

鑄造シミュレーションの評価に関する研究

茨島 明^{*}、池 浩之^{**}、勝負澤 善行^{*}、高川 貫仁^{*}、
高橋 範雅^{***}、吉田 賜早人^{***}

鑄造解析システムを用いてCADデータの転送実験と凝固解析シミュレーションを行い、その結果を鑄造実験により検証した。その結果、STL形式のCADデータが精度および効率に関して本研究にて使用した鑄造解析システムに最も適していることがわかった。また、凝固解析シミュレーションで予測された引け巣の一部が鑄造実験では発生せず、原因としては解析モデルと鑄造実験との鑄造条件の違いが考えられる。

キーワード：鑄造、シミュレーション、凝固解析

Estimation of Casting Analysis Simulation

BARAJIMA Akira, IKE Hiroyuki, SHOUBUZAWA Yoshiyuki,
TAKAGAWA Takahito, TAKAHASHI Norimasa and YOSHIDA Shisato

We investigated the transferring CAD data to the casting analysis system and coagulation analysis simulation. And then, we compared the simulation results with experiment results. Consequently, a file of STL form is the best form as a CAD data file in order to transfer CAD data to the casting analysis system. And, we could not confirm some shrinkage cavities in this experiment, that predicted by coagulation analysis simulation.

key words : castig, simulation, coagulation analysis

1 緒 言

近年、シミュレーション技術の信頼性が高まり、鑄造方案設計においてもシミュレーションは積極的に利用されている。しかし、鑄造シミュレーションソフトウェアへのCADデータの受け渡しがスムーズに行かない場合がしばしば見受けられ、鑄造シミュレーションが必ずしも効率的に利用されているとは言えない。

本研究では、当センターの鑄造解析システムを用い、このシステムで読み込み可能なCADデータの形式を調査するとともに、凝固解析シミュレーションを行った。また、凝固解析シミュレーション結果を鑄造実験により検証した。

2 実験方法

鑄造解析システムJSCAST（コマツソフト㈱製）で利用可能なCADデータのファイル形式をLAN回線による転送実験により調査した。調査対象のファイル形式はDXF、IGESおよびSTLの3種類とした。

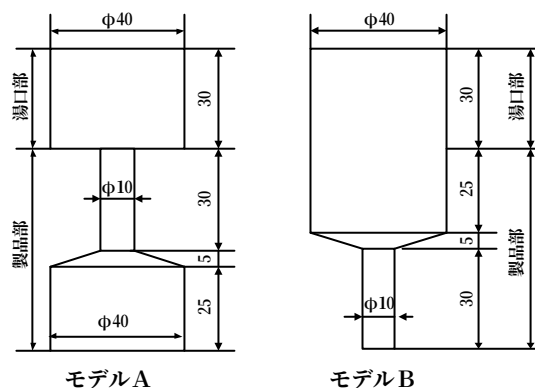


図1 解析モデル形状の詳細

また、図1に示す解析モデルの凝固解析をJSCASTにより行い、その結果を鑄造実験と比較した。凝固解析および鑄造実験に用いた鑄造材料はAC4Cアルミニウム合金で鑄型は砂型を用いた。凝固解析に用いた材料定数を表1～3に示す。

表1 主な材料定数

	質量密度 (g/cm ³)	熱伝導率 (cal/cm s °C)	比熱 (cal/g °C)	初期温度 (°C)	潜熱 (cal/g)	液相温度 (°C)	固相温度 (°C)
AC4C	2.68	0.37	0.23	700	93	613	557
砂型	1.50	0.0020	0.2	20	—	—	—
空気	0.0012	0.0001	0.24	20	—	—	—

* 金属材料部

** 企画情報部（現在 金属材料部）

*** (有)アンス

表2 AC4Cの固相率

温度（℃）	固相率
613	0
609	0.035
608	0.048
574	0.452
563	0.678
560	0.765
559	0.835
558	0.9
557	1

表3 熱伝達係数

-----	砂 型	空 気
鑄 物	0.01	0.0005
空 気	0.0005	-----

3 実験結果

3-1 JSCASTで利用可能なファイル形式

市場に多数存在するCADデータのファイル形式の中で、JSCASTで利用できるとされているDXF、IGESおよびSTLの3つの形式について読み込み試験を行った。その結果を表4に示す。三次元形状を取り扱うSTL形式のCADデータがシミュレーションモデルを作成する上で最も効率が良かったことが明らかとなった。IGES形式では二次元データとして読み込まれるため、さらに三次元データを作成しなければならず、効率が落ちる。DXF形式では図形情報そのものが表示されないため、読み込まれたのかどうかを確認することができなかった。

3-2 凝固解析結果

図1に示したモデルの解析要素を図2に示す。図2の解析要素を表1～3の条件で解析した結果を図3～6に示す。

図3は等凝固曲線を表している。この等凝固曲線から溶湯が凝固する方向、最終凝固位置およびタイミングを把握して、引け巣の発生位置を予測することが出来る。この予測方法は最も一般的に用いられている方法で、マクロな予測精度が高いことが知られている。等凝固曲線による方法では任意の溶湯補給限界固相率(f_s)における引け巣発生位置を予測できるが、今回はシステムのデフォルト値($f_s=0.7$)にて計算を行なった。図3において、モデルAでは製品部および湯口中心部に、モデルBでは製品部と湯口部の境界付近に、それぞれ引け巣発生を予測する閉ループが確認できる。

図4に温度勾配コンタを示す。鑄物要素が凝固するとき隣接する要素からの溶湯補給が行えるかどうかを温度勾配(℃/cm)の大小で判断するための線図が温度勾配コンタである。図4において、等凝固曲線の閉ループ部位に引け巣発生を予測する低温度勾配領域(色の濃い部分)が確認できる。

図5は温度勾配(G:℃/cm)を冷却速度(R:℃/s)の

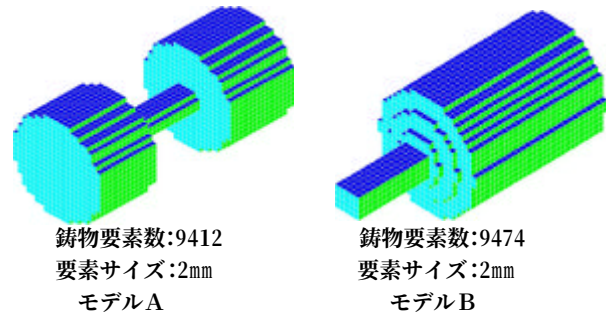


図2 解析要素

表4 CADデータ読み込み試験結果

ファイル形式	JSCASTにおける読み込み結果
DXF	図形情報表示されず、図形情報読み込まれたどうかを確認できない。
IGES	二次元データとして読み込まれ、そのまま解析モデルとして利用することはできない。
STL	図形情報三次元データで正確に読み込まれ、JSCASTのモデルデータとして問題なく利用できる。

平方根で除した値で引け巣発生を予測するものである。この方法においても、等凝固曲線の閉ループ部位に引け巣発生を予測する低温度勾配領域(色の濃い部分)が確認できる。

図6は引け巣発生位置を予測するJSCAST独自の評価機能による引け巣危険域を示したものである。等凝固曲線の閉ループ部位に引け巣危険域を示す色の濃い部分が現れているのが確認できる。

4つの方法で引け巣発生を予測したところ、発生位置は全ての方法で一致しており、CADデータの読み込みによる凝固解析への影響がないと考えられる。

3-3 鑄造実験結果および計算との比較

表5の鑄造条件による鑄造試験結果を図7および8に示す。それぞれの図にはモデルAとBの切断面とモデルAにおける引け巣発生部位のX線透過写真が示されている。なお、0BBサンドは生型と同じような性質を持ち、生砂よりも型作りが容易な鑄型材料である。

図7および図8において、引け巣発生はモデルAの製品部だけに発生しており、鑄型の違いによる影響は見られなかった。凝固解析結果ではモデルAの製品部、モデルAの湯口中心部およびモデルBの製品部と湯口部の境界付近に引け巣発生を予測したが、鑄造実験ではモデルAの製品部のみに引け巣が発生した。

4 考 察

凝固解析で予測された引け巣発生位置は3カ所であったが、鑄造実験では1カ所にしか発生しなかった。また、実験で発生した欠陥は細長いもので、鑄型内部にて溶湯に巻き込まれた空気による鑄巣と引け巣が合体して現れたものと考えられる。

鑄造実験で凝固解析の予測部位に引け巣が発生しなかった原因としては次のことが考えられる。

- ①解析モデルの精度(要素のサイズ等が適当であったか)は十分だったのか。

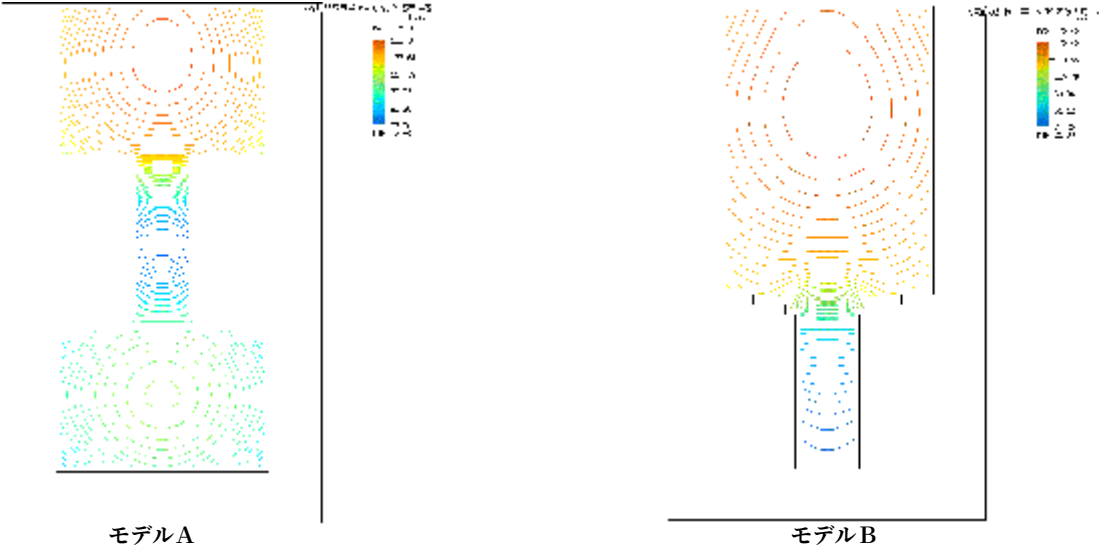


図3 等凝固曲線 ($f_s=0.7$)

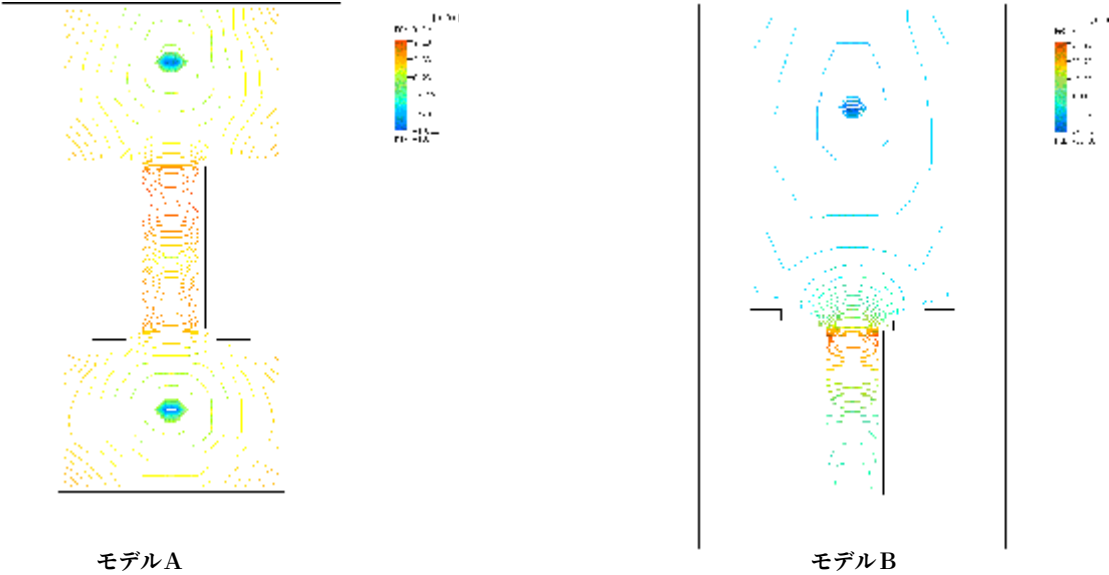


図4 温度勾配コンタ

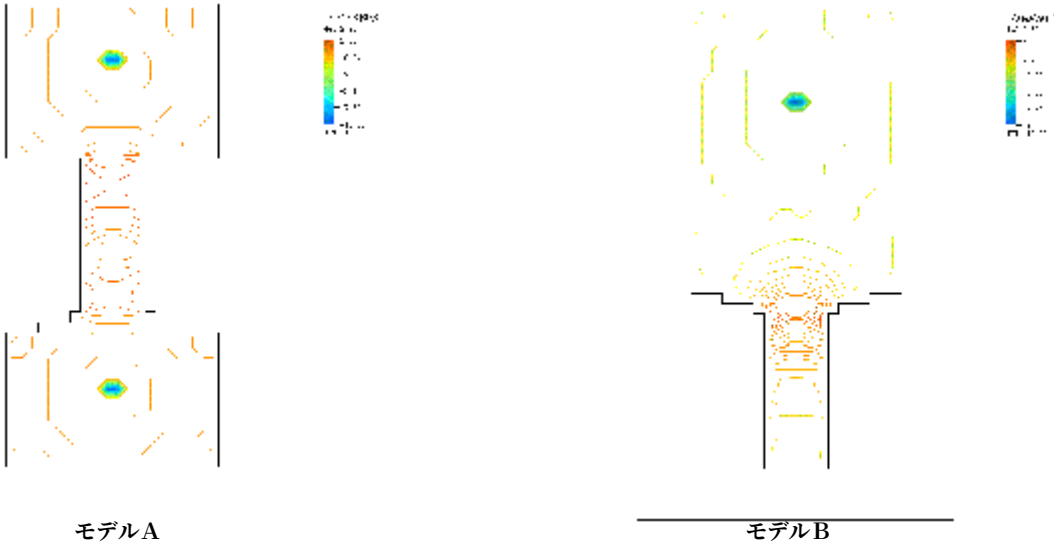


図5 $G/\sqrt{R}$ による引け巣予測 (色の濃い部分)

- ②評価する固相率(今回は $f_s=0.7$ のみ評価)は適当だったのか。
- ③解析モデルの溶湯面は図9(b)のように鑄型の外形面までとなっているが、実際には図9(a)のように外形面よりも上に盛り上がるように注湯されている。そのために、凝固解析と実験の条件が違うものとなったのではないか。

表5 鑄造条件

鑄造方法	手汲みによる重力鑄造
溶湯の材質	AC4C
溶湯温度	700℃
鑄型の材質	①生砂、②OBBサンド

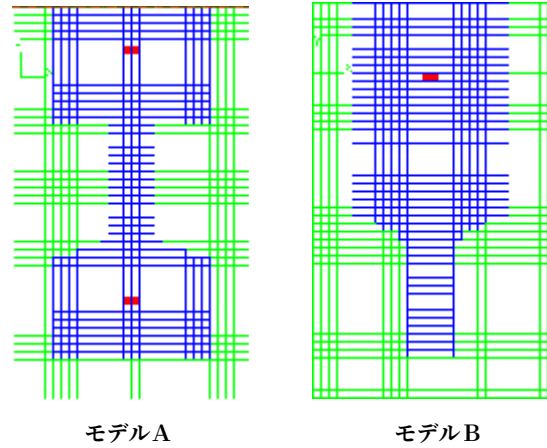


図6 引け巣危険域(色の濃い部分)

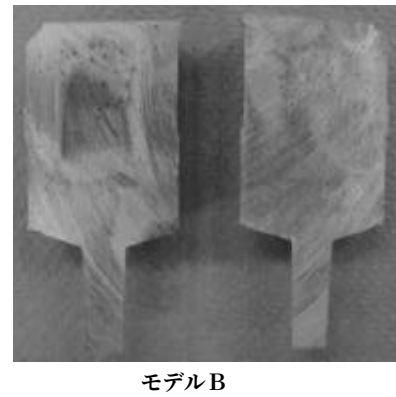
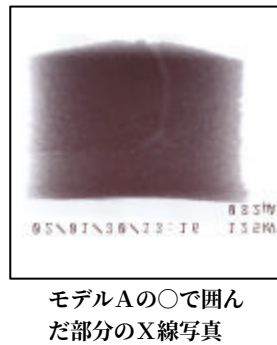
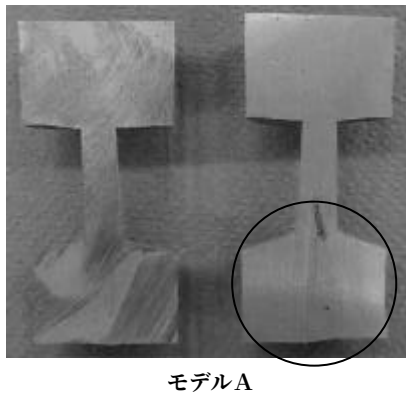


図7 生砂型による鑄造試験結果

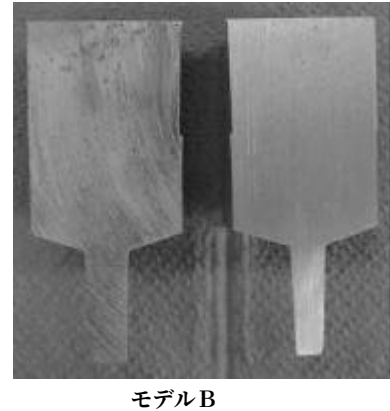
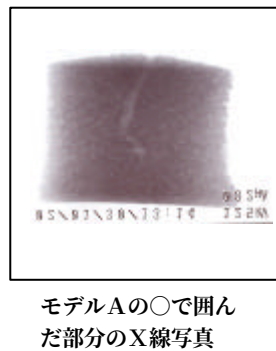
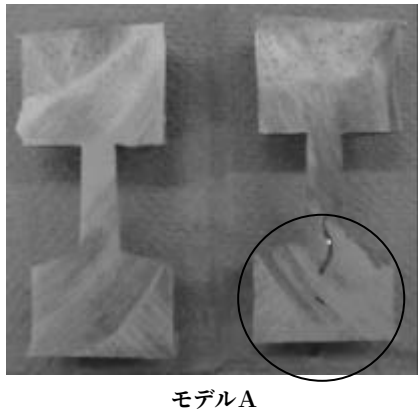


図8 OBBサンド型による鑄造試験結果

5 結 言

鑄造解析システムJSCASTを用いてCADデータの読み込み試験と凝固解析シミュレーションを行い、そのシミュレーション結果を鑄造実験により検証したところ、次のことが明らかとなった。

(1) STL形式のCADデータが精度および効率の面でJSCASTに最も適しているファイル形式である。

(2) 凝固解析により予測された引け巣の一部が鑄造実験では発生せず、解析モデルと鑄造実験との鑄造条件の違いが原因と考えられる。

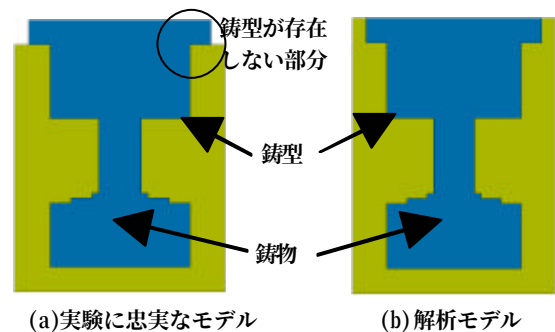


図9 実験に忠実なモデルと解析モデル