

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

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、 $B/D=150$ の超偏平な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⁾。本報では、更に振幅依存性が確認されている $B/D=13$ 断面において風洞実験との比較を行うことで、より実橋梁断面に近い断面における数値流体解析手法の精度の確認を行った。

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。

(1)解析領域：主流方向平面での解析領域は、物体中心から風上側、風下側をそれぞれ $3B$ 、流れと鉛直方向には $6B$ とする。ここで閉塞率は 1.28% である。また軸方向の長さは $0.49B$ 、分割幅は 64 分割の $0.0076B$ 一定とする。このとき物体からの法線方向の最小メッシュ幅は、 $0.00352B$ である。

(2)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。

(3)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。

(4)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。

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。 C_L , C_m ともに $\pm 4 \sim 6^\circ$ 付近で両差の差が認められる。しかし、空力特性上重要な勾配の正負の変化は捕らえており、全体的に許容できる程度の精度が得られえたと考えられる。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り、断面に時間的に変化する非対称の圧力分布が形成

キーワード：非定常空気力係数、振幅依存性、数値流体解析

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

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。

1 自由度のねじれ振動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 は非定常空力係数を用いて次式のように表される。

$$L = \frac{1}{2} r(2b)U^2 \left(kH_2^* \frac{bj}{U} + k^2 H_3^* j \right) \quad (1)$$

$$M = \frac{1}{2} r(2b^2)U^2 \left(kA_2^* \frac{bj}{U} + k^2 A_3^* j \right) \quad (2)$$

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_1^* 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。

特に振幅依存性が顕著に確認できた係数 A_2^* の結果

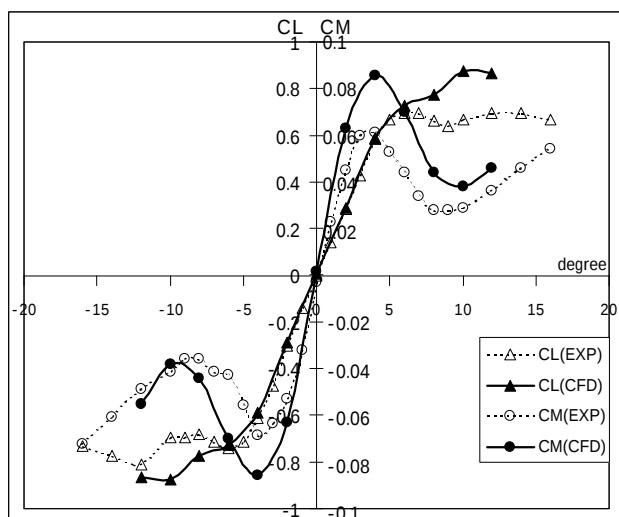
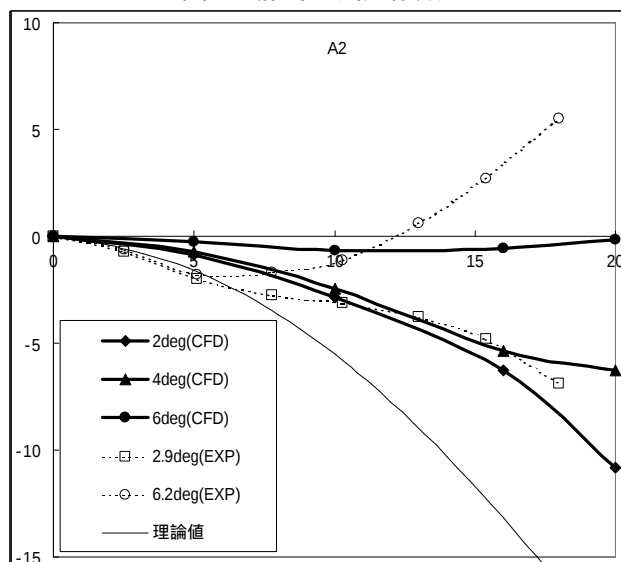


図1 静的空気力係数



を図2に示す。風洞実験値、解析値ともに加振振幅が大きくなるほど理論値との差が大きくなっていて、振幅依存性があることが確認できる。また、振幅が 6° を超えた付近から風速が大きくなるに従い値が負から正に転じて不安定な状態になっている。さらに振幅が大きくなるに従い値が負から正に転じる換算風速が小さくなっている。ところで本解析では加振振幅 6° で誤差は生じたが、静的解析も同様である。静的解析の精度の重要さがここに表れている。その他の振幅においては、風洞実験値とよく一致しており、また、大振幅域において係数が負から正に転じる換算風速についても再現でき、振幅依存性という特殊な現象を許容できる精度で十分再現できたと考えられる。

5. おわりに

本報では、 $B/D=13$ という実橋梁断面に近く、耐風設計上重要な断面において振幅依存性という特殊な現象を風洞実験と同様な条件下で数値流体解析により再現することができた。今回のような大振幅は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手法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力係数の振幅依存性，第56回年次学術講演会，2001
- 2) 大佐他：数値流体解析による超扁平矩形断面における非定常空力係数，第58回年次学術講演会，2003
- 3) 丸岡他：数値流体解析による非定常空力の算出について，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

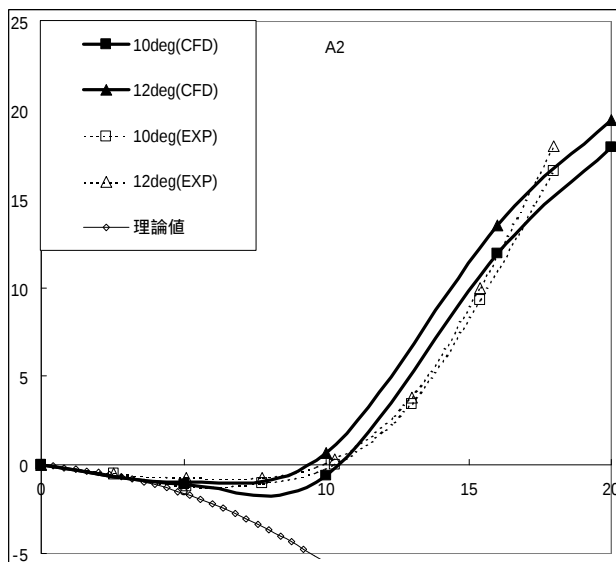


図2 ねじれ1自由度強制振動による非定常空気力係数 A_2^*