振動式排出装置の振動特性

山田 幸良*
Yukiyoshi YAMADA

1. 緒 言

粉体排出装置は、用途に応じて何種類もが使い分けられており、それぞれ実用に供されている。これらのうちで、振動力利用方式は比較的良好に利用されている。その理由として、安定排出が望める、装置の構造が簡単で安価である、排出絞角を大きくとることができ貯槽の容積効率が、難排出粉体にも応用できるなどがあげられる。

この方式は、国内でも数社から市販されており、貯蔵量が200トン以下の中・小型タンク用排出装置として多く利用されている。応用例としては、小麦粉、粳、各種飼料、化成品などがある。また、寸法は本体の外径あるいは内径で代表され、 $\phi 400 \sim \phi 3600$ mm程度である。

このように、実用では相当利用されているが、その基礎となる振動解析はほとんど発表されていないので、貯槽および排出装置の設計を行なう上での指針が立てにくく、経験のみにたよっているのが実情である。ここで

は、振動式排出装置（以下、パイプロディスタージャーと呼ぶ）の振動解析を行ない、実験結果と比較し、簡単に利用できる式を求めたので報告する。

2. 振動解析

2.1 モデル化

パイプロディスタージャーの構造を Fig. 1 に示す。振動部 A は、通常、防振ゴムを介してロッドで吊るされており、モータにより加振される。この時、粉体は図中の矢印で示す流れ状態になる。

この振動系は、ほとんどが水平振動で構成されるので鉛直方向の振動は考えない。水平振動は図中に示す座標系 (x, y) をとり解析する。

解析は、Fig. 2 に示す x 方向と Fig. 3 に示す y 方向モデルとに分けて別々に行なうこととする。

2.2 解析

Fig. 2 に示す x 方向の振幅 x_0 は次式で示される。

$$x_0 = x_{st} \frac{p^2}{p^2 - \omega^2} \quad \dots\dots(1)$$

Fig. 1 パイプロディスタージャー構造図

昭和58年4月25日受付

* 日清製粉(株)生産技術研究所
(〒354 埼玉県入間郡大井町鶴ヶ岡177-3)
TEL 0492-64-3321

Fig. 2 x方向モデル

Fig. 3 y方向モデル

ここで, $x_{st} = \frac{P}{2k}$, $p^2 = \frac{2k}{M}$ の関係を用いると,

$$x_0 = \frac{P}{2k - M\omega^2} \quad \dots\dots(2)$$

Fig. 3 に示すモデルに対する運動方程式は, 減衰項を無視すると, 以下のようになる。

$$\left. \begin{aligned} M\ddot{y} + k(y + l_2\theta) + k(y - l_1\theta) &= P \sin \omega t \\ I\ddot{\theta} + k l_2(y + l_2\theta) - k l_1(y - l_1\theta) &= P l_2 \sin \omega t \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

式(3)の振動解を $y = A \sin \omega t$, $\theta = B \sin \omega t$ として A , B を求めると,

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{-\beta + l_3\gamma}{\gamma^2 - \alpha\beta} P \\ B &= \frac{\gamma - l_3\alpha}{\gamma^2 - \alpha\beta} P \end{aligned} \right\} \dots\dots(4)$$

$$\begin{aligned} \alpha &= -M\omega^2 + 2k \\ \beta &= -I\omega^2 + k(l_2 - l_1)^2 \\ \gamma &= k(l_2 - l_1) \end{aligned}$$

これら α , β , γ の値は, 加振モータが2極あるいは4極で回転しているため, ω^2 の値が非常に大きくなり, $\gamma \ll \alpha$, β より $\alpha \approx -M\omega^2$, $\beta \approx -I\omega^2$ となる。そこで, 式(4)の簡略式として式(5)が得られる。

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{P}{\alpha} = -\frac{P}{M\omega^2} \\ B &= \frac{l_3 P}{\beta} = -\frac{l_3 P}{I\omega^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots(5)$$

また, 式(2)も簡略化して

$$x_0 = -\frac{P}{M\omega^2} \quad \dots\dots(6)$$

となる。一方, xy_1 座標, xy_2 座標を考え, y_1 , y_2 を示す式を求めると式(7)が得られる。このときの振幅 y_{01} , y_{02} を式(8)で示す。

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= A \sin \omega t - B l_1 \sin \omega t \\ y_2 &= A \sin \omega t + B l_2 \sin \omega t \end{aligned} \right\} \dots\dots(7)$$

$$\left. \begin{aligned} y_{01} &= -\frac{P}{\omega^2} \left(\frac{1}{M} - \frac{l_1 l_3}{I} \right) \\ y_{02} &= -\frac{P}{\omega^2} \left(\frac{1}{M} + \frac{l_2 l_3}{I} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots(8)$$

この結果をまとめると, バイプロディスタチャージャー上の点 $Q_1(x, y_1)$, $Q_2(x, y_2)$ は, xy_1 座標および xy_2 座標上でのおの

$$\begin{aligned} Q_1 &\left(-\frac{P}{M\omega^2} \cos \omega t, -\frac{P}{\omega^2} \left(\frac{1}{M} - \frac{l_1 l_3}{I} \right) \sin \omega t \right) \\ Q_2 &\left(-\frac{P}{M\omega^2} \sin \omega t, -\frac{P}{\omega^2} \left(\frac{1}{M} + \frac{l_2 l_3}{I} \right) \sin \omega t \right) \end{aligned}$$

の円軌跡を持つこととなる。

3. 実験結果

Table 1 に本試験に用いたバイプロディスタチャージャー900型の諸元を示す。ここで, ばね定数 k は粉体が入っていないときの自由振動から求めている。

$$\text{固有振動数 } p = \sqrt{\frac{2k}{M}} = 13.19 \text{ rad/sec} (= 2.1 \text{ Hz}),$$

$$M = \frac{160}{9800} \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{mm} \rightarrow k = 1.42 \text{ kg/mm}$$

長さ l_1 , l_2 , l_3 については, $l_1 + l_2$, $l_3 - l_2$ を実測で求めた後, バイプロディスタチャージャー本体 (加振モータを除く) と加振モータの重量から, 重心 G の位置, すなわち l_1 , l_2 を計算で得た。

また, 質量 M および慣性モーメント I についても粉体が入っていない時の値である。

Fig. 4, Table 1 の諸元を用いて式(6)および式(8)より計算した振幅から求めた Q_1 , Q_2 点の軌跡と, 振動計を用いて実測した値とを比較したもので, 実測値は, 粉

Table 1 バイプロディスタチャージャー900型諸元

$P = 400 \text{ kg} (\omega = 50\pi \text{ rad/sec})$
$l_1 = 640 \text{ mm}$
$l_2 = 360 \text{ mm}$
$l_3 = 480 \text{ mm}$
$M = 160/9800 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{mm}$
$I = 2.6 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2 \cdot \text{mm}$
$k = 1.42 \text{ kg/mm}$

Fig. 4 Q_1 , Q_2 点の較跡 (計算および実測の比較)

体 (小麦粉) の入った場合と、入らない場合とを示している、図より、粉体が入らない場合は、計算値と実測値はかなり一致しており、入った場合は、振幅に多少のずれがあるものの振動状態をほぼ正確に推定することができる。

4. 結 言

バイブロディスチャージャーの振動解析を行ない、簡

単な式で振動状態を表わすことができた。しかし、粉体が入った時のバイブロディスチャージャーの質量 M および慣性モーメント I の値をどのように見積るかが明らかでないと、粉体あるいは寸法が異なった系での軌跡を正確に把握できないので、この点は今後の課題としたい。

本解析結果は、粉体が入らない時の振動をかなり正確に計算できる。したがって、粉体が入った時のバイブロディスチャージャーの等価質量あるいは等価慣性モーメントを推定することはできる。小麦粉の例では粉体の影響は比較的小さく、粉体が入った時の等価値と粉体が入らない時の値とはあまり大きな差はなかった。(たとえば、等価質量

$$M_e = 200 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{mm} \leftrightarrow M = 160 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{mm})$$

このように、バイブロディスチャージャーの振動状態の傾向および大略値を知ることができるので、ホッパー部の設計、防振ゴムの強度設計、加振力の設定に本解析結果は応用できると考えている。

使 用 記 号

I : 慣性モーメント	$[\text{kg} \cdot \text{sec}^2 \cdot \text{mm}]$	p : 固有振動数	$[\text{rad/sec}]$
k : ばね定数	$[\text{kg/mm}]$	t : 時間	$[\text{sec}]$
l_1, l_2, l_3 : 長さ	$[\text{mm}]$	x_0 : x 方向の振幅	$[\text{mm}]$
M, M_e : 質量	$[\text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{mm}]$	y_{01}, y_{02} : y 方向の振幅	$[\text{mm}]$
P : 加振力	$[\text{kg}]$	ω : 加振モータの回転角速度	$[\text{rad/sec}]$

参 考 文 献

- 1) 田村章義：機械力学，森北出版，p. 9 (1972)
- 2) チモシェンコ，谷下・渡辺訳：工業振動学，東京図書，p. 421 (1969)
- 3) 亘理厚：機械振動，丸善，p. 91 (1970)

ハイドロサイクロンについての第2回国際会議

日 時：1984年9月19～21日
場 所：Bath, England
問合せ先：Conference Organiser
2nd Hydrocyclones Conference

BHRA, The Fluid Engineering Centre
Cranfield, Bedford, MK 43 0AJ,
England.