

## ベントナイト系材料の熱伝導率の密度依存性に関する試験 ー加熱型光ファイバケーブルの密度計測への適用に向けてー

(株)大林組 正会員 ○志村 友行, 山本 修一, 松田 武, 西村 政展  
(一財)電力中央研究所 正会員 渡邊 保貴

### 1. はじめに

放射性廃棄物処分場の人工バリアでは、緩衝材や埋め戻し材の材料として、ベントナイト系材料の適用が検討されている。人工バリアの品質保証の観点からはベントナイト系材料の定置時の密度や定置後の状態変化の把握、評価手法の確立が重要である。特に、状態変化の確認においては長期間の挙動の計測・評価が必須であり、長期にわたり計測可能なモニタリング技術の開発が課題となっている。

このような課題の解決に向け、筆者らは加熱型光ファイバケーブルを熱伝導率計として用いることにより、密度と熱伝導率との相関からベントナイト系材料の施工時の密度を計測する技術を研究開発中である<sup>1)</sup>。技術の実現に向けては対象材料の密度ー熱伝導率の相関関係が密度計測に対して十分な感度を有するかどうか、さらには、その適用範囲を確認する必要がある。本論では、ベントナイト系材料の熱伝導率の密度依存性の把握を目的として実施した、ベントナイト系材料の熱伝導率に関する基礎的試験とその結果について述べる。

### 2. 試験方法と試験対象

試験における熱伝導率の測定は、既往の研究<sup>2)</sup>でも用いられている迅速熱伝導率計 (QTM; Quick Thermal Conductivity Meter, 京都電子工業(株), 図-1) を用いた。迅速熱伝導率計は、非定常熱線法の一つであるプローブ法の原理を利用した測定器で、熱伝導率の算定は以下の式によっている<sup>3)</sup>。

$$\lambda = K \cdot R \cdot I^2 \cdot \ln(t_2/t_1) / (T_2 - T_1) - H \quad \text{式-1}$$

- $\lambda$  : 熱伝導率 (W/mK)
- $K, H$  : プローブ定数
- $R$  : プローブヒータの電気抵抗 ( $\Omega/m$ )
- $I$  : ヒータ電流 (A)
- $t_1, t_2$  : 加熱開始後の時間 (s)
- $T_1, T_2$  :  $t_1, t_2$  における温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )



図-1 迅速熱伝導率計

測定対象のベントナイト系材料は、クニゲル V1 の単体 (含水比  $w=7.7\%$ ) とし、供試体は円筒形モールド ( $\phi 150\text{mm} \times h 125\text{mm}$ ) 内に、乾燥密度  $\rho_d = 1.0, 1.2, 1.35, 1.45 \text{ Mg/m}^3$  で、高さ  $H=30\text{mm}$  となるよう静的締固めにより製作した。供試体は各密度に対して 3 体製作し、それぞれについて熱伝導率を測定した (図-2)。熱伝導率の測定は、同一試料に対して 2 回実施した ( $\rho_d=1.0 \text{ Mg/m}^3$  供試体を除く)。なお、測定は室温  $25^{\circ}\text{C}$  の恒温室内で実施した。

### 3. 試験結果

ベントナイト供試体の熱伝導率の測定における 1 回の測定時間は加熱線に電流を与えてから 1 分程度であり、測定中の温度上昇は最大



図-2 熱伝導率の測定状況

キーワード 放射性廃棄物処分, ベントナイト, 熱伝導率, 密度計測, 光ファイバ

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 原子力本部原子力環境技術部 TEL 03-5769-1309

で 20℃程度であった。試験結果として、各乾燥密度に対する熱伝導率の測定結果を整理して表-1に示す。また、乾燥密度と熱伝導率の関係を整理した結果を図-3に示す。図中、測定結果は◇でプロットしており、測定結果に対する近似式を破線で併記した。測定されたベントナイト供試体の熱伝導率 ( $\lambda$ ) は概ね 0.2~0.5

W/mK の範囲に分布し、乾燥密度の増加に伴い大きくなり、乾燥密度ごとにほぼ同等の値を示した。同一の乾燥密度における各試料の熱伝導率の測定結果の平均値に対する測定値のバラつきは-3.2~+3.6%と、十分に小さい結果が得られた。

既往の研究<sup>2)</sup>では、迅速熱伝導率計で取得された熱伝導率に基づき、クニゲル V1 単体の乾燥密度  $\rho_d = 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0 \text{ Mg/m}^3$  における熱伝導率と含水比の関係が3次曲線近似で示されており、 $\rho_d = 1.0, 1.2, 1.4 \text{ Mg/m}^3$ 、含水比  $w=7.7\%$  に対する熱伝導率の算定値を図中◇のプロットで示した。本試験の測定結果は、既往の研究結果に基づく熱伝導率の算定値と良好な整合性を示している。

#### 4. まとめと今後の課題

迅速熱伝導率計を用いたクニゲル V1 単体を対象とした熱伝導率の測定試験の結果、一連の計測結果は、同一密度の3試料間のばらつきも小さく、乾燥密度と熱伝導率の関係がきれいに整理できる結果を得た。緩衝材としてベントナイト系材料に対して求められる性能を達成しうる乾燥密度は有効粘土密度で  $1.36 \text{ Mg/m}^3$  程度である。今回の試験はクニゲル V1 単体（乾燥密度=有効粘土密度）を対象としており、乾燥密度  $1.36 \text{ Mg/m}^3$  付近において熱伝導率の測定結果は、密度計測に対して十分な相関関係を示していると言える。したがって、クニゲル V1 単体に対しては熱伝導率を施工時の密度計測の指標として用いることが可能であり、加熱型光ファイバによる熱伝導率の測定結果を密度管理に適用することについても、その有用性が示されたと考える。

今回の試験が単体のベントナイトを対象としている一方で、実際の人工バリアでは、緩衝材には珪砂混合ベントナイトの適用が、埋め戻し材には粒状ベントナイトや吹付ベントナイトの適用が検討されている。既往の研究<sup>2)</sup>では、熱伝導率は対象材料の含水比に依存することや、ベントナイトへの珪砂混合率が熱伝導率に影響を及ぼすことも示されている。適用可能な材料や、加熱型光ファイバによる熱伝導率計測に基づく密度評価に影響を及ぼす因子の評価については今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 榊敏博, Berrak Firat-Lüthi, Tobias Vogt, 丹生屋純夫, 西村政展, 鶴山雅夫 (2017), 光ファイバ熱伝導率計の計測範囲の実験的評価, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017.
- 2) 谷口航, 鈴木英明, 杉野弘幸, 松本一浩, 千々松正和, 柴田雅博 (1999), 熱的特性の緩衝材仕様に対する影響 (研究報告), 核燃料サイクル機構, JNC TN8400 99-052.
- 3) 多田井修, 林為人, 谷川亘, 廣瀬丈洋, 坂口真澄 (2009), 掘削試料の非定常細線加熱法による熱伝導率測定の高精度化に向けた実験, JAMSTEC Report of Research and Development, Vol.9 No.2, 2009.

表-1 測定結果の一覧

| 乾燥密度: $\rho_d(\text{Mg/m}^3)$ |     | 1.00   | 1.20   | 1.35   | 1.45   |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|
| 熱伝導: $\lambda$<br>(W/mK)      | 平均値 | 0.1887 | 0.2876 | 0.4189 | 0.5081 |
|                               | 最大値 | 0.1910 | 0.2979 | 0.4267 | 0.5159 |
|                               | 最小値 | 0.1852 | 0.2785 | 0.4074 | 0.4989 |
| バラつき<br>(%)                   | 最大  | 1.22   | 3.59   | 1.87   | 1.53   |
|                               | 最小  | -1.85  | -3.15  | -2.74  | -1.81  |
| 試料数                           |     | 3      | 3      | 3      | 3      |
| 測定点数                          |     | 3      | 6      | 6      | 6      |

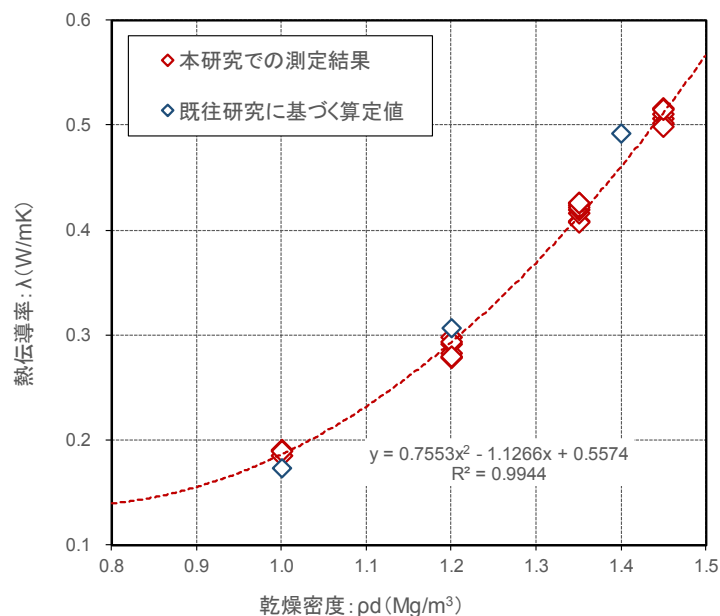


図-3 クニゲル V1 単体の乾燥密度-熱伝導率の関係