

# 一般研究

## 消失模型鑄造法における複雑形状鑄物の製造技術に関する研究

機械部 吉浦洋之

### 1 はじめに

永い歴史をもつ鑄造法も木型、金型及び現物を模型に用いて山砂又は、珪砂に粘結材を添加し、鑄枠中でつき固め、上型、下型に分割後模型を取り除き空洞にしたのち溶湯を注入して製造する方法について基本的には現在でも変化はない。

今回取り組む鑄造法は発泡スチロールの模型を砂中に埋設し、枠内を減圧したのち注湯する方法であるため、従来の方法に比較して全く異なった方法であり、中子の不要、鑄バリの発生が少なく、高精度な上に機械的強度が高く、省力化、省エネルギー、クリーン化等の優れた特徴がある。そのため、最近ではこの鑄造法についての研究が進み実用化されつつある。

そこで昨年に引続き本研究では、実用に即した中子を必要とする箱型の複雑な模型を用いてアルミ合金、マグネシウム合金、銅合金（以下 AC4A、MC、BC6と略す）の3種類について鑄造方案、塗型の通気性、材質の組織等を中心に調査研究した。

### 2 実験方法

Al の金型を用いて成型発泡した EPS 模型の表面に塗型を施し、乾燥後非粘結砂中に埋設して鑄込むため、枠内の減圧度、注湯温度、方案等適正条件を見出す必要がある。特に振動による砂の充填（振動、振幅）が大きな原因となり、製品の良否に影響を及ぼすため、珪砂の選定、フラスコの形状等を考慮する必要がある。

#### (1) 実験方法のフロチャート

予備発泡、成型発泡、塗型、乾燥、砂充填、注湯及び製品の仕上げ等製造工程について図1に示す。

#### (2) 模型の形状及び鑄造方案

図2には箱型発泡模型の上型、下型についての斜図を示す。この箱型は場所によって肉厚が異なり、

鑄造方案には充分なる検討が必要である。

図3は、AC4A、MC、BC6について鑄込み後の寸法精度を検討するため、発泡模型及び製品の上型について寸法を測定した。

図4は、上、下合わせ型の2ヶ込めによる箱型発泡模型の鑄造方案を示す。上型、下型を接着剤で貼合わせた後押上による方案図である。厚肉側及び薄肉側から同時鑄込みによって製品の良否を観察した。

#### (3) 実験装置及び供試材

表1は、実験に用いた装置を示す。模型成型装置は一次発泡したビーズを成型発泡する装置であるため、ボイラー及びオートクレーブを必要とする。更に模型の表面には焼付け防止、さし込み防止等の目的で塗型を施し、乾燥する装置を必要とする。また、模型の充填には、フラスコ、真空ポンプ、三次元振動テーブル等によって砂を充填する。材料の溶解には、高周波溶解炉を用い、模型及び製品の寸法測定には定圧ダイヤルノギス等を用いた。

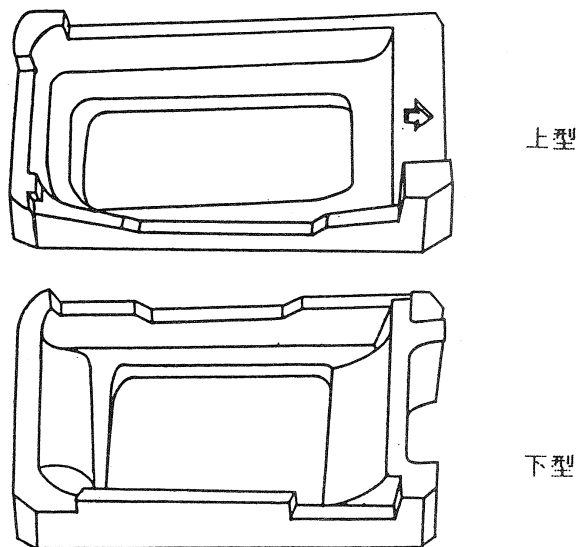


図2 箱型発泡模型の斜図

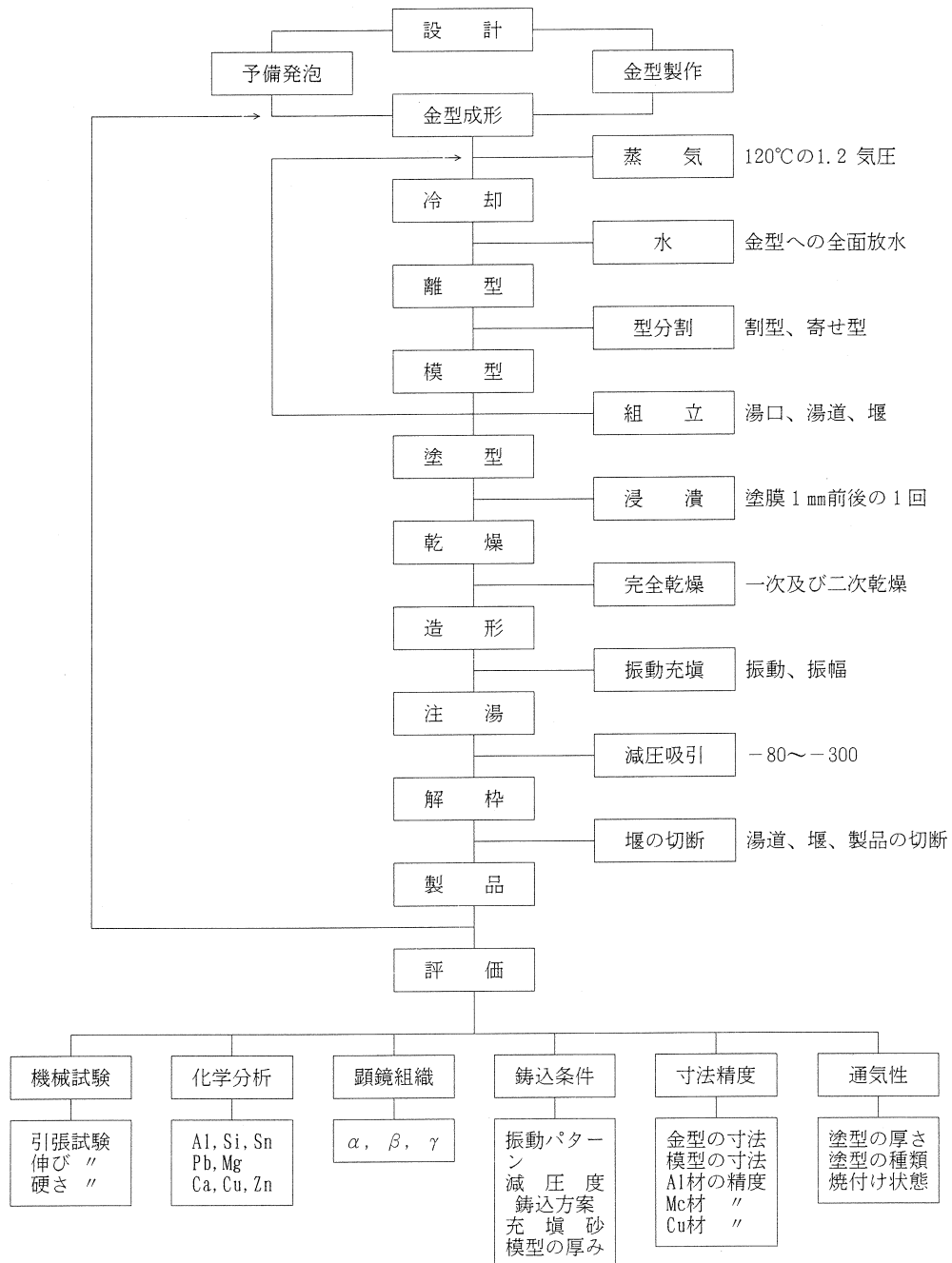


図1 製造工程（各工程のフローチャート）及び評価

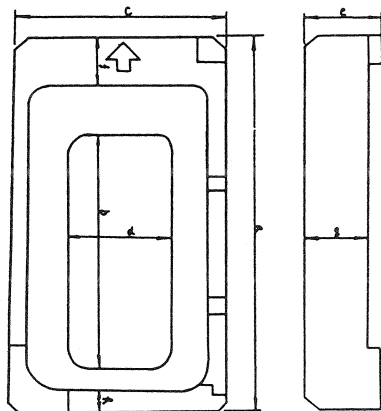


図3 上型発泡模型の寸法測定位置

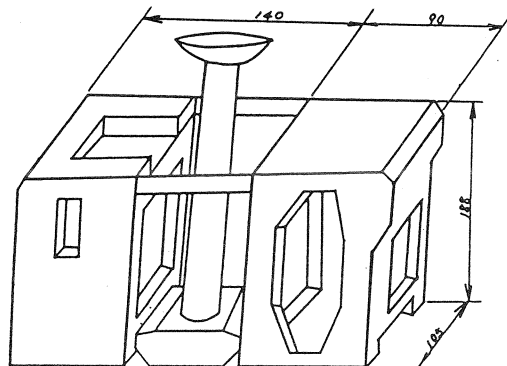


図4 箱型発泡模型の鑄造方案

表2は、模型成型用として、ポリスチレン（以下EPSと略す）を用い、模型の塗型には、石英及びシリカの主成分を用い、模型充填用珪砂にはフリーマ

ントル5号を用いた。また、鑄込み材料には、AC4A、MC、BC6をそれぞれ鑄込んだ。

装置名	品名	仕様	備考
模型成形装置	オートクレーブ	φ600×600H, max 8kg/cm <sup>2</sup>	ビーズの蒸気発泡、冷却装置等
	ボイラー	1950×1270, max 10kg/cm <sup>2</sup>	500kg/hの蒸気発生
塗型乾燥装置	恒温恒湿器	15~40℃, 湿度10~80%	塗型の乾燥その他
模型充填装置	フラスコ	φ600×600H, 200meshの金属	模型充填用鑄枠
	真空ポンプ	1.5m <sup>3</sup> /min, 600mmHg	フラスコ内の減圧吸引
	三次元振動テーブル	1288×640H, max 2G	フラスコ内への砂の充填
溶解炉	高周波溶解炉	3kHz30kW, 30kg/鉄	金属材料の溶解
模型寸法測定装置	定圧ダイヤルノギス	目量0.05mm, 領域±0.012mm	ポリスチレン模型の寸法測定

表1 実験に用いた装置

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%	一次発泡したビーズを金型中で成形発泡									
塗型材	主成分は、石英、シリカ等で粘土の他ボンド及び界面活性剤消泡剤を混入											
充填用珪砂	35~48meshピークでSiO <sub>2</sub> 99.5%を有し比重は1.6~1.8											
溶解材料	アルミニウム合金鑄物 AC4A(JIS H5202)				マグネシウム合金鑄物 MC(JIS H5203 相当)				青銅鑄物 BC6(JIS H5111)			
	Si	Mg	Zn	Al	Al	Zn	Cu	Mg	Sn	Zn	Pb	Cu
	9.0	0.5	0.2	残	10.0	3.5	4.8	残	5.0	5.5	5.8	残

表2 供試材

3 実験結果及び考察

(1) 塗型厚と通気度

表3及び図5は、塗型厚と通気度を求めたものである。CO<sub>2</sub>砂型へ塗型剤を付着後乾燥させ、厚みを測定後、JISに基づく手法によって通気度を算出した結果である。ポーメ度が高くなるにつれて塗型の付着量も増しているが通気度は逆に低下している。したがって発泡模型の表面では直接測定できないが、鑄込み実験から1~1.5mm程度で充分だと考えられ鑄鋼等の高温注入には焼付け防止の意味から2mm程度必要だと考えられる。しかし、2mm厚となった場合、通気度も20以下となることから塗型の乾燥は勿論のこと、バックサンドも粗い粒度を選定する必要がある。

(2) 砂の充填及び鑄込み条件

表4は砂の充填及び鑄込み条件等を示したものである。模型をフラスコ中に設置し、振動をかけつつ砂を充填するがX、Y、Zの振動数はX及びYがほぼ同程度の45~48Hzであるのに対し、本実験の模

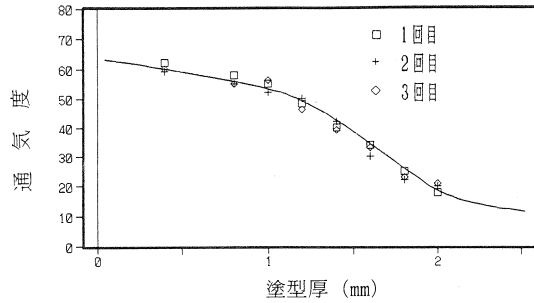


図5 塗型厚と通気度

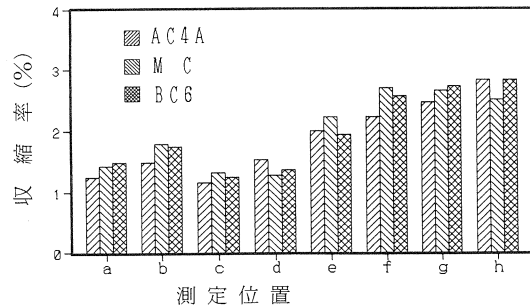


図6 模型に対する各測定点の収縮

塗型厚 (mm)	通気度				備考
	1	2	3	X	
0.4	62	59	60	60.3	(1) 鑄型作製: CO <sub>2</sub> 型の底面に塗型材を付着 (2) 乾燥時間: 恒温室29℃2日間乾燥後測定 $P = \frac{V \times H}{p \times A \times T}$ P: 通気度 V: 通過する空気量 (2000ml) H: 試験片高さ (cm) p: 空気量 (cmH <sub>2</sub> 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> ) ※塗型材: 神戸理化学工業(株)製(エピコK-124)
0.8	58	55	55	56	
1.0	55	52	56	54.3	
1.2	48	50	46	48	
1.4	40	42	39	40.3	
1.6	34	30	33	32.3	
1.8	25	22	23	23.3	
2.0	18	20	21	19.7	

表3 塗型厚と通気度

材質	振動パターン (Hz)				減圧度 (mmHg)		鑄込条件		備考
	X	Y	Z	時間	設定時	鑄込時	溶解温度	注入温度	
AC4A	48	45	25	4分	100	70	750℃	720℃	落とし込み方案
M C	48	45	18	4分	80	50	730	700	落とし込み方案
BC6	48	45	20	4分	300	220	1250	1200	押し上方案

表4 砂充填及び鑄込み条件

型は箱型であるため、Z軸はあまり強くしない方がよく20Hzで充分であることが確認できた。しかし、振動時間が短いと砂落ちが発生したため、4～5分は必要である。減圧度では、MC及びAC4Aは比重が軽いことから、-50～-70で充分と思われるがBC6は-300以上は必要と思われる。しかしこの場合方案によって大きく異なる。したがって、落とし込み方案では若干低い値でもよいと思われる。また、鑄込みの温度はMCで700℃以下、AC4Aで720℃前後、BC6では1200℃で充分満足した結果が得られたが、MC及びAC4Aの様な軽比重の材料では、落とし込み方案が最適であることが確認できた。

(3) 材料の収縮

図6は、図2で示した各測定点について各材料の模型に対する製品の収縮率を求めたものである。この図からAC4Aでは、長さ方向が187mmでは1.3%位であるのに対し、8.8mmでは2.8%の収縮を示し、a～hまでの8点の平均では1.87%の収縮であった。MCについては187mmで1.4%、8.8mmで2.5%、平均では1.98%であった。さらにBC6では187mmで

1.5%、8.8mmで2.8%となり平均では1.99%の収縮となった。したがってAC4Aに対しMCでは6%程度収縮が大きく、BC6でも6%程度の収縮となった。このことをJISの規格表と比較した場合、AC4A及びMCでは10/1000～12/1000でほぼ規格通りの収縮であるのに対しBC6は若干高い値となった。この理由については今後の研究で解明していきたい。

図7は、模型に対する各材質の長さ方向に対する収縮率を求めたものである。8mmから60mmまで

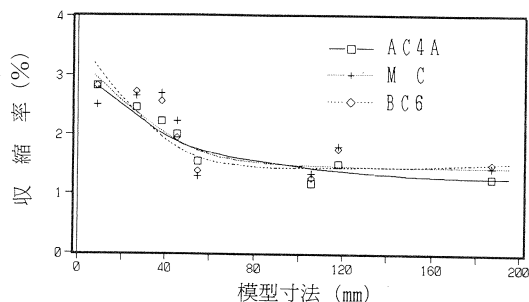


図7 模型に対する各材質の長さ方向に対する収縮率

材 質	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	硬さHB(10/500)	製品重量 (kg)	比重 (ρ)	鑄造条件
AC4A	154	3.6	46	1.5	2.68	落とし込み方案
MC	132	4.2	46.1	1.1	1.82	落とし込み方案
BC6	192	18.8	50	4.7	8.92	押上方案でも可

表5 製品の重量及び機械的性質

材 質	測定項目									AVE
		a	b	c	d	e	f	g	h	<x>
AC4A	模型寸法(mm)	187.35	118.10	105.40	54.85	45.30	38.33	26.50	8.85	73.09
	製品寸法(mm)	185.00	116.24	104.18	54.00	44.40	37.48	25.85	8.60	71.98
	収縮率 (%)	1.25	1.49	1.16	1.54	1.99	2.22	2.45	2.82	1.865
MC	模型寸法(mm)	187.35	118.10	105.40	54.90	45.30	38.33	26.50	8.85	73.09
	製品寸法(mm)	184.68	116.00	104.00	54.20	44.30	37.30	25.80	8.63	71.86
	収縮率 (%)	1.43	1.78	1.33	1.28	2.21	2.69	2.64	2.49	1.981
BC6	模型寸法(mm)	187.35	118.10	105.40	54.90	45.30	38.33	26.50	8.85	73.09
	製品寸法(mm)	184.55	116.05	104.15	54.15	44.42	37.35	25.78	8.60	71.88
	収縮率 (%)	1.49	1.74	1.25	1.37	1.94	2.56	2.72	2.82	1.986

表6 各材質の収縮

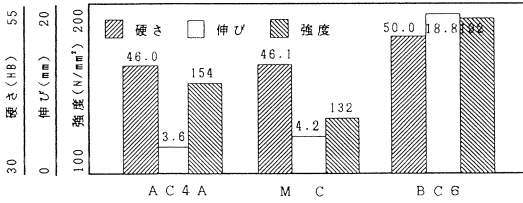


図8 各材質の機械的性質

は3%前後から2%前後で各材質とも減少しているが60mm以上になるとゆるやかなカーブで収縮率が減少し、材質面からはBC6がAC4A、MCに比較して若干低い値となっているのは消失模型鑄造法の特長とも考えられる。

(4) 製品の重量及び機械的性質

表5は、図4に示す箱型の2ヶ込めについて調査した結果、AC4A、MCでは落とし込み方案について良好な結果が得られたが押上方案では、湯廻り不良等が発生した。BC6では、押上方案でも良好な結果が得られ、湯廻り不良、焼付け、砂落ち等の不良は認められなかった。また、湯口比についてBC6を1とした場合、A1では1.5倍、MCでは2倍にすれば注湯時における湯廻り不良も防止することが確認できた。参考までに2ヶ込めの内1ヶ分についての重量を示す。

材質についての機械的性質では、JISに基づく値とほぼ同程度であったがBC6の強度では若干下回った。この理由として、φ25の丸棒による立て込め試験片であったため、押しの効果が少なかったものと考えられる。

図8は各材質の機械的性質を比較したものである。AC4A、MCともJIS規格をほぼ満足しているがBC6は強度、伸びとも若干下回った。この理由について今後の研究で解明したい

(5) 顕微鏡組織写真

写真1のAC4Aは、倍率100倍の顕微鏡組織写真である。粗大化された組織は、凝固速度の遅い消失模型鑄造法の特長と考えられる。また、α素地であるA1の基地の他に塊状の初晶、板状の共晶その他混合組織を観察することができる。MCの組織はAC4Aを金型鑄造した組織に近く、Mgの基地の他Mg<sub>2</sub>Si及び不純物等の混合組織になっているものと考えられる。

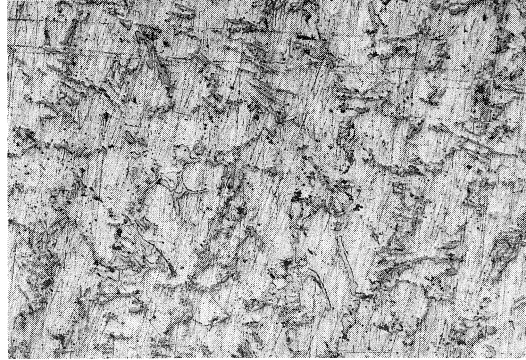


写真1 AC4Aの鑄造組織

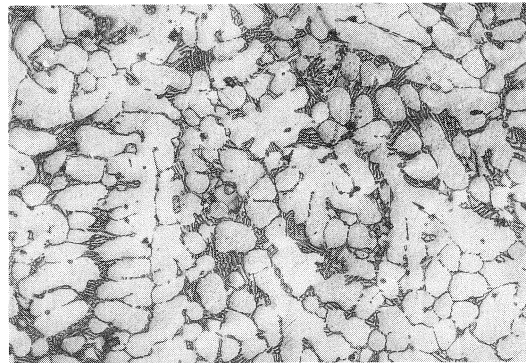


写真2 MCの鑄造組織



写真3 BC6の鑄造組織

BC6は、柱状晶及び等軸晶が表れた共晶組織を示す。特に脱酸剤として、Znを使用したため、αデンドライト相の範囲がやや狭く、δ相が広い組織となった。

4 まとめ

(1) 塗型厚と通気度

AC4A、MC等の軽合金は1mm前後でもよいが

BC6の場合は若干厚めの方がよい結果が得られた。  
1 mm程度の塗型厚で通気度は50前後である。

(2) 砂の充填及び鑄込条件

砂充填の振動数は、X、Y軸が45~48Hz位でよく、Z軸はその半分くらいでよい。充填時間は3分以上必要。減圧度はBC6を除く軽合金は-100以下が望ましい。しかし、BC6は-300以下を必要とする。鑄込方案では、BC6は押上でもよいが軽合金は落とし込みの方が望ましい。

(3) 材質の収縮

材質の別なく、長さ方向の方が厚み方向よりも収縮が少ない。その範囲は2.8~1.3%の間でばらつく。AC4Aに対し、MC、BC6とも約6%収縮率が高い。

(4) 製品の重量及び機械的性質

湯口比ではBC6を1とした場合、AC4Aでは1.5倍、MCでは2倍くらいにすれば溶湯が入りやすい。

(5) 顕微鏡組織

AC4Aでは、 $\alpha$ 相における塊状の初晶、板状の共晶が粗大化されているのは消失模型鑄造法の特性と考えられる。

MCでは金型鑄造した組織に近く、一般砂型と若干異なる。

BC6では柱状晶、等軸晶等の $\alpha+\delta$ デンドライトの共晶組織となった。

参考文献

- 1 鑄物設計：鑄造技術講座編集委員会，日刊工業新聞社
- 2 非鉄合金鑄物：鑄造技術講座編集委員会，日刊工業新聞社
- 3 金属組織写真集：金属工学，丸善
- 4 工業試験場研究報告：平成元年度技術開発研究費補助事業成果普及報告書