

京都大学大学院 学生員○後藤和夫 京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
三井造船(株) 正会員 吉住文太 京都大学工学研究科 正会員 陳 新中

1. 序

近年、建設技術の発達とともに、長大橋梁の架橋が可能となってきた。しかし、支間長が伸びることで相対的に空力的振動現象が起こりやすくなる。なかでも、フラッター現象はいったん発生すると構造物の破壊につながる危険性がある。そのためフラッター現象に対し安定な断面の開発と発生機構の解明が望まれる。本研究では、矩形断面を並列させた断面を取り上げ風洞実験により非定常圧力を測定し、そのフラッター安定性を考察した。

2. 非定常空気係数と非定常圧力特性の関係

フラッター現象を考える際には物体に作用する空気力を把握することが必要である。本研究では非定常空気力をScanlanによって提案された8個の非定常空気係数 $H_i, A_i (i=1\sim4)$ [1]を用いて次式で定式化した(Fig. 1)。

$$L = \frac{1}{2} \rho (2b) U^2 \left[kH_1 \frac{\dot{\eta}}{U} + kH_2 \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 H_3 \dot{\phi} + k^2 H_4 \frac{\eta}{b} \right] \quad (2.1)$$

$$M = \frac{1}{2} \rho (2b^3) U^2 \left[kA_1 \frac{\dot{\eta}}{U} + kA_2 \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 A_3 \dot{\phi} + k^2 A_4 \frac{\eta}{b} \right]$$

ここで、 L : 単位スパン当たりの揚力(下向き正)。

M : 単位スパン当たりのモーメント(頭上げ正、弦長中央点まわり)、 $(\cdot)$: 時間微分

η : たわみ変位(下向き正、弦長中央点における変位)、 ϕ : ねじれ変位(頭上げ正)

U : 風速、 ρ : 空気密度、 b : 半弦長、 k : 換算振動数($=b\omega/U$)、 ω : 円振動数

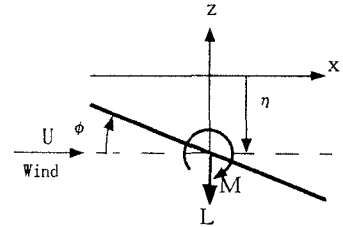


Fig. 1 非定常空気力の表現

断面に作用する非定常空気力は、断面表面に作用する非定常圧力を断面全体に渡り積分することで表現できる。ここで、非定常圧力特性として以下の量を定義する。

$\tilde{C}_p$: 変動圧力係数(断面表面における変動圧力の加振振動数成分の倍振幅を主流の動圧で無次元化したもの)

ϕ : 位相差(相対迎角最大から断面上面の負圧最大までの位相遅れ)

ここで、たわみ及びねじれに対する相対迎角はそれぞれ次式で表される。

$$\alpha_{\eta} = \eta / U : \text{Heaving 1DOF} \quad \alpha_{\phi} = \phi : \text{Torsional 1DOF} \quad (2.2)$$

上下対称断面の場合、たわみあるいはねじれ各1自由度調和振動を考えることで、非定常空気係数を次のように表せる。

$$H_1^* = \frac{-U^2}{2b\omega^2\eta_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p \cos\psi_s dx \quad H_2^* = \frac{-U^2}{2b\omega^2\eta_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p \sin\psi_s dx \quad A_1^* = \frac{-U^2}{2b\omega^2\eta_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p x \cos\psi_s dx \quad A_4^* = \frac{-U^2}{2b\omega^2\eta_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p x \sin\psi_s dx$$

$$H_2^* = \frac{U^2}{2b^2\omega^2\phi_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p \sin\psi_r dx \quad H_3^* = \frac{-U^2}{2b^2\omega^2\phi_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p \cos\psi_r dx \quad A_2^* = \frac{U^2}{2b^2\omega^2\phi_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p x \sin\psi_r dx \quad A_3^* = \frac{-U^2}{2b^2\omega^2\phi_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p x \cos\psi_r dx$$

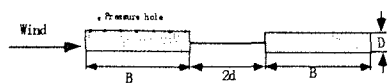
ここで、 η_0 : たわみ片振幅 ϕ_0 : ねじれ片振幅

(2.3)

3. 風洞実験概要及びその結果

本研究で対象としたモデルは、矩形断面を並列に剛結させた2次元モデルである(Fig. 2)。スパン中央部のモデル表面には圧力測定用の圧力孔が設けてあり、端部には気流の2次元性を確保するために端板が設けてある。実験は一樣流中において、たわみとねじれ各1自由度で強制加振して模型表面の圧力を測定した。

加振条件 $2\eta_0 = 0.01m$ $2\phi_0 = 4.0^\circ$ 加振振動数 $f = 1.3Hz$



$B/D = 5, 20$

$2d = 0.5B, 1B, 1.5B, 2B$

Fig. 2 模型断面図

Masaru Matsumoto, Xinzhong Chen, Fumitaka Yoshizumi, Kazuo Gotoh

並列矩形断面B/D=20の非定常圧力特性

たわみ1自由度振動における変動圧力係数 $\tilde{C}_p$ の分布をFig. 3に示す。上流側では単体[2]に類似している。一方、下流側断面では単体に比べて小さい。このことから、上流側断面により流れが乱されることによって、下流側断面において剥離バブルによる負圧領域の形成が抑制されていると考えられる。(B/D=5でも同じ傾向が確認された)

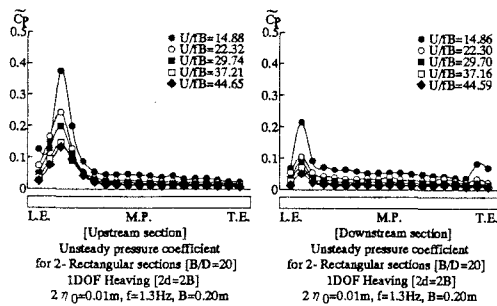


Fig. 3 変動圧力係数 $\tilde{C}_p$

並列矩形断面B/D=5の非定常空気力係数

非定常空気力係数(単体幅員Bで無次元化)のうちねじれ1自由度系の空力減衰項の係数である A_2^* をFig. 4に示す。間隔2dが大きいほど A_2^* は負で絶対値が大きくなっていることから、間隔が広いほどねじれ振動に対して空力的に安定といえる。

一方、振動中心が主流に対して傾斜(静的3分力測定においてモーメント係数曲線の負勾配が確認された迎角)すると A_2^* が正になり、ねじれ振動に対し不安定となる。

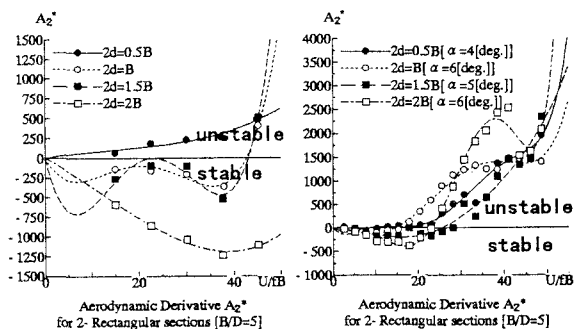


Fig. 4 非定常空気力係数 A_2^*

4. フラッター解析結果

並列矩形断面B/D=20のたわみとねじれ2自由度系のフラッター解析の結果をFig. 5に示す。固有値解析で得られた風速-対数減衰率応答図(H:Heaving branch, T:Torsional branch, $\bar{B}=2(B+d)$)から並列矩形断面B/D=20は、Theodorsen関数を用いた2次元平板より発現風速が高く安定化傾向にあることがわかる。Step-by-step解析では、空力減衰を近似的に5つの項の足し合わせで表現できる。解析の結果、◆で表される連成空気力による不安定化が平板に比べて小さく抑えられていることがわかった。

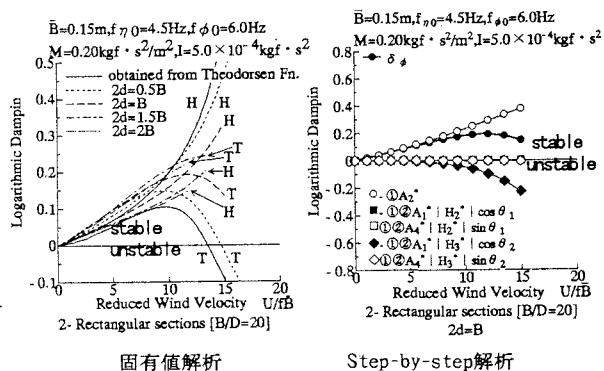


Fig. 5 フラッター解析

5. 結論

迎角 0° においては、並列矩形断面はフラッター安定性に優れた断面といえる。

迎角がつくと、並列矩形断面のフラッター性能は極端に悪化する。

謝辞 研究当時、京都大学大学院生であった吉住文太氏には、実験・解析等で大変お世話になりました。

心から感謝いたします。

参考文献

- [1] Scanlan R.H., Beliveau J.-G. and Budlong K.S.: Incial Aerodynamic Function for Bridge decks, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of ASCE, Vol.100, EM4, August, pp.665-672, 1974
- [2] 松本、新原、小林：構造基本断面のフラッター発生機構に関する研究、構造工学論文集Vol. 40A, pp1019-1024, 1994年