

I-387

縦波及び表面波による音弾性定数の測定

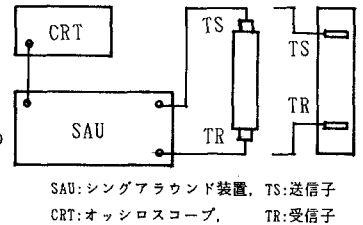
京都大学 正員 ○小林 昭一, 竹中土木 呉 勲, 京都大学学生 上山 高史

1. はじめに

弾性波の伝播速度は応力に比例することが知られている。この現象を音弾性と呼び、単位の応力変化に伴う弾性波の伝播速度の変化率を(応力)音弾性定数という。個々の材料について、それを求めておけば、弾性波の伝播速度を測定することによって、逆に構造体の応力状態を推定することができる。この報告文では、1)縦波及び表面波の音弾性定数を測定する方法、並びに2)得られた結果(音弾性定数)について述べる。

2. 試験及び測定装置

測定装置：弾性波の伝播速度を正確に測定するために、シングア라운드周期計測器を用いた測定系を考えた(図-1参照)。また、計測精度を高めるために、 $10^3$ - $10^4$ 回の繰返し計測を行った。なお、波形のモニター用にオッシロスコープを組み込んだ。送受信子：縦波の送受信には、超音波探傷用分割型トランスデューサー(トキメック社製、5Z5ND-S(5MHz))を用いた。表面波の送受信には、表面波トランスデューサーを用いた。それは、縦波用トランスデューサー(トキメック社製、2Z10N-M(2MHz))を、丁度表面波を受送信するような角度に切り出したポリメチルメタクリレート樹脂のウェッジに圧着固定したものである。



SAU:シングア라운드装置, TS:送信子  
CRT:オッシロスコープ, TR:受信子

図-1 測定装置

3. 縦波の音弾性定数

試験法：直棒の引っ張り試験を実施し、試験片の引っ張り方向に伝播する縦波の伝播速度を計測した。なお、引っ張り荷重下で縦波の伝播時間を計測する必要から、棒の一端に縦波用のトランスデューサーを装着したままで負荷できる治具を製作した。上記のトランスデューサーにより試験片の一端から縦波を入射し、他端(自由端)からの反射波を受信した。なお、周期計測はゼロクロス法によった。

試験片：試験片は、i)アルミニウム合金(5052及び2017)並びにii)軟鋼(SS41)の正方形断面の直棒(寸法  $12 \times 12 \times L$ mm)の両端に長さ 10mmのネジを切ったものである。長さは  $L=70, 12, 200$ mmである。

測定法：引っ張り試験により、順次負荷及び除荷したときのシングア라운드周期を計測した。

応力に伴う伝播速度の変化率：弾性波の伝播速度  $v$ は、伝播距離を  $L$ 、伝播時間を  $T$ とすると、 $v=L/T$ で与えられるので、その変化率は、 $\Delta v/v_0 = \Delta L/L_0 - \Delta T/T_0$ となる。ここに、添字0は初期状態を意味している(以下でも同様に用いる)。この式の右辺第1項は、ひずみである。第2項は、伝播時間の変化率である。この両者が測定される。なお、第2項を計算するためには、 $T_0$ を前もって求めておく必要がある。

時間変化率の測定：シングア라운드周期(S.A.P.)には、適当にセットした遅延時間、電気回路系の遅れ及びトランスデューサーの電気-機械振動変換の遅れ並びにその逆での遅れなど、計測回路の遅れ( $\tau$ )が加算されることになる。即ち、 $(S.A.P.) = T + \tau$ 、 $(S.A.P.)_0 = T_0 + \tau_0$ 。ここでは、 $\tau = \tau_0$ とした。

従って、 $\Delta T/T_0 = ((S.A.P.) - (S.A.P.)_0) / T_0 - ((S.A.P.) - (S.A.P.)_0) / ((S.A.P.)_0 - \tau_0)$ を得る。なお、これを用いるためには、予め  $\tau_0$ を決定しておくことが必要である( $\tau_0$ は、初期状態で、伝播距離  $L$ だけを変化させた時の(S.A.P.)を計測し、 $L \rightarrow 0$ とした極限として求められる)。ここでは、 $\tau_0 = 519.8 \mu \text{sec}$ と求められた。よって、 $T_0 = (S.A.P.)_0 - 519.8 (\mu \text{sec})$ である。なお、一軸単位応力によるその方向の軸ひずみ( $\Delta L/L_0$ )は、アルミニウム合金では、約  $1.43 \times 10^{-6}$ 、SS41(軟鋼)では約  $0.476 \times 10^{-6}$ であった。

試験結果：図-2に、応力とシングア라운드周期との関係の一例を示す。このような試験結果を用いて縦波の音弾性定数を求めると表-1のようになる。なお、ひずみは別途に測定した結果を用いた。

4. 表面波の音弾性定数

試験法, 試験片と測定法: 上述のシングアラウンド周期計測法により, i)アルミニウム合金(5052及び2017)並びにii)軟鋼(SS41)の直棒試験片(20x12x400mm)について, 引っ張り試験を実施し, 縦波の場合と同様な方法で測定した. この場合には,  $\tau_0=529.9\mu\text{sec}$ であった.

試験結果: 図-3に応力とシングアラウンド周期との関係の例を示す. なお, トランスデューサーの間隔は約4cmとした. このような試験結果を用いて表面波の伝播速度の変化率を求め, 音弾性定数を求めると表-2のようになる. なお, ひずみは別途に計測したものをを用いた.

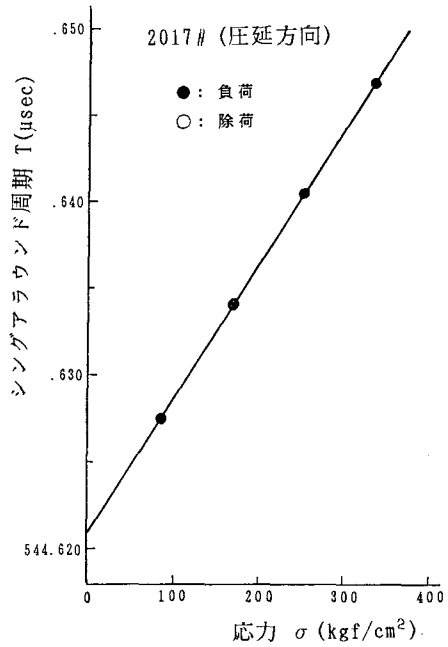
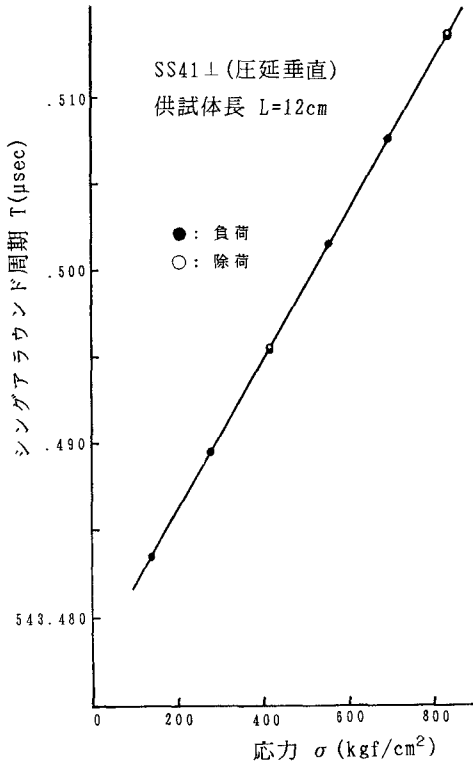


図-2 応力とシングアラウンド周期(縦波)

図-3 応力とシングアラウンド周期(表面波)

5. 応力の推定

構造体に存在する応力を推定することは重要である. 上記のように検定した音弾性係数を用いれば, 直棒(ボルト)

表-1 縦波の応力音弾性係数

材料	5012	2017	SS41
圧延方向	-4.79	-4.87	-1.24
圧延垂直	-4.58	-4.84	-1.29

( $\times 10^{-6}/(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ )

表-2 表面波の応力音弾性係数

材料	5012	2017	SS41
圧延方向	-1.22	-1.24	-0.209
圧延垂直	-1.18	-1.21	-0.233

( $\times 10^{-6}/(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ )

のような, 一軸応力が生じている部材の応力は容易に推定できる. 平面応力の推定には, 更に音弾性定数のクロスエフェクトを調べておくことが必要であろう.

6. おわりに

応力推定の精度は, 音弾性係数の精度に依存する. 更に詳細な研究が必要であろうが, 超音波(弾性波)を用いた応力測定の可能性は示されたと思う. なお, 残留応力測定への応用については現在検討中である. 将来, 機器と測定法の改良が進められて, 超音波を用いた応力測定法が実用化されることを期待したい.