

扁平矩形柱における剥離干渉効果のPIVによる検討

九州工業大学大学院 学生員 田中洋介 池田隼人 九州工業大学 野田辰徳
九州工業大学 フェロー 久保喜延 正会員 木村吉郎 加藤九州男
株式会社鹿島建設技術研究所 正会員 林田宏二

1.はじめに 橋梁などに風が作用する場合、その物体周りに気流が生じ、その気流の非定常的な変化によって断面周辺に剥離渦が発生する。その剥離渦の生成によって渦励振やギャロッピング、フラッターなどの空力弾性振動現象が発生し、橋梁などの構造物を破壊に至らせる危険性がある。このような、空力弾性振動を抑制する手法の一つとして、剥離干渉法がある。剥離干渉法の基本的な考え方としては、Fig.1 のように断面上流側に 2 つの剥離点を設けて、それぞれを 1 次剥離点、2 次剥離点とする。1 次剥離点からの剥離流を 2 次剥離点で制御することによって、空力弾性振動の原因となる剥離渦の生成を抑制するというものである。本研究では、断面辺長比が大きい再付着型矩形断面を用いて、剥離干渉法の効果について検討する。

2.実験概要 実験は九州工業大学の大型風洞（測定断面 高さ 1.8 × 幅 1.1 × 長さ 20(m)）及び鹿島建設技術研究所の可視化風洞（測定断面 高さ 2.0 × 幅 1.2 × 長さ 14.6(m)）で実施した。本研究で使用したモデルは Fig.2 に示すように断面幅 $B=400\text{mm}$ 、 $D=50\text{mm}$ （断面辺長比 $B/D=8.0$ ）の再付着型矩形断面を基本断面として、この断面に高さ $h=10\text{mm}$ の鉛直板を設置して実験を行った。ここで、この断面において一次剥離点と二次剥離点との角度を剥離点間設定角と定義する。実験は剥離点間設定角（以下 と定義する）を 0 （基本断面）、 $20^\circ \sim 40^\circ$ まで 5° 刻みで変化させた。この断面について、バネ支持実験による 2 自由度応答実験及び三分力実験を行い、実験で得られた自由振動応答特性等をもとに、PIV システムと圧力測定システムを同期させて、静止時について実験を行った。

2.1 PIVシステム 本実験で用いた PIV システムは、FlowManager software（Dantec Dynamics 社）を用い、デジタル高速度ビデオカメラ、レーザーパルスシンクロナイザー及び Nd:YAG レーザー等から構成される。PIV の基本原理としては、風の流れに混入させたトレーサー粒子に向けて、2 台のレーザー発振器からシート状に広げたレーザー光（レーザーライトシート）を非常に短い間隔で 2 回照射し、これを高解像度 CCD カメラで撮影する。この 2 枚の画像を 1 組として、画像間の相互相関を解析してトレーサー粒子の移動量と方向を計算することによって、数千点に及び風向・風速を求めることが出来る技術である。

2.2 圧力測定システム 圧力測定に用いた風圧測定孔は、Fig.2 に示すように断面上流側である前面に 11 点、断面後流側である背面に 11 点、断面の上下面にそれぞれ 47 点設置した。また、設置する鉛直板についても先端に 1 点、前背面にそれぞれ 1 点ずつの計 3 点設置した。基準静圧については、模型直上流において気流への影響が少ない床面静圧を用いた。測定のサンプリング周波数は 90Hz とし、サンプリング数 32768 個の条件で測定した。

2.3 PIV システムと圧力システムの同期 PIV システムと圧力測定システムの同期については、Fig.3 に示すように矩形波パルス信号（電圧値 4V 、トリガー幅 15ms ）を PIV システムと圧力測定システムに送り、同時刻における瞬間場のベクトル分布と圧力分布の測定を可能とした。

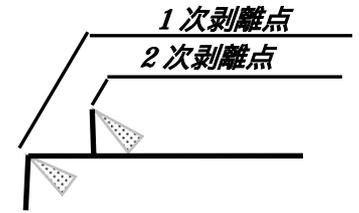


Fig.1 剥離干渉法概略図

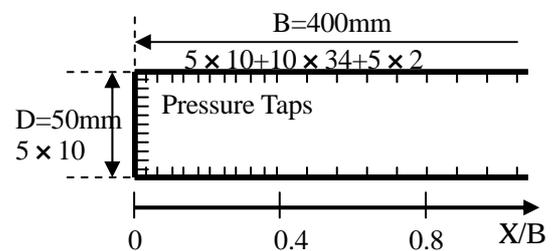


Fig.2 断面図及び圧力測定点

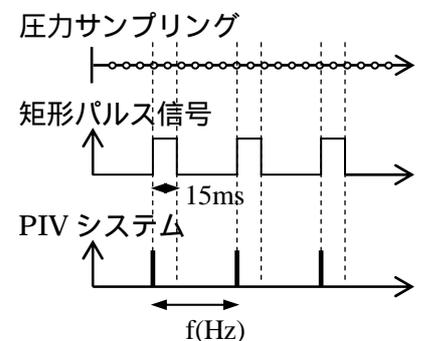


Fig.3 同期システム概略図

[参考文献] 久保喜延ら：剥離干渉効果を利用した矩形断面柱の耐風制振法，第 13 回風工学シンポジウム論文集，(1984)

3.実験結果

3.1 応答実験及び三分力実験結果

2自由度応答実験のねじれ成分の実験結果について、横軸に風洞風速Uを固有振動数f₀と断面幅Bで除した換算風速 (V_r= U/f₀B), 縦軸には倍振幅 (2θ) をプロットしたものを Fig.4 に示す。鉛直板の有無及び剥離点間設定角のの違いによって、応答に差が確認された。基本断面と θ=40° に関してはV_r=4.5 付近から応答が発現しているのに対して、θの角度を小さくするにしたがって、発現風速が高風速に遷移している。抗力係数の結果について、横軸に剥離点間設定角θ, 縦軸に抗力係数C_dをプロットしたものをFig.5 に示す。抗力係数の無次元化に用いた代表長は扁平断面の断面高Dを用いており、鉛直板を設置した場合においても同様に断面高Dを用いて無次元化を行っている。抗力係数について、基本断面と θ=40° に関しては近い値をとっているのに対して、θの角度を小さくするにしたがって抗力係数は小さい値となっている。

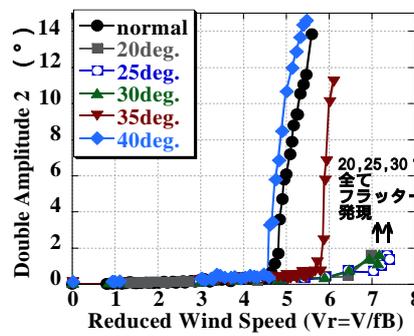


Fig.4 応答実験結果

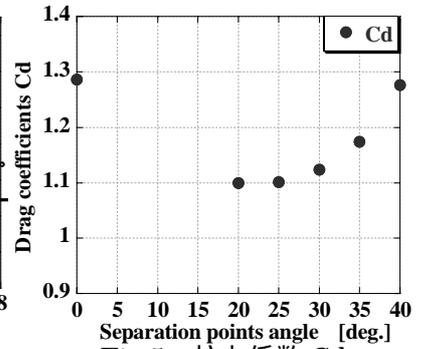


Fig.5 抗力係数 Cd

基本断面と θ=40° に関してはV_r=4.5 付近から応答が発現しているのに対して、θの角度を小さくするにしたがって、発現風速が高風速に遷移している。抗力係数の結果について、横軸に剥離点間設定角θ, 縦軸に抗力係数C_dをプロットしたものをFig.5 に示す。抗力係数の無次元化に用いた代表長は扁平断面の断面高Dを用いており、鉛直板を設置した場合においても同様に断面高Dを用いて無次元化を行っている。抗力係数について、基本断面と θ=40° に関しては近い値をとっているのに対して、θの角度を小さくするにしたがって抗力係数は小さい値となっている。

3.2 PIV 測定及び圧力測定実験結果

扁平断面の前面、背面および鉛直板の前背面における平均風圧係数を Fig.6, 7, 8 に示した。扁平断面の前面における平均圧力係数にはほぼ差異はないが、背面における平均風圧係数に着目すると、基本断面と θ=40° に関しては近い値をとっているのに対して、θが小さくなるにつれて、負圧が徐々に大きくなる傾向がある。また、鉛直板における平均圧力係数は、背面にはほぼ差異がないのに対して、前面における値が負の値で生じている。Fig.9 に θ=30° の平均風速ベクトル図を示した。横軸は X/D, 縦軸は Y/D の値である。前縁側隅角部で剥離した剥離流と模型で囲まれる部分に循環流が生じている。この循環流は、鉛直板を設置した場合いずれのθにおいても生じている。次に、測定した平均圧力係数を用いて扁平断面に働く流下方向の抗力について検討を行った。横軸に剥離点間設定角θ, 縦軸に抗力係数 Cd* (三分力実験から求めた Cd と混同しないように Cd* と定義する) をプロットしたものを Fig.10 に示す。一般に受風面積が大きくなると、抗力は大きくなると考えられているが、鉛直板を設置して剥離干渉法を用いた場合、受風面積は大きくなるが抗力は小さくなる。扁平断面の前面及び背面では確かに抗力が大きくなるように、圧力が働いている。しかし、鉛直板前面で大きい負圧が生じており、抗力を低減させる方向に圧力が働く。これは鉛直板を設置した場合、循環流が生じ、この循環流によって負圧が大きく働き、抗力を低減する効果が得られると考えられる。

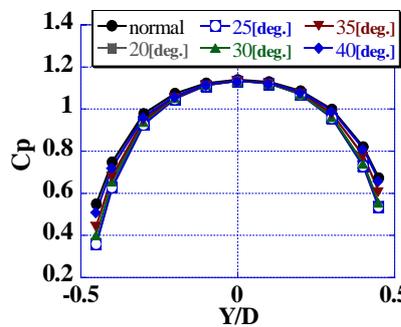


Fig.6 前面平均圧力分布

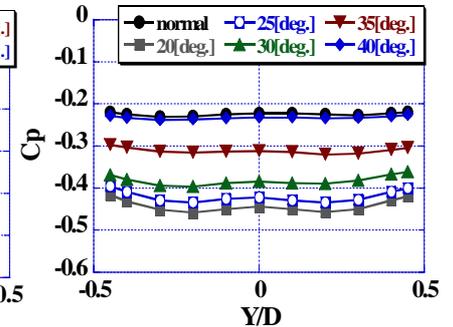


Fig.7 背面平均圧力分布

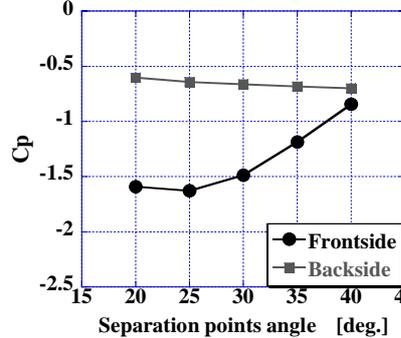


Fig.8 鉛直板平均圧力係数

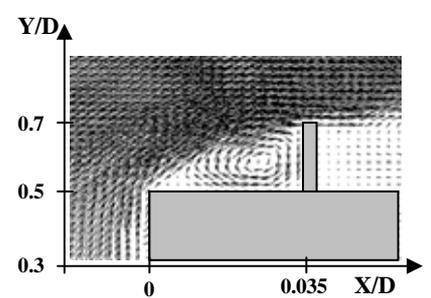


Fig.9 平均風速ベクトル図

一般に受風面積が大きくなると、抗力は大きくなると考えられているが、鉛直板を設置して剥離干渉法を用いた場合、受風面積は大きくなるが抗力は小さくなる。扁平断面の前面及び背面では確かに抗力が大きくなるように、圧力が働いている。しかし、鉛直板前面で大きい負圧が生じており、抗力を低減させる方向に圧力が働く。これは鉛直板を設置した場合、循環流が生じ、この循環流によって負圧が大きく働き、抗力を低減する効果が得られると考えられる。

4.まとめ B/D=8.0の断面について剥離干渉法を用いると抗力が低減する効果についてPIV測定と圧力測定を行うことにより検討を行った。剥離干渉法を用いて鉛直板を設置することにより、循環流が発生し鉛直板前面に大きな負圧が働くことで、抗力を低減出来ることが確認できた。

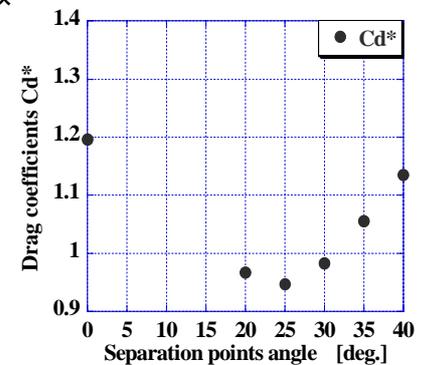


Fig.10 抗力係数 Cd*