

# プロジェクト名：窓ガラスに発生する摩擦振動および騒音の抑制

プロジェクト代表者：森 博輝（理工学研究科・助教）

## 1 研究背景

板状の物体に摩擦による自励振動（摩擦振動）が生じると、騒音問題を引き起こすことが多い。身近な例として、雨天時に自動車のパワーウィンドウを閉じる際、窓ガラスが窓枠のゴムで擦られることにより生じる振動および騒音がある。本研究では、このような摩擦振動の低減を目的として、平板がゴムで擦られることにより生じる振動の特性を調べるとともに、動吸振器の効果について検討した。

## 2 実験

本研究で用いた実験装置の主要部分を図1に示す。片持ちはりで支持されたゴムボールがガラス板に押し付けられており、ガラス板を図の方向に移動させることでゴムボールがガラス板を擦り、自励振動が発生する。ガラス板とゴムボールの摺動位置は図2(a)に示されている。図2(c)に示すように、動吸振器は2枚の金属板、おもり、およびゴムブロックからなり、図2(a)のようにガラス板長辺の中央部分に設置されている。

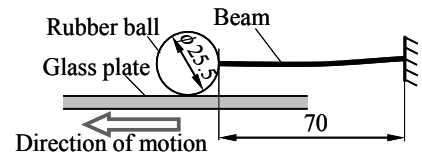
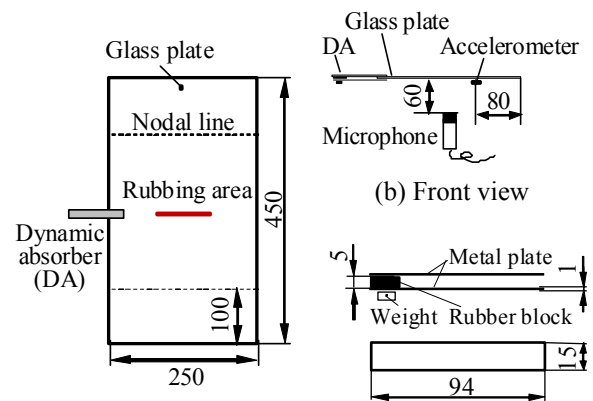


Fig.1 Outline of experimental apparatus

図3(a)は、動吸振器を設置していないガラス板の加速度と音圧の波形および周波数解析結果を示したものである。加速度と音圧の波形形状が似ていることから、騒音はガラス板の振動で発生していることがわかる。摩擦振動の振動数は134Hzであり、ガラス板の1次の固有振動数(133Hz)とほぼ一致する。結果の表示は省略するが、図1のはり部分の長さを変化させて実験を行った結果、はりが長くなると振動は発生しないことがわかった<sup>1)</sup>。



(a) Top view (b) Front view (c) Schematic of a DA  
Fig.2 Glass plate, sensors and dynamic absorber (DA)

次に、ガラス板の摩擦振動に対して、動吸振器を適用した。動吸振器を設置した実験におけるガラス板の振動波形および周波数解析結果を図4に示す。

図3と図4から、動吸振器によりガラス板の振動および騒音が大きく低減していることがわかる。

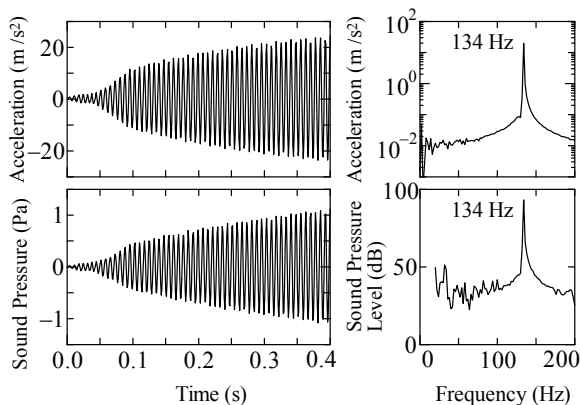


Fig.3 Vibration of a glass plate without a dynamic absorber

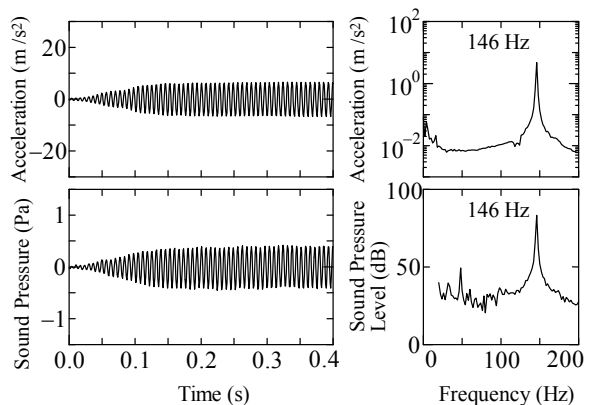


Fig.4 Vibration of a glass plate with a dynamic absorber

### 3 解析

解析モデルを図5に示す。ガラス板はモード質量 $m_0$ 、モード減衰 $c_0$ 、モード剛性 $k_0$ からなる1自由度系でモデル化する。摩擦部は片持ちはりの先端に質量 $m_1$  および半径 $a$ の球が取り付けられた系とする。

ゴムボールがガラス板と接しているときは図5(a)を、跳びはねているときは図5(b)のモデルを用いる。接触部における剛性および減衰を $k_c$ および $c_c$ とする。さらに、ガラス板と接触しているゴムボールはすべらないと仮定し、ガラス板の移動速度 $V$ は一定とする。

動吸振器は質量 $m_{DA}$ 、剛性 $k_{DA}$ および減衰 $c_{DA}$ からなる1自由度系とする。図中の $r$ はガラス板のモード形状によって決まる定数である。ゴムボール、ガラス板および動吸振器の並進変位に関する運動方程式は以下ようになる。

$$m_1 \ddot{y} + c_1 \dot{y} + (12EI/l^3)y - (6EI/l^2)\theta - F_n = 0 \quad (1)$$

$$m_0 \ddot{z}_0 + (c_0 + r^2 c_{DA}) \dot{z}_0 - r c_{DA} \dot{z}_{DA} + (k_0 + r^2 k_{DA}) z_0 - r k_{DA} z_{DA} + F_n = 0 \quad (2)$$

$$m_{DA} \ddot{z}_{DA} + c_{DA} (\dot{z}_{DA} - rz_0) + k_{DA} (z_{DA} - rz_0) = 0 \quad (3)$$

ゴムボールの回転角に関する運動方程式および垂直抗力 $F_n$ の式は接触状態に応じて切り換えが必要であり、ゴムボールがガラス板と接触している図5(a)の場合には、

$$\dot{\theta} = V/a \quad (4)$$

$$F_n = -c_c (\dot{y} - \dot{z}_0) - k_c (y - z_0) \quad (5)$$

となり、ゴムボールがガラス板から跳びはねている図5(b)の場合には

$$J \ddot{\theta} + c_2 \dot{\theta} - (6EI/l^2)y + (4EI/l)\theta = 0 \quad (6)$$

$$F_n = -k_c d_s \quad (7)$$

になる。ここに、 $J = (2/5)m_1 a^2$ であり、 $d_s$ は平衡状態におけるばね $k_c$ の変位を表す。

平板に質量および減衰が異なる動吸振器を取り付けたときの、平板の加速度波形の計算結果を図6に示す。計算においては、動吸振器の固有角振動数 $\omega_{DA}$ を平板の固有角振動数 $\omega_0 = 133 \times 2\pi$  rad/sに一致させた。図中の $m_{DA}$ および $\zeta_{DA}$ は、動吸振器の質量および減衰比の値を示している。図より、 $m_{DA} = 6g, 14g$ の場合ともに、 $\zeta_{DA} = 0.06$ の波形は $\zeta_{DA} = 0$ の波形に比べて振動が非常に小さい。これより、摩擦振動の低減に対して動吸振器の減衰が有効であることがわかる<sup>2)</sup>。

### 4 まとめ

平板がゴムで擦られるときに生じる摩擦振動の特性、および動吸振器の効果を実験と数値計算によって調べた結果、動吸振器の減衰が摩擦振動の低減に対して有効であることが示された。

### 5 文献

- 1) Hiroki Mori, Oleksandr Mikhyyeyev, Takuo Nagamine, Mizue Mori, Yuichi Sato, Effect of a Dynamic Absorber on Friction-Induced Vibration of a Rectangular Plate, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol 24, No.1, pp.93-96, 2010.
- 2) Oleksandr Mikhyyeyev, Hiroki Mori, Takuo Nagamine, Mizue Mori, Yuichi Sato, Suppression of Friction-Induced Vibration of a Glass Plate by a Dynamic Absorber, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 3, No. 3, pp.380-390, 2009.

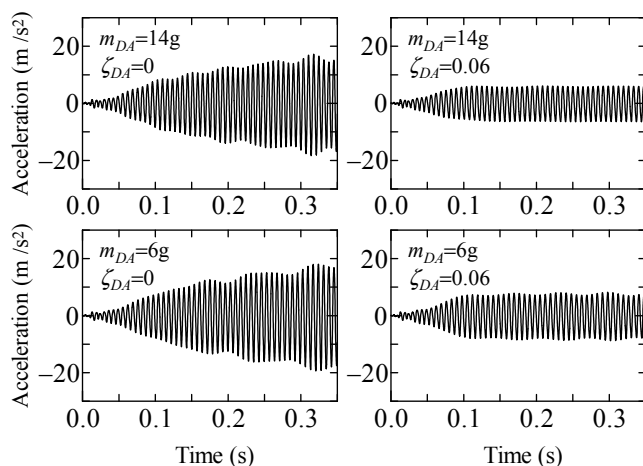
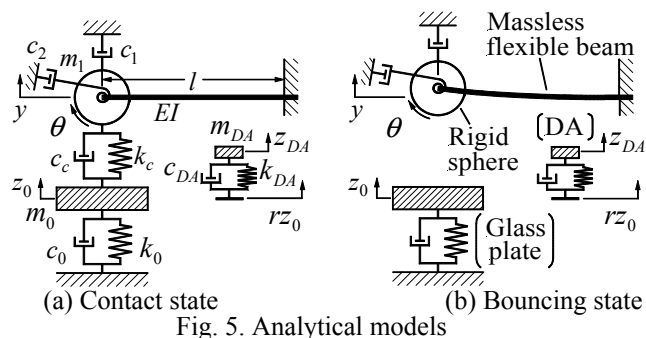


Fig.6 Calculated effect of mass and damping ratio of a DA