

ガスト応答解析における気流特性及び矩形断面形状変化の影響に関する考察

京都大学大学院 学生員
前田建設工業株式会社

○佐藤祐一
Do Van Bao¹⁾

京都大学大学院 正会員 白土博通
1) 研究当時京都大学大学院

1. 序論

ガスト応答解析では変動空気力の空間相関が一つの重要なパラメータとなる。従来、変動空気力の空間相関が接近流の空間相関に等しいと仮定されたが、前者の方が後者より大きくなるとの計測結果が報告されている。本研究では、矩形断面辺長比 $B/D=1.5, 2.2, 2.5, 3.1, 3.5, 5.0$, 断面幅 $B=300[\text{mm}], B=150[\text{mm}]$ と変化させて、一様流中及び3種類の格子乱流中において計測された模型表面変動圧力のコヒーレンスを用いてガスト応答解析を行った。その結果をたわみ1自由度ばね支持振動実験結果と比較することで変動空気力の空間相関を用いた解析手法の適合性について検討を行った。

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及びたわみ1自由度ばね支持実験の2種類の風洞実験を行った。風洞装置で一様流及び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)を吹かせ、断面幅 $B=150,300[\text{mm}]$, 断面辺長比 $B/D=5, 3.5, 3.1, 2.5, 2.2, 1.5$ の模型の断面周りの変動圧力を測定した。使用した模型の諸元を、Fig.1及びFig.2に示す。さらに、断面幅 $B=300[\text{mm}]$, $B/D=5.0, 3.1$ 矩形断面,断面幅 $B=150[\text{mm}]$, $B/D=5.0, 2.2$ 矩形断面を対象とし、気流A中及び気流C中にてたわみ1自由度ばね支持実験を行った。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。

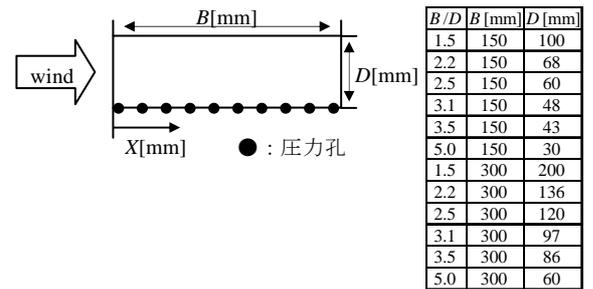


Fig.1 圧力計測実験で用いた模型

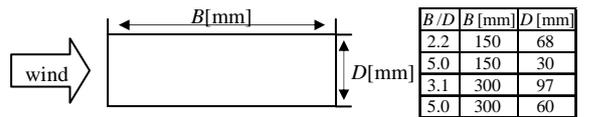


Fig.2 自由振動実験で用いた模型

3. 変動圧力の相関スケールと接近流の乱れスケールの関係

本節では、3種類の乱れスケールを2種類の断面幅Bで無次元化することで得られた6種類の無次元乱れスケールに基づいて、変動圧力積分値の相関スケールと接近流の乱れの主流方向積分スケールとの関係を検討した。変動圧力積分値の相関スケールを計算するために、変動圧力を断面幅員方向に積分して得られる片面空気力(揚力成分)に関するspan方向相互相関係数を積分し、これを断面幅Bで無次元化した。求められた両スケールの関係をFig.3に示す。図から、変動圧力積分値の無次元相関スケールが接近流の無次元乱れスケールとほぼ比例関係にあることが分かった。さらに本研究で対象とした断面では $B/D=1.5$ を除き、 $B/D=2.2\sim 5.0$ でほぼ同一の関係が成り立つことが明らかとなった。

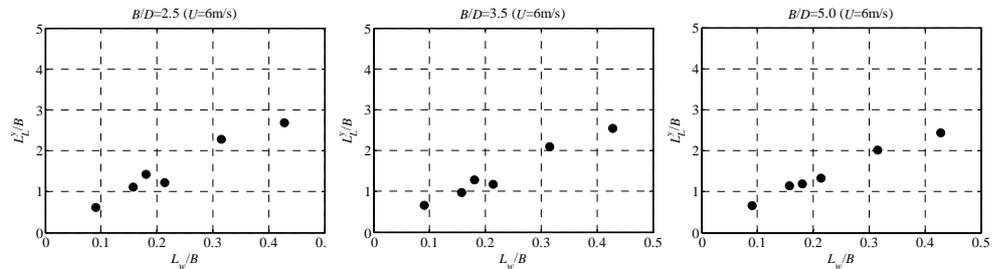


Fig.3 変動圧力の相関スケールと接近流の乱れスケールの関係(position5, $U=6\text{m/s}$)

4. 変動圧力積分値のコヒーレンスの近似式

既往の研究ならびに上述の結果より、乱れスケールが大きく、断面辺長比が小さくまたは断面幅が小さくなると変動圧力のコヒーレンスが大きくなる傾向が見られることがわかっている。これより、変動圧力積分値のコヒーレンスを主流方向の平均風速、対象とする2点間のspan方向距離、無次元周波数、模型の断面辺長比、断面幅、

接近流の乱れスケールの関数として定式化した。その近似式の一つとして下記に示す(1)式が考えられた。ここで、 k_1, k_2, k_3 は近似パラメータである。 $B=300\text{mm}, B/D=3.1$ 矩形断面, 気流 A 及び気流 C の変動圧力積分値のコヒーレンスと(1)の式を用いて計測値のコヒーレンスを最小二乗法で近似した結果を Fig.4 に示す。

$$coh(f_r) = \frac{1}{k_2 dy (f_r - k_3)^2 + 1} \exp\left(\frac{-k_1 f_r dy}{U}\right) \quad (1)$$

5. ガスト応答解析結果及びたわみ 1 自由度振動実験結果

前節の(1)式によるガスト応答解析の精度向上を確認するため、(1)式を(2)の中のジョイントモードアクセプタンス(JMA) $|J(f)|^2$ に代入してガスト応答解析を行った。また、これと同様に JMA に変動風速のコヒーレンスを近似した Karman 型の式、またはスパン方向の完全相関を仮定して JMA=1 とした合計 3 種類のガスト応答解析結果をたわみ 1 自由度ばね支持振動実験結果と比較した。気流 A 中及び気流 C 中における断面幅 $B=300\text{mm}$, 断面辺長比 $B/D=5, 3.1$ 矩形断面, 断面幅 $B=150\text{mm}$, 断面辺長比 $B/D=2.2$ 矩形断面に関するパワースペクトル結果を Fig.5 に示す。

$$S_\eta(f) = \left(\frac{dC_L}{d\alpha} \rho b U\right)^2 |H_\eta(f)|^2 |\Phi_L(f)|^2 |J(f)|^2 S_w(f) \quad (2)$$

この結果から、 $B/D=5.0, B/D=3.1$ の断面において、変動風速の Karman 型コヒーレンスに基づいたガスト応答解析結果は実験結果を過小評価するのに対し、変動圧力積分値のコヒーレンスを定式化した式に基づいた応答は最も実測の応答に一致することが分かった。しかし、 $B/D=2.2$ の断面において、解析結果が実測値に比べて遥かに小さいことが確認された。解析における空力減衰、静的空気力係数勾配の評価にさらに検討の余地があるものと考えられる。

6. 結論

- (1) 変動圧力積分値の空間相関係数を span 方向に積分して得られた相関スケールを断面幅で無次元化した値は、同じ断面幅で無次元化した変動風速の乱れスケールに関してほぼ比例関係にあり、断面比 $B/D=2.2 \sim 5.0$ では同一の関係が成り立つことが確認された。
- (2) $B=300[\text{mm}], B/D=5.0, 3.1$ の模型に関して、変動風速の Karman 型コヒーレンスを用いたガスト応答解析結果はたわみ 1 自由度ばね支持振動実験の結果を過小評価することが確認できた。一方、変動圧力積分値のコヒーレンスを用いたガスト応答解析結果は比較的一致することが確認された。
- (3) ガスト応答の精緻化には、断面形状と気流特性の影響を的確に反映した変動空気力のコヒーレンスの評価が必要不可欠であると考えられる。

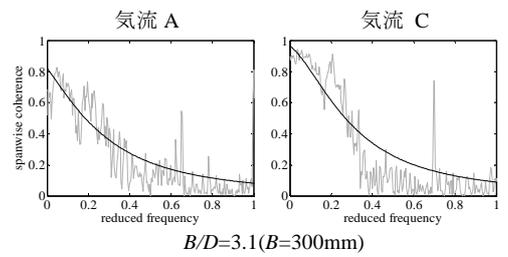


Fig.4 変動圧力積分値の

コヒーレンス ($dy=25\text{mm}, U=6\text{m/s}$)

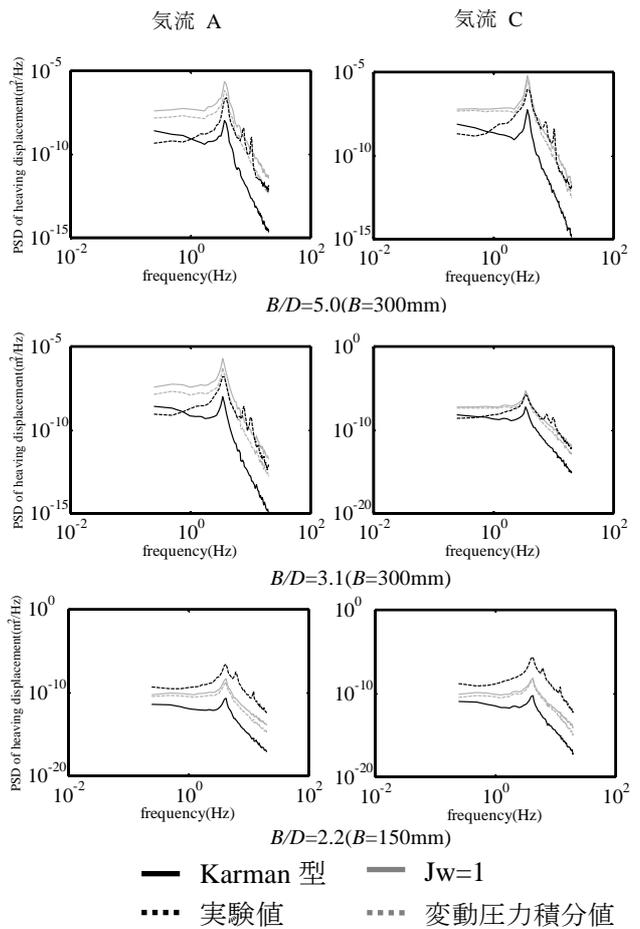


Fig.5 変位応答の PSD 特性 ($U=6\text{m/s}$)

参考文献

(1) 白土博通, 松本 勝, 角倉佑哉, Do Van Bao, 佐藤祐一: 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, 土木学会第 63 回年次学術講演会(2008)