

鑄造シミュレーションの精度検証

福田 拓哉* 本田 崇*

Validation of Casting Simulation Accuracy

FUKUDA Takuya* and HONDA Takashi*

抄 録

砂型アルミ鋳物を対象として引け巣予測解析を実施し、実際に発生した鋳造欠陥の再現をとおして、適切な解析設定の検証を行った。適切な要素サイズを設定することで、現品で発生する引け巣を再現できることがわかった。また、熱物性値の温度依存性を考慮することで予測精度は向上するが、対象とした薄物のドーム形状の場合、一定値でも引け巣の有無は予測できることがわかった。

1. 緒 言

中越地域には石油採掘や工作機械産業の隆盛を背景に、多くの機械鋳物の製造企業が存在する。それらの企業においては、技術者の経験と感覚に基づく設計と製造が主流である。しかし、鋳造における溶湯の流れや凝固の様子を直接観察することは困難であり、それらをイメージしながら試行錯誤する現状の手法は多くの時間や費用を要する。そのため、品質・納期・価格に対する要求が一段と厳しくなる中で、従来の手法による設計、製造では対応が困難となりうる。

近年、コンピュータで様々な物理現象を可視化できる技術として、CAE の活用が進んでいる。当所でも、铸造シミュレーションソフトウェア（株）日立産業制御ソリューションズ ADSTEFAN）を所有している。運用において様々な解析設定を適切に行うためには、実際の铸件（以下、現品）と計算結果の比較による検証を行う必要がある。

そこで本研究では、今後の支援力強化のため、砂型アルミ鋳物を対象に、上記ソフトウェアによる引け巣予測解析を実施し、実際に発生した鋳造欠陥（引け巣）を再現することで、適切な解析設定を検証した。

2. 計算モデル

計算モデルを図 1 に示す。計算時間短縮のため、計算モデルは溶湯経路を含めて全体の 1/4 とした。製品部はドーム形状で表面に同心円状に押湯が配置される。鋳型上には断熱材のスリーブが設置され、内部で押湯上端が成型される。

3. 適切な要素サイズの検証

3.1 計算条件

使用したソフトウェアでは均等直交メッシュを採用しており、全解析領域を同サイズの立方体で要素化する。要素サイズは計算精度と計算時間に影響する。そのため、これらを両立可能な要素サイズの設定が求められる。そこで、主要形状の層数を変化させた計算モデルを用いて、比較・検証を行った。本研究では、ドーム形状

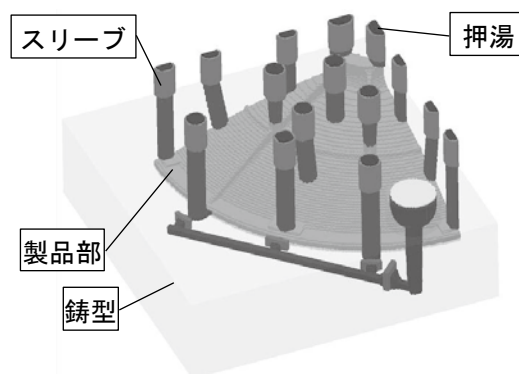


図1 計算モデル

* 中越技術支援センター

の曲面部の厚さ方向に対して、最少で2層、3層、4層となる要素サイズとした。

計算条件を表1に示す。材質はソフトウェアの材料データベースから適用し、溶湯・雰囲気温度及び注湯時間は実工程を踏まえて設定した。

溶湯-鋳型間の熱伝達係数については、ソフトウェアベンダーより示されている範囲（以下、ベンダー設定例）から、 $1700\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ とした。

3.2 引け巣解析結果

凝固完了時の製品部及び押湯の健全度並びに計算時間を図2に示す。凝固収縮による空隙が生じると健全度が低下し、引け巣発生リスクが高い箇所（以下、不健全部）となる。押湯の下部に発生した現品の鋳造欠陥に対して、2層では不健全部が生じず、3層及び4層では実際と近い位置に発生した。本研究対象のような形状で引け巣の予測を行う場合、計算時間を考慮すると3層の分割が適切なサイズと考えられる。

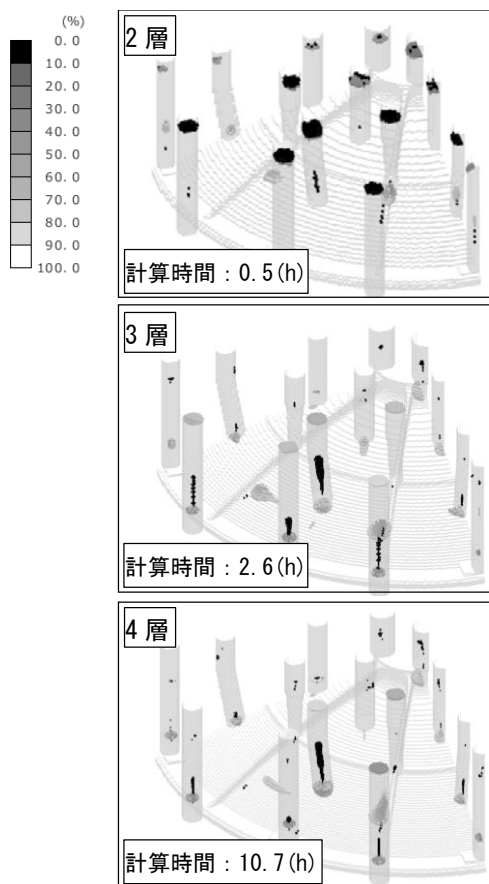


図2 健全度(凝固率 100%)と計算時間

表1 計算条件

材質	温度(℃)		注湯時間(sec)
	溶湯	雰囲気	
AC2A	760	5	120

4. 熱特性の調整

鋳造解析の精度向上を図るには、さまざまな熱特性を実測し、解析パラメータとして設定する必要がある。一方で、多岐に渡る形状や材質を取り扱う場合、その都度測定を行うことは容易ではない。本研究では、熱特性値を極端に変更することで、引け巣解析結果に与える影響を基に、厳密な設定が必要であるか確認した。なお、要素分割は前章の結果より3層とした。

4.1 溶湯-鋳型間の熱伝達

溶湯と鋳型間の熱伝達は溶湯の温度変化に大きな影響を与える重要なパラメータであるが、鋳物・鋳型の材料や形状、充填条件などで変化するため、値を定めることが困難である。一方測定例として、中村ら¹⁾は実験からアルミ合金と砂型の熱伝達係数を $200\sim 1150\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ と算出している。前章の熱伝達係数は $1700\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ であり、上記の算出値に比べて溶湯の熱がより奪われやすい設定である。そこで、熱伝達係数の影響を確認するため、ベンダー設定例上、最も熱が奪われない $837\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ で計算を行った。

図3に凝固完了時の健全度を示す。不健全部が発生する範囲は若干異なるが、前章の結果と同様の傾向を示している。熱伝達係数の変更により、溶湯の温度は奪われにくくなったものの、溶湯温度の分布や凝固過程の変化への影響は少なく、引け巣発生への影響も少なかったためと考えられる。

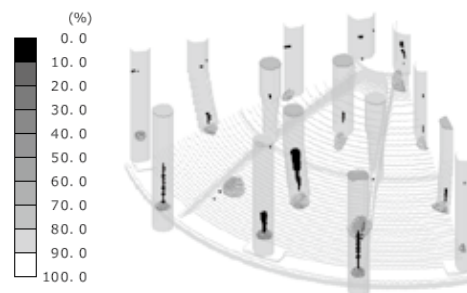


図3 健全度(凝固率 100%)

4.2 鋳物材料の熱物性値

鋳物材料の相変態時の挙動を精度よく再現するにあたって、比熱や熱伝導率などの熱物性値は重要なパラメータである。山口²⁾は測定した温度依存性を持つ熱物性値を解析に用いることで、引け巣予測精度を向上させた。

多くの熱物性値は温度依存性を持つが、使用したソフトウェアを含め、データベースの登録上、全温度域で一定値の場合がある。そこで上記の文献値を参考に、比熱・熱伝導率の温度依存性を考慮して計算し、引け巣発生への影響を確認した。設定した熱物性値を表 2 に示す。熱物性値以外は 3.2 節の 3 層の条件である。

凝固完了時の健全度を図 4 に示す。3.2 節の結果に比べて、押湯直下に引け巣が生じる傾向があり、より現品に近い結果が確認された。

5. 鋳造欠陥対策案の再現

現品では、一部の押湯・スリーブ形状及び材料を AC4C へ変更して鋳造欠陥を改善した。これまでの検討結果から、3.2 節の 3 層の条件で、現品の引け巣を再現できている。そこで、実施した対策案にこの設定を適用して計算を行い、改善の効果を再現できるか確認を行った。

表 2 熱物性値

	温度 (°C)	熱伝導率 (W/m・K)	比熱 (J/kg・K)
初期	全温度域	141.991	962.79
変更後	0	140	800
	500	140	1200
	600	70	1100
	800	70	1100

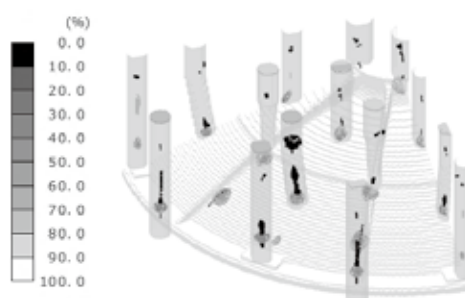


図 4 健全度(凝固率 100%)

対策前後の凝固完了時の健全度を図 5 に示す。押湯下部に発生していた不健全部の大半は押湯内に収まり、現品同様の対策効果が見られた。

6. 結 言

- (1) 適切な要素サイズの設定により、現品での引け巣の発生及び対策効果を確認できた。
- (2) 熱伝達の設定は引け巣の発生予測への影響は少ない。
- (3) 熱物性値の温度依存性を考慮することで、引け巣の予測精度は向上する。ただし、本モデルのような薄物形状の場合、データベースの値でも引け巣の有無は予測できる。

参考文献

- 1) 中村侑未ほか, “積層鋳型とアルミニウム合金溶湯の間の熱伝達係数算出方法とその課題”, 日本鋳造工学会 第 180 回全国講演大会講演概要集(2022), p.110
- 2) 山口真弘, “アルミ鋳造品の鋳巣予測精度向上のための物性測定技術および湯流れ・凝固解析による鋳巣予測結果の紹介”, 神戸製鋼技報, Vol.73, No. 2 (2024), pp.129-134.

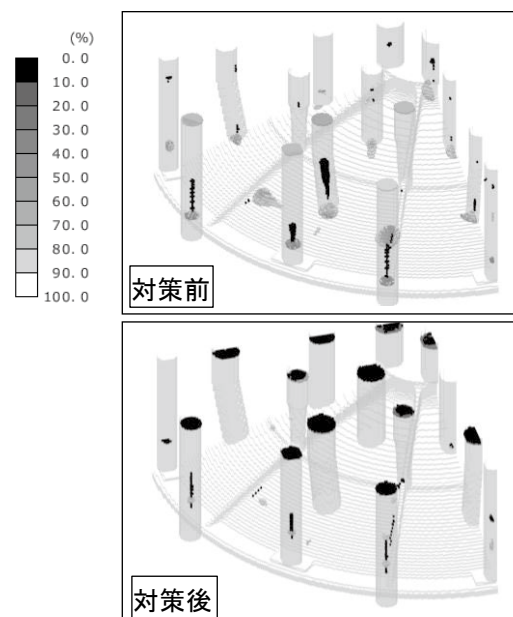


図 5 健全度(凝固率 100%)