制御し、混合へ有効に利用できるような分配管理が可能な装置を開発することが重要であるという意見や、同じ装置内でも一つのインペラーで全ての機能を満足させるようなものを考えるよりはそれぞれを分担する方向へ進むべきではないかという意見が述べられ、また処理量が変わっても混合特性の変わらないような混合装置を開発することの重要性も強調された。

高粘度物質の攪拌の問題は比較的古くから問題になっている技術ではありながら、実用的には体系化が遅れて

いる技術分野の一つである。今回のセッションにおいても多数の参加者があったことは未解決の問題が多いことの反映であろう。しかし、このセッションでは単に問題点の指摘を行なっただけでなく、問題解決の糸口なり考え方についてもいくつかの示唆が与えられたことは大きな成果があったということができよう。今後さらにこの方面の研究が進められ、新技術発展の推進役を担うことができるということを期待したい。

[Session 6] 粉粒体貯槽におけるブリッジ防止技術*

青 木 隆 一**

昭和 47 年 10 月 6 日 (金) 14:00~17:30

チェアマン 青木隆一 (横浜国立大学工学部)

スピーカー 有田秀昌 (千代田化工建設 (株) 第 2 事業部)
中村 豊 (安川商事 (株) 振動粉体機部)

パネラー 藤原幸実 (日本セメント (株) 埼玉工場)
野田日吉 (日本食品化工 (株))
松本英二 ((株) 村上精機工作所)

ま え が き

粉粒体貯槽におけるトラブルの一つに粉体の付着力によるブリッジ形成のため閉塞を起すということがある。最近、貯槽内粉体層における応力解析があるていど進みブリッジ形成の条件、流出口の閉塞限界寸法などを理論的に論ずることができるようになったが、それは理想的な粉体および条件に対するものであって、実際には付着・凝集性の時間的変化、湿度、温度などの環境条件の変化に対する粉体物性の变化など理論解析には到底からない多くの因子に極めて大きく左右され、理論的な取扱いには限度がある実情である。閉塞現象は粉体プロセスの自動化、無人化に際して生ずる障害の中で最大のものということができ、さらに貯槽の大型化が進展している現在、ブリッジ崩壊による人命の危険ということも大きな問題となっている。したがって以前から各種のブリッジ防止技術が考案、開発されているがその必要性はますます高まりつつある。

この問題は実際に極めて広範囲にわたり、かつ場合場合に応じた考え方・対策が要求されるため限られた時間内に満足のゆく説明および討論を行なうのは困難であっ

たが、粉体を取扱うプラント設計の立場からのブリッジ対策の考え方と、各種の架橋破壊装置の展望を中心にこのセッションを進めた。

1. 自動化の立場からみたブリッジ防止対策 (有田秀昌)

プラントを自動化する場合、流体を取扱う部分の装置は技術的に予測が容易で、運転上においても設計、製作上のミスがなければトラブルは少ない。しかし粉体を取扱う部分はプロセスと装置に経験的なものが多いため、運転に際してトラブルを起し易い。また公害防止の観点から発塵を完全に防止することが要求され、そのため装置機器は完全密閉式の採用が多くなり貯槽においてもサイロ形式のものの使用範囲が拡がりつつある。

粉体のプロセスには粉体の貯蔵が一つの要素となるが、貯蔵量の多少、受入・排出の便利、さらに接続する輸送機の便利によって各種の貯蔵設備形式が採用される。そして上述の理由および大量取扱いの場合の土地の有効利用という面からサイロが脚光を浴びてきているが、粉体の挙動が千差万別であることおよび、排出口の形状、構造、方法によって架橋現象を起し、閉塞が問題になることが多い。

1.1 プラントと粉体プロセスについて

プラントのプロセスを物理的にみると液体、気体、固体の物質を取扱い、取扱いやすさは上記の順序になる。粉体の取扱いは流体、気体と異なって流動性がなく、成分粒度、粒度分布、粉体密度、湿度などのうちの一つの条件が異ると粉体相互の摩擦、付着力が異なる。また静止

* 昭和 47 年 10 月 28 日受理

** Ruichi Aoki (正会員) 横浜国立大学工学部 化学工学科

と動摩擦の相違から挙動が異なり、当初予想しなかった現象が発生し、プラントの運転に支障を来すことが多い。

プラント設計の最初の段階は適当な機器を選定してこれを敷地内にコンパクトにレイアウトすることである。同時に省力化、自動化、メンテナンスフリーなどシステムの合理化に重点がおかれる。粉体の貯蔵に対しては貯蔵設備の占有面積を最小にしてこれに関連する輸送設備が都合のよいように機器のレイアウトを計り、建設費を必要最小限におさえることが要点となる。したがって当初の段階で粉体のプロセスを計画するに当っては見掛比重、安息角ぐらいを資料として計画を行なう。しかしプラントのプロセスは1ヵ所でも閉塞すると全体の流れが停止することになるので計画の詳細段階での対策はおろそかにできない。

またプラントの運転はノルマル状態以外にスタート、シャットの変化があり、さらに正常運転においてもある程度の変動があって、粉体のごとく微妙な差異で大きく現象が変化するものは不調の際に部分的に能力が不足したり、正常に復帰するのが容易でないなどの問題点もあり、これらの対策について予め配慮しておく必要がある。

粉体プロセスの自動化は、プロセス、装置機器、輸送機、貯槽、計装のいずれをとってみても流体プロセスにくらべて基本的な問題が多い。今日では自動化に関しては固体プロセスの方が充てん包装、自動倉庫、工作機械工場、また高温操作の鋳物工場でさえもコンピューターとの結合で無人自動化されているのに比べると粉体プロセスは遅れているといえる。

1・2 粉体搬出の問題点

架橋を起しやすい粉体の性状としては、(1) 粒度が細かいほど (2) 粒度分布が広いほど (3) 粒子の形状が球形より遠ざかるほど (4) 見掛比重の軽いほど (5) 粉体粒子相互の付着性が大きいほど (6) 粉体の諸摩擦角が大きいほどといわれている。しかしこのほかに粉体圧、湿度、静電気の帯電などが関係しこの限界は明確でない。

大型プラントの場合は本プラントの生産した製品を受入れる輸送機とサイロは本プラントが定格生産に移行しないと性能テストができないのが普通であって、このため受入輸送機とサイロは少量の間は問題が少ないが、定格に近付くと問題が発生しやすい。新しい大型プラントでは定常運転に入るまでに種々のトラブルを解決して到達する。この時点で受入輸送機とサイロにトラブルが発生すると取扱う量が多いため臨機応変の処置が難しく、特にサイロの排出口でブリッジにより閉塞すると、本プラントをこのために止めねばならないということも起り得る。このため大型の製品サイロにおいては本プラントが非定常で規格外の製品を生産しても架橋が生じないよ

うに、またはそれを破壊できるように対策を講じなければならぬ。

1・3 架橋の対策について

下記の対策が有効とされている。

- (1) 壁面を平滑にする。
- (2) 底部の角度を大きくする。(急傾斜にする)
- (3) 出口を大きくする。
- (4) 貯槽を非対称形にする。垂直壁を作る。
- (5) 粉体圧を殺すような排出口の構造とする。
- (6) 空気排出を行う。
- (7) 攪拌翼またはアーチブレイカーを設ける。
- (8) ポークホールを設ける。

上記のうち(1)~(5)は貯槽および出口形状を適切にして架橋が起りにくくする対策である。(6)の対策は施工が簡単でノズルがホッパー内の自然流下を妨げないからよく採用される。(7)の攪拌翼は強固な架橋の破壊に有効であるが可動部分が槽底の粉体中にあって故障を起しやすく、取外しも容易でない欠点がある。普通はホッパーの外壁にパイプレーターを取付けることが多い。

また排出口を数ヵ所設け、架橋を生じ閉塞したら他の取出口から排出しコンベアに乗せるとか、中間から取出してコンベアに乗せられるように、ホッパーの中間に取出口とゲートあるいはシュートを設けるなども実際的な対策である。

最後に、粉体のサンプルを取扱う際には計画するプラントが取扱うものと差異があることがあるので、この点を十分留意して粉体の特性が最悪の状態となっても支障がないように設計する必要がある。架橋性のある粉体を取扱うプラントにおいて、一般にサイロの計画は特殊な形状にしないで普通の円筒(あるいは角筒)およびホッパー形とし、有効適切と思われる架橋破壊装置を取付ける。試運転の結果が不十分と判明した場合はアーチブレイカーを増強するか、または架橋の現象を観察・分析して別の有効な対策を考える。このような方法は試行錯誤的であるが、粉体のような画一性のないものに対してはむしろ適切な解決方法である。

2. 粉粒体容器の閉塞現象とその防止について

(中村 豊)

表題に関する下記のような一般的项目の解説

- 2・1 粉粒体容器の閉塞現象
- 2・2 容器内の粉粒体のフローパターン
マスフローとファネルフローの特徴
- 2・3 閉塞防止対策
- 2・4 振動モーターによる閉塞防止について
- 2・5 粉粒体の物性からみた閉塞防止法

この中で2・4について実施例も含めてやや詳細に説明する。

図1 振動モーターの取付位置

図2 パイプロッパ

(1) 振動モーター

耐振構造の誘導電動機に2個の偏心おもりをつけた構造で、つぎのような利点を有する。

- i) 騒音少く構造簡単
- ii) 電圧および負荷の変動に対し振動力が安定
- iii) コンパクトで危険性がない
- iv) 消費電力が少なく振動が強力
- v) 円振動なので粉体を圧密する心配が少ない
- vi) 振動力の調整が簡単で保守容易

(2) 取付位置

通常ホッパー部に図1に示すような位置に取付けるのが効果的である。振動モーターの振動の伝播力容器によって異なるが4~5mである。したがって容器の大きさによって台数がきまる。

(3) 振動板方式

粘土、砂味石灰、粘土質の粉体で強固なブリッジを形成するもの、あるいはコンクリート容器または頑強なリブで補強した鋼板製容器の場合は、振動を効果的に伝えるため側壁をくり抜き内部に振動板を取付ける。板の上

部のみボルト締めて振幅を大きくするため、通常4極の振動モーターを用いる。湿った粉体では、2極の方がよい。

(4) バイプロホッパー

図2に示すような構造のもので、振動モーターにより容器の下部のみを揺動させる。この特徴は

- i) 付着性のある微粉たとえば小麦粉、澱粉、粉乳、酸化鉄、酸化クロム、酸化チタンなどに適す。
- ii) 粉体の流れはマスフローになり偏析もなく、かさ比重も変わらず安定した排出を行なう。
- iii) 容器の高さを低くすることができる。
- iv) 運転中バイプロホッパーのゲートを閉じても圧密作用を起さない。
- v) フラッシングを起す粉粒体に対してもロータリーフィーダーと組合せることにより安定した排出が可能である。

3. パネラーのコメント

3・1 セメント工場における閉塞現象の実例と改善例

(藤原幸実)

表題に関し表1に示す実例についての説明

3・2 食品工業におけるブリッジ防止の現状

(野田日吉)

食品工業特に製粉、製糖、粉乳などの分野においてはバルクハンドリングの必要性がますます増大しつつあり、その中核を占めるバルクストレージの最適方法について各種の検討が行なわれる。

一般にブリッジ現象を起す原因として摩擦、付着、凝集、固結、静電気などによるものが考えられるが、食品の場合物性が複雑であり、ブリッジの原因も錯綜していることが多いので、ケースバイケースに対処すべきである。ブリッジ防止対策の2、3の例を挙げると

(1) 貯槽の形状について；排出口の面積を可能な限り広くとり、下部に傾斜部があるときはその角度を60°以上とすることが望ましい。この対策はブリッジのほとんどの原因に対して有効で最も基本的なものである。

(2) 貯槽の内面について；内面はできるだけ平滑に仕上げることはもちろん、金属を使用する場合はコーロジョンにより表面が荒れることを防ぐためステンレス鋼を使うことが望ましい。またテフロンライニング、樹脂のコーティングなども有効であるが静電気による付着が起る可能性もあるので注意を要する。

(3) 貯槽内の湿度、温度について；外部の湿度、温度の変化に従い吸湿、結露の危険があり、この影響が大きい場合には貯槽の保温、貯槽内の調湿、調温も必要である。

表 1 閉塞実例と改善例 (横に閉塞実例, 縦に改善方法を示す)

				水分の多いもの			固結性のあるもの	粉 体			
				石灰石 (2~8%)	粘 土 (30~40%)	石こう (3~5%)	クリンカと石こうの混合 (水蒸気)	乾 燥 料	集じん ダスト	石灰石 粉 末	珪 石 粉 末
ホ ッ パ 部	形 状	傾 非 対 称 コ ー ナ (R)	○	○	○	○	○	○	○	○	
			○	○	○	○	○	○	○	○	
材 質	コンクリート 鉄 板	×	×	×	×	×	×	×	×		
		○	○	○	○	○	○	○	○		
排 出 口	形 状	巾×長手方向を大 きくする	○	○	○	○	×	×	×	×	
			○	○	○	○	×	×	×	×	
フ ィ ー ル	ラ ミ ネ ー ト 振 オシレーティング	○	○	○	○	×	×	×	×		
		○	○	○	×	×	×	×	×		
レ イ ア ウ ト	○	○	○	○	○	×	×	×	×		
		○	○	○	○	×	×	×	×		
外 力 の 利 用	振 動 モ ー タ 振 動 板	○	○	○	○	○	○	○	○		
		○	○	○	○	×	×	×	×		
空 気	エ ア ノ ズ ル エ ア レ ー シ ョ ン	×	×	×	×	○	○	○	○		
		×	×	×	×	○	○	○	○		

○は採用 可, ×は採用 否を示す。

注意事項

- (1) 粉体の閉塞は, 組成成分, 温度, 湿度, 径時変化による。
- (2) ホッパー部の材質は, 表面粗さの少ないものが良い。
- (3) フィード決定の時は, 表面付着により, 能力が激減する事があるので, 表面にゴム板等張りつけること。
- (4) 振動モータの選定, 使用方法是, メーカーの指示に従うこと。
- (5) 空気源を利用する時は, フラッシュ現象を避けること。

3.3 ブリッジ破壊用振動モーターの最適取付寸法

(松本英二)

振動モーターは多くの場合, ホッパー部に使用される。

(1) 補強リブのないホッパーの場合は, 振動の式

$$y = \frac{F}{K - \frac{W}{g}\omega^2} \sin \omega t, \quad y_m = \frac{F}{K - \frac{W}{g}\omega^2} \quad (1)$$

において, $K \gg \frac{W}{g}\omega^2$ であるため (K は振動系のバネ定数)

$$y_m \doteq F/K \quad (2)$$

多くの場合, $2y_m = 0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$ になるように振動力 F をとればよい。角形ホッパーでは円錐ホッパーよりも振幅が大になるので振動力 F を下げ $2y_m = 0.6 \sim 0.8 \text{ mm}$ ぐらいに抑えて使用する。

(2) 補強リブのある角形ホッパーでは補強材として使用しているアングルやチャンネルに取付けるのが効果的である。比較的比重の大きい材料のホッパーでは

$$K - \frac{W}{g}\omega^2 = (0.5 \sim 0.85)K \quad (3)$$

比重の小さい材料の場合はホッパーの剛性も低く

$$K - \frac{W}{g}\omega^2 = (-0.7 \sim 0) \frac{W}{g}\omega^2 \quad (4)$$

となる。 $K - (W/g)\omega^2 = 0$ 付近では共振状態となるので補強材を強くして $0.4K$ ぐらいにするか, 4極モーターを使用して ω を減少させて $0.7K$ 程度にする。

図3はアングルで補強された角形ホッパーに振動モ

図 3 補強リブ付角錐ホッパーへのバイブレーターの取付

ターを取付けたものである。補強材の位置により図3のAおよびBのように取付けねばならない。

(3) コンクリートホッパーの場合; 6~16mmの鋼板製振動板を使用し, 上部のみを固定して図4のように

図4 コンクリートホッパーへのバイブレーターの取付

振動モーターを取付ける。この場合は

$$K - \frac{W}{g} \omega^2 \approx -\frac{W}{g} \omega^2, y_m = -F / \frac{W}{g} \omega^2 \quad (5)$$

y_m は大きくとも応力は低いので ω の小さいもの、すなわち4極のモーターが適している。 $y_m \approx 1\text{mm}$ とすると振動効果もよい。

4. 質疑応答

具体的な難問題を含めてかなりの数の質問が出た。その大体の内訳は (1) 貯槽の形状、構造および架橋対策に関する一般的質問10件 (2) 粉体の特性に関連したもの10件 (3) 振動モーターに関するもの4件 (4) その他2件、時間の関係でこれらの質問の一部にしか回答あるいは参考意見を出すことができなかったのは残念であった。以下質疑応答の2,3の例を紹介する。

問 架橋の起りやすい粉体性状として見掛比重の軽いほどということですが、空隙率を考えた場合、疎充填の方が架橋しにくいのではないかと。

答 粉体の種類の異なる場合は一般に見掛比重の軽いものの方が架橋しやすい。同一粉体ではご質問のとおり密充填の方が架橋を生じやすい。

問 架橋防止のための仕切板はビン・ホッパー系の場合どの位置がよい。

答 粉体により異なるが粉体圧の最大の位置付近に設けるのが効果的である。したがって偏析防止など他の目的がない限りあまり上方に取り付けるのは意味がない。

またあまり出口付近に付けると有効な出口寸法が減少して逆効果になることもあるから注意を要する。

問 直胴部にできるブリッジの対策にどのようなものがあるか。径3mのビンに1~5 μ のPVC粉末を入れたところ生じた。

答 アーチはほとんどの場合ホッパー部においており、直胴部にアーチの生じた経験はないが、胴の部分に振動モーターを等分布になるように取り付けられたいと思う。

問 雲母のような扁平形状のブリッジ防止法は？

答 平底容器にして全体を揺動させるのが効果的である。またバイプロホッパーも有効と思う。

問 振動モーターを使用したときの騒音防止法について。

答 適当な容量のものをを用いれば騒音にはならない。振動モーターの使用法が問題なわけで、付着防止の目的で大容量の振動モーターを用いると空に近くなった場合に非常に大きい音がでる。大きな振動が必要な場合、取り付け方を工夫したり、リブをつけたりすることで音を小さくできる場合がある。

問 振動モーターを用いるとき、2種以上の比重差のある粉粒体で偏析を生じないか。

答 振動時間が長いと偏析の起ることもありうる。しかし振動のために偏析することは少ない。一般に振動を大きくしなければ排出しにくいような粉粒体はもともと偏析しやすいので、その点誤解されやすい。

問 フレック状とペレット状のものの混合物に対しても振動モーターは有効か。

答 これは有効です。現在振動モーターでは片側 20t ものパワーを出すものができており、大型サイロにも使われている。

問 バッチシステムの場合、ホッパー底部のシャッター部においてよく閉塞が起るがその対策は？

答 オシレーティングフィーダーで排出するのがよいと思う。

問 消石灰（-100 メッシュ）のサイロ（5mφ×8m

H）を 10～15 日間休止後、残留粉体をスムーズに排出させる方法は？

答 ホッパー角が急傾斜であればバイブレーターを用いればよい。また 1 日 1 回エアレーションをしておけば残留量は 0 になる。

そのほか粉体の流動性の判定、固結現象、フラッシング現象などに関する質問や具体的にフローシートを示しての質問などがあり、この問題に対する関心の深さがうかがえた。

[Session 7] 工場排ガスなどのNO_x処理技術*

東畑 平 一 郎**・加藤 征 太 郎***

昭和 47 年 10 月 7 日（土） 9：30～13：00

チェアマン 東 畑 平 一 郎（中央大学理工学部）

スピーカー 加 藤 征 太 郎（中央大学理工学部）

山 田 剛（公害資源研究所）

パネラー 吉 持 俊 太 郎（三菱重工株式会社）

立 花 啓 助（三菱重工株式会社）

河 井 操（公害資源研究所）

柳 原 茂（機械技術研究所）

1. はじめに

NO_x の大気への排出量は年々増加のきざしがあり、環境庁による東京湾地域における窒素酸化物発生源別排出総量調査によると、自動車、事業用発電、工業などからの排出量が全体の 70% 以上を占め、その年次増加率も顕著であり、総量では昭和 35 年の 87.3×10³t/年に比べ昭和 45 年にはその約 5 倍の 443.8×10³t/年にも達している。この現状をふまえて環境基準も（NO₂ として）0.02 ppm というかなり厳しい値が用意されており、その排出防止技術の確立が急務となっている。これらの事情を反映してか本セッションは 300 名を超える出席者を得、とくに化学工場から排出する NO_x 対策、事業用ボイラーから排出する NO_x の燃焼法改良による低減対策、自動車排ガス中の NO_x 対策、工場排ガス中の NO_x 測定上の問題点などについて参会の諸氏とともに熱心な討論が行なわれた。

以下に記述するのは講演順序と一致しない部分もある

* 昭和 48 年 1 月 22 日受理

** Heichiro Tohata（正会員）・Seitaro Kato（正会員）
中央大学 理工学部

り、また講演者の意図を忠実に表現し得なかったことなど当日の雰囲気をもそのまま伝えられないことをここにお詫びしておく。

2. 工場排ガス中の NO_x の除去（加藤征太郎）

2・1 水による吸収

窒素酸化物の水による吸収除去での主な反応を次に示す。

反応 (4) は速かに平衡に達する。

濃度が増すと四酸化二窒素が増加し二酸化窒素が減少する。排ガス中の窒素酸化物の濃度は希薄な場合が多く、ほとんど 0.2% 以下であり、この程度の濃度では四酸化二窒素の状態では存在しないことがわかる。反応 (3) の一酸化窒素の酸化速度は負の温度効果を示し、温度が低いほど速度が速く、常温では比較的ゆっくり進む。一方反応 (1)、(2) は急速に進行する。水による二酸化窒素（四酸化二窒素）の吸収における吸収速度が、ガス拡散律速か、または化学反応律速かについて、M. Peters は化学反応律速であることを確めている。吸収温度に対する排ガスからの窒素酸化物の吸収除去効率率は温度が高くなると効率は低下する。化学反応が律速であるとすれば、温度上昇に伴う効率の低下の原因は、水とす