

アコースティック・エミッションの破壊源探査の精度

京都大学工学部 正員 丹羽 義次
京都大学工学部 正員 ○大津 政康

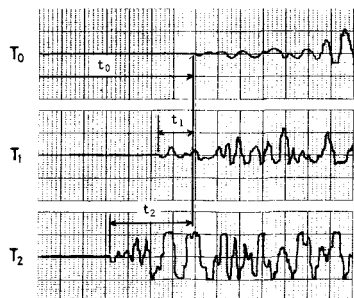
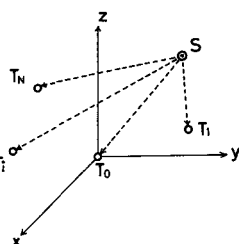
1. はじめに

破壊源探査法は、多種多量なAEの情報のなかで、現在までのところ最も定量的なものであり、構造物やその部分の欠陥箇所を検出を目的とした非破壊検査、材料の破壊過程の追跡、破壊機構の解明などに今後の活用が大きいと期待される手法である。

本報告は、破壊源探査の精度の向上、伝播速度の異方性の考慮などを意図して、この手法の改良を試みたものであり、その方法、精度などを検討し、最後に圧縮、割裂試験における微小破壊源の追跡に適用した結果を述べたものである。

2. 破壊源探査法

Fig.1に示すように基準とするトランスデューサー T_0 を原点として三次元座標系をとり、トランスデューサー T_i の座標を (a_i, b_i, c_i) 、破壊源を $S(x, y, z)$ 、縦波伝播速度を v 、 S から T_0 までの到達時間を t_0 、 T_0 と T_i の到達時間差を Δt_i とすれば、破壊源からの到達距離 R_i の差 $D_i = R_i - R_0$ に関する N 個の二乗双曲面の式



a)

b)

Fig. 1 トランスデューサー配置と記録波形

$$R_i - R_0 = \sqrt{(x-a_i)^2 + (y-b_i)^2 + (z-c_i)^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = D_i \quad (i=1, \dots, N) \quad (1)$$

が得られる。式(1)は、 x, y, z に関する非線形連立方程式であり、直接計算には不向きであるため、各式を平方し差をとり $N-1$ 個の線形連立方程式として解を求める。しかし、計測誤差、 μsec サンプリングなどにより双曲面は必ずしも一点で交わらず、このとき線形方程式の解は真の破壊源からはずれた所に求まることになる。

そこで、この解の改良を行うために式(1)に誤差 E_i を導入し、線形方程式の解の位置ベクトル X_a に対し、真の解 X は、 $X = X_a + \Delta X$ にあると考え、式(1)の左辺をテーラー展開すれば、下のような誤差に関する方程式

$$E_i = D_i - (R_{ia} - R_{0a}) - (C_{ia} - C_{0a}) \Delta X \quad (i=1, \dots, N) \quad (2)$$

が得られる。ここに C_{ia} は、 T_i から X_a への方向余弦 (l_{ia}, m_{ia}, n_{ia}) からなる行ベクトルである。式(2)の誤差 E_i に最小二乗法を適用すれば、 ΔX が決定される。そこで新たに $X_a = X_a + \Delta X$ として $\Delta X \approx 0$ まで反復計算を行う。

同様な手法は、速度に異方性がある場合にも適用しうる。例えば、 x, y, z 方向の伝播速度が v_x, v_y, v_z であると考えられるとき、任意の方向 (l, m, n) の速度 v は、下のようなになる。

$$v = \sqrt{v_x^2 l^2 + v_y^2 m^2 + v_z^2 n^2}$$

これを考慮し、上と同様な方法を用いれば、到達時間差に関する N 個の方程式

$$t_i = (R_{ia} + C_{ia} \Delta X) / v_{ia} - (R_{oa} + C_{oa} \Delta X) / v_{oa} \quad (i=1, \dots, N) \quad (3)$$

が得られる。式(3)にも最小二乗法を適用すれば、 ΔX が決定され、反復計算により解 X が求められる。式(3)は、速度に異方性がないと考えれば、式(2)と全く同じであることに注意されたい。

3. 精度の検証と破壊源探索例

この手法の精度の検証を行うために、幾つかの数値実験を行なった。Fig.2は、一例として、割裂試験を想定し、試験と同じトランスデューサーの配置に對して、斜線で示す断面に破壊源が存在するとして μsec サンプリングの時間差データを与え、破壊源決定を行なった際の、実際の点との X, Y, Z 方向の誤差を示したものである。トランスデューサーの配置のため供試体上部になる程、

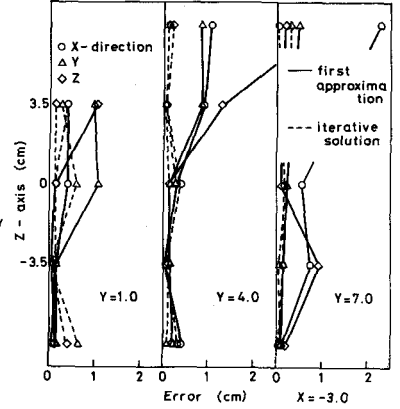
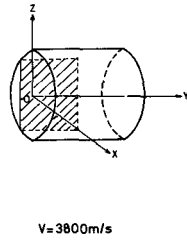


Fig.2 決定された破壊源の誤差

線形方程式の解と真の破壊源との誤差は、 X, Y, Z 方向とも大きくなるが、反復法により十分改良されることがわかる。他の断面でも、トランスデューサーの配置が大きく影響し、誤差の傾向は異なっていたが、いずれも反復法により十分改良されることがわかった。

次に、一軸圧縮試験を想定し、同じことを試みた結果をFig.3に示す。ここで、Case 1は速度異方性がない場合、Case 2は、一軸圧縮にかかる横方向の速度減少を考慮した場合の反復法における解の誤差を示したものである。供試体の上部、下部にトランスデューサーを配置しなかった影響が、明らかに現われている。特に Y 座標の誤差がこの領域で大きくなっていることが認められる。

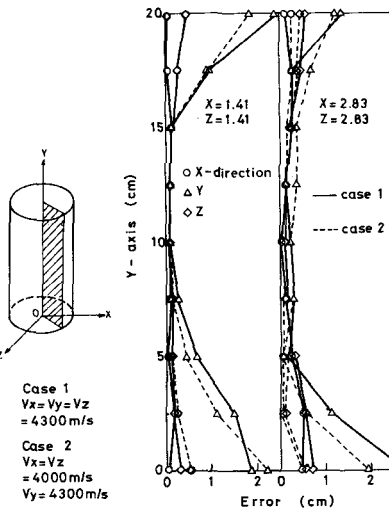


Fig.3 決定された破壊源の誤差

Fig.3と見比べて、この破壊源探索結果は、 X, Z 座標ならびに供試体中央部のみ座標については十分な精度で求まっていると、考えられる。

その他、結果、詳細は当日発表を行う。

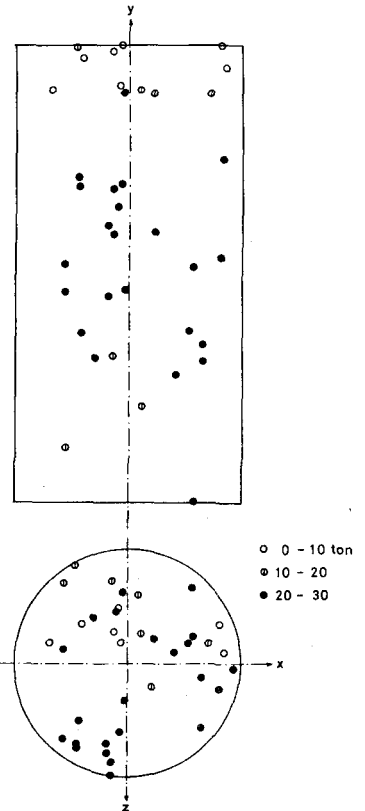


Fig.4 破壊源探索例