

綜 報

自動式堅窯によるセメント焼成に就て

Manufacture of Portland Cement with an Automatic Shaft Kiln.

澤 井 郁 太 郎

Ikutaro Sawai

自動式堅窯によつてポルトランドセメントを焼成する方法は約20年前1925~1928年頃世に現れ、ドイツ、ロシア等に於て盛んに使用された。現今ではポルトランドセメントは主として廻轉爐を用いて製造されて居るが、餘り高次の製品品質を要求しない場合、或は劣質炭によつてセメント焼成を行う場合等には自動式堅窯による焼成は熱効率も高いので検討して見る必要がある。

此の形式の堅窯による焼成に於ては、セメント原料を調合した原料坯土に適當量のコークス或は無煙炭を一定の粒度配合を持つた粉末として加え水で煉り、成形プレスでブリケットを作り、これを窯の頂上より連續的に投入する。ブリケットは下から送風される空氣によつて燃焼を始め、ブリケット内部は約1400°C迄加熱され、クリンカーとなる。此の燃焼を終つたクリンカーが窯内を下部に移行する際空氣と熱交換して燃焼空氣を豫熱し、クリンカー自身は冷却し200°C前後の溫度となり、窯の最下部廻轉ロストルにより排出される。

自動式堅窯に關する文献は相當數あるが、設計や作業基準が比較的詳細に發表されているものはKupferdreh, (Zement, 1926)の報告のみであり、これを参照して以下に述べる中間試験爐を作つた。

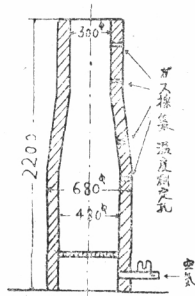
製造試験に使用した原料及コークス灰の分析組成(%)は第1表の通りである。

第 1 表

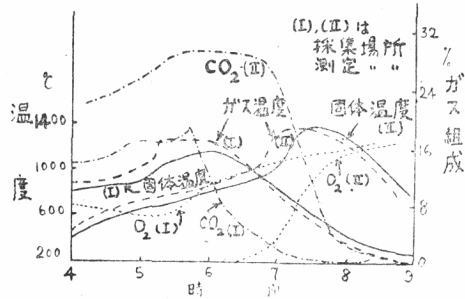
	灼熱減量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	そ の 他
粘 土	4.90	72.08	16.35	1.57	0.28	4.28%
紫 矽	0.48	26.90	12.40	45.21	3.56	11.45
石 灰 石	41.60	5.46	0.20	0.05	53.00	—
コ ー ク ス 灰	—	55.02	23.98	13.20	6.15	1.67

まず堅窯設計の基礎的數値及び操業條件を求める目的で豫備試験を行つた。原料土を微粉碎後、製品クリンカーの水硬率1.90~2.10になる位に調合したものにコークス粉末(10~20目/寸)22%加えたもの、及びコークスの灰もクリンカー組成中に入るものとして、水硬率2.00前後になる様に調合したものの2種を原料調合土とし、水を加えてプレス成型機により、4×4×4cm四角のブリケットとした。乾燥後第1圖に示す様な寸法のキューブラーを豫め薪で1000°Cに豫熱しておき、木炭で着火後、ブリケット250kgを投入、下方より送風して燃焼せしめた。各部の

第 1 圖



第 2 圖



第 3 圖



固体の温度(Pt-PtRhパイロメーター), ガス温度(吸引式パイロメーター), 燃焼ガスのガス分析, 逆風量の測定を行つた結果の一例を第2圖に示す. 尙第3圖は當キューブラーの外観である. コークス22%を含むブリケットの發熱量は, コークスの發熱量の測定値より換算して大體 1518 kcal/kg となり, ブリケット自体が非常に粗悪な燃料となつて居ることも考えられるが第2圖から判る様に固体の表面温度は 1380°C に達した. CO₂の含有量は30%位になり, Kupferdrehの出した結果(前記 Zen. ent 1926)と略々一致した値を示した. 出来たクリンカーは黒綠色多孔質でかなりよく焼結していたが, 爐の中心部にあつたものを除く外は爐壁よりの放熱其他の原因の爲充分にブリケットの中心部迄焼成する事は出来なかつた. 中心部までよく焼成したブリケットについては, 水硬率1.98のセメントを得る事が出来た. (灰もクリンカー組成部に入る様に調合した分). 強度試験に於いては普通ポルトランドセメントとほぼ同じ結果が得られたが, 沸煮試験に弱く遊離石灰の存在を認めた. なほ徑 4cm, 長さ 4cm, 中央に徑 1.5cm 程の中空部を持つブリケットも試作し, キューブラー試験を行つたが充分の乾燥強度がない爲, 投入の際破壊して窯の通風を妨害する危険があり, 且つブリケットの製作に非常な手数を要する故, 當試験以外には使用しなかつた.

このキューブラー試験に於て燃料炭22%のブリケットならば充分焼結してクリンカーになり得る事が判つたので, これを自動式堅窯の試験窯に移して製造試験を行つた. 試験爐の大體の大きさは第4圖に示す様である. キューブラーの場合と異り多量のブリケットを必要とするので, パグミルの一部及びバクターを改造し連続的にブリケットを製造出来る様にした. キューブラーの場合と同様に薪で爐壁を約 1000°C に蓄熱した後木炭に着火せしめ, 其の上にブリケット約

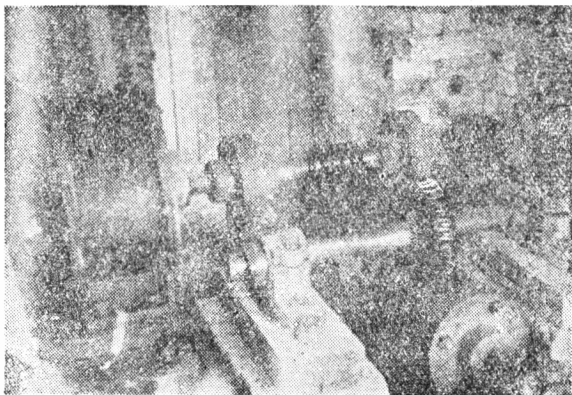
100kg ずつを分けて投入し、其ブリケットに着火したのを確認して後、次の 100kg を投入すると云う様にして、ロストル上 4m を着火せしめ、次いで残りの上部にブリケットを投入した後、回轉ロストルを動かした。回轉ロストルは文献では (Schoch; Die Mörtelbindestoffe) 特殊の齒形を有している様に見え、且つ理論的にも妥當と考えられる齒形があるが、製作の都合上當試験に於ては、1 本のロストルに 270 本のボルトを千鳥形に植えたもの 2 基を中央に向つて排出作用が行われる様に設計した。猶左右の爐壁との間隙を適當に保つ事により此の部分からも排出が行われ得る。第 5 圖は回轉ロストルの模型、第 6 圖は其の動力部分である。爐が定常状態になるに大體 2~3 日を要する。最高温度層は窯上端より 3m 位下の處にあり、之をばさんで 1m 巾位が燃焼層と思われた。回轉ロストルの處では約 200°C、排出クリンカー温度 150°C 位であつた。

爐操業上非常な障害となつたのは、ブリケットが熔融して相互に熔着し、爐内部を詰めて了うことであつた。Kupferdreh の文献に於ても此ことを

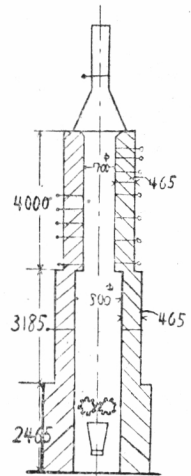
第 5 圖



第 6 圖



第 4 圖

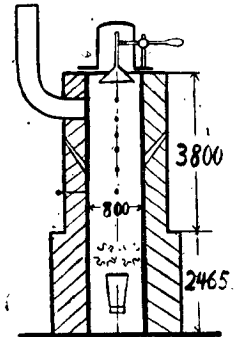


anbachen (熔着) の現象として非常に詳細な考慮が必要であると説いてある。中には中央部に入るブリケットに較べて周辺部に小型のブリケットを入れ通風状態を加減する事により壁に直接融着しない様に自動投入器を設計したり、或は燃焼層になる部分を爐壁を二重にし、中間部に焼成用空気を送つて、爐壁の冷却を行い熔着を防止すると同時に燃焼空氣の豫熱を行う事等の設計になつて居るものも發表されている (K. Schoch; Die Mörtelbindestoffe, 1928).

第 4 圖の爐でも燃焼層となつている部分即ち爐上端より 3m 下を中心として 1m 巾の部分に熔着が起つた。此の熔着は早期に發見し熔着層の薄い間に處理すれば、爐を停める事なく操業を續ける事が出来る。此の熔着部を破壊する目的のため、上記燃焼層に三方向につつき孔を作つて置

き此の孔より時径の鐵棒にてつつき熔着箇所を取除いた。爐上端の投入量と、クリンカー排出量との關係をたえず監視しておれば、熔着早期發見も不可能ではないが、それでも不測の原因により、大きな層の熔着が發展して上記のつつき孔よりの作業のみでは之を除く事が出来ない様な場合もあつた。此の場合は爐上端の煙突部を取はずし此の部よりつついて熔着部を破壊した。此の様に爐の連續操業上熔着の起ると云う事が非常な妨害となり、且つ此種の爐では熔着を起さない様操業するのは不可能と思われたので、熔着が起きた際簡単に取除く事が出来る様に第4圖の爐を改造して第7圖の様にした。

第 7 圖



猶熔着にはブリケットの乾燥強度も非常に影響する。乾燥強度が弱く投入の際破壊すると、破砕片が空隙部を埋める結果通風に不均等が起き、多量に空氣の流れる處が出来る。其の爲其の箇所を中心として熔着が發展するのが熔着の一原因となり得る。

改良した部分は、ブリケット豫乾燥層及びクリンカー冷却層を短縮して爐長を約3m 縮め5m とした事、爐上端側部に煙突を備け燃焼ガスを排出する様にした。自動投入器を設置しブリケットを爐斷面に封じ少量ずつ平均に投入し、乾燥強度の餘り強くないブリケットに對しても投入操作による破碎を少くした事、投入器を1時的に取除き上端より熔着部を破壊する事を容易にした事、側部つつき孔の數を増し且つ孔の徑を大きくして熔着部の破壊を容易にした事等である。上端より2m から3m 位の所に燃焼層が出来、改良前と略同じ焼成曲線が得られた。

熔着の危険を除くには、含有燃料分を減少するのも一つの解決法である。22%の燃料炭はKupferdreh の文献中の値及び燃焼に余裕を見積つて決めたのであるが、此の値を下げて、而も固體表面溫度を下げる事なく操業出来れば熔着の問題を解決する上に直接効果のある事である。此點を考慮して再びキューブラー試験によつて燃料炭を減じたブリケットの燃焼状態を検討した。結果は燃料炭を13%迄減らしても送風量を加減して(過剰空氣量を調節して)やれば充分高溫度に保ち固體表面溫度をクリンカー焼結溫度に保ち得る事が判つた。且つ熱収支の計算から見ても13%で燃焼する筈であるので、第7圖の試験爐に13%燃料炭混入のブリケットを送入し、焼成試験を行つた。其の結果は一週間連續運轉を試みた間、5回の熔着が起つたが、何れの場合も容易に除去出来、爐の操業には支障を起さなかつた。此の爐の熱効率は概算して56.4%位で、回轉爐よりもむしろ良い効率を示すことが判つた。回轉爐では爐を出るガスの溫度が高い(700~800°C)が、豎窯では爐を出る排ガスの溫度は低く400°C 位で、回轉爐でエコノマイザーを使用した場合の熱回収を考慮しても豎窯の方が熱効率はやや高い様であつた。

以上自動式豎窯を使用してボルトランドセメントを試作した結果、此種中間試験爐に於ても熱効率よく連續的に製造を繼續する事が可能である事が判つた。且つこの種製造方法で最も恐れられている熔着は爐の構造を適當にすれば除去することが出来る事が判つた。最後に製品についてはボルトランドセメントに比して2,3の點で劣っているが、其の方面の改良については、今後研究を進める豫定である。