数値流体解析を用いた二箱桁断面橋梁における耐風安定性の検討

中央大学 学生員 川﨑貴之 中央大学 正会員 平野廣和 中央大学 正会員 佐藤尚次

1.はじめに

従来の耐風安定性に優れている二箱桁断面の研究で は、耐風安定化部材であるフェアリング、センターバ リアなどの付加物の違いにより耐風性能に敏感な違い が生じることが指摘されている¹⁾。これに対し、作用す る空気力や振動発生メカニズム、耐風安定性の向上理 由についての議論はいまだ少なく、さらに耐風安定化 部材の決定はこれまで風洞実験により試行錯誤的に決 定されてきた。そのために経済的観点から多大な時間 と経費を要するに至っている。一方、計算機性能向上 に伴い、数値流体解析(CFD: Computational Fluid Dynamics)が大きな進歩を遂げ、今後も更なる解析技 術の発展が見込まれる。そこで、CFD と風洞実験の相 互利用によってコストダウンを計るだけでなく、物理 量の可視化等による一層の現象把握が可能となる。

このような背景より、本研究では CFD により、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し、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。

2.解析手法·解析条件

流れ場の支配方程式は、次の非圧縮性 Navier-Stokes 方程式で表せる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u = f - \nabla p + v \nabla^2 u \tag{1}$$
$$\nabla \cdot u = 0 \tag{2}$$

乱流モデルには、RANS(Reynolds Averaged Navier Stokes equation)の SA(Spalart-Allmaras)モデルを採 用し、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 に断面形状を示す。本研究では、断面辺長比 B/D=4 の二箱桁断面 を基本とし、これにフェアリン グを付加したものを断面 、センターバリアを付加し たものを断面 として、それぞれ 2 次元解析を行う。 風洞実験との比較のため、断面寸法は出野ら³⁾の実験 モデルと同一である。

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。

表-1 解析条件

	断面	断面	断面
Reynolds数	Re=3.0 × 10	Re=3.0 × 10	Re=3.0 × 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



図-1 断面形状

- 3.解析結果
- (1) 静的空気力係数

図-2 に平均抗力係数 Ca平均揚力係数 Cb 平均空力モ ーメント係数 Cm の迎角静的解析結果及び実験結果を 示す。断面 、断面 における Ca は、断面 に比べ、 迎角を増加させても低く抑えられている。しかし、断 面 の C_1 、 C_m は迎角 $\alpha=4^\circ$ を越えると、断面 のそれ らよりも高い値を示した。これに対して、断面 での Cl、Cmの勾配は迎角を大きくしても断面 より小さく 抑えられているのがわかる。また、 C_1 の迎角 $\alpha=5^\circ \sim 6^\circ$ において、断面 は負勾配になっているため、振動現 象の発生が推測される。一方、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 なっていない。これより、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。断面と断 面 の静的空気力の値は、実験値と比較して迎角 α=4° を超えると若干の乖離が見られるが、実設計で扱われ る迎角範囲内(±3°)においては、良い精度が得られた と判断する。

(2) 流れ場の状態

図-3 に、迎角 α=0°での揚力変動 1 周期における最大

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 揚力時の瞬間圧力コンター図、および時間平均流線図 を示す。瞬間圧力コンター図より断面 では、風上・ 風下断面前縁で負圧となる剥離バブルが、断面 に比 べて小さい。これは時間平均流線図からわかるように、 フェアリングを風上断面前縁部と、風下断面後縁部に 付加することで、風が断面に沿うような流れとなり、 剥離後すぐに再付着したためである。それに伴い再付 着位置が前方へと変化し、風下断面後流での渦発生は 見られなくなった。これより、フェアリングには断面 前後での圧力差を小さくし、Cd を低減させる効果があ ると考えられる。また、断面の時間平均流線図より、 センターバリアの影響で、風下断面の上下側面に流れ が再付着するため、断面の時間平均流線図にみられ るような風下断面前縁の再付着による圧力変動を緩和 している。これが、図-4 における断面 の C_l、C_mの勾 配を低減させた要因だと考えられる。また、断面 と 断面 では、圧力変動の激しい風下断面が空気力発生 に大きく寄与しているのに対し、断面 では、風下断 面での圧力変動緩和により風上断面が空気力発生に影 響していると予想される。

(3) Strouhal 数 S_t)

図-4 に Strouhal 数 St と迎角の関係を示す。断面 では、迎角 α=6°時に、St=0.122、0.049 の 2 つの卓越 する St があり、風上断面では前者が、風下断面では後 者が卓越する。断面 では、迎角 α=2°~6°にかけて徐々 に St が減少し、断面 では、迎角 α=3°~4°にかけ減少 している。これらの St の変化は再付着位置の変化が原 因であると考えられ、断面 に関しては、卓越する St が 2 つあることから迎角 α=6°時を境に、再付着位置が 断面上面から断面後面へと変化していると思われる。 また、断面 に関しては、迎角 α=2°~6°にかけて再付 着点が断面後方へと移行し、風上断面後面、風下断面 フェアリング部に変化したと推定される。断面 では センターバリア上端で剥離した流れの再付着位置が風 下断面側面からフェアリング部へと移行し、センター バリア下部で剥離した流れの再付着位置が風下断面側 面から前面へと変化したと考えられる。

4.おわりに

本研究では、耐風安定化部材付加による、静的空気 力係数の変化を確認し、流れ場の状態変化を可視的に 検証することで、静的空気力係数の低減理由、空気力 発生機構を検討した。また、St に着目することで流れ の再付着位置変化に伴う流れのパターン変化を再現で きた。

今後の課題としては、流れの変化する境界、特に迎 角 α=4°、5°、6°付近に着目し、より詳細な検証をする 必要がある。

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 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性粘性流れの解析,構造工 学論文集,Vol.43A,pp.383-394,1997.
- 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-2 迎角変化における静的空気力係数の実験値との比較





断面

断面



