

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、緩衝材・岩盤（天然バリア）間の隙間を充填するための砂質系材料による発生圧力・砂中へのベントナイト侵入挙動への影響、および人工・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、ベントナイトの乾燥密度と隙間充填材を想定した複数の砂粒度の砂中へのベントナイトの膨潤侵入挙動の相互作用を評価した点や、隙間充填材を想定した複数の粒度の砂のベントナイトの発生圧力への影響を評価した点、および乾燥密度や排気条件による給水挙動への影響を評価した点が挙げられる。主な成果を以下に示す。

(1) ベントナイト乾燥密度による砂充填時における締固めたベントナイトの砂間隙への侵入挙動の影響

- 締固めたベントナイトの上部に存在する隙間を砂で充填し、締固めたベントナイトの乾燥密度がベントナイトの砂間隙への侵入深さに及ぼす影響について検討した（図1）。
- 異なる粒径の砂（珪砂 V3, V5, V7 号）を充填し、ベントナイト乾燥密度がベン

トナイトの砂間隙への侵入深さに及ぼす影響を評価した。その結果、異なる充填砂の粒度でもベントナイト乾燥密度の増加に伴い、ベントナイトの侵入深さの増加が確認された (図 2)。

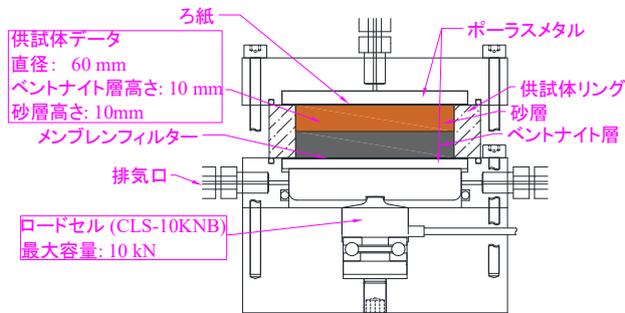


図 1 実験装置概要図

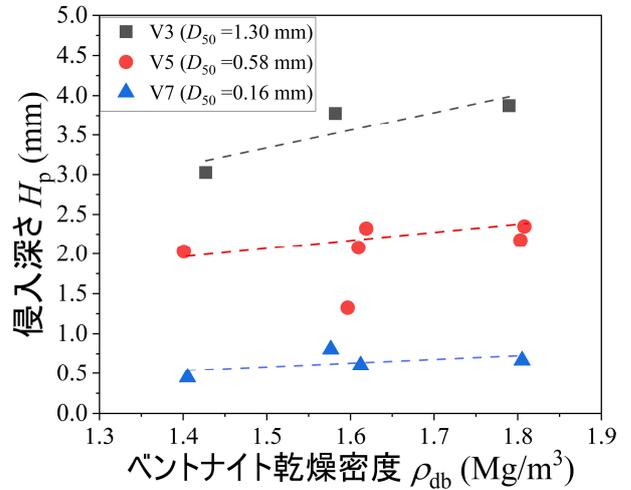


図 2 水分拡散係数—流入水圧の関係

(2) 砂による隙間充填時における締固めたベントナイトの膨潤圧力の評価

- 一次元膨潤圧試験を用いて、締固めたベントナイトの下部に存在する隙間を砂で充填し、砂充填時の条件がベントナイトの膨潤圧に及ぼす影響について検討した (図 3)。
- 異なる粒径の砂を充填した場合と隙間を充填していない場合、隙間がない場合の膨潤圧を比較した。その結果、最終ベントナイト乾燥密度で整理し異なる砂充填条件でも同一曲線上に推移することが確認された。また最終膨潤圧では異なる充填条件 (隙間なし、隙間充填あり・なし) でも同一曲線上に推移することが確認された (図 4) が、初期ピーク圧では隙間がない場合が異なる曲線を描くことが確認された (図 5)。

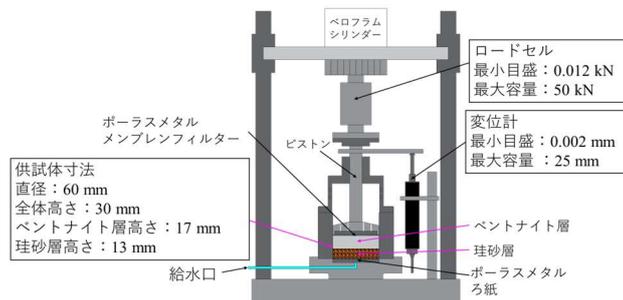


図 3 隙間砂充填時のベントナイト膨潤圧力評価のための一次元膨潤圧実験概念図

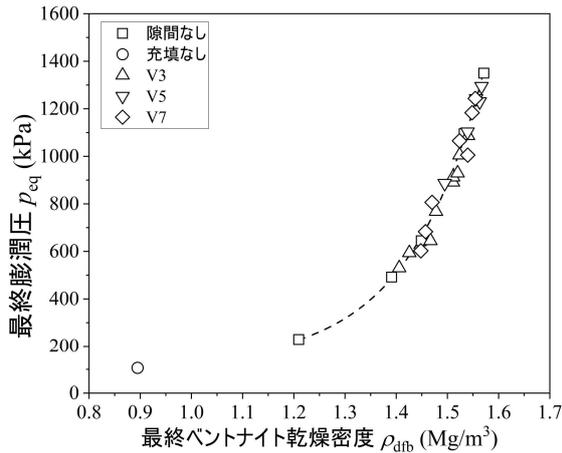


図4 異なる充填条件における最終ベントナイト乾燥密度—最終膨潤圧の関係

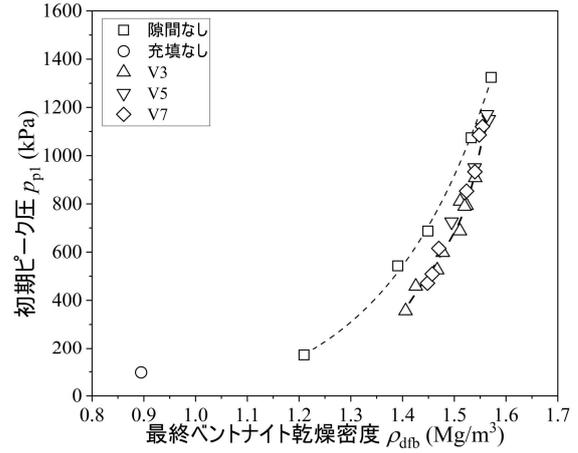


図5 異なる充填条件における最終ベントナイト乾燥密度—初期ピーク圧の関係

(3) 乾燥密度や排気条件による締め固めたNa型ベントナイトの吸水挙動への影響

- 供試体内の間隙空気の排気条件を変化させた吸水量測定試験により、蒸留水の浸潤に伴い発生する残存間隙空気が吸水挙動に及ぼす影響を評価した(図6)。
- 吸水量測定試験により、供試体の初期乾燥密度を変えて、排気条件による吸水挙動の差異を評価した。その結果、非排気条件の場合は同一時間内における吸水量は少なく、時間経過に伴い吸水挙動が停滞する傾向が認められた。吸水挙動に対する残存間隙空気の影響は、吸水の進行に伴い顕在化することが確認された(図7)。

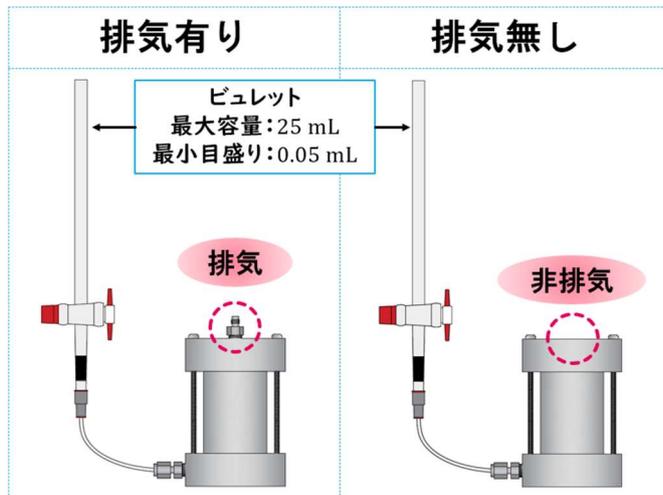


図6 排気条件を変更可能な吸水量測定試験装置の概要図

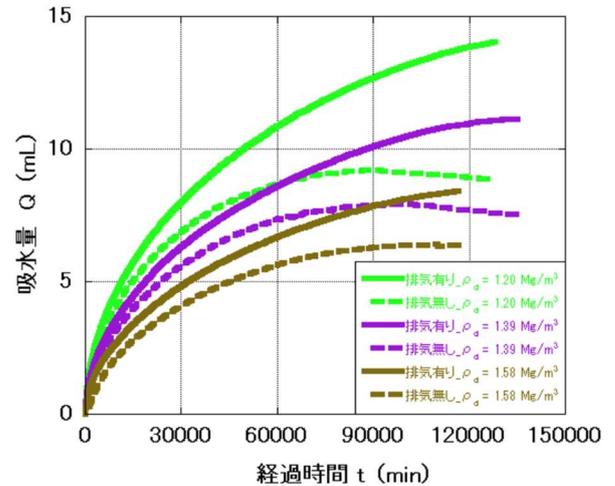


図7 各乾燥密度における排気条件に伴う吸水挙動の差異

3. 共同研究者

- 川端淳一 (創造理工学部 社会環境工学科・客員教授)
 吉川友孝 (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)
 石井翔梧 (創造理工学部 社会環境工学科・助手)
 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）
王 海龍（理工総研招聘研究員）
伊藤大知（理工総研招聘研究員）
Wang Hao（創造理工学研究科 博士後期課程 3年）
Zhao Qingyuan（創造理工学研究科 博士後期課程 2年）
村瀬颯太（創造理工学研究科 博士後期課程 1年）
浦野知治（創造理工学研究科 博士後期課程 1年）
高橋智紀（創造理工学研究科 博士前期課程 2年）
國嶋大悟（創造理工学研究科 博士前期課程 1年）
嶋田理那（創造理工学部 社会環境工学科 4年）
松本仁菜（創造理工学部 社会環境工学科 4年）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- 1) Qingyuan Zhao, Kunlin Ruan, Daichi Ito, Guodong Cai, Hao Wang, Hideo Komine (2026) Effects of specimen preparation methods on polymer–montmorillonite interactions and hydraulic conductivity of polymer-modified bentonite–sand mixtures, *Soils and Foundations* 66(1) 101711-101711 2026. 02, <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2025.101711>.
- 2) Kunlin Ruan, Hideo Komine, Daichi Ito, Hailong Wang, Haruya Suzuki, Qingyuan Zhao (2026) *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 152(1) 04025178-1-04025178-12 2026.01, <https://doi.org/10.1061/jggef.k.gteng-13606>.
- 3) 市川 雄太, 小峯 秀雄, 後藤 茂, 王 海龍「拘束されたベントナイトの吸水により発生する圧力の異方性に関する考察」*地盤工学ジャーナル* 20(4) 471-483 2025年12月1日, <https://doi.org/10.3208/jgs.20.471>.
- 4) Kunlin Ruan, Hideo Komine, Hailong Wang, Daichi Ito (2025) Temperature effect on water movement in bentonites during saturation, *Proceedings of the International Conference on Energy Geotechnics 2025 1-4* 2025.11, https://researchmap.jp/hideokomine/published_papers/52174738.
- 5) Chiharu Urano, Hailong Wang, Kunlin Ruan, Hideo Komine, Daichi Ito (2025) Effect of Sand Particle Size and Dry Density on Bentonite Penetration Behaviors into Sand Voids, *Proceedings of the International Conference on Energy Geotechnics 2025 1-4* 2025.11, https://researchmap.jp/hideokomine/published_papers/52173745.
- 6) Sota Murase, Toshimichi Shibue, Kunlin Ruan, Daichi Ito, Hailong Wang, Hideo Komine (2025) Determining Water Quantities and Forms in Clays with Static ^1H -NMR, *Proceedings of the International Conference on Energy Geotechnics 2025 1-4* 2025.11, https://researchmap.jp/hideokomine/published_papers/52173715.

- 7) Hideo Komine (2025) Reply to discussion on “Quantitative analogism on montmorillonite mineral layer filtration ability against micro-materials” by Hideo Komine, Applied Clay Science 275 107900-107900 2025.10, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2025.107900>.
- 8) Daichi Ito, Nanase Yamada, Hailong Wang, Hideo Komine (2025) Swelling and infiltration properties of bentonite with different cations under various solutions, GeoVadis: The Future of Geotechnical Engineering - Juneja, Joseph & Dasaka (Eds) © 2025 The Author(s), ISBN: 978-1-041-08547-8 212-217 2025.09, <https://doi.org/10.1201/9781003645917-31>.
- 9) Hao Wang, Hailong Wang, Hideo Komine, Daichi Ito, Kunlin Ruan (2025) Sand displacement and nonuniform swelling in sand–bentonite mixture by image processing, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 1-12 2025.04, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.12.030>.

4.2 総説・著書

- 1) 小峯秀雄 (2026) 地盤工学会の取組「廃炉地盤工学」とその後, 日本原子力学会誌 3 月号, Vol.68, No.3 (2026): 47-48.
- 2) 招待講演
なし
- 3) 受賞・表彰
 - 1) 小峯秀雄：令和 6 年度土木学会研究業績賞
 - 2) 伊藤大知：一般財団法人 大成学術財団 第 7 回研究成果発表会「金賞」
 - 3) Zhao Qingyuan：第 60 回地盤工学研究発表会 優秀論文発表者賞
 - 4) 村瀬颯太：土木学会第 80 回年次学術講演会優秀論文賞（ポスター賞）
 - 5) 高橋智紀：土木学会第 80 回年次学術講演会優秀論文賞（ポスター賞）
 - 6) 嶋田理那：地盤工学会第 22 回関東支部発表会 GeoKanto2025 優秀発表賞
- 4) 学会および社会的活動
 - 1) 國嶋大悟, 浦野知治, 小峯秀雄, 伊藤大知, 阮坤林：高さ 2 mm 極薄供試体を用いたベントナイトおよびモンモリロナイト供試体の一次元膨潤変形に関する試行, 第 60 回地盤工学研究発表会, 2025.
 - 2) 小山すず, 小峯秀雄ほか：低配合ベントナイト-砂混合土における動水勾配の変動に伴う粒子移動と透水係数の変化, 第 60 回地盤工学研究発表会, 2025.
 - 3) 村瀬颯太, 小峯秀雄ほか：静的 1H-NMR による粘土鉱物の単位層表面における固着層および拡散層・自由水層中の水の定量, 第 60 回地盤工学研究発表会, 2025.
 - 4) 小峯秀雄：実際の最終処分場におけるベントナイト遮水層の微小物質濾過性能の数理的推察, 第 60 回地盤工学研究発表会, 2025.
 - 5) 高橋智紀, 小峯秀雄ほか：不飽和ベントナイトの水分拡散係数に及ぼす残存間隙空気の影響, 第 60 回地盤工学研究発表会, 2025.

- 6) 伊藤大知, 小峯秀雄ほか: 弾性波速度によるベントナイト原鉱石の膠結作用の非破壊的評価の試み, 第 60 回地盤工学研究発表会, 2025.
- 7) 浦野知治, 小峯秀雄ほか: 隙間充填砂の粒径によるベントナイトの侵入挙動への影響, 第 60 回地盤工学研究発表会, 2025.
- 8) Qingyuan Zhao, 小峯秀雄ほか: 圧縮カルシウム型ベントナイトの飽和透水性に対する 1000 日間の高温履歴の影響, 第 60 回地盤工学研究発表会, 2025.
- 9) 阮坤林, 小峯秀雄ほか: 瞬時プロファイリング法を用いた飽和時のベントナイトの透水係数に及ぼす密度不均一性の影響, 第 60 回地盤工学研究発表会, 2025.
- 10) Hao Wang, 小峯秀雄ほか: 1 次元および 3 次元膨潤変形試験におけるベントナイトの微細孔方向解析, 第 60 回地盤工学研究発表会, 2025.
- 11) 高橋智紀, 小峯秀雄ほか: 不飽和ベントナイトの浸潤過程における飽和度に及ぼす残存間隙空気の影響, JSCE 令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会.
- 12) 浦野知治, 小峯秀雄ほか: 隙間充填砂へのベントナイトの侵入挙動と発生圧力の関係性の調査, JSCE 令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会.
- 13) 國嶋大悟, 小峯秀雄ほか: 膨潤変形に伴うモンモリロナイトの層間距離の変化に関する実験的検討, JSCE 令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会.
- 14) 伊藤大知, 小峯秀雄ほか: 砂・ベントナイト混合材料の透水試験法における厚さ 2 mm 供試体の適用性評価, JSCE 令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会.
- 15) 阮坤林, 小峯秀雄ほか: 締固めたクニゲル-V1 ベントナイトの膨潤圧と水分拡散に及ぼす温度履歴の影響に関する実験的研究, JSCE 令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会.
- 16) 阮坤林, 小峯秀雄ほか: 締固めたクニゲル-V1 ベントナイトの膨潤圧と水分拡散に及ぼす温度履歴の影響に関する実験的研究, JSCE 令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会.

5. 研究活動の課題と展望

今年度までに実施した実験的研究を総括した総合的な結果は, 日本政府が進めている高レベル放射性廃棄物処分プロジェクトに直接的に貢献している. 実際, 日本では, 文献調査段階から概要調査段階に移行する時期に来ている. そこで, 本プロジェクトの成果を今年度までの総括としてとりまとめ, 次の展開として, 直接, 概要調査に資するデータベースへと発展させる.