

(70) Raceway 破壊現象および流通分布におよぼす羽口条件の影響 (高炉操業に関する検討-I)

川崎製鉄, 千葉製鉄所

安藤 博文・○浜田 尚夫

Influence of Tuyere Conditions on Destruction of Raceway and Flow Distribution.

(Some consideration of blast furnace practice-I)

Hirobumi ANDO and Takao HAMADA.

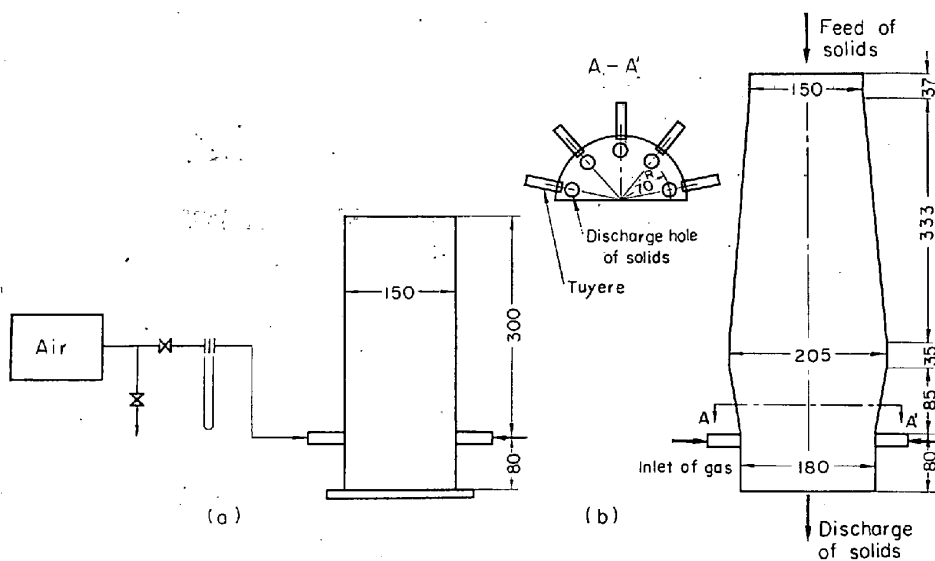


Fig. 1. Outline of experimental apparatus.

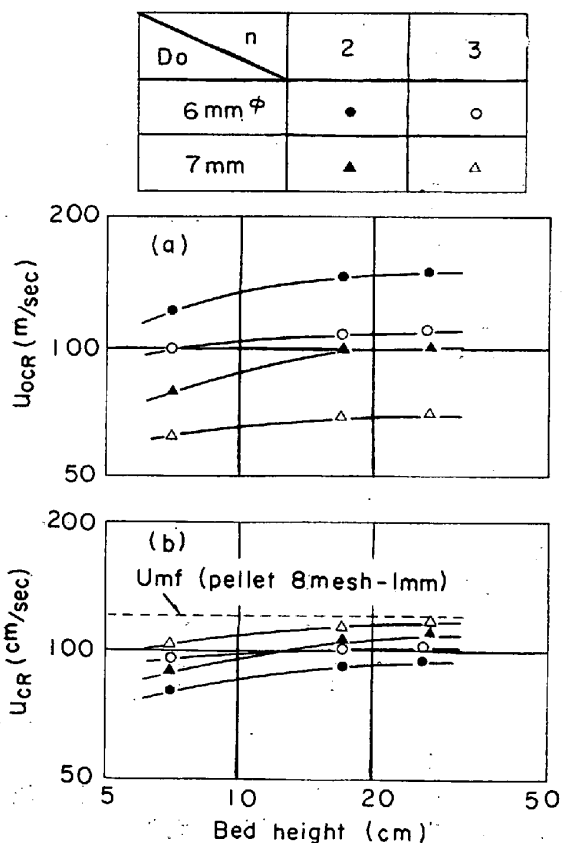


Fig. 2. Typical examples of  $U_{OCR}$  and  $U_{CR}$ .

1. 緒言

充填層羽口送風において流量がある限界値以上になると Raceway の均衡が破れて Raceway 空間の上部が破壊する現象が起こることが報告されている。高炉において Raceway が破れて吹き抜けが起こるとガスと粒子の接触が悪くなり炉況を悪化させる一因ともなる。また高炉においては炉内のガス流通分布が高炉操業さらには生産性に与える影響は非常に大きいと考えられる。ここでは、Raceway 破壊現象および流通分布と装入物・羽口条件との関連について模型実験によって検討した。

2. Raceway 破壊現象について

2.1 実験装置および方法

実験装置の概要を Fig. 1 に示す。装置 (a) は 150φ 円筒形半裁模型、(b) は川鉄 No. 1 高炉の 1/40 半裁模型で、前面は透明樹脂板を使用している。いずれも羽口径および羽口数を変えることが可能で、(b) は連続的に粒子を下降させることもできる。流体は常温空気を使用し、装入物は各種粒径のコークス、鉄鉱石およびペレットを使用した。

2.2 実験結果および考察

2.2.1 基礎的考察

Raceway における力の均衡を考えると Raceway が破れるためには、一般に次の関係が成立しなければならない。

$$(\text{周囲の粒子層より受ける力}) < (\text{流体より受ける浮力}) + (\text{運動流体より受ける力}) + (\text{循環運動している粒子より受ける力})$$

通常の充填状態でガスを吹込んでいる場合には運動流体より受ける力が支配的であるので、Raceway 上部の静止層が破れるかどうかは、羽口線速度によって与えられる循環粒子の運動エネルギーの大きさよりも、充填層みかけガス流速の大きさに著しく影響されると考えられる。

2.2.2 円筒形半裁模型による実験

装入物が同じで羽口を変えた場合について比較した例を Fig. 2 に示す。羽口数あるいは羽口径によって Raceway が破れる羽口線速度  $U_{OCR}$  は大きく異なるのに対して、Raceway が破れる充填層みかけ線速度  $U_{CR}$  で比較すればその差は少なくなり、羽口数が少なく羽口径の小さいほど小さいガス流速で Raceway が破壊している。しかもいずれの羽口の場合でも、 $U_{CR}$  はこの場合のペレットの流動化開始速度  $U_{mf}$  よりも少ない。このことはコースおよび鉄鉱石の各種粒径についても同様であつて前述の考察が成り立つことが確かめられた。

各粒子各粒径間の関連を検討するために、各粒子に対する常温空気による流動化開始速度  $U_{mf}$  の実測値と装置断面積  $A_T$  を用いて  $U_{CR}$  および羽口面積  $A_o$  を無次元

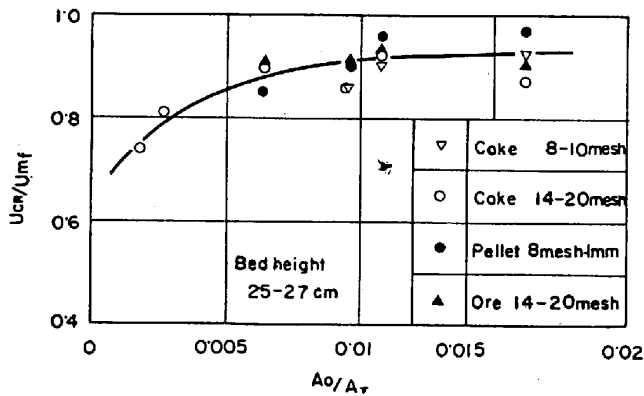


Fig. 3. Relation between  $U_{CR}/U_{mf}$  and  $A_0/A_T$ .

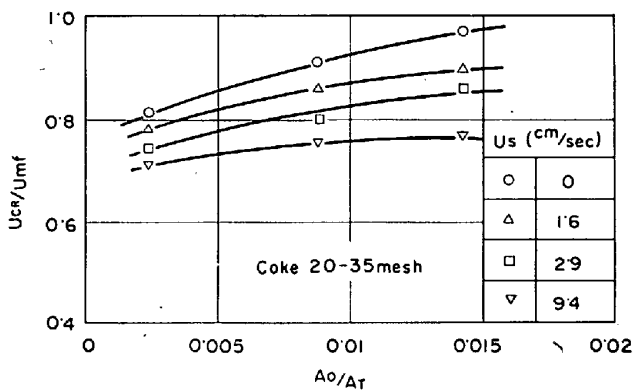


Fig. 4. Effect of descending rate of solids.

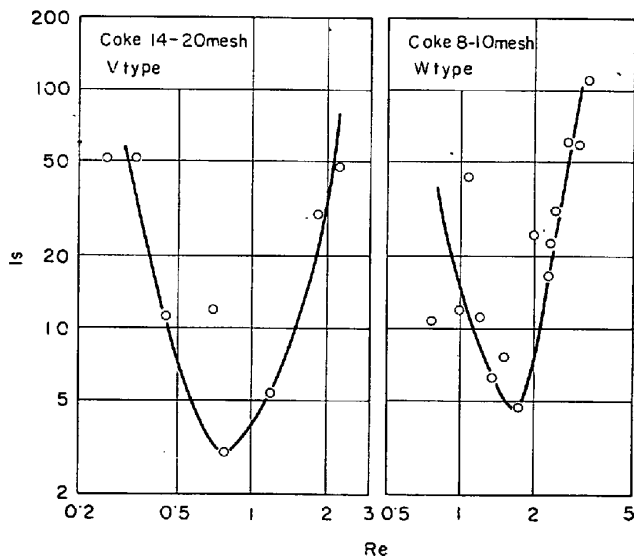


Fig. 5. Relation between  $I_S$  and  $Re$ .

化して、 $(U_{CR}/U_{mf})$  対  $(A_0/A_T)$  の形で図示すると Fig. 3 のように層高が同じならば各粒子・粒径および羽口数・羽口径の区別なく一定の関係が得られた。

2.2.3 高炉半裁模型による実験

(1) 回分実験

Raceway の破壊現象に対する基本的な考え方は高炉模型においても前述の場合と同様である。高炉模型では

Raceway の中心は羽口中心線上より上部の朝顔部分にあり、炉腹部分が破れて Raceway が破れることが観察されたので、Raceway 破壊現象に対する有効断面積として炉腹断面積をとり、流速も炉腹断面積基準で考えて  $U_{CR}/U_{mf}$  対  $A_0/A_T$  の形にすると羽口径および羽口数の大きいほど Raceway は破れにくく、前と同様の傾向を示すが、高炉模型では羽口数の差があらわれて、 $A_0/A_T$  だけでは羽口数の相異を統一することができなかった。

(2) 粒子移動速度の影響

粒子を連続的に移動した場合についての実験結果の例を Fig. 4 に示す。粒子の移動速度  $U_s$  の大きいほど Raceway が破れやすいのは、粒子の移動速度の差によって空間率の分布が生じてガスの流速分布の不均一性を助長すること、さらに粒子の移動による摩擦係数の減少によって粒子が動きやすくなることなどによると考えられる。

3. 羽口流通分布について

3.1 実験装置および方法

内径 150φ、羽口数 12 本の円筒形装置の充填層を用いて羽口径および羽口数を変えて、充填層上の流速分布を熱線風速計によって測定した。粒子は単一粒径のコークスを充填しガスは空気を用いた。

3.2 実験結果および考察

3.2.1 流量分布

充填層を 3 つの等面積の環状帯部分——周辺部、中間部、中心部——に分けて各部分での平均的な空間率は等しいと仮定して流速分布を面積換算して各部分の流量割合を求めた。流量分布を流通型によって大別すると、各部分の流量割合の大きさによって V 型、W 型、逆 W 型、逆 V 型に分類される。装入物条件や羽口条件によってどの型の流量分布になるか決まるが、定量的にはまだ明確でない。

3.2.2 流量分布と羽口条件との関連

流量分布を比較する定量的な目安として次のような指数  $I_S$  を用いた。

$$I_S = 1/3 \sum (q_i - 33.3)^2 \dots\dots\dots (1)$$

ここに  $q_i$  は周辺、中間、中心部での各流量割合 [%] この指数  $I_S$  を用いて流量分布の不均一性と羽口条件との関連を検討した結果、 $I_S$  と羽口レイノルズ数  $Re$  との間に Fig. 5 に示すような関係があり、レイノルズ数がある値になる羽口条件のときに  $I_S$  は最小になり流量分布は最も均一になった。そのときのレイノルズ数を  $Re_m$  とすると、コークス粒子については  $Re_m$  と粒径  $D_p$  との間につきのような関係が得られた。

$$Re_m = (\rho U_0 D_0 / \mu)_m = 7.5 \times 10^4 D_p \dots\dots\dots (2)$$

ここに  $U_0$ : 羽口ガス流速 cm/sec,  $D_0$ : 羽口径 cm,  $\rho$ : 羽口でのガス密度 g/cm<sup>3</sup>,  $\mu$ : 羽口でのガス粘度 g/cm·sec,  $D_p$ : 粒径 cm.

4. 結 言

Raceway 破壊現象および流通分布におよぼす装入物および羽口条件の影響について模型実験装置を用いて検討した結果、次のことが明らかとなった。

(1) Raceway の破れる現象は装入物粒子の流動化開始速度に対する充填層ガス流速の大きさに最も左右される。

(2) 粒子層高が等しければ,  $U_{CR}/U_{mf}$  と  $A_0/A_T$  との間には, 粒子種類・粒径あるいは羽口条件にかかわらずほぼ一定の関係が成立する。

(3) Raceway は  $A_0/A_T$  が大きいほど, 粒子層高の大きいほど破れにくく, 粒子の移動速度が大きいほど破れやすい。

(4) 流量分布が最も均一になる羽口条件は  $Re=7.5 \times 10^4 D_P$  ( $D_P$ : cm) で与えられる。

文 献

- 1) 八幡製鉄: 学振 54 委-868 (1964)

(71) 充填層物理性状におよぼす装入物粒度構成の影響

(高炉操業に関する検討—II)

川崎製鉄, 千葉製鉄所

安藤 博文・○浜田 尚夫

Influence of Size Distribution of Materials on Physical Aspects of Packed Bed.

(Some consideration of blast furnace practice—II)

Hirobumi ANDO and Takao HAMADA.

1. 緒 言

平均粒径が等しい装入物でもその粒度構成が異なれば充填層の物理性状におよぼす影響に差異のあることは当然予想される。通気度, 吹き抜け速度, Raceway 形状, 流通分布におよぼす粒度構成の影響について模型実験を行ない, あわせて粒度構成の表示法についても検討した。

2. 実験装置および試料

圧力損失の測定および充填層の吹き抜け実験に用いた装置の概要を Fig. 1 に示す。Raceway 破壊実験および羽口流通分布についての実験装置は前報と同じものを使用した。実験に用いたコークスの粒度構成の例を Table 1 に示す。

3. 通気抵抗に対する影響

3.1 通気抵抗指数

充填層装入物の通気度を表示する方法は種々考えられ

るが, その装入物についての通気度が実測できる場合には, 児玉ら<sup>1)</sup>の定義した通気抵抗指数  $\Phi$  が便利であると考えられる。これを用いれば圧力損失の式は (1) 式で表わされる。

$$\Delta P/L = \Phi \mu \beta \rho^{1-\beta} u^{2-\beta} \dots\dots\dots (1)$$

ここに  $\Delta P$ : 圧力損失,  $L$ : 層高,  $\mu$ : 流体粘度,  $\rho$ : 流体密度,  $u$ : 空塔基準の流体線速度。

$\beta$  は充填層の摩擦係数とレイノルズ数との関係から, 層流域では 1, 転移域では 0.3, 混流域では 0.1 が使われている。高炉シャフト部においては  $\beta=0.3$  が適応できると考えられるので, 本実験においては混流域の実験条件で常温空気によつて圧力損失を測定した。コークス試料についての通気抵抗指数の測定例を Table 1 に併記した。

3.2 粒度構成の表示

装入物の通気抵抗指数は実測によるのがもつとも正確であるが, 一方では粒度構成の変わるたびに測定しなければならず実用上不便なこともある。そこで装入物の粒度構成から通気抵抗指数を推算する方法について検討した。

通気抵抗指数の内容はその定義から転移域では次のように表わされる。

$$\Phi = C' (1/D_P^3) ((1-\epsilon)^{1.3}/\epsilon^3) \dots\dots\dots (2)$$

ここに  $D_P$ : 粒径,  $\epsilon$ : 空間率,  $C'$ : 定数。

粒度構成の相異による通気抵抗の差を平均粒径と空間率で補正する考え方から粒度構成を表わす指数  $I_P$  を導入した。二つの篩目  $d_1, d_2$  にはさまれた試料の平均径

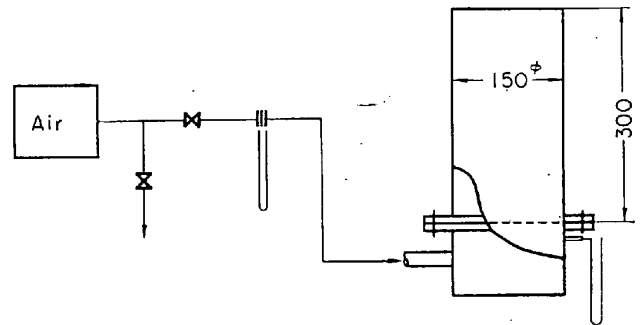


Fig. 1. Outline of experimental apparatus.

Table 1. Typical examples of size distribution.

R	S										
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11
4~6								0.05	0.10	0.10	0.05
6~8				0.025	0.05	0.143		0.15	0.20	0.25	0.10
8~10		0.05	0.10	0.05	0.10	0.143	0.10	0.60	0.40	0.50	0.50
10~14	0.20	0.15	0.20	0.15	0.20	0.143	0.20	0.15	0.20	0.10	0.25
14~20	0.60	0.60	0.40	0.55	0.30	0.143	0.60	0.05	0.10	0.05	0.10
20~28	0.20	0.15	0.20	0.15	0.20	0.143	0.10				
28~35		0.05	0.10	0.05	0.10	0.143					
35~48				0.025	0.05	0.143					
$D_p$ (mm)	0.965	0.949	0.922	0.923	0.872	0.787	1.06	1.89	1.84	2.04	1.72
$I_p$	0.0543	0.113	0.217	0.240	0.527	1.39	0.107	0.118	0.224	0.148	0.164
$I_p/D_p$	0.560	1.18	2.36	2.61	6.05	17.6	1.01	0.622	1.22	0.725	0.956
$\Phi$ [CGS]	1.74	1.83	2.25	2.03	2.94	3.99	1.50	0.53	0.65	0.50	0.67

S: sample. R: range (mesh).