

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420066

研究課題名(和文)インパクトタイプのダンパを応用した無振動工作機械構造物の開発

研究課題名(英文)High damping machine tool structure by applying damper of impact type

研究代表者

若澤 靖記(wakasawa, yasunori)

豊田工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：50300588

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：この研究では、ステンレス鋼製の角パイプに粒子および液体を充てんした構造物をインパルス加振した場合の減衰特性について実験的に検討した。実験は、粒子量、粒径および液体粘度を種々変化させて行い、振動と騒音の同時測定を行った。粒径と液体粘度の組み合わせにより様々な減衰特性を示し、両者の組み合わせによっては、減衰能を著しく向上させることができた。また、粒子および液体充てん構造物の減衰能発生要因には、粒子に働く抗力と粒子重量が強く関係しており、 $\mu/d^2 P$ を2.5 s⁻¹程度とすることで減衰能を著しく向上させることができることが明らかとなった。ここで μ は液体粘度、 d は粒径、 P は粒子密度である。

研究成果の概要(英文)：In this study, the damping characteristics of a square pipe packed with steel balls and silicon oil were examined. The effects of steel ball diameter, total mass of steel balls, and viscosity of silicon oil on the vibration damping characteristic and sound characteristic are examined using impulse excitation method. It is shown that the damping characteristics are strongly affected by the diameter of steel ball and the viscosity of silicon oil, and that the sound characteristic is significantly improved by packing the pipe with steel balls and silicon oil. It is also shown that the damping capacity becomes the maximum at a certain value of the parameter, $\mu/d^2 P$, where μ is the liquid viscosity, d is the ball diameter, and P is the ball density.

研究分野：機械工作、機械力学

キーワード：振動 減衰 粒子 液体 工作機械

1. 研究開始当初の背景

固体の衝突を利用したダンパは構造が簡単であり、比較的高い減衰能が得られることが知られている。しかし、高減衰能を得るためにすきまなどの細かな調整が必要であることや、高剛性と高減衰を目的として充填率を高めるとダンパ質量が増大するなど、未だ完全な解決策が見いだされていないように思われる。また、構造物に粒子や粉粒体を充填するタイプのダンパでは、充填する粒子の粒径、材質、充填率および構造材の材質、寸法形状など減衰能に及ぼすパラメータが非常に多く、減衰能発生機構も含め十分な検討がなされているとは言い難い。

本振動減衰法は、過渡的な振動が発生する工作機械・生産機械（鍛造機械や高速なプレス機械など）の中でフレーム構造や箱型構造に適用することによって、振動および騒音の減衰能向上が期待できる。しかし、粒子のみの充填では、高減衰能を得るためには重い質量の粒子が必要になることや構造物と粒子、粒子同士の衝突を利用するために騒音が発生するなどの問題が考えられた。

2. 研究の目的

さらなる減衰能の向上および騒音の低減を目的として、ステンレス鋼製の角パイプに粒子および液体を充填した構造物をインパルス加振した場合の減衰特性について実験的に検討した。実験は、粒子量、粒径および液体粘度を種々変化させて行い、振動と騒音の同時測定を行った。また、粒子および液体充填構造物の減衰能発生について考察を加えた。

3. 研究の方法

図1に実験装置の概略図を示す。長さ500mm、一辺25mm、肉厚1.5mmの正方形断面のステンレス鋼製の中空角パイプを構造物として用いた。充填構造物は中空角パイプの中に粒子を充填し、そこに液体を入れてふたをしたものである。充填構造物の端から10mmの位置に加速度センサを取り付け、これを二本のステンレスワイヤによって基準振動一次モードの節の位置で吊るし、インパルスハンマによって構造物の中央部を打撃加振した。FFTアナライザにより減衰波形および周波数応答波形を得るとともに、同時にマイクロフォン、騒音計により最大騒音レベルおよび音圧を測定した。マイクロフォンの位置は加速度センサが取り付けられている側とは反対側の端から10mm、角パイプ上面から高さ150mmの位置に設置した。

本研究で用いた充填構造物は、図2に示したように1辺25mm、厚さ1.5mm（空洞部一辺22mm）、長さ500mmのステンレス鋼（SUS304）製の角パイプの中に粒径5、10、15、20mmのいずれかの鋼球を入れ、そこに25における動粘度が50、100、300、500、1000cStのいずれかのシリコンオイルをすきまなしに充填したものである。なお、構造物の端

面には、厚さ5mmの亚克力樹脂板を用い、接着剤およびシールテープにより密閉した。

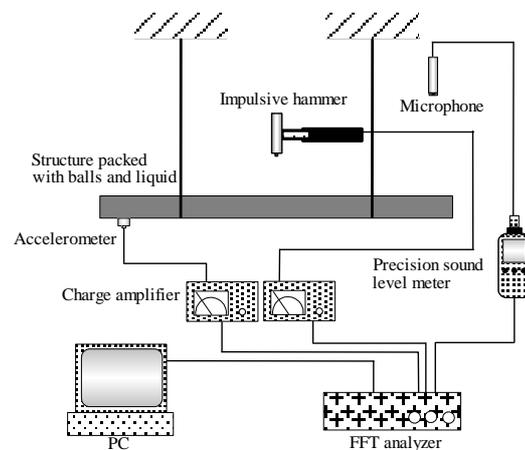


図1 実験装置の概略図

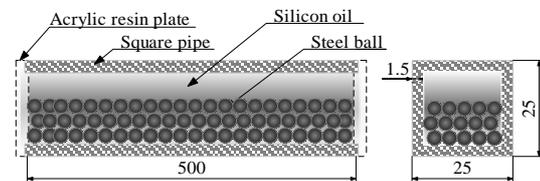


図2 粒子および液体充填構造物

4. 研究成果

図3は、振動の波形面積減衰率 $(_{0.1})_v$ に及ぼす粒径の影響を示したものである。振動の波形面積減衰率 $(_{0.1})_v$ は、粒子のみを充填した構造物では、粒径が5mmの粒子を充填したときが最大になるが、その最大値は粒子と液体を充填した場合に比べ小さい。粒子および液体を充填した場合では、液体動粘度が50cStでは粒径が5mm、動粘度が100cStおよび300cStでは粒径が10mm、動粘度が500cStでは粒径が15mm、動粘度が1000cStでは粒径が20mmの場合に振動の波形面積減衰率 $(_{0.1})_v$ がそれぞれ最大となっている。したがって、粘度の大きい液体と大径粒子、粘度の小さい液体と小径粒子との充填の組み合わせでそれぞれ効果的な減衰能向上が得られた。また、図4に示す騒音の波形面積減衰率 $(_{0.1})_s$ においては、粒径が5mmでは液体粘度による大きな差はみられないが、粒径が10mm以上では液体粘度が大きいほど大きく、減衰能を向上させる結果となった。いずれにしても、粒子のみの場合では、構造物と粒子、粒子同士の衝突の影響により、波形面積減衰率 $(_{0.1})_s$ は非常に小さいが、粒子に加えて液体を充填することにより波形面積減衰率 $(_{0.1})_s$ を向上させることができた。

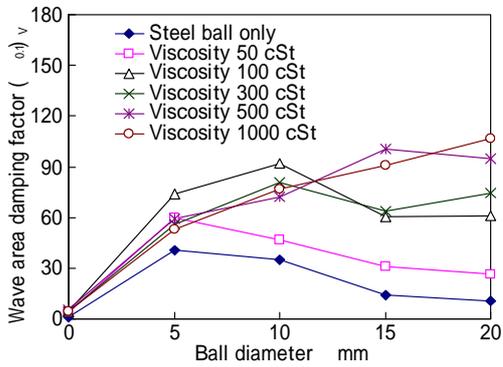


図3 波形面積減衰率に及ぼす粒径の影響 (振動)

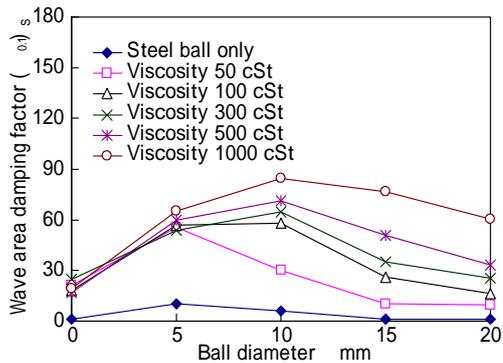


図4 波形面積減衰率に及ぼす粒径の影響 (騒音)

粒子に加えて液体を充填することで効果的に減衰能を高められることを示した。粒子および液体充填構造物の減衰能に及ぼす粒径の影響を調べた結果、各液体粘度において効果的な減衰能を得るための最適な粒径との組み合わせがあることが明らかとなった。粒子充填構造物の充填粒子挙動の測定結果から、構造物の端に近い特定の位置ではあるが、充填粒子は充填率50% (粒子の上方に数ミリ程度のすきまがある状態) では加振直後に一度だけ上方に浮上することがわかっている。このように粒子充填構造物では構造物の振動エネルギーが粒子に伝達され、粒子の運動エネルギーとなることが構造物の減衰能向上の一要因として考えられている。粒子充填構造物の場合には粒子の周囲は空気であるが、本研究では粒子の周囲は粘度の高い液体であり、構造物の振動エネルギーが粒子に伝達されて動き出そうとする粒子に作用する抗力が液体粘度や粒径により異なることが考えられる。以上の理由により、粒子に作用する抗力が高い減衰能発生の主因であることが考えられる。そこで、粒子に作用する抗力について、簡単な計算式を検討するとともに、それが減衰能に及ぼす影響について考察を加えた。

粒子および液体の密度を ρ_p , ρ_l , 粒子の体積を V_p , 粒子の速度を v , 他の粒子やパイプ内壁面から作用する力の鉛直方向成分を f , 抗力を D とすると、粒子の鉛直上向き方向の

運動方程式は式(1)のように表される。

$$\rho_p V_p \frac{dv}{dt} = f - \rho_p V_p g + \rho V_p g - D \quad (1)$$

粒子1個の質量を $m = \rho_p V_p$ とすると上式は式(2)のように書き換えられる。

$$\frac{1}{g} \frac{dv}{dt} = \frac{f}{mg} - 1 + \frac{\rho}{\rho_p} - \frac{D}{mg} \quad (2)$$

1個の粒子が液体中を速度 v で運動した場合に、粒子に働く抗力 D は式(3)~(5)により表される。

$$D = C_R 3\pi\mu d v \quad (3)$$

$$C_R = 1 + 0.15 Re_e^{0.687} \quad (Re < 1000) \quad (4)$$

$$Re_e = \rho v d / \mu \quad (5)$$

ここで、 μ は液体の粘性係数、 d は粒径、 Re はレイノルズ数である。本実験で使用した物体の形状が球であることと、レイノルズ数の範囲より、抗力係数の算出は Schiller and Nauman により求められた式(4)を用いた。式(2)に式(3)を代入して整理すると以下の式を得る。

$$\frac{dv}{dt} + C_R \frac{18}{\rho_p} \frac{\mu}{d^2} v = \frac{f}{m} - \left(1 - \frac{\rho}{\rho_p}\right) g \quad (6)$$

式(6)が示すように、粒子の運動はパラメータ $\mu/d^2 \rho$ により強く影響されると考えられる。

$\mu/d^2 \rho$ と図3に示した実験で求めた波形面積減衰率 $(0.1)v$ の関係を整理したものを図5に示す。どの粒径においても、波形面積減衰率 $(0.1)v$ の最大値が $\mu/d^2 \rho = 2.5 \text{ s}^{-1}$ 付近に集まっている。 $\mu/d^2 \rho$ が 2.5 s^{-1} 程度となるのは、粘度の大きい液体と大径粒子、粘度の小さい液体と小径粒子とを組み合わせで充填した場合である。 $\mu/d^2 \rho = 2.5 \text{ s}^{-1}$ 付近では、液体によって粒子の運動が大きく制限されることなく、かつ液体の抗力により粒子の運動エネルギーが効率的に消散されたものと考えられる。

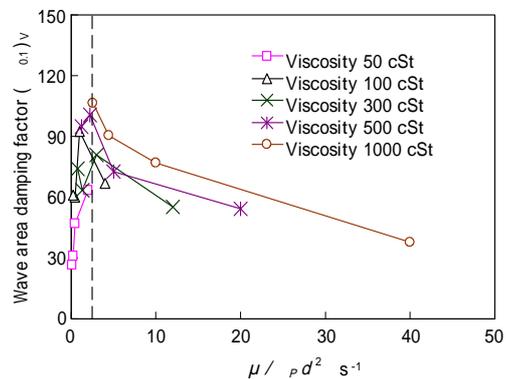


図5 $\mu/d^2 \rho$ と $(0.1)v$ の関係

したがって、粒子および液体を充填した場合の減衰能発生機構については、 $\mu/d^2 \rho = 2.5 \text{ s}^{-1}$ 付近では、粒子に働く抗力により粒子と構造物との運動量交換および粒子の運動エネルギーの消散が効果的に行われたために波形面積減衰率 $(\sigma_{0.1})_v$ が大きく向上したと考えられる。一方、 $\mu/d^2 \rho$ が 2.5 s^{-1} より小さい範囲は、小さい粘度の液体と大径粒子を充填した組み合わせである。これは、構造物と粒子の運動量交換が行われ粒子が浮上した後、液体粘度が小さいために粒子の運動エネルギーを消散しきれず再び構造物へ衝突するので波形面積減衰率 $(\sigma_{0.1})_v$ が小さくなったと考えられる。また、 $\mu/d^2 \rho$ が 2.5 s^{-1} より大きい範囲は、大きい粘度と小径粒子の組み合わせである。これは、構造物と粒子の運動量交換がされにくく、粒子に作用する抗力が大きいために、粒子が液体中に浮上できず、構造物と粒子が一体化した状態に近いために波形面積減衰率 $(\sigma_{0.1})_v$ が小さくなると考えられる。

(2)研究分担者 なし
()

研究者番号:

(3)連携研究者 なし
()

研究者番号:

(4)研究協力者 なし
()

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

若澤靖記, 林伸和, 土井康平, 柳田秀記:
粒子および液体充填構造物の振動減衰特性(液体粘度および粒径の影響), 精密工学会誌第 82 巻第 4 号, pp.378-383, (2016.4)

〔学会発表〕(計 2件)

高橋悠瑚, 田代広晃, 若澤靖記, 柳田秀記, : 粒子と液体を充填した構造物の減衰特性に関する研究, 日本設計工学会東海支部平成 28 年度研究発表講演会講演論文集, pp.36-37, (2017.3)

若澤靖記, 竹内祐人, 石村健太, 高橋悠瑚, 柳田秀記, : 粒子および液体充填構造物の減衰特性(粒子挙動と質量比の影響), 日本設計工学会東海支部平成 27 年度研究発表講演会講演論文集, pp.23-24, (2016.3)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

若澤 靖記 (WAKASAWA Yasunori)
豊田工業高等専門学校・機械工学科・教授
研究者番号: 50300588