

# 長大橋梁箱桁断面の空力特性の数値流体解析

横浜国立大学大学院環境情報学府  
 横浜国立大学大学院工学研究院  
 横浜国立大学大学院環境情報研究院  
 横浜国立大学大学院工学研究院

学生会員 市瀬達夫  
 正会員 宮田利雄  
 フェロー 山田均  
 正会員 勝地弘

## 1. はじめに

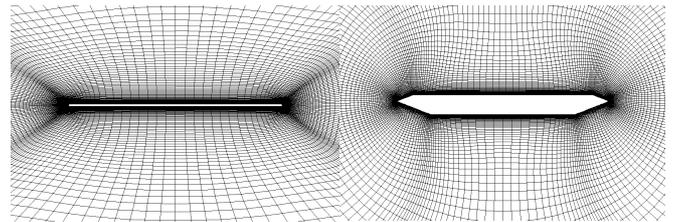
近年の数値計算機および数値解析技術の発展により計算流体力学（CFD）は著しい進歩を遂げ、複雑な剥離流れや非定常性の強い渦を再現可能な乱流モデリングが可能になった。さて超長大吊橋の耐風設計に於いては様々な現象に対する照査が必要とされるが、中でもフラッターなどの動的問題は重要である。超長大吊橋橋桁断面形状の耐フラッター性能の評価には従来から風洞実験による静的空気力と非定常空気力を元にした3次元フラッター解析が行われてきた。この評価にCFDを組み込む事が可能ならば橋梁の耐風検討の効率化が期待できるのであるが、依然として計算精度や3次元性の問題などによる解析結果と実験結果の定量性の不一致がネックとなり、その組み込みの是非が問われている段階である。そこで定性的かつ定量的にも十分な精度を持つCFD技術を提案するための一助となるように、解析対象に平板翼理論により理論解が得られる平板翼断面、および過去に横浜国立大学土木工学教室で風洞実験が行われた扁平1箱桁断面を選択し2次元流体解析を行い、得られた静的空気力および非定常圧力を理論解および風洞実験結果と比較・検討し、解析モデルの妥当性を評価するとともに、加振振幅や解析メッシュなどの入力パラメータの変更が平板翼理論による値と解析値の相違に与える影響を比較検討し平板翼理論が適用できる範囲を探った。

## 2. 解析手法

解析コードには石川島播磨重工業基盤技術研究所基礎技術研究部で開発された2次元非圧縮性 Navier-Stokes コードを用いた。対流項および粘性項はそれぞれ5次精度風上差分、2次精度中心差分により離散化され、時間積分には2次精度の陰解法が用いられている。乱流モデルには  $k-\omega$  SST モデルが用いられる。全ての解析ケースで Reynolds 数は  $Re=2.0E+5$  とした。加振振幅は平板翼では  $h_0/B=0.005\sim 0.25$ ,  $\theta=0.5\sim 25.0^\circ$ 、1箱桁は実験に合わせて  $h_0/B=0.03$ ,  $\theta=0.5^\circ$  に設定した。各メッシュ桁周辺部拡大図を図1に示す。なお模型に存在する高欄は現段階では再現していない。

## 3. 実験方法

実験諸元を表1に模型断面諸元を図2に示す。実験は横浜国立大学工学部建設学科土木工学教室の押し出し式エッフェル型風洞を使用した。



平板翼(B/D=100)      扁平1箱桁(B/D=10.9)  
 217\*105 node                      222\*96 node

図1 解析メッシュ桁周辺部拡大図

表1 実験諸元

実験項目	非定常空気力
模型縮尺	1/90
B:D (mm)	345*32
実験風速 (m/sec)	2.3~20.0
加振振幅	$\pm 10$ mm
加振振動数 (Hz)	1.0~1.5



図2 実験模型断面諸元（単位：mm）

## 4. 解析結果

### 4.1) 平板翼断面を使用しての解析

平板翼メッシュを使用し、桁静止状態で迎角を変化させた場合の  $C_L$ ,  $C_M$  の変化を図3に示す。

一般に平板の前縁失速による失速角は  $\theta=6^\circ$  前後とされているが、本解析においても  $\theta=6^\circ$  を越えるまでは解析値と理論値は十分に一致した。また、さらに迎角が大きくなって発生する再付着型剥離（前縁失速）と完全剥離（後縁失速）による失速状態を十分に再現している。以上より本解析コードは静的空気力を定性的にも定量的にも十分な精度で再現する事を確認できた。

Keywords : CFD, Unsteady aerodynamic force,  $k-\omega$  SST model

連絡先 : 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL 045-339-4243 FAX 045-348-4565

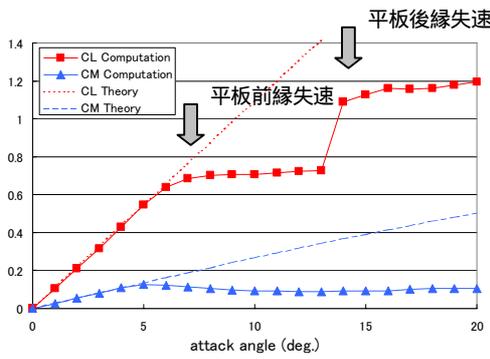


図3 迎角による  $C_L, C_M$  変化

次にたわみ・ねじれ強制振動から求められる非定常空気力係数による Theodorsen の平板翼理論値と解析値の比較結果を  $A_2^*$  のみ図4に示す。

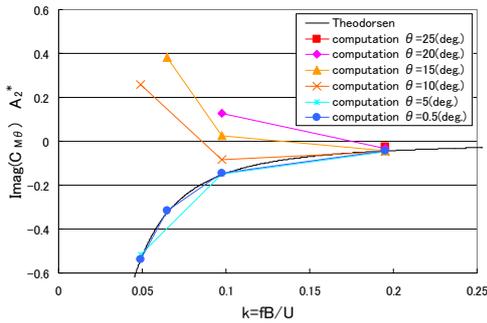


図4 非定常空気力係数 ( $A_2^*$ )

$A_2^*$  はモーメントに寄与する桁ねじれ速度比例項であり、ねじれ振動の発散および減衰の状態を示す。符号が負から正へ反転すると振動が発散する事を示している。微小ねじれ振幅のケース ( $\theta = 0.5, 5^\circ$ ) では平板翼理論と十分な一致を示している。一方  $\theta = 10^\circ$  以上のケースでは換算振動数  $k$  が減少すると  $A_2^*$  が負から正へ転じ、ねじれ振動が発散することを示している。

ここで  $\theta = 25, 20, 15^\circ$  の大振幅設定の解析で差分方程式が収束せず計算が実行不可能なケースが見られた。そこで計算の実行と計算時間の短縮を目的として圧力に関する収束判定値を変更し、その変更が計算結果にどのような影響を与えるのかを比較検討した。 $\theta = 25^\circ$  の大ねじれ振幅設定で収束判定値  $eps_p = |p^{m+1} - p^m|$  を4種変更したケースの  $C_M$  のヒステリシスを図5に示す。

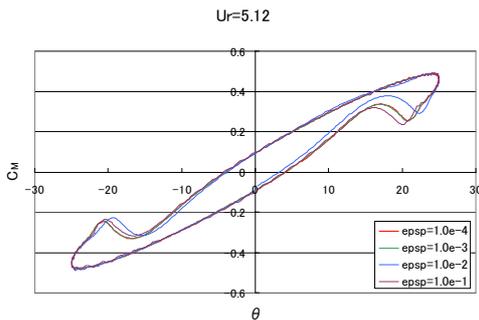


図5  $C_M$  ヒステリシス ( $\theta = 25^\circ$ )

収束判定値は値が大きくなるほど判定が緩くなる。ヒステリシスは6時の位置から始まり反時計回りに進む。全体としての傾向に変化は無いが、最大振幅に達する直前の部位で収束判定値による変化が見られる。非定常空気力係数の形で比較した場合、差異はほとんど認められなかった。また計算時間は最大5倍程度の差が生じた。

4.2) 扁平1箱桁断面を使用しての解析

次に扁平1箱桁断面を使用して、 $U_r = 10.24$  におけるたわみ強制加振時の非定常圧力特性(変動圧力係数:  $C_{prms}$ )の解析結果と実験結果の比較を図6に示す。左側が上流である。定性性は再現出来ているものの、定量的には実験値と解析値で約2倍程度異なる値を示す結果となった。また風上側のピーク位置(フェアリングと路面が接する角部)付近の値が実験値と解析値で異なるケースが多かった。風洞実験で高欄を除去した模型を使用したケースを試行したが、今回の結果を見る限りでは風洞実験において高欄の有無は観測非定常空気力に有意な影響を与えているとは考えにくい。

非定常空気力の実験値と解析値の相違の原因として、風洞実験の低風速域での圧力測定システムの変動応答性に何らかの問題がある可能性がある。

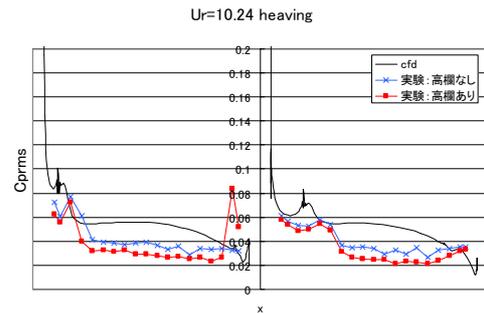


図6  $C_{prms}$  分布図 ( $\theta = 0^\circ, h_0/B = 0.03$ )

5. まとめ

- ・ 2次元非圧縮性 Navier-Stokes コードを用いた本解析では、剥離による失速を伴わない平板翼では定性かつ定量的に十分な精度で非定常空気力の推定が可能である事が判った。また大迎角および大ねじれ振幅による平板翼の失速に伴う失速フラッターについても定性的に正しく再現する事が確認された。
- ・ 超長大吊橋を想定した扁平1箱桁断面を対象にした解析を行い、たわみ強制加振に伴う非定常空気力の定性的な傾向を精度良く再現することが可能であることが判明した。定量性については実験値との相違が見られたが、それが解析モデル側の影響なのか実験側の影響なのかは現時点で不明であるので引き続き検討を行う必要がある。

【謝辞】

本研究を進めるにあたり、石川島播磨重工業(株)基礎技術研究所基礎技術研究部の黒田真一氏には解析コードを提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。