

セメント工業に於ける工程解析例

第三製造部 渡 辺 茂
友 安 秀 夫

I 緒 言

最近我国には統計的品質管理が非常に普及し、企業の合理化並びに品質の維持向上に寄与せしめて居られる工場が多くなった。従って需要者の品質に対する考えも変って来た。我々の関係して居るセメントの場合にも、大量需要者の内には JIS 規程の外に特別の自家品質規格を設け、その中に品質の均齊を統計的な表示法で要求されているものもある程である。

需要者の要求されている品質には、一口に云えばよい品質である事と均齊であると云う二つの要求を含んでいる訳であるが、之等の要求を満足するセメントの品質を維持向上せしめるためには、各製造工程に於て品質に変動を与える原因を発見し之を除いてその工程を安定せしめる事が必要である。そしてその変動を与える原因をさがし出すために、技術的知識や過去に蓄積された経験を活用する事もよい方法であるが、統計的な方法による事も手固い方法である。云う迄もなく、工程に於て品質に変動を与える原因を統計的方法でさぐるのが即ち工程解析である。

工程解析は、一般に工程管理を行う際に必要な作業標準を作成するために行うものであるが、又ある工程の作業改善や購入品の規格制定のためにも役立つものである。

一般に化学工業の内でもセメント工業の解析は困難であると言われているが、その理由を挙げると

- (イ) 工程が複雑で工程の安定を乱す要因が多い。
- (ロ) 原料の銘柄並びに使用量が多く、又サンプリングが難しく原料の品質の推定が困難である。
- (ハ) 原料から製品になる迄物理的・化学的異常原因が多い。
- (ニ) 天候並びに社会状況により原料燃料の品質に変動が多い。
- (ホ) 計測化が不十分なため運転員のカンによる運転が多い。

しかし乍ら、以上の様な理由があればこそ統計的品質管理がなお更必要な訳である。工程解析の方法としては(1)過去のデータを使用して解析する方法、(2)工程において層別してデータをとり解析する方法、(3)実験計画を立てて結果を解析する方法等があるが、データに信頼性が欠ける欠点はあるがデータが豊富に利用出

来る点、経費がかからない点から考えると(1)の方法が利用し易い。現場から得た過去のデータを利用して簡単に工程解析するとすれば、相関分析法と管理図法によればよい。次に当工場に於て過去のデータを利用して解析を行った2~3の例を述べて参考に供し度いと思う。

II 工程解析例

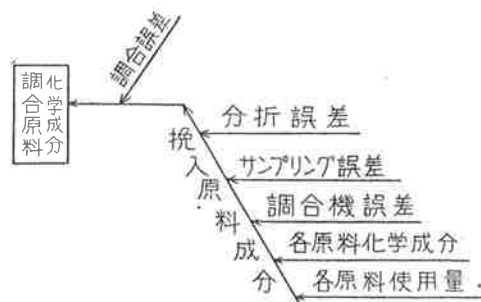
1. セメントの化学成分のバラツキに就いて
セメントの化学成分の変動に係る工程を大きく別けると

- (イ) 原料調合の工程
- (ロ) 原料の焼成の工程
- (ハ) 焼塊と石膏との調合の工程

であるがセメントの製造工程は他の化学工業と同じく Process生産であるから、最初の工程におけるバラツキは最後迄影響してくる事が考えられる。乾式と湿式の別、ダストの混入方法、燃料の種類質及び分析誤差の影響等により、窯送原料—焼塊間、焼塊—セメント間の各化学成分のバラツキに必ずしも相関性があるとは云えないが、大体に於いて相関性がある様である。勿論夫々の工場に於て、解析を行って相関性の有無を検定する必要がある。

従って、セメント成分のバラツキについて考える場合、先ず調合原料の化学成分のバラツキについて先ず注意を払う必要がある。

今調合原料仕調工程に於ける特性要因図を示すと次の通りである。



工程解析は特性値である調合原料化学成分変動に対し、如何なる要因がどの程度影響を及ぼしているか解析し影響の大きいものから対策を立てて処理して行く訳である。この際、特に注意しなければならない事は、

セメント製造工程の大部分は粉粒体を取扱う工程であるからサンプリング法が適当であるかどうかである。即ち予めサンプリング法を標準化し又その誤差をも確認して置く必要がある。又この外に分析誤差を測定して置かねばならぬ。何故ならば、之等の誤差が不明又は非常に大きいために各工程間の化学成分変動の相関性に逆の結果が現れる事があるからである。今セメント原料の調合に於て、挽入原料から調合原料を仕調する際に起る成分の変動の一例を以て示すと次の通りである。

調合原料化学成分の変動

種別	化学成分	S.M.	H.M.	I.M.
全変動		0.039	0.031	0.060
調合誤差		0.033	0.030	0.058
サンプリング誤差		0.003	0.006	0.022
分析誤差		0.023	0.003	0.016

備考

上記の結果は、スラリータンク試験回数10、各回タンク内にて2箇所より料試採取、採取試料は同一分析者にて2回繰返し分析して得たものである。

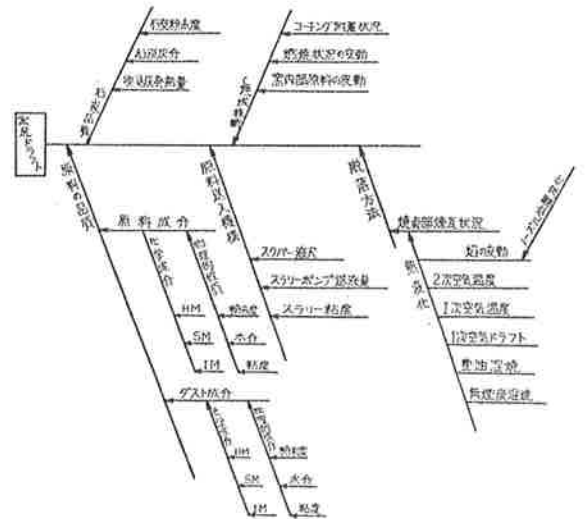
上表を見ると全変動に対し調合誤差が大きく影響している事が伺われる。即ち挽入原料から調合原料を仕調する場合の調合操作を先ず第一に改めなければならぬ事がわかる。又分析誤差では S.M. が大きく原ているが、分析誤差を小さくする様に努力すべきは当然である。

2. アンザツリング附着要因の解析

回転窯の焼出量の急激な減少の原因の一つとして、

アンザツリングの附着が挙げられる。アンザツリング附着の原因の探究については各種の研究、紹介が行われているが未だに明かにされて居らない。我々は窯内アンザツ附着と窯尻ドラフトとが相関関係にある事から、特性値を窯尻ドラフトに選び窯尻ドラフトの異常原因を探求して、その原因を除去せんとした。

(イ) 特性要因図を次の通り示す。



特性要因図

(ロ) 解析方法

窯尻ドラフト上昇の傾向の日から3日前迄の測定値より3σ外のものを集めて、技術的検討のもとに予め作成して居た仮アンザツ要因簿に記入し、半期毎にヒストグラムを作成し多いものより処置方法を検討した。茲に昭和31年1月より昭和32年5月迄のアンザツ附着時に於ける異常測定値のヒストグラムを示すと次の通りである。

アンザツ附着時異常測定値のヒストグラム

昭和31年1月より昭和32年5月迄

番号	項目	アンザツ附着年月					度数	備考
1	原料性状	粉末度	31年1月				1	3.5%以上
2		水分	31年5月				1	40%以上
3		粘り度	31年5月	31年12月	31年1月	31年5月	4	90秒以上 (粘度計は加圧式による)
4	原料成分	F M	31年5月				1	2.25以下
5		S M					0	
6		I M	31年3月	31年4月	31年12月	32年1月	32年4月	5
7	ダスト輸送機の故障	31年1月	31年3月				2	スクパー液層の変動=窯の廻転15R以上
8	スラリー輸送機の故障	31年5月	31年12月				2	//
9	石灰分	31年6月	31年10月	32年1月	32年3月	32年4月	5	18%以上

10	炭 粉 末 度	31年 4月	32年 1月	32年 3月		3	12%以上
11	焼点部煉瓦状況	32年 2月				1	セル表面が赤色の場合
12	ノズル移動範囲	31年 12月	31年 1月			2	設備不足のため200mm以内
13	煙道の併用	32年 4月				1	窯圧ドラッドの変化が不充分

(イ) 解析結果

(ロ)に於けるヒストグラムから次の事が云える。

昭和31年1月より昭和32年5月に汎る間、アンザツ附着現象が起った27回は

- 原料の質的異状によるもの 12回 (44%)
- 吹入炭の質的異状によるもの 8回 (30%)
- 輸送システムの故障又は輸送量変化による原料、ダスト等の量的異状によるもの 4回 (14%)
- 炭末吹込ノズルの移動不能によるもの 3回 (12%)

に大量分けられる。即ち原料の質的異状によるものが最も多く吹込炭質的異状が之に次いで居る。勿論之等の結果は日常の測定値の解析のみから得られたものであり、測定値の種類が不充分である以上これがアンザツ要因のすべてでない事は明かである。然し乍ら、以上の結果から処置として採られるべき項目を列記すると次の通りである。

i) 窯入原料の品質

- a. 化学成分変動の減少, 特に I.M.変動の減少
- b. 物理的成分変動の減少, 特に粘度変動減少せしめる必要があるが粘度には水分並びに粉末度も関係があるので、之等の変動を減少せしめる必要がある。
- c. ダストの量的質的変動の減少

ii) 原料スラリー輸送関係の改善

- a. ポンプ送液量
- b. スクーパー扱上量

iii) 石炭品質

- a. 購入炭の規格制定, 銘柄の減少
- b. 吹込炭灰分の減少
- c. 吹込炭粉末度変動の減少

iv) 焼成技術の向上

v) 脱落技術

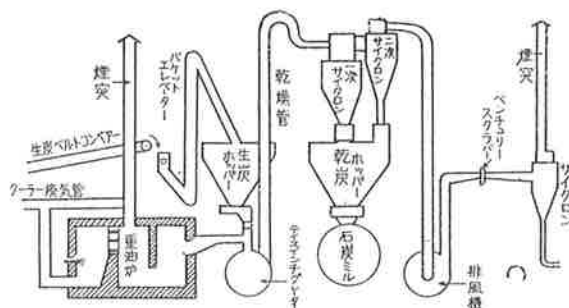
アンザツ要因の除去が出来ない限り、アンザツは附着するものである故アンザツ附着個所のセル温度測定を常時行い、早期発見すると共に、炭末吹込ノズルの移動、炭末吹込量の変化等による熱変化により早急に脱落を計る必要がある。

之等の項目の各々を解決するために、具体的に機械設備、装置の改造並びに設置を行いつつあるが茲では省略する。

3. 気流乾燥機の解析

気流乾燥機は吹込炭の乾燥に供せられる。本乾燥機にて乾燥された石炭は石炭ミルに入って微粉砕され回転窯に吹込炭として使用される。

その機構を略図を以て示すと次の通りである。



石炭気流乾燥機略図

この解析の目的は、気流乾燥機運転のための作業標準作成並に合理的な運転を行う手段を得るためであった。

(イ) 解析方法

2項確率紙に依る簡易相関分析法に依った。

(ロ) 測定事項

個々の測定値から得られた平均値、標準偏差並に変動係数を示すと次の通りとなる。

制 定 事 項	\bar{x}	δ	CV	
洗粉混合割合	80.20	5.15	6.29	\bar{x} = 平均値 δ = 標準偏差 $CV = \delta/\bar{x}$ = 変動係数
生炭水分%	11.44	0.725	15.80	
乾燥量 T/H	6.36	1.14	17.94	
生炭温度 °C	19.50	7.01	35.8	
熱風温度 °C	148.5	20.7	13.40	
ヂスキン入口温度 °C	437	75.0	17.15	
ヂスキン出口温度 °C	130.5	4.42	3.39	
乾炭温度 °C	69.0	1.82	2.64	
ヂスキン入口風圧 -mm	13.20	2.40	17.80	
ヂスキン出口風圧 -mm	110.4	15.60	14.13	
排風機入口風圧 -mm	447	41.2	9.22	
重油使用量 l/石炭Ton	6.975	1.23	16.30	

(イ) 气流乾燥機の特性格要因を示すと次の通りである。

特性値乾燥量に影響する各要因を挙げ、夫れらの間に於ける相関分析結果を正、負の記号を以て示す。

(A) 相関分析の結果



(B) 偏相関分析の結果



(ロ) 相関係数

各要因間の相関係数を求め有意差(5%危険率)のあるものを挙げると次の通りである。

(ハ) 回帰方程式

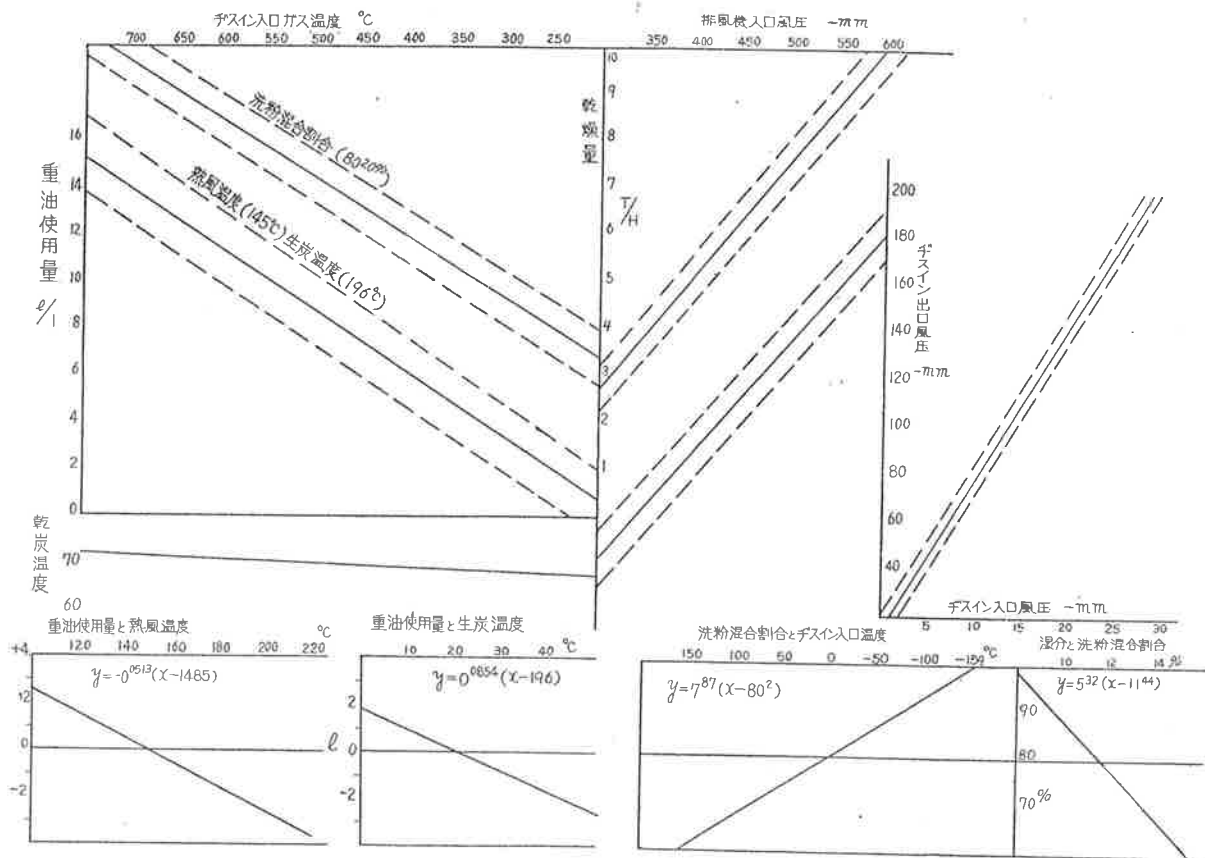
相関係数及び試料標準偏差より、回帰係数を求め更に回帰方程式を求めると次表の如くなる。

特 性 要 因 相 関 表

測定事項	デイスイン入口風圧	生水	炭分	洗粉混合割合	生炭温度	重油使用量	熱風温度	デイスイン入口温度	デイスイン出口温度	乾燥温度	炭度	デイスイン出口風圧	排風機入口風
乾燥量	+0.71							+0.82				+0.71	+0.89
排風機入口風圧	+0.75							+0.785				+0.81	
デイスイン出口風圧	+0.95						-0.365	+0.82					
乾燥温度								+0.335					
デイスイン出口温度		-0.39	+0.41										
デイスイン入口温度		+0.365	-0.562	-0.508	+0.562	-0.335							
熱風温度			-0.54			-0.94							
重油使用量		-0.305	-0.51	-0.53									
生炭温度													
洗粉混合割合		-0.75											

回 帰 方 程 式

y	x	回 帰 方 程 式	備 考
乾燥量	排風機入口ドラフト	$y = 0.0246x - 4.63$	①回帰係数 $b = r \times s_y / s_x$ $r =$ 相関係数 $s_y, s_x =$ 試料標準偏差
排風機入口ドラフト	デイスイン出口ドラフト	$y = 2.15x + 211$	
デイスイン出口ドラフト	デイスイン出口ドラフト	$y = 6.18x + 25.3$	
乾燥量	デイスイン入口温度	$y = 0.0125x + 0.90$	②回帰方程式 $y = b(x - \bar{x}) + \bar{y}$ $x, y =$ 試料の平均値
デイスイン入口温度	重油使用量	$y = 37.3x + 176$	
重油使用量	熱風温度	$y = 0.0513(x - 148.5)$	③標準偏差 $S_y = \sqrt{s_y^2 - b^2 s_x^2}$
重油使用量	生炭温度	$y = -0.0854(x - 19.6)$	
デイスイン入口温度	洗粉混合割合	$y = 7.87(x - 80.2)$	
洗粉混合割合	生炭水分	$y = -5.32(x - 0.725)$	
乾燥温度	デイスイン入口温度	$y = 0.00813(x + 65.73)$	



(一) 解析結果

上記の回帰方程式より次の様な各要因間のグラフを作成し、そのグラフの使用方法を作業員に説明し日常作業の合理化を行うと共にこのデータを基礎として作業標準を制定した。

III 結 言

各製造工程に汎って、あらましの工程解析を行って一応の作業標準を作り、その内管理し易いものから順次工程管理を行っているが、実施して見ると幾多の壁にぶかって居る。

即ち、

イ データーを記録している現場作業者が、統計的品質管理に対する関心が充分高まっていない。一応一

線の監督者である職長までは教育して居るが、夫等の人々が直接の部下を教育する余裕がない。

- ロ 各機械装置に対して、層別された計器が付いて居ない事が多く、工程解析も不十分で適切なアクションが採りにくい。
 - ハ 測定値の中には結果判明迄に Time lag のあるものが可成り多い。
 - ニ 電力事情、その外の外部事情による機械装置の運転停止が多く、その為に工程を乱される事が多い。
- 等であるが、工程解析と云う統計的な方法を用いてデータの解析を行うと、各工程の姿を容観的に且系統的に把握する事が出来、ともすれば主観的に陥り易い現場作業の進歩向上に役立つものと考える。