

京都大学大学院 学生員 〇川合吉弘

京都大学工学部 正 員 松本 勝

京都大学工学部 正 員 白土博通

宮 地 鐵 工 所 正 員 小林裕輔

京都大学大学院 学生員 浜崎 博

1. はじめに 本研究は、長大橋梁の耐風安定性評価に重要となるフラッター現象に対し有効な断面を開発することを目的としている。そこで、近年注目を浴びている楕円断面¹⁾を取り上げ風洞実験を行いその空力特性について考察を行った。

2. 非定常空気力 長大橋梁の桁断面のフラッターを考える場合には、桁断面が風から受ける非定常な力をいかに正確に評価できるかが重要な課題となる。たわみとねじれの連成振動をする桁断面に作用する非定常揚力 L 、非定常モーメント M は8個の非定常空気力係数を用いて次式のように表される²⁾。

$$L = \frac{1}{2} \rho (2b) U^2 \left\{ k H_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + k H_2^* \frac{b \dot{\phi}}{U} + k^2 H_3^* \phi + k^2 H_4^* \frac{\eta}{b} \right\},$$

$$M = \frac{1}{2} \rho (2b^2) U^2 \left\{ k A_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + k A_2^* \frac{b \dot{\phi}}{U} + k^2 A_3^* \phi + k^2 A_4^* \frac{\eta}{b} \right\}$$

ここに、 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），

η ：たわみ変位（下向き正）， ϕ ：ねじれ変位（頭上げ正）， $(\dot{\quad})$ ：時間微分，

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

3. 風洞実験及び解析概要 実験に使用したのは、図-1に示す楕円断面の2次元模型である。この模型を用いて以下の作業を行った。

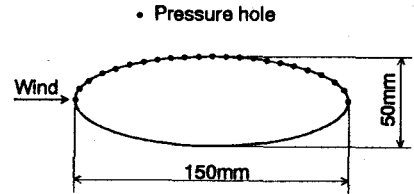
①静的空気力測定により静的空気係数を求めた。

②強制振動法による一定振幅のたわみ1自由度及びねじれ1自由度振動実験を行い、模型表面の平均圧力及び模型振動数成分の変動圧力とその位相差を測定した。

③圧力を断面まわりで積分することによって模型に作用する非定常空気力 L 、 M と非定常空気力係数を求めた。

④複素固有値解析法によりフラッター解析を行った。

図-1 実験に使用した模型断面



4. 実験結果 上記項目①②③について実験結果を以下に述べる。

①静的空気力測定によって得られた揚力、抗力、ピッチングモーメント値を次式に従い無次元化した。

$$\text{揚 力 係 数 } C_F = L / \left\{ (1/2) \rho U^2 (2b) l \right\}$$

$$\text{抗 力 係 数 } C_D = D / \left\{ (1/2) \rho U^2 (2b) l \right\}$$

$$\text{ピッチングモーメント係数 } C_M = M / \left\{ (1/2) \rho U^2 (2b)^2 l \right\}$$

ここに、 L ：揚力（下向き正）， D ：抗力（主流方向正）， M ：ピッチングモーメント（頭上げ正），

ρ ：空気密度， U ：風速， b ：半弦長， l ：スパン長

図-2に楕円断面と断面辺長比（ B/D ）が3である矩形断面³⁾の静的空気力係数の図を示す。楕円断面は風速により各係数の値が変化しており、レイノルズ数効果が認められる。抗力係数は矩形断面と比べ50%程度小さい。モーメント係数は矩形断面が原点付近で負勾配を示すのに対し、楕円断面では正勾配であり、準定常理論が適用できる空力振動現象に対して安定化しているものと考えられる。揚力係数、抗力係数の原点付近での勾配は、風速が上がるに従い大きくなる傾向を示している。

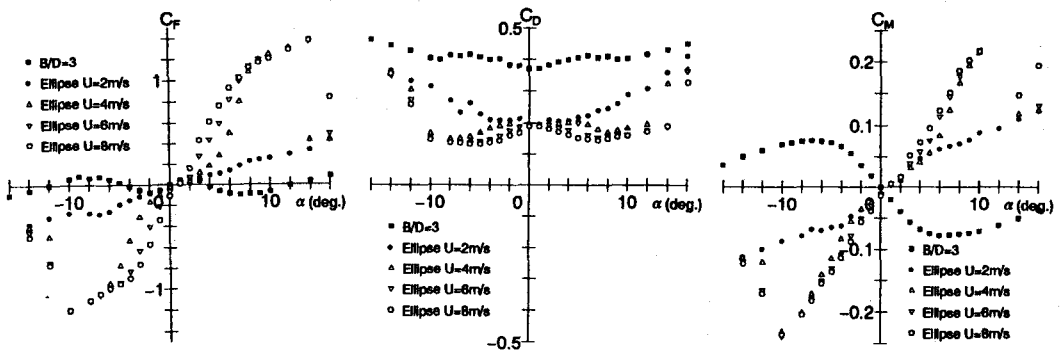


図-2 静的空気力係数(風速軸基準)

②図-3に変動圧力係数 $\tilde{C}_p$ とその位相差 ϕ を示す。 $\tilde{C}_p$ の分布を見ると、楕円断面では前縁付近にピークをもち、その後もピーク値の1/2程度の値を保ち後半部においてもわずかであるがピークをとる。位相差 ϕ は前縁から後縁までほぼ一定で約 20° の位相遅れを示す。このような非定常圧力特性から、楕円断面では1カ所の剥離であるに関わらず、2つの内部循環流が形成されているものと考えられる。

③非定常空気力係数の中でフラッター安定性に大きく寄与する A_2^* を図-4に示す。矩形断面の A_2^* は $B/D=10$ より扁平な断面では常に値が負であり、それより鈍い断面では無次元風速の増加に伴い負値から正值へ変化する。これに対し楕円断面では $B/D=3$ であるに関わらず、常に負の値をとり、ほぼ $B/D=15$ の矩形断面と等しい。従って、楕円断面は B/D が小さくねじれ剛性が大きい場合、フラッター安定性が高いと考えられる。

5. フラッター解析

④図-5に長大斜張橋系におけるフラッター解析結果を示す。楕円断面のフラッター発現風速は $B/D=20$ の矩形断面に近く、 $B/D=3$ であることを考慮すると、楕円断面は矩形断面に比べフラッター安定性が向上しているといえる。

6. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- 楕円断面にはレイノルズ数効果が認められる。

- 楕円断面は矩形断面に比べフラッター安定性が向上していると判断できる。

7. 参考文献 1)Richardson, R. : Radical Deck Design for Ultra-Long Span Suspension Bridges, 13th IABSE Congress Report, pp.901-904, Helsinki, 1988.

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.

3)平出純一：構造物の自励振動における非定常空気力特性に関する基礎的研究，京都大学特別研究論文，1983年。

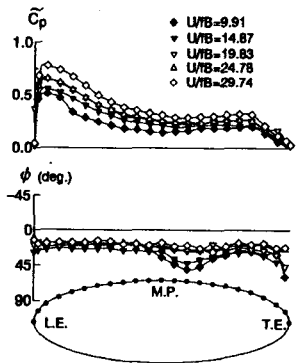


図-3 変動圧力係数と位相差

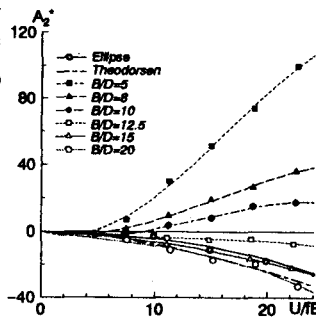


図-4 非定常空気力係数 A_2^*

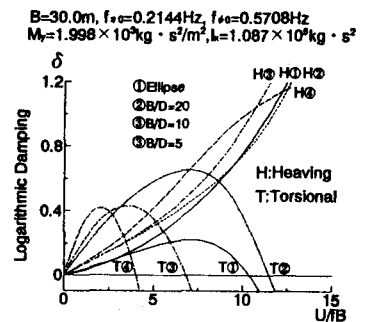


図-5 フラッター解析結果