



福島原子力事故関連情報アーカイブ

Fukushima Nuclear Accident Archive

Title	現実の放射性物質による汚染環境を考えたコンクリートの汚染推定における重要な影響因子と予測手法の整理
Alternative_Title	Summary of important affecting factors and prediction methods for estimating contamination of concrete considering actual environments contaminated by radioactive materials
Author(s)	山田 一夫(国立環境研究所), 丸山 一平(東京大学), 渋谷 和俊(太平洋コンサルタント), 東條 安匡(北海道大学), 細川 佳史(太平洋セメント), 五十嵐 豪(名古屋大学), 駒 義和(日本原子力研究開発機構) Yamada, Kazuo(National Inst. for Environmental Studies); Maruyama, Ippei(Univ. of Tokyo); Shibuya, Kazutoshi(Taiheiyo Consultant Co., Ltd.); Tojo, Yasumasa(Hokkaido Univ.); Hosokawa, Yoshifumi(Taiheiyo Cement Corp.); Igarashi, Go(Nagoya Univ.); Koma, Yoshikazu(Japan Atomic Energy Agency)
Citation	第12回環境放射能除染研究発表会要旨集, p.36 The 12th Workshop of Remediation of Radioactive Contamination in Environment
Subject	セッション6: 廃棄物対策
Text Version	Publisher
URL	https://f-archive.jaea.go.jp/handle/faa/277806
Right	© 2023 Author
Notes	禁無断転載 All rights reserved. 「第12回環境放射能除染研究発表会要旨集」のデータであり、発表内容に変更がある場合があります。 学会は発表の機会を提供しているもので、内容に含まれる技術や研究の成果について保証しているものではないことをお断りいたします。



現実の放射性物質による汚染環境を考えたコンクリートの汚染推定における重要な影響因子と予測手法の整理

○山田一夫¹・丸山一平²・渋谷和俊³・東條安匡⁴・細川佳史⁵・五十嵐豪⁶・駒義和⁷

1：国立環境研究所・2：東京大学・3：太平洋コンサルタント・4：北海道大学・5：太平洋セメント・6：名古屋大学・7：JAEA

1. はじめに 原子力発電所事故後のコンクリートの放射性物質による汚染や汚染廃棄物の処分施設コンクリートへのCs浸透の予測は、廃棄物の処理・処分に重要である。関連研究は多くあるが、筆者らは文科省英知事業として、実汚染環境を考慮したコンクリートへのCs、Sr、α核種の浸透実験とモデル化を行ってきた。ここで得られた知見から、現実の放射性物質による汚染環境を考え、コンクリートの汚染推定において考慮すべき重要な影響因子と予測手法を整理する。

2. 考慮すべき影響因子

2.1 影響因子の全体像 コンクリートへのイオン浸透に及ぼす影響因子を図1

に示す。イオンはコンクリート構成相と相互作用しながらその空隙水中を拡散する。その相互作用は、相変化を伴わないイオン交換(Cs,Cl)、低pHによる析出(α核種、多価カチオン)、水和物の溶解再析出による固溶(Sr)等である。

2.2 コンクリート材料 イオン浸透で最大の影響因子は空隙の連結性である(空隙量は無関係)。高炉スラグや微粉炭焼却飛灰(FA)は連結性を低下させ物質浸透抵抗性を高める。連結性は浸透実験により評価するが、浸透深さは固相との相互作用に影響される。ただし、イオン交換による吸着(アルミン酸Ca水和物AFm類によるCl、低Ca/Si比のアルミノケイ酸Ca/Mg水和物によるアルカリ金属)量の大小は、浸透深さに影響無い。骨材には粘土鉱物等(詳細不明)、Csを特異吸着する物質が含まれ、それらの一部の層間でのCsイオン交換(吸着)には極端にCs選択性が高いサイトがあり、実験の時間スケールでは不可逆的に振る舞い、Cs浸透を阻害し、Cs濃度が浸透深さに影響する。

2.3 コンクリートの状態 コンクリート中のセメントペーストが空隙の連結性を支配するが、特にFAを含む場合など水和度の影響が大きい。さらに温湿度履歴や炭酸化などの環境影響により、ペースト部の相組成と空隙構造が変化する。相組成変化には、60℃程度の高湿長時間曝でC-A-S-Hはトバモライト化、Ca溶脱で鎖長が長い低Ca/Si比C-A-S-H化、海水との相互作用でエトリンガイトやMg系水和物の生成、炭酸化でアルミノケイ酸アルカリ金属水和物の生成等がある。空隙構造変化には、乾燥でC-A-S-Hの比表面積減少、炭酸化でFAセメント等の低い空隙連結性喪失等がある。したがって、浸透実験に用いるコンクリートの条件として、水和度、乾燥状態、炭酸化度(セメント種類、促進炭酸化条件、室内、屋外の組合せで炭酸化組織は変化する)、ひび割れ等を考慮する必要がある。

2.4 環境要因 コンクリートへの放射性核種(RI)の浸透・溶出は共存イオンの影響を受けるため、⁹⁰Srなど特定のRIだけではなく安定同位体を含め、現実の暴露環境でのイオン組成を考慮する必要がある。実験上の配慮として、¹³⁷Cs浸透ではCs吸着に競合するK濃度を環境条件と一致させる、現実の汚染水(炉心水と海水の混合物)等との接触ではCa溶脱により表面部分でCsやSrの大きな濃縮が起きる(見かけ上、バイモーダル分布となる)ため適切な液固比を設定する、などがある。Csなどイオン交換による吸着では濃度ではなく競争吸着するイオンの比率が重要であるが、Srなど溶解再析出による吸着では溶液の濃度と量が重要となる。

3. 予測手法 RI実験でも測定濃度範囲には限界があり、クリアランスレベルまでの予測は、浸透プロファイルから見かけの拡散係数を求めフィックの拡散則を用いるなどする。拡散側は浸透深さを過小評価するがNernst-Plank式(NP式)による数値計算がより良い。Csの粘土への不可逆的吸着もNP式で考慮できるが、吸着量によるCs選択性の考慮に課題がある。固液間相互作用は全イオンと固相が関わり、全構成相を考慮した熱力学的相平衡計算(Reaction Transport, RT)が用いられる。ただし、RTは観察される各固相の溶解平衡データに基づく計算であり、非晶質相が主体のセメント水和物の場合、炭酸化やCa溶脱、海水、酸性水、地下水との相互作用での相変化を取り込む点、空隙の連結性の設定に課題がある。さらに、ひび割れ部(モデルからひび割れ分布予測はできるが現地調査が必須)や乾燥・不飽和状態での溶液の移流と固液間イオン相互作用の速度(Csは遅いがSrとClは早い)を考慮する必要がある。不飽和状態での水分・イオン移動予想には乾湿に伴う体積変化を含めたモデルが望ましく、未知の領域である。

4. まとめ 放射性元素による汚染評価には、現実の材料と状態、環境条件を考慮した実験と予測が必須である。本稿では主要な影響因子をまとめたが、現実の汚染状況を分析し、予測との比較も不可欠である。

謝辞 本研究の一部は、JAEA 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 JPJA20P20333545 の助成を受けたものである。

Summary of important affecting factors and prediction methods for estimating contamination of concrete considering actual environments contaminated by radioactive materials

¹Kazuo Yamada, ²Ippei Maruyama, ³Kazutoshi Shibuya, ⁴Yasumasa Tojo, ⁵Yoshifumi Hosokawa, ⁶Go Igarashi, Yoshikazu Koma⁷ (¹NIES, ²U Tokyo, ³Taiheiyo Consultant, ⁴Hokkaido U, ⁵Taiheiyo Cement, ⁶Nagoya U, ⁷JAEA)

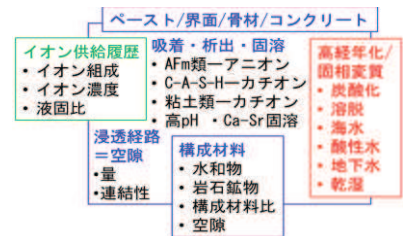


図1 コンクリートへのイオン浸透に及ぼす影響因子