K4-48

ワイヤで垂下された錘を復元力とする動吸振器の制振実験

Vibration Control Experiment of Tuned Mass Damper using Wired Weight to Obtain Restring Force

○多田優佑[1]，渡辺亨[2]，
Yusuke Tada [1], Toru Watanabe [2]

This paper investigates vibration suppression effect of novel Tuned Mass Damper, namely Wired Tuned Mass Damper (WTMD). WTMD is a tuned mass damper made of an auxiliary mass connected with two small masses with wires. The weights of small weights give the main auxiliary mass restoring force, while the wires allow the main mass to move over longer stroke than ordinary springs allow. In this study, characteristics of restoring force depending on parameters are shown, while new experimental structure and WTMD is designed and developed.

1. 緒　　言

動吸振器は，補助質量とばね，ダンパの組み合わせにより，機械の共振の抑制に用いられる受動形制振器である．動吸振器の特徴は，他の受動形制振器に比較して小型軽量で優れた制振効果を発揮できる(1)(2)．しかし，性能向上には復元バネの限界によるストロークの機械的な制約が問題となる．(1)～(3)

そこで，ワイヤで垂下された錘の重力を復元力に用いるワイヤ動吸振器(WTMD)が提案されている．この動吸振器は，復元力をワイヤの引張り力およびおもりによる重力により得ることで，機械的な限界によるストロークの制限を無くすことで制振効果を得ることができる．その有効性は先行研究で示されているが，復元力特性の解析などは未着手であった．

本研究では，ワイヤ動吸振器の復元力特性の確認と，実験装置の動作確認及び制振性能の確認を行った．その概要を示す．

2. ワイヤ動吸振器の概念

提案しているワイヤ動吸振器の概念図を図１に示す．

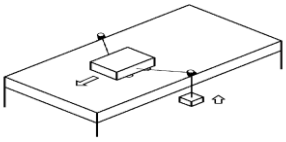

Fig.1 Conceptual diagram of wired tuned mass damper

装置は主振動系となる装置の上に移動可能な質量をのせ，懸垂重りをつけたワイヤを両端に取り付け，懸垂重りの質量とワイヤの弾性を用いて復元力としている．

動吸振器の性能は，動吸振器に加速度を加えるか，ストロークをどれだけ取るかが大きく制振効果に影響を及ぼす．

そこで，動吸振器のストロークの大きさに応じ，復元力を多段変化することにより機械的限界を軽減している．

動吸振器のストロークが小さいとき，ワイヤの剛性のみが復元力に寄与する（Stage１），ストロークがある値を越すと，懸垂重りが持ち上がり，復元力は一定のままストロークのみ変化していく（Stage２）．さらにストロークが大きくなり懸垂重りが止まった状態になると，再びワイヤの剛性が作用する（Stage３）．このような動作により，ワイヤの長さと懸垂おもりの質量を調整することで，ストロークを長くとると共に復元力特性を相当自由に設定することが可能となる．非線形復元力特性の概念を図２に示す．

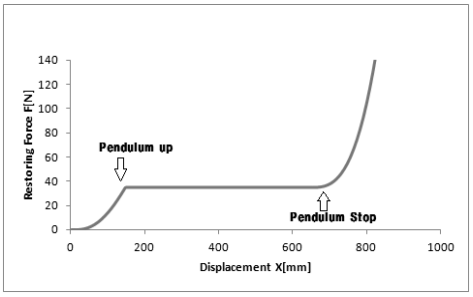

Fig.2 Concept of designed restoring force

3. ワイヤ動吸振器の振動理論

図３のようにワイヤによって把持される質量の運動は以下の様になる．

$$m\ddot{y} = -f \Rightarrow m\ddot{y} + 2Ea\left[\frac{1}{l_0} - \frac{1}{\sqrt{l^2+y^2}}\right]y = 0 \qquad (1)$$

$2Ea\left[\frac{1}{l_0} - \frac{1}{\sqrt{l^2+y^2}}\right]y$ を k とおき，動吸振器の復元力として用いている．E, l を変化させたときの復元力特性を図４，図５に示す．パラメータの調整により復元力特性が操作可能であることが示されている．

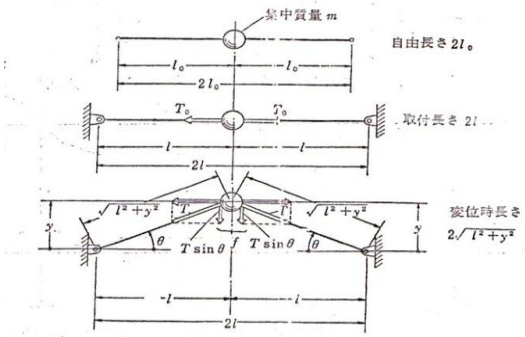

Fig.3 Restoring force of wire spring

１：日大理工・学部・機械　２：日大理工・教員・機械

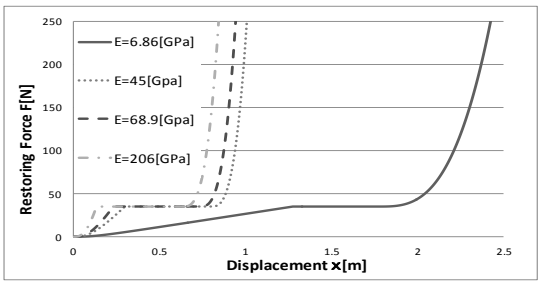

Fig.4 Restoring Force (modulus of longitudinal elasticity)

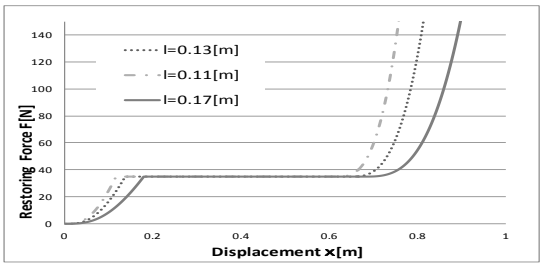

Fig.5 Restring Force (length)

4. 実験装置

実験装置を図 6 に，パラメータを表 1 に示す.

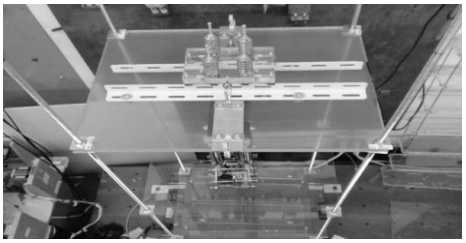

Fig.6 Experiment equipment

	Main vibration system parameter
Total mass [kg]	6.861
Damping ratio[10^(-2)]	3.13
Natural frequency [Hz]	1.9
Mass ratio [-]	0.2

Table.1　Main vibration system parameter

実際に作成した装置を以下に示す．制御対象となる構造物（アクリル板）の質量は 6.861kg，固有振動数は 1.9Hz である．装置の特徴として

①．実験可能な振幅を得るために柱をねじ切りされているものにし，状況に応じ固有振動数と主振動系の振幅を変化させることができる.

②．懸垂重りの振動をガイドレールにより横揺れを防ぎ，懸垂重りの変位を調整することができる.

③．動吸振器の不規則な動き（回転・蛇行）を防ぐ.

④．ワイヤにかかる摩擦の軽減.

⑤．フックとワイヤの固定点の長さを変更可能にする.

一方，動吸振器の付加質量 1.3722kg，質量比は 0.2，懸垂用ワイヤには釣り糸 (テグス) , ステンレス製ワイヤを用いる.

5. 実験による検証

実験装置を一定振幅の正弦波振動で加振し，主振動系の入出力振幅をレーザー変位センサにより測定する.

測定した入出力振幅より入出力比を求めることで振幅比を得る．縦軸を振幅比（Gain），横軸を周波数ととる.

今実験では，ヤング率 E を極端に変更した場合での制振効果も検証するため，懸垂重りに繋ぐワイヤはヤング率 6.86[GPa]の釣り糸（テグス）とヤング率 206[GPa]のステンレス製ワイヤを用いて実験を行い，その結果を図 7 に示す.

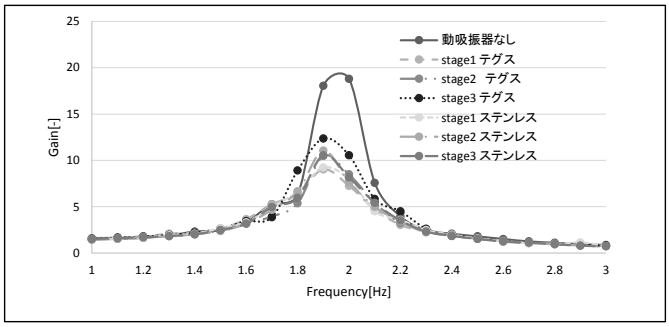

Fig.7 Vibration suppression effect of wired mass damper on experiment

Stage1、Stage2、Stage3 いずれの場合でも制振効果が劣らないことを確認した. また、ヤング率が極端に変化しても同様の制振効果が得られた.

6. 結　　言

復元力特性によって三段階に分類し、実験的に検証を行った. その結果、ワイヤと錘を復元力とした動吸振器は Stage1、Stage2、Stage3 いずれの場合でも制振効果が劣らないことを確認した. このことから、ストロークを長く取ることによる制振性能が劣らないことを実証した.

以上の結果をふまえ，今年度は，コンピュータ上に上記の装置と同等なシミュレーションモデルを構築し，これを用いてワイヤ動吸振器の設計法，すなわち要求される制振性能を実現するパラメータの設定方法について，パラメータを変えながら数値計算を行ない，理論的に検討する予定である.

7. 参考文献

(1) Frahm , H .,U.SPatent,No.989,958 (1911),3576.
(2) Den hartog , J .P. ,Mechanical Vibration(1934)
(3) 背戸一登　，動吸振器とその応用，コロナ社，　(2010)
(4) 田島清灝，振動の工学，産業図書，　p385,(1970)