

日本原子力学会
第17回中国・四国支部研究発表会
2023年度第2回講演会

プログラム・要旨集

2023年（令和5年）12月9日
広島県健康福祉センター

日本原子力学会 中国・四国支部

モンモリロナイト含有率に着目した緩衝材中の熱-水-化学(T-H-C)連成解析

○大内航平¹⁾, 佐藤治夫¹⁾

1) 岡山大・院・自然科学

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物は、300m 以深の地層中に坑道を掘削し、人工バリアを設置して埋設処分される。人工バリアは、内側から、廃棄体(ガラス固化体)、オーバーパック(金属容器)、緩衝材(ベントナイト)で構成され、その外側は岩盤である。ベントナイトは天然の粘土であり、モンモリロナイト(層状粘土鉱物)が主成分である。廃棄体定置後、人工バリアを構成する緩衝材は地下水の浸潤やガラス固化体からの崩壊熱の影響を受ける。これらの事象は相互に影響を及ぼし、水質による影響も受けるため、連成現象としてとらえる必要がある。緩衝材の持つ低透水性は、ベントナイトの主成分であるモンモリロナイトの性質に依存することから、モンモリロナイト含有率に着目することで汎用性の高い連成モデルを構築できる。本研究では、Na 型ベントナイト中のモンモリロナイト含有率に着目し、緩衝材中の熱-水-化学連成モデルを構築すると共に、緩衝材中の温度分布と水分分布を解析し、日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センターでの原位置試験データと比較検討した。

2. 連成モデル

熱移動および水分移動は拡散方程式を支配方程式とし、弱連成させて連成モデルとした。水分拡散係数は Philip and de Vries 式を用いた。土壤の吸着力や表面張力による保水性を表すマトリックポテンシャルは、既存の測定データ^[1]を基に、モンモリロナイト基準含水比 w_m ^[1]について整理した実験式を用いた。飽和透水係数の予測は、モンモリロナイト部分密度 ρ_{dm} ^[2]に着目し、Kozeny-Carman 式を用いた。間隙をモンモリロナイト結晶の内部間隙と外部間隙に分離し、モンモリロナイトの平均底面間隔によって層内外それぞれの間隙の計算を行った。底面間隔は、純水系ではモンモリロナイト部分密度と底面間隔の対応関係^[3]を用いた。塩水条件に対する底面間隔の計算は、モンモリロナイト部分密度と底面関係の対応関係から、相対部分モル Gibbs の自由エネルギー^[3]と底面間隔の対応関係に置き換えて行った。

3. 結果および考察

解析条件は、幌延深地層研究センターでの原位置試験^[4]と条件を揃えるため、緩衝材の仕様をクニゲル V1(ケイ砂 30 wt% 混合)相当、乾燥密度 1.8 Mg/m^3 、初期含水比 10.5%とした。解析方法は一次元円筒形拡散方程式による数値計算(差分法)により行った。実測値との比較において、解析値は廃棄体中心から 950mm 地点の値を用いた。原位置試験での結果は、2015/1/16 00:00 から約 1200 日分、廃棄体中心から 955mm 地点のサイクロメータ(PS006)の値を飽和度に換算した値を用いた。

図 1 に飽和度の経時変化の実測値と解析値の比較結果を示す。両者は概ね一致する傾向であった。

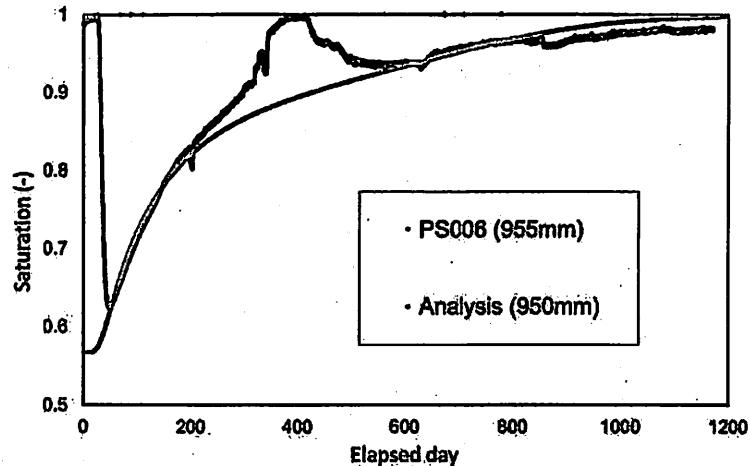


図 1 飽和度経時変化の原位置試験と解析値の比較

参考文献

- [1] Y. Yamamoto et al., NUMO-TR-21-02, 2022.
- [2] H. Sato, S. Miyamoto, JNC TN8400 2001-018, 2001.
- [3] H. Sato, A Thermodynamic Analysis on the Effect of Salinity on Interlayer Space of Na-Montmorillonite, MRS Advances 1, 4027–4033, 2016.
- [4] M. Nakayama et al., JAEA-Data/Code2019-003, 2019.

モンモリロナイト含有率に着目した緩衝材中の熱-水-化学(T-H-C)連成解析

○大内航平 佐藤治夫
岡山大学自然科学研究科

2023/12/9

原子力学会中国・四国支部2023 広島

1

内容

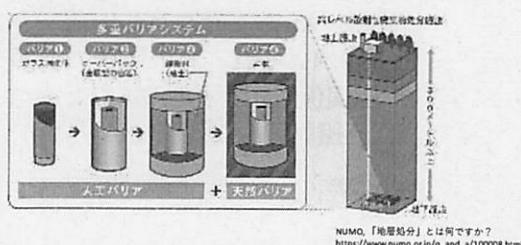
- 地層処分
- 連成現象と先行研究
- 目的
- 水分拡散係数
- モンモリロナイト含有率に基づく水ボテンシャルと透水係数
- 幌延原位置試験との比較
- 結論

2023/12/9

原子力学会中国・四国支部2023 広島

2

地層処分の概要



NUMO、「地層処分」とは何ですか？
https://www.numo.or.jp/q_and_a/100008.html

緩衝材=ペントナイト+ケイ砂

地下水と核種の接触を抑制するため、低透水性が求められる

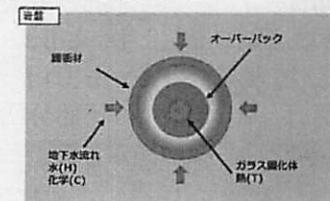
2023/12/9

原子力学会中国・四国支部2023 広島

3

緩衝材中の連成現象と先行研究

相互作用を考慮した連成解析が必要



従来研究
海水系地下水での連成モデル開発 温度・水分勾配水分拡散係数の予測
(鈴木英明 他, 2023)

既存のモデルはクニゲルVIを対象にしたものが多い

2023/12/9

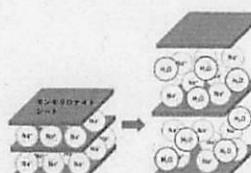
原子力学会中国・四国支部2023 広島

4

目的

ペントナイトの主成分：
モンモリロナイト
(層状粘土鉱物)

↓
低透水性の要因
含有率は産地によって変わる



目的

- Naペントナイト中のモンモリロナイト含有量に着目
・ペントナイトの種類
・ケイ砂混合比率
に依存しないモデルの開発

2023/12/9

原子力学会中国・四国支部2023 広島

5

水分拡散係数

Philip & de Vries 式

$$\text{水分勾配} \quad D_\theta = \begin{cases} D_{\theta vapor} = \alpha \sigma \rho^* D \exp\left(\frac{\psi M}{RT}\right) \frac{M}{RT} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \\ + \\ D_{\theta liquid} = K \frac{\partial \psi_m}{\partial \theta} \end{cases}$$

$$\text{温度勾配} \quad D_T = \begin{cases} D_{T vapor} = \eta \alpha v D \exp\left(\frac{\psi M}{RT}\right) \frac{\partial \rho^*}{\partial T} \\ + \\ D_{T liquid} = K \frac{\psi_m d\sigma}{\sigma dT} \end{cases}$$

モンモリロナイト含有率依存パラメータ

ψ : 土中水ボテンシャル ψ_m : マトリックボテンシャル K : 透水係数

| | | |
|--------------------|--------------------|-----------------|
| a : 気相率 | D : 分子拡散係数 | σ : 表面張力 |
| α : 屈曲度因子 | ρ^* : 饱和水蒸気密度 | R : ガス定数 |
| ν : マスフローファクター | M : 分子量 | η : 促進係数 |

2023/12/9

原子力学会中国・四国支部2023 広島

6

