

# コンクリートミキサの練り混ぜ性能試験について

丸 安 隆 和 ・ 水 野 俊 一

## 1. まえがき

コンクリートは普通、水、セメント、砂、砂利を練り混ぜて造るものであり、極く特殊な小規模の工事以外はほとんどの工事において、ミキサーによつて練り混ぜられている。ミキサーで練り混ぜる場合、排出されるコンクリートのどの部分も均質に各材料が分布しているようによく練られていることが必要であるが、現場においては混合時間をなるべく短縮しようとするのが、工事の進捗、経済等の関係から一般に要求される。それで、材料の投入をどのような順序にし、どの位の時間ミキサーを回転すればコンクリートが均一に練り混ぜられるか調査することが必要となる。これによつて、また、ミキサーの構造上の欠陥を知ることのできるのである。更に、近年 AE コンクリート（コンクリート中に AE 剤を混入して、直径約 0.5~0.02 mm 程度の微小な互に独立した空気泡をコンクリート中に発生させたもの）が使用されるようになって、空気量を所望の量だけ混入させるために、コンクリートの練り混ぜを適当にすることの重要性が一層認識されてきたのである。

ミキサーの練り混ぜの程度の最も理想的な状態としては、ミキサーから排出されるコンクリートのどの部分をとつても、その中に水、セメント、砂、砂利が、これらをミキサーに投入したときと同じ割合で含まれていて、然もよく材料が分布して練られていて、また、このコン

クリート中に含まれている空気量が等しく、かつ望ましい量だけあるという状態である。それ故、これを試験するには、コンクリートを分析してこれらの材料が含まれている割合を調べると共に、含まれている空気量を測定することが最も望ましいのであるが、このような試験をするのは非常に手数がかかり、また測定誤差も多く含まれ勝ちであつて、実用的ではない。

アメリカの内務省開拓局の便覧には、ミキサーの運転試験としてコンクリート中のモルタルの不均等を調べる方法が記されており、日本の土木学会制定のコンクリート標準試験方法には、同様な方法がミキサーの練り混ぜ性能標準試験方法として規定されている。アメリカの規格では、この方法によつて試験した場合に、1 バッチの異なる部分から採つた 3 個のモルタル試料の空気を除いた単位重量の最大値と最小値の差の最大許容値は 37 g/l であるとし、もし、この許容値以上の不均等性を示した場合混合時間を延長し、モルタル試験が規格と合致するようにしなければならなくなつてくる。そして、実際にアメリカの Grand Coulee, Marshall Ford, 及び Friant の各ダムにおいて行つた適当なミキサー運転に対する管理限界を求めると、不均等値の最大限界を 1 回の試験に対して 37 g/l と与えた場合、その試験回数が増加した場合の平均不均等性の限界は第 1 表のようになつたと記されてある。

第 5 卷

生産研究 8 月号 目次

第 8 号

表 紙 安藤研自動溶接機

真空装置の洩り探し法…………… 富永 五郎…17

### 研究解説

### 研究速報

コンクリートミキサの練り混ぜ性能試験について……………	{ 丸安 隆和… 1 水野 俊一
サルファークラックが鋼材疲労強度に及ぼす影響……………	{ 安藤 良夫… 7 山口 勇男 飯田 国広 今井 保穂
金属材料の塑性変形抵抗……………	{ 鈴木 弘… 9 橋 爪 伸
熱処理性アルミニウム—マグネシウム系耐食鋳物用合金の研究…(第1報)	{ 加藤 正夫…14 中村 康治

路面のスペクトル密度と自動車の振動……………	高橋 安人…23
トラス橋の橋面起伏と振動について	{ 岡本 舜三…24 北川 英夫
デッド・ストップ法による自動滴定	{ 高橋 武雄…25 仁木 榮次 白井ひで子
<b>IIS NEWS</b>	
放射性同位元素研究室……………	26
所員海外出張及び帰任……………	27
座談会「人工頭脳時代」……………	27

第1表 空気を除いたモルタル単位重量の不均等管理限界

試験回数	平均単位重量の不均等性に対する最大限界
1	37 g/l
3	26
20	19
90	14

一方、日本の規格においては、許容値等一切の限界値とか、或いは参考になる値等は示されていないので、この試験を行つた場合、どの位の不均等値になればよいのか見当さえつけられないような現状である。また、この試験方法はどの位の試験誤差を有しており、コンクリートの成分である各材料の混合割合の変動とどのような関係にあるかも明らかにされていない。果してこの方法のみで充分ミキサーの練り混ぜ性能が判断できるものであるか、また、この試験方法でどの程度にコンクリートの均等性が示されるか、などの点を明らかにすることが、コンクリート施工上非常に重要な問題である。この研究は現場コンクリートの管理を行う上に必要な事項の研究の一部として行つたもので、これは練り混ぜ作業についての最も重要なポイントをなすものである。この研究は文部省科学試験研究費の援助によつて行つた。

## 2. 試験方法

土木学会制定のコンクリート標準試験方法に規定されている方法の概要は次のようである。

1. 容器の容量は 1l, その上面は平らで、ガラス板でびつたりふたのできるものでなければならない。
2. コンクリートの試料をとるには、ミキサーの運転をやめ、ミキサーの前部、中部、および後部のコンクリート表面からとるか、またはコンクリートがミキサーから吐き出される時、パッチの最初、なかごろ、および最後の部分からとる。
3. 各コンクリート試料は、それに含まれるモルタルの重量が約 900g であるようにとる。
4. 容器に水を入れ、ガラスのふたをしてその全重量を 0.5g まで測定する。
5. コンクリート試料をフルイで粗骨材とモルタルとにふるい分ける。
6. モルタルの約 900g を容器に入れ、容器内のモルタルの重量を 0.5g まで測定する。
7. 水を容器の上面から約 1cm 低いところまで入れる。ガラスのフタをして容器をはげしくふつて空気を追い出す。
8. フタをとつて容器の上面まで水を入れ、ガラスのフタをしその全重量を 0.5g まで測定する。
9. 試験結果は次式で計算する。

$$w = \frac{a}{c - (b - a)} \times 1000$$

ここに

$w$  = 空気を追い出したモルタルの単位容積重量 (g/l)

$a$  = モルタルの空気中重量

$b$  = 容器の中にあるモルタルと容器の上面まで入れている水との重量

$c$  = 容器の上面まで水だけ満たしたときの水の重量

## 3. 統計的考察

コンクリートの原料である水、セメント、砂、砂利をミキサーの胴の中に入れて、回転しはじめると、これらの材料は時間とともに次第に混合されて、適当な配合のコンクリートで適当なミキサーを用いた場合には或程度以上の時間が経つと、ほとんど全ての部分のコンクリートが等質となると考えられる。いま、最初の全然分離した状態から混合が進んでいって、この程度ならよいとされる状態まで練り混ぜたとき、このコンクリート中の各部分のモルタルの単位重量 (空気を除いたもの) の分布が正規分布をなしているものと一応仮定する。(後述の実験結果参照)そして、このようなコンクリートから任意に 3 個の試料をとつたとき、この 3 個の試料のモルタルの単位重量 ( $w$ ) の最大なものとの最小なものとの差はどのような分布をなしているか考えてみよう。

分散が 1 である正規母集団から任意に 3 個の標本をとると、その最大値と最小値との差すなわち範囲  $R$  の分布は、次式で与えられることがわかつている。すなわち、 $R$  の従う分布の確率密度は

$$g(R) = 6 \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(u) \varphi(u+R) \left[ \int_u^{u+R} \varphi(x) dx \right] du$$

$$\text{ただし } \varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

である。しかしながら、この式を用いて数個の  $R$  の平均値の分布等を調べることは困難で、筆者の力では不可能と思われるので、 $R$  の分布を近似的に比較的簡単な式で表わすことができないかいろいろ調べてみた。その結果、 $\Gamma$ -分布 (K. Pearson の III 型分布函数の位置母数を零とおいたもの) が近似度が良いばかりでなく、 $R$  の平均値の分布を調べるのにも好都合であることがわかり、実用上これで充分であると考え採用した。すなわち、分布函数を  $F(R)$  とすると、

$$dF = f(R) dR = R^{p-1} e^{-R/a} dx / [a^p \Gamma(p)]$$

$$= \Gamma(a, p; R) dR \quad (0 \leq R < \infty)$$

この指数  $p$  と尺度母数  $a$  は次のようにして決定した。範囲の母平均は  $E(R) = 1.693$ 。母分散は  $\sigma^2(R) = 0.888^2$  であることがわかつているので  $\Gamma$ -分布の母平均  $pa =$

1.693 母分散  $pa^2=0.888^2$  より  $p=3.635$   $a=0.4657$  故に  $f(R)dR=4.158 e^{-1.147R} R^{2.635}dR$  となる。

$R$  の真の分布である  $g(R)$  と近似的な分布  $f(R)$  とで、主に問題となる上限の方では、どの位誤差があるか調べてみると、 $\int_{R_0}^{\infty} g(R)dR=\alpha$  なる  $R_0$  を  $\int_{R_0}^{\infty} f(R)dR=\alpha'$  に入れて  $\alpha'$  を計算した結果 第2表のようになった。

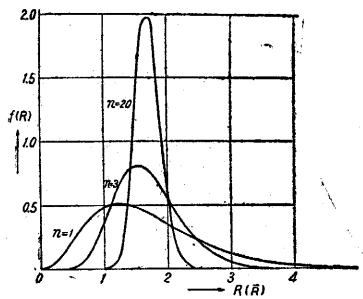
第2表

$\alpha$  と  $\alpha'$  との関係

$\alpha$	$\alpha'$
0.100	0.099
0.050	0.053
0.010	0.016
0.005	0.010

第2表より、分布の上限の方では近似は必ずしも良くはないことがわかるが、今問題としているのは理論的な厳密な値を求めるのではなく、実際に起る問題の傾向を近似的に求めるのが主であるので、 $\alpha$  の代りに  $\alpha'$  を用いて計算を行えば実用上充分であると考えている。

つぎに、同じ正規母集団から1回に3個づつ  $n$  回標本をとった場合、各回の標本の範囲  $R$  の平均値  $\bar{R}$  の分布を求めると、その確率密度は  $f_n(\bar{R})=n\Gamma(a, np; n\bar{R})$  となる。これが  $\Gamma$ -分布の非常に便利な点である。第1図には  $f_1(R)$ ,  $f_3(\bar{R})$ ,  $f_{20}(\bar{R})$  を図示してある。

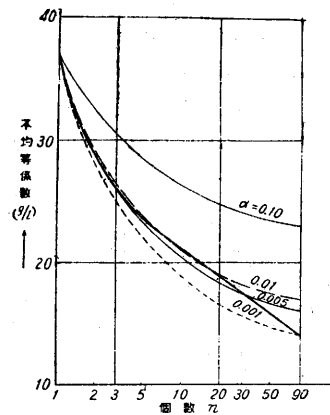


第1図

いま、標本数が3のときの範囲  $R$  及び範囲の平均値  $\bar{R}$  がある値以上になる確率が決つた値  $\alpha$  となるような値を求めよう。すなわち、 $\int_{R_1}^{\infty} f(R)dR=\alpha'$ ,  $\int_{\bar{R}_n}^{\infty} f_n(\bar{R})d\bar{R}=\alpha'$  が成立するような  $R_1$ ,  $\bar{R}_n$  を求める。例えば3個の範囲の平均値がある値以上になる確率が 0.005 となるようなその値を求めるには、

$$\int_{\bar{R}_3}^{\infty} f_3(\bar{R})d\bar{R} = \int_{\bar{R}_3}^{\infty} \frac{3}{F(10.905)0.4657^{10.905}} (3\bar{R})^{9.905} e^{-\frac{3}{0.4657} \cdot \bar{R}} d\bar{R} = 0.010$$

が成立するような  $\bar{R}_3$  を求める。  $\bar{R}_3=3.10$  となる。このようにして  $\alpha=0.10, 0.01, 0.005, 0.001$  に対する  $\bar{R}_n$  を求め  $n=1$  に対する  $R_1$  が 37(g/l) に相当するとした場合の値を図示すると、第2図のようになる。図中に太い線で画かれているのは、アメリカの Concrete manual に示されている実測値第1表の値を示したもの



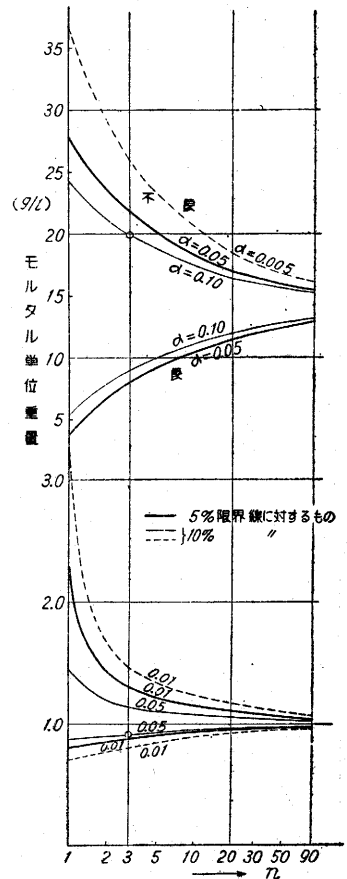
第2図

である。これを見ると、アメリカの規格の最大許容値 37 g/l がこれを越すような危険率が  $\alpha=0.01 \sim 0.005$  であるような限界値であると考えれば、 $n$  の値が非常に大きい場合を除いては実測値と理論値と比較的よく合っていることがわかる。以上より、37 g/l という値は、1 回試験してこの値を越したらその練り混ぜは悪いといつても、100 回か 200 回に 1 回しか間違えることはないが、この値以下になつてもその練り混ぜは良いとは必ずしもいえない。ということがわかる。これと全く同じことが  $n$  回の試験の平均値についてもいえるのである。

それでは練り混ぜの良否の判定はどうのようにすればよいであろうか。良い練り混ぜと悪い練り混ぜとの境界

をなす練り混ぜにおけるモルタルの単位重量の分布がわかっているの、この分布において、ある値  $\bar{R}_n$  ( $\bar{R}_n'$ ) より大(小)なる確率が  $\alpha$  であるような  $\bar{R}_n$  ( $\bar{R}_n'$ ) よりも大(小)である値が実際に試験して出た場合には、この練り混ぜが良い(悪い)練り混ぜである確率は  $\alpha$  より小である。第3図には

$\alpha=0.05, 0.10$  の場合の練り混ぜの良否判定の基準を示している。第3図の上図において、上下2曲線の外にでた点はそのに相当する危険率以下で、この練り混ぜが良いか不良か判断することができるが、2曲線の間に点



第3図

が入れば更に試験回数を増加するか、または危険率 $\alpha$ を大にして判断するかすべきであろう。つぎに、いま3回試験したときの範囲の平均値が20 g/lであつたとすると、第3図の上図より、この練り混ぜは、危険率10%では不良であるといふことができるが、危険率5%では不良の可能性が多いが不良とはいえないということになる。この場合は、良否の境界となる練り混ぜのバラツキの0.91倍(標準偏差で)の良い練り混ぜでも6%の確率で20 g/lとなることのあるのである。第3図の下図はこの関係を示している。アメリカの規格には、モルタル単位重量の範囲の最大許容値は37 g/lであるとあるが、37 g/l以下の値であれば良い練り混ぜであるとするは不合理であり、良否の判断は上述のようにするのが合理的ではないかと思う。

次に37 g/lの値にはどのような意味があり、果して適当か否かについては以下に述べる実験結果に基づいて記すことにする。

4. 実験及びその考察

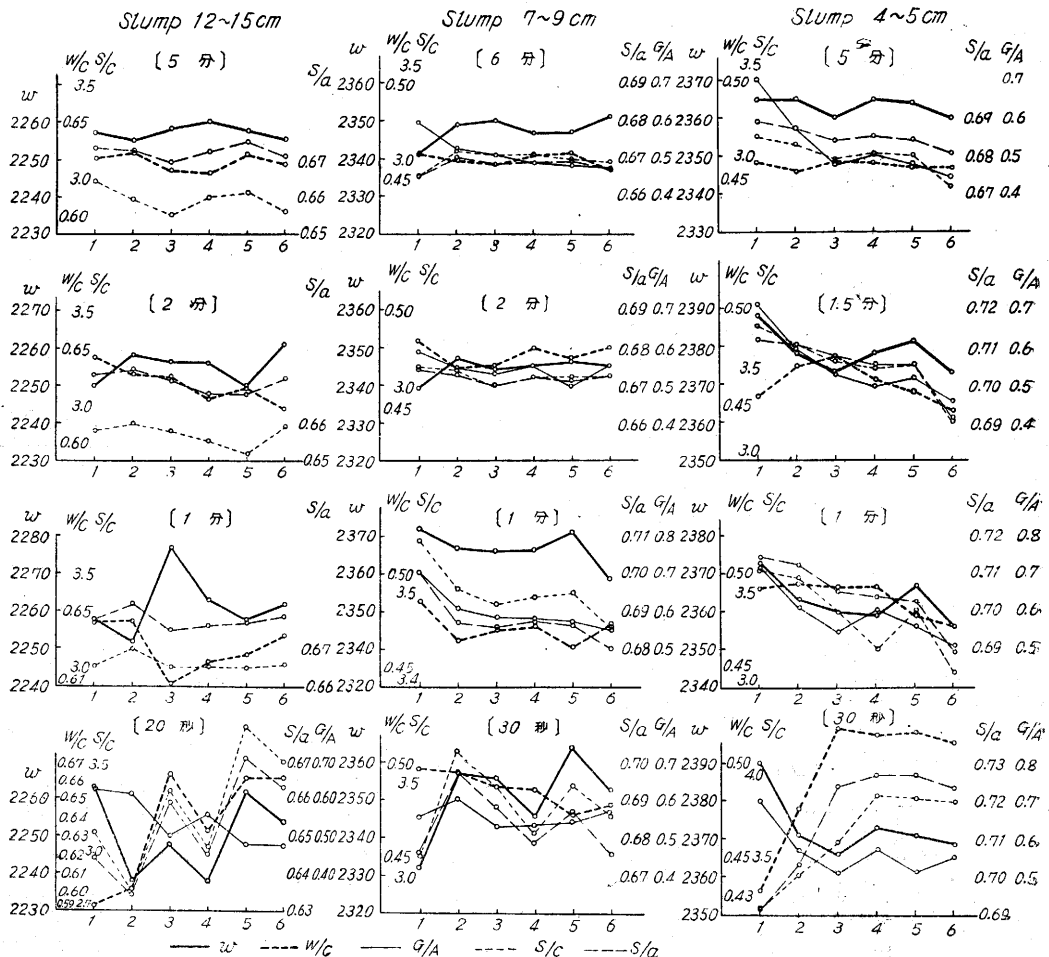
4.1 実験状況

モルタルの単位重量と各材料の混合割合との関係を知るため、まだ固つていないコンクリートの洗い分析を行つたが、その精度を良くするためにAEコンクリート及び強度試験をするコンクリートを除いては、細骨材中0.3 mmフルイを通過する微細粒を取り除いた。粗骨材は10 mm以下のものを取り除いた。

使用ミキサーはジエガー形・4才及び2才ミキサーで、材料の投入方法はミキサーの回転を止めてまず使用水量の1/3を先に入れ、次に粗細骨材、セメント、水の順に入れ、全材料を入れてから回転をはじめ、混合時間を計つた。試料の採取方法は、所要時間混合した後ミキサーを傾けてコンクリートを排出し、最初、最後のコンクリートを含め計6個の試料をとつた。これは練られたコンクリート中のモルタルの単位重量の分布状況を知るためである。各試料は規定通りにモルタルの単位重量の測定をすると共に洗い分析を行つた。

4.2 試験の精度

試験の精度を調べるため、よく練り混ぜたコンクリー

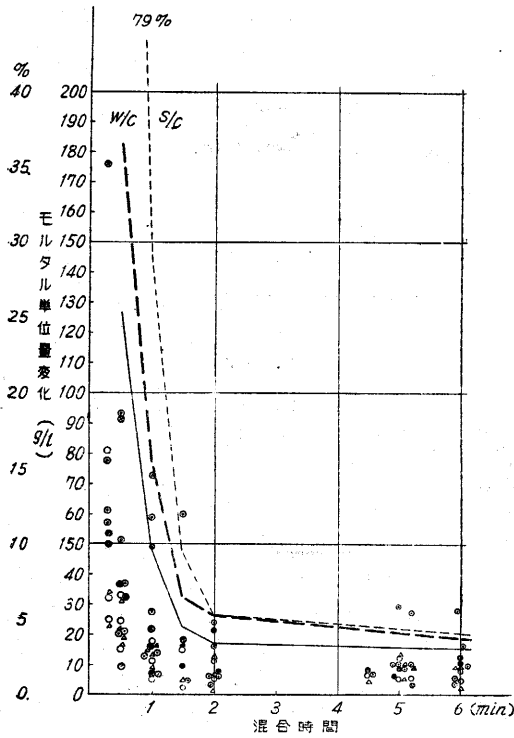


第4図

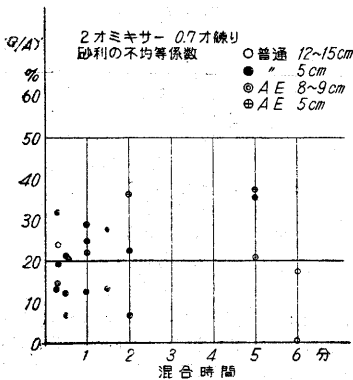
トで3個の試料をとり、そのモルタルの単位重量の最大値と最小値との差を調べてみると、平均3.2g/l(最大7g/l 最小1g/l)であった。洗い分析によつて水セメント比を同じような3個の試料について求めると、その最大値と最小値との差は平均0.4% (但し4組の結果)であった。

4.3 ミキサーから排出されるコンクリート中の材料の不均等性

ミキサーから排出されるコンクリートから6個の試料をとつて試験した結果の一部を第4図に示している。図中 $w$ はモルタルの単位重量、 $W/c$ は水セメント重量比、 $S/c$ は砂セメント重量比、 $G/A$ は砂利のコンクリート全体に対する重量比、 $S/a$ は砂のモルタル全体に対する重量比である。第5図はミキサーから排出されるコンク

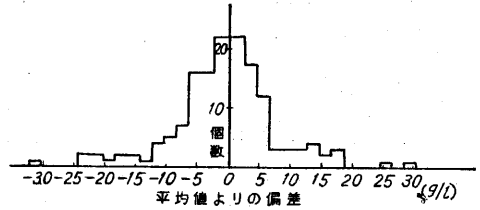


第5図



第6図

リートの始め、中ごろ終りの3ヶ所からとつた試料についての $w$ ,  $W/c$ ,  $S/c$ の範囲が混合時間とともに如何に変化してゆくか示したものである。第6図は最初に排出されるコンクリートの $G/A$ と最後に排出されるコンクリートの $G/A$ との差を最初の $G/A$ で除したもの(砂利の不均等係数と仮称する)が混合時間によつて変化する様子を示したものである。第7図は1回に6個の試



第7図

料の $w$ が、その平均値の周りにどのように分布しているかを調べたものである。これは $w$ がコンクリートの中でどのような分布をしているか調べるため示したが、勿論正確な方法ではなく、概略的な指示でも得ればよい求めた。

以上の結果からいえることは、

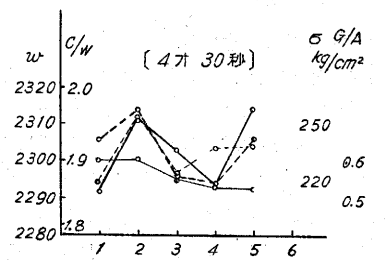
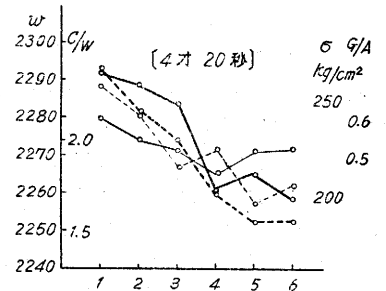
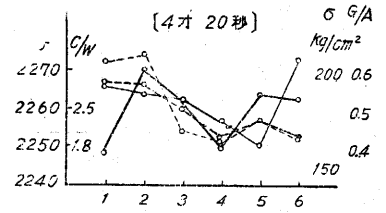
(1) ミキサーから排出されるコンクリートの始め、中ごろ、終りの部分から試料を採取するということは、スランブが小である場合を除いては、排出されるコンクリートの品質の

差の最も大なるものを知る方法とはいえない。すなわち、

(2) ミキサーから排出されるコンクリート中の $w$ の分布は甚しい非対称分布とは考えられなく、一応正規分布としても大きな間違いはないと思われる。

(3) かた練りコンクリートにおいては排出されるコンクリートに大体一様な傾向がみられる。

(4) モルタルの単位重量 $w$



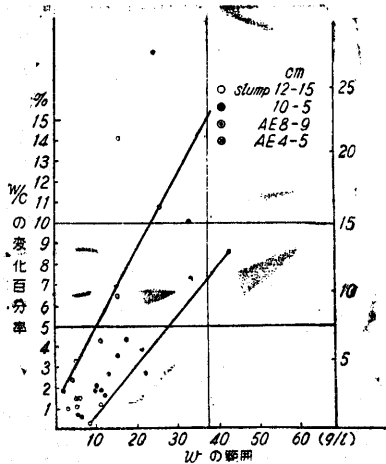
第8図

と、コンクリートの強度に最も大きな影響を及ぼす  $W/c$  とは一般に逆比例的な関係が見られるが、必ずしもそうとは限らない。

(5)  $w$ ,  $W/c$ ,  $S/c$ ,  $S/a$  等は一般に、他の条件が同じであれば混合時間が増すとともにその変動の範囲は小になつてゆくが、砂利は必ずしもそうでなく、よく練る程却つて分離することもある。故に、材料の投入方法、混合時間、ミキサーの羽根の形等を決めるときは、砂利の分布を調べることが必要であると思う。

4.4 ミキサーから排出されるコンクリートの強度

ミキサーから排出されるコンクリートの各部から1個づつ圧縮強度試験供試体 (15×30 cm) をとり、同時に、コンクリートの洗い分析を行つた結果を第8図に示してある。圧縮強度と洗い分析の結果得られた  $C/W$  とは必ずしも合つては無いが、大体比例していることがわかる。 $W/c$  の変化百分率と  $w$  の範囲との関係を示すと第9図の

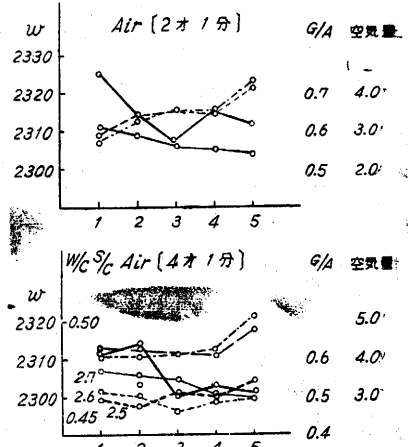


第9図

よくなつてゐる。真のバラツキは大きいが、そのほとんどは図中の2本の線の間に含まれている。 $W/c$  とコンクリートの圧縮強度との関係は一概にはいえないが、 $W/c$  の1%の変化に対して圧縮強度は普通 2.2~3.5% の場合が多いので、いま約 3% とする。すなわち、 $W/c$  の変化百分率 1% に対し 1.5% とすると、 $w$  の範囲と圧縮強度の変化百分率との関係は第9図に示しているようになる。これより、 $w$  の範囲の最大許容値を 37 g/l としたときの平均の値 14 g/l に対しては、強度は平均 6% の差 ( $W/c$  の差 2%) を許しているといえる。いま10回に1回位コンクリート中の3箇所強度が平均10%位、差があることを許すとしたならば、 $w$  の範囲は大体 23 g/l となり  $w$  の範囲の10%管理限界 24 g/l と大体合つてゐることがわかる。もし強度の面からコンクリートがもつと均質でなければならぬとか、またはもつと不均質でよいという場合には、それに応じて第6図、第3図から練り混ぜの良否を判定する手段を得ることができる。

4.5 ミキサーから排出されるコンクリート中の空気量

ミキサーの試験には空気量を問題としていないが、果して問題とする必要がないものであろうか。ミキサーから吐き出されるコンクリートの空気量の分布を調べた結果を第10図に示している。これによると、排出されるユ



第10図

ンクリート中に空気量が 1% も差のあるものがあることがわかる。空気量が 1% 変わると強度に普通 5% 位の差異を生ずると共に、耐久性その他のコンクリートの品質に影響を及ぼすので、適当な混合時間を決めたりするとき等決して無視できないと思う。

5. 結語

以上において、筆者はモルタルの単位重量を測定する従来の試験法がミキサーの練り混ぜ性能をどの程度示すものか実験によつて確かめると共に、これによつて練り混ぜの良否を判定するにはどのような考え方の下にどのようにすべきか述べたが、さらに、この方法のみでは不十分であつて、砂利の分布、空気量の測定を併用する必要のあることを明かにした。(1953.7.1)

正誤表 6月号 (第5巻第9号)

頁	段	行	種別	正	誤
21	右		図説明 (速報)	第3図 3段変速機性能 第4図 2段 "	第3図 2段変速機性能 第4図 3段 "

7月号 (第5巻第7号)

2	左		第1表	$kg/m^2$	$kg/cm^2$
3	"		(9)式	$\frac{2N\theta\phi}{u}$	$\frac{\partial N\theta\phi}{u}$
"	右	7	式	$P \cos \theta \sin \alpha$	$P' \cos \theta \sin \alpha$
8	"	3	本文	平均通風率	平均風率
13	左	下2	図説明	整流直後	電流直後