空気カプセルの管内停止現象 Stoppage of Pneumatic Capsule in a Vertical Pipeline

学 田 窪 哲也 (九工大院) 正 富田 侑嗣 (九工大) 正 船津 勝也 (九工大)
TAKUBO, Tetsuya, Kyushu Institute of Technology, 1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu
TOMITA Yuji, Kyushu Institute of Technology, FUNATSU Katsuya, Kyushu Institute of Technology

Key words: Stoppage, Capsule Geometry, Revolution, Rotation, Without Wheels

1. 緒言

空気輸送の一つにカプセル輸送がある。カプセル輸送は被輸送物をカプセルに入れ、カプセルを空気によって管路輸送するものである。車輪がないカプセル輸送においてカプセルを輸送するのに十分な空気速度であるにもかかわらず、カプセルが管内において停止することがあるといわれている。これは空気速度がカプセルを移動させるのに十分な場合において、カプセルの移動速度が極端に低下する現象といえる。このような現象は実際に観察されているが、これまでそのメカニズムや発生条件を調べた研究はほとんどみられない。よって、鉛直管内において種々の輸送条件によってカプセルの停止現象を実験的に観察した。本研究では、その防止方法を検討しようとするものである。

2. 実験方法

2.1 実験装置

本研究で使った実験装置を Fig.1 に示す。吸引式空気輸送システムを用いた。輸送管は内径 28mm, 外径 38mm, 長さ 2m のアクリルパイプを用いた。カプセルは挿入装置によって、入口で常に輸送管鉛直軸上にセットされ、フローメーターにより設定の流量が得られた後、発射される。ハイスピードカメラを用いて、カプセルの自転、公転、鉛直軸に対するカプセルの傾きを測定した。カプセルの自転、公転は挿入口から 700mm~1070mm の区間で測定した。鉛直軸に対するカプセルの傾きは挿入口から 380mm~480mm の区間で、計測した。

Fig.1 Experimental apparatus.

2.2 カプセルについて

実験に用いたカプセルの形状を Figs.2~4 に示す。すべて密度 1410kg/m³ のポリプロピレン製で長さ $l=63.6\text{mm}$, 直径 $D=24.55\text{mm}$ である。Fig.2 は質量 m が同じ ($m=76.33\text{g}$) 円柱状カプセルである。鉛の錘によって重心位置を変えその影響を調べた。またカプセル表面にテープを巻いて摩擦係数を大きくし、その影響を調べる。摩擦係数はそれぞれ $\mu=0.15$ と 0.82 である。Fig.3 は凸型カプセルでの突起の径 A を変化させその影響を調べる。Fig.4 は薬瓶型のカプセルで蓋径 B を変化させその影響を調べる。

Table 1 Center of mass of the cylindrical capsule (l =capsule length, l_c =center of mass from the capsule bottom)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_c(\text{mm})$	11.52	16.76	22.09	27.18	31.8	36.42	41.58	46.84	52.08
l/l_c	0.18	0.26	0.35	0.43	0.50	0.57	0.65	0.73	0.82

Fig.2 Cylindrical capsule. Fig.3 Capsule with protuberance. Fig.4 Bottle type capsule.

3. 実験結果

3.1 重心位置の違いによるカプセル挙動

3.1.1 カプセルの鉛直軸に対する傾き

Fig.5 に空気流速 $U=7.9\text{m/s}$ でのカプセルの鉛直軸に対する傾斜角の RMS 値 $\sqrt{\sigma}$ と l/l_c の関係を示す z 軸を鉛直軸とする直角座標系で、互いに直交する鉛直断面での測定値である。重心が低いカプセルほど鉛直軸に対する傾きが小さくなっているのがわかる。重心が低いものほど安定することを示している。

3.1.2 カプセルの自転と公転

Fig.6 に空気流速 $U=8.17\text{m/s}$ でのカプセルの公転数 N_p , 自転数 N_r の関係を示す。それぞれの U で停止現象が生じるときと生じない時があり、 l/l_c が大きくなるに従い、大きな確率で停止現象が生じる。カプセルが停止現象を生じている時は自転数、公転数共に高く、自転と公転は常に逆方向である。更に自転数と公転数の関係から、ほぼ転がりなしの条件で回転していることが分かる。停止現象はカプセルが遠心力によって管壁におしつけられることによって z 方向に摩擦力が働き、生じるものといえる。摩擦係数を大きくすると N_p は増加し、全てのカプセルがほとんどの場合停止現象を生じた。次に重心位置に着目すると、重心位置が低いものほど回転数が低い値をとっている。特に重心位置の最も低いカプセル $l/l_c=0.18$ は $\mu=0.82$ の時も停止現象を生じることはなかった。それに対して重心位置の高いカプセル $l/l_c=0.65$ と 0.74 では摩擦力が小さい場合でも停止現象がみられた。

重心位置によるカプセルの運動の違いは前述したカプセルの傾斜角の RMS 値と同様の傾向を示している。カプセルが傾くことにより流体からの、剪断力はカプセル表面に斜め方向に働くことになる。よってその剪断力がカプセルを自転させるモーメントになることから重心の高いものほど傾きが大きくなり、回転運動が生じやすくなると考えられる。

3.2 形状による運動の違い

3.2.1 凸型カプセル

凸型カプセルの突起の径 A を変化させ運動を調べた。Fig.7 は $U=6.5\text{m/s}$ の N_p と A/D の関係を示す。 A/D が小さいと質量も少ないが、突起径 A が小さいと停止現象を生じ、 $A/D=0.6$ 付近で一旦回転数は小さくなり停止現象が見られなくなる。しかし、 $A/D=0.9$ で再び停止現象が起きている。 $A/D=0.6$ と 0.9 においても同一流速で停止現象が起きる場合と起きない場合があった。停止現象が起きる確率はテープを巻いて摩擦係数を大きくした時と比較して少ない。この場合 $A/D=1.0$ では停止現象は生じなかった。また $A/D=0.7$ と 0.8 でも停止現象は見られなかった。

Fig.8 は種々の A/D について N_p と U の関係を示す。やはり $A/D=0.6$ と 0.9 においては同一流速で停止現象が起きる場合と

起きない場合があった。流速が大きくなるに従い、停止現象が生じる確率は小さくなる。また $A/D=0.5$ と 0.6 で高い流速域においては停止現象を生じていなかった。したがって U を大きくすることで形状によっては停止現象を防止することができる。よって空気速度 $U=7.6\text{m/s}$ 付近で二つの現象がみられるのはそれがこのカプセルの運動挙動の遷移流速域であると考えられる。

3.2.2 薬瓶型カプセル

実際に使用されている薬瓶と同形状のカプセルを用いて蓋径による運動の違いをみた。 B/D と N_r の関係をFig.9に示す。空気速度は $U=5.9\text{m/s}$ である。蓋径が小さいと停止現象がみられない。径が大きくなるにつれ公転数は大きくなり、 $B/D=0.9$ で停止現象を生じ公転数は大きい。 $B/D=1$ すなわちカプセル径と等しくなった時点で停止現象が生じなくなった。Fig.10に空気速度 U と N_r の関係を示す。全ての流速域で $B/D=0.9$ が最も高い公転数を示している。 $B/D=1$ はほとんど公転を行って

いない。また $B/D=0.98$ は流速が大きくなると停止現象を生じず運動が遷移している。このことから空気流速を大きくすることで停止現象が防止できるといえる。

4. 結論

本研究より以下のことがわかった。

- 1) 停止現象を生じているカプセルは激しく回転している。
- 2) 重心位置が下のものほど鉛直軸に対する傾きはすくなくなり、その結果停止現象を生じにくい。
- 3) カプセル形状により停止現象が生じやすいものとそうでないものがある。

この結果から、カプセルの停止現象の防止法や生じやすい条件等が明らかになる。

参考文献

- (1) J.P.Den Hartog 著, 谷口・藤井 共訳, “機械振動論”, コロナ社(1970)。

Fig.5 Effect of center of mass on capsule posture ($U=7.9\text{m/s}$).

Fig.6 Relationship of rotation N_r and revolution N_r with the center of mass l_c/l , closed symbol: revolution, open symbol: rotation, bar: with tape ($U=8.17\text{m/s}$).

Fig.7. Relationship between N_r and A/D ($U=6.5\text{m/s}$).

Fig.8 Relationship between N_r and U , closed symbol: stoppage, open symbol: without stoppage.

Fig.9. Relationship between N_r and B/D ($U=5.9\text{m/s}$).

Fig.10 Relationship between N_r and U , closed symbol: stoppage, open symbol: without Stoppage.