

(131) 境界要素法による高炉炉床内のスラグ・メタル 2 相流れの解析

川崎製鉄千葉製鉄所 田宮 稔士 ○四方博実 小林和子 市原 勲 奥村和男
 同 水島製鉄所 福武 剛 東京大学工学部 河原田秀夫

1. 緒言

出銑中のスラグ液面形状変化を推定し高炉操業の指針を得る目的で、筆者らは IP 法¹⁾によるスラグの 1 相流解析プログラム²⁾を既に開発し、いくつかの有用な知見を得た。しかし、Pinczewski ら³⁾が実験で示しているようにメタル流の影響は相当大きいと考えられる。従つて実際の操業に本解析結果を結びつけてゆくためには、メタルも考慮した 2 相流れとし、解析精度を上げる必要がある。今回筆者らは、3 次元への拡張性も考慮して境界要素法 (BEM) を用いた 2 次元 2 相流れ解析のシミュレーションプログラムを開発し、その有効性を確かめたのでそのモデルと解析結果を報告する。

2. 解析モデル

2 相流の解析モデルを図 1 に示す。領域 Ω_i ($i=1, 2$) における速度ポテンシャル Φ_i は、以下の支配方程式を満たすと仮定する。

$$\Delta \Phi_i = 0 \quad (1)$$

ここで、 $\Phi_i = (P - P_0) / \rho_i g + y \quad (2)$

$$v = -\kappa_i \nabla \Phi_i \quad (3)$$

$P - P_0$: 圧力 (Pa), ρ_i : 密度 (kg/m^3)

g : 重力加速度 (m/sec^2), κ_i : 透過係数 (m/sec)

境界条件は、次のように表わされる。

(i) 壁面; $\partial \Phi_i / \partial n = 0 \quad (4)$

(ii) 出銑口; $\partial \Phi_i / \partial n = -v_0 / \kappa_i \quad (5)$

(iii) スラグ液面 ($y = \varphi$); $\Phi_1 = \varphi \quad (6)$

(iv) 2 相流界面 ($y = \psi$); $\kappa_1 \partial \Phi_1 / \partial n = -\kappa_2 \partial \Phi_2 / \partial n \quad (7)$

$$\Phi_1 - (\rho_2 / \rho_1) \Phi_2 = (1 - \rho_2 / \rho_1) \psi \quad (8)$$

φ と ψ の時間的发展式は、以下のように記述される。

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = - \frac{\kappa_1 \frac{\partial \Phi_1}{\partial n} \Big|_{y=\varphi}}{\cos \beta_1} \quad (9)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = - \frac{\kappa_2 \frac{\partial \Phi_2}{\partial n} \Big|_{y=\psi}}{\cos \beta_2} \quad (10)$$

Ω_1, Ω_2 の基礎式 (1) を各々 BEM のマトリックス形式で定式化し、(7), (8) で結合する事により連成系の解 $\Phi_i, \partial \Phi_i / \partial n$ を得る。更に、(4), (5) を用いれば界面の時間的变化が計算できる。

3. 解析結果の一例

本解析プログラムを用いて計算した出銑中のスラグおよびメタルの液面形状を図 2 に示す。出銑口に近いスラグ・メタル境界面で空間振動が現れたが、分割を細かくすることにより解決した。また時間发展項の取扱いに、J. A. Liggett ら⁵⁾のアルゴリズムを用いたが、この方法によると時間きざみをかなり大きくしても不安定にならなかつた。

<文献> 1) M. Natori, H. Kawarada: Rep. Comp. Centre. Univ, Tokyo, 5 (1976) 1-6

2) 福武, 市原ら: 鉄と鋼 67 (1981), S55 3) W. Pinczewski ら: 鉄と鋼 68 (1982), S111

4) 神谷, 田中, 田中訳: 境界要素法入門, 培風館 (1980)

5) J. Liggett ら: J. of Hydraulics Division 1977 (4) PP353-365

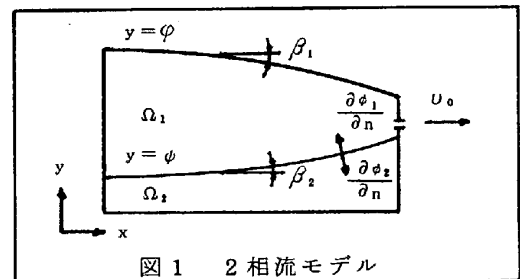


図 1 2 相流モデル

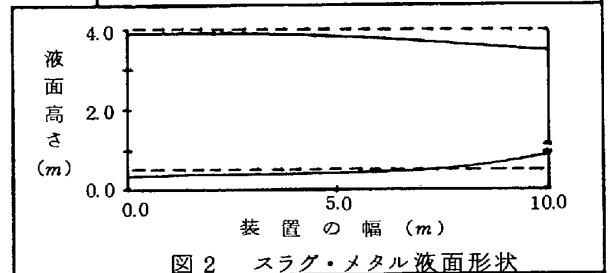


図 2 スラグ・メタル液面形状