

鑄造シミュレーションを用いた革新的な生産効率の向上に関する研究（第1報）

— 鑄造シミュレーションを用いた鑄造欠陥予測 —
三原利之*

Study on innovative improvement of production efficiency using casting simulation (I)
- Estimation of casting defects using casting simulation -
MIHARA Toshiyuki*

青銅鑄物製の水栓部品に発生した鑄造欠陥について、高解像度（0.5 mm格子）で鑄造シミュレーションを行ったところ、ガスの巻きこみに由来する鑄造欠陥（ガス欠陥）の予測箇所と実際にガス欠陥が発生した箇所がよく一致し、ガス欠陥の予測が大幅に改善した。これは、実際のガス欠陥の大きさに近い解像度で鑄造シミュレーションを行ったことで、ガス欠陥に影響する溶けた金属の流れをより正確に解析できたためと考えられる。このことから、高解像度での鑄造シミュレーションは、微小なガス欠陥の正確な予測に有用であり、今後、実際の鑄造現場で活用することで生産性を改善する可能性があると考えられる。

1 はじめに

鑄物に求められる品質や精度が日々高まっている中、鑄物産業が抱える重要な課題の一つに、鑄造欠陥の高い発生率がある。生産現場では鑄物欠陥対策に膨大な時間と労力が費やされており、鑄物の高品質化・品質管理・生産性向上に関して、極めて重要な課題となっている。そのため、具体的な鑄造欠陥対策として、鑄造方案の改良や鑄造条件の最適化が検討されている。しかし、これらの対策は生産現場の経験的な方法に頼るところが多く、鑄造欠陥の発生要因を十分に把握できていないのが現状である。さらに、同一の鑄造条件であっても鑄造品の部位によって実際の凝固状態が異なっているため¹⁾、微小な鑄造欠陥が局所的に発生することも考えられている²⁾。そのため、鑄造欠陥の発生要因を明らかにすることは非常に困難である。

本研究では、青銅鑄物製の水栓部品の鑄造欠陥を低減するため、青銅鑄物製の水栓部品について高解像度での鑄造シミュレーションを行い、ガスの巻きこみに由来する鑄造欠陥（ガス欠陥）予測の精度向上について検討した。

2 実験

2.1 供試材

本研究に用いた青銅鑄物 CAC406 製の水栓部品は、一般家庭等で使用されるものであり、研究協力企業で鑄造され、その後の研磨工程で鑄物内部にあった鑄造欠陥が発見された水栓部品のうち、任意に抽出された3個の水栓部品の提供を受けた。

図1に本研究に用いた青銅鑄物 CAC406 製の水栓部品の鑄造欠陥発生箇所の例（左）と鑄造欠陥部の電子顕微鏡のSEM像の例を示す（右）。電子顕微鏡のSEM像は高分解能走査電子顕微鏡複合装置（日本電子（株）製 JIB-4600F）を用いて測定した。この鑄造欠陥は球状



図1 水栓部品の鑄造欠陥発生箇所の例（左、●印）と鑄造欠陥部の電子顕微鏡のSEM像の例（右）

で、その内部にはデンドライトが生成しているため、これらの鑄造欠陥は注湯時のガスの巻きこみにより発生した欠陥と考えられる。いずれの水栓部品についても鑄造欠陥は水栓部品の一方の側だけに集中して発生しており、鑄造欠陥が発見された水栓部品1個あたりのガス欠陥数の平均は0.7個だった（ $n=3$ ）。通常、こうしたガス欠陥は、熔融した銅合金（溶湯）を鑄型へ流し込む（注湯）の際に巻き込まれた空気等が、熔融した金属が凝固する過程で鑄物内部にとどまることで発生し、ガスは銅合金よりも比重が軽いので、鑄物上部に多く見られる。

2.2 鑄造シミュレーション

鑄造シミュレーションは、鑄造シミュレーションソフト（クオリカ（株）製 JSCAST）を用いて、低解像度（1 mm格子）と高解像度（0.5 mm格子）の鑄造方案について行いガス欠陥を予測した。ガス欠陥は 0.0825 mm^3 以上の体積（0.5 mm格子の2/3に相当）のものを予測した。注湯時の溶湯の温度は注湯の平均温度である $1,160 \text{ }^\circ\text{C}$ とし、そのほかの鑄造条件は実際の鑄造時に近い条件に設定した。鑄造方案は研究協力企業から提供を受けたものを用いた（図2）。

3 結果及び考察

ガス欠陥が発生した鑄造方案について、低解像度（1 mm格子）で鑄造シミュレーションを行った結果を図2に

* 技術支援部

示す。また、水栓部品部の拡大図を図4(a)に示す。水栓部品部1個あたりの予測されたガス欠陥数は平均で98.8個だった。ガス欠陥は水栓部品部の上面に多く予測されたが、実際にガス欠陥の発生した水栓部品とは異なり、水栓部品部の下面にもガス欠陥は多く予測された。これは、低解像度での铸造シミュレーションでは、空気等のガスの巻き込みに由来するガス欠陥の主要な要因である、溶湯の流動状態を十分に予測することができなかつたためと考えられる。

次に、高解像度(0.5 mm格子)で铸造シミュレーションを行った結果を図3に示す。また、水栓部品部の拡大図を図4(b)に示す。水栓部品部1個あたりのガス欠陥数は平均で10.5個だった。ガス欠陥は水栓部品部の上面のみに集中して発生することが予測され、実際の水栓部品部でのガス欠陥の発生箇所とよく一致していた。また、ガス欠陥数も低解像度での欠陥数より89%減少した。これは、青銅鑄物に発生したガス欠陥は直径0.5 mm以下の微小な欠陥が多く、実際のガス欠陥の大きさに近い解像度で铸造シミュレーションを行ったことで、ガス欠陥に影響する溶湯の流れをより正確に解析できたためと考えられる。このことは、高解像度での铸造シミュレーションは、ガス巻きこみによる铸造欠陥の発生予測に有用であることを示している。実際の水栓部品部でのガス欠陥のより精確な予測のためには高解像度での铸造シミュレーションが必要であると考えられる。

4 まとめ

青銅鑄物製の水栓部品に発生した铸造時のガスの巻きこみに由来する铸造欠陥をより精確に予測するため、高解像度で铸造シミュレーションを行いガス欠陥を予測したところ、ガス欠陥の発生箇所は実際のガス欠陥が発生した箇所とよく一致し、高解像度での铸造シミュレーションによるガス欠陥の予測は有用であることが分かった。

铸造欠陥の要因には溶湯の流動状態のほかにも多様な要因が複雑に影響していると考えられ、今後、さらに铸造欠陥が発生する要因について検討を進め、製造現場において铸造シミュレーション技術を活かしたより実用性の高い铸造欠陥対策を提言していく。

【謝 辞】

本研究にご協力いただいた株式会社水生活製作所様に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 岡根利光, 铸造工学 Vol.85, 9, pp605-612, 2013
- 2) 三原ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.5, pp28-29, 2024

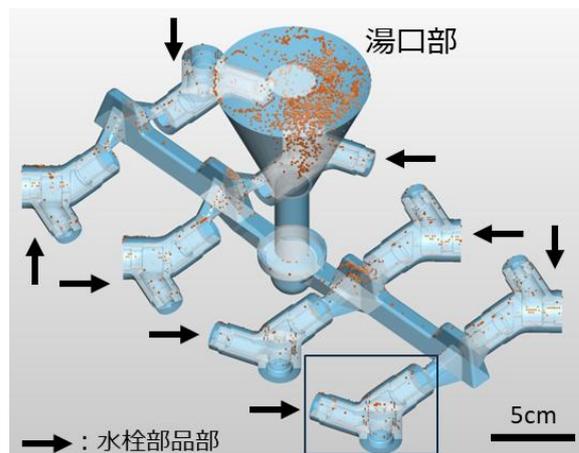


図2 铸造シミュレーションによるガス欠陥の予測箇所(低解像度(1.0 mm格子))

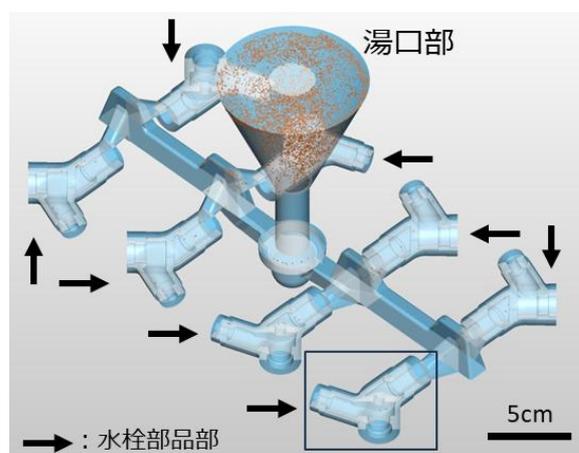


図3 铸造シミュレーションによるガス欠陥の予測箇所(高解像度(0.5 mm格子))

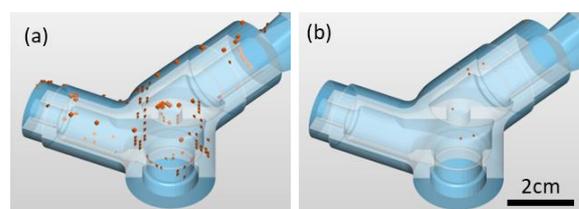


図4 铸造シミュレーションによるガス欠陥の予測箇所の拡大図((a) 低解像度(図2の□部)、(b) 高解像度(図3の□部))