

超長大吊橋橋桁断面の連成空気力を対象にした数値流体解析

横浜国立大学大学院環境情報学府 学生会員 市瀬達夫
横浜国立大学大学院環境情報研究院 フェロー 山田均

横浜国立大学大学院工学研究院 正会員 宮田利雄
横浜国立大学大学院工学研究院 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、解析対象に扁平箱桁断面を選択し2次元流体解析を行い、得られた静的空気力および表面圧力を横浜国大土木工学教室で過去に行われた同断面を用いた風洞実験結果と比較して解析モデルの妥当性を評価し、高換算風速域での連成フラッターメカニズムの解明を目指した。

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。Reynolds 数は $Re=UB/\nu=2.0E+5$ とした。加振は実験に合わせてたわみのみとし、加振振幅は $\pm 0.03D$ とした。解析グリッドの格子点数は $222 \times 96=21312$ である。グリッド中心部を図1に示す。なお模型に存在する高欄は现阶段では再現していない。

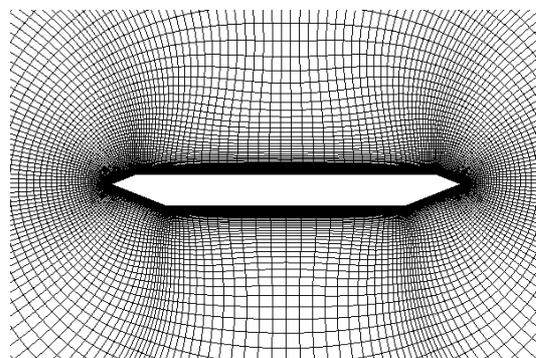


図1 解析グリッド (222*96)

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。

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 | ± 10 mm |
| 加振振動数 (Hz) | 1.0~1.5 |

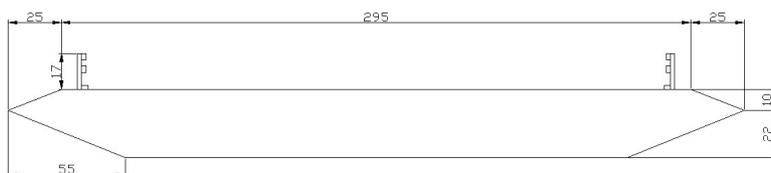


図2 模型断面諸元

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。圧力計測孔は模型断面上面・下面にそれぞれ19点ずつ設け、圧力係数・変動圧力係数を算出するための圧力係数は2048点の10msecにて計測を行った。

4. 結果

図3~6にたわみ強制加振時の非定常圧力特性の計算結果と実験結果の比較を示す。図3、4は換算風速(U_r)20の場合の圧力係数 C_p と変動圧力係数 C_{prms} の分布図である。 C_p は時間平均化された圧力を動圧で無次元化したものであり、解析値と実験値は桁上面風上側高欄付近を除き、定性的にも定量的にも一致している。 C_{prms} は時間平均化された圧力の標準偏差を動圧で無次元化したものであり、解析値と実験値の相関に関しては桁上面・下面ともほぼ傾向は再現できているが定量的には過大に推定する結果となった。図5、6に $U_r=10$ の場合の結果を示す。 C_p について $U_r=20$ の場合と同様に解析値と実験値は定性的にも定量的にも十分一致している。 C_{prms} については $U_r=20$ の場合と異なり桁の風下側3/4程度

キーワード：非定常空気力、数値流体解析、 $k-\omega$ SST モデル

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

の範囲では傾向だけではなく定量的にも一致しているが、桁上面・下面とも風上側 1/3 の範囲は大きく異なる結果を示した。この解析値と実験値の相違については実験側の圧力計の振動数特性や、高欄の有無による影響が現れたと考えている。

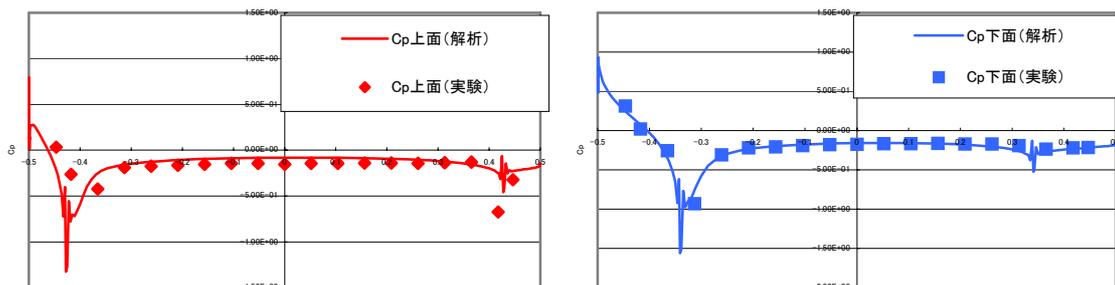


図3 たわみ強制加振時 圧力係数 C_p 分布図 $Ur=20$ (左: 上面 右: 下面) (y軸-2.0~1.5)

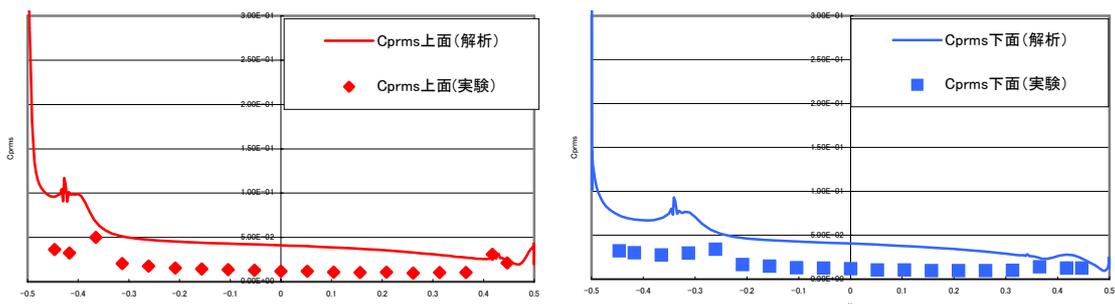


図4 たわみ強制加振時 変動圧力係数 C_{prms} 分布図 $Ur=20$ (y軸0.0~0.3)

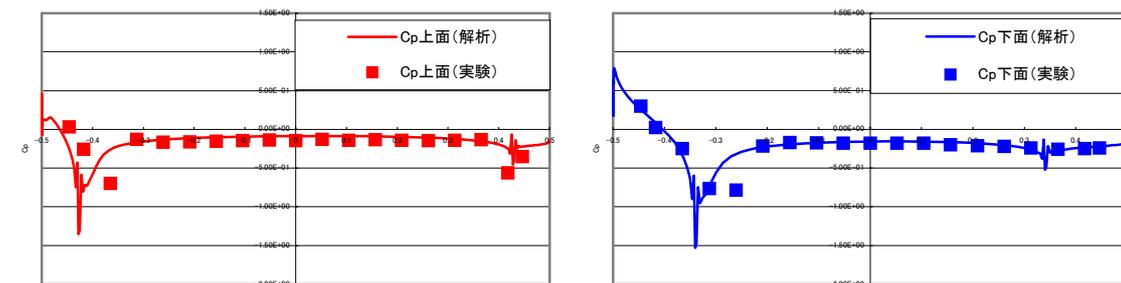


図5 たわみ加振時 圧力係数 C_p 分布図 $Ur=10$ (y軸-2.0~1.5)

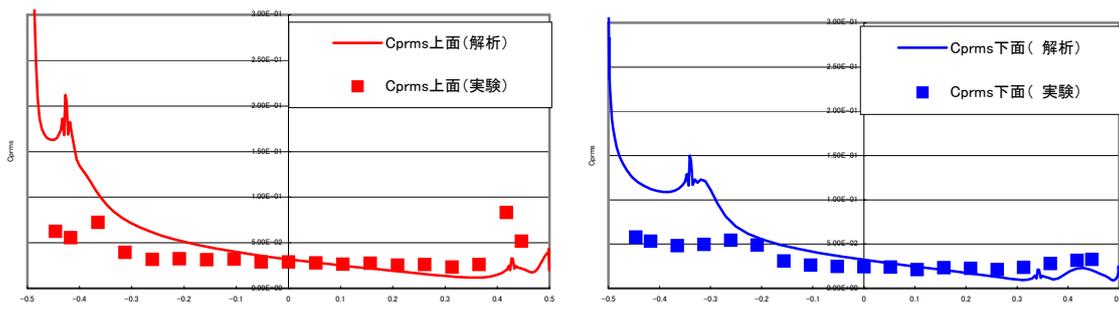


図6 たわみ加振時 変動圧力係数 C_{prms} 分布図 $Ur=10$ (y軸0.0~0.3)

5. まとめ

- $k-\omega$ SST 乱流モデルを使用して超長大吊橋を想定した扁平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が、この点に関して引き続き研究を進め、問題点の所在を明らかにしようと考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、石川島播磨重工業(株)基盤技術研究所基礎技術研究部の黒田眞一氏には解析コードの提供を頂きました。ここに記して謝意を表します。