

# 塑性加工機械用振動高減衰パウダーダンパの開発

長岡技術科学大学 工作センター

助教授 田辺郁男

(平成6年度研究開発助成 AF-94001)

## 1. 研究の背景と目的

塑性加工は切削加工に比べて切屑を出さない点でエコテクニク的な加工である。しかし、プレスや鍛造に代表されるように高エネルギーの瞬間的かつ局地的なエネルギー解放によって発生する振動の対策が大きな問題である。

一方、精密工作機械構造用セラミックレジコンクリートの開発<sup>(1),(2),(3),(4)</sup>の際、セラミックスパウダー高充填時に衝突と摩擦が高確率で生じるため、振動エネルギーの多くが熱に変換され、振動高減衰現象が起きることを観察した。この物理現象を上記の塑性加工時の振動対策に利用し、効果的に振動エネルギー除去を行おうと考えたことがこの研究の起源である。

本研究では、塑性加工機械の構造各部に最適材料のパウダーを最適体積%充填した後、これらに最適の予圧をかけて、構造体全体の剛性を上げて共振振幅を減衰すると同時に、各パウダー間の衝突と摩擦の確率をコントロールし、共振振動を高減衰することを特徴とするパウダーダンパの開発を目的としている。

## 2. 振動減衰効果の基礎的実験

ここでは、予備実験として構造体内に各種パウダーを充填し、そのときの振動振幅の変化、振動減衰率の変化を評価し、実機への最適充填のための基礎データとして提案する。

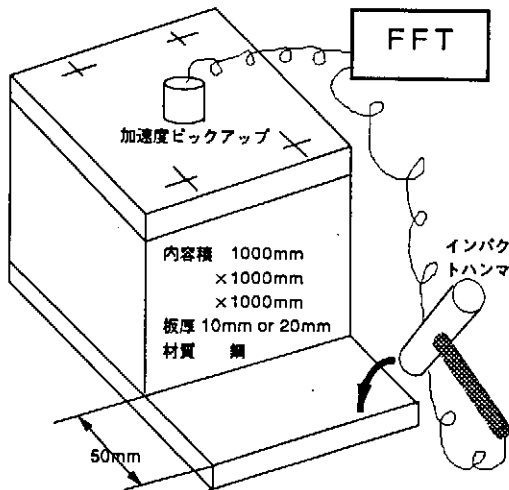
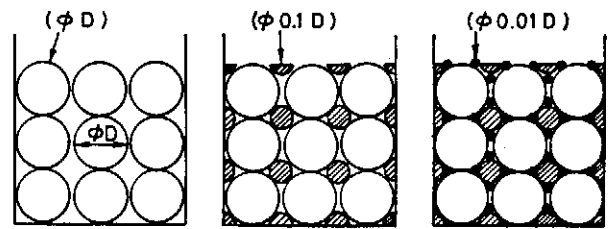


図1 基礎データ収集のための実験装置

実験装置は図1に示すように、内容積80mm×80mm×80mmで板厚10mmと20mmの2種類の鋼製構造物を製作し、その中に各種パラメータの充填を行い、FFTアナライザとインパクトハンマを用いインパルス応答法によって伝達関数、固有振動数、対数減衰率を測定・評価をした。なお、パウダー充填後の鋼製構造物はテニスボールの上に搭載し、ピックアップは容器上面に取り付け、インパクトハンマによる加振は底面の突き出し部に与えた。



(a) パウダー60% (b) パウダー84% (c) パウダー94%

図2 パウダーの充填方法

表1 パウダー充填による対数減衰率とコンプライアンスの変化

圧力	板厚	骨材材質		アルミナセラミックス		鋼球とプラスト粒	
		充填率	骨材構成	コンプライアンス mm/N	対数減衰率	コンプライアンス mm/N	対数減衰率
予圧あり	20 mm	94%	粗中細	0.131	0.65		
		84%	粗中	0.106	0.58	1.14	0.62
		84%	粗細	1.07	0.59		
		60%	粗	1.30	0.48	1.58	0.47
		60%	中	1.20	0.53	1.66	0.51
		60%	細	1.30	0.40		
	10 mm	94%	粗中細	1.63	0.73		
		84%	粗中	1.92	0.66	1.88	0.93
		84%	粗細	2.00	0.66		
		60%	粗	2.40	0.60	2.10	0.88
		60%	中	2.20	0.64	2.00	0.75
		60%	細	2.24	0.61		
予圧なし	20 mm	94%	粗中細	0.78	0.78		
		84%	粗中	1.23	0.63	1.27	0.66
		84%	粗細	1.50	0.62		
		60%	粗	1.44	0.50	1.33	0.52
		60%	中	1.81	0.55	1.69	0.48
		60%	細	1.55	0.50		
	10 mm	94%	粗中細	1.98	0.90		
		84%	粗中	1.97	0.78	1.99	0.84
		84%	粗細	2.27	0.75		
		60%	粗	2.43	0.73	2.40	0.88
		60%	中	2.48	0.74	2.03	0.86
		60%	細	3.10	0.69		
20 mm	0%	空	2.82	0.42			
10 mm	0%	空	3.60	0.63			

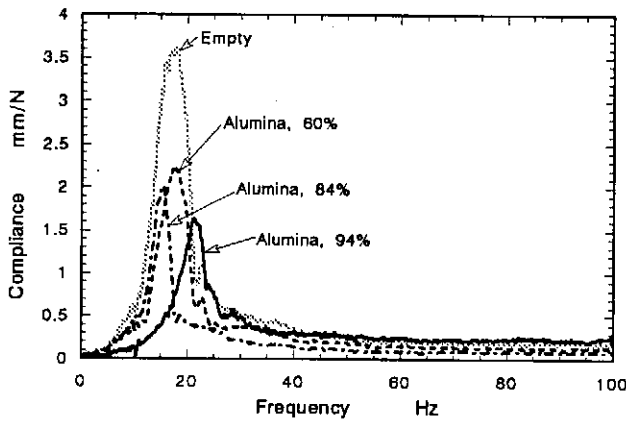
パウダー充填のパラメータは以下のとおりである。

- ・パラメータ1: パウダー材料 (鋼球、プラスト粒、アルミナボール)
- ・パラメータ2: パウダー粒径 ( $\phi$  10mm、 $\phi$  1.0、 $\phi$  0.1)
- ・パラメータ3: パウダー充填率 (60%、84%、94%)
- ・パラメータ4: パウダーへの予圧の変化(なし、19.6MPa)

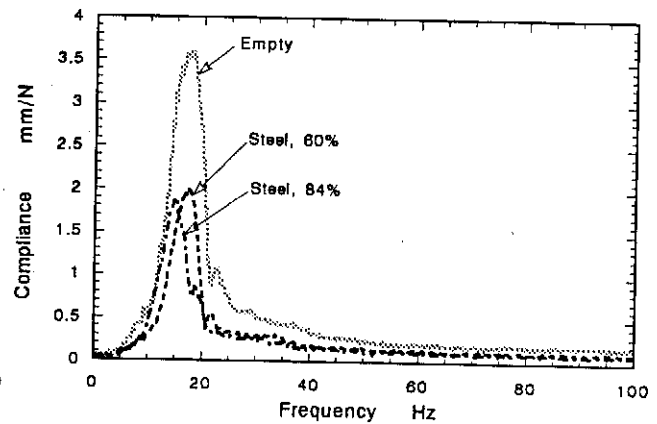
パラメータ3のパウダー充填方法を図2に示す。図2 (a) に示すように同等の粒径の骨材を容器中に加振充填すると、全体積の約60%が骨材となり、残りの40%が気孔となる。その後、図2 (b) に示すように残りの40%の気孔部の中に、先程の粒径よりも小さな骨材 (1/7以下) を加振充填すれば、40%の6割である24%の骨材が充填されることになり、骨材充填率が84%、気孔が16%となる。このような充填を繰り返すことにより、骨材を高充填化することが可能となる。図2 (c) では、3種類の骨材が94%の充填率で機械的に均等充填された状態を示している。

パウダー充填による対数減衰率とコンプライアンスの変化を表1に示す。また、図3に板厚10mmの鋼製構造物の場合のFFTアナライザで測定したパワースペクトルを示す

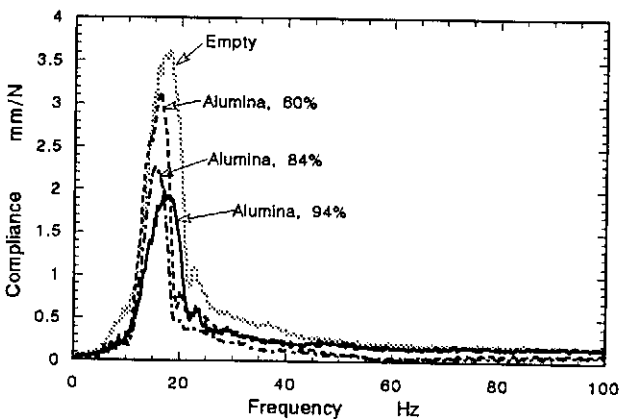
(板厚20mmの場合も同様の傾向であり、そのコンプライアンス値は表1に示したとおりである)。充填率が高くなるほど対数減衰率は上がり、逆にコンプライアンスが下がっている。一般的な材料は剛性が上がると対数減衰率は下がり、対数減衰率が上がると剛性がさがるため、高精度化のために剛性を上げつつ対数減衰率も上げたいという要求には答えることができなかった。しかし、本研究のコンポジットでは、構造空隙部にパウダーが充填されることによって静的・動的な剛性が上がり、同時に充填されたパウダーの中粒 ( $\phi$  1.0) と細粒 ( $\phi$  0.1) は粗粒 ( $\phi$  10mm) の周囲を摩擦と衝突を繰り返しながら移動し、振動を摩擦熱に変換 (クーロン減衰) しているため、対数減衰率も上がると考えられる。鋼製構造物が空洞の場合とパウダー充填率94%の場合では、剛性は3~4倍上昇し、対数減衰率は2倍程度上昇している。また、パウダーへの予圧がかからない方が、パウダーの移動が容易であるため、対数減衰率は上昇していると考えられる。今回使用した2種類のパウダー間で、対数減衰率もコンプライアンスも大きな差はなかった。パウダーとして使用した鋼球とアルミナボールはヤング率が同



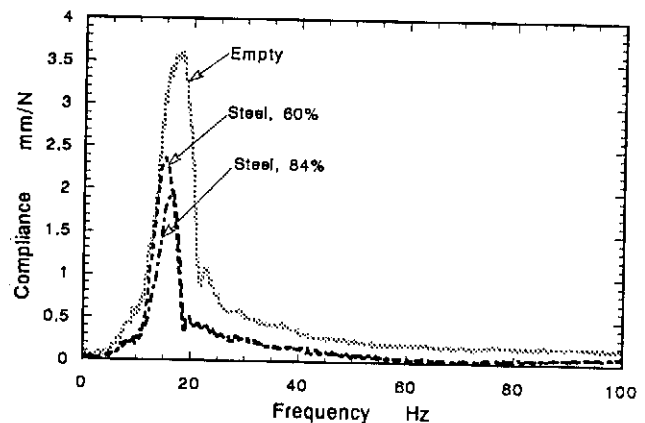
(a) パウダー: アルミナ, 予圧あり



(c) パウダー: 鋼球, 予圧あり



(b) パウダー: アルミナ, 予圧なし



(d) パウダー: 鋼球, 予圧なし

図3 板厚10mmの場合のパワースペクトル

程度 (200GPa) で、密度はアルミナボールが鋼球の2/5程度である。ヤング率が同じためコンプライアンスが同程度になったと考えられる。また、密度の差が対数減衰率に影響していないことがわかった。

### 3. 本ダンパ適用パンチプレスモデルの振動減衰実験

本研究の振動高減衰パウダーダンパの実用性を評価する目的で、前章の基礎的な実験データを基に溶接構造のパンチプレスモデルを用い、各種パウダーダンパを充填し、振動減衰実験を行なった。

図4に実験に用いたC型パンチプレスモデルの概要と実験概要を示す。このC型パンチプレスのフレームは鋼板溶接構造で、振動・騒音の観点からみると、薄い鋼板が使用されているために局所的な振動が生じやすく、しかも結合部で生じる構造減衰もほとんど期待できない構造である。そこで、今回はとくに制振対策が困難なC型を構成するフレーム単体について充填を行った。フレームの両方の外側面にポケット状の2重壁を設け、その中にアルミナパウダー94%、もしくは鋼球とプラスト粒の84%を充填した。モデルに対する加振点と向きは実機の打抜き力の加わる点とその向きを考慮して図4のように決定した。加振は柔らかいチップのインパクトハンマを用いて100Hz以下の低周波数領域における伝達関数と1次のモードに対する対数減衰率を測定評価した。

図5にアルミナパウダー充填による伝達関数の測定結果を示す。パウダー充填によって多少固有振動数が変化している。パウダー充填によって側壁の剛性が上がったために共振点におけるコンプライアンス値も下がっており、パウダー充填によって動剛性が向上したことを示している。また、図中には示さなかったが鋼球とプラスト粒の場合も同様の傾向であり、充填パウダーによる共振点におけるコンプライアンス値の差は少なく、機械の軽量化と充填構造部の簡素化の点ではアルミナパウダーが有効であり、価格的には鋼球とプラスト粒の組合せが有効であると考えられる。

表2に1次のモードに対する対数減衰率の測定結果を示す。この対数減衰率が上がる現象は、前章の基礎的な実験と同様に、充填されたパウダーの中粒と細粒が粗粒の周囲を摩擦と衝突を繰り返しながら移動し、振動を摩擦熱に変換しているため起こったと考えられる。

以上のように、動剛性を上げつつ同時に対数減衰率も上げることが実用段階でも可能であることが確認できた。また、このように摩擦(クーロン減衰)を利用した減衰装置としてランチャスターダンパが存在するが、本研究のように、動剛性と対数減衰率を同時に上げることが可能なパウダーダンパは、高品位かつ多機能な塑性加工機械用の機械

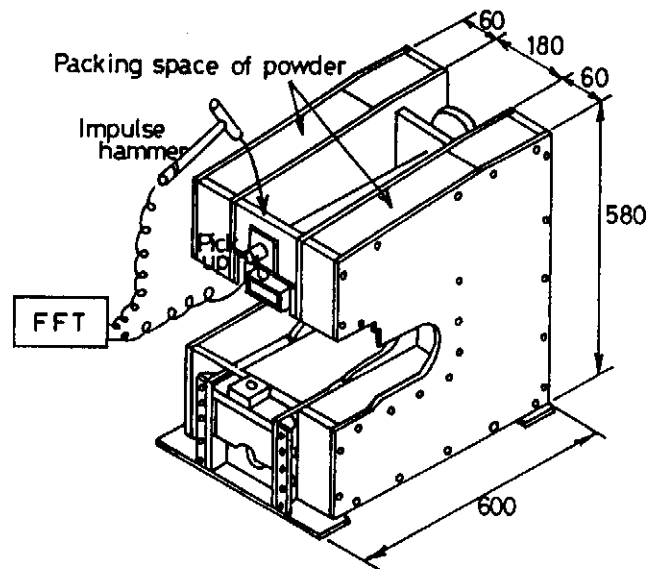


図4 C型パンチプレスモデルと実験概要

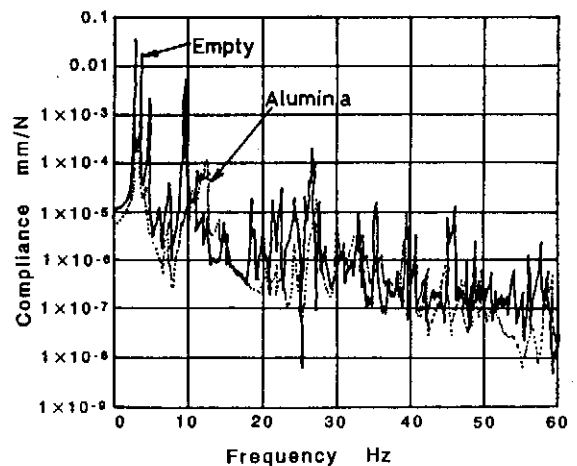
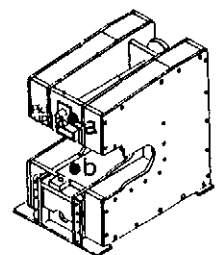


図5 パウダー充填による伝達関数の変化

表2 1次のモードに対する対数減衰率

Packing material	Position of pick-up	Logarithmic decrement
Alumina	a	$14.5 \times 10^{-3}$
	b	$25.4 \times 10^{-3}$
Steel	a	$10.3 \times 10^{-3}$
	b	$16.6 \times 10^{-3}$
Empty	a	$2.4 \times 10^{-3}$
	b	$5.3 \times 10^{-3}$



要素として有効に利用されることが考えられる。

本研究のパウダーダンパのそれ以外の特徴として、①既存構造内に充填構成できるため現有機の振動対策も容易に可能であること。②最も効果のある振動源の付近に構成することが可能でありダンパ自身の効果を十分に発揮できること。③パウダー以外の付随設備が不要であること。④構造が簡単でメンテナンスが不要であることが挙げられる。

#### 4. 結 論

本研究では、塑性加工機械の構造各部にパウダーを充填し、構造体全体の剛性を上げて共振振幅を減衰すると同時に、共振振動を高減衰することを特徴とするパウダーダンパの開発を行った。その結論を以下に示す。

- (1) パウダー充填率が高くなるほど対数減衰率は上がり、逆にコンプライアンスは下がる。
- (2) アルミナパウダー94%の場合では、無充填のものに比べて剛性は3~4倍上昇し、対数減衰率は2倍程度上昇している。
- (3) パウダーへの予圧がかからない方が、パウダーの移動が容易であるため、対数減衰率は上昇している。

(4) 充填したパウダーがアルミナでも鋼球でも、対数減衰率もコンプライアンスも大きな差はなかった。

(5) C型パンチプレスモデルの実験によって、動剛性を上げつつ同時に対数減衰率も上げることが実用段階で可能であることが確認できた。

#### 5. 謝 辞

本研究は天田金属加工機械技術振興財団の研究開発助成によって遂行したことを付記し、深謝の意を表します。また、実験に用いたC型パンチプレスは、東京農工大学の堤正臣教授から借用したことを付記して、感謝の意を表わします。

#### 6. 参考文献

- (1) 田辺郁男、川崎幸雄、機論、57-543、C(1991)、3720.
- (2) 田辺郁男、ほか3名、機論、58-555、C(1992)、3410.
- (3) 田辺郁男、ほか3名、機論、60-569、C(1994)、333.
- (4) 田辺郁男、ほか2名、機論、58-553、C(1992)、2816.