

フラン自硬性鋳型への転移塗型技術の研究開発

森 健太郎*¹ 水成 重順 花房 龍男

Research about New Coating Method Utilizing Electrostatic Force on Furan Resin Self-hardening mold

MORI Kentaro*¹, MIZUNARI Shigeyuki and HANAFUSA Tatsuo

Usually, facing materials are coated on furan resin self-hardening molds to prevent surface defects on casting products. An alcohol solvent in facing material is injurious matter, which might cause environmental deterioration in the plants. Therefore, new molding process was conceived, that is, the facing material stuck on pattern by electrostatic force is converted to mold wall by adhesion in furan resin self-hardening mold. In this report, in order to clarify this idea, basic research was carried out. As a result, it seemed to be difficult that facing material can be stuck by electrostatic force thick and uniformly, because of inverse-ionization phenomenon and Faraday cage phenomenon. On the other hand, the Tribonol Mold Coater Process was available to prevent these phenomena, and seemed to apply to furan resin self-hardening molds by casting experiments.

フラン自硬性鋳型を用いた鋳造工程では、鋳型の表面に塗型剤を塗付する工程がある。この作業は、造型工程中で唯一自動化されていない。また、塗型剤には特定有害物質であるアルコールが含まれている例が多く、作業環境の悪化が懸念される。そこで、静電気力を用いた自硬性鋳型の吸着性を活用した新規塗型施工法（静電力転移塗型法）について基礎検討を行った。その結果、静電気力を用いて木型模型に塗型剤を塗付する際の諸現象が明らかになった。

キーワード：鋳物 フラン自硬性鋳型 塗型剤 静電気力 逆電離現象 ファラデーケージ現象 トリボノール法

1. 緒 言

フラン自硬性鋳型は、フルフリルアルコールを主原料とするフラン樹脂粘結剤を用いて常温で硬化させる方法により得られる鋳型であり、現在、常温自硬性鋳型として広範に使用されている¹⁾。また、鋳物の造型作業時には、溶湯と鋳物砂が直接接触することで生じる各種鋳造欠陥を防止する目的で鋳型表面に塗型剤が塗布されている。具体的には、塗型剤は以下に示す役割がある。

- ・ 鋳片／砂型間の焼付を防止し、型ばらし・砂落とし作業を容易にする。
- ・ 特にフラン自硬性鋳型の場合、注湯時に砂型は高温になり、その際にフラン樹脂から発生する熱分解ガスと溶湯の接触、反応を防止する。

従って塗型剤皮膜には、均一性、密着性、耐火性が要求される。塗型の施工方法には刷毛塗り・スプレー等が用いられているが、いずれの方法においても複数の作業者

を配置する必要性があり、造型工程中、唯一自動化技術が確立されていないのが現状である。塗型剤はアルコール溶媒を用いたものが主流であるが、アルコール類は特定有害物質であり、さらに消防法でも危険物第4種に指定されており、作業環境の悪化や、着火による溶媒乾燥工程時の火災等、工場安全衛生上の影響も懸念される。

上記の課題を解決するために、静電気力の利用が有効と考えられ、静電気力とフラン自硬性鋳型表面の吸着性を活用し、模型表面への塗型剤粒子の付着と、造型後の鋳型表面への塗型剤粒子転移を可能とする施工法（静電力転移塗型法）のアイデアが考案されている。今回、その基礎実験を実施したので、本報ではその結果について報告するとともに、生砂型を対象とした静電気力を利用した塗型施工方法として知られている「トリボノール」法を自硬性鋳型に適用した実験例についても述べる。

今回考案された静電力転移塗型法のアイデアの概念図を図1に示す。この方法は、①対象となる木型模型の表面に塗型剤粉体を静電塗付する、②模型を砂に埋め上下から圧力をかける、③模型を鋳型からははずす際に、フラン自硬性砂型の吸着力を利用して、模型から鋳型へ塗型剤皮膜を転移させる、以上の3つの要素より構成されて

2004.5.31 受理 材料技術部

*1：客員研究員

いる。そこで、まず第一ステップとして、木型模型への塗型剤の静電付着状況についての実験を実施した。

2. 実験方法

2.1 実験装置

図2に実験装置の概略を示す。SUS製基板の上に塗型剤粉末を約30g程度載せておき、その直上に被塗装物である木製の模型を対向させて、高電圧発生装置（春日電機㈱製、最大電圧±50kV）を介して両者の間に直流電圧を印加した。その際の塗型剤粉末の模型への静電気力による付着重量及び付着面積を測定した。さらに塗型剤粉末のかさ比重を予め測定し（JIS Z2504に準拠）、これらの測定値をもとに平均付着厚みを算出した。なお、模型には、図2に示すような平板状の模型（300^l×250^w×20^tmm）のものと、階段状（300^l×180^w×60^t／40^t／20^tmm）の形状の模型、2種類の模型を用いた。また、模型表面には導電性塗料を塗付した。

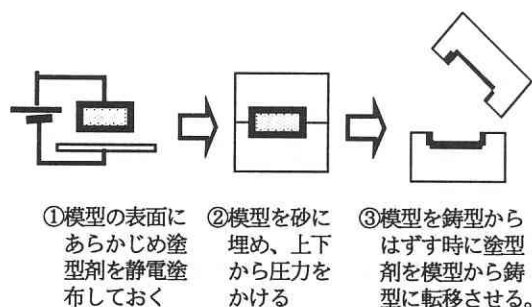


図1 静電力転移塗型法の内容

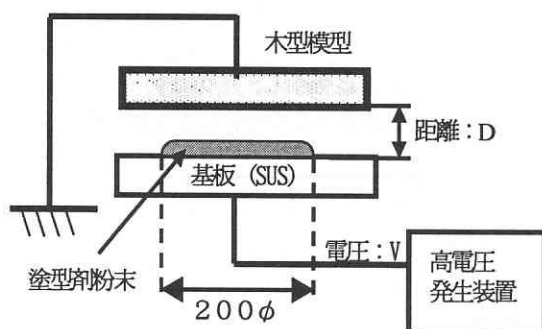


図2 実験装置図

2.2 実験に使用した塗型剤粉末

塗型剤は、基材・塗液調整剤・溶剤より構成されており、このうち、焼付防止等の重要な役割を担っているのは基材であり、主にSiO₂、MgO、ZrO₂、グラファイト等のセラミック粒子が用いられている。今回の実験に供したセラミック粉末の性状を表1に示す。

表1 実験に供した塗型剤粉末

銘柄	状態	主成分	かさ比重	粒径
A	粉末	ZrO ₂	1.8	≤80 μm
B	粉末	SiO ₂ -MgO	0.7	≤10 μm

表1に示すように、粒度構成が大きく異なるA、B2種類の銘柄の塗型剤基材粉末を実験に用いたが、その理由は以下の通りである。

すなわち、図2に示すように粒子粉末に直流電圧をかけた場合の静電気力Fは粒子表面に作用し、粒子を球体と見なすと式（1）で表される。

$$F = \beta \pi d^2 \times f \quad (1)$$

ここで、fは粒子に作用するクーロン力、dは粒子直径、βは形状係数（=1/3）である。

クーロン力fは式（2）で表される。

$$f = 1/2 \varepsilon_r \varepsilon_0 E^2 \quad (2)$$

ここで、ε_rは粒子の比誘電率、ε₀は真空中の誘電率（=1/36π×10⁹）、Eは電界強度（=V/D）である。

一方、粒子が静電気力で浮遊して模型に付着する際、逆向きの力として重力Gが作用する。こちらは式（3）で表される。

$$G = 1/6 \pi \rho g d^3 \quad (3)$$

ここでρは粒子密度、gは重力加速度である。

従って、粒子に作用する力はF-Gで表され、これを粒径dの関数として、φ(d)=F-Gとする。

$$\phi(d) = \beta \pi d^2 (1/2 \varepsilon_r \varepsilon_0 E^2) - (1/6 \pi \rho g d^3)$$

φ(d)が最大となる時のdをd*とおくと、d*は∂φ/∂d=0とおくことで求められる。

$$d^* = (2\beta \varepsilon_0 / g) \cdot (\varepsilon_r / \rho) \cdot E^2 \quad (4)$$

式（4）の中で粒子の材料物性に依存するのは、(ε_r/ρ)の項であり、塗型剤基材に用いられる主なセラミック材料について算出²⁾した結果を表2に示すが、(ε_r/ρ)の値は±15%程度の範囲でしか分布していない。したがって、塗型剤を静電力で塗付する場合、材質よりも粒径や電界強度の依存性の方が支配的であると見なすことが出来る。

表2 各種塗型剤基材セラミックスの ϵ_r 及び ρ の比較²⁾

	ϵ_r	ρ (g/cm ³)	ϵ_r/ρ
ZrO ₂	12.5	5.6	2.23
SiO ₂	6.0	2.03	2.96
MgO	9.65	3.65	2.64
Al ₂ O ₃	9.34	3.97	2.43
グラファイト	5.6	2.1	2.67

3. 実験結果および考察

3.1 平板状模型への静電塗付

平板状模型に、銘柄 A、B の塗型剤粉末を静電塗付した際の平均付着厚みを電界強度 E に対して整理した結果をそれぞれ図3に示す。同じ電界強度で比較すると銘柄 B、すなわち、粒度構成が小さい粉体のほうが平均付着厚みが大きい。この結果は2. 2で示した検討結果の妥当性を示唆していると考えられる。さらに銘柄 A、B とも、電界強度の増加とともに平均付着厚みは増加するが、いずれもある程度で飽和する傾向が得られた。これは、逆電離現象³⁾によるものと考えられる。すなわち、図2でマイナスに帯電した塗型剤粒子が模型に引き寄せられ、塗膜が形成されるが、この際、電極間の空気分子等もマイナスにイオン化し、塗膜の方に引き寄せられ、塗膜表層に吸収されて塗膜の残留電荷が増大する。したがって、ある程度以上の膜厚になると、帯電した粒子どうしが反発しあう。このため、いくら電圧、時間をかけても、平均付着厚みは飽和する。さらに、付着した粒子が局所的に反発しあい塗膜から飛び出し、塗膜が肌荒れ状になる現象も観察された。今回、このような現象を防止するため、残留電荷をアースを介して逃がす目的で模型表面には導電性塗料を塗付したが、その効果は不十分であった。なお、実際の造型作業においては、模型表面には離型剤が塗付されているが、こちらは絶縁性塗料である。

また、図3中で、目標付着厚みを 800 μm 以上としたが、これは実際に鋳物工場で塗付されている例を参考にしたものである。さらに、大気中の絶縁破壊電界強度、すなわち、異常放電が発生する恐れのある電界強度の値が、通常、 $3\sim 5 \times 10^6 \text{ V/m}$ 程度⁴⁾であることを考慮すると、今回の実験で得られた平均付着厚みが限界と考えられる。また、この際のクーロン力 f を式(2)に表2に示した数値を代入して計算すると、 1 g/cm^2 程度のレベルであり、密着力としても非常に小さいことがわかる。

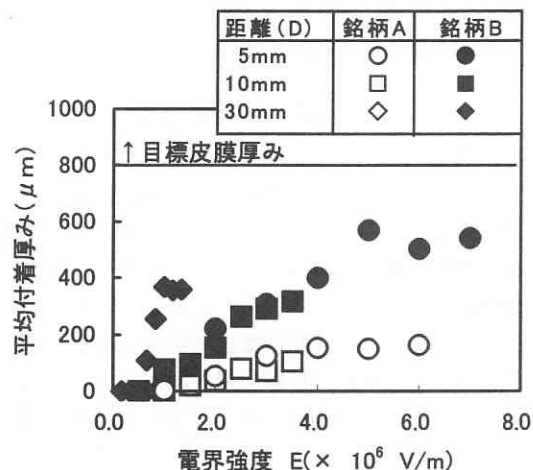


図3 平板状模型に静電塗布した際の平均付着厚みと電界強度 E の関係

3.2 階段状模型への静電塗付

図4に形状を示す階段状模型を用いて静電塗布した際の塗型剤の付着状況の外観を図5に示す。使用した塗型剤は銘柄 B である。塗型剤粒子図5中の(a)の部分、すなわち階段状模型の中で、もっとも模型の高さが大きい部分、すなわち、静電塗付する際の距離 D がもっとも短い部分に塗型剤は多く付着し、それ以外の部分には、ほとんど付着していなかった。図3の平板状模型の付着実験結果から考察すると、距離 D が 30mm の(b)部でも、塗型剤粒子はある程度付着するはずである。これは、フェラデーケージ現象³⁾により、電圧をかけた際、電気力線は距離 D が短い部分に集中し、そのため一番付着条件が良好な部分に粒子が集中して付着したためと考えられる。

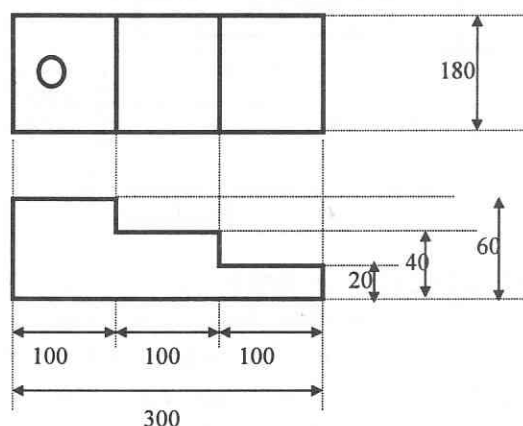


図4 階段状模型の寸法形状

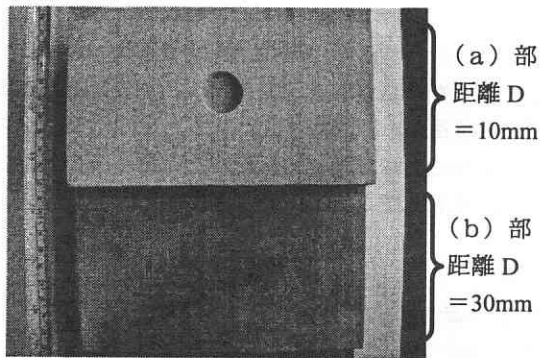


図5 階段状模型への静電塗布状況（塗型剤銘柄B）

3.3 トリボノール法の適用評価

トリボノール法は、塗型剤粒子を直接砂型に吹き付けるプロセスであり、気相搬送された粒子をノズル内で摩擦帯電させ、砂型に静電塗装する方法である。摩擦帯電方式を採用しており電界が形成されないため、前項で示した逆電離現象やファラデーケージ現象が起きにくく³⁾、被付着物の凹凸やスリット形状にかかわらず、厚い皮膜を静電塗付可能とされている。また、塗型剤は ZrO_2 粒子表面にエポキシ樹脂をコーティングしたものであり、静電塗付後の砂型を予熱することにより、エポキシ樹脂が溶融して密着力の向上も可能になる。その際、エポキシ樹脂のガラス化温度は $100^{\circ}C$ 程度であるので、バーナーや乾燥炉など、既設の設備を用いた加熱方法で十分対応可能である。このような特徴を持つトリボノール法は、水分を含有した生砂型にしか適用できないととされている³⁾。しかしながら、静電塗装の場合、一般には被塗装物に十分な導電性は必要なく、この方法のフラン等の自硬性鋳型への適用可能性を調査した。

実験は、フォセコ・ジャパン・リミテッド社製のトリボモールドコーターを用いて、図4に示した階段状試験片木型模型により作成したフラン自硬性鋳型に、塗型剤を静電塗付した。その結果を図6に示すが、当初の目標どおり、フラン自硬性鋳型にも塗型剤を静電塗装することができた。また、塗布後の砂型を一部破壊して塗型剤の付着厚みを測定したが、目標厚みを達成していることを確認した。

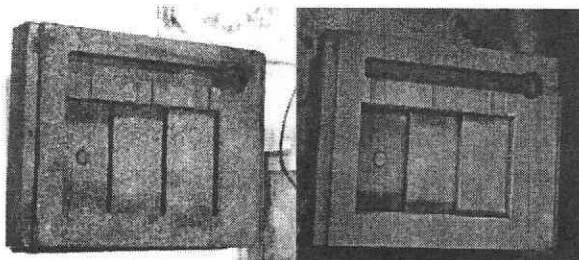


図6 トリボノール法による塗型剤静電塗装状況
左：塗装前 右：静電塗装後（色の濃い部分が塗型剤の膜）

3.4 トリボノール法の評価（鑄造試験）

図6に示す鋳型を用いて実際に鑄造試験を実施した。その際の溶湯はFC270及びFCD450を用い、注湯量は約 $30kg/ch$ で、それぞれ $3ch$ ずつ鑄造した。図7にFC270での鋳肌表面外観を、図8にFCD450の表層下組織を示すが、以下の結果が得られた。

- ①注湯時に塗型剤中のエポキシ樹脂からの熱分解ガスが発生し、鑄造作業に支障をきたすことが懸念されたがこのような状況は発生せず、むしろ鋳型よりの白煙発生量は、通常のアルコール溶媒塗型剤使用時よりも少なかった。
 - ②鑄造品の鋳肌にも、熱分解ガス起因のブローホール等も認められなかった。これは、塗型剤静電塗装後の予熱時に、エポキシ樹脂の一部が熱分解、除去されたためと推定される。
 - ③表層下組織も従来塗型剤を使用して作成した鑄造品の場合と同等であった。
- このような結果を踏まえ、トリボノール法を用いれば、フラン自硬性鋳型への塗型剤の静電塗装は基本的に可能と判断される。

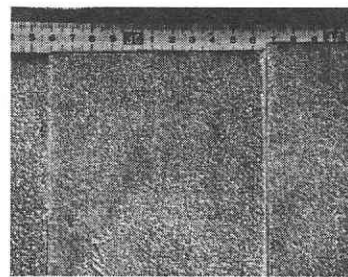
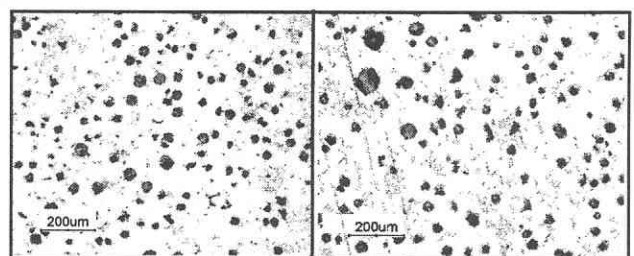


図7 トリボノール法を用いて塗型剤を静電塗装して鑄造した鋳物（FC270）の鋳肌外観



（トリボノール法） （従来塗型剤使用）

図8 トリボノール法を用いて塗型剤を静電塗装して鑄造した鋳物の表層下組織（FCD450）

4. 結 言

- 1) フラン自硬性鋳型を用いた鋳物の造型作業において、特定有害物質であるアルコール溶媒等を使用しない新規塗型施工法として、静電気力とフラン自硬性鋳型の吸着力を利用した静電力転移塗型法のアイデアについて基礎実験を実施した。
- 2) その結果、逆電離現象やファラデーケージ現象など静電気付与のための電界に特有の現象のため、塗膜厚、均一性の観点で課題が判明した。
- 3) それに対して、塗型剤粒子の内部摩擦帯電方式を採用したトリボノール法では上記の課題に対応可能であり、実際に 30 k g 程度の鋳造試験を実施した結果、実鋳造に供することは、基本的に可能であることがわかった。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、「静電力転移塗型法」に関して有益なご助言をいただきました、(財)ひろしま産業振興機構福山支所長、小林賢治氏にお礼申し上げます。さらに実験の遂行に快くご協力いただいた榎田口鋳造所並びに榎藤本鋳造所に深く感謝いたします。

文 献

- 1) (社)日本鋳物協会：鋳物便覧(1986), 156
- 2) (社)日本化学会：化学便覧基礎編(1975), 56, 1164
- 3) 材料技術研究協会：実用表面処理技術総覧(1993), 695
- 4) 渡辺 保：最新静電塗装技術，理工出版社，(1969), 123