

I-A 241 斜張橋ケーブルの空力振動の制振効果に関する研究

京都大学大学院 学生員 大東義志 京都大学工学部 正会員 松本 勝
J R 西 日 本 正会員 藤井大三* 京都大学大学院 学生員 重村好則

*研究当時 京都大学大学院

1. はじめに

従来の研究より、ケーブルに楕円板を付けることで後流域の軸方向流が抑制されてケーブル周りの流れが2次元化されていることにより大きな制振効果が得られたことが報告されている¹⁾。本研究では強度・景観性も考慮に入れた楕円突起付きケーブルについて制振効果を確認する。また同時に、楕円突起付きケーブルより施工性に優れると思われる円突起付きケーブルに関しても検討を行う。更に、近年、ディンプル付きケーブルなど表面に粗度を与えることにより剥離点を変化させたり抗力を低減化させ、制振効果を得ようとする傾向があり、それを踏まえてメッシュ付ケーブルを用いて雨無し時においても制振効果が得られるかどうかについて検討を行う。

2. 振動モードの定義

ケーブル姿勢は鉛直面内傾斜角 α と水平面内風向偏角 β によって定義される。振動モードは、ケーブル端が同相で変位するものをヒービングモード、逆相で変位するものをローリングモードと呼ぶことにする。 $\alpha = 0^\circ$ の時はローリング拘束を行わない鉛直支持、 $\alpha = 0^\circ$ でない時は支持を簡便化するために上端固定のローリングモードで支持を行った。このときの振動方向 γ は次式で与えられる。²⁾

$$\gamma = 90^\circ - \arccos\{\sin \alpha \sin \beta / (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cos^2 \beta)\}^{1/2}$$

ただし、この振動方向を固定するためのピアノ線は振動方向に直交する面内に張らないと、非常に敏感に影響を受け、一見応答が安定化しているような挙動を示すことがあるので十分な注意が必要である。

3. 楕円突起付きケーブルの制振効果及び制振機構に関する考察

Fig.1に示すような楕円突起をケーブルに設置することにより、ケーブル振動の主要因である後流域の軸方向流・渦放出の3次元性を抑制できるものと考えられる。尚、楕円突起は $\beta^* = 45^\circ$ の時に主流方向を向くように設置してある。Fig.2, Fig.3に $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 45^\circ$ の時の円断面ケーブル及び楕円突起付きケーブルの一樣流中での応答を示す。円断面ケーブルでは無次元風速 $V/VD = 40$ 付近から発散型振動が生じているのに対し、楕円突起付きケーブルでは応答が大きく安定化している。この結果から楕円突起付きケーブルにおいては円断面ケーブルと比べて後流域の軸方向流が弱められているものと考えられる。そこで軸方向流速の測定結果をFig.4に示す。円断

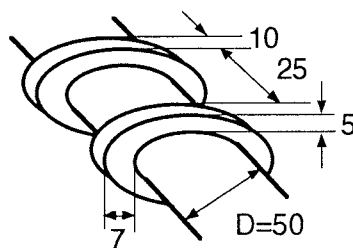


Fig.1 楕円突起付きケーブル(mm)

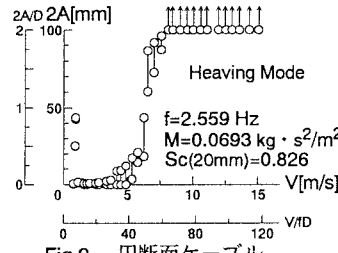


Fig.2 円断面ケーブル ($\alpha = 0^\circ$, $\beta = 45^\circ$)

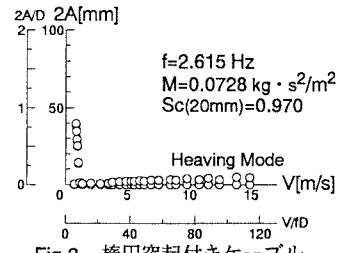


Fig.3 楕円突起付きケーブル ($\alpha = 0^\circ$, $\beta = 45^\circ$)

面ケーブルの場合の80%程度にしか抑えられておらず、流れの可視化を行ってみても軸方向流が存在することが確認できる(Photo.1)。しかし、糸をケーブル表面に張り付けてケーブル表面近傍での簡易的な流れの可視化を行ったところ、円断面ケーブルではFig.5より励振力が大きく働いていると考えられる $\theta = 90^\circ$ 付近(θ はStagnation Pointからの角度)で流れが軸方向を向いている傾向が見られるのに対

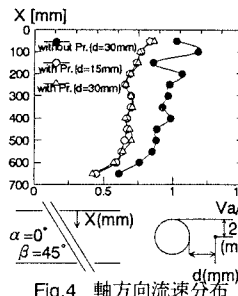


Fig.4 軸方向流速分布

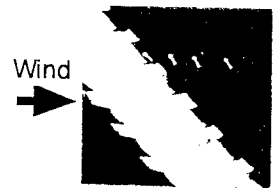


Photo.1 軸方向流の可視化写真

し、楕円突起付きケーブルではほぼ主流方向に向いている (Photo.2-(a),(b))。これより $\theta = 90^\circ$ 付近のケーブル近傍では流れが2次元化されており、それにより応答が安定化している可能性が示唆された。尚、この時のケーブル姿勢は

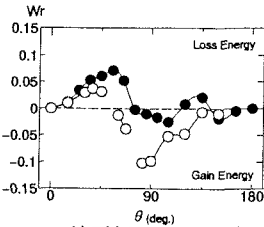
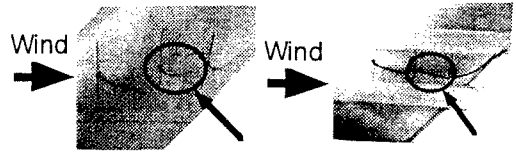


Fig.5 楕円突起付きケーブルの非定常圧力特性



(a) 円断面ケーブル (b) 楕円突起付きケーブル
Photo.2 ケーブル表面での可視化写真

$\alpha = 45^\circ$ 、 $\beta = 90^\circ$ であり、糸が下に垂れて見えるのは重力によるものである。

4. 円突起付きケーブルの制振効果

Fig.6 に示すような円突起をケーブルに設置した円突起付きケーブルを用い、一様流中において α を 0° に固定し、風向が円突起付きケーブルに対して迎角を有する場合を考慮して、 β を 10° 、 25° 、 40° 、 45° に変化させて行った。紙面の都合上 $\beta = 45^\circ$ の場合の結果のみ Fig.7 に示す。ただし、円突起付ケーブルにおいてはヒービングモードとローリングモードの混在した複雑な振動が見られたため、結果はヒービングモードとローリングモードの振動に分けて表示した。これらから円断面ケーブルよりは安定化しているが、ヒービングモード、ローリングモードともに振幅の小さなバフティング的な振動が見られ、楕円突起付きケーブルよりは不安定である。円突起は主流に対して角度をもっているために断面周りの流れが複雑に変化し、応答が若干不安定化しているものと考えられる。

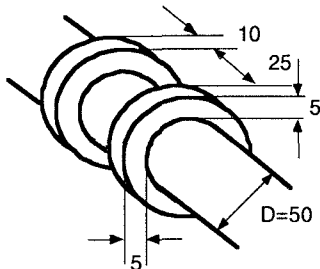


Fig.6 円突起付きケーブル(mm)

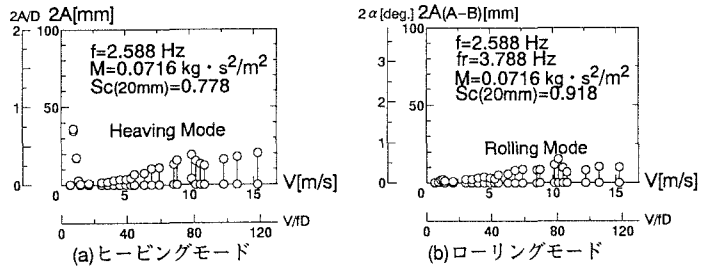


Fig.7 円突起付きケーブルの振動応答特性 ($\alpha = 0^\circ$, $\beta = 45^\circ$)

5. メッシュ付きケーブルの振動応答特性

$\alpha = 45^\circ$ 、 $\beta = 90^\circ$ および $\alpha = 20^\circ$ 、 $\beta = 35^\circ$ の時の応答をそれぞれ Fig.8-(a)、(b) に示す。Fig.8-(a) の場合、 $V/fD=40$ 付近から発散型振動が発生しており、また Fig.8-(b) は $V/fD=40$ 付近で限定型振動が見られ、 $V/fD=70$ 付近から発散型振動が生じている。このことからケーブルに表面粗度を与えるだけでは雨無し振動の本質的な制振対策とはなり得ないと考えられる。

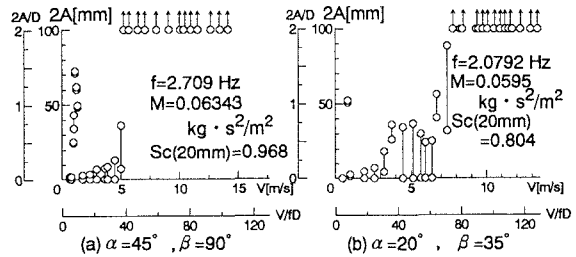


Fig.8 メッシュ付きケーブルの振動応答特性

6. 結論

◎楕円突起付きケーブルは、後流域の軸方向流が当初予想していたほど抑制されていないものの、円断面ケーブルと比較して励振力が大きく働いていると考えられる $\theta = 90^\circ$ 付近のケーブル表面近傍の流れを2次元化できる空力的制振対策として優れた断面である。

◎メッシュ付きケーブルでは発散型振動が発生し、ケーブルに表面粗度を与えるだけでは本質的な制振対策とはなり得ないと考えられる。

謝辞 本研究の遂行に多大なる協力を頂いた京都大学工学部白土博通氏、京都大学大学院市川靖生氏、阪神高速道路公団石崎 浩氏、日本道路公団名古屋建設局佐久間 智氏に深く感謝致します。

参考文献 1)Matsumoto ら, "Cable Aerodynamics and its Stabilization", International Symposium on Cable Dynamics, 1995. 2) 松本ら, "傾斜円柱の空力特性 - ケーブル Rain Vibration との関連性 -, 風工学シンポジウム, 1988.