

二次元構造断面に作用する変動風と変動圧力の空間構造に関する基礎的研究

京都大学大学院 学生員 ○小田原有作
 京都大学大学院 正会員 白土博通
 京都大学大学院 学生員 松浦祐介

京都大学大学院 フェロー 松本 勝
 石川島播磨重工業(株) 正会員 原村高志¹⁾

1)研究当時京都大学大学院

1. はじめに 従来、ガスト応答解析は接近流の空間相関は構造物の表面圧力の空間相関と等しいものとして解析されているが、構造物の表面圧力は変動風速よりも主流直角方向の相関が高いという報告がなされている。そこで本研究では、より精緻なガスト応答評価を可能にするため、変動圧力の空間相関が接近流と比較して高くなるメカニズムの解明を試みた。

2. 風洞実験概要 本実験で対象としたのは、Fig.1に示す断面辺長比 $B/D=5$ の矩形断面である。模型表面にはスパン方向に41個の圧力孔の列が、前縁から後縁にかけて19列設けており、前縁から後縁にかけて position1～position19 と定義する。

3 次元周期変動流中及び乱流中において断面周りの変動風速及び表面圧力を測定した。3次元周期変動流は、Fig.2に示すようにスパン方向に翼列が3列設けられた装置により発生させた。各翼列間には導流板を設けてあり、発生した気流は、導流板により互いに干渉することなく模型前縁まで誘導される。導流板端部と模型前縁までの距離は約2mmである。両端の翼（以下、両端翼）は同じ振動数で、両端翼とは異なる振動数で中央の翼（以下、中央翼）は加振させることが可能である。乱流は格子を用いて発生させ、平均風速5m/sにおいて乱れ強さが $I_u=11.4\%$ 、 $I_w=9.1\%$ 、乱れスケールが $L_u=8.4\text{cm}$ 、 $L_w=3.3\text{cm}$ であることが確認されている。なお、風洞内の座標は、主流方向を x 、主流直角水平方向を y 、主流直角鉛直方向を z とし、模型中心を原点として、各方向における変動風速成分をそれぞれ u 成分、 v 成分、 w 成分と定義する。

3. 格子乱流中における変動圧力・変動風速の空間分布 断面内において、パワースペクトル値が最も高い点(position4)の圧力変動とその周辺の風速変動との同時計測を行った。Fig.3に変動圧力と変動風速との相互相関関数のピーク値をプロットしたものを示す。最も高い値を示した変動風速の位置は、前縁から38.7mmで模型下面から下方へ25mm付近である。したがって、前縁から約(0.13) B 模型下面から約(0.42) D 下方の付近における風速変動（以下、断面周り変動風速と呼ぶ）が、position4における圧力変動を特徴づけることが示唆される。次に、前縁から38.7mm(約0.13 B)、模型下面から下方25mm(約0.42 D)付近を基準として、スパン方向に変動風速の2点同時計測を行い、コヒーレンスの10Hz以下成分の平均値をFig.4に示す。なお、接近流（断面前縁より352mm(約1.2 B)上流において計測）及びposition4における変動圧力のスパン方向のコヒーレンスを併せて示してある。これより、断面周り風速変動は接近流と比較してスパン方向に高い相関を示し、また断面周り変動風速測定点より下流側のposition4における変動圧力はさらにスパン方向に高い相関を示していることが分かる。このからposition4付近においては、W.H.Melbourneらの研究成果^[1]のように、スパン方向にある相関を持った渦が形成されるものと考えられる。

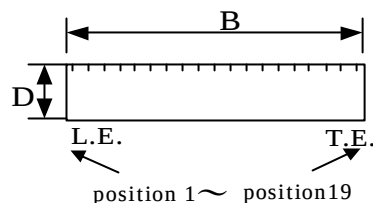


Fig.1 実験に用いた模型の断面

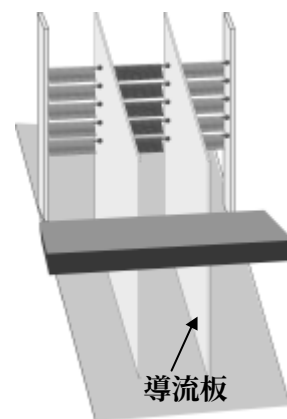


Fig.2 3次元周期変動流発生装置

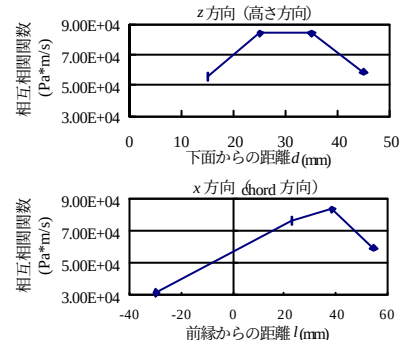


Fig.3 変動風速と変動圧力の相互相関関数

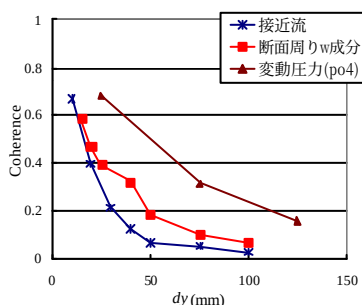


Fig.4 コヒーレンス特性比較

キーワード：変動圧力、変動風速、3次元周期変動流、剥離バブル

連絡先：京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻気圏工学講座

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL：075-753-5093 FAX：075-761-0646

4. 3次元周期変動流中における変動圧力・変動風速の空間分布

中央翼のみを 3.0Hz で加振した場合において、各 position のスパン方向への振幅・位相特性を Fig.5 に示す。なお、各位置における位相差は、スパン中央位置 ($y=0$) における風速変動からの位相遅れである。断面前縁付近を除き、スパン方向に振幅が緩やかに減少していく傾向が認められ、導流板位置による振幅特性の顕著な変化は見られず、前縁付近と比較しその下流側ではスパン方向により高い相関を示していることが示唆される。次に断面内において加振周波数成分の圧力変動の振幅が最大の値を示した position8、及びスパン中央断面内において position8 の圧力変動を特徴づける風速変動位置(前縁から(0.13)B, 模型下面約(0.75)D 下方の付近)のスパン方向への変動風速の振幅・位相特性を

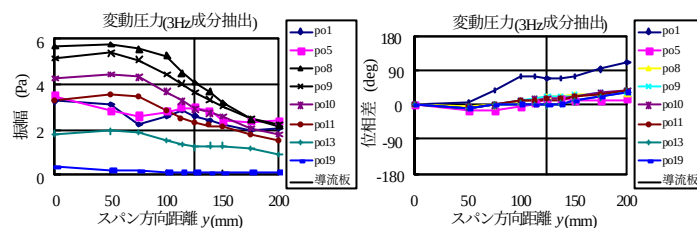


Fig.5 変動圧力のスパン方向の変動特性

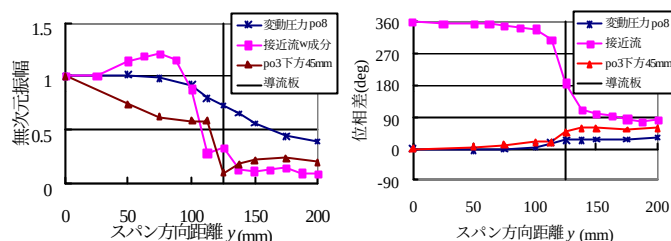


Fig.6 変動成分の伝播特性比較

Fig.6 に示す。なお、各スパン位置における振幅は、スパン中央における振幅で無次元化し、接近流（模型なし）の振幅・位相特性についても併せて示してある。振幅を見ると、断面周りに変動風速は導流板の影響は見られるものの、接近流と比較して導流板を隔てた領域に変動成分が伝播していることが分かる。このことから、断面前縁付近においてはスパン方向に相関を持った渦が形成されていることが示唆される。また、position 8 における変動圧力は導流板による影響は見られず、接近流・断面周りに変動風速と比較しスパン方向に高い相関を示していることが分かる。

Fig.7 に、表面圧力コンター図の時刻歴変化を示す。中央部の position 8 付近の圧力変動に着目すると、 $t=1/12T$ から $3/12T$ にかけて強い負の変動（淡色）を示しているが、一方、前縁付近においては次第に正の変動（濃色）が強くなっている。この原因として、外的刺激によって剥離バブルの大きさが変化することで強い圧力変動が生じているものと考えられる。一方、前縁付近においては剥離バブルの大きさの変化により、剥離バブル前縁付近の流速が変化して圧力変動が生じているものと考えられる。つまり、 $2/12T$ においては position 8 付近では剥離バブルが大きくなり強い負の変動を生じているが、前縁付近では流速が低下して正の圧力変動となるものと考えられる。前縁付近の圧力変動は、剥離バブルの大きさの変化による前縁付近の流速変化の影響を強く受け、position 8 付近の圧力変動は、主に再付着点位置の変化によることが示唆される。

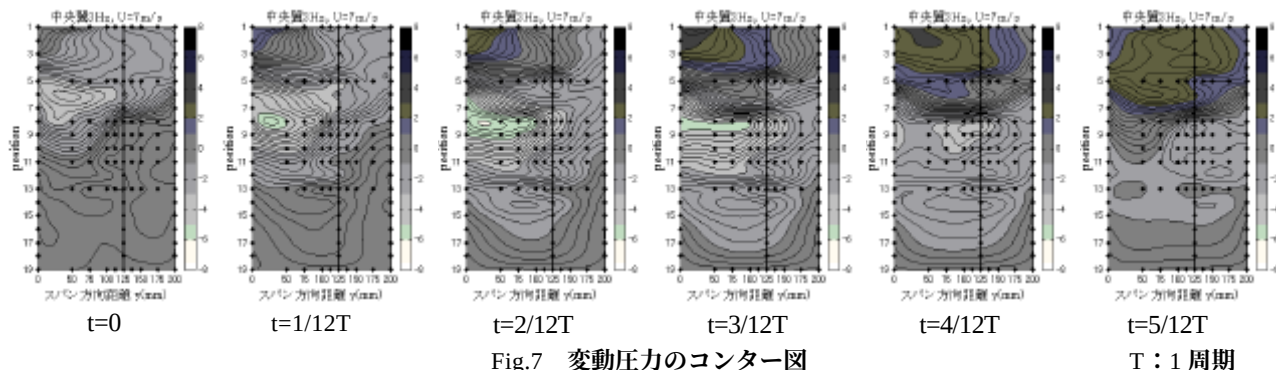


Fig.7 変動圧力のコンター図

5. 結論

- 1) 前縁付近においては、スパン方向に相関を持つ渦が形成されているものと考えられる。
- 2) 断面内において最も強い変動を示す表面圧力は、周期的に剥離バブルの大きさが変化することによって起因するものと考えられる。また、前縁付近の強い圧力変動は剥離バブルの大きさが変化して、前縁付近の流速が変動することによるものと考えられる。

参考文献 [1] P.J.Saathpff and W.H.Melbourne : Effects of Free-stream Turbulence on Surface Pressure Fluctuations in a Separation Bubble, J Fluid Mech.(1997),vol.337,pp.1-24 [2] Hunt : Turbulent Velocities near and Fluctuating Surface Pressures on Structures in Turbulent Winds, Proceedings of the 4th International Conference on Wind Engineering ,1975, pp.309-320