U.D.C. 621.744.528:621.741.4

鋳鋼押湯に関する研究
On the Riser of Steel Castings

篠田忠夫*
Tadao Shinoda

内容梗概

理論的には鋳物体積を V_c, 表面積を S_c, 押湯体積を V_r, 表面積を S_r とすれば

$V_r/S_r \geqq V_c/S_c$

なる関係から押湯の大きさを決定することができる。しかし鋳物の肉厚にくらべて高さが非常に高い場合には，肉厚の中心部にザク巣が発生するため，従来の押湯のみでは解決できないものがある。したがってこの中心部に発生するザク巣の防止対策ならびに必要にして最小の押湯を設計するために押湯の理論的研究を行った。

まず，基礎問題と考えられる，（1）鋳型内における熔鋼の凝固過程，（2）押湯内の引けの状況，（3）押湯の効果範囲，について理論的に解析を行い，かつ実験結果と比較検討した結果，押湯設計に関する計算式を求めることができ，またザク巣の防止対策を明らかにすることができた。

次に理論の応用として，肉厚に対して高さが非常に高いため，肉厚の中心部にザク巣が発生するような製品について，その押湯を理論的に求めて実物実験を行った。その結果次のことが明らかとなった。

（1）理論的に求めた押湯で内部にザク巣のない健全なる製品を鋳造することができ，理論の妥当性が確認できた。

（2）理論的に求めた押湯は従来の押湯に比べて歩留が良く，相当の歩留向上を行うことができた。

1. 緒言

押湯の最大の目的は湯の凝固収縮に対する押湯からの湯の補給であり，その大きさは湯の凝固収縮による引け巣が鋳物本体に生じない最小の量であることが必要である。Caine(1), Bishop & Johnson(2), 林田(3) 氏らは鋳鋼押湯に関して鋳物体積と押湯体積との関係を求めている。また理論的には鋳物体積を V_c, 表面積を S_c, 押湯体積を V_r, 表面積を S_r とすれば

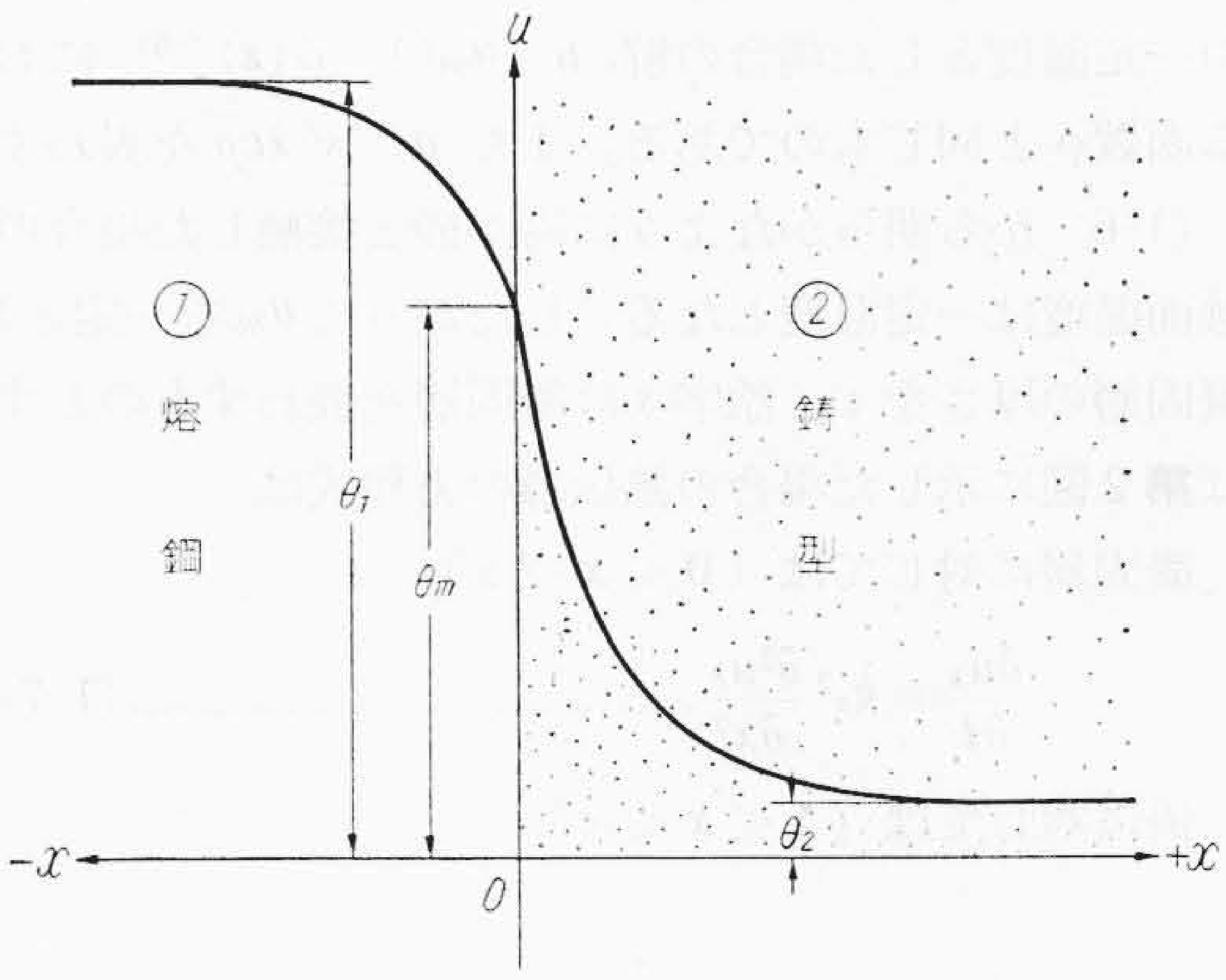
$$V_r/S_r \geqq V_c/S_c$$

なる関係から押湯の大きさを決定することができる。しかし鋳物の肉厚に比べて高さが非常に高い場合には，肉厚の中心部にザク巣が発生するため，従来の算式から求めた押湯のみでは解決できないものがある。したがってこの中心部に発生するザク巣の防止対策ならびに必要にして最小の押湯を設計するために押湯の理論的研究を行った。

本報告はこれらの結果について述べたものである。

2. 鋳型内の熔鋼の凝固

押湯は鋳物より長時間熔融状態に保つ必要があるため，まず鋳型内の湯の凝固状況を明らかにしておく必要がある。湯の凝固に関しては，凝固層の厚さを ε, 時間を t とすると，$\varepsilon=\alpha\sqrt{t}$ (4) なる関係式が実験から求められている。しかし比例定数 α は鋳込温度や鋳型温度が変れば異なってくるが，その影響を実験から求めるのはなかなか困難である。また鋳物の形状は複雑である



第1図 接触面温度

が，その大部分は（i）平肉の場合，（ii）円柱の場合，(iii) 隅面の場合，などの組合せであるため，これらの組合せ形態を知れば十分他に応用することができる。したがってこの三つの場合について解析を行った。

2.1 平肉の場合

鋳物の肉厚および鋳型は有限の大きさであるが，問題を簡単にするため半無限固体として取り扱った。

今温度を u, 時間を t, 距離を x, 比重を ρ, 比熱を c, 熱伝導率を λ, 温度伝導率を k とし，第1図に示すように，$x<0$ の物体を湯，$x>0$ の物体を砂とする。また1，2なる添数はそれぞれ湯および砂を表わすものとすれば熱伝導の方程式は

湯に対しては（$x<0$）

$$\frac{\partial u_1}{\partial t}=k_1^2\frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} \quad \cdots\cdots (1\text{-}1)$$

* 日立製作所笠戸工場

砂に対しては（$0<x$）

$$c_2\rho_2\frac{\partial u_2}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda_{20}\{1+f(u_2)\}\frac{\partial u_2}{\partial t}\right]\ldots(1\text{-}2)$$

ここで，砂の熱伝導率は温度の函数で

$\lambda=\lambda_0\{1+f(u)\}$(5)

で変化し，湯の熱伝導率は温度に無関係で一定とした。

初期条件ならびに境界条件は

$$\left.\begin{array}{ll}(u_1)_{t=0}=\theta_1 & (\text{鋳込温度})\\ (u_2)_{t=0}=\theta_2 & (\text{鋳型温度})\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}3)$$

$$(u_1)_{x=0}=(u_2)_{x=0}=\theta_m\ (\text{接触面温度})\ \ldots(1\text{-}4)$$

$$\lambda_1\left(\frac{\partial u_1}{\partial x}\right)_{x=0}=\lambda_{2m}\left(\frac{\partial u_2}{\partial x}\right)_{x=0}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}5)$$

ここで，λ_{2m} は温度 θ_m における砂の熱伝導率を表わす。

方程式 (1-1)，(1-2) を解き (1-5) に代入すると接触面温度は次のようになる。

$$\theta_m=\frac{2a_1\theta_1+\sqrt{\pi}\,a_2[1+f(\theta_m)]\phi'(0)\theta_2}{2a_1+\sqrt{\pi}\,a_2[1+f(\theta_m)]\phi'(0)}\ldots(1\text{-}6)$$

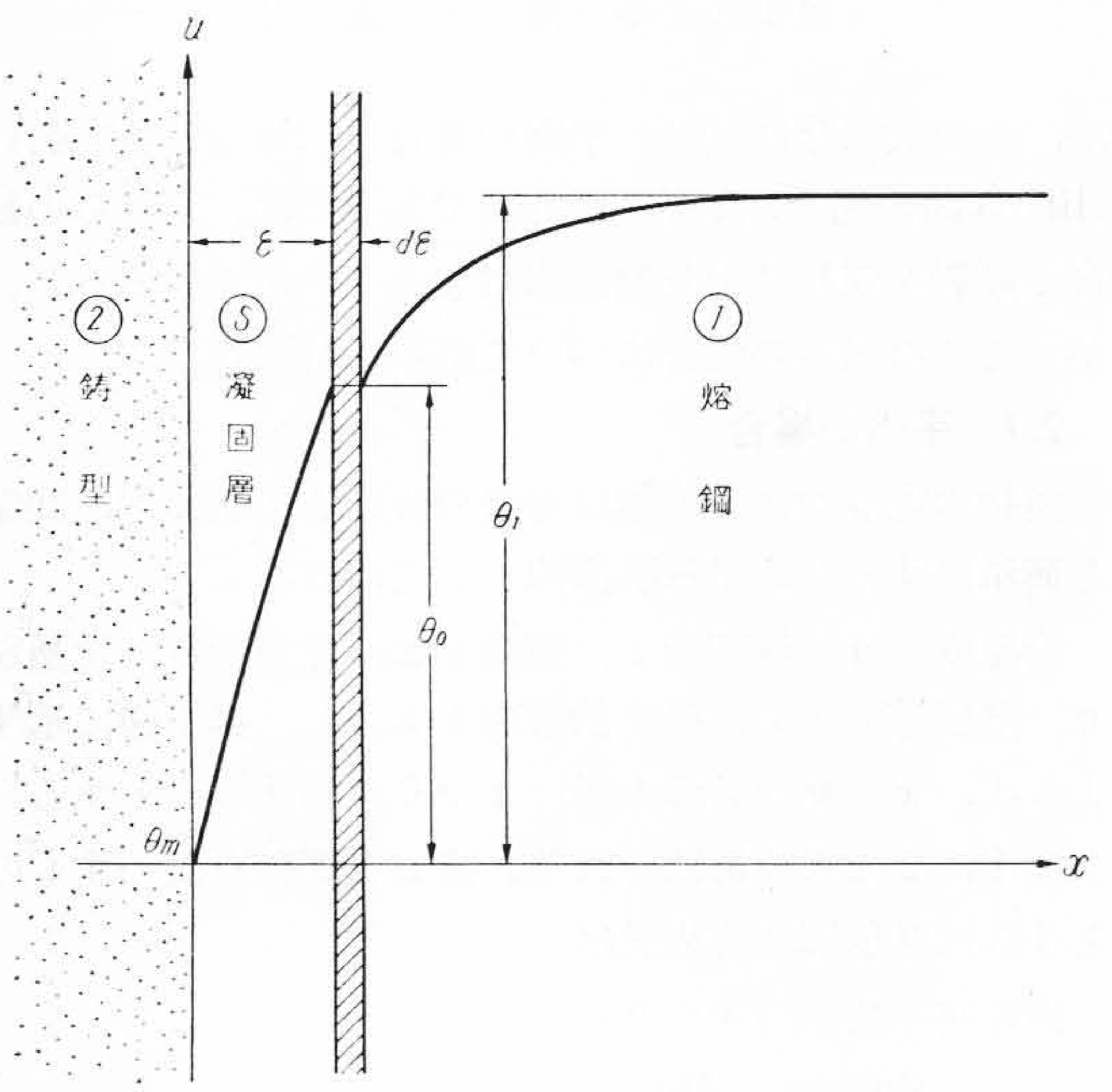
ここで，函数 ϕ は砂を半無限固体とし表面温度を θ_m の一定温度とした場合の解，$u=\theta_m[1-\phi(z)]$(5) における函数 ϕ と同じものである。また $a=\sqrt{\lambda c\rho}$ を表わす。

(1-6) から明らかなように湯が砂と接触した場合の接触面温度は一定温度となる。したがって θ_m を一定とし，凝固層の厚さを ε，添字 s は凝固層を表わすものとすれば**第2図**に示した場合の熱伝導の方程式は

凝固層に対しては（$0<x<\varepsilon$）

$$\frac{\partial u_s}{\partial t}=k_s{}^2\frac{\partial^2 u_s}{\partial x^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}7)$$

湯に対しては（$\varepsilon<x<\infty$）



第2図 凝固の進行状況

$$\frac{\partial u_1}{\partial t}=k_1{}^2\frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}8)$$

境界条件は

$$\left.\begin{array}{ll}(u_s)_{x=0}=\theta_m & (\text{接触面温度})\\ (u_1)_{x=0}=\theta_1 & (\text{鋳込温度})\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}9)$$

また $x=\varepsilon$ においては常に凝固温度 θ_0 であり，湯が凝固する際に凝固潜熱が放出される。したがってこの場合の境界条件は

$$(u_s)_{x=\varepsilon}=(u_1)_{x=\varepsilon}=\theta_0\ (\text{凝固温度})\ldots\ldots(1\text{-}10)$$

$$\lambda_s\left(\frac{\partial u_s}{\partial x}\right)_{x=\varepsilon}=\lambda_1\left(\frac{\partial u_1}{\partial x}\right)_{x=\varepsilon}+L\rho_2\frac{d\varepsilon}{dt}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}11)$$

ここで，L は湯の凝固潜熱を表わす。

方程式 (1-7)，(1-8) の解は次のようになる。

$$u_s=A_s+B_s\,\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2k_s\sqrt{t}}\right)\ \cdots\cdots\cdots(1\text{-}12)$$

$$u_1=A_1+B_1\,\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2k_1\sqrt{t}}\right)\ \cdots\cdots\cdots(1\text{-}13)$$

ここで，A_s，B_s，A_1，B_1 は定数，

$$\mathrm{erf}(x)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x e^{-\beta^2}\,d\beta$$

で誤差函数を表わす。

(1-10) によれば $x=\varepsilon$ の所の温度は常に θ_0 でなくてはならないから，$\mathrm{erf}\left(\frac{\varepsilon}{2k_s\sqrt{t}}\right)$ および $\mathrm{erf}\left(\frac{\varepsilon}{2k_1\sqrt{t}}\right)$ は t に無関係でなければならぬ。それには ε を $\sqrt{t}$ に比例するとすればよい。ゆえに α を比例定数とすると

$$\varepsilon=\alpha\sqrt{t}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}14)$$

(1-9)，(1-10) の条件から

$$\left.\begin{array}{ll}A_s=\theta_m & :B_s=\dfrac{\theta_0-\theta_m}{\mathrm{erf}\left(\dfrac{\alpha}{2k_s}\right)}\\ A_1=\dfrac{\theta_0-\theta_1\,\mathrm{erf}\left(\dfrac{\alpha}{2k_1}\right)}{1-\mathrm{erf}\left(\dfrac{\alpha}{2k_1}\right)} & :B_1=\dfrac{\theta_1-\theta_0}{1-\mathrm{erf}\left(\dfrac{\alpha}{2k_1}\right)}\end{array}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}15)$$

また (1-11) は

$$\frac{\lambda_s}{k_s}\cdot\frac{\theta_0-\theta_m}{\mathrm{erf}\left(\dfrac{\alpha}{2k_s}\right)}e^{-\frac{\alpha^2}{4k_s{}^2}}-\frac{\lambda_1}{k_1}\cdot\frac{\theta_1-\theta_0}{1-\mathrm{erf}\left(\dfrac{\alpha}{2k_1}\right)}e^{-\frac{\alpha^2}{4k_1{}^2}}$$

$$=\frac{\sqrt{\pi}}{2}L\rho_2\alpha\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}16)$$

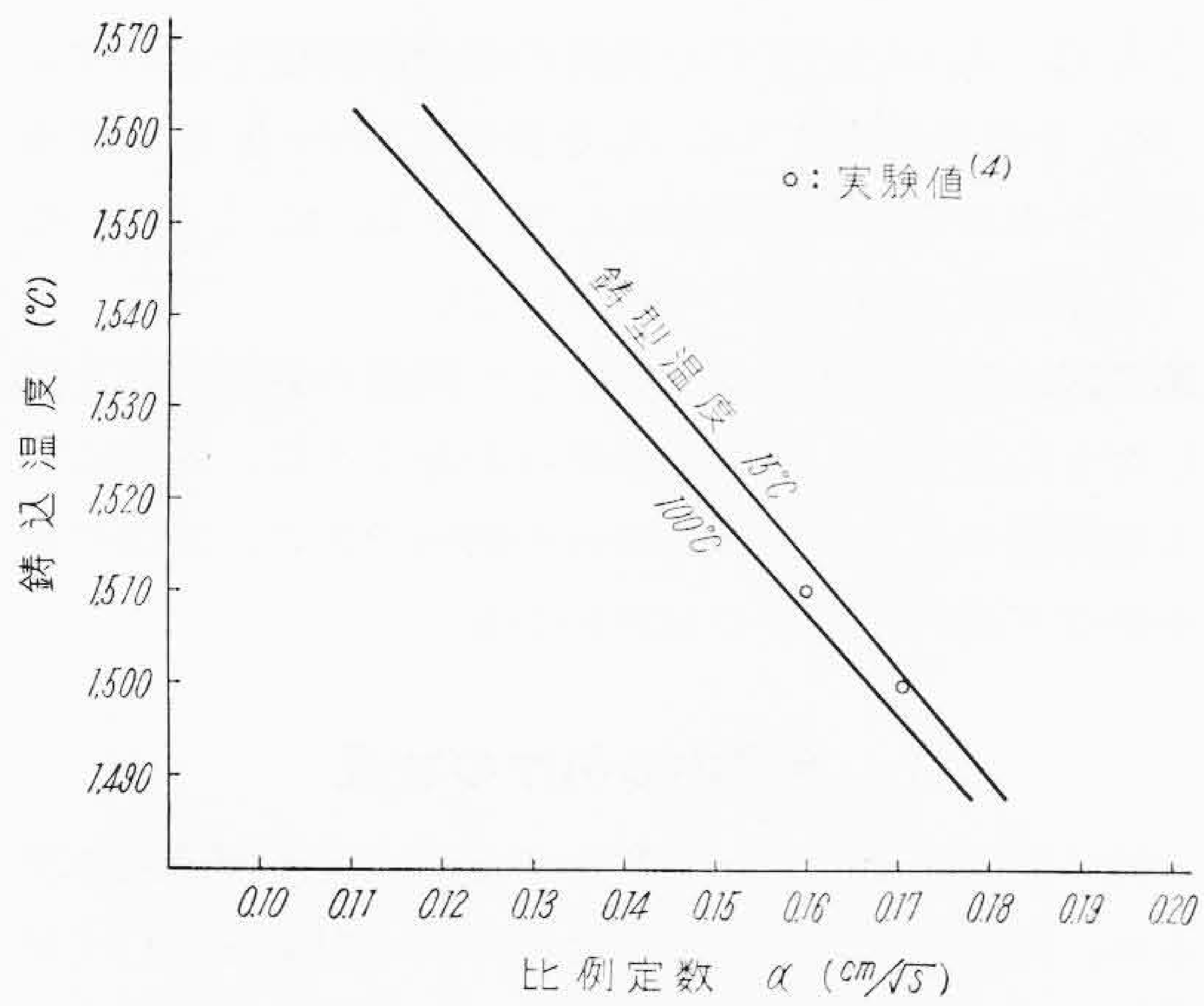
(1-16) から大体の α の値を求めるには

$$\left.\begin{array}{l}y=\dfrac{\lambda_s}{k_s}\cdot\dfrac{\theta_0-\theta_m}{\mathrm{erf}\left(\dfrac{\alpha}{2k_s}\right)}e^{-\frac{\alpha^2}{4k_s{}^2}}-\dfrac{\lambda_1}{k_1}\cdot\dfrac{\theta_1-\theta_0}{1-\mathrm{erf}\left(\dfrac{\alpha}{2k_1}\right)}\cdot\\ \qquad e^{-\frac{\alpha^2}{4k_1{}^2}}\\ y=\dfrac{\sqrt{\pi}}{2}L\rho_2\alpha\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}17)$$

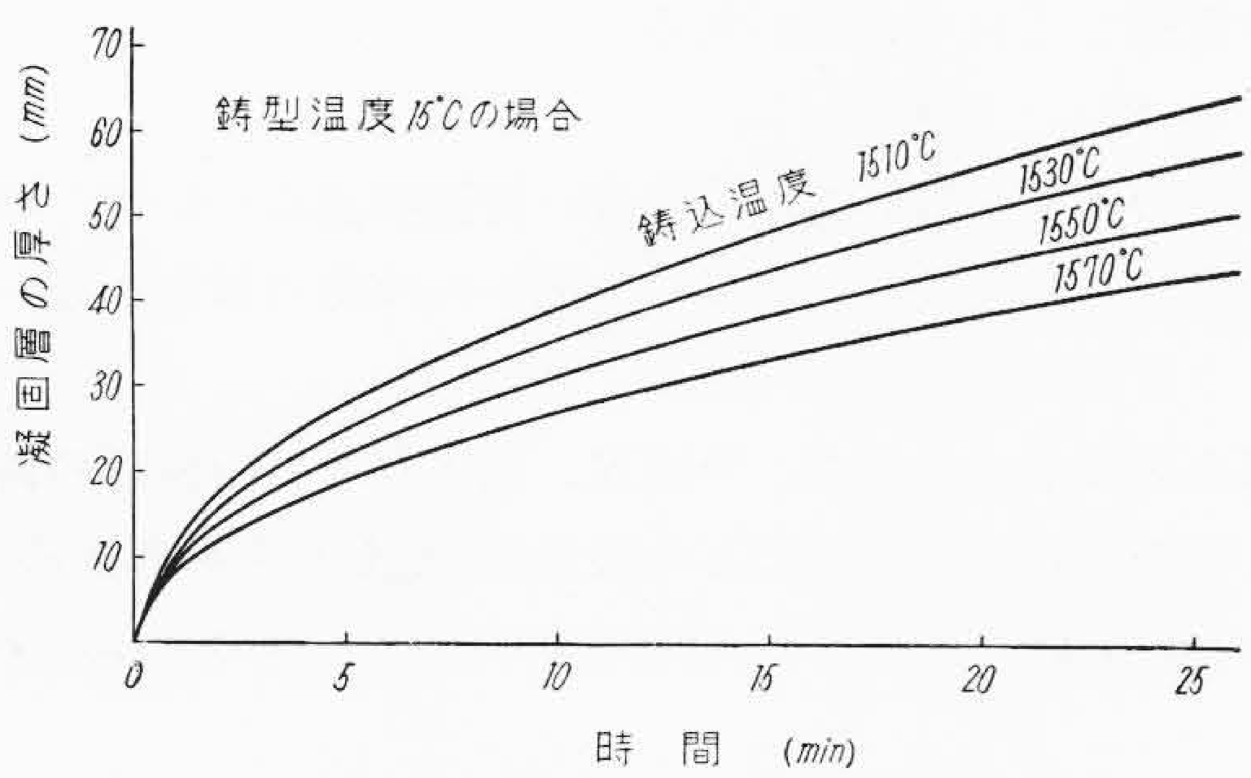
第１表　数値計算に使用した各係数の値

種類＼符号・単位	λ (kcal/mh°C)	C (kcal/kg°C)	ρ (kg/m³)	k (cm/√s)	a (kcal/m²°C√h)
湯	12.32	0.20	6,900	0.157	130.4
凝固層	24.37	0.165	7,580	0.233	174.2
砂	1.80	0.23	1,600	0.053	11.7

注：砂の熱伝導率は 1,400°C における値である。



第３図　鋳込温度と比例定数との関係



第４図　凝固層の厚さと時間との関係

なる曲線を描き，その交点の横座標を求めればよい。

第１表に示した数値および $L=70.1$ kcal/kg[6]，$\phi'(0)=0.35$[5]，$\theta_0=1{,}475$°C として計算したのが**第３図**である。

第４図は鋳型温度15°Cの場合の凝固層の厚さと時間との関係を示したものである。

以上の結果から次のことが考察される。

（１）　鋳込後，時間の経過がそう長くない範囲では，湯と鋳型との接触面温度は一定温度となる。

（２）　凝固層の厚さは湯が鋳型に接触してから流れが止まるまでの時間が短い時には，鋳込後からの時間の平方根に比例する。

（３）　比例定数 α は計算値と実験値とがよく一致している。したがって計算値で凝固計算を行っても差しつかえない。

（４）　比例定数は鋳込温度の増加にしたがって大体直線的に減少している。すなわち鋳込温度10°C高くなれば凝固の進行は約10％遅くなる。

（５）　鋳込温度が一定でも，鋳型温度を変えることにより凝固速度を変えることができる。たとえば鋳込温度 1,550°C の時，鋳型温度 15°C ならば $\alpha=0.129$ cm/$\sqrt{s}$ であるが，鋳型温度を 100°C とした場合には $\alpha=0.121$ cm/$\sqrt{s}$ となる。これは鋳型温度15°Cで鋳込温度を 1,559°C とした場合と同一結果となる。したがって鋳込温度は一定でも鋳型温度を上げることにより，鋳込温度を上げた場合と同一効果を表わすことができる。

2.2　円柱の場合

直径 D なる円柱は長さ方向が非常に長いとしても半径方向には有限であるため，この場合の凝固過程を熱伝導の理論から解析することは非常に複雑となり解を得るのになかなか困難である。したがって近似解法を用いて解析した。

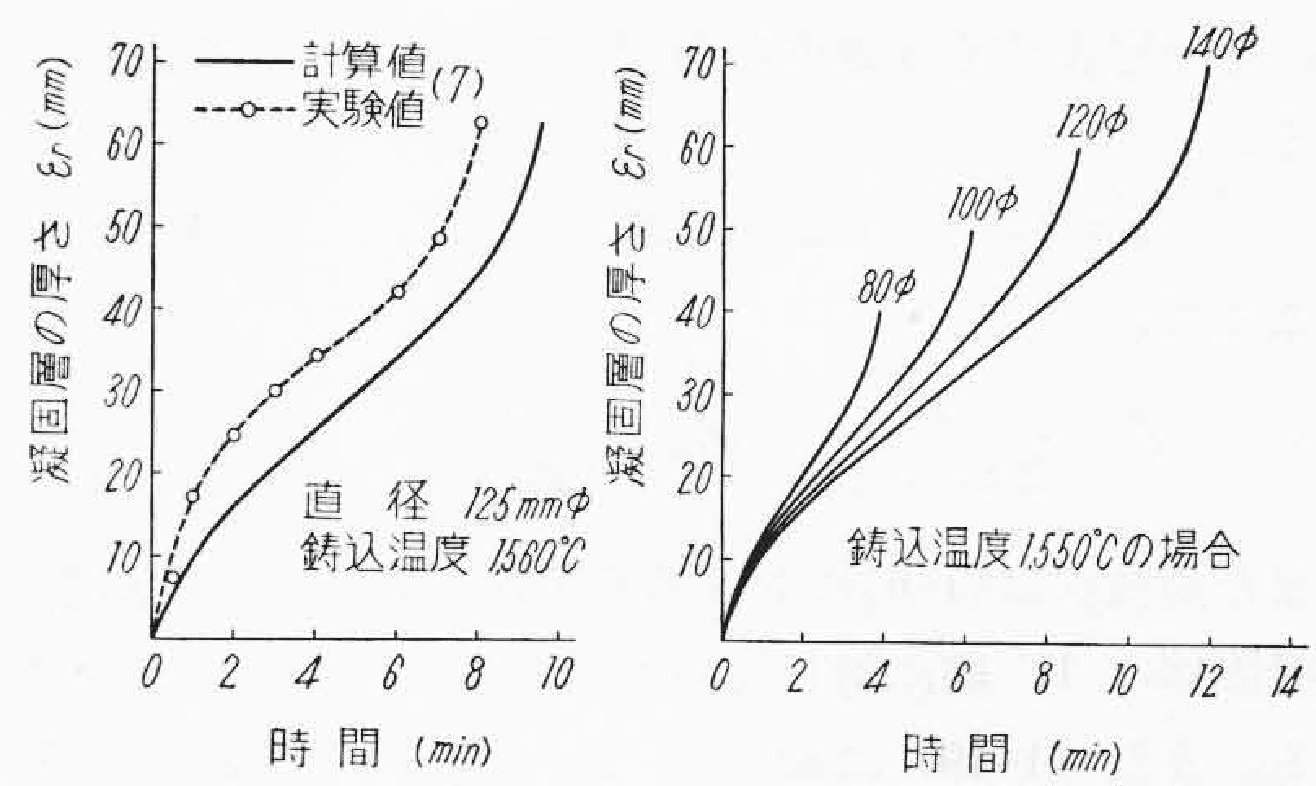
鋳込後 t 時間までに外周から ε_r だけ凝固したとすれば，その間に放出される熱量と円柱の周囲より砂に伝わる熱量とは等しい。したがって円柱の凝固層 ε_r と時間 t との関係は次式のように表わされる。

$$\frac{(D-\varepsilon_r)\varepsilon_r}{D}=\alpha\sqrt{t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1\text{–}18)$$

第５図の（ａ）は円柱の凝固状況を計算で求め，千々岩[7]氏の実験結果と比較したものである。

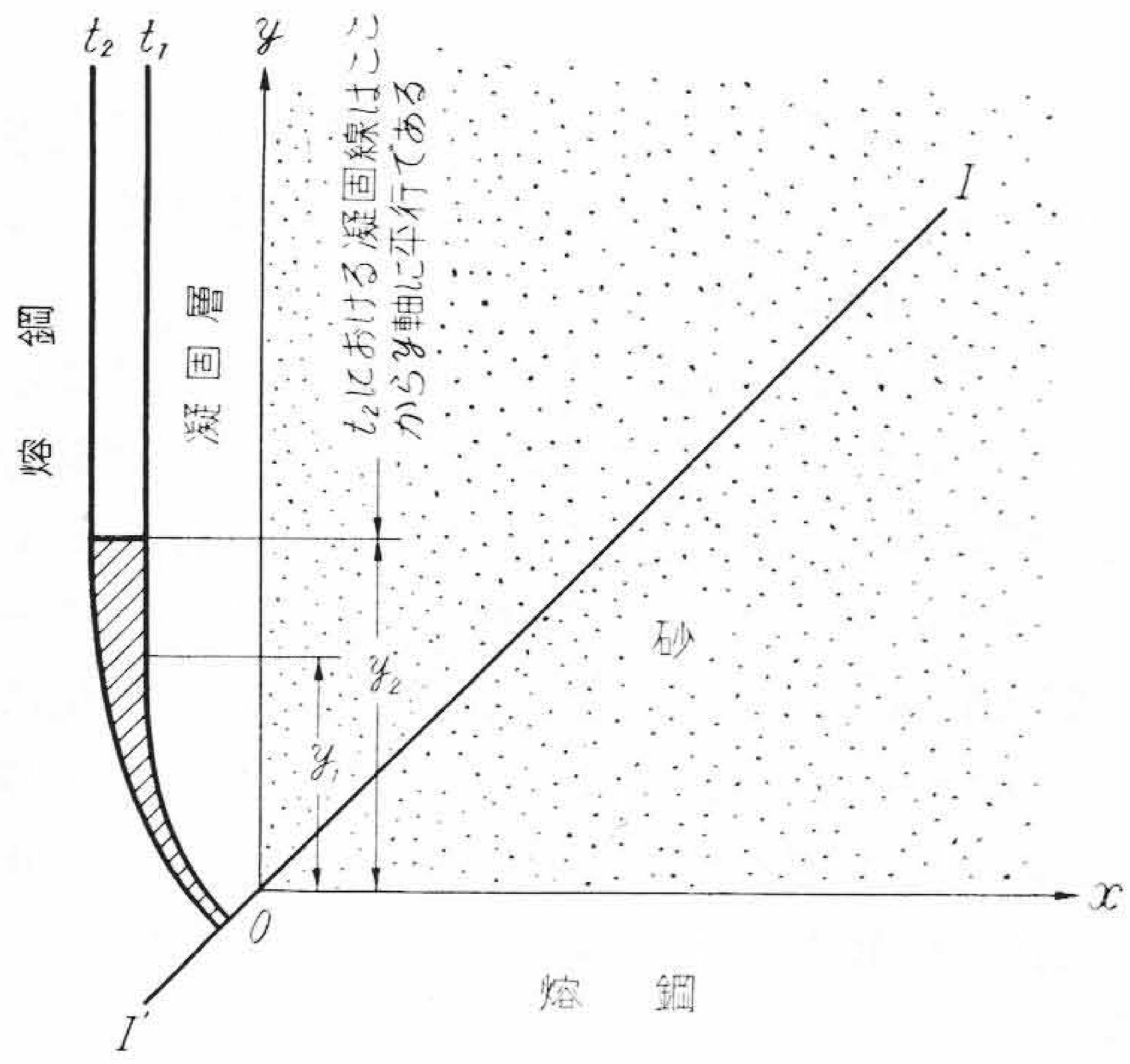
同図から明らかなように，円柱の凝固は凝固初期では凝固層の発達が大であるが，それ以後次第に減少するがまた中心部では早くなっている。計算値の方が少し凝固が遅れているが，全体の傾向としては計算値と実験値とがよく一致している。したがって湯の凝固を考える場合，円柱では (1–18) を用いても差しつかえないと思われる。

第５図の（ｂ）は直径 80，100，120，140 の円柱の凝

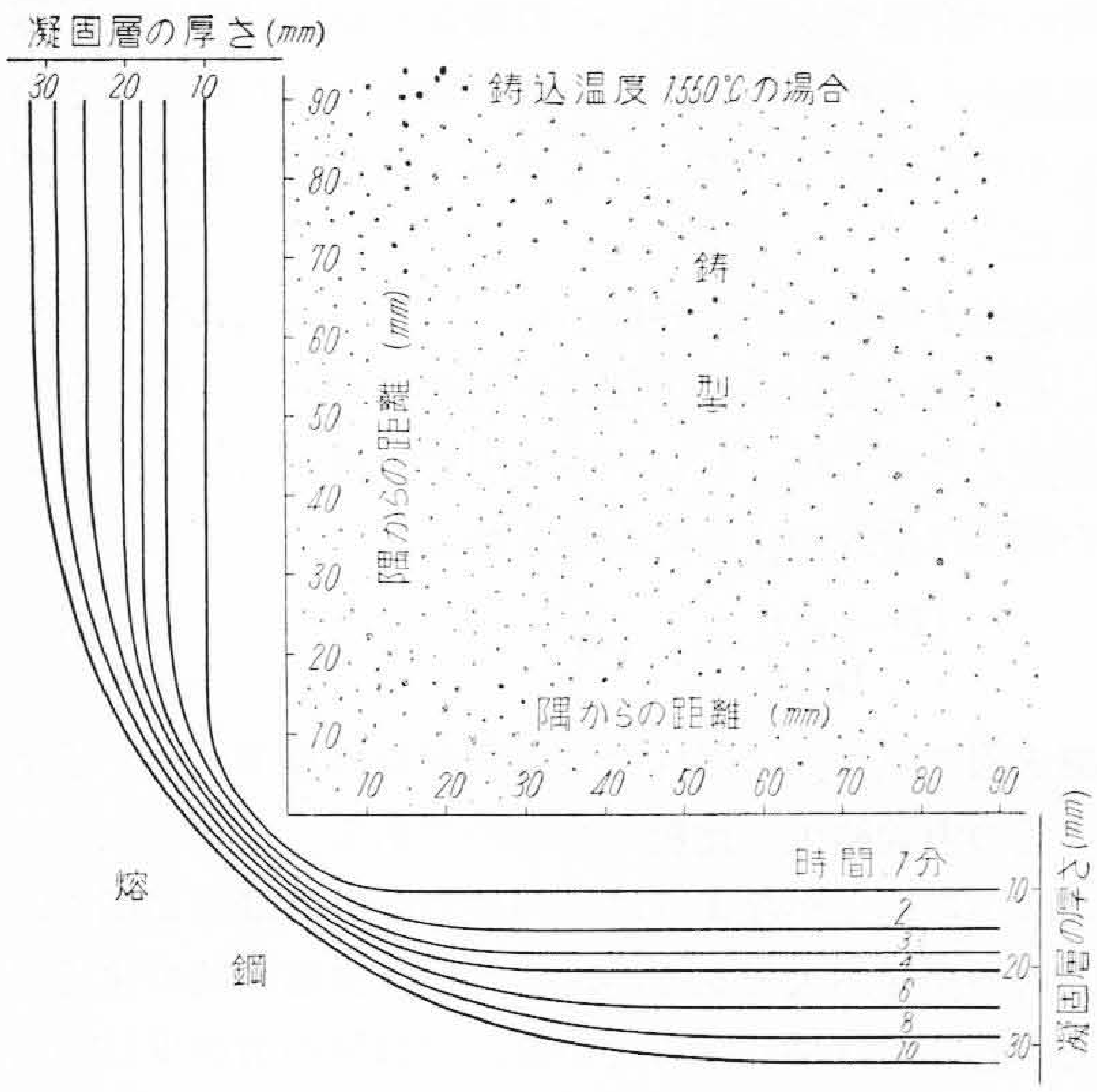


(a) 実験値との比較　(b) 80,100,120,140φ の凝固状況

第５図　円柱の凝固状況



第6図　隅面の凝固の説明図



第7図　隅面の凝固状況

固状況を鋳込温度 1,550°C として計算したものである。

2.3 隅面の場合

第6図に示すような隅面において砂との接触面温度 θ_m を一定とすると砂内の温度分布は次のように表わされる。

$$u=\theta_m[1-\phi(Z_x)\phi(Z_y)] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1\text{-}19)$$

ここで,

$$Z_x=\frac{x}{2\,k_{20}\sqrt{t}}, \qquad Z_y=\frac{x}{2k_{20}\sqrt{t}}$$

また函数 ϕ は(1-6)における函数 ϕ と同じものである。

凝固層は II′ 線に対して対称であるから一方のみを考える。また (1-19) において, Z_x (あるいは Z_y) が大きくなれば近似的に $u=\theta_m[1-\phi(Z_y)]$ (あるいは $u=\theta_m[1-\phi(Z_x)]$) で表わされ平肉の場合になる。したがって凝固層が座標軸と平行でない隅部のみを考えればよい。

今, 時間 t_1 から t_2 までの間に斜線の部分が凝固したとすれば, 単位厚さ当り y 軸の0から y_2 までの接触面から砂に伝わる熱量と, その間に湯が放出する熱量とは等しいから

$$A_2=\int_0^{y_2}\int_{t_1}^{t_2}\frac{\alpha\phi(Z_y)}{2\sqrt{t}}dy\cdot dt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1\text{-}20)$$

ここで, A_2 は y_2 までの斜線の部分の面積を表わす。(1-20) を満足するように A_2 を決定して $t=t_2$ における凝固線を求める。以下同様にして t_3, t_4, t_5, ……… における凝固線を順次求めていけばよい。

第7図は鋳込温度 1,550°C として隅面の凝固状況を計算したものである。同図から明らかなように, 隅部における凝固層の厚さは平肉の場合の約1/3であり, 凝固の発達がかなり遅れていることがわかる。

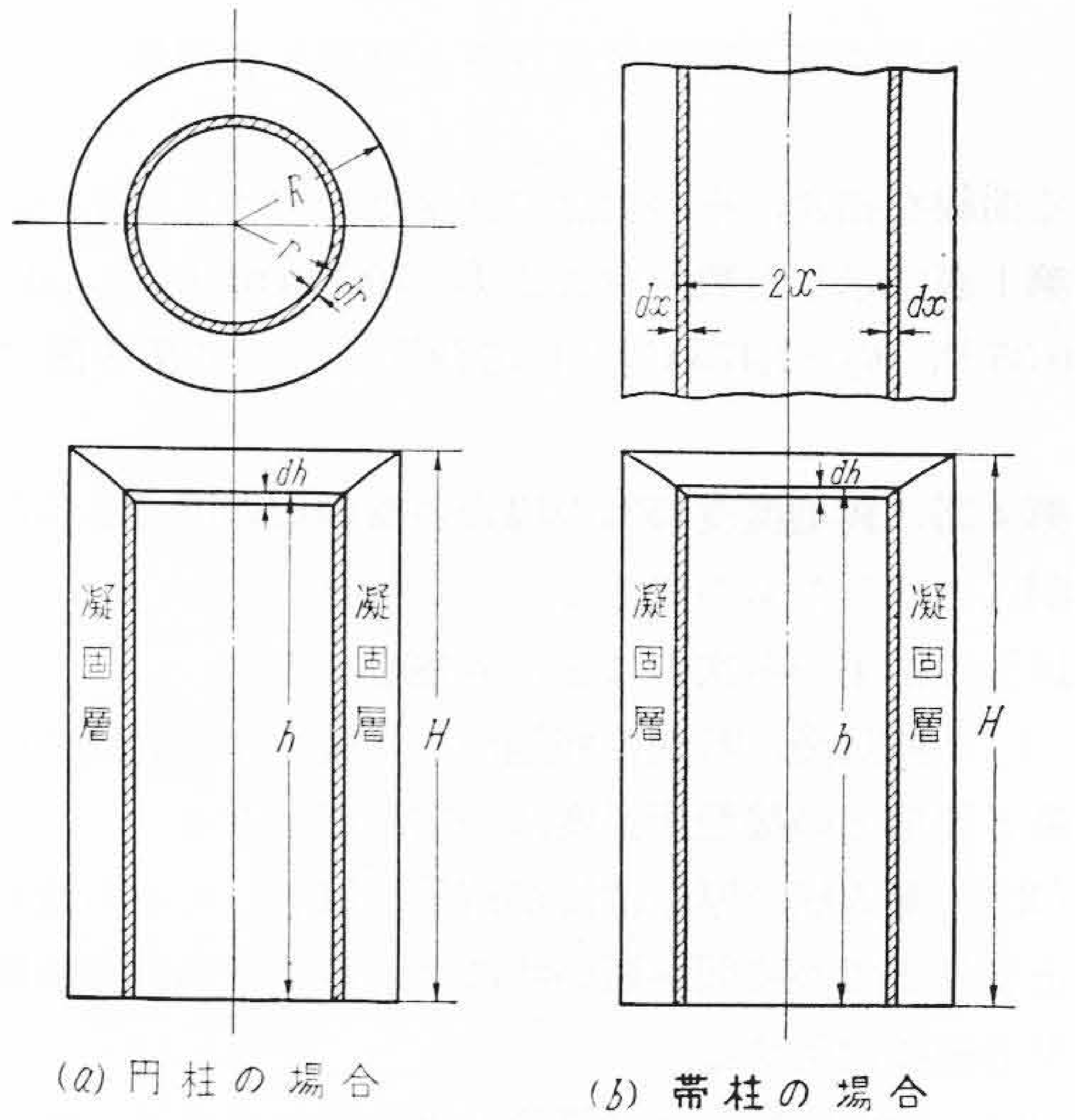
3. 押湯内の引けの状況

一般に凝固収縮によって発生する引け巣は押湯部にできるが, 押湯の湯量が不足した場合には押湯内の引けが鋳物部に残ることになる。したがって必要にして最小の押湯量を決定するには, 押湯内に発生する引けの状況を十分把握しておく必要がある。

3.1 解　　析

押湯の中でも最も使用率の高い普通押湯について, 熱は鋳型にだけ放散し, 押湯の上面からは熱の放散がないという仮定で解析を行った。

第8図に示すように, 半径 R, 高さ H なる円柱形の鋳型に注湯された湯が鋳型との接触面(側面のみを考える)から凝固し始めた場合, t 時間後における湯の半径を r



第8図　引けの状況の説明図

高さを h とする。ここで dt 間に dr だけ凝固が進行したとすればこのための体積減少 ΔV は

$$\Delta V=2\pi rh\frac{\beta}{1-\beta}dr \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2\text{-}1)$$

ここで，β は湯の収縮率を表わす。

一方，dr 部分の凝固収縮のために生ずる湯の高さの減少を dh とするとこの減少部分の体積 $\Delta V'$ は

$$\Delta V'=\pi r^2\,dh \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2\text{-}2)$$

である。$\Delta V=\Delta V'$ であるから次の微分方程式を得る。

$$2\pi rh\frac{\beta}{1-\beta}dr=\pi r^2\,dh \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2\text{-}3)$$

(2-3) を解き，$t=0$ で $r=R$，$h=H$ なる初期条件を代入すると円柱内の引けの状況は次式のようになる。

$$h=H\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{2\beta}{1-\beta}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2\text{-}4)$$

次に幅 T なる帯状の場合には単位長さのみについて考えればよいから微分方程式は次のようになる。

$$2h\frac{\beta}{1-\beta}dx=2x\,dh \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2\text{-}5)$$

(2-5) を解き，$t=0$ で $2x=T$，$h=H$ なる初期条件を代入すると帯状の引けの状況は次式のようになる。

$$h=H\left(\frac{2x}{T}\right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2\text{-}6)$$

3.2 数値計算および実験結果との比較

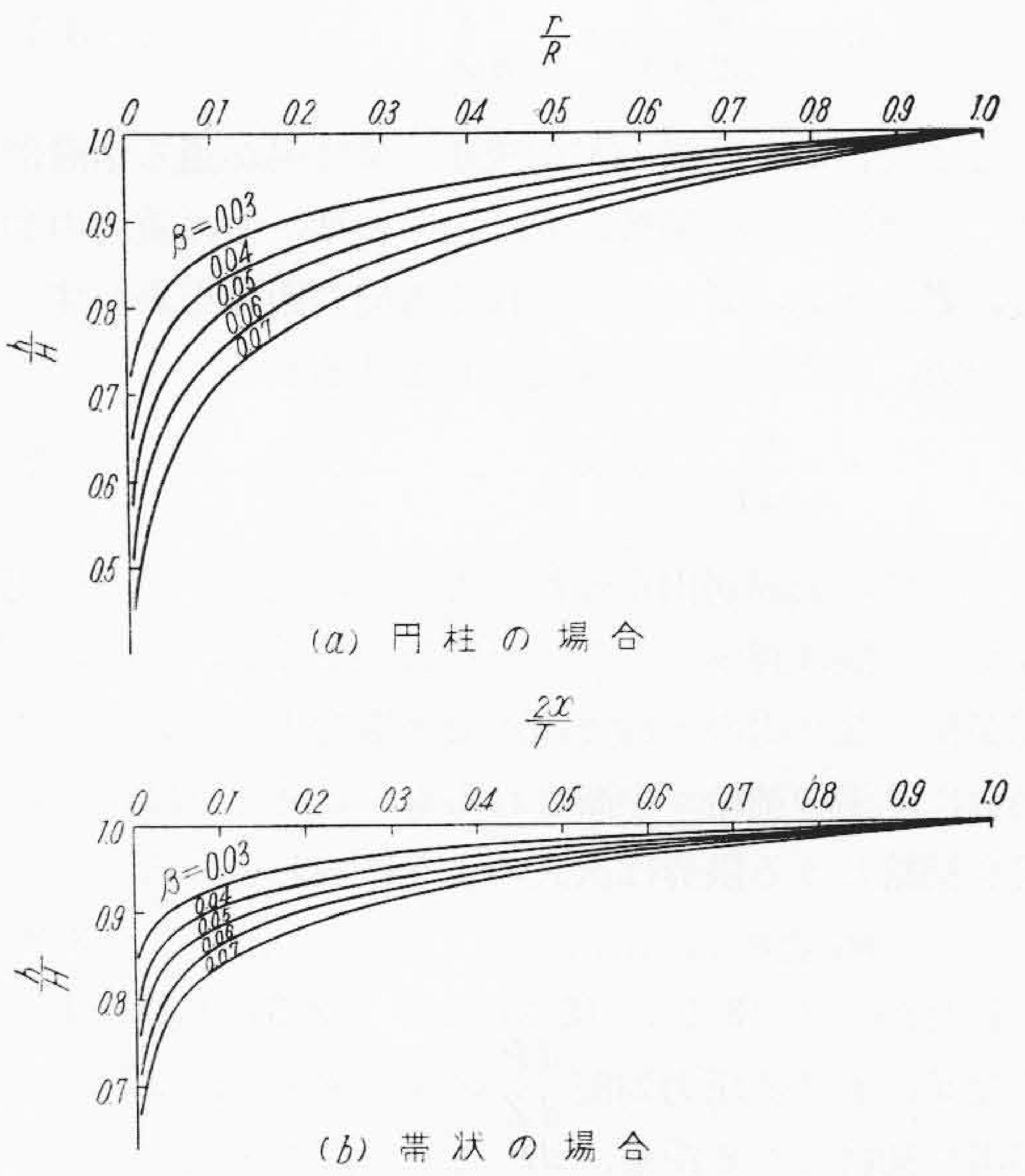
第9図は円柱と帯状との場合の引けの状況を計算したものである。

第10図は直径 60，80，100，120 の試験片について実験結果と計算値とを比較したものである。

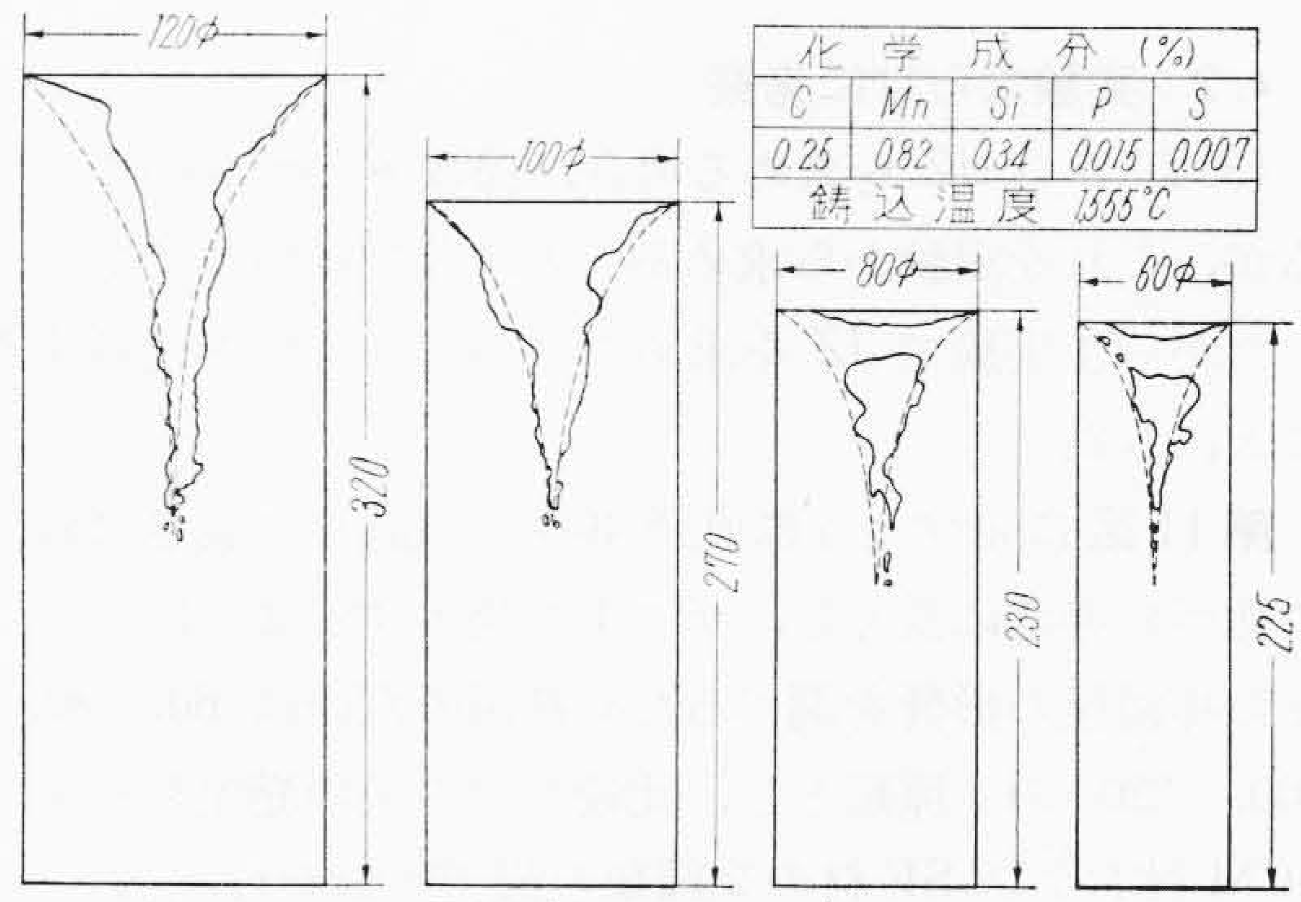
実際の引けの状況は一見不規則のようであるが，実験結果から明らかなように，計算から求めた曲線と大体一致しており，円柱では中心部は全体の高さの約半分のところまで引けの深さがおよんでいることがわかる。

鋳鋼の凝固収縮率は Briggs[8] 氏によると約 3.5% である。しかし鋳物部に引けが残らず，かつ健全なる鋳物を作るためには，湯の収縮率を 7% として計算した場合が実際と一番よく一致するようである。

したがって計算式を使用する場合，湯の収縮率を 7% とし，$r/R \geqq 0.01$（あるいは $2x/T \geqq 0.01$）の範囲まで計算すれば押湯内における引けの状況および引けの深さの推定は十分できるものと考えられる。



第9図　$\dfrac{r}{R}$ および $\dfrac{2x}{T}$ と $\dfrac{h}{H}$ との関係



化学成分 (%)				
C	Mn	Si	P	S
0.25	0.82	0.34	0.015	0.007
鋳込温度 1555°C				

註　1. ------ は理論計算によるものである。
　　2. 計算は湯の収縮率 β=0.07 として計算す。

第10図　計算と実際との比較

4. 押湯効果の理論的検討

鋳物の体積に対して十分大きい押湯をつけ，一様な温度および時間で湯が鋳込まれたとみなしうる時でも，肉厚が一様なものでは押湯からの距離が遠くなって，ある限界をこえると，そのところの肉厚の中心に引け巣いわゆるザク巣を発生する。したがってザク巣のない健全なる鋳物を作るためには押湯の効果範囲を明らかにしておくことが必要である。

4.1 理　　論

押湯から湯が補給されるのは凝固によって生ずる湯の体積減少を補充するためであるが，肉厚がその中心近くまで凝固した場合には湯が通る隙間が狭くなるので湯の流れの抵抗が大となり，押湯からの湯の補給が制限される。したがってある距離以上のところではまったく湯の補給を受けない所ができ，これがザク巣発生の主因をなすものと考えられる。

今，凝固層内を流れる湯の速度について考えると，粘性流体の式から平均流速は次式のようになる。

$$w_m=\frac{d^2}{32\mu}\left(\rho g-\frac{dP}{dZ}\right) \quad \text{.................(3-1)}$$

ここで，w_m は湯の平均流速，d は湯が通る熔融部の径，μ は湯の粘性係数，ρ は湯の密度，g は重力の加速度，P は圧力，Z は湯が流れる方向の距離を表わす。

一方，凝固壁の凝固速度を v とすると

$$v=\frac{d\varepsilon}{dt} \quad \text{..(3-2)}$$

ここで，凝固層内を流れる湯の平均流速が凝固速度よりも早い間は押湯からの湯の補給があるが，熔融部の隙間が狭くなり湯の平均流速が凝固速度よりも遅くなった場合には湯の補給が中断されるものと考えれば，押湯が湯を補給しうる限界は次式のように表わされる。

$$w_m \geqq v \quad \text{..(3-3)}$$

したがって (3-1)，(3-2) より (3-3) を満足するような d における圧力勾配 $\frac{dP}{dZ}$ の値を δ とし，$\varDelta Z$ を押湯が湯を補給しうる距離，$\varDelta P$ をその間の圧力差とすれば近似的には圧力勾配 $\frac{dP}{dZ}$ は $\frac{\varDelta P}{\varDelta Z}$ で表わされる。ゆえに押湯の効果範囲は次式のようになる。

$$\varDelta Z=\frac{\varDelta P}{\delta} \quad \text{......................................(3-4)}$$

4.2　実験ならびに考察

(3-4) から $\varDelta Z$ を求める場合，係数 μ の値が必要であるが，これを実験から求めることは非常に困難である。したがって実験で $\varDelta Z$ を求めこれから μ の値を逆算することにした。

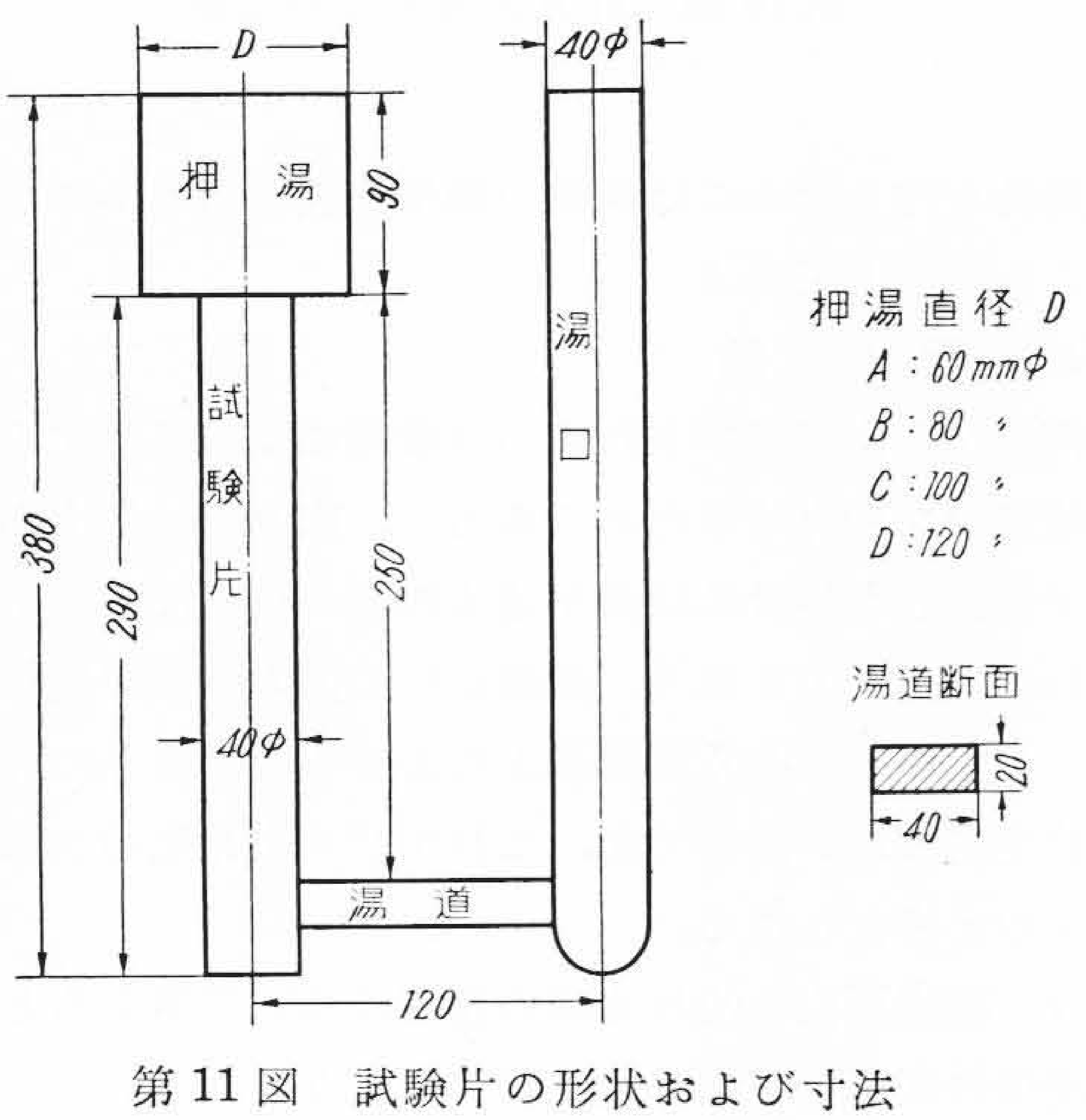
第11図に示すように直径 40ϕ の試験片で長さは直径に比べて非常に長くし，ザク巣が発生するようにした。また押湯径の影響を調べるため押湯の直径は 60，80，100，120 の4種類とし，比較的ザク巣の発生しやすいSCM材およびSF材の2種類の湯で実験を行った。

試験片はその中央まで機械加工して内部のザク巣の状況を調べた。実験結果には多少のばらつきがあるが要約すると次のとおりである。

(1)　直径 40 ϕ のものでは押湯の効果範囲はSCM材で 80 mm，SF材では 100 mm である。

(2)　必要以上に押湯径を大きくしても押湯の効果範囲には影響せず大きくしただけむだである。

以上の結果から湯が流れ得る最小の隙間 d_0 および湯の粘性係数 μ を求めると $d_0 \fallingdotseq 2.5$mm，$\mu=1.95\times10^{-3}$kg･s/cm^2 となる。また大気圧のもとでは圧力勾配 $\varDelta P/\varDelta Z$ の項に比べて湯の重さ ρg の項は非常に小さくなるため，ρg の項は無視しても差しつかえないと考えられる。したがって押湯の効果範囲は水平の場合と垂直の場合とでは同じであるといえる。また $d_0 \fallingdotseq 2.5$ mm，$\mu=1.95\times 10^{-3}$kg･s/cm^2 とすることにより計算から押湯の効果範囲を求めることができる。



第11図　試験片の形状および寸法

4.3　ザク巣の防止対策

前述のように熔融部が湯の流れ得る最小の隙間 d_0 以下となれば押湯からの湯流れが中断されるため，押湯の作用しない所にはザク巣が発生することになる。したがってこのザク巣を防止するには，押湯の作用しない所が d_0 となった場合に，押湯の効果範囲内の熔融部の隙間が d_0 以上であるようにすれば，実質上押湯の効果範囲が大となるためザク巣を防止することができる。

まず鋳物の凝固曲線を求め，これにもとづいて押湯からの湯の補給が中断された場合の熔融部の範囲を求める。この中で押湯および先端部の効果範囲を取除いた部分にザク巣が発生することになる。したがってこのザク巣の発生範囲だけの傾斜を押湯からつければ，それだけ押湯の効果範囲が大きくなるのでザク巣の発生を防止することができる。

5.　実際への応用例

以上の結果を応用して，肉厚の中心部にザク巣が発生するような製品について押湯を理論的に求め，かつ鋳造実験を行って押湯に関す理論の確認を行った。

5.1　押湯計算

押湯計算を行う場合，次のようにして押湯の大きさを決定した。

(1)　押湯内における引けの深さが少なくとも押湯切断面から 40 mm 以上の余裕があるようかなりの安全率を見積って押湯の高さを決定した。

(2)　ザク巣の防止対策として温度勾配ができるよう押湯から傾斜をつけた。

(3)　安全な範囲で製品歩留が最大となるよう押湯および傾斜の大きさを決定した。

(4)　鋳込温度 1,560°C，湯の収縮率 7％として計算を行った。

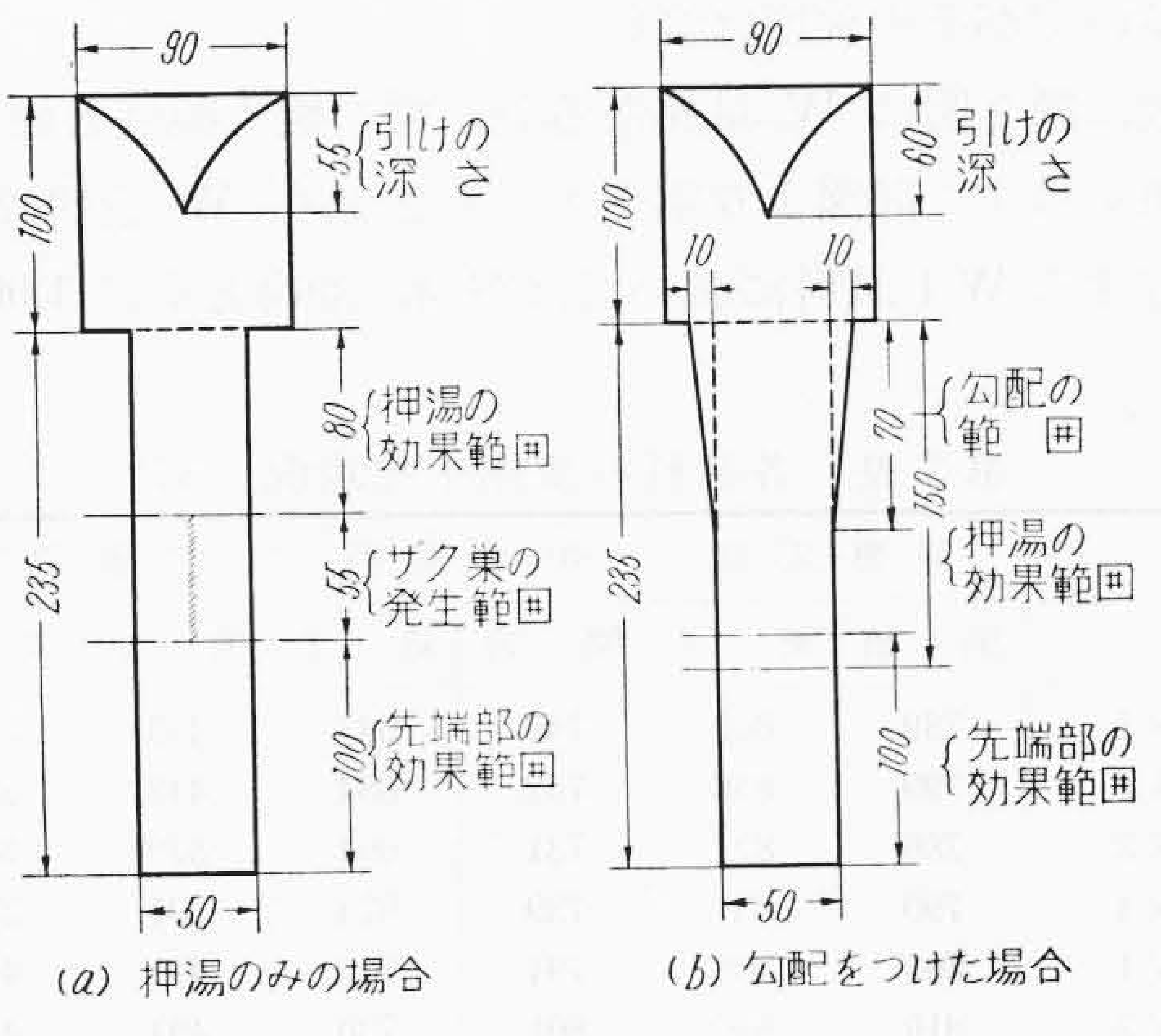
一例として製品の断面は幅 53，高さ 233 で肉厚に比べて高さが非常に高い。したがって丸押湯にてザク巣のない健全な鋳物を作るためには，押湯間隔を 60 mm 以内にしなければならないが，これは造型上の問題，歩留などの点から考えてあまり感心した方法ではない。ゆえに全周押湯を採用することにした。

全周押温とした場合には，製品の断面のみについて引けの深さおよびザク巣の検討を行えばよい。**第12図**は押湯内の引けの深さおよび中心部のザク巣発生の推定位置を計算から求めたものである。

5.2 鋳造実験

第12図から明らかなように（a）の場合は中心部にザク巣が発生することがわかる。したがって（b）の場合について，まず長さ 500 mm のモデルにて鋳造実験を行った結果，押湯内の引けの深さは推定図と大体一致していた。またX線により内部のザク巣の有無を調査した結果，欠陥らしきものは全然発見されなかった。

次に**第13図**に示す新押湯方案図により実物実験を行



第12図　押湯内の引けの深さおよびザク巣発生の推定図

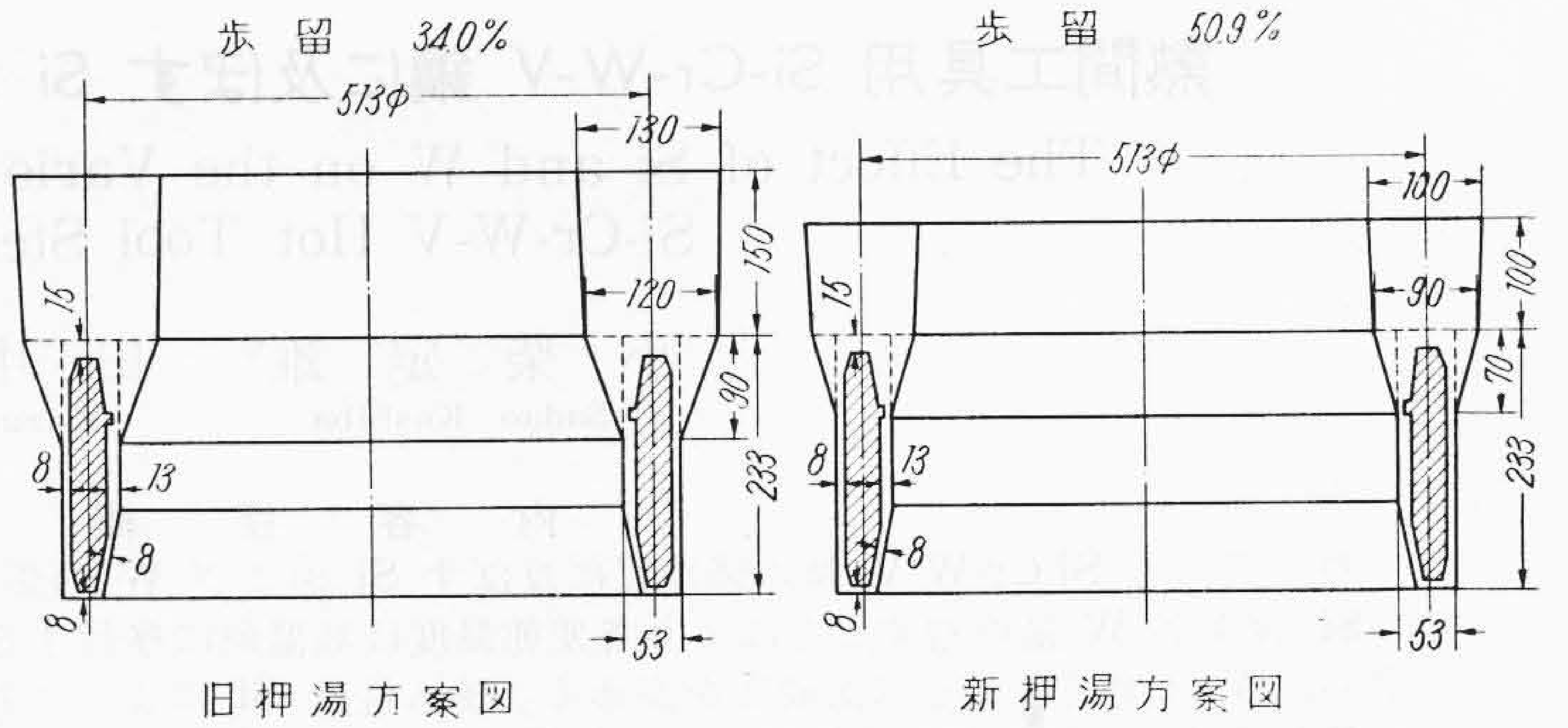
った。その結果完全無欠な製品を鋳造することができた。

6. 結　　言

以上，鋳鋼押湯に関して理論的研究を行い，かつ理論の応用として，肉厚に対して高さが非常に高いため，肉厚の中心部にザク巣が発生するような製品について，その押湯を理論的に求めて実物実験を行った。その結果，次のことが明らかとなった。

（1） 理論的に求めた押湯で内部にザク巣のない健全なる製品を鋳造することができ，理論の妥当性が確認できた。

（2） 従来の押湯に比べて相当の歩留向上を行うことができ，押湯設計に関する計算式を求めることができた。



第13図　新旧押湯方案図の比較

終りに臨み，本研究に対して御指導賜わった九州大学石橋教授に対し深く感謝する次第である。

参 考 文 献

（1） J. B. Caine: Trans. A. F. S. 57, 66 (1949)
（2） H. F. Bishop, W. H. Johnson: Foundry 84 (1956) Feb. 70; March 136
（3） 林田三郎：鋳物 12, 8 153（昭15）
（4） 松本實雄：日立評論 22,（昭14）
（5） 篠田忠夫：日立評論 39, 3（昭32）
（6） Victor Paschkis: Trans. A. F. S. 55 (1947)
（7） 千々岩健児：生研報告 5, 9（昭31）
（8） Briggs: Trans. A. F. S. 42, (1935)