

木型と鋳物砂の改善による鋳造品の品質向上

機械加工科 主任研究員 大田 剛大
機械システム科 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3年目となる令和4年度の摩耗／欠損木型の修復手法の研究では、三次元計測点列群の抽出領域の点列群から判別した幾何形状から点列群との差異形状を生成する手法を検討した。また、磁選機導入に伴うクロマイトサンドの再利用の検討、各砂性状同士の関連性の強さについて調査した。

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。また、使用後の砂の処理も問題になっているため、磁選機により回収したクロマイトサンドの再利用を検討している。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は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、効率化と高品質化を図る。検査・修復処理の流れは図1のとおりである。

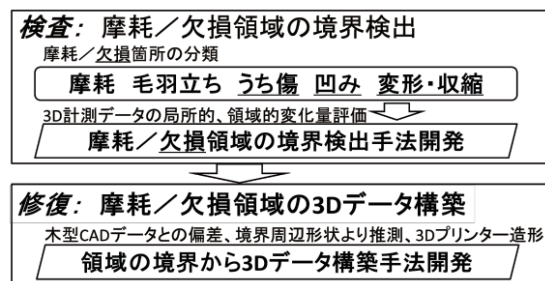


図1 全体処理の流れ

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プリンタによる摩耗／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]。令和3年度には、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）を開発した^[2]。令和4年度には、以上2年間により得られた特徴境界と摩耗／欠損部位形状から、差異となる立体形状を生成する手法を検討した。

2.2 クロマイトサンドの耐火性評価試験

鋳造欠陥の一つである焼付きは、鋳型の耐火性が低い場合に発生する。この対策として、耐火性が高いクロマイトサンドを添加して鋳型の耐火性を上げているが、一方で使用した砂の処理が問題になっている。そこで、磁選機で回収したクロマイトサンド（以下再生

クロマイト) が再利用可能か耐火性評価試験^[2]を用いて検討した。なお、耐火性評価試験は、表1の試料を用いて試験を実施した。

表1 耐火性評価試験に用いた試料一覧

番号 (符号)	砂成分	砂の状態
① (□)	クロマイトサンド	未使用品
② (○)	再生クロマイト	磁選機導入後に回収した砂
③ (△)	再生クロマイト	②の2か月後に回収した砂
④ (◇)	再生クロマイト	②の4か月後に回収した砂

2.3 各砂性状同士の関連性調査

砂の管理において、砂性状を評価する試験は数多く存在しており、それらを全て管理することは難しい。そのため、管理する砂性状を各現場で絞り込む必要がある。そこで、これまで得られた砂性状のデータをもとにクラスター分析を実施して関連性の強さを調査した。なお、分析に使用したデータは、約2か月ごとに現場で採取した砂から得られた以下7種類の砂性状の測定値を用いた。また、分析の計算はウォード法を用いて実施した。

表2 分析した砂性状と試料形状

砂性状	試料形状
かさ密度	粒状
粒度 (指数)	粒状
水分量	粒状
強熱減量	粒状
通気度	標準試験片 (JIS Z 2601)
表面安定度	標準試験片 (JIS Z 2601)
圧縮強さ	標準試験片 (JIS Z 2601)

3. 結果

3.1 摩耗/欠損木型の検査、修復

特徴境界と摩耗/欠損部位形状から差異となる立体形状を生成処理の流れは図2のとおりである。

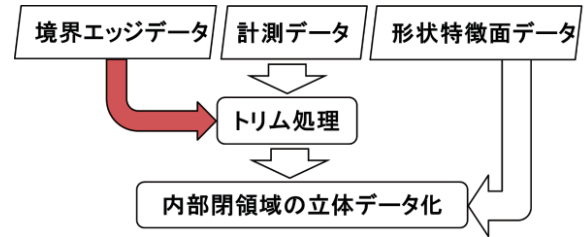


図2 摩耗欠損領域の3Dデータ構築処理

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と、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られた形状特徴面データ、及び計測データを基にして、境界エッジデータより計測データをトリム処理し、境界エッジデータ内の計測データを得る。形状特徴面データと境界エッジデータ内の計測データにより囲まれた領域が破損領域となるので、これら両境界領域により囲まれた領域により立体領域のデータを構築する。以上の処理手順を、球形状の破損部に適用した3Dデータ構築処理の流れを示す(図3)。図3中の太枠で囲んだ形状が、構築された破損領域の立体データである。

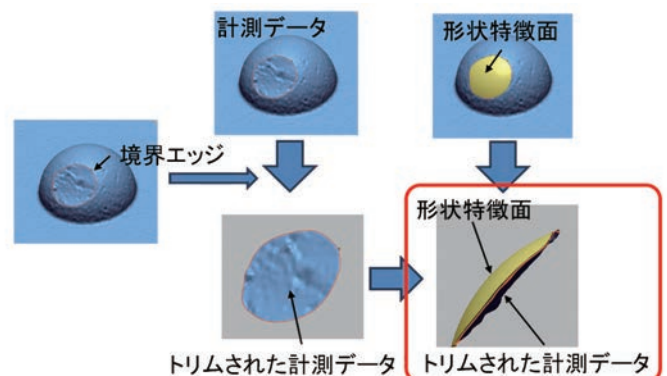


図3 球形状破損部に適用した3Dデータ構築処理

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4左図)、摩耗、破損部分を追加し(図4右図)、非接触三次元デジタル計測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5右である。

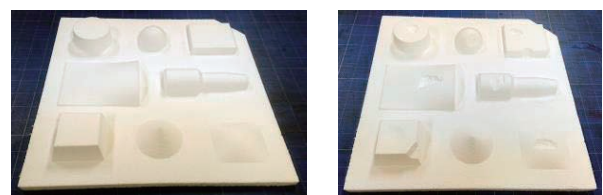


図4 発泡切削元サンプル(左)、
発泡摩耗/破損サンプル(右)

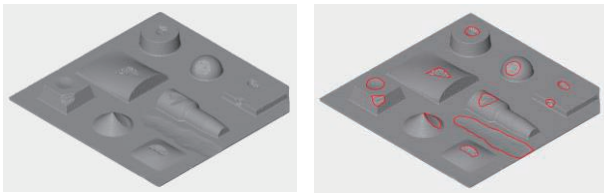


図5 発泡計測データ (左)、境界エッジ抽出 (右)

図5 (右) に対し、領域内を塞ぐ形状特徴面データ生成を行った結果が図6である。

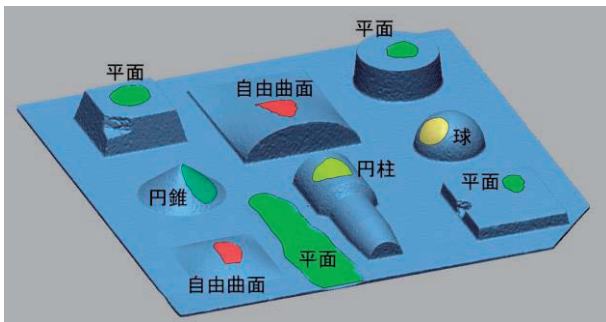


図6 形状特徴面データ生成結果

図5に示す計測データと境界エッジ及び図6に示す、形状特徴面データにより、ここに示した手法により構築した摩耗/欠損領域の3Dデータを図7に示す。

これらが破損部修復形状の3DCADデータとなる。



図7 破損部修復形状の3DCADデータ

3.2 クロマイトサンドの耐火性評価試験

図8に振とう後にふるい上に残った砂の割合 (以下質量残存率) と振とう時間の関係を示す。この試験は、耐火性が高い試料では質量残存率が高く、耐火性が低い試料では質量残存率は低い値となる。

図8より、全ての試料で30秒付近までは質量残存率の減りが大きく、その後は緩やかに減少した。また、120秒付近から質量残存率が一定の割合で減少した。さらに、360秒後の質量残存率は、③ (△)、④ (◇)、① (□)、② (○) の順で高い値を示した。

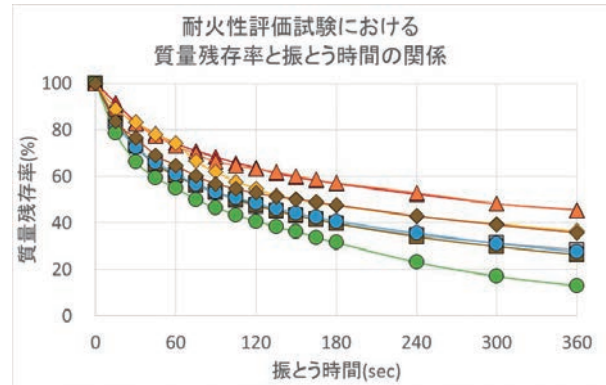


図8 加熱、冷却、振とう後ふるい上に残存した砂の割合変化

3.3 各砂性状同士の関連性調査

図9に、表2中の砂性状からクラスター分析を行った結果を示す。なお、図中の数値はワード法により算出したクラスター間の距離を示している。

図9より、かさ密度と表面安定度の関連性が最も強く、強熱減量においては他の性状との関連性が弱いことが確認できた。また、比較的関連性の強い砂性状ごとに3つのグループに分けた場合、図中のA、BおよびCのグループに分類された。

次に、図10および図11に、AおよびBグループ内でそれぞれ関連性が強い砂性状同士の測定結果を示す。

図10からは負の相関がみられ、図11からは正の相関が見られた。また、各砂性状における平均値からの測定値の差は、図10の方が小さく、図11の方が大きい値を示した。

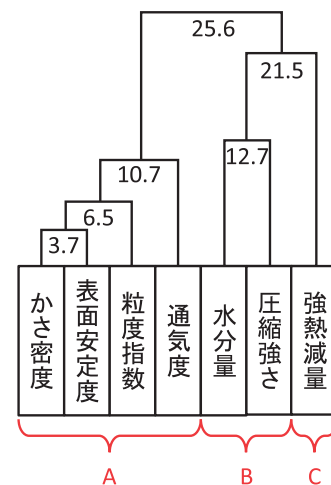


図9 クラスター分析による砂性状の関連性

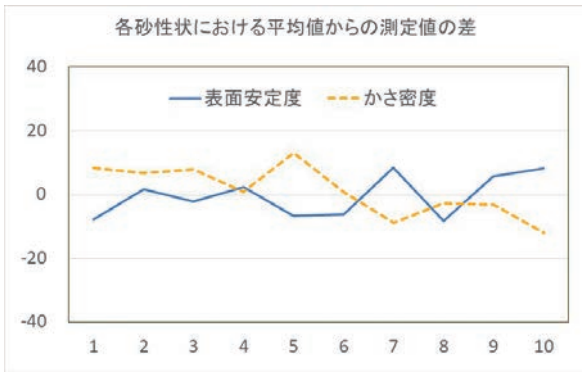


図10 Aグループ内で最も関連性が強い砂性状における平均値からの測定値の差

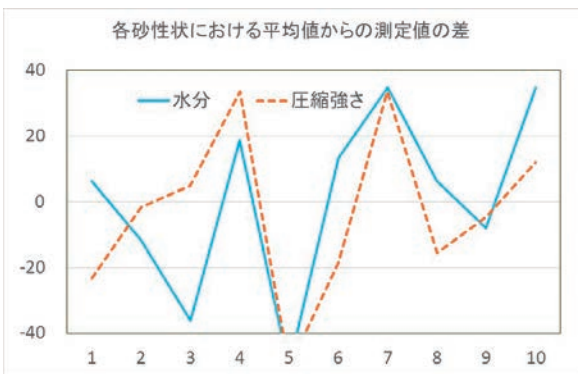


図11 Bグループ内で最も関連性が強い砂性状における平均値からの測定値の差

を行うため、修復した発泡サンプルを三次元デジタイザーで計測した計測データと元の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14に示す。ほぼ0.3mm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中の左下の薄い平面を当て嵌めた部分に偏差が0.5mmを超えた部分があるが、これは、破損部分の嵌め合わせ具合の影響と考えられるため、この点は今後の検討課題である。

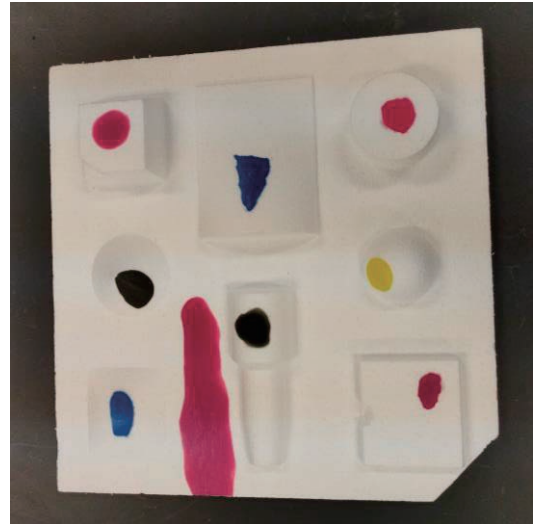


図13 修復した破損発泡サンプル

4. 考察

4.1 摩耗/欠損木型の検査、修復



図12 3Dプリンタで出力した破損部修復形状の造形サンプル

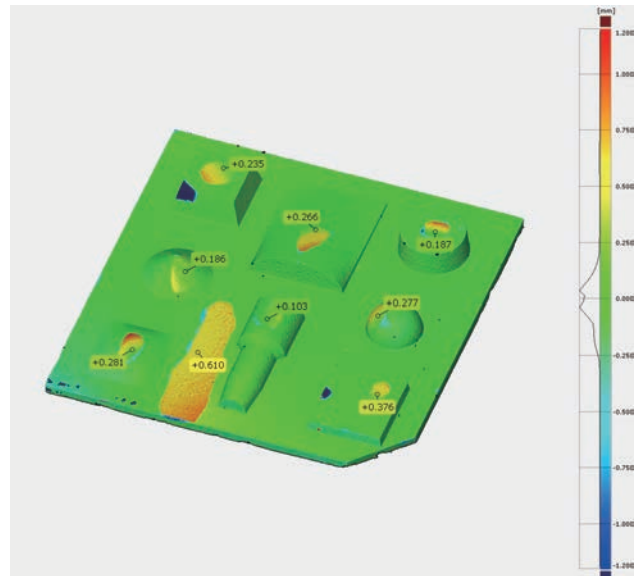


図14 修復した破損発泡サンプルと元CADデータの偏差

本手法の効果を検討するために、本手法を図7の3D CADデータより3Dプリンタにより破損部修復形状を図12のとおり造形し、造形物により破損発泡を修復した結果を図13に示す。また、修復状態の精度評価

4.2 クロマイトサンドの耐火性評価試験

本試験の結果から、③(△)、④(◇)の質量残存率が①(□)の未使用品より高いため、耐火性を向上させるうえでは再利用可能であると考えられた。しかし、

再利用した砂は、性状の劣化があるため再利用できる回数に上限がある。加えて、耐火性以外にも鑄造品の品質に影響を与える性状があり、それらの性状も併せて調査が必要である。また、② (○) の質量残存率は① (□) に比べて低い値を示した。これは、磁選機導入直後に回収した試料であったため、機械の動作が安定せず不純物等が混入し耐火性が低下したと考えられたが明確な原因については調査が必要である。

4. 3 各砂性状同士の関連性調査

クラスター分析の結果から、かさ密度と表面安定度の関連性が最も強いことが分かった。これは、かさ密度が大きいほどクロマイトサンド等の粒径の小さい砂が増加しているため、砂の粒径が表面の安定性に影響を出たと考えられた。また、関連性の強いグループ(A, B および C) 間では、成型した砂のそれぞれの性状とそれらに影響を与える粒子の性状が組み合わせられた結果になったと推定された。

次に、各グループ内で最も関連性が強い砂性状における平均値からの測定値の差では、図10では負の相関、図11では正の相関が得られた。これらのグラフからは、相関関係の強さの比較は難しく、その他の組合せも併せて調査が必要である。

5. 結言

5. 1 摩耗/欠損領域の3Dデータ構築

鑄造用の摩耗/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抽出領域の点列群から判別した幾何形状から点列群との差異形状を生成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立体形状を生成できることを確認した。今後は、実施の木型への適用実験を幅広く進め、手法の精度を高め、摩耗/欠損した木型のデジタル修復の実現を図っていく。

5. 2 クロマイトサンドの耐火性評価試験および各砂性状同士の関連性調査

クロマイトサンドを再利用するため、耐火性評価試験を実施し未使用の砂と磁選機で回収した砂を比較した。その結果、磁選機導入の2か月後から回収された再生クロマイトからは、未使用品と同等以上の耐火性であることが確認できた。また、これまでの砂性状データを用いてクラスター分析を実施した。その結果、

関連性の強い砂性状が確認できた。しかし、いずれも検証が不十分であることから、今後は、耐火性以外の砂性状の比較や性状を把握した砂を用いた鑄造実験により調査していく。

参考文献

- [1] 大田剛大、小笠原耕太郎：木型と鑄物砂の改善による鑄造品の品質向上、長崎県工業技術センター研究報告、No. 50, pp. 27-30, 2021.
- [2] 大田剛大、小笠原耕太郎：木型と鑄物砂の改善による鑄造品の品質向上、長崎県工業技術センター研究報告、No. 51, pp. 53-56, 2022.