

鑄造分野におけるデジタルものづくり（第2報）

久富茂樹*、水谷予志生**、藤井勝敏*

Digital manufacturing in the casting field (II)

KUDOMI Shigeki*, MIZUTANI Yoshiki** and FUJII Katsutoshi*

近年、3Dプリンタや3Dスキャナ、CAEなどに対する関心が高まり広く普及されつつある。これらの技術を鑄造分野のものづくりに適用して、鑄物製品の多品種小ロット生産への対応、製品の品質向上を図る。本年度は、砂型3Dプリンタでの造形限度評価、および木型代替として樹脂3Dプリンタで出力した鑄造用模型の活用について検討した。その結果、砂型3Dプリンタでは、造形物の取り出しや砂の除去を考慮した製品設計が必要であることがわかった。また、樹脂3Dプリンタで出力した鑄造用模型でも木型代替として活用できることがわかった。

1. はじめに

鑄造は複雑な形状の製品を製造することができ、中子を組み合わせることで中空形状の製品も製造することができる。その反面、他の金属加工より寸法精度が悪く、品質の安定度が低いため、不良率が高いという課題がある。また、鑄造工程は、技術・技能の一般化、標準化が難しく、暗黙知に依存するところが多分にあると言われており、デジタル化の遅れている分野でもある。当センターでは、鑄造分野におけるデジタル技術の導入に関し、「鑄造分野におけるデジタルものづくり研究会」（以降、“本研究会”と記す）を設立し、情報共有や交流の場としている。本研究会では、(1)砂型3Dプリンタの利活用、(2)樹脂3Dプリンタの利活用、(3)CAE (Computer Aided Engineering) の利活用などの技術開発を実施するとともに、技術講演会、機器講習会を開催している。

昨年度は、砂型3Dプリンタで造形した試料の形状を測定し、造形時の積層方向によって造形物の形状が異なることがわかった。また、鑄造用模型への適用を目的として樹脂3Dプリンタの造形物評価を実施し、使用する3Dプリンタの造形方式、造形条件によって寸法精度や積層時に生じる積層痕の状態が異なるという知見を得た²⁾。本年度は、砂型3Dプリンタの造形可能な形状を把握する目的で造形限度の評価を実施した。また、木型代替として、樹脂3Dプリンタで出力した鑄造用模型（以降、“樹脂模型”と記す）の活用については、既に報告があるが³⁾、造形条件の違いで評価結果が異なることも想定されるため、本研究においても、樹脂模型を使用して、砂造型、鑄造を行い、木型代替としての活用を検討したので報告する。

2. 砂型3Dプリンタの造形限度評価

2.1 造形形状

砂型3Dプリンタを使用して造形する場合に造形可能な形状を把握する目的で造形限度の評価を実施した。貫通穴、止まり穴、壁形状の基本形状を造形した。図1に造形した形状の一例を示す。

2.2 造形条件

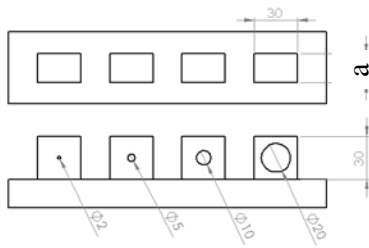
昨年度と同様、三重県工業研究所金属研究室の砂型3Dプリンタを使用して造形物を製作した。造形方式は結合剤噴射方式、積層ピッチは0.28mm、XY解像度は0.15mmで、造形材料の砂は、平均粒径が約120 μ mの専用人工砂である。形状の土台部底面が砂型3DプリンタのXY面になるように配置し造形を行った。

2.3 造形結果

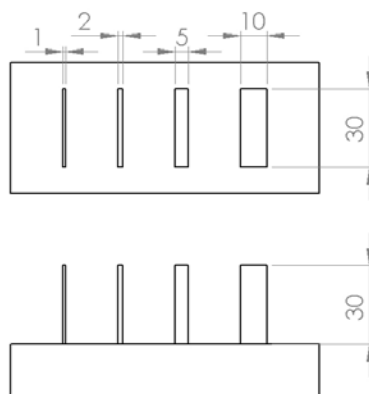
図2に造形物の一例を示す。今回使用した砂型3Dプリンタは、造形ステージに砂を敷き詰めた後、造形物の断面形状に合わせて結合剤を塗布し、積層ピッチ分だけステージを下げ、再度砂を敷き詰めるという工程を繰り返して三次元形状を造形していく。造形物は砂の中に埋もれた状態で形成され、形状の空洞部や隙間部分にも結合剤で固まっていない砂が充填された状態になっている。そのため、造形後に造形物の取り出しと空洞部や隙間の砂を、刷毛などを使用して取り除く必要がある。貫通穴の評価造形物では、直径2mmの穴に詰まった砂を除去することができなかった。穴が貫通していない止まり穴の評価造形物の場合は、さらに穴に詰まった砂の除去が困難で、穴の深さが20mm以上の場合は、直径が10mm以下の穴については、完全には砂を除去することができなかった。壁形状の評価造形物では、厚さ1mmの壁形状も造形自体はできていたが、取り出し、砂の除去時のわずかな力で崩れてしまうことがあった。砂型3Dプリンタでは、比較的自由的な形状の造形が可能ではあるが、造形後の取り出しや砂の除去まで考慮した設計が必要であるという知見を得た。

* 情報技術部

** 金属部

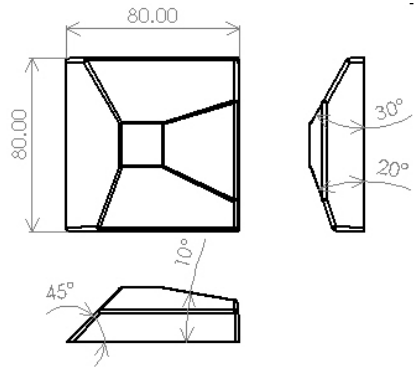


a = 10, 20, 30 mm
(1) 貫通穴形状

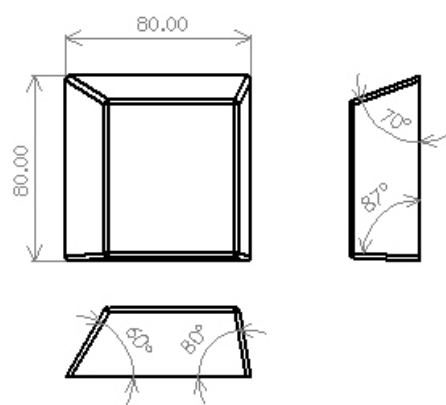


(2) 壁形状

図1 造形限度評価形状

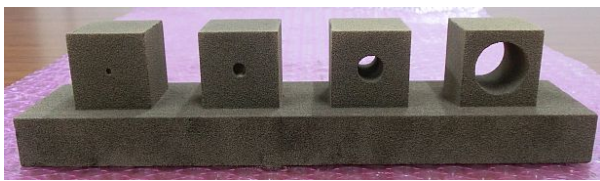


【模型A】

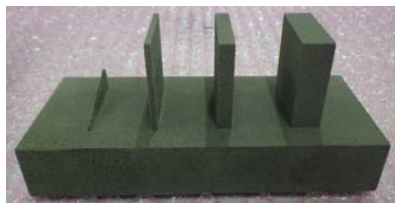


【模型B】

図3 段差評価用模型形状



(1) 貫通穴形状 (a = 30 mm)



(2) 壁形状

図2 造形限度評価用造形物の一例

表2 段差評価用模型造形条件

No.	形状	造形方式	積層ピッチ	材料
A1	模型A	材料吐出堆積	0.254 mm	ABS
B1	模型B	材料吐出堆積	0.254 mm	ABS
A2	模型A	材料吐出堆積	0.127 mm	ABS
B2	模型B	材料吐出堆積	0.127 mm	ABS
A3	模型A	材料吐出堆積	0.100 mm	Onyx(*)
B3	模型B	材料吐出堆積	0.100 mm	Onyx(*)
A4	模型A	材料噴射堆積	0.016 mm	アクリル系
B4	模型B	材料噴射堆積	0.016 mm	アクリル系

(*) ナイロンに短繊維カーボンを混練した材料

3. 樹脂3Dプリンタを使用した鋳造用模型

樹脂模型を木型代替として使用する場合に、積層による段差が、意匠的な問題や型外しの際の砂こぼれの原因

となる懸念がある。そこで、角度を変えた斜面の形状模型を樹脂3Dプリンタで出力し、その模型を砂に転写させて作製した砂型の形状評価を行った。さらに、その砂型を使用して鋳造を行った。

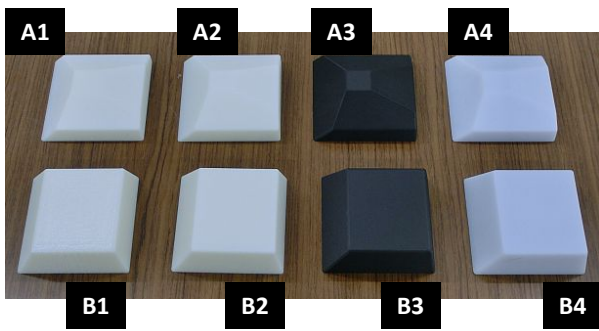
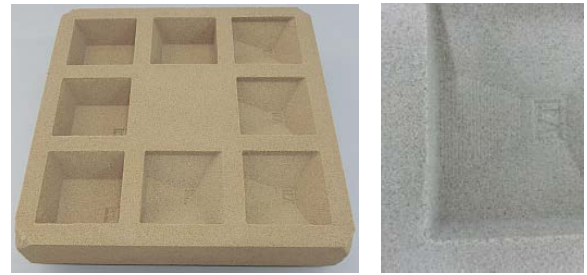


図4 造形した段差評価用模型



(a)全体の外観 (b)No.A1, 10°斜面の拡大

図6 造形した砂型

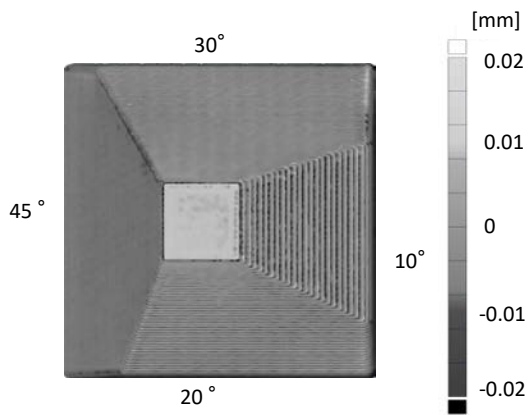


図5 造形した積層痕評価用模型の形状偏差 (No.A1)

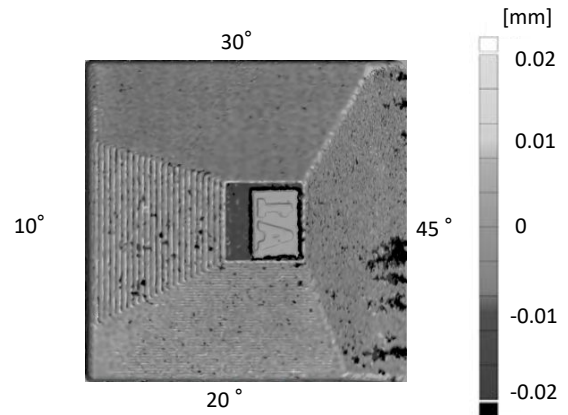


図7 造形した砂型の形状偏差 (No.A1)

3. 1 積層痕評価用樹脂模型

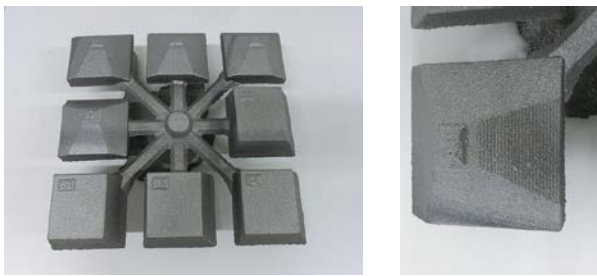
図3に造形した積層痕評価用模型の形状を示す。1つの模型で4つの斜面の状態が確認できる形状とした。模型Aでは、水平面に対して10°、20°、30°、45°となるように斜面を形成した。模型Bでは、60°、70°、80°、87°（抜け勾配を3°とした場合の最大角度）となるように斜面を形成した。表2に造形条件を示す。造形方式、積層ピッチ、材料が異なる4条件にて造形を行った。造形した模型を図4に示す。昨年度の結果と同様、積層ピッチが大きく斜面が緩やかであるほど造形の際に生じる積層痕が明確になる傾向があった。

また、造形した模型を非接触三次元形状測定機（GOM製、ATOS Compact Scan）で測定した後、形状評価ソフトウェア（GOM製、ATOS Professional）を使用して、測定データと設計データをベストフィットにて位置合わせを行い、偏差をグラデーションマップ表示する形状偏差評価を行った。図5に結果の一例として、No.A1の形状偏差の結果を示す。10°および20°の斜面では、色の変化が筋状に現れており、造形時の積層痕が確

認できた。30°の斜面でも明確ではないが部分的に積層痕が確認できた。また、No.A2の10°の斜面で積層痕が確認できたが、その他の模型、斜面では、明確な積層痕は確認できなかった。

3. 2 樹脂模型を使用した砂型造型

樹脂模型を使用して、本研究会の参加企業が、有機系炭酸ガス硬化法で砂型を作製した。試料番号がわかるようにラベリングした8種類の鋳造用模型を32cm角の型枠内に並べ、粘結材（樹脂）が含まれている砂にCO₂ガスを通気することで砂を固め造型した。砂は三河珪砂6号を使用した。造形した砂型の外観を図6に示す。砂型から模型を取り外す際に、積層痕による砂こぼれは確認されなかった。また、模型と同様に砂型も非接触三次元測定機で測定し、模型の反転データを設計データとして、傾斜面のみのベストフィットで位置合わせを行い、形状偏差評価を行った。図7に結果の一例として、No.A1の砂型の形状偏差を示す。10°の斜面では、樹脂模型の積層痕が転写されていることが確認できた。この他にNo.A2でも同様に10°の斜面で積層痕を確認できた。No.



(a)全体の外観 (b)No.A1 の拡大
図8 鋳造品の外観

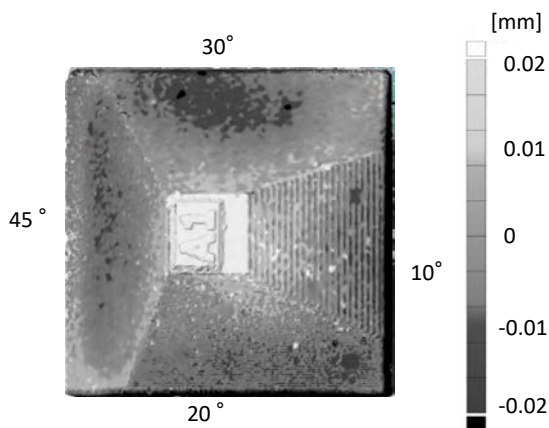


図9 鋳造品の形状偏差 (No.A1)

A1の20°の斜面でも積層痕の転写は認められたが、樹脂模型の積層痕と比較して不鮮明であった。45°の斜面の分割面に近い部分に偏差が大きくなっている領域があるが、砂を込める際の充填不良か型を外す際に生じた欠陥であると推察される。今回の砂型造型は手作業で行っているため、自動造型機で行う際にはこのような欠陥は軽減されると思われる。また、使用する砂の種類や造型方法によっては異なる結果となることが予想される。

3.3 試作した砂型を用いた鋳造

試作した砂型に湯口、湯道などを追加製作し、その砂型を使用して鋳造を行った。鋳造の材料には、ねずみ鋳鉄 (FC200) を使用した。図8に鋳造品の外観を示す。また、非接触三次元測定機で測定し、設計データと全体ベストフィットにより位置合わせを行い、形状偏差評価を行った。鋳造時の製品の収縮を1%と仮定して、樹脂模型の設計データを99/100倍したデータを鋳造品の設計データとして使用した。一例として、No.A1の鋳造品の結果を図9に示す。樹脂模型、砂型の場合に比較して斜面の一部分の偏差が大きくなった。No.A1、30°の斜面の平面度を求めると0.58であった。樹脂模型、砂型

の対応する面の平面度はそれぞれ0.24、0.25であり、鋳造品の平面度は悪化した。これは、注湯後の収縮の不均一性が原因であると考えられる。また、10°と20°の斜面で積層痕の転写が確認された。No.A2の10°の斜面でも積層痕を確認できたが、砂型の時のものより不鮮明であった。その他の模型、斜面には、積層痕は確認されなかった。

樹脂模型の作製で、積層ピッチが大きく、水平面に対する角度が小さい場合に、鋳造品まで積層痕が転写されるが、鋳造の工程上で問題となることはなく、木型代替として樹脂模型を十分活用できることがわかった。

4. まとめ

砂型3Dプリンタの造形限度を評価した。形状自体は造形できているが、砂からの取り出しの際や周囲の余分な砂の除去の際のわずかな力で崩れてしまうこともあった。また、小径の穴などに詰まった砂の除去は困難で、取り出し、砂の除去を考慮した設計が必要である。

木型代替として、樹脂3Dプリンタで製作した鋳造用模型の活用の可能性について検討した。使用する3Dプリンタの種類や形状によっては、鋳造品まで積層痕が転写されることが確認されたが、砂型造型から鋳造までの一連の工程で特に問題なく実施でき、樹脂3Dプリンタで造形した模型を木型代替として十分活用できることがわかった。これは既報³⁾と同様の結果であった。

【謝 辞】

本研究で使用した試料の一部は、公益財団法人JKAの補助事業で導入した三次元造形機(3Dプリンタ)で作製しました。

本研究を遂行するにあたり、砂型3Dプリンタの造形指導及びアドバイスをいただいた三重県工業研究所金属研究室の皆様へ深く感謝いたします。

砂型造型、鋳造を実施していただき、ご意見をいただいた鍋屋バイテック会社の皆様、株式会社マツバラの皆様へ深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 木村, 精密工学会誌, Vol.76, No.4, pp373-377, 2010
- 2) 久富ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告, No1, pp17-20, 2020
- 3) 金森ら, 三重県工業研究所研究報告, No40, pp61-66, 2016