

“型わく打込前後のコンクリートの品質変動”

建設省建築研究所

研究員 亀 田 泰 弘

1 まえがき

既設コンクリート構造物各部分のコンクリートの品質、特に圧縮強度が実際にどれ位変動しているか、またどのような性状をもっているかということは、構造物の安全度、コンクリートをつくるときの調合用圧縮強度値の決め方、(許容限界値以下の不良率のきめ方)等にとつて非常に重要な問題である。一般に現場打コンクリートの品質が大きく変動する段階としては次の二つが考へられる。

- (1) 型わく打込前迄のコンクリートの品質の変動(主としてミキサーでつくられたコンクリートの品質の変動)
- (2) 型わく打込後のコンクリート品質の変動(主として打込み方法による分離、圧密、と養生条件の差異による品質の変化)

本報告は 今迄の調査、研究から この両段階におけるコンクリート品質の変動の程度性状、この両者の関係、等について考察したものである。

2 型わく打込前のコンクリート品質の変動型わく打込前のコンクリートの品質は、主として各材料品質の不均一性、機械的、人為的な計量誤差、混練の程度等の原因で、ミキサーで製造されたときに殆どきまるものである。今コンクリートの品質中特に問題となる28日圧縮強度をとり上げると、今迄の研究(1)から次のことがいえる。

- (1) 1日中につくられるコンクリート強度の変動は1バッチ内の変動より各バッチ間の変動の方がはるかに大きい。
- (2) この1日中の変動の大きさは現場が異ると、また同一現場でもコンクリート打日ごとにその管理の程度に応じて異なる。
- (3) この変動の大きさを変動係数(1式)であらわし、コンクリート施工の管理程度とくらべると表1表の如き値となる。

$$C = u / \bar{x} \quad \text{----- (1)}$$

$$\bar{x} = \sum x_i / n \quad \text{----- (2)}$$

n : 1日のうちから採取した供試体数

x_i : 1バッチから1個とる方法で採取した供試体28日圧縮強度 (Kg/cm²)

$\bar{x}$: 試料平均値 (Kg/cm²)

u : 母標準偏差の不偏推定値 (Kg/cm²)

C : 母変動係数 (%)

表 1

管 理 程 度	C %
非 常 に 良 好	7 ~ 10
良 好	10 ~ 15
普 通	15 ~ 20
不 良	20 ~ 30
はなはだ不良	30以上

ゆえに通常の容積計量の現場では約15%~25%、パツチャプラント等の重量計量使用の場合は7~15%位と考へてよい。

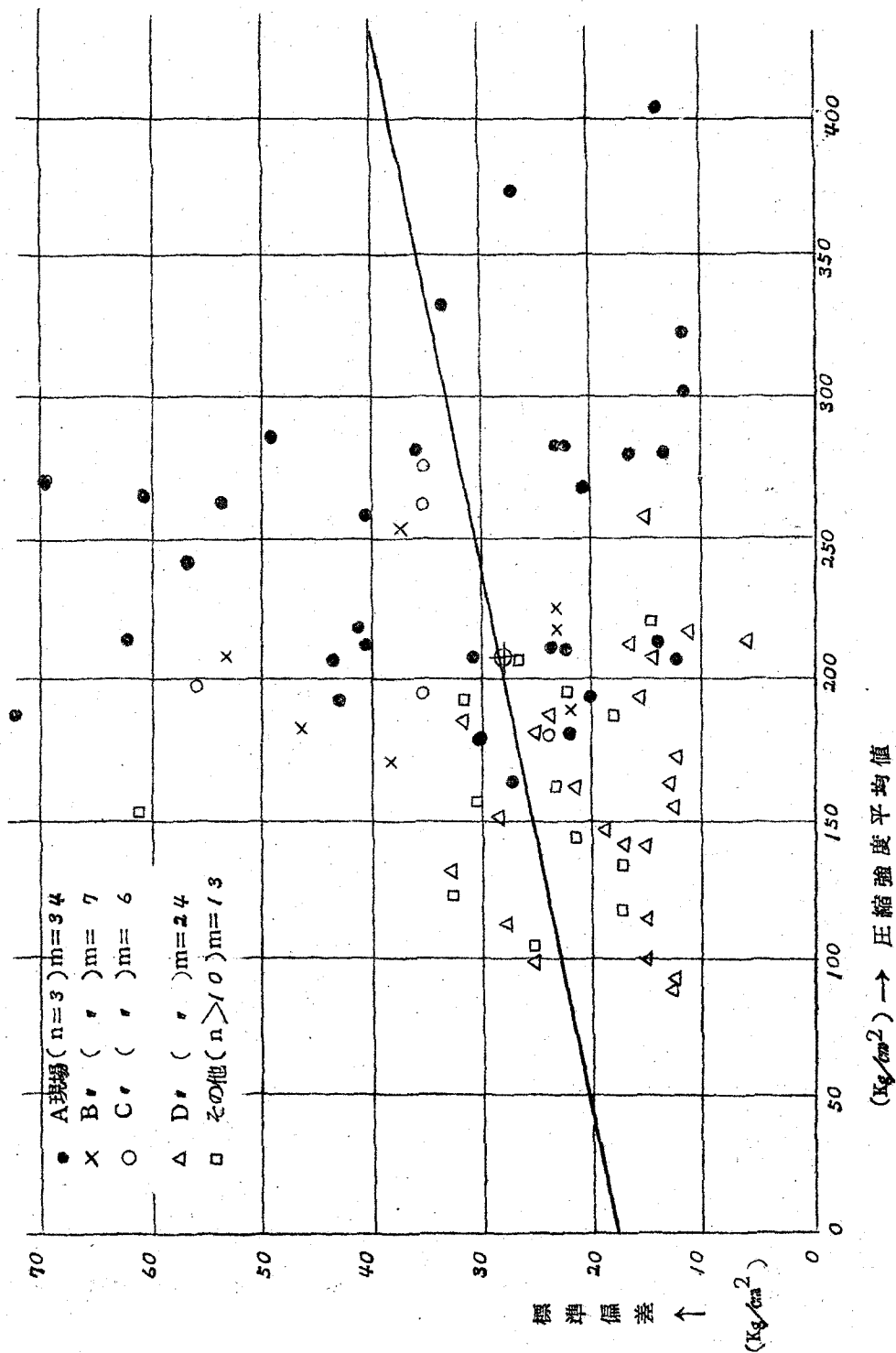
この場合変動の程度を示すのに変動係数を用いたがこれは次のような仮定にもとづいている。すなわち圧縮強度平均値の高低にかかわらず管理程度は変動係数であらわされるということで同じ管理程度でもその標準偏差は増加するということである。

ところが、Francis Rohet Himsworth⁽²⁾によると平均強度が大きくなると変動係数の値は小さくなり、逆に標準偏差の値は平均強度に無関係であるとしている。

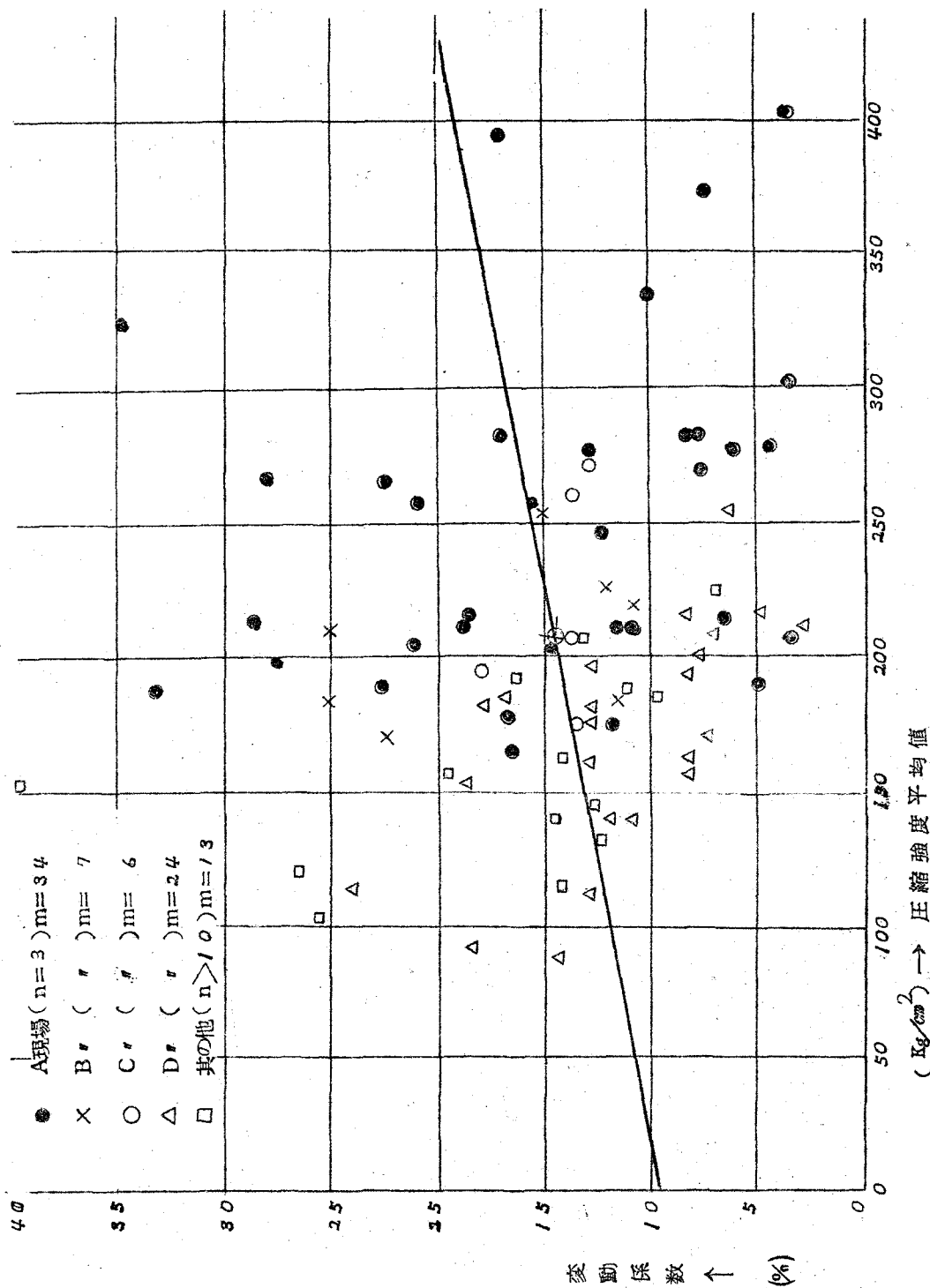
今調査した現場(A、B、C、D、共に $n=3$ 、その他は $n>10$)からこの平均強度と変動係数、標準偏差との相関関係を求めると、表1図、表2図、の如く、その相関係数は $r_{\bar{x}u}=0.111$ 、 $r_{\bar{x}c}=0.193$ となり、共に5%の危険率で有意性はない。

これから一般に変動の大きさ(管理程度)は平均強度に無関係になるが、これをあらわすのに変動係数、標準偏差のいずれをとるかはまだ検討を要する問題である。しかしいずれにしてもミキサーでつくられたときにそのコンクリートは前記の如き程度の強度のばらつきがあるから、これがそのまゝ型わく内に打込まれ品質が変化しなければ、当然構造物各部分のコンクリートの強度はこれと同程度の強度のばらつきがあることになる。

第1図 圧縮強度平均値と標準偏差



第2図 圧縮強度平均値と変動係数



次に、柱、梁の打込後の品質（弾性）の変化の状態を調べた筆者の試験例⁽³⁾の概要を示すと次の如くである。

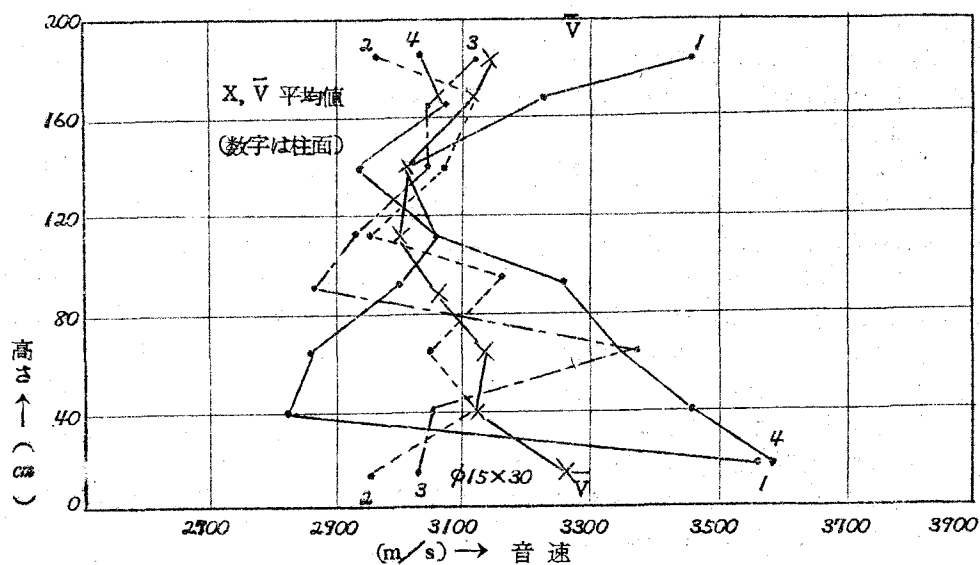
(1) 試験方法

梁も同様な方法で、できるだけ均一になるようにした。なお突き固めは充分行つた。養生は室内で空中養生とし試験時の材令は約10ヶ月である。

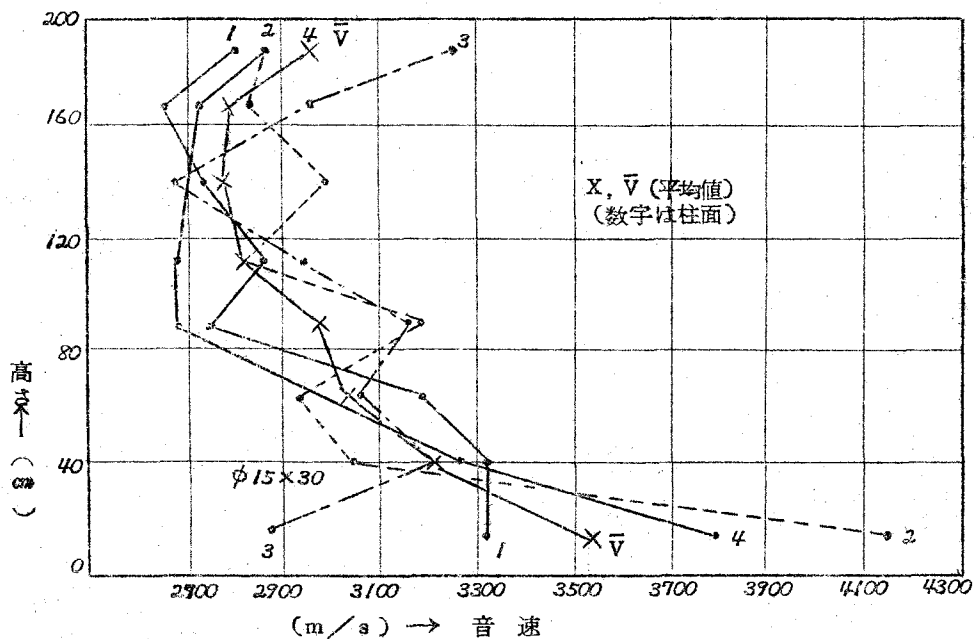
(2) 試験結果

木製、鉄製型わくの柱4面、梁2面の各高さにおける音速は才4図～才6図の如くになった。

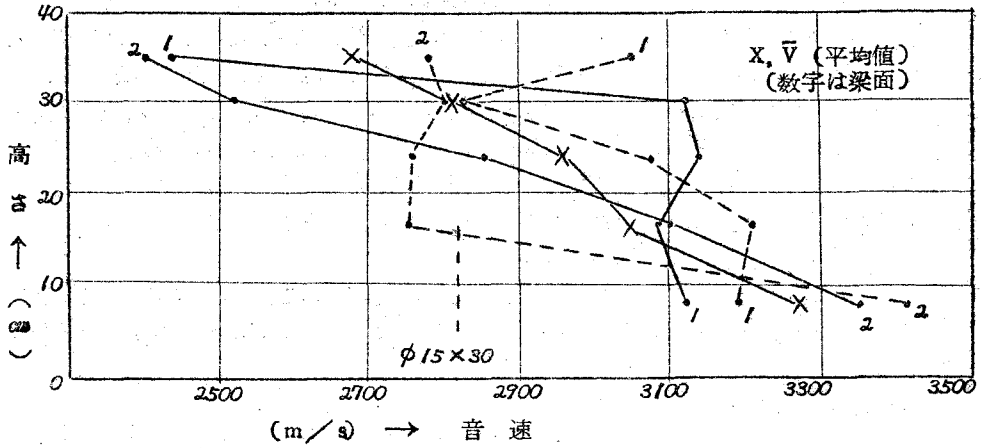
才 4 図 柱(木製型枠)の音速



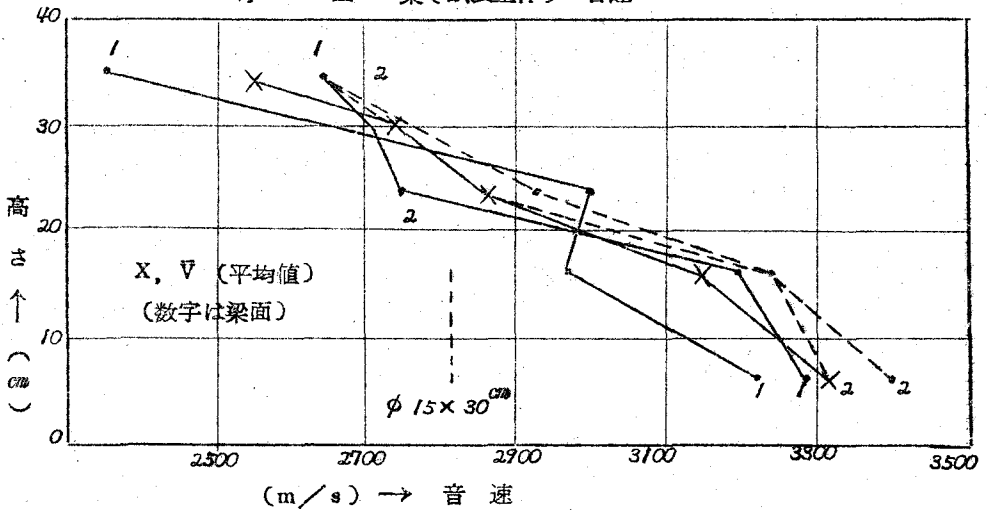
才 5 図 柱(鉄製型枠)の音速



才 6 図 梁(木製型枠)の音速



才 7 図 梁(鉄製型枠)の音速



また柱、梁製造時にとつた $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ 供試体の圧縮強度(F)、静的弾性係数($s E_c$)、縦振動の共振周波数から求めた動的弾性係数($d E_c$)、音速測定法で求めた音速(V)は才2表の如くである。

才 2 表

試験体	柱		梁
	1	2	3
F (Kg/cm^2)	141	185	119
$s E_c$ "	21.0×10^4	23.0×10^4	17.5×10^4
V (m/s)	2850	3146	2820
$d E_c$ (Kg/cm^2)	21.2×10^4	23.1×10^4	18.2×10^4

(3) 試験結果の考察

a 高さと言速の関係

柱：音速変動の要因を打込高さ、高さ以外と突き固めその他同一高さ部分で品質に変動を与える要因(各面)と2つに分けて木製、鉄製型わく夫々について変量分析を行つた。その結果木製柱については両要因とも5%で有意とはいえず、鉄製柱については両要因とも1%で甚だ有意となつた。すなわちこれから木製型わくの場合は簡単高さによつてコンクリートの品質が異るとはいえず、逆に鉄製型わくの場合は完全に圧密分離現象が生じ、柱上下部の品質の変化が著しく大きいことがわかる。

梁：柱と同じ要因で変量分析を行つたが木製型わくは両要因とも1%で、鉄製型わくは高さの要因のみ1%で甚だ有意となつた。

これから、やはり上、下部の品質には差があることがわかる。また圧縮強度を推定すると梁上部、 $h=0.20\text{M}$ で、 $F \doteq 160\text{Kg/cm}^2$: $h=0.07\text{M}$ で、 $F \doteq 210\text{Kg/cm}^2$ である。

b 供試体の音速と柱、梁の音速

供試体の音速と柱、梁の音速を比較すると大体試験体の $1/2$ の高さの点の音速に近いことがわかる。

以上の試験からでもその型わくの形状、高さ、木製、鉄製、また打込み方法等により打込後のコンクリートの品質(弾性、圧縮強度)は色々に変化することがわかる。

3 型わく打込前後のコンクリート品質の変化(現場試験)

試験した現場は鉄筋コンクリート4階建アパートで、柱として1階のコンクリート打ちで打込前の品質変動の程度とその要因、及び打込後の品質の変化について試験した。この現場のコンクリート28日所要圧縮強度は 135Kg/cm^2 で、使用したセメントは大阪窯業ポルトランド($K_{28}=278\text{Kg/cm}^2$)、また砂は 2.5mm 砂利 2.5mm 以下、共に馬入川産で、A、E、剤はProtex使用、調合は $W/C=65\%$ 、スランプ 22cm 、現場容積配合で $1:2.76:3.22$ である。またコンクリート工事設備は通常の段取り方法で、砂、砂利はリヤカーによる容積計量、セメントは袋単位(2袋)投入、水量計はオーバフロー式、AE剤は20倍稀釈液の容積計量である。

(1) 型わく打込前の品質の変動

a 7日中のコンクリート28日圧縮強度の変動1階のみ1日中10バツチを選び各バツチから供試体3個をとる方法で合計30個をとつた。また現場の養生条件に近くするため、その他に2つのバツチから別に夫々湿砂用供試体として3個をとつた。2階~4階は1バツチから供試体1個をとる方法で約10個の供試体を採取し、養生は全て水中養生(20℃)とした。試験した結果によると、各階のコンクリートの28日圧縮強度の変動の程度は表3の如くであつた。

表 3

階 数	1	2	3	4
供試体数 n	27	11	10	9
標本平均 $\bar{x}$ (Kg/cm^2)	172	189	176	163
母平均の信頼限界 ($L=0.05$) ($\parallel$)	$161 < m < 183$	$175 < m < 203$	$165 < m < 187$	$141 < m < 185$
母標準偏差の不偏 推定値 u ($\parallel$)	23.7	21.3	15.6	27.8
母変動係数 c (%)	13.7	11.3	8.7	17.1

これから等分散、平均値の差の検定を行うといづれも5%の危険率で同一母集団に属しており、またその製造の管理程度は各段とも大体同じ位と考えてよいことがわかる。

b 1階のコンクリート28日圧縮強度

1階の供試体を採取したバッチのコンクリートの品質は表4の如くである。

表 4

抽出バッチ 番 号	供試体 番 号	スラスプ (%)	空気量 (%)	28日圧縮強 度 (Kg/cm^2)	養生方法	モメント28日 圧縮強度 (Kg/cm^2)
64	1			170	10℃水中	278
	2	22	4.7	-	-	
	3			187	"	
75	4			161	"	303
	5	23	6.6	161	"	
	6			-	"	
88	7			186	"	291
	8	22	5.3	176	"	
	9			183	"	
99	10			179	"	289
	11	21.5	5.5	162	"	
	12			176	"	
111	13			168	"	286
	14				湿 砂	
	15	20.5	6.2	161	水 中	
	16			158	湿 砂	
	17			158	水 中	
	18			-	湿 砂	
130	19	21.5	7.6	164	20℃水中	276
	20			(145) 21日 湿 砂		

130 (音速用 測定値)	21	21.5	2.6	175	水中	276
	22			-	湿砂	
	23			151	"	
	24			202	20℃水中	
150	25	18.5	4.3	218	"	253
	26			204	"	
	27			143	"	
171	28	21.5	4.6	128	"	263
	29			157	"	
	30			194	"	
179	31	21	3.9	194	"	264
	32			198	"	
	33			134	"	
181	34	2.2	4.6	138	"	229
	35			136	"	

これから水中養生の供試体についてバッチ内とバッチ間の要因に分けて変量分析を行うとバッチ間の変動はバッチ内の変動にくらべて1%の危険率で甚だ有意となる。すなわちその日1日のコンクリート強度の変動の要因は殆ど各バッチ間の変動によることがわかる。また供試体を採取したバッチからあらかじめセメント試料(各袋より2.5Kgづゝ合計5Kgをとりしかる後他のセメントを同量だけ補充する。)をとりそのバッチに使用されたセメントの28日圧縮強度を求めると、才4表の如く明に各バッチごとにセメント強度が異なっていることがわかる。次にセメントと水は大体正確に計量されていたからセメント強度(Q)と空気量(A)がコンクリート強度(F)に影響を与えると考へて、才4表から、これらの相関係数を求めると $r_{F \cdot K} = 0.222$, $r_{K \cdot A} = 0.375$, $r_{F \cdot A} = -0.430$, $r_{F \cdot KA} = 0.397$ となり、また K , A , 上の回帰平面の方程式は(3)式の如くなる。

$$F = 0.462K - 7.868A + 83.921 \quad (3)$$

ゆえにこの場合セメント強度より空気量の方がコンクリート強度に大きく影響を及ぼしていることがわかる。また $r_{F \cdot KA}$ に対して母集団相関係数 $\rho = 0$ の検定を行うと $F_0 = 6.547$ となり、危険率2.5%で $\rho = 0$ なる仮説は棄却され相関があることになる。ゆえに1階のコンクリートの強度は主としてセメント強度より空気量の変動に左右されていることがわかる。

(2) 型わく打込後の品質の変化

これを調べるために次のような試験方法をとつた。1階コンクリートでバッチ番号130のコンクリートから $\phi 15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ の標準供試体6個をとり3個を水中、3個を湿砂中(型わく除去造)養生とし、また同時に $8 \text{ cm} \times 8 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ の音速測定用試験体をつくりこれも湿砂養生とした。またこのバッチのコンクリートはあらかじめ指定した独立間仕切壁(A、壁厚18cm)に投入させ、材令3週、4週、8週にこの箇所のコンクリートの音速を測定し、これと上記音速測定用試験体の音速とを比較して型わく打込後の品質(動的弾性係数)の変化を調べた。その測定結果は才5表の如くである。

表 5

測定箇所	材 令(週)		3	4	8		
	測 定 値		音 速 圧縮強度		音 速 圧縮強度		
			(m/s)	(Kg/cm^2)	(m/s)	(Kg/cm^2)	(m/s)
	音速測定用供試体		3349	145	3339	151	3716
独立壁 (A)	天井より 0.92M 下り	N 1	3298		3337		3740
	同 上 1.30M	N 2	3146		3344		3595
	同 上 1.60	N 3	3298		3344		3750
	同 上 1.90	N 4	3349		3329		3595
間仕切壁 (C)	天井より 0.97M 下り	N 1					3502
	同 上 1.22M	N 2					3497
	北壁より 1.20M 寄り	N 3					3482
	同 上 1.40 寄り	N 4					3583
二階床(B)	床上面	N 1	3242				
	同	N 2	3278				

表5の独立壁(A)部分の音速についてその変動の程度を求めると、変動係数で3週、2.45%：4週、0.21%：8週、1.78%：となる。本音速測定法の場合測定誤差は約1%位はあるから殆ど各部分の音速は変わらないとみてよい。これは材令と測定箇所(高さ)の要因について変量分析を行うと高さの要因については有意でないこと、また音速測定用供試体の音速はいつでもこの変動範囲内にあることから、型わく打込後のコンクリートの品質(弾性)はこの試験の場合は変化しておらず、ミキサでつくられたコンクリートの品質と殆ど変わらないといつてよい。これはコンクリートがA、E、コンクリートで分離が少ないためであらうと思はれる。またその他間仕切壁(C)と独立壁の音速について平均値の差の検定を行うと、AとCは同じでないこともわかる。

4 結 論

以上の如き調査、試験結果から次のことがわかる。

- (1) 型わく打込前、すなわちミキサーでつくられた各バツチ間のコンクリートの品質の変動は、現場が異れば勿論、同一現場でもコンクリート打日ごとに異ることが多い。
- (2) 管理程度をあらわすのに、変動係数、標準偏差のいずれを用いるかはまだよく検討する必要がある。
- (3) 型わく打込後のコンクリートの品質の変化の状態は決して簡単でなく、打込まれるコンクリートの品質、打込み方法、型わくの大さ、程度、種類、等により異り、定性的な傾向はない。また打込前のコンクリートの品質と殆ど変らない場合もあるから、打込前の品質の変動が大きいものはやはり打込後もその変動は大きくなる可能性があると考えてよい。

参考文献

- (1) 亀田泰弘 " 現場打コンクリート強度の管理方法について "
 建築学会研究報告、才24号、昭28
- (2) Francis Robert Himswarth, "The Variability of Concrete and its Effect on Mix Design" Pro. I. C. E. 1954, March
- (3) 亀田泰弘 " 衝撃波音速測定によるコンクリートの無破壊試験の研究 "
 (才7報コンクリート柱、梁の打込高さと言速の関係)
 建築学会関東支部才17回研究発表会(1955.2)
- (4) 亀田泰弘 " 同上(才5報 衝撃波音速測定装置)