

60秒以下では、成形不良となった。

金型予熱時間 60 秒では、両面加熱 30 秒で比較的良い成形傾向を示しており、金型予熱時間 90 秒では、両面加熱 15 秒、30 秒で比較的良い成形傾向を示した。その中でも金型予熱時間 90 秒、一方加熱時間 90 秒、両面加熱時間 15 秒の成形条件が最も良い成形結果となった。

4.3 ギアケースカバー発泡模型の成形試験

実体モデルの発泡模型成形を目的として、ギアケースカバーの成形試験を行った。ギアケースカバーの形状を図 17 に示す。

ギアケースカバーのマスターモデルは光造形で作製し、真空注型により消失模型成形用金型を製造した。メタルレジン複合材の成形用金型では、金型の加熱及び冷却の熱効率の良い金型形状が必要となる。そこで、成形用金型の薄肉化、肉厚の均一化による成形性向上、金型製造コストの低減を目的とした金型製造法を考案した。本製造工程は、マスターモデルに金型の肉厚分の油粘土を貼り付けた後、石膏で型を取る。その後、油粘土を取り除いて出来た空間にメタルレジン複合材を流し込むことにより、均一な肉厚の金型が製造される。光造形によるマスターモデルを図 18、本方式により製造した発泡模型成形用金型を図 19 に示す。

発泡模型成形用金型では、成形時の離型性向上等のため、

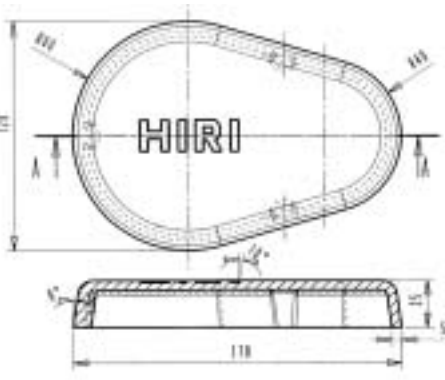


図 17 ギヤカバーの形状

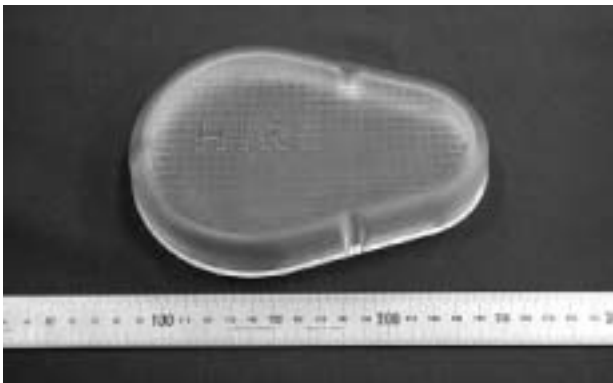


図 18 光造形モデル



図 19 ギヤカバー金型
(左：キャビティ、右：コア)

金型の表面は鏡面、又はそれに近い状態である必要がある。従来のアルミニウム合金製の金型では、切削加工後に砥石、サンドペーパー等で磨く工程で多くの手間と時間を必要としている。本研究で使用したメタルレジン複合材は転写性が非常に良いため、マスターモデルに塗装、研磨を施すことにより、表面粗さ (Ra 0.1 μm, Ry 1.0 μm) の、磨く必要のない金型を得ることができた。図 20 に金型の表面粗さの測定結果を示す。

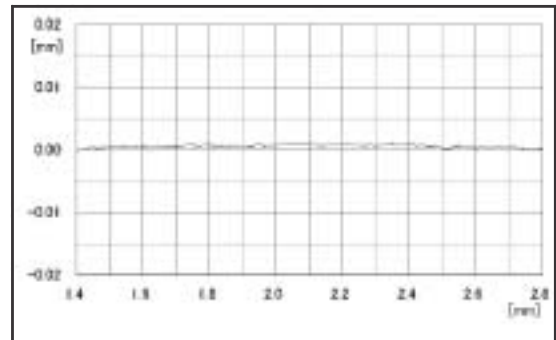


図 20 発泡模型成形用金型の表面粗さ

本金型を用いて、ギヤカバー発泡模型の成形試験を行った。前項の成形試験結果をもとに成形試験を行い、蒸気圧 0.15MPa、予熱時間 90 秒、一方加熱時間 90 秒、両面加熱時間 20 秒、水冷時間 40 秒で最も良い発泡模型が得られた。

本金型を用いて、約 100 個の発泡模型成形を行ったが、金型の状態は良好であり、数百個程度の小ロット成形に十分対応可能であることが分かった。ギヤカバーの発泡模型の表側を図 21、裏側を図 22 に示す。試作した発泡模型は光造形によるモデルに忠実で、本法による発泡模型成形用金型は、実用上十分な耐久性と成形性を示した。

5. 消失鑄造法

消失模型鑄造法²⁾は、発泡ポリスチレン製の鑄造用模型を



図 21 ギアカバーの発泡模型（表面）



図 22 ギアカバーの発泡模型（裏面）

砂型に埋設し、そのまま熔融金属を注入して鋳物を得る鋳造法である。この鋳造法は、フルモールド法 などと呼ばれ、わが国にも導入されたが、その当初は模型の燃焼残さによる鋳造欠陥や寸法精度などの面で解決すべき課題も多く、広く利用されなかった。その後の研究や技術開発によって、現在では大型の工作機械部品、輸送機械部品などの生産に用いられている。消失模型鋳造法は、一般の鋳造法が鋳型内にキャビティ（空隙）を作ってそこに熔融金属を注入して鋳造するのに対して、鋳型内に作ろうとする鋳物製品と同等の形状をした発泡模型を埋め込み、これに熔融金属を流し込むことにより、発泡模型が熱分解しながらその容積を熔融金属で満たしていくキャビティレス鋳造法である。一般の鋳造法では鋳造前に鋳型から模型を取り出す必要があるため、鋳型をいくつか分割し再度それらを組み合わせて鋳型を作るので、それぞれの合わせ面に多少のバリが生じ、鋳造後の後処理でこれらを除去する工程を経なければならない。これに対して消失模型鋳造法では鋳型の合わせ面がなく、バリが生じないことから後処理工程を軽減することができる。また、鋳物製品の内部に空間を持たせる場合、一般の鋳造法では中子と呼ばれる鋳型部材を用いるが、主型と中子とで砂や粘結材が異なると鋳造後の砂の再利用を難しくする場合がしばしばある。これに対して消失模型鋳造法では作ろうとする鋳物製品と同じ形状の模型を使うので、中子を使わなくても内部に空

間を持つ鋳物製品を作ることができる。さらに、消失模型鋳造法では粘結材を使わず鋳型を減圧して鋳造する方法を採用することにより、容易に鋳型砂の再利用ができるため、廃棄砂を減量することも可能である。しかし、消失模型鋳造法で用いる発泡ポリスチレン製の模型は強度が非常に小さく、鋳型製造工程の中で、変形や破損が生じ易い。模型の強度を補強するために耐火物と粘結材を溶媒で溶いたものを模型表面に塗装する塗型を施すが、強度を得るために塗膜を厚くすると、鋳型への通気性が失われ、鋳造時に発生するガスが外へ抜け切らないことによる表面欠陥が生じやすくなる。したがって、消失模型鋳造法においては、塗型の技術が極めて重要であり、強度と通気性を併せ持つ塗型材の開発が望まれている。本研究では、消失模型鋳造法によるアルミ合金鋳物の製造において適正な塗型条件を得るために、いくつかの塗型方法による発泡模型を用いて鋳造実験を行った。

5.1 実験方法

鋳造には図 17 に示した形状をもつ発泡ポリスチレン製の成形品を模型に用いた。模型には、鋳造時の方案を考慮して別に発泡ポリスチレン製の湯口系（湯口、湯道、セキなど）を用意して、ポリスチレン用の接着剤で接着し、十分な接着強度が出るまで放置した後、塗型処理を行った。

塗型は、表 4 に示すような 2 種類の骨材を選定し、主にジルコニア系セラミック粉を用いて実験に供した。この骨材は、ロストワックス鋳造法などで用いられる精密鋳造用の鋳型材料として市販されているものを #100 (Opening: 147 μm) のふるいで微粉体部分をふるい分けして使用した。

また、鋳型材料と同じ材質である珪砂の微粉 (#200) も用意して適宜使い分けた。

一方、粘結材として精密鋳造用の鋳型製作に利用されているコロイダルシリカ（水性）と、松ヤニを有機溶剤（メタノール）で溶解したものを用意した。塗型方法は刷毛塗りとし、塗型作業時の作業性や鋳造後の鋳物の品質などを比較した。

また、塗型材の補強などの効果を確認するために、紙繊維を水で解して微細化したものを粘結材として単体で使用した場合や、コロイダルシリカによる水性塗型材に混入させた場合の効果についても調べた。

鋳造に用いる鋳型は、塗型による通気度を補うことなどを考慮して、減圧可能な鋳枠内に発泡模型を珪砂（7号）を用

表 4 塗型材の仕様

	材 料	仕様・その他
骨 材	セラミック粉 珪砂	Zr 系粉体 (#100) 微粉 (#200)
粘結剤	松ヤニ コロイダルシリカ 繊維	メタノール (旭電化工業製) 水

いて埋設し、フィルムでシールドして減圧して作製したものを主に用いた。この他に生型による鑄造試験も行った。

鑄込む金属材料として鑄造用アルミ合金（AC4C）を高周波誘導炉で溶解し、およそ 760℃～800℃ の注湯温度で鑄造した。

鑄造後、鑄物を鑄型枠から取り出し、そのときの外観や塗型材を取り除いた後の鑄物表面の様子などを観察した。

5.2 実験結果および考察

5.2.1 生型による鑄造試験

予備試験として、図 23 に示す模型を用意し、生型を用いて模型に塗型をせずに鑄造試験を行った。

鑄型には、珪砂（7号）100部に対してベントナイト8部、水5部を混練機で混練し、発泡模型を埋設した鑄枠に混練砂を投入し突き固めて鑄型を作成し、約 760℃ で溶解したアルミ合金を注湯した。

生型で製造された鑄物の外観を図 24 に示す。

鑄物の外観検査では著しい形状の変形や表面欠陥は見られず、ほぼ健全な鑄物を得ることができた。鑄物表面は、生型で製造された鑄物に特有の滑らかな凹凸がみられた。形状に厳しい精度が求められる部材や、機械加工を伴う機械部品を製造する場合は、この程度の鑄肌の状態ですら十分に実用に耐

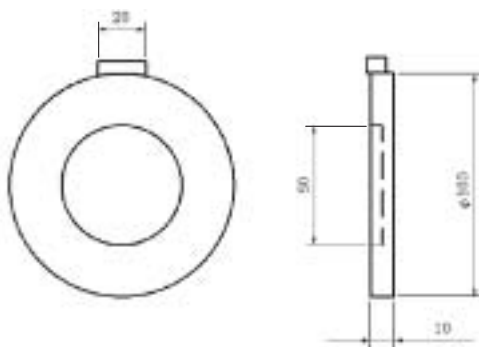


図 23 予備試験用模型の形状

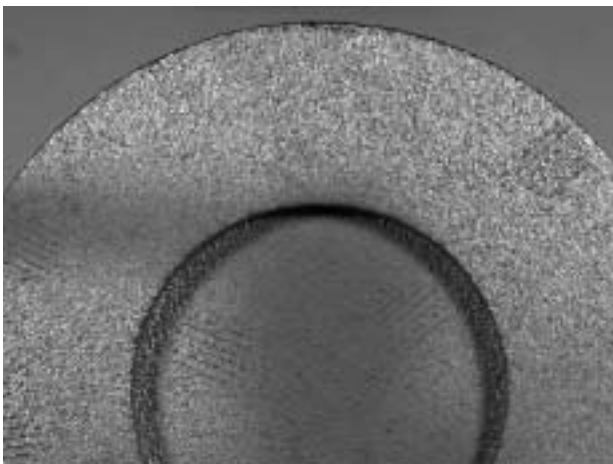


図 24 生型で製造した鑄物の外観

えると考える。

ただし、予備試験で用いた模型の形状は比較的単純形状であり、鑄型を作る段階で模型の変形も生じにくかったが、実際の形状の複雑な鑄物製品を想定すると、形状の変形や鑄型作成中の破損などが懸念される。

5.2.2 消失模型鑄造法における留意点

一般に、強度の弱い発泡模型を用いる場合、突き固めやスクィーズ成型などの鑄型砂に強い圧力が加わる成型方法は、模型の変形や破損の観点から採用されない。

これに変わる鑄型砂の充填法として、ジョルト法など鑄型を加振して砂の自重を利用して充填する方法が採られる。この際、砂の流動性と成型後の鑄型強度の確保が必要であり、生型はこれらの条件から発泡模型による消失模型鑄造法では極めて限られた製品にしか適用できない。

実際は、消失模型鑄造法によって生産する鑄物工場では鑄型を細かく振動させて砂を充填させる加振法を採用し、鑄型砂の強度の得やすい有機自硬性バインダを用いる方法が一般的である。

一方、加振法による砂充填の場合も、埋設される模型には鑄物砂の比重による圧力が加わることになる。鑄物の形状によってはこの圧力の加わり方が均一でなく、そのことによる模型の変形が問題となる。

このため、発泡模型には強度を補うための塗型が施されるのが一般的である。塗型に用いる塗型材は、耐火性が求められる一方で比強度確保の観点から緻密な皮膜を形成する材料が選択される。

緻密な皮膜は比強度の点では有効であるが、通気性が著しく悪いものとなる。塗型の通気性が悪い場合、模型内に含まれるや、ポリスチレン材料が熱分解して発生する大量のガスが排出しづらくなり、熔融金属の充填速度が遅くなる。また、鑄物の表明にブローホールなどの欠陥が生じる可能性も高くなる。塗型に関して模型の補強と塗型皮膜の通気性は両立させにくい関係にある。

また、塗型材の熱的な性質の上からも、耐火性を重視してセラミック系の骨材を採用すると、一般に熱伝導度が小さくなることから、鑄物を鑄造した後の冷却速度が遅くなり、鑄物に引け巣などの欠陥を生じやすくする。特に塗型皮膜の通気性が悪い場合は、鑄物金属と塗型皮膜の間にガス層が形成され、鑄物から鑄型への熱伝達が悪化するため、さらに鑄造後の冷却条件を悪くする。

従って、塗型皮膜の通気性を確保することは健全な鑄物を製作する上で極めて重要な課題であり、強度と通気性を併せ持つ塗型材の開発が望まれている。

一方、塗型皮膜の通気性を補うために鑄型内を減圧することの有効性も指摘されており、Vプロセスとの併用も有効である。特にバインダを用いないVプロセスでは、鑄型製作段

階で砂の流動性がよいことから高い砂充填度が期待できる上に、砂の再生工程が簡便で廃棄物の発生も少ないなど、有利な点が多い。

そこで、本実験ではVプロセスラインを想定した鑄造実験を行うこととした。

5.2.3 減圧鑄型による鑄造試験

発泡模型に種々の塗型を施し、Vプロセスによる減圧鑄型を用いた鑄造実験を行った。

塗型材は、ジルコニア系のセラミック粉末を骨材とし、バインダに松ヤニを有機溶剤（メタノール）で溶いたものと、水性のコロイダルシリカを用いたものの2種類を主に用いた。このほか、対照実験として、骨材に珪砂粉末を用いたものや、水性溶媒に紙繊維を混入させたものについてその効果を調べた。

鑄型は、図25に示す形状のステンレス製鑄型枠を用いた。鑄型の四辺は空洞になっており、それぞれの内面側にφ6mm径の孔をいくつかあけ、その内側表面に200メッシュ相当のステンレス製金網を貼って鑄型砂が鑄型内の空洞に入り込むのを防ぐ。四辺のうちの一边に空気を吸い出すためのノズルを設け、ここに減圧ポンプとホースで連結して鑄型内の空気を吸出、排出する。

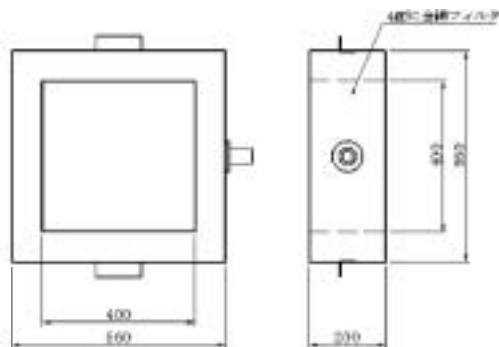


図 25 減圧鑄造用鑄型枠

以下、減圧鑄型による鑄造実験の工程を図26で説明する。

1) 湯口系の作成と取り付け

発泡模型に湯口系を取り付ける。湯口系とは、鑄造時の熔融金属を鑄込み口から鑄物部分まで導くための湯口、湯道、せきなどの部分をいう。湯口系は、発泡模型と同じ材質の発泡ポリスチレンで製作する。湯口系の部分も模型部と一緒に一体の金型で製作する場合と、湯口系のみを別な金型を用意して作成し、あとで模型に接着する場合がある。

実験では、発泡ポリスチレンのブロックから湯口系の形状を切り出し、発泡スチレン用の接着剤を用いて模型に接着した。(図26-①)

2) 塗型

湯口系を取り付けた模型の接着部分の強度が十分に得られ

るまで放置した後、模型と湯口系の全体にわたって塗型材を塗布する。

実験では種々の塗型材を用意し、刷毛塗りで塗型を施した。

塗型の際、最も注意しなければならないのは模型と湯口系の境目となる「せき」の部分の強度が最も弱く、塗型によって模型の重量が増してくると作業中の模型と湯口系の変形に



①湯口系の取付



②模型への塗型



③鑄型の準備



④模型の設置



⑤鑄型砂で埋設



⑥表面の整地



⑦フィルム張り



⑧鑄込み口の設定



⑨鑄造・型ばらし