102 三次元ホログラフィー法による衝撃波の研究

東北大学 流体科学研究所 小野寺 収[○]、K.P.B. Moosad、高山 和喜

Three-Dimensional Holographic Study of Shock Wave Phenomena

Osamu ONODERA*, K.P.B. Moosad * and Kazuyoshi TAKAYAMA*

Abstract

Diffuse holographic interferometric observations have been applied to generation and propagation of spherical shock wave in PMMA block and of blast waves in air. The former case was made by means of laser beam focusing in PMMA and the later case was created by explosion of microexplosives.

A curved film holder on which 70 mm wide and 300 mm long holo film was tightly fixed, was used so as to construct clearer holographic images and to broaden effective view angles when the film is reconstructed. The three-dimensionality of the images was well demonstrated.

1 まえがき

矩径断面の衝撃波管内を伝播する衝撃波の可視化では、二次元のイメージホログラフィー法が有効である。しかし、円形管内を伝播する衝撃波、球状衝撃波あるいは複雑な三次元形状の流路を通過する衝撃波など三次元衝撃波の可視化では、散乱光を物体光とする、三次元ホログラフィー法が特に有効である。

しかし、三次元ホログラフィー法では必ずしも画像の空間解像は高くなく、また、再生過程で得られる三次元画像を観察できる視角は必ずしも広くない。その結果、三次元ホログラフィー干渉計法を定量的な研究データの取得に結びつけることはまだ試行の段階ででない。

東北大学流体科学研究所 衝撃波工学研究センターでは、三次元衝撃波現象の定量的な可視化を目指し実験を進めている。可視化対象の現象は、アクリル樹脂の中にパルスガラスレーザー光を収束させて発生させた球状衝撃波およびアジ化銀ペレット10mgを空气中で起爆して得た球状衝撃波である。種々試行の結果、比較的よい解像で明るい画像を得たので、ここにその詳細を報告する。

2 衝撃波の発生法

衝撃波を発生する方法には、衝撃波管などが知られるが、三次元的な形状の衝撃波を発生するために、微小爆薬の起爆を用いる。アジ化銀10 mg、全エネルギー15 J、直径0.8 mm長さ約1.0mm、にパルスYAGレーザー光を照射して起爆する。光ファイバーの先端にアジ化銀ペレットを貼り付けて、YAGレーザー、パルス幅7ns、エネルギー25 mJ、を照射すると、アジ化銀ペレットはほとんど遅れ時間なしに起爆する。この方法は簡便でまた静電気の原因する暴爆の危険性を回避できるなどの利点を持つ。光ファイバーの直径は0.5mmで、被覆の外径は1.0mmである。この光ファイバーをステンレス鋼のパイプに挿入し固定

* Institute of Fluid Science, Tohoku University, 2-1-1, Katahira Aoba, Sendai

する。衝撃波を発生するもう一つの方法は、ガラスレーザー、BMI社製最大エネルギー4J、パルス幅20ns波長1.06 nm、を用いる。これは、ガラスレーザー光をレンズで空間の限られた点に収束して、そのとき生じる瞬間的なエネルギーの蓄積と解放によって衝撃波を発生させる。その光学系を図1に示す。L1は、レーザー光をわずかに広げ、L2はこれを平行にする。L3は、焦点距離80 mmのレンズでガラスレーザー光をアクリル樹脂のブロックの内に収束させる。この時、アクリル樹脂の表面はレーザー光を散乱反射させないためによく研磨する。

Fig1. Glass laser beam focusing set up

3 三次元ホログラフィー法

散乱光を物体光にする三次元ホログラフィー法では、測定部を通過するあるいは測定部から反射する物体光を、いかに効率的に多くホロフィルム面上に集めるかで再生したときの画像の明るさが決まる。従って、できるだけ大きな面積のホロフィルムを使うことが有利である。しかし、ホロフィルムとして、アグファ社 10E75 の 4 インチ X 5 インチ程度を使うことが経済的に可視化実験する限界で、8 インチ x 10 インチのフィルムを使うことは考えられない。

ここでは、幅70 mmのロールフィルムを任意の長さ、例えば長さ300 mmに切り出して、半径250 mmの四分の一円形の湾曲したフィルムホルダーにとりつけ、ホログラムを作成する。細長い被写体を計測するとき、この方法は有利である。この湾曲したフィルムホルダーには、縦長のフィルムを挿入できるようなフィルムの厚さ程度の溝を加工し、フィルムを挿入する。フィルムに接する金属面には直径約1.0mmの孔を180箇所一様に分布させている。この金属面にフィルムを置いて孔を通して裏面から減圧すれば、縦長の比較的薄い巻き癖のあるロールホロフィルムでも湾曲したフィルムホルダーに密着する。図2に三次元可視化の光学系をしめす。光源はルビーレーザー、アポロレーザー社 ホログラフィールビーレーザー2J/パルス、パルス幅25ns、L1はレーザービームを広げる比較的短焦点の凹レンズ、M1は、直径300mmの放物面鏡で、L1で広げたレーザー光を平行光束にする。Dは摺りガラスで平行光束を一様に散乱させて測定部を一様に広い視野で照射するための拡散板である。

Fig2. Diffuse holography optical set up

4 ホログラムの再生

以上の方法で得たホログラムを再生するための光源に、アルゴンイオンレーザー出力 1 W を使用し、その光学系を図 3 に示す。ホログラムを漂白し再生する方法もあるが、ここでは、そのまま再生光に当てたので、ネオパン s s 級のフィルムを用いるときには、露出時間は最大数秒となる。再生の光学系は防振台上に構築され、比較的長い露光時間中に振動で再生像がボケないようにした。M1 は、表面にアルミ蒸着した鏡、L1 は $f = -20$ mm の凹レンズである。

再生ではホログラフィーフィルムは、ホログラムを作った時と全く同じ形状に保持して再生光に当てる。再生用のフィルムホルダーは、3 で述べたフィルムホルダーと同じ直径の四分の一円弧形状で、これらのフィルムホルダーは、敢えて非常に重く設計されていて、フィルムを取り付けるときあるいは誤って触れたときにも動かないように工夫している。フィルムホルダーは磁気チャックで光学台上に固定されている。

Fig3. Reconstruction of holograms

再生には、エマルジョンフィルムに記録する以外にビデオカメラあるいは、CCDカメラを用いて電子的に記録する。本実験では、通常の 35 mm カメラでの撮影と 8 ミリビデオによる再生撮影を試みた。図 4 にその結果をしめす。図 4 a、b、c、は、アクリル樹脂に発生した衝撃波を、二重露光三次元ホログラフィーで観察した結果である。同じホログラムでも、再生の際の視野の方向でフィルムの背後に現れる三次元現象の虚像は異なって現れる。図 4 a、は画面を右から見たとき、図 4 b はやや中央から、図 4 c、は画面の左から見た像である。画面で円形に見えるのが球状衝撃波で、真球形状に近いので、図 4 a、b、c では形状の変化が認められないが、衝撃波を発生させるレーザー光が完全な点にフォーカスしていないので、レーザー光の伝播方向に複数の分布した衝撃波が観察され、図 4 の画像に僅かに三次元効果を加えている。図 5 は、空気中で微小爆薬、アジ化銀 10mg を起爆させたときの再生写真である。起爆に光ファイバーを使用したので、気中に初生する衝撃波の形状は真円からずれ、また中央部の縞には視角による変化が認められる。この原因は光ファイバーが、指向性を与えるためである。

以上の結果から、現象を取り囲むように長いフィルムを配置して撮影することにより、比較的広い視野での観察ができることを示した。

5 謝辞

三次元ホログラフィー撮影には、東北大学 流体科学研究所 小島 英則、小川 俊広技官の助力を得た。ここに記し謝意を表する。

Fig4. Shock waves induced by laser beam focusing in PMMA

Fig5. Spherical shock wave generated by detonation of a silver azide pellet

文献

- 1 高山 和喜：可視化と実験機器—光学計測、流れの可視化、V o l . 5 ,
N o . 1 6 , (1 9 8 5) 、 2 3 - 3 0 頁.
- 2 松村 修二・関根 紀朗・小野寺 収・高山 和喜：自動車排気管内の衝撃波の生成
と排気 騒音、東北大学流体科学研究所報告、第4号(1993) .
- 3 小野寺 収： 可視化情報学会：講習会テキスト、ホログラフイの基礎
(1994) .