

すきま充填材としてのベントナイト特性に関する研究 (その2)

- すきま充填材の熱物性値評価 -

日揮株式会社 正 ○竹ヶ原竜大¹ 正 高尾肇

基礎地盤コンサルタンツ(株) 正 佐藤由子 正 和田英孝 正 荒岡邦明 中嶋幸房

東北大学大学院 幾世橋広

東京電力(株) 植田浩義 正 木元崇宏

1.はじめに

高レベル放射性廃棄物処分において、廃棄体を処分孔に定置する場合、廃棄体と緩衝材の間および緩衝材と処分孔の間に施工上のすきまが生じる場合があると考えられる。既往の報告¹⁾では、すきまの存在が緩衝材の熱的安定性に及ぼす影響について検討を行っており、ベントナイトが鉱物学的変質を起こさない温度上限値を設定した上で、すきまを残存させる場合とすきまに充填材を充填した場合の緩衝材内温度分布の比較が行われている。そこでの検討結果では、緩衝材の最高温度を上限値以下に抑えるために必要な廃棄体定置間隔には両者の間で差が生じている。このことは、廃棄体定置間隔を考慮して検討する処分場施設の設計に対しては、すきまの処理方法とその充填材の熱特性の評価が必要であり、適正なすきま処理を行うことにより処分場施設規模の縮小が図られ、処分費用低減につながる可能性を示唆している。しかし、これまでにすきま充填材について詳細な検討は行われていなかった。本報告ではすきま充填材の熱特性値(熱伝導率、比熱)を取得した結果および熱伝導率について三相系有効熱伝導率の相関式を用いた計算値と実測値の比較検討結果を述べる。

2.試験材料

試験材料としてベントナイトおよび珪砂を使用した。ベントナイトには、粉状のクニゲル V1(クニミネ工業(株)製)および粒状ベントナイト(粒径1.7mm, 1.7-4.5mm, 4.5-10mm の3種類、以後、それぞれ、粒状(小)、粒状(中)、粒状(大)とする)を用いた。珪砂には、三河珪砂 6号(株)三栄シリカ製)および混合珪砂(三河珪砂 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8号を等重量ずつ混合したもの)を用いた。図1に材料の粒径加積曲線を示す。粒状ベントナイトの均等係数は粒径が小さい順に、12.25, 1.95, 1.61 となっており、粒状(小)が良配合となっている。珪砂については6号に比べ混合珪砂の方が良配合となっている。

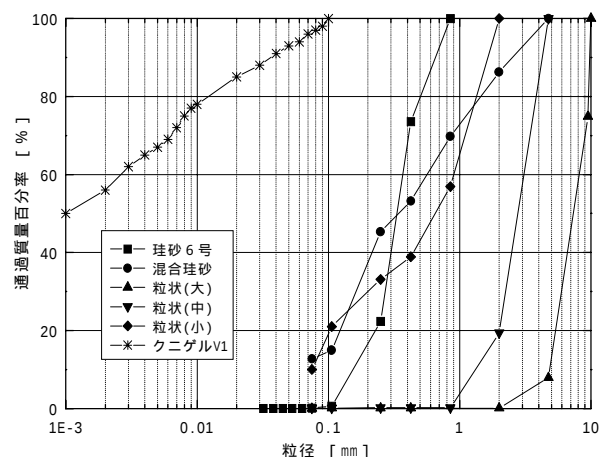


図1 粒径加積曲線

表1 試験条件

3.試験方法

本試験では、すきま充填材の熱伝導率および比熱を取得した。ただし、比熱については熱伝導率、熱拡散率、および試料の密度測定結果から間接的に求めた。熱伝導率の測定は非定常細線加熱法の一つであるプローブ法により、熱拡散率は定速昇温法により測定した。プローブ法とは中心の発熱体から単位時間単位長さ一定の熱量を発生させ、プローブ表面の温度の非定常変化を測定する方法であり、材料の温度を一樣にした後、発熱線に一定の電力を供給した時の発熱線の温度変化から熱伝導率を測定する方法である。定速昇温法とは試料の温度を上昇させる過程における試料の温度変化から熱拡散率を求める方法である。試験条件を表1に示す。熱伝導率および熱拡散率の測定原理等

試料名	試験温度 [°C]		密度 [kg/m³]	含水比 [%]
	熱伝導率	熱拡散率		
混合珪砂	15, 30, 45, 60, 75, 90	15→45 30→60 45→75 60→90	1665	0.07
三河珪砂6号			1350	0.04
クニゲルV1			814	6.91
粒状ベントナイト (<φ1.7mm)			1270	8.41
粒状ベントナイト (φ1.7~4.5mm)			1171	9.19
粒状ベントナイト (φ4.5~10mm)			1105	5.71

キーワード：すきま、熱伝導率、熱拡散率、比熱、三相系有効熱伝導率の相関式

¹ 連絡先：日揮株式会社 第2事業本部 PMT4部 〒220-6001 横浜市西区みなとみらい2-3-1

TEL：045-682-8385 FAX：045-682-8812 E-MAIL：takegahara.tatsuhiko@jgc.co.jp

の詳細については文献²⁾を参考にさせていただきたい。熱伝導率および熱拡散率は同一の装置で測定した。試験装置は、プローブ、温度センサー、試料容器、ウォーターバス、および記録装置で構成される。プローブには、市販のカートリッジヒーターに熱電対を接着したものを用いた。試料容器は、試料の最大粒径が10mmであることを考慮して内径がφ300mmの鉄製モールドを使用した。試料はモールドの底から460mmの高さまで充填し上部を50mmの断熱材で覆った。ウォーターバスにはドラム缶を用い、外側は断熱材を巻きつけた。測定項目は時間、プローブ温度、試料温度、周囲温度、投入電力等であり、すべてのデータはパソコンにより記録した。

表2 試験結果一覧

4.試験結果および考察

熱伝導率はベントナイトについては粒状ベントナイトがクニゲルV1の約2倍の値となり、珪砂については粒混合珪砂が6号ケイの約1.5倍の値となった。この理由は、粒状ベントナイトの密度、約1200kg/m³に対しクニゲルV1の密度が800kg/m³、混合珪砂の密度1665 kg/m³に対し6号珪砂の密度が1350kg/m³であることから、試料密度の違いによる差であると考えられる。以上のことから、すきま充填材料に粒度分布の良い材料を用いることにより充填密度が大きくなり熱伝導率を高くできることが示唆される。また、熱伝導率は各試料とも試料温度の上昇とともに大きくなる傾向を示した。熱拡散率の測定結果については、温度依存性は小さくほぼ一定の値であった。表2に測定結果の一覧を示す。

今後、処分場の実設計に向けて多くの概略設計が実施されることが想定される。その際、ベントナイトの諸特性について、材料仕様の違いを考慮できる一般化された評価式が存在すれば、設計の信頼度が増すと考えられる。ここでは、Kiyohashi et. al²⁾の報告を参考に、三相系有効熱伝導率の相関式を用いたベントナイトの熱伝導率の計算結果と実測値との比較検討を行った。この関係式により、ある水分含水状態における岩石の有効熱伝導率が既知であれば、任意の水分含水状態、空隙率における有効熱伝導率を算出できる。三相系有効熱伝導率の相関式を(1)式に示す。

試料名	密度 [kg/m ³]	含水比	試料温度 []	熱伝導率 [W/m・K]	熱拡散率 [m ² /sec]	比熱 [kJ/kg・K]
混合珪砂	1671	0.07	20.7	0.373	1.78 × 10 ⁻⁶	0.13
			33.7	0.371		0.12
			49.1	0.404		0.14
			65.0	0.370		0.12
			78.4	0.416		0.14
			91.7	0.422		0.14
粒状ベントナイト (< φ 1.7mm)	1270	8.41	35.7	0.274	1.67 × 10 ⁻⁶	0.13
			41.8	0.303		0.14
			54.6	0.303		0.14
			68.7	0.317		0.15
			81.5	0.329		0.16
			97.8	0.378		0.18
粒状ベントナイト (φ 1.7 ~ 4.5mm)	1171	9.19	25.8	0.238	1.88 × 10 ⁻⁶	0.11
			42.2	0.316		0.14
			54.7	0.278		0.13
			65.6	0.282		0.13
			78.7	0.300		0.14
			90.9	0.306		0.14
粒状ベントナイト (φ 4.5 ~ 10mm)	1105	5.71	32.9	0.260	1.91 × 10 ⁻⁶	0.12
			47.4	0.252		0.12
			60.5	0.260		0.12
			75.0	0.317		0.15
			85.3	0.291		0.14
			97.3	0.274		0.13
クニゲル V 1	814	6.91	34.5	0.118	1.55 × 10 ⁻⁶	0.09
			49.9	0.125		0.10
			61.8	0.135		0.11
			74.3	0.135		0.11
			85.5	0.143		0.11
			103.4	0.170		0.14
三河珪砂 6 号	1350	0.04	17.1	0.223	1.58 × 10 ⁻⁶	0.10
			36.7	0.217		0.10
			50.7	0.226		0.11
			65.0	0.244		0.11
			79.8	0.238		0.11
			92.0	0.248		0.12

$$\lambda_e = (1/\phi)^{[\phi_A/(\phi_A+\phi_W)]} [\lambda_s \phi_s + \lambda_w (1-\phi_s)]^{\phi_s} \lambda_w^{\phi_w} \lambda_A^{\phi_A}, \quad (0.05 \leq \Phi \leq 0.51) \tag{1}$$

ここで、λ_A, λ_S, λ_W はそれぞれ、空気、固相、水の熱伝導率、φ_A, φ_S, φ_W およびΦ はそれぞれ、気相率、固相率、液相率、空隙率である。計算値と実測値を比較すると、計算値の方が実測値に比べて大きくなっており、その程度はクニゲルの場合で約3倍、粒状ベントナイトの場合で約2倍であった。この理由として、今回の試験条件では、空隙の割合が大きいために粒子に含まれる水分が気相中へと移動しやすくなり、その結果有効熱伝導率が小さくなったものと考えられる。このことは、熱伝導率測定中の湿度計の指示値が温度の上昇とともに大きくなっていることから推測される。熱伝導率の測定においては、材料中の水分が測定結果に大きく影響を及ぼす。今回測定したような空隙率の大きい材料では、測定中に試料中の水分量の変化が比較的容易に生ずると考えられる。したがって、三相系の有効熱伝導率の評価式を空隙率の大きい土質材料に適用する際には、水分の移動を考慮する必要がある、今後さらに多くのパラメータについての計測が必要であると考えられる。本研究は電力10社による電力共通研究にて実施した成果の一部である。

参考文献

1) 高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術：(財)電力中央研究所，電気事業連合会，7.4.3-1～16 頁，平成 11 年 3 月
2) Kiyohashi et al., Effective thermal conductivity of compact bentonite as a buffer material for high level radioactive waste, High Temperatures-High pressures, 1995/1996, Vol.27/28, p.p.653-663