扁平矩形断面に作用する変動揚力と変動圧力に関する検討

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 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

長大橋の耐風設計においては,フラッターや渦励振等の自励振動の照査も重要であるが,強制振動であるガ スト応答の照査も重要である.ガスト応答の精度良い推定においては,構造物の固有振動数と減衰に依存した 構造特性であるメカニカルアドミッタンス,変動空気力のパワースペクトル密度をある地点の変動空気力のパ ワースペクトル密度と結びつける空間的な補正係数であるジョイントモードアクセプタンス,入力である変動 風から出力である変動空気力への伝達関数である空力アドミッタンスのそれぞれを正確に評価する必要がある. これら3つの関数のうち空力アドミッタンスに着目すると,明石海峡大橋の耐風設計において薄翼に対する理 論解である Sear's 関数が用いられている¹⁾.さらに,奥村らの研究²⁾によって矩形断面では空力アドミッタンス が Sear's 関数と異なる挙動を示し,その原因として剥離流の影響が示唆されている.また,野田らによると剥 離せん断層の圧力変動は剥離せん断層を流下する渦によるという結果が得られている³⁾.そこで本検討では,1 断面内において変動風から変動圧力への伝達と変動揚力の内訳について断面周りの流れとの関連も考えながら 検討した.

2. 風洞実験概要

本検討では,幅 B=351mm,桁高 D=27mm,(B/D=13)の断面で長さ L=900mmの断面を対象とした.断面に 生じる圧力測定には,同一鉛直断面内に図1のような間隔で直径1mmの圧力孔が空いている圧力模型を用い, 各孔の位置での圧力を多点同時圧力計測装置で測定した.今回測定した圧力のデータは,サンプリング周波数 1kHz,評価時間180秒である.また,変動風速の測定は,圧力模型を設置していない状態で今回検討する鉛直 断面内において X 型熱線風速計を用いて,サンプリング周波数1kHz,評価時間60秒で計測した.なお,気流 は,鉛直方向乱れ強さ $I_w = 8.1\%$,鉛直方向乱れスケール $L_w/D = 0.67$ の格子乱流を用いた.

3. 変動風から変動圧力への伝達関数

変動圧力の相対的な大きさを変動風速の鉛直成分のパワースペクトルで除した,変動風速から変動圧へのパ ワースペクトルの伝達関数を図2に示す.これを見ると,x/D=0~4の領域に接近流の変動が圧力として伝達 されていることが分かる.この x/D=0~4の領域は,図3の圧力係数から推定される剥離バブルのある位置 (x/D=0~4)と一致する.また,周波数方向を見てみると,無次元周波数で0.15までしか接近流の変動が圧力 として伝達されていない.これは,圧力変動の周波数が高いため,剥離せん断層内の渦同士が近接した状態と なり,流れの変動に圧力変動が追従できなくなったためと考えられる.

4. 変動揚力の内訳

変動揚力の内訳について検討するために変動揚力と各圧力孔の圧力のルートコヒーレンス分布を図4に示す. これを見ると,原点近傍にルートコヒーレンスが高い領域があるのが分かる.そして,そのルートコヒーレン スが高い領域は,周波数が低いほど大きいx/Dまで広がっている.さらに,ルートコヒーレンスが高い領域に





図-2 鉛直成分の変動風速から変動圧力へのパワースペクト ル伝達関数 沿うように低い領域がある.また,その低い領域に沿うようにルートコヒーレンスが高い領域が無次元周波数 0.02~0.14の間にあり,その外側にもルートコヒーレンスの値が増減を繰り返しながら圧力変動を起こすとい う波状の分布になっている.この分布のルートコヒーレンスの高い領域は,1個の渦が1サイクルあたりに流下 する範囲を表しており,ルートコヒーレンスが高い領域が幾重にもあるのは,複数のサイクルの圧力変動の範 囲と考えられる.

しかし,図2の風速変動から圧力変動への伝達関数において伝達が確認された x/D = 0 - 4の領域よりも下流において,図4のルートコヒーレンス分布では,ルートコヒーレンスが高い領域が確認されており,変動揚力に対する変動圧力の寄与の大きさを無視した結果となっている.そのため,変動揚力の内訳を正しく評価するためにはルートコヒーレンスでは十分ではなく,変動圧力の大きさも考慮しなければいけないと考えた.式(1)は,ルートコヒーレンスの定義である.ここに,fは,周波数, S_{lp} は,変動揚力と変動圧力のクロススペクトル, S_l は,揚力のパワースペクトル, S_p は,変動圧力のパワースペクトルを表す.

$$coh(f) = \frac{|S_{lp}(f)|}{\sqrt{S_{l}(f)}\sqrt{S_{p}(f)}}$$
(1)

そして,変動圧力のパワースペクトルを考慮するために式(1)の変動圧力パワースペクトルの代わりに変動揚力 のパワースペクトルを用い圧力の大きさも考慮した揚力の内訳を評価する指標を式(2)の様に定義し,部分ルー トコヒーレンスと呼ぶことにした.

$$prc(f) = \frac{|S_{lp}(f)|}{S_l(f)}$$
(2)

図5は,部分ルートコヒーレンスの分布である.これを見ると,x/D=0~2.2,無次元周波数0.025~0.18の領域が部分ルートコヒーレンス0.4以上になっており,この領域の圧力変動の変動揚力への寄与が比較的高いことが分かる.この部分ルートコヒーレンスが比較的大きな領域は,図3に示す圧力係数から推定される剥離バブルのある位置(x/D=0~4)に含まれている.



5. おわりに

本検討では, x/D = 13の断面の変動揚力と変動圧力との関係について検討した.既往の研究で指摘された接 近流の変動によって生じた剥離せん断層を流下する渦によって剥離バブル内の圧力変動が生じていること,剥 離バブル付近の圧力変動が変動揚力を生じさせていることをまとめると,接近流の風速変動が剥離せん断層に 渦を生み,それによって生じた圧力変動が変動揚力となっているプロセスが考えられ,剥離の伴わないポテン シャル流れに基づく Sear's 関数では,変動揚力を表現するには不十分であると言える.

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団,明石海峡大橋耐風設計要領·同解説,1990
- 2) 奥村学,小林紘士,畑中章秀,矩形柱及び六角柱の揚力方向の空力アドミッタンス,構造工学論文集,Vol.44A,pp.979-986, 1998
- 3)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一考察,第17回風工学シンポジウム,pp.255-260,2002