

# 表面加工による軽金属への制振特性付与技術の開発

—測定方法が損失計数値の信頼性に及ぼす影響—

坂本智明・石黒輝雄・佐野正明・八代浩二・吉原正一郎<sup>\*1</sup>

## Development of Improvement Tech on Damping Capacity for Light Metal by Surface Processing

- Effect of Reliability on Damping Coefficient by Measuring Method -

Chiaki SAKAMOTO, Teruo ISHIGURO, Masaaki SANO, Koji YATSUSHIRO and Shoichiro YOSHIHARA<sup>\*1</sup>

### 要 約

薄い板厚の軽金属は、比重が小さいために鋼材と比較し制振特性の指標となる損失係数の実験結果が測定条件によって影響されやすく、JISで定められる損失係数方法から吟味して測定方法を選定することで測定値の信頼性を向上させる必要がある。そこで本研究は、軽金属の中でも比重の小さいマグネシウム合金において、測定方法が損失係数値の信頼性に及ぼす影響について検討した。測定方法が比較的容易なつり下げ打撃試験法は、加速度ピックアップセンサの質量やケーブルによる影響が大きくなるため軽金属に関する薄板の損失係数測定には不向きであった。そこで非接触による測定が可能なレーザー変位計を使用した片持ち梁法により測定を行ったところ、ばらつきの少ない損失係数値の測定結果を得た。また加振方法については、インパルスハンマならびに振動試験機を加振源としたところ、インパルスハンマは各打撃強さ等の条件が変化するため周波数によって損失係数の値に影響が生じるが、振動試験機は加振源の加速度を制御するためどの周波数においても加速度が一定になることから信頼性が高まることがわかった。さらに、マグネシウム合金は合金成分によって制振特性が異なることが確認されたことから、制振材料として使用する際に損失係数測定値に基づき材料選定を行う必要があると考えられた。

### 1. 緒 言

近年、省エネルギー化の為に輸送機械に対して軽量かつ高強度な素材が使用されている。なかでも自動車や航空機においては振動や騒音の低減が求められており、軽量かつ制振性の高い部材の開発が必要とされている。例えば、ジェットエンジンのギアボックスを保護するハウジングなどは制振特性の高いマグネシウム合金が用いられているが、更に制振性を高められるとより競争力の高い製品開発が可能となる。また、比強度が高く耐食性の高いチタン合金は、一部の航空機や自動車部品に用いられているが、制振特性付与のニーズは高いと考えられる。

そこで本研究では、軽金属に関してショットピーニング等の表面加工を施すことで、稠密六方晶の双晶変形を利用した制振特性を付与することを目的とする。軽量制振材料の開発により、軽量材料が使用されやすい自動車部品への応用や、成長産業である航空機分野への県内企業の参入促進を図る。しかし、薄い板厚の軽金属は軽量

であるため、鋼材と比較し制振特性の指標となる損失係数の測定結果が測定方法によって影響されやすく、JISで定められる損失係数の測定方法から吟味して選定することで、測定値の信頼性を向上させる必要がある。そこで研究1年目は、制振特性の測定方法を確立するため、JISの各種測定手法<sup>1)</sup>（つり下げ状態・片端固定状態・振動試験機取付け状態）が損失係数値の信頼性に及ぼす影響を調査した。

### 2. 実験方法

#### 2-1 試験片寸法と材料

材料は主にマグネシウム合金 AZ31 の圧延板を使用した。AZ31 は自動車関係やパソコンの筐体などに多く使用されている。成分はマグネシウムを母材として、アルミ 3%、亜鉛 1% を含有する。寸法は長さ 250 mm、幅 25 mm とし、厚みが 1.0、1.5 mm の 2 種類とした。温度環境は常温 (25°C) にて計測した。また、合金元素が損失係数に及ぼす影響を調査するため純マグネシウムについても振動試験機に取付けた状態で測定を行った。

\*1 山梨大学

## 2-2 つり下げ打撃加振法

### 2-2-1 つり下げ状態による損失係数測定

つり下げ打撃加振法は、試験片を糸で支持し、ハンマにより打撃された振動から固有振動数および損失係数を測定する方法である（図 1）。試験片端部の二カ所に穴を空けて 2 本の  $\phi 0.3$  mm のナイロン釣糸を用いて支持した。試験片の端部にインパルスハンマを用いて加振を行い、同じく端部に取り付けられた小型加速度ピックアップセンサにより振動を検出し、その振動データを FFT アナライザ（小野測器製 DS-3000）にて演算し（図 2）、損失係数は減衰法により算出した。各測定について 5~7 回の測定を行った。



図 1 つり下げ状態



図 2 FFT アナライザ

### 2-2-2 有限要素法による振動モード解析

つり下げ状態（非固定状態）における振動モードと各厚さの板における固有振動数を把握するため、有限要素法による振動モード解析を行った。AZ31 相当の材料物性値として、ヤング率 45 GPa、ポアソン比 0.3、密度  $1780 \text{ kg/m}^3$  を、汎用解析ソフトウェア ANSYS 16.0 に設定し、解析を行った。

### 2-3 片端固定状態による損失係数測定

片端固定打撃加振法は、図 3 に示すように試験片の端部をバイスにより固定し、振動の検出は非接触によるレーザー変位計を用いて計測を行う方法である。試験片の片端 30 mm を固定用のつかみしろとし、加振は試験片の端部をインパルスハンマで打撃し、レーザー変位計から生じた振動データを FFT アナライザにて演算し、減衰法により損失係数を算出した。

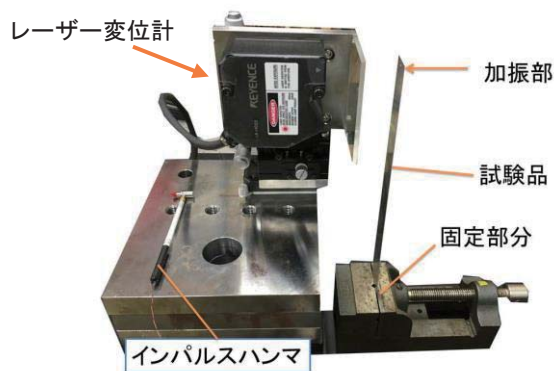


図 3 片端固定状態

### 2-4 振動試験機取り付け状態による損失係数測定

加振源を振動試験機とした際の損失係数測定は、図 4 に示す片持梁法で行った。試験片端部 30 mm を直接振動試験機（エミック製 F-1000BD-A, 図 5）に 2 本のボルトで固定し、可動部分に加速度センサを、試験片先端にレーザー変位計を配置し、固有振動数近くの周波数を掃引し半値幅法により損失係数を算出した。可動部の加速度は  $0.1 \text{ m/s}^2$ 、掃引速度は  $0.01 \text{ octave/min}$  とした。

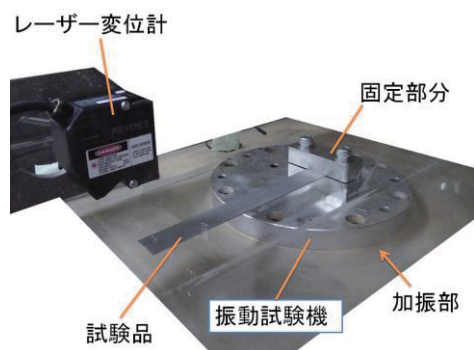


図 4 振動試験機取り付け状態



図 5 振動試験機外観

## 3. 結果

### 3-1 つり下げ状態による損失係数測定

図 6 に各周波数における、つり下げ状態による損失係数の測定値の平均値と各固有振動数における損失係数の最大値と最小値を示す。各測定に固有振動数のばらつき

は無かったものの、損失係数が平均値との違いが最大で3割程度であった。また、損失係数の値を板厚違いにて比較すると、板厚が薄い方が損失係数の値が高くなり、固有振動数は下がった。

表1には固有振動数の測定結果と有限要素解析結果を示す。1次から5次までの曲げモードのみを比較しており、固有振動数の測定結果は解析結果に近い値となった。

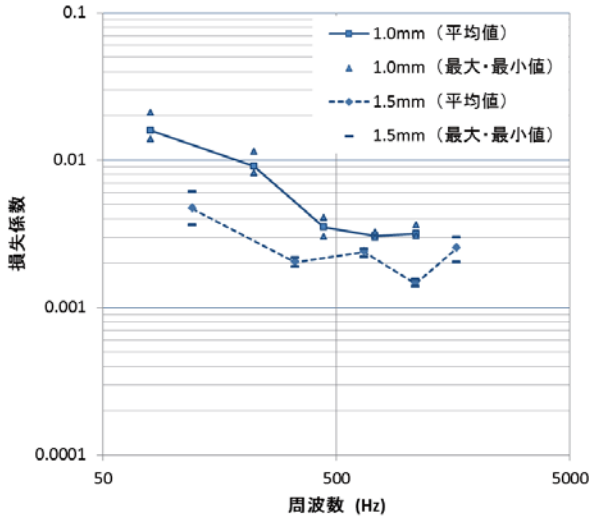


図6 損失係数測定結果（つり下げ状態）

表1 各板厚における固有振動数の測定と解析結果

モード		1次	2次	3次	4次	5次
板厚 1.0 mm	測定	80	223	440	730	1097
	解析	83	228	448	743	1113
板厚 1.5 mm	測定	120	334	658	1093	1638
	解析	124	343	673	1114	1668

(単位：Hz)

### 3-2 片端固定状態による損失係数測定

図7に、片端固定状態による損失係数の各サンプルの測定値を示す。サンプル数は各板厚において3サンプルとした。各サンプルのばらつきは小さく、最大でも1割程度の違いであった。周波数が高いほど、また板厚が厚いほど、損失係数の値は下がる傾向になった。

### 3-3 加振機取付け状態による損失係数測定

図8に、振動試験機取付け状態による損失係数の各サンプルの測定値を示す。サンプル数は各板厚において3サンプルとした。片側固定状態による測定と同様に各サンプルのばらつきは小さく、最大でも1割程度の違いであった。

図9に、純マグネシウムの測定結果を示す。また、図10にAZ31に対する純マグネシウムの損失係数比を示す。AZ31に比べて純マグネシウムの損失係数は1.6から3倍程度大きくなった。

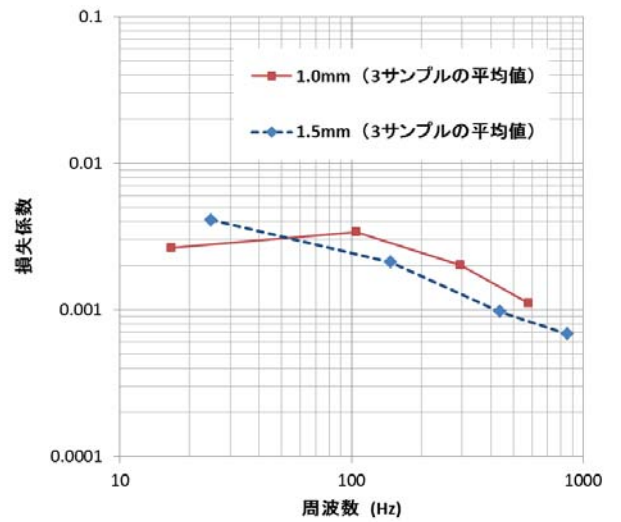


図7 損失係数測定結果（片端固定状態）

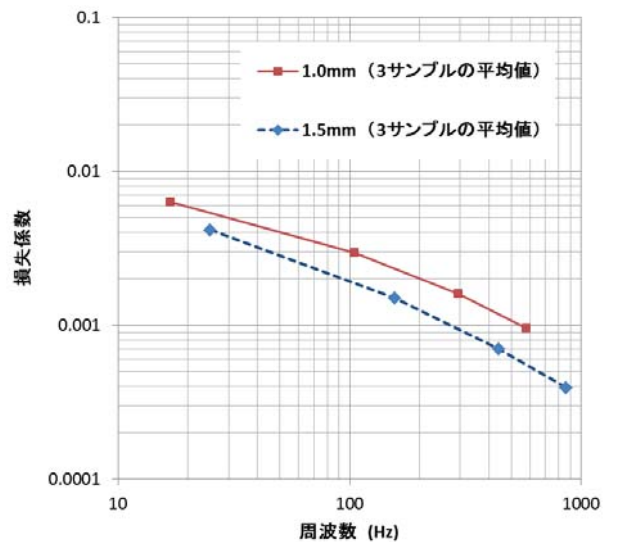


図8 損失係数測定結果（振動試験機取付け状態）

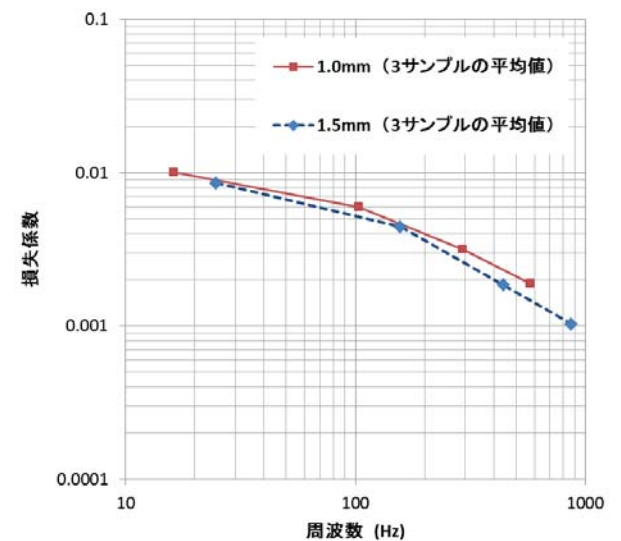


図9 損失係数測定結果（純マグネシウム）

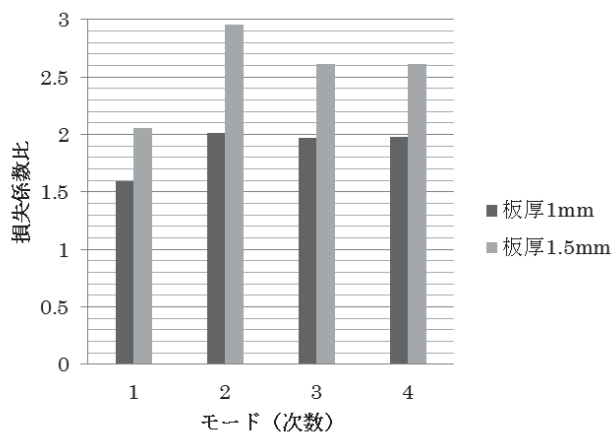


図 10 AZ31 に対する純マグネシウムの損失係数比

#### 4. 考 察

つり下げ状態の損失係数測定結果は各測定値にばらつきが生じる結果となった(図 6)。加速度センサは重さがケーブルを含まず 0.2 g であるのに対して、1 mm の板厚では 11.0 g、1.5 mm の板厚では 16.4 g であることからセンサの重量の影響は少ないと考えられる。しかし、センサはケーブルで信号を送っていることから、サンプルの保持状態によってケーブルからの張力の影響が出た可能性がある。一方、固有振動数はばらつきが見られなかったことから、つり下げ状態における材料の固有振動数の測定は安定性が高く、このことは、今回行った片側固定状態、振動試験機固定状態における固有振動数測定についても同様であった。

次に片端固定状態の結果について検証する(図 7, 図 8)。板厚 1 mm の場合はインパルスハンマ、振動試験機による加振方法による違いについて比較すると、一次モードの 16.8 Hz でインパルスハンマ加振時の損失係数は小さくなった。これは、インパルスハンマの加振において低周波数域の加振力が小さいために損失係数の振幅依存性の影響が出たためではないかと考えられる。二次モード以上においては、高次のモードになるほど損失係数は小さくなった。

板厚 1.5 mm の場合はインパルスハンマと振動試験機の加振方法による違いはあまり見られなかった。一次モードにおいて損失係数の値が近くなったが、これは板厚 1.5 mm の厚みによって振幅依存の影響が抑えられたと考えられた。インパルスハンマの加振時においては、低周波数域の加振力が下がる点や板厚の影響を考慮して損失係数の値を評価する必要がある。振動試験機に取付けた状態での測定は掃引試験時間が各固有振動数において 10 分程度かかるが、加振源の加速度を制御するため信頼性が高まると考えられた。

マグネシウム合金 AZ31 と比較して純マグネシウムの

損失係数は板厚 1.0 mm において 1.6 倍から 2 倍程度の差異があった(図 9, 図 10)。また板厚が 1.5 mm において純マグネシウムの損失係数は AZ31 と比較して 2.1 倍から 3 倍になった(図 9, 図 10)。AZ31 は板厚が厚くなるにつれ損失係数が下がる傾向になったが、純マグネシウムは板厚に関係なくほぼ同じ値となった。マグネシウムの場合、アルミ等の添加物が少しでもあると制振性能が悪化するとの報告<sup>2)</sup>もある。制振性能は材料の成分の影響が大きく影響する<sup>3)</sup>ことから、制振性能を付加する際に材料選定の段階で留意する必要がある。

#### 5. 結 言

軽金属に関する損失係数測定を確立するため、各種測定方法による測定結果の値を比較し測定方法や材質による影響を検討した。その主な結果は、次のとおりである。

- (1) つり下げ打撃加振法は、損失係数の結果にばらつきが生じ、センサの質量やケーブルによる影響が大きくなるため軽金属に関する薄板の損失係数測定には不向きであった。固有有振動数の結果にばらつきは生じず、解析結果と近い値となったため、安定した固有有振動数測定が可能であることがわかった。
- (2) 片端固定状態による損失係数の測定結果は、各サンプルにおいてばらつきは小さかった。振動試験機は加振源の加速度を制御するため安定した結果を得られたが、インパルスハンマは打撃強さ等の条件により信頼性に影響が生じると考えられた。
- (3) マグネシウム合金 AZ31 は、純マグネシウムと比較して 2 倍程度小さくなったことから、合金成分が損失係数に影響を及ぼすことが確認された。

以上のことから、軽金属の損失係数測定には振動検出部をレーザー変位計とし、より信頼性の高い測定が必要な場合は加振機を振動源とすべきである。

#### 参考文献

- 1) 日本規格協会：JIS G 0602 制振鋼板の振動減衰特性試験方法, pp.2-4 (1993)
- 2) 景山洋・嶋津公志・鎌土重晴・小島陽：Mg-Al 系合金の減衰能に及ぼす合金元素量および熱処理の影響, 軽金属, Vol.48, No.5, pp.217-221 (1998)
- 3) 日本学術振興会「材料の微細組織と機能性」第 133 委員会：材料の振動減衰能データブック(朝倉書店), pp.97(2007)