用語の解説

スラリー輸送に関する用語の解説 (2)*

Comments on the Terms Used for Slurry Transportation (2)

益 山 忠**

MASUYAMA Tadashi

前回はスラリーの流動を取り上げ、取り分け、スラリーの分類・流動様式関係の用語について述べた。今回は、流動の様相が変わる速度、すなわち遷移速度(限界速度)について述べるとともに速度と命名されている用語の説明を試みる。なお、著者の独断が含まれているので、読者諸兄のご意見がいただければ幸いである。

1. 堆積に関連する遷移速度(限界速度)[1-5]

スラリーが沈降性である場合、流動状態は、粒子径、比重、抗力係数などの粒子の物性値、平均流速、吐出体積濃度ならびにパイプの敷設状態などの流送条件によって異なる。流送条件として粒子および管路を考えれば、前回のFig. 2 [4]に示したように、流動状態は流速によって変化するものと見なされる。その際、ある流速範囲では、流動状態は同一の特徴を有している。この特徴の変化する際の流速を遷移速度と言う。また、圧力損失の傾向の変化する際の流速も遷移速度と呼ばれている。遷移速度には多くのものがあり、堆積速度、堆積限界速度、臨界速度、浮遊限界速度、経済速度などがその例である。

これらの遷移速度は、スラリーを管路輸送する際の輸送速度の決定指標として、全て重要なものである。沈降性スラリーの輸送においては、粒子を浮遊の状態にて輸送するとすれば高速流を必要とし、消費動力が多くな

り経済的ではない。管路の摩耗については耐摩耗性のある材質を使用するなど別途対策をとるならば、最も経済的な輸送状態は摺動層を伴う流れである。それゆえ、摺動層流れの範囲を明確にとらえておくことが大切である。特に、摺動層流れの下限は、粒子が管底に堆積を開始する速度であり、管内閉塞防止の観点からもこの遷移速度について熟知しておく必要がある。

この堆積に関する遷移速度としては、堆積速度、堆積限界速度および臨界速度がある。前回のFig. 2 [4]において、摺動層流れと部分堆積層流れとの境界を示す流速に対応しており、ここにその定義を記す。

堆積速度 V_d : 摺動層流れの状態において、管内平均流速を減少させるとき、管底の粒子が、一時的に停止し、また摺動するなど、停止と摺動状態とを繰り返す状態が観察される。この時の管内平均流速 V_m が堆積速度 V_d である。

* 1994.2.15 受付

** 東北大学工学部資源工学科 〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉
TEL(022)222-1800(4544) FAX(022)222-2114

堆積限界速度 V_l ：堆積速度 V_d よりさらに流速を低下させると管底部に明確な静止した層が形成される。この時の管内平均流速 V_m が堆積限界速度 V_l である。

臨界速度 V_c ：吐出体積濃度 C_v が一定である場合に、圧力損失が最小値を示す管内平均流速 V_m が臨界速度 V_c である。

Fig. 1 [5]は、水平管における堆積速度 V_d 、堆積限界速度 V_l ならびに臨界速度 V_c の測定

Fig. 1 水平管における堆積速度、堆積限界速度および臨界速度の関係

Fig. 2 堆積速度及ばす吐出体積濃度および管路の傾斜角の影響

結果を、また、Fig. 2 [5]は、堆積速度に及ぼす吐出体積濃度 C_v および管路の傾斜角の影響をそれぞれ示したものである。これらの図に示されるように、これらの遷移速度の値には近いものもあるが、三者の傾向は全く異なったものである。なお、既往の研究において三者値が同一であるとされる場合があったが、これは、水平管における低濃度の場合、三者の値が接近しているためである。また、このことがこれらの遷移速度の混用をもたらした原因でもある。

一方、沈降性スラリーの摺動流れの上限となる浮遊限界速度 V_{su} は、流速の増加によって摺動層の厚さがしだいに減少し、ついには摺動層が消滅し、管の上下方向に固体粒子の濃度差がある非均質流れとなる際の平均流速 V_m である。

2. 輸送に関連する速度[1, 2, 6]

沈降性スラリーの輸送においては、その輸送目的に合った最適な輸送速度が存在する。例えば、吐出体積濃度 C_v 一定の混合体を限られた動力(輸送設備の能力を最大限に活用する場合)で輸送することを目的にすれば、スラリーの輸送動力を最小とすべきであり、これはスラリーの水力勾配 i の値がその濃度において最小となる流速すなわち、臨界速度 V_c を輸送速度とすることに対応する。なお、この輸送速度では、輸送濃度の変動あるいはポンプの変動によって流速が減少した場合には管内に固体粒子が堆積する恐れがある。

経済輸送速度 V_e ：輸送設備の能力に余裕があり、吐出体積濃度 C_v 一定の混合体を高い能率で輸送することを目的とした輸送速度である。すなわち、輸送量 Q とスラリーの水力勾配 i との比が最大となる混合体の平均速度 V_m である。混合体の圧力損失が Durand の式により整理される場合には、経済輸送速度 V_e は臨界速度の 1.59 倍の値となる。ただし、管路の管摩擦係数は一定とする。

等粒子輸送量経済速度 V_{es} ：少ない動力にてできるだけ多量の粒子を輸送することを目

的とした輸送速度である。すなわち、粒子輸送量 Q_s が一定なる条件にてスラリーの水力勾配 i の値が最小となる混合体の平均流速 V_m である。なお、混合体の圧力損失が Durand の式により整理される場合には、等粒子輸送量経済輸送速度 V_{es} は臨界速度の1.26倍の値となる。

実用速度 V_p : 輸送システムが運転されている時の輸送速度であり、一般的には上述の臨界速度 V_c の1.15ないし1.30倍が良いとされている。また、この経験を基にした実用速度 V_p が等粒子輸送量経済速度 V_{es} の値に近いことから、この実用速度は安全な流速を確保するのみでなく、粒子を効率よく輸送する速度であるとも言える。

3. その他の速度

自由沈降速度：管路などの容器壁ならびに他の粒子の存在の影響を受けず、静止流体中を単一粒子が沈降する際の速度。

干渉沈降速度：管路などの容器壁ならびに他の粒子の存在の影響を受けながら、静止流体中を沈降する粒子速度。この干渉沈降速度は、同一粒子の自由沈降速度より小さい値となる。

相対速度：搬送流体と固体粒子との速度差

スラリーの速度に関する項で説明した用語

☆遷移速度(Transition Velocity)

☆限界速度(Limit Velocity)

☆堆積速度(Deposit Velocity)

☆堆積限界速度(Limit Deposit Velocity)

☆浮遊限界速度(Suspending Velocity)

☆臨界速度(Critical Velocity)

☆経済輸送速度(Optimum Velocity for Transport of Slurry)

☆等粒子輸送量経済速度(Optimum Velocity for Transport of Solids)

☆実用速度(Practical Velocity)

☆自由沈降速度(Free Settling Velocity)

☆干渉沈降速度(Hindered Settling Velocity)

☆相対速度(Relative Velocity)

参考文献

- [1] スラリー輸送研究会編：スラリー・カプセル輸送技術要覧、開発問題研究所、p.77(1983).
- [2] 日本機械学会編：管路・ダクトの流体抵抗、日本機械学会、p.175(1979).
- [3] Newitt,D.M.,Richerdson,J.F.,Abbot,M.and Turtle,R.B.,Trans.Instn Chem.Engrs., Vol.33,93-113(1955).
- [4] 益山忠：混相流、Vol.7,No.4,361-363(1993). Lazaras,J.H.and Neilson,I.D.,Proc.Hydrotransport 5,B1-16(1978).
- [5] Noda,K.,Masuyama,T.,Kawashima,T.and Hashimoto,H.,Proc. Hydrotransport 7, 231-244(1980).
- [6] 宮江伸一：日本機械学会論文集、Vol.40, No.333,1321-1330(1974).