

II-168

振動乱流中の3次元組織的乱流構造の瞬間像の測定

東京工業大学工学部 正員 日野幹雄
東京工業大学大学院 学生員 孟 岩
東京工業大学大学院 学生員 村山雅昭

1. はじめに

交番振動乱流の減速期に生じる乱れの大部分は3次元組織的な乱流構造によるものであることが我々の今までの研究によって明らかになってきた¹⁾。これらの実験は条件付抽出法によりデータを収集しアンサンブル平均して3次元構造の平均像を求めたものであった。しかし、この平均像が個々の組織構造の姿を正しく反映しているとは限らない。また、アンサンブル平均操作を行うため瞬間的な情報を失ってしまう。そこで本研究では、11本のX型の熱線プローブを同時に用いて、主流に垂直な面内に配置し、3次元空間内の瞬間的な速度 U , V を測定した。また、今回開発したデータ解析手法²⁾を用いてこれらの速度成分 U , V から速度成分 W を推定し、振動乱流中の3次元組織的乱流構造の瞬間像を捕らえることができた。

2. 実験装置および実験方法

振動乱流風洞は図1に示したように幅26cm、高さ10cmの矩形断面を持ち長さ14mの亚克力製風路である。一端でピストンをモータで駆動することにより交番振動流が作られる。壁面に鉛直方向は Y 軸で、スパン方向は Z 軸で、ピストンの運動方向を X 軸に取る。本研究の実験条件は参考文献1と同じように設定した。測定は自作の定温度方式X型プローブの熱線風速計で行い、熱線の出力はレーザー・ドップラー流速計を用いて、キャリブレーションした。本研究で用いたA/D変換器は最大24チャンネルの信号を同時刻にサンプリングでき、周波数1kHzで使用した。

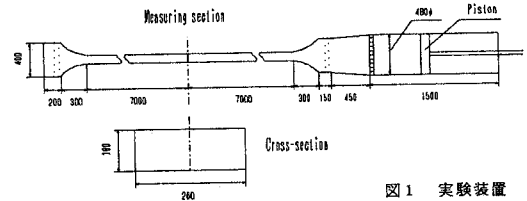


図1 実験装置

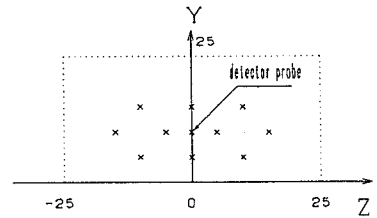


図2 11本のプローブの配置図

3次元空間内の瞬間的な速度を計測するために、11本のプローブは図2に示したように主流に垂直な面内に配置し、瞬間的な速度 U , V を測定した。図2に示している点線は推定空間を表している。中央部の1本のプローブはdetector probeとして、設置し、大きいレイノルズ応力のピークを検出した時に、検出点の前後それぞれ50msずつのデータを収集した。図3はその一つの例であり、上からそれぞれ主流速 U 、速度変動 u , v およびレイノルズ応力 $-uv$ を示している。縦の点線が検出した瞬間である。この図を見て分かるように、主流速は短い区間の間にほとんど変化していない、流れ場はこの短い区間の間に準定常と考えられる。空間データを得るために、Taylorの渦凍結仮説を用いて、速度変動 u , v の時系列を検出点の前後それぞれ50mmずつの空間に変換した。

3. 実験結果及び考察

実験から得られた速度 U , V のデータから3次元空間内の速度 U , V , W を求めるために、まず、 X , Y , Z 軸方向に $20 \times 10 \times 20$ のメッシュをきり、それぞれの YZ 面内の11点

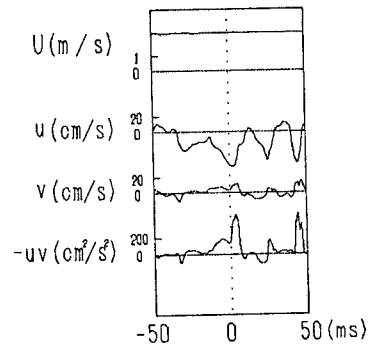


図3 主流速 U 、瞬間的な速度変動 u , v 及びレイノルズ応力 $-uv$

での実験データからその断面内の速度変動 u , v を内挿し、そして、後に述べる MASCON 法を用いてもう一つの速度成分 w を推定した。内挿方法としては**仮想荷重法**³⁾を用いた。図 4 (a) は 11 本のプローブから得られた速度変動 v の空間分布で、図 4 (b) は仮想荷重法による内挿結果を示している。すべてのメッシュ点

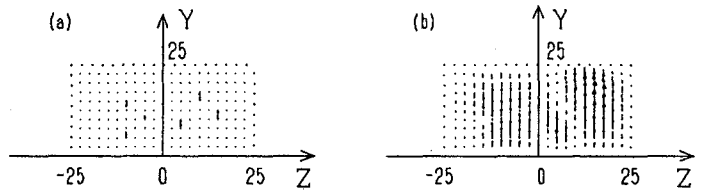


図4 仮想荷重法による YZ 断面内の速度変動 v の内挿
(a) 11 本のプローブから得られた速度変動 v
(b) 仮想荷重法による内挿結果

での u , v の内挿値を得た後、残りの速度成分 w を求めるために、MASCON モデルを用いた。MASCON モデル⁴⁾ は mass consistent な場を表すモデルという意味であり、連続式を満たすように、流れ場を付帯条件付き変分法によって修正する方法である。図 5 (a) から図 5 (d) はその推定結果を示している。図 5 (a) は $Z = 0$ の鉛直断面内の速度変動 u , v のベクトルを示し、検出用プローブの周りに**低速上昇流**が生じていることが分かる。図 5 (b) は壁に平行な XZ 平面内で ($Y = 1 \text{ cm}$) の u , w のベクトルを示している。この図から検出用プローブの近くで強い横流れが生じていることが分かる。図 5 (c) は $X = 0$ 断面内の v , w のベクトルを示しており、検出用プローブの近くに**回転している流れ**が存在していることが分かる。最後に、3次元乱流構造の全体像を見るために、瞬間的な速度変動 u , v , w の空間分布を図 5 (d) に示した。3次元乱流構造に伴う流れは非常に複雑な動きをしていることが分かる。

4. おわりに

11 本の X 型の熱線プローブの同時測定データから、仮想荷重法と MASCON 法を用いて得られた 3 次元的な組織乱流構造の瞬間像はアンサンブル平均した構造の形とはかなり違っていることが分かった。

参考文献

- 1) 孟岩・日野幹雄・福西祐：第33回水理講演会論文集，pp. 559-564. 1989.
- 2) 日野幹雄・孟岩・村山雅昭：東京工業大学土木工学科研究報告，No41. 1989.
- 3) 日野幹雄：東京工業大学土木工学科研究報告，No18. 1975.
- 4) Sasaki, Y.: J. Meteor. Soc. Japan, 36. pp. 77-88. 1958.

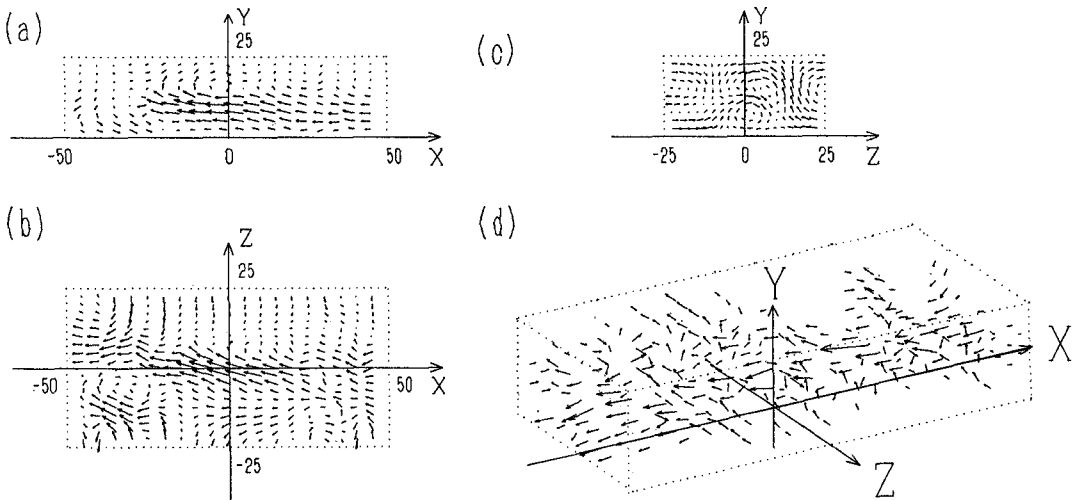


図5 MASCON 法による推定結果
(a) XY 断面内の速度変動 u , v (b) XZ 断面内の速度変動 u , w
(c) YZ 断面内の速度変動 v , w (d) 速度変動 u , v , w の空間分布