

コークス押出時における炉壁損傷発生挙動

Wall Damage of Coke Oven During Coke Discharge

下山 泉 SHIMOYAMA Izumi JFE スチール スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員(副部長)・博士(工学)
山本 哲也 YAMAMOTO Tetsuya JFE スチール スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員(副課長)

要旨

コークス炉寿命延長のための操業指針を得るため、炭化室からコークスを押出す際に発生する局所的な荷重によって炉壁に破孔損傷が発生する条件について、離散要素法シミュレーションを用いた検討を行った。3 フリュー、5 段の炉壁レンガ構造をモデル化し、炉壁の状態による耐荷重限界の変化を検討した結果、(1) ダボの損傷、(2) ダボ部分に至る炉壁損耗、(3) 幅 2 mm を超える貫通亀裂、(4) 炉長方向のレンガ緩みが存在する場合に、炉壁の耐荷重限界が著しく低下することが明らかとなった。この知見は老朽炉壁の補修要否判断の指標となるものであり、炉壁状態に応じた適切な補修によってコークス炉の寿命延長が達成できるものと期待される。

Abstract:

In order to extend the service life of coke ovens, the effect of localized force on oven-wall damage was investigated by discrete element method simulation. A simulation model that comprises three flues and five layers of bricks was constructed and the effect of various wall damages on tolerable limit of localized force was examined. It was found that the following liner brick damages cause extreme decrease in tolerable limit; (1) loss of tongue and groove constraint, (2) wear which reaches tongue and groove (ca. over 35 mm), (3) penetration cracks over 2 mm wide, (4) loss of horizontal constraint. These findings can provide useful guidelines for effective repair of old coke ovens to achieve oven life extension.

1. 緒言

コークス炉の延命を図る上でコークス炉炭化室炉壁の損傷を防ぐことは極めて重要である。特に炉壁破孔は操業や炉体への悪影響が大きく、極力その発生を未然に防ぐことが強く望まれる状況にある。

JFE スチール西日本製鉄所福山地区第 3 コークス炉(1969 年稼働：福山地区最老朽炉)において発生した炉壁破孔事例を調査した結果、そのほとんどは炉壁レンガ 2 枚以下の狭い範囲(最大でも 3 枚)で発生していることが明らかとなった¹⁾。しかしながら、このような狭い範囲での炉壁破孔の発生メカニズムについては十分に理解されておらず、対策を取る上での障害となっていた。これに対し、筆者らは、コークス押出時にコークスケイが炉壁方向に広がってコークス塊と炉壁が接触した点で発生する局所荷重が炉壁破孔の原因となりうると考え、250 kg 試験炉コークスの圧縮試験により炉壁に発生する局所荷重を求めた。その結果、炉壁に発生する荷重は均一でないこと、コークス塊と

炉壁が接触する面積は炉壁面積に比べてかなり小さいこと、炉壁に発生する局所的荷重は圧縮力の増加にともない増大することなどの知見が得られた^{2,3)}。この試験より、押出時にコークス塊と炉壁の接触部分で発生する荷重はばらつきが大きいものの、およそ数百ニュートンのオーダーであると推定され、押詰まりの際に発生する炉壁局所荷重は老朽炉壁の破孔の原因となる可能性が示唆された。

炉壁破孔は、このような局所的荷重がその部位の炉壁の耐荷重限界を上回った場合に発生すると考えられるが、炉壁の耐荷重限界については十分な知見が得られていなかった。石炭乾留中に発生する膨張圧による炉壁崩壊を防ぐ目的で、炉壁全体の耐荷重(耐圧)限界を求めた例は古くからあるが^{4,5)}、局所的な領域における耐荷重限界について、特に老朽化によって損傷を受けたレンガの耐荷重限界について検討した例は、新日本製鐵(株)釜石製鉄所 No. 1 コークス炉において熱間で炉壁に対して荷重載荷を行った報告⁶⁾、炉壁高さ方向に連続した亀裂がある場合の炉壁倒壊を想定した検討⁷⁾などがあるのみである。

このような背景のもと、筆者らは、老朽化によって損傷が進んだ炉壁レンガ構造の局所的荷重に対する耐荷重限界を求めるため、離散要素法シミュレーションを用いた解析

2008 年 7 月 22 日受付

を行った。その結果、破孔発生危険性と炉壁の損傷状態との関係にある程度定量的に把握することができ、炉壁破孔抑止のための補修指針の提示を行うことができたので、その内容について以下に述べる。

2. 解析

解析には Itasca 社の離散要素法ソフト 3DEC を用い、コークス炉を構成するレンガ構造の一部 (3 フリュー、5 段分) を 3 次元的にモデル化した (図 1, 2)。モデルの上方方向からはレンガ重量によって発生する応力 (炭化室の下から約 1.5 m の位置に相当) を載荷、炉長方向の端面には炉締め荷重に相当する応力を載荷し、両端面とも局所荷重の載荷方向に固定の境界条件とした。なお、老朽炉においては目地部の拘束力は期待できないと考え、レンガ目地は省略している。モデルの中心のレンガの長さ方向中央部に欠陥として炭化室から燃焼室に至る貫通亀裂を与え、レンガ表面の貫通亀裂中心から炉長方向に 20 mm フリューガス道中央部方向に離れ、炉高方向中央位置を中心とする直径

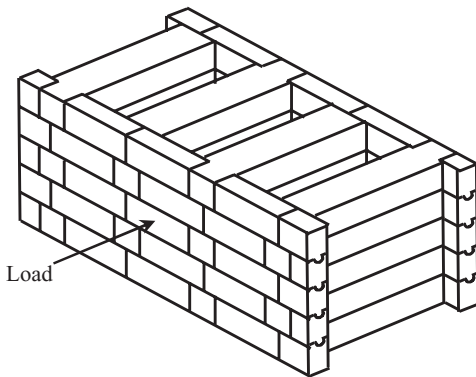


図 1 炉壁構造モデル
Fig.1 Oven wall model

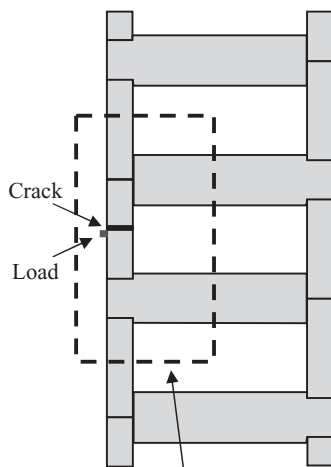


図 2 炉壁構造モデルの載荷位置水平断面
Fig.2 Horizontal sectional view of the model at the level of applied load

20 mm の円に荷重を与えた。載荷荷重を徐々に上昇させていった場合のレンガの変位をシミュレーションし、載荷点が炉壁レンガ幅の半分まで進行した点を破孔発生と判断し、その時の荷重をもって破孔発生荷重とした。解析は、レンガのダボによる拘束の有無、炉壁損耗量、亀裂幅などを変えて行い、炉壁破孔発生荷重に対する炉耐損傷の影響を調査した。

3. 結果と考察

3.1 ダボ損傷の影響

載荷するレンガに幅 5 mm の亀裂を存在させたモデルについて、ダボ損傷の影響を調査した。ダボ損傷はダボの凸

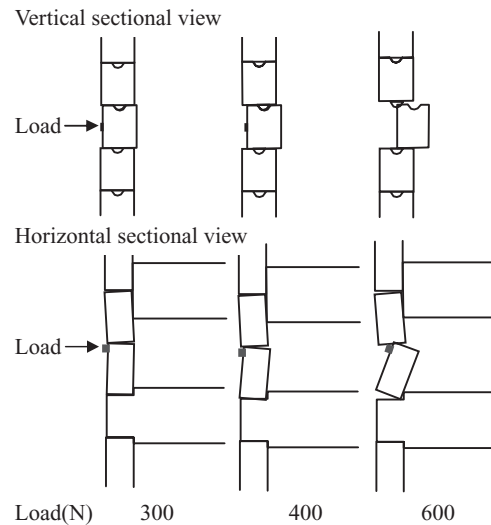


図 3 亀裂幅 5 mm, ダボ無効の場合の炉壁変形
Fig.3 Deformation of oven wall (Crack width: 5 mm, Damaged tongue and groove)

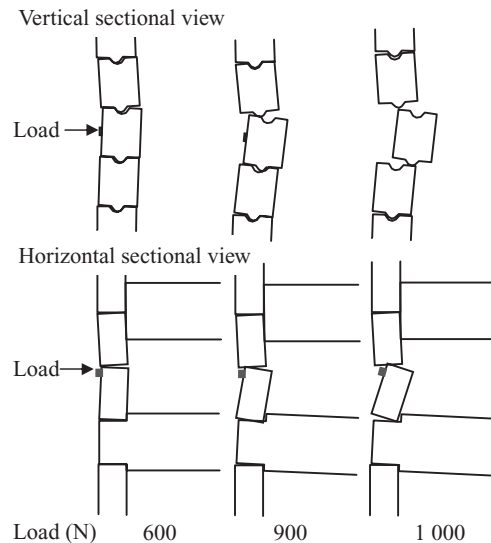


図 4 亀裂幅 5 mm, ダボ有効の場合の炉壁変形
Fig.4 Deformation of oven wall (Crack width: 5 mm, Sound tongue and groove)

部がレンガから離れて動くことができるように、ダボの根元に幅 0 mm の亀裂を入れ、レンガを 2 つの要素に分割することによって表現した。欠陥を与えたレンガに载荷した場合の変位の様子を **図 3** (ダボ損傷のある場合)、**図 4** (ダボ損傷のない場合) に示す。炉壁破孔発生荷重は、ダボ損傷のある場合には 600 N、ない場合には 1000 N となり、ダボによる拘束の有無が炉壁破孔発生に大きく影響することが認められた。コークス圧縮時に炉壁に発生する局部的荷重の値 (数百ニュートン) と比較すると、ダボ損傷のある場合には、炉壁破孔発生の危険性はかなり大きいものと推測される。これに対し、ダボ拘束が有効な場合には、炉壁破孔発生の可能性は低いと判断されるが、シミュレーションにおいてダボによる拘束が有効の場合にはモデル全体が上下方向に膨らむことが認められており、実炉においてはモデル化した部位の外側からの拘束も受けることを考えると、破孔発生荷重は実際にはさらに大きく、破孔発生の可能性は極めて低いものと推定される。

3.2 炉壁損耗の影響

ダボによる拘束が炉壁破孔発生に大きく影響することから、炉壁の損耗が進んでダボによる拘束が失われた場合には破孔危険性が增大することが推定される。そこで、ダボが有効な場合における炉壁損耗量と破孔発生荷重の関係を調査した。炉壁損耗は、载荷側の炉壁全体を炭化室側から削ったように薄壁化して表現した。なお、今回モデル化した健全な炉壁の厚みは 100 mm であり、亀裂幅は 3.1 節で述べた場合と同様 5 mm とした。シミュレーションにより求められた破孔発生荷重と損耗量の関係は **図 5** に示すとおりであり、ダボによる拘束が有効な場合でも損耗量が 35 mm を超えると破孔発生荷重は急激に低下する結果となった。この損耗量は、レンガの端からダボの隆起の端までの距離とほぼ一致しており、ダボに至る炉壁損耗は炉体保全上極めて好ましくないことが推定される。

3.3 亀裂幅の影響

3.1 節において亀裂幅が 5 mm の条件でダボ拘束が失わ

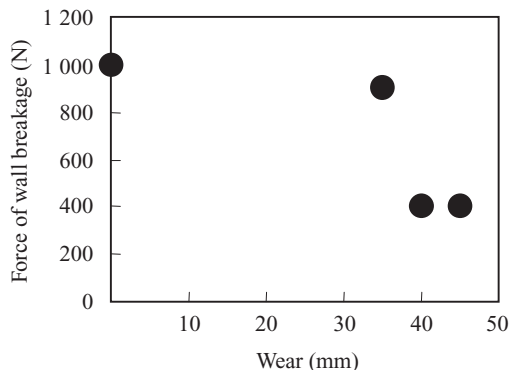


図 5 炉壁損耗量と破孔発生荷重の関係

Fig. 5 Effect of wear on the force of wall breakage

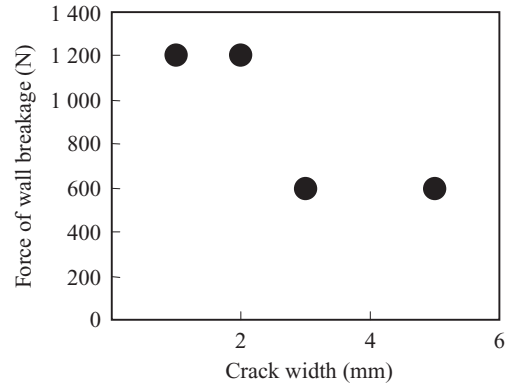


図 6 亀裂幅と破孔発生荷重の関係

Fig. 6 Effect of crack width on the force of wall breakage

れている場合には炉壁破孔危険性が高いことが推定されたが、亀裂幅がより小さい場合には破孔しにくくなることが予想される。そこで、ダボ拘束が失われた条件において亀裂幅を変えたモデルを用い、その影響を調査した。結果は **図 6** に示すとおりであり、亀裂幅が 2 mm 以下ではダボによる拘束が失われていても炉壁破孔危険性は小さいことが推定された。なお、この場合、解析結果はモデルの炉長方向端面の境界条件に依存して変わることが認められた。すなわち、炉長方向変位拘束とした場合に比較し、境界条件を炉締め力による応力境界とし、レンガ構造の変位が炉長方向に発生しようとした場合には亀裂幅 1 mm であっても炉壁破孔発生荷重は 600 N と低く、破孔の危険性が大きいという結果となった。炉長方向にレンガが変位可能な条件は、炉体の膨張収縮や、炉壁における複数の亀裂の存在、タイロッド損傷などにより、レンガ積み構造が緩みうる状態に相当するものと考えられ、このような状態もまた破孔危険性を増大させるものと推定される。

4. 結言

離散要素法シミュレーションによりコークス炉炉壁レンガ損傷の程度と炉壁破孔危険性の関係を定量的に解析した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) ダボによる拘束が失われると耐荷重限界は著しく低下する。
- (2) ダボが健全であっても炉壁損耗がダボにまで達した場合には炉壁破孔危険性が增大する。
- (3) ダボによる拘束が失われた場合でも亀裂幅が 2 mm 以下であれば破孔危険性は低い。
- (4) 亀裂幅が小さくとも、炉長方向にレンガが緩みうる場合には破孔危険性が增大する。

以上の知見のそれぞれに対応し、以下のような炉体延命を図るための炉体管理上の提言が可能である。

- (1) ダボ損傷の有無の検知は困難であるが、レンガ差替えなどでダボによる拘束が期待できなくなっている炉壁

の部位については、そのレンガの損傷状態に注意が必要である。

- (2) 炉壁損耗がダボまで達した場合（損耗量 > 約 35 mm）、その部位は肉盛り溶射などによりレンガ厚みの回復を行う必要がある。
- (3) 亀裂幅 > 2 mm の亀裂は線溶射などにより補修することが望ましい。
- (4) 炉長方向にレンガの緩みが発生した場合、レンガの拘束のための補修（緩みの大きい場合には積替えなど）が必要である。

参考文献

- 1) 下山泉, 板垣省三, 藤本英和, 角谷秀紀. CAMP-ISIJ. 2002, vol. 15, p. 77.
- 2) Shimoyama, I.; Itagaki, S.; Fukada, K.; Miyake, T.; Kadoya, H.; Tahara, T. Proc. of 4th European Coke and Ironmaking Congress, ATS, Paris, 2000, p. 425-429.
- 3) 下山泉, 板垣省三, 花岡浩二, 深田喜代志, 藤本英和, 山本哲也, 角谷秀紀. CAMP-ISIJ. 2003, vol. 16, p. 977.
- 4) W. Ahlers. Stahl Eisen. 1959, vol. 79, p. 397-405, p. 622-629.
- 5) 平橋敬資, 堀尾竹弘, 大川清. 耐火物. 1984, vol. 36, p. 378-383.
- 6) 藤平耕一, 伊藤雄, 大塚純一, 狩野強, 村上富士雄. コークスサーキュラー. 1987, vol. 36, p. 153-157.
- 7) 佐藤央, 佐地孝文, 富山博次. CAMP-ISIJ. 1997, vol. 10, p. 1025.



下山 泉



山本 哲也