

カルマン渦強度及び気流特性に着目した模型表面変動圧力の空間相関特性について

京都大学大学院 学生員
京都大学大学院 正会員
京都大学大学院 学生員

○佐藤祐一
白土博通
Do Van Bao

京都大学大学院 フェロー
大阪ガス株式会社

松本 勝
角倉佑哉¹⁾

¹⁾研究当時京都大学大学院

1. 序論

ガスト応答解析においては構造物に作用する模型表面変動圧力の 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、接近流の span 方向の空間相関よりも模型表面変動圧力の空間相関が大きくなることが指摘されており、この精緻な評価は近年のガスト応答解析において必要不可欠である。模型表面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、及び構造物後流に形成されるカルマン渦の 3 つが考えられる。そこで、模型表面変動圧力の相関上昇メカニズムの解明を目的とし、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模型表面変動圧力の空間相関特性を考察した。

2. 風洞実験概要

接近流として一様流及び 2 種類の格子乱流(格子幅 160mm の気流 A, 縦 300mm, 横 1000mm の大きさの布を付加した格子幅 240mm の気流 B)を与え, $B/D=1, 0.5$ 矩形断面周りにおける模型表面変動圧力, 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. 模型表面変動圧力の空間相関特性($B/D=0.5, 1$ 矩形断面)

$B/D=0.5, 1$ 矩形断面の一様流中, 格子乱流中における模型表面変動圧力のコヒーレンス特性を Fig.1 に示す。まず, スプリッタープレートを入れない場合, 一様流中, 格子乱流中共にカルマン渦放出周波数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いる。また, その 2 倍成分, 3 倍成分においても高い値をとっている。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, $B/D=0.5, 1$ 矩形断面のようにカルマン渦が強く放出される流れ場においては, カルマン渦放出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入れた場合にはカルマン渦放出周波数成分におけるピークが見られず, 模型表面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を入れない場合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。さらに, $B/D=0.5$ 矩形断面が $B/D=1$ 矩形断面に比べて大きく低下していると考えられる。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る。

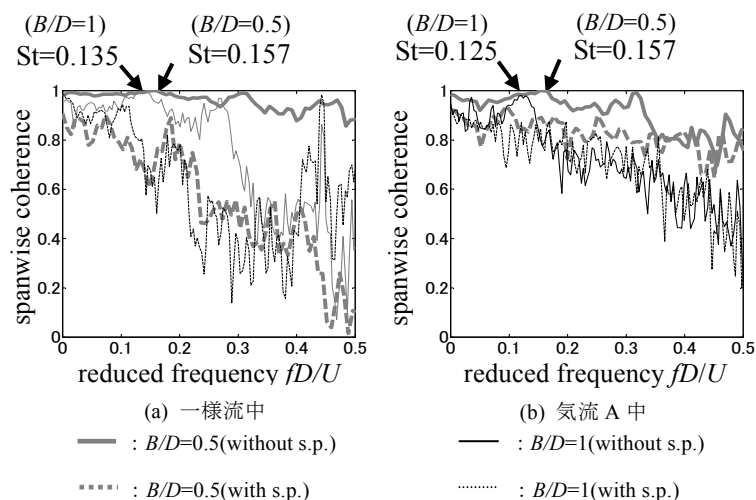


Fig.1 span 方向に 25mm 離れた 2 点の模型表面変動圧力のコヒーレンス特性($U=6\text{m/s}$, position5)

4. ウェーブレット解析

時間周波数解析であるウェーブレット解析を用いて, カルマン渦強度が非定常に変化する場合の模型表面変動圧力の空間相関特性の変化を考察した。 $B/D=0.5$ 矩形断面に作用する模型表面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

キーワード カルマン渦 コヒーレンス ウェーブレット解析 剥離せん断層

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-3 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-383-3167

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、模型表面変動圧力のカルマン渦強度が弱められている瞬間には、全周波数成分においてコヒーレンスの値が低下しており、強められている瞬間には全周波数成分においてコヒーレンスの値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、かつ、2次元的に形成されている瞬間には、模型表面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。

5. 剥離せん断層と模型表面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、模型表面変動圧力の 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、平均圧力、及び接近流の相对迎角の時間平均波形を算出した結果を Fig.3 に示す。なお、模型表面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模型表面変動圧力が負から正になる瞬間を基準としている。模型表面変動圧力の時間平均波形と比較すると、模型表面変動圧力が $0.75T$ 付近で負圧最大となる瞬間に、相对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、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、模型表面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、 $B/D=0.5$ 矩形断面のように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下面に最も接近するとき、chord 方向中央付近にて模型下面側の負圧が最大となり模型表面変動圧力の空間相関が最も大きくなると考えられる。

6. 結論

- (1) $B/D=0.5, 1$ 矩形断面においては、カルマン渦が全周波数成分において模型表面変動圧力の 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 $B/D=1$ 矩形断面より大きく、カルマン渦が強く放出され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。
- (2) $B/D=0.5$ 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。
- (3) $B/D=0.5$ 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模型表面変動圧力の空間相関が最大となる。

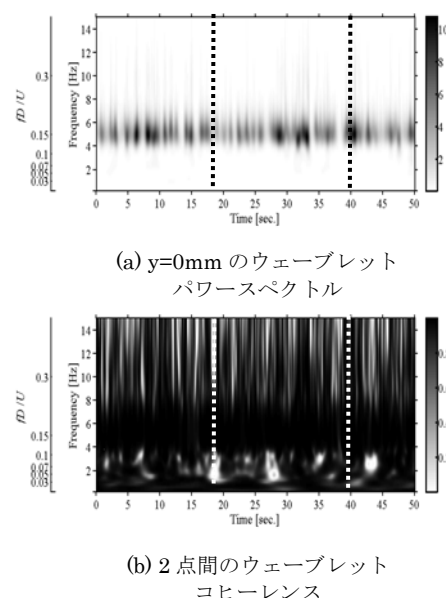


Fig.2 模型表面変動圧力のウェーブレット解析結果 ($B/D=0.5$, 一様流中, 平均風速 6m/s , $X/B=0.45$)

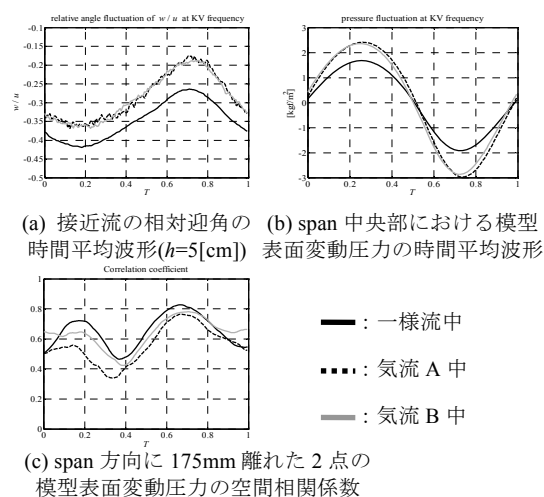


Fig.3 カルマン渦放出一周期内における模型表面変動圧力の時間平均波形及び空間相関係数 ($B/D=0.5$, 平均風速 6m/s , $X/B=0.45$)

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.