

(112) スラブの連続鑄造における凝固速度および表面温度の解析

川崎製鉄 技術研究所 工博 大井 浩 松野淳一

○中戸 参

1. 緒言

スラブ連鑄機の凝固と表面温度に関する知見を得るため、一次元の伝熱モデルを用いて凝固速度と表面温度におよぼす操作条件の影響を調査した。今までにも、この種の計算結果は幾つか報告されているが¹⁾、本モデルでは、鑄型内およびスプレイ冷却部それぞれについて、表面の伝熱係数を未定のパラメータを含む操作変数の関数として与え、計算結果と実操業データを比較して、パラメータの値を決定するという方法によつて、より信頼性の高い結果が得られるように改良を加えた。

2. 計算方法

次のような仮定を設ける。 1) 定常状態とする。 2) 溶湯の対流効果は考えない。 3) 鑄込み方向および巾方向の熱流は無視する。 4) 鋼の密度は温度によつて変化しない。 5) 凝固の潜熱は比熱に繰り入れて計算する。したがつて、スラブの巾方向にx軸、鑄込み方向にz軸とすれば、

$$\rho c u \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\kappa \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 ρ は鋼の密度 (g/cm^3)、 c は鋼の比熱 ($cal/g \cdot ^\circ C$)、 u は引抜速度 (cm/sec)、 θ は温度 ($^\circ C$)、 κ は鋼の熱伝導度 ($cal/cm \cdot sec \cdot ^\circ C$)である。初期および境界条件は、

- 1) メニスカス面 $z = 0$ で $\theta = \theta_m$ (一定)
- 2) スラブの厚さ方向中心軸 $x = x_1$ で $(\partial \theta / \partial x) = 0$
- 3) スラブの厚さ方向の表面 $x = 0$ で $-\kappa (\partial \theta / \partial x) = q_x$

ここで、 q_x はスラブ表面から、冷却水によつて奪われる熱量 ($cal/cm \cdot sec$)であり、鑄型内とスプレイゾーンに大別し以下のように与える。

1) 鑄型内

鑄型内でのスラブは、(2)式に示されるように、スラブが完全に鑄型から離れる位置 z_2 (cm)までは、鑄型と部分接触を保っているものとし、空隙率 λ (-)を用いると、鑄型内の伝熱は(3)、(4)式のように与えられる。

$$z < z_2 \text{ で } \lambda = z / z_2, \quad z \geq z_2 \text{ で } \lambda = 1 \dots \dots \dots (2)$$

$$q_x = h_x (\theta_{x=0} - \theta_w) \dots \dots \dots (3)$$

$$h_x = (1 - \lambda) h_x^{(I)} + \lambda h_x^{(II)} \dots \dots \dots (4)$$

h_x は総合熱伝達係数 ($cal/cm \cdot sec \cdot ^\circ C$)、 θ_w は冷却水水温 ($^\circ C$)、 $h_x^{(I)}$ は完全接触の場合の熱伝達係数、 $h_x^{(II)}$ は空隙が生成している場合の熱伝達係数である。本モデルでは、 z_2 を変化させて、鑄型内での伝熱量を計算し、実操業データの鑄型内冷却水温度差から計算により求めた、平均伝熱量と比較して、(5)式のように、 z_2 が引抜速度の関数形として得られた。

$$z_2 = 0.339u + 0.376 \dots \dots \dots (5)$$

ただし、 u は (m/min)、 z_2 は (m)である。

2) スプレイゾーン

スプレイゾーンの熱伝達係数については、三塚ら²⁾の実験式に、(6)式のように、パラメータ a (-)を用い、スプレイゾーンでのスプレイの不均一性を補正することにした。

$$h_x = 2.25 \times 10^4 w^{0.55} (1 - 7.5 \times 10^{-3} \theta_w) / a \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 w は単位面積あたりの冷却水流量で ($\ell/cm \cdot \min$)、総合熱伝達係数 h_x は ($kcal/m^2 \cdot hr \cdot c$) で表わされている。

鋳型内の場合と同様に、 a を変化させて表面温度を計算し、ピンチロール入口付近で実測されている操業データと比較することにより、 $a = 2.25$ と得られた。

3. 計算結果

スラブの表面温度、凝固速度におよぼす、引抜速度、鋳込温度、スプレイゾーンでの冷却条件、スラブ厚等、操業条件の影響を計算した。図1には、引抜速度がスラブの中心温度、表面温度および凝固シエルの厚さにおよぼす影響を示す。表面温度は比水量が一定であれば、引抜速度に余り関係なく、鋳型出口で1250℃前後となり、その後スプレイによる強い冷却を受けて、いつたん600~700℃位まで急激に低下するが、以後は、徐々に回復しながら、800~900℃近くの温度でピンチロールにはいるという経過をたどっている。

一方、凝固シエル厚は引抜速度の与える影響が極めて大きく、引抜速度が、0.6 m/min の場合、メナスカスより、7.4 m 下方の所で凝固が完了するが、1.2 m/min になると、ピンチロール入口でも、なお残溶鋼があるという結果である。

また、スプレイゾーンの比水量が、スラブの表面温度におよぼす影響を図2に、凝固速度におよぼす影響を図3にそれぞれ示す。スプレイゾーンの比水量により、スラブの表面温度は大きく変化するが、最終凝固位置への影響は、引抜速度の場合ほど顕著ではないことが分かる。

図3は、凝固シエルの厚さを、スプレイゾーンの比水量別々に、

$$d = K\sqrt{t} - a \dots\dots\dots (7)$$

の形で整理したものである。良く知られているようにスプレイゾーンに入ると凝固速度が、鋳型内よりかなり大きくなる。本モデルの計算結果からも示される。

4. 参考文献

- 1) たとえば、 E. Y. Kung, J. C. Pollock ; Simulation 10 (1968), 29
- 2) 島田, 三塚 ; 鉄と鋼 52 (1966) 10 P. 1643~1645

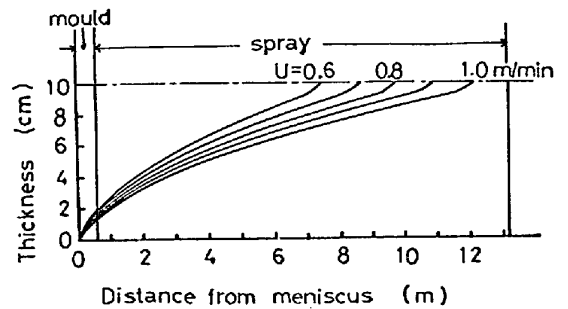
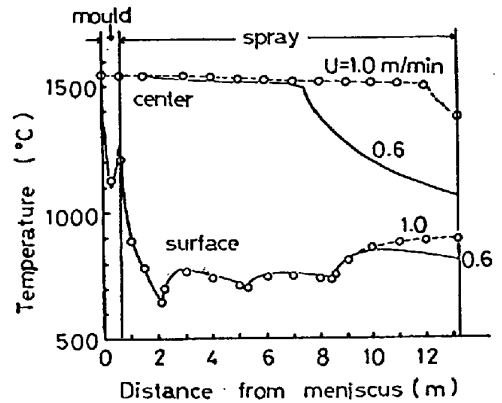


図1. スラブの表面温度、中心温度および凝固シエル厚におよぼす引抜速度の影響 (スプレイゾーン比水量 1.32 ℓ/kg 、200 mm 厚スラブ)

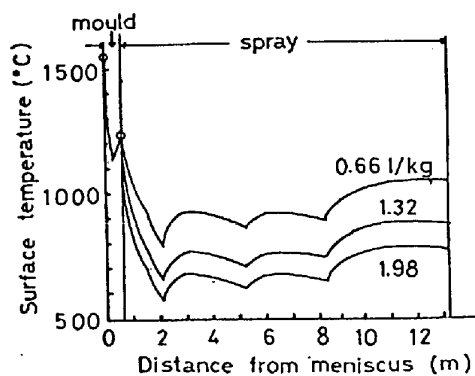


図2. スラブの表面温度におよぼすスプレイゾーン比水量の影響 (200 mm 厚スラブ, 引抜速度 0.8 m/min)

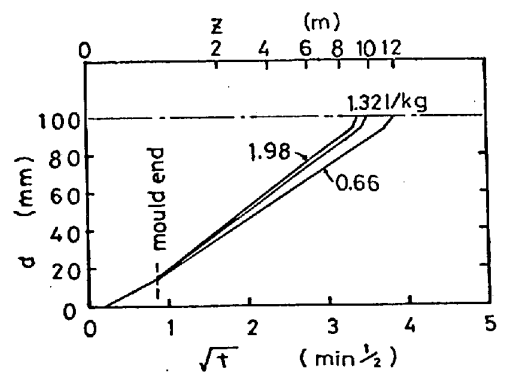


図3. スラブの凝固速度におよぼすスプレイゾーン比水量の影響 (200 mm 厚スラブ, 引抜速度 0.8 m/min)