

### 3 消失模型鑄造法における マグネシウム合金鑄物への適用

機械部 吉 浦 洋 之

#### 1 はじめに

近年、材料の軽薄化が叫ばれている中で急速に需要の伸びが大きいのが比重の軽いアルミニウム合金である。しかし Mg 合金は更にアルミに対し2/3の1.7の比重であり、実用金属合金中もっとも軽い。しかも相当の強度があり、機械加工面からは鉄鋼の10倍の切削速度があり、切削工具の摩耗も少なく、寸法の経年変化等も少ない特徴を有する。これらの特徴を生かした面で自動車、航空機、ポータブル機器等の需要も伸びつつある。

今回取り組む鑄造法はスチレンビーズを40～45倍に予備発泡し、金型中へ充填発泡して得られた階段型の模型を使用した。この模型の表面に塗型を施し、バラ砂中に埋設したのち、枠内を弱減圧にして鑄込む方法である。

そこで階段型発泡模型の表面に有機性の塗型材及び無機性の塗型材を塗布してマグネシウム合金を鑄込み、鑄造方案、塗型の通気性、材質面からみた組織等を中心に調査研究した。

#### 2 実験方法

階段型に製作した AI 材の金型中に45倍に予備発泡したビーズを充填して模型を作成し、有機性、無機性の塗型を施して乾燥後、バラ砂中に埋設して鑄

込み実験を行った。この実験で枠内の減圧度、注湯温度、鑄込み方案等適性条件を見いだすことであった。

##### (1) 実験装置

予備発泡機、ビーズ乾燥機、半自動成形機、砂充填及び減圧装置を用いた。

##### (2) 模型の形状及び鑄造方案

図1には階段型試験片の斜図を示す。この階段型は薄い部分で12mm、厚い部分で60mmの肉厚があり、各段12mmずつの肉厚差で5段階となっている冷却速度によって組織に影響を及ぼす。本実験では鑄造方案を縦込めとした。試験片の採取は各段を切断して JIS による試験片に加工を施し、機械的試験及び顕微鏡組織写真に供した。

##### (3) 供試材

表1には実験に用いた発泡ポリスチレン、有機及び無機塗型材、模型充填用珪砂、マグネシウム合金鑄物について示す。

##### (4) 通気度試験片作成条件

表2には、通気度試験に供する試料作成条件について示す。

フラタリーサンド5号に7%の水ガラスを混練し、 $\phi 50 \times 50^H$ の試験片作成用筒に $\phi 50 \times 20^H$ になるように調製後 CO<sup>2</sup>ガスにて硬化し、乾燥後、有機性

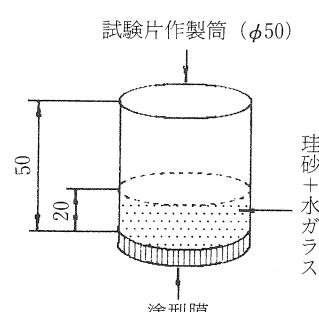
表1 供 試 材

名 称	適 用
発 泡 ポ リ ス チ レ ン (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub> )	炭素 (92%) 水素 (8%) 一次発泡 (40～45倍)、成形発泡 (45～55倍)
塗 型 材	有機性 (有機性アクリル酸)、比重1.05 (ザンカップ5号:13秒) 無機性 (石英、シリカ、粘土等)、比重1.75 (重ボーマメ度67.7)
溶 解 材 料	マグネシウム合金鑄物 (Al: 9%, Zn: 1%, Ca 5%, 残 Mg) (九工試料)
充 填 用 珪 砂 (5号フラタリーサンド)	35～48mesh ピークで SiO <sub>2</sub> 99.5%を有し、比重は1.6～1.8

塗型材及び無機性塗型材を低面部に付着させたのち、乾燥して通気度試験に供した。

表2 通気度試験条件

試料作成方法



1) 鑄型製作：CO<sup>2</sup>型の低面に塗型材を付着  
 2) 乾燥時間：35°C×3時間乾燥し測定  
 3) 通気度算出式：

$$P = \frac{V \times H}{p \times A \times T}$$

P：通気度  
 V：通過する空気量 (2000ml)  
 H：試験片高さ (20mm)  
 p：空気量 (cm H<sup>2</sup>O)  
 T：Vが通過するのに要する時間  
 A：試験片の断面積 (cm<sup>2</sup>)

本来発泡スチロール模型の表面に塗型を施して鑄込むため、CO<sup>2</sup>型への付着は問題があるものの、JISによる通気度測定上からはこの方法が適当と思われる。基本的には鑄物表面に焼付、さし込みを防止するために塗型をする事であり、通気性の面からはなるだけ薄膜であることが望ましい。しかし、鉄系では充分なる塗型がなされていないと欠陥に結びつき不良の原因となる。本実験では、新しく開発された有機性塗型材を評価するために、従来から使用されている無機性塗型材についても試験を行い比較、検討した。

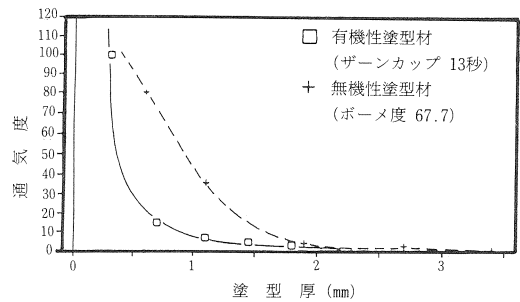


図2 塗型厚に対する通気度の関係

図2の塗型の厚みに対する通気度の関係では、無機性の塗型材に対し、有機性の塗型材は極端に低い結果となっている。有機性の厚みが1mm近傍では通気度が5付近となるが、無機性の塗型材では通気度が2近傍となり、従って通常使用の通気度は有機性では0.7mm、無機性では1.5mm迄の使用が望ましいと思われる。

有機性、無機性の塗型材について通気度測定後、試験片を切断しその断面をSEM像で分析した状況について写真1に示す。

(2) 砂の充填及び鑄込条件

表3は砂の充填及び鑄込み条件を示したものである。

アルミ材及びマグネシウム合金等の軽金属では過減圧にならない注意が必要である。本実験に用いた階段状の形状では、60mmの肉厚部と12mmの肉厚部の差があることから、一定量の減圧は必要と考え、低減圧と無減圧について強度及び組織上の比較をしたが確たる差を認めなかった。

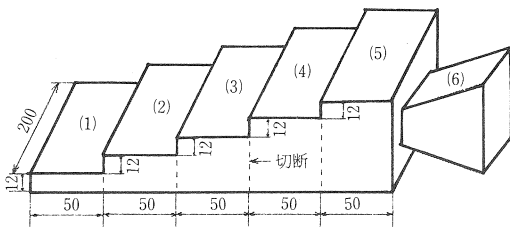


図1 階段型試験片による試料採取位置

3 実験結果及び考察

(1) 塗型厚と通気度

図2は有機性の塗型及び無機性塗型の比較について塗型の厚みに対する通気度を求めたものである。

CO<sup>2</sup>砂型へ塗型材を付着後乾燥させ、JISに基づく手法によって通気度を算出した結果である。

粘性の異なる有機性塗型材と、無機性塗型材での比較は困難であるが塗型厚の面から一応の目安とした。

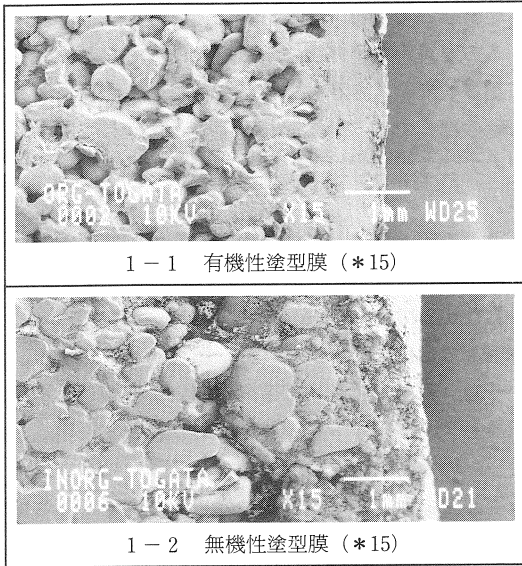


写真1 有機、無機塗型の断面 (SEM像)

表3 砂の充填及び鑄込み条件

振動条件	振動パターン (Hz)			減圧度 (mmHg)	鑄込条件			
	X	Y	Z		時間	設定時	鑄込時	溶解温度
減 圧	48	45	18	3分	-80	-50	700°C	650°C
無 減 圧	-	-	-	-	-	-	700°C	650°C

(3) 肉厚形状による収縮及び機械的性質

図3は、階段型試験片の収縮率を示したものである。測定結果から模型の寸法に対する鑄物の収縮率では肉厚10mmから60mmまでは収縮率が大きいもののそれ以上の寸法になると収縮率の差は小さくなって僅かに減少する。したがって、1.25%~1%の範囲での減少であるため、JISの規格表と比較した場合、マグネシウム合金鑄物の伸び尺は10/1000~12/1000であることであり、ほぼ規格通りの収縮率であった。

図4は、階段型試験片の各肉厚の部分からJISの8A、8B、8C、8Dとそれぞれ採取した強度試験の結果である。肉厚に12mmの部分では140(N/mm<sup>2</sup>)であるのに対し、肉厚60mmでは125(N/mm<sup>2</sup>)の強度差が生じている。この原因は鑄込み後における冷却速度の影響である。また、組織の面からも緻密になっているものと思われる。JISの砂型鑄造との比較では、強度面では、10~20(N/mm<sup>2</sup>)程度低くなって

いるのは消失模型鑄造法の特徴であると考えられる。

また、下段の図は、階段型試験片の格段の中央部分について硬度を測定した結果である。肉厚12mmの部分でHB48であるのに対し、肉厚60mmの部分ではHB45であった。このことから薄肉部分は若干厚肉部分より高いものの差は小さい。したがって、鑄放しにおける硬さについては引張強度程の差はないと思われる。

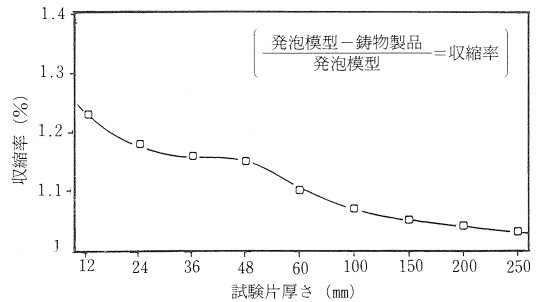


図3 試験片厚さに対する収縮率

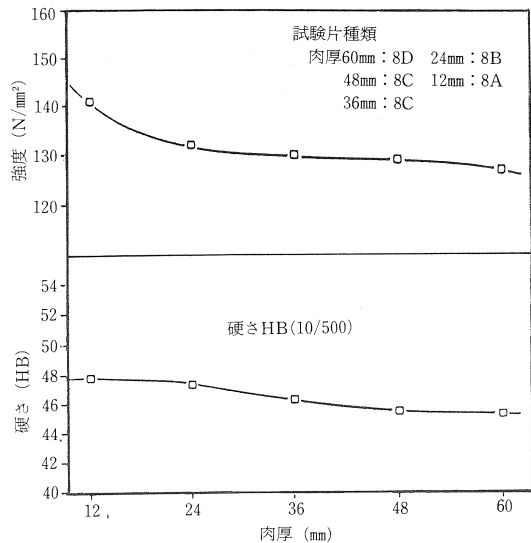


図4 肉厚に対する強度及び硬さの関係

(4) 顕微鏡組織写真

写真2は、9Al-1Zn-5Caに調査したマグネシウム合金鑄物の基地組織である。

デンドライト状に伸びた結晶組織は金型鑄造組織に近く、Mg基地の他α及びβ等の混合組織となっ

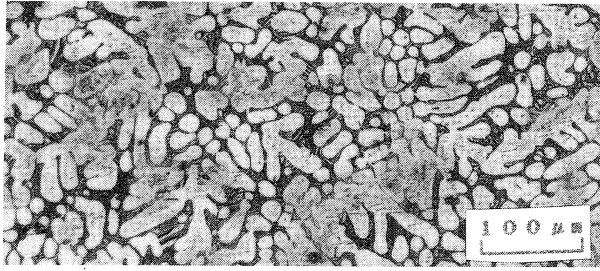


写真2 素材のMg合金鋳物

ている。

写真3は、図2の階段型試験片に縦込み方で弱減圧(-50~-80mm Hg)にして650°Cで鋳込んだ組織である。

写真3-1は、試験片NO.1で12mmの肉厚部、3-2は試験片NO.2で48mm肉厚部、3-3は試験片NO.3で36mmの肉厚部、3-4は試験片NO.4で48mmの肉厚部、3-5は試験片NO.5で60mmの肉厚部、3-6は押湯部でそれぞれ100倍の光学顕微鏡

の組織写真である。

この写真から、厚肉部から序々に薄くなるに従って結晶粒界の大きさも小さくなっている。特に肉厚12mmの部分では、肉厚60mmの部分と比較して結晶粒界の大きさが1/10以下となり緻密な組織となっている。

この原因として、薄肉部程冷却速度が速いために組織が緻密となる。

したがって、厚肉部が最終凝固部となることから、厚肉部では結晶粒界が成長し、組織が粗大化する。

一方、薄肉部では冷却速度が速いことから、結晶粒界もデンドライト状が残っており、緻密な結晶となっている。また、NO.6の押湯部分では本来最終凝固部であることから結晶粒界も粗く大きくなるはずであるが、結晶粒界の大きさが肉厚48mm~36mm部分とほとんど差を認めていない。

この理由として、鋳鉄等の鉄系に比較して冷却速

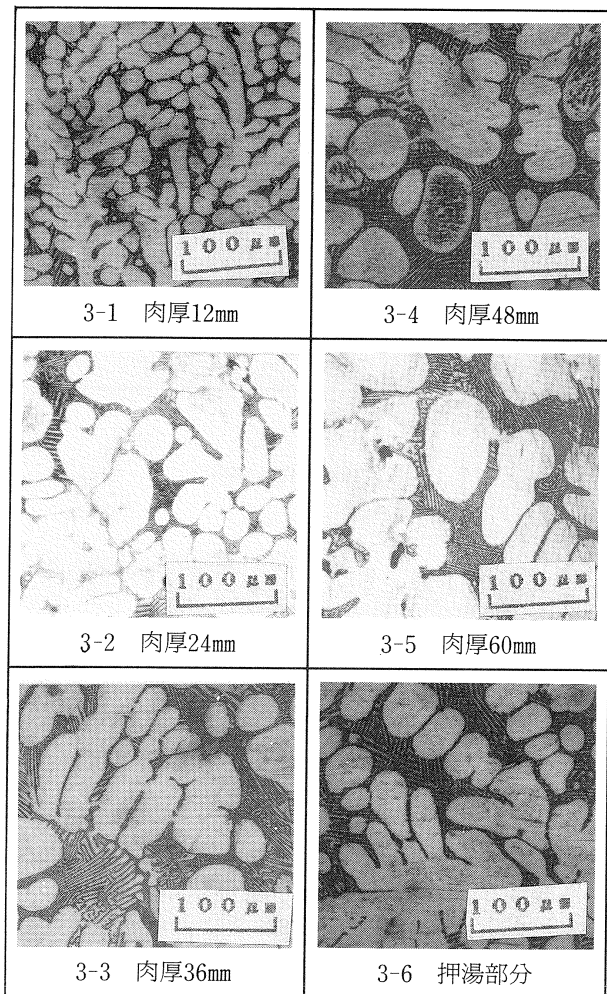


写真3 階段型試験片の顕微鏡組織

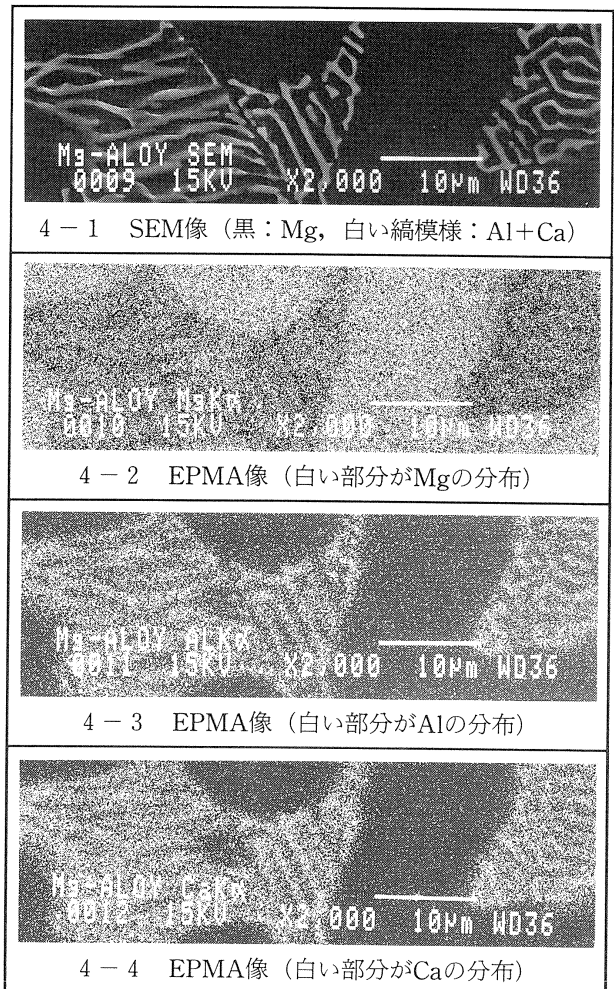


写真4 Mg合金鋳物のSEM及びEPMA像

度が遅く、極端な肉厚の差がないと組織面でも現れないためだと考えられる。

写真4は走査型電子顕微鏡による2000倍に拡大したMg合金鋳物の組織写真及び組織部の分析写真である。

4-1は、SEM像によるMg合金鋳物特有の組織である。(光学顕微鏡では白い部分が、SEM像では黒く、黒い部分が白く逆転している。)

4-2は、組織全体の中に占めるMgの分布状態を分析した写真である。4-1で観察した縞模様の中の黒い部分及びその他の球状になった部分はMgである。

4-3は、組織全体に占めるAlの分布状態を分析した写真である。4-1で観察した白い縞模様の部分にAlが凝集しているのが観察される。

4-4は、組織全体に占めるCaの分布状態を分析した写真である。4-3で観察したAlの分布と同一の分布状態で合致する。従って4-1で観察した白い縞模様はAl+Caである。

#### 4 まとめ

今回調査研究したMg合金は高温(800°C)にしても不燃の状態を保つことができたことと、塗型の種類による鋳物への影響は顕著には表れなかったこと等が実験の結果明らかとなったが、特に有機性の塗型材が今後普及されることから、燃焼時におけるメカニズムについて今後明らかにしていきたい。

##### (1) 塗型厚と通気度

有機性塗型材は従来の無機性塗型材に比較して、軽量で乾燥が早く、強度も高い等の特徴を有するが同一の塗型厚では無機性に比較して通気度は低下する。

一回付着量が0.35mmでは100を示し高い通気性を示すが2回目の付着になると極端に低下し、15となる。一方、無機性塗型では3回付着からは3以下となり極端に低下した。

したがって、塗型の付着回数は少ない方が望ましいため、有機性塗型材ではザーンカップ5号を用いて10秒位にすれば一回塗りで通気度は70位になる。無機性塗型材ではボーメ度を68位にすれば付着量も増し、一回塗りで通気度は50~60になる。

通気性についてSEM写真で見ると、有機性は密

で無機性は粗となっている。

##### (2) 砂の充填及び鋳込条件

砂を充填する振動パターンX、Y共50未満、Zは20未満でよい(階段型試験片の縦込み)。

また、枠内の減圧は極力小さい方がよく上限を-80mm Hgまでがよい。

鋳込み温度は650°C以下でよく、580°Cでも好結果が得られた。

##### (3) 形状による収縮および機械的性質

模型の寸法に対する鋳物の収縮率では、肉厚10mmから60mm位までは収縮が大きいがいそれ以上の寸法になると収縮の差は小さくなる。

階段型試験片の薄肉部程、引張強度は高くなっており、12mmの部分と60mmの部分の差は薄肉部の方が10%強高くなった。JISによる強度の比較では、若干下回っている原因は、消失模型鋳造法の特性と考えられる。また、硬さの面からは極端な差は認められなかった。

##### (4) 顕微鏡組織写真

9Al-1Zn-5Caに調合したMg合金鋳物の基地組織に対し、再溶解後の組織は拡大しており、10倍強の結晶粒となった。

階段型試験片の肉厚60mmから肉厚24mmまではあまり差がなく、肉厚12mmでは急激に組織が緻密となり、デンドライト状となる。

縞模様となっている部分はEPMAで分析した結果、AlとCaの混合組織で他はMgであった。

以上の実験結果で明らかなように消失模型鋳造法によるマグネシウム合金鋳物の鋳放しにおける引張強度、硬さ及び顕微鏡組織面から、JISによる砂型鋳造より若干下回った。

今後は、溶体化処理によって強度の向上をはかり、耐腐食性にも取り組む所存である。

#### 参考文献

1. 鋳物設計：日刊工業新聞社
2. 非鉄合金鋳物：〃
3. 工業試験場研究報告：平成2年度