

干渉を利用したクラック長と傾きの推定

東北大学 学生員 竹内大樹
東北大学 正員 北原道弘

1. はじめに

超音波を利用したクラック長の推定が文献1)において試みられている。ここでは、文献1)の手法をクラックの長さや傾きの推定法に拡張することを考える。着目点はクラック端部であり、クラックの両端部から発生する散乱波の干渉周期を利用してクラック長と傾きの近似推定式を導き、トランスデューサーの角度を変えた二回の散乱波形計測結果をこの近似式に代入することにより、クラック長と傾きを推定した結果を示す。

2. 水浸パルス・エコー計測

図-1に示したように長さ $2a$ のクラックが部材表面と角度 $\bar{\theta}$ だけ傾いて存在している場合を考える。ここでは超音波の計測法として水浸パルス・エコー法を採用し、水中のトランスデューサーから超音波を送信する。この超音波は固体内に透過し、固体内のクラックにより散乱され、散乱された波動は再び送信と同一のトランスデューサーで受信される。ここで受信されたクラックからの後方散乱波形にはクラックの長さや傾き、及び超音波の入射角に応じた周期特性が存在する。以下、この周期特性を利用したクラック長と傾きの定量化策について考える。

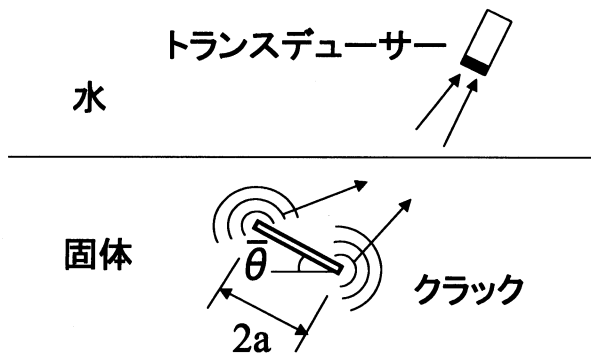


図-1 クラック端部による散乱

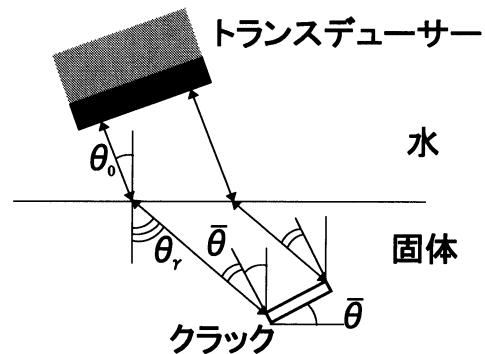


図-2 クラックの傾き $\bar{\theta}$ と幾何学的関係

3. 散乱振幅の周期特性とクラックの長さや傾きの推定式

クラックによる散乱波の積分表現をもとに、図-2の幾何学的関係を考慮すると、散乱振幅の周波数域波形に周期特性が生じる条件式が次のように得られる。

$$2a\Delta k_{\gamma} \sin(\theta_{\gamma} - \bar{\theta}) = \pi \quad (1)$$

$$\Delta k_{\gamma} = \frac{\Delta\omega}{c_{\gamma}} = \frac{2\pi\Delta f}{c_{\gamma}} \quad (2)$$

ここで、 $2a$ はクラック長、 $\bar{\theta}$ はクラックの傾き、 θ_{γ} は水中の超音波の入射角 θ_0 に対応する固体内の屈折角、 Δf は散乱振幅の周波数域波形の極小値間の周波数差、 c_{γ} は固体内の波速である。固体内の屈折角と周波数差 $(\theta_{\gamma}, \Delta f)$ は計測において決定できる量である。いま、トランスデューサーの角度を変えた二回の計測を行い水中の入射角 θ_0 に対して周波数差 Δf が、 θ'_0 に対して $\Delta f'$ が計測されたとする。このとき、 θ_0 に対応する固体内の屈折角を θ_{γ} 、 θ'_0 に対して θ'_{γ} とすると、これらの二回の計測値から次の推定式が導かれる。

Key Words: 干渉, 散乱振幅, 周期特性, クラック長, クラックの傾き

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06 TEL:022-217-7126 FAX:022-217-7127

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta f \sin \theta_{\gamma} - \Delta f' \sin \theta'_{\gamma}}{\Delta f \cos \theta_{\gamma} - \Delta f' \cos \theta'_{\gamma}} \right) \quad (\gamma = L \text{ or } T) \quad (3)$$

$$2a = \frac{c_{\gamma}}{2\Delta f |\sin(\theta_{\gamma} - \bar{\theta})|} \quad (4)$$

4. トランスデューサーの周波数特性

計測に使用した公称中心周波数が5(MHz)のトランスデューサーの周波数特性を確認するために、供試体表面からの反射波を受信した(図-3参照)。この周波数域波形を図-4に示す。

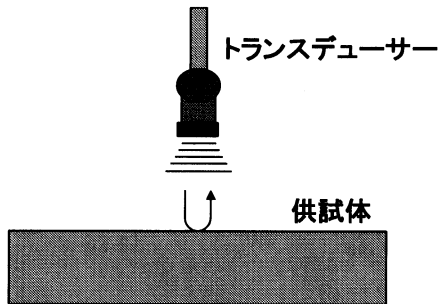


図-3 周波数特性の実験概要

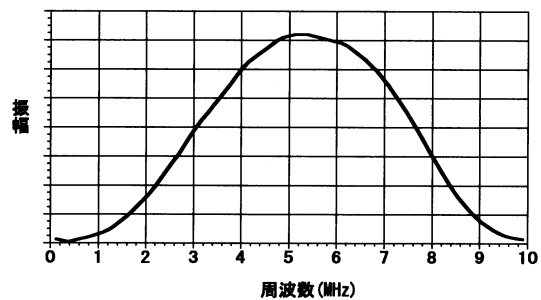


図-4 トランスデューサーの周波数特性

5. クラック長と傾きの推定結果

クラック長と傾きの推定では、二組の Δf と θ_{γ} (すなわち θ_0)が必要である。よって一つのクラックに対して入射角を変えて2回計測を行った。図-5に得られた散乱波形の一例を、表-1に一つのクラック(クラック長は6mm、傾きは30°の供試体)に対して0°, 2.5°, 5°の入射角で推定した結果を示した。図-6は計測概要である。

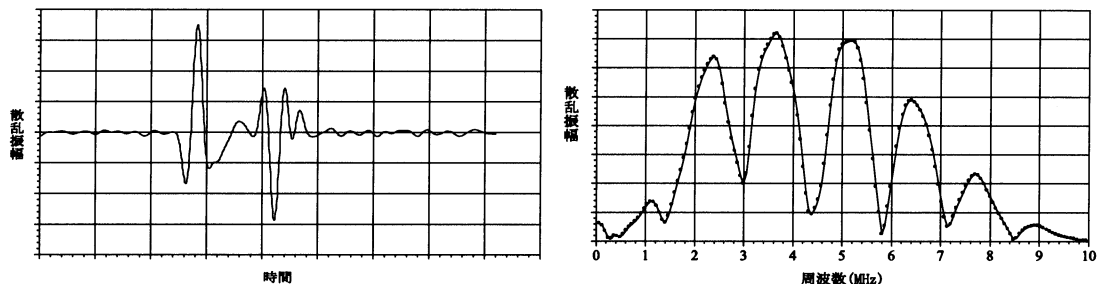


図-5 時間域波形と周波数域波形 ($2a = 6\text{mm}$, 傾き 30°)

表-1 クラック長と傾きの推定(アルミ材)

入射角 1	入射角 2	周波数差 1	周波数差 2	傾き 推定値	長さ 推定値
0.0	2.5	0.977	1.416	32.92	6.05
0.0	5.0	0.977	2.869	32.86	6.06
2.5	5.0	1.416	2.869	32.84	6.07

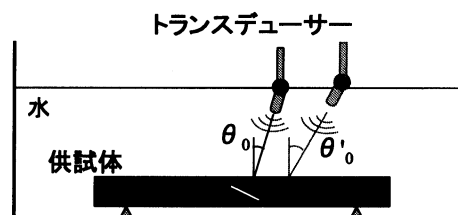


図-6 計測概要

6. 結論

推定結果から、実際の計測波形を用いたクラック長と傾きの推定式は良く機能していることが確認された。

参考文献

- 1) 北原道弘, 羽田幸寿: 後方散乱振幅スペクトルの周期性を利用したステンレスクラッド鋼界面クラック長の計測, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.321-327, 1999.