

京都大学大学院 学生員 ○梅田 聡
 京都大学工学部 正 員 小林昭一
 フジタ工業 正 員 岩本宏樹

1. はじめに

等方かつ均質な弾性体の応力-ひずみ関係は、弾性範囲内では一般に比例関係にあるとみなされている。しかし、実際には、わずかではあるが応力-ひずみ関係は非線形であり、応力に応じて弾性係数は変化する。この弾性係数の変化により、弾性体は音響的に異方性となり、ひいてはその中を伝播する弾性波の伝播速度が変化する。これを音弾性 (acoustoelasticity) という。したがって、弾性波の伝播速度の変化を測定することによって弾性体内の応力の状態を逆に知ることができる。

本研究は、このような弾性波の音弾性現象の理論を特に、表面波 (Rayleigh 波) に応用しようとしたものである。すなわち、Rayleigh 波の伝播速度の変化を実験的に高精度で測定することにより、供試体内部の応力状態を推定しようとするものである。横波や縦波でなく、Rayleigh 波の伝播速度を測定する理由は次のためである。一般に土木構造物はかなりの厚さを持っており、横波や縦波では減衰してしまうことが予想される。これに対して、Rayleigh 波は、距離減衰がほとんどなく、また、その周波数を小さくすると影響域は表面から次第に深い領域にまで及ぶため、周波数を適当に変化させて、3次元的な応力解析が行える可能性がある。よって、音弾性による応力解析に Rayleigh 波を用いることは非常に有効と考えられ、本研究は非破壊試験としての応力測定を目的とする基礎的研究となるものである。

2. 実験概要

1) 実験装置

Fig.1 に本装置のブロックダイアグラムを示す。送受信用トランスデューサーとしては、固有振動周期 2 MHz の振動子を使用した。供試体面への圧着には、Fig.2 に示すようなくさび形の装置を用い、これを供試体面へねじで締め付けて固定させるという方法をとった。両くさび間距離は、Rayleigh 波を実体波と区別して受信させるために、反射波が返ってこない範囲でできるだけ大きくする必要があり、2 cm に固定した。くさび形装置を用いることにより、トランスデューサーと供試体面の間の音響的エネルギーの伝達を確実にすることができる。伝播時間の測定は、シングア라운드装置からの周期をユニバーサルカウンターで測定した。なお、送信力増強、周波数変換のためにファンクションジェネレーターを、また受信信号を増幅させるためにアンプを、さらに余分な周波数の波を遮断するためにフィルターをそれぞれ用いた。

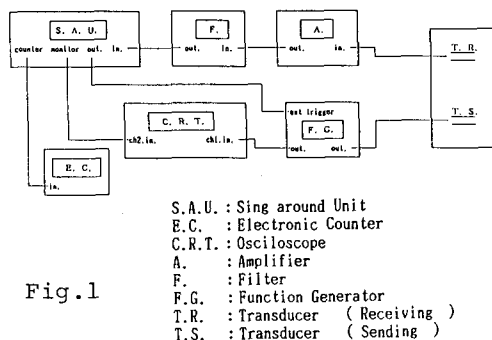


Fig.1

2) 実験方法

供試体としては、純アルミ、5212アルミ合金 (圧延方向が Rayleigh 波の伝播方向と平行なものと垂直なもの) の計 3 本の金属棒を使用した。これらの供試体を適当な長さの片持ちばりとして固定し、おもりを載せることにより曲げモーメントを作用させる。これを引張側、圧縮側各々 8 段階に荷重を変化させ、その各段階について、载荷、除荷を 3 回ずつ

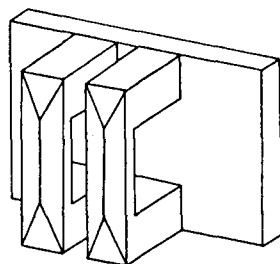


Fig.2

Rayleigh 波の伝播時間を測定した。また、ユニバーサルカウンターに表示されるシングア라운드周期はシングア라운드 10^4 回の平均値とした。

3. 実験結果

曲げモーメントが作用した時の矩形断面ばりの縁応力 σ は次式のように求められる。

$$\sigma = \pm \frac{M}{I} \frac{R}{2} = \pm \frac{GM}{bR^2} \quad (+ \text{は引張, } - \text{は圧縮を示す。})$$

本実験ではシングア라운드周期を測定した。その値は、 $(S.A.P.) = T_0 + T_d$ として与えられる。ただし、 T_0 は Rayleigh 波が供試体内部を伝播する時間、 T_d は遅延時間である。

一方、Rayleigh 波の伝播速度 V 及びその変化率 $\Delta V/V$ は次のように求められる。

$$V = L/T, \quad \Delta V/V = \Delta L/L - \Delta T/T$$

ここで、 L は Rayleigh 波の伝播距離であり、 ΔT は T の初期応力状態での Rayleigh 波の伝播時間 T_0 の差より、 $\Delta T = T - T_0$ として求まる。また、 $\Delta L \approx 0$ (L は固定) であるので、 $\Delta L/L$ は無視できる。つまり、 $\Delta V/V$ は、

$$\Delta V/V = - \frac{(S.A.P.) - (S.A.P)_0}{T} \doteq - \frac{(S.A.P.) - (S.A.P)_0}{T_0}$$

となる。なお、 T_0 は $T_0 = (S.A.P.) - T_d$ により、さらに、くさびの edge 間距離を変化させてシングア라운드周期を測定し、グラフ上にプロットすることにより、edge 間距離がゼロの時のシングア라운드周期を読み取ることができ、 T_d を決定することができる (Fig.3)。これにより、 T_d は $516.79 \mu s$ と求められた。Fig.4 は、横軸に縁応力の絶対値を、縦軸に伝播速度の変化率をとって図示したものである。各データは載荷、除荷計 6 回の平均値で表した。また、 $\Delta V/V > 0$ の 3 タイプは引張を (a)、 $\Delta V/V < 0$ の 3 タイプは圧縮を (b) それぞれ表す。

4. おわりに

Fig.4 より、Rayleigh 波の伝播速度の応力依存性は小さいけれども明確であることがわかる。しかも各結果ともほぼ直線的な変化を示している。さらに、この実験では、かなり高精度の測定機器を用いることにより、従来の実験の $1/10$ 以下という荷重をかけて測定を行い、成果を上げることができた。各供試体に共通した特性として、Rayleigh 波の伝播速度は、引張負荷を受けると小さくなり、圧縮負荷を受けると大きくなるがいえる。また、アルミ合金については、その圧延方向により Rayleigh 波の伝播速度の応力依存性に違いが現れる。ということが確かめられた。

今後この手法は、他の供試体 (ex. 岩石) にも適用できるものと思われる。また、この実験では雑音の影響が最大の問題となるため、どのようにすれば高い精度で測定できるかということが課題となるであろう。

