

京都大学工学部
 (株)東日本旅客鉄道
 京都大学工学研究科

学生員 ○水野 恵介
 正会員 江口 陽紀¹⁾
 学生員 疋田 哲也

京都大学工学研究科
 京都大学工学研究科

フェロー 松本 勝
 学生員 玉置 斉
 1) 研究当時京都大学大学院

1. 序論 本研究で対象とするフラッターは自己励起型発散振動であり直接構造物の破壊につながるため、長大橋を設計する上で耐フラッター安定性に対する検討は最重要課題となる。そこで本研究では基本断面として分離箱桁断面を取り上げ、各種付加部材を設置し剥離を複数個生じさせ、位相差特性によりそれらを相殺させるフラッターの空力的制御を目的とする。また実構造物においてはたわみ・ねじれ異次モードによる振動が同風速で発現する可能性があり、これらの異種空力振動干渉により振動が抑制されるだけでなく励起される危険性が考えられる。そのためこのような異なるモード間の干渉を把握することが実構造物の挙動を評価する上で重要となる。本研究ではカルマン渦励振、自己励起型渦励振、ギャロッピング、ねじれフラッターなどの空力振動現象の発現が確認されている断面辺長比 $B/D=2$ 矩形断面の干渉現象を明らかにし、そのメカニズムについて考察を行う。

2. 対象とした断面 本研究ではFig.1に示す空間部 $B/2$ を有する断面辺長比 $B/D=5$ の分離箱桁断面の両端に正三角形フェアリング及び台形フェアリングを付加し、さらに耐風安定化部材として空間部中央にGap Plate(以下G.P.)及び単体断面中央部上下に車線間バリアを設置した断面を対象とする。なお鉛直部材の高さ(h で定義)を桁高 D で無次元化した h/D はG.P.で2.0、車線間バリアでは0.4~1.0まで0.1ずつ変化させ各種風洞実験を行う。

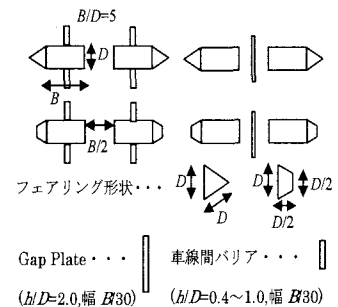


Fig.1 対象とした断面

3. 非定常空力係数 流体中で2自由度調和振動をする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個の非定常空力係数 H_i^* , A_i^* ($i=1\sim4$) を用いて次式で定式化した[1]。

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

ただし、 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)、 $(\dot{\quad})$: 時間微分
 V : 風速、 ρ : 空気密度、 b : 半弦長、 k : 換算振動数($=b\omega/V$)、 ω : フラッター振動数

これらの非定常空力係数のうち、ねじれ空力減衰項 A_2^* はねじれフラッターに対する安定性を表し、 $A_2^* < 0$ で安定、 $A_2^* > 0$ で不安定となる。また比較的扁平な断面は A_1^* 及び $|H_3^*|$ が大きすぎるのが原因でねじれ分枝が不安定化し連成フラッターが発現することが知られている。Fig.2にたわみ・ねじれ各1DOF強制加振実験により得られた各断面の非定常空力係数のうち A_1^* , A_2^* 及び H_3^* を示す。これより分離箱桁にフェアリングのみを付加させた場合には A_1^* のみの低減がみられるが、併せてG.P., 車線間バリアを設置した場合には A_1^* , $|H_3^*|$ 両者の低減効果があることが示唆される。

また台形フェアリング及び車線間バリアを付加させた断面においては風速が上がると $A_2^* > 0$ となりねじれフラッターの発現が危惧される。

4. 非定常圧力特性 次にこれらの断面を対象にし、たわみ・ねじれ各1DOF強制加振による非定常圧力測定を行った。このうち非定常空力係数を用いたフラッター解析で特に優れたフラッター安定性を示した正三角形フェアリング及び

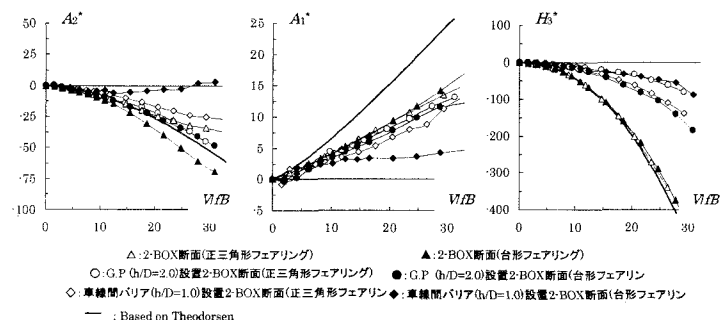


Fig.2 各断面の非定常空力特性

G.P.を設置した断面の非定常圧力特性をFig.3に示す。一般にたわみ・ねじれ各1DOF強制加振時において非定常圧力特性は相似性を示すが、断面の複数箇所から剥離を生じさせる方法ではこれが原因で A_1^* 、 $|H_3^*|$ を同時に低減することはできない。しかし、分離箱桁断面にG.P.、正三角形フェアリングを設置した断面においては、たわみ1DOF強制加振時には上下流断面前縁部で高風速ほど同位相で剥離しているため非定常揚力に関する A_1^* が、ねじれ1DOF強制加振時には逆位相で剥離しているため非定常モーメントに関する $|H_3^*|$ が低減される。このように非定常空気力係

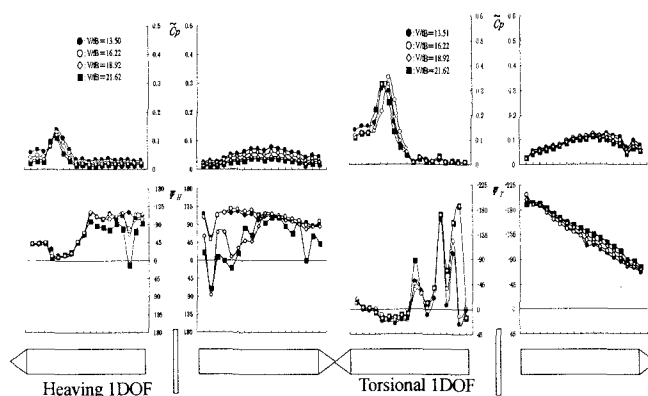


Fig.3 G.P.設置分離箱桁断面の非定常圧力特性

数間の従属性を崩し、安定化方向へ推移させることがフラッターの空力的制御の可能性として示唆される。

5. 構造基本断面の異種空力振動干渉 本研究では $B/D=2$ 矩形断面を対象としまずたわみ・ねじれ各 1DOF 自由振動での挙動を把握し、次にたわみ・ねじれ固有振動数比 f_{θ}/f_{η} を変化させ、各種空力振動の発現風洞風速を一致させることでたわみ・ねじれ 2DOF 自由振動における異種空力振動干渉の把握を試みた。以下に今回確認された現象を示す。

5.1 ねじれフラッターとギャロッピングの空力干渉 たわみ・ねじれ各 1DOF で同風洞風速域においてギャロッピング、ねじれフラッターが発現する場合、2DOF においてねじれフラッターがギャロッピングを抑制する干渉がみられた。このような風速域ではまずギャロッピングが発現し、徐々にねじれ振動が増大し最終的にねじれフラッターが発現する。この応答過渡期の波形及び想定される流れ場を Fig.4 に示し、たわみ上向き、ねじれ頭上げをを正とする。これよりたわみの波形が歪んでいる箇所がみられるが、この直前にねじれフラッターの発生要因である Separation Bubble がギャロッピングの励振力である圧力回復を妨げるか、あるいはねじれ振幅が大きくなることでたわみ振動方向の接近流が再付着する可能性が考えられる。またギャロッピングがねじれフラッターを抑制する現象も確認され、このような場合にはギャロッピングの流れ場が卓越していたため、ねじれフラッターの励振力である剥離せん断層の再付着が生じず Separation Bubble の形成が妨げられたと考えられ、このような干渉には振幅依存性が存在すると考えられる。

5.2 ねじれ渦励振とギャロッピングの空力干渉 たわみ・ねじれ各 1DOF で同風洞風速においてねじれ自己励起型渦励振、ギャロッピングがともに発現する場合、ギャロッピングが抑制される現象が確認された。ねじれ自己励起型渦励振が渦流下型の振動であるためギャロッピングの流れ場が抑制されたものと考えられる。

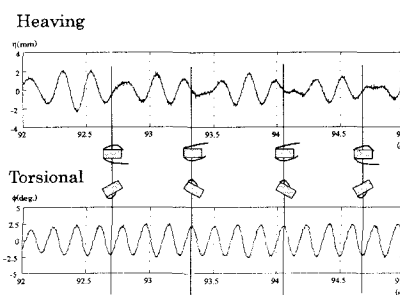


Fig.4 ねじれフラッターによる
ギャロッピングの抑制

6. 結論 G.P.及び正三角形フェアリング設置断面においてたわみ・ねじれ1DOF強制加振時の非定常圧力特性が異なるため、 A_1^* 、 $|H_3^*|$ が同時に低減されかつねじれの空力減衰項 A_2^* は二次元平板と同等の値をとるため優れたフラッター安定性を示した。また $B/D=2$ 矩形断面の自由振動実験では様々な干渉が確認された。このことより実橋の耐風安定性評価はフラッター解析のように同次モードの振動以外に異次モード間の異種空力振動間の干渉も重要な検討項目であると考えられる。

【参考文献】

- [1] Scanlan, R.H., Beliveau, J.G., Budlong, K.S.(1974): "Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks", Jour. Eng. Mech. Division, Proc. ASCE., Vol.100, EM4.