

3次元数値流体解析による箱桁基本断面の静的空気力特性の検討

三井造船（株） 正 員 渡邊 茂 三井造船（株） 正 員 井上 浩男
 八戸工業高等専門学校 正 員 丸岡 晃

1. はじめに

耐風安定性に優れた断面を提案する過程においては、技術者の経験により決定された断面に対して風洞実験を実施し、各断面におけるフラッタ発現風速等を相対的に比較するのが一般的である。これまでのばね支持風洞実験等の結果から、1箱桁と2箱桁断面では、経験的に2箱桁断面の方が耐風安定性に優れていると考えられている。しかし、風洞実験で行われる耐風安定性の評価はフラッタ発現風速に着目されることが多く、作用する空気力の発生メカニズムや耐風安定性の向上理由に関しては、大学等の一部の研究機関で議論されているだけである。これは、通常の風洞実験で出力するデータが変位や力などの基本的な物理量に制限され、流れ場や圧力分布等から総合的に議論することが難しいことによる。

そこで本報では、CFD（Computational Fluid Dynamics）による橋梁断面の耐風性能照査の基礎的なアプローチとして、解析対象として矩形断面にフェアリングを付加させた1箱桁および2箱桁断面を選択し、静的な3次元流体解析を試みた。具体的には、有限要素法を用いたLES（Large Eddy Simulation）による解析¹⁾を行い、1箱桁および2箱桁断面で得られた静的空気力、物体表面圧力を相対比較した。また、数値解析と同様な条件で行った風洞実験結果と静的空気力を比較し、数値解析で迎角による静的空気力の変化を捉えられるかを検証した。さらに、CFDで得られた表面圧力分布より、それぞれの断面の静的空気力の発生機構を考察した。

2. 解析概要

基礎方程式には、Smagorinsky型LES乱流モデルによる空間的なフィルタリング操作を施した非圧縮性Navier-Stokes方程式を用いた。時間方向の離散化にはCrank-Nicolson法、空間方向の離散化には有限要素法の解析手法であるIBTD法²⁾を適用した。境界条件に関しては、平面解析領域の流入端で U （主流方向の流入流速）、流出端では移流型境界条件を与えた。また、軸方向（3次元方向）の端部境界には周期境界条件を適用した。

図-1に1および2箱桁断面の断面諸元、表-1に解析条件を示す。ここで、図-1のとおり1箱桁を断面1、 $4D$ の中抜き部を有する2箱桁を断面2とする。なお、 D は見附幅である。

設定条件に関しては、迎角 $\alpha = 0^\circ$ の抗力($Cd_{\alpha=0}$)、 0° 周りの揚力勾配($dCl/d\alpha_{\alpha=0}$)およびモーメント勾配($dCm/d\alpha_{\alpha=0}$)の評価するため、迎角を $\alpha=0^\circ$ および 1.0° に設定し、それぞれの断面で静的空気力解析を行った。

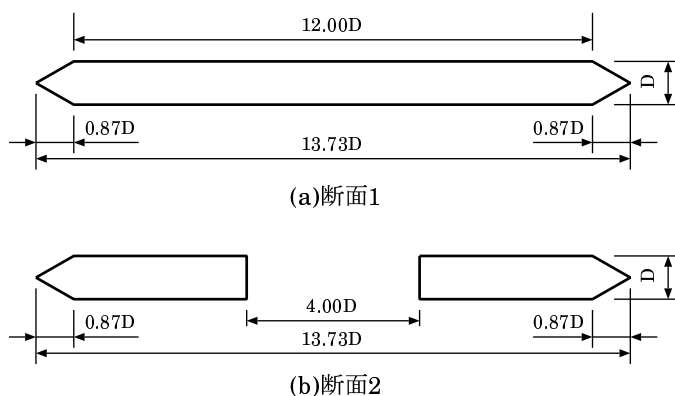


図-1 断面モデル

表-1 解析条件

Reynolds 数	$Re = 1.0 \times 10^4$
時間増分	$\Delta t = 0.05D/U$
モデル定数	$C_s = 0.13$
軸方向分割幅	$\Delta z = 0.1D$
軸方向分割数	64 層
要素分割数	断面 1 : $35,536 \times 64$ 断面 2 : $40,336 \times 64$
最小要素幅	$3.52 \times 10^{-3}D$

3. 結果と考察

(1) 静的空気力の係数比較

表-2に、迎角 $\alpha = 0^\circ$ の抗力($Cd_{\alpha=0}$)、 0° 周りの揚力勾配($dCl/d\alpha_{\alpha=0}$)およびモーメント勾配($dCm/d\alpha_{\alpha=0}$)の解析結果と一様流で行った風洞実験結果の比較を示す。なお、表-2では、レイノルズ数が 2.4×10^4 および 4.8×10^4 の風洞実験結果をそれぞれ実験値1、実験値2として示し、比較のため最下段に平板翼の理論値も併記した。

Key Words: 数値流体解析, LES, 箱桁断面

〒706-0014 岡山県玉野市玉原 3-16-1, TEL:0863-31-9610, FAX:0863-31-4809

解析結果と実験値の比較より、空気力特性の傾向は解析結果と実験値で類似しており、数値解析で断面形状の違いによる空気力特性の変化を捉えているものと考えられる。それぞれの断面の係数比較では、断面2の C_d は断面1に比べ約2倍になり、揚力勾配は断面1に比べ若干小さな値となる。さらに、モーメント勾配に関しては、断面1に比べ約40～50%に低減される傾向にある。

(2) 表面圧力分布の比較

図-2(a), (b)に、断面1および断面2の迎角 $\alpha=0^\circ$ および 1.0° における時間平均の表面圧力分布($\overline{C_p}$)を示す。なお、迎角 $\alpha=0^\circ$ を実線、同 1.0° を破線で示した。(a)断面1および(b)断面2の比較より、断面2の C_d が約2倍になる理由に関しては、2箱桁断面の風上側断面背圧の負圧および風下側断面正面の正圧が寄与していることがわかる。

(a)断面1の表面圧力分布より、迎角 $\alpha=1.0^\circ$ では断面が頭上げの状態(破線)になることで、前縁上面部の再付着点が後方に移動し循環領域が広がり、下面では前方に移動していると考えられる。さらに、上面では負圧の絶対値が上昇し、下面では減少する。断面1では、前縁部以外の圧力分布で迎角変化による顕著な圧力変化が確認できないことから、主に前縁部の上下面の圧力差により上向きの揚力および正のモーメントが発生している。一方、(b)断面2では、さらに風下側断面の前縁部の上下面でも圧力差が生じている。この風下側の断面で生じる圧力差は負のモーメントとして作用するため、表-2で示したように断面1と比較し、断面2のモーメントの勾配が半分以下に低減されたと考えられる。

1箱桁と2箱桁断面では、一般に2箱桁断面の方が耐風安定性に優れていると考えられている。松本らの報告³⁾では、並列矩形断面での動的な風洞実験結果から、風下側断面の変動圧力の回復がフラッタに対する空力特性を安定化させていると指摘している。一般に耐風安定性が問題となるのは比較的高風速域であり、高風速域では断面の状態変化に対し流れ場の状態変化が相対的に早くなる。本報で扱う解析は静的解析であるが、迎角 α の 0° から 1.0° への変化を流れ場の変化に対して断面がゆっくりれじれ回転している準静的な問題として捕らえれば、2箱桁断面に関しても頭上げの際に風下側断面の前縁で生じる圧力差がモーメントの勾配を小さくさせ、耐風安定性の向上に寄与していると考えられる。

表-2 空気力係数の解析結果と実験値の比較

断面1	$C_{d\alpha=0}$	$dC_l/d\alpha$	$dC_m/d\alpha$
解析結果	0.58	7.16	1.99
実験値1	0.61	5.93	1.72
実験値2	0.58	6.28	1.83
断面2	$C_{d\alpha=0}$	$dC_l/d\alpha$	$dC_m/d\alpha$
解析結果	1.11	6.34	0.74
実験値1	1.25	4.82	0.86
実験値2	1.23	5.17	0.91
理論値	—	6.28	1.57

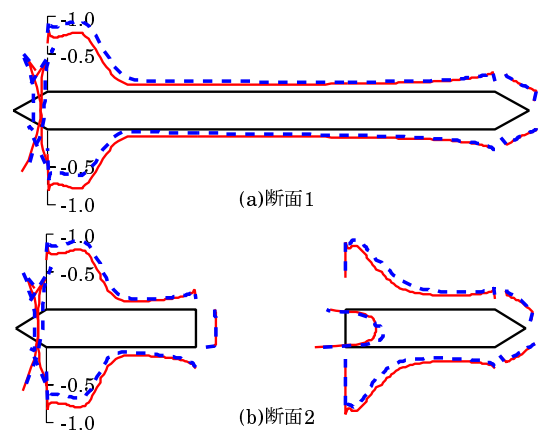


図-2 時間平均表面圧力分布の比較

4. おわりに

本論文では、1箱桁および2箱桁断面を取り上げ、数値解析と風洞実験を同様な条件下で実施し以下の結論を得た。

1. 解析結果と実験値の比較から、数値解析により断面形状の違いによる空気力特性の変化を捉えられることがわかった。
2. 2箱桁断面の場合、頭上げ状態になることで風下側断面の上下面にも圧力差が生じる結果、負のモーメントが作用するため1箱桁に比べモーメントの勾配が小さくなることがわかった。

今後の課題としては、動的な数値解析を実施し風洞実験結果との比較を行うとともに、数値解析の面から各断面の耐風安定特性の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 丸岡晃, 平野廣和: 数値流体解析による非定常空気力の算出について, 応用力学論文集, Vol.3A, pp.707-712, 2000.
- 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) 松本勝, 阿部和浩, 吉住文太: 並列矩形断面のフラッター特性, 風工学シンポジウム論文集, Vol.15, pp.413-418, 1998.