

超音波による非破壊検査の基礎と応用

川田 良暁

機械建設系

1. はじめに

超音波とは人間の可聴域の上限である 20k Hz 以上の音で人の耳では聞き取れない周波数帯の音波のことである。近年、超音波は医療用の超音波エコー検査や振動を利用した様々な製品などを始め、幅広い分野で利用されている。その中で、本研究では、この超音波を用いて、様々な製品に利用されているアルミニウム合金ダイカストの内部欠陥を検出することを目的としている。特にダイカスト製品は、自動車や航空機のエンジンに使用され、人が直接関わる製品が多く、高い安全性が要求される。しかし、ダイカスト製品には、完全に除去することが出来ない欠陥が内在している。その一つに破断チル層(Fig.1)があり、外的負荷や繰返し荷重などを受けた際、母相との境界から剥離を起こし、破壊の原因になる可能性が高い。また従来の垂直方向の測定では困難な表面近傍の破断チル層が破壊の危険性が高いと考えられる。そこで本研究では、超音波の浸透が深く、かつ超音波の伝搬が帯状になる非収束型の探触子を用い、表面近傍の破断チル層を検出することを最終目標としている。これまでの研究では、ダイカスト材中に $\phi 0.5\text{mm}$ ~ 2.0mm の人工穴を開けた試験片での測定及び、内部に幅 10mm、厚さ 2mm のアルミナ平板を埋め込んだ試験片に対し、超音波測定を行い良好な結果を得た。本研究では、幅 2 mm、厚さ 0.2mm と、より破断チル層に近いアルミナ薄片を導入し超音波測定を行った。その結果、超音波測定によってアルミナ薄片を検出ことができ、欠陥のおおよその大きさを推定できる、2次元マッピング表示法の開発にも成功し、目標を達成した。

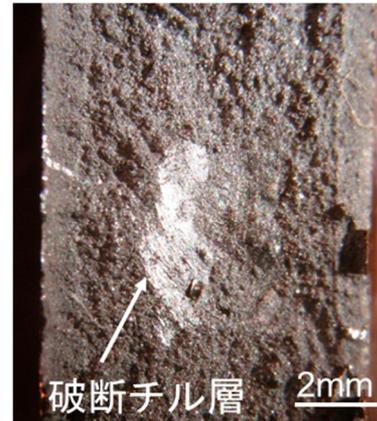


Fig.1 破断チル層から破壊した試験片断面

2. 超音波の基礎

2.1 超音波探触子

超音波技術を非破壊検査に応用する場合、最も重要となる機器に超音波探触子(プローブ)がある。超音波探触子には、測定対象に直接超音波探触子を当てる直接接触法(Fig.2(a))、水中で測定を行う水浸法(Fig.2(b))の2つに分類され要求される測定に応じて適切に選択する。また、これらの超音波探触子は、発信周波数、振動子直径、焦点距離、収束方式、入射角度など様々なパラメーターがあるが、それらを適切に利用することにより、様々な測定が可能となる。

これらの探触子にはそれぞれに特徴があり、直接接触法は、比較的振動子直径が大きく、低周波数が主流なため、広範囲で深い検査が可能である。しかし、微小範囲の測定が難しく、発信波と表面反射が重なってしまうという問題点もある。また、接触媒体であるグリースの塗布量などにも影響される。対して、水浸法で

は、超音波を収束できる利点があり、ミリオーダーの微小欠陥の検出が可能である。また、接触媒体には水を使用するため、発信波と表面反射波を分離できるという特徴もある。しかし、常に水槽や水風船のような、水環境を必要とするため設置に工夫が必要となる。

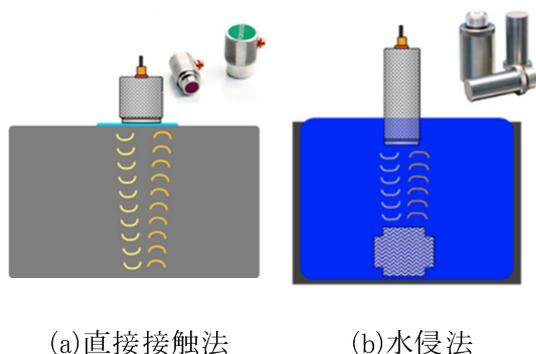


Fig.2 超音波探触子の種類

2.2 表面弾性波 (SAW)

このように探触子には、いろいろな特徴があるが、従来の垂直方向での測定では、材料表面からの反射波(S)と表面近傍の欠陥からの反射波(D)が重なってしまい表面近傍の欠陥検出が困難となる。そこで、Fig.3 のように探触子を斜めから入射し、材料表面に表面弾性波 (Surface Acoustic Wave)を発生させることにより、表面近傍の欠陥検出が可能となる。

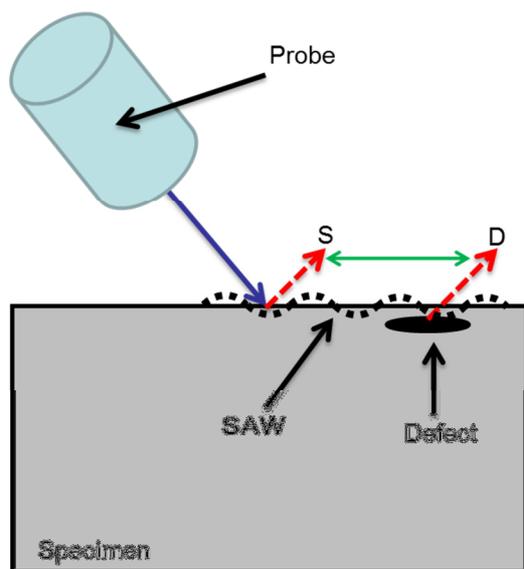


Fig.3 表面弾性波測定概念図

2.3 超音波波形の読み方

超音波発信器が受信した波形データはオシロスコープに表示されデジタルデータとして保存する。ここで得られた波形例を Fig.4 に示す。超音波波形は通常、図に示した、3種類の反射波が得られる。また、超音波の伝搬経路をイメージするため、プローブから発信された超音波の伝搬経路と試験片の関係を Fig.4 上部に示す。初めに一番強度の高い、材料表面からの反射波が得られ、材料底面からの反射波が得られる。材料内部に欠陥が存在する場合は、表面反射波と底面反射波の間に欠陥からの反射波が現れる。また得られた波形の表面反射波から底面反射波までの時間差と材料のヤング率から、材料の音速を求めることができ、同時に欠陥までの時間差を測定し、ヤング率と音速の関係から表面から欠陥までの深さを推定することができる。

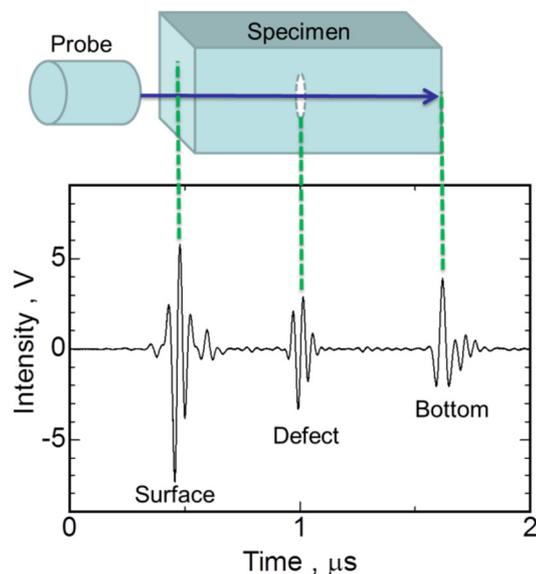


Fig.3 超音波波形例

3. 実験方法

2.1 試験片の製作

アルミニウム合金ダイカスト(ADC12)を溶解し、アルゴンガスをを用いて脱ガス処理した後、長さ80mm、幅60mm、深さ7mmの金型に流し込んだ。次いで、治具により底面から約3mmの深さになるよう、厚さ0.2mm、幅2mmのアル

ミナ薄片を表面から突刺して試験片とした．次いで，フライス加工により試験片の測定面及び側面の面出し加工を行った．最後に測定面を研磨紙により仕上げた後，超音波測定を行った．

2.2 超音波測定

初めに表面弾性波(SAW)を用いてアルミナ薄片の検出と位置を特定するため線測定を行った．この時の測定概略を Fig.4 に示す．探触子は非集束型 5MHz 縦波用を用い，試験片からの高さ 15mm とした．探触子を試験片表面から 30° 傾けて超音波を発信し，試験片表面に表面弾性波を発生させた．測定はアルミナ薄片直上位置を $X=0$ とし，アルミナ薄片の手前 $X=-15\text{mm}$ から $X=10\text{mm}$ まで，1mm 間隔で行った．またアルミナ薄片の深さ方向の応答を確認するため，試験片表面を 0.1mm 間隔で研磨しながら超音波試験を行った．

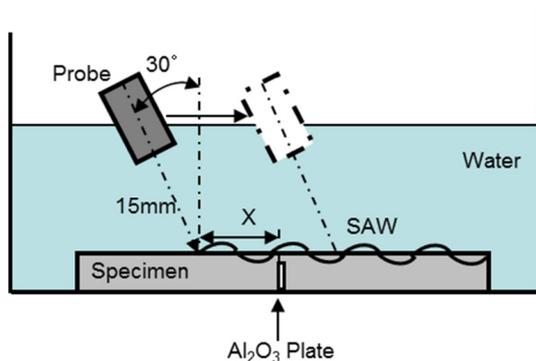


Fig.4 線測定法の概略図

次いで，Fig.5 のように探触子とアルミナ薄片の距離を一定とし，探触子を 0.1mm 間隔で縦方向に移動させ，アルミナ薄片の二次元マッピング測定を行った．マッピングの範囲は縦方向に 12mm とし，合計 121 点の波形データを得た．得られた波形は超音波の波の影響を軽減するため，ウェーブレット変換を用いてスムーズ化した後，121 点の波形データを順番に重ね合わせることで，二次元マッピングイメージを構築した．

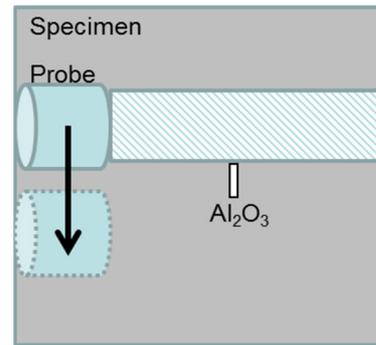


Fig.5 2次元計測法の概略図

3. 実験結果

表面弾性波(SAW)を用いた線測定で得られた波形の一つを例として Fig.6 に示す．図より表面反射波の後方にアルミナ薄片からの反射波が検出された．

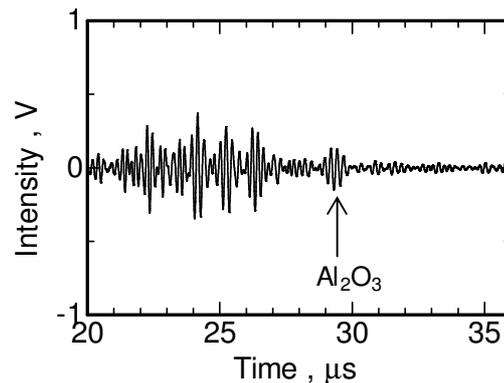


Fig.6 SAW測定で取得した波形例

得られた各測定位置とアルミナ薄片からの反射波強さをプロットすると，Fig.7(a)の結果となり，アルミナ薄片深さが 0.7mm でアルミナ薄片からの反射波が確認できることが分かった．次いで，アルミナ薄片の深さが 0.4mm を境に大きな反射波が得られた．また，アルミナ薄片直上位置 $X=0$ に接近するに従い反射波強度が増加し，アルミナ薄片位置を特定することができた．またアルミナ薄片までの深さが浅くなるに従い，検出される範囲も広がっていることが分かった．Fig.7(b)はアルミナ薄片深さが 0.75mm から 0.5mm までの結果を拡大した結果であり，この結果からも深さによる強度変化及び測定範囲の拡大が確認された．

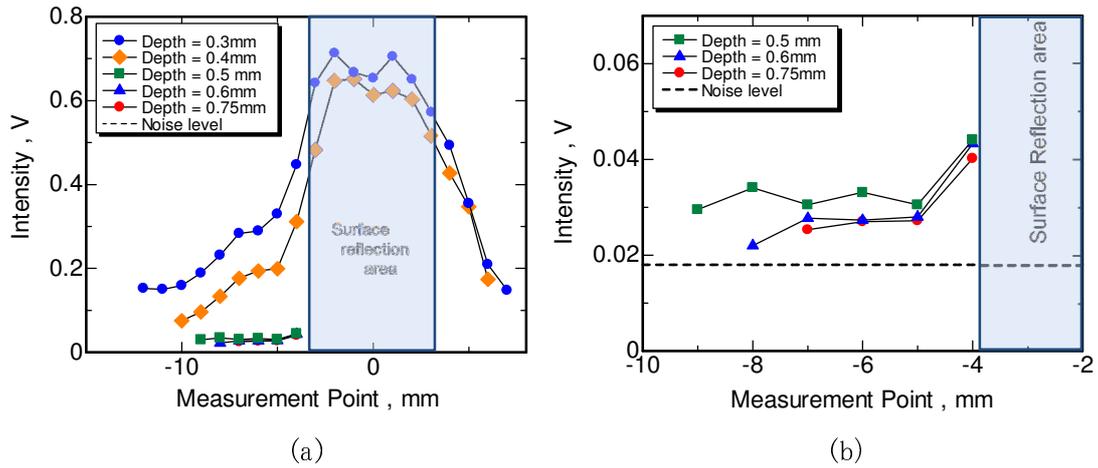


Fig.7 線測定結果

次いで、SAW 波形を元に2次元マッピング測定した結果を Fig.8 に示す。超音波の特性上、厚さ方向に広がりが見られるが、構築したマッピングにより、導入したアルミナ薄片の形状とほぼ同様のマッピングイメージを得ることができた。

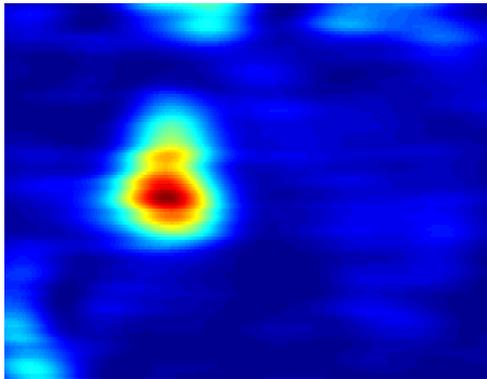


Fig.8 2次元マッピングイメージ

謝辞

本研究は、平成 24 年度科学研究費補助金（奨励研究）24917011，埼玉大学工学部機械工学科個人研修の予算により行われた。

4. まとめ

1. 探触子が、アルミナ薄片に接近するに従い反射波強さが上昇することから、アルミナ薄片の位置を特定することができた。
2. アルミナ薄片までの深さが 0.4mm 以下から明確な反射波を得ることができた。
3. 表面弾性波（SAW）の2次元測定により、アルミナ薄片のおおよその大きさをマッピングすることができた。