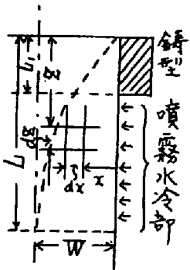


(92) 連続鑄造装置の理論解析

名大 工 鉄鋼工学教室 ○森 山 昭・頼 巖



従来連続鑄造操作については移動する金属内の温度分布、凝固界面の位置分布などに
関する理論解および実験的研究が発表されている¹⁾が装置の設計および操作条件の決定を
目的とする立場での報告は少ない。本報では、物理金属の物性($t_m, C_p, \lambda, k, \rho$)、冷却条件($\bar{t}_c, \bar{t}_s$)、
およびインゴット厚み($2w$)を指定して、水冷銅鑄型長(L_1)、噴霧水冷部長($(1-\delta)L$)、冷却部全長(L)およ
びインゴット移動速度(u)を決定するための解析および計算法を示す。解析解を得るための便
宜から、いくつかの仮定を入れて、もっとも簡単な伝熱モデルを展開し、これから述べる基本
的仮定の方は、より実際的なモデルに適用することができる。解析にあたり、つぎの仮

定を設ける。(1) 水冷鑄型は往復運動の振中に相当する実効長さをもち、鑄型とインゴットの界面温度は平均温
度 $\bar{t}_c$ で一定である。(2) マンディッシュから流下するメタル流の温度は $\bar{t}_1$ で一定で、以後未凝固のメタルは平均温度 $\bar{t}_0 = (\bar{t}_1 + t_m)/2$
に保たれる。(3) 噴霧水冷部のインゴットの表面温度は $\bar{t}_s$ で一定である。(4) インゴットの移動方向の熱伝導は無視できる。
(5) メタルの凝固率は t_m で一定で、メタルの諸物性は温度によらず一定とする。(6) 噴霧水冷部の終端で凝固が完了す
るとする。図のモデルに基づき、巾 $2w$ の無限平板状インゴットの凝固部の熱収支から(1)式が得られる。

$$\partial t / \partial z = (\alpha / u) \partial^2 t / \partial x^2; \alpha = k C_p / \rho \quad (1) \quad z = 0 \text{ 時 } x_i = 0 \quad (2) \quad z \geq 0, x = 0 \text{ 時 } t = \bar{t}_c \quad (3)$$

$$z \geq 0, x = x_i \text{ 時 } t = t_m \quad (4) \quad z \geq 0 \text{ 時 } k(\partial t / \partial x)_{x=x_i} = u \rho \{ \lambda + (\bar{t}_0 - t_m) C_p \} (dx_i / dz) \quad (5)$$

銅鑄型部での境界条件は(2)~(5)式である。いま、(6)式の無次元パラメータを用いて、(1)~(5)式は(7)~(11)式と表す。

$$\begin{aligned} \bar{\theta} &= (t - \bar{t}_c) / (\bar{t}_0 - \bar{t}_c); \bar{\theta}_m = (t_m - \bar{t}_c) / (\bar{t}_0 - \bar{t}_c); \bar{\theta}_s = \{ (\lambda / C_p) + (\bar{t}_0 - t_m) \} / (\bar{t}_0 - \bar{t}_c); X = x / w \\ X_i &= x_i / w; H = \alpha z / u w^2; H_1 = \delta H_2; H_2 = \alpha L / u w^2; \delta = L_1 / L \end{aligned} \quad (6)$$

$$\partial \bar{\theta} / \partial H = \partial^2 \bar{\theta} / \partial X^2 \quad (7) \quad H = 0 \text{ 時 } X_i = 0 \quad (8) \quad H \geq 0, X = 0 \text{ 時 } \bar{\theta} = 0 \quad (9)$$

$$H \geq 0, X = X_i \text{ 時 } \bar{\theta} = \bar{\theta}_m \quad (10) \quad H \geq 0 \text{ 時 } (\partial \bar{\theta} / \partial X)_{X=X_i} = \bar{\theta}_s (dX_i / dH) \quad (11)$$

解として、 $\bar{\theta} = \bar{\theta}_m \operatorname{erf}(X / 2\sqrt{H}) / \operatorname{erf} \gamma$ (12), $X_i = 2\gamma\sqrt{H}$ (13), $\bar{\theta}_m e^{-\gamma^2} = \sqrt{\pi} \gamma \bar{\theta}_s \operatorname{erf} \gamma$ (14) が得られる。噴霧水冷部の B.C. は
 $H = H_1$ 時 $X_i = X_{i,1}$ (15) $H \geq H_1, X = 0$ 時 $\bar{\theta} = \bar{\theta}_s$ (16) $H \geq H_1, X = X_i$ 時 $\bar{\theta} = \bar{\theta}_m$ (17) $H \geq H_1$ 時 $(\partial \bar{\theta} / \partial X)_{X=X_i} = \bar{\theta}_s (dX_i / dH)$ (18)

(7)式は(19)式の形の角解を満足するので、(16),(17)式から* $\bar{\theta} = A + B \operatorname{erf} \{ (X - X_{i,1}) / 2\sqrt{H - H_1} \}; (A, B \text{ 定数})$ (19)

* $\bar{\theta}_m = A + B \operatorname{erf} \{ (X_i - X_{i,1}) / 2\sqrt{H - H_1} \}; \bar{\theta}_s = A - B \operatorname{erf} \{ X_{i,1} / 2\sqrt{H - H_1} \}$ と表す。いま、 $X_i - X_{i,1} = 2\sqrt{H - H_1}$ により、定数を定義すると、 B は定数
と表す。そこで、 $H = H_1$ および $H = H_2$ における二式の B の算術平均値を近似的に B とする。仮定6よりの $H = H_2$ 時 $X_i = 1$ を考慮し、

$$(7), (15)-(18) \text{ 式の解は、(20)と(22)式と表す。} \quad \bar{\theta} = \bar{\theta}_m - \frac{1}{2} (\bar{\theta}_m - \bar{\theta}_s) \left\{ \frac{1}{1 + \operatorname{erf} \xi} + \frac{1}{\operatorname{erf} \xi + \operatorname{erf} \left(\frac{\xi X_{i,1}}{1 - X_{i,1}} \right)} \right\} e^{-\xi^2} = 2\sqrt{\pi} \bar{\theta}_s \xi \quad (20), X_i = X_{i,1} + 2\sqrt{H - H_1} \quad (21), \quad (22)$$

まず、(14)式より、 γ が求められ、(13)式に γ を代入して、 $H_1 = \delta H_2 = X_{i,1}^2 / 4\gamma^2$ が定まる。つぎに、(22)式より、 ξ
を求め、(21)式より、 $H_2 = H_1 + (1 + X_{i,1})^2 / 4\xi^2$ が決定できる。よって、 H_1 と H_2 から δ が定まる。 H_2 の値より、定義
(6)に基づき、全冷却部長さ L とインゴット移動速度 u の値を定めることができる。鑄型長さは δL から計算で
きる。

(記号) C_p : 比熱, k : 熱伝導度, x_i : 凝固相厚さ, $x_{i,1}$: 鑄型下端での凝固相厚さ, λ : 潜熱, ρ : 密度,
 $\bar{\theta}_s = (\bar{t}_s - \bar{t}_c) / (\bar{t}_0 - \bar{t}_c)$

(3) 参考文献

- 1) 以下、R. W. Ruddle: "The Solidification of Casting", p. 253~286 (Inst. Metals, 1957);
R. D. Pehlke: Metals Eng. Quart., 4 (2), 42 (1964)