

構造物の安全性監視の為のモルタル強度管理 方式の設計に就いて

東京都立大学
東京都技師

小林 輝一郎
高橋 久雄

§ 1 序

構造物の安全性を確保する為に、構造理論、使用材料の強度特性、施工上の処置等にわたり種々方法が考え得られるが、特に、その内で、その現場に於て使用するセメントの強度特性を統計的に取扱ひ、強度を管理化する事に依つて、構造物の安全性を確保し、セメントの時間経過に伴う不良化の強度低下を摘発し、使用前に対策を講じ得る処置も重要な事であり、そうゆう意味で安全性監視の諸手段を設計したのである。即ち、強度低下、変動の烈動化を未然に防ぎ得る様、監視する為に如何に強度管理方式を設計するかを問題点として論求した。通常行つて居るモルタル圧縮強度や曲げ強度の結果から獲得される *Information* を、構造物の安全性を確保する為の最も効果的な方法を編み出すべく、亦有効に活用し得る為、管理操作量を設定するが、如何にして統計的諸技術を動員し編成し、現場に於て *Control action* が *smooth* に営まれるかに対して追求したのである。従つて、編成した管理方式から導かれる測定値自体は問題ではなく、(特に使用セメントの会社個有の強度特性を示す場合が多い故、値自体は可変的であると考えたからである。)その測定値は、その現場で管理方式を営む上に好都合な標準値として与え得るものであり、それよりも、その現場特性の上で構造物の安全性を確保する意味から最も有効な管理方式が営まれ得る為の操作方法、設定した管理標準値、及びその値の変動性、相関性、に関する *Information* を獲得する為の統計的表現、統計的取扱ひ、統計操作等を如何に編成するかの方法に目的を置いて追求した。その為に、現場側から与えられる管理行動を営む上での制限条件(手数がかゝらない様に、結論を早急に表出させ得る事等の経済的、生産的諸条件)を、適当にさばきつゝ、最初に計画した管理目的を、最も工合良く成し遂げる点に解決のメドが存在する事になる。従つて、この為に、単なる現象分析の上からのみ管理方式が結論づけられるのではなくて、現場側の意向を汲んで、迅速に、而も人手を多数に要しない様に管理操作が営まれる為に、管理図を多元的に構成し、モルタル強度も、特に 3 日強度を取り上げ、試験群中の最小値(現場で必要とする安全性監視といふ目的に沿う為に)を以つて管理操作量とし、而も、曲げ強度、圧縮強度の両者の総合的関聯性を十分に活かす管理操作量も設定し、更に、強度低下群が検出された時の低下値の抽出系列的検討を行ひ得る様に考慮し、更に現場打込期での曲げ強度(M)と圧縮強度(C)との相互関係の上に立つての変動性を管理する操作方式を設計する事をねらつたのである。それ故に現象解析として、変量分析、要因分析、相関分析、回帰分析等を行つても、常に、結論の中心点が、管理方式を設計する立場へ綜合化されるといふ立場へ纏め乍ら、解析され、統計的各種の技術手段が組み立てられて居る。そうして、現場に於て構造物の安全性を確保し、強度特性を監視する為の常時強度を検出すべき、最適の *Control action* の諸手段を設計した。

① モルタル圧縮強度の最小値管理図

② 判別限界値に依る強度管理図

③ 棄却随円に依る変動管理図

④ 異常強度特性（強度低下）監視の為の抽出系列に依る逐次解析管理図

§ 2 管理方式設計の為の解析

強度特性 - I : 要因分析

3日圧縮強度、曲げ強度及び28日強度の圧縮、曲げ強度に関する要因分析：

Design の基本的要因、

即ち、この要因は当然、現場で構造物の安全性を確保する為に強度特性を監視すべく組まれた Operational research 活動に依つて設定された要因で、それぞれの現場特性に依つて変り得るものである。

現場打込期とセメント工場出荷期別に依る変動（時間経過的要因）： I_0 , I_1

抽出 Batch 間毎に依る変動： D_1 D_2 D_3 D_4 D_5 D_6

抽出 Batch 内の標本変動： T_1 ・ T_2 ・ T_3 ・ T_4

構造式：

$$S_{IDT} = m + S_I + S_T + S_D + S_{IXT} + S_{TXD} + S_{IXD} + S_{IXD} \times T$$

変量分析表

要 因	自由度 (d.f)	不偏分散の推定値 $E(m \cdot S)$
打込み、出荷別変動 S_I	$i - 1$	$\frac{\sigma^2 + d\sigma_T^2 + t\sigma_D^2 + td\sigma^2}{\sigma^2 + d\sigma_T^2 + t\sigma_D^2 + d\sigma^2}$
Batch 内変動 (実験誤差) S_T	$t - 1$	
Batch 間変動 (抽出誤差) S_D	$d - 1$	$\frac{\sigma^2 + id\sigma_D^2 + t\sigma_D^2 + it\sigma_D^2}{\sigma^2 + id\sigma_D^2 + t\sigma_D^2 + it\sigma_D^2}$
要因の交互作用変動 S_{IXT}	$(i-1)(t-1)$	$\frac{\sigma^2 + d^2\sigma_T^2}{\sigma^2 + d^2\sigma_T^2}$
" S_{TXD}	$(t-1)(d-1)$	$\frac{\sigma^2 + id^2\sigma_D^2}{\sigma^2 + id^2\sigma_D^2}$
" S_{IXD}	$(i-1)(d-1)$	$\frac{\sigma^2 + t\sigma_D^2}{\sigma^2 + t\sigma_D^2}$
誤 差 S_{IXTXD}	$(i-1)(t-1)(d-1)$	σ^2
全 変 動 S_{ITD}	$(itd-1)$	

注文したセメントが工場を出荷し、現場へ到着し、在庫期間を過し、打込み時期に至るまでの時間経過に伴う強度の変動性、特に強度低下化を監視する為に I - 要因は現場に於ては、特に重要な要因であり、工場側から提出される試験結果と比較して、検討し、更に出荷期の貨車番号を手ずるにして、現場と工場とを対応させる様にして、現場打込強度を取扱い、Sampling Design を行つた。

第一表：曲げ強度の変量分析表

要因	S.S	d.f	m.S	F	要因	S.S	d.f	m.S	F
S_I	4400	1	3400	3828	S_I	10976	1	10976	35.18 ***
S_T	4524	3	1500	1689	S_T	4866	3	1622	5.199 *
S_D	6137	5	1227	1382	S_D	5331	5	1066	34.17
S_{IXT}	2377	3	792		S_{IXT}	2017	3	672	2.154
S_{IXD}	3045	5	609		S_{TXD}	7213	5	1442	46.22 **
S_{TXD}	2303	15	460		S_{IXD}	3761	15	251	
S_{IXTXD}	13320	15	888		S_{IXTXD}	4681	15	312	
S_{ITD}	36106	47			S_{ITD}	38845	47		

(3日強度の場合)

(28日強度の場合)

第二表：圧縮強度の変量分析表

要 因	S.S	d.f	m.S	F	要 因	S.S	d.f	m.S	F
S /	3814	1	3814	904**	S /	9927	1	9927	1352**
S _T	722	3	241	1.75	S _T	5226	3	1742	2373
S _D	1203	5	240		S _D	6663	5	931	1268
S _{I×T}	1373	3	458	1085	S _{I×T}	3711	3	1237	1685
S _{I×D}	3441	5	688	1630	S _{I×D}	7631	5	1526	2079
S _{T×D}	1066	15	71		S _{D×T}	1067	15	213	
S _{I×T×D}	6334	15	422		S _{I×D×T}	11006	15	734	
S _{I×D}	17953	47			S _{I×D}	45231	47		

(3 日強度の場合)

(2 8 日強度の場合)

その為に要因 - D は、名目的には抽出 Batch 間別変動であっても、内容的には、出荷と打込期とが関聯し合つた Information を伝達する役割を持つて居ると考えられる。結果は第一、第二表の通りである。

強度特性 - 2 : 相関々係の追求解析

第三表、第四表を中心として、3 日強度と 1 8 日強度に関する強度特性を検討した。即ち圧縮強度と曲げ強度との相関々係を、回帰分析、相関分析、相関係数、相関比の検定を通じて、強度特性に関する Information を獲得し、解析した。特にこの解析を取り上げたのは、この管理方式設計に於ける基本的態度が、曲げ強度、圧縮強度の両者の総合的観点に立つて、Control action が営まれる為にあるからである。

統計解析採用の強度範囲表

	2 8 日強度範囲 Kg/cm ²	3 日強度範囲 Kg/cm ²
出 荷 期	5 1 ~ 7 3	2 0.6 ~ 3 1.0
	3 1 5 ~ 4 2 5	1 0 4 ~ 1 2 1
打 込 期	4 8 ~ 6 8	1 8.5 ~ 2 8.1
	3 0 5 ~ 3 9 2	9 1 ~ 1 1 6

第 三 表

相関分析結果：
3 日強度の場合

要 因	S _M	S _C	C _{MC}	d f
T	4 5 2 4	7 2 2	1 4 5 8	3
I	4 4 0 0	3 8 1 6	3 7 0 1	1
D	6 1 3 7	1 2 0 3	1 2 6 6	5
I × T	2 3 7 7	1 3 7 3	1 6 2 3	3
I × D	3 0 4 5	3 4 4 1	3 2 8 3	5
T × D	2 3 0 3	1 0 6 6	1 6 3 8	15
R	1 3 3 2 0	6 3 3 4	8 2 2 1	15

第 四 表

		3 日 強 度		2 8 日 強 度		
		打 込 期	出 荷 期	全 体	打 込 期	出 荷 期
曲強 げ度	平 均 値	25.18	26.85	62.5	58.42	62.54
	標 準 偏 差	3.31	3.80	3.33	3.41	3.26
圧強 縮度	平 均 値	104.8	111.5	363.8	355.6	364.8
	標 準 偏 差	4.86	3.98	18.7	16.76	18.17
相 関 係 数		0.52	0.75	0.568	0.634	0.52
共 変 動		8.64	11.91	35.5	29.8	37.5
相 関 比		$\frac{0.28}{0.41}$	$\frac{0.38}{0.51}$	$\frac{0.25}{0.35}$	$\frac{0.44}{0.27}$	$\frac{0.55}{0.47}$
直線性の検定		5%で有意	5%で有意	5%で有意	1%で有意	1%で有意

第 五 表

従つて、両者の総合性を十分に活かす為に、両者の相関々係を追求した。亦、この様な統計解析に於いて活用した強度範囲は第三表の通りである。亦第六表の相関分析表に依つて、MとCとの回帰方程式を設定化する上で、生じた回帰項と残差との検討を行つた。

註：相関比の検定は、M、Cの両者とも出荷期を除いては、すべて有意とは認め難い。
(危険率5%を以つて検定した。)

$$F = \frac{\gamma_{MC}^2}{1 - \gamma_{MC}^2} \cdot \frac{N - k}{k - 2} : F_{\alpha, k-2, N-k}$$

強度特性 - 3 : 相関分析

前の実験計画法に依つてDesignした圧縮強度(C)が、曲げ強度(M)と相関々係が相当ある故、序で述べた様にCだけの測定値に就いてのみ独立的に夫々の要因に基づく変動を、そのまま要因分析にかける事なくCとMとの相関々係に依存する部分がある事に甚く影響性を除外した上分析した方が精度が良くなる。

		曲げ強度より圧縮強度推定の場合		圧縮強度より曲げ強度推定の場合	
		打 込 期	出 荷 期	打 込 期	出 荷 期
3 日 強 度	要 因	S.S d.f m.S	S.S d.f m.S	S.S d.f m.S	S.S d.f m.S
	回 帰 項	155 1 155**	223 1 223**	76 1 78**	214 1 214**
	残 差	4118 15 275	158 15 105	203 15 1353	151 15 1007
	全 変 動	5668 16	382 16	279 16	366 16
28 日 強 度	要 因	S.S d.f m.S	S.S d.f m.S	S.S d.f m.S	S.S d.f m.S
	回 帰 項	240 1 240**	355 1 355**	41 1 41**	462 1 462**
	残 差	665 320 2	536 268 2	220 320 06	698 268 026
	全 変 動	905 321	891 269 33	261 321	1160 269

第 六 表： 相関分析表

即ち、M・Cの全変動 SM 、 SC を各要因に基く部分変動に分割し、次にMとCとの両者の総合的立場に注目して、全共変動 C を同じく各要因に基く部分変動に分割し、此等を用いて各要因毎に1次回帰項 C^2_{MC}/SM 及び残差変動を計算する。即ち、今要因Tの有意性を誤差Eに対して検討するにはTに基くCの変動 SC_T からMに依存する部分 $\frac{C^2_{MC \cdot E}}{SC \cdot E}$ を引いて得られる Δ_T とEに基づくCの変動 $SC \cdot E$ からMに依存する部分 $\frac{C^2_{MC \cdot E}}{SC \cdot E}$ を引いて得られる Δ_E とを夫々の自由度で割つて不偏分散比をFとしてF-test 出来そうであるが正しくない。

即ち、

$$\Delta_T = SC_T - \frac{C^2_{MC \cdot T}}{SM \cdot T} = SC_T - b_T SM \cdot T$$

$$\Delta_E = SC \cdot E - \frac{C^2_{MC \cdot E}}{SM \cdot E} = SC \cdot E - b_E SM \cdot E$$

という式から判る様に両者は夫々異なる回帰係数で修正されている事になり、 Δ_T と Δ_E とはそのまゝで比較したのでは要因Tの有意性の検定にはならないから Δ_T に回帰係数の差に基くものとして、 $(b_T - b_E)^2 / \{ \frac{1}{SM \cdot T} + \frac{1}{SM \cdot E} \}$ を加えたのを用ひなければならぬ。これを Δ'_T とすると、

$$\begin{aligned} \Delta'_T &= \Delta_T + \frac{(b_T - b_E)^2}{\frac{1}{SM \cdot T} + \frac{1}{SM \cdot E}} = \Delta_T + \frac{(b_T - b_E)^2 SM \cdot T SM \cdot E}{SM \cdot T + SM \cdot E} \\ &= \Delta_T + b_T^2 SM \cdot T + b_E^2 SM \cdot E - \frac{(b_T SM \cdot T + b_E SM \cdot E)^2}{SM \cdot T + SM \cdot E} \\ &= \left\{ SC_T - \frac{C^2_{MC \cdot T}}{SM \cdot T} \right\} + \left\{ \frac{C^2_{MC \cdot T}}{SM \cdot T} + \frac{C^2_{MC \cdot E}}{SM \cdot E} - \frac{(C_{MC \cdot T} + C_{MC \cdot E})^2}{SM \cdot T + SM \cdot E} \right\} \\ &= \left\{ (SC_T + SC \cdot E) - \frac{(C_{MC \cdot T} + C_{MC \cdot E})^2}{SM \cdot T + SM \cdot E} \right\} - \left\{ SM \cdot E - \frac{C^2_{MC \cdot E}}{SM \cdot E} \right\} \\ &= \Delta_T + E - \Delta_E \end{aligned}$$

として計算した値をその自由度で割つた不偏分散とし、 Δ_E をその自由度で割つた不偏分散とし両者から作つた分数比で検定すれば良い。

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_T = \Delta_T + E - \Delta_E = 58.4 \\ \Delta_I = \Delta_I + E - \Delta_E = 90.7 \\ \Delta_D = \Delta_D + E - \Delta_E = 220.3 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} K_T = \frac{\Delta_T}{t-1} = 19.4 \\ K_I = \frac{\Delta_I}{i-1} = 90.7 \\ K_D = \frac{\Delta_D}{d-1} = 440.6 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta(I \times D) = \Delta(I \times T) + E - \Delta_E = 41.2 \\ \Delta(I \times D) = \Delta(I \times D) + E - \Delta_E = 46.5 \\ \Delta(T \times D) = \Delta(T \times D) + E - \Delta_E = 340.5 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} K_{T \times I} = \frac{\Delta_{T \times I}}{(t-1)(i-1)} = 13.7 \\ K_{I \times D} = \frac{\Delta_{I \times D}}{(i-1)(d-1)} = 9.3 \\ K_{T \times D} = \frac{\Delta_{T \times D}}{(t-1)(d-1)} = 2.27 \end{array} \right.$$

$$\Delta_E = 122.2$$

$$*K_E = \frac{\Delta_E}{(t-1)(d-1)(i-1)} = 81.45$$

検定：

$$T : F_S = \frac{K_T}{K_E} = 2.36 < F_0(0.05)$$

$$I : F_S = \frac{K_I}{K_E} = 1.13 > F_0(0.01)$$

$$D : F_S = \frac{K_D}{K_E} = 5.38 > F_0(0.01)$$

$$T \times I : F_S = \frac{K_{T \times I}}{K_E} = 1.67 < F_0(0.05)$$

$$T \times D : F_S = \frac{K_{T \times D}}{K_E} = 1.00 < F_0(0.05)$$

$$I \times D : F_S = \frac{K_{I \times D}}{K_E} = 2.77 < F_0(0.05)$$

以上相関分析の結果、現場と出荷別との差、抽出Batch間の差は、曲げ強度に依る影響を除外しても1%以下の危険率で有意であり、この事は、この供試セメント群に於ては、現場と出荷別、抽出Batch間といふ要因は充分監視をしなければならない事を示して居る。I-要因とD-要因に関しては、相関分析をしない、即ちCのMによる量的関係を無視しても本質的なものであると推定され、その他は、要因分析の結果は見掛けのなもので、相関分析に依つて採用した時の結果の方が有意である。亦交互作用項が、全部有意でないのは、1つの要因に依る効果が、他の要因に依つて異つてしまはしない事を示して居る。

註：相関比と相関係数との関係から、MとCとの直線的関係を次の式で検定した。

$$F = \frac{\eta_{MC}^2 - \delta_{MC}^2}{1 - \eta_{MC}^2} \cdot \frac{N-k}{k-2}$$

η_{MC}^2 : 相関比
 δ_{MC}^2 : 相関係数
 N : 観測個数
 k : 区間数

のFの値が1より大きいかどうかを求めて検討する。即ち、 η_{MC} はMのCへの回帰関係が直線的でない時にも相関の度合を測る事が出来る尺度であつて、これが1に近い時は、そうでない時に比して点は回帰線の周りに密集して居る。 η_{MC} と δ_{MC} とが相等しい時直線的関係が認められる。

§3 判別函数に依る判別限界値及び判別式の推定

使用するセメントが、未だ、その強度特性が出荷期側の状態を示すのであれば、一応安全度管理状態として扱え得るが、これが、現物打込期の変動特性で以つて表現される状態になつてしまふと、一応安全度管理状態としてのバランスが破れて、強度低下とか、変動の烈動化し易い方向へ移る可能性が生ずる故、この状態を保持する事が大事であり、而もそのセメントの強度特性を単なる一変量のみに依つて判別するのではなく二変量以上の測定値を以つて、総合的な判別値を設定する事に依り、“安全度確保の方法”の多種類の信頼性を獲得せねばならない。単なる圧縮強度のみで強度特性を監視するには不安

であり、曲げ強度をも同時に取扱ふ事に依つて、一応の効果を挙げ様と考えたのである。そこで、この両者を夫々に適当な重みをつけた上で加算をした形で総合し、夫々の試験片に就いての総合された値、即ち判別値を求めて、工場、現場との領域判定の管理図に活用する。

両者での $X_1 \ X_2 \ \dots \ X_n$ の変動及び共変動を求め、 S_{ij} とし、打込期群を $S_{ij}(1)$ 、出荷期群を $S_{ij}(2)$ で表はし、

$$W_{ij} = [S_{ij}(1) + S_{ij}(2)] / (N_1 + N_2 - 2)$$

といふ量を計算をすると、この W_{ij} を成分とする行列 (W_{ij}) は、 $X_1 \ \dots \ X_n$ の n 個の変量を一括して取扱ふ場合の n 変正規母集団の母分散行列の推定値を示すものである。これは、1 変量の場合の不偏分散 s^2 が母分散 σ^2 の推定値である事に対応する。 $i = j$ の場合は変動になる。これを用いて、 $X_1 \ \dots \ X_n$ を加算する場合に必要な判別係数 $b_1 \ \dots \ b_n$ を求めるには、

$$W_{11} b_1 + W_{21} b_2 + \dots + W_{n1} b_n = d_1$$

$$W_{12} b_1 + W_{22} b_2 + \dots + W_{n2} b_n = d_2$$

⋮

$$W_{1n} b_1 + W_{2n} b_2 + \dots + W_{nn} b_n = d_n$$

を $b_1, b_2, \dots, b_n$ について連立で解けば良い。

ここに $d_1, d_2, \dots, d_n$ は両群での $X_1, X_2, \dots, X_n$ といふ測定値の平均値の差である。

$$Y = B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n$$

といふ形に合成した判別値が導かれる。

$B_1, B_2, \dots, B_n$ は判別係数 $b_1, b_2, \dots, b_n$ の $(N_1 + N_2 - 2)$ 分の 1 に相当する。

$$\sum_{i=1}^n B_i d_i = B_1 d_1 + B_2 d_2 + \dots + B_n d_n$$

を求め、

$$F_s = \frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2} \cdot \frac{N_1 + N_2 - k - 1}{k} \cdot \sum B_i d_i \quad \text{但し } k=n$$

この F_s は、 $n_1 = k, N_2 = N_1 + N_2 - k - 1$ なる F -分布を行ふから両者での判別値の平均値の差の有意性を検定する。亦判別限界値は、

$$(\bar{Y}_g + \bar{Y}_k) / 2 = Y_e \quad \begin{array}{l} \bar{Y}_g : \text{打込期の判別値の平均値} \\ \bar{Y}_k : \text{出荷期の判別値の平均値} \end{array}$$

Y_e より大きければ $\bar{Y}_g$ 一群、小さければ $\bar{Y}_k$ 一群と判定すれば良い。この様に判別関数を使用セメントの強度特性を分類するに用いる場合に判断を誤る危険率を求めるには判別限界値 Y_e と夫々の群での判別値の平均値 $\bar{Y}_g$ と $\bar{Y}_k$ との差を、判別値の標準偏差 σ_y で割つて基準化し、その値 h に就いて、正規分布の確率積分の表を用いて

$$P_r \{ h \geq t \} = 0.5 - \int_0^t \phi(t) dt = L$$

亦 $\bar{y}_g$ は2つの群での判別函数の平均値の差又は $\sum_{i=1}^{n_1} b_i d_i$ に等しい。

結果として、

3日強度に就いては、

打込期：曲げ強度、25.18 圧縮強度 104.8

出荷期： " 26.85 " 111.5

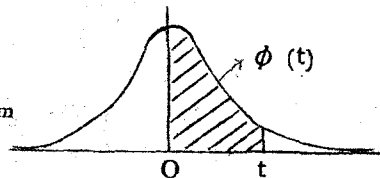
差 1.67 6.7

$B_1 = -0.005537$, $B_2 = 0.009497$

判別式 $Y = 0.009497 X_c - 0.005537 X_m$

$\sum B_i d_i = 0.05438$ $n_1 = 2$

$FS = 12.245$ F_0 $n_2 = 47$ $(0.01) = 5.08$



1%以下の危険率で両者での判別値の平均値の差は有意であると認められる。

$$\bar{y}_g = 1.581, \bar{y}_e - \bar{y}_g = 1.79, p_c = 1.13$$

$$\therefore \Pr\{h > t\} = 0.129 = 13\%$$

判別限界値 $Y_0 = 1.174$

即ち、判定を誤る確率（出荷期的安全管理状態から離れてしまふ事を見逃す確率）は

13%程度存在する事を覚悟しなくてはならない。

両群の判別値の平均値が1%以下の危険率で有意であるのは、平均値相互間の差が、
 そうである事を意味するのであつて、個別的な分類判定の場合の危険率とは全く別なものである。28日強度に就いては、

打込期：曲げ強度 58.42 Kg/cm^2 圧縮強度 355.6 Kg/cm^2

出荷期： " 62.54 " " 364.8 "

差： 4.12 9.2

$B_1 = 0.01144$, $B_2 = 0.0246$,

判別式 $Y = 0.0246 X_c + 0.01144 X_m$

$\sum B_i d_i = 0.27329$

$FS = 1179.498$ $\bar{y}_g = 1.48$

$\alpha = 0.1\%$ としても $FS > F_0$ であるから、0.1%以下の危険率で両者での判別値の平均値の差は有意である。

$\bar{y}_e - \bar{y}_g = 1.78$, 判別限界値 $Y_0 = 8.7365$

$$\therefore \Pr\{h > t\} = 0.115 \doteq 12\%$$

判定を誤る確率は、12%程度存在する。

§4 棄却楕円の管理方式の設計

現場打込期に於ける使用セメントの曲げ強度と圧縮強度との相互関係の上に立つて、
 総合的に両者の変動性を監視する為に、変動管理方式を設計した。即ち、ある群に属する一測定値が、どの程度まで周辺に遠ざかつて規格を外れないかを示す境界線である。
 即ち、一般にN組の量の夫々が測定形式を一定にしたk個の測定値から成る時 $F_{N-k}^{\alpha}(\alpha)$
 $= F_0$ として棄却楕円の式

$$\frac{(N-r)N}{F_0 r} \sum_{\alpha=1}^r \sum_{\beta=1}^r \varphi_{\alpha\beta} (x_{01} - \bar{x}_1)(x_{02} - \bar{x}_2)$$

但し x_{01} : 曲げ強度

θ : 予じめ設定した危険率を信頼限界 $(1 - \theta)$ の棄却確

x_{02} : 圧縮強度

円といふ。

危険率 0.05 の場合の棄却確率方程式

$$27628.9 \times 10^{-6} (x_{01} - \bar{x}_1)^2 - 28389.4 \times 10^{-6} (x_{01} - \bar{x}_1)(x_{02} - \bar{x}_2) + 21989 \times 10^{-6} (x_{02} - \bar{x}_2)^2 = 1$$

危険率 0.01 の場合

$$17332.3 \times 10^{-6} (x_{01} - \bar{x}_1)^2 - 17809.4 \times 10^{-6} (x_{01} - \bar{x}_1)(x_{02} - \bar{x}_2) + 13794.3 \times 10^{-6} (x_{02} - \bar{x}_2)^2 = 1$$

§5 強度低下群発生に対する逐次解析管理図の設計

異常群と推定されるモルタル強度の強度低下した最低値発生頻度を抽出系列毎に管理を行つて、その群を監視し、セメントの不良化を摘発し得る様に考慮したものである。

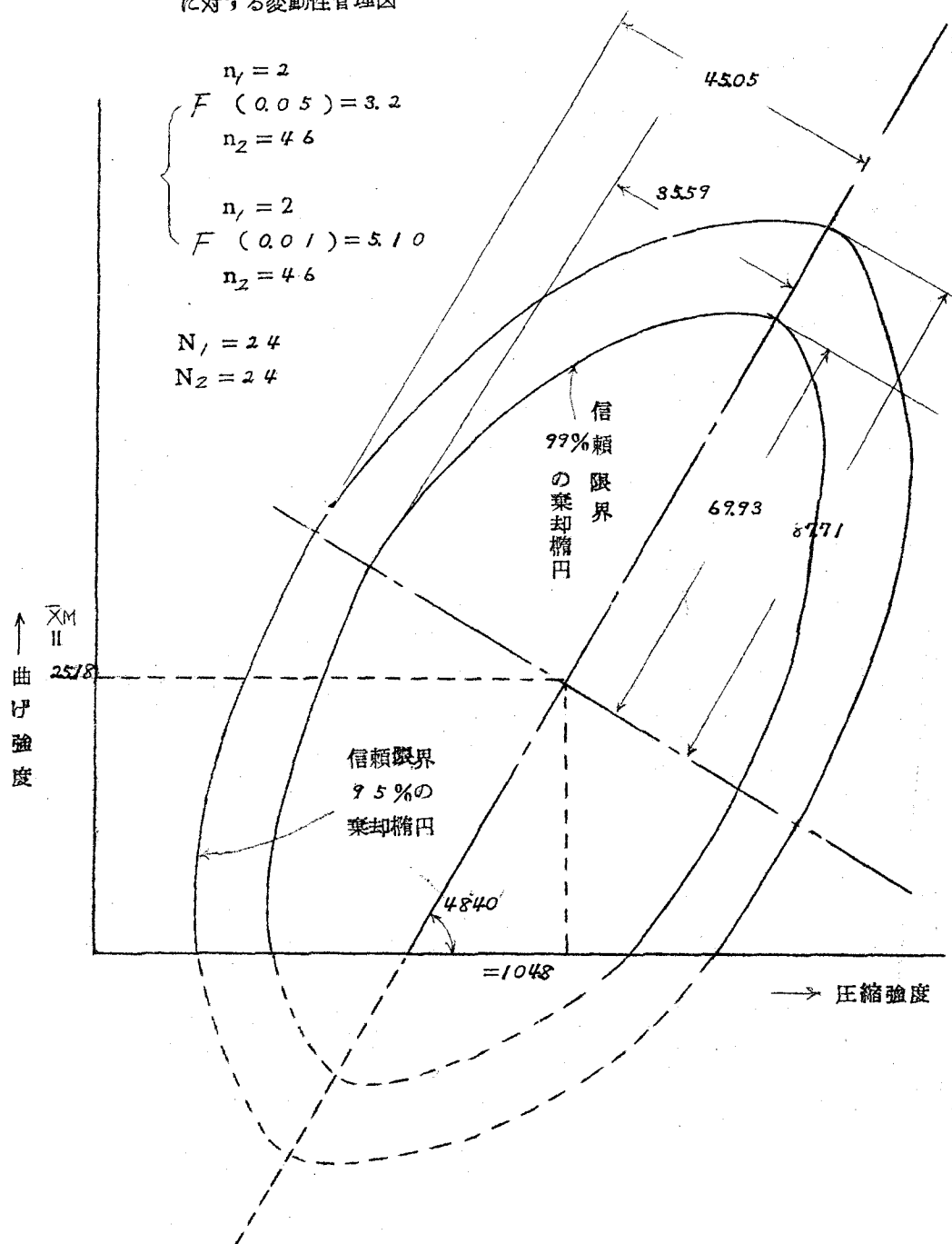
資料(1)-を調査する事に依つて、平均的集団から、強度最小値として異常的に飛び離れた個数を検討したら、不良率として、 P_0 が推定されたが最大限許せる P_0 の範囲をチェブシェフの不等式から推定して次の結果が出たので、これに依つて抽出系列逐次解析管理図を設計した

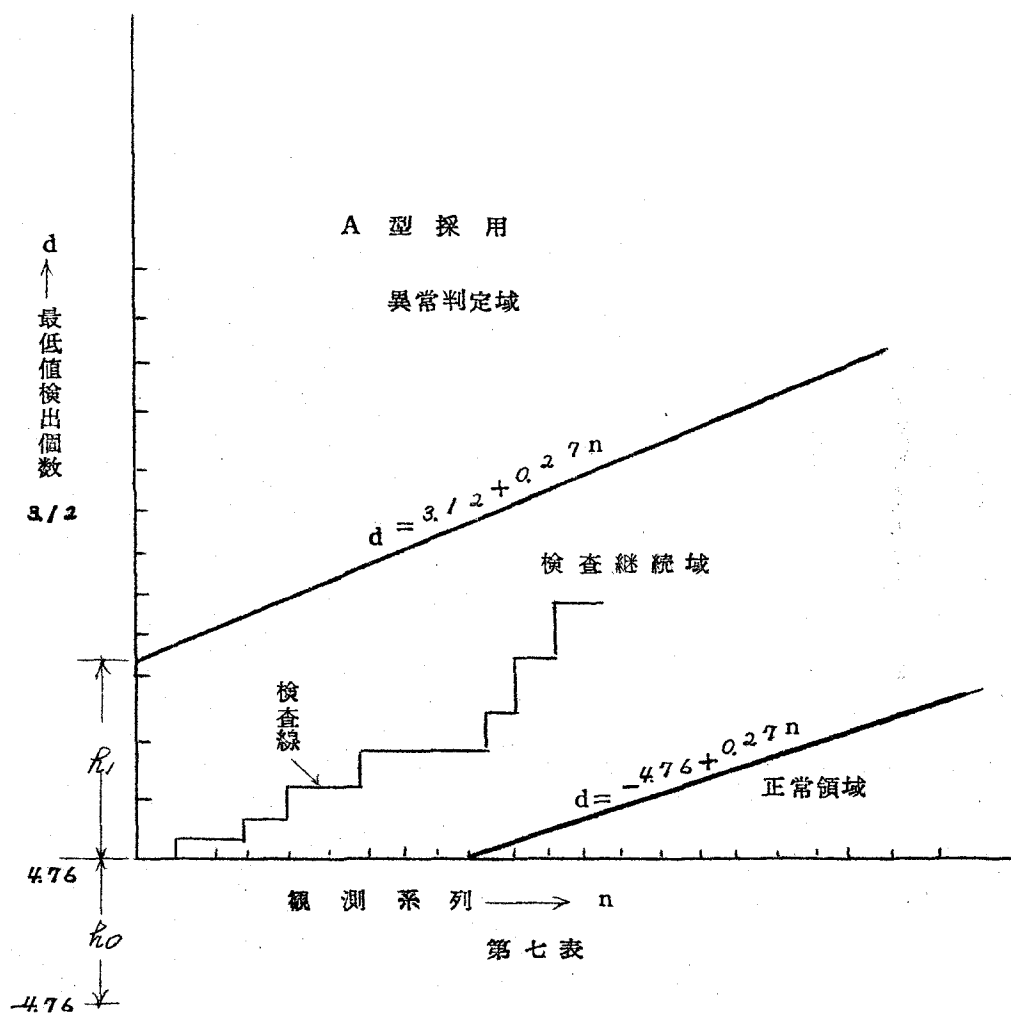
$$A \begin{cases} P_0 = 0.20 \\ P_i = 0.40 \\ \alpha = 0.01 \\ \beta = 0.05 \end{cases}$$

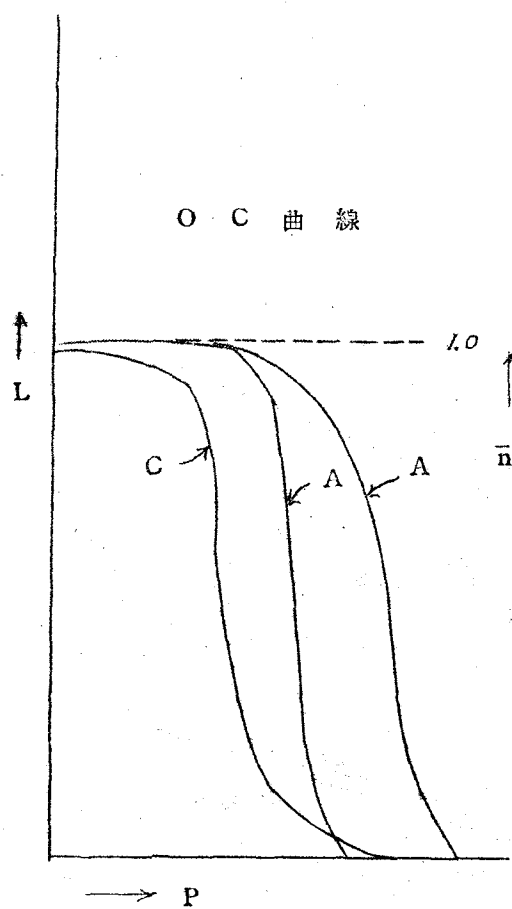
$$B \begin{cases} P_0 = 0.30 \\ P_i = 0.40 \\ \alpha = 0.10 \\ \beta = 0.05 \end{cases}$$

$$C \begin{cases} P_0 = 0.10 \\ P_i = 0.30 \\ \alpha = 0.01 \\ \beta = 0.01 \end{cases}$$

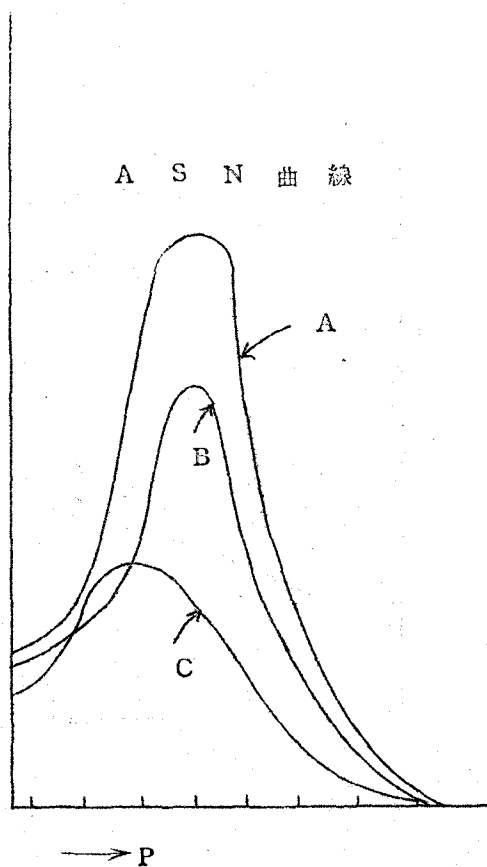
現場打込期に於ける3日強度
に対する変動性管理図







第 八 表



第 九 表

§ 6 あとがき

構造物の安全性を追求するに、統計的取扱ひを活用するのは有効ではあるが、特に注意を要する事は、どの様な方法に依つて、どの様な結論が導かれたかといふ、調査方法も同時に含めた全体的過程の上で結論が導かれるといふ事である。浜田博士が、安全率の問題で統計数理の活用必要性を述べられて居るが、決して統計に依つてのみ結論が生み出されるのではなくて、その安全率を求めた操作方法の背景をも同時に、その結論を規定するものであると考えられる。従つて、その測定値がどの様な方法に依つて導かれ得られたかといふ測定方法を中心として、問題を解かないと、数値そのものが固定され得ない可變的性質を有するのであるから、多くの誤ちを、もたされ易い。即ち、測定された数値そのものに拘泥せずに、我々が必要とする目的を明確化し、常に、その目的との相対の上で、測定方法、操作手段設定の方法を中心として考察を行つて行かなくては、セメントの複雑な強度特性を扱え得ないと考えられる。管理化するに必要な多元的考察を施すに際しても、管理操作量を設定するに際しても、その管理方式を使ふ現場側での目的や、現場特性との対応の上で営まれるべきである。現場に於ける複雑な一義的に規定し得ないコンクリート強度特性を、一義的に測定しようといふのではなくて、我々の測定行為が、測定方法を同じに含んだ意味に於いて考えるべきである。

参考文献：

北川敏男、三留三千男著：実験計画要因配置表、培風館、浜田稔：材料の安全率、建築雑誌1955、5