

氏 名	安 斎 浩 一
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 3 年 2 月 13 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 55 年 3 月 東北大学大学院工学研究科機械工学第二専攻 前期 2 年の課程修了
学 位 論 文 題 目	ダイカストの湯流れ解析法の開発と鑄造欠陥予測への 応用
論・文 審 査 委 員	東北大学教授 新山 英輔    東北大学教授 菊池 淳 東北大学教授 大宮司久明

## 論 文 内 容 要 旨

### 1 はじめに

鑄造法の優れた特徴を巧く生かしながら、信頼性の高い製品を製造するには鑄造欠陥の発生をいかに抑えるかが大変重要である。鑄造時に発生する物理現象は複雑でその全容ははまだ解明されていないが、實際上問題となる引け巣や空気の巻き込み欠陥の発生には、マクロな意味での熱および物質の移動現象が支配的に働いていることが知られている。砂型鑄造品では、引け巣欠陥の発生が特に問題であるが、凝固時のマクロな伝熱現象をコンピュータシミュレーションすることで引け巣欠陥の発生を予測する技術が開発されている。この技術により砂型鑄造品の信頼性は大幅に向上した。これに対し、金型鑄造法の一つであるダイカスト法は、大量生産が可能で寸法精度に優れるが、溶湯充填時の空気の巻き込みによってその品質が大きく影響を受ける。しかし、マクロな物質移動現象である空気の巻き込み現象を定量的に評価する実用的な手段がまだ開発されておらず、経験や勘に頼った試行錯誤により湯道設計を最適化しているのが現状である。

本論文は、ダイカストの湯流れ挙動をコンピュータシミュレーションし、湯流れ欠陥の発生を設計段階で予測できる技術の開発を目的として行なった研究をまとめたもので、全編 8 章からなる。

### 2. 研究の内容

ダイカストの湯流れ問題に適した数値解析方法を検討した。次に、平板状ダイカストの鑄造実験を行ない、湯口厚さが充填挙動に与える影響などを明らかにすると共に、開発した数値解析プログ

ラムによる解析を行ない採用した数値解析法の性能を評価し、その実用性を確認した。

次に理想流体解析法を利用して、ダイカストの湯流れ問題に応用できる解析解を導出した。湯道が製品キャビティに斜めに接続されている時、湯口部で溶湯の流入角度が変化する問題を解析し、湯口部での溶湯曲がり角は湯道と湯口の比および湯道と製品キャビティの接続角により決まることを明らかにした。また、肉厚方向の溶湯充填問題を解析し擬三次元モデルの適用限界が湯口厚さと製品キャビティ厚さの比で決められることを明らかにした。これらの結果は、数値解析時間を短縮するのに役立つ。

最後に、ダイカストの湯流れに関する基礎的研究の成果を統合し、三次元湯流れシミュレーションシステムを開発した。開発システムを実製品であるアルミニウム合金ダイカストおよび亜鉛合金ダイカストの湯道設計最適化に適用し、開発した技術がきわめて実用的なものであり、ダイカスト品の信頼性向上、試作期間の短縮に大いに役立つものであることを確認した。

### 3 論文各章の内容

#### 第1章 序 論

本章では、研究の動機と目的についてのべると共にダイカストの湯流れに関する従来の実験的、理論的研究を展望し、ダイカストに適した実用的な湯流れ評価技術がないことを指摘して本研究の方針と経過についてのべた。

#### 第2章 擬三次元モデルを用いた湯流れ解析によるダイカスト鑄造欠陥の発生予測

本章では、ダイカストの湯流れを評価するのに適した数値解析法について述べると共に、数値解析結果を利用した湯境い欠陥の発生予測方法について議論した。結果を要約すると次のようである。

- (1) キャビティ肉厚の変化を考慮した二次元モデル（擬三次元モデル）をSMACコードに組み込んだ湯流れ解析方法をダイカストの湯流れ問題に適用した。
- (2) 円板状ダイカストの湯流れ問題を擬三次元モデルでシミュレーションし、従来の経験からは予測できなかった充填挙動を詳細に調べた。シミュレーション結果は実験結果によく一致し、開発した湯流れ解析方法の有用性を確認した。また、二次元モデルによる湯流れ解析では実験結果を説明できないことを示した。
- (3) 等温を仮定し湯流れ解析により、湯境い欠陥の発生を予測するためのクライテリオンを提案した。このクライテリオンを円板状ダイカストの湯流れ問題に適用し、高速充填開始時間を変えることでダイカストの品質が向上する原因は、後から流入する高速の溶湯が先にキャビティ内に流入した低速な溶湯を追い越すことが理由であることを示した。
- (4) 平板状キャビティ内の湯流れ挙動を解析し、ランナー形状が溶湯のキャビティ充填挙動に及ぼす影響を調べた。シミュレーション結果は、水モデル実験結果によく一致することを確認した。

#### 第3章 ダイカスト問題に適した改良擬三次元湯流れ解析

本章では、第2章で提案したモデルに改良を加えることで、適用範囲が広がることを示した。結果を要約すると次のようである。

- (1) 第1章で提案した数値解析法は、流路縮小問題に対しては有効だが流路拡大問題に対しては工

夫が必要である。

- (2) SMAC法に新しいセル（FSセル）を導入することで、キャビティ肉厚方向の溶湯充填挙動が考慮でき、第1章で提案した数値解析法の適用可能範囲が拡大できる。
- (3) ダイカストの湯流れ問題に対する擬三次元モデルの適用可能範囲は、湯口の肉厚と製品キャビティ肉厚の比により決まる。

#### 第4章 改良擬三次元モデルによる平板状ダイカストの湯流れ解析

本章では、第3章で提案した改良モデルを平板状アルミニウム合金ダイカストの湯流れ問題に適用し、従来方法では調べるのが困難であった三次元的な溶湯充填挙動を明らかにすると共に、空気の巻き込み欠陥の発生過程について調べた。結果を要約すると次のようである。

- (1) 溶湯は、湯口部での絞りにより扇状に広がりながら流入する。
- (2) 湯境いは、従来の知見からは予測できなかった部位に発生した。
- (3) X線検査法により調べたところ、空気の巻き込み分布は製造時期により大きく異なった。始めの10ショットぐらいまでは、板部中央に集中した空気の巻き込み分布であったが、定常状態で製造したダイカストでは小さな気泡が板部にランダムに発生した。
- (4) 湯流れ解析により、実験で発生した湯境いや空気の巻き込み現象が精度よくシミュレーションできた。

#### 第5章 理想流体モデルによるダイカスト湯流れ問題の解析解

本章では、理想流体モデルを用いて、ダイカストの湯流れ問題に適用できる解析解を求めた。まず、湯道が製品キャビティに斜めに接続しているとき、湯口通過後溶湯の進行方向が曲られる現象を解析した。つぎに、製品キャビティ部の肉厚方向溶湯充填挙動と湯口厚さおよびキャビティ厚さの関係を単純二次元モデルを用いて解析した。結果を要約すると次のようである。

- (1) 湯道と湯口の肉厚変化が大きいほど湯口通過後の溶湯曲がり角は大きい。
- (2) 溶湯の曲がり角は、湯道とキャビティの接続曲がり角より常に小さい。
- (3) 溶湯の曲がり角には、最大値が存在する。
- (4) 肉厚方向の溶湯充填挙動は、湯口厚さが厚いとき逆流型、湯口厚さが薄いとき渦型になる。
- (5) 擬三次元モデルは逆流型の流れに有効で、湯口厚さがキャビティ厚さの $1/4$ より大きいとき適用可能である。

#### 第6章 平板状ダイカストの湯流れに及ぼす湯口厚さの影響

本章では、平板状アルミニウム合金ダイカストの湯流れに及ぼすゲート厚さの影響について議論した。鑄造実験結果と数値解結果の比較から、実用上問題となるような空気の巻き込み欠陥が発生する条件について調べた。結果を要約すると次のようである。

- (1) 湯口の厚さにより、溶湯充填挙動は大きく変化する。
- (2) 湯口部では溶湯広がり角は湯口厚さが薄いほど大きく、充填途中で広がり角はあまり変化しない。
- (3) 湯口厚さが1.5mm, 2.0mm, 3.0mm, 4.0mmの中では2.0mmの場合が一番空気の巻き込みが少ない。
- (4) 最終充填部は、いわゆる捨てショットに発生した空気の巻き込み分布をX線検査法により調べ

ることで推定できる。

(5) 擬三次元計算結果は、実験結果によく一致した。

## 第7章 ダイカスト用三次元湯流れシミュレーションシステムの開発

本章では、三次元モデルを用いた実用的な湯流れ解析システムについて述べると共に、複雑な三次元形状を有する湯流れ問題に適用した結果について述べた。結果を要約すると次のようである。

- (1) 三次元湯流れシミュレーションシステム HICASS/FLOW を開発した。採用した数値解析法およびダイカスト問題に適したプリプロセッサおよびポストプロセッサを作成し、三次元図形を用いた計算データの作成および計算結果の評価を可能にした。本システムの利用により湯流れ解析技術を実用問題に適用することが可能となった。
- (2) 三次元的に複雑な形状を有する亜鉛合金ダイカストに HICASS/FLOW を適用し湯流れ解析を行なった。實際上湯境い欠陥が発生し問題となった部位の充填挙動を調べ、欠陥発生原因を明らかにした。
- (3) アルミ合金ダイカストの湯道設計最適化に HICASS/FLOW を適用し湯流れ解析を行なった。はじめ、従来技術により湯道設計を行ない铸造したが、實際上重要な部位に光沢むらが発生した。湯流れ解析により最適なオーバーフロー位置を決定し铸造したところ光沢むらが消え、一回の試作で設計最適化に成功した。

## 第8章 総 括

本章は、研究により得られた知見を総括し、本研究によって提案された流れ解析法はダイカストの湯流れ問題に適したもので、不適切な湯流れに起因して発生する铸造欠陥の予測が実用レベルで可能であると結論している。

## 審査結果の要旨

アルミニウム合金ダイカストの湯流れ挙動は、湯境いや空気の巻き込みといった鑄造欠陥の発生に関連して重要であるが、いまだその全貌が明らかにされていない。これは、ダイカストの湯流れが金型内部での高温で高速な金属溶湯の流動現象であることから有効な計測手段がないためである。本論文は、アルミニウム合金ダイカストの湯流れ挙動を評価するのに適した数値解析モデルを提案すると共に、鑄造実験と数値解析結果を比較検討することで鑄造欠陥と湯流れ挙動の関係について調べたもので、全編8章よりなる。

第1章は序論で、本研究の背景と目的が述べられている。

第2章では、ダイカストの湯流れを評価するのに適した数値解析モデルを提案すると共に、提案したモデルを利用した湯境い欠陥の発生予測方法について議論している。

第3章では、第2章で提案したモデルに改良を加えることで、適用範囲がさらに広がることを示している。

第4章では、第3章で提案した改良モデルを平板状アルミニウム合金ダイカストの湯流れ問題に適用し、従来方法では調べることが困難であった三次元的な溶湯充填挙動を明らかにすると共に、空気の巻き込み欠陥の発生過程について議論している。

第5章では、理想流体モデルを用いて、ダイカストの湯流れ問題に適用できる解析解を求めている。まず、ランナーが製品に斜めに接続しているとき、ゲート通過後溶湯の進行方向が曲げられる現象を解析し、曲がり角とゲート肉厚の関係などを明らかにしている。これは従来気づかれていなかった重要な現象である。

つぎにキャビティ部の肉厚方向溶湯充填挙動とゲート厚さおよびキャビティ厚さの関係を単純二次元モデルを用いて解析している。その結果、ゲート厚さに応じて肉厚方向溶湯充填挙動が渦型もしくは逆流型になり、空気の巻き込み挙動が、大きく変化することがわかった。これはこの現象に対する初めての理論的解明である。

第6章では、平板上アルミニウム合金ダイカストの湯流れに及ぼすゲート厚さの影響について議論している。鑄造実験結果と数値解析結果の比較から、実用上問題となるような空気の巻き込み欠陥が発生する湯流れ挙動について調べている。

第7章では、複雑な三次元形状を有するアルミニウム合金ダイカストの湯流れ問題を三次元モデルを用いて数値解析し、提案している湯流れ解析方法が実用的な問題に対しても有効であることを示している。これは重要な実用的成果である。

第8章は総論である。

以上要するに本論文は、アルミニウム合金ダイカストの湯流れ挙動を鑄造実験および数値解析により調べ、その三次元的な溶湯充填挙動を初めて明らかにすると共に湯流れと鑄造欠陥の関係について調べた結果について述べたもので、材料加工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。