

604 循環流動床の流動特性に関する研究

Flow Characteristics of Circulating Fluidized Bed

○ 森田 真一 (広島工大院) 正 橋詰 健一 (広島工大)

Shinichi MORITA and Kenichi HASHIZUME

Hiroshima Institute of Technology, Miyake 2-1-1, Saeki-ku, Hiroshima

Key Words: Liquid-Solid Circulating Fluidized Bed, Holdup

1. 緒言

液相循環流動床には、従来の流動床よりも高い管内流速域で運転することにより、従来の流動床の利点に加え、充填粒子量を削減できる利点がある。このことより食品工業、石油化学、等の分野に応用する潜在的な能力を持つとされて研究が進められ、一部はすでに実証段階から実用段階に入っている。

液相循環流動床を応用した熱交換器や反応器の設計に際して粒子充填量を決定するための重要なパラメータに粒子ホールドアップがある。また、粒子ホールドアップは従来の流動床から分かるように、伝熱特性等の研究においても重要な値である。この粒子ホールドアップに関しては、Grbavcicら⁽¹⁾、Liangら⁽²⁾、Leeら⁽³⁾の研究が知られている。しかしながら、繰り返し計算が必要であったり、明らかな間違いがあるなど、未だ実用的といえる方法は知られていない。そこで、本実験はこのホールドアップの予測式を作成することを主目的に実験を行った。

2. 実験装置及び実験方法

循環流動床は従来の流動床よりも管内流速域が高いため、壁面摩擦圧力損失が増加する。また、その割合は決して小さくないことが知られている。そのため従来の流動床のように壁面摩擦圧力損失を無視して、静圧分布測定を行うには問題がある。そこで、本実験では、粒子ホールドアップの測定に締め切り法を用いた。実験装置を Fig.1 に示す。装置は主に、アクリル製の上昇管と、ホールドアップ測定用の締め切り装置、引き込み管と測定管からなる液固循環量測定装置、上昇管上部から排出された粒子を混合物に戻すための下降管からなる。上昇管は全長 2000mm で、内径 24mm と 36mm の 2 種類を用いた。ホールドアップ測定用の締め切り装置は、混合部から 600mm の所に測定区間 515mm で配置し、締め切り動作にはエアシリンダーを用いた。液固循環量測定装置は、引き込み管を駆動させ、上昇管から排出された液相と固相の両方を測定管に取り込む。引き込み管の駆動には、ロータリーアクチュエータを用い測定時間はタイマーで制御した。また、同時に取り込まれた液相と固相は測定管上部で分離させた。

液相は装置の底部及び、混合部側面、下降管側面の 3 方向から分散板を通し流入させた。このそれぞれの流量を変化さ

せることにより、粒子質量流束及び、液相流速の調整を行った。また、粒子の上昇管への進入量を増やすためにエジェクタ効果を期待し、主流を流入させる管の先端にノズルを、混合部の上部にレデューサを設置した。また、本実験では、固相として Table.1 に示す三種類の粒子を、液相にはタンクに溜めた水道水を用いた。

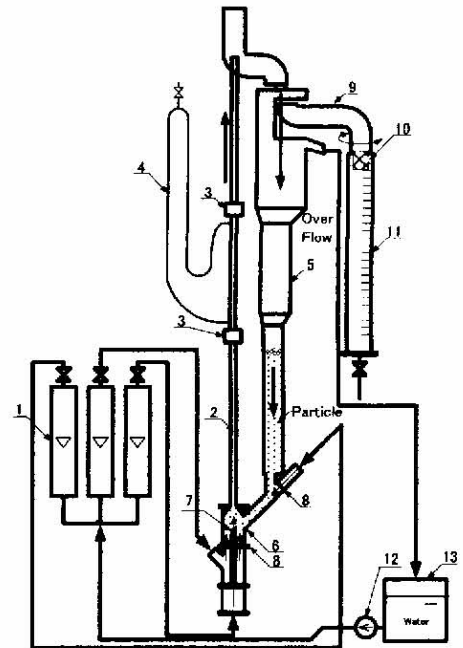


Fig.1 Experimental apparatus

(1)flow meter; (2)riser; (3)shut off device; (4)manometer; (5)downcomer; (6)mixing section; (7)nozzle; (8)distributor; (9)sampling pipe (10)liquid-solid separator; (11)measuring cylinder; (12)pump; (13)water tank.

Table 1 Tested particles and particle number

Particle No.	Material	Diameter (mm)	Density (kg/m ³)
53	Glass	4.95	2526
61	Ceramics	2.10	3701
63		4.02	

また、粒子ホールドアップは、液固循環流量を測定した後、続いて締め切り装置を駆動させ、測定区間内に捕獲された粒子を管内から取り出し乾燥させた後、体積測定を行うことにより測定した。

3. 実験結果と考察

Fig.2(a)に Pno.61 の、異なる管径レイノルズ数における、

固相と液相との質量流束比に対する粒子ホールドアップの変化を示す。粒子ホールドアップは、質量流束比の増加と共に高くなり、その近似線の傾きは管径レイノルズ数及び、粒子の種類に関わらず、ほぼ一樣になることが分かる。このことから傾きの平均を求め、Fig.2(b)を作成した。Fig.2(b)より、粒子ホールドアップは粒子直径に依存せず粒子密度にのみ依存することが分かる。

以上を踏まえ測定値を整理した結果、作成した式を以下に示す。

$$\epsilon_p = 102 \left[\frac{(\rho_p - \rho_L)}{\rho_L} \right]^{-0.483} Re_D^{-0.534} \left(\frac{G_p}{G_L} \right)^{0.856} \quad (1)$$

続いて本研究の測定値と式(1)との比較を Fig.2(c)に示す。測定値と式(1)による計算値は、ほぼ全ての測定点において±15%以内で一致した。

次に、現在知られている粒子ホールドアップの予測方法との比較を行った。まず、Lee らによって作成された式(2)との比較結果を Fig.3(a)に示す。結果は全く一致するものではなく論文にミスプリントがあるのではないかとと思われる。

$$\epsilon_p = 0.783 u_L^{-0.100} G_p^{0.164} d_p^{0.302} \mu_L^{-0.036} \quad (2)$$

続いて Grbavcic らの方法と比較した結果を Fig3(b)に示す。結果は平均して 18%ほど小さな値となった。また、同じく Liang らの方法との比較結果を Fig3(c)に示す。結果は、±25%で一致したが、平均しては+7%ほど高い値となった。

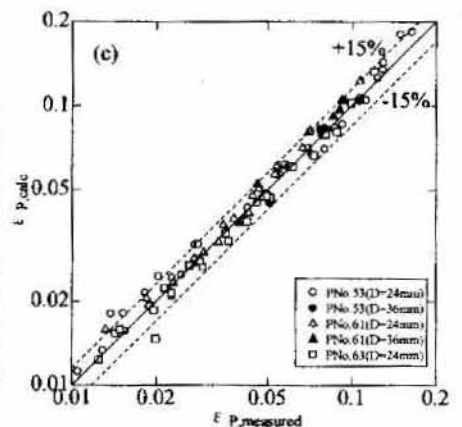
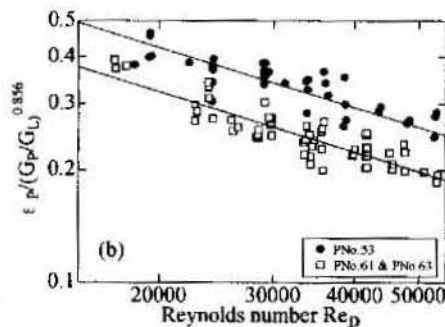
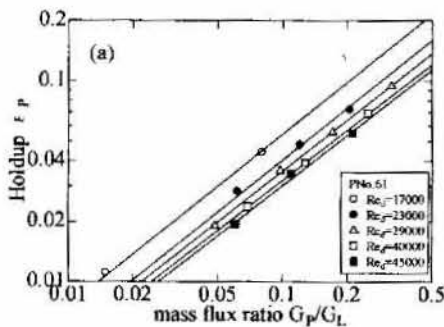


Fig.2 Evaluation of experimental data

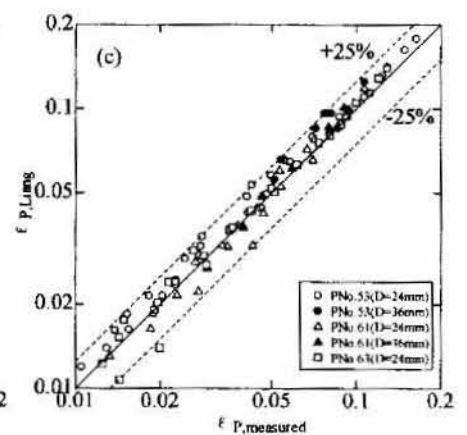
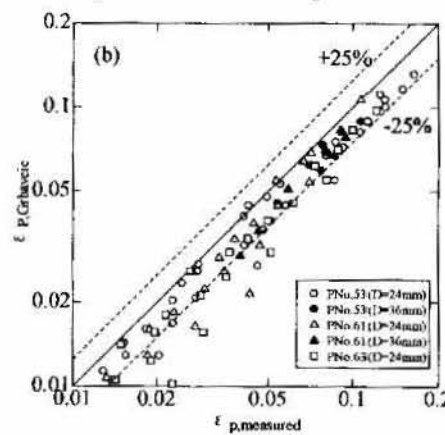
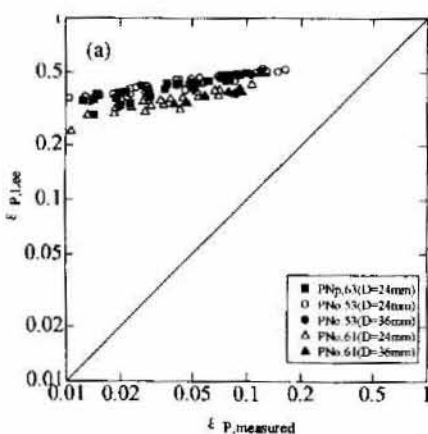


Fig.3 Comparison of experimental data with various correlations

Grbavcic らとの比較結果は気になるものの両式共に概ね一致した。しかしながら、これらの方法は、いずれも繰り返し計算を必要とし設計の際に利用するには不便である。

4. 結論

本研究では、液相循環流動床において、締め切り法を用いて実験を行い、以下の結果を得た。

- (1) 循環流動床において粒子ホールドアップは、管径レイノルズ数、循環質量流束比、粒子密度にのみ依存する。
- (2) 式(1)を用いれば循環流動床での、粒子ホールドアップの測定値を実験範囲内においては±15%の精度で再現できることがわかった。

5. 記号

ϵ_p : 粒子ホールドアップ, G_p : 粒子質量流束 [kg/m^2s], G_L : 液相質量流束 [kg/m^2s], ρ_p : 粒子密度 [kg/m^3], ρ_L : 液相密度 [kg/m^3], u_L : 液相のみかけの流速 [m/s], D : 上昇管直径 [mm], d_p : 粒子直径 [mm], ν_L : 液相の動粘性係数 [m^2/s], Re_D : 管径レイノルズ数 = $u_L D / \nu_L$

6. 参考文献

- (1) Grbavcic, Z.B., et al., Powder Tech., 72 (1992), pp.183-191
- (2) Lee, C. G., et al., Hwahak Konghak, 41-4 (2003), pp 524-529
- (3) 梁五更・ほか4名, 化学工学報, 第44巻第6期(1993), pp. 666-671, pp.627-676