

構造基本断面の低風速域に着目した非定常空気力特性

京都大学大学院 正会員 ○水野 恵介
 京都大学大学院 正会員 白土 博通
 京都大学大学院 正会員 大窪 一正

京都大学大学院 フェロー 松本 勝
 鹿島建設(株) 正会員 疋田 哲也

1. 序論

長大橋梁桁断面のフラッターは、構造物を直接破壊に至らしめる危険な現象である。そのため、フラッター安定性は長大橋の設計時に最重要課題となる。また、渦による非定常性が多大な影響を及ぼす流体力学的に Bluff な構造物の耐風設計には、低風速域における振動特性も使用性、部材の疲労を考慮すると同じく重要な問題となる。そこで本研究では、矩形断面における低風速域の渦の非定常性に着目した上で、従来の実験法における問題点を併せて指摘する。

2. 実験概要

本研究は、Fig.1 に示す断面辺長比 $B/D=1\sim5$ の矩形断面を対象として行った。全ての実験は一様流中、迎角 0° にて行った。

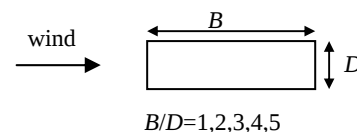


Fig.1 対象とした断面

3. 非定常空気力特性

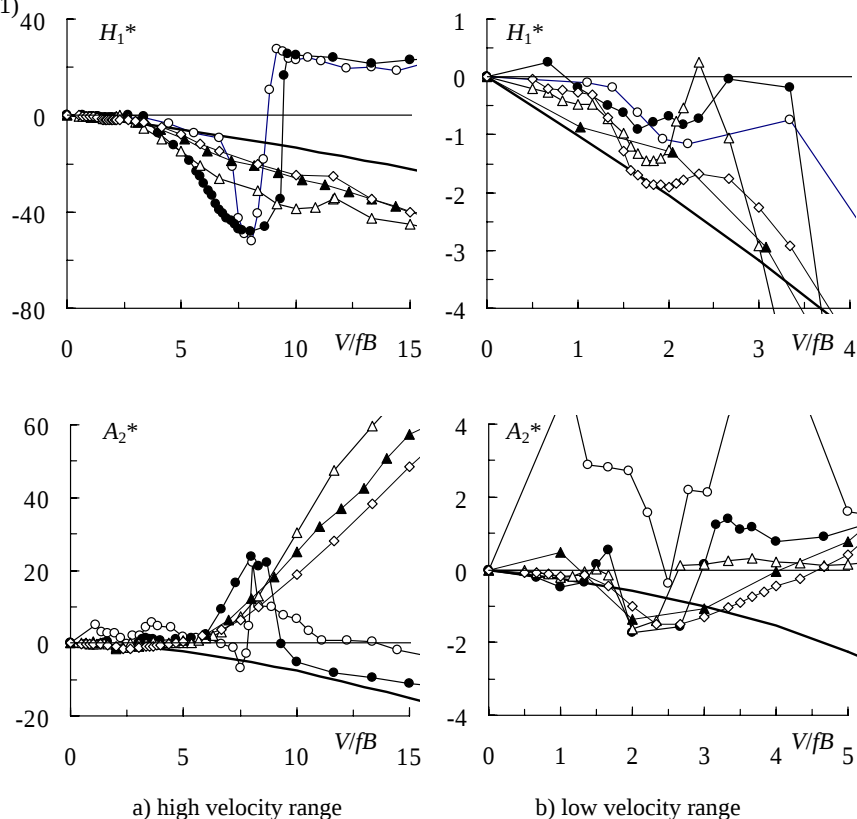
振動する構造断面に作用する非定常揚力 L 及び非定常モーメント M は以下のように定式化されている[1]。

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

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

ただし、 η : たわみ変位（下向き正）
 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 : 円振動数とする。非定常空気力係数 H_i^*, A_i^* のうち、 $H_1^*>0$ 、 $A_2^*>0$ がそれぞれ、たわみ 1 自由度振動、ねじれ 1 自由度に対する不安定性を示す。

Fig.2 に、それぞれの断面における非定常空気力係数 H_1^*, A_2^* を示す。完全剥離型断面に分類される $B/D=1, 2$ 矩形断面では高風速域において $H_1^*>0$ を示しており、ギャロッピングの発現が危惧される。特に $B/D=1$ 矩形断面では、無次元風速 $V/fB=8.3$ 付近で急激に変化して正值を示すが、この風速域はカルマン渦放出の St 数（ $St=fD/V=1.25$ ）より算出されるカルマン渦励振域（ $V/fD=1/St=8$ ）に接近しているために、 $B/D=1$ 矩形断面に



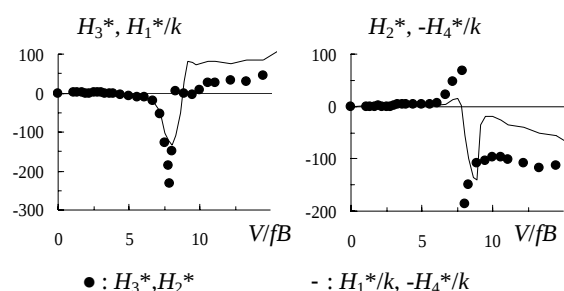
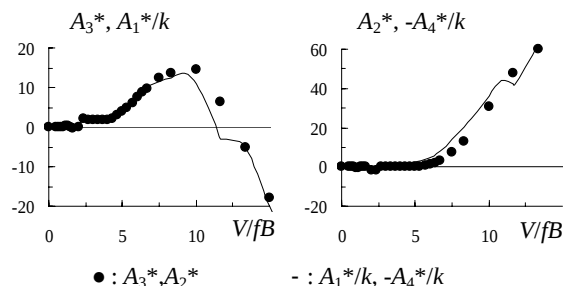
○: $B/D=1$, ●: $B/D=2$, △: $B/D=3$, ▲: $B/D=4$,
 ◇: $B/D=5$, - : Based on Theodorsen Fn.

Fig.2 非定常空気力係数 H_1^*, A_2^*

キーワード 自己励起型渦励振, カルマン渦励振, 低風速域, 従属性,

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-753-5093

おけるギャロッピングの発現にはカルマン渦が何らかの影響を与えている可能性が示唆される。また、 $B/D=2$ 矩形断面では H_1^* の符号が急変する風速域はカルマン渦の放出周波数 ($St=0.8$) より算出されるカルマン渦励振域 ($V/fB = 6.25$) とは若干の差が見られる。次にねじれ振動における不安定性を示す A_2^* について考察する。 $B/D=1, 2$ 矩形断面とも風速限定で $A_2^*>0$ が確認される。 $B/D=1$ 矩形断面では $V/fB=8.0$ 付近で鋭いピークがたち、ねじれフラッターの発現にカルマン渦が関係している可能性が示唆される。 $B/D=2$ 矩形断面ではカルマン渦励振域 ($V/fB = 6.25$) 付近よりねじれ振動に対し不安定となる傾向が見られるため $B/D=1$ 矩形断面と同様にねじれフラッターの発現にカルマン渦が関係している可能性が示唆される。次に非定常再付着断面に分類される $B/D=3, 4, 5$ 矩形断面について考察する。これらの断面は $H_1^*<0$ を示すために

Fig.3 $B/D=1$ 矩形断面における非定常空気力係数の従属性Fig.4 $B/D=3$ 矩形断面における非定常空気力係数の従属性

ギャロッピングに対しては安定な断面と考えられる。しかし、 A_2^* に関しては高風速域で正值を示すため、発散型のねじれフラッターの発現が危惧される。また物体側面の渦流下による 1 剪断層不安定性渦はたわみ・ねじれ振動で違った発生メカニズムになることが知られており、その発現風速は、たわみ 1 次： $V/fB=1.67$ 、ねじれ 1 次： $V/fB=3.33$ である[2]。これらの断面では、低風速域にて、1 剪断層不安定性渦によると見られる、非定常空気力係数が蛇行している様子が確認できる。しかし、今回の強制加振実験により得られたデータでは、従来の自由振動実験でこれら自己励起型渦励振が確認された風速域において $H_1^*>0$ 、 $A_2^*>0$ を示していない。

4．非定常空気力係数間の従属性及び渦による非定常性の考察

松本ら[3]はたわみ・ねじれ 1 自由度における物体周りの流れ場は相対迎角で捉えることで同一のものであると考え、以下に示す非定常空気力係数間の従属性を提唱している。

$$H_1^*=k H_3^*, H_4^*=-k H_2^*, A_1^*=k A_3^*, A_4^*=-k A_2^* \quad (2)$$

Fig.3 に、 $B/D=1$ 矩形断面における非定常空気力係数間の従属性を示す。これよりカルマン渦による影響を受ける無次元風速域 ($V/fB=8.0$) 付近で従属性が成立していない。次に Fig.4 に $B/D=3$ 矩形断面における非定常空気力係数間の従属性を示す。非定常空気力係数間の従属性は上述したとおり、物体周りの流れ場を相対迎角という観点でみた際に成立するが、特に低風速域で渦による非定常性が強い断面である $B/D=3, 4, 5$ 矩形断面において、たわみ振動、ねじれ振動間の従属性がある程度満足されていることが分かる。これらの結果より、物体に強制的に一定振幅、一定周期の振動を与えることにより、空気力を測定する強制加振実験は、特に低風速域における渦の生成、流下による物体周りの流れ場を的確に表現できていない可能性が示唆される。

5．結論及び今後の課題

本研究により、従来の構造物の耐風性評価に利用されている自由振動実験と強制加振実験法にはその性質に伴う定量的な差異が存在する可能性があることが確認された。さらなる信頼性の高い耐風設計を行うためには、両者の適用範囲を整理することと、全く新たなアプローチにより渦による非定常性も含めた構造物の耐風特性を議論する必要があると考えられる。

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*.
- [2] 白石成人, 松本 勝(1984) : 渦励振の発生機構と応答評価, *J. of Wind Engineering*, No.20, pp.103-127
- [3] 松本 勝 他 (1994) : 各種構造断面の非定常空気力特性に関する研究, 土木学会第 48 回年次学術講演会講演概要集, 第 1 部, pp.772-773.