

# 大型炭素鋼鋼塊の $\Lambda$ 偏析帯に就て (I)

20t 鋼塊の  $\Lambda$  偏析帯の調査 (その 1)

河 合 正 吉\*

## ON THE $\Lambda$ SEGREGATED ZONE OF LARGE CARBON STEEL INGOTS (I)

Investigation of the  $\Lambda$  Segregated Zone of 20t Steel Ingots (Part-1)

Masakichi Kawai

### Synopsis:

One of the important defects in the large carbon steel forging is the one relating to the  $\Lambda$  segregated zone of the ingot from which the forging is forged. The reason why it has been very difficult from earlier time to control this defect, lies in the fact, that any definite theory on the mechanism of appearance of the  $\Lambda$  segregated zone in ingots has been unable to be established. Investigating into the  $\Lambda$  segregated zone of 20t ingot in order to get some clue of the problem relating to segregated zone, the author found several facts, which were regarded as valuable for a consideration about the appearance of segeregates, that is, the existence of a large number of segregated faces besides segregated lines in the  $\Lambda$  segregated zone, the relation between segeregates and primary crystals, the characteristics of structure of segeregates etc.

### 緒 言

炭素鋼の大型鍛鋼品に生ずる欠陥で使用上問題となるものの大部分は、偏析および砂（砂かみおよび砂きずの総称）である。併しこれ等の欠陥の中実用上問題とならない程度のもので危険視される場合が多い。これは、製品の一部に欠陥が現出すれば、内部には更に大きな欠陥の隠されている可能性のある事を惧れるためである。例えば冰山は大氷塊の一部に過ぎないと言うのである。然るに最近超音波探傷技術の進歩により、内部に存在する微細な欠陥迄探傷され、大氷塊を杞憂する類の苛酷な合否判定は或る程度改められる様になつたが、旧弊は依然として残り、加之超音波探傷そのものに関する多数の困難が生じてきたのである。

材料としては勿論欠陥のない事が理想的であるが、現在の製鋼技術を以てしては、これ等の欠陥の皆無を期する事は工業的に不可能である。茲に工業的に不可能とは可能ではあるが工業的生産が不可能になるという意である。蓋し検査技術が製造技術よりも著しく進んだ現状においては、検査結果による合否判定の条件は苛酷になり勝ちであるから、進歩した精密な検査によつて徒らに有用なる材料の廃棄される危険のみが増大し、折角の検査技術の発達による工業的な貢献も著しく減殺されて了

であらう。

斯様な事態を打開するためには、勿論この種の欠陥を可及的輕微にするために製鋼技術の改善に努力しなければならぬが、他方欠陥の実用上の影響について定量的な検討を行う事により、検査判定を合理的にするという方向に努力が払われなければならない。

現在の処上述の欠陥に対する両面よりの検討の成果として殆んど見るべきものはない。斯る停頓状態は一つに欠陥の本性が不明であるという根本的な事由に由来するものである。特に偏析が問題になる偏析帯における偏析線に関しては、その生因に対する諸大家の見解がまちまちであり、今日でもなお定説が得られていない状況である。仕上面に露出し、肉眼で認められる偏析線に与えられたゴーストなる名称は、偏析線の本性が不明であるという意味においては、今も昔と変わりなくその妥当性を誇つているものという事ができよう。

著者は 20t 塩基性電気炉で熔製した 20t 鋼塊の  $\Lambda$  偏析帯の性状について調査し、主としてこの調査結果を基礎として偏析線の生成機構を論じ、他方偏析線に現われた偏析線欠陥と鍛鋼品の偏析帯に現われる偏析きずとの関連を探究して、偏析きずの源が偏析線欠陥にある事を確認し、偏析線の生成理論に拠つて偏析きずの防止法に

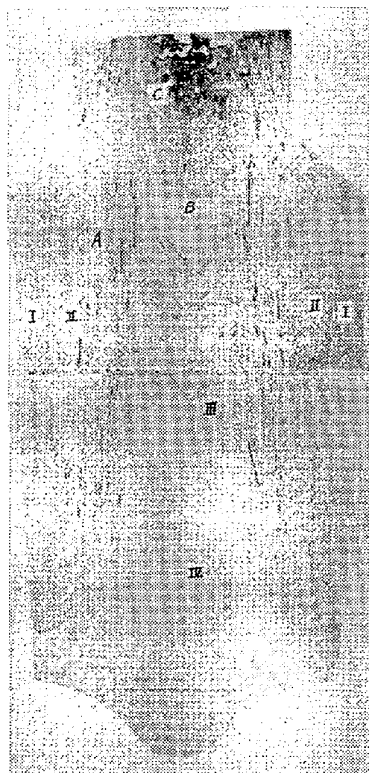
\* 三菱製鋼株式会社長崎製鋼所

ついて考察して或る程度の結論を得たので、上述の困難な問題の解決に些かなりとも寄与する処あらん事を希いつつ、研究の経緯について発表せんとするものである。著者の見解が仮令誤りであつても、問題解決に一石を投ずる役割でも果せば幸甚である。

第 I 報においては、まず 20t 鋼塊の A 偏析帯の性状について調査した結果を報告する。

I. 鋼塊凝固過程の概説

A 偏析帯はいう迄もなく鋼塊の過半部を占める樹枝状



I : Layer of columnar crystal  
 II : Layer of dendritic crystal  
 III : Zone of free crystal  
 IV : Zone of sedimental crystal  
 A : A segregated zone  
 B : V segregated zone  
 C : Top segregated zone

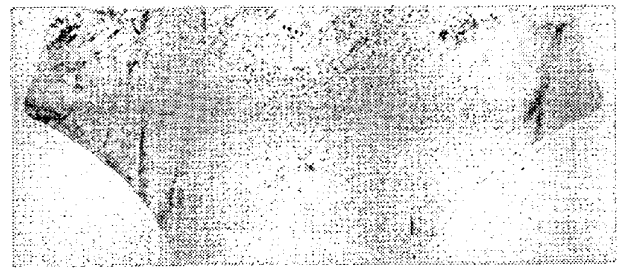
Fig. 1. Sulphur print of longitudinal section of 20t steel ingot.

る熔鋼は急冷されて微細な一次晶より成る微粒晶層（チル層）を形成し、凝固殻は鑄型壁と密着しているから、鑄型壁は急速に加熱されて、その急冷効果は直ちに衰え微粒晶の形成は停止する。従つて Fig. 3 に見られる様に微粒晶層の厚さは極めて薄い。微粒晶の形成は停止しても凝固殻は依然として鑄型壁に密着するために冷却効果は相当大であるから、微粒晶層に次いで発生した結晶は熱流と逆方向に柱状に発達する。即ち柱状晶層の形成

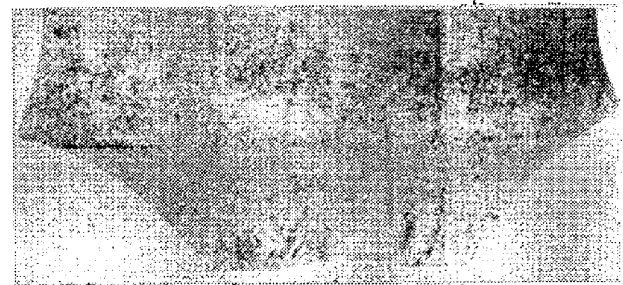
晶層中に存在する。よつてまず鋼塊凝固過程を概説する事によつて樹枝状晶層の輪廓を把握し、併せて爾後使用する術語を規定してから、偏析帯の構造の説明に移る事とする。

Fig. 1 は 20t 鋼塊の中心軸を通る縦断面、Fig. 2 は鋼塊の頂部中央部および底部の横断面の硫黄写真を示すものである。また Fig. 3 は中央部から鋼塊を横断して採取した棒状試験片のマクロ腐蝕像を示すものであつて、この部分は上述の縦断面の一部に相当する。併せてこれらの資料を参考として鋼塊凝固の経過について略述する事とする。

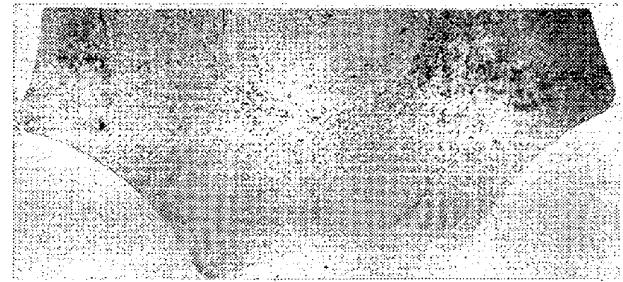
熔鋼を鋼塊鑄型に鑄込むと、鑄型壁と接す



(a) Top part



(b) Middle part



(c) Bottom part

Fig. 2. Sulphur print of transversal section of 20t steel ingot.

が始まるのである。柱状晶層の生長が進むに従つて凝固殻の厚さが増加し、凝固殻の平均温度の低下と鑄型壁の平均温度の上昇とが相加的に作用し、鑄型壁の凝固殻に対する相対的な熱膨脹が顕著となり、両者は分離せんとするが、凝固殻の厚さが充分でない間は熔鋼圧のために密着状態が継続する。併し凝固殻の厚さ（平均温度も関係する）従つてその強さが或る限界を超えると分離が起り、鑄型壁と凝固殻との間に空隙を生じ、鑄型の冷却効果は著しく減少する。今日の処、この分離の時期が柱状晶層形成の停止の時期であるという見解が定説となつている。

併てこの分離後柱状晶層に次いで樹枝状晶の生長が始まる。凝固に當つて結晶が生長する際には、結晶は特定方向に選択的に生長せんとする傾向を有する。上述の柱状晶の規則正しい生長は、この方向選択性の傾向が、大なる温度勾配によつて制御された結果に他ならないのである。併し凝固殻の分離後は冷却効果が著しく減少するために温度勾配は小になり、結晶生長における方向選択性が顕著に現われ、各結晶の生長方向は不揃になり、所謂

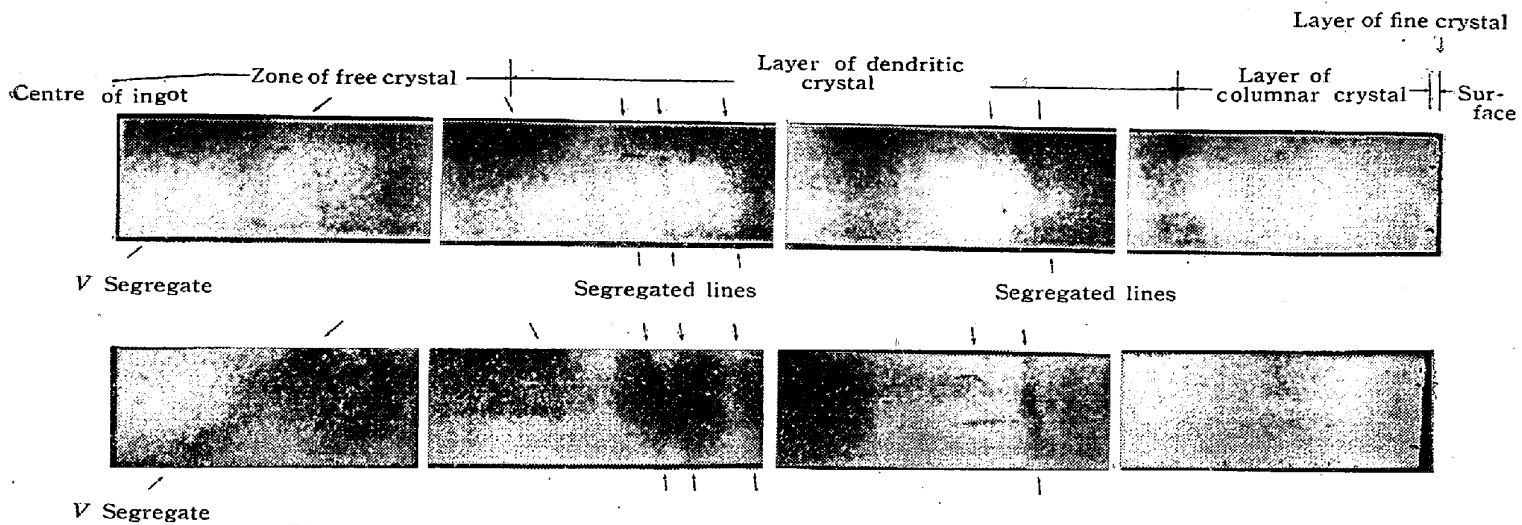


Fig. 3. Macro-etching figure of longitudinal section of 20t steel ingot

樹枝状の生長が行われるのである。勿論柱状晶も樹枝状の構造を有するが、著しく拘束された状態にある事は Fig. 3 より明らかである。また反対に樹枝状晶と雖も温度勾配が存在する限り、全般的な結晶の生長は外より内に向っている。

他方微粒晶層は殆んど瞬間的に凝固するために、その平均成分含有量は略々熔鋼のそれに等しいが、柱状晶層は或る程度液固相が平衡を保ちつつ凝固するために、熔鋼よりもCおよびその他の不純物がやや低く、軽度の負偏析をなすであろう。而してこの時期には生長速度も比較的大であり、熔鋼中では熱対流も自由に行われるから凝固殻分離前後の熔鋼においては特に凝固殻に接する熔鋼（爾後接触熔鋼と称する事とする。）のみが不純物で富化されているという様な状態は成立せず、熔鋼全体が軽度の富化を受けているであろう。

樹枝状晶は生長の過程において温度勾配の弱い制肘を受けつつ選択的な方向に生長し、しかも生長の際の液固相の平衡状態は凝固速度が小なるために柱状晶の場合よりも遙かに完全であり、接触熔鋼中の各成分の富化度は遙かに大である。斯様なCおよびその他の不純物で富化された接触熔鋼を簡単のために富触熔鋼と呼ぶ事とする。偖てこの富触熔鋼の一部は樹枝状晶の生長に伴い、樹枝状晶の樹枝間に残留するが、大部分は接触熔鋼に移行し接触熔鋼中の富化成分は或る程度内部に拡散するが凝固の進行に伴って富触熔鋼の富化度は次第に大となり凝固点低下のために結晶の生長速度を遅滞せしめるに到るであろう。他方鎮静鋼においては、熔鋼の温度が低下するに従ってSi、Mn等の酸素に対する親和力が大となり、所謂析出脱酸が行われ、凝固の途中熔鋼中に多数の微細な非金属介在物が現われる。富触熔鋼が樹枝状晶の生長を阻害するのは、前述の様に富触熔鋼の凝固点が

低く、その部分の温度がその背後にある熔鋼の凝固点より低くなつても凝固が進行し難いためであつて、斯様な場合には富触熔鋼背後の熔鋼は或る程度過冷される事になる。この過冷された熔鋼中に析出脱酸生成物たる微細な非金属介在物が存在すれば、結晶核となつて自由晶の形成が可能となる。若し自由晶が形成されれば熔鋼よりも比重が大であるから、生長しなから徐々に鋼塊底部に沈下して行くであろう。斯様に非金属介在物を核として生じた自由晶が沈下堆積して凝固した部分を沈澱晶帯と称するが、この部分は凝固の進行に伴って熔鋼部が次第に細くなるために円錐状をなし、その生成機構から想像される様に強い負偏析をなし、珪酸塩含有量が大である。また樹枝状晶形成の初期には自由晶の形成は凝固殻附近でのみ行われるであろうが、凝固が進むと熔鋼全体が過冷されて、熔鋼中各處で自由晶の形成が可能となるであろう。

偖て問題の偏析線は上述の樹枝状晶層中に生ずるが、偏析線生成の原因が富触熔鋼の形成にある事には何人も疑を挟まないであろう。併し偏析線の生成機構に関する論議は本論文の主要題目の一つであり、第2報で詳述するから、ここでは省略する事とし、富触熔鋼で樹枝状晶の生長が阻害された部分で、如何にして凝固が進行するかという問題には触れない事とする。

斯くして樹枝状晶層は富触熔鋼の障害を受けながら、

1) 最近沈澱晶帯の形成に関しては別の見解も発表されているが、著者はこの古くから行われている見解を採用する。又自由晶の生成に関しては次の様な説もある。即ち温度の低い下部で生じた非金属介在物が徐々に温度の高い上部に浮揚し来り、其處で熔鋼が酸化されて低炭素となり、この為に凝固点が上昇して容易に結晶を生じて、之が核となつて自由晶を生ずると云うのである。

その前面で自由晶の生成沈下を繰返しつつ生長するが、熔鋼の温度が次第に低下し、温度勾配が殆んど消失し、鋼熔全体が略々凝固点に達する頃になると、自由晶の発生傾向は益々大となり、樹枝状晶の生長は殆んど停止し場合によっては樹枝状晶と自由晶とが混合して生ずる事がある。

樹枝状晶の形成が完全に停止した時は、恐らく熔鋼には多数の自由晶が懸濁し、自由晶の沈下は熔鋼の粘性および他の自由晶の存在により障害を受けて自由には行われないのであろうが、次第に下方に沈下堆積したり、側方の凝固殻に附着したりして自由晶帯が形成され、熔鋼は次第に富化されながら上方に押し上げられるであろう。この故に自由晶帯は沈澱晶帯の延長とも見做される。強い負偏析をなす沈澱晶帯から自由晶帯に移ると、上述の理由により上方に行くに従つて、負偏析の程度は次第に弱くなり、無偏析の状態を通つて正偏析に転じ、鋼塊の押湯直下では鋼塊全体で最強の正偏析を示すのである。

斯様にして形成された自由晶帯には、樹枝状晶層の A

偏析帯類似の性質を有する V 偏析帯が存在する。V 偏析は鋼塊の頂部に行くに従つて激しくなるが、押湯直下では消失する。(Fig. 1 参照) また V 偏析帯は A 偏析帯の偏析線程、整つてはいないが比較的太い偏析線群<sup>2)</sup>より成り (Fig. 1, 2 参照)、これ等の偏析線は頂点を下に持つ円錐面上に排列し、縦断面においてはその名称の示す様に V 状をなし、横断面では輪状の A 偏析の内側に同心円に沿つて現われる。この偏析線も A 偏析帯の夫れと同様と云うよりは寧ろ甚しい欠陥を包含する事が多く緒言で述べた目的を果すためには論議の対象として両者に軽重はないが、V 偏析帯が鋼塊の中心部に存在し、その分布簡囲も狭く、偏析帯に比し大型炭素鋼鋼塊においては實際上問題となる場合も比較的少いので、V 偏析帯の議論は次の機会に譲る事とする。(続く) (昭和 30 年 2 月寄稿)

2) V 偏析は自由晶帯中に存在するが、偏析線は顕著な樹枝状晶的な構造を有する。(Fig. 3 参照)

## ピーニング用ショットについて (I)\*

内山道良\*\*・上正原和典\*\*

### ON THE SHOT FOR PEENING (I)

*Michira Uchiyama and Kazumori Kamishohara*

#### Synopsis:

Maintenance of certain percentage of perfectly round shots, while removing the broken shots and replacing those with new shots, is important in shot-peening treatment. With respect to this process, the life of shots will affect the necessary amount of supply, and stands as one of important factors which determine the economy of peening operation.

The authors investigated the life of several ferrous and non-ferrous shots by a specially designed testing machine. The results obtained were as follows:

Life of larger, harder and faster traveling shots was low, but could obtain higher peening intensity. Comparison of life of ferrous shots, under the same peening intensity, showed that the steel cut wire shot had the longest life followed by that of cast steel and cast iron shots.

#### I. 緒言

ピーニング処理の際、規定のピーニング強度、カペーン等々の条件の下で安定な作業を行うためには、破損したショットを速かに除去すると同時に新しいショットを補給して完全なショットの量のある%以上に維持しなければならない。この際ショットの寿命の長短ということが補給量に大きく影響し、ピーニングの経済的操業を決定する要素の一つとなる。近時わが国でもピーニング

処理が諸所で行われるようになり、これに関する研究の発表もいろいろと行われているがショットに関する研究は未だないようで、海外では米国の文献<sup>2)</sup>に散見せられるに過ぎない。本報告は筆者等が行つたショットに関する一連の実験の内、各種鉄鋼ショット並びに非鉄ショットに対してその寿命の調査比較を行つたものである。

\* 昭和 29 年 4 月本会講演大会にて発表

\*\* 三菱鋼材本社製作所研究課