研究報告

粉体充填層の放置に伴う層内応力の変化とフローパターン の変化について*

The Internal Stress and the Flow-patterns of the Deposited Beds of Atomized copper powder

丹野 浩一**
Koichi TANNO

菊田 貞雄**
Sadao KIKUTA

増田 良道***
Yoshimichi MATSUDA

1. 緒言

従来の振動充填に関する実験では、直接充填層に加振する方法がとられてきた。しかし一般に、工場などに設置された貯槽の振動環境を考えると、機械振動など周辺に発生する種々の振動が貯槽支持台を通して伝播している場合がほとんどである。この場合には、直接貯槽に加振する方法に比べ、相対的に振動振幅は小さく、従って振動エネルギーも小さい。この微小振動が貯槽内粉粒体に与える影響については不明の部分が多い。とくに微小振動環境下に放置した充填層内における粉粒体の充填配列の変化や、またこの充填層内の変化に対応したフローパターンの変化を調べることは、貯槽内粉粒体の制御や貯槽の設計上重要な問題と考える。そこで本実験では、工場などに設置された貯槽が受ける振動環境を想定して、直接貯槽に加振することせず、旋盤などの機械振動が常時伝播する工場内の実験台上を振動環境（微小振動環境）とした。そしてこの微小振動環境下および除振環境下での放置充填層内の充填状態と応力の変化を調べ、それに伴うフローパターンの変化を検討した。

2. 実験試料、装置および方法

2.1 試料粉体

実験に使用した粉体は平均粒子径がそれぞれ、56.0, 67.5, 89.0, 125.5, 250.0 μm および 48.0 μm 以下の噴

Table 1 Physical properties of Samples

Mean particle dia (μm)	48.0	56.0	67.5	89.0	125.5	250.0
Green density(g/cm ³)	5.03	5.05	5.06	4.87	5.12	—
Angle of repose (deg)	46.5	41	41	27	26.5	25

昭和56年8月10日受付

*第17回夏期シンポジウム, 昭和56年7月21日, 函南

**宮城工業高等専門学校 〒981-12 宮城県名取市愛島塩手字野田山48

TEL 02238-4-2171(内)317

***東北大学工学部 〒980仙台市荒巻字青葉 TEL0222-22-1800

霧銅粉である。各試料粉の物性値を Table 1 に示した。

2.2 装置

放置した粉体充填層内の粉体粒子の経時的な移動現象の観察およびフローパターンの観察は、ガラス管を半割りにし、その割面にガラス平板を接着した Fig. 1 に示すような容器を用いた。容器の半径 r は 20 mm と 30 mm のものを使用した。また、壁面粉体圧の測定は Fig. 2 に示した装置を使用した。円筒容器壁面には超音波加工で穿けた直径 5 mm の壁圧測定孔を設けた。その表面に、厚さ 25 μm のラテックス膜を貼り、これを内径 2 mm と 4 mm の真鍮製治具で内壁面と平行となる位置まで押し込んで受圧面とした。ところで微小振動環境下に置かれた貯槽内の粉体層に加わる振動数および振幅は不

Fig. 1 Detail of the halved column

Fig.2 Schematic representation of the apparatus

定であるが、主に約、12, 180 Hzの振動周期、平均振幅約 $15 \mu\text{m}$ (12 Hzの場合)の振動であった。一方、除振環境下の実験は、実験室のストーン台の上にタイヤチューブを載せ、その上に鉄板を敷き除振台とした。その結果、振幅はほとんど無視しうる程度であった。なお、すべての実験は、50~70%の湿度範囲で行ない、また静電気の影響をできるだけ除去するため、円筒容器支持台を接地した。この処置により接地前に充填に伴う静圧波形中に現われていた放電によると思われる Fig. 3(a)のような波形は除去できた。

2.3 実験方法

試料粉体の充填はオリフィス面から510 mmの高さに取り付けられた漏斗から一定速度で、途中490 mmの位置にある二重ネットを通過させ行なった。これによって充填層の表面を水平にすることができた。その後、充填層を微小振動および除振環境下に放置し、充填層内の粉体粒子を拡大して、その移動現象の経時変化を肉眼および写真観察した。またフローパターンの変化についても充填層を微小振動および除振環境下で、(1)充填直後、(2)5分間、(3)30分間それぞれ放置した後に粉体を流出して写真観察した。フローパターン観察のためのマーカーは、試料粉と同じ粉体を大気中で加熱酸化し、褐色化させたものを用いた。

また壁面粉体圧の測定は、はじめに動歪計の感度を最大にして、Uゲージ（非接着形ストレインゲージ）の先

Fig.3 Irregular wave due to electrostatic discharging

端に取りつけたアルミ製の変位検出棒を受圧面に接触させ、 $5 \mu\text{m}$ 押し込んだ位置を零点とした。その後、動歪計の感度を測定感度に下げ、粉体の充填に伴う壁面粉体圧、および充填層の放置に伴う粉体圧の変化を測定した。

3. 結果とその考察

3.1 放置粉体充填層中の粉体粒子の移動現象

試料粉体の充填層を微小振動環境下と除振環境下とにそれぞれ放置した場合について、充填層内粉体粒子の移動状況を拡大観察した。その結果、除振環境下に放置した充填層内では、何らの変化も認められなかったが、微小振動環境下に放置した充填層内では、次の二つに分類できる充填粉体の移動が認められた。その移動現象の一つは、層内全体の粉体が瞬間的に沈下し、そのためかさ高さが変化する動きであり、充填層に定周期振動を加えた従来の振動充填の報告¹⁻³⁾にみられる動きと同じ粉体の沈下移動である。もう一つは、充填層の約1/3以上上層の粉体層内の不定位置で、主に一個または数個の粉体粒子が経時的に隣接空隙に移動する挙動である。この場合、粉体粒子の移動は、単一粒子またはその近傍の数個の粒子に限定されており、この移動によって沈下移動の場合のようなかさ高さの変化はみられない（この移動現象を以後単一粒子および数個粒子の移動と呼ぶ）。後者の

Fig.4 Picture showing particle displacement in to minutes after the finish of filling

単一粒子および数個粒子の移動現象の場合の移動粒子の発生頻度については、狭い領域を拡大して観察しているため定量的に捉えることは難しい。そこで充填層内粉体粒子の移動状況を写真上で示す。移動状況を撮影した写真のうち、ここでは粉体粒子の移動頻度の最も高い場合の一例を選び Fig. 4 に示した。この写真は粉体層高 280 mm の充填層において、高さ 200 mm の位置を充填直後に撮影したものと、充填後微小振動環境下に 1 分間放置後、および 2 分間放置後にそれぞれ撮影した写真を重ね合わせて移動粒子の位置を明示したものである。なお図中の矢印①は放置開始後 1 分、矢印②は 1～2 分以内に移動した粒子の位置を示す。次にこの移動粒子の移動挙動を明らかにするため、Fig. 4 の写真の一部を拡大トレースして、Fig. 5(B) に示し、また粒子の移動過程を拡大観察した結果から作成した模式図を Fig. 5(A) に示した。このように不特定位置の単一粒子が移動するほかに、この不安定な単一粒子の周辺に存在する数個の粒子も同時に動いたり、あるいは Fig. 5(A) に示したように粒子の移動によって生じた空隙をそれに隣接する粉体粒子が順次埋めていくような連鎖的な動きもみられた。ただし、本実験の観察法はガラス壁面に接する二次平面の粉体粒子の動きをみているので、粉体層内部では不安定粒子の移動によって、その粒子を包含するミクロブリッジの崩壊が一層容易に誘発されていることも充分考えられる。しかし、いずれにしてもこのような粒子の移動は極めて限定された不安定な充填状態にある粒子にとどまり、周辺の粉体層の動きは本実験の拡大観察の範囲では認められなかった。

Fig.5 Schematic illustrations of random displacements of particle

Table 2 Two mode of particle movement in dependance of particle size

Mean particle dia (μm)	<48.0	48.0	56.0	67.5	89.0	125.5	250.0
Settling	○	○	○	○	○	○	×
Random displacement	×	○	○	○	○	○	○

○ : often observed
 × : not observed
 ○ : occasionally observed

ところで、以上述べた沈下移動と単一粒子および数個粒子の移動の二つの移動現象の発生傾向を各試料粉体についてまとめたものを Table 2 に示した。沈下移動については、平均粒子径 250 μm の場合、充填中によく沈下したものの充填後はほとんど認められなかった。また他の粒子径の場合には、しばしば認められたが本実験の場合振動エネルギーが小さいため、充填層の放置中にこの沈下移動が発生する頻度は低い。これに対して、単一および数個粒子の移動については平均粒子径 67.5～125.5 μm の中間粒度の噴霧銅粉に顕著にしかも明瞭に認められ、56.0 および 250 μm の場合にはしばしば認められたがその頻度は低い。また <48.0 μm の場合には微小粒子径の粉体を多く含んでいるため可視的に捉えることはできなかったが次節の壁面圧力の測定においてその変化がほとんどみられないことから、この粒子径においては発生していないと思われる。

以上確認した粉体粒子の二つの移動現象の発生は充填状態と振動エネルギーとの両者の相対関係によるものと思われる。そのため振動波形と粉体粒子の二つの移動現象の関連性をみた。その結果、沈下移動は振動振幅の大きい振動があった場合にそれとほぼ一致して発生する場合が多くみられた。しかし本実験では充填密度を一定に

Fig.6 Relationship between measuring position and the change in the static wall pressure

保つため、充填方法を一定にしたものの平均粒子径 $89.0\ \mu\text{m}$ の場合で最大 0.75% の範囲内で充填密度は変化しており、また振動が不定期振動であるため二つの移動現象の発生限界を定量的に調べることはできなかった。

3.2 放置粉体充填層中の応力変化

放置粉体充填層内における粉体粒子の移動によって起こる充填層内の応力変化を Fig. 2 の装置を用い調べた。まず、微小振動環境下において粉体粒子の移動が最も顕著にみられた平均粒子径 $89.0\ \mu\text{m}$ の粉体について充填層の放置に伴う経時的な壁面粉体圧の変化を測定した。受圧面直径 $2\ \text{mm}$ のものを用い、壁面圧力測定位置 $100\ \text{mm}$ の場合に得た結果を Fig. 6 に示した。図において区間①—③は充填に伴う粉体圧の増加部分であり、④点は充填終了であると同時に充填層の放置開始点を示し、横軸の値は、その放置時間を示す。また充填層を放置した後の粉体圧の変化をみると、勾配の大きな部分①は、沈下移動と同時に現れていることが拡大観察により確認された。

粉体の沈下によって粉体圧がこのように大きく減少した原因については次のように考えられる。充填終了直後の受圧面の変位は、粉体圧とUゲージの復原力が釣り合った位置にある。ところで粉粒体を貯槽内に充填した場合、その充填状態は壁面摩擦と粒子間摩擦によって不規則充填構造となり、そのため層内各所にブリッジが形成され、粉体層の重量はこのブリッジによって支えられるものと考えられる。いま、この粉体層内の広い範囲で沈下移動が起これば、充填時に形成されたブリッジは崩壊し、充填配列の変化が生じる。しかし、1回の沈下移動によるかさ高さの変化は貯槽容器 $40\ \text{mm}$ 、充填層高 $280\ \text{mm}$ 、平均粒子径 $89.0\ \mu\text{m}$ の場合には、約 $0.18\sim0.35\%$ 程度で極めて微少であって、粉体粒子の移動距離も小さい。そのため、充填時に形成されたようなブリッジングが新たに形成するとは考えにくい。したがって、沈下移動後に壁面に作用する粉体圧は沈下移動前に比べて減少

Fig.7 S.E.M photograph of atomized Cu powder

する傾向にあると考えられる。その反面、下層部（特に底面）の粉体圧は上層部の報告^{6,7)}に述べられているように沈下によって上昇傾向に働くものと思われる。また Fig. 6 の曲線において勾配減少のやや大きい②の部分、および勾配が極めて緩慢に減少する③の部分においては、壁面圧力測定と同時に粉体充填層を直接肉眼で観察した結果、沈下現象のような粉体粒子の動きは認められなかった。しかし、それにもかかわらず、このように粉体圧が若干減少することについては、充填層内部で単一粒子および数個粒子の移動が起っていることを示唆しているものと思われる。このように放置時間の経過に伴ない壁面粉体圧が減少する現象は、次に述べるように、力学的に不安定な充填状態の変化として説明できると考える。まず、本実験に用いた噴霧銅粉の S.E.M 写真を Fig. 7 に示した。この写真にみられるように各粒度の粉体中には、若干大きさの異なる粒子や、楕円体状の粒子が含まれており、また粒子の表面には樹枝状晶組織が現れていて、微小突起の多い梨地状を呈している。そのため、この粉体の粒子間摩擦は比較的大きいと考えられ、

Fig. 8 Schematic illustration of collapse mechanism of a bridge

その充填状態は Fig. 5 のような不規則構造になりやすいものと思われる。したがって、充填粒子は局部的に不均一弾性歪状態になり、粉体層内の応力状態も高くなっているものと考えられる。このような不規則充填状態を Fig. 8 に示したモデルで表してみると、C粒子の重心が、A、B、D粒子の重心を結んだ線上よりずれて充填された状態にある場合には、微小振動が加わるとC粒子はB粒子の自重を受けているため、次第に矢印方向にその位置をずらすであろう。その場合、もし振動エネルギーが大きければ、C粒子は最終的に空隙Pに弾き出されるであろう。また振動エネルギーが一定であればC粒子の動きやすさはB、D粒子との粒子間摩擦係数と図中の偏角 $\angle \theta$ により支配されると思われる。このように粉体粒子の動きやすさは粉体粒子間摩擦と振動エネルギーの相関関係によって決まるものと考えられる。粉体層の充填状態が不安定な場合、あるいは振動エネルギーが大きい場合には、このような粉体粒子は容易に移動できる。その傾向が極めて顕著な場合には層内全体に亘って力学的平衡状態が崩れ、沈下移動が起るものと思われる。しかし、粉体層の充填状態が準安定状態にあり、振動エネルギーがそれほど大きくない場合には充填層中の不安定な単一粒子の移動、あるいはその粒子の周辺にある不安定な数個の粒子（不安定移動粒子を含むマイクロブリッジを形成している粉体粒子）のみが移動するにとどまるものと考えられる。そしてこの移動粒子は、これまでの粉体荷重による拘束状態から抜け出すため、移動した粒子の弾性歪は回復するとともに安定な充填状態に落ち着くであろう。またこの移動粒子の周辺の粒子は、その移動の影響によって可視的には観察できない程度の微小な相互のずれを生じ、その結果粉体層内応力がある程度解放され、壁面に対する粉体圧も僅少ながら減少するものと考えられる。なお、このような粉体粒子の移動は Fig. 4 に示したように経時的に除々に起ると考えられ

Fig. 9 An example for changing of the static wall pressure with standing time of particle beds

るので、粉体圧もこの粉体粒子の移動とともに Fig. 6 の勾配②、③のように徐々に減少するものと思われる。またこのように不安定粉体粒子の移動によって、移動部分の充填状態は安定化するものと思われる。

一方、これまでの報告⁽¹⁾によれば定周期振動による沈下移動の場合には、1～2分以内に沈下が終了するとされている。本実験の場合にみられた沈下移動による壁面粉体圧の急激な低下は、放置開始からほぼ2分以内に発生しているものの、単一または数個粒子の移動による応力緩和は長時間に及んだ。これは本実験の場合、粉体層が受けた振動が不定周期で、しかも振動エネルギーの小さい微小振動であったためと考えられる。

次に、有効受圧面径が2mmの場合には、前述したように粉体圧の変化は明瞭に捉えられるがデータのバラツキが大きい、そのため有効受圧面径を4mmとした。その結果再現性のよい壁面粉体圧を測定することができた。そこで4mm径の受圧面を用いて、充填層を微小振動環境下に放置した場合の壁面粉体圧の変化を壁面粉体圧力の測定位置 (Fig. 2 のH)、50mm、100mm、200mmについて測定し、得た結果の一例を Fig. 9 に示した。この図において区間①—③は充填に伴って発生した粉体圧を示しており、④点は充填終了位置を示す。また充填終了と同時に一旦記録を停止し、30分放置したのち、再び記録を開始した。横軸の時間は再記録開始後の経過時間を示す。また縦軸は壁面粉体圧を示している。各測定位置の最大静圧値は異なるが、図は充填終了時の各測定位置の最大静圧値を④点に一致させて一つの図にまとめ静圧の変化量をわかりやすく表したものである。この結果、30分放置した時点での壁面粉体圧の変化量は検出位置100mmの所では約30%であり、変化量が最も大きいことがわかる。このように検出位置100mmのところで壁面粉体圧の変化量が最大値を示したことは、この位置が貯槽に加わる微小振動の共振点に一致しているのではないかと考えられる。しかし、この場合微小振動

Fig.10 Relation between particle diameter and Δp

の振動数およびその強度とも不定であるため現在のところ確認するに至っていない。なおこの点については現在さらに検討中である。

次に、充填層の放置に伴う壁面粉体圧変化の粒子径依存性を調べるため、平均粒子径 $<48.0 \mu\text{m}$ および $56.0, 67.5, 89.0, 125.5, 250 \mu\text{m}$ の粉体について、粉体圧測定位置 100 mm における壁面粉体圧の変化を測定し、その結果をまとめて Fig. 10 に示した。この図を見ると、壁面粉体圧の変動幅は約 $20 \sim 40\%$ に亘ってバラツキいるが、平均粒子径 $89.0 \mu\text{m}$ 以下の粉体では粒子径の減少に伴ない粉体圧の変化も小さくなる傾向が認められる。粒子径が減少すると、粒子径に対して粉体粒子表面のアサの影響が相対的に増大するため、粉体粒子間の絡み合いが増し粉体間の拘束力も増大するものと思われる。特に $<48.0 \mu\text{m}$ の粉体には極めて微小径の粒子も多数含まれており、この微小粒子が他粉に付着したり比較的大きい粒子の間隙を埋めることによって粒子の動きが互いに拘束され、移動粒子の数は減少するため壁面粉体圧の変化量が小さく現れるものと考えられる。

次に、平均粒子径 $89.0 \mu\text{m}$ の粉体の充填層を除振台の上に放置した場合の壁面粉体圧を測定した結果を Fig. 11 に示した。この図は Fig. 9 と同様に充填終了後一旦記録を停止し、 30 分 放置後に再記録したものである。この結果に見られるように、除振台上で測定した場合には、壁面粉体圧の変化、すなわち充填層内の応力変化はほとんど無視しうるものであった。以上のことから、本実験で確認された粉体粒子の二つの移動現象すなわち沈下移動と単一粒子および移動を誘発する原因としては実験中の湿度変化、静電気、振動などの影響など多く考えられる。しかし、試料粉粒を供給する場合に、もし粉粒体が摩擦帯電したとしても粉体自身が導電体であること

Fig.11 Change in the static wall pressure under vibrationless state

と、容器台を接地していることから、その電荷は極めて高速に短時間に失われるものと考えられる。事実接地しない場合には、Fig. 3(i) に示した放電とみられる波形が現れたが、接地後はこのような波形は見られない。また湿度雰囲気は常に $50 \sim 70\%$ の範囲内とし、実験中の湿度変化はほとんどなかった。これらのことから、単一粒子および数個粒子の移動現象の主因は、外部から粉体層に作用する不定周期の微小振動にあるものと考えられる。

3.3 充填層の放置に伴うフローパターンの変化

フローパターンの粒度依存性を調べるため、除振台上で試料粉を貯槽容器に充填した直後に流出させ、そのフローパターンを観察した。そのうち、平均粒子径 $250 \mu\text{m}, 89.0 \mu\text{m}, <48.0 \mu\text{m}$ の例を Fig. 12 に示した。このように平均粒子径 $250 \mu\text{m}$ の粉体の場合には、ほぼ完全なマスフローを呈したが粒子径の減少とともに次第に流出初期においてプラグフローが発生する傾向が認められた。このプラグフロー領域の限界高さ、すなわちプラグフローからマスフローパターンに遷移する直前におけるプラグフロー領域の高さ (H_p) と粒子径の関係を図示すると Fig. 13 のようになる。なお $<48.0 \mu\text{m}$ の粒子径の粉体では、オリフィス上面からプラグフロー領域の上先端までの高さ (H_p) が粉体層表面に到達した後も、プラグフロー状態が持続する。したがって、この場合には、プラグフロー上先端が充填層表面に到達した後マスフローに遷移した時点の粉体層表面の高さと初期粉体層の高さの差を初期粉体層の高さに加算した。その結果、 $67.5 \sim 125.5 \mu\text{m}$ の粉粒体の場合には、データのバラツキが多少大きいがプラグフロー領域 (H_p) は、おおむね粒子径 (D_p) の減少とともに次式にしたがって増大する傾向があることが明らかにされた。

$$H_p = 1.12 D_p^{-1.97}$$

Fig.12 Example of changes in flow-patterns with particle diameter

Fig.13 Relationship between D_p and H_p

ところで $67.5 \sim 125.5 \mu\text{m}$ の平均粒子径の粉体の充填層における単一粒子および数個粒子の移動現象により、充填層内で応力変化が起こることについては、3.1, 3.2 節で述べた。そこで、その応力変化がフローパターンにどのように影響を及ぼすかについて調べた。すなわち微小振動下に充填層を放置し、経時的に、1) 充填直後（放置 0 分後）、2) 放置 5 分経過後、3) 放置 30 分経過後の条件で流出させ、それぞれの場合のフローパターンを調べた。その結果得たフローパターンを形態的に分類してみ

Fig.14 Particle diameter vs. standing time showing the regions for three flow-patterns

ると、下記の三つの型に分類することができる。すなわち、

- (1) マスフロー型……流出初期からほぼ完全なマスフローを呈する場合
- (2) 遷移型……流出初期はプラグフローを呈するが流出途中に突然マスフロー型にスイッチする型

(3) プラグフロー型…流出初期から終期に至るまで完全なプラグフローを呈する型である。

各粒子径の粉粒体について、充填層の放置時間に対応したフローパターンの形態変化を上記三つの型に分類して Fig. 14 に示した。図中斜線領域内が遷移型のフローパターンの範囲を示す。任意の放置時間に対し垂線を引き、各粒子径に対する線と斜線との交点をそれぞれ O, A とすると、この線分 AO が小さくなるに従って流出初期のプラグフロー領域が増大することを示している。この結果、平均粒子径 $250\text{ }\mu\text{m}$ の粉体の場合には終始マスフロー型を呈するが、平均粒子径 $89.0\sim 125.5\text{ }\mu\text{m}$ の粉体の場合には、ほぼ遷移型を呈する。しかも後者の場合には放置時間の経時変化に対応して流出初期のプラグフロー領域 (H_p) は次第に増大する傾向にあった。また粒子径 $<48.0\text{ }\mu\text{m}$ の粉体の場合には、放置時間が約20分以上ではほぼ完全なプラグフロー型を示した。このように平均粒子径 $125.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粉体の場合に放置時間の経過に伴い、初期流動状態においてプラグフロー領域 (H_p) が増大することは、充填層を微小振動環境下に放置することによって粉体粒子間の結合力が増大することを示している。しかも、平均粒子径 67.5 および $56.0\text{ }\mu\text{m}$ の粉体においては充填層を30分以上放置した後流出するとプラグフロー領域の上先端が層表面に達しても（管軸中心がすべて流動した状態）マスフローにスイッチしない場合もあった。このことからみて、粒子相互間の結合力（ミクロなブリッジングの安定性）は極めて大きいものと推察される。

以上のように、微小振動環境下での放置時間に対応し

粉体のフローパターンは、同一粒子径であってもその初期形態が著しく変化した。したがって単一および数個粒子の移動現象に伴って起こると考えられる粉体充填層の内部応力変化が、そのフローパターンに対して相当大きい影響を与えていると考えられる。なお、この影響は粒子径 $56.0\sim 125.5\text{ }\mu\text{m}$ のいわゆる中間粒度の粉体において顕著に認められた。

4. む す び

粉体粒子の表面が梨地状を呈し、若干の楕円状粒子を含む噴霧銅粉の充填層を不定振幅の微小振動環境下および除振環境下に放置した場合の充填層内の挙動を調べた結果、次の事が明きらかになった。

すなわち、不定振幅の微小振動環境下に放置した充填層内で経時的に粉体粒子の移動がみられた。この移動現象は、従来知られていた沈下移動のほかに新たに、単一粒子および数個粒子の移動が確認された。後者は主に粒子径 $56.5\sim 125.5\text{ }\mu\text{m}$ の中間粒度の粉体によくみられた。またこの粉体粒子の移動現象によって充填層内の内部応力は徐々に緩和される傾向が認められた。

またこの充填層内の応力変化に対応して粉体を流出し、フローパターンを調べた結果、平均粒子径 $<48.0\sim 125.5\text{ }\mu\text{m}$ の粉体では内部応力の経時変化によって同一粒子径であってもフローパターンが変化することがわかった。なお粉体の二つの移動挙動の発生は充填状態と伝播する振動エネルギーの相対関係によるものと思われる結果も得られたが、今回の実験では定量的に明示することはできなかった。この定量解析については現在別法により検討中である。

参 考 文 献

1. 木幡, 後藤, 田中: 化学工学, 31, 55, (1967)
2. 吉田, 向坂: 化学工学, 30, 1019(1966)
3. Pyer, F.C.: Eng. Mining J., 127, 1030(1929)
4. 林, 笹野, 津々見, 川北, 池田: 材料, 19, 201, (1970)
5. 早川, 深見, 阿部: 粉体工学研究会誌, 7, No. 2. (1970)
6. 上滝, 森山: 粉体工学会誌, 16, No. 4. (1979)
7. 上滝, 森山: 砕砕, 20, (1975)

Authors' Abstract

The Internal Stress and the Flow-Patterns of the Deposited Beds of An Atomized Copper Powder

The movement of particles and a change of internal stress in the beds of an atomized copper powder was followed under a random vibration (6-180 Hz) with a small amplitude and under a vibrationless state on a vibration proof stage by visual inspection and by measuring the static wall pressure.

The internal stress in standing beds decreases with standing time. Two types of particle movements were observed in the deposition beds: the one was massive displacement, the so called settling phenomenon, and the other was random displacements of particles into the nearest void space. The latter was always observed for the powders of 67.5-125.5 μm in mean particle diameter.

The flow-patterns in the discharge of the powder from a cylindrical test bin changed with standing time:

1. mass-flow immediately after the filling; 2. plug-flow after longer standing time (more than 30 minutes); 3. transient type at medium standing time.

A connection between the variation of flow-pattern and the change in the internal stress due to random displacement of individual particles is discussed.

Fine Particle Society の1982年春期例会講演募集について

日時 1982年4月12日～14日

場所 Chicago, Illinois,

タイトル

Particle Sizing, Morphology and Physical Chemical Properties, Fluid-Particle and Particle-Particle Separation, Mixing, Solids Handling and Storage, Particle Formation and Production, Agglomeration, Instrumentation, Health Hazards and any other aspects of Fine Particulate and Powder Technology.

期限 1982年1月15日

宛先

Assoc. Dean

Teoman Ariman

College of Eng. and Physical Sciences

Univ. of Tulsa

Tulsa, Oklahoma 74104 U.S.A.

200語の英文要旨を上記に郵送すること