

積層造形砂型の表面粗さと積層段差

金森陽一*, 伊藤恭祐*, 樋尾勝也*

Surface Roughness and Lamination Layer Step of Three-dimensional Printed Sand Molds

Yoichi KANAMORI, Kyosuke ITO and Katsuya HIO

Surface roughness and lamination layer step of binder jetting type three-dimensional printed sand molds were investigated. The maximum height roughness of three-dimensional printed sand molds is measured as approximately 360 μm . Lamination layer step of three-dimensional printed sand molds appear in angle of less than 20 degrees.

Keywords: Three-dimensional Printing, Sand Mold, Surface Roughness, Lamination Layer Step, Binder Jetting

1. はじめに

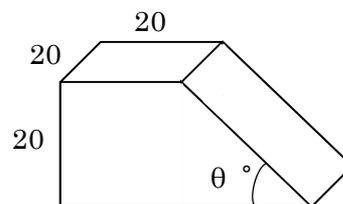
砂型積層造形は、電子データから直接砂型を作製することから、模型が不要、設計変更が容易、抜け勾配が不要などの優れた特徴を有する技術として注目されてきている¹⁾。しかし、砂型積層造形では、薄く敷き詰めた砂を積層して砂型が造形されるため、その砂型の特性は従来の砂型の特性と異なることが予想される。積層造形砂型の特性については、強度^{2,3)}、通気度^{2,4)}などが報告されている。しかし、砂型の表面粗さ、発生する積層段差については、レーザ焼結式積層造形砂型の表面粗さの研究⁵⁾が報告されているものの、最近主流となっているバインダージェット式砂型積層造形装置により作製された砂型の表面粗さ、積層段差に関する研究は見当たらない。

そこで本研究では、バインダージェット式砂型積層造形装置を用いて、傾斜部の角度を変えた砂型を作製し、砂型の平面の表面粗さと傾斜部における積層段差の発生状況を調べた。

2. 実験方法

2.1 砂型の作製

図1に作製した砂型の形状を示す。作製した砂型の形状は、傾斜部の角度 θ が5, 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25, 30°のくさび型(高さ:20 mm)とした。砂型の作製には、バインダージェット式砂型積層造形装置を用いた。表1に砂型の造形条件を示す。



θ : 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25, 30°

図1 作製した砂型の形状

表1 造形条件

| | |
|----------|--------------|
| 砂 | 人工砂 (AFS107) |
| バインダー % | フラン 2.0 % |
| 硬化剤 % | 0.3 % |
| 積層ピッチ mm | 0.28 mm |

* 金属研究室

2. 2 砂型の評価

砂型の表面粗さについては、レーザ顕微鏡により積層造形砂型の上部平面の最大高さ粗さ R_z を測定した。なお、積層造形砂型の最大高さ粗さ R_z については、ばらつきが大きいことから 5 点の平均により求めた。

図 2 に砂型傾斜部の影線間距離測定の概略図を示す。砂型の積層段差の発生状況については、光を右方向から照射した結果、光の当たる部位と影になった部位が明瞭に見分けられることに基づいて積層段差ありと判定した。積層段差ありと判定された場合、傾斜部の影線間距離 L を測定した。なお、影線間距離については、測定値と積層ピッチ P と傾斜部の角度 θ から求めた計算値 ($L=P\sin\theta$) の比較を行い、影線間距離が正確に測定されていることを検証した。

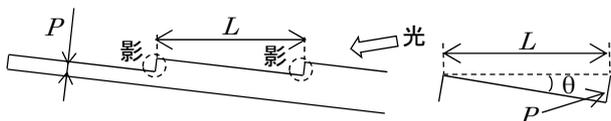


図 2 砂型傾斜部の影線間距離測定の概略図

3. 実験結果と考察

3. 1 砂型の表面粗さ

図 3 に、作製した砂型の上部平面の拡大写真を示す。図 3 から、積層造形砂型の表面では、深さ方向に、砂 2~3 個分程度の穴が複数見受けられる。この複数の穴は、リコート時の砂の低充填、砂の接着不良による欠損などにより発生したものと推察される。砂型積層造形では、砂を薄く敷き詰め、バインダーで必要な箇所の砂を接着させることから、砂を突き

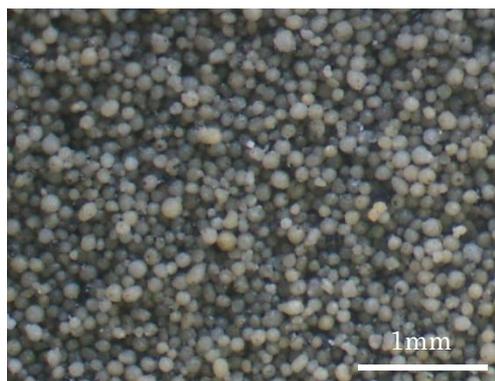


図 3 砂型の上部平面の拡大写真

固めて造形された従来の砂型に比べ凹凸が大きく表面が粗くなると考えられる。

積層造形砂型の上部平面の表面粗さを測定した結果、最大高さ粗さは $364 \mu\text{m}$ (標準偏差: $35 \mu\text{m}$) であった。図 3 の砂の大きさは約 $120 \mu\text{m}$ であることから、この最大高さ粗さは砂 3 個分に相当し、図 3 の写真で見受けられる複数の穴の深さと一致する。鹿取らによる砂粒子と鑄型粗さの関係 (生型, 粘土分 5%) を調べた研究⁹⁾によれば、砂の粒子の大きさが約 $120 \mu\text{m}$ における鑄型粗さは約 $100 \mu\text{m}$ であり、この鑄型粗さは積層造形砂型の最大高さ粗さの 1/3 以下で、積層造形砂型の表面が非常に粗いことがわかる。また逆に、鑄型粗さが約 $360 \mu\text{m}$ になる砂粒子の大きさは約 $400 \mu\text{m}$ と報告されており、積層造形砂型の表面粗さは約 $400 \mu\text{m}$ の砂で作製した砂型と同程度の表面粗さであると言える。

著者らは、積層造形砂型を用いて作製された鑄造品では、平面の最大高さ粗さが $130 \mu\text{m}$ 程度になることを明らかにした²⁾。この最大高さ粗さはおおよそ砂 1 個分に相当する。従って、積層造形砂型の表面に見受けられた砂 2~3 個分の穴は鑄造品に転写

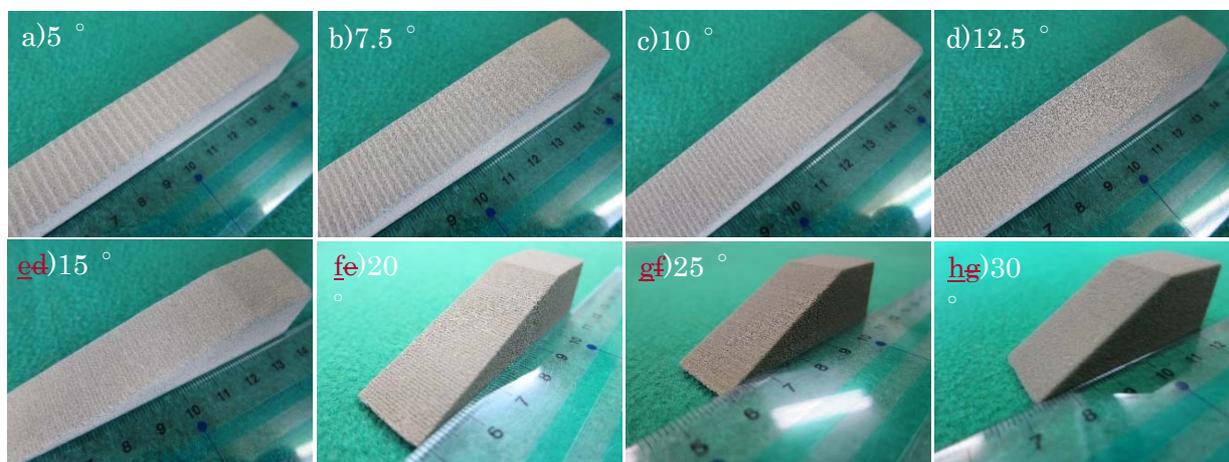


図 4 作製した砂型の外観写真

されず、鑄造により平面の表面粗さが大幅に改善されることがわかる。

3. 2 砂型の積層段差

図4に作製した砂型の外観写真を示す。積層造形砂型では、傾斜部の角度が最も小さい図4-a)の5°において、積層段差は明確に確認される。傾斜部の角度が図4-b)7.5°, c)10°, d)12.5°と大きくなるほど、積層段差の間隔は小さくなり、積層段差が確認しにくくなる。傾斜部の角度が15°以上では、積層段差が確認できないように見受けられる。

図5に、砂型傾斜部（傾斜部の角度が5°）の影線間距離の写真の一例を示す。光により影になる箇所は黒線の箇所、この黒線と黒線の間の距離が影線間距離（白線矢印）である。

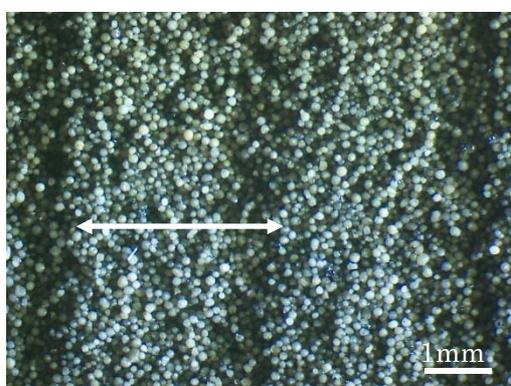


図5 砂型傾斜部の影線間距離の測定例

図6に砂型傾斜部の影線間距離の測定結果を示す。影線間距離は傾斜部の角度が5~20°の範囲で測定され、傾斜部の角度が最も小さい5°において、影線間距離は最も長く約3 mmであるが、傾斜部の角度が大きくなるほど影線間距離は短くなり、傾斜部の角度が20°の影線間距離は約1 mmであった。

一方、傾斜部の角度が25, 30°では、影線間距離

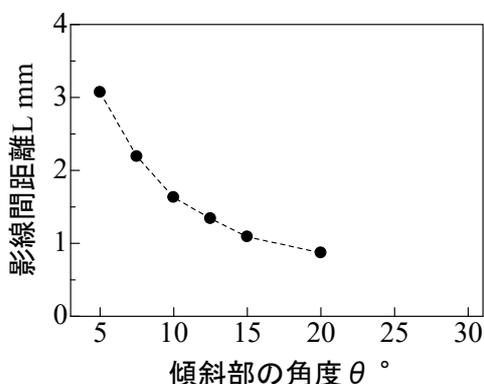


図6 砂型傾斜部の影線間距離の測定結果

は測定されなかった。傾斜部の角度が25, 30°の影線間距離の計算値は、それぞれ約0.66, 0.56 mmである。前述のとおり積層造形砂型の平面の最大高さ粗さは約360 μm であり、積層造形砂型の表面の凹凸は大きい。影線間距離の測定において、傾斜部の角度が25, 30°の影線間距離が測定されなかったのは、積層造形砂型の平面の凹凸により影線間距離が判別できなかったことによると推察される。

図7に、影線間距離の測定値と計算値をプロットした結果を示す。図7から、影線間距離の測定値と計算値はほぼ一致していることが確認できる。影線間距離の測定値と計算値について、対応のある2標本の母平均の差の検定を行ったところ、 $t(5) = 0.17$, $P(T \leq t) = 0.87$ であり、影線間距離の測定値と計算値の母平均の間に有意差がないことを確認した。以上の結果から、影線間距離が正確に測定されていると判断できる。図6, 7から、積層造形砂型の積層段差は傾斜部の角度が20°以下で明瞭に確認されることがわかった。

著者らは、積層造形砂型を用いて作製された鑄造品では、傾斜部の角度が約15°以下において、積層段差が明瞭に認められることを明らかにした²⁾。砂型と鑄造品の結果を比較すると、積層段差が明瞭に認められる傾斜部の角度は異なり、砂型では積層段差が明瞭に認められる傾斜部の角度：15~20°の範囲において、鑄造品では積層段差が明瞭に認められない。つまり、積層造形砂型の積層段差は鑄造品に完全に転写されず、鑄造により傾斜部の角度：15~20°の範囲の積層段差は改善される。

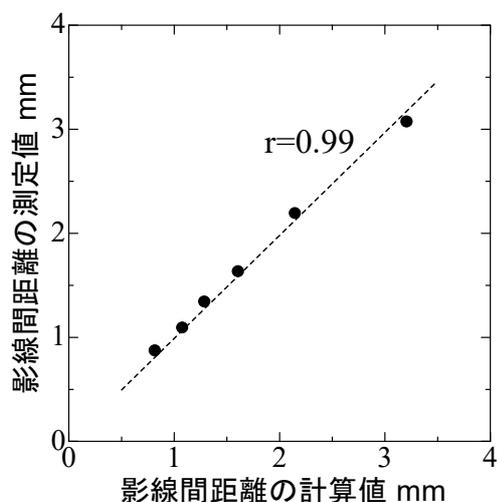


図7 影線間距離の測定値と計算値をプロットした結果

4. 結論

本研究では、バインダージェット式砂型積層造形装置を用いて、傾斜部の角度を変えた砂型を作製し、砂型の平面の表面粗さと傾斜部における積層段差の発生状況を調べた結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 積層造形砂型の上部平面の最大高さ粗さは約 360 μm であった。これはおおよそ砂 3 個分に相当する。
- 2) 積層造形砂型では、影線間距離の測定により積層段差の発生を確認できる。
- 3) 砂型傾斜部の積層段差は傾斜部の角度が 20°以下において、明瞭に確認される。積層造形砂型の積層段差は鋳造品に完全に転写されず、鋳造により傾斜部の角度：15～20°の範囲の積層段差は改善される。

参考文献

- 1) 岡根利光ほか：“3D プリンターの砂型造形への

適用による鋳造品の鋳造技術の高度化”。日本鋳造工学会, 90, p266-273 (2018)

- 2) 金森陽一ほか：“積層造形により作製した砂型の特性”。三重県工業研究所研究報告, 41, p95-111 (2017)
- 3) 富田祐輔ほか：“積層造形砂型の曲げ強度に及ぼすかさ密度及び接触点数の影響”。日本鋳造工学会, 91, p148-154(2019)
- 4) 戸羽篤也ほか：“3D 積層造形鋳型特性の定量評価法の開発”。日本鋳造工学会, 90, p292-297 (2018)
- 5) 前田見悟ほか：“レーザ焼結積層造形による中子を用いた鋳造物の表面粗さ”。日本鋳造工学会, 71, p709-715 (1999)
- 6) 鹿取一男ほか：“鋳肌の研究 第 13 報”。日本鋳造工学会, 23, p26-33 (1951)

(本研究は、法人県民税の超過課税を財源としています。)