

PSI-18

乱流中における2次元角柱の渦励振応答

立命館大学理工学部 正員 小林 紘士 大阪大学工学部 正員 川谷 充郎
 大阪大学大学院 学生員 太田 圭 大阪大学大学院 学生員 金 熙惠
 リクルート 正員 土田和希人

1. まえがき 乱れを有する自然風中における、構造物の空力振動現象を適切に評価するためには、自然風と相似な乱流を風洞内にシミュレートする必要がある。筆者らはこれまでに、翼列および平板列を用いるアクティブな方法により自然風のシミュレーションを行い¹⁾、2次元角柱の渦励振応答に及ぼす乱れ強度および乱れスケールの影響について調査してきた²⁾³⁾。そこでは、平板列を測定部断面の下流部に設置し、主流方向成分の乱れを制御していたために、いくつかの問題点が明らかになった。本研究ではこうした問題点を考慮して、乱流発生装置の改良を試み、新たに乱流のシミュレーションを行う。また、得られた乱流中における2次元角柱の渦励振応答を測定し、乱流特性の内、特に乱れスケールの渦励振に及ぼす影響を調べる。

2. 従来の乱流発生方法とその問題点 筆者らは、図-1に示す翼列および平板列を用いて乱流をシミュレートし¹⁾、2次元角柱の渦励振応答実験を行った²⁾³⁾。その実験に使用した乱流発生装置では、測定部下流端の平板列により測定風路の閉塞率を変化させて、主流方向の気流変動を制御した。この方法では、空気の高圧縮性のため、下流側の平板列を閉塞させると瞬間的に測定風路内の流れが一様に減速するものと考えられる。実際の自然風は主流方向に位相差を持っているので、この装置では自然風を忠実にシミュレートしているとは言い難い。また、風路の閉塞に伴い風洞内圧も変化している⁴⁾。このような風路内の圧力変動は、それが構造物の応答にどのような影響を及ぼすのか明確でない以上、望ましいものではない。さらに、風速変動の基準化パワースペクトル密度が高周波数領域において、目標とした値よりも大きいという点も問題である。これは平板列の角度が大きくなると、気流が不安定になるためであると考えられる。

3. 改良された乱流発生装置 本研究で使用した風洞は、測定部断面が1.8m×1.8mのゲッティンゲン型の回流型風洞である。その風路内に側壁を用いて、図-2に示す断面1.8m×0.9mの測定風路を設けた。これまで測定部下流側の平板列により行っていた主流方向の制御を、測定部より上流側で行う。翼列によって与えられる気流の傾斜角が測定風路の上下壁面によって受ける影響を少なくし、さらに主流方向に位相差を有する乱流を発生させるために、翼列直後から測定部断面の高さを拡大した。

また、測定部上流側の平板列から発生する剥離渦を小さくするために、平板の弦長および間隔を従来のものより小さなものに変更すると共に、剥離渦の整流のために10mm格子、メッシュおよび長さ40mm、コアサイズ1/8インチの断面を有するハニカム（横浜ゴム製1/8-10N-52D）を設置した。平板列を回転変動させ、風路の閉塞率を変化させて主流方向成分（u成分）の乱れを制御し、翼列をすべて同位相に回転変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（w成分）の乱れを制御した。平板列および翼列はパーソ

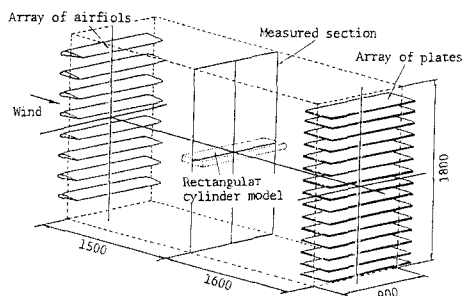


図-1 従来の乱流発生装置

Unit:mm

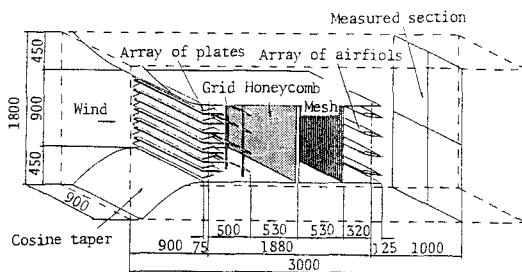


図-2 改良された乱流発生装置

Unit:mm

ナルコンピュータの制御により、ACサーボモータを用いて駆動させた。シミュレートされた様々な乱流中において、辺長比 1:5 を有する 2 次元角柱の渦励振に着目した応答実験を行った。模型は幅 $B \times$ 高さ $D \times$ 長さ L が $300 \times 60 \times 660 \text{ mm}$ で、長辺を気流に平行にばね支持した。模型の重量は 3.48 kg 、固有振動数は 2.92 Hz 、構造対数減衰率は $\delta = 0.005$ （片振幅 $= B/200$ のとき）であった。

4. 乱流シミュレーション 乱流シミュレーションの方法は文献1)による方法と同様のためここで省略する。改良した乱流発生装置により5回補正を繰り返した結果、シミュレートされた気流の基準化パワースペクトル密度を図-3に示す。目標とする所要パワースペクトル密度（Kármánの式）も併記した。この装置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共に、目標パワースペクトル密度と比較的よく適合している。本シミュレーションによって得られた乱流特性の測定値を表-1にまとめて掲げる。ここでは乱れスケールを変化させた場合の結果を示しており、乱れスケールの範囲は、 u 成分のみ制御した場合 $L_{x,u} = 64.3 \sim 258.0 \text{ cm}$ 、 w 成分制御の場合は $L_{x,w} = 13.8 \sim 127.2 \text{ cm}$ であった。

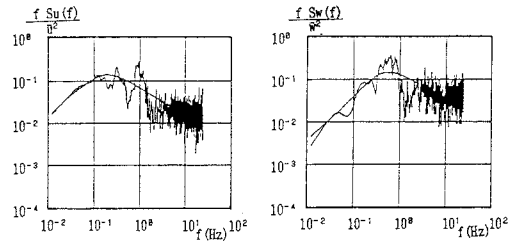
5. 角柱の渦励振応答 ここで得られた乱流中において角柱の渦励振応答実験を行い、渦励振の最大振幅（ rms 値）を測定した。乱れによる振幅の低減効果を次式で評価した。

$$\text{振幅低減比: } R\eta = \frac{\eta_{tur}}{\eta_{smooth}}$$

ここで、 η_{tur} 、 η_{smooth} は乱流中および一様中での渦励振振幅（ rms 値）の最大値を示す。

乱れ特性の目標値を $Iu=10\%$ 、 $Iw=5\%$ 、 $L_{x,w}=37.5 \text{ cm}$ に固定し、主流方向の無次元化乱れスケール $L_{x,u}/B$ を変化させた場合の振幅低減比の変化を図-4に示す。乱流中の渦励振振幅は $L_{x,u}/B$ の増加に伴って振幅が若干増加する。同じく乱れ強度の目標値を $Iu=10\%$ 、 $Iw=5\%$ 、乱れスケールの目標値を $L_{x,u}=150 \text{ cm}$ に固定して、鉛直方向の無次元化乱れスケール $L_{x,w}/D$ を変化させた場合の $R\eta$ の変化を図-5に示す。 $L_{x,w}/D$ が10まで増加する間に振幅は急増することが観察された。以上から、辺長比1:5の角柱の場合、乱れスケールの変化が渦励振に及ぼす影響は、 $L_{x,u}$ の変化より $L_{x,w}$ の方が大きいことが分かった。

<参考文献> 1)小林絃士・川谷充郎・中出収・野村浩史・太田圭・畑中章秀，第10回風工学シンポジウム論文集，pp.163-168，1988.12. 2)中出収・小林絃士・川谷充郎，土木学会第43回年次学術講演会講演概要集，1-327，1988.10. 3)小林絃士・川谷充郎・太田圭・畑中章秀，構造工学論文集，Vol.35A，1989.3. 4)小林絃士・川谷充郎・太田圭・土田和希人・金熙恵，土木学会関西支部年講，1-69，1989.5.



乱流 C	Iu (%)	Iw (%)	Lx, u (cm)	Lx, w (cm)
目標値	10.0	5.0	150.0	37.5
測定値	9.5	5.8	163.1	47.2

図-3 改良された測定風路での乱流の基準化パワースペクトル密度

表-1 乱流の特性

	気流名	Iu (%)	Iw (%)	Lx, u (cm)	Lx, w (cm)
u成分制御	乱流 A	9.0	5.6	64.3	40.1
	乱流 B	9.0	5.6	148.3	44.8
	乱流 C (c)	9.5	5.6	163.1	47.2
	乱流 D	9.3	5.6	230.2	50.0
	乱流 E	9.6	5.7	258.0	36.6
w成分制御	乱流 a	9.4	4.8	167.2	13.8
	乱流 b	9.4	5.4	156.5	29.6
	乱流 c (C)	9.5	5.6	163.1	47.2
	乱流 d	9.5	5.3	165.6	61.0
	乱流 e	9.5	4.9	178.3	127.2

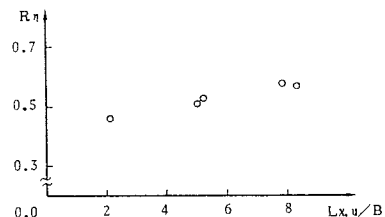


図-4 $L_{x,u}/B$ による振幅低減比

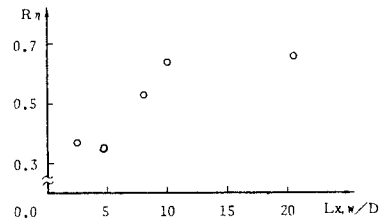


図-5 $L_{x,w}/D$ による振幅低減比