618 接触型線集束超音波探触子の指向性評価

Evaluation of Directivity of Contact-Type Line-Focus Ultrasonic Probe

正 井上 裕 嗣 (東工大) ○ 浅岡 卓 郎 (東工大院)
 正 岸本喜久雄 (東工大)

Hirotsugu INOUE, Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro, Tokyo 152-8552

Takuro ASAOKA, Tokyo Institute of Technology

Kikuo KISHIMOTO, Tokyo Institute of Technology

Key Words: Ultrasonics, Non-destructive Evaluation, Line-Focus Probe, Directivity

1. 結 言

Rayleigh 波や Lamb 波によるコーティング層や薄板などの超音波非破壊検査においては、試験体の厚さや材質に応じて斜角探触子の入射角度を調整する必要がある。これに対し著者らは、入射角度の調整を行うことなく Rayleigh 波や Lamb 波を励起・検出できる接触型線集束探触子を開発し、その有用性を示した⁽¹⁾⁽²⁾。この探触子を用いればバルク材内部に縦波・横波の円筒波を励起させることも可能であり、TOFD 法への応用などが期待できる⁽³⁾。この探触子の実用化を図るためには、基本的特性である指向性を確認することが重要であるが、これまでのところ十分に正確な評価結果は得られていない⁽⁴⁾⁽⁵⁾。そこで本研究では、線集束探触子の指向性を実験と解析の両面から評価した。

2. 接触型線集束探触子

本研究の接触型線集束探触子は、Fig.1に示すように、4分の1円柱形の PMMA 製くさびの円筒面に高分子圧電フィルムと電極を接着したもので、寸法は半径、厚さともに 10 mm である。圧電フィルムにパルス電圧を印加するとくさび中に縦波円筒波が発生し、くさびの角部で直線状に集束する。これにより、試験片に対して 0 ~ 90 deg の全角度から同時に縦波が入射され、試験片中に縦波と横波 (SV 波) の円筒波が励起できる。

3. 指向性の評価

3-1 実験による評価 Fig.1に示すように、アルミニウム合金製の半円柱形試験片 (半径 65 mm, 厚さ 32 mm) の中心において線集束探触子により超音波を励起し、試験片の外周上において縦波・横波探触子により超音波を検出した。線集束探触子には超音波パルサを用いて 2 MHz の

Fig. 1 Evaluation of directivity

正弦波電圧を 1 周期印加した。それぞれの屈折角で検出した波形にウェーブレット変換を施すことにより各周波数成分の絶対値の時間変動波形を求め、その波形の時間に対する最大値により指向性を評価した。

縦波と横波の指向性の評価結果をそれぞれ Fig.2 と Fig.3 に示す。これらの図において、縦軸は振幅最大の屈折角における値で正規化している。屈折角が正の領域だけでなく

Fig. 2 Directivity of longitudinal wave

Fig. 3 Directivity of shear wave

負の領域にも超音波が励起されていること、および、周波数によって指向性が若干異なることがわかる。

3.2 理論解析による評価 PMMA とアルミニウム合金の2つの半無限体の界面にPMMA側から縦波平面波が入射し、PMMA側に反射平面波、アルミニウム合金側に屈折平面波が生じる場合を想定して、入射波振幅に対する屈折波振幅の比を理論解析により求めた。界面では、垂直方向の変位と応力は連続であるが、せん断方向の摩擦は無いことを仮定した。また、入射角によって入射波と屈折波のビーム幅の比が変化することから、入射円筒波面と屈折円筒波面の面積比も考慮に入れた。この解析では、入射・屈折波が平面波であること、PMMA側に反射波が発生すること、屈折角が負の領域には超音波は励起されないことなど現実とは異なる点が多い。しかし、Fig.2とFig.3に破線で示すように、屈折角が正の領域では理論解析結果は実験結果とほぼ一致する傾向が得られた。

3.3 有限要素解析による評価 先の理論解析では現実と異なる点が多いため、2次元平面ひずみ有限要素解析を行った。解析モデルはFig.1と同様の形状で、探触子は半径10 mmの4分の1円、試験片は半径30 mmの半円とした。有限要素メッシュは探触子角部から同心円状および放射状に広がる形状で、周方向には180分割、半径方向には探触子側で148分割、試験片側で276分割した。また、時間ステップは25 nsとした。探触子と試験片の界面の条件は先の理論解析と同一とし、圧電フィルムの振動は、探触子の円筒面に一様な半径方向強制変位(振幅100 nm, 2 MHzの正弦波1周期)を与えてモデル化した。

本解析では、試験片中心から18 mmの位置における半径方向変位と円周方向変位の時間変化を求め、それらの波形にウェーブレット変換を施して各周波数成分の絶対値の時間変動波形を求め、その波形の時間に対する最大値により縦波と横波の指向性を評価した。結果をFig.2とFig.3に実線で示す。縦波と横波のいずれについても、有限要素解析と実験による指向性の評価結果はほぼ一致している。このことから、実験に使用した探触子の内部には0～90 degの範囲でほぼ一様な振幅の円筒波が励起されており、この探触子が期待通りの特性を有していることが確認できる。

4. 超音波伝播挙動の可視化

探触子の指向性を定性的に評価するためには、探触子によって励起された超音波の伝播挙動を可視化することが有効である。本研究では、SUS304鋼を対象として可視化を行った。まず、先と同様の有限要素解析を行い、探触子および試験片の内部の変位ベクトルの絶対値をプロットした結果をFig.4に示す。図中に示した時刻は、探触子に与えた強制変位の立ち上がりの時刻を基準としている。縦波、横波およびRayleigh波の伝播挙動が明瞭に観察できる。一方、Fig.4の右列には、実際に探触子により超音波を励起し、高坪らの方法⁽⁶⁾によって可視化した結果を示している。実験で可視化した領域は、試験片中心(すなわち探触子角部)の右下20×20 mmの範囲であり、図の大きさは有限要素解析の結果に合わせてある。実験結果では縦波が不明瞭であるが、横波およびRayleigh波は明瞭に観察されており、有限要素解析の結果とほぼ一致している。

5. 結 言

本研究では、著者らが開発した接触型線集束探触子の指向性を評価した。実験による評価結果と有限要素解析による評価結果はよく一致し、開発した探触子がほぼ期待通りの特性を有することを確認した。

Fig. 4 Visualization of ultrasonic waves in SUS304 steel (left: FEM analysis, right: experiment)

文 献

- (1) 井上・岸本・渋谷, 機講論, 99-16 (1999) 293.
- (2) H. Inoue, K. Kishimoto and T. Shibuya, Nondestructive Characterization of Materials X (2001), Elsevier, 143.
- (3) 井上・浅岡・岸本・渋谷, 機講論, 01-16 (2001) 327.
- (4) 井上・草開・岸本・渋谷, 機講論, 01-16 (2001) 325.
- (5) 井上・浅岡・岸本, 日本材料学会第51期学術講演会講演論文集 (2002), 105.
- (6) 高坪・今出・范・山本, 機論, 65, C (1999), 4299.