

II-155 開水路乱流における組織構造と位相速度

九州大学大学院 学生員 ○梅永 哲
九州大学工学部 正員 小松 利光
九州大学工学部 正員 栗谷 陽一

1. まえがき 近年、壁面乱流における秩序立った組織構造の存在が明らかにされて以来、活発な研究が行われて来た。その結果burstingや縦渦に関して多くの知見が得られている。それらの結果をふまえ、本研究では、LDVとhot film流速計により、2点同時測定を行い、組織渦の空間的・時間的拡がり、また位相速度に着目して解析を行った。

2. 実験装置及び方法 実験は長さ5m、幅15cm、高さ40cmのアクリル製水平水路で行った。流量は実験(I)で792cm/s、実験(II)で1137cm/sとし、水深は両実験を通じて一定(測定部付近で $h=4.2\text{cm}$)となるように水路末端の堰を調整した。流速の測定はconical typeのhot filmとLDVを組み合わせて使用し、空間的に離れた2点の流速の同時測定を行った。LDVは非接触型の流速計なので、上流側に用いたが、そのため比較的近い2点での測定も可能であった。座標は上流端から200cm離れた水路底面上を原点とし、流下方向にx、鉛直上向きにyとした。得られたデータはテープレコーダーに収録し、A-D変換の後統計処理を行った。サンプリング間隔は、 $\Delta t=1/375\text{sec}$ 、データ個数はそれぞれ $N=32,768$ とした。

3. 実験結果及び考察

(1) 組織渦の周波数特性: 組織渦の周波数特性を調べる為、 $\Delta x=1\text{cm}$ だけ離れた2点のu-変動の間のクロス・スペクトルを図-1に示す。パワースペクトルでは明瞭に識別できない渦動も、クロス・スペクトルでは空間特性が加味される為、卓越周波数が明らかとなる。図-1から卓越周波数は $f_m \approx 0.25\text{Hz}$ となる。一方、従来の研究よりburstingの周期 \bar{T}_b は外部スケールで表示して $\bar{T}_b U_{max}/h \approx 1.5 \sim 3.0$ 、内部スケールでは $\bar{T}_b U_*^2/\nu = 0.65 Re^{0.23}$ ($Re=hU_*/\nu$)で与えられている。今回の実験(I)、(II)ではともに $f_b = 1/\bar{T}_b \approx 2\text{Hz}$ 程度となる。従って、今回の開水路乱流では $f_m \approx 0.25\text{Hz}$ の大規模渦が存在し、かつ $f_b \approx 2\text{Hz}$ 程度の周期でbursting現象が起っているものと思われる。

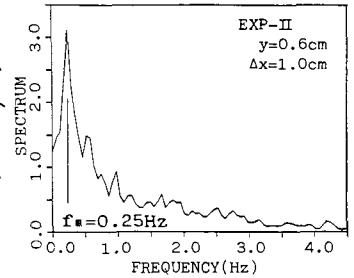


図-1. クロス・スペクトル

(2) 積分空間スケール: 積分スケールを次の2通りの方法で求めた。(a)自己相関係数を積分して得られた積分タイムスケールにTaylorの凍結乱流を仮定して求める方法(A法)、(b)空間的相互相関係数を積分して直接求める方法(B法)である。それぞれの方法で求めた結果を図-2、3に示す。両方法による結果は良く一致しており、差は見られない。 $y \geq 2.5\text{cm}$ では積分スケールはyの増加に比例して大きくなっている。一方、河床付近ではほぼ一定な値となっている。これは $f_m = 0.25\text{Hz}$ の組織渦の存在によるものと思われる。

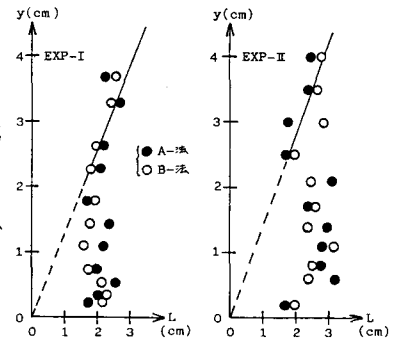


図-2.3 積分空間スケール

(3) 乱れの位相速度: 前述の大規模組織渦やburstingの乱れを調べる為、乱れを(i)0.1~0.35Hz、(ii)1.0~3.0Hz、(iii)4.0~10.0Hzの周波数帯に分割して解析を進めた。2流速計のyは同じで $\Delta x=1\text{cm}$ だけ離して、全水深にわたって測定したデータから周波数帯毎の位相速度 C_{un} を求めた。平均流速 U との比較を図-4、5、6に示す。卓越周波数である0.25Hzを含む(i)の周波数帯の位相速度は組織渦による独自の動きをする為、平均流速

と大きくずれて異な、て
 いる。そして水路床付近
 では位相速度の勾配は平
 均流速のそれと逆にな、
 っている。一方、周波数
 が大きくなる位相速度と
 平均流速は一致する傾向
 を示し、周波数帯(iii)と(ii)
 ではほとんど一致してお

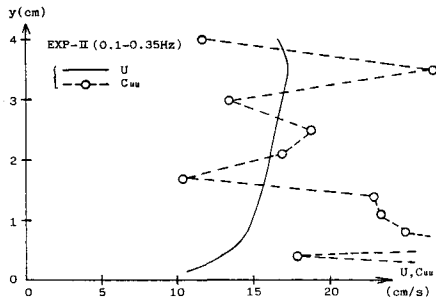


図-4. 位相速度 C_{ph} (0.1~0.35 Hz)

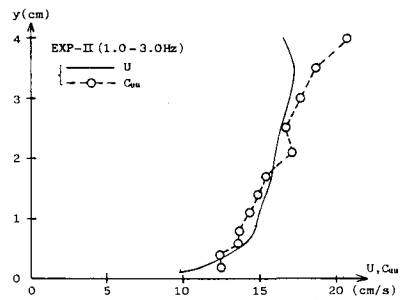


図-5. 位相速度 C_{ph} (1.0~3.0 Hz)

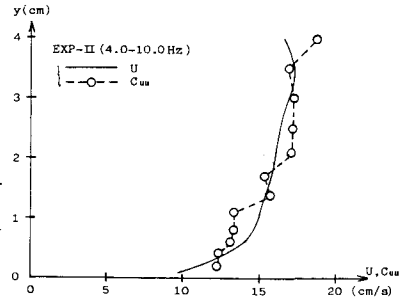


図-6. 位相速度 C_{ph} (4.0~10.0 Hz)

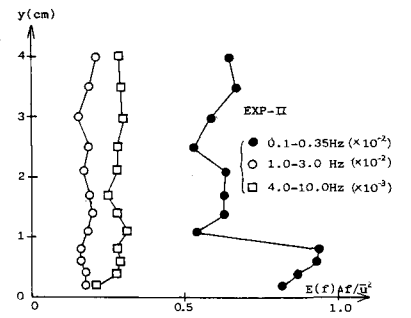


図-7. 乱れエネルギーへの寄与率

り、Taylorの凍結乱流が良い精度で成り立、っている。また各周波数帯の
 乱れエネルギーへの寄与率の断面変化を示したのが図-7である。(ii)、
 (iii)の周波数帯の寄与率はほぼ一樣であるのに対し、(i)の周波数帯は底面
 付近で寄与が大きく特異な性質を示している。これらの事から、bursting
 とは別に、更に低い周波数の大規模渦構造が底面付近に存在しこの渦構
 造がクロススペクトルにおける突出からわかる様に、全体の乱流構造
 に支配的役割を果している事が期待される。従、てその渦構造を明らか
 にする為、LDVを底面近傍($y=0.2\text{cm}$)に固定し、もう一方の hot
 filmを下流側に $\Delta x, \Delta y$ だけ離して同時測定した。それによ、て得られた
 周波数帯別の位相の時間遅れ τ_m を図-8, 9, 10に示す。(i)と(ii)の周波数帯
 はそれぞれ顕著な違いを示しており、(i)の大規模組織渦は(iii)のbursting
 とは異、た構造をもつことを示している。(i)では y が大きくなるにつれ
 て τ_m は正から負へと変化している。一方(iii)では τ_m は y の増加につれて一
 旦は減少して零付近の値をとるがその後また増加する傾向をもつ。その
 分布型は凹型を示しており、 τ_m はほぼ正の領域にある。 $\tau_m > 0$ は上流から
 下流に、 $\tau_m < 0$ は下流から上流へ乱れが伝播している事を示している。
 同位相を表す $\tau_m = 0$ の点を連ね、傾きを調べたら、(i)の大規模渦の周波
 数帯では約 10° 、burstingの存在する(ii)の周波数帯では約 16° の角度で水
 路底面から下流上方へ立ち上、っている事が明らかになった。すなわち、(i)の大規模渦では
 10° の線を境として、下では下流方向、上では上流方向に乱れが伝わるのに対し、(ii)の
 burstingでは 16° の線を中心としてその両sideを引張る様に底面付近から乱れが立ち上、り、
 従来の観察とほぼ一致した特性を示している。

4. 参考文献 1) 中川 博次、昭和56年度科研試験研究 研究成果報告書

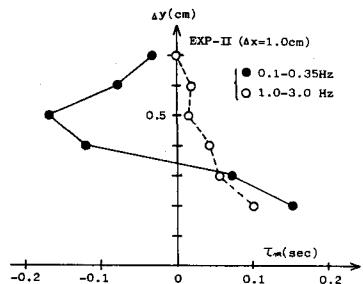


図-8. 位相の時間遅れ τ_m ($\Delta x = 1.0\text{cm}$)

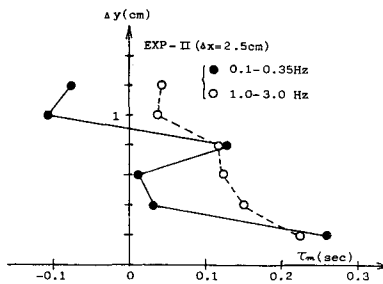


図-9. 位相の時間遅れ τ_m ($\Delta x = 2.5\text{cm}$)

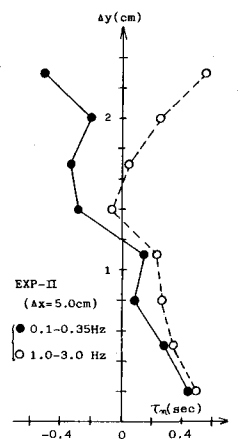


図-10. 位相の時間遅れ τ_m ($\Delta x = 5.0\text{cm}$)