

鑄造用鑄型作製金型の耐久性向上

理工学部機械工学科 講師 富田 義弘

1. 緒言

現在、鑄造用鑄型作製金型の耐熱性、耐久性向上が要求されており、この改善方法として複合化を検討している。複合化の1つとして鑄ぐるみ技術^[1]があり、ステンレスパイプを純アルミニウムで鑄ぐるんだ冷却装置がすでに実用化されている^[2]。しかしアルミニウムは高価であるため、本研究では純アルミニウムに代わり鑄鉄を用いることによって低コスト化を試みている。しかし、鑄ぐるむ際、溶湯から受ける熱によりパイプの温度が過度に上昇し、パイプが溶けて溶湯がパイプ内に流入することが問題となっている。そこで、鑄造 CAE による最適な堰形状及び充填方法を検討し、鑄型形状、方案を変更することで、溶湯によるパイプへの熱集中の改善を行い、鑄鉄製冷却装置の製造条件を検討する。これにより、冷却機能向上を図り、耐久性、耐熱性を向上させた鑄造用鑄型作製金型の製造に応用させることを目的とする。

2. 実験方法および条件

2.1 CAE 解析

まず鑄造 CAE システム(JSCAST Ver.10)による湯流れ解析を行う。形状を改善した砂型を作製するために、3次元 CAD 設計ソフト Solid Works を用いて複数の形状(従来、改善型)を作製し、鑄造 CAE システムを用いて砂型内部で鑄鉄溶湯がどのように充填されていくか、溶湯温度を可視化する。この解析結果により、パイプ内部に鑄鉄溶湯流入する原因を考察し、砂型形状を改善する。また、堰の位置を低くし形状を変更した。これを基に堰の数を1つ、2つ、3つとした改善案を作製した。

次に、蛇行状 SUS304 パイプ(外径 6mm, 厚さ 1mm, 長さ 6000mm)を鑄鉄で鑄ぐるむために、改善した型の砂型を作製する。砂型は CO₂鑄型を用い、上型と下型の間に中子のように SUS304 パイプが固定されるように挟み込んだ。なお、堰の形状により鑄込み重量は変化するが、鑄込み速度は一定とした。変更した鑄造モデル、湯道無、堰1つ、堰2つ、堰3つを図1に示す。解析条件を以下に示す。また、材料(FC200, SUS304, CO₂, Air)の初期温度および物性値を表1に示す。

<解析種類>湯流れ解析

<要素形状>直交要素

<総要素数>3,606,295

<計算条件>熱流れ

<終了条件>充填率 98.0[%]まで計算

<壁面条件>ノースリップ

<動粘性係数>線形 0.5000[cm²/s]

<重力加速度>980.00[cm²/s]

<湯回り不良(流動停止)>考慮しない

表1 材料の初期温度および物性値(K)

材料名	初期温度	固相線温度	液相線温度
FC200	1623	1413	1473
SUS304	293	-	-
CO ₂	293	-	-
Air	293	-	-

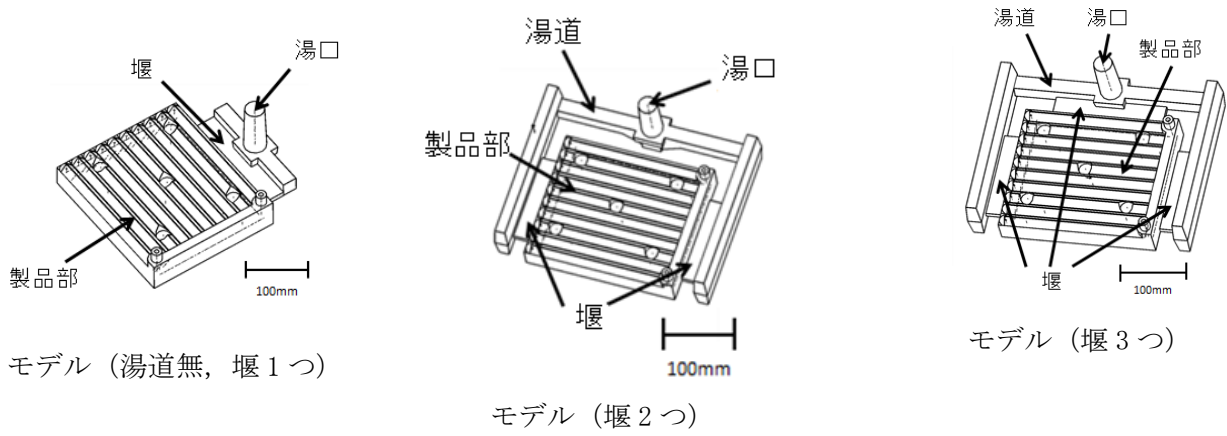
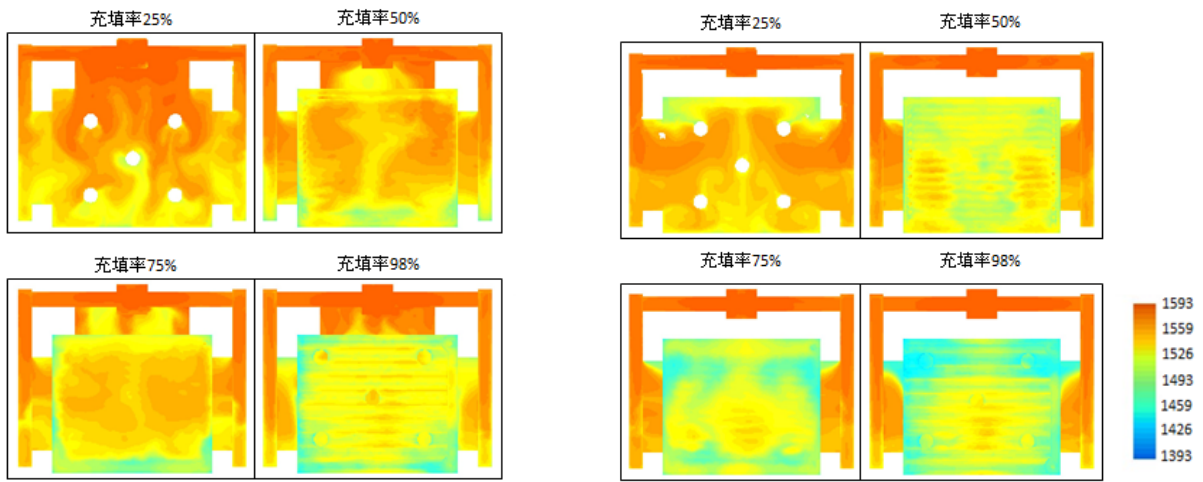
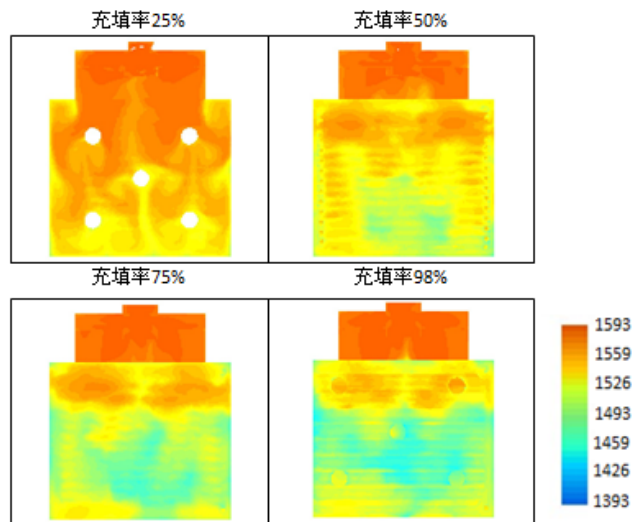


図1 鋳造モデル



(A) 堰3つ

(B) 堰2つ



(C) 堰1つ (湯道無し)

図2 改善後の湯流れ解析結果(上部)

溶湯充填率(0%~98%)において、砂型内部の鋳鉄溶湯の温度変化を製品上部、下部より観察した。溶湯充填率 25%、50%、75%、98%で観察を行い、それぞれの時点における鋳鉄溶湯の温度分布を図2に示す。解析結果は 1393K~1593K を 30 階調で分割し、凡例のとおり着色した。

堰3つの(A)では製品部の温度分布に注目すると、製品部内の温度差は目に見えて小さくなった。また、堰付近の熱の集中も過去の結果と比べると改善された。しかし、このモデルでは過去のモデルより鋳鉄を多く使用するのでコストの削減の面では改善されていない。

堰を1つ減らした堰2つの(B)では製品部の温度分布に注目すると、堰3つと同様に堰周辺の温度の集中は改善された。また製品部の温度の差も小さいままだった。しかし、鋳鉄の使用量は多く歩留まりが悪い。

そこで堰を1つとした(C)では製品部の温度分布に注目すると、製品部の堰付近と末端部の温度差は過去の結果と比較すると小さくなった。しかし、過去の鋳造モデルと比べると堰付近の熱の集中は改善されたが、やはり堰を1つにしたので堰付近と末端部では約 130K の差があり、まだ堰付近に熱が集中している。

以上の結果より堰の位置を低くすることは有功であり、席の幅を広くすることで鋳込み速度を上げることも有功に働いていることがわかる。また、堰数は1つでも可能である方案が導き出された。そこで実際に鋳ぐるみ実験を行い、シミュレーション結果との比較を行った。

2.2 蛇行状 SUS304 パイプの鋳ぐるみ実験

鋳ぐるみの際に用いる溶湯は片状黒鉛鋳鉄とし、目標組成を C : 3.5mass%、Si : 2.4mass%とし銑鉄と鋼くず、Fe-Si 合金により成分調整を行った。溶解材料の化学組成を表1に示す。地金中の C、Si の歩留まりを 95%として溶解重量の設定を行う。高周波誘導溶解炉を用いて銑鉄と鋼屑を 1773K まで昇温し、溶湯を安定させるため 0.6ks 間保持した後 Fe-Si 合金を加え成分調整を行い、目標温度 1623K で鋳込んだ。

表1 溶解材料の化学組成(mass%)

	C	Si	Mn	P	S
銑鉄	4.32	2.01	0.20	0.083	0.013
鋼くず	0.21	0.064	0.75	0.029	0.004
Fe-Si合金	-	75	-	-	-

堰の位置を低く、数をそれぞれ3つ、2つ、1つとし注湯温度 1623K で鋳ぐるみ実験を行った結果、3つの場合すべてにおいてパイプ内への鋳鉄溶湯の流入は見られず良好に鋳ぐるめていた。

さらに、本研究で改善を行った鋳造モデル3つが、従来品より優れていることを確かめるため、過去の研究論文から鋳ぐるみの実験結果を参照し、本研究の実験結果と比較を行った。比較は注湯温度 1623K、A 側（従来では堰側）の切断面にて行った、比較の結果を図3に示す。鋳鉄、パイプの種類、実験方法は全て同じである。

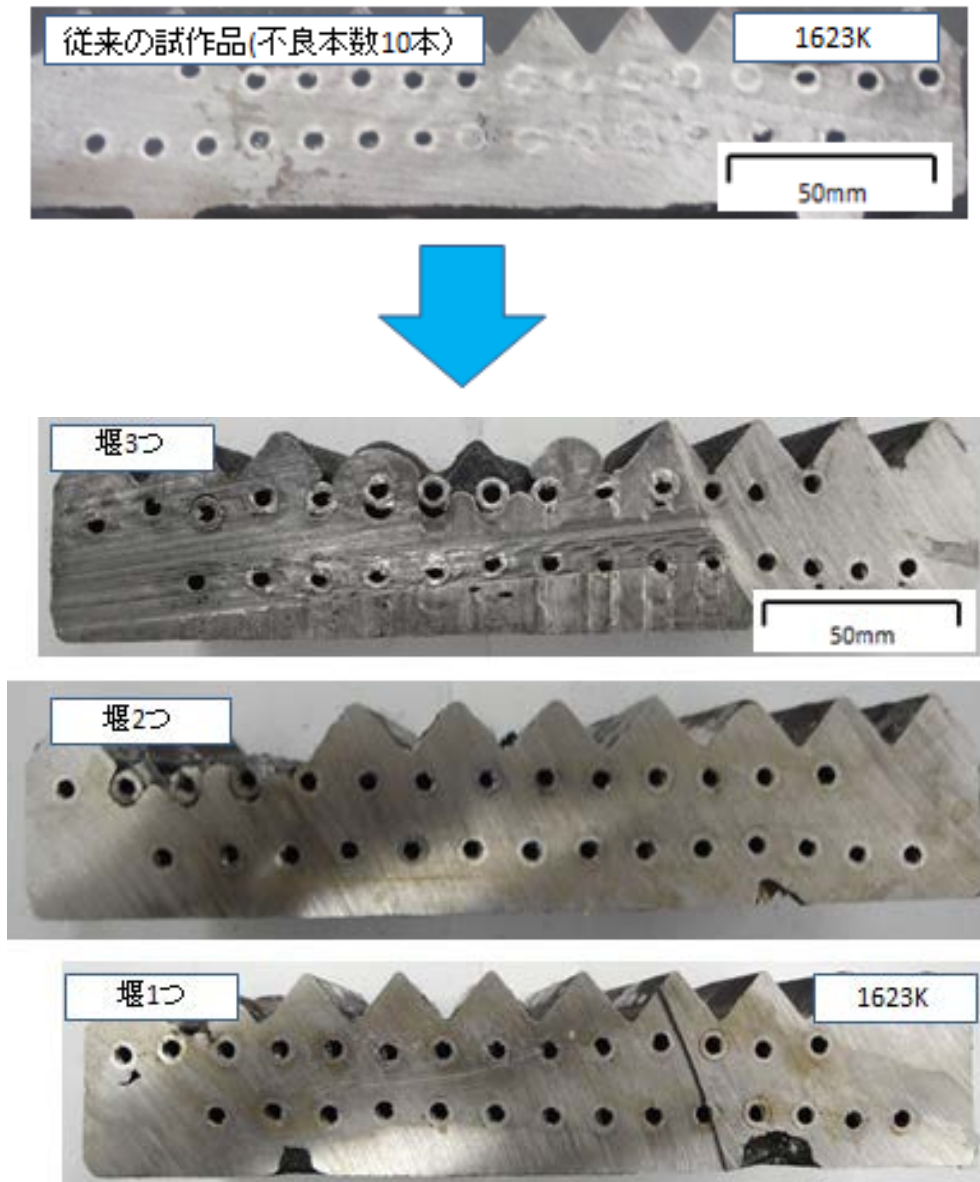


図3 従来との比較 A（堰）側断面

比較結果を見ると、従来の試作品では28本のパイプのうち10本がパイプ内に鑄鉄溶湯が流入していたのに対し、改善を行った鑄造モデルを使用した冷却装置には3種類すべての場合で28本のパイプすべてに不良は見られなかった。この結果から、堰の位置を低くしたことで堰付近のパイプに溶湯が接する時間が短縮され、堰を3つにすることにより3方向から溶湯が製品部に入ることにより熱の分散が図れたと考えられる。また、堰2つの場合も同じことがいえる。堰1つの場合は使用する鑄鉄溶湯の量が減ったのでパイプが溶湯から受ける熱量を抑えることができたと考えられる。したがって、鑄造CAEにより鑄鉄溶湯の充填過程を観察し、その際溶湯の温度変化を可視化することによって、どこに熱が集中しているかを考察し、それをもとに鑄造モデルの改善を行ったことにより、製品部の内部の温度差、熱の集中が改善されたといえる。

このことにより、新たな鑄造モデルで注湯温度1623Kにおいて冷却装置の製造が可能である。しかし、堰が3つの場合が最も熱を分散する構造になっていたが重量が重く、使用する鑄鉄溶湯が多くなり、コスト削減の面では改善されたとはいえない。また、堰2つの場合も本実験で挙げた不良の原因となる2つの点は改善されたが、こちらもコスト削減の面では堰3つと同様のことがいえる。

したがって、3種類の鋳造モデル（堰1つ湯道無，2つ，3つ）の中では，使用する溶湯の量が少なく，コストの削減が期待できる堰1つ，湯道無の鋳造モデルが最も適している．

4. 結言

本研究では，従来の研究で問題となっていたパイプ内に溶湯が流入してしまう点に注目し，まず，鋳造 CAE を用いて従来形状の砂型内部での鋳鉄溶湯の可視化を行い，砂型形状の欠点を考察し，鋳造モデルの改善を行った．砂型形状を改善し，冷却装置の試作を行い，鋳ぐるみ結果の判定を行った．以上の実験を行った結果，次のことが得られた．

- (1) 鋳造 CAE 改善実験から，鋳造モデル改善後は，堰の位置を低くし断面積の拡大，堰の数を変更したことにより温度分布が均一化し，堰付近のパイプ部に発生していた熱集中の問題が解消された．
- (2) 改善後の砂型による鋳ぐるみ実験を行い，注湯温度 1623K ではすべての断面でパイプが元の形状を保ち，適切に鋳ぐるむことができた．
- (3) 3種類の鋳造モデルの中では溶湯の量が少なく，コストの削減が期待できる堰1つ，湯道無が最も適している．

以上のことより，注湯温度 1623K で鋳ぐるみ実験を行った際，改善した鋳造モデル（堰1つ，2つ，3つ）の全ての場合でパイプ内に溶湯が流入せず，良好に鋳ぐるむことができた．このことから蛇行状 SUS304 パイプを鋳鉄で鋳ぐるんだ冷却装置を開発するにあたり問題とされていた堰付近からパイプ内への鋳鉄溶湯の流入が改善されたといえる．よって鋳鉄溶湯を用いて蛇行状 SUS304 パイプを鋳ぐるむことで，純アルミニウムの製品に近づけ，低コスト化で工業用途にも使用できる冷却装置の製造を可能にし，ステンレス鋳ぐるみ部材の用途拡大を図れたと考えられる．これにより，冷却機能向上を図り，耐久性，耐熱性を向上させた鋳造用鋳型作製金型の製造に応用させることができると考えられる．

参考文献

- [1] 「鋳造を利用した複合化・接合技術」 鋳造を利用した接合技術—鋳ぐるみ—，野口徹，堀川紀孝，素形材，Vol.47 No.11 Page.11-16.
- [2] 新興マタイ株式会社ホームページ（2015年4月参照）<http://www.imono-otasuke110.com/>