20 多重画像による流れの三次元計測

東京大学農学部

土井 淳 多

旭硝子株式会社

三宅 哲 夫

Three-dimensional flow visualization by multiple picture images

Junta Doi^{*} and Tetsuo Miyake^{**}

A tuft in the air flow was observed by three CCD video cameras which were installed in the directions nearly perpendicular to each other. In this procedure, a tufted woolen yarn of the diameter of about 1 mm and of the length of 35 mm was attached on the top of a thin post pin.

Principle of this shape modelling is that the intersected zone which is constructed from multiple polygonal pyramids, every of which is bounded by the digitized cross sectional area in the picture image of the target and its lens center as a vertex results a polyhedron and becomes a good approximation to that shape if it is convex. This polyhedron is designed to construct a so-called solid model and is described with spatially fixed co-ordinates, so that not only its spatical shape, but also the position, direction, deformation or fluttering at the every moment are able to be estimated.

From the reconstructed shape modelling, influence of rigidity due to adhesives near the fixed end and a few millimeters of three dimensional displacement at the free end are observed. Free end moves like a cone of which vertex locates at the middle of the tuft.

This method is capable to serve for measurement and analysis of a single tuft characteristics depending on its material, kind of fluid or flow range. And also this has the possibility of quantitative analysis of three dimensional unsteady flow visualization.

1. まえがき

流れの可視化は、主として視覚による観察をいし、二次元画像記録の解釈という方法で理解が進められてきた。人間の観察における欠点は定量性に欠けることで、これを補う方法として可視化画像を用いた三次元計測がある。¹⁾

流れの可視化における光学的な三次元計測としては、複眼視(ステレオ)による方法が主である。その例として、Smithらによる開水路の鉛直上方と下流底部の2方向から水素気泡ワイヤをビデオカメラで入力し気泡ワイヤの三次元形状計測を行った試みがある。²⁾ しかし、この例では気泡ワイヤを連続したワイヤ状に自動入力することは困難で、記録画像からデジタイザを用いて手動入力をしている。また、微小トレーサ粒子の位置入力に関してはChangらの報告がある。³⁾ これは三角測量あるいはレンジファインダの原理に基づいて、画像中のトレーサ粒子像の図心位置を三次元的に計測し流跡をトレースする方法である。ステレオペアを構成する粒子像の同定と、経時的な対応をとるための工夫がされている。しかし、対象物体の形状の計測は行われていない。

本報告では、可視化対象物体の三次元形状の把握を基本とし、その空間位置の変化をも計測して流れの可視化を行うもので、主にタフトを対象としているがトレーサ粒子についても若干述べる。

* Center of Environment Regulation System, Faculty of Agriculture, University of Tokyo, 1-1, Yayoi 1 chome, Bunkyo-ku, Tokyo

** R&D Division, Asahi Glass Co., 1-2, Marunouchi 2 chome, Chiyoda-ku, Tokyo

2. 流れ場におけるタフトの三次元形状

タフトは使用が簡便で直視的であることから、可視化の実用的手段として広く用いられている。しかし、タフトの挙動と流れとの関係は必ずしも明確でなく、タフト材料、寸法あるいは支持方法により静特性、動特性とも変化する。流れ場におけるタフトの挙動については、中口・中館,⁴⁾ 金・田古里⁵⁾らをはじめこれまで多くの関心をもたれているが、その基礎として、刻々のタフトの三次元形状の把握が必要になる。すなわち、単一タフトの挙動解析の必須要件としてタフト形状の経時的計測がある。

更に、タフトグリッド法に代表される様に、流れ場における多数タフトの挙動の定量的把握は重要な目的であるが、このためにも個々のタフト挙動の計測が必要になる。

2.1 三次元形状の計測法

変動する流れ場を対象とした三次元形状の計測法としては、光学的手法による非接触計測、特に画像を用いた計測を基本として考え得る。一般に、画像は対象を二次元に縮退して記録したものであるから、このままでは三次元像の復元はできない。そこでとられる手段として、スポット光、スリット光あるいは特定パターンを投光しそれによる物体像を解析することが行われている。しかし、流れ場を対象とするときこの様な能動的な方法は必ずしも有効でないため本法では特別の光源を必要としない、いわば受動的方法によった。⁶⁾

この方法の原理は、多数方向からの画像を得るとき、対象物体はそれら画像中の対象像を底面とし、それぞれの撮像装置のレンズ中心を頂点とする錐体の内部に存在することから、対象物体が凸形状であれば撮像方向を増すことで形状近似をするものである。タフトやトレーサ粒子を対象とするときは概ね凸形状と考えて大きな支障はないと考えられる。

Fig.1 がその流れ図で、対象を近似する領域を多面体で表現したソリッドモデルとして形成している。実験に用いたシステムでは、CCDビデオカメラ3台をほぼ直交して設置しタフト画像の同時入力を行った。取得画像は256×256または512×512画素の構成で入力速度は約57Hzである。

2.2 タフトのソリッドモデル

対象としたタフトは、長さ約35mmの白色毛糸で直径0.7mmのポスト頂部に接着剤で固定した。直径は、実体的には約1mmであるが細い繊維が周辺に存在するため、光学的にみた直径は1.7mm程度に達する。この値はカメラの露光量によっても異ってくる。

Fig.2 が気流中に置れたタフトの多面体表示である。方向数が少ないため角張った形状となっているが、タフトの方向(姿勢)や彎曲の様子は再現されている。同図は互に直交した二方向からの表示であり、平面図と正面図の関係になっている。

Fig.3 は、更に別の時刻におけるタフト形状を三面図形式に図示した例で、図中の右上部は任意角度からみた表示である。Fig.2 は固定端部から先端部(自由端部)まで一様な太さとなっているのに対し、Fig.3 のT01は特にその平面図から分る様に先端部がほつれ羽ばたいて捻った形状となっている。この現象は後出のFig.4 のT77においても顕著にみられる。

Fig.4 は上記を含め4時刻におけるタフトの多面体表示である。理解のために、2時刻毎に位置をずらして表示している。これら多面体は何れも空間に固定された座標系で記述されているから、刻々の位置関係も明確に取得できる。Fig.3～Fig.4 から分る様に、先端部の位置が時刻により数mm程度三次元的に移動し羽ばたいている。これに対し、固定端からタフト長の $\frac{1}{3}$ 位までは移動がない。その理由はポストに固定の際用いた接着剤の

剛性によるものと考えられる。更に、中央 $\frac{1}{3}$ 位が遷移領域で、中央付近から先端部までの約半分の長さの部分はほぼ直線的な姿勢となっている。

これらのことから、タフトがほぼ中央部を中心にして円錐状の挙動をしている様子や、先端部のほつれ、画像取得速度以上の速い振動を示すことなどが定量的に読取れる。以上の事例から示される様に、本方法により、タフトの材質、固定法、寸法等による挙動の静的・動的な把握が可能となる。

3. 流れ場におけるトレーサ粒子の挙動

Fig. 5 は上記と同様の方法で容器中のトレーサ粒子の追跡を行った例で、左側が4秒毎の粒子位置と形状を、右側がそれに基づいた粒子速度と加速度を示したものである。本方法は、流れ場において大きさと形・姿勢を変えながら移動する物体の計測・追跡に有用である。⁷⁾

Fig. 1. Flow-chart of 3-D solid model generation.

Fig. 2. 3-D solid model of a tuft (at a certain moment).

Fig. 3. 3-D solid model of a tuft (at two different moment).

Fig. 5. Particle tracking by 3-D solid model (36 positions).

4. 結論

可視化対象を多方向から画像として入力し、その近似形状を多面体のソリッドモデル化することにより、三次元的に、かつ定量的な可視化ができることを示した。高速大容量の画像処理システムの採用により応用分野が一層拡大すると期待される。

文献

- 1) 土井淳多, 流れの可視化, 5, 18(1986), 59
- 2) Smith, C.R., Paxon R.D., Experiments in Fluid, 1(1983), 43
- 3) Chang, T.P., Tatterson, G.B., Proc. 3rd Int'l Symp on Flow Visualization (1983), 236
- 4) 中口, 中館, 流れの可視化シンポジウム 第4回(1976), 13
- 5) 金, 田古里, 全上33
- 6) 三宅, 土井, 情報処理学会誌文誌, 25, 5(1984), 745
- 7) Doi, J., Miyake, T., Asanuma, T., Proc. 3rd Int'l Symp. on Flow Visualization (1983), 14