

論 文

UDC 620.192.43 : 669.13-412

鋼塊の V 偏析におよぼすサクシ ョンの効果について*

鈴木 是 明**・宮 本 剛 汎***

Effect of Suction on the Formation of V Segregation in Steel Ingot

Koreaki SUZUKI and Takehiro MIYAMOTO

Synopsis:

In order to investigate the mechanism of formation of V segregation, molten steel weighing 10 to 20 kg were cast into special shaped sand molds under given conditions influencing upon the occurrence mode of V segregation, and observation of macro structure was made on V segregation appearing in each ingots. The mechanism of formation of V segregation was discussed from the observed results. The results obtained were summarized as follows;

- 1) V segregation is found to be formed in the so-called accelerated solidification zone by the effect of the suction.
- 2) The suction may be defined as the flow of mushy state to feed solidification shrinkage.
- 3) The fluidity of mushy state is not so good to fill up easily the solidification shrinkage, so periodical gap might be formed, into which the concentrated melt around them flows.
- 4) The velocity of the flow would be greatest at axial center and it decreased near the side wall. Consequently, the gap become slant to the axis to form V shape.

(Received Feb. 26, 1973)

1. 緒 言

鋼塊品質上問題となる V 偏析はテーパ量が小さく、高径比の大きな鋼塊で押湯や底面の冷却効果が効かず、側面の冷却効果によつて加速的に凝固する領域に押湯方向に V 字の開いた状態で現出する。この V 偏析の生成機構を考える場合 2 つの特徴に注目する必要がある。すなわち中心部に V 字型に濃化片が現われるという形状の問題と、その濃化片がある程度の周期性をもつて局在するという問題である。従来より提唱されている理論^{1)~7)}はこの両者を区別せずに議論していたが、問題点の所在を明らかにするためにここでは 2 つに分けて考えることとする。中心部に V 字型に偏析片の現われる現象には、サクシ ョンの効果が極めて重要な役割を果たしていることはすでに報告した⁸⁾が、本論文では濃化片が周期性をもつて局在するという問題に注目し、それがどのような過程で生成されるかをサクシ ョンとの関連において明らかにしようとしたものである。またサクシ ョンはその実体が明らかになつておらず、従来理論の提出者によつて意味するものが異なるので、この点もあわせて明らかにしようとした。

本試験は 10~20 kg の溶鋼を種々の条件を与えた砂型

に casting, それらに現出している V 偏析の状態を調べたものであり、その結果から V 偏析の生成機構を考察した。

2. 試 験 方 法

試験にはそれぞれ casting 条件が異なる 5 個の鋼塊を用いた。供試鋼塊番号を A~E とし、それぞれの化学成分と重量を Table 1 に示す。

なお casting 方法は上注ぎで、 casting 温度は 1580°C と

Table 1. Chemical composition and weight of examined ingots

Ingot	Chemical composition (wt%)					Weight (kg)
	C	Si	Mn	P	S	
A	0.24	0.47	0.74	0.011	0.024	10
B	0.26	0.55	0.79	0.011	0.030	20
C	0.25	0.37	0.72	0.011	0.034	20
D	0.27	0.36	0.75	0.013	0.022	20
D	0.27	0.35	0.70	0.010	0.030	20

* 昭和47年10月本会講演大会にて発表
昭和48年2月26日受付

** (株)日本製鋼所室蘭製作所 工博

*** (株)日本製鋼所室蘭製作所

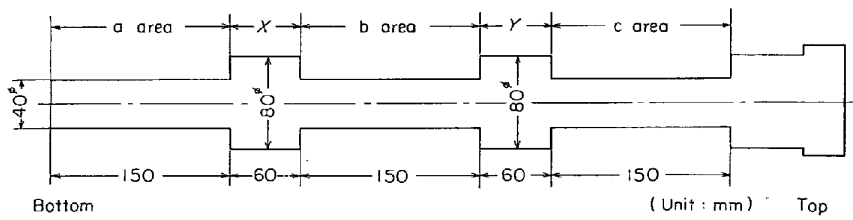


Fig. 1. Shape of A ingot.

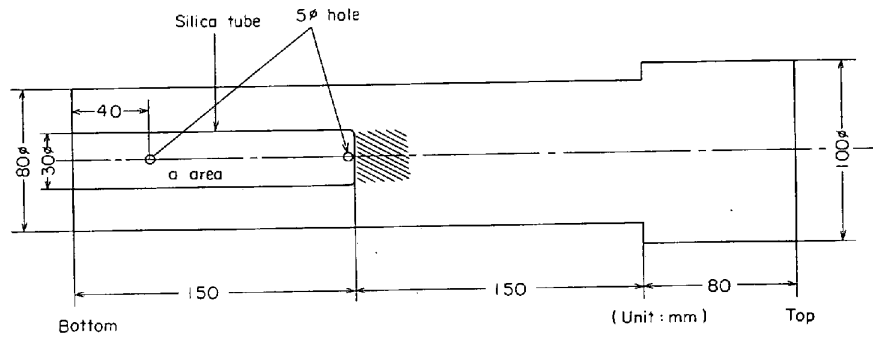


Fig. 2. Shape of B ingot.

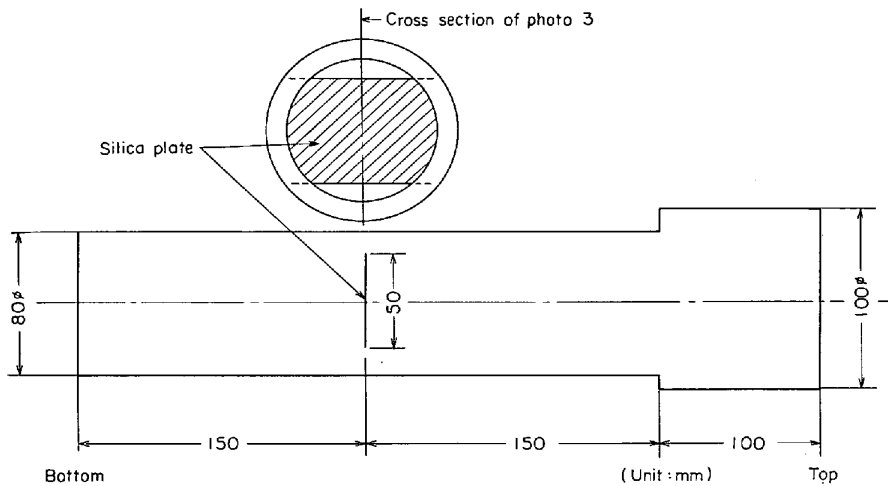


Fig. 3. Shape of C ingot.

した。また鑄型はすべて珪砂乾燥型、鑄型と内部に挿入した石英はすべて室温で使用した。以下にそれぞれの鋼塊形状や、その形状にした理由を述べる。この際にはサクシヨンの関連性において議論しているが、ここでは一応サクシヨンは、押湯から底面方向への凝固収縮を補うための最終凝固時の給湯と解釈した。

2.1 A鋼塊

Fig. 1 に示すように、このA鋼塊はa、bおよびc領域とX、Yに分割されており、a、b領域間をX、b、c領域間をYで区切つてある。a、bおよびc領域は高径比が大きくそれぞれの凝固時間に及ぼす押湯、底面、XおよびYの効果はないと考えられるのでa、bおよびc領域の凝固時間は同一であり、またV偏析発生領域の温度分布などもほぼ同一と考えられる。これら3領域間

の唯一の差はそれぞれが給湯しなければならない量である。すなわち、a領域はその領域のみを給湯するだけであるが、b領域はa、b領域およびXに給湯しなければならず、またC領域はa、b、c領域、XおよびYに給湯しなければならない。すでに述べたようにサクシヨンを凝固収縮を補うための急速な給湯とすると、a、b、c領域の順にサクシヨンが強く行なわれるので、この鋼塊の3領域のV偏析を観察すれば、V偏析がサクシヨンの強さによりどのように変化するかを調べることができる。

2.2 B鋼塊

Fig. 2 に示すようにB鋼塊は、鑄型の下半に上端を封じ上部と下部に5φの小孔をあけた外径34mmφ、内径30mmφの石英管を挿入して溶鋼を鑄込んだものである。内部に挿入した石英管の外径はV偏析発生領域の

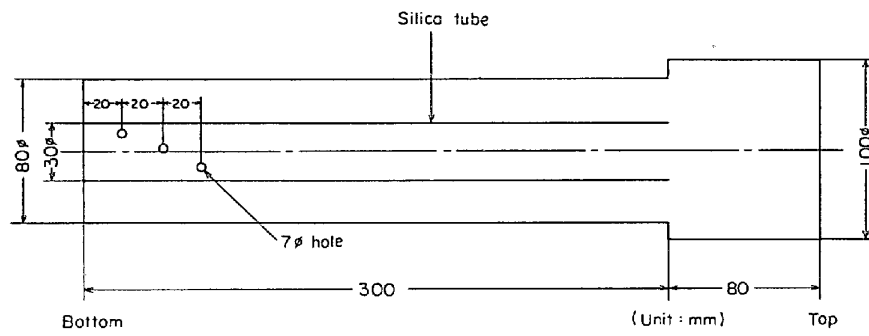


Fig. 4. Shape of D ingot.

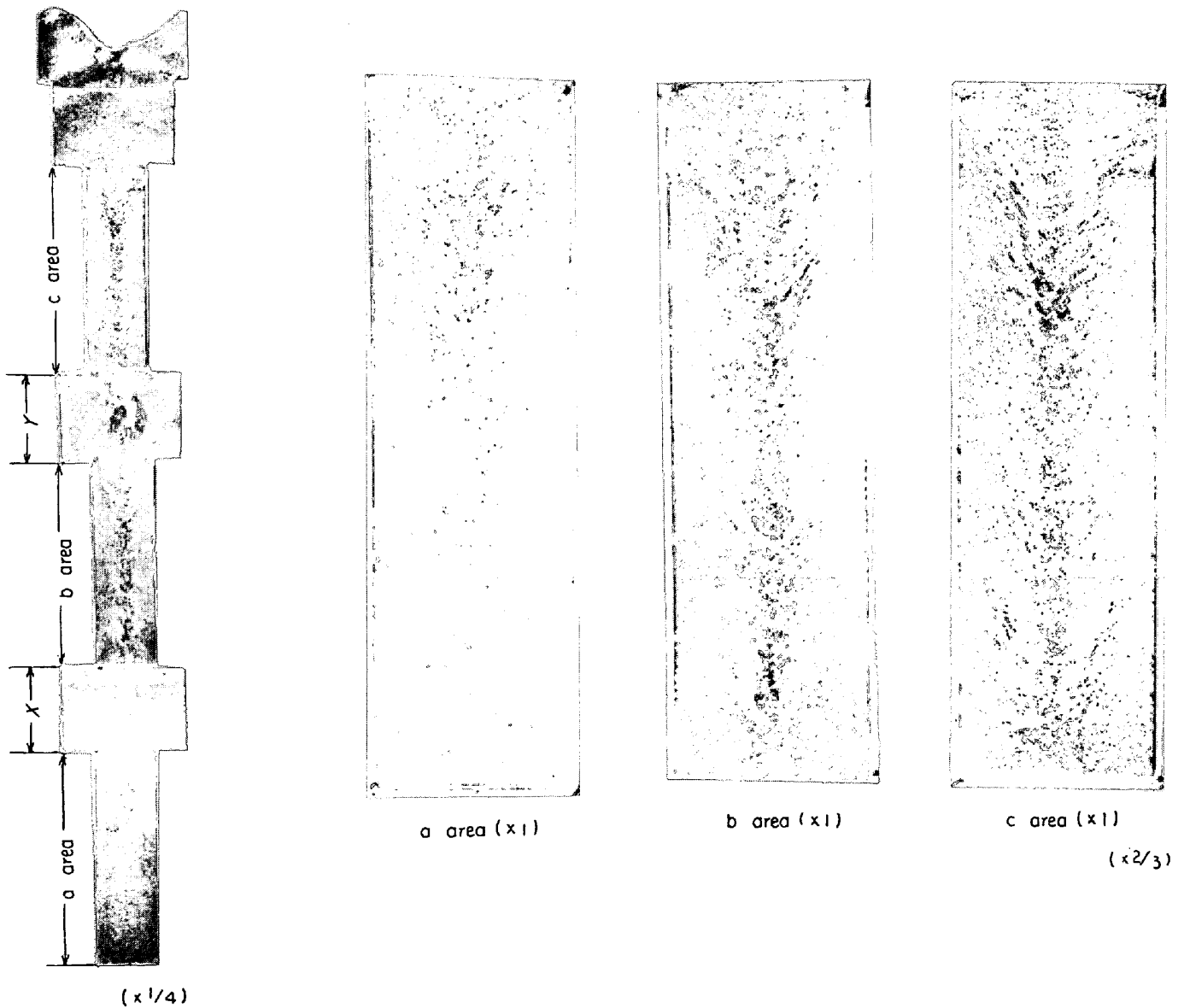


Photo. 1. Sulfurprints of longitudinal section of A ingot.

直径とほぼ同一である。鑄型内に入った溶鋼は下部の小孔から石英管内に入り，上部の側面の小孔が気抜き孔となつて石英管の上端まで入るようになつている。

この鋼塊の中で Fig. 2 に示した斜線部は内部に挿入

した石英管の上端が封じられているので，下部の石英管内 (a area) の凝固収縮の影響を受けず，サクシ ョンが作用しない。石英管がない場合にはこの斜線部は明りよな V 偏析の発生する領域であるので，B 鋼塊における

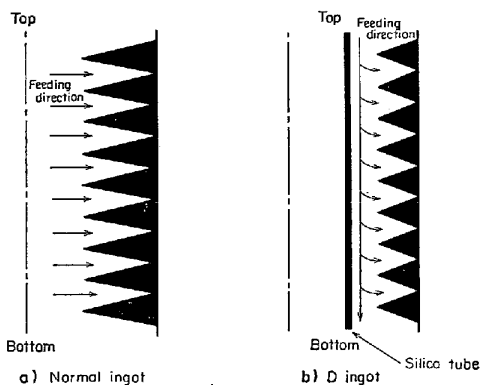


Fig. 5. Comparison of feeding direction.

この部分近傍のV偏析を調べることでサクシヨンの作用しない場合のV偏析を調べることができる。

2.3 C鋼塊

Fig. 3に示すようにC鋼塊では、B鋼塊の場合に上端を封じた石英管を使用したのに対し2mm厚さの石英板を使用し、下部の凝固収縮の影響を上部に伝達しないようにしてある。やはり石英板直上のV偏析の発生状態を調べることで、サクシヨンが作用しない場合にV偏析がどのように変化するかが明らかとなる。

2.4 D鋼塊

Fig. 4に示すように、この鋼塊は上端を開放し、下部に7mmφの小孔をあけた外径34mmφ、内径30mmφの石英管を挿入した鑄型に溶鋼を鑄込んだものである。鑄型に入った溶鋼は下部の小孔より石英管内に入り、石英管の湯面と外側の湯面が同一になつて上昇する。

この鋼塊では柱状晶帯とV偏析発生領域とを石英管で分離しており、Fig. 5 a)に示すように石英管がない場合は柱状晶帯への給湯は軸心から壁面の方向に向かつて行なわれるのに対し、D鋼塊のように石英管を挿入するとFig. 5 b)のように給湯が dendrite 成長方向とは

直角に上から下に向かつて給湯する。このように給湯が変化した場合に柱状晶帯がどのように変化するかを調べることにより、サクシヨンの実体を明らかにすることができる。

2.5 E鋼塊

Fig. 6に示すように、この鋼塊は中央5mmφの小孔をあけた2mm厚さの石英板を鑄型内に挿入して溶鋼を鑄込んだものである。

この鋼塊ではC鋼塊のように完全にサクシヨンを停止させたものではなく、中心にあけた小孔から下部への給湯はある程度行なわれるが、その孔が小さいためサクシヨンの作用する領域が限定されると同時に、サクシヨンが微弱になる。このような場合に起きる現象からサクシヨンの実体を明らかにすることができるものと考えられる。

以上のA～Eの鋼塊を軸心を含む面で縦断し、サルファープリントおよびマクロ腐食によつてV偏析の発生状況を観察した。

3. 試験結果および検討

3.1 A鋼塊

A鋼塊の縦断面のサルファープリントをPhoto. 1に示す。Fig. 7に示すようなθをV偏析の角度を示す因子としてとると、a領域では約45°、b領域は51°、c領域は61.5°となり、a、b、c領域の順にV偏析が鋭く現出していることが明らかとなる。また濃化の程度もa、b、cの順に強くなつていく。すでに述べたようにV字型に関してはサクシヨンが強い影響を持っている。サクシヨンの強さによりその形状が変化するのは前報の結果と一致する⁸⁾が、サクシヨンの強さによつてV偏析の濃

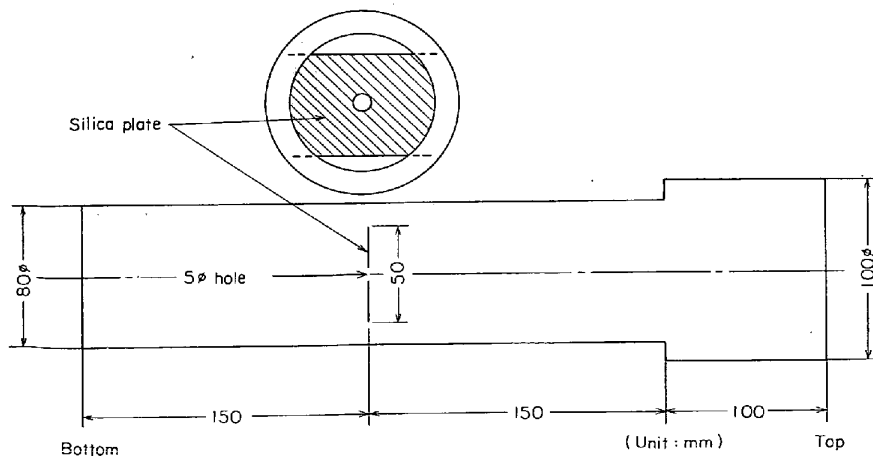


Fig. 6. Shape of E ingot.

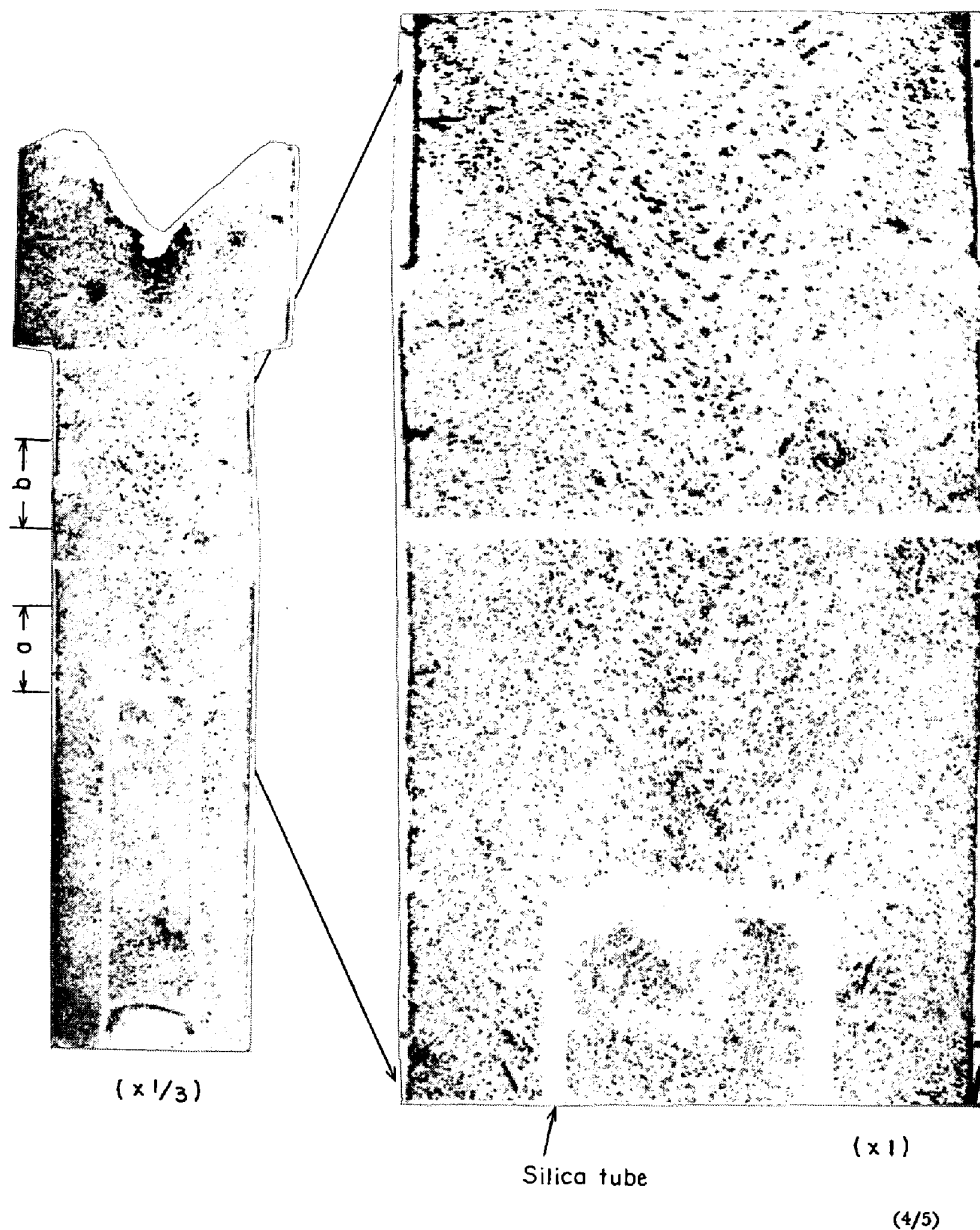


Photo. 2. Sulfurprints of longitudinal section of B ingot.

化の程度も変化するという事は、中心部に濃化片が現われる現象にもまたサクシヨンが強く影響することを示している。

3.2 B鋼塊

B鋼塊の縦断面のサルファープリントを Photo. 2 に示す。明らかに石英管直上 (a部) ではb部のようなV字型の偏析はなく、周期性をもつた偏析片も存在しない。

3.3 C鋼塊

Photo. 3 に C鋼塊縦断面のサルファープリントを示す。B鋼塊同様石英管直上ではV字型の偏析片も観察されず、濃化片の周期性も存在しない。B, C鋼塊で明らかかなように、大きな周期性をもつた偏析片がサクシヨン

の動かない領域に存在しないということは、その偏析片はサクシヨンが作用しない以前には存在せずにデンドライト樹間に分散していたものが、サクシヨンが作用して始めて現出することを意味する。すなわちサクシヨンはV偏析のV字型にのみ関与するものではなく、中心部に濃化片がある程度の周期性をもつて現出することに対しても直接作用することを示している。

3.4 D鋼塊

Photo. 4 に D鋼塊縦断面のサルファープリントを示す。内部に挿入した石英管と鑄肌の間にはV偏析の片側と考えられる偏析が認められる。この石英管と鑄肌の間は石英管がない場合には柱状晶となる部分である。Fig. 5 に示したように石英管の有無による給湯の差はデンド

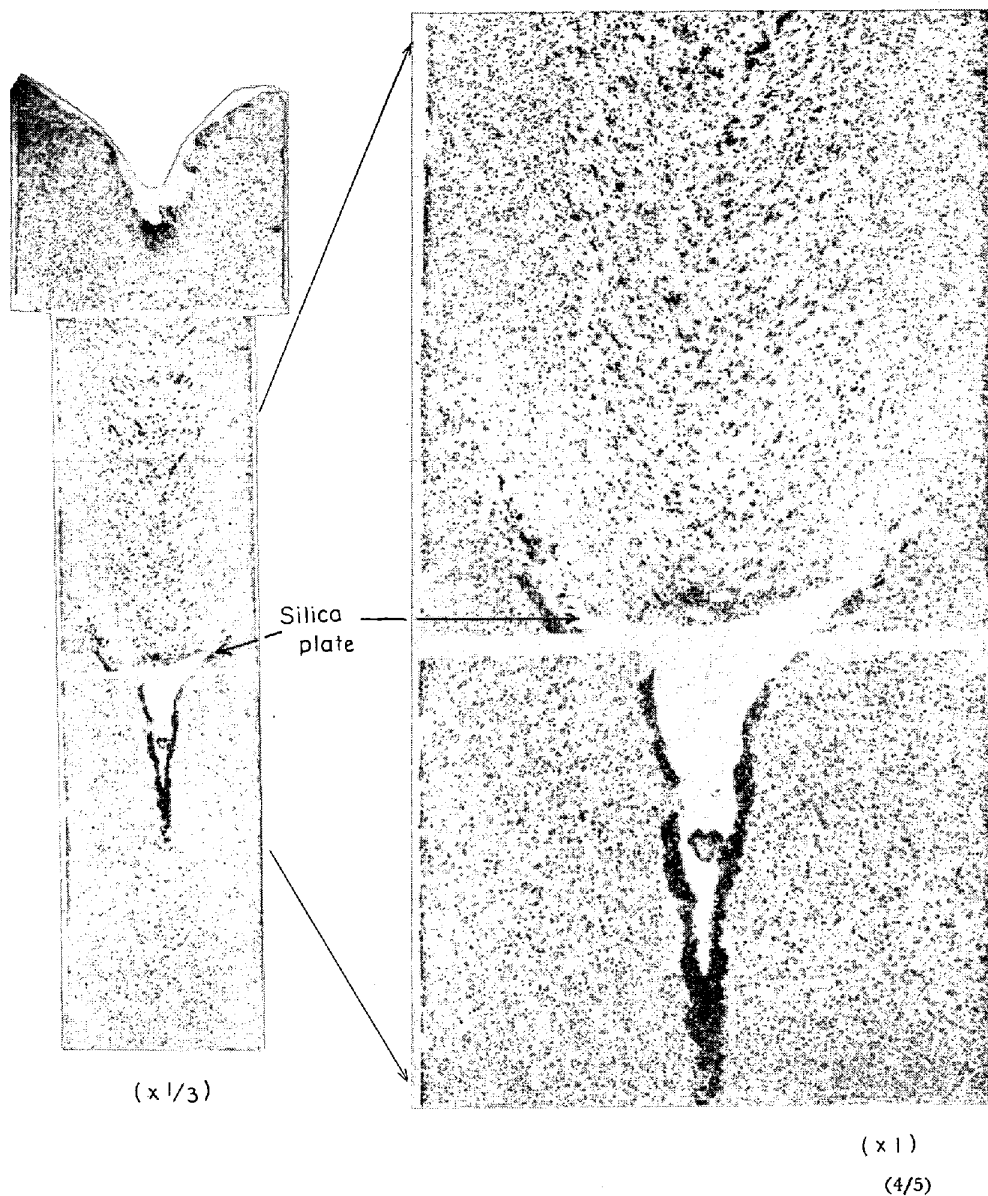


Photo. 3. Sulfurprints of longitudinal section of C ingot.

ライト成長方向に平行な給湯か、もしくはデンドライト成長方向に垂直な給湯かである。A、B およびC鋼塊の結果ではV偏析は給湯の一種であるサクシヨンのみにより生成することが明らかとなったが、この鋼塊ではサクシヨンのみでデンドライト成長方向に垂直な急速な給湯であることを明りように示している。

一般的に給湯を考えると給湯には 1) 温度勾配のある方向への給湯と 2) 温度勾配のない方向への給湯の 2 種類が考えられる。デンドライト成長方向へ平行な給湯とは前者のことであり、デンドライト成長方向へ垂直な給湯とは後者のことである。さらにこの 2 つの給湯を比較すると、温度勾配のある方向への給湯はデンドライト樹間を通しての溶鋼の流れである。これに対し温度勾配のない方向への給湯は固相率の低い時点ではやはりデンド

ライト樹間を通しての溶鋼の流れが存在すると考えられるがV偏析が発生する加速凝固時のように、ある程度固相率が高くなると給湯も急速に行なわれ固相と液相の混合した状態が、下部に移動すると考えられる。V偏析が発生する領域は自由晶帯であり、個々の結晶を支えているものがない状態では、固相と液相の混合した状態が容易に流動できるものと考えられる。このような固相と液相の混合した状態そのものがV偏析発生領域で急速に移動することをサクシヨンと考えることができる。

3.5 E鋼塊

Photo. 5 に示すようにE鋼塊では、石英板の直上に偏平な形状のV偏析が発生し、また石英板の小孔から下部の収縮孔の中に濃化液がツララのように突出している。また石英板の下部の収縮孔はC鋼塊のそれよりも小さく

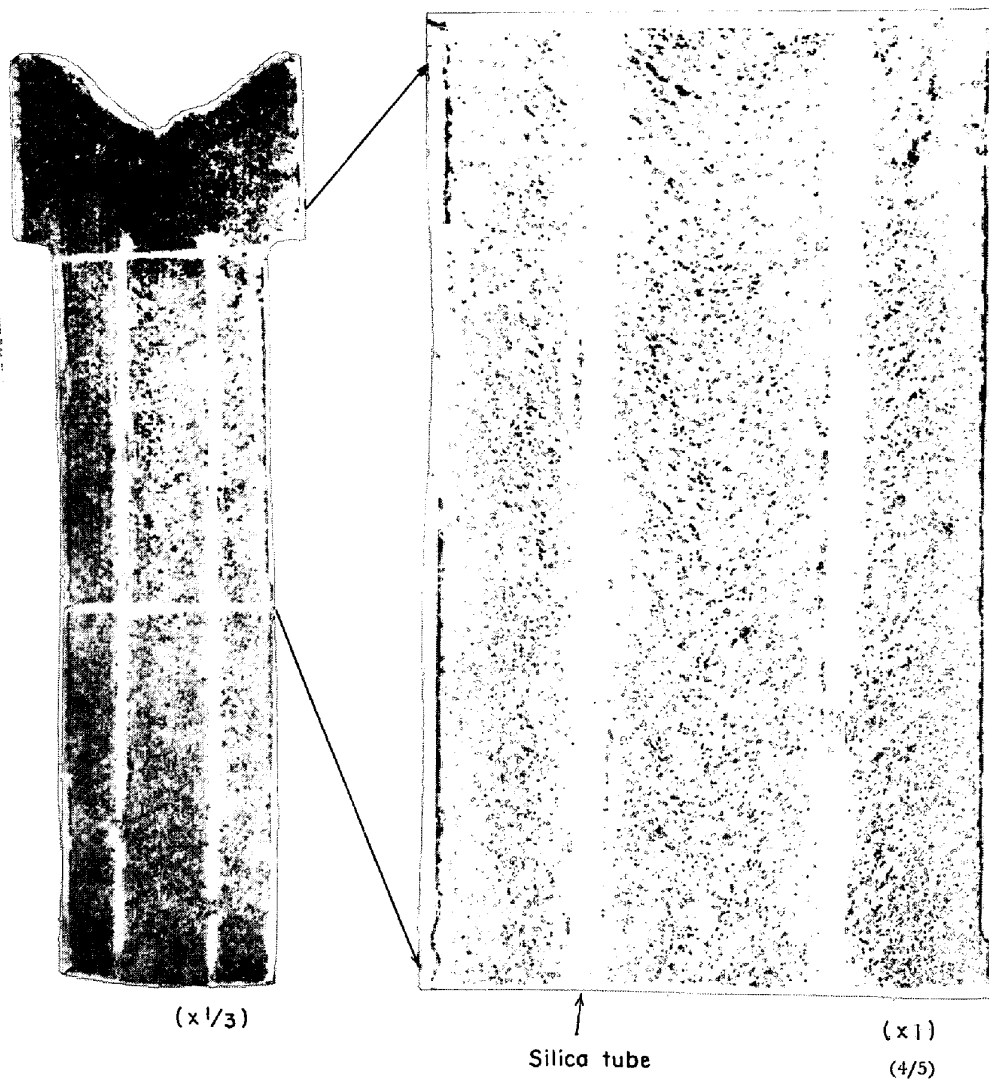


Photo. 4. Sulfurprints of longitudinal section of D ingot.

小孔を通して給湯が行なわれたことを示している。これらの現象は3・4項で述べたサクシヨンの実体から次のように解釈することができる。石英板下部の収縮孔がC鋼塊より小さいということは小孔を通じての給湯がある程度行なわれたことを意味している。しかしながら軸心部の固相率が高くなつてくると小孔を通して固液共存状態そのものが流動するにはきわめて困難になるであろう。そのため小孔が塞がりデンドライト樹間に存在した濃化液のみがデンドライト樹間を通して下方に流れ、その速度が緩慢なために途中で凝固して収縮孔内に突出しツララのようなものとなつたと解釈される。また固相率が十分に高くなる以前は小孔を通じてある程度のサクシヨンが作用したものと考えられるが、その程度が微弱なために形状も扁平で、濃化の程度も少ないV偏析が現出したものと考えられる。

4. 考 察

以上の試験結果と検討から、サクシヨンとは温度勾配のない方向への固液共存状態そのものの流動であることが明らかとなり、また中心部に周期性をもつて濃化液が存在する現象も、V字型の成因と同様⁸⁾に、サクシヨンの効果によるとことが明らかとなつた。しかし固液共存状態の流動であるサクシヨンがおこつた場合に、どのようにしてV字型の周期性をもつた偏析が現出するかについてはまったく不明であるが、ここではV偏析のV字型も周期性もサクシヨンによつて生成するという実験結果のみを用いて、その機構を推論してみることとする。

サクシヨンが作用する際には、固液共存状態のすべてが一時に流動するのではなく、下部の凝固収縮に影響されてその上部が下方に流動するという段階的な流動がくり返されるものと考えられる。より模式的にいうと、軸心に添つて固液共存状態がいくつかの領域にわかれ、そ

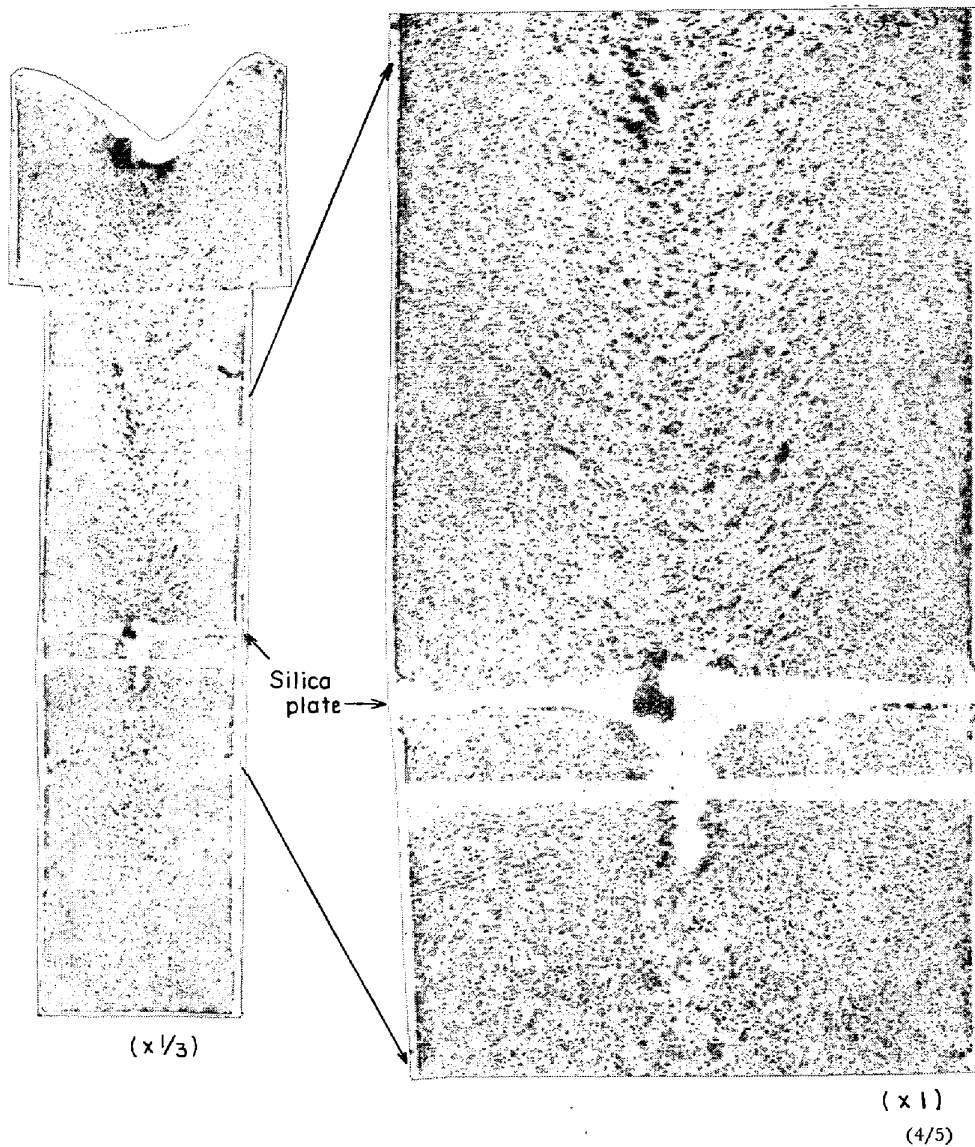


Photo. 5. Sulfur prints of longitudinal section of E ingot.

の個々の領域はまとまって流動するが、それぞれは多少の時間的ずれを持って下部より順に下方に流動する。これらのまとまって流動する領域と領域の間は流動する時期がずれているために、 dendrite 晶の間が開き、ある程度の周期性を持った空隙が生成する。しかも Fig. 7 に示すように V 偏析発生領域内でも横方向には温度勾配が存在して dendrite 樹間を通じこの溶鋼の流れが存在するために、サクシヨンは軸心近傍で最も強く、側面に近づくに従い弱くなるものと考えられる。そのため空隙は軸心に傾斜した V 字型となり、その中に周囲に存在している dendrite 樹間の濃化液が流入して偏析となる。このような固液共存状態の中の空隙が実際に現出するかどうかは平岡⁹⁾らによつて行なわれた加圧凝固鋼塊の中に認められる。すなわち同一溶鋼を同じ条件の 2 個

の鑄型に注入し、一方は大気中で凝固させ、他方は 10 kg/cm² の圧力を加えた状態で凝固させたもので、そのサルファープリントを Photo. 6 に示す。Photo. 6 に示された 2 本の鋼塊のサルファープリントを比較すると大気中で凝固させたものは、V 偏析が明りように現われており個々の偏析片が大きく観察されるが、これに対し加圧凝固した鋼塊は V 字型の小さな偏析片は観察されるが、大きな偏析片は観察されない。これは次のように解釈される。V 偏析は固液共存状態の流動により、ある周期性をもつて dendrite 樹間に空隙ができるとすれば、加圧することにより、その流動が強制的に行なわれることとなり、大きな空隙が生成する可能性が小さくなり、サルファープリントで V 字型の小さな偏析片は観察されるが大きな偏析片は観察されないものと解釈され、すで

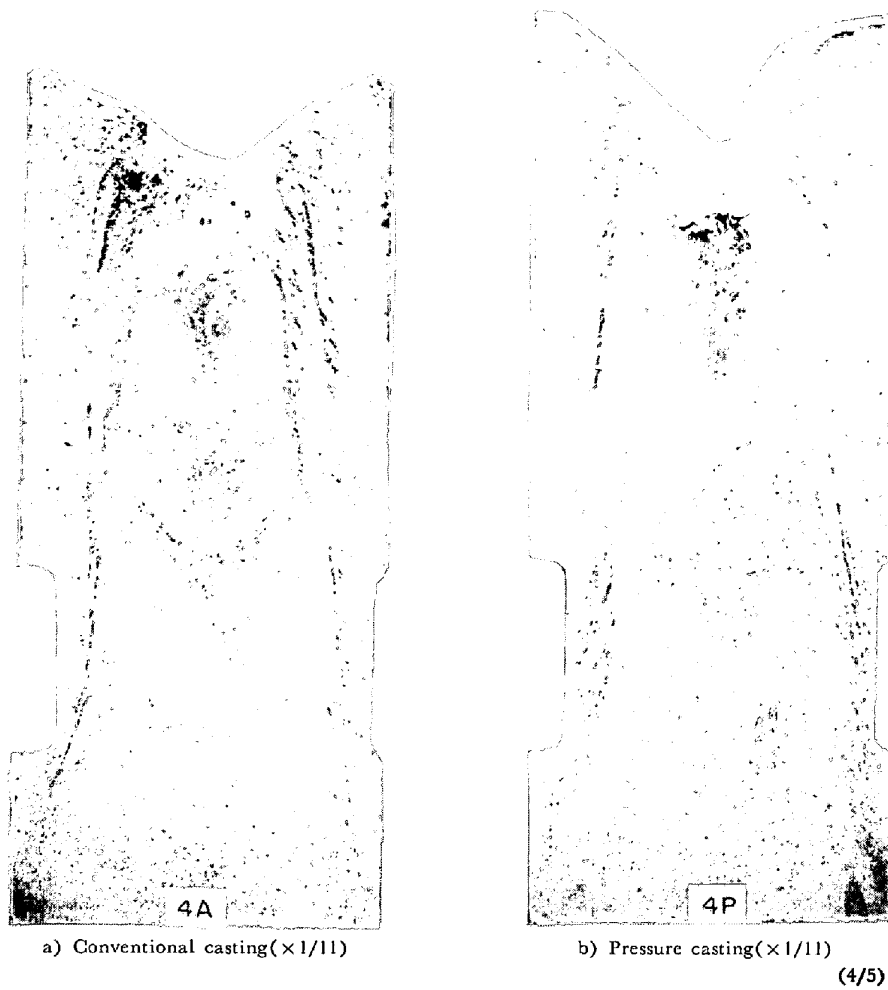


Photo. 6. Comparison between conventional casting and pressure casting⁹⁾.

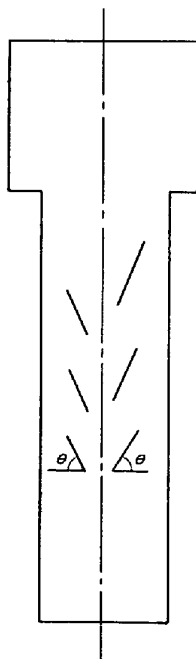


Fig. 7. The angel of inclination of V segregation (θ).

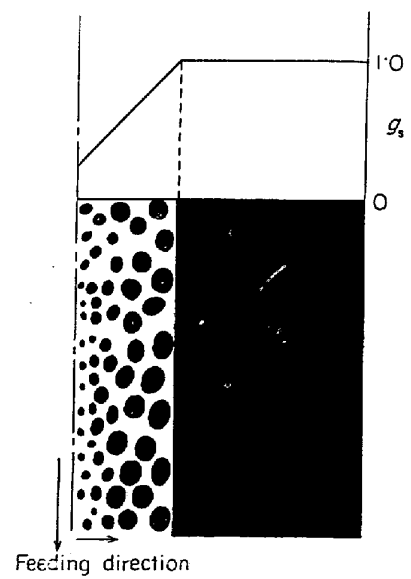


Fig. 8. Fraction Solid distribution in ingot at the accerlated solidification.

に述べたV偏析生成の過程をある程度実証するものであろうと考えられる。

5. 結 言

V偏析の生成機構を解明するために10~20 kgの溶鋼を特殊形状の鑄型や、内部に石英管または石英板を挿入した鑄型に鑄込み、V偏析の発生状態を観察することによりV偏析の生成過程を考察した。その得られた結果を要約すると次のとおりである。

1) V偏析の現出しやすいテーパー量が小さく、高径比の大きな鑄型に溶鋼が鑄込まれ、ある時間経過して軸心部に自由晶が現出するようになった時期に、軸心に添って下部の凝固収縮を補うための固液共存状態の流動がおきる。この流動がサクシオンである。

2) 固液共存状態が流動する際に、その流動は均一ではなく段階的に行なわれるため、ある周期性を持つてデンドライトの間に空隙が生成し、その中に周囲の濃化液が流入してV偏析をつくる。

3) この流動速度は軸心で最も強く側面に近づくに従い微弱となるので、生成される空隙は軸心に傾斜したV字型となる。

2), 3) については、圧力凝固によつてある程度実証性はあるが、今後さらに直接的にこの点を明らかにしてゆく必要があるものと考えられる。

終りに臨み本論文の発表を許可された(株)日本製鋼所室蘭製作所長常務取締役館野万吉博士ならびにご指導を賜わつた同所研究所所長前川静弥博士に深謝するとともに、実際に実験に携わつた同所研究所山田人久氏に感謝の意を表す。

文 献

- 1) E. MARBURG: J. Metals, 5 (1953), p. 152
- 2) 小野寺, 荒木田: 鉄と鋼, 45 (1959), p. 16
- 3) B. GRAY: JISI, 182 (1956), p. 366
- 4) 河合: 鉄と鋼, 43 (1957), p. 431, p. 528
- 5) Report on the Heterogeneity of Steel Ingot: JISI, 133 (1926), p. 39
- 6) 蒔田: 鉄と鋼, 13 (1927), p. 1001
- 7) A. HULTGREN: JISI, 120 (1929), p. 69
- 8) 鈴木, 宮本: 鉄と鋼, 59 (1973), No 359(1973), P. 431
- 9) 平岡: 大阪大学博士論文

討 論

【質問】 北大工 高橋忠義

V偏析の周期性をどう考えるか。

【回答】 本論文中で述べたように、固液共存状態が流動する際に、全体が均一に動くのではなく、下部の流動に引かれてその上部が幅をもつて流動するという段階的な動きがくり返されるものと考えられ、この幅がV偏析の周期と考えられる。