

三次元造形鋳型の常温特性評価試験法

戸羽 篤也, 鈴木 逸人

Test Method for 3 D-Printed Casting Mold Properties in Normal Temperature

Atsuya TOBA, Hayato SUZUKI

抄 録

鋳物の品質や欠陥の発生に大きく影響する鋳型の性状を定量的に評価する方法は、生型を対象とした試験方法を定めた規格はあるが、近年注目される三次元造形鋳型を含めて、生型造型以外の鋳型特性の評価を想定した試験方法を定めた規格はない。

筆者らは、三次元積層造形法による鋳型製作技術の開発と並行して、同造型プロセスによって製作された鋳型の特性を定量評価する方法を開発した。本稿は、鋳物の常温特性とされる鋳型強度と通気度の試験方法について、4点曲げによる抗折強度評価法と、通気圧力抵抗による通気度評価法の適用試験を行ったので報告する。

キーワード：鋳造，鋳型，鋳型特性，3D積層造形

Abstract

The casting mold properties have influence to quality and defect of castings. There is only test methods of evaluating the quality for the green sand mold, but there are not test methods for the other molding process, including the 3 D printing molds. We developed a test method of evaluating characteristic of the mold produced by the 3 D printing at the developing project of 3 D printing mold technology. We report the test method of evaluate mold strength by 4 point bending, and the test method of evaluate a permeability by pressure of aeration resistance.

KEY-WORDS : Casting, Casting mold, Properties of mold, 3 D printing

1. はじめに

鋳物製作に用いられる鋳型は、その性状が鋳物の品質や欠陥の発生に大きく影響する。特に、量産鋳物の製造ラインで多く採用される生型造型では、鋳物砂の水分量で鋳型性状が大きく変化するため、その製造ラインにおける重要な管理項目となる。

鋳型の諸特性の評価試験法は、日本工業規格等で規定されたものがあるが、それらは生型砂を対象としたものがほとんどである。また試験の手順や方法も手間を要することから、一般の生型造型ラインでは、CB値¹⁾などの簡便法で生型砂の性状を管理しているのが現状である。

近年、三次元積層造形による鋳型製作法が、従来の鋳型製作で必須であった模型や木型を必要としない新たな造型プロ

セスとして注目されている。三次元積層造形法で鋳型を製作する装置は、既に海外製のものが国内鋳物メーカー等に導入された実績がある。また、平成25年から、経済産業省主導のプロジェクトとして、国産の鋳型製作用造形装置開発の取り組みがある²⁾⁻³⁾。

鋳型特性の評価の目的は、前述の安定した性状の鋳物砂を供給するための日常管理と、異なるプロセスで製作した鋳型の性能比較が挙げられる。生型以外の造形プロセスで製作された鋳型の特性評価は、生型の鋳型特性評価法がしばしば代用される。しかし、これらの鋳型特性評価法では、試験片の製作工程を規定する試験項目もあるため、三次元積層造形法で製作した鋳型に適用できない場合がある。そこで、前述の三次元積層造形装置開発プロジェクト（以下「開発プロジェクト」という）では、同装置で製作した鋳型と他の造型プロ

事業名：公募型研究

課題名：超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト（平成23～29年度）

セスで製作した鋳型との特性比較を行うために、鋳型の諸特性の定量評価法の開発に取り組んだ⁴⁾。

本稿は、その中から常温特性に分類される鋳型強度と通気度について、その技術開発における検討の経過と、三次元積層造形鋳型に適用した事例を報告する。

2. 鋳型常温特性評価の概要

鋳型の常温特性は、鋳型製作後に室温で試験する特性項目であり、鋳造工程において鋳型へ注湯後、鋳型内に溶湯が満たされるまでの鋳型の性能を知ることを目的とする評価項目である。生型砂の常温特性評価に関しては、日本工業規格⁵⁾で、試験片の製作方法、抗圧縮強度試験法、通気度試験法、水分含有量試験法、粘土分・粒度構成試験法などが規定されている。この他、実用性の観点から、業界関連団体が生型砂および生型の特性評価試験法を規定したものが見られる⁶⁾。

鋳型特性の評価試験法に関する公式な規定・規格はこれ以外にないため、生型以外の鋳型を対象とした常温特性の評価も、この規定を参考に試験されるのが一般的である。

2.1 鋳型の強度

鋳型の強度は、造型後の鋳型の運搬、型合わせなどの取り扱いや、鋳造時の溶湯圧、中子に加わる浮力など、様々な力に対して鋳型形状を維持する能力に関する評価指標である。

鋳型強度の定量評価試験法として、日本工業規格 JIS Z 2601⁴⁾（以下「JIS法」という）には、抗圧縮力試験法が規定されている。これは、鋳型の強度を圧縮荷重に対する耐性で評価するものである。同規定には、試験片の製作手順が決められており、図1に示す試験片製作機を用い、内径φ50mmの鋼管内に試料砂を投入し、6.5kgの重錘を50mmの高さから3回落下させて、その衝撃力で生型砂を突き固めて鋳型試験片を成形する。この際、成形後の試験片の高さが50±1mmになるように投入する生型砂の量を加減する。

抗圧縮強度 σ_C は、試験片を鋼管から取り出し、図2に示すように、円柱形状の並行両端面に圧力を加え、試料が圧壊した時の荷重 W から、次式によって算出する。

$$\sigma_C = \frac{W}{A} \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

ただし、 W ：圧壊時の加圧荷重 [N]，
 A ：試験片端面の面積 [m²]

鋳型の抗圧縮強度は、鋳型キャビティ内に満たされた溶湯の重さによって鋳型内面に圧力が加わる状態を想定し、その耐圧性を評価していると考えられる。三次元造形鋳型では、シェル状の主型を製作して、これを砂でバックアップして使用することや、中子を製作する場合も考えられる。このとき、荷重状況は、薄板に圧力（分布荷重）を受けてい

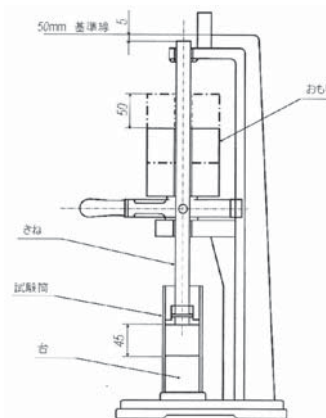


図1 試験片製作法 (JIS Z 2601)

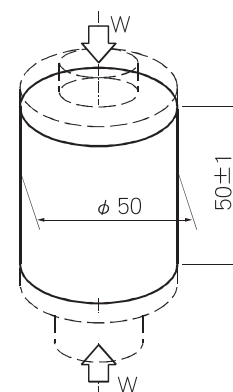


図2 鋳型試験片の抗圧縮強度の評価 (模式図)

る状態であり、鋳型に加わる力は、圧縮力ではなく曲げモーメントが作用している状態と考えるのが適当である。そこで、鋳型強度の評価法として、従前の抗圧縮強度に加え、曲げ試験法を応用した抗折力試験法を検討することとした。

抗折力試験は、一般的に3点曲げ試験法が採用される。3点曲げ法とは、図3に示すように、距離 L の2支点到に梁状の試験体を置き、2支点的中心点直上から集中荷重を加えて試験体に曲げモーメントを与えて行う試験方法である。抗折強度 σ_B は、曲げモーメントを徐々に増大させ、試験片が折れて破壊した時の曲げモーメント M と試験片の断面係数 Z との関係から、次式で評価値を得る。

$$\sigma_B = \frac{M}{Z} \quad [\text{Pa}] \quad (2)$$

ただし、 M ：最大曲げモーメント [Nm]，
 Z ：試料の断面係数 [m³]

抗折試験に供する試験片は、矩形断面の場合が一般的である。その断面の荷重方向の寸法（高さ） h と、これと垂直方向の寸法（幅） b により、試験片の断面係数は、 $Z = bh^2/6$ と計算される。3点曲げにおいて、曲げモーメントの最大値は集中荷重点に作用し、その大きさは、 $M = WL/4$ で計算される。

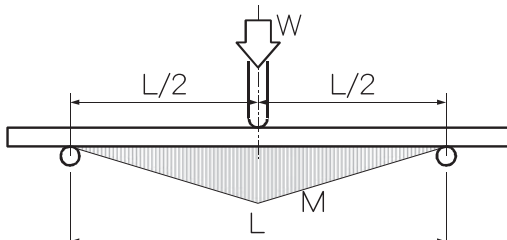


図3 3点曲げによる抗折強度の評価 (模式図)

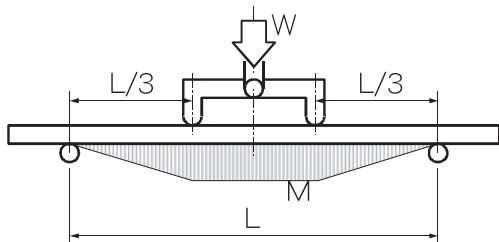


図4 三等分点荷重による4点曲げ抗折強度の評価 (模式図)

したがって、(2)式は、

$$\sigma_B = \frac{3WL}{2bh^2} \quad [\text{Pa}] \quad (2')$$

ただし、 W：圧壊時の加圧荷重 [N]、
L：試料支持点間距離 [m]、
b：試験片の幅 [m]、
h：試験片断面の高さ [m]

となる。

さらに、鋳型と同様な脆性材料の抗折試験では、3点曲げ法の代わりに図4のような三等分点荷重による4点曲げ法⁷⁾を採用する場合がある。このとき、抗折強度 σ_{BT} は次式で算出される。

$$\sigma_{BT} = \frac{WL}{bh^2} \quad [\text{Pa}] \quad (3)$$

4点曲げ荷重下では、試料の中央部に曲げモーメントが一定になる区間があり、不均質材料や脆性材料では、この区間で材料の平均的な強度を評価していると考えられる。

2.2 鋳型の通気度

鋳型の通気度は、鋳型キャビティ内の空気や鋳造時に発生する水蒸気、粘結材の熱分解ガス等を鋳型外に排出する能力に関する評価指標である。

JIS規格⁵⁾に規定される通気度試験法は、前節(図1)で示した方法により、内径 $\phi 50$ mmの鋼管内に高さ 50 ± 1 mmの試験片を製作し、これを鋼管とともに図5の計測装置に設置し、これに所定量の空気を所定圧力で通気した時の所要時間を計測し、次式によって算出する。

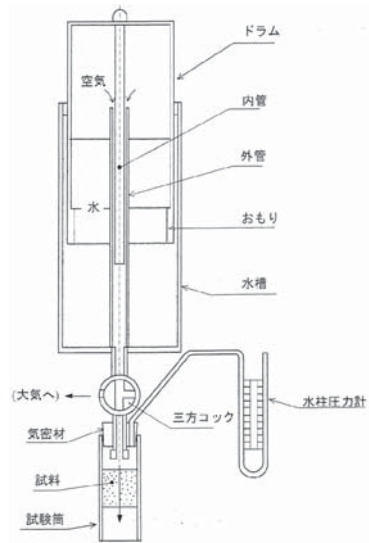


図5 生型の通気度試験法 (JIS Z 2601)

$$\text{通気度 (JIS)} \quad k = \frac{Vh}{pAt} \quad (4)$$

ただし、 V：通気する空気の容積 [cc]、
h：試験片の高さ [cm]、
p：通気時の加圧力 [cmAq]、
A：試験片端面の面積 [cm²]、
t：所定量の空気が通過するのに要する時間 [min]

JIS法による通気度は、各パラメータを所定の単位で数値を代入して得られた値とし、無次元数として取り扱われる。

JIS法では、鋼管内に製作した試験片をそのまま用いるが、これを他の成型プロセスで同じ形状・寸法で試験片を製作して鋼管内に挿入した場合は、鋼管壁面と試料の間隙の影響で、正確な通気度を計測できない。

実際の試験では、式(4)のパラメータのうち、試験片の断面積 A (直径が $D = \phi 5 \text{ cm}$ より $A \approx 19.6 \text{ cm}^2$)、高さ h (=5 cm)、通気容積 V (=2000 cc)、通気圧 p (=10 cm Aq) は試験条件として固定されるので定数として扱われ、通気所要時間 t のみの計測となる。JIS法では、この通気時間を計測する方法のほかに、副次的な簡便法として、通気時の流量と試験片通過時の圧力損失から通気度を換算する方法(オリフィス法)を用意している。そこで、JIS法で規定する通気度では何を評価しているかを検証する。JIS法では通気度を無次元数として扱うが、実際に式(4)の次元解析を行うと、[m²/Pa・s] という単位になる。鋳型の構造と近似した粉末集合体を対象に、粉末間隙を通過する流体の透過度を、圧力勾配下における流体の流速で定義する例がある⁷⁾。すなわち、圧力勾配 $\Delta p / \Delta h$ のもとで粘性 μ の流体が流速 u で通過するときに、その粉末多孔質体の流体透過度は次式で定義される(ダルシー則)。

$$\text{圧粉体空気透過率} \quad k = \mu u \frac{\Delta h}{\Delta p} \quad [\text{m}^2] \quad (5)$$

粉末多孔質材の空気透過度は、面積の次元をもつが、JIS法による通気度の計算式(4)と比較すると、式(4)は空气の粘性を乗ずるのを省略した形になっており、鑄型の通気度試験において空气の粘性を定数と考えれば、両者は同じ評価指標と見なすことができる。このことから、造型後の鑄型に対する通気度の評価法として、鑄型表面から空气を内部に通気させる時の通気抵抗圧力の大小から通気度の程度を推定する方法が検討され、実用を指向した取組みも報告されている⁹⁾。本稿ではこの方法の妥当性検証を目的に実験を行った。

3. 実験方法

3.1 試験片の製作

試験片の製作は、開発プロジェクトで開発した三次元鑄型造形装置 (CMET 製 SCM-800, 以下「開発装置」という) で積層造形したほか、同装置で使用する粘結材 (群栄化学工業(株)製 RPR-102A) および硬化剤 (群栄化学工業(株)製 RPH-10A) を用いて砂を混練し木型を使用して製作 (手込め造型) した。

手込め造型に使用する骨材は、開発装置で当初使用した砂が珪砂であることから、その相当品となる東北珪砂を用い、造型後の嵩密度および通気性を変化させるため、粒度の異なる東北珪砂を適宜配合し、表1の粒度構成となる9種の砂を用いた。その際の混練条件は、初めに硬化剤を砂に対して0.45 wt% 添加して十分に混練した後、粘結材を同じく2.3 wt% 加えて混練し、可使時間内に木型に充填して硬化させた。試験片は、取り出し後、概ね一昼夜養生して用いた。

3.2 鑄型の抗折強度試験

抗折強度試験は、図6に示す自動式荷重検出器 (アイコーエンジニアリング(株)製 MODEL-2257, 容量200 N) を使用し、支点間距離60 mm の支持点を設けた定盤の上に試験片を置き、荷重点支持を荷重計の検出部に取り付けて負荷を行った。試験片は、図7に形状と寸法を示すように、断面形状を16×10 mm の矩形とし、長さ80 mm の寸法で製作した。

抗折力の計測は、3点曲げ負荷方式と4点曲げ負荷方式の両方で行い、その差異を確かめた。4点曲げの荷重方法は、図4に示す三等分点法とした。

3.3 鑄型通気度の評価試験¹⁰⁾

通気度は、鑄型試験片の表面から内部に向かって空气を通気させた時の通気抵抗圧力を計測し、あらかじめ用意した検量線の値を読み取って評価した。

鑄型試験片への通気は、図8に示す専用の通気プローブを作製して行った。この通気プローブの構造は、模式図に示すような二室構造とし、空气は外部の空气供給源から圧力 p_0 、流量 Q_i で通気プローブの第1室 (以下「緩衝室」という)

表1 試験片製作に用いた珪砂の粒度構成 [wt%]

No.	ふるい粒径[μm]									粒度指数 ⁵⁾ [AFS]
	600	425	300	212	150	106	75	53	Pan	
#1	16.2	35.1	18.4	22.7	7.2	0.4	-	-	-	37.9
#2	12.3	26.9	15.7	24.4	14.8	3.8	1.2	0.6	0.2	46.8
#3	8.4	18.6	13.0	26.2	22.4	7.3	2.4	1.3	0.4	55.8
#4	4.5	10.3	10.3	27.9	30.0	10.7	3.7	1.9	0.7	64.7
#5	0.6	2.1	7.6	29.6	37.7	14.1	4.9	2.5	0.9	73.7
#6	0.5	1.8	6.2	24.4	34.6	18.3	8.5	4.2	1.5	82.6
#7	0.4	1.5	4.9	19.2	31.6	22.5	12.0	5.8	2.1	91.5
#8	0.3	1.2	3.5	14.0	28.6	26.7	15.6	7.4	2.7	100.4
#9	0.2	0.9	2.2	8.8	25.5	30.9	19.1	9.1	3.3	109.3



図6 抗折試験に用いた自動式荷重検出器

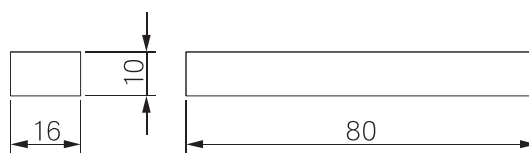


図7 抗折強度評価用試験片の形状・寸法



図8 通気抵抗計測プローブの外観と構造模式図

に流入する。その後、緩衝室から圧力 p_1 (以下「一次圧力」という) でオリフィス k_p を介して第2室 (以下「計測室」という) を経由して、吐出口から圧力 p_2 (以下「二次圧力」という)、流量 Q_p で流れ出す経路となる。通気プローブ内の圧力は、各室にデジタル微空圧計 (Keyence製 AP-44, 容量10kPa) を接続し、専用の検出アンプ (Keyence製 AP-V-41A) に信号を取り込んで圧力値を読み取った。

さらに、計測室にはオリフィス k_D を介して排出口から空气の流れ Q_D をプローブの外に排出する構造を設けた。これは、吐出口を密閉して空气の流れが止まった時に、プローブ内の圧力が過上昇するのを抑えることを目的としたものである。この効果を調べるため、排出口への空气流量が差圧

$\Delta p = 5 \text{ kPa}$ に対して $Q = 100 \text{ ml/s}$ 程度となるような流路面積のオリフィス k_D を設けたプローブを用い、その排気口を閉じたときと開放したときの圧力計測値を比較した。

通気プローブへの空気の供給は、空気が流れた状態でレギュレータにより圧力を $10 \sim 60 \text{ kPa}$ の範囲で制御した。鑄型試料への通気抵抗は、供給圧力を変えて通気プローブに空気を供給し、①吐出口を閉塞したとき、②開放したとき、③鑄型試料に当てたときの3つの状態で各室内圧力を計測した。通気度は、これら圧力値の関係から求めた。

鑄型試料は、 100×100 の面積、厚さ 50 mm の直方体形状にフラン自硬プロセスによって製作した。試験片の製作に用いた骨材、粘結材および硬化剤は、強度試験に用いたものと同じである。

4. 実験結果と考察

4.1 鑄型試料の抗折強度

粒度の異なる砂で手込め成型した試験片の嵩密度を、試験片の質量と体積から計算して求め、その試験片の抗折強度を3点曲げ法で計測し、これらの相関を図9に示す。

粒度指数が小さい試料は粒径の大きな砂が多く配合されており、これら砂粒の間に粒径の小さな砂が入るので、相対的に嵩密度が大きくなる。逆に、細かな砂が多いと砂粒間隙の大きさが小さくなってこれらを埋め難くなるため、相対的に嵩密度が小さくなると考えられる。

抗折強度は、嵩密度の影響を大きく受け、嵩密度が $1,380 \text{ kg/m}^3$ で 4 MPa を超える抗折強度が得られたが、嵩密度の減少とともに抗折強度も低下し、微細な砂を多く含む構成となる嵩密度が $1,150 \text{ kg/m}^3$ 程度の試験片では 1 MPa 以下の抗折強度が計測された。

開発装置で使用する砂は、粒径が $100 \mu\text{m}$ 程度でかつ粒径の揃ったものが用いられ、その粒度指数は $\text{AFS} = 100$ 程度と推定される。開発プロジェクトでは、造型鑄型の強度向上と粘結材の使用量を減らす目的で、骨材を珪砂から充填性に優れた人工砂に変更した。開発装置により人工砂で三次元造形した試験片を製作し、その抗折強度を評価した。三次元積

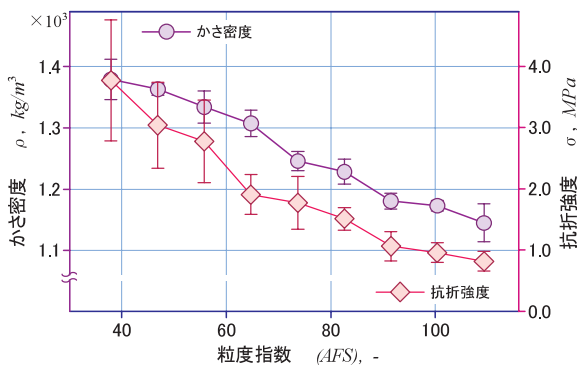
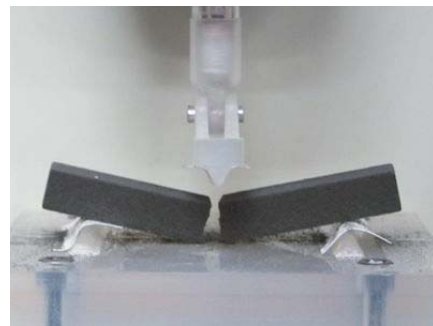


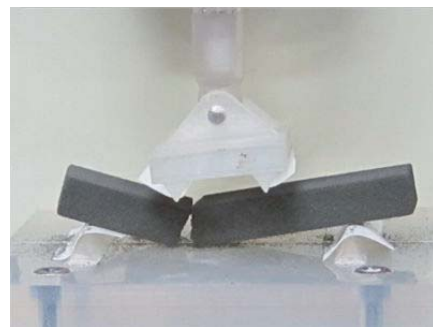
図9 試験片の粒度と嵩密度および抗折強度

層造形では積層方向による異方性があるとされる。そこで、試験片の寸法・形状は、図7で示したのと同じものを用いたが、試験片に負荷を与える時の姿勢を変えて試験を行った。すなわち、当初想定した試験片の矩形断面 ($10 \times 16 \text{ mm}$) に対して長手方向を水平に置く姿勢に加えて、これを鉛直方向に置いた姿勢で負荷を掛ける方法でも試験を行った。また、抗折強度の際の曲げモーメントの与え方の違いの影響を見るため、3点曲げ法と4点曲げ法の両方の試験を行い、得られる強度評価値への影響を確かめた。

図10に3点曲げ試験および4点曲げ試験による試験片の破壊状態の写真を示す。3点曲げのとき、破壊箇所は中央の荷重付近で生じるのに対して、4点曲げでは、必ずしも中央でなく、2つの荷重点間の部位で破壊している。これは、図3に示す通り、3点曲げにおいて最大曲げモーメントは中央の荷重点に作用するのに対して、4点曲げにおいては図4に示す通り、2つの荷重点間で一定の曲げモーメントが作用するため、この間で最も大きな応力が作用する箇所破壊が起



a) 3点曲げによる抗折試験結果



a) 4点曲げによる抗折試験結果

図10 抗折強度試験における破壊試料の外観

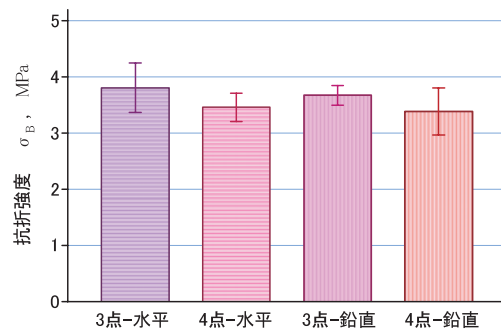


図11 試験条件による抗折強度評価値の比較

こるためと考えることができる。

また、荷重方向について、試験片断面の長手方向を水平にした場合と鉛直にした場合の3点曲げ試験、4点曲げ試験の結果を図11に示す。3点曲げと4点曲げによる抗折強度試験の結果は、4点曲げ試験の結果の方が8～9%小さめに計測された。これは、4点曲げの場合2荷重点間に造形強度の不均一があると、その最も弱いところで破壊が生じると考えられることから、微視的な断面形状や砂粒間の接着強度の不定常などが影響していると推定される。実用面から考えると、材料の最も低い強度が計測されていることは、材料設計上の不都合はなく、鑄型の強度評価方法として妥当と考える。

一方、試験片の負荷姿勢の違いについては、試験片断面の長手方向を鉛直に配置した方の抗折強度が若干小さく計測されたが、その違いはわずかであり、成型時の異方性の影響は小さいことがわかった。

4.2 鑄型試料の通気度試験

粒度構成の異なる砂に硬化剤、粘結材を混練し、鋼管内で硬化させた試験片を用いてその通気度をJIS法によって計測した。試験片砂の粒度指数と通気度の関係を図12に示す。

通気度の計測結果から、粒度指数が大きくなるにつれて通気度が小さくなる傾向が認められた。粒度指数が小さい試料は粒径の大きな砂を多く含み、粒度指数が大きくなるにつれて砂の粒度は細かい砂を多く含む。前項の図9で粒度指数が

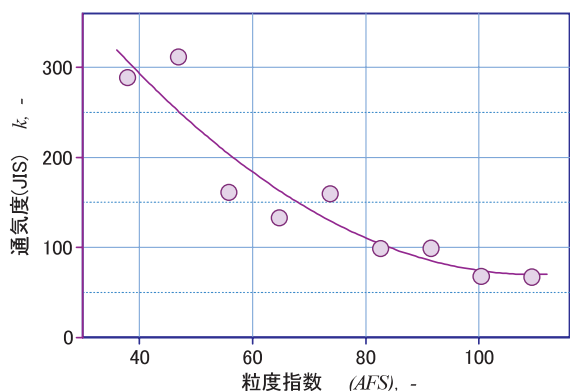


図12 試験片の粒度と通気度

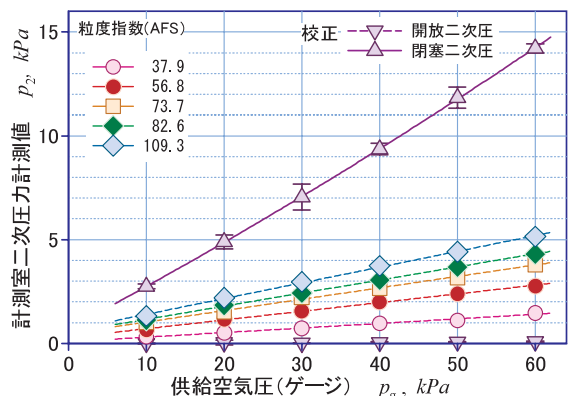


図13 試験片粒度と通気抵抗圧力の比較

小さいほど高密度が大きくなることを示した。高密度が大きいほど通気性が良いことは、一見、矛盾するように思われるが、通気度は砂粒間隙を空気が通過する際の抵抗に反比例すると考えると、砂粒間隙の小さい方の通気抵抗が大きくなると想定され、この試験結果は、空隙の容積比が小さくなることよりも、砂粒間隙が小さくなることの方が通気度に与える影響が大きいことを示している。

粒度構成の異なる砂に硬化剤、粘結材を混練し、直方体形状の試験片を製作し、通気プローブを用いて試験片内に通気させた時の計測される計測室内圧力(二次圧力、以下「通気抵抗圧力」という)を計測した。試験は、供給元圧力を10 kPa～60 kPaになるようにレギュレータで調整し、通気抵抗圧力を計測する前に、通気プローブの吐出口を開放した時と閉塞した時の2つの状態で計測室内圧力を計測した。

図13に試験の結果を示す。通気プローブの吐出口を開放した場合の二次圧力はほとんど0を示し、そのほかの二次圧力計測値は供給圧力に対して良好な比例関係が認められた。通気プローブの吐出口を閉塞したときの二次圧力が供給圧力よりも低いのは、計測室に設けた排気オリフィスを經由してプローブ外に排気される機構のためである。

粒度指数が小さい試験片に対して通気抵抗圧力は小さく計測され、粒度指数が大きくなるにつれて通気抵抗圧力も大きく計測される。これは、通気度が砂粒間隙を空気が通気するときの粘性抵抗に反比例する性質を有するためであり、図12で示した砂粒間隙の大きさと通気度の関係と一致する。すなわち、通気度の大きな鑄型に対しては小さな通気抵抗圧力が計測され、逆に通気度の小さな鑄型に対しては、大きな通気抵抗圧力が計測される。

通気プローブへの供給圧力に対してそれぞれの二次圧力計測値との間に比例関係が認められることから、通気プローブの吐出口を閉塞したときに計測される二次圧力の大きさに対する通気抵抗圧力の比(以下「圧力比」という)を計算し、粒度指数の異なる砂で製作した試験片ごとにJIS法で測定した通気度と圧力比との関係を図14に整理した。通気度と圧力比の間には相関関係が認められるため、これを検量線として

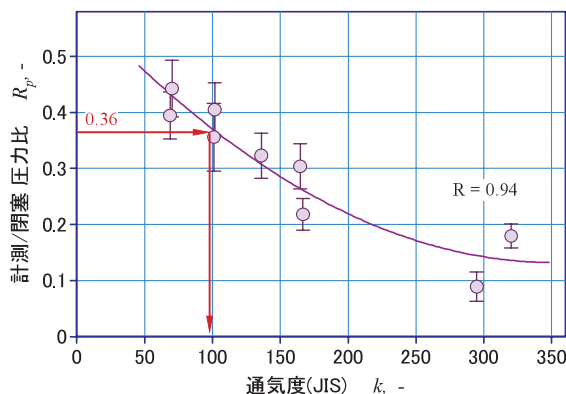


図14 試験片の通気度と通気抵抗比の関係

用いば、既存の鋳型に対応した通気度の計測法となる。

開発装置で積層造形した鋳型試験片に対して、通気プローブを使用して通気抵抗圧力を計測したところ、通気プローブの吐出口を閉塞したときの計測室圧力に対する通気抵抗圧力の比率は0.36であった。この圧力比から JIS 法による通気度に換算すると、図14に付記した通り、概ね100程度の通気度であることが分かった。この値は、生型砂に比較すると少し小さいが、通常の鋳型として使用するのに支障がない値である。

通気度計測用に設計した通気プローブの大きな特徴として、通気用の空気吐出口が閉塞してもプローブ内計測室の空気の流れを止めないようにする排気機構が挙げられる。この効果を検証するため、排気口を塞いだときの、それぞれの計測状態における計測内圧力の挙動を調べた。試験は、開発装置で製作した直方体形状の試験片（粒度；AFS = 103.1, 通気度；JIS 法換算102）を用い、供給圧を10 kPa ~ 40 kPa になるようにレギュレータで制御して空気を供給し、緩衝室圧力（一次圧力）と計測室圧力（二次圧力）を計測した。

通気プローブの排気口を閉塞して試験した結果を図15に示す。特に注目すべきは、通気プローブの吐出口を閉塞すると、通気プローブ内の空気の流れが止まるため、緩衝室、計測室ともに、供給圧力と同等の圧力が計測され、供給圧力を小さくした場合は、見かけ上、供給圧を上回る圧力が計測されている。これは、供給圧の調整を、空気が流れている状態のレギュレータで調整したため、空気が流れが止まると、レギュ

レータ内の圧力も上昇するためと考えられる。通気プローブの吐出口を開放、あるいは鋳型試験片に当てた状態では、通気プローブ内の空気が流れるため、供給圧との関係は比例関係を示すが、吐出口を塞いで空気の流れを止めると、供給圧との関係は原点を通る比例関係とはならなくなる。

これに対して、排気口を適切に開けて機能させた状態で試験した結果を図16に示す。この条件では、緩衝室、計測室ともに、吐出口を閉塞しても通気プローブ内の空気の流れが止まることはなく、ほかの条件の場合とともに、いずれの計測状態においても供給圧力に対して比例関係を維持することがわかる。

この機能は、通気度の評価試験において通気度の小さな鋳型を対象とした通気度比較などで有効と考え、特に細かな砂を使って三次元積層造形する鋳型などを対象とした通気度試験法として優位性があると考えられる。ただし、プローブ内に設けるオリフィス k_D は、対象とする鋳型の通気度の程度に応じてその有効面積を増減させることになるが、その都度、通気抵抗圧力と通気度との相関を検量線として得ておく必要がある。

5. おわりに

三次元積層造形技術を応用した鋳型製造プロセスが実用化段階となり、今後も、鋳造現場の要望や、新たな技術要求に応えながら、これら鋳型造形装置の改良や、粉末材料、粘結材の開発が進んでいくことが期待される。

本稿では、三次元積層鋳型製造装置の開発事業の中で携わった鋳型特性の評価技術開発の中から、鋳型常温特性として、鋳型強度と通気度の評価試験法の事例を取り上げた。いずれの鋳型特性も、鋳物の品質や欠陥防止の観点から重要な特性項目とされ、鋳型特性の評価法に関する技術開発の取り組みも散見されるが、生型や有機鋳型を対象としたものがほとんどであり、三次元積層造形鋳型を対象とした特性評価に関する技術開発は、今後の取り組みを待ちたい。

本稿で報告した鋳型特性項目に関する定量評価法開発の取り組みについては、開発事業の報告書や学会誌等で報告しているのでそちらを参考にされたい¹¹⁾。また、本報告には、平成25年7月より開始された経済産業省・産業技術研究開発「超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト」の成果を含む。

参考文献

- 1) 名雪東彦・戸羽篤也・田中 勝他：自動生型砂試験機の検量線に影響する生型砂の変動要素，鋳物 第65巻第7号 pp565~570 (1993)
- 2) 大胡田 稔：素形材Vol.54 No.9, pp32~36 (2013)

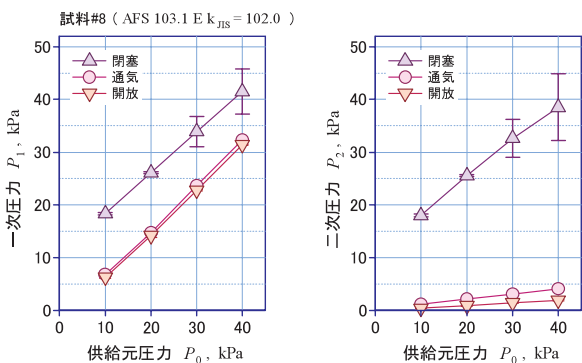


図 15 排出口を閉じた場合の圧力挙動

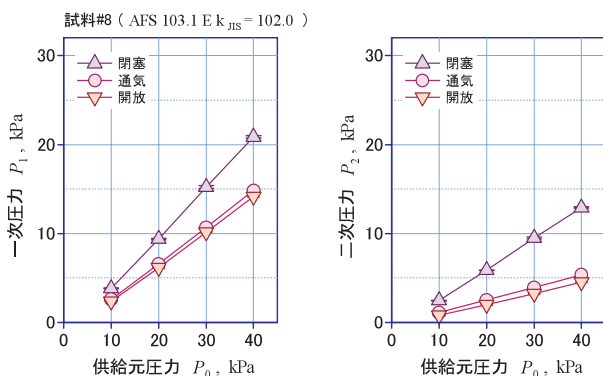


図 16 排出口を機能させた時の圧力挙動

- 3) 岡根利光：鋳造を中心とした3Dプリンターのものづくりへの活用，第165回全国講演大会技術講習会テキスト，pp29～40（2014.10）
- 4) 戸羽篤也：積層造形鋳型の特性評価とCAE連携，第169回全国講演大会技術講習会テキスト，pp59～64（2017.5）
- 5) JIS Z 2601-1993 鋳物砂の試験方法
- 6) 木村 徹他：鋳型および鋳型材料に関する試験方法，中小企業団 情報・技術部（1999.5）
- 7) JIS A 1106-2006 コンクリートの曲げ強度試験方法
- 8) 段野 勝：多孔体を通る流体の流れとその透過率，福井工業大学研究紀要，第23号，pp108～114（1993）
- 9) 久保公雄・福迫達一・大中逸雄：鋳物 Vol.52 No.7 p411～416（1980）
- 10) 戸羽篤也・平野繁樹・兼吉高宏他：日本鋳造工学会第166回講演大会講演概要集，pp19（2015）
- 11) 戸羽篤也・鈴木逸人・兼吉高宏他：3D積層造形鋳型特性の定量評価法の開発，鋳造工学 Vol.90 No.6，pp292～297（2018.6）