

PIV による角柱の空力応答制振における剥離干渉メカニズムに関する研究

九州工業大学 学生員 池田隼人 九州工業大学大学院 学生員 田中洋介
九州工業大学 正会員 久保喜延 木村吉郎 加藤九州男
(株)鹿島建設 正会員 林田宏二

1. はじめに

橋梁断面に生じる空力弾性振動は、構造物上流側隅角部から剥がれた流れが流下する際に生じる剥離渦が引き起こす現象であるという考えにたち、この上流側で生じる剥離渦を制御することで、空力弾性振動を抑制しようとする研究が久保によりなされており、この手法は剥離干渉法と命名された。

剥離干渉法とは 図-1 に示すように断面上に 1 次剥離点と 2 次剥離点を設置し、それぞれの剥離点からの剥離流の干渉効果により、空力弾性振動の原因となる剥離渦の生成を抑制しようとするものである。この剥離干渉法の制振効果は確認されているが、詳細なメカニズムは解明されていない。そこで本研究は、剥離干渉法のメカニズム解明を目的とした。

2. PIVによる流体測定技術

実験に用いた粒子画像流速測定法 (PIV: Particle Image Velocimetry) は構造物の複雑な流れを測定する際に有効な技術である。この手法は風洞内にトレーサー粒子を混入させ、その画像を解析することによって空間場の瞬時の風向と風速を得る方法である。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り、数千点に及ぶ風向・風速を求めることが出来る技術である。

3. 実験概要

3-1 概要 たわみ 1 自由度実験には九州工業大学の境界層風洞 (測定断面高さ 1.8 (m), 幅 2.4~2.6 (m)) を使用し、一様流中で測定を行った。PIV 実験には、鹿島技術研究所可視化風洞 (測定断面 2.0 x 1.2 x 14.6 (m)) を使用した。

3-2 実験ケース 実験に用いた断面は、図-2 に示すように完全剥離型断面である正方形角柱を用いた。この断面に h=10 mm の鉛直板を設置し、1 次剥離点と 2 次剥離点のなす角度を $\theta=0$ (鉛直板なし), 20, 25, 30, 35, 40 (°) と変化させて実験を行った。PIV を用い、静止時及び加振時において実験を行った。加振時では、図-3 に示すように 1 周期を 8 分割させて a~h 点で撮影を行った。測定風速としては、図-4 に示す応答図から渦励振域である無次元風速 $V_r=4$ とギャロッピング域である $V_r=10$ とした。測定ケースは静止時 6 ケース、加振時 14 ケースである。

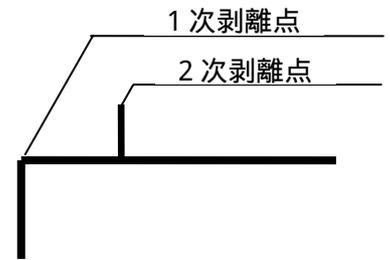


図-1 2個の剥離点の定義

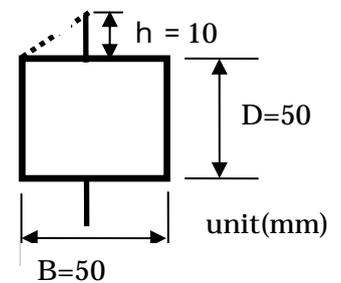


図-2 完全剥離型断面

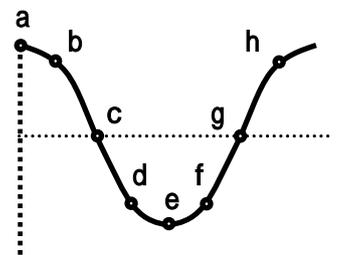


図-3 加振時撮影点

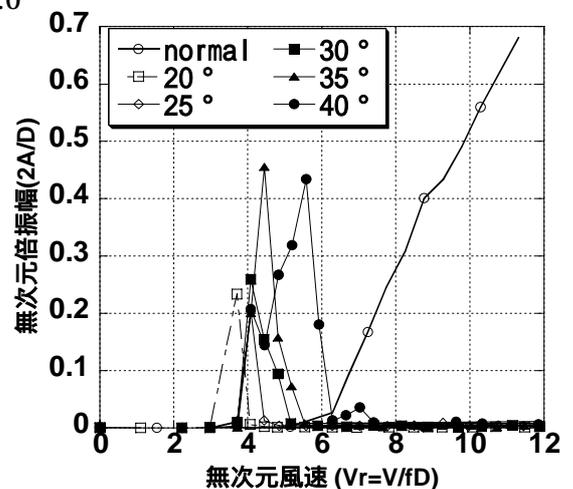


図-4 B/D=1.0 正方形角柱応答図

4. 実験結果と考察

4-1 静止時 静止時における各角度 における渦度分布を図-5 に示す. この図は, 撮影された 1000 組の画像の平均データとして示している. 渦度とは, 空気がどの方向に回転しているのか, どの程度渦を巻いているのかという度合いを示したものである. 色の濃い部分は渦度が強いことを示す. 図-5 によると, 強い渦度がどの角度 よりも模型上面に近づいているのは, $\theta = 0^\circ$ (基本断面) である. 鉛直板を設置した場合は, 基本断面よりも渦度の強い部分が後流まで伸びている. これらのことと鉛直板の制振効果とを比較すると, 鉛直板角度 $\theta = 30^\circ$ 付近での制振効果が確認されていることから, 基本断面の模型近傍での強い渦度分布が振動の要因になっているのではないかと考えられる.

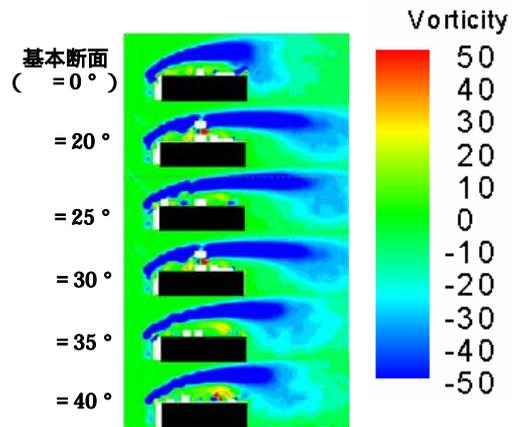


図-5 各角度 における渦度分布図

4-2 加振時 4-2-1 ギャロッピング域 (無次元風速 $V_r=10$) での流体挙動

模型上下面での流れの違いが, 模型が振動する原因と考えられることから, ギャロッピング域の基本断面と鉛直板付 $\theta = 30^\circ$ の模型上面と下面の流れを比較する. 断面中央における模型上面の主流方向風向風速比分布図を図-6 に示す. ここで, c 点の逆位相である g 点の上面での流れを c 点での下面での流れとした. 基本断面では, 下面で上面より模型近くで大きい風速比が出ていることから, 下向きの振動時である点 c において, 下面で上面より大きな負圧が働き, 自励空気力が大きくなっていると考えられる. その結果ギャロッピングが発生すると考えられる. 鉛直板付 $\theta = 30^\circ$ の場合は, 上面と下面の風速比の差が小さいことから, 上面と下面で同程度の負圧が働き, 負圧が上下面で相殺すると考えられる. このことから, 鉛直板付 $\theta = 30^\circ$ では, ギャロッピングが発生しなかったと考えられる.

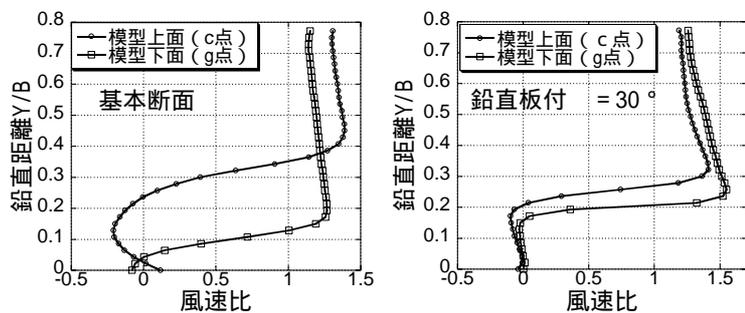


図-6 模型断面中央位置での模型上下面における風向風速比分布図

4-2-1 渦励振域 (無次元風速 $V_r=4$) での流体挙動

渦励振域での鉛直板角度 による模型周辺の流れの違いを把握するために, 模型背面の流れを比較する. 図-8 から $\theta = 20^\circ$ における模型上面の流れは, $\theta = 25 \sim 40^\circ$ の場合と比べて異なっている. $\theta = 20^\circ$ を除いて, どの角度 においても風速比が負の範囲, つまり逆流域が発生している. 図-4 に示した応答結果を見ると, 無次元風速 $V_r=4$ で $\theta = 20^\circ$ では応答が生じていない. このことから, この逆流域の大きさ, 発生範囲が各角度 における応答の違いを生じさせているのではないかと考えられる.

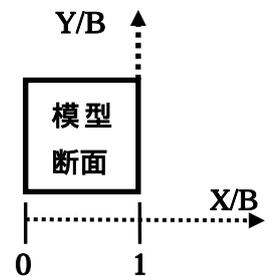


図-7 $V_r=4$ 時における測定位置

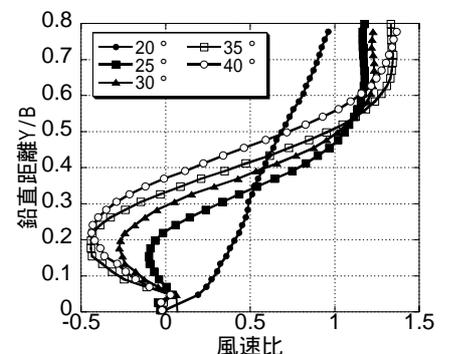


図-8 c 点における模型背面における風向風速分布図

5. まとめ

鉛直板を設けることで, 応答を抑えることができ, また PIV を用いて, 剥離干渉法のメカニズムの解明ができることが分かった.

6. 今後の検討課題

今後の検討課題として, ギャロッピング域と渦励振域における鉛直板角度 による模型周辺の流れの違いを把握するために, 渦度や逆流域の発生範囲などを詳しく比較していきたいと考えている.