

第 I 部門 突起付き傾斜円柱の空力特性に関する実験的考察

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○内藤 寛子 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 八木 知己 京都大学大学院工学研究科 学生員 田中 政信  
 京都大学大学院工学研究科 学生員 島 宜範 京都大学大学院工学研究科 前川 和都

1. 序論

近年、斜張橋の安全性を大きく低下させる恐れのあるケーブルの空力振動を抑制する目的で、ヘリカルワイヤ・クロスタイケーブル・ダンパー等が用いられている<sup>1)</sup>。しかし、未だ斜張橋ケーブルの空力振動現象の発生メカニズムは十分に解明されておらず、これらの制振対策の有効性には議論の余地がある。本研究では、軸方向突起付きケーブルとヘリカルワイヤ付きケーブルとの関係についての検討を行う。また、ヘリカルワイヤ付きケーブルの振動応答特性とカルマン渦放出強度との関係について検討を行う。

2. 軸平行突起付きケーブルとヘリカルワイヤ付きケーブルの非定常空気力特性

軸平行突起付きケーブル(Fig.1)の非定常空気力係数  $H_1^*$  を Fig.2 に示す。 $H_1^*$  は正となり、空力的に不安定となる突起位置  $\theta$  (よどみ点からの角度) があることがわかり、発散振動が起こる可能性が示唆された。また、軸平行突起の直径  $\phi$  が大きくなると、空力的に不安定となる突起位置  $\theta$  が小さい値になることがわかった。従って、軸平行突起の直径  $\phi$  の違いによって、ケーブル断面周りの流れ場は変化する可能性が示唆された。

次に、Fig.3 に水平偏角  $\beta=45^\circ$  における軸平行突起付きケーブルとヘリカルワイヤ付きケーブル(Fig.1)の非定常空気力係数  $H_1^*$  を示す。ここで、ヘリカルワイヤ付きケーブルをスパン方向に微小な区間を取り出すと、その区間は軸平行突起付きケーブルと見なすことができる。よって、式(1) のように軸平行突起付きケーブルの非定常空気力係数  $H_1^*$  より、ヘリカルワイヤ付きケーブルの非定常空気力係数  $H_{1 \text{ int}}^*$  を求めた。

$$H_{1 \text{ int}}^* = \int_{\theta=0^\circ}^{\theta=360^\circ} H_1^*(\theta) d\theta \quad \dots \dots (1)$$

ヘリカルワイヤ付きケーブルを微小な軸平行突起付きケーブルの総和であると近似し、ヘリカルワイヤ付きケーブルの空力特性を評価することは可能であると考えられる。

3. 自由振動応答特性

水平偏角  $\beta=45^\circ$  を与えたときの、自由振動結果を Fig.4 に示す。円断面ケーブル及びヘリカルワイヤ付きケーブル ( $\phi=1.5\text{mm}$ ) では、 $2A/D=2.0$  以上の非常に大きな振動が、ヘリカルワイヤ付きケーブル ( $\phi=5.8\text{mm}$ ) では、 $2A/D=0.4$  程度の振動が確認された。直径  $\phi=1.5\text{mm}$  では、円断面ケーブルと同様にカルマン渦が軸方向流によって壊され、直径  $\phi=5.8\text{mm}$



軸平行突起付きケーブル



ヘリカルワイヤ付きケーブル

Fig.1 実験模型

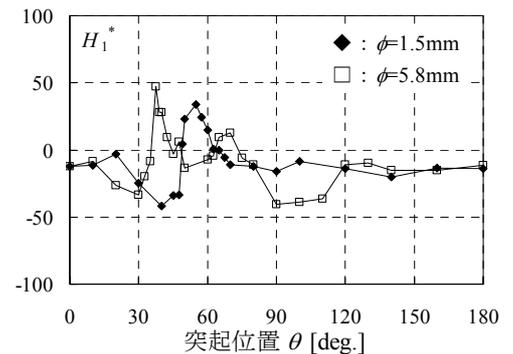


Fig.2 非定常空気力係数 ( $\beta=45^\circ, D=50\text{mm}, Ure=74$ , 一様流, 壁なし)

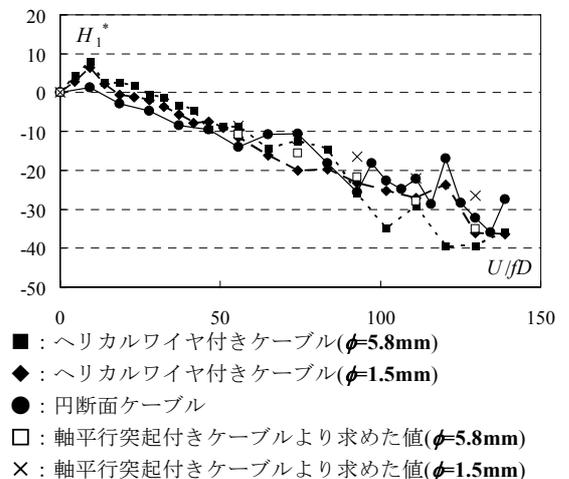


Fig.3 非定常空気力係数  $H_1^*$  ( $\beta=45^\circ, D=54\text{mm}, f=2.0\text{Hz}, 2\eta=20\text{mm}$ )

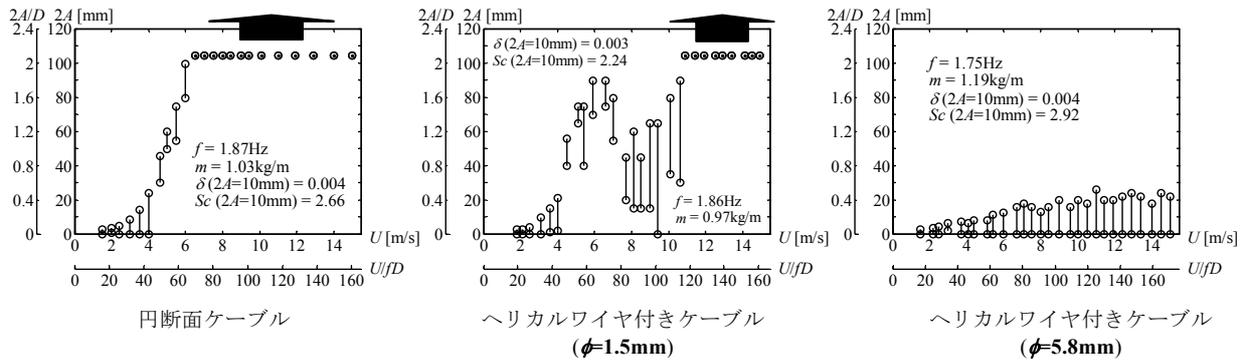


Fig.4 ヘリカルワイヤ付きケーブルの自由振動特性 ( $\beta=45^\circ$   $D=50\text{mm}$ , 一様流, 壁なし)

では、ヘリカルワイヤによってカルマン渦が壊されている可能性が示唆される。従って、振動特性が変化していることから、ヘリカルワイヤを付加すること、ヘリカルワイヤの直径  $\phi$  が異なることに對し、応答振幅は敏感に変化することが考えられる。

#### 4. 自由振動実験と強制加振実験の比較

自由振動実験で発散振動が確認されたケースにおいても  $H_1^*$  が負になること、つまり空力的に安定となることが確認された。この理由として、強制加振実験では端部にロードセルが付いているため、軸方向流の生成に影響を及ぼしていることが考えられるが、今後詳細な検討が必要である。

#### 5. カルマン渦放出強度と振動応答

矩形断面、円柱 ( $\beta=0^\circ$ ) 等の断面において可能性が示唆されているカルマン渦強度と応答振幅の関係<sup>2)</sup>を、ヘリカルワイヤの影響が大きい断面においても同様の考え方を適用することの有効性について検討を行う。Fig.5 に自由振動実験で得られた変位データのウェーブレット解析結果を示す。上側の図では固有振動数成分が強いと黒くなっており、下側の図ではカルマン渦周波数で B.P.F.をかけているため、カルマン渦成分が強いと黒くなっている。これらより、上側の図で薄くなっている部分の同時刻に、下側の図では濃くなっている傾向が見られる。従って、円断面ケーブルだけではなくヘリカルワイヤ付きケーブルにおいてもカルマン渦の抑制に伴って振動が生じ、また、カルマン渦放出に伴って振動が抑制される関係があることが確認された。

#### 6. 結論

軸平行突起付きケーブルにおいて、空力的に不安定となる突起位置  $\theta$  でカルマン渦が壊され、ギャロッピングが起こることが示された。さらに、ヘリカルワイヤ付きケーブルにおいてもカルマン渦強度と応答振幅の関係に同様の傾向がみられたが、ヘリカルワイヤの直径  $\phi$  が大きくなると流れの三次元性が強くなり、ギャロッピングは安定化することが考えられた。

軸平行突起付きケーブルの非定常空気力係数  $H_1^*$  を近似することで、ヘリカルワイヤ付きケーブルの非定常空気力係数  $H_1^*$  を評価することは可能であると考えられた。

自由振動実験と強制加振実験の結果に差異が見られ、端部にロードセルがある影響と考えられるが、今後詳細な検討が必要である。

#### 《参考文献》

- 1) M. Matsumoto, T. Yagi, Y. Adachi, H. Hatsuda, T. Shima, Karman vortex effects on aerodynamic instabilities of inclined stay-cables, *Proc. of the 12th International Conference of Wind Engineering*, July, 2007, pp.175-182.
- 2) M. Matsumoto, T. Yagi, Q. Liu, T. Oishi, Y. Adachi, Effects of axial flow and Karman vortex interference on dry-state galloping of inclined stay-cables, *Proc. of the 6th International Symposium on Cable Dynamics*, September 19-22, 2005, pp.247-254

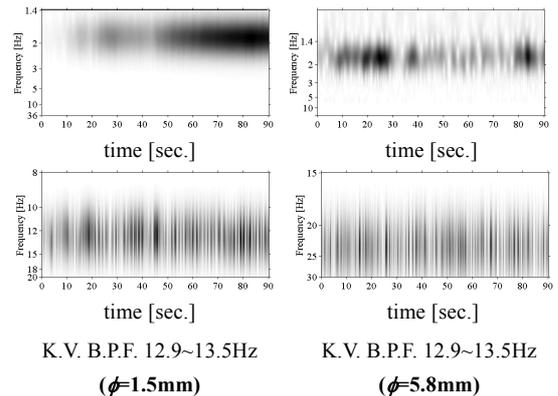


Fig.5 変位のウェーブレット解析結果  
ヘリカルワイヤ付きケーブル  
( $\beta=45^\circ$ ,  $D=50\text{mm}$ , 一様流, 壁なし)