

(32) 不均一な二次元充填層におけるガスの流動特性

名古屋大学 工学部

桑原 守 湯本 守
鞭 蔵

1. 結言 高炉内の流動の基礎資料を得るために、ここでは、空間率と粒子径が横方向に連続的に分布している二次元の等温の充填層内におけるガスの流動について報告する。従来、荒木¹⁾は並列充填層の層流流れについて、また、Staneck²⁾は簡単な構造をもった充填層についての二次元流れについて報告しているが、前者では横方向の流通抵抗の仮定に、後者ではガスの流入条件に問題点がある。

2. 基礎方程式・境界条件 ガスを非圧縮性流体とみなし、運動方程式をErgunの式で表わすと、連続の式： $\text{div } G = 0$ (1) , 運動方程式： $\text{grad } P = -(f_1 + f_2 |G|) G$ (2)

ただし、 $f_1 = 150(1-\epsilon)^2 \mu / \{\epsilon^3 (\phi d_p)^2 P\}$, $f_2 = 1.75(1-\epsilon) / \{\epsilon^3 (\phi d_p) P\}$

境界条件： $y=0$ (入口) で $P(x) = \text{const}$; $y=y_0(x)$ (層頂) で $G_{y, \text{top}} = 0$, $P(y_0(x)) = \text{const}$; $x=0$ (中心) と $x=R$ (壁) で $G_x = 0$ (3)

見かけの安息角 α が異なる2種類の粒子層を交互に層状装入した充填層を考えると、軸方向で平均化した粒子径と空間率は、前報³⁾と同様にして、

$$\epsilon = A + Bx \quad (4) \quad , \quad d_p = \Delta(1-A-Bx) / \{(A+Bx)(C+Dx)\} \quad (5)$$

で示される。ここで、 $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$, $\Delta_1 = V_1 / (Rw) + R\zeta/2$, $\Delta_2 = V_2 / (Rw) + R\zeta/2$, $\zeta = \tan \alpha_2 - \tan \alpha_1$, $A = (\Delta_1 \epsilon_1 + \Delta_2 \epsilon_2) / \Delta$, $B = (\epsilon_2 - \epsilon_1) \zeta / \Delta$, $C = \Delta_1(1-\epsilon_1) / (d_{p1} \epsilon_1) + \Delta_2(1-\epsilon_2) / (d_{p2} \epsilon_2)$, $D = \{1(1-\epsilon_2) / (d_{p2} \epsilon_2) - (1-\epsilon_1) / (d_{p1} \epsilon_1)\} \zeta$

流れの関数 ψ を導入して G_x, G_y を (6) 式で表わせば、基礎式(1)と(2)は(7)式で書かれる。

$$G_x = \partial \psi / \partial y \quad , \quad G_y = -\partial \psi / \partial x \quad (6)$$

$$\partial^2 \psi / \partial x^2 (f_1 + 2f_2 |\partial \psi / \partial x|) + \partial^2 \psi / \partial y^2 (f_1 + 2f_2 |\partial \psi / \partial y|) + \partial \psi / \partial x [\partial f_1 / \partial x + (\partial f_2 / \partial x) |\partial \psi / \partial x|] = 0 \quad (7)$$

ただし、 $\partial f_1 / \partial x = f_1 \{(\epsilon - 3)(\partial \epsilon / \partial x) / [\epsilon(1-\epsilon)] - 2(\partial d_p / \partial x) / d_p\}$, $\partial f_2 / \partial x = f_2 \{(2\epsilon - 3)(\partial \epsilon / \partial x) / [\epsilon(1-\epsilon)] - (\partial d_p / \partial x) / d_p\}$

3. ガスの流入条件の決定 入口における ψ を(8)式で表わして計算を上方に進め、各流線に沿って積算された出口の圧力の標準偏差が最小となるような入口条件を探索した。

$$\psi = ax^2 + bx + c \quad , \quad c = 0, \quad b = -(aR + G_0), \quad 0 < a < G_0/R \quad (8)$$

4. 計算結果 図1の(a)と(b)で示される系について得られた流線と十字流の結果の一例を図2～図4に示す。条件： $R = 0.20\text{m}$, $w = 0.04\text{m}$, $\epsilon_1 = 0.40$, $\epsilon_2 = 0.35$, $d_{p1} = 0.003\text{m}$, $d_{p2} = 0.001\text{m}$, $V_1 = V_2 = 3.2 \times 10^{-4}\text{m}^3(\text{bed})$, $\alpha_1 = 25^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$

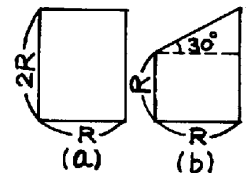


図1 装置形状

[記号] G : 質量速度ベクトル, G_0 : 吹き込みガスの空塔質量速度,

R : 充填層の幅, V : 粒子層の1層当りの体積, w : 層の奥行き

[文献] 1) 荒木, 森山, 西尾: 鉄と鋼, 60(1974), p.2085, 2) V. Staneck and J. Szekelely: Canad. J. Chem. Eng. 50(1972), p.9, 3) 桑原, 鞭: 鉄と鋼, 57(1971), p.532

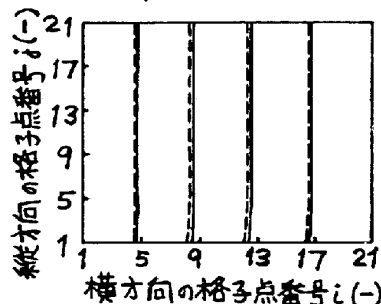


図2 水平な層頂の場合の流線

—: $G_0 = 10$, ---: $G_0 = 1 \text{ kg/m}^2(\text{bed})\text{sec}$

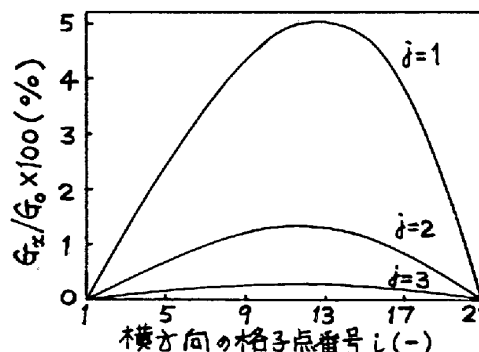


図3 層頂が水平な場合の層底部での十字流

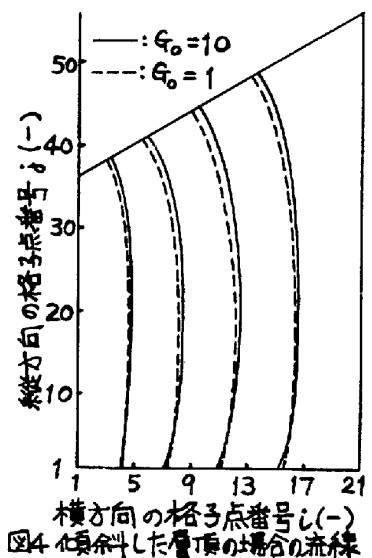


図4 傾斜した層頂の場合の流線