

## CFDによる橋梁断面の非定常空気力の推定と吊橋のフラッター限界風速に関する基礎的研究

パシフィックコンサルタンツ 正会員 ○中山晃佑  
東京都立大学 正会員 岩下慎吾 正会員 中村一史

## 1. 目的

コンピュータの性能向上を背景に、風が構造物に与える影響を評価する手法として CFD (Computational Fluid Dynamics) が普及している。吊橋の耐風設計で必要となる風洞実験は、精緻な模型、実験条件で制約を受けるが、CFD はこれに替わる耐風安定性の照査手法として期待されている。本研究は、3 径間吊橋を対象に、CFD を用いて橋梁桁断面の非定常空気力を推定し、連成フラッター解析<sup>1)</sup>を行うことで、動的耐風安定性の評価を試みたものである。

## 2. 解析手法

まず、一様流中の補剛桁に作用する空気力の方向成分を図-1 のように定義する。CFD の解析領域は横  $19B$ 、縦  $16B$  の 2 次元であり、領域中央に補剛桁断面を配置した。乱流モデルは  $k-\omega$ SST モデルである。まず、平板および矩形断面の静的空気力を求めるため、辺長比  $B/D$  をパラメータとした解析を行い、既往検討との比較を行うことで解析精度を確認した。その後、図-2 に示す箱桁断面<sup>2),3)</sup>の形状に対して、静的 3 分力および非定常空気力を算出した。非定常空気力を求める際は迎角を考慮せず、鉛直方向に  $B/100$ 、回転角  $1^\circ$  の振幅で 2 ケースに分けて振動させ、無次元風速 40 までの値を求めた。さらに、図-3 に示す中央支間長 3000m を有する 3 径間吊橋に対し、求めた非定常空気力を代入して複素固有値解析によりフラッター限界風速 ( $U_{cr}$ ) を求めた。 $U_{cr}$  の妥当性は Selberg 式 (式 1) による値と比較することで評価した。

$$U = 0.44 \times 2\pi f_{\phi 0} \sqrt{\left\{1 - \left(\frac{f_{\eta 0}}{f_{\phi 0}}\right)^2\right\} \cdot \frac{4\sqrt{2mI_{\theta}}}{\rho r B}} \quad (1)$$

ここに、

- $f_{\phi 0}$  : ねじり対称 1 次固有振動数 [Hz]
- $f_{\eta 0}$  : 鉛直対称 1 次固有振動数 [Hz]
- $m$  : 補剛桁+ケーブルの単位長さ質量 [t/m]
- $I_{\theta}$  : 補剛桁+ケーブルの極慣性モーメント [ $t \cdot m^2/m$ ]

## 3. 解析結果と考察

図-4 に  $B/D=150$  の平板による静的解析の結果を示す。抗力係数  $C_D$  に関して  $\alpha=0^\circ$  付近の迎角の解析値は実験値に比べてやや小さい。揚力係数  $C_L$  と空力モーメント係数  $C_M$  についてはよく一致している。 $C_M$  については  $\alpha=6^\circ \sim 10^\circ$  付近で剥離発生のわずかな違いにより実験値より高めの値を示している。

図-5 には CFD で得られた各断面の非定常空気力係数のうち、フラッター限界風速に与える影響が大きい  $L_{0R}$ ,  $M_{yL}$ ,  $M_{0R}$ ,  $M_{0I}$ ,  $M_{yR}$  を示す。一般に、 $L_{0R}$ ,  $M_{yL}$ ,  $M_{0R}$  は絶対値が小さいほど、また  $M_{0I}$  は負で絶対値が大き

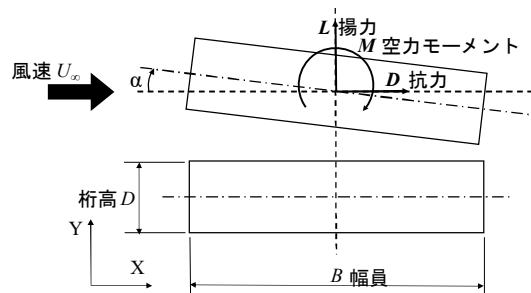
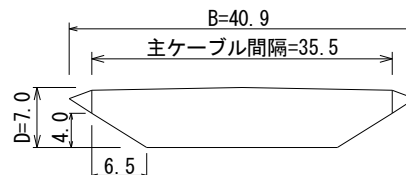


図-1 断面形状と空気力の定義

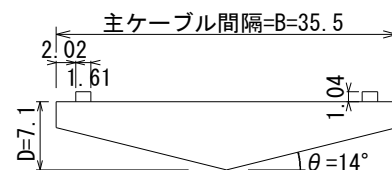
辺長比  $B/D$  別の解析条件

矩形断面諸元 $B/D$	1000	150	5
幅員 $B$ [mm]	1000		
総要素数	約 30,000		
レイノルズ数 $Re$	$1.0 \times 10^6 \sim 2.7 \times 10^6$		
3 分力の迎角 $\alpha$ [deg]	-16 ~ 16		

表-2 強制振動条件



(a) 明石 B 断面<sup>2)</sup>



(b) 五角形断面<sup>3)</sup>

図-2 補剛桁断面図



図-3 3 径間吊橋一般図

キーワード 吊橋, フラッター, CFD, 非定常空気力, 補剛桁断面形状

連絡先 連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 Email: iwashita@tmu.ac.jp TEL : 042-677-2694

いほどフラッター限界風速が向上することが知られている<sup>4)</sup>。別途、実施した感度解析からは、図を略したが、 $M_{yR}$ が正で絶対値が大きいほど有利であることもわかった。図-5に示した実線は Theodorsen 関数による平板空気力の理論値であり、 $B/D=150$ と $B/D=1000$ は平板に一致する。一方、 $B/D=5$ の場合は、 $M_{yI}$ と $M_{\theta R}$ はフラッター限界風速を向上させる方向に変化しているが、 $L_{\theta R}$ と $M_{\theta I}$ はその反対であり、特に $M_{\theta I}$ は正負が異なるような大きな変化が認められ、フラッター限界風速の大幅な低下が予想される。

明石 B 断面と五角形断面の非定常空気力係数の分布は、両者ともに類似しており、特に $M_{yR}$ と $M_{yI}$ は平板空気力と同じ傾向である。 $L_{\theta R}$ 、 $M_{\theta R}$ 、 $M_{\theta I}$ については、両断面ともに $L_{\theta R}$ 、 $M_{\theta R}$ はフラッター限界風速が向上するように変化したが、 $M_{\theta I}$ はフラッター限界風速に対して不利な傾向であり、 $L_{\theta R}$ 、 $M_{\theta R}$ の効果を妨げる可能性がある。

これらの非定常空気力を用いて、中央支間長3000mの3径間吊橋のフラッター限界風速を求めた結果を表-2に示す。平板空気力による $U_{cr}$ は48.9m/sとなり、Selberg式の値とほぼ同値である。一方、 $B/D=150$ と $B/D=1000$ の $U_{cr}$ は平板より10%程度高くなった。 $B/D=5$ のケースは $M_{\theta I}$ が正負逆転している効果が強く表れており、 $U_{cr}$ は23.1m/secと非常に低い値となった。明石 B 断面と五角形断面は平板と同等かやや優れる結果となった。特に五角形断面の $U_{cr}$ は平板より22%向上しているが、これは $M_{yR}$ が五角形断面の方がやや正側に大きいためと考えられ、感度解析の傾向に矛盾しない。

4. まとめ

本研究ではCFDを用いて、矩形断面の静的および非定常空気力係数の推定を行い、フラッター解析により超長大吊橋の耐風安定性を評価した。平板に近い $B/D=1000$ 、150の断面については、既往の実験および理論値と同様の3分力係数と非定常空気力係数が得られた。また、断面の差異による非定常空気力係数の傾向の変化とフラッター限界風速の関係は、既往検討および今回行った感度解析に矛盾しないものであり、特に五角形断面は平板に比べてやや優れたフラッター特性が示された。

参考文献

- 1) 岩本政巳：吊形式橋梁に関するフラッターを中心とした空力振動予測，東京大学学位論文，1995。
- 2) 保田雅彦，吉田好孝：明石海峡大橋における鋼構造物の設計施工，溶接学会誌，第60巻，8号，pp.642-650，1991。
- 3) 野田辰徳，久保喜延，木村吉郎，加藤九州男，大窪一正，吉田健太：五角形断面桁の静的空力特性に与える底面傾斜角の影響に関する研究，土木学会論文集A，Vol.65 No.3，pp.797-807，2009.8
- 4) 松本勝，小林裕輔，浜崎博：非定常空気力に着目したフラッター安定化策についての考察，第13回風工学シンポジウム論文集，pp.377-382，1994。

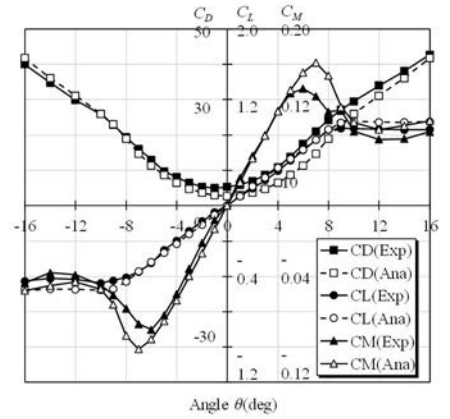


図-4 B/D=150の3分力係数比較

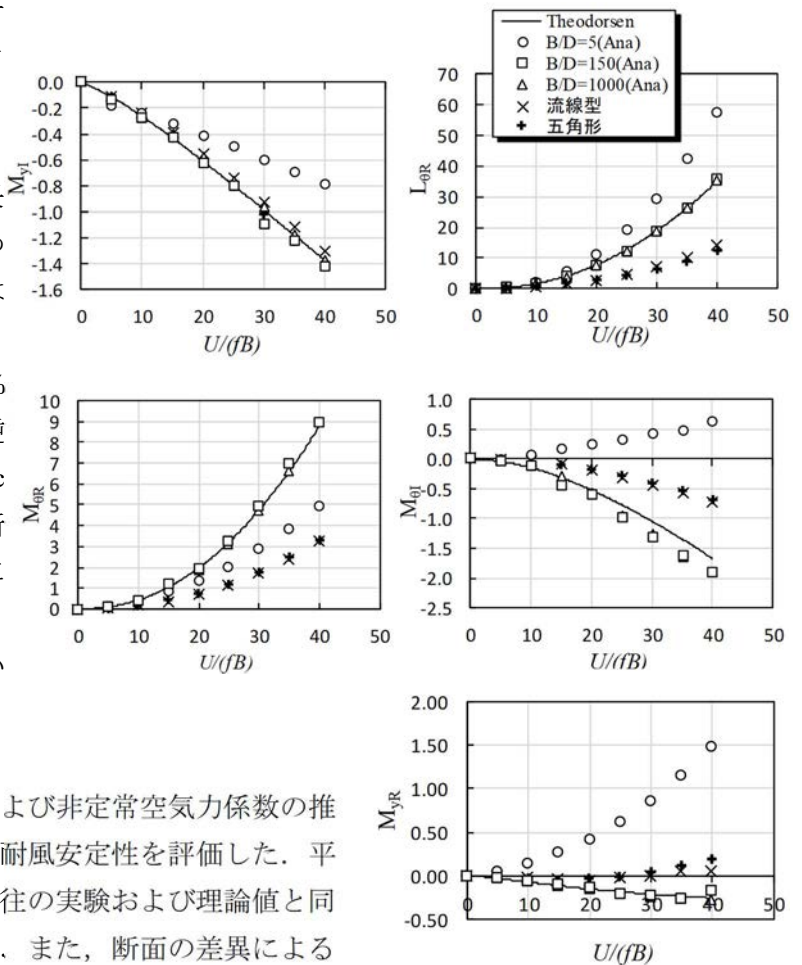


図-5 非定常空気力係数比較

表-2 フラッター限界風速  $U_{cr}$  の比較

断面形状	$U_{cr}$ (m/s)
Selberg 式	48.3
平板翼	48.9
$B/D=1000$	53.0
$B/D=150$	54.2
$B/D=5$	23.1
明石 B 断面	54.7
五角形断面	59.9