

論 文

焼結原料の造粒および通気現象のモデル化の検討

佐藤 駿*・吉水真弓*²・一伊達 稔*³・川口尊三*

Consideration on the Granulation and the Bed-permeability Model of Sinter Raw Materials

Shun SATO, Mayumi YOSHINAGA, Minoru ICHIDATE, and Takazo KAWAGUCHI

Synopsis :

Using the various sinter raw materials, the main controlling factors for the granulation and the bed-permeability of sinter raw materials were investigated.

The results were obtained as follows :

1) The particle size, the water-absorbability and the added water content were the main controlling factors for the granulation and the bed-permeability of sinter raw materials.

2) By the use of these factors, the granulation and the bed-permeability of the sinter raw materials were uniformly formulated with the numerical model.

3) This model simulation was in good agreement with the observed values.

This model can estimate the suitability of material combination for sinter.

1. 緒 言

焼結鉱の生産において、原料鉄鉱石の造粒と通気性は重要な要因の1つでありこれまでに数多くの報告がなされている^{1)~8)}。造粒機の機械的特性、水分の添加量及びバインダー添加量等の造粒操作条件の他にも、造粒される原料鉄鉱石の銘柄固有の性状が造粒及び通気性に少なからぬ影響を及ぼしているが、鉱石銘柄特性を整理した報告は少ない。

本報では、焼結原料の造粒及び通気性に及ぼす原料鉄鉱石銘柄特性の影響について基礎的な検討を行い、その実験結果に基づき影響要因を再構成することでモデル化を試み、実機焼結機の操業データとの対応性を検討した結

果、実機適用の可能性が確認できたので以下に報告する。

2. 実験方法

実験に用いた原料鉄鉱石の化学成分と粒度分布を Table 1 に示した。これらの鉱石は通常使用されている代表的な銘柄であり、これら鉱石 66% にそれぞれ返鉱 16.5%、石灰石 13% 及び粉コークス 4.5% 一定比率を加えて混合し、試験用ドラムミキサー (400φ×600L) により水を添加しつつ一定の転動条件下 (25 rpm×4 min) で造粒を行つた。ミキサーの造粒操作により形成された擬似粒子の粒度分布はロータップシェーカーを用いて通常のふるい分け法により 1 mm 径以上の大きさ

Table 1. Chemical composition and size distribution of raw materials.

| Materials | Chemical composition (%) | | | | | | | | Size distribution (%) | | | | | | | | |
|------------|--------------------------|------|------------------|--------------------------------|------|-----|------------------|-------------|-----------------------|------|------|-------|----------|------------|--------|------|--|
| | T. Fe | FeO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | TiO ₂ | C. W +7 m/m | 7-5 | 5-2 | 2-1 | 1-0.5 | 0.5-0.25 | 0.25-0.125 | -0.125 | | |
| Ore A | 62.0 | 0.1 | 4.3 | 2.9 | 0.1 | 0.4 | 0.2 | 1.2 | 8.1 | 10.2 | 22.2 | 14.0 | 10.4 | 5.6 | 12.2 | 17.3 | |
| " B | 61.3 | 0.1 | 6.3 | 2.8 | 0.1 | 0.5 | 0.2 | 1.5 | 8.9 | 9.4 | 25.1 | 17.3 | 12.0 | 8.2 | 9.7 | 9.4 | |
| " C | 64.7 | 0.1 | 4.5 | 0.6 | 0.1 | 0.5 | 0.2 | 0.7 | 10.9 | 6.6 | 14.2 | 9.7 | 7.0 | 2.6 | 13.2 | 35.9 | |
| " D | 64.9 | 21.9 | 3.6 | 0.4 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 0.4 | 0 | 0 | 3.4 | 12.2 | 25.8 | 19.9 | 19.5 | 19.3 | |
| " E | 57.3 | 0.1 | 6.3 | 3.4 | 0.1 | 0.7 | 0.8 | 8.1 | 10.5 | 12.6 | 24.1 | 17.8 | 12.8 | 10.2 | 10.1 | 1.9 | |
| Return | 53.3 | 8.3 | 7.2 | 2.0 | 11.0 | 2.5 | 0.9 | 0.1 | 0.9 | 10.7 | 51.7 | 17.9 | 9.3 | 4.3 | 3.6 | 1.6 | |
| Lime Stone | 0.1 | 0.1 | 1.1 | 0.2 | 57.6 | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 26.8 | 21.8 | 11.2 | 5.1 | 7.4 | 27.2 | |
| Coke | 2.4 | 1.3 | 6.3 | 3.3 | 0.8 | 0.4 | 0.3 | 1.3 | 3.6 | 3.6 | 12.9 | 14.1 | 16.6 | 13.3 | 21.4 | 14.5 | |

昭和 56 年 11 月本会講演大会にて発表 昭和 57 年 3 月 15 日受付 (Received Mar. 15, 1982)

* 住友金属工業(株)中央技術研究所波崎研究センタ (Hasaki Research Center, Central Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 16 Oaza-Sunayama Hasakimachi Kashima-gun 314-02)

*² 住友金属工業(株)中央技術研究所波崎研究センタ 理博 (Hasaki Research Center, Central Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

*³ 住友金属工業(株)中央技術研究所波崎研究センタ 工博 (Hasaki Research Center, Central Research Laboratories, Ltd.)

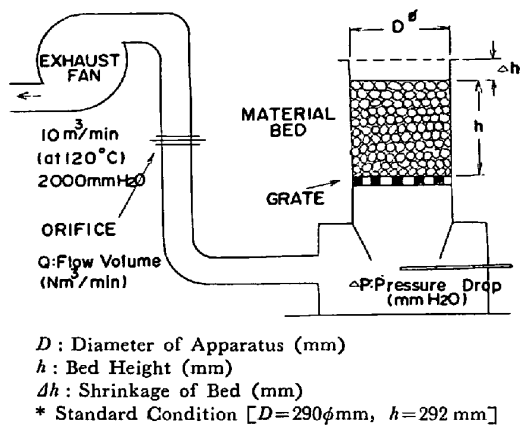


Fig. 1. Outline of the experimental apparatus.

の粒子について測定を行い、代表粒子径としてふるい下累積比率 50% に相当するメディアン径を採用した。

造粒された配合原料は Fig. 1 で示されるように、290 mm 径の試験鍋に装入れ基準層厚 292 mm にて通常の下方吸引方式で通気試験を行つた。原料充填層の通気性の評価は(1)式で示される J. P. U. 指数を用いて整理した。

$$J. P. U. = v(h/\Delta P)^{0.6} \quad \text{ただし, } v = Q/A \dots (1)$$

ここで、 v : 流速 (m/min) Q : 流量 (m³/min)

A : 断面積 (m²) h : 層厚 (mm)

ΔP : 圧力損失 (mmH₂O)

通気試験の一部は直径 105 mm 試験鍋でも行つたが、鍋のサイズによる通気度への影響は認められなかつた。

3. 実験結果および考察

3.1 造粒と通気性に及ぼす原料水分の影響

添加水分量を変化させた時の造粒及び通気性に及ぼす水分の影響を鉱石 B について Fig. 2 に示した。この結果によれば、焼結原料の造粒性及び通気性は添加水分量により 3 つの領域に分類することができる。水分 3% 以下では添加された水分が鉱石粒子に吸収され粒子表面でのバインダー効果が弱く造粒が進行しないため、通気性は低く留まる。次いで水分値が 3% を越え 7.5% までは鉱石粒子内への水分吸収は飽和し粒子表面を濡らした水分がバインダー効果を生ずる。この効果により造粒粒子は成長し、それに伴つて通気性が向上する。さらに、水分含有率が 7.5% を越えると造粒は継続して進む傾向が認められるにもかかわらず通気性は逆に低下してくる。この現象は過剰な水分が造粒粒子間空隙を埋めるために充填層を通過する空気の流れが妨げられるものと考えられる。このように水分添加量の造粒性、通気性への一連の変化はすべての鉱石銘柄について現れ、

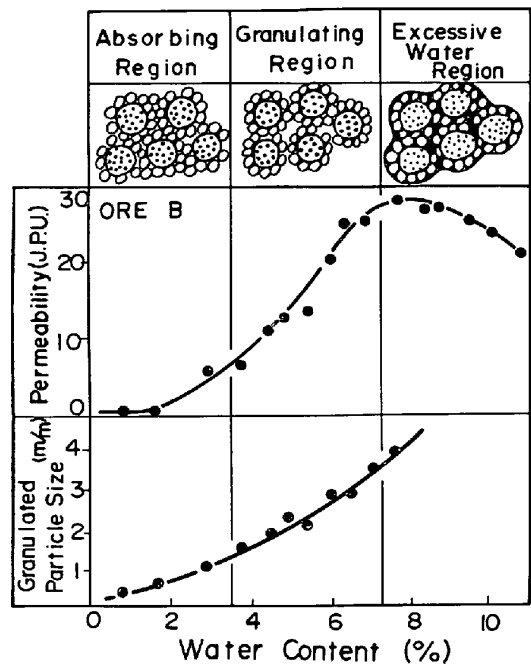


Fig. 2. Relations between permeability and granulated particle size and water content.

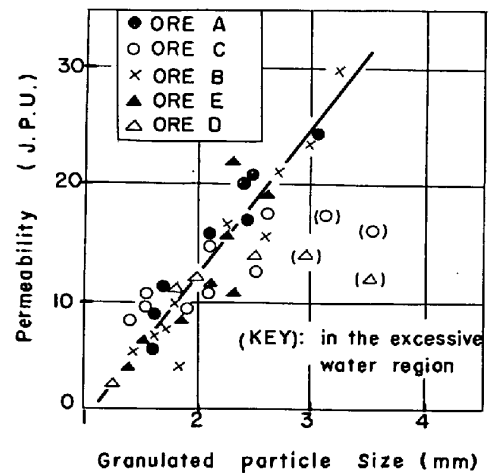


Fig. 3. Relationship between permeability and granulated particle size.

Fig. 2 上部模式図に示すように吸収域、造粒域及び過剰水分域に整理されるが、梅屋の充填様式⁹⁾に示される索状(ファニキュラー)域が造粒域に、キャピラリー領域が過剰水分域に、それぞれ、対応するものと考えられる。この 3 つの領域を区分する限界水分量は使用する原料鉱石銘柄種に依存している。また Fig. 3 に示すように適量的水分添加量で構成される造粒域では造粒粒子径と通気度とは鉱石銘柄種によらず良い対応を示しているが、過剰水分域になるとこの関係は成立しない。

次に造粒性、通気性に及ぼす水分量の影響を明らかにするため、造粒に先立つて 5 種類の鉱石銘柄の粒度分布がメディアン径で 0.5 mm 一定となるように調整した。

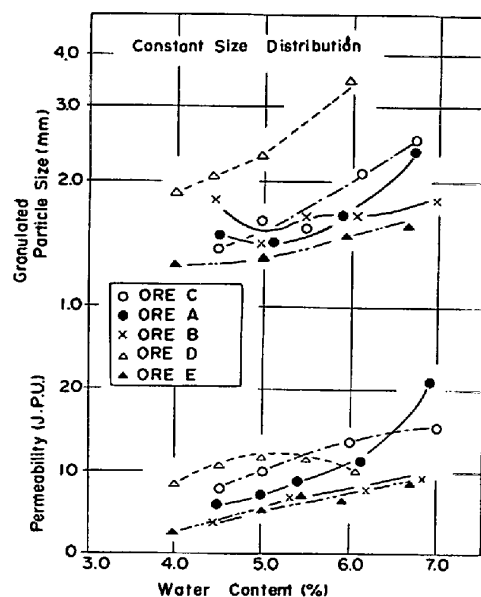


Fig. 4. Influence of ore characteristics on granulation and bed-permeability.

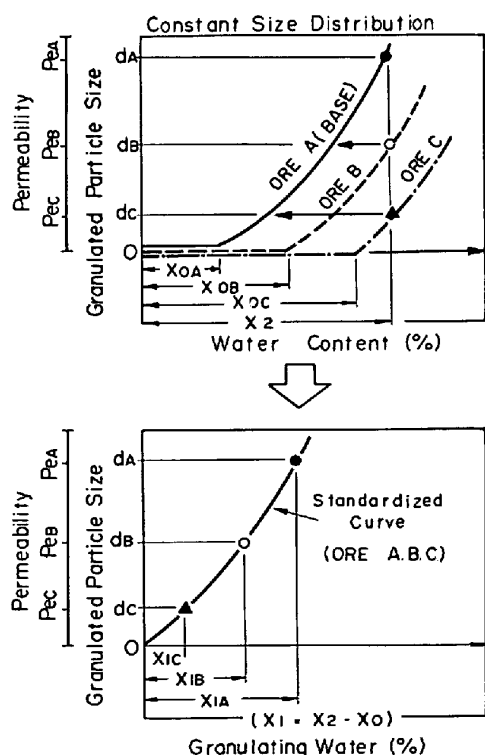


Fig. 5. Schematic diagrams of granulating water.

このように調整された鉱石を用いた造粒通気試験の結果を Fig. 4 に示す。乾燥状態で粒度分布構成が同一であっても、造粒と通気の挙動は鉱石と水との相互作用が個々の原料銘柄特性で異なるために差を生ずる。造粒域において、鉱石と水との相互作用は鉱石の種類にかかわらず共通に粒子表面で生ずる現象なので、同一の水含有量のときの造粒粒子径及び通気度の相違は、個々の鉱

石種の粒子内への吸収水分量の差に起因するものと考えられる。この観点に立てば鉱石銘柄ごとの造粒及び通気曲線は乾燥粒度分布を固定すると鉱石銘柄ごとの吸収水分量の分だけ水分軸上で相互にシフトすることになる。これらの関係を模式的に表したものが Fig. 5 である。この図で X_0 (X_{0A} , X_{0B} , X_{0C}) で示した水分量が鉱石銘柄の特性によつて異なる吸収水分量を示しており、添加全水分量から鉱石銘柄に固有の吸収水分量を差し引いた水分量 X_1 (X_{1A} , X_{1B} , X_{1C}) が造粒に寄与する水分量を意味し、この造粒水分量で整理すると各鉱石銘柄ごとの造粒通気曲線は単一の関係で整理することができる。そこで前出の Fig. 4 の関係の横軸を造粒に寄与する水分量で整理すると Fig. 6 が得られる。この時の各鉱石銘柄ごとの横軸の移動量は鉱石 E を基準に整理したものであ

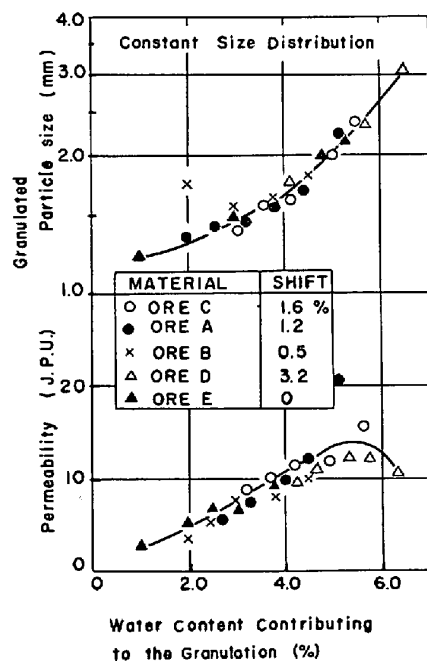
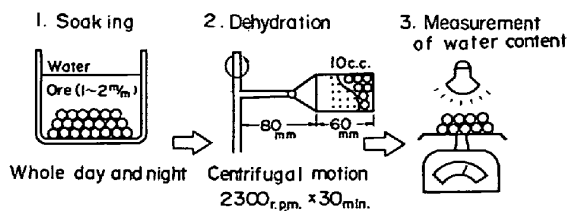


Fig. 6. Correction of the absorbed water content.



| Materials | Absorbed Water Index |
|-----------|----------------------|
| Ore A | 5.8 |
| " B | 5.8 |
| " C | 2.5 |
| " D | 2.0 |
| " E | 6.2 |
| " F | 6.4 |

Fig. 7. Measurement of absorbed water index.

り、造粒及び通気曲線は鉱石銘柄種によらず単一の関係で整理することができた。

次に原料鉱石銘柄に固有の水分吸収量の測定法を標準化する必要があるが、本報では Fig. 7 に示すように 1~2 mm に整粒した鉱石を一昼夜水中に浸漬させた後、一定回転条件の遠心脱水機にて粒子表面の付着水分を除去し、粒子内に残留する水分量を赤外線乾燥水分計にて求め、この水分値をもつてその鉱石の「吸水性指数」と定義した。この吸水性指数は造粒通気曲線から得られる吸収水分量と Fig. 8 に示すように良い対応を示し、また Fig. 6 で前出した水分軸の移動量とも対応している。

しかし、鉱石銘柄の特性の 1 つである吸水性は本来普遍的な物理量で整理するのが望ましいので鉱石の吸水性に因ると考えられる粒子の比表面積およびキャピラ

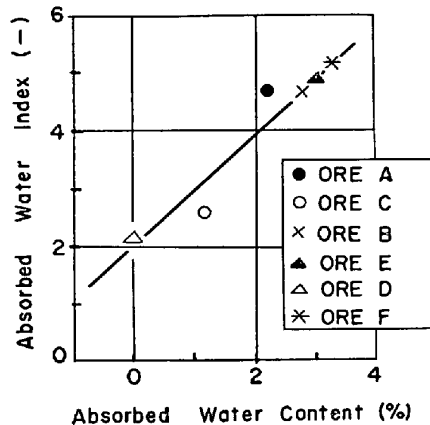


Fig. 8. Relationship between absorbed water index and absorbed water content.

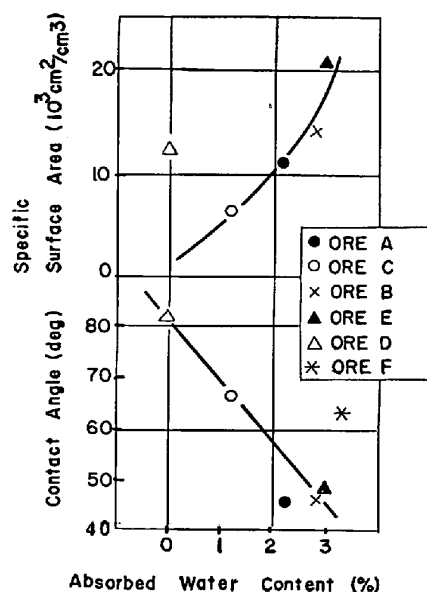


Fig. 9. Relationship between the absorbed water content and ore surface characteristics.

リー法で測定した鉱石と水との接触角¹¹⁾と本報の吸収水分量との対応性について検討した結果を Fig. 9 に示した。

この結果によると、いずれの関係においても例外的に外れる鉱石銘柄のあることが認められ、必ずしも単一の物理量で整理することは困難と考えられる。

3.2 造粒と通気性に及ぼす粒度の影響

鉱石 A の場合を例をとつてメディアン径で、それぞれ、0.5, 0.8, 1.45 及び 2.15 mm となるように 4 つの粒度構成を調整し、それぞれの粒度構成の造粒性、通気性に及ぼす影響を Fig. 10 に示した。このように造粒粒子径及び通気性は造粒前の乾燥粒子径に依存し、乾燥粒子径が大きいほど造粒に要する水分量は少なくて済む。このことは単位重量当たりの鉱石粒子の表面積が原料粒子径に反比例することで説明される。

3.3 造粒と通気性に及ぼす原料特性と粒度の影響

次に造粒と通気性に及ぼす原料特性と粒度の組み合わせられた影響について検討した。このことは原料鉱石の本来保有している条件下で鉱石と水との相互作用を検討することに他ならない。Fig. 11 には横軸に造粒に寄与する水分量をとつて通気性への影響を粒度別に示している。乾燥粒子径 0.5 mm の場合は種々の鉱石銘柄の例も含めて示しており、造粒と通気性は鉱石銘柄特性に因する吸収水分量を補正した造粒に寄与する水分量と乾燥粒子径が定まると、鉱石銘柄種によらず一律に整理で

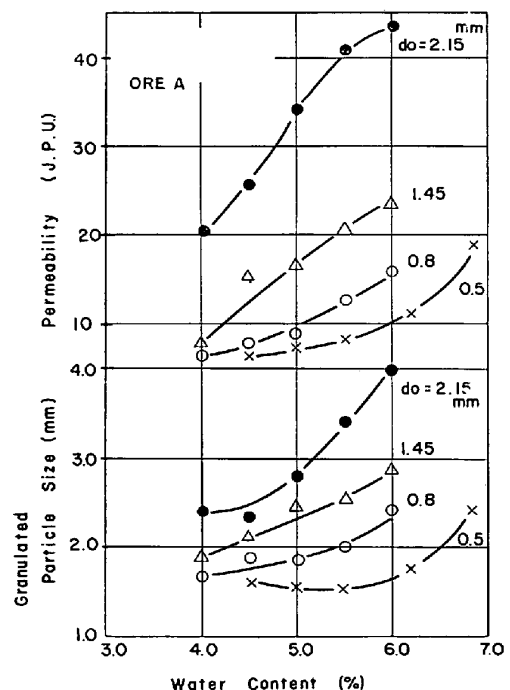


Fig. 10. Influence of the particle size on granulation and bed-permeability.

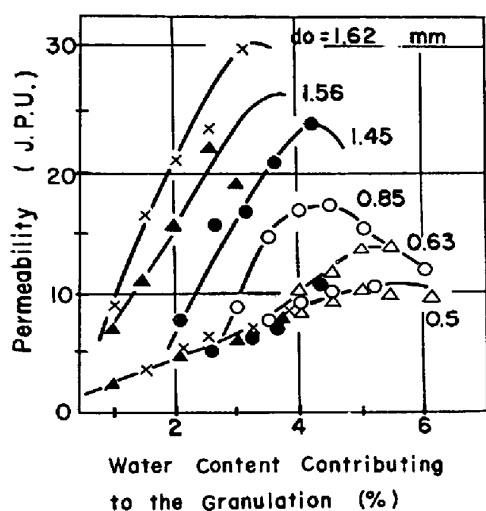


Fig. 11. Influences of the particle size and the water content contributing to the granulation on the bed-permeability.

きることを示している。従つて、これまでの検討は主原料鉱石に限定されるものではなく、返鉱、石灰石及び粉コークスのような副原料や燃料に関しても同様の基準に基づいて取り扱うことが可能であり、配合原料全体として平均的な評価をも可能とするものである。

3.4 充填層の通気性に及ぼす空隙率の影響

これまで造粒と通気性に及ぼす鉱石と水分との相互作用について検討を行つたが、実際の焼結機の原料装入操作では充填度を調整することも行われる。従つて、造粒粒子の自然な充填状態の他に装入操作等による空隙率の変化についても検討する必要がある。この目的のため造粒粒子を装入した後、充填層の圧縮度を変化させることで見掛けの空隙率を変えた通気試験を行つた。この結果

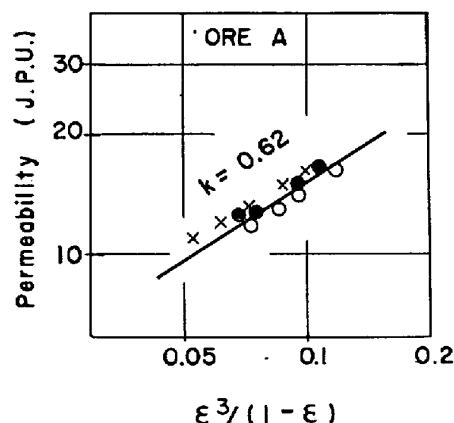


Fig. 12. Relationship between permeability and voidage.

を鉱石Aについて Fig. 12 に示した。この結果によれば充填層の圧縮度を変化させても、 $\epsilon^3/(1-\epsilon)$ 項 (ϵ : 空隙率) の J. P. U. 通気度に及ぼす関係は大差なく、その直線の勾配は $k=0.62$ と計算されるので、J. P. U. 経験式と ERGUN¹⁰⁾ の圧損式の空隙率に関する項とは 0.6 乗則で結合しても、実際上の問題は少ないものと考えられる。

4. 造粒通気モデル

以上の実験結果と検討に基づいて造粒通気モデルの開発を試みた。造粒通気モデルのフローダイアグラムを Fig. 13 に示した。なおモデルの入力に用いられた原料鉱石銘柄個々の特性値をまとめて Table 2 に示した。

個々の原料の基本的特性値がまず計算される。造粒粒子の見掛け密度 ρ_i^* は水分量 x_2 により乾燥粒子の見掛け密度 $\bar{\rho}_1$ を補正することで(2)式のごとく計算される。

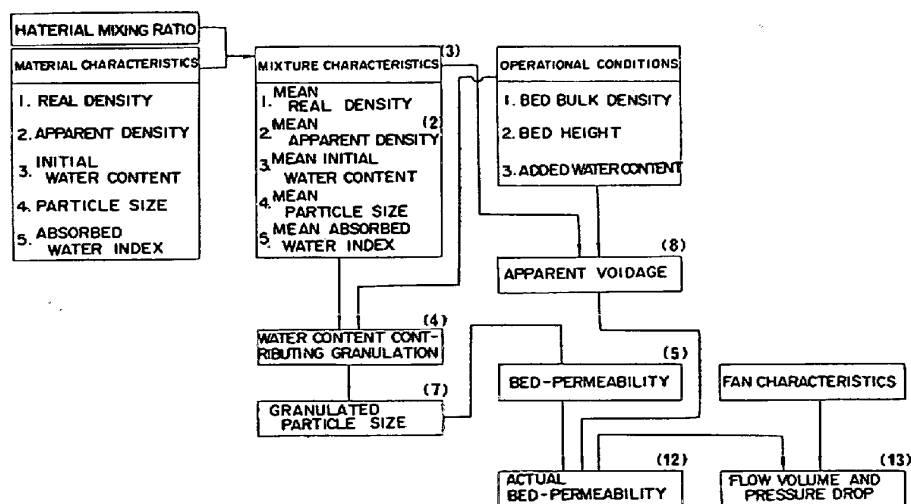


Fig. 13. Flow diagram of granulation and bed-permeability model.
(key) : the number of equation

Table 2. Basic characteristic values of raw materials.

| Materials | Real density | Apparent density | Particle size (Median) | Absorbed water index |
|------------|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| | g/cm ³ | g/cm ³ | m/m | |
| Ore A | 4.781 | 4.067 | 1.28 | 5.8 |
| " B | 4.726 | 4.212 | 1.68 | 5.8 |
| " C | 5.017 | 4.512 | 0.36 | 2.5 |
| " D | 4.983 | 4.265 | 0.30 | 2.0 |
| " E | 4.058 | 3.451 | 1.70 | 6.2 |
| " F | 4.610 | 4.028 | 0.82 | 6.4 |
| Return | 4.533 | 3.933 | 2.70 | 0.8 |
| Lime stone | 2.934 | 2.622 | 0.98 | 1.1 |
| Coke | 1.946 | 1.0 | 0.51 | 12.2 |

$$\rho_1^* = 100\bar{\rho}_1 / (\bar{\rho}_1 \cdot x_2 + 100 - x_2) \dots\dots\dots (2)$$

個々の原料の配合比率は通常重量比率 C_0 で示されるが(3)式により体積配合比率 C_1 へ換算される。

$$(C_1)_i = \{(C_0)_i / (\rho_1)_i\} / \sum_i \{(C_0)_i / (\rho_1)_i\} \dots\dots\dots (3)$$

ここで i は銘柄種、 (C_0) はその重量配合比、 (ρ_1) は見掛け密度を示す。鉱石銘柄固有の各特性値、吸収水分量 x_0 、初期含有水分量 x_3 、および種々の密度 ρ についてもその銘柄の配合率に応じて体積基準の平均値が計算される。配合原料の造粒に寄与する水分量 x_1 は次の(4)式で示すごとく、添加水分量 x_4 と初期水分量 (\bar{x}_3) から吸収水分量 (\bar{x}_0) を差し引くことによつて得られる。

$$x_1 = x_4 + (\bar{x}_3) - (\bar{x}_0) \dots\dots\dots (4)$$

原料の通気性 P_0 を計算する時、Fig. 11 の結果をモデル化したものが Fig. 14 である。乾燥粒子径 d_0 と造粒に寄与する水分量 x_1 を変数として最も簡単な二次式(5)で標準化を行つた。

$$P_0 = A(x_1 - B)^2 + C \dots\dots\dots (5)$$

この式で A 、 B 及び C は(6)式のように配合原料の平均乾燥粒子径 \bar{d}_0 で関係づけられる。

$$\left. \begin{aligned} A &= -19(\bar{d}_0) / \{1.9(\bar{d}_0) - 6.1\}^2 \\ B &= -1.9(\bar{d}_0) + 5.0 \\ C &= 19(\bar{d}_0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

一方、造粒粒子径は計算の過程でパラメータとなるために通気式(5)には現れない。そのため造粒粒子径 d は次の(7)式のように Fig. 3 に示した相関関係から逆に評価される。

$$d = 0.0694(P_0 + 16.3) \dots\dots\dots (7)$$

通気性に関する充填層の空隙率 ε_1 は造粒粒子で構成される充填層の嵩密度 ρ_s と造粒粒子の見掛け密度 ρ_1^* から決定される。これは造粒粒子の見掛け密度を直接測定することが困難なため計算値を用いた。

$$\varepsilon_1 = 1 - (\rho_s / \rho_1^*) \dots\dots\dots (8)$$

通気度予測式(5)で与えられる通気度 P_0 は原料充填層高さ 300 mm 一定条件下での原料通気性を意味するものであり、原料鉱石銘柄に固有の通気性を評価するこ

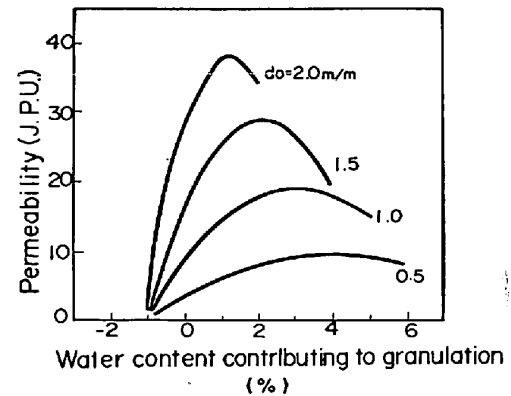


Fig. 14. Standardized permeability curves and expression.

とができる。しかし実際の焼結機の操作においては適宜原料層厚と充填層空隙率は操作要因として調節することが行われるため、これらの影響を補正した実効通気度が必要となる。そこで前出 Fig. 12 で示した実験結果に基づけば、焼結原料の充填層の通気特性は主に動力学的挙動に依存すると考えられるので簡略化のため Ergun 式の空隙に関する第 2 項のみを採用して J. P. U. 式の形に整理すると(9)式が得られる。

$$v(h/\Delta P)^{0.6} = K\{\varepsilon_1^3 / (1 - \varepsilon_1)\}^{0.6} \dots\dots\dots (9)$$

(9)式を変形して実効通気度 P_a を次式で定義する。

$$P_a = v / (\Delta P)^{0.6} = K\{h(1 - \varepsilon_1) / \varepsilon_1^3\}^{-0.6} \dots\dots\dots (10)$$

ここで(9)式の左辺は J. P. U. 通気度式であり、原料充填層高さ 300 mm のときの全ての通気実験結果から平均見掛け空隙率が $\varepsilon_1 = 0.364$ と計算されるので、(9)式にこの値を代入して

$$P_0 = K\{(0.364)^3 / (0.636)\}^{0.6} = 0.2037K \dots\dots\dots (11)$$

となり(11)式を K について解いて(10)式に代入すれば(12)式が得られる。

$$P_a = v / (\Delta P)^{0.6} = 4.91 \cdot P_0 \{h(1 - \varepsilon_1) / \varepsilon_1^3\}^{-0.6} \dots\dots\dots (12)$$

この式より充填層を通る空気量 Q は(13)式で与えられる。

$$Q = P_a \cdot A \cdot (\Delta P)^{0.6} \dots\dots\dots (13)$$

(13)式と焼結排風機の特性格式を連立させて解くことによつて実際の風量と圧力が計算される。

最後に造粒通気モデルによる計算結果と実測値との対応性について検討した。

Fig. 15 には造粒粒子径に関する実測値と計算値との対応を示すが比較的良く一致している。

Fig. 16 では通気度 (J. P. U.) に関する実測値と計算値との対応を鉱石銘柄別に示した。この図では水分値を変化させた全ての実験結果を含んでいるが、一部の対応性の劣るデータは過剰水分域を含む造粒のばらつきによる影響が大きい。Fig. 17 は各鉱石銘柄を 2 種類ずつ

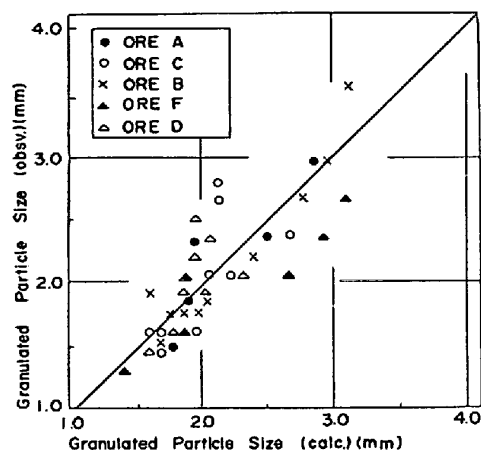


Fig. 15. Comparison with the observed value and the calculated value of granulated particle size.

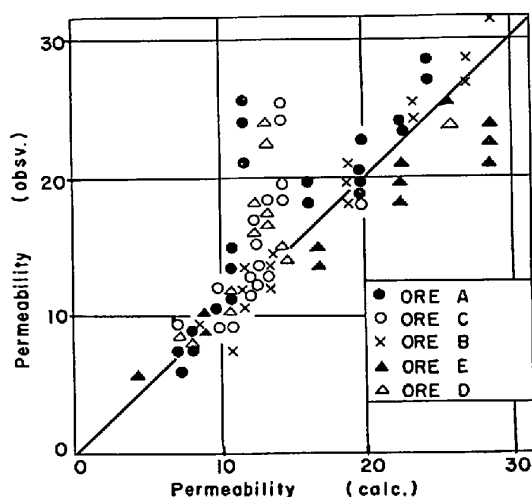


Fig. 16. Comparison with the observed value and the calculated value of permeability.

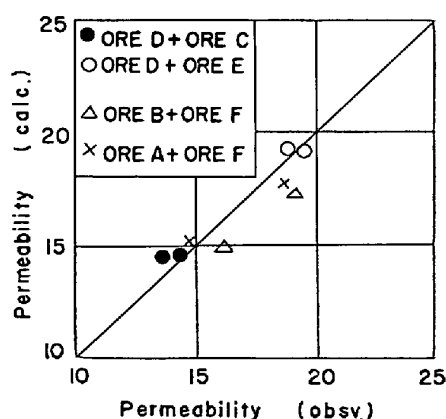


Fig. 17. Comparison with the observed value and the calculated value in the case of double main material mixture.

組み合わせた時の通気度の対応関係を示す。この結果から焼結の造粒性及び通気性に関して原料配合間に加算性が成立し、拡張すれば多種類の鉱石銘柄配合の場合でもその配合の体積平均値を用いて通気度を予測計算すること

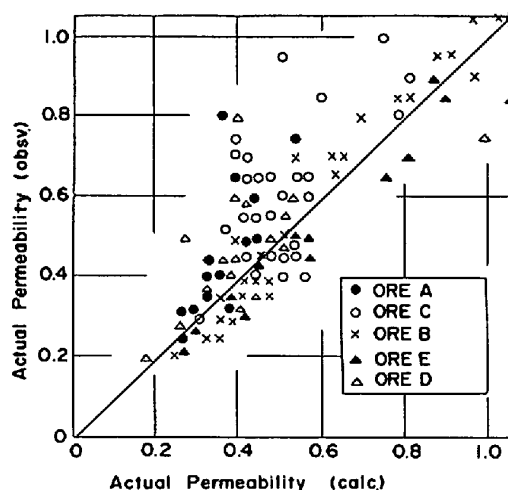


Fig. 18. Comparison with the observed value and the calculated value of actual permeability.

とができる。

Fig. 18 は充填層の層厚と見掛け空隙率を補正した実効通気度の対応関係を示した。Fig. 16 と比較して補正の効果は顕著ではなく対応性は同じ程度であるが、実機操業における原料の配合と装入条件の変更に対処するためには必要な補正と考えられる。

5. モデルの実機への適用性

次に実機焼結機操業データとの対応性について検討した。

Fig. 19 には当社小倉製鉄所第3焼結機の原料サージホッパーに装備された通気度計の出力値と原料配合構成からモデルを用いて計算された通気度との対応性を日平均データの推移で示した。実操業データの場合原料配合構成は使用前に平均成分等であらかじめ調整されており操業も極めて安定しているため、通気度の大幅な変化は認められないのが当然であるが実測値と計算値とは良く

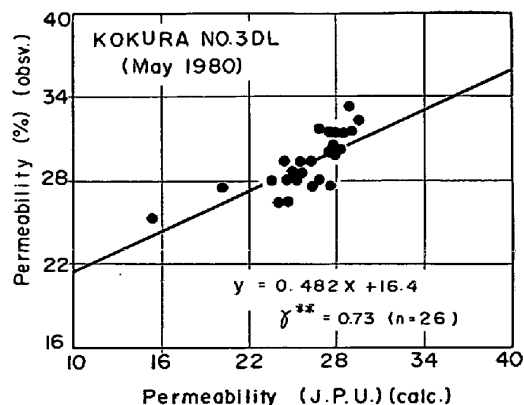


Fig. 19. Relationship with the observed value on the Kokura No. 3DL and the calculated value of the model.

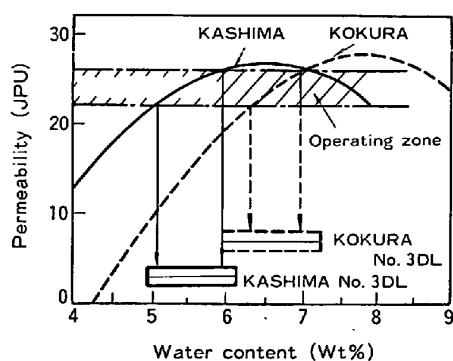


Fig. 20. Permeability curves of the Kashima and Kokura Works (May 1980).

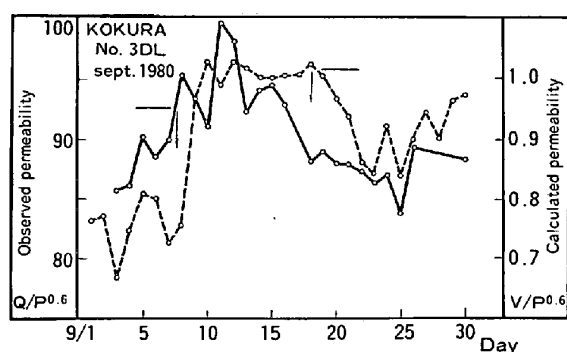


Fig. 21. Comparison the observed permeability with the calculated permeability.

対応している。

Fig. 20 は当社小倉製鉄所と鹿島製鉄所のそれぞれの原料配合構成からモデルにて求めた通気曲線を原料の水分含有量に対して示した。これによると通気曲線から予想される原料水分含有量は両所とも実際に操業している水分範囲に合致しており、造粒通気モデルの有用性が確認された。小倉の通気曲線と鹿島のそれとが異なっているのはそれぞれの所の原料配合構成が異なるためで、小倉は鹿島に比べてこの時期リモナイト (Limonite $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 系の鉱石の配合比率が高かったため通気曲線は高水分側へ寄っている。

また、これまで冷間状態における充填層の通気性についてその対応性を検討してきたが、Fig. 12 では実操業での排気風量と圧力から通気性を示す指標 ($Q/P^{0.6}$) と、冷間状態での通気式と排風機特性から予想される通気指標 ($V/P^{0.6}$) との日平均値の推移を対比して示した。この結果は実機排気風量と圧力には冷間時の充填層

通気抵抗の他にも焼結過程の熱間での通気抵抗変化や焼結機の設備的漏風が含まれるため細かい部分は一致し得ないが、それにもかかわらず大きな傾向としてはほぼ良好な対応性が得られていることから実際焼結過程における通気性に冷間状態の通気性が支配的な影響を及ぼすものと考えられる。

このように、モデルによる計算結果と実操業データとの対応性を検討した結果比較的良好一致が得られ、本モデルの実機適用の可能性を確認することができた。

6. 結 言

焼結原料の造粒と通気性に関する基礎実験の結果に基づいて鉱石銘柄特性を一律に整理できる造粒通気モデルを開発し、モデルによる計算値と実測値との対応性を検討した結果比較的良好一致が得られ実操業への適用の可能性を確認した。

本研究の発表に関し御快諾いただいた住友金属工業株式会社中央技術研究所長西岡邦夫博士と同研究所波崎研究センタ所長赤松経一氏に厚く謝意を表します。

文 献

- 1) M. YOSHINAGA and T. KUBO: Sumitomo Search (1978) 20, p. 1
- 2) E. W. VOICE and S. H. BROOKS: JISI (1953) 6, p. 136
- 3) 下村泰人: 富士鉄技報, 9 (1960) 4, p. 389
- 4) D. W. MITCHEL: JISI (London) 198 (1961), p. 358
- 5) R. WILD and K. G. DIXON: Agglomeration, Proc. Intern. Sympo. IV (Philadelphia) Pa. (1961) Metallurgical Conference Series XIV, New York, ed. by W. A. KNEPPER, (1962), p. 565 [AIME and Interscience Press]
- 6) O. NYQUIST: Jernkontorets Ann, 144 (1960), p. 133
- 7) S. EKETORP: Proc. Conf. on the Physical Chemistry and Technology of Steelmaking to commemorate the career of John Chipman, Endicott House, Dedham, Massachusetts, ed. by J. F. ELLIOTT (1962) 6, Massachusetts (1965), p. 180 [The MIT Press]
- 8) E. W. VOICE and R. WILD: JISI (1956) 8, p. 401
- 9) 梅屋健一: 材料試験, 7 (1958), p. 298
- 10) S. ERGUN: Chem. Eng. Progr., 48 (1952) 2, p. 918
- 11) 吉永真弓, 一伊達稔: 水曜会誌, 18 (1977) 9, p. 561