

付加物を有する二箱桁断面橋梁の数値流体解析による耐風安定性の検討

○中央大学 学生員 川崎貴之 中央大学 正会員 平野廣和
中央大学 学生員 佐藤 亮 中央大学 正会員 佐藤尚次

表-1 解析条件

	断面	断面	断面
Reynolds数	$Re=3.0 \times 10$	$Re=3.0 \times 10$	$Re=3.0 \times 10$
時間増分	$t=0.01D/U$	$t=0.01D/U$	$t=0.005D/U$
最小要素幅	$0.00035D$	$0.00035D$	$0.00035D$
総節点数	58801	43119	46878
総要素数	58264	42724	46460

1. はじめに

長大・超長大橋の耐風安定性断面の開発には、フラッター性能の向上が必要不可欠な課題であり、従来から断面形状や各種付加物をパラメータにした風洞実験による検討が行われてきた。これらの検討から、二箱桁断面は耐風安定性に優れた断面であるが、付加物の微妙な違いで耐風性が敏感に変化することが報告されている¹⁾。さらに空力特性に与える影響については不明確な点が多く、十分な解明がなされていない。このため、各種付加物の付加による耐風性の検討は、風洞実験により試行錯誤的に決定されており、断面改良の余地が残されている。

このような背景から、本研究ではCFDを用いることで、CFDと風洞実験の相互利用により断面開発のコストダウンを計るための一つの方法を提案する。まず、物理量の可視化等により、ここで生じている現象の把握を行い、二箱桁断面橋梁での耐風安定化部材の有無による静的空気力や流れ場の相違等を定量的・可視的に評価する。そして、振動の発生原因の特定や耐風性能の向上要因を明らかにするとともに、二箱桁断面橋梁での耐風安定化部材の有効性を示唆することを目的とする。なお、本研究では特に風洞実験を行う前の検討段階でのCFDの利用を前提とし、3次元解析の必要性を認識しつつ、2次元解析で何処まで現象を再現できるかに関しても検討を行うものである。

2. 解析手法・解析条件

流れ場の支配方程式は、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式で表せる。乱流モデルには RAN の SA (Spalart-Allmaras)モデルを採用する。数値流体解析には、丸岡ら²⁾が提案している IBTD/FS 有限要素法を適用する。

図-1に本研究で用いた3種類の断面形状を示す。ここで断面は、断面辺長比 $B/D=4$ (B : 桁幅, D : 桁高)と開口部幅 $4D$ を組合せた二箱桁であり、本研究ではこの断面を基本とする。断面は、断面にフェアリングを付加したものであり、断面は、断面にセンターバリアを付加したものである。ここでの断面は、出野ら³⁾の研究グループが明石海峡大橋を超える長大橋を想定して行った風洞実験断面であり、この風洞実験との比較のため、同一の寸法を用いてモデル化を行っている。

表-1に解析条件を示す。解析領域は風上側断面から前方は $11.5D$ 、風下側断面から後方は $23.5D$ 、側方は $11.0D$ としている。境界条件は、流入境界で無次元流速である一様流速 1.0 、流出境界は移流境界条件とする。また、側方で slip、物体周りで no-slip である。

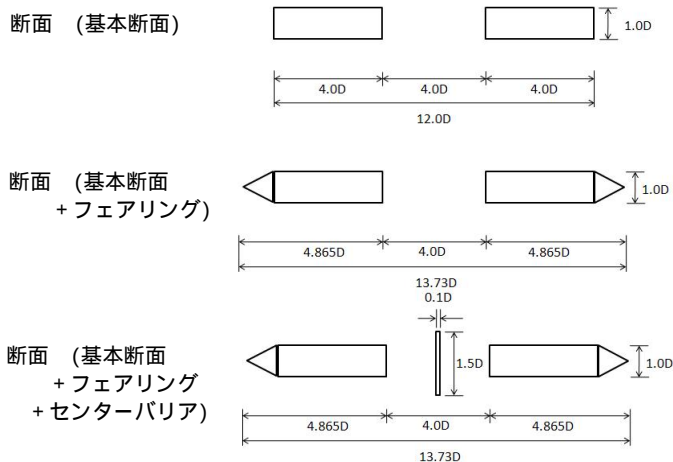


図-1 断面形状

3. 解析結果

3.1 静的空気力係数

図-2に平均抗力係数 C_d 、平均揚力係数 C_l 、平均空力モーメント係数 C_m の迎角静的解析結果及び実験結果を示す。図-2(a)の平均抗力係数に着目すると、断面は断面に比べ、迎角を増加させても抗力が低く抑えられていることから、抗力低減効果のある断面であることが判る。また、図-2(b)の平均揚力係数より、迎角 $\alpha=5^\circ \sim 6^\circ$ において、断面は負勾配になっているため、振動現象発生危険性が推測される。これに対し断面および断面は、同迎角付近において勾配は緩やかになるが負勾配にはなっていない。これにより、断面、断面が振動現象発生の起振力抑制に効果があると予想される。さらに、図-2(c)の平均空力モーメント係数にも着目すると、断面での揚力係数及び空力モーメント係数の勾配は、迎角を大きくしても断面のそれらより小さく抑えられているのがわかる。これより、断面に比べ断面のほうが耐風安定性をもった断面形状であることが言え、フェアリングとセンターバリアを同時に付加することで振動現象を発生させる空気力の低減効果が確認できる。

また、断面と断面の静的空気力の値と、実験値との整合性に関しては、迎角 $\alpha=4^\circ$ を超えると若干の乖離が見られるが、基本設計で扱われることの多い迎角範囲内 ($\pm 3^\circ$) においては、良い精度が得られた。このことから、開口部の要素分割数を十分にとることで、基本設計での検討段階における二箱桁断面の2次元解析

キーワード : 数値流体解析 二箱桁断面 耐風安定化部材

連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

の適用が、限定的ではあるが可能であると考えられる。

3.2 流れ場の状態

図-3に、三つの断面における迎角 $\alpha=0^\circ$ での最大揚力時の瞬間圧力分布図および揚力変動1周期分における時間平均流線図を示す。圧力分布図より、断面①では剥離バブル及び風下断面前縁での圧力変動が大きい。これは平均流線図より、剥離後の流れが断面から大きく剥がれているためだと考えられる。これに対して、断面②ではフェアリングの付加により流線が断面に沿うように流れ、剥離バブル及び風下断面前縁での圧力変動が小さい。このことが剥離バブルの軽減につながり図-2でみられた抗力の低減効果の原因であると予想される。また、断面③では断面②、断面①でみられた風下断面前縁での圧力変動が緩和され、圧力分布が桁中心に集中している。これは平均流線図にみられるようにセンターバリア付加により風下断面の再付着点が前縁から側面へと変化したためである。このことが図-2での断面③の揚力および空力モーメント係数の緩やかな勾配に起因すると思われる。これより、空気力の敏感な変化の原因を可視的に検証することができた。

3.3 Strohal 数 S_t の変化点

図-4にStrouhal数 St と迎角の関係を示す。各断面で St の変化の状態は異なっている。迎角 $\alpha=6^\circ$ で断面①は、 $St=0.122, 0.049$ の2つの卓越する St が見られ、風上断面では前者が、風下断面では後者が卓越しており、迎角 $\alpha=6^\circ$ が流れのパターンの変化する境界と考えられる。図-5に St の変化前後の時間平均流線図を示す。図-5より、 St の変化に伴い再付着位置も変化しているのがわかる。しかし、図-5の断面③($\alpha=7^\circ$)の時間平均流線図をみると、再付着位置が時間平均的にはあるが、断面の後面に再付着しており、実現象の再現には至っていない。これは、剥離の影響が顕著に表れる迎角の大きい領域では、本解析手法で採用したRANSのSAモデルによる2次元解析の限界によるものと思われる。

4. おわりに

本研究のまとめを以下に記す。

- (1) 解析値と実験値との比較より、開口部の要素分割数を十分とすることで、二箱桁断面の2次元解析が、基本設計段階で検討されることの多い迎角 $\pm 3^\circ$ において適用できることが確認できた。
- (2) 2次元解析において、フェアリング、センターバリアの組み合わせによる空気力低減の要因を可視的に検討できた。
- (3) 流れの再付着点変化に伴う流れのパターン変化の検討より、剥離の影響が大きくなる高迎角領域では、2次元解析での流れの場の再現精度は低く、他の乱流モデルの適用や、3次元解析の必要性などの検討が必要である。

参考文献

- 1) 松本勝, 白土博通他: 鉛直板付き分離箱桁のフラッター特性, 第18回風工学シンポジウム pp.311-316, 2004.
- 2) 丸岡晃, 太田真二, 平野廣和, 川原陸人: 同次補間を用いた陰的有限要素法による非圧縮粘性流れの解析, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.383-394, 1997.
- 3) 出野麻由子, 吉住文太他: 付加物を有する二箱桁断面における耐風安定性の検討, 構造工学論文集, Vol.53A, 2007.

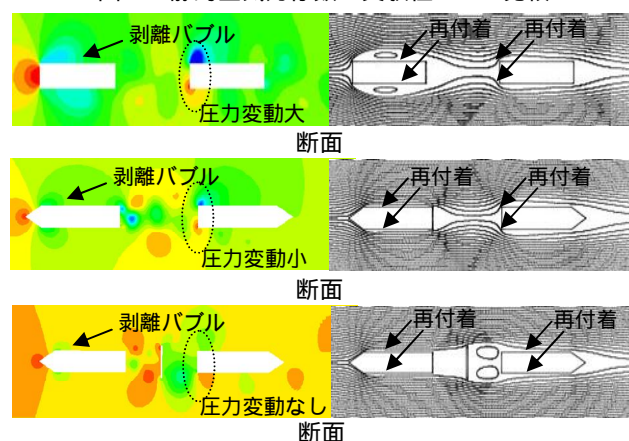
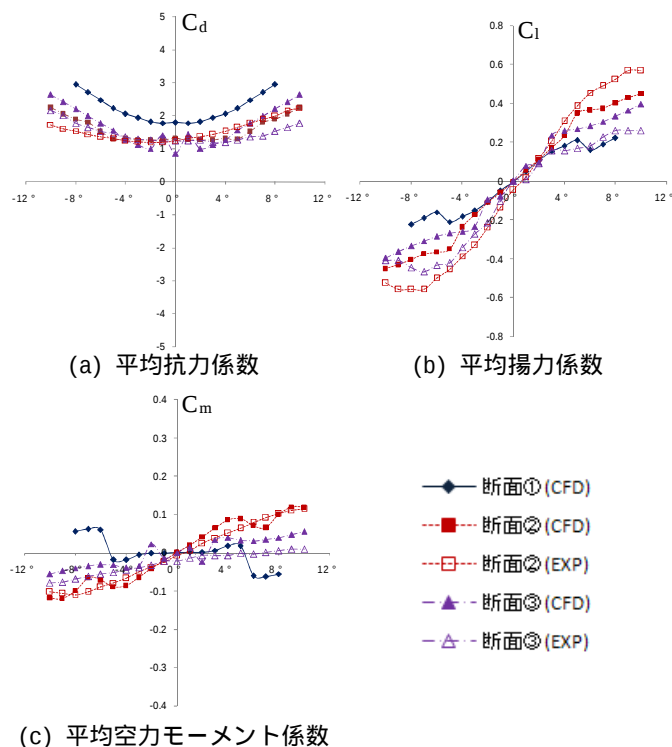


図-3 最大揚力時の瞬間圧力分布と時間平均流線

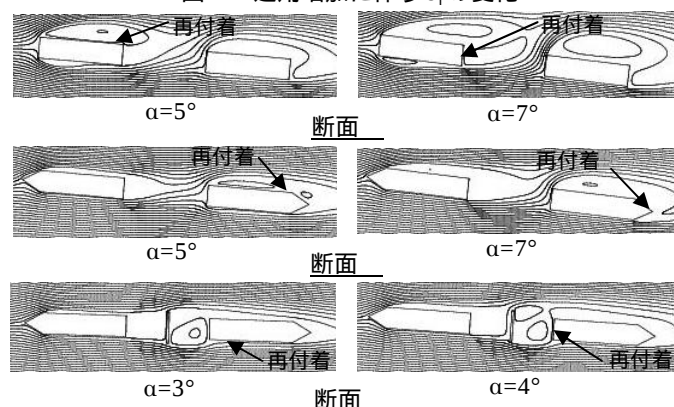
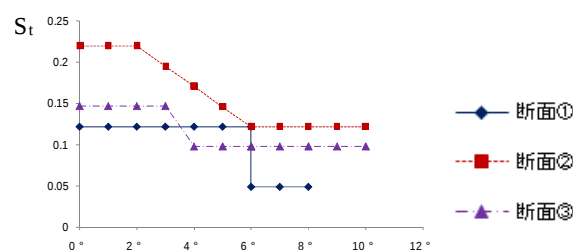


図-5 S_t の変化前後の時間平均流線