ダイカスト金型のゲートからの湯の噴出速度*

太田 信之** 小林 康男*** 村山 浩一†

Injection Velocity of Molten Metal from Gate of Dies in Die Casting

Nobuyuki OHTA, Yasuo KOBAYASHI
and Koichi MURAYAMA

This paper deals with the injection velocity of molten metal from the gate of dies in die casting. This injection velocity of molten metal is very important to design the die casting dies, or to make the good die castings. Therefore, the fundamental formula of the injection velocity had theoretically derived from the hydraulic theorem. In order to apply this formula on the design of die casting dies, this formula is necessary to make sure by the experiment. However the injection velocity is very difficult to be directly measured by the ex-

periment. On that reason, the velocity meter of the die casting plunger which is easy to be handled and accurate to measure is developed in this research. The injection velocity is obtained from the plunger velocity multiplied the ratio of the sectional area of the casting plunger to the gate area. In this experiment, the plunger velocity is measured on the various cases of die casting. The injection velocity obtained from the velocity meter is well agreed with the velocity calculated by above formula. Therefore in the design of dies, it is able to calculate accurately the injection velocity of molten metal by means of the fundamental formula.

Key words: die casting, die design, die casting plunger, die gate, plunger velocity meter, fundamental formula, injection velocity.

1. ま え が き

ダイカスト金型の設計において、ゲートからの湯の噴出速度を正確に予測することは非常に大切である。アキュムレータと油圧シリンダはパイプで連結され、その間に弁などがある。パイプの中を油が高速で走り、パイプ、弁などに大きな損失が発生して、噴出速度の正確な値は従来は予測できなかった。しかしドライサイクルで鋳造プランジャを走らせ、その速度を測定すると、パイプ、弁などに発生する損失が正確に算出でき、この損失を考慮して、ゲートからの湯の噴出速度が理論的に算出できる。この理論によって、湯の噴出速度の基礎式ができた。この基礎式は一応一般に認められているが、本研究では、この基礎式を実験的に確かめることを目的としている。以下、鋳造プランジャの速度測定装置を開発して基礎式確認の実験を行ったので報告する。

2. 湯の噴出速度の理論式

図1に示すダイカストマシンにおいて、油圧シリンダ4とアキュムレータ1の間にパイプや弁2がある。弁2を開いて、油圧プランジャ3が始動すると、パイプ内を

油が高速で走り、パイプや弁に損失が発生する。このパイプの内径、長さ、曲がり、内面の表面粗さ、また弁がダイカストマシンのメーカーごとに違うから、機械ごとに発生する損失が違う。しかしドライサイクルで鋳造プランジャを走らせると、等速運動をする。この速度 V_m を測定すると、パイプや弁などに発生する損失が計算できる。この V_m を使用し、損失を考慮して、ゲートからの湯の噴出速度 v が理論的に計算できる。

図1に示すダイカストマシンについて、次の湯の噴出速度の基礎式ができる¹⁾。

$$v = \sigma \sqrt{\frac{\beta}{\frac{\beta}{V_m^2} + \frac{\sigma^2}{v_0^2}}}$$

ただし、 $\sigma = A_c/a$, $\beta = A_s/A_c$ で、 $A_c = \pi d_2^2/4$ は鋳造プランジャの断面積、 $A_s = \pi d_1^2/4$ は油圧シリンダの断面積、 a はゲートの断面積である。また $v_0 = c\sqrt{2gP_a/\gamma}$ で、

図1 ダイカストマシン

* 原稿受付 昭和54年3月26日。昭和52年度精機学会春季大会学術講演会（昭和52年4月4日）にて発表。
** 名誉会員 東洋大学工学部（川越市鯨井中野台2100）
*** 正会員 東洋大学工学部
† 学生会員 東洋大学工学部

図2 $1/v_m^2 + 1/v_d^2 = 1/v^2$ のノモグラフ

c はゲートの流出係数, g は重力の加速度, P_a はアキュムレータの圧力, γ は湯の単位体積の重量である。

いま $v_m = A_c V_m / a$ また $v_d = c \sqrt{2g P_a A_s / \gamma A_c} = \sqrt{\beta} \cdot v_0$ とおくと, 図2のノモグラフができる²⁾. v_m と v_d が計算によって求まれば, このノモグラフを使用すると, v がすぐ求まる. 次に $X = v/v_m$, $Y = v/v_d$ とおくと, 図3が描かれる³⁾. 図3において, v_m, v_d が計算によって求まると, $\tan \alpha$ が求まり, X が求まる. ただし V は casting 期間における casting プランジヤの速度である. X, V_m がわかると, V が求まる.

3. 実験設備

3.1 ダイカストマシン

使用したダイカストマシンは三条機械製作所の DC 50 型で, 型締め力は 50 t で, 速度調整弁を全開したときの V_m は 2.5 m/s である. この機械は図1に示す形式のもので, 増速装置は付いていない. アキュムレータと油圧シリンダの間にある速度調整弁の開度によって V_m が変わる. 弁の開度ごとの V_m を測定して, 図4に示している. 油圧プランジヤの直径 d_1 は 9.0 cm である. 铸造プランジヤの直径 $d_2 = 3.5, 4.0, 4.5$ cm の3種類あって, 適宜取り換えて A_c が変えられる.

3.2 ダイカスト金型

図5に本研究に使用した可動金型を示している. 金型の分割面は平面であるから, 固定金型は省略している. 図5において, オモ型1に, キャビティ部2およびゲート部3がボルトで取付けられている. キャビティ部およびゲート部には, キャビティおよびゲートのいろいろの寸法のものがあり, 適宜取り換えることができる.

3.2.1 キャビティ部

実際のダイカスト铸件を作る複雑な形状のキャビティ

図3 V_m から V を求める方法 図4 V_m と速度調整弁の開度の関係

キャビティの寸法

キャビティ の No.	Q_g (cm ³)	長さ × 幅 × 厚さ (cm) (cm) (cm)
1	60.8	10.01 × 6.01 × 1.01
2	30.7	10.01 × 6.02 × 0.51

図5 可動金型およびキャビティの寸法

によると, ダイカスト casting のときキャビティ内に静圧が発生し, 見掛けの流出係数を推定することが必要となり, その見掛けの流出係数もキャビティの充てんされるに従

図6 ゲートの形状

って変わり, 見掛けの平均流出係数を推定することが必要となる⁴⁾. この研究の場合には, 図5に示すように, 流出係数は推定の必要なく容易に, また正確に求めることができるために, キャビティの形状は簡単で平板状とし, その寸法は図の中の表に示すとおりである.

3.2.2 ゲート部

ゲート部には, 図6に示すように, A形とB形のゲートがある. 図6(a)に示すように, A形ではランナ4から, 角度45°の傾斜でゲート3に至る. また図6(b)に示すように, B形ではランナは無く, ゲートはコールドチャンバ部2からキャビティ1に至るまで厚さ t も幅 b も同じである. 表1にA形およびB形ゲートの寸法が示してある. A形では b を一定にして t を変えており, B形では t を一定にして b を変えている. この表に A_c と a の比 $\sigma = A_c/a$ を記載している.

3.3 鋳造プランジャの速度測定装置

ダイカストで必要なのは, ゲートからの湯の噴出速度であるが, この速度を直接測ることは非常に困難で, 不可能に近い. そこで鋳造期間の鋳造プランジャの速度を測定して, $v = A_c V / a = \sigma V$ の式より, ゲートからの湯の

1: 速度測定装置の円筒状コイル集合体, 2: プランジャロッド, 3: 油圧シリンダ, 4: 磁石をプランジャロッドに取付ける金具

図7 ダイカストマシンに取付けた速度測定装置

噴出速度を算出する. 本研究に使用した鋳造プランジャの速度測定装置は本研究者が新しく考案したものである⁵⁾. この速度測定装置では, 多数の厚さ3mmの環状単体コイルを作り, その半数を右巻きとし, 他の半数を左巻きとし, これらのコイルを交互に密接させ, 直列に結線して円筒状コイル集合体を作る. この円筒状コイル集合体の中空部に厚さ3mmの磁石を配置し, この磁石を鋳造プランジャに連結する. 鋳造プランジャが運動すると, コイル集合体に交番誘導電流が発生し, それを整流増幅して, その誘導電圧を波形記録装置により記録する. 波形の記録から, n 個の波形を含む時間 t を時間記録から求めると, V は $3n/t$ (mm/s)となる. 他方, コイル集合体に発生する誘導電圧は磁石の速度に比例するから, 記録波形の高さからでも V は求まる. 図7にこの速度測定装置をダイカストマシンに取付けた状況を示している.

表1 ゲートの寸法

a) A形ゲート						b) B形ゲート					
鋳造プランジャの直径 d_2 (mm)	鋳造プランジャの断面積 A_c (mm ²)	ゲートのNo.	ゲートの幅 b (mm)	ゲートの厚さ t (mm)	$\sigma = \frac{A_c}{a}$	鋳造プランジャの直径 d_2 (mm)	鋳造プランジャの断面積 A_c (mm ²)	ゲートのNo.	ゲートの幅 b (mm)	ゲートの厚さ t (mm)	$\sigma = \frac{A_c}{a}$
35	962	1-1	20.30	0.71	66.8	35	962	2-1	5.00	2.97	64.9
		1-2	20.30	1.24	38.8			2-2	8.80	3.11	35.1
		1-3	19.70	4.67	10.5			2-3	30.00	3.02	10.6
40	1 256	1-4	19.40	0.98	66.1	40	1 256	2-4	7.05	3.06	58.2
		1-5	19.70	1.56	40.9			2-5	12.10	3.07	33.8
		1-6	20.35	6.26	9.9			2-6	40.00	3.01	10.4
45	1 590	1-7	20.15	1.15	68.5	45	1 590	2-7	9.20	3.03	57.1
		1-8	19.20	2.38	34.8			2-8	15.00	3.14	33.8
		1-9	19.70	7.73	10.4			2-9	50.00	3.05	10.4

4. 実験方法

4.1 鑄造プランジャの速度

4.1.1 理論値の計算

V を求めるには、 $v_m = A_c V_m / a$ また $v_d = c / 2g P_a A_s / \gamma A_c$ であるから、 V_m, P_a, c, A_s, γ などの取り方について説明する。まず V_m は、速度調整弁の開度ごとに変わるから、各々の開度ごとの V_m は図4による。次に P_a は、研究に使用したダイカストマシンでは 85 kgf/cm^2 としている。しかし鑄造プランジャが始動して射出に移るときは、 $10 \sim 20 \text{ kgf/cm}^2$ 程度低下する。その理由は、アキュムレータ内の油が、油圧シリンダに移り、 P_a が低下し、ポンプがこれを回復できないからである。 P_a の低下の割合は、 V_m の大きいときは大きく、 V_m の小さいときは小さい。そこで鑄造プランジャが予備行程を終わり、湯の射出に移るとき、アキュムレータ付属の圧力計で鑄造ごとに P_a を読み取った。流出係数 c は、この場合キャビティの形状は簡単でキャビティ内に静圧を生ずることも無いので A 形、B 形ゲートともに、実験により 0.70 となった。 A_s は、この研究に使用したダイカストマシンの d_1 が 9.00 cm であるから、 $A_s = 63.59 \text{ cm}^2$ とする。最後に γ であるが、研究に使用した鑄造合金はアルミニウム合金 ADC 12 (JIS H 5302-1965) で、比重を 2.7 とした。以上の数値を使用して、 v_m, v_d を計算し、図3を使用する。 $\tan \alpha = v_m / v_d$ から α を求め、図3により V を求める。

4.1.2 実験値

本研究の速度測定装置の波形記録装置により、図8～10の記録を作る。これらの図面を見ると、鑄造期間で鑄造プランジャの速度が変わっている。すなわち射出開始でその速度は大きく、順次低下して、最後に停止している。いま鑄物の体積を Q_g 、鑄造プランジャの直径を d_2 として、 $4Q_g / \pi d_2^2$ は鑄造期間の鑄造プランジャのストロークとなる。磁石および単体環状コイルの厚さはいずれも 3 mm であるから、 $n = 4Q_g / 3\pi d_2^2$ は鑄造期間の波形の数となる。波形の数 n が含まれる時間 t を図8～9の時間記録から求めると、鑄造期間の鑄造プランジャの平均速度は $V = 3n/t$ より求まる。

4.2 ゲートからの湯の噴出速度

4.2.1 理論値

前に v_m, v_d が求められているから、これらを使用して、図2のノモグラフによれば、 v が簡単に求められる。

4.2.2 実験値

ゲートからの湯の噴出速度は最も大切であるが、これを直接求めることは非常に困難で不可能に近い。しかし

A: 始動, B: 射出開始, C: 停止
鑄造プランジャの直径 $d_2 = 4.5 \text{ cm}$, ゲート: B 形,
No. 2-4, $\sigma = 73.6$, 速度調整弁の開度: 10
縦軸: 0.2 V/div , 横軸: 0.05 s/div

図8 鑄造プランジャの速度 (1)

A: 始動, B: 射出開始, C: 停止
鑄造プランジャの直径 $d_2 = 4.5 \text{ cm}$, ゲート: B 形,
No. 2-4, $\sigma = 73.6$, 速度調整弁の開度: 18
縦軸: 1 V/div , 横軸: 0.02 s/div

図9 鑄造プランジャの速度 (2)

A: 始動, B: 射出開始, C: 停止
鑄造プランジャの直径 $d_2 = 4.0 \text{ cm}$, ゲート: A 形,
No. 1-4, $\sigma = 66.1$, 速度調整弁の開度: 18
縦軸: 1 V/div , 横軸: 0.02 s/div

図10 鑄造プランジャの速度 (3)

前に V が求まっているから、これに $\sigma = A_c / a$ を掛けると v が求まる。

d_2 : 鑄造プランジャの直径

I: $V_m = 2.42$ m/s, 速度調整弁の開度 40, II: $V_m = 1.41$ m/s, 速度調整弁の開度 18,

III: $V_m = 0.500$ m/s, 速度調整弁の開度 10

図 11 V と σ の関係 (1)

5. 実験結果

5.1 鑄造プランジャの速度

5.1.1 鑄造プランジャの直径

図 11 では, d_2 を 3.5, 4.0, 4.5 cm と変えている. 横軸に σ をとっているが, $\sigma = A_c/a$ で, σ の大きいときは a が小さく, σ の小さいときは a が大きい. これらの図面において, 速度調整弁の開度が 10 のとき, すなわち V_m の小さいときは, σ の値にかかわらず, V はほとんど一定である. また開度が 40 のとき, すなわち V_m の大きいときは, σ が大きいとき, すなわち a が小さいときは, V は急に小さくなっている. 図 11 の各図を比較してみると, d_2 が変わっても, V と σ の関係は非常によく似ている. 最後に理論による計算値と測定値を比較してみると, かなりの程度よく一致している. しかし一般に計算値が測定値よりわずかに大きくなっている.

5.1.2 ゲート形状

図 11 (b) のゲートは B 形で, 図 12 (a) では A 形で, その他は同じである. いずれも流出係数 c は実験によると 0.700 である. 図 11 (b) と図 12 (a) を比較すると, ほとんど同じで, この場合ゲートの形状の影響は現れていない.

5.1.3 キャビティの形状

金型のキャビティの形状が複雑であると, キャビティ内に静圧が発生して, 見掛けの平均流出係数を推定しなければならない. 本研究の場合は平板の鑄造で, 静圧の発生もなく, 普通の流出係数を使用できる. 図 11 (b) では平板の厚さは 10 mm で, 図 12 (b) では 5 mm である. その他一切同じである. 図 11 (b) と図 12 (b) を比較す

d_2 : 鑄造プランジャの直径

I: $V_m = 2.42$ m/s, 速度調整弁の開度 40

II: $V_m = 1.41$ m/s, 速度調整弁の開度 18

III: $V_m = 0.500$ m/s, 速度調整弁の開度 10

図 12 V と σ の関係 (2)

ると, ほとんど同じで, この程度の違いではキャビティの形状の影響は出ない.

5.2 ゲートからの湯の噴出速度

ダイカストの立場からすると, ゲートからの湯の噴出速度が, 鑄造技術の改善にも金型設計にも重要である.

図 13 および 14 に, v と σ の関係が示されている. これらの図面において, σ が大きくなるほど, すなわち a が小さくなるほど, v は大きくなっている. また理論から計算した v は, 実験による測定値とかなりよく一致している. 図 13 において, d_2 の小さいほど, v が大きくなっている. また図 14 を図 13 (b) と比較すると, この研究の範囲では, ゲートの形状もキャビティの形状も, v

d_2 : 鑄造プランジャの直径

I: $V_m = 2.42\text{ m/s}$, 速度調整弁の開度 40, II: $V_m = 1.41\text{ m/s}$, 速度調整弁の開度 18

III: $V_m = 0.500\text{ m/s}$, 速度調整弁の開度 10

図 13 ゲートからの湯の噴出速度 v (1)

d_2 : 鑄造プランジャの直径

I: $V_m = 2.42\text{ m/s}$, 速度調整弁の開度 40

II: $V_m = 1.41\text{ m/s}$, 速度調整弁の開度 18

III: $V_m = 0.500\text{ m/s}$, 速度調整弁の開度 10

図 14 ゲートからの湯の噴出速度 v (2)

の値に大して影響していない。

6. 結 論

以上を要約すると次のようになる。

- (1) 速度調整弁の開度が小さくて、ドライサイクルの鑄造プランジャの速度の小さいときは、ゲートの断面積にかかわらず、鑄造期間の鑄造プランジャの速度はほとんど一定である。また開度が大きくて、ドライサイクルの鑄造プランジャの速度の大きいときは、ゲートの断面積が小さくなるほど、鑄造期間の鑄造プランジャの速度は小さくなる。
- (2) σ が大きくなるほど、すなわちゲートの断面積が小さくなるほど、ゲートからの湯の噴出速度は大きくなる。また鑄造プランジャの直径が小さくなるほど、ゲートからの湯の噴出速度は大きくなる。
- (3) 鑄造期間の鑄造プランジャの速度、およびゲートからの湯の噴出速度ともに、理論よりの計算値は、実験による測定値とかなりよく一致する。

終わりに東洋大学工学部川村幹也教授は本研究に有益な助言を与えられ、また大学院学生平山賢実君、また学部学生本間正己、園部博、景山正典君は熱心に本研究を援助された。ここにこれらの諸氏に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 金型便覧, 日刊工業新聞社 (1972) 718.
- 2) 太田信之: ダイカスト金型の理論的設計, 金属材料, **11**, 7 (1971) 52.
- 3) 太田信之: ダイカストの図式計算, 金属材料, **12**, 4 (1972) 97.
- 4) 太田信之, 川中洋一: ダイカスト金型のゲートの流出係数, 精密機械, **36**, 12 (1970) 8.
- 5) 特許出願公開, 昭 52-84125.