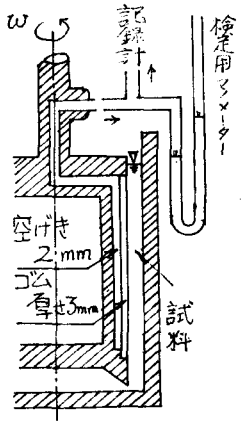


粒子流の法線応力の性状

立命館大学理工学部 大同淳之

1 はしがき 固体粒子を含む流体をせん断すると、固体粒子がせん断方向にある角度 α をもって衝突することから、Bagnold¹⁾は法線方向に分力 p が生ずるとして、せん断力 τ と p との間には、フーロン型の $\tau = p \tan \alpha$ の関係がなりたつとし、 p としては、実験を行って、 $p = a(\lambda d)^2 (du/dy)^2$ の関係式を得た。ここに a は係数、 λ は粒子容積濃度の一表現、 α は固体粒子の衝突角度である。上の関係式を斜面上の砂れき流に適用すると、砂れき流の流速分布および平均流速を比較的良く説明する²⁾。ただ、Bagnoldの実験は粒径 d が0.132 cmのただ一つの場合の測定に限られている。山地³⁾は斜面上に生ずる砂れき流を対象とするとき、さきの実験のように固体粒子の慣性効果が卓越する場合のほかに、媒質である流体の粘性効果が優勢な場合も考えられる。これらの流れの取扱いと考えると、法線方向分力 p の性質をより明確にする必要がある。そこで、Bagnoldの方法にならって、法線方向力 p の測定を行なった。



2. 実験の範囲と圧力の測定法

図1に示すように、共軸二重円筒型粘度計の内筒と表面とゴム張りとし、粒子混相流をせん断によって法線方向力が生じたとき、この力によって、ゴム膜裏側の気密部の圧力が上昇するとして、この圧上昇を測定することによって p が求められるとした。用いた粘度計の寸法は、外筒直径11.4 cm、内筒直径8.6 cmまたは7.6 cmで、内外筒の間げきは1.4 cmまたは1.9 cmで試料液の深さは1.4 cmである。測定に用いた液体と固体粒子の組合せは、表1に示すとおりである。固体粒子と液体の密度差をできるだけ少なくするよう配慮した。

図1. 法線力測定機構
表1. 実験に用いた粒子と液体

粗成	粒 子		液 体		
	σ	d cm	C %	p	μ cS
パラフィン 粒子	0.863	0.585	0.15	0.94	30
		0.404	1		
		0.585			
		0.404	0.48		
合成樹 脂粒子	1.062	0.012	0.45	1.07	0.12
			0.50		

測定器の回転速度はつから200回転/分である。測定は所定の粒子濃度に調整した試料を測定器の間げきに満たし、このときにゴム面に作用する圧力を零として、せん断時における増加圧力を法線方向力 p とした。この方法による圧力の測定法では、つぎのことが問題になる。i) 圧力が微小で、力がゴムに吸収され、気密部への圧力の伝達が線形でない恐れがある。ii) 流体のせん断に伴うゴム膜の歪みによる

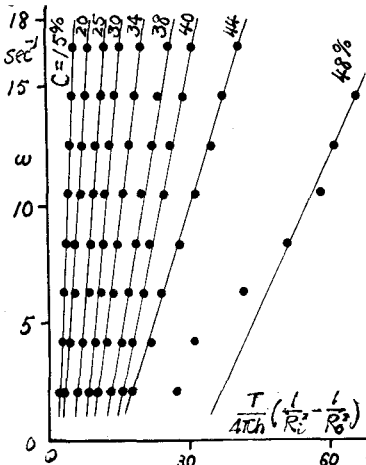


図2 τ と du/dy の関係

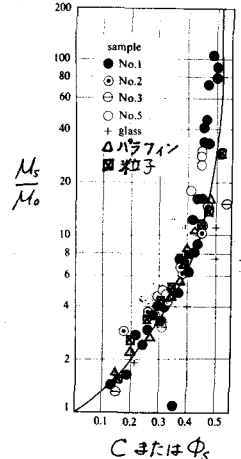


図3. 粘度とCの関係

圧力の発生, iii) 固体粒子の偏圧による圧力の発生, などが考えられる。i) については検証によつて補正し, ii) は流体のみの場合に圧力は生じていないので問題はないとし, iii) については常に試料がゴム膜全体を覆っているよう注意することで, できるだけこの影響を少なくした。

なお, ここで対象とする流体の流動特性は, その一例を図2に示すように, 横軸にせん断力 τ に相当する $(T/4\pi h)(1/R_i^2 - 1/R_o^2)$, ここに T はトルク, h は試料深さ, R_i, R_o は内外筒の半径, 縦軸にひずみ速度 du/dy に相当する角速度 ω で表わしたとき, 塑性流体としての性質を示す。降伏値 τ_0 は小さいのでしばらくおき, 図2から比粘度 $\mu_r = \mu_s/\mu_0$, μ_0 は流体のみの粘度, を求め, 容積濃度 C で整理すると, さきに提案した粘度式³⁾とよく一致している。

3. 法線方向力 P

Bagnold¹⁾ は, 粒子の衝突による法線力 P を次のように B として求めた。すなわち, 粒子流を図4のようにモデル化し, A 単位時間に B 層の粒子が A 層の粒子に衝突する割合を $f(\lambda) \frac{\delta U}{S}$, 図4 粒子流モデル (Bagnold によ)

λ 平面にある粒子の数を $1/b^2$, 1個の粒子による法線力と, 粒子の衝突を弾性衝突として $2m \delta U \cos \alpha$ とし,

$$P_y = \frac{1}{b^2} \frac{f(\lambda) \delta U}{S} 2m \delta \cos \alpha \quad (1)$$

とした。ここに入は d/S , $f(\lambda)$ は未知関数である。(1)式は整理すると,

$$P_y = a \lambda f(\lambda) d^2 (du/dy)^2 \cos \alpha \quad (2)$$

となる。(1)式が正しいとすると, $\log P_y$ $\log d(du/dy)$ は直線関係をもつ。図5は, 測定値を用いて, この関係が成立つかどうか調べたもので, Bagnoldの実験よりも, 比較的, 媒質の粘性効果が低い場合でも(1)式の考え方が成立つようである。ただ圧力は Bagnold の測定した結果よりかなり小さく, したがって係数はオーダーが1桁程度小さくなる。この係数の決定については, さらに幅広く実験を行な, て行うつもりである。

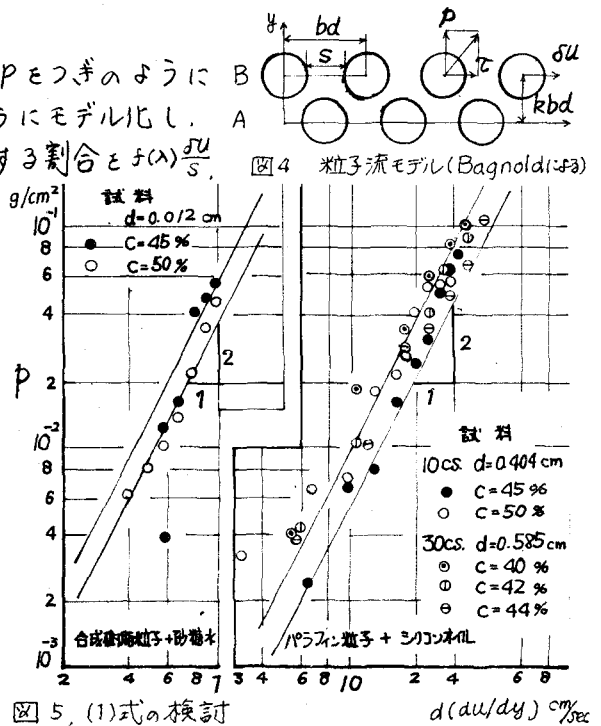


図5, (1)式の検討

$d(du/dy)$ cm/sec

4. むすび, Bagnoldの方法にしたが, て粒子流せん断試験装置を試作し, 法線方向の力 P を測定した。比較的粘性効果の優勢な場合につけて測定したが, 実験結果は固体粒子の慣性効果に重宝とおいた式と同じ関係を示したが, 絶対値はかなり小さい結果を得た。本研究は文部省科学研究費の補助を受けた。謝意を表す。なおこの実験は, 本学学生, 内藤敏弘, 西村龍一, 成松慶太郎によつて行なわれた。併せて謝意を述べる。

1) Bagnold: Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear. Proc. Inst. Civil Eng. 49 Part 3 1974-1955

2) 大同厚之: 泉の面上の多量の砂れきを含む流れの流動特性; 土木学会18回水理講演集, 8849.2

3) 大同厚之: 土砂と多量を含む流体の粘度と降伏値, 土木学会15回水理講演集, 8846.2