

放射性物質によるコンクリート汚染の機構解明と汚染分布推定に関する研究

(10) 建屋地下コンクリートへの Cs、Sr の浸透挙動のモデル化

Study on the Radionuclide Contamination Mechanisms of Concrete and the Estimation of Distribution of Radionuclides

(10) Modeling of penetration behavior of Cs and Sr into concrete at turbine building basement of

Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

富田 さゆり¹, 小林 佑太朗¹, *芳賀 和子¹, 細川 佳史², 山田 一夫³, 栗飯原 はるか⁴,
五十嵐 豪⁵, 丸山 一平^{5,6}

¹太平洋コンサルタント, ²太平洋セメント, ³国立環境研究所, ⁴日本原子力研究開発機構,
⁵東京大学, ⁶名古屋大学

本報では、1F コンクリートの Cs、Sr 浸透予測のため、骨材と Cs、Sr の相互作用をモデル化し、既報の C-S-H への収着モデルとともに予測モデルに実装し、1F コンクリートの Cs、Sr 浸透計算を行った。

キーワード：福島第一原子力発電所，廃炉，除染，コンクリート，収着，浸透，炭酸化，モデル化

1. 緒言

福島第一原子力発電所（1F）の廃炉時に発生する大量のコンクリート廃棄物の処分計画において、放射性核種の浸透予測は、除染や最終的な廃棄物量を検討する上で有用である。重要核種である Cs、Sr は、コンクリート中では骨材とセメント水和物中のカルシウムシリケート水和物（C-S-H: $x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ ）に収着され、炭酸化の影響も受けると考えられる。本報ではこれらを考慮するため、従来の収着モデル^[1]を拡張し、相平衡多元素浸透モデルに実装し、1F 号機タービン建屋地下コンクリートを想定した Cs、Sr 浸透計算を行った。

2. モデル化およびモデルの適用と考察

2-1. 骨材と Cs、Sr の相互作用のモデル化

1F1 号機に使用されたものと同じ産地の骨材を、Cs、Sr を添加した模擬セメント平衡水（セメントペースト硬化体を粉砕し 10 倍量の水に浸漬した液相）に浸漬した。本報では、骨材による収着が陽イオン交換反応によるイオン吸着である Sr とのイオン交換をモデル化した。骨材の吸着サイトを「Agg⁻」と表現することとし、Phreeqc を用いて、浸漬試験結果とフィッティングするよう平衡定数を求めた。作成した反応式及び導出した平衡定数を表 1 に示す。

表 1 骨材のイオン交換反応式
及び平衡定数

反応式	log K
$2\text{Agg}^- + \text{Ca}^{2+} = \text{CaAgg}_2$	-1.29
$\text{Agg}^- + \text{Na}^+ = \text{NaAgg}$	0.0
$\text{Agg}^- + \text{K}^+ = \text{KAgg}$	0.28
$\text{Agg}^- + \text{Cs}^+ = \text{CsAgg}$	1.00
$2\text{Agg}^- + \text{Sr}^{2+} = \text{SrAgg}_2$	-5.10

2-2. 1F 建屋コンクリートの Cs、Sr 浸透計算

1F1 号機タービン建屋地下は、普通ポルトランドセメントを用いた熱影響を受けていないコンクリートで、塗装がない場合は表層部には炭酸化が生じており、滞留水が除去されるまでは、海水、高濃度汚染水、低濃度汚染水に接触していたと考えられる。そこで、初期状態を地震が起こる前の炭酸化していなかったコンクリートもしくは炭酸化していたコンクリート（炭酸化深さ 30mm）と設定し、文献を基にコンクリート配合や接触している滞留水の濃度変化を設定し、津波による海水侵入から滞留水が除去されるまでの期間（約 6 年間）の Cs、Sr 浸透を試算した。計算には、液相中の各種イオンの移動や固相との相互作用等を総合的に解析できる相平衡一物質浸透連成モデル^[2]に、C-S-H と骨材に対する Cs、Sr 収着モデルを実装した予測モデルを使用した。図 1 に炭酸化していなかったコンクリート（健全）と炭酸化していたコンクリート（炭酸化）の Cs、Sr 浸透計算結果を示した。炭酸化によって Cs はわずかに、Sr は大きく収着量が増加し、浸透深さは抑制される計算となった。これは、炭酸化により C-S-H 中の CaO が CaCO_3 となり、CaO/SiO₂ モル比が減少し、Cs、Sr の収着量が増加したことが要因と考えられる。Cs と比較して、Sr の変化が大きい理由は、Cs の収着は骨材、Sr の収着は C-S-H が支配しているためと考えた。本モデルでは、炭酸化や 1F 建屋の実現象を完全に反映することはできていないため、これらは今後の課題とする。

謝辞

本研究は文部科学省英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 JPMX17D17948568 および JSPS 科研費 JP17H03292 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 富田ら、2019 秋の原子力学会、2B08、(2019)
[2] Hosokawa et al., Materials and Structure, 44, 1577-1592 (2011)

Sayuri Tomita¹, Yutaro Kobayashi¹, *Kazuko Haga¹, Yoshifumi Hosokawa², Kazuo Yamada³, Haruka Aihara⁴, Go Igarashi⁵ and Ippei Maruyama⁶

¹Taiheiyo Consultant, ²Taiheiyo Cement, ³NIES, ⁴JAEA, ⁵Tokyo Univ., ⁶Nagoya Univ.

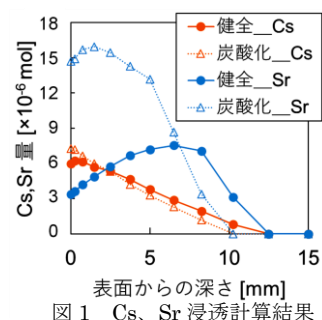


図 1 Cs、Sr 浸透計算結果