

I-534

並列ケーブルのウェークギャロッピングに関するタウトストリップ実験

NKK 正会員 藤澤伸光

まえがき 並列ケーブルのウェークギャロッピングに関する既往の研究では、上流側のケーブルを固定し、下流側のみ鉛直方向に弾性支持した部分模型による実験が多いようであるが、このように、予め自由度を拘束した実験では、重要な現象を見落とす虞れもあるように思われる。そこで、本研究では、できるだけプリミティブな形で現象を再現し、ウェークギャロッピングの、現象としての全体的な特徴を把握することを目的として、タウトストリップ実験を行なった。

実験方法 上下流ケーブルとも、直径1.2mmの緊張したステンレス縋り線にバルサ製の外形材を付したタウト模型とした。模型の主要諸元を表1に示す。実橋としてスパン500m前後の鋼斜張橋を想定した場合、スクルトン数は約1/10程度となっており、現象が発現し易い条件下での実験と云える。実験にあたっては、特に加振器等は用いず、原則として送風時の自由振動応答を測定したが、一部の実験では、手動で加振した後の応答を観測した。後述するように、本実験では多数のモードの応答が同時に発現することから、中央から若干外れた位置(9.5/24L点)にターゲットを設けて光学式変位計で変位応答を計測し、フーリエスペクトルから各モードの振幅を求めた後、正弦モードを仮定してモードの腹の位置での振幅に換算した。

応答の特徴とケーブル間隔の影響 典型的な応答の例として、ケーブル中心間隔が2D(Dはケーブル直径)で、固有振動数が上下流ケーブルとも5Hzの場合の、下流側ケーブルの一樣流中での応答を図1に示す。横軸は風洞風速、縦軸はケーブルの直径で無次元化した振幅である。風速の増加に伴う応答の変化は次の通りである。まず、風洞風速が約1m/s付近で1次振動が発生する。このピークより低風速側では上下流ケーブルの位相は同相であり、風速の増加とともに応答も単調に増加する。ピーク風速より高風速になると両ケーブルの位相が逆相に変わるとともに、振幅が激減する。このピークは単独ケーブルの実験でも同じ風速で観測されたことから、典型的な円柱の渦励振と考えられる。2次モード以上については位相差を測定していないが、風速2m/s付近で、2次振動の振幅に1次振動と同様な段差が生じており、これが2次の渦励振ではないかと考えられる。その後、2.5m/s付近で大きな2次振動が発生している。これは、2円柱の近接配置に伴う、単独円柱とは異なった周期の渦の発生によるものではないかと推測されるが、詳細は不明である。さらに高風速では、3次、4次、5次などの高次振動が次々と発生するが、いずれも単独ケーブルの渦励振より若干高風速側で応答が大きくなる傾向にある。これらの限定的な振動とは別に、風速3.5m/s付近から1次モードで上下流が逆相の振動、すなわちウェークギャロッピングが成長する。図から明かなように、ギャロッピング発生後も限定的振動が同時に発生しており、両振動の空力的干渉はないように思われる。図2は、下流側ケーブルの逆相1次振動応答に対するケーブル間隔の影響を示したものである。間隔の増加とともに、ギャロッピングは若干安定化する傾向にあり、発振風速は増加、振幅は減少するが、間隔8Dの場合でも、かなり大きな振幅の振動が発生しており、振動の抑制を目的としてケーブル間隔を広げる設計は難しいように思われる。

気流の乱れの影響 図3に、間隔6Dの場合の逆相1次モードの下流側応答に対する乱れの影響を示す。用いた乱流は格子乱流で、乱れ強度は5%、8%の2種類である。図から明らかなように、気流の乱れはギャロッピングを安定化し、乱れ強度8%では振動は発生していない。図は省略するが、不安定性の強い間隔2D、4Dでは乱流の影響は小さく、逆に8Dでは乱れ強度5%でも、顕著な安定化傾向が認められた。

振動数の影響 ウェークギャロッピングについても、一般の空力振動と同様な無次元風速による整理が可能かどうかを確認するために、固有振動数を変えた実験を行なった結果を図4に示す。図中、 $\triangle$ 、 $\square$ は、上下流の両方のケーブルの固有振動数を5Hz、6.5Hz、8Hzに設定した場合の応答を表わす。限定振動とギャロッピング応答が混在した複雑な応答のため、若干曖昧なところもあるが、ギャロッピングの発振風速は、

振動数の変化に見合う程変化しているようには思われず、ウェークギャロッピングは無次元風速に依存しない現象である可能性を示唆するものと言えよう。また、図中の■は上下流の固有振動数を変え、上流側7Hz、下流側5Hzとした場合の応答であるが、予想に反して、ギャロッピング応答には顕著な変化は認められない。この実験では、上流側ケーブルには、7Hzの固有振動数に対応する限定的な振動が発生しており、この上流側ケーブルの振動とは無関係に、下流側ケーブルにはギャロッピングが発生した。この他、上流側のケーブルが振動しないように拘束した実験、両ケーブルの間隔を拘束した実験も実施したが、応答に有意な差は認められなかった。

まとめ 本実験から得られた主要な結論は次の通りである。

- ① ケーブル間隔が増加すると、ギャロッピングの不安定性は減少するが、間隔を8Dまで増しても完全に安定とはならない。
- ② 気流の乱れはギャロッピングを安定化する傾向がある。
- ③ 上下流ケーブルが逆相で振動することはギャロッピング発生の必要条件ではない。のみならず、上流側ケーブルが任意の振動数で振動していても、これと無関係に下流側ケーブルにはギャロッピングが発生する。
- ④ ウェークギャロッピングは無次元振動数によらない現象である可能性がある。

なお、本研究は建設省土木研究所と民間15社による共同研究「並列ケーブルの耐風制振に関する研究」の一環として実施したものである。

表1 模型諸元

直径	35 mm
長さ	2.5 m
重量	311 g/m
構造減衰	0.02
$2m\delta/\rho D^2$	7.5

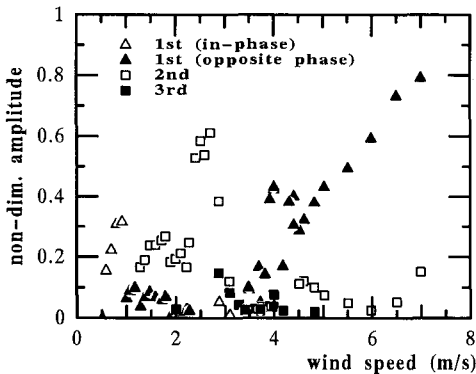


図1 下流側ケーブルの応答例

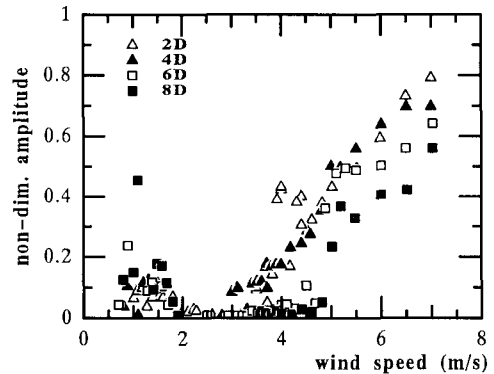


図2 ケーブル間隔の影響

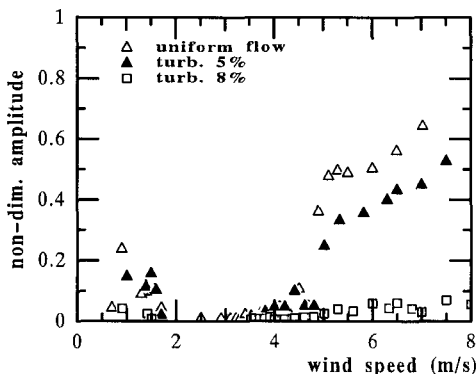


図3 気流乱れの影響

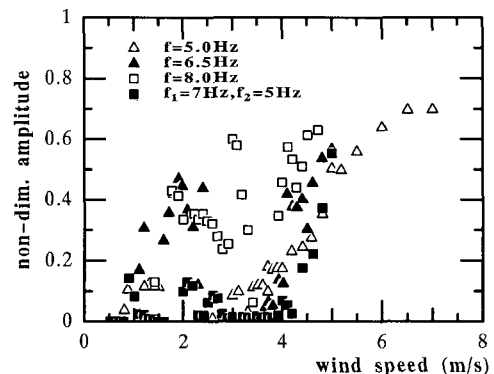


図4 振動数の影響