廃棄物埋設施設に用いられるセメント硬化体の300年を超える超長期性能評価に関する技術基盤研究

岸　利治（東京大学生産技術研究所）・名和 豊春（NIST合同会社）・細田　暁（横浜国立大学）・吉田　亮（名古屋工業大学）
説明者：名古屋工業大学　原 宏明

事業の目的と概要

事業の目的

- 放射性廃棄物処分では，300年を超える期間におけるセメント系バリアの核種の閉じ込め性や物質移行機能について性能評価することが求められている．
- 主要構成物質であるC–S–Hは準安定であるため，相転移・二次鉱物の生成，および核種の収着・物質移行性能の変化を考慮する必要がある．
- セメントバリアに，施工中や供用段階で，温度応力や外力の影響によりひび割れが発生すると，核種の閉じ込め性や物質移行抵抗性を低下させるため，ひび割れの発生を抑制することも重要である．
- 本事業は，以上の要件を満たすセメント硬化体の超長期性能評価の技術項目を抽出し，性能規定型設計のための評価指標・判定基準（照査コード）を構築するものである．

事業の概要

- 300年を超える期間におけるセメント系バリアの核種の物質移行機能についての性能評価を行うため，物質移行性能の評価項目として，(1) 拡散性能，(2) 透水性能，(3) 核種の収着性能の3つの観点から検討する．

◆拡散性能（水蒸気吸脱着等温線による空隙構造の評価，第一原理分子動力学法によるセメント水和物の変質（結晶安定性）の評価）

◆透水性能（有限要素法に基づく実構造物のひび割れ解析と防止方法の探索）

◆核種の収着性能（第一原理分子動力学法によるセメント水和物の収着機構の解明および収着実験との整合性の確認）

年度計画	R6	R7	R8	R9	R10
Ⅰ-A 拡散（細孔構造）	供試体作成・基本特性試験	水蒸気吸脱着・MIPによる細孔構造分析	→	細孔構造と物質移行特性の相関分析	照査コード構築
Ⅰ-B 拡散（結晶安定性）		小角散乱XRD・NMRによる結晶構造分析	第一原理MDによる機構解明	→	
Ⅱ 透水（ひび割れ）	構造物の数値解析・ひび割れ抑制設計の検討 →		ひび割れ抑制設計法の効果検証・ひび割れと 物質移行試験	→	
Ⅲ 吸着（吸着性能）	供試体作成・収着試験 →		第一原理MD解析	→	

【本事業における「照査コード」の定義】
熱力学や第一原理計算に基づくミクロな相転移モデルにより，300年超の長期における材料の変質と設計に使用する特性値の変化を考慮することができる「設計規準・指針（Design Code）」のこと．
これにより，バリアの長期的な健全性を判定するための評価指標や検証の方法について検討する．

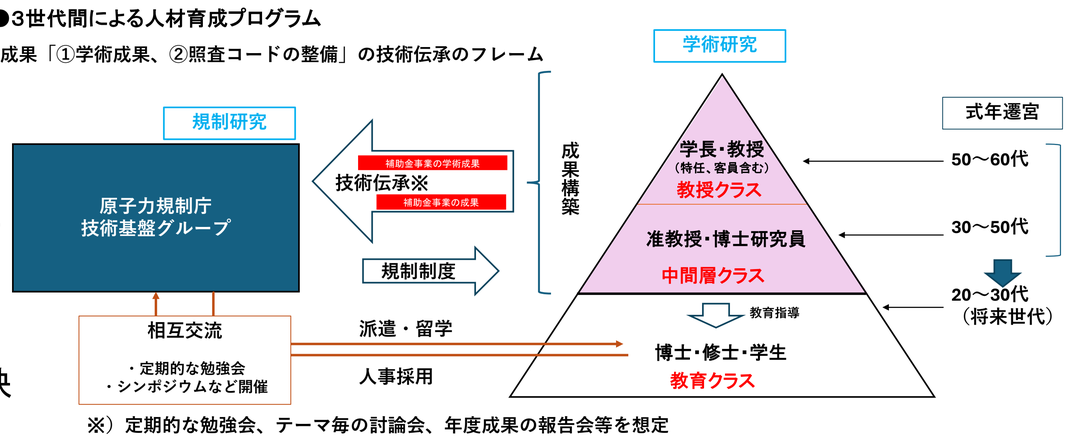
事業期間において構築される将来の規制上の研究課題に対処する技術基盤

構築する「技術基盤」
拡散・透水・吸着の三つの特性について，それぞれ専門性の高い研究チームを構成．各チームが連携し実験と解析により，長期変遷を踏まえた機構解明を目指す．

人材・技術伝承
整備した技術基盤を活かし，3世代（教授、准教授・講師、博士学生等）の研究体制を構築．若い技術者への技術伝承，規制庁技術者への技術移転と知見の共有化を図る．

最終年度に残すもの
最終年度のR10に，細孔構造と物質移行特性，結晶構造と安定性・物質移行の関係を反映した性能照査コードを構築する．R11以降は，NRAへの引継ぎと技術伝承を想定する．

●3世代による人材育成プログラム
成果「①学術成果、②照査コードの整備」の技術伝承のフレーム



※）定期的な勉強会、テーマ毎の討論会、年度成果の報告会等を想定

事業の成果

東京大学生産技術研究所

細孔構造評価・事業全体の総括

- 水蒸気吸脱着・MIP等により、層間空隙から毛細管空隙までの細孔構造を評価
- 細孔構造と拡散・透水・吸着特性との関係を定量化
- 各研究チームの評価指標を統合して，性能照査コード構築への検討を統括

成果物：
[1]長谷川菜美，後藤誠史，区光烽，岸利治：水蒸気脱着等温線によるセメントペーストの空隙構造についての考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.46，No.1，pp.13–18，2024.

YNU 横浜国立大学

ひび割れ・透水性能

- 材料・施工条件などによるひび割れ発生・幅・内部形状を評価
- 数値解析と実構造物で，ひび割れ抑制設計の有効性を検証
- ひび割れと地下水移行・物質移行の関係を整理し，透水性能の評価指標へ接続

成果物：
[1] Adnan AKMAL, Akira HOSODA, Ngoc T. PHAN, and Kouji YOSHIHIRO: Numerical Simulation of Thermal Cracking in Long RC Walls of Sewage Treatment Plant, コンクリート工学年次論文集，Vol.47，No.1，pp.1128–1133，2025.

名古屋工業大学

結晶構造・第一原理計算・MD

- C–(N,A)–S–H／C–(A)–S–Hの構造安定性を評価
- Na・Al置換、H添加，層間構造の安定化機構を整理
- MD・自由エネルギー評価へ接続し，長期変質評価の原子レベル根拠を整備

成果物：
[1] Takinami, S., Yoshida, R., Kobayashi, R., Nawa, T., & Kishi, T.: Construction and Building Materials, 470, 140561, 2025.
[2] 齊藤秀幸・原宏明・吉田亮・名和豊春：コンクリート工学年次論文集，Vol.48，No.1，pp.78–83，2026.
[3] 安松太陽・原宏明・吉田亮・小林亮：コンクリート工学年次論文集，Vol.48，No.1，pp.84–89，2026.

※ 研究成果の詳細は，本資料の2・3枚目の研究成果ポスターをご参照ください．

今後の展開について

●技術交流（勉強会）を継続し，技術検討会の設置やシンポジウムの開催につなげる．
●事業終了後に照査コードの更なる深化と評価指標の定量的基準化を継続するとともに，その技術の伝承によって人材育成を図る．
●研究成果を処分システムの検討に適用し，規制上の技術的論点の継続的な検討へとつなげる．

※本研究は，原子力規制庁の令和6～8年度原子力規制研究技術基盤構築事業費補助金（原子力規制研究の強化に向けた技術基盤構築事業）の補助を受けたものである．