

高炉樋へのブロックの活用

Application of Blocks to the Blast Furnace Trough

四 竈 浩 之^{*1}
Hiroyuki SHIKAMA

北 村 匡 譜^{*2}
Masatsugu KITAMURA

谷 川 正 一^{*3}
Shoichi TANIGAWA

Abstract

Castable refractories have been generally used for the blast furnace trough, but shaped refractories like fired bricks are not often used. As the result of applying bricks and precast blocks to tilting spout, iron troughs and slag runners, it had a marked effect on durability improvement.

1. 緒 言

高炉樋用の耐火物としては、アルミナ、スピネル、炭化珪素を主成分とし、カーボンを含むキャストブルや、アルミナ-マグネシア質キャストブルが一般的に用いられている。一方、煉瓦などの定形ブロックはあまり活用されていないのが現状である。しかしながら、現地での流し込み施工では得られない特性を活かすことによって、れんがやプレキャストブロックなどの定形ブロックが活躍できる余地は大いにありとえられる。

本報では、高炉樋への煉瓦またはプレキャストブロックの適用例のうち、耐用の改善などにおいて際立った効果が認められた事例について取り上げて紹介する。

2. 傾注樋への定形れんがの適用

高炉の出銑口から出銑された溶銑は主樋（大樋とも呼ばれる）、溶銑樋を通して高炉鍋や混銑車等の溶銑搬送容器に注銑されるが、溶銑を溶銑樋から溶銑搬送容器に導く為の樋を傾注樋と呼んでおり、脱Si処理を行う場合がある。以下に、脱Si傾注樋の肩部～側壁部にマグネシア-クロム（以下マグ-クロ）れんがを適用した時の概要と使用状況について報告する。

2.1 現状の問題点

傾注樋には流し込み材を適用するのが一般的であり、脱Si処理を行う場合には Al_2O_3 - MgO 質が使用されることが多い（Table 1）。傾注樋における損傷部位は、溶

1. Introduction

Castable refractories consisting mainly of alumina, spinel, silicon carbide and containing some amount of carbon, or alumina-magnesia castable have been generally used for the blast furnace trough. Shaped refractories like fired bricks are not often used. However, it is thought that shaped refractory like bricks or precast blocks can still play an important role by making good use of their characteristics which castables can't realize.

This report introduces some practical examples of applying bricks or precast blocks to the blast furnace trough which had a marked effect on durability improvement.

2. Application of Bricks to Tilting Spout

Molten iron flows through the main troughs and iron runners into containers such as hot metal ladles and torpedo cars. Tilting spout is used to pour into iron runners to containers. Sometimes hot metal pretreatment (desiliconization) is carried out in the tilting spout. This is a brief summary of applying $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ brick to the shoulder and sidewall of the desiliconizing tilting spout.

*1 技術研究所 第1研究グループ 主任研究員 Managing Research Engineer, Refractories R&D Group, Research Center

*2 技術研究所 第2研究グループ 主任研究員 Managing Research Engineer, Unshaped Refractories R&D Group, Research Center

*3 株式会社セラテクノ 明石工場 技術室 Akashi Works Technology Section, CERATECHNO Co., Ltd.

Table 1 Typical properties of castables

		Tilting spout	Slag runner
Chemical composition [mass%]	Al ₂ O ₃	90	65
	MgO	8	—
	SiO ₂	1	0.5
	SiC	—	30
	C	—	4
Apparent porosity [%]	105°C-24h	14.8	13.0
	1000°C- 3h	16.3	14.0
	1500°C- 3h	16.7	14.5
Bulk density	105°C-24h	3.22	3.02
	1000°C- 3h	3.19	3.01
	1500°C- 3h	3.18	3.00
Cold crushing strength [MPa]	105°C-24h	32	31
	1000°C- 3h	52	33
	1500°C- 3h	126	70
Permanent linear change [%]	105°C-24h	−0.03	−0.03
	1000°C- 3h	+0.03	+0.03
	1500°C- 3h	+0.40	+0.24

鉄樋から流れてきた湯が当たる中央付近の敷部と、その近傍の側壁が主体である。特に溶鉄樋側の側壁は、溶鉄樋の樋先が損傷して後退すると、肩部も含めて大きく損傷されることがあり、耐用を向上させる上で問題となっている。この局部損傷を改善すべく流し込み材の改善を進めてきたが、大幅な耐用向上には至っていない。

2. 2 損傷要因と対策

通常、溶鉄樋先からの溶鉄は傾注樋の中央付近に落下するが、出鉄初期や出鉄終了直後は流量が少ないため落下位置が溶鉄樋先側へ偏り、更には溶鉄が直接傾注樋の肩部へ滴り落ちて、損傷を増大させていると考えられる。また脱Si処理を行うと、その処理剤（FeO）や溶鉄、スラグ（FeO系）が傾注樋の肩部へ飛散・付着してそれが損傷要因となることが考えられる。これらのことから傾注樋の肩部、特に溶鉄樋先側に求められる材質の特性は、

①耐摩耗性

②耐FeO溶損性

と考える。よって、常用の耐火物の中で最も上記特性に秀でたマグ-クロレンが（Table 2）を傾注樋の溶鉄樋先側の肩部から側壁部（以下、局部損傷部）へ適用することとした。

2. 3 適用状況

傾注樋の局部損傷部へマグ-クロレンがを適用した結果、流し込み材よりも損傷速度が1/2以下に軽減した。その時の損傷形態をFig. 1に示すが、周辺の流し込み材よりもれんが部分が大きく出っ張る様になった。

2. 4 今後の課題

マグ-クロレンがの適用により、局部損傷部の耐用が

Table 2 Typical properties of bricks

Application		Tilting spout	Slag runner
Chemical composition [mass%]	Al ₂ O ₃	—	75.0
	MgO	51.0	—
	Cr ₂ O ₃	32.9	—
	SiO ₂	1.8	3.0
	Fe ₂ O ₃	8.3	—
	SiC	—	5.0
	C	—	13.0
Cold crushing strength [MPa]		54	40
Apparent porosity [%]		15.5	6.5
Bulk density		3.32	3.14

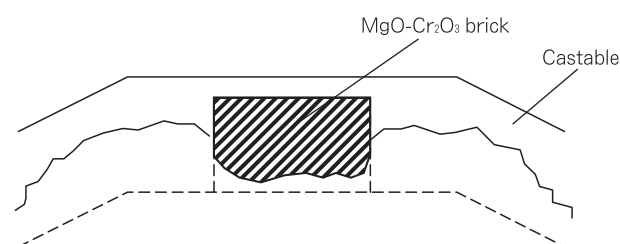


Fig. 1 Application result of MgO-Cr₂O₃ brick to tilting spout.

2. 1 Current problems

Al₂O₃-MgO castable is usually used for the desiliconizing tilting spout (Table 1). The wear area of the tilting spout is the center of the bottom and side wall. Especially, the tilting spout sidewall and shoulder are sometimes damaged markedly. Damage of the iron runner surface facing the tilting spout progresses and it gradually changes position. This shortens working life of the tilting spout. We considered improving castable performance. However, there are still demands for further improvements.

2. 2 Damage pattern and measures

Molten iron from the iron runner usually drops in the center of tilting spout. When molten iron begins to flow and finishes flowing through the iron runner into the tilting spout, the place the molten iron falls is biased toward iron trough-side, this is a damage factor. In addition, molten iron directly dripping on the shoulder may increase damage. Moreover, in the desiliconization process, the agent, molten iron and slag are also wear factors because they splash and stick on the shoulder of the tilting

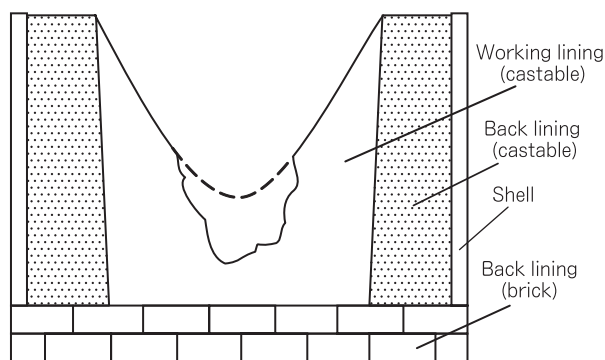


Fig. 2 The typical damage to slag runners.
(cross section)

大幅に改善されたが、稼働中に熱スポーリングによる割れが発生した。これは材質に起因する現象の為、マグクロレンがを適用する上では、耐熱スポーリング性を向上させるのは非常に困難である。その為、耐FeO溶損性が若干低下するものの耐熱スポーリング性が向上するアルミナ-クロム質レンがの適用が有望と考えられる。また、肩部全体をレンがで施工することにより、流し込み材との耐用のギャップを無くし、更なる耐用向上が期待できる。

3. 溶滓樋への定形レンがの適用

3. 1 現状の問題点

溶滓樋はノロ樋やスラグ樋とも呼ばれており、高炉出鉄口から溶鉄と共に流れてきた溶滓（スラグ）をスキナーで分離して、ドライピットまで導くための樋である。

溶滓樋には $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ （以下ASC）質の流し込み材を適用するのが一般的であり、大樋に適用されている流し込み材と類似した品質（Table 1）が使用される場合が多い。溶滓樋の損傷形態はFig. 2 に示す様に敷部が局部的に凹み、耐用を向上させる上で問題となっている。この局部損傷を改善すべく流し込み材にて検討を行ってきたが、大幅な耐用向上には至っていない。そこで耐用の向上を目的として、溶滓樋の敷部へASCレンがの適用を検討した。

3. 2 損傷要因と対策

従来の流し込み材における検討および損傷形態から、敷部における損傷要因は、

- ① スラグと溶鉄による溶損
- ② スラグや溶鉄の流れによる摩耗
- ③ 酸化損傷

と考えられる。つまり敷部の耐用向上の為には、耐スラ

スプout. We considered the shoulders, especially iron trough-side to need the two properties below:

- ① Abrasion resistance
- ② Corrosion resistance against FeO

Therefore we selected $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ bricks for the shoulders to sidewall of the tilting spout, which have the most excellent properties among regular refractory (Table 2).

2. 3 Test results

The test results show that wear speed is twice as slow as castable when $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ bricks are used. Fig.1 shows the appearance of the tilting spout after this test.

2. 4 Future problems

Application of $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ brick improved the performance of the shoulders and sidewall. However, the bricks cracked because of thermal spalling. This is because it is difficult to improve the thermal spalling resistance of $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ brick. So we thought that $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ brick would probably be more suitable because it better the thermal spalling resistance though the corrosion resistance against FeO is lower. We suspected that the lifetime of tilting spout to be improved by installing $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ bricks in the whole.

3. Application of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ Bricks to Slag Runner

3. 1 Current problems

Slag runners are used to transport slag from the main trough to the dry pit. Commonly, ASC castables are used as slag runners. These qualities are mostly similar to the main trough's qualities (Table 1). Fig.2 shows the typical damage to the slag runners. The damage is concentrated at the bottom. We considered the properties of the slag runners from various viewpoints and increased castable performance. However, there are still demands for further improvements. Therefore we tested unburned $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ bricks in the bottom of slag runner. This report is a brief summary.

3. 2 Damage pattern and measures

We considered the following three slag runner

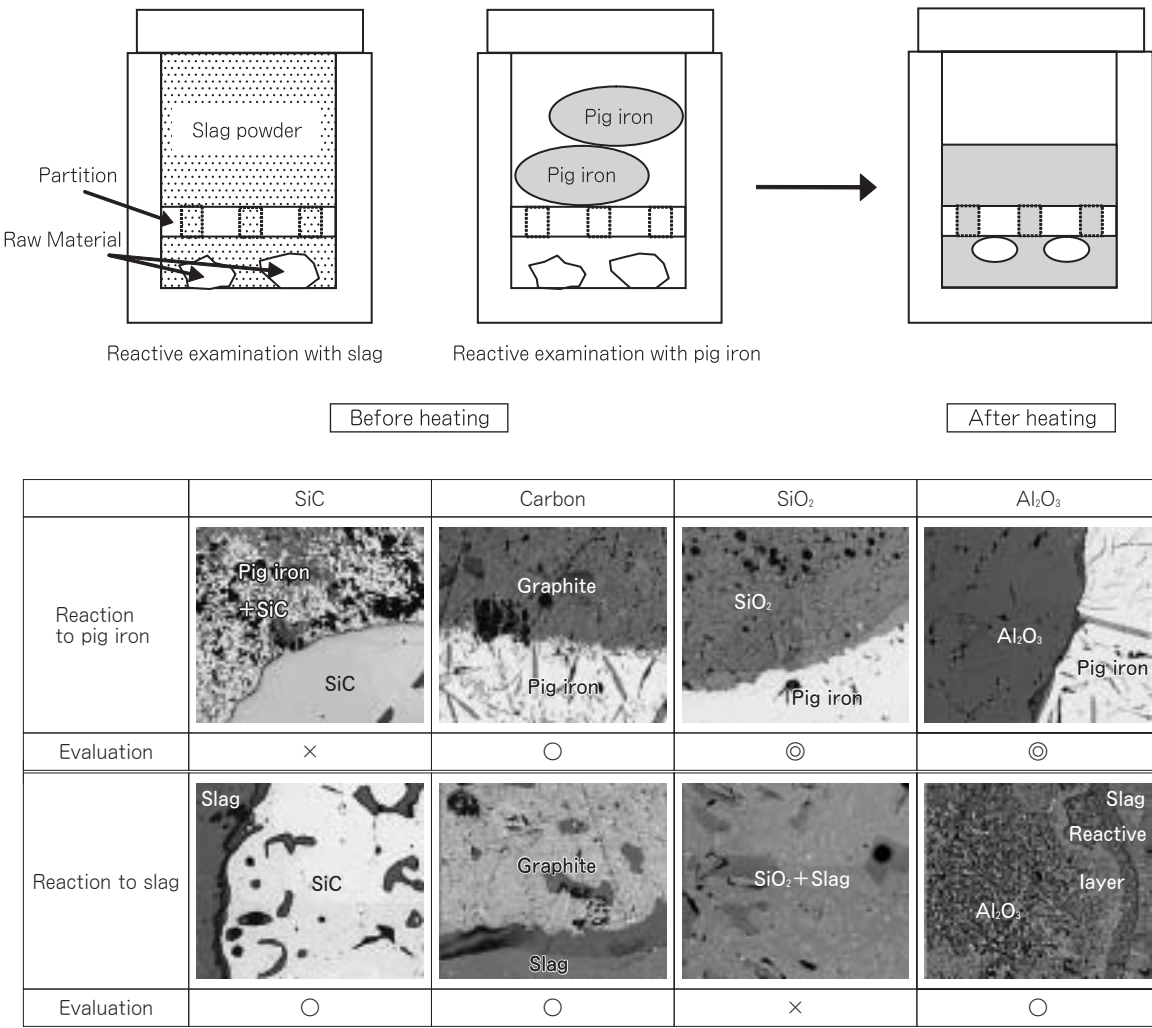


Fig. 3 Reaction of raw materials with pig iron and slag.

グ性と耐溶銑性を同時に向上し、なおかつ耐摩耗性も向上させる必要がある。耐スラグ性と耐溶銑性を向上させる為には、Al₂O₃とCの活用が有効的であり (Fig. 3)、耐酸化性も考慮すれば、ASC系の材質が適していると考ええる。また低SiCで、高CなASC系材質の方がより耐スラグ性と耐溶銑性の向上には有効と考えられるが、流し込み材の場合には高C化や黒鉛の使用が非常に困難である。その為、耐摩耗性の向上も期待できるれんがの使用を検討し、損傷形態の酷似している高炉鍋スラグライン部用れんが (Table 2) を敷部へ適用することとした。

3. 3 適用状況

溶滓樋の敷部へ並形のASCれんがを適用した結果、流し込み材よりも損傷速度が約1/2に軽減し、敷部の局部損傷の抑制に成功した。その時の損傷形態をFig. 4に示すが、周辺の流し込み材よりもれんが部分が出っ張る

bottom damage factors:

- ① Slag and molten iron corrosion
- ② Wear out by the stream of slag and molten iron
- ③ Oxidation

To improve the performance of the bottom requires improving slag resistance, molten iron resistance and abrasion resistance. ASC materials are suitable for solving these problems (Fig.3). We thought that lowering the SiC and increasing C would have an effect on both slag and molten iron resistances. However, it is difficult to increase the C content and add graphite to castables. Therefore, we considered applying ASC bricks used for the slag line of hot metal ladles, which show similar damage, to the bottom of slag runners (Table 2).

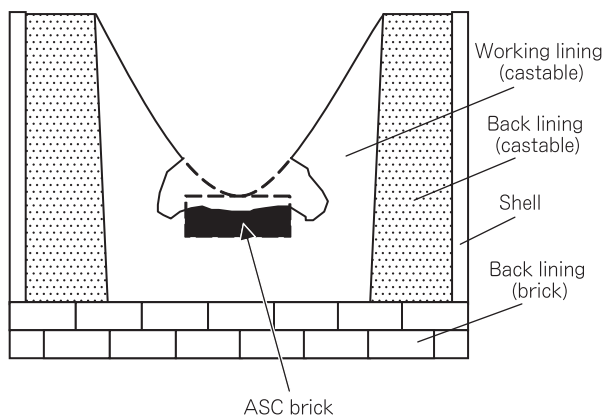


Fig. 4 The damage to slag runners with ASC brick applied. (cross section)

様になっていた。

3. 4 今後の課題

ASCれんがの適用により、敷部の局部損傷が抑制されたが、かわりに側壁下部が凹む損傷となった。これはASCれんがの損傷が軽減されたことにより、流し込み材の側壁下部の損傷が目立つようになった為と考える。

よって、ASCれんがを敷部と側壁（下）部へ適用し、れんが形状を大形化（施工厚み厚肉化）することにより、更なる耐用向上が期待される。

4. 溶滓樋への大型プレキャストブロックの適用

4. 1 適用目的

溶滓樋は1本の主樋に対して1本設置されるのが一般的であるが、中には1本の溶滓樋を2本の主樋で共用している場合がある。特に主樋が2本しかない高炉において溶滓樋が共用されていると、溶滓樋は長期にわたって連続的に使用され、耐火物の修理は休風時のごく限られた期間にしか実施できないことがある。このようなケースでは、熱間において、かつ短時間で施工を行う必要があり、現地での流し込み施工は作業負荷が著しく大きい問題があった。そのため、作業負荷軽減を目的として大型プレキャストブロックを適用した。

4. 2 適用結果

材質は耐スラグ性に優れた $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ 質とし、施工の手間を減らすため、可能な限りブロックの大型化を図った。実際に適用したブロックの大きさは、長さが2.9m、単重が4.2tである（Fig. 5）。

従来の現地流し込み施工時には、2ヶ月に1回の小修理と約6ヶ月に1回の全面解体・施工が必要であった。



Fig. 5 Large precast block for slag runner.

3. 3 Test results

Applying ASC bricks to the bottom of slag runners reduced wear speed by about 50% than that of ordinary castable. Fig.4 shows the slag runner damage in this test. The ASC bricks are sticking out of the surrounding castable.

3. 4 Future problems

ASC brick suppresses the local damage of the bottom of slag runners. However, the lower sidewall was severely eroded. This is because shaped bricks were not used at the lower sidewall.

We believe that better slag runner durability can be obtained by applying bigger ASC bricks to both the bottom and lower sidewall.

4. Application of Large Precast Block to Slag Runner

4. 1 Purpose

A slag runner is generally built for each main trough, however, one slag runner is shared by two main troughs in some blast furnaces. In the case of blast furnaces which have only two tapholes and one slag runner, the slag runner is continuously used for a long time, and the refractory lining can't be repaired except for during the blow down period. In this case, the refractories must be installed in hot conditions and short time. Therefore, there was a problem of heavy workload with ordinary repair

Table 3 Characteristics of castables for leading end of iron runner

	Developed	Ordinary
	Alumina-Spinel Pre-Cast Block	Alumina-SiC-C Castable
Chemical composition(%)		
Al ₂ O ₃	92	76
MgO	6	—
SiC	—	15
C	—	2.5
after heating at 1500°C-3h		
Linear Change [%]	+0.03	+1.08
Modulus of rupture [MPa]	21.5	5.6
Apparent Porosity [%]	21.7	17.9

これに対して大型プレキャストブロックを適用したところ、2ヶ月に1回の小修理は必要であったが、8ヶ月後の入替え時にもプレキャストは比較的健全に残存しており、1年以上は使用可能と推定される状況であった。また、従来の全面解体・施工が約5時間要していたのに対し、プレキャストブロックの入替えは約2時間で完了し、施工時間の大幅な短縮を実現した。施工時間の短縮および耐用の向上による施工頻度の軽減により、作業負荷も大幅に軽減できた。

5. 溶銑樋先端部へのプレキャストブロックの適用

5. 1 溶銑樋先端の損傷形態

溶銑樋の先端部は、溶銑樋を通して運ばれてきた溶銑を傾注樋の適切な位置へ注ぎ込む機能を担っている。一般的に溶銑樋の先端部は、敷や壁の損傷は比較的軽微である一方で、傾注樋に面した先端面が損傷して次第に後退する。後退が進むと適切な位置へ溶銑を落下させられなくなるため、この後退をいかに抑制するかが耐用向上を図る上で重要である。

先端部の主な損傷要因としては、溶銑流による溶損や摩耗のほか、熱的スポーリング作用による亀裂の発生および脱落などが考えられる。

溶銑樋先端部には、耐溶銑性に優れたアルミナ系原料を主体とし、炭化珪素およびカーボンを付与して耐熱スポーリング性の向上および過焼結の抑制を図った材質が一般的に用いられている (Table 3)。しかしながら、傾注樋で脱Si処理が行われる場合に、先端部の損傷が著しく大きくなることがある。原因は諸説あるが、脱Si処理剤吹込みのためのエアによる材料酸化や、飛散した脱Si処理剤、あるいは溶銑が酸化して生じたFeOによる溶損などが影響していると考えられ、耐FeO性や耐酸化性に優れた材質を適用することによって、先端部の耐用が

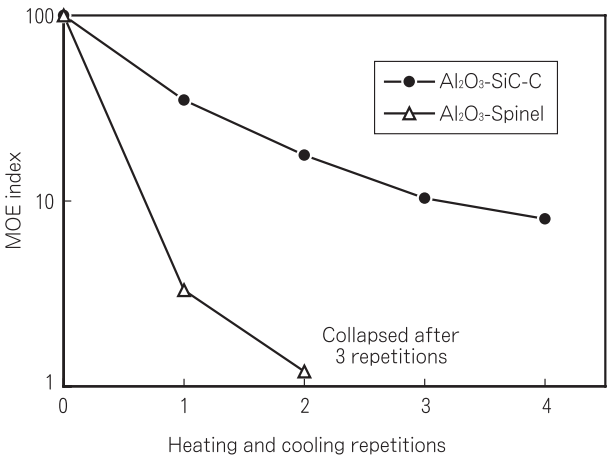


Fig. 6 Decrease of MOE from repetitive heating and cooling.

Test conditions heating at 1200°C(10min) → cooling in water(2min)
(tested samples were pre-heated at 1500°C)
MOE index MOE before testing=100

method using castables.

A precast block was applied in order to reduce the installation workload.

4. 2 Test results

A SiC-Al₂O₃-C precast block was applied to the slag runner which had high slag resistance, and was enlarged as much as possible in order to reduce the workload. It was 2.9 m in length and 4.2 tons in weight.

Small repairs at the bottom every two months and large repairs at both the wall and the bottom every 6 months were needed with ordinary castable installation. With the large precast block, small repairs were still necessary every two months, however, the precast block remained in good condition after 8 months use, and it was estimated that the precast block could be used for a year without large repairs.

It took only two hours to exchange the precast block while it took five hours with ordinary casting installation to remove and reinstall most of the wall and bottom. The workload was largely decreased by shorter installation time and longer service life.

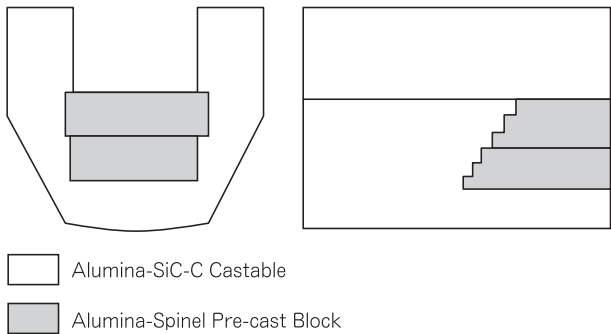


Fig. 7 Lining of alumina-spinel precast block.

Table 4 Comparison of durability on leading end of iron runner

	Developed	Ordinary
Materials	Alumina-Spinel	ASC
Installation method	Precast Block	Casting
Durability (pig-t)	124,940	110,682
Wear rate (mm/1,000t)	1.68	2.04

向上することが期待できる。

5. 2 プレキャストブロックの適用状況

そこで、FeOに対する耐食性がASC質よりも高く、酸化の影響も受けない材質としてアルミナ-スピネル質キャストابلを選択し、溶銑樋先端部への適用を試みた。一般的にアルミナ-スピネル質キャストابلはASC質のものに比べて耐熱スポーリング性が劣るため (Fig. 6), 亀裂の発生が顕著になることが予測されることから、本材質の適用にあたり、下記の対策を講じた。

(1) プレキャストブロック化

亀裂が発生した場合にその影響を最小限にとどめるべく、侵食量の大きい先端部のみアルミナ-スピネル質キャストابلを限定的に適用し、その周囲は従来材質であるASC質キャストابلを施工することとし、施工が容易なようにアルミナ-スピネル質キャストابلはプレキャストブロックの状態を設置した。また、プレキャストブロック境界面への溶銑差込を抑制するため、面の一部を多段形状とした。

(2) プレキャストブロックの分割

亀裂が発生した場合にその進展を抑制するため、アルミナ-スピネル質プレキャストブロックは、縁切りされた上下二層構成とした。

適用材質の代表的特性をTable 3に、アルミナ-スピネル質プレキャストブロックを用いた施工例をFig. 7に示す。

5. Application of Precast Block to Tip of Iron Runner

5. 1 Damage pattern

The tip of the iron runner plays a important role in pouring molten iron into the center of the tilting spout. The vertical surface at the tip facing the tilting spout is damaged more than the wall and bottom. As the damage of the tip of the iron runner grows, the place the molten iron falls moves from the ideal location in the tilting spout. Therefore, reducing the damage of the vertical surface is necessary to improve the durability of the tip of the iron runner.

The factors contributing to damage of the tip include corrosion and abrasion from the flow of molten iron as well as cracks and decomposition caused by thermal spalling.

Castable refractories composed of mainly alumina which are superior in resistance to molten iron, and some amount of silicon carbide and carbon which are intended to improve thermal spalling resistance and control over-sintering are generally applied to the end area of the iron runner. But, when the desiliconization process is executed in the tilting spout, the tip of iron runner is sometimes severely damaged. The oxidation by the air accompanying the blow of desiliconization agent, the desiliconization agent (main constituent is FeO) itself and FeO produced by iron oxidation was thought to have influenced this damage. We suspected that by improving oxidation resistance and FeO resistance the durability of the runner end could be improved.

5. 2 Practical application of precast block

Based on the above theory, we selected alumina-spinel castable which is superior to ASC castable in FeO resistance and is never oxidized and tried in actual use. As the alumina-spinel castable was inferior to ASC castable in thermal spalling resistance (Fig.6), it was supposed that the damage from cracking would become increasingly prominent, therefore, we took the following countermeasures for the application of alumina-spinel castable.

5. 3 適用結果

損傷状況としては、亀裂発生および脱落による損傷が従来よりも多くなったものの、Table 4 に示すように、アルミナ-スピネル質プレキャストブロック適用時の損傷速度は、従来と比較して2割程度改善され、それに伴って通銑量も伸びており、平均的な耐用は改善された。耐酸化性、耐FeO性向上の効果が発揮された結果と考えられる。

今後、材質の耐FeO性向上や、亀裂抑制対策などによって、更なる耐用改善を目指したい。

謝辞

本報で紹介した高炉樋へのブロックの適用は、いずれもユーザー側の多大な協力と理解のもとに進められた。とりわけ桑山道弘氏^{*1}、新妻隆広氏^{*2}の両氏には、本報第2, 3, 5項に関する発案から実炉における効果の実証に至るまで絶大なるご協力とご支援をいただいた。ここに感謝の意を表するとともに、今後とも一致協力した取り組みを通して更なるユーザーメリットの追求に邁進する所存である。

※1 JFEスチール株式会社 東日本製鉄所 京浜地区 製鋼部 炉材技術室長

※2 JFEスチール株式会社 東日本製鉄所 京浜地区 製鋼部 炉材技術室

(1) Adoption of precast block

As shown in Fig.7, alumina-spinel castable was applied only to the minimum necessary area of the runner tip which was severely damaged in order to reduce the cracking problems, and the ordinary ASC castable was installed around it. Alumina-spinel castable was installed as a precast block for easy installation. This block had a multi-steps surface to prevent iron penetration into the boundary between the precast block and castable.

(2) Double layer structure of precast block

In order to prevent cracks from growing, the precast block consisted of two layers.

Typical properties of precast block are shown in Table 3 and one of the practical examples is shown in Fig.7.

5. 3 Application effects

Although crack damage increased when alumina-spinel precast blocks were applied, the wear rate decreased by 20%, which made the usable period longer as shown in Table 4. It is believed that the improvement in oxidation resistance and FeO resistance permitted the longer service life.

We will make more efforts to realize longer service life.