

高知工科大学 学生員 ○八木 悟
 高知工科大学 西森敬晃
 高知工科大学 正員 藤澤伸光

1. はじめに

ウェークギャロッピングは、他の空力振動と異なり、その発振風速が無次元風速で整理できない可能性があるとの報告があるが¹⁾、そのメカニズムは明らかでない。筆者等は、励振メカニズムを明らかにするために非定常圧力分布などの測定を計画しているが、それに先立って 2 次元模型による自由振動実験を実施した結果、ケーブル間隔によってギャロッピングの振動特性が顕著に変化することが明らかになったので、その概要を報告する。

2. 実験方法

上流側ケーブルは固定とし、下流側ケーブルのみを弾性支持したたわみ 1 自由度実験を実施した。ケーブル模型には、外径 $D=32\text{mm}$ の市販アルミ製パイプを使用した。表面はアルミの地肌のままであり、特別な加工・処理等は施していない。スパン 500m 程度の鋼斜張橋ケーブルを想定して、単位長さ当たり質量は 2.6kgf/m に設定した。付加減衰は特に与えていない。質量・減衰パラメータは約 70 であった。

ケーブル中心間隔は 2D, 3D, 4D の 3 ケースとした。また、現象が無次元風速に支配されるか否かを調べるために、固有振動数を 2 段階に変化させて実験を行った。実験気流は一樣流である。基本的な実験条件を表 1 に示す。

実験では、特に加振減衰器などは用いず原則として風速を増加させながら自由振動応答を測定した。ただし、一部の不安定なリミットサイクルが存在するケースでは、手動で加振した。

3. 実験結果

表一 実験条件

振動数	2.51Hz	3.22Hz
対数減衰率	0.004	0.003
質量・減衰パラメータ	76.11	68.66
ケーブル間隔	2D 3D 4D	
実験風速	0.5~12m/s	
レイノルズ数	$\sim 2.6 \times 10^4$	

ケーブルの応答と風速の関係を図 1, 2 に示す。両図とも同じ実験結果をプロットしたものであるが、図 1 の横軸は風洞風速、図 2 の横軸は無次元風速である。また、縦軸はいずれもケーブル径で無次元化した応答振幅である。図から、一見して明らかなように、対風応答特性はケーブル間隔によって大きく変化する。

間隔 3D, 4D の場合 間隔 3D, 4D では振幅は風速とともに単調に増加し、いわゆるソフト型の応答を示す。実験では、風速を徐々に増加させながら応答を測定した後、実験最大風速から風速を減少させながら振動が停止するまでの応答も測定した。図には風速増加時の応答と減少時の応答を区別せずにプロットしてあるが、実験時の観測によれば、発振風速より停止風速の方が若干低いようである。なお、間隔 3D では、振動応答振幅は風速とともにほぼ直線的に増加し、実験風速内では最大応答が求められていないのに対して、間隔 4D では風速 9m/s 付近から増加率が鈍り、一定値に収束するような傾向が見られる。

間隔 3D の場合について図 1 と 2 を比較すると、風洞風速で整理した場合、固有振動数の異なる 2 つの実験の振幅にかなりの差が認められるのに対して、無次元風速で整理すると両実験の結果はよく一致する。従って、ウェークギャロッピング応答特性は無次元風速に支配されると考えるのが妥当であろう。発振（停止）風速に関しては、風洞風速で整理した方が両実験の結果が一致するように見えないこともないが、実験精度などを考えれば速断はできない。間隔 4D の場合も定性的には同様である。

間隔 2D の場合 間隔 2D では、同一風速において 2 個、あるいは 3 個の振幅が観測される典型的なハード型応答が生じた。したがって、この場合の空気力は極めて複雑な振幅非線形性を有するものと考えられる。

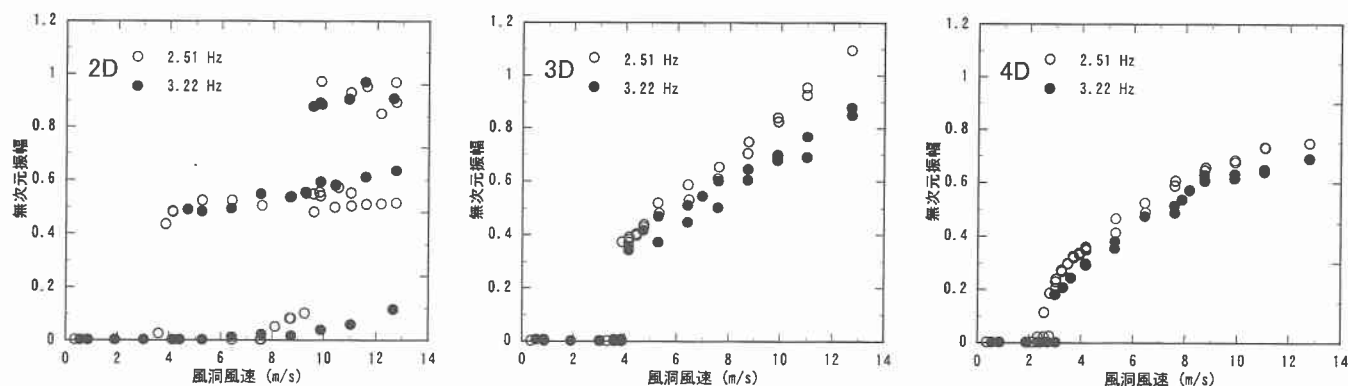


図 1 風洞風速と応答

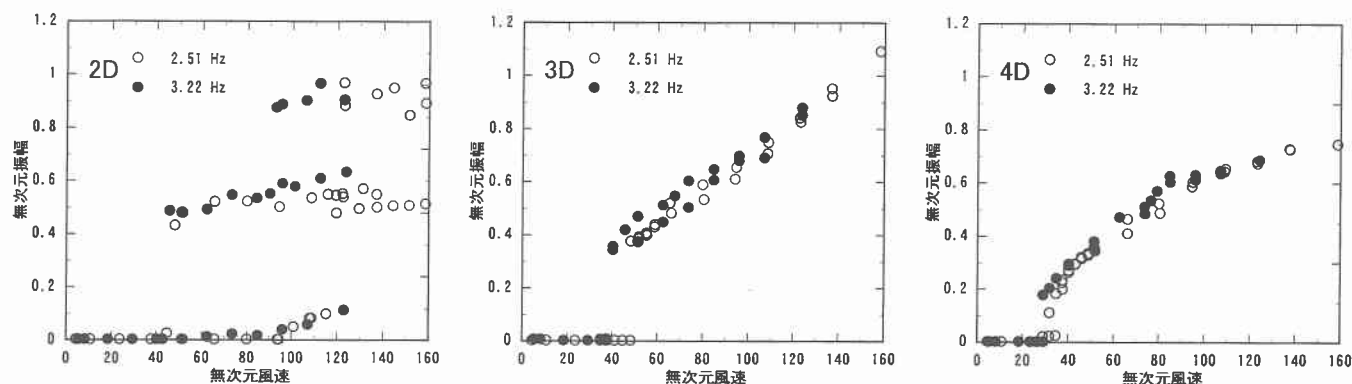


図 2 無次元風速と応答

図 1 の固有振動数 2.51Hz の場合に生じた現象について説明する．低風速から徐々に風速を増加させると，風洞風速 9.5m/s 付近で無次元振幅約 0.6 の振動が生じる（中振幅）．この状態で風速を増加させても振幅はほとんど変化しない．また，逆に風速を減少させた場合も，振動停止風速（約 4m/s）まで振幅はほぼ一定である．停止風速を超えて風速を低下させると初期の振動停止状態に戻る．一方，中振幅の発振風速である 9.5m/s 以上の風速で手動加振を行うと，無次元振幅約 1 弱の大振幅の振動が現れる．この振動も風速変化に対して振幅はほぼ一定である．大振幅振動が生じている状態で風速を低下させると，約 9.5m/s で振動は停止し，中振幅振動に移る．この大振幅の停止風速は，中振幅の発振風速にほぼ等しいが，後述のように両者は別の現象であって一致する必然性はない．なお，固有振動数 3.22Hz の場合は，実験風速の上限まで中振幅への発振が生じなかった．換言すれば，中振幅発振風速は 13m/s 以上である．一方，大振幅振動の停止風速は約 9.5m/s であり，両風速が一致していないことは

参考文献

- 1) 藤澤伸光：「並列ケーブルのウェークギャロッピングに関する一実験」，第 13 回風工学シンポジウム論文集，1994

明らかである．この中間の風速域では，合計 3 個の安定な応答が観測される．

間隔 2D の場合，振動発現後の振幅に対する風速の影響は小さく，風速によらずほぼ一定振幅をとるため，振幅の面から現象が風洞風速に支配されるのか，無次元風速に支配されるのかは考察できない．また，前述のように，中振幅への発振風速が捉えられていないので，発振風速からの考察も行えない．よって，間隔 2D の場合，振動停止風速だけが唯一の有意な情報となる．図 1，2 の比較から，大振幅の停止風速は明らかに風洞風速に支配されていると言えよう．中振幅の停止風速は，間隔 3D 以上の場合と同様，どちらとも断定はできないように思われる．

4. 結論

- 並列ケーブルは，ケーブル間隔 2D の場合と 3D 以上の場合で顕著に異なった応答を示す．
- 間隔 2D の場合の大振幅振動は，無次元風速で整理できない可能性が高い．その他の応答はほぼ無次元風速で整理可能ではないと思われる．