

東京大学工学部 正会員 伊藤 学  
 東京大学大学院 学生員 オ久保喜延

## 1. 序論

ここ数年の間に、ランガー橋の吊材が風による振動のために、主桁との溶接部分で疲労破壊を生じたという報告が二、三伝えられている。ランガー橋は、その経済性から中径間橋梁として広く使用されており、構造部材としてH形鋼を使うことは、加工工数の面から見ても、製作の面から見ても有利である。一方、この種の断面の部材に対して、現在の鋼道路橋示方書では、静的抗力としての風荷重を規定しているのみで、動的挙動については、単に注意を促しているにすぎない。本論文では、設計に際して必要となる空気力を風洞実験により測定し、細長比による制限規定を考えた。使用した模型は4種のH形断面 ( $r=0.3, 0.6, 0.8, 1.0$ ,  $r=D/B$ ,  $B=150\text{mm}$ ,  $t=5\text{mm}$ ) である。これらの各模型について、定常空気力(揚力, 抗力), 非定常空気力(揚力), 位相差を強制振幅, 強制振動数, 迎角を変化させて測定した。(Fig.1 参照)

## 2. 空気力

各空気力係数は次のように定義する。

$$\textcircled{1} \text{ 平均空気力係数} \quad C_L = (\text{揚力}) / \frac{1}{2} \rho V^2 B l, \quad C_D = (\text{抗力}) / \frac{1}{2} \rho V^2 D' l, (D' = B \sin \alpha + D \cos \alpha)$$

$$\textcircled{2} \text{ 変動揚力係数} \quad K = (\text{変動揚力の最大値}) / \frac{1}{2} \rho V^2 B l$$

2-1. 非定常空気力: 非定常空気力係数の絶対値  $K$ , 位相差  $\beta$  を換算振動数  $n (= \frac{\omega B}{2\pi V})$  に対してプロットすると、Fig. 2 のようになる。即ち、風速の上昇に対して位相差の増加が始まる点あたりで、空気力係数  $K$  が急激に増加し、最大値を示す。この点での現象を完全ロッキング現象と呼ぶ。

2-2. ロッキング領域: Fig. 3 に示すように固有振動数 ( $f_0$ ) の半分 ( $f_0/2$ ) でもロックされる領域があらわれ、 $f_0/2$ ,  $f_0$  に対応する各領域は、迎角および  $r$  の増加に対して、その領域を減ずる。

## 3. 設計への応用

H形断面部材がカルマン渦と共振する場合の応力と細長比との関係について、 $r=1.0$  の  $B_{10}$  を基準量にとり、等断面積を有する各形状に対して検討する。両端ヒンゲ柱, 両端固定柱に対して、それぞれ添脚字  $h$ ,  $f$  を付して区別する。[断面量の関係:  $B = \frac{3}{2r^2+1} B_{10}$ ,  $r = D/B$ ]

$$1) \text{ 振動数 } (f) \quad f_h = (\pi/2 l^2) \sqrt{EI/m}, \quad f_f = 2.27 f_h$$

$$2) \text{ 振 幅 } (\delta) \quad \delta_h = (V^2 B l^4 K / 4\pi^5 EI) \cdot M \quad (M: \text{増幅率}, \cong 1/2h, h: \text{減衰定数})$$

$$3) \text{ 共振時最大曲げ応力 } (\delta) \quad \delta_h = \delta_f \text{ とすると}, \quad \delta_h = (BEI^2 r / 2l^2) \delta_h, \quad \delta_f = 2.67 \delta_h$$

$$4) \text{ ストロークル数 } (S) \quad S = 0.16 \quad (r=0.8, 1.0 \text{ に対して}) \quad S = 0.10 \quad (r=0.3, 0.6 \text{ に対して})$$

$$5) \text{ 共振風速 } (v) \quad v = f D / S \quad (D' = B \sin \alpha + D \cos \alpha)$$

6) レイノルス数 ( $Re$ ) により、空気力係数を風速に対応させる。

$$\text{実験結果より } K \cdot Re / r^3 = 2.24 \sim 2.36 \times 10^5, \quad Re = (v D / 1.51) \times 10^6$$

ここで用いた断面は、 $B_{10}=350\text{mm}$ ,  $t=10\text{mm}$  という通常よく用いられるものである。これに対し

て、迎角=0°時の上述の各項を細長比( $l/B_{10}$ )との関係で示したものが、Fig. 4~6である。

3)について、両端ピン支持の場合は、風作用時の許容応力度の割増20%を考慮して、

$$\omega \sigma_{軸} + \sigma_{曲} < 1300 \times 1.20 = 1560 \text{ kg/cm}^2 \quad \omega = \sigma_a / \sigma_{na}$$

これより  $\sigma_{曲} \leq 0.7 \sigma_a = 910 \text{ kg/cm}^2 \approx 1000 \text{ kg/cm}^2$  であるから、 $M=300$  ( $2h=0.00335$ ) では、 $r=0.8, 0.6, 0.3$  については危険はないが、 $r=1.0$  については、 $l/B_{10} < 30$  にする必要がある。両端固定柱に対しては、最大振幅を両端ピン支持のものと同じ場合を考えると、最大応力は両端ピン支持の約3倍となる。即ち、両端ピン支持の  $M$  を300、両端固定柱の  $M$  を100とすると両者の応力は同じである。疲労強度に関するDINの規定によれば、前面すみ肉(仕上げ)では  $\sigma_a = 710 \text{ kg/cm}^2$  であるから、 $r=1.0, 0.8$  においては、振動を起こさせてはならない。よって  $r=1.0, 0.8$  に対しては、 $l/B_{10} \leq 33$  にする必要がある。 $r=0.3, 0.6$  では振動を起こしても疲労に耐え得る。ここに用いた変動揚力係数( $K$ )は、静止時のものである。風速上昇後、共振を生じ、完全ロック現象に入ると強制振幅、強制振動数によって差はあるが、 $K$  は  $r=1.0, 0.8, 0.6$  では、静止時の約1.7倍、 $r=0.3$  では、静止時の約4倍となる。このことを考慮すると、 $r=0.6$  では、 $l/B_{10} \leq 50$  にする必要がある。以上より、半固定柱に対して、次の値を提案したい。

①  $0.7 < r \leq 1.0$  では  $l/B_{10} \leq 33$

②  $0.4 \leq r \leq 0.7$  では  $l/B_{10} \leq 50$

以上の検討は、風速としてそれ以下では共振しない風速  $25 \text{ m/sec}$ 、 $B_{10}$  として  $350 \text{ mm}$  を選んだ一例であるが、 $l/B_{10}$  による制限は、一つの具体的条件を与え得ると考えられる。また迎角をつけた場合の応力は、迎角=0°の場合と同じか、それ以下の値をとるため、設計に際しては、迎角=0°の場合の検討だけで充分である。今後の問題点は、実際の構造物における振動性状を把握することであると考えられる。

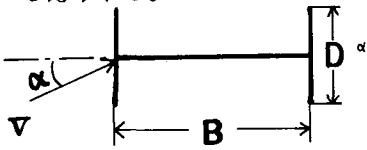


Fig. 1 Notations  
 $K, K_a, K_f, \beta$

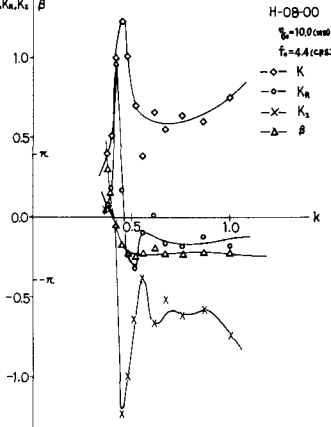


Fig. 2 Fluctuating Lift Coefficient ( $K$ ) and Phase Angle ( $\beta$ )

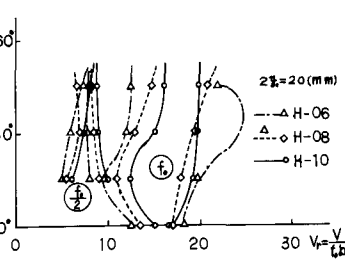


Fig. 3 Locking-in Region

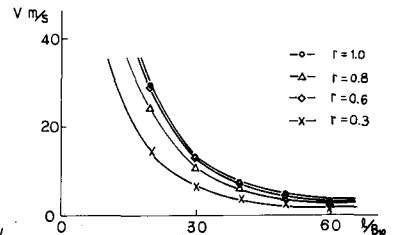


Fig. 5 Wind Velocity—Slenderness Ratio (with Fixed Ends)

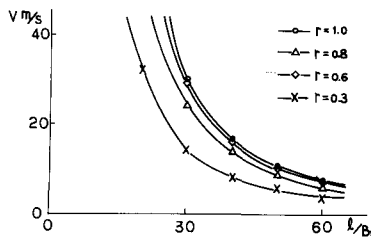


Fig. 4 Wind Velocity—Slenderness Ratio (with Hinged Ends)

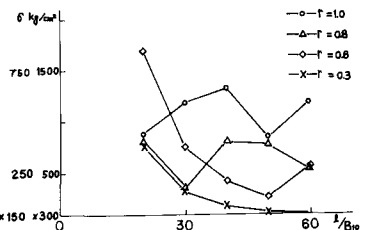


Fig. 6 Bending Stress—Slenderness Ratio