

## 水で飽和したベントナイトの粘性挙動に関する研究 —回転型レオメータによる粘度測定—

清水建設(株) 正会員 石井 卓, 岩佐 健吾, ○斉藤 亮,  
中島 均, 桜井 英之, 白石 知成,

### 1. はじめに

放射性廃棄物を埋設処分する際には、長期間の安全性を説明できなければならない。透水性が非常に小さい粘土材料である高密度ベントナイトを廃棄体の周囲に設置することが考えられているが、ベントナイト系の人工バリア材についても1万年～10万年オーダーでの長期変形挙動を予測して安全性を確認しておくことが望ましい。

本報では、ベントナイト系材料の長期粘性挙動を把握する目的で回転型レオメータを用いてベントナイトの粘度を測定した結果について報告する。

### 2. ベントナイトの長期粘性挙動現象の認識

放射性廃棄物の周囲に設置するベントナイト系材料は緩衝材と呼ばれているが、長期的変形挙動と言う観点からは図1に示すように複数の挙動に留意する必要がある。すなわち、①岩盤からの地下水の浸入に伴うベントナイトの吸水膨張によって緩衝材が坑道内へ膨出する現象、②吸水膨潤したベントナイトが割れ目内へ浸入する現象、③廃棄体が沈下して底部のベントナイト材料が移動する現象、である。これらの長期的な挙動について予測評価する際には材料の粘度を把握しておく必要があると考えた。

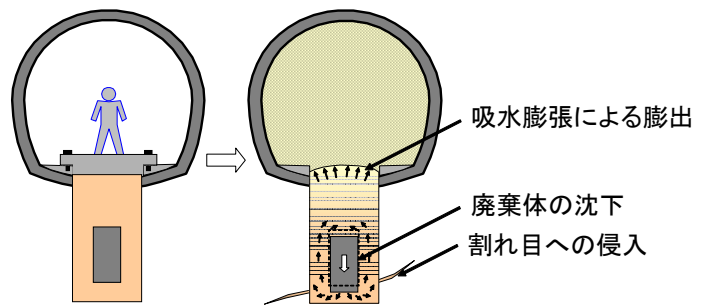


図1 高レベル廃棄物埋設処分概念例および課題

$$\text{せん断速度} \quad : \dot{\gamma} = \frac{V}{h} \quad (1/s)$$

$$\text{せん断応力} \quad : \tau = \frac{2M}{\pi R^3} \quad (\text{Pa})$$

$$\text{粘度} \quad : \eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (\text{Pa} \cdot \text{s})$$

### 3. ベントナイトの粘度測定法

ベントナイトの粘度測定は、粘弾性測定装置「Physica MCR 301」(Anton Paar 社製)を使用した。この測定装置は図2に示すように、任意の厚さで円板状の試験体を平行する円形平行プレートで挟み込み、上部のプレートを一定方向に回転させ、プレート回転軸のトルクを測定し、図2に示す式よりせん断変形させたときに生じるせん断応力値からせん断粘度を測定する装置である。

測定モードにはひずみ分散測定と時間分散測定の2種類がある。前者の測定は回転せん断ひずみ速度を $1\text{E}-5(1/\text{s})$ から徐々に増大させながら連続的に粘度の変化を測定する方法である。この測定法は、高密度の材料には適用しにくく、かつ $1\text{E}-5(1/\text{s})$ よりも小さいひずみ速度条件で測定する場合には適用しにくいので、後者の測定法、すなわち一定のせん断ひずみ速度で長時間継続して測定し、粘度の値が収束するまで観測を続ける方法を適用した。

なお試験体の材料には山形産ベントナイト“クニゲルV1”を使用した。

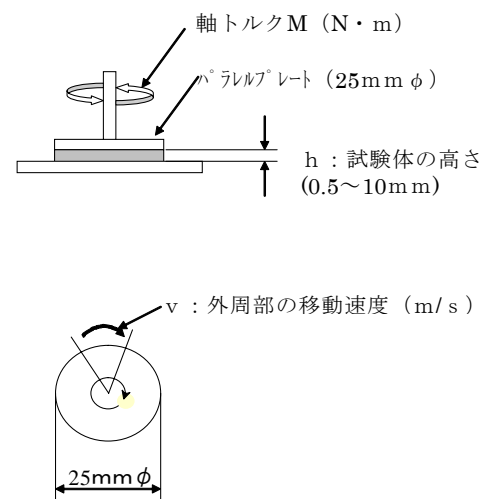


図2 粘弾性測定装置の概念図<sup>1)</sup>

キーワード 粘性挙動, せん断粘度, せん断ひずみ速度, ひずみ分散, 時間分散

連絡先 〒160-0004 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL 03-3820-5504

4. 回転型レオメータによるベントナイト粘度測定結果

図3は水で飽和させた乾燥密度0.1~1.2Mg/m<sup>3</sup>相当の湿潤ベントナイトをせん断ひずみ速度1E-5~1E+1(1/s)の範囲でひずみ分散粘度測定した結果である。ベントナイトはせん断ひずみ速度によって粘度が変化する非ニュートン流体特性を呈する。図4は小さいせん断ひずみ速度において時間分散粘度測定した結果である。この結果よりこの測定機によるベントナイトの粘度測定において以下のことが分かった。

- ①試験体の厚さを装置の容器の限界となる7mmにして測定を試みたが、せん断ひずみ速度1E-8(1/s)の条件を維持することは、この試験装置の制御の能力を超えており適用不可能であった。図4にはせん断ひずみ速度1E-7(1/s)の測定値も示したが安定性に若干欠ける値を示した。1E-6(1/s)の条件では安定した値を測定できた。
- ②メーカー側よれば、この測定機で普通に測定できる粘度は $\eta=1E+9Pa\cdot s$ までであるが、試験体の厚さを5mm以上にすることによって $\eta=1E+10Pa\cdot s$ まで測定できた。
- ③ $\rho_{dB}=1.0Mg/m^3$ 以上の試験体では回転プレートと試験体との間においてすべりが起きている兆候が観測された。すべりが生じなければより大きな粘度となった可能性がある。

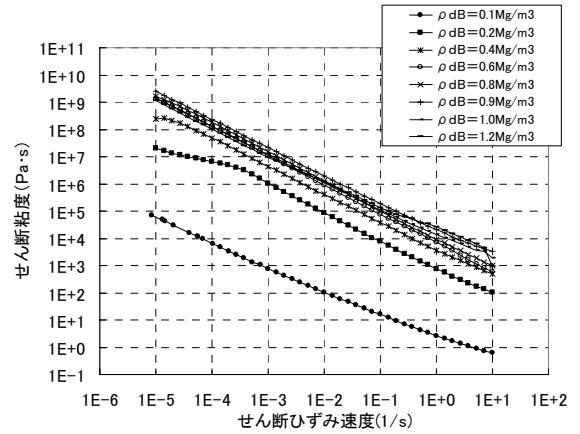


図3 ひずみ分散粘度測定結果

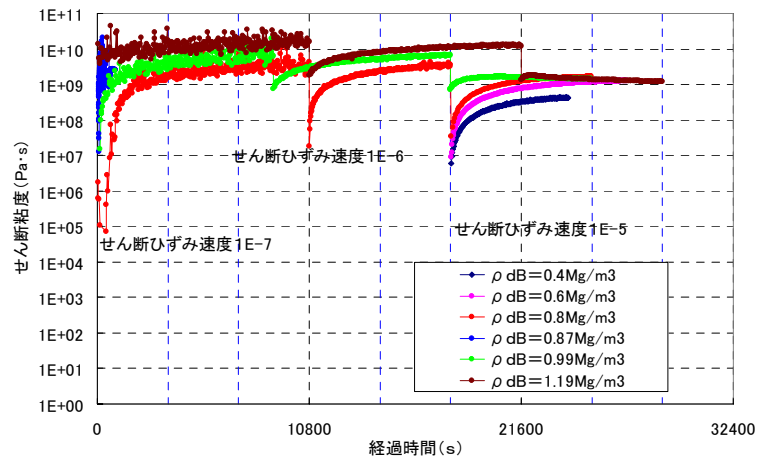


図4 時間分散粘度測定結果

5. まとめ

せん断ひずみ速度1E-5(1/s)の条件における粘度測定結果とベントナイトの密度との関係を図5にまとめた。密度0.9Mg/m<sup>3</sup>を超える条件では調和的でない値を呈している。回転プレートと材料の間にすべりが生じた可能性を示唆している。別途測定した図4の値を図5に示した。せん断ひずみ速度1E-7~1E-6(1/s)の条件では、密度が大きくなると粘度は大きくなる傾向が把握できた。ただし、回転プレートと材料の間のすべりの可能性があるので( )印を付した。実際の現象では、廃棄体とベントナイトの密度差がドライビングフォースとなり、せん断応力が生じ、せん断変形が始まる。そこで、図5の測定の際に測定したせん断応力を図6に示した。材料に生じているせん断応力は、0.5kPa~30kPaに相当していたことが分かる。

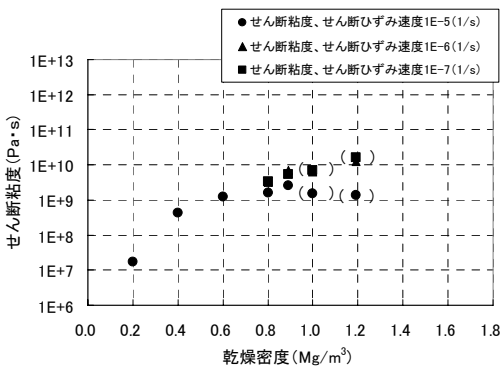


図5 せん断粘度と乾燥密度の関係グラフ

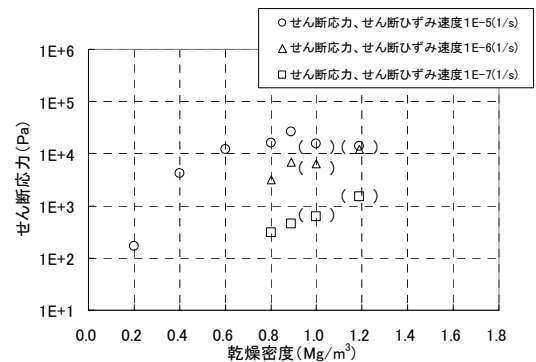


図6 せん断応力と乾燥密度の関係グラフ

参考文献

1) 講座レオロジー 日本レオロジー学会 pp47-52