

河川乱流のバイスペクトル分析

広島大学工学部 正員 余越 正一郎
広島大学工学部 学生員 繁山 信治

1. まえがき

乱流は、慣性項より生じる非線型性の為、従来のパワースペクトル解析では、有意な情報を得られない場合がある。それ故、非線型性に検討を加えるため、一次だけ高次であるバイスペクトル解析を試みた。特に慣性小領域でのエネルギー輸送について、実河川での流速記録を使用し、解析を行なった。

2. 観測

千曲川の東京電力照田測水所において、1976年、夏に測定したデータを用いる。観測地点の約700m上流には、大きなわん曲が、存在し河幅約130m、水深1.7m、河川横断方向には、ほぼ一様である。河川中央より左右に30m離れ、水面下30cmに直径14cmの、2台のプロペラ式流速計をワイヤでつり下げ、流れ方向の流速を、連続4時間記録した。

3. 解析

磁気テープに記録した流速変動を、サンプリング周波数5Hzで、サンプリングレAD交換を行なった。その際Nyquist周波数が、2.5Hzであるのを折り返しを防ぐため、遮断周波数1.78Hzのローパスフィルターを通した。左右2チャンネルのデータより、最初に左岸側のデータを使用した。サンプリング間隔は0.2secとして、電算機の容量制限の為サンプリング個数は、2¹⁶個にとどめた。すなわち400sec程度のデータである。平均流速は1.04m/sec、分散は0.003、Skewness(歪度)は-0.494であった。このデータをFig.1に示す。4時間の全記録もほぼ定常であり、400sec程度のデータは、定常とみなすことができない。ここには載せないが、実際には、左右2チャンネルより各々2つ、計4つのデータを解析し、分散を等しくした正規乱数データとの比較も行なった。スペクトル計算は、FFTより求めた。パワースペクトルは、フーリエ成分の2重積、バイスペクトルは、3重積より求めた。データが有限長で両端が不連続な為、パワースペクトルが歪むのハニング係数により平滑化した。一方バイスペクトルも平滑化を行なう必要があり、47×47個の格子状の算術平均を行なった。その値を格子中央の値とした。また格子の中心は、5個ごとに移動させた。

4. 結果

log-logプロットしたパワースペクトル、Fig.2をみると、

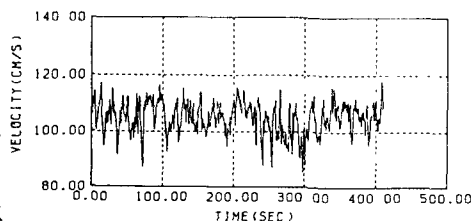


Fig.1 Longitudinal velocity

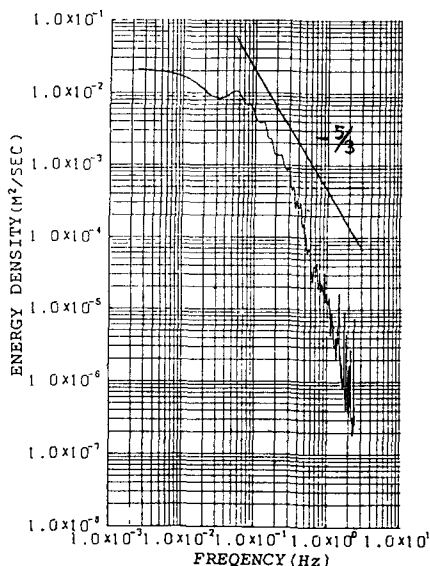


Fig.2 power spectrum(log-log plot)

鉛直乱流場と水平乱流場とのエネルギーギャップは識別できないが、コルモゴロフの $5/3$ 乗則は 0.3 Hz あたりまで成立しているようである。平滑化を30回行ったので、かなりなめらかになっている。Fig.3はバイスペクトルの縦軸及び横軸が、周波数の普通同値なので対応をとるため、片対数表示したパワースペクトル図である。今回用いたプロペラ式流速計の特性として信頼できるのは、せいぜい 1.0 Hz までで、それ以上の高周波に対しては信頼できない。そうしてみると、著しいピークは認められない。Fig.4-aは、バイスペクトルの実数部である。横軸、縦軸は周波数それぞれ、 f_1 , f_2 としバイスペクトル $B(f_1, f_2)$ と表わすと、 $f_1 + f_2 = f_3$ となる波の二つバイスペクトルの値を表わす。例えば、図中で-6である点より、 $-4.95 \times 10^{-4} \sim -4.84 \times 10^{-2} (\text{m}^3/\text{sec})$ の値をもつことを示している。流速データが実数なので、バイスペクトルの実数部は、速度変動の3乗平均速度あるいは、Skewnessへの各成分波からの寄与を示すが、著しいピークをみつめることはできなかった。ただし、正規乱数のデータと比較して、-6の部分すなわち 0.2 Hz あたりまでの周波数はかなり絶対値が大きくて、Skewnessに寄与しているようである。Fig.4-bはバイスペクトルの虚数部である。これが負の値をもつので、エネルギー輸送を示していることになる。実際 0.4 Hz あたりまでの-5の領域は、かなり絶対値が大きくて、エネルギー輸送が行なわれていると思われる。しかし、低周波部分の正の値は理解できない。Fig.4-cは、バイスペクトルの絶対値である。位相関係を考慮せず、絶対値の大きな部分を調べようとしたが、ピークらしきものは存在しなかった。Fig.4-a&bとFig.4-cより、著しいピークが認められないので、乱流における非線型性に基づく、各成分波同志の相互干渉は、局所的でないといふことができるとはなさうか。

5. あとがき

プロペラ式流速計を用いて、定常河川の乱流構造の非線型性について、上記の結果を得た。問題点としては、バイスペクトルには、著しいピークが認められないので、等高線図をつくった時、もっと細かいクラス分けが必要である。今回の計算では、バイスペクトル平滑の格子長については検討しなかった。これも今後の問題である。

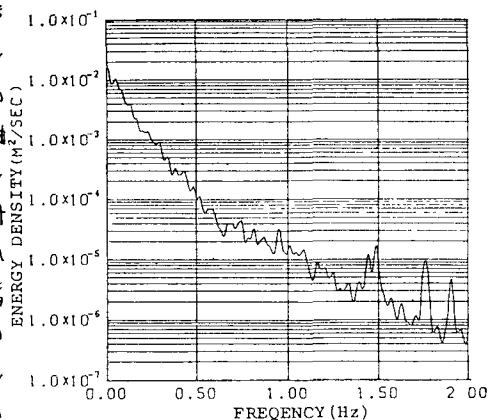
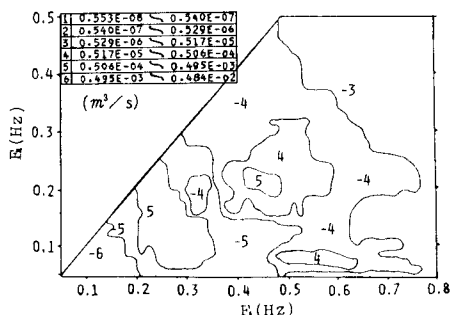
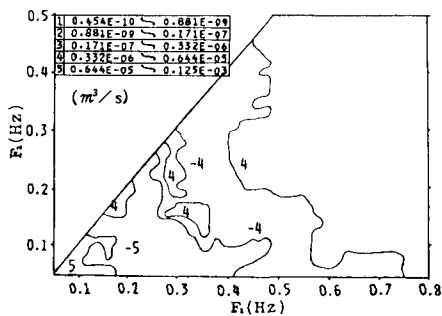


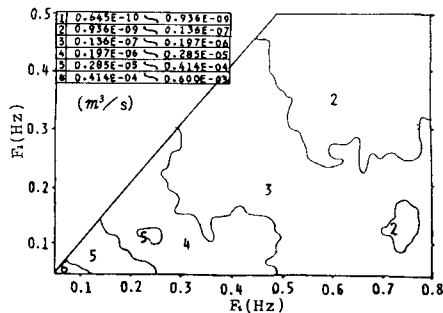
Fig.3 Power spectrum



a Real part



b Imaginary part



c Amplitude

Fig.4 Level-surface plot of bispectrum