

AE センサーを利用した機械材料のヤング率評価

伊澤 悟^{*1}

Evaluation of Young's Modulus in Mechanical Material using an AE-Sensor

Satoru IZAWA

The bending test is a method for measuring Young's modulus for a mechanical material. However, disadvantages of the bending test are that it is a major undertaking requiring an elaborate test device, and that it requires complicated calculations to determine Young's modulus. In this study, we use the AE-sensors used in the AE measurement, measures the speed of the longitudinal elastic stress wave to calculate the Young's modulus. Using an AE-sensor allows simple measurements of Young's modulus in any location. Since the size of specimens and the type of material they are composed of need not be specified, this method is suitable for field measurements. However, it is difficult to eliminate subtle sources of error that affect elastic waves in specimens, such as the sensor weight.

KEYWORDS : Young's Modulus, AE-Sensor Young's Modulus, Mechanical Material

1. 緒論

機械材料のヤング率の測定方法の例として曲げ試験がある。曲げ試験は、板状試験片に荷重を加え、はりのたわみからひずみゲージを用いてヤング率を求める方法である。しかし、曲げ試験を行うには実験装置などが大掛かりになることや、ヤング率を求めるまでの計算が複雑になるなどのデメリットがある。

本研究では、AE (Acoustic Emission) 法に用いられる AE センサーを使い、超音波パルス法と同じように試験片内部を伝播する弾性波の伝播速度を計測し、試験片のサイズの影響を受けない簡便なヤング率の測定方法について、実験力学的に検討を行った¹⁾。

2. 曲げ試験

曲げ試験によるヤング率の測定は、曲げ試験機による三点曲げ試験が主に用いられる。試験片は長い板状の試験片を用いる。試験片中央にひずみゲージを接着し中央に荷重をかけることによる試験片のたわみを計測する^{2),3)}。

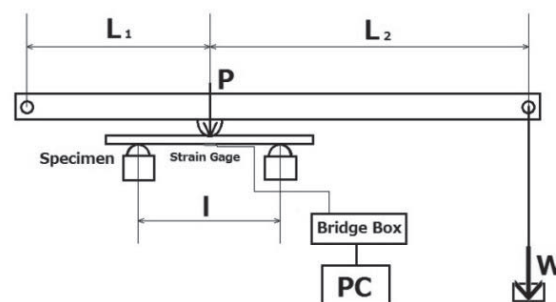


Fig.1 Schematic of Bend test.

*1 機械工学科(Dept. of Mechanical Engineering), E-mail: izawa@oyama-ct.ac.jp

簡易材料試験装置の概略図を Fig.1 に示す。L₁、L₂、荷重 W は、荷重 P を算出する際に用いる値であり、L₁、L₂ のレバー比から試験片に加わる荷重 P は次のようになる。

$$P = \frac{L_1 + L_2}{L_1} W$$

そして、三点曲げ試験のヤング率の式は次のようになる。

$$E = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

E はヤング率 [Pa]、P は荷重 [N]、l は支点間距離 [m]、b は板幅 [m]、h は板厚 [m]、ε はひずみ値である。

Fig.1 から分かるように、曲げ試験によるヤング率測定は大掛かりなものになる。

3. 調査結果

3. 1 AE センサーについて

AE とは、材料が変形あるいはき裂が発生する際に、材料に蓄えられていたひずみエネルギーを弾性波として放出する現象のことを呼び、AE センサーによって弾性波を検出し、評価する手法を AE 法と呼ぶ。

AE センサーは、弾性波が AE センサー内部の圧電素子に伝わり、電気信号に変換される圧電効果を利用している。原理自体は加速度センサーとほぼ同じで、決定的な違いは、圧電素子の上のおもりが無いことである。

3. 2 ヤング率の測定方法

細い棒中を伝播する弾性波の速度 C [m/s] は、

$$C^2 = \frac{E}{\rho}$$

で表される。

ここで、E はヤング率 [Pa]、ρ は密度 [kg/m³] である。密度は容易に測定できる物理量であるので、弾性波の速度が分かればヤング率を算出することができる。

本研究では試験片の大きさをノギス等で測定し体積を算出、質量を電子はかりで測定し、体積と

質量から密度を算出した。

3. 3 弾性波の発生方法

ヤング率を求めるためには弾性波の速度が必要である。ハンマーなどを使って試験片に弾性波発生させる方法などがあるが、人の手でハンマーを叩く強さを一定に保つのは難しい。

3. 4 弾性波の検出方法

固体内の弾性波を検出するセンサーとしては半導体ひずみゲージが最適である。半導体ひずみゲージはゲージファクターが 100 以上あるため、ブリッジ回路からの出力が大きく、アンプが必要とせず、出力を直接デジタルメモリーに取り込むことができるからである。しかし、半導体ひずみゲージは非常に繊細なセンサーであり、価格が高く、試験片に接着剤などで接着して使用するため、再利用ができないなどの問題がある。

これらの欠点を解消するために、AE センサーを半導体ひずみゲージの代わりに用い、弾性波を検出する。

AE センサーと試験片の接着はグリースをセンサーに塗布し試験片の中央に接着した。

鋼球により発生した弾性波を AE センサーにより検出し、アンプにより増幅されオシロスコープへと取り込まれる。取り込まれた弾性波の波形は USB メモリーに保存し、PC で解析した。

AE センサーによる弾性波の測定概念図を Fig.2 に示す。

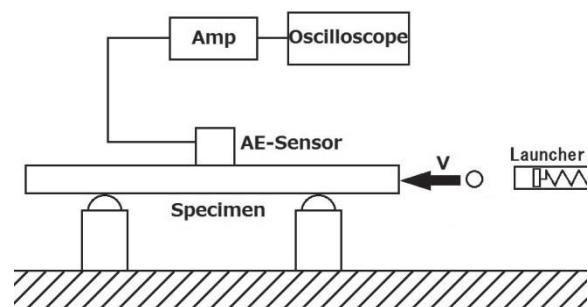


Fig.2 Schematic diagram of apparatus used in AE-Sensor method.

使用した AE センサーの仕様を Table1 に示す。

Table1 Specification table of the AE sensor.

Sensor name	Size (mm)	Resonant frequency	Measurement range
AE-901S	φ12×40	140kHz	500kHz
R6S	φ19×22	55kHz	100kHz

4. 実験結果

4. 1 弾性波の速度算出

試験片の断面形状と測定した密度を Table2 に示す。

Table2 Specification table of the specimen.

Material	Cross-sectional shape(mm)	Density (kg/m ³)
Steel	6×32	7861
Acrylic	10×10	1184
Al	5×25	2686
TPC	φ80	8912
Free-cutting brass	φ80	8450
Naval brass	φ80	8393
Nickel silver	φ60	8761

AE センサーにより検出した弾性波の波形の例を Fig.3 に示す。試験片はアルミニウムで長さは 50mm である。この図のピーク間の時間は弾性波が試験片を一往復した時間 t[s] であり、試験片の長さを L[m] とし、往復の回数 (ピークの数) を n[回] とすると、弾性波の速度 C[m/s] は、

$$C = \frac{2nL}{t}$$

となる。この式を Fig.3 に当てはめると、回数 n が 36 回、時間 t が 728μs、試験片長さ 49.3mm なので弾性波の速度 C は 4877m/s となり、ヤング率 E は 64.2GPa となる。

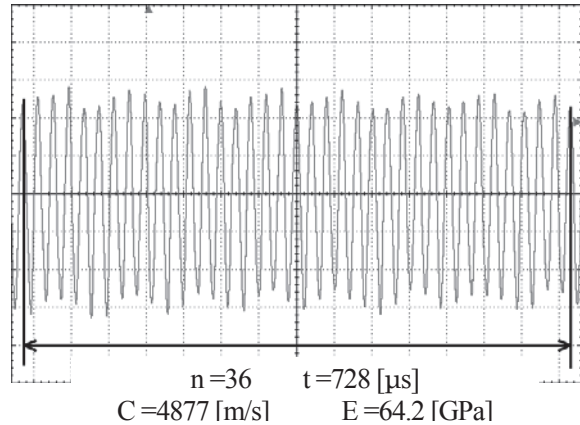


Fig.3 Example of the elastic stress wave detected in AE-Sensor.

4. 2 AE センサーによるヤング率測定結果

AE センサーにより得られた実験結果を Table3 に示す。標準偏差のデータ数は 10 データである。

2 種類のセンサーを使用した実験結果に大きな違いはなかった。R6S の大きさでは一部の試験片に取り付けが難しいため直径が小さい AE-901S を主に使用した。

丸棒の試験片については、AE センサーを鋼球を当てる反対側の端面に接着し測定した。

また、本実験での検出周波数はアクリルで約 10kHz、アルミニウムで約 10 から 50kHz、鋼、タフピッチ銅、快削黄銅、ネーバル黄銅、洋白は約 6kHz である。この検出周波数は試験片の長さによって変動する。

鋼の下段の数値は曲げ試験によって得られた結果である。

実験結果からおおよそ理論値に近い値を示した。しかし、材質によって、理論値に対する実験値の値が大きくなったり小さくなったりしている。同じ材質の場合、長さや質量の影響により誤差が出たと考えられる。

タフピッチ銅と洋白が大きい値になったのは、センサーを端面に接着したことと、試験片が大きく重いことによるセンサーの質量による影響が小さいためと考えられる。

アルミニウムとアクリルの波形例を Fig.4 に示す。どちらも試験片長さは 50mm で、横軸の一マスの大きさは 10ms である。アクリルなどのプラスチックは Fig.4 のように減衰がアルミニウムなどの金属と比べ早く、周波数も小さいため、弾性

波を検出しても、アルミニウムなどと比べ波数が多く取れず正確な測定がしづらく、バラツキが大きくなったものと考えられる。

Table3 Experimental results by AE-Sensor.

Material	Length of specimen (mm)	E (GPa)	Standard deviation (GPa)
Steel	400.1	204.2	4.27(2.09%)
		210.8	Bending test
Acrylic	100.20	3.21	0.128(3.97%)
	79.38	2.99	0.563(18.9%)
Al	149.56	66.3	0.154(0.232%)
	100.75	65.8	0.311(0.472%)
	49.30	64.2	0.190(0.296%)
TPC	302.0	120.6	0.219(0.182%)
Free-cutting brass	301.4	91.5	0.235(0.257%)
Naval brass	301.1	100.8	0.263(0.260%)
Nickel silver	301.2	136.0	0.991(0.729%)

5. 結論

- (1) AE センサーを利用することで簡便にヤング率を計測することが可能で、場所を選ばないでヤング率を計測することが出来る。
- (2) 試験片のサイズや材料の種類が特定されないために現場向きの計測方法といえるが、センサーの質量の影響など、細かい部分で試験体の弾性波への誤差要因を取り除くことは難しい。

参考文献

- 1) 伊澤 悟, 橋本 彰三, AE センサーの利用によるセラミックスのヤング率測定, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会講演論文集 2000, (2000), 223-224
- 2) 河本 実: 材料試験, 朝倉書店, 43-47
- 3) 高橋 賞, 河井正安: ひずみゲージによるひずみ測定入門, 大成社, 41-54

【受理年月日 2016年 9月29日】

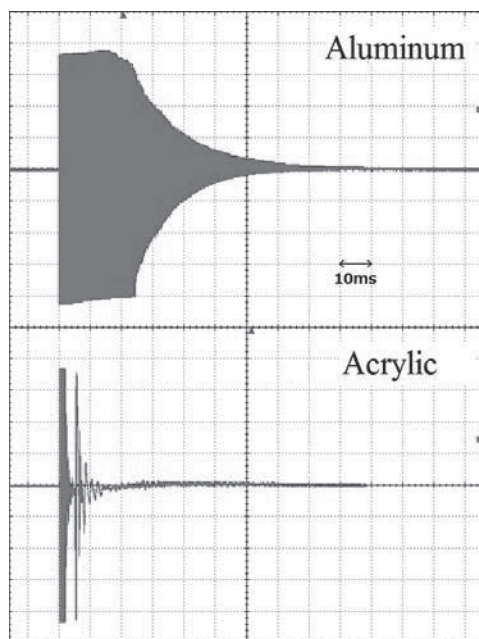


Fig.4 Waveform examples of the Aluminum and Acrylic