

(討6) 水モデル実験による連続鑄造鑄片内の湯流れと鑄片内部性状に関する2,3の知見

神戸製鋼 中央研究所 ○森 隆貞 長岡 豊
綾田 研三
加古川製鉄所 杉谷 博

1. 緒言

連続鑄造鑄片の品質を決定する要因は種々あるが、その主なものは鑄肌、鑄片内部の化学成分組成の偏析及び非金属介在物分布であろうと考えられる。したがってこれらの問題に関する研究も多く、相当の成果も得られているようである。著者もこれらの点に多大の興味を持ち、ブルーム連鑄材に関する種々の実験をおこなってきたが、なかでも連鑄材の品質に大きな影響を持つ巨大非金属介在物(ここでは50 μ 以上を指す)の挙動に大きな興味を持っている。すなわちもし非金属介在物、なかんずく巨大介在物がストークスの法則に従うとしてもモールド内には常に新しい溶鋼がノズルより供給され、これらのノズル吐出孔より吐出される溶鋼はブルーム内の未凝固の領域でノズル形状に特有のフローパターンを描き、巨大介在物の浮上挙動に影響を与えると共に凝固組織内へのトラップ機構にも影響を与えるはずである。勿論介在物の挙動には鑄込速度、鑄込温度、凝固速度、モールドフラックス、溶鋼の空気酸化、鋼種、引抜き速度、振中など多くの要因が挙げられる。しかしこれらの諸要因と鑄片品質との関係を同時に多重して試験することは現場操業の煩雑さを考えると非常に困難な問題である。従ってこれらの諸要因をいくつかに分割して連鑄材品質と関連づけて解決していくことが必要であり、実験的にも可能である。

本報では、鑄片内部、特に鑄片皮下0~30%の巨大介在物とモールド内の溶鋼のフローパターンとの関係を明らかにするため、予め1/8の水モデル実験をおこなない、このモデル実験に用いたノズルと相似の18倍のノズルを用いて同一チャージの300 μ ブルームを製造し、その鑄片内部の巨大介在物の分布と水モデルのフローパターンとの対応を調査したのでその結果を検討する。

2. 実験方法

2-1 溶鋼フローパターンの追跡 ----- 透明なアクリル樹脂板で実物の1/8の模型を作り、溶鋼の代りに水を用いて動粘性係数を溶鋼のそれと同じにし、さらにFroude数を合わせて、溶鋼の重力場における挙動を水によってシミュレートした。また凝固殻の厚さをこれ迄の実験式 $D=KVt$ に基づいて計算して残溶鋼域を勘案した。鑄型内任意断面の溶鋼流のフローパターンを得るために、水に比重1.04、直径0.8 ϕ のポリスチロール樹脂を混じり、このスチロール樹脂に強い板状の光線を当て、これを写真及び映画に撮ってフローパターンを追跡した。

2-2 ノズル形状及び鑄込条件 ----- 実験は溶鋼流が強い流れを持つ場合(実験-1)と、弱い流れではあるが流れの方向が全く逆になる場合(実験-2)の2つの場合についておこなった。

2-2-1 実験-1の場合 : 実験-1で用いたノズル形状をFig.1に示す。これは鑄型内隅部溶鋼の流速が十分に速くなるようにノズルの内径を細くし、吐出孔を対角線上にセットしたもの(A,B)とノズル底部に底孔をあけたもの(C)の3種類である。

2-2-2 実験-2の場合 : 実験-2で用いたノズルは溶鋼吐出孔がノズル底部にのみ開くストレートノズル(ノズル内径と吐出孔径が同じもの)と実験-1で用いた3種のノズルと同じ形式のものである。但しノズル内径はE,Dで実験-1で用いたものの約2倍、吐出速度にして約1/4となっている。

2-3 巨大介在物の測定 ----- 試料は操業条件の安定したMiddle部から採取した。試料は横断面を研磨し鏡面とし、20倍の拡大鏡写真を撮り、50 μ 以上の巨大介在物の分布と個数の測定を所定の位置でおこなった。(実験-1の場合Fig.1に示す)

2-4 他の試験及び計算 ----- 試料は巨大介在物の測定の後サルファープリントをとり、ステッド試薬を用いて腐食し、マクロ及びミクロ凝固組織を観察測定し、所定位置の化学成分組成並びにサンド分析を行った。さらに電算機を用いて鑄片内部の凝固過程を追跡した。尚、当計算結果は鑄片表面温度で±25°Cの範囲内で実測値と良好一致を示して Table 1. Chemical composition of test heats

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %
Exp.-1	0.18	0.08	0.83	0.021	0.025	0.037
Exp.-2	0.10	0.07	0.48	0.016	0.030	0.069

いる。尚、本実験において使用した鑄鋼の化学成分組成は Table 1 に示す如くである。

3 実験結果及び考察

3-1 実験-1に関する実験結果及び考察 : Photo-1はモデル実験における7ズル吐出孔付近コーナー部の鑄鋼フローパターンの一例で、コーナー部は下向きの強い流れの存在するのが観察される。Fig.1は7ズル吐出孔の鑄鋼流速の速い場合の鑄片中央部の表面から50%に到る間の巨大介在物個数分布を示す。aは空気酸化がなく、図右のA7ズルを使用した場合である。bは空気酸化があり、底孔のないB7ズルを使用した場合、cは空気酸化があり、しかも底孔のあるC7ズルを使用した場合である。但し縦軸は図右上部に示すブルー4の斜線部が5cmに認められる介在物個数、面を削って6回計測し、その合計数を示したものである。横軸は表面からの距離である。図から判るように空気酸化のあるb,cの場合は空気酸化のないaの場合に較べて巨大介在物個数の多いことが判る。また同じ空気酸化のあるbとcの場合にも差が認められるのは7ズルに底孔があるか否かによる鑄鋼フローパターンの差によるものと考えられる。Fig.2にaとcの鑄片コーナー部における巨大介在物測定結果の一例を示す。図から明らかなようにa、c両鑄片のコーナー部50x50mm²の領域には、いづれの場合にも巨大介在物はほとんど認められなかった。これはPhoto.1で明らかなように鑄片コーナー部での吐出流による強制攪拌域深さは凝固殻厚さで約30mmの領域に達している事を考慮するに、cのように空気酸化がある場合は空気酸化のない場合に較べ鑄片中央部の表層部(0~30%)で巨大介在物の量が3~5倍となるにもかかわらず、鑄片コーナー部で巨大介在物がいづれの場合にもほとんど見当らないことは、巨大介在物の凝固前面へのトラップのされかたが鑄鋼流の速さによって少なからず影響を受けることを示唆するものと考えられる。さらに各試面のサルファープリント、マクロ及びミクロ凝固組織などの調査をおこなったがa,b,cいづれの鑄片においても巨大介在物の分布は認められるような顕著な差違は認められなかった。

3-2 実験-2に関する実験結果及び考察 : 実験-2に使用した7ズルはFig.3の右側に示すように、水平方向と底部に吐出孔のある7ズルD、水平方向のみ吐出孔のある7ズル

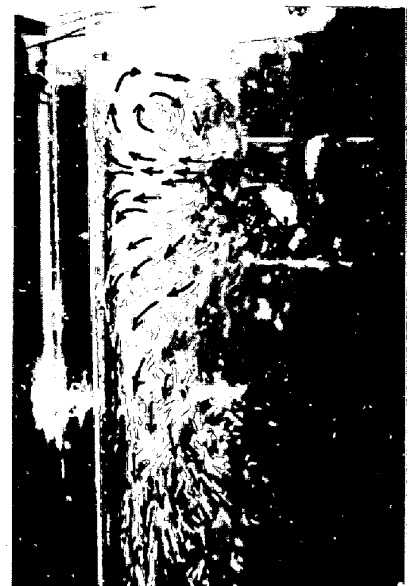


Photo.1 Flow pattern at the corner of bloom

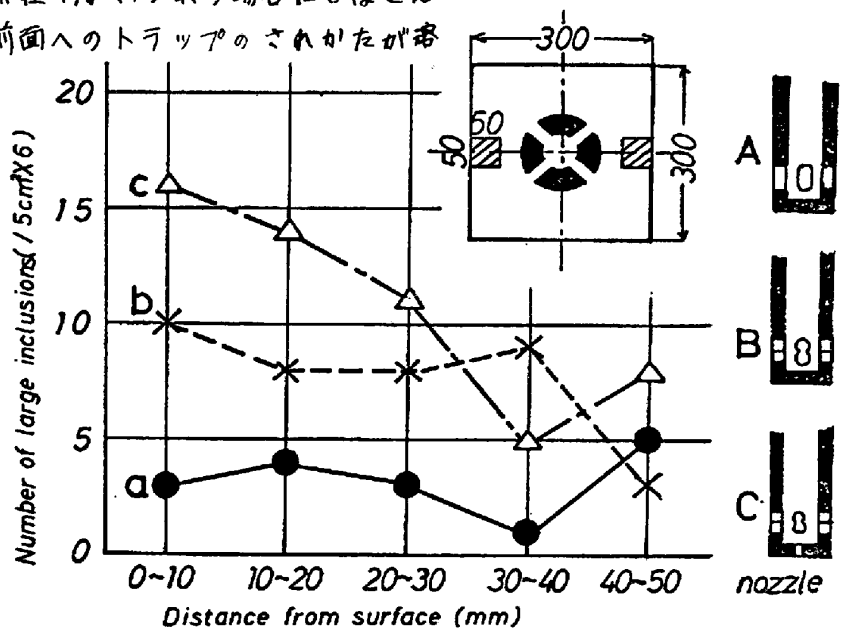


Fig. 1 Distribution of large Inclusions near the surface of bloom

ノズルE及び水平方向には吐出孔がなく、ノズル内径がそのまま底部吐出孔の径となっているノズルFの3種類であるが、E、Fのノズル内径は実験-1で使用したノズル内径の約2倍で流路断面積が大きいため、吐出孔での溶鋼の流速は約1/4である。また実験-2でEとFは溶鋼の空気酸化がない場合である。

ノズルEとノズルFを用いて鑄込んだ場合の鑄込中央部表面層(0~30mm)及びコーナー部の巨大介在物の分布を調査し、比較したところ、両者の間には鑄片表層部、コーナー部共にその分布には大きな差は認められなかった。

Fig.3はノズルD、E及びFを使用して鑄込んだ鑄片のC、P及びSiの偏析を鑄片横断面の中心線上及び対角線上について調査したものである。図から判るように偏析についても大きな差は認められない。

更に各試験片横断面のマクロ凝固組織を調べた。1例としてPhoto.2にノズルFを用いて鑄込んだ鑄片横断面中心部の表面から中心部に到る(Fig.3の分析試料採取位置)凝固組織を示す。

Fig.4はPhoto.2に示す凝固組織写真から得られた二次のデンドライトアームスパーキングの測定結果である。図中I、IIは柱状晶帯、IIIは等軸晶帯の領域を示している。

以上のようにしてDE及びFの各鑄片について偏析或は凝固組織の面からも検討を加えたが、巨大介在物の分布を左右するような大きな差は認められなかった。

一方、水を使用した模型実験の観察結果では、ノズルEの水平吐出孔から吐出された溶鋼はノズル下端近傍でブルーム内面の凝固進行面全域をおおう傘状の流れとなって比較的ゆっくりと下降して強制攪拌域に達し、ブルーム中心部で再び上昇流となる。この上昇流は周壁部の下降流と再び合流して下降をくり返す。ノズルFの吐出孔から下向きに吐出された溶鋼は真直ぐ下方に向い、強制攪拌域に達し、四方に分散して凝固面前面を下方から上方へと移動し湯面近傍でノズルに沿って下方に流れ、再び吐出流と合流して再度強制攪拌域に達する。このようにノズルEとノズルFは鑄型内のフローパターンが全く逆になっている。即ち溶鋼の流れの方向は逆であるが鑄片表層部(0~30mm)の領域では巨大介在物の分布は大

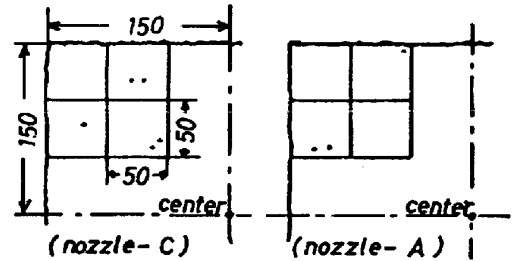


Fig.2 Distribution of large inclusions at the corner of bloom

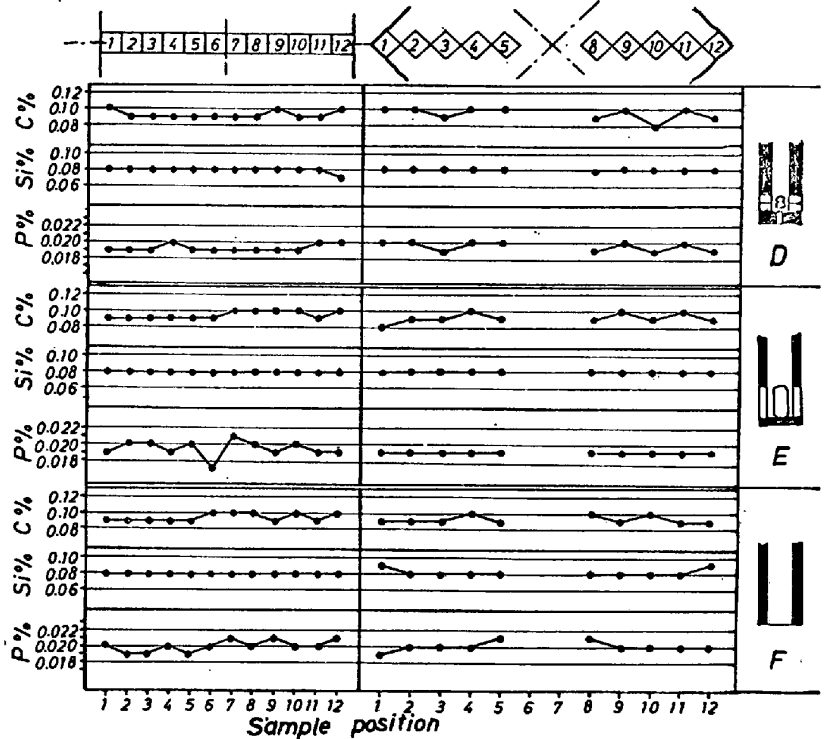


Fig.3 C, Si and P content of transverse section of bloom

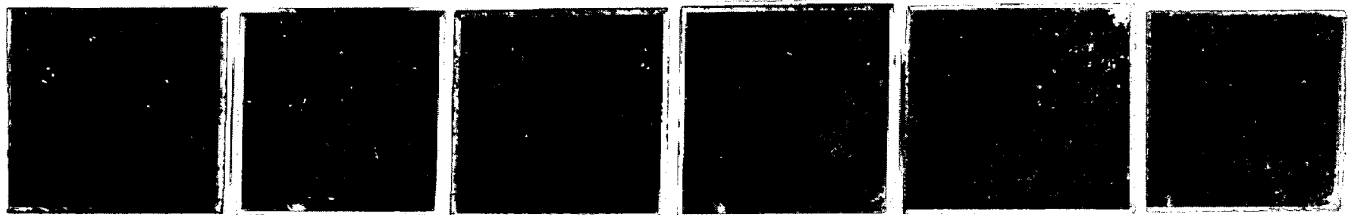


Photo-2 Macrostructure of transverse section of bloom in experiment No.2

きな差違はなかった。

Photo.3,4 に実験-1及び実験-2の鋳片皮下近傍あるいはコーナー部で認められる代表的な巨大介在物及びそのEPMA分析結果の1例を示す。Photo.3は実験-1に認められる結晶状アルミナである。Photo.4は実験-1及び実験-2で認められる酸化物及び硫化物の複合型の介在物である。

以上、実験-1及び実験-2から得られた資料を総合すると次のようになる。

- (1) 鋳皿中央部の表面層(0~30mm)の領域では空気酸化のある場合とない場合とでは観察される巨大介在物の個数に相当(3~5倍)の差が認められる。
- (2) コーナ部のような溶鋼の流しの速い領域では空気酸化があっても巨大介在物はほとんど存在しない。
- (3) 同じサイズの鋳片の横断面の表層部近傍の凝固組織及び偏析にはほとんど差がない。
- (4) 凝固前面の溶鋼流の向きが下方、上方と逆方向の場合でも溶鋼流流しの速さがある領域では巨大介在物の分布には大きな差違がない。
- (5) 鋳片のサンド分析値と観察された巨大介在物の分布とはほとんど同じ傾向を持つ。

4. 能 言

連鋳300#フルム鋳片の皮下0~30mmに於ては鋳型内溶鋼のフローパターンと巨大介在物、偏析等の間には

- (1) 鋳片内の巨大介在物の分布は溶鋼の鋳型内フローパターン及びその強さに影響される。
- (2) 凝固前面の溶鋼流の方向が逆でも流速が遅ければ巨大介在物の分布に大きな差違はない。
- (3) 巨大介在物の分布とサンド分析値の分布傾向は似ている。
- (4) 巨大介在物の分布とC, P, Si等の偏析傾向とは直接結びつかない。

5. 参考文献

1) N.M. Lapotyshkin M.S. Boichenko etc.: STAL (1962) Jan. P.25 など
 2) 野崎, 高木, 鈴木, 鈴木: 鉄と鋼 (1971) vol. 57, No. 11 P. 331 など

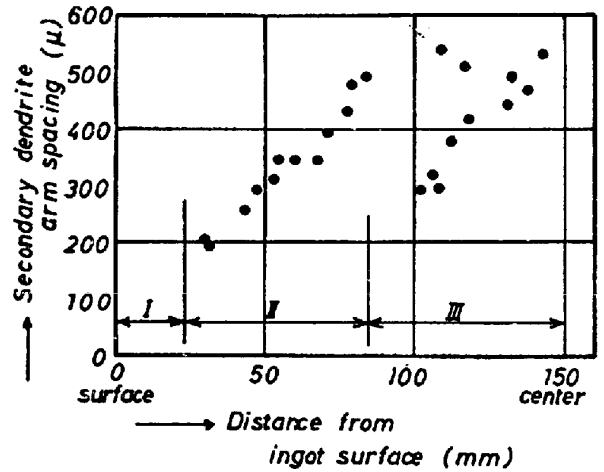


Fig. 4 Secondary dendrite arm spacing measured from Photo.2

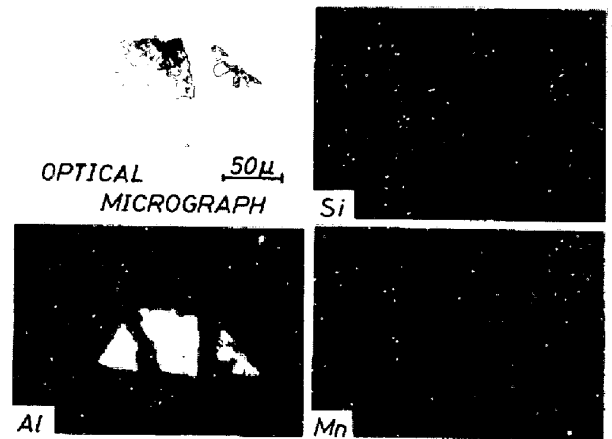


Photo.3 Electron microprobe displays of an inclusion

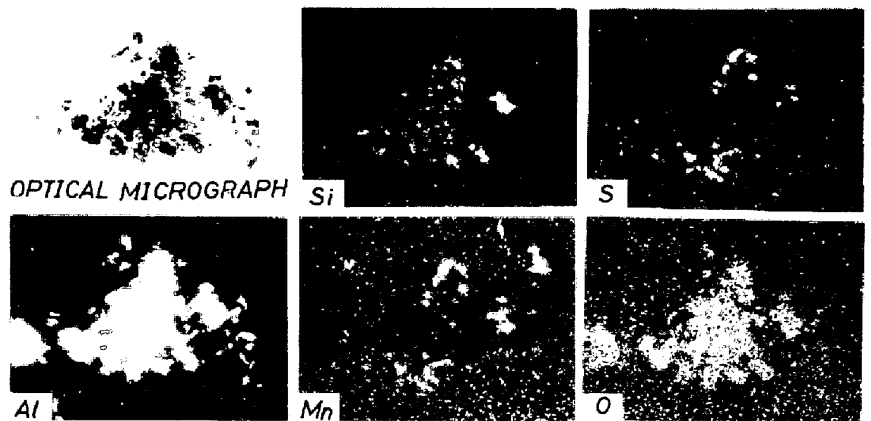


Photo.4 Electron microprobe displays of an inclusion