

コンクリートミキサの練り混ぜ性能試験方法について

正員 水野俊一*

ON THE METHOD OF CONCRETE MIXER PERFORMANCE TEST

(JSCE Feb. 1954)

Shun-ichi Mizuno, C.E. Member

Synopsis The mixer performance test is used to establish and check the mixing time necessary to obtain concrete which is within specified limits for uniformity, and to discover defective parts in the mixer. The procedure for obtaining the uniformity of fresh concrete by comparing the air-free unit weight of three mortar samples taken from different parts of the batch, appears as designation in Concrete Manual published by United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation. This method was accepted by the Japan Society of Civil Engineers for use as standard.

However, information, given by this method, on the uniformity of concrete discharged from the mixer and the method which estimates the mixing to be satisfactory or not are not explained. These problems were investigated experimentally and statistically by the present writer, and it was presented that the variations in coarse aggregate and air content should be taken into consideration as well as variability in unit weight of the mortars.

要旨 コンクリートを練り混ぜるとき定められた範囲の均等性を得るのに必要なミキサの混合時間を決めたり、検査したり、あるいはミキサの欠陥を発見したりするために、その運転試験が行われる。アメリカの内務省開拓局のコンクリート便覧には、1バッチの異なる部分からとつた3個のモルタル試料の空気量を除いた単位重量を比較することによつて、新しいコンクリートの均等性を知る方法が記されている。土木学会制定のコンクリート標準試験方法にも同様な方法が採用されている。しかし、この方法がミキサから排出されるコンクリートの均等性を、どの程度に示すものであるか、練り混ぜの良否判定をいかにすべきかについては明らかでない。筆者はこれらの問題を実験的に、また統計的に研究するとともに、さらに粗骨材及び空気量の不均等性も、モルタルの不均等性とともに問題にしなければならないことを明らかにした。

1. 緒言

近年、工事現場において、打ちこまれるコンクリートの品質を知るため、コンクリートの強度試験をすることが普及してきたが、実際にその結果から造られたコンクリートの品質には相当の変動がともなうものであることがはつきりしてきた。ミキサから排出されるコンクリートの品質に変動を及ぼす原因としては、ミ

キサ内に入れられる各材料の質、量の変動によるほかに、さらにミキサの練り混ぜの不充分に原因すると考えられる場合もある。ミキサの使命としてはこれから排出されるコンクリートが、どの部分も、それに含まれる水、セメント、砂、砂利がこれを投入したときと同じ割合で含まれ、しかもよく練り混ぜられていて、さらにコンクリート中の空気量が各部分で等しくかつ望ましい量だけ含まれているような状態であることが理想的である。しかし、計量その他の誤差のために、バッチごとのコンクリートの品質が相当に変動する場合には、練り混ぜだけをそれほど充分に行うことが意味がないと考えられる場合もおこる。練り混ぜ時間を短縮することが、工事の進捗上、また経済上等の関係から大切な問題となることが多い。それ故、どの程度の練り混ぜを行うことがその工事に適当であるかということが必要なことがらとなつてくる。

アメリカの内務省開拓局の便覧には、ミキサ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も同様な方法がミキサの練り混ぜ性能標準試験方法として規定されている。コンクリート便覧に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、実際に Grand Coulee,

* 文部教官、東京大学生産技術研究所コンクリート研究室

Marshall Ford 及び Friant の各ダムにおいて行つた適当なミキサ運転に対する管理限界を求めて、不均等値の最大限界を1回の試験に対して 37 g/l と与えた場合に、試験回数を増した場合の平均不等性の限界をいくらにすればよいかを示している。

しかし、これらの値がこの試験方法によつて、ミキサから排出されるコンクリートの品質のバラツキをどの程度表わすことができるか、試験結果がどの程度の値になればよいか、この方法のみで実用上充分であろうか等の点については特に日本の現状においてはほとんどわかつていないので、これらの点を明らかにするために実験的にまた統計的に研究を行つた。

第1章 Concrete Manual に示されているモルタルの単位容積重量差の許容限界値の意味について

1.1 許容限界値について

Concrete Manual に示されている空気を除いたモルタルの単位容積重量差の許容限界値はいかなる意味をもつた値であろうか、まず統計的に考察してみる。

コンクリートの材料である水、セメント、砂、砂利をミキサの胴の中に入れて廻転しはじめると、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を用いた場合には、ある程度以上の時間が経つと、ほとんどすべ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つて、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。これは後述の実験結果より近似的ではあるが云えることである。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 の最大なものと最小なものとの差はどのような分布をしているか考えてみる。

分散が 1 である正規母集団から任意に3個の標本 (x_1, x_2, x_3) 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、

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

ただし $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}$ 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あるので、 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調べた。その結

果 Γ 分布 (K. Pearson の III 型分布函数の位置母数を零とおいたもの) が近似度がよければならず、 R の平均値の分布を調べるのにも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、 Γ 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 $f(R) dR = 4.158 e^{-2.147R} R^{2.635} dR$ 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くらい誤差があるか調べてみると

$$\int_{R_0}^{\infty} g(R) dR = \alpha^* \text{ なる } R_0 \text{ を } \int_{R_0}^{\infty} f(R) dR = \alpha'$$

に入れて α' を計算した結果、表-1 のようになった。

表-1 α と α' との関係

α	α'
0.100	0.099
0.050	0.053
0.010	0.016
0.005	0.010

表-1 より、分布の上限の方では近似は必ずしもよくはないが、いま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、 α の代りに α' を用いて計算を行えば実用上充分であろう。

次に同じ正規母集団から、1回に3個づつ n 回標本をとつた場合 (n 回バッチから3個づつ試料をとつて試験するとき、バッチごとの w の変動の影響は一応ないと考えてもよいであろう)、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。図-1 には $f_1(\bar{R}), f_3(\bar{R}), f_{20}(\bar{R})$ を図示してある。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 α となるような値 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、図-2 のようになる。図中に太い線で画かれているのは Concrete Manual に示されている各測定回数における R の値を示したものである。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 $\alpha = 0.01 \sim 0.05$ 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、実測値と計算値と比較的よ

* α は R がある値 R_0 より大きな値となる確率を示している。

図-1 範囲 R 及び \bar{R} の分布

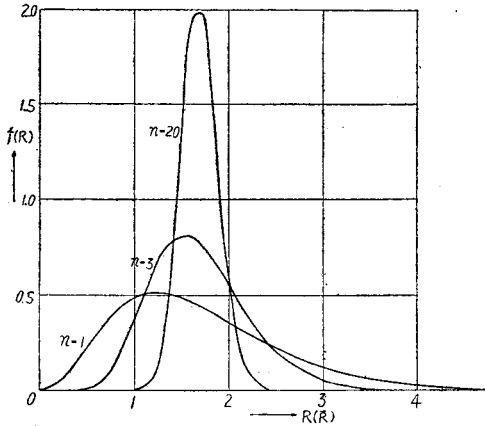


図-2 モルタル
単位重量の不
均等限界値

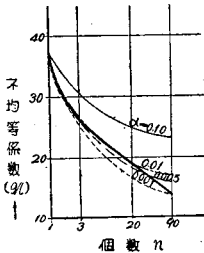
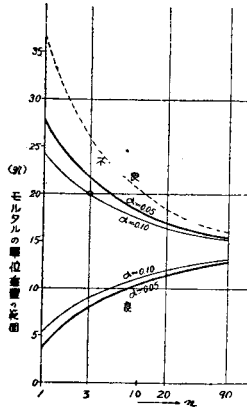


図-3 練り混ぜの良
否を判定する資
料



く合っていることがわかる。

以上より 37g/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云つても100回か200回に1回くらいしか間違ふことはないが、この値以下になつてもその練り混ぜはよいとは必ずしも云えないという値ではないかと思われる。これと全く同じことが n 回の試験の平均値についても云えよう。

1.2 練り混ぜの良否を判定する方法 不十分な練り混ぜ状態から、許容される練り混ぜへ移るときに境界の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だから、この分布においてある値 \bar{R}_n (\bar{R}_n') より大 (小) になる確率が α であるような \bar{R}_n (\bar{R}_n') よりも大 (小) なる値が実際に試験して出た場合には、この練り混ぜがよい (悪い) 練り混ぜである確率は α より小である。図-3 には $n=1$, $\alpha=0.005$ のときの限界を 37g/l としたとき $\alpha=0.05, 0.10$ の場合の練り混ぜの良否判定の基準を示してある (母集団の標準偏差は 8.37g/l となる)。図-3 において、上下2

曲線の外にでた点は、それに相当する危険率以下でこの練り混ぜが充分か充分でないか判断することができるが、2曲線の間に点が入ればさらに試験回数を増加するか、または危険率 α 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 R の平均値が 20g/l であつたとすると、図-3 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云えないということになる。

以上の練り混ぜの良否判定の方法は、1回の試験に対する管理限界として 37g/l の値を用いて行つたがこの値に対する検討を次章で行う。

1.3 本章における結論

- (1) モルタルの単位重量差の許容限界値 37g/l はこの試験を1回行つてこの値を越した場合、この練り混ぜは悪いといつても100回に1回くらいしか間違ふことのないような値であつて、この値以下になつても「この練り混ぜはよい」とは必ずしも云えないような値であると思われる。 n 回の試験の平均値についても同じようなことが云える。
- (2) 練り混ぜの良否を判定するには図-3 を用いて前述の方法によるのが適当と思われる。

第2章 ミキサの練り混ぜ性能試験方法についての実験による考察

2.1 実験の目的

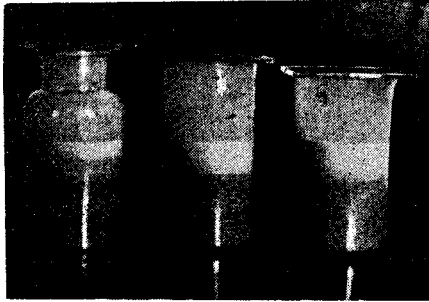
ミキサの練り混ぜ性能を試験するのに、空気を除いたモルタルの単位重量差をはかることによつて、コンクリートの品質のパラッキをどの程度表わすことができるか、この方法のみで実用上充分であろうか、37g/l は適当な値であるかどうか、この試験を行うにあつてどのような点に注意すべきであるか、等の点を明らかにするため、実験室及び現場において以下に述べる実験を行つた。

2.2 空気を除いたモルタルの単位重量の測定精度

2.2.1 容器について 空気を除いたモルタルの単位容積重量を測定する容器は、コンクリート標準示方書によれば「容器の容量は1立、その上面は平らで、ガラス板でびつたりフタのできるものでなければならない」となつている。筆者は写真-1 に示すような3種の容器を用いてみたが、内径が一樣で、ガラスのフタと接触する面だけを厚くした右端のようなものが使用してみると最も都合がよいことがわかつた*。しか

* 丸安隆和著：“現場コンクリートの試験方法と現場管理の方法” (オーム社) 参照

写真-1



し、市販の広口壺でもいねいに取扱えば充分な精度をうる事ができる。

2.2.2 ハカリについて ハカリは示方書では 0.5 g まで計量できるもの、Concrete Manual では 0.1 g まで正確にはかれるものとなっている。いまハカリの計量誤差のみでモルタルの単位重量に生ずる誤差を求めてみる。

$$w = \frac{a}{a+c-b} \times 1000, \quad a = a_2 - a_1$$

ここに w は空気をおい出したモルタルの単位重量 (g/l), a はモルタルの空気中重量 (g), b は容器の中にあるモルタルと容器の上面まで入れてある水との重量 (g), c は容器の上面まで水だけを満したときの水の重量 (g), a_2 はモルタルと容器の重量 (g), a_1 は容器の重量 (g) である。 $a+c-b=B$, a_1, a_2, b, c, w の標準偏差をそれぞれ $r_{a1}, r_{a2}, r_b, r_c, R_w$ とすると、

$$R_w^2 = 1000^2 \left\{ \frac{a^2}{B^4} R_B^2 + \frac{1}{B^2} R_a^2 \right\} \dots \dots \dots (1)$$

ただし $R_a^2 = r_{a1}^2 + r_{a2}^2$, $R_B^2 = r_{a1}^2 + r_{a2}^2 + r_c^2 + r_b^2$
 いま $a_1 = 600$ g, $a_2 = 1600$ g, $b = 2500$ g, $c = 2000$ g, 1 回の計量誤差をすべて標準偏差で 0.5 g と仮定すると $R_w = 4.25$ (g/l) となる。いま 3 個の容器によつて試験したとき、秤量誤差のみによつて生ずるモルタルの単位容積重量 w の最大値と最小値との差、すなわち範囲 R はこのような試験を多数繰返した場合に

表-2 ハカリの計量誤差によるモルタル単位重量 w の測定誤差

		計量誤差 (標準偏差) g						
		0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0
w の誤差 (標準偏差)		0.4 g/l	0.8 g/l	1.7 g/l	2.5 g/l	4.2 g/l	5.9 g/l	8.5 g/l
試料 3 個	3 個の試験の範囲の平均 \bar{R}	0.7	1.4	2.9	4.3	7.2	9.8	14.4
	R が 20 回に 1 回越す限界	1.4	2.8	5.6	8.3	14.1	19.6	28.2
試料 2 個	2 個の試験の範囲の平均 \bar{R}	0.5	1.0	1.9	2.8	4.7	6.7	9.6
	R が 20 回に 1 回越す限界	1.2	2.3	4.7	6.9	11.6	16.3	23.4

平均 $\bar{R} = d_2 R_w = 1.693 \times 4.25 = 7.20$ (g/l) なる値を示すことがわかる。ただし d_2 は係数で新編統計数値表第 35 表を参照されたい。またこの場合 20 回に 1 回は $3.32 \times 4.25 = 14.1$ g/l のような値を示すこともあり得るわけである。ハカリの計量誤差による測定結果の変動を表-2 に示してある。

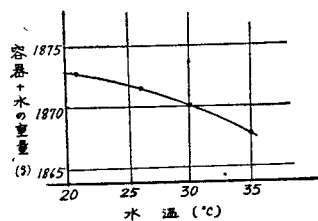
以上の結果並びに後述の測定精度から、どの程度のハカリを用いればよいか推定できる。

2.2.3 測定誤差を生ずるその他の原因について

計量誤差以外の原因として考えられるものには (1) 試料の採取法によるもの (2) 水並びにモルタルの温度の変化によるもの (3) モルタル中の空気を追い出す程度によるもの (4) 容器の外側の水分のふき方の不充分によるもの等が考えられる。

まづ (1) 試料の採取法による誤差は採取したコンクリートは分離しているのですべて 5 mm フルイによつてふるい、モルタルは充分練り混ぜて試料とすれば避けられる。(2) 温度の変化によるものについては、容器の検定 (c の値の測定) において、水温を変えて測定した結果を図-4 に示してある。これは内容積約 1.40 l の容器について求めたデータであるが、水温 20~25° の間では 1°C の変化に対して平均 0.19 g の

図-4 温度と水を満した容器の重量との関係



変化, 25~30° では 0.32 g, 30~35° では 0.40 g となり、この変化のみによるモルタル単位重量 w の変化はそれぞれ 0.8g/l 1.4g/l 1.8g/l

となる。温度の変化をどの程度まで許すかは所要測定精度との関係があるので一概に決めることはできないが、示方書に決められている 2°C (水の温度と試験をするモルタルの温度との差) 以内であれば充分である

う。なおモルタルの単位重量差のみを問題とするときは、実用上、示方書の値 2°C にあまりこだわる必要はないと思われる。ただ 1 回に試験をする 3 個の容器の c の値を求めるときは、3 個とも同じ温度の水を使うようにすればよい。(3) のモルタル中の空気を追い出す程度については、モルタルの配合: 砂の粒度, モルタルに含まれている空

気量等により空気の出かたが非常に異なるので、その程度を示すことは困難であるが、3個の容器を1人で行う場合、空気を追い出すのに20~25分かけて気泡を一応おい出して、ガラスのフタをするとフタの下面が1分後に細かい気泡でうすく一面に白くなる程度であれば計量しても0.3g以下の差しかないようである。(4)の容器の外側の水を充分にふき取ることは、注意すれば容易にできることであるが、フタと容器の接触部辺りに水が残る可能性が多い。この点に注意しないと0.5g (w で約2.2g/l) くらいの誤差を生ずることがある。

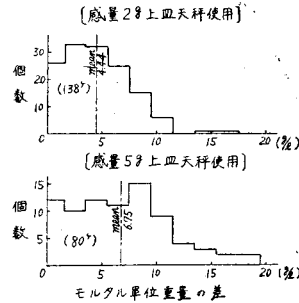
いま計量誤差が0.3g(S.D.) 温度の差が1°C(S.D.)、空気量による計量誤差0.3g(S.D.) 容器の外側の附着水の変動0.2g(S.D.)とすると、 w に及ぼす影響はS.D.でそれぞれ2.5g/l, 0.8g/l, 1.3g/l, 0.9g/lとなる。これらすべての影響によつて、 w は標準偏差で3.0g/l変動し、3個の測定の範囲 R は平均 $\bar{R}=5.1g/l$ となる。このとき R は20回に1回は10.1g/l以上の値がでることが考えられる。温度の差及び容器の外側の附着水がないときは、 $\bar{R}=4.8g/l$ となり、精度は大してよくはならない。

これからみると、ハカリの精度が重要であることがわかり、ハカリは現場でも少なくとも感量2g程度のものを用いることが必要であると思う。

2.2.4 実験結果 実験室において、モルタルの単位容積重量を測定する精度を調べるため、よく練り混ぜたコンクリートで3個の試料をとり、そのモルタルの単位容積重量の最大値と最小値との差を調べてみると13回の平均が3.6g/l(最大10 最小1g/l)であった。感量5gの天秤を用いたのであるが、出来のよいハカリであれば、特に注意して測定すればこの程度の差で測定できることがわかる。なお、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%(ただし4組の結果)であった。

次に、現場において、約220組の2個の試料についてモルタルの単位容積重量差を調べた結果は図-5に示してある。ハカリは実験室のものとは違いますが、同じく感量5gのもの及び感量2gのものをべつべつに用い未熟練者を含む数人によつて測定した。この結果をみると、感量5gのハカリを用いたものは表-2において、計量誤差のみと仮定すると、0.7gの変動に相当する。また、温度2°C 空気量0.5g 附着水0.4gの変動と仮定すれば、計量によるものは0.6gの変動に相当し、感量2gのハカリを用いたものは同じ条件の下では、計量によるものは大体0.30gの変動に

図-5 同じコンクリートのモルタルの単位容積重量を2個の容器で測定した結果の差の分布図、現場における試験結果を示す



相当する。後者は前者より後で測定したので計量誤差以外の誤差が減少していることも考えられるが、感量2g程度のハカリを用いるならば、その計量誤差は他の誤差と大体バランスするので差支えないと思われる。

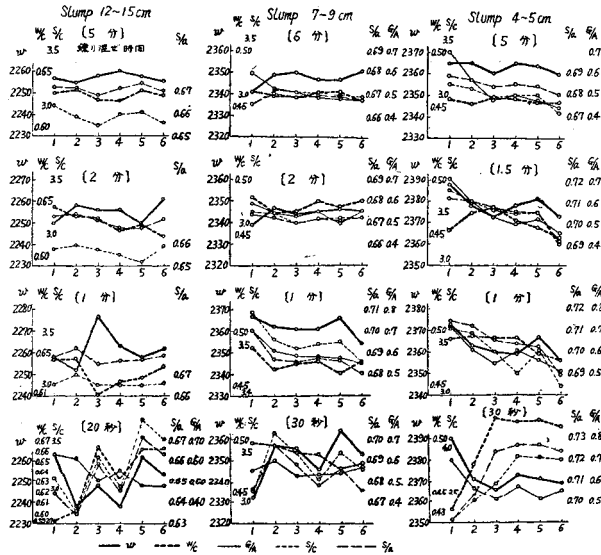
2.3 ミキサから排出されるコンクリートの不均質性についての実験

2.3.1 実験方法 ミキサから排出されるコンクリートの均等性がどの程度であり、モルタルの単位容積重量差試験によつてどの程度この均質性が示されるかを実際に確かめるため次のように実験を行った。最初に実験室内ではジェガー型2才及び4才のミキサを用いて排出するコンクリートの最初、最後のコンクリートを含め、計6個の試料をとつた。各試料は規定どおりにモルタルの単位重量の測定をするとともに、洗い分析を行ったが、その精度をよくするために、AEコンクリート及び強度試験をするときのコンクリートを除いては、細骨材中0.3mmフルイを通過する微細粒を取り除き、また粗骨材は最大寸法40mmで10mm以下のものを取り除いた。材料の投入方法はミキサの回転を止めて、まづ使用水量の1/3を入れ、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始め、混合時間を計つた。

ハカリは容量10kg 感量5gの上皿天秤及び感量0.5gのコンクリート洗い分析用天秤を用いた。次に1才の可傾式ミキサを用いて0.6才練り、モルタルの単位容積重量差の変動を調べた。これに用いたハカリは容量10kgで0.1gまで測れる2桿天秤である。現場においては、同じコンクリートのモルタルを2個の容器で測定し、現場における試験の精度を調べるとともに、モルタルの単位重量の変動、コンクリートの強度の変動を調べた。さらに、21才ドラムミキサについてもモルタル単位容積重量差の試験を行った。

2.3.2 ミキサから排出されるコンクリート中の各材料の不均等性についての実験結果 ミキサ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図-6に示してある。図中 w はモルタ

図-6 ミキサから排出されたコンクリートの品質の変動



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。図-7 はミキサから排出されるコンクリートの始め, 中ごろ, 終りの3箇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いかに変化してゆくかを示したものである。図中の線は Concrete Manual に示されているデータである。

図-8 は最初にミキサから排出されるコンクリートの

図-7 ミキサによる混合時間とモルタルの品質の変動との関係

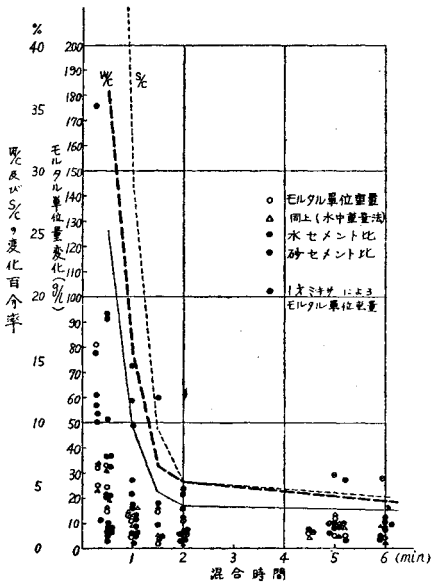
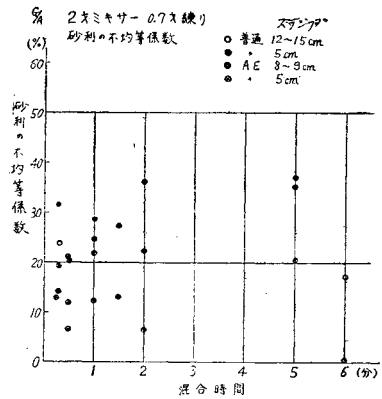
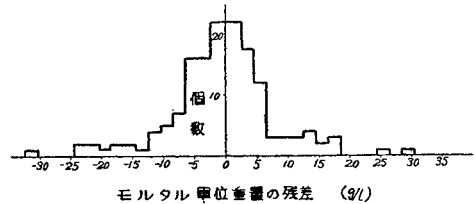


図-8 混合時間と砂利の不均等係数との関係



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)が混合時間とともに変化する様子を示したものである。図-9 は1回に6個の試料の w が, その平均値の周りにどのように分布しているか図示したものである。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に示したが, 無論厳密な方法でない。

図-9 ミキサから排出されるコンクリート中のモルタルの単位重量の分布



しかし, これによつて w は, コンクリートのスランプによつて幾分異なるけれども, はなはだしい非対称分布をなしてはいないということが推察できる。

以上の実験結果から, 次のことが推論できる。

(1) ミキサから排出されるコンクリートの最初, 中ごろ, 最後の部分から試料を採つて試験しても, これは必ずしも全体のコンクリートの品質の差の最も大なるものを示さない。

(2) ミキサによつて, ある程度練り混ぜられて排出されるコンクリート中の w の分布は, ミキサの構造等にもよるが, 一般にはなはだしい非対称分布とは考えられなく, 一応正規分布と仮定しても大きな間違いはないものと思われる。

(3) スランプ 4 cm 程度の硬練りコンクリートを 2才ジェガー型ミキサで練つた場合, 混合時間が, 短

かい場合には、最初に w の大きなものが排出されることが多かつた。

(4) モルタルの単位重量 w と水セメント比とは一般に逆比例的な関係が認められるが、必ずしもそのようにはなっていない。

(5) $w, W/C, S/C, S/a$ は一般に、他の条件が同一であれば、混合時間が増加する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、よく練り混ぜるほど、かえつて分離することもある。故に、材料の投入方法、混合時間、ミキサの羽根の形等を決めるとき等は、砂利の分布も調べる必要がある。またコンクリート中の空気量を測定するとき砂利の含有量により空気量が変動するので、砂利の分布を調べることはさらに重要となる。

(6) 他の条件の等しいときは、スランプの小さなほど、練り混ぜ初期の w の差が大きい傾向にある。すなわち、硬練りコンクリートほど練り混ぜりにくいことが表われている。

(7) 砂セメント比の変動は、水セメント比の変動より大きいことがわかる。これは参考文献(1)と同様な結果を示している。

2.3.3 ミキサから排出されるコンクリートの強度

ミキサ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) を造り、同時にコンクリートの洗い分析をして得られた結果を図-10 に示してある。圧縮強度と洗い分析によつて得られた W/C とは必ずしも合つてはいないが、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1組3個づつの試料について示すと図-11 のようになっている。空気を除いたモルタルの単位重量が同一の値の場合でも水セメント比は理論上は広範囲に変化するわけであるが、実際にミキサの中では大体ある限られた範囲に収まるようである。

図-11中の線は x が 12 g/l までは x, y の標準誤差がそれぞれ 2.5 g/l 及び 0.5 とし、 x が 1.5 g/l 増加すれば、それらがそれぞれ倍になる割合で直線的に変化

図-10 コンクリートの洗い分析結果と圧縮強度

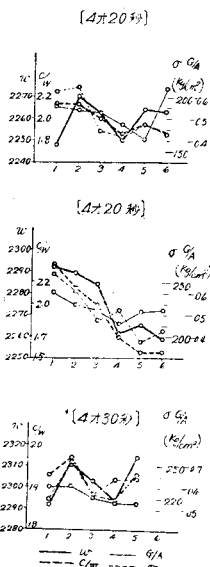


図-11 3個のモルタルの単位重量の範囲と水セメント比の変化百分率との関係

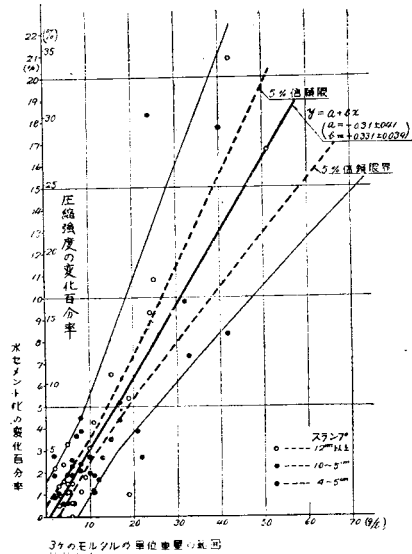
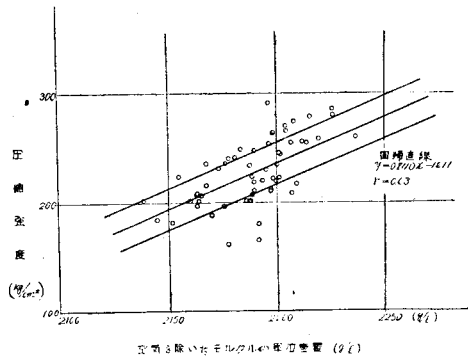


図-12 モルタルの単位重量とコンクリートの圧縮強度との関係 (現場のデータ)

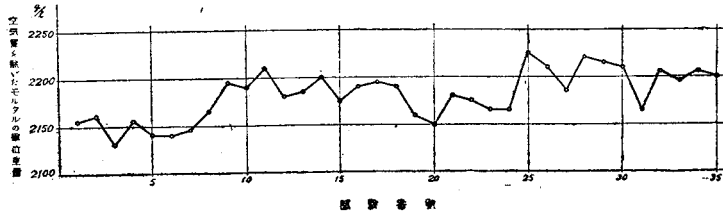


するものとして、 x 及び y の重みをつけて計算したものである。破線は各 x の値に対する、真の y の値の 95% の信頼限界を示し、細かい実線は各打点の 20% の限界を示している。

文献(1)によると、16 g/l の w の変化は、 W/C で 3.3% の変化に相当するとあるが、図-11 も大体このような傾向を示している。 W/C の 1% の差に対しては、圧縮強度は普通 2.0~3.5% の場合が多いので、いま 3% とすると、 w の範囲と圧縮強度の変化百分率との関係は図-11 の中に示してある。

現場において、パッチごとのモルタルの単位重量と圧縮強度との関係を求めたのが図-12 である。モルタルの単位重量 w 、圧縮強度 σ 、ともそれぞれ 2 個の測定値の平均値である。点のバラツキは大きい、回帰直線は $\sigma = 0.840w - 1611$ で表わされ、相関係数

図-13 モルタル単位重量のバッチごとの変動

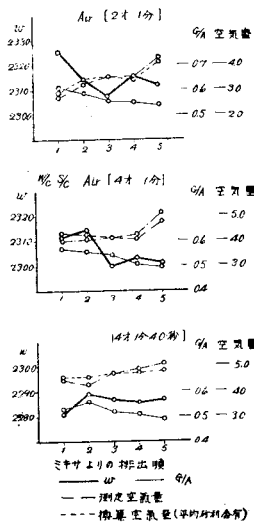


$r=0.63$ で、 w の変化 10g/l に対して強度は 8.4kg/cm^2 (平均約 3.7%) の変化になる。

モルタルの単位重量が、バッチごとにどのくらいの変動をするかについて、現場において試験した結果を図-13 に示している。この実験においては、強度の変異係数が、 13% 、モルタルの単位重量の平均値 2181g/l 標準偏差 24.8g/l である。

2.3.4 ミキサから排出されるコンクリート中の空気量 ミキサの練り混ぜ試験に空気量を問題とする必要がないかどうか調べるため、ミキサから排出されるコンクリートの空気量を調べた。測定はワシントン型エアメータによつて行い、測定順位は 1, 3, 5, 2, 4 の順である。経過時間による空気量の減少は 0.2% 以下であつたので測定空気量はそのまま示してある。また砂利の含有量により、測定空気量が変化するので平均量の砂利を含有している状態の空気量に換算した値も示した。図-14 はその結果を示しているが、これから、コンクリート中の空気量は、 w の範囲が 11g/l 程度であるのに、 1% 以上ある場合があることがわかる。

図-14 ミキサから排出されるコンクリート中の空気量の分布



1バッチ内のコンクリート中の空気量に 1% も変動があることは無視できないことである。また、砂利の分布によつて、測定空気量が相当な変動を示していることもわかる。すなわち、測定空気量が 0.8% の差のあるものも、平均砂利を含むコンクリートの空気量に換算すると、その差は 0.25% になつてゐる。これらの点からコンクリートの空気量を測定するため、試料を採取するとき、空気量と砂利両者の分布

を考慮しながら採取することが必要であることがわかる。

2.3.5 モルタルの単位重量差の限界値 1回の試験に対する管理限界が決まれば、第1章の方法により練り混ぜの良否が判定できるので、限界値について

考察しよう。

まず、強度の面から考える。ミキサ内のコンクリートの強度のバラツキをどの程度におさえるかは、バッチごとのコンクリートの強度のバラツキと関連して考えるべきである。バッチごとの変動が大きい場合には、バッチ内の変動を特に小にする必要はないはずである。いまコンクリートの強度の変異係数の $p\%$ だけが、バッチ内の強度の変動によつて生ずることが許されるとすれば、バッチ内の強度の変異係数及び1回の試験におけるモルタルの単位重量の範囲の管理限界は表-3 のようになる。表中の値は次のようにして得られたものである。すなわち、強度の偏差を $Y\%$ とし、図-8 において各 x に対する直線 $y=a+bx$ のまわりの各打点の標準偏差を σ_Y としたとき、モルタルの単位重量の範囲の偏差 X_1 は $X_1 = \{(Y^2 - \sigma_Y^2)^{1/2} - a\}/b$ となる。そして、1回の試験に対する限界は $4.42 X_1$ によつて求めた。

表-3 モルタルの単位重量の範囲の管理限界

p		強度の変異係数 (%)							
		8	10	12	14	16	18	20	25
2%	バッチ内の強度の変異係数 (%)	1.6	2.0	2.4	2.8	3.3	3.6	4.0	5.0
5		2.5	3.2	3.7	4.4	5.0	5.6	6.2	7.8
10		3.5	4.4	5.2	6.1	7.0	7.8	8.7	10.9
2	1回の試験に対する限界 (g/l)	—	—	—	14	20	25	35	—
5		—	11	22	29	35	40	44	56
10		18	29	37	44	49	56	62	77

p の値として 5% を採ると、強度の変異係数が 14% のとき、1回の試験の限界値は 29g/l となる。

つぎに、バッチごとのモルタルの単位重量のバラツキとの関連から限界を決める (この場合も強度が基である)。図-10 に示されている w の変動の標準偏差は 24.8g/l (強度の標準偏差 13%) である。この 5% が練り混ぜによるものであるとすると、その標準偏差は 7.9g/l 1回の限界値は 3.5g/l となる。

以上、現場においてどの程度均一な品質のコンクリートを作ることができるかによつて、ミキサ内のモル

タルの均一性をどの程度にするか加減することができる。管理の不十分な現場で、コンクリートのバッチごとの強度の変動が 20% 以上にも及ぶ場合は、1回の試験の限界を 44 g/l くらいにし、練り混ぜの良否判定は 図-14 において縦軸を 44/37 倍した値を用いて決めることができる。しかし、一般に強度の変動がわからない現場でミキサの試験をする場合には、上述の計算より考えて 37 g/l を用いて 図-3 によつて練り混ぜの良否を決めればよいと思う。

附 記

本研究は昭和 28 年度科学研究助成補助金による成果の一部である。終始御指導をうけた丸安教授、及び

現場試験の御便宜を与えられ資料の発表を許された第二港湾建設局次長比田正、京浜港工事事務所次長肥後春生、佐藤貞一技官の諸氏に対し深謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) S.P. Wing, Valens Jones, and R.E. Kennedy: "Simplified Test for Evaluating the Effectiveness of Concrete Mixers" Proc. ASTM 1943
- (2) United States Department of the Interior Bureau of Reclamation ; Concrete Manual 1949
- (3) 日本応用力学会：応用統計学 (昭.28.9.21)

新 刊 紹 介

林 一 幹・春日屋伸昌 共著 測 量 便 覧 森北出版 K K 刊
A 5 判 876 ページ 定価 1300 円 昭. 28. 12. 12 刊行

測量を実施するには諸法令を参照する必要がある。また特に内業には諸式及び諸数表が必要であるが、これらは普通べつべつに書籍の一部に掲載されているかまたはパンフレットとなっている。この「測量便覧」の内容は、総ページ数のうち大体「本論」「数学公式集」が 1/3、「数値諸表」が 1/3、「法令集」が 1/3となつていて、土木、建築、鉱山、農林などのおおよそ測量に普通必要とするものはすべて載つていると思う。中で、「三角函数真数表」と「三角函数対数表」はもう少し数字を大きくした方が親切であろう。「常用対数表」の真数を 4 桁、対数を 7 桁としたのは無駄がなく便利である。「本論」も図と表が多く利用価値が高い。要するに良心的で、相当苦心した出版であると思う。(早稲田大学助教授 佐島秀夫)

綜 合 雑 誌

技術 創刊 第 1 号

総合誌は何故生まれなかつたか？
これは移りゆく世界の技術があな
たにもたらす意義のハイライトだ
時代は専門家の安住を許さない！

ゲルマニウム・シンボジウム

世紀の金属の資源から応用までの徹底的解説
 <<資 源>> ゲルマニウムの資源
 <<製 法>> 石炭からゲルマニウムの抽出
 <<精 製>> ゲルマニウムの精製
 <<理 論>> トランジスターの原理
 <<応 用>> トランジスターの応用

エチレン・リポート

エチレンが化学工業にもたらす革命の全貌
 ・第2のプラスチック群
 エチレン誘導体・ポリエチレン樹脂・ポリエステル樹脂・スチロール樹脂・アクリル樹脂・アクリロニトリル樹脂・弗素樹脂
 ・エチレンの構造
 ・新潟天然ガスの資源と利用状況の実態調査

テクニカル・レビュー

わが国代表会社の最新の技術と商品の速報欄
 ・総合技術会社の使命・ベータートロン・ポンプ無し水銀整流機・接触変流機・大容量発電機・レップ反応・化学工業技術・あなたは水でお困りではありませんか・湿式製錬法・直紡機・ダム建設・リチオッピングの工作機械・シュツェの自動盤・ドイツの誇る工作機械・斜流ポンプ・プラットフォーム

- ・世界的水準をゆく国産工作機械
- ・人工落雷による通気性ゴム
- ・弾性コンクリートに変わってきた
- ・収塵装置のえらび方
- ・工場ではたらくラジオ元素
- ・色彩調節は役に立つか
- ・儲かる食用茸の人工栽培
- ・対談・あの手この手(駒形作次氏)
- ・開放された技術
- ・ドイツ工業界は如何に復興したか
- ・100 万円の技術
- ・株式からみた技術
- ・JIS・UDC・PBリポート
- ・技術サービス

< ¥. 150 >

発行 東京・中央区銀座東7 工業技術院内 日本技術士会

発売 東京・日本橋

丸 善