

高炉羽口用大型ブロックの開発

Development of Large Block for Blast Furnace Tuyere

北 村 匡 譜^{*1}

Masatsugu KITAMURA

森 安 英 之^{*3}

Hideyuki MORIYASU

榎 木 清 隆^{*2}

Kiyotaka ENOKI

那 須 洋 一^{*4}

Yoichi NASU

Abstract

Recently, customers demand large sized refractories for blast furnace relining in order to shorten the repair work period and increase equipment utilization, however, manufacturing larger sized refractories with the ordinary manufacturing method of bricks has become more and more difficult because of manufacturing equipments restrictions. In order to highly satisfy their demands, we developed large sized blast furnace tuyere blocks. They have same or higher quality than ordinary bricks and are about six times as heavy as our ordinary maximum sized tuyere bricks. It is possible to make single-piece tuyere refractories with no divisions with this new block. We believe this new product can provide many advantages including shortening the repair work period and improvement of durability through good structural stability and high quality.

1. 緒 言

高炉羽口用耐火物は、高炉内に高温の熱風を吹き込む羽口金物を覆うように配置され、羽口金物および炉体鉄皮を保護する役割を担っている。古くはアルミナ質や中アルミナ質などのれんがが適用されたが、近年では耐COガス性、耐アルカリ性、熱伝導性などに優れたSiC質耐火物が広く採用されている。羽口用耐火物は、Fig. 1 に示すように複数の異型れんがを組合せて構築されるのが一般的であり、構造的安定性や施工性などの観点から様々な分割方法が提案され、実施されている。

1. Introduction

Tuyere refractories, which are placed around the tuyere which sends hot blasts into the blast furnace, have the role of protecting the tuyere and shell of the blast furnace. Alumina bricks and medium alumina bricks were once used as tuyere refractories, but now, SiC bricks, which are superior to ordinary bricks in many properties including high CO gas resistance, high alkali resistance and high thermal

^{*1} 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

^{*2} 技術研究所 第2研究グループ Unshaped Refractories R&D Group, Research Center

^{*3} 岡山工場 製造部 生産技術グループ 主任部員 Assistant Manager, Technical Group, Okayama Works

^{*4} 帝国窯業株式会社 PB製造室 室長 Manager, Precast Block Manufacturing Section, Teikoku Yogyo Co., Ltd.

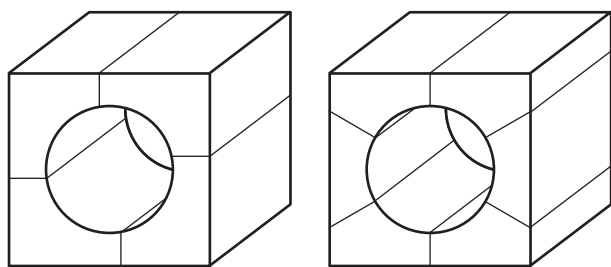


Fig. 1 Examples of the segmented structures of tuyere refractories.

一方、近年の高炉改修においては、旺盛な鉄鋼需要を背景に生産量の確保が重要な課題となっており、そのため工期短縮が強く求められている。対策として、高炉用耐火物の大型化による部品点数の削減が進んでおり、羽口用耐火物においてもれんがの大型化、あるいはプレキャスト製法を活用した大型ブロックの採用によって分割数の削減が進んでいる。最近の事例では、羽口周囲を上下2分割で構成できる超大型の羽口用耐火物も登場している。

当社では従来より羽口用耐火物として各種材質のれんがを提供してきたが、その大型化が設備の制約などの理由で次第に限界に近づきつつあった。問題点のひとつは成形圧力の不足である。れんがの製造には成形のための高圧が必要であり、れんがが大型化するにしたがいより大きな成形荷重を必要とする。成形装置の能力を超えて大型化を図ろうとすると、締め不足によって品質の低下を招くことになり、一定限度以上の大きさを超えると高品質のれんがを製造することは不可能であった。また、れんがの製法上、成形時の締めむらによる単体れんが内の品質差が生じることがあり、れんがの大型化にともないこれを抑制、管理することが困難になるといった問題もあった。さらには、複雑な形状のれんがを成形すると締めむらなどの品質的な問題が生じるため、あるいは成形枠の調

導性、have become mainstream. In general, tuyere refractories are composed of some different-shaped pieces as shown in Fig.1. Various structures of tuyere refractories have been proposed and are in practical use in consideration of good structural stability and efficiency of furnace installation.

The recent steel demand has increased the importance of keeping production at a high level, therefore, shortening the repair work period of blast furnace relining is greatly required. To satisfy this situation, the number of refractories for blast furnace repair has been reduced by enlarging refractory size, the same is also true for tuyere refractories. The number of divisions of tuyere refractories has been reduced by the use of large bricks or large blocks made by the precast technique, and there is now a very large block which can surround a tuyere with only two upper and lower pieces.

We have been supplying tuyere bricks with various qualities of materials for a long time, but increasing brick size became difficult because of manufacturing equipment restrictions. One of problems is a shortage of compacting pressure. The high pressure is needed to press bricks and a larger brick needs higher pressure. If a large brick is made without sufficient pressure, its quality becomes unacceptable because of an insufficiently dense texture. This means it is impossible to increase the size of brick while retaining high quality beyond a certain level of size. Another problem in manufacturing bricks is non-uniform pressing which causes some variations in the quality of a brick, and increasing the size of bricks makes this problem more difficult to solve. Additionally,

Table 1 Typical properties of tuyere refractories

		A	B
		Newly developed large block	Ordinary SiC large brick
Chemical composition [%]	SiC Al ₂ O ₃	93 1	94 -
Apparent porosity [%]		14.5	15.5
Modulus of rupture [MPa]	RT 1400°C	36 25	27 25
Loss of strength by alkali test [%]		5.8	10.4
Thermal conductivity [Wm ⁻¹ K ⁻¹]		26.7	26.5

達コストの問題もあり、羽口用れんがの作製にあたっては、母材と呼ばれる単純形状の大型れんがを加工して最終的な形状に仕上げるのが一般的であるが、加工の際に相当量の不要部分が発生するため歩留まりが悪いと言った問題があった。

今回開発した高炉羽口用大型ブロックは、れんがの大型化に伴って発生する上記のような問題を解決し、極限までの大型化を図ることを目標とした。これによって分割構造をなくした一体形状の羽口用耐火物の提供が可能になる。また、開発にあたっては、羽口用耐火物として長年の実績があるSiC質れんがと同程度の特性を有することをもうひとつの目標とした。以下に、新たに開発した高炉羽口用大型ブロックの特徴について述べる。

2. 材質の検討

本大型ブロックの製造にあたっては、通常のプレキャストブロックの製法を基本としつつも、特殊な鑄込み方法を採用し、究極的な低水分化を図ったことが大きな特徴のひとつである。

大型羽口ブロックの化学組成をTable 1に示す。羽口用耐火物に求められる特性は多岐にわたるが、炉内の固形物、あるいは熔融物に耐えうる強度や耐食性に加え、耐アルカリ性、熱伝導性などが特に重要であると考えられる。このような特性をバ

when we make complicated brick shapes like tuyere bricks, we need to make larger bricks with simple shapes at first, and then cut and grind them for the final shape to avoid too much cost for pressing molds or quality problems caused by non-uniform pressing. This causes much waste and low yield.

During the development of the new large blast furnace tuyere blocks, we set targets of increasing maximum size by solving the above brick manufacturing problems, to allow us to provide tuyere refractories of single-piece construction with no divisions. We also set a target of the same or higher qualities than SiC bricks which had good actual performance for a long time. We describe the features of newly developed large blocks for the blast furnace tuyere below.

2. Material Choice

The manufacturing method of the new large blocks is based on the normal manufacturing method of precast, however, application of a special kind of casting method which enables ultimate minimization of mixing water is one of the most important

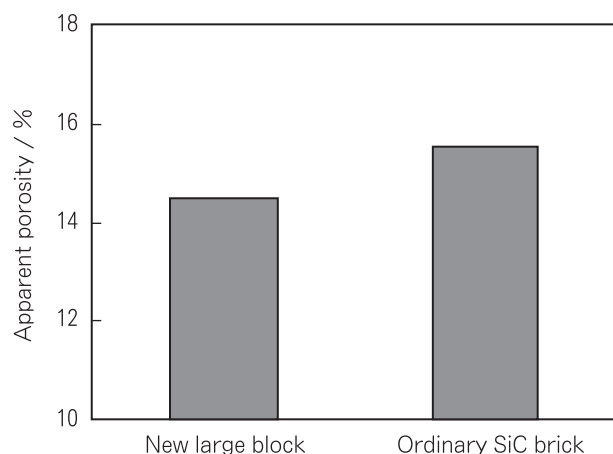


Fig. 2 Apparent porosity of tuyere refractories.

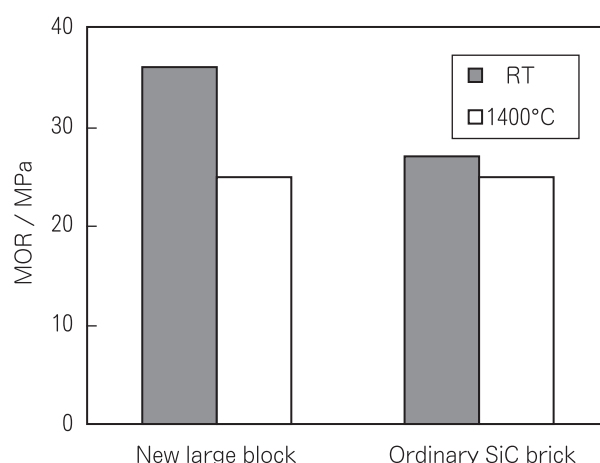


Fig. 3 Modulus of rupture of tuyere refractories.

ランスよく兼ね備える材質としてはSiC系が最も有望である。事実SiC系耐火物は羽口用耐火物として長年の実績があり、現在でも主流である。したがって、今回の大型ブロックの開発においてもSiC系の材質を採用した。SiCれんがの配合との違いは粒度構成のほか、バインダーである。セメントの使用は羽口用耐火物としての性能を低下させる恐れがあるため、極力排除した。

3. 大型羽口用ブロックの特性

Table 1 に示す開発品（大型羽口ブロック）と従来れんがについて、種々の特性比較を実施した。

3. 1 気孔率・強度

見掛け気孔率および、常温および1400°Cにおける曲げ強さをFig. 2, Fig. 3 に示す。見掛け気孔率は開発品の方がやや低い。常温の曲げ強さは開発品の方がやや高く、1400°Cの熱間強度も従来れんがと遜色ないレベルにある。

3. 2 耐食性

侵食剤として高炉スラグを用い、アーク加熱式の回転ドラム法によって1600°C-10hの侵食試験を実施した。スラグは1.2kg/hとし、1時間毎に入れ替えた。結果をFig. 4 に示す。開発品の侵食深

features.

The chemical composition of the newly developed large tuyere blocks is shown in Table 1. Many characteristics are demanded for tuyere refractories, among them, alkali resistance and thermal conductivity as well as high strength and high corrosion resistance to endure the solid and the melt in the furnace are especially important. To balance these demands, SiC material is believed to be the most important. In fact, refractories composed mainly of SiC have been used for a long time and are still the favored refractory for the tuyere. Therefore, we also chose SiC as the material of the new large blocks. The differences in formulation from SiC bricks are particle size distribution and binder. Because the performance may be lowered by using cement, we eliminated cement as much as possible.

3. Characteristics of New Large Blocks

We conducted various tests to compare the characteristics of the newly developed large blocks shown in Table 1 to ordinary SiC

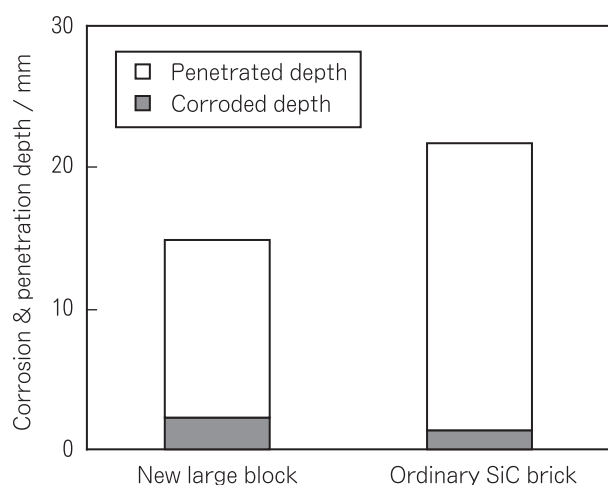


Fig. 4 Slag corrosion resistance of tuzere refractories.

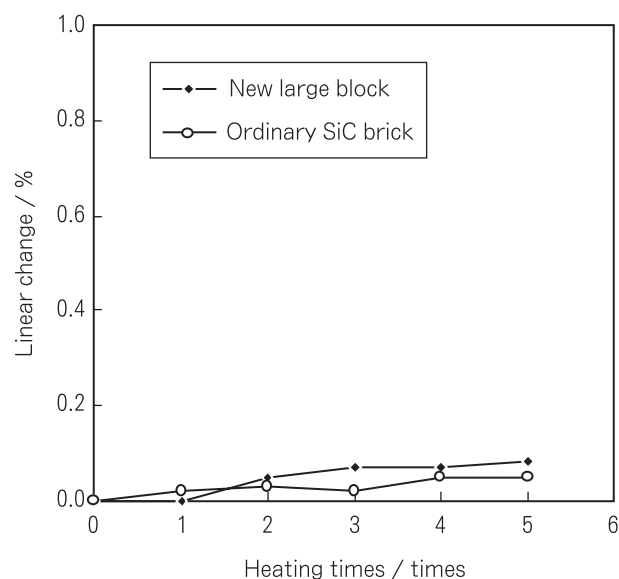


Fig. 5 Linear change by alkali test.

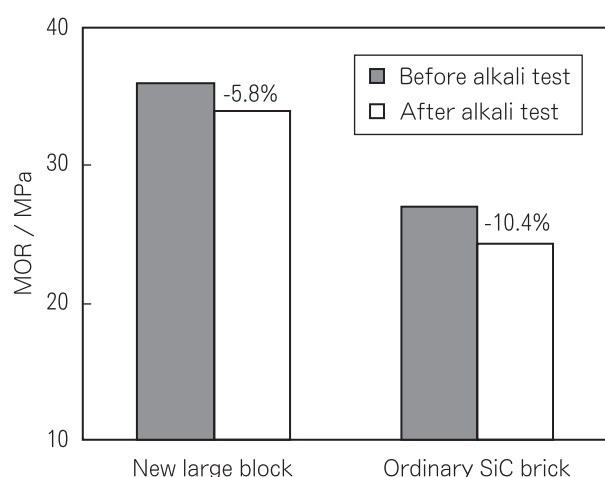


Fig. 6 Loss of strength by alkali test.

さは従来れんがと比べてやや大きいが浸潤深さは大幅に小さくなっている。侵食深さと浸潤深さを併せた量は開発品の方が少なく、健全層がより多く残存することを意味している。浸潤深さが小さくなったのは、前項で示したように開発品の方が低気孔率であること、れんがと比べて微細原料をより多く使用しているため気孔径が小さいことなどが原因と考えられる。

bricks.

3. 1 Apparent porosity and strength

Apparent porosity and strength at RT and 1400°C are shown in Fig.2 and Fig.3. The new large blocks have a little lower apparent porosity than ordinary SiC bricks. The cold modulus of rupture of the new large blocks at room temperature is higher and the hot modulus of rupture at 1400°C is comparable to the SiC brick.

3. 2 Corrosion resistance

The blast furnace slag corrosion test at 1600°C for 10 hours was conducted by arc heated rotary drum method. The slag of 1.2kg was put into the drum and refreshed every one hour. The test result is shown in Fig.4. The corroded depth of the developed block is a little larger, but the slag penetrated depth is much smaller than that of SiC bricks, this indicates the possibility of more intact body remaining in actual use with the developed block. The shallower penetration depth in the developed block is attributed to

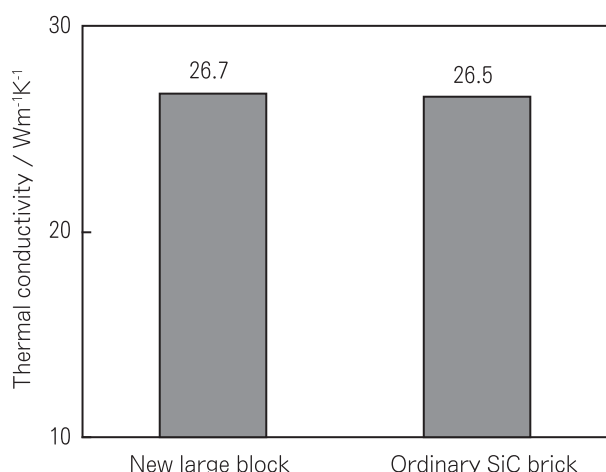


Fig. 7 Comparison of thermal conductivity.

3. 3 耐アルカリ性

アルカリ源として K_2CO_3 を用い、コークスと1:4の比になるように混合した粉末中に $25 \times 25 \times 60$ mmに切り出したサンプルを埋め込み、 1300°C -5hの加熱を5回繰り返し、線変化率、強度低下率を測定した。結果をFig. 5, Fig. 6に示す。この試験では、線変化率が小さいほど、強度低下率が小さいほど耐アルカリ性に優れていると判断されるが、開発品の線変化率は従来れんがと比べて若干大きいものの、絶対値は非常に小さく、強度低下率は従来れんがよりも小さい。したがって開発品は従来れんがとほぼ同等の耐アルカリ性を有すると考えられる。

3. 4 熱伝導率

熱伝導率は、高熱伝導率の測定に適した熱流法によって測定した。結果をFig. 7に示す。開発品の熱伝導率は各温度で従来れんがとほぼ同等の高い熱伝導率を示した。熱伝導率が高いと、羽口や羽口周囲からの冷却効果が得られやすくなるが、開発品においても従来SiCれんがと同等の冷却効果が得られるものと考えられ、羽口用耐火物としての耐久性は増す方向になると考えられる。

the fact that the developed block has lower apparent porosity and smaller pore size because more fine materials are used comparing to SiC bricks.

3. 3 Alkali resistance

Samples of the size of $25 \times 25 \times 60$ mm were filled with the mixed powder which contains 20% K_2CO_3 and 80% coke. The linear change and the lowering rate of strength were measured after 5 heatings at 1300°C for 5 hours. The test results are shown in Fig.5 and Fig.6. In this test, the smaller linear change and the lowering rate of strength means the higher alkali resistance. The linear change of the developed blocks is a little larger but still very small and the lowering rate of strength is smaller than that of SiC bricks. Therefore, the alkali resistance of the developed block is believed to be almost comparable to SiC bricks.

3. 4 Thermal conductivity

Thermal conductivity which was measured by heat flow meter method is shown in Fig.7. The developed block showed a high thermal conductivity almost equal to SiC brick. The durability of the tuyere refractories is believed to be improved with high thermal conductivity because higher thermal conductivity helps tuyere refractories get more cooling effect from the environment and the developed blocks can get the cooling effect equal to that of SiC bricks.

4. Actual Use

The newly developed large blocks for the blast furnace tuyere have already been applied to actual use, and Fig.8 shows the scene of pre-assembly. In this case, undivided large main blocks of 1400mm maximum length and



Fig. 8 Trial assembly of newly developed large blocks for blast furnace tuyere.

4. 実炉適用実績

図11は、今回開発した大型羽口ブロックを実際の高炉に適用した際の仮組み状況を示したものである。本例では鉄皮側に薄い小形状のブロックを配置した上で、主要部位の炉内側に最大寸法約1400mm、単重約2400kgの分割なし一体構造の大型ブロックを配置している。従来実績のある羽口用れんがと比較すると、重量比で約6倍の大きさを達成した。この大型化によって築炉期間短縮効果が得られたほか、品質特性の向上、構造的安定性の向上によって従来の羽口用耐火物を上回る耐用性が期待される。

5. 結 言

従来の煉瓦製造方法ではユーザーが要求する大型形状を製造することが技術的に困難な状況になりつつあった。今回、そのようなユーザーの要求を高レベルで満足することを目的に、加圧振動成形のプレキャストブロックの技術を応用することによって、従来煉瓦と同等以上の特性を具備し、

2,400kg weight are placed on the inner side per one tuyere, and small and thin blocks are placed on the outside of the main blocks. This large block is up to six times as heavy as our ordinary maximum sized SiC brick for the blast furnace tuyere. This increase in size contributed to shortening repair work period and durability is expected to be improved by improvements in quality and structural stability.

5. Conclusion

Manufacturing the large sized bricks which customers demand has become more and more difficult technically. In order to highly satisfy their demands, we developed very large blocks for blast furnace tuyeres which have the same or higher quality than ordinary bricks, are adapted for near-net-shape manufacturing and are about six times as heavy as our ordinary maximum sized tuyere bricks, and established a method for manufacturing them. It is possible to make

複雑形状にも対応，大きさは従来れんが重量比で約6倍程度まで対応できる大型羽口用ブロックを新たに開発，およびその製法を確立した。この大型羽口ブロックを適用することによって，羽口用耐火物の一体構造化が可能となり，築炉期間の短縮，構造的安定性の改善に伴う耐用性の向上など，得られるメリットは非常に大きいものであると考える。

single-piece tuyere refractory with no divisions with the new large blocks. We believe this new product can provide many advantages including shortening the repair work period and improvement of durability through good structural stability and high quality.