

凍結鋳型の流動性に及ぼす鋳物砂の粒度の影響

小池 宏侑* 石川 信幸* 関口 康弘*

Effect of Sand Grain Size of Frozen Mold on Fluidity of Molten Metal

Hiroyuki KOIKE, Nobuyuki ISHIKAWA and Yasuhiro SEKIGUCHI

粒度の異なる3種類のけい砂を用いて凍結鋳型を作製し、凍結条件や流動性及び金属組織の評価を行った。鋳物砂の粒度によらず、鋳型の凍結時間は3時間以上で作製可能なことが分かった。流動性は鋳型通気度の影響を受けることが分かった。

Key Words : 凍結鋳型, 熱伝導率, 粒度, 通気度, 流動性,

1 はじめに

平成26年度経常研究「凍結鋳型における球状黒鉛鋳鉄の流動性に関する研究」において、日光けい砂で作製した凍結鋳型を用いて流動性試験を実施し、凍結鋳型がCO₂鋳型に比べ流動性に優れることを確認した¹⁾。今後、凍結鋳型を企業へ提案するためには、企業で使用されている鋳物砂を使用した凍結鋳型の作製条件や流動性等の基礎的データを蓄積することが必要である。

凍結鋳型の流動性は、鋳型に使用する鋳物砂の材質及び粒度の影響を受けると考えられる。鋳物砂の材質及び粒度と流動性の関係を明確にすることで鋳造する製品に適した凍結鋳型を作製することが可能と考える。更に、内部の金属組織は、鋳型の冷却挙動と密接な関係がある^{2),3)}と考えられるため、冷却挙動を把握することも重要である。

そこで、本研究では、高さ2mm幅10mm全長233mmの流動性試験片を用い、粒度の異なる3種の日光けい砂(以下けい砂)を用いて作製した凍結鋳型で球状黒鉛鋳鉄の鋳造を行い、鋳物砂の粒度と流動性及び金属組織の関係について調べた。

2 研究の方法

2.1 鋳物砂及び凍結鋳型の物性値の測定

各鋳物砂のかさ密度、粒度分布、砂とフェノール樹脂成形体の熱伝導率(以下、砂成形体の熱伝導率)、鋳型通気度及び混練した砂を突き固めて鋳型とした時の密度(以下、鋳型密度)の測定を行った。粒度分布は、レーザー回折式の粒度分布測定装置((株)堀場製作所 LA-920)を用いて測定し、最頻度粒径(モード径)を求めた。砂成形体の

熱伝導率は、砂単体での測定は困難であったため、けい砂とフェノール樹脂を砂:樹脂の体積比6:4で混合⁴⁾し加熱プレスした砂成形体を作製し、迅速熱伝導率計(アルバック理工(株)GH-1S)を用いて室温から100℃までの熱伝導率を測定した。鋳型通気度は、各砂に水分量が体積比で7.5%になるように混練し凍結させた鋳型(直径3.1cm高さ7cm)について、JIS Z2601:1993を参考に作製した通気度試験機を用いて測定を行った。鋳型密度の測定は、通気度試験機に使用した型を用いて行った。

2.2 凍結鋳型造形条件の検討

各鋳物砂に水分量が体積比で7.5%(質量比は、けい砂6号5.0%、けい砂7号5.1%、けい砂8号5.4%)になるように水を添加し混練機で3分混練した。混練した砂を、図1に示す流動性試験型(高さ40mm幅90mm長さ180mm)に充填し造型した。造型した鋳型は乾燥を防ぐためにビニール袋に包み、-30℃に設定した冷凍庫で2, 2.5, 3時間凍結させた。所定の時間凍結後、抜型して鋳型の破損を目視で観察し凍結状態を評価した。

2.3 流動性試験

凍結鋳型は、各鋳物砂に体積比7.5%の水を添加して混練し、流動性試験型を用いて造型した。球状黒鉛鋳鉄は、目標組成C3.50%、Si2.70%になるよう配合し、溶解は、高周波溶解炉で黒鉛るつぼを用いて行った。球状化処理は1550℃で出湯後に行い、溶湯温度が1280℃になったところで注湯した。なお、本試験において、注湯は手作業で行ったため、注ぎ方によるばらつきが生じる可能性がある。そこで、ばらつきを低減するため、注湯の際は次のような方法をとった。まず、図2に示すように、底部にφ20mmの穴を有するCO₂型をブロックの上に置き、穴の直下に凍結鋳型の注湯口が来るように配置した。そして、穴に黒鉛棒のストップパをはめ込んだ状態でCO₂型に溶湯を満たし、ストップパを

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

引き抜くことで凍結鑄型に注湯を行った。

2. 4 金属組織観察

各段の厚さが2, 4, 6, 8mmで厚さ2mmの部分の先端に吐かせを取付けた階段状試験片型(図3)を用い、流動性試験と同条件で各鑄物砂の凍結鑄型を作製した。目標組成 C3.50%, Si3.40%, Mg0.035%になるよう配合を調整した。高周波溶解炉で溶解し 1630℃で出湯後球状化处理を行った。各鑄型には 1417℃で同一の溶湯を注湯した。

鑄込んだ階段状試験片から試料を切出し、光学顕微鏡(オリンパス(株) GX71)を用いて、表面組織を観察した。

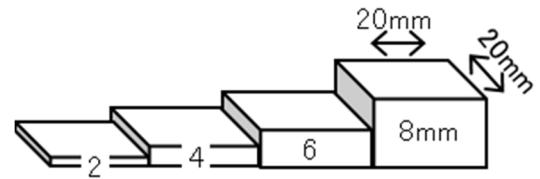
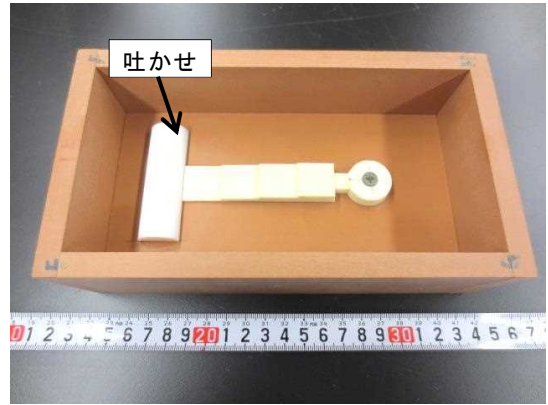


図3 階段状試験片型

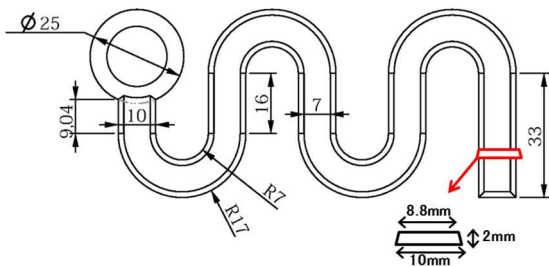


図1 流動性試験型

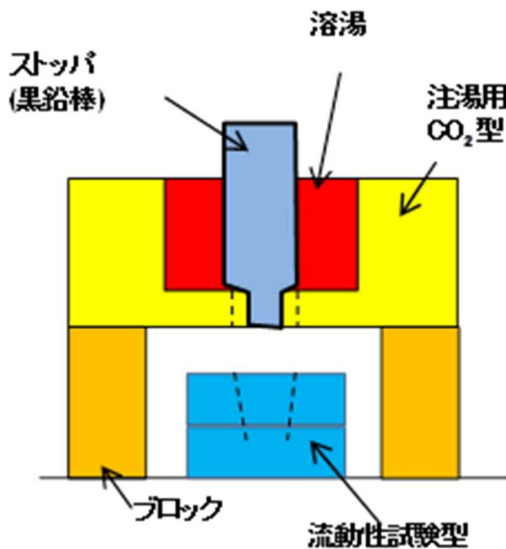


図2 流動性試験型配置

3 結果及び考察

3. 1 鑄物砂及び凍結鑄型の物性値

各鑄物砂の粒度分布の測定結果を図4に示す。また、鑄物砂及び凍結鑄型の物性値の測定結果を表1に示す。砂の粒度が小さくなるに伴い、砂成形体の熱伝導率及び鑄型通気度が低くなる傾向を示した。

3. 2 鑄型の凍結条件

所定時間凍結後の鑄型の抜型時の破損を目視にて観察した結果を表2に示す。凍結時間 2.5 時間ではやや鑄型密度が低く鑄型に含む水分量が多いけい砂 8号は凍結が不十分で鑄型が破損した。凍結時間 3 時間以上で全ての鑄型で抜型可能な強度が得られることが分かった。

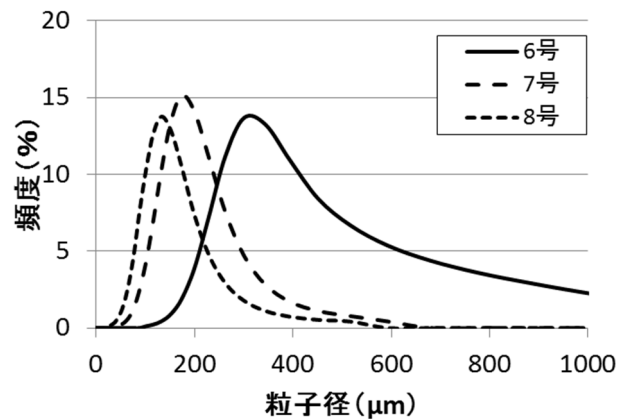


図4 粒度分布測定結果

表 1 鋳物砂及び鋳型の物性値の測定結果

	けい砂 6号	けい砂 7号	けい砂 8号
かさ密度 (g/cm ³)	1.53	1.52	1.43
モード径 (μm)	284	164	124
砂成形体の 熱伝導率 (W/m・K)	0.75	0.66	0.63
鋳型通気度	263	147	61
鋳型密度 (g/cm ³)	1.52	1.50	1.46

表 2 凍結時間と鋳型の強度

	凍結時間 (h)		
	2	2.5	3
けい砂 6号	×	○	○
けい砂 7号	×	○	○
けい砂 8号	×	×	○

×:破損 ○:破損無し

3. 3 流動性試験

鋳造した試験片の流動長と砂成形体の熱伝導率の関係を図 5 に示す。砂成形体の熱伝導率が低くなるに伴って流動長が伸びる傾向を示した。砂成形体の熱伝導率が低いと流動長が伸びる理由としては、粒度の小さいけい砂による鋳型は、粒度の大きいものより熱伝導率が低いことで溶湯の熱が奪われにくくなり、結果として溶湯の冷却速度が遅くなったためと考えられる。鋳型通気度と流動長の関係を図 6 に示す。鋳型通気度が低くなるに伴って流動長が伸びる傾向を示した。この理由としては、凍結鋳型の伝熱メカニズムが関係していると考えられる。凍結鋳型の熱移動は、鋳型の氷が溶け、水が水蒸気となることで溶湯の熱を奪うと同時に外側へ移動することで行われるとされている²⁾。そのため、通気度が低い鋳型は水蒸気の移動が妨げられることにより溶湯の冷却速度が遅くなったものと考えられる。

さらに、昨年度、流動性試験と砂成形体の熱伝導率の測定を実施したアルミナサンド、オリビンサンド、セラビーズの鋳型通気度を新たに測定し、流動性に及ぼす鋳型通気度と砂成形体の熱伝導率の影響を検討した。流動長平均値と砂成形体熱伝導率及び鋳型通気度の関係を図 7 及び図 8 に示す。アルミナサンド、オリビンサンド、セラビーズを含めると、砂成形体の熱伝導率と流動長に明確な相関が確認できなくなったが、鋳型通気度については、アルミナサンドを除き、通気度が低くなると流動長が伸びる傾向を示した。

以上の結果から、同種の砂であれば、砂成形体の熱伝

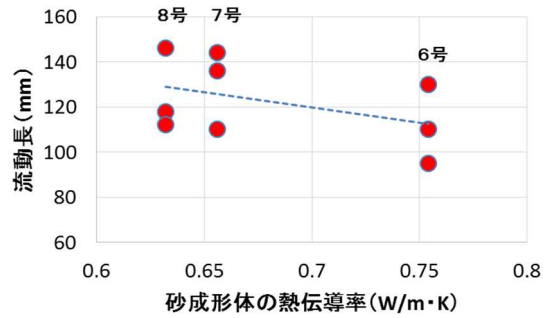


図 5 砂成形体の熱伝導率と流動長の関係

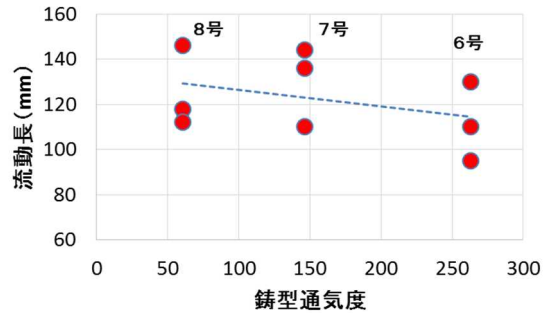


図 6 鋳型通気度と流動長の関係

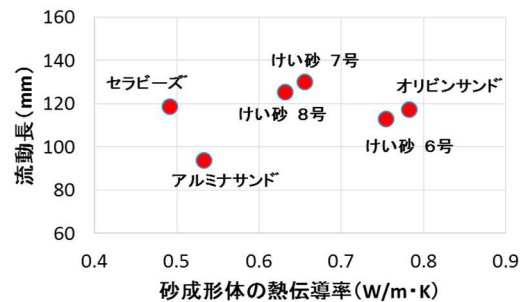


図 7 砂成形体の熱伝導率と流動長平均値の関係 (アルミナサンド、オリビンサンド、セラビーズを含む)

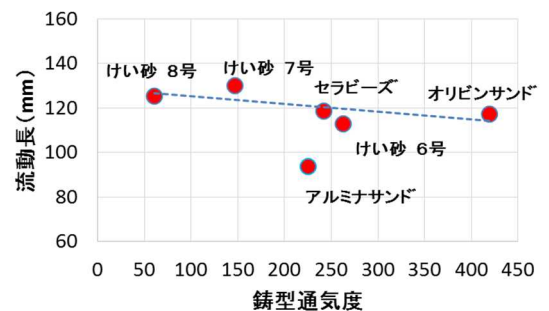


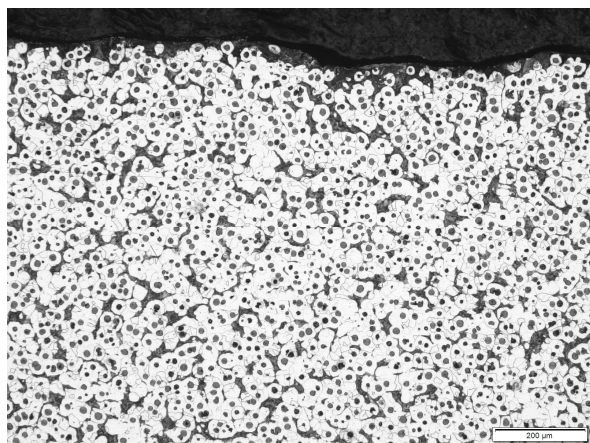
図 8 鋳型通気度と流動長平均値の関係 (アルミナサンド、オリビンサンド、セラビーズを含む)

導率が流動長に影響するが、種類の異なる鋳物砂も含めると、通気度が流動性に大きく影響する可能性が得られた。一方で、アルミナサンドが他の砂と異なる結果を示したが、構造に非晶質な部分を含むため、鋳型内の伝熱が他

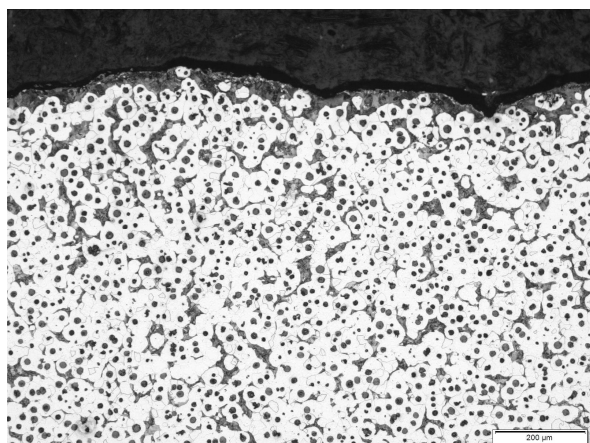
の砂で作製した凍結鑄型と異なる可能性があることが考えられる。

3. 4 金属組織

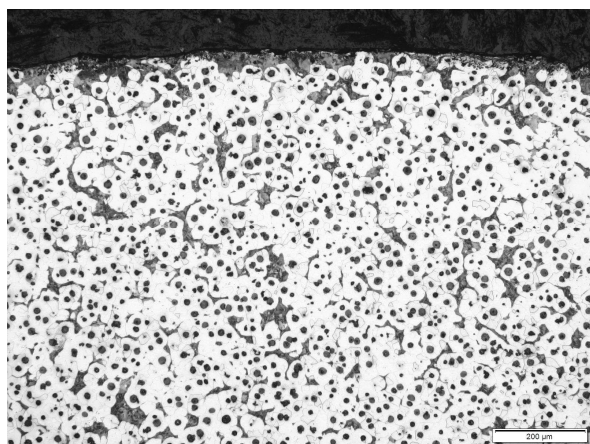
階段状試験片の金属組織を観察した。もともと肉厚の薄い肉厚 2mm の中央付近ではけい砂 6 号, 7 号, 8 号の鑄型で鑄造した鑄造品のチルは確認されなかった(図 9)。しかし, 肉厚 4mm 及び吐かせと接する部分に僅かに逆チルが確認された。これは, 溶湯が肉厚な部分に接していたため冷却が遅かったためと推測される。



(a) けい砂 6 号



(b) けい砂 7 号



(c) けい砂 8 号

図 9 肉厚 2mm 上型表面の金属組織

4 おわりに

3 種の粒度の異なるけい砂で作製した凍結鑄型を用いて, 砂成形体の熱伝導率及び鑄型の通気度と流動性及び金属組織との関係を調べた結果, 以下のことが得られた。

- (1) けい砂の粒度が小さくなるにしたがって, 砂成形体の熱伝導率及び作製した鑄型の通気度が低下する傾向を示すことが分かった。
- (2) 種々の粒度のけい砂を用いて鑄型の凍結時間を検討したところ, 凍結時間 3 時間で抜型可能な強度が得られることが分かった。
- (3) 粒度の異なるけい砂で作製した凍結鑄型では, 砂成形体の熱伝導率及び鑄型通気度が低くなるにしたがって, 流動長が伸びる傾向が得られた。
- (4) けい砂の粒度によらず, 肉厚 2mm の薄肉部にチルの無い健全な組織が得られた。

参考文献

- 1) 石川信幸, 相馬宏之, 樋山里美: "栃木県産業技術センター研究報告", NO.12(2015), 91-94
- 2) 中山博行, 多田周二, 西尾敏幸, 小林慶三: "鑄造工学", 第 81 卷(2009)第 8 号, 373-376
- 3) 多田周二, 中山博行, 西尾敏幸, 小林慶三: "鑄造工学", 第 82 卷(2010)第 2 号, 93-96
- 4) 太田弘道, 友田陽: "日本金属学会会報", 第 29 卷(1990)第 3 号, 148



本研究は, 公益財団法人 JKA 補助事業により整備した機器を活用して実施しました。