

## 論 說

平爐に於ける珪石煉瓦の損傷原因と白珪石製  
珪石煉瓦の製造法に關する研究に就て

(日本鐵鋼協會第27回講演大會講演 昭17.4.東京)\*\*

大野田 剛\*

ON THE CAUSE OF FAILURE OF SILICA BRICKS IN THE OPEN HEARTH  
FURNACE AND THE STUDY OF MANUFACTURING WHITE SILICA BRICKS

Tuyosi Onoda

SYNOPSIS:—Decrease of the production of the excellent red and white silica bricks has been regarded as the main cause of degeneration of silica bricks, so that a number of researches are being made at various places with respect to manufacturing silica bricks from materials other than red and white silica. The author made success in manufacturing excellent silica bricks from the Manchukuo white silica at the branch factory (managed by the Kurosaki Yōgyō K. K.) situated within the yard of Syōwa Seikojo (Syōwa Steel Works). The result of the actual use since the end of 1936 at the Steel Department factories of Syōwa Seikojo indicated results rather better than the case of silica bricks made from the Japanese red and white bricks. In the present paper, the author summarized his opinion on the cause of failure of silica bricks in the open hearth furnace practice, and the method of testing silica bricks for the dome of the open hearth furnace. On the ground of the aforementioned researches, the author reported the process of studying the manufacture of silica bricks together with the actual result of its practice.

## 緒 言

白珪石を珪石煉瓦の原料として實際に高率使用することは龜裂剥落する虞ありとして一般に危険視され居りしことは周知の事實である。

然るに私は黒崎窯業會社の研究室及び昭和製鋼所構内の(黒崎窯業)委任管理耐火煉瓦工場に於て各7,8年間實驗室的試験並に實地平爐試験に於て試験研究せし結果、白珪石を使用するも優良なる所謂赤白珪石と全く同様に龜裂剥落する危険尠く且良好なる使用成績を擧げ得る耐火煉瓦製造方法を案出するを得たり。

本製造方法の研究は平爐に於ける珪石煉瓦の損傷原因の把握と之に基きて撰定したる原料珪石の試験方法及がその基礎をなすものなり。而してこの珪石試験法撰定の結果黒崎窯業は永年に渡り幾多新珪石の鑑定並に其採用を誤ること

となかりし點に於て多大の利便を得たること、信ずるを以て茲にこれ等事項を一括して述ぶることとせり。

本研究の完成に就ては黒崎窯業會社専務取締役高良淳氏の永年に亙る技術的御指導及び私の助手として黒崎窯業研究室に於て専心盡力せられたる牧野武夫氏並に平爐試験に於ける昭和製鋼所の常務理事梅根常三郎博士並に製鋼部長理事高橋文太郎氏、製鋼課長小池眞一氏、前製鋼工場長野口茂生氏等の與へられし特別なる御援助とに俟つところ極めて大なるものあるを以てこれ等各位に對し厚く感謝の意を表する次第なり。

I. 平爐に於ける珪石煉瓦の損傷  
原因と原料珪石の試験方法の撰擇に就て

製鋼用珪石煉瓦の損傷の原因は下記の如きものに依るものである。

- (イ) 龜裂剥落
- (ロ) 熔 流

\* 鞍山高級爐材株式會社

\*\* 講演者の都合により缺講

この内何れが損傷の主因をなすかはその判定極めて困難事なるも平爐用珪石煉瓦の製造家にとりては極めて重要な事である。十數年前迄は龜裂剝落による損傷を著しく重大視する傾向大なりしが煉瓦製造技術並に平爐操業技術の進歩のためか私の觀察せる範圍に於ては龜裂剝落の被害は熔流による損傷に比較すれば遙に輕微なるが如くである。龜裂剝落は平爐の火止又はガス導入時に於ける急熱急冷により時に生ずることあるも之は一時的の現象である。

之に反し熔流は高温に達すれば多少の差はあれ絶えず行はれて煉瓦消耗の主原因となる。

私は平爐に於ける珪石煉瓦の損傷の原因を究むる目的を以て餘程以前に八幡製鐵所平爐工場を相當長期間見學せることありしがその視察の結果熔流による損傷甚大なるに反し剝落による損傷は案外尠きものなることを發見した。尙之に就いては後々昭和製鋼所製鋼工場を見るに及んで一層この感を深くした。

扱てこの熔流現象に就き考察するに實際は單に熱のみに依る熔融の外に鹽基性物質の媒熔作用が同時に併行的に進行し一層熔流を助長するものなるも昭和の始め頃は未だ製鋼用珪石煉瓦の鹽基性物質に対する耐蝕性の検討、即ち煉瓦の鋼滓試験に就いては現在程重大視されなかつた。その理由は平爐築造法の常識として鋼滓線以下の湯と直接接觸する部分をクロム煉瓦及びマグネシヤ煉瓦積とし珪石煉瓦は鋼滓の湯と直接接觸せざる天井の如き部分に使用し以て該煉瓦の鹽基性物質に依る侵蝕を防止することに努めこの築爐法に頼り安心して居た爲である。

私は昭和2年黒崎窯業入社後この觀念の誤れることを知つた。即ち天井珪石煉瓦等は直接熔滓及び熔鋼の湯と接觸しないが平爐熔解室内の雰圍氣中には鋼滓等の如き鹽基性の細粒物質浮遊し居り珪石煉瓦に附着し最高20%位迄之を吸收することを知得した。即ち平爐天井に使用した煉瓦を豎に切斷すると此等物質の吸收により數層に着色してゐるのを見る。各層に於ける化學成分の一例下記の如し。

	熔垂部分	第一層	第二層	第三層	第四層
$\text{SiO}_2$	54.7	86.3	81.9	87.0	94.5
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	26.2	6.5	7.5	3.5	0.6
$\text{FeO}$	13.9	5.1	6.4	2.0	1.3
$\text{Al}_2\text{O}_3$	2.0	0.8	1.7	2.0	1.0
$\text{CaO}$	1.8	0.8	2.0	5.1	1.7
$\text{MgO}$	0.4	0.6	0.4	0.3	0.3
$\text{MnO}$	0.4	0.4	3.4	0.1	0.04
計	99.4	100.5	100.2	106.0	99.3

上記の表より見ると鹽基性物質の吸收により原煉瓦の珪酸分94.6%が97.0~54.7%に低下し第二酸化鐵0.6%が

3.5~26.2%に増加し第一酸化鐵1.3%が2~13.9%に増加石灰1.7%が最高5.1%に増加した。かくの如き状態にあるを以て、製鋼用珪石煉瓦の原料珪石の撰擇に當りては單に其の耐火度のみならず、鋼滓に対する化學的耐蝕性をも併せて検討することの必要を痛感した。依つて當時私は各種珪石原料に就き下記の如き諸種の鋼滓試験を試みた。即ち

(a) 各種珪石に就き試験煉瓦を作り之に一定の孔を穿ち一定量の鋼滓粉末を入れ一定条件下に鋼滓を熔融し其の化學的侵蝕による孔の擴大する程度並に鋼滓浸透の深さを測定する方法。

(b) 鋼滓の湯中に一定斷面積を有する上記の如き試験煉瓦を浸漬し一定時間の後この鋼滓を湯溜の底より流出し鋼滓侵蝕に依る該試験煉瓦の體積消耗率を測定する方法。

(c) 各種珪石試料の粉末に一定量即ち平爐に於て實際吸收さるべき程度の鋼滓粉末例へば10%,15%或は20%を混入し三角錐を作り耐火度低下の度合を測定する方法。

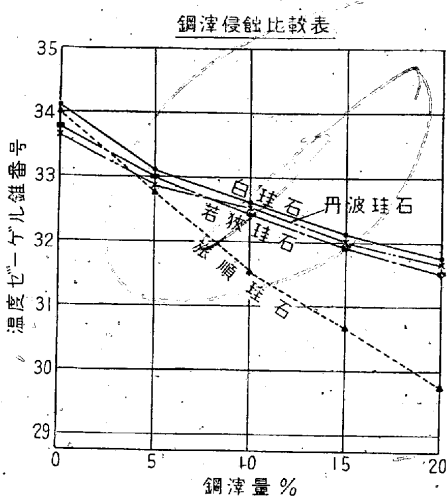
然るに上記(a)及び(b)の試験方法は熔鋼取鍋或はキユボラ等の内張の如く直接熔鋼及び溶滓と接觸するシャモット煉瓦に就いてはその使用実績と比較的よく一致するものであるが珪石の場合は使用実績と一致し難いことを認めた。惟ふに是は下記の二つの理由に歸因すべし。即ち

1) 上記(a)及び(b)の試験方法は平爐に於ける珪石煉瓦の使用狀況と條件を異にすること。是等試験方法に於ては試料を直接鋼滓の湯と接觸せしめて専ら煉瓦の耐蝕性のみを検討する方法にして同時に耐熱性をも併せて觀察し得るものでない。然るに實際平爐に積れた煉瓦は熱のみによる熔融と鋼滓の細粒飛沫の附着及び吸收による媒熔作用とが同時に併行的に進行して煉瓦熔流の主因をなすものである。換言すれば鋼滓飛沫の吸收に依る珪石煉瓦の耐火度低下が損傷の主因をなすものである。故に平爐用煉瓦の原料珪石に對しては鋼滓の媒熔作用によつて耐火度の低下し易きものなりや否やを検討する試験方法を採用しなければならぬ。即ち平爐に於ては(a)及び(b)試験に於て起るが如き單なる鋼滓の侵蝕作用のみ別個に進行するものにあらず。故に珪石粉に對し實際平爐にて吸收すると略同率の鋼滓粉を混入し鋼滓の媒熔作用による耐火度の低下を測定する(c)試験法が遙に實際的である。

2) シャモット煉瓦はその組織の粗密の相違によりて鋼滓浸透の深さに大なる相違を生ずるが珪石煉瓦は總て恰も

砂粒を固めた如き組織を有するを以て何れの原料によりて製造せるものも略同様に熔滓を吸収し易くその浸透の深さは必ずしも原料の良否に依るものにあらず、之 (a) 及び (b) 方法が不適當なる第二の理由である。

上述の如く (a) 及び (b) 試験方法は平爐用珪石煉瓦原料の試験方法としては不適當にして、(c) 法が實際に近きものと信ずる。一般に (c) 法の如く珪石粉に鋼滓粉を混入して



その耐火度を測る試験法は煉瓦に造つたものをその儘試験する方法に比し一見非實際的に見る向もあるが決して然らず。事實私は (c) 法に依り各種珪石の試験を試みたる處

その使用実績と比較的よく一致することを發見した。爾來この試験方法を採用し幾多の新原料珪石を迅速に且誤りなく鑑定するを得た。

代表的珪石 4 種につき (c) 方法により試験せられた結果を圖示せば次の如くである。

即ち本圖を見るに

白珪石 → 耐火度最高で且鋼滓に對する化學的耐蝕性も亦最大である。

丹波赤白珪石 → 耐火度及び鋼滓に對する化學的耐蝕性共白珪石に次いで大である。

若狹珪石 → 耐火度及び鋼滓に對する化學的耐蝕性は丹波赤白珪石と大差がない。

旅順珪石 → 耐火度は白珪石と略同様であり丹波赤白珪石及び若狹珪石より高きも鋼滓に對する化學的耐蝕性は最小である。

上圖に依るに旅順珪石は單味の耐火度高きも鋼滓に對する化學的耐蝕性最も弱いため製鋼用としては不適當である。以前旅順珪石の耐火度著しく高きと埋藏量豊富なるとに着目し之を使用して製鋼用煉瓦の製造を企圖して失敗した例があるがその失敗の一大理由は鋼滓の侵蝕に就き本試験の如き検討方法を考慮しなかつたことに歸因するのであらう。

從來白珪石は煉瓦をして残留膨脹を大ならしめ

且粘性を少ならしむる故に龜裂剝落する缺點大なりとしてその使用を頗る危険視せしは周知の事實である。

然るに白珪石は單味の耐火度並に鋼滓に對する化學的耐蝕性共に最大なるを以て本試験に依れば優秀なる珪石と見らるべし。

私は白珪石のこの優秀なる素質を如何にしてか利用し度き希望の下に永年研究の結果之を用ひて丹波赤白珪石製煉瓦に劣らざる煉瓦製造法の案出に成功した。之によつて白珪石のみが本試験とその從來の使用実績とが一致しなかつた例外を打破するを得た。以て本試験法 (c) が珪石判別上益々信頼するに足るべきものなりしを喜ぶものなり。

## II. 白珪石製煉瓦の製造方法の案出に就て

前記試験に徴すれば白珪石の素質が斯く優秀なるに拘らず之が使用を危険視せるは云ふ迄もなく龜裂剝落する傾向がある爲である。赤白珪石が龜裂剝落する傾向尠きはその微妙なる状態に含有せる酸化鐵の影響によるものなることは之亦周知の事實である。赤白珪石中の酸化鐵は煉瓦をして

- (1) 残留膨脹を少なからしむると共に
- (2) 高温に於て煉瓦に粘性を與へること

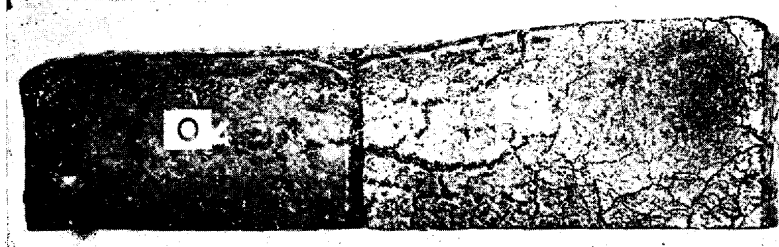
の効果を有するものでこの (2) の粘性に就ては夙に高良淳氏が主張された處で私は拾年前同氏の直接指導の下に黒崎窯業の小型平爐に於て之を實驗的に證明せることあり。この實驗中の一部を示せば下記の如くである。

即ち丹波赤白珪石及び白珪石に夫々石灰 2% 添加の配合を以て製造せる 2 種珪石煉瓦を小型の平爐に並べて次第に加熱温度を上昇せしに最初は兩者とも小龜裂が入つたが釉化する温度に達すると前者の龜裂は次第に粘着した。然るに後者は龜裂次第に大きくなつて龜裂粘着せず。之明かに赤白珪石中に於ける酸化鐵の効果を實證する一好例である。(寫眞参照)。

O 印 丹波赤白珪石に石灰 2% 添加の配合。

S 印 白珪石に石灰 2% 添加の配合。

寫 眞 (A)



寫眞(A)は温度稍低き場合を示す。

寫眞(B)



寫眞(B)は寫眞(A)の場合より加熱温度が高くなつた場合を示す。

以上の實驗によりても赤白珪石製煉瓦は確に龜裂剝落傾向少き長所を有すること明かである。

而してその含有する酸化鐵は大體 2~3% である。又反對に白珪石はかくの如き酸化鐵を含有しないために龜裂傾向大なることを證するものである。然るに實際平爐に於ては前述の如く煉瓦が鋼滓飛沫を吸収しその化學的成分の上に着しき變化を來す。一例に依れば原煉瓦の化學的成分は

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	CaO	其他
94.6%	1.0%	1.9%	1.7%	0.34%

なるものが使用の後に於て、その成分下記の如く變化した(但鐘乳石の如く熔け垂れたる部分を除く)。

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	CaO	其他
81.9~87	0.8~2.0	5.5~13.9	0.8~5.0	0.4~1.0

即ち通常製鋼用珪石煉瓦は

SiO<sub>2</sub> 94% 内外, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO 2% 内外, CaO 2% 内外の成分のものを良いとするが鋼滓飛沫を吸収するに到ればその成分率は全く狂ひを生ずる。かくなれば最早赤白珪石製煉瓦に於ける 2% 内外の酸化鐵含有の重要意義は喪失するものと見るを得。即ち平爐の築造直後未だ操業の日淺くして煉瓦面が新なる間に於てのみ、赤白製煉瓦の化學的成分は龜裂剝落防止上重要な意味を有するに過ぎないであらう。

平爐が操業を重ねるに従ひ煉瓦は鋼滓を吸収して前記の如く化學成分上に大なる變化を生ずる。その成分變化の程度は赤白製煉瓦と白珪石製煉瓦の成分の相違に比し遙に大である。即ち赤白製は白珪石製に比し僅に酸化鐵約 2% 多く含み居るに過ぎない。故に原煉瓦が赤白製なるか白珪石製なるかによつて鋼滓を吸収したる煉瓦の性状に相違を來すものとは思はれない。

斯く考ふれば白珪石製煉瓦は平爐の新築或は修繕直後の

煉瓦が未だ汚れない間を如何様に切抜けるかが問題である。煉瓦が鋼滓飛沫により汚染するに到れば既に龜裂剝落に對しては赤白製と同様になる筈なり。文獻によるに大體平爐操業開始後 10 日を經過すれば天井煉瓦は鋼滓飛沫を相當吸収して龜裂傾向少くなるとのことである。即ち斯く論究すれば結局白珪石製煉瓦は鋼滓により或る程度汚染すれば安定するものと斷じ得べし。

然らば白珪石に最初より鋼滓粉を添加したる配合を以て龜裂傾向少き煉瓦を製造する如くすることが自然の行き方であらう。茲に問題となるは鋼滓粉の添加割合である。元來白珪石製煉瓦の目標とする處は赤白の性質と同等たるべき點に存するを以て鋼滓添加率を大體下記の如く割出した。即ち

丹波赤白珪石+2% の石灰

なる配合が大體平爐天井用珪石煉瓦の配合にしてその耐火度 SK 33 弱なり。白珪石製煉瓦も之と同じ耐火度を保たしめんとし

白珪石+2% の石灰 +x% の鋼滓粉

なる配合が SK33 弱となる如く x を決定した。x は白珪石の質によりて多少相違あるも大體 5~6% である。

茲依てこの配合を以て煉瓦を製造し昭和 7 年黒崎窯業の小型試験平爐に於て試験せるにその成績は丹波赤白製の一級品と同様龜裂剝落の傾向尠く、極めて好成绩を示した。然るに當時黒崎に於て購入し得べき白珪石は僅に少量産出の長崎産あるに過ぎなかつた爲にこの配合法を採用すること能はず且丹波珪石の入荷相當豊であつた關係上敢てこの新製造法を必要としなかつた。然し大體に於て昭和 7 年頃白珪石使用方法に關する實驗室的研究は完成し居りしを以て他日之を必要とする時期を待つてゐた譯である。

### III. 結晶性石英使用に關する外國文獻

尙結晶性石英使用に關しては露國のピー・ピー・プトニコフが結晶性石英に對し鋼滓及び木炭粉を加へて珪石煉瓦を製造し之にブラックダイナスの名稱を附し平爐に使用した結果は從來の珪石煉瓦を凌駕する如き立派なる成績を納めたとの報告あり。私はこの報告によつて白珪石使用に關する研究に就き一層の自信を強められた。

### IV. 昭和製鋼所の珪石問題に就いて

昭和9年2月黒崎窯業株式會社は昭和製鋼所よりその耐火煉瓦工場管理の委任を受けた。本年3月兩社の出資により鞍山高級爐材會社を設立した。

元來滿洲には白色の珪石及び珪岩はその埋藏極めて豊富なれども優良なる赤白珪石の産なきを以て當委任管理工場に於ては最初内地産赤白珪石を使用することとし白珪石は徐々に實地に試用し赤白珪石に劣らざる使用実績を確めたる上、大々的使用に移行する方針を採つた。その理由は珪石煉瓦の品位は直接製鋼能率に影響するところ極めて大なるを以て白珪石の如く從來危険視され來りしものを單に試験室的研究の好結果のみによつて大々的使用に移すことは慎むべきものと考へたるが爲である。斯くて平爐の比較的重要でない部分に對し白珪石製煉瓦を試用しつゝ漸時その試験を天井に及ぼした。その結果は何の場合も皆赤白製に劣らざる良成績を示した。

尙昭和14年正月昭和製鋼所及び黒崎窯業共同にて之を米國一流の耐火煉瓦會社ハルピソン・フルカー會社製珪石煉瓦星印と比較試験を実施した結果龜裂剝落及び鋼滓の侵蝕に對する抵抗性に於て米國品に對し斷然優秀なることを證明した。

以上の如くして滿洲内に産出豊なる白珪石によりて昭和製鋼所にて所要の珪石は完全に自給し得ることとなつた。その結果原料珪石の値段は内地産赤白珪石を使用する場合

の1/3にて済むこととなりその利益は極めて大である。

## 結 論

要するに私は過去十數年前先づ平爐に於ける珪石煉瓦の使用状況及びその損傷原因を調査し之に基きて原料珪石の判別は如何なる方法によるべきかを研究した結果、試料の珪石粉末に鋼滓粉10~20%を添加混合しその耐火度を測定する方法即ち珪石が鋼滓の媒熔作用によりて耐火度低下し易きか否かを検討する方法が最も適當なることを知つた。

然るに白珪石はこの鑑定法に依れば最優秀なる珪石なるべきも實際はその使用を從來最も危険視し來つた。私は是を如何にかして利用し度く考へ平爐に於ける珪石煉瓦使用の實況及び文献等より考へて鋼滓を少量添加する配合法が最も自然にして合理的なることを知り、斯くてこの製品は優秀なる赤白製品及び米國ハルピソン會社製品と試験室的試験及び實地平爐試験に於て比較の結果此等に勝るとも劣らない優秀品なることが證明せられた。私は昭和9年以來昭和製鋼所構内に於ける(黒崎)委任管理耐火煉瓦工場を擔任し居るものなるが以上の如く白珪石使用法の研究を完成し以て昭和製鋼所に於ける珪石問題を解決し得たるを喜ぶものである。(昭和17年3月31日)

## 鹽基性電氣爐製鋼法に於ける粒鐵の使用に就て

(日本鐵鋼協會第26回講演大會講演 昭16.10.東京)

滿 田 十 次\*

### ON THE USE OF LUPPE IN MAKING STEEL WITH A BASIC ELECTRIC FURNACE

Zyuzi Mituta

**SYNOPSIS:**—The effect of luppe was determined by making plain carbon steels from varying increasing amounts (from 0% to 100%) with a basic furnace of two tons capacity.

In each test, the batch composition was adjusted to obtain two 1 ton ingots which preferably contain 0.4~0.5% carbon and up to 0.6% manganese.

Manufacturing cost was estimated by measuring the time, and electric power consumption required for steel making and the yield ratio, and it was found that the yield ratio was lowered with increasing quantities of luppe while the others showed elevated values.

Physical and chemical properties of steels were also studied. Variation in the increasing quantities luppe showed no evident effect upon these properties, but some interesting consequences were obtained in the fatigue tests.

\* 神戸製鋼所