

亜鉛の含有の高い煉瓦では崩壊の傾向が強いようであるが、本報の B 試料は問題になるような変質のないことを確認はしているが、未使用煉瓦と使用後煉瓦との対比であるので明確な結論はさしひかえたい。

(4) 糸状沈積炭素は 500°C において部分的には比較的、高い結晶度の石墨構造を示すことが認められた。

#### 文 献

- 1) 例えば L. H. VAN VLACK: Journal of American Ceramic Society, 31 (1948), p. 220
- 2) T. F. BERRY, R. N. AMES, and R. B. SNOW: Journal of American Ceramic Society, 39(1956), p. 308
- 3) 林: 品川技報, No. 9 (1961), p. 3
- 4) 林: 品川技報, No. 6 (1958), p. 1
- 5) 例えば, 赤松, 佐藤: Bull. Chem. Soc. Japan, 22 (1949), p. 127

## (60) 第 5 次東田第 6 高炉炉底部レンガの性状調査

(高炉用レンガの損耗に関する研究—Ⅵ)

八幡製鉄, 技術研究所

工博 大庭 宏・○平櫛敬資・松尾正孝

Investigation on Properties of Higashida No. 6 Blast Furnace Bottom Linings, 5th Campaign.

(Study on wear mechanism of blast furnace linings—Ⅵ)

Dr. Hiroshi OHBA, Keisuke HIRAGUSHI and Masataka MATSUO.

### 1. 結 言

高炉レンガの損耗機構を知るために解体高炉レンガの性状調査を行なっているが、重油吹込み、高圧操業、焼結鉬使用など操業技術の進歩とともにライニング損耗状況が変化し、かつ高炉用レンガ品質もかなり改良されているため、その効果および影響を知るには今後とも調査が行なわれる必要がある。第 5 次東田第 6 高炉は、わが国で最初にカーボンブロックを使用し、かつ国産粘土レンガによつて、10 年 7 カ月の長期間操業を行ない、小型高炉ながら 213 万 t の出鉄を記録した。カーボン炉底は本高炉以降、当所のみならずわが国のほとんどの高炉で採用され、良好な成績を示しているが、周知のように、炉底中心部の損耗が大きく、現在までの材質が良好のものとは考えられない。炉底カーボンの損耗に対する報告は少なく、わずかに当所洞岡 4 高炉の例があるのみである。本報告は、使用後カーボンレンガおよび炉底用粘土レンガの性状を調査したもので今後のレンガ品質および操業技術の向上の参考とするものである。

### 2. 解体レンガ試料

炉底部レンガの侵食プロファイルを Fig. 1 に示す。図からわかるように、炉底の出鉄口側の侵食は溶鉄の流動のためか大きくなっている。解体レンガ調査試料は、炉底中央部および周辺部からカーボン、粘土レンガをそれぞ

れ 1 カ所づつを採取した。採取試料の大きさは、厚さ 80 ~ 410 mm で、小分割して性状を調査した。使用前レンガの品質は、後述の使用後性状調査結果と併記したが、カーボンブロックは、無煙炭をかなり含む冶金コークスペースブロック(東海電極製)、粘土レンガは、当所旧炉材課製で、国産粘土を主原料としたことが特徴となっている。

### 3. 解体レンガの性状

小分割した解体レンガ試料について、物理試験、化学分析、鉍物試験を行なった。

#### 3.1 カーボンブロック

カーボンブロックの性状調査結果を Table 1 に示す。炉底中央部試料はメタル質で気孔はほとんど含まれないため、比重気孔測定は行なわなかつた。X線回折および顕微鏡観察(Photo. 1)から明らかのように、炉底中央部カーボンには多量の銑鉄が侵入し、レンガ組織は完全に破壊されて、銑鉄-炭素-残留スラグの混合物となっていた。炉底周辺部は、銑鉄の侵入はほとんどないが、酸化鉄が少量侵入していた。長期間の稼動にもかかわらず、レンガ組織の緻密化は認められず、ブロック内部はむしろ多孔質となっていた。酸化は固定炭素の増加分にほぼ等しく、10~15%で、マグネタイトとして固定された。酸化鉄のほかに、スラグが気孔の中に侵入していたが、炭素粗粒子は使用前の形状を保持していた。この粗粒子は、粒子の緻密性および光沢から、無煙炭と推定された。

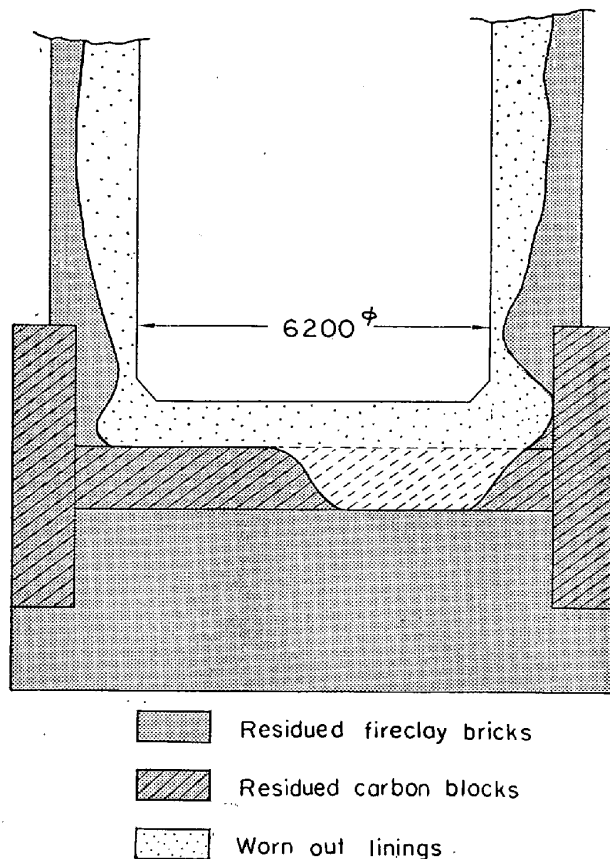


Fig. 1. Wear profile of Higashida No. 6 blast furnace bottom.

Table 1. Properties of carbon blocks.

Properties		Part	Peripheral			Central		Before use
			25	170	310	15	45	
Physical	App. porosity (%)		16.1	21.0	28.8			16.2
	App. density		2.07	2.09	2.16			1.90
	Bulk density		1.74	1.65	1.54			1.59
	Water absorption (%)		9.2	12.8	18.7			10.2
	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )		211	285	178			335
Chemical	Ig. loss					51.94	55.16	
	SiO <sub>2</sub>					16.36	18.46	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					2.56	3.23	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					14.91	8.55	
	FeO							
	Fe					9.68	5.95	
	CaO					3.95	3.88	
	TiO <sub>2</sub>					4.47	4.47	
Alkali					0.02	0.03		
Mineral	2CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>					++	++	
	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>		++	+	+	+	+	
	α-Fe					+++	+++	
	Graphite		++++	++++	++++	+++	+	

\* Distance from hot face.

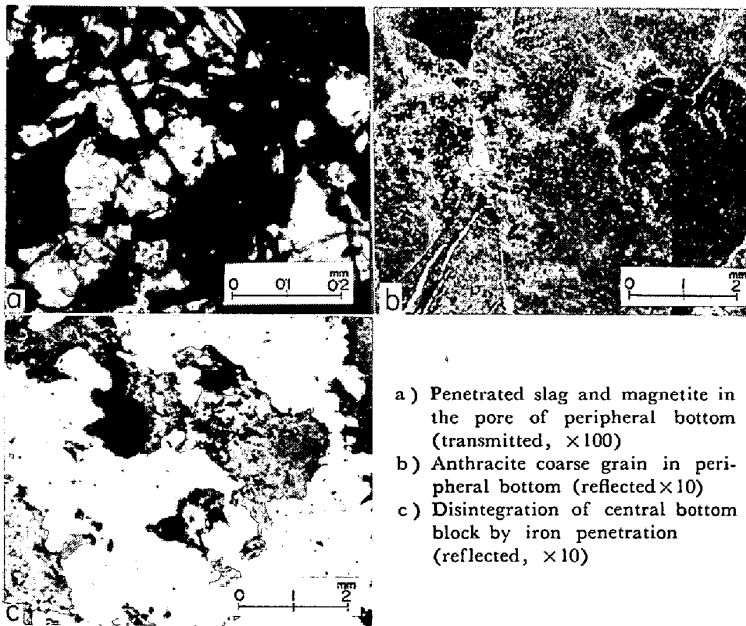


Photo. 1. Microstructure of carbon blocks.

カーボンブロックの黒鉛化について、粉末法X線回折の黒鉛結晶(002)面の Peak Intensity および Broadening から黒鉛化度および結晶子の大きさを FRANKLIN および SCHAIRER の式から計算した結果<sup>2,3)</sup>、炉底中央部はほとんど完全に黒鉛化しているが、周辺部は黒鉛化進行過程にあることがわかった。

### 3.2 粘土レンガ

調査の対象とした粘土レンガは、前述のカーボンブロックの下に位置しているにもかかわらず、レンガ組織変化が大きかった。性状試験結果を Table 2 に示す。炉底中央部は開放気孔がほとんど0となり、冷間の圧縮強

度は使用前の数倍にも達していたが、顕微鏡観察の結果(Photo. 2)、試料の内部まで銹鉄が網目状に侵入していた。また、銹鉄とともに金属鉛が数%認められた。銹鉄の侵入とともに、原レンガの構成鉱物は、大巾に減少していた。炉底周辺部は、レンガ組織および成分とも使用前と大差なく、炉内の影響がほとんどおよんでいないことがわかった。

## 4. 炉底レンガの損耗機構

### 4.1 カーボンブロック

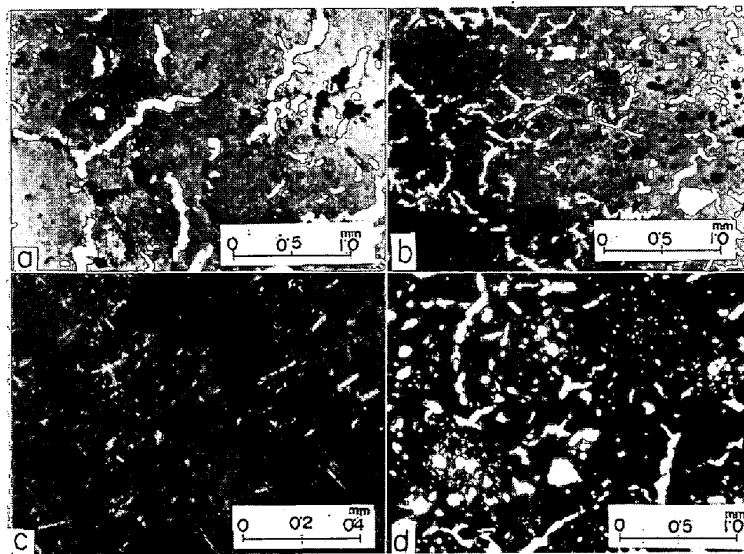
東田第6高炉(第5次)は、昭和26年12月、わが国で最初にカーボン炉底を採用し、前述のように10年以上の長期操業を達成したことに意義がある。使用部分は炉底2段目と炉床外壁で、その使用量は、炉底部33t、炉床部29tである。本高炉に使用したブロック品質を、本高炉以降、約15年間にわたって当所で使用している製司コークスペースと比較すると真比重1.91(製司コークス1.93~2.01)、圧縮強度330kg/cm<sup>2</sup>(製司コークス377~572kg/cm<sup>2</sup>)と若干低く、原料の一部無煙炭が使用されたのではないかと推察される。無煙炭ベースカーボンレンガは、耐アルカリ性および熱内容積安定性が良好で、近年欧米においてかなり使用されているが、Fig. 1の本高炉の損耗プロフィールも製司コークスペースの炉底より侵食が小さく無煙炭ベースの方が良好のように感じられる。カーボン炉底の損耗については、本高炉に続いて本格的にカーボンを適用した洞岡第4高炉(3次)についてかなり詳細に調査した結果、次の結論および問題点がわかった。

- ① 損耗量は、炉周よりも中心部が著しく大きい。
- ② 稼働面近くの残存レンガは、気孔率が増加し、圧縮強度が低下している。

Table 2. Properties of fireclay bricks.

Property	Part Distance (mm)*	Peripheral				Central			Before use
		25	145	275	385	25	155	285	
Physical	App. porosity (%)	14.4	18.0	17.9	17.1	0.8	0.5	0.5	14.3
	App. density	2.64	2.65	2.69	2.68	3.14	3.32	3.19	2.62
	Bulk density	2.25	2.17	2.20	2.21	3.12	3.31	3.17	2.24
	Water absorption (%)	6.3	8.2	8.1	7.7	0.2	0.1	0.1	6.3
	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	1.034	1.375	1.343	1.394	n.d.	2.922	3.183	7.93
	Refractoriness (SK)	1.708	1.700	1.703	1.720	1.345	1.390	1.380	1.730
Chemical	Ig. loss	0.93	0.63	0.60	0.60	⊕5.28	⊕9.99	⊕8.18	
	SiO <sub>2</sub>	58.20	58.18	58.14	58.20	44.64	46.34	41.64	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34.70	34.87	35.36	34.88	15.43	23.26	20.75	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.05	2.03	1.85	2.69	13.75	0.81	8.61	
	FeO	0.22	0.31	0.24	0.20	2.62	3.24	2.89	
	Fe	0.04	0.09	0.06	0.06	10.67	23.49	19.00	
	TiO <sub>2</sub>	1.37	1.13	1.43	1.41	1.09	1.17	1.20	
	PbO	0.00	0.00	0.00	0.00	5.89	0.15	3.47	
	Alkali	1.74	0.82	0.50	0.43	4.06	0.35	1.27	
	Mineral	3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub> (Cristobalite) SiO <sub>2</sub>	++++	++++	++++	++++	++	+++	++
(Tridymite) SiO <sub>2</sub>		++++	++++	++++	++++		++	+	
α-Fe						+	+	+	
Pb						++++		++	

\* Distance from hot face.



a) Central bottom, iron penetration (reflected, ×20)  
 b) Central bottom, iron penetration in the micro pores (reflected, ×20)  
 c) Central bottom, secondary mullite (transmitted, ×50)  
 d) Peripheral bottom, no changes (transmitted, ×20)

Photo. 2 Microstructure of fireclay bricks.

③ 外来成分として、鉄化合物が酸化鉄および炭化物としてかなり深部まで認められる。

④ 炉周部レンガ内に巨大な空洞が発生し、その中に鉄鉄が充満していた。

今回の調査結果をこれと比較すると、項目④以外は、大略同一である。ただし中心部試料は、スラグまたは、内容物との混合物で極度に性状変化が進んでいる。前回と今回の調査結果の同一性から炉底カーボンレンガの損耗は、

① カーボンレンガ内への鉄鉄または、鉄化合物の拡散、とくにマトリックス部分への侵入による組織変化。

② 金属鉄の酸化物または炭化物形成に伴う組織変化。

③ レンガ組織変化は、気孔率増加および強度低下をもたらす。

ことが考えられる。今回の試料について、周辺部ブロックのマトリックスにマグネタイト結晶の生成が認められたが、無煙炭質粒子は健全で粒子の変化は少なく、現在戸畑 1 高炉 (2 次) 用に検討中の無煙炭添加の熱間溶積安定性が良好なことを裏付けている。さらに、解体時の損耗プロフィールは、侵食量が小さいことを示し、本高炉のカーボンが品質が劣っていないかつたこともその一因と考えられるが、出鉄口側の炉底損耗が反対側よりも大きいことから、耐摩耗性および強度の増大が今後必要と考えられる。

#### 4.2 粘土レンガ

カーボンブロックが高炉へ適用されるまで炉底は、高炉寿命および操業事故を左右する重要な部分で緻密な高耐火性シャモットレンガが使用されていた。本高炉の粘土レンガは、築岩系シャモットを主原料とし、当所旧炉材課で製造された緻密なレンガである。炉周部は、原レンガ組織を保持し、外来成分の侵入もほとんどみられないが、中央部には、かなり深くまで鉄鉄が侵入していた。鉄鉄は、開放気孔を經由して表面から 100 mm 以上まで侵入し、開放気孔率は、1% 以下に減少し、加熱によるガラス化と 2 次ムライトの発達によつて、圧縮強度は 1000 kg/cm<sup>2</sup> 以上に増加していた。鉄鉄の侵入とともに金属鉛も 3~5% 侵入していたが、

これらの金属の酸素との親和力は、シャモットの  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を還元するほど大きくなく、金属状態で存在し、容積変化はもたらししていない。しかしながら溶銑は、粘性が小さく、レンガの開放気孔を通しての毛管拡散性が大きいので、今後とも炉底および炉床レンガの気孔率、気孔大きさ、目地間隙などはできるだけ小さいことが必要である。

5. 結 言

東田第6高炉(5次)解体レンガのうち炉底部カーボンおよび粘土レンガについて性状調査を行なった結果次の結論をえた。

- 1) カーボンレンガの炉底中央部は、変質が著しく進み、スラグ、メタルの混合物となっていたが、炉周部残存レンガの性状から、損耗は、外来成分とくに金属鉄および鉄化合物のレンガマトリックス内への拡散および化学反応によるレンガ組織の変化が気孔率増加および強度低下をもたらし、摩耗をうけやすいためと考えられる。
- 2) カーボン・レンガの粗粒は、無煙炭であるが、粒子の破壊は、ほとんど認められなかった。
- 3) 粘土レンガも炉底中央部が著しく加熱をうけ、ガラス化と2次ムライトが大きく成長した。開放気孔のほとんどには、金属鉄および金属鉛が侵入して気孔率1%以下に低減していた。
- 4) 炉底用レンガとして、カーボンおよび粘土ともに、低気孔、熱間強度の大きいレンガが必要と考えられる。

文 献

- 1) 大庭, 他: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 290
- 2) R. E. FRANKLIN: Acta Crysta., 4 (1951), p. 253
- 3) 赤松: 「実験化学講座固体物理化学編」, (1956), (丸善)

(61) 高炉付着物に関する 2, 3 の考察

八幡製鉄, 技術研究所

工博 小菅 高・工博 児玉惟孝・○肥田行博  
Some Considerations on Scaffolding at the Blast Furnace Shaft.

Dr. Takashi KOSUGE, Dr. Koretaka KODAMA and Yukihiro HIDA.

1. 緒 言

八幡製鉄東田第4高炉(7次)は昭和40年12月25日に吹止されたが、吹止め直前の休風時を利用して炉壁の浸食状況を調査したところ、シャフト中段に異常に発達した付着物を認めた。溶銑炉稼動中の付着物の生成は、一

面、炉壁の保護という好ましい作用があるが、局部的な成長は装入物の降下およびガスの上昇を乱すこととなり直接生産性に結びつく重要な問題である。したがって溶銑炉操業管理者は、このような付着物の局部的な成長を防止するように、また成長をすばやく探知し初期の内に除去するように注意を払う必要がある。いずれにせよ付着物の生成原因および機構を知る必要があり、古くから解明が試みられてきたが状況に応じて異なりまだ十分とはいえない<sup>1)~3)</sup>。

この原因、機構の追求の1つとして、大きく成長した東田4高炉中段の付着物をブロック状で採取し、2, 3の考察を行なったので以下に報告する。

2. 試 料

吹止め直前の炉内の付着ならびに浸食状況の1例として南側について Fig. 1 に示した。試料採取位置としては、付着物が異常に発達した中段の南側を選んだ。採取方法としては、内径 100 mm φ のコア・チューブを有するボーリング機械により炉壁レンガから内部の付着物へと連続的に、ブロック状として試料を得た。

3. 実験結果

3.1 外観観察および検鏡結果

採取された試料の状況を Photo. 1 に示した。試料の全長は 1550 mm であり、その内、付着物は 650 mm,

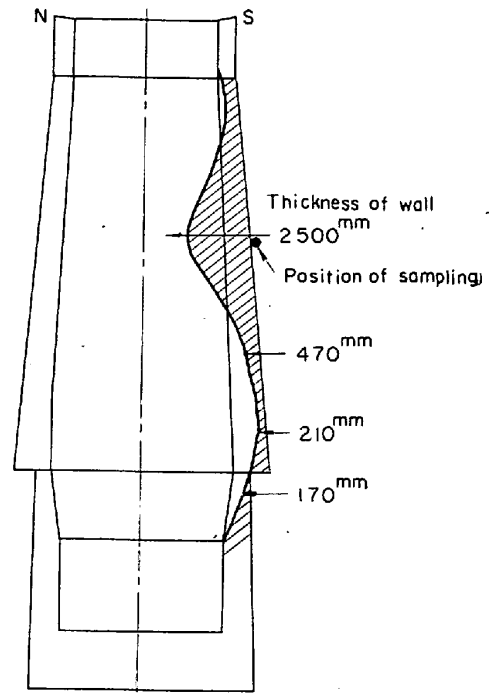


Fig. 1. Profile of scaffold and erosion in No. 4 B. F. at Higashida works.

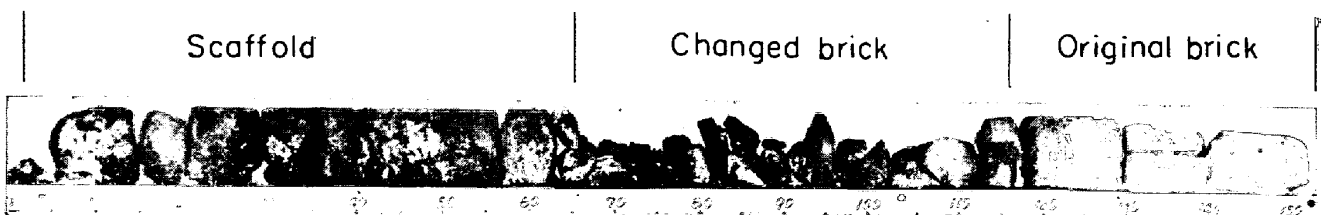


Photo. 1. State of scaffold and brick. (×1/10)