

矩形断面模型に作用するガスト空気力の空間相関構造のモデル化

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○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 アンドレ・マヒンドラ
京都大学大学院工学研究科 学生員 佐々木 治

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、2次元断面のガスト空気力のspan方向相関を、接近流のそれと同一と仮定し一般化空気力のPSDを求める^[1]。翼理論にならない断面の上下圧力差をchord方向に積分して2次元ガスト空気力が評価可能であることから、各点における上下圧力差のspan方向、chord方向の2方向の空間相関(コヒーレンス)を断面形状や乱流特性を考慮した近似関数で表現できれば、より汎用性の高い周波数伝達関数(aerod. admittance×joint mode acceptance)が定義され、ガスト応答評価の精緻化が可能と考えられる。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次元的空间相関特性を考察し、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。各格子乱流についての気流特性をTable.1に示す。

Table.1. The intensity and scale of the grid turbulence.

	I_u [%]	I_w [%]	L_u [mm]	L_w [mm]
気流A	11.9	10.7	67	28
気流B	9.5	8.5	102	42
気流C	10.2	9.8	103	58

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揚力L(t)のパワースペクトル密度は(1)式により表され、模型表面上の基準点(x₀,0)(但し、x:chord方向,y:span方向の座標軸、原点はspan中央前縁)に関する上下面差圧のコヒーレンス(2次元コヒーレンス)、基準点に対するchord方向各点の変動差圧のPSDの倍率^(*)及び基準点における変動揚力のPSDを用いて表される^[2]。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

接近流の鉛直変動風速の主流方向乱れスケールと、2次元ガスト揚力のspan方向相関スケールとの関係をFig.1～Fig.2に示す。上下面差圧のx,y-方向空間相関分布は上下片面の表面圧力の空間相関と高い相似性を持つことが確認されていることから、Fig.1の下面側圧力に基づく変動揚力のspan方向相関長さはFig.2に示す上下面差圧に基づく変動揚力と傾向的に同じ特性を示すものと考えられる。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

$$S_L(f) \cong \frac{1}{l^2} \int_{-l/2}^{l/2} \int_{-l/2}^{l/2} \int_{-B/2}^{B/2} \int_{-B/2}^{B/2} Root-coh(x_1, y_1, x_0, 0; f) \times Root-coh(x_0, 0, x_2, y_2; f) \times a(x_1; f) \times a(x_2; f) dx_1 dx_2 dy_1 dy_2 \times S_L(x_0, 0; f)$$

^{*)}但し、 $a(x'; f) = \frac{1}{T} E[\frac{X_L(x', 0; f) X_L^*(x', 0; f)}{X_L(x_0, 0; f) X_L^*(x_0, 0; f)}]$

..... (1)

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がある。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 と模型上下面変動圧力差の相互相関関数のピーク値が最も高い圧力孔を基準点とし、模型上下面変動圧力差の span 方向・chord 方向に及ぶ2次元コヒーレンスのモデル化を考える。

Root-coh($\Delta x, \Delta y, f$)

$$= \frac{10/L_w}{k_2 \sqrt{(\Delta x/D)^2 + (k_4 \Delta y/D)^2} (f_r - k_3)^2 + 10/L_w} \exp\left(-\frac{k_1 \sqrt{(\Delta x/D)^2 + (k_4 \Delta y/D)^2} f_r}{U}\right) \quad (2)$$

但し、 $\Delta x, \Delta y$: 基準点と点(x, y)との距離 [mm]

D : 模型桁高 [mm]

f_r : 無次元周波数($=f \cdot D/U$)

L_w : 鉛直変動風速の乱れスケール [mm]

ここで、(2)式中のパラメータ $k_1 \sim k_4$ は断面辺長比及び接近流の気流特性も包含した近似式を得ることを目的とするため、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、全てのグラフの概形を捉えながら $k_1 \sim k_4$ を決定した。結果として、各パラメータを $k_1=9, k_2=6, k_3=0.13, k_4=1.75$ 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 $B=300[\text{mm}] \cdot B/D=6.0$ の模型に関する結果を Fig.3 に示す。基準点は模型 span 中央の position4 ($(x/B, y/B) = (0.175, 0)$) である。

4. 結論

2次元矩形断面の広い断面辺長比にわたり、2次元ガスト揚力の span 方向スケールと鉛直変動風速の乱れスケールに共通の線形性が確認され、乱れスケール、断面形状の違いを包含する普遍性の高いガスト応答評価の可能性が見出された。

今後、ガスト応答解析結果を、実際の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] A. G. Davenport, "Buffeting of a Suspension Bridge by Storm Winds, Journal of the Structure division", Proceedings of the ASCE, Vol.88, No.ST3, June, 1962, pp. 233-268
- [2] 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)

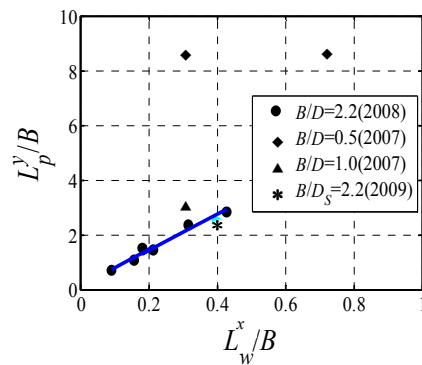


Fig.1. Turbulence scale vs. correlation scale of fluctuating pressure on the lower side.

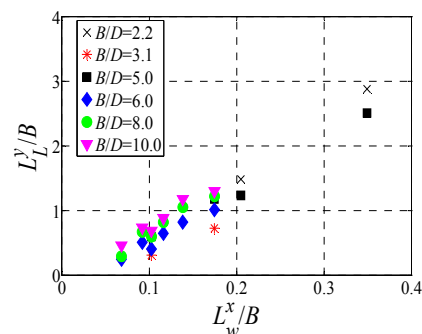


Fig.2. Turbulence scale vs. correlation scale of differential fluctuating pressure between on the upper and lower side.

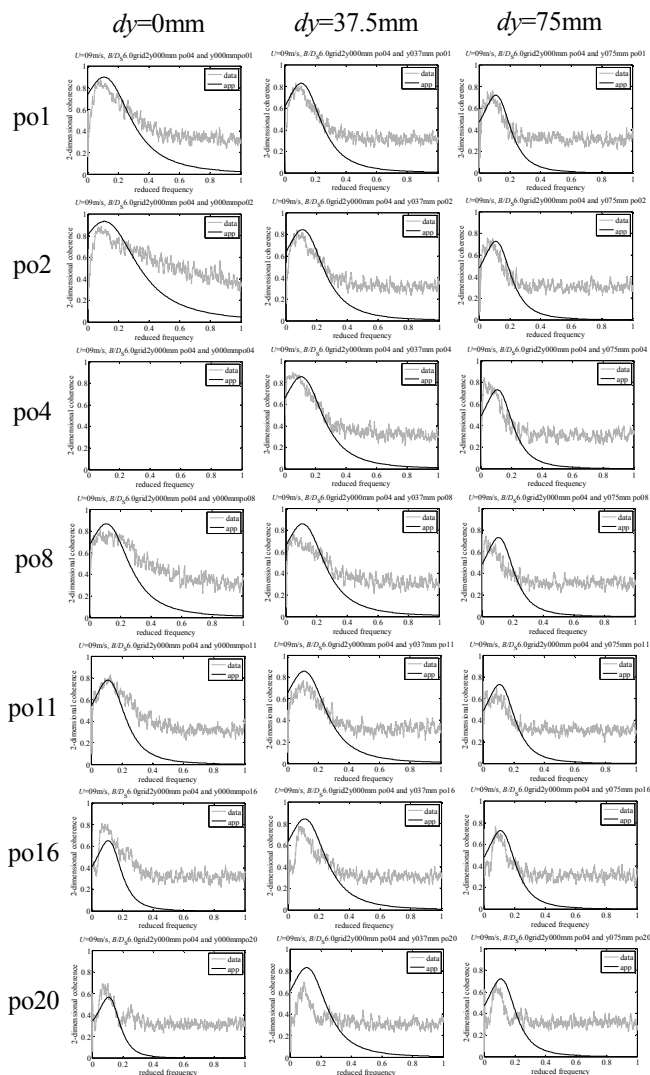


Fig.3. Two-dimensional coherence models.