

三菱重工業 正員 串岡 清則

" 斉藤 通

" 本田 明弘

1. はじめに

橋梁等構造物の耐風安定性を推定するうえで、接近流の乱れを考慮することは重要である。これに対して、接近流の乱れを考慮した風洞実験が盛んに行われてきており、流動解析でもLES^[1](Large Eddy Simulation)や乱流渦点法^[2]のように接近流の乱れを考慮した解析が盛んに行われてきている。このような解析では接近流の乱れを時刻歴で入力する必要があるが、連続の式やNavier-Stokes 方程式を満たした流速変動を生成するためには、入力データを作成するために流動解析を行う必要がある。実際LES では入口の境界条件を与えるために境界層乱流の計算が行われている例がある。しかし、入口境界条件を定めるための流動解析は、非定常乱流解析におけるCPUの負担がさらに大きくなってしまう。

本研究では、乱流渦点法を対象に自己回帰式を使い比較的簡単に入口境界条件を決定する方法について検討を行った。

2. 自己回帰式による風速変動の発生

自己回帰式による風速変動の発生は岩谷の方法^[3]によった。以下にその概略を示す。

今、風速変動のパワースペクトル $S(f)$ およびコヒーレンス $C_{oh}(f, z_1, z_2)$ が与えられているとする。ここで f は周波数であり、 z_1, z_2 は高さである。このパワースペクトルとコヒーレンスより高さ方向 k 点での自己相関関数 R_{ii} と相互相関関数 R_{ij} が求められる。この相関関数より1つの相関関数行列 R を以下に定義する。

$$R(r) \equiv \begin{pmatrix} R_{11}(r) & R_{12}(r) & \cdots & R_{1k}(r) \\ R_{21}(r) & & & \\ \vdots & & & \\ R_{k1}(r) & \cdots & \cdots & R_{kk}(r) \end{pmatrix} \quad (1)$$

次に、高さ方向 i 番目の点での風速変動 u_i が白色雑音 $\varepsilon_i(t)$ を使って以下の式で表されると仮定する。

$$u_i(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^k A_{ij}(m) u_j(t-m\Delta t) + \varepsilon_i(t) \quad (2)$$

この式に $u_i(t-r\Delta t)$ をかけて $\varepsilon_i u_i(t-r\Delta t) = 0$ とすると次式が得られる。

$$R_{ii}(r) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^k A_{ij}(m) R_{ji}(r-m) \quad (3)$$

この式は $i=1 \sim k, j=1 \sim k, r=1 \sim M$ について成立するので結局以下の連立一次方程式が得られる。

$$r = AR \quad (4)$$

$$A(r) = \begin{pmatrix} A_{11}(r) & A_{12}(r) & \cdots & A_{1k}(r) \\ \vdots & & & \vdots \\ A_{k1}(r) & \cdots & \cdots & A_{kk}(r) \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} R(0) & R(1) & \cdots & R(M-1) \\ R(1) & & & \\ \vdots & & & \vdots \\ R(1-M) & \cdots & \cdots & R(0) \end{pmatrix}$$

$$r = (R(1) \cdots R(M)) \quad A = (A(1) \cdots A(M))$$

この連立一次方程式を漸化式に展開して解くことより A を求めることができる。これより(2)式を使って

風速変動を発生することができる。

3. 連続の式を満たした風速変動の発生

図1に風速変動(u_{ij} , v_{ij})の定義点を示す。このように定義した時、風速変動は次式で示す連続の式を満たす必要がある。

$$\frac{u_{ij} - u_{i+1j}}{U_{\infty} \Delta t} + \frac{v_{ij+1} - v_{ij}}{\Delta y} = 0 \quad (5)$$

本方法では、まず風速変動の u 成分を岩谷の方法によって求める。この時高さ方向一地点での v を決定すると全地点での v_{ij} が求まる。そこである時間での v_{ij} の高さ平均が0となるように v_{ij} を決定する。この時の v_{ij} のパワースペクトルを S_{v1} とするとこのパワースペクトルは自然風のパワースペクトル S_n を満たしていない。しかし、時間ステップごとに、高さ方向の点での v が同量ずつシフトさせることができる自由度は持っている。そこで、このパワースペクトルの差 $\Delta S = S_n - S_{v1}$ を対象とした流速変動を岩谷の方法により生成し、重ね合わせると、 v に関しても自然風のパワースペクトルを満たし、かつ連続の式を満たした速度変動が生成できる。

4. 解析例

図2、図3に乱流渦点法により自然風の乱れのシミュレーションを行い求めた速度変動のパワースペクトルを示す。図2は、連続の式を考慮せず u 成分、 v 成分の流速変動を独立に岩谷の方法で生成した場合であり、図3は3節で示した方法により u 成分を岩谷の方法で、 v 成分を連続の式を満たすように求めたものである。連続の式を満たしていない場合、 v 成分のパワースペクトルの低周波成分が小さくなってしまふ。これは、 u 成分と v 成分が独立に決定されているため u 成分と v 成分が打ち消し合ったり強められたりするためであると考えられる。また u 成分の低周波が落ちていないのは、渦点の分布する領域が x 方向に長いことおよび x 方向が主流流速方向であること等に起因すると思われる。これに対して図3の連続の式を考慮した解析結果では v 成分のパワースペクトルの低周波領域の低下が改善されている。

5. まとめ

乱流渦点法において、接近流の風速変動を連続の式を考慮して生成し解析する方法を提案した。本計算例では、これにより v 成分のパワースペクトルが改善された。

6. 参考文献

1. Moin, P., Kim, J., "Numerical investigation of turbulent channel flow", J. Fluid Mech., Vol. 118, pp. 341-377, 1982
2. Kushioka, K., Honda, A., "Simulation of turbulent flow by Discrete vortex approximation", CWE92', p273, 1992
3. 岩谷, "任意のパワースペクトルとクロススペクトルをもつ多次元の風速変動のシミュレーション", 日本風工学会誌, Vol. 11, pp. 5-18, 1982

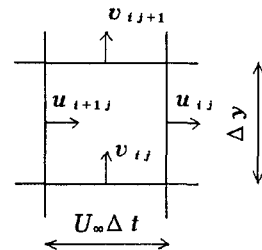


図1 風速変動の定義点

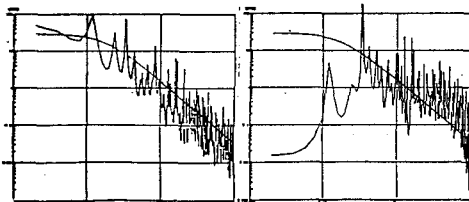


図2 u 成分 v 成分
乱流渦点法により求めた風速変動の
パワースペクトル (u, v 独立)

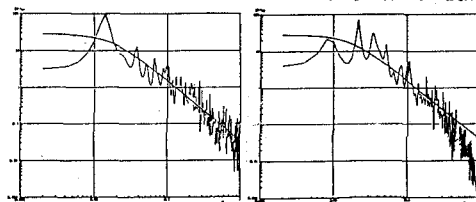


図3 u 成分 v 成分
乱流渦点法により求めた風速変動の
パワースペクトル (連続の式考慮)