

## 論 文

UDC 621.746.27.047 : 620.192.45 : 669.141.241-147

## 湾曲型スラブ用連鑄機における内部介在物について\*

植田 嗣治\*\*・丸川 雄浄\*\*・豊田 守\*\*

## On the Inner Inclusions in the Slabs Produced by Continuous-Casting Machine of Bending Type

Tsuguharu UEDA, Katsukiyo MARUKAWA, and Mamoru TOYODA

## Synopsis:

An investigation has been made of the quality of continuous-casting slabs and especially of the inner large inclusions for one year since No 1 continuous-casting machine at Kashima Steel Works started.

The results obtained are summarized as follows:

- (1) Number of inclusions in molten metal at tundish increases as the heat proceeds in sequent-casting. For example its ratio at three-heats-casting 1 : 3 : 10. It is presumed that the principal origin of this increase of ratio is slags in tundish poured out from ladle.
- (2) Generally, the inner inclusions of slabs are considered to originate from the following three: The first is the oxides which are produced when the metal is oxidized by the air in tundish and/or between ladle and tundish. The second is the ladle slag pouered out to tundish and the lining of tundish. The third is the powder added to the mold. Therefore the inner inclusions in continuous-casting slabs are compounded with those three origins.
- (3) The number of the inner inclusions of slabs decreases as the angle of immersed nozzle becomes smaller.

It seems, however, that the location of the inner inclusions in the slab is almost the same independent of the angle of immersed nozzle.

(Received Nov. 27, 1973)

## 1. 緒 言

湾曲型連鑄機における非金属介在物の問題として、天側 1/4~1/6 位に集積する酸化物系の大型介在物がある。これは、厚板などの成品において引つ張り試片の破面ワレとして観察され、シャー断面あるいはガスカット断面の二枚ワレとして問題になる。

この内部大型介在物の起源について、若干の研究<sup>1)~3)</sup>があるが、その結論にそつた対策だけでは上記成品での問題が解決したというところまでに至らず、さらに詳細に介在物起源を明らかにすることが必要であり、こういった種々の調査を踏まえた上での連続鑄造技術の進歩が必要である。すなわち、浸漬ノズル+パウダー鑄込の導入、浸漬ノズルの材質改良、タンディッシュのシールによる空気酸化防止といった従来の研究よりの成果はすでに実施済みの上になつての調査研究が必要である。

この研究は、このような観点からの種々の調査を総合

したものである。

## 2. 供試材および調査方法

50キロ鋼 (中炭高 Mn, Si-Alキルド鋼=DH 実施機), 40キロ鋼 (中炭中 Mn, Si-Alキルド鋼=非 DH 機), の2鋼種について、①取鍋内およびタンディッシュについては、ポンプ法で、②鑄型内はシリカチューブ吸上法 (スライム法サンプルはポンプ法によつた。) により溶鋼サンプルを採取した後、ポンプサンプルについては鍛伸後、ピンサンプルについてはそのままからおのおのブロックあるいは切粉を採取しサンド分析 (酸溶解法、一部ブロム-メタノール法) に供した。

一方、スラブサンプルは鑄造後、幅×厚×150m/mの大きさで切り出し横断面を切削仕上後供試材とした。

\* 昭和48年11月27日受付

\*\* 住友金属工業(株)鹿島製鉄所

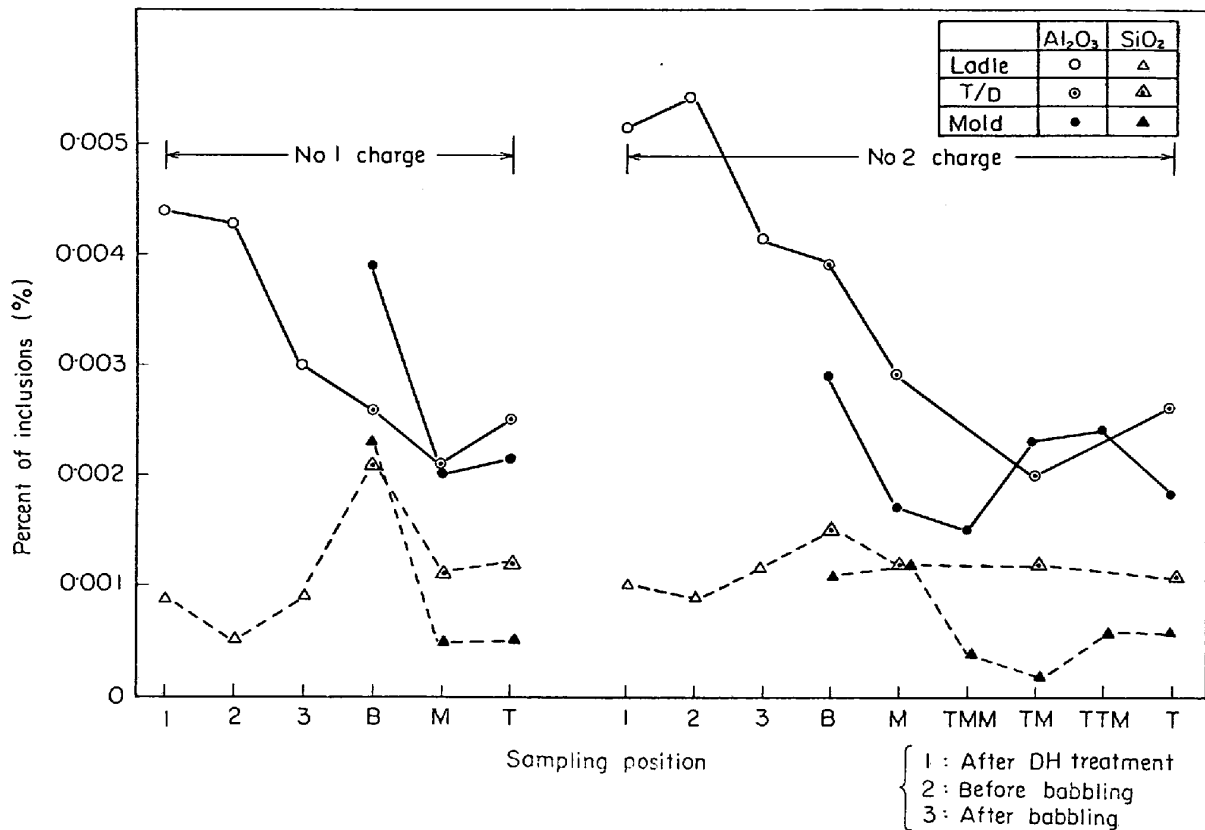


Fig. 1. On the behavior of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>2</sub>O during DH treatment to mold.

### 3. 調査結果

#### 3.1 溶鋼段階における酸化物系介在物の挙動

##### 3.1.1 50 キロ鋼での調査結果

50 キロ鋼 (中炭中 Mn, Si-Alキルド鋼) の HD 処理後から鑄込終りまでの Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> および SiO<sub>2</sub> の挙動の一例を Fig. 1 に示す。

まず Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> についてみると DH 処理後で 0.0040%~0.0050% 程度であり以後工程の進行とともに減少し鑄込中期で最低 (鑄型内で 0.0015~0.0020%) となり末期で若干ながら再び増加する。

また低下量の最も大きい時期は Ar ガスバブリング中で 0.0015%~0.0020% 程度減少している。これは本チャージの DH での Al 添加後の処理回数が若干少なかつたためである。(Al 添加後10回以上の処理回数必要<sup>4)</sup>)

一方、タンディッシュから鑄型へかけても若干の減少が認められる。

つぎに SiO<sub>2</sub> であるが DH 処理後からバブリング前後にかけては 0.0010% 以下の低い値で推移しタンディッシュ内で若干増加し、鑄型内では再び減少する。このようにタンディッシュ内で増加する原因としてはシールが不十分となる鑄込初期でとくに顕著なことからみて、

注入流あるいはタンディッシュ内湯面での空気酸化が主因と思われる。

##### 3.1.2 40 キロ鋼での調査結果

##### (1) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MnO の挙動

40 キロ鋼 (中炭中 Mn, Si-Alキルド) の同一タンディッシュでの連鑄におけるバブリング後から鑄込終りまでの介在物の挙動の一例を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。

まず Fig. 2 に示すバブリング後からタンディッシュまでの挙動であるが後チャージになるほど Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MnO, とともに明らかに増加しておりその増加割合は 1:3:10 と非常に大きい。また介在物の組成としては SiO<sub>2</sub> が最も多く、ついで Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO の順となっており組成比としてはほぼ一定の割合で推移するという傾向が認められる。

一方、Fig. 3 の鑄型内での挙動はタンディッシュ内の挙動とは一致せず後チャージでの増加傾向も認められない。また絶対量も 1/2~1/10 に減少し介在物組成は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が最も多くついで SiO<sub>2</sub> が多く MnO は 0.001% 以下 (プロットはしていない) となっている。

##### (2) 溶鋼内介在物の EPMA による調査結果

タンディッシュ内および鑄型内でポンプ法により採取

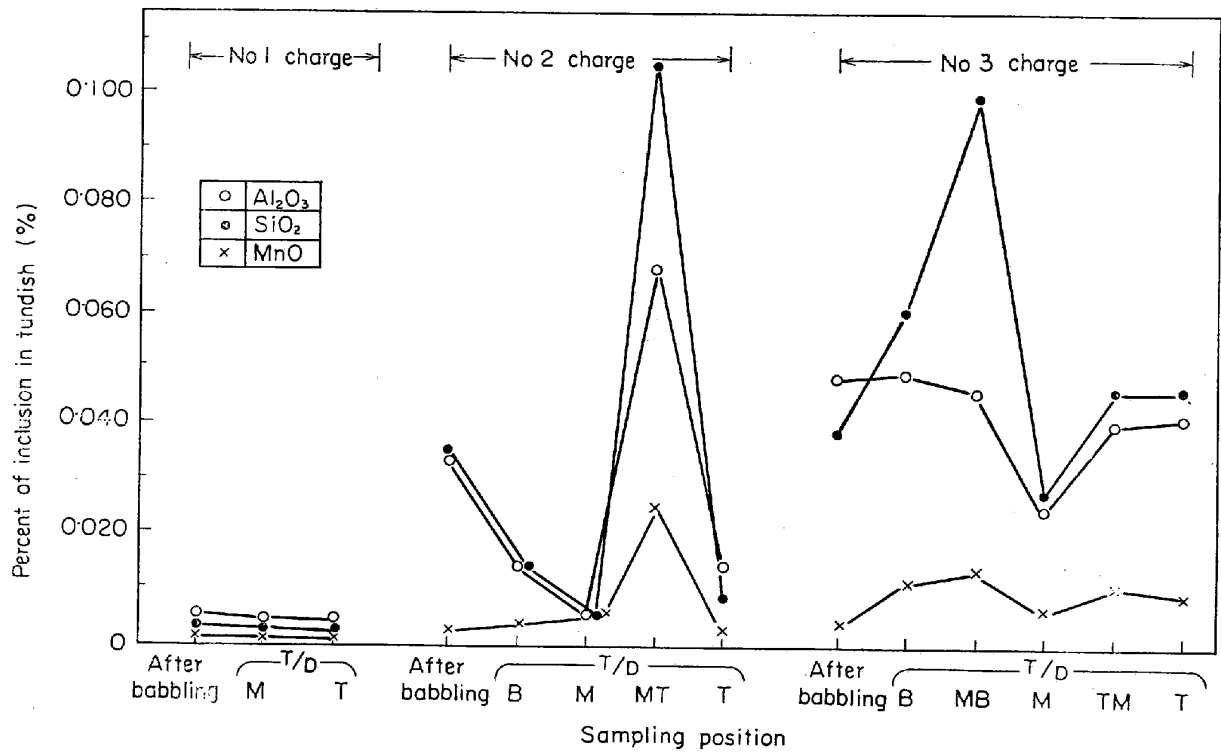


Fig. 2. On the behavior of inclusions at the sequent casting of three charges.

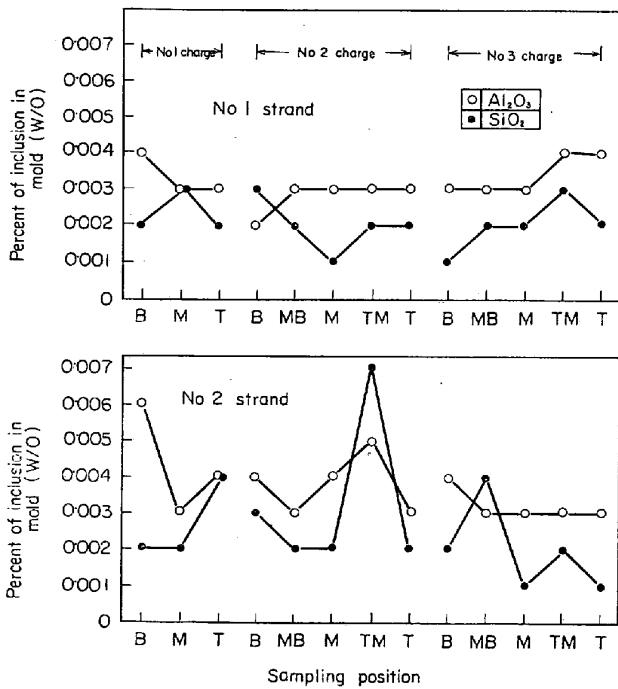
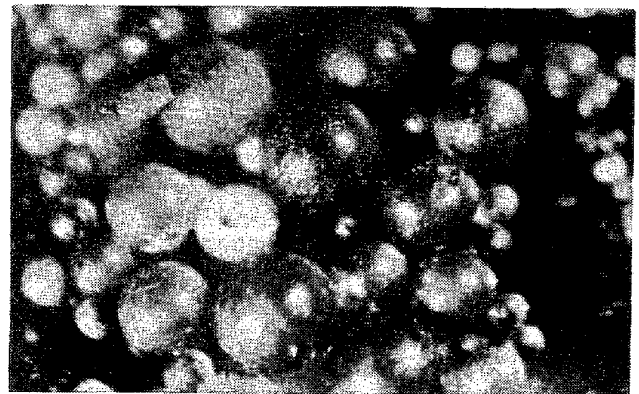
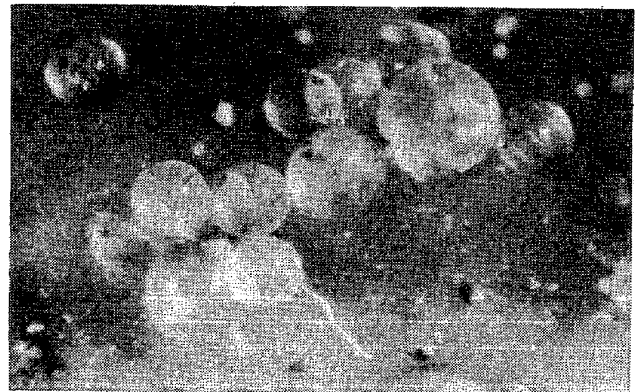


Fig. 3. On the behavior of inclusion in mold.

したメタルサンプルからスライム法により抽出した介在物の一例を Photo. 1 に、これらのうち代表的なものについて、EPMA により分析した結果を Photo. 2 および Table 1 に示す。この Table 1 は保温の目的でタンデッシュ内にパウダーを 200 kg 添加したチャージの結



The upper side is inclusions in TD metal (×25)  
The lower side is inclusions in mold metal (×25)

Photo. 1. Microscopic appearances of inclusions extracted by slime method.

Table 1. Results of qualitative analysis of inclusion in molten metal by EPMA.

Sampling position	Addition of powder into TD	Analysis by EPMA
In TD (tundish)	×	Ca-Si-Al-(Mn)-((Mg))-O
	○	Ca-Si-Al-Na-(Mn)-(Mg)-O
In mold	○	Ca-Si-Al-Na-(Mn)-(Mg)-O

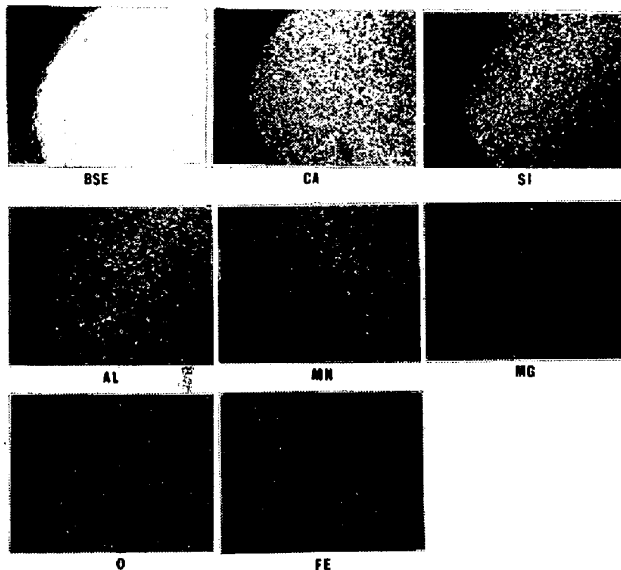


Photo. 2. Electron scanning images and optical micrograph of large inclusion.

果である。

まず抽出介在物であるが Photo. 1 からわかるようにタンディッシュ内ではほとんどが無色透明の単純な介在物でこれが、鑄型内になると一部乳白色のものが認められるようになり、さらにスラブになると透明なものは認められなくなり、すべて不透明なものになっている。

これら介在物のうちタンディッシュ内ものは Photo. 2 に一例を示すように大型介在物の場合、Ca-Si-Al-Mn-Mg-O という組成のものが多く一部 Zr が認められるものがあり、これらは後述するようにタンディッシュスラグの注入流によるたたき込みが主因と考えられる。このことは Table 1 の結果、すなわちタンディッシュ内へパウダーを添加する前は介在物中には Na が認められなかったのに対し添加後のものには、Na が認められることから明らかである。

### (3) 成品での介在物の EPMA による調査結果

40 キロ鋼の 3 連鑄において後チャージになるほど、大型介在物が多発し、厚板成品での引張試験片に破面異状が認められたものについて、ミクロ試料を切り出し

Table 2. Results of qualitative analysis of inclusions in slabs of 40k class steel by EPMA.

Sequent casting No.	Charge No.	Position	Composition of inclusion
1	No 1	M	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		B	Al-Ca-(Zr)-Si-O-CaS
	No 3	M	Al-Ca-(Zr)-(Mg)-O-CaS
		B	Al-Ca-(Zr)-(Si)-(Mg)-O + MgS + Al-(Ca)-O
		〃	Al-Ca-Si-((S))-O + (Al-Mg-O) + ZrO <sub>2</sub>
		M	Al-Ca-(Zr)-Si-(S)-O + Al-Mg-Ca-O
〃	Al-Ca-(Zr)-Si-(Mg)-O + Al-Mg-O		
〃	Al-Ca-(Zr)-(Si)-(Mg)-O + Al-Mg-O + ZrO <sub>2</sub>		

EPMA により分析した結果を Table 2 に示す。

この結果から 1 チャージ目の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を除くといずれも前項での結果と同じく Al-Ca-Si-Mg-Zr-O となっており、脱酸生成物単味によるものではなく、Ca, Zr, Mg のように明らかに外来のものが組成比としてもかなり多く含有されており、前項の結果とよく一致している。ただ溶鋼内のものに比較して組成的には Al が増加し Mn が非常に少なく、Si も少なくなっているのが特徴である。

### (4) タンディッシュスラグおよびパウダー成分の挙動

前項 (3), (4) から介在物の組成がスラグあるいはパウダーの成分に近いことからタンディッシュスラグおよび、パウダーの成分推移について調査した。この結果を Fig. 4 に示す。

まずタンディッシュスラグ成分の挙動をみるとわかるように、1 チャージ目と 2 チャージ目以降で成分組成割合が大きく変わっていることである。すなわち 1 チャージ目のスラグは脱酸生成物の浮上分離したものが主体と考えられ、SiO<sub>2</sub> が最も高く約 30% ついで MnO 15~20%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10% となっており以下 T. Fe, CaO, MgO が若干認められるのに対し、2 チャージ目以降ではこの割合がまったく変わり SiO<sub>2</sub>, CaO がともに約 30% ついで Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が 10%, MnO 7% となり以下 T. Fe, MgO が若干認められ以後は鑄込完了までほぼ変化なく推移している。

この 2 チャージ目での大幅な変化は継ぎ目での、先チャージの取鍋スラグの流入によるものであり、その流

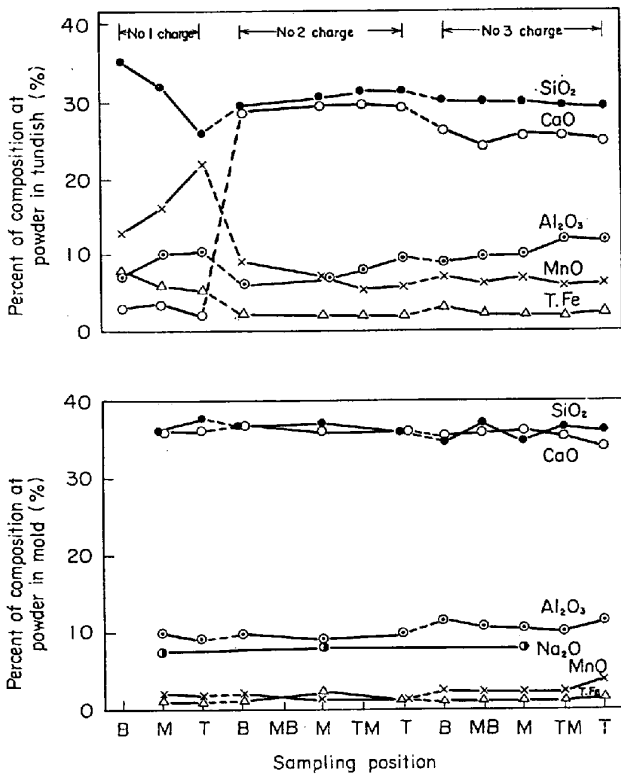


Fig. 4. On the behavior of the composition in slag and powder.

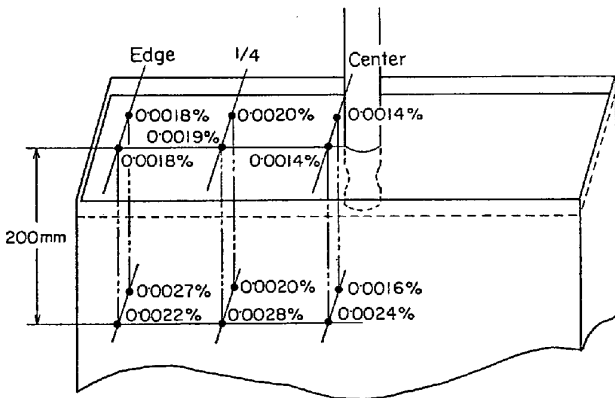


Fig. 5. The distribution of  $Al_2O_3$  in mold.

入量はそのときの状況によつて相違するが、本鑄込では1チャージ目は部分的に浮遊 (0~5 mm)、2チャージ目約 100 mm、3チャージ目約 180 mm であつた。

一方、鑄型内で採取した溶融パウダーの成分推移をみると、全鑄込みをとおしてほぼ一定値で推移し  $CaO$ 、 $SiO_2$  がともに 37% 前後、 $Al_2O_3$  が 10%、 $Na_2O$  が 7% であり、そのほかに T. Fe、 $MnO$  が若干認められ、組成的にはタンディッシュスラッグによく似た成分であり、相違点としては Na の有無のみである。したがつて、スラブの天側に集積する酸化物系介在物の起源としての判断は一般には非常につけにくい、この Na の有無が

Table 3. Results on inner macro inclusions in slabs of 40k class steel.

Sequent casting No	Charge No	Index number of macro inclusion
1	No 1	0.3
	No 2	2.8
	No 3	5.8
2	No 1	0.1
	No 2	10.2
	No 3	14.8
	No 4	19.6
3	No 1	0.2
	No 2	0.3
	No 3	1.3
	No 4	1.7

一つの目安となると思われる。

(5) 鑄型内における介在物の分布

鑄型内における介在物の分布状況はノズル形状、引抜速度あるいはノズル穴の変形具合などによつて変化すると思われるが、一例として Fig. 5 に鑄型内の溶鋼表面より 6 箇所、200mm 内部で 6 箇所、計 12 箇所より石英管にてサンプルを採取し  $Al_2O_3$  の分布を調査した結果の一例を Fig. 5 に示す。

これからわかるように、かなり偏析が認められ溶鋼表面近くより内部の方が一般に高く、さらに内部でも中心が高い傾向がある。この傾向は調べたチャージのすべてに認められた傾向である。

3.2 成品における介在物について

3.2.1 多連鑄におけるマクロ介在物

同一タンディッシュでの 3~4 連続鑄造を行なつた場合の大型 (目視可能) 介在物の発生状況をスラブの横断面を硝酸エッチ後調査した。この一例を Table 3 に示す。

これからわかるように大型介在物は、後チャージになるほど増加する傾向が明りようであり、さらに鑄込みチャンス別の差が非常に大きいという特徴がある。すなわち、各鑄込ともに 1チャージ目は介在物が少ないのに対して、2チャージ目以降では程度の差はあるが大きく増加しており、この増加および増加のバラツキの原因は 3.1.2 (1)項および(4)項に示されている。

3.2.2 同一チャージ内での増減

一般に鑄込の初期および末期は、シールが不完全になることから空気酸化による溶鋼内の介在物の増加が認められるが (3.1.1 参照)、この増加が成品の介在物量にどの程度影響するかについて調査した一例を Table 4 に

Table 4. Results of microscopic observation of inclusions in slabs of 50k class steel. (Numerical value is index number of inclusions)

Sequent Casting No	Charge No	Position	Spherical inclusion*		Cluster of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> **	
			Center	Quarter	Center	Quarter
4	No 1	M	0	0.4	0.7	0.9
	No 2	B	0.1	0.4	3.2	2.8
		M	0.2	0.2	2.0	1.6
		T	0	0.5	2.2	2.2

\* <30 $\mu$ , \*\* <50 $\mu$

示す。

スラブの幅方向 1/4 および中心よりマイクロ試料を切り出して検鏡した結果であるがやはり空気酸化の影響が明りようで、鑄込初期分子で最も多く、中期分子で低く安定し、末期分子で再び増加している。

### 3.2.3 マクロ介在物に及ぼすノズル形状の影響

天側に集積する介在物は後述するように肌下 30 mm 40 mm 位置に最も多い。(逆 Y 35° のノズル使用の場合) この位置は、凝固速度、引抜速度から考えると、メニスカスからの深さはかなり大きいことになる。すなわち、介在物が注入流によつてかなり深い位置まで運ばれていることを意味している。したがつて、この注入流の流れ込み深さ、あるいは流速を最小にしてやるようなノズルを用いてやることにより、捕捉される介在物は減少するはずである。このことから、実際に下向のノズル角度を、小さくした特殊ノズルを作成してテストした結果を Table 5 に示す。

やはり下降流を小さくするようにした特殊ノズルの方が介在物は約 20% 程度減少した。

ただし期待したほど大きい効果はないようであり、介在物の捕捉されている位置も後述するようにノズル形状による差は認められなかつた。

### 3.2.4 スラブにおける介在物の分布について

#### (1) 幅方向の分布について

スラブ横断面で調査した天側での大型介在物の幅方向の分布の一例を逆 Y ノズルについては Fig. 6 に、特殊ノズル (3.2.2 にて使用したノズル) のそれを Fig. 7 に示す。

一般に逆 Y ノズル (通常 35°) を使用した場合 1/4 幅付近に多く、捕捉される傾向が認められるが、特殊ノズルでは必ずしもはつきりした傾向はない。また特徴的な現象として介在物の分布はほとんど例外なく左右非対象

Table 5. Results on the macro inclusions in slabs of 40k class steel (at the test of using special nozzle).

Sequent casting No	Charge No	Index number of macro inclusion
5	No 1	0.8
	No 2	1.2
	No 3	1.1
6	No 1	0.4
	No 2	0.6
	No 3	0

となつていることである。

#### (2) 厚み方向の分布について

厚み方向の介在物分布について、天側肌下 70 mm 深さまでを 10 mm ピッチで調査した結果を Fig. 8 (逆 Y 35° ノズル), Fig. 9 (特殊ノズル) に示す。

Fig. 8 の結果を見ると、大型介在物の最も多く捕捉されている位置は表皮下 20 mm ~ 50 mm の間にあり、しかも左右で分布および個数に差が認められる。すなわち白丸で示すチャージは、左半分では 30 mm ~ 50 mm 位置に多数認められるのに対して、右半分では 20 mm ~ 30 mm 位置にピークがあり、しかも個数も少ない。

一方特殊ノズル使用チャージの結果も、捕捉されている位置は逆 Y 35° ノズルとほとんど差はなく肌下 20 mm ~ 50 mm の位置であることがわかる。

#### (3) ミクロ検鏡による調査結果

スラブの幅方向 1/4 位置でマイクロ試料を切り出し肌下 60 mm までの介在物を検鏡調査した。結果を Table 6 に示す。肌下 30 ~ 40 mm に最も多くマイクロ介在物についても、分布状況は大型介在物と同じで変わった傾向は認められない。

一方 30  $\mu$  以上の介在物について大きさ、個数を 8 チャージについて測定した結果を Fig. 10 に示す。

まず肌下各位置での介在物の粒度分布をみると深さ 10 mm から 40 mm までの間にある介在物は、ほぼ同じ大きさで 100  $\mu$  程度であり、それより浅くても深くても段々小さくなつている。一方全介在物数を 100 とした場合の粒度構成を見ると、30  $\mu$  ~ 50  $\mu$  が約 45%、51  $\mu$  ~ 100  $\mu$  のものが約 35% と 100  $\mu$  以下でほぼ 80% を占めておりいわゆる問題となるような大型介在物の占める割合というのは、それほど大きくはないということがわかる。

## 4. 考 察

以上種々調査した結果をもとに以下に若干の考察を加えてみる。

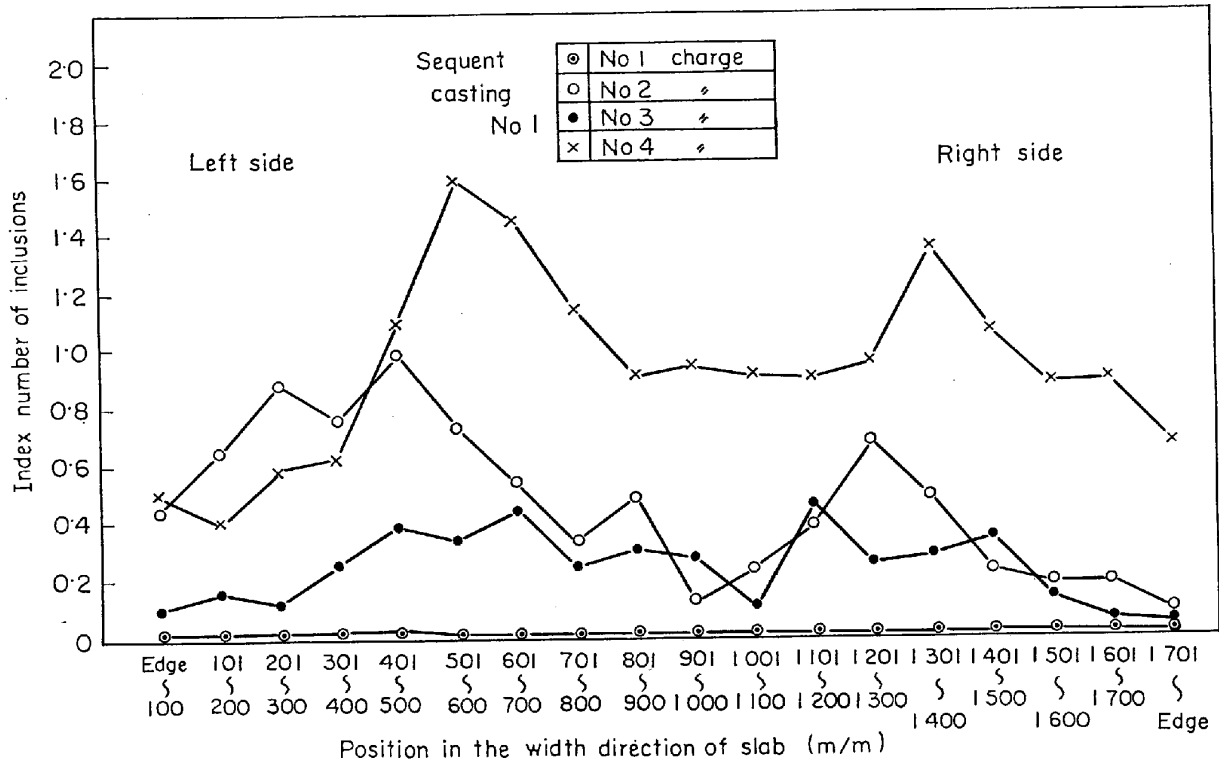


Fig. 6. The distribution of inside macro inclusions at the width direction of slab (on the sequent casting of 4 charges).

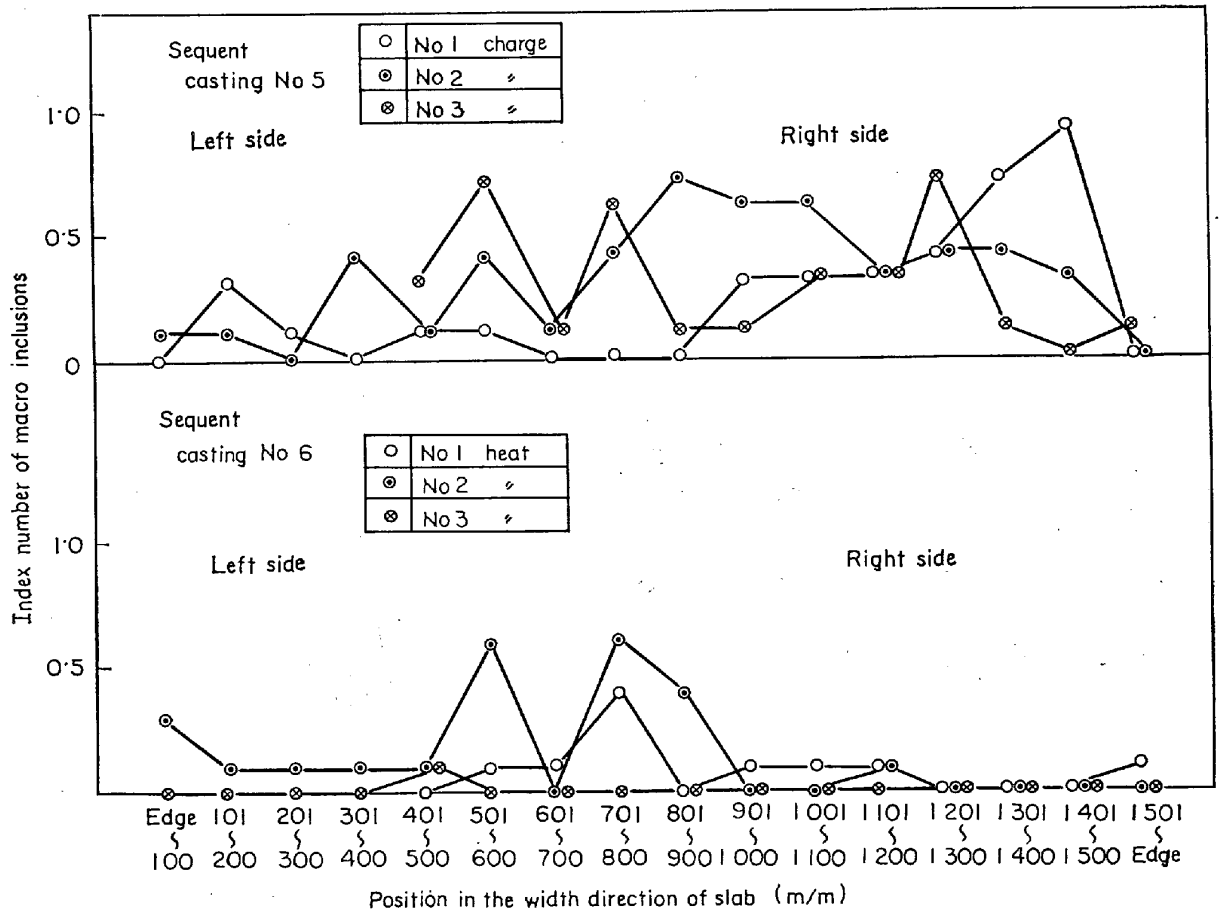


Fig. 7. The distribution of inside macro inclusions at the width direction of slab (in the case of special nozzle).

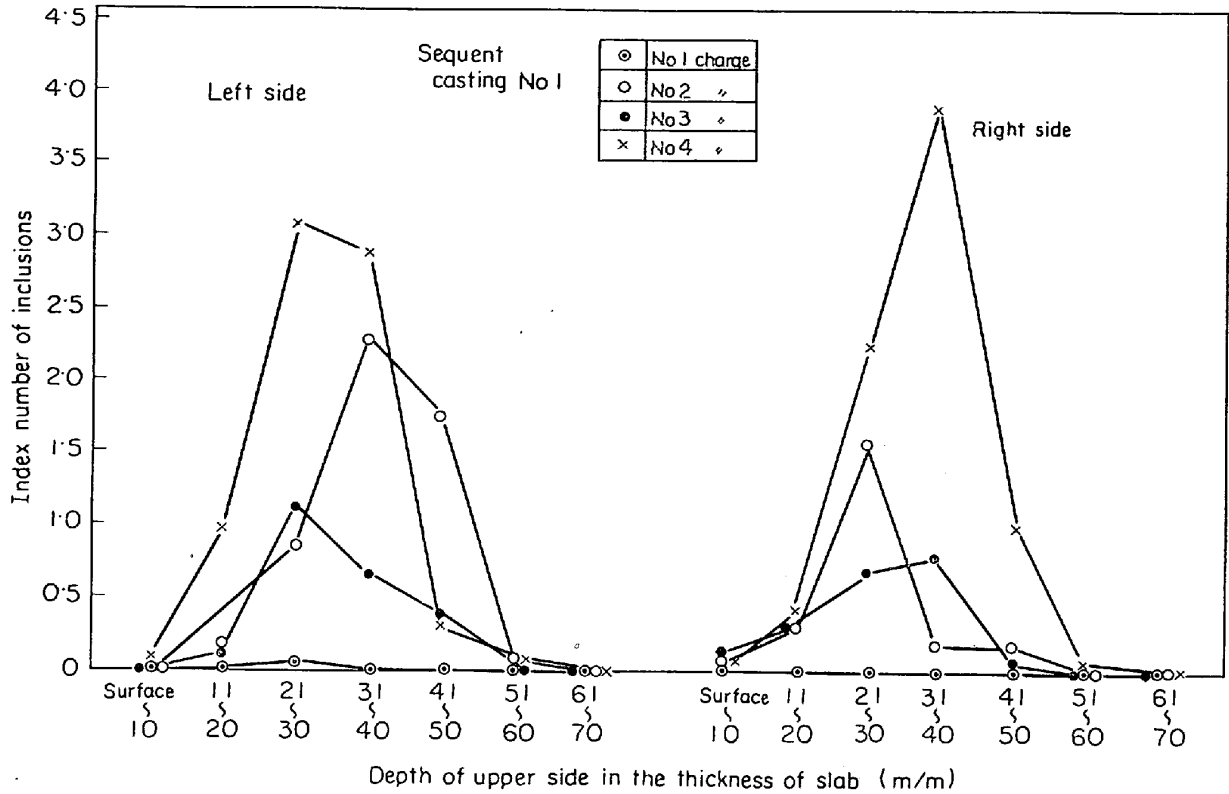


Fig. 8. The distribution of inside macro inclusions at the thickness direction of slab (On the sequent casting of 4 charges).

4.1 大型介在物の起源について

まず Fig. 2 に示すタンディッシュ内介在物の起源についてであるが、これで見ると2チャージ目以降 $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $MnO$  ともにほぼ同一割合で増加していること、また  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  がほぼ同一比で推移していること(タンディッシュスラグ中の  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  比もほぼ一定比で推移)、またタンディッシュスラグが後チャージになるほど増加すること。したがって取鍋からタンディッシュへの注入流によつてたたき込まれやすくなるであろうことなどから推定してタンディッシュ内での介在物の増加は注入流によるタンディッシュスラグのたたき込みが

Table 6. Results of microscopic examination of inclusions in slabs of 50k class steel.

Sequent casting No	Charge No	Position	Index number of macro inclusions					
			Surface ~10	11 ~20	21 ~30	31 ~40	41 ~50	51 ~60
4	No 1	M	0.1	0.3	0.4	0.4	0.1	0
		B	0	0	0.4	0.8	0.0	1.0
	No 2	M	0	0	0.8	1.1	0	0
		T	0.2	0.7	0.3	0.5	0.1	0.8
Total			0.3	1.0	1.9	2.8	1.2	1.8

主因と考えられる。

このことは Table 1 に示す結果でもタンディッシュ内の介在物組成が  $Ca-Si-Al-Mn-O$  でタンディッシュスラグの組成と同じであること、およびタンディッシュへのパウダー添加により介在物中に  $Na$  が混入することからも明らかであろう。

また Fig. 3 に示す鑄型内介在物の挙動が Fig. 2 の結果と必ずしも一致しない点については Fig. 5 で示したように鑄型内での介在物の偏析も一因と考えられる。

一方成品での介在物も Table 3 にみられるように後チャージになるほど増加する傾向がありタンディッシュ内での介在物の挙動とはよく一致している。

また Table 2 に示す厚板成品での介在物については、この組成が  $Al-Ca-Si-Mg-Zr-O$  であり、これはタンディッシュスラグか、あるいはパウダーの組成に取鍋レンガあるいはタンディッシュコーティング材としての  $Zr$ ,  $Mg$  が加わつたものである。したがつてこの介在物の起源についてはどちらが主体か断定はできないが、 $Na$  が認められないことからタンディッシュスラグに起因するものであると推定される。

以上の結果を総合して内部介在物の要因系統図をつくると、Fig. 11 のようになり、空気酸化、タンディッシュ



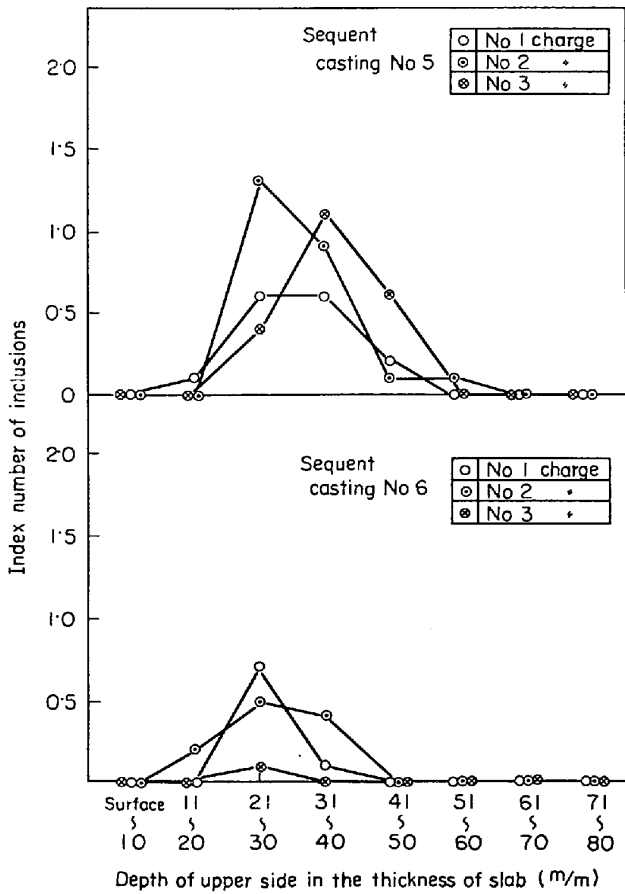


Fig. 9. The distribution of inside macro inclusions (in the case of special nozzle).

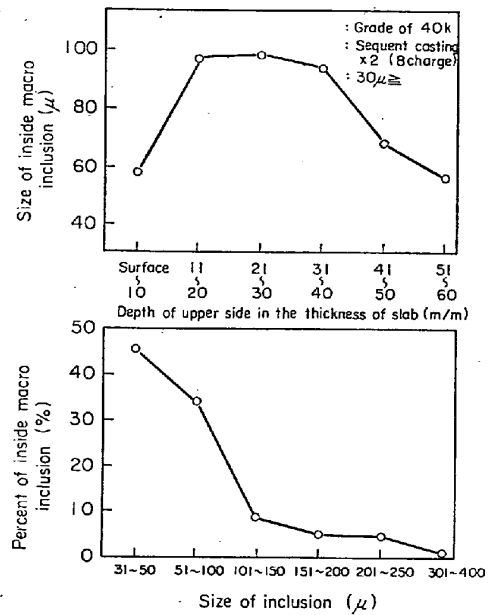


Fig. 10. Size and number of inclusions in the upper side of slab.

スラグおよび耐火物、パウダーの三大要因に集約される。

4.2 介在物の捕捉位置について

大型介在物の捕捉位置は、スラブ厚さに関係なく肌下 20 mm~50 mm (中心 30 mm) の位置である。

これは Fig. 8, 9 に示すように、ノズル形状にも関係がないようである。ただし、捕捉される量については、

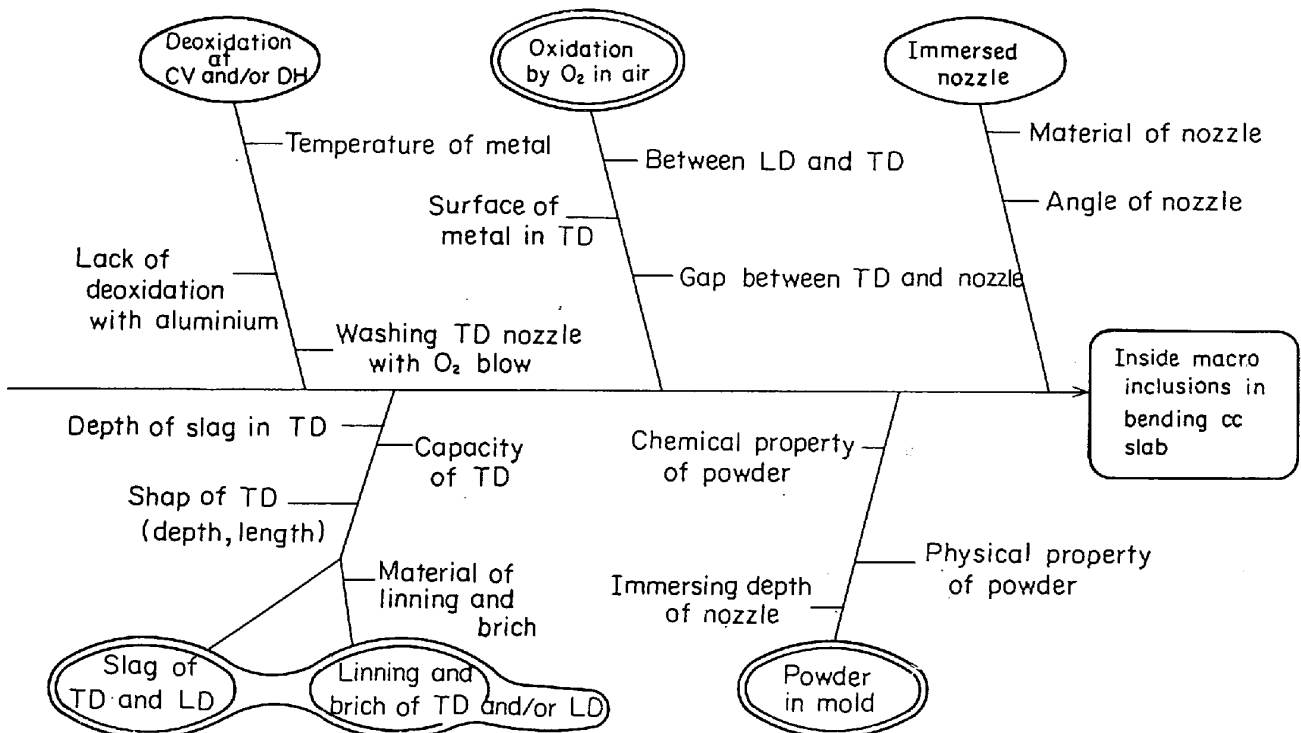


Fig. 11. System program of factor for the formation of inside macro inclusions.

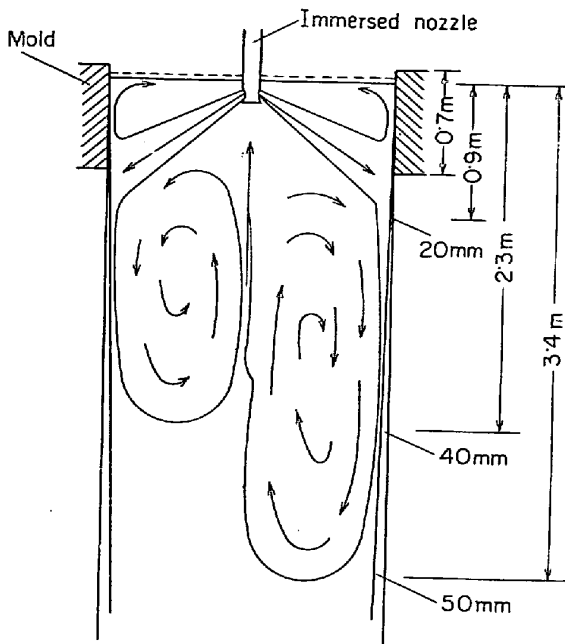


Fig. 12. The scheme of the molten metal flow in mold and calculated result of mixing region.

下降流の量、流速ともに最小となるように設計したノズルの方が少なくなる。この点については、川鉄<sup>5)</sup>もまったく同じ報告をしている。

このように、介在物の捕捉深さが変わらないということは、吐出流の混合到達深さが、ノズル形状によつて左右されないことを意味している。

したがつて、特殊ノズルの場合、混合到達域に差はないけれども、鑄型上部で介在物の浮上に有利な湯流れを形成し、介在物を内部へ持ち込みにくいことが推定される。

上記結果をもとに鑄型内の混合攪拌域を計算してみると、次のようになる。

ただし、引抜速度および、凝固係数は次のとおりとする。

鑄型内 :  $k=17 \text{ mm/mm}^{1/2}$

クーリングプレート :  $k=26 \text{ mm/mm}^{1/2}$

引抜速度 :  $0.8 \text{ m/min}$

これらの条件から  $D=k\sqrt{t}$  を用いて計算すると 20 mm の凝固位置は、メニスカスから約 0.9m となり、50 mm のそれは約 3.4m となる。また最も多量に捕捉されている位置は 1 m ~ 2 m の深さである。

#### 4.3 介在物の非対称性について

介在物の捕捉位置、量の非対称性については、次のよ

うに考えられる。すなわち Fig. 12 に模式図として示したように、湯流れの非対称性と関係があるものと推定される。このような湯流れの非対称性は模型実験でも確かめられており、実機との対応づけの証拠としておもしろい結果である。

なお図中に前項での捕捉位置の計算結果と左右の捕捉位置深さ(凝固厚さ)の差が 10 mm とした場合の計算結果を示した。

## 5. 結 言

鹿島製鉄所 No 1 CCM が稼動してから約 1 年になるが、この間、CC 材の品質に関する種々の試験を行なつてきた。この中から内部介在物に関する判明事項(厚板材を主体に)をとりまとめ要約すると以下のごとくになった。

(1) タンディッシュ内における介在物は後チャージになるほど増加し、その増加比は 1:3:10 となつており非常に大きい。

(2) この介在物の起源および増加の原因としては、チャージ終了時に取鍋スラグがタンディッシュ内へ流出し、これが注入流(取鍋タンディッシュへ)によつてたたく込まれて懸濁するものと推定される。

(3) 成品における介在物も後チャージになるほど増加する傾向があり、同一チャージ内では鑄込初期で多く中期安定し、末期再び増加する。

(4) 介在物の起源を種々の調査から総合すると、①タンディッシュでの空気酸化生成物、②取鍋スラグ、耐火物、③パウダーが三大起源と考えられる。

(5) スラブ天側での介在物は表皮下 20 mm ~ 50 mm (ピークの平均は 30 mm) の間に、捕捉されており、この結果より介在物の捕捉深さを計算すると、メニスカスから 0.9m ~ 3.4m の位置である。またこれはノズル形状には無関係である。

(6) スラブでの介在物分布は厚み方向、幅方向共に左右非対称であり、これは鑄型内における湯流れが幅方向で非対称であることを示しており、水模型での観察と一致している。

## 文 献

- 1) 森, 田中, ほか: 鉄と鋼, 57, 2, p. 263
- 2) 広本, 松永, 大橋, 大野: 学振, 19 委 9580
- 3) 白岩, 荒木, ほか: 鉄と鋼, 58, p. 2078
- 4) 製鋼部会資料, 鋼 55-6 住金鹿島
- 5) 製鋼部会資料, 鋼 55-13 川鉄水島