

## 高調波検出におけるLamb波のWave mixing法のための送波信号の検討\*

○佐久間裕太, 西平守正, 福田誠 (秋田大学)

## 1 はじめに

超音波を用いた非破壊検査において, 閉じたき裂の検出は, 従来用いられてきた超音波探傷法では非常に困難である. そこで近年, 非線形超音波の利用が注目されており<sup>[1]</sup>, 閉じたき裂が原因となって生じる2次高調波を検出する方法が検討されている. この方法においてき裂の検出精度を向上させるためには, 実験装置や超音波の伝搬過程, 超音波探触子などで生じる不要な非線形成分を低減させることが課題となっている. これに対し, 波の重ね合わせを利用する Wave mixing 法<sup>[2]</sup>が提案され, 様々な研究が報告されている<sup>[3]</sup>. これは, 複数の音源から超音波を送波し, 探傷位置で重ね合わせることで, き裂の開閉運動に起因する非線形成分を生じさせるのに十分な振幅の超音波とし, その一方で, 超音波の重ね合わせ以外の場所では, 低い振幅とすることで非線形成分を抑制する方法である.

本研究では, 閉じたき裂を有する平板の超音波探傷を目的として, Lamb 波を用いた Wave mixing 法について検討している. 平板の両端に配置した2つの音源から超音波を送波することを考えた場合, これらの音源に与える送波信号の遅延時間などの条件と, き裂の開閉運動による開口幅, および2次高調波の発生量との関係を明らかにする必要がある. この関係について, 有限要素解析により検討した結果を報告する.

## 2 解析

## 2.1 解析モデル

解析モデルを Fig. 1 に示す. 1 mm 厚のアルミニウム平板(ヤング率:70 GPa, ポアソン比:0.33, 密度:2700 kg/m<sup>3</sup>)の板両端に 1 MHz, 振幅 1 nm, バースト正弦波 5.5 波の  $x$  方向の強制変位を与え, S0 モードの Lamb 波を送波した. なお, 包絡線はハニング窓を使用して

いる. アルミニウム内部の  $x$  方向振動変位波形を取得し, 平板内部に配置した閉じたき裂の接触面における  $x$  方向振動変位の差を算出することで閉じたき裂の開口幅を求めた.

## 2.2 評価方法

Fig. 2 (a)に閉じたき裂の開口時の模式図を示す. Fig. 2 (b)はき裂接触面の  $x$  方向振動変位を表している. き裂接触面右側の  $x$  方向振動変位と, き裂接触面左側の  $x$  方向振動変位の差を取ることで接触面間の距離, すなわち, き裂の開口幅が算出できる. 平板右端の送波信号の遅延時間を半周期 (0.5  $\mu$ s) ずつ変化させたときの開口幅の変化を求めた. また, 平板表面の  $y$  方向振動変位波形の周波数スペクトルから2次高調波の発生量を求めた.

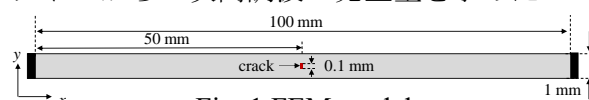
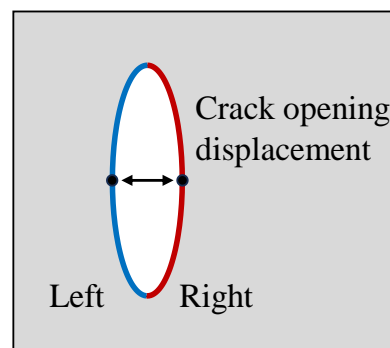
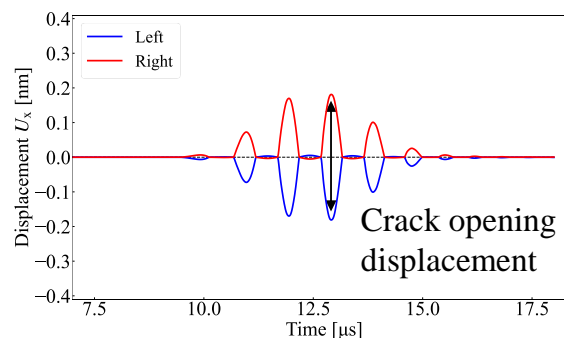


Fig. 1 FEM model



(a)



(b)

Fig. 2 Evaluation method

\* Analysis of transmission signal for Wave Mixing Method of Lamb Waves in harmonic detection, by SAKUMA, Yuta, NISHIHARA, Morimasa, and FUKUDA, Makoto. (Akita University).

### 3 結果

き裂の開口幅の算出結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 (a)は平板右端の送波信号を逆位相で遅延時間なし ( $0 \mu\text{s}$ ) とした場合、同図(b)は同位相で遅延時間  $0.5 \mu\text{s}$  とした場合、同図(c)は逆位相で遅延時間  $0.5 \mu\text{s}$  とした場合、の閉じたき裂の開口幅である。左右の音源の位相の関係と遅延時間を変化させることでき裂の開口幅の最大値が変化することが確認できる。Fig. 3 (c)の送波信号の条件では、き裂の開口幅が小さくなっているが、き裂の開閉運動が生じない遅延時間の条件があることも確認された。

平板表面の  $y$  方向振動変位波形の周波数スペクトルから 2 次高調波の振幅を求め、 $x$  方向の分布とした結果を Fig. 4 に示す。き裂開口幅が大きくなるように左右の音源の位相の関係と遅延時間を設定すると、2 次高調波の発生量も多くなる傾向があることがわかる。

### 4 おわりに

Lamb 波を用いて Wave mixing 法を行った場合の閉じたき裂の開口幅について有限要素法で解析した。送波信号間の位相関係と遅延時間を変化させることで、き裂の開口幅が変化し、これにより 2 次高調波の発生量が変化する可能性を示した。送波信号の遅延時間が半周期 ( $0.5 \mu\text{s}$ ) 単位の設定であったため、今後の課題として、遅延時間をさらに細かく設定し、き裂の開口幅や 2 次高調波の発生量との関係を明確にし、実験的に検討することが挙げられる。

### 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] 川嶋紘一郎, 非線形超音波法による非破壊材料評価, 24-41, 愛智出版, 2021.
- [2] Anthony J. Croxford, *et al.*, J. Acoust. Soc. Am, 126(5), 117-122, 2009.
- [3] 西泰生, 琵琶志郎, 日本非破壊検査協会 2020 年度秋季講演大会, 21-22, 2020.

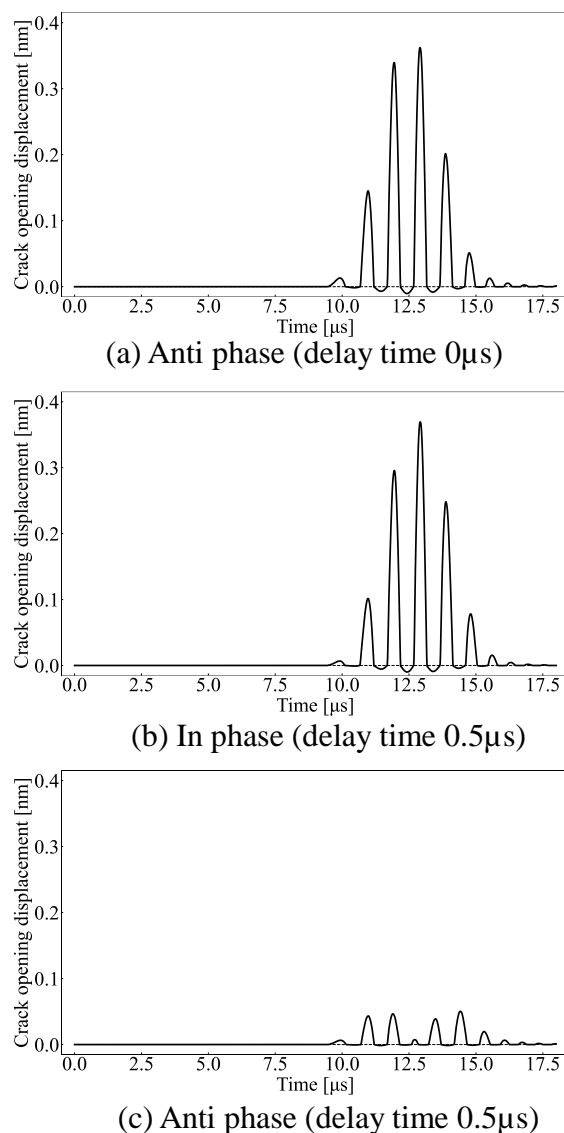


Fig. 3 Crack opening displacement

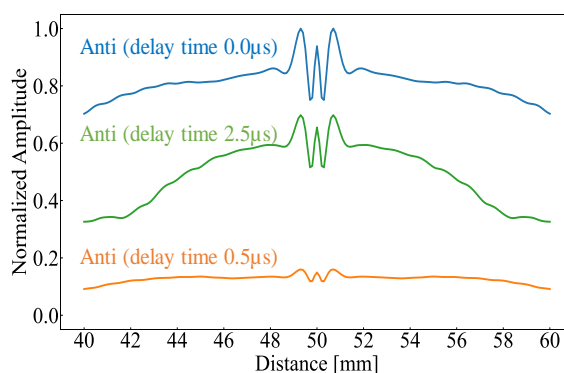


Fig. 4 Second harmonic amplitude-distance characteristics