

## 地下水含有成分がセメント硬化体の溶脱に及ぼす影響(3)

### —NaCl 溶液および海水系地下水模擬溶液に浸漬させたセメント硬化体の溶脱挙動—

(株)セレス 正会員 ○関口 陽

(財)電力中央研究所 正会員 蔵重 勲 廣永 道彦

日本原燃(株) 正会員 庭瀬 一仁

#### 1. はじめに

数年後の建設を目指している余裕深度処分施設(対象:低レベル放射性廃棄物, 地下深度約 80~100m)では, 種々の部位にセメント系材料(モルタル, コンクリート)が用いられる。特に, セメント系人工バリアに関しては, 放射性核種の漏出を抑制する目的で, 核種移行抑止性(低透水性, 低拡散性, 核種収着性)が求められ, さらに, 1000 年以上の長期耐久性が期待されている。処分環境下では, 地下水の影響により緩やかにセメント水和物が溶脱し, その結果, 組織の多孔化を伴って, 核種移行抑止性が低下することが懸念されている。これまでの溶脱に関する基礎的研究では, 純水(イオン交換水および蒸留水)を用いたセメント系材料の溶脱挙動を調査したものがほとんどであり, 地下水の含有成分を考慮した検討例は少ない。また, 建設予定サイトの地下深部(約 100m 以深)では, 古代海水の滞留の影響により, 高い塩分濃度を示す地下水組成となっている。そのため, 地下水流動によってはこのような地下水が処分施設に作用することも想定され, セメント系材料の溶脱に与える影響も把握する必要があると考えられる。

このような観点から, 本研究では NaCl 溶液を用いたセメントペースト供試体の浸漬試験を行い, 浸漬溶液の pH やイオン濃度の測定ならびに供試体の固相分析によって溶脱挙動に及ぼす影響を実験的に検討した。また, 建設予定サイトの約 150m 以深の地下水を想定した海水系地下水模擬溶液を用いた浸漬試験もを行い, 溶脱挙動について比較した。

#### 2. 実験概要

使用材料および配合条件を表1に示す。供試体は 20×20×80mm とし, 50°Cのセメント平衡溶液中で 91 日間養生した。養生後, 供試体全面にエポキシ樹脂を塗布し, 端部から 10mm を切断して1面暴露の浸漬用供試体(20×20×70mm)を作製した。浸漬試験は, CO<sub>2</sub> を除去したグローブボックス内で行い, CO<sub>2</sub> による供試体や浸漬溶液の変化が無い条件とした。表2に示す溶液中に単位暴露面積当たり 100mL/cm<sup>2</sup> の溶液が作用する条件で供試体の浸漬試験を行った。また, 浸漬溶液は, 溶脱を促進させるため, 図1に示す期間で交換し, 交換時に採取した溶液の pH およびイオン濃度の測定を行った。さらに, 所定の期間浸漬させた供試体を取り出し, 電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)を用いて元素分布の分析を行った。

表1 供試体の使用材料と配合

供試体種類	粉体種類	水粉体比 W/P(mass)	供試体略号
セメントペースト	OPCr	0.35	Or
	OPCr+LS		OrLs

OPCr: 研究用ポルトランドセメント

LS: 石灰石微粉末, 5mass%内割置換(市販 OPC を想定)

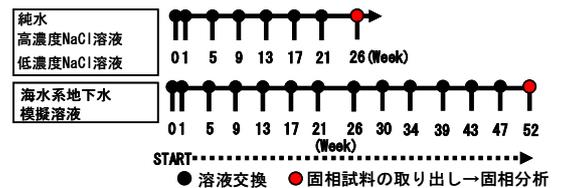


図1 浸漬溶液と溶液交換時期

表2 浸漬試験の溶液組成および浸漬用供試体

溶液種類	組成								pH	浸漬用供試体
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	濃度 (mg/L)		
純水(イオン交換水)	0	0	0	0	0	0	0	0	7.0	Or
高濃度 NaCl 溶液	11024	0	0	0	17000	0	0	0	5.7	
低濃度 NaCl 溶液	1102	0	0	0	1700	0	0	0	5.9	
海水系地下水模擬溶液	9500	160	1100	320	17000	600	400	0	7.4	OrLs

#### 3. 実験結果および考察

図2は, 溶液交換時に測定した pH(左縦軸), および初期 pH からの変化量を OH 溶出量に換算して, その累積値(右縦軸)を示したものである。高濃度 NaCl 溶液, 低濃度 NaCl 溶液に浸漬した供試体は, 純水溶液に浸漬した場合と比較すると, pH 上昇量が大きく, 累積 OH 溶出量も大きくなった。これは, NaCl の含有による Ca(OH)<sub>2</sub> の溶解度の上昇によるものと考えられる<sup>1)</sup>。また, 海水系地下水模擬溶液に浸漬した場合は, 初期 pH からの顕著な上昇は見られず, OH の溶出が大幅に抑

キーワード 放射性廃棄物処分, 長期耐久性, 地下水, 溶脱, 塩化ナトリウム

連絡先 〒270-1166 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所内 TEL04-7179-6211

制される結果となった<sup>2)</sup>。一方、図3に示すCa<sup>2+</sup>溶出量についても、純水溶液に浸漬した場合と比較して、低濃度NaCl溶液、高濃度NaCl溶液への浸漬で溶出量が大きくなった。また、図2では、高濃度NaCl溶液、低濃度NaCl溶液浸漬でOH<sup>-</sup>溶出量は同程度であったが、Ca<sup>2+</sup>溶出量は、高濃度NaCl溶液浸漬で多くなった。これは図4に示すように、浸漬溶液から供試体中へのNa<sup>+</sup>浸透量(mmol/L)が、Cl<sup>-</sup>浸透量を上回っており、その差が高濃度NaCl溶液浸漬で大きくなったことに起因するものと考えられる。つまり、NaCl濃度が高いほど、Cl<sup>-</sup>に比べ多量にNa<sup>+</sup>が供試体中に浸透し、細孔溶液中あるいはセメント水和物中のCa<sup>2+</sup>とNa<sup>+</sup>が置換され、結果的にCa<sup>2+</sup>の溶出量が高濃度NaCl溶液で多くなったものと考えられる。詳細なメカニズムの説明には更なる検討が望まれる。

図5は、純水溶液、高濃度NaCl溶液ならびに海水系地下水模擬溶液に浸漬した供試体のCaおよびClの濃度分布をEPMAによって分析した結果である。溶液分析結果と同様に、Caの溶脱は、純水溶液に浸漬した供試体に比べ高濃度NaCl溶液浸漬で促進されることを明らかにした。また、海水系地下水模擬溶液浸漬では、溶液のpH上昇が抑制されたが(図2)、図5に示すように供試体中のCa濃度分布からも、溶脱が抑制されることを確かめた。さらに、Cl濃度分布を見ると、高濃度NaCl溶液に浸漬した場合に見られたClの浸透が、同じCl濃度の海水系地下水模擬溶液への浸漬では、観察されなかった。これら溶脱やイオンの浸透が抑制された原因としては、海水系地下水模擬溶液中の他種イオンの影響が考えられる。

4. まとめ

NaCl溶液に浸漬した供試体は、純水溶液に浸漬した供試体に比べpH上昇量が大きく、Ca<sup>2+</sup>溶出量も大きくなった。また、海水系地下水模擬溶液浸漬では、pHの顕著な上昇が見られず、供試体中のCa濃度分布の結果からも溶脱が抑制されることがわかった。今後は、NaCl含有による溶脱の促進ならびに他種イオンによる溶脱抑制メカニズムの解明に取り組む。

参考文献

- 1)井元晴文,蔵重勲,廣永道彦,横関康祐:塩化ナトリウム水溶液に浸漬させた普通ポルトランドセメント硬化体の溶脱挙動,コンクリート工学年次論文集,Vol.26,No.1 pp.903-908,2004
- 2)蔵重勲,廣永道彦,杉山大輔,関口陽,庭瀬一仁,秋山隆:セメント硬化体の溶脱に対する地下水組成の影響,土木学会第60回年次学術講演会概要集,V-228,pp455-456,2005

謝辞

本論には、日本原燃(株)からの委託研究の成果が含まれています。委託研究を実施するにあたり、群馬大学 辻教授、八戸工業大学 庄谷教授、東京工業大学 坂井助教授、東北大学 久田助教授、東京大学 石田助教授より貴重なご意見、ご助言を頂戴しました。ここに記して深甚の謝意を表します。

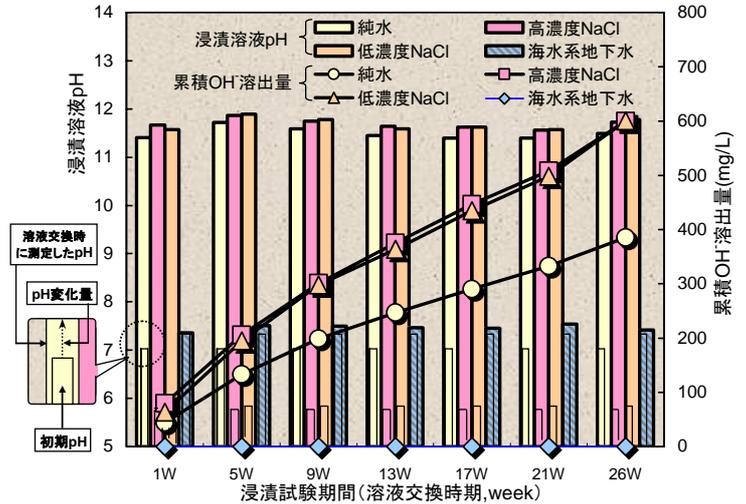


図2 浸漬溶液のpH変化とOH<sup>-</sup>溶出量

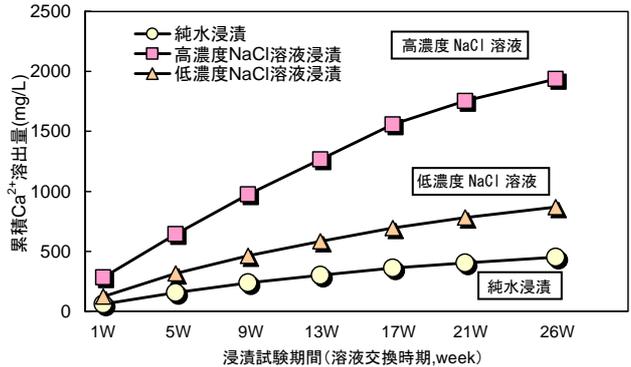


図3 浸漬溶液種類によるCa<sup>2+</sup>溶出量の相違

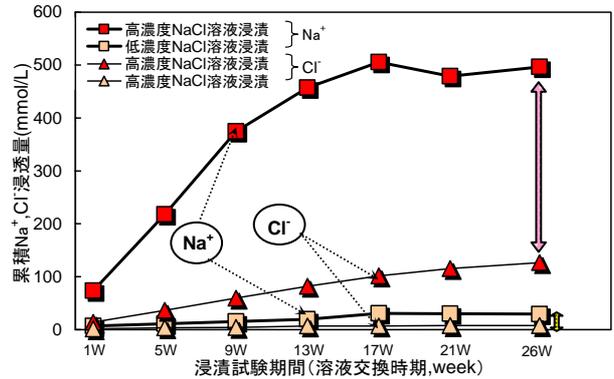


図4 Na<sup>+</sup>浸透量とCl<sup>-</sup>浸透量

(浸漬溶液のNa<sup>+</sup>およびCl<sup>-</sup>の濃度低下量を浸透量と見なした)

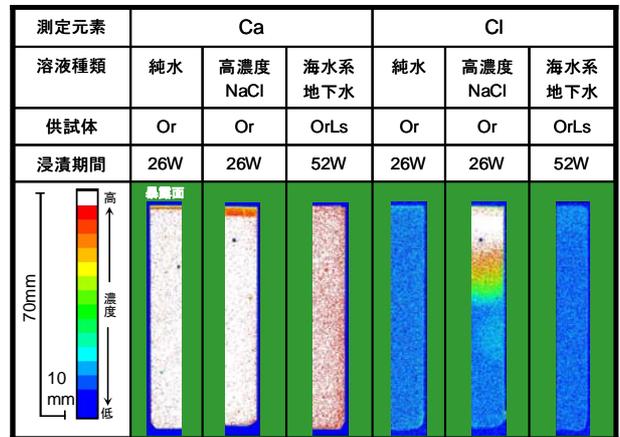


図5 浸漬試験後の供試体元素分布