

鋳造型の流れ・伝熱解析

メカニクス系工学専攻 教授 木口 昭二

1. 緒言

近年、コンピュータ技術の発展はめざましく、パーソナルコンピュータをはじめとして、家電製品や自動車、携帯電話に至るまで、あらゆるところで利用されている。特にパソコンなどは、ここ十年ほどの間に生産性の向上や製品価格が下落したこともあり、誰でも買うことのできる時代となっている。更にその性能に至っては、飛躍的に進歩している。

このような高性能コンピュータは、当然ながら工場などの工業用にも広く用いられ、たとえばファクトリーオートメーションとして工場全体のコンピュータ管理による自動化が行われている。現在においてそれはもはや工場内だけにとどまらず、受注から生産、製造、在庫管理、出荷までをネットワークによって繋ぎ、パソコンで一元管理するようになっている。

そして、それは鋳造工場においても例外ではない。昨今のコスト削減、高品質化、高精度化といった厳しい要求を満たさなければならず、さらに、納期短縮も重要な点となっており、これらの条件を満たすにはコンピュータの利用以外には考えられないものとなっている。

そして、鋳造工場におけるコンピュータの利用は、主に次のようなものとなっている¹⁾。

- ① 管理（生産管理、経理など）
- ② 制御（装置、機械の制御）
- ③ 設計（コンピュータ支援設計=CAD、コンピュータ支援加工=CAM）
- ④ 解析（コンピュータによる製品、行程の解析・設計（コンピュータ支援エンジニアリング）=CAE）

鋳物や鋳型、鋳込条件、鋳造の諸条件などを含めた設計作業を、鋳造方案と呼ぶが、欠陥のない高品質の鋳物を無駄なく経済的に作るには適切な鋳造設計が重要である。従来この作業はその道のベテランが各種のノウハウや類似品製作の経験によって初期設計し、試作によって確認、設計変更、設計決定という過程で行っていた。しかし、今日のように品質と経済性の要求水準が高くなり、加えて納期が短くなってくると、従来の方法では試作の費用、期間が大きくなりすぎる欠点がある。

従って鋳造における試作段階では主に③、④に代表されるコンピュータによる CAD、CAM や CAE を用いることで、試作段階における試行錯誤的な方案設計にかかる費用・時間の削減が図られているという現状がある。

そこで本研究では、試作段階における費用や期間の改善が可能なシミュレーションソフトを利用し、複雑形状鋳物の鋳造用金型の多数個取り方案における品質、欠陥、歩留りが最適な方案の考案および、計算結果の検証を目的とした。

2. 実験方法

本研究では複雑形状の鋳物について方案を考案し、それを元に立体モデルを作成、直交差分法による湯流れおよび、凝固シミュレーションを行う。この解析結果を元に、引け巣欠陥、湯回り

不良、焼着き欠陥について、欠陥の発生予測位置を分析する。

シミュレーションについては、大きく分けて 2 段階に分けて行う。第 1 段階は、鋳物を 1 個取りとした方案を作成し、良好な方案の作成を目指す。次に第 2 段階として、第 1 段階で最も良好な結果が得られた方案を元に 2 個取りの方案を作成し、特定の条件を変更した方案について、解析、比較を行う。

さらに第 1 段階、第 2 段階ともに、一部の方案については実際に鋳造を行い、シミュレーション結果との比較、検討を行う。

各欠陥の発生予測位置については、以下の条件を元に表示を行う。

2.1 引け巣欠陥の発生予測位置

引け巣欠陥は、鋳鉄溶湯が凝固する際に体積が収縮するために発生する欠陥である。そのため、この欠陥は凝固の遅れる位置において発生する可能性が極めて高い。従って参考文献^[20]より、以下を欠陥の発生予測位置の閾値と規定して表示し、それぞれの共通部位を引け巣欠陥の発生予測位置として扱う。

- (1) 最終凝固位置
- (2) 等凝固時間曲線の閉ループ
- (3) 温度勾配が $1.0^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 以下の領域
- (4) G/\sqrt{R} が 0.5 以下の領域

2.2 湯回り不良の発生予測位置

湯回り不良は溶湯が鋳型全体に充填されるまでに凝固が開始することで発生する欠陥である。特に鋳物の先端や、薄肉の部位において、注湯口からの距離が離れていることや、冷却速度が速いことが原因で鋳鉄溶湯の凝固が早まり、この欠陥が発生する可能性が高い。湯回り不良の発生予測位置としては、鋳物表面の温度分布を表示し、液相線温度を下回る部位を表示する。または固相率を表示し、一定の固相率を越える部位を表示し、それらの共通部位を湯回り不良の発生予測位置として扱う。

2.3 焼着き欠陥の発生予測位置

焼着き欠陥は、高温の鋳鉄溶湯と、鋳型である鋳物砂が化学反応を起こすことで発生する欠陥である。この欠陥が発生すると、鋳鉄表面に非常に硬質な化合物が生成され、除去を行うには多大なコストを要する。そのため、あらかじめ方案設計によって焼着き欠陥の発生を抑制することが望ましい。

焼着き欠陥の発生予測位置としては、砂型と高温の溶湯が接する部位の中で、特に中子の体積が小さい部位において熱の放出が追い付かず、この欠陥の発生が予測される。そのため中子の体積が小さい部位と、温度分布を表示し、高温部が集中している部位とが重なる部位を、欠陥の発生予測位置として扱う。

3. 実験結果と考察

3.1 シミュレーション結果, 第 1 段階

第 1 段階では, 試作方案 1~試作方案 4 として, 1 個取りの方案を作成し, 比較を行った. 図 1 に解析結果における引け巣欠陥の発生予測位置を, 図 2 に実際の製品写真を示す.

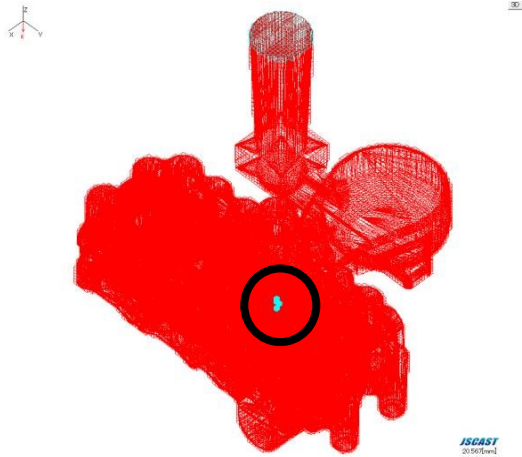


図 1 解析結果における引け巣欠陥予測位置

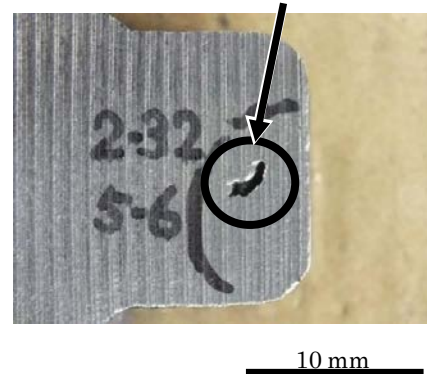


図 2 実製品の断面写真

図 1 および図 2 に示すように, 解析計算において引け巣欠陥の発生が予測された. さらに実製品について観察を行ったところ, 同様の位置に引け巣欠陥の発生が確認された.

また, 図 3 に解析結果における鋳物断面の温度分布を, 図 4 に実際の製品写真を示す.

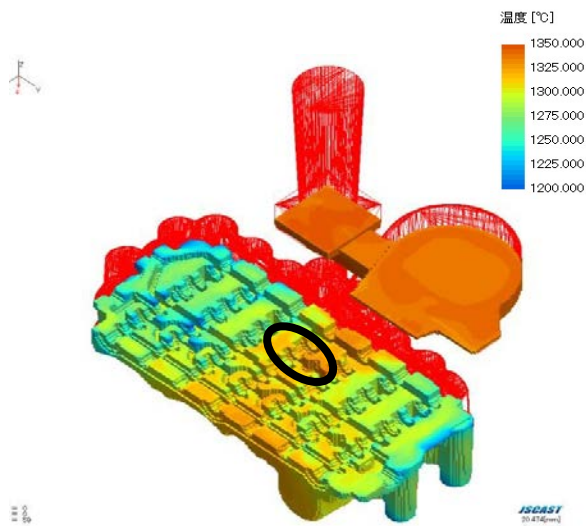


図 3 鋳物断面の温度分布

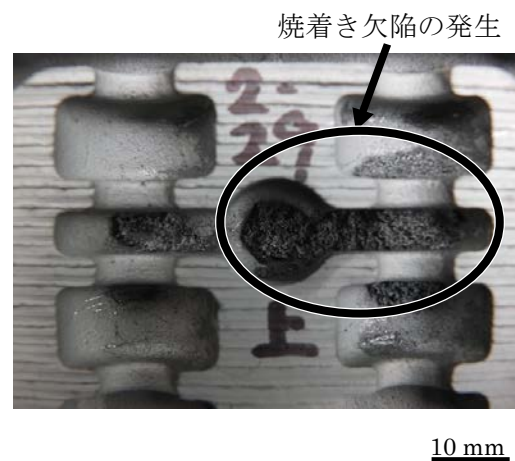


図 4 実製品の断面写真

図に示すように, 解析結果では, 鋳物中心部に高温の溶湯の集中が観察され, さらにこの部位における中子体積が小さいため, 焼着き欠陥の発生が予測される. そして実際の製品の観察を行ったところ, 同様の位置に焼着きの発生が確認された.

3.2 シミュレーション結果, 第 2 段階

第 2 段階では方案 2-60~方案 2-90 として, 第 1 段階の結果を元に, 2 個取りの方案を設計した. 第 2 段階の解析結果について, 以下の表 1 に各方案の比較結果を示す.

表 1 2 個取り方案の解析結果における引け巣欠陥の体積比較

方案名	体積(cm^3)
方案 2-60*	1.686
方案 2-65	1.006
方案 2-70	1.081
方案 2-75	0.418
方案 2-80	0.304
方案 2-85	0.390
方案 2-90	0.115

*方案名における 60~90 は, 湯道と堰との角度を示す

表に示すように, 方案 2-90 において, 引け巣欠陥の予測体積が最も小さくなった. そしてこの結果および, 湯回り不良, 焼着き欠陥のいずれも発生していないことから, 方案 2-90 が最良の方案であると判断した.

また方案 2-90 について実際に鑄造を行ったところ, 同様の良好な結果が得られた.

4. 結論

- (1) 試作方案 1 において各欠陥の発生予測位置と実製品の欠陥が一致することが確認できた. またこのことから, シミュレーションソフトの信頼性を証明することができた.
- (2) 作成した試作方案において, 試作方案 4 が最も良好な解析結果となった. また実際に鑄造を行ったところ, 引け巣欠陥, 湯回り不良, 焼着き欠陥が発生しない最良の方案であった.
- (3) 方案 2-90 は, 方案 2-60~方案 2-90 において最も欠陥の予測体積が小さい解析結果となった. また試作方案 4 を 2 個取りとした場合の欠陥の予測よりも体積が小さくなり, より良好な方案として設計することができた.
- (4) 方案 2-90 を実製品として作製したところ, 試作方案において引け巣欠陥や湯回り不良, 焼着き欠陥が発生していた箇所には欠陥は発生せず, 良好な方案であると確認できた.

5. 参考文献

- [1] 新山 英輔: 金属の凝固を知る(丸善)(1998)94, 97
- [2] 永井 寛, 永瀬 重一, 大浦 賢一: CAE を利用した鑄造品の高品質化技術の開発『埼玉県産業技術総合センター研究報告』第 7 卷(2009)5