

乱流中における扁平矩形断面の変動揚力特性

徳島大学大学院 学生員 國家 逸冬 徳島大学 正員 野田 稔  
 徳島大学 正員 長尾 文明 徳島大学 正員 宗田 和之

1. はじめに

20 世紀に入り、橋梁の長大化が進んだ。それに伴って、比較的低風速でパフェッティングと呼ばれる不規則振動が発現する橋梁が出てきて継ぎ手などの構造的に弱点となる部材の疲労や走行性が低下するなど問題になっている。現在、パフェッティング応答の推定では、A.G.Davenport が提案したガスト応答解析が用いられている。この手法では、いくつかの仮定をしており、接近流の空間相関と構造物に働く空気力の空間相関が等しいということになっている。しかし、野田らの研究<sup>1)</sup>によると "変動圧力の空間相関が変動風速の空間相関よりも強くなる" という結果が得られている。この相違点について、種々の研究がなされてきたが、コヒーレンス、位相差については、まだ、検討の余地がある。そこで、本研究では、変動風速の鉛直成分の空間相関係数、パワースペクトル、扁平矩形断面に働く変動揚力の空間相関係数、パワースペクトル、変動風速の鉛直成分と扁平矩形断面に働く変動揚力のコヒーレンス、位相差および空力アドミッタンスについて規則性の有無について検討する。さらに、本研究では、従来の研究に比べ、変動風速および構造物に働く空気力測定時の評価時間を長くすることによりデータの精度向上を図った。

2. 実験概要

本研究では、寸法の異なる 4 種類の乱流格子 (G1,G2,G3,G4) を風洞内に設置し、測定位置までの吹走距離  $x$  を変えて乱れの強さと乱れのスケールがそれぞれ異なる 4 種類の気流を生成した。それぞれの乱流格子の格子棒中心間隔  $M$  と格子棒の幅  $b$  の比  $M/b$  は 5 に統一した。また、各格子における吹走距離  $x$  と格子棒の幅  $b$  の比  $X/b$  は、42.0(G1),68.6(G2),42.0(G3),68.9(G4) とした。そして、接近流の変動風速の鉛直成分と図 1 のような扁平矩形断面に働く変動揚力について考察した。

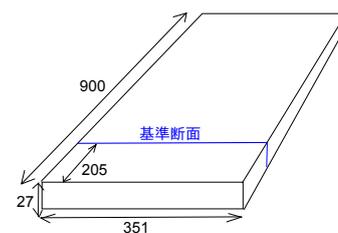


図-1 扁平矩形断面模型の寸法

気流の特性を確認する実験では、風洞内に基準位置測定用と任意位置測定用の 2 つの X 型熱線風速計を設置し、各位置の変動風速の主流成分と鉛直成分を同時に測定した。また、今回の実験では、任意位置として基準位置から主流水平直角方向に 60mm までは 3mm 間隔で、60mm から 185mm までは 5mm 間隔で変動風速を測定し、データのサンプリングレートは 1kHz、評価時間は 60 秒とした。なお、この実験では、風洞内に、扁平矩形断面模型を設置していない。

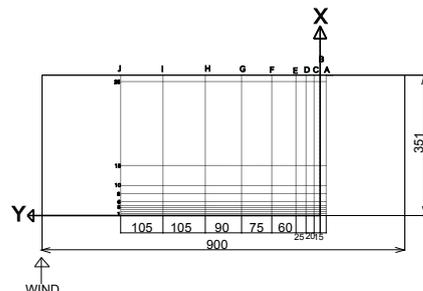


図-2 圧力模型の測定断面配置

扁平矩形断面に作用する変動揚力の測定は、風洞内に扁平矩形断面の圧力模型を設置して基準断面と任意断面に作用する圧力を微風圧計によって測定した。圧力模型の測定断面配置を、図 2 に示す。また、変動揚力は、圧力分布を積分し求めた。なお、データのサンプリングレートは、1kHz で、評価時間は 180 秒である。

3. 実験結果および考察

気流の特性を表す指標には、乱れの強さと乱れのスケールがあり、乱れの強さは、8.5%(G1),5.8%(G2),8.9%(G3),5.6%(G4) となった。乱れのスケールは、36mm(G1),38mm(G2),17mm(G3),21mm(G4) となった。図 3 は、接近流の鉛直成分の空間相関係数と変動揚力の空間相関係数を比較したものである。接近流の鉛直成分の空間相関係数の方が、変動揚力の空間相関係数よりも小さい。また、接近流の鉛直成分の空間相関係数の方が、変動揚力の空間相関係数よりもスパン方向の距離に対する減少の割合が大きいことが確認できる。図 4 は、乱れのスケールの異なる G1,G3 の接近流のパワースペクトルをプロットしたものである。乱れのスケールの小さい G3 は、高周波数の寄与が多くなっている。これは、スケールの小さな渦の影響を受けているものと考えられる。同様のことが、G2,G4 を比較しても確認できた。図 5 は、乱れのスケールの異なる G1,G3 の変動揚力のパワースペクトルをプロットし

たものである。乱れのスケールの小さいG3の方が、10Hz~30Hzの寄与が多くなっている。また、同様のことが、G2,G4を比較しても確認できた。図6は、基準断面とスパン方向の距離の異なる3つの断面の接近流のコヒーレンスである。基準断面とのスパン方向の距離が遠くなるに連れてコヒーレンスが小さくなっている。また、同様の事が、基準断面とスパン方向の距離の異なる3つの断面の変動揚力のコヒーレンスをプロットした図7についても確認できる。さらに、図6,図7を比較すると、接近流のコヒーレンスの方が変動揚力のコヒーレンスよりも小さくその距離に対する減少の割合が大きい。この傾向は、接近流の空間相関係数と変動揚力の空間相関係数を比較した際の傾向と類似している。なお、接近流の位相差および変動揚力の位相差は、スパン方向の距離の違いによる規則性は認められなかった。空力アドミッタンス $|X(f)|^2$ は、次式で定義される。

$$|X(f)|^2 = \frac{1}{(\rho C_D U B)^2} \frac{S_{li}(f)}{S_w(f)} \quad (1)$$

ここに、 $f$ は周波数、 $\rho$ は空気密度、 $C_D$ は空気力係数、 $U$ は平均風速、 $B$ は扁平矩形断面モデルの幅、 $S_{li}$ は変動揚力のパワースペクトル、 $S_w$ は変動風速の鉛直成分のパワースペクトルである。本研究では、 $\rho$ を1.2、 $C_D$ を $2\pi$ と置いて空力アドミッタンスを求めた。図8は、乱れのスケールの異なるG1,G3の空力アドミッタンスである。空力アドミッタンスは乱れのスケールの小さいG3の方が高周波数域で大きくなっている。

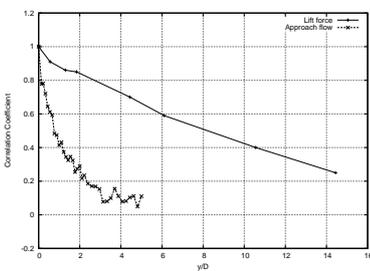


図-3 接近流の空間相関係数と変動揚力の空間相関係数

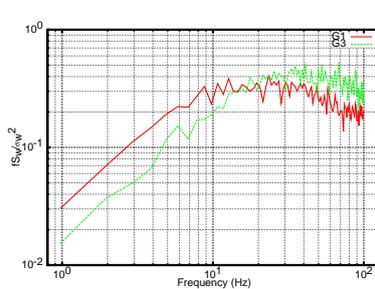


図-4 接近流のパワースペクトルG1vsG3

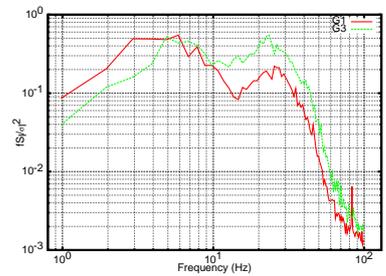


図-5 変動揚力のパワースペクトルG1vsG3

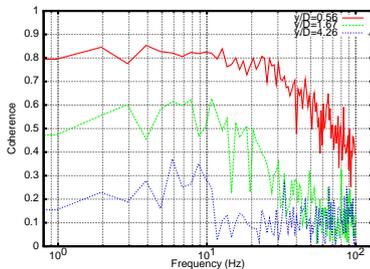


図-6 接近流のコヒーレンスの比較

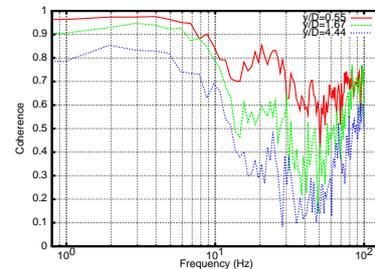


図-7 変動揚力のコヒーレンスの比較

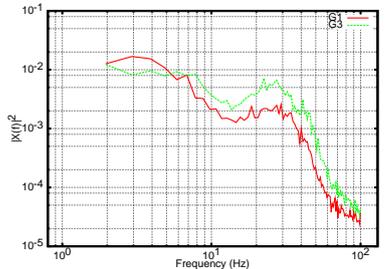


図-8 空力アドミッタンス G1vsG3

#### 4. おわりに

本研究では、変動風速の鉛直成分と扁平矩形断面に働く変動揚力のコヒーレンス、位相差について気流との規則性の有無について検討した。その結果、コヒーレンスは、接近流、変動揚力共に基準断面との距離が遠いとコヒーレンスが小さく、接近流のコヒーレンスは、変動揚力のコヒーレンスよりも小さく、その距離に対する減少の割合が多い。位相差は、基準断面からスパン方向の距離に対する規則性は、接近流、変動揚力共に認められなかった。また、空力アドミッタンスは、乱れのスケールが小さい方が10Hz以上の領域で大きくなっている。今後は、本研究の結果をもとに気流の風速変動が扁平矩形断面に作用する空気力の変動としてどのようなプロセスで伝達していくかを検討していく。

#### 参考文献

- 1) 野田稔, 宇都宮英彦, 長尾文明, 尾嶋百合香, "扁平矩形断面に作用する変動空気力の空間相関形成機構に関する-考察", 第17回風工学シンポジウム論文集, pp.255-260, 2002