

327 消失模型鑄造法における低湯流れ速度に起因する凝固特性

Solidification Characteristics Cased by Low Filling Rate of Molten Metal
in Evaporative Pattern Casting Process

○ 頃安 貞利 (帝京大・理工)

Sadatoshi KOROYASU, Teikyo University, Utsunomiya, Tochigi

Key Words: Evaporative Pattern Casting Process, Solidification, Molten Metal Flow, Simulation

1. 緒言

消失模型鑄造法では、溶湯が発泡ポリスチレン模型を熱分解しながら充てんするので、通常の空洞鑄型の場合と比べて、湯流れ速度はかなり小さくなる。このため溶湯が充満した時点で、製品部の溶湯入口から湯先に向かって温度分布が生じる⁽¹⁾。その結果、指向性凝固となり、鑄物中心部での凝固収縮によるひけ巢の発生の可能性が小さくなると言われている。本報では、消失模型鑄造法の場合および空洞鑄型の場合を想定した2種類の湯流れ速度の条件下で、湯流れ中の溶湯内、鑄型内温度分布を求め、さらに湯流れ完了後の温度分布を初期値として凝固解析を行った。その結果から、湯流れ完了後の溶湯内温度分布および凝固時間分布に及ぼす湯流れ速度の影響について検討し、消失模型鑄造法の低湯流れ速度に起因する指向性凝固特性に対する効果を定量的に考察した。

2. 基礎式および境界条件

図1に示すように、押上げ方で半無限平板状の鑄型内キャビティに溶湯が、速度 u で充てんする場合を考える。図中の $d/2$ はキャビティの半厚を示す。この場合、溶湯から鑄型中への伝導伝熱に対して、溶湯中および鑄型中における基礎式は、次の諸式

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right) + \rho_1 L \frac{\partial f_s}{\partial t} \quad (1)$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

で与えられる。ここで t は時間、 T は温度、 f_s は固相率、 x は溶湯中心からの距離、 y は溶湯進入口からの距離である。 λ, c, ρ, L はそれぞれみかけの熱伝導率、比熱、密度、凝固潜熱を表し、添字の1および2は、溶湯内および鑄型内での値であることを示す。また、溶湯-鑄型界面におけるエアギャップなどによる界面抵抗に対する熱伝達係数を h とすると、界面

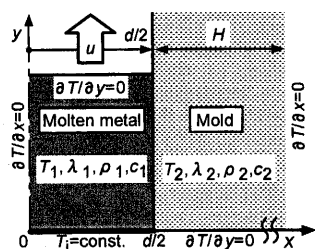


Fig. 1 Heat conduction model and coordinate system

における境界条件として、次式

$$t > 0, x = d/2; \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = h(T_2 - T_1) \quad (3)$$

が適用できる。また、鑄型外壁と湯先面では断熱条件とした。また、溶湯進入口においては、次式

$$t > 0, 0 \leq x \leq d/2, y = 0; T_1 = T_i \quad (4)$$

に示すように一定温度とした。溶湯材料として鑄鉄およびアルミニウム合金を考えた。また、解析を簡単化するために、溶湯流れは栓流とし、溶湯の流れ方向の混合熱拡散はないとした。さらに凝固温度範囲はないとし、鑄鉄は黒鉛共晶凝固温度で凝固し、アルミニウム合金はAl+Si共晶凝固温度で凝固するとした。(1)~(2)式を(3)~(4)式のもとで解けば、湯流れ中の溶湯内と鑄型内の温度分布が得られる。さらに、溶湯充満後も熱伝導計算を行い、(1)式中の固相率の変化を求める凝固解析によって、凝固界面の時間的变化を求めることができる。計算手法としては、有限差分法を用いた。溶湯の潜熱放出に対しては温度回復法⁽²⁾を用いた。計算で用いた主な物性値⁽²⁾および操作条件等を表1に示す。

3. 解析結果および考察

図2は、鑄鉄溶湯が厚さ10mmのキャビティ内の溶湯進入口から50mmの位置に達したときの溶湯内および鑄型内温度分布の計算結果を示したものである。図2(a)が湯先速度 $u=5\text{mm/s}$ 、図2(b)が $u=50\text{mm/s}$ の場合の

Table 1. Physical properties of molten metal and mold and calculation conditions

	Cast iron	Al alloy	Sand mold
Thermal conductivity, W/(mK)	37	92	0.44
Specific heat, J/kgK	920	1090	850
Density, kg/m ³	6.90×10^3	2.35×10^3	1.64×10^3
Heat of fusion, J/kg	2.1×10^5	4.0×10^5	-
Solidus temp., K	1413	850	-
Pouring temp. or Initial temp., K	1573	973	293
Heat transfer coefficient, W/(m ² K)	2000	2000	-

結果を示し、それぞれ湯流れ速度を、消失模型鑄造法での値および空洞鑄型での値を想定した。溶湯内温度は、中心部($x=0$)から鑄型表面に向って低下し、また溶湯進入口($y=0$)から湯先に向って低下することが分かる。湯先速度が $u=5\text{mm/s}$ の場合の方が、 $u=50\text{mm/s}$ の場合と比べて、鑄型内の 400K の等温度線が溶湯表面からより遠くまで達しており、溶湯進入口から湯先への温度低下も著しいことが分かる。

図3は、図2と同様の計算結果を示し、アルミニウム合金溶湯の場合の計算結果を示したものである。溶湯進入口から湯先への温度低下量は、鑄鉄の場合よりもやや小さいことが分かる。これは溶湯表面と鑄型との温度差が鑄鉄の場合よりも小さいためと思われる。また、中心部から鑄型表面への温度低下も鑄鉄の場合ほど顕著でないことが分かる。これは、アルミニウム合金溶湯の熱伝導率の値が鑄鉄よりも大きいためと考えられる。

図4は、深さ 50mm のキャビティに鑄鉄溶湯が充満した場合の鑄物の凝固時間分布の計算結果を示す。それぞれ湯先速度 $u=5\text{mm/s}$ 、 50mm/s の場合を示し、図2、3の溶湯温度分布を初期値として凝固解析したものである。 $u=50\text{mm/s}$ の湯先速度が大きい場合は、最終凝固部がほぼ湯流れ方向中心部($y=25\text{mm}$)にあり、等凝固時間線も湯流れ方向中心部を軸にした対象形であることが分かる。これに対し、 $u=5\text{mm/s}$ の湯先速度が小さい場合は、最終凝固部が湯流れ方向中心部よりもやや下方に位置する。すなわち、湯先から溶湯進入口への指向性凝固の傾向が、わずかにあるが定性的にみられることになる。しかしながら、十分な指向性凝固ではなく、低湯流れ速度による湯先方向への温度分布の影

響は、ほとんどないことになる。ただし実際の方案での凝固では、溶湯進入口と湯道とが連続しており、湯道部の溶湯の熱量により、最終凝固部がより溶湯進入口に近い位置となると思われる。

図5は、図4と同様の計算結果を示し、アルミニウム合金溶湯の場合の計算結果を示したものである。 $u=5\text{mm/s}$ の方が最終凝固部がやや下方に位置しており、鑄鉄の場合とほぼ同様の結果であることが分かる。

これらの結果から、本計算条件下では、低湯流れ速度の場合は、湯先での温度低下は 100K 以上であり、定性的には指向性凝固となる傾向にあるが、完全な指向性凝固は期待できないことが明らかになった。これは溶湯の単位体積あたりの凝固完了までに放出する熱量のうち、湯先部分の温度低下分の顕熱は、鑄鉄溶湯では約30%、アルミニウム合金溶湯では約20%であり比較的小さいためと考えられる。

4. 結語

消失模型鑄造法における低湯流れ速度に起因する凝固特性を、湯流れ速度を変化させて、湯流れおよび凝固解析を行うことによって検証した。その結果、本計算条件下において以下のことが明らかになった。

- (1) 湯流れ速度が小さい方が、溶湯充満時の溶湯進入口から湯先への温度低下が著しい。
- (2) 湯流れ速度が小さい方が、指向性凝固の傾向がわずかにみられるが、その影響は小さい。

参考文献

- (1) S. Koroyasu et al. : J. JFS 76 (2004) 687
- (2) 大中逸雄: "コンピュータ伝熱・凝固解析入門", 丸善 (1985)

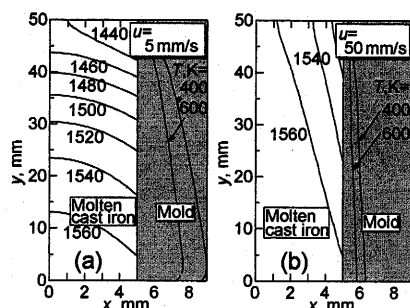


Fig. 2 Temperature profiles in molten cast iron and mold during mold filling

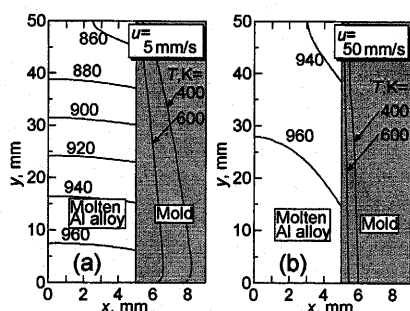


Fig. 3 Temperature profiles in molten aluminum alloy and mold during mold filling

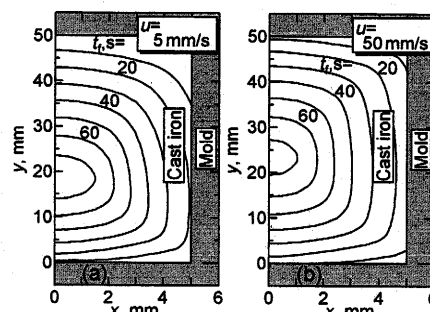


Fig. 4 Solidification time distributions in cast iron

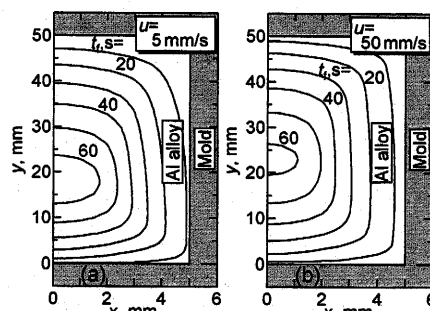


Fig. 5 Solidification time distributions in aluminum alloy casting