

木型と鋳物砂の改善による鋳造品の品質向上

(木型の修復手法および鋳物砂の品質管理方法の検討)

機械加工科 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2年目となる令和3年度は、摩耗/欠損木型の修復手法の研究では、三次元計測点列群の隣接点列の変化量から抽出された摩耗/欠損領域の点列群から、幾何形状の種類を判別し、判別した幾何形状と点列群との差異から摩耗/欠損部位を塞ぐ面形状を生成する手法を検討した。また、有機自硬性鋳物砂の耐火性評価試験の検討、表面硬さと圧縮強さとの関係について調査した。

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、鋳物砂では経験的に新しい砂を補給して対策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

をを図る。検査・修復処理の流れは図1のとおりである。

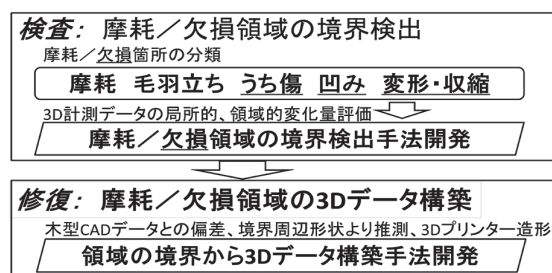


図1 全体処理の流れ

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。令和2年度には、摩耗/欠損領域の境界を表す特徴境界の検出手法を開発した^[1]。これにより得られた摩耗/欠損領域の境界となる特徴境界に、外部から接続する点列群から幾何形状の種類を判別し、判別した幾何形状から摩耗/欠損部位を生成する手法(摩耗/欠損領域の 3D データ構築)を検討した。

2.2 鋳物砂の耐火性評価試験

鋳物砂の耐火性が低い場合、鋳造欠陥の一つである焼付きが発生する。その対策として耐火性を上げるため、塗型等の作業を行っている。しかし、この耐火性は造型した鋳型を用いた評価方法が決まっていない。そこで、以下の方法により耐火性の評価方法を検討した。

表1に試験条件を示す。試験片は JIS Z 2601 に準

じて作製した標準試験片を使用した。この試験片を一定の温度で加熱し冷却後、試験片を一定時間振とうして加熱前および振とう後の試験片の質量を測定した。

表1 耐火性評価試験の試験条件

試験番号	砂成分	樹脂量
①	現場砂	少
②	現場砂	少
③	現場砂	多
④	現場砂	多
⑤	クロマイトサンド	少
⑥	クロマイトサンド	少

2. 3 鋳物砂の圧縮強さと表面硬さとの関係

鋳型の強度には鋳型全体を対象とした強さ（圧縮強さ）と鋳型表面を対象とした強さ（表面硬さ）がある。この2つの関係性については、使用される砂性状の違いなどから各現場で異なっている。この関係性を明確にすることは、管理する試験項目を選択することができ、作業時間の効率化、作業コストの低減が見込める。そのため、この関係性について調査した。

試験片は JIS Z 2601 に準じて作製した標準試験片を使用した。この試験片上面の表面硬さを TJFS-105（東海支部法）^[2] に準じて測定した。その後、同一試料の圧縮強さを TJFS-102（東海支部法）^[3] に準じて測定した。

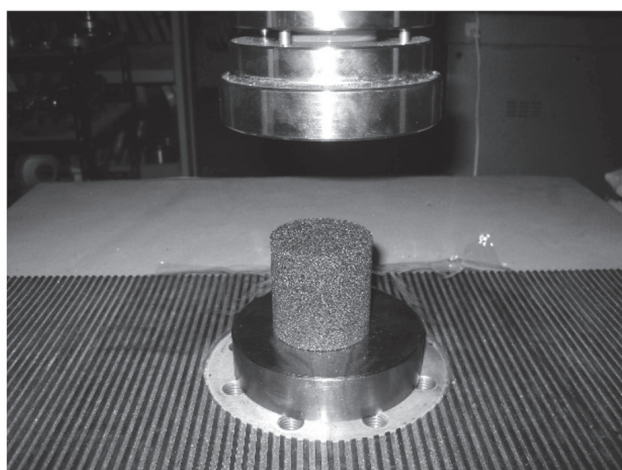


図2 表面硬さ試験後の圧縮強さ試験

3. 結果

3. 1 摩耗/欠損木型の検査、修復

摩耗欠損領域の3Dデータ構築処理の流れは図3のとおりである。

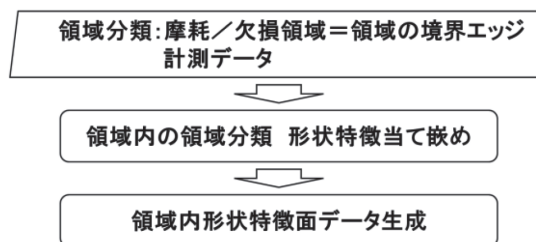


図3 摩耗欠損領域の3Dデータ構築処理

入力データとして、計測データと摩耗/欠損領域の境界エッジデータ（図4左図）から、境界エッジに外側に隣接する計測データから領域内の形状特徴を判定し当て嵌める。当て嵌めルールは、表2に示す、幾何形状面データと自由曲面の2種とする。まず、幾何形状に6種の幾何形状で表現できないか判断し、表現できなければ、自由曲面により補間する（図4中図）。当て嵌めた面データを境界エッジによりトリム（外部領域を削除）することにより領域内の形状特徴面データを生成（図4右図）する。

表2 領域内（境界内側）の形状特徴当て嵌めルール

1. 幾何形状	平面、円柱、円錐、球、回転体、円環
2. 自由曲面	3次 B-Spline 補間

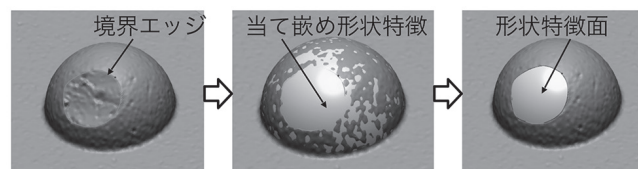


図4 摩耗/欠損領域形状特徴面当て嵌め処理

発泡に対し、複数の特徴形状（円柱、平面、円錐、回転体、自由曲面）の切削加工を行い（図5左図）、摩耗、破損部分を追加し（図5右図）、非接触三次元デジタイザにより形状計測を行い、計測データから境界エッジを抽出した結果が図6である。

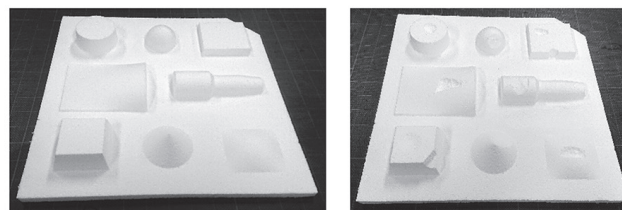


図5 発泡切削元サンプル（左）、
発泡摩耗/破損サンプル（右）

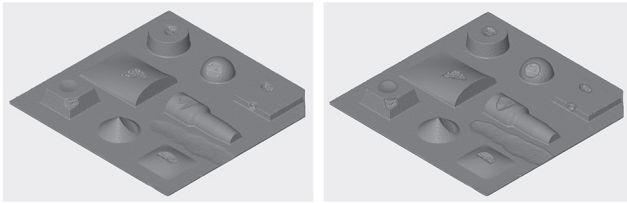


図6 発泡計測データ(左)、境界エッジ抽出(右)

図6(右)に対し、領域内を塞ぐ形状特徴面データ生成を行う。

3.2 鋳物砂の耐火性評価試験

図7に振とう後にふるい上に残った砂の質量残存率と振とう時間の関係を示す。

図より、全ての試験片において、30秒付近までは急激に砂の質量が減り、その後は緩やかな減少を示した。また、質量残存率は樹脂量が多い方(③または④)が少ない方(①または②)に比べて高い値を示した。さらに、現場の砂で作製した試験片(①または②)に比べてクロマイトサンドで作製した試験片(⑤または⑥)の方が高い値となった。

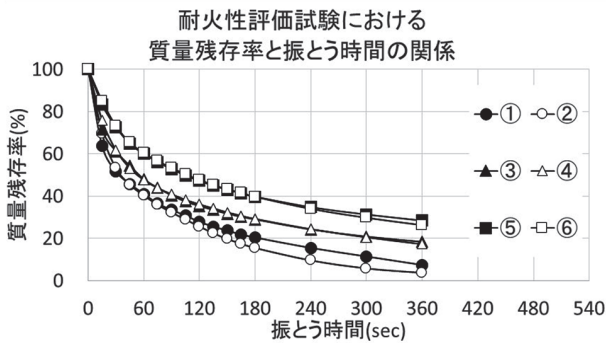


図7 加熱冷却後振とうさせた試験片の質量変化

3.3 鋳物砂の圧縮強さと表面硬さとの関係

図8に圧縮強さと表面硬さとの関係を示す。図より、表面硬さの増加とともに圧縮強さの減少の傾向がみられ、比例の関係はみられなかった。

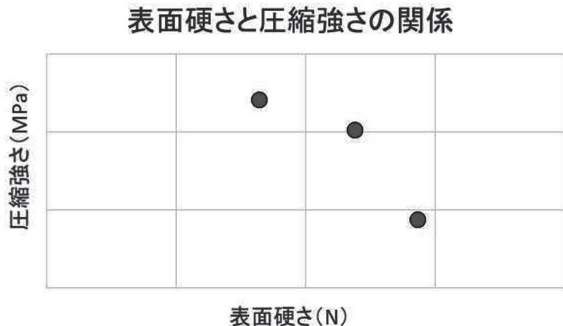


図8 圧縮強さと表面硬さとの関係

4. 考察

4.1 摩耗/欠損木型の検査、修復

本手法の効果を検討するために、本手法を図6(右)に対し修復実験を行った。その結果を図9に示す。また、生成した形状特徴面の精度評価を行うため、形状特徴面と元のCADデータを同じ位置に配置し、位置座標値の比較を行った偏差マップを作成した。その偏差を図10に示す。ほぼ0.25mm内で摩耗/欠損部分が推定できていることが確認できた。図10中の左下の自由曲面を当て嵌めた部分に偏差が0.4mmを超えた部分があるが、これは、推定した3次B-Spline曲面式で欠損部分の張りが表現できていないためと考えられるため、この点は今後の検討課題である。

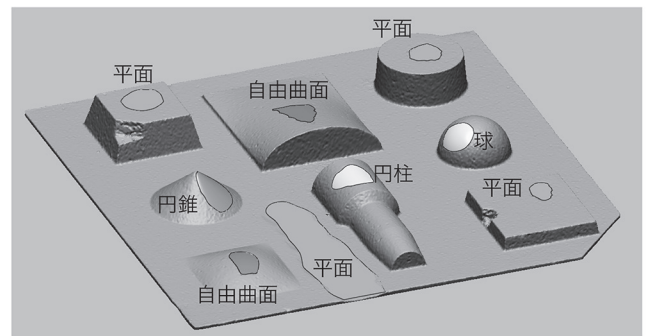


図9 形状特徴面データ生成結果

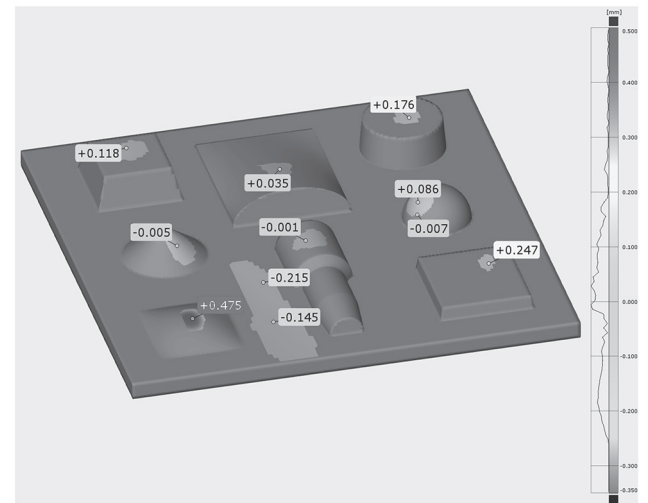


図10 生成した形状特徴面と元CADデータの偏差

4.2 鋳物砂の耐火性評価試験

本試験の結果は耐火性が増加する条件と同様の傾向が得られたことから、耐火性を評価する指標の一つとしての適用が見込める結果であった。しかし、試験で使用した現場砂は、性状が不安定であるため比較対象として妥当性に欠けると考えられた。また、再現性を確認するために試験回数を増やして比較検討する必要があると考えられた。

4. 3 鋳物砂の圧縮強さと表面硬さとの関係

本試験の結果から、圧縮強さの増加により表面硬さの減少が見られた。これは、鋳型表面硬さの増加にともない、鋳型が脆化し全体の型強度が低下したと考えられる。しかし、本試験の回数では再現性が不十分であると考えられるため、再度試験の回数を増やして実施する必要がある。

5. 結言

5. 1 摩耗／欠損領域の 3D データ構築

鋳造用の摩耗／欠損した木型の検査、修復を行うため、摩耗／欠損領域の 3D データ構築を検討した。三次元計測点列群の隣接点列の変化量から抽出された摩耗／欠損領域の境界となる特徴境界に対し、外部から接続する点列群から幾何形状の種類を判別し、判別した幾何形状から摩耗／欠損領域を塞ぐ 3D データを構築する手法を検討した。摩耗／欠損部位を持つ発泡立体形状に適用実験を行い、摩耗／欠損領域に的確な修復面形状を生成できることを確認した。今後は、修復形状となる 3D 形状を構築する手法を検討し、摩耗／欠損した木型のデジタル修復を図っていく。

5. 2 鋳物砂の耐火性評価試験および鋳物砂の圧縮強さと表面硬さとの関係

鋳物砂の品質管理の効率化を図るため、耐火性評価試験の検討および圧縮強さと表面硬さとの関係を調査した。その結果、耐火性評価試験の有効性、圧縮強さと表面硬さとの関係について確認できた。しかし、いずれも再現性が不十分であることから、今後は試料の選択や試験回数に留意して調査する。

参考文献

- [1] 大田剛大、小笠原耕太郎：木型と鋳物砂の改善による鋳造品の品質向上、長崎県工業技術センター研究報告, No. 50, pp.27-30, 2020.
- [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 p.21, 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.16-17, 2017.9.