

で) 鑄込流と取鍋内湯浴の温度を測定した。その結果、ノズル径の大小にかかわらず両者の測定値が一致し、測定値が正しいことを確かめることができた。

100°C の熱湯を注入し外壁を水冷すると上下に温度差が生じてくる。下部測温点の温度が 49°C になった時に鑄込を開始する。Fig. 3 にノズル径 10mm の場合の測定結果を示す。鑄込開始後短時間で上部測温点は大気中に露出して温度は下がってしまう。下部測温点の温度は実際の連続測温の結果と同様に上昇した後に湯切れになって降下する。これによつて連続測温の場合の鑄込開始後の指示の上昇を立証した。なお下部測温点の指示は上部のそれよりも低い。ノズル下の温度は鑄込後急速に指示が上昇し、上部測温点と同じ温度すなわち下部測温点より高い温度を示す。これは大径のノズルで鑄込む場合はノズルから出る流体はまずノズル近くのもの。次いで上部浴の順となり最後に取鍋下部のノズルから遠い部分が流出するためとみなされる。もちろん下部測温点近傍の湯も幾分流出するので指示は上昇するのである。

Fig. 4 にノズル径が 3.5mm の場合の測定結果を示す。上部測温点の指示は鑄込開始前と同様の温度降下を示している。下部温度はやはり次第に上昇した後に一定温度になるが、上部温度よりも常に低い。鍛造用鋼の連続測温では鑄込開始後は温度上昇するが一定温度とはな

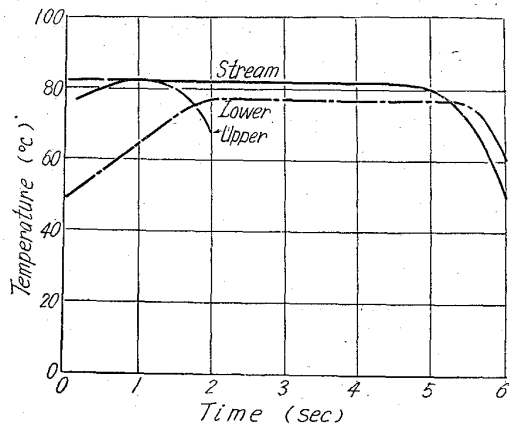


Fig. 3. Temperature change of hot water in upper and lower part of model ladle and of casting stream in case of large nozzle (10mm).

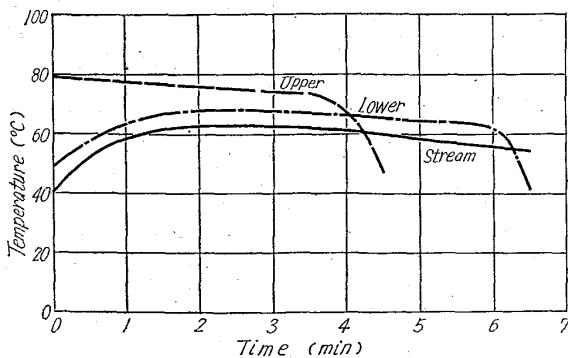


Fig. 4. Temperature change of hot water in upper and lower part of model ladle and of casting stream in case of small nozzle (3.5mm).

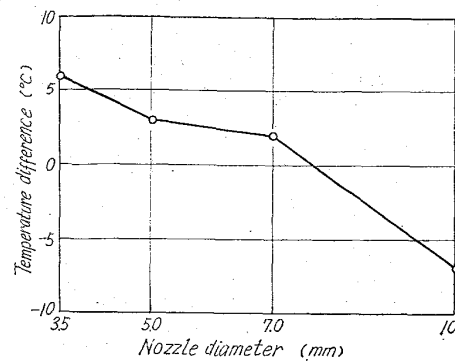


Fig. 5. Influence of nozzle diameter (casting rate) on the temperature difference between bath in model ladle casting stream.

らない。この相違はモデル取鍋の温度分布が上半部で一定となつているためであろう。ノズル下の温度は下部測温点のそれよりもさらに低い値を示しており、鍛造用鋼において取鍋内鋼浴よりも鑄込流の温度が低く観察されるのは測定誤差のためでないことを立証した。

同様の実験をノズル径 5mm および 7mm に変えて行なつた。下部測温点と鑄込流の温度の差を求め、ノズル径に対して整理した結果を Fig. 5 に示す。両者の間に明瞭な関係が認められる。

鋼塊の品質に対する鑄込速度の影響について多くの報告がなされているが、従来の鑄込温度が信頼性の乏しい光高温計によつて測定されていることを考えれば、鑄込速度の影響と考えていたものの中に鑄込温度の影響も含まれていることが予想されるので、今後は浸漬熱電対によるこの方面の調査を進めていく方針である(高速鑄込はもし取鍋内温度が同一ならば高温鑄込を意味する)。

V. 結 言

取鍋内鋼浴温度と鑄込流温度の差におよぼす鑄込速度の影響についてモデル実験を行なつた。その結果両者の間に明瞭な関係を見出すことができた。また取鍋内鋼浴の連続測温の結果にも裏付けをあたえることができた。

文 献

- 1) 小野寺・荒木田・平岡: 鉄と鋼, 47 (1961) 1582
- 2) 平岡・古沢: 鉄と鋼, 49 (1963) 1388
- 3) 荒木田・平岡・古沢: 鉄と鋼, 50 (1964) 518

621,746,512: 621,746,393

(79) 造塊時における溶鋼および鑄型温度の推移について

日本鋼管, 技術研究所

No. 6424/

千原完一郎・○白井源一・多田 健

Changes in Temperature of Molten Steel and Mould during and after Casting.

pp 1751~1754
Kanichiro CHIHARA, Genichi USUI, and Takeshi TADA.

I. 緒 言

造塊時における溶鋼の鑄込み温度、鑄型外面の温度な

どについては今までに可成り測定されているが、下注ぎの場合の湯口の溶鋼温度、鑄型の内面温度、定盤内の温度分布などの測定についてはほとんどその例を見ない。

そこで、鋼塊の凝固過程を解明する手掛かりとして、湯口における溶鋼の注入開始から凝固を経て冷却するときの温度変化、鋼塊表面、鑄型内面および定盤内の数箇所における温度変化を実測し、鋼塊表面、鑄型の内面については理論式から計算によつて得られた値と比較しその妥当性の検討を行なつた。また定盤の温度分布からは、それを境界条件として鋼塊の底部付近の凝固過程を計算で求めたのでそれらの概要について報告する。

II. 温度測定的位置および方法

造塊時の温度測定を実施した鋼塊は、角型の単重6tの二重定盤を使用する下注ぎのものである。この鑄型、定盤および湯口煉瓦の形状ならびに寸法を Fig. 1 に示す。

温度の測定は鑄込み開始から凝固、冷却過程において湯口、鋼塊の表面付近、鑄型の内面および定盤内の数箇所について行なつた。次にそれぞれの場合について位置および方法の概略を述べる。

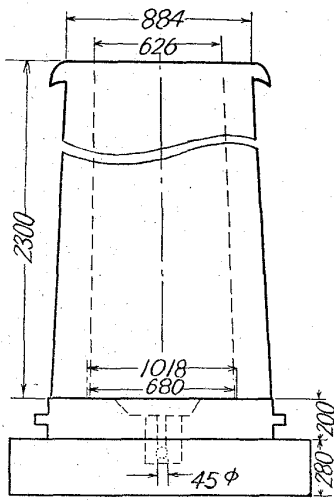


Fig. 1. Sizes of mould and stool.

(1) 湯口温度

湯口を通過する溶鋼およびその凝固後の温度は Fig. 2 の上方に示すように、湯口煉瓦に孔をあけてその孔に耐火塗料を塗つたアルミナ製の保護管を取付け、その内に入れた白金熱電対は定盤と煉瓦の間の目地に埋込み、定盤の裏に切つた溝を経て外部へ導き、温度記録計に接続した。

(2) 鋼塊の表面付近の温度

鑄型の内面付近における溶鋼が凝固して冷却する過程の温度変化は、鑄型の中央部に内面まで貫通した孔をあけ、その中に 5mm φ の透明石英管を先端部を約 5mm 内面より出して埋込み、白金熱電対と記録計によつて求

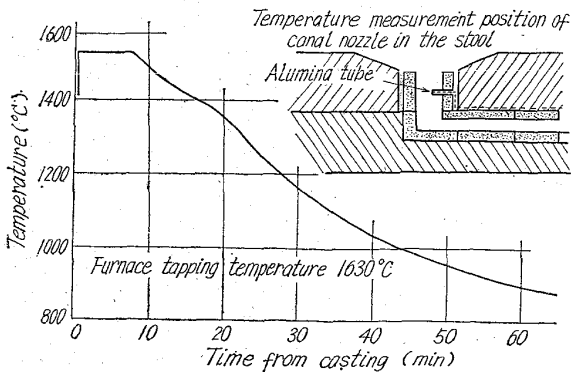


Fig. 2. Time/temperature curve of teeming temperature in a canal nozzle of a stool.

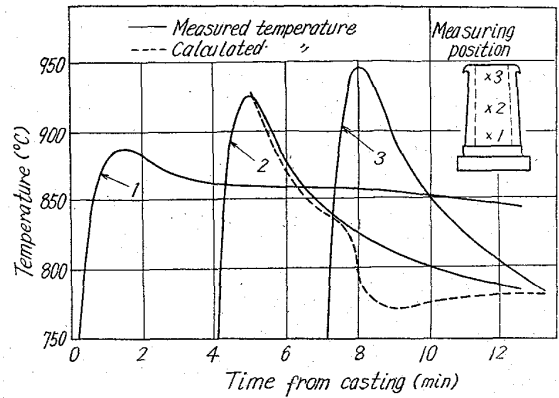


Fig. 3. Time/temperature curves of mould inner surface.

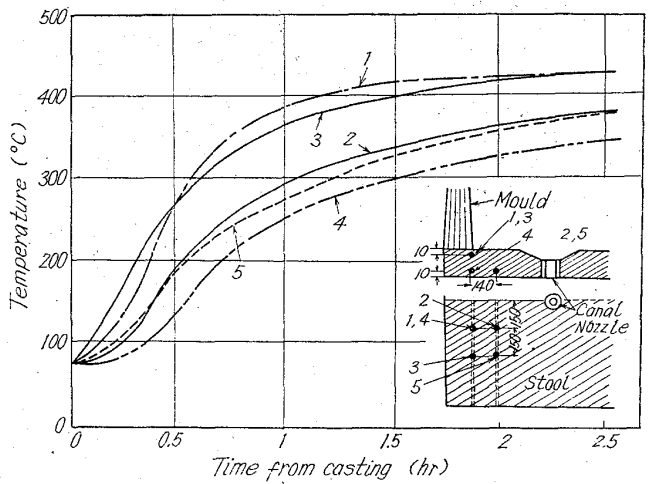


Fig. 4. Time/temperature curves of the stool.

めた。

(3) 鑄型内面の温度

鑄型内面の温度測定に当つては径が約 20mm の丸棒の中心部に径 3mm の孔をあけてこの中に先端をつぶした 1mm φ のクロメル-アルメル熱電対を取付け、これらを鑄型の上、中、下の 3 個に上の丸棒が丁度入る位の大きさにあけた孔に埋込んだ。その取付け状態を Fig. 3 の一部に示す。このように鑄型に取付た 3 対の熱電対には応答速度の速い温度記録計を 1 台宛用意して温度変化を記録した。

(4) 定盤の温度分布

この実験における定盤の配置状態は Fig. 1 に示すように二重になつており、温度分布を求めたのは上方のものである。この場合には、鑄型の内面のときと同じ方法で、約 25mm φ の長さ 500mm の丸棒の表面に軸に平行に溝を切り、この溝から軸に直角方向に径 3mm の孔を数箇所表面まで貫通する孔をあけて、この孔に熱接点が出るように 1mm φ のクロメル-アルメル熱電対を取付け、他端は溝を通して丸棒の端まで引き出した。この丸棒を定盤の側面から表面に平行に中心線近くまであけた 3 箇所孔に埋込んで、6 点式記録計により 6 箇所温度を同時に記録した。

III. 測定結果および考察

(1) 湯口温度および湯道間の温度降下

鑄込み開始から約 1 時間後までの間の湯口における溶鋼が、凝固してから冷却する過程の温度測定の結果を Fig. 2 に示す。この場合の出鋼温度は 1630°C で、以前に測定した例によると出鋼から注入管入口までの間の溶鋼の温度降下は約 45°C であるから、注入管入口から湯口までの温度降下は大体 35°C 程度と見られる。なお、このときの鋼塊は 4 本立てで測定を行なったのは端側のものであるから、内側の鋼塊ではその温度降下はこれよりも幾分少ないものと考えられる。

(2) 鋼塊の表面付近の指示温度についての考察

鑄型内面より 5mm 程度先端を出した石英管によつて得られた結果によると、溶鋼が石英管に接触した瞬間から約 20 秒後には 1260°C になり、さらに 10 秒後には最高値 1265°C を示したが、それ以後は急速に下り 90 秒後には 1200°C になった。このような場合の温度変化の解析は可成り複雑と考えられるが一応考察を加えて見る。熱伝導の理論式によると異なつた物質より成る 2 つの物体を接触させた場合その接触面の温度は次式で表わされる。

$$\theta_0 = (\sqrt{K_1 C_1 \rho_1} \theta_1 + \sqrt{K_2 C_2 \rho_2} \theta_2) / (\sqrt{K_1 C_1 \rho_1} + \sqrt{K_2 C_2 \rho_2}) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 θ_0 : 境界面の温度、 θ_1 : 凝固熱を考慮した溶鋼温度、 θ_2 : はじめの鑄型の温度、 C_1, C_2 : 鋼および鑄鉄の比熱、 ρ_1, ρ_2 : 鋼および鑄鉄の密度、 K_1, K_2 : 鋼および鑄鉄の温度伝導率

上式において溶鋼の温度を 1525°C、鑄型の温度を 30°C として境界面の温度を求めると 945°C になる。

2 つの物体の接触面に相当する鋼塊表面の温度は上の値になるはずであるが、この場合には先づ鑄型内を上昇してきた溶鋼に石英管が浸漬され、はじめの間は石英管の先端は溶鋼内にあるが、鑄型に接触した溶鋼は急速に凝固し凝固殻ができて鑄型から離れると、石英管の先端は鋼塊の表面と鑄型の内面との間の隙間にあることが考えられる。したがつて溶鋼が石英管に接触した瞬間には、その温度は溶鋼の温度近くまで急上昇するはずであるが、石英管と熱電対はある程度の熱容量を持つているので応答遅れがあり、上のような結果になつたものと思われる。なお溶鋼が石英管に接触してから 15 分後より 1 時間位の間はこの点の温度は大体 1020°C 付近で平衡状態を示したが、これは鋼塊の表面と鑄型の内面との間の平衡温度であるとして説明出来る。

(3) 鑄型内面の温度および理論値との比較

鑄型内面の 3ヶ所の点の温度は型抜きまで測定を行なつたが、Fig. 3 には特に鑄込み直後の一部のみを示した。図によると鑄型の内面の位置により最高到達温度が異なつてゐるが、これは溶鋼を鑄込む場合鑄型内を溶鋼が徐々に上昇し、その間の輻射伝熱により溶鋼が測定点に達したときに鑄型の上方温度が高くなつてゐるためと考えられる。これらの鑄型内面の温度について理論的に計算によつて得られた値と比較して見る。溶鋼と鑄型の接触面の温度は前の (1) 式によると 945°C になるが、この実測値の方は定盤に近い下部で 890°C、中央部で 950°C、上部で 990°C となる結果が得られ、下部では定盤のために溶鋼の温度降下がかなりあることが考えられるのでこれを除くと、大体一致してゐる。つぎに鑄型の

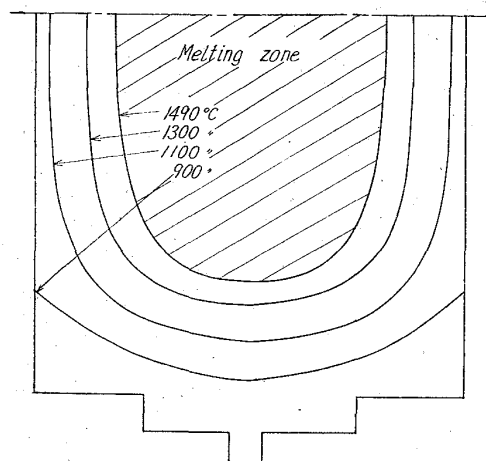


Fig. 5. Temperature distribution after 48 minutes from casting.

内面温度 945°C を初期条件として、溶鋼の鑄込み直後より数分間の鑄型内面の温度変化を二次元的に差分方程式により計算した結果を実測値と同時に示した。

上の計算では鋼塊が鑄型から離れる時間は、今までの文献により鑄込み後 2 分 30 秒としたが、Fig. 3 によるとこの時間は幾分早く 2 分程度と推定され、また計算値と実測値とでは 2 分 30 秒以後では幾分異なつてゐるが、これは計算では鋼塊と鑄型は瞬間的に離れ以後の熱授受は輻射のみによるものとしたが実際には徐々に離れ、以後の有効輻射係数の値のとり方も少し小さ過ぎたためにこのような差がでたものと思われる。

(4) 定盤の温度分布および鋼塊底部の凝固過程

溶鋼鑄込み後の定盤内の数個所の点における温度変化の一例を Fig. 4 に示す。鑄型の温度は最高 800°C 近くになるのに、それに比較すると、定盤の温度は可成り低い。これは定盤が二重になつており下の定盤は 14 t 程度あつて熱容量が大きく上定盤からの熱を多量に吸収し、かつ側面からの放熱量も多いことが原因と見られる。

この定盤の温度変化を底面の境界条件とし、また側面からは鑄型を通して自然放冷するものとして、鋼塊の底部付近の凝固過程を三次元的に差分方程式によつて求めたが、その途中の凝固状態の一例を Fig. 5 に示す。図によると鋼塊の底面からの凝固速度は側面からの凝固速度に比較して 2 倍近く速く、定盤の凝固に及ぼす影響は非常に大きいことが明らかになつた。

IV. 結 言

下注ぎ鋼塊の鑄造時における定盤の湯口の溶鋼温度、鋼塊表面、鑄型内面などの温度について測定を行ない湯道間の温度降下を求め、鋼塊表面および鑄型内面の温度に対しては、実測値と理論式から求めた値とを比較して理論式が可成り正しいことを確かめた。

また定盤の温度分布からは鋼塊の底部付近の凝固過程を計算によつて求め、鋼塊の底面からの凝固の速さは側面からの凝固に比較して 2 倍近くなる結果を得た。

文 献

- 1) The British Iron and Steel Research Association: Physical constants of some commercial steels at elevated temperatures

- 2) 小平吉男: 物理数学 (1942) p. 393~397
- 3) J. Iron & Steel Inst. (U. K.), Aug. (1954) p. 428~444

621,746.62, 667,046.555, 669,141,244.4

(80) リミングアクション中のリムド

鋼塊内の湯動きについて No. 6424

(製鋼工場における RI の利用—V)

八幡製鉄所, 技術研究所

理博 森 久・〇松尾 翠・縄田義訓

〃 戸畑製造所 No. 734~756

田中 功・北条 朝彦

Metal Movement during Solidification of Rimmed Steel Ingot.

(Tracer application of RI to steel works—V)

Dr. Hisashi MORI, Midori MATSUO,

Yoshikuni NAWATA, Isao TANAKA,

and Asahiko HŌJŌ.

I. 緒 言

リムド鋼塊の性状を左右するもつとも大きな要因はリミングアクションであり, 古くからいろいろの手法によつて研究されているが, 最近 ¹⁹⁸Au などのラジオアイソトープを造塊時に鋼塊内に添加し, 凝固した鋼塊内の RI の分布をしらべて, 凝固の進行状況を追跡する試みがなされている¹⁾²⁾.

筆者らは, 八幡製鉄所で推進されている大型低炭リムド鋼塊に関する試験の一環として, ¹⁹⁸Au を注入終了後に鑄型内に挿入し, 鑄型内から溶鋼試料を順次採取して, リミングアクション中の鑄型内の湯動きをしらべると共に, 凝固後の鋼塊内の ¹⁹⁸Au の分布範囲を, シンチレーションスキヤニング法によつて求めたので, その概要を報告する.

II. 実 験 方 法

1. 鑄型内への ¹⁹⁸Au の挿入と試料採取

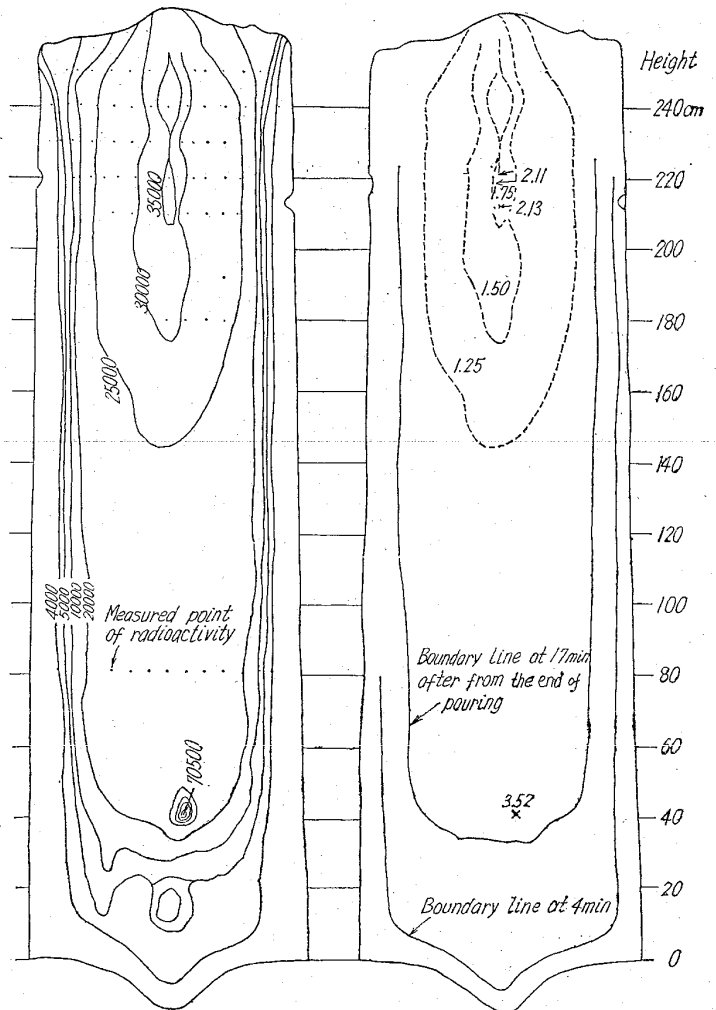
金属線状の ¹⁹⁸Au (鋼塊 t 当り 0.1~0.3 mC) を Al 箔につつまみ, 挿入用鋼棒の先端に円筒状にまきつけた薄鋼板内におしこみ, 注入終了後 0~17min に鑄型内に挿入した. ¹⁹⁸Au 挿入後約 5sec 間隔で, 鑄型内からタコツボ試料を採取し, 前報³⁾の要領で放射能を計数した.

2. 鋼塊内の Au が分布した範囲の測定法

第1の方法として, 鋼塊を短辺方向に縦断し, その面を 5 cm 角の基盤目状にけがき, 交点の先端にリング状の鉛遮蔽をとりつけたシンチレーションプローブを密着させ, 各点の真の計数率を測定した. 等しい計数率を示す点を結ぶと放射能等高分布図が得られるが, 14 t 鋼塊の注入終了後 4min と 17 min に 2 回にわけて ¹⁹⁸Au を挿入した場合を例として, Fig.1-A に示す. これでは計数率が連続的に変化しており, ¹⁹⁸Au が分布した範囲 (境界線) を知ることができない. そこで基礎実験として, ブロック状の ¹⁹⁸Au を含む鋼片と ¹⁹⁸Au を含まぬ鋼片をつき合せ, シンチレーションプローブを鋼片表面にあてて, つき合せ面に垂直方向にスキヤニン

グした. すると S 型の計数率の変化曲線, すなわち, 境界から 7 cm 離れた位置では真の計数率はほとんど 0 であるが, 境界に近づくにつれて上昇し, 境界から 7 cm 以上入るとほぼ定常値に飽和する形状の曲線が得られた. 境界の真上における計数率は, この定常値の 50% である. そこで, 前述した測定点のうち, 定常値の 50% 内外の計数率を示す点を 2 点見出し, それぞれの点と境界線との距離を, 上述した S 型の曲線を利用して求め, この 2 つの値を平均して境界の位置を求めた. このようにして, Fig. 1-A から ¹⁹⁸Au が分布している境界線を求めた結果を, Fig. 1-B に示す. スキヤニング法による RI が分布した範囲の測定は, 精度はオートラジオグラフ法に劣るが, RI 使用量が少なくてよいことが利点である.

第2の方法としては, スラブ表面のスキヤニングによる法を採用した. 後述するように, 試験の進展に伴い, 鋼塊底部の ¹⁹⁸Au が分布しない厚さと造塊条件との関連を検討することが試験の主目標となり, より簡便なスラブを調査する方法によることとなつた. すなわち, スラブ巾方向の中心線などに前述したシンチレーション



A; contour line of radioactivity B; boundary line of Au-198 distribution

Fig. 1. Distribution of Au-198 on the cross-section of 14 t ingot (Au-198 were added at 4 and 17 min after from the end of pouring).