

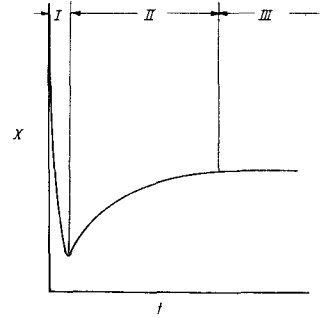
Ⅲ-27 コンクリートミキサ内の粒子の運動を基本とする 混合度の考察

金沢大学工学部 正員 棚場 重正

(1) 粒子の運動に関する基本因子と混合度の関係

コンクリートミキサ内における固体粒子の混合、分離は粒子相互の運動差によって生ずる各粒子の位置的移動による粒子群の分布の変化で、著者はさきに混合機構の究明にあたり、仕込割合の分布状態を理想混合として、実際混合の過程中において各所における各粒子の混合割合を測定し、その結果よりミキサ全体の混合度 X を算定することが最も妥当であることを提唱した^①。しかしコンクリートミキサにおける混合は著者の従来の研究より図-1に示すように I(混合領域)、II(分離領域)、III(平衡領域) 図-1

の3領域を示す。多成分系固体粒子の混合は非常に複雑で、混合の過程および固体粒子のミキサ内の運動に対する基本的微分方程式は一応求めることができるが、これを数学的に積分して混合の過程あるいは混合度との関係をもとめることは困難である。しかるにかゝる過程に対して、その過程を支配する微分方程式や現象に関与すると考えられる物理的諸元が知られているとき、これらより次元解析による方法がとられ、すでに液混合や粉碎においてもこの方法がこゝろみられている^{②③}。



ミキサにおける混合は従来の研究^④より明らかなようにつぎの

3つの運動により支配されると考えてよいであろう。すなわち、1. 流動運動 2. 飛しょう運動 3. 拡散運動 の3つで、これらの運動はミキサの型式、寸法、混合材料の物性、混合操作条件により定まるもので、当然混合度 X は粒子の運動を左右する因子の函数として取り扱われるべきである。

いま各粒子の分布濃度を f_i とし、回転軸に直角な断面に x, y 軸をとり、軸方向に z 軸をとり、 u, v をおのおの x, y 方向の速度、 k を拡散常数とすれば、強制対流、拡散による f_i の時間的变化はつぎの式で与えられる。

$$\left(u \frac{\partial f_i}{\partial x} + v \frac{\partial f_i}{\partial y}\right) + k \frac{\partial^2 f_i}{\partial z^2} = - \frac{\partial f_i}{\partial t} \quad (1)$$

①式が成立するために、 L を代表長さ、 v を代表速度、 ρ_0 を密度、 μ_0 を粘度、 T を時間とすれば、上式の元方程式より

$$\phi \left(\frac{\rho_0 v L}{\mu_0} \cdot \frac{v^2}{g L} \cdot \frac{L^2}{k T} \right) = \text{常数} \quad (2)$$

なる関係をもつ。しかし拡散係数 k はそのときの回転速度 N 、ミキサの代表寸法である最大直径 D 、使用材料の平均径 d の函数と考えられるから ②式のオ3項は $\left[\frac{L^2}{N D d T} \right]$ となり、さらに L^2 を D と d であらわせば、結局オ3項は $\left[\frac{1}{N T} \right]$ となる。また粒子の運動速度 v はミキサの最大直径部の周速 $\pi D N$ の函数となるから ②式は

$$\phi\left\{\frac{\rho_0 N D d}{\mu_g} \cdot \frac{N^2 D^2}{d g} \cdot N T\right\} = \text{常数} \quad (2)_2$$

となり、式中の3つの無次元項が混合、分離を左右する主要因子となると考えられる。

一方ミキサ内における固体粒子の各運動に影響を与える基本因子について検討を加えてみると、流動運動に対する運動方程式は

(a) すべりのない場合

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{15}{28} \frac{\rho_0}{\rho_m} \frac{C_R}{d} \left(\frac{dx}{dt}\right) - \frac{5}{7} g \sin \varphi_1 = 0 \quad (3)$$

(b) すべりのある場合

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = g(\sin \varphi_1 - \mu' \cos \varphi_1) - \frac{3}{4} \frac{C_R}{d} \frac{\rho_0}{\rho_m} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \quad (4)$$

飛しょう運動に対して

$$\frac{d(v \cos \varphi)}{v^2 \cos^3 \varphi} = -\frac{3}{4} \frac{C_R \rho_0}{d \rho_m g} \frac{d \varphi}{\cos^3 \varphi} \quad (5)$$

拡散運動に対しては

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \quad (6)$$

となり、これら運動方程式に影響を与える無次元項をもとめてみれば、各式の元方程式より

$$\phi_1\left\{\frac{\rho_0 N D d}{\mu_g} \cdot \frac{N^2 D^2}{d g} \cdot \mu' \cdot \frac{\rho_0}{\rho_m}\right\} = \text{常数} \quad (7) \quad \phi_2\left\{\frac{\rho_0 N D d}{\mu_g} \cdot \frac{N^2 D^2}{d g}\right\} = \text{常数} \quad (8)$$

$$\phi_3[NT] = \text{常数} \quad (9)$$

なる関係をうる。しかしこれら無次元項のうち固体粒子の運動に影響する操作条件に対する基本因子は $\left\{\frac{\rho_0 N D d}{\mu_g}\right\}$ 、 $\left\{\frac{N^2 D^2}{d g}\right\}$ 、 $[NT]$ の3項となる。また混合度 X に関与すると考えられる物理的諸元を理論的、実験的考察より与え、 X をこれら物理的諸元の函数として次元解析を行えば

$$X = K_1 \left(\frac{N D d \rho_0}{\mu_g}\right)^a \left(\frac{N^2 D^2}{d g}\right)^b \left(\frac{L^2}{k T}\right)^c [NT]^d \left(\frac{d}{D}\right)^e \left(\frac{d}{L}\right)^f \left(\frac{\rho_0}{\rho_m}\right)^g (\mu_1)^h (\mu_2)^i (\mu_3)^j \quad (10)$$

ただし $d = \sqrt[n]{d_1 d_2 \cdots d_n}$

となり〔〕中はいずれも無次元項で才5項より才10項までは与えられたミキサ、骨材に対して定数であるから、操作条件に対しては

$$X = K_2 \left(\frac{N D d \rho_0}{\mu_g}\right)^a \left(\frac{N^2 D^2}{d g}\right)^b [NT]^c \quad (11)$$

なる関係をうる。以上混合過程に対する微分方程式、ミキサ内の固体粒子の運動方程式および混合度に関与すると考えられる物理的諸元よりもとめた無次元項は(11)式に示す3つとなり、これらの項が混合、分離を左右する主要因子となり混合度 X は結局(11)式で表わされると考えられる。

〔2〕理論式に関する実験的考察

上に求めた理論式について、従来行ってきた実験結果より検討を加えると、まず混合度 X への各項の影響について X と各項の関係を両対数目盛で図示すれば図-2より図-5に示すとうり、この結果より混合度 X と各項の関係は $X = k_1 \left(\frac{N D d \rho_0}{\mu_g}\right)^{1.09}$ 、 $X = k_2 \left(\frac{N^2 D^2}{d g}\right)^{-0.55}$

$X = k_2(NT)^{-1.05}$ となる。しかし実際には混合度 X はこれら3項が同時に影響するから、混合度 X と $\left\{ \frac{NDd\rho}{\mu_g} \right\}^{-1.09} X \left\{ \frac{N^2D^2}{dg} \right\}^{-0.55} (NT)^{-1.05}$ の関係を示すと図-6に示すとうりて、これらより最終的に各項の指数 α , β , θ および係数 K_2 を決定すると表-1に示すとうりである。しかして係数 K_2 は表-1に示すとうり使用したミキサおよび、粒子の組合せにより異なるもので、 K_2 と $\frac{D}{\sqrt{d_1 d_2 \cdots d_n}}$ の関係を図示すれば図-7に示すとうりて、これよりから練り状態におけるおの操作条件に対する K_2 を推定することができる。以上はから練り状態における混合度について検討を加えたが、セメントペーストが混入したときについて検討を加えてみると、実験の範囲における粒径の細い箇の組合せのときは図-8に示すように混合度は時間とともによくなるが、粗粒の

表-1

型	粒子の組合せ	α	β	θ	K_2
I	No 1-2-3	-0.32	-0.16	-0.30	1.2
	No 2-3-4				3.1
	No 3-4-5				4.1
III	No 1-2-3	-0.32	-0.16	-0.30	0.92
	No 3-4-5				3.4
	No 4-5-6				3.8
	No 5-6-7				6.5

図-2

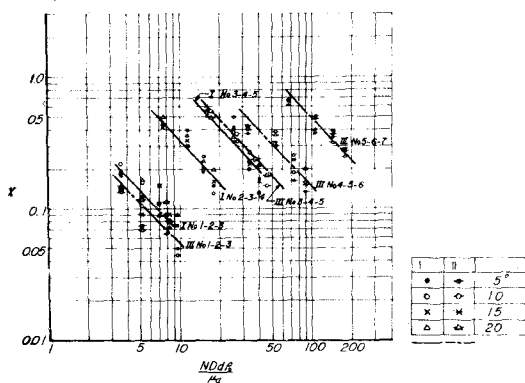


図-3

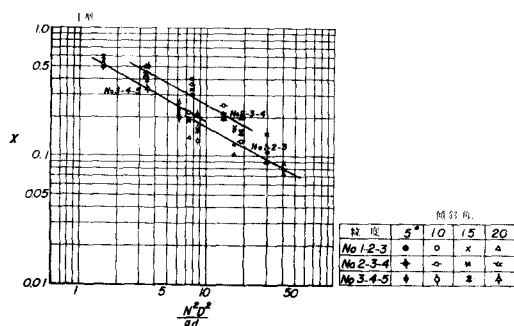


図-4

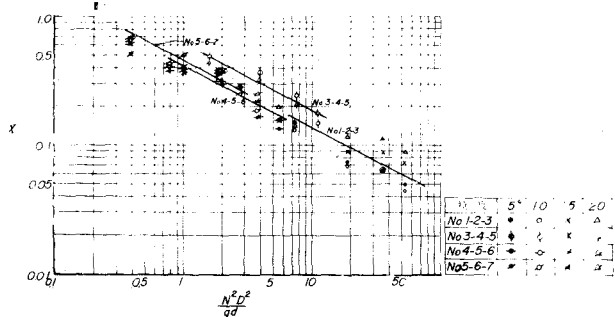


図-5

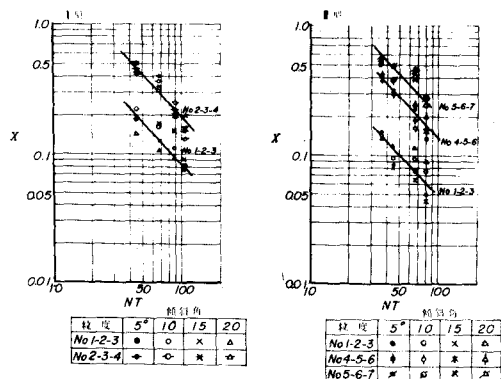
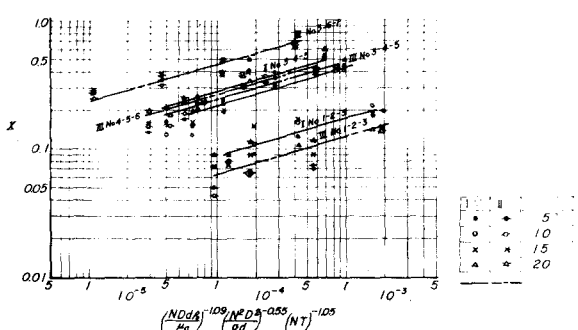


図-6



部分が入ると図-9, に示すようになら練り状態と同じような3つの領域を示す。しかし一般にペーストが混入すると混合度はから練りにおける場合より $\times 10^{-1}$ ないし $\times 10^{-2}$ 程度よくなり, 3つの領域を示す場合ではから練りの場合に比べて一般に混合領域は長くなり, 引続き分離領域に入るが, W/C , 回転速度によらず混合時間2分で平衡領域に入る。

したがってペースト中の粒子はペーストの粘性によりその運動に制ちうを受け, その動作は遅くなるが, 粒子相互の運動はから練りの場合とほぼ等しいと考えられる。従ってペーストが入った場合でも ⑪ 式は成り立ち, 混合度 X_p は3つの無次元項により支配されるとすれば, 前と同様にして図-10, 図-11に示すようになり, ペーストが混入した場合についても ⑪ 式が成り立つ。しかしこの場合の指数, 係数, W/C , 使用材料あるいはその他の操作条件によって支配されると考えられるので, さらに広範囲の実験にまたなければならぬ。

参 考 文 献

① 棚場重正：コンクリートミキサにおける混合度について
土木学会論文集 オ73号 (昭和36.3)

② Robert Edworth Johnstone & Meredith Wooldridge
Thring : Pilot Plant, Models and Scale-up
Methods in Chemical Engineering
McGraw-Hill 1957 P27-P50-P56

③ H.E. Rose & R.M.E. Sullivan : A Treatise on
the Internal Mechanics of Ball Tube,
& Rod Mills Constable. London 1958. P69

④ 棚場重正：コンクリートミキサにおける骨材粒子の混合
に影響をおよぼす諸因子について
オ16回年次学術講演会概要(オ4部)

図-7

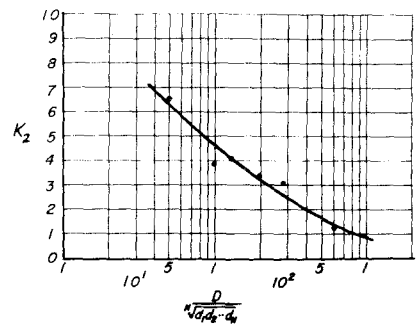


図-8

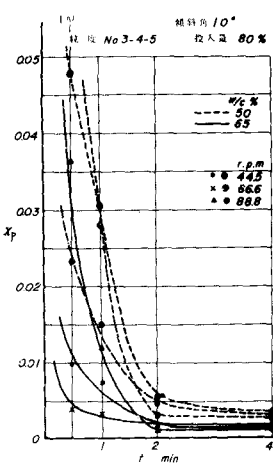


図-9

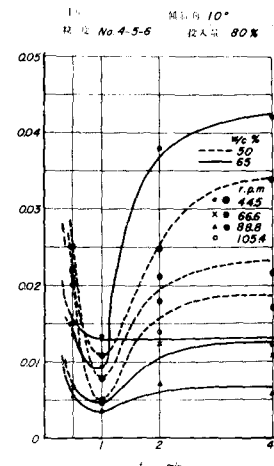


図-10

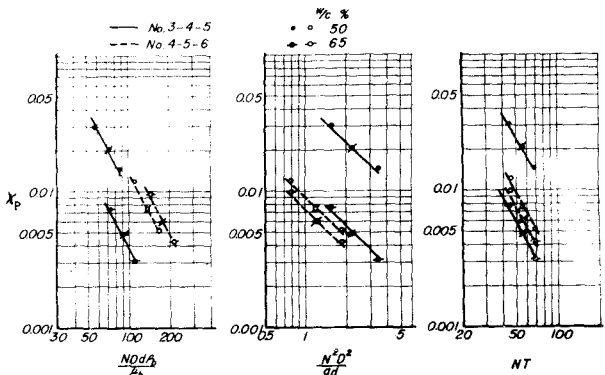


図-11

