超音波法による疲労き裂の検出について*

(マルチ探触子の開発)

片 峰 昭 彦**, 小野沢 元久***, 石井 勇五郎****

Detectability of Fatigue Crack Growth by Ultrasonic Testing (Development of Multi-Probe)

by Akihiko KATAMINE, Motohisa ONOZAWA, and Yugoro ISHII

There are many methods for measuring the depth of fatigue crack by ultrasonic testing. The flaw heights are measured by ultrasonic angle beam testing. This method has various problems. For example, pulse amplitude is affected by flaw size and the inclination of a flaw. This time, the authors developed a special probe. This work has been carried out to investigate the flaw detection sensitivity of the probe. The results indicate that the probe can estimate fatigue crack depth in an accuracy of 0.5~2.0 mm.

Key Words: Fatigue., Ultrasonic Testing, Probe, Maintenance, Low Carbon Steel

1. 緒 言

超音波法による溶接内部の欠陥、特に疲労き裂を検出し、その深さを推定する研究がなされている⁽¹⁾⁽²⁾。なかでも、斜角法については、端部ピークエコー法や表面波法などの各方法が、数多く論じられている⁽³⁾⁽⁴⁾。疲労き裂の長さを高精度に検出することは、構造部材の安全性を保证する上で極めて重要である。

一方、最近の破壊力学の進歩や、溶接技術の急速な発展、特に自動化技術の長足の進展が、溶接構造物の信頼性を向上させている。これらの技術に支えられて、構造物の軽量化手法が発展し、構造部材は薄板の方向へと進んでいる。

このような状況にあって、薄板構造物には斜角法の適用が困難であったり、SNが低下するなどの問題が数多く発生している。そこで、著者らは従来の斜角法とは違った方法で疲労き裂を検出できるセンサの開発に手がけてきた。本論文では、このセンサ(以下、説明

の都合上マルチ探触子として説明する)の精度などについて、実験的検討を行ったので、それらについて報告する。

2. 実 験 方 法

2.1 マルチ探触子の構造 試作したマルチ探触子の内部構造を図1に示す。図1からわかるように、振動子(圧電素子)を3個使用し、2個の振動子はくさび(アクリル樹脂)により、被検体中で縦波が横波になるように角度をつけてある。この2個の振動子を同時に発振させ、図2に示すように被検体表面近くで超音波を交差させ、音圧をあげてSNを向上させるととも

図1 マルチ探触子の内部構造

* 昭和60年6月22日 東北支部郡山地方講演会において講演、原稿受付 昭和59年12月25日。

** 正員、(株)小松製作所 (〒254 平塚市四之宮 2597)。

*** 正員、日本大学工学部 (〒963 郡山市田村町徳定字中河原 1)。

**** 日本大学工学部。

に、き裂が傾いている場合でも効率よく検出できるように構成した。この発振用振動子は曲面振動子である。一方、中央に配置してある振動子は平面振動子であり、この振動子で欠陥からの反射エコーを受信している。使用振動子の周波数は5 MHzである。なお屈折角は70° (鋼中) である。

一般に、欠陥に横波が入射した場合、欠陥の先端において円弧状の強い縦波が反射されることが確かめられている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。本探触子は、こうした散乱理論をもとに構成されたものである。さらに、送受信の振動子を別々に設けることで、超音波探触子の欠点である不感帯の問題や近距離音場などの諸問題を解決している。

2・2 供試体 実験には軟鋼材 (SS41) を使用した。供試体には、疲労き裂がほぼ真直にはいったCT試験片と、き裂の先端が図3に示すように、曲がった状態でしかもねじれた試験片とを用いた。なお、各々の供試体は疲労き裂を任意の長さまで入れたのち表面を研削し、き裂先端までの距離を4~5 mmにした。

2・3 マルチ探触子の較正 マルチ探触子の較正は、2.0 mm 径の横穴を付した試験片 (軟鋼材) により実施した。さらに、横穴による距離補正の確かさを確認するために、スリット (スリット幅=0.18 mm) を付した試験片を用いた。その結果を図4、図5に示す。図4からわかるように、くさび内と欠陥までの超音波の伝搬時間とにより、時間遅れが生じている。また図5から、この探触子は5~8 mmの領域で感度が最もよいことがわかる。なお実験には市販の探傷器を用い、

探傷波形をブラウン管オシロスコープで観察した。欠陥エコーは、エコー高さが80% になるように調整し、送信パルスから欠陥エコーピーク値までの時間を計測した。接触媒質にはグリセリンを使用した。

3. 実験結果および考察

3・1 き裂先端が真直に進展している場合 CT試験片により、き裂が真直に進展した場合での結果を図6に示す。き裂先端位置は300℃、1時間加熱した後の酸化面と未酸化面との境界をき裂先端とみなした。一方、マルチ探触子によるき裂深さは、送信波から欠陥エコーピーク点までの時間を計測し較正曲線によった。欠陥エコーは、ピークが80% になるように調整した。また、き裂の探傷はき裂に対して探触子が直

図4 マルチ探触子による欠陥深さと伝搬時間との関係

図2 マルチ探触子の水中シュリーレン像

図3 供試体の形状 (平板)

図5 マルチ探触子の距離振幅特性

角になるように配置した。

図6から、マルチ探触子による推定値とき裂先端位置とは傾向がよく対応しているのがわかる。その誤差は、ほぼ0.5 mm程度である。き裂先端より少し深い位置を計測しているのは、図7(b)からわかるように、き裂先端より少し深い位置でき裂が蛇行していたり、開口している箇所があり、これが超音波の強い反射源になっているためと推察される。

以上から、マルチ探触子によりき裂先端近くの計測が可能であると結論づけられる。

3・2 き裂先端が曲がっている場合 図3に示すようにき裂先端が曲がったような状態で、しかもうねったようなケースは、溶接構造物ではよくみかける現象である。このような状態での結果を図8に示す。図9に破面の状態を示す。図8から、き裂が真直に進展している場合と異なって、バラツキがあるが、その誤

図6 き裂先端位置と超音波による推定値との対応

図8 き裂先端位置と超音波による推定値との対応

差は0.5 mm～2.0 mm程度である。供試体中央付近では誤差が0.5 mm程度であることから、この近傍ではき裂がほぼ真直な状態で進展したであろうと推察される。これに対して、端面付近では、き裂先端の曲がりのために誤差が大きくなっているだろうと考えられる。図10に探傷波形を示すが、端面に近い20 mmの位置では欠陥エコーの前に小さな波形がみられる。12 mmの位置の波形からはこの現象が観測されないことから、欠陥エコーの前の波形の中により先端に近い

(a) き裂先端部

(b) 先端部より少し深い位置 (約0.4 mm)

図7 き裂先端および先端近傍部のき裂の状態 (矢印はき裂進展方向を示す)

図 9 破面の状態

a Distance across plate = 12mm

b Distance across plate = 20mm

図 10 探傷波形の例

き裂からの反射エコーも含まれていると考えられるが、SNが悪いために正確な情報としてとらえられていない。これを改善して精度を向上させるためには、集束効果のよい方法などを考える必要があろう。これは、今後の研究課題である。

4. 結 論

本研究から、次のような知見が得られた。

- (1) き裂先端近くの探傷がマルチ探触子により可能になり、かつき裂の直上において計測できることがわかった。
- (2) マルチ探触子によれば、き裂の傾きなどに左右されずに探傷できる。
- (3) マルチ探触子によるき裂先端の計測誤差は、

き裂の状態にもよるが、ほぼ1.5~2.0 mm程度である。

今後は精度を高めるために、探触子と欠陥までの伝搬時間などが計測しやすいような探触子の改良等を試み、より実用的な計測法として開発する予定である。

文 献

- (1) Golan, S., *Mater. Eval.*, 2 (1981).
- (2) Golan, S. and Cook, K. V., *Journal of Nondestructive Evaluation*, 11, No. 1, (1980), 11.
- (3) 加藤・桜井, 非破壊検査, 16-5 (昭52), 320.
- (4) 小野沢・石井, 非破壊検査, 16-5 (昭52), 324.
- (5) PaO, Y. H. and Mow, C. C., *Crane Russak*, New York, (1971).
- (6) White, R. M., *J. Acoust. Soc. Am.* 30-8 (1958-8), 771.