

(討 4)

日本鋼管 技術研究所 島田信郎 ○小山保二郎 宮本 明
西 正明 小林基伸

I 緒言 当社福山製鉄所の2基の高炉について詳細な解体調査を実施した結果、炉底シャモット煉瓦の主な侵食原因は、浮上り現象であることを明らかにした。その対策として、鼓形煉瓦による炉底築造法を考案し、実験的な検討の結果実用化の見通しを得た後、これを実炉に適用した。

II 炉底シャモット煉瓦の侵食機構

1. 吹卸後のプロフィール 調査は福山第1、第2高炉について行なわれ、炉底の侵食ラインは両高炉共、煉瓦の浮上りを示す点で極めて良く類似していた。

図1～3は浮上りによる侵食の形跡を示すもので、まず図1に示すような深いカット状のサラマンダーを形成し、直線的な侵食ラインが特徴である。すなわち底部は7段が完全に残っており、しかも直径約9mの平滑な面を形成し炉底側壁は階段状となっている。図2は側壁稼働面が原煉瓦積み目地のラインそのものを示し、煉瓦が1個単位で抜けて行ったことを物語っている。ノロ、コークス、下化合物、地金等からなる付着層はサラマンダー抜きの際、降下して稼働面に付着したものであるが、ノロの多い部分と接触した煉瓦は溶損して図2-(b)に示すように丸みを帯びている。一方残錠と接触した部分(a)は侵食を全く受けておらず原煉瓦表面を良く保っており、後記の事実と合すると長期間の溶錠との接触にもかかわらず化学的溶損はほとんどなかったと考えられる。図3は残存煉瓦ブロックが全体的に持ち上がっている状態で、稼働面付近で厚み30mmにも達する地金も認められた。この現象は、いくつかの方位でシャモット2～5段にかけてかなり一般的に観察された。参考迄に述べると1mm目地で精密に施工されたカーボン煉瓦でも2～5mm厚の目地侵入物は随所に認められ、なかには15mmに達するものもあった。このような煉瓦の動きに基因する目地開きと、煉瓦1個単位の侵食(浮上り)を示すプロフィールが両高炉の解体中に観察された大きな特徴である。

2. 目地開きについて 写真1は図1の7段上面の目地開きの状態である。2高炉では目地への地金差しは8段下部(深さ40cm)に達している。地金そのものの厚みは、残錠に接した7段最上部で5～15mm、7段下部以下では1mm以下で全体としてメタルケースの様相を呈している。この状態は直径9mの底部全体に広がり、写真1に明らかのように個々の煉瓦がバラバラの状態に近く、浮き上り易い条件にあったことは明らかである。このような目地開きの原因は何で

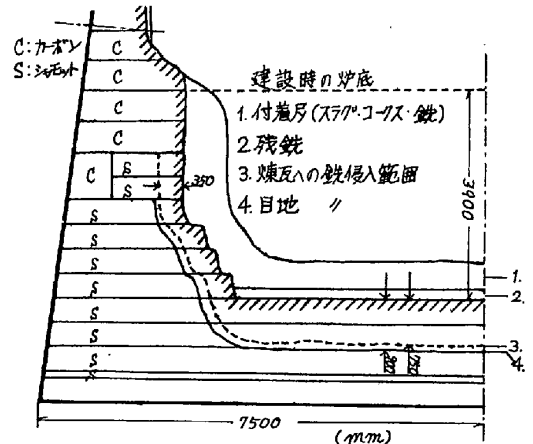


図1. 吹卸後の炉底縦断面図(2BF)

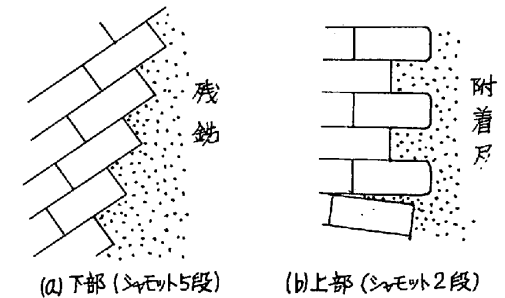


図2. 炉底側壁稼働面の水平断面図

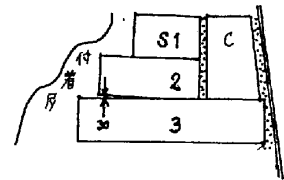


図3. 炉底側壁垂直断面図(1BF)

あるうか。まず、モルタルの接着強度が低く、煉瓦との剥離が容易に起こることが考えられる。図4はモルタルの剥離切断状態の一般的な形である。モルタルそのものはほぼ完全に残っているが、常に片側の煉瓦に付着した状態で他方ときれいに剥離している。これは煉瓦の変形であり、先に述べた動きである。図1のとおり、煉瓦の気孔中への溶鉄の浸透は8段下部に及び、深さ75cmに達する。7段煉瓦のMn含有量は30%前後で耐火のほとんど総てが鉄で満たされている(写真2)。従って溶鉄は目地だけでなく煉瓦組織中をも自由に通過して下部に廻ると考えられる。かかる溶鉄の全面的侵入により煉瓦と目地の一体化が妨げられるだけでなく、煉瓦とモルタルの全組織が均一な加熱を受ける条件が生じていたと言える。このような条件下では煉瓦の体収縮が当然予想される。収縮率の実測は、1個の煉瓦の高さ(45cm)方向で加熱条件が異なるので寸法測定のみでは各レベル毎の体収縮率を求められず、煉瓦の収縮変形の過程を推定することは困難である。そこで、水平面内の収縮率と煉瓦のMn含有量から、その推定を試みた。まず、先に述べた条件下では近似的に等方性の収縮が起きるとして、水平断面(114×230mm)内の線収縮率の実測値をもとに体収縮率を単純に求め、収縮後の気孔に侵入し得る溶鉄の量を推定したのが図5である。すなわち、斜線部が残存気孔0~2%の場合のMn含有量の限界値であり、例えば7段最上部を見ると最も収縮の大きいサンプルでは7~11%以上の金属鉄は侵入し得ないはずであるが、分析値はMn 30%近くを示している。Bの範囲は、測定した10個の煉瓦の平均収縮率から求めたMn含有量の限界値で17~21%であるが実際の分析値は右の矢印で示される30%前後であった。この関係は、煉瓦の水平断面内の収縮を伴う上への伸びを考慮しないと説明がつかない。このような変形により、煉瓦の縦断面は7段最上部から7cm前後の深さに亘って台形となり、肉眼ではっきり認められる楔形の地金差しを生じたと考えられる。その他、写真1のように周囲の煉瓦の収縮を大巾にとまわす15mm厚の地金もあり、煉瓦の動きが、底部のまだ浮上りの起きていない段にもあったことを示している。なお、煉瓦の上方への伸びは溶鉄の浸透状況から見て、浮力によるものと推定される。

3. 炉底の侵食機構と経過 以上述べたプロフィールと目地開きの状態から、シャモット煉瓦の侵食はおもに浮き上りによるものと判断した。その経過は、まず稼働面に近い煉瓦に全体的な地金差しが生じた後、一部の煉瓦が浮き上るとその周囲の煉瓦は歯止めを失って連鎖的に浮き上り、比較的短期間に



写真1. 2B.F. 7段上面目地開きの状態

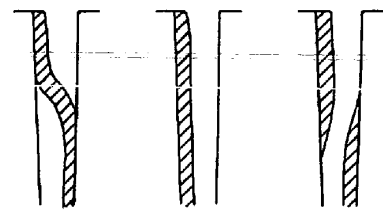


図4. 目地切れの状態(縦目地)



写真2. 煉瓦中への溶鉄浸透状態

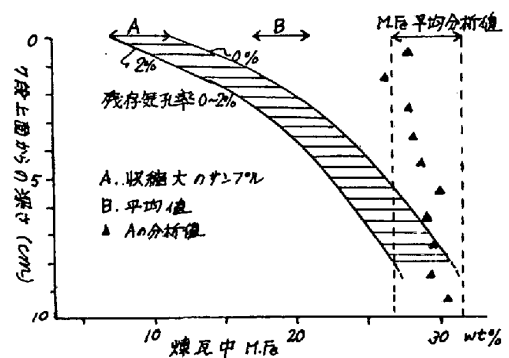


図5 収縮率から計算した煉瓦中のMn限界値と分析値との比較

側壁を除いて一段全体が侵食されたと推定される。図1に見られるように、長径約9mの底部全体が同様な地金差れを生じていた事實は、広範囲の煉瓦の浮き上りが同時期に起り得ることを良く示している。炉底強度の測定値をもとにした侵食速度の推定計算によると、2BFの場合火入れ後約1年間でシャモット6段迄侵食され、以後安定したようである。1BFの場合は侵食速度はずっと遅いが、炉底温度の変化は段階的で、いくつかに上昇期と安定期に分れ安定期が長いのが特徴である。このような炉底温度の推移から見て、シャモット煉瓦の連続的で緩慢な化学的侵食は考えられない。

III 鼓形煉瓦による浮き上り防止対策

浮き上り防止対策として、本法は煉瓦積み込みの構造的な改良を試みたもので、煉瓦の形状を鼓形とすることによって、個々の煉瓦が前後左右だけでなく上下方向にも固定されるのが特徴である。また煉瓦モルタルの品質、施工方法等も、現在の技術レベルで十分対応できることを前提としている。

1. 鼓形煉瓦による築造法 煉瓦の基本形状は図7に示すように、側面がくの字形の凹面となっている。各寸法は目的と製造上の諸条件により適当な値を決める必要があるが、特にテーパの取り方が重要である。積み方は図6-

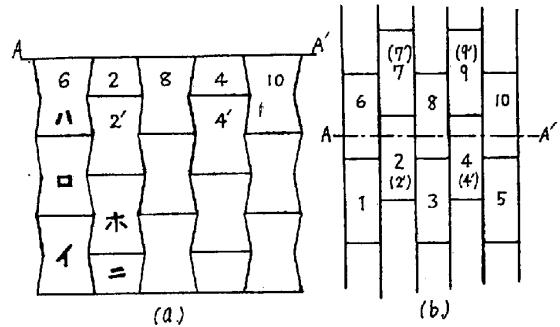


図6. 鼓形煉瓦の積み方

(a)のようにテーパ面が接する煉瓦が半段ずつずれており、上下面を構成する煉瓦は一列おきに半切りとなる。従って、1段半以上ならば、半段単位で、任意の段数を選ぶことができる。図6で例えば煉瓦8に着目すると、その下半部は4個の煉瓦2'、4'、7'、9'によって逆テーパで拘束される。さらに、2'、4'、7'、9'の各煉瓦も同様にそれぞれ4個の煉瓦の逆テーパで抑えられ、この関係は次々と下部へ広がって行く。従って全体として、非常に粘りのある強固な一体構造を形成する。仮に煉瓦8が何等かの原因で失われた場合も、例えば隣接煉瓦2に着目すると、2は1と3によって固定されており、同様のことが4、7、9の3個の隣接煉瓦についても言える。従って、8の損失が直ちに隣接する煉瓦積み込みを緩め、連鎖的な浮き上りを引き起こすことはなく、浮き上りに対して非常に粘りのある構造と言えよう。煉瓦積み込みの方法は、煉瓦の大きさ、寸法精度、目地の取り方等で異なってくるが、何段かを同時に積み込むため、図6-(a)のイ~ホの順に積み込むのが基本的な方法である。段数が多い場合は、何段かを1単位として、これを従来の1段と考えれば良い。

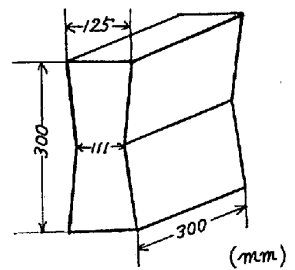


図7. 試作煉瓦の形状

2. 炉底シャモット煉瓦への適用 当社ではこの方式をシャモット煉瓦に適用するため、一連の実験を行なった。

(1) 煉瓦の製造 製造実験はすべてS社に依頼し、まず予備試験で、成型方法、焼成方法の見通しを得た後、図7に示す形状で、従来のストレート形と同材質のものを約10トン試作した結果、寸法精度、品質ともに良好で、コマーシャルベースの製造に於いても技術的な問題は特にないことが分った。ただし、異形に起因するエネルギー低下により、約2割程度のコストアップが予想された。

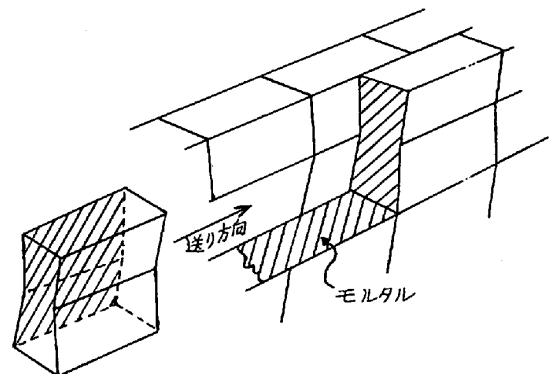


図8 鼓形煉瓦の施工方法

(2) 施工方法 種々の積み方を比較検討した結果、図8に示すように、平らな煉瓦面の目地モルタルは壁塗りとし、テーパ-面は積み煉瓦塗りとした上で、積み煉瓦を定位置手前に置き、テーパ-面を摺りながら矢印の方向に送り込む方法が最も良いことが分った。なお、場合によっては水平に、2~3回もみ込みをするのも、空洞防止に効果がある。また、テーパ-面のモルタルは、くの字の谷の部分に厚く塗り、モルタル表面がいわゆる額縁にならめようによれば、空洞の発生はほぼ完全に防止でき、トロまわりは極めて良好となる。10トンの試作煉瓦を用いて、3段積みの場合の列の直線性、倒れの発生状態とその修正方法等に関する実験を行なった結果、テーパ-面の目地厚を4mm程度迄許容すれば、高さ約90cmの3段積み施工で、列の直線性、垂直度共に無理なく修正できる見通しを得た。

(3) 中央部の熱応力割れ 鼓形煉瓦では、中央部が薄くなっていることと、その積み方から、加熱膨張による応力割れが問題となる可能性がある。そこで、大型電気炉による片面加熱状態での応力試験を行なった結果、中央部のくびれに起因する応力割れは問題ないと判断された。

(4) 実炉への適用 以上の予備的検討で実用化の見通しが得られたので、本年3月の改修で水江高炉の炉底に適用した。使用煉瓦は従来の炉底シャモット煉瓦と同材質で、形状は図7とほぼ同様である。煉瓦積みは炉底上部に、高さ90cm、直径9mの3段積み構造とし、総量約135トンである。煉瓦積み能率は、従来のストレート形に比べて、約2割の時間増となったが、単重が3kg軽いこと、テーパ-面がほぼ正方形であるため持ち易いこと、上下方向の積み込みが不要であることから、作業性は良好であった。列方向の直線性は、3列毎に木系でチェックし、倒れ(垂直度)は4~6列毎に直角定規で測定したが、高さ約900mmに対し平均1.8mm手前に倒れる程度で、テーパ-面の目地厚で容易に修正可能であった。テーパ-面の目地厚は、平均3mmであったが、倒れの修正をもっと密に行なえば平均2mmも可能である。

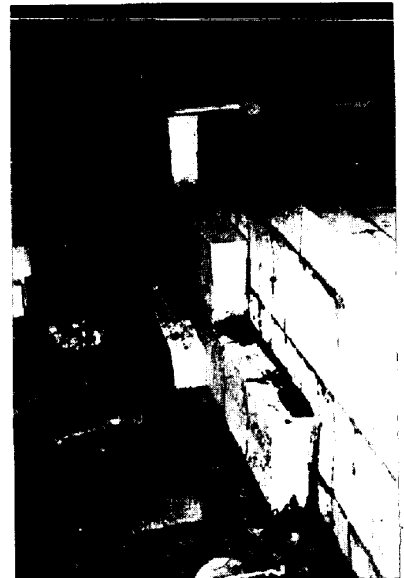


写真3 鼓形煉瓦施工状況

IV 結言 以上、解体調査の結果を、シャモット煉瓦の浮き上り現象と関連のある現象に絞って概説したが、その外、カーボン煉瓦の侵食についても貴重なデータが得られたので、別の機会に発表したい。鼓形煉瓦による築造はシャモット煉瓦の外、カーボン煉瓦にも適用可能である。最近の大型カーボンについて言えば、煉瓦製造は技術、コスト両面で大きな問題はないが、施工技術は今後の問題として残されている。シャモット煉瓦では、最適形状について検討の余地がある。本方式の効果は、現状では結論を出すのは早計であり、今後の調査に待つ点も多い。

文献

- 1) 島田、小山、宮本、西：鉄と鋼，58(1972) p64
- 2) 島田ほか：耐火物，25(1973) p456~461