

燃料デブリ中間保管施設に活用する超重泥水の作製に用いるバライトの熱特性評価

早稲田大学 学生会員 ○岩崎 充希, 金田 舜
早稲田大学 正会員 小峯 秀雄, 王 海龍, 伊藤 大知, フェロー会員 後藤 茂

1. 研究背景・目的

福島第一原子力発電所（以降，1F と記す）の事故由来の燃料デブリが1～3号機に現在も残留している。今後、廃炉に向けた取り組みとして鈴木らはニューマチックケーソン工法を活用して中間保管施設を建設し、燃料デブリを中間保管する技術構想を提案している。この燃料デブリの中間保管にあたって、放射線の遮蔽が求められる。そこで鈴木らは中間保管施設での「超重泥水」の活用を検討している。超重泥水は水、ベントナイト、バライトを主とする土質系材料である。水に含まれる水素原子による中性子の減速効果や比重の大きいバライトによるガンマ線の遮蔽性により放射線の遮蔽材として期待される。しかし中間保管にあたって、燃料デブリから発生する崩壊熱が懸念される。そのため、長期的な燃料デブリの中間保管において、超重泥水に放熱性が求められるものも、これまでに十分な検討はなされていない。本研究では超重泥水の作製に用いられるバライトに着目し、バライトの乾燥密度と熱伝導率の相関性およびバライトの質量の変化による超重泥水の熱伝導率の向上の可能性について検討を行った。

2. 超重泥水の作製に用いるバライトの基本的性質

本研究ではバライト（テルナイト製・テルバー）を実験に用いた。表1は使用したバライトの基本的性質である。

表1 使用したバライトの基本的性質

自然含水比 (%)	0.09
土粒子の密度 (g/cm ³)	4.328

3. 熱伝導率の算出のための実験装置の製作および熱伝導率の算出方法の概要

図1はバライトの熱伝導率の算出のための実験装置である。ステンレス製円筒容器の内部にバライトを投入し、容器の上下に温度の制御が可能な冷却加熱制御器を挿入する構造となっている。なお、設定温度は上が25.0℃、下が80.0℃である。また、ステンレス製円筒容器の側面の内側に断熱材を巻き、容器の下端から30mm、60mm、90mmおよび120mmの位置において、左端、中央および右端のそれぞれに温度測定用の熱電対を設置した。ステンレス製円筒容器の上部にはステンレス板を設置し、ステンレス板上に熱流密度測定用の熱流計を貼付した。さらに、冷却加熱制御器上に重りを乗せ、装置の転倒を防いだ。

熱伝導率は一次元的な熱の流れに基づくフーリエの法則(式(1))より算出した。

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

ここに、 i ：熱流密度(W/m²)、 Q ：熱流(W)、 S ：面積(m²)、 λ ：熱伝導率(W・m⁻¹・K⁻¹)、 T_1 、 T_2 ：温度(K)、 h ：測定間の距離(m)である。ただし、 $T_1 > T_2$ とする。

4. 実験結果と考察

図2は乾燥密度2.05 g/cm³における左端、中央および右端の温度を比較したもの（容器の下端から30mm、60mm、90mmおよび120mm）である。下端から30mmにおいて左端と右端の温度が中央の温度よりも高く測定されており、同様の傾向が下端から60mm、90mmでも認められる。これはステンレス製円筒容器の側面に伝わった熱の影響によるものと考えられるため、温度勾配は中央の温度のみから算出した。図3に乾燥密度と熱伝導率の関係を示す。乾燥密度1.80、1.85および1.87 g/cm³において、乾燥密度の増加に伴い熱伝導

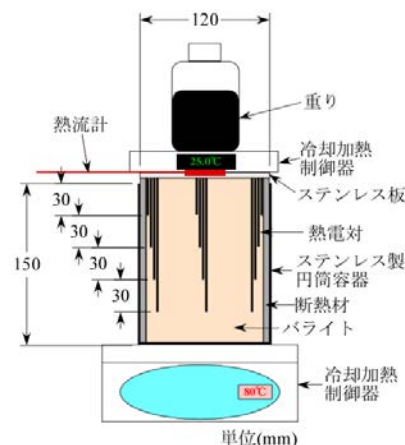


図1 実験装置の概略図

キーワード 超重泥水 バライト 熱伝導率 接触面積

連絡先 〒241-0005 神奈川県横浜市旭区白根 3-13-11 TEL 090-9313-1318

率は大きくなり、乾燥密度 1.93, 2.01 および 2.05 g/cm³ において熱伝導率は収束する傾向が認められた。なお、乾燥密度 1.90, 1.97 g/cm³ においては外気の影響によりバライト内の熱の一部が外部へと放出されたことで、熱伝導率が小さく算出されたと推察される。

乾燥密度 1.80, 1.85 および 1.87 g/cm³ において乾燥密度と熱伝導率に正の相関性がみられた要因として、図4に示すようにバライトの粒子同士の接触部の面積が増加することで熱が接触部を通して伝わりやすくなったことが考えられる。よって、バライトの増加に伴う超重泥水の熱伝導率の向上が期待される。一方、乾燥密度 1.93, 2.01 および 2.05 g/cm³ において熱伝導率が収束する傾向が

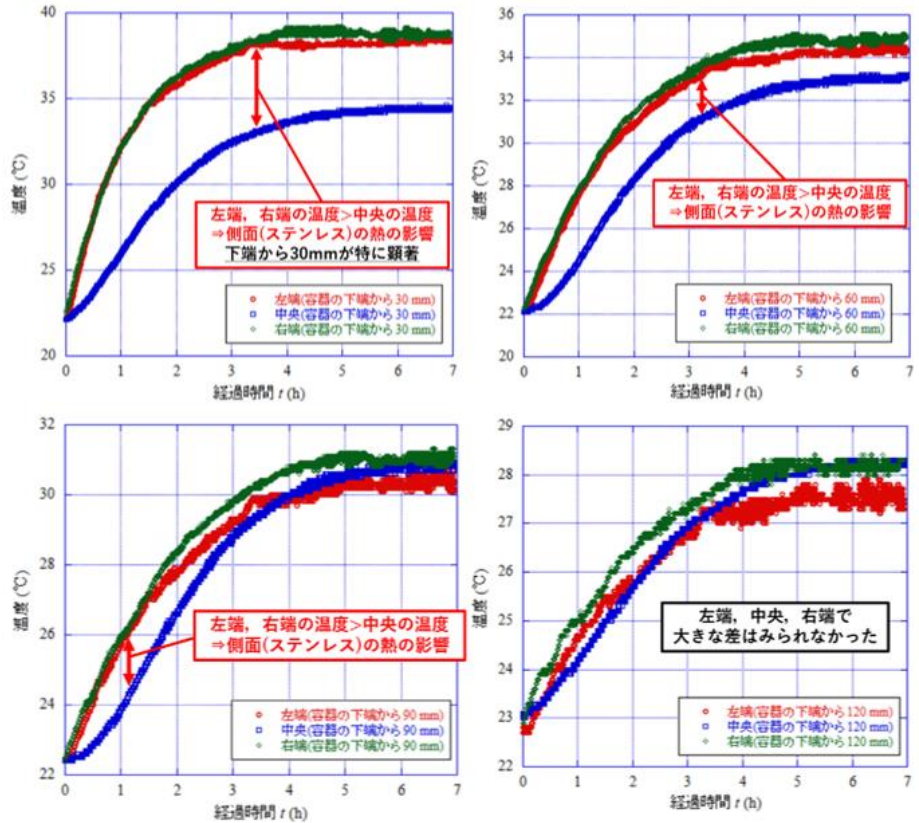


図2 左端, 中央, 右端の温度の比較($\rho_d = 2.05 \text{ g/cm}^3$)

傾向がみられたのは、バライトの粒子同士で接触不可の箇所があるため、ある程度密になるとそれ以上乾燥密度を増加させても接触部の面積の増加率が小さくなり、熱伝導率がほとんど増加しないからと推察される。

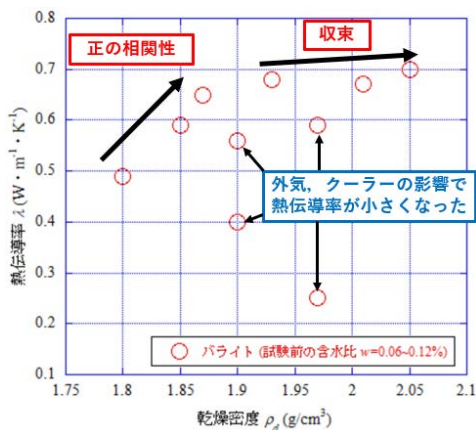


図3 乾燥密度と熱伝導率の関係

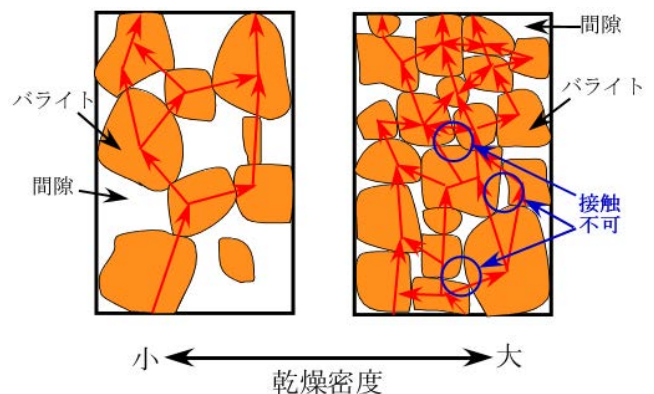


図4 乾燥密度の大小と熱伝導の概念図

5. 結論

- 1) 乾燥密度 1.80, 1.85 および 1.87 g/cm³ において乾燥密度と熱伝導率に正の相関性がみられた。バライトの粒子同士の接触部の面積が増加し、熱が接触部を通して伝わりやすくなったことが原因と考えられる。したがって、バライトの増加に伴う超重泥水の熱伝導率の向上が期待される。
- 2) 乾燥密度 1.93, 2.01 および 2.05 g/cm³ において熱伝導率が収束したのは、バライトの粒子同士で接触不可の箇所があるため、ある程度密になるとそれ以上乾燥密度を増加させても接触部の面積の増加率が小さくなるからと推察される。

参考文献

1) 鈴木忠勝, 阿部慎太郎, 本間美湖, 小峯秀雄, 後藤茂: 福島第一原子力発電所の燃料デブリの収納缶寸法に基づくニューマチックケーソンによる中間保管施設の保管可能容量の試算, 土木学会第75回年次学術講演会, CS11-26, 2020.