

より塗型皮膜に亀裂などの破損が生じやすいので、せき部分の強度が常に十分に確保できるように配慮しながら塗型を施す必要がある。(図 26 - ②)

3) 鋳型の準備

減圧鋳造用の鋳枠を用意し、鋳型作成の準備をする。減圧鋳型は、鋳枠の底面と上面にフィルムを張り、外から空気が入らないようにシールドして内部の空気を外に吸い出す。

実験では、予めシールド用フィルムを敷いた上に鋳枠を設置し、布テープを用いてフィルムの端を鋳枠の外壁に貼り付けて固定した。(図 26 - ③)

4) 模型の設置

鋳型内に湯口と鋳枠の上面高さが合うようになる程度まで砂を投入し、平らにならした状態の砂の上に塗型を施して乾燥させた模型を配置する。(図 26 - ④)

5) 模型の埋設

さらに砂を投入し、鋳型を砂で満たしていく。その際、強度的に弱いせき部の周辺に十分充填されるように注意する。(図 26 - ⑤)

6) 砂の充填と上面の整地

鋳枠の上面まで砂を投入し、最後は湯口部分の上面に砂がかぶらないように注意しながら鋳枠上面が水平になるようにならす。このとき特に鋳枠の四辺内側と砂の高さが一致するように注意する。(図 26 - ⑥)

7) 上面フィルムの施設と鋳型の減圧

鋳枠の上面にシールド用のフィルムを張り、布テープでフィルムの端を鋳枠の外壁に貼り付けて固定した後、排気ノズルに減圧ポンプを接続し、鋳型内を減圧して鋳型を硬化させる。(図 26 - ⑦)

8) 鋳込み口の設置

鋳込み時のヘッドを確保するため、シールドフィルムの上に鋳込み口となる鋳型を生型で作成し、その周辺を生型砂で密閉し固定する。湯口用の鋳型は鋳込み後の溶融金属の浮力によって浮かないようにするため錘を載せて鋳型を完成させる。(図 26 - ⑧)

9) 鋳造・型ばらし

完成した鋳型に溶融アルミ合金を注湯する。実験で用いた鋳枠は空気吸出し用のフィルタが鋳枠の内壁に設けた構造になっており、内部を砂で満たした後で持ち上げることができないため、鋳型を設置した場所でそのまま鋳込むことになる。

注湯直後は、溶湯金属の熱により発泡模型が熱分解し炎を上げて燃焼したり、注湯した金属の一部が燃焼によって発生したガスにより噴出したりする場合もあるので十分に注意する。

鋳造後、溶融金属が凝固するのを待って鋳型の減圧ポンプを停止し、注湯口の解体、シールドフィルムの撤去後、完成した鋳物を取り出す。

取り出した鋳物の表面に塗型皮膜が付着している場合は、これを取り除いて鋳物を完成させる。(図 26 - ⑨)

5.2.4 有機溶剤による塗型を用いた鋳造実験

塗型の目的は、鋳肌の改良や減圧後の形状維持(補強、寸法精度の向上)などがあるが、塗型によるこれらの効果を確認するため塗型材のバインダや塗型皮膜の厚さを変えた場合の鋳物製品の表面の状態などを観察した。

まず、塗型材のバインダに松ヤニを使用した塗型材を用いた場合、注湯後の熱でバインダが分解して塗型の通気性が得られ、健全な鋳物が得られやすいことが確認された。しかし、鋳型砂の充填度が不十分である場合には、逆に通気性だけでなく溶湯金属が鋳型内に染み出す現象が現れ、溶湯の差込み欠陥となって鋳物にならない製品が確認された。

塗型層も含めて、鋳型の通気度が確保される場合、溶湯が鋳物を満たす時間が短くて済むことから、溶湯の鋳込み温度を低く抑えて鋳造することが可能になる。

特にアルミ合金の鋳造において、アルミ合金の溶解温度が高くなるにつれて溶湯内のガス吸収が多くなり、鋳物の内部にピンホールやざく巣欠陥などの発生の可能性が高くなる。このため、アルミ鋳物の場合は溶解温度および注湯温度を低く抑えられることは、健全な鋳物を得るうえで極めて有利である。

したがって、模型形状の条件により塗型による模型強度の補強がそれほど必要としない場合には、鋳型の硬度を確保した上で薄い塗型皮膜を施すことにより、表面状態のよい鋳物を得ることが可能になる。

本実験では鋳型への砂投入後の砂充填度を高めるための鋳型の加振装置などの設備がなかったため、十分な鋳型硬度を確保することができず、松ヤニをバインダとした塗型材で塗型した実験の全てにおいて鋳物表面に差込み欠陥の発生が見られた。特に、強度の弱いせき部分の塗型皮膜に亀裂などの欠陥が生じると、図 27 に示すような鋳型の減圧状態とも関連して鋳物に入る前の溶湯が鋳型側に染み出し、それが鋳物の表



図 27 鋳物表面の溶融金属の差込み欠陥

面を覆ってしまうような極めて深刻な鑄造欠陥を招くことも分かった。

一方、松ヤニをバインダとした場合、その溶剤として有機溶剤（メタノール）を使用することから、塗布作業が難しく模型への侵食などの悪影響も見られた。

こうしたことから、発泡消失模型に塗型する場合の塗型材には熱分解するバインダや有機溶剤を用いるのではなく、水性塗型を用いるのが望ましいと判断した。

5.2.5 水性塗型を用いた鑄造実験

発泡模型による鑄物製品では、一般的に寸法精度なども要求されることから、鑄物の良好な表面状態を得る目的よりもむしろ模型の補強が主目的となる。

補強目的の塗型に用いられる塗型材は比強度（塗膜の厚さに対する塗膜の強度）が大きいことが求められることから、緻密な皮膜を形成するような骨材の粒度や強度の高いバインダが選択される。

これは反面、塗型皮膜の通気性が悪くなることを意味しており、塗型の比強度の大きさと通気度は両立しない場合が多い。

本実験では、骨材にセラミック粉体あるいは珪砂パウダを用意し、水性のバインダとしてコロイダルシリカを用いて塗型材を作成し、発泡模型に塗布して乾燥後、鑄造実験を行った。

塗型皮膜の厚さを変えた実験で、塗膜が薄い場合は塗型の通気性も得られるようであり、低い注湯温度でもガス欠陥を防止できることが確認されたが、塗型強度が不十分で塗膜にひび割れが生じ易く、鑄物の表面欠陥や鑄物形状に影響することが多く確認された。

これに対し、塗膜が厚い場合は、塗型強度が大きいため模型の変形が抑えられ、鑄肌も良くなるが、塗型の通気性が著しく悪くなるため、図28に示すように模型が熱分解した後のガスが抜けきらないためのガス欠陥と見られる現象を確認した。

これらの対策として、上がり設けるなどの鑄造方案により、ガス欠陥対策を講ずることもできるが、消失模型鑄造法の特徴である後処理の軽減という観点から、上がり部分の切除や切除後の部分の仕上げなどといった余分な後処理が増えることは必ずしも歓迎できることではない。

ただし、鑄物形状によっては水平方向に配置するよりも鉛直方向で下方から上方向に向かって溶湯が注入されるような法案を採ることにより、鑄物側内部の発生ガスの圧力が高くなり、減圧鑄型との相乗効果によりガス欠陥を軽減する効果も期待できる。

実験においても、試験用模型を水平に配置して鑄込んだものよりも、図29に示すように、鉛直方向に配置して鑄込んだ鑄物の方が健全な鑄物を得られやすいということも確認し

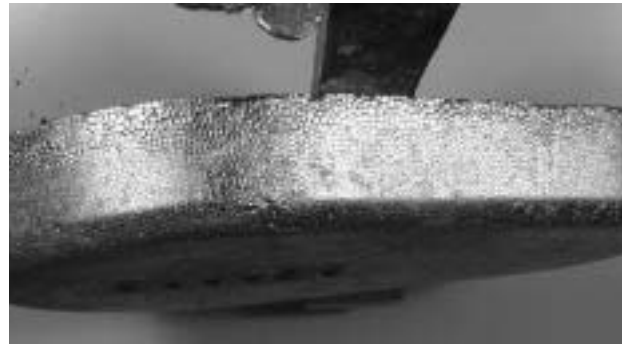


図28 発生ガスによるガス欠陥の状況



図29 健全性の高い鑄物

た。

6. 成形型材の金属結晶への影響

消失模型鑄造法では、溶湯の熱による発泡模型の熱分解生成物が多量に発生する。Fe-C系の合金の場合、これらの熱分解生成物の炭素成分が溶湯に吸収されて、いわゆる「吸炭現象」を引き起こすことが知られている。

アルミ合金についても、熱分解生成物の化学成分との反応、あるいは、ガス状熱分解生成物の発生による乱流などの消失模型鑄造法特有の現象が鑄物製品の品質に大きな影響を及ぼす可能性がある。

そこで、消失模型鑄造法により作製したアルミ基合金鑄物の性状と内部の結晶組織とを調査し、通常の砂型鑄物との比較を行った。

6.1 実験方法

(1) 合金組成

表5に、鑄造実験で使用した合金の種類を示す。

(2) 発泡模型

市販の発泡スチロール板（厚さ15mm）を所定形状（図

表5 合金の種類

No	組成 (mass%)	液相線温度 (°C)	備考
1	Al	660	純度 99.99%
2	Al - 7%Si	614	AC4C 合金相当の S 組成
3	Al - 12%Si	580	AC3C 合金
4	Al - 4.5%Cu	649	AC1A 合金
5	Al - 4.5%Mg	633	AC7A 合金

30)に切断し、2枚を酢酸ビニル樹脂系の接着剤で貼り合わせて作製した。鋳物の性状に及ぼす接着剤の影響も併せて調査した。なお、発泡模型の影響のみを明確にするため、塗型剤は使用しなかった。

(3) 鋳型

消失模型鋳造では、乾燥した7号珪砂のみを使用した。また、砂型鋳造（比較実験）では、7号珪砂 1kg に対して水ガラス 60g、水 100g を混合して、型込みした後、炭酸ガスにより表面を硬化させた。続いて模型を取り出し、鋳型キャビティ内をバーナー加熱により乾燥させて使用した。使用した水ガラスは、市販のけい酸ナトリウム試薬 (SiO₂: 38%, Na₂O: 19%) である。

(4) 鋳造操作

鋳造条件は以下の通りである。

- ① 鋳造時の溶湯温度：液相線温度 + 50°C
(Al-7%Si では「液相線温度 + 150°C」も実施)
- ② 鋳型温度：室温（約 20°C）
- ③ 溶湯量：80g
- ④ その他：鋳物の凝固過程における温度変化を測定した。測温位置を図 30 に示す。

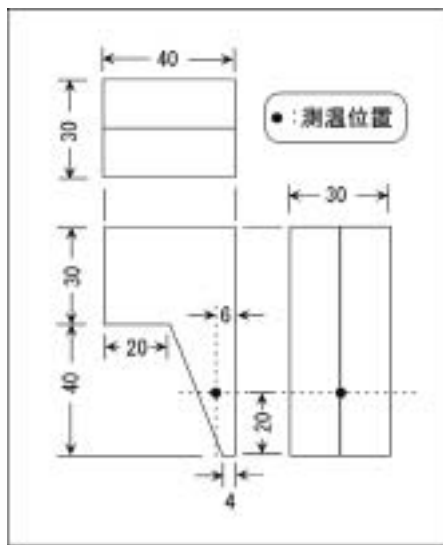


図 30 模型の寸法および測温位置

6.2 結果

(1) 鋳物の外観と内部のマクロ組織

図 31 に Al-7%Si 合金試料の外観を示す。また、図 31 に示した各試料の縦断面のマクロ結晶粒組織を図 32 に示す。

図 31 に見られるように、消失模型鋳造材では、接着剤を起源とする黒い残渣の付着が認められた。鋳造温度が高い場合には残渣は表層部のみが付着している程度であるが、鋳造温度が低いほど残渣による欠陥が著しい。本実験の方案では、残渣による欠陥を防ぐためには 710°C 以上の鋳造温度が必要だった。

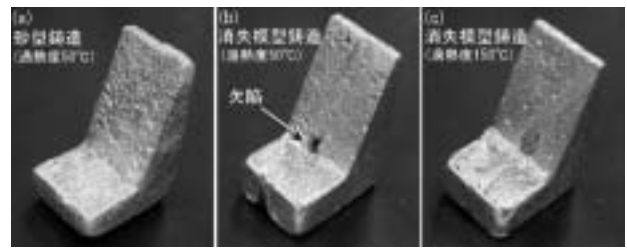


図 31 Al - 7%Si 合金鋳物の外観

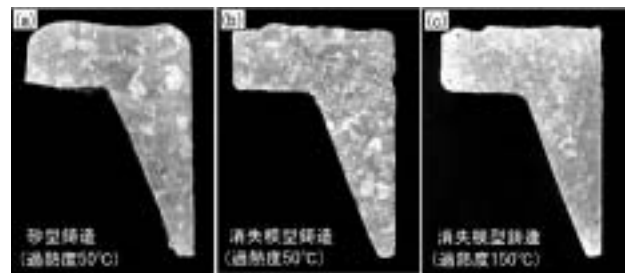


図 32 Al - 7%Si 合金鋳物の縦断面のマクロ結晶粒組織

図 33 に、図 31 および 32 に示した各試料に対応する冷却曲線を示す。(a) と (b) とを比較すると、(b) の場合の方が、測温

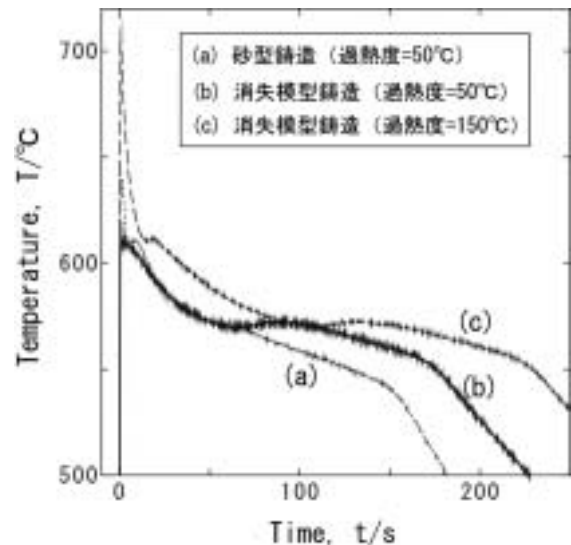


図 33 冷却曲線

位置に達した時点での溶湯温度が低い、凝固時間は長い。この結果は、消失模型鑄造の場合、砂型鑄造の場合と比べて溶湯の充填が遅く、また、鑄型の抜熱能が低いことを示している。

図 32 の (a) と (b) を比較すると、(b) の方がいくぶん結晶粒が微細であるが、これは鑄型充填過程における過熱度の消失と発泡模型のガス化による乱流攪拌の影響によるものと推測される。なお、他の合金系については、鑄造法による相違はほとんど見られなかった。Al-7% Si 合金の場合に明瞭な相違が見られたのは、本合金ではデンドライトが発達しやすいため、乱流による結晶増殖が起こりやすいためであると考えられる。

(2) ミクロ組織

図 34 に、純 Al を除く各試料のミクロ組織を示す。

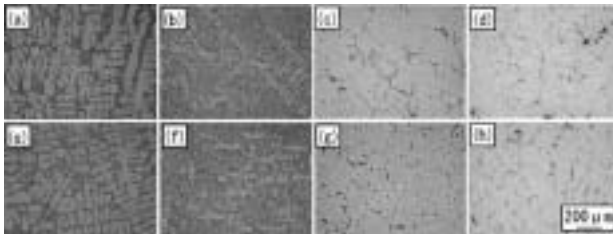


図 34 ミクロ組織に及ぼす鑄造法と合金組成の影響

[砂型鑄造]: (a)Al-7%Si, (b)Al-12%Si, (c)Al-4.5%Cu, (d)Al-4.5%Mg.
[消失模型鑄造]: (e)Al-7%Si, (f)Al-12%Si, (g)Al-4.5%Cu, (h)Al-4.5%Mg.

各組成とも鑄造法の影響はほとんど見られない。唯一の例外は、Al-7%Si 合金の共晶組織であり、砂型鑄物の方が共晶組織が微細になっている。しかし、Al-12% Si 合金の共晶組織には鑄造法による影響が見られないことから、発泡模型の熱分解生成物の影響によるものとは考えられない。Al-7%Si 合金の場合は、図 33 に見られる冷却速度の影響が顕著に現れたものと推察される。

(3) AC4C 合金を用いた試作品の凝固組織

図 35 に、生砂を使用した消失模型鑄造による AC4C 合金鑄物の外観を示す。図中の実線は組織観察のための切断位置を示している。

図 36 (a) は、湯流れ方向に沿って切断した断面のマクロ組織である。

ここで注目されるのは、結晶粒のサイズが、上流域では大きく、下流域では著しく小さくなっている点である。この原因は、既に述べたように、鑄型充填過程における過熱度の消失と発泡模型のガス化による乱流攪拌であると考えられる。

また、図 36 (b) は、試作鑄物の表面近傍のミクロ組織である。観察位置は図 36 (a) における粗大結晶粒域である。共晶組織中に微細な Al-Fe-Si 系化合物相がわずかに観察される他は、Al-7%Si 合金 (図 34 (e)) に類似した組織となつて



図 35 AC4C 合金試作鑄物の外観



図 36 断面のマクロ組織

いる。

7. まとめ

迅速、精密かつ低コストに成形型を作製できる光造形システムを利用し、中空モデル、ダイレクト型等を作製して、ロストワックス代用、消失型への応用を検討した。結果をまとめると次のようになる。

- 1) 光造形により、鑄物用中空モデル、ダイレクト型等が迅速に作製でき、それを利用することにより低コストアルミ鑄造製造が可能であることが分かった。
- 2) 光造形によるモデルから転写金型を作製して、消失模型成形機をにより表面転写性の良好な消失模型が迅速に作製できることが分かった。
- 3) 減圧消失鑄造において、通気性の良い塗型材を用いることにより、良好な鑄物製品作製が可能であることが分かった。
- 4) 発泡模型および接着剤の熱分解生成物がアルミニウム合金鑄造材の凝固組織に与える影響について調査した結果、溶湯温度が低い場合には接着剤起源の残留物が鑄造材の外観と形状に悪影響を及ぼすが、熱分解生成物の化学成分そのものは組織形態に著しい影響を及ぼすことはないことが分かった。
- 5) 鑄物の組織に影響を及ぼす消失模型鑄造法特有の現象としては、発泡模型の化学的な影響より、鑄型充填挙動やガス状熱分解生成物の発生による乱流などの影響の方が重要

であると考えられる。

参考文献

- 1) 岩越睦郎, 吉成 哲, 日高青志, 小林政義: 光造形によるプロトタイプモデルの作製手法 No298, pp209-213, 1999.
- 2) 「消失模型鑄造における金属溶湯と発泡模型の置換挙動」
2000.7 小林 武 (関西大学)