

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

1. まえがき 自然風中での構造物の空力振動現象を解明するためには、自然風を考慮した乱流中での風洞模型実験を行う必要がある。そのためには風洞内において自然風に相似な乱流を正確にシミュレートすることが必要となる。そこで、著者らは、翼列と平板列を用いた乱流発生装置を用いて、風洞内で自然風のシミュレートを行ってきた¹⁾。今回は、自然風に認められる風速変動の主流方向の位相差を実現するために、前回報告した装置にさらに改良を加え、実験を行った。本報告では、今回さらに改良を加えた乱流発生装置の概要および実験結果について報告する。

2. 実験装置 本研究で使用した風洞は、測定部断面が0.7m×1.0mの吹き出し型風洞である。図1に示すように吹き出し口から33.5cmの位置に平板列を設置し、平板列の下流側には幅15cmの整流板を設けた。さらに、整流板の下流側に幅0.7m、高さ0.6m、長さ1.19mの風路を設け、その下流に翼列を設置した。風路内には、平板列からの剥離による気流の乱れを整流するために、格子(幅0.5cm、ピッチ5cm)、金網A(1/8インチ)、金

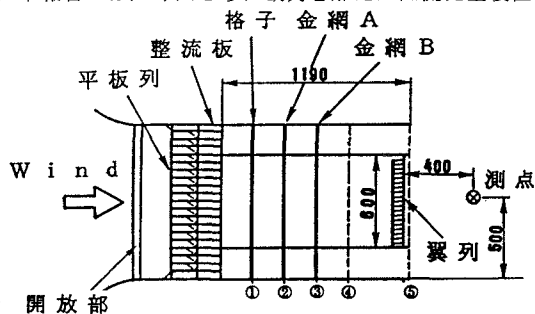


図1 乱流発生装置(単位mm)

網B(1/12インチ)を設置した。また、測定部において風速の主流方向成分の変動の主流方向の各測点における位相差を実現するために、平板列は風洞内に設けた高さ0.6mの風路の入口でのみ駆動させて、風路の出口から変動気流が自由噴流となって吹き出すような構造とした。さらに、従来設置されていた測定部の天井と床を取り除いた。

従来の装置では、平板列の上流側に縮流部を設け、風洞内に設けた高さ0.6mの風路内にはのみ気流が流れるような構造としていた。しかし、風路からの吹き出し部分とそうでない部分との比較的大きな流速差により、測点近傍の流速が悪影響を受け、測定部の乱れのパラメータが測定位置により変化していた。高さ0.6mの風路の上下にも気流を流すことによって、吹き出し部分とそうでない部分の流速差を小さくし、流速差による測点近傍の気流への影響を軽減することを試みた。すなわち、風路の上下部分の平板列は駆動させず、回転角30°の状態ですべて静止させ、気流の一部が流れるようにした。

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した。乱流シミュレーションはパワースペクトル形状がKarman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の詳細については、文献2)を参照されたい。

3. 実験結果

(1) 測定気流パワースペクトル 測定された気流の主流方向成分のパワースペクトルの一例を図2に示す。目標とするKarmanの式によるパワースペクトルも併記した。なお、翼列や平板列からの剥離による数Hz以上の高周波数領域の乱れを小さくするために、翼列直後(図1の⑤の位置)に金網(1/24インチ)を設けた。これより、数Hz以上の高周波数領域を含む全周波数領域で目標とするパワースペクトル形状によく一致していることがわかる。

次に、本装置によってシミュレートされた気流の測定値を表1に掲げる。シミュレートする乱流の特性値によって金網の種類、設置位置(図1に示した①～⑤の位置)そして枚数を適宜変化させた。シミュレートされた乱流特

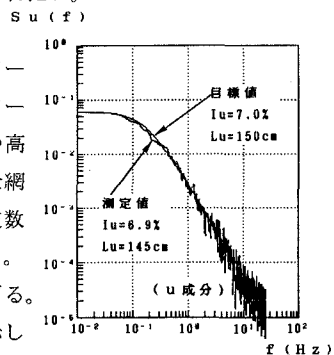


図2 測定気流パワースペクトル

性値の範囲は、乱れ強度については $I_u=3.1\sim 18.9\%$ 、 $I_w=1.8\sim 10.0\%$ 、乱れスケールについては $L_u=23\sim 450\text{cm}$ (模型の縮尺を $1/120$ と仮定し、実橋に換算すると $27.6\sim 540\text{m}$)、 $L_w=6\sim 145\text{cm}$ (同じく、 $7.2\sim 174\text{m}$) となった。鉛直方向成分についても与えられたパワースペクトルによく一致する乱れをシミュレートすることができた。

(2) 空間的特性

(a)位相差 気流の主流方向成分に正弦的な変動を与えた。測点を翼列後方の 300mm とさらに ξ だけ後方の2点にとり、両測点の流速変動の位相差 ϕ を求めた。その結果を図3に示す。図中の直線はテイラーの仮説に基づく位相差を示したものである。これより、無次元距離の小さい部分では、テイラーの仮説に基づく位相差に一致している。しかし、無次元距離が大きくなるにしたがってテイラーの仮説に基づく位相差よりも大きな値となっている。

(b)空間相関係数 水平成分について主流方向(X方向)の相互相関係数 $R_x(\xi, \tau)$ の $\tau=0$ の値をもとにして、空間相関係数を求めた。測定の対象としたのは表1のCの乱流である。図4にその結果を示す。なお、自然風の空間相関が指数関数 $R_x(\xi, 0)=\exp(-\xi/L_x, u)$ で表されることが多い。図中に $L_x, u=75\text{cm}$ としてこの曲線を示す。距離にしたがって相関が低くなっていく傾向は、自然風で認められる傾向と似ている。 ξ の小さなところで相関が急に 0.8 まで低下しているのは、この実験ケースで現れていた流速変動の高周波成分が高かったことによるものと考えている。

(c)断面内分布 表1の3の乱流について、翼列から 400mm 下流の位置での I_u, I_w の断面内分布を測定した。図5にその結果を示す。 I_u については $Z=30\sim 70\text{cm}$ の範囲で断面中央部での測定値の $\pm 5\%$ 以内の値となっている。 I_w については断面中央部の測定値の $\pm 5\%$ 以内の値となる範囲は $Z=40\sim 55\text{cm}$ となっており、 I_u よりも狭い範囲となっている。

4. 結論 シミュレー

トする乱流の特性値によって格子や金網の種類、設置位置そして枚数を適宜変化させることによって比較的広い範囲の乱れ特性を再現することができた。また、位相差につ

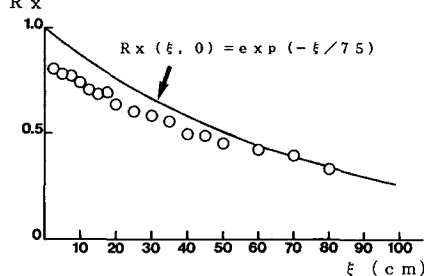


図4 空間相関係数 (主流方向)

いては、無次元距離の小さい部分ではテイラーの仮説に基づく位相差を実現することが可能である。空間相関については距離にしたがって低くなっており、自然風と同様の特性を有する乱流を再現することができた。断面内分布については、翼列から離れるにしたがってある特定の周波数のスペクトルの値が変化するなど不明な点があり、今後さらに詳細な調査を行う予定である。

《謝辞》 本研究にご協力いただいた立命館大学学生 井上重夫君、安川仁敏君、北潟晋一君に感謝の意を表します。 参考文献 1) 畑中他 第44回土木学会年講, 1989 2) 小林他 第10回風工学シンポジウム, 1988

表1 乱流シミュレーション結果

番 号	測定値 (目標値)				
	U(m/s)	I _u (%)	I _v (%)	L _u (cm)	L _w (cm)
Change of I _u , I _v	1	2.01 (2.00)	18.9 (20.0)	10.0 (10.0)	152 (150)
	2	2.00	14.0 (15.0)	7.7 (7.5)	149
	3	2.10	9.6 (10.0)	5.1 (5.0)	149
	4	1.98	5.1 (5.0)	2.7 (2.5)	145
	5	2.04	3.1 (3.0)	1.8 (1.5)	129
Change of I _u , L _w	a	1.98 (2.00)	10.0 (10.0)	5.1 (5.0)	450 (600)
	b	1.99	9.4	4.8	268 (300)
	c	2.03	9.8	5.0	78 (75)
	d	2.00	9.9	5.3	52 (50)
	e	2.08	9.4	5.4	23 (20)

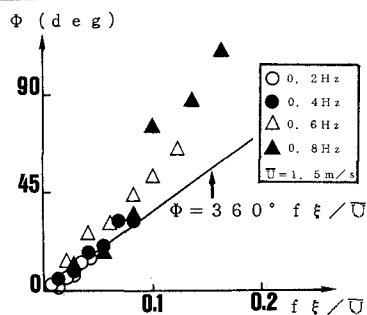


図3 位相差 (主流方向)

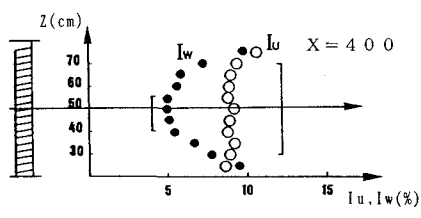


図5 乱れ強度 I_u, I_w の断面内分布