

公益社団法人 自動車技術会 2013春季大会
新しい計測診断技術 -基盤計測技術-

片面型・非接触・空中伝搬超音波検査法の開発と最近の応用

高橋雅和・小倉幸夫（ジャパンプローブ）
中畑和之（愛媛大学）
西野秀郎（徳島大学大学院）
松島正道（宇宙航空研究開発機構）

2013年5月22日（水）
パシフィコ横浜

Development and Recent Application of Non Contact Air Coupled Ultrasonic Testing by One Side Surface

Masakazu Takahashi Yukio Ogura Kazuyuki Nakahata Hideo Nishino Masamichi Matsushima

We have developed the high sensitive non contact air coupled ultrasonic testing (NAUT) by one side surface with the ultra high power square burst wave pulser and receiver, the pre-amplifier and high sensitive air probes. This paper describes detection of de-lamination in CFRP, application of aluminum plate, steel plate by transmission method or tandem method of NAUT.

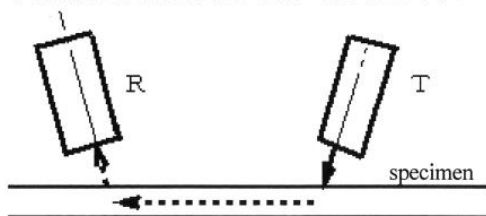
KEY WORDS: NAUT, Guided wave, One side surface, A0 mode, Aluminum, Steel plate Scanner [D4]

1. まえがき

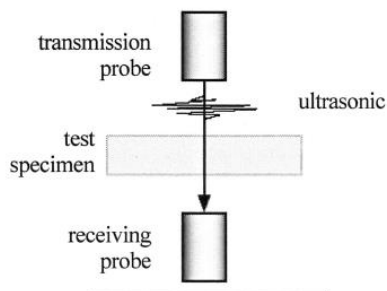
NAUT では試験体の両面から透過法で検査する方法が主体に用いられている¹⁾。今回、NAUT による片面から検査可能な方法を開発した。本報告では開発したスキャナの概要及び適用例について述べる。

2. 片面对向型検査法

Fig.1 に片面对向型透過法及び通常の透過法を示す。



(a) One side surface transmission method



(b) Both side transmission method

Fig.1 One side surface transmission method and both sides transmission method

Fig.1(a) の片面对向型透過法では T より送信された超音波が試験体を伝搬し R で受信する。T・R 間にきずが存在すれば透過波振幅は低下するので、振幅変化からきずを検出することができる。この方法では Fig.1(b) の通常の両面透過法に比べて試験体の上下に探触子を配置する必要がないので適用性がよくなる。Fig.2 に NAUT の外観を示す。この装置をベースにして片面对向型スキャナを開発した。

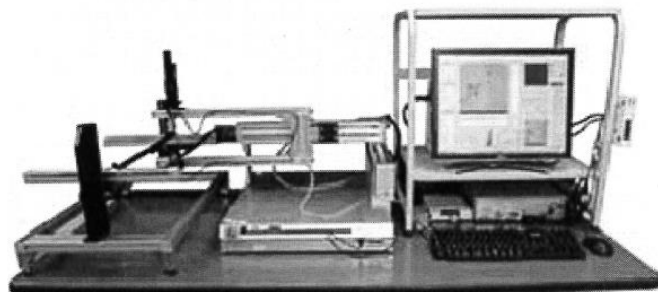


Fig.2 Out side appearance of NAUT

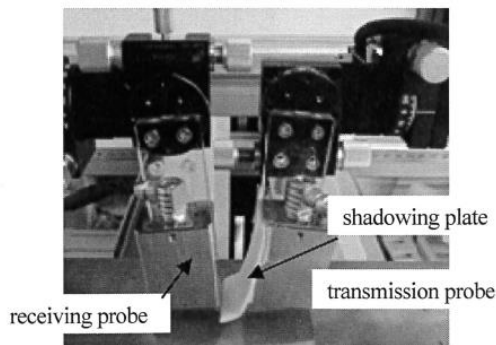


Fig.3 One side surface high speed scanner

*2013 年 5 月 22 日自動車技術会春季学術講演会において発表。

1) ジャパンプローブ(株) (232-0033 横浜市南区中村町 1-1-14 masakazu-takahashi@jp-probe.com) 2) 愛媛大学 3) 徳島大学院 4) 宇宙航空研究開発機構

Fig.3 に開発した片面对向型高速スキャナを示す。300mm×300mm の範囲を走査速度 200mm/s で走査可能である。また送受信プローブ間に遮蔽板を設置した。以下の実験では周

波数が 800KHz で探触子型式は 0.8K14×20N 及び 0.8K7×10N のものを用いた。

Fig.5 でビームの入射角 i と fd (f : 周波数, d : 板厚) の関係を示す。透過率 T は式 (1) で計算した^{2),3),4)}。

$$T = \frac{4N^2}{4M^2 + (N^2 - M^2 + 1)} \quad (1)$$

ここに,

$$N = \frac{Z_l \cos^2 2\theta_l}{Z_s \sin k_{ly} d} + \frac{Z_s \sin^2 2\theta_l}{Z_s \sin k_{ty} d} \quad N = \frac{Z_l \cos^2 2\theta_l}{Z_l \tan k_{ly} d} + \frac{Z_s \sin^2 2\theta_l}{Z_l \tan k_{ty} d} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} Z &= \frac{\rho v}{\cos \theta}, \quad Z_l = \frac{\rho_l v_l}{\cos \theta_l}, \quad Z_s = \frac{\rho_s v_s}{\cos \theta_s}, \\ k_{ly} &= \frac{\omega}{v_l} \cos \theta_l, \quad k_{ty} = \frac{\omega}{v_t} \cos \theta_t \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\sin \theta_l = \frac{v_l}{v} \sin i, \quad \sin \theta_t = \frac{v_t}{v} \sin i \quad (4)$$

ここで, v は空気中の音速, v_l, v_t は板材の縦波と横波の音速, ρ は空気の密度, ρ_l は板材の密度, d は板の厚さ, i は入射角, θ_l, θ_t は板中での入射角 i に対する縦波と横波の屈折角, k_{ly}, k_{ty} は板の厚さ方向の縦波と横波の波数成分, Z, Z_l, Z_t は入射角を考慮した音響インピーダンス, ω は超音波の角周波数をそれぞれ示している。

3. 応用例

3.1. 薄鋼板溶接部の探傷例

Fig.4 に薄鋼板溶接部の適用例を示す。試験体の厚さは 0.63~1.17mm である。入射角は 11°で, Fig.5 の fd (周波数×板厚) と入射角の関係から求めた⁵⁾。



(a) One side surface transmission method



(b) no defect



(c) defect pattern

Fig.4 Example of thin steel plate weld detection by one side surface

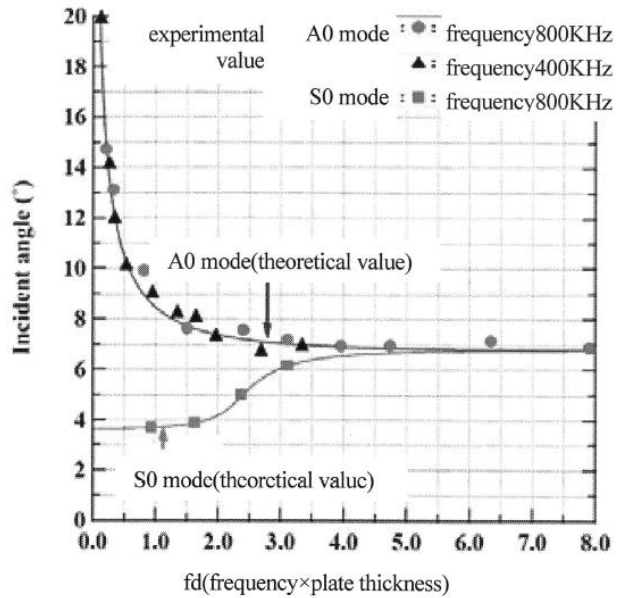
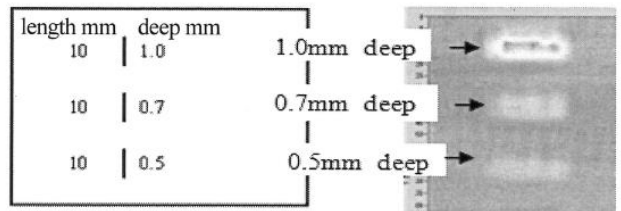


Fig.5 Relationship between fd (frequency×plate thickness) and incident angle

Fig.4 に示すようにきず(X線検査で検出した欠陥サイズは長さ1mm)があると透過波振幅はきずの無い場合の透過波振幅に比較し低下する。

3.2. 鋼板の表面開口きずの適用例

Fig.6 に鋼板の表面開口きずの適用例を示す。鋼板の厚さは 15mm, 表面開口きず深さは 0.5~1.0mm, 幅は 0.25mm, 長さは 10mm である。入射角は 7°に設定した。Fig.6(b) に示すように深さ 0.5mm~1.0mm のスリットが明瞭に検出されている。



(a) Test specimen

(b) Image pattern

Fig.6 Application of opening crack in steel plate

この現象を確認するため有限積分法^{6)~8)}によるシミュレーションを行った。表面開口きず(深さ1mm, 幅0.25mm)を有する鋼板(板厚15mm)に対して, 周波数800KHz, 空中送受信間距離40mmにおける伝搬シミュレーション例を Fig.7 に示す。空中への漏洩波が表面きずによって分離されて伝搬することが観察される。Fig.8 には受信時のシミュレーション波形例を示すが, きずの無い場合に比較してきず(深さ1mm)が有る場合には受信振幅が低下することが認められ, 実験結果と一致する。

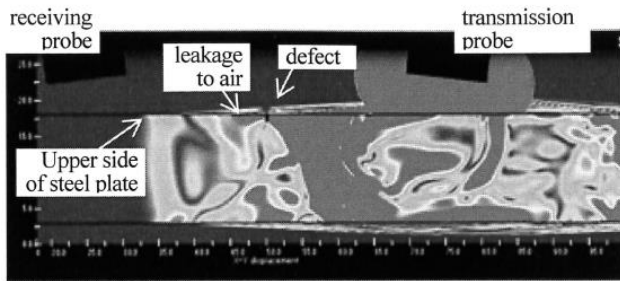


Fig.7 Propagation simulation in transmission and receiving in

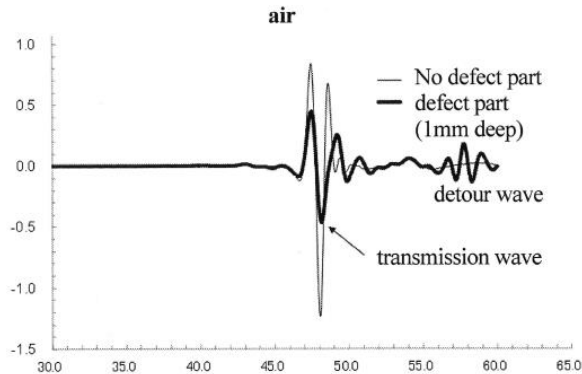
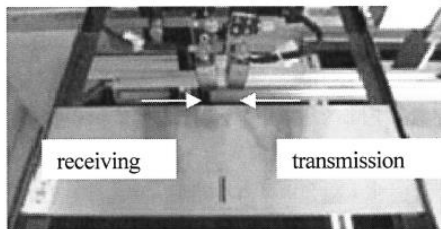


Fig.8 Comparison between no defect part and defect part

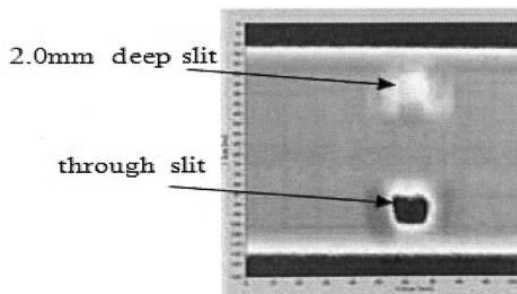
Fig.8 には受信時のシミュレーション波形例を示すが、きずの無い場合に比較してきず (深さ 1mm) がある場合には受信振幅が低下することが認められ、実験結果と一致する。また、きずによる回り込み波形が観察される。

3.3. アルミニウム板の適用例

Fig.9 にアルミニウム板の適用例を示す。試験体は厚さ 4mm、幅 100mm 長さ 300mm で試験体の裏面に設けた深さ 2.0mm のスリット及び貫通スリットを表面側から画像化したものである。板の裏面にある 2mm のスリットも明瞭に検出されている。



(a) Experiment



(b) Image picture

Fig.9 Application for 4mm thick aluminum plate

3.4. アクリル板の適用例

アクリル製段状試験体の厚さ方向の画像化を試みた。Fig.10 に試験体の形状を示す。Fig.11 に片面対向型スキャナによる実験方法を示す。片面対向 V 透過法で探触子距離 L 及び探触子と試験体表面距離 G を変化させて画像化した。送受信のビーム角度は 9° 、アクリル内の屈折角を約 45° に設定して走査した。探触子間距離 L は $L=30\sim60\text{mm}$ (5mm ピッチ)、探触子と試験体距離 G は 5, 10 及び 15mm に変化させた。Fig.12 に V 透過波の画像例を示す。A 部、B 部及び C 部が鮮明に画像化されていることが分かる。探触子間距離 L がアクリル板の厚さ t の約 2 倍 ($L=2t$) の場合にアクリル板底面の V 透過波振幅がほぼ最大になった。

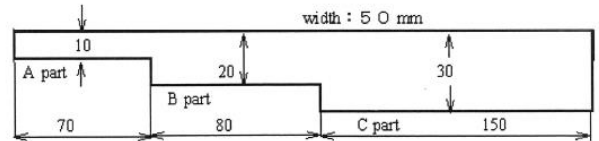


Fig.10 Acrylic resin step specimen

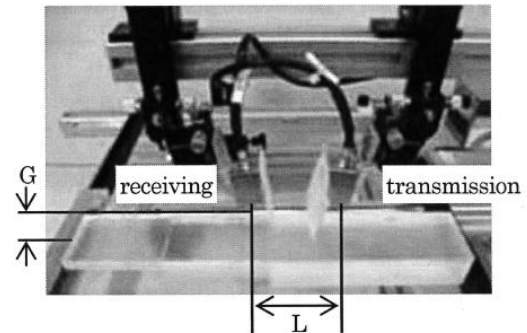


Fig.11 Experiment of one side scanner



Image picture pattern for part A ($L=22\text{mm}$, $G=5\text{mm}$)

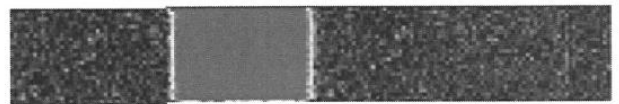


Image picture pattern for part B ($L=45\text{mm}$, $G=5\text{mm}$)

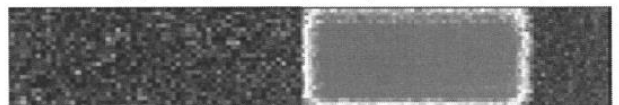
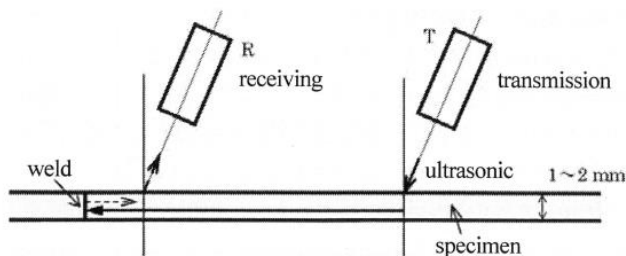


Image picture pattern for part C ($L=60\text{mm}$, $G=5\text{mm}$)

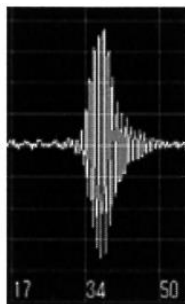
Fig.12 Example of image picture pattern for acrylic glass step test specimen

3.5 薄板の探傷

Fig.13 にタンデム法による薄板の溶接部の探傷例を示す。送信探触子 T より送信した超音波が薄板内をガイド波として伝搬し、溶接部きず部で反射し受信探触子 R で受信することによってきずを検出することができる。

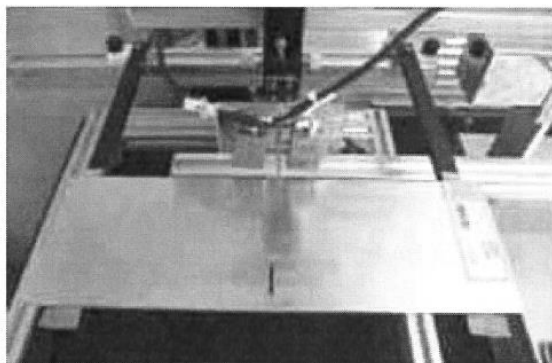


(a) Probe position

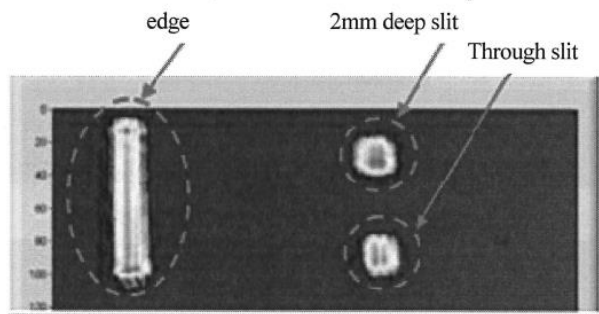


(b) Reflection wave of defect

Fig.13 The detection of thin welded plate by tandem method



(a) Experimental method



(b) Image pattern picture

Fig.14 Experimental method and image pattern picture for aluminum plate

Fig.14 にタンデム法によるアルミニウム板の探傷例と画像例を示す。送信探触子及び受信探触子の配置は Fig.13 と同様である。送信探触子 T より送信した超音波が板内をガイド波として伝搬し、きず部で反射し受信探触子 R で受信することによってきずを検出することができる。

4. まとめ

片面对向型非接触・空中伝搬超音波検査法 (Non Contact Air Coupled Ultrasonic Testing: NAUT) を開発し、金属板・アルミニウム板などの画像化を試みた。その結果を要約すると下記の通りである。

- (1) アルミニウム板、鋼板のきずの検査などに適用できる。
- (2) 通常の両面透過法に比較し片面から適用可能で、探触子の配置に制約を受けにくい。
- (3) 探触子間距離等を変化させることで、深さ方向の情報が得られる。

参 考 文 献

- (1) 高橋 雅和, 野路 正明, 桐生 啓二, 小倉 幸夫, 川嶋 紘一郎: 非接触空中超音波査法の開発とその応用: 自動車技術協会春季学術講演会, 100-20095055, PP.13-16, (2009)
- (2) H. Reissner, Helv. Phys. Acta, 7, PP.140-150, (1934)
- (3) T. Thompson, J. Appl. Phys., 21, PP.89-93, (1950)
- (4) 西野 秀郎, 小倉 幸夫, 高橋 雅和, 星野 秀和, 北川 秀昭, 楠元 淳一, 金谷 章宏: 非接触エア UT の板材の斜め入射透過率に関する検討(1)ー空気および水中伝搬超音波の板材への斜め入射透過率に関する理論的考察ー, 日本非破壊検査協会, 平成 19 年秋季大会講演概要集, PP.28-30, (2007)
- (5) 西野 秀郎他: 非接触・空中伝搬超音波法によるアルミニウム平板の入射角の検討, 第 19 回超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集, 5-1 PP.75-80, (21012)
- (6) 中畑 和之, 徳永 淳一, 廣瀬 壮一: イメージベース波動伝搬シミュレーションと超音波探傷法のモデル化への応用, 非破壊検査, Vol.59, No.5, PP.231-238, (2010)
- (7) 中畑 和之, 田中 貴之: GPU 計算を用いたイメージベース EFIT の高速化と超音波計測による解析妥当性の検証, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.68, No.2, pp.1227-1236, (2012)
- (8) 中畑 和之, 木元 和志, 廣瀬 壮一: リアルタイム波動伝搬シミュレータを援用した時間反転法による欠陥の映像化, 非破壊検査協会 H24 年度秋季講演大会, pp.79-80, (2012)