

粉末積層成形型による鑄鉄鑄物の迅速鑄造プロセス

戸羽 篤也, 稲野 浩行, 平野 繁樹

Rapid Casting Process Using 3D-printing Molds for Iron Castings.

Atsuya TOBA, Hiroyuki INANO, Shigeki HIRANO

抄 録

粉末積層成形技法によって製作した鑄型・中子を使用する迅速鑄造プロセスは模型や木型を必要とせず、従来の鑄造法に比べて型製作費用の低減、工期の短縮などの優位性が期待される。インクジェット式積層成形装置は装置価格、成形体の製造コストともに安価であるが、現行の粉末材料の耐熱性が低いため、アルミ合金などの低融点金属にしか適用できなかった。そこで、鑄鉄等の高融点金属材料の鑄造にも耐える高耐熱性粉末材料および成形用水性硬化剤の開発を行い、インクジェット式粉末成形技法による迅速鑄造プロセスへの適用可能性を評価した。

キーワード：迅速鑄造プロセス，粉末RP（3Dプリント），鑄鉄鑄物

Abstract

The rapid casting process using a molds and cores which made with 3D-Print molding without models and patterns is expected on superiority due to saving cost and time, in comparison with a conventional casting process. The ink-jet 3D-Printer is low price and running cost, but were able to apply it to only low melting point metal such as aluminum alloy because heat resistance of existing powder materials was low.

Therefore, we developed the high heat-resistant powder and the binder which are able to apply to casting of high melting point metal materials such as cast iron, and evaluated application possibility of a rapid casting process by ink-jet 3D-Print molding.

KEY-WORDS : Rapid Casting Process, 3D-Printing, Castings of Cast Iron.

1. はじめに

3次元形状データを利用して実立体を得る技法を総称してRP（「Rapid Prototyping」の略称）というが、成形材料に耐火粉末を用いる粉末積層成形法は、耐熱性の高い成形体を製作できることから、その成形体を金属鑄造用の鑄型・中子として利用する新たな鑄造法を提案できる。この鑄造法は、模型や木型を必要せずに鑄型を製作できるため、特に単品あるいは小ロット鑄物の生産において型製作費用削減や工期短縮などの優位性が期待できる。

筆者らはこの点に着目し、装置価格や運用コスト面で安価なインクジェット式粉末積層成形装置で製作した鑄型・中子を利用して鑄物を製造する迅速鑄造プロセスの実用化を目標に、関連する技術開発に取り組んだ。本報は、同技法による迅速鑄造プロセスの適用範囲を鑄鉄鑄物まで拡大するための高耐熱性粉末材料の試作を経て、さらに鑄型品質向上のために水性硬化剤に関する検討を進め、鑄鉄鑄物の製作試験において一定の成果を得たので報告する。

事業名：一般試験研究

課題名：迅速鑄造プロセスのための高機能粉末RP成形技術の開発（平成20～21年度）

2. これまでの経緯と得られた知見

粉末積層成形法の中で、インクジェット式粉末積層成形装置（以下「粉末RP装置」という）は、装置価格および保守経費が他の技法による装置に比較して安価であり、最も低廉な製作コストで成形体を得られる。3D-Printer（米国 Z社製）は、モックアップモデル製作用に開発、商品化されたインクジェット式成形技法（以下「粉末RP法」という）による粉末積層成形装置であるが、この装置のもう一つの用途として耐熱性の高い粉末材料を用いて鋳型を作製し、これにアルミ合金を鋳造するプロセスを提案している。

粉末RP法で鋳型・中子を製作し、これに直接熔融金属を鋳造できれば、模型や木型を要しない鋳造プロセスにより鋳物製作の工期短縮や型費削減等の優位性が見込める。当場では同装置を導入し、粉末RP法で鋳型・中子を製作して鋳造実験を行い、この鋳造プロセスの有効性を確かめた。^{1)~3)}

この鋳造試験の過程で、比較的融点の低いスズ合金およびアルミ合金等の鋳物を得ることができたが、融点の高い銅合金や鋳鉄ではガス欠陥等が頻発し、健全な鋳物を得るのが難しいことがわかった。その後の示差熱分析の結果、この粉末材料に配合された粘結材に石膏が多く含まれており、高融点金属の溶湯を鋳込むと1,200℃付近で石膏が熱分解して大量のガスが発生し、これが銅合金鋳物や鋳鉄品の鋳造で鋳造欠陥の原因となることが判明した。^{4)~5)}

そこで、この技法の適用範囲を鋳鉄等の高融点金属材料に拡大するため、耐熱性の高い粉末材料の開発に取り組んだ。粉末RP法で使用する粉末材料は、耐熱性砂粒骨材に水硬性粘結材を配合したものである。したがって、耐熱性を向上させるには石膏を主成分とする水硬性粘結材に代わる高耐熱性粘結材を選定しなければならない。その可能性としてセメント系の材料を調査し、一般のセメントよりも速く硬化する速硬性セメントを配合した粉末RP用粉末材料を試作した。

主骨材の粒度構成や主骨材と粘結材の配合比を変えながら成形性や成形体強度等を試験した結果、主骨材にオリビン砂

を用い、これに速硬性セメント（太平洋セメント製 スーパージェットセメント）を重量比で3割程度配合した粉末材料で製作した成形体は鋳型として扱うのに耐える強度が得られ、その示差熱分析においても1,200℃で重量減が1%程度に抑えられた。この粉末で製作した鋳型に鋳鉄を鋳込んだところガス欠陥のない鋳物を得られたことにより、本技法の適用範囲を鋳鉄水準まで拡大した。^{6)~7)}

この鋳造試験によって粉末材料の耐熱性を検証したが、一方で成形体の寸法精度や通気性などの課題を残しており、引き続き粉末材料の改良、あるいはこの粉末材料に適する水性硬化剤の開発、さらにこの材料で製作した鋳物の品質評価などの課題解決を図る必要がある。

3. 骨材粒形と粉末材料の充填性

3.1 試験方法

前報⁶⁾で、成形体のかさ密度が高いと成形体強度も高くなる傾向があることを報告した。成形体のかさ密度は粉末材料の粒度構成のほか、骨材の粒形の影響も受ける可能性がある。そこで、粉末素材の形状がかさ密度に及ぼす影響を確認するため、従来の粉末材料に加えて真球に近い形状を有する人工砂を主骨材とした試料も用意し、それらの充填性を試験した。

試験方法は、内径約φ23mm、高さ約18mmの容器に粉末試料を入れ、振動を加えて充填した時の試料の重量を計測してかさ密度を計算した。加振方法は、1分間に200回程度の頻度で容器の底部を床に軽く衝突させて行い、加振時間を数秒～60秒間の範囲で変化させて試験を行った。また、人工砂にはルナモス（カオクェーカー製）130号を使用した。図1にその外観を示す。

3.2 試験結果および考察

図2に粉末試料の粒度構成の違いによる充填かさ密度との関係を示し、図3に充填時の加振時間を変えたときの粉末試料の充填かさ密度の変化を示す。

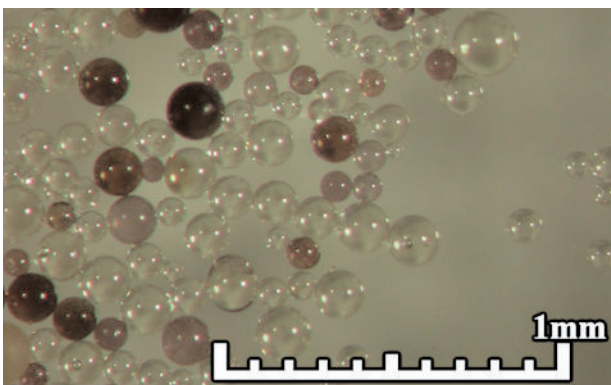


図1 人工砂の外観観察写真
(ルナモス #130)

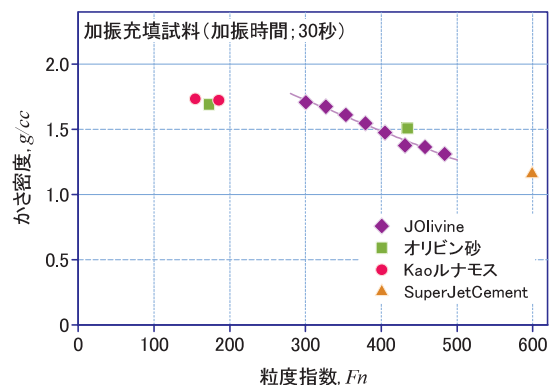


図2 粉末材料の充填かさ密度

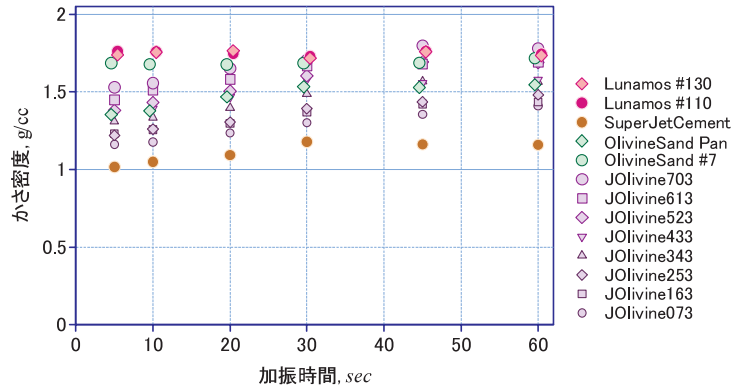


図3 加振時間と充填密度の変化

図2は充填条件を30秒間加振としたときの結果であるが、オリビン砂の粒度構成を変えた試料（JOLivine）は、粒度指数が大きくなるにしたって充填かさ密度が小さくなる傾向を示した。粒度指数が大きくなるにしたがって骨材の粒度構成中の粗粒の割合が減り、微粉の多い粒度構成になる。粒径の分布範囲が狭くなると、砂粒どうしの隙間を埋めにくくなるため全体として空隙率が高まって充填密度を低下させる。

これに対して、人工砂は微粉成分を含まない粒径の揃った素材であるが、充填密度が高い水準にある。図3に示す結果でも、オリビン砂を主骨材とする粉末材料は加振時間を長くするにつれて充填かさ密度が高くなる傾向が認められるが、人工砂を使った試料は充填後すぐに最大かさ密度に近い値を示し、その後の振動を加えても充填かさ密度の値はあまり変化しない。これは、人工砂の粒形が真球に近い形状なので粉末材料の流動性が良く、積層成形においても高い充填性と成形体強度の向上が期待できることを示唆している。

しかしながら、これまでに行った試験に限って言えば、人工砂を配合した粉末材料で成形した試験片の強度計測で有意差のある結果が得られていない。粒径分布が広く不定形粒形のオリビン砂と、粒径が揃った真球形状の人工砂とでは、成形体強度の発現メカニズムが異なる可能性もあることから、今後の検討課題としたい。

4. 水性硬化剤の特性に及ぼす溶質配合の影響

4.1 水性硬化剤の溶質成分

粉末RP法で成形体の特性を決定する要素は粉末材料と水性硬化剤の二つである。これまでには主に粉末材料に関する諸因子と成形体特性の関係について試験を実施したが、もう一方の水性硬化剤についても検討を加える必要がある。

粉末材料に配合される水硬性粘結材は水分を加えれば硬化する。したがって、粉末RP成形法においてインクジェットノズルから噴出させる液体は水だけでもよいように思われるが、一般のインクジェットプリンタ用インクには水性インクの粘度を調節するための溶質成分が添加されている。これは

ノズルからインクを噴出する際の吐出量の制御性に寄与していると考えられる。

水性硬化剤は、粉末材料に配合された水硬性粘結材に水分を与えて硬化させるのが主目的であるが、これに添加される溶質成分がインクジェット式プリンタの場合と同様にインクジェットノズルから噴出される際の吐出量の制御性に加えて、成形体の成形性や強度にも影響を及ぼすことも考えられる。

以下、水性硬化剤に配合する溶質成分濃度と水溶液特性および粉末成形性への影響について試験した結果を報告する。

4.2 水性硬化剤の浸透性試験

4.2.1 試験方法

水性硬化剤が成形体の成形性に影響を与えるメカニズムの一つに粉末材料への浸透が考えられる。水性硬化剤が粉末材料に過度に浸透すると、本来は硬化させたくない部位にまで水分が浸透し、意図した形状の成形体を得られなくなる。逆に、浸透量が少なければ積層間の結合力が弱くなり、成形体強度を著しく低下させる。したがって、粉末材料に水性硬化剤が適度に浸透するように水溶液の粘度を調節する必要があると考えられる。

そこで、水性硬化剤に添加する粘度調整剤の濃度の粉末材料への浸透度への影響を検証するための試験を行った。

粘度調整剤には、インクジェットプリンタ用インクなどにも配合されているポリビニルピロリドン（以下「PVP」という）を使用し、蒸留水に0%、1.5wt%、3.0wt%なるようにPVPを溶解した3水準濃度の水溶液を用意した。粉末材料はオリビン砂を主骨材として粒度構成を変えた試料を用意し、これをシャーレ皿に投入して表面を水平かつ滑らかに敷き詰めた。参考のため、装置メーカー供給の標準粉末材料（ZCast501）も試験に供した。

試験は、マイクロピペットを用いて粉末試料の表面に溶質濃度の異なる水性硬化剤を10 μ lだけ滴下し、水性硬化剤が水平方向に浸透拡散した範囲の半径を画像処理法で計測し、これを「浸透拡散半径」として粉末材料への水性硬化剤の浸透度を評価した。

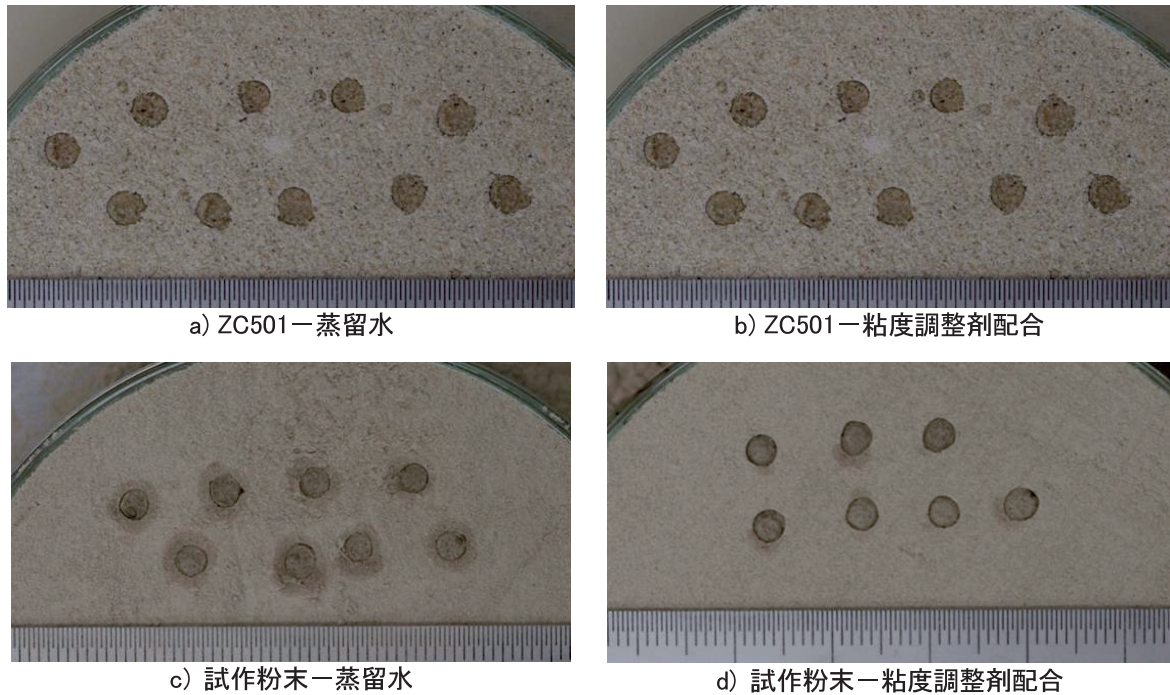


図4 水性硬化剤の粉末への浸透試験結果

4.2.2 試験結果および考察

浸透試験を行った際の試料の例を図4に示す。図4-a)と図4-b)は装置メーカー供給の粉末材料(ZCast501)を用いたもので、図4-c)、図4-d)は比較粒度指数の大きい(=比較的細かい粒径の成分を多く含む)試作粉末材料を用いた試験例である。さらに、図4-a)、図4-c)は溶質成分を含まない蒸留水のみを滴下したものであり、図4-b)、図4-d)は溶質濃度1.5wt%の水溶液を滴下したものである。

粉末材料にZCast501を使用した試験では水溶液の浸透が小さかった。一方、試作粉末材料を用いた試験では、蒸留水のみを滴下した場合には広い範囲に蒸留水が浸透し、水性硬化剤に粘度調整剤を添加した場合にはその浸透を抑える効果が確かめられた。

これら試験結果を図5にまとめた。粉末材料にZCast501を用いた試験において、0~3wt%の水溶液濃度範囲では浸透拡散半径は2mm程度とあまり変化せず、安定した成形性が確保できていることがわかった。この理由として、ZCast501粉末では水溶液の浸透を抑えるメカニズムを水性硬化剤の粘度調整のみに依存するのではなく、粉末材料にも水溶液の浸透を抑えるための添加剤が配合されているものとする。

オリビン砂を主骨材とした粉末材料を用いて行った試験では、粒度指数の小さい試料ではいずれの濃度の水溶液についても滴下後の浸透が見られ、粒度指数が大きくなるにつれて粘度調整剤を配合した水溶液の浸透拡散半径が小さくなる傾向が認められた。一方、蒸留水のみを滴下した試験では、逆に粒度指数の増加に伴って浸透拡散半径も大きくなる傾向が見られた。

粒度指数の小さな粉末材料において浸透拡散が広がった理

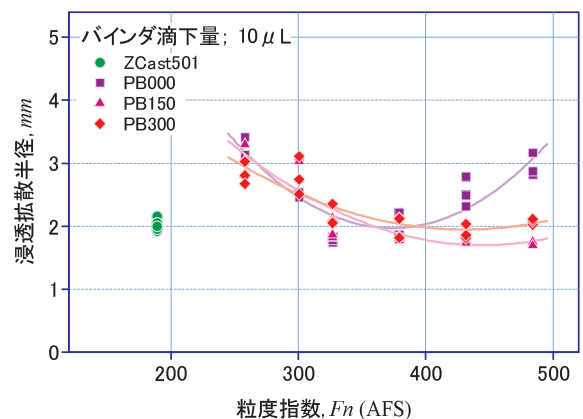


図5 水性硬化剤の粉末への浸透試験結果

由としては、骨材粒径に粗粒と微細粒が混在すると粗粒間の空隙を微粉が埋めるので粉末材料内部の空隙率が小さくなることから、毛細管現象等により水溶液が浸透拡散しやすい状況であったことが考えられる。

粒度指数が大きくなるにつれて、粉末の粒度構成は微粉成分に偏り、粒度構成範囲が狭まって空隙率が増加する。その空隙を水溶液が浸透拡散していくには水溶液の粘度の影響が及ぶため、粘度調整剤を含む水溶液の浸透拡散が抑えられたのではないかと考察する。粒度指数の大きい粉末材料に蒸留水のみを滴下した場合に大きな浸透拡散を示していることについては、前述の考察の趣旨で傾向としては説明できるものの、その浸透拡散半径の大きさについては、たとえば粉末骨材表面との濡れ性など、別の要因も相乗効果として働いている可能性がある。

いずれにしても、粉末の粒度構成と水性硬化剤の粘度が浸透度について一定の関係性を持つことを確認できた。特に、粒径の細かな成分を多く含む粉末材料の場合には水性硬化剤に粘度調整剤を含むことで成形体の成形性に顕著な効果があることを確かめた。

4.3 水性硬化剤の粘度試験

4.3.1 試験方法

水性硬化剤に粘度調整剤を配合する効果を検証したことを踏まえ、水性硬化剤に添加する溶質の濃度と水溶液の粘度の関係について調べる試験を行った。また、参考として無機自硬性鋳型などに用いられている水ガラスを配合した水溶液も用意した。

水溶液試料は、蒸留水にPVPを重量比で0%から3.0wt%まで0.5wt%刻みで7種類用意した。また、水ガラス（珪酸ソーダ； $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ）の水溶液は、VRH鋳型製作等で使用される CO_2 ガス型用バインダー用の水ガラス（モル比=2.4）を用い、濃度を溶媒容積に対して配合する水ガラスの容積から容積比で5 vol%, 10vol%, 15vol%, 20vol%の4つの水溶液試料を用意した。ただし、水ガラスの濃度については、試験結果の比較の観点から、上記容積比で配合した濃度を水溶液の比重量（g/cc）に換算して標記する方法も併用した。

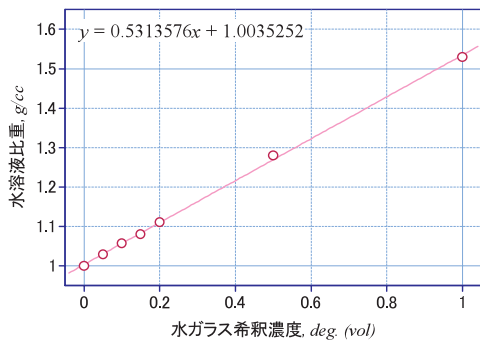


図6 水ガラスの希釈比率と水ガラス水溶液の比重量の関係



図7 振動式液粘度計測装置

図6に、水ガラスの希釈濃度と水溶液の比重の関係を示す。水ガラスの希釈率（希釈濃度）は、市販の水ガラスの原液を1とし、これを何倍の容積の水で薄めたかを示す指標として用いた。

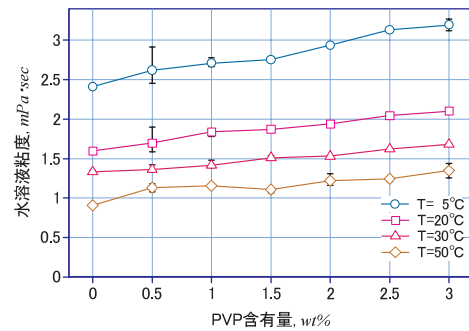
図6に示す通り、水ガラスを混入させない蒸留水の比重は1.00g/ccであり、水ガラス原液の比重はおよそ1.53g/ccであった。また、水ガラスの原液を同容積の蒸留水で薄めた水溶液の比重はおよそ1.28g/cc、約5倍に薄めた水溶液の比重は1.11g/ccであった。

粘度の測定は、図7に示す振動式の粘度計測計（㈱エー・アンド・ディ製 CJV5000型）を用いて計測した。水溶液試料の粘度は温度の影響も受けるため、加熱冷却によって水溶液試料の温度を変化させて所定の温度になった水溶液を採取して粘度を計測した。

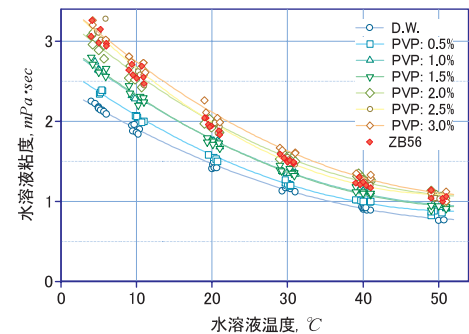
4.3.2 試験結果および考察

図8にPVPを粘度調整剤として配合した水溶液の濃度および温度と水溶液粘度との関係を示す。図8-a)に示す水溶液の溶質濃度と粘度の関係では、いずれの水溶液温度でもPVP濃度が増えるにつれて水溶液粘度が増加する傾向が認められるが、その変化は緩やかである。

図8-b)に示す水溶液の温度と粘度の関係は、いずれの水溶液濃度についても水溶液の温度が上昇するにつれて粘度が低下する傾向が見られる。粘性の変化という視点では、水溶液温度の方が支配的である。

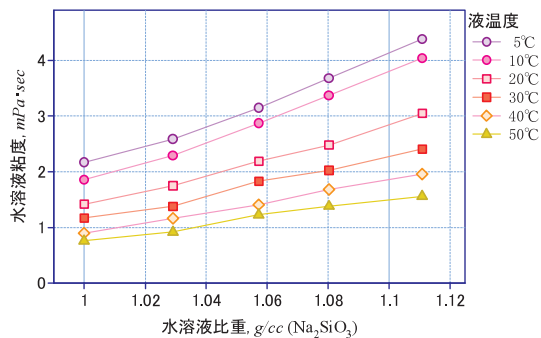


a) PVP含有量と粘度の関係

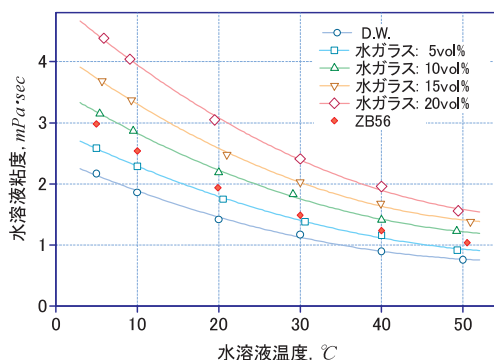


b) 水溶液温度と粘度の関係

図8 PVP配合水溶液の粘度試験結果



a) 水ガラス含有量と粘度の関係



b) 水溶液温度と粘度の関係

図9 水ガラス配合水溶液の粘度試験結果

一方、図9に水ガラスを粘度調整剤として配合した水溶液の濃度および温度と水溶液粘度に関する試験結果を示す。図9-a)には水溶液の溶質濃度を比重で示しているが、水溶液比重と粘度の関係について、いずれの水溶液温度でも比重が増えるにつれて水溶液粘度が増加する傾向が認められる。図8の結果と比較してこちらの変化の割合が大きいように見えるが、PVPを3%含有する水溶液の比重を1.03g/ccと推定すると、変化の緩やかさに大きな差は認められない。

図9-b)に示す水溶液温度と粘度の関係は、いずれの水溶液濃度についても水溶液の温度が上昇するにつれて粘度が低下する傾向が見られる。

実験結果から、粘度調整剤として選定したPVPと水ガラスの添加による差異について考察する。図8-b)と図9-b)とを比較すると、水溶液の温度が50°Cの付近でPVPは含有量0%~3wt%の範囲で約0.75~1.2mPa・sec、水ガラスでは0%~20vol%の希釈率の範囲で0.8~1.6mPa・secの粘度変化が得られている。PVPと水ガラスの試料供給形態が異なるため、PVPは重量比、水ガラスは容積比で濃度を設定したが、これでは単純に比較できないのでPVPの方も比重に換算してみると、PVPを3wt%溶解した水溶液の比重は、約1.03g/ccと推定して、これに相当する水ガラスの希釈率は図6のグラフから20倍(5vol%)程度となる。

図8-b)より3wt%PVP水溶液の温度5°C~50°Cにおける

粘度変化が1.3~3.2mPa・secであるのに対して、図9-b)から比重1.03g/ccに相当する水溶液の温度5°C~50°Cにおける粘度変化は0.95~2.55mPa・secと読み取れる。すなわち、同じ比重の水溶液を作った場合に、PVPの粘度制御範囲は1.9mPa・secであるのに対して水ガラスでは1.5mPa・secとやや狭く、さらに制御範囲もPVPの方が水ガラスよりもやや高い水準となる。

溶質成分の含有量の変化に伴う水溶液粘度の変化が大きいということは、制御可能範囲が広がることを意味するが、反面、粘度の濃度感受性が高いということになり濃度の変化が粘度の変化に大きく影響することは安定した製品の供給面からは好ましくない面もあるので注意が必要である。

4.4 水性硬化剤の吐出量に及ぼす溶質濃度の影響

4.4.1 試験方法

水硬性粘結材として配合したセメントには硬化反応を完了するために必要な水量に基準があり、一般的には重量比でセメント1に対して水0.4~0.6とされている。セメントの比重が3程度であることを考えると、十分な強度を得るためのセメントと水の混合比は、体積比でセメントの容積よりも2割~8割多い容積の水が必要ということになる。

粉末RP法では、セメントを含む粉末材料に対してインクジェットノズルを介して水性硬化剤を噴出させるが、このときの吐出量はどの程度なのか把握しておく必要がある。そこで、粉末積層成形装置のインクジェットノズルから吐出される水性硬化剤の容量を調べるために、水性硬化剤の濃度および粘度と吐出量の関係を調べる試験を行った。

水性硬化剤の吐出容量の計測は、現行の粉末RP装置を用いて1層分の断面描画をさせたときにノズルヘッドから吐出される水性硬化剤の重量を計測し、比重を勘案して描画単位面積あたりの水性硬化剤吐出量の容量を推定した。

試験方法は、粉末積層成形装置の成形槽を適当な高さまで上昇させて、その上に予め重量を計測したろ紙を静置し、これに合わせて予め用意した断面形状を1層分だけ描画させて装置の動作を停止し、素早くろ紙を取り出して精密天秤で重量を計測し、描画前に計測したろ紙の重量を差し引いて水性硬化剤の吐出重量を計測した。

試験に使用したろ紙は直径120mmの円形のもので、これに直径φ80mmの円形(面積=約50cm²)の断面形状を描画させた。

4.4.2 試験結果および考察

水性硬化剤の吐出量の計測試験の結果を図10に示す。試験に供したノズルヘッドカートリッジは、成形装置の使用頻度を考慮し、新品のものと少し使用した後のものを使用してその吐出量を試験した。

新品のインクカートリッジを使用した試験では、溶質成分

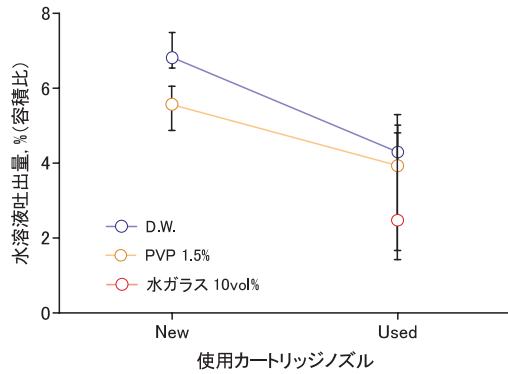


図10 水性硬化剤吐出量計測試験の結果

を含まない蒸留水で0.8~0.9 mg/cm², PVPを1.5wt%含有する水溶液で0.6~0.7mg/cm²であった。水ガラスを10vol%含有する水溶液で行った試験は、ノズルが詰まったため吐出量の計測ができなかった。

粉末RP装置の成形厚さを1層あたり0.125mmに設定するので、10mmの成形体厚さを得るには80層の積層が必要になる。すなわち、上記試験結果から、粉末RP装置で1ccの立方体を成形するのに吐出される水性硬化剤の量は、蒸留水で64~72mg/cc, 1.5wt% PVP水溶液で47~56mg/cc, さらに容積比に換算すると、蒸留水で6.4~7.2vol%, 1.5wt% PVP水溶液で4.9~6.1vol%と算出される。

一方、使用済みカートリッジで試験した結果では、同様に蒸留水で4.0~5.1vol%, 1.5wt% PVP水溶液で3.7~5.3vol%と算出され、新品を使用した場合よりも少なくなる。

前項で触れたように、セメントの硬化に必要な水量が容積比で120~180vol%という水準から比較すると極めて少ない水量であることがわかった。

5. 鑄鉄鑄物の製造試験

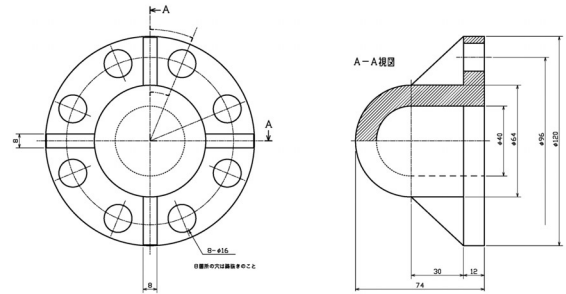
粉末材料および水性硬化剤について、それぞれの最適な配合に関する知見を得たので、これらを用いて製作した鑄型を用いて鑄造試験を行い、製作した鑄物の品質からその耐熱性を検証した。

鑄造試験に供する鑄物試験片は、粉末材料および水性硬化剤を用いて製作した鑄型の耐熱性を検証するため、図12に示す半球状の容器部を持つことを特徴とする形状を選定した。

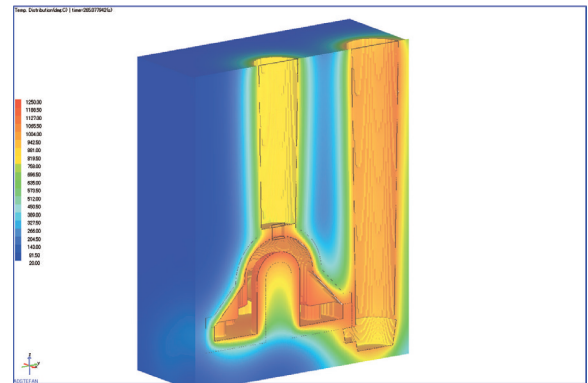
図11-a)の右側に示す横断面図を見てわかるように、半球部内側は、溶湯の熱を放出する経路が閉塞状態となり、この部位の鑄型温度は外側に比べて上がりやすくなる。

このことを鑄造シミュレーションシステムで数値解析を行って検証した。その結果を図11-b)に示す。図は、鑄造後の鑄型温度を表示したものであるが、半球部の外側で鑄型が高温になる層の厚さに比較して内部の方がかなり深い位置まで高温になることがわかる。すなわち、この試料モデルで鑄物試

験片を製作したとき、熱的に厳しい条件となる内側の鑄物表面に欠陥が生じなければ、鑄型の耐熱性が十分であることが検証されることになる。



a) 鑄造試験片の形状図



b) 鑄造解析による鑄型過熱温度の推定

図11 鑄造試験に供する試験片鑄物形状の選定

図12はインクジェット式粉末積層装置に試作した粉末材料と水性硬化剤を投入して鑄型を成形している様子、図13は製作した鑄型の写真である。

これらの鑄型を用いて鑄造を行った。これら2つの鑄型を組み合わせ、シール剤で張り合わせた後、生型砂でバックアップするとともに、湯口、湯道、セキ、揚がり等を設け、鑄型を完成させた。

鑄造する材質はFCD鑄鉄とし、80kW高周波誘導炉で元湯(化学組成; 3.8%C, 1.8%Si)を溶解し、約1,450℃で取鍋に出湯し、置き注ぎ法により黒鉛球状化処理を行い、約1,350℃で鑄型に鑄込んだ。

しばらく冷却した後、型ばらしを行って鑄物を取り出し、サンドブラスト処理にて表面の鑄型砂等を取り去ってその外観を観察した。図14に鑄造試験で製作した鑄物の外観写真を示す。また、図15に鑄物製品部分の外側表面と、高温に曝されたことが推定される内側表面の状態を示す。いずれも、鑄鉄鑄物の鑄肌状態としてはブローホール等の鑄造欠陥が見られず、ほぼ健全な鑄物が得られた。製品中央内部の状態も、外側とほとんど変わらない鑄肌品質を有しており、鑄型の耐熱性の観点においてこの技法は実用の水準に達していると判断できる。



図12 試作粉末JOLivine613による積層成形試験



図13 粉末積層成形技法で成形した試験用鋳型

外観上の課題として、4方向に配置したリブやその配置近傍の角部（スミ肉部も含む）の形状に丸みを帯びている状況や、上下型合わせ部分にバリの発生が確認された。これらは、粉末積層成形体の寸法精度と表面安定度の更なる品質向上によって課題解決が図られるものと考えている。また、成形体品質のばらつきについては粘結材として配合する速硬性セメントの品質管理が重要であることも判明しており、今後は主骨材に人工砂を配合することや、水硬性粘結材の選択肢を拡大して最適な配合を見出すことで粉末材料の改良を進めるなど、本技法の実用化に向けて技術開発を進めていきたい。



図14 試験用鋳型で铸造した鋳鉄鋳物の外観
(材質：FCD450相当品)

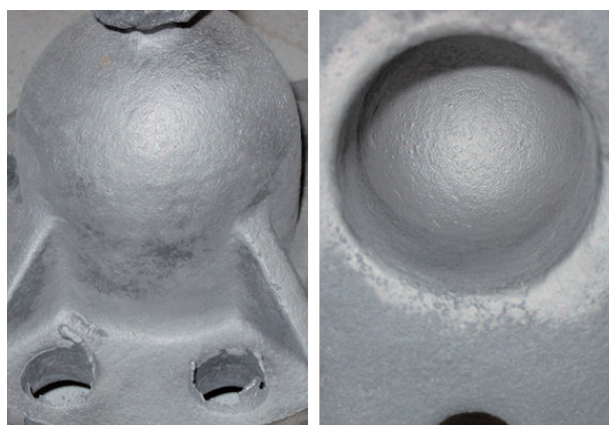


図15 铸造試験で得られた鋳物製品の鋳肌の状態

6. まとめ

インクジェット式粉末積層技法によって鋳型・中子を製作し、これに直接溶湯金属を铸造する迅速铸造プロセスの実用化に向けた取り組みとして、前報に引き続き人工砂の利用による成形体強度の向上および水性硬化剤の溶質成分が及ぼす立体成形性への影響に関する基礎データを蓄積した。また、開発した粉末材料と水性硬化剤は、鋳鉄鋳物の製造に適用できることを確認した。

今後は、さらに成形体品質向上のための技術開発に取り組むほか、装置価格および運用経費を安価に抑え、低コストで成形体を得ることができるインクジェット式粉末成形技法の優位性を活かし、製作する鋳物製品についても積層成形の特質を最大に活かした複雑な内部構造を持つ鋳物製品事例の積み上げなどを経て、道内外の鋳物メーカーに対して技術普及を図っていきたい。

参考文献

- 1) 戸羽篤也；「RP技術を利用した鋳物製造プロセス」, 日本鋳造工学会北海道支部会報No.132 (2006.6)
- 2) 戸羽篤也, 安田星季, 岩越睦郎；「迅速型成形技術を利用した鋳物製造プロセス」, 北海道立工業試験場報告 No.305 (2006.8)
- 3) 戸羽篤也, 安田星季, 和田晴司, 清水一道, 桃野 正, 津村 治, 沖野美佐男；「粉末RP成形体を利用した鋳物づくり」, 日本鋳造工学会第149回全国講演大会講演概要集 (2006.10)
- 4) 戸羽篤也, 安田星季, 和田晴司；「粉末積層成形鋳型による鋳物製造プロセス」, RP産業協会の第31回ラピッドプロトタイピングシンポジウム講演概要集 (2007.7)
- 5) 戸羽篤也；「粉末RP鋳型による超迅速鋳物づくり技術の開発」, 外部資金活用研究 (平成19年度シーズ発掘試験研究) 報告書 (2008.3)
- 6) 戸羽篤也, 稲野浩行, 平野繁樹, 上野慶典；「鋳鉄鋳物製作のための高耐熱性RP粉末」, 北海道立工業試験場報告No.308 (2009.8)
- 7) 戸羽篤也, 稲野浩行, 平野繁樹；「インクジェット式粉末RP鋳型を利用した鋳鉄鋳物の製造」, 日本鋳造工学会第155回全国講演大会講演概要集 (2009.10)