シラスのろ過特性*

Filtration Characteristics of Shirasu

安部 英一** 広末 英晴** 横田 章**
Eiichi Abe Hideharu Hirose Akira Yokota

1. 緒言

シラスは南九州に広く分布する、酸性火山噴出物の一種であり、その鉱物組成は、火山ガラスが60~80wt%, 40~20wt%が石英、長石、紫蘇輝石、磁鉄鉱などの結晶鉱物である¹⁾。

すでに著者らは、シラスの多孔質、不規則形状に着目した、“シラス利用による余剰汚泥処理法”について報告した²⁾。

本報では、シラスをろ過助剤あるいはろ過材として利用する見地から、そのろ過特性を定量的には握ることを目的として、シラスの圧縮透過実験、充てん実験、および空気透過法による比表面積の測定を行ない、空隙率、部分比抵抗、表面係数の面から従来のろ過助剤、ろ過材と比較検討した。

2. 実験供試料

実験には、鹿児島県鹿屋市古江町産の上層シラス¹⁾を原鉱として、ろ過助剤、ろ過材などの目的にそって Fig. 1

Fig. 1 Flow sheet of preparing samples

昭和51年7月13日受理

* 粉体工学研究会昭和51年度春期例会にて発表(1976年6月大阪)

** 九州工業技術試験所(〒841 鳥栖市宿町)

TEL 09428-2-5161

に示すように調整したシラス A, B, Cを用いた。

賦存状態のシラス——自然粒と呼ぶ——と粉碎したシラス——粉碎粒と呼ぶ——との差を検討するために、最初に原鉱を1190μでフルイ分け、オーバーサイズは、ディスク・クラッシャーにて1190μ以下に粉碎した。またシラス中の結晶鉱物は、著者らが着目する多孔質、不規則な形状、小密度などの性質を、もたないので、これらはテーブル選鉱機を用いて分離した。分離されたガラス質のうち、自然粒については、縮分して一部をさらに磁製ボールミルにて44μ以下に粉碎し、残りの自然粒と粉碎粒のガラス質は1190μから37μまでの粒度範囲内を840μ, 590μ, 420μ, 297μ, 210μ, 149μ, 105μ, 74μ, 53μにおいてフルイ分け、10段階に整粒した。

自然粒のうち、44μ以下に粉碎されたものをシラス A 1190~37μに整粒されたものをシラスB, 粉碎粒で1190~37μに整粒されたものをシラスCと呼ぶ。

シラスAは、その粒度範囲から、ろ過助剤として検討するために用い、比較試料として、Table 1に示される粒度分布をもつトブコパーライト No. 31を用いた。ただし、パーライト中の水中浮遊分は除き、粒度分布測定はアンドレアゼンピペットによった。なお、シラスAは、あらかじめ湿式分級により5段階に分級し、それらをTable 1のパーライトの粒度分布に等しくなるように再調合した。空気比較式比重計によるシラスAの密度は、2.39g/cm³、パーライトの密度は2.13g/cm³であった。

Table 1 Particle size distribution of Perlite filter aid

Stokes'dia. by Andreasen's Pippett	wt%
larger than	40μ : 1.8
〃	20μ : 22.2
〃	10μ : 61.8
〃	5μ : 91.4
〃	3μ : 95.8

シラス B, C はろ過材として検討するために用い、比較試料として、シラス B, C と同じフルイ目開きで整粒されたガラス球、標準砂、川砂（雲母を除去するために 10000 gauss において磁選）を用いた。

3. 圧縮透過実験

ろ過助剤としての検討をするために、シラス A と比較試料のパーライトについて、三分一らと同様な方法により³⁾、圧縮透過実験を行なった。

3.1 実験装置および方法

Fig. 2 に装置の全体図を、Fig. 3 に圧縮透過セルの詳細図を示す。

蒸留水に試料を分散させたスラリーを、生成ケーキ厚さが 5 mm 程度になるように^{4, 5)}、圧縮透過セルに注入し、ピストンをそう入する。一定の荷重を加えると両面から排水が行なわれケーキが生成する。圧縮平衡に達し

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus for compression permeability test

Fig. 3 Compression permeability cell

たケースについて、その厚さをダイヤルゲージにより測定し、(1)式より圧縮ケーキ層の平衡空隙率 ϵ_x を計算した。

$$\epsilon_x = 1 - \frac{w}{\rho_s l} \quad \dots\dots(1)$$

続いて、圧縮平衡に達しているケーキ層について透水実験を行ない、(2)式で表わされる Ruth^{5, 7)} の定義に基づき、ケーキの部分比抵抗 α_x を求めた³⁾。

$$\alpha_x = \frac{A \rho \theta g}{a w \mu \ln(h_1/h_2)} - \frac{R_m}{w} \quad \dots\dots(2)$$

本実験におけるスラリー濃度は、重量濃度でシラス A が 0.257, パーライトが 0.059 であった。

3.2 実験結果および考察

実験結果を Fig. 4~Fig. 7 に示す。図中の ϵ_i は圧縮圧力零に対応する平衡空隙率であり、同じく α_i は圧縮圧力零に対応する部分比抵抗である。

Fig. 6, Fig. 7 は Fig. 4, Fig. 5 に示した実験結果を新たに $\log(\epsilon_i - \epsilon_x)$ vs $\log p_s$, および $\log(\alpha_x - \alpha_i)$ vs

Fig. 4 Experimental results of compression test, ϵ_x vs p_s

Fig. 5 Experimental results of permeability test, α_x vs p_s

Fig. 6 Experimental results of compression test, $\log(\epsilon_i - \epsilon_x)$ vs $\log p_s$

Fig. 7 Experimental results of permeability test, $\log(\alpha_x - \alpha_i)$ vs $\log p_s$

$\log p_s$ として再整理したものである。

これより、平衡空隙率と圧縮圧力 p_s との関係を表わす実験式として

シラスAについて

$$\epsilon_x = 0.613 - 0.578 p_s^{0.0536} \quad \dots\dots(4)$$

パーライトについて

$$\epsilon_x = 0.913 - 0.587 \times 10^{-3} p_s^{0.563} \quad \dots\dots(5)$$

を、部分比抵抗と圧縮圧力との関係を表わす実験式として

シラスAについて

$$\alpha_x = 0.280 \times 10^{11} + 0.337 \times 10^6 p_s^{1.28} \quad \dots\dots(6)$$

パーライトについて

$$\alpha_x = 0.680 \times 10^{10} + 0.456 \times 10^6 p_s^{1.27} \quad \dots\dots(7)$$

を得た。

上記の実験式による計算値と測定値との偏差*は、その最大値で、平衡空隙率においてシラスAが 0.1%、パーライトが 0.3%、部分比抵抗においてシラスAが 7%、パーライトが18%であった。

シラスAの圧縮透過特性はパーライトに比べて、より非圧縮性である点を除き、平衡空隙率、部分比抵抗などの点で劣り、ろ過助剤として性能の良いものとはいえない。

従来の圧縮透過データ⁸⁾は、 $\epsilon_x = \epsilon_0 p_s^{-c}$, $\alpha_x = \alpha_0 p_s^n$ なる実験式で表わされているので、シラスA、パーライトの圧縮透過データを新たに、シラスAについて $\epsilon_x = 0.562 p_s^{-0.00872}$, $\alpha_x = 6.61 \times 10^9 p_s^{0.230}$ 、パーライトについて $\epsilon_x = 1.07 p_s^{-0.0286}$, $\alpha_x = 0.216 \times 10^9 p_s^{0.574}$ で表わし、Fig. 8, Fig. 9 に各種スラリーの圧縮透過データとともに示した。なお上記、実験式による計算値と測定値との偏差は(4), (5), (6), (7)式で表わす場合よりも大きく偏差の最大値は、平衡空隙率においてシラスAが 0.2%、パーライトが 1.7%、部分比抵抗において、シラスAが 14%、パーライトが33%であった。

図より、シラスAの圧縮透過特性値は、カオリン、セメント原料泥などの難ろ過性スラリーと、パーライト、スタンダードスーパーセルなどの、いわゆるろ過助剤との中間に位置づけられるといえる。

シラスAは磁製ボールミルにより粉碎して得られた試料であるので、その粉碎機構から、粒子が丸くなる傾向があると考えられる。したがって粉碎方法の違いによ

Fig. 8 Comparison of equilibrium porosity of Shirasu with those of other materials

* ここでいう偏差は $\left| \frac{\text{計算値} - \text{測定値}}{\text{計算値}} \times 100 \right| \%$ である。

Fig. 9 Comparison of permeation resistance of Shirasu with those of other materials

て空隙率が大幅に改善されるかどうかを検討するために、ハンマーミルにより44μ以下に粉碎した場合について実験を行なった。その結果、 $\varepsilon_t = 0.657$ でシラスAの0.613に比べ大差はないことが認められた。

4. 充てん実験および表面係数の測定

ろ過材としての検討をするために、シラスB、Cと比較試料のガラス球、標準砂、川砂について疎・密充てん実験と空気透過法による比表面積測定を行ない、疎・密充てん空隙率と表面係数を求めた。

4.1 実験装置および方法

疎充てん実験装置の概略をFig. 10に示す。充てん容器にあふれるまで静かに試料を注いだ後、容器上端面にそって余剰粉体をカットし、次式にて空隙率を求めた。

Fig. 10 Experimental apparatus for measurement of ε in case of loose packing

Fig. 11 Experimental apparatus for measurement of ϕ_c

Fig. 12 Experimental results of ε

$$\varepsilon = 1 - \frac{W/\rho_s}{V} \quad \dots\dots(8)$$

密充てん実験にはタップ充てん装置を用い、ストローク：2cm、タップ速度：1.2回/1秒、タップ回数：200回、シリンダー直径28mmなる条件下で実験を行なった。空隙率は疎充てん実験と同様に(8)式にて求めた。

Fig. 11に空気透過式比表面積測定装置の概略を示す。充てん層の直径は40mmであり、⑤の水-空気置換タンクからの排水速度をかえることにより空気流量の調節を行ない、充てん層の圧損は③の水マノメーターの差圧を読取り顕微鏡により測定した。Kozeny-Carmanの式より、粒子単位体積当りの比表面積 S_v' を求め(9)式より粒子の表面係数⁹⁾を求めた。

$$\phi_c = \frac{6}{S_v' \cdot d_p} \quad \dots\dots(9)$$

ただし、粒子径 d_p にはフルイ目開きの算術平均値を用いた。

4.2 実験結果および考察

疎・密充てん実験結果をFig. 12に、表面係数測定結

Table 2 Experimental results of surface factor

particle size	Shirasu B		Shirasu C	
	density of particles	surface factor	density of particles	surface factor
840~590 μ	1.89	0.159	1.91	0.133
420~297 μ	1.90	0.165	1.96	0.125
210~149 μ	2.15	0.210	2.16	0.143
105~74 μ	2.35	0.279	2.31	0.234
53~37 μ	2.39	0.400	2.35	0.303

		density of particles	surface factor
Sand	840~590 μ :	2.63	0.612
Toyoura sand	210~149 μ :	2.63	0.831
Glass beads	840~590 μ :	2.50	0.916

果を Table 2 に示す。Table 2 には空気比較式比重計によるシラス B, C の粒度別密度も示した。

Fig. 12 および Table 2 より次のことが考察される。ガラス球、標準砂、川砂、シラス B、シラス C の順に疎・密充てん空隙率が大きく、また表面係数は小さいことから、上記の順に粒子形状が不規則であると推察される。

密充てんにおいて、粒子形状が粒径によらず、ほぼ一定と見なされるガラス球が各粒径に対し、ほぼ同一の空隙率を示すのに対し、シラスは B, C 共に空隙率は粒径に依存している。シラス B では 300 μ 程度以下、シラス C では 200 μ 程度以下において、それ以上の粒径粒子に比べて空隙率が漸減しており、これからシラスの具備している多孔性、形状の不規則性は、シラス B については 300 μ 程度、シラス C については 200 μ 程度を境に次第に失われるものと思われる。このことは Table 2 に示す表面係数の測定結果が同様の傾向を示すことから裏付けられる。

シラス B とシラス C とでは、シラス C の方が疎・密充てん共に空隙率が大きく、表面係数も小さいことから、粉碎粒の方が自然粒よりも一層、不規則な形状をもつといえる。また、シラス C は密充てん時 300~400 μ において最大の空隙率を有することが特徴的であり、表面

係数でも同様の結果がえられた。

シラス B, C を現在、サンドフィルターのろ過材として使用されている川砂と比較すると、シラス B, C は川砂より密度が小さく、50~70% 大きい空隙率を有し、表面係数も非常に小さく、形状が不規則である。

一方、ろ過装置の能力を増大させる目的で無煙炭ろ過材が用いられているが、その理由として、無煙炭は砂の約半分の密度と不規則な形状を有しており、次に述べるいくつかの有用な効果があるといわれている¹⁰⁾。すなわち、これらの性質のために、ろ層に空間の割合が多く洗浄も容易である。また角張って粒子の表面積は砂粒に比べ大きいのでフロックを捕そくしやすく、したがってろ過能率を低下せずに粗粒子を用いることが可能である。粗粒子を使用すればろ層の深いところまでろ過作用に利用でき、しかも重い砂の場合よりも低速度で洗浄効果をあげることもできる。

このような無煙炭のろ過材としての効果を考えると、シラスが不規則な粒子形状、大きい空隙率、小密度などの性質を有することから、既設の砂ろ過装置の能力を増大し得る、ろ過材としてシラスを使用できるのではないかと考えられる。

5. 結 言

シラス中のガラス質について、ろ過助剤、ろ過材としての検討を行なった結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) シラスの具備する多孔性、粒子形状の不規則性は、自然粒では 300 μ 程度、粉碎粒では 200 μ 程度から次第に失われる。
- 2) 自然粒と粉碎粒とでは、粉碎粒の方が充てん空隙率は大きく、表面係数も小さい。
- 3) ろ過助剤としての粒度におけるシラスの圧縮透過特性値は、パーライト、スタンダードスーパーセルなどの、いわゆるろ過助剤とカオリン、セメント原料泥などとの中間に位置づけられる。
- 4) ろ過材としての粒度においてシラスは川砂と比較して、より不規則な形状、大きな充てん空隙率、小密度を有する。したがって、シラスは既設の砂ろ過装置の能力を増大しうるろ過材として使用できるのではないかと考えられる。

Nomenclature

A : cross sectional area of compression permeability cell [cm²]
a : cross sectional area of burette [cm²]

d_p : particle size [cm]
g : gravitational acceleration [cm/sec²]
 h_1 : pressure head before permeation [cm]

h_2 : pressure head after permeation	[cm]	α_x : permeation resistance at p_s	[cm/g]
l : thickness of cake	[cm]	ε : porosity in case of loose and tight packing	[—]
p_s : compressive pressure	[g-force/cm ²]	ε_i : equilibrium porosity at $p_s=0$	[—]
R_m : permeation resistance of filter medium	[1/cm]	ε_x : equilibrium porosity at p_s	[—]
S_v : specific surface of particles	[1/cm]	θ : time	[sec]
V : volume of vessel for packing	[cm ³]	μ : viscosity of water	[g/cm · sec]
W : mass of particles in vessel for packing	[g]	ρ : density of water	[g/cm ³]
w : mass of cake solids per unit area	[g/cm ²]	ρ_s : density of particles	[g/cm ³]
Greek letter		ϕ_c : surface factor	[—]
α_i : permeation resistance at $p_s=0$	[cm/g]		

Literature cited

- 1) Isayama, Y., Jinnai, K. and Koga, Y. : *Reports of The Government Industrial Research Institute, Kyushu*, 2, 83 (1969)
- 2) Abe, E., Kimura, K. and Jinnai, K. : *Reports of The Government Industrial Research Institute, Kyushu*, 10, 592 (1973)
- 3) Sambuichi, M., Otsuki, K., Fujio, Y. and Ueda, S. : *The Society of Fermentation Technology, Japan*, 49, 880 (1971)
- 4) Grace, H. P. : *Chem. Eng. Progr.*, 49, 303, 367 (1953)
- 5) Shirato, M., Aragaki, T., Mori, K. and Sawamoto, K. : *J. Chem. Eng. Japan*, 1, 86 (1968)
- 6) Ruth, B. F., Montillon, G. H. and Montonna, R. E. : *I. E. C.*, 25, 153 (1933)
- 7) Shirato, M., Sambuichi, M., Kato, H. and Aragaki, T. : *Kagaku Kōgaku*, 31, 359 (1967)
- 8) Funtai Kōgaku Hand Book, p. 596, p. 599, Asakura-shoten (1967)
- 9) Oyama, Y. : *Kagaku Kōgaku II*, p. 3, Iwanami-shoten (1965)
- 10) Kōgyo Yōsui Binran, p. 260, Sangyo-tosho (1963)

Authors' Abstract

Filtration Characteristics of Shirasu

by

Eiichi ABE, Hideharu HIROSUE and Akira YOKOTA
(The Government Industrial Research Institute, Kyushu)

Shirasu is a kind of volcanic ash covering widely the area of South Kyushu. The mineral components of Shirasu consist of 60~80wt% volcanic glass and 40~20 wt% crystalline minerals. The volcanic glass is porous and irregular and has small apparent density.

For the purpose of using the volcanic glass contained in Shirasu as filter aid and filter medium, the authors carried out the compression permeability tests and measurement of porosity in case of loose and tight packings and surface factor on three samples : Shirasu A, B and C. The range of particle size of Shirasu B and C was 1190~37 μ . Shirasu A was obtained by crushing Shirasu B and the particle size was in less than 44 μ .

The experimental results obtained are as follows.

- 1) Shirasu B which is raw volcanic glass powder, has much porosity and irregularity in the region of more than about 300 μ , and Shirasu C which is crushed volcanic glass powder, has the same properties in the region of more than about 200 μ . Furthermore, Shirasu C is more porous and irregular than Shirasu B.
- 2) Shirasu B and Shirasu C are more porous and irregular than sand. Therefore, it is considered that

Shirasu is superior to sand as a filter medium.

- 3) The compression permeability characteristics of Shirasu A are between those of Kaolin and Cement material and those of filter aids.

The experimental equations of equilibrium porosity, ε_x , and permeation resistance, α_x , are as follows.

$$\varepsilon_x = 0.613 - 0.578 p_s^{0.0536}$$

$$\alpha_x = 0.280 \times 10^{11} + 0.337 p_s^{1.23}$$

Where p_s is compressive pressure.

List of Figures and Tables

Fig. 1 Flow sheet of preparing samples

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus for compression permeability test

Fig. 3 Compression permeability cell

Fig. 4 Experimental results of compression test, ε_x vs p_s

Fig. 5 Experimental results of permeability test, α_x vs p_s

Fig. 6 Experimental results of compression test, $\log (\varepsilon_i - \varepsilon_x)$ vs $\log p_s$

Fig. 7 Experimental results of permeability test, $\log (\alpha_x - \alpha_i)$ vs $\log p_s$

Fig. 8 Comparison of equilibrium porosity of "Shirasu" with those of other materials

Fig. 9 Comparison of permeation resistance of "Shirasu" with those of other materials

Fig. 10 Experimental apparatus for measurement of ε in case of loose packing

Fig. 11 Experimental apparatus for measurement of ϕ_c

Fig. 12 Experimental results of ε

Table 1 Particle size distribution of Perlite filter aid

Table 2 Experimental results of surface factor