

(4) 消失模型鑄造法における形状精度等品質の高度化に関する研究

機械部金属科 吉浦洋之
清高稔勝

1. はじめに

鑄物を製造する方法として、従来は生型及び焼型等が中心であったが技術の進展に伴ってCO₂砂型、フラン樹脂型、金型等多種多様な方法が開発されている。しかし、いずれも木型又は金型等を模型に用いて、上型、下型に分割し、空洞の鑄型を製作する点ではなんら変更点が見られない。しかしより高度な鑄物を製造するためには、革新的な技術が必要となってくる。

今回取り組む鑄造法は従来のフルモールド法と真空鑄造法(Vプロセス)を併せたようなプロセスで、模型を非粘結砂中に埋設後、鑄枠内を減圧して鑄込む方法である。そのため、鑄バリの発生がなく、中子も不要で、その寸法精度も高く、作業上特殊な技能を要しない等多くの利点がある。

しかしこの方法も解決しなければならない問題点として、模型消失時に発生するガス対策、薄肉模型の変形対策、厚肉内部模型の発泡ビーズ熟成対策、ガス圧による湯回り不良対策、及び模型成形用金型経費の低減等が挙げられる。そこで本研究では、実際に即した形状6種類の模型を用いて、鑄込実験や三次元シミュレーションによる凝固解析を行い、鑄込方案、塗型の通気性、砂の充填性及び減圧度等最適条件を求め、歩留を向上させ、付加価値を高めるために、品質の高度化に向けて調査研究を行った。

2. 適性条件の選定

本鑄造法は模型を充填するフラスコ(φ600×600H)中に非粘結砂を用いて振動を与え、模型周囲の隅々まで砂を充填させたのち、フィルムで砂上部を覆い減圧しつつ鑄込む方法である。

本実験にはアルミニウム合金鑄物(AC7A)、銅合金鑄物(BC6)、普通鑄造鑄物(FC25相当)等につい

ては一般にポリスチレンの発泡材(EPS)を用い¹⁾、一部ポリメタクリル酸メチル(PMMA)を用いた。これ等の材料を用いて一次発泡されたビーズを金型内に充填し、適性温度と圧力で成形発泡を行い模型を成形する。模型の塗型には、模型の燃焼消失時に発生するガスの抜け易い通気性の良い塗型材であること、変形防止に対する強度をもたせるため、石英の粉末またはシリカフラワ等を用いる。塗型の厚みとしては1~2mmとし、乾燥は2日間の自然乾燥、及び30°C~40°Cで5時間の強制乾燥を行う。ついで模型を三次元振動テーブル上のフラスコ内へ配置し、周囲に砂を充填した後加振度0.5~1.3Gで加振する。充填砂には、振動による充填性のよい砂の形状が必要である。注湯は最大-450mm Hgまでの範囲で減圧吸引して行う。鑄込まれた鑄物に対してその鑄込み方 案が適切か否かを調査するために切断し、内部の状態及び機械的性質等の検査を行い適性方 案を決定する。

3. 実験方法

3.1 供試材の選定

表1は実験に用いる主な供試材について示す。

模型に用いた発泡ビーズは直径0.3mmのビーズを45倍に予備発泡したEPS(一部PMMA)を使用した。

塗型材は試料No.A, B共コロイダルシリカにジルコニアを混合した当工試のもの、CからFまでは各メーカー品でシリカベース主体の塗型材である。

フラスコ中に充填する珪砂は、フリーマントル5号を使用し、鑄込み材料はAC7A, BC6, FC25の3種類とした。化学成分等については表に示す通りである。

表1 供試材の選定

名称	適用												
	EPS		発砲スチロールを主成分とし、非鉄金属及び鉄用に使用										
発砲ビーズ	PMMA		メタクリル酸メチルを主成分とし、主に鋳鋼、ステンレス鋼等低炭素系に使用										
	A		B		C		D		E		F		
塗型材	工試製 EPOXY系 + シリコンワーカー		工試製 EPOXY系 + シリコンワーカー		T社 シリカ系		O社 シリカ系		E社(1) シリカ系 (SC, FC等)		E社(2) シリカ系 (アルミ用)		
	mesh 粒度分布 (%)					化学成分 (%)				特性			
充填用珪砂 (フリーマント ル5号)	28	35	48	70	100	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca	lgloss	AFS	比重	
	10	32	28	10	5	99.5		0.14	0.17	0.01	0.03	33~39	↓.6~1.8
	↓ 18	↓ 40	↓ 35	↓ 15	↓ 下	以下							
鋳込み材料 (化学成分 (%))	アルミニウム合金鋳物 7種A (JISH2211)				青銅鋳物 BCIn6 (JISH2203)				ねずみ鋳鉄品4種 FC25 (JISSG5501)				
	Si	Cu	Fe	Al	Cu	Sn	Zn	dust	C	Si	Mn	S	
	0.18	0.09	0.3	残	84.4	4.8	5.0	残	3.65	1.98	0.39	0.085	

3.2 実験装置

本実験に使用した装置の概要を図1に示す。本装置は予備発泡したEPSビーズを、成形発泡するオートクレープ装置と模型をフラスコ中に埋設し、砂を充填する三次元振動テーブル、蒸気発生用ボイラ

ー、減圧装置、塗型乾燥装置からなっている。測定装置としては、三次元凝固シミュレーションシステム、低圧ダイヤルノギス、画像解析装置、金属顕微鏡などを用いた。なお模型の成形には、6種類の金型を用いた。

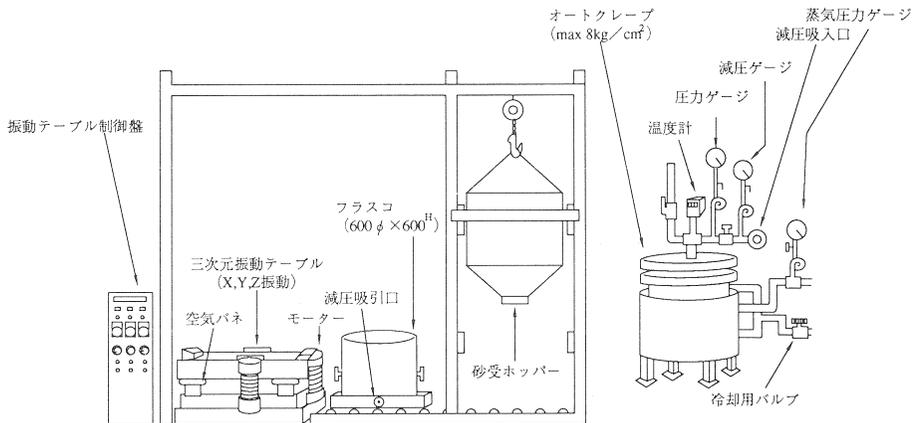


図1 砂充填装置及びオートクレープ

3. 3 溶湯温度測定方法

鑄造時の溶湯温度の測定には階段型試験片を用い平面状にセットして、厚肉側から各段中央部の側面に深さ約10mmのところを熱電対を挿入し、発泡スチロール模型中に注入された溶湯から凝固完了までの温度を4点指示計のインテリジェントレコーダで記録した。測定方法及び装置について図2に示す。なお鑄造方案は押上を採用した。

3. 4 試験片の試料採取方法

図3に示すように各段毎に切断し、肉厚に応じた引張試験片 (JISZ2202 (AC7A, BC6) 4号, (FC25) 8号), ブリネル硬度及び顕微鏡撮影用試片を採取した。また Kb 型試験片の引張試験用丸棒からも顕微鏡用試料を採取した。

3. 5 各種模型の寸法測定位置と鑄込方案

図4は各種模型の形状と寸法測定位置について示す。Kb型は JIS で用いられる引張試験片の形状を用いた。T型及びS型はパイプの直径、肉厚、幅、高さ、捻れ等の寸法精度、及び砂充填性等を測定した。また階段型では、各段 (5段) の長さ、幅、厚さ等の形状測定、熱電対を用いた冷却曲線、及機械的強度、凝固解析等多方面の測定を行った。A型及びB型は長さ、幅、厚さ等の計測を行った。鑄込方案では、薄肉型には Kb 型、T型、S型の落とし込み方案を採用した。階段型、A型及びB型では、一部落とし込み、一部押し上げ方案を採用した。また堰の方案については、湯口：湯道：堰の比が一般的に用いられる 1：0.9：0.8を採用した。尚肉厚型の試験片では、ガスの発生が多く欠陥の発生が予測されることから、特に方案への検討を重点的に行った。

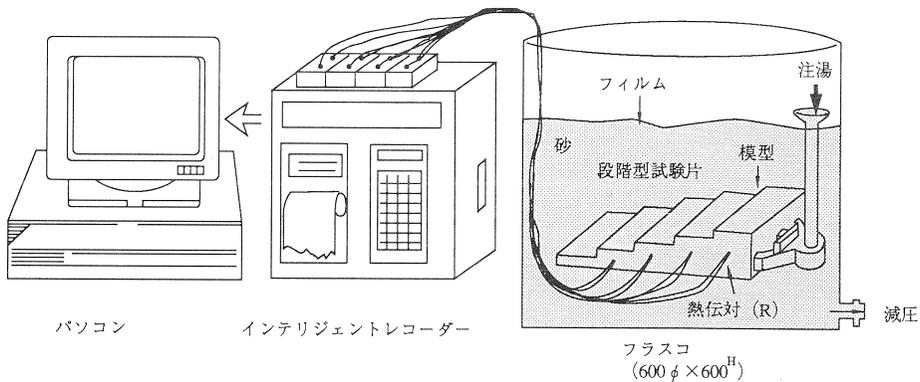


図2 溶湯温度測定方法及び装置

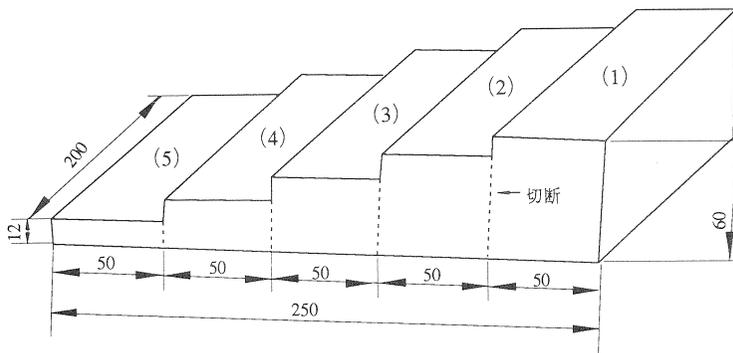


図3 段階型試験片による試料採取位置

	名称	形状	鑄込方案
各種模型の形状及び測定位置	K b 型 (引張試験用) a c f 200×50×83		
	T型パイプ (砂詰測定) a d f 200×50×100		
	S型パイプ (砂詰測定) a c f 153×50×120		
	段階型 (試験片用) a g f 250×200×60		
	A型 (ガス発生用) a g f 250×125×100		
	B型 (ガス発生用) a g f 250×125×100		

図4 各模型の測定位置と、鑄込方案

3. 6 三次元凝固解析のフローチャート

図5は三次元の凝固解析システムのフローについて示す²⁾。解析ソフトウェアはSOLDA-EX(株小松製作所)を用いた。入力パラメータは鋳物試験片(階段型を使用する)の形状, 材料の物性値(AC7A, BC6, FC25), 初期条件, 及び境界条件等である。これらの入力により固相率, 温度勾配, 各固相率到達時間の算出等, 温度計算から各自由流動領域の最小ヘッド要素群の算出をへて引け巣の発生状況及び冷却曲線等をプリントアウトする構成となっている。

なお, 物性値として熱伝導率 (cal/cm²・S・°C) には AC7A : 0.25, BC6 : 0.18, FC25 : 0.07, 及び熱伝達係数 (cal/cm²・S・°C) には AC7A : 0.01, BC6 : 0.01, FC25 : 0.01をそれぞれ用いて凝固計算を行った。

4. 実験結果及び考察

4. 1 各種模型の成形条件

表2は各種模型の成形条件を示したものである。

kb型は, 蒸気圧力 1.2kg/cm², オートクレーブ内温度 130°Cで, 目的温度に達してからの保持時間は55秒, 保持時の最低温度110°C, 金型の冷却温度は40°C以下で更に, 釜外放冷時間は 5分以上に設定すれば最適条件であることが確認された。

T型, 及びS型のパイプは肉厚が 5mmと一定であるため, 比較的成形が容易である。蒸気圧力 1.1kg/cm², オートクレーブ内温度120°Cで, 目的温度に達してか

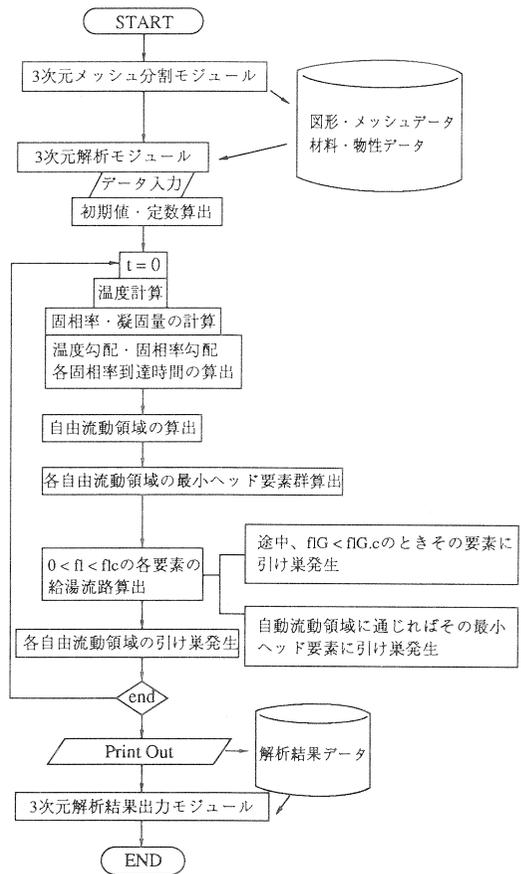


図5 3次元凝固解析システムのフロー

表2 手動による各種模型の成形条件

形状	蒸気圧 (Kg/cm ²)	オートクレーブ内温度 (°C)	保持時間 (秒)	保持時の温度 (°C)	冷却温度 (°C)	釜外放冷時間 (分)	備考
Kb型	1.2	130	55	110	40	5	
T型	1.1	120	45	110	40	3	
S型	1.1	120	45	110	40	3	
階段型	1.2	130	80	110	40	15	減圧後加圧 (-100~-150mmHg)
A型	1.3	130	85	110	40	20	"
B型	1.2	130	80	110	40	10	"

らの保持時間は45秒、保持時の最低温度110°C、金型の冷却温度は40°C以下で更に、釜外放冷時間は3～5分以上に設定すれば最適条件であることが確認された。

階段型、A型、B型では肉厚が一定でなく、均一な成形発泡は困難である。そこでオートクレーブ内に配置した金型内のビーズ中に含まれる空気を減圧吸引後、蒸気圧力を1.3kg/cm²、オートクレーブ内温度を130°Cとし、保持時間を薄物模型の倍の時間に設定する。さらに放冷時間も10～20分間に設定すれば厚肉部内ビーズの融着も十分であることが確認された。従って肉厚の異なる形状では、釜内を減圧にした後、ゆっくりと昇温することにより厚肉部内のEPSビーズが完全に融着し、最適条件を求めることができた。

4.2 塗型の通気度

4.2.1 テストピースによる塗型の通気度
図6は、塗型厚と通気度の相関を求めたものである³⁾。塗型の平均付着量は1.4mmであり、通気度の平均は45.8である。主成分はシリカ系及びジルコン系である。塗型試料は当工試製の2種類及び市販品の3種類、計5種類について調査した。当工試製の2種類はCO₂砂型へ塗型材を付着後乾燥させると剥がれが発生したが、粗粒のムライトを塗型材が乾燥する前に付着することにより、剥がれを防止することができた。この理由として、コロイダルシリカ及びジルコンフラワは、微粒子で粘性が少ないために付着量も比較的少なく、しかも乾燥が早い等の理由によるものと考えられる。従って塗型膜に粗粒子が付着することによって、収縮が防止され、塗型の剥がれ

を防止することができたと考えられる。

塗型厚に対する通気度の関係では、A及びBグループに大別され、Aグループではジルコン系が主成分であり、塗型の厚みが増すに従って通気度も低下する傾向を示している。シリカ系のBグループでは低下の度合いが少ない。これは粒子の粗さに起因するものであると考えられる。また塗型材の評価として、鑄込実験を行い表面の状態を観察した結果、当工試製の試料は市販品と大差なく、焼付による現象もあまり見られなかった。

4.2.2 各種形状の模型に対する塗型厚

図7は、6種類の模型の表面積に対する塗型の付着量について示す。表面積が大きくなる程、塗型材付着量の増加割合は小さくなっている。各形状の模型に塗型を施し、AC7A、BC6、FC25相当をそれぞれ鑄込んだ結果、フラットな部分又は曲面を有する部分には異状を認めなかったが、湯口底、角ばった部分等は若干焼付の状態が見られた。しかし、全体的にはほぼ良好な製品の出来ばえであることから、塗型材の粘性を高め、付着量を厚くすれば防げるものと考えられる。

CO₂砂型によるテストピースへの塗型材の付着実験では、1回浸漬でも1mm以上塗型材が付着したのに、模型では半分以下であった。このことはCO₂砂型によるテストピースに比較してEPS模型は表面が滑らかであり、模型成形時又は模型組立時において油等の付着によって塗型材が付着しにくくなり、CO₂砂型に対して塗型材の付着が少ないものと考えられる。また本実験で鑄込んだ鑄物製品の重量は、最も軽いAC7AのT型パイプで0.78kg、最も

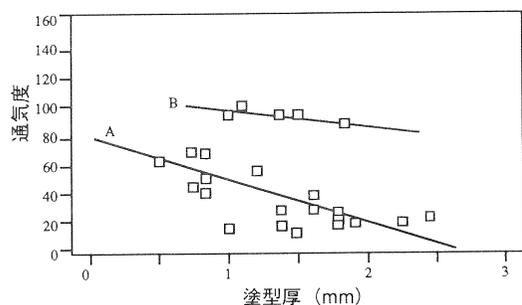


図6 各種塗型材による塗型厚と通気度の関係

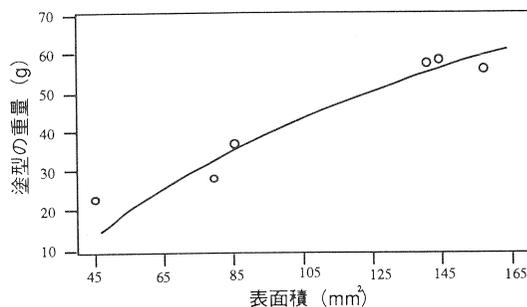


図7 模型の表面積に対する塗型の付着量

重い BC6 の A 型で 24.1kg であった。

4. 3 振動パターン及び、鑄込条件

振動パターンの適性値はプラスチックの形状、充填砂の種類、模型の形状等によって異なるが最も大きな要因は模型の形状によるものである⁴⁾。

従って T 型パイプ、S 型パイプの配置の仕方及び方案により砂の充填性が異なる。特に S 型パイプはフラットな状態に配置し、振動を掛けても鑄込み後の製品では、型落ちの状態がみられた。そこで、できるだけ砂の入り易い状態に立てて、自然に砂が流入するような方案に変更した結果、いずれの材質についても型落ち、砂食いの状態はみられなくなった。

その他の形状ではフラットな面を底面に配置した場合における Z 軸の振動は控えめの方がよく、強すぎると模型が踊る状態となり、かえって砂詰まりの悪い状態が発生した。

本実験に用いた形状では、振動、振幅等は X 軸を強くすれば Y 軸は弱めにするなど、X 軸と Y 軸との組合せによる要因が大きく、加速度は 0.5G から 1.3G の間に設定すれば、ほぼ良好な状態を得ることが判明した。また AC7A では、-100mm Hg 以下に減圧することにより好結果が得られた。BC6 及び FC25 は比重が高く溶解温度も高いことから -350~-450mm Hg に設定し、鑄込温度も若干高めに鑄込み良好な製品を得ることが出来た。

4. 4 溶湯温度測定と凝固解析

図 8 には、階段型試験片を用いて溶湯の冷却曲線及び三次元シミュレーションによる冷却曲線 (AC7A, BC6, FC25) を対比して示す⁵⁾。測定点 No. 6 は肉厚 60mm, No. 4 は肉厚 48mm, No. 3 は肉厚 36mm, No. 2 は 24mm である。

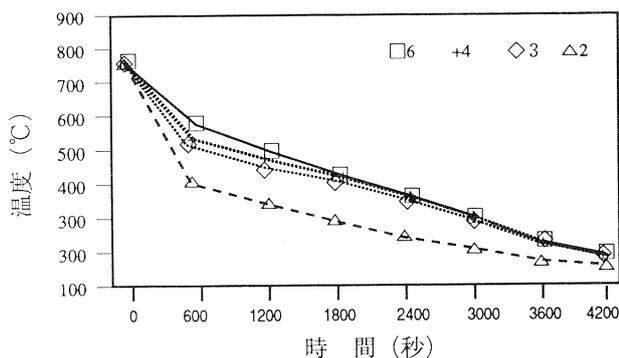
①②は AC7A についての結果であり、実測値①では測定点 No. 6, 4, 3 まではあまり大差なく同じ傾向で冷却しているが、鑄込み 600 秒後測定点 No. 2 は No. 6 に比較して 200°C 近く低くなっている。またシミュレーションによる結果②でも同様に No. 2 が他の冷却曲線に比較して速く冷却されており、実測値と同様に 600 秒後では、150°C 近い差となっている。しかし 600 秒以後になると、実測値に比較してシミュレーションでは各温度が高い傾向にある。

③④は BC6 についての結果であり、実測値③の No. 6 及び No. 2 における 600 秒後の開きは 70~80°C であり、シミュレーション④と一致している。しかし 600 秒以後の実測値では各曲線の開きはほとんどないのに対し、シミュレーションでは大きく開く傾向にある。

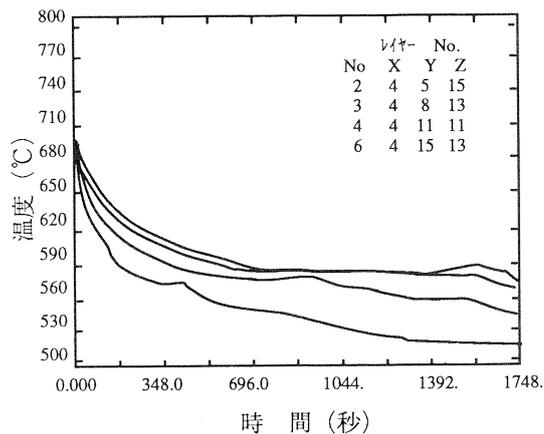
⑤⑥は FC25 についての結果であり、実測値⑤は①の AC7A と同様な傾向となっており、ほぼ直線的に冷却し、鑄込み後約 2000 秒では、肉厚差による冷却の差も小さくなっている。一方、シミュレーション⑥では 450 秒付近まで各測定点とも同様な傾向で冷却しているが、それ以後の No. 2 は急激に冷却している。No. 3 は 700 秒付近から No. 2 と同様な傾向で冷却している。また No. 4 及び 6 は、1700 秒付近まで温度降下が少なく 1200°C~1140°C を保ち、それ以後になると徐々に温度降下を始める。一般に熔融金属の冷却曲線は凝固に伴う熱の放出のため、温度勾配がフラットになるが実測値では、明確な傾向が現れていない。この理由として、実測値の測定位置が表面層に近いために、減圧吸引時の空気流により冷却が早くなるためと思われる。一方シミュレーションでは生型鑄造法のため、冷却が遅く厚肉ほど温度差が大きくなる傾向にある。従って生砂型を用いた空洞鑄型でのシミュレーションに対しての実測値は、消失模型鑄造法であることが最も大きな相違となっているものと考えられる。今後、消失模型鑄造法における実測値と解析結果と、かい離に関して温度測定位置による影響や、鑄造法による相違等詳細に検討する必要がある。

4. 5 階段型試験片による各材質の機械的性質及び金属組織

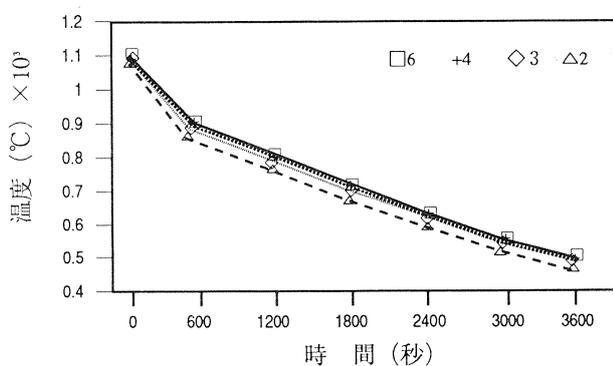
図 9 には、階段型試験片の各段毎に切断し JIS による肉厚に応じた形状から試験片を採取して、引張試験を行った結果である。試験片採取位置番号と肉厚との対応はそれぞれ No. 1:60mm, No. 2:48mm, No. 3:36mm, No. 4:24mm, No. 5:12mm である。AC7A では、肉厚 60mm (16kg f/mm²) と肉厚 12mm (19kg f/mm²) の肉厚による引張強度の差は 2~3kg f/mm² の開きしかないのに対し、BC6 では 19kg f/mm²~27kg f/mm² の開きとなり、肉厚が薄くなるに従って強度が上昇している。また FC25 では、肉厚差による強度の差は小さく、26



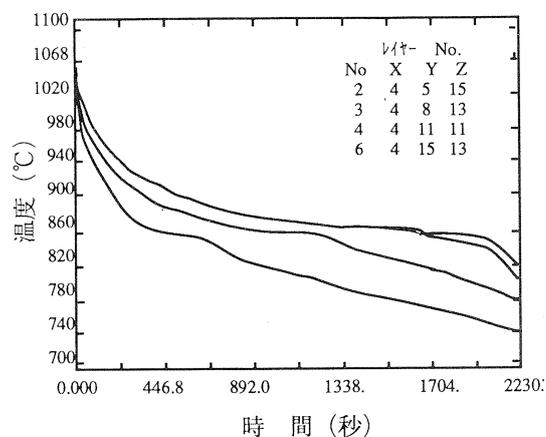
① AC7A の実測値による冷却曲線



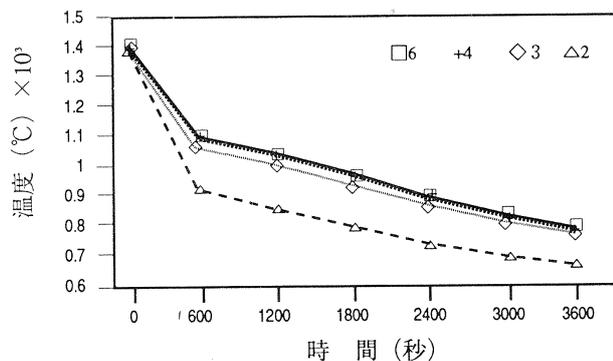
② AC7A のシミュレーションによる冷却曲線



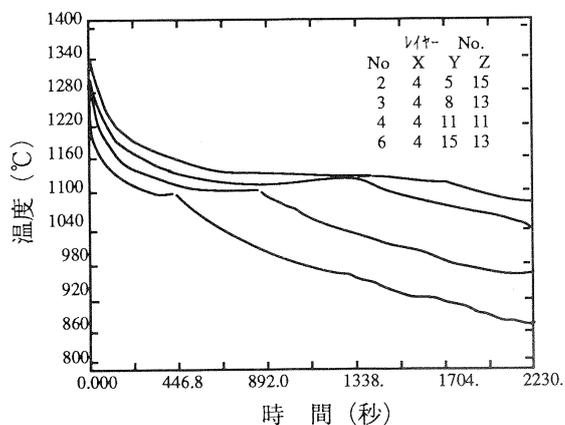
③ BC6 の実測値による冷却曲線



④ BC6 のシミュレーションによる冷却曲線



⑤ FC25 の実測値による冷却曲線



⑥ FC25 のシミュレーションによる冷却曲線

図8 段階型試験片の熱電対による実測値とシミュレーションによる冷却曲線の関係

kg f/mm²~30kg f/mm²である。また JIS による引張強度と比較した場合、BC6、FC25はほぼ同値であったが AC7A は若干下回る結果となったため、今後の解明としたい。

図10はブリネル硬さ HB (10/500) を示したものである。AC7A、BC6両材質とも厚肉部、薄肉部共硬さの差はあまりなく、HB20程度上昇している。FC25

では HB(10/3000)肉厚 60mmで、HB190であるのに対し肉厚12mmでは HB240となる。従って FC25では、引張強さと硬さについて相関が認められる。

図11に示す伸びと肉厚との関係では、AC7A は肉厚が小さくてもその差は少なく、10%前後であり、JIS による空洞鋳物と比較した場合、若干下回っている。一方 BC6は肉厚の減少に応じて伸びが上

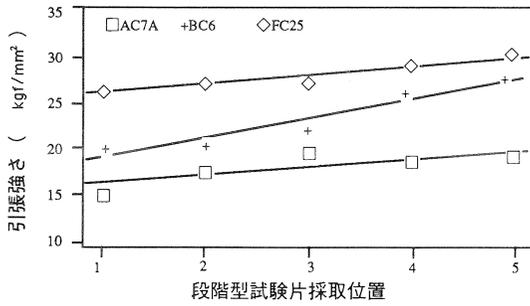


図9 肉厚差による各材質の引張強度

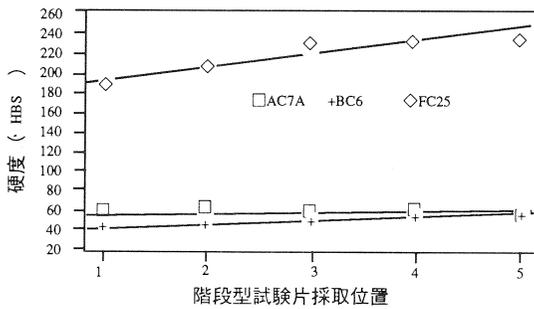


図10 肉厚差による各材質の硬度

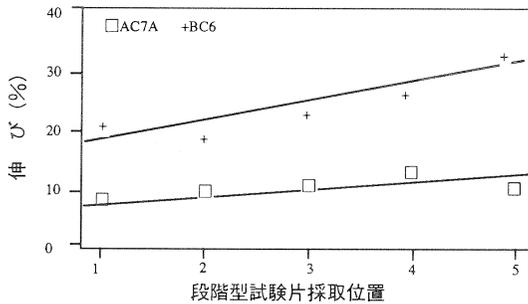


図11 肉厚差による各材質の伸び

昇し、30%前後となっており、従って肉厚が小さくなるほど冷却が速く、組織が緻密となって上昇しているものと考えられる。

写真1はFC25について各肉厚の金属組織を示したものであり、肉厚が60mmから36mmまでの組織は、A型又はC型黒鉛の形状であるのに対し、24mmから12mmまでの肉厚になるとD型及びE型黒鉛となり、冷却の速さ及び消失模型铸造法の特徴から、指向性凝固となっている。

写真2では、Kb型試験片製品部分(φ25×250mm)の端から20mmのところを切断した断面の金属組織写真である。①、②では、減圧(鑄込時-300mm Hg)したフラスコ中に塗型を施した試験片と無塗型の試験片を同一条件で鑄込んだ試料から採取した端面と中心部分の組織である。③、④では、減圧せずに鑄造した試料から採取したものである。

試料番号

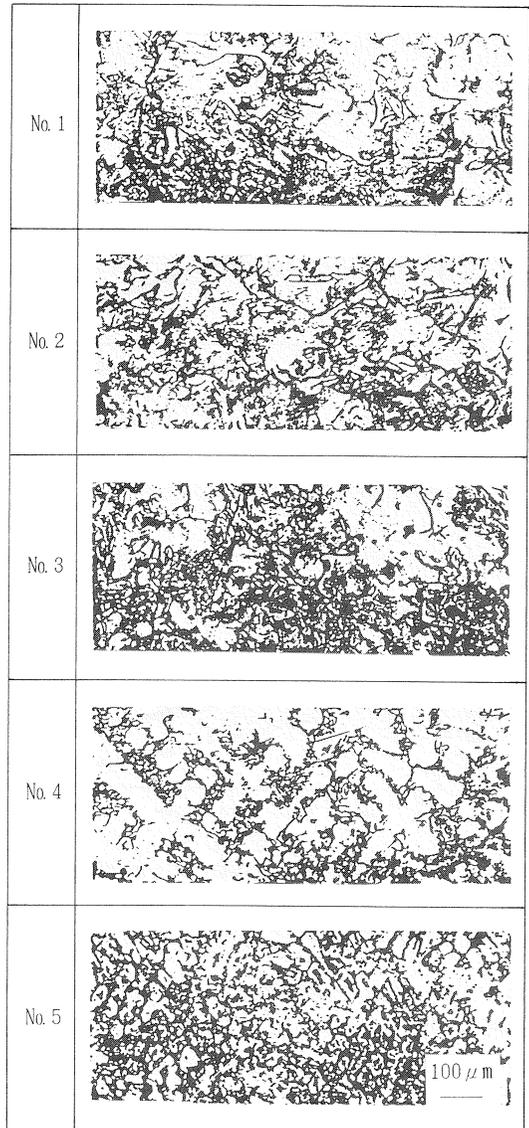
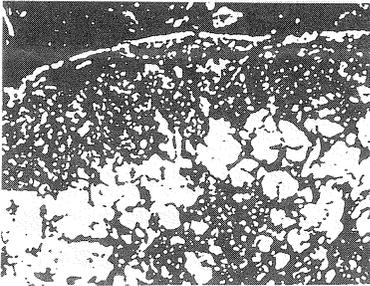
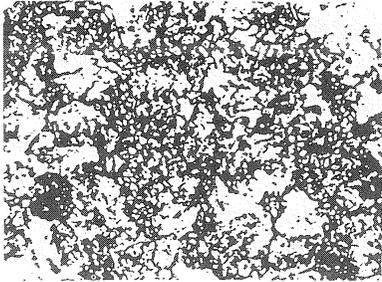
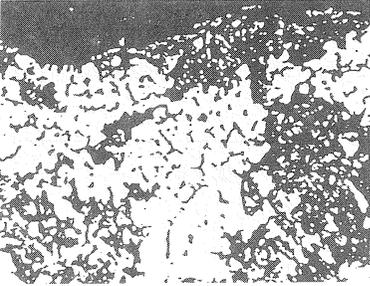
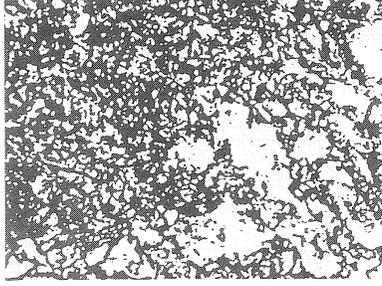
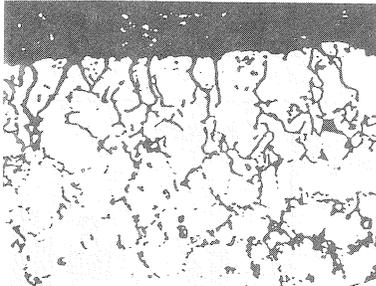
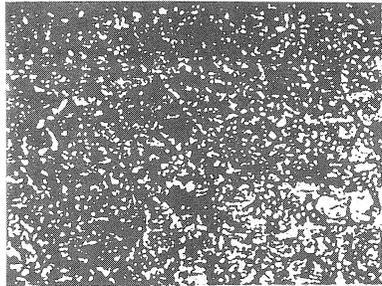
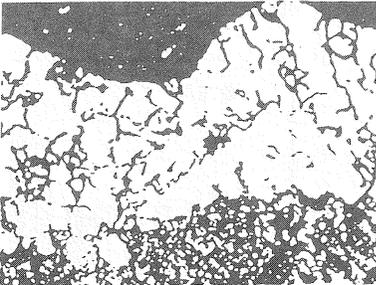
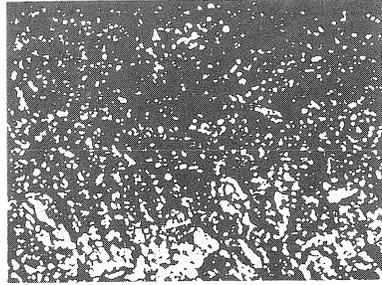


写真1 階段試験片より採取した引張試験片の組織

	端 面 (1mm)	中 央 部 (1.2mm)
① 減圧・塗型		
② 減圧・無塗型		
③ 無減圧・塗型		
④ 無減圧・無塗型		

200 μ m

写真2 減圧・無減圧・塗型・無塗型による組織の影響

減圧による端面と無減圧による端面との比較から、減圧では組織が微細化しフェライト・パーライトが塊状に混在している⁶⁾。塗型面ではごく僅かパーライトが壁面に添って層をなし粒状であるのに対し、無減圧では、組織が粗大化しフェライト・パーライトの層がはっきり分離し壁面にはパーライトは全く確認されていない。これは凝固後の冷却が遅いために自己焼鈍されることから、表面層が脱炭されたものと思われる。またHV硬さ(試験荷重100g)ではフェライト部 217(端面)、パーライト部 270(中心)であった。また、フェライト層から内側では、大部分パーライト層となっている。

一方中央部分の組織では、減圧・無減圧の差はあまりなく、いずれもD型またはE型黒鉛の粒状、柱

状の混在した亜共晶組織で樹枝晶間偏析の伴った指向性となっている。従って、減圧铸造では減圧による冷却が促進され拡散現象によってフェライト中にパーライトが混在したものと考えられる。

更に、模型消失に発生するガスによる要因もあると考えられるので今後の研究で解明していきたい。

4.6 材質による寸法精度

4.6.1 模型に対する製品の収縮率

図12は、Kb型からB型までの6種類について各測定点における材質毎の収縮率の比較を示したものである。

Kb型では、各測定点の収縮率は0.5~2.0%であり、測定点fでは収縮が0に近いのは6mm堰が押湯部

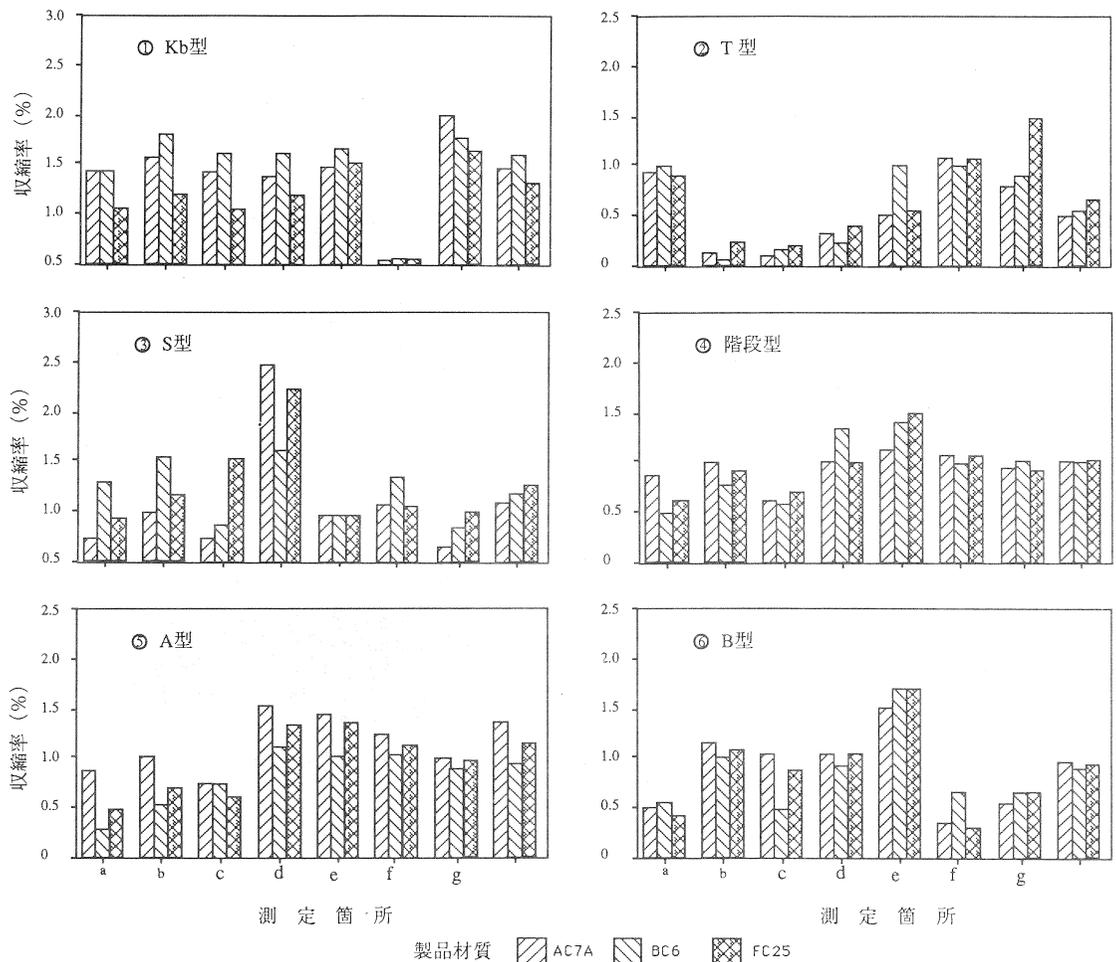


図12 模型に対する製品の収縮率

と製品部に挟まれ、いずれからも収縮に対して影響を及ぼさない結果になったものと考えられる。T型パイプでは、各測定点の収縮率は0より1.5%の間でばらついている。測定点b及びcでは、半割模型を接合しているため、若干型ずれが生じており、その形状でフラスコ内へ埋設し、振動を掛けているために何らかの力が加わって変形を起こしているものと考えられる。

またS型パイプの各測定点の収縮率は0.7より2.4%の間でばらついている。S型もT型と同様にパイプ型であることから半割模型を接合しているため、型ずれの発生している箇所があった。従って金型から模型への転写、模型から鋳物製品へ転写される時に作業上のミス等が重なり材質の収縮だけでなく、他の要因によって、寸法精度に影響を及ぼしたものと思われる。

階段型では、0.5から1.5%の間でばらつき、A型では、0.8から2.0%、B型では0.8から2.2%間でばらついている。これ等のばらつきは長さ及び厚さが一定比率ではないために、収縮率が大きく変動している。しかし厚肉形状の模型に対する鋳物の収縮率では、長さ方に対する影響は各材質とも、形状が長くなるほど収縮率は小さくなる傾向にある。このことから薄肉型に対して厚肉型の方が収縮率が小さくなるのは、写真1の組織写真が示すように厚肉部でA型またはC型、薄肉部でD型またはE型となっていることから、凝固時における冷却速度の違いであると考えられる。

従って寸法精度を確保するには、EPS模型が軟らかく変形し易いため、成形、接着、塗型、乾燥、造型等すべての工程に注意を払う必要がある。特に

複雑な形状又は薄物、パイプ類では取り扱い方が重要となってくる。

4.6.2 肉厚と収縮の関係

図13は階段型における模型と鋳造品素材の寸法変化を比較した図である。

- ① はFC25について長さ方向（水平方向）の収縮率を検討した結果である。収縮率は50,100,150,200,250mmに対しそれぞれ1.18,1.17,1.14,1.12,1.10%である。従って肉厚50mmから肉厚250mm間で変化する収縮率は0.07%の範囲であった。
- ② は厚さ方向（垂直）から収縮率を検討した結果である。収縮率は肉厚12,24,36,48,60mmに対してそれぞれ1.65,1.7,1.55,1.35,1.2%となっており直線的に収縮率は減少している。長さ方向（水平方向）に対して厚み方向（垂直方向）の方が収縮率は大きい傾向にある。材質FC25に対する一般的な伸び尺は7/1000~10/1000とされているが、本実験では収縮率が若干大きくなっている。この理由として消失模型鋳造法では、EPS模型が溶湯と接触した際に生ずるガスの巻き込み、塗型表面層へのガスの残留、砂充填時における模型の変形等が要因として考えられる。しかし鋳物の寸法許容差から検討した場合、長さ方向によるJISの寸法許容差では、精級の範囲内に入っている（実測値では2.8mm以下である）。また、厚み方向でも同様に3mm以下となっていることからJISを下回っているため、寸法精度の高い鋳物を確保することができた。

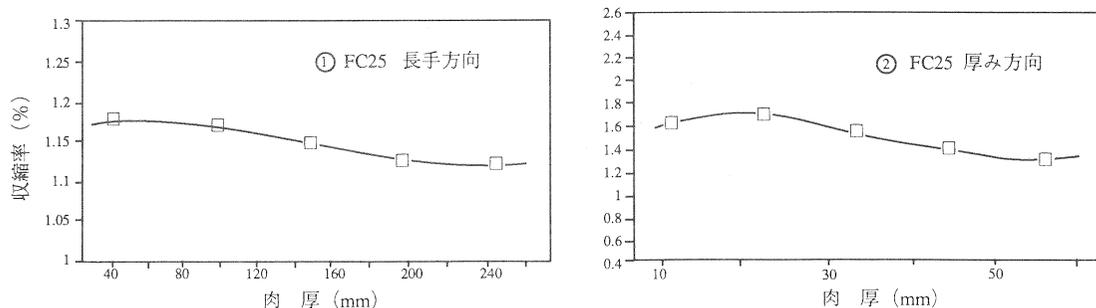


図13 段階型の肉厚と収縮との関係

4.7 鋳物表面に転写された模型の影響

図14は、EPS 模型から転写された階段型試験片の厚肉部(60~36mm)と薄肉部(24~12mm)について鋳肌の状態を示す。EPS ビーズを金型中へ充填し、成形発泡する場合、成形発泡が充分でないと融着不良を起こして模型の強度に影響を及ぼすと共に、ビーズ間に空隙が生じ表面が、凹凸のまま鋳物表面に転写される。従って製品の出来ばえにも影響し、寸法精度にも影響を及ぼす。

転写された形状について、画像処理装置を用いて解析した結果が下のヒストグラムである。融着不良を起こしたビーズからの転写では、完全融着に比較して形状は丸みがあり、更に各ビーズの平均面積で10%少なく、各ビーズ面積もばらついている。又空洞部分は全面積の約10%を占めており、一部粗肌となった。従って完全なる成形発泡には、蒸気圧と保持時間、冷却温度、釜外放冷時間等適性条件を把握する必要がある。

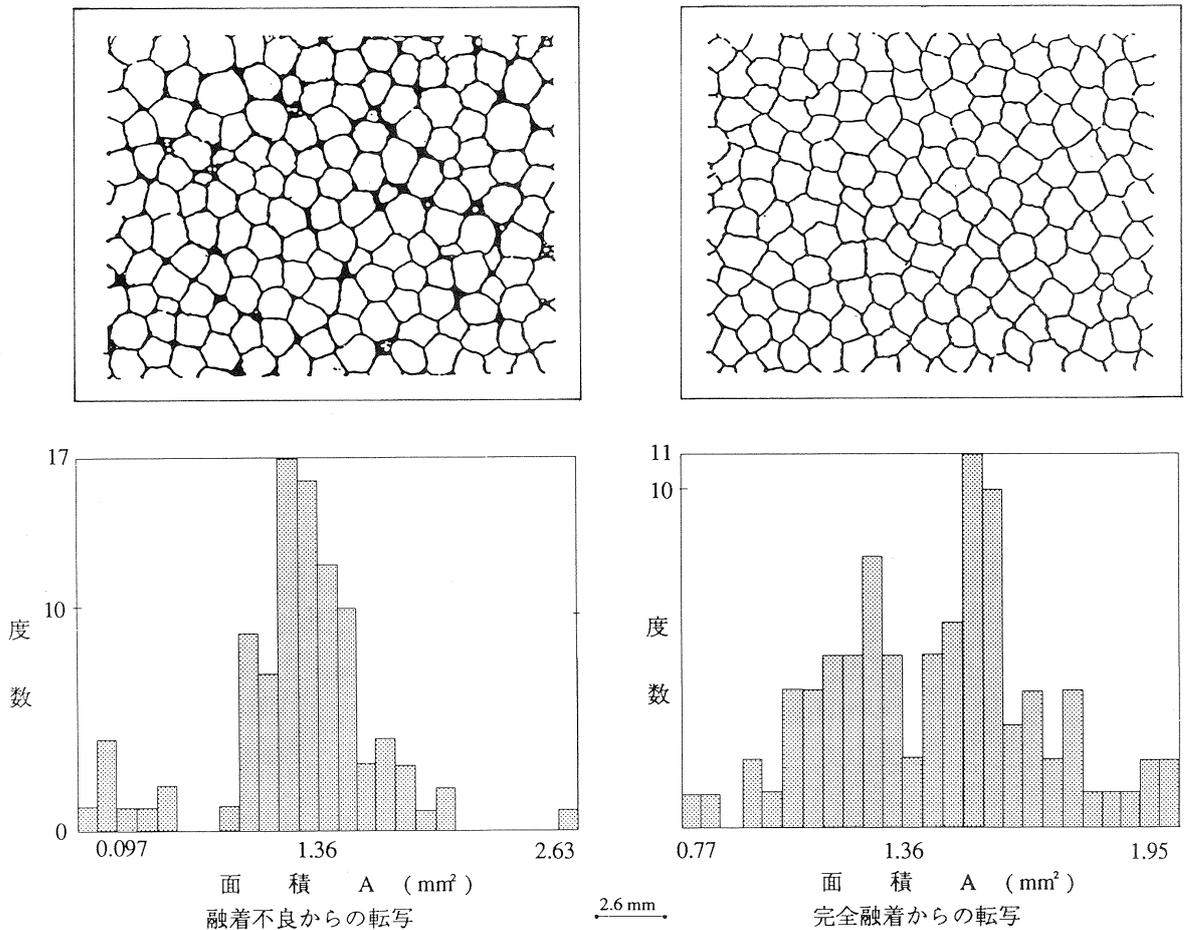


図14 EPS 模型から転写された鋳鉄の鋳肌 (写真から転写)

5. まとめ

(1) 模型の成形条件

- ① 厚肉物への蒸気圧は、1.2~1.3kg/cm²とし、薄肉物は1.0~1.1kg/cm²が 適当であり、保持時間と昇温時間についてはともに厚肉物は80~100秒、薄肉物では50~60秒が適当である。
- ② 厚肉物では減圧にしてビーズ内の空気を追い出してから加圧すると効果がある。

(2) 塗型の通気度と模型への付着量

- ① CO₂砂型に付着した塗型厚は平均1.4mmで通気度は45.8であり、塗型の厚みが増すに連れて通気度は低下し、2mm以上では20以下となる。
- ② 模型への付着量は各形状平均では0.41mmであり、表面積100では乾燥塗型重量は45gであった。

(3) 砂の充填及び鑄込方案

- ① 振動パターンは模型の形状によって異なり異形管等のパイプ状ではX, Y, Z各軸の振動の組合せを必要とし、簡単な形状ではX軸とY軸の組合せで効果が現われる。
- ② 減圧度は、AC7A では-80~-100mm Hg 以下にすることで良品が得られた。また BC6, FC25の厚肉部では-300mm Hg 以上で鑄込んだ方が効果がある。
- ③ 方案は、薄肉物は落とし込みとし、厚肉物は押し上げ方案により良好な結果が得られた。

(4) 溶湯温度と凝固解析

- ① 実測による冷却曲線は、BC6を除く肉厚36mm以上における差は小さいが 24mmの肉厚では差が大きくなっている。平均的には緩やかな冷却である。
- ② シミュレーションの冷却曲線では、各肉厚ごとに大きな開きを生じていることから、空洞鑄型に対する差となった。

(5) 機械的強度及び金属顕微鏡組織

- ① 各材質とも肉厚形状が薄くなるほど冷却速度が早いため、強度は上昇し伸びも同様な傾向を示すが硬さでは、FC25を除いて AC7A 及び BC6では変化が少なかった。
- ② FC25の階段型による各肉厚部の組織は、60mm~36mmまでは変化の少ないA型及びC型黒鉛であるのに対し、24mm以下ではD型及びE型黒鉛で組織が緻密である。
- ③ 減圧の有無、塗型の有無に対する端面の組織は、フェライトの厚みは減圧の方が大きくパーライトが混在し、緻密なのに対して無減圧ではフェライト及びパーライト層がはっきり分離し、粗大化されたフェライト層である。
- ④ 減圧、無減圧に関わらず中心部はあまり差がなく、D型及びE型の指向性凝固組織となった。

(6) 寸法精度

- ① T型、S型等パイプ状の模型は半割を接着することから真円になりにくく金型径より一部大きな値となった。

- ② 形状別による材質の収縮は0から2%の間でばらつきが発生した。その原因は模型の貼合せ及び砂充填時に発生する変形である。
- ③ 肉厚に対する各材質の収縮では、長さ方向が肉厚方向より収縮率は低い。

(7) 鑄肌表面に転写された模型の影響

融着不良を起こした模型からの転写では、

- ① 完全融着と比較して形状は丸みがある。
 - ② 各ビーズの平均面積で10%少なく各粒型もばらついている。
 - ③ 空洞部分は全面積の約10%を占めている。
- 肉厚差の大きい形状の成形発泡は、蒸気圧と保持時間、冷却時間等適性条件を把握することにより、問題も解決出来た。

おわりに、本研究は平成元年度技術開発研究費補助事業として実施したもので実施するにあたり、ご協力、ご指導いただきました工業技術院名古屋工業技術試験所金属部鑄造技術課坂口康司主任研究官をはじめ、中小企業庁、九州通商産業局ならびに共同研究機関である京都府中小企業総合センターの方々深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 坂口：鑄物 59(1987), 699, 705
- 2) 小松ソフトウェア：鑄鉄の3次元解析による鑄造方案・材質の検討に関するセミナーテキスト62, 47
- 3) 山本, 龍本, 三宅, 岡田：鑄物 59(1987) 12, 730
- 4) 杉浦, 太田, 水野：鑄物 59(1987) 12, 696
- 5) 河合, 村川, 藤川：昭和63年度技術開発研究費補助事業講習会用テキスト
- 6) 山崎, 松井：肉厚鑄物の表面フェライト折出量に及ぼす各種因子の影響
- 7) 吉浦：昭和62年度大分県工業試験場研究報告34