

I-371

傾斜円柱の空力特性およびRain
Vibration発生機構

京都大学大学院 学生員 佐野祐一
京都大学工学部 正 員 白石成人
新日本製鉄(株) 正 員 辻井正人

京都大学工学部 正 員 松本 勝
阪神高速道路公団 正 員 北沢正彦
京都大学大学院 学生員 平井滋登

1. まえがき 最近、斜張橋ケーブルにおいて降雨を伴った風のもとで発現する振動（Rain Vibration）が相次いで報告され、注目されている。これまでの研究から、Rain Vibrationはケーブルが表面の水路によって空力的に不安定化されることに起因する現象であることがわかり、実橋において降雨時によく発生するという報告と一致している。しかし、霧雨時にも振動現象が認められることから、斜張橋ケーブルそのものが空力的に不安定であることが予想される。このようなことから、本研究では風洞実験の結果より傾斜円柱の空力特性を考察し、斜張橋のRain Vibration現象と関連づけて、その発生機構と制振対策について検討を行う。

2. 実験結果および考察

① 気流に対する偏角の効果

水平偏角 β を変化させたときの振動応答の違いを、Fig. 1 に示す。 $\beta=0^\circ$ の場合には、ほとんど振動を生じないのに対し、 β が大きくなるに従い $\beta=22.5^\circ$ まではパフティングおよびローリング的な振動が次第に発達する。ところが β が 25° 以上になるとギャロピング的な発散型振動に変化する。このことから、気流に対して偏角をもつ円柱そのものが、空力的に不安定であることがわかる。

② 傾斜円柱背後の軸方向流れ

$\beta=45^\circ$ の傾斜円柱背後の流れの様子を旗による方法で可視化したのがFig. 2 である。図に示されるように円柱後流域には軸方向流れが認められる。この軸方向流れは円柱後流域に設置したスプリッタープレートと似たような空力的役割を果たしており、傾斜円柱の空力的不安定性にとって非常に重要であると考えられる。この考察は、Fig. 3 に示したように、 $\beta=0^\circ$ の円柱模型が背後の人工的軸方向流れによって空力的に不安定化されることによって裏づけられる。

③ 乱流効果

Fig. 4 に、傾斜円柱 ($\beta=45^\circ$) の2種類の乱流中における振動応答の変化のようすを表す。図に示すように、乱流中において高風速域での定常な振動は認められなかった。このことより、傾斜円柱は乱流によって空力的に安定化されると判断

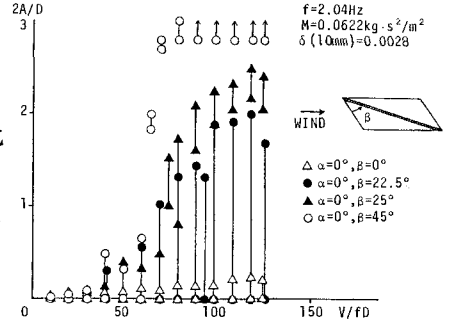


Fig.1 Effect of Yaw Angle β on Response



Fig.2 Axial Flow Direction in Wake of Yawed Circular Cylinder ($\alpha=0^\circ, \beta=45^\circ$)

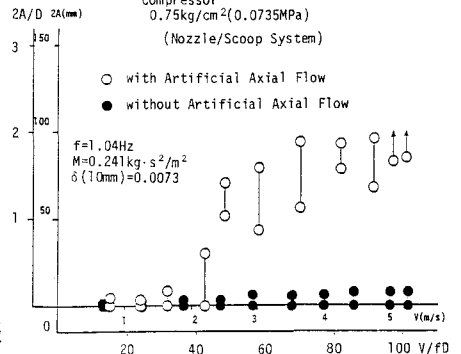
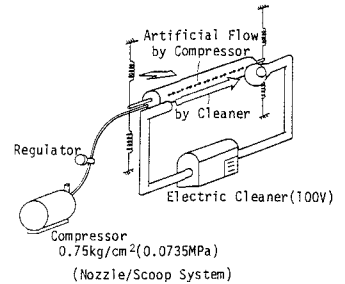


Fig.3 Effect of Artificial Axial Flow on Response ($\alpha=\beta=0^\circ$)

できる。

④表面設置物による効果

Fig. 5に傾斜円柱($\beta=45^\circ$)の表面にそれぞれ矩形突起を設置した場合、フィンを設置した場合、サンドペーパーで覆った場合の振動応答の変化のようすを表す。図に示したように全ての場合において空力的に安定化することがわかる。

⑤円柱後流域流速分布特性

Fig. 6は風速Vのもとでの円柱後流域の平均流速 V_a の関係を風向偏角 β を変化させた場合、傾斜円柱($\beta=45^\circ$)の表面にそれぞれ矩形突起、フィンを設置した場合、サンドペーパーで覆った場合について表したものである。 V_a は円柱背面中心部から2.5mm下流側において円柱軸に垂直に設置したI型熱線流速計で測定

した。その結果 V_a はほぼ円柱後流域軸方向流速に相当する。これは $\beta=0^\circ$ の状態では円柱軸に平行に設置したI型プローブで測った流速が小さかったことやPhoto. 1に示した流れの可視化図に裏づけられる。 V_a 値において、空力的に安定と不安定の境界と考えられる線(破線)を引いた。振動発生風速域において、 V_a 値が主流速Vの60%より大きい場合に空力的に不安定になると考えられる。傾斜円柱を空力的に不安定にする人工リブレットは、円柱背後の軸方向流れをより強くする働きがあると考えられる。一方、サンドペーパーで表面を覆った傾斜円柱は、背後の軸方向流速を減少させることによって安定化されていると考えられる。矩形突起を設置した場合も背後の軸方向流れを減少させることによって安定化されることが考えられるが、その軸方向流れはほぼ安定と不安定の境界あたりである。またフィンを設置したことにより空力的に安定化されるのは、フィンによって円柱背後の軸方向流れを直接減少させたためと考えられる。

3. 結論 傾斜円柱の空力特性とケーブルのRain Vibration発生機構について本研究で得られた結論は以下の通りである。

- (1) 気流に対する偏角をもつ円柱は空力的に不安定化する。その原因は、円柱背後の強く安定した軸方向流れにある。
- (2) 斜張橋ケーブルのRain Vibrationは、すでに基本的に空力的に不安定な傾斜円柱が、気流の乱れによって安定化するものの、限られた風速域において円柱表面に水路を形成することによって再び不安定化されたものである。
- (3) 制振対策としては、円柱背後の軸方向流れを減少させることが有効である。

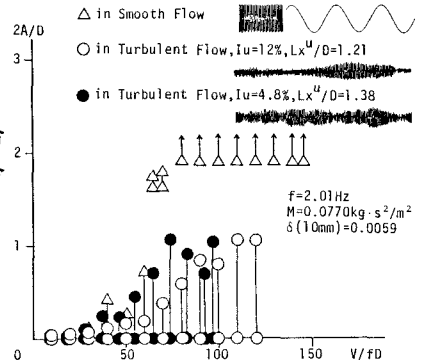


Fig.4 Effect of Turbulent Flow on Response ($\alpha=0^\circ, \beta=45^\circ$)

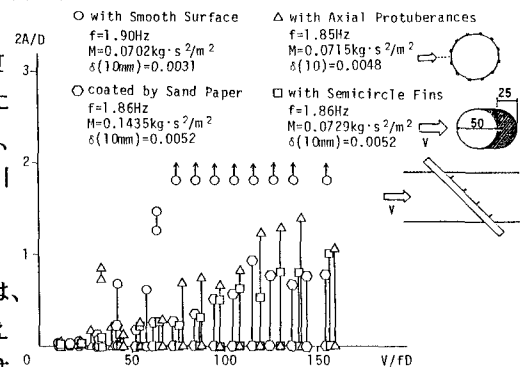


Fig.5 Effect of Various Surface on Response ($\alpha=0^\circ, \beta=45^\circ$)

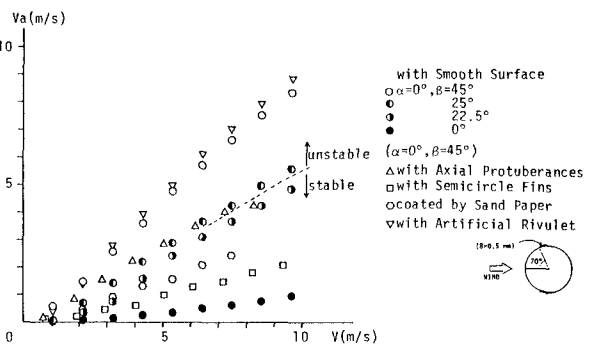


Fig.6 Axial Flow Velocity in Near Wake of Yawed Circular Cylinder