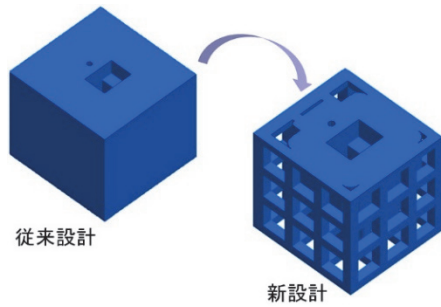


砂型積層造形を活用した最適鋳型構造設計技術

Optimum Mold Structure Design Technology Utilizing Sand Mold Laminated Molding



中塚 怜志*¹
Satoshi Nakatsuka

田実 洋一*²
Yoichi Tajitsu

康 进武*³
KANG Jinwu

砂型鋳物の材料特性は、鋳造時の冷却速度の影響を受けるが、従来は鋳型構造の制約から冷却速度が高められず、高強度化や大型・薄肉化に限界があった。一方、近年では積層造形技術の向上により、形状自由度の高い鋳型の造形が可能となってきている。そこで三菱重工業株式会社(以下、当社)は、同技術を活用して、従来得られなかった特性を得るための鋳型設計技術を開発した。本報では、開発技術の詳細及びその適用効果について述べる。

1. はじめに

近年、積層造形技術の向上により、鋳型形状の自由度が増加している。図1に積層造形技術による鋳型製造プロセスの概要を示す。まず、テーブルの上に鋳型材となる砂を1層敷き、硬化させたい場所のみバインダーを印刷する。次にテーブルを1層分下降させ、新しい砂の層を敷く。これを繰り返して砂の層を積層していく。積層完了後、造形体からバインダーを印刷していない砂を除去して完成となる。本プロセスにより、従来工法では困難であった形状の砂型を造形することができる。

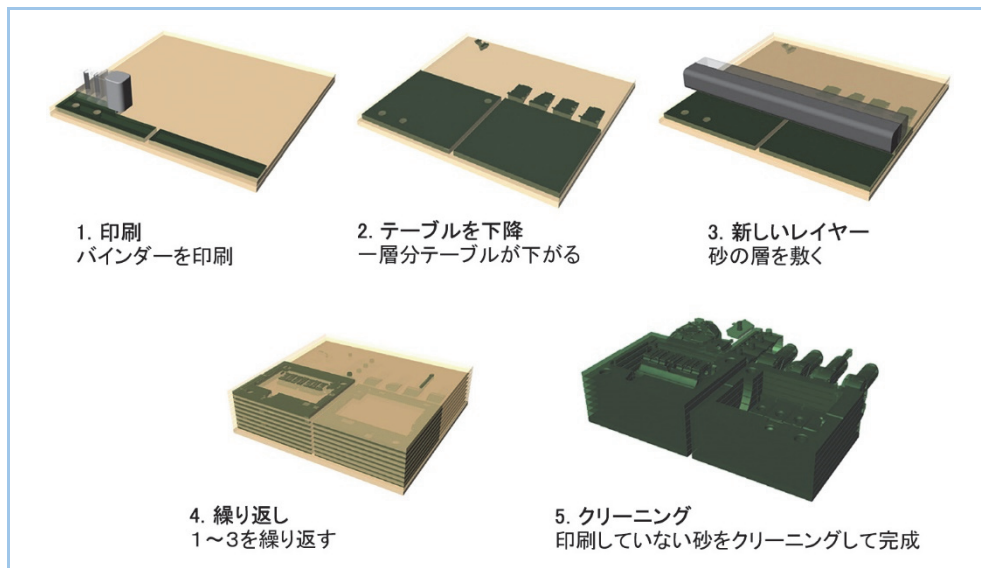


図1 砂型積層造形プロセス概要⁽¹⁾

本技術を活用し、鋳造欠陥の防止のみならず、鋳物形状に応じた最適形状の鋳型を製作することで鋳造時の冷却速度がコントロール可能となり、鋳物の高強度・薄肉化が実現できると考えら

*1 総合研究所 製造研究部

*2 総合研究所 製造研究部 主席研究員

*3 清華大学 材料学院 副教授

れるが、当社はそのための鋳型設計技術を有していなかった。また、積層造形技術は上述の特徴に加え、木型製作工程が不要となるので、リードタイムを大幅に短縮できる技術ではあるものの、単価の高い専用砂を要することもあり、十分な活用ができていなかった。

そこで、鋳型破損や鋳造欠陥を抑制しつつ、鋳物の冷却速度を向上するための鋳型設計技術を開発した。また鋳物の試作試験により、積層造形鋳型適用時の専用砂低減効果、及び鋳物の硬度向上の可能性を評価した。

2. 鋳型設計技術開発

当社は清華大学と共同で設計ツールとして FT-Hollow ソフトウェアを開発した。図2に鋳型設計のフローチャートを示す。まず製品形状に押湯や湯道等の方案部を加えた 3D 形状モデルを準備する。次に鋳物の材種と主要厚さを設定し、これに応じて、図3に示す鋳型厚さデータを参照し、鋳型形状の初期設計モデルが出力される。なお図3は、鋳物厚さと必要鋳型厚さの関係であり、鋳鉄とアルミ合金の例を示している。鋳物厚みに応じて変化する鋳型温度を解析にて求め、これにより変化する鋳型強度の実測値から必要な鋳型厚さが決定される。また、鋳物材種の比重や固相線温度も影響する。

出力された初期設計モデルに対して実際の鋳造条件を入力すると、静水圧や浮力、また伝熱解析結果から算出した鋳型残留強度を基に、鋳込み試験中の鋳型損傷有無を判定する。鋳型強度には図4に示すような温度依存性があり、高温ほど強度が下がる傾向にあるため、鋳込み試験中の温度変化を考慮して鋳型の強度評価を実施し、要すれば、鋳型強度を確保できるように鋳型厚さを大きくするなどの見直しを行う。本設計フローを繰り返すことで、鋳込み試験時に鋳型破損をさせない薄肉鋳型を設計することができる。

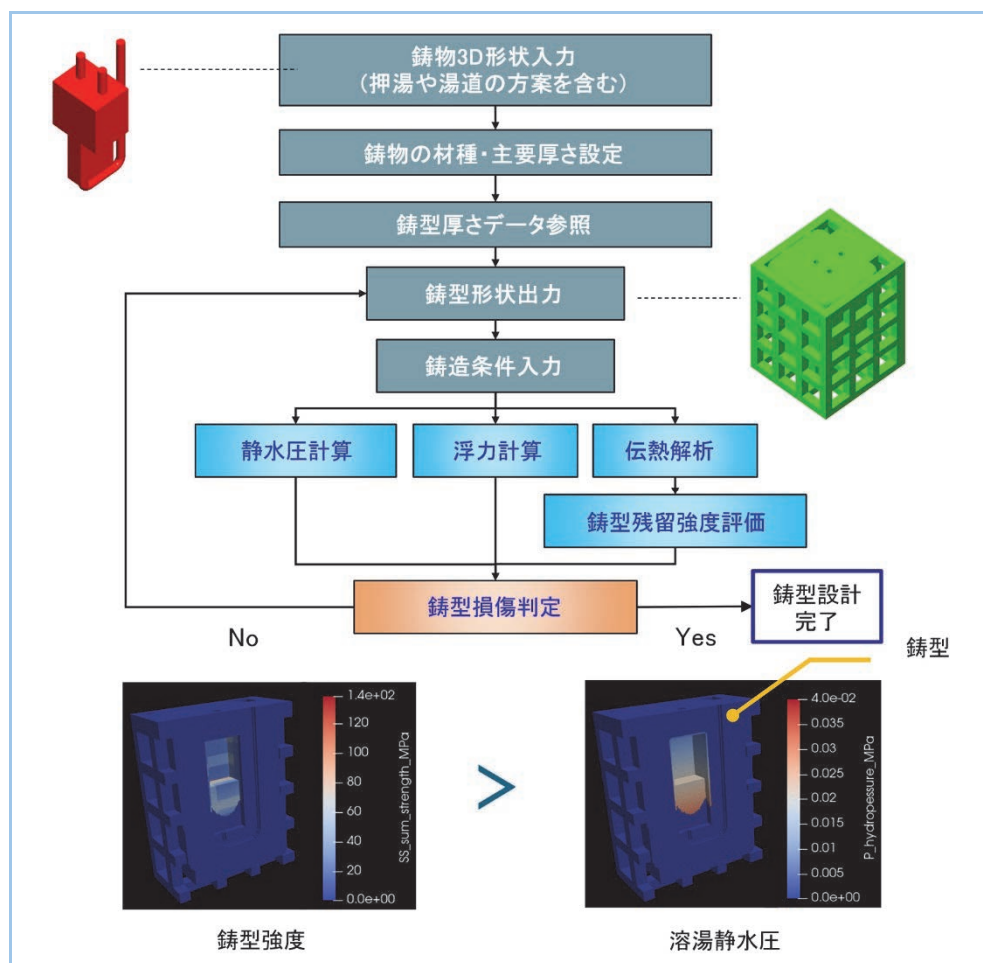


図2 鋳型設計フローチャート

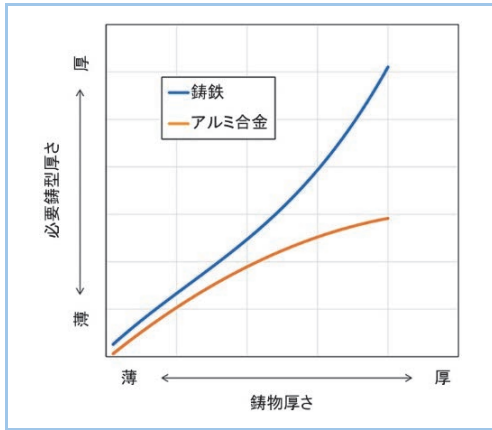


図3 鑄物厚さに応じた必要鑄型厚さ

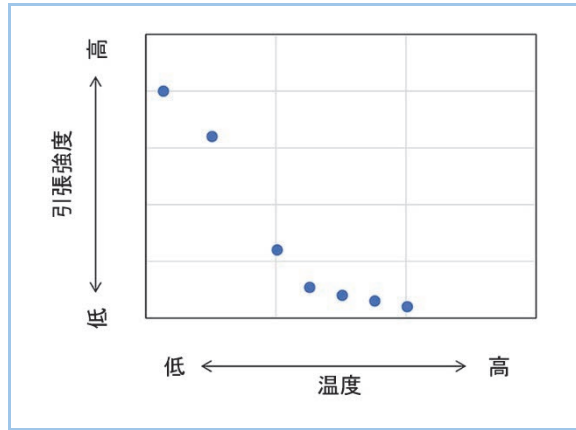


図4 鑄型強度の温度依存性

3. 積層砂型の試設計

設計フローの妥当性評価のため、単純形状の鑄物を対象として鑄型の試設計を行った。鑄物形状及び設計した鑄型形状を図5に示す。材種は球状黒鉛鑄鉄(FCD450)とした。

ブロック型は従来の鑄型形状である。2章のフローで設計した鑄型は格子型であり、強度上必要な箇所以外は砂をなくすことで、ブロック型よりも砂の使用量を減らすことができる。さらに後述する鑄造試験での比較検証のため、溶湯静水圧及び浮力に耐えられないと予測される過度な薄肉の格子型形状も出力した。

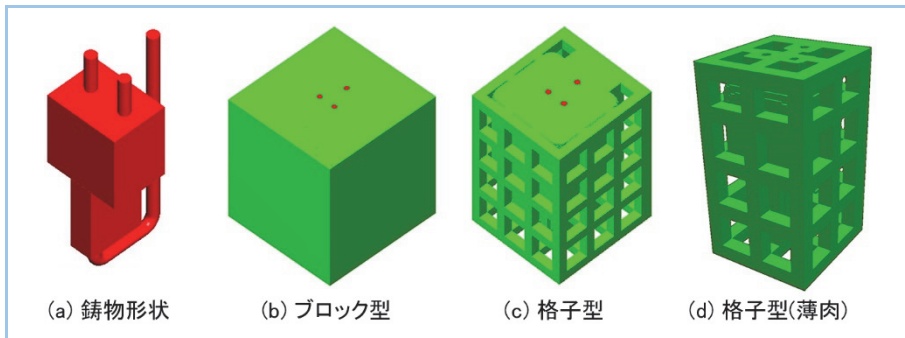


図5 試作用の鑄物・鑄型形状

設計した格子型の損傷評価結果を図6に示す。なお、鑄造解析ソフトにて格子型での伝熱解析を実施し、約 30 分で鑄物表面の多くが凝固することを確認し、同タイミングにおける損傷評価を行っている。最大静水圧部位に対し、鑄型残留強度値は高く、鑄型損傷が発生しない判定を得た。また、他の時間においても同様の評価を行ったが、いずれも静水圧及び浮力よりも残留鑄型強度が高くなっており、鑄型損傷が生じないことを確認した。

本フローにて設計した鑄型形状の砂使用量低減効果は表1に示す通りで、砂使用量を62%低減でき、鑄型材料費も同様に低減可能となる。

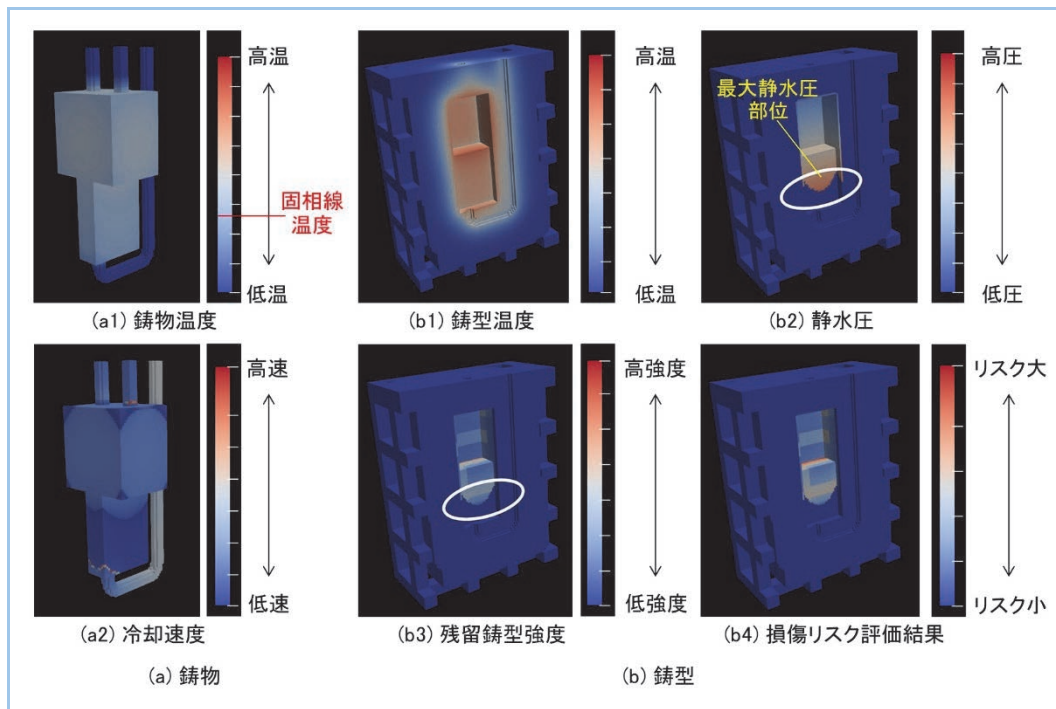


図6 鋳造試験中の鋳物・鋳型評価結果(鋳込み後、約30分経過)

表1 砂型重量と砂型重量低減率

鋳型の種類	砂型重量 (kg)	砂型重量低減率 (%)
ブロック型	665	0
格子型	251.6	62%
格子型(薄肉)	75.6	89%

4. 積層砂型での鋳造試験

出力された鋳型形状で実際に鋳造試験を行った。また鋳型の設計変更による冷却効果の違いを評価するため、それぞれの鋳型においてエアブローによる特定部位への強制冷却も実施した。材種は3章と同様に球状黒鉛鋳鉄(FCD450)とした。

鋳込み後の鋳型外観を図7に示す。ブロック型だけでなく、格子型も湯漏れなく鋳造可能であることを確認できた(鋳型上面の赤熱部は注湯時に揚がり部から溢れた溶湯である)。鋳物も狙い通りの形状が得られている。一方、過度な薄肉の格子型は充填直後の異常はなかったものの、注湯から10分以内に湯漏れが発生した。これは鋳型損傷評価から予測された事象であり、鋳型外表面の温度も高くなり、バインダーの消失によって残留鋳型強度が低下し、溶湯の静水圧に耐えられなかったものと考えられる。本結果より、出力された格子型は必要な鋳型強度を確保しつつ、砂型重量も低く抑えられた形状であるといえる。

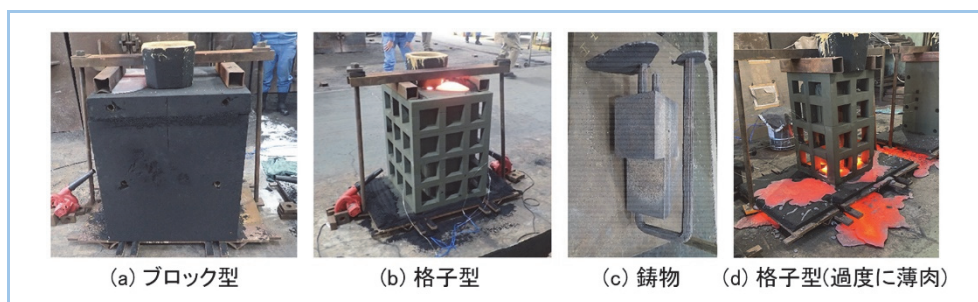


図7 鋳込み後の鋳型外観

またブロック型と格子型それぞれにおいて、強制冷却部位での鋳物表面硬さを図8に示す。ブロック型では強制冷却しても硬度向上は確認できなかったが、格子型では強制冷却により硬度が高くなる傾向があり、ブロック型と比較して6%向上していた。つまり、鋳型の薄肉化に加えて冷却速度を上げることで、鋳物の高強度化の可能性も確認できた。

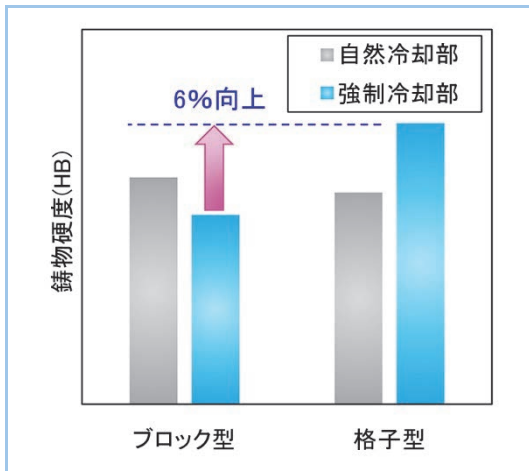


図8 強制冷却部の硬度評価結果

5. まとめ

鋳型損傷なく鋳込み可能な鋳型設計技術を開発し、積層造形技術にて造形を行って鋳物の高強度化に取り組んだ。鋳型形状を適切に薄肉、格子化することで高価な積層造形専用砂の使用量を62%低減でき、エアブロー等の外部冷却により鋳物強度が6%向上する結果を得た。今後、当社グループで取り扱っている小ロット複雑鋳物形状への本技術の適用を図る。

参考文献

- (1) ExOne 社提供資料