

徳島大学大学院 学生員 ○有馬 栄一
 徳島大学工学部 正員 長尾 文明
 徳島大学大学院 学生員 白石 展博

徳島大学工学部 フェロー 宇都宮英彦
 徳島大学工学部 正員 野田 稔

1. はじめに

自然風の乱れに起因する構造物のガスト応答の推定は重要な検討課題の一つである。従来の研究からも、ガスト空気力の空間相関特性が気流の乱流特性、特に、乱れのスケールの影響を強く受けていることが指摘されており、このような研究を進めていく上で様々な乱れのスケールや乱れの強さをもった乱流中における各種実験的検討が必要となる。そこで本研究では、可動翼を用いて鉛直方向の乱れを制御する乱流発生装置を作製し、乱れのパラメータを任意にコントロールし、風洞内に所要の特性を有する乱流を生成するための翼の制御方法を確立するとともに、作製した乱流発生装置の性能について各種検討を行った。

2. 実験装置の概要

図1に乱流発生装置の概略図を示す。実験には、幅1m高さ0.94m、長さ2mの測定胴を有する徳島大学工学部風工学研究室所有の吸い込み式の風洞試験装置を用いた。

NACA0012型を翼の断面として、幅167mm(b)、厚さ22mm(d)、長さ900mm(2 θ)の翼を使用している。翼の回転中心は翼先端から37mmの位置に設定した。そしてその翼列を60mm間隔で鉛直方向に10枚並べ、翼列をすべて同位相に回転駆動させることにより気流に傾斜角を与えて鉛直方向成分の気流変動を制御する。翼列はACサーボモーターにより駆動させ、パーソナルコンピュータにより発生される任意の電圧変化をA/D変換機能のついたマイクロコンピュータに送りACサーボモーターの回転角に変換した。なお、気流測定点の表示方法として、図1に示すように翼列後縁端の風洞断面の中央部を原点として主流方向にX軸、主流直交水平方向にY軸、鉛直方向にZ軸を取り、そのX、Y、Zの座標として示す。

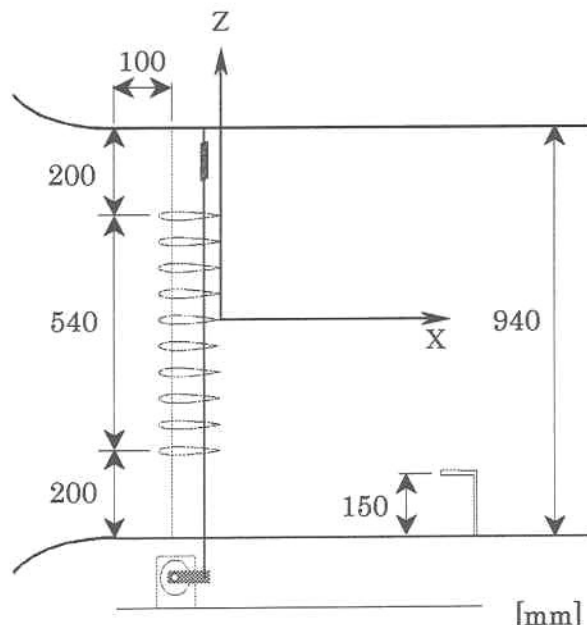


図1 風洞内の概略図

3. 乱流シミュレーション方法

本研究では、自然風のパワースペクトル形状をKármánの式で近似されるものとし、可動翼を用いて鉛直方向の乱れを制御することを目指した。ここで、Kármán型の鉛直変動風速のスペクトルは、主流方向平均風速 U 、鉛直方向成分の乱れの強さ I_w 、鉛直方向成分の乱れのスケール L_w により次式のように表される。

$$S_w(f) = 4I_w^2 U L_{x,w} \frac{1 + 755.2 \left(\frac{f L_{x,w}}{U} \right)^2}{\left\{ 1 + 283.2 \left(\frac{f L_{x,w}}{U} \right)^2 \right\}^{\frac{11}{6}}} \quad (1)$$

目標とするパワースペクトルから逆フーリエ変換を利用して時系列データを作成し、更にそれを翼列の駆動電圧に換算した。ここで、各周波数成分の位相はランダムに与えた。

ここで生成された駆動電圧波形で翼列を AC サーボモーターにより駆動させ、風洞内に発生した変動気流の流速を X 型熱線風速計で測定する。流速の時系列データからフーリエ変換を利用して求めた気流のパワースペクトルと目標のパワースペクトルを比較し、周波数ごとの両者の比を求める。もし、測定された気流のパワースペクトルと目標のパワースペクトルが一致すれば、目標とする乱流が風洞内に発生したこととなり気流生成工程は終了だが、装置の駆動とそれに伴う気流の変動には、非線形性や周波数依存性があるために、初回のシミュレーションでは、一致しない。この比を目標とするパワースペクトルに乘じ、装置を駆動させるための補正スペクトルを求め、上述の方法で時系列を求め、装置を駆動させる。これを繰り返すことにより最終的に目標とするパワースペクトルを有する乱流をシミュレートする。測定された流速のパワースペクトルが目標のパワースペクトルと一致すれば、他の乱れ特性値も目標と一致することになる。

4. フィードバック制御性能の検証

目標とする乱流特性値を主流方向平均風速 $U_t = 5.0\text{m/s}$, 乱れの強さ $I_w = 5.0\%$, 乱れのスケール $L_w = 0.5\text{m}$ と設定し、乱流シミュレーションを行った。測定点は $(X, Y, Z) = (600, 0, 0)$ とした。図 2 に補正回数と目標とした乱流特性値への収束度を示す。補正は 10 回行い、それぞれの乱流特性値（乱れの強さ I_w , 乱れのスケール L_w ）の収束度をみた。乱れの強さ I_w ・乱れのスケール L_w についてみると 5 回目の補正で目標値と近い値に収束しているのがわかる。補正を繰り返していくと目標値を中心に若干値が変動する傾向がみられる。

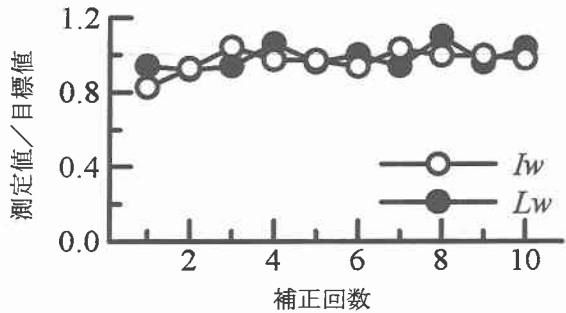


図 2 乱流特性値への収束度

5. 乱流シミュレーション結果

目標とする乱流特性値を主流方向平均風速 $U_t = 5.0\text{m/s}$, 乱れ強さ $I_w = 5.0\%$, 乱れのスケール $L_w = 0.7\text{m}$ と設定し、測定点 $(X, Y, Z) = (600, 0, 0)$ でシミュレートした。その結果を図 3 に示す。また、目標とする乱れの強さ、乱れのスケールおよび主流方向平均風速を変化させて、各種乱流をシミュレートした。得られた乱流特性値の範囲は、乱れの強さでは $I_w = 4.73 \sim 6.86\%$, 乱れのスケールでは $L_w = 19 \sim 248\text{cm}$ の範囲の値を再現することができた。生成できる乱れの強さの範囲は 2% くらい狭いが、乱れのスケール L_w については広範囲にわたり、再現することに成功した。

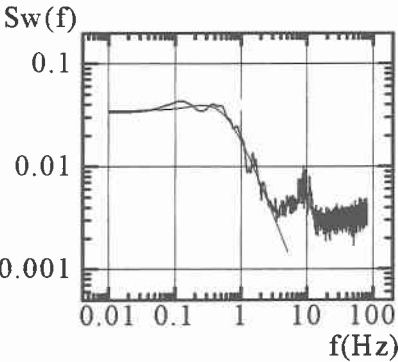


図 3 シミュレーション結果

6. まとめ

本論文の方法によるアクティブ乱流シミュレーションにより目標とするパワースペクトル(Karman の式)にほぼ一致する乱流をシミュレートすることができた。生成しようとする乱流の特性値に応じて、装置のさらなる改良（駆動装置の補強などにより鉛直方向成分のパワースペクトルの周波数の上限を 10Hz 程度まで上げる）を検討する必要がある。