

第 I 部門 気流特性及び矩形断面形状変化を考慮したガスト応答評価

京都大学工学研究科 学生員 ○佐藤祐一 京都大学工学研究科 正会員 白土博通
 京都大学工学研究科 学生員 Do Van Bao

1. はじめに

本研究ではガスト応答と呼ばれる変動風速に起因した構造物の不規則振動現象を対象としている。ガスト応答解析において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。従来の解析において、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。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. 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。接近流として一様流及び 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)を与え、断面幅 $B=150, 300[\text{mm}]$, 断面辺長比 $B/D=5, 3.5, 3.1, 2.5, 2.2, 1.5$ 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 $B=300[\text{mm}]$, $B/D=5.0, 3.1$ 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 に設定して行った。

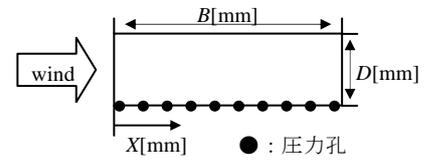


Table 1 模型の寸法

B/D	D	
	$B=150[\text{mm}]$	$B=300[\text{mm}]$
1.5	100	200
2.2	68	136
2.5	60	120
3.1	48	97
3.5	43	86
5.0	30	60

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, 変動圧力の空間相関係数と接近流の乱れスケールをより詳細に検討した。そのために, 前者の span 方向の分布を span 方向に沿って積分し, これを断面幅 B で無次元化したもの (以下相関スケールと呼ぶ) と乱れスケールを同じ B で無次元化したものとの関係を Fig.1 に示す。図から, 変動圧力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直線関係になることが分かった。この結果より乱れスケールが大きくなると変動圧力の空間相関係数が大きくなると確認できた。

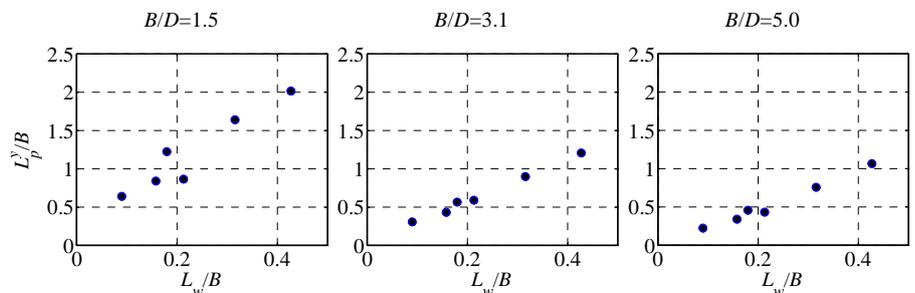


Fig.1 変動圧力の相関スケールと接近流の乱れスケールの関係(position5, $U=6\text{m/s}$)

4. 変動圧力積分値のコヒーレンスの近似式

ガスト応答解析手法では変動風速のパワースペクトルから変動空気力, 変位のパワースペクトルを算出する際に, ジョイント・モード・アクセプタンスという伝達関数が使用されるが, この関数は変動空気力のコヒーレンスを span 方向に積分して得られたものである。このため, 変動圧力のコヒーレンスの計測値を span 方向に積分できるような形式に変換する必要があるが出てくる。既往の研究より, 乱れスケールが大きくなり, 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,

変動圧力のコヒーレンス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。 $B=300\text{mm}, B/D=5, 3.1$ 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。図より、全体的に近似値が計測値にほぼ一致していることが分かった。

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

なお、式(1)は Davenport 型の式と同様な指数関数に無次元周波数と span 方向の距離 dy の分数関数を追加することで得られたものである。

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結果が実際の模型変位応答に精度よく一致しているかどうかを検討する必要がある。そこで、本節では、定式化した式を用いてガスト応答解析を行った。ここで、周波数領域における変動風速から模型の変位を求めるガスト応答解析の一連の手順は以下の式で表される。この式の中のジョイント・モード・アクセプタンスを変動風速の Karman 型コヒーレンス、最大に取りうる値である 1 及び変動圧力積分値のコヒーレンスを定式化した式として算出した 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。その結果を 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 の特性が一樣流に近いとと考えられる。

6. 結論

- (1) 変動圧力の空間相関係数を 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直線関係にあることが確認された。
- (2) 乱流中における変動圧力積分値のコヒーレンスを近似することができた。
- (3) 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。
- (4) 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をたわみ 1 自由度ばね支持振動実験の結果と比較すると、 $B=300[\text{mm}], B/D=5.0, 3.1$ の模型に関して、比較的一致することが確認された。
- (5) ガスト応答の精緻化のためには、断面形状と気流特性の影響を的確に反映したコヒーレンスの評価が重要であると分かった。

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)

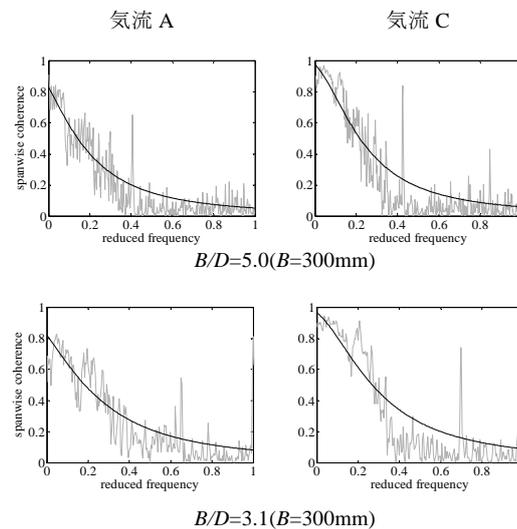


Fig.2 変動圧力積分値のコヒーレンス($dy=25\text{mm}, U=6\text{m/s}$)

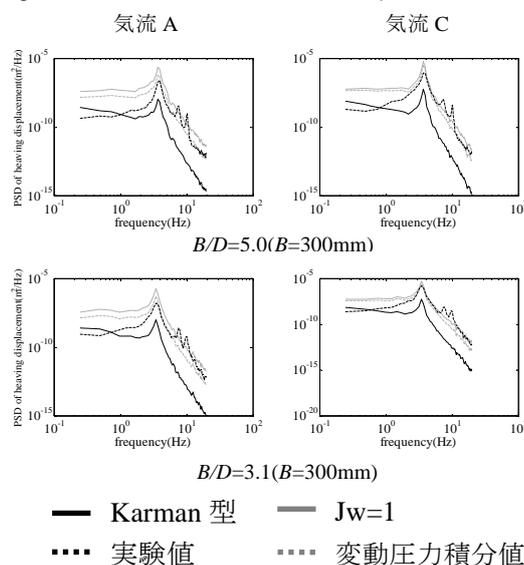


Fig.3 変位応答の PSD 特性($U=6\text{m/s}$)