

流動解析を利用した薄肉鋳鉄の製造技術に関する研究

柴田周治*, 樋尾勝也*, 村川 悟*

Research on Manufacturing Technology of Thin Section Castings Using Mold Filling Simulation

Shuji SHIBATA, Katsuya HIO and Satoru MURAKAWA

Casting tests were carried out to produce high quality castings, especially thin section castings. It was available to use computer aided engineering to prevent casting defects such as cold shuts. As the results, by comparing experimental results and mold filling simulation, it was possible to produce thin section castings. The suitable thickness of coat made from SiO₂ was between 0.5mm and 0.7mm.

Key words: Cold Shut, Simulation, Mold Filling, Thin Section Castings

1. はじめに

鋳鉄製品を薄肉化して軽量化することは、品質面で差別化を図り、競争力を確保するうえで有効な手段である。

本研究では、鋳鉄の薄肉化を目的として、最近実用レベルに達してきた鋳造シミュレーションの活用を検討した。昨年度は、発泡模型を鋳型とした鋳造プロセスにおける鋳鉄の薄肉化について検討し、鋳物の出来栄を評価した¹⁾。その際、薄肉化のためには、溶湯充填挙動の把握が重要なので、鋳造シミュレーションにより流動解析を実施した。その結果、実際の鋳造と比べて、溶湯の鋳型への流動状況が異なることが判明した。

そこで、本年度は、発泡模型を使用した場合において、多孔質内の流れを考慮した流動解析と実際の鋳造結果とを相互に検証することにより、流動解析で実際の鋳造時と同じ流動状況を再現可能とするとともに、鋳物の欠陥低減についても検討した。

次に、発泡模型に塗布する塗型の通気抵抗につ

いて調査した。塗型は、注湯時における模型形状の保持および発泡模型から発生するガスの除去をスムーズに行う役割を担っている。そこで、塗型の通気抵抗を評価する簡易的な装置を作製して、塗型厚さと通気抵抗との関係を求め、塗型厚さが鋳物の欠陥に及ぼす影響について調査した。

2. 実験

2. 1 鋳造シミュレーションの概要および解析条件設定のための予備実験

現在、国内外で 10 社程度の鋳造シミュレーションソフトウェアが販売されている²⁾。シミュレーションの手法としては、大きく分けて直交差分法と有限要素法があり、それらの特徴を表 1 に示す。本研究で実施した流動解析は、直交差分法を採用した解析ソフトウェアであるアドステファン（日立製作所製）を使用した。

本ソフトは、プリプロセッサ（解析の準備）ーソルバー（解析）ーポストプロセッサ（結果の表示）から構成されている。シミュレーション解析するためには、まず、汎用 3 次元 CAD で作

* 金属研究室 研究グループ

表 1 シミュレーション手法による特徴

手法	直交差分法	有限要素法
プログラム	単純	複雑
形状精度	悪い	良い
	直方体	多面体
メッシュ作成	簡単	複雑
価格	低額	高額

成した形状モデルのデータファイルを STL 形式のファイルに変換する必要がある。このファイルから立方体要素によるメッシュ作成を行い、直交メッシュを作成する。次に表 2 に示す基本物性値等を設定した後にソルバーによる解析を行う。

表 2 基本物性値の入力例

1 鋳物 FCD450
注湯温度:1320℃
液相温度:1180℃
固相温度:1140℃
密度:7.1g/cm ³
比熱:0.16cal/g・℃
熱伝導率:0.07cal/cm・sec・℃
凝固潜熱:50cal/g
動粘性係数:0.01cal/cm・sec・℃
2 鋳型
初期温度:20℃
密度:1.5g/cm ³
比熱:0.2cal/g・℃
熱伝導率:0.002cal/cm・sec・℃
3 熱伝達係数 0.01

表 2 に示す物性値以外にも以下に示すソフトウェア固有の条件設定が流動解析の結果に影響を及ぼす。

- ・溶湯流入条件—速度指定, 圧力指定の選択
- ・メッシュ要素 mm—形状の滑らかさで流動状況が変化する。また, メッシュを細かく切ると解析時間が大幅に増加する。
- ・フィルター要素—ダルシー流れ (多孔質内の流体流れ) で固液共存域における流動や発泡模型

への流動を取り扱う場合に使用する。

なお, ダルシーの法則とは, 任意の方向の流体の流量は, 流れる 2 地点の圧力の差に比例するという経験則である³⁾。

$$q = -(K/\mu) \cdot \Delta P$$

q: 流量 K: 流体が移動する物質の浸透率

μ: 移動する流体の粘性 P: 圧力

- ・鋳型壁—スリップ: 鋳型の影響を受けない

ノンスリップ: 鋳型表面で速度がゼロになるよう仮想的に鋳型内に反対向き速度を設定の選択

このため, 発泡模型の流動解析を行う前段階として, 湯流れを評価するための試験法⁴⁾を参考に 5×40×200mm の 3 枚の板状試験片について, 発泡模型を使用しない鋳型へ実際に鋳造して, 流動解析で同じ結果が得られるように解析条件を設定した。鋳鉄溶湯の材質は, JIS G5502 FCD450 とし, 化学組成は C: 3.8% Si: 2.8% を基本とした。溶解温度 1500℃ で出湯, 取鍋内で Fe-Si-4%Mg 合金による球状化処理後, フェノールウレタン鋳型 (以下有機鋳型) への鋳込みを行った。

図 1 に有機鋳型へ実際に鋳造したものと流動解析した結果を示す。板の先端部への溶湯の充填について, 表 2 の基本物性値を用い, 他の条件設定については, 溶湯流入—速度指定 50cm/s, メッシュ要素—1.7mm, フィルター要素—なし, 鋳型壁—ノンスリップ とすることで実際の鋳造とほぼ同じ流動解析結果を得ることができた。

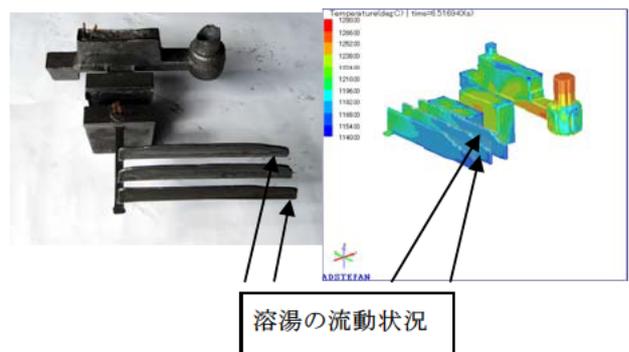


図 1 板状試験片への鋳造 (有機鋳型) と流動解析結果

2. 2. 1 発泡模型による鑄造

鑄鉄溶湯は、溶解温度 1500℃で出湯，球状化処理後，砂型にセットした発泡模型に鑄込んだ。

発泡模型の原料は，ポリメチルメタクリレート (PMMA)⁵⁾ で，これを発泡倍率 45 倍に成形したものを模型として使用した。PMMA の熱分解温度は 250～300℃，ポリマー鎖の末端から分解しモノマーまで熱分解する。酸素原子があるために煤の発生を抑制する効果がある。発泡模型の形状は，高さ 200mm，内径 300mm，肉厚 5mm の筒状とした。注湯を開始すると，PMMA は，高温に加熱され燃焼することにより消失し，順次溶湯と置換される。本実験では，押し上げと落とし込みの両方案について，実際の鑄込みと流動解析を実施し，溶湯の流動状況について検証した。

2. 2. 2 塗型の通気抵抗

塗型剤は SiO₂ 系を使用した。塗型の通気抵抗は，図 2 に示す方法で，以下の手順により大気圧との差圧から求め，塗型厚さとの関連について調査した。

- (1) ろ紙(No.5B)に刷毛塗りにより塗布
- (2) 十分に乾燥
- (3) 塗型厚さの測定
- (4) ろ紙の通気抵抗を差し引く

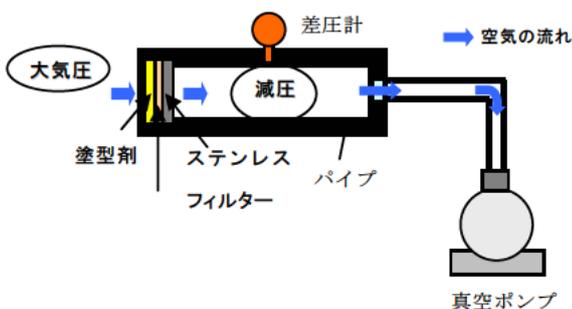


図 2 塗型の通気抵抗測定概略図

3. 結果と考察

3. 1 発泡模型による鑄造

発泡模型を使用した場合の溶湯の充填は，発泡模型を使用しない有機鑄型 (図 3) のように溶湯が下部を満たしてから均一に上昇するのではなく，早い時期に上部に充填されることを確認している (図 4)¹⁾。

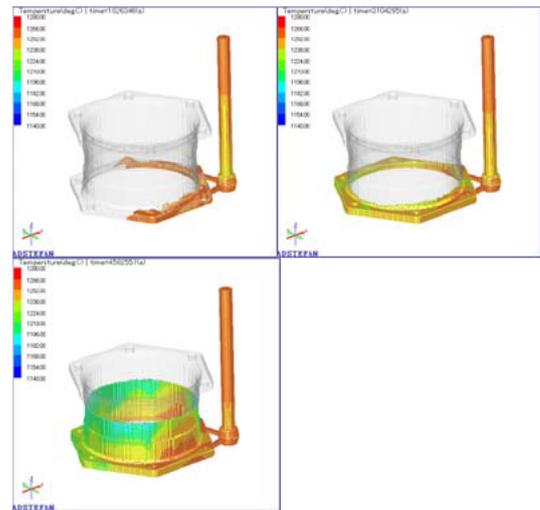


図 3 筒状鑄物の流動解析結果
(有機鑄型，押し上げ方案)

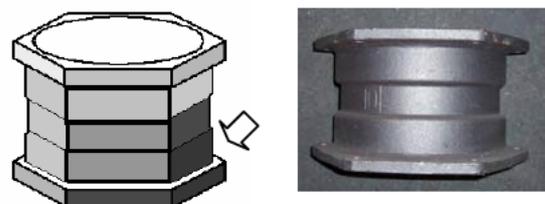


図 4 発泡模型への溶湯充填 (左)
(色が濃いほど充填が早い)
と鑄込み後の外観 (右)

発泡模型に注湯した場合の溶湯充填が有機鑄型の場合と異なるのは，溶湯の充填過程で発泡模型から発生する PMMA の分解ガスが湯流れに影響したものと考えられる。そこで，発泡模型への流動を取り扱う場合に使用するダルシー流れを考慮した設定-フィルター要素を筒状の部分に定義して流動解析を行った結果を図 5 に示す。溶湯の流動状況は，実際の鑄造 (図 4) とほぼ一致した結果が得られ，発泡模型を使用した場合には，フィルター要素を定義した条件を加えることによって解析できることが明らかになった。

発泡模型による鑄造では，堰の反対側への溶湯充填に時間を要することが明らかになったので，鑄型の減圧を行って燃焼ガスを排出することによ

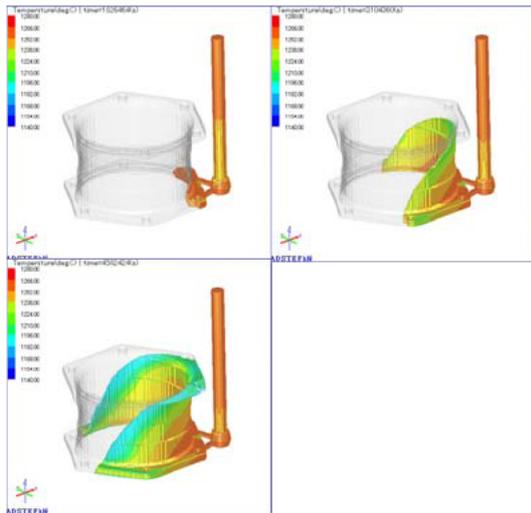


図5 筒状鋳物の流動解析結果
(発泡模型, 押し上げ方案)

り, ガス欠陥の発生防止に効果があることも確認した。

図6は発泡模型の落とし込み方案による流動解析結果である。溶湯は下方に滴下するのが妨げられて横方向へ流動しており, 実際の鋳造においても同じ傾向を示した。

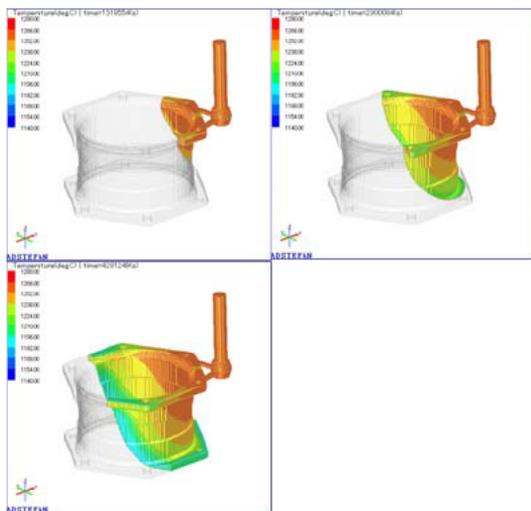


図6 筒状鋳物の流動解析結果
(発泡模型, 落とし込み方案)

3. 2 塗型の通気抵抗

SiO₂系の塗型剤を使用したときの通気抵抗を図7に示す。塗型が厚いと大気との差圧, すなわち通気抵抗は増大し, 膜厚に反比例して直線的に変化した。鋳造した筒状鋳物では, 塗型厚さが0.7mm以上では, 発泡模型の燃焼により発生した

ガスが原因と考えられる欠陥が発生しやすく, 逆に塗型厚さが0.5mmより薄いと型くずれを起こす傾向が見られた。このため, この発泡模型を使用して鋳造する場合, 塗型厚さを0.5mm~0.7mmの範囲で管理する必要があることが明らかになった。

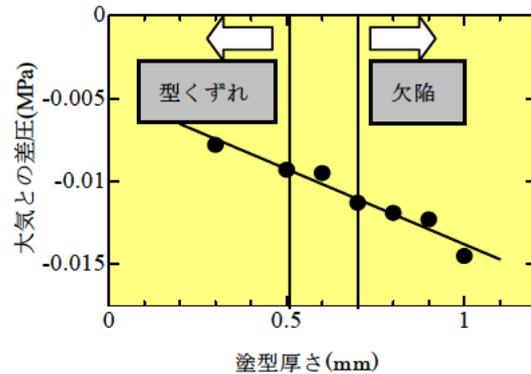


図7 SiO₂系塗型剤の通気抵抗

4. まとめ

鋳造シミュレーションを活用した鋳鉄の薄肉化技術に関する研究を実施した結果, 以下のことが明らかになった。

- 筒状形状の発泡模型を使用した時の溶湯の流動状況は, 押し上げ方案, 落とし込み方案のいずれの場合も流動解析においてフィルター要素を設定することで再現できる。このように流動解析を鋳造方案の決定のための設計ツールとして活用することで, 納期短縮などの改善に役立てることができる。
- 高さ200mm, 内径300mm, 肉厚5mmの筒状発泡模型を使用して鋳造する場合, SiO₂系の塗型剤で鋳造欠陥を生じない塗型厚さは0.5mm~0.7mmの範囲である。

参考文献

- 樋尾勝也ほか：“減圧ロストフォーム法による薄肉鋳鉄の製造技術研究”。三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告, 29, P100-102(2005)
- 日本鋳造工学会鋳造CAE研究部会：“鋳造CAEによる現象解明と最適化に関する研究”。2006
- 大中逸雄：“コンピュータ伝熱・凝固解析入門”, 丸善株式会社 P.139 (1985)

4) 早稲田大学鋳物研究所, 総合鋳物センター研究
調査報告 247: “新流動性試験法の開発と鋳鉄
溶湯の流動性向上法の研究” (1979)

5) Dow Chemical Company USA: “EPC
comes of age”. (Catalog) . P4 (1989)

(本研究は法人県民税の超過課税を財源としてお
ります)