

I-442

ケーブルの空力振動における
動的応答特性と静的空気力特性の対比

京都大学大学院 学生員 桂 一詞
 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
 京都大学工学部 正員 白土博通
 三菱重工業(株) 正員 平井滋登
 京都大学大学院 学生員 佐野祐一

1. まえがき これまでの研究において、著者ら¹⁾は、レインバイブレーションは、降雨時にケーブル表面に水路が形成されることによって、ケーブル断面が空力的に不安定化することだけでなく、斜張橋ケーブル自体が風に対して偏角を持つことによる軸方向流れが重要な要因となり発生していると指摘している。これは、実橋において、降雨時やその直後に振動が見られるだけでなく、安治川橋梁や荒津大橋のようにその最大振幅が霧雨時に報告されている²⁾³⁾ことや、塔上流側ケーブルに上面水路が形成されてるにもかかわらず振動が発生しないことなどに対応しているものと思われる。しかし、その詳しい発生機構については、依然として不明な点が多い。そこで、本研究では、Fig.1 に示す様に支持されたケーブル模型(直径 $D=50\text{mm}$)を用い、人工水路の有無、水路の位置、風向偏角、気流の乱れの大小等の条件を変え風洞実験を行うことにより、その応答振幅特性を求めた。また、Fig.2 に示す装置を用い前述の条件における静的空気力特性を求めた。本研究では、以上の結果と、実際のケーブル振動とのつながりを明確にし、その発生機構を考究する。

2. 実験結果及び考察

①動的応答特性について $\beta=45^\circ$ かつ水平に支持した人工水路を設けないケーブル模型においては、Fig.3 に示す通り一様流では定常振動が得られたが乱流($Iu=4.8\%$)では振動が安定化した。また、一様流中でも上流側に端板を設けると振動は安定化した。これは、軸方向流れが上流側端板によって弱められたためと思われる(振幅:A)。人工水路(幅 7.5mm 厚さ 1.2mm)を設けた場合の応答特性は、以下ようになった。 $\beta=45^\circ$ において人工水路を $\theta=72^\circ$ (Fig.4参照)に設けた条件では一様流、乱流中($Iu=4.8\%, 12\%$)ともに定常振動が得られ、更に乱流中に於いては発現風速が一様流中よりも低くなる傾向を示した。 $\beta=0^\circ$ に支持し、両端に端板を設けることによって軸方向流を制御した場合においても、 $\theta=63^\circ$ に水路を設けると、一様流、乱流中($Iu=4.8\%$)ともに渦励振に似た発現風速域が限定される型と発散型の二つのタイプの混成型の振動が得られた。乱流によって限定型の振動は発現風速に変化が見られないが、発散型は発現風速が高くなる傾向にある(Fig.4)。また、 $Iu=12\%$ の強乱流中では $\theta=72^\circ$ で限定型の振動が得られた。 $\beta=40^\circ$ では、 $\theta=72^\circ$ において、 $\beta=0^\circ$ 、 $\theta=63^\circ$ の場合と同様に限定型

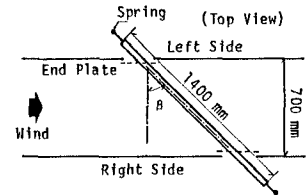


Fig.1 Model for Measuring Dynamic Response

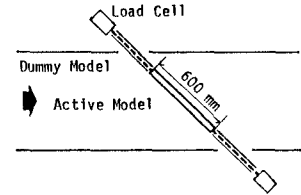
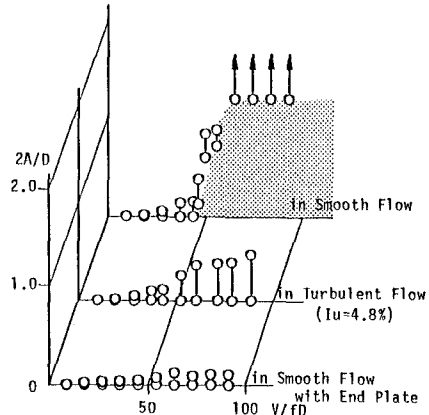


Fig.2 Model for Measuring Aerostatic Force

Fig.3 Velocity-Amplitude Diagram ($\beta=45^\circ$, without Rivulet)

振動と発散型振動が両方認められた。更に他の水平偏角でも同様の実験を行ったところ、空力的に不安定となる水路の位置は水平偏角 β によって変化することが分かった。

②静的空気力特性 $\beta=0^\circ$ 、人工水路付、風速8m/s、一様流及び乱流($I_u=4.8\%, 12\%$)三種類の水路位置($\theta=50^\circ, 63^\circ, 72^\circ$)について $C_F-\alpha$ 図を計算により求めた(Fig. 5)。ここで $\alpha=0^\circ$ 付近での勾配が負となったのは、応答特性において定常振幅が得られた $\theta=63^\circ$ の一様流、乱流($I_u=4.8\%$)と $\theta=72^\circ$ の乱流($I_u=12\%$)であり、その他の場合はすべて正となった。 $\beta=45^\circ$ 、人工水路付の場合も同様の結果が得られた。 $\beta=45^\circ$ 、水路無しの状態は、 $\beta=0^\circ$ において模型後流域にスプリッタープレートを設置し、模擬的に軸方向流の効果を再現した。この結果をFig. 6に示す。一様流では $\alpha=0^\circ$ 付近の勾配が負となっているが、乱流中では $I_u=4.8\%, 12\%$ ともに勾配は正となっている。以上の結果をまとめると、応答特性における定常振幅の有無と、静的空気力特性における $dC_F/d\alpha$ の正負とが対応しているといえる。

3. 結論

①Rain Vibration発生の主要因としては、1)ケーブルが気流に対して偏角を持つことによる軸方向流の効果

2)ケーブル表面に水路が形成される効果の2つが考えられ、それぞれ単独でも振動は発生するが、実橋ではこの2つの要因が重なり、その相乗効果により振幅の大きな振動を発生する。

②風向偏角に対して振動の発生しやすい水路位置が存在する。

③ケーブル模型の静的空気力特性における $dC_F/d\alpha$ の正負は水路の有無に係わらず、その応答特性とかなりの対応がみられ、ケーブル模型の振動特性をギャロップングの準定常理論によって、定性的に説明することが可能であると思われる。

(参考文献)

- 1) 松本 勝, 他: 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/I-13, 1990年4月
- 2) K. Ohshima, M. Nanjo: "Aerodynamic stability of the cables of a cable-stayed bridge subject to rain (a case study of the Ajigawa bridge)", Proceeding of US-Japan Joint Seminar on Natural Resources, 1987.
- 3) 吉村 健, 田中千秋, 佐々木伸幸, 中谷信二, 比嘉 智, "Rain-wind induced vibration of the cables of the Aratsu bridge", 第10回風工学シンポジウム論文集, 1988.

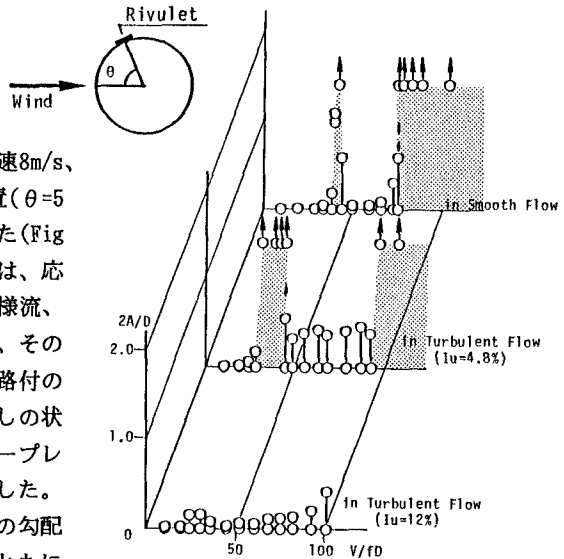


Fig. 4 Velocity-Amplitude Diagram ($\beta=0^\circ$, with rivulet ($\theta=63^\circ$))

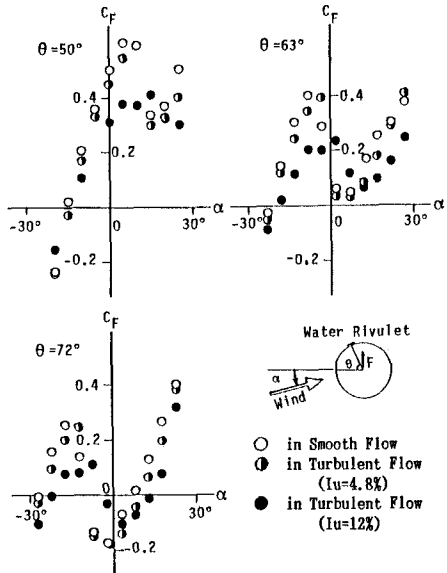


Fig. 5 Aerostatic Force Coefficient of Cable ($\beta=0^\circ, V=8\text{m/s}$, with Rivulet)

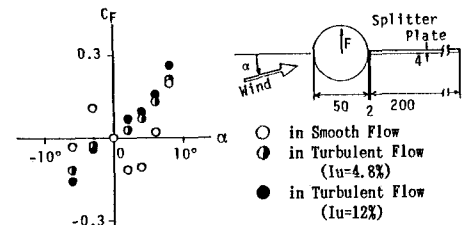


Fig. 6 Aerostatic Force Coefficient of Cable ($\beta=0^\circ, V=8\text{m/s}$, with Splitter Plate)