

モルタルからの Ca 溶脱に及ぼす各種要因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 金子岳夫

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余裕深度処分施設には、放射性核種の移行を抑制する目的で、低拡散性を有するモルタル（以下、低拡散層モルタルと称す）の適用が検討されている。低拡散層モルタルの劣化のひとつに地下水との接触による Ca 溶脱が挙げられており、溶脱に伴う核種の移行抑制性能の低下（拡散係数の増大）は施設全体の安全性評価において非常に重要となるため、数値解析モデル¹⁾を用いた Ca 溶脱に関する長期的な将来予測が行われている^{2),3)}。低拡散層モルタルからの Ca 溶脱速度は使用材料や配合などの材料条件、それが設置される環境条件、ひび割れや部材厚さなどの構造条件といった様々な影響によって大きく異なる。数万年にわたる長期的な将来予測に際しては、これらの現象をできるだけ現実的に取り扱う必要がある。

以上のことから本研究ではまず、セメント系材料からの Ca 溶脱に関する数値解析モデル¹⁾のうち、化学反応モデル（溶解平衡関係）をパラメータとして 100 年間にわたる溶脱解析を行い、実構造物の調査結果との比較を行った。その後、実構造物の調査結果を評価可能と考えられる化学反応モデルを用いて、低拡散層モルタルの 10,000 年後における現実的な Ca 溶脱の影響範囲について、解析的な検討を行った。

2. 地中構造物における 100 年までのセメント系材料からの Ca 溶脱に関する検討

数値解析モデルを用いた Ca 溶脱の予測結果と、供用開始から 40～100 年が経過した構造物の Ca 溶脱に関する調査結果との比較を行った。なお実構造物の調査結果は、既往の検討⁴⁾に取りまとめられたデータのうち、低拡散層モルタルの供用される環境に近いと考えられる、地盤中で地下水と接していた構造物を対象とした。

2. 1 数値解析モデルの概要

本研究にて用いた数値解析モデル¹⁾における基礎方程式は、固相 Ca 濃度と細孔溶液中の Ca^{2+} 濃度に関する質量保存則であり、濃度拡散、移流、電気泳動および水和物の溶解・沈殿を考慮できる。

2. 2 解析条件

本研究にて用いるセメント系材料の化学反応モデルは、Ca の溶解平衡関係を基本としている。Ca の溶解平衡関係モデルを図 1 に示す。本研究では、一般的に Ca の溶解平衡関係として用いられるモデル（図 1 中の Na・K 考慮しないモデル(A)）および、セメント水和物のうち溶解度の高い NaOH、KOH が先に溶脱することで、溶脱初期は細孔溶液中の Ca^{2+} 濃度が上昇しないと設定したモデル（図 2 中の Na・K 考慮するモデル(B)）を用いて解析を行った。解析要素は図 2 に示すとおりとし、ベントナイトと低拡散層モルタルが接するように設定した。ベントナイトの物性については既往の研究³⁾と同一とし、低拡散層モルタルの配合については既往の研究⁵⁾をもとに設定した。低拡散層モルタルには低熱ポルトランドセメントにフライアッシュを 30%置換したセメント（LPCFA）の適用が検討されているが、ここでは、今回比較対象とした実構造物と合わせ、普通ポルトランドセメント（OPC）として解析を行った。使用するセメントの種類が解析結果に及ぼす影響については後述する。

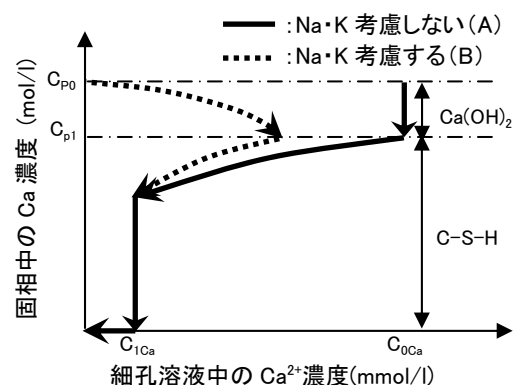


図 1 Ca の溶解平衡関係モデル

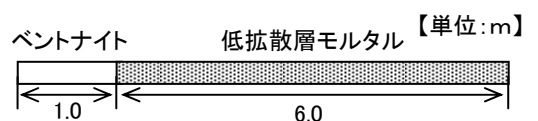


図 2 解析要素

キーワード：余裕深度処分，溶脱，セメント，溶解平衡，空隙率

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. 解析結果と実構造物の調査結果との比較

100年後におけるCa変質フロントの解析結果と、実構造物の調査から得られたCa変質フロントを図3に示す。ここでCa変質フロントとは、ベントナイトとの接触面から、低拡散層モルタル中のCa濃度が少しでも低下した領域までの距離と定義した。実構造物のコンクリート配合はW/Cや骨材の種類が様々であるが、Ca変質フロントは最大でも10mm程度であった。ここで、実構造物の調査結果に近いのは、NaOHおよびKOHの影響を考慮した溶解平衡関係モデルを用いた解析結果である。すなわち、溶解平衡関係モデルとしては、NaOHおよびKOHの影響を考慮したモデル(B)が現実的と考えられる。以上のことから次章では、NaOHおよびKOHの影響を考慮したモデル(B)を用いて、10,000年後の低拡散層モルタルのCa変質フロントの予測を行った。

4. 10,000年後の低拡散層モルタルのCa変質フロントの予測

本研究で用いた拡散係数モデルは、セメント系材料からのCa溶脱に伴う空隙率の増大に応じて、拡散係数が変化するように設定している。本研究で用いた拡散係数モデルにおける、空隙率と拡散係数の関係を図4に示す。図3に示した解析では、既往の研究⁶⁾におけるOPCのデータをもとに、図4中のOPCモデルを設定したが、ここではそれに加えて、低拡散層モルタルに用いるLPCのデータ⁵⁾および既往の検討⁶⁾におけるフライアッシュセメント(FAC)のデータをもとに、図4中のLPCFAモデルを設定し、低拡散層モルタルの10,000年後のCa変質フロントの予測を行った。それ以外の解析条件は前述のものと同一に設定した。

低拡散層モルタルにおけるCa変質フロントの解析結果を図5に示す。ここではOPCモデルを用いた場合の解析結果も併せて示した。拡散係数モデルをOPCモデルからLPCFAモデルに変更することによって、Ca変質フロントは1/4程度に抑制される結果となった。低拡散層モルタルにLPCFAが適用されること、またLPCFAはOPCに比べてCa溶脱を大幅に抑制できるとの結果が既往の検討⁷⁾によって得られていることから、拡散係数モデルはLPCFAモデルによる評価のほうが現実的と考えられる。以上のことを勘案すると、10,000年後における低拡散層モルタルの現実的なCa変質フロントは40～50mm程度と考えられる。

【参考文献】

- 1) 横関康祐：コンクリートからの成分溶出を対象とした千年レベルの長期耐久性設計に関する研究，東京工業大学学位論文，2004。
- 2) T. Torichigai, et.al. : COMPARATIVE STUDY USING SOME ADVANCED SIMULATION METHODS FOR LEACHING OF CEMENTITIOUS MATERIALS OVER TEN THOUSANDS OF YEARS, Mechanisms and modeling of waste/cement interactions(2nd International Workshop), 2008
- 3) 横関ほか：余裕深度処分施設におけるセメント系材料の溶脱に関する検討，第62回年次学術講演概要集，pp.253-254，2007。
- 4) 横関康祐：一万年コンクリートへの挑戦，セメント・コンクリート，No.699，pp1-6，2005
- 5) 杉橋ほか：低熱ポルトランドセメントとフライアッシュ、膨張材を使用したコンクリートおよびモルタルの諸特性，土木学会第62回年次学術講演概要集，2007
- 6) 安田ほか：カルシウム溶出に伴うコンクリートの物理性能及び物質移行性能の変化に関する検討，セメント・コンクリート論文集，No.56，pp492-498，2002
- 7) Isao KURASHIGE, et.al. : EFFECTS OF HYDROGENCARBONATE AND CHLORIDE IN GROUNDWATER ON LEACHING OF CEMENTITIOUS MATERIALS, CONSEC'07, 2007

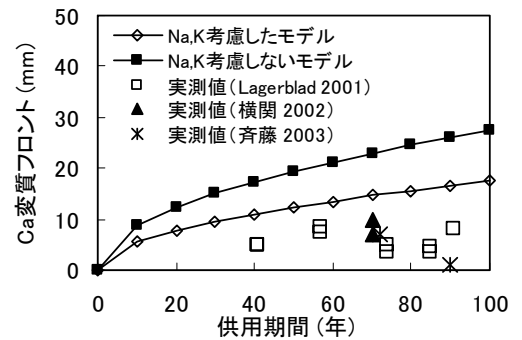


図3 Ca変質フロントの解析結果

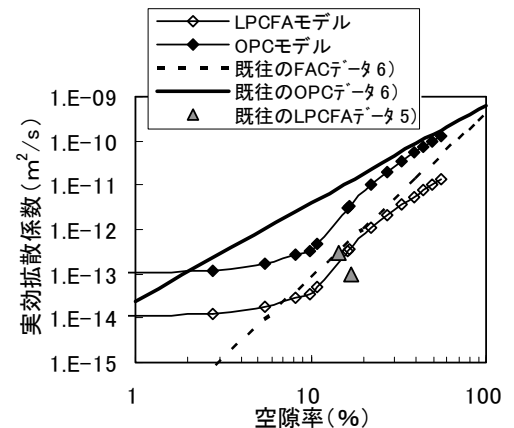


図4 拡散係数モデル

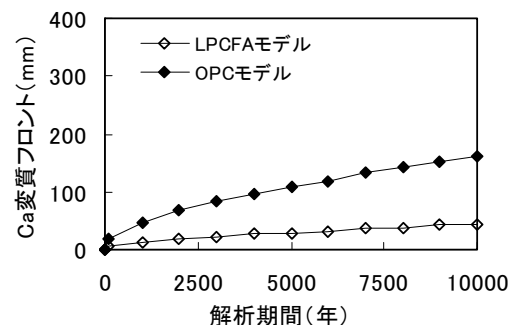


図5 低拡散層モルタルからのCa変質フロント解析結果