

1 はしがき, 水を伴う粒子流の挙動を明らかにするためには, せん断応力とひずみ速度の関係を明確にする必要がある。粒子流は, 通常の流体とちがって, Bagnold によつて, せん断方向に対して法線方向に分力 p が生ずることが指摘されている。Bagnold は, せん断応力 τ と p の間には, $\tau = p \cdot \tan \alpha$ (1) の関係をもち, p としては, $p = a(\lambda d)^2 (du/dy)^2$ (2) の関係を得た。ここに a は係数, λ は, 粒子容積濃度の一つの表現, 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と比較的良く説明する。したがって, 粒子流においては, このような力を生ずる粒子の衝突による効果が大きな要素であることがわかる。

ただ, (1)式に(2)式を代入すると, $\tau \propto (du/dy)^2$ となり, この式が砂れき流に無理なく適用できるものとみられる。しかし, 粘性効果が高いときは, 当然のことながら $\tau \propto (du/dy)$ の領域があると予想され, このような領域において, p がどのような関係式で表されるか, τ と p との間の関係がどこでもある定数で表現できるか, さらに式中に含まれる係数がいくらか, といった問題が残されている。

本文は, 二重円筒回転式せん断試験装置で, 上記の問題を検討するために行つた試験結果で, 実験の範囲が十分でないため, 初期の目的に対して充分な解答は得られていないが, 今迄に得られた結果について報告した。

2. 法線圧力 p の測定法と実験の範囲

法線圧力の測定は, 図1に示すように, 共軸二重円筒型粘度計の内筒の表面をゴム張りにし, 粒子流とせん断して法線方向力が生じるならば, ゴム膜を押すであろうとみえ, ゴム膜の変形による膜裏側の気密部の圧力上昇を測定することによつて, p が求められるとした。この方法による圧力測定では, 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, ii) 流体のせん断に伴うゴム膜の歪みによる圧力の発生, iii) 固体粒子の偏圧による圧力の変化。i)については検定によつて補正し, ii)は流体のみの場合のふれは測定器の固有の性質で, 圧力の発生はないと考えられる。iii)は, 粒子と流体の比重差はできるだけないようにし, 常に試料が膜全体を覆っているように注意して, この影響を少なくした。

用いた粘度計の寸法は, 外筒直径 11.4 cm, 内筒直径 8.6 cm および 7.6 cm, 試料液の高さ 14.0 cm。回転速度は 0 より 200 rev/min である。測定に用いた固体粒子と流体の組合せは, 表1に示す。

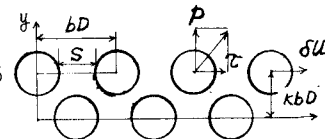
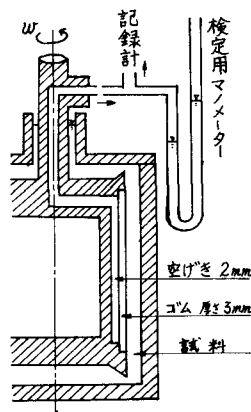


図2 粒子流モデル (Bagnold) の図

図1 法線圧力測定機構

表1 測定に用いた固体粒子と流体の組合せ

固体粒子	σ	D cm	C %	液体	ν cs
合成樹脂	1.06	0.012	0.45 - 0.50	砂糖水	1.2
パラフィン	0.863	0.585	0.15	シリコン油	30.
"	"	0.404	~ 0.48	"	15.
"	"	"	"	水 + アルコール	"

3 水を含む粒子流のせん断応力とひずみ速度

(i) 法線圧力 p

Bagnold は, 粒子流を図2のようにモデル化し, 単位時間に B 列の粒子が A 列の粒子に衝突する割合を $f(\lambda) \frac{du}{S}$, 単位面積にある粒子の数も $1/b^2$, 1個の粒子による法線力 p と, 粒子の衝突を弾性衝突として $2m \frac{du}{S} \cos \alpha$ とし,

$$p = \frac{1}{b^2} \frac{f(\lambda)}{S} \frac{du}{S} 2m \delta \cos \alpha \quad (3)$$

とした。ここに λ は D^2/S , $f(\lambda)$ は未知関数である。(3)式を整理

$$すると, \quad p = a \lambda f(\lambda) D^2 (du/dy)^2 \cos \alpha \quad (4)$$

となる。

今回の実験値を
図示すると図3の
ようになる。測定
結果はつぎのこと
を示す。

i) 測定範囲で
は、はゞ(3)式にし
たがい、 p は $[D \times$
 $(du/dy)]^2$ に比
例するとみなして
よい。

ii) この実験は
比粘度が水の30

倍ぐらいの粘度が高いところでも成立した。しかし
 p の大きさは、比粘度が大ききところでは小さい。

iii) p の大きさは、粒子がきわめて小さいところ
では、また小さい圧力を示す

(ii) セン断応力でとまっつ速度との関係

内筒の壁面に作用するせん断力と内筒と吊る針
金のねじれから求め、回転速度から求めたひずみ速
度との関係を示すと図4-a, bのようになる。これ
から、次のことがいえる

図bは比粘度の大きい資料で、 τ と du/dy の関
係は明らかに、せん断降伏値を有する塑性流体とみ
なされる。したがって、この流体のせん断応力と
ひずみ速度 du/dy の関係は

$$\tau - \tau_y = \mu (du/dy) \quad (5)$$

と表され、 μ の値は図4-bからわかるように、 du/dy に無
関係で、濃度 C によって一定値をとる。したがって、Bagnold
が表わしているような、 $\tau = p \cdot \tan \phi$ 、 $\tan \phi$ は一定、とい
う形は成立しない。

aは粒子の慣性効果が卓越している場合で、この場合も、濃度
がきわめて大きく、せん断の初期に大きな抵抗を示してのち一定値
の τ を示す場合を除いては、やはり $\tau - \tau_y = \mu (du/dy)$
または、 $\tau = \text{一定}$ として表される。 p は図3に示すよう
に du/dy のほゞ2乗に比例して大きくなることから、これを
 $\tau = p \cdot \tan \phi$ として、 $\tan \phi$ と一定値あつたことは
難しい。今後、実験の範囲をひろげて、この $\tan \phi$ の変化と通
連する予定である。

- 1) Bagnold: Proc. Inst. Civil Eng. Part 3 174 1955.
- 2) 大同湾之: 土木学会18回水理講演会講演集 昭49.2

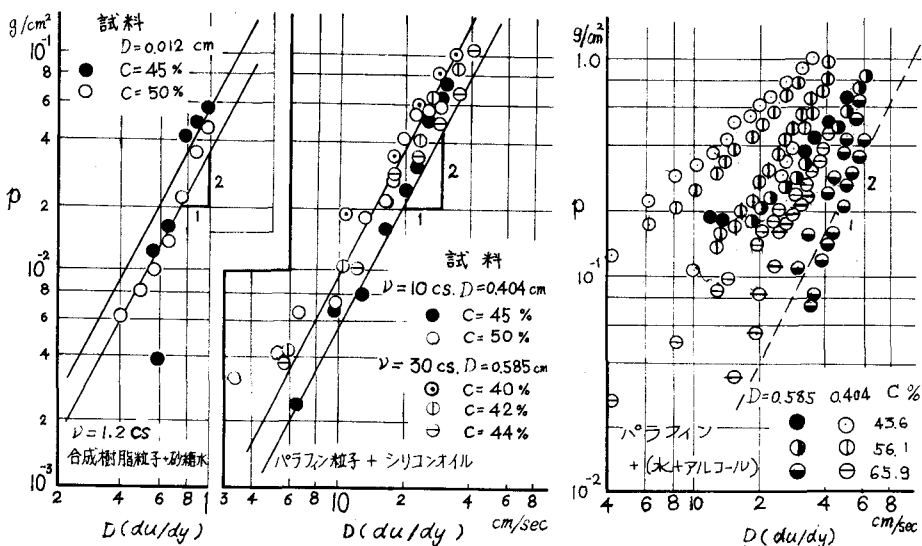


図3 p と $D(du/dy)$ の関係

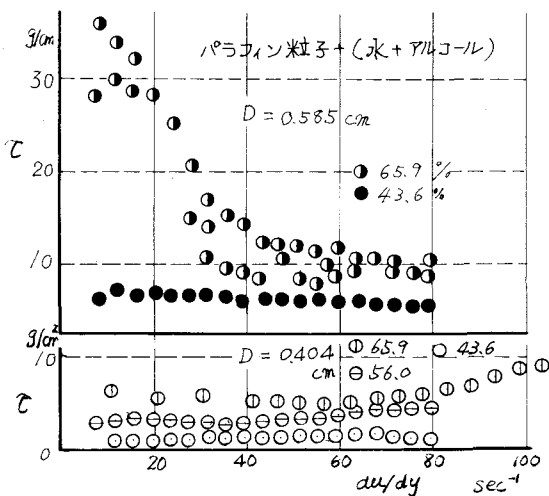


図4-a. τ と du/dy の関係

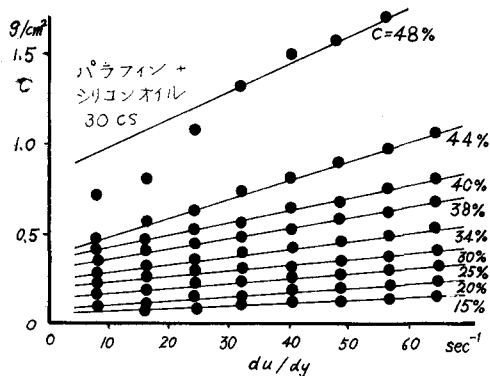


図4-b. τ と du/dy の関係