

# 木型と鋳物砂の改善による鋳造品の品質向上

工業材料科 主任研究員 大田 剛大  
電子情報科 専門研究員 小笠原 耕太郎

本研究は、鋳造で繰り返し使用される木型および鋳物砂の品質を管理し、繰り返しの使用に伴う品質の劣化を改善することで鋳造品への影響を減らし、鋳造品の品質を向上させることを目指している。

本研究の初年度となる令和2年度は、三次元計測点列群の隣接点列の変化量から点列群を領域化し、摩耗／欠損領域を検出する手法を検討した。また、有機自硬性鋳物砂の各種試験方法の確立およびパラメータ調査のため、日本産業規格（JIS）、東海支部法（TJFS）をもとに実証実験を行った。

## 1. 緒言

鋳造は、中空で複雑な形状の部品や大型の部品を効率的に生産する技術であり、鋳造で生産された鋳物は振動の減衰能が優れているために大型の回転部品などに適用されている。さらに、プレス加工の端材などを材料に使うため資源の有効利用になっている。県内には鋳造企業が4社立地しており、受注先は広く県外にも広がっている。

鋳造は溶かした金属を鋳型に流し込み、冷却・凝固させる。このとき、鋳型の造型に木型と鋳物砂が使用される。この木型や鋳物砂は鋳造品の品質に大きく影響し、使用するにつれて状態が悪くなり鋳造品の品質が劣化する。これは、木型では使用時に生じる表面への摩耗や水分による形状変化があり、鋳物砂では再利用時に生じる熱や摩擦による割れ、付着物の残留があるためと考えられる。これらを防ぐために、木型では図面を基準にした手作業での修復を行っており、鋳物砂では砂の性状を管理して経験的に新しい砂を補給している現状にある。本研究では、これらの作業の効率化を目指す。

## 2. 実験方法

### 2.1 摩耗／欠損木型の検査、修復

摩耗、欠損した木型の修復は、目視、手計測で摩耗／欠損部分を判断し、木型図面を基準にしたパテ埋めや、機械加工した木片の当て嵌め等の手作業により行われている。そのため、形状位置や寸法精度を維持するのは難しく、特に曲面形状部分の修正は困難で、また、これらの作業は手間の掛かるものとなっている。そこで、現在経験と勘で行われ手間の掛かる摩耗した木型の修復作業に、デジタル化、3Dプリンタ技術を活用した検査、計測手法を導入し、効率化と高品質

向上を図る。検査・修復処理の流れは図1のとおりである。

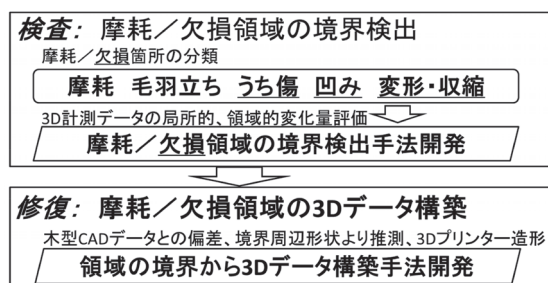


図1 全体処理の流れ

摩耗した木型の計測データを入力データとして、摩耗／欠損領域の境界を検出し、木型 CAD データと摩耗データの偏差や境界内部及び周辺点列形状からの形状推測により3Dデータを構築し、3Dプリンタによる磨耗／欠損領域部分の造形を行う。摩耗／欠損領域の境界は、木型に現れる特徴的な稜線（以下、特徴稜線という）を検出し、その境界（以下、特徴境界という）の内部側領域、外部側領域の形状状態を調べることでより判別する。木型に現れる特徴境界は、鋭角な稜線、境界稜線、領域として現れるフィレット部の稜線、形状変化の大きな領域である。今回は、特徴境界の検出手法の検討を行った。以前、計測データを活用したモデリング手法として提案した「三次元計測データから形状特徴を抽出しCADデータとして曲線や曲面データへ再構成するモデリング技術」の形状抽出手法を応用活用する<sup>1)</sup>。

### 2.2 再利用鋳物砂の品質管理

再利用された鋳物砂のパラメータを把握するため、再生機で再生する前後の鋳物砂を各月ごとに採取し、表1の内容で試験した。

表1 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
粒度試験	JIS Z 2601 付属書 2 による。 試験は同一試料で 4 回行った。また、図 2 は粒度試験を示す。
通気度試験	JIS Z 2601 付属書 3 による。 試験は迅速法により、同一試料で 3 回行った。
圧縮強さ試験	JIS Z 2601 付属書 4 による。 試験は同一試料で 3 回行った。
水分試験	JIS Z 2601 付属書 5 による。 試験は同一試料で 3 回行った。
強熱減量試験	JIS Z 2601 付属書 6 による。 試験は同一試料で 6 回行った。
表面安定度試験	TJFS 106 <sup>㉒</sup> による。 ただし、使用したふるいは 14 メッシュ (目開き 1.19 mm)、振とう時間は 2 分間。 また、図 3 は表面安定度試験を示す。
コンパクトビリティ試験	TJFS 107 <sup>㉒</sup> による。 試験は同一試料で 3 回行った。
かさ比重測定	内径φ50 mm、高さ100 mmの円筒状の容器に鑄物砂を充てんさせ、その砂の質量よりかさ比重を測定。 試験は同一試料で 3 回行った。



図3 表面安定度試験

### 3. 結果

#### 3.1 摩耗/欠損木型の検査、修復

特徴境界の検出手法では、木型の計測データである三角形ポリゴンメッシュから得られる形状特徴情報である法線ベクトルを利用する。図4に示すように、隣り合う三角形ポリゴンの法線ベクトルの内積値を求め特徴稜線の抽出を行う。

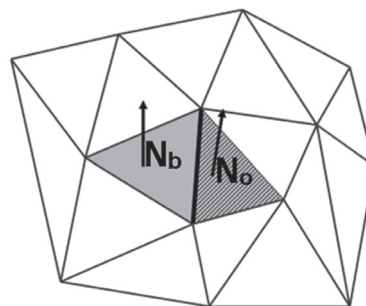


図4 特徴稜線抽出のための形状特徴量

三角形ポリゴンメッシュが表現している形状特徴としては、稜線そのものが特徴を表している境界稜線や鋭角な稜線部分と、曲面部分等に現れる複数の面が一つの形状特徴を表しているフィレットや形状変化の大きな部分が存在する。前者を局所的抽出、後者を領域的抽出と場合分けし、それぞれを以下の方法で抽出する。

##### (1) 局所的抽出

局所的抽出を行う稜線のタイプは、境界稜線と鋭角な稜線の2種類である。

##### <境界稜線>

これは、稜線に接続する三角形ポリゴン調べれば簡単に抽出可能で、本手法で処理される三角形ポリゴンは多様体を前提としているため、稜線に接続している三角形ポリゴンの一つの稜線が境界稜線である。



図2 粒度試験

### <鋭角な稜線>

立方体の稜線部分のような折れた形状特徴を表している鋭角な稜線は、隣り合う三角形ポリゴンの正規化された法線ベクトル  $N_b, N_o$  (図4参照) の内積値により抽出する。閾値  $C$  を指定し、以下の式により評価する。

$$N_b \cdot N_o < C$$

### (2) 領域的抽出

フィレット形状部分や、形状変化の大きな曲面部分の形状特徴は複数の稜線により表現されるため、各稜線の評価だけでは抽出できない。そこで、このような形状特徴部分は、形状を表現する複数の稜線を抽出した後、抽出稜線の集合体の境界部分を特徴稜線とする。

#### <フィレット部の稜線の抽出>

フィレット部の隣り合う三角形ポリゴンの法線ベクトルの変化は、特に、接する境界部分では微小であるため、単純な法線ベクトルの比較では安定した抽出は望めない。そこで、フィレット境界稜線部と内部稜線部分に分け、以下のように抽出する。

#### ○フィレット境界稜線部の抽出

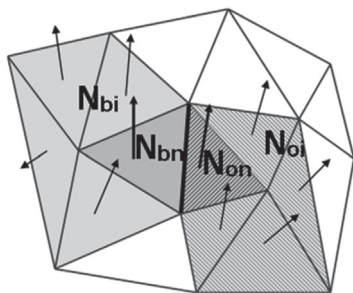


図5 フィレット領域の法線ベクトルの算出

図5に示すように、フィレット領域の境界部分に相当する稜線の隣り合う三角形ポリゴンの正規化された法線ベクトル  $N_{bn}, N_{on}$  は、この位置で隣の形状と接しているため変化は小さく、また、ポリゴンメッシュの細かさにより、その差異は大きく変動する。そのため、より安定した抽出を行うために、この  $N_{bn}, N_{on}$  はそのまま使用せず、現在評価中の稜線に隣接する三角形ポリゴンの法線ベクトルを参照し、抽出時の法線ベクトルを以下のように決定する。

現在評価中の三角形ポリゴン (図5の濃いグレーで示す三角形ポリゴン) に隣接し、かつ、評価相手の三角形ポリゴンに隣接しない三角形 (図5の薄いグレーで示す三角形ポリゴン) を見つけ、 $N_{bn}, N_{on}$  と隣接する三角形ポリゴンの正規化された法線ベクトル  $N_{bi}, N_{oi}$  間の内積値をそれぞれ求め、その中で最小の内積

値を  $C_b, C_o$  とする。

$$C_b = \min ( N_{bn} \cdot N_{bi} )$$

$$C_o = \min ( N_{on} \cdot N_{oi} )$$

評価用の閾値を  $C_f$  とし、以下の条件式を満足する稜線の特徴稜線とする。

$$C_o \leq C_f < C_b$$

$$C_b \leq C_f < C_o$$

#### ○フィレット内部稜線部分の抽出

フィレットの内部の法線ベクトルは、なだらかに連続して変化していくため、以下のように、内積値の最小と最大の閾値  $C_{min}, C_{max}$  を与え、以下の式により特徴稜線を判定する。

$$C_{min} < N_{bn} \cdot N_{on} < C_{max}$$

#### <形状変化の大きな領域の稜線の抽出>

形状変化の大きな領域は、複数の形状特徴により形状を定義すべき部分であり、閾値を  $C_c$  で与え、以下の条件式を満足する領域を特徴稜線とする。

$$C_c > N_b \cdot N_o$$

## 3. 2 再利用鋳物砂の品質管理

### (1) 粒度試験

図6に粒度試験の結果を示す。ふるいの呼び寸法が  $300 \mu\text{m}$  のときに粒度が最大となり、 $850 \mu\text{m}$  以上および  $75 \mu\text{m}$  以下では粒度がほとんど見られなかった。また、微粉と区分される  $53 \mu\text{m}$  以下の砂の粒度の合計は1%未満と低い値を示した。

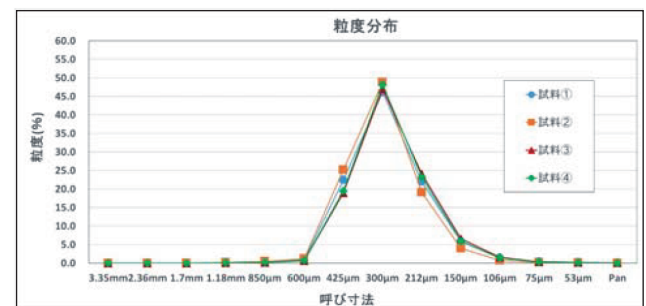


図6 粒度試験における粒度分布

### (2) 通気度試験

通気度の値は、月別の変化が大きく同一試料での変化が小さかった。また、月数の経過とともに通気度が増加する傾向を示した。

### (3) 表面安定度試験

試験片をふるいに設置する際の姿勢について JIS や TJFS に記載されていない。そのため、地面との設置面積の大きい面を下にした場合 (縦向き) と小さい面



を下にした場合（横向き）で結果に違いが見られるか検証した。その結果、横向きの姿勢の方が縦向きに比べて試験後の試験片形状に違いが見られなかった。

#### 4. 考察

##### 4. 1 摩耗／欠損木型の検査、修復

本手法の有効性を検討するために、本手法をインプリメントし実験を行った。その結果を図7に示す。与えられた三角形ポリゴンメッシュ形状のうち傷、凹みに相当する穴やフィレット形状から、所望の稜線が抽出できることが確認できた。

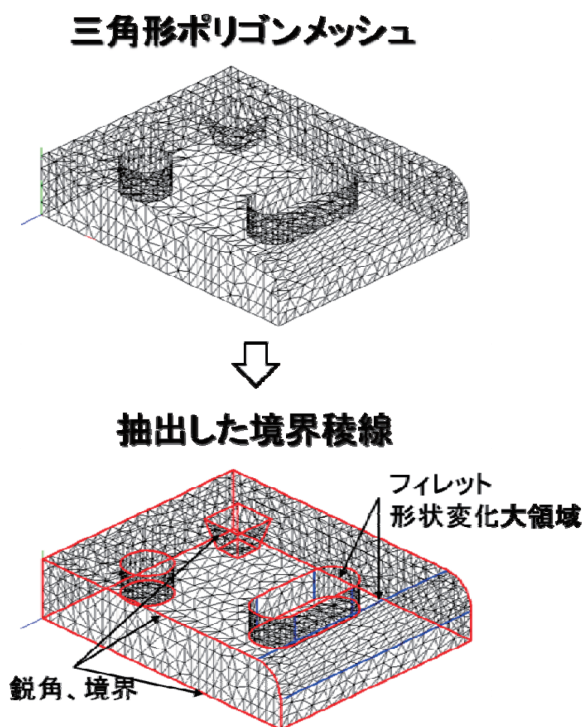


図7 特徴稜線抽出結果

##### 4. 2 再利用鋳物砂の品質管理

大きなメッシュにおける粒度の増加、および粒度指数の低下に伴って通気度が増加した。砂粒子の粒径が全体的に大きくなれば、砂粒子間の隙間が大きくなる。これと同時に、大きな粒子は粒子間の空隙に入り込みにくくなり、空隙が増加したため通気度が上昇したと考えられる。

表面安定度試験は、試験片を設置する際に横向きにすることで結果が安定した。これは、試験片を縦向きに設置した場合、振とう時に長時間転倒せずに姿勢を保つため、試験片に作用するふるいからの外力が偏ったため結果が安定しなかったと考えられる。

#### 5. 結言

##### 5. 1 摩耗／欠損木型の検査、修復

鋳造用の摩耗／欠損した木型の検査、修復を行うため、摩耗／欠損箇所の検出手法を検討した。三次元計測点列群の隣接点列の変化量から点列群を領域化して検出する手法のインプリメント実験を行い、特徴境界が検出できることが確認できた。今後は、境界内部及び周辺点列形状からの形状推測により3Dデータの構築方法を検討し、摩耗／欠損した木型のデジタル修復を図っていく。

##### 5. 2 再利用鋳物砂の品質管理

鋳物砂の品質を管理するため、表1で示した8項目の試験を実施した。その結果、試験項目ごとの傾向や相関関係、試験片の姿勢などが確認できた。今後は、成分の違う砂との比較や鋳造欠陥との関連性について調査する。

#### 参考文献

- [1] 小笠原耕太郎、山内英夫：三次元計測データ処理に関する研究、長崎県工業技術センター研究報告, No. 30, pp. 35-41 (2001).
- [2] 生形砂試験方法、公益社団法人 日本鋳造工学会 生型研究部会 東海支部 鋳鉄鋳物研究部会, 2. 22p (2017. 9).
- [3] 生形砂試験方法、公益社団法人 日本鋳造工学会 生型研究部会 東海支部 鋳鉄鋳物研究部会, 2. pp. 23-24 (2017. 9).