

## 技術報告

減圧フルモールド法におけるEPS模型  
の変形と塗型効果†

山本康雄\* 瀧本 哲\*\* 三宅秀和\*\*\* 岡田 明\*\*\*

Effect of Coating and Deformation of Evaporative Polystyrene  
Pattern on Full Mould Process of a Vacuum Assistby Yasuo YAMAMOTO, Satoshi TAKIMOTO, Hidekazu MIYAKE, Dr. Eng.,  
and Akira OKADA, Dr. Eng.

## 1. はじめに

1958年に H.F. Shroyer によって発明された特許<sup>1)</sup>「キ  
ャビテイレス鑄造法」は、フルモールド法と呼ばれる。  
この方法は、発泡スチロールのブロックから切り出し、  
それらを組み立てた消失模型及び粘結剤を含む型砂を用  
いて、主にプレス金型などの単品物を鑄造するのに実用  
化されている。一方この方法は、発泡スチロール製の消  
失模型（以後、EPS 模型とする）を金型成型で量産し、  
砂を非粘結乾燥砂（造型のため減圧する場合もある）と  
するフルモールド法へと発展しつつある。

従来のフルモールド法や空洞鑄型での塗型の主な目的  
は、溶湯の鑄型への浸透や溶湯と鑄型の焼着の防止であ  
るが、現在発展しつつあるフルモールド法では造型時に  
生じる EPS 模型変形の防止が問題となり、さらに減圧  
する場合、溶湯の差し込みならびに EPS 模型から発  
生する熱分解生成物<sup>2)</sup>の速やかな排出が要求される。し  
たがって、変形抵抗を増すために塗型厚さを1~2 mm  
と厚くすると同時に、その通気性をも良くする必要があ  
る。すなわち、塗型はこのプロセスによる鑄物の良否に  
大きくかわかり、海外の文献<sup>3)</sup>でもその重要性が強調さ  
れている。

さて、フルモールド法での塗型の具備すべき条件とし  
ては、下記のことあげられる。

1. 塗型が容易であること。
2. 乾燥による割れがないこと。
3. 造型時に投入される砂による損傷がないこと。
4. 砂のコンパクション時に EPS 模型にかかる応力  
を防止し、模型表面を保護するに十分な機械的強  
度を有すること。
5. 注湯に際して溶湯の熱衝撃と圧力に十分に耐える  
こと。
6. 溶湯による洗われや飛ばされがないこと。

7. ベネトレーションが発生しないこと。
8. EPS 模型の熱分解生成物を鑄型内に滞留させる  
ことなく、速やかに排出できる良い通気性を持つ  
こと。
9. 鑄物の凝固時に生じる収縮や膨張による塗型割れ  
が生じないこと。
10. 塗型離れが良いこと。

これらの条件の中で、ここでは特に塗型の機械的強  
度<sup>4)</sup>ならびに通気性を取りあげた。機械的強度とは、造  
型時の砂投入により発生する EPS 模型の変形に対する  
抵抗力であり、通気性とは、実際の鑄造時での EPS 模  
型の熱分解生成物の発散程度を示すものである。ここで  
は、機械的強度を造型時に模型に生じるひずみの測定、  
通気性を鑄物砂通気度測定方法（JIS）の塗型に対する  
適用によって、それぞれ推定する方法を検討した。

2. 塗型の機械的強度ならびに通気度測定方法  
について

## 2.1 塗型の機械的強度の測定方法

EPS 模型の変形に対する抵抗力に相当する塗型の機  
械的強度の測定方法は、まだ確立されていない。そこ  
で、ひずみゲージを発泡倍率45倍、外径 200 mm、内径  
180 mm、肉厚 10 mm、高さ 220 mm の EPS パイプ模型  
（以後パイプ）の図 1 に示す任意の位置に貼（てん）付し  
た試料に荷重を加えて生じるひずみの変化を、図 2 に示  
すように、ひずみゲージ→ブリッジボックス→アンプ→  
レコーダーと配線した装置によって測定した。

次に、この試料に水溶性シリカベースの塗型材を 1.5  
~2.0 mm の厚さに塗型して、室温で2日間乾燥後、上

† 昭和62年7月3日 原稿受理

\* (株)土芳産業商会

\*\* (株)三好製作所

\*\*\* 関西大学工学部 工博

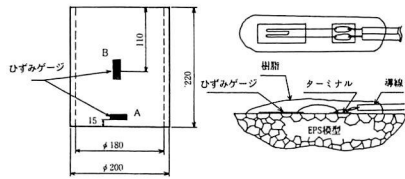


図1 円筒試料へのひずみゲージてん付位置とてん付方法

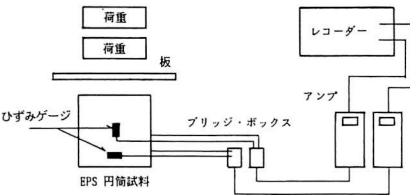


図2 配線図

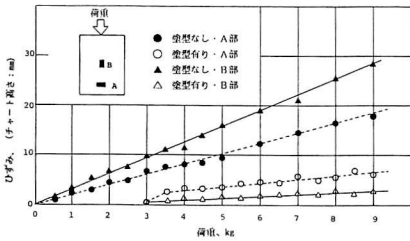


図3 塗型の有無・ひずみゲージてん付位置による荷重とひずみ(チャート高さ)との関係

記と同様の操作を行ない、その結果を塗型なしの場合とともに荷重-ひずみの関係として図3(ひずみゲージの変化量とチャート高さは比例関係にある)に示す。これによると、ひずみゲージの位置 A, B それぞれにおいて、塗型した場合に EPS 模型のひずみは 3 kg の荷重まで発生せず、それ以上の荷重でも、ひずみが無塗型のものに比べてかなり小さいので、塗型によって模型の変形抵抗が増すこと、すなわち変形がかなり緩和されることがわかる。このようにひずみゲージを用いる方法により塗型の機械的強度に相当するひずみ量を、試料の任意の位置で簡単に測定できる。

2.2 通気度測定方法

通常の鋳物砂の通気性を測定する方法は、JIS 規格に定められているが、フルモールド法での塗型の通気性は極めて重要であるにもかかわらず、それを評価する標準

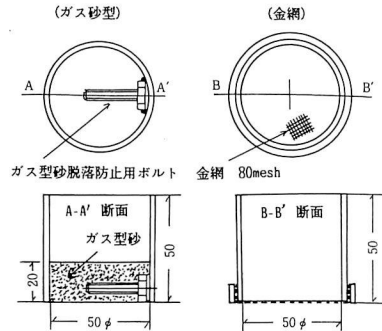


図4 塗型通気度測定用試料ホルダー

的な方法はまだない。塗型だけの通気性を測定するためには、乾燥砂型の場合と同様に適当な試料ホルダーを必要とする。そこで、図4に示すガス型砂(脱着防止用ボルト付き)および80メッシュの金網(試験法の記述はないが、100メッシュ真ちゅう製金網の使用を提案<sup>3)</sup>しているものもある)を有するホルダーの二つを考案した。今回は、そのうちガス型砂ホルダーを用いて、まず塗型だけの通気度を測定する標準的な方法を検討した。次に、浴湯により EPS 模型が燃焼して生じる生成物の発散程度を示す塗型の通気性を、この方法で評価することとした。

6%の水ガラスを含む6号けい砂を、高さ20mmとなるようにサンドランマーを用いてつき固め、シリカベースあるいはジルコベースの骨材をもつ塗型材を、塗型厚さ1mm、2mm、3mmおよび参考として5mmと変化させて塗布した後(ガス型砂への塗型の染み込みは無かった)、室温で2日間放置して乾燥し、その通気度をJISの通気度試験器で測定し、下記の計算式[試験片高さ=ガス型砂の高さ(20mm)+塗型厚さ(1~5mm)]で求めた。

$$P = (V \times h) / (a \times p \times t)$$

P 通気度

v 通過空気量 (cm<sup>3</sup>)

h 試験片長さ (cm)

a 試験片断面積 (cm<sup>2</sup>)

p 圧力差 (水柱 cm)

t 排気時間 (min)

両塗型材についてそれぞれ1, 2, 3, 5mmの場合の乾燥後(塗型の割れは認められなかった)の測定結果を表1に示すように、ガス型砂を通しての方法ではあるが、かなり再現性が良好である。一方、塗型前のガス砂

表1 塗型別の乾燥時通気度

| 塗型骨材  | 塗型厚さ<br>回数 | 1 mm  | 2 mm     | 3 mm | 5 mm |
|-------|------------|-------|----------|------|------|
|       |            | Siベース | 1回目 19.2 | 17.6 | 15.8 |
|       | 2回目        | 18.7  | 17.3     | 16.0 | 10.1 |
| Zrベース | 1回目        | 60.0  | 43.7     | 24.2 | 18.2 |
|       | 2回目        | 58.9  | 43.7     | 26.1 | 17.9 |

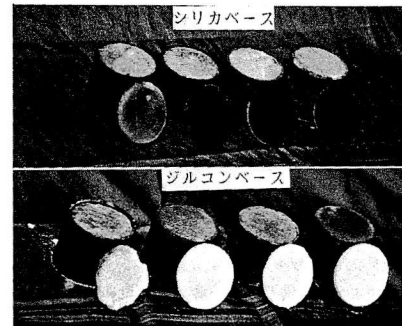


図5 ばく熱後のガス型から取り外した塗型

型だけの通気度は403(4回測定の実測値)で、本法での塗型のそれ(最高で58)と比べて極めて大きいので、この測定値を塗型だけの通気度とすることにした。

次に、鋳造時の塗型の通気性を推定するためには、曝(ばく)熱中に測定することが望ましいが、困難であるため、ここではばく熱後室温まで冷却したものについて前述の方法で測定することにした。乾燥後の試験を1,400°Cで30s間ばく熱(塗型の剝離や図5に示すように、割れやガス型砂への染み込みは認められない)し、可燃性物質を燃焼させた後室温まで冷却して通気度を測定した結果を、乾燥のものと比較して図6に示す。これによると、シリカベース、ジルコベースともに通気度はばく熱後のほうが大きく、塗型厚さの小さいものほど大きく、乾燥後とばく熱後の通気度の差はジルコベースで顕著である。この結果から乾燥後とばく熱後の通気度の数値にかなり大きな差は見られるが、塗型厚さによる変化傾向はほぼ同じであること(このことから、乾燥時の通気度はほぼばく熱後のその変化傾向を予測できると考えられる。)がわかる。また、塗型前のガス砂のみの通気度は403と大きく、ばく熱後塗型をはがしたもののそれ(403.5)との差はほとんど見られない。このこと

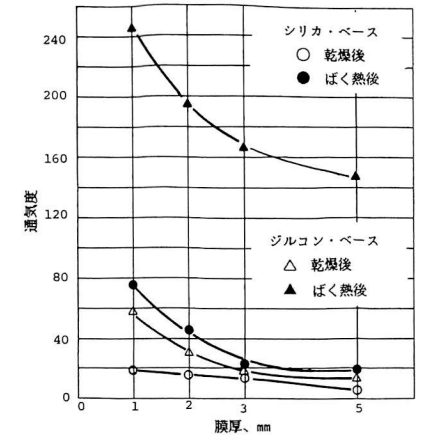
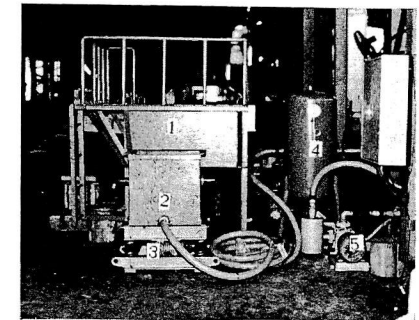


図6 塗型厚さと乾燥およびばく熱後の通気度との関係

から、ばく熱によって通気度が大きくなるのは、塗型だけの通気度が変化することによることを示しており、この方法が鋳造時の塗型の通気度を推定するには簡単で良い方法であると考えられる。

3. 造型時におけるEPS模型の変形の測定方法

パイプにひずみゲージを貼(てん)付した(図1参照)無塗型の試料を使用し、図7に示す造型用装置を用いて、表2に示す条件で、造型時の各工程(パイプ内に砂投入、パイプの外側に砂投入、振動テーブルによる砂の充てん、吸引減圧、吸引用バルブ開放)に応じてパイプ



1: サンドホッパー, 2: フラスコ, 3: 振動テーブル, 4: 減圧タンク, 5: 真空ポンプ

図7 造型用実験装置

表2 実験条件

|      |  |
|------|--|
| フラスコ | 600mm × 600mm × 500mm                              |
| 振動   | 40Hz   |
| 砂    | 5号 けい砂   |
| 減圧   | -100mmHg, -200mmHg,<br>-300mmHg, -400mmHg (フィルム使用) |

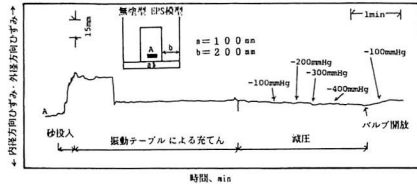


図8 各工程における発生ひずみ(正置)

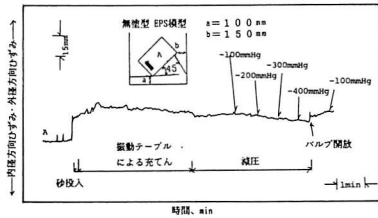


図9 各工程における発生ひずみ(45度傾斜)

に生じるひずみを測定した。

パイプを正置の状態で作型した時のひずみゲージA位置における結果を図8に、パイプを45度傾斜させた状態で作型した時のひずみゲージA位置における結果を図9に、さらにパイプを横に倒して作型した時のひずみゲージA, Bそれぞれの位置において同時に測定した結果を図10に示す。

正置の場合(図8), 砂投入時にパイプの外径方向にかなり大きなひずみを生ずるが、パイプの外側に砂を投入している間のひずみはあまり変化しない。次に、振動テーブルにより充てんすると、ひずみは内径方向にかなり回復するが、なおいくらか残っている。造型用フラスコ上面にフィルムをかけて減圧すると、わずかであるが内径方向にひずむ傾向がある。バルブを開放して減圧の程度を-100 mmHgにすると、さらにいくらか外径方向にひずみが生ずる。すなわち、正置の場合、砂投入時にひずみはかなり大きくなるが、以後の工程で変化は単調である。45度パイプを傾斜した場合(図9), 砂投入時に

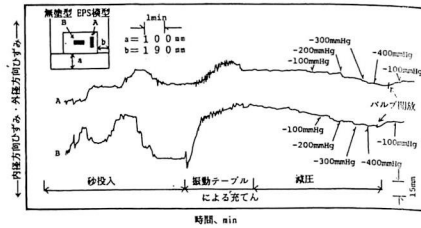


図10 各工程における発生ひずみ(横置き)

外径方向にひずみが生じ、以後、バルブ開放までの工程で大きな変化はないが、減圧すると若干逆方向の力がかかることにより、ひずみが緩和される傾向がある。

横に倒した状態(図10)の場合、ひずみゲージのてん付位置A(円周方向のひずみ変化測定)では、他の場合と同じように砂投入時に外径方向にひずみが生じるが、パイプおよびその周辺に砂が投入されている間、ひずみの方向が外径→内径→外径方向と、複雑に変化し、最終的に内径方向に少しひずんだ状態となる。また、てん付位置B(軸方向のひずみ変化測定)においてはA位置の場合と同じようなひずみの変化傾向を示すが、そのひずみの大きさはかなり異なる。なお、振動による砂の充てん工程では、A, Bとも外径方向にかなりひずむが、約3 min後にはA, Bともひずみが一定となる。また、減圧からバルブ開放までの工程においてその緩和傾向はよく似ているが、AのひずみはBよりも大きい。このことは、同じEPS模型においても場所によりひずみ量や方向が複雑に異なることを示している。

以上、正置、45度傾斜および横置き状態でパイプを作型した場合、同じ状態でもひずみゲージのてん付方や場所によって、ひずみ方向や大きさに差があり、EPS模型の置き方、すなわち案によって造型時に発生するひずみの現れ方が異なることを見出した。これらのことから、この方法は、ひずみゲージのてん付位置やその数量によって、EPS模型が部分的、全体的に受けるひずみ(変形)の状況をかなり正確に把握・検出し得る方法と思われる。また、振動テーブルによる砂の充てん工程におけるひずみと時間との関係(図8参照)より、振動を開始してある時間を過ぎると、ひずみが一定の値を示すので、この時間では砂の充てんを完了していると考えてもよい。したがって、これ以上時間をかけても充てん効果は期待できないので、適当な振動時間が存在することがわかる。

以上、減圧フルモールド法での塗型の条件には、従来の鋳造法に必要なもの以外に、造型時に発生するEPS

の模型の変形に対する抵抗及び鋳造時に発生するEPSの熱分解生成物の速やかな排出とが加わる。ここでひずみゲージを用いる簡単な方法で、造型時のEPSの変形に対する塗型の抵抗力を推定することができ、また、塗型がEPSの変形を緩和もしくは防止するのに大きく役立つことを確認した。さらに、EPS模型に対するひずみと荷重との関係を測定すると同時に、その変形量をも測定しておき、フラスコ内で実際に塗型した模型と湯口系を組み合わせた造型条件によって試験すれば、実際のEPSの発泡倍率、塗型、案、造型方法、減圧、ならびに設備等の諸条件が模型の変形に与える影響を包含した状態で測定でき、先に述べた模型にかかる荷重-ひずみの関係から、注湯時の模型の状態を予測できる。極言すれば、フラスコ内における塗型付きのEPS模型の状態のシミュレーションの可能性があると云える。さらに、ひずみゲージを付けたままの上記の状態実際に注湯を行えば、フルモールド法と鋳物との関係をより直接的に推測でき、ここで標準として決定したばく熱による通気度の測定方法で鋳造時の塗型の通気度を推定すれば、ひずみゲージによる結果とあわせて塗型管理がより合理的に行えるものと考えられる。

#### 4. 結論

- 1) 塗型は、EPS模型の変形をかなり緩和する。
- 2) 塗型の乾燥通気度は、Siベースに比べZrベースのほうがやや大きい値であるが、ばく熱後のそれはかなり大きくなる。
- 3) パイプ状のEPS模型をフラスコの中に入れて変形テストした結果では、模型の置き方で砂投入、充てん並びに減圧時のひずみ量が異なり、その変形に大きく影響する。このことから、鋳造案を考える場合、模型の変形に十分注意する必要がある。

#### 文献

- 1) H.F. Shroyer: Cavityless Casting Mold and method of Making Same, U.S. Patent N2830343, 1 S Apr. (1958)
- 2) A.M. Arzt and P.M. Bralower: Modern Casting, Jan.
- 3) 例えば、R. Biley: Modern Castings, (1982), Apr.
- 4) 山本康雄: 日本鋳物協会関西支部フルモールド研究委員会資料 No.61-3-3, (1986)
- 5) (社)鋳造技術普及協会: 鋳造用消失模型の製造に関する開発研究, (1987).