

I-B372 傾斜ケーブルにおける軸方向渦と高風速渦励振に関する基礎的研究

京都大学大学院 学生員 後藤 光理 京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
 京都大学工学研究科 正会員 八木 知己 京都大学大学院 学生員 對馬 大輔

1. はじめに 実際の斜張橋ケーブルにおいて、降雨を伴った強風下で生じるレインバイブレーションや降雨を伴わない天候下においても生じる限定型の振動が数多く確認されている。これらの振動は無次元風速 $V/fD=20, 40, 80$ 等、カルマン渦励振の共振風速より高い風速域で発生し、高風速渦励振と呼ばれている。高風速渦励振の発生要因に、傾斜ケーブル背後に形成される軸方向流、降雨時にケーブル表面に形成される水路、カルマン渦放出の三次元性、カルマン渦とケーブル背後に形成される軸方向渦の同期¹⁾などが挙げられている。本研究では静止及び強制加振時の傾斜ケーブル模型における表面圧力を測定することによって、カルマン渦と軸方向渦のケーブル模型スパン方向の特性、さらには静止傾斜ケーブル模型後流域の流れの可視化をふまえて高風速渦励振の発生機構について考察を行った。

2. 実験概要 円断面を有する剛体模型を Fig.2-1 に示すように水平風向偏角 $\beta=45^\circ$ に設置し、静止時及び強制加振時において、模型表面圧力孔における非定常圧力を測定した。なお圧力孔は模型軸方向に沿って 48 個存在し、その位置 θ はケーブル断面のよどみ点からケーブル円周に沿って測った角度 θ をもって定義する (Fig.2-2 参照)。なお、接近風速は $V=4.0\text{m/s}$ で、強制加振は、加振振幅 $2\eta_0=20\text{mm}$ 、加振振動数 $f=2.0\text{Hz}$ のたわみ 1 自由度加振で行った。また、模型が風洞壁を貫通している部分には、直径 200mm の窓が開いているが、これを少し塞いで窓を小さくした状態を「端板なし」、完全に塞いだ状態を「端板あり」と呼ぶことにする。

3. 静止時における傾斜円柱の非定常圧力特性 圧力孔を $\theta=135^\circ$ の位置に設置してケーブル模型を固定支持し、「端板なし」、「端板あり」の二つのケーブル端部条件において、模型スパン方向の模型表面上各圧力孔における非定常圧力を測定した。そのスペクトル解析の結果をそれぞれ Fig.3-1 と Fig.3-2 に示す。両図より、模型スパン方向全域にわたって軸方向渦によると思われる約 1.5Hz の低周波数成分が現れていることがわかり、特に強く現れている模型上流側においては軸方向渦がかなり強く発生していると思われる。模型下流側では 11~12Hz 付近にカルマン渦放出によると思われる小さなピークが、また「端板なし」では模型上流側においても約 17Hz にカルマン渦放出によると思われるピークが強く現れていることがわかる。これらの結果は、ケーブル端部に端板が設置されていないことで模型上流側においては軸方向流が強く、そのため軸方向渦によると思われる 1.5Hz 付近の低周波数成分が卓越するが、模型下流側へいくにつれて軸方向流が弱くなり、その結果、カルマン渦が規則的に放出され易くなったために模型下流側においては約 11Hz のカルマン渦放出によると思われる周波数成分も卓越するようになったものと考えられる。このように軸

キーワード: 斜張橋ケーブル, レインバイブレーション, 高風速渦励振, カルマン渦, 軸方向渦

連絡先: 京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻気圏工学講座

〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 TEL:075-753-5093 FAX:075-761-0646

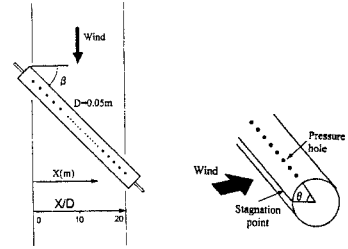


Fig.2-1 Cable model Fig.2-2 Position of Pressure hole

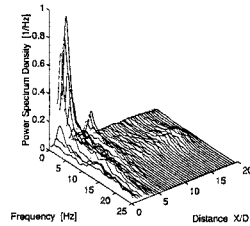


Fig.3-1 Power spectrum density of unsteady pressure on stationary cable model (without end plates, $\beta=45^\circ$, $\theta=135^\circ$, $V=4\text{m/s}$, in smooth flow)

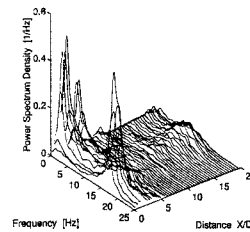
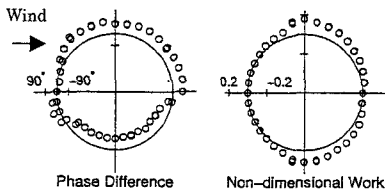


Fig.3-2 Power spectrum density of unsteady pressure on stationary cable model (with end plates, $\beta=45^\circ$, $\theta=135^\circ$, $V=4\text{m/s}$, in smooth flow)

方向渦及びカルマン渦の放出特性は傾斜ケーブル模型スパン方向に大きく異なることが判明した。

4. 強制加振時における傾斜円柱の非定常圧力特性 「端板なし」, 「端板あり」の二つのケーブル模型端部条件において, 無次元風速 $V/fD=40$ の振動状態を再現した強制加振時の, 模型スパン方向の模型表面上各圧力孔 ($\theta=135^\circ$) における非定常圧力を測定した. そのスペクトル解析の結果をそれぞれ Fig.4-1 と Fig.4-2 に示す. 両図において模型上流側でケーブル模型の振動に同期して生じた渦によると思われる 2Hz の周波数成分が卓越した. なお, この周波数の卓越箇所は静止時において約 1.5Hz の低周波成分が卓越した所とほぼ同じであった. また, 模型中央, 下流側においては, 振動に同期した渦と共にカルマン渦も比較的強く放出されていることがわかった. 次に傾斜円柱軸方向に沿って上流側・中央付近・下流側の三ヶ所における断面周りの非定常圧力の測定結果をしたところ, 上流側にのみ励振力が作用していることがわかった (Fig.4-3 参照). 従ってスパン方向で励振力の大きさに差が生じ, ローリングモードの振動が発生しやすくなるものと思われる.



$$W_r = \pi \left(\frac{\eta}{D} \right) \tilde{C}_p \sin \theta \sin \phi$$

W_r : 無次元仕事
 π : 円周率, η : 振幅 (10mm),
 D : ケーブル模型の断面径 (50mm)
 $\tilde{C}_p$: 変動圧力係数, θ : 旋回点からの角度
 ϕ : ケーブル模型が最上点に運動した時の
 正圧ピークの遅れを正とした時間的位相差

Fig.4-3 Distribution of phase difference ϕ and non-dimensional work W_r around forced vibrating cable model ($X/D=2.56$, without end plates, $\beta=45^\circ$, $V=4\text{m/s}$, in smooth flow, $\eta=0.01\text{m}$, $f=2\text{Hz}$, $V/fD=40$)

5. 軸方向渦の可視化 静止傾斜円柱の非定常圧力測定実験より, 軸方向渦が模型上流側において強く発生していることが示唆された. そこでケーブル模型上流側 ($X/D=3$ 付近) の後流域において, 軸方向渦を捉えるために流れの可視化を行った. Photo.5-1 に接近風速 $V \approx 0.5\text{m/s}$ における可視化写真を示す. これより回転軸の角度がカルマン渦の角度とは異なる二つの軸方向渦と思われる渦を明確に確認することができる.

6. 結論 軸方向渦及びカルマン渦の放出特性は傾斜ケーブル模型スパン方向に大きく異なることが判明した. また, 軸方向渦は傾斜ケーブル模型スパン方向全体にわたり生成しており, 特に模型上流側において強く放出されていることが示唆され, 可視化実験より軸方向渦と思われる渦を捉えることができた. この軸方向渦が水路やカルマン渦などに関わることで高風速渦励振が励起されている可能性があると考えられる.

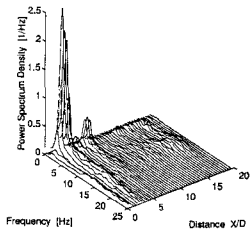


Fig.4-1 Power spectrum density of unsteady pressure on forced vibrating cable model (without end plates, $\beta=45^\circ$, $\theta=135^\circ$, $V=4\text{m/s}$, in smooth flow, $\eta=0.01\text{m}$, $f=2\text{Hz}$, $V/fD=40$)

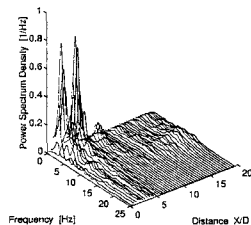


Fig.4-2 Power spectrum density of unsteady pressure on forced vibrating cable model (with end plates, $\beta=45^\circ$, $\theta=135^\circ$, $V=4\text{m/s}$, in smooth flow, $\eta=0.01\text{m}$, $f=2\text{Hz}$, $V/fD=40$)

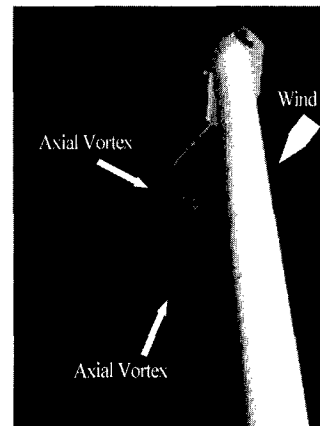


Photo.5-1 Flow visualization in a wake of inclined cable model (without end plates, $\beta=45^\circ$, $V=0.5\text{m/s}$, in smooth flow)

参考文献 1) 松本 勝, 對馬大輔, 佐久間智, 八木知己, 重村好則, 「斜張橋ケーブルの振動特性並びに高風速渦励振の発生メカニズムに関する研究」, 第 15 回風工学シンポジウム論文集, 1998, pp.527-532