

(技術資料)

超音波シミュレータの深触子設計への活用事例

Application Example of Ultrasonic Wave Simulator in designing probe



福井利英*¹
Toshihide FUKUI



和佐泰宏*¹
Yasuhiro WASA

The use of the ultrasonic wave simulator is introduced with an application to a fillet part as an example. In designing the ultrasonic probe, it is important to visualize the propagation of ultrasonic waves and to evaluate signal strength by the ultrasonic wave simulator. The ultrasonic wave simulator is useful in improving the ultrasonic testing (UT) technique.

まえがき = 素材から機械まで幅広い製品を製造している当社のものづくりにおいて検査技術は重要である。とりわけ、超音波探傷試験は対象内部の検査が可能であるため様々な対象に適用されている。一般に市販されている超音波探触子を用いて検査することも多いが、検査対象が複雑な形状の場合や、検査すべき欠陥サイズが微小で市販の超音波探触子では対応できない場合には、品質保証仕様に合わせて超音波探触子を設計、製作する必要がある。

近年、コンピュータの処理速度が飛躍的に向上したことに伴い、これまでは長時間の解析が必要であった超音波シミュレーションは現実的な技術になってきている^{1), 2)}。当社でも数年前から超音波シミュレータを導入しており、本稿では曲面下の微小欠陥検出用の超音波探触子の設計に超音波シミュレータを用いた事例を紹介する。

1. 超音波の挙動と探傷原理

超音波は探触子から被検査材の表面を介して内部に伝播する。超音波は音響的な界面で反射・屈折するため、被検査材内部に欠陥がある場合はその界面で反射し受信信号が得られる(図1)。これが超音波探傷の基本原理

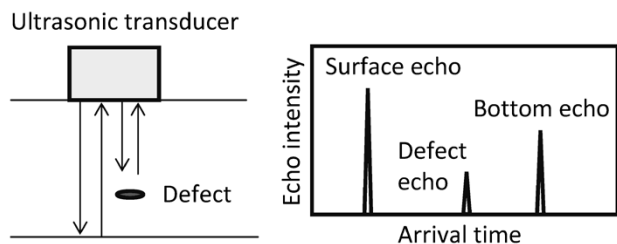


図1 超音波探傷検査の原理
Fig.1 Principle of ultrasonic test

である。反射信号の有無による欠陥有無判定のみならず、材料ごとに決まる超音波の音速と伝播時間から探触子から欠陥までの距離が測定できる。超音波の波長(周波数)を検査対象欠陥サイズに応じて適切に選択すれば、信号強度から欠陥サイズを推測することも可能となり、一般的には欠陥の検出限界サイズは波長の1/2~1/5程度³⁾とされる。

2. 曲面下微小欠陥検出用プローブの設計

船舶などのエンジンに用いられるクランク軸のフィレット部(曲率半径12mmの曲面下)に対する超音波探触子の設計を例に超音波シミュレータの活用事例を説明する。ここで求められる検出目標は、表層から深さ40mmにおいて平底穴(FBH: Flat Bottom Hole)φ0.5mmからの信号のS/Nが6 dB以上である。しかし、一般的に市販されている表面が平らな探触子では曲面との接触が難しく探傷が困難であるため、曲面に対応した超音波探触子を設計・製作する必要がある。

微小欠陥を検出する場合には超音波ビームを集束させて欠陥からの反射強度を向上させる必要があるが、図2

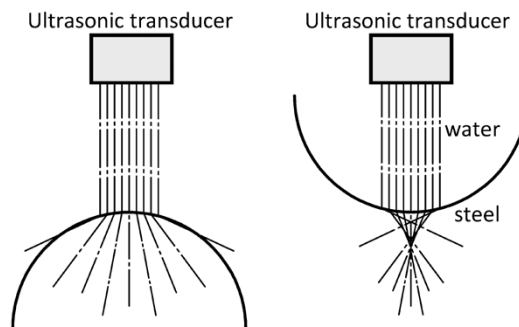


図2 曲面での超音波の挙動
Fig.2 Action of ultrasonic wave on curved surface

*¹ 技術開発本部 生産システム研究所

に示すように曲面を介して超音波が入射すると、界面での屈折により超音波ビームが拡散するため探傷精度が低下する。超音波の焦点等の幾何学的な伝播挙動は簡易計算可能であるが、超音波の波長と同等レベルの微小な欠陥を検出しようとする場合、波動性を考慮する必要があるため、市販の超音波シミュレータ「ComWAVETM」を用いた超音波伝播計算が有効である。設計方針として、曲面に対して振動子曲率を界面であるフィレット表面に焦点が結ぶようにして界面での屈折が無視できるようにし、さらに曲面と直交する方向には、送受信を2分割配置しそれらの設置角度（以下、屋根角という）を適切に設計することで、表面エコーを最小限に止めながら深さ方向に焦点を持たせ、検査領域内での高感度な探傷を目指した。

図3に設計した探触子による超音波送受信のシミュレーション結果を示す（視点は図3の(a), (b)を参照）。振動子から発生した超音波がくさび中を伝搬してフィレット表面に集束し、そこから線音源として内部に伝搬していく様子が分かるほか、フィレット表面に配置された微小振動子から発生した超音波が内部に伝搬していくのと同等であり、表面での曲率の影響がないことが分かる。一方、表層から線音源として内部に伝播していくと距離に反比例して信号強度が低下することになる。前述の屋根角（roof angle）は特定の深さに感度を持つ設計要素であり、対象欠陥の深さに対して適切に設定することで、深さ方向の信号強度の低下を補うことができる。今回のシミュレーションでは、深さ30mm程度で欠陥の反射信号強度がピークとなるように屋根角を設定し、深さの異なる欠陥からのエコー強度を計算した。図4に深

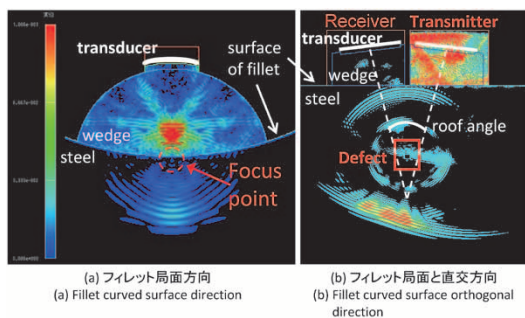


図3 超音波のシミュレーション結果
Fig. 3 Simulation results of the ultrasonic wave

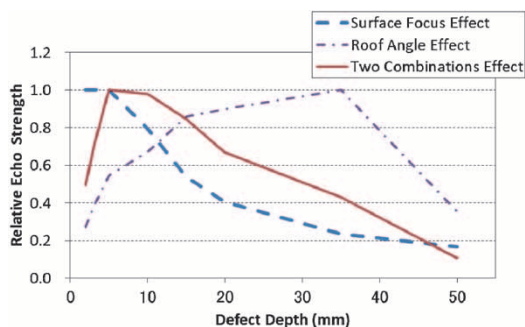


図4 深さ方向の感度に対する表層焦点と屋根角の効果
Fig. 4 Effect of surface focus and roof angle on sensitivity of depth direction

脚注) ComWAVEは伊藤忠テクノソリューションズ株式会社の登録商標です。

さ方向に対する表層焦点と屋根角の効果を示す。曲面に沿う方向には表層に焦点を持たせることで、表層付近（5～10mm）で信号強度が高くなる。一方、直交する方向には屋根角をつけることで深い部分（30～40mm）で信号強度が高くなる。直交する二つの方向に分けた超音波伝播を考慮した設計とすることで深さ方向に広い感度分布を得ることができた。

3. 曲面下微小欠陥検出用プローブの評価

図5にシミュレーション結果に基づき製作した探触子とFBHφ1mmの人工欠陥を製作したテストピースを示す。対象欠陥サイズから周波数は5MHzである。図6に実験とシミュレーションによるFBHφ1mmの信号強度の比較を示す。最大信号強度に対して15%以内の精度で実験結果とシミュレーション結果が一致していることが分かる。また図7に検出可能な欠陥サイズの評価結果を示す。FBHφ0.5mmの値はFBHφ1mmの実験結果から、面積比に応じS/Nを算出した。この結果からFBHφ0.5mmにおいては深さ40mmまでS/N：6dB以上で検出可能であることが分かる。

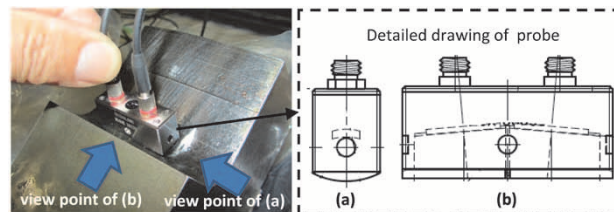


図5 製作した探触子とテストピース
Fig. 5 Manufactured probe and specimen

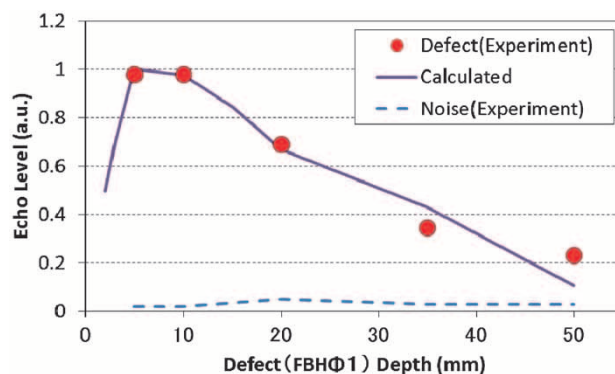


図6 実験値と計算値での欠陥エコー強度の比較
Fig. 6 Comparison of defect echo strength between experimental value and calculated value

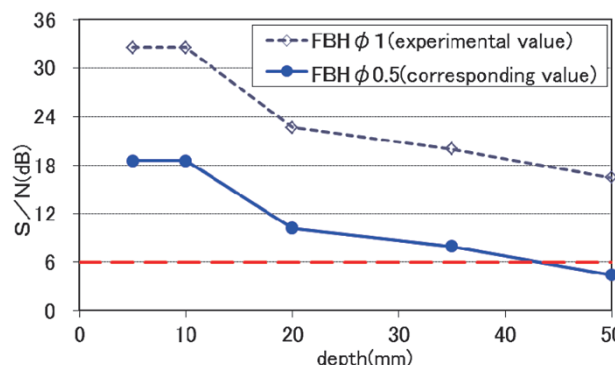


図7 検出可能な欠陥サイズの評価
Fig. 7 Evaluation of detectable defect size (flat bottom hole)

むすび = 当社で製造されているクランク軸のフィレット部に対応する超音波探傷プローブの設計を例に、超音波シミュレータの活用について紹介した。

本報では触れなかったが、複雑な形状の被検査材の超音波探傷では、形状起因の反射信号が複数あられ、探傷を難しくするが、シミュレーションではこの影響は分離して解析でき、反射信号の影響を軽減するような探触子の配置などを容易に検討することが可能になる。

さらに微小欠陥を探傷する際には粒界ノイズが障害になるが、シミュレーションにより材料の粒径サイズや粒

形状をモデル化し超音波ノイズを評価することで、超音波探傷性能を向上させるための材料設計の指針を得るといった検査手法とは異なる利用方法にも広がりつつある。当社のものでづくりを支える重要な要素技術として、超音波シミュレーションを活用した非破壊検査技術の高度化を今後とも進めていく所存である。

参 考 文 献

- 1) 北原道弘. 非破壊検査. 1998, Vol.47, No.4, p.234-237.
- 2) 上田光弘. 非破壊検査. 1998, Vol.47, No.4, p.238-242.
- 3) 日本非破壊検査協会. 超音波探傷試験 I. p.9.