

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

薄スラブ, 中厚スラブ用コンパクト 浸漬ノズル形状の開発

Development of Compact Submerged Entry Nozzle Shape for Thin- and Medium-Thick Slabs

新 妻 宏 泰
Hiroyasu NIITSUMA

藤 田 佳 吾
Keigo FUJITA

松 長 隆 行
Takayuki MATSUNAGA



報文／REPORT

薄スラブ, 中厚スラブ用コンパクト浸漬ノズル形状の開発

Development of Compact Submerged Entry Nozzle Shape for Thin- and Medium-Thick Slabs

新 妻 宏 泰^{*1}
Hiroyasu NIITSUMA藤 田 佳 吾^{*2}
Keigo FUJITA松 長 隆 行^{*3}
Takayuki MATSUNAGA

要 旨

近年適用が広がっている薄スラブ, 中厚スラブ連続機用の浸漬ノズルは, 円筒の注入部と薄く広がった扁平な浸漬部からなり, 吐出流の偏りが発生しやすく, 鋳片品質向上の点で課題がある。また, 扁平部を極端に広げると重量が大きくなりハンドリングが課題となる。今回, 扁平部をコンパクトにした上で, 湯面変動や偏流を解消できる構造を開発した。扁平部の内管断面積を上部円筒形部の1.5倍程度に留めることで扁平部をコンパクトにし, 吐出孔に上面を下向きに下面を水平かやや上向きにしたDiA形状を導入することによってメニスカス流速をより低下させ湯面変動を低減させることに成功した。また, 上部円筒形部に凹み段差構造を導入することによって流入時点での流れの偏流状態を解消できることを見出した。これら開発形状は実機にて使用され, 湯面変動や偏流解消の低減などの効果が確認された。

Abstract

Submerged entry nozzles for thin- and medium-thick slab continuous casting machines, which have been widely applied in recent years, consist of a cylindrical inlet section and a thinly spread, flat submerged section, which easily causes unbalanced outlet flow and poses an issue in terms of quality improvement of cast slabs. In addition, if the flat section is extremely wide, the weight increases, and handling becomes an issue. In this study, we developed a design that can eliminate mold level fluctuations and biased flow conditions while making the flat section compact. By keeping the inner bore cross-sectional area of the flattened section approximately 1.5 times that of the upper cylindrical section, the flat part can be made compact. The DiA design was applied to the outlet port, with the upper face angled downward and the lower face angled slightly upward or horizontally. This port design further reduced the meniscus velocity and the mold level fluctuations. It was also found that the introduction of a concave-step geometry in the upper cylindrical section eliminates the biased flow condition during inflow. We applied these developed geometries to actual equipment and confirmed their effectiveness in reducing the mold level fluctuation and biased flow conditions in the mold.

1. 緒言

鋼の連続鋳造プロセスにおいて, 一般スラブは200mm以上の厚いモールドに流し込むのに対して, 150mm以下

1. Introduction

In the process of continuous casting of steel, a general slab is poured into a thick mold of 200 mm

^{*1} 技術研究所 第3研究部 第1研究室 室長 Chief Manager, Flow Control Refractories R&D Sec., Research Dept. No.3, Research Center

^{*2} 技術研究所 第3研究部 第1研究室 Flow Control Refractories R&D Sec., Research Dept. No.3, Research Center

^{*3} 技術研究所 第3研究部 部長 General Manager, Research Dept. No.3, Research Center

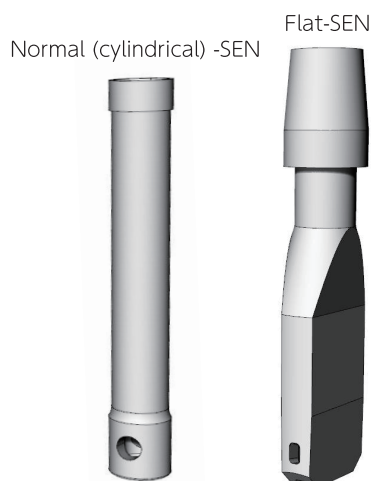


Fig. 1 Schematic design of flat SEN.

の薄いモールドに流し込むスラブは薄スラブまたは中厚スラブと呼ばれる。一般スラブは厚いスラブを一旦冷却し、再加熱して薄く圧延する。一方、薄スラブや中厚スラブは元々のスラブ厚みが薄いため、熱間圧延工程の粗圧延を省略でき、エネルギー消費量や製造コストを大幅に削減できるメリットがある。このように薄・中厚スラブ連続はエネルギー消費量の削減(CO₂削減)の観点から注目されるプロセスであると言える。よって、この連続機は従来の北米、中国以外に近年ではインドやベトナムなど新興国の高炉や電気炉メーカーでも適用が広がっている¹⁾。

薄・中厚スラブの厚さは一般スラブの50%程度以下のため、同等のスループットを維持すると線速度は2倍以上にアップし、いわゆる高速鋳造となる。そのため、湯面流速(メニスカス流速の増加)により湯面変動が大きくなるなどの鋳造の不安定化が起きやすい。近年の薄・中厚スラブ用の浸漬ノズル(以下SEN)の形状変遷について、A.P.Roglerらが報告²⁾しているが、円筒の注入部と極端に横方向に広がった扁平デザインが採用されている。これは、モールド厚みが薄いために厚み方向の寸法を拡大出来ない制約下の中で浸漬部の内管断面積を大きくしモールド内流動の安定化(メニスカス流速の低減)を図った結果と思われる(Fig.1)。しかし、この扁平SENは幅広い形状であることが影響し、SEN管内で発生した偏流が解消されずに溶鋼が吐出し、モールド左右で偏りが発生しやすい(Fig.2)。これは割れに敏感な鋼種では鋳片品質の悪化に繋がる。また、幅広い形状は重量も増えハンドリングし難い面もある。

このように、薄・中厚スラブ連続機での鋳造において①

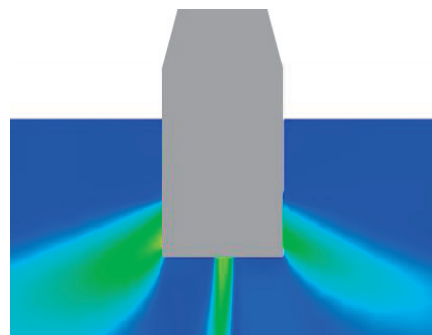


Fig. 2 Past studies of CFD. (example of biased flow)

or more, whereas a slab poured into a thin mold of 150 mm or less is called a thin- or medium-thick slab. For general slabs, the slab is first cooled, then it is reheated and rolled thinner. On the other hand, since the original thickness of thin- or medium-thick slabs is thin, it is possible to omit the rough rolling of the hot rolling process, so there is merit in greatly reducing energy consumption and manufacturing cost. Accordingly, it can be said that continuous casting of thin- and medium-thick slabs is a process attracting attention from the viewpoint of energy consumption reduction (CO₂ reduction). Therefore, these thin- and medium-thick slab continuous casting machines are expanding not only at conventional blast furnace and electric furnace manufacturers in North America and China, but also in emerging countries such as India and Vietnam in recent years¹⁾.

Since the thickness of a thin- and medium-thick slab is approximately 50 % or less than that of a general slab, if the same throughput is attempted to be maintained, the casting speed increases by a factor of two or more, resulting in so-called high-speed casting. Therefore, the increase in molten steel surface velocity (increase in meniscus velocity) is likely to cause casting instability, such as increased mold level fluctuation. A.P. Rogler reported on recent changes in the shape of submerged entry nozzles (SENs) for thin- and medium-thick slabs, in which the inlet section is cylindrical, and the submerged section has a flat design with extremely wide lateral

安定したモールド内流動、②鋳片品質の向上が重要である。これらを達成するためにこれまで一般スラブ用SENでは内管形状に突起(凸段差)を設けた段差ノズルを開発し各所で実績を得ている^{3,4)}。しかし、薄・中厚スラブ用SENは大きな扁平形状のために、管内で発生した偏流を抑制するための技術(凸段差)を行うことが困難である。また、扁平部の断面積を小さくすることはメニスカス流速や湯面変動がアップにつながることから断面積を小さくすることは難しい。

今回、この大きな扁平部分をよりコンパクトにした上で、湯面変動や偏流を抑制できる薄スラブ・中厚スラブ用浸漬ノズルを開発したのでその特徴と開発ノズルの実機使用結果について報告する。

2. 扁平SENの内管径とメニスカス流速の関係

新妻らは扁平SENの扁平部内管断面積比とメニスカス流速との関係を調査している⁵⁾。Fig. 3に扁平SENの内管形状の一例を示す。新妻らは扁平SENの下部扁平部の断面積を A_f 、上部円筒部の断面積を A_c とし、 A_c を固定して A_f を変化させた4形状($A_f/A_c=0.6, 0.9, 1.1, 1.4$)について数値流体力学(CFD: Computational Fluid Dynamics)計算を行った。CFD計算の条件はモールドサイズ100×1600mm、スループット4.0ton・min⁻¹で実施し、メニスカス

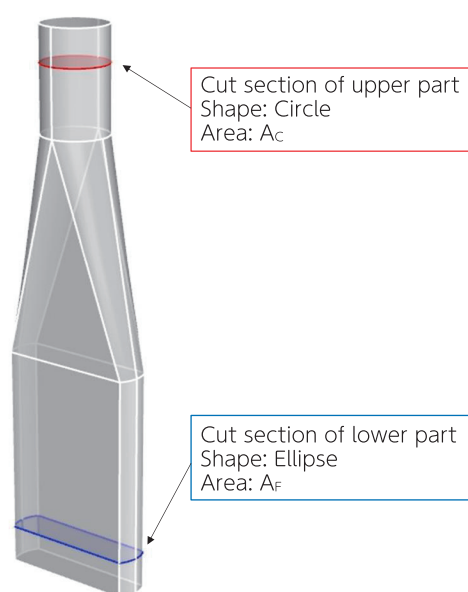


Fig. 3 Inner bore structure of flat SEN. (except outlet ports)

width²⁾. This is likely the result of stabilizing the flow in the mold (reduction of meniscus velocity) by increasing the inner bore cross-sectional area of the submerged part, under the constraint that the depth cannot be expanded due to the thin mold thickness (Fig. 1). However, this flat SEN is susceptible to uneven flow on either side of the mold because the wide shape of the flat SEN causes molten steel to be discharged without eliminating the biased flow that occurs in the inner bore (Fig. 2). This leads to deterioration of cast slab quality for steel grades that are sensitive to cracking. The wide shape also increases weight and makes handling difficult.

Thus, in the casting of thin- and medium-thick slabs, it is important to ① maintain stable flow in the mold and ② improve cast slab quality. To achieve these goals, a stepped SEN with a protrusion (convex step) in the inner bore has been developed for general slabs and is achieving success in various places^{3,4)}. However, since SENs for thin- and medium-thick slabs have a large flat shape, it is difficult to introduce the convex step for suppressing the biased flow in the inner bore. Furthermore, it is difficult to reduce the cross-sectional area of the flat portion because it leads to increased meniscus flow velocity and molten metal surface fluctuations.

This paper reports the features and results of newly developed SENs for thin- and medium-thick slabs tested on-site which suppress mold level fluctuations and biased flow in the mold by making the large flat submerged part more compact.

2. Relationship Between Inner Bore Diameter and Meniscus Flow Velocity for Flat SENs

Niitsuma et al. examined the relationship between the flat inner bore cross-sectional area ratio and meniscus velocity in flat SENs⁵⁾. Fig. 3 shows an example of the inner bore shape of a flat SEN. Computational Fluid Dynamics (CFD) calculations were performed for four flat SEN shapes ($A_f/A_c=0.6, 0.9, 1.1, \text{ and } 1.4$), where the cross-sectional area of the lower flat part is A_f and that of the upper cylindrical part is A_c , while A_c remained fixed and

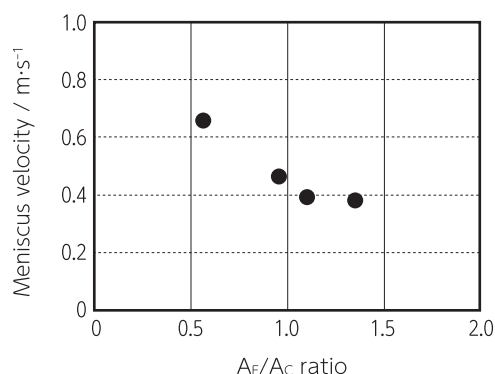


Fig. 4 The relationship between Af/Ac ratio and meniscus velocity.

カス流速は最大値で比較した。その結果をFig.4に示す。Fig.4よりAf/Acが1.0未満の場合には、Af/Ac値とメニスカス流速に負の相関関係が認められた。扁平SEN内管内の流れは非圧縮流体であり連続の式より式(1)が成り立つ。

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad \text{..... (1)}$$

特に、Fig.3中の2断面の面積Ac、Afおよび各断面を通過する際の平均流速をvc、vfと表記し、定常状態と仮定すると式(2)が成り立つ。

$$v_c \cdot A_c = v_f \cdot A_f \quad \text{..... (2)}$$

式(2)で示される様に、ノズル管内の流速は断面積の影響を受ける。よって、Af/Acが1.0未満の時は扁平部の断面積が小さいために管内流速が上昇し吐出流速が速くなったためと考えられる。一方、Af/Acが1.1以上の場合にはメニスカス流速への影響が小さいことが分かる。このように、扁平部分の内管断面積は管内流速に影響を与えるが、Af/Ac値が1.1より大きければモールド内流動に与える影響は軽微なため過度に浸漬部を巾方向に広げる必要性はないということになる。例えば、SEN上部内径が80～90mmのノズルの場合、Af/Ac=1.5となる扁平ノズルの巾方向の内径は260mm程度となる。この値は従来よりも小さくコンパクトと言える。一方、Fig.4よりメニスカス流速値は約0.4m·s⁻¹とまだ速い傾向にあるため、本報ではAf/Ac値が1.5付近となる形状でメニスカス値を0.3m·s⁻¹以下(水モデル実験における一般スラブレベルの流速。例えば水上ら⁶⁾)を目標に吐出孔形状を検討、また、偏流を解消するための内管形状について検討したので以下に報告する。

Af varied. Calculations were performed with a mold size of 100 × 1600 mm and a throughput of 4.0 tons·min⁻¹, and maximum meniscus flow velocities were compared. The results are shown in Fig. 4; from Fig. 4, a negative correlation was observed between Af/Ac and meniscus flow velocity when Af/Ac was less than 1.0. Since the flow in the flat SEN inner bore is incompressible, the continuity equation from fluid mechanics (Eq. 1) holds true.

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad \text{..... (1)}$$

Given the areas Ac and Af of the two sections in Fig. 3 and if the respective average velocities when passing through each section, denoted as vc and vf, are assumed to be in steady state, then Eq. 2 holds true.

$$v_c \cdot A_c = v_f \cdot A_f \quad \text{..... (2)}$$

As shown in Eq. 2, the flow velocity in the SEN inner bore is affected by the cross-sectional area. Therefore, when Af/Ac is smaller than 1.0, the inner bore flow velocity increases due to the decreased cross-sectional area of the flat section, resulting in an increase in the outlet flow velocity. On the other hand, when Af/Ac is greater than or equal to 1.1, the effect on meniscus flow velocity is small. Thus, although the cross-sectional area of the flat section affects the flow velocity in the inner bore, if Af/Ac is larger than 1.1, the effect on the flow in the mold is negligible, so there is no need to excessively increase the width of the submerged section. For example, if Af/Ac = 1.5 for an SEN with an upper inner diameter of 80–90 mm, the flat part width would be approximately 260 mm. This value is smaller and more compact than conventional nozzles. On the other hand, the meniscus flow velocity tends to be fast at about 0.4 m·s⁻¹, as shown in Fig. 4. Therefore, we investigated the shape of the outlet port with the goal of achieving a meniscus value of 0.3 m·s⁻¹ or less (general slab velocity level in water model experiments, Mizukami et al.⁶⁾) with an Af/Ac value of around 1.5, and we also adjusted the geometry of the inner bore to eliminate biased flow. The results are reported below.

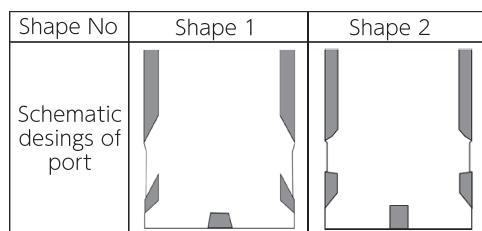


Fig. 5 Outlet port of flat SEN.

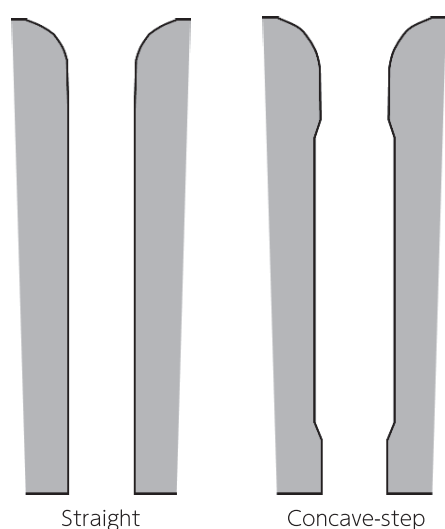


Fig. 6 Schematic diagram comparing straight and concave-step SEN.

3. 実験内容

3. 1 吐出孔形状の検討 (DiA吐出孔の適用)

Fig.5に今回検討した扁平SENの吐出孔形状図を示す。何れも A_f/A_c は1.6である。Shape1, 2共に吐出孔は左右に1つ、底部に1つずつの計4つの吐出孔を有する。Shape1の左右の吐出孔は下向きであるが, Shape2は左右の吐出孔下側が上向きの「DiA (Different Angle)」構造⁷⁾を採用した。CFD計算条件モールド厚みが130mm, 鑄造速度は $4.5\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ の条件で行った。計算プログラムには市販の流体計算プログラムであるPHOENICS, 乱流モデルとして同ソフトに組み込まれている $k-\varepsilon$ モデルを採用し, 各条件について定常計算を実施した。これらは過去に弊社が実施してきた計算と同一条件である⁸⁾。

3. 2 偏流抑制形状の検討

SEN管内の偏流を抑制する手法として, 一般スラブ用SENでは段差構造などを開発し多くの実績を上げている

3. Experiments

3. 1 Examination of outlet port design (Application of DiA port)

Fig.5 shows the flat SEN outlet port shapes examined in this study. Both have an A_f/A_c value of 1.6. Both Shape 1 and Shape 2 have a total of four outlet ports each, one on each side, and two on the bottom. Although the lateral outlet ports of Shape 1 are angled downward, Shape 2 adopts the “DiA (Different Angle)” structure⁷⁾ in which the lower faces of the lateral outlet ports are angled upward. CFD calculations were carried out under the conditions of $4.5\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ casting speed and 130 mm mold thickness. The calculation program used was PHOENICS, a commercially available fluid calculation program, the turbulence model was the built-in $k-\varepsilon$ model, and steady-state calculations were performed under all conditions. These are the same calculation conditions as those used in the past⁸⁾.

3. 2 Investigation of elimination of biased flow

Although many results have been obtained by developing a step structure for suppressing biased flow in general slab SEN inner bores, it is difficult to create convex steps in the flat section of a flat SEN. Therefore, we focused on the cylindrical part of the upper bore and considered introducing a concave step in that part. The schematic diagram examined is shown in Fig. 6. The concave step has a length that runs from just below the mating area of the internal SEN to near the underside of the TD steel shell bottom from which the SEN protrudes, and the underside of this concave step has a somewhat straight section. In this CFD calculation, the horizontal cross section of the inner bore at the top end of the SEN was used as the inlet plane, and fluid was introduced at an angle of 30 degrees to the normal of the inlet plane to generate a biased flow condition in the SEN inner bore. A comparison with normal inlet flow (flow parallel to the normal direction of the inlet face) is shown in Fig.7. The meniscus velocities were calculated using two

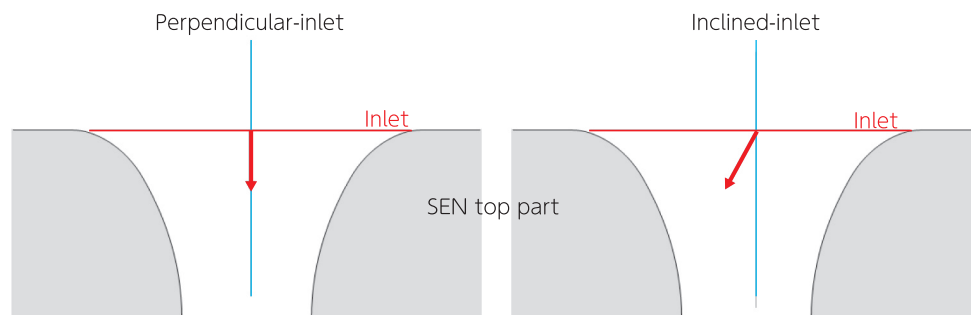


Fig. 7 Calculation setting of inclined inlet.

Table 1 Calculation setting of inclined inlet

		Inlet method	
		Perpendicular	Inclined
Inner design	Shape 3 (straight)	Calc. 3-1	Calc. 3-2
	Shape 4 (concave-step)	Calc. 3-3	Calc. 3-4

ことは前述したが、扁平SENの扁平部で凸段差を配設することは困難である。そこで、上部域の円筒部に着目し、その部分に凹み段差を導入することを検討した。検討した模式図をFig.6に示す。凹み段差は内装式SENの嵌合部直下からTD底部鉄皮下端付近までの長さを有し、凹み段差下側は若干ストレート部を有するのが特徴である。今回のCFD計算は管内の偏流状態を作るために、SENの最上端の内管水平断面をinlet面と定義し、inlet面の法線方向に対して30度傾斜させて規定量の流体を導入した。通常の導入(inlet面の法線方向と平行に導入)と比較した図をFig.7に示す。計算はFig.6に示す2種のノズルを用いて、inlet面の法線方向に対して平行に導入と30度傾斜して導入した場合のメニスカス流速を計算した。Table1にその実験条件を整理したものを示す。

4. 実験結果

4. 1 吐出孔形状の検討結果(DiA吐出孔の適用)

Fig.8にCFD計算結果を示す。Fig.8より側面吐出孔をDiA構造にすることで $0.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下の流れを達成することが出来ている。左右吐出孔が下向きのShape1は側面吐出孔からの流れと底部孔からの流れが一体化しているのに対して、左右の吐出孔をDiA構造にしたShape2は吐出直後に分裂した流れが作られていた。結果として、Shape1は

types of nozzles, shown in Fig. 6, and two inlet flow conditions, one parallel to and the other inclined 30 degrees to the normal direction of the inlet plane. Table 1 shows a summary of the experimental parameters.

4. Experimental Result

4. 1 Outlet port design (DiA port)

Fig. 8 shows the results of the CFD calculations. By using the DiA design for the lateral outlet ports, the meniscus velocity was reduced to less than $0.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. In Shape 1, where the lateral outlet ports are angled downward, the flow from the lateral outlet port merges with the flow from the bottom port, while with the DiA design of Shape 2, a divergent flow was formed after discharge. As a result, the large and strong loop flow created in Shape 1 by the merging of the strong and fast outlet flow from the lateral and bottom ports reached the surface, making the meniscus velocity high; in contrast, the outlet flow in Shape 2 was dispersed and the loop flow weakened, which is considered to have reduced the meniscus velocity.

4. 2 Biased flow-eliminating geometry (concave step)

Table 2 shows the difference in meniscus velocities between the left and right sides obtained by CFD calculations of the nozzle with the biased flow-eliminating geometry (concave step). When the inflow condition was parallel to the normal direction of inlet plane (Calc. 3-1, Calc. 3-3), no lateral differences in meniscus velocity were observed between

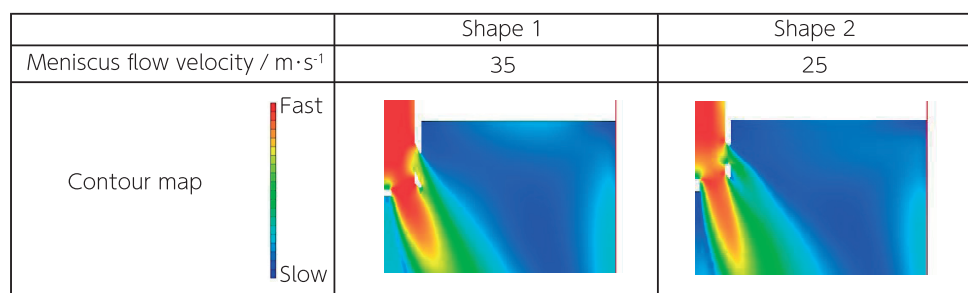


Fig. 8 Results of CFD.

Table 2 Effect of concave-step to suppress biased flow

	Calc. 3-1	Calc. 3-2	Calc. 3-3	Calc. 3-4
Bore shape	Shape 3 (straight)		Shape 4 (concave-step)	
Inlet angle	Perpendicular	30° inclined	Perpendicular	30° inclined
Velocity difference / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.02	0.12	0.01	0.03

一体化した強く速い流れによって作られる大きなループの流れが湯面に到達して比較的速い流れを呈しているが、Shape2は分裂した流れによって流れが分散したことで大きなループの流れが弱まった結果と考えられる。

このように、吐出孔の設計でコンパクト化した扁平SENでも一般スラブレレベルのメニスカス流速を達成することが分かった。

4. 2 偏流抑制形状(凹み段差)の検討結果

Table2に偏流抑制形状(凹み段差)を配設したノズルのCFD計算によって得られたメニスカス流速の左右差を示す。流入条件がinlet面の法線方向に対して平行な場合(Calc.3-1, Calc.3-3)では、内管ストレートのShape3と凹み段差を配設したShape4共にメニスカス流速の左右差は認められなかった。一方、法線方向に対して30度傾斜して導入し強制的にノズル管内に偏流を発生させた場合(Calc.3-2, Calc.3-4), Shape3はメニスカス流速に左右差が認められたのに対して、Shape4はその左右差がほとんど認められなかった。

凹み段差部分を通過する時の流れの状況について、Calc.3-2と3-4の内管ベクトル図をFig.9に示す。内管ストレートのShape3では内管の管壁に沿って流下している。対して凹み段差を配設したShape4は、凹み段差上端(内管径が拡大する部分)で流れが拡散、凹み段差下端(内管径が元の径に戻る部分)で流れが集中し管内の偏流が緩和

Shape3 with a straight inner bore and Shape4 with an applied concave step. On the other hand, when the flow was forced into the nozzle bore at an angle of 30 degrees with respect to the normal direction to generate biased flow (Calc. 3-2, Calc. 3-4), Shape3 showed a lateral difference in the meniscus flow velocity, while Shape4 showed almost no difference.

The inner bore vector diagrams from Calc. 3-2 and Calc. 3-4 are shown in Fig.9 to compare the flow conditions when passing through the concave step. In Shape3 with the straight inner bore, the flow is directed downward along the inner bore wall. In Shape4 with the applied concave step, the flow diffused at the upper end of the concave step (where the inner bore diameter expands), and the flow re-concentrated at the lower end (where the inner bore returns to its original diameter), thus confirming that the biased flow within the inner bore was alleviated. It is thought that this biased flow suppression caused the resulting lack of lateral flow difference in the mold.

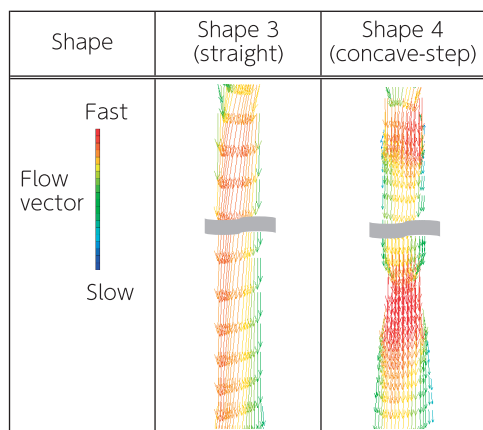


Fig. 9 Flow vector of inner bore.
(Calc. 3-2, Calc. 3-4).

される状況が確認出来た。このノズル管内での偏流の抑制により、モールド内の左右差が少ない流動状況を達成出来たと考えられる。

5. 実機使用結果例

凹み段差を導入したSENによって、モールド内の偏流状態が改善された実機例(A所)をFig.10に示す。Fig.10は casting時のモールド左右両短辺におけるモールド冷却水温度の左右の温度差を測定し、その最大値、平均値、最小値のデータを示す。凹み段差を導入したノズルを使用した castingで記録された温度差は、工程品のそれと比較して平均値が ± 0 に近く、最小値はマイナスの値を示した。この結果は、工程品を使用したモールド内では片方の短辺側に常により多くの熱量(吐出流)が供給されている状態、いわゆる偏流状態が発生していると言える。一方、凹み段差を導入したSENではモールド両短辺に均等な熱量が供給出来ている状態で偏流が解消されていることが分かる。

B所では凹み段差+側面DiA吐出孔を配設した扁平SENを実機使用し、モールド湯面変動のばらつきが減少し、安定したモールド内流動が得られたという実績を得た。

また、C所においてはAf/Acが1.2程度のノズルで左右吐出孔をDiA構造にしたコンパクト扁平SENを使用した結果、通常電磁ブレーキをかけて castingするが、電磁ブレーキ無しでも問題なく castingできた実績も得るなど、各所の薄・中厚スラブ連続 casting機において、開発したコンパクト扁平SENの使用により、モールド内の湯面状況の安定化や偏流が抑制される結果が得られた。

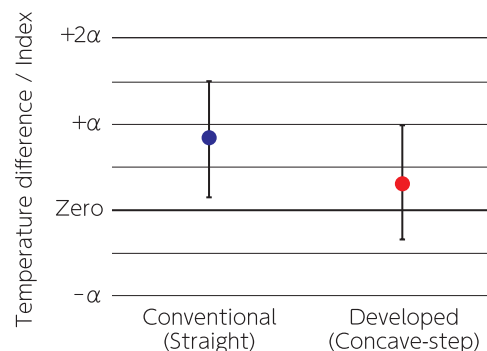


Fig. 10 Measuring results of cooling-water temperature difference.

5. Actual Results

Fig. 10 shows an example of actual usage (Steelworks A) in which the biased flow condition in the mold was improved by an SEN with a concave step. Fig. 10 shows the maximum, average, and minimum values of the difference between the mold coolant temperatures on the right and left sides of the mold. Compared with that of the conventional product, the maximum, average and the minimum temperature differences recorded during casting using the nozzle with a concave step were close to zero. This result shows that in the mold using the conventional nozzle, more heat (outlet flow) is always supplied to one side, generating a biased state. On the other hand, for an SEN with a concave step, the biased flow condition is eliminated thanks to the uniform heat supplied to the narrow sides of the mold.

At Steelworks B, a flat SEN with a concave step + DiA ports was used, resulting in a reduction of melt surface level fluctuations and stable in-mold flow was obtained.

Furthermore, as a result of using a compact flat SEN (Af/Ac = 1.2) with DiA ports at Steelworks C, it obtained a track record of casting without requiring previously needed electromagnetic braking. The use of the developed compact flat SEN in thin- and medium-thick slab continuous casting machines at various locations has resulted in stabilization of the molten surface level inside the mold and suppression of biased flow.

6. まとめ

今後海外を中心に採用が増加していくと考えられる薄・中厚スラブ用の浸漬ノズルについて、上部に凹み段差の配設や吐出孔形状の最適化により、扁平部分をよりコンパクトにした上で、湯面変動や偏流を抑制できる薄スラブ・中厚スラブ用浸漬ノズルを開発した。その開発品を実機で利用した結果、モールド内の湯面状況の安定化や偏流が抑制される結果が得られた。

6. Summary

Regarding SENs for thin- and medium-thick slabs, which are expected to be increasingly adopted overseas in the future, by creating a concave step at the top and optimizing the shape of the outlet ports, we have developed an SEN with a more compact flat section that was proven in both simulation and on-site usage to suppress molten surface level fluctuations and biased flow inside the mold.

References

- 1) Techno Scope: Bull. Iron Steel Inst. Jpn., [25] 484-487 (2020).
- 2) A. P. Rogler, J. Richaud, G. Baehren: Proceeding, AISTech 2015.
- 3) N. Tsukamoto, Y. Kurashina, K. Yanagawa: TAIKABUTSU, **46** [4] 215-233 (1994).
- 4) O. Nomura, M. Takai, M. Ogata, S. Inoue: Shinagawa Technical Report, **46** 95-104 (2003).
- 5) H. Niitsuma, T. Matsunaga, T. Horiuchi, X. Li: Proceeding, AISTech 2023.
- 6) H. Mizukami, M. Hanao, S. Hiraki, M. Kawamoto, T. Watanabe, A. Hayashi, M. Iguchi: Tetsu-to-Hagane, **86** 63-68 (2000).
- 7) K. Nishio, H. Niitsuma: Shinagawa Technical Report, **64** 81-86 (2021).
- 8) H. Niitsuma, K. Moriwaki, K. Nishio: Shinagawa Technical Report, **60** 90-99 (2017).