

エアブレンディング法による粉粒体の混合速度

その他（別言語等） のタイトル	The Mixing Rate of Dinided Particles on the Air Blending
著者	安藤 公二, 田保 英明, 清水 崇, 原 弘
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	6
号	2
ページ	547-553
発行年	1968-07-20
URL	http://hdl.handle.net/10258/3439

エアブレンディング法による粉粒体の混合速度

安藤公二・田保英明
清水 崇・原 弘

The Mixing Rate of Divided Particles on the Air Blending

Koji Ando, Hideaki Tabo, Takashi Shimizu
and Hiroshi Hara

Abstract

It is of interest object that we take a basic point of view from them to decide the mixing characteristics and the adaptive operating conditions on the air blending apparatus, then by using the same particle size, the influence of mixing velocity and the behaviour of particles in the two dimensions visible apparatus are analyzed, we could get the following results.

1. The apparatus of particles goes on a cycle motion that they vigorously elevate in a part of rapid air flow, accumulating to remove in a part of slow air flow, and the accumulated particles fall on the apparatus bottom, again going back in a part of rapid air flow.

2. The mixing of a part of slow air flow — especially the apparatus bottom — is rate determining step of the mixing velocity.

3. The mixing velocity coefficient increases in proportion to the increase of air flow and decreases in proportion to the increase of the packed height of the particles. The value may be evaluated on the equation.

I. 緒 言

エアブレンディング法とは不均一通気量により流動層を形成せしめ、粉粒体を混合する方法であり、従来の混合機（容器回転型混合機、スクリュウ型混合機等）には見られない流動層としての粉体取扱上の利点を持つと同時に、通常流動層では得られない混合速度をその不均一通気により期待し得るものである。

以上の理由から近年、セメント工業に採用されつつあるけれども、その基礎的研究に関する文献¹⁾はほとんどない。

我々は、エアブレンディング装置の混合特性ならびに最適操作条件などを決定するための基礎的知見を得ることを目的として、同一粒径の粉粒体を用いて、混合実験を行ない、粉粒体の層高、通気量などの操作因子が混合速度に及ぼす影響を検討し、さらに混合過程の観察を容易にするための二次元の可視装置を用いて、粒子群の挙動等を検討したのでこれらの結果もあわせて報告する。

II. 実験装置および実験方法

1. 試料の調製

使用粉粒体は、ポリ塩化ビニル樹脂の粉体で +60/-80 mesh に篩い分けしたものをを用いた。また、静電気による粒子間の凝集や壁面への付着を防止するため、使用粉粒体はすべて帯電防止剤であらかじめ処理した。

表-1 に使用粉粒体の主な物性を示す。

なお着色した追跡粉粒体の物性には変化が認められなかった。

表-1 塩化ビニル粉体の物性

真比重	1.4 g/cm ³
かさ比重	0.54 g/cm ³
安息角	38度
形状	ほぼ球形
粒径	約 0.2 m/mφ

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を図-1 に示す。混合槽本体は内径 12 cm, 高さ 60 cm, 厚さ 1 cm の透明アクリル製円筒を用いた。整流部は中央で仕切られ、両方とも glass beads (粒径 7 m/mφ) とアルミナ (粒径 3 m/mφ) を二層に充填し、その上に布を張ったものを用いた。

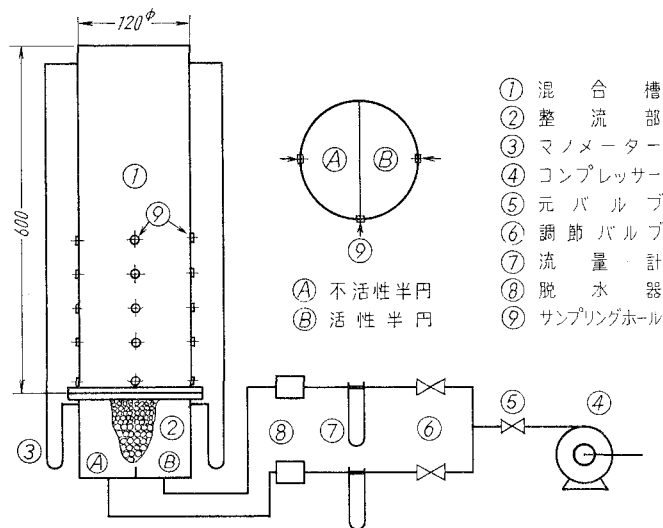


図-1 実験装置略図

実験方法は森²⁾の方法を参考とした。

整流部の空気流速の大きい部分を活性半円、空気流速の小さい部分を不活性半円と呼ぶことにすると、不活性半円は全ての実験に於いて最小流動化速度 (U_{mf}) とし、活性半円の流速をいろいろ変化させて実験を行なった。

最初に活性半円および不活性半円の空気量を各々のバルブ⑥の操作により設定し、バル

ブ⑤で通気を遮断しておく。次に槽内に仕切板を活性半円と不活性半円の境界線に一致するように設置し、活性半円上には非着色粉粒体、不活性半円上には着色粉粒体を充填する。着色粉粒体の全粉粒体に対する充填比は約0.5である。

粉粒体を充填した後、バルブ⑤を開き、同時に仕切板を槽内から引き上げ、一定時間混合させた後、バルブ⑤を閉じて通気を遮断する。この静止した状態のもとで、サンプリングを行なう。以下、同じ様な操作を繰り返して実験を進めて行く。

表-2に実験の操作量の概略を記す。

3. サンプリングおよび測定法

図-2にサンプリングホルの位置を示す。各サンプリングホルは横軸にP, Q, R, 縦軸に下から1, 2, 3, 4, 5と番号を設定し、座標を用いてその位置を表わす様にした。例えば図中の●の位置は(R-3)と示す。

着色粒子濃度の測定は各サンプリングホルから採取した粉粒体を0.3~0.4g精秤し、一定量の水中で染料を脱色させ、上澄液を光电比色計を用いて測定しあらかじめ着色粒子濃度が既知の粉粒体を用いて作製した検量線より算定した。

表-2 実験条件

(1) 充填高さ					
充填高さ (cm)	L	9	15	21	27
充填高さ/直径	H	0.75	1.25	1.75	2.25
(2) 空気流速					
不活性半円	U_{mf}				
活性半円	U/U_{mf}	1.5	2.0	2.5	3.5

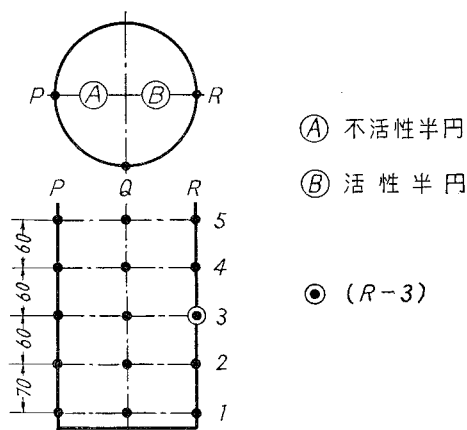


図-2 サンプリングの位置

III. 実験結果および解析

槽内追跡粒子濃度の分散の時間的変化を用いことにより混合過程を解析するのが適当と考えられるのでこの方法³⁾で行なった。即ち混合濃度 x の分散 σ^2 の時間的変化は σ^2 と σ^2 の極小値 σ_r^2 との差に比例すると考えられている。

$$\frac{d\sigma^2}{dt} = -\phi(\sigma^2 - \sigma_r^2) \tag{1}$$

この場合 ϕ は時間 t に関して独立な量となり、混合速度係数と呼ばれるものである。

$t=0$ のとき $\sigma^2 = \sigma_0^2$ とし、 $0 \sim t$ の間で積分すれば、

$$\ln \frac{\sigma^2 - \sigma_r^2}{\sigma_0^2 - \sigma_r^2} = -\phi t \tag{2}$$

$\sigma_r^2 \approx 0$ とおくと*

$$\ln \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} = -\phi t \tag{3}$$

1. U/U_{mf} の混合速度におよぼす影響

図-3 は縦軸に混合度 σ^2/σ_0^2 、横軸に混合時間をとり U/U_{mf} をパラメーターとして片対数グラフにプロットしたものである。

(3) 式より予想されるごとく、混合度 σ^2/σ_0^2 は、混合初期に於いては混合時間に対して直線的に減少している。そしてその勾配即ち混合速度係数 U/U_{mf} の増加に従って増加している。

図-4 は 図-3 から得られた ϕ を片対数グラフの縦軸に、 U/U_{mf} を横軸にプロットしたもので、その関係はほぼ直線で近似される。

U/U_{mf} の混合速度係数に及ぼす影響は $\exp 1.2(U/U_{mf})$ であり、エアブレンディングの特徴である不均一通気量の混合速度への寄与の大きい事を示すものである。

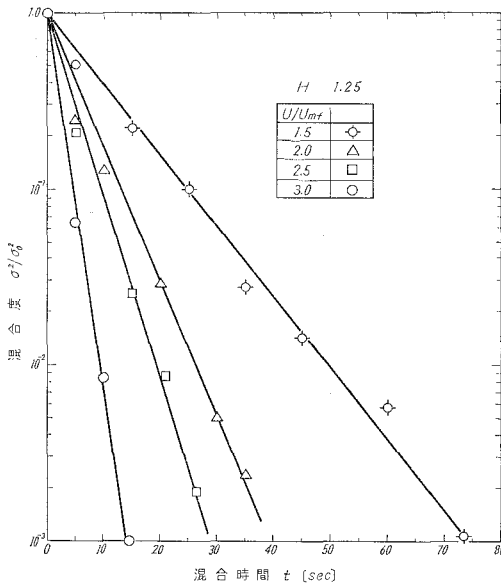


図-3 混合曲線

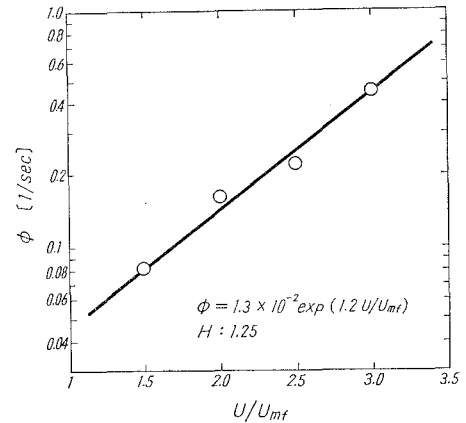


図-4 混合速度係数と U/U_{mf}

2. 充填層高の混合速度におよぼす影響

図-5 は混合度 σ^2/σ_0^2 と混合時間を充填高さ H をパラメーターとして片対数グラフにプロットしたものであり、図-3 と同様に、一定の混合度まで直線関係が得られる。その勾配 ϕ と H との関係を図-6 に示す。

* σ_r^2 は正規分布に従うとすれば、

$$\sigma_r^2 = \frac{\bar{C}(1-\bar{C})}{n_0} \approx 5 \times 10^{-6}$$

$$\sigma_0^2 = \bar{C}(1-\bar{C}) = 0.25$$

故に、混合初期に於いては、 $\sigma_r^2 \ll \sigma_0^2$ 、 σ^2 と見なし得る。

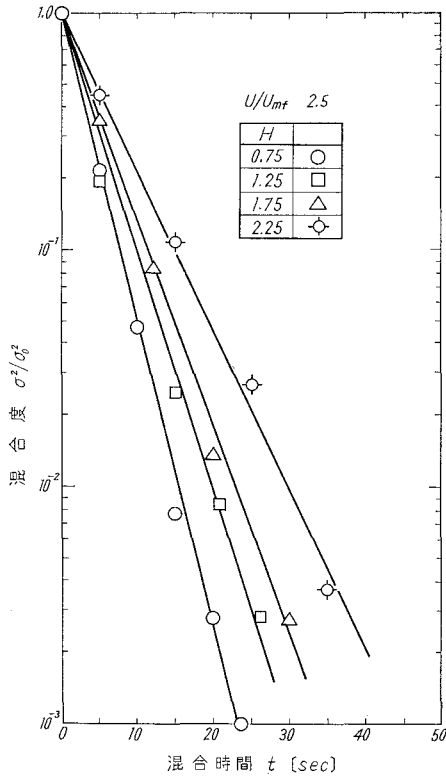


図-5 混合曲線

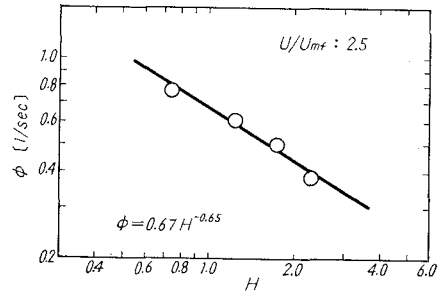


図-6 混合速度係数と H

図より明らかなごとく、両対数プロットに於いて直線関係が得られた。即ち、混合速度係数は層高の増加に対して減少する。

以上の結果より、混合速度係数におよぼす空気流速および層高の影響をまとめると

$$\phi = K \frac{\exp(1.2 U/U_{mf})}{\sqrt{H}} \quad (4)$$

なる実験式で与えられる。

3. サンプル位置と混合速度

図-7 は各サンプリング位置の濃度の混合時間に対する変化の一例を示したものである。t=0

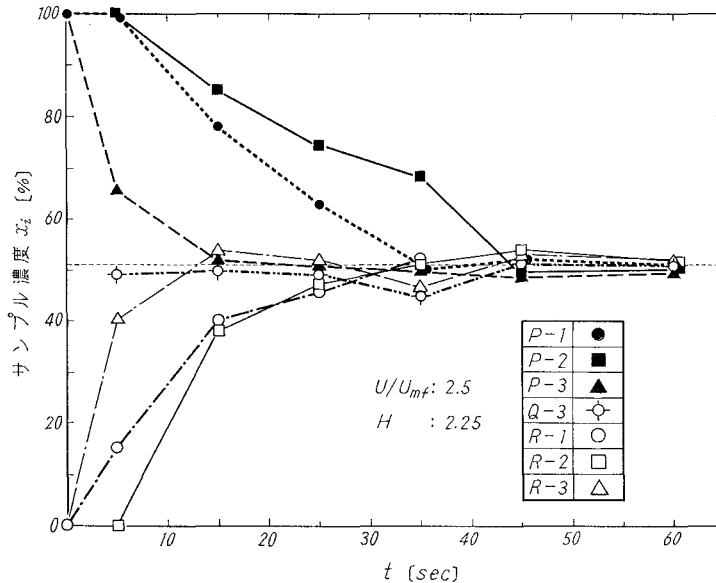


図-7 混合時間とサンプル濃度

に於いては、活性半円上には非着色粒子のみであり、サンプル濃度 $x_i=0$ 、不活性半円上には着色粒子のみであり、サンプル濃度 $x_{ii}=100$ とする。

図中の水平な点線は完全混合時の濃度を示しており、時間の経過に従い点線に漸近しているが、その速度はサンプリング位置により異なっている。

図から明らかのごとく、粉粒体層の上の部分はかなり短時間のうちに混合されるが、層の中、下の部分は上部に比べ、混合するのに時間がかかっている。

さらに、空気量の多い活性半円に比べ、空気量の少ない不活性半円の部分は混合に時間のかかることが判った。この傾向は図-7 以外の条件の実験結果にも同様に見られた。即ち、混合速度の律速段階は不活性半円部分の中、下層部の混合であることが知られた。

この点について、不活性半円部分の中、下層部のサンプリングホールの間隔を細かくとりサブリングをする方法で更に詳細な検討を行なっている。

4. 二次元モデルによるフローパターン

我々はエアブレンディング装置内部の粉粒体の挙動を観察するため図-8 に示す様な二次元可視装置を製作し、そのフローパターンについての知見を得た。

図-9 は、混合前の状態であり、図-10 は混合中の一例である。図-11 は図-10 が示す粉体の流れをモデル的に描いたものである。即ち粒子運動は $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の循環流を形成し、活性半円上の B, C 点での

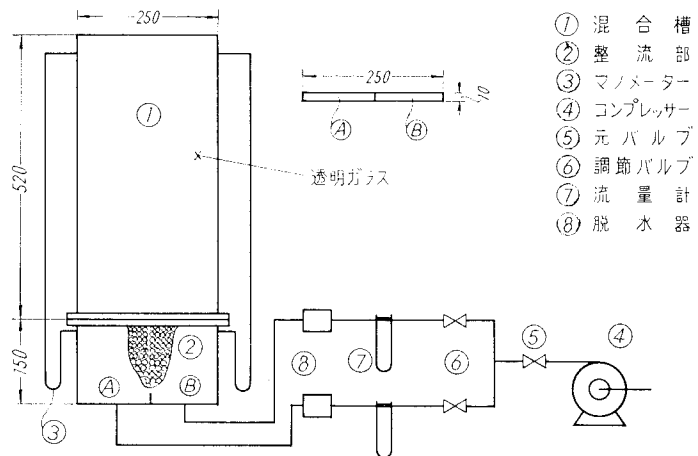


図-8 二次元可視実験装置

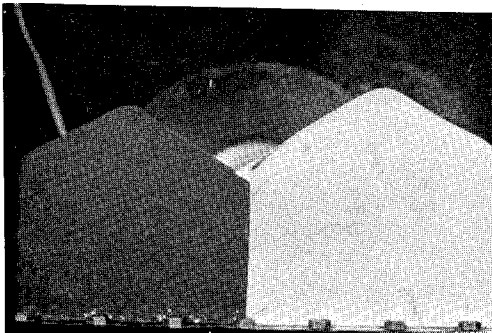


図-9



図-10

激しい運動部では、ほぼ瞬間的に粒子は混合されてしまう。混合された粉体は D 点に堆積し、次第に A 点に下がる。 U/U_{mf} が大となるとこの循環流は速くなり H が大となっても循環流速はほとんど変化が見られないので全体的には遅くなる。以上の様に二次元モデルによる粉体粒子の挙動の結果は三次元装置における実験結果と定性的ではあるが良く一致する。

IV. 結 言

装置規模の影響には言及していないが、混合速度係数と内部のフローパターンとを合せ検討し下記結論を得た。

1. 槽内の粒子は通気量大の部分で激しく上昇し、通気量小の部分へ堆積し、それが下降して通気量大の部分へ戻る循環流が粉粒体混合の推進力と思われる。

2. 通気量小の部分の混合一特にその底部一が混合速度の律速となっている。

3. 混合速度係数は、空気流速 (U/U_{mf}) の増大と共に増加し層高が増すと減少し、本実験の場合は (4) 式で示される。

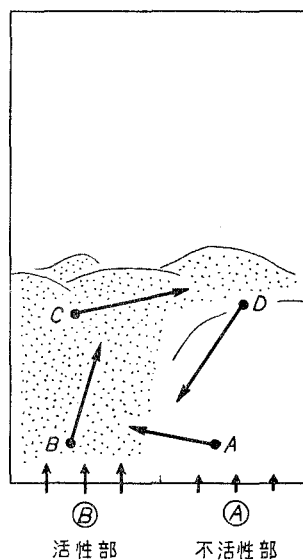
終りにこの研究に関し、御指導賜りました、本学化学工学教室各位に感謝の意を表す。装置製作および実験を担当して下さいました上村慶輔技官、当時学生の西川亮三氏、渡辺寛臣氏、栃木吉彦氏、今野広治氏に深甚な謝意を表す。(昭和 43 年 4 月 19 日受理)

使 用 記 号

H : 充填高さ/槽直径 [-] U_{mf} : 流動化開始速度 [cm/sec]
 L : 充填高さ [cm] $\sigma^2, \sigma_0^2, \sigma_c^2$: 分散, 混合前の分散, 完全混合状態の分散 [-]
 U : 通気流速 [cm/sec] ϕ : 混合速度係数 [1/sec]

文 献

- 1) 岩淵俊次: “セメント工業におけるエアープレンディング装置について”, 北海道化学装置懇談会第 3 回講演会 (1963).
- 2) 森 芳郎: 化学工学, **25**, 806 (1961).
- 3) 大山義年・綾木一夫: 化学工学, **20**, 150 (1956).



図—11 混合のプロパターン