

## 技術報告 垂直面円運動振動を適用した消失模型鑄造法の試作例

山本康雄\* 永武誠一\*\* 眞鍋豊士\*\*\*  
三宅秀和\*\*\*\* 岡田 明\*\*\*\*\*

### Casting by Circular Vertical Plane Vibration in Evaporative Pattern Casting Process

Yasuo Yamamoto, Seiichi Nagatake, Toyoshi Manabe,  
Hidekazu Miyake and Akira Okada

Sand flowability and packing characteristic are extremely important in the evaporative pattern casting process. The sand in the flask must flow in to the surrounding areas of the expanded polystyrene foam pattern and compact density. The results of the experiment suggest that circular vertical plane vibration is useful for the filling of sand in the E.P.C process.

**Keywords :** evaporative pattern casting process, molding, vertical plane vibration, sand flowability, sand packing characteristic

#### 1. はじめに

消失模型鑄造法は鑄物の適用拡大や画期的なコスト低減への期待から、種々の研究<sup>1)</sup>および開発<sup>2)</sup>が進められてきた。この鑄造法の特徴の一つに、振動および減圧を利用した造型法が挙げられる。すなわち、製品となる消失模型(以後模型と記す)を減圧可能な鑄枠(以後フラスコと記す)内に乾燥けい砂で埋没し「振動充てん」を行う。さらに注湯時に型強度を保持するためにフラスコ内を減圧することにある。本法は、砂の繰返し使用が可能で砂再生や廃砂が不要なため経費が削減される。さらに鑄造後にフラスコ内を減圧解除することにより型ばらしが簡略化できるなどのメリットを有する。

現在、この造型法に使用されている砂充てん用の装置(以後、振動テーブルと記す)は、模型寸法や方案の大きさならびにフラスコ寸法に見合った加振力のものゝ市販されている。これらの目的とするところは、消失模型鑄造法にとって“模型への砂充てん”特性が極めて重要と認識されることによる。すなわち、砂が振動により流動化(流動性)して模型を完全にバックアップ(埋没)するとともに見かけ密度を高く(充てん性)することにより鑄型強度が確保される。したがって、この砂の流動性および充てん性は振動テーブルの加振条件(振動方向、加振力、振幅および加振時間など)によって異なることは容易に予想される。

本実験では、消失模型鑄造法にとって有用な砂の流動

形態をとるといわれている垂直面円運動振動<sup>3)</sup>を適用した場合の試作と量産の可能性を調べた。すなわち、従来の水平軸および垂直軸振動では不十分な砂充てんにより生産が困難であった深い横穴やアンダカット部などを有する現用の製品模型について検討した。

#### 2. 垂直面円運動振動テーブルの概要

現在、広く用いられている造型用振動テーブルには、その加振方向によって、1軸加振機(垂直面上下直線運動)、2軸加振機(垂直面上下直線運動および水平面前後もしくは左右直線運動)および3軸加振機(垂直面上下直線運動と水平面前後ならびに左右直線運動)がある。各一組のアンバランスモータを対向して回転させ直線方向の加振力を得る方法である。それぞれ加振条件に合わせて垂直面(Z軸)および水平面(X軸あるいはY軸)の方向に振動させる方式である。本来、模型がなければいずれの加振機とも砂の充てんはかなり容易で、最終的には最も低い振動エネルギーに落ち着くと考えられる。しかし、これらの振動テーブルでは加振条件によっては過剰の振動エネルギーが供給される結果、模型の変形や接着部の破損を生じる。その結果、塗型膜の割れやはく離

平成8年11月14日 原稿受理

\* 関西大学工学部研究員 工博  
\*\* 大洋鑄機(株)  
\*\*\* 高知県工業技術センター  
\*\*\*\* 関西大学工学部 工博  
\*\*\*\*\* 関西大学名誉教授 工博

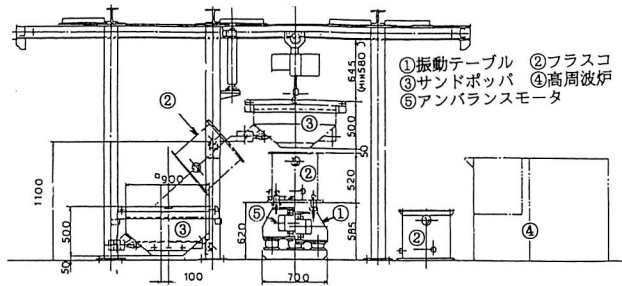


図1 実験装置

によりベネトレーションや型崩れおよび溶湯への砂の巻き込みを引き起こすことになる。ことに、深い横穴やアンダカット部などを有する模型では、不十分な砂充てんにより鑄物の安定生産が困難となる。これに対して、垂直面円運動振動<sup>3)4)</sup>は、模型の有孔部への良好な砂の流入性を有するため、今後期待される振動テーブルの一つである。

本実験で用いた垂直面円運動振動テーブルを含む装置の概略図を図1に示す。振動板(寸法:縦500×横500×高さ480mm)の下部両側に設置した一組のアンバランスモータのつりあいおもりを同方向に回転させて、垂直面(Z軸)に円運動を与える加振方式である。モータの回転方向は正転および逆転に、さらに回転数を変換させることが可能である。ここで、正転とはモータの回転方向が時計回りで、見かけの砂の移送方向は手前から奥へ(図1の右から左へ)砂が移送される。これに対して、逆転とはモータの回転方向を反時計方向に回転させ逆向き(図1の左から右へ)に砂を移送することである。なお砂投入後のフラスコをクランプした本装置の振動加速度はモータの回転数が $1780\text{ s}^{-1}$ の時、垂直成分:  $8.9\text{ m/s}^2$  および水平成分:  $2.7\text{ m/s}^2$  の一定である。振動形態としては、垂直Z軸を長軸とする楕円の運動軌跡を有する振動(以後、円運動と記す)が得られている。

### 3. モデル形状による検討

一般に、深い横穴やアンダカット部などを有する模型に対しては、加振しながら砂の投入を行ったり、砂の投入と加振を交互に繰返す方法やあらかじめ自硬性砂を埋め込むことで対策を行っている。しかし、一方では模型の破損を招いたり取扱いに注意を必要とする。また解砕時に自硬性砂の除去を必要とし工程数を増加させる。これらのことは、消失模型鑄造法のメリットをスポイルするので現状では十分な対策にはなっていない。

池永<sup>3)</sup>らはT字を90度反転させた片側のみ水平孔を有するアクリル製のパイプ模型に対する砂充てん性への円運動の影響を検討し、円運動は非常に優れた振動形態を有していると報告している。本実験ではさらに砂充てんが困難になると思われる大小2種類の水平横穴を両側に設けたモデル形状模型における砂充てん性を、試作した鑄物の断面観察から評価した。

#### 3.1 模型方案

モデル形状の模型方案を図2に示す。模型の材質はいずれもポリスチレン(PS)とポリメタメチルクリレート(PMMA)との共重合品(共重合比率: PMMA/PS = 85/15、発泡倍率: 40倍)である。あらかじめ金型成形した $100\times 100\times 10\text{ mm}$ 大きさのブロック形状の模型両側に長さ70mmに切断した内径 $\phi 20\text{ mm}$ および $\phi 30\text{ mm}$ のパイプ状模型(肉厚5mm)をホットメルトで接着した。さらに、シリカ系の水溶性塗剤[通気度: 1.5(85ボーメ, 293K, 標準法)<sup>2)</sup>]を厚さ約1mmになるように塗布し、323Kで強制乾燥した。

#### 3.2 造型法

フラスコ(図1参照)内に乾燥砂(JIS 5号けい砂)を流入させ、 $12.7\text{ m/s}^2$ の上下振動で加振しながらベッドサンドの高さを160mmに調整した。その上にモデル形状の模型をパイプの軸方向と砂の加振方向が平行となるよう設置した。さらにフラスコ上部まで砂をシャワーリング方式で充満させた後、砂充てん性の良否を評価するために次の2通りの方法で造型を行った。すなわち、造型法①は垂直面円運動振動を正転60秒間のみの加振で造型する方法である。造型法②は垂直面円運動振動を正転30秒間、次いで逆転30秒間による加振で造型する方法である。

それぞれの造型終了後、フラスコ上面をビニールシートでシールし、33.3kPaの減圧下で、FC200相当の溶湯を鑄込温度1723Kで注湯した。なお、参考までに従

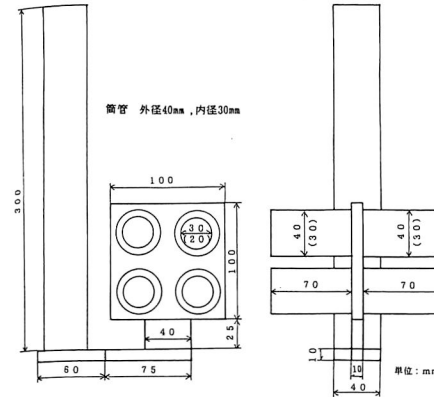


図2 方案

来の1軸加振機(垂直面上下直線運動)による造型についても併せて検討した。

#### 3.3 試作結果

図3に従来の1軸加振方式による造型で鑄造した鑄物切断部を示す。内径 $\phi 30\text{ mm}$ の太いパイプ形状の場合でもパイプ内側(中子部)の接着部(深部)に型崩れが見られる。この欠陥は砂充てんが完全に行われていないことによる溶湯の差し込み起因するもので、この造型法では生産が困難であることを示している。

図4に造型法②を適用した後、鑄造した鑄物の切断部を示す。いずれのパイプ形状とも模型の寸法どおりの鑄物が得られている。これに対して、写真には示していないが造型法①のみでは、パイプ模型の穴の開閉部に対して砂の流入性が反対となる接着部(深部)に型崩れが認められた。この傾向はパイプの直径が $\phi 20\text{ mm}$ となっても同様であった。このことはパイプの軸方向と砂の加振方向が平行であるため、パイプ模型の穴の開閉部が反対となる場合は穴径とその深さに依存して中子部への砂充てんは困難になる<sup>3)4)</sup>ことを示唆している。

以上のことから、正転および逆転の垂直面円運動振動を併用した場合、砂圧効果による押し込み作用<sup>3)</sup>により両サイドの横穴パイプ内部(内径 $\phi 20\text{ mm}$ および $30\text{ mm}$ の穴深さ70mm)への砂充てんは可能であることが分かった。

### 4. 実製品への適用

製品はブロック形状の冷凍機用コンプレッサシリンダ部品(単重: 約6.4kg)で、外観は単純な箱型に4本の脚がついた形状である。しかし、製品前後の同一軸線上

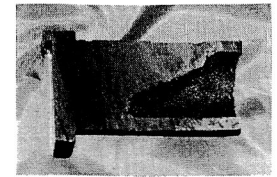


図3 上下直線運動振動による内径30mmパイプ部切断面

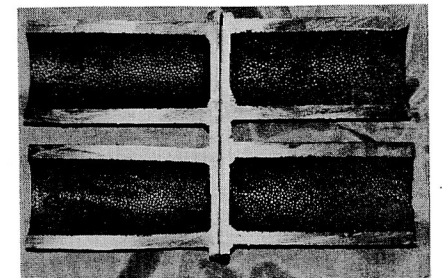


図4 垂直面円運動による内径30mmパイプ部切断面

に未貫通の深さや形状の異なる横穴が左右対称に設けられている。しかも内部形状は軽量化のため複雑に肉を盗んだ形状で設計されている。

現状では、主型および中子を6面総組みのシェル型鑄造で生産されている。このため鑄ばりのはつり、押湯部の切断や中子部の砂落とし作業を必要とする。また最近の熟練労働者不足と高齢化傾向などに対して、消失模型鑄造法での対応が期待される製品である。

#### 4.1 造型法

本製品の模型はいかに鑄造方案を考慮してもいずれかでアンダカットとなる。そのため、従来の直線運動による加振方式での造型では砂充てんが不十分で、型崩れや溶湯の差し込み欠陥が発生し量産が困難であった。

そこで、本実験ではモデル形状模型の試作で確立した正転30秒間および逆転30秒間の垂直面円運動振動による造型法を本製品模型に適用した。円運動振動下での砂流入性が模型に対して平行あるいは垂直となるような方向で設計した種々の鑄造方案例を図5に示す。方案Cの堰は図示していないが方案Dと同じ堰を各脚の底に接着している。表1に実験条件を示す。基本的な造型条件は前述のモデル形状模型の試作実験と同じである。湯口棒はアルミ製の筒管(外径:  $\phi 40\text{ mm}$ , 内径:  $\phi 30\text{ mm}$ , 長さ300mm)湯道系は前述の共重合模型のブロックを加工して用いた。

#### 4.2 試作結果

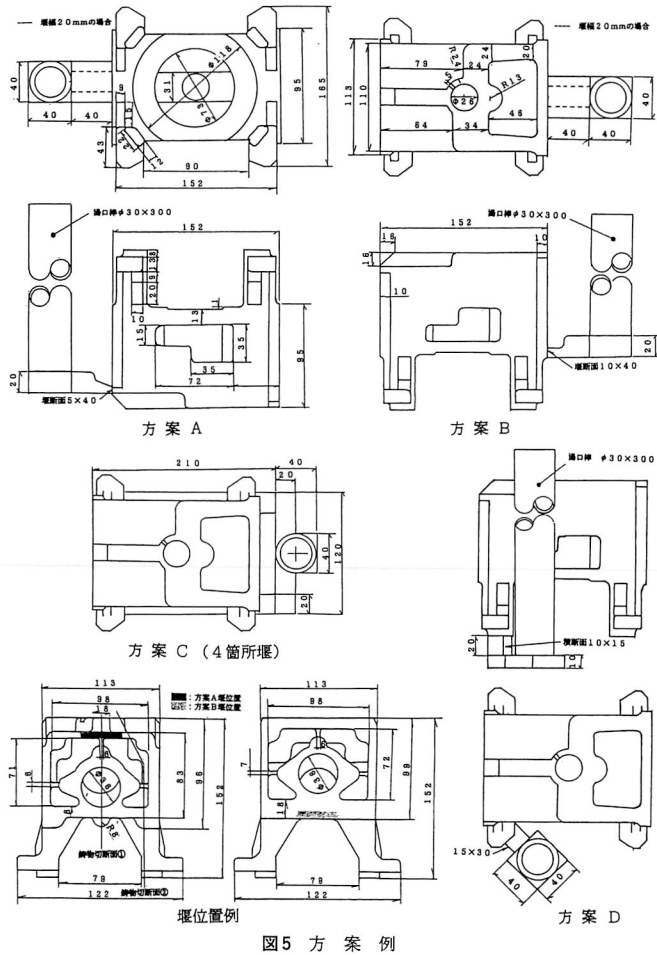


図5 方案例

表1 実験条件

|     |   |   |
|-----|---|---|
| 模 型 | 共重合比率<br>発泡倍率                                   | 85%PMMA : 15%PS<br>40倍  |
| 塗型剤 | 種 類<br>使用濃度<br>塗型方法<br>乾 燥<br>通気度 <sup>1)</sup> | シリカ骨材水性塗型剤<br>8.5ボーム<br>とん漬い<br>32.5℃強制乾燥<br>1.5 (85Ba, 293K, 靜電) |
| 造 型 | 砂<br>加振条件<br>減圧度                                | 5号けい砂<br>垂直面円振動<br>正転30s・逆転30s<br>上下振動: 60s<br>33.3kPa            |
| 溶 湯 | 材質<br>鋳込温度<br>鋳込温度                              | FC200<br>1673K (1箇詰め方案)<br>1773K (4箇詰め方案)                         |

図6に鑄物切断面を示す。方案Cおよび方案D(図5参照)の脚底部に堰を切った押上方案のみ型崩れや差し込みなどの欠陥が認められず良好な製品が得られた。他の方案ではいずれも砂充てんが十分であると思われるのにいずれも横穴部やアングカッタ部周辺で型崩れが認められた。例えば、深い穴は十分鑄抜きができておるのに小穴部に型崩れが認められる。また、塗型が破れて飛ばされた破片や、反対側の穴部に溶湯が差し込んだ状況などが観察される。

このような箇所では、型崩れした後の塗型膜の状態から、空洞部に充満した溶湯が製品側に流入したものと思

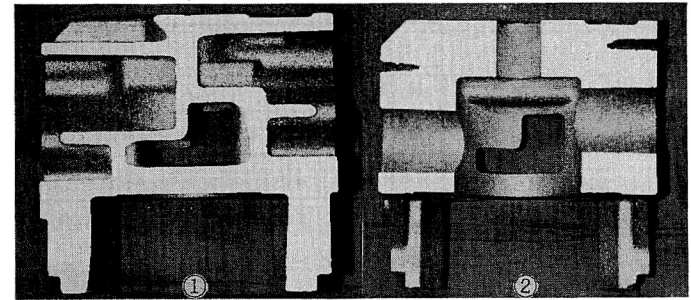


図6 垂直面運動振動による鑄物切断面

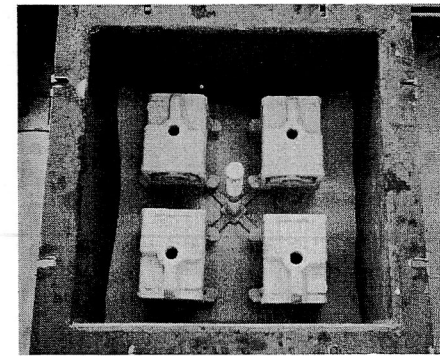


図7 4箇詰め方案

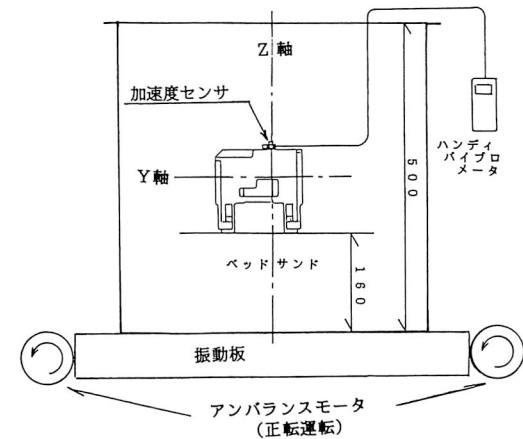


図8 加速度センサ設定位置

えられる。したがって、適正な方案でない場合は模型内の溶湯の充満状況の差異に起因するガス滞留による型崩れや溶湯の差し込みが生じると考えられる。

4.3 多数詰め方案の検討  
図7に方案D(図5参照)を基にして設計した4箇詰め押上げ鑄造方案を示す。また、多数詰め方案を採用し

表2 モータの回転数と振幅および加速度の関係

| モータ回転数               | 1780 s <sup>-1</sup> |      |      |      | 2590 s <sup>-1</sup> |      |      |      |
|----------------------|----------------------|------|------|------|----------------------|------|------|------|
|                      | X                    | Y    | Z    | 3D   | X                    | Y    | Z    | 3D   |
| 振幅 mm-p-p            | 0.03                 | 0.16 | 0.55 | 0.91 | 0.03                 | 0.17 | 0.79 | 2.76 |
| 加速度 m/s <sup>2</sup> | 0.6                  | 2.7  | 8.9  | 9.0  | 1.8                  | 7.3  | 27.8 | 27.8 |

注) 3D: X軸、Y軸およびZ軸の各測定値の合成値

たことによる砂の流入性を評価するために造型時の振動挙動を追跡した。

測定には、図8に示す位置でセンサを模型表面に接着し、ハンディタイプの振動計(ハンディバイプロメータ AVT-3000DZ)を用いた。アンバランスモータの回転数(s<sup>-1</sup>)を変化させた場合の模型の水平面(X軸)およびY軸さらに垂直面(Z軸)での振幅および加振加速度の関係をまとめて表2に示す。

模型の長手水平方向に対するY軸およびZ軸の加振加速度は、いずれもモータの回転数の増加にともなってそれぞれ大きくなるが、X軸の振動はほとんど無い。このことから、1780 s<sup>-1</sup>の回転数の造型では砂粒体層に有用な振動流動状態(円運動振動)が得られていることを示唆している。これに対して、2590 s<sup>-1</sup>の回転数の場合はZ軸の加振加速度が27.0 m/s<sup>2</sup>と異常に大きくなり、振幅合成値も2.76 mmと大きな値を示した。そこで2590 s<sup>-1</sup>の回転数による造型では砂の充てん圧縮性や模型の変形に対して悪影響を与える可能性が考えられた<sup>3)</sup>。

したがって、ここでは有効性が確認されたモータ回転数1780 s<sup>-1</sup>での正・逆転併用の垂直面円運動振動による造型条件(表1参照)をそのまま適用した。以上のような条件で造型して鑄造した鑄物の外観を図9に示す。4個すべての鑄物には型崩れは認められず良好な製品に仕上がっている。このことは垂直面円運動振動による造型方法の有効性を示すと同時に量産の可能性が考えられる。

##### 5. おわりに

垂直面円運動振動による造型方法を、従来の水平軸および垂直軸振動では不十分な砂充てんにより生産が困難であった深い横穴やアンダカット部などを有する模型に適用して試作した。その結果、以下のことを明かにした。

- (1) 垂直面円運動振動による造型は横穴への砂充てんに対して有効であることを明らかにした。
- (2) 垂直面円運動振動による造型で横穴部に十分に砂

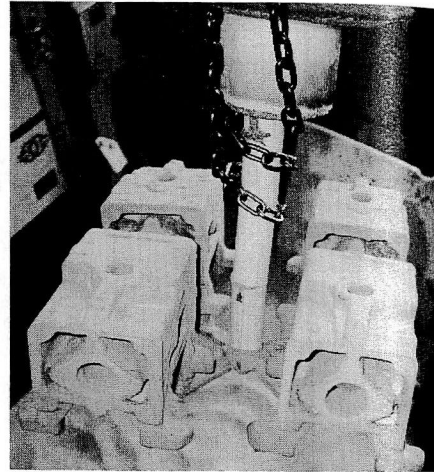


図9 4個込め方案の型ばらし状況

が充てんできても不適正な方案では型崩れを生じることが示した。

- (3) 適正な垂直面円運動振動条件および方案を選定することにより量産が可能であることを示した。

最後に本研究を行うに当たりご協力をいただきましたマナ精密鑄工(株)福岡工場 取締役工場長 木下征二氏に深く感謝の意を表します。

##### 文 献

- 1) 鑄造工学会関西支部消失模型鑄造法研究委員会塗型剤標準化小委員会：消失模型鑄造法用塗型剤の標準試験方法(1996, 3)
- 2) M. B. Krysiak: Foundry M & T 123 (1995) 4, 24
- 3) 池永明, 川本信, 後藤佳行: 鑄物 67 (1995) 184
- 4) 山本康雄, 永武誠一, 真鍋豊士, 三宅秀和, 岡田明: 鑄造工学講演概要集 128 (1998) 30