

## 乱流中の矩形断面に作用する空気力の空間相関及びガスト応答解析の精緻化

|              |     |            |
|--------------|-----|------------|
| 京都大学工学部      | 学生員 | ○木原 大樹     |
| 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 | 正会員 | アンドレ・マヒンドラ |
| 京都大学大学院工学研究科 | 正会員 | 三次 涼太      |

**1. はじめに** 本研究は、不規則に変動する風の流れに起因して発生する構造物の強制振動現象であるガスト応答を対象としている。接近流の気流特性や模型の断面辺長比を変化させながら各々の矩形断面に作用する変動圧力の3次元的空间相関を考察し、模型上下面変動圧力差の span 方向・chord 方向にわたる2次元ルート・コヒーレンスに関して、より汎用性の高いモデル化とその精緻化を試みた。加えてそのモデルを使用したガスト応答解析を行い、種々の条件でのたわみ一自由度の変位応答パワースペクトルの実験値との整合性を検証した。

## 2. 風洞実験概要

**【模型上下面非定常圧力測定実験】** 本研究では表面圧力の計測データとして近年の研究結果<sup>[1][2]</sup>を用いた。幅員  $B=150,300,450[\text{mm}]$  の模型について  $B/D=2.2\sim 10.0$  の種々の断面辺長比に対し、3種類の格子乱流(気流 A, B, 及び C)中において主流方向平均風速  $U=9[\text{m/s}]$  にて模型表面圧力の計測結果を行った。

**【たわみ 1 自由度ばね支持振動実験】** ガスト応答解析の結果を評価するために、模型幅員  $B=300[\text{mm}]$  の模型で断面辺長比  $B/D=3.1, 5.0, 8.0$  の3つの模型に対し、3種類の格子乱流(気流 A, B, 及び C)中において、主流方向平均風速  $U=1.0[\text{m/s}]$  から  $U=10.0[\text{m/s}]$  まで  $1.0[\text{m/s}]$  刻みに風速を上げながらばね支持一自由度振動実験を行った。両実験について各格子乱流について気流特性を Table.1 に示す。

## 3. 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に基づくガスト応答解析

**3.1 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。

$$Root - coh(dx, dy; f) = \frac{1}{k_2 \sqrt{\left(\frac{dx}{D}\right)^2 + k_4 \left(\frac{dy}{D}\right)^2} \left\{ \frac{fD}{U} - \frac{k_3}{(B/D)} \right\}^2 + 1} \exp\left(-\frac{k_1 \sqrt{\left(\frac{dx}{D}\right)^2 + k_4 \left(\frac{dy}{D}\right)^2} f L_w}{U}\right) \quad (1)$$

但し,  $dx, dy$ : 基準点と点  $(x, y)$  との距離 [mm],  $D$ : 模型桁高 [mm],  $f$ : 周波数,  $L_w$ : 鉛直変動風速の乱れスケール [mm]

**3.2 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 PSD は(2)式により表され、模型表面上の基準点  $(x_0, 0)$  (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 倍率<sup>(\*)</sup>及び基準点における変動揚力の PSD を用いて表される<sup>[1]</sup>。また、(2)式で示した  $a(x_1; f)$ ,  $a(x_2; f)$  を断面辺長比ごとにプロットした図を Fig.1 に示す。図から少なくとも風速依存性は見られず気流による依存性も小さい。よってコヒーレンス同様モデル化できる可能性が見出された。

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

<sup>(\*)</sup>但し,  $a(x'; f) = \frac{1}{T} E \left[ \sqrt{\frac{X_L(x'; 0; f) X_L^*(x'; 0; f)}{X_L(x_0; 0; f) X_L^*(x_0; 0; f)}} \right]$

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

キーワード ガスト応答, 2次元コヒーレンス

連絡先 〒615-8246 京都府京都市西京区京都大学桂 C1-3 棟-457 橋梁工学研究室 TEL 075-383-3170

$B=450[\text{mm}] \cdot B/D=6.0$  の模型に関する結果を Fig.2 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. たわみ 1 自由度ばね支持実験** 従来のガスト応答解析<sup>[4]</sup>結果, 本研究のガスト応答解析結果, 本年度の実験結果それぞれのパワースペクトルを比較した図( $B=300\text{mm}, B/D=5.0, U=6.0$ , 気流 A) を Fig.3 に示す.

**5. 結論** 2 次元コヒーレンスのモデル化はピークを中心に, 注目した低周波数域で近似することができた. その近似式を用いた解析結果は, 特に低周波数域で従来の解析結果より精度の高い結果を示す結果となった. 前項で述べたように PSD 倍率のモデル化が可能となれば, 入力情報をより少なくして解析することができる可能性が見出された.

**6. 参考文献** [1] 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) [2] 三次涼太, 白土博通, アンドレ・マヒンドラ, 佐々木治, 八木知己: Correlating structure of surface pressure and gust force evaluation, 第 24 回 KCCNN [3] 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

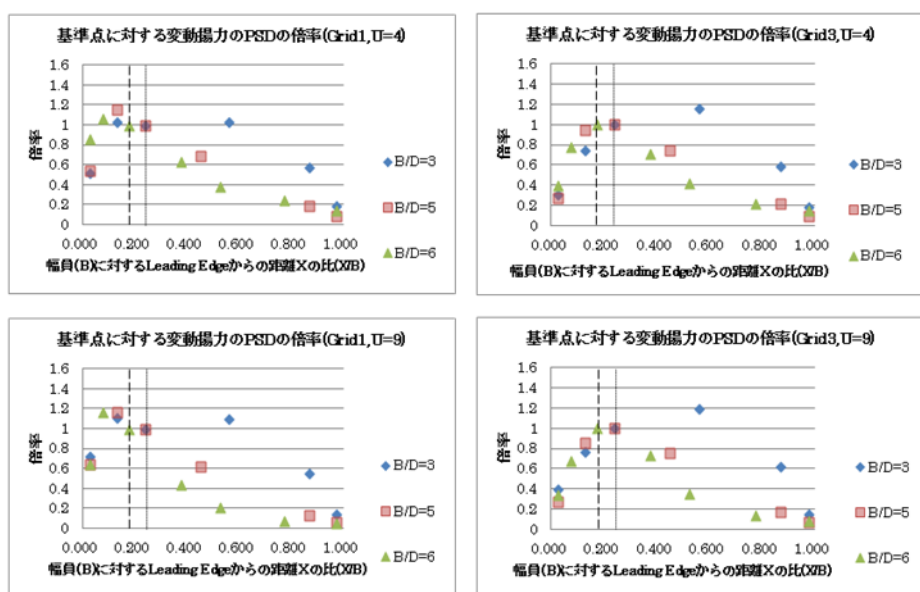


Fig.1 PSD 倍率プロット図

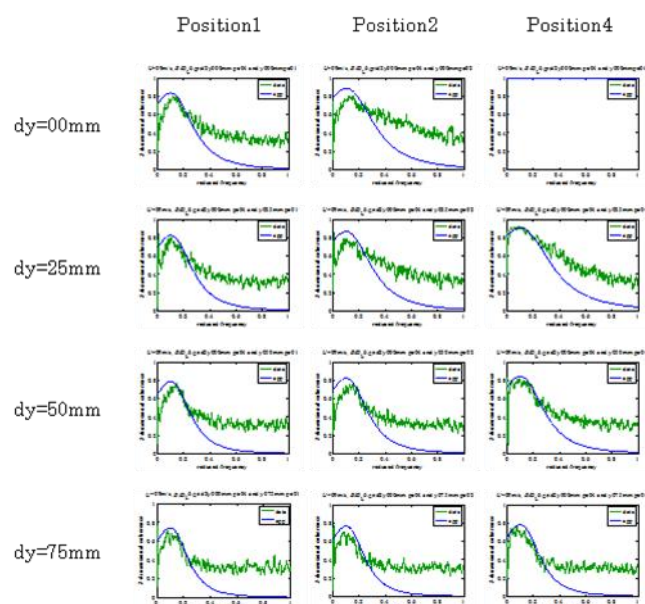


Fig.2 2次元ルート・コヒーレンス近似結果

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         |

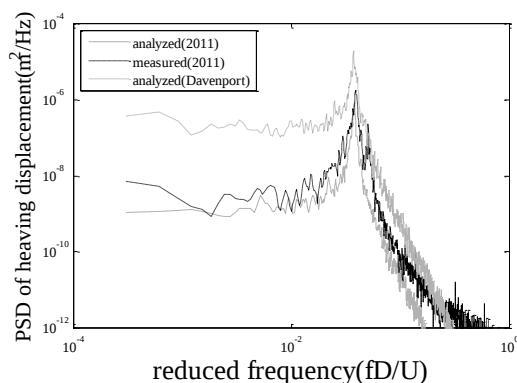


Fig.3 変位応答の PSD 比較図