

消失模型鑄造法における塗型特性とすず欠陥について

機 械 金 属 室 國 吉 和 男
琉 球 大 学 知 花 克 哉
機 械 工 学 科
エネルギー機械工学科 米 須 修 身

1. 緒言

消失模型鑄造法は発泡ポリスチレンの模型を成型、組み立てて、それを砂の中に埋没し金属を鑄込む方法で、1958年米国で発明され、日本には1965年頃導入されている。その方法の基本特許が切れた1980年頃から、各界で本プロセスに関する取り組みが盛んに行われるようになってきた。^{1) 2)}

本法は中子不要、抜型工程なし、バリなし、熟練工不要等の特徴のため、生産性の高い鑄造法として期待されている。特に、鑄型内を減圧にして模型を固定し、鑄込む新しい量産消失模型鑄造法が注目を集めており、すでにアルミ鑄物では実用化が進み、鉄系鑄物でも一部で実用化が進んでいる。^{3) 4) 5) 6)}

しかし消失模型鑄造法では発泡ポリスチレン模型の組立、塗型の塗布作業、乾燥砂への埋め込み等、従来の空洞鑄型の造型作業にはない新しい工程でのノウハウ蓄積が急がれるし、また発泡ポリスチレンの熱分解で発生する多量のガスと塗型に起因すると思われるすず欠陥、発泡ポリスチレンに塗布する塗型の強度と寸法精度の関係等、解決しなければならない問題点も多い。

従って、消失模型鑄造法に適した製品とか、不適な製品とかの区別はまだまだ明確でなく、県内企業も消失模型鑄造装置を導入し、自社製品への適応と量産体制の確立に向けて、試行錯誤で取り組んでいる状況である。

本研究は発泡ポリスチレンを被覆し、造型から金属が凝固するまで最も重要な役割をこなす塗型の特性と、すず欠陥の関係を検討したので、以下に得られた知見を報告する。

2. 試験方法

消失模型鑄造法の塗型は、耐熱性等従来の塗型特性に加えて、熱により分解したガスを速やかに排出するための通気性、発泡ポリスチレン模型の変形を防ぐための強度が重要な特性として求められるので、塗型種類と塗型特性及び強度測定用試験片、発泡ポリスチレン模型、造型条件、鑄込み条件を以下(2.1～2.5)のように決めて試験をした。

2.1 塗型の種類

試験に供した塗型は市販塗型2種と、シリカと粘土、接着剤等を、予備試験で発泡ポリスチレンへの付着量が適正であった配合比で調整した塗型3種の計5種類を用いた。これらの塗型番号と配合比は表1の通りである。

2.2 通気度及び強度試験片

発泡ポリスチレンが熱分解すると模型の5～7倍の多量のガスを排出するため^{7) 8)}、通気度は大き

い方が望ましい。しかし模型に薄く塗布された乾燥塗型はもちろん、1000℃以上に加熱されて脆くなった塗型の通気度は、従来の砂型に較べて極端に小さく、⁹⁾ 適当な測定方法は確立されていない。

そこで本研究では通気度に代わる特性として吸水率、見掛け気孔率、見掛け比重、嵩比重、lg Loss を測定、間接的に塗型の通気性について言及する。また塗型強度は曲げ強度で評価を試みる。

試験片成形は図1のような型枠に充分混練した塗型の泥漿を注ぎ、自然乾燥後およそ15×15×150mmに仕上げ、105℃で乾燥し、乾燥塗型試験片とした。さらに同試験片を電気炉で1100℃、30分間保持して焼成試験片とした。曲げ試験の条件は図2のとおりである。

表1 塗型番号と配合比

塗型番号	塗型材料配合比					=合計%
	シリカ	木節	ボンド	ペント	紙ナイト	
1	76	15	8	0.3	0.7	100%
	(外比)	100	20	10		
2	66	26	7	0.3	0.7	100%
	(外比)	100	40	10		
3	63	26	10	0.3	0.7	100%
	(外比)	100	40	15		
4	シリカベースの市販品塗型					
5	シリカベースの市販品塗型					

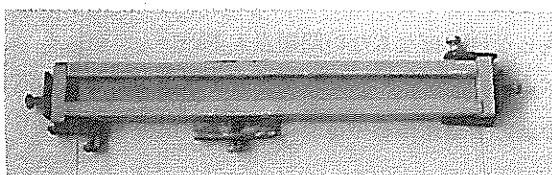


図1 塗型試験使用型枠

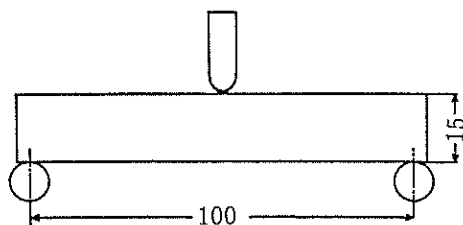


図2 曲げ試験片寸法と試験方法

また塗型特性の各計算式は以下のとおりである。

$$\text{吸水率} = \frac{\text{飽水重量} - \text{乾燥重量}}{\text{乾燥重量}} \times 100\%$$

$$\text{見掛け気孔率} = \frac{\text{飽水重量} - \text{乾燥重量}}{\text{飽水重量} - \text{水中重量}} \times 100\%$$

$$\text{見掛け比重} = \frac{\text{乾燥重量}}{\text{乾燥重量} - \text{水中重量}}$$

$$\text{嵩比重} = \frac{\text{乾燥重量}}{\text{飽水重量} - \text{水中重量}}$$

2.3 発泡ポリスチレン (EPS) 模型

すず欠陥の発生の発生状況を調査するために、図3の様に作成した実体のマンホール受け枠(300φリンク)、積水化成(株)製(LFKビーズ40倍)発泡ポリスチレン模型に塗型をした。铸造方案は図4の2種類とした。

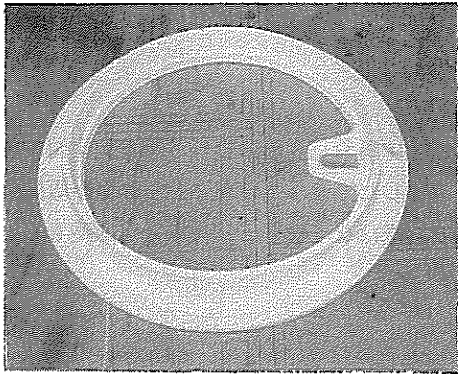


図3 発泡ポリスチレン模型(300φリンク)

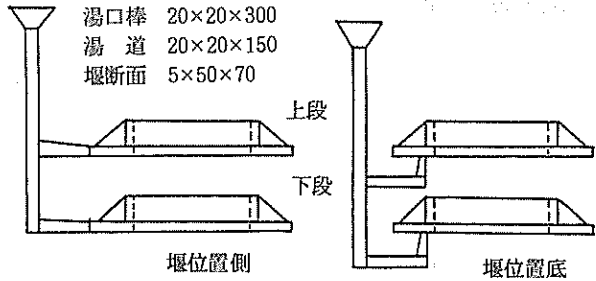


図4 法案2種類

2.4 振動条件及び減圧条件

発泡ポリスチレン模型を図5のような装置を用いてフラスコ内にセットした。すなわち乾燥珪砂中に模型を埋没し、表2のような条件で3軸を振動して、十分に砂を充填し、真空装置で-300 mmHgの負圧にして模型を固定した。

表2 振動条件

軸方向	振動数	加速度	変位
X 軸	32 Hz	0.18G	0.1 mm
Y 軸	33	0.20	0.1
Z 軸	32	0.20	0.2

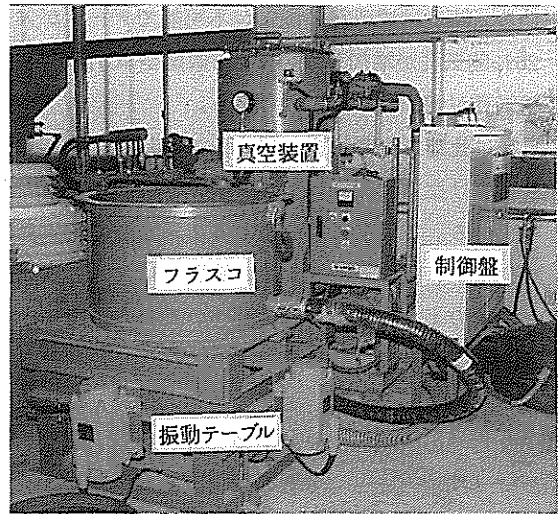


図5 振動テーブル、フラスコ、真空装置

2.5 鑄込み条件

高周波溶解炉を用いて鑄鉄を溶解し、置注ぎ法にて黒鉛球状化処理と接種を行い1400℃で注湯した。目標材質は表3のようにFCD60程度とした。

表3 元湯目標成分

鑄込み温度		1400	℃
目 標 成 分	C	3.7	%
	Si	2.4	
	Mn	0.6	
	Mg	0.04	
	P	0.02	以下
	S	0.02	以下

3. 試験結果

3.1 塗型の基本特性

曲げ強度 (図 6a)

発泡ポリスチレンの曲げ強度はそれほど高くなく、造型時に傷や、変形の恐れがある。塗型強度はこれらのを防止するためにも重要な特性である。調整した塗型No.1、No.2、No.3は市販塗型の3~4倍も強度があった。しかし焼成後はいずれも殆ど強度はなくなり、特にNo.4は原型もとどめないほどに崩れた。

Ig Loss (図 6b)

Ig Loss (強熱減量) は強度特性と似た傾向を示し、調整した塗型が市販塗型より1.0%程高かった。これは調整した塗型に混入した、有機系のバインダーやパルプ繊維等の量が強度とIg Lossに影響しているためと考えられる。

吸水率及び見かけ気孔率 (図 6c、図 6d)

吸水率と、見掛け気孔率はいずれも開気孔の割合を示しており、両特性とも同様な傾向を示している。No.4は焼成後の測定が不可能でデータが欠となっているが、他は一樣に焼成することで10~20%開気孔が増加している。市販塗型はIg Lossは小さいが、焼成することで調整塗型よりも、開気孔が増加したと考えられる。

見掛け比重及び嵩比重 (図 6e、図 6f)

見掛け比重は乾燥時で2.0弱で、焼成により開孔部が増え2.0~2.3程度と、やや比重が高くなっている。ここでも焼成による市販塗型の比重上昇が大きかった。嵩比重は焼成によりやや低下しているが、1.2~1.6の狭い範囲でほとんど変化が無い。

以上のような塗型特性を調べ、これらの特性とすず欠陥については次節で検討した。

3.2 鋳込み試験結果

鋳込み試験をした、上下2段込めのショット前の例を図7に示す。また図8にすず欠陥の例と、図9にその断面の反射電子像(SE像)と炭素の特性X線像(C-K α)の写真を示す。このようにすず欠陥はクラック状を呈し、その内部に炭素を含んだクラックを無数に形成している。

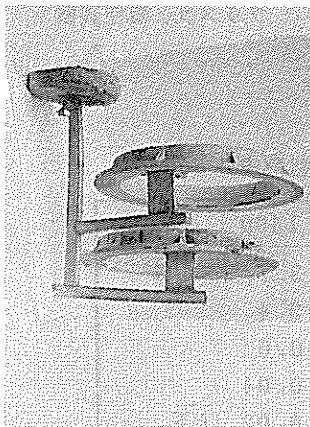


図7 堰位置底の場合の鋳込み試験例

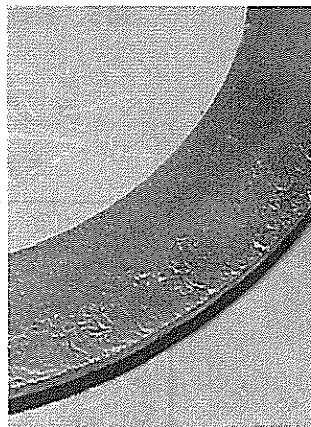


図8 すず欠陥例

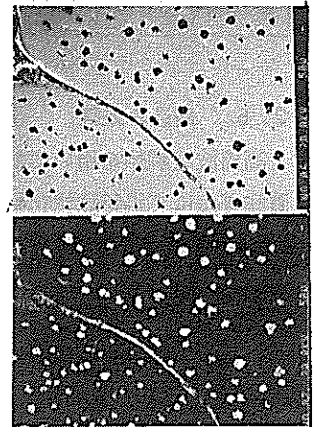


図9 反射電子(SE像)と特性X線像(C-K α)

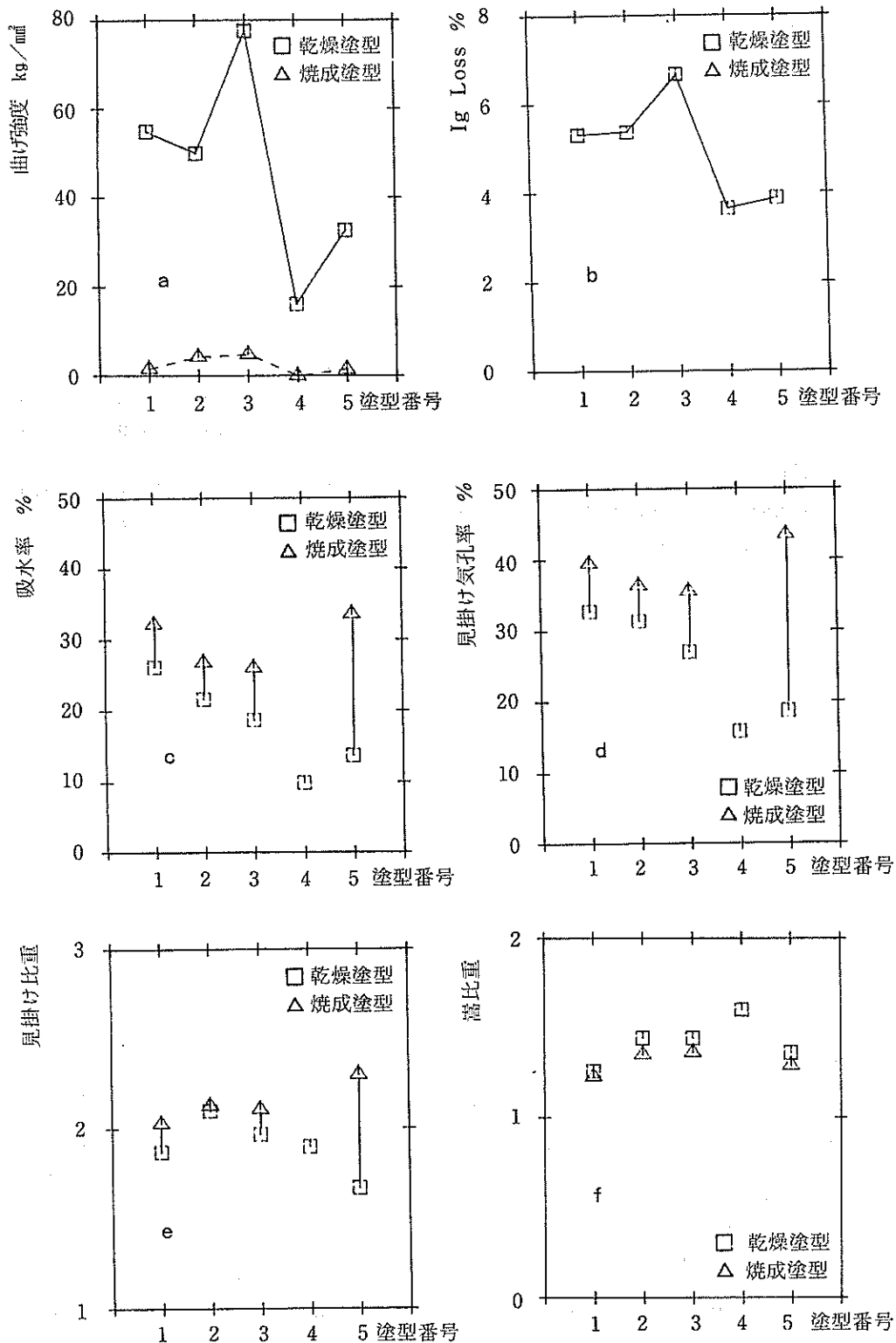


図6 a~f 塗型特性

すす欠陥の測定は、リングのフランジ部を上面と下面に分けて、はじめに欠陥部を白のマーカでマーキングしそれをトレーシングペーパーに写し取り、面積計で読み取った。それをそれぞれ上面、下面の面積率で整理したのが表4である。

試験片の都合でNo.3が2個しか鑄込めず、又No.4の段込めの欄に単独と記されてあるのは、2段込めをせずに単独で鑄込だもので、段込めの統計処理からは外した。

表5は堰位置すなわち、側から堰を切ったものと、底から切ったもので整理した表である。

けた段込めに注目して、上段と下段を分けて整理したのが表6である。

それぞれの表のすす欠陥面積率は、表側と裏側さらにその合計面積率に分け、堰位置の違いと段込めの位置の違いですす欠陥発生状況に差があるかどうか検定をした。

その結果堰位置の違いで表側、裏側、合計とも平均値に差が認められ、特に裏側と合計は危険率1.0%で有意となった。しかし段込めの上段下段の違いでほとんど有位差はなく、段込めの違いより、堰位置の違いがすす欠陥発生に影響が大きいことがわかる。

表4 鑄込み試験結果

塗型 No.	堰位置	段込め	すす発生面積率%		
			表側	裏側	合計
1	側 側 底 底	上	12.0	9.2	10.3
		下	11.2	5.3	7.7
		上	1.0	3.1	2.2
		下	3.2	0.8	1.8
2	側 側 底 底	上	4.8	12.8	9.5
		下	4.8	9.3	7.5
		上	5.9	7.5	6.9
		下	3.6	4.0	3.8
3	側 側	上	6.4	14.1	10.9
		下	10.0	10.7	10.4
4	側 底 底 側	単	0.2	2.8	1.7
		単	1.6	1.6	1.6
		上	9.6	14.4	12.4
		下	11.3	20.3	16.7
5	側 側 底 底	上	12.2	8.9	10.3
		下	11.2	17.0	14.6
		上	2.1	5.3	4.0
		下	1.6	5.1	3.7

表5 堰位置の違いによるすす発生状況の検定

塗型 No.	堰位置	すす発生面積率%		
		表側	裏側	合計
1	側 底	11.6	7.3	9.0
		2.1	2.0	2.0
2	側 底	4.8	11.1	8.5
		4.8	5.8	5.4
3	側 底	8.2	12.4	10.7
		-	-	-
4	側 底	5.8	11.6	9.2
		5.6	8.0	7.0
5	側 底	11.7	13.0	12.5
		1.9	5.2	3.9
平均値の差の検定		$t_0=2.650$ $\phi=7$	$t_0=3.710$ $\phi=7$	$t_0=4.327$ $\phi=7$

※1%危険率で有意

表6 段込め位置の違いによるすす発生状況の検定

塗型 No.	堰位置	すす発生面積率%		
		表側	裏側	合計
1	上 下	6.5	6.2	6.3
		7.2	3.1	4.8
2	上 下	5.4	10.2	8.2
		4.2	6.2	5.7
3	上 下	6.4	14.1	10.9
		10.0	10.7	10.4
4	上 下	9.6	14.4	12.4
		11.3	20.3	16.7
5	上 下	7.2	7.1	7.2
		6.4	11.1	9.2
平均値の差の検定		$t_0=0.550$ $\phi=8$	$t_0=0.006$ $\phi=8$	$t_0=0.150$ $\phi=8$

この様なすす欠陥発生状況が塗型特性とどの様な関係があるのかを調べたのが表7と表8である。縦に前述の堰位置の側底で整理した各塗型のすす欠陥%を置き、横に塗型特性を並べて、各相関係数を調べた。

表7は乾燥塗型の特性との相関関係で側5サンプル、底4サンプルである。表8は焼成塗型の特性との相関関係で、塗型No.4のデータが欠となっているため、サンプル数は側4サンプル、底3サンプルである。その結果、乾燥塗型でのすす欠陥発生には吸水率と見掛け気孔率、嵩比重に高い相関が認められたので、その関係を図10に示した。

吸水率、見掛け気孔率が高い塗型は開気孔が多く、すす欠陥が少なく、通気性が悪くてすす欠陥が出易いと考えられる。

又焼成塗型との関係では吸水率と見掛け比重、嵩比重に高い相関がみられ、図11に示した。

ここでも吸水率が高い、すなわち開気孔が多いと考えられる塗型はすす欠陥が少なく、見掛け比重、嵩比重の高い塗型はすす欠陥が多い傾向を示した。

これらの相関関係から、開気孔の多少を直接示していると考えられる吸水率、見掛け気孔率の大小は、通気度の大小に係しすす欠陥の大小と良く対応している。

しかし焼成塗型の比重増加は、閉気孔が減少して開気孔が増加すると考えると、すす欠陥が図11のように増加するのは矛盾するようにも見え、今後詳細な検討が必要と考えられる。

表7 乾燥塗型特性とすす欠陥面積

サンプル数 側-5 底-4	堰位置	乾燥塗型特性			
		吸水率	見掛け気孔率	見掛け比重	嵩比重
すす欠陥面積	表側	0.06	0.01	0.64	0.65
	側底	0.18	0.24	0.49	0.80
側	側底	◎1.00(0.54)	◎0.85(0.41)	0.23(0.03)	0.72
	底	0.73	0.53	0.04	0.97
合計	側	0.39(0.17)	0.65(0.24)	0.68	0.18
	底	0.54	0.38	0.13	◎1.00(0.97)

◎は図表示した、()は一次相関係数

表8 焼成塗型特性とすす欠陥

サンプル数 側-4 底-3	堰位置	焼成塗型特性				
		吸水率	見掛け気孔率	見掛け比重	嵩比重	Ig Loss
すす欠陥面積	表側	0.76	0.65	0.88	0.69	0.01
	側底	◎(0.98)	(0.75)	(0.04)	(0.69)	0.84
側	側底	0.90	0.99(0.00)	◎0.90(0.62)	0.90	0.51
	底	(0.21)	(0.01)	(0.47)	(0.87)	0.72
合計	側	0.99(0.19)	0.87(0.40)	0.71(0.66)	0.52	0.29
	底	(0.50)	(0.14)	(0.18)	◎(1.00)	0.72(0.26)

◎は図表示した、()は一次相関係数

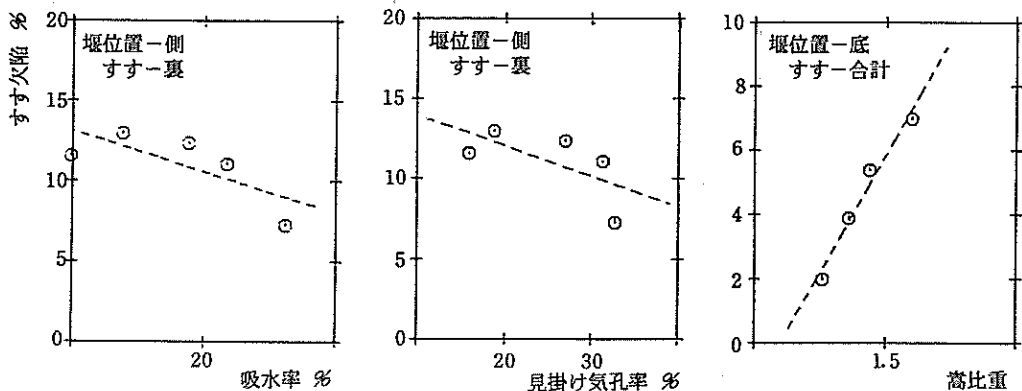


図10 乾燥塗型特性とすす欠陥の相関関係

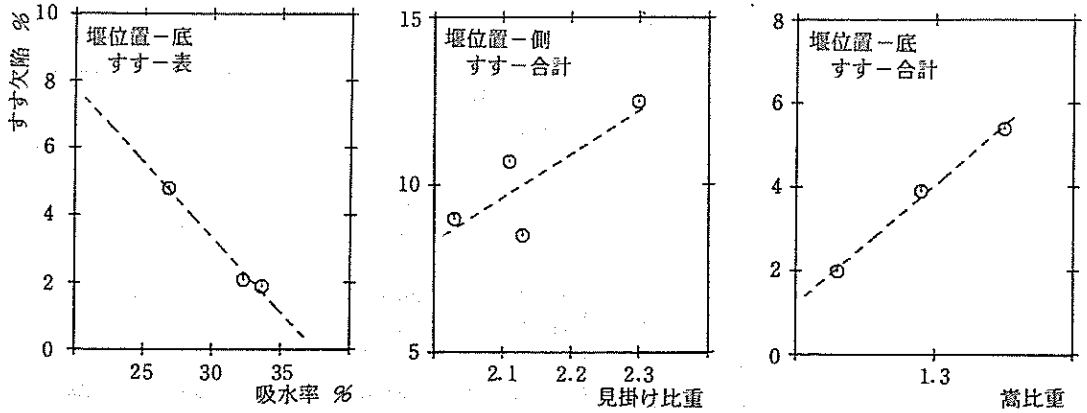


図11 焼成塗型特性とすず欠陥の相関関係

このように通気性に代わる特性として測定が容易な吸水率や、見掛け気孔率、見掛け比重等が一部すず欠陥と相関性があることが明かとなったので、今後すず欠陥の定量的測定法も併せて、更に検討を加えていきたい。

4. 結言

消失模型鑄造法において、塗型特性と鑄造欠陥は最も重要な因果関係にあると考えられるが、その特性を測定する方法はまだ試行錯誤の状況と思われる。

そこで塗型の強度と通気性を表す特性として、吸水率、見掛け気孔率、見掛け比重、嵩比重、Ig Lossを測定し、すず欠陥との関係を検討した結果、次のことがわかった。

- 1) 曲げ強度は市販塗型より調整塗型の方が高く、その傾向は Ig Loss の傾向と似ている。
- 2) 吸水率や、見掛け気孔率は焼成することで10~20%増加する。増加割合は調整の塗型より市販塗型が大きかった。
- 3) 段込めの上段下段のすず発生状況より、堰位置の側と底の違いによるすず発生状況に有意差がみられた。
- 4) 乾燥塗型の吸水率、見掛け気孔率、嵩比重とすず欠陥に相関関係がみられ、吸水率、見掛け気孔率が高いほどすず欠陥は少ない。
- 5) 焼成塗型の吸水率、見掛け比重、嵩比重とすず欠陥に相関関係がみられ、吸水率が高い程すず欠陥が少ない。

参考文献

- | | |
|--|--|
| 1) 片島、瀬川、楊
: 鑄物, Vol159, (1987), 1, 4 | 5) 狩野: JACT NEWS, 1987, 11 |
| 2) 阪口: 鑄物, Vol159, (1987), 12, 699 | 6) 太田: 鑄物, Vol161, (1987), 9 |
| 3) 田村: 鑄物, Vol159, (1987), 12, 708 | 7) 真殿: JACT NEWS, 1989, 4 |
| 4) 上野、藤尾、水野、坪井
: 鑄物, Vol159, (1987), 12 | 8) 狩野: 鑄物 Vol162, (1990), 3 |
| | 9) 山本、瀧、三宅、岡田
: 鑄物 Vol159, 1987, 12 |

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。