

中央大学理工学部 正員 岡 内 功
本州四国連絡橋公団 正員 ○秋 山 晴 樹

1. まえがき

本州四国連絡橋耐風研究小委員会の指導のもとに、1500m級吊橋を対象とした大型耐風模型実験が千葉県館山市相浜で実施された。この実験の目的と概要については第30回年次学術講演会 I-220で、47年と48年の観測で得られたデータの解析結果については同じく I-219で、また、49年の観測で得られたデータの解析結果の一部については第31回年次学術講演会 I-230で報告している。実験は乱れた自然風の中で行なわれたため、得られたデータはいずれも不規則に変動しているが、適当な処理を施し、周波数領域でスペクトル解析すれば、それに内在する特性を把握することができる。観測データの最適な処理方法は、データの性質と解析の目的により当然異なるが、この点に関しては従来あまり配慮がなされておらず、解析者の経験に頼っているのが現状と思われる。このため、解析に際して、不規則データの処理方法について種々の検討を行なった。以下その概要を報告する。

2. データの前処理

不規則に変動するアナログ時系列データを、その特性を失わないようにデジタル値に変換して表現するためには、(1)サンプル間隔、(2)量子化幅、(3)サンプル時間長の3点に特に注意する必要がある。

(1)サンプル間隔については、解析の対象とする周波数領域、計算時間、エリアジング等を考慮して間隔 Δt を0.05、0.1、0.2秒ととり、比較計算を行なった。自然風のスペクトルにおける比較例を図-1に示す。(2)量子化幅については、AD変換の符号長を8ビットとした。(3)サンプル時間長は、得られたデータの長さ、計算時間等を考慮して、200、300、600秒の3種について比較検討を行なった。自然風のスペクトルにおける比較例を図-2に示す。

3. スペクトル計算

スペクトルの計算法として現在実用に供されているものは、相関関数法(B.T.法)と高速フーリエ変換法(F.F.T.法)と自己回帰、移動平均モデルを用いた方法(A.R.法, M.A.法, A.R.M.A.法)の3種類に大別される。

1) B.T.法とF.F.T.法について

B.T.法とF.F.T.法は本質的には同一のものであり、計算手法を調整すれば計算結果は完全に一致するが、通常の計算においては両者は異なる。計算に際して、B.T.法では、最大ラグ数をいくらにとるか、スペクトルウィンドウ(スペクトルの移動平均操作)はどれを用いるか等の問題が、また、F.F.T.法では、データを何分割するか、データウィンドウ、スペクトルウィンドウをどうするか等の問題が生じる。最大ラグ数は通常データ数の1割以下にとられており、スペクトルウィンドウと対応づけられる。平均化操作を行なう前の生スペクトルは図-3に示すようにいずれも激しく変動しており、このままではその特性を判断することは困難であるが、平均化操作を増せば、スペクトルは安定したものになる。最大ラグ数を変化させた場合のスペクトルの変化の一例を図-4に示す。一般に、平均化の操作量を増せばスペ

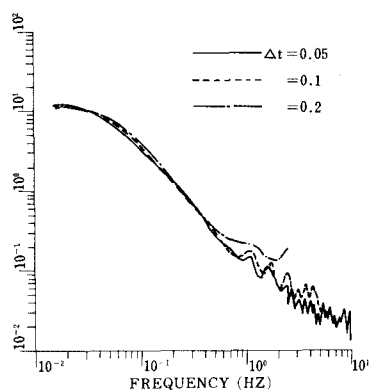


図-1 サンプル間隔がスペクトルの形状に及ぼす影響

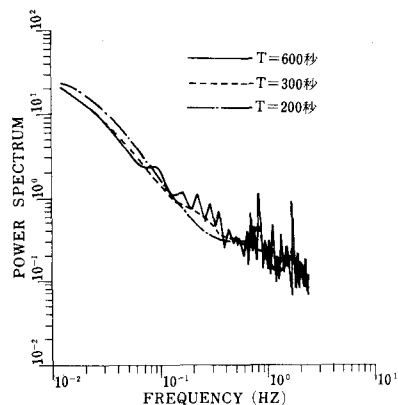


図-2 サンプル時間長がスペクトルの形状に及ぼす影響

クトルの平坦部の精度は向上するが、ピーク部の精度は減少する。すなわち、鋭いピークのあるスペクトルは、B.T法、F.F.T法で計算する限り、平坦部とピーク部の精度を両方向上させることは困難である。結局、比較計算を行ない、スペクトルの安定度を目視により判断し、計算時間を考慮して平均化方法を決めるしかない。

2) 自己回帰、移動平均モデルを用いた方法について

B.T法、F.F.T法における上述のような曖昧さ、不便さを解決するものとして、自己回帰、移動平均モデルを用いた方法が最近実用化されている。この方法では、ディジタル時系列データ x_t を白色雑音 e_t を用いて次のように表わす。

AR法

$$x_t + \sum_{i=1}^p a_i x_{t-i} = e_t$$

MA法

$$x_t = e_t + \sum_{j=1}^q b_j e_{t-j}$$

AR・MA法

$$x_t + \sum_{i=1}^p a_i x_{t-i} = e_t + \sum_{j=1}^q b_j e_{t-j}$$

このモデルの次数 p 、 q を、統計数理研究所の赤池氏が提唱した評価基準（AR法ではAIC、ARMA法ではFPE基準）を用いて求め、係数 a_i 、 b_j を最小2乗法を用いて求めればスペクトルは計算できる。これらの方法によれば、BT法、FFT法のような平均化方法の選択の問題はなくなり、すべて自動的に計算される。一例として、模型のたわみ応答のスペクトルをBT法、FFT法、AR法で比較計算した結果を図-5

に示す。なお、計算時間は3方法の間で大きな差はなかったので、解析にはAR法を用いることとした。

最後にこの検討に際して御指導いただいた本州四国連絡橋耐風研究小委員会の委員各位、ならびに、統計数理研究所の赤池氏に深謝の意を表する。

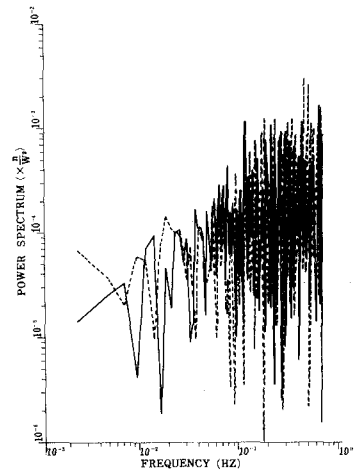


図-3 自然風の生スペクトル

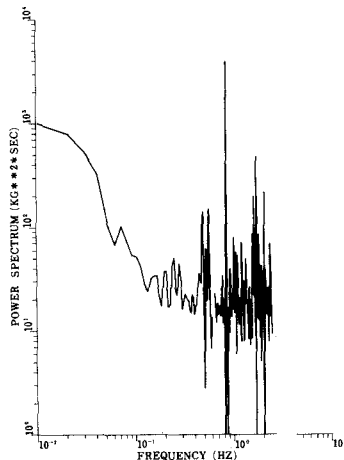


図-4.1 N=3000, M=240

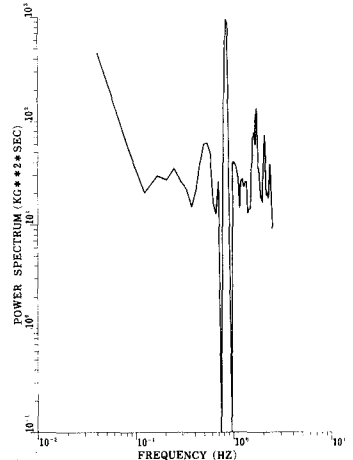


図-4.2 N=3000, M=60

図-4 平均化操作のスペクトル形状に及ぼす影響

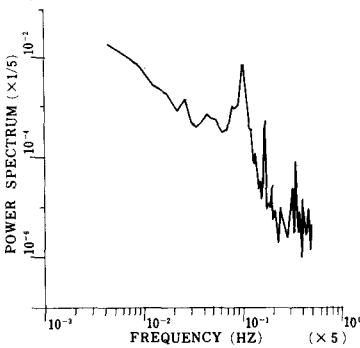


図-5.1 FFT法

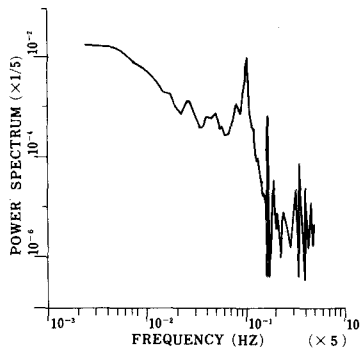


図-5.2 BT法

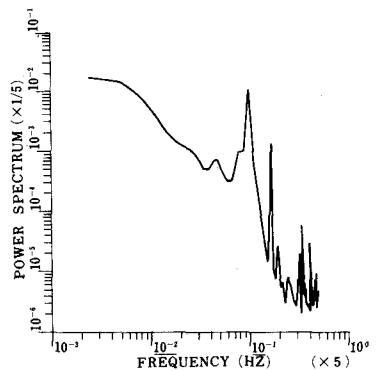


図-5.3 AR法

図-5 各法によるたわみ応答スペクトル