

乱流特性が扁平矩形断面の変動揚力の空間相関に及ぼす影響

徳島大学大学院 学生員 油谷 晃佑
 徳島大学 正員 野田 稔
 株式会社浅川組 岸本 昌大
 徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

自然風は一般的に乱れており、その風向や風速は、時間的、空間的に変動している。この乱れを含んだ気流が作用することによって、構造物に作用する空気力が変動し、構造物には不規則な強制振動が生じる。この風速変動によって、構造物に引き起こされる振動現象をガスト応答という。橋梁では、風の乱れによって不規則強制振動であるガスト応答が生じ、破壊には至らないが部材や継ぎ手、支承部などにおける疲労問題が生じる。また、橋梁設計時に静的な設計風荷重の割増し係数としてガスト応答係数が用いられることからわかるように、ガスト応答は耐風設計において重要な研究課題の一つである。

ガスト応答の推定には、A.G.Davenport により提案された周波数領域におけるガスト応答解析が一般的によく用いられている。そして、このガスト応答解析において用いられるガスト空気力の空間相関について、接近流の空間相関と変動空気力の空間相関は等しいとするストリップ理論の仮定が一般的に用いられている。しかし、既往の研究^{1),2)}では変動圧力の空間相関が変動風速の空間相関よりも高くなるといった結果が報告されている。そこで、本研究では風洞実験にて風洞内に格子を設けて条件の違う乱流をいくつか生成し、その乱流中に模型を設置し接近流の特性が扁平矩形断面の変動揚力の空間相関に与える影響について検討する。

2. 実験概要

(1) 変動風速測定実験

本研究では、風洞内に4種類の格子を設置することによって等方性乱流を生成し、これを接近流として風洞実験を行った。そして、用いた4種類の格子の格子幅 b 、吹走距離 x を変化させることで11種類の気流を生成した。ここで、表1に生成した気流の格子幅 b 、吹走距離 x の関係を示す。表1の中に示しているケース名についてはCに続く2桁の数字の1桁目が乱れ強さのグループ、2桁目が乱れのスケールのグループを表しており、それぞれの数字が指標の大きさを表す形となっている。また、変動風速は各気流ごとにスパン方向に離れた2点で同時に測定した。そして、実験から得られた風速データより、乱れの強さ及び乱れのスケールといった乱流特性を把握し、これらの数値を用いて検討を行った。

表-1 各条件ごとのケース名

		b (mm)			
		20	30	50	75
x / b	20		C 4 1	C 4 3	C 4 4
	30		C 3 1	C 3 4	
	50	C 2 1	C 2 2	C 2 4	
	100	C 1 2	C 1 4		C 1 5

(2) 変動圧力測定実験

風洞内に扁平矩形断面模型 ($L=900\text{mm}$, $B=351\text{mm}$, $D=27\text{mm}$) を設置し、気流の設定を変動風速測定と同様に変化させながら、各接近流において模型に作用する変動圧力を測定した。使用した圧力測定模型には、図1および図2.に示すような圧力孔 $\phi(=1\text{mm})$ が設けられており、基準断面 (o 断面) の上下20点と任意断面 (k 断面) の上下20点の合計40点の圧力孔に作用する変動圧力を同時に測定した。また、各断面に作用する変動揚力は圧力模型表面にある圧力孔の変動圧力を積分することによって求めた。

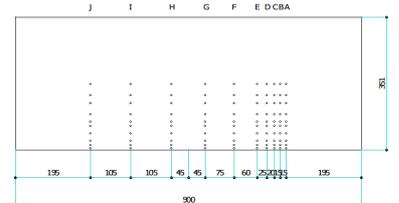


図-1 圧力測定模型 (上面図)



図-2 圧力測定模型 (断面図)

3. 変動揚力の空間相関特性

ここでは、乱流特性が変動揚力の空間相関係数にどのような影響を与えるかについて検討する。また、揚力、上面揚力のそれぞれについて空間相関スケールを求め、これらについても検討する。

変動揚力の相互相関係数 $R_{L_0L_k}(\tau)$ は、相互相関関数 $C_{L_0L_k}(\tau)$ を用いると、次式 (1) で表される。ここで、 $L_0 = L_{U_0} + L_{L_0}$ (L_{U_0} : 基準断面の上面揚力, L_{L_0} : 基準断面の下面揚力), $L_k = L_{U_k} + L_{L_k}$ (L_{U_k} : k 断面の上面揚力, L_{L_k} : k 断面の下面揚力) と表されるので、次式 (2) のようになる。

$$R_{L_0L_k}(\tau) = \frac{C_{L_0L_k}(\tau)}{\sqrt{C_{L_0L_0}(0)C_{L_kL_k}(0)}} \tag{1}$$

$$C_{L_0 L_k}(0) = \overline{L_0 L_k} = \overline{L_{U_0} L_{U_k}} + \overline{L_{U_0} L_{L_k}} + \overline{L_{L_0} L_{U_k}} + \overline{L_{L_0} L_{L_k}} \quad (2)$$

つまり、変動揚力の相関は、上面、下面といった片側の揚力の空間相関から成り立っていることが分かる。

図3および図4に揚力の空間相関、上面揚力の空間相関、基準断面の上面揚力とk断面の下面揚力の空間相関を乱れの強さと乱れのスケールのそれぞれで比較したものを示す。

図3より、乱れの強さの変化に対しては、揚力の空間相関はほとんど変化しない。しかし、上面揚力の空間相関は乱れの強さが小さいほど高くなっている。また、基準断面の上面揚力とk断面の下面揚力の空間相関が乱れの強さが小さいものほど負の相関が高くなっていることから、上下面のクロス項での相関が上面揚力で高かった相関を下げる働きをしていると考えられる。また、図4より、乱れのスケールが大きいものほど揚力の空間相関は高くなっている。しかし、上面揚力の空間相関は乱れの強さによる比較とは違い、ほぼ同程度の値をとっている。そして、基準断面の上面揚力とk断面の下面揚力の空間相関は乱れのスケールが小さいほど負の相関が高くなっており、上下面のクロス項での相関が上面揚力で同程度である相関に差を生じさせる働きをしていると考えられる。

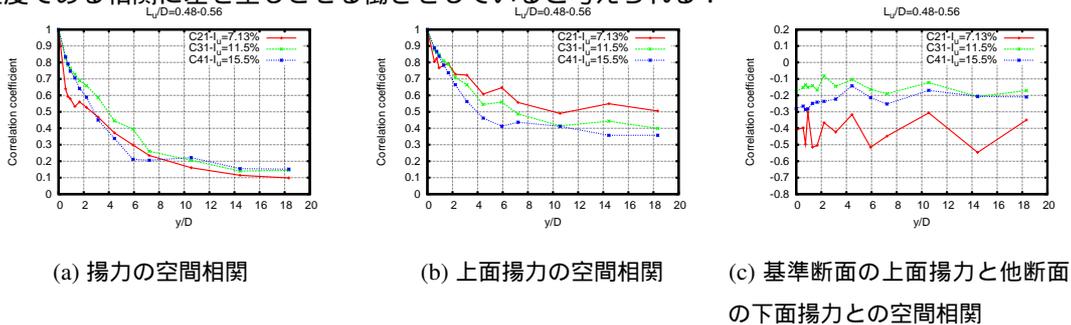


図-3 乱れの強さの影響

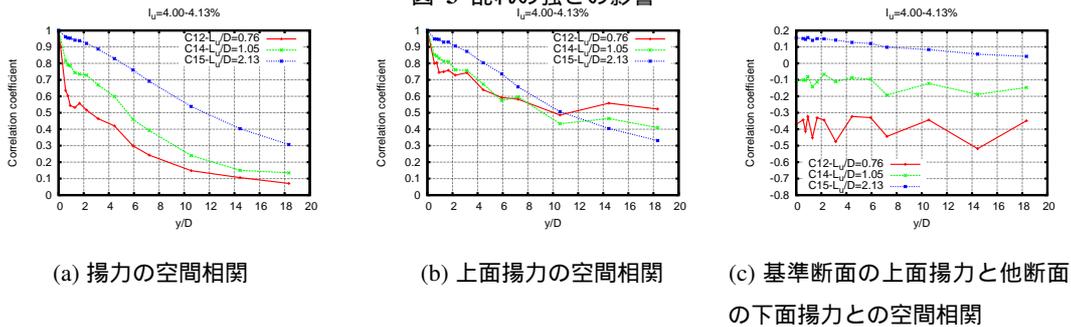


図-4 乱れのスケールの影響

ここで、以下に示す式(3)の $R_L(y)$ を揚力の空間相関に、 $R_i(y)$ を上面揚力の空間相関に近似することで、揚力の空間相関スケール (L_L) および上面揚力の空間相関スケール (L_i) を算出した。

$$R_L(y) = \exp(-x/L_L), R_i(y) = (1-a)\exp(-x/L_i) + a \quad (3)$$

近似して求めた L_L と L_i に関してまとめたものが図5である。これを見ると、ほぼ全てのケースで1つの直線上に沿った傾向を示したことから、 L_L と L_i には強い相関があると考えられる。しかし、この直線から大きくはずれているケースが1つ有り、これは図4に示しているC15のケースである。C15のケースは乱れの強さが4%程度で、乱れのスケール比が $L_u/D=2.13$ と全てのケースにおいて最もスケールが大きい気流である。図4の(c)にもあるように、C15はクロス項での相関が正となることから、上面揚力の相関を高める働きがあると考えられる。

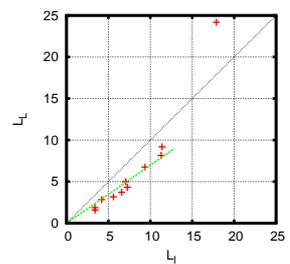


図-5 空間相関スケール

4. おわりに

本研究では、乱流特性の異なる気流で扁平矩形断面に作用する変動揚力の空間相関を調べることで乱流特性が変動揚力の空間相関に与える影響について検討した。検討結果より、揚力の空間相関はその内訳である片面揚力の空間相関と上下面でクロス項の空間相関が互いに影響しあうことで構成されていることがわかった。しかし、これらの複雑な関係について詳細な検討ができていないため、今後さらに検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 木村吉郎, 藤野陽三: パフェッティング応答解析におけるストリップ理論の仮定について, 構造工学論文集, Vol.40A, pp.1049-1058, 1994.
- 2) 宇都宮英彦, 長尾文明, 野田稔, 徳谷孝仁, 尾嶋百合香: 剥離形態の違いによる変動揚力の空間相関特性について, 第16回風工学シンポジウム, pp.219-224, 2000.