

数値流体解析による矩形断面における非定常空気力係数の振幅依存性

中央大学 ○学生員 東 隆介 中央大学 正会員 平野廣和
中央大学 正会員 佐藤尚次

1. はじめに

近年の急速な計算機性能の向上に伴い、数値流体力学(CFD: Computational Fluid Dynamics)が大きな進歩を遂げ、風工学の分野でも着実に成果を挙げている。特に、橋梁断面に作用する静的空気力の予測に関しては、これまで多くの研究がなされ、その有効性が認知されつつある。また、動的解析に関しても、比較的辺長比の小さい断面については、渦励振やたわみ 1 自由度のギャロッピングを解析した報告例も見られる。しかしながら、連成フラッターやねじれフラッターの発生が予想される偏平な橋梁断面の非定常空気力の予測に関しては、未だ報告例の数も少なく、信頼性ならびに精度の評価もこれからの課題となっている。

著者らはこのような観点から、振幅依存性という特別な現象を生じる事が確認されている、橋梁断面に近い断面である $B/D=13$ の矩形断面を取り上げ、風洞実験¹⁾と同じ条件下において 3 次元数値流体解析を行い、静的空気力係数ならびにねじれの非定常空気力係数の算出を行ってきた²⁾。これまでの解析では概ね風洞実験と同等の結果が得られたが、再付着型から完全剥離型へと流れのパターンが変化する境界である加振振幅 6° において誤差が生じてしまっていた。そこで本研究では流れのパターンが変化する加振振幅において矩形柱周りの精度を上げて結果の再算出を試みた。

2. 解析手法

解析条件、風洞実験とできる限り同一とすることを目的とし、著者らの過去の解析事例³⁾を参考に以下のように決定した。解析条件を表 1 に示す。

(1)基礎方程式：基礎方程式は、Navier-Stokes 方程式を用い、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 モデルを採用する。解析手法には著者らが従来から提案している有限要素法による IBTD/FS 法⁴⁾を用いる。また動的解析手法では、解析領域全体を剛体的に移動させる手法を採用している。

(2)レイノルズ数：レイノルズ数は、風洞実験¹⁾との比較を目的とすることから、風洞実験と同一の値である $Re=1.0 \times 10^5$ とする。なお長さの代表スケールとして幅員 B を用いる。

(3)境界条件：境界条件は、物体中心から風上側 $3B$ における平面から一様な流れを与える。さらに矩形断面まわりでは no-slip 条件、流れに対し上下の境界面では slip 条件としている。また、軸方向の境界平面では、周期境界条件を与えている。

表 1. 解析条件

Reynolds数	$Re=1.0 \times 10^5$
時間増分	$t=0.004B/U$
流入条件	一様流入 (流入速度 $1U$)
Smagorinsky定数	0.1
軸方向分割幅	0.0076B
解析領域	$x=-3B \sim 3B$ $y=-3B \sim 3B$

3. 静的解析

静的解析では、静的空気力係数（抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L 、空力モーメント係数 C_m ）を用いて静的空気力特性の評価を行った。図 1 に流れが安定した状態での時間平均された静的空気力係数（ C_L 、 C_m ）を示す。

従来の研究では揚力係数 C_L 、空力モーメント係数 C_m においてピークの値が過大に評価される事があったが、流れのパターンが変化する加振振幅において矩形柱周りの精度を上げて再算出する事により、風洞実験と同等の値を得ることができた。

ところで、抗力係数、揚力係数は動的解析から算出する非定常空気力係数（ H_1^* , H_2^* , H_3^* , H_4^* ）を求める際に、また、空力モーメント係数は係数（ A_1^* , A_2^* , A_3^* , A_4^* ）を求める際に大きな影響を及ぼす。ここでの静的解析において空気力係数が許容できる精度で求められているので、非定常空気力係数も同様な精度で求めら

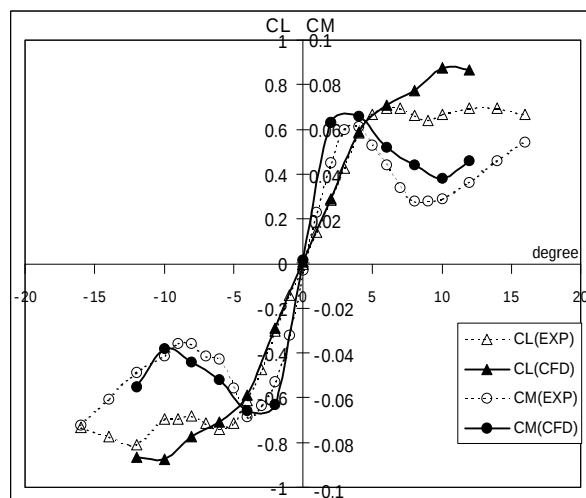


図 1. 静的空気力係数

れると考える。

4. 動的解析

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

キーワード：非定常空気力係数、振幅依存性、数値流体解析、矩形断面

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

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。本報では、風洞実験で振幅依存性が認められたねじれ振動について解析照査を行った。

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_2^* である。 A_2^* 、 H_2^* は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。また係数 A_3^* 、 H_3^* はねじれ振動の変位に比例する。

図2に静的解析における加振振幅 4° 、 6° の時間平均流線図を示す。振幅 4° では物体前縁で剥離した流れが再び物体に付着する再付着型の流れであるのに対し、振幅 6° では一度剥離した流れが完全に剥離している。このことより、振幅 6° 付近で流れのパターンが変化している事が明らかである。更に、流れのパターンが変化する過程において時間平均的には完全剥離流であっても瞬間的には付着・剥離を繰り返す周期的再付着型の流れになっており、これらの加振振幅においては剥離・付着境界付近において要素分割数を増やし精度を上げて解析を行う必要があると考えられる。

図3に算出を行った非定常空気力係数 A_2^* と H_2^* の結果を示す。どちらの係数の結果においても、従来の研究では正確に再現する事が出来ていない加振振幅 6° において、風洞実験とほぼ同等な結果が得られていることが分かる。特に係数 A_2^* においては値が正から負に転じる換算風速まで許容できる範囲で正確に再現することが出来た。

5. おわりに

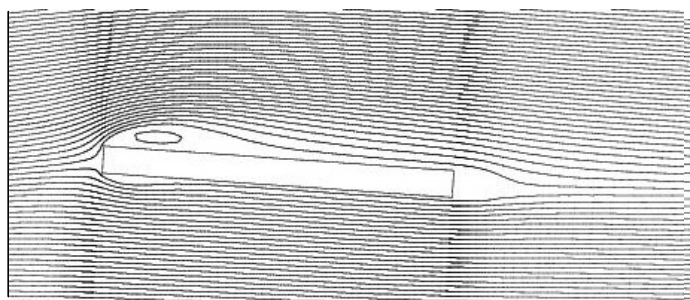
本報では、流れのパターンが変化する境界において有限要素メッシュ分割数を増やし精度を上げて再解析をすることにより、静的解析のみならず、動的解析においても許容できる精度で解析を行う事が出来た。

特に橋梁断面のフラッターの安定性に大きな関わりを持つ係数 A_2^* と H_2^* において値が負から正に転じる換算風速や加振振幅を数値流体解析により正確に再現出来る事が明らかになった。

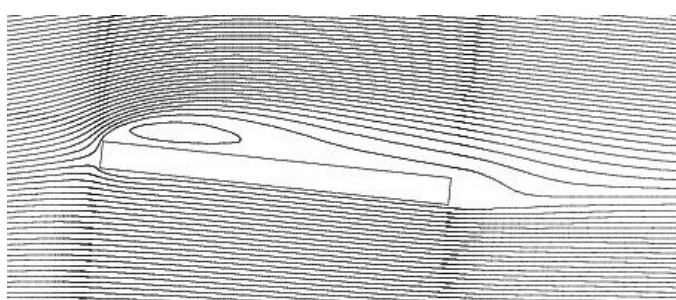
今回のような大振幅は実際の設計において、検討されることが少ない条件であるが、風洞実験と比較し数値流体解析の精度を確認することは耐風設計に数値流体解析を適用していく上で重要なことと考える。

<参考文献>

- 1) 宇都宮他：扁平矩形断面における非定常空気力係数の振幅依存性，第56回年次学術講演会，2001
- 2) 東他：数値流体解析による1:13矩形断面における非定常空気力の振幅依存性，第31回関東支部技術研究発表会，2004
- 3) 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, pp.707-714, 2000.8
- 4) 丸岡他：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，土木学会構造工学論文集 Vol.43A, pp383-394, 1997.3

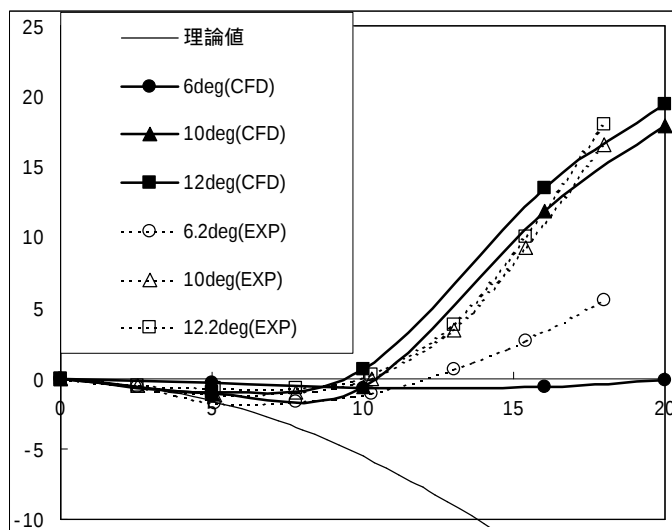


(1) 4deg

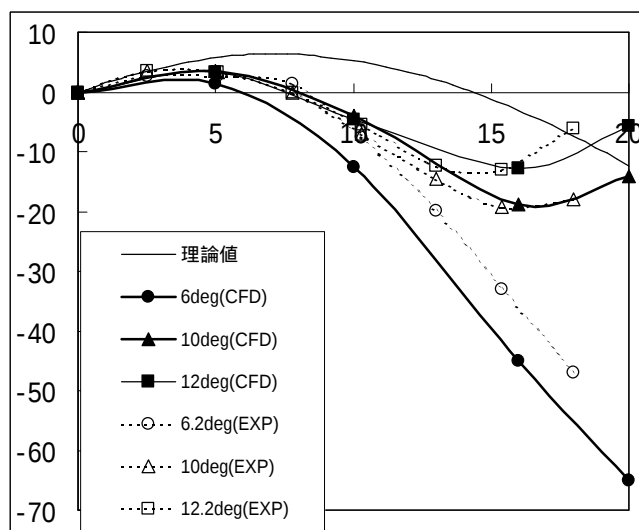


(2) 6deg

図2．静的解析における時間平均流線図



(1) A_2^*



(2) H_2^*

図3．非定常空気力係数