

## 倒立ねじり振動試験法による各種材料の減衰率測定と解析

日大生産工 (院) ○戸栗 崇宏

日大生産工 朝比奈 敏勝

日大総科研 塩谷 義

## 1. 緒言

近年, 疲労破壊防止, 騒音防止を目的とした機械の振動減衰に関する関心は高まっている. そこで防振性の良い材料の必要性, ニーズは広がっている<sup>1)</sup>. 振動を抑制するには従来では高分子材料が多用されてきたが金属材料に比べて強度, 耐熱性が劣り使用温度範囲が限られる等の欠点がある. 例えば電子機器や軽量化および高速化された機械では振動自体が寿命や精度に大きく影響を及ぼす. このことから材料の減衰率を測定することは重要であると考えられる.

本研究はアルミニウム合金, マグネシウム合金および竹について倒立ねじり振動試験法により減衰率を測定した. 竹は再生力に優れ3~5年で使用が可能であり環境への負荷が小さく環境に調和した材料であると考えられている. そのことから環境適応材料として注目されている竹の特性としての減衰率を測定し他の材料と比較することが必要であると考えられる.

倒立ねじり振動試験機により各種材料の振動減衰波形を測定し, それよりせん断弾性係数, 減衰率を求めた. また竹は室温, 金属は室温から 350°Cまでの温度域で実験を行った.

## 2. 供試材および試験方法

基準材として軟鋼, 供試材は市販のアルミニウム合金, マグネシウム合金および千葉県産孟宗竹(以後それぞれをS45C, A7075, AZ31, AZ61, AZ91, 竹と称す.)を4x4x130 mmの角棒に機械加工を行い試験に供した.

使用した倒立ねじり振り子試験機を Fig. 1に示す. チャック間距離を 105mm に一定として試験片を固定した. 振子に初期変位を与えて水平面内で振動させることにより, 試験片にねじり変形を付加することができる. 振子の側面には設置した 2本の腕に錘を任意の位置に移動することで振子の慣性モーメントを変化させ, 周波数を変えることが可能である. 試験では最大(初期)ひずみは約

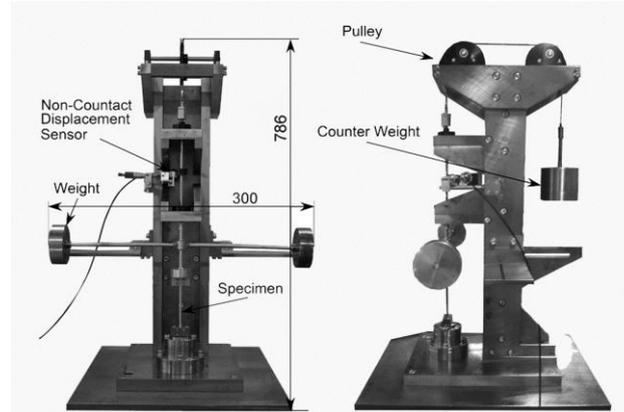


Fig.1 Inverted torsion pendulum machine.

Table 1 Shear modulus and frequency of test specimens.

Materials	$\omega$ [Hz]	$G_1$ [GPa]	$G_2$ [GPa]
S45C	6.67	-	78 <sup>2)</sup>
	4.9		
	1.22		
A7075	3.92	26.3	26.9
	2.86		
	0.70		
AZ31	3.17	17.4	17.3
	2.35		
	0.59		
AZ61	3.13	17.3	17.3
	2.25		
	0.59		
AZ91	3.08	16.5	17.3
	2.17		
	0.58		
Bamboo	0.81	1.10	-
	0.59		
	0.14		

 $\omega$ : Frequency $G_1$ : Experimental value of shear modulus $G_2$ : Reference value of shear modulus

Measurement of Damping Characteristics of Metals and Bamboo  
by Inverted Torsion Pendulum Method

Takahiro TOGURI, Toshikatsu ASAHINA and Tadashi SHIOYA

0.009%, 竹では約 0.073% 負荷した。なお、試験機中央の試験片より 25mm, 300mm の位置に質量 2kg の錘を両端に取り付けて周波数を変化させた。またカウンターウェイトを試験機上部の滑車を通して背側に設置することにより、試験片に負荷される圧縮あるいは引張荷重を相殺した。さらに試験温度を変化させた条件で巨視的弾性域内にて試験を行った。試験温度は竹が室温のみ、金属は室温から 350°C とした。炉には抵抗加熱炉を用いて炉内の温度を攪拌機で ±5deg の範囲に保った。変位は振子上方の回転部で非接触変位計にて検出し、A/D コンバータを介してコンピュータに記録した。

### 3. 実験結果および考察

室温で測定した各材料の振動減衰波形の一例を Fig.2 に示し、この波形から求めた周波数から S45C を基準とした各材料のせん断弾性係数  $G$  (以後  $G$  と称する) を Table1 に示す。

各材料の  $G$  は S45C を基準として、(1) 式によって求めた。

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \sqrt{\frac{G_1}{G_2}} \quad (1)$$

ここで、 $\omega_2$ 、 $G_2$  はそれぞれ S45C の周波数および  $G$  である。 $\omega_1$  は Fig.2 より求めた周波数である。文献によると S45C の  $G$  の値は 78GPa であり、S45C を基準として比較すると他の材料の値の差が 5% 以内であることが認められた。

錘の位置を 300mm にした時の S45C の周波数は 1.22Hz, A7075 は 0.70 Hz, AZ31 は 0.59 Hz, AZ61 は 0.59 Hz, AZ91 は 0.58 Hz, 竹は 0.14 Hz であった。減衰率の計算には記録したデータのうち雑音多い収束付近を除去して計算した。

振動減衰波形は振幅  $A$  と時間  $t$  との関数で表される。測定した振動減衰波形を絶対値化し山の頂点の値を (2) 式に代入して得られた傾斜から対数減衰率を算出した<sup>3)</sup>。

$$A = A_0 \exp(-\lambda ft) \cos(2\pi ft) \quad (2)$$

$A_0$  は定数、 $f$  は振動数、 $\lambda$  は対数減衰率である。

次に各材料の  $G$  に及ぼす温度の影響を

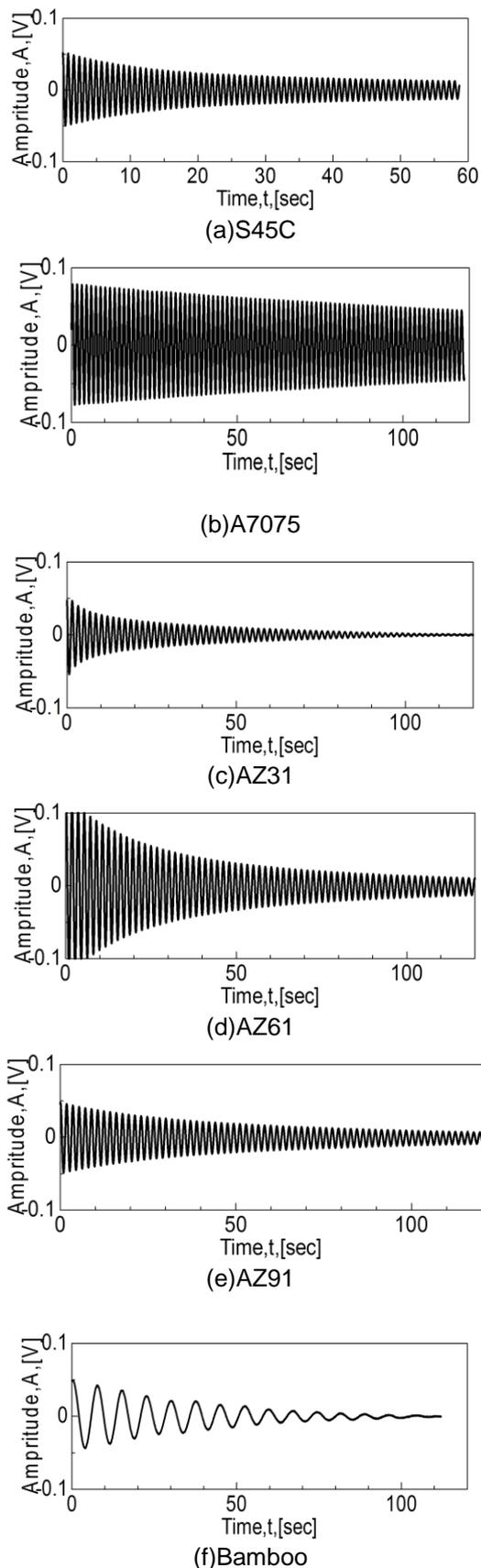


Fig.2 Examples of periodical damping curves.

Fig.3 に示す. 室温および 350°C との G の差が A7075 は約 4%, AZ31 は約 10%, AZ61 は約 10%, AZ91 は約 5% となった. 差が 10% 以内であるが温度が G に及ぼす影響が少ない範囲でも, 減衰率に影響がないとはいえない.

次に各材料の減衰率に及ぼす試験温度の影響を Fig.4 に示す. 温度の上昇に従い S45C 以外は 250°C 以上で減衰率が上昇した. S45C は溶融温度が高いため本実験の温度範囲では組織の変化がない. しかし他の金属では若干軟化したと考えられる. A7075 の減衰率は室温から 350°C で約 12 倍になり AZ31 は 4 倍, AZ61 は 9 倍, AZ91 は 10 倍となった. このことは高温において低温時の主変形機構とは異なる別の変形機構が活性化したものと考えられる. 特にマグネシウム合金においては 300°C 程度で柱面すべりや錐面すべり等の非底面すべりが活動できるようになる<sup>4)</sup>ことから高い減衰率が得られたものと考えられる.

AZ61 の微視的組織を Fig.5 に示す. ねじり試験を行っていない試験片を設定温度で加熱し試験片の横断面, 縦断面から観察した. 試験温度が 200°C 以上で組織がやや微細化しているのが観察された.

室温の場合, 竹の減衰率が高く試験温度が 350°C 以上では AZ31, AZ61, AZ91 が高い値となった. A7075 は試験温度 200°C 以上で S45C の減衰率を超え, 室温から 350°C までで最も減衰率が上昇した.

竹試験片の採取位置による減衰率の影響を Fig.6 に示す. 採取した竹の同じ節から東西南北に分けて計 4 本作製をした. 減衰率が最も高いのが南側, 最も

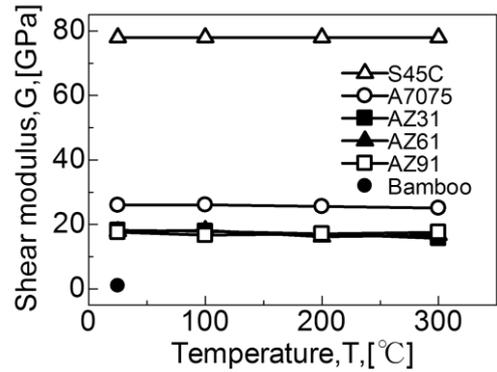


Fig.3 Influence of temperature on shear modulus of materials.

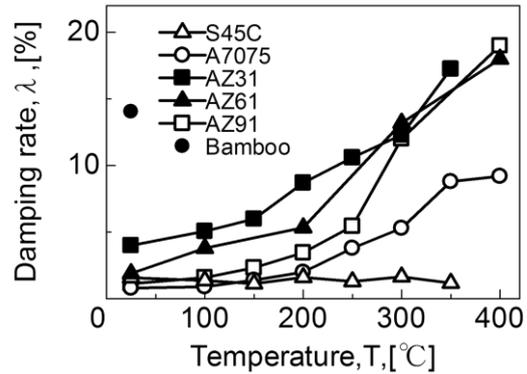


Fig.4 Influence of temperature on damping rate of specimens.

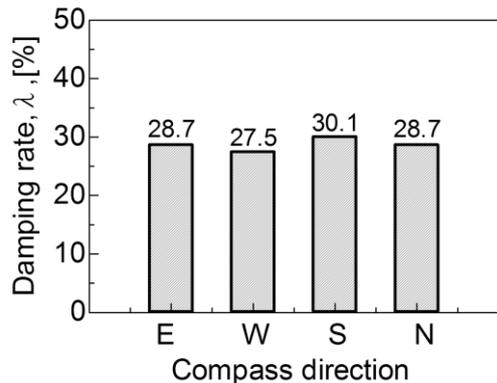
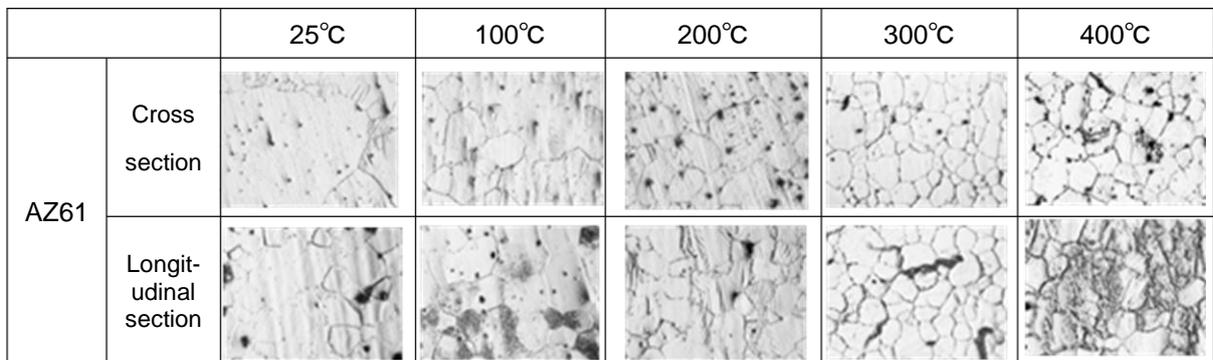


Fig.6 Influence of compass direction on damping rate of bamboo.



50 μm

Fig.5 Microscopic structures of AZ61 specimen.

低いのが西側であった。また東側，北側の減衰率も西側，南側と差が5%以内であることから竹の減衰率に及ぼす方位の影響は関係がないと考えた。

次に竹の保有する水分量(含水率)の変化を Fig.7 に示す。含水率の状態として絶乾状態(含水率 0~15%)，気乾状態(15~28%)，繊維飽和状態(28%)，生木状態(28%以上)の4状態がある。竹を採取してすぐに輪切りにし24hごとに240hまで電子天秤にて測定した。初めの24hでの減水が約42%と最も多く変化していることが認められた。約124hで水分の減少が無くなり，その後ほとんど変化が無く安定した状態になったと考えられる。竹を採取し，1週間(168h)以上保存したものを試験片に加工して試験に使用した。

次に竹繊維の量に及ぼす減衰率の変化を Fig.8 に示す。竹は竹繊維と柔組織(セルロース)に分けられる。竹繊維と柔組織の例を Fig.9 に示す。黒い部分が竹繊維，白い部分が柔組織であり外皮に近くなると共に繊維量が増加するのが認められる。内皮，外皮側で各3本ずつ試験片を作成し試験した結果，内皮側の平均竹繊維量は約26%，外皮側は約34%と内皮側は約8%少ない。しかし減衰率は内皮側が約2.4%高い。このことから減衰率は竹繊維の少ない内皮側が高いと認められた。

各種材料の減衰率を比較すると竹の減衰率が他の減衰率に比べ常温の場合で最も高い値であった。S45C以外の各材料は試験温度が上昇するにつれて減衰率も上昇した。A7075は温度変化の影響が大きく室温から350°Cまでに約12倍減衰率が上昇した。約300°C付近でAZ31は竹と同等の減衰率となった。

#### 4. 結言

本研究で S45C, A7075, AZ31, AZ61, AZ91 および竹のせん断弾性係数，減衰率を倒立ねじり振動法で測定し比較，検討した結果，以下の結論を得た。

- 1) 各材料の減衰率を倒立ねじり振動法により求めることが可能であった。
- 2) A7075, AZ31, AZ61, AZ91 は 250°C 以上で減衰率の値が著しく上昇した。
- 3) 竹の減衰率は方位の影響はほぼ認められない。
- 4) 外皮側の減衰率は内皮側と比較して低い傾向が認められた。

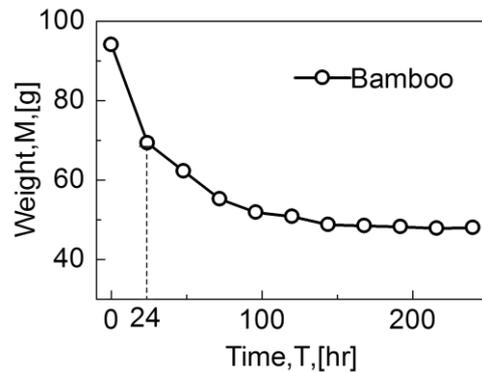


Fig.7 Influence of time on weight of bamboo.

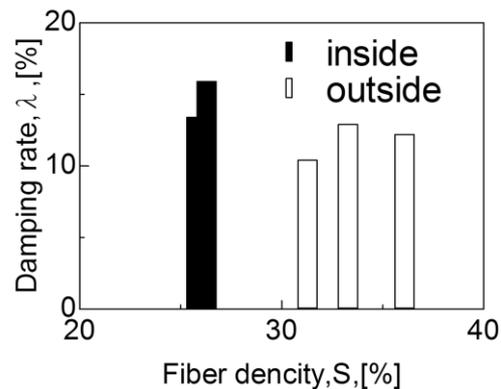


Fig.8 Influence of fiber density on damping rate of bamboo.

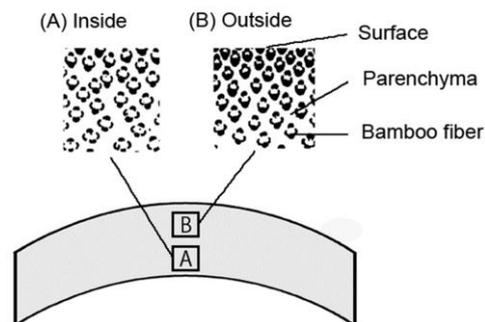


Fig.9 Microscopic structure of bamboo.

#### 「参考文献」

- 1) 日本学術振興会，“材料の振動減衰能データブック”，(2007), pp. 1-2.
- 2) 日本機械学会，“金属材料の弾性係数”，(1980), pp42-43
- 3) T. Shioya, T. Kakiuchi, K. Fujimoto and M. Sekine, " Estimation of visco-elastic constitutive equation from free oscillation experiment", Strength, Fracture and Complexity 6 (2010), pp. 33
- 4) 小島陽 伊藤忠男, " マグネシウム合金の応用と成形加工技術", (2001), pp12