

剥離形態の違いが変動揚力の空間相関特性に与える影響

松尾エンジニアリング(株) 正員 徳谷 孝仁 徳島大学工学部 フェロー 宇都宮 英彦
 徳島大学工学部 正員 長尾 文明 徳島大学工学部 正員 野田 稔
 徳島大学大学院 学生員 尾嶋 百合香

1. はじめに 周波数領域におけるガスト応答解析において、変動風速に起因する変動空気力（以下、ガスト空気力の空間相関は一般的にその計測、予測が困難なことから、ガスト空気力の空間相関の代わりに変動風速の空間相関を用いて解析が行われることが多い。しかし、ガスト空気力の空間相関の方が変動風速の空間相関よりも大きくなることが報告されており¹⁾、さらにその現象は乱れのスケール等の乱流特性や断面形状に依存すると考えられる。そこで本研究では剥離形態の異なる2種類の断面形状を設定し、ガスト空気力の揚力成分の空間相関特性について検討した。ここでは、空間相関係数を幅員方向に分解する手法を用いて、ガスト空気力の空間相関がどのように決定付けられているかについて報告する。

2. 風洞実験概要 風洞実験は1.5m×1.5mの測定胴を有するNPL型押し込み式風洞を用いて行った。模型はFig.1 (a), (b)に示す桁幅: B=234mm, 桁高:D=18mm (断面比: B/D=13)の扁平矩形断面を有する再付着型模型(以下, RA 模型), RA 模型に半円弧型フェアリングを設置した非剥離型模型(以下, NS 模型)の2種類の異なる剥離形態を持つ剛体模型で、これら模型表面に直径1mmの圧力孔を1断面に14点設け、異なる2断面の表面圧力を積分することで変動揚力を求め空間相関を測定した。接近流はTable 1に示す4種類の格子乱流である。ここで、格子乱流G1における各断面の平均圧力係数(C_p)、変動圧力係数(C_p')をFig.2 (a), (b)に示すが、RA 模型では前縁で剥離した流れが $x/D=2\sim3$ 付近で再付着しており、NS 模型では前縁部で僅かに非定常な剥離が生じているほかは、ほぼ剥離の抑えられていることが確認できた。

3. ガスト揚力の空間相関特性 G1におけるガスト揚力および接近流の空間相関係数をFig.3に示す。接近流の空間相関よりガスト揚力の空間相関の方が大きい、剥離形態の異なるRA 模型とNS 模型では作用するガスト揚力の空間相関に明確な差異は確認されなかった。これは、他の接近流においても同様の傾向を示し、接近流の空間相関の大きさによりガスト揚力の空間相関が変化するが、RA 模型とNS 模型では明確な差異は認められなかった。

4. 空間相関係数の分解値 前節で述べたように、剥離形態の異なるRA 模型とNS 模型では作用するガスト揚力の空間相関に差異は認められなかったが、両者が同様の流れのパターン、メカニズムにより相関がほぼ等しくなるとは考え難い。そこで、ある断面に作用するガスト揚力はその断面に作用する表面圧力を幅員方向に積分して求められることを利用し、ガスト揚力の空間相関係数を幅員方向に分解することを考える。

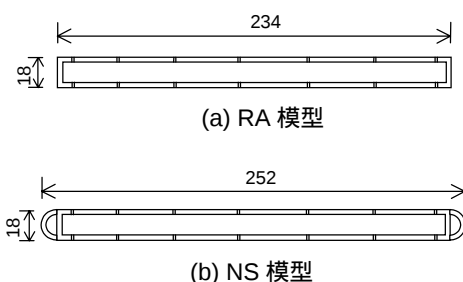


Fig.1 模型断面図 (単位: mm)

Table 1 接近流特性

Case Name		G1	G2	G3	G4
Turbulence Intensity (%)	Iu	6.78	10.87	10.79	8.18
	Iw	5.14	8.21	8.14	6.31
Turbulence Scales (cm)	Lu	5.90	4.93	6.36	2.59
	Lw	2.60	1.97	2.51	1.03
Reduced Turbulence Scales	Lu/D	3.28	2.74	3.53	1.44
	Lw/D	1.44	1.09	1.39	0.57

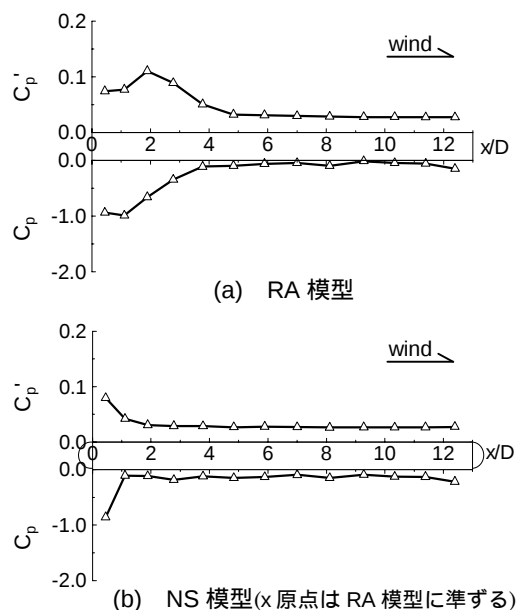


Fig.2 G1における各断面の圧力係数

キーワード: ガスト応答, 空間相関, 空間相関係数の分解値

〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 TEL/FAX 088-656-9443

スパン方向に離れた 2 断面に作用するガスト揚力の空間相関係数 $R_{L_0 L_k}$ は，時刻歴揚力 L_0, L_k より Eq.1 のように表される．

$$R_{L_0 L_k} = \frac{C_{L_0 L_k}}{\sqrt{C_{L_0 L_0}} \cdot \sqrt{C_{L_k L_k}}} = \frac{\overline{L_0 \cdot L_k} - (\overline{L_0} \cdot \overline{L_k})}{\sqrt{\overline{L_0^2} - \overline{L_0}^2} \cdot \sqrt{\overline{L_k^2} - \overline{L_k}^2}} \quad (1)$$

ここで， L_k は Fig.4 に示すようにある k 断面の一点に作用する上下面の差圧 l_{kn} を幅員方向に積分したものであることから Eq.1 は，

$$R_{L_0 L_k} = \frac{\overline{L_0 \cdot (b_1 l_{k1} + b_2 l_{k2} + b_3 l_{k3} + \dots + b_n l_{kn})} - \overline{L_0} \cdot (\overline{b_1 l_{k1}} + \overline{b_2 l_{k2}} + \overline{b_3 l_{k3}} + \dots + \overline{b_n l_{kn}})}{\sqrt{\overline{L_0^2} - \overline{L_0}^2} \cdot \sqrt{\overline{L_k^2} - \overline{L_k}^2}} \quad (2)$$

と書き換えることができる．さらに，Eq.2 を各測点によりまとめると次式のようなになる．

$$= \frac{\overline{L_0 \cdot (b_1 l_{k1})} - \overline{L_0} \cdot (\overline{b_1 l_{k1}})}{\sqrt{\overline{L_0^2} - \overline{L_0}^2} \cdot \sqrt{\overline{L_k^2} - \overline{L_k}^2}} + \frac{\overline{L_0 \cdot (b_2 l_{k2})} - \overline{L_0} \cdot (\overline{b_2 l_{k2}})}{\sqrt{\overline{L_0^2} - \overline{L_0}^2} \cdot \sqrt{\overline{L_k^2} - \overline{L_k}^2}} + \dots + \frac{\overline{L_0 \cdot (b_n l_{kn})} - \overline{L_0} \cdot (\overline{b_n l_{kn}})}{\sqrt{\overline{L_0^2} - \overline{L_0}^2} \cdot \sqrt{\overline{L_k^2} - \overline{L_k}^2}} \quad (3)$$

$$= \sum_n \frac{C_{L_0 l_{kn}}}{\sqrt{C_{L_0 L_0}} \cdot \sqrt{C_{L_k L_k}}} \equiv \sum R_{div.n} \quad (4)$$

Eq.4 で定義される $R_{div.n}$ は模型表面上の各測点ごとに一つの値を持ち，それらを幅員方向に足し合わせるとその断面と基準断面（ここでは 0 断面）との空間相関係数が求められることを示している． $R_{div.n}$ の幅員方向の分布を調べることでいかなる断面位置がガスト揚力の空間相関に寄与するかを定量的に評価することが可能である．なお，ここでは $R_{div.n}$ を空間相関係数の分解値と呼ぶことにする．

Fig.5 (a), (b) は G1 における RA 模型，NS 模型の分解値特性を示したものである．RA 模型では $x/D=2.0$ 付近で分解値のピークを持つことから，剥離を伴う扁平矩形断面では模型前縁で剥離した流れが再付着する際，スパン方向にあるスケールを持って再付着することで相関が大きくなるものと考えられる．これに対し NS 模型では模型前縁で分解値のピークを持ち，幅員方向に流下するに従って $R_{div.n} < 0.2$ の領域で値がなだらかに低くなることから，剥離がほぼ抑えられた断面では，あるスケールを持つ乱渦が模型前縁に達した際，その渦の見かけの体積を保持するようにスパン方向，幅員方向に引き伸ばされることにより相関が大きくなるものと考えられる．なお，これらの傾向は他の接近流下でも同様に確認することができた．

4. まとめ 剥離形態の異なる RA 模型と NS 模型ではガスト揚力の空間相関に違いは確認されなかったが，空間相関係数の分解値を導入することで空間相関の形成は両者で異なることを明らかにすることができた．分解値特性より断面周りの流れとガスト揚力の生成機構について仮説を示したが，これは模型近傍の風速測定などによりさらに詳細な検討を加える必要があると考えられる．

参考文献 1) 木村吉朗，藤野陽三：パフェ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，pp1049-1058，1994

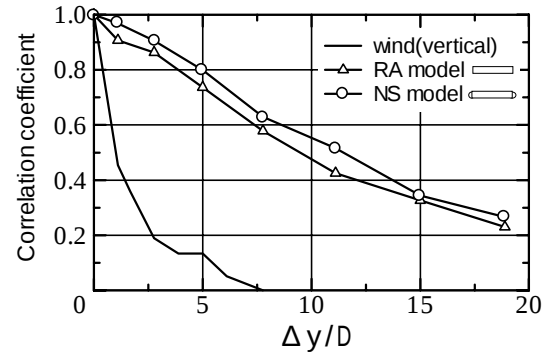


Fig.3 接近流およびガスト揚力の空間相関係数

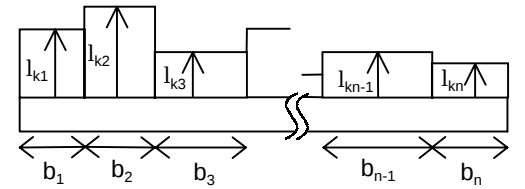


Fig.4 k断面に作用する差圧と揚力の関係

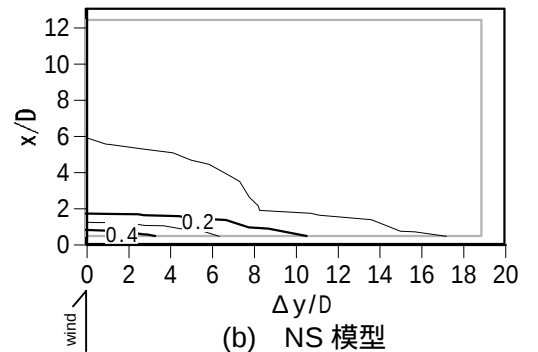
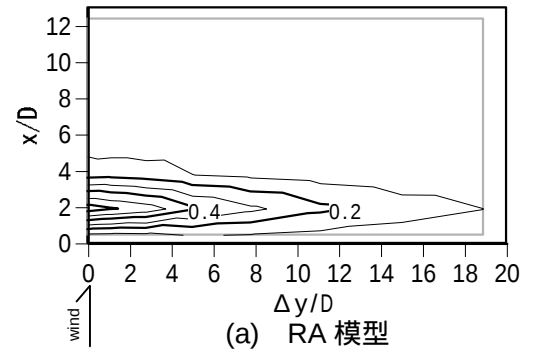


Fig.5 空間相関係数の分解値特性