

地下水含有成分がセメント硬化体の溶脱に及ぼす影響(1)

—純水および地下水模擬溶液への浸漬におけるセメント硬化体からの溶出成分—

(株) セレス 正会員 ○黒澤 健哉

(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

数年後に建設着工が計画されている低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分施設(地下深度約 80~100m)では、放射性核種の漏洩抑止の目的でセメント系ならびにベントナイト系の人工バリアが設けられ、それぞれ低透水性、低拡散性、核種収着性等のバリア性能を長期間維持することが求められている。セメント系材料はこの他にも、覆工やコンクリートピットなど様々な部位に適用される。地下水との接触で生じるセメント系材料の溶脱は、それ自身の組織多孔化を招くだけでなく、その溶出成分がベントナイト系材料の変質および膨潤性能低下に及ぼす影響も懸念されている。従来、セメント系材料の溶脱に対しては安全側の評価として純水を用いた検討が主であったが、より合理的な施設設計・評価に向けた検討の一つとして、供試体の配合や地下水含有成分が、セメント硬化体からの溶出成分に与える影響について実験を行った。

2. 実験概要

表 1 に示す使用材料および配合にしたがってセメントペーストおよびモルタルを練混ぜ、20x20mm の 1 面以外をエポキシ樹脂で被覆した長さ 70mm の供試体を作製し、浸漬試験に供した。本実験の特徴の一つとして、従来あまり検討が及んでいなかった水粉体比の低い、比較的緻密なバルク供試体の挙動を、長期浸漬試験を行って分析したことが挙げられる。また、

低熱ポルトランドセメントとフライアッシュの併用は、セメント系人工バリアの構成材料候補の一つでもある。

表 2 に示すとおり、浸漬溶液として純水の他に、建設予定サイト周辺の比較的浅い領域(100m 以浅)の地下水を対象とした淡水系地下水模擬溶液、ならびに、より深部(150m 以深)を対象とした海水系地下水模擬溶液を設定した。

浸漬試験は、所定期間ごとに溶液交換する方法を採り、供試体暴露面積当たり 100mL/cm² の溶液量が作用する条件とした。また、溶液交換時に採取した溶液サンプルについて、pH や各種イオン濃度(ICP 分析:Na, K, Ca, Mg, Al, Si, イオンクロマト分析:Cl, SO₄)の測定を行った。本稿では、pH や Ca, Na, K などの測定結果を用いて説明する。

3. 実験結果および考察

3.1 純水浸漬におけるセメント硬化体からの溶出成分

純水浸漬試験の溶液交換時に得られた pH 測定結果を図 1 に示し、供試体配合の影響を比較した。純水浸漬試験では、いずれの供試体においても、浸漬溶液の pH は初期値 7.0 より、10~12 程度まで上昇し、P-OrLs で最も高く、P-LF、M-LF の順に pH 上昇幅は小さくなった。ここで、本実験では所定期間ごとに溶液交換を実施している為、測定した値を pH 上昇の収束(平衡)値として捉えることはできない。つまり、溶液交換までの浸漬期間を十分に長く取れば、供試体に係わらず同一の pH 値を示す可能性がある。測定結果として得られた pH 上昇量の差は、各供試体間の OH 溶出速度の相違を表しているものと考えられる。よって、pH 上昇量を OH 溶出量と見なして換算し、同図で比較した。その結果、P-OrLs と比較し、P-LF、M-LF では OH 溶出量が少なくなった。これは、P-LF および M-LF で、比較的溶解

表 1 使用材料と供試体の配合

種類	水粉体比 (mass)	砂粉体比 (mass)	セメント種類	混和(合)材種類	置換率 (内割 mass)	供試体略号
セメントペースト	0.35	—	OPCr	LS	0.05	P-OrLs
モルタル	0.50	2.0	LPC	FA	0.30	P-LF M-LF

OPCr: 研究用普通ポルトランドセメント, LPC: 低熱ポルトランドセメント

LS: 石灰石微粉末, FA: フライアッシュ(II種)

粉体=セメント+混和(合)材

表 2 浸漬溶液の種類とイオン組成

溶液種類	組成	濃度 (mg/L)						pH	
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻		HCO ₃ ⁻
純水: イオン交換水		0	0	0	0	0	0	0	7.0
淡水系地下水模擬溶液		185	5	5	5	70	15	400	8.4
海水系地下水模擬溶液		9500	160	1100	320	17000	600	400	7.4

キーワード: 放射性廃棄物処分, 長期耐久性, 地下水, 溶脱, 溶出成分

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 TEL(04)7179-6211

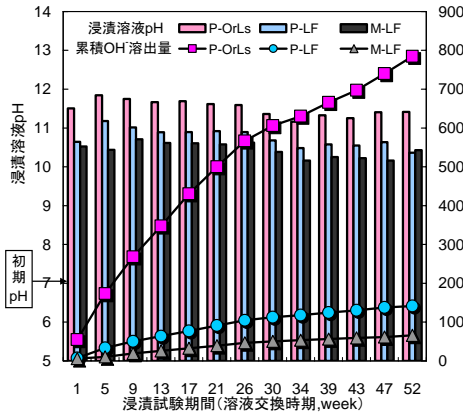


図1 pHの変化とOH⁻溶出量の比較

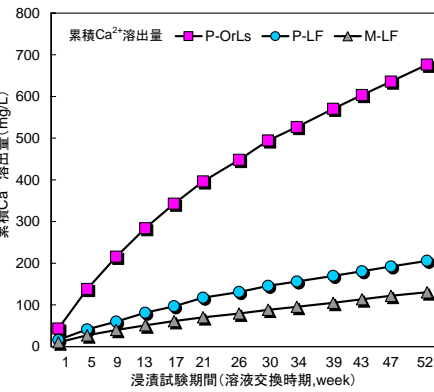


図2 Ca²⁺溶出量の比較

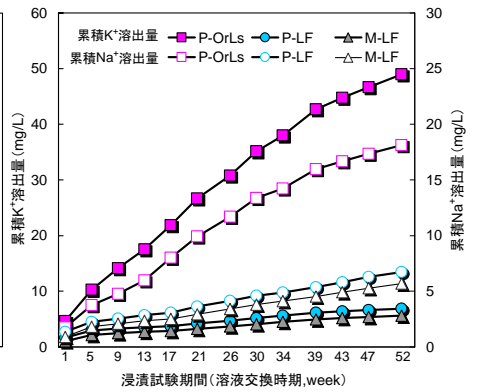


図3 K⁺, Na⁺溶出量の比較

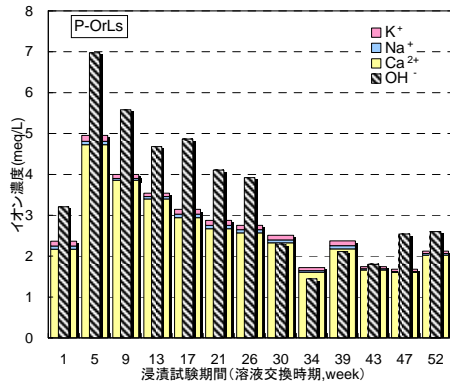


図4 溶出成分の組成変化 (P-OrLs)

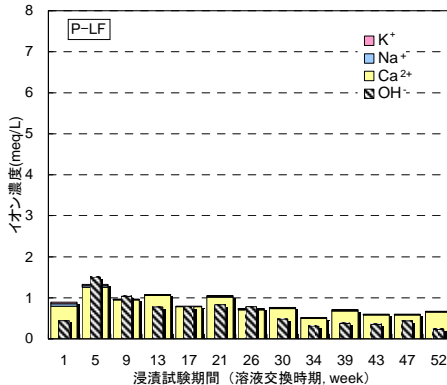


図5 溶出成分の組成変化 (P-LF)

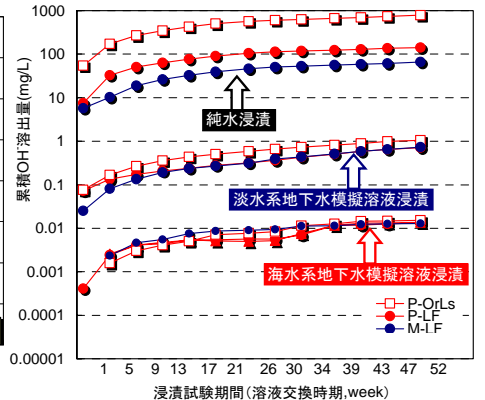


図6 溶液種類によるOH⁻溶出量の相違

性の高いセメント水和物であるCa(OH)₂の含有量が少ないことが影響しているものと考えられる。

図2に示すCa²⁺溶出量も同様であり、P-OrLsと比較してP-LF、M-LFで少なくなった。このことから、供試体中のCa(OH)₂の溶脱は、P-LFやM-LFで低減されていることが推察される。また、K⁺、Na⁺溶出量に関しても、同様の傾向を確認することができた(図3)。

図4は、P-OrLs 供試体から溶出したK⁺、Na⁺、Ca²⁺といった主要な陽イオン、ならびに陰イオンのOH⁻について、イオン濃度を当量換算し、それぞれ整理したものである。溶出する陽イオンの主成分はCa²⁺であり、浸漬試験の継続に伴って、すなわち溶脱の進展によって、その溶出も鈍化していることが分かる。また、陽イオンの累積濃度とOH⁻濃度もオーダー的によく一致しており、Ca(OH)₂の溶脱が溶出イオンの組成に大きく影響していることが分かる。また、P-OrLsに比べ溶出イオンの濃度が低いP-LF 供試体においても、同じような溶出イオンの組成を示していることを明らかにした(図5)。なお、イオンバランスの詳細な把握には、溶出する他イオンの考慮が必要と思われる。

3.2 淡水系・海水系地下水模擬溶液浸漬におけるセメント硬化体からの溶出

図6に各種溶液浸漬におけるOH⁻溶出量の相違を示す。純水浸漬に対し、淡水系地下水模擬溶液浸漬では、OH⁻溶出量が3桁小さい値となり、海水系地下水模擬溶液浸漬においては5桁小さい値となった。このように、本実験で設定した地下水模擬溶液への浸漬では、その含有成分の影響により、OH⁻の溶出が大幅に抑制されることを明らかにした¹⁾。また、その抑制程度は、海水系地下水模擬溶液への浸漬で顕著であった。

4. まとめ

水粉体比が小さく緻密なバルク供試体を用いて、長期間の浸漬試験を実施した。純水浸漬試験では、溶出イオンの濃度や組成に与える供試体配合の影響を把握した。また、地下水模擬溶液浸漬では、大幅に溶出が抑制される現象を示した。今後は、これら現象メカニズムの解明、および解析的評価手法の確立を目指す。

参考文献: 1)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回年次学術講演会講演概要集, V-228, pp.455-456, 2005

謝辞: 本論は、日本原燃(株)からの委託研究の成果を基に作成したものである。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から、熱心なご意見、ご助言を多数頂きました。ここに記しまして、深甚の謝意を表します。