

II-194

ビンガム流体の物性値

山梨大学大学院 学生員 ○松川正樹

山梨大学工学部 正 員 荻原能男

鈴中工業(株)

石川裕司

1. はじめに

せん断変形に対して降伏応力 τ_f をもつ流体としてビンガム流体がある。このビンガム流体に関する降伏応力を直接測定するのは困難である。そこで本研究では、傾斜マノメーター、U字管マノメーターを用いてビンガム流体の降伏応力をより正確に簡単に測定することを目的とする。

2. 実験理論

(I) 傾斜マノメーター

図-1のように、半径 a の円管を角度 α に傾斜させ、円管の中心軸に上向きに z 軸をとる。この円管内の液体の運動に関する釣合いを考えると、

慣性力 = -重力 - 摩擦力 + 表面張力

$$\rho \pi a^2 (h+h_0) \frac{du_m}{dt} = -\rho g \sin \alpha \pi a^2 h - \tau_0 2 \pi a (h+h_0) + 2 \pi a T \cos \theta$$

管内の水面が止まる、つまり最終浸透高 h_E に達すると、慣性力は0となる。よって、

$$T \cos \theta - \tau_f (h_E + h_0) = \frac{\rho g \sin \alpha a h_E}{2} \quad \dots \textcircled{1}$$

ビンガム流体の場合、降伏応力 τ_f の作用により、 h_{E2} (毛管下降時の最終浸透高) $\geq h_{E1}$ (毛管上昇時の最終浸透高)と考えられ、式①より次式が得られる。

$$\tau_f = \frac{\rho g \sin \alpha a}{2} \left(\frac{h_{E2} - h_{E1}}{h_{E2} + h_{E1} + 2h_0} \right) \quad \dots \textcircled{2}$$

ここに、

ρ : 液体の密度 h : 液体の浸透高
 t : 液体の浸透時間 h_0 : 水面下の管の長さ
 u_m : 液体の浸透速度
 τ_0 : 液体内部に働く摩擦力

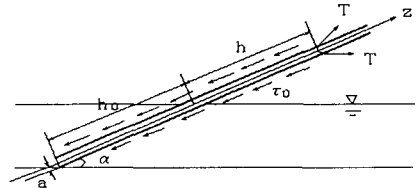


図-1 傾斜した毛管内の釣合

(II) U字管マノメーター

図-2のようにU字管の上部に灯油、左右の直線部にビンガム流体があるとき、静止状態の力の釣合いを考えると、

$$\text{水圧差 } p_B - p_A = -(w_1 - w_2) h_1 \quad (h_3 = 0)$$

$$\text{摩擦力} = \tau_f (h_1 + 2h_2) S$$

水圧と摩擦力が等しいと考えて、

$$(p_A - p_B) A = \tau_f (h_1 + 2h_2) S$$

$$\tau_f = \frac{h_1}{h_1 + 2h_2} (w_1 - w_2) R \quad \dots \textcircled{3}$$

ここに、 w_1 : ビンガム流体の単位体積重量

w_2 : 灯油の単位体積重量

R : A (面積)/ S (潤辺) = 径深

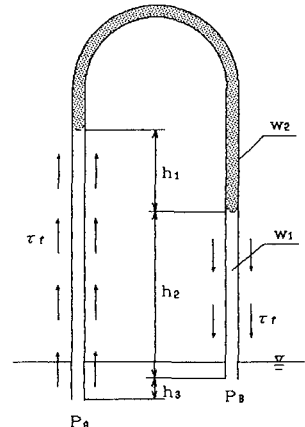


図-2 U字管の力の釣合

3. 実験装置および実験方法

図-3に傾斜マンノメーター、図-4にU字管マンノメーターの実験装置の概略を示す。傾斜マンノメーター実験では、0.0628cm, 0.0814cmのガラス管を用いた。このガラ

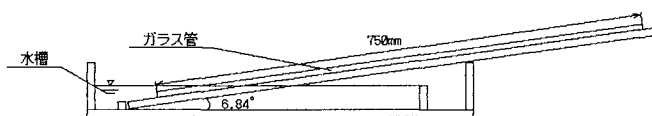


図-3 傾斜マンノメーター

ス管を6.84°傾斜させて、毛管浸透による毛管上昇と毛管下降の最終浸透高を測定する。U字管マンノメーター実験では、0.1150cm~0.3480cmの8種類のガラス管を用いた。このU字管内の曲線部に灯油（密度0.79(g/cm³）を、直線部には混合流体をいれる。その際人為的に左右の接触液面高が35cm, 45cmとなるようにし、最終液面高を測定する。実験に用いた混合流体は水道水とベントナイトの混合流体である。ベントナイトは主成分としてモンモリロナイトを含む粘土質物質で、実験ではクニミネ工業（株）製のベントナイト精製粉末（クニゲル-V A）を使った。その固形部分の比重は2.571である。各実験とも混合流体の濃度を変えて実験を繰り返した。

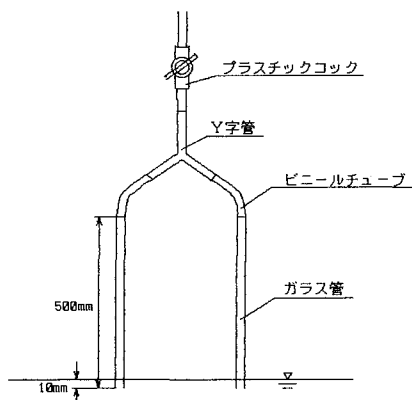


図-4 U字管マンノメーター

4. 実験結果および考察

各体積濃度Cごとの降伏値の算出には、式②、式③を用い、各ガラス管内径ごとに計算をし、それを平均することにより最終的な降伏応力 τ_f とした。図-5に体積濃度Cと降伏応力 τ_f の関係を示す。図-5には以下の回帰式を示した。

$$\log_{10} \tau_f = 0.85C - 6.43$$

(傾斜マンノメーター)④

$$\log_{10} \tau_f = 0.15C - 3.70$$

(U字管マンノメーター)⑤

(C in %, τ_f in gf/cm²)

この降伏応力が得られる体積濃度の範囲は、0.0~3.2%である。これはガラス管内径が微小であるため、これ以上濃度が上がると混合流体が流動しなくなるためである。図-5より体積濃度の増加とともに降伏応力が増加することがわかる。また、体積濃度が0%のときは理論では降伏応力が0(gf/cm²)であるが、両実験とも降伏応力は0(gf/cm²)にはならなかった。

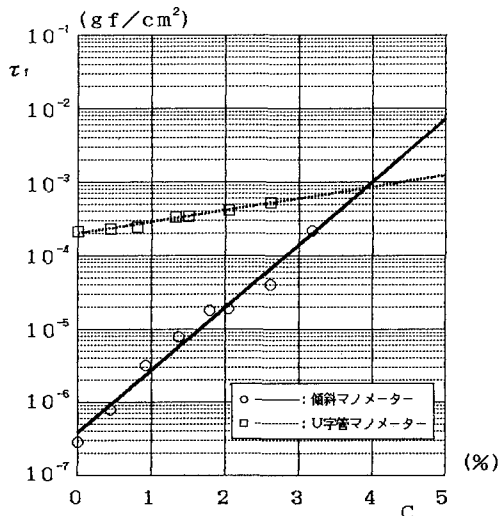


図-5 体積濃度と降伏応力の関係

5. おわりに

今回の実験では混合流体の沈澱が起きるなど諸問題が生じた。今後は理論および実験方法の再検討をし、実験を進めていく予定である。

〈参考文献〉 荻原能男・宮沢直季：長方形断面開水路におけるビンガム流体の等流抵抗則について、日本機械学会論文集（B編）59巻567号、PP. 3313-3315、1993年11月