

氏 名 丹 野 浩 一

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 昭和 59 年 6 月 13 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭和 41 年 3 月

東北学院大学工学部応用物理学科卒業

学 位 論 文 題 目 貯槽における金属粉体の充てんならびに流動特性に
関する研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 八嶋 三郎 東北大学教授 下飯坂潤三
東北大学教授 大谷 茂盛 東北大学助教授 渡辺 龍三

論 文 内 容 要 旨

粉粒体は、金属粉・非金属粉ともに広範な分野で取り扱われており、その処理量も年々増大し、粉粒体を貯蔵する貯槽は大型化し、かつその操作は自動化される傾向にある。この貯槽の大型化に対し、粉体圧に関する貯槽の設計基準は、わが国では未だ確立されておらず、早急に適正な基準を設定することが望まれている。

一般に、貯槽に充てんされた粉体を貯槽底部のオリフィスから流出させた場合に貯槽内を重力で流下する粉体の流動形態や流動状態、あるいは壁面動圧の分布は極めて複雑で、その極大値もいろいろな値を示し、しかも再現性に乏しい場合が多い。

このような貯槽の充てん状態や流動形態、あるいは過大圧などの相互の関係については系統的な研究が不足しているため、充てん状態と流動形態、流動形態と過大圧などの関連性について、われわれは未だ十分に体系化された知識を持ってはいない。

著者は、前述したような流動形態の相違や過大圧の値の変動は、その原因が粉体を流出させる以前に、貯槽内に充てんされた粉体の充てん状態の変化にあるものと考えて研究を進めた。その結果、充てん状態は、貯槽に伝播する微小振動や、粉体の注入速度によって変化することがわかった。さらに、この充てん状態の変化と流動形態、あるいは流動形態と過大圧の関係などについても系統的な研究を行った結果、流動形態は充てん状態の変動の程度に応じて変化し、また過大圧は、流動形態別、すなわちマスフロー、遷移型フロー、プラグフローそれぞれに特定の値となることがわかっ

た。

本論文は以上の研究結果を全6章にまとめたものである。

第1章 緒 言

本章では、貯槽内を粉体が重力流動する場合の流動形態と壁面動圧に関する従来の研究について、その問題点を具体的に指摘し、本研究の目的と意義について述べている。

第2章 放置した粉体充てん層における粉体粒子の挙動と内部応力の変化

本章では、微小振動が粉体充てん層に作用した場合の粉体粒子の挙動や貯槽壁面の静的粉体圧力の変化について研究した結果について述べている。この場合試料粉体としては、粒子形状の異なる三種類の粉体、すなわち噴霧金属粉 (At 粉)、電解銅粉 (E1. Cu 粉)、ガラスビーズ (G. B. 粉) を使用した。

これらの試料粉体をそれぞれ振動強度約0.009の微小振動下と除振台上とに放置した結果、擬球形粒子である噴霧金属粉の場合には充てん層内の各所において、単一粒子あるいは数個の粒子が不規則に移動し、また、それに伴って壁面静圧が減少するのが認められた。この傾向は At. Cu 53.5 μm ~ 127.0 μm および At. Ni-Cr 68.5 μm ~ 89.5 μm の粉体の場合に顕著にみられた。他方、G. B. 粉、E1. Cu 粉の場合にはこのような現象はほとんど認められなかった。なお、このような粒子の不規則移動により、粉体層のかさ高さは変化しないから、この現象は強度の比較的大きい振動を作用させた場合にみられる、いわゆる“沈下現象”とは異なる現象であることがわかった。そこで、このような粒子の移動現象を“粒子の局所的移動現象”と呼び“沈下現象”と区別した。

一方、除振台上に各粉体充てん層を放置した場合には、どの粉体についても充てん層内における粒子の不規則移動は観察されず、また、壁面静圧の経時的変化も微小であったので本研究で確認された壁面静圧の減少は、おもに外部から粉体充てん層に伝播した微小振動に起因する“粒子の局所的移動現象”によるものであると推論した。

また、粉体充てん層のかさ密度と最大壁面静圧値の関係、ならびにかさ密度の異なる粉体充てん層を微小振動下に放置した場合の壁面静圧の減少についても調べた。その結果、粉体を充てんした直後の最大壁面静圧値は、かさ密度が減少するのに伴い増大する傾向にあった。また、粉体充てん貯槽の放置に伴う壁面静圧の減少率は、かさ密度が増加するほど小さくなることがわかった。たとえば、At. Cu 89.5 μm の粉体の場合について比較すると、その減少率はかさ密度が 6.18 g/cm^3 で大きい場合は約 0 ~ 3% であるのに対し、密度比が約 8% 減少してかさ密度が 5.49 g/cm^3 となった場合には約 60 ~ 70% であった。このように粉体充てん層の放置に伴う壁面静圧の減少率は、かさ密度に大きく依存することを示した。

第3章 円筒形貯槽に充てんした粉体の流出に伴う貯槽内粉体の流動形態

本章では、微小振動下に粉体充てん層を放置した場合にみられる充てん状態の変化や、粉体充てん層のかさ密度の変化が、その後に粉体を流出させた場合の流動形態に与える影響について述べて

いる。

すなわち、噴霧金属粉の場合、流動形態や流動状態は微小振動場における放置時間の経過に対応して変化することがわかった。とくに、At. Cu < 44.0 μm の粉体の場合には遷移型フローからプラグフローに、また At. Cu および At. Ni-Cr 89.5 μm , 127.0 μm の粉体の場合にはマスフローから遷移型フローに明りょうに変化することがわかった。なお、E1. Cu 粉および G. B. 粉の場合には、粉体充てん層の放置による流動形態の変化は全く見られなかった。

また、かさ密度と流動形態の関係についてはつぎのようであった。すなわち、かさ密度が小さい場合にはマスフローであるが、かさ密度が 6.18 g/cm^3 より大きくなると遷移型フローとなる。一方、かさ密度がそれぞれ異なる粉体充てん層を微小振動下に30分間放置した後に流出させた場合については、かさ密度が小さい場合 (5.49 g/cm^3) には粉体充てん層の放置後における壁面静圧の変化率が最も大きいにもかかわらず、流動形態は常にマスフローであった。また、かさ密度が 5.69 $\text{g}/\text{cm}^3 \sim 5.95 \text{g}/\text{cm}^3$ の粉体層の場合には遷移型フローに変化した。さらに、かさ密度が 6.18 g/cm^3 の粉体層の場合には常に遷移型フローのままであることがわかった。

第4章 流動形態がマスフローを呈する場合の粒子の運動

本章では、3つの流動形態のうちで、粉体の流動状態が最も安定しているマスフローの場合について、流動中の粉体粒子の挙動や速度分布、およびかさ密度の分布などについて研究した結果を述べている。

すなわち、重力で流下する粉体層の見かけ密度の分布、および粒子の速度分布を総合してみると、デッドゾーン上端部付近には、粒子の速度、および見かけ密度がともに極めて小さい領域が存在する。そして、その下方のオリフィス近傍のファンネルフロー領域では、見かけ密度が著しく小さく、粒子が急速に加速する。この領域を高速度写真によって観察した結果、この領域を流動する粒子は蛇行しながら流下しており、粒子同士が互いに激しく衝突し合い粒子相互の干渉が大きい領域であることがわかった。また、マスフロー領域では、粒子の平均速度が一定であって、一見定常流のようにみられるが、この領域内の下方、すなわちファンネルフロー領域とマスフロー領域の境界から上方 30~40mmの間には、見かけ密度が増大する領域が存在することがわかった。

第5章 充てん粉体の流出に伴って発生する壁面動圧

本章では、第3章で明らかにした3つの流動形態と、壁面動圧および過大圧の関係について述べている。

まず、壁面動圧分布についてみると、流動形態がマスフローの場合には粉体充てん層の下層部に必ず2ヶ所の極大が現われ、また遷移型フローの場合には1つの極大が現われることがわかった。この極大となる位置は他者の研究報告とは異なり、どの流動形態の場合もデッドゾーン上端から上方に 30~40 mm の位置、つまり見かけ密度の増大部に一致していることがわかった。

つぎに、流動形態別に最大壁面動圧値、および過大圧を求めた。すなわち、At. Cu 89.5 μm の粉体充てん層を除振台上で充てんした後、直ちに流出させた場合と、微小振動下に30分間放置した後

に流出させた場合の最大壁面動圧値について調べた。その結果、マスフローの場合には、壁面動圧はオリフィス径 2 mm の場合に最大となり、その値は 9.57 kPa で、過大圧は約 4.6 倍であった。遷移型フローの場合には、壁面動圧はオリフィス径 4 mm で最大となり、その値は 19.4 kPa で、過大圧は約 10.1 倍であった。したがって、粉体充てん層を 30 分間放置することによって流動形態が遷移型フローに変化すると、過大圧は約 2 倍大きくなることがわかった。

また、かさ密度と過大圧の関係についてはつぎのことがわかった。すなわち、過大圧はかさ密度が約 5.49 g/cm^3 と小さい粉体の場合、約 1.8~2.4 倍であるのに対し、密度比が約 8% 増大しかかさ密度が 6.18 g/cm^3 になると、20.3~26.9 倍と大きくなった。以上のように、粉体充てん層の放置や、かさ密度の変動によって流動形態が変化すると過大圧も著しく変化することがわかった。なお、本章の最後では、壁面動圧や壁面動圧分布の極大・極小の発生原因と壁面動圧に及ぼす粒子形状の影響などについて考察している。

第 6 章 結 論

本章では、以上の結果を総括し、さらに貯槽の設計基準を設定する際に留意すべき点について述べている。

すなわち、本研究の結果から、安全な貯槽を設計するための基準値としての過大圧の値は、流動形態の変化を考慮したうえで、充分大きくとる必要があることがわかった。

また、噴霧金属粉の場合、粒子径が同一の粉体であっても、粉体を充てんした後に流出を開始するまでの貯槽の放置時間や、貯槽への粉体の注入速度の相違によって流動形態が変化することがわかった。したがって、過大圧を正しく評価するには、まず貯槽形状の相違や、粉体圧の測定方法を統一することが必要であるが、そのほか粉体の注入速度や充てん貯槽内の充てん状態の変化をも考慮する必要があることがわかった。他種の粉体でも、噴霧金属粉のように擬球形粒子の粉体の場合には、本研究の結果と類似の現象が起こることは当然予測されるので、過大圧の比較検討は、注入速度や充てん終了後流出を開始するまでの放置時間を一定条件としたうえで行う必要があることを提案した。

審査結果の要旨

近年、粉体工業で取り扱われる粉体の量が増大するのに伴って貯槽が大型化する傾向にあり、その破壊を未然に防止して安全な設計を行うために貯槽内の粉体の静的特性、あるいはそれを流出させたときの動的特性を系統的には握しておくことが緊急かつ重要な課題と考えられている。

本研究は貯槽のほとんどすべてがいろいろな原因で発生する微小振動を受ける環境に常時さらされていることに着目し、貯槽内の粉体粒子の微視的配列状態がその影響によって変化することを明らかにした。ついでこの変化が粉体を流出させたときの貯槽内での粉体の流動形態を微妙に支配することを見だし、この流動形態あるいは粒子の微視的な運動状態の変動などと、これによって貯槽壁面に生ずる動的粉体圧との関係を系統的に研究した成果をまとめたもので、全編6章より成る。

第1章は緒論である。

第2章では、微小振動が貯槽内の粉体の充てん状態に及ぼす影響を検討している。粉体を充てんした貯槽に微小振動が伝播すると局部的に粉体粒子の移動が生じ、それに伴って粉体層の内部応力が緩和することを見だし、さらに緩和の程度が充てんされている粉体のかさ密度に依存することを明らかにした。これは著者が明らかにした重要な成果の一つである。

第3章では、貯槽から粉体を流出させたときの流動形態が貯槽内の粉体層の応力緩和の程度によって著しく変化し、両者の関係を検討したところ応力緩和が進行するのに従って流動性が低下する傾向にあると述べている。

第4章では、貯槽から粉体が流出するのに伴って貯槽内を流下する粉体粒子が示す速度と見かけ密度の分布を調べ、それらが貯槽内全域で均一な値を示すのではなく、著しく変動する領域が存在することを述べている。

第5章では、貯槽に生ずる動的粉体圧の分布を調べ、その最大値と粉体充てん時に示す静的粉体圧の比である過大圧を求めて、その値と流動形態との間に整然とした関係が存在することを見だし、これに理論的考察を加えてその妥当性を検討している。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は貯槽における金属粉体の充てんならびに流動特性を基礎的に研究して、流動形態とこれを支配する貯槽内粉体層の充てん要因との関係を検討し、流動形態と過大圧との間の関係を明らかにしたものであり、その成果は貯槽の耐圧強度の設計の基礎を与えるものであり、粉体工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。