

立命館大学 理工学部 正員 小林紘士
神鋼鋼線工業（株）吊構造技術部 南良久

立命館大学 大学院 学生員 ○鈴木宣人
神鋼鋼線工業（株）吊構造技術部 三木雅之

1. まえがき 斜張橋ケーブルに発生するレインバイブレーションはその振動振幅が大きいこと、頻繁に発生するなどの点からその原因の解明および対策を必要とする。これまでにレインバイブレーションは主にケーブルが傾斜していることで発生する傾斜気流のもとづく空気力、ケーブル表面を伝って流れる雨水によるリブレットの存在が振動を励起するものと考えられている¹⁾。現在、ケーブル形状を耐風安定性の高い断面とする空力対策は東神戸大橋のみに採用されている。

この報告書は斜張橋ケーブルのレインバイブレーションを押さえる目的としてケーブルの表面に多数の円形の穴を配置したディンプルケーブルを使用し、その静的抗力係数と動的応答特性を調べ、空力安定化を検討するものである。²⁾

2. 実験方法 風洞は立命館大学のゲッチンゲン型風洞（吹き出し口は幅120cm、高さ180cm、流速分布 $\pm 1\%$ 以下、乱れ強度 $\pm 1\%$ 以下）を使用した。表面にディンプルを設けた直径 $D=150$ mm、深さ 1.5 mmのケーブル模型（Fig.1）を鉛直一自由度支持し、一様流中にて試験した。模型姿勢の定義はFig.2に示す。振動の発生しない風速では、模型を強制加振し、解放した後の自由減衰振動を記録した。模型の固有振動数は $f=0.55$ Hzおよび $f=1.01$ Hz、構造減衰率 $\delta=0.002\sim 0.008$ （振動振幅 75 mm $=0.5D$ のとき）、模型重量 $W=57.8$ kgおよび 61.3 kg、スクルトン数 $Sc=2\sim 10$ であった。

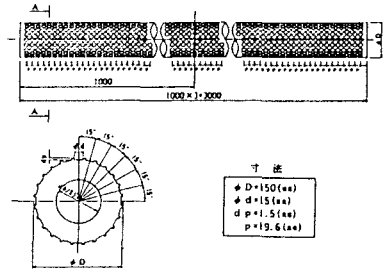


Fig.1 ディンプルケーブル詳細図

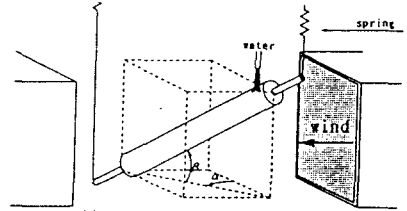


Fig.2 模型姿勢の定義

3. 実験結果と考察

3.1 無雨時のディンプルケーブルの応答

① $f=1.01$ Hzでの応答をFig.3に示す。高風速域で不規則振動とみなされる振動が発生している。いずれの姿勢も無次元倍振幅 $2A/D=0.4$ 以下であり応答振幅に大差なく、特性の比較が困難なので、無次元倍振幅 $2A/D=0.5$ のときの対数減衰率を求め比べることとした。その結果いずれのケースも正減衰が得られている（Fig.4）。

② $f=0.55$ Hzでの応答をFig.5に示す。高風速域で振動が発生するケースがある。風速が 20 m/sを越えた辺りから無次元倍振幅 $2A/D=3.0$ を越える大振幅応答が生じた。

③ $f=1.01$ Hzと 0.55 Hzでの応答を無次元風速で整理をしてFig.6に示す。同じ風速域ではほぼ同様の現象が生じていると考えられる。

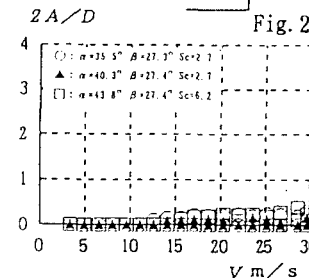


Fig.3 $f=1.01$ Hzの動的応答

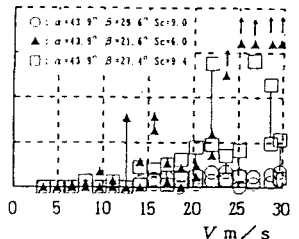


Fig.5 $f=0.55$ Hzの動的応答

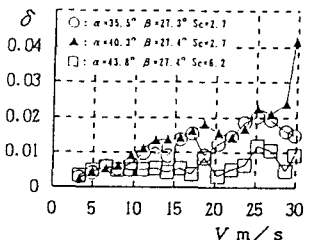


Fig.4 $f=1.01$ Hzの対数減衰率

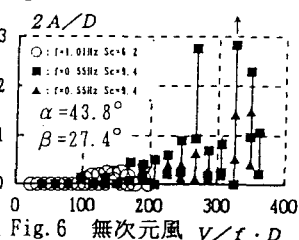


Fig.6 無次元風速 $V/r.D$ と $f=1.01$ Hzおよび $f=0.55$ Hzの動的応答の関係

3. 2 降雨時のディンプルケーブルの応答

ケーブルへの注水方法の影響

ケーブルに降り注ぐ雨のシュミレーションとしてノズルを用いた水の噴射が考えられるが、ケーブルの2次元模型による実験では、高風速域では実ケーブルに認められるような上方からの水の流下を再現できない。ケーブル上方からのビニルホースによる注水を行うことにより十分な水量をケーブルに与えることができ、水路の形成も容易に再現できる。ホース設置位置、注水量によって応答が異なることから、それらを各種設定し、最も危険と考えられる状態を調べた。結果を表1に示す。それらによればケーブル上面の後流側に注水したとき、ケーブル下部の後流側を流下する水量が多くなる。ディンプルの水を吹き飛ばす効果が十分でなくなり、ケーブルが不安定となる傾向が認められた。水路を吹き飛ばす、あるいは乱す目的でディンプルケーブルに「J」状の「バンド」を巻き付けた（Fig. 7）。その結果、バンドの高度が高いほど水がよく吹き飛ばされ、応答に大きく影響することが確認された。特にリング状で高さ $h/D=10/150$ の「バンド」を巻き付けたものが最も安定した（Fig. 8）。

3. 3 静的抗力係数 ケーブル模型を気流に直角方向水平に支持した状態で抗力を測定した。結果を抗力係数に換算し、レイノルズ数との関係求めた（Fig. 9）。その結果、抗力係数は $Re=3 \times 10^5$ まで $C_d=0.67$ と比較的、小さい値のままである。

4. まとめ

- 1) ディンプルケーブルにおいて低振動数（ $f=0.55\text{Hz}$ ）、高風速域（ $V=20\text{m/sec}$ 以上）で無雨時に倍振幅 40cm 以上の大振幅が発生した。
- 2) ディンプルケーブルにおいて十分な注水と注水位置を選ぶことにより振動数 $f=1.01\text{Hz}$ でも水路が形成され、発散的な振動（レインバイブレーション）を生じることがある。
- 3) リング状に平「J」を巻いた場合、水路の水を吹き飛ばす効果があり、安定化の傾向が認められる。無次元高さ $h/D=10/150$ 程度必要と考えられる。
- 4) ディンプルケーブルの抗力係数は $Re=3 \times 10^5$ まで $C_d=0.67$ と低い値を保っている。

参考文献 1) 松本、白石、白土、平井、佐野、佳、第11回風工学シンポジウム論文集、1990年、2) 小林、鈴木、南、三木、土木学会第49回年次学術講演会、1994年、あとがき 本研究を遂行するにあたり、多大な御協力を頂いた立命館大学学生 小川路加君、神鋼鋼線工業 頃安弘氏に改めて深く感謝致します。

項目	風向	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°
上面水路の水量	大	小	無し	無し	無し	無し	無し	無し
下面水路の水量	大	小	無し	無し	無し	無し	無し	無し
上面水路の位置	風速、雨量により変化	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
下面水路の位置	ほとんど変化無し（-150°～165°）	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
$f=1.01\text{Hz}$ 倍2 L=200	×	×	×	×	×	×	×	×
$f=1.01\text{Hz}$ 倍2 L=200	×	×	×	×	×	×	×	×
$f=0.55\text{Hz}$ 倍2 L=10	×	×	×	×	×	×	×	×
$f=0.55\text{Hz}$ 倍2 L=100	×	×	×	×	×	×	×	×
$f=0.55\text{Hz}$ 倍2 L=200	×	×	×	×	×	×	×	×

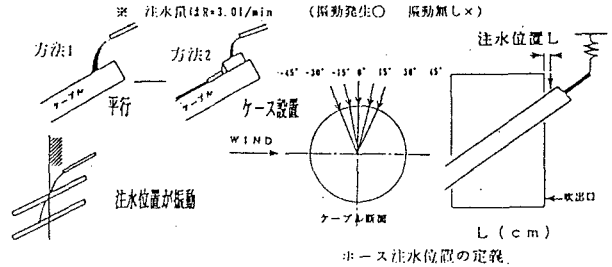


表1. 注水方法の違いによる応答変化

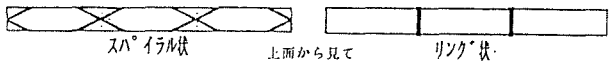


Fig. 7 「J」状の巻き付けたディンプルケーブル

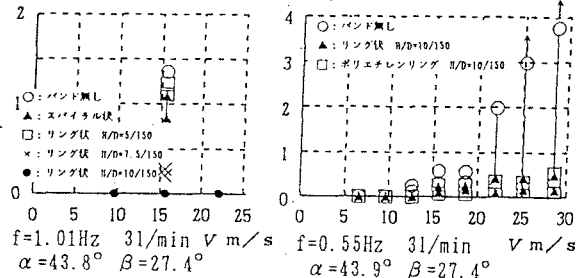


Fig. 8 「J」状の制振効果

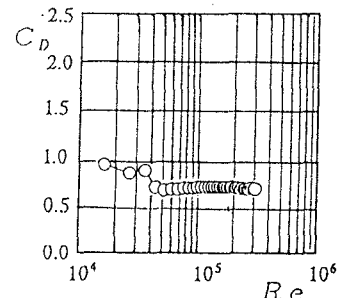


Fig. 9 ディンプルケーブルのレイノルズ数と抗力係数の関係