

超音波の可視化技術を用いたフェーズドアレイ UT 条件の評価

Evaluation of Phased Array UT Conditions using Ultrasonic Visualization Technique

(財)発電設備技術検査協会 古川 敬 Takashi Furukawa Member
古村一朗 Ichirou Komura Member

Phased array provides many advantages over conventional ultrasonic testing method, but phased array has also limitations. This paper describes typical results of the experimental sound field analysis generated from the array probe. A photo-elastic ultrasonic visualization technique was applied in this study. The sound field of shear wave generated from the array probe was equivalent to that from the fixed angle probe.

Keywords: Phased array, Ultrasonic testing, Photo-elasticity, Visualization

1. はじめに

フェーズドアレイ法を用いた超音波探傷試験 (UT) では、探傷結果を画像化して表示することに加え、試験対象部位に送信する超音波ビームの方向を任意に設定することや、ビームの集束の有無や集束の深さを任意に設定することが可能という特長があり、き裂深さサイジング用途[1]だけでなく、欠陥検出にも活用が期待されている。フェーズドアレイ法を適用する上で探傷結果の信頼性確保という観点から、設定どおりに超音波ビームが送信されていることの検証や設定上の制限を把握することが重要である。さらに欠陥検出へ適用する場合は、従来 UT 法との同等性の確認や従来 UT 法による探傷結果との整合性等の検討が不可欠である。

フェーズドアレイ法における設定条件の制限という観点で、著者らは以前アレイ探触子の振動子(素子)ピッチ、中心周波数、周波数帯域及び超音波ビームの振り角を変え、パルス状の超音波を金属内に送信したときの音場をシミュレーション解析で評価した。その結果、金属内の音場であっても従来理論(水中の連続波の解析解)による解析解と大きな差異が無く、従来の知見を有効に活用できることを示した[2]。

本研究では、実験的な超音波の可視化技術を用いてアレイ探触子から発生する音場を直接観察し、メインローブやグレーティングローブの発生の状況の評価した。特に、現行の規格に準拠してフェーズドアレイ法を欠陥検出へ適用することを見据え、横波斜角のフェーズドアレイ法の設定で音場を評価した。そして従来 UT 用の固定角の斜角探触子から発生する音場と比較し、

フェーズドアレイ法による音場との違いの有無を評価した。

2. 測定方法及び条件

音場の観察には、光弾性超音波可視化装置[3]を用いた。この装置では画像の輝度(明るさ)が超音波の音圧すなわち最大せん断応力に対応している[4]。

試験片は光弾性超音波可視化法を適用するため、透明体かつ光弾性効果があり音速が鋼材に近い、耐熱ガラスとした。試験片は、板厚 50mm、奥行き 20mm、長さ 300mm の板で、板厚の 1/4 と 3/4 深さ位置に $\phi 3.2\text{mm}$ の貫通横穴を設けたものと、裏面に深さ 15mm の貫通ノッチを設けた 2 種類を使用した。

アレイ探傷器及び従来 UT 用の探傷器は市販品 (MC64: 栄進化学製、USIP12: クラウトクレマ製) を用い、表 1 に示す市販の探触子から発生する超音波の音場を観察した。アレイ探触子はクサビを介して超音波を送信したが、3 種類の送信条件は遅延設定のみを変え、クサビは全ての条件で同じものを使用した。

なお、2 次クリーニング波法[5]用の探触子から発生する超音波ビームは、縦波が 70 度から 90 度程度の範囲に発生しているが、このとき横波も約 30 度から 35 度程度に発生している。ここでのフェーズドアレイ法では代表的な条件として横波斜角 33 度の設定とした。また、アレイ探触子の仕様の表記方法の国内規格が無い素子幅 \times 素子長さ-総素子数、同時駆動素子数の順に記載し、カッコ内には、屈折角以外は従来 UT 用の探触子と同様な内容を記載した。

表1 超音波ビームの送信条件及び探触子の仕様

送信条件	アレイ探触子	従来 UT 用探触子	備考
横波斜角 45 度法	アレイ探触子 1:5K 0.5x4-16ch 16ch ^{※1} クサビの角度 30.7 度	2Z10x10A45 ^{※1}	従来 UT 用探触子と比較するため、アレイ探触子の送信条件の設定には鋼材の音速を用いた。
横波斜角 60 度法	(5K 8x4 相当、横波斜角用のクサビ) アレイ探触子 2:3K 0.5x20-32ch 20ch ^{※1}	4Z8x9A60 (MWB60-4 ^{※2})	
2 次クリーピング波法 (横波斜角 33 度)	クサビの角度 16.6 度 (3K 10x20 相当、縦波斜角用のクサビ)	2M10LA70 (WSY70-2 ^{※2}) 4M10LA70 (WSY70-4 ^{※2})	

(※1 検査技術研究所製、※2 クラウトクレマ製)

3. 測定結果

3.1 横波斜角 45 度法

アレイ探触子及び従来 UT 用の固定角の斜角探触子から発生した横波斜角 45 度の音場を図 1 から図 3 に示す。各々アレイ探触子 1、アレイ探触子 2 及び 2Z10x10A45 から発生した超音波パルスに光弾性超音波可視化装置で観察した結果である。周波数や開口寸法が異なるため、超音波ビームの指向性は比較の対象にせず、以下、屈折角の違いやグレーディングローブの発生状況を中心に同等性を評価した。

超音波ビームの伝搬方向(屈折角)はガラスと鋼材の音速の違いのため約 50 度になっているが、ともに同じ屈折角であることが確認できる。縦波斜角用のクサビを装着したアレイ探触子 2 においても、素子ピッチが細かいこと及び周波数が低いため、グレーディングローブの様な異常な波面は観察されなかった。

3.2 横波斜角 60 度法

次に、遅延設定を横波 60 度に設定したアレイ探触子 1 及び 2、そして固定角の横波斜角 60 度探触子から発生した超音波パルスの観察結果を各々図 4 から図 6 に示す。図 4 及び図 5 は図 1 及び図 2 と各々同一のクサビを使用し 60 度の横波を送信していることが確認できる。前述の横波斜角 45 度の結果と同様に、超音波の屈折角はガラスと鋼材の音速の違いのため約 70 度になっているが、ともに同じ屈折角であり、アレイ探触子から発生した音場と固定角の探触子から発生した音場は、ほぼ同等であった。

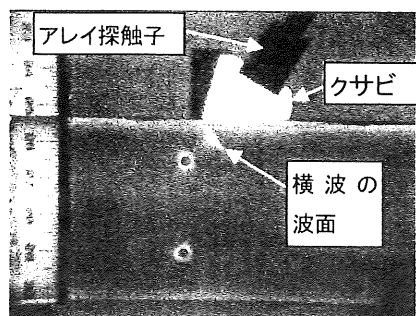
3.3 2 次クリーピング波法

図 7 及び図 8 は、各々アレイ探触子 1 及び 2 から 2 次クリーピング波法の条件で発生させた超音波パルスの観察結果である。ともに各々前述の横波 45 度及び横

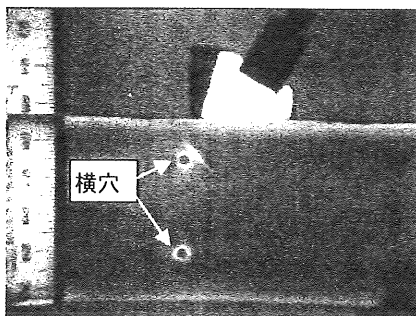
波 60 度と同じクサビを使用している。図 9 は 2 次クリーピング波用の探触子から発生した超音波パルスの例として 4M10LA70(WSY70-4)の音場の観察結果である。探触子によって超音波の強度は異なるものの各々図(a)では、図中に L0 と記した縦波と、同時に発生した横波(図中に S と記す)の波面が観察されており、図(b)では裏面で反射した横波(S と記す)と反射の際に振動の種類が縦波にモード変換した波面(L と記す)が観察できる。裏面で反射した横波は入射角と同じ角度で反射するが、モード変換した縦波は 90 度(裏面近傍)から約 70 度程度の方に広く伝搬している。この縦波は 2 次クリーピング波と呼ばれているものである。図(c)はノッチで反射後の波面であり、ノッチで反射した縦波(L と記す)及びこの縦波がノッチで反射する際にモード変換した横波(S1 と記す)、そしてノッチで反射した縦波が裏面近傍を伝搬する際に横波へモード変換した波面(S2 と記す)が観察されている。2 次クリーピング波法では縦波と横波が複雑な波面を示しているが、アレイ探触子と固定角の 2 次クリーピング波法用探触子から発生した音場及びノッチで反射する超音波の伝搬状況や発生する波面の様子は、ほぼ同等であった。

4. まとめ

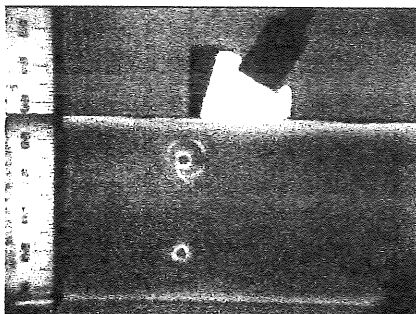
従来 UT 法で欠陥検出等に用いられている代表的な条件である横波斜角 45 度、60 度法及び 2 次クリーピング波法の条件で、フェーズドアレイ法により発生させた音場を実験的に観察した結果、従来用いられてきた固定角の斜角探触子から発生する音場と同等であることを確認した。今後、フェーズドアレイ法を欠陥検出へ適用するための検討がさらに加速されることを期待する。



(a)送信後の波面

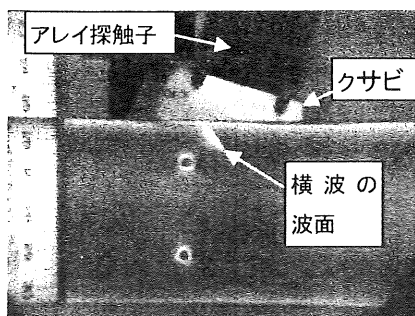


(b)横穴で反射直前の波面

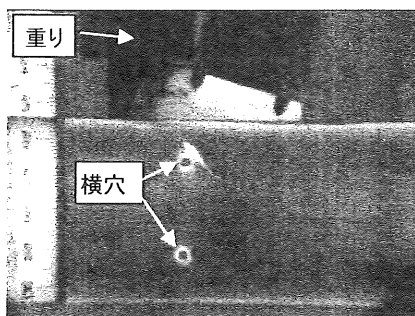


(c)横穴で反射後の波面

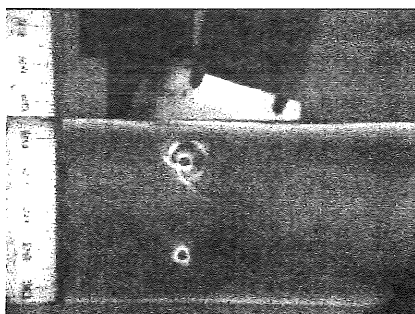
図1 横波斜角45度の設定でアレイ探触子1から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果



(a)送信後の波面

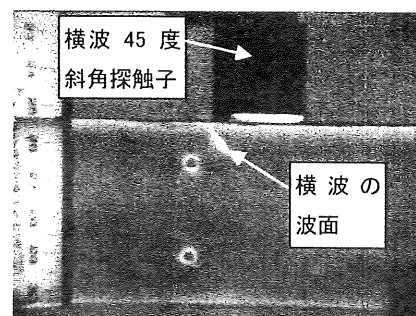


(b)横穴で反射直前の波面

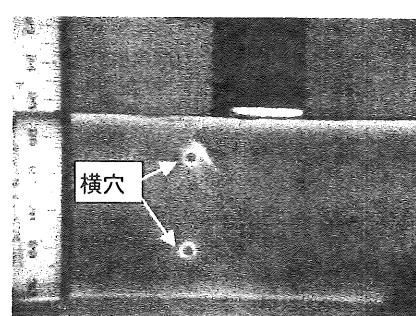


(c)横穴で反射後の波面

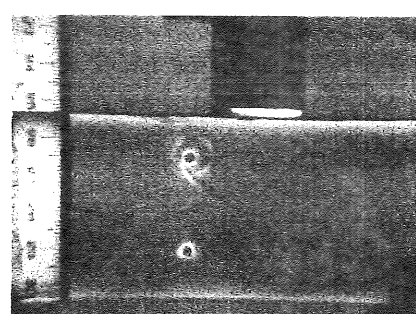
図2 横波斜角45度の設定でアレイ探触子2から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果



(a)送信後の波面



(b)横穴で反射直前の波面



(c)横穴で反射後の波面

図3 横波45度斜角探触子(2Z10x10A45)から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

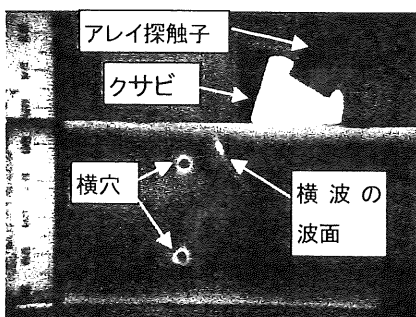


図4 横波斜角60度の設定でアレイ探触子1から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

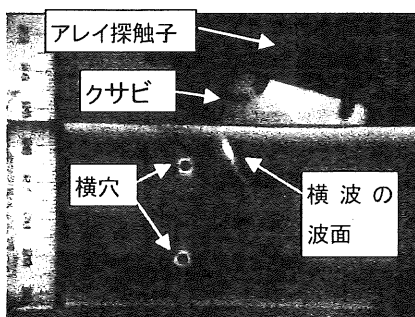


図5 横波斜角60度の設定でアレイ探触子2から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

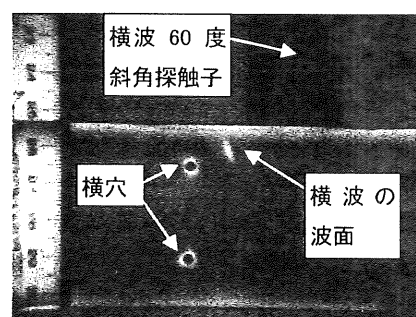
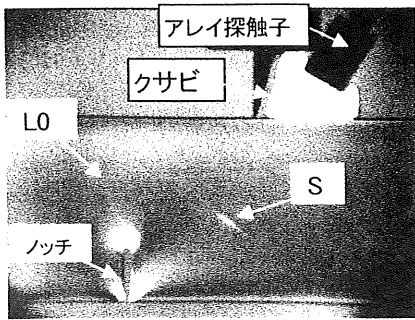
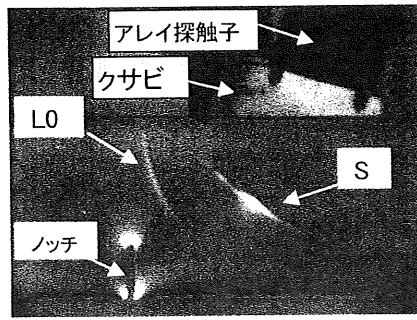


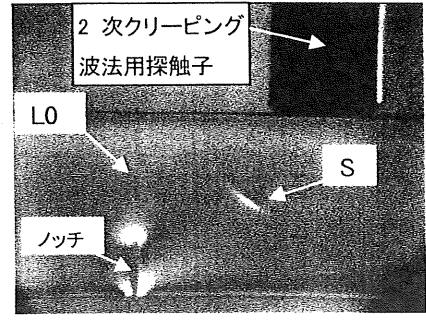
図6 横波60度斜角探触子(4Z8x9A60)から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果



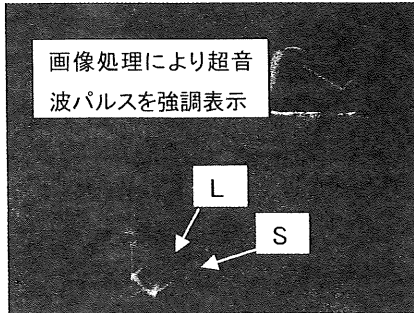
(a)送信後の波面



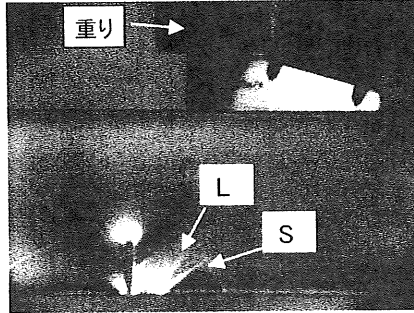
(a)送信後の波面



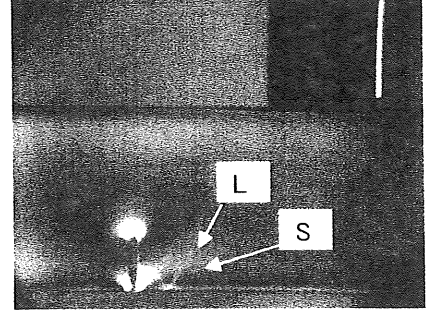
(a)送信後の波面



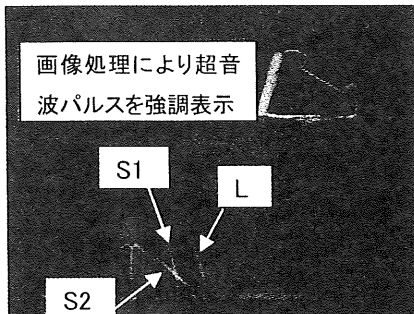
(b)横波が裏面で反射した時の波面



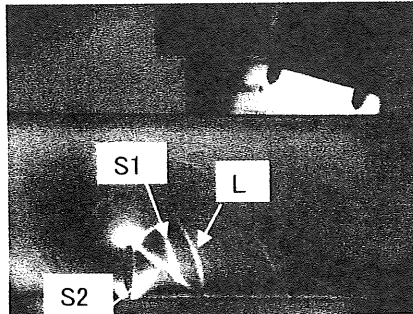
(b)横波が裏面で反射した時の波面



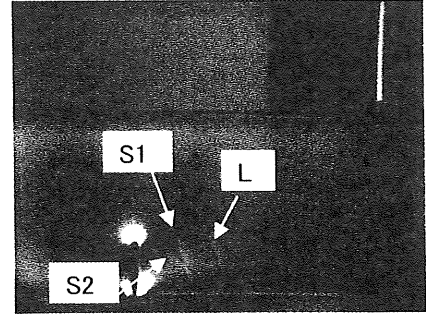
(b)横波が裏面で反射した時の波面



(c)縦波(2次クリーピング波)がノッチで反射した直後の波面



(c)縦波(2次クリーピング波)がノッチで反射した直後の波面



(c)縦波(2次クリーピング波)がノッチで反射した直後の波面

図7 横波斜角33度(2次クリーピング波法)の設定でアレイ探触子1から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

図8 横波斜角33度(2次クリーピング波法)の設定でアレイ探触子2から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

図9 2次クリーピング波法用探触子(4M10LA70;WSY70-4)から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

参考文献

- [1] 日本電気協会 技術規定 JEAG 4207-2004 付録
- [2] 古川、山田、古村：Phased Array 超音波探触子音場の数値シミュレーション、非破壊検査協会第12回超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集、平成17年1月27日、28日、P.1
- [3] 伊達、島田：固体内超音波の光弾性可視化法による定量評価、非破壊検査、Vol.36 No.9, 1987, P.605
- [4] 古川、伊達：超音波探傷試験の簡易的シミュレーション、非破壊検査、Vol.43 No.4, 1994, P.223
- [5] 日本電気協会 技術規定 JEAG 4207-2004