数値流体解析による超偏平矩形断面の非定常空気力係数の振幅依存性に関して

(株)協和コンサルタンツ 正員 大佐嘉彦 中央大学 正員 平野廣和

1.はじめに

長大橋梁に用いられることが多い比較的偏平な箱型 断面は、基本的に流れに対して鈍い形状であるため、 耐風工学的には、その形状・振動特性等によって各種 の問題を発生させることがある。その一例として、高 風速域における連成フラッターの発生が挙げられる。 橋梁設計においてフラッター現象は、橋梁全体を破壊 に導く恐れのある発散振動であり、発生の許されない 現象である。ところで、発散振動であるフラッター現 象は、物体周りの流れの変化がその特性を左右するこ とが多い。そのため橋梁の耐風安定性の検討に際して、 まず最も基礎的なデータとである偏平矩形断面の静的 空気力や非定常空気力が扱われる。最近では、この検 討に風洞実験ばかりでなく数値流体解析 (CFD)¹⁾を行 う試みもされている。一方、物体に作用する非定常空 気力は、非定常空気力係数によって評価される方法が ある。この非定常空気力係数は、振幅依存性を考慮し ていないことから、振幅依存性がないという仮定で表 されている。しかし、宇都宮ら2の風洞実験によると超 偏平な矩形断面において高風速域側で振幅依存性が生 じる事が指摘されている。よって、本報では 3 次元数 値流体解析の面から超偏平矩形断面の非定常空気力係 数を算出して風洞実験結果²⁾で指摘されている振幅依 存性について確認する事を目的としている。

2.解析手法

本報では、比較的高いレイノルズ数領域での Bluff な断面まわりの流れを扱うため、剥離・再付着の現象 を忠実に再現できることが必要である。また、空気力 の算出に直接起因する物体表面の変動圧力をより正確 に求めることも必要になる。Navier-Stokes 方程式を基 礎方程式とし、乱流には平均量・変動量とも風洞実験 とよく対応する解が得られることが知られている LES における SGS モデルを採用した。解析手法には、著者 らが従来より提案している有限要素法による IBTD/FS

キーワード:非定常空気力係数,数値流体解析, 超偏平矩形断面

法を用いた。また、動的問題の解析手法では、解析領 域全体を剛体的に移動させる手法
りを採用している。

3.解析モデル

解析モデルには風洞実験²⁾と同じ断面辺長比 B/D=150 の超扁平矩形断面を用いる。軸方向長さ 0.64Bを 32 分割にし、その他下記の条件にて静的解析 を行ったところ、風洞実験値とほぼ一致したので、動 的解析には表1の条件を用いる。

表 1 数值解析条件	
断面辺長比	B/D = 150
解析領域	x = -9B ~ 9B
	y = -8B ~ 8B
流入条件	一様流入(U=1.0)
レイノルズ数	Re = 10 ⁵
時間増分	t = 0.005B/U
軸方向長	0.64B
軸方向分割幅	0.02B
軸方向分割数	32分割
総接点数	30152 × 96
総要素数	29600 × 96

4. 振動解析

1自由度のねじれフラッターは、前縁で形成される振 動数成分の渦に沿っての流下過程と回転変位との位相 差および渦形成に伴う剥離流の側面への再付着等によ り、断面に時間的に変化する非対称の圧力分布が形成 され、ねじれモーメントが誘発されることにより生じ る。ところで、風洞実験2によると曲げ強制振動による 振幅依存性は確認されず、ねじれ強制振動のみにおい て振幅依存性が確認されている。この結果から本報で は1自由度のねじれ強制振動に絞って解析を行った。 なお、ねじれ振幅と換算風速は表2のように設定した。

表 2 解	析パラメータ
ねじれ振幅	2,4,6,8,10,12
換算風速	5, 10, 14, 16, 18, 20

1 自由度のねじれ振幅の振動時における非定常揚力L と非定常空力モーメント M は非定常空気力係数を用い て次式のように表される。

連絡先: 192-0393 八王子市東中野 742-1 中央大学総合政策学部平野研究室 0426-74-4170

$$L = \frac{1}{2}\mathbf{r}(2b)U^{2} \left(kH_{2}^{*}\frac{b\mathbf{j}\mathcal{R}}{U} + k^{2}H_{3}^{*}\mathbf{j}\right)$$
$$M = \frac{1}{2}\mathbf{r}(2b^{2})U^{2} \left(kA_{2}^{*}\frac{b\mathbf{j}\mathcal{R}}{U} + k^{2}A_{3}^{*}\mathbf{j}\right)$$

ここに、bは断面の半桁幅、kは換算振動数である。 非定常空気力係数の特性として橋梁断面のフラッタ ーの安定性に大きな関わりを持つのは、A^{*}₂とH^{*}₃であ る。A^{*}₂はねじれモードの空力振動の不安定性を支配す るねじれ速度に比例する空力減衰係数であり、この値 が負であるとき安定となる。風洞実験と同じように算 出された非定常空気力係数のうちねじれ1自由度強制 振幅の変化に対して変化が認められたA^{*}₂を図1に示す。 縦軸は非定常空気力係数A^{*}₂、横軸は換算風速である。



図1 ねじれ1自由度強制振動による非定常空気力係数 A^{*}₂

この結果より、解析と風洞実験のどちらも大振幅の高 風速域でA、は負から正に転じており不安定領域にある。 また、加振振幅が大きくなるにつれて A, の値が負から 正に転じる換算風速が小さくなっていることが判る。 そして振幅の大きさに関わらず、高風速域では理論値 との差が生じている。なお、振幅が大きくなるにつれ て両者の差が大きくなりセオドルセン理論の適用が難 しくなるのが判る。風洞実験と解析を比較すると、ど ちらもねじれ振幅 12°で A,の値が負から正に転じる。 しかし、振幅が大きくなるに伴い高風速域で差異が大 きくなる傾向にあり、実験値の方が解析値に比べて振 幅依存性の影響が大きくなっている。高風速側では断 面の振動数を小さくすることから一定の周期的な変化 が得られるまでに厖大な計算時間を必要とする。具体 的には1周期当り換算風速 5.0と 20.0では4倍の計算時 間を要するため、計算時間の不足が考えられる。



図2 圧力分布

図2にねじれ振幅10°における最大振幅時の瞬間の 圧力分布図を示す。静的現象³では、迎角10°付近から 剥離した流れが再付着せずに断面後方に流れていくが、 動的な場合は剥離した流れは再付着していることが各 換算風速でも生じている。これが、*A*²の値が負から正 に転じる要因の一つになっている可能性が高い。

<u>5.おわりに</u>

解析結果は風洞実験の結果同様、ねじれ振幅による 非定常空気力係数の振幅依存性を認めることができた。 ここで取り上げたような超偏平な断面辺長比を有する 矩形断面を扱うような場合には振幅依存性に関して注 意をする必要がある。また、断面辺長比の影響を確認 する必要も考えられる。最後に、風洞実験データを提 供してくれた徳島大学野田稔先生、数値解析の指導を してくれた八戸高専丸岡晃先生に感謝の意を表す。 <参考文献>

1) 丸岡他:数値流体解析による非定常空気力の算出について,土木
 学会応用力学論文集, Vol.3, 2000.8

2) 宇都宮他: 偏平矩形断面における非定常空気力係数の振幅依存性,

土木学会第 56 回年次学術講演会, 2001.10

3) 大佐他:数値流体解析による超偏平矩形断面における非定常空気
 力係数の振幅依存,第29回土木学会関東支部技術研究発表会,2002.3