

(185) 直接差分法による鋼塊凝固時の流動解析

大阪大学工学部

大中 逸雄、○小林 慶三
山崎 成史、福迫 達一

1. 緒言

凝固時には、温度差および溶質の再分配による自然対流が生じ、凝固界面の形状や偏析に影響を及ぼす。この自然対流の解析的研究としては、Szekelyら、および八百らの報告がある。しかし、Szekelyらの方法[1]は、テイラー展開差分法で、汎用性に欠けており、層流域とダルシー流域との境界条件にも問題がある。また八百らの方法[2]は、本報告と類似の汎用性のある優れた方法であるが、ダルシー流は、考慮されていない。本報告では、直接差分法の原理[3]に基づいて、層流とダルシー流を同時に考慮した新しい解析法と、鋼塊への適用例について報告する。

2. 解析方法

節点領域としては、多角形を使用し、節点は、節点領域の外心とし運動量保存則、質量保存則、エネルギー保存則を差分式で直接表現した。質量およびエネルギー保存則の式は、文献[3]と同じである。ただし、対流項は、質量の正味の出入を考慮して、 $\sum \rho C_p U_{ij} (T_i - T_{ij}) S_{ij}$ とした。また、運動量保存則としては次式を得た。 $\rho C_p U_{ij}, T_{ij}$ は、流入の場合、隣接要素jの値を、流出の場合、iの値をとる。

$$(\rho V g)_i \partial u / \partial t = - \sum g S U \rho \bar{u} + \sum g S \mu (u_j - u_i) / d_{ij} - g^2 V_i \mu u / k - \sum P S n g + (\rho_0 - \rho) G (g V)_i$$

実際の計算では、タイムステップ Δt 前の流速をもとにして、温度場および濃度場を求め(潜熱は温度回復法によって考慮した)、その温度場および濃度場から流れ場を解析した。流れ場の解析は、運動量保存則の圧力項を除いたものより流速を求め、さらに、連続の式を満足するように圧力の補正を加え、この圧力を用いて流速の補正を行なった。

3. 解析例

解析例をFig.1, Fig.2に示す。流動を考慮した場合には、温度差が減少し、プール(層流域)の深さが浅くなる。また、ホットトップを想定して、湯面温度を一定とすると、複数の渦が得られるという興味深い結果が得られた。さらに、凝固の進行にともない液相の濃化が見られた。このような解析により、凝固に及ぼす流動の影響がある程度評価できるものと思われる。

参考文献

- 1) J.Szekely : Met. Trans. 9B (1978) P.389
- 2) 八百ら : 鉄と鋼 , 69 (1983) S.1022
- 3) 大中 : 鉄と鋼 , 65 (1979) P.1737

記号

- ρ_0 : 初期密度 ρ : 密度
- μ : 粘性係数 C_p : 比熱
- d : 節点間距離
- G : 重力加速度
- g : 液相率 k : 透過率
- n : 法線方向ベクトル
- P : 圧力 S : 面積
- T : 温度 U : 表面流速
- u : 流速 V : 体積

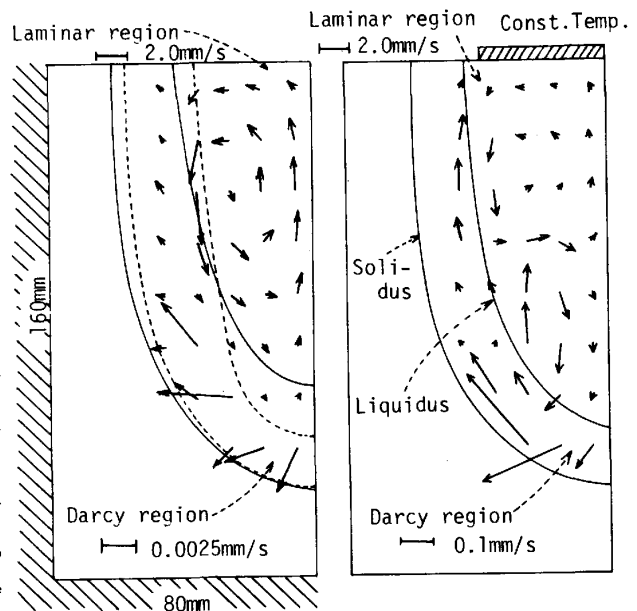


Fig.1 Calculated flow field in a steel ingot at 450 s. The solid and dotted lines are results with and without convection, respectively.

Fig.2 Effect of melt surface heating. Darcy region: $0.15 \leq g_L \leq 0.7$