

(197) 大型鋼塊における沈澱晶帯生成の数学的モデルと模型実験

名古屋大学大学院  
名古屋大学工学部

西脇春治  
浅井滋生, 鞭 巖

1. 緒言 大型鋼塊の製造において、成分偏析の予測は、チャンネル型偏析の抑制とともに、重要な課題となっている。成分偏析の予測には、鋼塊底部に形成される沈澱晶帯の生成過程を、適確に表現する沈澱晶帯生成モデルの適用が望まれる。しかし、このようなモデルは等軸晶生成機構に不明な点が多いため、まだ提出されていないのが現状である。本研究では、 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ 系の凝固実験の観察に基づいて、沈澱晶帯生成モデルを作成し、種々の鑄込条件下で、モデルの妥当性を検討した。

2. 実験結果と考察 26.7% ( $T_L=17.4^\circ\text{C}$ )と30% ( $T_L=33.3^\circ\text{C}$ )の $\text{NH}_4\text{Cl}$ 水溶液を過熱度 $10^\circ\text{C}$ と $30^\circ\text{C}$ で、高さの異なる5種類の二次元鋳型(幅8cm, 厚み1cm)に鑄込んだ。沈澱晶帯生成速度は、沈澱晶帯の経時変化を写真撮影して求めた。Fig.1には、30%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ の場合の沈澱晶帯生成速度を、鑄込み液単位質量当りに換算して示す。各実験系とも沈澱晶帯生成速度に2つのピークが見られ、かつ、鋳型の高さによって生成速度に差異がある。模型実験から得られた知見は、(1)第1のピークは、凝固前面の熱対流により dendrait先端で生成される沈澱晶によって形成され、高い鋳型ほど、自然対流の流量が増加するため、第1のピークは大きくなっている。(2)第2のピークは、液本体中で、等軸晶が生成されているように観察され、第1のピークからやや遅れて現われる。

3. 数学的モデル 上記の観察結果に基づいて、第1ピークに相当する沈澱晶帯生成速度 $G_I(\text{m}^2/\text{s})$ は、境界層内の過冷却領域を流れる流体の流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ の高さ方向での積分値に比例すると仮定する。

$G_I = \alpha \int_0^H Q dz \dots (1)$ ,  $Q = d \int_0^H u dz \dots (2)$ , 第2のピークに相当する沈澱晶帯生成速度 $G_{II}$ は、液本体の体積 $V(\text{m}^3)$ と、過冷度 $(T_L - T_0)$ との積に比例すると仮定する。

$G_{II} = \beta V (T_L - T_0) \dots (3)$ , 全体の沈澱晶帯生成速度 $G$ は、(1), (2) 式の和として求められる。Fig.2は、高さ33cmの二次元鋳型に、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  30%の水溶液300gを、過熱度が $10^\circ\text{C}$ と $30^\circ\text{C}$ の場合で鑄込んだ際の単位質量当りの沈澱晶帯生成速度 $(\text{m}^2/\text{kg})$ の実測値 $g_{obs}$ と、実測された $T_L, T_0, T_L, H$ の経時変化を(1), (2)式に代入し、パラメータ $\alpha$ と $\beta$ を一定として計算で求めた $g_{cal}$ の経時変化を示す。計算結果と実測値とは比較的よく一致している。Fig.3には $\text{NH}_4\text{Cl}$  26.7%の水溶液を過熱度を変えて鑄込んだ場合の計算値と実測値を示す。両者に差異がみられるが、全体の傾向はモデルによってかなりよく表現されているものと考えられる。[記号]  $d$ : 二次元鋳型の厚み(m),  $H$ : 液本体の高さ(m),  $T_0$ : 液本体の温度( $^\circ\text{C}$ ),  $T_L$ : 液相線温度( $^\circ\text{C}$ ),  $T_L'$ : dendrait先端の温度( $^\circ\text{C}$ ),  $u$ : 自然対流流速( $\text{m/s}$ ),  $\alpha$  ( $1/\text{m}$ ),  $\beta$  ( $1/\text{s} \cdot \text{C}$ ): 比例定数,  $\delta'$ : 境界層内の過冷却領域の厚み(m)

(文献) 1) 岡本ら: 学振, 19巻, 凝固現象協議会資料(55年5月), 2) 甲藤好郎: 伝熱概論(養賢堂, 39年)

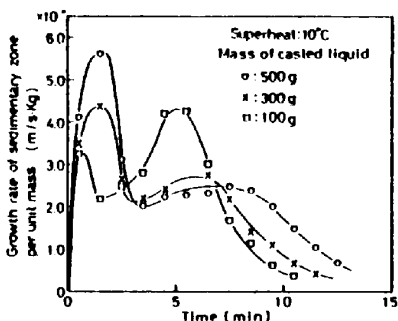


Fig.1 Growth rate of sedimentary zone per unit mass for 30%NH4Cl-H2O.

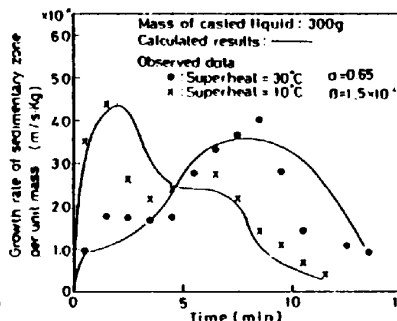


Fig.2 Comparison of observed data and calculated results of growth rate of sedimentary zone for 30%NH4Cl-H2O.

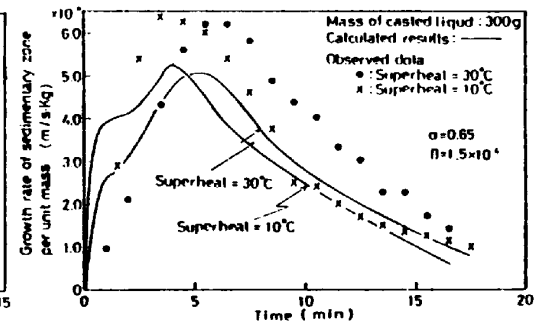


Fig.3 Comparison of observed data and calculated results of growth rate of sedimentary zone for 26.7%NH4Cl-H2O.