# 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

㈱協和コンサルタンツ	正会員	大佐嘉彦	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

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。一方、宇都宮ら<sup>1)</sup> は各種の風洞実験を実施し、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を指摘している。ここで振幅依存性が 生じる断面辺長比は、B/D=150 であることから実際の橋梁断面には採用されることのない断面であり、工学的にはあまり重要な断面ではない。しかしながら、数値流体解析

(CFD)の精度を確認するとの観点に立脚すれば、この断面は振幅依存性という特別な現象を生じるので、これを数 値流体解析で再現することができるならば、十分有効なこ とと判断することができる。

著者らはこのような観点から、B/D=150の超偏平な矩形 断面を取り上げ、風洞実験<sup>1)</sup>と同じ条件下において3次元 数値流体解析を行い、静的空気力係数の算出ならびにねじ れの非定常空気力係数の算定を行ってきた<sup>2)</sup>。本報では、ね じれの非定常空気力の算定を再度実施し、これにより風洞 実験結果で指摘されている特殊な現象である振幅依存性を 風洞実験と数値流体解析の比較を行い、数値流体解析手法 の精度の確認を行うものである。

### 2. 解析手法

本報では、風洞実験と同じ条件下での比較的高いレイノ ルズ数領域での Bluff な断面まわりの流れを扱うことにな るので、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。そこで、 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 モデルを採用する。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 法<sup>3)</sup>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<sup>40</sup>を採用している。

### 3. 解析モデル

解析モデルには風洞実験<sup>1)</sup>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

表1 解析パラメータ

Reynolds数	Re=1.0 × 10 <sup>5</sup>		
時間増分	<u>⊿</u> t=0.005B/U		
流入条件	一様流入(流入速度:U)		
Smagorinsky定数	0.1		
軸方向分割幅	0.02B		
解析領域	x=-9B~+9B		
	y=−8B <b>~</b> +8B		

して3次元数値流体解析を行う。静的解析<sup>2)</sup>をまず行い、 風洞実験値とほぼ一致したと判断できる結果を得たので動 的解析には表1の条件を用いることとした。

# 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。静的解析では、仰角 8°~10°から再付着せず に剥離していることが認められた。なお、ねじれ振幅は-16°~16°の範囲で実施した。

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。

$$L = \frac{1}{2}\rho(2b)U^{2}\left(kH_{2}^{*}\frac{b\dot{\varphi}}{U} + k^{2}H_{3}^{*}\varphi\right)$$
(1)  
$$M = \frac{1}{2}\rho(2b^{2})U^{2}\left(kA_{2}^{*}\frac{b\dot{\varphi}}{U} + k^{2}A_{3}^{*}\varphi\right)$$
(2)

ここに、bは断面の半桁幅、kは換算振動数である。

ところで、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、 $A_2^* > H_3^*$ 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。それぞれの解析結果を図 1 に示す。ここで、縦軸は非定常空気力係数、横軸は換算風 速を示している。

キーワード:非定常空気力係数、数値流体解析、ねじれ振動

連絡先:〒151-0073 東京都渋谷区笹塚1-57-7 株式会社協和コンサルタンツ東京事業部第一統括部 03-3376-3731

図1-(1),(2)に係数 $A_2^*$ 、 $H_2^*$ を示す。仰角が 10 を越える 付近から実験値と解析値に差が生じている。仰角が 12°の 場合その差が生じてくる風速は低風速側に移る傾向にある。 これは換算風速が大きくなれば加振周期も大きくなるので、 静的な状態に近づいて行くことから生じていると考えられ る。そのため静的解析で得られた差が動的解析にも顕著に 表れたと推測される。ところで、静的解析では再付着型か ら剥離型に移行する迎角である 8°~10°で実験値と解析 値で差が生じた<sup>2)</sup>。ここでの係数の差も同様の仰角で差が 生じていることから大迎角側では注意を要する。

図1-(3),(4)に係数 A<sub>3</sub><sup>\*</sup> · H<sub>3</sub><sup>\*</sup> を示す。それぞれの仰角で実 験値との大きな差は見られないが、両者ともに迎角 10<sup>°</sup> 以 上、換算風速 15 以上で差が生じている。前述の通り迎角 10<sup>°</sup> 付近での再付着型から剥離型へ移行が生じていること に起因していると考えられる。

この現象の起因として非定常空気力の計測点による違い が考えられる。風洞実験の計測点がよどみ点であるのに対 して、解析では断面の中心点からの算出を行っている。今 回のような超偏平な矩形断面おいて計測点の違いの影響が 反映された可能性が高い。

#### 5. おわりに

本報告では、実用的な範囲での迎角、風速では実験値と 解析値は同等な結果が得られたといえる。しかし、大仰角 や高風速側において非定常空気力は実験値と差が生じてい る。高風速側の解析では、静的現象に近づくために静的解 析の実験値との差が動的解析の現象にもその結果が影響を 及ぼしたものと考えられる。実用的な風速、迎角の範囲で あれば、数値流体解析でも十分対応が可能と考える。

最後に、貴重な風洞実験データを提案してくれた徳島大 学 野田氏に感謝の意を表す。

<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) 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 気力係数, 第57回年次学術講演会, 2002

3) 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
4) 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

![](_page_1_Figure_12.jpeg)

図1 ねじれ1自由度強制振動による非定常空気力係数