

矩形断面線状構造物のガスト空気力定式化の試み

京都大学 正会員 ○白土 博通

鉄道総合技術研究所(研究当時京都大学大学院生) 佐藤 祐一

京都大学大学院 学生員 佐々木 治

1. まえがき

長大橋梁等の線状構造物のガスト応答解析¹⁾の精緻化には、ガスト空気力のより正確な定量的評価が重要であり、入力となる乱流特性のよりの確な評価のみならず、風速変動断面形状に応じた空力 admittance (AD) の導入や、空力固有のスパン方向相関特性²⁾の反映などが必要と考えられる。本研究では種々の辺長比を有する偏平矩形断面部分模型を対象に、格子乱流中における側面変動圧力の相関構造を調査するとともに、その情報を反映させつつ、接近流の風速変動のパワースペクトル (PSD) より、着目モードの一般化ガスト空気力の PSD を与える周波数伝達関数の導出を試みた。この関数は従来の空力 AD と joint mode acceptance (JMA) を結合させたものに相当する。

2. 風洞実験概要

対象断面は辺長比 $B/D=5$ (B :幅員, D :桁高) の矩形断面を基本とし、 $B=300[\text{mm}]$ と $150[\text{mm}]$ の2種類を用いた。模型スパン長 ℓ はいずれも $900[\text{mm}]$ である。模型側面には多数の圧力孔が設けられ、表面圧力は模型内部の導圧管を経て端部に導かれる。片側面を構成する平板は取り外し可能であり、他方の箱体との間に $B \times \ell$ の大きさを持つフレームを挟むことにより、桁高 D を変化させた。模型は風洞内に水平に迎角 0° で固定支持される。

本研究で用いた格子乱流の特性を表1に示す。Grid B にはさらに乱流格子の水平材に幅 $200[\text{mm}]$ の布を一樣に取り付けた。各乱流特性値および風速変動の PSD の測定部内の一様性は予め確認されている。

表1 格子乱流特性

	単位	Grid A	Grid B
主流方向乱れの強さ I_u	%	14.0	11.5
鉛直方向乱れの強さ I_w	%	11.0	10.5
主流方向乱れスケール L_u	mm	55.0	95.0
鉛直方向乱れスケール L_w	mm	25.0	60.0

3. ガスト揚力のスパン方向積分スケール

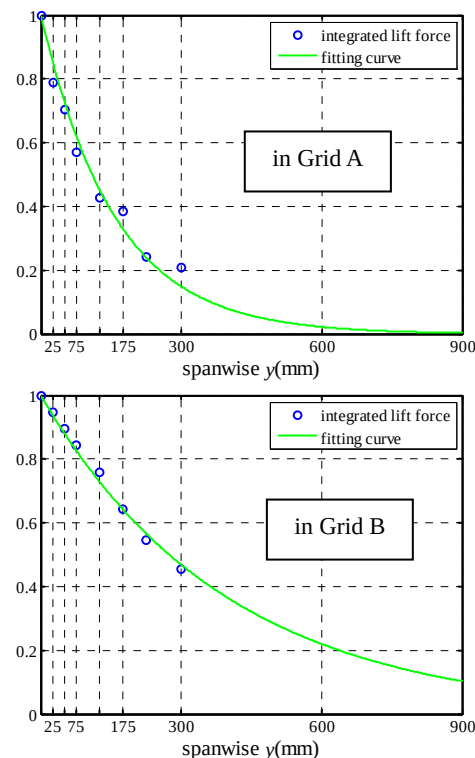
非定常翼理論³⁾と同様の考え方に従い、式(1)に示すように部分模型の両側面(上下面)の圧力差を chord 方向に積分することにより、断面内(strip)の2次元ガスト揚力の時系列が算出される。図1は、同時計測されたスパン方向にある距離(y)だけ離れた strip の2次元ガスト揚力とスパン中央点($y=0$)の2次元ガスト揚力との相互相関係数 $r_L(y)$ を、距離 y に対して示したものである。図より、接近流の乱れスケールが相対的に大きい Grid B 中の空気力が高いスパン方向相関を示している。

$$L^{2D}(y;t) = \int_{-B/2}^{B/2} \{p^u(x,y;t) - p^l(x,y;t)\} dx \quad (1)$$

さらに $r_L(y)$ を y について積分することにより、2次元ガスト空気力のスパン方向積分スケール L_L^y が求められる。(式(2)参照)

$$L_L^y = \int_0^{\ell/2} r_L(y) dy \quad (2)$$

図2は、同一辺長比の部分模型の代表長を大小2種類、乱れスケールを Grid A, B の2種類(一部 Grid B から布を外した Grid C も使用)、さらに

図1 2次元ガスト空気力のスパン方向相互相関係数 ($B/D=5$)

キーワード ガスト応答, 精緻化, ガスト空気力, 表面圧力, コヒーレンス

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻 Tel 075-383-3165

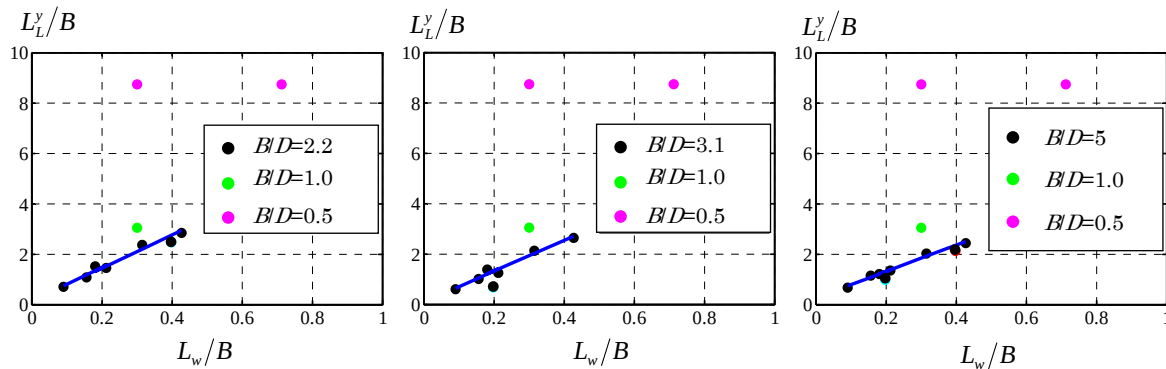


図2 2次元ガスト空気力のスパン方向積分スケール L_L^y と接近流の乱れスケール L_w との対応

辺長比 B/D を種々に変化させ、接近流の乱れスケールとの対応関係を調べたものである。図より、 $B/D=2.2, 3.1, 5$ の3種類の断面は、いずれも接近流の乱れにガスト空気力が影響を受け、大きな乱れスケール中のガスト空気力はスパン方向の相関が高くなる特性が確認できる。両者が線形関係にあり、しかも辺長比によらずほぼ同じ直線上に並ぶことがわかる。正方形断面 ($B/D=1, B=90[\text{mm}]$) もこの直線に近い特性を示すのに対し、 $B/D=0.5$ ($B=90[\text{mm}]$) ではより高いスパン方向の相関を示しており、かつその値は接近流の乱れスケールに依存せずほぼ一定の値を示しており、カルマン渦が空力特性を支配し、接近流の乱れの影響を受けにくくしていることが窺える。

4. 表面圧力に基づくガスト空気力の定式化とガスト応答解析への適用

着目モードの一般化ガスト空気力の PSD ($S_L^j(f)$) は、接近流速の PSD、空力 AD および JMA の積により求められるが、JMA の式中、2次元ガスト空気力を模型側面の上下差圧より求めるものとすれば、 $S_L^j(f)$ は式(3)、(4)のように定式化される。

$$S_L^j(f) = |Ad^{2D}(x_r, y_r; f)|^2 |Ad(f)|^2 S_w(f) \quad (3)$$

$$|Ad^{2D}(x_r, y_r; f)|^2 = \frac{\iiint_B \sqrt{\text{coh}_{pd}(x_1, x_r, y_1, y_r; f)} \sqrt{\text{coh}_{pd}(x_2, x_r, y_2, y_r; f)} \cdot \sqrt{\lambda_r^1 \lambda_r^2} \cdot \phi_j(y_1) \phi_j(y_2) dx_1 dx_2 dy_1 dy_2}{\iint_B \phi_j(y_1) \phi_j(y_2) dy_1 dy_2} \quad (4)$$

ただし、 $|Ad(f)|^2$: 鉛直変動風速の PSD より側面上の代表点 (r 点) における上下差圧の PSD へ変換する伝達関数、 $\sqrt{\text{coh}_{pd}(x_1, x_r, y_1, y_r; f)}$: r 点と側面上の他の点 (点 1) の上下差圧のルートコヒーレンス、 λ_r^1 : 側面上のある点 (点 1) と r 点における上下差圧 PSD の比、 $\phi_j(y_1)$: スパン方向の座標 y_1 における j 次モード関数

図3は $B/D=5$ 部分模型をバネ支持し、格子乱流 (Grid B) 中で測定されたガスト応答と解析結果を比較したものである。従来の方は空力 AD に Holmes の提案式、JMA には格子乱流に対して別途求められた decay factor を用い、空力減衰は両方法共に実測値を用いた。本手法による解析値は全周波数域にわたり実測値に近い値を示すことが確認された。

5. まとめ

矩形断面上下差圧に基づく2次元ガスト揚力のスパン方向相関と接近流の乱れスケールとの対応を調べ、ある辺長比群で同一の特性を見出した。上下差圧に基づくガスト応答解析の定式化を試み、実測値との比較を行った。

参考文献 1) A.G. Davenport, Ph.D. Dissertation, Univ. of Bristol, (1961), 2) M. Matsumoto, et al, JWEIA, Vol. 91, (2003), 3) W.R. Sears, J. of the Aeronautical Science, Vol.8, No.3, (1941)

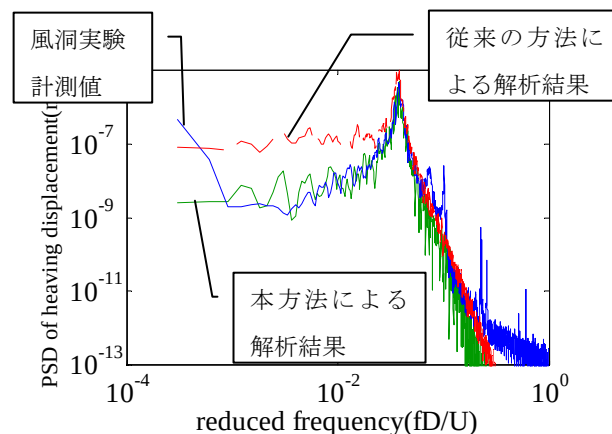


図3 上下差圧に基づくガスト応答解析結果
($B/D=5$ 矩形断面部分模型, Grid B)