

表面加工した斜張橋ケーブルの空力特性

立命館大学

正員 小林紘士

立命館大学大学院 学生員 ○鈴木宣人

神鋼鋼線工業

南良久

神鋼鋼線工業

三木雅之

立命館大学大学院 学生員 小川路加

1. まえがき 斜張橋ケーブルに発生するレインパ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対策を必要とする。これまでにレインパ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にもとづく空力、ケーブル表面を流下す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⁾。

この報告書は斜張橋ケーブルのレインパイブレーションを空力的に押さえる目的で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、動的および静的試験を行い、空力安定化を検討するものである²⁾。

2. 動的試験方法 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 $D=150\text{mm}$ のポリエチレンケーブル模型(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 $f=0.55\text{Hz}$ および $f=1.01\text{Hz}$ 、構造減衰率 $\delta=0.002\sim 0.008$ (振動振幅 $75\text{mm}=0.5D$ のとき)、模型重量 $W=57.8\text{kg}$ および 61.3kg 、スクリーン数 $Sc=2\sim 10$ であった。

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 $f=1.01\text{Hz}$ 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 $f=0.55\text{Hz}$ 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 20m/s を越えた辺りから無次元倍振幅 $2A/D=3.0$ を越える大振幅の不規則振動応答が生じた。

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

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

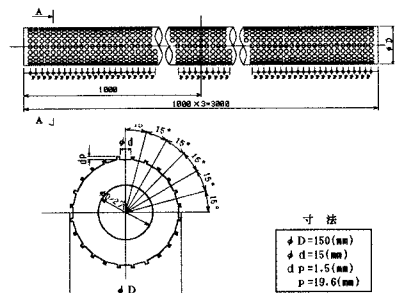


Fig. 1 ディンプルケーブル模型図

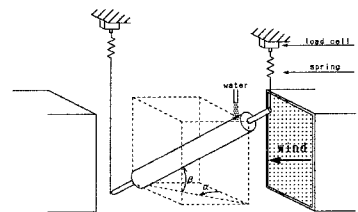
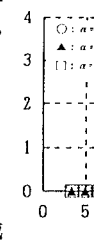
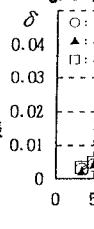
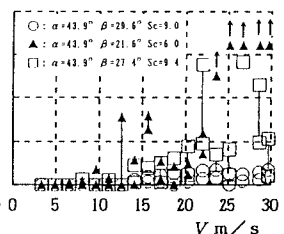
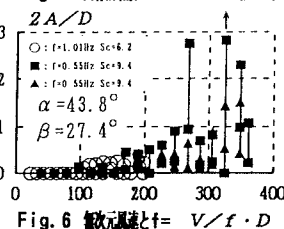


Fig. 2 模型姿勢の定義

$2A/D$

Fig. 3 固有振動数 $f=1.01\text{Hz}$ の動的応答Fig. 5 固有振動数 $f=1.01\text{Hz}$ の対数減衰率Fig. 4 固有振動数 $f=0.55\text{Hz}$ の動的応答Fig. 6 無次元風速と $f=1.01\text{Hz}$ および $f=0.55\text{Hz}$ の動的応答の関係

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、水路の形成も比較的、容易に再現できる。ホース設置位置によりケーブル上面水路の水量、位置が異なることから、それらを各種設定し、最もケーブルが不安定となる状態を調べた（Fig. 7）。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ゴムバンドおよびポリエチレンテープをリング状に巻き付け（Fig. 8）、その応答を調べた。その結果、バンドの高さ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 $h/D=10/150$ のゴムバンドを巻き付けたものが最も安定した（Fig. 9）。

3. 3 静的抗力係数 ディンプルケーブルの高レイノルズ数領域での特性を調べる目的で直径375mmの模型を用いて抗力係数を測定した。風洞高さに対し、過大と思われるが、表面加工の無いときの円柱の C_D と定性的な比較をするにとどめる。その結果はFig. 10に示す通りである。高レイノルズ数領域でディンプルケーブルは円柱とほぼ同じ静的特性を持つものと言える。

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）で無雨時に最大振幅 $2A/D=3.0$ を越える不規則振動が発生した。
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（レインパイブレーション）を生じることがある。
3) リング状に平ゴムを巻いた場合、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高レイノルズ数領域で円形のそれとほぼ同じ傾向を持つ。

参考文献 1) 松本、白石、白土、平井、佐野、桂、第11回風工学シンポジウム論文集、1990年、
2) 小峠、鈴木、南、三木、土木学会第49回年次学術講演会、1994年、

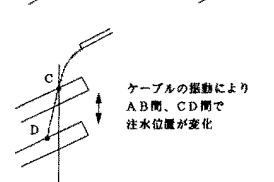
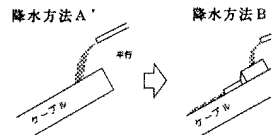
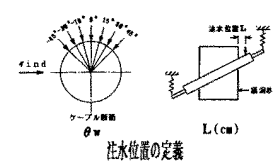


Fig. 7 注水位置

表1. 注水位置の違いによる応答変化

注水位置	-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
下面水路の水量	大	小	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
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
f=1.01Hz 注水 A L=20	×	○					
f=1.01Hz 注水 B L=20		×	×	○	○		
f=0.55Hz 注水 B L=0	×	×	×	×	×	×	×
f=0.55Hz 注水 B L=10	×	×	×	×	×	×	×
f=0.55Hz 注水 B L=20	○	○	○	○	○	○	○

※ 注水量は $R=3.0\text{l/min}$ （振動発生○ 振動無し×

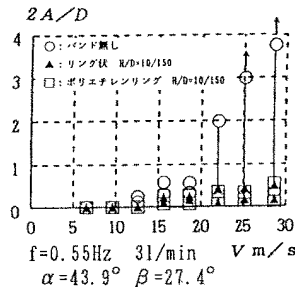


Fig. 9 バンド付きディンプルケーブルの静的応答

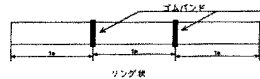


Fig. 8 バンドをリング状に巻き付けたディンプルケーブル

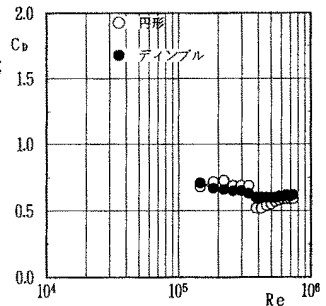


Fig. 10 ディンプルケーブルのレイノルズ数と抗力係数の関係