113 ビデオ「円柱まわりの流れ」の制作

熊本工業大学 明石 光一郎、坂田 憲昭

東海大学 青木 克巳○

神奈川工科大学 石綿 良三

Production of video film "The flow around a circular cylinder"

Koichiro AKASHI*, Noriaki SAKATA*

Katsumi AOKI** and Ryozo ISHIWATA***

This video film is produced for the purpose of lecturing on 'The flow around a body' in fluid dynamics. The film consists of three parts as follows. The first is an animation film of two dimensional potential flow patterns around a circular with the aid of computer graphics. The second is the water flow patterns around a circular cylinder visualized using the hydrogen bubble method at Reynold's number 314. The third is the air flow patterns around a circular cylinder visualized using the mist streamline method at Reynold's number 3×10^4 .

This paper describes how to produce the video films mentioned above.

1. はじめに

可視化情報の教育への利用についての情報交流と利用技術の進歩・向上を計ることを目的として、可視化情報学会に可視化情報教育研究会****が、1991年12月に発足した。その課題の一つに可視化映像の教育への利用が採り上げられた。現状は、自らの研究成果をビデオカメラで撮影して、講義やゼミに利用しているが、得られる映像が装置の関係で限られているほか現象が特殊あるいは複雑であることが多く、市販品も僅かである。そこで委員が撮影できる映像素材を集めて「流体の力学」の講義に使用可能なビデオ作品を試作することになり、その第1作が完成した。タイトルは「流れをビデオで」第1集「円柱まわりの流れ」で、所要時間は8分間、3部構成よりなり、パート1のポテンシャル流れを石綿、パート2のレイノルズ数314を青木、パート3のレイノルズ数 3×10^4 を明石が映像素材を提供し、企画・構成及び選曲を明石、編集を坂田が担当した。作品は、完成後同研究会委員にご覧頂き、修正のうえ、可視化情報研究会制作として1994年3月完成をみた。ここにその制作について述べ第2回可視化情報シンポジウムにおける公開

* Kumamoto Institute of Technology, 4-22-1 Ikeda, Kumamoto, 860, Japan, ** Tokai University, 11 17, Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa, 259-12, Japan, *** Kanagawa Institute of Technology, 1030 Shimo-ogino, Atsugi, Kanagawa, 243-02 Japan, **** 可視化情報学会 可視化情報教育研究会：明石 光一郎（主査：熊本工業大学）、青木 克巳（幹事：東海大学）、石綿 良三（神奈川工科大学）、亀本 番司（横浜国立大学）、川橋 正昭（埼玉大学）、中山 泰喜（未来技術研究所）

時のアンケート及び著者の一人が講義に使用した際の反響について触れる。

2. 企画・構成

円柱まわりの流れのメカニズムの理解を目的とする作品の制作に当たっては可視化実験の映像として、より実用に近いレイノルズ数として水流実験の314, 空気流実験の 3×10^4 を選んだ。可視化法も映像効果を考え水素気泡法とミスト流脈法にした。それに、ポテンシャル流れのコンピュータグラフィックスを加え流体力学の講義に使えるよう企画し、Table 1の通り構成した。各カットの所要時間は、画面を学生に見せ、説明乍ら時間を勘案

Table 1 Contents

カット	内 容	BCM	所要時間
イントロ メインタイトル	溪谷の流れ	A	30" 30"
パート1 サブタイトル	ポテンシャル流れ コンピュータグラフィックス	B	90"
1	1 全 景		
2	2 " スロー		
3	3 拡大図		
4	4 " スロー		
パート2 サブタイトル	レイノルズ数 314 水流可視化実験	C	120"
1	1 タイムライン (直線電極、パルス電圧)		
2	2 流 脈 (" 、直流電圧)		
3	3 " (キンク電圧、 ")		
4	4 タイムラインと流脈 (1と3の合成)		
パート3 サブタイトル	レイノルズ数 3×10^4 空気流可視化実験	D	100" 6' 10"
1-1	1-1 全 景 オリジナル		
2	2 " スロー 1/2		
3	3 " " 1/10		
4	4 " " 1/30		
パート4 サブタイトル	2-1 拡 大 オリジナル	D	90"
2	2 " スロー 1/2		
3	3 " " 1/20		
4	4 " " 1/30		
エンドタイトル		E	20"
			8' 00"

して決めた。講義への利用を目的としているためにナレーションはなしとし、学生が映像に解け込み易いよう BGMを入れた。利用に当たっては、BGMを消す、あるいは絞って講義される先生が上映前あるいは後に講義なさり、BGMをそのまま流して学生とじっくり観賞してもらうなどの方法を先生が選んで頂ける。ビデオのスキップ、後部のカットなど自由に利用願えるように企画した。このための説明書も準備した。

3. 円柱まわりのポテンシャル流れ
[コンピュータグラフィックス: CG]
円柱まわり2次元ポテンシャル流れを、アニメーション表示した。流れは解析的に複素ポテンシャルの形で与えられるので、上流からトレーサを入れ、ルンゲ・クッタ法で数値的に軌跡を求め

た。ポテンシャル流れでは、非粘性のための流れの剥離は起こらず、円柱前後で対称な流れとなる。また円柱は静止しており回転はしていないので上下対称となっている。トレーサは、円柱上流のよどみ点に対して上下等間隔に振り分けて入れている。トレーサの長さが途中で変化しているが、これはその点における速度に対応しており、円柱前後のよどみ点付近では流速が遅くなっており、円柱の上下付近で最大速度2Vに近づいていることがわかる。(Fig. 1)

4. 円柱まわりの流れ [水流可視化実験 : 水素気泡法 ($Re = 314$)]

可視化回流水槽 (幅200mm、深さ70mm、長さ420mm、の亚克力製。最大流速1m/s) を用い、直径8mmの円柱を置き、底部と側面より照明をした。可視化には水素気泡法を用いた。供試模型の上流に陰極電極を取付け、直径50 μ mのタングステンワイヤの直流電極とキンク形直極を使用した。陽極は、模型から400mm下流に50 $\times$ 50mmの

薄い銅板を置いた。流速は 3.5 cm/s で円柱直径基準レイノルズ数 314 に当たる。可視化は、Table 1 に示すとおり、タイムライン、流脈2種、タイムラインと流脈の4とおりで行った。まず、タイムラインの可視化映像では、タイムラインの間隔が一定幅であることから一般流の流速が一様であることがわかる。円柱に近づくにつれてこの間隔が狭くなっており、これから減速していることが観察される。タイムラインでも、流脈でも円柱の後方では巻き込む方向が逆の渦が、交互にかつ周期的に円柱から離脱して下流に流れて渦列を形成しており、カルマン渦列であることがわかる。タイムラインと流脈の映像では、この2種のトレーサにより形成された正方形格子の流れは、一様な等速分布の流れに対して正方形格子を崩さず流れていることが、円柱近傍ではせん断流が働き、正方形格子は菱形変形していることもわかる。これから x 、 y 方向の流速成分を求めることができる。(Fig. 2)

5. 円柱まわりの流れ [空気流可視化実験 : ミスト流脈法 ($Re = 3 \times 10^4$)]

吸込式二次元煙風洞 (測定部寸法、幅 150 mm 、高さ 800 mm 、長さ 1500 mm 、可視化流速 $2 \sim 12 \text{ m/s}$) を用い、内径 2 でピッチ 20 mm の 37 本のノズルから、煙発生装置で生成したオンジナ油によるミスト流脈と、供試円柱 (直径 11.4 mm) の表面、上流よ

どみ点に対称に 15° の位置にあげた 15° の位置にあげた内径 2 mm の穴から円柱に沿って供給したミスト流脈の両方によって円柱まわりの流れを可視化した。照明は、測定部の上下にそれぞれ5個ずつの 500 W ハロゲン電球がありスリットを設けた。撮影はこの内部照明のみで行い、ビデオカメラは、HiFiマックロードムービーAG-42CでテープはSVHSを使った。実験流速は 3.8 m/s 、円柱直径基準レイノルズ数は 3×10^4 である。画面を見ると、円柱下流ともにはげしく周期的に変動しているのが目に映る。後流の剥離渦は目に止まらない。スロー1 ($1/2$) スロー2 ($1/10$) とカットを追ってゆくとつれて剥離渦が交互に規

Fig. 1 Computer graphics

Fig. 2 Hydrogen bubble method

Fig. 3 Mist streamline method

則正しく出来ており、それが上流のミストの変動と正確に連動していることに気付く。この映像からカルマン渦列の発生メカニズムが理解できる。スロー 3 (1/30) の画面で周波数を数えると $f = 6.6 \text{ Hz}$ であり、これはこのレイノルズ数でのカルマン渦の発生周波数と一致することがわかる。(Fig. 3)

6. 編集

パート 1 とパート 3 は SVHS、パート 2 は 8mm とテープ規格の異なる素材を β CAM にダビングした。これからスローにしたテープを用意しマスターテープを作った。これにタイトルや説明書用の文字をスーパーインポーズし、BGM を予め選曲し計時の上画にダブらせてパッケージテープを完成させた。編集機は、CMX 社のオンライン編集機によるアナログ (一部デジタル) 編集で行った。

7. ビデオの評価と効果

第 2 回可視化情報シンポジウムの際、関係者のお許しを戴いて午前のセッションの後、本作品の公開をした。そしてご覧下さった方のアンケートを頂戴した。Table 2 がその結果である。次に、著者の一人が新学期の始めに、機械工学科の学生 115 名 (2 年生) に対してアンケートをとった結果を Table 3 に示す。(a) は、本作品の映像についての感想である。次に同表の (b) は、先生からの「流体力学、流体工学の名称から興味が持てそうか」との設問に対しての回答と、本作品を見せた後の「流れに興味が持てそうか」に対する回答を併記した。これを見ると関心持てそうが 9% 増加し、持てないが 20% 減少している。これは本作品により流れへの興味を抱いた学生が少なからずいたことを示している。

Table 2 Results of enquete(members of institute)

(a) この作品は何点ですか (人)				(b) 先生は何に使いますか (人)				
回答者	評点	非常に良い	良い	普通	講義	ゼミ	実験	その他
大 学	3	6	6	4	6	7	3	20
高 専		3	2	3	1			4
企 業	2			1			2	3
合 計	5	9	8	8	7	7	5	27

8. おわりに

流体工学の教育用ビデオの第 1 集を試作し。講義に使用するにはまだまだ不足している。可視化実験をなさっておられる研究者の素材のご提供を得て第 2 集以降少しでも多くのよい作品を制作して教育の場に多くの先生方がご利用下さり、その効果が上がるよう念願してる。

Table 3 Enquete for the new student to learn fluid mechanics

(a) 映像についての感想					
映像評価	非常に良い	良い	普通	やや悪い	悪い
人数 (%)	14 (12.2%)	46 (40%)	42 (36.5%)	13 (11.3%)	0
(b) 科目の名称からの興味度					
	作品を見せる前		作品を見せた後		
興味をもてそう	65人 (56.5%)		76人 (66.1%)		
もてない	37人 (32.2%)		14人 (12.2%)		
わからない	13人 (11.3%)		25人 (21.7%)		