

(41) 2次元数式モデルによる高炉炉床内のスラグ流れの解析

川崎製鉄・技術研究所 福武 剛 千葉製鉄所 ○市原 敷  
 東京大学・工学部 河原田 秀夫 筑波大学 名取 亮

1. 緒言

出銑時における高炉炉床内のスラグ流れは、自由表面を持つ充てん層内の流体の流れと見なせる。この流れは従来モデル実験<sup>1)</sup>により取り扱われてきたが、その実験結果は最近の大型高炉のように、ほぼ連続的に出銑を行っている高炉には適用できない。出銑速度と造銑速度がほぼ等しい場合、あるいは出銑速度が変化する場合など実験が困難な場合の解析を行うため、筆者らはIP法<sup>2)</sup>(Integrated Penalty Method)による数値解析法を適用してスラグ流れの数式モデルを開発した。ここでは、モデルおよび計算結果の一部について報告する。

2. 数式モデル

スラグ流れを層流と考え、運動方程式としてダルシー(Darcy)の式を用いた。2次元直交座標x-y上で、運動方程式と連続の式から炉床でのスラグ流れの基礎方程式として

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

が得られる。境界条件は、液面で $\phi = h$ 、出銑口を除く壁面と底面で $\partial\phi/\partial n = 0$ 、出銑口で $\partial\phi/\partial n = -1/C_1$ である。液面の時間変化を示す方程式は次式で表わされる。初期液面は $h = h_0$ である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = V_1 - C_1 (\nabla\phi \cdot \nabla(y-h)) \quad \dots\dots\dots (2)$$

3. 数値計算法

IP法を用いて(1),(2)式は次のように表わされる。

$$\nabla^2 \phi_\varepsilon - \frac{1}{\varepsilon} \chi_{h_\varepsilon} (\phi - y) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial h_\varepsilon}{\partial t} = V_1 - C_1 \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon} \int_0^{y_{\max}} \chi_{h_\varepsilon} (\phi_\varepsilon - y) dy \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

- $\phi$  : 無次元圧力
- $h$  : 無次元液面高さ
- $V_1$  : 無次元造銑速度
- $\varepsilon$  : 十分小さな正定数
- $y_{\max}$  : IP法で拡張されたyの上界
- $\chi_{h_\varepsilon} = \begin{cases} 0 : (x, y) \mid 0 < x < 1, 0 < y < h_\varepsilon \\ 1 : (x, y) \mid 0 < x < 1, h_\varepsilon < y < y_{\max} \end{cases}$
- $C_1$  : 出銑条件を決める変数

境界条件は、上述の条件に加えて、 $y = y_{\max}$ で、 $\phi = y_{\max}$ が追加される。

(3),(4)式を差分化して逐次 $\chi_{h_\varepsilon}$ ,  $\phi_\varepsilon$ ,  $h_\varepsilon$ を求めるアルゴリズムを作成した。

4. 計算結果と考察

造銑速度と出銑速度が等しい $V_1 = 1.0$ の場合は、  
 図中(b)のような液面形状で定常状態となつた。 $V_1$ が十分小さい(a),(c)の場合、モデル実験の結果と同様 $V_1$ にほとんど影響されない。出銑口径が徐々に大きくなることにより出銑速度が時間の一次式で増加すると仮定した場合が(d)である。平均出銑速度が同じであるにもかかわらず、(d)の液面形状は、(c)の場合よりかなり出銑口に向けて下がった形となつている。

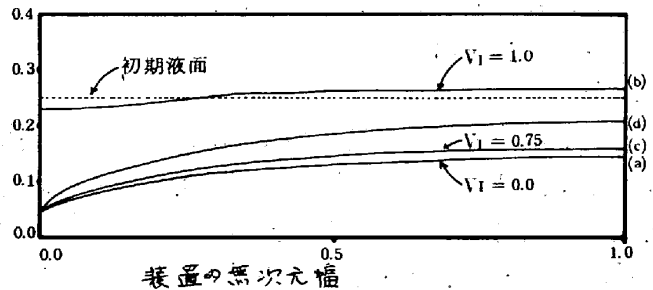


図1. 流出中に形成された液面形状

本報で数値解法として採用したIP法によれば、自由表面の取り扱いが簡単であり、液面の安定性も良かった。

参考文献 1) 福武, 岡部: 鉄と鋼, 60(1974), 6, PP. 607

2) M. Natori, H. Kawarada: Rep. Compt. Centre. Univ. Tokyo, 5(1976)1-6