

大型鑄鋼品の歩留り向上

(株)宇部スチール

生産技術課 主任

李 保柱

生産技術課 係長

高杉 泰行

鑄造事業部 主席部員

糸藤 春喜

1. はじめに

80tを超えるような超大型厚肉鑄鋼品は、鍛造、鋳山及び圧延機械等の分野で主要部品として広く使われている。これらの鑄鋼品は、モジュラス $[Mc=V/S(\text{cm})]$ が大きい。製品の内部健全性を確保するには、 $\phi 2000\text{mm}$ を超える大型押湯を設置しなければならないことが多々ある。しかし、それに伴い、以下のような課題が存在するのが現状である。

- 1) 歩留りが低く、製品 $Mc=35\text{cm}$ 以上の場合になると、僅か50%前後となる。
- 2) 凝固時間が長く、温度勾配が小さいため、溶鋼の濃化に伴う偏析状のポロシティが発生し易い¹⁾。デントライトの成長を抑える成分設計だけでは対策効果が薄い。

これらの問題を解決するため、従来より電極加熱法、発熱スリーブやふりかけ剤等により、押湯の小型化が図られて来た。しかし、加炭や使用条件等の問題により、大型押湯には適用されていない。本研究では、凝固シミュレーションの活用による押湯への後注ぎ鑄込みを検討し、押湯小型化による歩留りの向上並びに押湯下の温度勾配の改善による品質の改善に取り込んだ。

2. 実施方法

押湯への後注ぎ鑄込みは、まず押湯のある高さまで鑄込み、次に規定時間後（以下、後注ぎ時間とする。）に再び鑄込んで完注する方法である。これを実現するため、凝固シミュレーションソフトの改良、精度の向上、可能性の検証を経て、実製品の適用へと展開した。

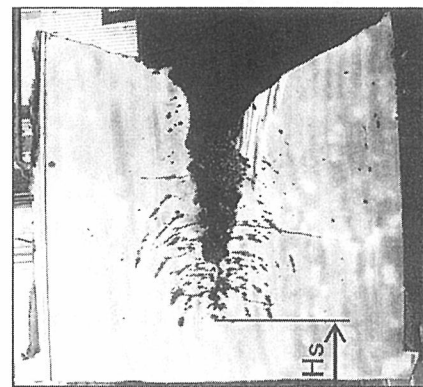
2.1 ソフト精度及び機能の把握

1) 解析精度の向上

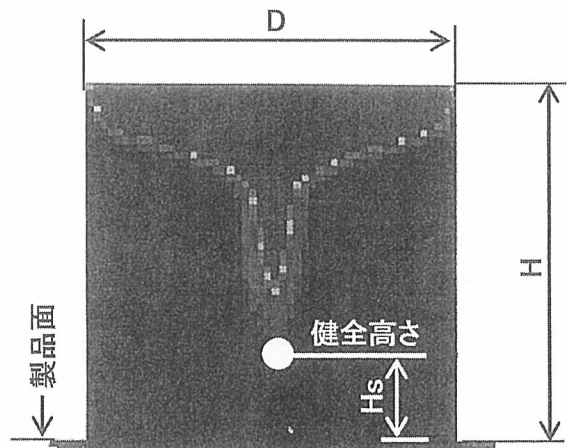
図1に示すように、実押湯を縦2分割して引け状態や健全高さを観察し、その結果を凝固シミュレーションで合わせ込む作業を行った。押湯サイ

ズ $\phi 1300\text{mm}$ 以下では、問題が少ない。しかし、それ以上では、シミュレーション結果と実績が大きく異なって来る場合が多い²⁾。このため、押湯サイズによって解析物性値を変えて合せ込んだ。押

図1. $\phi 1900\text{mm}$ 押湯の健全高さ

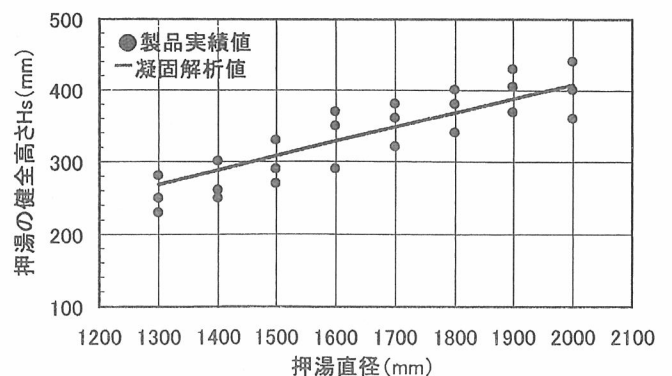


a) 2分割面 PT 結果



b) 解析結果

図2. 解析値と実績値との比較

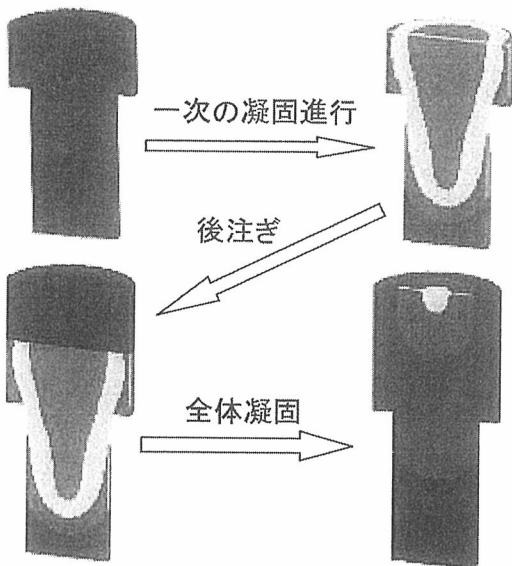


湯Dに対する健全高さHsは、0.2D以上を安全サイドの仕切り値とした。各押湯サイズの実績健全高さに対する解析結果の一致性を図2に示す。実績のバラツキは、多品種少量生産下でのサンプリングのため、製品間で形状・寸法が異なることによる因子も含まれている。

2) ソフト機能の改良

通常のソフトは、全量鋳込み後に計算を始める。本研究のような後注ぎ鋳込み条件を、計算させることができなかった。ソフトメーカーに計算プログラム機能の改良を依頼し、後注ぎ鋳込み後の継続計算を可能にした。今回の凝固シミュレーションソフトには、ADSTEFANを使用した。後注ぎのタイミング及び温度分布状態の計算結果は、図3に示す。

図3. 後注ぎ鋳込みの温度分布



2.2 後注ぎ鋳込みの解析条件

1) 押湯サイズの設定

Mc=36cmの製品に対して、保温スリーブ押湯を従来法[(1)式]で計算すると、その直径Dは、φ2100mmとなる。

$$D = Mc \cdot K1 \cdot K2 \dots (1) \text{式}$$

K1: 拡大係数=7.2

K2: スリーブ断熱係数=0.8

表1. スリーブ断熱係数による押湯サイズの変化

押湯係数 K2	0.65	0.70	0.75	0.80
押湯直径 D(mm)	1700	1800	1950	2100
押湯高さ H(mm)	H=1.2D			

後注ぎ鋳込みにより押湯効果が上がる可能性を考慮し、上式のK2のみを変化させた場合の押湯直径を算出すると、表1のようになる。

2) 鋳込み条件の設定

実操業での作業条件を考慮し、表2に示す鋳込み条件を設定した。

表2. 鋳込み条件の設定

初回鋳込み温度(°C)	1550
初回鋳込み位置	1/3Hまで
後注ぎ時間(h)	0、3、8、12、18、24
後注ぎ鋳込み温度(°C)	1590
後注ぎ位置	Hまで

3) 解析

表1の各押湯サイズに対する後注ぎ時間の影響をシミュレーションした。その結果により、各押湯の後注ぎ時間に対する健全高さHs及び押湯の温度勾配の変化を解析した。

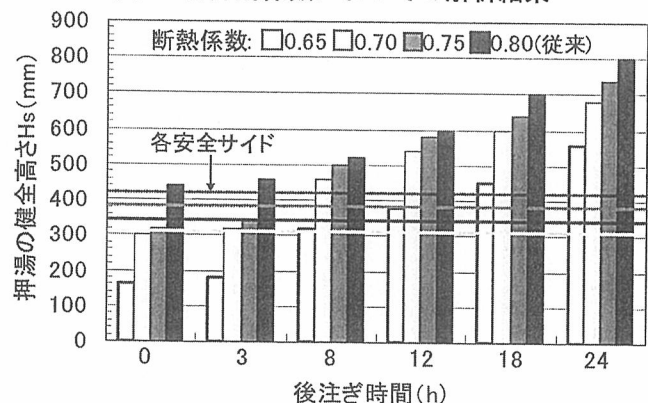
3. 結果及び考察

3.1 凝固解析

1) 押湯の健全高さ

解析結果を図4に示す。後継ぎ時間が長いほど、健全高さが高くなる結果が得られた。健全高さの安全サイド(Hs≥0.2D)を考慮すると、後注ぎが8h以上になると、従来の押湯サイズより小さくできることを示している。

図4. 各押湯係数によつての解析結果

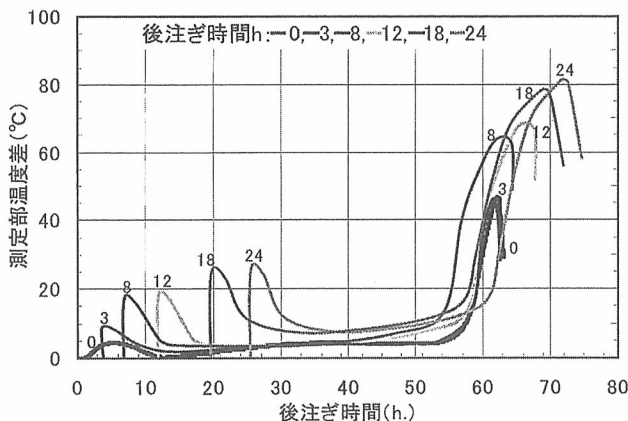


2) 温度勾配

押湯効果の指標として、押湯における製品面と最終凝固位置部の温度差を取り上げた。温度差が大きい程、効果が大きいとした。解析結果は、図

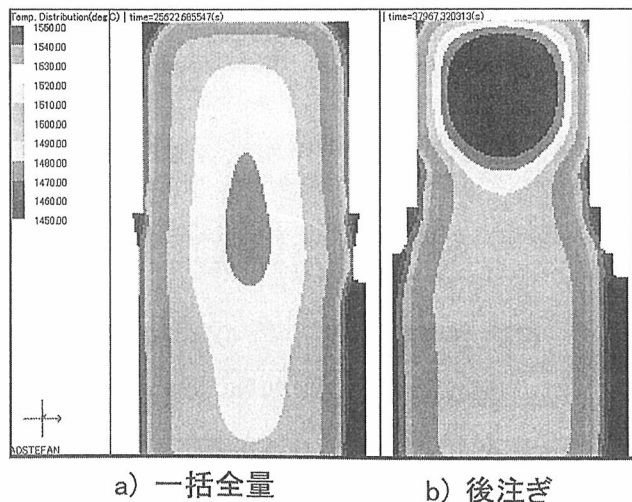
5に示すように、一括全量鑄込み(後注ぎ時間0h)を基準とし、後注ぎ時間の変化で比較した。その結果、一括鑄込みと比べて後注ぎの方は効果が大きいこと、更に後注ぎ時間が長い程効果が大きいことが予測された。

図5. 後注ぎ時間による押湯の温度勾配変化



従来の押湯の一括全量鑄込みと押湯を小型化し後注ぎ鑄込みした場合の温度分布を、図6に示す。製品上型面部の温度勾配は、後者の方が遥かに大きい。

図6. 鑄込み要領の違いによる温度分布の改善



3.2 実体への適用

実績健全高さのバラツキ、解析精度及び溶解炉の操作性を考慮した上で、鑄放し重量約80t、モジュラスMc=36cmの製品に対し、表3に示す条件で鑄込み試験を行った。

1) 歩留りの改善

従来の一括全量鑄込みと比べ、表4に示すように押湯のサイズが小さくなり、歩留りが高くなっ

表3. 試験条件の選択結果

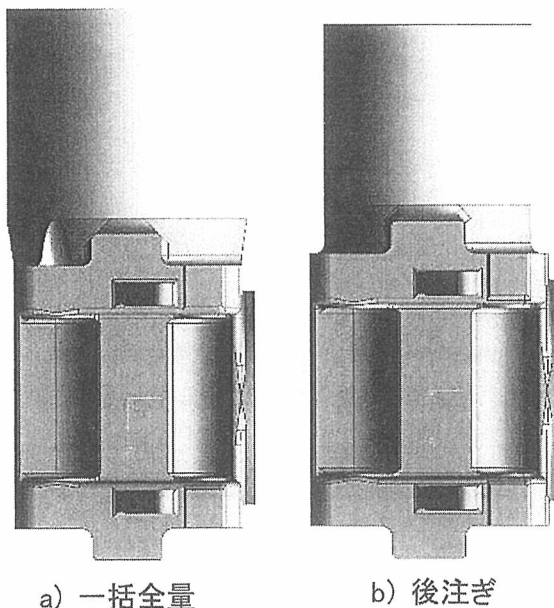
押湯断熱係数	0.70
押湯直径 D(mm)	φ 1800
押湯高さ H(mm)	2160(1.2D)
初回鑄込み温度(°C)	1545~1555
初回鑄込み位置	1/3H まで
後注ぎ時間(h)/温度(°C)	8/1590

表4. 押湯の改善状況

鑄込み方法	一括全量	後注ぎ
押湯径 D(mm)	φ 2100	φ 1800
歩留り(%)	55	65
健全高さ Hs (mm)	解析	460
	実績	480

ている。また、実押湯の最終凝固位置を確認した結果、凝固解析の結果とほぼ一致している。これは、押湯の小型化にも関わらず、後注ぎにより凝固補給率が高くなっていることを意味している。図7には、その事例製品の3Dを示す。

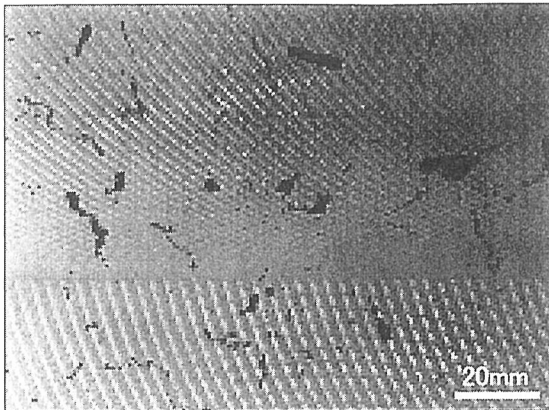
図7. 後注ぎ鑄込みによる押湯小型化の事例



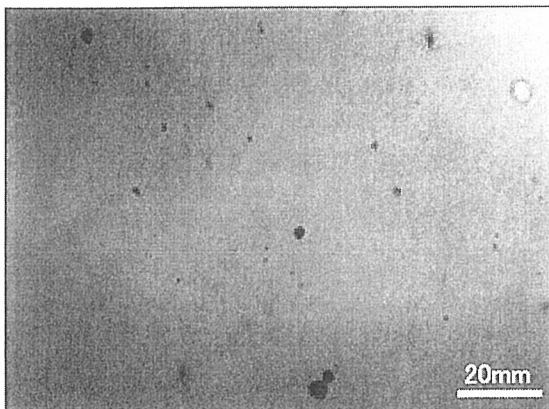
2) 品質

後注ぎ実施有無における押湯下製品面品質差を、図8に示す。対策前の製品面に偏析状ポロシティー欠陥が多発しているのに対して、対策後のものは、欠陥が大幅に減少されている。

図8. 後注ぎ鑄込みによる品質改善(PT)

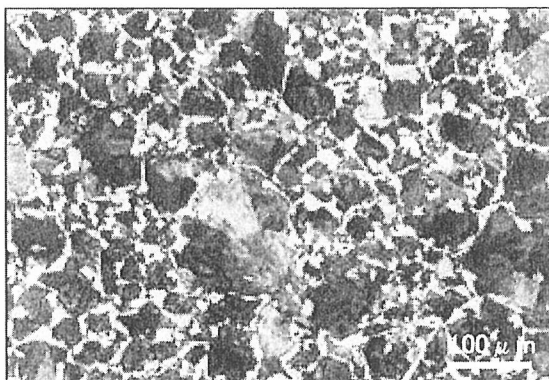


a) 一括全量鑄込み

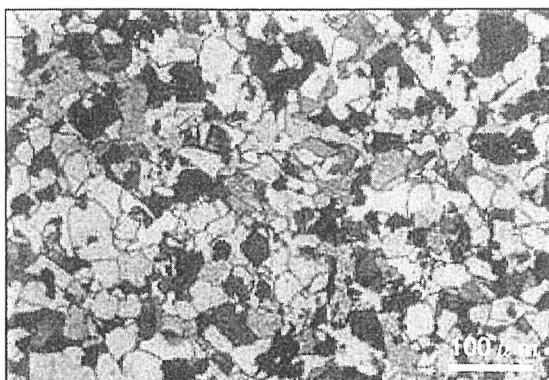


b) 後注ぎ鑄込み

図9. 後注ぎ鑄込みによるミクロ組織改善



a) 一括全量鑄込み



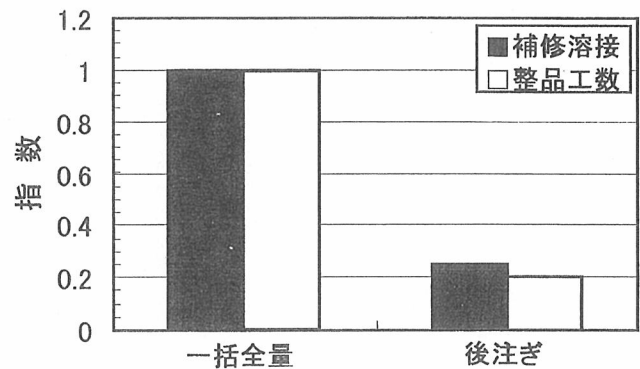
b) 後注ぎ鑄込み

これは、前述のように、一括全量鑄込みと比べ、押湯内の温度勾配が大きくなった結果、溶鋼の偏析位置を押湯上部へと押し上げたためと考えられる。

また、図9に示すように、結晶粒界及びパーライトの割合が改善された。パーライト量からも判断されるように、偏析も改善されている。

欠陥の減少及びミクロ組織の改善に伴い、補修溶接量及び整品工数も大幅に減少された。その改善指数を図10に示す。

図10. 後注ぎ鑄込みによる補修量及び工数の改善



3) 横展開の実施

製品毎にMcが異なることから、押湯サイズ及びその健全高さの安全サイドも異なる。その安全域サイド保証には、押湯サイズ毎に後注ぎ時間の調整が必要となる。その結果として、横展開が可能となった。

4. まとめ

今回、凝固シミュレーションを利用して、大型押湯への後注ぎ鑄込みを行い、以下の結果を得た。

- 1) 後注ぎ時間が長いほど、押湯の健全高さが高くなる。
- 2) 後注ぎによって、押湯の小型化が可能となり、歩留も向上できる。
- 3) 押湯小型化による凝固時間短縮及び後注ぎ鑄込みによる押湯の温度勾配増により、偏析状欠陥が大幅に減少される。

参考文献

- 1) 日本金属学会編：金属便覧、改定5版 (1990) P234
- 2) 安部、李、糸藤：(社)日本鑄造工学会中四国支部こしき(2007)30