

1. はじめに

構造物や構造部材には、荷重による負荷応力の他に、製造・建設過程で応力(残留応力)が生じ、さらに経年変化による応力も加わる。構造物が設計時に期待した安全性・耐久性を保持しているか否かを調べるには、これらの応力状態を把握することが基本である。さらに、それには非破壊的に検査ができることが望まれる。超音波応力測定は、このような要請を満たす応力測定法として期待されている。一方、材料や構造物では、最大応力はその表面に生じることを考えると、表面波を用いた超音波応力測定が最も重要となる。

超音波応力測定では音弾性定数(単位応力当たりの伝播速度変化率)と呼ばれる材料定数を求めることが肝要である。この報文では、表面波の音弾性定数を求める方法について検討した結果について述べる。

2. 音弾性定数

固体を伝播する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(音弾性効果という)。このとき単位応力当たりの伝播速度の変化率(比例定数)を音弾性定数という。音弾性定数は、個々の材料により異なるので、実験的に求めざるを得ない。応力の測定は容易であるけれども、弾性波の伝播速度を直接に測定することはできない。通常は、既知の距離を伝播する波動の伝播時間を正確に計測して、それをもとに速度を算定している。弾性波の伝播速度変化率と応力の関係は 1 次元では次式で与えられる。

$$\frac{v_1 - v_{10}}{v_{10}} = \frac{\Delta v_1}{v_{10}} = k_1 \sigma_{11}$$

ここに、 v : 伝播速度、 σ : 応力、 k : 音弾性定数、 $()_0$ は初期状態を表す。

一方、伝播距離を L 、伝播時間を t とすると、 $v = L/t$ であるので、

$$\frac{\Delta v_1}{v_{10}} = \frac{\Delta L_1}{L_0} - \frac{\Delta t}{t_0}$$

を得、弾性関係式 $\sigma = E \varepsilon$ (E : ヤング率、 ε : ひずみ)を用いると、音弾性定数は次式より求められる。

$$k_1 = \frac{1}{E} - \frac{\Delta t}{t_0} \frac{1}{\sigma_{11}}$$

材料のヤング率が既知であれば、計測すべき量は応力と伝播時間である。

3. 実験方法

時間の高精度計測には、代表的なものとしてシングアラウンド法がある。また、デジタル・オシロスコープを用いてスタッキングした波動から伝播時間を直読する方法なども考えられる。前者は確立された方法であるが、後者はテスト中である。後者の実験システムを図-1 に示す。

実験では、供試体の片持はり(10×10×500mm)に漸次負荷・除荷しつつ、約 40mm 離れた 2 点間を表面波が伝播する時間を計測した。表面波はくさび型振動子(トキメック、2MHz)を使用して発生させ、波動の検出には試作した線接触(ナイフエッジ)の検出センサーを使用した。なお、供試体との接触面にシリ

コーン・グリースを薄く塗布し、2つの検出センサーは互いに平行にして、供試体に垂直になるように取りつけた。計測器としては、パルサー(メトロテック社, MP215)、ゲート(メトロテック社, MG701)、レシーバ(メトロテック社, MR101)を、モニターにはデジタル・オシロスコープ (LeCroy, 9304)を用いた。

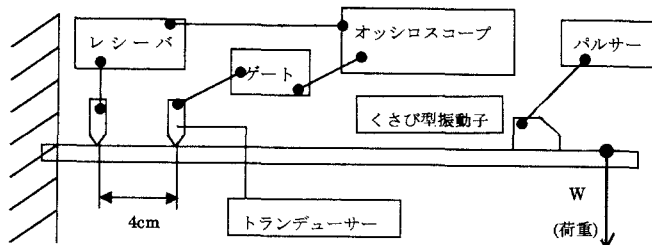


図-1 実験システム (オシロスコープ直読法)

i) 供試体 アルミニウム合金(5052)及び軟鋼(SS400)板から、その軸方向がロール方向に平行及び垂直になるように切り出したものである。いずれも、表面は#1000 程度のエメリーペーパーで滑らかに仕上げた。

ii) 測定方法 先ず、集中荷重を片持ばりに 0.5kgf 或いは 1.0kgf 毎に順次負荷及び除荷し、曲げに伴う引張り縁応力のもと表面波の伝播時間を計測をした。次に、送受信振動子を装着したままで供試体を反転させて同様にして、圧縮応力のもとで伝播時間を計測した。

iii) シングアラウンド周期測定法 くさび型振動子とそれぞれの検出センサー間の伝播時間に遅延時間を加えたものを 1,000 回計測して、それぞれのセンサーまでの(伝播時間+遅延時間)を求め、その差を取ってセンサー間の伝播時間とした。計測精度は、0.4 nsec 程度である。

iv) オシロスコープ直読法 くさび型振動子に近い方のセンサーからの波形にゲートをかけてデジタル・オシロスコープにスタッキング(1,000 回)記録し、遠い方のセンサーからの波形を 1,000 回スタッキングして組み込みの演算装置を用いて、それに重ねて記録した。それを 40 倍に拡大して、それぞれの波動の第 1 ピーク後のゼロ値を差読用のカーソルを用いて読んだ。なお、その値はデジタルで表示されている。精度は、0.25 nsec 程度である。

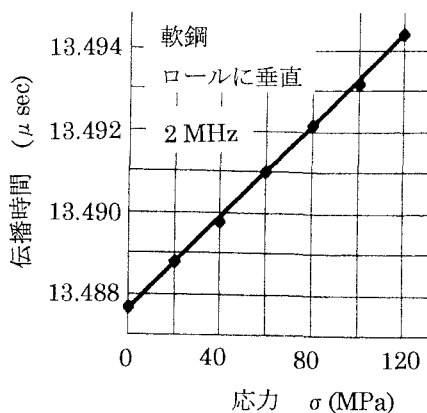
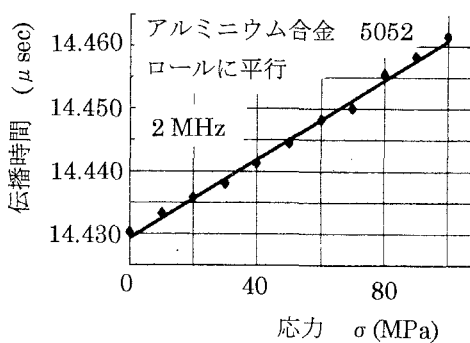


図-2 応力-伝播時間(TOF)

4. 試験結果

i) 試験結果 センサー間の表面波の伝播時間 (TOF) と応力の関係の例を図-2 に示す。

ii) 音弾性定数 アルミニウム合金及び軟鋼の弾性係数を、それぞれ 72GPa 及び 210GPa として音弾性定数を求めた。その結果は、次のようであった。

アルミニウム合金 5052 $-1.1 \times 10^{-5} / \text{MPa}$,

軟鋼 $-0.18 \times 10^{-5} / \text{MPa}$

4. おわりに

デジタルオシロスコープを用いた直読法でもシングアラウンド法によるのと同程度の精度で計測できることが確認できた。この実験は、卒業研究の一部として実施したものである。卒業研究生：戸谷友昭，南嶋啓三，吉間仁人，佐藤栄康，石原淳考，中村隆行，山田浩司各君に謝意を表したい。また，測定器類は京都大学大学院環境地球工学専攻地圏工学研究室所属のものを使用させて頂いた。使用を快諾された西村助教授に厚くお礼を申し上げる。