

円形ならびにディンプル付きの並列ケーブルに斜風が作用した場合の
静的空気力特性について

川田工業(株) 正会員 〇畠中 真一 川田工業(株) 正会員 米田 昌弘
川田工業(株) 正会員 宮地 真一 川田工業(株) 正会員 枝元 勝哉
川田工業(株) 正会員 川田工業(株) 正会員 望月 秀之

1. まえがき 文献1)で示したように、 $y_1=0.25D$ と $y_1=0.37D$ なる配置のノーマルケーブルに一樣流を作用させた場合、発現したウェイクギャロッピングは風速の増加とともに励振力が増大する傾向を示していたのに対し、ディンプル付きケーブルを並列配置した場合には6m/sなる風速を境としてウェイクギャロッピング特性が大きく変化する結果が得られた。また、格子乱流中のばね支持実験から、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は、乱れによってノーマルケーブルよりもさらに有意な影響を受け、乱れ強さはウェイクギャロッピングの発現を支配するきわめて重要なパラメータの一つであることがわかった。そこで、静的空気力試験も実施し、ばね支持実験結果と静的空気力係数とのより詳細な関連性について検討することとした。

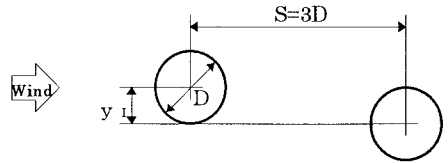


図-1 ケーブル模型概要

2. 風洞実験の概要 本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ン型風洞（閉鎖型測定洞：幅2.0m×高2.5m×全長15.0m）である。静的空気力試験では、文献1)と同様、直径 $D=76\text{mm}$ なるノーマルケーブルを並列配置したCASE-NNおよび直径 $D=78\text{mm}$ なるディンプル付きケーブルを並列配置したCASE-DD（いずれも、ケーブル水平間隔 S が $S=3D$ で鉛直相対位置 y_1 が $y_1=0.25D$ および $0.37D$ なる場合）について、レイノルズ数（風速）を変化させて下流側ケーブルの抗力係数および揚力係数を測定した。

3. 一樣流中での試験結果と考察 まず、 $y_1=0.25D$ なる場合について、下流側ケーブルの揚力係数と抗力係数を一樣流中で測定した。その結果を図-2および図-3に示す。ここに、各係数は、投影面積 A_n を $A_n=D \times \ell$ （ケーブル直径×模型長）として算出したものである。図-2からわかるように、CASE-NNの揚力係数 C_L （図-2中の○記号）は3.2m/s程度の風速（ $Re \approx 1.7 \times 10^4$ ）で $C_L \approx 0.34$ なる最大値を示した後、24m/s程度の風速（ $Re \approx 1.3 \times 10^5$ ）まで減少して、 $C_L \approx -0.07$ なる極小値を示し、その後再び徐々に増加するという特性を有している。また、CASE-DD（図-2中の●記号）では、1.0m/s程度の風速（ $Re \approx 5.1 \times 10^3$ ）で $C_L \approx 0.35$ を示していた揚力係数が風速の増加にともない減少し、6.0m/s程度の風速（ $Re \approx 3.2 \times 10^4$ ）で $C_L \approx 0.12$ 程度の極小値を示している。また、6.0m/s程度以上の風速においては若干の変動は見られるもののほぼ一定の値となっていることがわかる。これに対し、図-3からわかるように、抗力係数（図-3中の●記号）は、6.0m/sなる風速で極小値とはならず、逆に6.0～8.0m/sの風速域（ $Re \approx 3.2 \times 10^4 \sim 4.3 \times 10^4$ ）で急激に増大するという特性を呈している。この結果より、斜風が作用する場合には、下流側ケーブルの揚力係数が極小値となるレイノルズ数（風速）が、ウェイクギャロッピング特性を支配する重要なパラメータになると言えよう。なお、図-3にはCASE-DDについて抗力係数が最大値を示した風速時と、再び低下した風速時の上流側ケーブルの後流の様子も付記してある。この図からわかるように、7.5m/sなる風速域では上下のリボンが激しくはばたいており、複雑な流れが交互に発生して下流側ケーブルの抗力係数が増大していると考えられる。次に、CASE-NNの $y_1=0.25D$ と

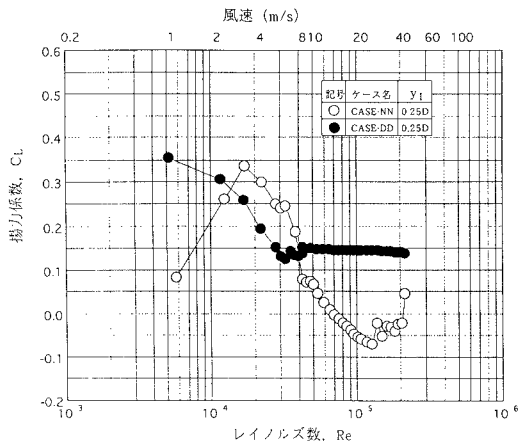


図-2 CASE-NNとCASE-DDの揚力係数（一樣流、 $y_1=0.25D$ ）

$y_1=0.37D$ について、一様流中の揚力係数を比較した。その結果を図-4に示す。この図より、 $y_1=0.37D$ なるノーマルケーブルの場合、 $y_1=0.25D$ に比較してきわめて特徴的な揚力係数特性を呈していることがわかる。すなわち、 $y_1=0.37D$ なる場合の揚力係数(図-4中の●記号)は、12m/s程度の風速では急激に増加し、19m/s付近で $C_L \approx 1.0$ に達した後、26m/s程度の風速では $C_L \approx 0.0$ まで急激に低下している。ばね支持実験¹⁾では、 $y_1=0.37D$ なる配置のウェイクギャロッピングは $y_1=0.25D$ なる場合と比較して励振力が強いという結果が得られているが、これは12~19m/sなる風速域で揚力係数が増大していることにも起因すると推察される。ただし、この場合でも26m/s以上の風速域では揚力係数は極小値を示しており、 $y_1=0.25D$ なる配置と同様に、ウェイクギャロッピングは安定化される傾向にあると考えられる。

4. 格子乱流中での試験結果と考察 最も励振力が強い $y_1=0.37D$ なる状態のCASE-DDについて、 $I_u=5\sim7\%$ と $I_u=10\sim12\%$ なる格子乱流の中で揚力係数を測定した。この結果を一様流中での測定結果と比較して、図-5に示す。図-5からわかるように、一様流中と格子乱流中では静的揚力係数に大きな差異が認められる。すなわち、一様流中での揚力係数はレイノルズ数依存性が明確に現れているのに対し、 $I_u=10\sim12\%$ なる格子乱流中での揚力係数は一様流中での最小値よりもさらに小さなほぼ一定値となっており、明確なレイノルズ数依存性を呈していない。筆者らの行った乱流中でのばね支持実験結果を考え合わせると、下流側ケーブルにおける揚力係数のレイノルズ数(風速)依存性が小さくなるにしたがって、ウェイクギャロッピングは安定化されると考えられる。

5. あとがき 文献¹⁾と本研究により、ディンブル付きケーブルの有効性に加え、ノーマルケーブルのウェイクギャロッピング特性に関しても従来知られていなかった実務上の有用な知見を提示できたと考えている。しかしながら、斜張橋ケーブルのウェイクギャロッピングについては乱れのスケール効果など解明すべき点も未だ多い。それゆえ、ウェイクギャロッピングに関しては実橋ケーブルでの観測結果と風洞実験結果を対比するなど今後とも継続的な研究を実施し、実務設計者にとって有用なデータを提示していくことが重要であると言えよう。

【参考文献】1) 宮地 他; 円形ならびにディンブル付きの並列ケーブルに斜風が作用した場合のウェイクギャロッピング特性について; 土木学会第50回年次学術講演概要集; 平成7年9月

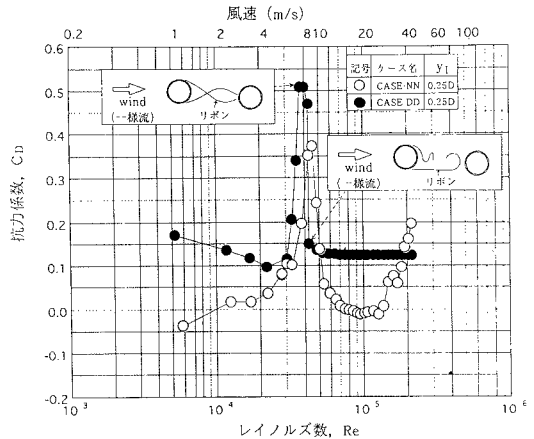


図-3 CASE-NNとCASE-DDの抗力係数(一様流, $y_1=0.25D$)

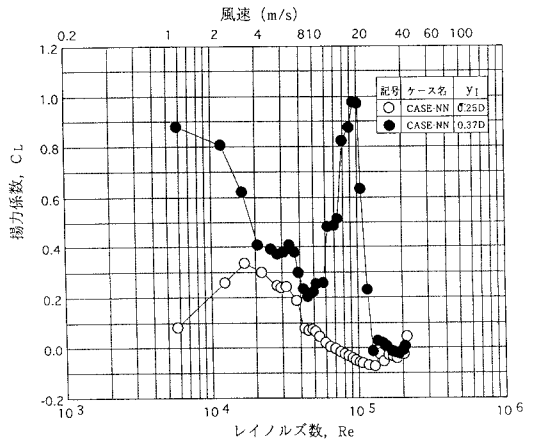


図-4 CASE-NNの揚力係数(一様流, $y_1=0.25D$, $y_1=0.37D$)

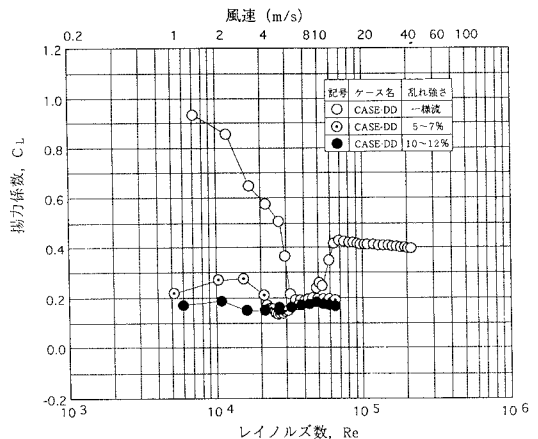


図-5 CASE-DDの揚力係数(一様流と格子乱流, $y_1=0.37D$)