

京都大学大学院 学生員○藤井大三
 京都大学工学部 正 員 松本 勝
 京都大学工学部 正 員 白石成人
 ハ ザ マ 正 員 山岸 稔
 京都大学大学院 学生員 青木 淳

1.はじめに 本研究では、構造物の各種空力振動のうち、斜張橋ケーブルの空力振動について主に風洞実験によって検討を試みた。特に、雨を伴わない強風時のケーブル振動（以後、雨なし振動と呼ぶ）に対するケーブル姿勢、ケーブル断面形状変化、乱流の影響を検討する。

2. ケーブルの雨なし振動

雨なし振動は、過去の研究¹⁾よりケーブルの背後に生じる軸方向流れが発生要因とされており、その発散型振動は乱流で容易に抑制されることが知られている。

3. ケーブルの姿勢と振動方向

ケーブルの風に対する姿勢は図-1の α 、 β で決定される。しかし、 α をつけると前方旋み点 $\alpha=0^\circ$ の場合とは異なり、振動方向 γ （定義式は図中に示す）を図-1のPlane π に対して直角方向にとると、最も振動が不安定となる。これは、図-2(a)と図-2(b)を比較すれば読み取れる。また、相対水平偏角 β^* （定義式は図中に示す）を等しくすれば、風に対する姿勢は相対的に同じになる。図-2(b)と図-2(c)を比較すると、いずれも無次元風速(V/fD)約60から発散型振動が生じているので、 β^* を一致させると、類似した振動性状を示すものと考えられる。

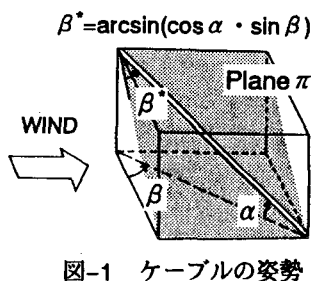


図-1 ケーブルの姿勢

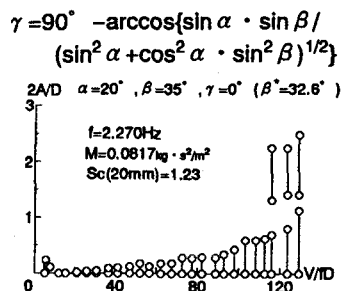


図-2(a)

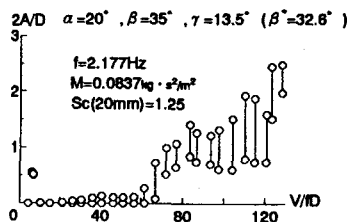


図-2(b)

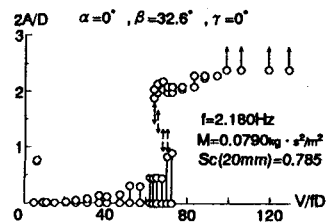


図-2(c)

図-2 風速応答図

4. 軸平行突起付きケーブルの応答特性

軸平行突起付きケーブル²⁾は、Rain Vibrationに対しては水路形成の防止により、制振効果を発揮する。しかし、ある長大斜張橋に関する風洞実験で軸平行突起付きケーブル($Sc=10$)が雨なし時、乱流中($Iu=10\%$)で不安定化したとの報告がなされている（図-3）³⁾。そこで軸平行突起付きケーブル（断面周りに12個の突起付きケーブル）の風速応答振幅測定を行った。Rolling振動拘束をしてHeaving振動のみが生じるようにセットした軸平行突起付きケーブル($Sc=1$)の一樣流中、乱流中($Iu=12\%$)での応答を図-4(a)(b)に示す。ケーブル姿勢はこの長大斜張橋に関する風洞実験と同じ $\alpha=0^\circ$ 、 $\beta=45^\circ$ 、 $\gamma=0^\circ$ とした。一樣

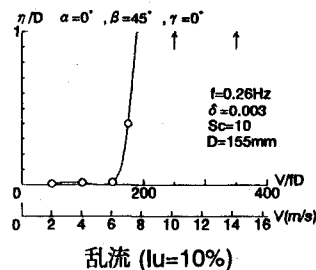
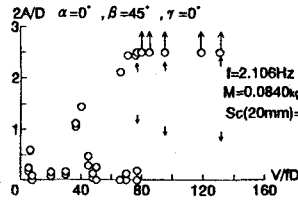
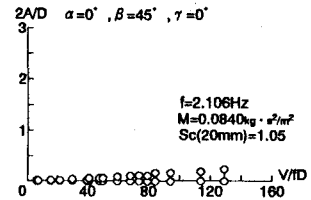


図-3 軸平行突起付きケーブルの風速応答図³⁾

流中(a)では、 $V/fD=40$ で限定型振動が生じている。限定型振動は渦放出の3次元性（スパン方向でストローハル数が異なる特性）に起因する⁴⁾と考えられていることから軸平行突起を付けるとその特性が



(a)一様流



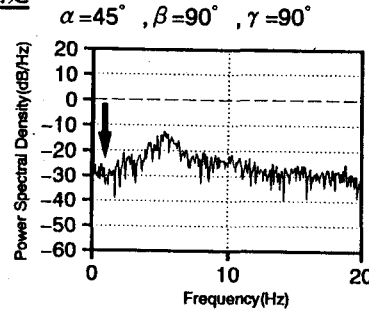
(b)乱流 ($I_u=12\%$)

図-4 軸平行突起付きケーブルの風速応答図

強められるものと考えられる。一方、乱流中(b)では振動は抑制されている。図-3のような高風速域で測定を行っていないので対応はとれていないが、適度な乱れ強さの乱流によって渦放出の3次元性が強められること⁴⁾から、乱流中においても渦放出の3次元性が強められる可能性があるものと考えられる。また、Rolling振動拘束なし（図-5）では、一様流中、高風速で激しいRolling状の振動が生じている。また、図は示していないが、乱流中ではその振動は抑制されている。

5. 後流域変動流速スペクトル測定

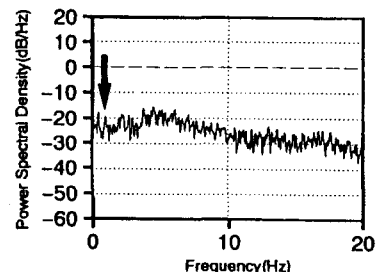
ケーブルスパン方向に渦の放出周波数が異なり、それらが何回かに1回スパン方向に揃い、渦が放出され（渦放出の3次元性）、その低周波成分の渦が励起力を引き起こすことにより限定型振動が生じるものと考えられている⁴⁾。静止時の軸平行突起付きケーブルの後流域変動流速



(a)一様流

一様流

図-5 軸平行突起付きケーブルの風速応答図(Rolling振動拘束なし)



(b)乱流 ($I_u=8.2\%$)

図-6 後流域変動流速スペクトル

速スペクトルを測定した。図-6 (a)(b)に一様流中、乱流中($I_u=8.2\%$)でのスペクトルを示す。図よりカルマン渦の周波数成分と考えられる広帯域のスペクトルは乱流中で低下し、低周波数成分は若干一様流中より盛り上がっている。このことより、渦放出の3次元性が強められた可能性を有するものと考えられる。

6. 結論(1)相対水平偏角の一致により、ケーブル振動は類似した振動性状となる。

(2)図-1のPlane π に直角方向に支持すると振動は最も不安定化する。

(3)軸平行突起付きケーブルは、 $V/fD=160$ より低い風速で乱流によって振動は安定化するが、その断面形状は乱流によって渦放出の3次元性を強める可能性があるものと考えられる。

(4)ケーブル振動は従来の限定型、発散型のHeaving振動に加えてRolling振動も存在する可能性が強く、これに対しては今後詳細に検討する必要があるものと考えられる。

参考文献1)松本ら，“斜張橋ケーブルの空力振動に関する研究”，土木学会論文集第416号/1-13, 1990.

2)松本ら，“風雨条件下のケーブル振動現象に関する考察”，第10回風工学シンポジウム論文集, 1988.

3)本州四国連絡橋公団海洋架橋委員会，“本州四国連絡橋の海洋架橋技術に関する調査研究耐風報告書” 1993.

4)松本ら，“斜張橋ケーブルのRain Vibration, 特に風速限定型振動に関する基礎的研究”，土木学会第48回年次学術講演会論文集, 1993.