

(104) 気液向流充填層のフラッティングに至る流動特性の理論解析

大阪大学 工学部 ○ 碓井 建夫 近江 宗一

1. 緒言 高炉滴下帯上部では、コークス層中をガスはほぼ垂直上方に、液体は垂直下方に流れ、気液向流充填層とみなせるが、ここにおけるフラッティング現象が、棚つりと関連して注目されてきた¹⁾。そこで本研究では、基礎的事項として同充填層内の液体と気体の流れを取り上げ、管束 (tube bundle) モデル²⁾を用いて解析し、フラッティング現象の理論的な検討を試みた。

2. 理論 液滞留量 V_f は充填物表面に均一に分布し、その液膜の厚さが δ であるとする。さらに充填層は水力直径 d_h の n 個のチャネルから成り立っているものとする。また滴下液膜は層流で流下すると仮定する。この場合、液膜に対する運動方程式、境界条件は次式で表せる。

$$(\mu_f/r)d(rd_w_f/dr)/dr + \rho_f g = 0 \dots (1) \quad r=d_h/2-\delta: \mu_f(dw_f/dr)=\tau \dots (2) \quad r=d_h/2: w_f=0 \dots (3)$$

そこで液膜の速度 w_f 、したがってまた平均速度 w_f が記述できる。これを、液体/気体界面におけるせん断応力 τ と気体の圧力損失 Δp との間に成立する関係 $\tau = \Delta p (d_h - 2\delta)/(4H) \dots (4)$

を用いて書き換えると
$$\frac{\Delta p}{H\rho_f g} = -1 - \frac{8\nu_f w_f / (g d_h^2) - [1 - (1 - 2\delta/d_h)^2] / 4}{\left\{ \frac{1}{2} + \left(1 - \frac{2\delta}{d_h}\right)^2 \frac{\ln(1 - 2\delta/d_h)}{1 - (1 - 2\delta/d_h)^2} \right\} \left(1 - \frac{2\delta}{d_h}\right)^2} \dots (5)$$

いま、 $\varepsilon A = \pi d_h^2 n/4$, $w_f = U_f / [4\varepsilon(\delta/d_h)(1 - \delta/d_h)]$, $w = U / [\varepsilon(1 - 2\delta/d_h)^2]$, $d_h = 2d_p\varepsilon / [3(1 - \varepsilon)]$, $\Delta p = \lambda H \rho w^2 / (2d_h - 4\delta)$ の関係を用いて (5) 式を書き換えると、次式を得る。

$$\lambda \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \frac{U^2 \rho}{d_p g \rho_f} = -\frac{4}{3} \left(1 - \frac{2\delta}{d_h}\right)^5 - \left(1 - \frac{2\delta}{d_h}\right)^3 \frac{\nu_f U_f (1 - \varepsilon)^2}{g d_p^2 \varepsilon^3} \frac{6}{(\delta/d_h)(1 - \delta/d_h)} - \frac{4}{3} \left(\frac{\delta}{d_h}\right) \left(1 - \frac{\delta}{d_h}\right) \dots (6)$$

上式につきの関係を用いる。 $\delta/d_h = [1 - \sqrt{1 - V_f / (\varepsilon V_t)}] / 2 \dots (7)$

$$\lambda = (64/Re)(1 - \gamma) + (0.3164/Re^{1/4})\gamma \dots (8)$$

ただし $Re = 2d_p U / [3\nu(1 - \varepsilon)(1 - 2\delta/d_h)] \dots (9)$

$$Re < 1900: \gamma = 0, \quad 1900 \leq Re \leq 2900: \gamma = 0.00098 Re - 1.852, \quad Re > 2900: \gamma = 1 \dots (10)$$

3. 結果 (6),(7)式から、無次元液滞留量 $V_f / (\varepsilon V_t)$ を助変数として、 $\lambda(1 - \varepsilon)U^2 \rho / (\varepsilon^3 d_p g \rho_f)$ 対 $\nu_f U_f (1 - \varepsilon)^2 / (g d_p^2 \varepsilon^3)$ の線図が描ける。これは、Mersmann³⁾が半理論的にローディング点、フラッティング点を説明した等 $V_f / (\varepsilon V_t)$ 線図に対応している。また(6)~(10)式から、 $V_f / (\varepsilon V_t)$ あるいは $\Delta p/H$ と U の関係が U_f を助変数として Fig.1 のように表される。これらは、気液向流充填層内のフラッティングに至る流動特性を定性的に表している。

記号 A: 充填層断面積(m²), d_p : 充填粒子直径(m), H: 充填層高さ(m), r : チャネル内の半径座標(m), $U(U_f)$: 空筒平均ガス(液)流速(m/s), V_t : 充填層総体積(m³), w : チャネル内の平均ガス流速(m/s), λ : 管摩擦係数, μ_f : 液体の粘性係数[kg/(m·s)]

文献 1) 福武ら: 鉄と鋼, 66(1980), p.1937/p.1947
2) R. B. Bird, et al.: Transport Phenomena, (1960), p.196 [J. W. & S.]
3) A. Mersmann: Chemie-Ing.-Techn., 37(1965), p.218

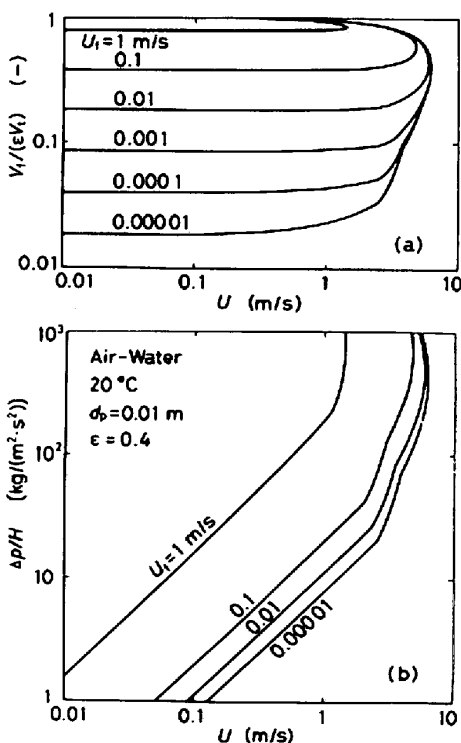


Fig.1. Variations of (a) liquid hold-up V_f and (b) pressure drop Δp with gas velocity U at various liquid velocity U_f .