

討 8

大型鋼塊の凝固と健全性について

日本鑄鍛鋼 技術部

田 代 晃 一

渡 辺 司 郎

○田 村 至

1. 緒 言

鋼塊が大型化するに従って内部の健全性や偏析が大きな問題になるがとくに鍛造用鋼塊ではプレス能力との関連で鋼塊の大型化に伴って高度の健全性が要求される。したがって鋼塊の製造に当っては鑄型および押湯の設計に万全の注意が必要となる。当報告では有限要素法を使用して計算した大型鋼塊の凝固パターンと鋼塊の切断試験により内部の健全性および偏析等を確認した結果とを対比して論ずる。

2. 解析方法および測温結果との比較

2-1. 解析方法

計算方法としては有限要素法を用い要素分割の一例を図1に示す。計算には炭素鋼(0.39% C)を想定して液相線温度を1498°C, 固相線温度を1438°Cとし, 凝固潜熱を60 cal/gとした。凝固計算に使用した初期条件および境界条件を図2に, 計算に使用した熱伝達率および比熱を図3に, 密度を図4にそれぞれ示す。鑄型および押湯枠の外面ならびに空隙生成後の鋼塊表面の輻射率は温度の関数とし<sup>(1)</sup>, 鑄型および押湯枠の外面の対流熱伝達係数は15 Kcal/m<sup>2</sup>hr°Cとした。

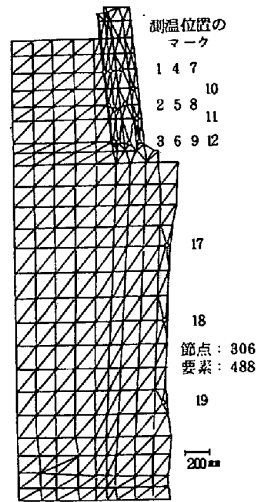


図1. 65<sup>T</sup>鋼塊の要素分割および測温位置

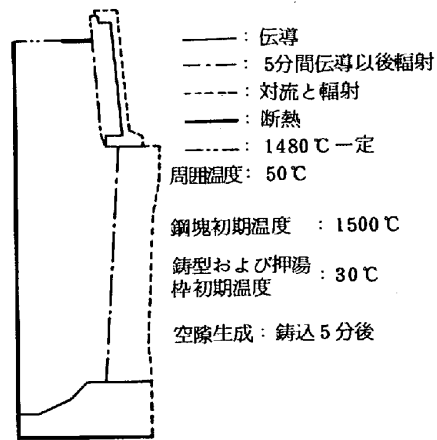


図2. 凝固計算に使用した初期条件および境界条件

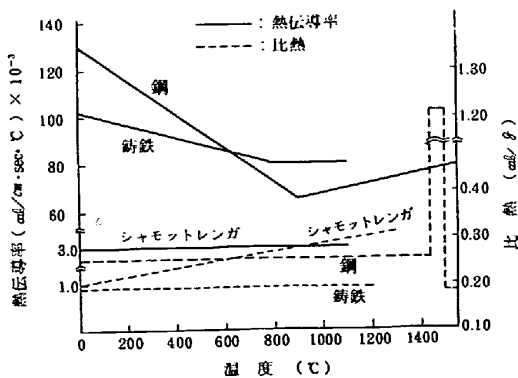


図3. 凝固計算に使用した熱伝達率および比熱

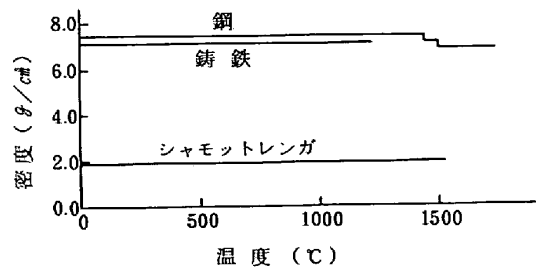


図4. 凝固計算に使用した密度

押湯レンガと鋼塊の境界条件および押湯レンガと押湯枠の境界条件をそれぞれ伝導および断熱としているもの<sup>(2)</sup>、およびそれぞれを空隙形成以前を伝導、以後を輻射および輻射としているもの<sup>(3)</sup>などがあるが今回の解析では、それぞれを空隙形成以前を伝導、以後を輻射および伝導とし、空隙の形成は鑄込5分後とした。押湯上面の境界条件は断熱としているもの<sup>(2)</sup>および外部加熱としているもの<sup>(3)</sup>などがあるが今回の解析では図2に示すように一部断熱他は1480°C一定に保温されているものとした。押湯高さが十分にあるときは鋼塊本体の凝固に対する押湯上面の境界条件の影響は小さいと思われるが押湯高さが低い場合には上面の境界条件の影響が大きくなり、引けによる形状の変化なども考慮する必要があると思われる<sup>(4)</sup>。

鑄込終了後の溶鋼温度は液相線温度に近いと思われ、また溶鋼の動きについては不明の点が多いので溶鋼の対流は考慮しなかったが、計算条件に入れるには溶鋼の熱伝導率を、たとえば10倍にする方法も考えられている<sup>(5)</sup>。鋼の物性値は普通鋼のそれを採用したが普通鋼には沈澱晶の影響と思われる縦凝固の加速がある<sup>(6)</sup>との報告があるのでこの結果は合金鋼の場合に相当するものと云える。また、凝固潜熱を凝固区間に配分するには(i)凝固範囲に潜熱を均等に与える方法、(ii)二等辺三角形で与える方法、(iii)固相率に比例して与える方法などがあるが大型鋼塊の中心部の凝固に対しては大差ないことを確認しているので(i)の方法を採用した<sup>(6)</sup>。

2-2. 測温結果との比較

図1に示す65T鋼塊の押湯枠中の12点および鑄型中の3点の温度分布の変化を図5に、計算によるそれらを図6にそれぞれ示す。実測値と計算値はほぼ一致するので上記の計算条件は妥当であると言える。

3. 解析結果および切断試験結果との対比

上述の結果にもとづき種々の大型鋼塊の凝固パターンを求めているが一例として135T鋼塊のそれを図7に示す。これは液相線と固相線温度間の1460°C(固相率約80%)の点を各時間についてプロットしたものである。図8に135T鋼塊(Ni-Cr-Mo鋼)の軸心の底部からの各位置の縦凝固速度(mm/min)と135T鋼塊の切断結果より求めたポロシティーの分布を示す。この鋼塊の軸心のポロシティーは凝固速度が加速される範囲に多く発生している。また図8には押湯径絞り比(押湯下部径/鋼塊上部径)と鋼塊の高径比(鋼塊高さ/鋼塊径)が変わった場合の縦凝固速度に及ぼす影響を見るために径が135T鋼塊とほぼ同一で高径比の小さい110T鋼塊についての縦凝固速度を示している。これより押湯径絞り比がほぼ同じ場合(135Tと110T(S)鋼塊)は高径比が小

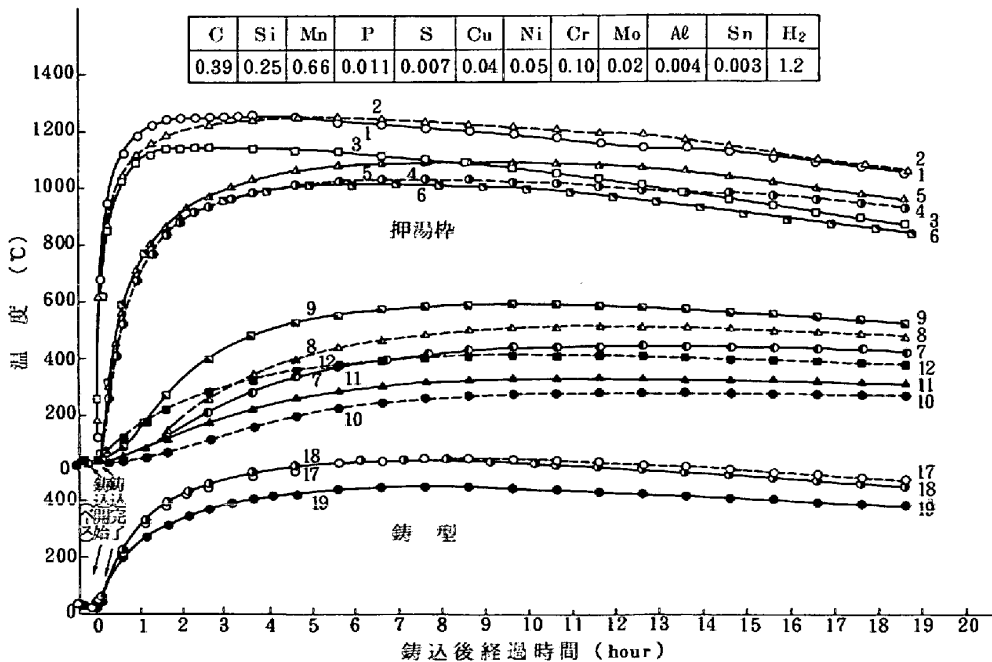


図5. 65T鋼塊押湯枠および鑄型の温度分布の変化

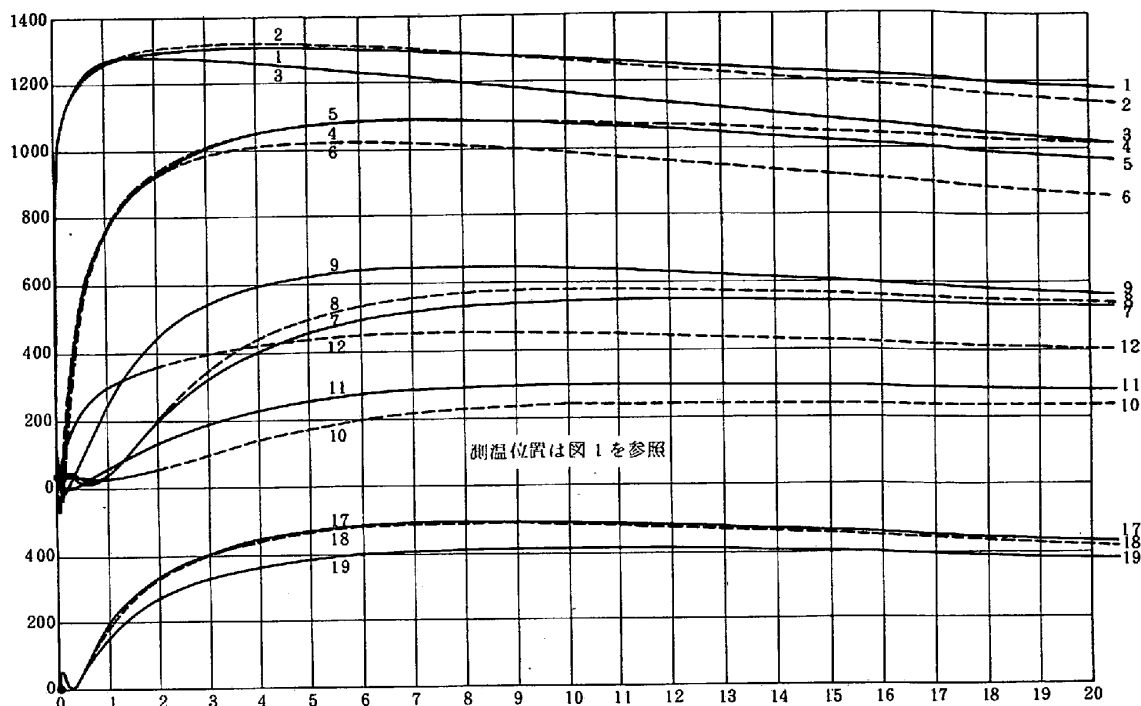


図 6. 65<sup>T</sup> 鋼塊の押湯枠および鑄型の計算による温度分布の変化

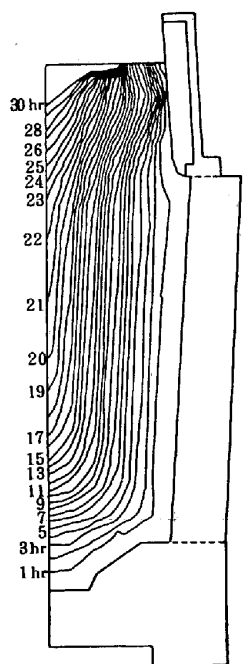


図 7. 135<sup>T</sup> 鋼塊の凝固パターン

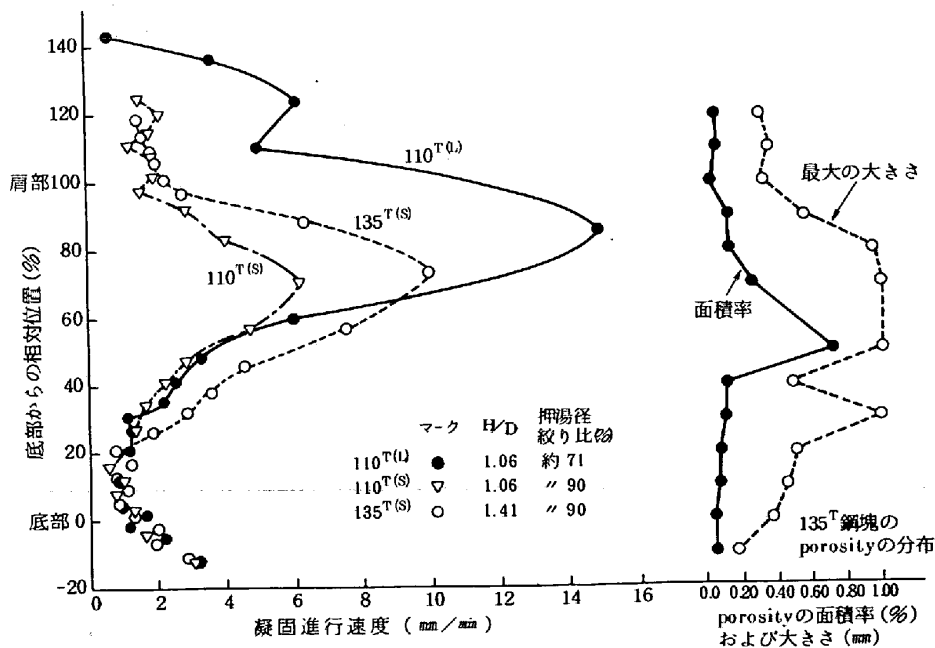


図 8. 各鋼塊の縦凝固速度と 135<sup>T</sup> 鋼塊のポロシティーの分布

さい方が最大凝固速度は小さく、また高径比が同じ場合 (110<sup>T(S)</sup> と 110<sup>T(L)</sup> 鋼塊) には押湯径絞り比が大きい方が最大凝固速度は小さい。

各鋼塊の中央部に於ける横凝固速度と 135<sup>T</sup> 鋼塊の逆V 偏析生成位置およびポロシティーの分布を図9に示す。135<sup>T</sup> 鋼塊の逆V 偏析は横凝固速度が約 0.8 mm/min のところから内部で生成している。また径方向のポロシティーの分布も凝固速度が加速される軸心部で多くなっている。

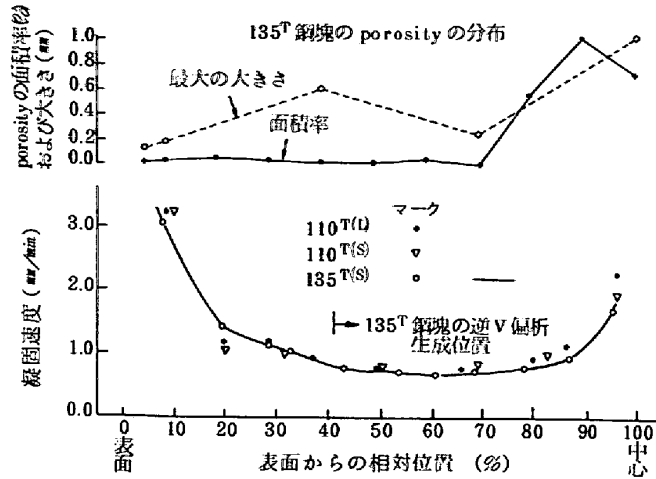


図9. 各鋼塊の中央部の横凝固速度と135<sup>T</sup>鋼塊の逆V偏析生成位置およびポロシティーの分布

#### 4. 凝固条件と鋼塊品質に関する考察

図7の凝固パターンと図8の鋼塊の軸心部のポロシティーの関連をみると縦凝固速度が速まる中央部にポロシティーが集中する事が明らかである。この関係は鋼塊軸心部の凝固先端の形状としてみると考え易い。すなわち底部からの凝固が有効に働く凝固前期(注入後約15hrまで)では凝固先端の形状はU字状をなし給湯効果は良好である。凝固中期では底部凝固の影響が急速に低下し縦凝固は横凝固の影響を主体に進行し縦凝固速度が加速される。この部位では凝固前面の形状は鋭いV字状をなし、この位置にポロシティーが集中する。これは鋭いV字状である程入り組んだデンドライト組織の間をぬって給湯が行なわれるのが困難であることを示すと言える。さらに押湯近くまで凝固が進むと凝固先端の形状は再び先の開いたV状となり給湯が行なわれ易くなりポロシティーは減少している。図9の横凝固速度と鋼塊横方向のポロシティーの分布との関連をみると、表層近くの凝固速度の速い位置ではポロシティーは小さく少ない。横凝固速度が低下し逆V偏析を生じる位置になるとポロシティーは次第に大型化するが面積率の増加は少ない。しかし鋼塊軸心部に近づくと同様の縦凝固とポロシティーの関係と関連するが急速にポロシティーは増加し、大型化する。図9には逆V偏析の発生位置を示してあるがこれは横凝固速度が約1 mm/min以下になると逆V偏析が生成し始めるという前報<sup>(7)</sup>ともほぼ一致している。逆V偏析は鋼塊のほぼ中央近くまで広がっているが、これは図9からも分るように横凝固速度が中央部で加速され1 mm/min以上に達するのはほとんど軸心部近くになるためと考えられる。

#### 5. 結 言

- (1) 大型鋼塊の凝固パターンは鋼塊の高径比および押湯径絞り比によって影響される。
- (2) 大型鋼塊の軸心部のポロシティーの発生は縦凝固速度の大きさと加速度に依存していると思われるので鋼塊の高径比と押湯径絞り比の選択には十分な注意が必要である。

#### 6. 文 献

- (1) R. Sarjant and M. Slack ; J. I. S. I., 166 (1954), 428
- (2) 前川, 鈴木, 宮本 ; 日本製鋼技報, №29, P. 73
- (3) 成田, 森 ; 学振19委8691, 凝固, 34 (1968)
- (4) G.A. Fischer ; Proceedings A S T M, Vol. 62, P. 1137
- (5) A. I. Koler, J. D. Thomas, A. A. Tzavaras ; Cast Metals Res. J., 9 (1973), 4, P. 156
- (6) H. Ooi and J. Matsuno ; Condensed Text of The 7 th Int. Forgemasters Meeting (1975)
- (7) 田代, 他 ; 鉄と鋼, 51 (1965), 1893
- (8) 北川, 轟木, 渡辺 ; 社内研究報告49-5