

## 流速の時系列のシミュレーション

立命館大学 理工学部 正員 小林紘士 立命館大学 大学院 学生員 畑中章秀  
 日立造船(株) 正員 ○植田利夫 日立造船(株) 砂田博幸  
 日立造船(株) 山口映二

**1. まえがき** アクティブ乱流発生装置により、任意の乱れ特性を有する気流を風洞内に再現することができる<sup>(1)</sup>。従来、提案されていた乱流シミュレーション法<sup>(2)</sup>は、目標とするパワースペクトル形状を有する気流をシミュレートするものであった。シミュレートされた気流の乱れ特性値は、目標値とほぼ一致するが、シミュレートされた流速の時系列は、元の時系列とは異なったものであった。スペクトル形状だけでなく、各周波数成分の位相情報も考慮して乱流シミュレーションを行えば、最初に与えた流速の時系列を風洞内にシミュレートすることができる。本論文では、位相情報を考慮した乱流シミュレーション法(以下、波形シミュレーションと称す)を新たに提案する。実験では、任意の風速時系列を発生させた場合と現地で実測された風速を与えた場合の2ケースについて調べる。

**2. 波形シミュレーションの方法** 目標とする時系列を電圧に換算し、乱流発生装置を駆動する。測定された気流データをフーリエ変換することにより、パワースペクトルと周波数領域の位相角を求める。目標とする時系列と測定された時系列との差は、パワースペクトルと位相角の差により補正される。この補正は、両者のパワースペクトルおよび位相角がほぼ一致するまで繰り返され、最終的に目標とする時系列がシミュレートされる。

**3. 乱流発生装置** 実験は、日立造船(株)所有の大型汎用低速風洞(回流型、2次元モードで使用)で行った。測定断面の寸法は、幅2m×高さ3mである。図1に乱流発生装置の概略図を示す。乱流発生装置は平板列および翼列からなる。装置の構成は文献<sup>(1)</sup>に掲載されている装置とは大きく変わらないが、バイパス風路から流れ出る気流の乱れが気流測定点に影響を及ぼしたので、気流の乱れを整流する目的でバイパス風路内部にも格子と2枚のメッシュを設置した。気流測定点は、翼列の後流側から900mm下流の断面中央部で測定した。シミュレートされた乱流の測定にはX型熱線プローブを用いた。翼列および平板列はACサーボモータにより駆動し、パーソナルコンピュータによりランダム制御する。

**4. 実験結果** (1) 乱流の時系列のシミュレーション 乱れ特性を平均風速  $\bar{U}=5.0\text{m/s}$ 、乱れ強度  $I_u=10.0\%$ 、 $I_w=5.0\%$ 、乱れスケール  $L_u=200\text{cm}$ 、 $L_w=50\text{cm}$ に設定して、流速の時系列を作成した。作成された流速の時系列を図2(a)に示す。図2(b)は風洞内にシミュレートされた主流方向成分の流速の時系列を示したものである。目標とする時系列と測定された時系列の相互相関係数  $R(\tau)$ を求めた。これより、 $R(\tau=0)=0.91$ と比較的高い相関を示し、遅れ時間もなかった。

鉛直方向成分についても同様に波形シミュレーションを行った。図3(a)および(b)にそれぞれ目標とする時系列と風洞内にシミュレートされた時系列を示す。相互相関係数の値は、 $R(\tau=0)=0.75$ と主流方向成分よりも低い相関を示した。高周波成分の乱れには翼列からの剥離による乱れなど翼の動きとは無相関の流れが存在することが原因と考えられる。そこで、5.0Hz以上の高周波成分の乱れを除去し、相互相関を

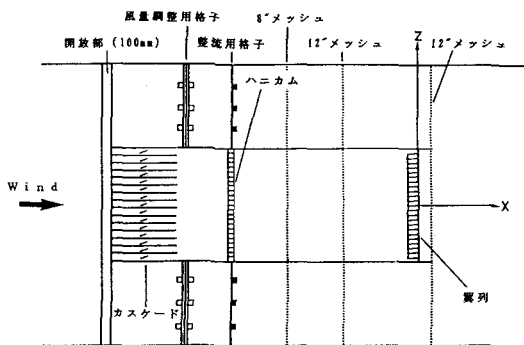


図1 乱流発生装置概略図

求めた。このときは、 $R=0.88$ と比較的高い相関となった。

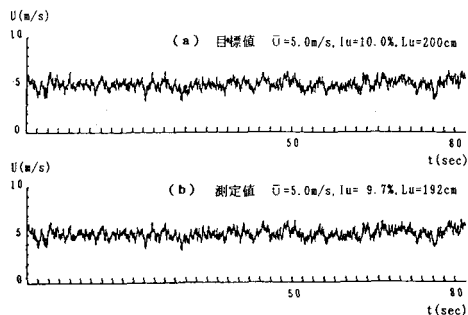


図2 目標とする流速の時系列と測定された流速の時系列（主流方向成分）

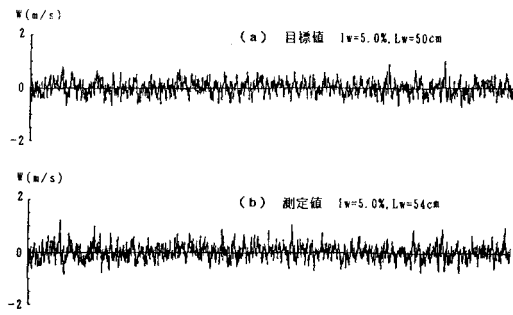


図3 目標とする流速の時系列と測定された流速の時系列（鉛直方向成分）

## (2) 実測された流速時系列のシミュレーション

現地観測された自然風の流速時系列を風洞内にシミュレートする。図4は自然風観測により得られた流速の時系列を示したものである。実測値を縮尺1/60、周波数倍率12倍で風洞内に換算した。鉛直方向成分についても実測値が得られているが、本論文には掲載していない。



図4 実測された流速の時系列

波形シミュレーションへの準備として、風洞換算された時系列のパワースペクトルおよび位相角を求めた。波形シミュレーションでは、パワースペクトルを用いるが、図5のような変動の激しいスペクトルを用いると乱流発生装置に不都合が生じるので、このスペクトルは、図6のように平滑化した。スペクトル平滑化として、ハニングの平滑化を5回行った。そのパワースペクトルに対応する時系列の風洞換算値は図7のようになる。もとの時系列と比べて、高周波の変動がやや濾波されている。位相差はスペクトルの平滑化を施さない時系列の値を用いた。

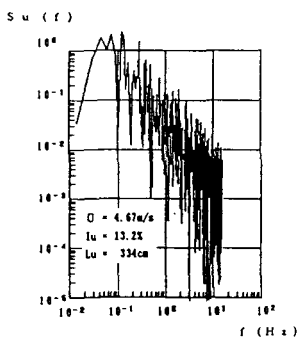


図5 風洞換算された流速のパワースペクトル（平滑化なし）

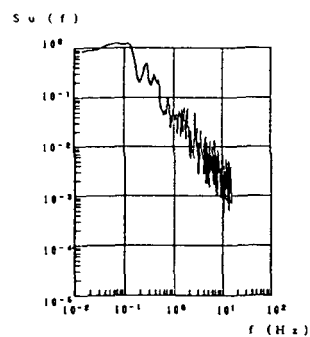


図6 風洞換算された流速のパワースペクトル（平滑化あり）

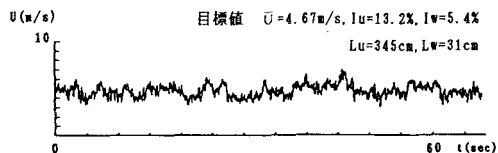


図7 平滑化されたスペクトルから得られた流速の時系列

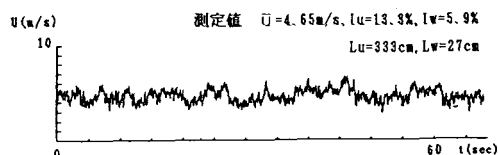


図8 シミュレートされた流速の時系列

シミュレートされた気流を図8に示す。目標とする時系列と測定された時系列との相互相関係数を求めた。これより、 $R(\tau=0)=0.93$ と比較的高い相関を示し、時間の遅れはなかった。鉛直方向成分については、 $R=0.77$ （ただし、5Hz以上の乱れの成分を除去した）と主流方向成分よりも若干低い値となった。

## 5. 結論

本論文では、流速の時系列を風洞内にシミュレートすることを試みた。それにより目標とする時系列を風洞内にシミュレートすることができた。また、実測された流速の時系列もシミュレートすることができた。

参考文献 1) 小林ほか、'91関西年講、2) 小林ほか、第10回風工学ソサエティ