

## 研究論文

## 消失模型鑄造法における模型の変形

山本康雄\* 三宅秀和\*\* 岡田 明\*\*

## Deformation of EPS pattern on Evaporative Pattern Casting Process

Yasuo Yamamoto, Hidekazu Miyake and Akira Okada

Because the pattern made of polystyrene is liable to deform in the molding process and its deformation reflects greatly on the dimension of castings, its deformation is very important problem for the evaporative pattern casting process. The method to accurately measure the occurred deformation by the strain gauge is proposed. It is found with 2.5 inch gate valve pattern that the suitable washing on the pattern markedly decreases the deformation of the pattern and that the dimension of castings without casting practically can be assumed accurately by the pattern dimension on last molding process. Since the pattern is scarcely deformed by vibrating the mold under reduced pressure, it is indicated that the method to vibrate the melt during solidification can be applied to the evaporative pattern casting process under reduced pressure.

## 1. 緒 言

現在注目されている消失模型鑄造法の特徴は、金型成型した発泡ポリスチレン模型(以後、EPS模型と称する)そのものを鑄物にすることである。したがって空洞鑄造法で不可欠な中子が不要であり、抜型工程などが大幅に軽減できる。しかしEPS模型自体は小さな力で変形しやすく、その変形過程は模型の大きさ、形状、肉厚および発泡倍率の違いによって複雑に変化する。さらに模型への塗型作業、鑄枠(フラスコ)内への砂充てん(振動充てん)などの造型工程ならびに鑄造方案によっても、模型の変形は大きく影響されると考えられる。しかもこれらの要因によって模型が変形すると、それが鑄物に反映して健全な製品が得られない。したがって鑄造までの一連の造型作業における模型の変形過程を知ることが、このプロセスで鑄物を製造するために重要なことである。

EPS模型の変形に関しては、フラスコ内の砂の振動充てんおよび減圧による砂圧の推定<sup>1)</sup>およびパイプ用継ぎ輪模型の塗型時の変形<sup>2)</sup>などが一部報告されているが、鑄造までの一連の造型作業における模型の変形状態に関する系統的な研究は見当たらない。著者らは、以前にひずみゲージ貼付測定法を考案<sup>3)</sup>して、単純な円筒形状のEPS模型の造型工程で生じるひずみの測定から模型の変形過程を知る手掛りを報告<sup>4)</sup>している。

今回は消失模型鑄造法で製造されている現用製品の2.5inゲートバルブ用EPS模型(以下、バルブ模型と略称する)を用いて、注湯直前までの鑄造一貫作業における模型の変形過程を把握するとともに、これと凝固収縮

を考慮に入れた鑄物の実寸法との関連性を検討したので報告する。

## 2. 実験方針

実際に消失模型鑄造法で製造されているバルブ模型を主体に、塗型の有無および模型方案(設置方法)ならびに発泡倍率などの違いによる模型の変形をひずみゲージ貼付測定法<sup>3)</sup>によって全造型工程を通して測定し、ひずみの発生状況を検討した。また造型後種々の減圧下でフラスコを振動し、減圧消失模型鑄造法への振動凝固法<sup>5)</sup>の実用化に向けて模型の変形状態を併せて検討した。さらに注湯直前の鑄物寸法を推定する方法として、湯口系を取付けた場合の鑄造までの工程で発生したひずみ量から模型の実寸法と得られた鑄物の実寸法との比較を行った。

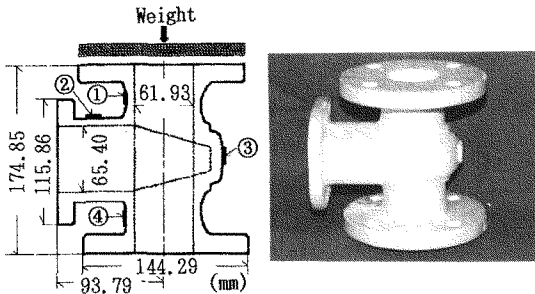
## 3. 実験方法

Fig.1に示すように、バルブ(製品単重約13kg)模型の所定の4箇所に市販のペーパタイプのひずみゲージをエポキシ樹脂で貼付<sup>3)</sup>した後、厚さ約1mmに塗型(水溶性のシリカベースの塗型剤にどぶ付け後室温乾燥)した。ひずみゲージ→ブリッジボックス→アンプ→レコーダと配線し、Table 1の条件で造型中の模型に発生するひずみを測定した。すなわち、ベッドサンド(JIS 6号けい砂鑄物砂)をフラスコ底面より約10cmの高さに振動充てんした後、ゲージを貼付した発泡倍率約30倍の模

平成3年4月10日 原稿受理

\* (株)ツチヨシ

\*\* 関西大学工学部 工博



Position of strain gauge Appearance of EPS pattern  
**Fig. 1 Schematic diagram of 2.5 inch gate valve pattern and position of strain gauge**

**Table 1 Experimental condition**

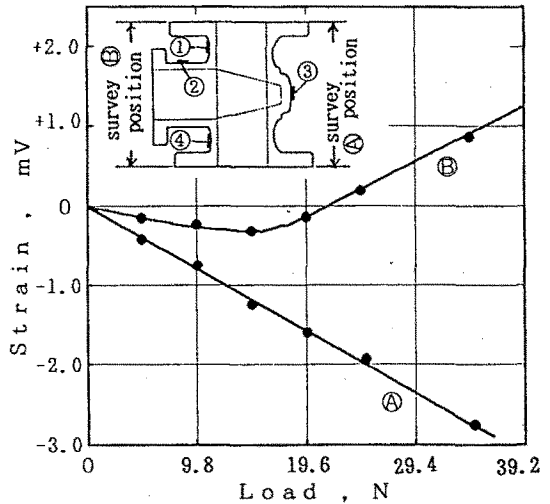
EPS pattern	2.5 inch gate valve (expanded rate:X30 and X45)
Coating	water-soluble mold wash of silica type dry at room temperature for 3day coating thickness : about 1mm
Flask size	0.4mX0.4mX0.5m
Sand	unbonded silica sand JIS No.6
Pressure	88.0~4.0 kPa (reduced pressure)
Compaction condition	frequency of vibration : 60Hz acceleration :1.2G, amplitude : 0.2mm

型を正置, 45度傾斜および横置きの三通りの方で, また発泡倍率の違いを見るために約45倍の同様の模型を横置き状態で, それぞれフラスコ内の中央部に設置した。次に1000 ml容量の容器から乾燥した鑄物砂を模型上面より約80 cmの高さからフラスコ上部まで, 自然落下させながらフラスコの容積一杯まで入れ, 約1.2 Gの加速度で振動させながら砂を充てんした。さらにフラスコ上面をビニールシートで覆った後, フラスコ下部から真空ポンプを用いて減圧し, 88.0 kPaの減圧度に到達する間に発生する模型のひずみを連続的に測定した。引続き減圧度を88.0~4.0 kPaまでの各減圧段階での加振下(以後, 減圧加振工程下と称する)における模型のひずみを測定した。

**4. 実験結果および考察**

**4.1 ひずみ-寸法標準線**

荷重-ひずみ曲線を Fig. 2 に示す。ひずみゲージで測定されたひずみ量を実寸法に換算するために, ひずみゲージ貼付無塗型の模型に順次所定の荷重を加えた時の模型ボンネット取付け側 (Fig. 2 中のⓐ側のゲージ④の箇所) および底部側 (Fig. 2 中のⓐ側のゲージ③の箇所) の寸法をハイトゲージで実測した。その結果ボンネット取付けⓐ側では圧縮方向, 底部ⓐ側では引張り方向に変



**Fig. 2 Strain-Load curves of ⓐ and ⓑ of survey position**

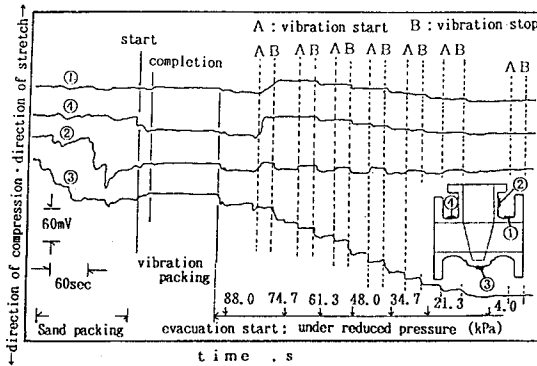
形することが認められる。

得られたひずみ量(mV) : x と寸法(mm) : y とから引張り方向 ( $y = 0.2915x + 0.7178$ ) および圧縮方向 ( $y = 0.0199x + 0.0010$ ) における標準線を作成した。ひずみ量と寸法変化の相関(引張り方向の相関係数 :  $r = 0.8971$ , 圧縮方向の相関係数 :  $r = 0.9999$ ) はかなり良好であり, 本実験ではこれらの標準線を用いて模型の変形能を評価することにした。今回はボンネット取付け側および底部側の2箇所の測定に限定したが, さらに測定箇所を増やすことで模型の変形能をより正確に評価できると考えられる。

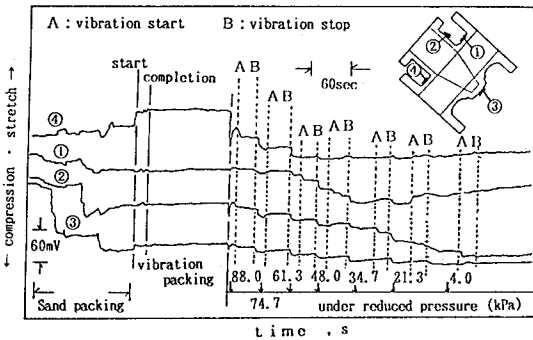
**4.2 造型工程におけるひずみ発生状況**

**4.2.1 無塗型模型の場合**

(1) 正置状態 : 発泡倍率約30倍の無塗型バルブ模型の正置状態での測定結果を Fig. 3 に示す。模型の設置位置と形状からも予測できるように, 砂充てん時のゲージ①と④におけるひずみ変化はほとんど認められない。しかしゲージ④は振動充てん開始で模型の外側から内側(以後, 圧縮方向と記す)へ向かうひずみが(約 -30 mV のひずみ量 = 約 0.6 mm の変形量に相当)大きくなる。ゲージ②ではその位置に砂が充てんされた段階で圧縮方向(約 1.2 mm の変形量に相当)に, それ以上の充てんでは模型の内側から外側(以後, 引張り方向と記す)へ向かうひずみに変化し, 振動充てん中はそのひずみの方向と大きさは変わらない。これは模型の内側と外側の砂圧バランスが保たれた結果であり, このことは砂圧が均等になるような模型埋没法を示唆している。ゲージ③では砂充てんが進むにつれて段階的に圧縮方向へのひずみが大



**Fig. 3 Changes of strain curve on the normal condition**  
(non-coating pattern : expanded rate  $\times 30$ )



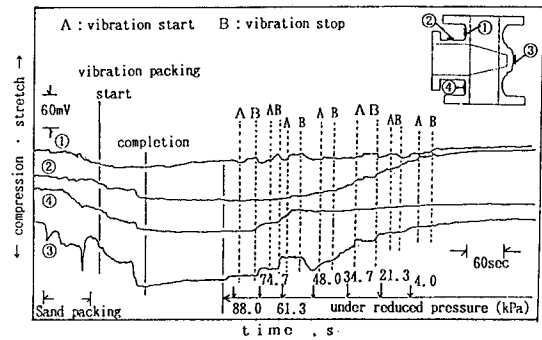
**Fig. 4 Changes of strain curve on the incline condition**  
(non-coating pattern : expanded rate  $\times 30$ )

きくなる。

88.0 kPaの減圧工程下においてはいずれのゲージ位置とも圧縮方向に最大約0.5 mm程度の変化が認められる。それ以上の減圧で引張り方向に変化するが差がなく、ゲージ③のみ圧縮方向に段階的に大きく生じる。しかし、各減圧下での加振工程(以下、図中の記号Aは減圧下での加振開始、記号Bは減圧下での加振停止を示す)下では、ゲージ③にひずみの大きさと方向はほとんど変化しないことが認められる。

(2) 傾斜状態：Fig. 4に45度傾斜状態での結果を示す。砂充てん段階での各ゲージ位置のひずみの大きさおよび向きは複雑に変化している。充てん終了時ではゲージ①、②および③の順に大きく圧縮方向に約2 mm、ゲージ④では引張り方向に約6 mm変形している。

振動充てん工程下において、ゲージ①と②および③はひずみの大きさならびに向きはほとんど変わらない。これに対してゲージ④では引張り方向に約8 mmと大きくひずんでいる。このことは傾斜状態での模型設置方法ではそれぞれのゲージ位置がフランジの陰にあるために、

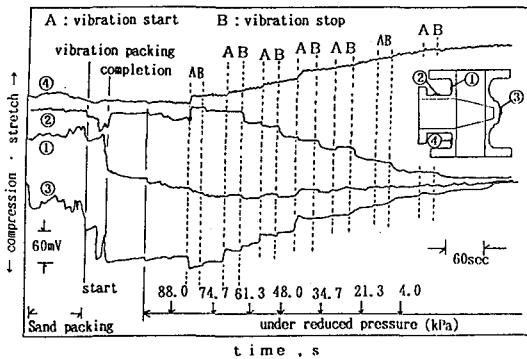


**Fig. 5 Changes of strain curve on the horizontal condition**  
(non-coating pattern : expanded rate  $\times 30$ )

充てんされにくいと考えられる部分でも振動による砂充てん効果があることを示している。減圧工程下における各ゲージのひずみ発生傾向は、模型を約45°傾斜させることで正置状態の場合とは逆の方向に変化している。とくにゲージ③の位置では正置状態の場合に認められたひずみの増加は認められない。なお、各減圧下での加振工程下(A→B)では正置状態の場合と同様にいずれもほとんど変化しない。

(3) 横置き状態：Fig. 5に横置き状態での結果を示す。砂充てんから振動充てん終了時まで各ゲージ位置ともひずみは圧縮方向に順次大きくなる傾向にある。しかし、減圧加振工程下では各ゲージとも引張り方向にわずかにひずみは変化するが、ゲージ④に比してゲージ①と③では加振によるひずみ発生が敏感である。これは、ゲージが同じようにフラスコ底部に対して垂直に貼付されているにもかかわらず、ゲート取付け部として孔が空いているため模型に負荷されたひずみの開放が容易に現れたためと考えられる。さらにゲージ②では61.3 kPaの減圧度まで変化が認められない。このように横置き状態では、砂充てん時に圧縮方向に、その後の減圧工程下で、引張り方向にひずみの方向が変化することで、模型全体のひずみ量のバランスが保たれている。なお、減圧加振工程下では他の模型設置方案と同様ひずみの大きさおよび方向は変わらない。

次に発泡倍率約45倍の模型を横置き状態で造型した場合の結果をFig. 6に示す。ひずみ変化傾向は、発泡倍率約30倍の同じ模型設置方案よりも、圧縮方向および引張り方向いずれも大きなひずみ量として現れている。これは発泡倍率が大きいために模型そのものが変形しやすく、さらに無塗型であるために砂充てんなどの造型工程中のひずみに敏感に影響されるためである。このことは後述するように、塗型を施すことにより模型の変



**Fig. 6 Changes of strain curve on the horizontal condition**  
(non-coating pattern : expanded rate  $\times 45$ )

形を減少<sup>4)</sup>させると同時にその変形挙動が敏感ではなくなることから理解できる。

以上、無塗型模型の場合のひずみは模型設置方案ならびに模型の肉厚、形状ならびに発泡倍率さらには造型工程の条件の差異によって、敏感に現れることが明らかになった。また複雑な形状を持つバルブ模型でも単純な形状(円筒形状の模型)のひずみ発生状況<sup>4)</sup>とかなりの相関があることを認めた。これらのことから、この簡単な「ひずみゲージ貼付測定法」を採用して、あらかじめ種々の形状の「無塗型模型のひずみ発生状況」の測定データを蓄積することで、より複雑な鑄物製造に対して最適な造型条件を与える基礎が得られるものとする。

4.2.2 塗型模型の場合

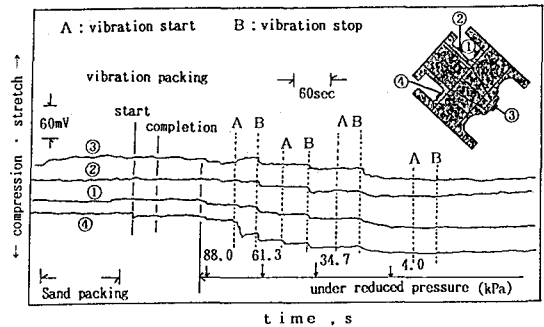
塗型した発泡倍率約 30 倍のバルブ模型を無塗型の場合と同様に正置、45 度傾斜および横置きの方案ならびに発泡倍率約 45 倍の模型を横置き状態で、それぞれ設置した場合の造型工程における模型のひずみを測定した。本実験のゲートバルブのような複雑な模型でも、塗型した場合は従来の円筒状の簡単な模型の場合の結果<sup>3)4)</sup>と同様、いずれの模型設置方法でもひずみ量は小さくなり、同じ模型設置状態では発泡倍率の小さい模型ほどひずみ量は小さい。さらに減圧加振工程下でもひずみ量は極めて小さい。代表例として無塗型模型(発泡倍率約 45 倍)でひずみ量が最も大きく現れた場合(Fig.4 参照)と同じ方案(45 度傾斜)で、塗型造型した場合のひずみ変化を Fig.7 に示す。造型工程中に生じる模型のひずみ量の絶対値は極めて小さく、塗型は変形防止に対して極めて有効であることがわかる。

4.3 造型工程における模型の変形と鑄造品の寸法との関係

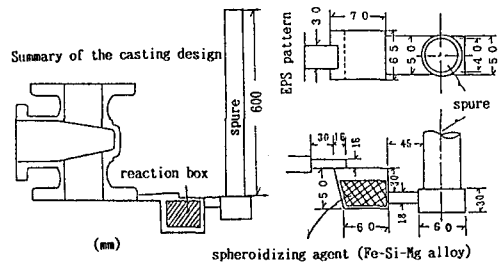
鑄造工場で生産される鑄造品の実寸法と造型工程での

模型の寸法変化との関係を推定するために、横置き押し上げ方案で湯口系を取付けたバルブ模型(発泡倍率約 30 倍)を用いて、造型から注湯によるゲージの断線までの間の模型の連続的なひずみを測定した。なお、製品は FCD 45 相当の材質が要求される球状黒鉛鑄鉄鑄物であることから、本実験では著者が開発した「インバーンプロセス」による黒鉛球状化処理法<sup>6)</sup>を採用した。

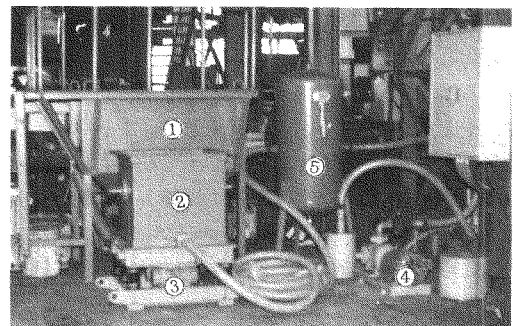
Fig.8 に方案の概略図、Fig.9 に現場用装置の外観および Table 2 に実験条件を示す。フラスコ底面より約 10 cm の高さにベッドサンドを充てんし、湯口系を接続し



**Fig. 7 Changes of strain curve on the incline condition**  
(non-coating pattern : expanded rate  $\times 45$ )



**Fig. 8 The casting plan 2.5 inch gate valve pattern**  
(In-pattern process)



① Sand hopper ② Flask ③ Compaction table  
④ Vacuum pump ⑤ Vacuum spare tank

**Fig. 9 The appearance of experimental apparatus**

Table 2 Casting condition

EPS pattern	2.5 inch gate valve (expanded rate: X45)
Coating	water-soluble mold wash of silica type dry at room temperature for 3day coating thickness : about 1mm
Flask size	0.5mX0.5mX0.6m
Sand	unbonded silica sand JIS No.5
Pressure	34.7kPa (reduced pressure)
Compaction condition	frequency of vibration : 60Hz acceleration : 1.2G, amplitude : 0.2mm
Casting plan	In-pattern process (the bottom casting)

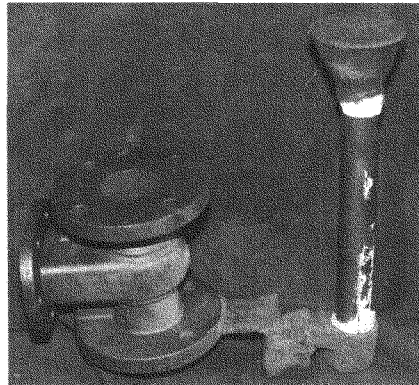


Fig. 11 The appearance of casting product

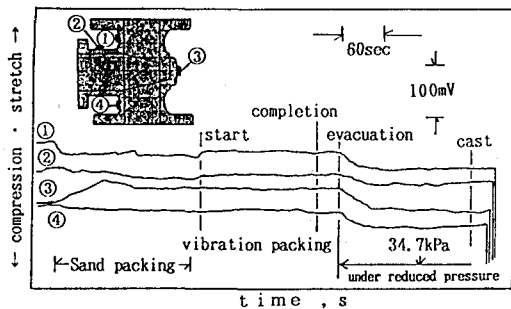


Fig. 10 Changes of strain curve on the horizontal condition when the melt was poured under reduced pressure 34.7 kPa (coating pattern : expanded rate × 30)

たゲージ貼付塗型模型を設置して造型作業中のひずみを連続測定した。すなわち、フラスコ上部約 30 cm の高さからサンドホップを用いて砂を投入し、振動テーブルでフラスコを振動して砂充てんした。次にフラスコ上面をフィルムでシールして、34.7 kPa の減圧度で7t水冷キュボラ溶湯(とりべて脱硫処理)を注湯した。注湯時にもゲージに通電して模型への湯回り状況をチャート上のゲージ断線で確認した。

Fig. 10 に造型・鑄造工程下でのひずみ量、方向およ

びゲージの断線状況を示す。ひずみはゲージ③のみ引張り方向で、他のゲージ位置ではいずれも圧縮方向に発生しており、同じ模型設置状態の無塗型模型における場合 (Fig.5参照)と比較して、ひずみ量の絶対値は極めて小さく、塗型は変形防止に対して極めて有効であることが再度確認された。さらに注湯後、各ゲージは④→③→②→①の順に切断しており、その時間的遅れから溶湯は約 5 sec でゲージ④に到達し、約 8 sec で模型全体を充滿し、湯回りはかなり早いことがわかる。さらに、測定点を増すことで溶湯が模型内を充滿していく過程を詳細に知ることができると考える。凝固後フラスコを反転して鑄物を取り出し、ショットブラストで塗型を除去して得られた製品 (Fig.11 参照) のボンネット取付け側および底部側の寸法をハイトゲージで実測した。ひずみ-寸法標準線から求めたそれぞれの実寸法変化を Table 3 に示すように、各工程とも模型の原寸法に対して余り大きな変化(変化率: 0.18~0.51%)は認められない。砂投入工程ではボンネット取付け側寸法は圧縮されるが、振動充てんの工程で回復し、さらに減圧工程でわずかに圧縮されることがわかる。このように造型工程下でのわずか

Table 3 Results of measurement of the size on EPS pattern and casting product

Survey position	Process	Convert value (mm) by standard line	Deformation rate <sup>*)</sup> (%)
A	sand packing	173.99	0.49
	vibration packing	174.52	0.18
	evacuation	174.27	0.33
	casting product EPS pattern	174.10 (actual survey) 174.85 (actual survey)	
B	sand packing	173.96	0.51
	vibration packing	174.50	0.20
	evacuation	174.08	0.36
	casting product EPS pattern	174.08 (actual survey) 174.85 (actual survey)	

<sup>\*)</sup> Deformation rate is calculated by the size (174.85mm) of EPS pattern before test

な寸法変化はともかくとして、伸び尺で作製された模型の寸法が、鑄造で得られた鑄物の寸法とほとんど同じである。このことは、この簡単なひずみゲージ貼付測定法で把握した無塗型模型のひずみ発生状況の測定データによって、鑄物の製品寸法を管理することができることを示唆している。

## 5. 将来展望

以上述べてきたように、「ひずみゲージ貼付測定法」は、造型中に模型にかかる応力変化を検知し得る可能性がある。また造型工程そのものは注湯される材料に関係なく手順が同じであることから他の材料に対しても適用でき、より健全で寸法精度の良好な鑄物を製造するための造型工程の管理および変形防止策を可能にさせるものと推察される。

すなわち、事前にこのゲージ法で模型のひずみ変化を把握すれば、各工程で生じる模型の変形が予測できる。例えば、「無塗型模型のひずみ発生状況」の測定データを基礎にして、方案および造型工程の改善、模型の肉厚変動や補強用のリブ追加などの変形防止対策が可能になる。しかもその結果を考慮して造型し、模型に生じるひずみを測定することで種々の対策が完全であるかどうかの管理もなされる。その結果、製品としての鑄物の変形を最小限に制御し、さらに模型の変形に関連する種々の時間的、労力的、金銭的な無駄を避け得るものと考えられる。最後に、塗型時および塗型乾燥時にも適用することで、消失模型鑄造法におけるよりきめの細かい造型工程管理(変形防止)が可能になると考える。

## 6. 結 論

消失模型鑄造法の現用製品であるバルブ模型を用いて、鑄造までの一連の造型作業における模型の変形過程を「ひずみゲージ貼付測定法」によって測定し、以下のような結果を得た。

- (1) ひずみゲージ貼付測定法は造型時の模型の変形挙動をかなり精度よく検出し得る方法である。
- (2) ひずみの大きさおよび向きは各ゲージ位置で変化し、同一模型でも設置方法や造型工程に対応した変形が生じることを明らかにした。
- (3) 発泡倍率の大きい模型ほどひずみは大きく変形しやすいが、塗型によって変形能を著しく減少させることができることを明らかにした。
- (4) 消失模型鑄造法における造型工程管理(変形防止)の可能性を示した。

## 文 献

- 1) 池永明：日本鑄物協会関西支部，平成元年度秋季大会講演概要集(1989) 6
- 2) 河合省吾，田村啓治：日本鑄物協会第111回全国大会講演概要集(1987) No.7
- 3) 山本康雄：日本鑄物協会関西支部，フルモールド研究委員会資料(昭和61年) No. 61-3-7
- 4) 山本康雄，滝本哲，三宅秀和，岡田明：鑄物 59(1987) 729
- 5) 三宅秀和：日本鑄物協会関西支部，平成元年度秋季大会講演概要集(1989) 1
- 6) 三宅秀和，山本康雄，滝本哲，佐藤高浩，岡田明：鑄物 59(1987) 754