

I - 2 SH波センサを用いた表面クラックの定量化

○東北大学 学生員 平元邦幸
東北大学大学院 正 員 北原道弘

1. はじめに

構造部材内に存在する欠陥の超音波探傷において、P波あるいはSV波を用いたものが多い中、SH波を用いた手法が着目されつつある。SH波はモード変換による影響が少ない等の利点が多いにもかかわらずSH波に関する研究は少なく、その伝播挙動や欠陥からの散乱挙動は明らかになっていない部分が多い。本論文では厚肉円管内壁に存在するクラックからの散乱波形から計測実験を基にクラックの定量化を試みる。ここで厚肉とは円管内の多重反射を考慮しなくてもよい時間内の波動現象に着目していることを意味する。

小田島等¹⁾により数値解析を基にした厚肉円管内壁表面クラックの定量化に関しての報告がある。

2. 円管内側表面クラックによる散乱波動場の可視化

小田島等¹⁾による報告を基に円管内側表面クラックからの散乱波動場の可視化を行い、その散乱挙動及び定量化式を確認する。

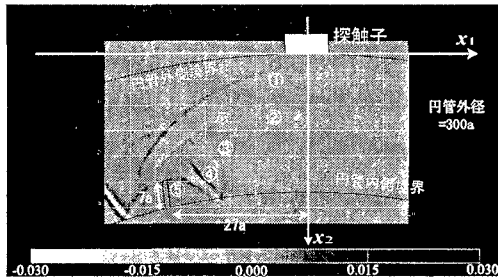


図-1 クラックによる波の散乱

解析例としてクラック長 $7a$ 、クラック位置 $x_1 = -27a$ の場合の散乱波動場の可視化結果を図-1に示す。

は入射波が円管内側境界で反射した波である。は探触子左端からのエッジ波が円管内側境界で反射された波、はクラック上端からの回折波、はクラックルート部からの反射波、はが円管内側境界で反射された波である。

可視化結果より、クラック上端及びクラックルート部への伝播経路は図-2右図のようになる事がわかった。図-2左図のような時間域波形が得られたとき、第1波がクラック上端からの回折波、第2波がクラックルート部からの反射波である。SH波の波速を c_T とすると、 $L_{1,2} = c_T \Delta t_{1,2} / 2$ である。クラック位置を表す角度 θ とクラック長 d が未知量であり、この未知量に対して図-2に示す2つの三角形に余弦定理を適用するこ

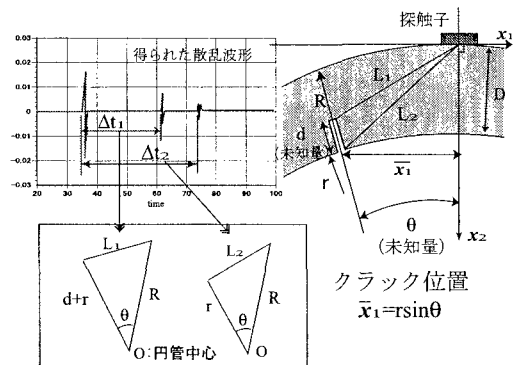


図-2 欠陥配置と幾何的關係

とにより、次の関係式を得る。

$$\cos \theta = (R^2 + r^2 - L_2^2) / (2Rr) \quad (1)$$

$$d^2 + 2(r - R \cos \theta)d + R^2 + r^2 - 2Rr \cos \theta - L_1^2 = 0 \quad (2)$$

式(1)と(2)より θ とクラック長 d が求まり、 θ からクラックの位置は $x_1 = r \sin \theta$ となる。以下、クラックの位置は x_1 の値を示すものとする。

3. 計測実験結果

アルミニウム製円管供試体を用いて計測実験を行い、式(1)、(2)を基にクラックの位置とクラック長の推定を試みる。

図-3に示すような実験装置を用いる。パルサーレーザーがSH波探触子を駆動し、SH波探触子で得られた信号はレーザーで受信され、デジタルオシロスコープ上に表示・記録される。供試体には、アルミニウム製、直径165.2mm、肉厚15mm、奥行き100mmで円管内側表面に長さ2,4,6,8mmのノッチが入ったものを用いる。これらノッチ幅は約0.2mmを有しているが、以下便宜上クラックと呼ぶことにする。探触子にはジャパンプローブ社製広帯域斜角SH波探触子、中心周波数5MHz、公称入射角60度、入射位置12mm(探触子上目盛)、R83mm付きを使用する。供試体との接触媒質にはソニコートSHNを用いる。

計測の準備として、探触子ウェッジ内の超音波の伝播時間を、ここでは次のように決定した。図-4に示すように、探触子の位置を変えた4回の超音波計測を行う。長さ2mmのノッチを対象とし、図-5に得られた散乱波形の一例を示す。いま、探触子とクラックルート部間の距離とアルミニウム内の横波波速($c_T = 3040\text{m/s}$)

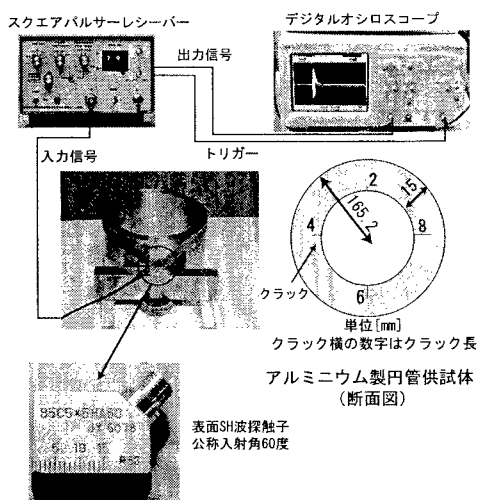


図-3 4種類のクラックを含むアルミニウム製供試体

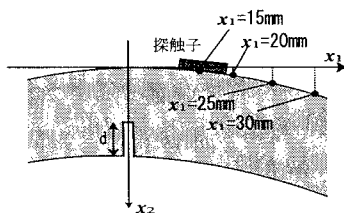


図-4 クラックに対する探触子位置の設定

が分かっているので、それらを用いて実際の伝播時間 t_{th} を求める。計測により得られたクラックルートの散乱波の現れる時間を t_{ex} とするとウェッジ内の伝播時間 t (往復) は、 $t = t_{ex} - t_{th}$ となる。4回の計測より、平均ウェッジ内伝播時間は、 $t = 5.3\mu\text{sec}$ と算定された。この値を用いてクラック長 4, 6, 8mm に対して定量化を行う。

図-6にクラック長 4mm、クラック位置 $x_1 = 20\text{mm}$ の場合の散乱波形を示す。この図のように広帯域探触子を用いると、クラック上端からの回折波とクラックルート部からの反射波を明確に分離して観測することができる。第1波及び第2波の観測時間からウェッジ内の伝播時間を引いた時間が Δt_1 および Δt_2 である。このようにして得られた散乱波形からクラックの位置 x_1 と長さ d の推定を試みた結果を表-1に示す。

d および x_1 は実際のクラック長およびクラック位置の値である。 d および x_1 は超音波計測により推定式 (1) と (2) を用いて求めたクラック長及びクラック位置である。この結果はクラック位置に関しては良好に、クラック長はおおよその値を推定できていること



図-5 散乱波形例

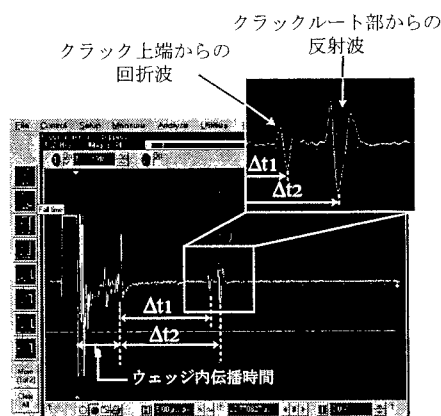


図-6 クラック長 6mm、クラック位置 20mm での散乱波形

表-1 クラックの定量化結果

$d(\text{mm})$	$x_1(\text{mm})$	$\Delta t_1(\mu\text{s})$	$\Delta t_2(\mu\text{s})$	$d(\text{mm})$	$x_1(\text{mm})$
4	15	12.01	13.43	3.53	15.24
4	20	14.53	15.56	3.29	20.07
6	15	11.47	13.47	5.27	15.34
6	20	14.08	15.59	5.23	20.13
8	15	11.05	13.58	7.29	15.6
8	20	13.62	15.51	7.07	19.96

を示している。

4. 結論

可視化結果を基に導かれた円管裏面に存在するクラックの位置と長さの推定式の適用性を確認するための超音波計測を行った。計測の結果、クラック位置については良好に推定でき、クラック長はおおよその値は推定できるということを確認できた。今後の課題としては、より精密な入射位置の特定と円管外側表面クラックの定量化への拡張が挙げられる。

参考文献

- 1) 中畑和之、小田島淳、北原道弘: 厚肉円管内の散乱波動場の可視化と内側表面き裂の深さ推定、構造工学論文集, Vol.49A, 2003, 印刷中