

ガスト応答評価に対する気流特性及び矩形断面形状変化の影響

Influence of approaching flow properties and size of cross sections on evaluation of gust response

白土 博通¹⁾ ドバン バオ²⁾ ○佐藤 祐一³⁾
 Hiromichi SHIRATO Do Van Bao Yuichi SATO

1. はじめに

従来のガスト応答解析において、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ていたが、前者の方が後者より大きくなると近年の研究によって報告されている。そのため、ジョイント・モード・アクセプタンス(以下JMAと呼ぶ)の値に実際との差異が生じ、構造断面の応答特性に誤差が生じる場合があることが指摘された。そこで本研究では、矩形断面辺長比 $B/D=1.5, 2.2, 2.5, 3.1, 3.5, 5.0$, 断面幅 $B=300$ [mm], $B=150$ [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空間相関特性を調査した。また、計測された圧力のコヒーレンスを用いてガスト応答解析を行い、たわみ1自由度ばね支持振動試験結果と比較することで、解析精度の向上を検討した。

2. 実験概要

風洞内に一様流及び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 $B=150,300$ [mm], 断面辺長比 $B/D=5, 3.5, 3.1, 2.5, 2.2, 1.5$ 矩形断面周りにおける変動圧力を測定した。使用した模型の諸元を、Table.1に示す。また、断面幅 $B=300$ [mm], $B/D=5.0, 3.1$ 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に設定した。

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)に関する空間相関係数の値を模型の span 方向に沿って積分し、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.1 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。さらに対象とする断面比の範囲では最も bluff な $B/D=1.5$ を除きその比例関係は断面辺長比によらずほぼ一定であることが明らかとなった。この結果より乱れスケールが大きくなると変動圧力積分値の空間相関係数が大きくなると確認できた。

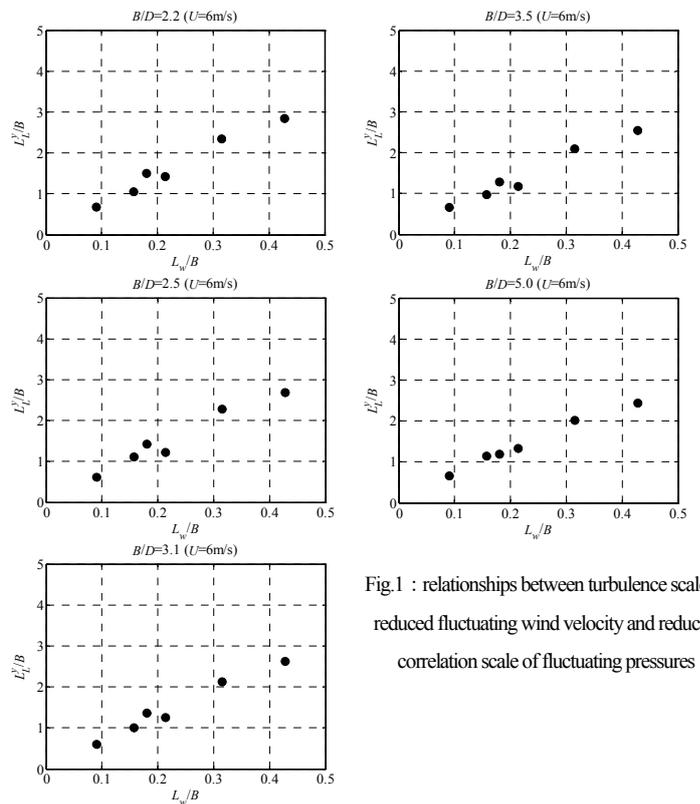


Fig.1 : relationships between turbulence scale of reduced fluctuating wind velocity and reduced correlation scale of fluctuating pressures

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

¹⁾ 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻 教授

Professor, Kyoto University

^{2) 3)} 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻 大学院生

Graduate Student, Kyoto University

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.2 に示す。

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

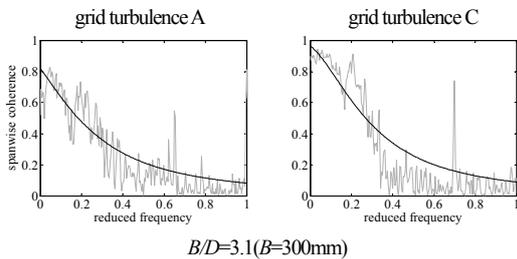


Fig.2 coherence of fluctuating pressures($dy=25\text{mm}$, $U=6\text{m/s}$)

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

ガスト応答解析において変動風速から変位を求める計算手順は(2)式で表わされる。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 JMA 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、最大に取りうる値である 1 を代入して変位応答のパワースペクトルを算出した合計 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 $B/D=5, 3.1$ 矩形断面に関するパワースペクトル結果を Fig.3 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。なお、気流 A と気流 C の結果を比べると気流 C の方が実測値により近い値が得られたが、これは気流 C の特性が一様流に近いと考える。

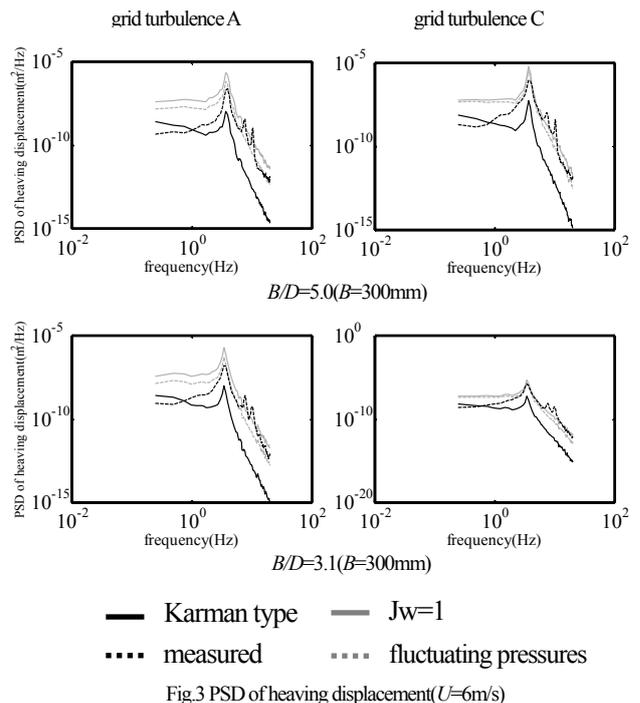


Fig.3 PSD of heaving displacement($U=6\text{m/s}$)

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ることが確認された。
- (2) $B/D=2.2\sim 5.0$ の範囲では、(1)の比例関係は断面比によらずほぼ一定であることが明らかとなった。
- (3) $B=300[\text{mm}]$, $B/D=5.0, 3.1$ 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。
- (4) 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。

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)