

粘度測定結果に基づく超重泥水からの引き抜き抵抗推定の試み

早稲田大学 学生会員 ○根本大志

早稲田大学 正会員 小峯秀雄, 王海龍, 山田味佳, 伊藤大知 フェロー会員 後藤茂,
オリエンタル白石(株) 正会員 阿部慎太郎, 鈴木忠勝, 本間美湖
NB 研究所 正会員 氏家伸介, 成島誠一

1. 目的

福島第一原子力発電所の廃止措置における, 燃料デブリ取り出し後の保管・管理の工程の一案として, 地下式中間保管施設が提案されている^{1,2)}。上述の提案では, 燃料デブリ収納缶の周辺に, 既往研究³⁾によりガンマ線・中性子線に対する有効な遮蔽が確認されている土質系材料「超重泥水」の活用が検討されている。図1に収納缶格納容器の概略図および超重泥水の外観を示す。燃料デブリ収納缶の保管にあたっては, 作業に伴う抵抗の発生が予想される。著者らによる既往研究⁴⁾から, 収納缶形状に近い円柱形ロッドを超重泥水中から引き抜く際の抵抗について, 超重泥水の粘性との関係が示唆された。以上より本研究では, 超重泥水の粘度測定結果を用いて引き抜き時の抵抗を推定し, 推定値と実測値を比較した。

2. 超重泥水の概要およびB型粘度計を用いた粘度測定

超重泥水はベン
トナイト懸濁液に加
重材であるバライト
粉末を加えた土質
系材料である。表1に, 本研究で測定対象とした超重泥水の配合を示す。なお, 試料の均一性を確保するため分散材として, ピロリン酸ナトリウムを添加している。

表1 水100gに対する構成材料の配合量

目標比重	1.1	1.4	1.8	2.2
ベントナイト SC(g)	12	12	10	9
バライト粉末 TB(g)	10	60	140	250
ピロリン酸ナトリウム(g)	0.2	0.2	0.2	0.2

はじめに, B型粘度計(TVB-22L, 東機産業製)を用いて, 超重泥水の粘度測定を実施した。図2にB型粘度計および使用したロータの外観を示す。この装置は, 液体中でロータを回転させた時に, ロータに作用する液体の粘性によるトルクを検出して粘度を測定する回転粘度計の一種である。表2に実験条件を示す。既往研究⁵⁾より, 超重泥水は, 非ニュートン流体に分類され, チキソトロピー性を有していることが明らかにされている。このことから, 各回転数での見かけの粘度を測定するために, 回転数を0.3 rpmから60 rpmまで順次上昇させ, その後, 0.3 rpmまで下降させた。

測定結果は, 以下の式(1)および(2)を用いて整理を行った。

$$D = KN \quad (1)$$

$$s = \eta D \quad (2)$$

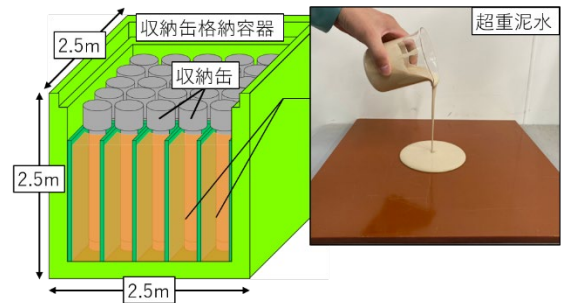


図1 収納缶格納容器内における超重泥水の活用²⁾

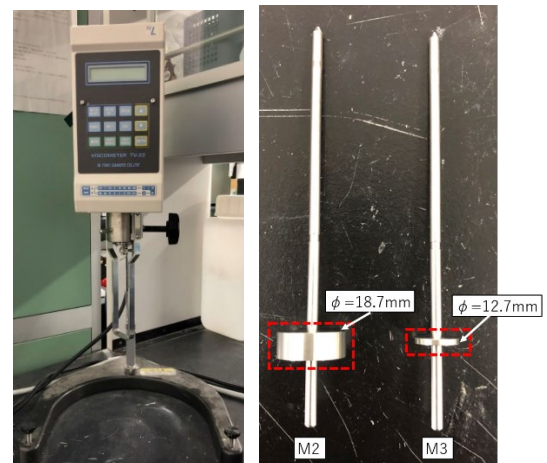


図2 B型粘度計と使用したロータの外観

表2 実験条件

使用したロータ	M2, M3
回転数 N	0.3, 0.6, 1.5, 3, 6, 12, 30, 60 rpm
測定時間	3rpm 未満: 1回転に要する時間 3rpm 以上: 30秒

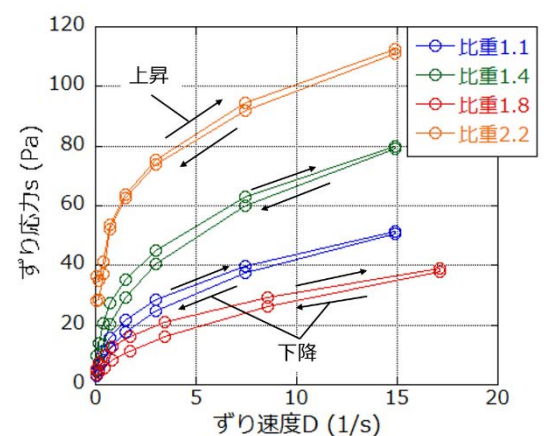


図3 超重泥水のずり応力とずり速度の関係

キーワード 廃炉 地下式中間保管 超重泥水 粘度 引き抜き抵抗

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

ここで、D: ずり速度(1/s), K: 各ロータにおけるずり速度常数 (M2:0.285, M3:0.248), N: ロータの回転数(rpm), s: ずり応力(Pa), η : 測定された粘度(Pa·s)である。

図 3 に測定の結果を示す。図 3 の結果から、各試料において、ずり速度に応じてずり応力が変化し、ずり速度の上昇時と下降時でずり応力が異なることが確認された。加えて、比重 2.2, 1.4, 1.1, 1.8 の超重泥水の順で、ずり応力が大きいことが確認された。

3. 超重泥水の粘度測定結果を用いた引き抜き抵抗の推定

上述した超重泥水の粘度測定結果を用いて、超重泥水から円柱形ロッドを引き抜いた際の抵抗について推定を行った。図 4 に想定した超重泥水からのロッド引き抜きのイメージ図を示す。粘度測定時のロータ回転時には、径が大きい部分(図 2 の赤枠の部分)の端部に作用するトルクが支配的であると推察される。そのため、以下の式(3)により、ロッドを引き抜く際の引き抜き速度を推定した。

$$v = \frac{2\pi RN}{60} \quad (3)$$

ここで、v: 推定した引き抜き速度(円筒端部における速度), R: $\phi/2$ (図 2), N: ロータの回転数(表 2), である。また、超重泥水の粘度測定により、ずり応力(せん断応力)が得られているので、以下の式(4)により、超重泥水からの引き抜き時の抵抗を推定した。

$$F = sA \quad (4)$$

ここで、F: 推定した引き抜き抵抗, s: 実験により得られたずり応力(せん断応力), A: 超重泥水が接するロッドの側面積, である。

図 5 に、式(4)より推定した引き抜き抵抗および式(3)より推定した引き抜き速度の関係を、実測値と共に示す。実測値は既往研究⁴⁾を基に各試料に対して測定を実施し、測定結果から得られた

引き抜き時の最大の抵抗値である。図中におけるプロットが実験値で、折線が推定値を連結したものである。図 5 より比重 1.1 および 1.4 の試料では、推定値と実測値に近い傾向にあることが確認できる。なお、今回の推定では、ロッド底面に作用する浮力等の影響を考慮できていない。浮力は引き抜きと同じ方向に力が働くため、浮力を考慮することにより、推定値がより実験値に近づくと考えられる。比重 1.8 および 2.2 の試料では、推定値に対し、実測値が大きく上回ることが確認できる。超重泥水中において加重材であるバライト粒子は、重力により鉛直下向きの力を受けている。一方、引き抜き挙動は鉛直上向きに作用し、バライト粒子が受ける重力と相反することから、実測値が推定値に対して大きく上回ったと考えられる。以上の結果から、比重の大きい超重泥水においては、超重泥水中のバライト粉末の含有割合が、引き抜き抵抗に大きな影響を及ぼしている可能性が推察される。

4. おわりに

本研究では、超重泥水の粘度測定の結果からの引き抜き抵抗の推定し、推定値と実測値の比較を行った。その結果、比重 1.1 および 1.4 の超重泥水では、推定値に対して実測値に近い傾向が見られた。一方で、比重 1.8 および 2.2 の超重泥水では、推定値に対して実測値が大きく上回り、超重泥水からの引き抜き時には、加重材であるバライト粉末による抵抗が顕著に影響を及ぼしていることが推察された。以上の結果から、今後は超重泥水中のバライト粉末による抵抗に着目して、実験および検討を行う。

【参考文献】1)本間美湖, 阿部慎太郎, 鈴木忠勝, 小峯秀雄, 後藤茂, 岩波基: ニューマチックケーソン工法を活用した福島第一原子力発電所の廃止措置に伴い発生する燃料デブリや放射性固体廃棄物の中間保管の概念, 土木学会第 74 回年次学術講演会, CS-14-25, 2019. 2)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. 3)吉川絵麻, 小峯秀雄, 後藤茂, 吉村貢, 鈴木聡彦, 成島誠一, 新井靖典, 氏家伸介, 佐古田又規, 長江泰史: 土質系材料の放射線遮蔽性能の定量評価, 土木学会論文集 C(地盤工学), Vol.73, No.4, pp.342-354, 2017. 4)根本大志, 小峯秀雄, 後藤茂, 王海龍, 伊藤大知, 阿部慎太郎, 鈴木忠勝, 本間美湖, 氏家伸介, 成島誠一: 燃料デブリの中間保管状況における超重泥水からの収納缶取り出し時を想定した引き抜き抵抗測定, 土木学会第 76 回年次学術講演会, CS11-19, 2021. 5)吉川絵麻: 土質系充填材料の放射線遮蔽性能および遮水性能に関する研究, 早稲田大学学位論文, pp.36-37, 2020.

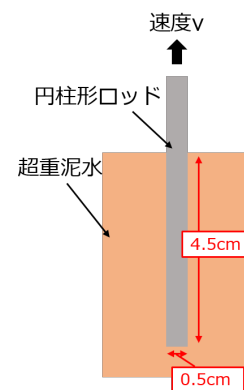


図 4 想定した超重泥水からのロッド引き抜きのイメージ図

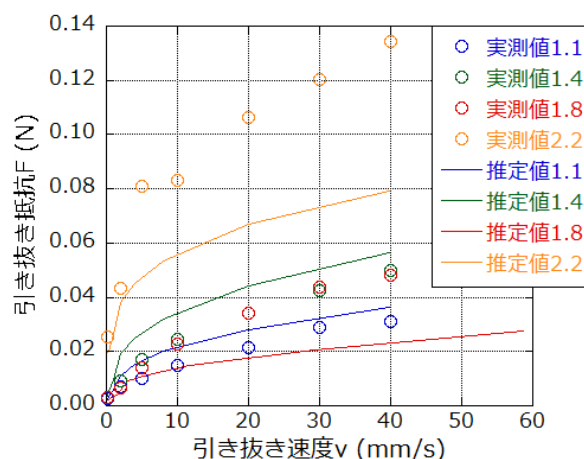


図 5 粘度の測定結果を用いた推定値と実測値の比較