

鴻池組

正 大橋 昭

大阪府立工高専

柳井田勝哉

鴻池組

正 工藤 光威

### 1. まえがき

近年著しく増大した輸送需要は、物流機構の質的な改革をもたらすとともに、輸送効率が高く環境保全に優れた新しい輸送システムの開発を強く求めている。カプセル流体輸送は、その一つであり、簡素な流送原理をもち技術基盤の確立したパイプライン輸送の応用技術であることから、各国において注目され実用化の研究が進められている。著者の一人は混相流解析に基づく流体輸送の観点から、垂直管の浮遊静止実験によるカプセルの抗力係数に関する研究を行ない、流送特性に関する問題点を指摘した。今回、空気による水平管走行実験を行ない、圧力損失特性を究明したのでその概要を報告する。

### 2. 実験装置および方法

図3に実験装置の概要を示す。作動流体は空気、供試カプセルは二種類（AL, PVC）の中実円筒を用い、全長2.5mの透明ポリカーボネート管（ $\phi 5.2\text{mm}$ ）内を自由走行させた。測定区間の両端に圧力タツプと光電検出器を設置し、タツプ間の差圧変動とカプセル速度を測定した。管内平均流速については、助走区間を十分に考慮した排気部に、オリフィス流量計と熱線流速計を備え測定した。

### 3. 圧力損失特性

水平管を定常走行するカプセルの流送モデルと主要な記号を図1に示す。圧力損失特性に関する研究はカプセル周囲の粘性流れによる均質系の流力解析が多く、混相流解析に重要な被流送体に着目した力学的相似則が十分に把握されていない。それゆえ、カプセルを含む流れに流体輸送の解析手法を展開して圧力損失特性の系統化を計る。基礎式を次に示す。

$$\text{付加圧力損失 } \Delta P_c = \Delta P_m - \Delta P_f \quad \dots (1)$$

$$= \Delta P_m - (\phi_c \cdot l / D \cdot \gamma_f / 2g \cdot U_o^2) \quad \dots (2)$$

$$\text{力の釣り合い } \Delta P_c \cdot \pi d^2 / 4 = f \cdot (W - B) - \int_0^l \tau_c \pi d \cdot dx \quad \dots (3)$$

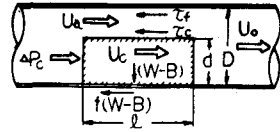
体積濃度と速度差を考慮した混相流の付加圧力損失を次式に示す。

$$\Delta P_c = \phi_c \cdot l / D \cdot C_v \cdot (\gamma_c - \gamma_f) / 2g \cdot U_m^2 \quad \dots (4)$$

$$C_v = \bar{d}^2 \quad \dots (5), \quad U_m = U_o \quad \dots (6)$$

$$\therefore \Delta P_c = \phi_c \cdot \bar{d}^3 \cdot l \cdot (\gamma_c - \gamma_f) / 2g \cdot U_o^2 \quad \dots (7)$$

なお検査面をカプセル長さに限定している。(7)式の付加圧力損失係数 $\phi_c$ とフルード数に関する実験結果を図2に示す。カプセル初動時を含み明らかな相関が得られ、本



- |                       |                                                                |                       |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------|
| D: 管内径                | $U_o$ : 管内平均流速                                                 | $\phi_c$ : カプセルの動     |
| d: カプセル外径             | $U_a$ : 隙間平均流速 ( $U_o/11-\bar{d}^3$ )                          |                       |
| l: カプセル長さ             | $U_m$ : 混相流の管内平均流速                                             |                       |
| $\bar{d}$ : ( $d/D$ ) | $C_v$ : 混相流の体積濃度                                               |                       |
| $\bar{l}$ : ( $l/d$ ) | $\Delta P_m$ : 全圧力損失                                           | $\Delta P_f$ : 付加圧力損失 |
| $\gamma_f$ : 流体比重     | $\Delta P_f$ : 純流体の圧力損失                                        |                       |
| $\gamma_c$ : カプセル比重   | $\phi_c$ : 付加圧力損失係数                                            |                       |
| W: カプセル重量             | $Fr$ : フルード数 ( $U_o/\sqrt{gD}$ )                               |                       |
| B: カプセル浮力             | $Re$ : レイノルズ数 ( $U_o D/\nu$ )                                  |                       |
| $\tau_c$ : 管内壁せん断応力   | $U_o^*$ , $U_a^*$ , $\Delta P_c^*$ , $\phi_c^*$ , $Fr^*$ : 初動時 |                       |
| $\nu$ : カプセル壁の粘性係数    | $\alpha, \beta$ : 実験定数 ( $\phi_c = \alpha Fr^\beta$ )          |                       |

図1 カプセル流れのモデルと記号

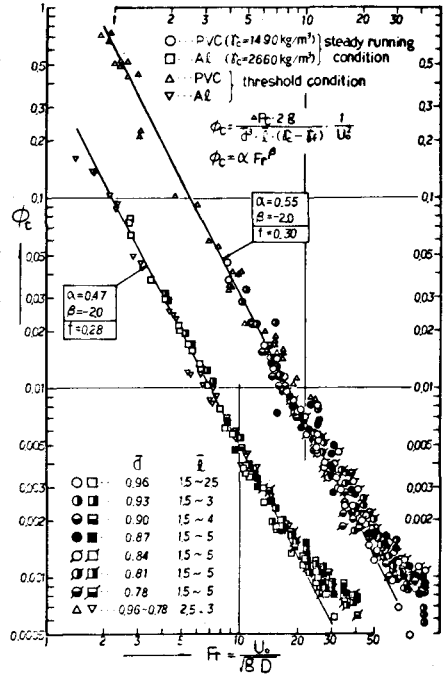


図2 付加圧力損失特性（空気）

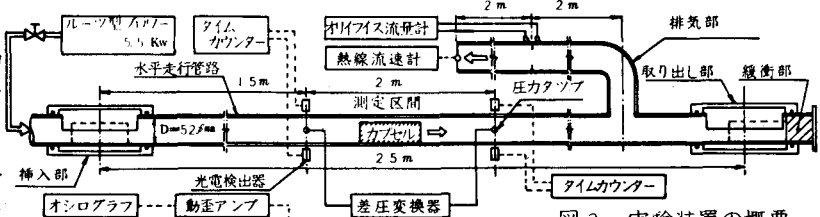


図3 実験装置の概要

解析の妥当性を実証している。図4は他の研究者による実験結果を再整理したものである。横川ら<sup>5)</sup>による実験結果の一部は、付加制動装置で外部から走行抵抗を与え定速走行させたものであり、走行抵抗と等価な比重量を用い整理ができたことは特に意義深い。本解析によつて得られた知見を以下に要約する。

- (i)  $\Delta P_c$ は $U_o$ にほとんど影響されずカプセル仕様に適合した固有値をもつ。  $\Delta P_c = \alpha/2 \cdot D \bar{d}^3 \bar{l} \cdot (\delta_c - \delta_f) \dots \dots \dots (8)$
- (ii)  $\tau_c$ による走行力への影響を僅少とし、圧力勾配による受圧面積を管断面に拡張すれば、(3), (8)式から $\alpha' = 2f$ となり、動摩擦係数の実測値とも近似している。すなわち安定した摺動輸送状態にあることを示唆している。また高フルード数領域において浮遊輸送状態へ遷移し始めている。
- (iii) 二重円管流れにおいては僅かな偏心でも摩擦損失が大きく減少するが、横川らの結果と比較して顕著な差異が認められない。
- (iv) 空気と水は同一手法で取扱うことができ、高レイノルズ数流れの特長が示されている。
- (v) 固体粒子群の流体輸送における圧力損失との相似性が得られた。

4. カプセル速度 $U_c$ と管内平均流速 $U_o$  図5に測定結果の一例を示す。  
 カプセル速度を論ずるにはカプセルに働く流体抗力すなわち走行時の抗力係数を解明すべきであるが、本報ではカプセル初動時の平均流速 $U_o^*$ と形状の圧力損失を主体とする流力解析に止める。(8)式から推論される付加圧損と走行抵抗の関数に則し、 $\alpha/2$ を用いて算定した走行抵抗と、隙間流れの速度勾配を比較した結果が図6である。実験式を示し得る程の相関は認められず、カプセル長さ等起因する隙間流れの摩擦損失が付加圧損に大きく影響することが考えられる。図7に $U_o^*$ を考慮したカプセルの速度比とレイノルズ数との関係を示す。輸送管の内壁で拘束される同心状のカプセルと比べ若干不安定な速度特性を示すが、高レイノルズ数領域において $U_c$ が $U_o$ に漸近する傾向は同じである。

5. むすび 今後、水平管走行、傾斜管走行および垂直管浮遊静止における圧力損失特性と速度特性を、流体輸送解析の観点から体系的に論じたい。  
 鴻池組・松生隆司氏の御協力に深謝致します。

参 考 文 献

- 1) 柳井田; 日本鉱業会誌, 95[1095](1979)
- 2) Yansida, K.; Inter. Symp. Freight Pipeline Washington D.C., (1976)
- 3) 柳井田; カプセル輸送技術, 日鉱会秋季(1978)
- 4) Lazarus, J. H. and Kilner, F. A.; Hydrotransport 1, BHRA, (1970)
- 5) 横川, 他; 日立造船技報38-2, 一部未発表(1977)
- 6) Kruyer, J. and Ellis, H. S.; The Canadian Journal of Chemical Engineering, 52:215-221, (1974)
- 7) 池森; 日本機械学会誌, Vol. 70, 4576, (1977)

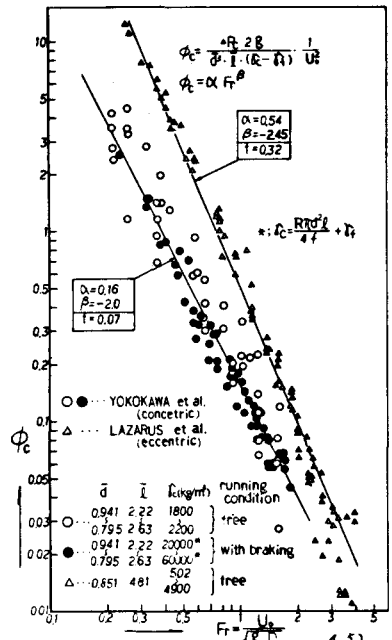


図4 付加圧力損失特性(水)

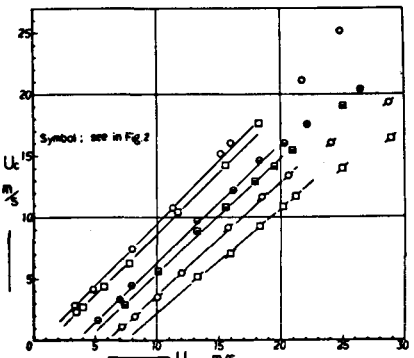


図5 カプセル速度と管内平均流速

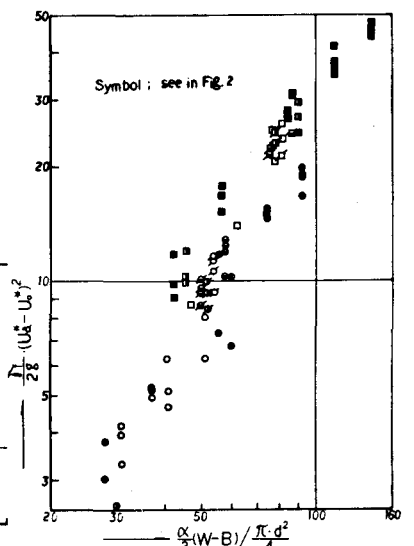


図6 初動流速と走行抵抗

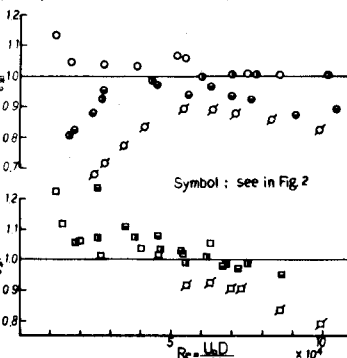


図7 カプセル速度比とRe数