

粒状体のシュート内の流れと堆積

東北工科大学 学生員 須田 純
 " 正員 佐武正雄
 " " 岸野佐次

1. まえがき

近來、シュートを流れる砂や粉体の運動に関しては、おもに粉体工学の分野において実験的に研究されてきているが、シュートを流下する粉体や粒状体の力学的性質に関する理論はまだ確立されていないように思われる。著者らは、粒径が2~10mmの粒子よりなる粒状体を対象として、先ず図-1に示すような装置及びビデオ録画装置を用いて実験を行ない、種々の条件下における粒子とシュート間の摩擦係数を算定した。次にホップ及びシュートより放出された粒子の堆積の形状を観察する実験を行ない、安息角を求めた。本文はこれらの実験結果をもとにシュートを流下する粒状体の性質に関する考察を示したものである。

2. 実験とその結果

実験に用いた粒状体流下装置を図-1に示す。シュートは溝形断面であり、底板はステンレス板、側板は外から粒子の運動を観るにこができるように、透明なガラス板でできている。粒子は軽量でとり扱い易いこと、すべての粒子の表面が全粒として均質であることを考慮して、人工軽量材料「サライト」(単位重量0.976kg/l)を使用し、粒径5~10mmと粒径2~5mmそれぞれ基本粒ととした。

実験は最初に、ビデオ録画装置(γ-ビデオカメラ、モニターカメラ)を用いて粒子を直接追跡することにより速度を求めた。その結果、粒子はいわゆるplug-flowとして流れており、流速と流下距離の関係は図-2に示す通りである。この図によれば、粒子の運動は摩擦係数を考慮に入れた運動方程式

$$\frac{d^2s}{dt^2} = g(\sin\beta - \mu \cos\beta) \quad (1)$$

により解析することが可能である。

流下の予測される位置に小箱(2.5×2.5cm)を並べてその中に入った粒子をもとに算定した平均的な流下位置によりμを求める方法は簡単であり、ビデオ撮りの場合の結果とほとんど同じ値を得る。μは式(1)により求まる。

$$\mu = \tan\beta - \frac{v^2 - v_0^2}{2gs \cos\beta} \quad (2)$$

$$v^2 = \frac{g}{2} \frac{s^2}{\cos^2\beta (H_c - x_c \tan\beta)} \quad (3)$$

ここにsは流下位置、H_cは流下高さである(図-2)。

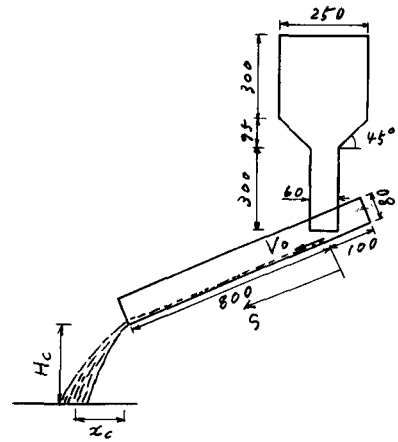


図-1

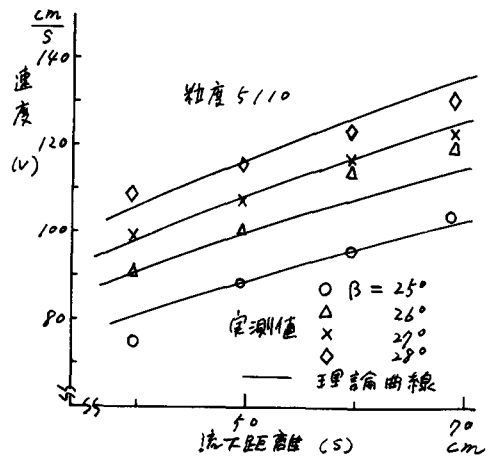


図-2

実験はシュートの角度 $\beta = 38^\circ, 40^\circ, 42^\circ$ と 44° に対して行なった。なお、シュート幅を h とすることにより流れる状態を定量化した。結果は表-1に示す通りである。混合粒度の比はそれぞれの基本粒度の重量比である。

次に、粒状体の堆積の安息角を求めるために、透明アクリル板($40\text{ cm} \times 80\text{ cm}$)を平行に 4 cm 離して固定した装置に、ホリバ(出口径 $2.5\text{ cm} \times 3.0\text{ cm}$)から、流下高さ h に常一一定にして鉛直方向より、また、堆積基準面より 20 cm の高さに固定して斜め方向より粒子(粒度 $2/5$)を放出し堆積させる実験を行なった。なお、堆積角の影響をできるだけ除くために、堆積角の間にあらかじめ数 cm の厚さで粒子を敷くこととした。実験結果は表4-2に示す通りである。

3. 考 察

摩擦係数について

表4-1によれば、粒子径が大きくなるにつれて、摩擦係数は小さくなる。また、混合粒度の場合には基本粒度のそれぞれの摩擦係数の平均的な値となる、と思われる。

さらにによれば、シュートを流れる粒子の摩擦係数は流れる状態により変化する。

$$\mu' = \mu (1 + \alpha \frac{H}{h}) \quad (4)$$

なる式で与えられるという。ここで μ は粒子とシュート表面の物理的性質により定まる摩擦係数、 H/h は流れる層厚とシュート幅の比である。しかし本実験より求められた μ と H/h の関係によれば、 α は $0.6 \sim 0.8$ 程度の大きな値となる。二の原因として、式(4)が砂りような二まかい粒子に対して導かれたものであること、また、大きな粒子の流れの層厚を厳密に測定することが難しいことなどが考えられる。

堆積の安息角について

表-2によれば、 h が大きい場合や β が大きい場合、堆積に衝突する粒子の速度が速いので、安息角は小さくなる傾向にある。しかしいずれの場合においても安息角の違いは小さい。二の理由は、粒子同士のかみ合わせの影響が大きいと、と思われる。

4. おとがき

摩擦係数を考慮した運動方程式により粒子の流れを解析する場合、摩擦係数が流れる状態により変化する。この点について今後、研究を進めていきたいと考えている。また、粒状体の堆積の安息角だけでなく、堆積中の粒度偏析についても、今後、研究を進めていきたいと思っている。

参考文献 1) A.W. Roberts, Journal of Engineering for Industry, May (1969), 373-481

2) D.A. Augenstein & R. Hopp, Powder Technology, 10 (1972), 43-49

表 - 1

粒度 幅	5/10	4:1	1:1	1:4	2/5
8.0 cm	0.499 ± 0.009	0.572 ± 0.014	0.514 ± 0.028	0.553 ± 0.018	0.500 ± 0.030
5.3 cm	0.594 ± 0.034	0.615 ± 0.033	0.618 ± 0.021	0.643 ± 0.041	0.616 ± 0.056
4.2 cm	0.665 ± 0.018	0.677 ± 0.013	0.696 ± 0.017	0.710 ± 0.012	0.704 ± 0.029

表 - 2

(a)

重量 hc	10 cm	20 cm	30 cm
1000 g	35.2 ± 0.4	34.8 ± 0.7	34.6 ± 0.2

(b)

重量 β	400 g	600 g	800 g	1000 g	1200 g
30°	37.9 ± 0.2	39.9 ± 0.9	40.9 ± 0.6	41.8 ± 0.5	42.3 ± 1.2
35°	36.9 ± 0.6	39.4 ± 0.7	38.7 ± 0.9	39.9 ± 0.5	41.3 ± 0.8

単位 [度]