

レーザ照射による弾性波の発生と周波数制御に関する基礎検討

愛媛大学 学生会員 ○山内謙太, 非会員 中村蒼嗣
愛媛大学 正会員 丸山泰蔵, 中畑和之
大阪大学 非会員 林 高弘

1. はじめに

構造部材の内部欠陥や表面損傷を非破壊で評価するために、レーザ超音波法¹⁾が研究されてきた。レーザ超音波法は、レーザ光を固体表面に照射することで、熱弾性効果やアブレーション効果によって超音波領域の圧力波が固体内に発生し、それを用いて内部の評価を行うものである。しかし、非破壊検査用のレーザ光源は、パルスを発振するものか、連続的にレーザを発振するものであり、発生した超音波の周波数帯域を調整することは一般には難しい。そこで、本研究は、レーザ光の発振を変調信号によって制御することで、固体内に任意の超音波を発生させるシステムの開発と検証を行うことを目的とする。また、応用例として平板にレーザを照射したときに発生するガイド波を利用した非破壊検査の可能性を検討する。

2. ゲート制御によるレーザ照射の制御

レーザ光の発振原理を図-1に示す。図-1(a)はレーザ光源のパルス出力(一定周波数 F_0)を表しており、図-1(b)のようなゲート信号(周期 T)でレーザ出射のON-OFFを行う。このとき、図-1(c)に示すようにONの状態のみでレーザが発射されることになる。ここで、ゲート周波数を $f(=1/T)$ とし、ゲートONの時間(ゲートパルス幅)を g とする。レーザが照射されている間は固体内に超音波が発生するため、 f と g を調整することで、図-1(d)に示すような設定した周波数($=f$)の超音波が固体内に発生することになる。

3. レーザ照射で発生する周波数の検証

ゲート制御レーザ照射システムについて、設定したゲート周波数 f で超音波が発生しているか検証を行った。また、 f を変えながら得られた周波数スペクトルのピークについて調べた。図-2(a)に示すように、アルミニウム表面にレーザ光を照射し、離れた位置のAEセンサで超音波を受信した。レーザ光源は、TRUMPF社製のTruPulse 2010 nanoを用いた。本実験では、 $f=100\text{kHz}$ 、すなわち $T=10\mu\text{s}$ に設定し、 g は $T/2$ とした。レーザ光源の繰り返し周波数 F_0 は 1MHz 、サ

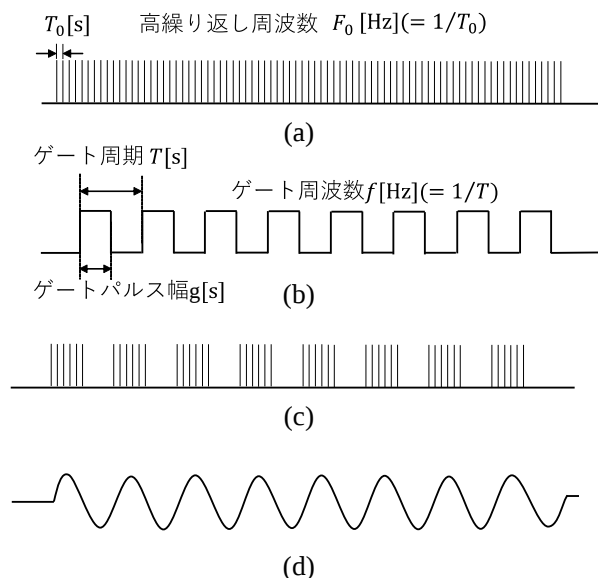


図-1 高繰り返しレーザ光源を利用した超音波の周波数制御の概要図。(a)パルスレーザの高繰り返し周波数、(b)ゲート信号、(c)レーザ出力、(d)内部に発生する超音波の波形

イクル数30回で照射した。図-2(b)に示すように、得られた波形をフーリエ変換すると 100kHz のピークがみられることから、設定した周波数で超音波が発生されていることがわかる。また、ゲート周波数 f を $80 \sim 450\text{kHz}$ で照射したときに得られるそれぞれの周波数スペクトルのピーク値をプロットしたものを図-2(c)に示す。 f を高くすると、ピーク振幅が減少傾向であることがわかる。これは、1ゲートあたりに入射するレーザの繰り返しのパルスの数が減少するため、固体に入射するエネルギーが小さくなるためと考える。

4. 供試体内を伝搬する超音波の検証

本システムの応用例として、平板中のガイド波計測の可能性について調査した。図-3(a)に示すように、レーザを板の左端に照射し、照射点から 500mm , 1000 , 1500 , 1900mm 離れた位置に設置した加速度センサで超音波の受信を行った。ゲート周波数 f を 5kHz 、サイクル数1回でレーザ照射を行ったときの各計測点で得られた加速度波形を図-3(b)に示す。AEセンサの位置がレーザ照射点から離れるにつれて、超音波の到達時間が遅くなっていることがわかる。

Key Words: ゲート制御レーザ, 熱弾性モード, 弾性波, 周波数制御, 低周波

〒790 - 8577 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学大学院理工学研究科理工学専攻

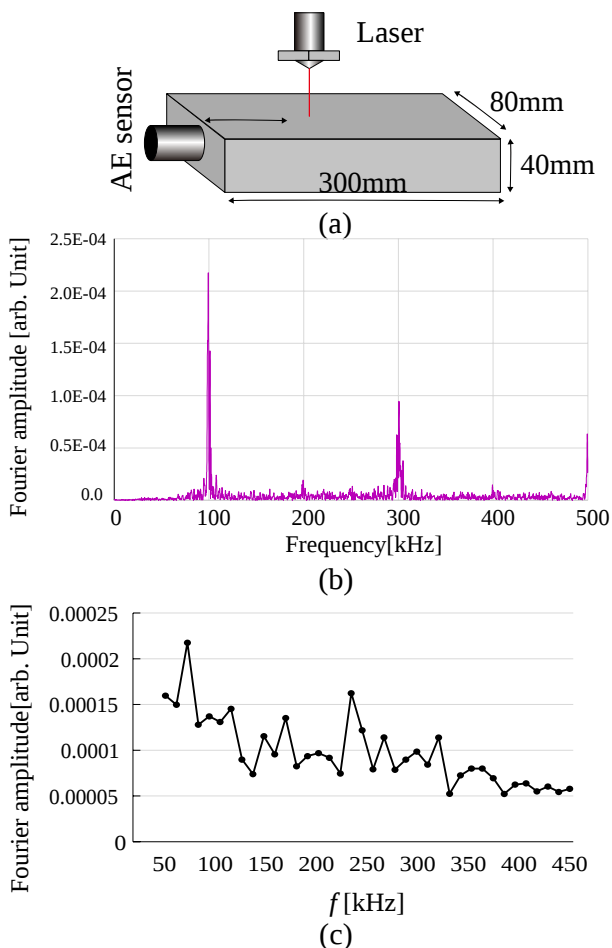


図-2 (a) 試験体と計測概要図, (b) AE センサで受信した信号のフーリエスペクトル, (c) ゲート周波数とフーリエ振幅のピーク値の関係

次に、左端から 500mm と 1000mm の位置での加速度波形に Wavelet 変換を行ったものを図-4(a) と (b) に示す。図-4(a) と (b) に示す桃色と緑色の縦線は、それぞれ 5kHz と 25kHz の周波数の到達時間を表している。この時間差と計測地点の距離差 500mm より各周波数の伝搬速度を求める。5kHz 帯では約 1300m/s, 25kHz 帯では約 2500m/s で伝搬していることが分かる。周波数によって伝搬速度が異なることから、これは Lamb 波として伝搬していることが考えられる。そこで、図 4(c) に Lamb 波の反対称モード (A モード) の群速度の分散曲線を計算してみた。実験で得られた伝搬速度と分散曲線の群速度を比較すると、5kHz 帯と 25kHz の伝搬速度において良好に一致していることが分かった。

5. おわりに

本研究では、設定した周波数で超音波を対象材料に入射させるために、ゲート制御レーザー発振を用いたレーザー超音波法の開発とその検証を行った。設計した周波数の超音波が、固体内部に発生していることを確認し

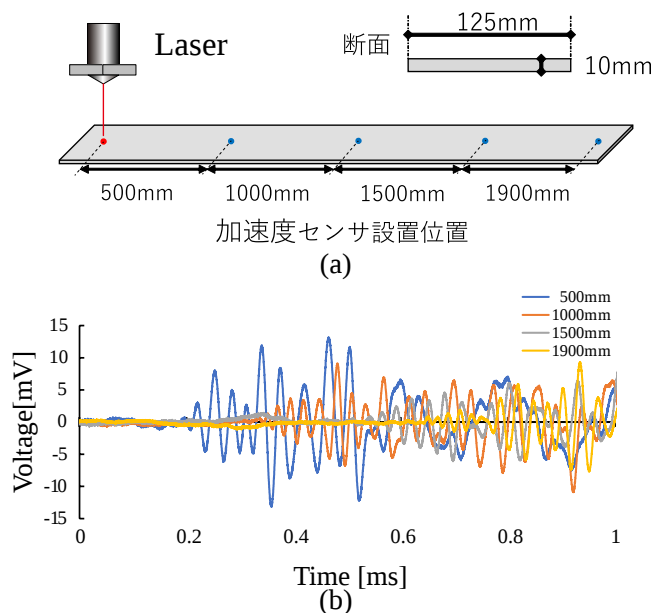


図-3 (a) 実験概要図, (b) $f=5\text{kHz}$ でレーザを照射したときの各地点で計測した加速度波形

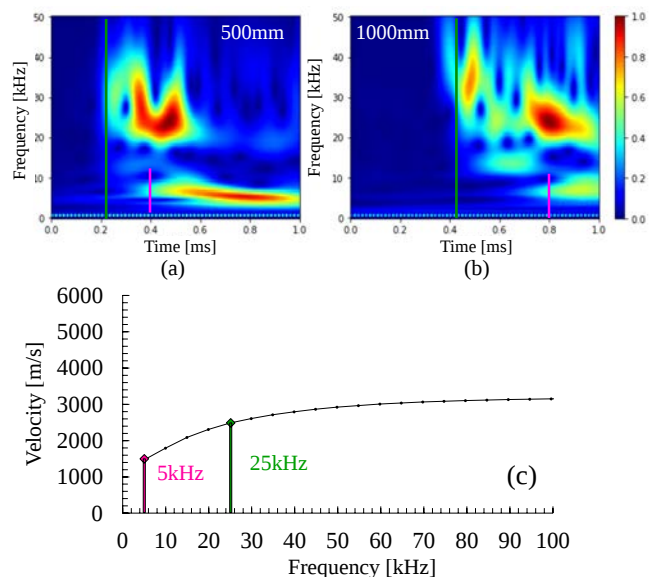


図-4 ゲート周波数 $f=5\text{kHz}$ でレーザ照射を行ったときの (a) 500mm 地点と (b) 1000mm 地点での受信波形を Wavelet 変換したもの, (c) 平板中を伝搬する Lamb 波の A モードの群速度の分散曲線

た。本システムの応用としてガイド波計測に適用した結果、波動の分散関係が確認できた。今後は、コンクリート等の高減衰材料に適用して本システムの有用性を検証するとともに、任意周波数の発生を活かした超音波・弾性波検査へと役立てたい。

参考文献

- 1) Ochiai, M., Miura, T., Yamamoto, S. and Onodera, T.: Laser-ultrasonic study of micro crack sizing and its application to nuclear reactor internals, 保全学, Vol.4, No.4, pp.41-46, 2006.