

## I-A 476 ステンレスクラッド鋼界面に存在するクラック長の推定

東海大学大学院 学生員 ○羽田 幸寿  
東海大学海洋学部 正 員 北原 道弘

## 1. はじめに

耐食性鋼材のより積極的活用を支援する目的で、ステンレスクラッド鋼の界面に存在するクラック長を超音波により推定することを試みた。推定法の要点は、クラック端から発生する散乱波の干渉周期の利用にある。推定法について要約した後、いくつかのクラック長に対する推定結果を示す。

## 2. クラック長の推定法 [1]

ここで採用するパルス・エコー法の概要を図1に示す。送信センサー(T)から超音波を発信し、ステンレスクラッド鋼界面に存在するクラック端からの散乱波を送信と同一のセンサー(R)で受信し、受信した散乱波の特性からクラック長を推定したい。

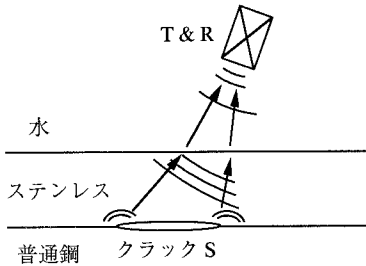


図1 パルス・エコー法

クラックへの入射波形としてパースト波を送信する場合を考える。パルス波を送信した場合も要点は同じである。図2にクラック端への入射波とクラック端からの散乱波形を示す。図2の上側が伝播経路、下側はセンサーの受信時間波形であり、受信波形は2つのクラック端、tip1とtip2、からの散乱波の合成となる。受信散乱波形の振幅は送搬周波数によって変動する。この振幅変動は、2つのクラック端への(からの)伝播経路差 $2\Delta l$ により生じる散乱波の干渉に起因している。

$$2\Delta l = 2 \cdot 2a \sin \theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $2a$ がクラック長である。上記経路差に伴う位相差は次のようになる。

$$\Delta\phi = k2\Delta l = 4ak \sin \theta \quad \dots\dots\dots (2)$$

水浸法を利用する場合、上部ステンレスと水の界面上の位相適合条件は次のように書ける。

$$k \sin \theta = k_F \sin \theta_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $k_F$ は水中の波数、 $\theta_0$ は水中の入射角(=観測角)である。これより、位相差 $\Delta\phi$ は次のように書ける。

$$\Delta\phi = 4ak_F \sin \theta_0 = 8\pi f a \sin \theta_0 / c_F \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $f$ は周波数、 $c_F$ は水中の波速である。この位相差 $\Delta\phi$ が周期 $2\pi$ と一致するときの周波数間隔を $\Delta f$ と書くことにすれば、 $\Delta f$ は次のようになる。

$$\Delta f = c_F / \{4a \sin \theta_0\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

この関係式(5)は、クラック長 $2a$ の推定式として次のように書き直すことができる。

$$2a = c_F / \{2\Delta f \sin \theta_0\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

水中超音波の波速は $c_F \approx 1480\text{m/s}$ と既知であるから、送信水中センサーの角度 $\theta_0$ を決めて超音波を送信し、同じセンサーでクラックによる散乱振幅の極小値間の周波数間隔 $\Delta f$ を計測すれば、式(6)からクラック長 $2a$ を推定することができる。

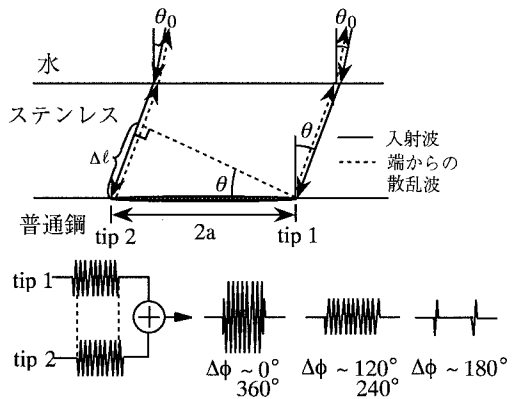


図2 受信散乱波の干渉による振幅変動

## 3. クラッド鋼界面クラック長の推定結果

水浸法についてクラック長の推定式を説明したが、同様の推定式が接触法についても成立する。実用性を考えると推定式の接触法への適用性についても検討しておくことが好ましい。水浸法に対する計測法と推定結果を示した後、接触法についても結果を要約する。

## (1) 水浸法

計測にはパルサー・レーダーを使用し、これをパソコンで制御することにより、パルス波を送信しクラック端からの散乱波を受信してパソコン上で周波数域の散乱振幅に変換した。使用したセンサーは中心周波数4MHzの広帯域型探触子である。図3はこのセンサーの周波数特性を表しており、ステンレス材表面からの反射波の時間波形を周波数域に変換してその振幅を表示したものである。

図4は、ステンレスクラッド鋼のステンレス(SUS316L)と普通鋼の界面に存在するクラック長の推定結果をまとめたものである。最上部の図は計測概要を示しており、厚さ3mmのステンレスと厚さ7mmの普通鋼界面上のクラックに対して、水中センサーの入射・観測角を $20^\circ$ に設定して超音波の送信と散乱波の受信を行った。この入射角は、鋼材内に入射する波動成分が横波にモード変換す

るように選ばれている。中央の図は、一例として、長さ  $2a=4\text{mm}$  のクラックに対して受信された散乱波形の散乱振幅を周波数に対して図示したものである。散乱振幅が周期的に変動している様子がわかる。図には散乱振幅周期を算定する際に考慮した周波数帯域（2MHz-6MHz）を矢印で書き込んである。最下部の表は、6mm, 4mm, 2mm, 1mm 計4つのクラックについて、センサーの帯域内における散乱振幅の極小値間の周波数間隔の平均  $(\Delta f_{\min})_{av}$  を算定し、推定式(6)を利用してクラック長を推定した結果 ( $2a'$ ) をまとめたものである。どのクラック長に対しても比較的良くクラック長が推定できていることがわかる。

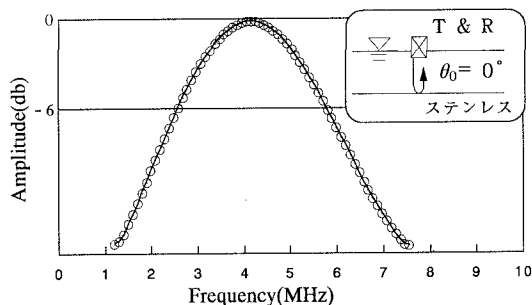
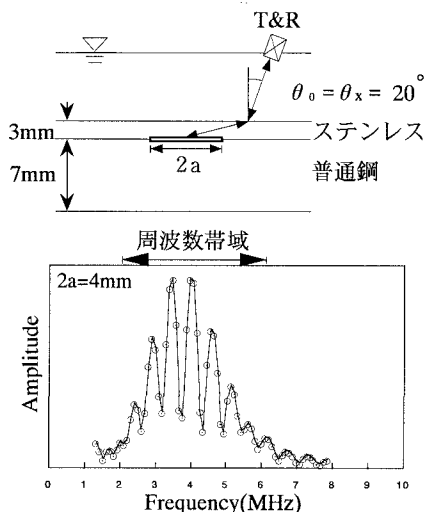


図3 センサーの周波数特性



| $2a(\text{mm})$ | $(\Delta f_{\min})_{av}$ | $2a'(\text{mm})$ |
|-----------------|--------------------------|------------------|
| 6               | 0.38                     | 6.02             |
| 4               | 0.59                     | 3.88             |
| 2               | 1.13                     | 2.02             |
| 1               | 2.20                     | 1.04             |

$(\Delta f_{\min})_{av}$ : in MHz

図4 クラック長の推定（水浸法）

## (2) 接触法

ステンレスクラッド鋼界面に存在するクラックに対して、接触法による計測概要を図5の最上部に示す。センサーは角度可変接触型探触子であり、中心周波数5MHzの広帯域型を使用した。また、センサーとステンレス表面の接触媒質として、ここではシリコングリースを採用した。図5の中央に示したのが計測により得た周波数域の散乱振幅である。ここでも散乱振幅の規則的な周期性が確認できる。図5の最下部に示したテーブルが、クラック長6mm, 4mm, 2mm, 1mm に対する推定結果  $2a'$  である。接触法においてもほぼクラック長が推定できていることがわかる。

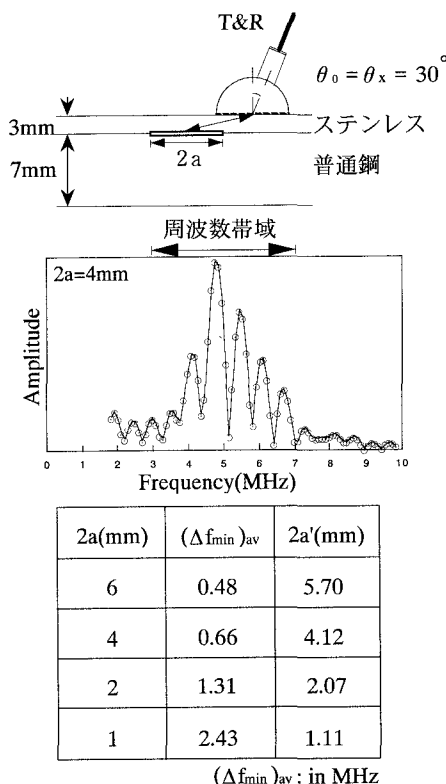


図5 クラック長の推定（接触法）

## 4. おわりに

ここで評価対象としたステンレスクラッド鋼については、界面クラック長の推定式を利用してクラック長が推定できることが確かめられた。ステンレス部の厚さがさらに薄くなった場合には、ステンレス内部での多重反射モードがクラック端からの散乱波の干渉に影響を与える可能性があり、今後この点についても検討を加えたい。

### 参考文献

- [1] 横井, 北原; 超音波による界面クラック長と傾きの推定, 土木学会第50回年講概要集第1部A, pp.290-291, 1995.