

福島第一原子力発電所の燃料デブリ取り出し・中間保管・最終処分を想定したベントナイトに関する研究

WASEDA University

鎮西 由芙希 岩崎 充希 曹基安 (指導教員 小峯 秀雄 王海龍 伊藤 大知)

概要

福島第一原子力発電所の燃料デブリ取り出し・中間保管において放射線遮蔽性能を有する超重泥水の活用が検討されている。早稲田大学では、超重泥水の作製に用いるベントナイトの熱特性評価および分離技術に着目した研究を行なっている。また燃料デブリの中間保管後の最終処分方法として高レベル放射性廃棄物の地層処分技術の適用を検討している。その一環としてベントナイトの水分拡散特性に関する研究も行なっている。

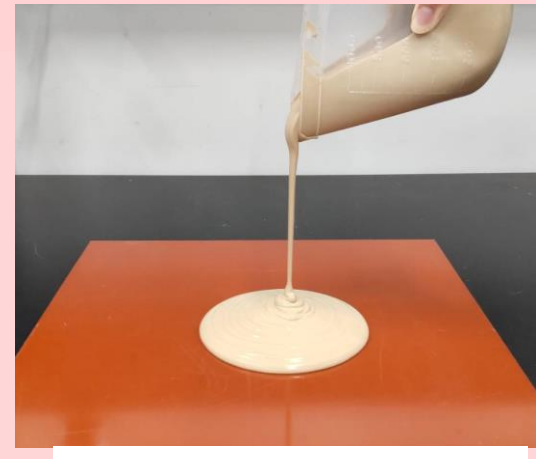
超重泥水の概要

超重泥水

- 放射線(中性子線, ガンマ線等)の遮蔽性能や遮水性を有する泥水

使用用途

- 燃料デブリを覆い放射性物質の拡散を防ぐことで、燃料デブリの取り出し・中間保管を補助する。



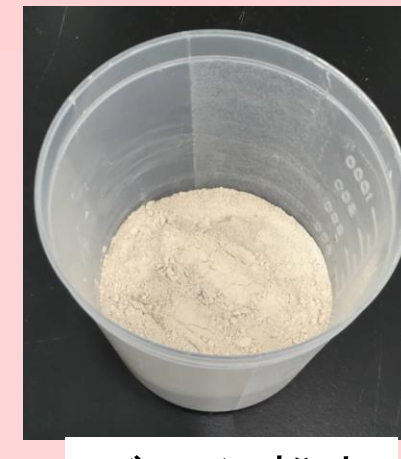
超重泥水(比重2.5)

構成材料

- 水: 中性子線(またはガンマ線)の遮蔽性能
- Na型ベントナイト: 加重材の沈降防止, 遮水性や増粘性に優れる
- バライト粉末: ガンマ線の遮蔽性能
- ピロリン酸ナトリウム: ベントナイトの分散促進



ベントナイト



バライト粉末

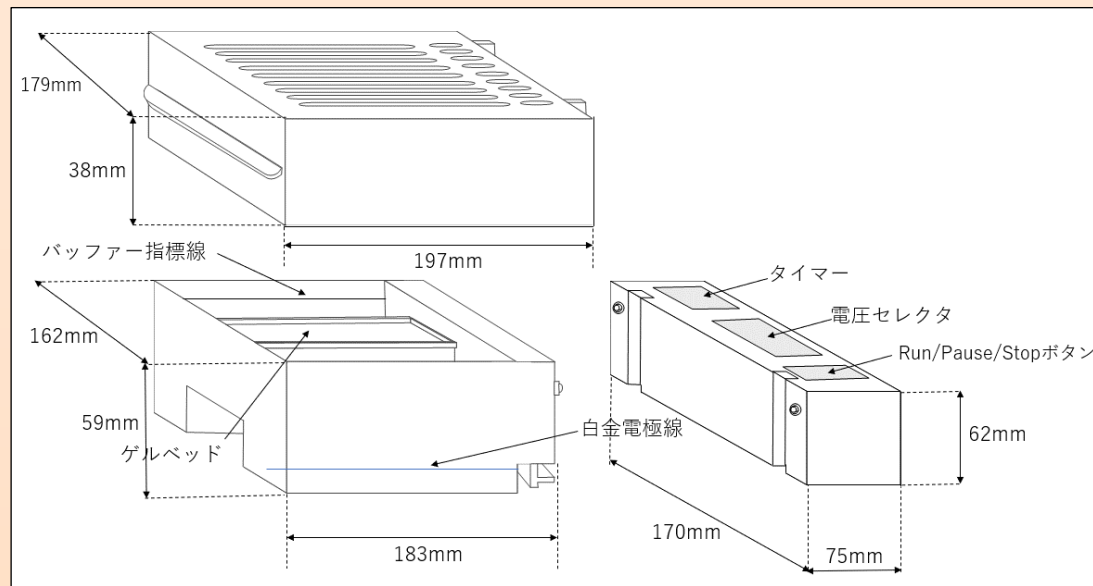
超重泥水の固相回収実験

研究背景

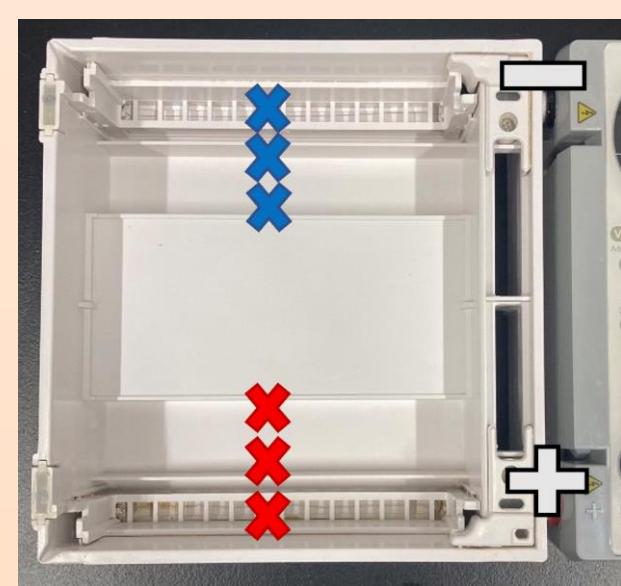
- 燃料デブリ取り出しに向けた補助材料として超重泥水を使用した際、超重泥水は放射性廃棄物として処理する必要があるがその処理・処分方法は未だ確立されていない。また放射性廃棄物処分の現状から、放射性廃棄物の減容化が求められる。
- 本研究では燃料デブリ取り出しの補助材料として用いた超重泥水の処理・処分方法の提案を目指す。

実験方法

- 泳動槽を試料で満たし、出力電圧150V、通電時間60分に設定しスイッチを入れる。
- 陽極と陰極のそれぞれ図の抽出箇所を試料を葉さじで抽出する。
- 通電前後の陽極と陰極の固相濃度と含水比を求める。



電気泳動装置の外観



抽出箇所

実験結果・考察

- 比重1.1, 1.8, 2.5の超重泥水について、陽極側の通電後の固相濃度が増加した。

↑
負に帯電するベントナイトが通電により陽極に移動した。

→通電による超重泥水の固相回収が期待できる

	比重1.1		比重1.8		比重2.5	
通電前						
通電後						

表 通電前後の陽極と陰極の固相濃度(%)					
	比重1.1		比重1.8		比重2.5
	陽極	陰極	陽極	陰極	陰極
通電前の固相濃度(%)	0.18		0.60		0.80
通電後の固相濃度(%)	0.19	0.16	0.64	0.57	0.83
				0.83	0.77

表 通電前後の陽極と陰極の含水比(%)					
	比重1.1		比重1.8		比重2.5
	陽極	陰極	陽極	陰極	陰極
通電前の固相濃度(%)	450		67		25
通電後の固相濃度(%)	430	520	56	75	20
				20	29

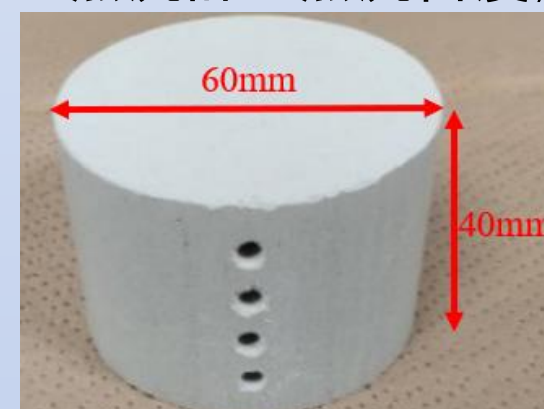
超重泥水の作製に用いるベントナイトSCの熱特性評価

研究背景

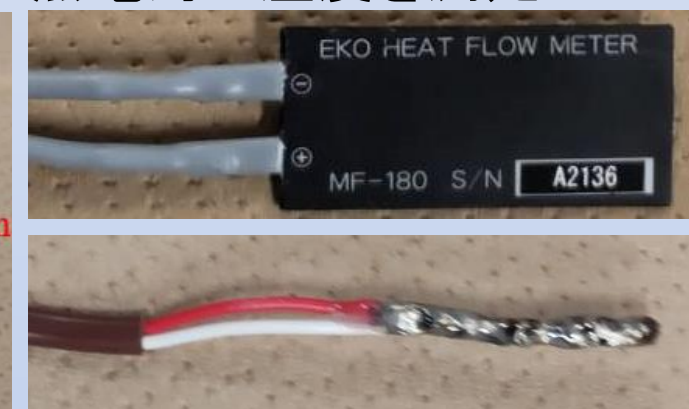
- 超重泥水を活用して燃料デブリを中間保管する際に、燃料デブリから崩壊熱が発生するため、超重泥水を通して崩壊熱を逃がす必要がある。
- 本研究では超重泥水の作製に用いるベントナイトSCの熱伝導率の測定を行った。

実験方法

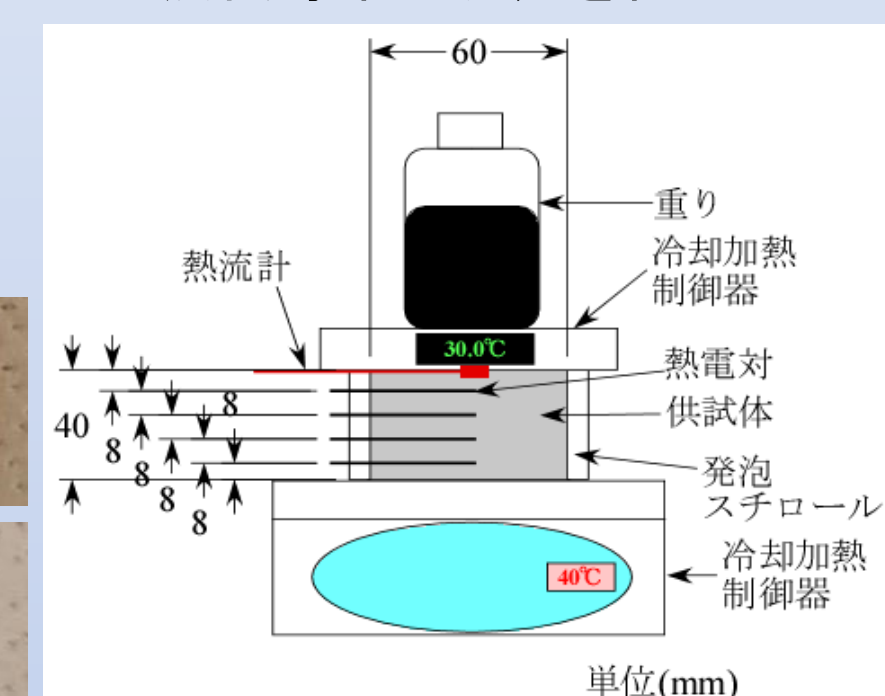
- 穴を開けたベントナイトSC供試体を作製し、冷却加熱制御器(上: 30℃, 下: 40℃)で挟む。
- 熱流計で熱流密度, 熱電対で温度を測定。



穴を開けた供試体



熱流計・熱電対の外観



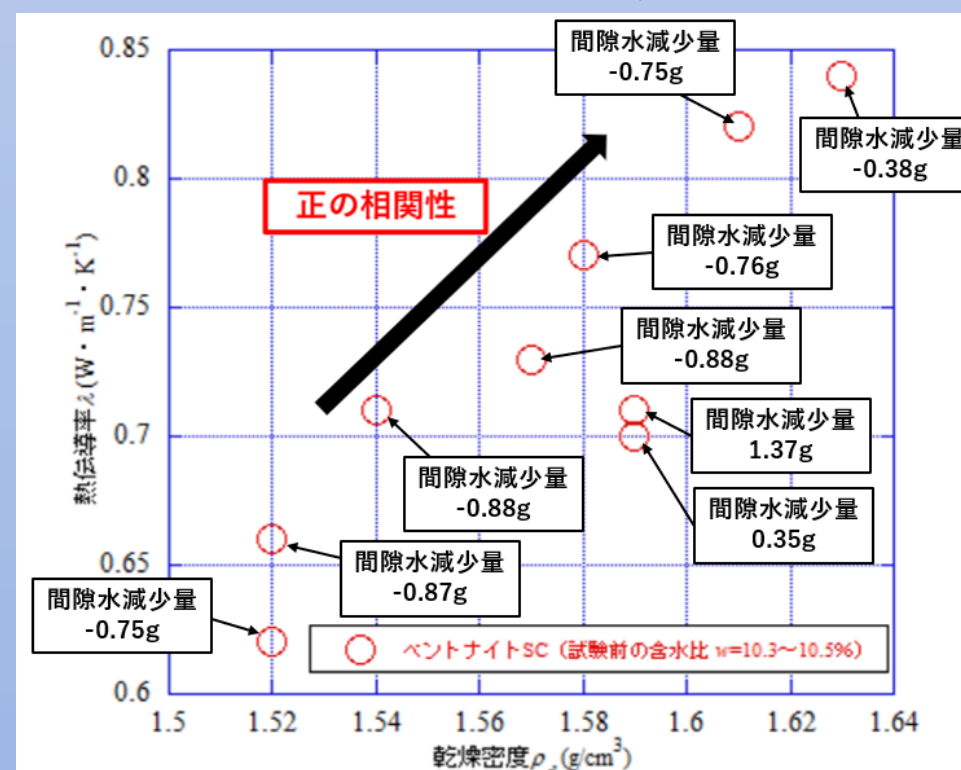
実験装置の概略図

熱伝導率の算出

- 温度と熱電対の位置の関係から温度勾配を算出
- 式(1)より熱流密度を温度勾配で除し、熱伝導率を算出

実験結果・考察

- 乾燥密度と熱伝導率に正の相関性がみられた。
- 乾燥密度の増加でベントナイトSCの接触面積が増加⇒熱が伝わりやすくなる(熱伝導率が増加)。

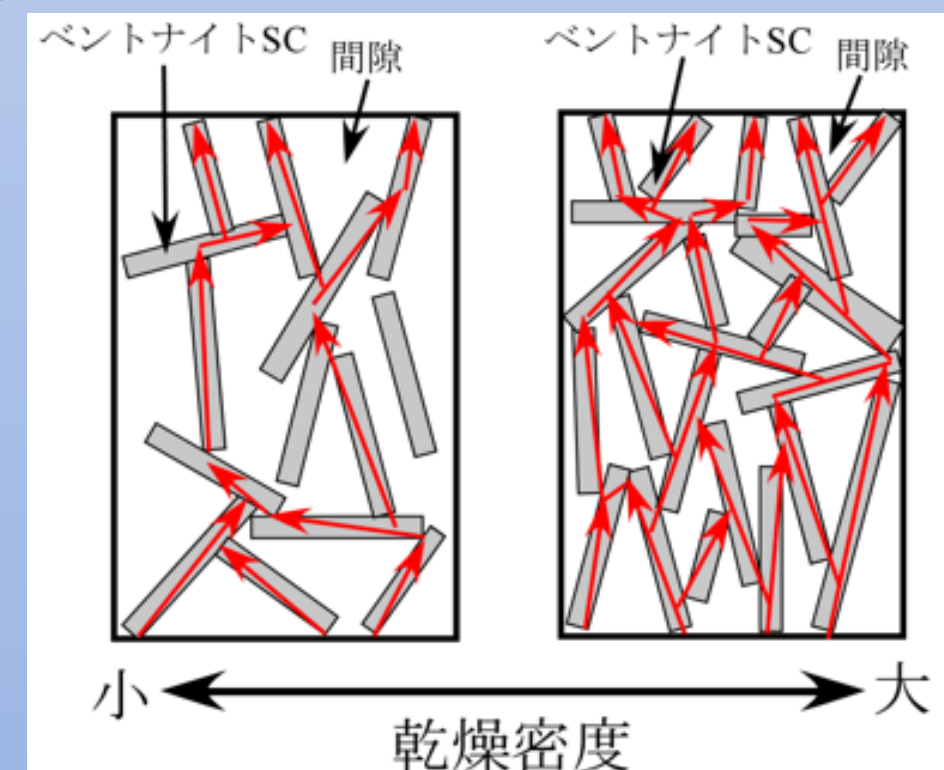


乾燥密度と熱伝導率の相関関係

$$i = \lambda \frac{T_1 - T_2}{h} \quad (1)$$

熱伝導率: λ
高さ: h
温度: T_1, T_2 ($T_1 > T_2$)
熱流密度: i

フーリエの法則

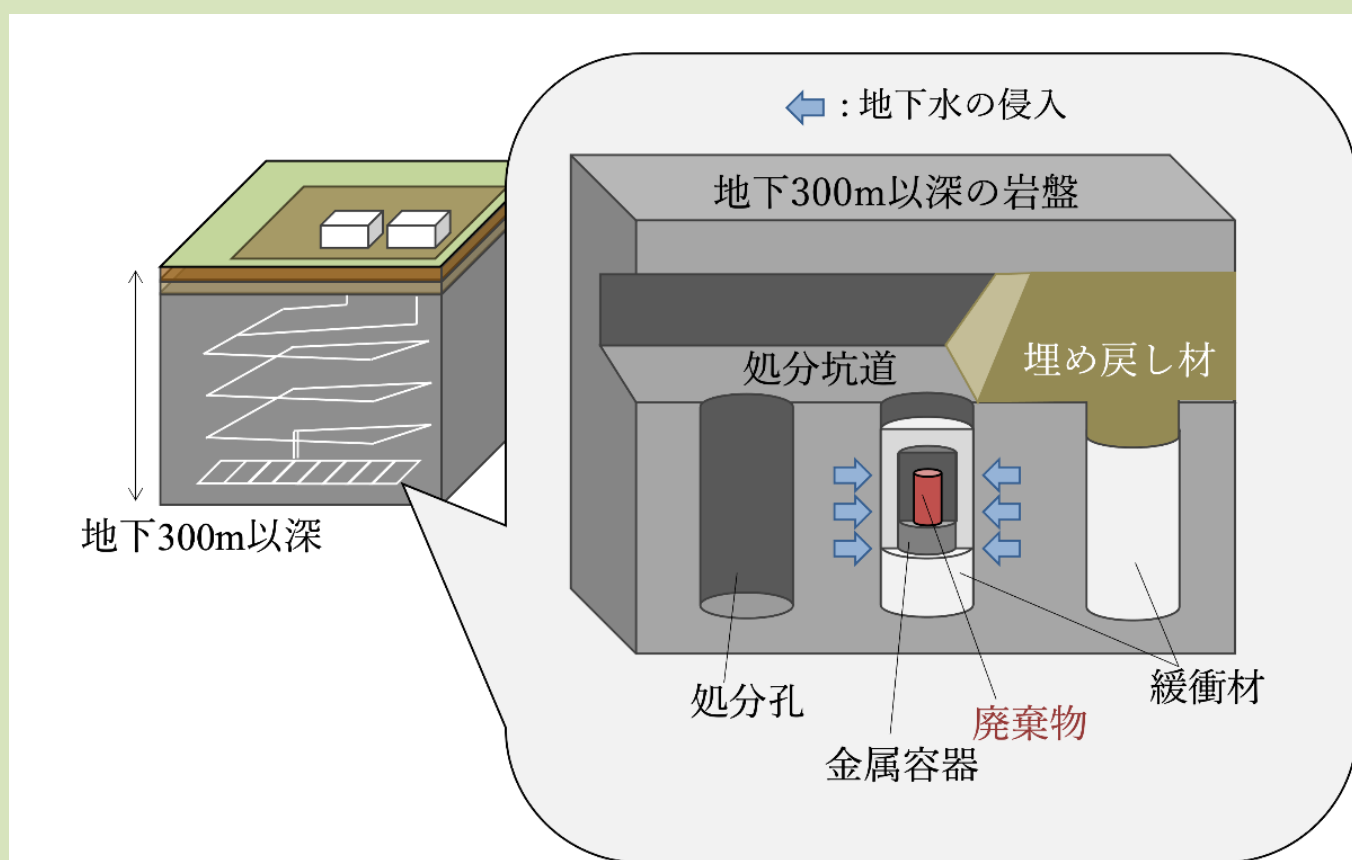


乾燥密度と熱伝導の変化の概念図

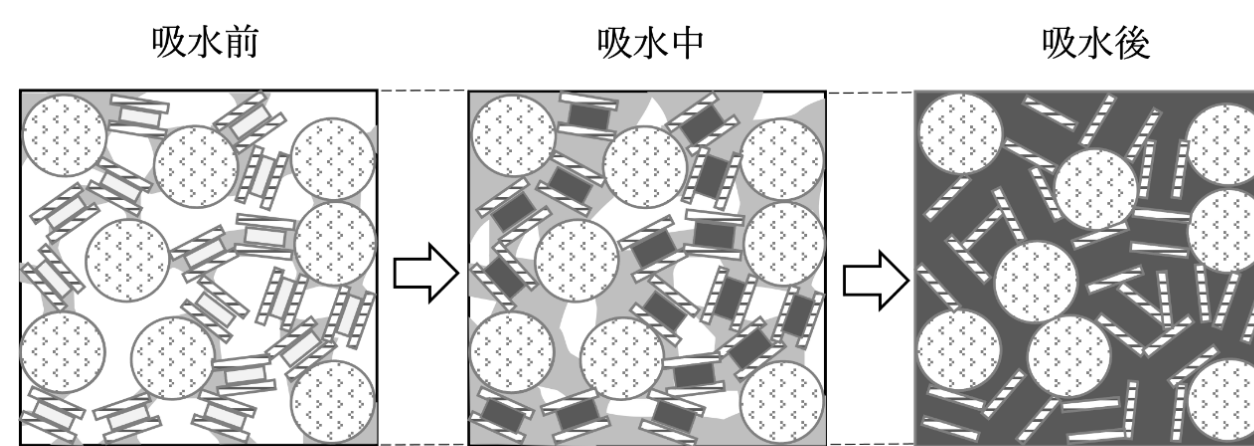
高レベル放射性廃棄物の最終処分事業に資するベントナイト系材料の水分拡散特性評価

研究背景

- 高レベル放射性廃棄物(HLW)の放射能の十分な減衰には数万年を要するため、地下数百m以深の地下深くに埋設し、人間の生活圏から隔離することが検討されている。
- 燃料デブリの中間保管後の最終処分方法として、HLWの地層処分技術の適用を検討している。



地層処分事業の概要図

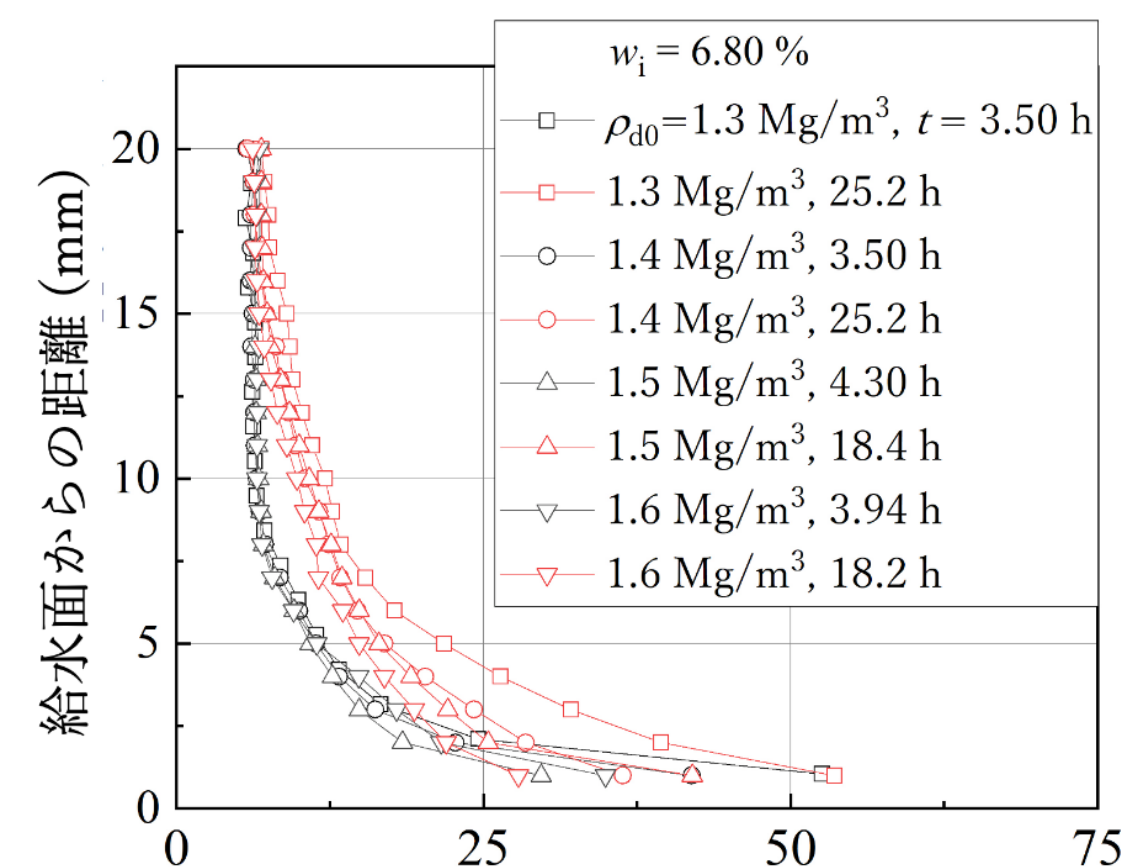


ベントナイト系緩衝材の膨潤特性

研究内容

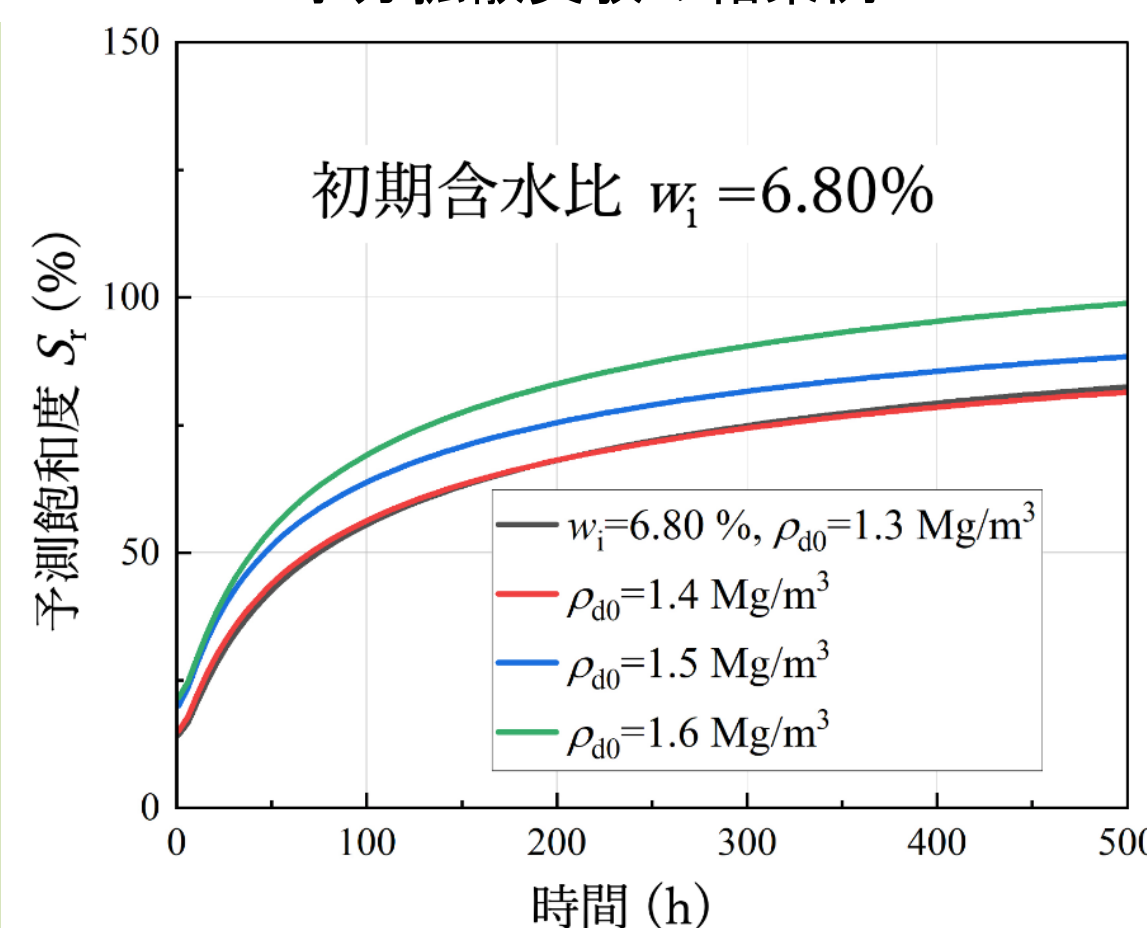
- ベントナイト系緩衝材は地下岩盤に設置後、地下水の吸水に伴い膨潤する。
- 地下施設での緩衝材状態の把握のためには飽和度が一つのパラメーターとなる。
- ベントナイトの低透水性により、操業期間における吸水量や飽和度をデータベース化することは困難である。
- 本研究では、給水した供試体について、各位置における飽和度を計測することで、水分拡散特性の評価を試みる。
- また測定した飽和度を用い、ダルシーの法則を適用することで、長期の操業期間における飽和度を予測する。

$$D(\Theta_z) = -\frac{1}{2} \left(\frac{d\chi}{d\Theta} \right)_{\Theta_z} \int_{\Theta_i}^{\Theta_z} \chi d\Theta \quad (\text{水分拡散係数 } D(\Theta_z), \text{ 関数 } \chi = z/\sqrt{t}, z: \text{ 供試体の位置, } t: \text{ 吸水時間, } \Theta: \text{ 体積含水率})$$



試験後含水比 w_f (%)

水分拡散実験の結果例



飽和度の予測曲線 (ρ_{d0} : 目標乾燥密度)