

I-A 243 斜張橋ケーブルのレインバイブレーションに対する乱流の影響

住友重機械工業 総合技術研究所 正員 鹿島 主央 鈴木 義光
住友重機械工業 鉄構機器事業本部 正員 宮崎 正男

1. はじめに レインバイブレーションは、降雨時に斜張橋ケーブルが振動する空力不安定現象である。近年、このレインバイブレーションに対する実橋観測や風洞試験・解析が実施され、その特性やメカニズムの解明が進められている。^{1) 2)} *しかし、その発生条件（風向・風速、水路の位置・形状、ケーブルの表面形状等）には、依然として不明な点が多い。この内のひとつとして、レインバイブレーションに対する乱流の影響がある。そこで、本研究では、乱流の影響の中から主流方向の乱れ強さ I_u が変化したときの、応答振幅を風洞試験により調査した。

2. 試験概要 実験は、既往の結果より、風洞吹き出し口にケーブル供試体を傾斜角 $\alpha=27^\circ$ 、風向角 $\beta=45^\circ$ の正姿勢で設置し、ケーブルが鉛直面内でケーブル軸直角方向へ1自由度振動するように弾性支持した（図-1）。また、ケーブル供試体は、実橋によく用いられるPE被覆ケーブルと同規模（外径 $D=165\text{mm}$ 、長さ $L=3\text{m}$ ）の剛体模型で、材質・表面の状況もほぼ同じ物を使用した。給水はケーブル上端から直接補給する方法を採用し、散水は行わなかった。給水量 Q は、既往の実験結果³⁾ より振動が起こりやすい $Q=0.8\text{l/min}$ とした。乱流は格子を用いて生成した（主流方向の乱れ強さ $I_u=5.8, 10.4\%$ 、乱れと物体のスケール比 $L_u/D \approx 2$ ）。主な実験条件を表-1 に示す。模型のスクルートン数は実橋ケーブルの $1/3 \sim 1/5$ 程度で、比較的模型が振動しやすい条件下で実験が行われたことになる。

3. 試験結果

<振動応答> 図-2.1～2.3 に、応答振幅を示す。一様流中では、風洞風速 $V=6\text{m/s}$ （無次元風速 $V_r=50$ ）と $V=11\text{m/s}$ （ $V_r=90$ ）付近に限定型振動の励振域が観測された（以後、それぞれ第1励振域、第2励振域と呼ぶ）。一方、乱流中では $I_u=5.8, 10.4\%$ の順に励振域が狭くなった。そして、第1・2励振域とも振幅が減少した（図-3）。よって、比較的小スケールの乱流場では、主流方向の乱れ強さを増加させるとレインバイブレーションは安定化されるといえる。ただし、大スケールの乱流場の場合には、同程度の乱れ強さでも安定化の傾向が顕著ではないとの報告⁴⁾ もあり、注意が必要である。

<水路形成> ケーブルが静止しているときに、ケーブル表面に形成される水路位置および水路幅をマーキング位置（ケーブル供試体の上端から $2/3 L$ 下流の位置）を基準に読みとったものを図-5.1～5.4 に、その模式図を図-4 示す。図-5.1, 5.2 に示すように、下面水路は全風速域で存在していることから、第1・2例振域のレインバイブレーションの発生条件になっていると推定できる。一方、上面水路は風洞風速 $V=10\text{m/s}$ 前後から発生する。そして、一様流では上面水路はそれ以降安定的に形成されたが、 $I_u=5.8, 10.4\%$ では $V=13\text{m/s}$ （レイノルズ数 $Re=1.5 \times 10^5$ ）付近で消失している。よって、上面水路は第2励振域のレインバイブレーションの発生条件になっているものと考えられる。発振時の水路の中心位置は、上面水路が $\theta=65 \sim 75^\circ$ 、下面水路が $\phi=90 \sim 130^\circ$ にあり、風速の上昇に伴い下流側へ移動していることがわかる。図-5.3, 5.4 は、水路の幅を示したものである。上面水路は $\Delta\theta=10 \sim 30^\circ$ 、下面水路は $\Delta\phi=15 \sim 45^\circ$ であった。

4. まとめ

- 試験結果より、以下のことが判明した。
①比較的小スケールの乱流場では、主流方向の乱れ強さを増加させるとレインバイブレーションは安定化される
②乱流場でも、水路形成と応答の間には密接な関係がある

参考文献

- 1) 宮崎；第9回風工学シンポジウム論文集，1988 2) 松本他；第13回風工学シンポジウム論文集，1994
3) 北條；風工学会誌第50号，1992 4) 角谷他；第45回土木学会年次学術講演会概要集，1990

表-1 実験条件

外径 D	165 mm
重量 w	18.6 kg/m
振動数 f	0.78 Hz
風洞風速 V	0~20 m/s
無次元風速 V_r	0~155
レイノルズ数 $Re=VD/\nu$	$\sim 2.3 \times 10^5$
スクリーン数 $Sc=(2m\delta)/\rho D^2$	2~3
雨量 Q	0.8 l/min
気流	一様流, $Iu=5.8, 10.4\%$

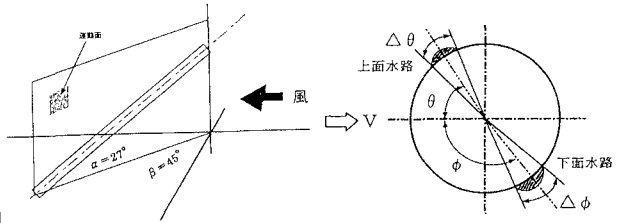


図-1 ケーブルの姿勢

図-4 水路の位置と幅

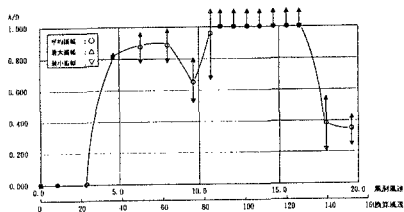


図-2.1 風速と応答振幅の関係（一様流）

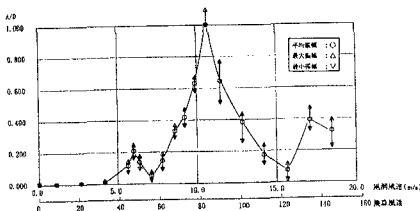


図-2.2 風速と応答振幅の関係（ $Iu=5.8\%$ ）

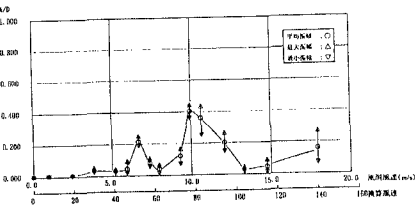


図-2.3 風速と応答振幅の関係（ $Iu=10.4\%$ ）

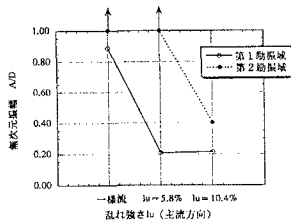


図-3 乱れ強さと応答振幅の関係

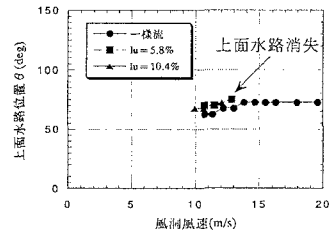


図-5.1 風速と上面水路位置の関係

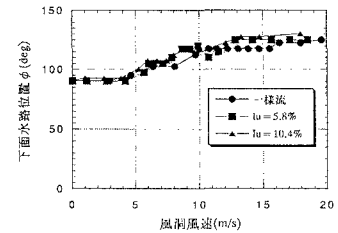


図-5.2 風速と下面水路位置の関係

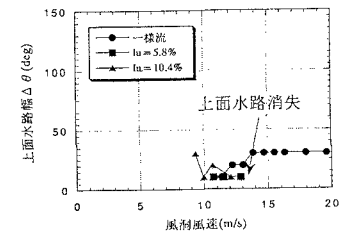


図-5.3 風速と上面水路幅の関係

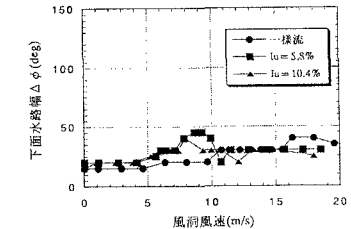


図-5.4 風速と下面水路幅の関係