

超重泥水の粘度に影響を及ぼす配合割合とそのメカニズムに関する研究

粘度 泥水 ベントナイト

早稲田大学 学生会員 ○吉川絵麻, 国際会員 小峯秀雄, 後藤茂
 (株)ホージュン 正会員 氏家 伸介, (株)西武建設 正会員 成島 誠一
 (株)テルナイト 正会員 長江 泰史, ソイルアンドロック E 吉村 貢

1. はじめに

福島第一原子力発電所の廃止措置において、特に燃料デブリの取り出しが重要な課題となっている¹⁾。現在、図1に示す原子炉建屋内格納容器を水で満たして取出す方法が考えられているが、この工法では放射線被ばくや汚染水漏洩の観点で困難が生じる可能性が大きい。そこで、水の代替充填材料として図2に示すベントナイト系超重泥水が考案された。超重泥水の施工に関わる要求性能として、ポンプによる圧送が可能な流動性、亀裂や細部への充填性、材料としての安定および掘削ずり排出のためのずりに対する支持力が挙げられる。いずれの過程においても、超重泥水に生じる力は主としてせん断力であり、これらの性能評価には、せん断強度の把握と粘度発現メカニズムの解明が必要である。本研究では、異なる配合の超重泥水について、せん断速度 $0.01 \sim 1000 \text{ s}^{-1}$ の範囲において粘度の決定要因であるせん断応力の測定を行い、その降伏値を評価した。

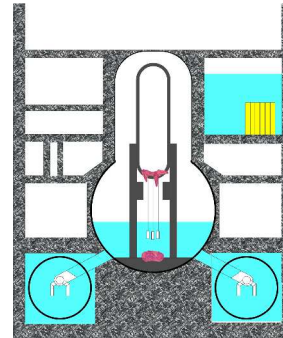


図1 原子炉建屋



図2 超重泥水の様子

2. 使用した超重泥水およびせん断応力測定の実験条件

超重泥水は組成配合により挙動が著しく異なるため、本研究では流動性を持つ範囲で組成配合を調整した。表1および図3は、本実験で使用した超重泥水の組成配合および体積割合を示す。超重泥水は分散剤である二リン酸ナトリウム水溶液に対して、粒子沈降を防ぐNa型ベントナイト(スーパークレイ: (株)ホージュン製, モンモリロナイト含有率 55%)および高比重を維持するための加重材パライト($\rho_s=4.21 \text{ g/cm}^3$)を加えた泥水である。せん断応力の測定には、MCR301 レオメーター (Anton Paar 社製) を使用した。図4および図5は装置概要を示す。超重泥水は含有粒子の最大粒径が約 0.1 mm であるため、粒径の影響を受けないよう測定距離が 0.702 mm となる供軸円筒形の治具を用いた。ポンプ圧送を想定して、測定温度 20 度においてせん断速度を 0.01 s^{-1} から 1000 s^{-1} まで上昇させた後、 1000 s^{-1} から 0.01 s^{-1} まで降下させることで、それぞれ毎秒 120 点の測定を行った。

表1 超重泥水の組成配合

比重 (g/cm ³)	水道水 (g)	Na型ベントナイト (g)	パライト (g)	二リン酸ナトリウム (g)
2.5	100	7	400	0.2
1.8	100	10	140	0.2
1.1	100	12	10	0.2

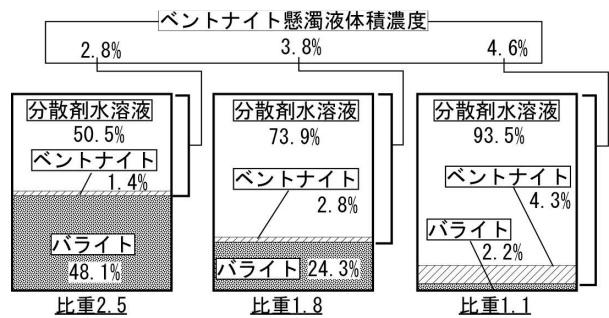


図3 超重泥水の体積割合

3. 降伏応力の算定と粘性発現に関する考察

せん断応力の測定結果を図6に示す。ポンプ圧送を想定した 1000 s^{-1} において、各配合のせん断応力が最大 900 Pa 程度異なることが示された。また、3種類の超重泥水のせん断応力について、以下に述べるように異なる挙動を示した。

図6から、せん断速度上昇時と下降時で 0.01 s^{-1} において異なる応力が示された。速度上昇の初期は材料の内部でも自由水、ベントナイト懸濁液、パライト分散液のように、拘束力が小さい部分から順に運動しており、傾きが変化する点で試料全体が一様に流動しはじめると考えられる。本研究では、この点を降伏点とみなす。また、上昇曲線の直線部分を縦軸



図4 レオメーターの外観

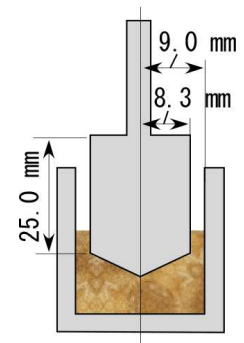


図5 装置寸法

側に延長すると、 0.01 s^{-1} におけるせん断応力が下降時とほぼ同値を示すことから、本研究ではその値を降伏値(Bingham 降伏値²⁾)とした。超重泥水比重 2.5 の降伏値は 90~100 Pa の範囲に存在し、比重 1.1 の降伏値は 10~20 Pa の範囲に存在することが分かる。一方、比重 1.8 の超重泥水は、比重 1.1 よりも固相割合が大きいにも関わらず、せん断応力および降伏値が最も小さいことが明らかとなった。以上の結果から、比重 2.5 および比重 1.1 はともに高い降伏値を有するが、その降伏値に影響を与える因子が異なると考えられる。そこで、各超重泥水における粘性の発現要因を特定するため、以下に述べるように、ベントナイト濃度およびバライト粒子のせん断挙動に起因する粘性特性についてそれぞれ調査した。

ベントナイト濃度の違いによるせん断応力の傾向を把握するため、体積濃度を 3.8 % (比重 1.8) から増加させてベントナイト懸濁液を製作し、せん断応力を測定した。図 7 に示す測定結果から、ベントナイト懸濁液はせん断速度 0.1 s^{-1} 付近において降伏が生じることが分かる。また、ベントナイトの含有割合が多いほど粒子による構造形成が密になるため、大きいせん断応力を示した。

次に、バライト粒子の接触によるせん断応力を調査した。超重泥水中のベントナイト懸濁液体積濃度を一定にするため、超重泥水比重 1.8 の配合においてバライト含有量を 350 g, 300 g, 200 g に変更することで、バライト体積割合 44.5%, 40.7% および 31.4% の分散液とした。測定結果を図 8 に示す。図 8 から、降伏点が 2 箇所に存在することが分かる。 0.1 s^{-1} 以下のとき確認される第 1 降伏点は、図 7 よりベントナイトに起因すると考えられる。バライト体積割合が大きいほど第 1 降伏点が低せん断速度域に存在する理由として、バライト粒子によるせん断応力の増加により、ベントナイトの構造破壊が助長されることが挙げられる。また、 10 s^{-1} 付近の第 2 降伏点はバライト粒子同士の接触に起因する可能性がある。しかし、バライト体積濃度が 31.4% において、第 2 降伏点が存在しないことから、このときバライト粒子同士はほぼ接触しないと判断できる。

以上のように、本研究ではベントナイト懸濁液およびバライト分散液の傾向から、超重泥水に生じる粘度発現について考察した。各材料の特性から、配合ごとにせん断応力を推定することができる可能性が示された。また、超重泥水における粒子の沈降は、バライト粒子によるベントナイト懸濁液のせん断とみなせるため、降伏値の把握は沈降特性把握のための一助となると考えられる。

結論

本研究から、超重泥水のせん断応力について次の結論を得た。

- (1) 超重泥水およびバライト分散液の流動について、せん断速度 0.1 s^{-1} 付近においてベントナイトに起因する降伏点が存在し、 10 s^{-1} 付近においてバライト粒子による降伏点の確認された。
- (2) 本研究に用いた Na 型ベントナイト懸濁液は、ベントナイト体積濃度 3.8% 以上のとき、せん断速度 0.1 s^{-1} において降伏が生じることが示された。
- (3) バライト分散液において、バライト体積濃度が 31.4% のときバライト粒子同士の接触が無くなり、ベントナイトによる降伏点のみ示した。また、バライト含有量が増加することで流体内部におけるせん断が増加し、ベントナイトの粒子構造に関する降伏が低せん断速度域で生じた。

謝辞: 本研究の一部は、文部科学省の採択課題「福島第一原子力発電所構内環境評価・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的な新技術開発と人材育成プログラム(地盤工学会)」の支援により得られたものである。また、測定データは清水建設株式会社・技術研究所において取得したものである。ここに感謝いたします。

【参考文献】 1) 原子力災害対策本部：東京電力(株)福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃炉措置等に向けた中長期ロードマップ, 2015. 2) 村上兼吉：レオロジー基礎論, 産業図書株式会社, pp.67-68, 1991. 3) 日本レオロジー学会：講座・レオロジー, (株)高分子刊行会, pp.17-19, 1992.

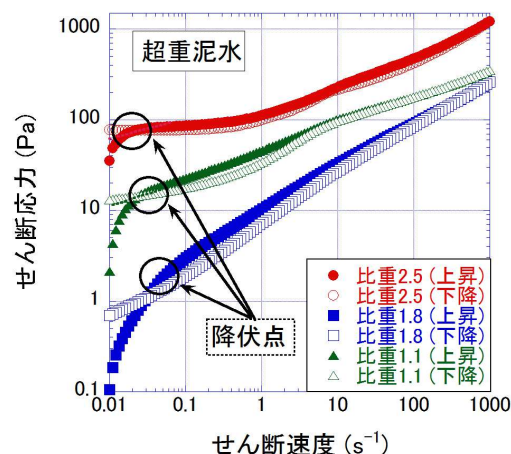


図 6 超重泥水のせん断速度—せん断応力の曲線

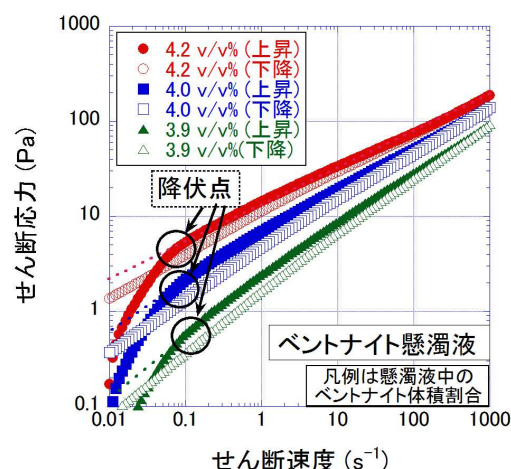


図 7 ベントナイト懸濁液のせん断速度—せん断応力曲線

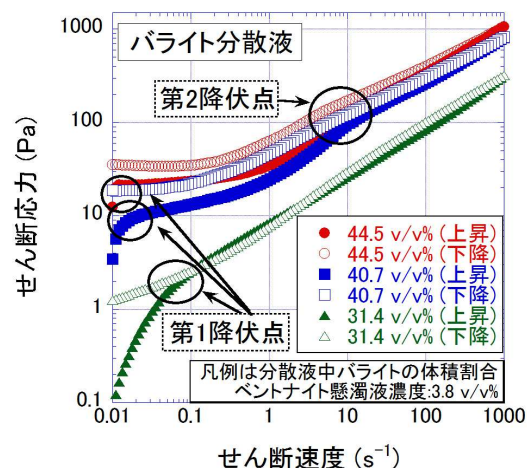


図 8 バライト分散液のせん断速度—せん断応力曲線