

Oral presentation | V. Nuclear Fuel Cycle and Nuclear Materials : 505-2 Waste Disposal and Its Environmental Aspects

📅 Thu. Sep 12, 2024 3:35 PM - 5:10 PM JST | Thu. Sep 12, 2024 6:35 AM - 8:10 AM UTC 🏠 Room M(Recture RoomsB 2F B202)

[2M12-17] Bentonite

Chair: Haruo Sato (Okayama Univ.)

3:35 PM - 3:50 PM JST | 6:35 AM - 6:50 AM UTC

[2M12]

Alteration of Bentonite Buffer- Diffusion Behavior of Chloride Ions in Cu-montmorillonite

*Yuki Kamada¹, Shinichiro Uematsu¹, Naoko Watanabe¹, Tamotsu Kozaki¹ (1. Hokkaido University)

3:50 PM - 4:05 PM JST | 6:50 AM - 7:05 AM UTC

[2M13]

Numerical Simulation of Ion Exchange Behavior in Buffer Materials Considering the Chemical Effects of Saltwater

(1) Theoretical Analysis of Ca-Na Exchange Selectivity in Compacted Bentonite Using the Poisson-Boltzmann Equation

*Ryo Itoh¹, Tsuneyuki Memura¹, Kazuya Ono¹, Ryo Yasuda², Shingo Tanaka², Daisuke Hayashi² (1. Dia Nippon Engineering Consultants, 2. RWMC)

4:05 PM - 4:20 PM JST | 7:05 AM - 7:20 AM UTC

[2M14]

Numerical Simulation of Ion Exchange Behavior in Buffer Materials Considering the Chemical Effects of Saltwater

(2) Numerical Simulation of Infiltration Experiments

*Kazuya Ono¹, Tsuneyuki Maemura¹, Ryo Itoh¹, Ryo Yasuda², Shingo Tanaka², Daisuke Hayashi² (1. Dia Nippon Engineering Consultants, 2. RWMC)

4:20 PM - 4:35 PM JST | 7:20 AM - 7:35 AM UTC

[2M15]

Evaluation of effects of Thermal, Chemical, and Mechanical processes on water movement in unsaturated bentonite by using coupled analysis

*Yusaku Takubo¹, Yusuke Takayama², Daisuke Kawama³, Kazuaki Mitsuyama³, Yutaka Sugita⁴, Keisuke Ishida¹ (1. NUMO, 2. JAEA (Current: KOBE Univ.), 3. QJ Science, 4. JAEA)

4:35 PM - 4:50 PM JST | 7:35 AM - 7:50 AM UTC

[2M16]

Study on the method for calculating the macroscopic hydraulic conductivity of low-permeability cover soil

*Atsuo Yamada¹, Satoru Hirai¹ (1. HAZAMA ANDO corporation, Technical research institute, Nuclear power department)

4:50 PM - 5:05 PM JST | 7:50 AM - 8:05 AM UTC

[2M17]

Application of Bayesian statistics to the inspection of bentonite layers in radioactive waste disposal

*Ryo Nakabayashi¹, Yasutaka Watanabe¹, Shingo Yokoyama¹, Daisuke Sugiyama¹ (1. CRIEPI)

5:05 PM - 5:10 PM JST | 8:05 AM - 8:10 AM UTC

Time reserved for Chair

ベントナイト緩衝材の変質 - Cu 型モンモリロナイト中の塩化物イオンの拡散挙動

Alteration of Bentonite Buffer- Diffusion Behavior of Chloride Ions in Cu-montmorillonite

*鎌田 勇希¹, 植松 慎一郎¹, 渡邊 直子¹, 小崎 完¹

¹北海道大学

実験室にて調製した Cu 型モンモリロナイトを異なる乾燥密度に圧縮し、膨潤させた試料に対し、Cl-36 を用いた非定常拡散試験を行い、見かけの拡散係数及び拡散の活性化エネルギーを決定し、拡散挙動を検討した。

キーワード：地層処分、交換性陽イオン、銅型モンモリロナイト、活性化エネルギー、塩化物イオン

1. 緒言 高レベル放射性廃棄物の地層処分において、Cu がオーバーパックのライニング材として用いられた場合、処分後長期間経過後に、オーバーパックを取り囲むベントナイトの主たる交換性陽イオンが Cu²⁺イオンで置換され、Na 型から Cu 型に変質する可能性がある。しかし、圧縮 Cu 型ベントナイト中の核種の拡散挙動に関する研究例は見当たらない。そこで、本研究では、典型的な 1 価の陰イオンである塩化物 (Cl⁻) イオンに着目し、Cu 型モンモリロナイト中の Cl-36 の見かけの拡散係数(D_a)及び 拡散の活性化エネルギー (E_a) を決定し、Cu 型モンモリロナイト中の塩化物イオンの拡散機構を検討した。

2. 実験 Cu 型モンモリロナイト試料は、Na 型モンモリロナイト (クミニネ工業製、クニピア F) を 0.1 M CuCl₂ 水溶液中に懸濁させてイオン交換することで得た。イオン交換は 4 回とし、その後、透析膜を介してイオン交換水と接触させることで過剰塩を除去した。この試料を乾燥密度 (ρ_d) 0.8~1.6 Mg/m³となるように圧縮成型し、イオン交換水で約 30 日間膨潤した。膨潤した試料の表面に極微量の Cl-36 トレーサー溶液を塗布し、所定温度 (288~323 K) で所定時間トレーサーを拡散させた後、粘土試料を 0.5 mm 間隔でスライスし、スライス片の放射能測定から得た濃度分布から、D_aを決定した。

3. 結果と考察 各乾燥密度において、得られた D_aの自然対数値は温度の逆数に対して良い直線性を示したことから、アレニウスの式より拡散の E_aを決定した。図 1 に、E_aの乾燥密度依存性を、Na 型モンモリロナイト中の Cl⁻の拡散に対する報告値^[1]とともに示す。Na 型モンモリロナイト試料では Cl⁻の E_aは ρ_d=1.0 Mg/m³にて最小値となるのに対して、Cu 型試料中の Cl⁻の E_aは、ρ_d=0.8 Mg/m³において自由水中の Cl⁻の拡散の E_a (17.4 kJ/mol ^[2])とほぼ等しいものの、乾燥密度の上昇に伴い増加し、特に ρ_d=1.4 Mg/m³以上で高い値 (約 40 kJ/mol) を示した。このように、Na 型と Cu 型モンモリロナイト試料で Cl⁻の E_aの乾燥密度依存性が異なったことから、Cl⁻の拡散は、乾燥密度増加に伴う内部微細構造の変化のみならず、交換性陽イオン種の影響をも受けていることが示唆された。モンモリロナイト試料中を Cl⁻イオンが拡散する場合、試料中の電荷バランスを取るために、他のイオンも移行する必要がある。仮に交換性陽イオンがその役割を担っている場合、試料中の Na⁺イオンと Cu²⁺イオンの拡散挙動の相違が Cl⁻イオンが拡散に影響を及ぼした可能性がある。

4. 参考文献 [1] Kozaki, T., et al. (1998). J. Contam. Hydrol, 35(1-3), 67-75.

[2] Parsons, R., (1959) Handbook of Electrochemical Constants, Butterworths Sci. Publ., 79

*Yuki Kamada¹, Shinichiro Uematsu¹, Naoko Watanabe¹ and Tamotsu Kozaki¹

¹Hokkaido Univ.

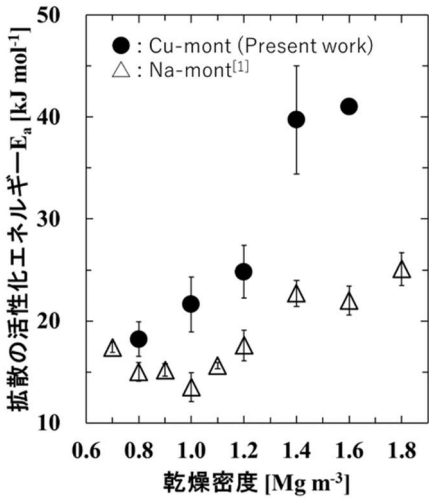


図1 モンモリロナイト中の Cl⁻の拡散の活性化エネルギー

緩衝材の塩水による化学影響に関するイオン交換挙動の解析評価方法の検討
(1) ポアソン-ボルツマン方程式による圧縮ベントナイトの陽イオン交換選択係数の理論的検討

Numerical Simulation of Ion Exchange Behavior in Buffer Materials Considering the Chemical Effects of Saltwater

(1) Theoretical Analysis of Ca-Na Exchange Selectivity in Compacted Bentonite Using the Poisson-Boltzmann Equation

*伊藤 諒¹, 前村 庸之¹, 大野 和也¹, 安田 涼², 田中 真悟², 林 大介²
¹大日本ダイヤコンサルタント, ²原環セ

圧縮ベントナイトにおける Ca の Na に対する $\log K_{GT}$ をポアソン-ボルツマン方程式を用いて導出した。方程式を拡張しイオンの大きさを考慮した場合は、非考慮の場合より試験値の再現性が向上したが、イオン強度と $\log K_{GT}$ の関係は試験値と異なる傾向を示し、イオンの大きさ以外の要素も考慮する必要性が示唆された。
キーワード：地層処分、沿岸部、ベントナイト、イオン交換選択係数、ポアソン-ボルツマン方程式

- 1. 緒言** 地層処分の人工バリアを構成する緩衝材の塩水環境下でのイオン交換反応を予測するためには、圧縮したベントナイト(圧縮ベントナイト)のイオン交換選択係数の理解が重要となる。本研究では、圧縮ベントナイトの陽イオン交換選択係数(Gaines-Thomas の選択係数の対数値; $\log K_{GT}$)を理論的に説明することを目的に、ポアソン-ボルツマン(P-B)方程式を用いて Ca の Na に対する $\log K_{GT}$ の理論値を導出し、乾燥密度及びイオン強度との関係を調べるとともに、理論値と通水試験結果[1]から得られた $\log K_{GT}$ (試験値)とを比較した。
- 2. 手法** P-B 方程式により溶存イオンが 2 価(Ca^{2+})、1 価(Na^+)及びー1 価アニオン(Cl^-)の場合の層間のイオン濃度分布を求めた。既往の研究[2]に倣い、層間に存在する陽イオンを吸着イオンと見なし、吸着イオンの組成及び外部溶液組成から $\log K_{GT}$ を算出した。層間距離は圧縮ベントナイトの乾燥密度に対応する条件とし、外部溶液のイオン強度は 0.125~1.0 とした。また、イオンの大きさ(排除体積効果)を考慮した拡張 P-B 方程式[3]を用いた場合についても、同様に $\log K_{GT}$ を算出した。
- 3. 結果** イオンの大きさを考慮した場合は、非考慮の場合に比べて $\log K_{GT}$ の理論値が試験値により近づく結果が得られた(図 1)。また、 $\log K_{GT}$ の理論値は、乾燥密度と正の相関を有し(図 2)、イオン強度にほぼ依存しないことが示唆された(図 1)。一方、 $\log K_{GT}$ の試験値はイオン強度と正の相関を示したことから、試験値のイオン強度依存性を理論的に説明するには、イオンの大きさ以外の要素も考慮する必要性が示された。

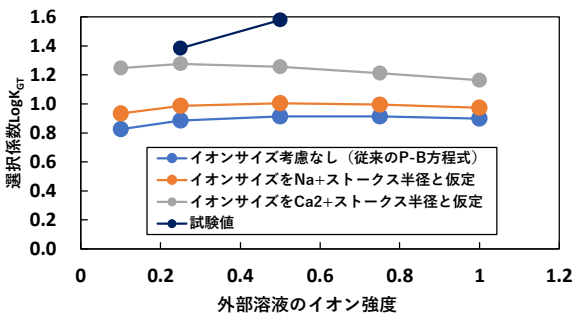


図 1 イオン強度と Ca-Na の $\log K_{GT}$ の関係
(乾燥密度 1.00Mg/m³,モル濃度比 Ca:Na:Cl=4:3:11)

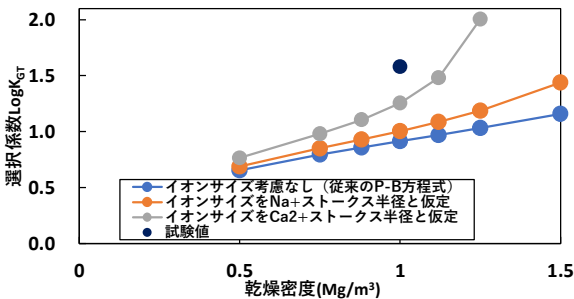


図 2 乾燥密度と Ca-Na の $\log K_{GT}$ の関係
(イオン強度 0.5,モル濃度比 Ca:Na:Cl=4:3:11)

謝辞 本研究は、経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業である「令和 5 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業 (JPJ007597) 沿岸部処分システム評価確証技術開発」の成果の一部を使用している。また、本研究に助言を頂いた岡山大学 佐藤治夫准教授に謝意を表する。

参考文献

[1] 産業技術総合研究所, 原子力環境整備促進・資金管理センター, 電力中央研究所: 2021 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業 沿岸部処分システム評価確証技術開発 成果報告書, 2022.
[2] Hedström, Magnus, and Ola Karnland. :Ca/Na selectivity coefficients from the Poisson-Boltzmann theory., Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 36.17-18, 1559-1563, 2011.
[3] 四辻健治, 舘 幸男, 西巻祐一郎, 拡張 Poisson-Boltzmann 方程式による圧縮ベントナイト中の拡散モデルの高度化検討, JAEA-research 2011.47, 1-105, 2012.

*Ryo Itoh¹, Tsuneyuki Maemura¹, Kazuya Ono¹, Ryo Yasuda², Shingo Tanaka², Daisuke Hayashi²
¹Dia Nippon Engineering Consultants, ² RWMC.

緩衝材の塩水による化学影響に関するイオン交換挙動の解析評価方法の検討
(2) 通水試験の再現解析

Numerical Simulation of Ion Exchange Behavior in Buffer Materials Considering the
Chemical Effects of Saltwater

(2) Numerical Simulation of Infiltration Experiments

*大野 和也¹, 前村 庸之¹, 伊藤 諒¹, 安田 涼², 田中 真悟², 林 大介²

¹大日本ダイヤコンサルタント, ²原環セ

浸透流及び移流分散と陽イオン交換平衡との連成解析手法を用いて、圧縮ベントナイトへの塩水通水試験の再現解析を実施した。陽イオン交換選択係数に圧縮系の試験結果に基づく値を用いたところ、再現性は良く、本解析手法を沿岸部における緩衝材の陽イオン交換反応の予測に適用できる可能性が示された。

キーワード：地層処分、沿岸部、ベントナイト、溶質移動、イオン交換解析

1. 緒言

緩衝材の候補材料であるベントナイトの水理・力学特性は、ベントナイトの吸着陽イオン組成の影響を受ける。沿岸部の多様な組成の地下水に対応できる圧縮ベントナイトの吸着陽イオン組成の予測手法として、イオン交換反応を評価する解析手法の整備が必要である。本研究では上記解析手法の整備を目的として、圧縮ベントナイトに沿岸部地下水又は人工海水を通水した試験の再現解析を実施した。

2. 解析手法

解析ツールには、飽和・不飽和浸透流、移流・分散、イオン交換反応の連成解析が可能である HP1[1]を用いた。Na に対する Ca, K, Mg の各陽イオン交換選択係数 (Gaines-Thomas の選択係数; K_{GT}) には、圧縮ベントナイトの通水試験により得られた値を用いた。通水液の組成及び通水速度等の解析条件についても、試験条件を基に設定した。また、分散系の試験に基づく $K_{GT}[2]$ を用いて同様の解析を実施し、圧縮系の値を用いた場合との比較を行った。

3. 結果・考察

圧縮系の K_{GT} を用いた解析結果は試験結果を概ね再現し、分散系の K_{GT} を用いた場合よりも再現性が良好であった (図 1)。このことから、塩水系地下水が浸潤した際の緩衝材の陽イオン交換の予測手法として本解析手法を適用できる見通しが得られた。

謝辞 本研究は経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業「令和 5 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 (JPJ007597) 沿岸部処分システム評価確証技術開発」の成果の一部を使用している。

参考文献

[1] Jacques, D, and Šimůnek, J.: Notes on HP1 a software package for simulating variably-saturated water flow, heat transport, solute transport, and biogeochemistry in porous media. HP1 Version 2.2. Belgium, 2010.
[2] 小田治恵, 柴田雅博: ベントナイトー水相互作用の実験とモデル化, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 99-032, 67p., 1999.

* Kazuya Ono¹, Tsuneyuki Maemura¹, Ryo Itoh¹, Ryo Yasuda², Shingo Tanaka², Daisuke Hayashi²

¹ Dia Nippon Engineering Consultants, ² RWMC

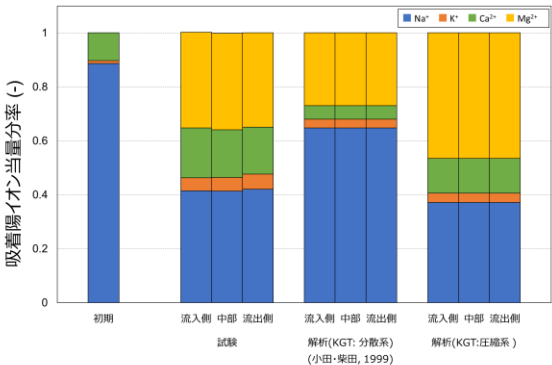


図 1 平衡状態における圧縮ベントナイトの吸着陽イオン当量分率と再現解析結果との比較 (通水液：人工海水)

連成解析による不飽和ベントナイト中の水分移動に対する 熱・化学・力学プロセスの影響評価

Evaluation of effects of Thermal, Chemical and Mechanical processes on water movement in unsaturated bentonite by using coupled analysis

*田窪 勇作¹, 高山 裕介², 川間 大介³, 三津山 和朗³, 杉田 裕⁴, 石田 圭輔¹

¹NUMO, ²JAEA (現 神戸大学), ³QJサイエンス, ⁴JAEA

再冠水過程における緩衝材中の水の浸潤挙動を評価するうえで着目すべき現象や状態を把握することを目的に、既往の試験結果と連成解析結果との比較評価に取り組んでいる。連成解析による熱・化学・力学プロセスの影響評価技術の開発状況について報告する。

キーワード : THM 連成解析, THC 連成解析, 再冠水過程, 地層処分, 放射性廃棄物

1. 緒言

放射性廃棄物の地層処分の安全評価において処分場の状態を現実的に設定するためには、処分環境における熱 (Thermal : T)、水理学 (Hydrological : H)、力学 (Mechanical : M)、化学 (Chemical : C) の連成現象による場の変化を評価することが必要である。処分場閉鎖直後の水理場の変化が顕著となる再冠水過程においては、ガラス固化体からの熱、地下水と人工バリア材料との間で生じる二次鉱物の沈殿・溶解等の化学反応、及び緩衝材の密度変化が、緩衝材中の地下水の浸潤挙動へ相互影響すると考えられる。NUMO は、この再冠水過渡期の THMC 場の状態変遷を評価し処分場の状態設定に反映するため、THMC 連成解析モデルの技術開発を進めている[1]。複雑な THMC 連成現象を評価する技術を着実に構築するため、TH 連成解析モデルの整備からはじめ、化学プロセスと力学プロセスを段階的に追加する開発アプローチを採用しており、これまで TH/THC/THM 連成解析技術の整備に取り組んでいる。本報告では、整備の現状について報告する。

2. 実施内容

TH/THC 連成解析コードには、米国国立研究所で開発されたオープンソースコードである PFLOTRAN[2]を選定し、緩衝材として使用されるベントナイトを用いた既往の室内浸潤試験[3]を対象として、TH/THC 連成解析を行い試験結果と解析結果との比較評価を行うことで、不飽和ベントナイト中の水分移動を表現するにあたって着目すべき連成プロセスについて調査した。その結果、緩衝材の固有透過度が水分移動に大きく影響を及ぼすことを明らかとした。緩衝材の固有透過度は変形に伴って変化する乾燥密度に依存すること[4]から、THM 連成解析の力学プロセスとして変形及びそれに伴う乾燥密度変化に着目した。不飽和ベントナイト中の水分移動に対し変形の影響を評価可能とする THM 連成解析技術の開発として、JAEA が開発したオープンソースの力学挙動解析コード MACBECE[5]を PFLOTRAN と組み合わせ、PFLOTRAN の TH 連成解析結果として出力される水分飽和度の情報と、MACBECE の力学挙動解析結果として出力される変形及び乾燥密度に関する情報とを、それぞれの計算コードの入力パラメータに反映するインターフェースの設計を行った。今後の展開として、インターフェースを用いた力学プロセスの影響評価を計画している。

参考文献

[1] Takubo et al., Model development of coupled THMC processes for a geological repository at higher temperature region, Proceedings of 2022 International High Level Radioactive Waste Management Conference, (2022). [2] Hammond et al., Evaluating the performance of parallel subsurface simulators: An illustrative example with PFLOTRAN, Water Resources Research, Vol. 50, 208-228, (2014). [3] 鈴木ほか, 圧縮ベントナイト中の温度勾配による水分移動, 土木学会第 56 回年次学術講演会, CS1-012, (2001). [4] 菊池, 棚井, 幌延地下水を用いた緩衝材・埋め戻し材の基本特性試験 (試験報告), JNC TN8430 2004-005, (2005). [5] 三原ほか, TRU 廃棄物地層処分施設の力学挙動解析コード (MACBECE) の開発, JAEA-Data/Code 2009-026, (2010).

*Yusaku Takubo¹, Yusuke Takayama², Daisuke Kawama³, Kazuaki Mitsuyama³, Yutaka Sugita⁴ and Keisuke Ishida¹

¹NUMO, ²JAEA (Current: Kobe Univ.), ³QJ Science, ⁴JAEA

低透水性覆土の巨視的透水係数算出方法に関する研究

Study on the method for calculating the macroscopic hydraulic conductivity of low-permeability cover soil

*山田 淳夫¹, 平井 哲¹

¹安藤ハザマ 技術研究所原子力部

低レベル放射性廃棄物処分施設の低透水性覆土の遮水性能（地下水を通しにくくする能力）として、巨視的透水係数を示すことが提案されている。本稿では、3D スキャナによる締固め管理で得られるデータを用いて、三次元飽和浸透流解析用のモデルを作成し、巨視的透水係数を算出する方法について検討した。

キーワード：放射性廃棄物，低透水性覆土，巨視的透水係数，モデル化

1. はじめに

巨視的透水係数を算出するためには、対象現場を何らかの方法でモデル化し、三次元飽和浸透流解析を行う必要がある。このモデル化は、現場採取データを用いて行い、データ採取点以外の箇所を地盤統計学的手法等による補間で生成するというものである。一方、近年の土工事において 3D スキャナや CCV（Compaction Control Value）等の活用により面的に連続したデータを採取して締固め管理する方法が開発されている。そこで本稿では、3D スキャナによる締固め管理^[1]で得られるデータを用いて、直接的に三次元飽和浸透流解析用のモデルを作成する方法について検討した。本稿で示そうとしている方法のフローを図-1 に示す。

2. 数値解析の条件と結果

本稿では、幅 2m×延長 10m×厚さ 0.45m の大きさでベントナイト混合土を締め固めた試験施工を対象とした。施工層厚は仕上り 45mm を 10 層繰り返し、それぞれの層厚変化より乾燥密度の 3 次元分布を求めた。この分布より透水係数の分布モデルを作成し、浸透流解析を Dtransu3D にて行った。計算結果を表-1 に示す。透水試験の結果（ $6.11 \times 10^{-11} \sim 6.49 \times 10^{-12}$ m/s, 平均 2.19×10^{-11} m/s）よりも若干大きめの値となった。

3. 結論

本稿で示した方法でも、巨視的透水係数の計算が可能であることがわかった。今後、計算結果に対するメッシュサイズやモデル化領域の大きさの影響を検討する必要がある。

参考文献

[1] 山田ほか；3D スキャナによる締固め密度推定方法の推定尤度に関する考察，第 57 回地盤工学研究発表会概要集，地盤工学会，21-8-2-05, 2022.

*Atsuo Yamada¹ and Satoru Hirai¹

¹Hazama Ando Corp.

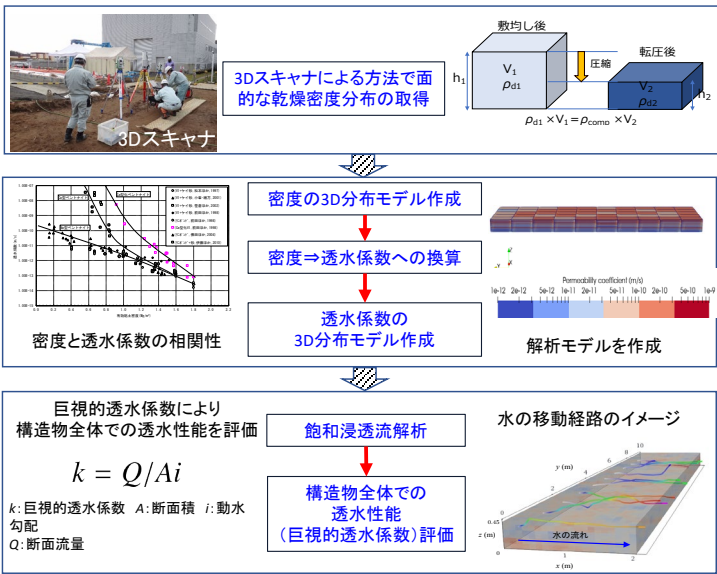


表-1 巨視的透水係数の計算結果

メッシュサイズ	断面積A	動水勾配i	巨視的透水係数
単位	m	m ²	—
x方向	0.400	4.60	0.1
y方向	1.000	0.92	0.1
z方向	0.046	20.00	0.1

放射性廃棄物処分のベントナイト層の検査に対するベイズ統計学の適用

Application of Bayesian statistics to the inspection of bentonite layers in radioactive waste disposal

*中林 亮¹, 渡邊 保貴¹, 横山 信吾¹, 杉山 大輔¹

¹電力中央研究所

抄録：放射性廃棄物処分施設のベントナイト層には低透水性が期待される。低透水性の遵守判断に供する巨視的透水係数を合理的に決定するために、ベイズ統計解析を活用した手法の提案を試みた。

キーワード：放射性廃棄物処分, ベントナイト, 巨視的透水係数, 微視的透水係数, ベイズ統計

1. はじめに

浅地中ピット処分施設では、人工バリア材の一つとして締め固めたベントナイト系材料（ベントナイト層）の使用が想定される。ベントナイト層には低透水性が期待されており、施工後のベントナイト層全体の透水係数（巨視的透水係数）が規定の値を下回っていることを確認するとした事例[1]がある。巨視的透水係数は実測することが困難であるため、施工後のベントナイト層の局所的な透水係数（微視的透水係数）分布の平均値と標準偏差等から解析的に算出する方法がある[2]。微視的透水係数を直接的に取得するためには、施工後のベントナイト層から通水試験用の供試体を採取しなければならない。採取した箇所は同等の材料を用いて埋め戻すことが想定されるが、密度が不均質となり擾乱前の性能を担保できない可能性がある。そのため、採取点数は少ないことが望ましい。他方、採取点数が少ないと、微視的透水係数分布の平均値と標準偏差の確からしさは低く、巨視的透水係数の確からしさも低くなる。本研究では、微視的透水係数分布の不確実性を定量的に把握したうえで、遵守判断に供する巨視的透水係数を合理的に算出するための、ベイズ統計解析を活用した手法の提案を試みた。以下に、ベントナイト層の試験施工から取得された微視的透水係数分布[3]を題材とした解析的検討の結果を記す。

2. 解析的検討

ベントナイト層の試験施工から取得された微視的透水係数分布[3]を母集団分布として用いた。次に、母集団分布から 5 点、10 点をランダムサンプリングする。これらのデータを用いたベイズ統計解析によって微視的透水係数の予測分布を取得する。ベイズ統計解析には、統計解析ソフト R と BEST パッケージ[4]を用いた。

3. 結果

図 1 にベイズ統計解析から得られた微視的透水係数の予測分布を示す。青色の濃淡で示された範囲は、サンプリングデータから予測される微視的透水係数分布の不確実性である。データ数の増加によって範囲が狭まることがわかる。また、赤色の実線で示した母集団分布は、データ数によらず不確実性の範囲に収まっている。つまり、青色の濃淡で示された範囲内で適切な予測分布（平均値と標準偏差）を抽出し、それを巨視的透水係数の遵守判断に用いることで、少ない採取点数でも保守的な判断を合理的に実施することが可能となる。一例として、図 1 の青色の実線で示した分布は、微視的透水係数の予測分布のうち、平均値と標準偏差の確率分布の 95%HDI（Highest Density Interval：最高密度区間）の上限値を用いて算出したものである。母集団分布と比較すると、いずれも保守的な分布であることがわかる。巨視的透水係数の遵守判断に供すべき微視的透水係数分布の HDI 上限値については、今後さらなる検討を進める。

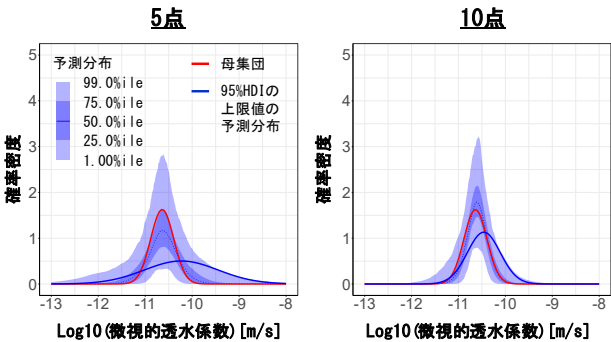


図 1 微視的透水係数分布の比較

参考文献

[1] 日本原燃, 廃棄物埋設事業変更許可申請書本文及び添付書類の一部補正について, 2021 年 6 月 14 日. [2] 平井他, 安藤ハザマ研究年報, 9, 10, 2021. [3] 日本原燃, 許可基準規則解釈第 10 条第 1 項に関する補足説明(添付資料 3), 2021 年 6 月 21 日. [4] Kruschke, Journal of Experimental Psychology: General, 142:2, 573–603, 2013.

*Ryo Nakabayashi¹, Yasutaka Watanabe¹, Shingo Yokoyama¹ and Daisuke Sugiyama¹

¹Central Research Institute of Electric Power Industry