

(2) 生ペレット強度に関する検討
(造粒機構に関する研究—I)

八幡製鉄, 東京研究所

理博 近藤真一・松本龍太郎・榎田泰生

Investigation of Green Pellets Strength

(Fundamental study of pelletizing process—I)

Dr. Shinichi KONDŌ, Ryūtarō MATSUMOTO
and Yasuo SAKURADA

1. 緒 言

生ペレットの強度発生機構に関しては, TIGERSCHÖLD¹⁾らの先駆的研究によつて, 生ペレット内の毛管力が強度発生機構の支配的要因であると解明されているが, 工業的規模によつて生産されるところの生ペレットは, 内部に無数の結合液で満されない空隙を有しており, その状態下における生ペレット強度についてはいまだ不明の点が多い. 本報告においては, 造粒時に添加される結合液によつて, 生ペレットの性質に現われる種々の影響を把握することにより, 生ペレット内の気泡が生ペレット強度に対して支配的影響を与えていることを解明した.

2. 実験方法

生ペレットの造粒は, 内径 26cm φ, 深さ 6cm のディスク型造粒機を, 傾斜角 45 度, 回転速度 18 rpm で運転し, 0.5cm φ の種ペレットを 60 min および 30 min の滞留時間で 1.5cm φ に成長させた. 粉鉱石は赤鉄鉱系マルコナ粉鉱石を使用し, 各造粒時間について 1 kg をパイプレータ給鉱機によつて, 時間当たり一定量を連続給鉱した. Table 1 に使用鉱石の組成および粒度を示した. 結合液は純水を使用し, その散水はガラス毛细管によつて, 時間当たり一定量を連続散水した. 生ペレットの径の調節は, 種ペレット個数を増減して行なつた.

3. 測定方法

i) 含水比 (α): 生ペレットに含まれる結合液重量 W_g と, ペレットの乾燥重量 D_g の比であつて, $\alpha = W_g/D_g \times 100(\%)$ で示される. W_g および D_g の測定は, 生ペレットを 115°C で 24 hr 乾燥して求めた.

ii) 生密度 (ρ_0): 含液状態における生ペレットの密度をいい, 測定は水銀浮力法によつて求めた.

iii) 見掛固体密度 (ρ): 含液状態の生ペレットから結合液を除いた場合の密度であつて, 次式により計算で求めた.

$$\rho = \rho_0 / (1 + \alpha) \dots \dots \dots (1)$$

iv) 圧潰強度 (F): 生ペレットをバネ台秤の上に乗せ, 平行な面で圧縮して圧潰させたときの値であつて, 生ペレット 15 ケの平均値をもつて示した.

v) 飽和度 (ε): 生ペレット内の空隙を結合液がどの程度占有しているかを示す値であつて, 次式によつて求めた. ρ_w は水の密度 (0.998 g/cm³), ρ^* は粉鉱の密度 (4.47 g/cm³) である.

$$\epsilon = \frac{\rho \times \alpha / \rho_w}{1 - \rho / \rho^*} \times 100(\%) \dots \dots \dots (2)$$

4. 実験結果

含水比と圧潰強度および見掛固体密度との関係を Fig. 1 に示した. 図より判明するように, 造粒には最適水分域があつて, その最適水分域で造粒された生ペレットは, 見掛固体密度ならびに圧潰強度は最高値を示すが, その最適水分域は極めて狭い範囲にのみあるといえる. また使用鉱石が一定であつても, 造粒機内滞留時間の長短によつて最適水分域が移動することを示し, このことは現場操業における生ペレットの品質管理が, かなり難かしい要素を持つていることを示している. 一方, Fig. 1 より判明するように, 見掛固体密度と圧潰強度の関係は直線関係にはなく, むしろ含水比によつて圧潰強度の方がより大きく支配される傾向にあり, このことは結合液の挙動を精細に追求しなければ, 生ペレットの実体が正確に把握できぬことを示していると思われる.

5. 考 察

Fig. 1 の関係より, 生ペレットの圧潰強度および見掛固体密度は含水比の影響を強く受けているものと考えられ, ペレット内の結合液の挙動が問題となつてくる. 梅屋ら²⁾は粉体充填物中の液体の挙動を Table 2 のごとくに分類している. すなわち粉体充填物中の空隙を完全に液体が占有した状態を Capillary 域と称し, その空隙を 100 とした場合, 空隙を液体がおよそ 0~60 占める状態が Pendular 域に相当し, およそ 60~80 占める状態を Funicular I 域と称し, 80~100 の間を Funicular II 域と分類している. いうまでもなく生ペレット内の結合液は, このように簡明に分類されるものではなく, ある領域とある領域とが混在しているものと考えたほうが

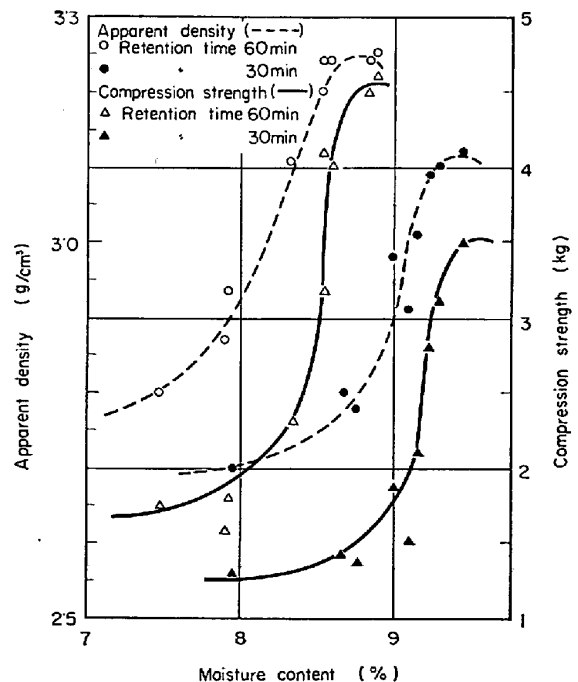


Fig. 1. Apparent density*) and compression strength for green pellets as function of moisture content.

*) only solid content of green pellets

Table 1. Chemical composition of used fine iron ore.

Sift out	T. Fe (%)	Fe ⁺⁺ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
-325 Mesh	58.17	5.09	1.61	2.63	0.69	5.53

Table 2. Structure classification of moist soil.

Model					
Particle	Continuous	Continuous	Continuous	Discontinuous	Discontinuous
Liquid	Discontinuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Gas	Continuous	Continuous	Discontinuous	Zero	Zero
Filling form	Pendular stage	Funicular stage I	Funicular stage II	Capillary stage	Slurry stage

一般的ではあるが、おおまかに見て Table 2 のごとく分類して考えることが、生ペレットの実体解明には有効であると考えられる。ここにおいて粉体充物填中に毛管力が作用する領域は、大雑把に見て Funicular I 域から Capillary 域までと考えられ、Pendular 域では粉体粒子間のレンズ状付着水による毛管付着力が支配的になる。ここで単に生ペレットの諸性質を、含水比と見掛固体密度によつてうんぬんせずに、生ペレット内空隙を占有する結合液量によつて考察することが必要である。いま空隙を占有する液量の割合は、飽和度 (ϵ) によつて示すことができるので、飽和度と見掛固体密度および圧潰強度との関係を Fig. 2 に示した。ここにおいて最も重要な事実は、飽和度と見掛固体密度の関係が直線的にわずかに低下するのに反して、圧潰強度の低下が急激であることである。いま Funicular 域における毛管力 (H) は、 ρ^* (鉱石の比重)、 A (鉱石の比表面積)、 P (生ペレットの空隙率)、 T (表面張力)、 θ (接触角)、 ρ_L (液の比重)、 g (重力加速度) とすれば、式 (3) となる。

$$H = \frac{\rho^* A (1-P)}{P} \times \frac{T \cos \theta}{\rho_L g} = K \frac{(1-P)}{P} \dots (3)$$

TIGERSCHÖLD は (3) 式と圧潰強度 (F) の間には

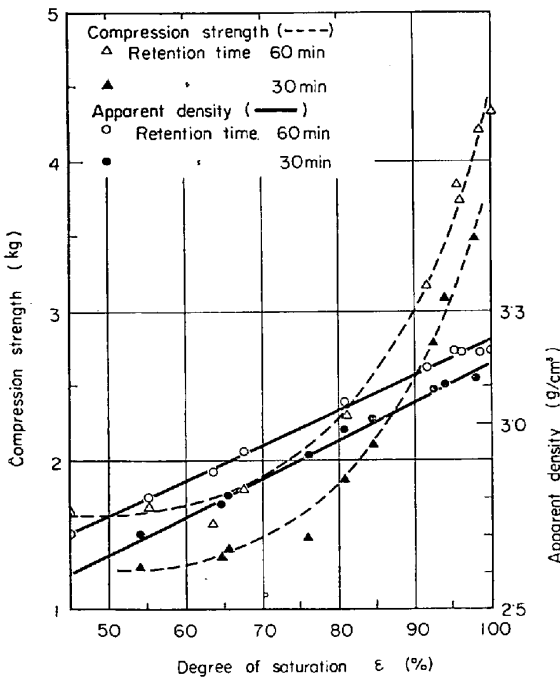


Fig. 2. Compression strength and apparent density*) for green pellets in relation to degree of saturation.
*) only solid content of green pellets

$F \propto K(1-P)/P$ の関係があると指摘している。それゆえ、同一比表面積の同種鉱石粉より作られた生ペレット強度 (F) は、 $(1-P)/P$ に比例するはずであるが、本実験の結果は Fig. 3 より明らかなようにこの関係は成立しない。この事実は飽和度の低下による何らかの原因によつて、圧潰強度が著しく低下したと考えざるを得ない。すなわち、生ペレット中の結合力は (3) 式に基づき作用するが、

その結合力はペレットの圧潰に際しては内部の残留気泡によつて弱められ、実際の圧壊現象は (3) 式より予想

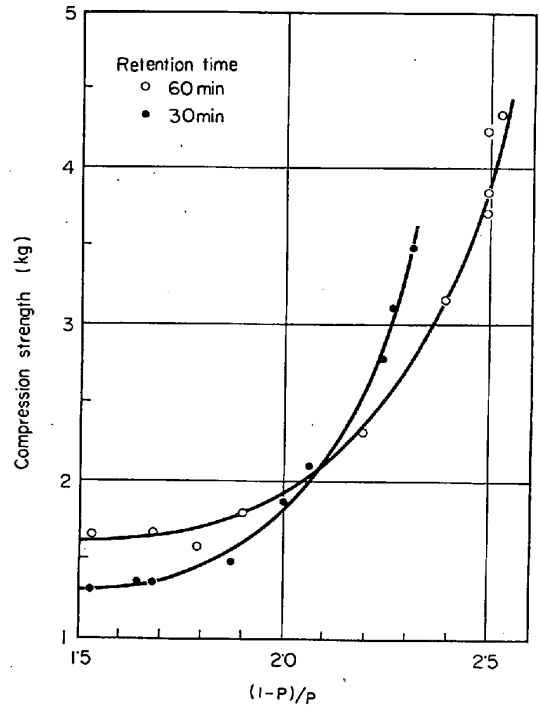


Fig. 3. $[(1-P)/P]$ for green pellets in relation to compression strength.

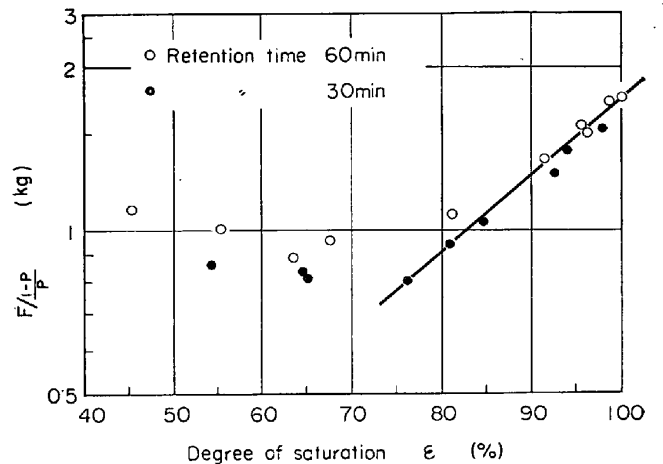


Fig. 4. $[F/(1-P)/P]$ for green pellets in relation to degree of saturation.

*) F : Compression strength of green pellets
 P : Porosity of green pellets

せられる強度よりも弱い力で破壊を起こしているものと考えられよう。以上のごとき見地から造粒時間および見掛固体密度の相違を補正するために、飽和度を横軸にとり圧潰強度と $(1-P)P$ の比を縦軸にして片対数グラフにプロットしたのが Fig. 4 である。これによれば飽和度約 75% 以上では、 $F/(1-P)P$ と飽和度とは造粒時間のいかんによらず指数関数で表わすことができる。すなわち、式 (4) なる実験式がえられる。この実験式の物理的意味を考察すれば、

$$F = K \frac{(1-P)}{P} e^{\beta \cdot 0.7\epsilon} \dots\dots\dots (4)$$

TIGERSCHÖLD の報告のごとく生ペレットの圧潰強度が毛管力に比例するものとすれば、圧潰強度は $(1-P)/P$ に比例すべきであるが、これは飽和度 100% の場合に成立し、生ペレット中に気泡が存在する場合には強度が低下するものと考えられよう。ここにおいて、飽和度と生ペレット中の残留気泡 $[P(1-\epsilon)]$ は Fig. 5 のように直線関係があるので、 $P(1-\epsilon) = -a\epsilon + b$ (ただし a, b は定数) とすれば、(4) 式は (5) 式となり、 $P(1-\epsilon)$ を P^* で示せば式 (6) となる。

$$F = K \frac{(1-P)}{P} e^{\beta \epsilon} = K' \frac{(1-P)}{P} e^{-\beta/a[-P(1-\epsilon)+b]}$$

$$= K' \frac{(1-P)}{P} e^{-\beta' P(1-\epsilon)} \dots\dots\dots (5)$$

$$F = K' \frac{(1-P)}{P} e^{-\beta' P(1-\epsilon)} = K' \frac{(1-P)}{P} e^{-\beta' P^*}$$

$$\dots\dots\dots (6)$$

この結果についてさらに考察を加えるならば、(6) 式の型は焼結体の強度に関する KNUDSEN の式⁹⁾ (7) に相当している。

$$S = S_0 e^{-\beta P} \dots\dots\dots (7)$$

- S = 圧壊強度
- S₀ = 空隙率 0 の時の強度
- P = 空隙率
- β = 空隙に関する因子

すなわち S を生ペレット圧潰強度、S₀ を $K'(1-P)/P$ 、P を P* とすれば、(7) 式は (6) 式の型を与えると考えられる。

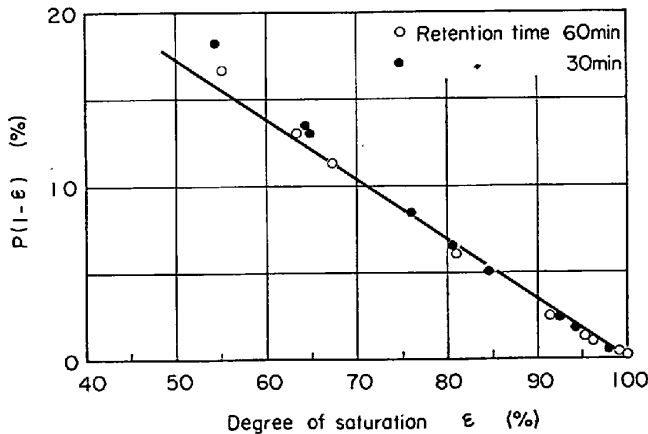


Fig. 5. $[P(1-\epsilon)]$ for green pellets in relation to degree of saturation.

*) P : Porosity of green pellets

5. 結 言

マルコナ粉鉱石を用いて種々の造粒実験を行なった結果、次のことが判明した。

- i) 造粒には最適水分域があつて、その範囲はきわめて狭いにもかかわらず、生ペレットの諸性質を決定的に支配する。
- ii) 最適水分量は造粒時間を短縮するほど増加させねばならない。
- iii) Pendular 域 (飽和度約 75% 以下) では造粒は可能であるが、圧潰強度の絶対値が小さく造粒条件の対象とはならない。
- iv) 生ペレットの圧潰強度は次式によつて示すことができる。

$$F = K \frac{(1-P)}{P} e^{\beta \epsilon}$$

- F = 圧潰強度
- P = 空隙率
- ε = 飽和度
- K, β = 定数

K, β は鉱石の種類、粒度、結合液の性質によつて変化すると考えられ、上式は飽和度 75% 以上 (ほぼ Funicular 域) の造粒域において成立する。

文 献

- 1) TIGERSCHÖLD: Amer. Inst. Mining. Metallurg. Engr., 9, (1950) 18
- 2) 梅屋, 岩屋: 化学工学, 24 (1960), p. 230
- 3) KNUDSEN: J. Am. Ceram. Soc., 42 (1959), p. 376
- (その他) TERZAGHI: Soil Mechanics in Engineering Practice

(3) 粉鉱石のペレタイジングにおける潤態原料の磨砕混練効果について

矢作製鉄

工博 多田嘉之助・工博 杉浦 卓
安井 誠一・○加藤 正登

Effects of Damp Grinding on Pelletizing of Fine Ores

Dr. Yoshinosuke TADA, Dr. Taku SUGIURA
Seiichi YASUI and Masanori KATŌ

1. 結 言

粉鉱石のペレタイジングにおいて最も重要なことは、良好なグリーン・ペレットを作ることである。グリーン・ペレットの品質は、その多くを造粒機に供給される造粒原料の性状によつて決定される。造粒原料の性状には、粉鉱粒子の粒度、粒度分布、粒子形状ならびに表面特性などの原料鉱石自身にかかわる要因と、粉鉱粒子と造粒水分との組合わされた要因とがある。前者に関してはこれまでしばしば研究され多くの報告^{1)~3)}を見るが、後者に関してはそれほど研究されていないようである。

しかし、造粒工程は主として粉体粒子と水との力学的挙動によつてなしとげられるものであるから、両者の関係がいかにあるかは生成するペレットにとつて重要な要件である。そこで、造粒原料の湿潤状態を積極的に改善する手段として、湿潤原料の磨砕混練がその後の造粒工