

ヘリカルワイヤの形状パラメータが ウェークギャロッピング制振効果に及ぼす影響

1070488 岡本 道雄

高知工科大学 工学部社会システム工学科 (〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185)

E-mail:070488d@ugs.kouchi-tech.ac.jp

斜張橋並列ケーブルに発生するウェークギャロッピング制振するためのヘリカルワイヤの効果を調べた。実験にあたっては昨年行われた実験の問題点の改良を加えると共に、位相(Phase)という新しいパラメータを導入した。

実験の結果、ワイヤのピッチ $9D$ 、 $Phase=0^\circ$ の時に最も制振効果が高く、自発応答、加振後に発生する大振幅振動とも完全に抑制できた。 $Phase=0^\circ$ の場合、気流が上下流パイプの間に巻き込まれる断面と巻き込まれない断面が交互に配置されていることが分かった。特性の異なる断面が交互に配置されているという2次元的な説明の妥当性を検証するため、パイプ軸に平行にワイヤを設置した模型を用いた追加実験を行った結果、ヘリカルワイヤの場合とは逆の現象が生じた。ヘリカルワイヤでは軸方向流が発生していることが可視化から分かっているので、今後この軸方向流が制振効果に及ぼす影響を検討する必要がある。

Key Words : ウェークギャロッピング ヘリカルワイヤ 軸方向流

1. はじめに

並列に張られた斜張橋ケーブルにおいて、風による複雑な振動を示すことが報告されている。即ち上流側ケーブルの背後にできる後流(ウェーク)中に下流側ケーブルが置かれている場合に、主として下流側ケーブルに複雑な振動が発生する。この現象をウェークギャロッピングという。

斜張橋において、ケーブルはその構造系を成立させるための主要な部材であり、ケーブルの振動(ウェークギャロッピング)は運転者、歩行者に不安感を抱かせるといった問題を含め、斜張橋の使用性を損なうばかりでなく、定着部の疲労といった安全性に関しても問題が発生する可能性がある。これを制振するためダンパーやスパーサー、ワイヤによるケーブル連結等の対策が採用されているが、大きな振幅の振動のためにワイヤ等が短期間の内に破損してしまうといった問題があり、ウェークギャロッピングを制振する有効な設計法は現在のところ確立していない。

2. 目的

昨年の実験からヘリカルワイヤがウェークギャロッピングの制振効果を持つことが確認されている。報告ではワイヤをどのように巻いても自発振動は完全に制御できること、加振後に発生する大振幅の振動もワイヤのピッチを $7D$ とし、上下流の模型のワイヤを同方向にまけば制御できることが明らかにされている。しかし、この巻き方の時に特に制御効果が高い理由は不明である。また実験パラメータの数が少なく、ワイヤの幾何的形狀精度も高いとは言えないなど、ヘリカル

ワイヤの制振効果を調べるには必ずしも十分とは言えないところもあったように思われる。本研究ではこれらの問題に改良を加え、ワイヤの巻き方が制振効果に及ぼす影響を詳細に検討することを目的とする。

3. 実験方法

実施した実験は、上流側円柱は固定とし下流側円柱のみをバネにより弾性支持した2次元模型による1自由度振動実験である。両円柱は仰角、偏角ともに 0° とし、風洞内に平行かつ水平に配置した。また自由度方向は風向に対し直角方向のみである。ケーブル模型には、直径(D) 32mm 、円柱長 800mm の市販アルミ製パイプを使用し、スパン 500m 程度の鋼斜張橋ケーブルを想定して、単位長さあたり重量を 2.6kg/m に設定した。パイプの表面に直接に直径 4mm の円形断面を持つゴムスポンジを、 nD のピッチで円周上に3本配置した。

昨年の実験では、パイプの間隔は $3D$ のみ、ヘリカルワイヤのピッチは $3D$ 、 $5D$ 、 $7D$ であったのに対し、今回の実験ではパイプの間隔を $3D$ 、 $4D$ 、 $5D$ に増し、またヘリカルワイヤのピッチは $7D$ 、 $9D$ 、 $11D$ とした。上流側のパイプはその場でパイプ軸まわりに回転できるようにして、位相を変化させた。両パイプのヘリカルワイヤの位置が同一の時を $Phase=0^\circ$ とし、そこから 30° と 60° 回転した時をそれぞれ $Phase=30^\circ$ 、 $Phase=60^\circ$ とした。変位は上バネ上部に設置したロードセルによって測定した。データはパソコンに取り込み、 rms 値の $\sqrt{2}$ 倍を振幅とした。なお巻き方は、両パイプとも時計回りとした。

実験では、静止状態から空気力だけによって発生す

る振動、および手で振幅 2D まで加振した後に観測される定常振動の両方を計測した。便宜上、以下では前者を自発応答、後者を加振時応答ということにする。

また、ヘリカルワイヤ付近での風の流れを見るため、細い棒の先に糸をつけ、それでヘリカルワイヤ付近の気流を観測することにした。

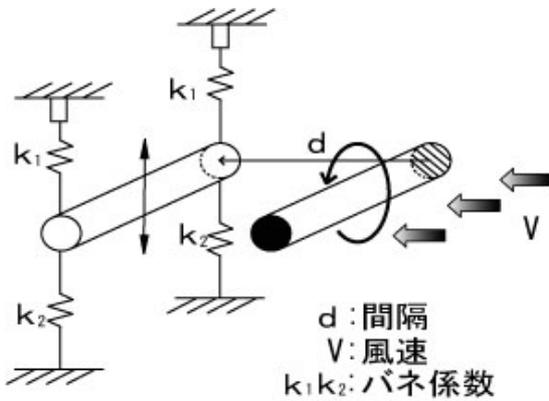


図1 実験方法

表1 ヘカルワイヤ設置による応答実験 実験条件	
円柱径 D (mm)	32
円柱長 (mm)	800
固有振動数(Hz)	2.86
円柱間隔	3D 4D 5D
位相	0° 30° 60°
ヘリカルワイヤ径(mm)	4
ピッチ	7D 9D 11D
円周上ワイヤ数	3
実験風速 (m/s)	1~11.5



写真1 Pitch=11D Phase=0° 間隔3D

4. 応答測定結果

4.1 Phase=0° の場合の応答

Phase=0° の場合の応答を図2、3、4に示す。間

隔3Dで、ピッチが7Dおよび11Dの場合のみ約9m/s以上の高風速で加振後に大振幅の振動が発生した。これ以外の間隔、ピッチでの加振後応答、および自発応答は完全に抑制されている。なお間隔3D、ピッチが7Dおよび11Dでは加振後応答だけが発生していることから、これより振幅が小さいところに不安定なリミットサイクルが存在することになるが、その振幅は測定していない。

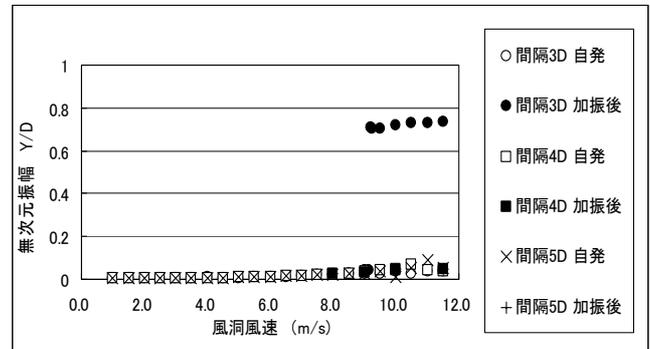


図2 風速と応答振幅 (Phase=0° Pitch=7D)

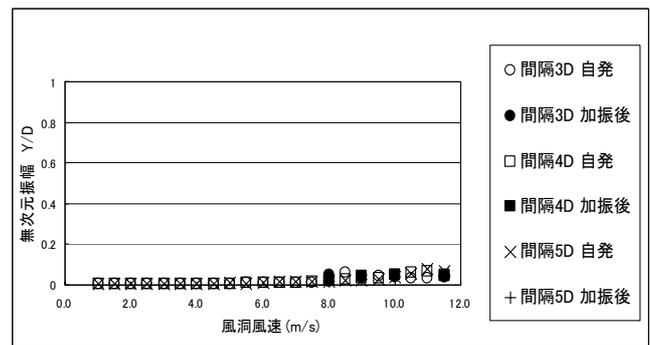


図3 風速と応答振幅 (Phase=0° Pitch=9D)

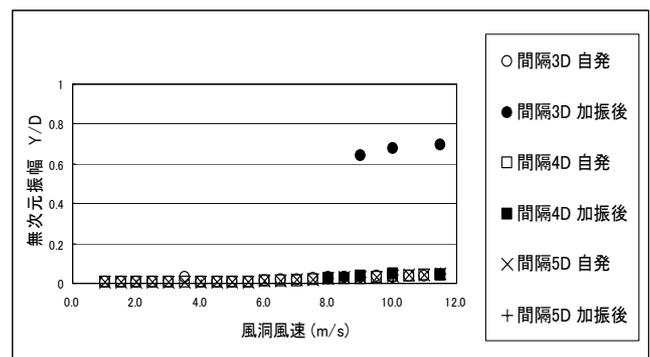


図4 風速と応答振幅 (Phase=0° Pitch=11D)

4.2 Phase=60° の場合の応答

Phase=60° の場合の応答を図5、6、7に示す。図から明らかなように全ての場所で振動が発生している。自発応答と加振後応答の振幅には有意な差はなく、両応答は同じものであると考えられる。言い換えれば極めて安定なリミットサイクルと言えよう。またどのケースにおいてもパイプの間隔の減少と共に振幅が増加する傾向が見られる。

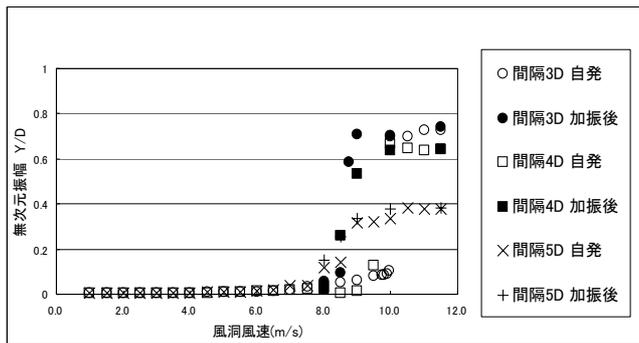


図5 風速と応答振幅 (Phase=60° Pitch=7D)

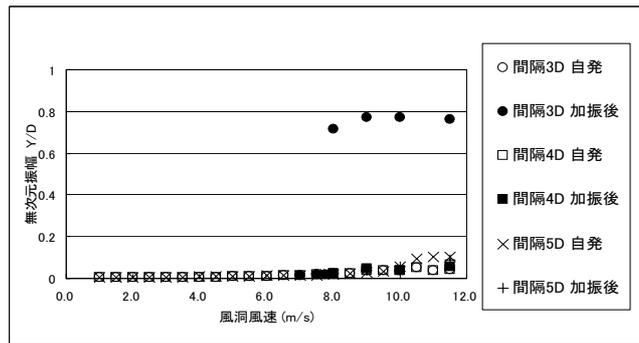


図8 風速と応答振幅 (Phase=30° Pitch=7D)

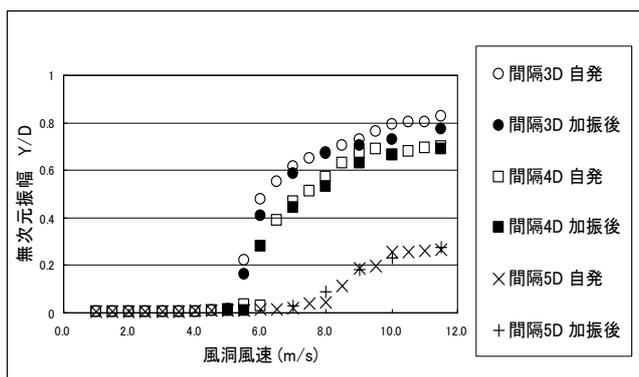


図6 風速と応答振幅 (Phase=60° Pitch=9D)

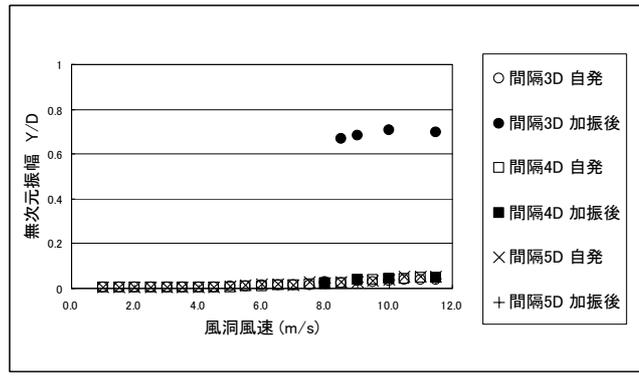


図9 風速と応答振幅 (Phase=30° Pitch=9D)

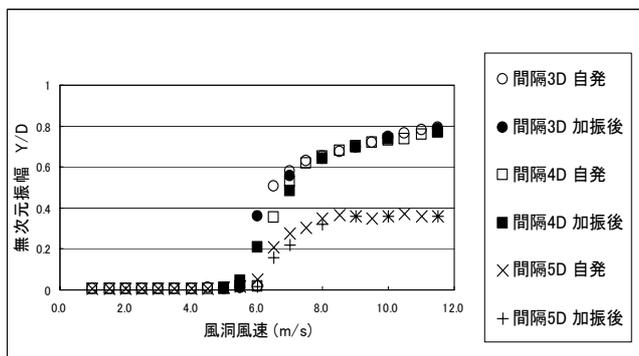


図7 風速と応答振幅 (Phase=60° Pitch=11D)

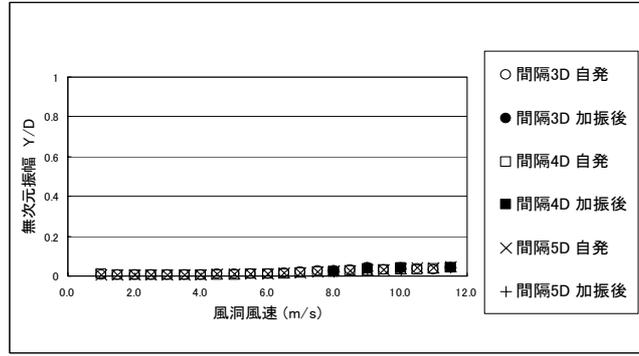


図10 風速と応答振幅 (Phase=30° Pitch=11D)

4.3 Phase=30° の場合の応答

Phase=30° の場合の応答を図8、9、10に示す。Phase=30° は位相角という意味ではPhase=0° と60° の中間ではあるが、図から分かるように応答特性はPhase=0° の場合に近い。間隔3Dで生じる大振幅振動がPhase=0° ではPitch=7D、11Dで生じていたのに対してPhase=30° ではPitch=7D、9Dで生じている点だけがPhase=0° の場合と異なる。

5. 応答測定の結果

応答測定の結果、Phase=0°、30° では一部のケースを除いてワイヤが高い制振効果を示したのに対し、Phase=60° では全てのケースで高風速での振動が発生した。Phase=30° の特性はPhase=0° の場合に似ているので、ここでは代表的なワイヤの配置であるPhase=0° とPhase=60° について考える。パイプ軸に垂直な断面で考えると、Phase=0° では上下流のパイプの同じ位置にワイヤが配置される。従ってある部分では図11A-A部のようにパイプ周辺の流れに大きな影響を及ぼす剥離点付近に両パイプともワイヤが配置され、別の部分ではB-B部のように両パイプともワイヤがない状態になる。絹糸を用いて可視化した結果、A-A部では剥離流が両パイプの間に激しく巻き込み、B-B部では巻き込まずに一般流とほぼ平行に流れていることが分かった。このように特性の異なる流れが軸方向に交互に存

在するのがPhase=0°の特徴であり、制振効果と何らかの関連があると思われる。なお可視化によれば、図12のようにワイヤ付近の流れはワイヤに垂直になっていて、いわゆる軸方向流が存在していることが分かった。ケーブル振動では軸方向流の影響が大きい場合もあることが知られているので、ヘリカルワイヤの制振効果に影響している可能性も考えられる。

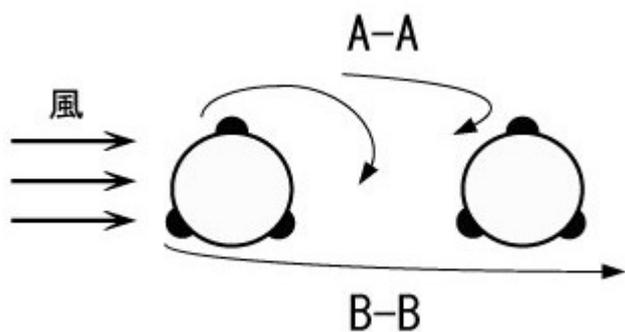


図11 断面においてヘリカルワイヤによるパイプ周辺の気流 (Phase=0°)

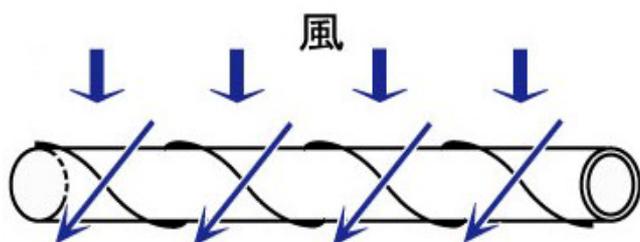


図12 ワイヤによる軸方向流



写真2 風のパイプ付近の流れ (A-A部)



写真3 風のパイプ付近の流れ (B-B部)

6. 追加実験

パイプ軸に垂直な断面内の形状という2次元的な考え方で、ワイヤの制振効果を説明できるかどうかを調べるため、写真4に示すようにパイプ軸に平行にワイヤを設置したモデルによる実験を行った。図11のA-A部、B-Bを交互に配置したモデルとも言える。パイプ間隔は3D、ヘリカルワイヤのPitch=9Dに対応するようにワイヤの長さを4.5Dとしたケースに限定して実験した。実験の結果、ヘリカルワイヤの場合とは逆にPhase=60°では振動が発生せず、Phase=0°で高風速での振動が生じた。今回の実験では現象が逆転した理由は明らかに出来なかったが、ヘリカルワイヤの設置時に見られた軸方向流の影響も考慮する必要があるように思われる。



写真4. Pitch=4.5D Phase=0° 間隔3D でワイヤを平行に設置

7. 結論

- ① ヘリカルワイヤの制振効果はPitch=9D、Phase=0°の時が最も高い。
- ② この時両パイプに流れを巻き込む断面と巻き込まない断面が交互に存在する。
- ③ 断面変化を2次元的に表現したモデルの応答は、ヘリカルワイヤの場合と逆になる。
- ④ ヘリカルワイヤによる軸方向流の存在が、応答特性に影響している可能性がある。

<参考文献>

- ・田中 佑典：ヘリカルワイヤによるウェークギャロッピングの制振 高知工科大学卒業論文 2005年
- ・建設省土木研究所：共同研究報告書 第134号 斜張橋並列ケーブルのウェークギャロッピング制振対策検討マニュアル (案) 平成7年9月 P.10~14