

突起付ケーブルのギャロッピング特性

1080477 田中千喬

高知工科大学 工学部社会システム工学科

ヘリカルワイヤによるウェークギャロッピングの制振メカニズムに関する研究の中で突起付ケーブルが特異な応答を示すことが報告されている。本研究では、この突起付ケーブルの応答特性を調べた。振動実験の結果Position=±1.5D以上では大振幅の振動応答が見られた。そのため単独ケーブルによる振動実験を行ったが同様に振動応答が見られた。この振動は自励的空気力によって生じるギャロッピング現象であると考えられる。

Position=±1.0D以下では振動応答が見られなかったがPosition=±0.5D、Phase60°のみ振動応答が見られた。そのためケーブル周りの風の流れを見るため油膜法による可視化実験を行った。可視化結果からPosition=±0.5D、Phase60°ではギャップフローらしき流れが確認され、この振動は従来のウェークギャロッピングである可能性が高いと思われる。Position=±1.0D、Phase0°は上流のウェーク内であるがギャロッピングもウェークギャロッピングも発生しなかった。今回の可視化実験ではその原因まで解明出来なかった。

Key Words : 突起付ケーブル ギャロッピング ウェークギャロッピング

1. はじめに

並列に張られた斜張橋ケーブルにおいて、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応答が報告されている。この現象をウェークギャロッピングと言う。振動発生メカニズムには未だに不明な部分もあり、従って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. 既往研究

昨年度の実験結果ではヘリカルワイヤにおいてワイヤ付近の流れはワイヤに垂直に流れ、いわゆる軸方向流が存在していることが分かった。そのため軸方向流が存在し得ないと思われる完全な2次元モデルを作成し実験した。この2次元モデルを突起付ケーブルと呼ぶことにする。突起付ケーブルの振動実験では振動応答が見られなかった。

しかし、突起付ケーブルは上下非対称で空気力学的に望ましくない形状であり、上下流ケーブルの相対変位をずらした時に振動応答が見られることも予想された。そのため突起付ケーブルの揚力を測定した。その結果揚力曲線は非対称でヘリカルワイヤとは全く異なる特性であることが分かった。本研究では突起付ケーブルの振動特性の解明を目的とする。

3. 振動実験方法

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自由度振動実験を実施した。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とした。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500mm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。固有振動数を2.88Hz、実験風速を1m/sから11m/sとした。また両円柱間隔は3D、4Dとした。パイプの表面に直接に直径5mmの円形断面を持つゴムスポンジを、円周上に平行一直線に3本配置した。上流側のケーブルはその場でケーブル軸まわりに回転できるようにして、位相を変化させた。両ケーブルのワイヤの位置が同一の時をPhase=0°とし、そこから60°回転した時をPhase=60°とした。又、上流側のケーブル位置(高さ)を下流側ケーブルと同じとした時をPosition=0Dとし、そこから上下方向に0.5D、1.0D、1.5D、2.0D、3.0D、4.0Dにずらした時をそれぞれPosition=±0.5D、±1.0D、±1.5D、±2.0D、±3.0D、±4.0D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。

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、および手動で振幅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。

図1に実験のセッティングを、写真1に実験の様子を示す。

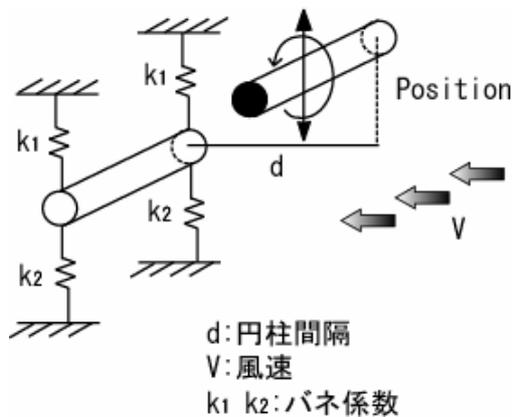


図1 振動実験模型の簡略図



写真1 Position=-4.0D, Phase60° 間隔3D

4 振動実験の応答測定結果

今回の振動実験の結果を図2から図14に示す。その結果、間隔3D、4D共にPosition=±1.5D以上に大振幅の振動が発生した。Position=±1.0D以下では傾向として振動応答が殆ど見られなかった。Position=±4.0D付近になると上流側ケーブルのウェークの影響は少ないものと思われた。そのため下流側ケーブルのみで振動実験を行った結果、大振幅の振動応答が見られた。

Position=±4.0D付近の振動応答はウェークギャロッピングとは異なる振動で図15に示す突起付ケーブルの揚力負勾配に起因する自励的空気力によって生じる発散的な振動であるギャロッピング現象であると考えられる。

間隔3Dと間隔4Dを比較して図5から

Position=+1.5Dでは振動応答が見られなかった。これは図16に示す様に上流側で剥離した後流(ウェーク)の幅が距離に比例して広がるため下流側ケーブルが後流内に入り両ケーブルの間に収束する流れ(ギャップフロー)が生じないためと考えられる。

Position=±1.0D以下の殆どのケースでは振動応答が見られなかったが、Position=±0.5D, Phase60°では振動応答が見られた。この振動はPosition=±4.0D付近の様な自励振動とは異なる振動である可能性がある。そのため振動発生が見られないPositionと振動発生が見られたPositionでの風の流れを調べるため油膜法による風の可視化実験を行った。

図4のPosition=+1.0D, Phase0°、間隔3D、自発の応答は微振動発生による計測誤差であると考えられる。又、図6の間隔3D、Position=+2.0Dと図14の間隔3D、Position=-4.0Dは微振動による影響で振動応答が見られず正確な数値を計測出来なかった。

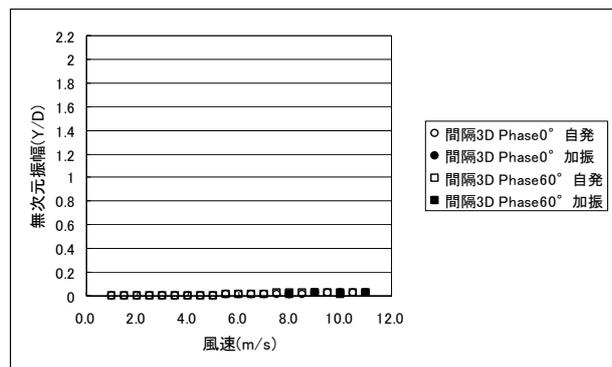


図2 上流側円柱Position=0Dの場合の振動振幅

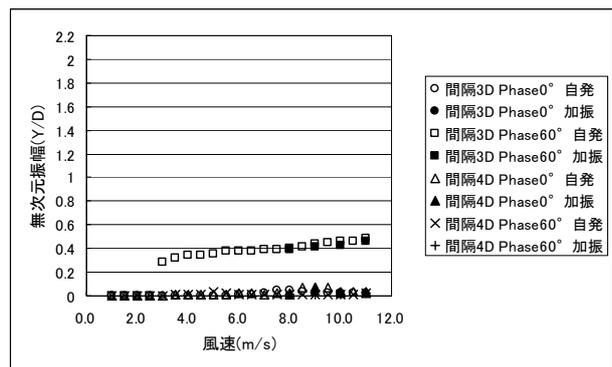


図3 上流側円柱Position=+0.5Dの場合の振動振幅

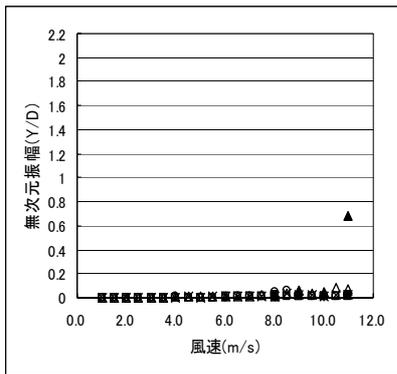


図 4 Position=+1.0Dの振動振幅

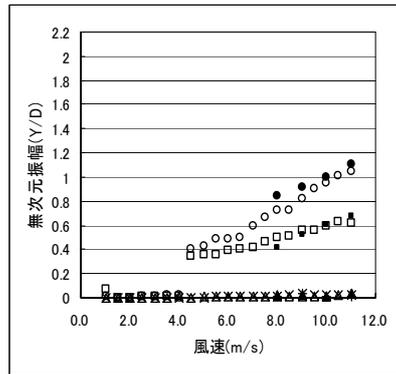


図 5 Position=+1.5Dの振動振幅

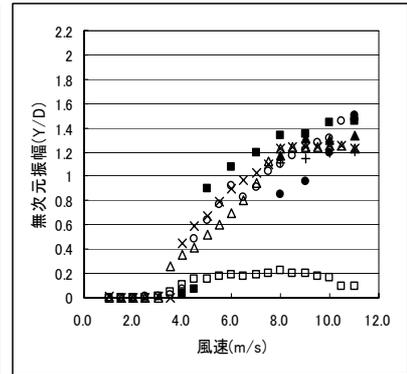


図 6 Position=+2.0Dの振動振幅

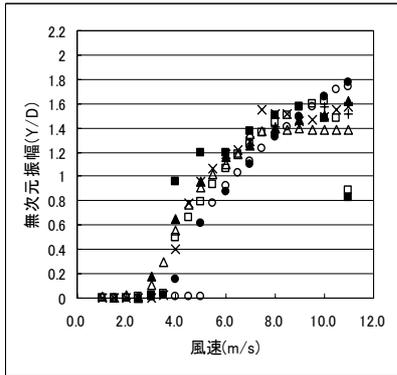


図 7 Position=+3.0Dの振動振幅

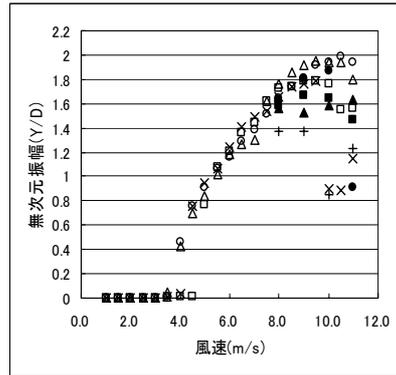


図 8 Position=+4.0 Dの振動振幅

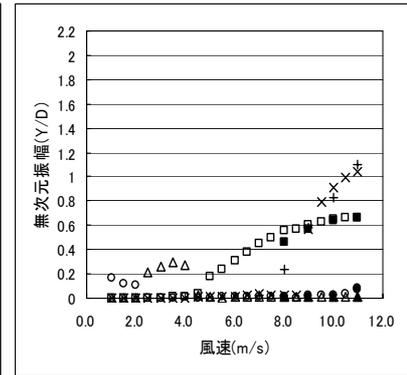


図 9 Position=-0.5Dの振動振幅

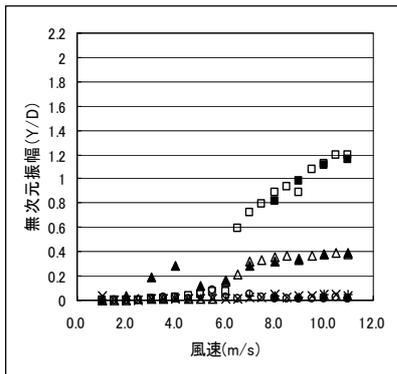


図 1 0 Position=-1.0 Dの振動振幅

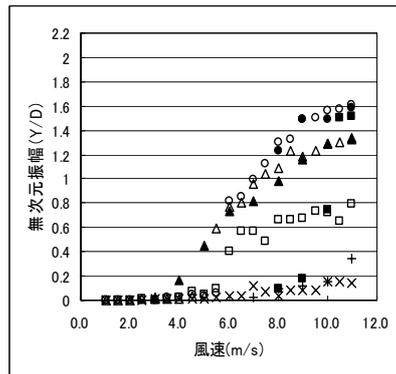


図 1 1 Position=-1.5 Dの振動振幅

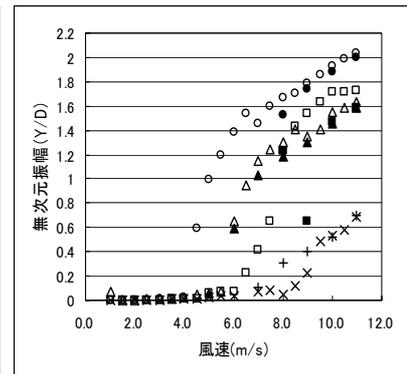


図 1 3 Position=-2.0 Dの振動振幅

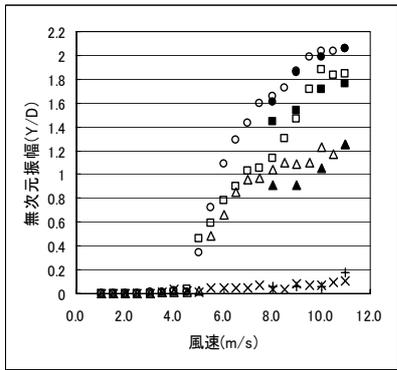


図 1 3 Position=-3.0 Dの振動振幅

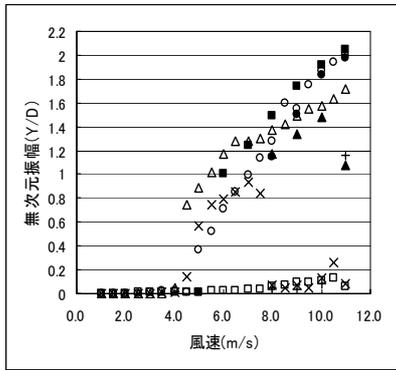


図 1 4 Position=-4.0 Dの振動振幅

(注) 凡例は図 4 から 図 1 4 までは図 3 と同じとする。

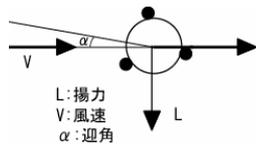


図 1 5 突起付ケーブルの揚力特性

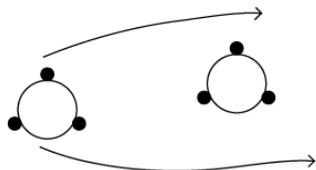


図 1 6 間隔4Dの場合のケーブル周りの風の流れ

5 油膜法による風の可視化実験方法

風洞内の床に置いた900mm×800mm、厚さ4mmの亚克力板の上に煤とオリーブオイルを混ぜた油膜を塗った。その上に直径(D)32mm、円柱長200mmの市販アルミ製パイプのケーブル模型を上下流の位置に配置した。風で転倒、移動を防ぐために円柱内にそれぞれ約1kgの重りを詰めた。風を流してPositionを変える都度刷毛により表面の油膜を均一に塗り直した。尚、今回の実験では風速による違いを重要視しないため風速を9m/sのみとした。

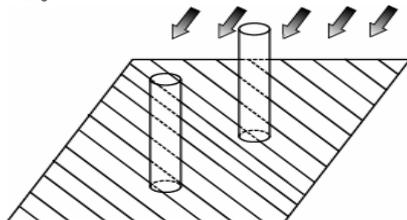


図 1 6 油膜実験模型の簡略図

6 油膜法の結果

油膜法の結果では振動が発生したPosition=-0.5D、Phase60°では写真2が示す様にウェークギャロッピングの発生原因である上流側ケーブルからの風が両ケーブル間の間に収束する流れ、ギャップフローと思われる流れが確認出来る。又、上流側ケーブルの後ろ側には黒い油膜が溜まっており圧力もしくは風速が低いものと考えられる。

振動が発生し無かったPosition=-1.0D、Phase0°は、写真3の可視化結果より一見するとPosition=-0.5D、Phase60°と類似した風の流れであるがPosition=-1.0D、Phase0°では上流側パイプから剥離した風の流れがケーブル間に流れ込まず真っ直ぐ流れている様に見える。Position=-1.0D、Phase0°はギャロッピング、ウェークギャロッピング共に発生し無い。その原因までは今回の油膜法による可視化では説明出来なかった。

Position=-4.0D、Phase0°では写真4に示す様に上流側ケーブルの影響が少なく、上下流共に剥離した風は対称な形となっている。この結果は、

振動が単独ケーブルのギャロッピングであるという推測を裏付けるものと言える。

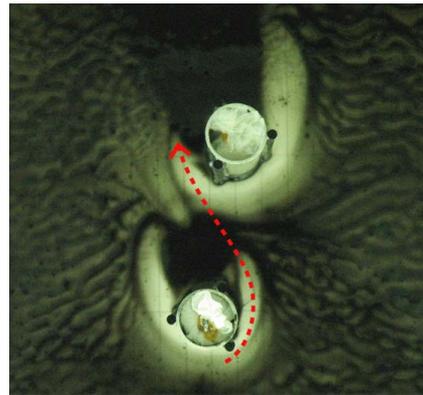


写真 2 Position=-0.5D、Phase60°の可視化結果

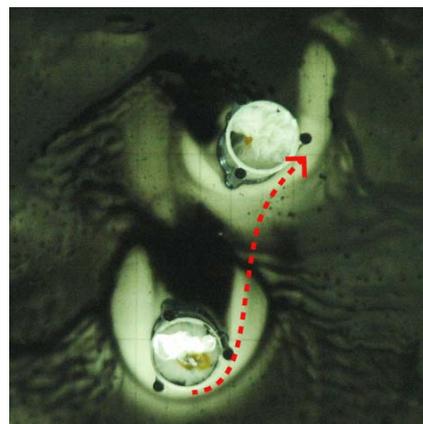


写真 3 Position=-1.0D、Phase0°の可視化結果



写真 4 Position=-4.0D、Phase0°の可視化結果

7 結論

- ① 突起付ケーブルはPosition=0Dの時には振動しない。
- ② 間隔4Dではウェーク内に下流側ケーブルが入り振動が発生しないケースがある。
- ③ 突起付ケーブルは上下非対称であるため自励振動であるギャロッピングが発生する。
- ④ Position=±1.0D、Phase0°のは上流のウェーク内であるがギャロッピングもウェークギャロッピングも発生し無かった。
- ⑤ Position=±0.5D、Phase60°における振動は従来のウェークギャロッピングと思われ、ギャップフローらしき流れが確認された。