

論 文

コールドペレットの連続急速養生プロセスの
開発および成品の性状評価

宮下 恒雄*・吉越 英之*²・松井 正治*
田島 治*・福与 寛*

Development of Continuous Rapid Curing Process for Cold Pellet
and Evaluation of Physical Properties of Products

Tsuneo MIYASHITA, Hideyuki YOSHIKOSHI, Seiji MATSUI,
Osamu TAJIMA, and Hiroshi FUKUYO

Synopsis :

For the purpose of developing a process in which the cold pellet can be produced in about 10 hours, the continuous rapid curing procedure has been investigated using iron ore pellet with 10%-portland cement and dust pellet with 14%-B.F. granulated slag as binder.

- 1) A continuous curing with about 10 hours is possible by the combination of pre-drying, steaming below 100°C and drying.
- 2) The strength of pellet using portland cement is improved in drying with atmosphere.
- 3) In the operation of pilot plant with 6.5 ton/day, the compressive strength of produced ore pellet and dust pellet are 170-200 kg/p and 140-170 kg/p respectively, and their physical properties are comparable to that of fired pellet.
- 4) The required energy of this process is about 80 000 kcal/t product, and this process is a pollution-free and energy saving process in which the waste gas from the plant can be used.
- 5) The hydrates of cement are decomposed in 800-900°C, however, the shape and strength of pellet are remained by sintering between ore and cement particles. Above 1000°C the coherence of pellet is reinforced. This phenomena agree with the behavior of swelling and strength of pellet during reduction.

1. 結 言

近年、工場内ダスト類、微粉鉱石を安価に二次公害を発生せずに塊成化して高炉または電気炉原料とするニーズが高まっている。その一方法として水和結合剤によるコールドペレット法^{1)~3)}が工業的に適用されている。しかし、コールドペレットを常温常圧で強度発現するには5~30日を要し、広い養生ヤードや大型養生ビンが必要となる。一方、オートクレーブ法はバッチ式となり生産性が低い。

著者らは養生ヤードを必要とせず、しかも低温排熱を活用し、無公害のコールドペレット製造新プロセスを開発した。本論文では製造プロセスと成品の性状評価、および常温、昇温還元時の結合形態につき報告する。

2. 養生試験装置および試験方法

2.1 原料および試料調整

コールドペレットの対象原料と結合剤は国内製鉄所お

よび海外対応を考慮して以下のように選定した。

- 1) 製鉄所の微粉ダスト類と砂鉄の処理を目的に高炉水砕スラグ（以下、水砕と呼ぶ）に消石灰を添加し、その水硬性⁴⁾を利用した結合剤を用いる場合。
 - 2) 微粉鉱処理を目的にポルトランドセメントを結合剤とした場合、である。
- それぞれの原料と結合剤の配合を Table 1 に示す。この原料を混合後、1m ペレタイザーで造粒し、12.7~15.9 mm に粒度調整したペレットを養生試料とした。配合原料の化学成分、粒度分布をそれぞれ Table 2, 3 に示す。

2.2 試験装置および方法

水硬性結合剤によるコールドペレットを常圧下で比較的迅速に硬化させる方法として放置、水蒸気、乾燥の3処理により約3日で強度発現することを報告⁵⁾したが、放置処理が全工程の大部分を占めるため、連続急速養生プロセスとするには放置処理の改善が必要である。そこでつぎの養生装置により養生パターン⁶⁾の設定を行った。

昭和 57 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 58 年 1 月 17 日受付 (Received Jan. 17, 1983)

* 日本鋼管(株)技術研究所 (Technical Research Center, Nippon Kokan K. K.)

*² 日本鋼管(株)技術研究所 工博 (Technical Research Center, Nippon Kokan K. K., 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

Table 1. Mixing ratio of raw materials (%).

	Ore A	Ore B	Portland cement	Dusts	Iron sand	Granulated B. F. slag	Hydrated lime
Ore pellet	90	—	10	—	—	—	—
Dust pellet	—	32.8	—	25.8	26.4	14.0	1.0

Table 2. Chemical composition of mixing materials (%).

	T. Fe	FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂
Ore pellet	60.54	0.26	4.03	6.75	1.46	0.26	0.03
Dust pellet	50.75	22.88	7.37	8.6	3.48	2.29	2.46

Table 3. Particle distribution of mixing materials (%).

	+250 μ	+150	+74	+44	-44
Ore pellet	—	2.0	7.3	10.9	79.8
Dust pellet	9.0	19.4	7.8	12.6	51.2

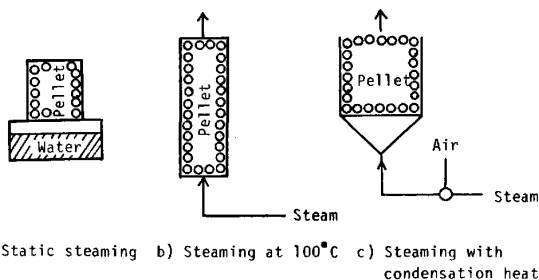


Fig. 1. Curing apparatus in laboratory.

a) 静置養生試験装置

100°C 以下の水蒸気養生は Fig. 1(a) の装置に生ペレットを充填し、所定温度の恒温槽に静置し、その温度の飽和水蒸気で結合剤の水和を行わせた。

b) 100°C の水蒸気処理装置

100°C の蒸気で養生する場合には Fig. 1(b) の装置を用いた。

c) 凝縮加熱試験装置

連続の急速養生プロセスの工業化を指向し、Fig. 1(c) の装置により、100°C の蒸気と空気を、設定温度で蒸気圧が平衡になるように混合してペレット層に供給した。この方法により低温のペレット表面に蒸気が凝縮し、水分とともに凝縮熱の供給が進行する。ペレットが設定温度に達すれば、ペレット中水分の乾燥を起こさずに設定温度に保持される。

水蒸気養生後のペレットは、200~250°C に設定した恒温槽で大気中で乾燥、または CO₂ 雰囲気中で乾燥して強度の向上と付着水の除去を図り、成品とした。

2.3 物理性状試験

成品ペレットの物理性状を評価するため、JIS 還元率、

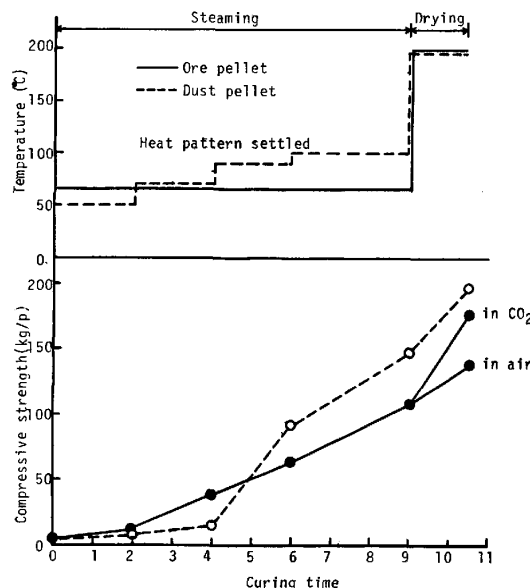


Fig. 2. An example of compressive strength change of pellet.

還元後圧潰強度、JIS ふくれ率、JIS 気孔率、荷重軟化試験を行い、焼成ペレットの性状との比較を行った。高炉内の還元過程でのコールドペレットの性状変化と結合形態を明らかにするため、向流還元炉を用い⁶⁾、高炉内温度および還元条件で還元し、各温度領域の試料を採取し、その破面組織を走査電顕で観察した。

3. 急速養生法の基礎検討

連続急速養生プロセスでは約 10 h で強度発現する養生条件の設定を目標にした。生ペレットを急激に 100°C で蒸気養生するとペレットが崩壊するので、崩壊せずに強度発現する条件を選定するため、静置養生装置により種々の温度条件で試験した。崩壊しない養生パターンの一例を Fig. 2 に示す。図から約 10 h の養生で鉱石ペレット、ダストペレットの圧潰強度はそれぞれ 140 kg/P、190 kg/P の強度が得られた。

鉱石ペレットの乾燥処理を CO₂ 雰囲気で行った結果では、大気雰囲気よりも明らかに強度が向上している。さらに CO₂ 分圧による強度への影響を Fig. 3 に示す。その結果、約 20% までは CO₂ 分圧にほぼ比例して強度が向上しており、比較的低濃度の CO₂ でも強度向上効果のあることが明らかになった。

一方、100°C 以下の蒸気養生を静置法で行うと、ペレ

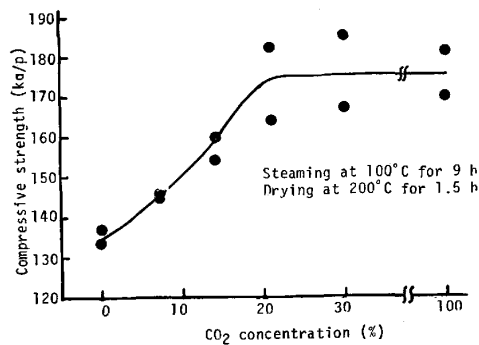


Fig. 3. Effect of CO₂ concentration on compressive strength of pellet in drying treatment.

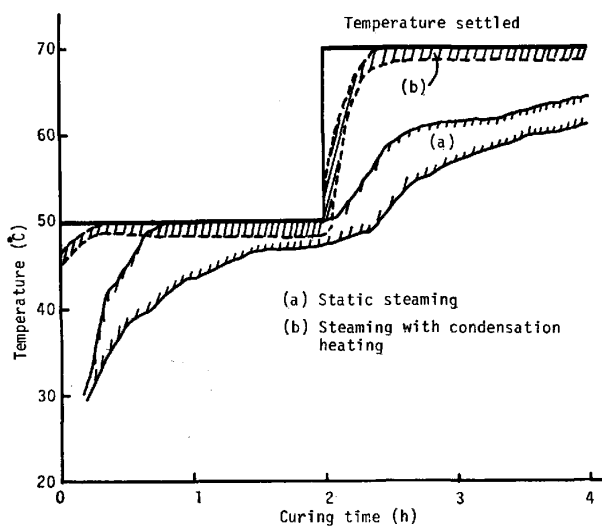


Fig. 4. Difference of heating velocity between static steaming and steaming with condensation heating.

ット自体の温度は自然対流によつて昇温するため、設定温度に対し昇温の遅れを生ずる。この状況はペレットに熱電対を埋め込み、設定パターンに対するペレットの昇温を測定した結果から認められた (Fig. 4(a))。この結果から工業プロセスでは自然対流によつて加熱することは、熱効率および養生パターンの制御の点から適切でないことが判明した。そこで凝縮加熱法による蒸気養生法を採用した。凝縮加熱法で蒸気養生した時のペレットの昇温過程を Fig. 4(b) に示す。凝縮加熱では設定温度で飽和した蒸気がペレット層を移動するため、ペレットへの熱移動が迅速に行われ、短時間に設定温度に達することが確かめられた。しかし、急激に加熱するとペレットが崩壊するので、これを回避するため生ペレットを温風で予備乾燥したあと、凝縮加熱により蒸気養生を行った。ペレット中水分を数%まで乾燥することにより 100°C で蒸気養生しても崩壊はなく、約 10 h で強度発現することが確かめられた。

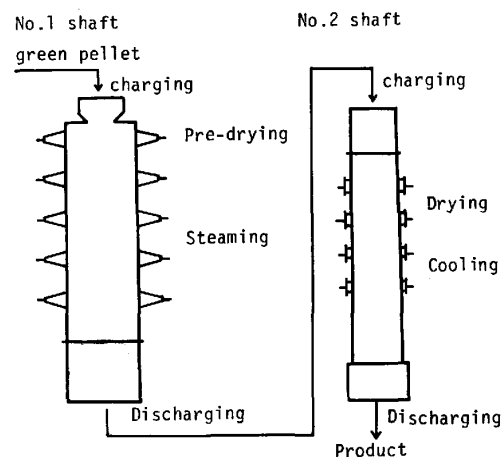


Fig. 5. Conceptual schema of 6.5 t/d pilot plant.

4. パイロットプラントによる連続操業

4.1 パイロットプラントの設計方針および設備

設計に当たっては養生条件に基づき、さらにつぎの条件を前提とし計画した。

- 1) 10 h 程度の連続養生設備。
- 2) 結合剤としてポルトランドセメントおよび高炉水砕のいずれの養生条件も満足する。
- 3) 省エネルギープロセスとする。すなわち、
 - a) 予備乾燥には工場排ガスを利用できること。
 - b) 蒸気養生には工場排熱回収による蒸気を利用し、50~100°C の温度制御が可能な十字流の凝縮加熱方式が用いられること。
 - c) 炭酸化乾燥は工場排ガス中の排熱と CO₂ を利用。
 - d) 予備乾燥、蒸気養生処理の前段工程と乾燥、冷却の後段工程は、それぞれシャフト炉で行う。

原型プラントの規模を日産 1000 t と想定し、炉内滞留時間として第 1 シャフト炉 (予備乾燥+水蒸気養生) を 10 h、第 2 シャフト炉 (乾燥+冷却) を 2 h とした。この場合の設備の寸法は、第 1 シャフト炉で炉長が 12m、炉高が 10m、炉幅が 1.75m となり、第 2 シャフト炉で炉長、幅ともに 2.7m、炉高が 6 m となつた。

原型プラントの本質を損なわないように、またパイロットから原型炉へのスケールアップを容易にするため、第 1 シャフト炉の炉高を原型の 3/10 に、炉幅 (ガス流れ方向) を 1/2 に、炉長を 1/24 に縮小し 6.5 t/d のパイロットプラントとした。その概念図を Fig. 5 に示す。

4.2 操業試験結果

パイロットプラントの操業は、微粉鉱石にポルトランドセメントを結合剤とした生ペレットと、製鉄所ダスト

Table 4. Chemical composition of mixing materials (pilot plant) (%).

	T. Fe	FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂
Ore pellet	59.20	0.43	4.02	7.29	2.04	0.36	—
Dust pellet	53.59	28.79	7.20	7.03	2.93	1.99	2.09

Table 5. Particle distribution of mixing materials (pilot plant) (%).

	+500	+250	+150	+74	+44	-44
Ore pellet	—	—	0.7	4.8	12.0	82.5
Dust pellet	0.7	1.0	14.9	17.4	8.8	57.2

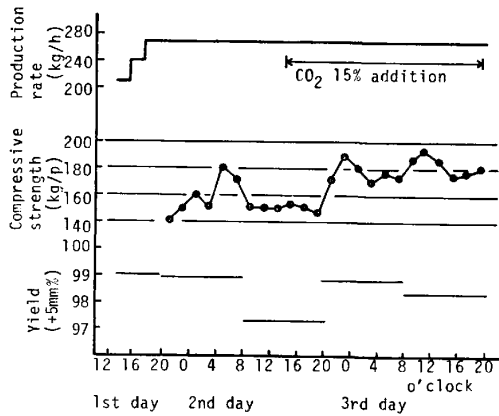


Fig. 6. Operation for ore pellet in pilot plant.

および砂鉄に水砕を結合剤とした生ペレットの二種類について行つた。パイロットプラントの操業はいずれの場合もほぼ同様に推移したので、操業推移は鉱石ペレットについて述べ、成品性状については両者とも一括表示した。原料の配合は Table 1 と同じであり、化学成分および原料粒度分布を Table 4, 5 に示した。

鉱石ペレットの使用先は電気製鉄炉を想定し、成品の目標圧潰強度を 100 kg/P 以上とし、ダストペレットは高炉原料を想定して 140 kg/P 以上とした。

炭酸化乾燥は CO₂ 濃度 10~25% の工場排ガス利用を想定し、CO₂ 濃度を 15% に設定した。鉱石ペレット操業の前半期は乾燥処理を熱風で行い、後半期に炭酸化乾燥に切り換え、両者の成品強度におよぼす影響を調べた。操業結果を Fig. 6 に示した。成品は大気乾燥で約 160 kg/P、炭酸化乾燥で約 180 kg/P となり、炭酸化乾燥の有効性が確認された。なお、水砕結合剤による

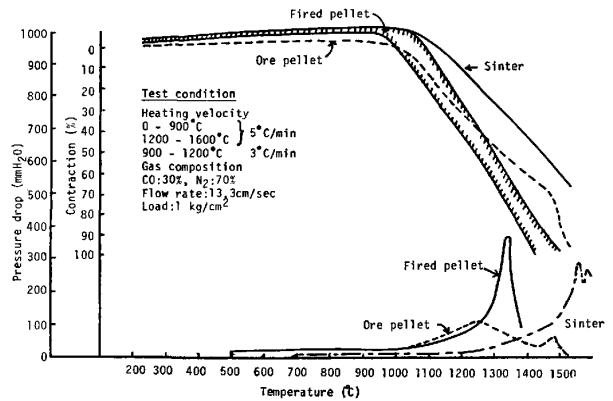


Fig. 7. Results of softening test.

ダストペレットに対しては炭酸化の効果のないことが実験室で確認されているので大気乾燥のみによつた。

操業において凝縮伝熱を利用した十字流の伝熱方式は、設定した養生パターンどおりに進行し、ペレット同志の付着や棚吊りもなく、粉化も少なく日産 6.5 t の生産が達成された。装入原料に対する成品の歩留り (+5 mm%) は 97.5~99% と高かつた。

なお、セメントバインダー製造に要したエネルギーを除いたペレット製造に要する熱量は約 8 万 kcal/t であり、焼成ペレットの熱精算結果⁷⁾の 26~40 万 kcal/t に比較し著しく少ない。

4.3 成品の物理性状

成品ペレットの性状を Table 6 に総括し、荷重軟化試験結果を Fig. 7 に示した。鉱石ペレットは 10% のセメントで設定強度を十分満足しており、その他の性状に関しても焼成ペレットと比較しうる値を示している。また、ダストペレットも焼成ペレットに著しく劣るものではなかつた。

鉱石ペレットの荷重軟化挙動は 1000°C 以下で焼成ペレットより若干収縮が大きい、1300°C 以上では焼成ペレットと焼結鉱の中間に位置しており、高炉原料と十分比較しうるものであつた。

Fig. 8 に鉱石ペレットの向流還元試験結果を示した。還元後の圧潰強度は 900~1000°C で約 20 kg/P まで低下するが、1000°C 以上で急激に回復する。焼成ペレットでも還元過程で 20 kg/P 程度になることが報

Table 6. Physical properties of products (pilot plant).

	Compressive strength (kg/p)	JIS-reducibility (%)	Com. strength after reduction (kg/p)	JIS-swelling (%)	JIS-porosity (%)	JIS-tumbler index (+5 mm%)
Ore pellet	170-200	91	64	6.0	26.2	94
Dust pellet	140-170	84.7	43	3.5	23.0	93
Commercial fired pellet	180	60-80	45	15	15-25	95

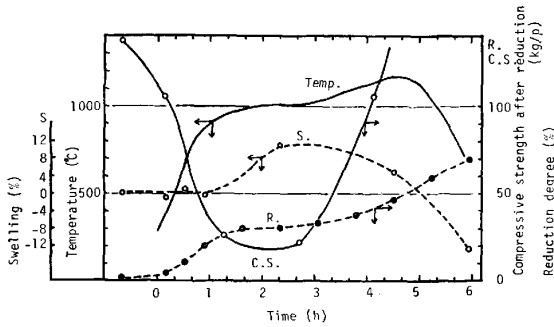


Fig. 8. Results of counter current reduction test.

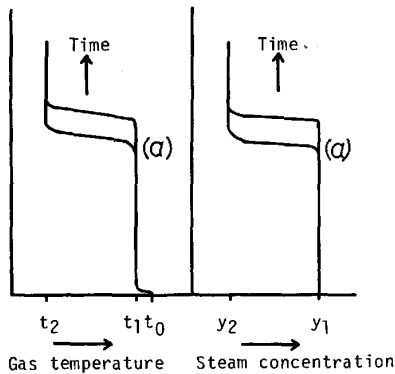


Fig. 9. Principle of condensation heating.

告されており⁸⁾、実用上の問題はないと考えられる。ふくれも最大 10% 程度であった。

5. 考 察

5.1 凝縮伝熱による熱移動

このプロセスではできるだけエネルギー消費量を低減し、多段階にステップ状に温度を制御できる加熱法として、水和養生期に目標加熱温度の飽和水蒸気を含むガスを用いて凝縮伝熱を行わせた。Fig. 9 はペレット充填層内の温度パターンとガス中湿分の模式図である。上流側が目標温度、下流側が初期温度でちょうど温度が急変している位置 (a) で水蒸気が凝縮している。この方式ではペレットが目標温度 t_1 以下である限り、水蒸気は凝縮して潜熱を放出し、正確に目標温度への加熱を実現する。そしてヒートフロントの移動速度は水の凝縮潜熱が極めて大きいため非常に速い。これを式で表すと次のように書ける。通常のガス顕熱を利用した加熱によるヒートフロント速度

$$v = \frac{\rho_g c_g u}{\rho_s c_s (1 - \epsilon)} \approx \frac{1}{1000} u$$

と比較して、凝縮伝熱の場合には、

$$v' = \frac{\rho_{H_2O} \Delta H_{ev} (y_1 - y_2) u}{\rho_s c_s (1 - \epsilon) (t_1 - t_2)} \approx \frac{1}{100} u \approx 10 v$$

となつて、同じガス流速のもとでは約 10 倍の速度が得られる。なお、ここで u : ガスの空塔速度, ρ_s, ρ_g : 粒子, およびガスの密度 [kg/m^3], c_s, c_g : 粒子, およびガスの比熱 [$\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}$], ϵ : 充填層の空隙率 [-], ρ_{H_2O} : 水の密度 [kg/m^3], ΔH_{ev} : 水の凝縮熱 [kcal/kg], t_1 : 目標加熱温度 [$^\circ\text{C}$], t_2 : 粒子の初期温度 [$^\circ\text{C}$], y_1, y_2 : 温度 t_1, t_2 における水蒸気の飽和濃度 [-] である。

一般に十字流式接触による加熱ではガスの上流と下流部で固体の温度履歴が異なることが問題となるが、凝縮伝熱の採用によりヒートフロント速度が大きく、その影響が小さいので均熱が可能となつた。

5.2 急速養生法による強度発現

水和結合剤を結合剤として約 10 h の急速養生でワールドペレットを製造する工程と、従来の養生法の強度発現過程を比較検討した。

a) 結合剤と水和反応機構

セメントを結合剤としたグリーンペレットを自然養生、オートクレーブ養生、および急速養生の場合の強度推移を比較した結果を Fig. 10 に示す。急速養生で得られる強度は自然養生の約 2 週間後の値とほぼ同じになる。一般に 100°C 以下の温度域であれば初期の水和物生成速度は高温ほど速やかに進行するとされている⁹⁾。生成する水和物の主体はカルシウムシリケート水和物であるが、セメントと水砕の場合では水和物の生成反応が異なる。セメントでは、 $2\text{C}_3\text{S} + 6\text{H} \rightarrow \text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$, $2\text{C}_2\text{S} + 4\text{H} \rightarrow \text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ が主反応と考えられている¹⁰⁾。ただし、C: CaO, S: SiO_2 , H: H_2O である。

水砕では非晶質の $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 成分が $\text{Ca}(\text{OH})_2$ などのアルカリ塩類を含む水と反応して水和物を生成する。すなわちポルトランドセメントとは反対に消石灰を取り込みつつ水和生成物を形成する点が異なる¹¹⁾。

セメント単味試料の断面の走査電顕写真によれば、スチーム処理をすると粒子間にカルシウムシリケートの針状水和物が観察され (Photo. 1b)), これが粒子間の結合媒体となつていることが認められた。

b) 乾燥処理と強度発現機構

水硬性結合剤による結合物は多孔質であり、構成粒子間の空隙が多い。これを乾燥処理すると付着水、ゲル水の一部が蒸発し、粒子間距離が収縮し摩擦抵抗が増加するため、強度が向上するものと考えられる¹²⁾。

炭酸化乾燥により大気中での乾燥より強度向上が見られるが、大気中で乾燥したものは針状水和物が依然存在するのに対し、炭酸化乾燥すると針状水和物は消え、粒子間は板状組織により結合され、より結合組織の緻密化

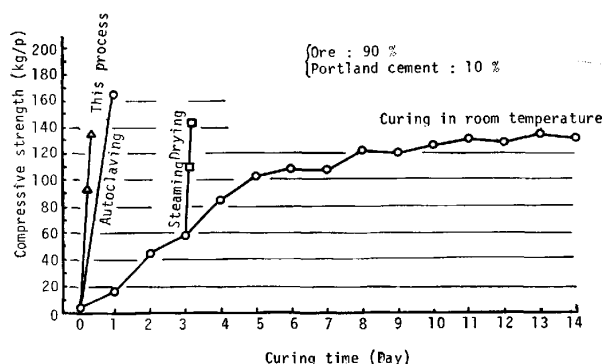
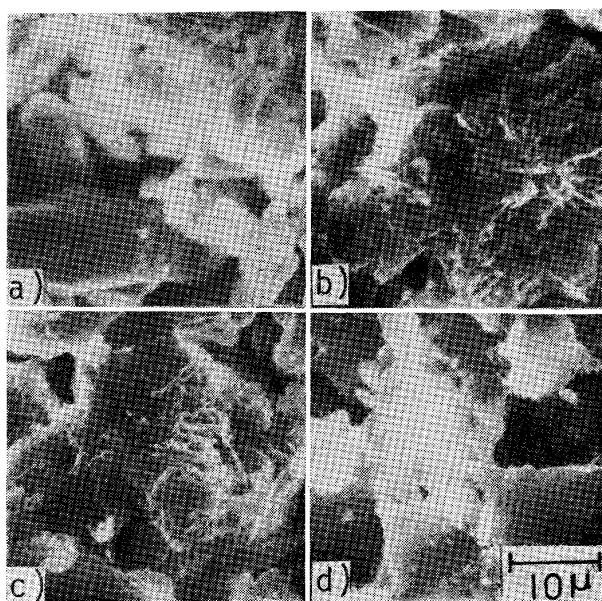


Fig. 10. Change of compressive strength of pellet in various curing method.



a) Original material, b) Hydration (65°C x 9h), c) Drying in air after hydration (200°C x 1.5h), d) Drying in CO₂ after hydration (200°C x 1.5h).

Photo. 1. Binding structure of portland cement treated in various atmosphere.

が認められる (Photo. 1 c), d)). これは、カルシウムシリケート水和物の一部が CO₂ と反応し、CaCO₃ となり構成粒子間の結合を強化するとともに、水和過程で析出した Ca(OH)₂ も炭酸化されて、Ca(OH)₂ + CO₂ → CaCO₃ + H₂O の反応により強度改善に寄与したものと考えられる。このことは、Fig. 11 のセメントの水和および炭酸化したあとの回線回折ピークから、水和または大気乾燥では Ca(OH)₂ が認められるが、炭酸化により Ca(OH)₂ は消失し、CaCO₃ が検出されることから推察される。

c) 強度発現モデル

水蒸気処理、乾燥処理の各処理温度、時間と強度発現の間には Fig. 12 の関係が近似的に得られた。この結果

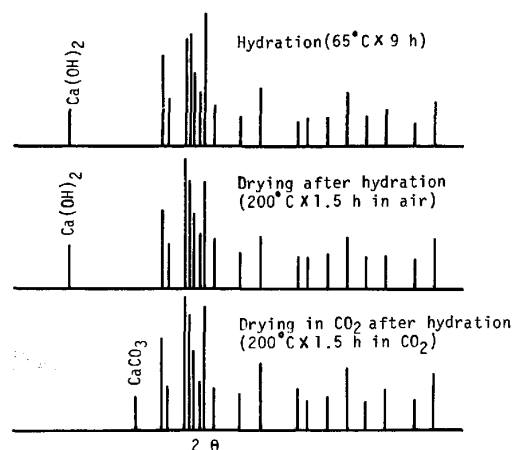


Fig. 11. X-ray diffraction of portland cement treated in various condition (Diffraction patterns illustrated are 3CaO·SiO₂ and 2CaO·SiO₂).

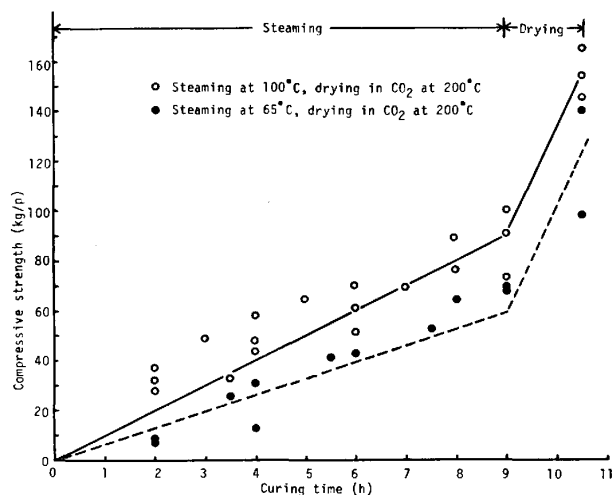


Fig. 12. Change of compressive strength in different steaming temperature.

に基づいて急速養生による強度発現過程を水和反応、炭酸化反応、および乾燥による摩擦抵抗の蓄積からなるものと考えて、モデル化を試みた。

ペレット強度発現量は鉱石粒子とセメント粒子間の水和物、および炭酸化物のサイト数およびサイトの占める体積に比例し、サイトは均一に分布していると仮定する。

ペレットの圧潰強度 E は水和反応物量 c_1 、炭酸化反応物量 c_2 、および乾燥工程における構成粒子間の摩擦エネルギー量 ϵ に支配されるとすれば次式で表される。

$$E = k_1 c_1 + k_2 c_2 + k_3 \epsilon \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 k_1 , k_2 , k_3 は比例定数である。したがって(1)式は

$$E = k_1 \int_0^{t_1} \frac{\partial c_1}{\partial t} dt + k_2 \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial c_2}{\partial t} dt + k_3 \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \epsilon}{\partial t} dt \dots \dots \dots (2)$$

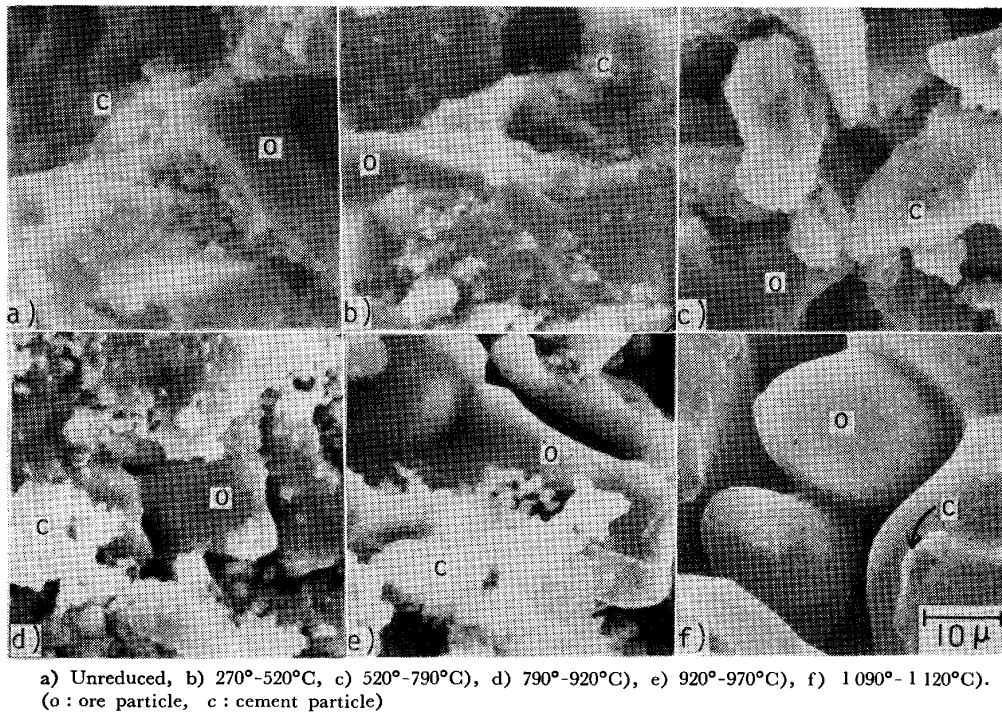


Photo. 2. Structure of pellet reduced in counter current reduction furnace.

となる。ここで、 t_1 : 蒸気養生処理時間, $t_2 - t_1$: 炭酸化と乾燥時間である。しかし、(2)式の2, 3項は同時に進行すると考えられ、両者を厳密に分離することは困難なため、2, 3項をまとめると(3)式のようになる。

$$E \approx k_1 \int_0^t \frac{\partial c_1}{\partial t} dt + k'_2 \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial c}{\partial t} dt \dots \dots \dots (3)$$

ここで、炭酸化反応物と摩擦エネルギー量の和を c で表した。

そこで、Fig. 12 の 100°C におけるスチーム処理と、200°C での乾燥処理における強度発現を時間の一次に近似するとして k_1 と k'_2 を求めた結果、それぞれ $k_1 = 10 \text{ kg/P}\cdot\text{h}$, $k'_2 = 42.7 \text{ kg/P}\cdot\text{h}$ となり、これを Fig. 12 の実線で示した。

一方、コンクリートの養生初期の圧潰強度は養生温度にほぼ比例すると言われている⁹⁾。そこで 0°C の k_1 を 0 と仮定し 100°C の値から 65°C の k_1 を求め、 k'_2 と組み合わせると点線のようになり、実測値と良く一致する。65° と 100°C の k_1 から求めた活性化エネルギーは 3.1 kcal/mol となり、温度依存性は小さいが、蒸気養生では高温ほど強度発現速度が大きいことが認められた。これらの結果から上記モデルにより良く強度発現推移を説明できる。

5.3 昇温還元過程における結合形態の変化

高炉の解体調査結果によるとコールドペレットは炉内でも形状を維持していることが報告されている¹³⁾¹⁴⁾。ま

た、大気中でコールドペレットを昇温すると、セメント水和物の分解後の結合はセメントの焼結が関与することが報告⁹⁾されている。ここでは高炉内を考えた昇温還元過程での結合形態の変化挙動を明らかにするため、鉱石ペレットを向流還元炉で還元し各温度域から試料を採取し、物理性状を測定すると同時に、ペレット表面から 1 ~ 2 mm におけるペレット構成粒子の結合形態を走査電顕で観察した。その結果を Photo. 2 に示した。

すなわち、520°C までは鉱石粒子はセメントの水和物等により結合している。520~790°C になるとセメント粒子の収縮によると思われる丸味を帯びた粒子が観察されるが、粒子間の結合は前者と同じ形態を維持している。790~920°C になると鉱石粒子表面のセメントと鉱石の焼結が進み、鉱石粒子間の結合は焼結結合に移行したことを示している。これらの結果から 790~920°C における水和物、炭酸化合物の分解温度では同時に鉱石間、およびセメント粒子との焼結が進み結合を維持し、1000°C 以上では鉱石間の焼結が急激に進み強固な結合形態となることが明らかになった。すなわち、ふくれや還元後圧潰強度が低下する 800~900°C は水和物、炭酸化合物の結合から焼結結合への遷移温度域と一致し、1000°C 以上では体積の収縮、および還元後圧潰強度が回復し、焼結の促進現象と良く一致した。

しかし、セメントの主構成物である $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ の融点は約 2200°C であり、800~900°C で焼結することは

考えにくい。そこで 800~900°C で還元履歴を受けたペレットの分析をした結果、FeO : 44.19%, CaO : 7.03%, SiO₂ : 4.07%, Al₂O₃ : 1.49% であり、FeO がセメント粒子の融点を下げ、焼結を促進したことが考えられる。分析値をもとに FeO-CaO-SiO₂ 状態図¹⁵⁾から融点を求めると約 1300°C となつた。Photo. 2 の組織はペレットの外周に近く、還元がトポケミカルに進行しているため FeO は分析値より低いと考えられ、融点は 1300°C より高いはずであり、この結果からただちに融点の推定はできない。しかし残留 FeO によるセメント粒子の融点の低下は十分に考えられ、そのためにセメント、鉱石粒子間の焼結温度も低下したものと考えられる。

6. 結 言

約 10 h でコールドペレットを連続急速養生するプロセスの開発を目的に、ポルトランドセメント 10% の鉄鉱石ペレット、または高炉水砕スラグ 14% のダストペレットを用い、養生条件の確立、パイロットプラントによる操業試験、および成品の性状評価を実施した。

1) 予備乾燥、凝縮加熱方式による水蒸気養生と乾燥処理を組み合わせ、約 10 h の連続養生を可能にした。ポルトランドセメントを結合剤とした場合には乾燥工程で 15%CO₂ により炭酸化して、成品ペレット強度の向上が図れた。

2) 6.5 t/d のパイロットプラントで製造試験を行った結果、鉱石ペレットで 170~200 kg/P、ダストペレットで 140~170 kg/P の圧潰強度の成品が得られ、物理性状も焼成ペレットに匹敵するものであつた。

3) 製造に要する熱エネルギーは約 8 万 kcal/t・P であり工場からの低温排熱を利用できる省エネルギー、無

公害プロセスである。

4) 向流還元炉を用いた昇温還元結果から、水和物、炭酸化合物の分解する 800~900°C でセメント粒子、鉱石粒子の焼結が始まり、焼結結合に移行して強度、形状が維持される。1000°C 以上になると鉱石粒子間の焼結が急速に進み、結合が強化される。この現象は体積の収縮、還元後圧潰強度の回復現象と良く一致した。

文 献

- 1) J. SVENSON; Gränges Ore News (1969) Aug.
- 2) N.G. LINDBERG and T.S. FALK: CIM Bulletin (1976) Sept. p. 117
- 3) 狐崎寿夫, 稲角忠弘, 須沢昭和, 水鳥武和, 相田実生, 田中 務: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 575
- 4) 近藤連一, 宋 宗澤, 後藤誠央, 大門正機: 鉄と鋼, 65 (1979) 13, p. 1825
- 5) 吉越英之, 近藤国弘, 福与 寛, A. DEJA: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S 99
- 6) 山岡洋次郎, 長野誠規: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S 94
- 7) 第 3 版鉄鋼便覧 第 II 巻 製鉄・製鋼, (日本鉄鋼協会編) (昭和54年), p. 154 [丸善]
- 8) 上野英生, 館 充, 大蔵明光: 鉄と鋼, 66 (1980) 3, p. 317
- 9) 須藤儀一, 秋葉徳二: セメント・コンクリート (1980) 398, p. 44
- 10) ネビル: コンクリートの特性 (1980), p. 13 [技報堂]
- 11) 丸安隆和, 小林一輔, 坂本好央: コンクリートライブラリー, (1970) 25, [土木学会]
- 12) W. チェルニン: セメント・コンクリート化学 (昭和50年) 97, p. 154 [技報堂]
- 13) 江崎 滯, 須沢昭和, 稲角忠弘, 高崎 誠, 野田多美夫, 野島健嗣: 鉄と鋼, 67 (1981) 4, S 51
- 14) 呉 平男, 桑野芳一, 鈴木吉哉, 張 東植, 松崎幹康, 中村成子, 辻 英太, 館 充: 鉄と鋼, 66 (1980) 13, p. 1870
- 15) E.F. OSBORN and A. MUAN: Phase Equilibrium Diagrams of Oxide Systems (1960), Plate 7, [American Ceramic Society]