

## 学位論文の要旨

ふ り が な 氏 名	かなもり よういち 金森 陽一	㊞
学位論文題目 積層造形砂型を活用した鋳造技術のための積層段差の形状解析と強度評価 (Stair-Step Shape Analysis and Strength Evaluation for Casting Technology Using Sand Molds Made by Additive Manufacturing)		
<p>本研究は、積層造形砂型を活用した鋳造技術に関するものである。鋳造品の生産量は素形材産業全体の約 6 割を占め、鋳造は素形材産業の主要産業となっている。特に、砂型を用いた鋳造品の生産量は鋳造品全体の 7 割以上を占める。従来の鋳造技術では、まず模型を製作し、次に模型を用いて砂型を造形する。その後砂型に注湯して製品を製造する。これに対し、本研究対象の積層造形砂型を活用した鋳造技術では、模型を製作せずに積層造形により電子データから直接砂型を造形する。その後は従来と同様にして、砂型に注湯して製品を製造する。このように、本技術では模型が不要であることから、試作開発期間の短縮が可能であるなどの特長を有する。一方で、本技術では 3 つの問題点、(1)積層段差、(2)砂型の強度、(3)人工砂の混入への対応が必要である。</p> <p>本研究では、これらの 3 つの問題点を解決し、本技術を砂のリサイクル性を考慮しつつ、高品質な砂型および鋳造品を安定して製造できる技術として確立する。</p> <p>第 1 章では模型を用いた砂型鋳造を俯瞰し、積層造形を用いて砂型を直接造形する技術を概観した。さらに積層造形砂型を活用した鋳造技術の特長および問題点を整理し、本研究の目的を述べた。</p> <p>第 2 章では、まず、砂型の積層段差エッジ部での微視的斜面形成のモデル化と巨視的斜面の角度 <math>\theta</math> によって積層段差が視認されにくくなるメカニズムの解明を試みた。積層段差エッジ部の形状を画像計測した結果、積層段差エッジ部での微視的斜面の形成に対して砂の脱落によるモデルを提案し、その形成された微視的斜面の角度 <math>\varphi_{\text{sand}}</math> の平均値が <math>36^\circ</math> 程度になることを明らかにした。また、積層段差視認可否のメカニズムに対しては水平面と微視的斜面を接続した折れ線のモデルを用いて、以下のように説明することができた。巨視的斜面の角度 <math>\theta</math> が大きくなるにしたがって微視的斜面に挟まれた水平面が狭くなり、<math>\theta</math> が <math>\varphi_{\text{sand}}</math> を超えると、水平面が消失し巨視的斜面が微視的斜面のみで構成されるようになるため、積層段差が視認されにくくなる。</p> <p>次に、積層段差を定量化した砂型の表面粗さ <math>R_{z\text{sand}}</math> と <math>\theta</math> の関係をモデル化した。このモデルを用いて、<math>\varphi_{\text{sand}}</math> の平均値から計算される <math>R_{z\text{sand}}</math> と、画像計測から得られる垂直方向の平面の <math>R_{z\text{sand}}</math> の大きい方が最終的な表面粗さを与えることを説明することができた。また、砂型の表面粗さのばらつく範囲は、概ね <math>\varphi_{\text{sand}}</math> の 95% 下方および上方予測限界から計算される <math>R_{z\text{sand}}</math> と、垂直方向の平面の <math>R_{z\text{sand}}</math> に囲まれた領域に相当することを明らかにした。</p> <p>第 3 章では、積層造形砂型を用いて鋳鉄鋳造品を作製し、鋳造品への積層段差の転写特性を調べた。まず、第 2 章と同様に鋳造品の積層段差エッジ部の形状を画像計測し、<math>\varphi_{\text{sand}}</math> が大きい微視的斜面ほど溶湯により砂が脱落し、脱落後の砂型の形状が鋳放し材に転写されることを明らかにした。この結果は、砂型から鋳造品への形状の転写特性を示している。</p>		

ふりがな 氏名	かなもり よういち 金森 陽一	㊟
------------	--------------------	---

次に、砂型と同様に、積層段差を定量化した鑄造品の表面粗さ  $R_{z\text{cast}}$  と  $\theta$  の関係をモデル化した。このモデルを用いて、鑄造品の微視的斜面の角度  $\varphi_{\text{cast}}$  の平均値から計算される  $R_{z\text{cast}}$  と、画像計測から得られる垂直方向の平面の  $R_{z\text{cast}}$  の大きい方が最終的な表面粗さを与えることを説明することができた。また、鑄造品の表面粗さのばらつく範囲は、概ね  $\varphi_{\text{cast}}$  の 95% 下方および上方予測限界から計算される  $R_{z\text{cast}}$  と、垂直方向の平面の  $R_{z\text{cast}}$  に囲まれた領域に相当することを明らかにした。

さらに第 2 章と第 3 章の結果から、積層段差に対する砂型の対策として、砂型を、巨視的斜面を含む部分と含まない部分に分割し、斜面を含む部分については、斜面を平面あるいは  $20^\circ$  程度に傾けた形で造形し、その後これらを組み合わせる方法を提案した。また、ショットブラスト処理も積層段差への対策として有効であった。

第 4 章では、積層造形砂型において複数の層(段差)により構成される影線間の距離から積層厚さを推定する方法(影線間距離計測法)を検討し、その有効性を評価した。その結果、影線間距離計測法は積層段差を容易に視認できることに加え、影線間距離を画像計測し、これと巨視的斜面の角度を用いて、簡易に積層厚さを推定できることを明らかにした。この方法を活用することにより積層造形装置の寸法精度の評価ができるようになった。

第 5 章では、バインダに液体、硬化剤に固体を用いた一液式積層造形装置で作製された積層造形砂型に対しても、富田らの二つの研究(曲げ強度と充填率の関係および曲げ強度とバインダ含有率の関係)が適用可能であることを明らかにした。さらに、乗法モデルを適用し砂型の曲げ強度と充填率、バインダ含有率について回帰分析を行い、充填率とバインダ含有率を説明変数として、目的変数の曲げ強度を説明することができる回帰式を導出した。これにより、砂型の重要な造形条件である充填率とバインダ含有率との対応で砂型の曲げ強度を予測することができ、注湯に際して、中子折れなどの砂型の破損を未然に防ぐ手立てを提供することが可能となった。

第 6 章では、再生砂中の人工砂混入率の新たな計測法(EDS 計測法)の確立を目的に、SEM-EDS による個数%の計測およびその計測誤差の定量化、さらには切断断面積から体積・質量への変換法を検討した。その結果、統計的な手法を用いて、EDS マッピング像から人工砂混入率を求める際の、砂粒の計測個数と人工砂混入率の計測精度の関係を明らかにした。これにより、再生砂に混入した人工砂について、必要な精度に応じて人工砂混入率の個数%を計測することが可能になった。また、EDS マッピング像から砂の体積を求めるために、砂粒を球に近似し、EDS マッピング像から切断円直径を求め、研磨深さとの対応で砂粒の正射影直径ひいては砂粒の体積を推定する方法を考案した。さらに、再生砂を模擬した砂として、けい砂と人工砂を組み合わせた種々の混合砂を作製し、これら混合砂の人工砂混入率を個数%および mass% で求め、上記方法の計測精度を検証した。その結果、EDS 計測法により人工砂混入率の個数%および mass% を精度良く計測できることを明らかにした。これにより再生砂を適切に管理する上で重要な人工砂混入率を把握できるようになった。

第 7 章では、本論文を総括し、各章で得られた知見をまとめた。