

充填層中の粉体流動特性および蓄積挙動に関する研究

(平成6年度石原・浅田研究助成金交付に対する報告書)

埜上 洋 (東北大学素材工学研究所)

1. 緒言

近年、高炉羽口への微粉炭の吹き込み量が、年々増加していることは周知の通りである。微粉炭の多量吹き込み時には、未燃の微粉炭粒子あるいは微粉コークスが生成し、気流に同伴されて炉内を流通する。これらの粉体を同伴する充填層中の混相流動は、炉内の流動ばかりでなく伝熱、反応と深く関わるため、微粉炭吹き込み限界あるいは多量吹き込み時の安定操業条件の探索を行う上で、その特性を把握しておく必要がある。そこで本研究では、充填層中における固気混相流動特性の定量的な推算法を確立することを目的として、コールドモデル実験による流動パラメータの測定および充填層中の固気二相流動特性を表現可能な数学モデルの開発を行った。

2. 実験

実験では、内径100mm、長さ1120mmの円筒形の充填層（ガラス球：2.48mm）に、側壁の底面から高さ40mmまでの部分から粉体（ガラス粉：98,175 μm ）を伴った気流を導入し、充填層中の圧力損失と粉体の滞留量の定常値および粉体吹き込み開始時から定常に達するまでの経時変化の測定を行った。

定常状態における充填層中の圧力損失は、気体のみの流通時と比較して気体—粉体二相流動時に増加する傾向を示した。充填層中の粉体滞留量は、供給ガス流量が低下すると増加する傾向があり、その傾向は低ガス流量域ほど顕著であった。また充填層中の圧力損失は、ガス流量の低下に伴って低下するが、低流量域では充填層中の粉体滞留量の増加によって増大する傾向があった。

装置底面から40mmまでの高さにおける、粉体の蓄積挙動をFig.1に示す。吹き込み開始直後には、ガスおよび粉体の供給口付近、即ち層周辺付近の粉体滞留量が最も多いが、時間の経過に従って粉体滞留量のピーク位置は周辺部から中心部へと移行している。これは、粉体供給開始直後には供給口直前部への蓄積によって中心部への粉体の流通量が少なく、この後、周辺部への粉体滞留量が飽和量に近づくと、中心付近への供給量が増加して、粉体の蓄積領域が層周辺部から中心部へと移行するためであると考えられる。

3. 数値解析

充填層中の固気混相流動を表現するためには、層中を流通する気体および粉体に対して、それぞれ連続の式および運動方程式 (Eq.1) を解く必要がある。また各方程式には、粉体の正味の蓄積速度 (R_f)、気体—充填粒子 (F_{g-s})、気体—粉体 (F_{g-f}) および充填粒子—

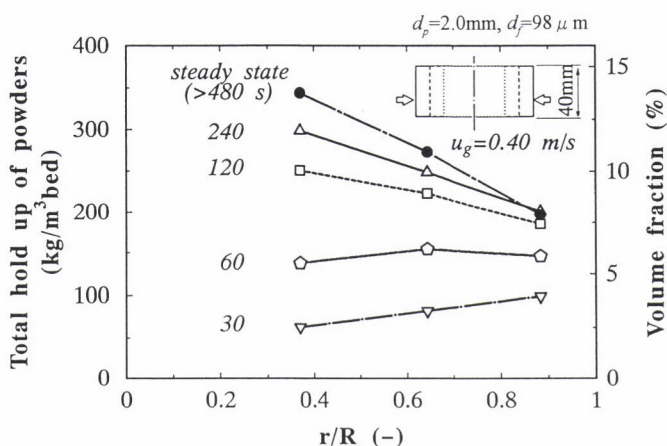


Fig.1. Transient variation of radial distribution of powder hold up in the inlet part of the packed bed.

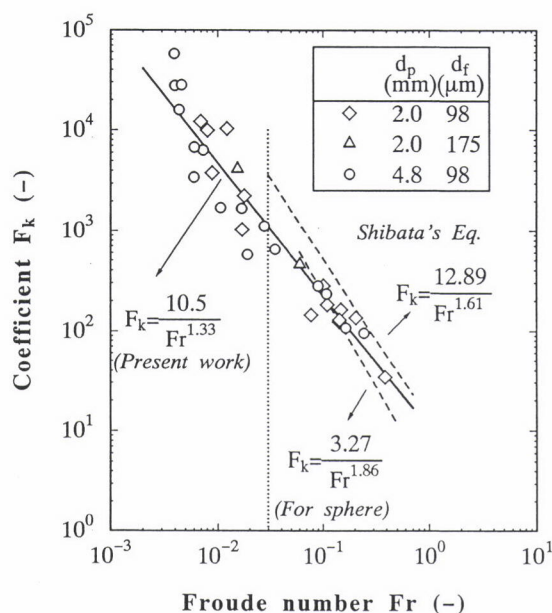


Fig.2. Relationship between coefficient F_k and Froude number Fr .

粉体 (F_{s-f}) 間の相互作用を考慮する必要がある。 F_{g-s} および F_{g-f} については、従来の手法^{1,2)}を用いることが可能である。粉体—充填粒子間の相互作用力 F_{s-f} については、 $F_{s-f} = (F_k/2D^*) \varepsilon_f \rho_f (V_f/\varepsilon_f)^2$ と表し、測定結果を用いて整理すると、係数 F_k はFroude数に対して、Fig.2に示す関係が得られる。粉体の正味の蓄積速度は、粉体の充填層中への捕捉速度 (r_s) と静的hold upの脱離速度 (r_d) の差としてEq.5の様に表される。粉体の捕捉速度に関しては、気流からの粉体の分離機構として重力沈降および慣性力を考慮した。Table1に、解析に用いた方程式群をまとめて示す。結果の一例としてFig.3に、充填層への粉体吹き込み開始からの層内圧力の経時変化を示す。解析結果は、傾向、値ともに測定結果を良好に再現している。層下部における粉体の蓄積挙動に関しても良好な一致が得られており、本解析法は充填層中の粉体の非定常挙動の推算法として有効であることがわかる。また装置内における粉体の捕捉機構については、半径方向（水平に）に吹き込まれた粉体が軸方向（垂直方向）に運動の方向を変化させる装置下部では、慣性力による捕捉が支配的であることが解析によって示された。

文献

- 1) S. Ergun : Chem. Eng. Prog., 48 (1952), 89
- 2) C. Y. Wen and Y. H. Yu : Chem. Eng. Prog. Symp. Ser. 62 (1966), 100
- 3) J. F. Richardson and W. N. Zaki : Trans. Inst. Chem. Eng., 32 (1954), 35

(1996年6月4日受付)

Table 1. Fundamental equations.

$\frac{\partial(\varepsilon_i \rho_i \phi_i)}{\partial t} + \text{div}(\varepsilon_i \rho_i V_i \phi_i - \varepsilon_i \Gamma_{\phi_i} \text{grad} \phi_i) = S_{\phi_i}$					(1)
$i: g \text{ (gas) or } f \text{ (powder)}$					
$\varepsilon_g + \varepsilon_f + \varepsilon_{fs} + \varepsilon_s = 1$					(2)
$\frac{\partial(\varepsilon_{fs} \rho_f)}{\partial t} = R_f$					(3)
Source terms					
Conservation of	i	ϕ	Γ	S	
Continuity	g	1	0	0	
Momentum	g	V	0	$-F_{g-s} - F_{g-f} - \varepsilon_g \text{grad} P$	
Continuity	f	1	0	$-R_f$	
Momentum	f	V	0	$F_{g-f} - F_{s-f}$	
Interaction forces					
F_{g-s} : Based on Ergun's equation ¹⁾					
F_{g-f} : Particle drag modified by Richardson and Zaki ³⁾					
$F_{s-f} = (F_k/2D^*) \varepsilon_f \rho_f \frac{ V_f }{\varepsilon_f} \frac{V_f}{\varepsilon_f}$					(4)
Deposition rate					
$R_f = r_s - r_d = k_s \varepsilon_f \rho_f V_f A_v - k_d \rho_f \varepsilon_{fs}^2 \frac{ V_s }{u_t}$					(5)

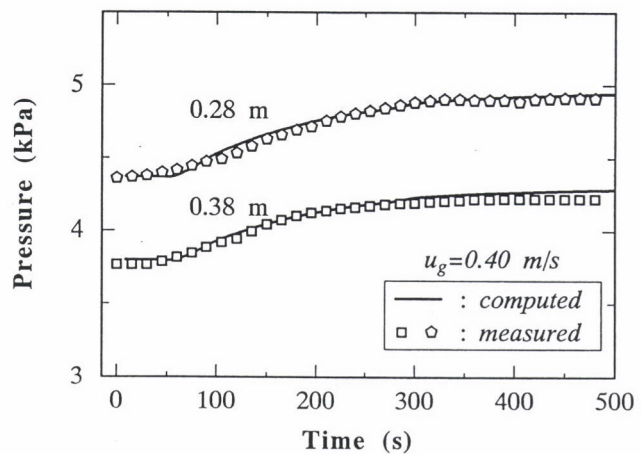


Fig.3. Pressure variations at two different heights in gas-powder two phase flow within a packed bed.