

（独）鴻池組技術研究所 正 大橋 昭
大阪府立工高専 柳井田勝哉
（独）鴻池組技術研究所 正 工藤 光威

1. まえがき カプセル輸送の流送特性を説明するために、流体・固体二相流れに基づく流体輸送の観点から圧力損失特性に関する研究を行ない、前報¹⁾において空力輸送の水平管走行に対する混相流解析の適応性を論じた。今回、水力輸送による水平管走行の他に垂直管および傾斜管の浮遊静止実験を行ない、空力と水力に共通する合理的な圧力損失特性の解析を試みたのでその概要を報告する。

2. 実験概要 カプセルの流送モデルと主要な記号を図1に示す。図2に垂直管（傾斜管）の浮遊静止実験に用いた実験装置の概要を示す。作動流体は空気と水、供試カプセルは二種類（AL, PVC）の中実円筒を用い、透明ポリカーボネート管（ $\phi 52\text{ mm}$ ）内を浮遊静止させた。各種の流量計と圧力カツブ（ $\phi 2\text{ mm}$ ）間に設置した差圧変換器から測定値を得るが、それぞれに重量法とマノメーター法を併用して精度を確かめた。なお水力の水平管走行実験に用いた装置については、前報¹⁾の空力実験装置（全長25 m）を転用したので省略する。

3. 水平管走行実験（水力）における圧力損失特性
前報¹⁾における付加圧力損失の解析式を次に示す。

$$\begin{cases} \text{付加圧力損失} & \Delta R_e = \phi_c \cdot \ell / D \cdot C_v \cdot (\rho_c - \rho_f) / 2g \cdot U_m^2 \quad \dots (1) \\ & = \phi_c \cdot \bar{d}^3 \cdot \bar{\ell} \cdot (\rho_c - \rho_f) / 2g \cdot U_m^2 \quad \dots (2) \\ \text{付加圧損係数} & \phi_c = \alpha Fr^\beta \quad ; \quad \alpha = 2f, \beta = -2 \quad \dots (3) \\ \text{付加圧損の特性式} & \Delta R_e = \alpha / 2 \cdot D \cdot \bar{d}^3 \cdot \bar{\ell} \cdot (\rho_c - \rho_f) \quad \dots (4) \end{cases}$$

空力輸送は密度差に基因してカプセル速度が大きくなり慣性力が大きな影響を与えるが、水力においては速度差が小さく流体の運動によく追従した安定な流送状態が特長である。測定結果を図3に示す。空力の実験結果と同様に、付加圧力損失の主因がカプセルと管壁との摺動摩擦抵抗にあることを示す $\beta = -2$ と、動摩擦係数との関係 α が $2f$ が認められる。解析式(3)に対する測定値の分布は $\pm 30\%$ であり、空力の結果（ $\pm 15\%$ ）と比べまとまりを欠くが、この原因にはカプセルの慣性力の減少と純流体の圧損が増加することの他に、測定系の応答性などが

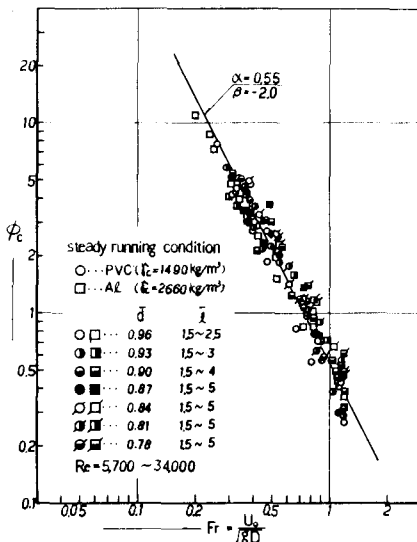
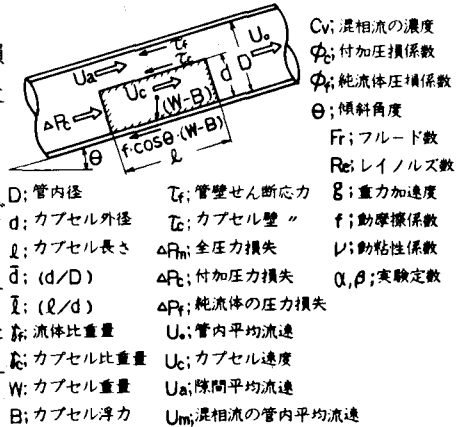


図3 水平管走行の圧損特性（水力）

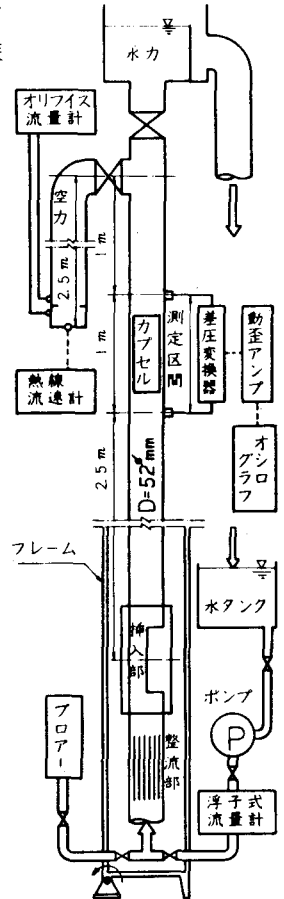


図2 実験装置の概要

考えられる。またカプセルの種類 (AL, PVC) による α 値の微小な差を読み取ることはできない。

4. 垂直・傾斜管浮遊静止実験の圧力損失特性 空力実験の結果を図4と図5に、水力実験の結果を図6に示す。カプセルの浮遊状態は、垂直管内の流れが遷移流から乱流にあつて、回転と上下微動を伴う不安定な懸垂状態となる。この不安定性は δ_c が大きく $\bar{d} < 0.9$ において顕著となる。垂直・傾斜管の付加圧損係数は次式から求めた。
$$\phi_c = 28 \cdot \Delta P_c / \{ \bar{d}^3 \cdot \bar{L} \cdot \sin \theta \cdot (\delta_c - \delta_f) \cdot U_o^2 \} \cdots (5)$$
浮遊静止実験の結果については(3)式より $f = 1$ すなわち $\phi_c = 2 Fr^{-2}$ で示される圧力損失特性が予測され、水力実験の結果において確認した。一方、空力実験においては $\alpha = 1.7$ が得られたが、カプセルの周囲に形成される圧力勾配の分布特性がカプセルと流体の速度差に大きく影響されることを考慮すれば理解できる。またこの傾向は水平管走行実験においても認められる。解析式に対する測定値の分布は極めてまとまりがよく、水力の水平管走行実験における解析結果をより確かなものになっている。傾斜管の空力実験結果には θ が小さくなるほど α 、 β が若干変化する傾向が認められるが、基本的な特性の変化ではなく、カプセルと管壁の摩擦力の増加によつて生ずる付加圧損測定値の変動中と考えてよい。

5. むすび 本研究によつて得た結果を以下に要約する。
- (i) 付加圧損係数 ϕ_c をフルード数 Fr の関数として取扱うことができ、流体輸送解析の妥当性が得られた。結果を次表にまとめる。
 - (ii) α は動摩擦係数 f の関数 ($\alpha \approx 2f$) となり、様々な流体・固体二相流の中でもほぼ完全なる摺動輸送流れを形成している。
 - (iii) 空気と水は同じ手法で取扱うことができ解析結果も近似している。すなわち粘性の影響が小さな不均質な流れとして特長づけられる。
 - (iv) カプセルの流送に必要な付加圧力損失 ΔP_c は流体速度 U_o にほとんど影響されず、それぞれのカプセルに固有値(4式)をもち、流送条件(走行、浮遊静止)とカプセル仕様とから決定される。
- 以上のようにカプセルに着目した圧力損失特性に関する力学的相似則が明らかとなつたので、今後はカプセルの幾何的条件に対する流れ場の流体摩擦の研究を行い、カプセルの抗力係数と速度比を論じたい。
- 終わりに、本研究の共同研究者である鴻池組・松生隆司氏を追記して謝意を表する。

流体	流速条件	$\phi_c = \alpha Fr^\beta$	
		α	β
空	水平管走行	AL: 0.47	-2
		PVC: 0.55	
	垂直・傾斜管浮遊	1.7	
水	水平管走行	0.55	-2
	垂直・傾斜管浮遊	2.0	

参考文献 ; (1) 大橋, 柳井田, 工藤 ; 土木学会全国大会講概集, II-54, (1979)

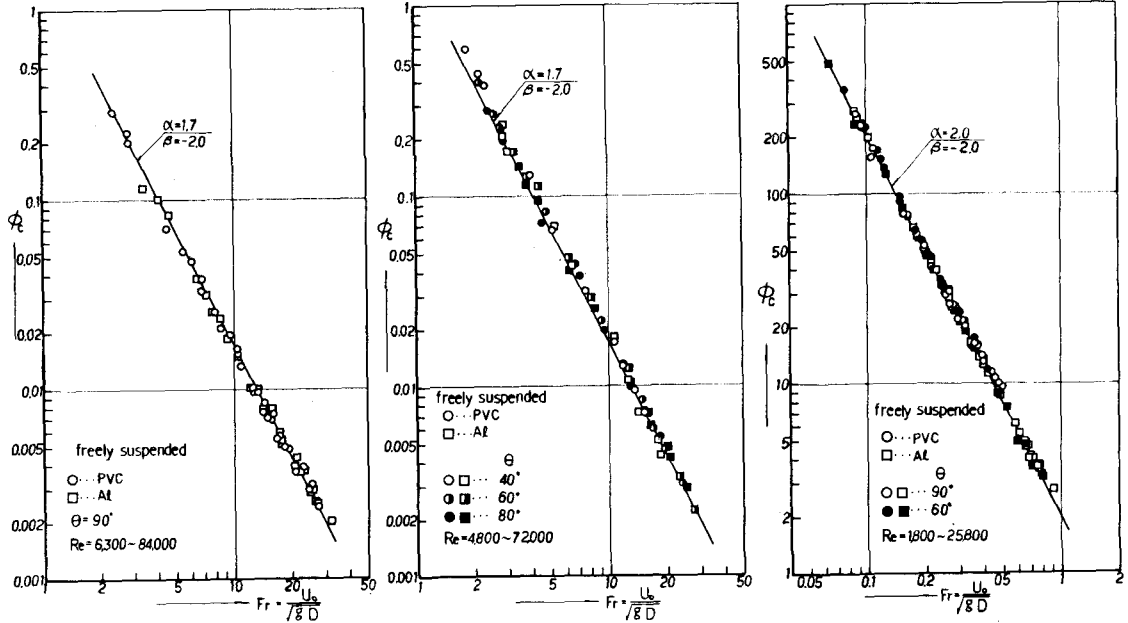


図4 垂直管浮遊の圧損特性 (空力) 図5 傾斜管浮遊の圧損特性 (空力) 図6 浮遊の圧損特性 (水力)