

京都大学大学院 学生員○小林裕輔 京都大学工学部 正員 松本 勝
京都大学工学部 正員 白石成人 京都大学工学部 正員 白土博通
鹿 島 建 設 正員 新原雄二* 京都大学大学院 学生員 秋山真吾
本州四国連絡橋公団 正員 保田雅彦 (* 研究当時 京都大学大学院生)

1. まえがき 近年、長大橋梁に適した吊橋や斜長橋はその支間長を伸ばしつつあり、連成フラッターなどの自励空気力に対する安全性の評価が重要な課題となっている。そこで本研究では、図-1に示す1000m級の斜長橋について、そのフラッター特性について考察するために多自由度フラッター解析を行った。その際、橋梁の自励振動を流体力学的特性という観点から捉え、風洞実験から求められた各種矩形断面の非定常空気力を用いることで断面形状によって決まる桁断面の流体力学的特性が、桁の自励振動にどのような影響を及ぼすかについて考察した。

2. 多自由度フラッター解析方法 本研究では、従来からよく用いられているモーダル解析法による多自由度フラッター解析法をそのまま踏襲し¹⁾、運動方程式の数を減らすことによって問題を簡略化した。解析の対象とするのは桁部分のみとし、離散化したノードの自由度は鉛直・水平たわみ変位と橋軸まわりのねじれ変位の3自由度を考慮することとした。また、モーダル解析法においてはどのようなモードを考慮するかが重要な問題となってくる。ここでは組み合わせるモードとして以下の6個のモードを用いた。

- B 1 モード：曲げ対称1次モード
- B 2 モード：曲げ対称2次モード
- B 3 モード：曲げ対称3次モード
- H 2 モード：水平対称2次モード
- T 1 モード：ねじれ対称1次モード
- T H 1 モード：水平成分の卓越した
ねじれ対称1次モード

モードの組み合わせ方は、従来よりのB 1モードとT 1モードによる2モード解析と、上記の6モード解析の2種類を行った。そして、本研究では非定常空気力の違いに着目していることから、フラッター解析にはTheodorsenの平板空気力と風洞実験より求めた6種類の矩形断面の非定常空気力(B/D=20, 15, 12.5, 10, 8, 5)

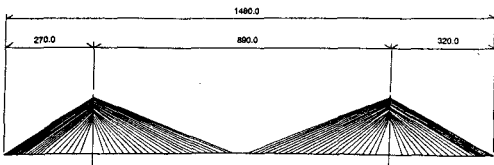


図-1 解析に用いた長大斜張橋

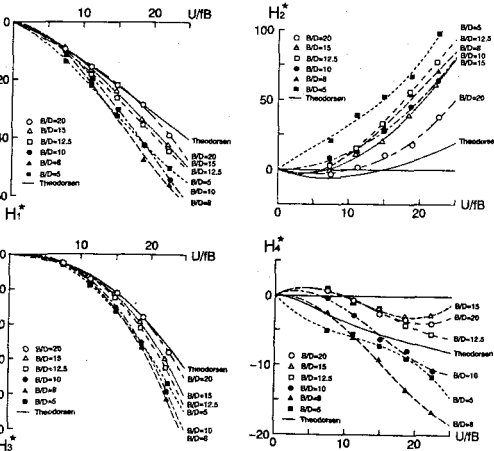


図-2 非定常空気力係数 $H_1^* \sim H_4^*$

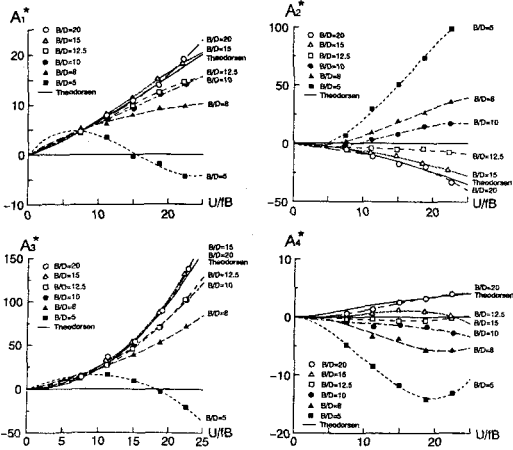


図-3 非定常空気力係数 $A_1^* \sim A_4^*$

Yusuke KOBAYASHI, Masaru MATSUMOTO, Naruhito SHIRAISHI, Hiromichi SHIRATO, Yuji NIIHARA*,
Shingo AKIYAMA, Masahiko YASUDA

(* former Graduate Student, Kyoto Univ.)

を用いた。桁部分に作用する非定常空気力は、揚力、抗力、モーメントを考えればよく、次式で与えられる。

$$L = \frac{1}{2} \rho U^2 (2b) \left[k H_1^*(k) \frac{\dot{Z}_y}{U} + k H_2^*(k) \frac{b \dot{Z}_\alpha}{U} + k^2 H_3^*(k) Z_\alpha + k^2 H_4^*(k) \frac{Z_y}{b} \right]$$

$$D = \frac{1}{2} \rho U^2 (2b) \left[k P_1^*(k) \frac{\dot{Z}_y}{U} + k P_2^*(k) \frac{b \dot{Z}_\alpha}{U} + k^2 P_3^*(k) Z_\alpha + k^2 P_4^*(k) \frac{Z_y}{b} \right]$$

$$M = \frac{1}{2} \rho U^2 (2b^2) \left[k A_1^*(k) \frac{\dot{Z}_y}{U} + k A_2^*(k) \frac{b \dot{Z}_\alpha}{U} + k^2 A_3^*(k) Z_\alpha + k^2 A_4^*(k) \frac{Z_y}{b} \right]$$

ここで、 $2b=B$ は幅員、 $k=b\omega/U$ は換算振動数、 Z_y, Z_α, Z_α は変位である。なお、今回の揚力とモーメントの非定常空気力係数は、たわみ1自由度およびねじれ1自由度強制共振実験より得られたものであり、 $H_1^* \sim H_4^*$ を図-2に $A_1^* \sim A_4^*$ を図-3に示す。抗力に関する非定常空気力係数 $P_1^* \sim P_4^*$ は全て0としている。

3. 解析結果 空気力としてTheodorsenの平板空気力と $B/D=10, 5$ の空気力を用いた場合のフラッター発生時における振動波形を図-4に示す。平板空気力を用いた場合、鉛直たわみのモード形はいくつかのモードが重なったような、いわゆるマルチモードフラッターになっており、 $B/D=10, B/D=5$ と変わるに従いねじれ振動成分が卓越していることがわかる。次に、減衰の変化を図-5に示す。断面辺長比の小さな断面の空気力を用いた方がフラッター発現風速が低下している。これは、平板に近い断面では A_2^* が負のままであり、 H_3^* という剛性の連成項の効果によってフラッターが発生する、いわゆるstiffness driven flutterタイプであるのに対し、比較的鈍い断面では系の剛性とはほとんど関係なく、 A_2^* が正になることによって減衰が負となるdamping driven flutterタイプであることによると思われる²⁾。また、組み合わせたモード数についてみると、おおむねモード数を増やした方が低い発現風速を与えるようである。

4. 結論 今回の解析の結果、次のような結論を得た。

- ・断面辺長比が小さい矩形断面の非定常空気力を用いると、フラッター発現風速が低下する。
- ・平板空気力を用いた場合のフラッター発生時の振動波形は、ねじれ成分は1次モード形であるが、鉛直たわみ成分はいくつかのモードが重なった複雑な形状をしている。
- ・ねじれフラッター型の空気力($B/D=5$)を用いた場合のフラッター発生時の振動波形は、ねじれ成分が卓越しており、鉛直たわみ成分は1次モード形である。

参考文献

- 1) T. J. A. Agar : Aerodynamics flutter analysis of Suspension bridges by a modal technique, Eng. Structures Vol. 11, 1989.
- 2) R. H. Scanlan : The Action of Flexible Bridges under Wind, Part I (Flutter Theory), Journal of sound and Vibration, 60-2m, 1978.

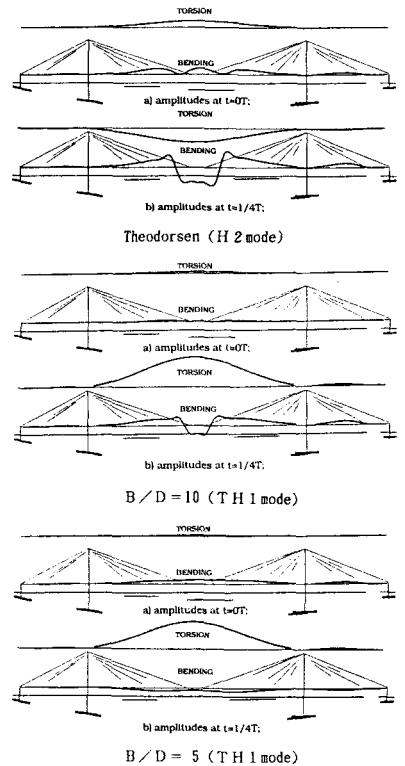


図-4 フラッター発生時における振動波形

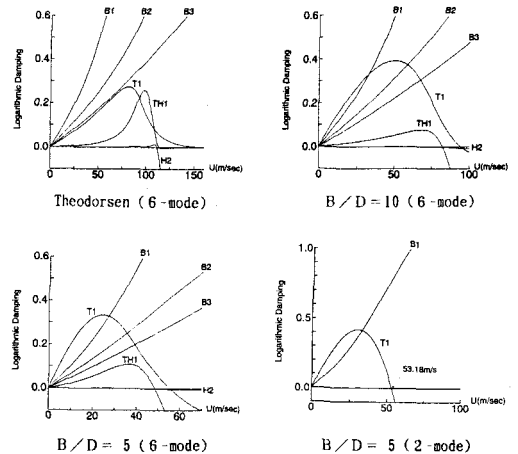


図-5 風速-対数減衰率図