201 赤外線レーザーシートによる角柱周りの流れの可視化

東京電機大学 河井宏允*, 西村元吾, 草柳拓人

Flow Visualization Around a Rectangular Prism by a Infrared Laser Sheet

Hiromasa KAWAI*, Gengo NISHIMURA* and Takuto KUSAYANAGI*

A new flow visualization system using an infrared laser sheet was developed. The system is extremely inexpensive and very easy to handle comparing with a ordinary laser sheet. The flow patten around a low-rise building is visualized by the system. Horse-shoe vortices in front of the building, rolling up process of a separated shear layer and conical vortices on the roof are clearly seen by the system.

1. はじめに

近年のレーザー技術の発達は、流れ場の計測に関しても新たな技術を生み出している。例えば、レーザードップラー流速計によって、流れ場にセンサーを入れることなく絶対流速の計測が可能になり、レーザースペックル法により流速ベクトルの瞬間分布を計測することが可能となった。また、レーザーライトシートによって、CFDによる解析結果と比較しうるような非常に鮮明な流れの可視化写真をとることが可能となりつつある。¹⁾

しかし、レーザー応用技術の多くは非常に高価であるとともに、その取扱いにはかなりの熟練を要し、手軽に利用するという訳にはいかないのが現状である。例えば、レーザーライトシートによって流れ場を可視化する場合、出力数ワットのアルゴンレーザー及びそのトランス装置やトレーサー供給装置など、本格的な計測に要する経費は少なくとも千万円以上に達する。

本研究は、レーザーライトシート法をより安価にそして手軽に利用できる技術を開発することを目的としたものである。レーザー光として、高価なアルゴンレーザーに代わって安価な半導体赤外線レーザー光を利用し、直接発生素子を円筒状レンズの中に組み込むことによって、装置を大幅に簡略化すると同時に効率を向上させ、レーザー光の照射角度や位置を自由に設定できるようにした。従来の可視化レーザーの場合、余分な光による散乱光の輝度比の低下が常に問題になり、計測室は真っ暗にしなければならない。本装置では、レーザーとして目に見えない赤外線レーザーを用い、これを赤外線のみを透過する特殊なフィルターを有する小型ビデオカメラによって撮影するので、赤外線をほとんど含まない蛍光灯などの光によって邪魔されることがなく、散乱光の輝度比の低下を防げるとともに、実験の設定等が飛躍的に簡単になった。

本論文では、装置の概要について説明するとともに、本装置によって撮影した低層直方体周りの流れの可視化状況について説明する。

2. 装置概要

実験は東京電機大学建設工学科の境界層風洞（測定部断面1.2m x 1.2m, 測定部長10m）で行った。風洞の測定部の風上端から8.7mの位置にある第2ターンテーブル中央に、図1に示

* Tokyo Denki University, Hatoyama, Saitama 350-03, JAPAN

したように、 $12\text{cm} \times 12\text{cm} \times 6\text{cm}$ の低層直方体模型を設置した。煙は風洞床面下から、煙発生装置によって気化した流動パラフィンミストをノズルによって、模型の風上45cmの位置に導入した。

レーザー投光器には酒井硝子エンジニアリングのLD-10Sを用い、これに出力50mW、発振波長780nmのLD素子HL7851Gを組み込んだ。レーザー投光器の投光距離は500mm、スリット幅は170mm、スリット厚は0.102mmである。レーザー投光器自体の直径は20mm、全長69.5mmで非常に小型である。レーザーの駆動用電源としては、

Fig.1 Flow visualization system

同エンジニアリングの卓上型半導体レーザー駆動装置LD-220Jを使用した。投光器は図1に示したように、既設のトラバース装置に設置し、自由に投光位置及び投光の方向を変化できるようにした。

可視化画像の撮影には、工業用CCDビデオカメラ、ソニーXC-75(レンズVLC-16YM)を使用した。CCDカメラには、通常赤外線遮断フィルターが内蔵されているので、これを取り外し、かわりに赤外線透過フィルター(酒井硝子IRフィルター)をレンズに取り付けた。ビデオレコーダには、8mmビデオレコーダ、ソニーCVD-1000を用いた。CCDカメラは、図1に示したように、風洞床面に設置した。なお、本論文に示した可視化写真及び解析結果は、ビデオに取られた映像をビデオレコーダ(HITACHI VY-P1)により出力した写真に基づいたものである。

実験は風洞床面に発達する乱流境界層流中(境界層厚さ20cm, 乱れ強さ15%)で行った。実験時の風速は、境界層の外側で20cm/sから78cm/sまで4段階に変化させた。模型の一辺(12cm)を基準としたレイノルズ数は1600~6400である。

3. 実験結果

3. 1 風上に発達する馬蹄形渦とその流下状況

図2はレイノルズ4000における模型の風上中央線断面の可視化写真である。圧力勾配の影響により生じる馬蹄形渦がハッキリと認められる。良く知られているように、馬蹄形渦は一つではなく、模型近くに出来る最も大きいものから、次々に風上に形成される。この写真では2つないしは3つの時計方向に回転する渦と、その間にある反時計方向に回転する弱い渦が観察できる。最も強い渦の中心位置は、模型から風上に模型高さの1/3, 床面から1/4程度

距離にある。ビデオの映像では、最も強い馬蹄形渦は、中心位置は時間によって前後に揺れ動くものの比較的安定して観察された。しかし、第2あるいは第3の渦については、必ずしも安定して存在している訳ではなかった。

Fig.2 Horse-shoe vortices in front of the prism (1:1:0.5)

図3は、馬蹄形渦が模型の側面を流れる状態を、流れの方向に直角な断面をレーザーシートで切断して観察した可視化ビデオをスケッチし、重ねて示したものである。側面の剝離剪断層の直ぐ外側に、反時計方向に回転する馬蹄形渦が観測されている。馬蹄形渦は風下に向かうにしたがって、やや拡散される傾向にはあるものの、模型の風下端においてもハッキリとした2対の馬蹄形渦が観測された。なお、このスケッチのレイノルズ数は2200である。

3. 2 模型上面の剝離剪断層の巻き込み

図4は、模型上面の中央断面の流れの可視化ビデオを0.1秒ごとにスケッチしたものである。この場合のレイノルズ数は2200で、自由流速は27cm/sである。模型の風上端から剝離剪断層に巻き込みによって生じた渦が次第に成長し、模型上面の半分を過ぎたあたり(図4⑥あるいは⑦)で剪断層から離れ風下へと流下する。それと同時に新しい剪断層の巻き込みが生じ、渦が再び次第に発達する。このような渦形成とその後流への放出は、カルマン渦のように必ずしも規則正しく行われているわけではないが、図4に示したような場面はビデオには極めて多く出現する。1サイクルに要する時間は0.7秒程度である。これをストローハル数に直すと0.63程度となる。

3. 3 模型上面に発達する円錐渦

図5は模型を45°回転させて設置し、風を斜めから当てた場合に、模型上面に発達する

Fig.3 Horse-shoe vortices around a side of the prism

一対の円錐渦を、レーザーシートにより風向直角方向に流れを切断して、可視化したものである。模型上面には、図に示したような円錐渦が発達し、流下しているのが観察されるが、剪断層は極めて不安定であり、円錐渦は左右に揺らぎ一定しない。また、左右の円錐渦の大きさも一定ではなく、片方の渦が大きくなると、もう一方の渦は小さくなるという過程を絶えず繰り返している。円錐渦の中心は、辺に対して約 30° 傾いている。

4. まとめ

赤外線レーザーを用いたレーザーシート法により、低層直方体周りの流れの可視化を行った。序に述べたように、赤外線レーザーシートは安価で取扱も容易であるが、反面出力が十分に得られないという短所がある。レーザーシートの厚さが従来の可視化レーザーなどに比べて非常に薄く、

流体を極めて鋭利に切断した画像が得られるが、その分輝度が十分ではなく、導入する煙の量が適当でないと、鮮明な画像を得ることが難しい。

なお、赤外線レーザー光と可視化光を組み合わせる用い、それぞれの光のみを透過するフィルターを用いることによって、流れをいろいろな側面から観察することができる。本実験においても、流れ全体を目視しながら、流れの断面を撮影している。今後は、煙の発生及びその風洞への導入と、レーザー光の当て方などを工夫し、この装置を物体周りの流れの物理的な解明に役立てたい。

参考文献

1)特集: レーザー技術による流れの可視化(1),(2),流れの可視化,1987,Vol.7,No.24,25

Fig.4 Series of pictures of separated flow over the roof

Fig.5 Conical vortices on the roof