E44

管内圧力波動を用いたカプセル輸送の基礎的研究

A Fundamental Study on the Capsule Transportation by the Pressure Wave in a Pipe

○学 笹本 光久 (鹿児島大院)

正 大高 武士 (鹿児島大)

正 門 久義 (鹿児島大)

Mitsuhsa SASAMOTO, Kagoshima University, Koorimoto 1-21-40, Kagoshima-shi

Takasi OTAKA, Kagoshima University

Hisayoshi KADO, Kagoshima University

Key Words: Pressure Wave, Unsteady Flow, Compressible Flow, Pneumatic Transport

1. 緒 言

本研究では空気輸送の新しい輸送方式として圧力波に注目し、その技術の実用化に向けての基礎的な研究を行った。球粒子に関する報告は、堀江らの実験^{(1), (2)}があるが、圧力波を用いた固気輸送では、プラグ輸送の場合に最も効果が大きいことから、圧力波によるカプセル輸送が最適であると考えられる。

実験ではカプセルの長さ、カプセル質量、受圧板の直径、圧力波の強さを変化させ、管内で移動するカプセルの挙動をビデオカメラにより撮影し、画像処理することにより、カプセルの移動距離、移動速度を求め、カプセル形状がカプセルの輸送特性に与える影響を実験的に明らかにした。そして、カプセル軌跡の実験値と、運動方程式から得られる理論計算値との相関を調べることでカプセルの非定常抗力係数を求めた。以上の結果から圧力波動を用いたカプセル輸送技術の可能性と特徴が明らかになった。なお、本報ではカプセル輸送特性について記述する。

2. 実験装置および方法

図1は実験装置概略である。本実験ではコンプレッサー①から供給された圧縮空気をレギュレーター②で一定圧力に調整し、容積 396cm³ のタンク④に送る。タンクの入口、出口には電磁弁③-A, B を取り付け、シーケンサー⑨で制御することによって一定量の圧縮空気を供試管に開放して圧力波を発生させる。なお、圧力波の発生周期は $T = 0.7$ (sec) で一定とした。供試管内径は $d = 30$ mm で、ディフューザー⑤出口部を基準位置として管軸方向への距離を z とする。このとき、供試管の下流端は $z/d = 156.7$ で、下流端には圧力波吸収装置⑥を設置し管内には進行波のみが存在する圧力場とした。なお、供試管内には $z/d = 1.7$ の位置に圧力センサー⑧を設置し、圧力波形を測定した。

図2に供試カプセルを示す。カプセルには片側に3個ずつ、計6個の車輪が取り付けられている。車輪が取り付けられている受圧板を交換することにより、管内径 d に対する受圧板直径 d_j の比 $k (= d_j/d)$ を3通りに変化させた。またカプセル長さを3通りに変化させ、カプセルの中に重りをいれることでカプセルの質量を2通りに変化させた。

供試カプセルの条件は、 $k = 0.83, 0.90, 0.96$ 、カプセル長さ $l_c = 23, 44, 63$ (mm)、カプセル質量 $m_c = 53, 70$ (g) とした。表1に今回の実験条件を示す。供試カプセル1つを管内に置き、進行波を発生させた時のカプセル挙動をビデオカメラで撮影した。その画像からカプセル軌跡を求めてカプセル移動距離と速度を求めた。

図3には、タンク④内の圧力を $P_t = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ (MPa) とした場合に供試管内に発生した圧力波形を示す。

最後に圧力波を用いたカプセル輸送の輸送特性を解明するために、圧縮空気の断熱膨張仕事 W_a と供試カプセルが受けた仕事 W を用いて、カプセルの輸送効率 W/W_a を算出した。

Fig. 1 Experimental Equipment

Fig. 2 Experimental Capsule

Fig. 3 Pressure Wave

3. 実験結果および考察

3. 1 カプセルの軌跡と速度

図4は直径比 $k = 0.83$ 、カプセル長さ $l_c = 44$ (mm)、カプセル質量 $m_c = 53$ (g) のものを供試管内に設置し、 $P_t = 0.3$ (MPa)

の圧力波を発生させたときのカプセル軌跡の例である。

図5は同じ条件のカプセル速度である。圧力波がカプセルを瞬時に通過するために、加速運動をしているのはカプセル運動の初期だけで、軌跡の大部分は減速運動となっている。軌跡が平坦になっているところは、図5から分かるように、速度が0となりカプセルは停止している。直径比が大きいカプセルの場合は、カプセル速度が0にならず移動を続けるカプセルもあった。またタンク圧が大きいほどカプセルの移動速度は大きくなった。

Table.1 Measurement Condition

(a) $k=0.83$			(b) $k=0.90$			(c) $k=0.96$		
l_c (mm)	m_c (g)	P_t (MPa)	l_c (mm)	m_c (g)	P_t (MPa)	l_c (mm)	m_c (g)	P_t (MPa)
23	53.00	0.1	23	53.00	0.1	23	53.00	0.1
		0.2			0.2			0.2
		0.3			0.3			0.3
		0.4			0.3			0.3
44	53.00	0.1	44	53.00	0.1	44	53.00	0.1
		0.2			0.2			0.2
		0.3			0.3			0.3
		0.4			0.3			0.3
63	70.00	0.1	63	70.00	0.1	63	70.00	0.1
		0.2			0.2			0.2
		0.3			0.3			0.3
		0.4			0.3			0.3

Fig. 4 The Locus of a capsule

Fig. 5 The Velocity of a capsule

3. 2 カプセルの最大移動距離

カプセル軌跡の実験結果より、1周期(0.7sec)の間にカプセルが移動した最大値距離を求め、8周期分の平均値を求めて各供試カプセルの1周期当たりの最大移動距離を算出した。図6は、カプセル長さ $l_c=44$ (mm)、カプセル質量 $m_c=53$ (g)で、最大移動距離に対する直径比の影響を表したものである。図から分かるように、タンク圧が大きいほど最大移動距離は大きくなり、直径比が大きくなると最大移動距離が急激に増加することが分かる。この結果から、直径比が大きくなり面積が管断面積に近づく流体抗力が著しく増加することが分かる。

3. 3 カプセルの輸送効率

圧力波を用いたカプセル空気輸送を評価するため、タンク

④内の圧縮空気の断熱膨張仕事に対するカプセルが受けた移動仕事の比率を求めた。

Fig. 6 Maximal value of moving distance

すなわち、圧縮空気が供試管内に放出されたときの断熱膨張仕事 W_a とカプセルを移動させるために必要な摩擦仕事と位置エネルギーを計算して求めた仕事 W を算出し、カプセルの輸送効率 W/W_a を計算した。

図7は、カプセル長さ $l_c=44$ (mm)、カプセル質量 $m_c=53$ (g)で、輸送効率に対する直径比の影響を表したものである。

タンク圧が大きくなると輸送効率も大きい値を示している。また直径比 k が大きくなるほど輸送効率は増大し、特に $k=0.96$ の時に著しく増大していることが分かる。このことからカプセル空気輸送においては直径比 k ができるだけ1に近いカプセルを用いる方が輸送効率がよくなるとともに、輸送距離も大きくなるということが分かる。

他の供試カプセルに関する輸送効率については、やはり直径比が大きいほど、そしてカプセルの質量が小さく、カプセル長さが短いほど、輸送効率が大きくなることが分かった。

Fig. 7 Transport efficiency

4 結言

- (1) タンク圧が大きいほどカプセルの移動速度は大きくなる。
- (2) 直径比、タンク圧が大きくなるほど、またカプセルの質量が小さいほど最大移動距離は大きくなる。
- (3) 最大移動距離また輸送効率に大きく影響を及ぼすのは直径比である。
- (4) 本実験においてはタンク圧 $P_t=0.3$ (MPa)、 $k=0.96$ 、カプセル質量53(g)、カプセル長さ23(mm)の時、輸送効率は $W/W_a=0.16\%$ で最も高くなった。

参考文献

- (1) 堀江ほか, 混相流, Vol. 16, No. 4, p. 404 (2002)
- (2) 堀江ほか, 混相流, Vol. 17, No. 3, p. 276 (2003)