

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04801

研究課題名（和文）凍結鋳型を応用した新しい環境低負荷型鋳造法の開発

研究課題名（英文）Development of low environmental load type casting method using frozen mold

研究代表者

星山 康洋（HOSHIYAMA, Yasuhiro）

関西大学・化学生命工学部・教授

研究者番号：10368201

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000 円

研究成果の概要（和文）：環境低負荷型の鋳造法として凍結鋳型鋳造法がある。この鋳造法は、氷を使った環境に優しい鋳造法であるが、氷を利用するために生じるいくつかの課題がある。その課題を解決するため、凍結鋳型鋳造法を応用した新たな鋳造法の開発を目的として研究を行った。凍結鋳型に消失模型を組み合わせたハイブリッド鋳型により、溶湯熱の影響を受けていない目的形状の鋳物が得られ、ハイブリッド鋳型で複数鋳物の同時作製や複雑形状鋳物の作製が可能であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鋳造業界は、工場周辺の環境悪化や工場内での労働環境の劣悪性などから様々な問題を抱えている。凍結鋳型は、氷を使った環境に優しい鋳型であるが、溶湯熱の影響による問題がある。本研究において、凍結鋳型の空洞部に消失模型を組み入れることで溶湯の充満挙動を変化させ、鋳型への溶湯熱の影響を抑制できることが明らかとなり、申請者らが考案したハイブリッド鋳型は新たな環境低負荷型の鋳物製造技術として期待できる。

研究成果の概要（英文）：There is a frozen mold casting method as a casting method with low environmental load. Although this casting method is an environmentally friendly casting method using ice, there are some problems caused by using ice. In order to solve this problem, we conducted research with the purpose of developing a new casting method that applies the frozen mold casting method. A hybrid mold, which is a mold that combines a frozen mold and an evaporative pattern, can obtain castings with the desired shape that are not affected by the heat of molten metal, and the hybrid mold enables simultaneous production of multiple castings and production of complex-shaped castings.

研究分野：凝固プロセス工学

キーワード：凍結鋳型 鋳造 環境低負荷 消失模型

1. 研究開始当初の背景

環境に対する配慮がより必要とされる昨今、鋳造業界では工場周辺の環境悪化や工場内での労働環境の劣悪性などから様々な問題を抱えている。近年開発された凍結鋳型鋳造法は、「水」と「砂」だけで鋳型を作製する鋳造法であり、環境低負荷型の鋳造法である。すなわち、1) 樹脂硬化剤などを使わないため環境負荷が小さい、2) 注湯後、鋳型が自然崩壊するため型バラシ作業の必要がない、3) 産業廃棄物(廃砂)が低減できる、4) 粉塵、振動、騒音が抑えられ作業環境が改善できる、などの特長があり、凍結鋳型鋳造法は従来の砂型鋳造の諸問題を解決できる新たな鋳造法である。しかし、凍結鋳型は砂に水のみを添加・混練し凍結させて作製する鋳型のため、熱の影響に敏感である。鋳込み後の溶湯熱の影響で鋳型が自然崩壊することは型ばらし工程などで優位な反面、鋳物への欠陥に繋がる課題点とも関係している。

凍結鋳型鋳造法の課題点として、1) 鋳型作製時、水分を含ませた鋳型は凍結させると体積が膨張するため、通常の砂型鋳造法より抜け勾配を大きくする必要があり、鋳型寸法に注意が必要であること、2) 溶湯熱の影響で鋳型が自然崩壊するため、鋳型表面の凍結が解除されると砂の焼き付きや、巻き込みなどの砂関連の欠陥が鋳物に発生しやすくなるため、厚肉鋳物の作製や複数鋳物の同時作製ならびに複雑形状鋳物の作製が困難であること、が挙げられる。

そこで申請者らは、凍結鋳型の使用範囲を拡大することを考え、凍結鋳型に発泡ポリスチレンで作製した模型(消失模型)を組み合わせる方法を考案した。

2. 研究の目的

申請者が考案した凍結鋳型に消失模型を組み合わせる鋳造法では、1) 造型工程が簡略化できる、2) 中子を用いず複雑形状の製品が作製できる、3) 厚肉製品が作製可能である、などの消失模型鋳型の特長と、4) 型ばらし時の粉塵が少ない、5) バックアップサンドが凍結砂であるため鋳型強度が見込める、などの凍結鋳型の特長の両方が期待できる。

凍結鋳型の空洞部に消失模型を組み入れることで溶湯の充満挙動を変化させ、鋳型への溶湯熱の影響を抑制することで凍結鋳型鋳造法の課題が克服できる。また、凍結鋳型は通気性が良いことが申請者の研究により明らかになっており、消失模型の熱分解ガスの型外への排出は問題ない。また、凍結鋳型では水を利用しているため型合せ時の砂の乾燥など水分管理に注意する必要があるが、消失模型を利用しているためハイブリッド鋳型では型抜き工程の簡略化ができ、そのような注意は必要ない。

そこで、凍結鋳型鋳造法の課題点を克服し、さらに汎用性のある新たな環境低負荷型の鋳物製造技術を開発することを目的に、1) ハイブリッド鋳型への溶湯の充満挙動、2) 消失模型に塗布する塗型の影響、3) 複数鋳物の同時作製の可能性、4) 複雑形状の鋳物作製の可能性、について明らかにすることとした。

3. 研究の方法

(1) ハイブリッド鋳型への溶湯の充満挙動

ハイブリッド鋳型は、シリカ系水性塗型を施した消失模型を金枠内に設置し、5mass%の水を添加した珪砂をつき固めた後、-30℃の冷凍庫で凍結させて作製した。その際、ハイブリッド鋳型内に観察用のガラスを埋没させた。鋳型にAl-11.7mass%Si溶湯を850℃で注湯し、鋳型への溶湯の充満挙動をハイスピードカメラにて直接観察した。

(2) 消失模型に塗布する塗型の影響

ハイブリッド鋳型は、消失模型を金枠内に設置し、5mass%の水を添加した珪砂をつき固めた後、-30℃の冷凍庫で凍結させて作製した。その際、消失模型に塗型を施したハイブリッド鋳型と施していない無塗型ハイブリッド鋳型をそれぞれ作製した。各鋳型にFe-3.2mass%C-2.1mass%Si-0.1mass%P溶湯を1450℃で注湯し、最大70mm厚さの板状試験片を作製した。

(3) 複数鋳物の同時作製

堰の本数や湯道の大きさを調整し、複数の鋳物が同時に得られる鋳型を検討後、シミュレーションを行い、実際にハイブリッド鋳型を作製して複数個込めを行った。各試験片部の寸法は縦100mm、横100mm、肉厚50mmとし、4個を同時に作製する方案とした。また、片側の試験片部のみに塗型を施すことで、鋳物に及ぼす塗型の影響についても評価した。図1にハイブリッド鋳型の概略図を示す。ハイブリッド鋳型は、片側の試験片部のみに塗型を施した消失模型を金枠内に設置し、5mass%の水を添加した珪砂をつき固めた後、-40℃の冷凍庫で凍結させて作製した。鋳型にFe-3.2mass%C-2.1mass%Si-0.1mass%P溶湯を1450℃で注湯し、鋳物を作製した。なお、凍結鋳型ではZr系粉体塗型を、CO₂鋳型

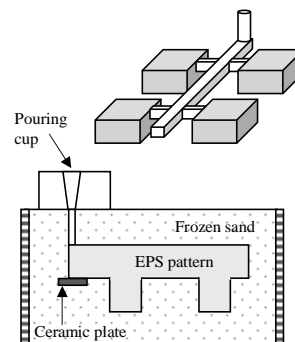


図1 ハイブリッド鋳型の概略図

では黒鉛系アルコール性塗型を片側の試験片部に塗布した。得られた鋳物を外観観察、断面観察、組織観察、硬さ試験などを行い評価した。

(4) 複雑形状の鋳物作製

十字型の空洞部を有する鋳物と直径の異なる 3 つの円柱状の空洞部と直方体の空洞部を有する鋳物の作製を試みた。十字型の空洞部を有する鋳物の寸法は、縦 100mm、横 80mm、高さ 40mm とし、空洞部の寸法は、縦 100mm、横 80mm、高さ 50mm とした。3 つの円柱状の空洞部を有する鋳物の寸法は、縦 100mm、横 80mm、高さ 50mm とし、円柱状の空洞部の寸法は、直径 20mm、25mm、30mm とし、直方体の空洞部は、縦 100mm、横 40mm、高さ 20mm とした。ハイブリッド鋳型は、消失模型を金枠内に設置し、5mass%の水を添加した珪砂をつき固めた後、-30℃の冷凍庫で凍結させて作製した。鋳型に Al-11.7mass%Si 溶湯を 800℃で注湯し、鋳物を作製した。得られた鋳物を外観観察、X 線 CT 観察、ポイド解析、断面観察、表面粗さ測定、組織観察、硬さ試験などを行い評価した。

4. 研究成果

(1) ハイブリッド鋳型への溶湯の充満挙動

ハイブリッド鋳型における溶湯の充満挙動は、消失模型鋳造で溶湯が充満する挙動と一致していることが確認できた。また、ハイブリッド鋳型は通気しており、熱分解ガスの排出が確認できた。

(2) 消失模型に塗布する塗型の影響

図 2 にハイブリッド鋳型と無塗型ハイブリッド鋳型で作製した鋳物の断面 SEM 写真を示す。ハイブリッド鋳型と無塗型ハイブリッド鋳型を比べると、ハイブリッド鋳型の方が鋳物表面は滑らかであり、砂の巻き込みは無かった。これは、消失模型に施した塗型により、溶湯が直接鋳型に触れなかったためと考えられる。このことから、ハイブリッド鋳型において消失模型に塗布している塗型が砂欠陥の発生の有無に大きく影響していることが明らかになった。

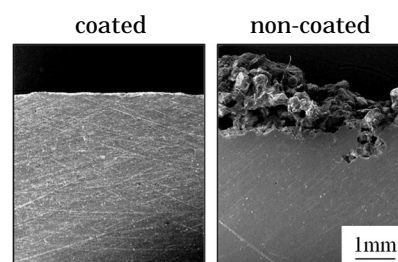


図 2 ハイブリッド鋳型で作製した鋳物の断面 SEM 写真

(3) 複数鋳物の同時作製

凍結鋳型で得られた鋳物の表面には、砂の焼き付きが見られた。これは、溶湯熱の影響による凍結の解除に伴う鋳型強度の低下が原因であると考えられる。粉体塗型を施した試験片部と施していない試験片部で、外観に大きな違いは見られなかった。一方、ハイブリッド鋳型では、シリカ系水性塗型を施した試験片部には砂の焼き付きなどの欠陥は見られなかった。図 3 に各鋳型で得られた鋳物の断面 SEM 写真を示す。凍結鋳型では鋳物表面の砂の焼き付きに加え、鋳物内部への砂の巻き込みも見られた。砂の巻き込みは、溶湯熱の影響を受け凍結の解除が進行することで上面の砂が脱落し、それが鋳物内部に巻き込まれたものであると考えられる。また、塗型の有無にかかわらず砂の巻き込みが見られた。一方、ハイブリッド鋳型では試験片部への砂の巻き込みの欠陥は見られなかった。これは、消失模型を熱分解しながら溶湯が充満されるため、空洞型である凍結鋳型に比べ鋳型上面へ溶湯が早く充満することが影響していると考えられる。また、塗型を施していない試験片部の表面には砂の焼き付きが見られたのに対し、塗型を施した試験片部には砂の焼き付きや巻き込みは見られず、CO₂ 鋳型で作製した鋳物と比較しても、滑らかな鋳肌が得られた。これは、模型に施した塗型により溶湯と砂が直接触れなかったためであると考えられる。ハイブリッド鋳型で作製した鋳物の組織には A 型の片状黒鉛およびパーライトが見られ、鋳物の硬さは 200～220HB であった。また、各試験片部で組織および硬さは同程度であり、凍結鋳型や CO₂ 鋳型で作製した鋳物と比較しても、組織および硬さにほとんど違いはなかった。

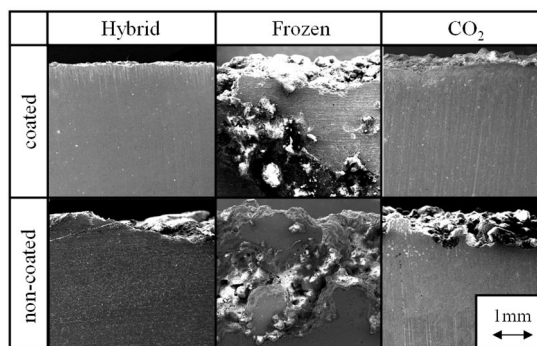


図 3 各鋳型で得られた鋳物の断面 SEM 写真

図 4 にハイブリッド鋳型で作製した 3 つの円柱状の空洞部を有する鋳物の外観写真と X 線 CT 像を示す。外観観察の結果より、ハイブリッド鋳型で作製した鋳物は、溶湯熱の影響による欠陥は見られず、目的の形状に最も近くなっていた。これは、ハイブリッド鋳型では溶湯が鋳物砂に直接触れることがなく、鋳物の形状が消失模型の形に依存するためであると考えられる。また、X 線 CT 観察の結果より、ハイブリッド鋳型で作製した鋳物において鋳物内部への水蒸気の影響は見られなかった。ポイド解析の結果から、十字型の空洞部を有する鋳物のポイド量は、ハイブ

(4) 複雑形状の鋳物作製

図 4 にハイブリッド鋳型で作製した 3 つの円柱状の空洞部を有する鋳物の外観写真と X 線 CT 像を示す。外観観察の結果より、ハイブリッド鋳型で作製した鋳物は、溶湯熱の影響による欠陥は見られず、目的の形状に最も近くなっていた。これは、ハイブリッド鋳型では溶湯が鋳物砂に直接触れることがなく、鋳物の形状が消失模型の形に依存するためであると考えられる。また、X 線 CT 観察の結果より、ハイブリッド鋳型で作製した鋳物において鋳物内部への水蒸気の影響は見られなかった。ポイド解析の結果から、十字型の空洞部を有する鋳物のポイド量は、ハイブ

リッド鋳型では 2.4 %、凍結鋳型では 3.9 %、CO₂ 鋳型では 5.1 %で、ハイブリッド鋳型で作製した鋳物が最も少なかった。これは、ハイブリッド鋳型では凍結鋳型および CO₂ 鋳型の場合と異なり、溶湯が発泡模型を置換しながら同心円状に充填したためであると考えられる。図 5 に各鋳型で得られた十字型の空洞部を有する鋳物の空洞部の断面 SEM 写真を示す。ハイブリッド鋳型で作製した鋳物の表面は、他の鋳型で作製した鋳物と比べて平滑であった。図 6 に十字型の空洞部を有する鋳物の空洞部の表面粗さ測定の結果を示す。ハイブリッド鋳型で作製した鋳物の表面粗さは 174 μm 、凍結鋳型は 366 μm 、CO₂ 鋳型は 266 μm であり、ハイブリッド鋳型で作製した鋳物は他の鋳型と比べて粗さが小さかった。これは、消失模型に施した塗型により溶湯が鋳物砂に直接触れなかったためであると考えられる。各鋳型で作製した鋳物において初晶 Al および Al と Si の共晶が見られ、組織に違いはなかった。これは、各鋳型で冷却速度が同程度であったためと考えられる。また、各鋳型で得られた鋳物の硬さは同程度であった。以上のことから、ハイブリッド鋳型で溶湯熱や水蒸気の影響を受けていない目的形状の鋳物が得られ、空洞部を有する鋳物を作製する際に必要な中子を用いなくてもハイブリッド鋳型で空洞部を有する鋳物の作製が可能であることが明らかになった。

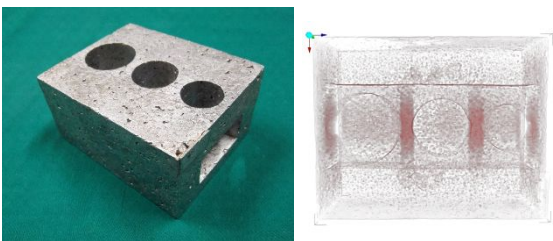


図 4 3 つの円柱状の空洞部を有する鋳物の外観写真と X 線 CT 像

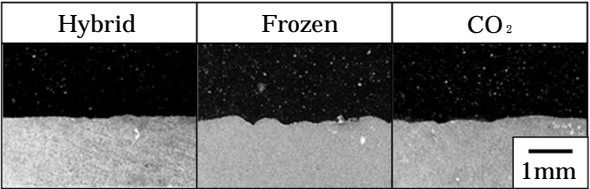


図 5 各鋳型で得られた鋳物の空洞部の断面 SEM 写真

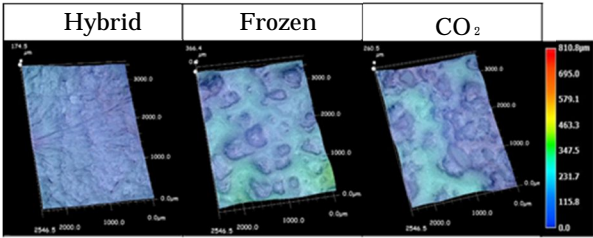


図 6 各鋳型で得られた鋳物の空洞部の表面粗さ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hoshiyama Yasuhiro、Nakashima Keisuke、Matsumoto Hideto	4. 巻 405
2. 論文標題 Simultaneous Fabrication of Multiple Castings Using Frozen Mold Casting Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Defect and Diffusion Forum	6. 最初と最後の頁 75～79
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4028/www.scientific.net/DDF.405.75	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Y. Hoshiyama, K. Nakashima, H. Matsumoto
2. 発表標題 Simultaneous Fabrication of Multiple Castings Using Frozen Mold Casting Method
3. 学会等名 17th International Symposium on Metallography, Fractography and Materials Science（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 猪飼一輝、星山康洋、松元秀人
2. 発表標題 ハイブリッド鋳型により作製した複雑形状Al合金鋳物の鋳造特性
3. 学会等名 （公社）日本鋳造工学会関西支部令和2年度秋季支部講演大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------