

I-207

Active Gust Generatorによりシミュレートされた気流の乱れ特性について

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) 山口映二

立命館大学 理工学部 正員 小林紘士
日立造船(株) 砂田博幸

1. まえがき

2次元模型をもちいた風洞試験は、①費用が安価である、②縮尺比の大きな模型が使える、③実験が簡便で基礎的な研究に適しているなど3次元模型試験に比べいくつかの利点を有している。2次元模型を用いた乱流応答に関する基礎研究は、まだなお重要な課題である。著者らは上述の考えのもとにActive Gust Generatorを用いた乱流シミュレーション技法の確立を目指してきた¹⁾。今回、従来よりも大きな風路断面を持つ回流型風洞にGust Generatorを設置し、乱流シミュレーションを行った。以下、そのGust Generatorによりシミュレートされた気流の乱れ特性について述べる。

2. 実験方法

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Gust Generatorの概略図(単位:mm)を示す。Gust Generatorは平板列および翼列からなる。平板列および翼列は、風洞の中央部に設けられた風路(断面寸法幅2000mm×高さ1200mm、長さ2350mm)の入口および出口に設置される。平板列を駆動させることにより比較的大きな乱れが生じるので、平板列と翼列の間にハニカム(メッシュサイズ:19mm)と2枚の金網(メッシュサイズ:上流側から1/4インチ、1/8インチ)を設置し、さらに翼列の

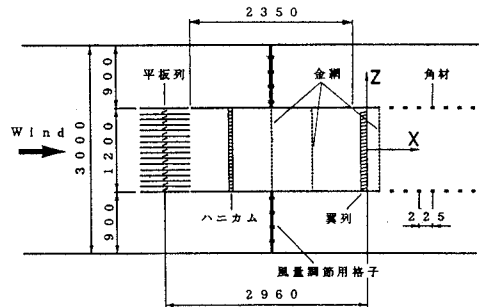


図1 Active Gust Generator

下流側にも金網(メッシュサイズ:1/8インチ)を設置する。測定風路内の主流方向の2点間において位相差を有する主流方向気流変動を実現するために、平板列により作られた変動気流が、高さ1200の風路の出口から自由噴流となって吹き出すような構造としてある。また、翼列により得られる気流傾斜角の断面内分布特性を改善するために、高さ1200の風路とその上下の部分との境界レベルに断面寸法30mm×45mm、長さ2000mmの角材を225mm間隔で下流方向に並べる。気流測定点は図1に示すように翼列後流側の中央部を原点として主流方向にX軸、主流直角水平方向にY軸、鉛直方向にZ軸をとり、そのX,Y,Zとして示す。乱流シミュレーション法は文献2)に詳細に記されている。本論文では図1に示される風量調節用格子を完全に閉塞したケースについて述べる。

3. 実験結果

目標とするKármán型パワースペクトルの乱流パラメータとして、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 $L_u=200\text{cm}$ 、 $L_w=50\text{cm}$ を設定し、乱流シミュレーションを行った。

気流測定点は $(X,Y,Z) = (700,-100,0)$ とした。

(1) 測定気流パワースペクトル 測定された気流のu成分およびw成分のパワースペクトルの1例を図2に示す。ここに、u、wはそれぞれX,Y方向の流速の変動成分である。目標とするKármánの式によるパワースペクトルも併記した。これより両成分ともに10Hz付近の周波数領域まで目標とするスペクトル形状によく一致していることが分かる。

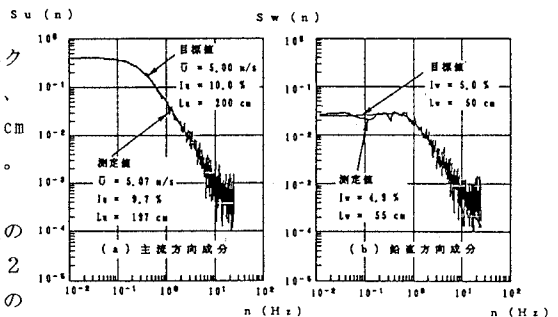


図2 測定気流パワースペクトル

(2) 乱れ特性値の鉛直方向分布 翼列から700mm下流の位置での鉛直方向の乱れ特性値の分布を調べた。図3にその結果を示す。これより、高さ中央部での特性値は、乱れスケール L_u を除いてはいずれも断面中央部の値の±数%以内のばらつきとなっており、ほぼ一様な分布となっている。

(3) 翼列からの距離による乱れ特性値の変化 翼列から下流方向に測点を変えて(Y,Zは固定、Xのみ

変化)、流れ方向における乱流特性値の変化を調べた。図4にその結果を示す。これより、乱れ強度については I_u, I_w ともに翼列からはなれるにしたがって徐々に値が低下し、 $X=900$ より下流ではほぼ一定の値となっている。乱れスケールについては、 L_u は翼列からはなれるにしたがって徐々に値が大きくなっているが、 L_w は翼列からの距離によらずほぼ一定の値となっている。

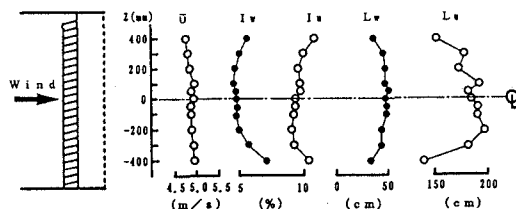


図3 乱れ特性値の鉛直方向分布

(4) シミュレートされた気流の2次元性 シミュレートされた気流の2次元性を調べるために気流の u 成分および w 成分について Y 方向、 Z 方向の相互相関係数 $R_y(\eta, \tau), R_z(\xi, \tau)$ の $\tau=0$ の値をもとにして空間相関係数 $R^u_y, R^w_y, R^u_z, R^w_z$ を求めた。翼列や平板列で制御できるのはせいぜい数Hzまでの気流変動であり、数Hz以上の気流変動は翼列や平板列からの剥離やバカムやメッシュによる乱れである。そこで、数Hz以上の乱れの成分を除去して解析を行った。 η, ξ は $(X, Y, Z) = (700, -100, 0)$ から Y, Z 方向への距離である。その結果を図5に示す。鉛直方向については u 成分および w 成分ともに高さ中央部の位置ではほぼ1に近い相関を示している。なお、鉛直方向の相関の測定に際しては、2本のプローブを Y 軸方向に100mm離れた状態で測定した。水平横方向については $\eta = \pm 350$ mm付近を除いてはほぼ1に近い相関を示している。 $\eta = \pm 350$ mmの位置には翼列を支える支柱があり、その後流の乱れにより相関が低くなっているものと思われる、今後改善の余地がある。平均風速についてはほぼ一様な分布となっている。

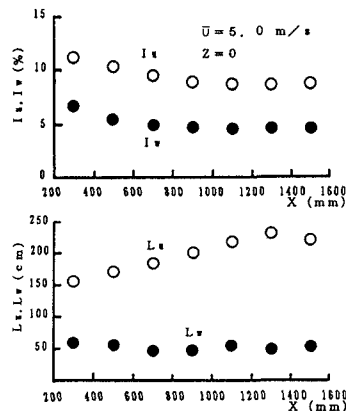


図4 翼列からの距離による乱れ特性値の変化

(5) 流れ方向における空間的特性 主流方向の2点間における流速変動の周波数別相関(コヒーレンス)を求めた。その結果を図6に示す。図中横軸は、無次元周波数 $(n\xi/\bar{U})$ で、 ξ は $(X, Y, Z) = (700, -100, 0)$ から X 方向への距離である。自然風の主流方向のコヒーレンスは、指数関数 $\sqrt{\text{Coh}}(\xi, n) = \exp(-kn\xi/\bar{U})$ で近似されることが多い。図中に $k=2.6$ (Narashi no, 1970³⁾; $\xi=10\sim 30$ m, 高度=3m, 裸地)としてこの曲線を示す。これより、自然風と同様に無次元周波数が高くなるにしたがって相関が低下しているが、自然風の観測データよりも大きな値となっている。

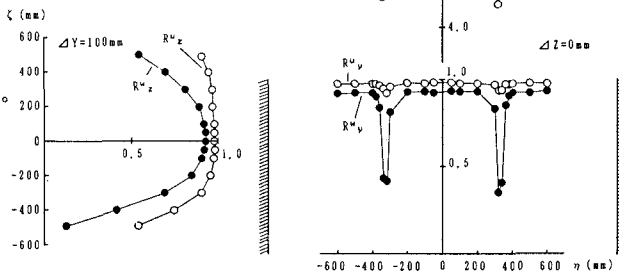


図5 鉛直方向および水平横方向の空間相関係数

4. 結論

回流型風洞に Active Gust Generatorを設置し、乱流シミュレーションを行った。その結果以下の結論を得た。①目標とするスペクトル形状を有する乱れを再現することができた。②測定部断面内の比較的広い領域で一様な分布を得ることができた。③翼列から下流方向に離れるにしたがって乱れ特性値が変化する。④シミュレートされた気流はほぼ2次元的な乱流である。⑤主流方向の2点間における流速変動のコヒーレンスは自然風と同様の特性を示しているが、自然風よりも高い相関を示した。

なお、本実験の解析およびデータ整理等にご協力いただいた立命館大学学生 石本圭一君、小林勝君に謝意を表します。【参考文献】1) 小林他 第45回土木学会年講、2) 小林他 第10回風工学シンポジウム、1988、3) Iwatani, Y. J. Meteor. Soc. Japan, Vol.55(1977)

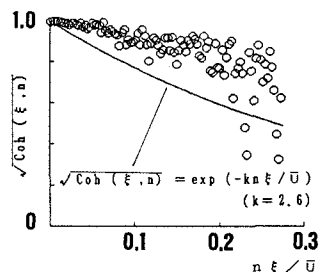


図6 主流方向の2点間における流速変動の周波数別相関