

第 I 部門

構造体に作用する変動空気力の空間相関特性に対するカルマン渦強度
及び気流特性の影響に関する研究

京都大学工学部
京都大学工学研究所
京都大学大学院

学生員 ○佐藤祐一
正会員 白土博通
学生員 Do Van Bao

京都大学工学研究所
京都大学大学院

フェロー 松本 勝
学生員 角倉佑哉

1. はじめに

ガスト応答解析においては構造体に作用する変動空気力の span 方向の空間相関が重要なパラメーターの一つである。近年の研究によると、接近流の span 方向の空間相関よりも変動空気力の空間相関が大きくなるという報告がなされており、この精緻な評価が近年のガスト応答に関する研究の課題となっている。変動圧力の空間相関を高める要因として、接近流の気流特性、断面周りの流れ場、及び構造体後流に形成されるカルマン渦の 3 つが考えられる。本研究では、矩形断面を対象とした風洞実験を通じて、異なる断面辺長比及び接近流の気流特性における変動圧力の空間相関特性を考察することで、模型表面圧力の相関上昇メカニズムについて検討を行う。

2. 実験概要

接近流として一様流及び3種類の格子乱流(格子幅 160mm の気流 A, 格子幅 240mm の気流 B, 縦 300mm, 横 1000mm の大きさの布を付加した格子幅 240mm の気流 C)を与え、 $B/D=1, 0.5$ 矩形断面周りにおける変動圧力、変動風速を測定した。模型表面には 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. 変動圧力の空間相関特性($B/D=0.5, 1$ 矩形断面)

まず、 $B/D=1, 0.5$ 矩形断面の一様流中、格子乱流中における変動圧力のコヒーレンス特性を Fig.1 に示す。まず、一様流中、格子乱流中共にカルマン渦放出周波数成分、2 倍成分、3 倍成分にてコヒーレンスがほぼ 1.0 という高い値を示しており、その他の周波数成分についても比較的高い値を保っていることが分かる。以上より、カルマン渦が強く放出される流れ場においては、カルマン渦周波数成分にて非常に高い相関を示しており、接近流の気流変化の影響を受けにくくなっていることが分かる。一方、スプリッタープレートを挿入した場合にはカルマン渦周波数成分におけるピークが見られず、変動圧力の空間相関がカルマン渦による影響を受けていないことが確認できる。また、2 気流共にスプリッタープレート無しの状態と比較して全周波数成分においてコヒーレンスの値が低下している様子が確認できる。この傾向は $B/D=1$ 矩形断面が $B/D=0.5$ 矩形断面に比べて大きいと考えられる。つまり、カルマン渦が存在することで全周波数成分にてコヒーレンスが上昇しており、その効果は $B/D=0.5$ 矩形断面が $B/D=1$ 矩形断面に比べて大きいことが分かった。

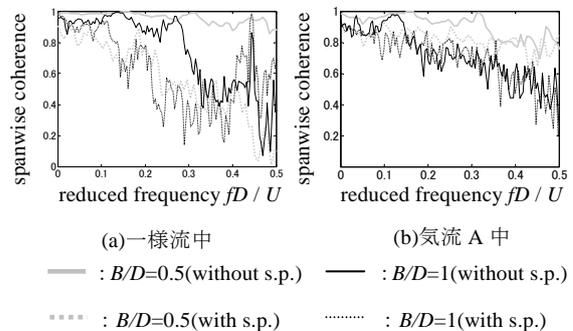


Fig.1 span 方向に 25mm 離れた 2 点の変動圧力の
コヒーレンス特性($U=6\text{m/s}$, position5)

4. ウェーブレット解析

カルマン渦強度が非定常に変化する場合の空間相関特性の変化について議論を行うため、時間周波数解析であるウェーブレット解析を用いて考察を行った。 $B/D=1$ 矩形断面における変動圧力のウェーブレット解析結果について、Fig.2 に示す。黒に近い色ほど値が大きいことを表している。まず、一様流中において、 $fD/U=0.135$ 付近でウェーブレットパワースペクトルの値が大きくなっており、カルマン渦放出周波数成分において大きな圧力変動が生じていることが分かる。ウェーブレットコヒーレンスとの対応関係を調べてみると、2 点間の変動圧力のカルマン渦強度が同時に弱められている瞬間には、コヒーレンスは全周波数成分において値が低下しており、同時に

強められている瞬間には全周波数成分のコヒーレンスが大きくなっていることが分かる。この結果より、カルマン渦強度が強くなり、かつ、2次元的に形成されている瞬間には、変動圧力の空間相関が全周波数成分において高められ、逆にカルマン渦が弱められている瞬間には空間相関が非常に小さくなる可能性が示唆される。

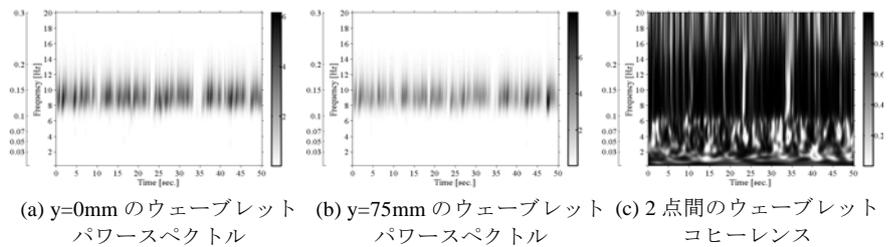


Fig.2 変動圧力のウェーブレット解析結果
($B/D=1$, 一様流中, 平均風速 6m/s, $X/B=0.45$)

5. 剥離せん断層と変動圧力の空間相関の関連性

カルマン渦が強く形成されている流れ場において、変動圧力の span 方向の空間相関が高くなる原因について、断面周りの流れ場と関連付けた考察を行った。そのために、カルマン渦放出一周期内における空間相関係数を算出し、カルマン渦放出強度が強い場合における断面周りの流れ場の変化と空間相関の関係性について詳細な議論を行った。 $B/D=0.5$ 矩形断面の下方に X 型熱線流速計を設置し、変動圧力と変動風速の同時測定を行った。圧力測定装置は、 $y=0,25,50,75,125,175$ [mm]に固定し、chord 方向の測定位置は $X/B=0.45$ (position5)で固定した。なお、熱線設置位置は模型下面から下方の位置に変化させ、変動風速を計測した。 $B/D=0.5$ 矩形断面カルマン渦放出一周期内における平均圧力、及び接近流の相対迎角の時間平均波形を算出した結果を Fig.3 に示す。なお、変動圧力は圧縮を正とし、カルマン渦放出一周期の時間原点は変動圧力が負から正になる瞬間を正としている。変動圧力の時間平均波形と比較すると、変動圧力が $0.75T$ 付近で負圧最大となる瞬間に、相対迎角が上向き最大となっており、気流特性に関わらず同じ傾向を示す。この結果から推定される流れ場として、剥離せん断層が模型表面に近づくとき、圧力の負圧が最も大きくなっていると考えられる。また、 $0.25T$ 付近で剥離せん断層が模型から最も離れていると考えられる。一方、カルマン渦放出一周期内の相関係数の時間変化を見ると、気流特性に関わらず $0.7T$ 付近において相関係数の値は最も大きくなり $0.3T \sim 0.4T$ 付近において最も相関が小さくなっている。また、変動圧力の時間平均波形を見ると、 $0.7T$ 付近において負圧の絶対値が最大となる瞬間に、空間相関係数が最大となっている。以上より、前述で示した考察と合わせると、カルマン渦強度が強い流れ場においては模型下面側の剥離せん断層が側面に最も接近するとき、chord 方向中央付近にて下面側の負圧が最大となり変動圧力の空間相関が最も大きくなると考えられる。

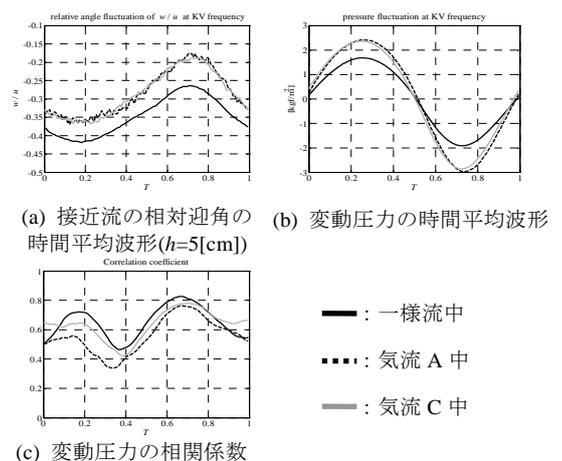


Fig.3 カルマン渦放出一周期内における変動圧力の時間平均波形及び空間相関係数
($B/D=0.5$, 平均風速 6m/s, $X/B=0.45$)

6. 結論

$B/D=0.5,1$ 矩形断面においては、カルマン渦が全周波数成分にわたって変動圧力の span 方向の空間相関を高めており、その効果は $B/D=0.5$ 矩形断面が $B/D=1$ 矩形断面より大きいことが分かった。また、カルマン渦が強く放出されている流れ場においては乱流の影響を受けにくく、気流特性に関わらず高い空間相関を示している。一方、ウェーブレット解析結果より $B/D=1$ 矩形断面においては非定常的にカルマン渦が放出される中でもカルマン渦強度が強くなっている瞬間に流れ場の 2次元性が高められ、全周波数成分にわたって空間相関が高くなることが分かった。さらに、 $B/D=0.5$ 矩形断面においては、chord 方向中央付近にてカルマン渦放出一周期内において剥離せん断層が模型下面に最も接近する瞬間に、負圧の絶対値及び変動圧力の空間相関が最大となることが確認できた。

参考文献

(1) 白土博通, 松本 勝, 古川拓郎, 山根建治ら: 変動気流中における矩形断面のガスト空気力の空間構造に関する研究, 第 19 回風工学シンポジウム(2006)pp.501-506.