

## コンクリートミキサにおける混合度について

正員 槻 場 重 正\*

## HOW TO JUDGE THE PROPER DEGREE OF MIXING IN A CONCRETE MIXER

*By Shigemasa Hasaba, C.E. Member*

**Synopsis:** This paper describes a method of measuring the efficiency of mixing which has been hitherto adopted, and discusses its suitability for a concrete mixer.

The author describes a new, standard treatment of judgement which is considered most suitable for the mixing of the multi-ingredient materials in a concrete mixer.

## 1. 緒 言

一般に混合操作は簡単な機械的操として取扱われ、混合に対してはばく然とした概念をもって操作されてきた。

土木工学においてはコンクリートはもちろん混合操作をともなう材料において、与えられた材料の混合の良否が構造物の強度および経済に重大な影響を与える。特にコンクリートミキサによる混合の研究が大切であるにもかかわらず、従来はほとんど基礎的研究が行なわれず、個々のミキサについて実際に材料を練り混ぜ、その結果をいろいろの方法で判定し処置をとってきた。

ミキサの性能および混合効果の良否の判定にはいろいろの条件が考えられるが、混合効果については投入した材料をミキサ各部において均一に混ぜることが第1条件である。従って混合度合の判定基準の決定は、ミキサの製品がその目的に応じていかにその目的を達し得るかを表示するものでなくてはならぬ。コンクリートミキサの基本的研究をするためには混合効果を合理的に表示する混合度を決定することが必要である。ここで従来採用されている判定法と一般混合における混合過程を基本として誘導せられ、発表せられた混合度の表示法について述べ、これらのコンクリートミキサの混合度表示に対する適応性を論じ、コンクリートミキサが多成分系固体粒子の混合として筆者が最も適応性をもつと考える判定規準の取扱いについて述べたものである。

## 2. 従来採用せられた混合度の判定法

### (1) 従来のコンクリート ミキサの混合度の判定法

土木工学において取り扱う材料はその種類も異なりかつ粒度の分布も非常に広い。コンクリートミキサにおいて取り扱われる材料は水、セメント、混和材、砂、砂

利であるが、水をのぞいてその物性の差による混合に対する影響差は少ないとみて差し支えがないが、これらの粒度の分布が広く、粒径別に考えて4～5成分の混合系となる。従ってコンクリートミキサの混合は多成分系の混合として取り扱うべきである。しかしこれらの混合過程は非常に複雑である。現在コンクリートミキサによる混合の良否を定める実用法として採用せられている一、二の例について述べ、これらについて考えて見る。

### (a) コンクリートミキサの混合度判定法

JIS A 1119 で「ミキサで練り混ぜたコンクリートのモルタルの単位容積重量差の試験法」が規定されている。これは試料をミキサ停止直後にミキサ内のコンクリート面の前、中、後の3部分から、またはミキサからはき出されるコンクリートの初め、中、終りの3部分からモルタルが1試料中に 1000 g 以上ある程度に試料を採取して、おののおの試料のモルタル量を測定し次の式から単位容積重量を計算する。

式中、  $W$ : 空気を追い出したモルタルの単位容積重量  
(kg/m<sup>3</sup>)

*a*: モルタルの空気中の重量 (g)

b: 容器中のモルタルと水の重量 (g)

*c*: 容器を満たすに要する水の重量 (g)

3つの部分から取り出された試料について(1)式によって  $W_1, W_2, W_3$  を求め、その中から最大単位容積重量と最小単位容積重量の差を求めて混合の良否を判定する。

わが国ではこの方法で求めた単位容積重量差がどのような値になればよいかは規定されていないが、一応その標準として4～6分練り混ぜたバッチから、1回の試験で求めた結果が $18 \text{ kg/m}^3$ を、数回の試験で求めた結果が $13 \text{ kg/m}^3$ をこえた場合は、用いたミキサの欠点について検討しなければならないとしている。

しかし、この方法では混合に対してモルタルの単位容積

\* 金沢大学助教授、工学部土木工学科教室

重量差のみを混合度の判定の基準としていて、粗骨材の配合関係が入っていない。従ってこの規定による単位容積重量差が小さくともモルタルの性質および粗骨材の混り具合が異なり、おのおの成分の仕込量の均一混合である理想混合と比較してその偏差を表わす尺度とはならない。コンクリートの強度についていえばおのおの成分の混合割合が仕込割合による期待配合に近い均一な配合になることが望ましく、これが混合操作の目的に合致するのであって、以上述べた理由から規格によって良結果のものでも部分的に組成配合が均一であるとはいえない。従って部分的強度のばらつきが変化しうると考えられる。水野氏<sup>1)</sup>もその広範囲な実験において粗骨材の混合の偏差について考えなければならぬことを指摘され、Concrete Manual でも 1956 年ミキサの運転試験において粗骨材の問題を取り上げている。

#### (b) コンクリートの均等性に関する試験法

- ① コンクリートの均等性を試験するのに練り混ぜ直後の 100~200 kg の試料を採取して洗い分析を行なってバッチ各部における水, セメント重量比, セメント, 細骨材比, 細粗骨材比などについて大約 10% 以上の差のあるとき。

② バッチ最後の 10% にふくまれる 20 mm 以上の骨材量がバッチ最初の 10% にふくまれる 20 mm 以上の骨材と 20% 以上の差のあるとき。

③ またバッヂの各部から 1500 g のモルタル試料を取り、その中にふくまれる水量  $W$  と 0.15 mm のフルイを通す材料  $F$  との比  $W/F$  が各部の試料の  $W/F$  の平均値と 10% 以上の差のあるとき。

などはミキサの改良、練り混ぜ時間を変えるなどの適当な処置をとる必要があるとされている。以上の試験法はミキサの改良、操作の処置に関する限界を与えており、ミキサの混合の度合を判定する基準とはいえない。

#### (2) 混合過程を基本とした混合度の表示

従来混合度を表示するのに混合過程を基本として混合度を定量的に決定しようと試みられた。ここにその代表的なものをあげる。

Coulson and Maitra<sup>2)</sup>, Weidenbaum and Bonilla<sup>3)</sup>, Lacy<sup>4)</sup> 氏等の人人によって混合度の理論的研究がなされている。例えば Lacy 氏は各粒子が全く等しく混合した状態を完全混合とし、これを判定標準として混合度を定めた。その混合度  $M$  は次の式で与えられている。

$$M = \frac{\sigma_0^2 - \sigma^2}{\sigma_0^2 - \sigma_f^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

式中,  $\sigma_0$ : 混合前の標準偏差

$\sigma$ : 採取試料の標準偏差

$\sigma_t$ ：完全混合の標準偏差

しかしこれらの混合度はいずれもほぼ同一粒径の2成分系混合に対するものである。特定の粒径をもつ多成分

系の混合については Buslik<sup>5)</sup>, Stange<sup>6)</sup> 氏によって取り扱われている。

Buslik 氏は多成分系固体粒子を対象として、その中の 1 つの特定の着目成分  $g$  の分散度  $\sigma_{t^2,g}$  は試料一定重量  $W_0$  をとった場合、次の式で与えられている。

$$\sigma_{t^2, g} = \frac{C_g(1-C_g)\bar{w}_g + C_g^2(\bar{w}-\bar{w}_g)}{W_0} \quad \dots \dots (3)$$

式中

$\sigma_{t^2, g}^2$ :  $a, b, \dots, m$  種の粒子中の着目成分  $g$  の分散

$C_g$ : 着目成分  $g$  の仕込混合重量比

$\bar{w}_g$ : 着目成分  $g$  の 1 個当たりの重量

$$\bar{w} = C_{1}w_1 + C_{2}w_2 + \dots + C_{n}w_n$$

$C_1, C_2, \dots, C_n$  は  $a, b, \dots, m$  粒子群の仕込み重量比

(3) 式では多成分系混合に対してその中の 1 種の着目成分の分散を基本として混合の度合を求めることがで  
きるので、混合する  $m$  種に対しては別々に求めなければ全  
体の混合度を判定することができず非常に複雑であ  
る。このほか混合過程が拡散現象と相似な現象とみて混  
合度を理論的に求めたものがある。また Coulson, and  
Maitra 氏によって混合物質の相互の境界面積増加速度  
にもとづく混合度が提案せられている。わが国では大  
山, 綾部氏<sup>7)</sup>が二成分系混合について実験せられその結  
果について(2)式に示す混合度を用い解明されている。

### (3) 実験結果を基本として混合状態を究明するための混合度の表示

固体粒子の混合過程は流体の混合の場合より複雑であるので、混合の研究においては混合機構を基準とした混合度を用いることが困難な点から実験によって得られた試料内の着目成分に対して、各部分が仕込比率に分布せられたと仮定された理想完全混合を基準とした標準偏差を求めて直接混合度とする場合がある。2成分系混合については矢野、蟹瀬氏<sup>8)</sup>など多くの人が行なっている。これらの研究には混合度の判定に理想完全混合を基本として、 $N_s$  の試料における標準偏差を使用している。

$$\sigma = \frac{1}{N_s} \sqrt{\sum_{i=1}^{N_s} (C_i - C_A)^2} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

式中  $\sigma$  は標準偏差であり、 $C_i$  は着目成分 A の採取試料中の濃度 (Vol%) である。したがって実験の結果  $\sigma$  が小さいほど混合が良好であるとしている。

このほか大山氏は混合体を色分けにして写真撮影を行ない、混合につれて変化する照度を光学的に測定して混合度を決定する方法も示されている。

### 3. コンクリート ミキサによる混合の度合を 判定するに最も適応する混合度の表示法

### (1) コンクリート ミキサの研究に対する その混合度決定の必要性

混合に関しての研究に対してはその混合の目的に適応した混合度の決定がなされなければならない。混合度に関する概念的決定ではその製品の均一性の要求度、混合操作の最適条件、混合機設計の資料を完全に与えることができないから、混合度は合理的に定められた数値をもつものでなければならぬ。例えばコンクリートミキサによる混合は、そのコンクリートの組成成分の均一性は、そのバッチ内のコンクリートについて考えるとその強度の「ばらつき」と最も関係があるから、各成分の配合率と仕込配合率の割合の変化が限定された混合度の数値範囲にあることが必要である。また与えられたコンクリートミキサの最適の操作条件を見出すためにも数値によって与えられる混合度の決定が要求される。各種のコンクリートミキサの最適操作条件が明らかになればおのおの運転に対する混合度の数値的比較によって、その最大性能を数的に比較することができる。

## (2) コンクリートミキサに対する混合度の決定

いま  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  なる  $n$  種の混合において各粒子の仕込重量をおのおの  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  として、仕込全重量を  $W$  とすれば各粒子の仕込重量比は  $a_1/W, a_2/W, a_3/W, \dots, a_n/W$  となり、この値を  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$  とすれば一般に

$$p_i = a_i/W \quad \dots \dots \dots (5)$$

次に混合後においてミキサ各部から採取した試料をフルイ分け、各粒子のフルイ分け重量を  $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$  とすれば、その試料の全重量を  $w$  とするときの各粒子の混合重量比は  $b_1/w, b_2/w, b_3/w, \dots, b_n/w$  となり、この値を  $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$  とすれば一般に

$$f_i = b_i/w \quad \dots \dots \dots (6)$$

となり、要するに  $p_i$  は  $f_i$  に対する期待値となる。

従って完全混合の場合は  $p_i = f_i$  である。液体混合では完全混合にする可能性はあるが固体混合ではこの意味の完全混合は望み得ない。すなわち  $f_i \neq p_i$  で各粒子の混合度を次の式で表わすとする。

$$\chi_i^2 = \frac{(f_i - p_i)^2}{p_i} \quad \dots \dots \dots (7)$$

従って各粒子について  $f_i$  が  $p_i$  に近づくほど期待の混合状態に近づいているといい得る。完全混合の場合は  $f_i = p_i$  となり、 $\chi_i^2 = 0$  となる。不完全混合状態では  $f_i - p_i \geq 0$  となるが  $\chi_i^2$  は常に正の値をとり、0に近づくほど各粒子が期待混合に近づいているといい得る。

ここで  $n$  個の粒子群についての総和を求める

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \chi_i^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(f_i - p_i)^2}{p_i} \quad \dots \dots \dots (8)$$

となり、この値も試料が完全混合の場合は0となり、各粒子群の混合がよければ小さい値を取る。

従って混合操作中の時間的  $\chi_i^2$  や  $\chi^2$  の変化をみるとことによって、混合の位置的並びに時間的変化を数値的に知ることができ、混合機構を実験的に解明することができる。なお(8)式により求められる数値は試料の採取位置における混合度で、混合機全体としての混合度については次のようにする。図-1に示すようにミキサをいくつかの層に分け各層の重量を  $w_I, w_{II}, w_{III}, \dots$  として各層の重量に応じ数個の試料を各層において採取して、各試料のフルイ分け結果を層について平均して、その結果より  $\chi^2$  を(8)式で計算して各層の混合度を定める。それをおのおの  $\chi_I^2, \chi_{II}^2, \chi_{III}^2, \dots$  として混合機内の混合材料の全重量を  $W$  とすれば

$$W = w_I + w_{II} + w_{III} + \dots + w_N$$

となり、混合機全体の混合度  $X$  を次のように定める。

$$X = \frac{\chi_I^2 w_I + \chi_{II}^2 w_{II} + \chi_{III}^2 w_{III} + \dots + \chi_N^2 w_N}{W} \quad \dots \dots \dots (9)$$

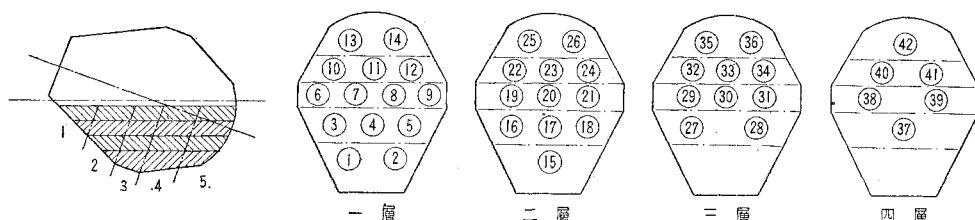
$X$  の値はミキサに投入した材料のすべてについて、各部における粒子の混合度、量について考慮したもので全体の混り具合を表わす表示となる。

要するに  $\chi_I^2, \chi_{II}^2, \dots$  は各層の混合の「ばらつき」を表示し、 $X$  はバッチごとの混合度を示す。コンクリートミキサとしては  $\chi_I^2, \chi_{II}^2, \chi_{III}^2, \dots$  の値が小さければ各層の混合が期待状態となり、その「ばらつき」は各部の均一性を示すと同時にその部分的強度の「ばらつき」を示す。混合機としてはその種類によって  $\chi_I^2, \chi_{II}^2, \dots$  および  $X$  の値に限界があるはずで、混合機の設計ならびに操作条件はその最良限界に近づくように努力すべきである。また混合機の最良限界によってその種類を選択すべきである。

## 4. 実験および考察

以上のべた混合の判定法の適否につき筆者が2切のボウル型ミキサを使用して実験した結果につきのべ、混合時間、材料の区分、コンクリートのスランプの違いなど

図-1



から検討を加えて見る。実験は表-1に示すA, B 2種の示方配合につき、おののまぜセメント、砂、水を投入して30秒混合後、残りの砂利の全量を加えてさらに30秒および2分30秒混合後、ミキサ中のコンクリートを前、中、後部と3等分して取りだし各層より2個の試料を採取して洗い分析を行ない、各層の測定値とした。

表-1 (a) 示方配合

		A	B
セメント 水	(kg) (kg)	300 155	340 175
砂 (kg)	5 ~ 1.2mm 1.2 ~ 0.3 0.3 ~ 0.088	203 338 136	183 305 122
砂利 (kg)	40 ~ 30 30 ~ 20 20 ~ 10 10 ~ 5	318 318 318 318	313.5 313.5 313.5 313.5
w/c S/A	(%) (%)	51.7 35	51.7 33
練り上り温度 (°C)		7.0	10.5

1 パッチ = 0.033 m<sup>3</sup>

表-1 (b) ミキサ各部および全体のスランプ

			A	B
			前部 中部 後部 全体	0.5 2.0 11.8 2.8
スランプ (cm)	1 分	前部 中部 後部 全体	19.9 19.0 21.0 20.8	19.9 19.0 21.0 20.8
		前部 中部 後部 全体	17.2 18.9 18.9 17.4	17.2 18.9 18.9 17.4
	3 分	前部 中部 後部 全体	0.8 4.5 10.3 5.2	19.0 11.8 21.0 20.8
		前部 中部 後部 全体	19.0 11.8 21.0 20.8	19.0 11.8 21.0 20.8

洗い分析はまず採取試料の空中重量を測定し、ついで使用した砂があらかじめ水洗により0.088フルイどまりとしてあることより0.088フルイ上にて水洗によりペースト部分を洗い流し、骨材を配合のフルイ分け区分にフルイ分けで乾燥器にて乾燥したのち区分ごとにその乾燥重量を空中で測定した。乾燥重量をさらに使用時の骨材の吸湿状態により補正し、それをおののの区分における骨材重量とした。ペースト重量はさきの試料の空中重量より補正した骨材重量を差し引て求める最も簡単な方法によった。もちろん水とセメントを本実験ではペーストとして取り扱ったが、これはモルタル部を最初に練り混ぜ、しかもw/cが比較的小さく、実験中に水とセメントの分離がみられなかつたため、材料の投入順序あるいは水量が増して混合中あるいは混合終了後においてブリージングを生ずる場合は、ペーストとしての測定は無理でとうぜん水とセメントはほかの骨材とおなじくべつべつに測定すべきである。さらにスランプを各層につき測定(表-1(a)参照)、参考のため全体および各層からおののの1個、合計4個の圧縮試験用供試体を採取して1週間強度をとった。なお洗い分析のさいセメントと水はペーストとして測定した。材料の分類は配合の関係上一応表-1に示したようにしたが、測定そのほかの関係より表-2

のようにI, II, IIIの3種の分類により実験結果を整理した(表中p<sub>i</sub>はA, B配合に対するおののの材料の期待値を示す)。いま一例としてA配合で混合時間1分の場合につき測定結果および(8)式より求めた各層のz<sup>2</sup>および各材料のf<sub>i</sub>/p<sub>i</sub>を示すと表-3に示すようになる。表-4はA, B配合による(8)式および(9)式によって求めた計算結果を示したものである。さらにA<sub>1</sub>(混合時間1分), A<sub>2</sub>(混合時間3分)におけるf<sub>i</sub>/p<sub>i</sub>を図に示すと図-2のごとくである。

以上の結果より考察すると、まず材料の区分が各層のz<sup>2</sup>におよぼす影響は表-3および表-4に示すように細かく区分するほどz<sub>i</sub><sup>2</sup>の値は大きくなる。これは理論的に証明できる。すなわちいま試料中のある粒径範囲を1つにしたときと、細かくn個に分けたときにつき検討すると、試料の全重量をWg、ある粒径範囲を1つにしたときの重さwg、等しい粒径範囲をn個に細かく分けてフルイ分けたときの各重量をw<sub>1</sub>, w<sub>2</sub>, ..., w<sub>ng</sub>とすれば

$$w = w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n \dots \dots \dots (10)$$

上の区分に対する期待値をP<sub>w</sub>およびP<sub>w1</sub>, P<sub>w2</sub>, ..., P<sub>wn</sub>とする

$$P_w = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3} + \dots + P_{wn} \dots \dots \dots (11)$$

従ってある粒径範囲を1つにしたときの試料中における混合状態は(8)式より

$$z_w^2 = \frac{\left( P_w - \frac{w}{W} \right)^2}{P_w} \dots \dots \dots (12)$$

細かく分けた場合の任意の粒子iの試料中における混合状態は

$$z_i^2 = \frac{\left( P_{wi} - \frac{w_i}{W} \right)^2}{P_{wi}}$$

表-2 A, B配合に対する各材料の期待値

材 料	期待値		p <sub>i</sub>	
	ペースト	No. 1	A	B
I	ペースト	No. 1	0.189	0.217
	砂 5 ~ 1.2mm	No. 2	0.084	0.077
	砂 1.2 ~ 0.3	No. 3	0.141	0.128
	砂 0.3 ~ 0.088	No. 4	0.058	0.050
	砂 40 ~ 30	No. 5	0.132	0.132
	砂 30 ~ 20	No. 6	0.132	0.132
	砂 20 ~ 10	No. 7	0.132	0.132
	砂 10 ~ 5	No. 8	0.132	0.132
II	ペースト	No. 1	0.189	0.217
	砂 5 ~ 0.088	No. 2	0.283	0.255
	砂 40 ~ 20	No. 3	0.264	0.264
	砂 20 ~ 5	No. 4	0.264	0.264
III	ペースト	No. 1	0.189	0.217
	砂 5 ~ 0.088	No. 2	0.283	0.255
	砂 40 ~ 5	No. 3	0.528	0.528

表-3 A 配合、混合時間1方の場合の  $\chi^2$  および  $f_i/P_i$ 

		I		II		III		I		II		III	
		測定値 $g$	$f_i$		$f_i$		$f_i$	$(P_i - f_i)^2$ $P_i$	$f_i/P_i$	$(P_i - f_i)^2$ $P_i$	$f_i/P_i$	$(P_i - f_i)^2$ $P_i$	$f_i/P_i$
前部	No. 1	625	0.174	No. 1	0.174	No. 1	0.174	0.001	0.921	0.001	0.921	0.001	0.921
	No. 2	245	0.068					0.031	0.810				
	No. 3	466	0.130	No. 2	0.251	No. 2	0.251	0.001	0.922	0.004	0.887	0.004	0.887
	No. 4	189	0.053					0	0.914				
	No. 5	223	0.062					0.037	0.470				
	No. 6	901	0.251	No. 3	0.313			0.107	1.902	0.009	1.186		
	No. 7	486	0.135	No. 4	0.262			0	1.023	0	0.992	0.004	1.091
	No. 8	456	0.127					0	0.962				
	T	3,591						$\Sigma \chi^2$ 0.177		0.014		0.009	
中部	No. 1	546	0.230	No. 1	0.230	No. 1	0.230	0.009	1.217	0.009	1.217	0.009	1.217
	No. 2	186	0.080					0	0.952				
	No. 3	347	0.151	No. 2	0.295	No. 2	0.295	0.001	1.071	0.001	1.042	0.001	1.042
	No. 4	150	0.064					0.001	1.103				
	No. 5	273	0.087	No. 3	0.193			0.015	0.659				
	No. 6	278	0.106					0.005	0.803	0.019	0.731		
	No. 7	339	0.140	No. 4	0.282			0	1.061	0.001	0.068	0.005	0.900
	No. 8	316	0.142					0.001	1.07				
	T	2,435						$\Sigma \chi^2$ 0.032		0.030		0.015	
後部	No. 1	551	0.218	No. 1	0.218	No. 1	0.218	0.004	1.153	0.004	1.153	0.004	1.153
	No. 2	219	0.087					0	1.036				
	No. 3	439	0.174	No. 2	0.347	No. 2	0.347	0.008	1.234	0.014	1.226	0.014	1.226
	No. 4	217	0.086					0.014	1.483				
	No. 5	364	0.144	No. 3	0.187			0.001	1.091				
	No. 6	108	0.043					0.060	0.326	0.022	0.708		
	No. 7	259	0.103	No. 4	0.248			0.006	0.780	0.002	0.939	0.014	0.824
	No. 8	367	0.145					0.001	1.098				
	T	2,524						$\Sigma \chi^2$ 0.094		0.042		0.032	

図-2

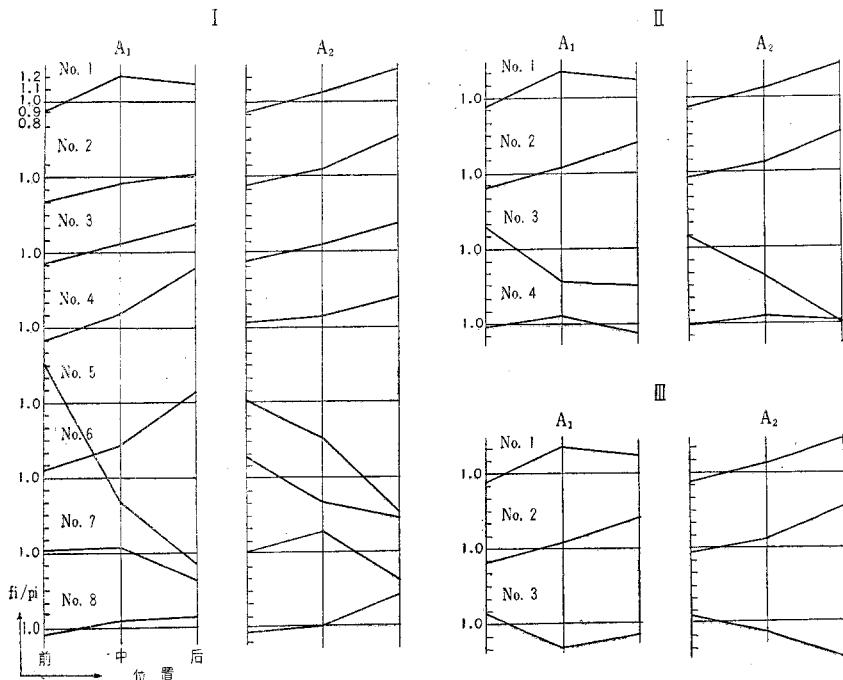


表-4 A, B 配合の各混合時間に対する  $\Sigma z^2$  および  $X$ 

	A <sub>1</sub>			A <sub>2</sub>			B <sub>1</sub>			B <sub>2</sub>			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
$\Sigma z^2$	前部 中部 後部	0.177 0.032 0.094	0.014 0.030 0.042	0.009 0.015 0.032	0.006 0.023 0.179	0.004 0.021 0.140	0.002 0.005 0.087	0.028 0.071 0.028	0.024 0.053 0.016	0.024 0.021 0.015	0.170 0.026 0.036	0.092 0.006 0.017	0.043 0.006 0.001
$X$		0.101	0.029	0.019	0.069	0.055	0.031	0.042	0.031	0.020	0.077	0.038	0.017

注 A<sub>1</sub>: A 配合にて混合時間 1 分A<sub>2</sub>: A 配合にて混合時間 3 分B<sub>1</sub>: B 配合にて混合時間 1 分B<sub>2</sub>: B 配合にて混合時間 3 分

となり前者と等しい粒径範囲については

$$\sum_{i=1}^n z_i^2 = \frac{\sum_i \left( P_{wi} - \frac{w_i}{W} \right)^2}{P_{wi}} \quad (13)$$

となる。いま  $\left( P_w - \frac{w}{W} \right) = f_w$ ,  $\left( P_{wi} - \frac{w_i}{W} \right) = f_{wi}$  とすれば (10), (11) 式より  $f_w = \sum f_{wi}$  となり, (12), (13) 式は

$$z^2 = \frac{f_w^2}{P_w} \quad (14) \quad \sum_i z_i^2 = \frac{\sum_i f_{wi}^2}{P_i} \quad (15)$$

ここで (14), (15) 式の差をとる

$$C = \sum_i z_i^2 - z^2 = \frac{\sum_i f_{wi}^2}{P_{wi}} - \frac{f_w^2}{P_w} \quad (16)$$

(16) 式の分母はつねに正であるから, 分子についてのみ考える。

$$\begin{aligned} C_1 &= (f_{w_1}^2 P_{w_2} P_{w_3} \dots P_{w_n} + f_{w_2}^2 P_{w_1} P_{w_3} \dots P_{w_n} + \\ &\quad \dots + f_{w_n}^2 P_{w_1} P_{w_2} \dots P_{w_{n-1}}) \\ &\times (P_{w_1} + P_{w_2} + \dots + P_{w_n}) - (f_{w_1}^2 + f_{w_2}^2 + \\ &\quad \dots + f_{w_n}^2) + 2 f_{w_1} f_{w_2} + 2 f_{w_1} f_{w_3} + \\ &\quad \dots + 2 f_{w_{n-1}} f_{w_n}) \times (P_{w_1} \cdot P_{w_2} \cdot P_{w_3} \dots P_{w_n}) \\ &= (f_{w_1} P_{w_2} - f_{w_2} P_{w_1})^2 (P_{w_3} \dots P_{w_n}) \\ &\quad + (f_{w_1} f_{w_3} - f_{w_3} f_{w_1})^2 (P_{w_2} P_{w_4} \dots P_{w_n}) + \dots \end{aligned}$$

となり  $C_1 > 0$  従って  $C = \sum z_i^2 - z^2 \geq 0$ となり材料を細かく分けるほど  $z^2$  は大きな値を示す。このことはミキサに対する混合の判定をきびしくすることとなる。つぎにミキサ全体としての混合度  $X$  についてみれば表-4 より  $A_1$  と  $A_2$  および  $B_1$  と  $B_2$  を比較すると、材料の分け方により、 $A_1 > A_2$  のときと  $A_1 < A_2$  あるいは  $B_1 > B_2$  のときと  $B_1 < B_2$  の場合がある。これは図-2において示されるように材料の分け方により細かく分けた場合逆にかたよったものが分け方を大きくしたために、そのかたよりが少なくなり混合状態が良いようにみえて計算の結果  $z^2$  が小さくなり従って  $X$  が小さく計算されるので、材料の分け方により  $X$  に大小ができる。従ってミキサとしては当然できるだけ材料は細かく分けて混合の状態を判定すべきである。

以上の結果より本実験結果を見れば表-4 よりおのれの I の場合について検討すべきである。

A配合については混合時間の長い方(3分)が混合状態が良く、前、中、後の各層では混合時間1分のときは前部が最も悪くついで後、中部となっているが、混合時間を長くすると前、中部では混合状態は良くなるが後部はかえって悪くなる。B配合すなわちA配合よりスランプの大きい場合は、A配合とは逆に混合時間短かい方が

混合状態は良く各部については前、後部はいずれも時間の経過につれて悪くなるが中部ではかえって良くなる。

従って使用したミキサについてスランプの小さい場合は混合時間を長くすべきで、スランプの大きいときはあまり長いと混合状態を悪くする。

材料の分布については  $f_i/p_i$  より A配合、B配合のいずれも粒径の大きい No.5, No.6 のかたよりがはげしく、たとえば  $A_1$  の場合 No.5 は前部に少なく No.6 は前部に多くはげしくかたよっている。

さらに強度のばらつきについては各バッチより採取した供試体の試験結果より標準偏差をもとめて見ると

$$A_1 : 18.7 \quad A_2 : 10.3 \quad B_1 : 14.3 \quad B_2 : 18.6$$

となり明らかに  $X$  の小さい方が偏差も小さくなる。

## 5. 結 言

以上ミキサに関する混合度について述べたが、筆者はコンクリートミキサに関し最も適応しうる混合度の表示方法を提案した。

$z^2$  はミキサ各部の混合度を示し、その均一性を示し、 $X$  はミキサの総括混合度を数値を以て表示しうる。従ってミキサの規格に対してはその種類とコンクリートの使用目的に応じて  $z^2$  および  $X$  の限界を指定することができる。

なおミキサの混合過程は  $z^2$  の操作条件および時間的変化を実験的に決定し、それを追跡することより明らかにできる。さらにミキサ内の混合粒子の動力学的運動の理論的研究によって、ミキサおよび粒子の物理的性質などの混合に対する因子と混合度  $X$  の関係を求め、ミキサ内の混合機構の解明に役立たしめうることを確信する。最後に実験その他に御協力頂いた高桑重三、林 安雄氏、終始御指導頂いた京都大学 村山朔郎教授ならびに岡田清教授に深謝する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 水野俊一: 土木学会誌, 39巻-2号 昭和29年
- 2) Coulson, J.M. and Maitra: Ind. Chemst., 26, 55 (1950)
- 3) Weidenbaum, S.S. and C.E. Bonilla: Chem. Eng. Prog., 51, 27 (1955)
- 4) Lacy, P.M.C.: J. Appl. Chem. 4, 257 (1954)
- 5) Bushik: Bull. Amer. Soc. Test. Mat. 66 (1950)
- 6) Stange: Chem. Eng. Tech. 28, 331 (1954)
- 7) 大山・綾部: 化学工学 20, 148 (昭和31年, 1956)
- 8) 矢野・瀬源: 化学工学 20, 156 (昭和31年, 1956)  
21, 413 (昭和32年, 1957)  
22, 758 (昭和33年, 1958)  
23, 589 (昭和34年, 1959)

(原稿受付: 1960. 5. 16)