

I-402

吹き出し型風洞における2次元乱流シミュレーション

立命館大学 大学院 学生員 畑中章秀
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 美島雄士

1. まえがき

著者らは、前報⁽¹⁾において翼列・板列方式を用いて気流のアクティブコントロールを行い、格子乱流よりも大きいスケールを有する乱流を発生させることに成功した。ところが、本システムにも2, 3の問題点（2Hzを越えるとシミュレートが難しくなる、主流方向の相関が1の気流となるなど）があった。そこで、この問題点を解消するために翼列・板列方式に改良を加え、実験を行ったところ比較的良好な結果が得られた。本報告では今回の改良型翼列・板列方式の概要および実験結果について報告する。

2. 実験方法

実験に用いた風洞は測定部が幅0.7m、高さ1mの吹き出し型風洞である。図1に示すように吹き出し口より0.2mの位置に縮流部を設け、その下流側に平板列を設置した。さらに幅0.7m、高さ0.6m、長さ1.2mの風路を設け、風路の下流端に翼列を設置した。なお、この風路は翼列により得られる傾斜気流に対する風洞上下の壁面の影響を避けることを考慮したものである。また、平板列からの剥離による気流の乱れを整流するために、平板列より下流側0.2m, 0.4m, 0.6mの位置にそれぞれ格子（幅0.5cm, 1°ツチ5cm）、金網A（金網幅-1/8インチ）、金網B（金網幅-1/12インチ）を設置した。風速は、翼列の回転軸より0.6m下流側の中央部で測定した。乱流シミュレーションはパワースペクトル形状がKármánの式に適合する乱流を目標とした。なお本実験で用いた乱流シミュレーション法は文献(1,2)による。

3. 実験結果及び考察

(1)乱流シミュレーション結果 再現する自然風流特性値に関して、平均風速 $\bar{U}=2\text{m/s}$, 乱れ強度 $I_u=12\%$, $I_w=6\%$ および乱れスケール $L_u=1.2\text{m}$, $L_w=0.36\text{m}$ としてパワースペクトル目標値を設定した。図2は補正繰返し回数と各乱流特性値の目標値への収束度を示したものである。 I_u, I_w については1回の補正でほぼ目標値に近い値となり、その後補正を繰返しても目標値 $\pm 2\%$ の値となり、ほぼ一定している。 L_u も1回でほぼ目標値に近い値となるが、その後補正を繰返しても目標値の0.88~1.08の値で変動している。 L_w は1回で目標値の1.25に近づいているが、その後補正を繰返しても目標値の0.97~1.25の間で変動している。この L_u, L_w の変動については今後検討の余地がある。ここで、 L_u, L_w は風速の自己相関係数を積分して求めたものである。図3は7回目補正後に測定された気流のパワースペクトルを示す。目標としたKármánの式によるパワースペクトルも併記した。本システムにより得られた乱流は主流方向成分および鉛直方向成分ともに6, 7Hz付近の周波数領域まで、目標パワースペクトルとよく適合している。また、それ以上の高周波数領域の乱れのパワーは文献(1,2)の結果と比べて大きくない。

次に目標値として平均風速 $\bar{U}=2\text{m/s}$, 乱れ強度 $I_u=7\%$, $I_w=3.5\%$, 乱れスケール $L_u=1.2\text{m}$, $L_w=0.36\text{m}$ を設定し、前回よりも乱れ強度の小さい気流をシミュレートした。図4に4回目補正後の気流のパワースペクトルを示

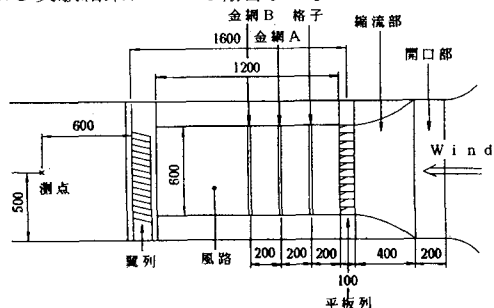


図1 翼列・平板列配置図（単位mm）

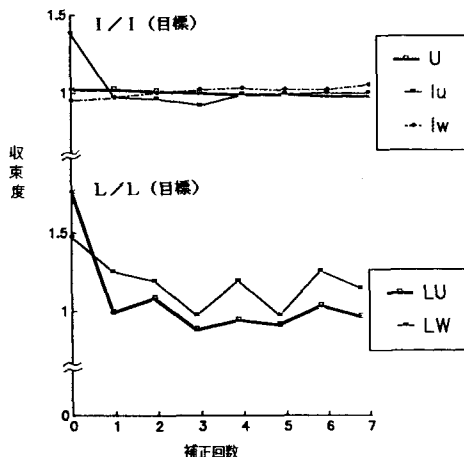
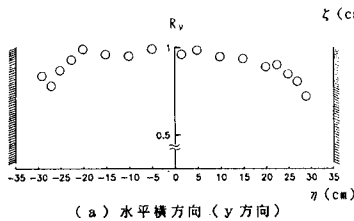


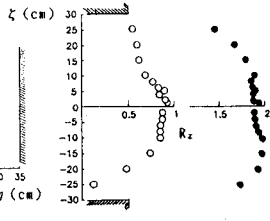
図2 繰返し回数と気流特性値への収束度

す。これより、主流方向成分については3Hz付近まで目標値とよく適合しているが、それ以上の周波数領域については目標値よりも大きな値をとっている。鉛直方向成分については7Hz付近まで目標値とよく適合しているが、それ以上の周波数領域については目標値よりも大きな値をとっている。次に翼列を水平にし、平板列を25°に静止させた状態で気流を測定した。図5に測定された気流のパワースペクトルを示す。図4と図5を比べると、図4において目標パワースペクトルよりも大きくなっている部分は図5でのパワースペクトルと一致していることがわかる。以上のことから、図4に現れた主流方向成分の3Hzおよび鉛直方向成分の7Hz以上のパワーは翼列・平板列からの気流剥離によるものであることがわかる。今後、この乱れをさらに小さくする必要がある。

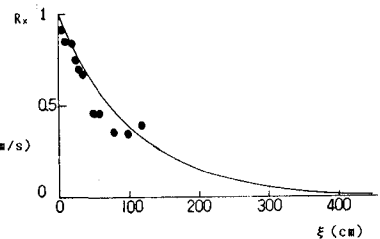
(2)空間的特性 水平成分についての水平横方向(y方向)、鉛直方向(z方向)、主流方向(x方向)の相互相関係数 $R_y(\eta, \tau)$, $R_z(\xi, \tau)$, $R_x(\xi, \tau)$ の $\tau=0$ の値をもとにして、空間相関係数を求めた。その結果を図6(a),(b),(c)に示す。これより水平横方向については比較的よい相関を示しているものの、鉛直方向については風洞中央部の約15cmを除いては、かなり相関が低い。これは、平均風速の鉛直分布とともに改善すべき問題である。さらに主流方向の空間相関係数については最小自乗法により指数関数 $R_x(\xi, 0) = \exp(-\xi/L_{x,u})$ で近似し、図中に併記した。ここで、 $L_{x,u}$ は空間スケールを表すものである。空間スケールは107cm、一方自己相関係数から求めた積分スケールは124cmとなり、空間スケールと積分スケールの比は約1:1.16となった。これは大阪北港での観測データ（西風で1:0.75~1.2）とほぼ同程度の値であり⁽³⁾、自然風にみられる主流方向の空間的特性と同じような特性を有する気流を再現することができた。



(a) 水平横方向 (y 方向)



(b) 鉛直方向 (z 方向)
(平均風速分布も併記)



(c) 主流方向 (x 方向)

4. 結論

図6 主流方向風速成分の空間相関係数

本システムを用いることにより、ほぼ目標とする自然風乱流を風洞内に再現できた。しかし、主流方向におけるスペクトル分布（測点により0.7Hz付近のパワーが変化）、乱れスケールの収束精度、シミュレート気流の2次元性などに問題があり、本システムに対する基礎的な調査がさらに必要である。

参考文献 1)野村・小林, 第43回年講 I-356, 1988 2)小林他, 第10回風工学シンポジウム, 1988

3)猫本, 大阪大学修士論文, 1987

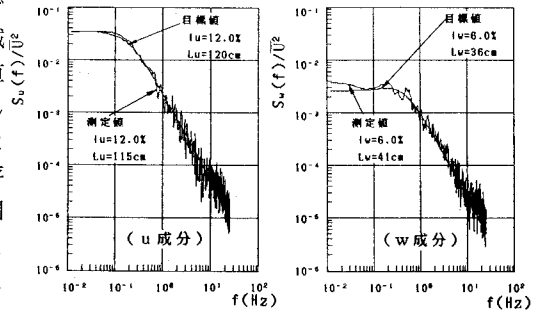


図3 測定気流のパワースペクトル (u=12%, w=6%)

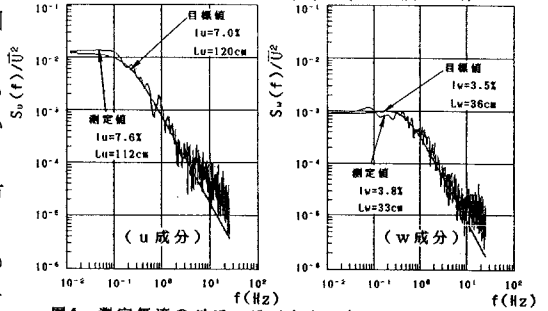


図4 測定気流のパワースペクトル (u=7%, w=3.5%)

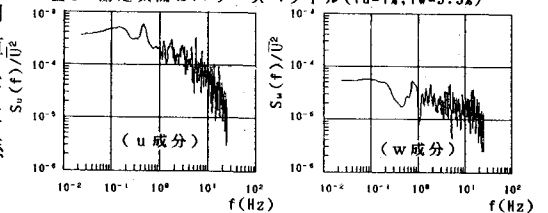


図5 測定気流のパワースペクトル (翼列水平、平板列25°)