

京都大学大学院 学生員 ○重村好則
京都大学工学部 正会員 白土博通

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

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⁾これは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るものであると考えられている。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そのことを確認すると同時に、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ついてもその制振効果について検討を行う。またメッシュ付きケーブルに関しては、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最近の傾向をふまえ、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ものである。

2.ケーブル姿勢と振動モードの定義 ケーブル姿勢は図-1に示す鉛直角 α と水平偏角 β によって定義される。振動モードに関しては、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を行い、 $\alpha=0^\circ$ 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

ケーブルに楕円突起(図-2)を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と考えられる。ケーブル後流域の軸方向流速は相対風向偏角 $\beta^*=45^\circ$ のときに主流速の90%程度と大きく、このときに振動が最も発生しやすいことが知られている³⁾ため、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。図-3、図-4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 $V/fD=40$ 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ことが考えられる。そこで実際に軸方向流速の測定を行ってみたところ、図-5に示すように、円断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(写真1)。図-6に示す楕円板付きケーブルの $V/fD=80$ における強制加振時の無次元仕事 W_r の分布を見ると、 $\theta=90^\circ$ (θ はStagnation Pointから

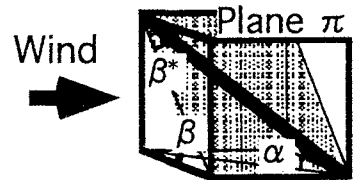


図-1 ケーブル姿勢

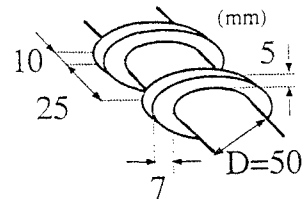


図-2 楕円突起付ケーブル

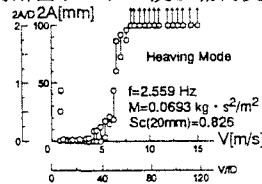


図-3 円断面ケーブル
($\alpha=0^\circ$, $\beta=45^\circ$)

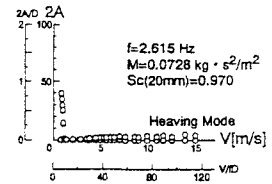


図-4 楕円突起付ケーブル
($\alpha=0^\circ$, $\beta=45^\circ$)

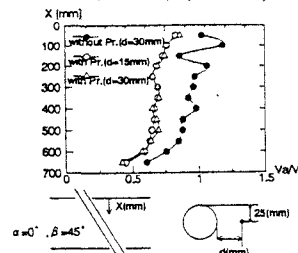


図-5 軸方向流速分布

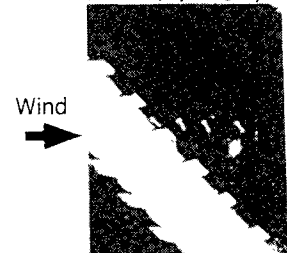


写真1 軸方向流の可視化写真
($\alpha=0^\circ$, $\beta=45^\circ$)

Yoshinori SHIGEMURA, Masaru MATSUMOTO, Hironich SHIRATO, Daizo FUJII

の角度)付近で円断面ケーブルでは振動を励起させる方向に大きく働いているのに対し、楕円板付きケーブルでは大きな励振力は働いておらず、楕円突起付きケーブルにおいても

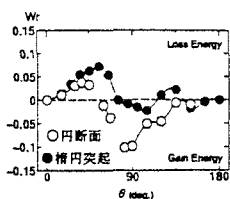
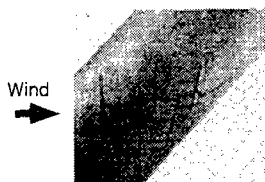
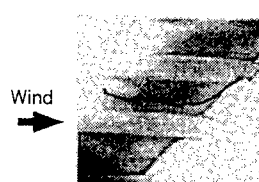


図-6 楕円板付ケーブルの非定常圧力特性



(a) 円断面ケーブル



(b) 楕円突起付ケーブル

写真2 ケーブル表面での可視化 ($\alpha=45^\circ$, $\beta=90^\circ$)

同様のことが言えると考えられる。そこで、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 $\theta=90^\circ$ 付近で流れが軸方向を向いている傾向が見られるのに対し、楕円突起付きケーブルではほぼ主流方向に向いている(写真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。なおこの時のケーブル姿勢は $\alpha=45^\circ$ 、 $\beta=90^\circ$ であり、糸が下に垂れて見えるのは重力のためである。

4. 円突起付きケーブルの制振効果

実験は図-7に示す模型を用い、

一樣流中において α を 0° に固定し、 β を 10° 、 25° 、 40° 、 45° に変化させて行ったが、紙面の都合上 $\beta=45^\circ$ の場合の結果のみ図-8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。この結果を見ると、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思われる。

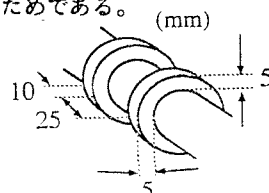
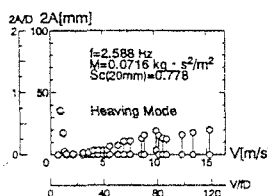
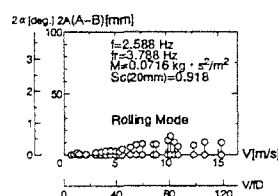


図-7 円突起付ケーブル



(a)

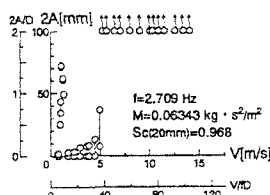


(b)

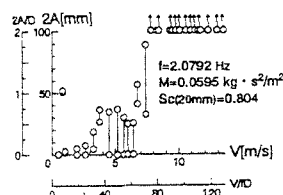
図-8 円突起付ケーブルの振動応答特性 ($\alpha=0^\circ$, $\beta=45^\circ$)

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 $\alpha=20^\circ$ 、 $\beta=35^\circ$ の時の応答を図-9(a)及び(b)に示す。(a)を見ると $V/fD=40$ 付近から発散型振動が発生しており、(b)を見ると $V/fD=40$ 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本質的な制振対策とはなり得ないと考えられる。



(a) $\alpha=45^\circ$, $\beta=90^\circ$



(b) $\alpha=20^\circ$, $\beta=35^\circ$

図-9 メッシュ付ケーブルの振動応答特性

6. 結論

(1)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圧力特性が大きく変わる $\theta=90^\circ$ 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。(2)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大学院大東義志氏、市川靖生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. 3)松本ら,"斜張橋ケーブルのRain Vibration発生機構における二つの要因についての考察"第11回風工学シンポジウム論文集, 1990.