

216 回転支持平板の衝突跳ね返り運動の抑制

Reduction of Rebound Vibration of a Rotary Supported Plate Hit by a Stopper

○ 正 松本 大樹 (室蘭工大) 正 齊當 建一 (室蘭工大)
佐々木 隆幸 (室蘭工大院)

Hiroki MATSUMOTO, Muroran Institute of Technology, Mizumoto-cho 27-1, Muroran-shi, Hokkaido
Ken-ichi SAITOH, Muroran Institute of Technology
Takayuki SASAKI, Muroran Institute of Technology

When we take pictures with continuous shots with single lens reflex camera, the inner mirror must repeats to go down and up with very high-speed. In this operation, the mirror hits to a stopper and rebound instantaneously. We investigate the rebound characteristics of the mirror model with free fall testing. Rebound angle of the model is varying by the stopper position. In the experiments, we find the stopper position which has lower amount of rebound angle. And the experimental modal analysis is carried out for the mirror model.

Key Words: Experimental modal analysis, Rebound, Vibration, Modal dumping ratio

A1 緒言

一眼レフカメラでの撮影時の内部ミラーは、高速にストッパーに衝突するために、跳ね返り振動がおこる。この跳ね返りを抑制することによって、連続撮影のコマ数を増加させることができ、様々な工夫がなされているが、その本質的な対策はなされていない。本研究は、跳ね返り振動の本質的な原因と抑制対策を見いだすことを目的としている。その基礎実験として、ミラーモデルである回転支持平板に対するストッパー位置を変化させ、跳ね返り角度を計測して現象をとらえる。さらにその跳ね返り角度が決まるメカニズムについて考察する。

A2 実験装置

Fig. A1 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30x40mm、厚さ1mmの平板で、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、 $\theta_1 = 45\text{deg}$ (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。値は10回の平均値を用いる。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、円筒面でミラーモデルと接触させた。

A3 ストッパー位置と跳ね返り角度の変化

Fig. A3, A4 に、実験結果を示す。ミラーモデルがストッパー位置を変えると跳ね返り挙動が変化する。それぞれの実験における最大の跳ね返り角度とミラーモデルが静止するまでの時間はほぼ比例的であるため、最大跳ね返り

り角度を評価値として採用している。すなわち、最大跳ね返り角が小さいほど、ミラーモデルの静止時間は短くなることを示している。実験結果を見ると、Fig. A3 より、正面側原点より14mm程度中心に向かった位置のストッパーの時に、跳ね返り角度が最小になっていることがわかる。また、素材による変化は乏しく、これらの現象は素材物性値によらず、平板形状やその支持位置によって決定されると考えることができる。Fig. A3 より、側面方向においては跳ね返り角はほぼ一定で変化が見られない。

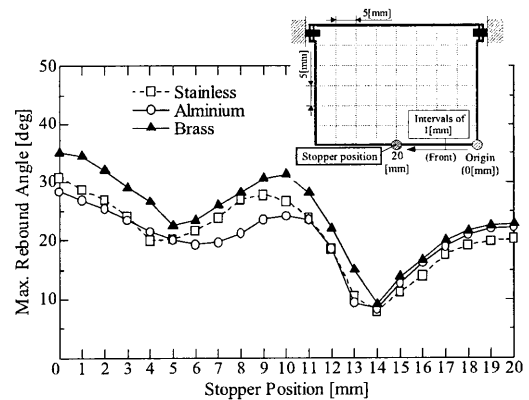


Fig. A3 Experimental result. (Front stopper position)

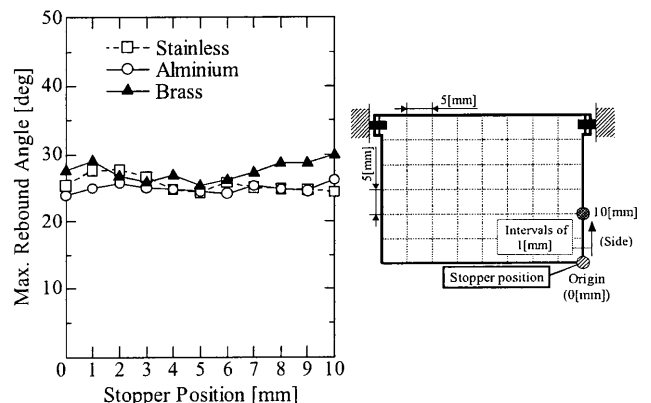


Fig. A4 Experimental result. (Side stopper position)

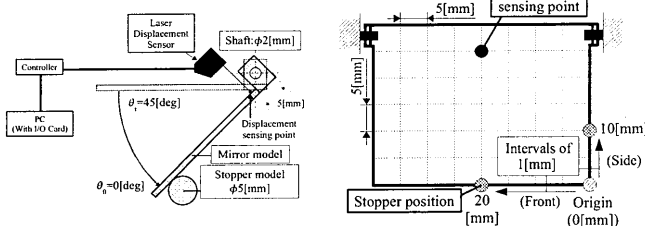


Fig. A1 Experimental setup

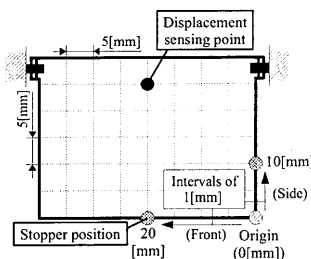


Fig. A2 Stopper position

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、ファインダーとオートフォーカス用の素子に、内部ミラーによって分けられ、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収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、ミラーの振動を抑制する様々な工夫がなされてきたが、本質的な振動の抑制方法は明確にされていない。この跳ね上がり現象の本質的な原因と抑制対策を見いだすことが、本研究の目的である。本報告では素材の異なるミラーモデルとして、回転支持された金属平板を用いて、ストッパー位置の変更に伴う跳ね返り量の変化を明らかにし、跳ね返り量の決定のメカニズムについて検討する。

2 実験装置および実験方法

Fig.1 にミラーモデルの跳ね返り量の計測状況を示す。Fig.2 に内部ミラーのモデルを示す。ミラーモデルは 30x40mm、厚さ 1mm の平板で、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。

Fig.3 に実験モード解析でのミラーモデルの設置条件及び実験装置を示す。実験振動モード解析では、ミラーモデルの回転軸の位置でクランプし、モデル下方から打撃を行う。打撃点を固定した計測点移動法により振動モードを求める。Fig.4 に示すように、打撃点は 5mm 間隔の格子点を 64 点設定しており、レーザドップラ振動計によって計測した。振動モード解析及びモーダルパラメータの算出には ME' scope VES を用いた。また、打撃においては電磁力で駆動する自作打撃装置を用いて打撃を行い、小型・軽量物の打撃を効率良く行えるように工夫した⁽¹⁾。

3 実験結果

3-1 跳ね返り量とストッパー位置の関係 Fig.5 と 6 に、自由落下実験で計測した跳ね返り角の時間変化を示す。Fig.5 はミラーモデル前縁にストッパーを衝突させた場合の結果であり、Fig.6 はミラーモデル側面でストッパーと衝突した場合である。ミラーモデルの材質はアルミニウ

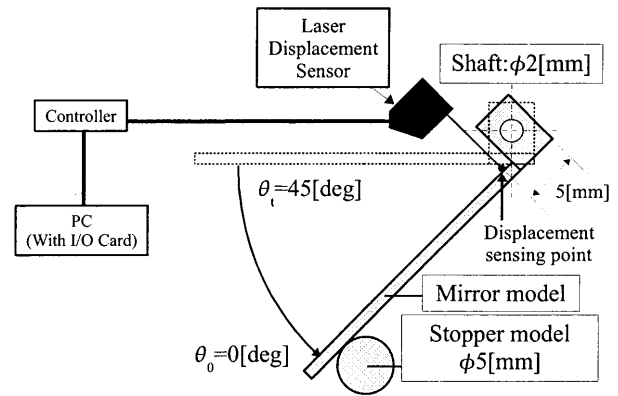


Fig.1 Experimental setup

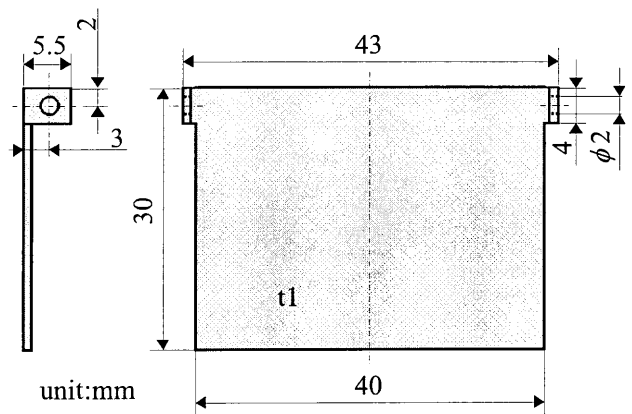


Fig.2 Schematic diagram of a mirror model

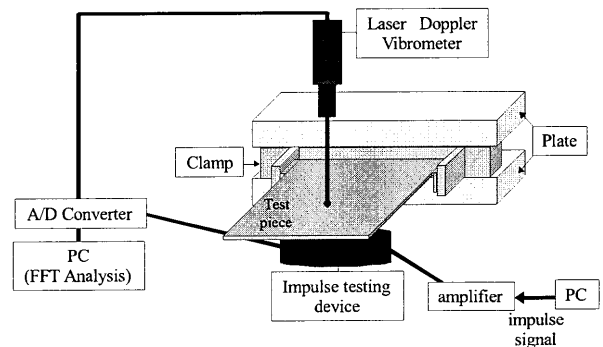


Fig.3 Experimental setup for modal analysis

ムである。他の素材についてもほぼ同様な結果となっている。Fig.5 のストッパー位置 0mm のグラフを見ると、およそ 0.05sec 後に一回目の衝突が起きている。この場合にはグラフの曲線には極大が 4 カ所みられ、静止までに 4 回以上の衝突を繰り返している。いずれの図においても、ストッパー位置が変化することで、ミラーの跳ね返り量が増加し、ミラーの静止までの時間が異なることがわかる。例えば、ストッパー位置 0mm と 14mm では、静止までの時間におよそ 2 倍以上の開きがある。跳ね返り角も、一つ目の極大値を比較すると、ストッパーの位置 0mm で最大の跳ね返り角を記録しており、30deg 程度まで跳ね上がっている。一方、14mm のストッパーの位置では、跳ね返り角は 10deg 以下となっている。両者の差は 20deg 程度の差となり、ストッパーの位置によってミラーの跳ね返り挙動は大きく異なることがわかる。

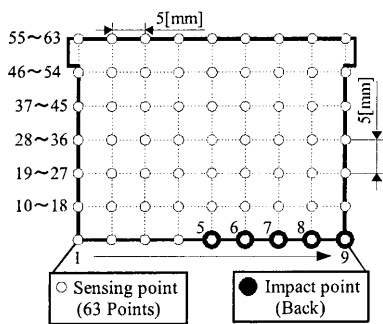


Fig.4 Impact points and sensing points of mirror model

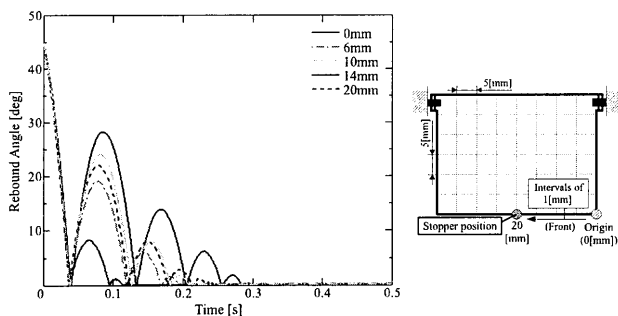


Fig.5 Time series of rebound angle at the front stopper positions.

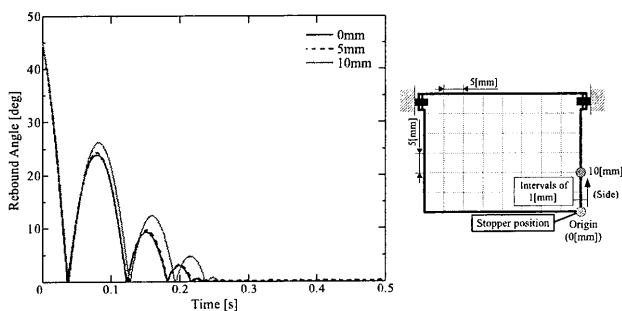


Fig.6 Time series of rebound angle at the side stopper positions.

Fig.7と8に、ストッパーの位置に対する最大跳ね返り角の変化を表すグラフを示す。ストッパーの位置が異なると、最大の跳ね返り角は10degから35degと大きく異なることがわかる。さらに素材の違いによる影響は比較的小さく、ストッパーとミラーモデルの衝突の位置関係によって、跳ね返り角が決まる傾向があることがわかる。特に、正面14mm、5mmのストッパーの位置は比較的小さい。しかしながら、側面の位置のストッパーに対しては、正面に比べて大きな変化は少ない結果となった。全体的には側面のほうが平均的に大きな跳ね返り角を示している。本報告には未掲載だが、回転軸が細い状態では、側面においてもストッパーの位置の影響を受けることがわかっていて、その際のミラーモデルの形状は今回とほぼ同じことを考えると、軸の剛性や「がた」による影響もあると考えることができる。

3-2 形状の異なるミラーモデルの跳ね返り角 Fig.9に形状の異なるミラーモデルを示す。これらのモデルは、ミラーモデルの質量を変えたものと、その重心を、回転軸と垂直方向に変化させたものとなっている。具体的には中心を切り抜いたものは標準モデルが3.16gだったものに対して、2.65gとなっている。また重心の位置は、上部を切り抜いたものは標準よりも1mm先端側に、下部を切り抜いたものは標準モデルよりも回転軸側に1mmずれて

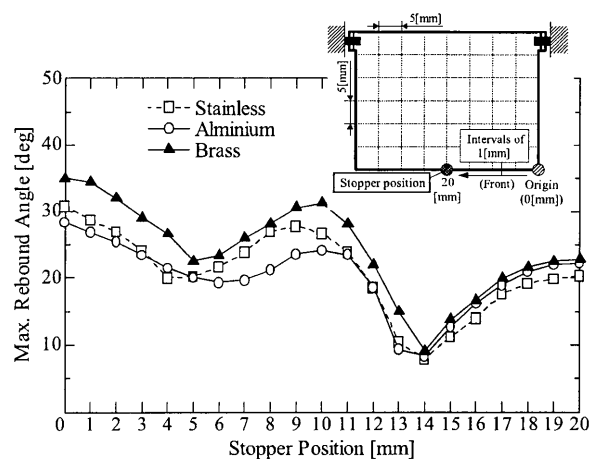


Fig.7 Experimental result. (Front stopper position)

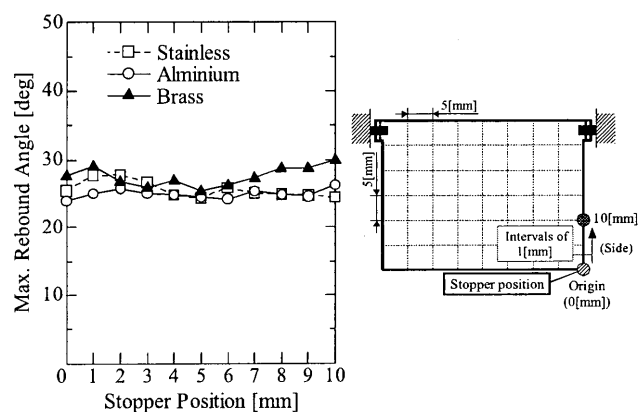


Fig.8 Experimental result. (Side stopper position)

いる。

Fig.10, 11に、それぞれのモデルの跳ね返り角を計測した結果を示す。正面側のストッパー位置では、6~13mmあたりでばらつきが見られるものの、跳ね返り角の変化のおおよその傾向は、質量、重心の変化に対して大きな違いは見られず、12mmから14mmの位置で最小の跳ね返り角を示す。

それぞれのモデルを比較すると、質量が小さくなった場合は標準モデルと比較しておおむね跳ね返り角は小さくなっているように見える。しかし、ストッパー位置がモデルの中心（重心を通る軸）に近づくとき、標準モデルよりもむしろ大きくなっていることがわかり、単純に軽ければ跳ね返り角が小さくなる訳ではないことがわかる。

また重心位置の変化は回転軸と垂直方向に変わっているため、その変化の影響は側面側のストッパー位置の変化に対して大きく出る傾向があると思われる。Fig.11に実験結果を示す。ストッパーの位置は標準モデルの重心を越えた18mmの位置まで変化させた。ストッパーが側面にある場合においても、劇的な変化は無いが、中心を切り抜いたモデルと下部を切り抜いたものは、標準モデルよりも全体的に小さいことがわかる。また、上部を切り抜いたモデルは標準モデルとほぼ変わらない。

切り抜きモデルはいずれも同じ質量の減少させたが、衝突の瞬間の角運動量はそれぞれ異なっている。軸まわりで損失が無いと仮定して求めた角運動量は、標準モデルが最大で、上部切り抜きモデル、中央切り抜き、下部切り抜きの順に3%ずつ小さくなる。しかし、跳ね返り角は上部切り抜きモデルは標準状態とほぼ同じであった。し

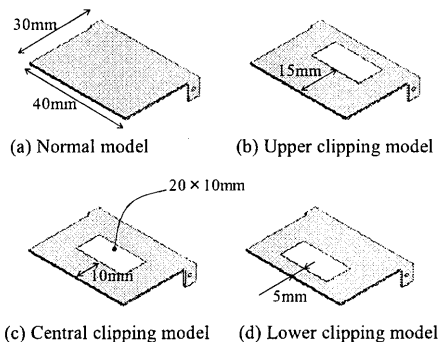


Fig.9 Mirror models

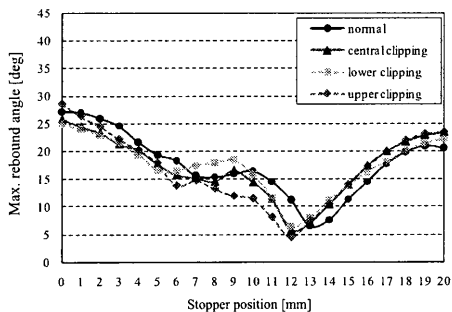


Fig.10 Rebound angle of mirror models (Front stopper positions)

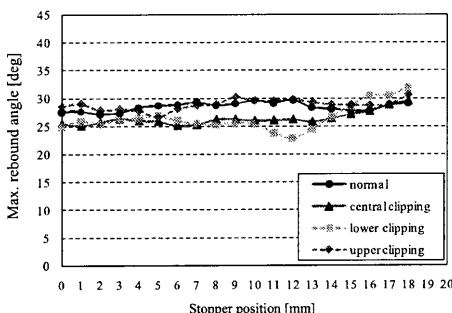


Fig.11 Rebound angle of mirror models (Side stopper positions)

かも、重心とストッパーとの位置関係によっては、衝突時の角運動量が最も小さい下部切り抜きモデルは、標準モデルよりも大きく跳ね上がっている。下部切り抜きモデルの重心はおおよそ16mmであるが、ストッパー位置が12mmで最小となり、15mm以降では標準モデルよりも大きく跳ね上がっている。

以上のことから、跳ね上がり角の変化は、質量と重心位置だけで説明がつけられず、モデルごとに弾性振動の有無やその大きさについても考慮する必要があると考えられる。

3-3 打撃による振動エネルギーと跳ね返り角との関係
弾性振動の有無について考察するにあたって、跳ね返り時にどの程度の振動が起きているのかを評価することを考える。跳ね上がった後のミラーモデルの弾性振動は自由振動、すなわち振動モードの重ね合わせにより表現できると考えられる。その弾性振動の大きさは、振動エネルギーにより表現することを考える。振動モードだけではモード間の大きさの比較はできないことから、実験モード解析で伝達関数を求めておき、打撃点を変えて励起される各計測点の振動速度を利用して振動エネルギーを算出する。

Fig.12にアルミニウムのミラーモデルの実験モード解析の結果を示す。実験モード解析ではミラーモデルの回

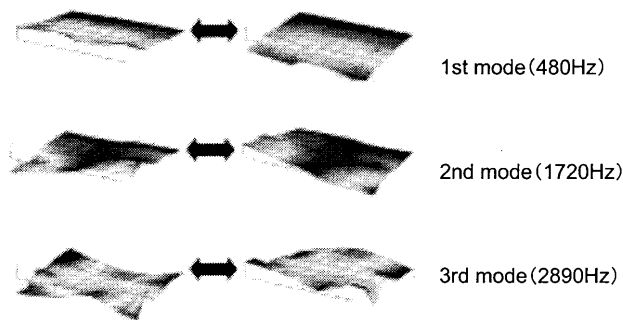


Fig.12 Mode shape of the mirror model

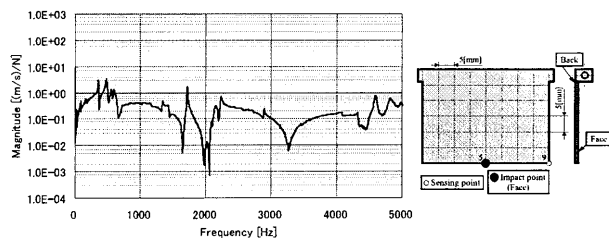


Fig.13 A FRF between the impact point 5 and point 9

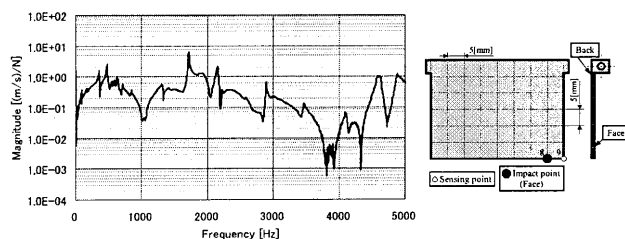


Fig.14 A FRF between the impact point 8 and point 9

転軸の部分をクリックして行われている。本研究においては振動エネルギーの予測には、3次モードまでを考慮することとした。これは4次以降のモードの振動エネルギーを加えても結果に優位な差が現れなかったためである。ミラーモデルの振動モードを見ると、おおむね平板の振動モードとほぼ変わらない振動モードを持っていることがわかる。固有振動数は1次モードは480Hz、2次モードは先端がねじれるモードで1720Hz、3次モードは2890Hzである。

Fig.13, 14に、打撃点をそれぞれ5、8と変更した際のミラーモデルの角の応答（打撃点9に相当する位置の応答）を示す。打撃点が変わることによって、伝達関数のピークのレベルが異なっており、励起される振動モードが異なることがわかる。つまり、打撃点5はミラーモデルの2次モードの節を打撃しているため、その固有振動数での応答が小さくなっている。このことから、ミラーモデルとストッパーの衝突においても、衝突後に励起されるモードが異なることが考えられる。

励起される振動エネルギーを算出するために、実験モード解析における打撃点をストッパー位置に対応するように変更して実験モード解析を行う。それぞれの実験から得られるモード質量と各計測点の振動速度からミラーモデル全体の振動エネルギーを算出する。振動エネルギーは、ミラーモデルを多自由度系と見なし、それぞれの質点を持つ力学的エネルギーを求めて総和する⁽²⁾。

n 次モードの力学的エネルギーは、 r 番目の計測点の

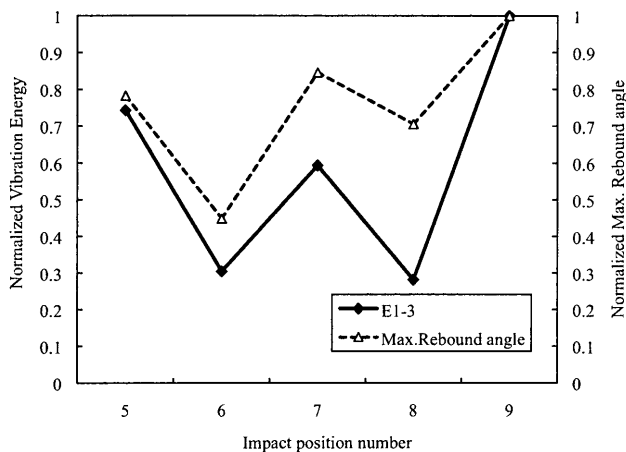


Fig.15 Comparison of mechanical energy and maximum rebound angle of the mirror model

モード質量を m_r 、振動速度振幅を v_r として求められる運動エネルギーとモード剛性 k_r と振動変位から得られるポテンシャルエネルギーとの和で求められるが、モード剛性 k_r は $\omega_n = \sqrt{\frac{k_r}{m_r}}$ であることから、 $k_r = \omega_n^2 m_r$ で書き換える。また x_r は変位振幅であり、 v_r/ω_n である。したがって、 n 次の振動モードの振動エネルギーは、

$$E_n = \sum_r \left(\frac{1}{2} m_r v_r^2 + \frac{1}{2} k_r x_r^2 \right) = \sum_r \frac{1}{2} m_r v_r^2 \left(1 + \frac{1}{\omega_n^2} \right) \quad (1)$$

となる。これを1次～3次モードまで足し合わせたエネルギーをミラーモデル全体の振動エネルギー E_{1-3} とする。

Fig.15にミラーモデル正面にストッパー位置がある場合の跳ね返り角と、振動エネルギーとの比較結果を示す。振動エネルギーおよび跳ね上がり角はそれぞれの最大値で無次元化している。これは、衝突時と打撃時での打撃力が等しくないためであるため、定性的な比較のみを考える。Fig.15を見ると、打撃位置により振動エネルギーは変化しているものの、跳ね返り角が大きいほど、振動エネルギーも大きくなる傾向があることがわかる。跳ね返り角と振動エネルギーは相関関係が見られる。次に、Fig.16に側面の打撃位置での比較結果を示す。打撃点、すなわちストッパー位置に対して、跳ね返り角は大きく変化しないが、振動エネルギーは大きく変化していることがわかり、明確な相関関係は得られなかった。

以上のことから、振動モードから算出された振動エネルギーのみで跳ね返り角を予測することは難しいことがわかった。

ミラーモデルがストッパーと衝突した瞬間にはストッパー位置は固定されて、その他の部分に変形する。この変形量が大きく、跳ね返り角にまで影響を及ぼすとすると、弾性振動のみのエネルギーの比較のみでは跳ね返り角の予測には不十分であると思われる。すなわち、衝突した瞬間のミラーモデルの変形状態の観察が不可欠で、どの部分がどのような位相で動き始めるのか、変形が大きい部分がどの程度重心の運動に寄与していくのかを考える必要があると思われる。そのためにも、初期状態から衝突し跳ね返るまでの力学的なエネルギーの収支についても評価する必要もあると考えられる。

4 結言

本研究ではカメラの内部ミラーモデルとして、回転支持された平板の衝突跳ね返り現象を実験によって検証し、

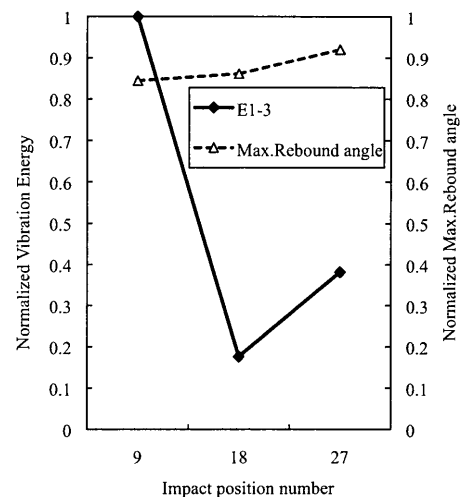


Fig.16 Comparison of mechanical energy and maximum rebound angle of the mirror model (impact points are side of the mirror model)

以下のことを明らかにした。

1. ミラーモデルとストッパーとの衝突位置の違いにより、跳ね返り角が異なることが明らかとなった。その結果、跳ね返り角が細小になる位置が明らかとなった。
2. 重心、質量の異なるミラーモデルの跳ね返り角について実験を行い、重心位置、質量のみの条件では跳ね返り角の変化を説明できないことが明らかになった。
3. 衝突によって生じる振動エネルギーを予測し、衝突位置により得られる振動エネルギーが異なることを明らかにした。
4. 振動エネルギーと跳ね返り角との関連を検討したが、明確な関連を見いだすことができなかった。

跳ね返り量を決めるメカニズムを明らかにするためには、衝突時の変形についてより詳細な計測が必要であり、現象をより詳しく観察する必要があり、今後の課題である。

本報告をまとめるにあたっては元室蘭工大4年生の齊藤 隆君（現中部鋼板株式会社）にご尽力いただきました。ここに感謝の意を表し、御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 佐々木隆幸, 松本大樹, 齊当建一, 軽量物を対象とした打撃試験方法の開発, 日本機械学会北海道学生会卒論発表会講演論文集, (2008-3)
- (2) 安田仁彦, 振動工学 基礎編, コロナ社, (2000)