

I - A52

レーザ速度計測による超音波トランスデューサの特性決定解析について

京都大学工学研究所 正会員 西村直志
東海銀行 非会員 梅村 直也
京都大学工学研究所 フェロー 小林昭一

1 序

著者らは、これまで超音波波形を用いて構造物に内在する欠陥を検出し、その形状を決定する逆問題の数値解法について研究してきたが [1]、その際、欠陥を照射する入射波、および欠陥からの散乱波が、速度などの物理的意味のはっきりした量として計測できることが前提であった。ところが入射波の発生や、散乱波の受信に圧電素子を用いた超音波トランスデューサを使う場合、これらの前提はいずれも満たされない。幸い、超音波の受信にレーザ速度計を用いることによって、付加的にトランスデューサから発生する弾性波動の決定逆問題を解けば、この問題は解決されることが示された [2]。そこで今回は、新たに欠陥を有する供試体を用いて実験と解析結果の比較を行ない、トランスデューサ特性決定問題の解析結果の妥当性を検討した。

2 実験

使用した供試体（図1）はアルミ合金製の直径150.5mm、厚さ48.9mmの円柱で、底面の中心から上に向かって直径20.0mm、深さ44.1mmの円柱状の空洞（人工欠陥）を加工する。この供試体を除振台の上に支持し、ソニックス社製トランスデューサ（500KHz、振動面の直径=15mm）を供試体の中心から20mmのところに取り付ける。トランスデューサにはRITEC社製のパルサにより電気パルスを入力し、超音波を発生させる。レーザ速度計を用いた速度計測は、図中の測点 $L_{1,2,3,4}$ および R_1 において行う。 L_1 、 R_1 はトランスデューサ中心から22mmのところ、残りの点は5mm間隔にとる。使用したレーザ振動計は小野測器製で、改造により測定可能周波数は5MHz以下となっている。レーザ振動計は速度に比例する電圧を発生し、これをデジタルオシロスコープ（LeCroy社製）により計測する。なお、こういった計測では、ノイズを完全に除去することは難しく、フィルタの使用は波形を損ねる恐れがあるので、2000回の計測結果をスタッキングしてS/N比を向上させた。

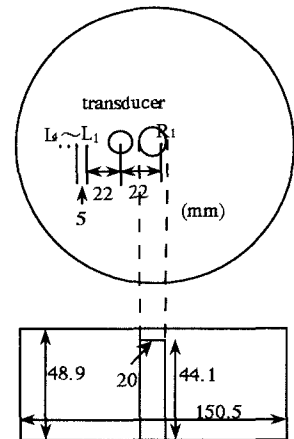


図1: 供試体

3 逆問題

トランスデューサの作用を一樣な垂直応力 $p(t)$ によりモデル化すると、積分方程式

$$V^j(t) = \int_0^t k^j(t-s) \dot{p}(s) ds \quad (j = 1, \dots, N) \quad (1)$$

が得られる。ここに、 $k^j(t)$ はトランスデューサ断面に一樣な単位大きさの荷重が時間方向にパルス的に作用した時の観測点 x^j の変位の法線方向成分、 $V^j(t)$ はレーザ速度計測により求められた点 x^j での法線方向速度、 N は観測点の数である。この積分方程式を直接解くことは数値的に非常に不安定であるので、良く知られた Tikhonov の正則化を用いれば次の積分方程式を得る [2]。

$$\varepsilon \dot{p}(s) + \int_0^T K(s, \tau) \dot{p}(\tau) d\tau = \sum_j \int_s^T k^j(t-s) V^j(t) dt, \quad K(s, \tau) = \sum_j \int_{\max(s, \tau)}^T k^j(t-s) k^j(t-\tau) dt \quad (2)$$

ここに、 ε は Tikhonov の parameter である。式 (2) を $\dot{p}$ について解けばトランスデューサから発生する波動が決定される。

キーワード: 超音波トランスデューサ、Laser 速度計、逆問題
連絡先: 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5115, FAX 075-753-5066

4 解析の詳細

図1における4つの計測点 $L_1 \sim L_4$ で得られた速度データのうち、 L_1 における立上り時刻からほぼ $6\mu\text{s}$ の間のデータを用いて逆解析を行なった。この間に、トランスデューサから出た超音波が供試体の下面や側面で反射することなく、また空洞からの波動が点 $L_1 \sim L_4$ に届く事もない (R_1 には届く)。それゆえ、 p の決定においては考える領域は半無限弾性体と考えて良く、式(1)、(2)に現れる関数 $k^j(t)$ は良く知られた Lamb の解を積分することによって得られる。このようにして求めた $\dot{p}$ を用いると、順問題を解くことによって R_1 における波動を計算することが出来る。この際、空洞からの反射波が問題となるので、Lamb の解を用いることは出来ないが、供試体側面や底面からの反射は考えなくて良く、時間域の3次元境界積分方程式法(境界要素法)を用いると比較的容易に解析を行なうことが出来る。今回の解析では、供試体上面を十分な広さを残して打ち切った768要素メッシュが用いられている。なお、供試体の実測値に基づき、P波速度 $C_1 = 6300\text{m/s}$ 、S波速度 $C_2 = 3000\text{m/s}$ を用いた。

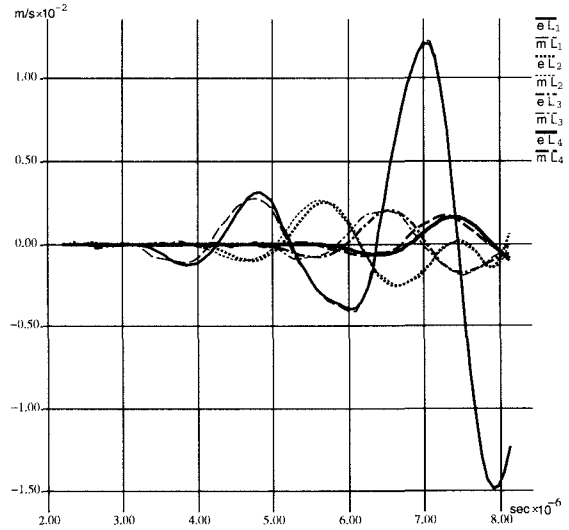


図2: 点 $L_1 \sim L_4$ における計算された速度と、その実測値

5 解析結果と結論

計測点 $L_1 \sim L_4$ におけるデータを使って得られた $\dot{p}(t)$ を用いて逆算した点 $L_1 \sim L_4$ での法線方向速度を、計測した法線方向速度と合わせて図2に示す。図中、 eL_i は、点 L_i における計算値、 mL_i は、同じく実験値を表している。図における計算結果と実験結果は良好な適合を示している。図3では求められた $\dot{p}(t)$ を使って境界積分方程式法により計算された点 R_1 での法線方向速度と、同じく計測値とを合わせて示す。図中、実線が計算値、破線が実験値を示している。多少の波形の相違はあるが、傾向としては合っているといえよう。

本報告の結果において、空洞の影響を受ける点 R_1 での解析による速度波形と計測による波形とがある程度合った事により、トランスデューサの同定問題の解決に一步近づくことが出来たと言えよう。

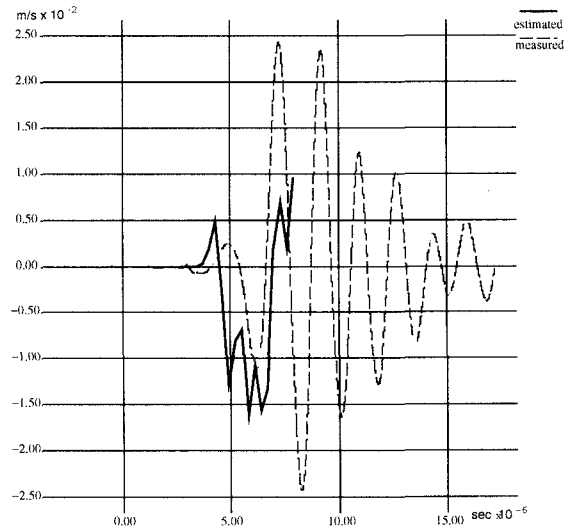


図3: 点 R_1 における計算された速度と、その実測値

参考文献

- [1] N. Nishimura, Crack determination problems, In; Theoretical and Applied Mechanics, 46, (Eds. G. Yagawa and C. Miki), Hokusensha Publ., 39, 1997.
- [2] N. Nishimura and S. Kobayashi, Determination of ultrasonic transducer characteristics with laser measurements, In; Inverse Problems in Engineering Mechanics, (Eds. M. Tanaka and G.S. Dulikravich), Elsevier, 197, 1998.