

令和元年6月15日現在

機関番号：57103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05882

研究課題名(和文) 近似解析法を用いた粒状体ダンパの制振予測の検証と垂直振動用カプセル型ダンパの開発

研究課題名(英文) Validation of Damping Performance of Granular Damper with Elementary Analytical Model and Design of Capsule-type Dampers for Vertical Vibration

研究代表者

井上 昌信 (Inoue, Masanobu)

北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・教授

研究者番号：70253549

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)：1自由度垂直振動系に対し、粒状体ダンパの制振効果について検討した。従来、この種のダンパは装置内部の空洞を利用して粒状体を封入していたが、空洞部を有しない制振対象物も多いため、今回は別途製作したカプセルに粒状体を封入し、それを装置外部に貼付する方法を試みた。その結果、内部封入時の先行研究と同じ振動数域では、直径2mmの鉄球を用い、カプセル内に適度な空隙部を確保すれば、内部封入した場合と同様の効果が表れ、また封入した粒子群の反発係数を零の単体とみなす近似解析法による制振予測法の妥当性も確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機械装置類は本来、振動も考慮し設計されているが、運転状況や使用環境変化、機器本体の経年劣化等により、予想外の振動が発生することがある。その対応のための制振機器も様々存在するが、中でも本研究対象の粒状体ダンパは、構造が簡単なパッシブダンパの一種であり、メンテナンスフリーの特徴を有する上、振動数域の変化にも対応できる優位性がある。この特徴をさらに容易に生かすため、従来の装置内部の空洞部に封入するのではなく、本研究では粒状体をカプセル化し装置外部に装着する方法、すなわち現場レベルでも容易に使用できるものを提案することを目的とし、その制振効果の妥当性を検証した。

研究成果の概要(英文)：The present research relates to a granular damper which is associated with controlling of the single degree-of-freedom system for vertical vibrations. The damper component of a granular damper comprises cavities within a structure or holes drilled inside that suffer from setup difficulties for the vibrating structures. Preferably changing damping configurations can be simplified by the use of removable multiple capsules with an appropriate internal cavity and deep. Experimental testing with steel ball of 2mm diameter partially or wholly filled shows that if a given single-unit particle damper is replaced by two or more units of equivalent total mass in capsules operating in parallel; the new capsule system retains much the same effectiveness in regard to vibration amplitude reduction. Numerical simulations studies based on equivalent single granules were also validated by experimental results.

研究分野：ダンピング

キーワード：機械振動 ダンピング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

「粒状体ダンパ」は、他の制振要素と比べ、形状/構造が簡単、対応温度域が広い、外部エネルギー供給不要、メンテナンスフリー、低コストなど数々の利点を有したパッシブ型の振動減衰要素の一つであるが、パラメータも多く複雑などの特徴もあり、定性的にも定量的にも十分に解明されておらず、国内では佐伯らを中心に、個々の粒子に運動方程式を与えて解く手法である個別要素法 (DEM) による制振予測法が近年の主流となっていた。一方で我々の近似解析法では、粒子群を反発係数が零の単体とみなす大胆な近似ではあるが、その仮定に見合う封入状態であれば、DEM による解析と遜色がない結果が得られていた。

2. 研究の目的

粒状体ダンパ自体は昔からダンパの一つとして紹介されているものの、実利用面では部品化もされておらず、制振性能の予測も困難であった。さらに、基本的には制振対象の機器内部に有する空洞部を利用しているものが大半であった。そのような中、水力発電機器向けの制振の研究報告において、現場で入手容易な砂礫をビニール袋に入れて使うという簡易手法が検討されていた。そこで、予め小さなユニット形状の封入容器を製作し、振動レベルや制振対象の質量に応じて、2個3個と連結して使えるようなものにすれば、設計段階より粒状体ダンパの導入が計画されたもの以外でも、粒状体ダンパが防振対策部品として広く、容易に用いることができるようになるのではないかと考え、カプセル内の粒子封入状態、すなわち封入粒子径や封入した粒子群の上面と容器内部との隙間などの影響等を調べ、制振性能の妥当性の検証を目的とする。

3. 研究の方法

粒状体ダンパを装着する制振対象物体は、図1に示すような垂直1自由度振動系の構造となっており、図では省略しているが上下各2枚、計4枚の板ばねと、加振機との接続部にコイルバネにより供試体は支持されている。振動体部分の質量は、等価質量同定法により約0.8[kg]と推定できた。また粒状体を封入するカプセルは、ABS素材を用い3Dプリンタで出力した。当初のカプセルの大きさは、外寸で高さ50[mm]、直径21[mm]、有効内寸で高さ47[mm]、直径20[mm]とした。なお、この場合のカプセル1個当たりの質量は約3[g]であった。これを振動体に2個または4個装着して実験を行った。また加振方法については、掃引時間400[s]、掃引周波数範囲を22~30[Hz]の一定振幅(0.25, 0.5, 0.9[mm])の加振とした。

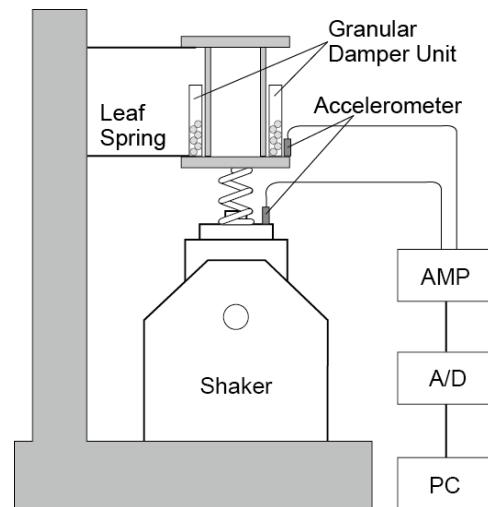


Fig.1 Schematic of the experimental apparatus

4. 研究成果

(1) 先行研究を基に、動吸振器等の設計指針と

同様の質量比10%の粒子封入量($\phi=2$)で実験を行った。その結果、図2, 3に示す通り、2分割, 4分割のいずれの場合も、粒状体ダンパの効果が確認され(赤印), さらに反発係数が0の単体としての近似解法(黒印)でも概ね表現することができた。この時のカプセル内の層数は10層程度あり、ばらつくことなく一体運動がなされた結果であると考えられる。

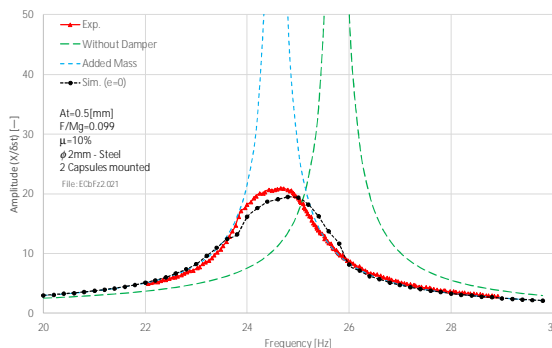


Fig.2 Frequency response
($\mu = 10\%$, $F/Mg = 0.099$,
2 Capsules mounted)

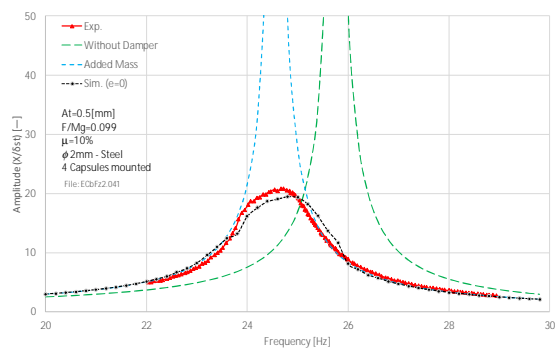


Fig.3 Frequency response
($\mu = 10\%$, $F/Mg = 0.099$,
4 Capsules mounted)

(2) 続いて、カプセル上部隙間の差異による制振効果への影響について検証した。具体的には、加振振幅0.5mm、質量比 $\mu=5\%$ 、封入粒子径 $\phi=2$ mmの同一条件下において、3種類のカプセルを用いることで、カプセル上部の隙間量の影響を調べた。図4に示す高さ15mmの#1カプセルに封

入すると、1個当たり質量比で2.5%分の粒状体が封入でき(これを2個装着することで $\mu=5\%$ としている)、その時、容器に対して粒子は「すりきり一杯」の状態です。容器上部には隙間はほぼ確認できなかった。この実験条件での応答曲線は、概ね付加質量を考慮した共振曲線に沿っていることが確認できた。すなわち、カプセル内に封入した粒状体が、容器内に隙間がないためにほとんど動けず、質量比5%分の錘を固定付加したのと同様の挙動となっていると考えられる。

次に、同量の粒状体を高さ20mmの#2カプセル2個に均等量封入した。この場合の粒状体上面の隙間は、図4に示すとおり、 $\phi 2$ の封入粒子換算で約2層程度の隙間となった。この条件下での応答曲線を図5に示す。さらに高さ30mmの#3カプセル2個に詰め替えると、上部の隙間は約7層程度であり、前者同様の傾向を示し、両者とも共振点付近での(測定振幅を静たわみで除した)無次元振幅が有限の値であることから、発散せず制振効果が確認できた。

(3)次に、加振力が増した場合の応答を確認した。図5の共振曲線が得られた条件を基に、加振振幅のみ0.9mmに変更した。言い換えれば、加振レベル $F/Mg=0.178$ に増加させた場合の応答を確認した。その結果を図6に示す。封入した粒状体は質量比 $\mu=5\%$ だが、この加振レベルにも対応できていることがわかる。但し、図5と比較すると図5の時の方が青い破線上に沿っている区間が長い、すなわち粒状体が飛び跳ねることなく振動体に乗っている区間が長いことが確認できる。逆に図6の場合は、加振レベルが大きくなったため、共振点と中心とした前後の振動数区間で粒子が跳躍しているため付加質量とはならず、元の共振曲線に近づいたと考えられる。そこで、ここで用いた#2カプセルを2個追加し、合計4個(質量比 $\mu=10\%$)取り付けられた状態で挙動を確認した。これを図7に示す。

図7の応答曲線の特徴は、封入粒子量を増やしたことにより、図6とは異なり付加質量分を考慮した共振曲線に沿う形となり、無次元振幅のピーク値も35%程度減少している。このことよりカプセル数の増減により容易に制振効果が見込まれ、当初のコンセプトを満たす結果となった。

比較のため、図7の際に用いた#2カプセルから、7層程度の隙間が確保される#3カプセルに変更して、同じく応答を確認したところ、#2カプセル利用時と大差はなかった。これは、加振レベルに対して、結果的に適切な封入量となったことにより、粒状体が散乱するような大きな跳躍をせず、カプセル内で一体運動したと考えられる。逆に#3カプセルで質量比 $\mu=5\%$ 、加振振幅0.9mmとした場合は、加振レベルに対して粒状体の量が少なく、加えて自由に跳躍する空間があることから、粒状体が一体運動することなくカプセル内で激しく散乱し、振幅測定域のレンジオーバーを起こすなど、これまでの結果に比して制振効果の悪化が認められた。

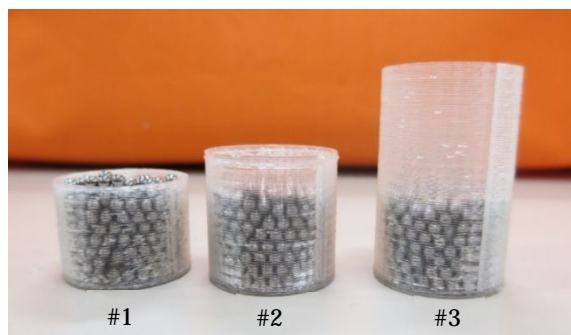


Fig.4 Capsule type granular dampers

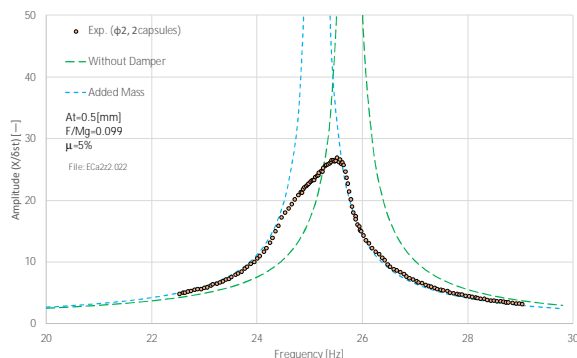


Fig.5 Frequency response in capsule #2
($A_t = 0.5\text{mm}$, $\mu = 5\%$ (2 Capsules),
 $F/Mg = 0.099$)

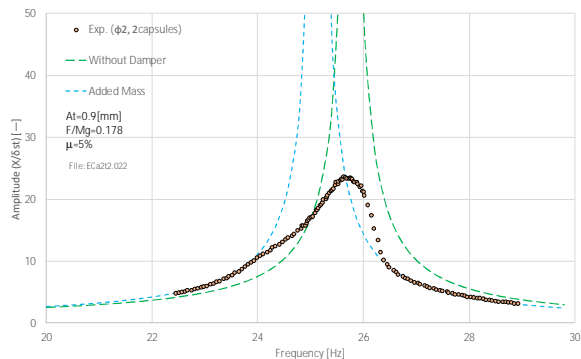


Fig.6 Frequency response in capsule #2
($A_t = 0.9\text{mm}$, $\mu = 5\%$ (2 Capsules),
 $F/Mg = 0.178$)

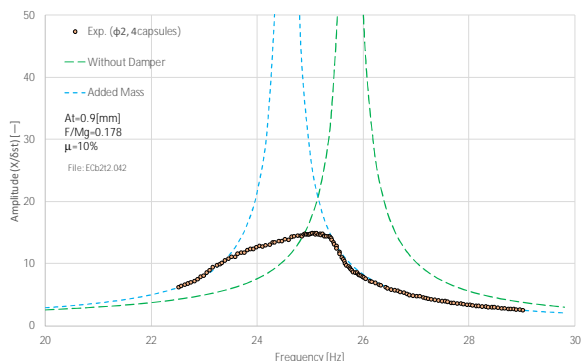


Fig.7 Frequency response in capsule #2
($A_t = 0.9\text{mm}$, $\mu = 10\%$ (4 Capsules),
 $F/Mg = 0.178$)

(4)本研究により、粒状体を封入するカプセル上部にφ2の封入粒子換算で約2層程度の隙間があれば、共振点付近で粒状体が運動でき、その結果制振効果が認められた。さらに約7層程度の隙間が確保できるカプセルについては、加振レベルの小さい加振振幅0.5mmの場合には、粒子層は崩れず一体運動するので2層程度の隙間のものと比べ大差はなかったものの、加振レベルを上げ加振振幅0.9mmにした場合には、本制振対象の系の質量に対し、質量比 $\mu=10\%$ あれば対応できるが、 $\mu=5\%$ ではエネルギー消費の不足から粒状体が飛び散り、加えて隙間が広いことから粒状体一個一個の飛翔距離が延び、衝突回数減などから結果として制振効果の減少、あるいは認められないことが分かった。

これらのことより、加振レベル(加振振幅)と粒状体封入量、封入カプセルの上部隙間、言い換えれば充填量に密接な関係があることが示された。今回は先行研究との比較を通じて有効性の有無を検討してきたため、加振振動数域や振幅など限られた範囲での設定であったが、今後実験条件を、高い固有振動数の系や大振幅の振動系などに拡張し検証する必要があり、それらの環境下での特性を明らかにすることで、このカプセル型粒状体ダンパの汎用性および実用性が見込まれるものとする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

井上昌信, 小澤響真, 矢野誉, 横道勲, 平木講儒, カプセル型粒状体ダンパの粒子充填率, 日本機械学会九州支部第72期総会講演会, 2019.3

井上昌信, 横道勲, 平木講儒, 垂直1自由度振動系におけるカプセル型粒状体ダンパの制振効果, 日本機械学会2018年度年次大会, 2018.9

井上昌信, 渋谷大輝, 森元颯也, 横道勲, 平木講儒, カプセル型粒状体ダンパの制振効果, 日本機械学会九州支部第71期総会講演会, 2018.3

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 平木 講儒

ローマ字氏名: HIRAKI, Koju

所属研究機関名: 九州工業大学

部局名: 大学院工学研究院

職名: 教授

研究者番号(8桁): 40249933

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 横道 勲

ローマ字氏名: YOKOMICHI, Isao

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。