

空中超音波探傷における超音波伝搬の解析

Analysis of ultrasonic propagation in flaw detection using air-coupled ultrasonic

田中 雄介 野地 正明 柘植 延啓 小倉 幸夫
Yuusuke Tanaka Masaaki Noji Nobuhiro Tsuge Yukio Ogura
ジャパンプローブ株式会社
Japan Probe Co., Ltd.

概 要

空中超音波探傷を透過信号で行う際の受信波形について調べた。シミュレーションと実験でそれぞれ透過信号を比較し、欠陥端部で発生する超音波伝搬と受信探触子で受信する信号について解析した。受信信号は複数発生し、エッジ波の透過信号、直接波の透過信号、欠陥下部の多重反射信号がそれぞれ異なるタイミングで受信した。超音波のエッジ波についても調べ、空中超音波探触子からエッジ波が発生していないことを確認した。実際の受信波形はシミュレーションの受信波形からエッジ波を除いたものと一致し、探触子の位置により透過信号の振幅が変動した。

キーワード 超音波、エッジ波、空中超音波、受信信号、時間差

1. 緒 言

超音波探傷を行う際は超音波探触子を接触媒質を介して試験体に接触させるが、接触媒質を使用せず空中で試験体の超音波探傷を行う方法がある。接触媒質を用いないため自動探傷が可能であり、透過法やタンデム法を用いる。空中超音波による計測は CFRP やリチウムイオン電池などへの適用について報告してきた[1]。空中超音波による探傷は試験体の欠陥端部で受信信号強度が変化することがあり、透過信号を C モード画像で表示したときに虚像が発生することがある。今回、試験体端部の超音波伝搬をシミュレーションで調べ、受信波形がエッジ波、直接波、試験体下部の多重反射の3つが合成されていることを確かめた。探触子の位置により受信波形の振幅が変動し、振幅変動が虚像を発生させていることを考察した。また、エッジ波は空中超音波ではほとんど発生せず受信信号に影響しないことを調べ、シミュレーションの受信波形からエッジ波の信号を除くと実験の波形と一致することを確認した。

2. 空中超音波透過信号による欠陥検出

空中超音波による欠陥検出は透過信号により検出される。欠陥が無ければ超音波が透過し、欠陥があれば超音波が透過しない。透過信号の分布を C モード画像で表示することで欠陥位置がわかる。小さな欠陥検出のため集束超音波探触子を送信、受信に用いるが、このとき欠陥周囲に虚像が検出されることがある。例えば、図 1(a)の亚克力内にコルクを埋め込んだ試験体を計測すると図 1(b)のように欠陥周囲に線状の虚像が検出された。この虚像について波形を調べたことを次章で述べる。

3. 探触子の位置と受信波形の分析

有限積分法シミュレータ(イーコンピュータ、SWAN21)で空中超音波透過信号の波形を調べた。図 2 のモデル、厚さ 5[mm]の亚克力板内部に厚さ 1[mm]の欠陥を配置したモデルで計算した。送信波形は 10 波の変調波である。集束探触子の端部と欠陥端部との距離 x を変化させてシミュレーションした。受信波形の一例を図 3 に示す。図 3 は x が 3[mm]の時の波形である。 x が 3[mm]の場合

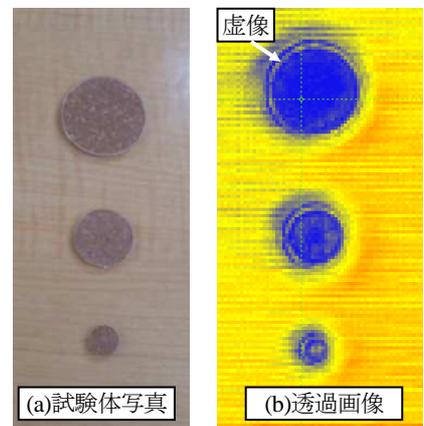


図 1 空中超音波透過画像

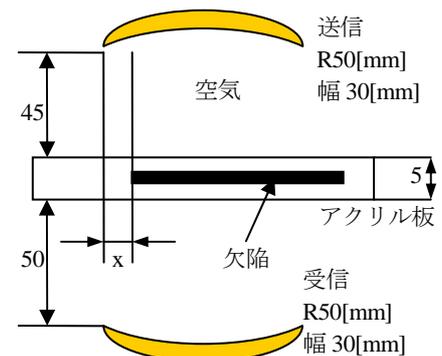


図 2 シミュレーションモデル

は受信信号が小さいが、超音波伝搬の説明のために載せた。受信波形が3つ発生した。信号1、2、3それぞれの波形の伝搬経路を調べると図4のようになる。まず探触子からの直接波から発生したエッジ波1の直進する部分がアクリルを透過して受信される。次に直接波2がアクリル内部を伝搬し、内部欠陥が無くなった部分でエッジ波により音が広がり、受信探触子へ到達する。次に欠陥端部で発生したエッジ波が欠陥下部で多重反射し、信号3が検出される。シミュレーションの伝搬図から1、2、3の信号は図5に示すように伝搬し、受信振動子が大きいのでそれぞれの信号が受信される。空気中ではエッジ波がほとんど発生しないため[2]、1の信号を無視すると直接波2と多重反射信号3だけが受信信号となり、実際の受信波形(図6)と同様になる。受信振動子も直径30[mm]、R50[mm]の大きな凹型振動子を用いているが、振動子が大きいため信号3を拾ってしまい、xの位置によっては振幅変動が発生する。振幅変動は信号2と3が重なることで発生し、それぞれの伝搬距離差が波長の整数倍で振幅が大きくなる。一方、伝搬距離差が0.5波長や1.5波長など整数倍+半波長になった場合は振幅が小さくなる。また、アクリル板を透過する時に発生したエッジ波があり、空気中と異なりアクリル内での発生であるのでこの信号も影響すると考えられる。シミュレーションでのxの位置と信号2と信号3の振幅の関係は図7となる。振幅変動部に信号の閾値を設定したため虚像が発生したと考えられる。ここで受信振動子を幅1[mm]の小さなものにするると2の信号だけが検出され振幅変動の影響が小さくなる。文献[2]でも述べたが、受信波形は微小部の受信信号の集合体なので大きな受信振動子の場合、色々な経路の信号を受信する。従って、この場合は小さな受信振動子が適しており、透過信号の閾値を適切に設定することで欠陥部の大きさを評価可能である。幅1[mm]の受信素子の場合には完全透過時と非透過時の半分程度の振幅がx=15[mm]での振幅である。ここに閾値を設定して正確に欠陥部の大きさを評価できると期待できる。

4. まとめ

空中超音波の透過信号の伝搬経路について調べ、直接波、試験体の多重反射が受信信号となることを述べた。エッジ波は空中では無視できることを述べた。受信振動子は小さなもののほうが余計な信号を拾わないので空中超音波透過計測に適していることを述べた。

文献

- [1] 田中雄介、“非接触で探傷・計測が可能な超音波スキャナー技術、” 超音波 Techno、Vol.28、No.5、pp.81-83(2016)
 [2] 田中雄介、小倉幸夫、“超音波探触子の送信時、受信時の指向性、” 2018年日本音響学会秋季研究発表会講演論文集 CD-ROM、2-7-13 pp.55-58(2018)

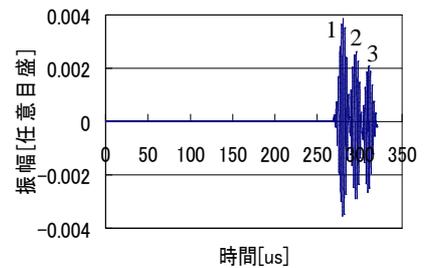


図3 空中超音波透過波形 (シミュレーション)

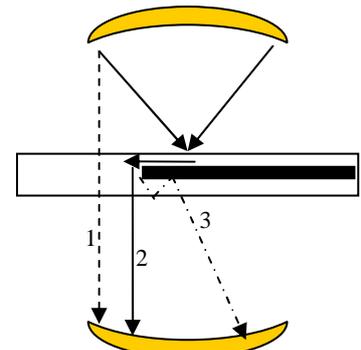


図4 超音波伝搬経路

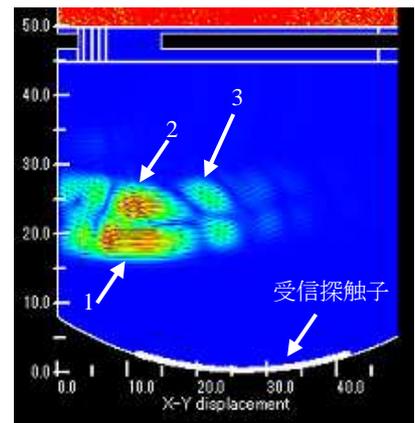


図5 超音波伝搬(シミュレーション)

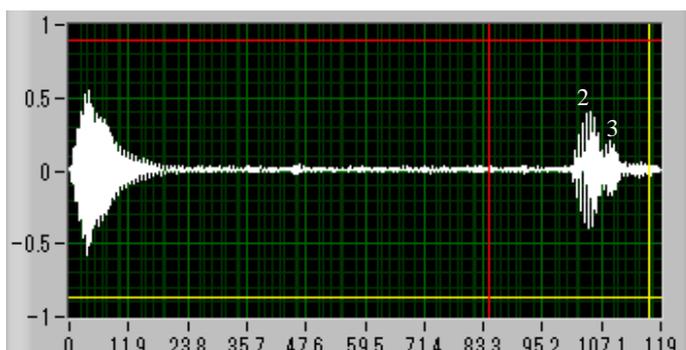


図6 空中超音波透過波形(実験)

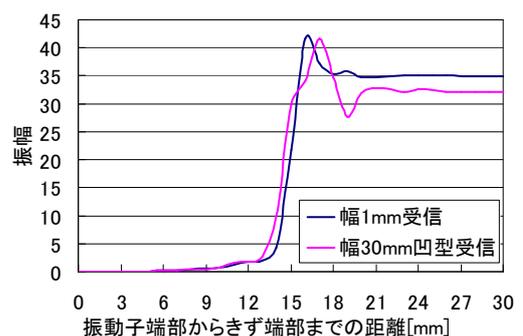


図7 探触子位置と受信信号強度