

造塊用耐火煉瓦の侵蝕について

渡辺 準平* 門瀬 益雄**

The Study on the Erosion of Pouring Refractories

By Jumpei Watanabe and Masuo Kadose

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

It is a recognized fact that nonmetallic inclusions in steel come from two principal sources. One is the chemical reactions in the furnace, or in subsequent deoxidation, resulting in slag which does not free itself from the metal. The other source is erosion of the pouring refractories, such as lining brick, stoppers, nozzles and mortars, producing entrapped particles of nonmetallic origin.

The study disclosed herein is on the erosion which, so far as the basic electric-melted steel is concerned, is regarded as the primary source of nonmetallics. In the study, resistance of the lining and sleeve bricks against erosion by the molten steel and slag was first examined. "Roseki" chamotto and high alumina bricks were used for lining in the experiment; The ladle was lined with two kinds of them in half, and each half was further lined with the same chamotto brick. These stoppers which were assembled by graphite, high alumina and chamotto sleeves were set in one ladle.

Molten steel containing 0.20 to 0.5% carbon was tapped from 10 t basic electric arc furnace. Measuring of erosion difference between two kinds of lining bricks at the front, back and one side, led to the conclusion that "roseki" brick was most suitable for lining. As regards the resistance of sleeve bricks against erosion, it was observed that the one made of graphite was most excellent.

Erosion mechanism of the pouring refractories has recently been explained by the interaction between chemical composition of them and molten steel or slag.

On the basis of the result of this research, the writers conclude that it is essential that the influence of chemical composition and physical properties should be studied in the course of actual operation of the furnace.

〔I〕 緒 言

造塊用耐火煉瓦主として取鍋の内張煉瓦、ストッパー、スリーブおよびヘッドなどの溶鋼および鋼滓による侵蝕は鋼塊に発生する砂痕の成因の一つとして挙げられており、清浄な鋼を製造する上に重要な問題である。耐火煉瓦の侵蝕生成物に基因する砂痕は、その形が大きく鋼塊の外周に出現しやすいことから、しばしば鋼材廃却の原因となる。

* ** 日立製作所日立工場

従来この問題については多くの人々によつて研究されて来た。K. Daeves⁽¹⁾は砂痕の分析結果から塩谷周三氏⁽²⁾は鋼滓の成分および重量の変化から、また里井孝三郎氏⁽³⁾および M. P. Fedock⁽⁴⁾は溶鋼表面に浮遊する侵蝕生成物の分析結果よりいずれもその侵蝕機構は主として溶鋼中の遊離の MnO に起因すると述べている。K. Otto Zimmer⁽⁵⁾はシャモット質取鍋煉瓦の物理的性質鋼材の品位および煉瓦の原単位の関係について論及し、C.B. Post および G.V. Luerssen⁽⁶⁾は軸受鋼の段削試験の成績が溶鋼中の Mn/Si と密接な関係があることを

報告している。前川,中川両氏⁽⁷⁾はシャモット煉瓦の溶鋼および鋼滓による侵蝕試験を行い,前者においては Körber および Oelsen⁽⁸⁾ による[Si]および[Mn]などの共同脱酸の理論を適用して一応説明しうるとし, [Mn] あるいは [MnO] 以外に溶鉄自体または (FeO) の影響もかなり強く, 後者においては (CaO), (FeO) および (MnO) のうち (MnO) の侵蝕力はあまり強くなく, 時間的变化は塩基度と関係があることを述べ, さらに雰囲気の影響としては空気中で最も強く, 窒素気流中で最も弱いことを報告している。しかし従来の研究のほとんどが特定の煉瓦たとえばシャモット質煉瓦を対象として侵蝕機構を論じており, 現場的に耐蝕性の強い煉瓦の材質の究明についてはあまりあきらかでないようである。

筆者らは鋼塊内に出現する砂痕軽減の対策の一つとして, 蠟石質高アルミナ質およびシャモット質の取鍋内張煉瓦の溶鋼および鋼滓による侵蝕について調査した。煉瓦は容量 15t の取鍋に張り分け, これに塩基性 10t 電気炉で溶製した C 0.20~0.50% の普通鋼を受湯し, 指定した位置における侵蝕量を測定して優劣を比較した。また黒鉛質, 高アルミナ質およびシャモット質のスリーブ煉瓦についても簡単な実験を行つたので両者の結果について報告する。

〔II〕 試料および実験方法

(1) 試験に使用した取鍋内張煉瓦は蠟石質1種, 高アルミナ質2種およびシャモット質3種で, スリーブ煉瓦の材質には黒鉛質, 高アルミナ質およびシャモット質をえらび, その化学成分を第1表に示す。モルタルはできるだけ煉瓦と同じ成分のものをえらんで使用し第2表にその化学成分を示す。第3表は試験内張煉瓦およびスリーブ煉瓦の物理的性質を示したものである。

(2) 容量15tの取鍋の側壁および底部に試験煉瓦と従来から使用しているシャモット質 C を半々に張り分け, 双方を同一の条件にして普通炭素鋼を数回受湯し, おのおのの侵蝕量と侵蝕状況を比較した。第1図は煉瓦を張り分けた使用前の状況を示したものである。

(3) 侵蝕量の計量は里井孝三郎氏⁽³⁾の方法に準じて隣接する1列は避け, そのつぎの列を上部から下部へ6箇 (No. 1~No. 6) について行つた。計量した位置は湯当側, 反対側および出鋼方向に直角な位置とした。第2図は炉体と取鍋の関係位置を示したものである。

(4) 取鍋を数回使用後に指定した位置の煉瓦を6箇ずつ取外し, 使用前との重量差から容積差を計算で求め1溶解当りの平均値を比較した。

(5) 試験煉瓦の耐蝕性の比較は張り分けを双方の煉瓦の1溶解当りの侵蝕容積の差を湯当側, 反対側および

第1表 取鍋煉瓦およびスリーブ煉瓦の化学成分

Table 1. Chemical Composition of the Ladle and Sleeve Bricks

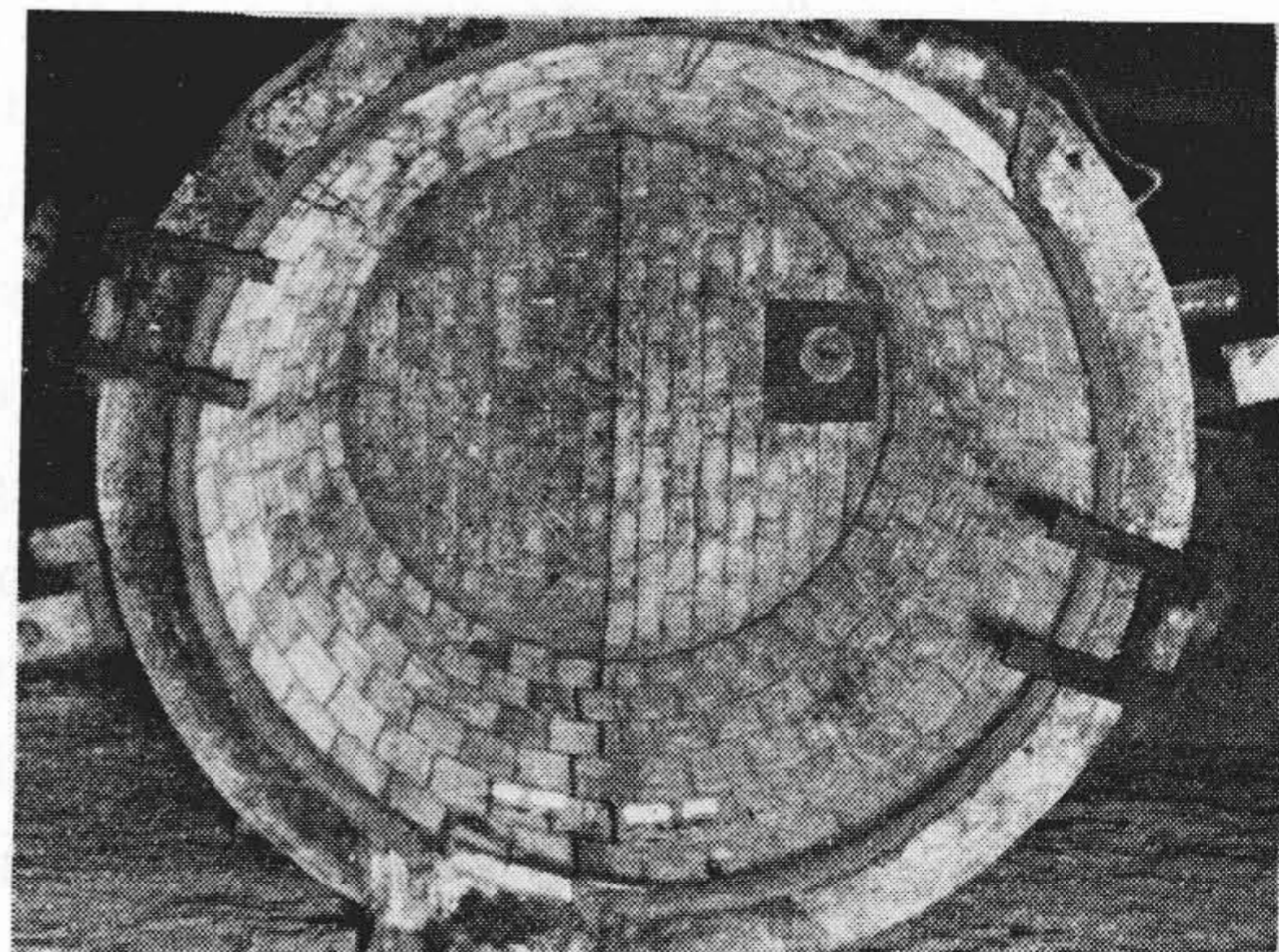
試験煉瓦 材質	製造 社名	化 学 成 分 (%)				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
蠟石質	S社	76.30	20.79	0.37	0.61	0.27
シャモット質A	S社	58.38	38.23	1.65	0.58	0.41
シャモット質B	K社	52.23	44.59	2.25	0.50	0.35
高アルミナ質A	M社	34.51	62.61	2.78	0.45	0.31
高アルミナ質B	O社	40.29	57.64	1.36	0.41	0.20
シャモット質C	N社	61.70	33.70	2.38	0.93	0.61
黒鉛質*	N社	58.22	28.19	3.27	0.06	0.36
高アルミナ質	T社	48.60	46.71	4.11	0.41	0.51
シャモット質	S社	60.26	34.13	4.69	0.24	0.55

* 黒鉛 9.26%

第2表 モルタルの化学成分

Table 2. Chemical Composition of the Mortar

モルタル 材質	製造 社名	化 学 成 分 (%)					
		Ig. Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
蠟石質	S社	6.20	71.24	21.73	0.64	0.05	0.14
シャモット質A	S社	4.45	55.34	37.44	1.70	0.40	0.58
シャモット質B	K社	3.01	53.81	39.44	2.16	0.42	0.58
高アルミナ質A	M社	9.08	41.17	47.53	1.74	0.23	0.25
高アルミナ質B	O社	6.42	33.32	57.92	1.97	0.19	0.28
シャモット質C	N社	8.55	55.84	33.15	1.23	0.54	0.27



第1図 2種の煉瓦で張り分けた新しい取鍋

Fig.1. Ladle Lined with Two Kinds of Ladle Bricks

直角方向の各6箇の煉瓦について集計して求めた。

(6) 第4表は実験の順序, 試験煉瓦の組合せ, 取鍋の使用回数および溶鋼の化学成分を示したものである。溶鋼は 10t 塩基性電気炉で鉍石酸素を併用して精煉し, 350kg の丸型鋼塊に造塊した。鑄込所要時間は各溶解ともほとんど変りがない。使用回数はスラグラインにあたる煉瓦の侵蝕程度によりきめた。

第3表 取鍋煉瓦の物理的性質

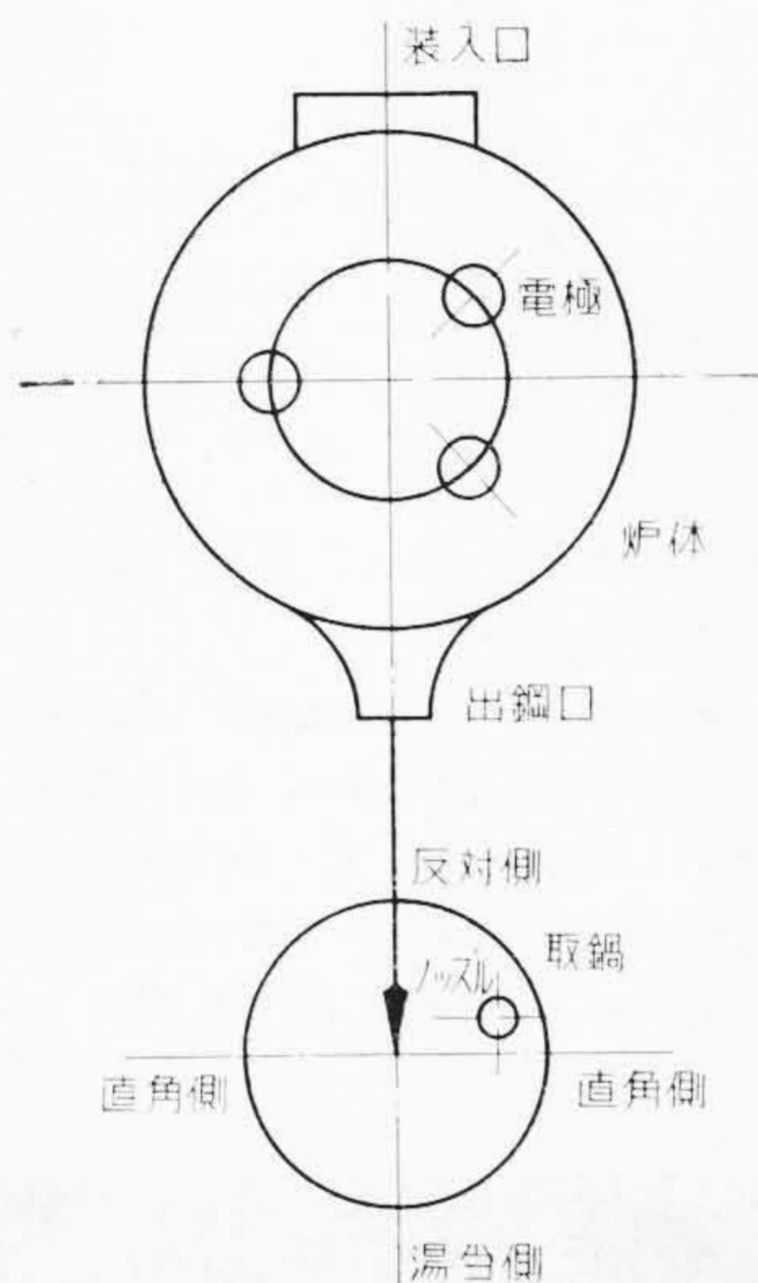
Table 3. Physical Property of the Ladle and Sleeve Bricks

試験煉瓦材質	物理的性質							
	真比重	見掛比重	嵩比重	気孔率 (%)	吸水率 (%)	真気孔率 (%)	耐圧強度 (kg/cm ²)	耐火度 (SK)
蠟石質	2.579	2.555	2.040	20.14	9.87	20.90	227	28
シヤモット質 A	2.702	2.575	2.166	15.89	7.34	19.88	340	33
シヤモット質 B	2.798	2.722	2.187	19.64	8.99	21.80	283	32+
高アルミナ質 A	3.065	3.034	2.216	26.96	12.17	27.86	279	33
高アルミナ質 B	2.908	2.847	2.151	24.43	11.36	26.02	419	36
シヤモット質 C	2.646	2.462	1.931	21.56	11.17	27.00	412	28+
黒鉛質	2.525	2.52	1.91	24.30	12.73	24.40	111	30
高アルミナ質	2.815	2.79	2.07	25.77	12.46	26.50	225	33+
シヤモット質	2.650	2.63	1.96	25.49	13.03	26.19	355	31

第4表 取鍋内の溶鋼の化学成分

Table 4. Chemical Compositions of Steel Poured Into the Ladle

実験順序	試験煉瓦材質	使用回数	溶解番号	化学成分 (%)				
				C	Si	Mn	P	S
第1回	蠟石質	4	D-3487	0.45	0.31	0.69	0.015	0.010
			-3489	0.21	0.35	0.56	0.013	0.010
			-3493	0.31	0.23	0.56	0.012	0.008
			-3496	0.38	0.34	0.63	0.011	0.009
第2回	シヤモット質 A	3	D-3504	0.17	0.31	0.52	0.013	0.016
			-3506	0.46	0.37	0.64	0.016	0.012
			-3508	0.53	0.31	0.65	0.015	0.018
第3回	シヤモット質 B	5	D-3513	0.32	0.31	0.58	0.015	0.012
			-3515	0.21	0.31	0.57	0.015	0.012
			-3519	0.55	0.29	0.75	0.017	0.012
			-3521	0.53	0.30	0.65	0.015	0.009
			-3524	0.47	0.30	0.65	0.015	0.008
第4回	高アルミナ質 A	3	D-3527	0.56	0.30	0.65	0.015	0.010
			-3531	0.55	0.37	0.61	0.011	0.010
			-3533	0.54	0.35	0.59	0.015	0.010
第5回	高アルミナ質 B	5	D-3543	0.52	0.39	0.59	0.014	0.010
			-3545	0.53	0.28	0.60	0.016	0.008
			-3547	0.54	0.35	0.54	0.015	0.010
			-3549	0.57	0.30	0.60	0.017	0.007
			-3551	0.24	0.37	0.57	0.013	0.010



第2図 炉体と取鍋の関係位置

Fig. 2. Relative Position of Ladle and Furnace

(7) スリーブ煉瓦の侵蝕試験は内張煉瓦と全然別箇に実施した。すなわち一つの取鍋に前述の3種の材質のスリーブを取付け同じ溶鋼および鋼滓に浸漬するようにして4回の試験を行つた。侵蝕量の比較は使用後の重量を正確に測定することが困難であるので、スリーブの中央部の直径(直交二方向と周長より求めた平均値)を測定して行い、また鋼滓による侵蝕量の比較は最小直径を測定して行つた。

[III] 実験結果

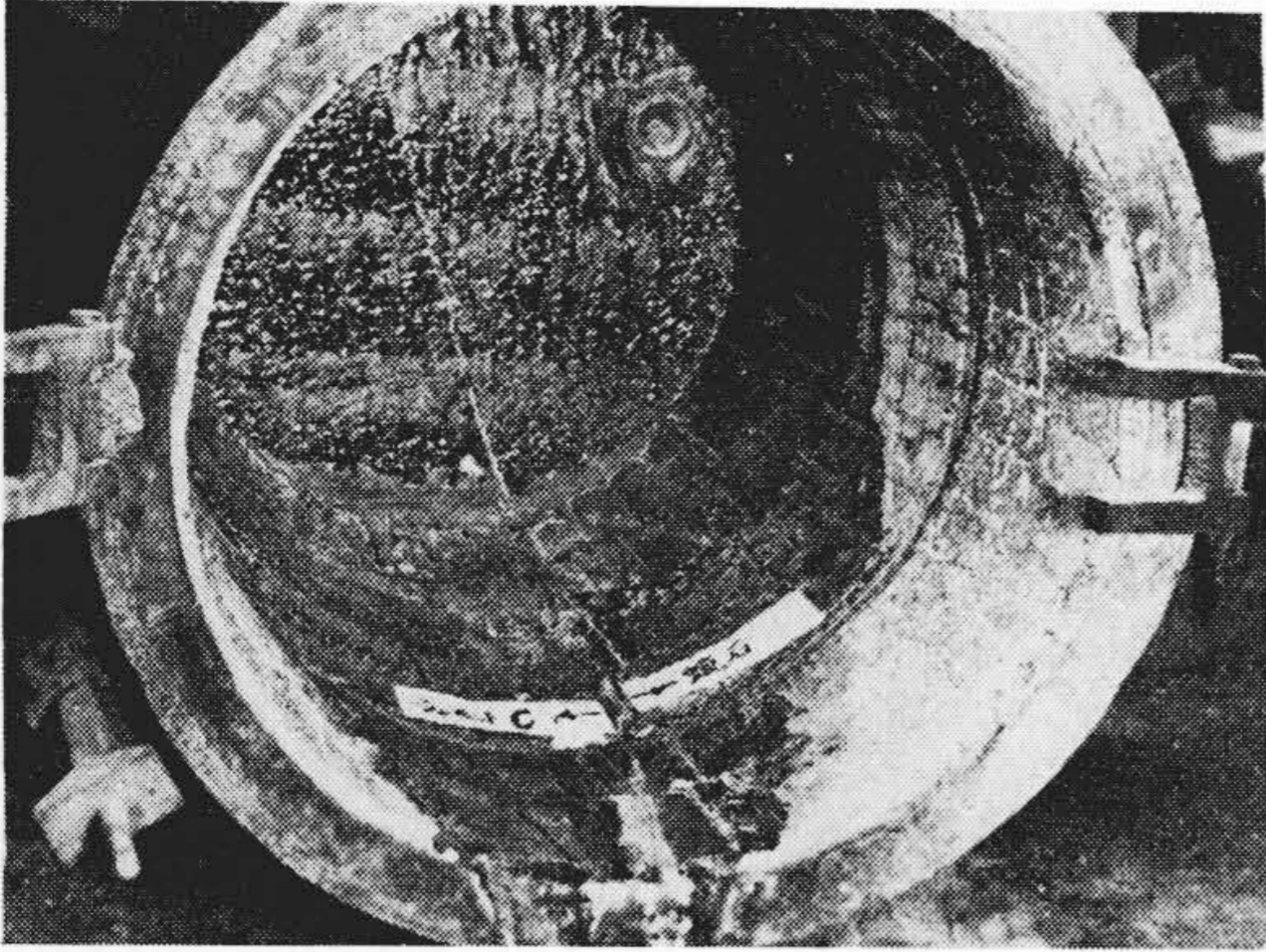
(1) 第1回試験(蠟石質~シヤモット質C)

第4表に示すように4回使用したが、使用後の湯当側の侵蝕状況は第3図(次頁参照)に示すようにはつきりした差があることがわかる。第4図(次頁参照)は湯当側および反対側の煉瓦6箇につき使用後の侵蝕状況をス

ケッチしたもので、数字は1溶解当りの侵蝕容積を cm³ で示したものである。これらを図示すると第5図となるが、湯当側は反対側よりも侵蝕が大きく、蠟石質の方が侵蝕が少い。また各煉瓦についてはスラグラインにあたる No.3 が最も大きく、下方よりもむしろ上方の煉瓦が侵蝕された傾向が見える。

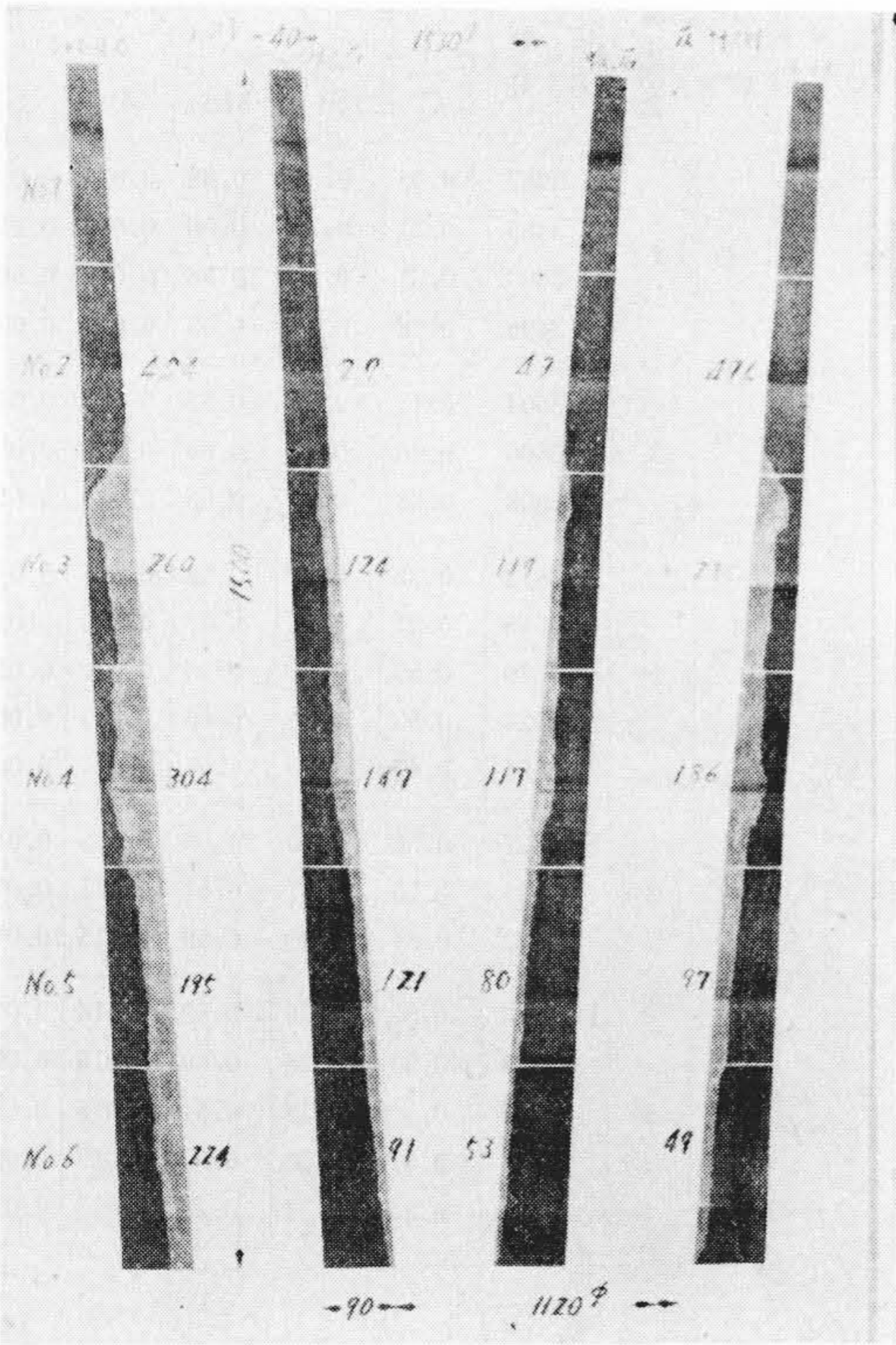
(2) 第2回試験(シヤモット質A~シヤモット質C)

3回使用後の湯当側の侵蝕状況は第6図(次頁参照)に示すようにシヤモット質Aの侵蝕が少い。第7図は第4図(次頁参照)と同様に侵蝕状況をスケッチしたもの



第3図 4回使用後の蠟石質およびシャモット質Cの湯当側の侵蝕

Fig.3. Erosion Difference of Ladle Lining at the Front Side between Roseki and Chamotto C Bricks after 4 Pourings

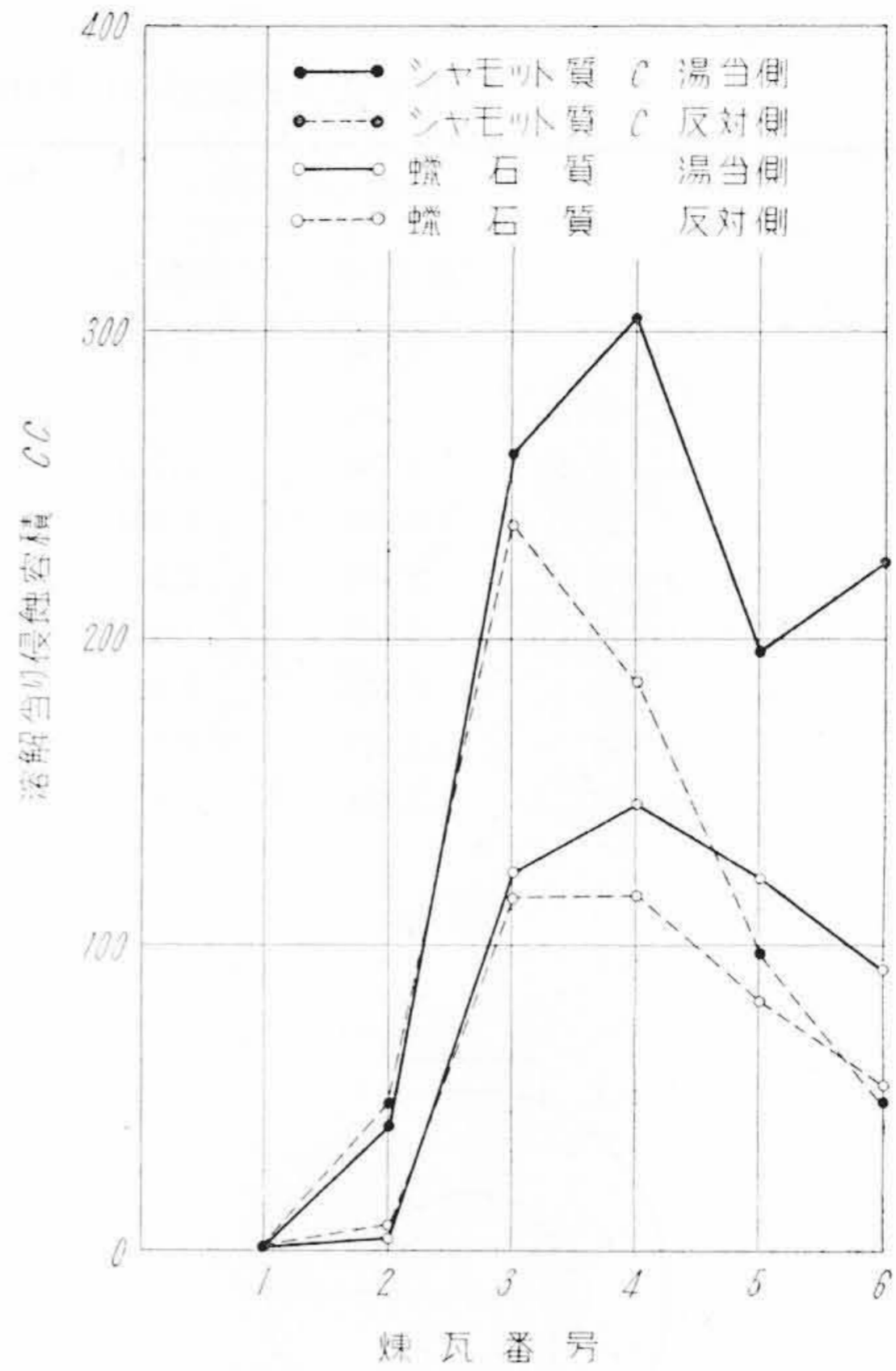


第4図 4回使用後の湯当および反対側の侵蝕状況 (蠟石質~シャモット質C)

Fig.4. Sketch shows the Front and Back Sides Struck by the Molten Steel after 4 Pourings (Roseki~Chamotto C)

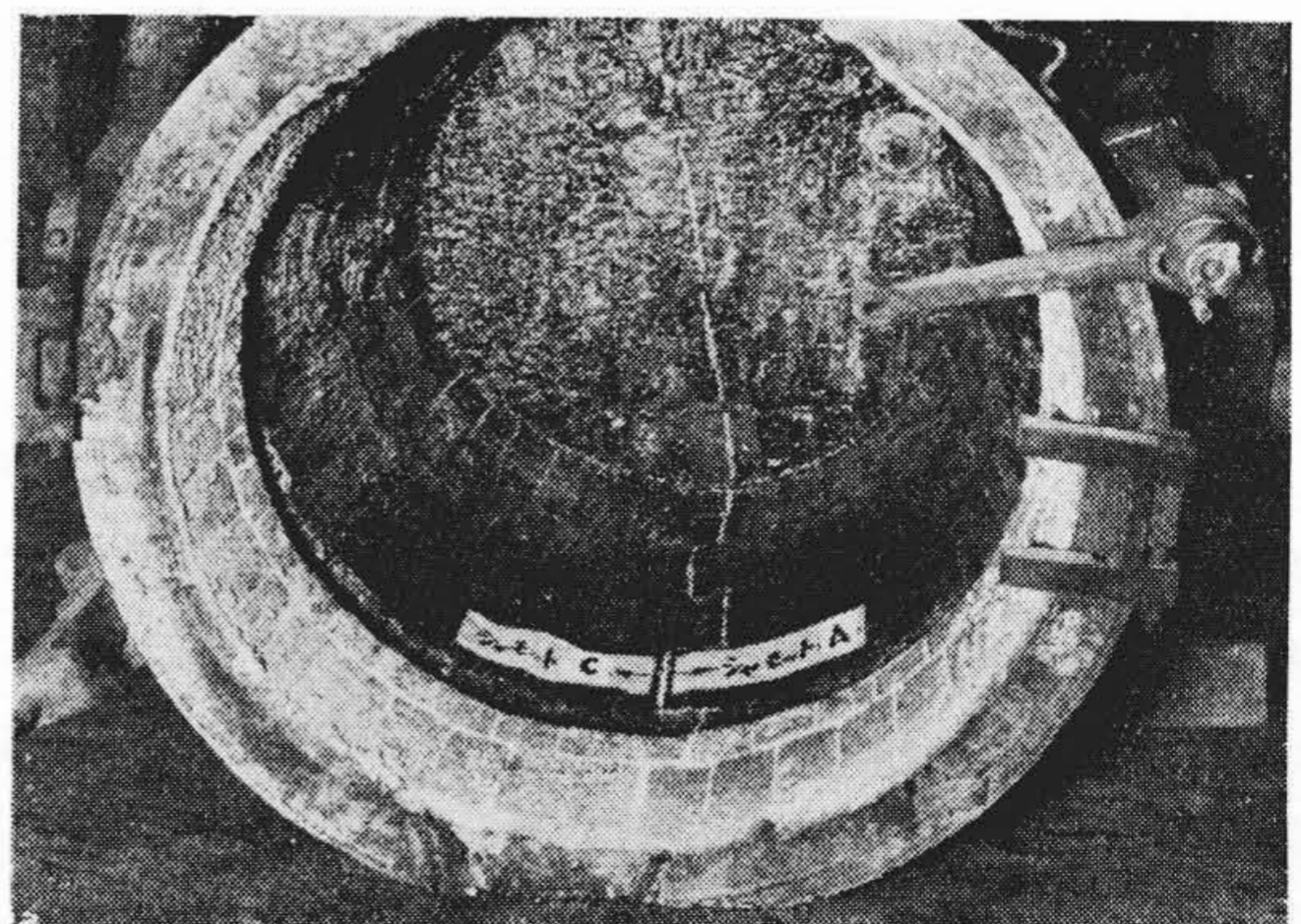
で、第8図からシャモット質CのNo.2においては位置による差が逆になっており、下方のNo.5およびNo.6で急激に侵蝕量が増加している。

(3) 第3回試験(シャモット質B~シャモット質C)



第5図 蠟石質~シャモット質C 1溶解当りの侵蝕容積の比較

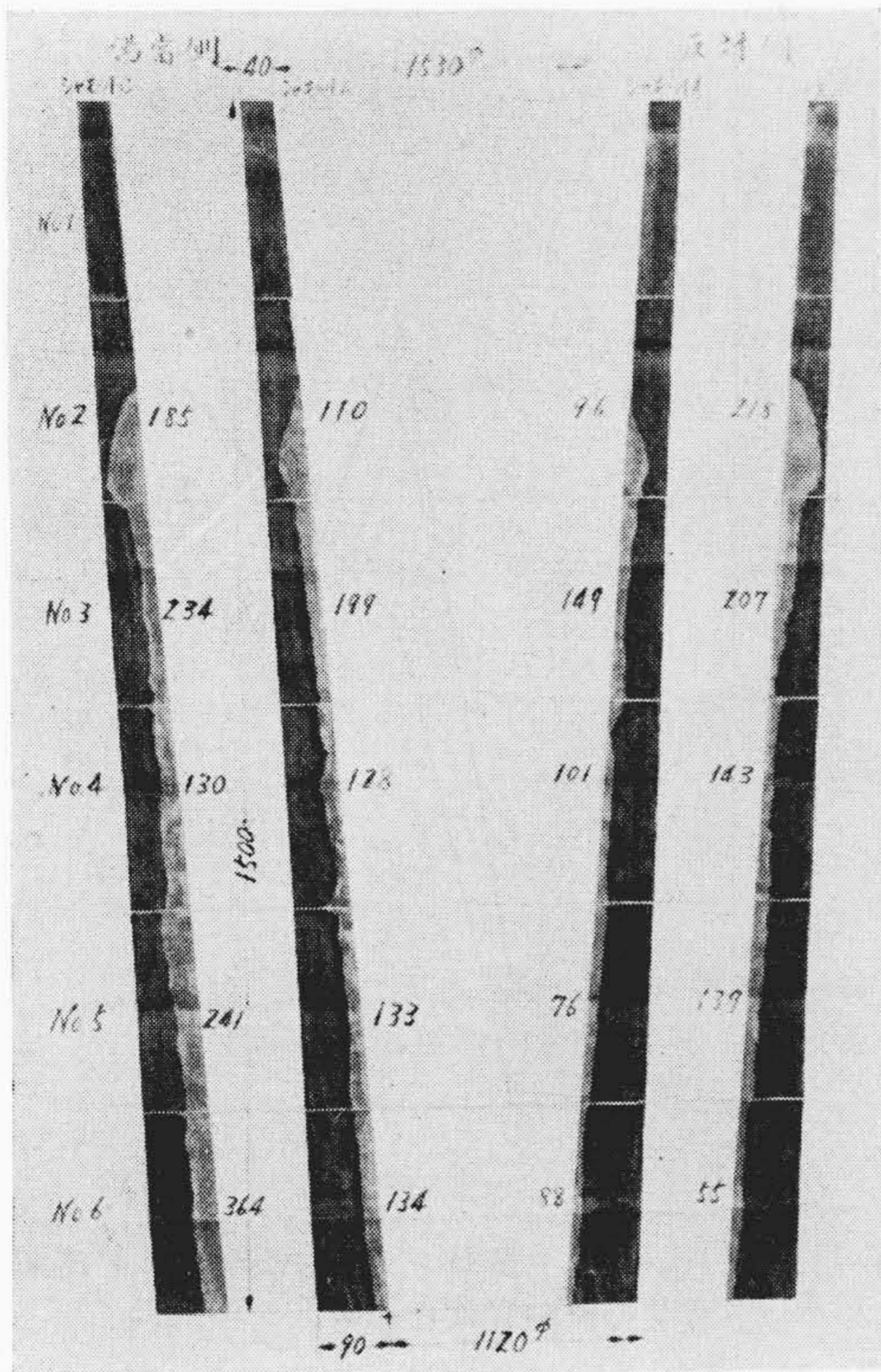
Fig.5. Comparative Graph showing the Degree of Erosion between Roseki and Chamotto C Bricks in Front and Back Sides (Average Erosion Volume of Each Brick No. 1~No. 6)



第6図 3回使用後のシャモット質Aおよびシャモット質Cの湯当側の侵蝕

Fig.6. Erosion Difference of Ladle Lining at the Front Side between Chamotto A and C Bricks after 3 Pourings

5回使用後の湯当側の侵蝕状況は第9図に示すようにシャモット質Bの方が僅かながら侵蝕が少いようで、煉瓦の表面がシャモット質Bは滑かでシャモット質Cは凹凸がはげしい。



第7図 3回使用後の湯当および反対側の侵蝕状況 (シャモット質A～シャモット質C)

Fig. 7. Sketch shows the Front and Back Sides Struck by the Molten Steel after 3 Pourings (Chamotto A~Chamotto C)

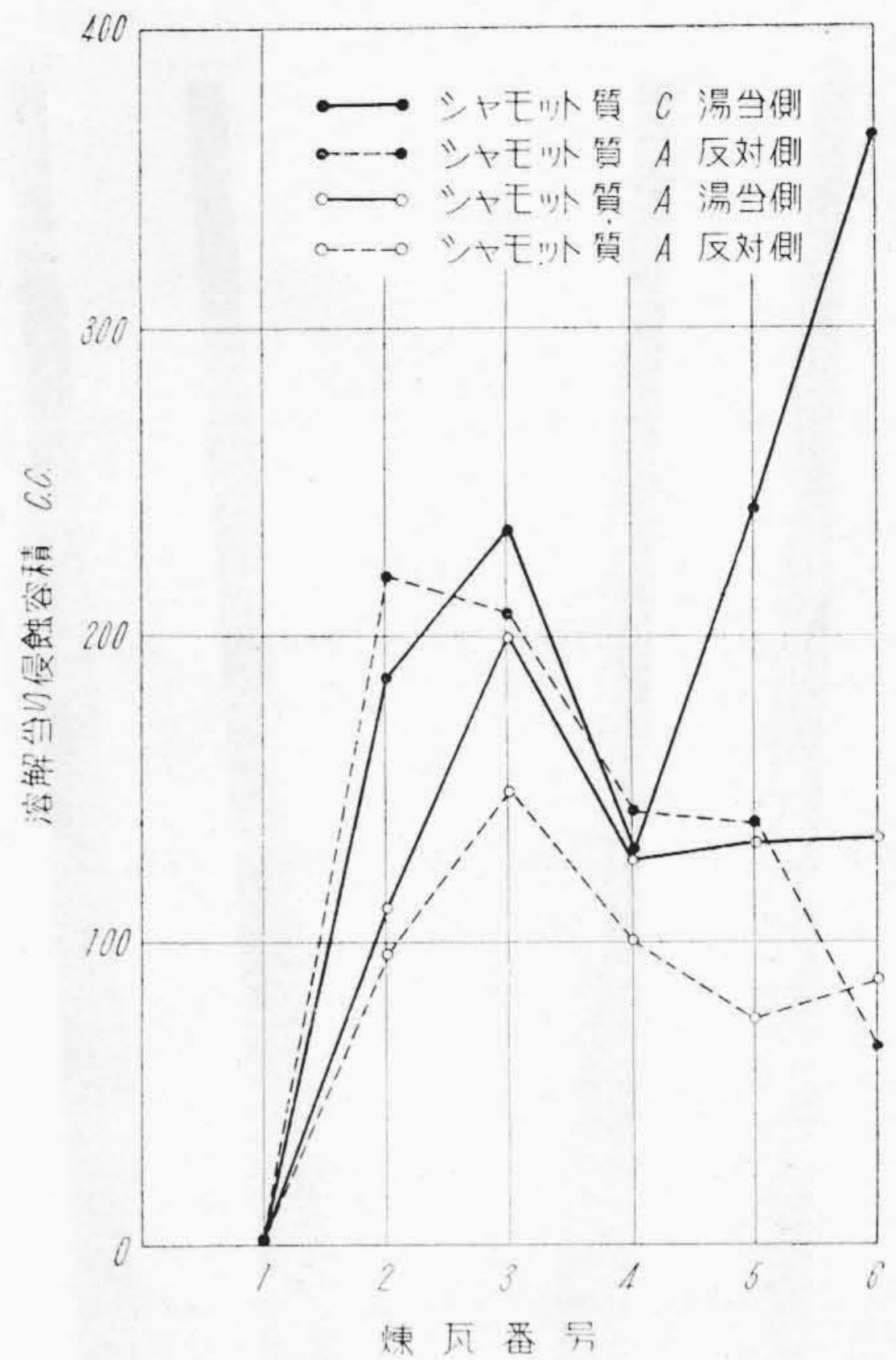
第10図 (次頁参照) は侵蝕状況をスケッチしたものであるが、5回使用したために第1回および第2回試験に比較してシャモット質Cの侵蝕が大きく、特に湯当測において著しい。第11図によればNo. 4の煉瓦だけはシャモット質Cの方が湯当、反対側とも侵蝕量が少い。

(4) 第4回試験 (高アルミナ質～シャモット質C) 3回使用後の湯当側の侵蝕状況を第12図 (次頁参照) に示す。双方ともに侵蝕状況は同程度くらいに見えるが高アルミナ質Aの表面は部分的に侵蝕のはげしいところがあり、剝離しやすい傾向が見える。

第13図 (111頁参照) は侵蝕した煉瓦のスケッチであるが、これを図示した第14図 (111頁参照) によると No. 3 および No. 6 の煉瓦では高アルミナ質Aの方が侵蝕量が大き、No. 4 および No. 5 においてははその逆の傾向を示している。

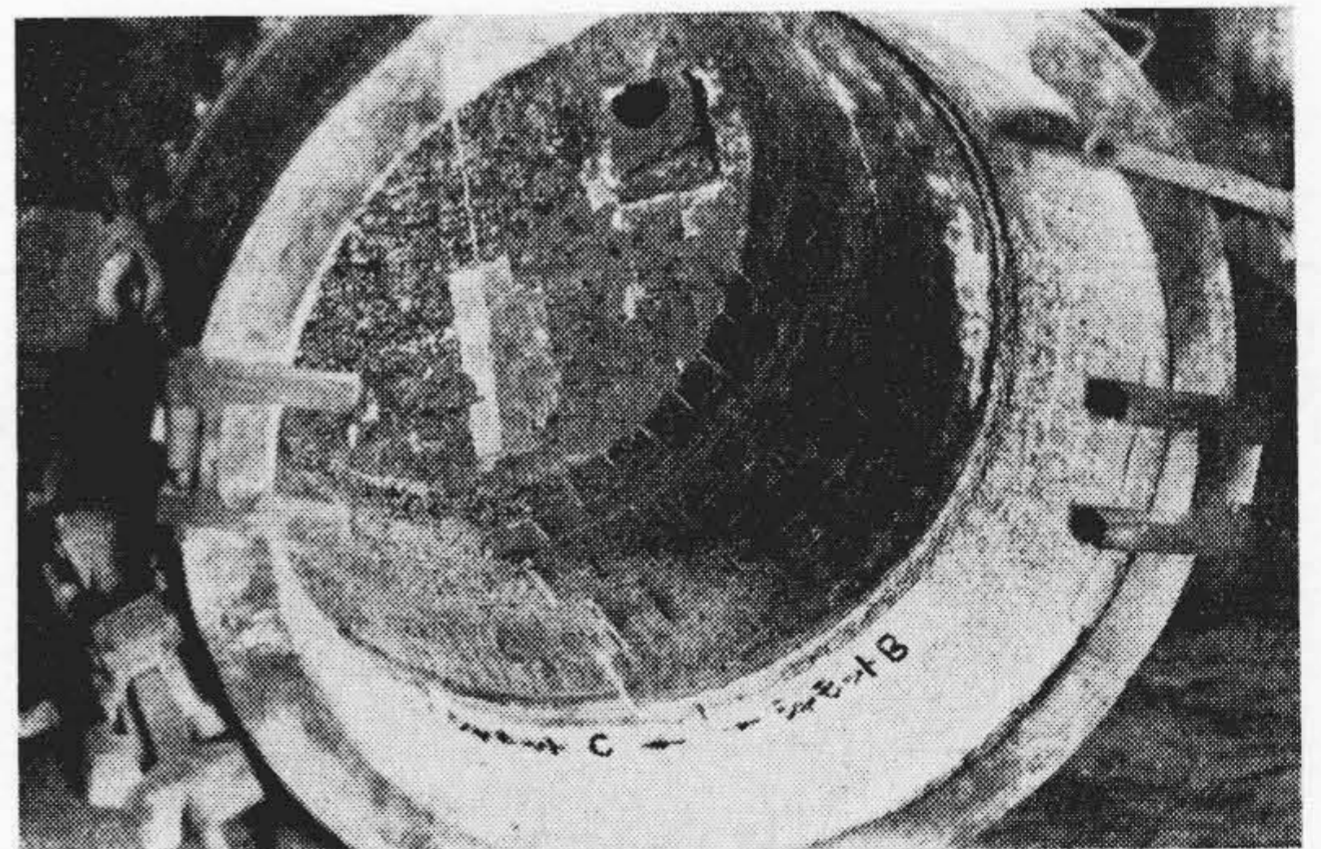
(5) 第5回試験 (高アルミナ質B～シャモット質C) 5回使用後の湯当側の侵蝕状況を第15図 (111頁参照) に示す。アルミナ質Bの方が第1回試験の蠟石質と同様に隣接部において格段の差を示していることがわかる。

第16図 (111頁参照) のスケッチにおいての傾向は明瞭で



第8図 シャモット質A～シャモット質C 1溶解当りの侵蝕容積の比較

Fig. 8. Comparative Graph showing the Degree of Erosion between Chamotto A and C Bricks in Front and Back Sides (Average Erosion Volume of Each Brick No. 1~No. 6)

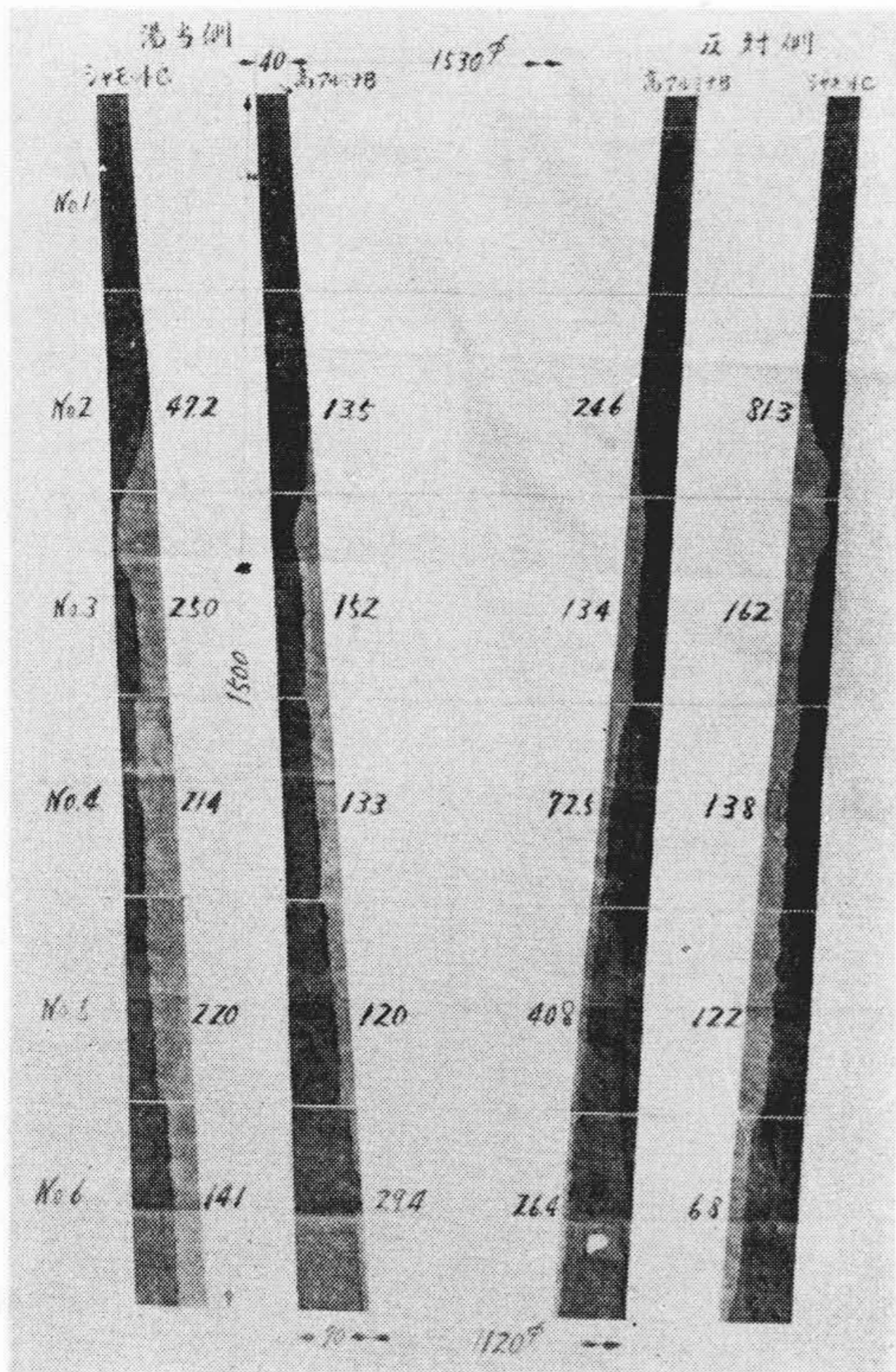


第9図 5回使用後のシャモット質Bおよびシャモット質Cの湯当側の侵蝕

Fig. 9. Erosion Difference of Ladle Lining at the Front Side between Chamotto B and C Bricks after 5 Pourings

あり、第17図 (第112頁) においてはスラグラインを除いては各煉瓦ともに湯当側の方が侵蝕量が大きく、高アルミナ質Bの方が耐蝕性はすぐれている。また上方の煉瓦の方が侵蝕が大きい傾向がある。

各試験ともに出鋼方向に直角な位置における侵蝕量は煩雑になるので図示することを省略したが、大体の傾向



第10図 5回使用後の湯当側および反対側の侵蝕状況(シャモット質B~シャモット質C)

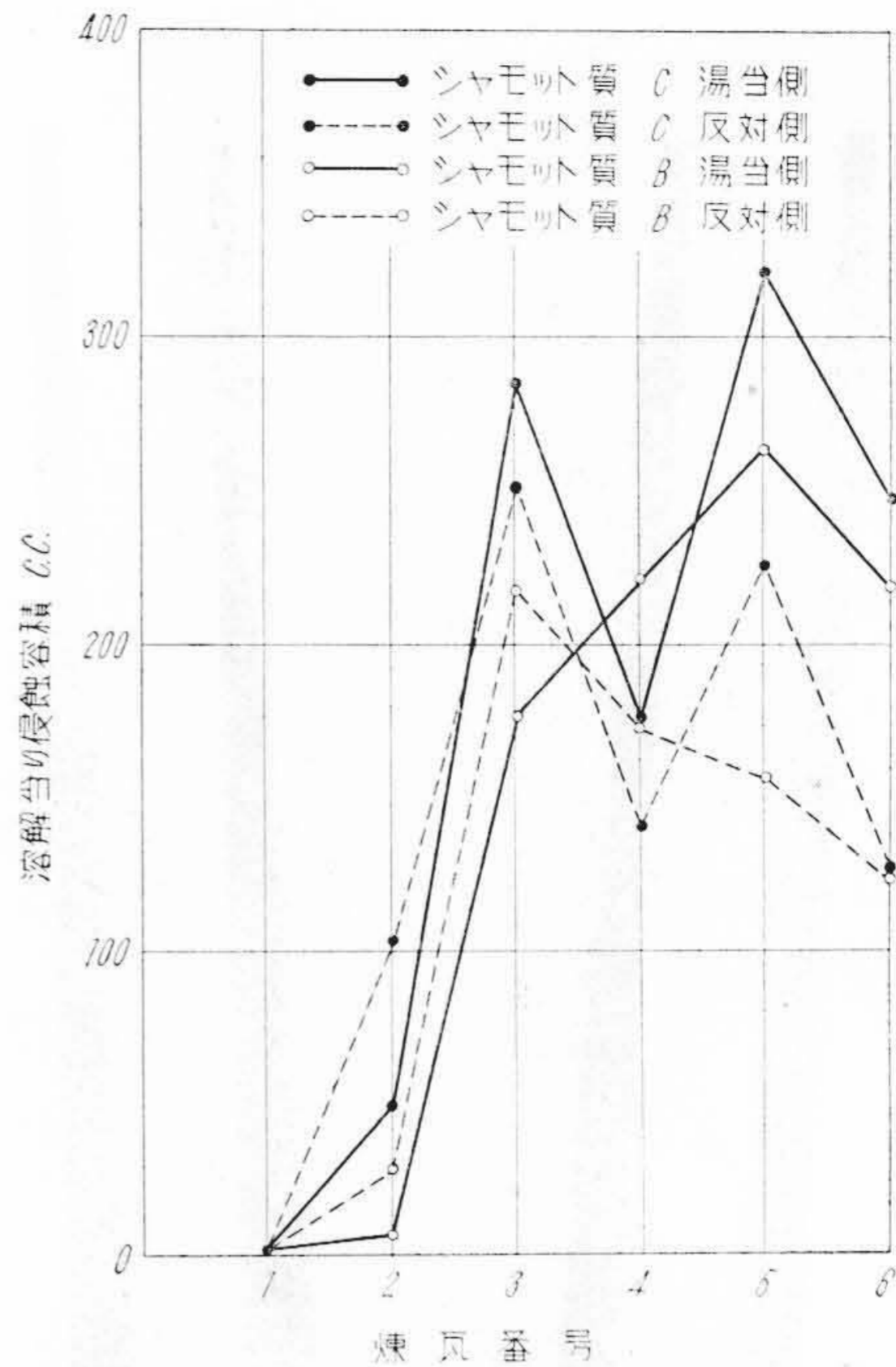
Fig.10. Sketch shows the Front and Back Sides Struck by the Molten Steel after 5 Pourings (Chamotto B~ C)

第5表 取鍋煉瓦の侵蝕容積の比較
Table 5. Comparison of Erosion Volume of the Ladle Bricks per Heat

測定位置	煉瓦番号	試験煉瓦とシャモット質Cの侵蝕容積の差 (1溶解平均) cm ³				
		蠟石質	シャモット質A	シャモット質B	高アルミナ質A	高アルミナ質B
湯当側	2	37.4	75.0	41.3	80.8	33.7
	3	136.0	35.5	111.0	-106.6	97.5
	4	155.7	3.0	-45.0	22.5	71.0
	5	73.5	108.0	55.0	33.5	100.0
	6	133.3	218.0	27.0	69.0	112.7
	小計	535.9	439.5	189.3	38.8	414.9
反対側	2	43.5	122.3	71.5	0.4	56.7
	3	119.0	58.4	34.0	-30.0	12.5
	4	69.2	42.9	-31.5	9.0	65.8
	5	16.4	63.2	68.2	2.9	81.0
	6	-4.2	-32.3	3.9	-46.0	39.5
	小計	243.9	254.5	149.7	30.1	255.5
直角側	2	10.6	69.7	22.4	77.5	49.3
	3	98.0	68.0	53.0	-11.0	60.0
	4	161.8	109.3	-25.5	-2.5	44.3
	5	173.3	88.1	59.5	-12.8	59.5
	6	-12.5	6.0	35.0	-41.8	61.3
	小計	431.2	341.1	144.4	9.4	274.4
総計	1,211.0	1,035.1	483.4	0.7	944.8	
順位	1	2	4	5	3	

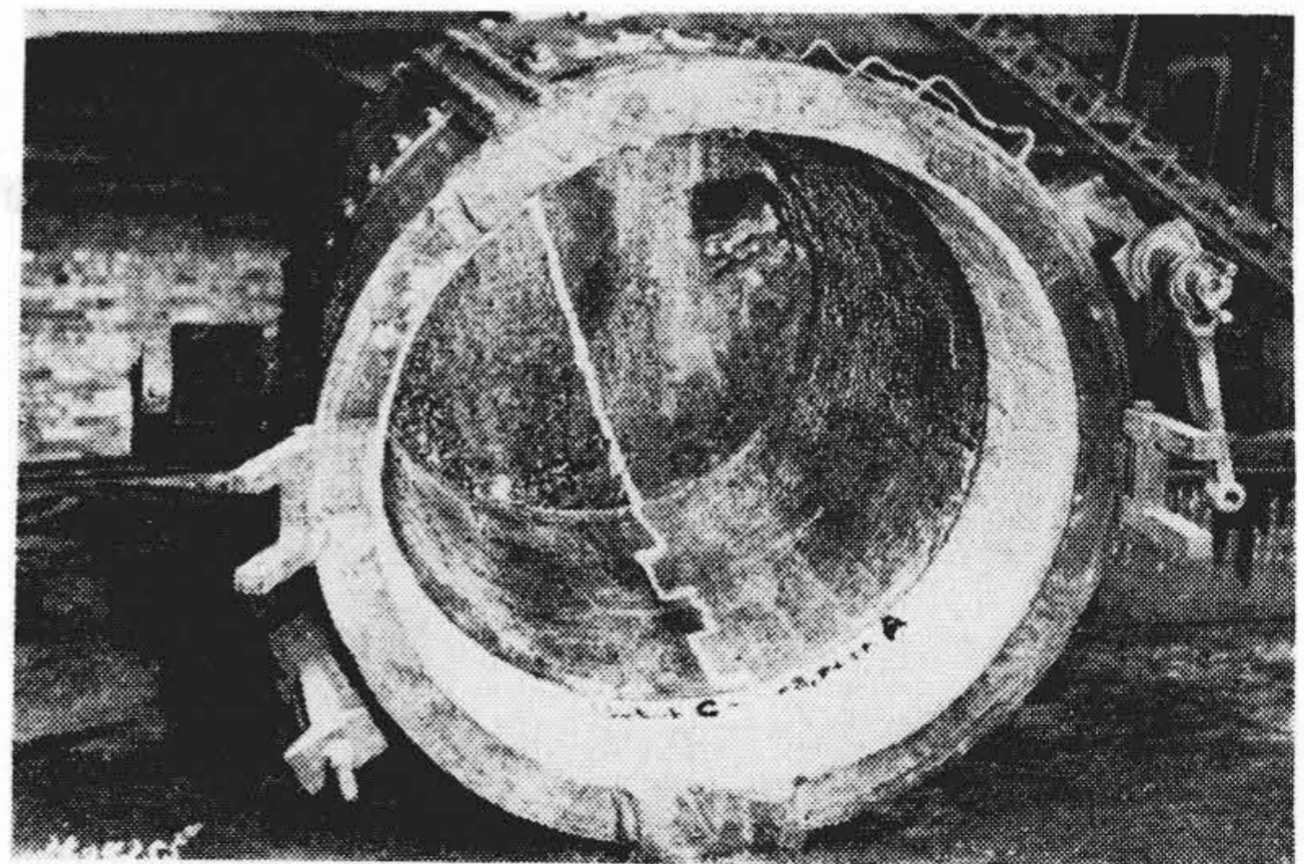
は湯当側と反対側の中間にあると考えて差支えない。

(6) 第5表は各試験煉瓦とシャモット質Cの1溶解当りの侵蝕容積の差を計量したる3箇所について集計し



第11図 シャモット質Bシャモット質C 1溶解当りの侵蝕容積の比較

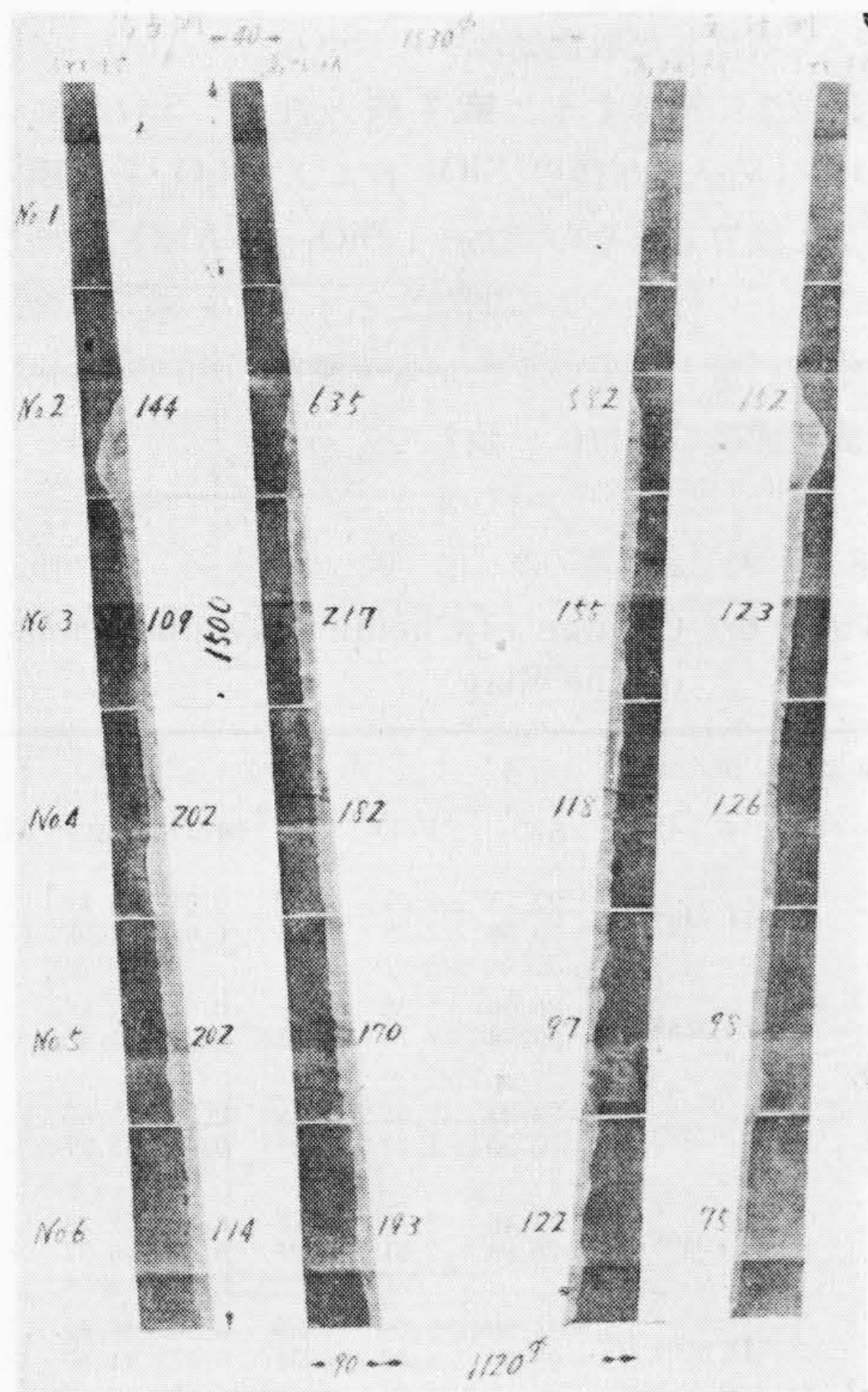
Fig.11. Comparative Graph showing the Degree of Erosion between Chamotto B and C Bricks in Front and Back Sides (Average Erosion Volume of Each Brick No. 1~No. 6)



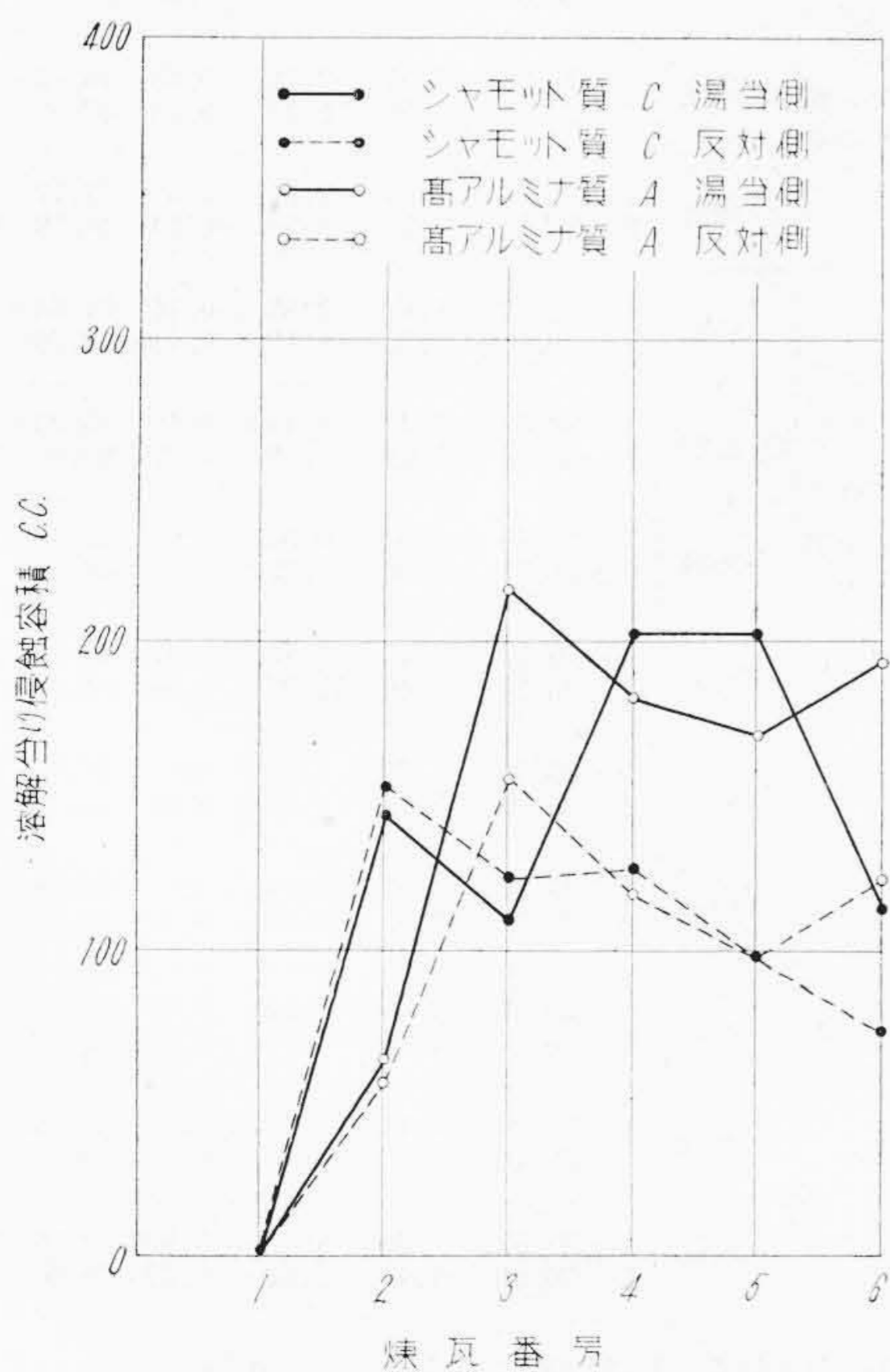
第12図 3回使用後の高アルミナ質Aおよびシャモット質Cの湯当側の侵蝕

Fig.12. Erosion Difference of Ladle Lining at the Front Side between High Alumina A and Chamotto C Bricks after 3 Pourings

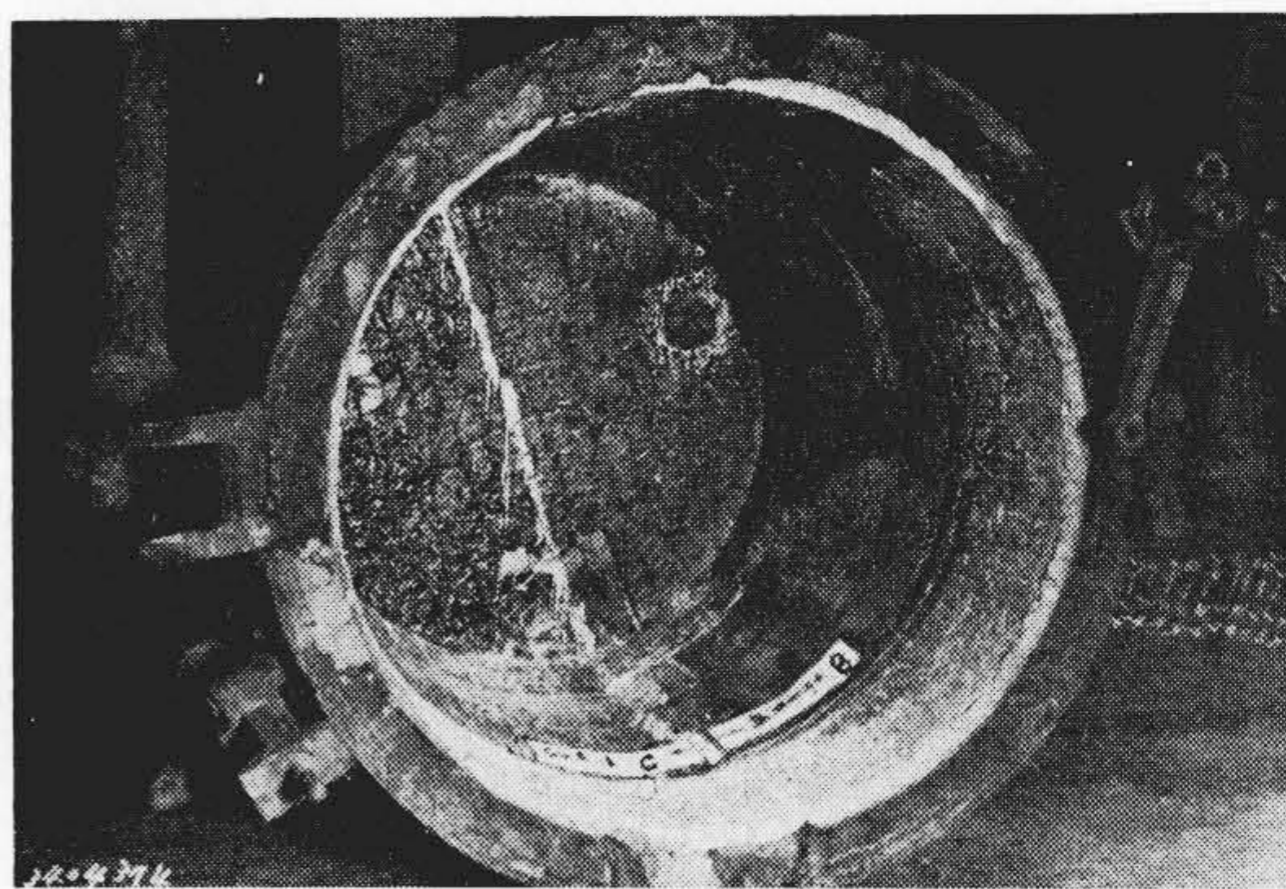
たものである。総計の数字で順位をきめると蠟石質が最もすぐれており、高アルミナ質Aはシャモット質Cとほとんど大差がない。また材質および化学成分の傾向が似ているものであつても侵蝕量には大きい差のあることを示している。



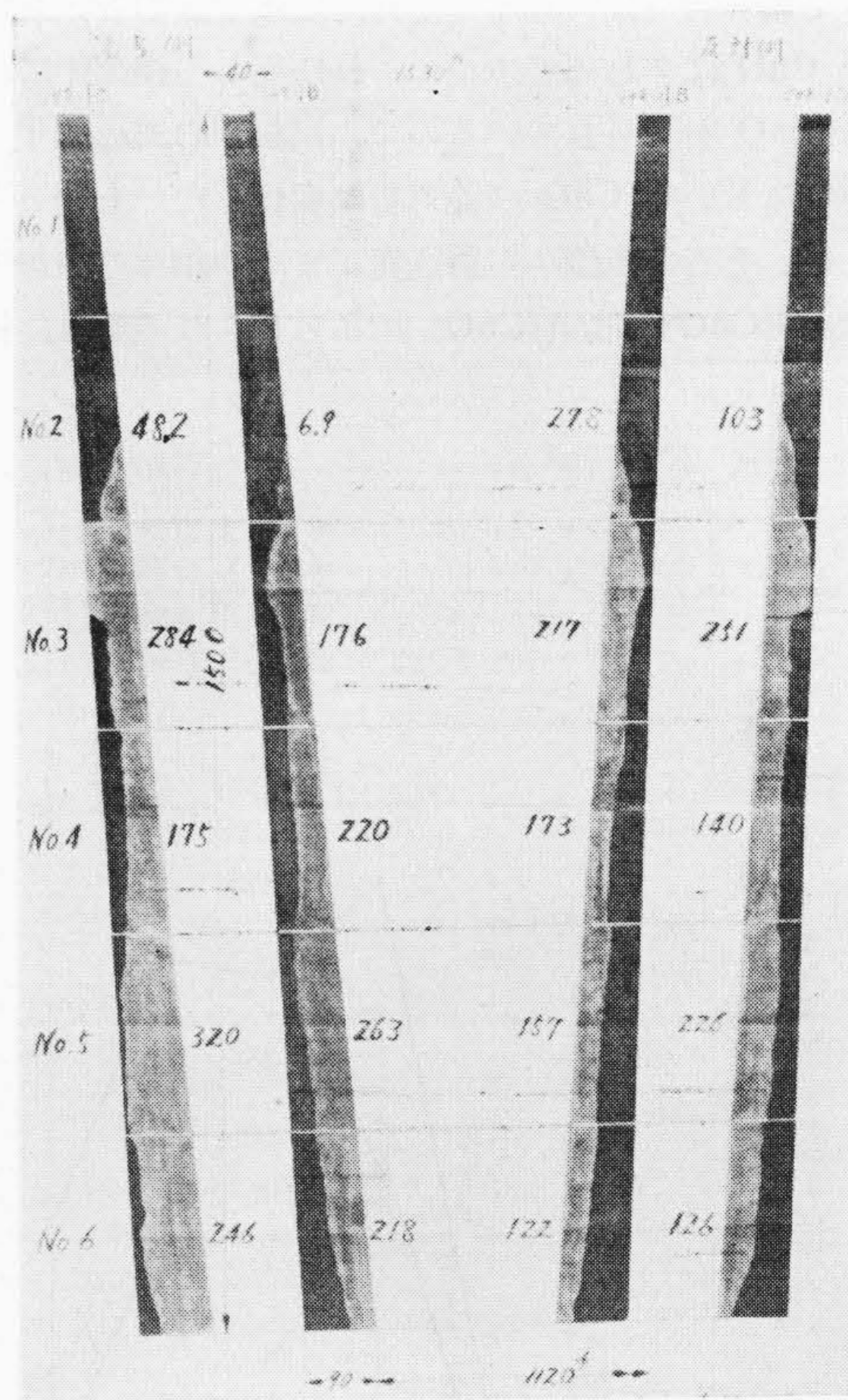
第13図 3回使用後の湯当側および反対側の侵蝕状況 (高アルミナ質A~シャモット質C)
 Fig.13. Sketch shows the Front and Back Sides Struck by the Molten Steel after 3 Pourings (High Alumina A~Chamotto C)



第14図 高アルミナ質A~シャモット質C 1溶解当りの侵蝕容積の比較
 Fig.14. Comparative Graph showing the Degree of Erosion between High Alumina A and Chamotto C Bricks in Front and Back Sides (Average Erosion Volume of Each Brick No. 1~6)



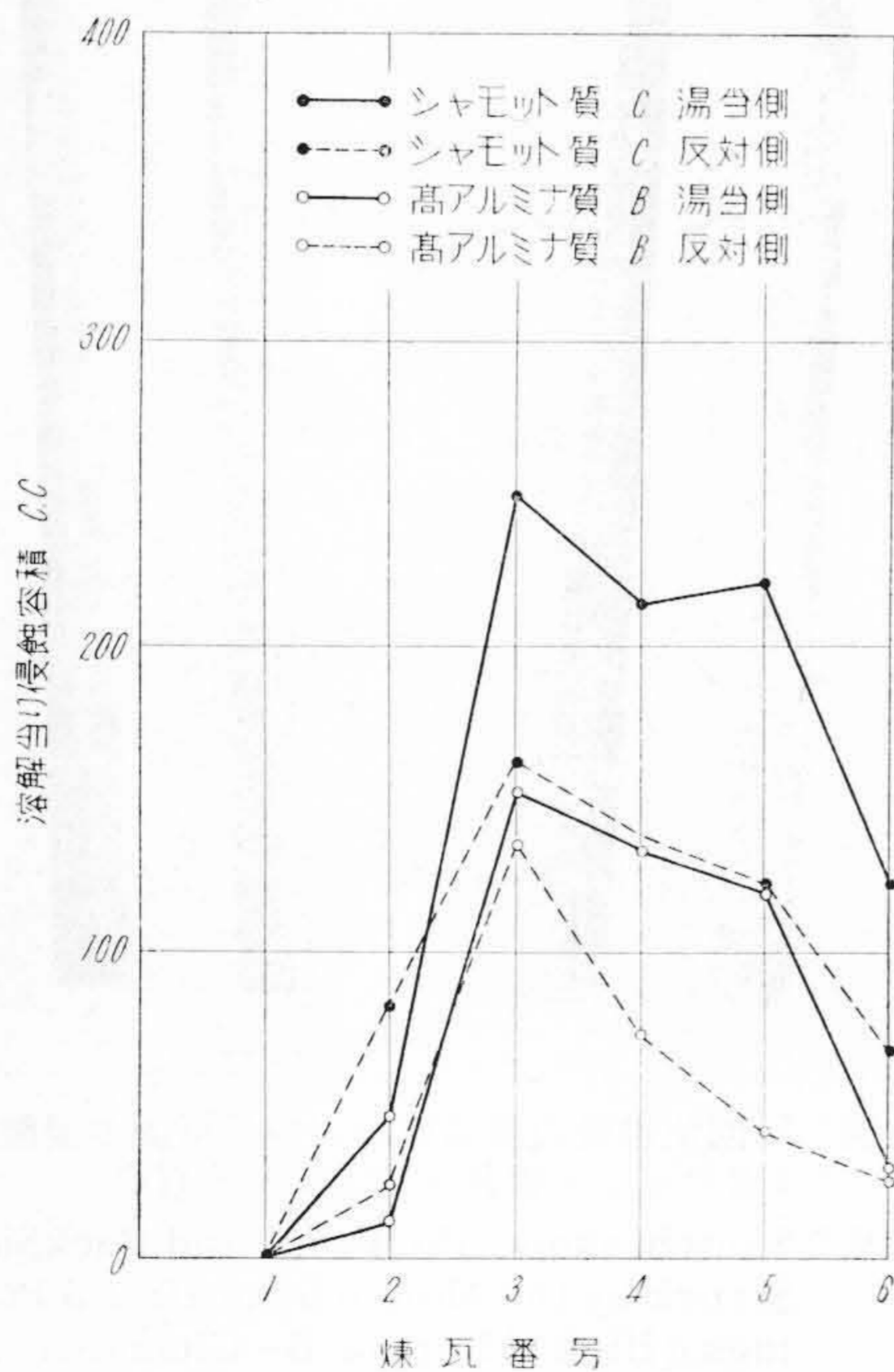
第15図 5回使用後の高アルミナ質Bおよびシャモット質Cの湯当側の侵蝕
 Fig.15. Erosion Difference of Ladle Lining at the Front Side between High Alumina B and Chamotto C Bricks after 5 Pourings



第16図 5回使用後の湯当側および反対側の侵蝕状況 (高アルミナ質B~シャモット質C)
 Fig.16. Sketch shows the Front and Back Sides Struck by the Molten Steel after 5 Pourings (High Alumina B~Chamotto C)

(7) 第6表は各試験における出鋼直前の炉内鋼滓と
 鑄込完了後の取鍋鋼滓の化学成分を示したものである。
 溶鋼および鋼滓と内張煉瓦との相互反応により SiO₂、
 FeO および Al₂O₃ は増加し、CaO および MgO はう
 すめられて見掛上は減少の傾向を示している。鋼滓重量
 の増加は溶鋼および鋼滓による相互反応生成物によると
 考えられるから鋼滓の組成と重量変化から内張煉瓦の侵
 蝕程度が比較できる筈である。塩谷周三氏⁽²⁾は鋼滓重量
 増加の主原因として鋼滓と煉瓦間の反応を挙げており、
 前述の侵蝕煉瓦のスケッチにおいてもこのことはあきら
 かである。鋼滓重量の実測は出鋼前および鑄込完了後
 においても正確に把握することは不可能であるが、鋼滓の
 化学分析値より誘導して相対量として検討することとす
 る。

さて塩谷周三氏⁽²⁾も述べられているように各試験煉瓦
 中の CaO はきわめて少く、これに反して鋼滓中には多
 量に CaO を含有しているので、出鋼から鑄込完了まで
 の時期において CaO の絶対量は変化しないものと考え
 てよい。そこで出鋼から鑄込完了までの鋼滓の増加率は
 出鋼前 (CaO) / 取鍋 (CaO) であらわされるから、侵蝕



第17図 高アルミナ質B~シャモット質C 1溶解
 当りの侵蝕容積の比較

Fig. 17. Comparative Graph showing the De-
 gree of Erosion between High Alumi-
 na B and Chamotto C Bricks in Front
 and Back Sides (Average Erosion
 Volume of Each Brick No. 1~6)

によつて増加した取鍋鋼滓中の SiO₂ と Al₂O₃ を出鋼
 前の鋼滓量に換算すると第7表となる。SiO₂' および
 Al₂O₃' は鑄込完了後の SiO₂ および Al₂O₃ を出鋼前
 の鋼滓量に換算したものである。SiO₂ と Al₂O₃ の増加率
 の和は煉瓦の侵蝕による増加を示すものと考えれば出鋼
 時の鋼滓の量と成分の平均が本実験の範囲内の変化では
 第5表の成績の順位に一致している。

第6表 鋼滓の化学成分の変化
 Table 6. Change of Chemical Compositions
 of the Slag

試験順序 煉瓦組合	溶 解 番 号	採 取 時 期	化 学 成 分 (%)					
			SiO ₂	ΣFeO	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO
第1回 蠟石質 ~シャモット質C	D-3487	1	22.78	1.81	1.60	0.54	50.82	15.10
		2	29.30	2.39	5.10	0.68	41.98	17.41
	-3489	1	20.90	1.30	1.69	0.57	60.68	5.92
		2	29.38	2.75	4.21	0.36	51.40	5.52
-3493	1	22.38	1.55	1.30	0.38	51.69	15.00	
	2	30.50	1.74	6.94	0.50	48.17	6.51	
-3496	1	24.46	2.19	0.18	0.29	52.28	11.84	
	2	30.88	2.61	5.98	0.43	45.37	8.44	
第2回 シャモット質 A~シャモット 質C	D-3504	1	24.50	1.59	1.27	0.36	46.40	17.85
		2	29.90	2.46	6.94	0.43	44.40	9.82
	-3506	1	24.94	1.30	1.57	0.22	51.83	10.96
		2	32.30	1.30	8.59	0.50	44.30	7.36
-3508	1	24.46	1.30	1.45	0.18	55.23	8.97	
	2	31.08	2.32	8.54	0.43	45.12	7.17	
第3回 シャモット質 B~シャモット 質C	D-3513	1	21.92	1.33	1.69	0.44	57.20	11.19
		2	33.42	1.77	7.30	0.30	44.37	9.74
	-3515	1	19.82	2.36	1.42	0.51	64.33	4.42
		2	30.66	1.47	8.54	0.36	50.70	5.64
	-3519	1	21.08	1.91	2.72	0.65	49.68	17.53
		2	28.52	2.50	6.45	0.73	43.37	14.99
-3521	1	21.96	2.06	0.60	0.51	57.12	11.66	
	2	30.16	1.77	9.39	0.44	44.79	10.68	
-3524	1	23.22	1.47	0.91	0.15	61.54	6.42	
	2	30.88	2.36	8.12	0.40	48.79	6.68	
第4回 高アルミナ質 A~シャモット 質C	D-3527	1	20.82	1.47	1.46	0.15	46.39	23.53
		2	35.00	1.69	7.72	0.39	35.08	15.47
	-3531	1	23.68	2.06	0.35	tr	58.63	5.82
2		30.72	2.06	11.38	0.26	49.17	2.97	
3533	1	18.14	2.42	0.80	0.45	43.89	24.37	
	2	30.21	1.46	12.36	0.56	34.86	9.59	
第5回 高アルミナ質 B~シャモット 質C	D-3543	1	23.56	1.29	1.12	tr	35.97	27.49
		2	26.98	2.12	4.73	0.07	32.13	24.26
	-3545	1	24.70	1.55	1.14	tr	62.50	3.35
		2	30.02	1.55	8.68	0.22	49.50	5.36
	-3547	1	23.50	1.03	2.13	0.29	57.06	15.69
		2	26.72	1.58	3.77	0.07	45.22	5.11
-3549	1	22.80	1.18	2.11	tr	61.70	7.02	
	2	29.40	1.55	11.81	0.33	46.48	6.11	
-3551	1	23.82	1.32	1.33	0.15	53.09	14.10	
	2	30.66	1.47	9.53	0.22	48.60	7.21	

(備考) 採取時期 1 は出鋼前, 2 は鑄込完了後を示す。

第7表 鋼滓中 SiO₂ および Al₂O₃ の増加
Table 7. Increase of SiO₂ and Al₂O₃ Content in the Slag

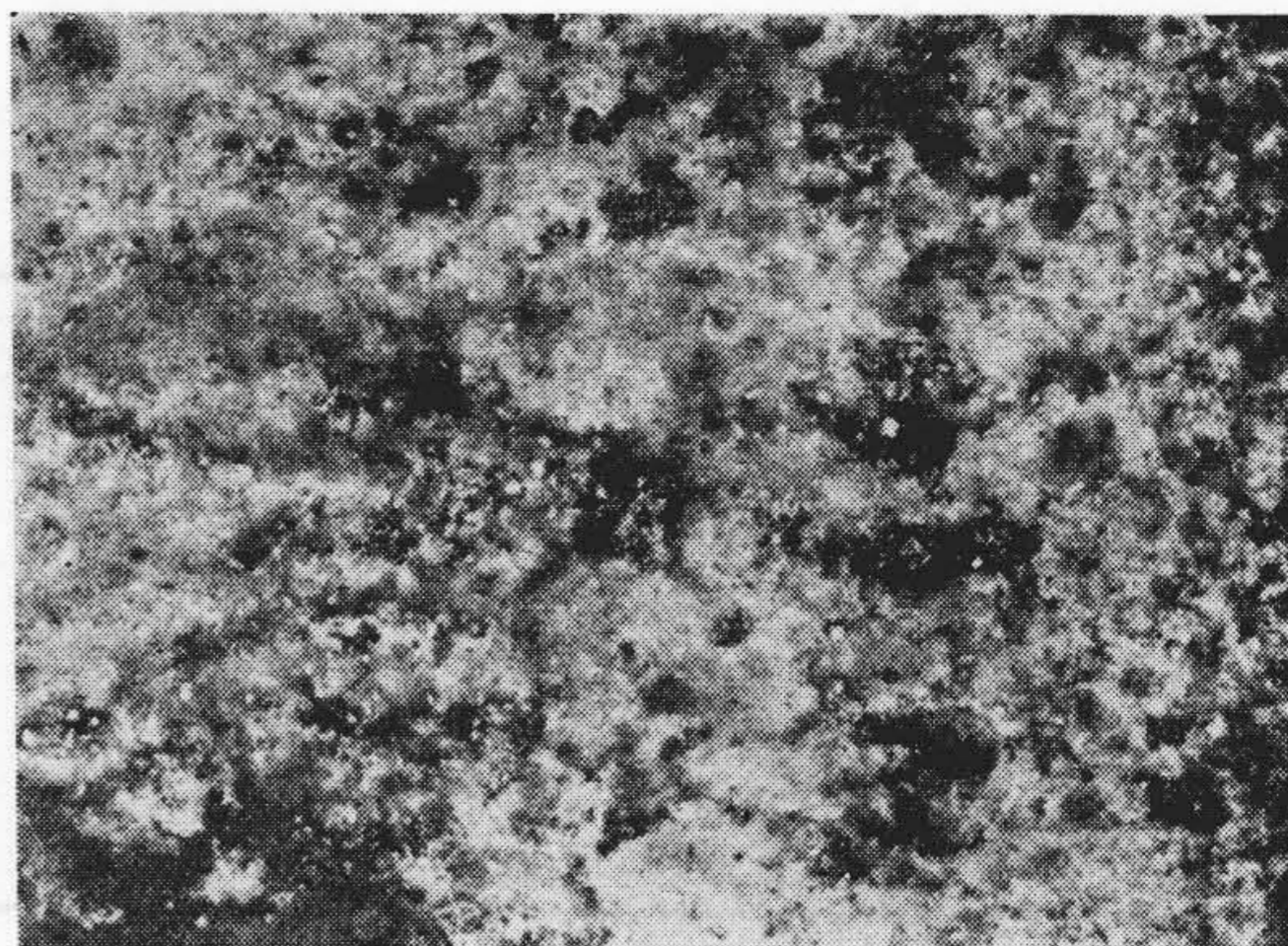
実験 順序	試験 煉瓦 材質	溶解 番号	鋼滓 増加率 (%)	化 学 成 分 (%)					
				SiO ₂	SiO ₂ '	SiO ₂ ' -SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ '	Al ₂ O ₃ ' -Al ₂ O ₃
第 1 回	蠟 石 質	D-3487	1,210	22.78	35.45	11.67	1.60	6.17	4.57
		3489	1,180	20.90	34.66	13.76	1.69	4.96	3.27
		3493	1,073	22.38	32.72	10.34	1.30	7.44	6.14
		3496	1,152	24.46	41.56	17.10	0.18	6.88	6.70
		平均	1,154	—	—	13.22	—	—	5.17
第 2 回	シ ヤ モ ツ ト 質 A	D-3504	1,045	24.50	31.24	6.74	1.27	7.25	5.98
		3506	1,169	24.94	37.76	12.82	1.57	10.04	8.47
		3508	1,221	24.46	37.95	13.49	1.45	10.40	8.98
		平均	1,145	—	—	11.02	—	—	7.81
第 3 回	シ ヤ モ ツ ト 質 B	D-3513	1,289	21.92	43.08	21.16	1.69	9.40	7.71
		3515	1,268	19.82	38.88	19.06	2.72	8.18	5.46
		3519	1,145	21.08	32.65	11.57	2.72	7.38	4.76
		3521	1,275	21.96	38.45	16.49	0.60	11.97	11.37
		3524	1,261	23.22	38.94	15.72	0.91	10.24	9.33
		平均	1,248	—	—	16.80	—	—	7.72
第 4 回	高 ア ル ミ ナ 質 A	D-3527	1,417	20.82	49.59	28.77	1.46	10.94	8.48
		3531	1,193	23.68	36.65	12.97	0.35	13.58	13.23
		3533	1,259	18.14	38.03	19.89	0.80	15.56	14.76
		平均	1,290	—	—	20.54	—	—	12.16
第 5 回	高 ア ル ミ ナ 質 B	D-3543	1,119	23.56	30.19	6.63	1.12	5.29	4.17
		3545	1,262	24.70	37.88	13.18	1.14	10.95	9.81
		3547	1,261	23.50	33.69	10.19	2.13	4.75	2.62
		3549	1,327	22.80	39.01	16.21	2.11	15.67	13.56
		3551	1,051	23.82	32.22	8.40	1.33	10.01	8.68
平均	1,204	—	—	13.40	—	—	7.77		

第8表 取鍋煉瓦の変質層の化学成分
Table 8. Chemical Composition of Affected Zone of Ladle Bricks

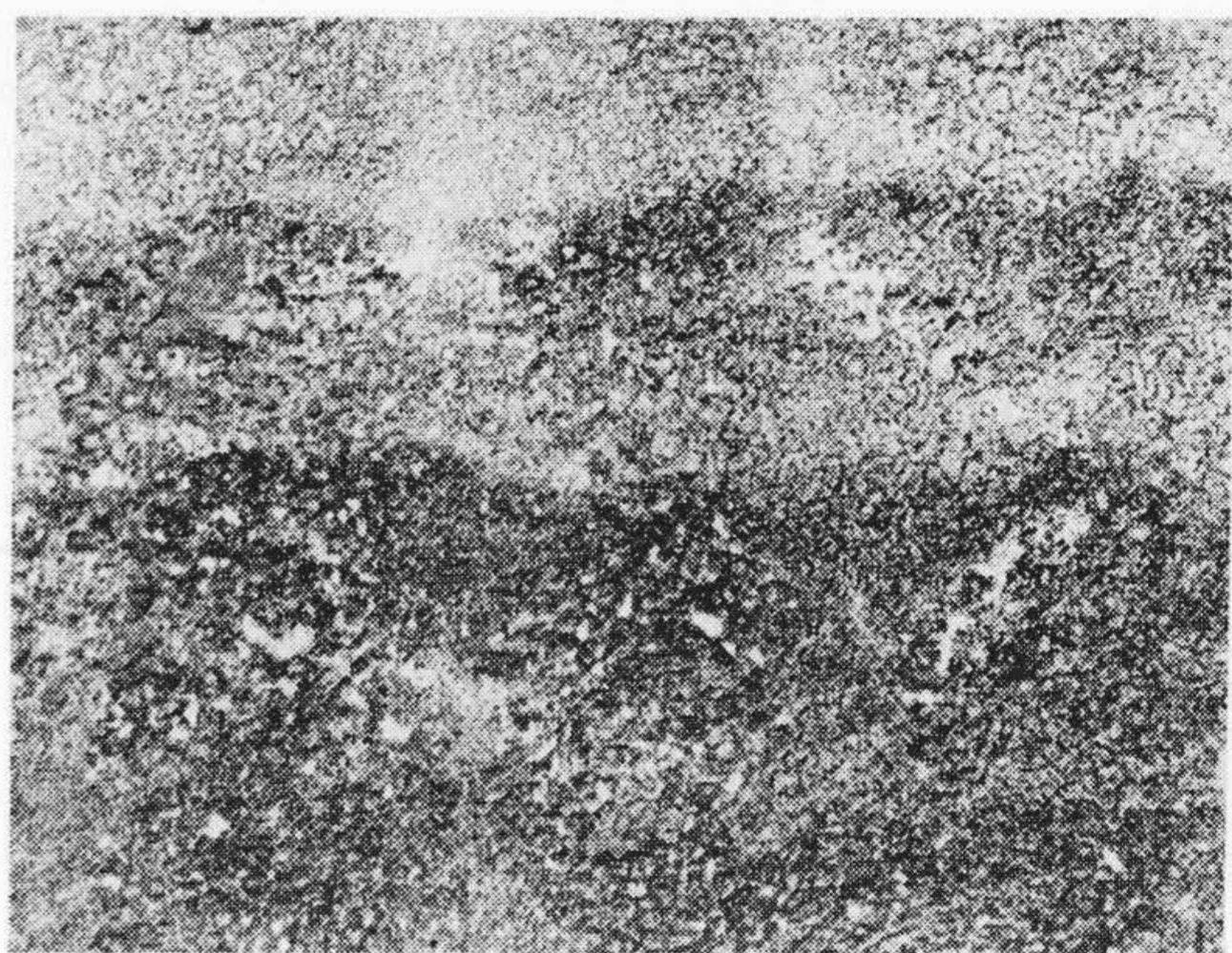
試験煉瓦 材 質	化 学 成 分 (%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO
蠟石質	59.40	16.89	4.79	tr	16.02	1.54
シヤモット質A	49.36	34.22	5.12	tr	9.18	1.41
シヤモット質B	32.70	22.95	4.71	0.33	32.49	4.72
高アルミナ質A	24.68	35.30	3.96	0.29	34.02	1.51
高アルミナ質B	31.16	39.69	6.19	tr	19.83	3.12
シヤモット質C	50.42	19.69	7.93	0.22	18.75	1.03

(8) 使用後の煉瓦の表面は侵蝕反応によつて変色し表面状況も変つてくる第18図から第23図は表面状況を示したもので、シヤモット質Bおよび高アルミナ質Aにおいては部分的な侵蝕がはなはだしく、他の煉瓦の表面がおおむね平滑であるのに比較して凹凸が著しい。煉瓦表面に鋼滓が滲透して変色した部分を分析した結果を第8表に示す。

(9) 各煉瓦の出鋼t当りの原価を比較するためにシヤモット質Cを100として各試験煉瓦の侵蝕量から比率



第18図 変質した蠟石質煉瓦の表面
Fig.18. Surface of Roseki Brick Affected by Molten Steel and Slag



第19図 変質したシヤモット質A煉瓦の表面
Fig.19. Surface of Chamotto Brick A Affected by Molten Steel and Slag



第20図 変質したシヤモット質B煉瓦の表面
Fig.20. Surface of Chamotto Brick B Affected by Molten Steel and Slag

を求めると第9表(次頁参照)となる。これによると蠟石質がもつとも低廉であり、その他はシヤモット質Aを除いては、たとえ侵蝕量はシヤモット質Cに比較して少くとも原価の点では不利であることがわかる。

第9表 取鍋煉瓦の出鋼t当りの原価比較

Table 9. Comparison of Cost Per Heat of the Ladle Bricks

試験煉瓦材質	蠟石質	シヤモット質 A	シヤモット質 C	高アルミナ質 A	高アルミナ質 B	シヤモット質 C
原価比率	44	95	162	292	163	100

第10表 スリーブ煉瓦の侵蝕量の比較

Table 10. Comparison of Erosion of the Sleeve Bricks

スリーブ番号	スリーブ煉瓦の直径(mm)			侵蝕率(%)		
	黒鉛質	高アルミナ質	シヤモット質	黒鉛質	高アルミナ質	シヤモット質
No. 1, No. 2	134.9	136.2	137.6	—	—	—
No. 3	132.5	125.0	127.5	1.78	8.22	7.34
No. 4	133.8	130.2	129.0	0.82	4.41	6.26
No. 5	133.5	132.5	129.3	1.04	2.72	6.03

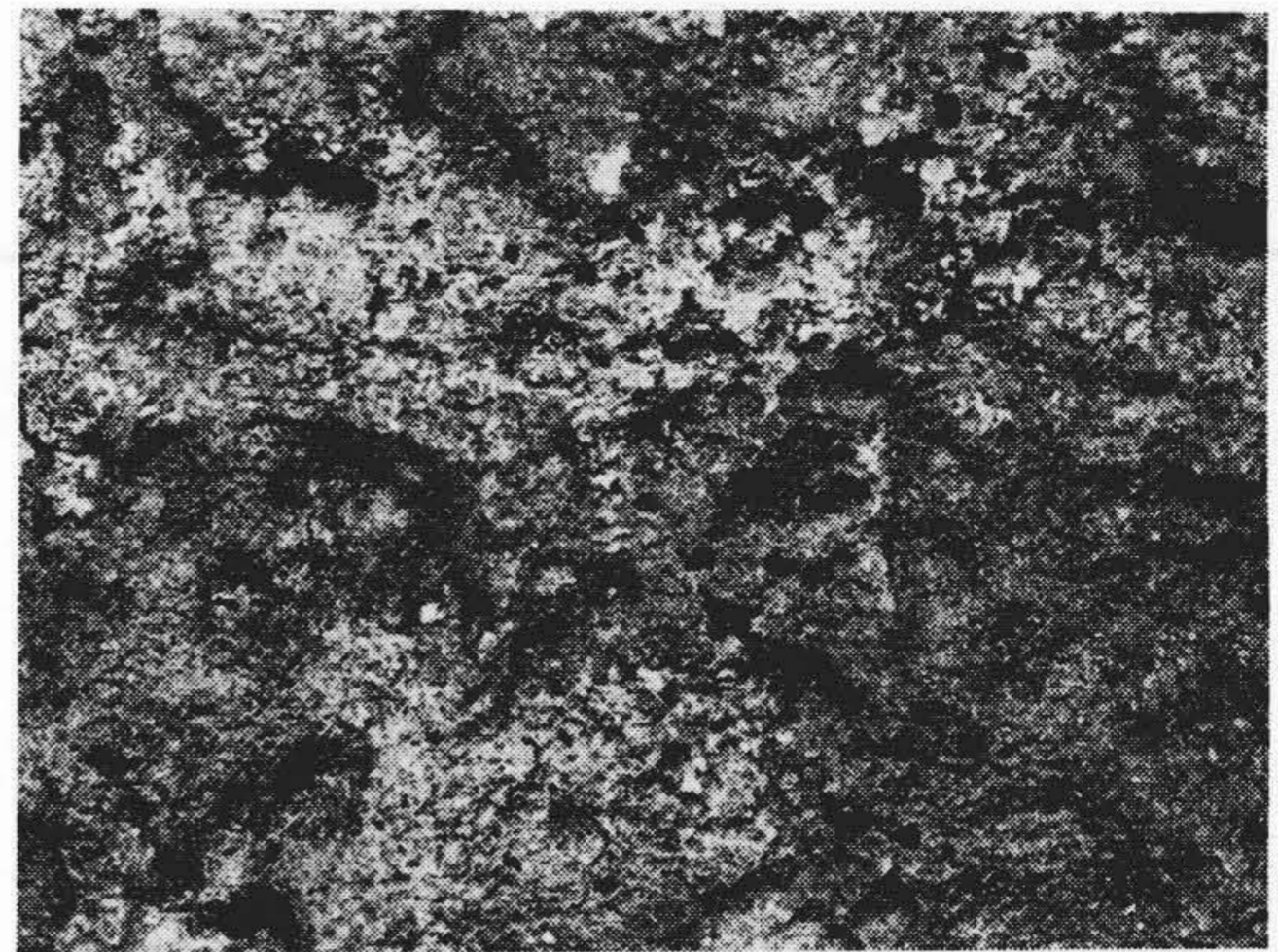
第11表 鋼滓によるスリーブ煉瓦の侵蝕

Table 11. Erosion of Sleeve Bricks by the Molten Slag

試験スリーブ材質	試験回数	試験スリーブの直径(mm)		侵蝕率(%)
		使用前	使用后	
黒鉛質	1	134.9	135.0	0
	2	134.9	117.0	13.3
	3	134.9	127.2	5.7
	4	134.9	123.7	8.3
高アルミナ質	1	136.2	132.5	2.7
	2	136.2	65.8	51.6
	3	136.2	120.4	11.6
	4	136.2	78.9	42.0
シヤモット質	1	137.6	129.0	6.3
	2	137.6	91.5	33.5
	3	137.6	121.1	12.0
	4	137.6	107.1	22.2

(10) スリーブ煉瓦の侵蝕は溶鋼と鋼滓によるものと鋼滓のみによるものと両方の結果を求めた。第10表は侵蝕後の平均径と侵蝕率を示したものである。侵蝕率は中央部の直径の減少率で示し、使用前の直径は侵蝕をうけない No. 1 および No. 2 の平均径とした。第24図はこれを示したもので、黒鉛質スリーブが格段にすぐれていることがわかる。

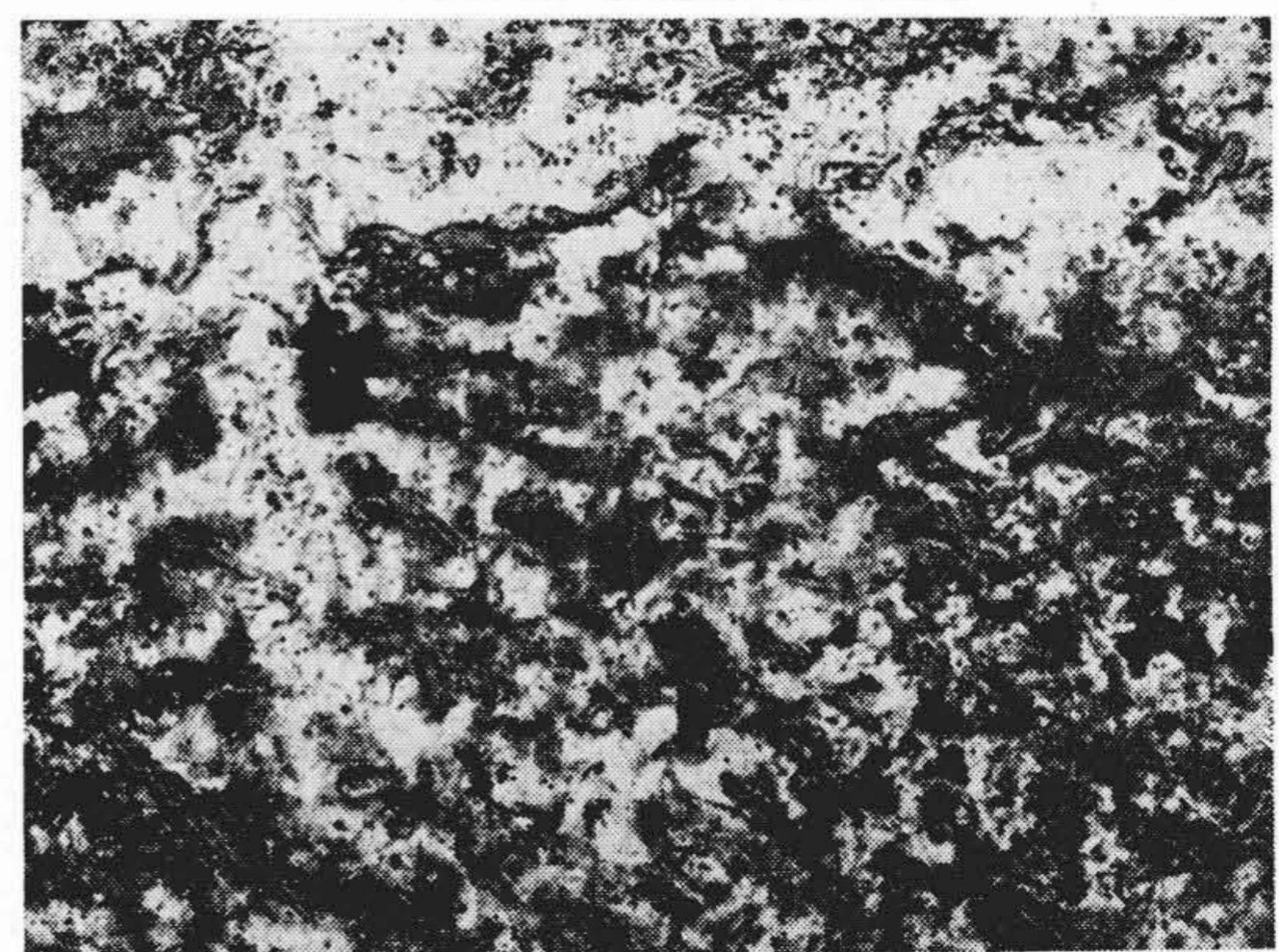
鋼滓のみによる No. 3 のスリーブ煉瓦の侵蝕結果を第11表および第25図に示す。第1回および第3回の試験の結果は他の回に比較して侵蝕量が少く高アルミナ質のものが鋼滓に対しては最も抵抗力の弱いことを示している。第12表は溶鋼および鋼滓の代表的成分を示したものである。第26図は第2回試験における使用後の状況を示



第21図 変質した高アルミナ質A煉瓦の表面
Fig. 21. Surface of High Alumina Brick A Affected by Molten Steel and Slag

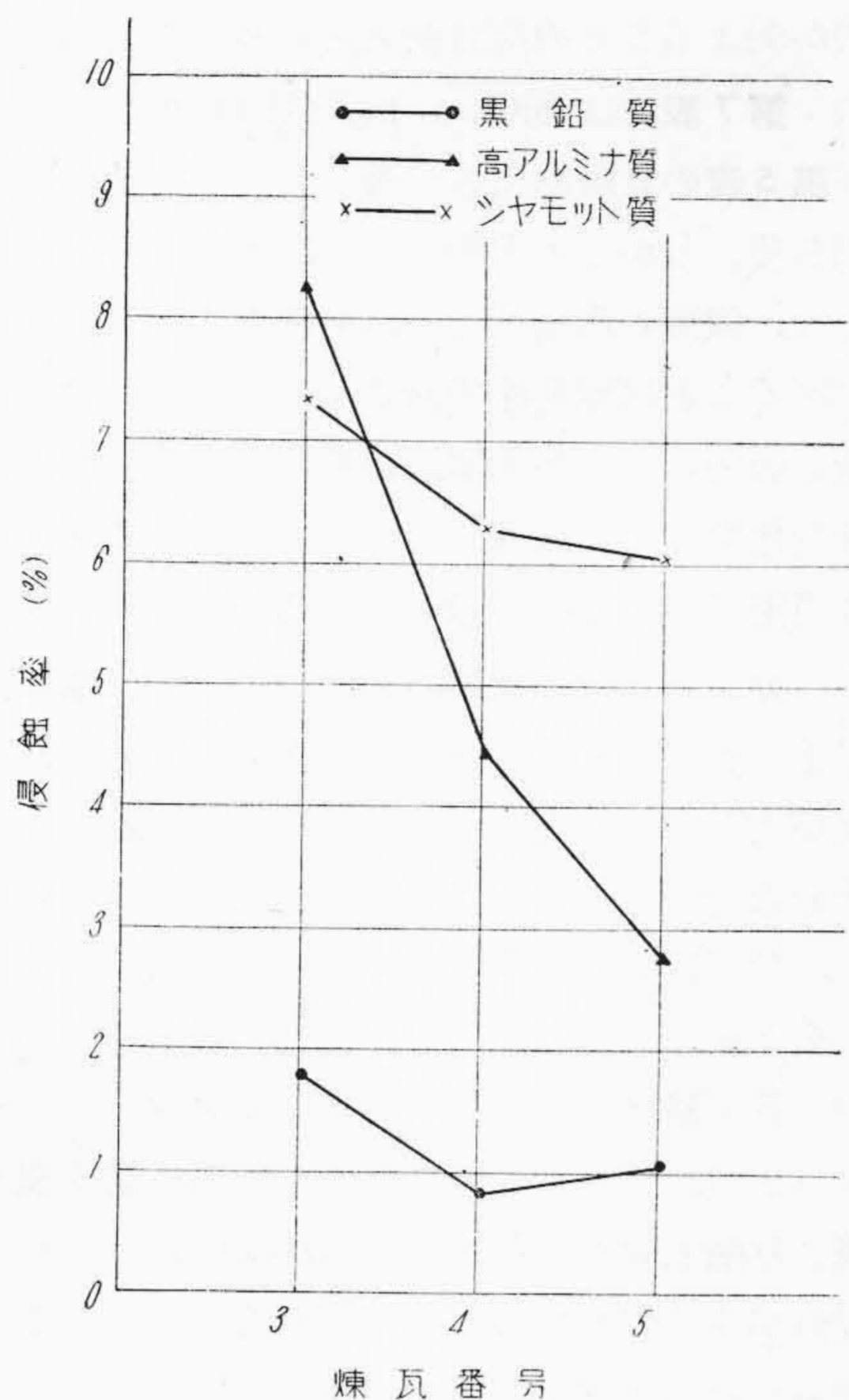


第22図 変質した高アルミナ質B煉瓦の表面
Fig. 22. Surface of High Alumina Brick B Affected by Molten Steel and Slag



第23図 変質したシヤモット質C煉瓦の表面
Fig. 23. Surface of Chamotto Brick C Affected by Molten Steel and Slag

したもので黒鉛質およびシヤモット質は縦割れが顕著に発生している。



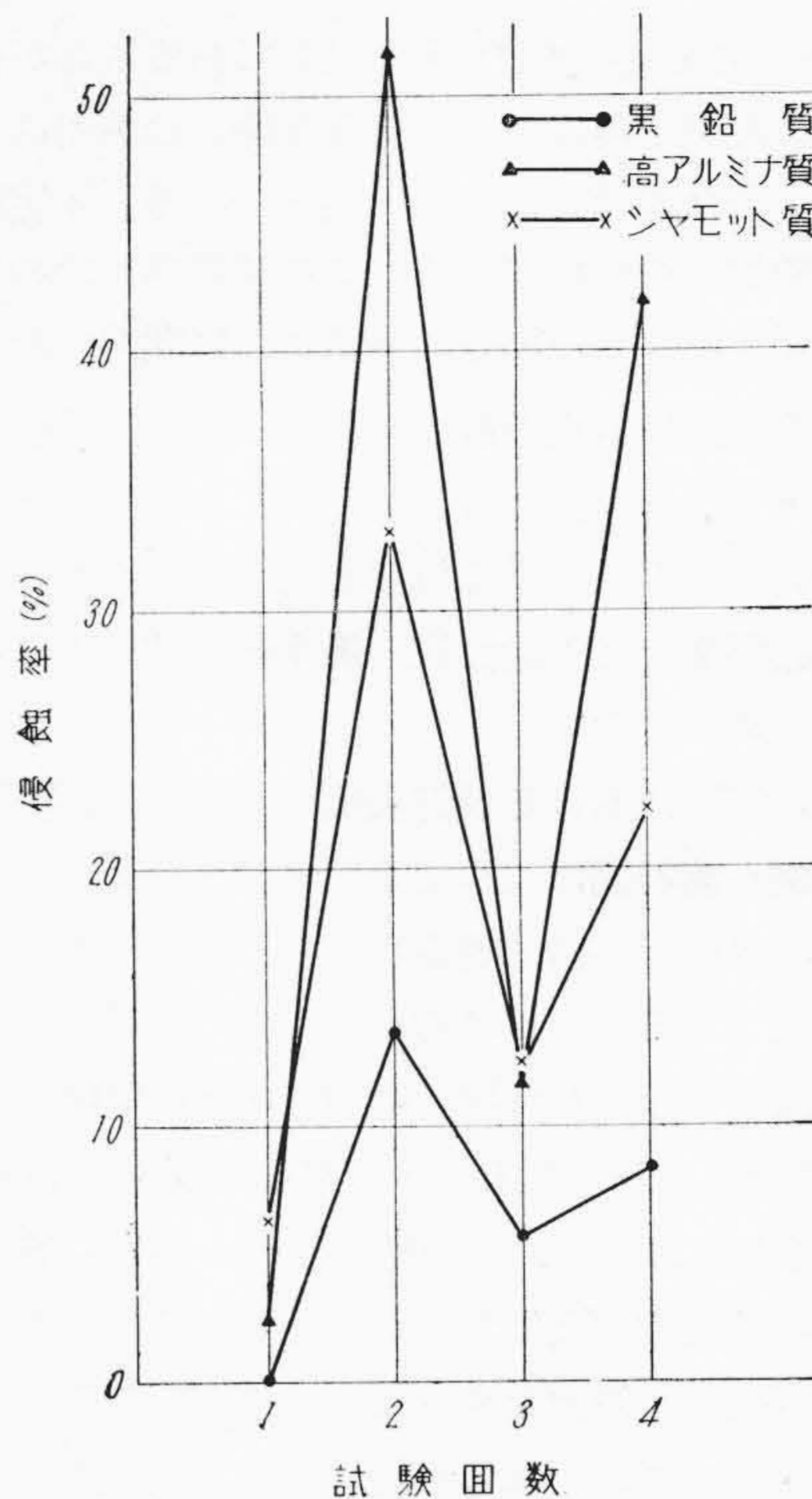
第24図 スリーブ煉瓦の侵蝕率の比較
Fig.24. Comparative Graph Showing the Degree of Erosion of Sleeve Bricks

第12表 鋼および鋼滓の代表的成分
Table 12. Chemical Composition of Steel and Slag

	C	Si	Mn	P	S	
鋼	0.35 ~0.55	0.30 ~0.35	0.60 ~0.70	0.010 ~0.015	0.009 ~0.013	
	SiO ₂	ΣFeO	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO
鋼滓	17.0 ~25.5	1.20 ~1.95	1.15 ~2.00	0.50 ~0.95	56.0 ~67.5	4.70 ~9.15

〔IV〕 実験結果に対する考察

(1) 以上の各試験煉瓦の溶鋼および鋼滓による耐蝕性の比較試験の結果では、蠟石質が最も侵蝕が少くシヤモット質Aがこれにつぎ、高アルミナ質Aは従来使用して来たシヤモット質Cと同程度の成績を示した。この結果は K. Daeves⁽¹⁾ を始めとして多くの研究者^{(2)~(7)} の唱える化学的な侵蝕理論を覆している。すなわち、SiO₂~Al₂O₃ 系の粘土質の耐火煉瓦では溶鋼中の遊離のMnO が煉瓦の表面に附着することにより溶融点が低下し、鋼滓では CaO が煉瓦中の SiO₂ と反応して最もよく侵蝕するという化学的な侵蝕機構では簡単に説明することは不可能である。



第25図 スラグラインにおけるスリーブ煉瓦の侵蝕率の比較
Fig.25. Comparative Graph Showing the Degree of Erosion of Sleeve Bricks at the Slag Line



第26図 スラグラインにおけるスリーブ煉瓦の侵蝕 (第2回試験)
Fig.26. Erosion Difference of Sleeve Bricks at the Slag Line (No.2 Experiment)

したがって耐火煉瓦の侵蝕に対しては化学成分よりも物理的な性質がより重要性を持つているものと考えられる。物理的性質の中でも気孔率についてはすでに多くの報告があり、Karl Otto Zimmer⁽⁵⁾ は気孔率と製品の品質係数および原価の関係を調査し気孔率は全気孔率で

22%以下、見掛気孔率は15%以下であることが必要であるとし、毛利定男氏⁽⁹⁾も低気孔率煉瓦の使用によつて取鍋煉瓦の寿命の延長について述べている。本実験においては試験煉瓦の種類が異なるために気孔率だけの影響は認められないが重要な因子であることは間違いない。

取鍋内張煉瓦は溶鋼の静圧を表面に受け下段になる程大きいわけであるが、これと関係のある荷重軟化温度および使用時の内部歪による亀裂と関係のある熱膨脹率および熱膨脹係数などの諸性質と第5表の結果とは重要な関連性は認められない。

つきに使用時における煉瓦表面の状況から考察すれば、第18図～第23図によつてもあきらかなように、蠟石質のものは表面が平滑で附着物がなく光沢があつて侵蝕状況は一様である。これは蠟石質のものは焼成および使用時に高温にさらされた場合に Pyrophyllite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) であつたものが、Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) になる傾向が強く、その結果生ずる遊離の Silica が煉瓦粒子の結合剤となるために考えられる。したがつて加熱面が溶融して表面を覆うために煉瓦が直接溶鋼および鋼滓に接触せず、それらの侵入を防ぎ亀裂の発生も減少するわけである。これに反してシャモット質は主要成分が Kaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) であり、したがつて Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) になり難く遊離の SiO_2 も少い。また高アルミナ質のものは耐火度が高いので表面が溶融状態になりにくく、溶鋼および鋼滓に直接に接触してスポーリングによりむしりとられる傾向となる。さらに化学成分の点からも SiO_2 が少く結合力が弱いため高アルミナ質Aのような著しい凹凸を示している。以上のように各煉瓦の熱間における物理的な性質から蠟石質煉瓦の優位性をある程度説明することができる。

(2) 溶鋼による侵蝕は条件が同じ場合には鋼滓による侵蝕の1/10～1/20であるが、本実験の場合には接触時間が下段になる程増加するので、溶鋼による侵蝕を無視することはできない。このことは鋼滓に接触する時間の多い No. 2 および No. 3 の侵蝕量の差の傾向が第5表の綜合成績の結果と異つていることからもうなづける。溶鋼と煉瓦の接触時間は No. 2 は No. 6 の約20%程度である。

(3) いずれの実験においても出鍋時の衝撃により湯当側が反対側よりも侵蝕量の多いことは、機械的な作用の大きいことを示している。しかし No. 2 の煉瓦には出鍋時の操作の関係でその影響が少く、鋼滓による影響の方が大であり、中段の No. 3 および No. 4 の侵蝕量がほかのものより大きいことは、出鍋時における機械的な衝撃力の位置による差と、煉瓦表面に接触している鋼滓成分が鑄込時間とともに変化して SiO_2 が次第に富化し

侵蝕力が弱まることの総合結果と見るべきであろう。

(4) 第7表では SiO_2 および Al_2O_3 の増加率の和の傾向が第5表の試験結果と一致していることは興味あることである。しかし本実験の場合には張り分け試験であること、鋼滓の重量と成分が変化しているために直接結びつけることは無意味であるが、前述したように鋼滓の重量と成分の平均が本実験の範囲内の変化では、鋼滓の成分変化を見て試験煉瓦の優劣を比較することが結果的には可能であることを示している。

(5) 煉瓦表面への鋼滓の滲透については第8表の分析結果よりシャモット質Bおよび高アルミナ質AにCaOの侵入が大きい、変質層の試料採取が粗雑であつたために十分な考察はできない。林武志氏⁽¹⁰⁾の報告にもあるように各変質層の化学成分の分析と顕微鏡的な観察を行う必要がある。

(6) 各試験煉瓦の価格は高アルミナ質が最も高価でシャモット質、蠟石質の順に低廉となる。第5表および第9表より蠟石質が侵蝕が少く価格も安い点で有利である。侵蝕が少くても原価の点で不利なものもあるが、製品の健全性におよぼす影響の方から煉瓦の優劣を論ずべきであることはいうまでもない。

(7) 黒鉛質スリーブの侵蝕の少いことは黒鉛分の燃焼によつて侵蝕が妨害されることから理解されるが、使用後の亀裂については熱膨脹率と関係するところ大であると考えられる。

[V] 結 言

(1) 鍛造品に現われる砂痕は溶鋼および鋼滓による造塊用耐火煉瓦の侵蝕が成因の一つであるという観点から、各種の取鍋内張煉瓦の耐蝕性を張り分け試験により比較した結果、蠟石質のものが耐蝕性が最も強く、原価の点においても最も有利であることがわかつた。このことは従来多くの研究者によつて述べられて来た化学的な侵蝕機構だけでは解明されない点であり、煉瓦の化学成分として Al_2O_3 の含有量は耐蝕性に対しては第一義的なものではなく、むしろ蠟石質のように耐火度が低く Al_2O_3 の含有量の低いものでも熱間の物理的性質のすぐれているものがよいことを示している。最近論議されている煉瓦の Bloating 性とともにも蠟石質煉瓦の特殊性を今後も大いに研究する必要がある。

(2) 出鍋時の機械的な衝撃により取鍋内の位置によつて侵蝕量に差を生じ湯当側が最も大きい。また溶鋼による侵蝕は鋼滓よりは弱いが軽視できないことがわかつた。

(3) 物理的性質の箇々のものによつて煉瓦の耐蝕性を云々することはむづかしい。化学成分、物理的性質お

よび熱的性質の範囲によつて品質を判定するのは困難である。したがつて各種の性質によつて適否を論ずるよりも、本実験のように使用条件にかなつた現場試験によつて各性質の影響が綜合された結果によつて品質を論ずることが必要である。

(4) スリーブ煉瓦の試験結果では黒鉛質が溶鋼および鋼滓に対して最もすぐれていることがわかつた。使用時の縦割れの発生についてはさらに検討を必要とする。

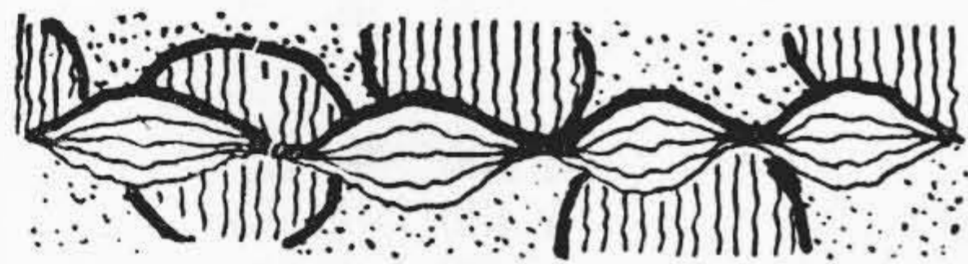
(5) 本実験は侵蝕の少い煉瓦を使用すれば砂痕を発生する可能性も少いという仮定の上に立つており、各試験煉瓦と溶鋼および鋼滓との反応生成物の性状については全然ふれていない。また溶鋼と鋼滓との共同侵蝕を問題にしており、溶鋼のみによる侵蝕についてはなお不明の点が多い。このために筆者等は現在溶鋼のみによる各試験煉瓦の侵蝕を日立製作所日立研究所と協力して実験室的に探求している。

終りに本研究を命ぜられかつ御指導を賜つた日立製作所田村副工場長、守永製鋼部副部長および日立製作所安来工場檜垣製造部長に深厚なる感謝の意を表す。なお実

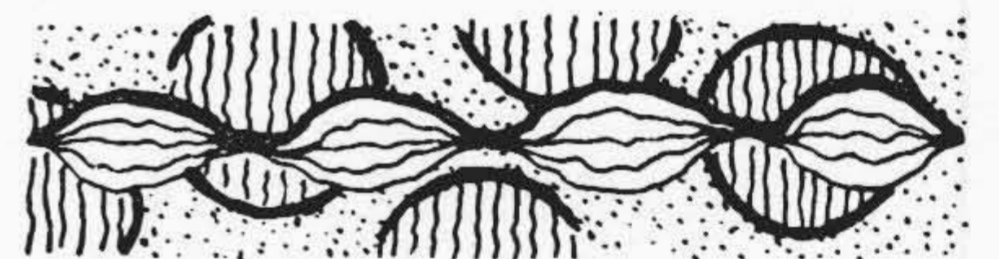
験に際して多大の便宜と有益な助言を与えられた日立研究所磯野好治氏および実験に協力された溶鋼課の現場各位に対し敬意を表す。

参 考 文 献

- (1) K. Daeves: Stahl u. Eisen 52 (1932), 1162
- (2) 塩谷周三: 鉄と鋼 34 (1948) 1
- (3) 里井孝三郎: 住友金属 5 (1953) No. 1, 1
- (4) M.P. Fedock: Journal of Metals, February (1954)
- (5) K. Otto Zimmer: Stahl u. Eisen 73 (1953) 411
- (6) C. B. Post, G. V. Luerssen: Metals Transaction, January, 1949
- (7) 前川, 中川: 学振 19 委報告 No. 2638, 2746, 2864, 3182
- (8) F. Körber, W. Oelsen: Stahl u. Eisen 54 (1934) 535
- (9) 毛利定男: 耐火物工業 10 11 (1952)
- (10) 林武志: 品川技報 No. 1 (1954)



特 許 と 新 案

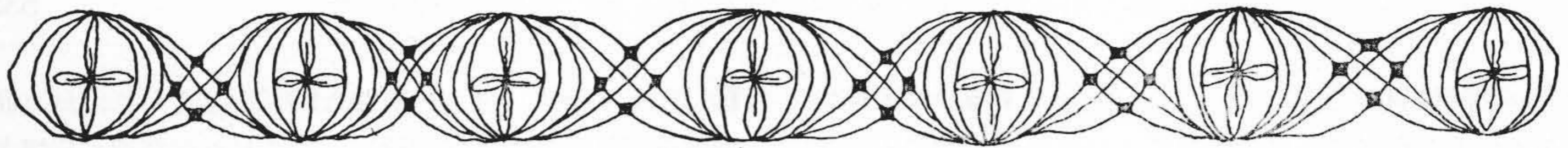


最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その5)

(第96頁から続く)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録和月日
実用新案	420299	抽 出 端 子	戸塚工場	高 早 木 川 茂 栄	29. 11. 20
”	420303	バ ン ド 型 締 金 物	戸塚工場	古 谷 勝 美	”
”	420304	バ ン ド 型 締 金 物	戸塚工場	古 谷 勝 美 幸 薄 田 利 幸	”
”	420238	X線管その他類似装置の陽極口金	茂原工場	高 野 静 夫	”
”	420245	ケーブルのガス圧低下警報装置	日立電線工場	大 竹 政 純	”
実用新案	420247	ガスのケーブル故障表示装置	日立電線工場	大 竹 政 純	29. 11. 20



第 37 卷 日 立 評 論 第 3 号

- ◎ 161 kV および 287.5 kV 制弧遮断器による日立製作所・日立国分分工場 森 田 誠 一
無負荷送電線の開閉試験
- ◎ ガスタービン燃焼器の燃焼実験 (その一).....日立製作所・日立研究所 {古 賀 善 雄
平 戸 善 瑞 穂
——液体燃料を用いた場合の大気圧中の単独燃料実験について——
- ◎ ボイラ給水処理剤の諸性質日立製作所・日立工場 齋 藤 弘
- ◎ 中国電力株式会社納明塚発電所用
TIE-UI型工業テレビジョン装置.....日立製作所・戸塚工場 {今 西 久 弥
内 藤 大 三
- ◎ PJ-42 電力線搬送装置日立製作所・戸塚工場 {中 谷 信 夫
有 富 信 夫
- ◎ 電話用炭素送話器の脈動現象の解析日立製作所・戸塚工場 {西 山 静 男
猪 瀬 静 男
- ◎ 日立簡易記録式炎光光度計と二、三の使用例について..日立製作所・多賀工場 {鎚 木 猛
泰 資 宜
- ◎ 車 輛 用 螢 光 灯 に つ い て.....日立製作所・亀戸工場 西 岡 博
- ◎ 150 t 積 8 軸ボギー大物車の構造と強度.....日立製作所・笠戸工場 {飯 島 弘
大 江 昇
- ◎ ケーブル鉛被用鉛およびその合金の溶融点酸化過程....日立製作所・日立電線工場 {山 路 賢 吉
大 富 芳 昭
- ◎ ダイキャスト鋼 DAC および DBC 確性試験日立製作所・安来工場 {小 柴 定 雄
九 重 常 男

東京都千代田区丸の内 4ノ1
(新丸の内ビルディング7階)

日 立 評 論 社 誌代

{ 1ヶ月分 ¥100 千 12
6ヶ月分 ¥430(送料共)
12ヶ月分 ¥840(送料共)

「日立評論」綴込みカバー発売

(上製綴込み紐付) 特價 1組 ¥100 (郵送料共)

「日立評論」の綴込み用として写真に示すような堅牢美麗な綴込みカバーを発売致しております。

御希望の方には特に実費にてお頒ち致しておりますから、直接下記に御申込み下さい。

日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内 1丁目 4番地
(新丸の内ビルディング7階)

振 替 口 座 東 京 7 1 8 2 4

