観察（図-1）、電子顕微鏡観察（図-2）において、ごく表面部に、S元素の侵入、エトリガイトの生成、および CaCO_3 の生成がみられた。これらの変質現象は、程度の差はあるものの、いずれの濃度の溶液でも認められた。

5. 変質深さの予測

EPMA観察での特性X線強度を数値処理し、S元素の侵入深さを求めた（図-3）。すなわち、供試体のS元素の特性X線強度の分布から、深部をS元素が侵入していないバックグラウンドとみなし、その範囲のS元素の特性X線強度の平均値 n と標準偏差 σ を求め、強度 $n + 3\sigma$ に該当する深さをS元素の侵入深さとした。

電子顕微鏡観察のエトリガイトの生成深さとEPMA観察の結果得られたS元素の侵入深さを比較すると、後者の方がやや大きな値となったが、EPMA観察によるS元素の侵入深さを変質深さとした。

最も濃度の高い (SO_4^{2-} 濃度 50,000 mg/l) 溶液に浸漬した供試体は、既往の研究でも報告されている²⁾ように硫酸塩による変質深さは浸漬日数の平方根に比例すると考えると、図-4に示すように、非常に相関が高い。その他の低濃度でも同様に処理すると、変質深さは浸漬日数および SO_4^{2-} 濃度の平方根に比例する結果となり、以下の実験式を得た。

$$X_s = b_s \times t^{1/2} = 0.0020 \times M_s^{1/2} \times t^{1/2}$$

ただし、 X_s : 変質深さ (mm) または S 元素の侵入深さ

b_s : 変質速度係数 (濃度の平方根に比例)

t : 浸漬日数 (日)

M_s : SO_4^{2-} 濃度 (mg/l)

(SO_4^{2-} 濃度 1,000~10,000mg/lの範囲の実験式)

7. おわりに

埋設設備のコンクリートに影響すると考えられるベントナイト混合土から溶出する硫酸塩の濃度は低く、これを要因とする変質は上記実験式で算定すると、1,000年で40mm程度であり、非常に小さいものであることが分かった。現在、その他の要因についても総合的に検討しており、次年度以降にまとめる予定である。

本研究は、(財)原子力環境整備センターが科学技術庁の委託を受けて行った「低レベル放射性廃棄物最終貯蔵システム安全性実証試験」のうち埋設設備に関する調査・検討の一部である。最後になりましたが、本研究において終始ご指導頂いた本実証試験検討委員会の委員の方々、分析等でご苦労頂いた秩父小野田(株)中央研究所の方々には、心より感謝の意を表します。

【参考文献】 1) 黒山、大西、町田、辻、吉田：地中におけるコンクリートの長期耐久性（その1）、カルシウムの溶出、土木学会第51回年次学術講演会講演要集第5部、1996年（投稿中）

2) 広永、遠藤：モルタルの硫酸ナトリウム反応による劣化機構に関する実験的検討、電力中央研究所・研究報告：U93009、1993年7月

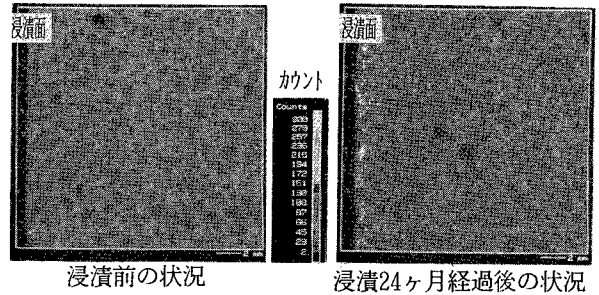


図-1 EPMA観察結果（S元素）

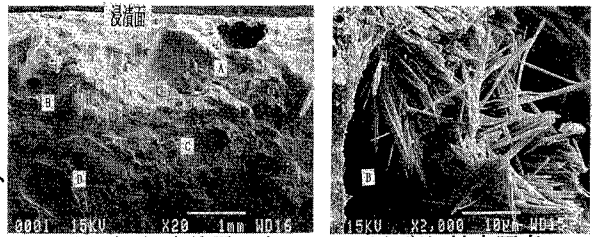


図-2 電子顕微鏡観察

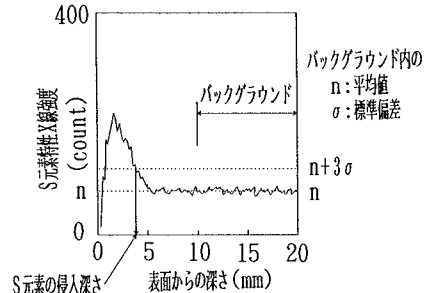


図-3 EPMA観察S元素特性X線強度図（S元素侵入前線の把握方法の解説）

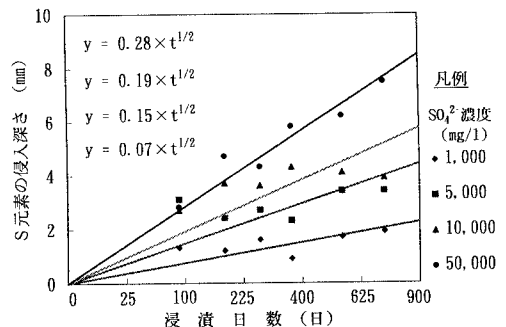


図-4 EPMA観察におけるS元素の侵入深さ