

燃料デブリ取り出しに資する超重泥水の処理・処分方法の提案 —遠心分離による超重泥水の含有粘土鉱物および構成材料の分離・回収の試み—

早稲田大学 学生会員 ○原崎 智

早稲田大学 正会員 小峯 秀雄, フェロー会員 後藤 茂, 正会員 王海龍, 学生会員 伊藤 大知
NB 研究所 正会員 氏家 伸介, 正会員 成島 誠一

1. はじめに

福島第一原子力発電所の廃止措置において、燃料デブリ取り出しの補助材料として土質系材料「超重泥水」¹⁾の活用が検討されている。廃止措置での使用に伴い放射性物質と接触するため、使用後の超重泥水は放射性廃棄物として処理する必要がある。著者らはベントナイトの主成分であるモンモリロナイトの放射性核種吸着特性²⁾に着目し、使用済みの超重泥水の処理・処分方法の構築に挑戦している。超重泥水からの放射性核種を吸着したモンモリロナイトを分離・回収することで、超重泥水の放射能レベル低減や材料の再利用を目指している。

本研究では超重泥水に対して比重差により分級する遠心分離を行い、含有粘土鉱物や構成材料の鉛直方向分布を調査することで、超重泥水の分離における遠心分離の有効性の確認を試みた。

2. 使用した試料および実験方法

表 1 に超重泥水の基本配合を示した。また表 2 および表 3 に構成材料であるベントナイト SC (株式会社ホーゲン製スーパークレイ) およびバライト粉末 TB (株式会社テルナイト製テルバー) の基本的性質を示した。

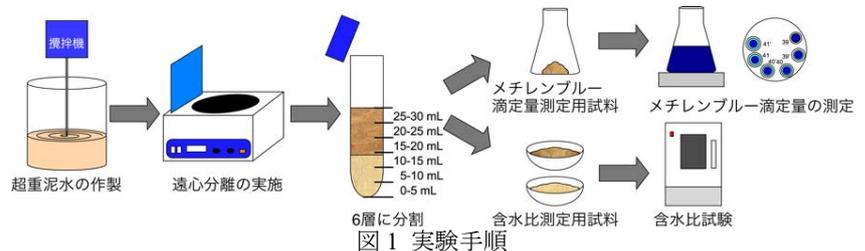


図 1 実験手順

実験手順は図 1 に示す通りである。作製した比重 1.8 の超重泥水を遠沈管に 30 mL 入れ、表 4 に示す条件で所定時間遠心分離した。遠心分離後の超重泥水を鉛直方向に 6 層に分け、著者らが提案している「メチレンブルー溶液消費量の測定による超重泥水の含有粘土鉱物・構成材料の乾燥質量定量評価方法」³⁾を用いて各層に存在するモンモリロナイト、バライト粉末 TB, ベントナイト SC 中の随伴鉱物の乾燥質量を算出した。

3. 遠心分離した超重泥水におけるモンモリロナイトおよびバライト粉末の鉛直方向分布

図 2 に 3000 rpm で遠心分離した超重泥水(比重 1.8)を示した。明確な境界部が出現し、層状に材料が分離の様子が確認された。バライト粉末 TB の土粒子の密度が 4.412 g/cm^3 と大きいことから、上部はモンモリロナイトが分散した層、下部はバライト粉末が沈降した層と考えられる。さらに、遠心分離時間 10, 30, 60, 180 分(3000 rpm)の超重泥水について、各層におけるモンモリロナイト質量濃度 C_{mm} およびバライト粉末等質量濃度(バライト粉末質量濃度 C_{ba} と随伴鉱

表 1 超重泥水の基本配合

比重	1.1	1.8	2.5
水(g)	100	100	100
ピロリン酸ナトリウム(g)	0.2	0.2	0.2
Na 型ベントナイト(g)	7	10	12
バライト粉末(g)	400	140	10

表 2 ベントナイト SC の基本的性質

土粒子の密度(g/cm^3)	2.672
モンモリロナイト含有率(%)	58.6
自然含水比(%)	6.384
液性限界(%)	647.5
塑性限界(%)	41.7

表 3 バライト粉末 TB の基本的性質

土粒子の密度(g/cm^3)	4.412
自然含水比(%)	0.048
液性限界(%)	NP
塑性限界(%)	NP

表 4 遠心分離条件

回転数(rpm)	3000
遠心分離時間(min)	10, 20, 30, 60, 120, 180
最大回転半径(cm)	17.6
最小回転半径(cm)	9.7
相対遠心加速度(G)	1771

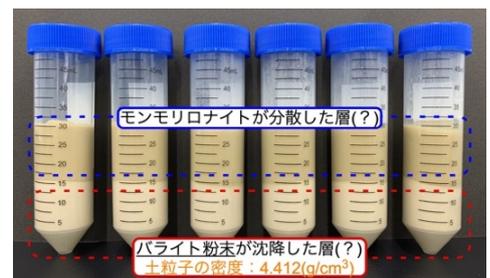


図 2 遠心分離した超重泥水(比重 1.8) (3000 rpm, 10, 20, 30, 60, 120, 180 min(左から))

キーワード 遠心分離, 廃止措置, 超重泥水

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 早稲田大学 地盤工学研究室 TEL03-5286-2940

物質濃度 C_{ac} の和) $C'_{ba}(=C_{ba} + C_{ac})$ を算出し、表5に整理した。超重泥水(比重 1.8)のモンモリロナイト、バライト粉末および随伴鉱物の初期質量濃度はそれぞれ 2.20%、

55.96%および 1.55%であることから、上部ではモンモリロナイト質量濃度が、下部ではバライト粉末等質量濃度が上昇したことが確認された。以上より超重泥水を遠心分離することで、粘土鉱物、構成材料を分離できることが認められた。

図3および図4に初期添加量に対する各層に存在するモンモリロナイト、バライト粉末の乾燥質量の割合を求め、鉛直方向存在分布を示した。なお、算出にあたりモンモリロナイト純度 98.5%以上の精製ベントナイト KP-F (クニミネ工業株式会社製クニピア-F) の真比重 2.6⁴⁾をモンモリロナイトの密度として用いた。結果より遠心分離による沈降が確認された。また、添加したバライト粉末の98%以上が下部に存在することが明らかとなった。バライト粉末TBの土粒子の密度は 4.412 g/cm³と非常に大きいことから、少なくとも 3000 rpm にて 10 分間の遠心分離により投入したバライト粉末のうち 98%以上が沈降したと考えられる。

さらに、図5に各層の固相におけるバライト粉末等(バライト粉末と随伴鉱物)の質量が占める割合を示した。下部の固相におけるバライト粉末等の質量割合は、分離時間に依らず 95%以上(超重泥水中の随伴鉱物が全て下部に存在すると仮定した場合でも最低 85%以上)であった。

以上より、超重泥水に対して 3000 rpm(1771 G)で少なくとも 10 分間の遠心分離を実施した後、下部の層を乾燥させることで、投入したバライト粉末を 95%程度の高純度かつ約 98%の高回収率で回収できる可能性がある。

4. まとめ

本研究では、遠心分離した超重泥水について含有粘土鉱物および構成材料の鉛直方向分布を調査した。結果より、遠心分離により超重泥水中からバライト粉末を高純度かつ高回収率で回収できる可能性が明らかとなった。今後は得られた実験結果について遠心力やストークス式を関係付けて整理することで、実際の現場を想定した超重泥水の分離方法の構築や回収量の理論的な予測を目指す予定である。

【参考文献】1) 氏家伸介, 長江泰史, 成島誠一, 新井靖典, 稲元祐二, 水野正之, 佐古田又規, 齋藤祐磨, 小峯秀雄: 変形追従型放射線遮蔽材の開発, 第 11 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.471-478, 2015. 2) 川端淳一, 田中真弓, 河合達司, 河野麻衣子: 放射性セシウムの土に対する吸脱着特性と溶出効果について, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, pp.23-24, 2012. 3) 原崎智, 伊藤大知, 小峯秀雄, 後藤茂, 王海龍, 氏家伸介, 成島誠一: 燃料デブリ取り出しに資する超重泥水の処理・処分方法を提案するための超重泥水中のモンモリロナイトの定量評価方法の提案, 第 56 回地盤工学研究発表会投稿予定, 2021. 4) クニミネ工業株式会社: クニピア-F 安全データシート(SDS) https://www.kunimine.co.jp/download/pdf/sds/sds_kunipia_f.pdf (2021年2月10日閲覧)

表5 遠心分離した超重泥水(比重 1.8)の各層における粘土鉱物・構成材料の質量濃度

試料採取範囲(mL)	10 min		30 min		60 min		180 min	
	C_{mm} (%)	C'_{ba} (%)						
25-30	6.18	1.74	5.33	1.46	5.71	0.62	3.45	1.00
20-25	5.75	2.73	5.49	1.89	6.08	1.04	6.49	-0.04
15-20	5.09	4.30	5.98	1.96	5.20	2.60	6.30	4.46
10-15	2.06	70.10	2.60	68.62	2.69	70.20	3.16	70.69
5-10	1.11	82.18	0.95	82.16	1.40	82.01	1.08	83.11
0-5	1.09	84.86	0.86	85.07	0.67	85.33	1.12	86.10

注)回転数: 3000 rpm

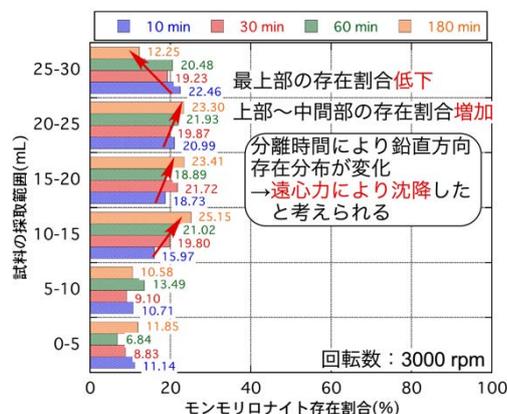


図3 遠心分離した超重泥水(比重 1.8)中のモンモリロナイト鉛直方向存在分布

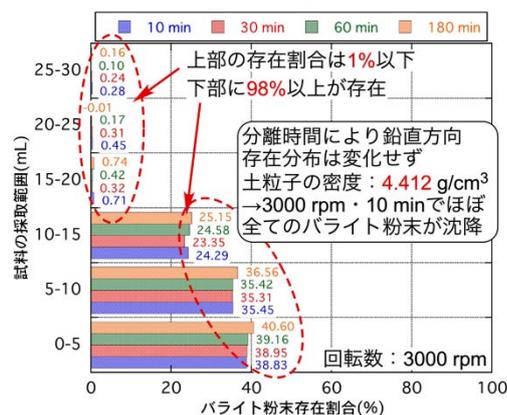


図4 遠心分離した超重泥水(比重 1.8)中のバライト粉末鉛直方向存在分布

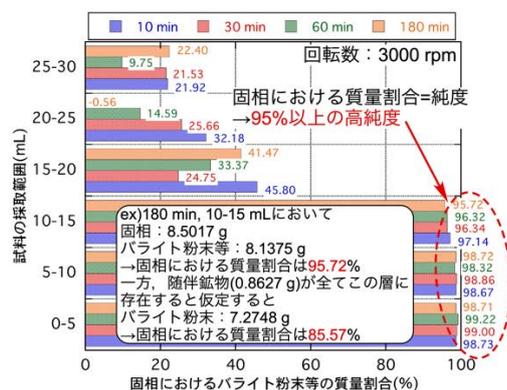


図5 遠心分離した超重泥水(比重 1.8)の各層の固相におけるバライト粉末等の質量割合