

京都大学工学部

学生員 ○大窪一正

京都大学大学院工学研究科

フェロー 松本 勝

京都大学大学院工学研究科

正会員 白土博通

京都大学大学院工学研究科

正会員 八木知己

京都大学大学院工学研究科

学生員 疋田哲也

京都大学大学院工学研究科

学生員 水野恵介

1. 序論 長大橋桁断面に現れるフラッター現象は発散型の現象であり、高風速域における剥離バブル型フラッターと低風速域における渦主導型フラッターに分類される。渦主導型フラッターに関する従来の評価法は、風洞内において断面模型を弾性支持し、有風時における調和振動の応答振幅を計測する方法が主たるものであり、振動問題としてこれらは周波数領域における手法である。しかしながら実橋で起こりうる現象は通常、時間・周波数の2領域にまたがるものであり、その非定常性に関しては従来の方法のみならず、時間領域における実験からも評価されるべきである。そこで本研究では時間領域において過渡空気を計測する実験を行い、その結果から橋梁基本断面の過渡空力特性評価を行うことを目的としている。

2. 対象とした断面 本研究で対象とした断面は $B/D=1, 2, 3, 4, 5, 10, 15$ の矩形断面である。これらをFig.1に示す。

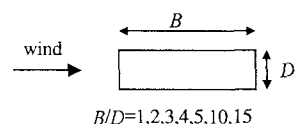


Fig.1 本研究で対象とした断面

3. 非定常空気力係数と等価Wagner問題 振動する構造断面に作用する非定常揚力 L 及びモーメント M はScanlan[1]により以下のように定式化されている。

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

ただし、 $H_i^*, A_i^* (i=1\sim 4)$: 非定常空気力係数、 η : たわみ変位 (下向き正)、 ϕ : ねじれ変位 (頭上げ正)

($\cdot$): 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 : 円振動数

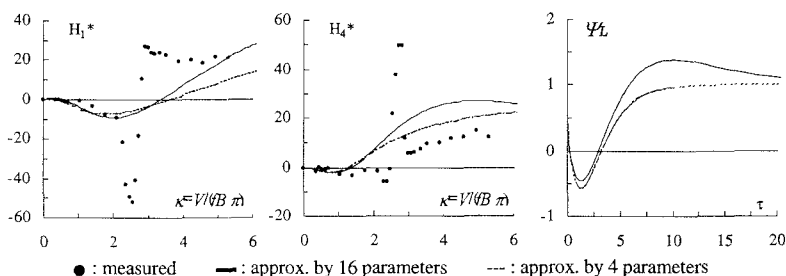
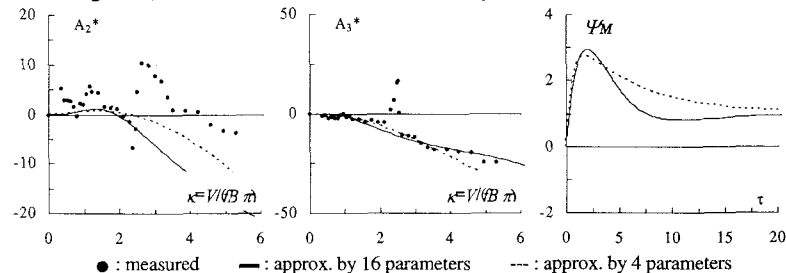
これら非定常空気力係数のうち1自由度フラッターの安定性に最も重要となってくるものは H_1^* 及び A_2^* であり、正值を示した場合、それぞれギャロッピング及びねじれフラッターが発現しうる。また周波数領域で得られた非定常空気力係数は、ラプラス変換により時間領域においてstep関数状の入力に対するIndicial応答へと変換することができる。これは等価Wagner問題と呼ばれており、その概要は以下に示される。

$$\text{等価Theodorsen関数: } \phi(k) = 1 - \frac{a_1}{1+ib_1k} - \frac{a_2}{1+ib_2k} - \frac{a_3}{1+ib_3k} - \dots \quad (2)$$

$$\text{等価Wagner関数: } \Psi(\tau) = 1 - a_1 \exp(b_1\tau) - a_2 \exp(b_2\tau) - a_3 \exp(b_3\tau) - \dots$$

ただし、 a_i, b_i : 近似パラメータ ($b_i < 0$)、 τ : 無次元時間 ($=Vt/b$)、 t : 実時間

本研究では時間領域における過渡空気力計測実験に先立ち、周波数領域において強制加振実験を行い、上述の断面の非定常空気力係数を計測した。その結果 $B/D=1, 2$ 矩形断面は高風速域における発散型のギャロッピング及び風速限定型のねじれフラッターの発現が、 $B/D=3, 4, 5$ 矩形断面では発散型のねじれフラッターの発現が考えられる結果が得られており、過去の研究と一致している。Fig.2には $B/D=1$ 矩形断面の非定常空気力係数 H_1^* 、 H_4^* の測定値と近似結果、及び

Fig.2 非定常空気力係数の近似と等価Wagner関数($B/D=1$ 矩形断面)Fig.3 非定常空気力係数の近似と等価Wagner関数($B/D=1$ 矩形断面)

対応する等価Wagner関数を示す。近似に際しては高風速域における準定常性を考慮し、また用いるパラメータを4個または16個と変化させ、その精度の比較も併せて行っている。周波数領域における近似では、カルマン渦の影響と考えられる $\kappa=2.5$

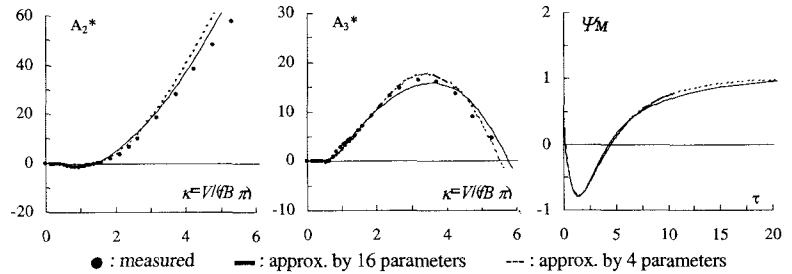


Fig.4 非定常空気力係数の近似と等価Wagner関数(B/D=5 矩形断面)

付近の変動をこの関数形では十分に表現できていないが、等価Wagner関数では近似パラメータを増やすことにより、負のピーク(undershootと定義)のみならず、正のピーク(overshootと定義)も現れており、近似精度の重要性が指摘される。またFig.3, 4はB/D=1矩形断面及びB/D=5矩形断面の A_2^* , A_3^* に対して同様の近似を行ったものである。B/D=1矩形断面においては $\kappa=2.5$ 付近の変動はやはり十分に表現できていない。両者ともパラメータの数による決定的な差は見られず、B/D=1矩形断面ではovershoot型、B/D=5矩形断面両者ではundershoot型の等価Wagner関数がそれぞれ得られている。

4. 過渡空気力測定実験の概要 周波数領域の実験値から得られた等価Wagner関数との比較を行うため、本研究では主流風速を急変させ、過渡空気力計測実験を行った。実験装置の概略図をFig.5に示す。なお、実験装置の都合上風速を急に立ち上げることが不可能であったため、有風時からごく短時間において風を止めることで過渡性を与えている。また得られた結果は初期値が0、最終値が1となるように線形に写像した。

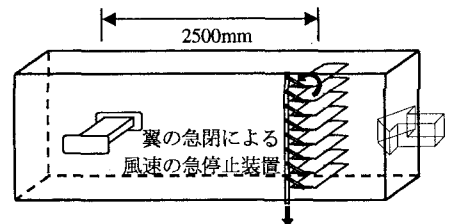


Fig.5 過渡空気力測定装置の概略図

5. 主流風速急変による過渡空気力 Fig.6には風速急変時において計測されたB/D=1矩形断面の過渡揚力及び過渡モーメント、B/D=5矩形断面の過渡モーメントを示す。図中には風速の2乗値の変動を入力とした非定常空気力係数からの計算結果が併せてプロットされている。B/D=1矩形断面の揚力はカルマン渦の影響により過渡特性の判断が困難である。一方モーメントは、計測値に見られるovershoot型の特性が計算により十分表現されている。しかしB/D=5矩形断面の過渡モーメントでは、弱いundershootのみならずその後強いovershootが計測されているが、非定常空気力係数からの計算結果ではovershootは表現されていない。

6. 結論 渦による影響を考慮して等価Wagner関数を算出する場合には、十分な近似精度を有するためのパラメータの個数に留意する必要があると

考えられる。また非定常空気力係数からの計算結果では表現されなかった過渡空気特性から、強制加振実験では評価できない非定常空気特性が評価される可能性が示唆された。

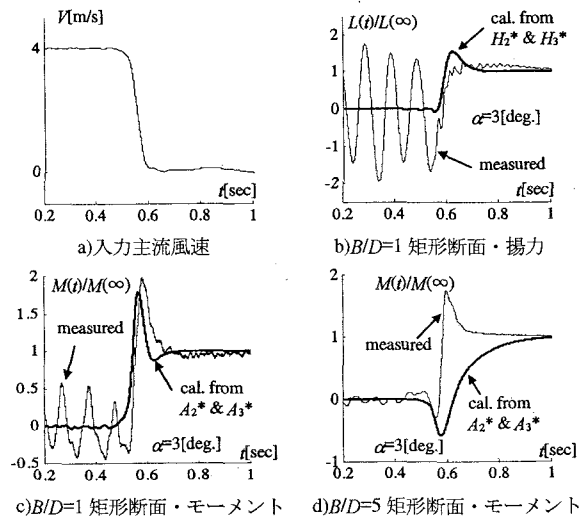


Fig.6 主流風速急変に対する実験値と時刻歴応答計算結果の比較

【参考文献】

- [1] R.H.Scanlan et al. (1974): Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, J. Eng. Mech. Proc. ASCE Vol. 100, EM4.