

超音波によるクラッド鋼の材料評価に関する一考察

岡山大学大学院

学生会員

○山本幸司

岡山大学環境理工学部 正会員

廣瀬壮一

1.はじめに

メンテナンスフリーの構造材料としてクラッド鋼が注目されているが、異種金属をはり合わせたクラッド鋼を構造部材として用いる場合、材料界面でのき裂の発生が危惧され、界面き裂の非破壊検査手法を確立しておく必要がある。そこで、本研究は超音波を用いた界面き裂分布推定の理論ならびに実験を検討したものである。

2.き裂分布推定の逆解析理論

図1に示すような2次元弾性体内にあるき裂状欠陥Sの分布を推定する問題を考える。2次元領域において、半無限弾性体 D^+ と D^- があり、その境界は $x_2=0$ で与えられるとする。時間調和な平面入射波をき裂面に対して角度 θ_0 で入射し、き裂によって散乱された波動を、入射が入力した方向と同じ方向で、かつ、き裂から十分遠方の点において、検出したとする。ここでは、S波-S波のパルスエコー法を考えた。以上のように、入射波と遠方散乱場が指定された条件のもとで、求めるべきは、界面におけるき裂の分布である。ただし、界面Bの位置($x_2=0$)はあらかじめわかっているものとする。

き裂分布を表す関数として、 $\Gamma(x)=1$ x on S、 $\Gamma(x)=0$ x on B、なる特性関数 Γ を導入する。線形逆解析法を用いると、特性関数 Γ と遠方散乱場の振幅 Ω_p の間には以下の関係が成り立つ¹⁾。

$$\Gamma(x_1) = \frac{2 \sin \theta_0}{\pi} \operatorname{Re} \left(A_s^{-1}(\theta_0) \int_0^\infty k_s^{-1} \Omega_s(\theta_0, k_s) e^{-2ik_s \sin \theta_0 x_1} dk_s \right) \quad (1)$$

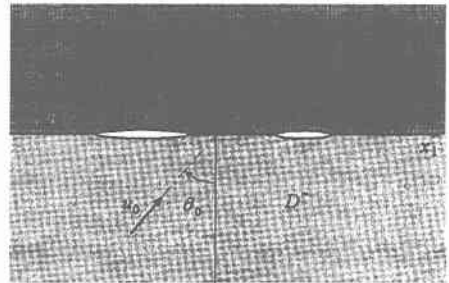


図1: 2次元弾性体内の $x_2=0$ 面にある
き裂分布推定問題

3.き裂分布推定に関するモデル実験

超音波を用いたモデル実験を行い、前節で示した逆解析理論の妥当性を検証した。

<実験装置>

本研究で用いた実験装置を図2に示す。超音波パルスレーザは、パルス状の電気信号の送・受信、フィルター、増幅器を兼ね添えたものである。また、超音波探触子は公称中心周波数が2MHzの広帯域水中超音波探触子を用いた。ただし、逆解析においては1MHz～3MHzの周波数成分を用いた。

<実験供試体>

図3に実験供試体を示す。材料はアルミニウムである。き裂はアルミニウム板を2枚用意し、一方の板に浅い溝(深さ0.2～0.3mm程度)を掘って、その後2枚の板を圧着して再現した。溝のパターンは、図5に示す2mm、4mm、6mmの長さを持つ単一き裂モデルである。

超音波の入力、検出は、溝の長手方向に垂直な面内にあつて、かつ、板の上面の法線と θ_w の角度をなす探触子を用いて行った。この場合、探触子を含み、溝の長手方向と垂直な面内にある波動場は2次元状態にあると見なすことができる。したがって、前述のき裂に対する2次元逆解析理論を適用できる。ここでは入射角が $\theta_w=19.7^\circ$ の時、アルミニウムへの透過波はほとんどがS波となることを利用して、S波入射を仮定して逆解析を行った。なお、アルミニウムと水を伝播する波動の波速比より、き裂面へのS波の入射角 θ_0 は 45° となる。

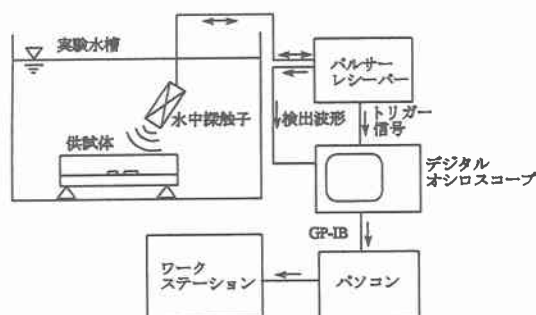


図2: 実験装置

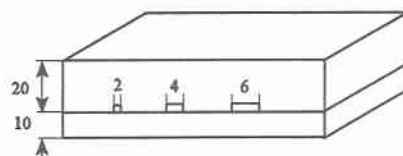


図3: き裂分布推定に用いた実験供試体(mm)

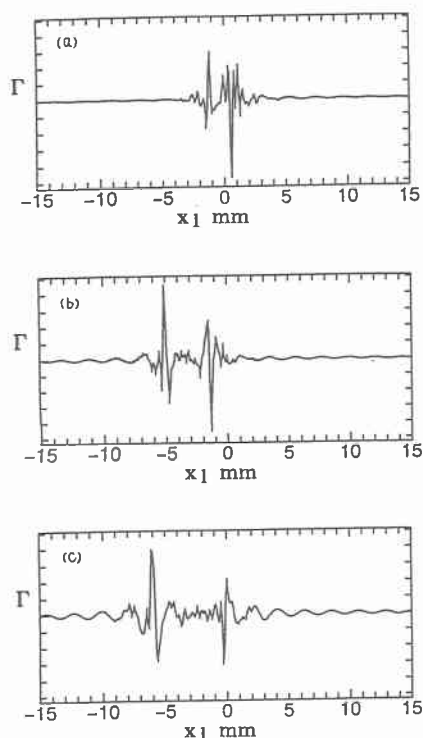
4. 実験結果、及び考察

図4(a)~(c)は、2mm、4mm、6mmのそれぞれのき裂に対して得られた周波数域での散乱振幅を用いて計算した特性関数 Γ を示している。本来なら、き裂部分で1、その他の部分で0となる関数が得られるはずであるが、予想される形状は得られていない。しかし、き裂左端と右端に相当する点においてパルス状の関数が再現されていて、2つのパルス間の間隔はき裂長さによく対応している。よって、これよりき裂の位置の推定が可能である。なお、き裂の水平方向の位置は探触子とき裂の相対位置によって決まる。したがって、図4において、き裂位置が座標原点に関してずれているのは、実験での探触子の位置にずれがあったためであると考えられる。

しかし、なぜ、本来のき裂分布を示す特性関数 Γ が再現できなかったのか。これを説明するために、境界要素法で、実験条件に対させて数値的にシミュレーションデータを作成し、それを用いてき裂分布の逆解析を行った。その結果、実験で使った周波数域のデータでは、本来、0と1の値をとるべき特性関数が再現されずに、き裂の先端で変動する関数形が得られることがわかった。また、低周波数域のデータを考慮すると、き裂部分では1、その他の部分では0となるような関数が得られるものの、入射方向と反対側にあるき裂先端部では、特性関数がパルス状に大きく変動することがわかった。このようなシミュレーション結果から、実験において0-1値の特性関数 Γ が再現できなかった理由は、低周波域でのデータが十分に考慮されていなかったためであると推察される。

本研究を行うにあたって、多大なご指導を賜りました、(株)五洋建設 鍋野博章氏に対して深く感謝の意を表します。

参考文献 1) S. Hirose, Detection of interface defects using scattered far-fields of elastic waves, in: S. Kubo (ed.) Inverse Problem, Atlanta Tech. Pub., Atlanta, 99-108, 1993.

図4: (a)2mm、(b)4mm、(c)6mmの単位き裂に対応して再現された特性関数 Γ