

移流場におけるセメント系材料の化学的変質に関する解析的検討

鹿島建設株式会社 正会員 ○取違 剛 横関康祐
 日本原燃株式会社 正会員 庭瀬一仁
 東電設計株式会社 正会員 河原忠弘 谷 智之

1. 本検討の背景と目的

低レベル放射性廃棄物処分施設のうち浅地中処分では、鉄筋コンクリート製のピットの区画内に廃棄体を定置し、その周囲にはベントナイト混合土による難透水性覆土を施工する。2010年に示された「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的な考え方」によれば、浅地中処分におけるコンクリートピットも、余裕深度処分と同様に、長期的な状態設定が求められている。コンクリートピットは地表から約15mと比較的浅い場所に設置されることから、雨水や地下水等の移流の影響によって局部的な劣化を生じる可能性があり、移流を考慮したうえでの長期的な状態設定が必要となる。

そこで本検討では、これまで同処分施設の長期状態設定に用いられた数値解析コードについて、浸漬水が交換されるような移流場におけるセメント系材料の長期的な変質に関して、解析コードの妥当性を検証した。

2. 検討内容

2. 1 解析コード

本検討では、セメント系材料からの成分溶脱に関する解析コード「LIFE D.N.A.」¹⁾を用いた。この解析コードは、セメント系材料中のイオンの拡散、電気的中性条件、およびセメント系材料からの成分溶脱に伴う物質移行特性の変化を考慮でき、多くの実構造物の調査結果や実験結果との比較においてその妥当性が検証されたものである。

2. 2 検証解析に用いる実験データ

本検討では、検証解析対象の実験として、(独)日本原子力研究開発機構(旧核燃料サイクル開発機構、以下 JAEA)にて行われた普通ポルトランドセメントペースト(以下、ペースト)の促進溶脱試験結果²⁾を選定した。JAEAの試験では、一定期間養生したφ30mm×厚さ5mmのペーストを、重量比で30倍のイオン交換水に浸漬し、1ヵ月に1回の頻度で浸漬水を交換することで溶脱を促進させた。試験概要を図-1に示す。また、検証解析に用いたペーストの配合を表-1に示す。なお、表-1に示すペーストの硬化後の空隙率は、水銀圧入式ポロシメータで測定した実測値である。

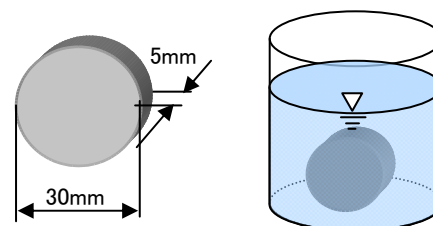


図-1 ペーストの浸漬試験概要

表-1 検証解析に用いたペーストの配合

W/C (%)	硬化後空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)		単位容積質量 (kg/m ³)
		W	OPC	
70	41.0	406	580	986

2. 3 検証解析用の解析モデル

JAEAの試験では、ペーストを重量比で30倍のイオン交換水に浸漬している。これは、体積比に換算すると、ペーストの密度が0.986g/cm³であることから、30×0.986=29.6倍となる。そこで、検証解析におけるペーストおよびイオン交換水については、図-2に示すようにモデル化した。また、イオン交換水が定期的に交換されたことを考慮するために、解析要素におけるイオン交換水のイオン濃度が1ヵ月に1回ゼロになるように設定した。解析に用いた入力値の一覧を表-2に示す。

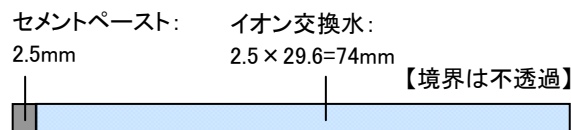


図-2 解析モデル

表-2 解析に用いた入力値一覧

Ca(OH) ₂ の溶解度積 K _{sp}	(mol/l) ³	4.15E-5
C-S-Hに関する係数 A _{cp1}	—	0.81
C-S-Hの溶解平衡パラメータ C1 _{Ca}	mmol/l	1.50
C-S-Hの溶解平衡パラメータ C _{p2Ca}	mol/l	3.04

3. 解析結果

キーワード：浅地中処分、溶脱、セメント、pH、移流

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL 042-489-7011 FAX 042-489-7078

3. 1 実験結果と解析結果との比較

イオン交換水の交換回数と、交換直前の液相（イオン交換水）中の Ca 濃度の関係を図-3 に、液相中の Na 濃度および K 濃度の関係を図-4 に示す。実験では、ペーストをイオン交換水に浸漬させた場合、浸漬初期においては NaOH や KOH が先行して溶脱し、Na イオンおよび K イオンが浸漬水に溶出する一方、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶脱に伴う Ca イオンの溶出が抑制される。Na イオンや K イオンがすべて溶出した後は、浸漬水に Ca イオンが溶解し、その後は水交換とともに浸漬水中の Ca イオン濃度が徐々に低下する結果となっている。また、水交換に伴って、図-5 に示すように pH が徐々に低下する結果となった。

実験結果と解析結果を比較すると、全体として、解析結果は実験結果を精度よく評価できていると考えられる。pH の変化において、水交換回数の多い領域で両者に若干差が見られる。これは、浸漬試験で水交換する際に気泡や大径の空隙内の水分が、浸漬水の交換と同時に外に出ていることが理由と考えられる。これを解析で考慮した場合、交換水量が多くなるため、図-5 に示す解析結果は実験結果に近づくものと考えられる。しかしながら、本検討で用いた数値解析コードは、浸漬水が定期的に交換されるような移流場におけるセメント系材料の成分溶脱を精度よく評価できることがわかった。

3. 2 既往の溶脱予測モデルとの比較

既往の溶脱予測モデルとして、Berner が考案した Mixing tank モデル³⁾がある。Mixing tank モデルは、ペースト中の空隙（細孔）に存在する細孔溶液を定期的に交換したときの、細孔溶液中のイオン濃度の変化をモデル化したものである。一方、JAEA の実験では、1 回の水交換でペースト体積の 29.6 倍を交換している。W/C=70% のペーストの空隙率が 41.0% であることから、JAEA の実験における 1 回の水交換を Mixing tank モデルにおける細孔溶液の交換サイクルに換算すると、 $29.6/0.41=72.2$ サイクルに相当する。

以上を踏まえて、液相（=細孔溶液）中の Ca 濃度の変化について、Mixing tank モデルと本解析結果を比較した結果を図-6 に示す。なお、図-6 における横軸は Mixing tank モデルにおける細孔溶液の交換サイクル数を示している。本検討で用いた数値解析コードは、既往の溶脱予測モデルと同等以上の精度を有すると考えられる。

【参考文献】

- 1)横関ら：カルシウムイオンの溶出に伴うコンクリートの変質に関する実態調査と解析の評価，土木学会論文集No.697/V-54, pp.51-64, 2002
- 2)核燃料サイクル開発機構：人工バリア材料の力学的物性取得試験，JNC TJ8400, 2004-036
- 3) U.Berner：A Thermodynamic Description of the Evolution of Pore Water Chemistry and Uranium Speciation during the Degradation of cement, PSI-Bericht Nr-62, Jun 1990

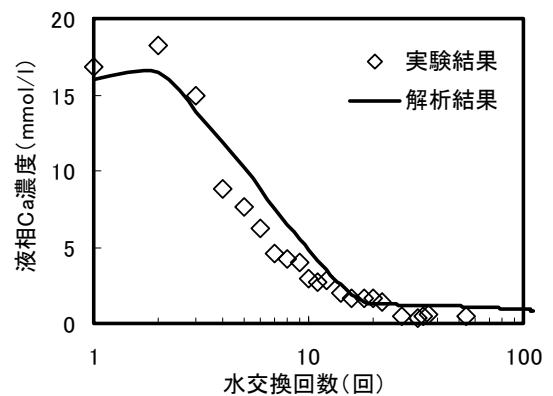


図-3 実験結果と解析結果との比較 (Ca)

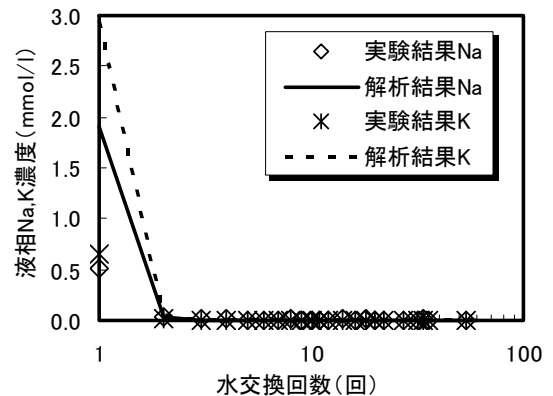


図-4 実験結果と解析結果との比較 (Na, K)

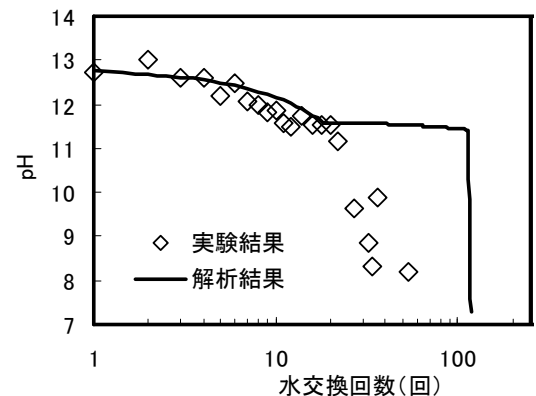


図-5 実験結果と解析結果との比較 (pH)

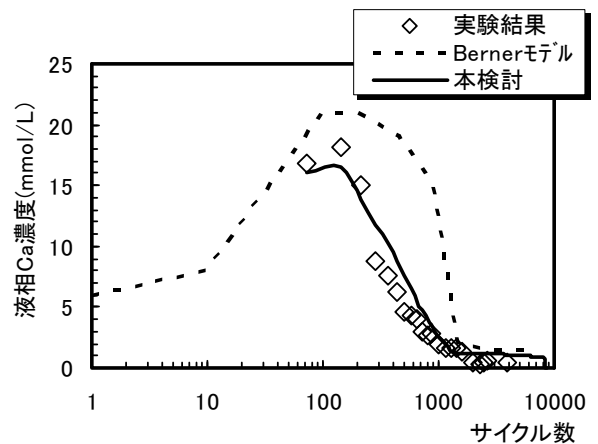


図-6 既往の研究成果との比較