

論 文

UDC 621.746.27.047 : 620.192.45 : 532.5

# 円弧型連鑄機製スラブの大型介在物集積におよぼす鑄込流の クレーター内侵入深さの影響\*

垣生 泰弘\*\*・吉井 裕\*\*・北岡 英就\*\*  
飯田 義治\*\*\*・今井 卓雄\*\*\*・上田 典弘\*\*\*

## Effect of the Penetration Depth of the Casting Stream in the Crater on the Accumulation of Large Non-metallic Inclusions in the Continuously Cast Slab by the Bow Type Machine

Yasuhiro HABU, Hiroshi YOSHI, Hidenari KITAOKA,  
Yoshiharu IIDA, Takuo IMAI, and Tunehiro UEDA

### Synopsis:

In order to understand the mechanism of the accumulation of large non-metallic inclusions under the upper surface of the continuously cast slabs by the bow type machine, slabs, casted by two kinds of submerged nozzles designed to make a different penetration depth of casting stream, were investigated in regard to the distribution and content of large non-metallic inclusions. The results obtained are as follows.

1) By use of the nozzle with the shallower penetration depth of the casting stream, the position of maximum amount of large non-metallic inclusions in the accumulated zone and the end point of the accumulated zone shift toward the upper surface and also, their accumulated amount decreases.

2) Total large non-metallic inclusion content in the accumulated zone increases in proportion to the area of "entrapping zone" corresponding to the liquid core between the perpendicular circumscribed with the solidification front at the upper side and the position of the penetration depth of the casting stream in the longitudinal section of the strand during casting.

(Received Dec. 7, 1973)

## 1. 緒 言

円弧型連鑄機は数多くの利点を有する反面、円弧の内側（以下上面側）において大型介在物が集積しやすい欠点があり、その程度がはなはだしい場合には、製品においてたとえば超音波探傷欠陥などの問題が生じる。

円弧型連鑄機製鑄片の上面側での大型介在物集積に関しては、これまでもいくつかの報告がある<sup>1)~4)</sup>が、鑄片未凝固部（以下クレーター）内における溶鋼の流動と関連づけて調査した例は少ない<sup>5)~6)</sup>。

本報告では、円弧型連鑄機製スラブ上面側の大型介在物集積に対して、とくに関係が深いと考えられる鑄込流のクレーター内侵入深さに着目し、侵入深さが異なる二種類の浸漬ノズルについて、まず水模型実験によりクレーター内の湯流れを類推し、ついで実機に使用して鑄込

んだスラブ内の大型介在物分布を調査し、最後にそれらの結果をもとに、大型介在物集積とクレーター内湯流れ、とくに鑄込流の侵入深さとの関連について検討した。

## 2. 水模型実験

### 2.1 方 法

装置は千葉製鉄所半径 10 m 円弧型スラブ連鑄機の 4 分の 1 模型で、鑄型寸法: 260×1700 mm の場合の湯面から約 4 m 長さを透明アクリル板で製作した。クレーター内の湯流れおよび鑄込流侵入深さは、ノズルからの噴流に巻込ませた約 2 mmφ のポリプロピレン粒子（比重 0.91）をトレーサーにして、スラブの長短両側から

\* 昭和 48 年 12 月 7 日受付

\*\* 川崎製鉄(株)技術研究所

\*\*\* 川崎製鉄(株)千葉製鉄所

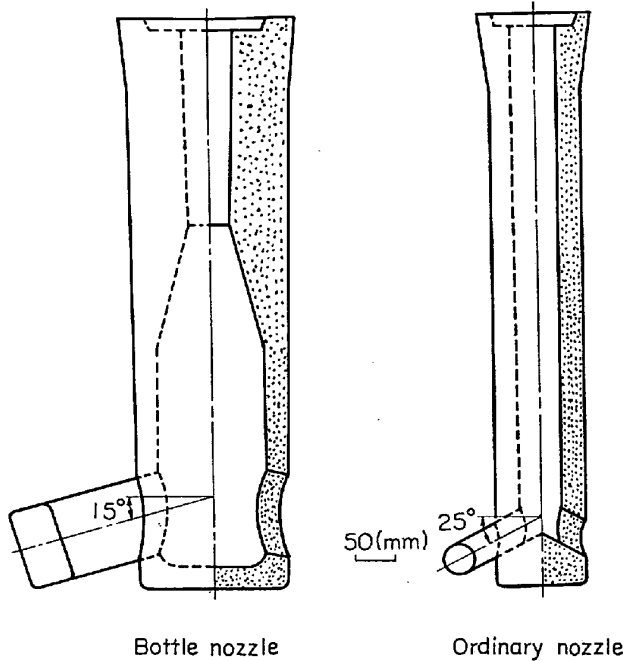


Fig. 1. Profile of submerged nozzles tested.

観察，測定した。浸漬ノズルは Fig. 1 に示す下向 25° 2 孔型（以下逆 Y 型）および下部の内孔断面積が上部の約 6.5 倍，出口断面積が逆 Y 型の約 3 倍の異形型（以下ボトル型）の二種類をガラス管で製作し実験に供した。

実験条件は目的上，慣性力と重力の比である Froude 数 ( $v^2/g \cdot l$ ,  $v$ =流速,  $g$ =重力加速度,  $l$ =寸法) を相似させ，引抜速度は原型の 0.6 m/min に一致させた。

## 2.2 結果

逆 Y 型およびボトル型ノズルを使用した場合のクレーター内湯流れ状況の一例として，長辺側からの観察結果を Photo. 1 に示す。

逆 Y 型の場合，ノズルからの噴流は短辺衝突後，上下二つの流れに分岐する。上向きの流れは短辺に沿って上昇後，湯面に沿ってノズル方向に進む。一方，下向きの流れは短辺に沿って下降しながら，途中で一部は分岐しつつ最下点に達した後，向きを変え，長辺中央方向に進む過程で上昇流を形成し，最後はノズルからの噴流に合流する。湯流れ速度は下降流，上昇流ともクレーター上部では大きく，いわゆる強制攪拌域を形成するが，下降流の最下点近傍では小さい。なお，下降途中で分岐する流れおよび最下点に達した後上昇する流れとともに運動する粒子は主として上面に沿って上昇する。これは介在物の上面側への集積に関連する重要な現象と思われる。

ボトル型の場合，湯流れパターンは逆 Y 型とほぼ同じであるが，ノズルの吐出断面積が大きいことで噴流速度が逆 Y 型の約 1/3 (実測値) と小さいために，短辺衝突

後に形成される上下二つの分岐流はいずれも弱く，したがって下向きの分岐流により形成される循環流の下端，すなわち铸込流侵入深さは逆 Y 型に比して浅いのが特徴である。粒子の到達深さから類推される铸込流侵入深さは，逆 Y 型の 2.4 m (原型) に対し，ボトル型は 1.4 m (同) で，約 1/2 の深さである。

## 3. 実機铸造実験

### 3.1 方法

#### 3.1.1 スラブ铸造条件

千葉製鉄所半径 10 m 円弧型スラブ連铸機において，厚板向 40 キロ級鋼を対象とし，熔融石英製の逆 Y 型およびボトル型ノズルを使用して，260×1700 mm スラブを各 1 ヒート铸造した。両ヒートとも調査したのは铸込中期のスラブで，その铸込条件を Table 1 のように揃えた。またスラブ位置に対応するタンディッシュ内溶鋼をポンプで汲上げ，スライム法 (溶解量約 2 kg) で 50  $\mu$  以上の大型介在物を抽出比較した結果，Fig. 2 のように両ヒートともほぼ同じであった。なお注入後ノズルの溶損状態を調査したが，両ノズルともとくに大きな形状変化はないので铸造中ノズル特性の変化はなかつたものと判断された。

#### 3.1.2 大型介在物調査

次の二方法により調査した。

##### (1) サルファースポット測定法<sup>7)</sup>

スラブ横断面のサルファープリント上で観察される黒点 (以下 S-spot) を幅方向 100 mm，厚み方向 10 mm の各ピッチに区分して測定し，スラブの幅および厚み方向の分布状況を調べた。S-spot としては，その形状で判別して硫化物，アルミナクラスターに相当するものは除き，球状でやや大きいものだけを対象とした。これらは約 100  $\mu$  以上の球状酸化物であり，EPMA により同定して，組成別に分類した結果を Photo. 2 に示す。いずれも低融点組成のシリケート系介在物で 5 種類に分類されるが，大別すれば MnO-SiO<sub>2</sub> 系と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO-SiO<sub>2</sub> 系の二種類であり，発生頻度は前者が約 30%，後者が約 70% である。

##### (2) スライム抽出法

スラブ幅の中央および短辺部の上面側表面から厚み中心まで厚み方向に連続して，20 厚×200 幅×100 長 mm (約 3 kg) の板状試片を切出し，スライム法により 50  $\mu$  以上の大型介在物を抽出した。抽出介在物はほとんどがガラス質球状であり，EPMA で同定した結果，いずれも S-spot として検出された介在物とほぼ同一組成のシ

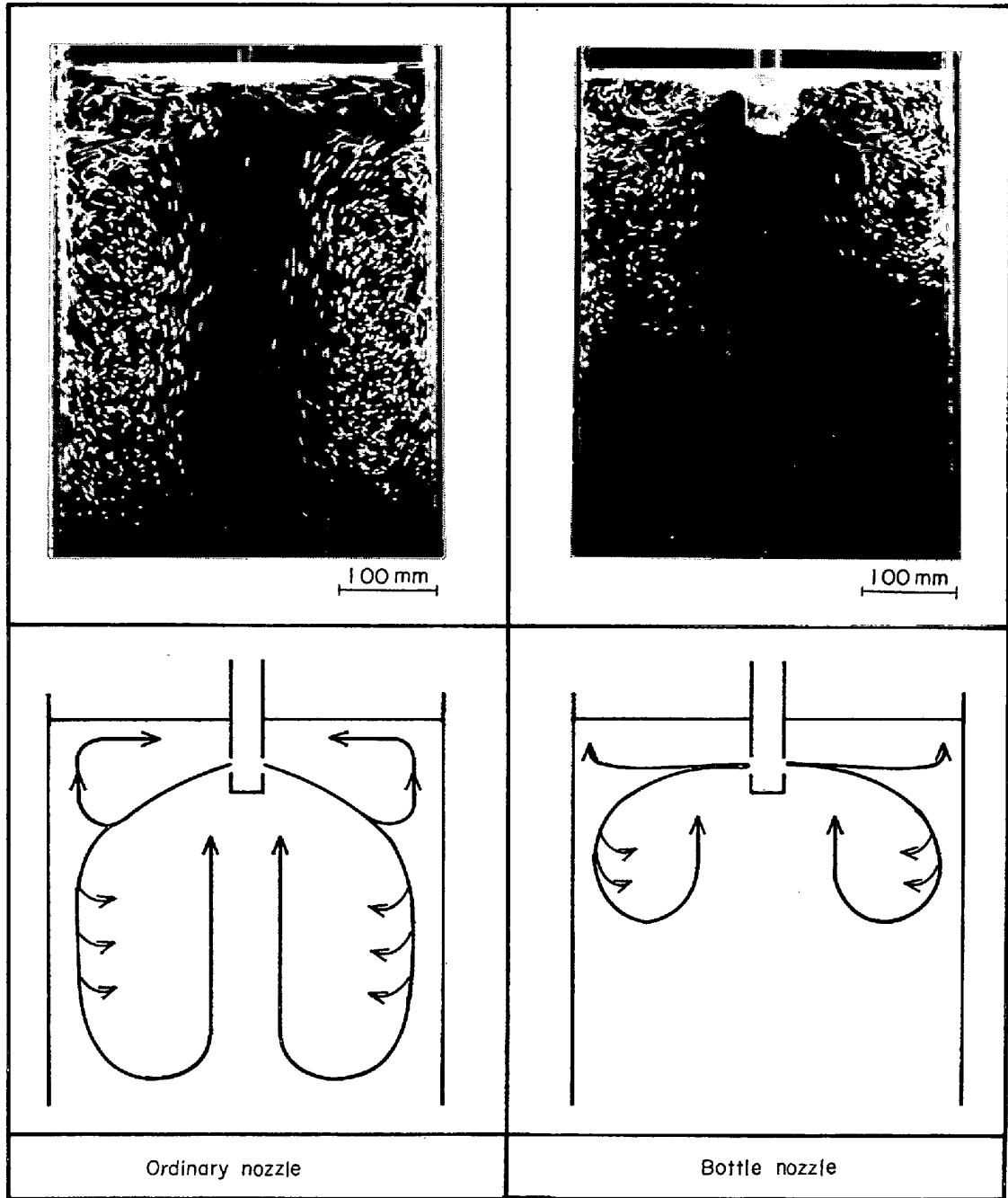


Photo. 1. Flow pattern of resin particles in water pool.

Table 1. Casting conditions of slabs tested.

Nozzle	Slab size (mm)	Temp. in tundish (°C)	Casting speed (m/min)	Specific cooling water (l/kg)	Composition of steel in tundish (%)						
					C	Si	Mn	P	S	Alsol	O <sub>T</sub>
Ordinary type	260×1700	1545	0.61	1.20	0.14	0.20	0.66	0.011	0.015	0.001	0.0040
Bottle type	260×1700	1545	0.63	1.18	0.16	0.20	0.70	0.012	0.014	0.002	0.0040

リケート系介在物であった。

3.2 結 果

3.2.1 厚み方向分布

スラブ全幅における S-spot の厚み方向分布を Fig. 3,

幅中央および短辺部における厚み方向の 50 μ 以上の抽出介在物分布を Fig. 4, その粒径別分布を Fig. 5 に, それぞれ示す。

逆 Y 型の場合, S-spot はスラブ上面側表面から 10~

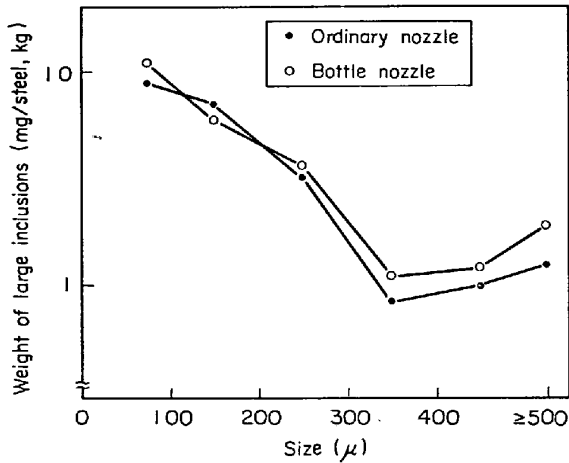


Fig. 2. Distribution of extracted large inclusions classified by size in molten steel in tundish.

70 mm に集中して発生し、その最大位置は約 45 mm、最大値は約 170 コ/100cm<sup>2</sup> である。抽出介在物は 20~60 mm に多く最大位置が約 50 mm、最大値が約 300~350 mg/steel, kg である。

一方、ボトル型の場合、S-spot はスラブ上面側表面から 10~50 mm に集中して発生し、最大位置は約 35 mm、最大値は約 110 コ/100cm<sup>2</sup> であり、逆Y型に比して、集積域の表面側境界点（以下始点）は不変であるが、中心側境界点（以下終点）が 20 mm、最大位置が 10 mm、それぞれ表面側へ移動して集積帯が狭くなり、かつ最大値が約 35% 減少し集積程度が小さくなる。また抽出介在物は 20~60 mm に多く、最大位置は約 30 mm、最大値は約 100~180 mg/steel, kg であり、逆Y型に比し

Type	Microscope ( $\times 50\times$ )	(%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	ZrO <sub>2</sub>	Frequency(%)	
I		M	6.6	33.0	58.0	0.1	12.2	
		P	0.3	91.5	5.0			
II		M	6.0 8.6	33.0 42.5	49.0 54.0	0.3	220	
		P						
III		M	24.4 31.4	26.8 34.0	36.7 38.4	1.2	146	
		P						
IV		M	19.6 24.6	27.7 31.2	37.4 42.0	1.2 3.3	294	
		P	100					
V		M	19.4 19.6	29.8 36.3	36.0 44.3	1.1 1.6	219	
		P	A	14.8	25.0	33.4		21.1
			B	55.0		42.5		

M: Matrix P: Precipitates

Photo. 2. Classification of large inclusions observed as "S-spot" by chemical composition.

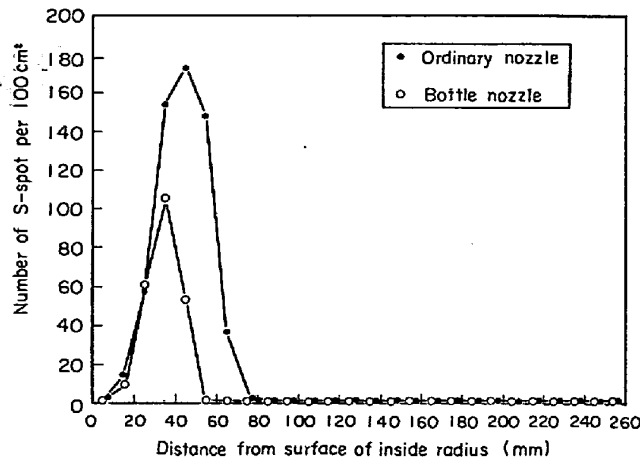


Fig. 3. Effect of nozzle shape on the distribution of "S--spot" in slabs.

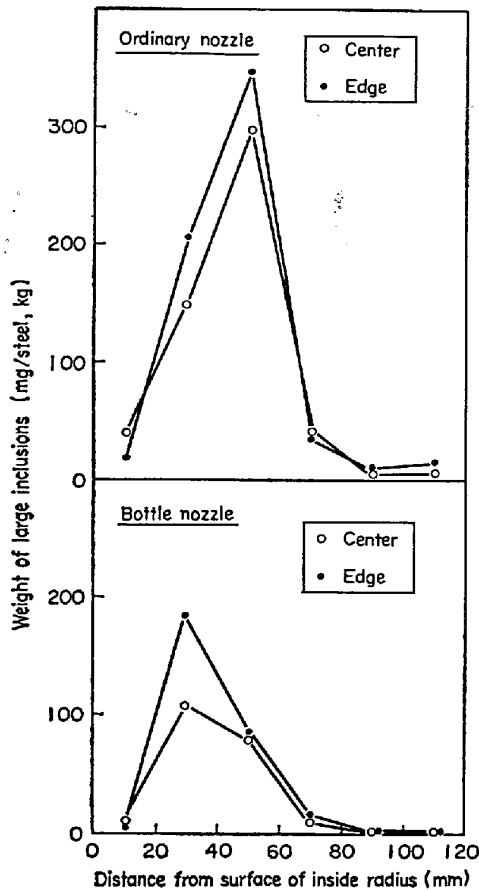


Fig. 4. Distribution of extracted large inclusions ( $\geq 50\mu$  dia.) in center and edge of slabs.

て、最大位置が 20 mm 表面側に移動し、最大値が約 1/2 ~ 1/3 に減少し、S-spot と同様の傾向がみられる。

これら大型介在物の集積状況の差がスラブ内介在物の粒径の差によるものでないことは Fig. 5 の粒径別分布曲線から明らかである。すなわち、両ノズルのいずれも、最大 500  $\mu$  までの介在物が存在し、かつ逆 Y 型では

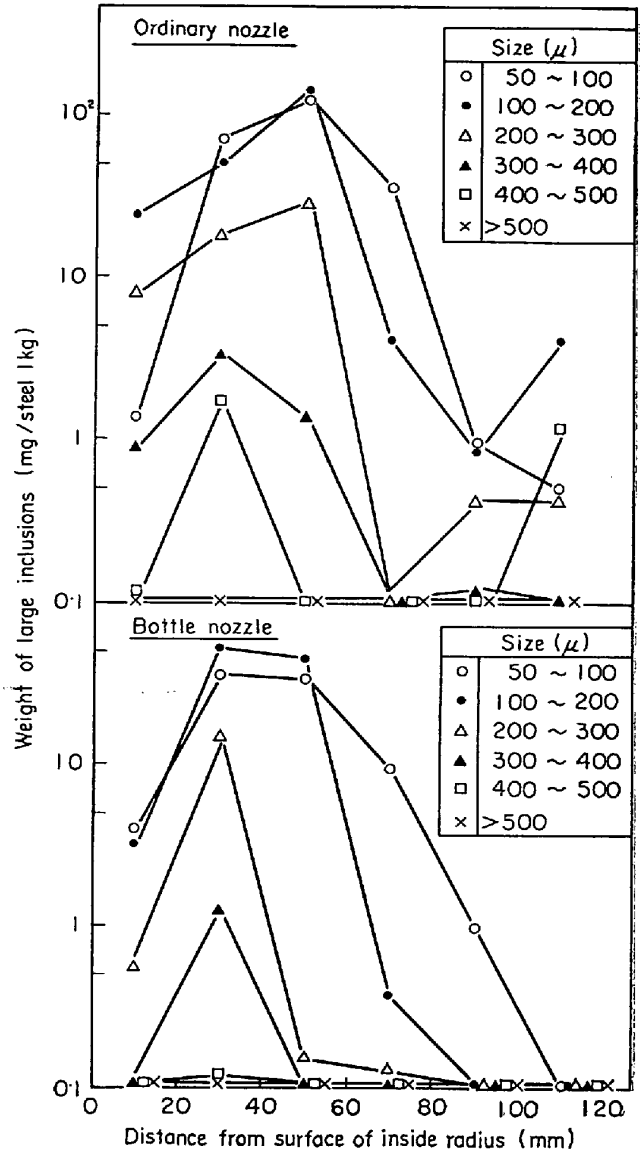


Fig. 5. Distribution of extracted large inclusions classified by size in center of slabs.

300  $\mu$  以上が表面から約 30 mm, 300  $\mu$  未満が粒径によらず表面から約 50 mm, またボトル型ではいずれの粒径とも表面から約 30 mm においてそれぞれ最大値を示す。このように介在物分布が使用した浸漬ノズルにより大きく異なること、また、いずれのノズルにおいても介在物の粒径の違いにより最大値を示す位置にあまり差がないことは、スラブ内、とくに集積帯を形成する介在物の分布が、介在物浮上速度や引抜速度などよりも、おもにノズル形状で決まるクレーター内の湯流れにより支配されることを示すものと考えられる。

### 3.2.2 幅方向分布

S-spot のスラブ幅方向分布を Fig. 6, 幅中央および短辺部における抽出介在物の比較を Fig. 4 に示す。

逆 Y 型の場合、S-spot は幅中央部が最大約 160~220

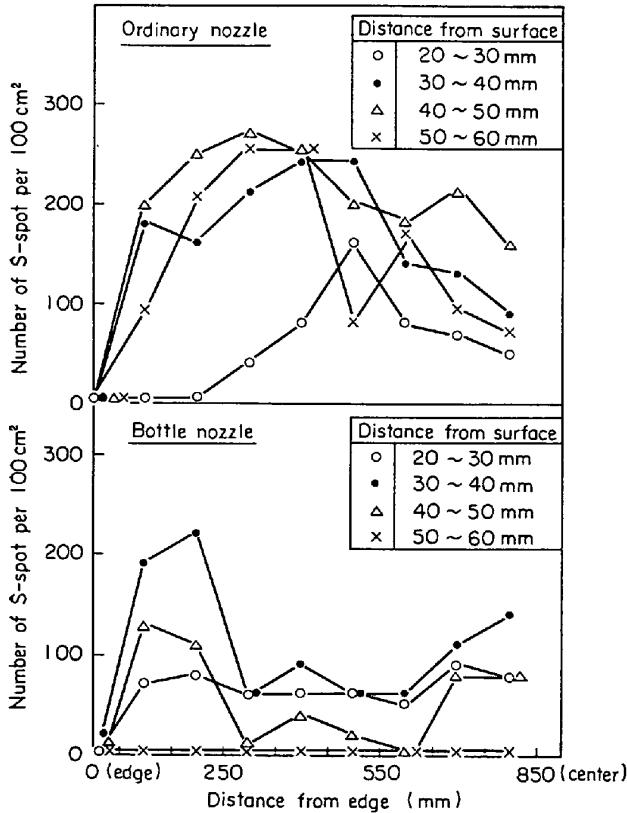


Fig. 6. Distribution of "S-spot" in transverse section of slabs.

コ/100 cm<sup>2</sup> であるのに対し、短辺から 50~400 mm 域では最大約 200~270 コ/100 cm<sup>2</sup> で約 25% 多い。抽出介在物も同様の傾向がみられ、中央で最大約 300 mg/steel, kg に対し、短辺部では最大約 350 mg/steel, kg と約 20% 多い。

一方、ボトル型の場合も逆 Y 型と同様の傾向が認められる。すなわち、S-spot は中央部で最大約 110~140 コ/100 cm<sup>2</sup> に対し、短辺から 50~250 mm 域では最大約 190~220 コ/100 cm<sup>2</sup> で約 60~70% 多く、また抽出介在物は中央部の最大約 100 mg/steel, kg に対し、短辺部では最大約 180 mg/steel, kg と約 80% 多い。ただしボトル型の場合、逆 Y 型と比較して、いずれの位置においても、大型介在物量が約 1/2~1/3 と少なく、かつ短辺寄りにおける介在物多発域の範囲が狭い。

#### 4. 考 察

##### 4.1 凝固組織によるクレーター内湯流れの推定

凝固過程において成長する dendrite の方向は凝固層前面の液相の流動の影響を受け、一般に液相の流れに逆らった方向に傾斜する<sup>9)~10)</sup>。したがって、鑄片の dendrite の成長方向を調べることにより、凝固時の溶鋼の湯流れ状況を知ることができ、連鑄スラブについては、

すでに梅田ら<sup>11)</sup>により試みられている。

Photo. 3 に逆 Y 型およびボトル型ノズルで鑄込んだスラブの短辺中央における縦断面（長辺表面と平行面）においてステッド試薬で現出した凝固組織を示す。

逆 Y 型の場合、Dendrite は表面から一度引抜方向に少し傾斜した後、約 10~15 mm からは逆に湯面方向に約 28° と大きく傾斜し、約 80 mm 以上では方向性に乱れがみられる。

一方、ボトル型では、Dendrite の表面層での傾斜はほとんどなく、表面から約 10~15 mm の位置から湯面方向に約 13° 傾斜するが、この角度は逆 Y 型の約 1/2 である。また表面から約 55 mm 以上では方向性に乱れが生じ、その位置は逆 Y 型より 25 mm 表面寄りである。

これらの状況は 2.2 で述べた水模型実験での湯流れ状況から矛盾なく説明される。すなわち、逆 Y 型の場合、ノズルからの噴流が短辺に衝突した後分岐してできる上向きの流れが強いのに対し、ボトル型の場合、それが弱いことが表面層の dendrite の下向傾斜の差に対応するものと思われる。また上向傾斜の角度差は短辺に沿う下降流速の差を示すと考えられるから<sup>9)</sup>、ボトル型の方が下降流速が小さいことを示し、これは模型実験の観察結果と一致する。最後に、Dendrite の成長方向が乱れ、分岐しはじめる位置は短辺に沿う下降流が弱くないしは消失する位置に対応すると考えられ、したがってこれが鑄込流の侵入深さを示すものといえよう。

凝固速度式<sup>12)</sup>、 $d = 31.4\sqrt{t} - 13.8$  (mm, min<sup>-1/2</sup>) および引抜速度、0.6 m/min を用いて凝固組織から計算した各ノズルの鑄込流侵入深さ、さらに 3.2 で示した S-spot の集積帯の終点に相当する侵入深さを同様の手法で算出した値、ならびに模型実験で得られた粒子侵入深さを対比して示すと Table 2 のようになる。

凝固組織から得られた値は、いずれのノズルの場合も、模型あるいは S-spot 分布のいずれから求めた値より大きい。これらの違いは、粒子あるいは介在物の浮上の影響で説明できる。

まず問題の侵入深さ域：2.9~5.4 m において、介在物の浮上速度： $V_s$  が引抜速度： $V_d$  以上となる条件を求めると

$$V_s \geq V_d \cos \theta$$

ただし  $\theta$  = 介在物と円弧の中心点を結ぶ線が水平線となす角度

さて、 $V_d = 0.6$  m/min,  $\theta = 17^\circ \sim 30^\circ$  であるから、これらとストークス浮上速度式から、上記の条件を満足するシリケート系介在物の最小径を求めると約 90  $\mu$  が得られる。

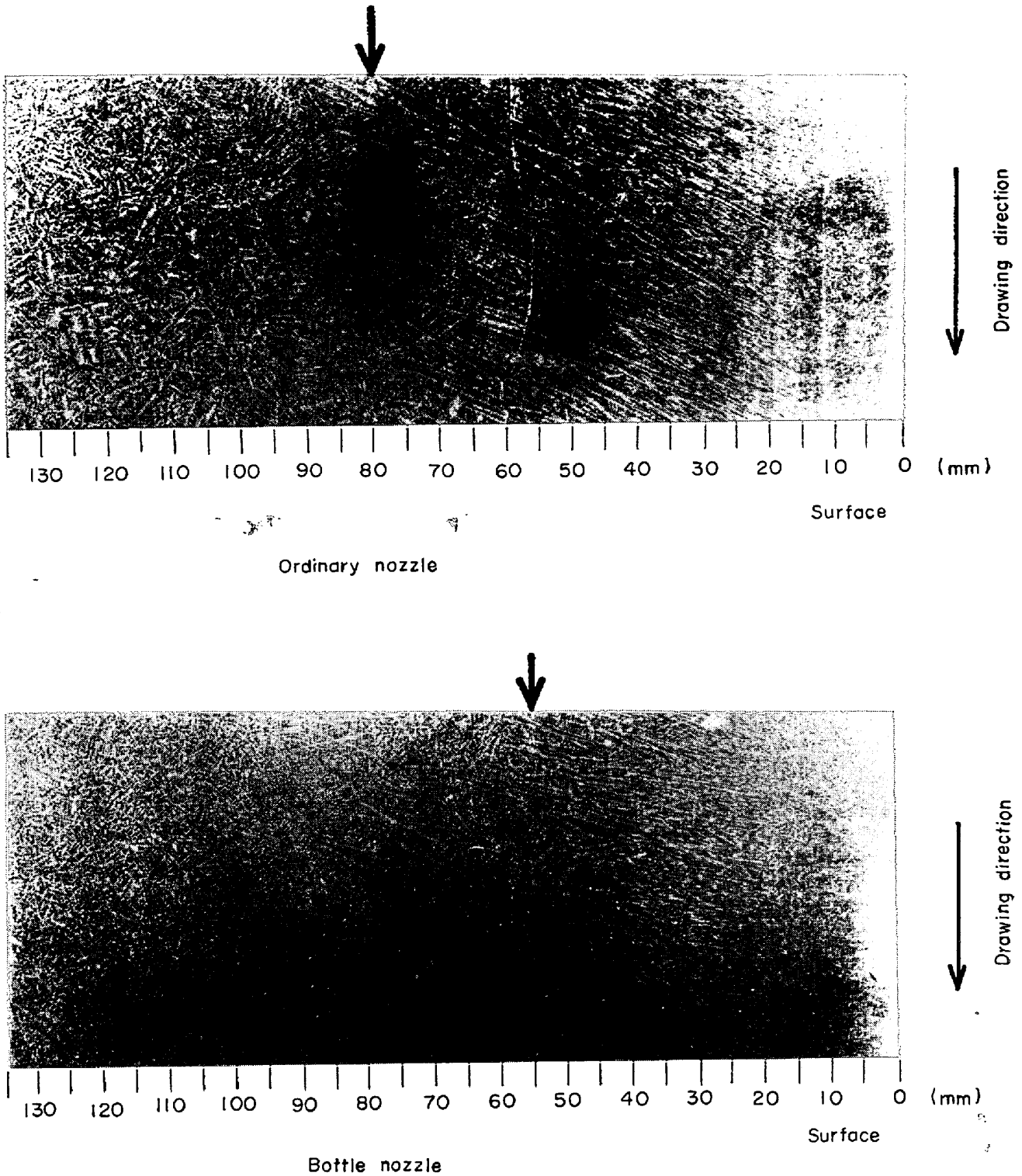


Photo. 3. Cast structure on longitudinal section of slabs at narrow face.

一方, 模型実験で使用したポリプロピレン粒子  $2\text{ mm}\phi$  の水中での浮上速度は実測値で約  $4\text{ cm/sec}$  で, これは溶鋼中での約  $400\mu$  のシリケート系介在物に相当する. また S-spot も 3.1.2 で示したように約  $100\mu$  以上の粒径であり, したがっていずれにおいても浮上速度は引

抜速度より大きく, これらのクレーター内侵入深さは鑄込流侵入深さより浅くなる事が理解できる.

なお, 模型実験の粒子侵入深さに相当する位置の凝固厚: 逆 Y 型約  $50\text{ mm}$ , ボトル型約  $35\text{ mm}$  が集積の終点となる介在物径を Fig. 5 から求めると  $300\sim 400\mu$  が

Table 2. Penetration depth of particles, "S-spot" and casting stream with various nozzles.

Nozzle	Ordinary type	Bottle type
Estimated by		
Water model	2.4 m	1.4 m
S-spot distribution	4.3 m	2.4 m
Cast structure	5.4 m	2.9 m

得られ、これは模型で使用した粒子とほぼ等価の粒径であり、模型実験の相似性が妥当であることを示すものといえよう。

凝固組織から推定した逆 Y 型の铸込流侵入深さは、本実験に近い条件下でクレーター内の溶鋼流動深さを R.I. で測定した川上ら<sup>13)</sup>の値に近い。

以上から、铸込流のクレーター内侵入深さとして、凝固組織から求めた値がほぼ妥当であろうと考えられ、この場合、逆 Y 型の 5.4 m に対し、ボトル型では 2.9 m で約 1/2 の深さとなる。

4.2 介在物集積と铸込流のクレーター内侵入深さの関係

円弧型連铸機におけるスラブ内介在物の集積現象を詳細に取扱った例は少なく、熊井ら<sup>14)</sup>、ENDE ら<sup>15)</sup>にみられるのみである。熊井らは介在物集積を定量的に検討しているが、モデルの設定に際し、クレーター内の複雑な湯流れを単純化しすぎたきらいがある。ENDE らは介在物集積が連铸機の半径と介在物侵入深さで支配され、同一連铸機の場合、介在物侵入深さが深いほど、集積帯の終点が中心側へ移動してその範囲が広くなり、また、導入される介在物のうち、銚片に捕捉される割合が大きくなるとしている。

ここでは ENDE らと同様な見地から円弧型連铸機における介在物集積現象についての検討を試みる。連铸時の凝固過程を模式的に示すと Fig. 7 のようになる。図中、円弧の上面側凝固層先端と垂線 V との接点 B より引抜方向側の上面側凝固層において浮上途中の介在物が捕捉されやすく集積帯を形成するが、その集積程度は垂線 V より右側の領域に入り込む介在物量が多いほど大きく、これは介在物の侵入深さ、したがって铸込流の侵入が深い場合に該当する。

今、铸込流の侵入深さを任意の位置:  $\overline{X'XX'}$  とした場合、これと垂線 V および上面側凝固層前面で囲まれる領域:  $BXX'$ —これを“捕捉容易域”とよぶ—の面積は次式で求められる。

捕捉容易域面積 (mm<sup>2</sup>)

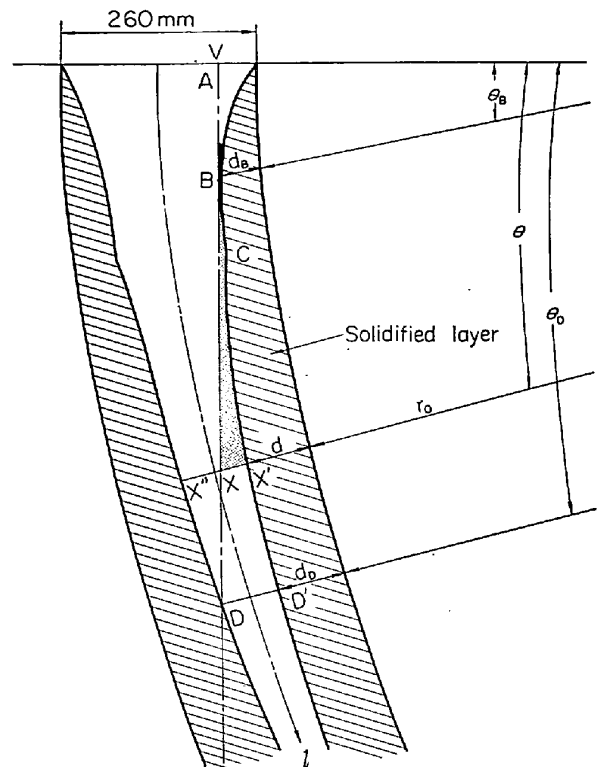


Fig. 7. A schematic profile of solidification process in continuously cast slab.

$$= \frac{1}{2} \left\{ (\overline{OA})^2 (\tan \theta - \tan \theta_B) - r_0^2 (\theta - \theta_B) \right\} - \int_{l_B}^l d \, dl, \quad \theta \leq \theta_D$$

$$\text{or } \left\{ 260(l - l_D) - 2 \int_{l_D}^l d \, dl \right\} + A_{BDD'}, \quad \theta \geq \theta_D$$

..... (1)

ここで

O = 円弧の中心点

$\theta, \theta_B, \theta_D$  = それぞれ点 X', 点 B, 点 D と円弧の中心点を結ぶ線が水平線となす角度 (radian)

$r_0$  = スラブ上面側表面の半径 (mm)

$d, d_B$  = それぞれ点 X', 点 B における凝固厚さ (mm)

$l, l_B, l_D$  = それぞれ点 X', 点 B, 点 D におけるスラブ長さ (mm)

260 = スラブ厚さ (mm)

$A_{BDD'}$  =  $BDD'$  で囲まれる面積 (mm<sup>2</sup>)

まず、介在物集積の始点にあたる点 B での  $d_B, l_B, \theta_B$  を求める。円弧の中心から上面側凝固層先端の任意の点 X' までの長さの水平成分を S とすれば

$$S = (r_0 + d) \cos \frac{V_d t}{r_c} \dots \dots \dots (2)$$

ここで



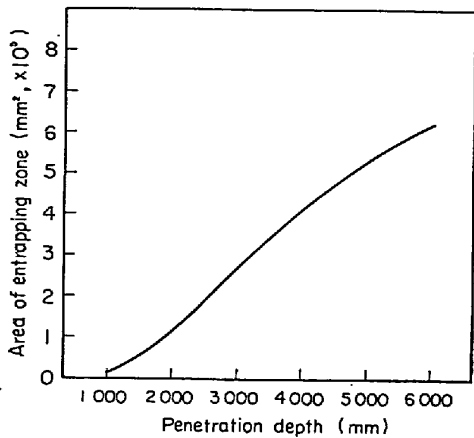


Fig. 8. Relation between area of entrapping zone and penetration depth of casting stream in crater.

$V_d$  = 引抜速度 (mm/min)

$r_c$  = スラブ軸心の半径 (mm)

$t$  = 時間 (min)

$S$  が最大となる点 B は湯面近くにあるので

$$\frac{V_d t}{r_c} \ll 1 \dots\dots\dots (3)$$

$$d = 21.6\sqrt{t} - 4.04^{12)} \text{ (mm, min}^{-1/2}\text{) (鑄型内)} \dots\dots\dots (4)$$

したがって, (2) 式を  $t$  で微分し,  $\sin \frac{V_d t}{r_c} = \frac{V_d t}{r_c}$

$\cos \frac{V_d t}{r_c} = 1, r_0 = r_c$  などの近似を行なうことにより,

(5) 式が求まる.

$$t = \left( 10.8 \cdot \frac{r_c}{V_d} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (5)$$

$r_c = 10\,000$  mm,  $V_d = 600$  mm/min を (5) 式に代入することにより,  $t = 0.5$  min となり, したがって,  $d_B = 11$  (mm),  $l_B = 300$  (mm),  $\theta_B = 3 \times 10^{-2}$  (radian) が得られる.

すなわち介在物集積の始点では, 凝固厚さは 11 mm であり, これは 3.2 に示した実測値とよく一致する.

つぎに凝固速度は (6) 式で示されるので<sup>12)</sup>, これ

を (1) 式に代入して計算した捕捉容易域面積を鑄込流侵入深さについて図示すると Fig. 8 となる. 捕捉容易域面積は侵入深さが約 2 500 mm までは, 深さとともにやや急激に増大し, 約 2 500 mm 以上では, ほぼ直線的に増大する.

$$\begin{aligned} d &= 21.6\sqrt{t} - 4.04 \text{ (mm, min}^{-1/2}\text{)} \quad l \leq 600 \\ d &= 31.4\sqrt{t} - 13.8 \text{ (mm, min}^{-1/2}\text{)} \quad l \leq 600 \end{aligned} \dots\dots\dots (6)$$

一方, スラブ上面側に集積した S-spot および抽出介在物をそれぞれ (7), (8) 式により計算し, その結果を凝固組織ならびに S-spot 分布から求めた鑄込流ないしは S-spot の侵入深さから得られる捕捉容易域面積と対比させると Table 3 のようになる.

$$\text{集積 S-spot 量} = \sum(\text{集積帯各位置の S-spot 数}) \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{集積抽出介在物量} = \sum(\text{集積帯各位置の抽出介在物量} - \text{表面層の抽出介在物量}) \dots\dots\dots (8)$$

両ノズルの集積介在物量の比 (ボトル型/逆 Y 型) は, S-spot が 0.40, 抽出介在物が 0.44 であり, ほぼ同値といえる. すなわちスラブ上面側の大型介在物集積量は, ボトル型ノズルの使用により逆 Y 型ノズルの約 40% に減少することがわかる.

一方, 凝固組織および S-spot 分布から求めた両ノズルの捕捉容易域面積の比 (ボトル型/逆 Y 型) は, それぞれ 0.45, 0.40 であり, これは両ノズルの集積介在物量比 0.40~0.44 にほぼ一致する. これらと Fig. 5 に示した集積帯の介在物粒径分布ならびに模型実験で観察されたクレーター内の湯流れ状況などから, スラブ上面側に介在物が集積する現象は次のように説明される.

ノズルからの鑄込流によつてクレーター内に導入された介在物は溶鋼流とともに運動し, 溶鋼流がクレーター内を下降する途中で分岐する流れおよび最下点に達した後には反転する流れが“捕捉容易域”の上面側凝固層前面を上昇する過程で浮上して凝固層に衝突捕捉される. この場合, 鑄込流の侵入が深いほど“捕捉容易域”が大き

Table 3. Total inclusion content in accumulated zone and area of entrapping zone of slabs.

Nozzle	Total inclusion content		Area of entrapping zone (mm <sup>2</sup> ) estimated by	
	S-spot (number)	Extracted inclusion (mg)	Cast structure	S-spot distribution
Ordinary type	582	409	$5.4 \times 10^5$	$4.4 \times 10^5$
Bottle type	230	178	$2.5 \times 10^5$	$1.8 \times 10^5$
(Bottle type / Ordinary type)	0.40	0.44	0.45	0.40

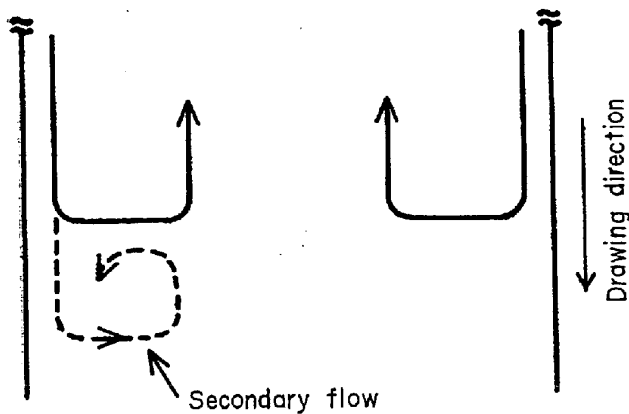
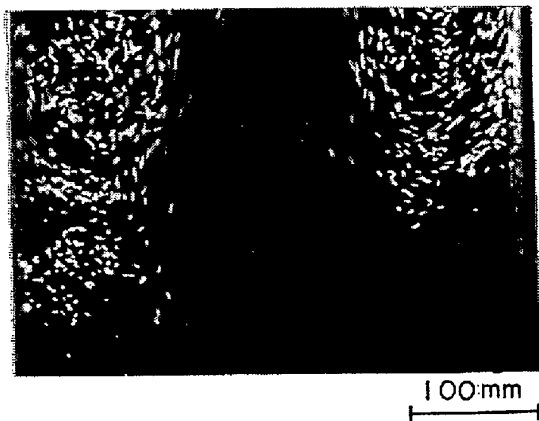


Photo. 4. Secondary flow formed under primary flow.

くなるので、この領域に侵入する介在物量が多くなり、したがって集積介在物量が多くなる。また介在物侵入深さが深くなるので、集積の終点がスラブ厚さ中心側へ移動する。

このように円弧型連鑄機の鑄片上面側での介在物集積はノズルからの鑄込流により形成されるクレーター内の湯流れにより主として支配されるといえる。

#### 4.3 スラブ幅方向の介在物の偏在について

3.2 において、いずれのノズルにおいても、スラブの幅中央部より短辺近傍の方が介在物が集積しやすいことを示した。

この現象とは若干異なるが、川上ら<sup>15)</sup>はスラブ幅方向にみられる大きくゆるやかな介在物の偏在は、水模型実験による湯流れの観察結果から、二孔ノズルの左右の流出速度の不均衡にもとづく非対称片下り流れが生じることによって原因すると述べている。

今回の模型実験では、片下り流れはとくにみられなかったが、Photo. 4 に示すようなクレーター上部の一次流の下部に、分離した二次流が不定期に形成される現象がみられた。この二次流は非常に緩慢な動きなので、実

際にクレーター内のこのような流れに取込まれた介在物は自身の浮上により上面側凝固層に捕捉されやすいであろう。これに加えて、短辺に沿う下降流において途中で分岐する流れが、短辺近くの上面側凝固層に沿って上昇することも、短辺寄りで介在物が多いことの一因になっていると考えられる。

## 5. 結 言

円弧型連鑄機製厚板向 40 キロ級 260×1700 mm スラブの上面側大型介在物集積に対し、鑄込流のクレーター内侵入深さが異なる逆 Y 型 および ボトル型の二種類の浸漬ノズルを使用してその影響を調査し、水模型実験の観察結果より類推されるクレーター内の湯流れと関連させて検討した。結果は次のように要約される。

(1) 逆 Y 型 および ボトル型ノズルの鑄込侵入深さは、鑄片の凝固組織における柱状晶デンドライトの成長方向の変化から、おのおの 5.4 m および 2.9 m と推定された。

(2) サルファー・スポットおよびスライム抽出介在物など 50~100 $\mu$  以上の大型介在物の厚み方向分布は、逆 Y 型ノズルでは上面側表面から約 10~70 mm に集積し、最大位置は約 45 mm であるのに対し、ボトル型ノズルでは約 10~50 mm に集積し、最大位置は約 35 mm であり、逆 Y 型に比して、集積帯の終点が 20 mm、最大位置が 10 mm それぞれ表面側へ移動する。

(3) 集積帯の大型介在物量は、ボトル型ノズルでは逆 Y 型の約 1/2~1/3 に減少する。

(4) スライム抽出介在物の粒径は、いずれのノズルの場合も最大 400~500 $\mu$  であり、逆 Y 型では 300 $\mu$  以上は表面から約 30 mm、300 $\mu$  未満は粒径によらず表面から約 50 mm、またボトル型では粒径によらず、すべて表面から約 30 mm の位置においてそれぞれ最大値を示す。

(5) 両ノズルの集積帯全介在物量比と鑄込流侵入深さで決まる“捕捉容易域”の面積比がほぼ一致することから、鑄込流侵入深さが深くなり、“捕捉容易域”が増大すると、この領域内の介在物量が多くなり、したがって集積する介在物量が多くなると考えられる。

(6) 大型介在物はスラブ幅方向では中央部に比して、短辺部の方が、逆 Y 型ノズルでは約 20~25%、ボトル型ノズルでは約 60~80% 多い。しかしボトル型ノズルのその量は、逆 Y 型の約 1/2 である。

(7) 短辺部に介在物が多いのは、短辺近傍において、動きの緩慢な二次流が形成されることが主原因と考えられる。

最後に、介在物のスライム抽出に際し、協力いただいた分析研究室の吉田良雄主任研究員をはじめ関係の方々に厚く感謝いたします。

#### 文 献

- 1) F. W. IRWIN and R. J. MILBOURNE: J. Metal, (1970), p. 30
- 2) 広本, 松永, 大橋, 大野: 鉄と鋼, 57 (1971), S 453
- 3) 松永, 波木, 荒木: 同上, 58 (1972), p. 72
- 4) 熊井他: 同上, 59 (1973), S 93
- 5) 広本他: 同上, 58 (1972), S 75
- 6) 川崎製鉄・技研・水島: 第 55 回製鋼部会資料 (昭和 48 年 7 月)
- 7) 垣生, 北岡: 鉄と鋼, 59 (1973), S 88
- 8) M. C. FLEMINGS et al.: Trans, Amer, Found, Soc., 64 (1956), p. 636
- 9) 阿部, 戸叶: 日本金属学会誌, 33 (1969), p. 970
- 10) 岡本, 岸武, 別所: 学振資料, 19 委 9369 (1972)
- 11) 梅田, 安元: 同上, 19 委 9569 (1973)
- 12) 中戸, 松野, 大井: 鉄と鋼, 投稿中
- 13) 川上, 楯, 半明, 石黒: 学振資料, 19 委 9475 (1972)
- 14) 熊井他: 鉄と鋼, 59 (1973), S 381
- 15) H. V. ENDE and G. Vogt: JISI, 210 (1972), 889
- 16) 川上, 石黒, 菅原, 三好: 鉄と鋼, 59 (1973), S 387