

# 数値流体解析を用いた長大吊橋断面の非定常空気力推定

日立造船 正会員 白井秀治, 日立造船 正会員 植田利夫

日立造船 正会員 三河克己

## 1. まえがき

本研究は、長大吊橋における耐フラッター性能評価に使用される非定常空気力係数を数値流体解析によって算出したものである。数値解析は、有限体積法を用いた2次元解析とし、乱流モデルとしてRANSの1つである修正生産項 $k-\epsilon$ モデル<sup>(1)</sup>を使用した。解析対象モデルは、精度確認の為に平板翼と長大吊橋を想定した来島大橋の桁断面の2種類とした。これらの断面に対して、空気力3分力係数と非定常空気力係数を計算し、線形理論や実験結果との比較から精度の検討を行ったので、その内容を報告する。

## 2. 解析方法

本解析は、BFCによる2次元非圧縮性流れの計算であり、連続の式、運動方程式、乱流エネルギー $k$ の輸送方程式、乱流エネルギー散逸率 $\epsilon$ の輸送方程式を基礎式として有限体積法により数値的に解くものである。差分スキームとしては、対流項にMUSCL(3次精度風上)、その他の項は2次精度中心差分を用いた。時間積分は、陰解法としてSIMPLE法による圧力修正を行っている。また、非定常空気力算出の際の物体を加振した流れの解析ではALE法を用いており、物体の移動に応じて格子の伸縮を行っている。乱流モデルは壁関数を用いた修正生成項 $k-\epsilon$ モデルを使用した。解析モデルは、図-1に示す平板翼と高欄・その他付加物の無い来島桁断面の2種類で、要素数はそれぞれ $180 \times 90$ (平板)、 $160 \times 100$ (来島)である。解析領域は、平板翼で $20B \times 10B$ (平板全幅 $B$ )、来島断面で $24B \times 46H$ (桁全幅 $B$ 、桁高 $H$ )である。流入条件は最上流境界から一様平均流と1%の乱れ強度を流入し、上下境界はスリップ条件、最下流境界では圧力勾配が零の自然流出条件を与えている。流入速度、加振の条件を以下に示す。

・ 平板翼:  $Re=1.3 \times 10^5$ 、迎角  $\alpha=0, +2, +5, +7, +8, +10, +15(^{\circ})$

$Ur=0, 5, 10, 15, 20$   $\eta_0=B/200$ 、 $\phi_0=0.5(^{\circ})$

・ 桁断面:  $Re=8.2 \times 10^4$ 、迎角  $\alpha=0, \pm 2(^{\circ})$

$Ur=6.2, 8.1, 9.9, 12.4, 15.5, 18.6, 22.3$

$\eta_0=0.01(m)$ 、 $\phi_0=1.0(^{\circ})$

ここで、 $Ur$ :換算風速( $=U/(f \cdot B)$ )、 $f$ :加振振動数、

$\eta_0$ :たわみ振幅、 $\phi_0$ :ねじれ振幅

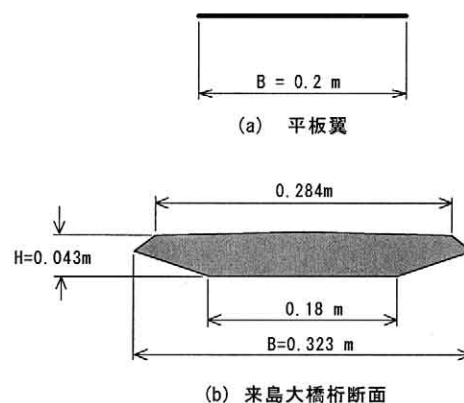


図-1 解析対象モデル

## 3. 解析結果

**3.1 三分力係数** 図-2に平板翼に対する三分力係数の計算結果と理論及び実験結果との比較を示す。

$\alpha \leq 5^{\circ}$  では理論式及び実験値と良く一致している。失速角についても  $\alpha=7^{\circ}$  付近となっており実験とはほぼ一致している。図-3に橋桁断面に対する三分力係数の計算結果と実験値の比較を示す。 $C_D$ と $C_M$ については比較的よく一致しているが、 $C_L$ は  $\alpha=0, +2^{\circ}$  で実験値から大きくはずれて、線形の理論式に一致する。図は省くが、流線と圧力分布の可視化の結果から、本断面形状では、上下・左右面のうち、正の

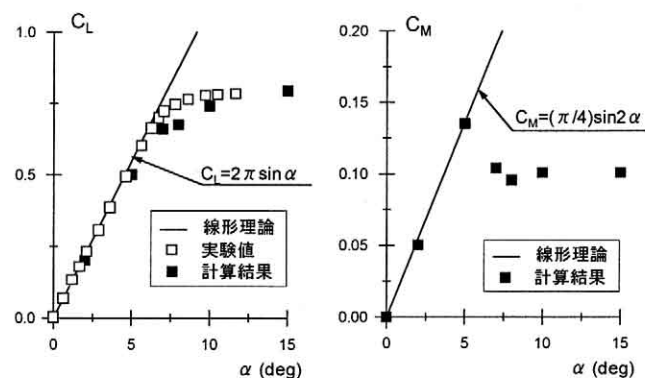


図-2 平板翼の三分力係数

キーワード: 数値流体解析、長大吊橋、非定常空気力係数

〒551-0022 大阪市大正区船町2丁目2番11号 日立造船(株)技術研究所 Tel.06-6551-9239 Fax 06-6551-9841

揚力に寄与しているのは桁上面である。この桁上面では鉛直上向きの大きな力を発生する前縁からの剥離（負圧域）が実験より大きく評価されていることが精度不足の要因と推定される。

### 3.2 非定常空気力係数

非定常空気力係数は、鉛直たわみとねじれにより連成振動した時に断面に作用する非定常空気力を式(1), (2)のように線形近似<sup>(2)</sup>した時の各項の

係数  $H_1^*, H_2^*, \dots, A_4^*$  で定義される。図-4 に平板翼と橋桁断面の非定常空気力係数の計算結果を示す。

比較の為に、薄翼理論(Theodorsen)と来島大橋に対する実験値も併せて示す。平板翼では線形理論と良く一

致した結果が得られている。一方、橋桁断面では、 $Ur \leq 10$  で比較的实验と一致するが、 $Ur$  が大きくなると非定常揚力に関連した係数、特にたわみ加振に関した  $H_1^*, H_4^*$  での実験からのずれが顕著になってくる。これは、 $Ur$  大では、振動周期に比べて流れの桁表面通過時間が卓越しており、無振動状態での空気力の計算精度が反映されるためと考えられる。すなわち、図-3 に示した揚力係数の計算精度不足が原因と考えられる。

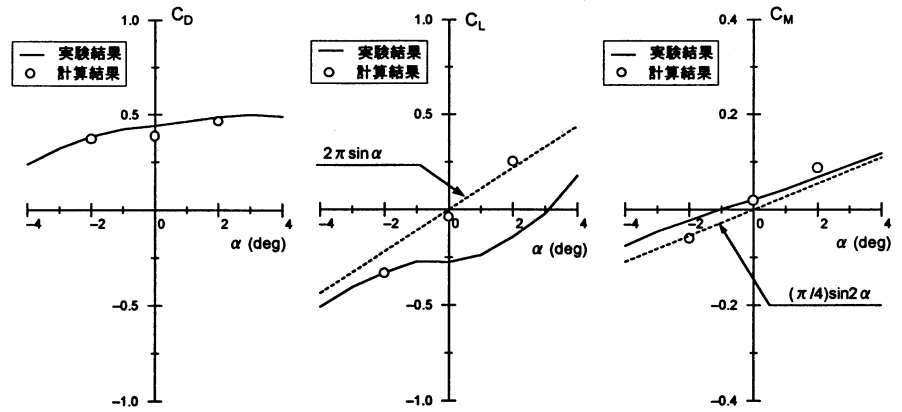


図-3 橋桁断面の三分力係数

$$L = \frac{1}{2} \rho U^2 B \left[ K H_1^* \left( \frac{\dot{\eta}}{U} \right) + K H_2^* \left( \frac{B \dot{\phi}}{U} \right) + K^2 H_3^* \phi + K^2 H_4^* \left( \frac{\eta}{B} \right) \right] \quad \dots (1)$$

$$M = \frac{1}{2} \rho U^2 B^2 \left[ K A_1^* \left( \frac{\dot{\eta}}{U} \right) + K A_2^* \left( \frac{B \dot{\phi}}{U} \right) + K^2 A_3^* \phi + K^2 A_4^* \left( \frac{\eta}{B} \right) \right] \quad \dots (2)$$

ここで、 $L$ :単位スパン当たりの揚力(上向正)、 $M$ :単位スパン当たりのモーメント(頭上正)、 $\eta$ :たわみ変位(下向正)、 $\phi$ :ねじれ変位(頭上正)、 $(\cdot)$ :時間微分、 $U$ :風速、 $\rho$ :空気密度、 $K$ :換算振動数 ( $= B\omega/U$ )、 $\omega$ :応答円振動数)である。

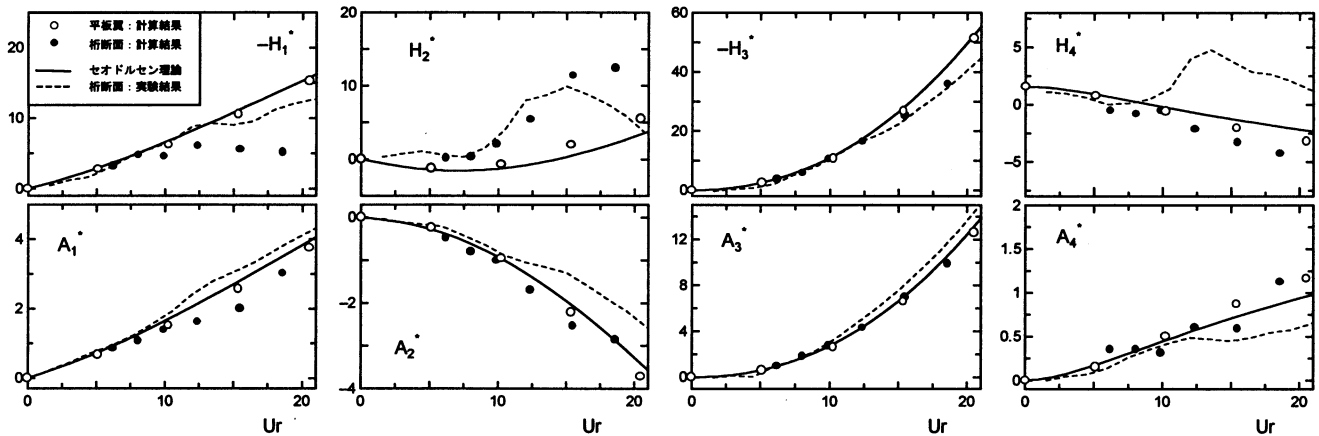


図-4 非定常空気力係数

## 4. まとめ

平板翼に対する計算結果から、物体後方での剥離の無い流れに対しては、3分力係数及び非定常空気力係数ともに精度良く計算できることが確認できた。一方、橋桁断面の様に物体後方に剥離を伴う流れでは、静止状態での空気力推定精度にまだまだ問題があり、 $Ur$  の大きい時に非定常空気力係数の推定精度が低下する結果となった。

なお、本成果は、建設省土木研究所、本四公団(財)、土木研究センター及び民間企業8社からなる共同研究会「経済性を考慮した超長大橋の耐風設計法に関する共同研究」の一環として実施したものである。

参考文献 (1) B. E. Launder, M. Kato: MODELLING FLOW INDUCED OSCILLATIONS IN TURBULENT FLOW AROUND A SQUARE CYLINDER, ASME Fluid Engineering Conference, June 20-24, 1993, Washington DC.

(2) Scanlan R. H., Beliveau J. -G, and Budlong K. S. : Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of ASCE., Vol. 100, EM4, August, pp. 657-672, 1974