

第I部門 **ガスト空気力の空間構造に対する気流の乱れ及び断面周りの流れ場の影響について**

京都大学工学部	学生員	○角倉佑哉	京都大学工学研究科	フェロー	松本 勝
京都大学工学研究科	正会員	白土博通	京都大学大学院	学生員	山根建治
京都大学大学院	学生員	Le Thai Hoa	京都大学大学院	学生員	古川拓郎

1. はじめに

構造物に乱れた風が作用すると、その乱れに起因する強制振動であるガスト応答が生じる。ガスト応答解析においては、変動空気力の構造物長手方向のコヒーレンスは、接近流の変動風速のコヒーレンスに等しいと仮定して一連の応答解析が行われているが、構造物の表面圧力は変動風速と比較して主流直角方向の相関が高く、両者は必ずしも一致しないという報告がなされている。本研究では各種矩形断面を対象とし、変動圧力の空間特性に対する気流の乱れ及び矩形断面周りの流れ場の影響について考察を行った。

2. 実験概要

接近流として一様流及び格子乱流を与え、 $B/D=5$ 及び 1 矩形断面周りにおける変動圧力、変動風速を測定した。 $B/D=5$ 矩形断面の表面には span 方向に 41 個、chord 方向に 19 個の圧力孔が設けられており、前縁から順に position1~19 と定義した。 $B/D=1$ 矩形断面の表面には span 方向に 11 個、chord 方向に 10 個の圧力孔が設けられており、前縁から順に position1~10 と定義した。また、接近流の風速は一様流、格子乱流ともに平均風速 6m/s に設定して行った。

3. 一様流中における実験

まず、平均圧力係数及び変動圧力係数から断面周りの時間平均的流れ場の推定を行った結果、 $B/D=5$ 矩形断面では前縁で剥離した流れが position16,17 付近で時間平均的に側面に再付着するのに対して、 $B/D=1$ 矩形断面では時間平均的にも再付着しないことがわかった。次に、一様流中において、 $B/D=5$ 及び 1 矩形断面の span 中央の各 position を基準として、span 方向へ $dy=25\text{mm}$ 離れた点との変動圧力のコヒーレンス特性について

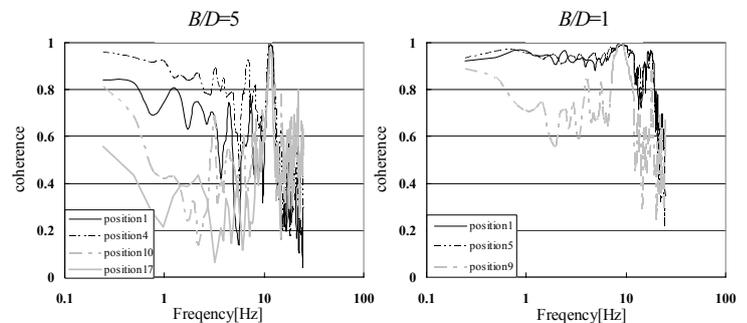


Fig.1 一様流中における変動圧力のコヒーレンス特性($dy=25$)

Fig.1 に示す。まず $B/D=5$ 矩形断面の各 position における 2 点間のコヒーレンス特性を比較してみると、前縁付近で大きな値を示し position4 付近の相関が非常に高いことがわかった。また、後縁に近づくに従い、コヒーレンス値は小さくなっている。なお、約 11.7Hz のピークはカルマン渦放出周波数に対応するものである。同様に、 $B/D=1$ 矩形断面の各 position におけるコヒーレンス特性をみると、position1,5 では非常に大きな値を示すのに対し、後縁側の position9 では相関が低下している。 $B/D=5$ の結果と同じく、約 9Hz のピークはカルマン渦によるものであり、カルマン渦が 2 次元的に形成されていることがわかる。

4. 格子乱流中における実験

まず、平均圧力係数及び変動圧力係数から、断面周りの時間平均的流れ場の推定を行った結果、 $B/D=5$ 矩形断面では乱れの連行作用により、再付着点が前縁側に移動し、position7 付近で時間平均的に側面に再付着するのに対して、 $B/D=1$ 矩形断面では乱流中においても再付着していないことがわかった。次に、格子乱流中において $B/D=5$ 及び 1 矩形断面の span 中央の各 position を基準として、span 方向へ $dy=25\text{mm}$ 離れた点との変動圧力のコヒーレンス特性について Fig.2 に示す。

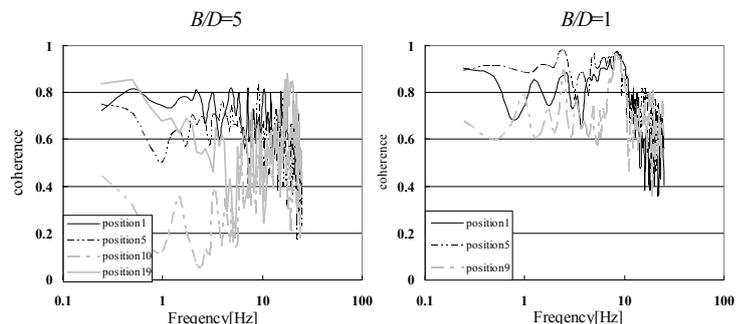


Fig.2 格子乱流中における変動圧力のコヒーレンス特性($dy=25$)

まず $B/D=5$ 矩形断面の結果から、格子乱流中では剥離バブル内のコヒーレンスが相対的に大きな値を示し、剥離流れが再付着すると低周波数の相関が下がり、後縁にいくに従って相関が回復する傾向にある。以上から、再付着した流れが後縁側へと流れ去る過程において、断面周りの流れが変動の小さい断面に沿った 2 次元的なものになっていると考えられる。また、カルマン渦による明確なピークは見られなく、接近流の乱れによってカルマン渦が弱められていることもわかる。同様に、 $B/D=1$ 矩形断面の各 position ごとのコヒーレンス特性をみると、

若干異なるが、一様流の結果と同様に前縁側では相関が高く、後縁側ではコヒーレンス値は小さくなっている。

以上の考察を踏まえ、一様流及び格子乱流中における $B/D=1,5$ 矩形断面周りの変動圧力のコヒーレンス結果を比較することで、断面周りの流れ場の違いによる変動圧力の空間相関特性について検討する。一様流、格子乱流中ともに $B/D=1$ 矩形断面の変動圧力の空間相関が $B/D=5$ 矩形断面と比較して高くなっていることがわかる。この要因については、カルマン渦が強く形成されることによって他の周波数のコヒーレンス値が高められている、もしくは $B/D=1$ 矩形断面周りの流れ場の方がより安定で接近流による乱れの影響を受けにくくなっていることなどが考えられる。

5. POD 解析

ランダムな現象の中に存在する組織的構造の解明が可能であり、資料の効率的な投影の結果もたらされる保存資料の低容量化の実現が可能である固有直交関数展開¹⁾(Proper Orthogonal Decomposition, 以下 POD 解析)を模型表面の圧力場の解析に応用し考察を行った。本研究では、 $B/D=1$ 矩形断面に関しては、chord 方向に position1~10 の 10 点、span 方向に $y=0, 25, 75\text{mm}$ の 3 点の計 30 点、 $B/D=5$ 矩形断面に関しては、chord 方向に position1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 の 10 点、span 方向に $y=0, 25, 75\text{mm}$ の 3 点、計 30 点に対し模型表面圧力の同時測定を行い、得られたデータに対して POD 解析を行った。始めに、それぞれの結果について mode 1 及び span 方向に対して非一様な値を示す mode 形状のコンター図、そして mode 1~10 の寄与率をそれぞれ Fig.3, 4 に示す。本研究では、特に span 方向に対して一様な値を示す mode 形状と、非一様な値を示す mode 形状に着目して考察を行った。

mode1~10 までの span 方向に対して非一様な値を示す mode の累積寄与率についてまとめると Fig.5 のようになる。一様流、格子乱流中ともに $B/D=5$ の値が高くなっていることがわかる。つまり、前章までの考察結果を踏まえると、相関の高いものが、span 方向に対して非一様な値を示す mode の累積寄与率が小さくなっており、相関の大小と非一様な mode の累積寄与率の間に対応関係があることが示唆される。また、一様流中と比較して格子乱流中の方が span 方向に非一様な値をもつ mode の累積寄与率が大きくなるが、その傾向は $B/D=1$ 矩形断面より $B/D=5$ 矩形断面の方が顕著である。このことから $B/D=5$ 矩形断面の変動圧力は相対的に span 方向への 2 次元性が損なわれやすいことも示唆される。

6. 結論

一様流及び格子乱流中における $B/D=1,5$ 矩形断面の変動圧力の空間相関特性を比較したところ、一様流、格子乱流中ともに $B/D=1$ 矩形断面の変動圧力の空間相関の方が高くなっていることがわかった。また、POD 解析結果について mode1~10 までの span 方向に対して非一様な値を示す mode の累積寄与率について比較を行ったところ、相関の高いものが、span 方向に対して非一様な値を示す mode の累積寄与率が小さくなっていることから、相関の大小と非一様な mode の累積寄与率の間に対応関係があることが示唆される。また、 $B/D=5$ 矩形断面の変動圧力は $B/D=1$ 矩形断面と比較して span 方向への 2 次元性が損なわれやすい可能性が示唆される。

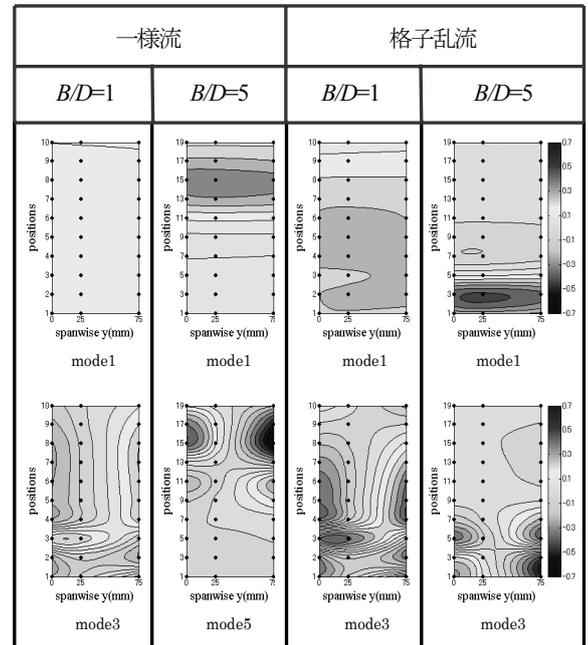


Fig.3 POD 解析結果(mode shape, 一様流・格子乱流, $B/D=1,5$)

	一様流		格子乱流	
	$B/D=1$	$B/D=5$	$B/D=1$	$B/D=5$
mode1	95.82%	45.79%	75.10%	27.03%
mode2	1.99%	14.72%	10.00%	24.00%
mode3	1.20%	14.49%	4.80%	8.66%
mode4	0.30%	4.23%	2.80%	7.52%
mode5	0.23%	3.28%	2.20%	5.16%
mode6	0.09%	2.70%	1.10%	4.42%
mode7	0.08%	2.08%	0.90%	3.41%
mode8	0.07%	1.50%	0.60%	2.93%
mode9	0.04%	1.46%	0.60%	2.18%
mode10	0.04%	1.23%	0.40%	2.10%

Fig.4 POD 解析結果

(寄与率, 一様流・格子乱流, $B/D=1,5$)

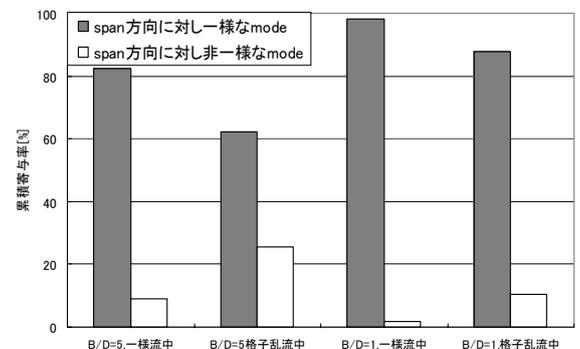


Fig.5 span 方向に対し一様な mode, 非一様な mode

の累積寄与率(mode1~10)

参考文献

- (1) 田村幸雄：固有直交関数展開のランダム変動場への応用のすすめ，日本風工学会誌第 65 号，(1995)pp.33-41