

114 動吸振器を利用したカメラ内部ミラーモデルの振動抑制

Vibration Reduction for the Internal Mirror of a SLR Camera by a Dynamic Absorber

○ 正 松本大樹 (室蘭工大) 正 齊当建一 (室蘭工大) 近藤健太 (フジキン)

Hiroki MATSUMOTO, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto-cho, Muroran-shi, Hokkaido

Ken-ichi SAITOH, Muroran Institute of Technology

Kenta KONDOH, Fujikin Incorporated

Key Words: Vibration reduction, Dynamic absorber, SLR Camera, Rebound

1 緒言

一眼レフカメラは、プロ用も含めて様々な用途で古くから利用されている。現状ではその多くがデジタル化されているが、基本的な機構は大きくは変わらない。すなわち、被写体からの光線はレンズを通った後、内部ミラーにより、ファインダーとオートフォーカス用の素子の2方向に分光され、オートフォーカスが行われるのと同時にファインダーでその様子を肉眼で確認することができるようになっている。次にシャッターボタンが押されると、内部ミラーは上方に跳ね上がって、被写体からの光線をフィルム、もしくは CCD へと通過させる。その瞬間、ファインダーは一度ブラックアウトし、感光 (CCD への記録) が終了すると、ミラーは再び元の位置に戻り、次のコマの撮影の準備に入る。この際にミラーは、ミラーの初期位置を決めるストッパーへと高速に衝突することとなり、その反動で跳ね返ることがある。この跳ね返りが抑制できない場合、被写体からの光線は正常にオートフォーカス素子へ導かれず、ピントを合わせることができなくなる。つまり、ミラーの跳ね返りが取まらないと次のコマの撮影ができないタイムラグが生じることになる。これまで高速な連続撮影の実現のために、振動を押さえる様々な工夫がなされてきたが、その機構は複雑で比較的高コストである。そこで、本研究ではミラーの跳ね返り振動を動吸振器を利用して抑制することを目的に、コンパクトかつ低コストな振動抑制手法を提案する。本報告では、動吸振器の最適な質量、ばね定数および減衰係数を検討した結果を報告する。

2 ミラーモデル

本研究では、動吸振器の効果を確かめるために、実際の内部ミラーとほぼ同じ大きさのアルミニウム製のモデルを制振対象とする。また、ミラーは実機ではばね力によって駆動されることになるが、ここでは水平位置より自由落下させてストッパーに衝突させる。その際の跳ね返り量が小さくなるような動吸振器を検討する。Fig.1 にミラーモデルの跳ね返り量の計測状況を示す。ミラーモデルは固定軸方向の幅 40mm、高さ 30mm、厚さ 1mm の長方形平板で、Fig.1 に示すように一端を直径 2mm の軸によって回転支持されている。水平位置よりミラーが 45deg の位置を原点とし、水平位置から自由落下させ、その際に跳ね返った変位をレーザー変位計により計測し、角度に変換して評価する。計測位置はミラーモデルの中央上端から 5mm の位置である。計測値は 10 回の平均値を用いている。ストッパーの位置は、ミラーモデル前面右端を原点とし、前辺を 20mm まで、右辺 10mm までを 1mm 間隔で変化させた。ストッパーはジュラルミン製の直径 4mm の円柱であり、円筒面でミラーモデルと接触させた。

ミラーモデルを水平位置から自由落下させると、回転してストッパーと衝突する。その後は、Fig. (3) のように、跳ね上がり自由落下を繰り返す挙動となる。ここでは、ミラーモデルに対してインパルス力が繰り返す働く力学系と考え、インパルス力の入力後の応答ができるだけ小さくなるように、ミラーモ

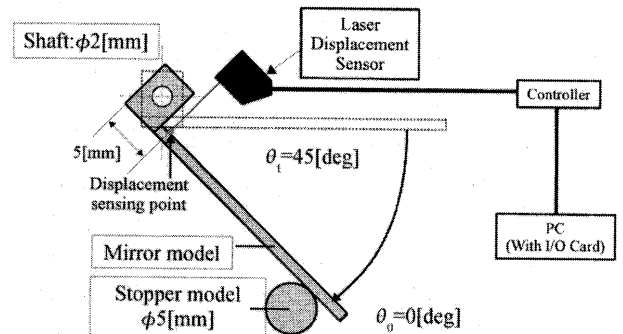


Fig.1 Experimental setup

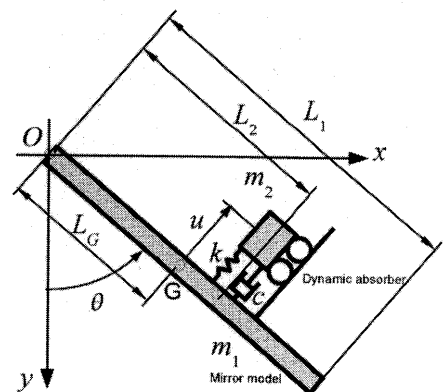


Fig.2 Schematic diagram of a mirror model

デルの周波数応答を求めることで、抑制効果を検討する。

3 理論解析

ミラーモデルの挙動を一次元の回転運動とし、動吸振器をミラーモデル上で直線運動すると仮定する。Fig.2 に力学モデルを示す。図中に示すようにミラーモデルの質量を m_1 、動吸振器の質量を m_2 とし、動吸振器のばねのばね定数を k 、粘性減衰係数を c とする。ミラーモデルの全長を L_1 、動吸振器の取り付け位置を L_2 、ミラーモデルの重心の位置を L_G とする。動吸振器はミラーモデルと垂直方向に動くものとして、その変位を u とする。ミラーモデルは鉛直下向きを原点として半時計回りに回転角 θ でその位置を示す。

ミラーモデルと動吸振器、それぞれの運動エネルギー、ポテンシャルエネルギーおよび散逸関数を求めると、

$$T = \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_2 (L_2 \dot{\theta}^2 + \dot{u}^2 + 2 L_2 \dot{\theta} \dot{u}) \quad (1)$$

$$U = m_1 g L_G (1 - \cos \theta) + m_2 g \{ L_2 (1 - \cos \theta) + u \sin \theta \} + \frac{1}{2} k u^2$$

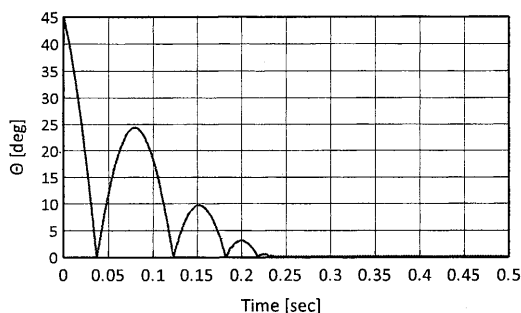


Fig.3 Rebound vibration of a mirror model

$$F = \frac{1}{2} c \dot{u}^2 \quad (2)$$

周波数応答を求めるために、ミラーモデルに周期的外力が作用すると仮定して、ラグランジュの運動方程式を考え、整理すると、

$$I\ddot{\theta} + m_2 (L_2^2 \ddot{\theta} + 2u\dot{u}\dot{\theta} + u^2 \ddot{\theta} + L_2 \ddot{u}) + m_1 g L_G \sin \theta + m_2 g (u \cos \theta + L_2 \sin \theta) = P L_G e^{j\omega t} \quad (4)$$

$$m_2 (L_2 \ddot{\theta} + \ddot{u}) + m_2 g \sin \theta - m_2 u \dot{\theta}^2 + c \dot{u} + k u = 0 \quad (5)$$

これよりミラーモデルの角振幅を求め、無次元化すると

$$\left| \frac{\Theta}{\Theta_{st}} \right| = \sqrt{\frac{A^2 + 4\zeta^2 B^2}{C^2 + 4\zeta^2 D^2}} \quad (6)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} A &= f^2 - h^2 \\ B &= h \\ C &= \frac{4}{3} h^4 - h^2 \left(1 + \frac{4}{3} f^2 + f^2 \mu \gamma^2 - \mu \gamma \right) + f^2 + f^2 \mu \gamma - \mu \\ D &= h \left\{ -h^2 \left(\frac{4}{3} + \mu \gamma f^2 \right) + 1 + \mu \gamma \right\} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

さらに

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \frac{m_2}{m_1}, \quad \gamma = \frac{L_2}{L_G}, \quad \Omega^2 = \frac{g}{L_G}, \quad \omega_a^2 = \frac{k}{m_2} \\ \zeta &= \frac{c}{2m_2\Omega}, \quad f = \frac{\omega_a}{\Omega}, \quad h = \frac{\omega}{\Omega}, \quad \Theta_{st} = \frac{P}{m_1 g} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

である。

4 最適化

式(6)は一般的な動吸振器モデルでの主系の振幅にあたり、この各加振周波数に対して最小になるように、付加系の質量および主系との接続に用いられるばね定数、粘性減衰係数を決定する⁽¹⁾。まず始めに、式(6)において減衰比 $\zeta = \infty$ と $\zeta = 0$ の場合の2本の共振曲線の交点である不動点での無次元加振周波数 h_p, h_Q を決定する。次にそのときの高さが最大値になるように付加系の固有振動数、すなわち、 f を決定する。さらに、P, Q点で応答倍率が極大値になるように、 h による偏微分値が0にある条件を当てはめて、減衰比を求める。その結果、得られた固有振動数比は

$$f = \frac{\sqrt{12 + 24\mu}}{4 + 3\mu\gamma^2} \quad (9)$$

であり、P点で極大値になる場合の減衰係数は

$$\zeta_P = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{AA' - \left| \frac{\Theta}{\Theta_{st}} \right|^2 CC'}{-BB' + \left| \frac{\Theta}{\Theta_{st}} \right|^2 DD'}} \quad (10)$$

である。ここで、「 $'$ 」は h に関する偏微分を表している。この ζ_P はQ点と値が若干異なるが、相加平均を用いて最適な値を求める。

5 計算結果

Fig.4に計算結果を示す。 $\mu = 0.2, \gamma = 0.5$ の場合で、最適調整を行った結果である。ミラーモデルをアルミニウム(質量3.27g)とすると、動吸振器に質量は0.6g、取り付け位置は回転軸より7mmの位置となる。共振点のピークは ζ が0と ζ が ∞ の場合のグラフの交点付近に現れ、最適調整により適切な ω_a, ζ が選択されていることがわかる。

次に、Fig.5に動吸振器の取り付け位置を変化させて計算した結果を示す。 ζ の決定後、 μ を一定にして動吸振器の質量を固定し、 γ を変化させてその取り付け位置の影響を検討する。Fig.5に計算結果を示す。 γ が小さくなるほど応答倍率は小さくなり、動吸振器の効果が高くなる傾向がある。このことから、動吸振器の取り付け位置は、ミラーモデルの重心より固定軸方向にできるだけ離して取り付けたいほうが動吸振器の効果が高くなることわかるが、実際にはむやみに近づけることができないため、0.2以下にすることはできないと思われる。

6 結言

本検討によってミラーの振り子運動を抑制するための動吸振器の取り付け位置は、ミラーの重心よりも回転軸寄りに取り付けることで、抑制効果が高くなることがわかった。これにより周波数応答の応答振幅は小さくなり、跳ね返り現象においても跳ね返り量が小さくなることが期待できる。今後実験により検証を進める。動吸振器のモデルは実体と異なるため、より実際に近づくようモデルの再検討も進めていく予定である。

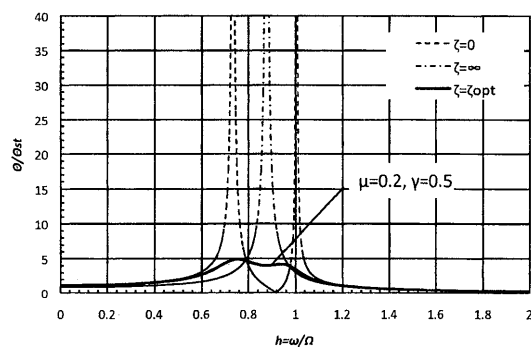
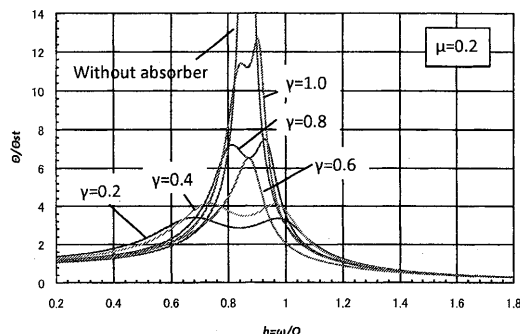


Fig.4 Resonance curve of mirror model with a dynamic absorber.

Fig.5 Effect of parameter γ on the resonance curve.

参考文献

- (1) 松久寛, 顧榮榮, 王永金, 西原修, 佐藤進, 機論, 59-562, C(1993), 1717