

# 固体へのレーザー照射による弾性波の発生とその波形特性について

愛媛大学大学院 学生員 ○山内謙汰  
愛媛大学大学院 正会員 丸山泰蔵, 正会員 中畑和之

## 1. はじめに

材料を破壊せずに内部欠陥の有無や損傷の程度を評価する方法にレーザー超音波法<sup>1)</sup>がある。レーザー超音波法は、短パルスのレーザー光を材料表面に照射することで発生する超音波を固体内に送信し、損傷からの反射波を受信して検査を行う。しかし、非破壊検査用のレーザー光源は、パルスを発振するものか、連続的にレーザーを発振するものであり、発生する超音波の周波数帯域を調整することは困難である。そこで、本研究では、ゲート信号に応じてレーザーの発振をON-OFFすることで超音波の周波数の制御<sup>2)</sup>を行うシステムを開発する。本システムを用いてコンクリートのような非均質材料中でも伝搬可能な低周波の超音波を発生させることを目的とする。ここでは、固体中に30kHzの周波数を有する超音波を発生させることを試みる。

## 2. ゲート制御によるレーザー発振と発生する超音波

図1に、ゲート制御によるレーザー光の発振原理を示す。図1(a)はレーザーのパルス出力を表しており、図1(b)のようなゲート信号で、レーザー出射のON-OFFを行うことで、図1(c)に示すパルス出力が得られる。いま、ゲートの繰り返し周波数を $f_d$ とし、ゲートONの時間(ゲートパルス幅)を $g$ とする。レーザー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、周波数 $f_d$ の超音波が固体内に発生するかを検証した。

## 3. 超音波の振幅強度の検証

ここでは、レーザー光源の繰り返し周波数 $F$ 、ゲートパルス幅 $g$ を変化させて、固体内に発生した超音波を反対側で受信する。ここでは、図2に示すように、レーザーを試験片(SUS304)に斜め方向から照射し、長手方向を伝搬する超音波を受信した。レーザー光源は、図3に示すTRUMPF社製のTruPulse 2010 nanoを使用した。これは、繰り返しパルス出力が可能なファイバーレーザー光源であり、波長1064nmのレーザー光を発振する。繰り返し周波数 $F$ は最大4MHzまで設定可能であり、パルス幅は使用するパルス波形に応じて設定される。使用したレーザー装置の最大出力は100Wであり、このときの最大パルスエネルギーは約1.3mJである。超音波の受信には、図4に示すJapan

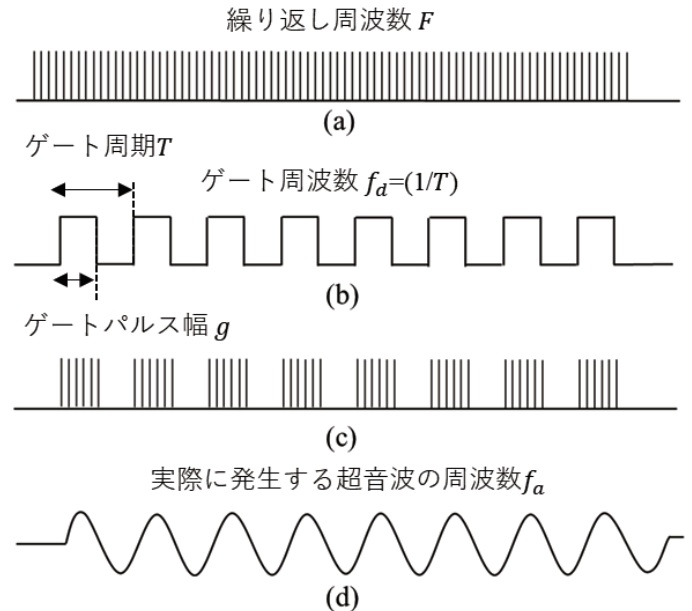


図-1 (a) 高繰り返しレーザーのパルス出力, (b) 外部から入力する変調信号, (c) 実際に出力されるパルス出力, (d) 固体内に発生する超音波

Probe社製の受信用垂直探触子を使用した。中心周波数は30kHz、素子サイズは35mm×35mmの正方形である。

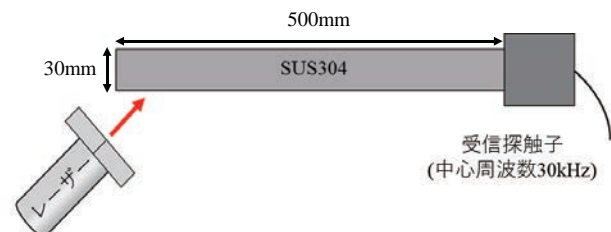


図-2 レーザー照射点および超音波受信点

### (a) $F$ を変化させた場合

ゲート周波数 $f_d=30\text{kHz}$ とし、繰り返し周波数 $F$ を80kHz~1060kHzまで16パターン変化させたときに、実際に発生する周波数を $f_a$ とする。ここでは、ゲートパルス幅 $g=9.999\mu\text{s}$ 、ゲートサイクル数を30、受信波のサンプリング周波数を2MHzとして計測を行った。 $F=80\text{kHz}$ の時の透過波の波形とそのフーリエスペクトルを図5(a)と図5(b)にそれぞれ示す。図5(b)の結果から、 $f_d=30\text{kHz}$ に対して、得られた超音波の周波数 $f_a$ は30kHzであることがわかる。また、繰り返し

返し周波数  $F$  を変化させた場合の 30kHz の受信波のフーリエスペクトルのピーク値をプロットしたものを図 6 に示す。  $F=80\text{kHz}$  で受信波のフーリエスペクトルが最も大きくなった。これは、使用したレーザー光源の仕様に依存するところが大きく、  $F=80\text{kHz}$  のときに最も大きなパルスエネルギーを発生するためであると考えられる。



図- 3 ファイバーレーザー光源

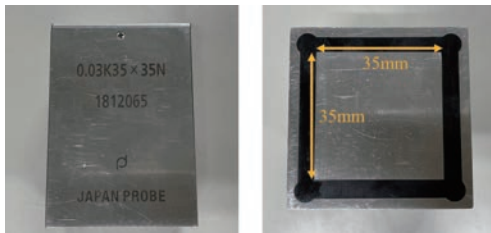


図- 4 受信用垂直探触子 (中心周波数 30kHz)

#### (b) ゲートパルス幅 $g$ を変化させた場合

ゲートパルス幅  $g$  を  $6.666\mu\text{s}$ ~ $26.664\mu\text{s}$  まで  $1.111\mu\text{s}$  刻みで 19 パターン変化させ、繰り返し周波数  $F=80\text{kHz}$ 、ゲート周波数  $f_d=30\text{kHz}$ 、ゲート波形サイクルを 30 波、受信波のサンプリング周波数を  $2\text{MHz}$  として計測を行った。ゲートパルス幅  $g$  を変化させた場合の  $30\text{kHz}$  のフーリエスペクトルのピーク値をプロットしたものを図 7 に示す。  $g=12.221\mu\text{s}$  でフーリエスペクトルが最も大きくなったが、この前後で値が大きく変化し、不安定であることがわかった。  $g$  が  $13\mu\text{s}$  から  $22\mu\text{s}$  の範囲でフーリエスペクトルの値が安定している。この  $g$  は半波長分の励起時間に相当すると考え、  $f \sim \frac{1}{2g}$  とすれば、効率的に同一符号の応力を固体内に発生させることができると考える。

#### 4. おわりに

本研究では、レーザーの出力時にゲート信号を設定することで、固体内に発生する超音波の周波数の制御

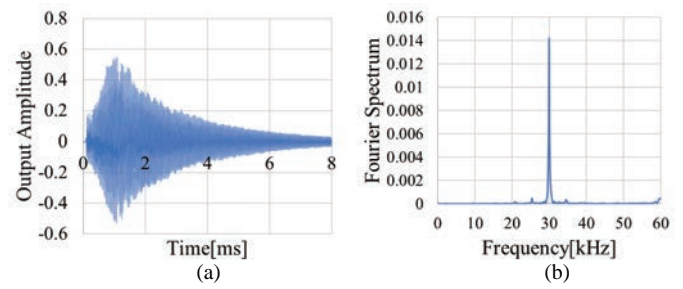


図- 5 (a)  $F=80\text{kHz}$  の時の受信波形, (b)  $F=80\text{kHz}$  の時のフーリエスペクトル

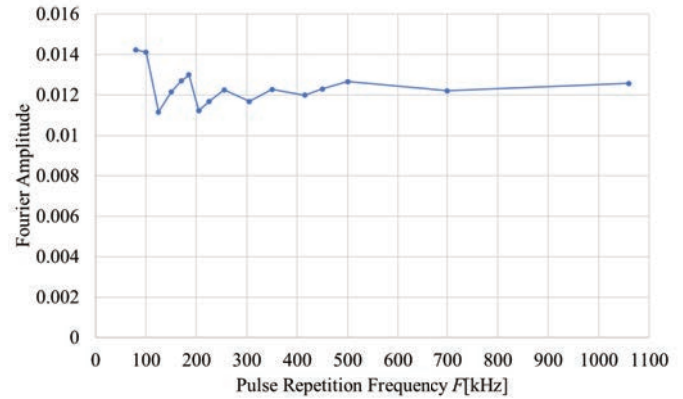


図- 6 繰り返し周波数  $F$  を変化させた時の受信波の 30kHz のピーク値

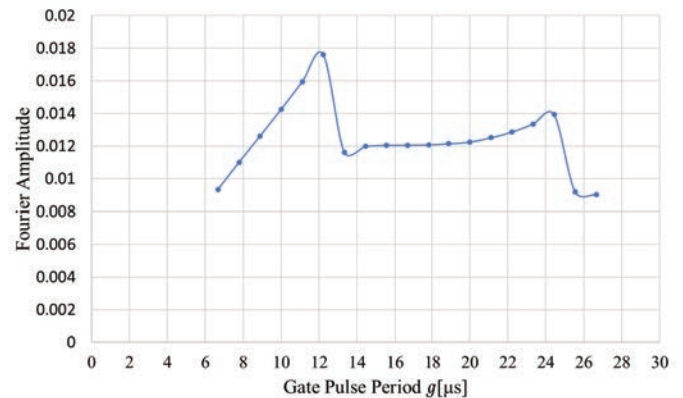


図- 7 ゲートパルス幅  $g$  を変化させた時の受信波の 30kHz のピーク値

を試みた。  $F$  や  $g$  を調整することで、所望の周波数を有する超音波が発生することがわかった。今後は、デジタルフィルタを適用することで、波形をさらに調整していきたい。

#### 参考文献

- 1) 高坪純治, 今出正明: レーザー法による超音波伝搬の可視化, 非破壊検査, Vol. 51, No. 4, pp. 200-204, 2002.
- 2) 林高弘: 薄板構造中のガイド波とその拡散場を利用した損傷画像化技術, 日本材料学会誌, Vol. 69, No. 8, pp. 593-598, 2020.