

## プローブ波とポンプ波を用いたき裂検出における 2次高調波超音波の駆動電圧依存特性

○亀島司，西平守正，福田誠（秋田大学）

### 1 はじめに

超音波は非破壊検査に用いられているが，閉じたき裂を検出する場合，き裂部での音響インピーダンスの差がほぼ0となるため入射した超音波がき裂部分を透過してしまい，反射波や散乱波が発生せず閉じたき裂を検出することができない。そこで閉じたき裂に大振幅超音波を入射し，き裂が開閉振動する際に生じる非線形成分が生じることが知られており，CAN（Contact Acoustic Nonlinearity: 接触型音響非線形性）<sup>[1]</sup>と呼ばれている。CANの原理に基づいて2次高調波を検出することによる非破壊検査の非線形超音波法の研究が行われてきた<sup>[2]</sup>。しかし，大振幅の超音波を用いる場合，実験装置や伝搬過程などからも2次高調波を発生してしまうため，正確にき裂を検出することが難しい。これらを改善するために低周波数のポンプ波で効率よくき裂を開閉振動させ，高周波数のプローブ波によりき裂を検出するという方法が研究<sup>[3, 4]</sup>されてきた。

本報告ではポンプ波とプローブ波を使用し，より低い電圧で，き裂検出を行うことを目的とする。受波波形をフーリエ変換する際のデータを取る時間の検討をし，プローブ波のみの場合とポンプ波とプローブ波使用した場合の2次高調波の検出量を比較し検討する。

### 2 実験方法

測定システムの概略を Fig.1 に示す。周波数 1 MHz のプローブ波（縦波）用である厚み縦振動子と周波数 250 kHz のポンプ波（横波）用である厚みすべり振動子をガラスに接着し超音波を送波する。受波側の振動子は 2 MHz の厚み縦振動子を使用する。プローブ波駆動信号はバースト波 5 波，印加電圧は  $1 V_{pp} \sim 100$

$V_{pp}$  で変化させる。ポンプ波駆動信号はバースト波 20 波，印加電圧  $10 V_{pp}$  とする。ポンプ波送波開始時刻を 0 s として，ポンプ波がき裂に到達する時間である  $30 \mu s$  からプローブ波を送波する。 $48 \mu s \sim 58 \mu s$  の範囲での周波数スペクトルと，受波地点にプローブ波が到達しその後き裂に反射し再び受波地点に到達した時間である  $65 \mu s \sim 75 \mu s$  の範囲での周波数スペクトルとの 2 パターンのポンプ波による 2 次高調波の発生量の検討を行った。

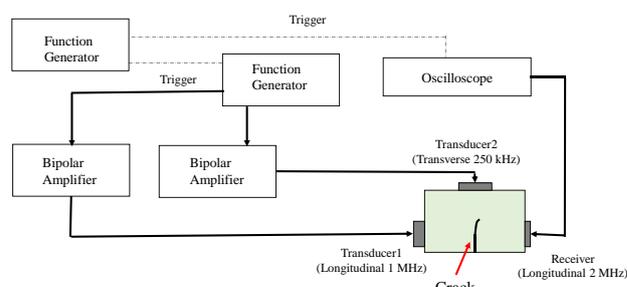


Fig. 1 Measuring System

### 3 実験結果

$48 \mu s \sim 58 \mu s$  の範囲での周波数スペクトルでは，プローブ波のみの場合とポンプ波とプローブ波を使用した場合の 2 次高調波の検出量に差がほぼ見られなかった。

次に一例として，プローブ波の印加電圧を 100 V にした受波波形の正相と逆相を足し合わせる PI(Pulse Inversion)法後の波形を Fig.2 に示す。また Fig.2 の  $65 \mu s \sim 75 \mu s$  範囲での周波数スペクトルを Fig.3 に示す。Fig.2 の受波波形では赤色の縦線で囲まれている範囲が  $65 \mu s \sim 75 \mu s$  とする。

Fig.4 に  $65 \mu s \sim 75 \mu s$  の範囲でポンプ波のみと，プローブ波とポンプ波を使用した場合での 2 次高調波を比較したグラフを示す。また横軸は印加電圧，縦軸は 2 次高調波の検出量

\* Voltage Dependence of Second Harmonic Ultrasonic Waves in Crack Detection Using Probe and Pump Waves ,by Tsukasa Kameshima, Morimasa Nishihira and Makoto Fukuda(Akita University)

とした。Fig.4 を見ると印加電圧約 20 V からプローブ波のみの場合とプローブ波とポンプ波を使用したときの差が 5 dB~10 dB ほどあり、ポンプ波を使用した場合に 2 次高調波が増加しており、ポンプ波が 2 次高調波の発生に寄与できていることが確認できた。

65  $\mu$ s~75  $\mu$ s の範囲でフーリエ変換をした場合でポンプ波を使用したときに 2 次高調波が増加したことについては、プローブ波がき裂に複数回到達するため非線形成分が多く含まれたのではないかと考えられる。また 65  $\mu$ s までのプローブ波の伝搬過程裂に向かいき裂から反射し受波地点に戻ってくる場合とプローブ波がき裂に反射し送波地点に到達し受波地点向かう場合の、2 つのパターンが存在するからではないかと考えられる。

#### 4 おわりに

ガラス中のき裂にプローブ波のみの場合と、ポンプ波とプローブ波の両方をそれぞれ入射し、2 次高調波の検出量を検討した。プローブ波がき裂に複数回到達した時間範囲での周波数スペクトルの 2 次高調波の比較では、プローブ波の印加電圧が約 20 V 以上でプローブ波のみに比べポンプ波を使用した際、2 次高調波が増加することが確認できた。

今後の課題としてプローブ波がき裂に到達する回数の多い観測時間での 2 次高調波の検出量の検討が挙げられる。

#### 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP21K03928 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] Yu Solodov : “Nonlinear NDE Using Contact Acoustic Nonlinearity (CAN)”, IEEE, ULTRASONICS SYMPOSIUM, pp 1279 - 1238, 1994
- [2] M. Fukuda and K. Imano: “The Detection of Second Harmonic Components of Lamb Waves Generated from Fatigue Plate Using a Double-Layered Piezoelectric Transducer”, Jpn. J. Appl. Phys., 51 ( 7 ) 07GB06

- [3] K. Kundu (ed.): Nonlinear Ultrasonic and Vibro-Acoustical Techniques for Non-destructive Evaluation, Springer ,2018
- [4] 小原 良和 : ”低周波と高周波を組み合わせた閉じたき裂の非線形超音波計測”,日本音響学会,71 巻, 12 号,pp682-683, (2015),

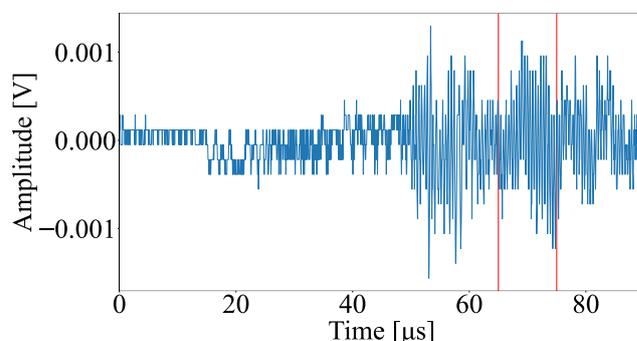


Fig. 2 Received Waveform (Voltage 100V)

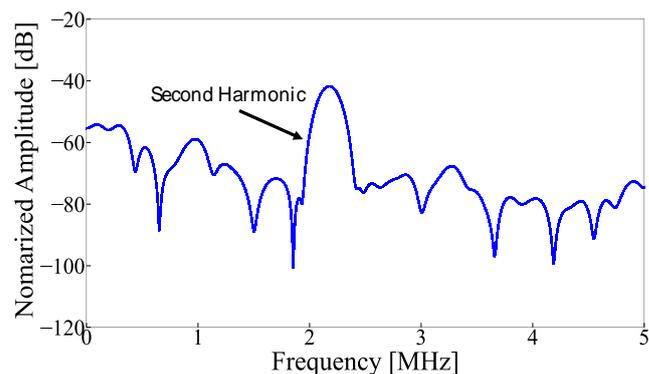


Fig. 3 Frequency Spectrum  
(65  $\mu$ s~75  $\mu$ s in Fig.2)

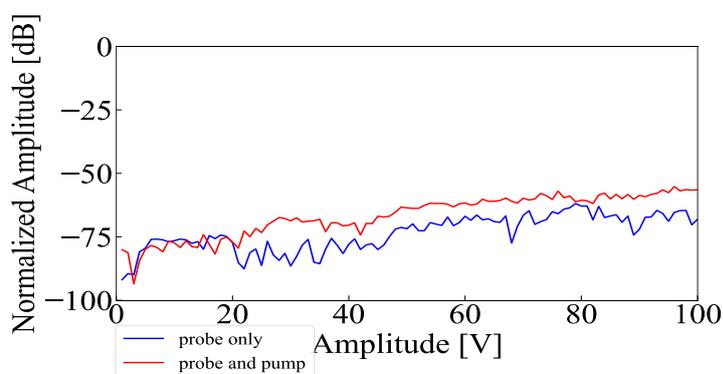


Fig. 4 Comparison of using probe wave only and pump wave and probe wave