

一次元的な熱移動を制御した熱伝導率測定方法による Na型ベントナイトの熱伝導率の測定

早稲田大学 学生会員 ○金田 舜, 伊藤 大知
早稲田大学 正会員 小峯 秀雄, 王 海龍, フェロー会員 後藤 茂

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分において緩衝材としてベントナイトを用いることが極めて有力である。しかし、廃棄体からの崩壊熱によりベントナイトの有する機能の低下が懸念されるため、ベントナイトの熱的性質に関する研究が進められている。既往の研究^{1),2)}では非定常法に分類される方法により測定が行われているが、熱の一次元的な移動の際に成り立つ基本原理に則した測定法に関する研究は少ない。そのため、より信頼性のあるデータ取得には、熱の一次元的な移動の際に成り立つフーリエの法則を原理とした測定が必要である。そこで、本研究では熱の一次元的な移動を制御し、フーリエの法則に則した測定方法によりNa型ベントナイトの熱伝導率の測定を行う。

2. 使用したベントナイトの基本的性質および供試体の作製方法

本研究では、クニミネ工業製のNa型ベントナイトのクニゲルV1(以降、KV1)を使用した。表1に基本的性質を示す。モンモリロナイト含有率は純ベントナイトのメチレンブルー吸着量を基準に、各ベントナイトのメチレンブルー吸着量から算出した。供試体は静的締固め装置を用いて、直径約60mm、高さ約40mmを目標として作製した。また目標乾燥密度を1.6g/cm³および1.8g/cm³とした。含水比は自然含水比(8.75%および9.28%)とし、これを測定前の含水比とした。供試体作製後、実際の質量、直径、高さを測定して実際の乾燥密度を求めた。

表1 使用したベントナイトの基本的性質

ベントナイトの名称	KV1
タイプ	Na型
土粒子の密度(g/cm ³)	2.81
液性限界(%)	476.9
塑性限界(%)	29.2
モンモリロナイト含有率(%)	51

3. 熱伝導率測定方法の概要

本研究では図1に示す熱伝導率測定装置を製作し、KV1に関して熱伝導率の測定を行った。本測定方法(以降、直接温度法)では、図1に示すように供試体の下部に40°Cに設定したホットプレートを設置し、供試体上部には発泡スチロールを載せ、供試体と与える温度勾配が一定になるようにする。また、図2に示すように供試体に直径約6mmの穴をあけ、そ

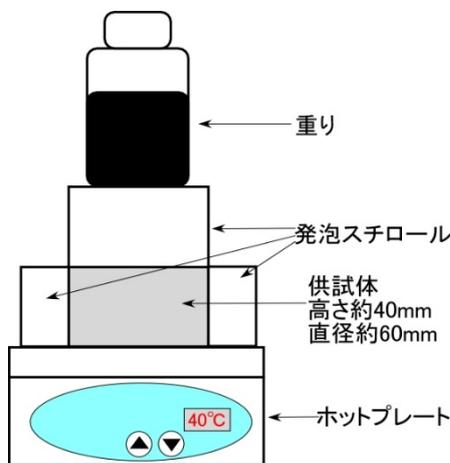


図1 直接温度法の概要

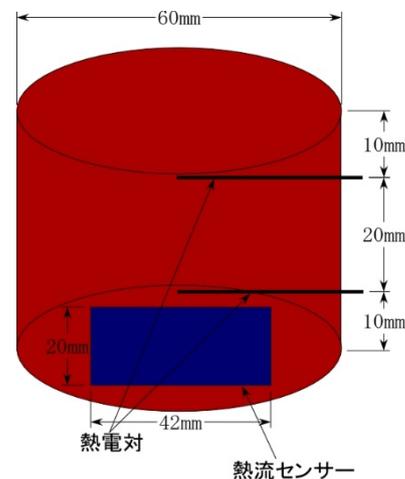


図2 供試体の概要

の穴に熱電対を差し込んで供試体内部の温度を測定する。その際、供試体の穴と熱電対のすき間には供試体と同じKV1を充填した。直接温度法では、熱の一次元的な移動の際に成り立つフーリエの法則を測定原理とし、供試体底面に設置した熱流計より、供試体に伝わった熱流を測定し、式(1)より熱伝導率の算出を行う。

$$Q = \lambda \times \frac{\Delta T}{\Delta h} \times S \quad (1)$$

ここに、 Q : 熱流(W), λ : 熱伝導率(W・m⁻¹・K⁻¹), $\frac{\Delta T}{\Delta h}$: 温度勾配(K/m), S : 面積(m²)である。

キーワード ベントナイト 放射性廃棄物処分 直接温度法 熱伝導率

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

また、測定の際には熱の一次元的な移動により近づけるために、供試体の側面を図3に示すように発泡スチロール(縦約10cm, 横約10cm, 高さ約4cm)とグラスウールで覆い、側面断熱状態にした。

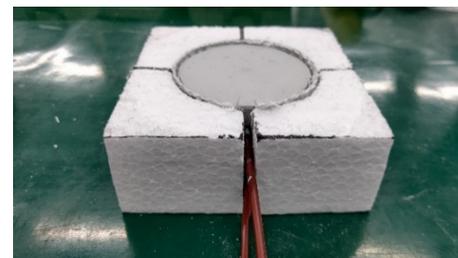


図3 側面断熱の様子

4. 測定結果および考察

表2は本研究で得られた熱伝導率の測定結果である。図4, 図5に同含水比における熱伝導率と乾燥密度の関係について既往の研究^{1),2)}と比較したものを示す。既往の研究では、乾燥密度1.6 g/cm³, 1.8 g/cm³に関して、熱伝導率を含水比の関数として定式化を行っている。そのため、比較の際には以下の式(2)~(4)に本研究で用いた供試体の測定前の含水比を代入した値を既往の研究値とした。また、測定前後の含水比減少量と乾燥密度の関係を図6に示す。

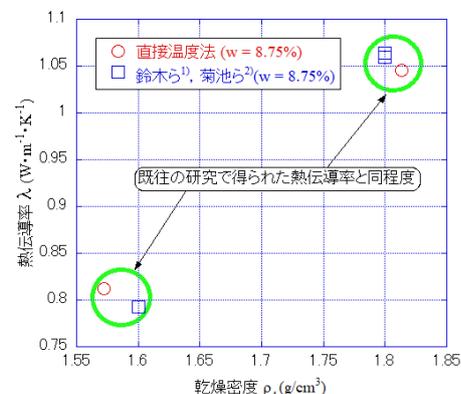


図4 熱伝導率と乾燥密度の関係における既往の研究値との比較 (含水比8.75%)

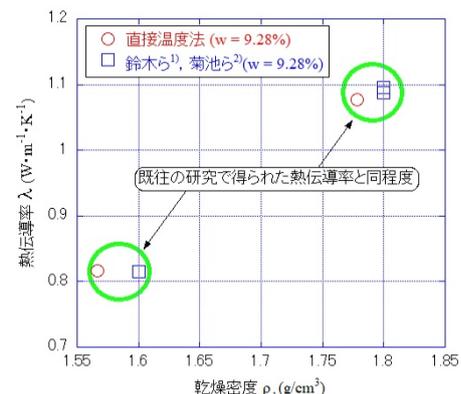


図5 熱伝導率と乾燥密度の関係における既往の研究値との比較 (含水比9.28%)

・乾燥密度 1.8 g/cm³

$$\lambda = 5.187 \times 10^{-1} + 6.0002 \times 10^{-2} \times \omega + 9.7576 \times 10^{-4} \times \omega^2 - 8.002 \times 10^{-5} \times \omega^3 \quad (2)$$

$$\lambda = 0.5470 + 0.0647 \times \omega - 0.0007 \times \omega^2 \quad (3)$$

・乾燥密度 1.6 g/cm³

$$\lambda = 0.3885 + 0.0479 \times \omega - 0.0002 \times \omega^2 \quad (4)$$

ここに、λ: 熱伝導率(W・m⁻¹・K⁻¹), ω: 含水比(%)である。

表2 熱伝導率の測定結果

試料の種類	乾燥密度 (g/cm ³)	測定前の含水比 (%)	測定後の含水比 (%)	熱伝導率 (W・m ⁻¹ ・K ⁻¹)
KV1	1.81	8.75	8.69	1.05
	1.57	8.75	8.68	0.812
	1.78	9.28	9.08	1.08
	1.57	9.28	9.07	0.816

図4, 5より含水比が8.75%および9.28%ともに、同程度の乾燥密度において、本研究では既往の研究と同程度の熱伝導率が得られた。また、図6より直接温度法において、測定前の含水比が大きいほど測定前後の含水比減少量も大きくなることが分かった。これより、測定前の含水比が大きいほど、水分の減少による熱損失の影響が大きく、信頼性が低下すると考えられる。そのため、直接温度法による熱伝導率の測定では、測定前の含水比が小さい方がより信頼性のある結果を得られると推察される。

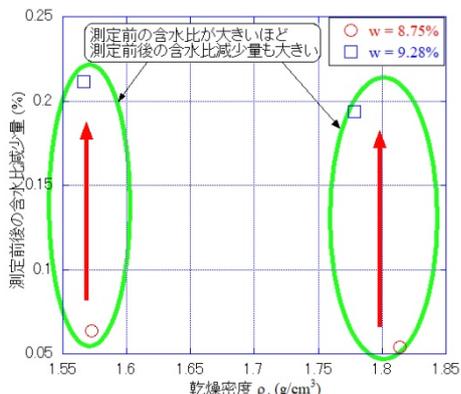


図6 測定前後の含水比減少量と乾燥密度の関係

5. まとめ

- 1) 同程度の含水比および乾燥密度において、本研究では既往の研究と同程度の熱伝導率が得られた。
- 2) 直接温度法による熱伝導率の測定では、測定前の含水比が大きいほど測定前後の含水比減少量も大きいことから、測定前の含水比が小さい方が水分の減少による熱損失の影響が小さいため、より信頼性のある結果を得られると推察される。

参考文献

1)鈴木英明, 谷口航: 緩衝材の熱的性質試験(II), 核燃料サイクル開発機構, JNC TN8430 99-00, pp1-30, 1999.03.2)菊池広人, 棚井憲治: 緩衝材の熱物性値測定試験(III) —一面熱源法による緩衝材物性値の取得—, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN8430 2003-009, 2003.