

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○荒木健二

京都大学大学院工学研究科 フェロー 松本 勝

住友重機械工業株式会社 正会員 大東義志

1. はじめに 近年、様々な形状の端2主桁断面における空力特性が、風洞実験などにより明らかにされてきているが[1]、断面辺長比（以下 B/D）の違いによる特性の変化という体系的なデータというものが欠けている。本研究では、そのような実状を踏まえ、B/Dの異なるI桁断面、Box桁断面についてその非定常空気を測定し、フラッター解析を実施しB/Dの変化に伴うフラッター安定性を体系的に解明することを目的としている。なお複素固有値解析は、全ての断面において600m級の斜張橋を想定した諸元値[2]を用いた。

2. 実験概要 実験に用いた模型は、Fig.1に示すようなI桁、Box桁を主桁にもつ断面である。I桁は、桁高 D(mm)が100,60,45,35,30,24の6種類で、B/D=3,5,6.7,8.6,10,12.5である。フランジ幅(mm)はそれぞれ32,18,14,10,8,6である。さらに桁高 D=35mmのI桁ウェブの橋軸方向に空隙率21%となるよう直径10mmの円形の穴を一様に開けたものも用いた。以下これを穴あきI桁と呼ぶ。Box桁は、桁高 D(mm)が60,35,30,24の4種類で、B/D=5,8.6,10,12.5である。フランジ幅(mm)は60,36,30,24である。なお、全弦長 B=300mmである。これらの断面について、たわみ・ねじれ各1自由度強制加振実験を行い、迎角 $\alpha = -6^\circ, -3^\circ, 0^\circ, +2^\circ, +4^\circ, +6^\circ$ における非定常空気を測定した。なお、強制加振条件は、たわみ片振幅 $\eta_0 = 10\text{mm}$ 、ねじれ片振幅 $\phi_0 = 2^\circ$ とし、加振周波数は $f = 1.3\text{Hz}$ とした。

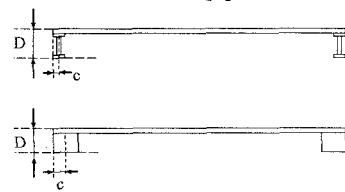


Fig.1 実験に用いた模型

3. 非定常空気力係数 たわみ・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 と非定常モーメント M を、Scanlanによって提案された8個の非定常空気力係数 H_i^* , A_i^* ($i=1\sim4$) を用いて次式で定式化した[3]。

$$L = \frac{1}{2} \rho (2b) U^2 \left\{ kH_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + kH_2^* \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 H_3^* \phi + k^2 H_4^* \frac{\eta}{b} \right\}, \quad M = \frac{1}{2} \rho (2b^2) U^2 \left\{ kA_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + kA_2^* \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 A_3^* \phi + k^2 A_4^* \frac{\eta}{b} \right\}$$

ただし、 L ：単位スパン当たりの揚力（下向き正）、

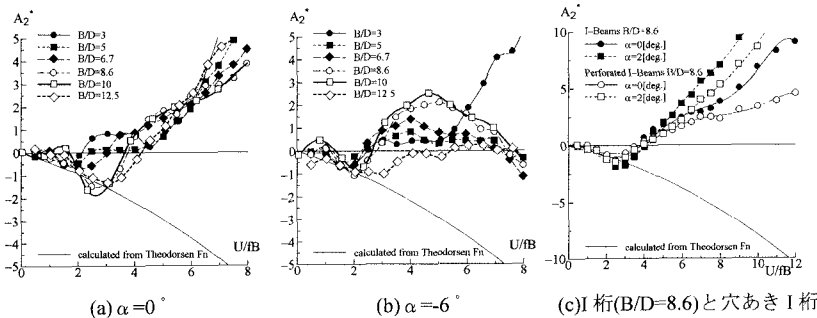
M ：単位スパン当たりのモーメント（頭上げ正、弦長中央点まわり）、

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）、

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

4. 非定常空気力特性 I桁断面及びBox桁断面について、得られた非定常空気力係数のうち、ねじれフラッターに大きく寄与する A_2^* を Fig.2に $\alpha = 0^\circ, -6^\circ$ におけるI桁断面について、 $\alpha = 0^\circ, +2^\circ$ におけるB/D=8.6のI桁と穴あきI桁について示す。

どの迎角についても、 A_2^* は低風速域より正値を示しねじれフラッターの発現が危惧される。また、 0° を含めた正迎角においては、B/Dの増加に伴い、 A_2^* が正値を示し始める風速域は上昇する。この傾向はBox桁断面についても言える。また、 $\alpha = -6^\circ$ におい

Fig.2 I桁断面における A_2^*

ては、 A_2^* が高風速域で再び負値を示す、風速限定型のねじれフラッターの発現が考えられる。I 桁断面と穴あきI桁断面について、 A_2^* が正值を示し始める風速域の違いはほとんどない。

5. フラッター解析結果 非定常空気力係数を用い、たわみ・ねじれ2自由度複素固有値解析を行った。それにより得られたフラッター発現風速と断面辺長比(B/D)及び迎角(α)の関係をFig.3に示す。

I 桁断面について、迎角 0° を含めた正迎角においては B/D の増加に伴い発現風速が上昇し安定化することが考えられる。一方、負迎角においては、正迎角に見られるような明確な傾向はみられず、 $B/D \geq 6.7$ の断面においては、正迎角の発現風速よりもかなり低く、不安定化する。また、 $B/D \geq 8.6$ の各断面においては、 $\alpha = +2^\circ$ で発現風速が最も高く、そこでピークを持つことが言え、 $B/D = 3$ の断面においては逆に $\alpha = +2^\circ$ で発現風速が最も小さく、 $\alpha = -6^\circ$ 、 $\alpha = +6^\circ$ にかけて上昇することがわかった。穴あきI桁断面については、I 桁断面と比べ負迎角で多少安定化するが、正迎角においてはあまり変化しないことが言える。実橋断面への適用という観点から、Fig.3に東神戸大橋の耐風設計基準限界風速ライン[4]を示しているが、これを見ると $\alpha = 0^\circ$ において $B/D \leq 6.7$ の断面と、 $\alpha = -3^\circ$ において全ての断面で基準を下回り、何らかの耐風対策が必要である。

Box 桁断面については、I 桁断面同様、迎角 0° を含めた正迎角において、B/D の増加に伴い発現風速が上昇し安定化する。また、負迎角ではそのような傾向になく、 $B/D \geq 8.6$ の断面では正迎角よりかなり低い風速でフラッター振動が発現する。 $B/D = 10$ 以上の各断面においては $\alpha = +4^\circ$ で、 $B/D = 8.6$ では $\alpha = +2^\circ$ で発現風速が最も高く、 $\alpha = 0^\circ$ よりもやや正迎角でピークを持つことが言える。東神戸大橋の耐風設計基準限界風速ライン[4]と比べると、 $B/D = 10$ の断面を除き、 $\alpha = -3^\circ$ においてI桁断面同様基準を下回ることがわかる。

6. 結論 ◎I 桁断面、Box 桁断面ともに、迎角 0° を含む正迎角では、断面辺長比の増加に伴いフラッター発現風速の上昇が見られるが、負迎角ではそのような明確な傾向はない。

◎相等しい断面辺長比における、I 桁と Box 桁の桁形状の変化による空力振動特性への影響は小さい。

◎負迎角においては風速限定型ねじれフラッターが発現する傾向がある。

◎穴あきI桁により下面での流れ場を変化させても、フラッター安定化の効果は小さい。

謝辞 この研究は京都大学大学院工学研究科気圏工学講座と住友重機械工業㈱の共同研究として行われたことをここに付記するとともに多大なる御協力を頂いた関係各位に謝意を表する。

参考文献 [1] 松本、大東、陳、市川、平川、武内；長大斜張橋端2主桁基本断面の空力特性、第15回風工学シンポジウム論文集、1998。[2] 京都大学工学部土木工学教室橋梁工学研究室；経済性を考慮した長大斜張橋の耐風設計に関する調査研究、1996。[3] Scanlan, R.H., Beliveau, J.G., Budlong, K.S.: Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of ASCE., Vol.100, EM4, August, 1974。[4] 阪神高速道路公団；東神戸大橋工事誌（5号湾岸線）、1994。

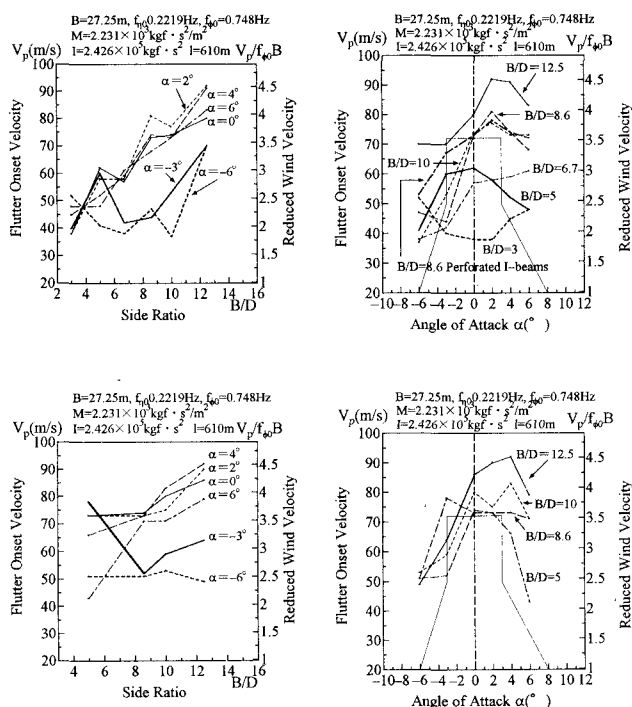


Fig.3 フラッター発現風速と断面辺長比及び迎角の関係