

# 放射性廃棄物処分施設・高度構築技術

研究代表者 小峯 秀雄  
(創造理工学部 社会環境工学科 教授)

## 1. 研究課題

原子力発電事業から排出される放射性廃棄物の処分は、国家的な重要事案である。実際、高レベル放射性廃棄物の地層処分事業は、北海道の2つの地方自治体において、原子力発電環境整備機構（NUMO）による文献調査によるサイト調査の段階に入った。研究代表者は、30年以上、放射性廃棄物処分におけるキーデバイスとも言える人工バリア・ベントナイト系緩衝材の設計・製作にかかわる基礎研究を継続している。これらの研究は、数多くの科研費の支援も継続的に受けている (<https://kaken.nii.ac.jp/ja/search/?qm=90334010>)。

本研究では、これらの基礎研究を起点に、電力関連の研究所および施工実績のある企業との協働を図り、基礎研究から施工など実務への応用までを念頭に置いた設計・施工・品質管理技術としての体系化・技術の高度化を行う。特に、事業化しており、処分サイト選定において前進しつつある高レベル放射性廃棄物地層処分と通常廃炉において緊急課題となっているL3低レベル放射性廃棄物処分に関するベントナイト系の緩衝材および遮水材を研究対象として、透水・膨潤・強度変形・熱伝導性という基礎的な物理・化学特性に関する実験的研究とデータベースの構築、これらの基礎的な物理・化学特性に基づく仕様設計方法の提案、要求性能に応じた材料配合と施工技術の構築を行う。

## 2. 主な研究成果

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設における人工バリア材の1つである「ベントナイト系緩衝材」を対象として、水分移動特性や膨潤特性に影響を及ぼし得る境界条件である、廃棄物の崩壊熱を考慮した温度勾配や、人工・天然バリア材の低透気性を考慮した排気条件に関する数多くの種類の実験的研究を実施した。今年度の成果の特筆すべき点は、温度勾配環境におけるベントナイト中の水分移動特性を評価可能な実験技術を確立した点や、乾燥密度やベントナイトの種類、拘束圧等をパラメータとして排気条件による水分移動・膨潤特性への影響を定量評価した点が挙げられる。主な成果を以下に示す。

### (1) 温度勾配環境における締固めたベントナイト中の水分移動移動の評価

- 温度勾配環境におけるベントナイト中の水分移動挙動を評価可能な実験装置(図1)を開発した。その際、供試体側面の断熱の有無、上面の密閉の有無など、供試体の境界部の条件が含水比分布の変化に及ぼす影響について検討した(図2参照)。
- 供試体初期含水比や乾燥密度、および試験期間の差異が含水比分布の変化に及ぼす影響について評価した。その結果、時間経過とともに供試体上面(開放、低温側)から含水比低下が進行するとともに、上面におけるひび割れの発生や経時に伴う収縮の様子が観測された(図3参照)。

(2)排気・拘束条件の変化に伴う残存間隙空気がNa型・Ca型ベントナイトの水分移動特性に及ぼす影響

- メスシリンダー法を用いて、上部からの拘束圧や供試体体積を変えた条件のもとで蒸留水を浸潤させ、底部からの排気許容の有無による定常浸潤速度や定常膨潤率の差異を評価した（図4参照）。
- メスシリンダー法により、供試体乾燥密度とベントナイトの種類（Na型・Ca型）を変えた条件の下で、底部からの排気許容の有無による定常浸潤速度や定常膨潤率の差異を評価した。その結果、低拘束圧下のCa型ベントナイトにおいて、非排気の場合において浸潤速度が低下することが確認された（図5）。

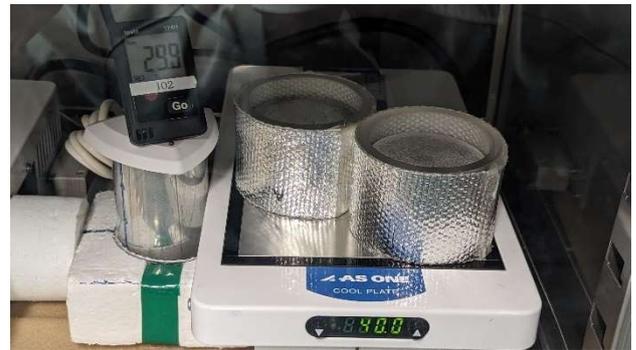
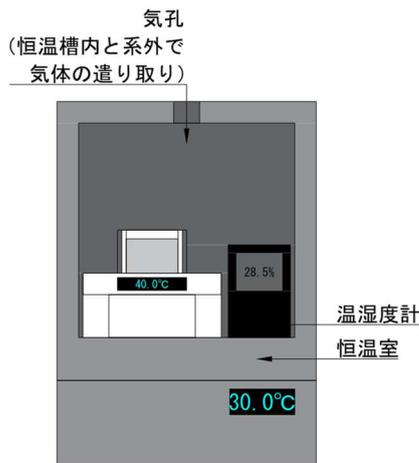


図1 温度勾配環境におけるベントナイト中の水分移動挙動

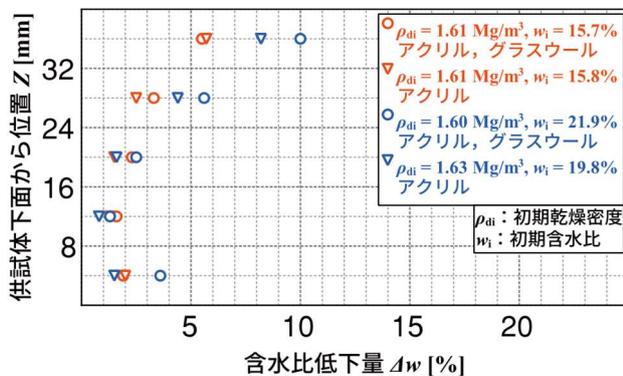


図2 供試体高さ方向の含水比低下量分布（側面の断熱有無による比較）

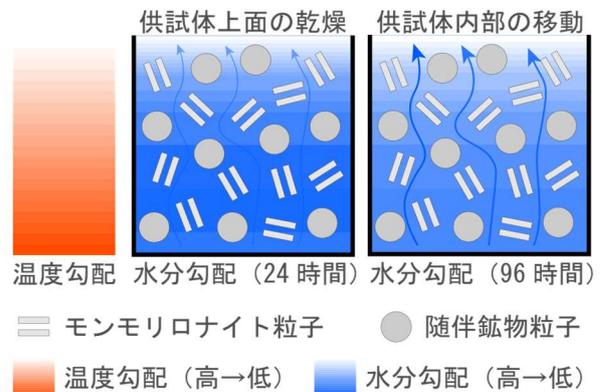


図3 供試体内の水分移動現象の経時変化に関する概念図

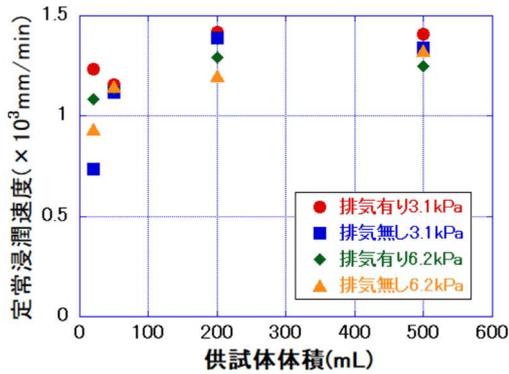


図4 定常浸潤速度と供試体体積の関係

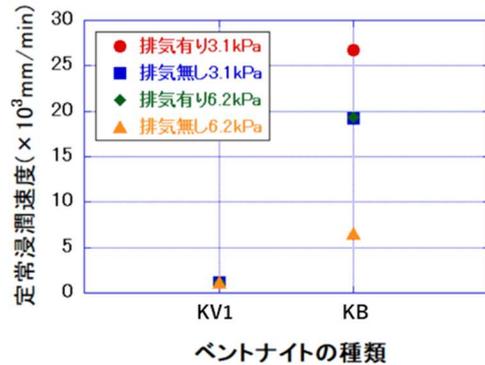


図5 異なるベントナイトにおける排気の有無による定常浸潤速度への影響

### 3. 共同研究者

- 王 海龍 (国際理工学センター・准教授)
- 伊藤大知 (創造理工学部 社会環境工学科・講師 (任期付))
- 阮 坤林 (創造理工学部 社会環境工学科・助教)
- 新井靖典 (理工総研嘱託研究員/西武建設)
- 佐古田又規 (理工総研嘱託研究員/ホージュン)
- 後藤 茂 (理工総研招聘研究員)
- 龍原 毅 (理工総研招聘研究員)
- 渡邊保貴 (理工総研招聘研究員)
- 吉川絵麻 (理工総研招聘研究員)
- CAI, Guodong (創造理工学研究科 博士後期課程 3年)
- Wang Hao (創造理工学研究科 博士後期課程 2年)
- Zhao Qingyuan (創造理工学研究科 博士前期課程 2年)
- 岩原将斗 (創造理工学研究科 博士前期課程 1年)
- 村瀬颯太 (創造理工学研究科 博士前期課程 1年)
- 山崎玉 (創造理工学研究科 博士前期課程 1年)
- 渡邊康太郎 (創造理工学研究科 博士前期課程 1年)
- 覺前瞭太 (創造理工学部 社会環境工学科)
- 高橋智紀 (創造理工学部 社会環境工学科)

### 4. 研究業績

#### 4.1 学術論文

- 1) 山田淳夫, 千々松正和, 鈴木誠, 小峯秀雄「砂・ベントナイト混合土の遮水性能評価における締固め密度の測定頻度の影響」土木学会論文集 80(1): 23-00094. 2024. <https://doi.org/10.2208/jscej.23-00094>.
- 2) 渡邊康太郎, 伊藤大知, 小峯秀雄, 関口高志「海水系地下水質および地下水圧負荷環境下でのNa型, Ca-Mg型ベントナイトの水分移動特性に関する研究」第15回環境地盤工学シンポジウム発表論文集 16-4(16-4) 638-642 2023年11月.
- 3) Daichi Ito, Hailong Wang, Hideo Komine (2023) Apparatus for swelling deformation of

compacted bentonite utilizing multi-ring moulds for evaluation of dry density and water content distribution, Proceedings of the 8th International Symposium on DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GEOMATERIALS Porto, 3rd - 6th September 2023 2023 年 9 月

- 4) Daichi Ito, Hideo Komine (2023) Cementation effect on swelling and permeability properties of bentonite considering microscopic structural evaluation, Smart Geotechnics for Smart Societies, <https://doi.org/10.1201/9781003299127-277>.
- 5) 小峯秀雄, 王海龍, 龍原毅, 園田真帆, 村田航大「高レベル放射性廃棄物地層処分事業への土木技術者としての参画意欲育成のための教材開発と試験的実践」土木学会論文集 79(7): 23-00059, 2023. <https://doi.org/10.2208/jscej.23-00059>.
- 6) Hailong Wang, Yuka Yamamoto, Hiroyuki Kyokawa, Daichi Ito, Hideo Komine (2023) Water and soil particle movement in unsaturated bentonite with constrained and free swelling boundaries, Soils and Foundations, 63: 101350- 101363, <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2023.101350>.
- 7) Daichi Ito, Hailong Wang, Hideo Komine (2023) Evaluation on hydraulic conductivity of saturated bentonites containing different exchangeable cation composition, Proceedings of 9ICEG 252-260 2023 年 6 月
- 8) Daichi Ito, Hailong Wang, Hideo Komine (2023) Experimental study of aging-induced cementation effect on permeability property of bentonites, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1124(1) 012118-012118 2023 年 1 月 1 日, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1124/1/012118>.

#### 4.2 総説・著書

なし

#### 4.3 招待講演

- 1) Hideo Komine, Geotechnical Engineering for Decommissioning Nuclear Power Station and Radioactive Waste Disposal, IAEA meeting, Vienna, Austria, 2023/07/03 (Vienna).
- 2) Hideo Komine, Geotechnical Engineering for High-Level Radioactive Waste Disposal Project in Japan, University of Illinois Chicago, USA, 2023/03/02 (CT), <https://www.youtube.com/watch?v=zqFogKKeSTI>.

#### 4.4 受賞・表彰

- 1) 伊藤大知：令和 4 年度地盤工学会賞・研究奨励賞
- 2) 王海龍, 伊藤大知：令和 4 年度地盤工学会関東支部賞
- 3) 龍原毅, 小峯秀雄：令和 4 年度「地盤工学会誌」年間優秀賞
- 4) 伊藤大知：前田記念工学振興財団「山田一字賞」
- 5) 王海龍：Soils & Foundations editorial board member award (地盤工学会) 受賞
- 6) 阮坤林：中国国家留学基金管理委員会 (China Scholarship Council), The 2022 Chinese Government Award for Outstanding Self-financed Students Abroad 受賞
- 7) 村瀬颯太：第 58 回地盤工学研究発表会 優秀論文発表者賞

- 8) 山崎玉：第 58 回地盤工学研究発表会 優秀論文発表者賞
- 9) 村瀬颯太：The 9th Joint Seminar on Geoenvironmental Engineering and Recycling 2023 (GER2023)
- 10) 山崎玉：The 9th Joint Seminar on Geoenvironmental Engineering and Recycling 2023 (GER2023)
- 11) 伊藤大知：土木学会第 78 回年次学術講演会優秀論文賞
- 12) 村瀬颯太：土木学会第 78 回年次学術講演会優秀論文賞

#### 4.5 学会および社会的活動

- 1) 岩原将斗，王海龍，伊藤大知，小峯秀雄：有効モンモリロナイト密度を用いたベントナイトと アルミナ混合材の膨潤圧の評価，第 58 回地盤工学研究発表会，2023.
- 2) 小峯秀雄：ベントナイトの液性限界時のモンモリロナイト単位層当たりの捕獲水分子層厚とデバイ長および捕獲水分子個数の関係，第 58 回地盤工学研究発表会，2023
- 3) 山崎玉，小峯秀雄，王海龍，伊藤大知：チキソトロピー性を有するサポナイト水の B 型粘度計によるレオロジー特性評価，第 58 回地盤工学研究発表会，2023.
- 4) 伊藤大知，王海龍，小峯秀雄：ベントナイト原鉱石の薄片観察に基づく膠結作用の微視的構造評価，第 58 回地盤工学研究発表会，2023.
- 5) Guodong CAI, Hailong WANG, Kunlin RUAN, Daichi ITO, Hideo KOMINE: Experimental evaluation on the infiltration behavior of sodium ion into compacted K\_V1 bentonite, 第 58 回地盤工学研究発表会，2023.
- 6) 渡邊康太郎，伊藤大知，小峯秀雄，王海龍，山田味佳，関口高志：メスシリンダー法による Na 型および Ca-Mg 型ベントナイトの浸潤・膨潤特性に及ぼす人工海水濃度の影響評価，第 58 回地盤工学研究発表会，2023.
- 7) 村瀬颯太，綱井裕史，小峯秀雄，王海龍，伊藤大知：近赤外および中赤外光を用いた土の含水比の定量評価の試み，第 58 回地盤工学研究発表会，2023.
- 8) 岩原将斗，王海龍，伊藤大知，小峯秀雄：緩衝材を模擬したベントナイト・アルミナ混合材の平衡膨潤圧に関する考察，JSCE 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会.
- 9) 阮坤林，伊藤大知，王海龍，小峯秀雄：ベントナイトの平衡膨潤圧に及ぼす温度の影響，JSCE 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会.
- 10) Guodong CAI, 王海龍, 阮坤林, 伊藤大知, 小峯秀雄：圧縮 K\_V1 ベントナイトへの塩溶液の浸透挙動に対する異なるイオンの影響，JSCE 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会.
- 11) 伊藤大知，王海龍，小峯秀雄：交換性陽イオン組成の異なるベントナイトの透水係数の測定，JSCE 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会.
- 12) 山崎玉，小峯秀雄，王海龍，伊藤大知：チキソトロピー性能を有するサポナイト水の流動特性評価，JSCE 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会.
- 13) 渡邊康太郎，伊藤大知，小峯秀雄，王海龍，関口高志：Na 型および Ca-Mg 型ベントナイトの不飽和時水分移動特性に及ぼす水圧の影響評価，JSCE 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会.
- 14) 村瀬颯太，綱井裕史，小峯秀雄，王海龍，伊藤大知：ハイパースペクトルカメラを用いた土表面における含水状態の定量評価の試み，JSCE 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年

次学術講演会.

## 5. 研究活動の課題と展望

今年度実施した実験的研究をさらに展開し、緩衝材、埋戻し材の仕様設計をさらに合理的にするための実験データベースの高度化をはかる。特に次年度は、埋戻し材中のベントナイトやモンモリロナイトの骨材骨格中の移動特性評価と膨潤による移動抑制効果の定量化、膨潤の起点であるモンモリロナイト自身の膨潤特性と交換性陽イオンの挙動評価を、より詳細に行う。