ダイカストと金型鋳物の研究(第4報)*

(縮代其の3)

菅野友信* 植原寛藏**

ON THE SHRINKAGE COEFFICIENT OF DIE CASTINGS AND GRAVITY CASTINGS

TOMONOBU KANNO* TORAZO UEHARA**

In the previous paper on the shrinkage formula of die casting and gravity casting, we explained the nature of shrinkage, and said that it must differ in the case of the casting with cores from that of the casting without cores.

In this paper we tried to ascertain whether the shrinkage formula was correct or not and whether the nature of shrinkage deduced from the formula was in accord with the results of the experiment.

This experiment showed that the shrinkage coefficient of castings is nearly the same as the one inferred from the shrinkage formula.

But in some castings slight differences were visible. The cause of these differences is not yet found.

The nature of shrinkage coefficient which we came to know was:

(1) On the casting with cores.

(A) Shrinkage coefficient varied according to the temperature of each die and casting.

In the early process of casting when the temperature of die and casting was low, shrinkage coefficient was small, and later as the temperature rose coefficient also became large, and in the last stage it became nearly constant.

(B) Shrinkage coefficient was influenced by the shots number per hour.

(C) Casting temperature did not give direct influence upon the shrinkage coefficient; but generally shrinkage coefficient became larger with raising the casting temperature.

(D) Shrinkage coefficient differed according to the surface condition of the dies, that is, it was small in the earliest period but after about 10 thousand shots it became larger, because the die cavity surface was covered with oil and an oxidation film.

(E) Shrinkage coefficient varied in every part of the same casting because the temperature of a die or a casting differed according to each part of the die or casting.

And the products could not have exactly the same figure of the die.

(2) On the casting without cores.

Shrinkage coefficient became linearly small in proportion to the rise of die temperature and was not influenced by the casting temperature.

(Received Dec. 16, 1955)

1. 緒 言

先回は鋳物が中子を持つていて自由に縮めない場合と、中子がなくて自由に縮み得る場合とあつて、その各の場合縮代の性質が非常に異つてゐることを発表した。

前者においては金型から出る時の鋳物温度(以後この温度を製品温度と略す)即ち自由になつて縮み始める温度が大切であり、後者においては金型温度が大切であることを発表した。

今回これらの温度と縮代を測定し、それと理論式より

* 1995年度国際鋳物会議(ロンドン)に発表。

* 新古河鋳造株式会社専務取締役 ** 同ダイカスト課員

* Shinfurukawa Chuzo Co. Ltd. ** ditto

計算された縮代との関係を検べた。

その前に前者と後者が入っているような場合、即ち一部分に前者が含まれ、一部分に後者が含まれているような場合について簡単に述べる。それは Fig. 1 に示した A の L の所の場合であつて、その各の縮みと縮代をそれぞれ $\Delta l, \Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3, \Delta l_4, \Delta l_5$, と $\Delta L_1, \Delta L_2, \Delta L_3, \Delta L_4, \Delta L_5$ とすると

$$\Delta L = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3$$

$$\Delta l_1 = L - \{K - \alpha_f(t_f - 20)\}$$

$$\Delta l_2 = L_2 \{\alpha(ts - 20) - \alpha_f(t_f - 20)\}$$

$$\Delta l_3 = L_3 \{K - \alpha_f(t_f - 20)\}$$

$$\therefore \Delta L = \frac{\Delta l}{L} = \frac{L_1 \{K - \alpha_f(t_f - 20)\} + L_2 \{\alpha(ts - 20) - \alpha_f(t_f - 20)\} + L_3 \{K - \alpha_f(t_f - 20)\}}{L_1 + L_2 + L_3} \quad (1)$$

となりこのように計算しなければならない。そして、

$$\Delta L_4 = K - \alpha_f(t_f - 20)$$

$$\Delta L_5 = K - \alpha_f(t_f - 20)$$

である。

Fig. 1 Shape of Casting.

2. 測定法及び測定について

寸法の測定にはマイクロメーターを使用し温度の測定には表面温度計、及び普通のサーモカップルを用いた。表面温度計は Fig. 2 に示すタイプのもので、急激に温度が上昇しにくい時は冷接点を予熱して置いて測定した。すると一般に 2～5 秒で被測定物の温度に上昇した。鋳造品は現に機械で鋳造している製品を測定し、実際の鋳物に於て起る問題に役立たせるようにした。

鋳造機はポーラック 900 番及び H-P-M 400A を用い実験に使用した製品の特性をあらわすような諸性質及び

使用合金を Table. 1 に示した。

Fig. 2 Surface Pyrometer

Table. 1

	Alloy	Used casting machine	Weight (g)	Surface area (cm ²)	Surface area/weight	Mean Thickness (mm)
Casting A	Lautal	Polak 900V	70	200	2.86	2.0
" B	"	"	150	400	2.66	2.5
" C	Silmin	"	32	150	4.70	1.5
" D	{Zamak No. 3	"	125	140	1.12	3.0
" E	Lautal	"	70	76	1.08	10.0
" F	Silmin	"	21	49	2.34	6.4

3. 予備実験、金型温度、製品温度、縮代に就て

3. 1 金型温度

縮代に関係ある金型温度について述べねばならない。それは簡単に金型温度と言ったが実際には金型の温度は金型の各部に於て異り一定の値でない。例えば湯口部が高く、湯先部が低い。それ故金型の何処の温度を取つて金型の温度としてよいか問題である。この縮代を考える時の金型温度は金型に刻印されている鋳物となるべき空洞の寸法が温度によつて膨脹する、その膨脹を表わす温度で、或る時の寸法を L' とすれば、

$$L' = L \{1 + \alpha_f(t_f - 20)\}$$

になるような t_f のことである。(符号は前回通り)。即ちこれを示す温度でなくてはならない。

そこに於て今鋳物 A の金型の温度を測定して見た。Fig. 3 に金型前ダイス全体と、Fig. 4 に金型の空洞部を示す。そして温度の測定値を図示した。Fig. 3 の A' は 153°C, B' は 138°C, C' は 128°C であつて、これを曲線で結んだものが図示されたカーブである。このカーブを見ると金型内部から外部に向つて漸次低くなつていく。これは湯口と金型空洞の表面から加えられた熱が外部に向つて伝導し、金型外側から空气中に放出されるので伝導式より考えて曲線で結んだものである。金型に 1

合金を鋳造した時合金から金型に熱が伝導される熱伝導式は各氏が数学的に解かれているが、ダイカストの場合はこれらが数回、数十回行われてきたカーブが測定されたカーブである。然しこの場合空洞表面から熱が伝導されるため空洞各部から外部に向つて温度が下つていくべきであり、図に示されている位置のため、このカー

ブはその一断面であつて、空洞から外部に向つてこれより多少温度勾配は急でなくてはならない。

更にD部の測度を測定した所130°Cであつた。E部はG'部より更に温度は低かつた。後ダイスも同様な状態であつたが前ダイスより低かつた。

Fig. 4 は金型空洞部のA, B, C 点の温度を測定したもので、Aが210°C, Bが165°C, Cが150°Cであつて図の点線のカーブである。湯口部が高く湯先部が低く 60°Cの温度差がある。このカーブも或る曲線をなすと考えられる。

これより見ると、鋳物が鋳造されて、金型空洞を流れてゆく途中に於て冷却されたと考えられる。それ故金型空洞の温度も湯流れ順序によつて各部が異なる。

以上の結果を総合すると金型の温度が如何になつてゐるか想像される。それ故これを総合的に考えると金型の平面方向の温度分布は Fig. 5 の如くなつてゐると思われる。更にこれと直角の方向にもこの様な傾向に金型の温度が分布されてゐると思われる。

然しながら更に良く金型温度を観察すると、金型空洞と金型外側との間にカーブのクニックがあるように思われる。それは金型の温度が高くなると明瞭にあらわれるが、1回鋳造して金型空洞に加えられた熱が金型外側に來るまでに時間がかかり、その間に金型外側から熱が逃げているため、ショット数に相当した周期で金型外側の温度が高低している。金型外側の温度が200°Cの時200°Cと205°Cの間を45秒周期で上下していた。その外側の最高温度は鋳込瞬間より相当後であつた。そして金型空洞温度を測定した時間はこの時と鋳込瞬間の間であつたからである。そして金型空洞温度も金型を開いて測定した瞬間が最高であつて、次に鋳造を開始する時は相当降下していた。測定した温度は金型を開いた直後（前ダイス）、又は製品を取り出した直後の温度（後ダイス）である。或る金型に於ては金型を開いた時の温度が245°Cであつたものが金型を閉める直前の温度が190°Cに降下した。この金型の温度分布は金型を開いた時の温度であるが、金型を閉める時の温度分布を金型の温度分布とすれば、金型空洞温度はずつと下り、温度勾配も非常に少となり、空洞表面は或いは逆勾配となるかもしれない。

以上の温度分布に於て実際に金型空洞が如何程膨脹するか考えて見ると、内側は大きく膨脹し、外側はその割合に膨脹しないため、内側が大きく膨脹したのを外側ががつちり押えているためその抗張力と抗圧力のバランスした所の温度で膨脹していると思われる。

又金型空洞は極端に高温であるが他はそれ程高くないことが明らかであり、又外側でも一部は相当高いため金型の外側の温度の最高を示した所の温度を金型温度としてこの場合採用した。それ故 Fig. 3 の金型に於ては金型

Fig. 3 Temperature distribution of cover die.

Fig. 4 Diagram of temperature of each point of casting and die cavity surface at die outside temperature of 130°C.

Fig. 5 Theoretical die temperature

温度 130°C とする。この金型に於てはその温度の時の寸法を測定して見なかつたが或る金型3~4種測定した見た所大体一致していた。その1例を示すと常温の寸法が94.23耗で 130°C の時94.35耗であつた。これを計算すると、

$$L = 94.23 \{ 1 + 11 \times 10^{-6} \times (130 - 20) \} \\ = 94.23 (1 + 0.00121) = 93.3428$$

となつて大体一致していた。

以上の場合には水冷していない型の場合で、水冷している金型はその冷却法により金型温度分布が異つて来るため、その分布状態を検べなければならない。水冷の場合は金型空洞と外側の温度差が更に激しくなり、その金型の膨脹も変つて来る。この際金型空洞の温度による実際の寸法の変化を実例すれば更に正確なる値を得られる。

3.2 製品温度

次に製品温度について見ると Fig. 4 の実線のカーブ(1)がこの製品温度である。即ちA部が 220°C 、B部が 177°C 、C部が 165°C を示した。これは金型を開いて後ゲイスについて来た製品に金型が開くとただちに温度計をつけ取り出される瞬間を測定した温度である。又カーブ(1)(2)を比較して金型空洞温度と製品温度を比較すると、A部は 10°C の差があり、B部は 12°C 、C部は 15°C の差があり湯先の方が温度差が大である。これは一定でなくてはならないように思えるがこのような結果を示した。

この温度差はその金型により多少関係が異なるものもあつた。そして湯口部と湯先部の温度差は 55°C となつた。このことは、鑄造後12~15秒位たつて金型から製品が出た時の温度であるが、この関係が鑄造された瞬間から成立していたと仮定すれば(多少相異はあるかもしれないが)鑄造時金型空洞表面に於て湯口から湯先にゆく間に 55°C 冷却されたことになる。そしてこれは鑄造の製品の湯流れに対する問題の解決にも役立つとも言える。即ち肉厚の薄いものに対しては Leopold Frommer の湯流れ式が適用されないことを物語っている。

更に Fig. 6 に或る製品温度と金型空洞温度を示す。これは鑄込温度 $600^{\circ}\text{C} \sim 630^{\circ}\text{C}$ で ショット数 60/時間 の時と 90/時間 の時の製品温度と金型温度であつて、(×)点が60ショットの時で、(・)点が90ショットの時の測定値

Fig. 6 Temperature difference between gate side and overflow side of casting and die cavity surface.

で、実線が製品温度、点線が金型空洞温度を示す。そしてショット数が60から90になつた時金型外側温度は 130°C から 170°C と変つた。

これを見るとショット数60から90に変つたため金型空洞温度は 35°C 上昇し、製品温度は $53^{\circ}\text{C} \sim 42^{\circ}\text{C}$ 上昇した。そして製品温度と金型空洞温度の関係は異つて来た。これより総合すると製品温度が製品の各部で異なっていることにより鑄物各部の縮代は異なる。そして製品は金型と相似のものが出来ないことになる。又製品温度と金型空洞温度はやや相似的であつて、金型空洞温度は金型温度より製品温度に関係を持つことになる。

そして縮代は同一金型に於てもショット数に大に関係があることがわかる。

それ故 Fig. 4 の109.55の寸法の縮代を考える場合B点がやや中心であつて測定しやすい所であつたため、この点の温度を製品温度として測定した。

実際の測定で機械が早く動いているため、測定する時間がなく、時間をかけると実状を離れてしまうものになるため迅速に測定しなければならない。

3.3 縮代

金型温度製品温度は鑄造開始より常に変化しているため、鑄造開始よりこれらの温度を或る金型について測定して見た。それにより縮代が如何程変るか計算して見た。

これを Fig. 7 に示した。カーブ(I)はこの鑄込材料ラウタルなるためラウタルとして計算した理論縮代で、カーブ(II)は製品温度、カーブ(III)は金型空洞温度、カーブ(IV)は金型外側温度の測定値である。これより見ると同じように鑄造していても、多少の鑄込温度の差、ショット時間の差、金型を開く時間の差等の条件の相異から

Fig. 7 Relation between Shrinkage Coefficient and Temperature of Casting and Die Cavity Surface and Die Outside.

相当の縮代のバラツキを生じ、鑄造始期と鑄造後期には大きな縮代変化を生じなければならない結果となつてゐる。そして金型外側温度の飽和値は約50シヨット目であるが縮代はそれより以前にやや一定の値を取り始めていることがわかる。カーブ(II)のA点は製品を約3倍金型に入れて置いて金型空洞温度を測定して見たもので、これ程下つているが製品温度が測定出来なかつたため計算には入れていない。これより金型温度が飽和し一定となり、縮代が一定になった時を今後ノルマルコンデিশョンと称し、単独に縮代をあらわす時はこの状態の縮代を示すことにする。

このノルマルコンデিশョンに於ても、この測定に於ては 0.6×10^{-3} のバラツキがあり、不なれな作業者に於て1シヨット時間が乱れ、鑄込温度が乱れていれば更に大なるバラツキを生じる。又金型温度を一定に又鑄込温度を一定に出来ても、又金型を開く時間が一定であつてもシヨット数が多少異なるため多少のバラツキは生ずる。然しこれらの条件を一定にすることがバラツキの少い製品を作る方法と言わねばならない。

中子のない製品は金型温度が主な条件であるため、第3報に発表したカーブにならなければならない。

4. 縮代、金型温度、製品温度の測定結果

4.1 中子のない場合

(A) 鑄物Aの縮代

Table.1 に示した特性を持った鑄物Aの縮代を Fig. 8 Fig. 9 に示す。Fig. 8 に示された場合は鑄込温度 $630^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ であつて、Fig. 9 に示された場合は鑄込温度 $700^{\circ}\text{C} \sim 720^{\circ}\text{C}$ である。そしてシヨット数は各場合大体同じで80~90シヨット/時間であつた。

図中カーブ(I)は実測された縮代、カーブ(II)は金型外側温度と製品温度から計算された理論縮代、カーブ

Fig. 8 Diagram of Shrinkage Coefficient (I) and Theoretical Shrinkage Coefficient of Casting (II), and Diagram of Temperature of Casting (III), Cavity Surface (IV) and Die Outside (V).

Fig. 9 Diagram of Shrinkage Coefficient and Temperature of Casting and Die.

(III)は製品温度、カーブ(IV)は金型空洞温度、カーブ(V)は金型外側温度を示し、この鑄物の金型温度、製品温度を測定したものを Fig. 3, Fig. 4 として発表したものである。

Fig. 8 の場合測定個数も少くなかつたが理論値と実測値の差が 0.3×10^{-3} であつて実測値の方が高いが Fig. 9 に於ては実測値と理論値がやや等しく、理論値の方がやや高い様に見える。然しこれらの測定に於て鑄物が金型から出るまでにパイロメーターをつけて温度を測るのには熟練を要するので多少の誤差も入つたものと思われる。

次に Fig. 8 の場合と Fig. 9 の場合に於てノルマルコンデিশョンで約 0.6×10^{-3} の縮代の差が出ている。即ち 70°C の鑄込温度の差から、これだけの縮代の差が出たものと思われる。

(B) 鑄物Bの縮代

鑄物Bの縮代を Fig. 10 に示す。カーブ(I)は実測縮

Fig. 10 Diagram of Shrinkage Coefficient and Temperature of Casting and Die.

代、カーブ(II)は理論縮代、カーブ(III)は製品温度、カーブ(IV)は金型外側温度である。この場合ショット数は55~65ショット/時間で鑄込温度は 620°C ~ 650°C であつた。このカーブを見るとわかるが金型重量の大なる金型であつて、製品重量が大でないため、金型温度が飽和してなくて次第に上昇している。そしてショット数がそれ程大でないため製品温度がそれ程上らないため縮代も途中で極大、極小のあるカーブとなつている。又金型を予熱して置いたため縮代が鑄物を始めた時と後期であまり変つていない。

然しながら理論値と実測値に於て $1.3 \times 10^{-3} \sim 0.7 \times 10^{-3}$ 実測値が高い。製品の形状は箱型の一方が開いているような恰好のものである。

Fig. 11 Diagram of Shrinkage Coefficient and Temperature of Casting and Die.

(C) 鑄物Cの縮代

鑄物Cの縮代を Fig. 11 に示す。この製品は一つの金型に同じものを二ヶ掘つた金型より出来たものであつて、正確を期するため両者の縮代を図示したものである。カーブ(I)(II)は実測された各の縮代、カーブ(III)は理論縮代、カーブ(IV)は製品温度、カーブ(V)は金型温度である。理論値と測定値の差は約 0.8×10^{-3} 出ている。この製品は Table. 1 に示されているようにシルミンで肉厚の薄いものであるが、寸法を測定した所は割合肉厚の厚い所であつたため製品温度が低めに測定されているかもしれない。ショット数は60~80ショット/時間で、鑄込温度 620°C ~ 640°C であつた。

Fig. 12 Diagram of Shrinkage Coefficient and Temperature of Casting (I) and Die Outside (II).

(D) 鑄物Dの縮代

鑄物Dの縮代を Fig. 12 に示す。この場合も金型に同じものを2ヶ掘つたもので、その各の点で示しその二つの平均と理論縮代を上部に示し、下部に製品温度をカーブ(I)に、金型温度をカーブ(II)に示した。この製品は亜鉛合金で一般の場合で理論式(I)で計算した。鑄込温度 400°C ~ 440°C でショット数は約80ショット/時間であつた。

4. 2 中子のない場合

(A) 鑄物Eの縮代

鑄物Eの縮代を Fig. 13 に示す。この場合も金型に同じ製品を二ヶ掘つたもので、その各の縮代を(○), (●)点で示した。そしてその平均線、最大、最小線を示した。金型温度として横軸に取つた値は金型外側温度である。このカーブを見ると計算された理論値より縮代が急激に低下している。

Fig. 13 Diagram of Shrinkage Coefficient and Die Temperature.

Fig. 14 Diagram of Shrinkage Coefficient and Die Temperature.

(B) 鋳物Fの縮代

鋳物Fの縮代を Fig. 14 に示す。この場合は理論的縮代より実測値が非常に小さい。

以上の結果及び他の鋳物のノルマルコンディションの縮代を総合すると Table. 2 の如くなつた。

Table. 2 Shrinkage Coefficient of Die Casting

Casting	A	B	C	D	E	F	F'	G	H	I
Alloy	Lautal	Lautal	Silmin	Zamak No. 3	Lautal	Silmin	Zamak No. 3	Lautal	Lautal	Lautal
Core	have	have	have	have	have not	have not	have not	have	have	have
Shots/Hour	80~90	55~65	60~80	75~80	70~80	60~70	60~70	50~60	50~60	60~65
ΔL (1/1,000)	3.4	4.7	3.0	4.6	7.4	6.5	6.5	4.63	4.04	5.45

Casting F' is same casting to F but that is casted by Zamak No.3 alloy.

4. 3 一鋳物内に於ける縮代の差異の測定

第2節に於て金型温度製品温度が一鋳物内で部分的に異なることが測定された。それ故一鋳物に於ても縮代が異なるべきことが推定される。それを確かめるためFig. 15に示す大きな鋳物 Y (424×403×3粒) に於て測定して見た。この鋳物のA₁部、A₂部の製品温度と寸法を測定した。そしてその金型各部の温度はTable. 3 に示した。この金型外側温度は製品のA₁, A₂ 部に於て殆んど異らないため同一と見なすことが出来る。その測定結果を Table. 4 に示した。この製品温度差から計算した縮代 ΔL_s も表にのせた。これらの縮代の差は平均して示す。実際の測定にあらわれた湯口部と湯先部の縮代の差 δL は

$$SL = \Delta L_{湯口} - \Delta L_{湯先} = 0.815 \times 10^{-3}$$

理論的な差 δL_s は

$$\delta L_s = \Delta L_{s湯口} - \Delta L_{s湯先} = 1,055 \times 10^{-3}$$

それ故

Fig. 15 Shape of Casting.

Table. 3 Die Temperature (°C)

	P	Q	R	S	T	U
Ejector	120	150	180	180	140	150
Ejector	115	140	140	130	120	135
Cover	90	92	112	137	108	128
Cover	100	112	118	—	115	130

Table. 4 Shrinkage Coefficient of Casting Y.

Die temp. (°C)		Casting Temp. (°C)		L (G)	Δl	ΔL	ΔL_s	L (o)	Δl	ΔL	ΔL_s	$\Delta L - \Delta L$	$\Delta L_s - \Delta L_s$
Eeje-	Cover	Gate	Over-	(mm)	(mm)	(1/1000)	(1/1000)	(mm)	(mm)	(1/1000)	(1/1000)	(1/1000)	(1/1000)
tor		side	flow-										
			side										
180	140			421.45	2.85	6.72		422.15	2.25	5.35		1.40	
180	140			421.60	2.70	6.38		422.18	2.22	5.18		1.20	
180	140			421.50	2.80	6.60		422.15	2.25	5.32		1.32	
137	118	380	330	421.75	2.55	6.02	5.92	422.15	2.25	5.32	4.92	0.70	1.00
137	118	375	324	421.75	2.55	6.02	5.82	422.40	2.00	4.72	4.80	1.30	1.02
137	118	390	335	421.80	2.50	5.90	6.12	422.20	2.20	5.21	5.02	0.69	1.10
137	118	380	330	421.80	2.50	5.90	5.92	422.15	2.25	5.32	4.92	0.58	1.00

Remark: $L_0=424.30$

$$\delta L_s - \delta L = 1.055 \times 10^{-3} - 0.815 \times 10^{-3} = 0.2 \times 10^{-3}$$

である。又各の側の理論値(ΔL_s)との差は

$$\Delta L_{\text{湯口}} - \Delta L_{\text{湯口}} = 5.96 \times 10^{-3} - 5.765 \times 10^{-3} \\ = 0.195 \times 10^{-3}$$

$$\Delta L_{\text{湯先}} - \Delta L_{\text{湯先}} = 5.14 \times 10^{-3} - 4.735 \times 10^{-3} \\ = 0.465 \times 10^{-3}$$

であつて計算した理論値に近い。この時の鑄込温度は、 $620^\circ\text{C} \sim 640^\circ\text{C}$ で射出より金型を開くまでの時間は13秒にタイマーを合わせて置いた。使用材料はシルミンである。

4. 4 金型表面の変化による縮代の差異の測定

同じ金型に於ても鑄造していると表面に酸化皮膜あるいは金型塗布油の皮膜が出来て、鉄の肌が変化して来る。従つて初期は熱伝導が大であるが、後期は熱伝導が遅くなる。そしてその層が厚くなればなる程熱伝導は悪くなる。熱力学の式に従つて図示すれば定常状態に於て

Fig. 16 の如くなる。

それ故金型を開く時間及びショット数を同じ状態に於て鑄造すれば製品温度が後期の方は高くなるべきであり、従つて縮代も大となるべきである。これを Fig. 15

Fig. 16 Heat conduction Diagram.**Table. 5** Shrinkage Coefficient of Casting Z.

Cast- ing No.	Die temp. (°C)	Casting temp. (°C)		LG (mm)	Δl (mm)	ΔL (1/1000)	ΔL_s (1/1000)	L_0 (mm)	Δl (1/1000)	ΔL (1/1000)	ΔL_s (1/1000)	$\Delta L - \Delta L$ (1/1000)	$\Delta L_s - \Delta L_s$ (1/1000)
		Gate side	Over- flow side										
6	60	300	230	295.95	1.85	6.65	5.28	296.15	1.65	5.95	3.76	0.70	1.42
7	60	310	240	295.95	1.85	6.65	5.36	296.15	1.65	5.95	3.98	0.70	1.38
10	70	330	250	295.95	1.85	6.65	5.71	296.15	1.65	5.95	4.11	0.70	1.60
17	90	330	262	295.90	1.90	6.84	5.43	296.10	1.70	6.12	4.01	0.72	1.36
23	100	380	300	295.85	1.95	7.02	6.32	296.10	1.70	6.12	4.72	0.90	1.60
58	140	395	315	295.80	2.00	7.20	6.18	296.25	1.55	5.58	4.58	1.62	1.60
Test peri- od				295.50	1.65	5.56		295.80	1.35	4.53		1.03	
				295.50	1.65	5.56		295.80	1.35	4.53		1.03	
				295.30	1.85	6.23		295.85	1.30	4.40		1.83	
				295.50	1.65	5.56		295.80	1.35	4.53		1.03	

Remarks: Die length 297.80 at castings period 297.15 at test period

と大体同じ鋳物について測定して見た。即ち初期の試作の時と約 10,000 個鋳造した後の縮代を測定した。この結果を Table. 5 に示した。この場合タイマーは 13 秒で初期と同じにしてショット数もやや同じで行った。初期は製品温度、金型温度は測定していなかった。この時の縮代の差を平均して示すと湯口側で

$$\Delta L \text{ 試作期} - \Delta L \text{ 後期} = 6.692 \times 10^{-3} - 5.73 \times 10^{-3} = 0.963 \times 10^{-3}$$

湯先側で

$$\Delta L \text{ 試作期} - \Delta L \text{ 後期} = 5.945 \times 10^{-3} - 4.493 \times 10^{-3} = 0.447 \times 10^{-3}$$

である。更に Table. 4 の時と同様に湯口と湯先の差は試作期に於て

$$\delta L = \Delta L \text{ 湯口} - \Delta L \text{ 湯先} = 1.23 \times 10^{-3}$$

後期約 10,000 個鋳造した後は

$$\delta L = \Delta L \text{ 湯口} - \Delta L \text{ 湯先} = 0.74 \times 10^{-3}$$

であつた。この時の使用材料はシルミンである。

5. 測定結果と理論式との比較

理論式より描かれる $\Delta L-t$ 。線図を鋳物 A について書いて見ると、Fig. 17 の 如くなる。

この図の実線が理論的に描かれた鋳物が出来た条件の範囲であり、点線範囲が実際に於て鋳物が出来た範囲である。これを見ると理論的范围より更に広範囲で鋳物が出来ている。これは温度測定に於て、製品が金型から出る瞬間を測らねばならぬため、その測定の遅速によつて出来た誤差にもとずくものと思われる。

次に金型温度と縮代との関係をラウタルについて描いて見ると Fig. 18 の如くなる。このカーブの点線が実際測定されたカーブである。

Fig. 17 Shrinkage Coefficient of Lantal.

Fig. 18 Diagram of Shrinkage Coefficient of Lantal.

Fig. 19 Temperature of Casting E.

中子のある場合に於て $T=0, 50, 100, \dots$ 等のカーブにやや平行でなく折線をなしていることは作業者のショット数の乱れと、途中休憩を行つたことを物語っている。

又中子がないものについて考えて見ると理論的に描かれたカーブより実測されたカーブが下方に開いていることは t_s が下つてきていることである。それ故金型外側温度と金型空洞温度を夫々金型温度として理論式より t_s を計算してカーブに示すと Fig. 19 のカーブ (I), カーブ (II) となる。各の 2 本あるのは 2 ケ達の製品の各のカーブである。この図のカーブ (II) は製造温度、カーブ (IV) は金型空洞温度、カーブ (V) は金型外側温度である。この t_s は理論的には 525°C であるべきであるが、金型空洞温度を金型温度と見なしても一部を除いて 525°C より低い温度である。これら原因は過冷によるとか、他の原因

によるか（一部凝固している等）判明しない。

特に鋳物 F, G に於ける場合は理論式と非常に異っている。これらは正確に原因をつかんでいないためつづいて研究を行いたいと思う。

Table. 6 Difference of ΔL on Castings.

Difference	Casting	A	B	C	D	E	F
$\Delta L - \Delta L_s(1/1000)$		0	1.3	1.0	0.2	1.6	3.2

次に理論値と測定値の差をまとめると Table. 6 の如くなる。Table. 6 より理論値と測定値の差の非常に大きいものと、殆んど差のないものがある。これは中子のある鋳物に対しては鋳物の形状から来る他の原因によるものと思われる。これらの鋳物の形状は異り、鋳物 A は Fig. 4 のものであり、鋳物 B は箱の一方が開いた恰好であり、鋳物 C は 2 本のピンが中子の様に出ているものである。そしてそれらの特性は Table. 1 のものである。これは当然理論式に於て t_s を鋳物が縮み始める温度とした事に対して、実際測定に便利なるため鋳物が金型から出る時の温度を測定したためであつて、形状によつては金型から出る前の事を考えると、更に縮むことが考えられるからである。 t_s が製品温度と多少異なるためである。これらの考察と測定結果は次回に更に多く測定して発表する。

6. 結 論

6. 1 縮代の性質

A). 中子があつて自由に縮めない鋳物の縮代は金型温度、製品温度によつて異なる。同一鋳物に於ても鋳造の最初と後期に於ては金型温度、製品温度が異なるため異り、最初は低く徐々に大きくなる。又或る所では大体一定になる。

B). 又その縮代は単位時間に於けるショット数によつて異なる。鋳造された製品は冷却しつつあり、金型は製品から熱を受取り、外側より放出しつつあるため、ショット数と言っても、その中の金型を開く時間、製品を押出す時間、金型を閉めるまでの時間によつても異なる。それ故同一金型温度であつてもバラツキがあつて或る範囲のものが出来る。

特にショット数は金型温度と製品温度に影響を及ぼすため重大な要素であつて、金型温度、鋳込温度を一定にすることが出来るとショット数のみに関係する。即ち製品温度がショット数のみの関係となるからである。それ故金型温度が或るショット数で飽和すればその製品の縮代はノルマルコンディションではショット数のみにより定まる。

鋳込温度は直接縮代に影響を及ぼさず、ショット数と関係して製品の温度、金型温度に影響を及ぼし、それによつて縮代に影響を及ぼすため、鋳込温度の高低には比例しない。しかし鋳込温度の上昇と共に縮代は大となる。

D). 同一金型に於ても、その表面の状態が変化するため、試作時と数千個数万個鋳造した後に於ては鋳込温度、ショット数が同じであつても熱伝導が悪くなり縮代が大となる。

E). 同一鋳物内に於ても、その製品温度、金型温度が部分的に異なるため縮代は異なる。

F). 鋳物の肉厚及び冷却率の大小に対する縮代の関係は現在の資料では一定の関係が見出されなかつた。同一肉厚同一冷却率の鋳物に於ても鋳造の難易によつて 1 ショットの時間が異つて来るためである。

G). 中子のない鋳物。以上の結果は中子のあるものに対してであつて、中子のないものに対してはその縮代は金型温度のみにより、金型温度に対して直線的に小さくなつてゐる。

6. 2 理論式との関係

1) 中子のあるものに対しては実測の縮代は理論式より求めた値と完全に一致している場合と多少異つている場合があつた。多少異つている場合はその鋳物の形状によつて起るものと思われるため補正しなければならない。その補正值は $0.2 \times 10^{-3} \sim 1.3 \times 10^{-3}$ であるが更に次回にも求める様に致したいと思う。

2) 中子のない場合に対してもほぼ理論値と一定していた。中には非常に異つているものがあつた。

これに対しては原因があると思われるため、更に研究を行いたい。

アルミニウムジュラルミンの

パイプなら天野へ!!

古河電気工業

KK特約販売店

天野辰雄商店

東京都台東区上野南大門町一二番地

電話下谷 (83) 五九二一・六二四六