

I-542

ディンプル付きケーブルのウェイクギャロッピング特性について

川田工業(株) 正 員 ○望月秀之 川田工業(株) 正 員 米田昌弘
 川田工業(株) 正 員 宮地真一 川田工業(株) 正 員 枝元勝哉

1. まえがき 斜張橋の並列ケーブルで発現するウェイクギャロッピングは励振力が非常に強く、したがって、ウェイクギャロッピングを確実に制振できる空力的な制振方法についての研究は、近年のP C斜張橋の建設状況と長径間化ならびに並列ケーブル方式の増加を考えた場合、きわめて急務な検討課題となっている。このような状況のもと、著者らは、実橋ケーブルにも容易に適用できるウェイクギャロッピングの空力的な制振対策を見出すべく、ケーブル表面にディンプルを付与する方法を考案し、単独ケーブルの静的空気力（抗力係数）特性から、限界レイノルズ数ならびにウェイクギャロッピング特性に及ぼすディンプルの効果について検討している¹⁾。その結果、MODEL-DMなるディンプル付きケーブルでは、ダンパーの設置によって無対策時におけるウェイクギャロッピングの発現風速を8m/s程度以上に高めれば、ウェイクギャロッピングと言えども十分に制振できると推察された。そこで、一様流中でのばね支持試験も合わせて実施し、ウェイクギャロッピングに対するディンプルの制振効果を具体的に検証することとした。

2. 風洞試験の概要 実験に使用した風洞は川田工業(株)所有の水平回流式ゲッチング型風洞（閉鎖型測定洞：幅2.0m×高2.5m全長15.0m）である。ばね支持試験にあたっては、上流側ケーブルを風洞内の2次端板に固定し、下流側ケーブルを振動数 f が $f=1.345\text{Hz}$ となるよう

表-1 実験ケース

ケース	上流側 (固定)	下流側 (ばね支持)
1	MODEL-N	MODEL-N
2	MODEL-N	MODEL-DM
3	MODEL-DS	MODEL-DS

に上下（鉛直）1自由度系でばね支持するものとした。対象とした実験ケースを表-1に示す。ただし、表中において、MODEL-Nはノーマルケーブルを、また、MODEL-DMとMODEL-DSはそれぞれ文献1)に示したディンプル付きケーブルを表す。

3. 実験結果と考察 上流側と下流側をそれぞれノーマルケーブル（MODEL-N）に設定した状態で得られた、 $S/D=3.0$ なる場合のV-A曲線（風速と応答振幅の関係図）を図-1に示す。なお、以下において、スクルートン数のあとに括弧書きで示した構造対数減衰率 δ は、標準規格品である $D=75.5\text{mm}$ なるケーブルに換算した値である。図-1から、ノーマルケーブルでは $S/D=3.0$ なる配置を採用した場合、不安定なリミットサイクルは有するものの、スクルートン数が $Sc=12.9$ （ $\delta \approx 0.003$ ）なる場合ではウェイクギャロッピングのquench点を与える風速 V_q （高風速側から風速を下げていった場合、ウェイクギャロッピングが完全に消滅する時の風速）は $V_q \approx 2.5\text{m/s}$ ときわめて低く、また、 $Sc=506.0$ （ $\delta \approx 0.133$ ）なる場合でも $V_q \approx 11.3\text{m/s}$ と発現風速の大幅な上昇効果は認められないことがわかる。

次に、上流側をノーマルケーブル（MODEL-N）に、下流側をMODEL-DMなるディンプル付きケーブルに設定した状態で得られた、 $S/D=3.0$ なる場合のV-A曲線を図-2に示す。ここに、上流側をノーマルケーブルにしたのは、上述のノーマルケーブルに対する実験結果との対比が容易となるように、また設計にとって安全側の結果が与えられるように考えたことによる。図-2から、スクルートン数が $Sc=12.6$ （ $\delta \approx 0.003$ ）なる場合、ウェイクギャロッピングのquench点を与える風速 V_q は $V_q \approx 2.3\text{m/s}$ ときわめて低く、2.3～8.0m/s程度の風速域において片振幅 a が $a \geq 50\text{mm}$ のウェイクギャロッピングが発現している。しかしながら、MODEL-DMなるディンプル付きケー

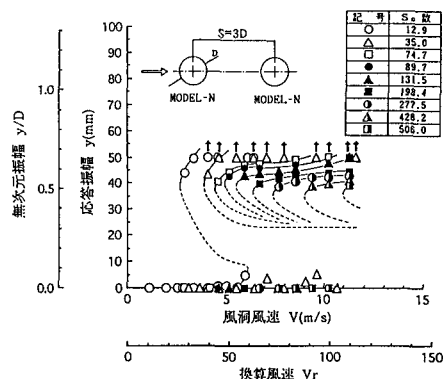


図-1 ばね支持実験結果（ケース1）

ブルの限界レイノルズ数にほぼ対応する9.0m/s程度を越える風速では $a \approx 40\text{mm}$ まで応答振幅が低減しており、超臨界域における後流幅の縮小効果が認められる。したがって、スクルーション数を $Sc = 34.3$ ($\delta \approx 0.009$)と若干大きくした場合、超臨界域における後流幅の縮小効果によって、4.0m/s $\sim$ 7.0m/s程度の風速域で発現していたウェイクギャロッピングが7.5m/s $\sim$ 9.5m/s程度の風速域で消滅する結果となっている。ただし、この場合には9.5m/s程度を越える風速で再び $a \approx 35\text{mm}$ 程度の不安定ナリミットサイクルを有するウェイクギャロッピングの発現が認められるが、これは限界レイノルズ数を越える風速域から下流側ケーブルにおける後流の周期性がきわめて除々にはあるが回復し、励振力が微小ながらも増加したこと起因するものと思われる。しかしながら、限界レイノルズ数を越える風速域での励振力は小さく、スクルーション数を $Sc = 73.1$ ($\delta \approx 0.019$)とした場合には、20m/s以下でウェイクギャロッピングは発現していない。なお、 $S/D = 2.0$ なる場合のウェイクギャロッピング特性は、図-2と図-3を比較すればわかるように、 $S/D = 3.0$ なる場合に比べ低風速域（4m/s $\sim$ 6m/s）における励振力が幾分強くなっているが、 $Sc = 126.6$ ($\delta \approx 0.033$)程度のスクルーション数のもとではウェイクギャロッピングは発現しない結果となっている。

一方、ディンブル数が少ないMODEL-DSを上流側と下流側にそれぞれ設定した状態で得られた、 $S/D = 2.0$ なる場合のV-A曲線を図-4に示す。図-4より、MODEL-DSのウェイクギャロッピング特性は、後流幅が遷移しはじめる4 $\sim$ 6m/s程度までの風速域においてノーマルケーブルの場合と同様にきわめて強い励振力を呈することがわかる。これに対し、7m/s程度以上の風速域ではディンブルによる制振効果が幾分認められ、スクルーション数が $Sc = 427.5$ ($\delta \approx 0.116$)なる場合では20m/s以下の風速域でウェイクギャロッピングは発現していない。しかしながら、 $\delta \approx 0.116$ なる構造対数減衰率をケーブルに与えることは一般にはかなり難しく、MODEL-DSならびにその他のレインバイブレーション対策ケーブルでは、 $S/D = 2.0 \sim 3.0$ 程度なる細径ケーブルのウェイクギャロッピングを制振するのは困難な場合が多いと考えられる。

4. まとめ 上述の結果より、細径ケーブルを $S/D = 2.0 \sim 3.0$ 程度に並列配置した場合にも、MODEL-DMなるディンブル付きケーブルを採用するとともに、ダンパーによって若干の減衰を付加すれば、ウェイクギャロッピングと言えども十分に制振できることがわかった。なお、今後は、より効果的なディンブル形状について検討を重ねてゆく予定である。

【参考文献】 1) 畠中・米田 他：ディンブル付きケーブルの静的空気力特性について，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，1994年9月

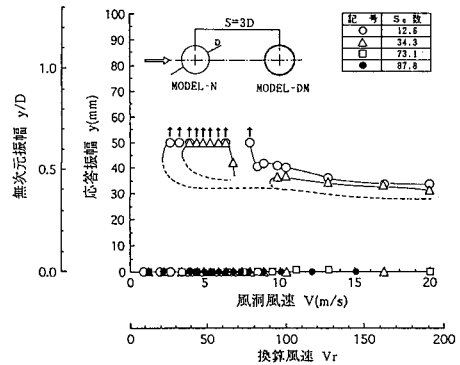


図-2 ばね支持実験結果（ケース2）

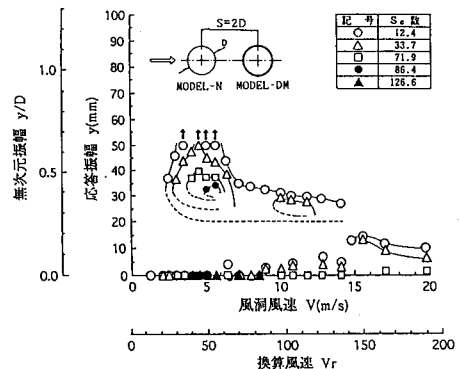


図-3 ばね支持実験結果（ケース2）

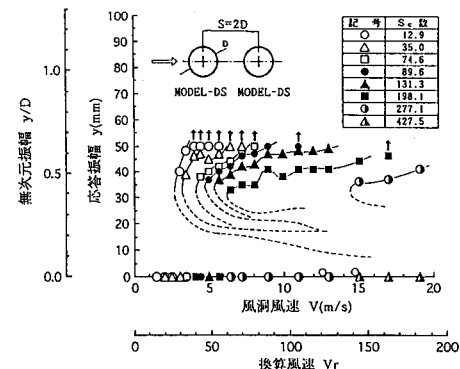


図-4 ばね支持実験結果（ケース3）