

[様式第4号の1]

令和5年 3月 15日

令和4年度 学生自主研究成果報告書

教 育 本 部 長 様

学生自主研究グループ名	風による索道施設の振動調査	
研究課題名	風による索道施設の振動調査	
研究代表者 (学生)	学籍番号	B24M016
	氏 名	小倉 志道
指導教員	学 科	機械工学科
	氏 名	富岡 隆弘

学生自主研究の報告書を別紙のとおり提出します。

風による索道施設の振動調査

システム科学技術学部 機械工学科

1年 小倉 志道

1年 立川 貴彬

1年 横山 光太

指導教員 システム科学技術学部 機械工学科

教授 富岡 隆弘

1-1. はじめに

索道は勾配に強く路線長を長くできるため、主に山間部でスキーリフトやゴンドラリフト、ロープウェイとして日本各地で活躍している。しかし、鋼索に懸垂された搬器は風を受けると振り子のように揺れ、減衰力がほとんど無いため大きな振幅になってしまう問題があるが、これを動吸振器を取り付けることで緩和する提案があり、一部で実用化されている。

動吸振器とは補助的な質量の慣性力を利用して振動を吸収、または制御する制振装置であり、自動車や鉄道車両など様々な機械に利用されている。動吸振器は一般的に補助質量・ばね・減衰の3つの要素が基本構成となっている。上述した索道の動吸振器は、ばね・質量要素の代わりに円弧状の走行路を金属球が往復走行することが特徴となっており、金属球が補助質量、走行路がばね要素に対応する。また、走行路と金属球の摩擦が減衰要素として作用すると考えられる。

本自主研究では、この動吸振器についての論文を用いて実際に索道搬器と動吸振器のモデルを設計し、3Dプリンタを用いて走行路を製作する。そして、その制振効果について様々な条件で実験を行い、解析や評価をした。

2. 実験

2-1 実験装置の設計

索道の制振技術は円弧状走行路を転がる質量を持つ動吸振器を搬器重心より上方に設置することにより制振するという理論が提案され、実用に至っている。

これを模型で再現し実験を行うために、索道搬器を振り子、風による横揺れを手で直接傾けて離すことによって生じる横揺れで、鋼索は鉄丸棒を用いてモデル化した。

以下の図1に実際の索道搬器(ゴンドラリフト)、図2に搬器と動吸振器の関係、図3に製作した実験装置を示す。また、それぞれの図に回転軸を黄色、腕を緑色、搬器の質量を赤色でマークした。



図1 実際の索道搬器

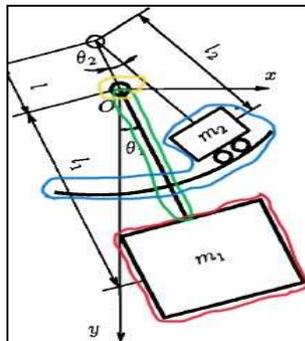


図2 搬器と動吸振器

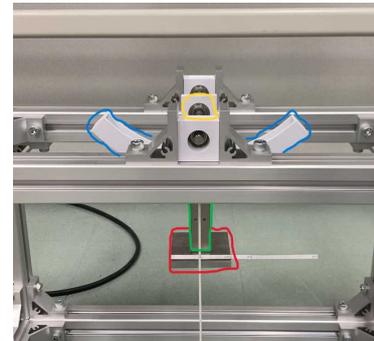


図3 実際の実験装置

2-2 実験方法

参考論文において式の線形化に必要な条件を満たす条件を事前に調査し、振り子の初期条件は12.5度に設定した。

実験は上記の初期条件で振り子を離して自由振動させ、振り子が完全に静止するまでの時間をストップウォッチを用いた5回計測と、振り子の最上部上面、重り上面と側面の計3カ所に取り付けた加速度センサによる振動測定を行った。

2-3 設定した条件

設定した条件は主に、「動吸振器の取り付け位置の条件」、「走行路に金属球が無い場合と質量の異なる2つの金属球がある場合」、「走行路の金属球との摩擦条件」とした。

2-4 評価方法

振動時間の平均値と、振り子最上部に設置した加速度センサから得た縦方向の加速度時系列波形より減衰比を求める2つの方法で動吸振器による制振効果の評価を試みた。

3. 実験結果

以下に動吸振器の位置による振動時間についての図を示す、また他の条件として金属球は鉄球を用いて、走行路は何も敷設されていない。

参考論文117ページより動吸振器の取り付け位置について主系の回転に関する運動方程式(1)の第4項が動吸振器にかかる重力によって生じるモーメント、第5項が動吸振器のばねによって生じるモーメントであり、重心に動吸振器を取り付けた場合に主系と動吸振器の固有振動数がほぼ一致し第4項と第5項が相殺する。これは同じ固有振動数をもつ2つの系が結合していることになり、主系と動吸振器は一体となって振動し減衰力は無くなる。

図6からは上記の通りの傾向がみられる。

$$m_1 l^2 \ddot{\theta}_1 + m_1 g l \theta_1 - c l \dot{u} + m_2 g u - k l u = P l_1 e^{i \omega t} \quad \dots(1)$$

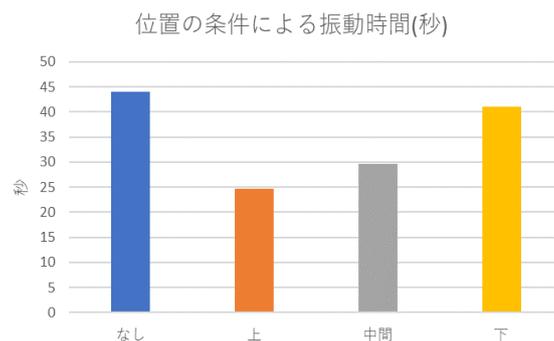


図4. 動吸振器の取り付け位置が振動時間に与える影響について

以下に動吸振器に用いる金属球(同寸法)の種類による振動時間についての図を示す、また他の条件として動吸振器取り付け位置は上で、走行路は何も敷設されていない。

図7より使用する金属球はアルミ球より質量の大きい鉄球の方がより制振効果が強く表れていることが得られる。

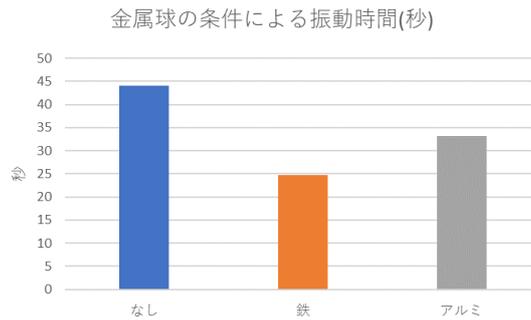


図5. 金属球の種類(質量)が振動時間に与える影響について

以下に動吸振器走行路と金属球の摩擦の違いによる振動時間についての図と実際に敷いた部材を示す, また他の条件として,動吸振器取り付け位置は上で, 金属球は鉄球を用いている.

図8からフェルトを敷設した場合の振動時間が短く, 特に端部にフェルトを二重に重ねた場合の振動時間が極端に短い, またやすりの粗さと振動時間の関係はほぼ無いということ, やすりを用いるより 3D プリンタで印刷したままの底面の方が振動時間が短くなっていることなどが得られる.

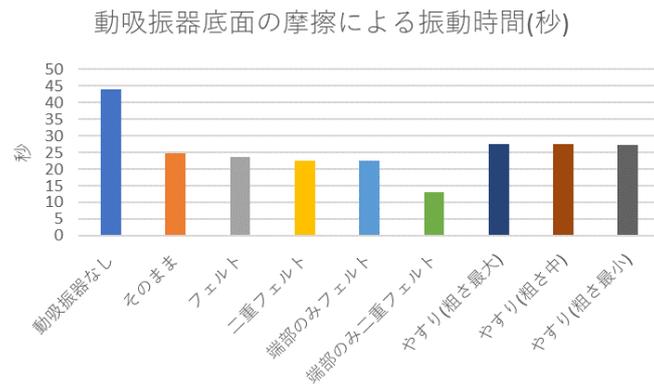


図6. 動吸振器底面の摩擦が振動時間に与える影響について

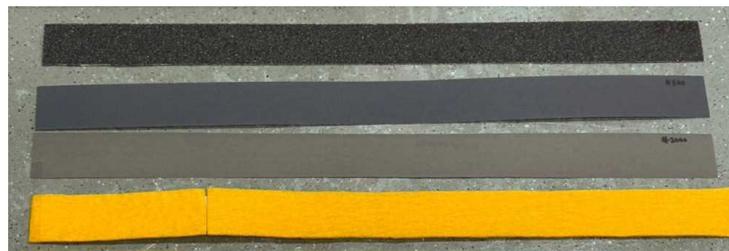


図7 動吸振器走行路に敷設した部材, 上からやすり(粗め, 中間, 細かめ), フェルトの順

以下に加速度計で計測した加速度時系列波形を示す, これは振り子最上部上面から得られた結果を用いている.

これらの加速度時系列波形から減衰比を求める予定であったが, 試行錯誤した結果, 動吸振器を機能させた場合に期待した波形が得られず減衰比での評価は今回はできなかったが, 制振が効いていることは分かる.

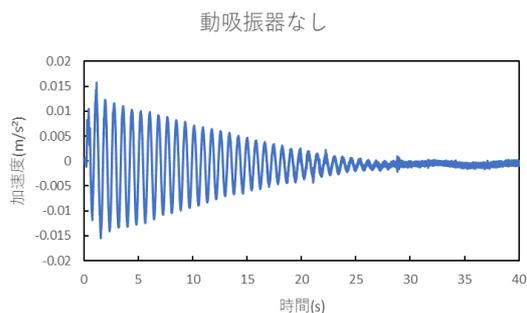


図7 動吸振器なし

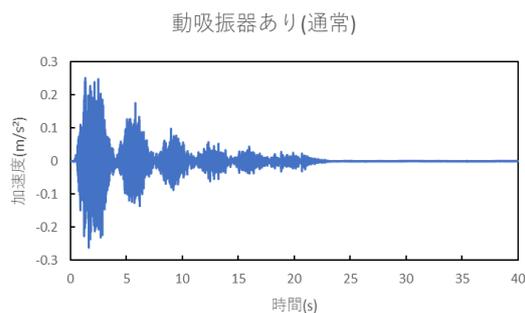


図8. 動吸振器あり

4. 考察および結論

今回得られたデータを元に考察する、まず動吸振器の位置による振動時間の違いについては、動吸振器が下にある場合は動吸振器内の鉄球の動きが振り子の動きと同調しており、中間では振り子と鉄球の動きは同調しておらず、最適位置では完全に振り子と逆向きの動きであった、鉄球が振り子の運動と逆向きになる位置で強い制振効果が生まれた。

次に金属球の重さついて、軽いアルミ球の方がより大きな振幅がみられ、往復運動の周期は鉄球より長かった、金属球と振り子の運動の収束が同時にみられたので、小さい振幅と短い周期の鉄球の方が振り子の収束も早く、より多くの制振効果を得られたと考えられる。

金属球と走行部の摩擦について、粒度の異なるヤスリを用いて対照実験を行ったが大きな違いは無かったのに対し、フェルトではそのままの動吸振器よりも強い制振効果がみられ、二重にしたフェルトではより大きな制振効果が表れた。これは球との接地面積が関係していると思われ、球が沈み込むフェルトでは設置面積由来の摩擦を得られ、強い制振効果が得られたと考えられる。摩擦最大を考慮し、テープで鉄球を固定した場合では鉄球が振り子と一体になり制振効果は無かった。二重のフェルトでは沈み込みが普通のフェルトより大きくなることで効果が出ている。今回最も制振効果を得られたのが端部のみ二重フェルトであるが、これはフェルトと走行部の段差に鉄球が衝突し、意図しない挙動によって制振しているので考慮しないこととする。

以上より振り子の動吸振器でより多くの制振効果を得るためには、最適な位置に動吸振器を設置し、適度に運動する質量の球を用いて走行部と球の摩擦も振り子と一体にならないような大きさにすれば良いということが分かった。

5. おわりに

本自主研究では索道と動吸振器のモデルを作成し、動吸振器を用いた制振についての実験、評価を行った、得られた加速度時系列波形から減衰比を求めての評価であるが、Excelで近似曲線を求めて積分を用いた時間と変位のグラフの作成などを試みたが、Excelの処理落ちにより失敗したが、振り子が静止するまでの時間での評価が順調に進んだことで無事に結果をまとめることができ満足している。本自主研究の延長を行うとすれば、走行部金属球のうなりの解明、風による動揺を何らかの方法を用いて正確に再現することや、今回はできなかった減衰比を用いた評価、鉄球より重い球を用いた実験、球の形に動吸振器の底面を設計し接地面積を揃えた上で摩擦に関する実験、動吸振器を2つつけた場合など様々なシチュエーションを試してみたいと思った。

6.参考文献

(1)松久・顧栄・王永・西原・佐藤, 索道搬器の動吸振器による制振,

日本機械学会論文集(C編), 59巻562号, (1993-6), pp.1717-1722