

第 I 部門

2次元鉛直変動風中の角柱の揚力特性に及ぼす負圧の挙動

立命館大学大学院 学生員 ○井原 貴浩
 Hitz 日立造船(株) 正会員 畑中 章秀
 立命館大学理工学部 正会員 小林 紘士

1. まえがき

橋梁のガスト応答に関する基礎的な研究として乱流中の角柱表面の非定常圧力特性について研究してきている¹⁾。ここでは、2次元鉛直変動気流場における揚力の空力アドミッタンスに現れる2つのピークの主因について、断面に作用する圧力の各測定位置での諸特性から考察した。

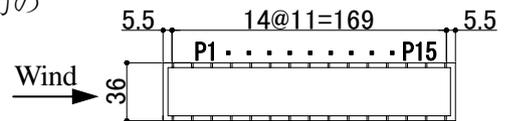


図1 模型断面図

2. 実験概要

本実験では、幅 B と高さ D との比 B/D が 5 の矩形断面を対象に圧力測定を行う。使用した模型断面図を図1に示す。模型のスパン中央部に上下面各 15 点ずつ計 30 点の圧力孔を設け、圧力の多点同時測定を行った。模型上面の前縁側から P1~P15 と測点番号を定義し、模型は長辺が気流と平行になるよう水平に支持した。ガストゼネレーターを用いて主流直角鉛直動成分 (w 成分) が変動する気流を生成し作用させた。ここでは変動風の主流方向成分 (u 成分) は制御せず、その平均流速は 5m/s とした。また気流は X 型熱線流速計を用いて模型のない状態で計測した。

3. 実験結果と考察

(1) 変動圧力係数

図2に上面での変動圧力係数のコード方向の分布を示す。正弦波変動風の変動振幅は傾斜角に換算してどの周波数も約 6° (乱れ強度 I_w に換算すると 7.5%) である。不規則変動風は I_w が 5% のカルマンスペクトルに一致するように生成した。また変動を与えない気流を準一樣流 ($I_w=3.2\%$) とした。変動圧力係数は全周波数において中央部で大きくなっている。これは気流傾斜角変動に伴い再付着点の移動が生じ、その移動域が模型中央部にまで及ぶためではないかと考えられる。与えた正弦波の周波数が大きい方が前縁から中央部にかけての圧力変動を大きくしている。特に無次元周波数 $fB/U=0.144$ で極大値を示し、この領域、すなわち剥離バブル域での圧力変動を増幅させる周波数が存在することを示唆している。

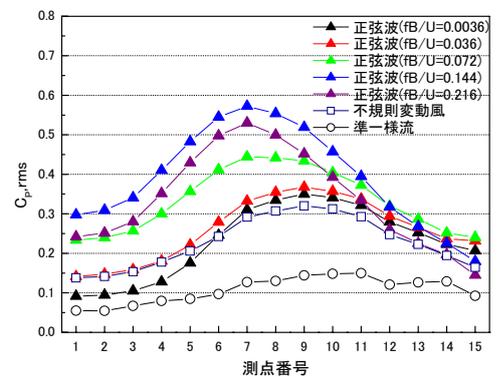


図2 変動圧力係数分布図

(2) 揚力の空力アドミッタンス

図3に揚力の空力アドミッタンスを示す。図中には薄翼での理論値であるSears関数も記した。不規則変動風中と正弦波変動風中との結果はよく一致している。 $fB/U=0.072, 0.144$ で $|X_L|^2$ が大きくなる傾向は前述の変動圧力係数の傾向と一致していることから、この揚力特性は剥離バブル域での圧力変動によるものと考えられる。不規則変動風中でも正弦波変動風中の場合と同様に $fB/U=0.1$ 付近にピークが見られる。さらに $fB/U=0.59$ でもピークが現れている。

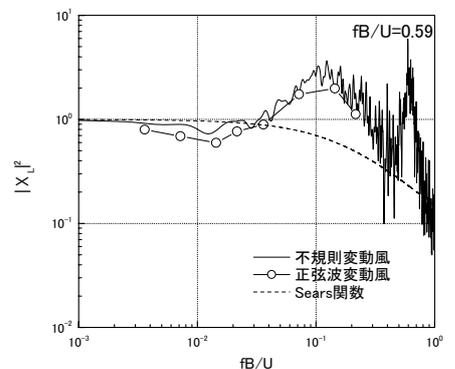


図3 揚力の空力アドミッタンス

(3) パワースペクトル

図5-(a),(b)にそれぞれ準一様流を作用させたときの後流 (u 成分) のパワースペクトル、そのときの揚力のパワースペクトルを示した。両者のピーク周波数が一致し、揚力のパワースペクトルにカルマン渦の放出周波数でピークが現れることが確認される。また前述の揚力の空力アドミッタンスのピーク周波数とも一致している。これらより空力アドミッタンスの第2のピークはカルマン渦に起因するものと言える。

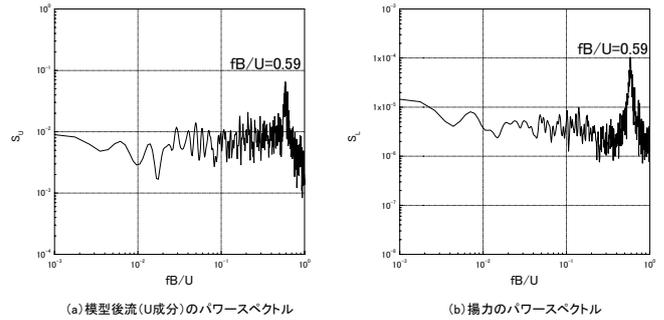


図5 準一様流中の後流・揚力のパワースペクトル

図6-(a),(b)には正弦波変動風(fB/U=0.0216)および不規則変動風(w成分)と揚力(準定常値に換算)のパワースペクトルを示す。正弦波変動風、不規則変動風ともに揚力のパワースペクトルはfB/U=0.1付近で接近流のものよりも大きくなっている。図2のfB/U=0.072,0.144,0.216の加振のときC_{p,rms}が大きくなることとあわせ考えると、接近流にfB/U=0.072~0.216成分の圧力変動を増幅させる効果があるものと推察される。

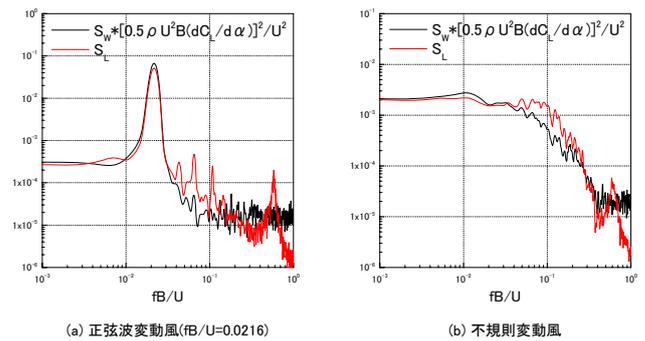


図6 接近流・揚力のパワースペクトル
(正弦波変動風および不規則変動風)

(4) 圧力の伝達関数

w成分と圧力との間の伝達関数を次式で定義し計算した ($|X_p|^2 = S_p/S_w * [U^2 / (0.5 \rho U^2)^2]$)。図7にその図を示す。それぞれ前縁、中央部にあたるP1,P7にはfB/U=0.1付近にピークが見られる。しかしながら後縁部にあたるP15にはカルマン渦によるピークは見られるものの、fB/U=0.1付近のピークは見られない。このfB/U=0.1付近のピークは空力アドミッタンスで見られたものと同様であり、後縁部で発達するカルマン渦とは別の前縁部から中央部までの剥離バブル域における圧力変動に起因するものと言える。低周波域でのP15の値は小さく、剥離バブル域での圧力変動が揚力特性を特徴付けていると言える。P15の高周波域で正弦波変動風中の値が大きく低下しているがこの原因は明らかとなっていない。カルマン渦放出周波数とは別に伝達関数のfB/U=0.1付近にピークが存在することから、剥離バブル域の圧力変動を増幅させる周波数帯が存在する可能性が考えられる。

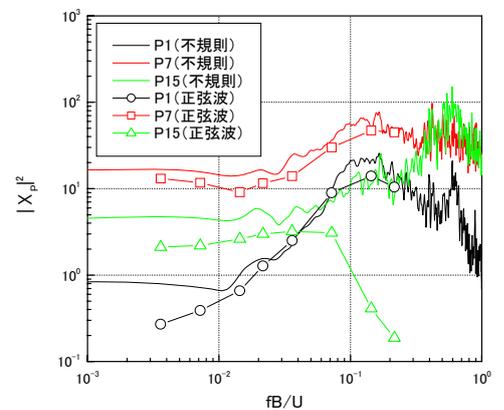


図7 圧力の伝達関数

4. あとがき

揚力変動にカルマン渦に起因するものが含まれていることが確認された。それ以外の周波数では剥離バブル域での圧力変動が揚力特性を特徴付けていると考えられる。また気流変動が剥離バブル域での変動を増幅させる周波数域が存在する可能性が示唆された。これらは剥離バブルの非定常な挙動によるものと推測できる。今後さらなる検討が必要である。

謝辞 本研究には立命館大学大学院生有川翔伍君に協力頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 奥村学、松谷裕治、松田祥伍、小林紘士、「乱流中の角柱表面の非定常圧力特性に関する実験的研究」、第17回風工学シンポジウム(2002)、2002.12、p.249-254