

レーザーで誘起される衝撃音圧

Laser-induced Acoustic Impulses.

根 岸 勝 雄・山 崎 正 之

Katsuo NEGISHI and Masayuki YAMAZAKI

Qスイッチルビールーザからの光は一般に全エネルギーはあまり大きくないが、瞬間的パワーはきわめて強大でしばしば破壊作用を伴う。この作用はレーザー光を集光した場合に特に著しく、誘導ブリュアン散乱の実験では試料および試料容器の破壊のために実験を中断させられることがよくある。一方、この作用の積極利用面としてはレーザー加工がある。これらの作用の詳しい機構についてはまだ明らかでない点も多い。

一般にレーザー光を物質に照射したときの力学的作用としては、(1)放射圧、(2)光エネルギーの吸収による熱的効果、(3)誘導ブリュアン散乱によるマイクロ波超音波の発生、(4)誘電破壊効果などが考えられる。このうち(3)と(4)はレーザー光がコヒレントであることによる特有の効果であり、レーザー光をレンズで集束した場合によ

く現われる現象である。

本報では集束しないQスイッチレーザー光を数種の固体試料に照射したとき、熱的効果によって生ずる音圧パルスについて調べた結果を述べ、その応用の可能性についても触れる。

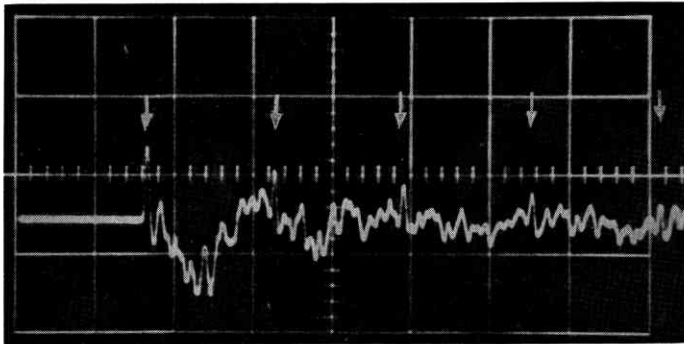
1. 実験装置

光源は回転プリズムによるQスイッチルビールーザでルビールビは直径 10 mm、長さ 100 mm のものを用い、全出力は 0.6 J、ピーク出力は約 15 MW、半値幅は 40 ns である。

板状の試料をガラス窓のついた水そうの中に入れ、試料の一方の面にはほぼ垂直にレーザー光をあて、その裏面から数 mm の水中に広帯域マイクを置いて音圧波形を観測する。マイクは白金を芯にした直径 2 mm のチタン酸バリウム球形マイク¹⁾であるが、測定対象に比して形が大きく、周波数特性も十分でないので、測定された波形の細部構造は必ずしも意味のあるものとは限らない。低周波での感度は約 -140 dB である。

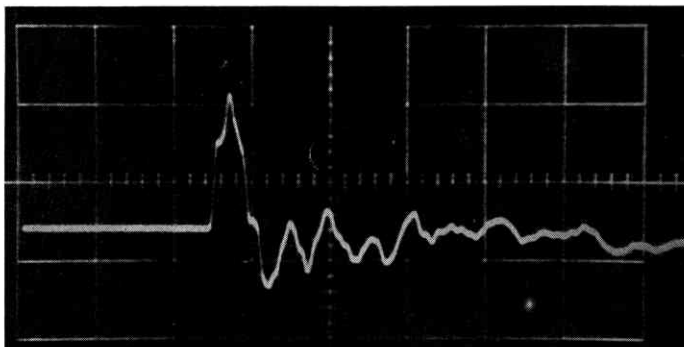
2. 実験結果

(a) 真鍮 発熱は表面のごく近くのみで起こるので、約 0.2 μs 幅の鋭いパルスを生じ、これが、真鍮板の中を往復している様子(図 1 中の矢印)がわかる。この時間から音速を求めると約 4,500 m/s となり、超音波探傷器を用いて、測定した音速とだいたい一致する。図の時間軸掃引はすべてレーザー光でトリガした。したがって、掃引のはじめの信号のない部分は試料表面からマイクまでの音の伝搬時間を示している。真鍮から水への音圧透過率は、この場合 7.5% と計算されるので、かりにマイク感度を -140 dB とし、水中での受波電圧から真鍮内でのピーク音圧を推定すると 2.7 atm となる。もちろん、これはマイクの周波数特性、金属と水での音の減衰を無視したきわめて不確実な値にすぎないが、参考値として記した。これが試料中の熱応力によ



縦軸 20 mV/div, 横軸 2 μs/div

図 1 厚さ 7 mm の真鍮板にレーザー光を照射したときの音圧波形



縦軸 0.1 V/div, 横軸 2 μs/div

図 2 厚さ 8 mm のエポナイト板による音圧波形

研 究 速 報

るとすると、2.7 atm は 0.14°C の温度上昇を意味する。空気中でレーザー光を照射すると試料表面にわずかに焦げ跡が見られることから、実際の温度上昇は図1から推定した値よりもっと大きいことが考えられる。ただし、水中では焦げ跡はつかない。

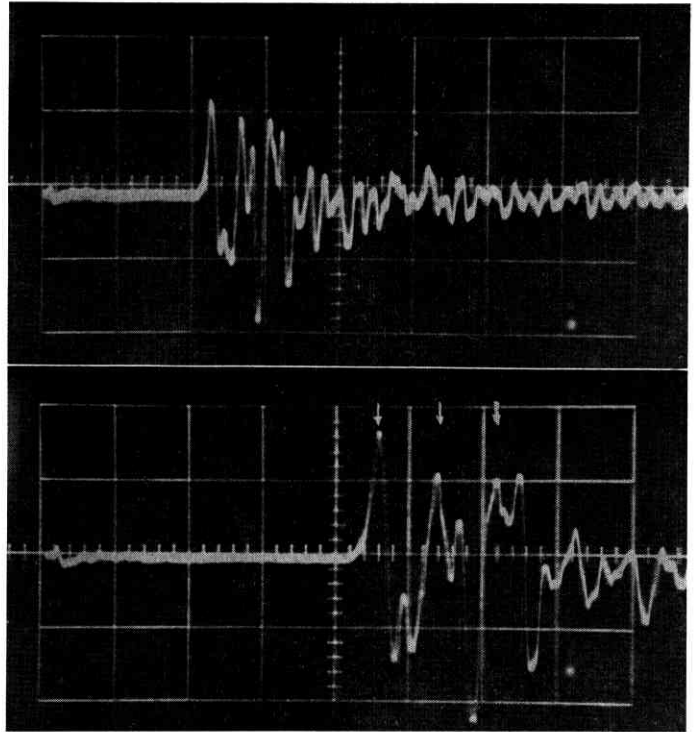
(b) エポナイト 水中での受波電圧は図2に見られるように、真鍮の場合よりかなり高い。これは黒いエポナイトが良くレーザー光を吸収することと、水への音圧透過率が良いためであろう。また真鍮の場合に比してパルス幅が広いのが特徴的であるが、その理由はまだよくわからない。反射パルスは現われていないが、これは試料の設定角度が悪かったか、試料内での音の減衰と境界面での透過率が大きいためと思われる。別に測定した超音波音速は約 2,000 m/s で、音圧透過率は 67% となるので、試料内での音圧ピークは裏面で 2.7 atm となる。

(c) 黒ガラス 試料は中性フィルタ(東芝 SN-1)で、レーザー光の透過率 4% のものである。この場合、光の吸収によって生ずる厚み方向の温度分布が指数関数的になるから音圧波形も指数的に立ち上がる。そして表面からの逆相の反射波が続くことになる。このような場合の理論的取扱いは、Carome²⁾ および Gournay³⁾ が行なっている。図3では別のパルスが現われ、試料が薄いこともあって、波形が複雑になっている。掃引のはじめの小ピークは透過したレーザー光がマイクに当たって生じたものである。ガラス内での反射パルス(図中の矢印)から求めた音速は約 5,900 m/s となる。ただし、図3はレーザー出力を弱くしたときのもので、出力 0.6 J のときの音圧波形のピークは 85 mV であった。音圧透過率は 18% となるので、ガラス内での音圧最大値は 4.7 atm となる。これはガラス内で 0.56°C の温度上昇があったときの熱応力に相当する。一方、0.6 J のレーザー光がこの黒ガラスに吸収されたときに生ずる温度変化の最大値は約 5°C と計算され、上記の値と 1 桁異なる。

3. 考 察

実験的に得られた値は理論的予想値をかなり下まわっているが、これは主としてマイクの周波数特性と感度の校正が不十分であることに原因があると考えられる。したがって、実際には、ここに示した波形よりもっと鋭く高い圧力波を生じているものと思われる。

光の放射圧は熱応力に対しては問題にならないくらい



縦軸 20 mV/div, 横軸 上は 2 μ s/div, 下は 1 μ s/div

図 3 厚さ 2.35 mm の黒ガラスによる音圧波形

小さい。レーザー光出力密度 20 MW/cm² のとき、水中に置かれた吸収体を受ける放射圧は 9 g/cm²、反射体でもこの 2 倍であり、測定された数気圧の圧力波に対しては 3 桁低い。

この方法によれば、透明でない任意の物体に高周波成分を持つ大振幅のパルス音圧を誘起することができる。したがって、音の減衰が大きくて超音波測定が困難であった材質についての測定が可能となる。パルス幅はある程度材質によって変わるので、必要に応じて適当な材質で作った薄板をレーザー照射面にはり付けることによって、最適の周波数成分を得ることができよう。また、逆にレーザー照射によって誘起された音圧波形からレーザー光の出力測定を行なうことも考えられる。

Qスイッチルビーレーザーからの光をレンズで集光した場合、焦点付近で誘電破壊による放電火花が生じ、これに伴って強い衝撃音圧を生ずるが、これについては別の機会に譲りたい。(1967 年 12 月 27 日受理)

文 献

- 1) 根岸勝雄: 日本音響学会誌, 16, 1 (1960).
- 2) E. F. Carome, N. A. Clark and C. E. Moeller; Appl. Phys. Letters 4, 95 (1964).
- 3) L. S. Gournay; J. Acoust. Soc. America 40, 1322 (1966).