

凝固前期における金属の粘性変化に関する研究

A Study on the Viscosity Change of Molten Metal at the Beginning of Solidification

千々岩 健 児*・福 岡 新五郎**
Kenji CHIJIWA and Shingorou FUKUOKA.

1. はじめに

鑄造における基本的な物理現象は凝固と流れである。凝固については冶金学および物理学的見地からのアプローチがなされ、結晶の生成、成長、偏析、最終凝固のメカニズム、ひげ巣の生成メカニズムなどが明らかにされつつあり、なお詳細な研究が続けられている¹⁾。溶湯の流れに関しては融液の粘性や密度、表面張力に関連して、液体論による説明が行なわれているが²⁾、その性状把握は十分とはいえない。鑄造現象の解明に当たっては、金属の凝固と流れを分離して取扱うほかに、結晶粒子を混合した融液についてその性状を明らかにする必要がある。

しかるに、この状態の融液の性質の研究は、実験が難しく、その粘性については一、二の大ざっぱな実験³⁾を除き、報告がない。そこで筆者らは湯流れにおいて最も重要な因子と考えられる粘性を取上げ、実験方法、装置に新たな工夫を加え、凝固途上の融液について晶出固相比率に関連させて粘性を求めた。取扱った金属は主として鉛-錫合金で、低融点の合金のみであるが、凝固域における融液の粘性変化を明確にとらえることができたので、ここに報告する。

2. 固液共存スラリの粘性

溶湯の粘性は温度が、凝固点に達すると急に大きくな

り、凝固終了点に至る前に無限に大きくなって流れなくなるとされている。凝固初期の段階の融液中には肥大した自由核や、デンドライト幼芽の干切れた粒子が比較的均等に懸濁しているものと考えられる。そこでまず、予備実験として金属融液の代りに液体中に固体粒子を混合したスラリーについて粘性を測定してみた。スラリーについて従来から多くの研究があるがその結果は一致がなく、検討が必要であったためこの実験を行なった。

(1) 実験方法

実験に使用したスラリーは、表1に示す4種である。これらのスラリーは沈殿、浮上のない、安定なものである。粘度の測定には市販の粘度計を用いた。この粘度計は測定すべき液中で円柱状のロータを回転させ、ロータに働くトルクをバネで測る構造のものである。(図1)

粘度計ロータの回転数は、60、30 rpm を主として用い、粘度が高い場合は12、6、3 rpm と順次適当なものに下げた。また各スラリーについて2種以上の回転速度を

表 1

No.	溶 質	溶 媒	比重
1	ポリエチレン 0.1 φ	グリセリン+メタノール	0.95
2	〃 3 φ	〃	〃
3	ポリスチレン 0.5 φ	〃	1.05
4	ガラスビーズ 0.2 φ	グリセリン+ 洗 水 化 重 鉛 溶 液	2.45

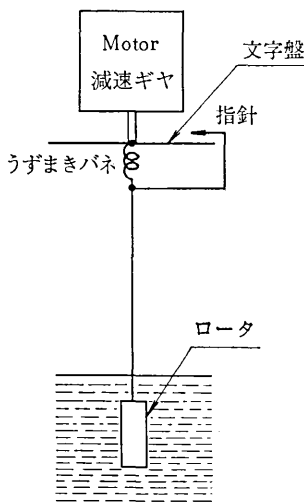


図 1 粘度計の構造

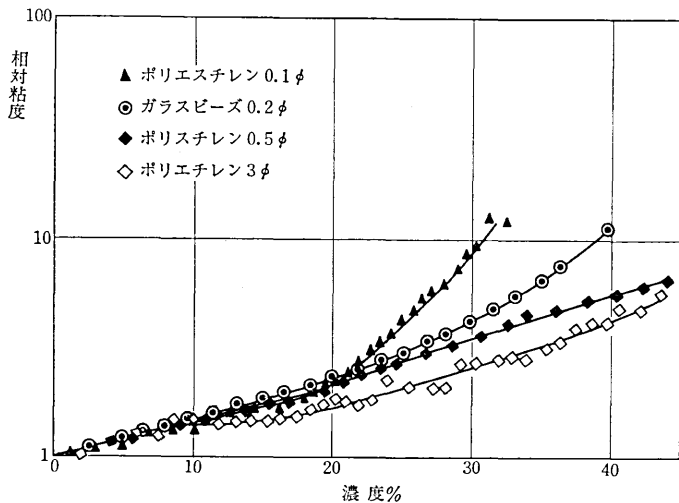


図 2 スラリー粘度変化

* 東京大学工学部

** 東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報
用い、ニュートン性の有無を調べた。

(2) 実験結果および考察

図2は各種スラリーについての実験結果を示す。たて軸は相対粘度、横軸は粒子濃度である。この図で、濃度20%まではどのスラリーもほぼ同じ曲線上にあるが、濃度が20%を越えると、スラリーによって異ってくる。この相違は粒径の影響が大きいと考え、粒径によって整理して、次の式をえた。

$$\eta_r = (1 - 2.5\phi - a\phi^2 + b\phi^3)^{-1} \quad (1)$$

$$a = 0.17 \log d + 3.4$$

$$b = -0.85d^{-1} + 13.3$$

ここで η_r は相対粘度 (スラリー粘度の溶媒粘度に対する比)、 ϕ はスラリー中の固体粒子濃度、 d は粒径、 a 、 b は粒径によって決る定数である。この式は純然たる実験式であるが、濃度20%までは Maude の理論式⁴⁾と良く一致している。また実験条件より $d = 0.1 \sim 3$ mm であり、この値は金属の自由核の大きさをカバーできる範囲であるから、この式によってスラリーと金属融液とを比較することができる。

ニュートン性に関しては、ポリエチレンスラリーでは濃度20%を越えると非ニュートン性を示すが、ガラスビーズでは濃度40%まで近似的にニュートン性を示すことがわかった。

3. 鉛-錫合金の凝固温度範囲内での粘度変化

二元合金では温度と、固体・液体の比率の関係を明瞭に知ることができるので、鉛-錫合金を用いて、固液比率と粘性の関係を知ることを試みた。

鉛-錫の状態図を図3に示す。本研究では凝固温度範囲の最も長い、鉛80.8%、錫19.2%のものを用いた。この状態図から温度 $\theta^\circ\text{C}$ における融液中の固相分率は、

$$\phi = 1.45(282 - \theta) / (324 - \theta) \quad (2)$$

で与えられる。

(1) 実験方法

試料は99.9%の鉛と錫から溶製した。粘度測定装置は、前項で用いた市販の回転粘度計と、新たに考案したものの、2種類を用いた。後者は図4に示すように、中空円筒形のロータ(⑦)を融液中で回転させ、駆動モーター(⑨)に流れる電流によって粘度を測定する型式のものである。るつば(⑤)は外径100mm、内径40mmの円筒で、内部

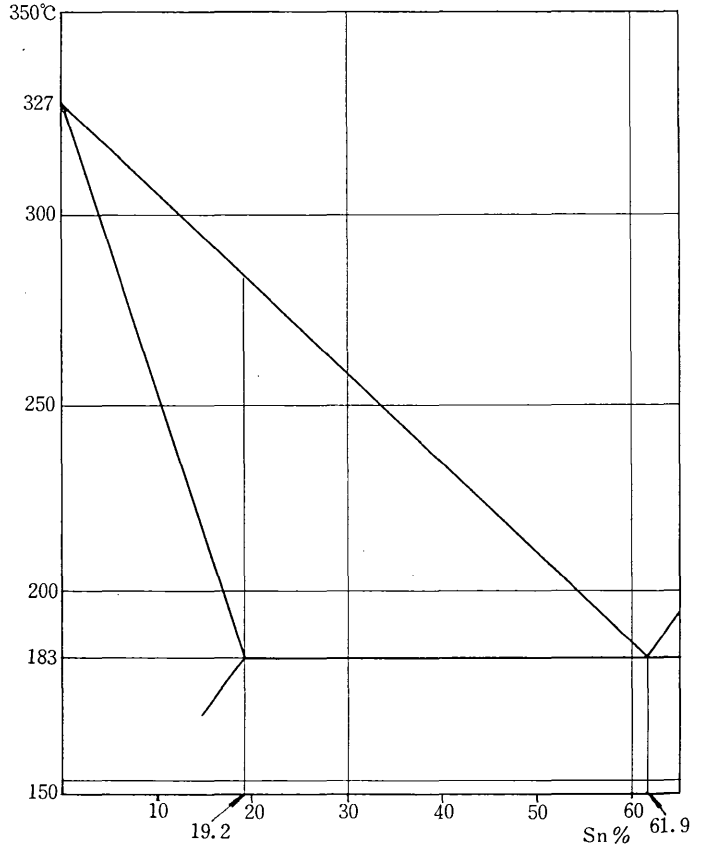


図3 Pb-Sn 平衡状態図

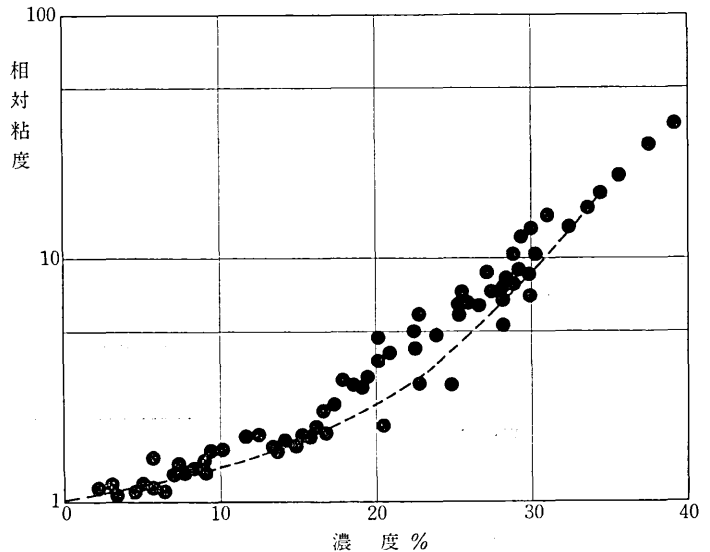


図5 Pb-Sn 粘度変化

に30φのコアがある。したがって融液が入る部分は厚さ5mmの円管状のみぞとなっている。ロータ材質はSUS42、るつばはSS41である。このような構造にしたのは、るつばの熱容量が大きく、融液内の温度差をき

わめて小さくできること、温度降下率をきわめて小さくできることによる。

温度は1時間に4°Cていどの徐冷とし、測定温度では一定に保った。温度の読みとり誤差は最大 0.5°C ていどであった。

(2) 実験結果および考察

図5は実験結果をまとめて示したものである。たて軸は相対粘度、横軸は固相分率である。固相分率は測定温度より、(2)式によって求めた。

固相分率が増すに従って、相対粘度は増加するが、固相分率が30~40%になると、粘度が著しく高くなって、粘度計が動かなくなった。この値が一定でなく、30~40%の範囲を示すのは、結晶の発達状態、懸濁状態のちがいによるものと思われる。

図中の破線は0.1mmφポリエチレンスラリの粘度変化曲線であり、式(1)にd=0.1として求めたものに相当している。この線と、鉛-錫合金の粘度測定点とは、良く一致している。これは鉛-錫合金の融液と、ポリエチレン0.1mmφ粒子のスラリとの類似を推察させる。すなわち、デンドライトが側枝のところでちぎれ、これが融液中に懸濁し、スラリ状態を呈するものと考えられる。このことは、粘度測定後急冷凝固させた組織が細かい粒子の集合体である点からも想像できる。

図6はロータの回転数を30rpmと60rpmにかえ、その影響を調べたものである。たて軸は相対粘度、横軸は固相分率である。両回転数による測定点は、固相分率10%までは一致している。したがって、この付近までは、固液共存状態の融液はニュートン性を有している。しかし10%以上では両者の相違が現われ、非ニュートン性を示す。

4. ま と め

凝固開始後、固相分率30~40%までの範囲について、粘度の変化状況を回転粘度計によって測定した。その結果次のような結論をえた。

- ① 固相分率10%までは金属融液は金属以外のスラリと同じ挙動を示し、かつニュートン性の流体である。
- ② 固相分率10~20%では、相対粘度 $\eta_r = (1 - 2.5\phi)^{-1}$ が良い近似式となり、ニュートン性を示さない。
- ③ 固相分率20~40%では、 $\eta_r = (1 - 2.5\phi - a\phi^2 + b\phi^3)^{-1}$ の傾向を示し、粘性は大きく増す。固相分率30~40%で融液は著しく粘性を増し流動性がなくなる。

今後の研究方向としては、他の合金について確認して見

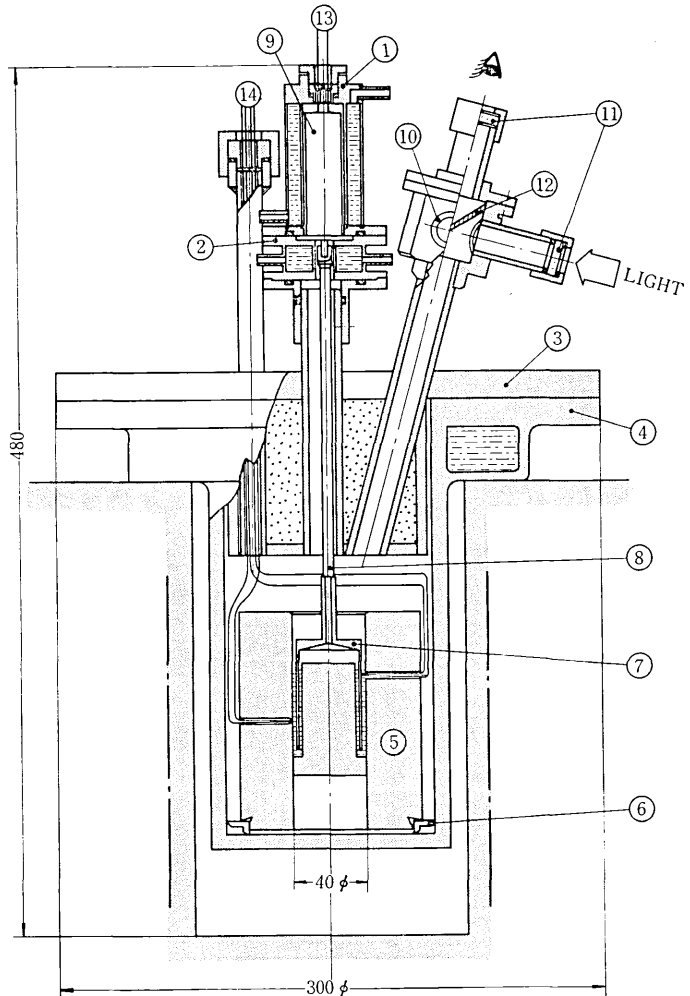


図4 粘度測定装置

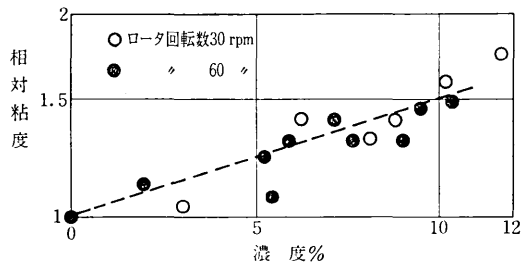


図6 スラリのニュートン性

ること、および実際の加工面への応用を考えることの二点を予定している。(1971年11月24日受理)

参 考 文 献

- 1) B. Chalmers: Principles of Solidification, Wiley (1964)
- 2) 鉄鋼基礎共同研究会: 溶鉄および溶滓の密度、粘性、蒸気圧について、鉄鋼協会 (1969) など。
- 3) 千々岩健児: 東大生研報告 Vol 15, No. 9 (1956)
- 4) A. Maude: J. Fluid Mech., 7-2 (1960)