京都大学工学部地球工学科	学生員	〇三次	涼太
京都大学大学院工学研究科	正会員	白土	博通
京都大学大学院工学研究科	正会員	八木	知己
京都大学大学院工学研究科	非会員	アント	ドレ・マヒンドラ

# 1. はじめに

本研究は風の乱れに起因する空力振動現象である ガスト応答を対象としている.ガスト応答解析におい て重要なパラメータの一つが空間相関である.従来の ガスト応答解析では、変動圧力の空間相関を span 方 向に対してしか評価しないが、より厳密には chord 方 向にも相関は広がっており、また、揚力は上下圧力差 で生じることから、各点における上下圧力差を対象と した2次元的な空間相関についての評価がなされるべ きである.そこで本研究では接近流の気流特性・模型 幅員・断面辺長比を変化させながら、種々の矩形断面 模型に作用する変動圧力の3次元的空間相関特性を考 察し、模型上下面変動圧力差の span 方向・chord 方向 に及ぶ2次元コヒーレンスに関して、より普遍的な矩 形断面に適用可能なモデル化を検討した.

### 2. 風洞実験概要

本研究では模型表面非定常圧力測定実験,変動風速 鉛直成分 w 及び模型上下面変動圧力差同時測定実験, 接近流の変動風速鉛直成分 wのLeading Edge 到達時間 計測実験,模型上下面変動圧力差係数の迎角勾配測定 実験の4種類の実験を行った.2種類の幅員(*B*=300, 450[mm])と3種類の断面辺長比(*B*/*D*=6.0, 8.0, 10.0) の組合せからなる6種類の矩形断面模型(span 長 *L*=900[mm])を対象とし,異なる乱れスケールを持つ3 種類の格子乱流(気流 A,気流 B,気流 C)中において 主流方向平均風速 *U*=9[m/s]にて圧力測定実験を行っ た.

# 3. 2次元コヒーレンスのモデル化

## 3.1 昨年度新たに提案したガスト応答解析手法

模型全体に作用する変動風力 *L(t)*のパワースペクト ル密度は(1)式のようになり, position(x<sub>0</sub>,0)を基準点と した変動風力のコヒーレンス(以下,2次元コヒーレン ス),基準点に対する変動風速のパワースペクトル密 度の倍率及び基準点における変動風力のパワースペクトル密度を用いて表される<sup>[1]</sup>.本研究では特にこの2次元コヒーレンスに着目し、そのモデル化を検討した.

# 3.2 接近流の乱れスケールと変動圧力の相関

接近流の乱れスケールを幅員 B で無次元化したものと、断面に作用する変動圧力の空間相関係数を span方向に積分し同じく幅員 B で無次元化したもの(以下、相関スケール)との関係を図 1~図2に示す.図より、 B/D=2.2以上の再付着型断面では、乱れスケールと相関スケールとの間に線形性が確認された.一方で、 B/D=0.5、1.0といった完全剥離型断面については、この線形関係から逸脱した挙動を示すことから、カルマン渦による影響が強く乱れスケールの影響を受けにくくなるものと推察される.したがって、2次元コヒーレンスのモデル化をするに当たり、この両者に関して別々のモデルを考える必要ある.本研究では、前者の再付着型断面を対象にモデル化を図った.

### 3.3 2次元コヒーレンスのモデル化

接近流の変動風速鉛直成分 w と相関の高い模型上 下面変動圧力差の圧力孔を基準点とした,模型上下面 変動圧力差の span 方向・chord 方向に及ぶ2次元コヒ ーレンスのモデル化を考える.



図1 接近流の乱れスケール と模型下面変動圧力の 相関スケールの関係





Ryota MITSUGI, Hiromichi SHIRATO, Tomomi YAGI, Andre MAHINDRA m.ryota@ax8.ecs.kyoto-u.ac.jp

 $Root - coh(dx, dy; f) = \frac{10/L_w}{k_2 \sqrt{\left(\frac{dx}{D}\right)^2 + \left(\frac{k_4}{D}\right)^2 (f_r - k_3)^2 + \frac{10}{L_w}}} \exp(-\frac{\frac{k_1 \sqrt{\left(\frac{dx}{D}\right)^2 + \left(\frac{k_4}{D}\right)^2 (f_r - k_3)^2 + \frac{10}{L_w}}}{U})$ (2)

ここで、(2)式中のパラメータ k<sub>1</sub>~k<sub>4</sub>は断面辺長比及 び接近流の気流特性によるものであるが、今回はより 普遍的な矩形断面に適用可能なモデル化を目的とし たため、測定値を(2)式で最小2 乗近似して得られたパ ラメータ値をもとに、視覚的に全てのグラフの概形を 捉えたところでパラメータk<sub>1</sub>~k<sub>4</sub>を固定した.その際、 低周波数領域における起伏の激しい変動に焦点を当 て、それ以降の高周波数領域に関しては重要視しなか った.結果として、各パラメータを k<sub>1</sub>=9、k<sub>2</sub>=6、k<sub>3</sub>=0.13、 k<sub>4</sub>=1.75 と定めた.この(2)式を用いた模型上下面変動 圧力差の 2 次元コヒーレンスのモデル化の例として、 気流 B 中における B=300[mm]・B/D=6.0 の模型に関す る結果を図 3 に示す.基準点は模型 span 中央 (dy=0[mm])の position4 である.

# <figure>

図3 2次元コヒーレンスモデル

# 3.4 空力アドミッタンス

前節で提案した模型上下面変動圧力差の2次元コヒ ーレンスのモデル化を用いて,接近流の変動風速鉛直 成分wと模型 span 中央断面に作用する上下面変動圧 力差の chord 方向積分値との間の伝達関数を算出した. 具体的には、(1)式からジョイントモードアクセプタン スと変動風速鉛直成分 w のパワースペクトル密度を それぞれ除算することにより求めた. 前節と同じく, 気流 B 中における B=300[mm]・B/D=6.0の模型に関す る結果を図4に示す.また、従来、空力アドミッタン スとしてよく用いられる Holmes 関数の簡便式を比較 対象として同時に示している((3)式). 図より, Holmes の式よりも解析値は全体に過小な結果となった.また, その他の断面辺長比の矩形断面模型についての結果 と比較すると、B/Dが大きくなるにつれて解析値のゲ イン特性が小さくなるという傾向が見受けられた.こ れは, (3)式におけるゲイン特性(γ<sup>2</sup>)と断面辺長比(B/D) との大小の相関関係にも一致している.



との間の伝達関数(ゲイン特性)

### 4. 結論

2次元コヒーレンスのモデル化に関して,正確に一 致しているとまでは言えないが,着目した低周波数領 域においてはよく近似できた.また,そのモデル化を 用いた空力アドミッタンスの解析値は,従来のHolmes の式に比べ全体的に過小なものとなったが,これはモ デル化の際に高周波数領域をあまり考慮しなかった 影響が出たものと考えられる.

今後,本研究内容を踏まえたガスト応答解析の結果 を,実験的に矩形断面構造模型のガスト応答変位と比較 することで,その整合性を検証する必要がある.

# 参考文献

[1] 白土博通, 佐藤祐一, 佐々木治, 矩形断面線伏構 造物のガスト空気力定式化の試み, 土木学会第65回 年次学術講演会, (2010)