

I - 543

ディンプル付きケーブルの静的空気力特性について

川田工業(株) 正 員 ○畠中真一 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 望月秀之

1. まえがき 最近では、鋼斜張橋のみならずPC斜張橋においてもレインバイブレーションやウェイクギャロッピングと呼ばれる風によるケーブル自身の振動が大きな問題として取り挙げられている。このうち、レインバイブレーションについては励振力も比較的弱く、ケーブル端部付近にダンパーを設置する手法ではほぼ制振できると認識されており、また、各種の空力的対策もすでに開発されている。これに対し、ウェイクギャロッピングについては、未だ不明な点も多いが、直径 D が $D=40\text{mm}\sim 100\text{mm}$ 程度でケーブル中心間隔 S が $S=2D\sim 3D$ 程度に並列配置された場合の励振力は非常に強く、ケーブル端部付近にダンパーを設置する手法のみでは十分に制振できない場合が多いと考えられている。また、ステンレスワイヤによるケーブル相互連結方式はウェイクギャロッピングに対する有効な制振手法の一つではあるが、景観上の問題に加え、ワイヤの切断に備えた長期にわたる維持管理が必要となる。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PC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い出すべく、ケーブル表面にディンプルを付与する方法を考案し、一連の部分模型風洞試験(静的空気力試験とばね支持試験)を実施することとした。このうち、本文では、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効果について検討した結果を報告する。

2. 試験概要 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ン型風洞(閉鎖型測定洞:幅 $2.0\text{m}\times$ 高 $2.5\text{m}\times$ 全長 15.0m)であり、試験模型として、円形断面のノーマルケーブル模型(MODEL-N)と2種類のディンプル付きケーブル模型(MODEL-DMとMODEL-DS)をそれぞれ製作した。ここに、ノーマルケーブル模型であるMODEL-Nは直径 76mm のポリエチレン管をアルミパイプで補強したものであり、模型長は風洞寸法から 1.62m としている。また、ディンプル付きケーブル模型であるMODEL-DMとMODEL-DSは、 1mm 厚のゴム板から直径が 8mm なるディンプル(円形の孔)をそれぞれ図-1, 2に示すように型抜きしてノーマルケーブル模型の表面に塗布したものであり、模型の外径はそれぞれ 78mm となっている。

3. 試験結果と考察 上述した各ケーブル模型の単独状態における静的空気力特性を把握するため、一様流中状態でレイノルズ数 Re (風速)を変化させて抗力係数 C_D を測定した。その結果を図-3, 4に示す。なお、これらの図には、参考までに直径が $D=140\text{mm}$ なるノーマルケーブルの実験結果¹⁾に加え、レインバイブレーション対策として開発された表面にV字溝を施したV-ストライプケーブル(模型外径が $D=140\text{mm}$, V字溝の深さが 1.4mm)の実験結果¹⁾ならびに表面に離散的な凹型の粗度を付与したケーブル(模型外径が $D=140\text{mm}$, 粗度係数は 1.1×10^{-2})の実験結果²⁾も併記してある。

図-3より、ケーブルの全表面にディンプルを付与したMODEL-DM(図-3中の記号: ■)では、 $C_D=1.2$ 程度であった抗力係数が $Re>2.0\times 10^4$ (4m/s 程度の風速)なるレイノルズ数域から低減しはじめ、 $Re\approx 4.0\times 10^4$ (8m/s 程度の風速)において $C_D=0.8$ 程度になった後、徐々に漸増する特性を有することがわかる。すなわち、MODEL-DMなるディンプル付きケーブルでは、表面粗度の影響で $Re>2.0\times 10^4$ なるレイノルズ数域から後流幅が遷移しはじめ、 $Re\geq 4.0\times 10^4$ なるレイノルズ数域から後流幅が大幅に縮小する傾向を有するものと推察される。これに対し、ノーマルケーブル(図-3中の記号: ●と○)では抗力係数 C_D が最小値を示す限界レイノルズ数は $Re\approx 3.8\times 10^5$ ($D=78\text{mm}$ なるケーブルに換算すれば、 76m/s 程度の風速に相当)とMODEL-DMなる場合の10倍程度の値を、また、V-ストライプケーブル(図-3中の記号: △)でも限界レイノルズ数が $Re\approx 1.6\times 10^5$ ($D=78\text{mm}$ なるケーブルに換算すれば、 32m/s 程度の風速に相当)とMODEL-DMなる場合の4倍程度も

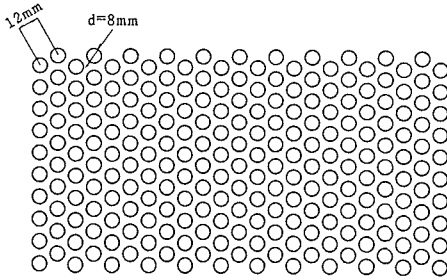


図-1 ディンプル配列 (MODEL-DM)

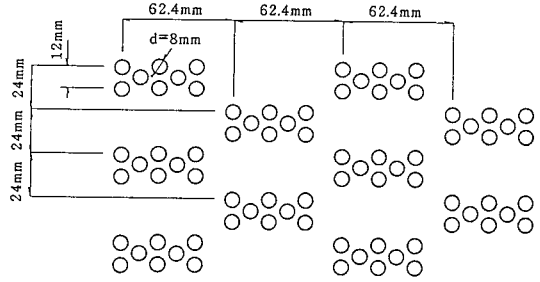
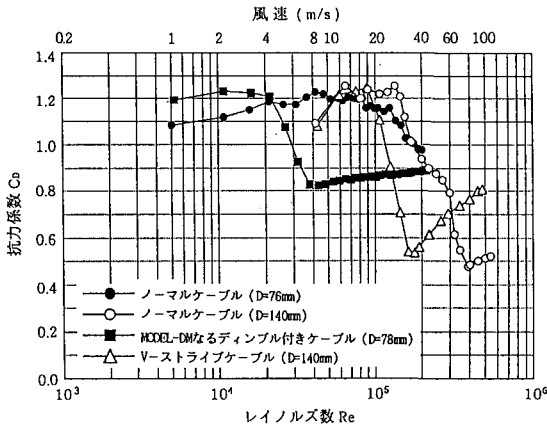
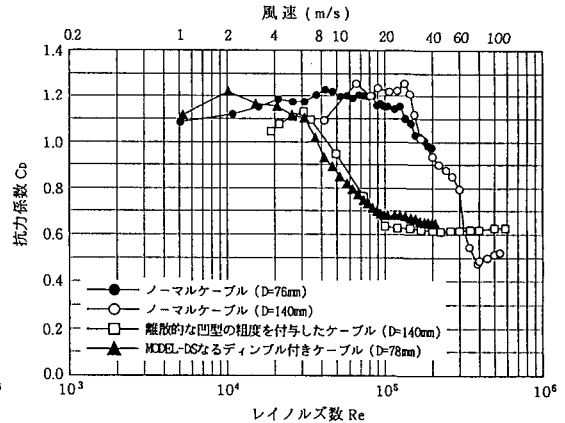


図-2 ディンプル配列 (MODEL-DS)

図-3 レイノルズ数 Re と抗力係数 C_D との関係図-4 レイノルズ数 Re と抗力係数 C_D との関係

の値を示していることがわかる。

さらに、図-4からわかるように、直径が 140mm なる表面に離散的な凹型の粗度を付与したレインバイブレーション対策用ケーブル（図-4中の記号：□）では、限界レイノルズ数として $Re \approx 1.0 \times 10^5$ （ $D=78\text{mm}$ なるケーブルに換算すれば、 20m/s 程度の風速に相当）と、MODEL-DMの限界レイノルズ数である $Re \approx 4.0 \times 10^4$ （ 8m/s 程度の風速に相当）と比較し、約2.5倍も大きくなっている。一方、付与するディンプル数を少なくしたMODEL-DS（図-4中の記号：▲）では、MODEL-DMとほぼ同じく $Re > 2.0 \times 10^4$ （ 4m/s 程度の風速）なるレイノルズ数域から抗力係数が低減しはじめるものの、 $Re \approx 1.0 \times 10^5$ （ 20m/s 程度の風速）付近で抗力係数の最小値に近い $C_D \approx 0.67$ に達した後、それ以上のレイノルズ数では抗力係数がゆるやかに低減する特性を有する。すなわち、若干の差異はあるものの、MODEL-DSは表面に離散的な凹型の粗度を付与するレインバイブレーション対策用ケーブルと類似した抗力係数特性を有するものとなっている。

4. まとめ 以上の静的空気力（抗力係数）特性から、MODEL-DMなるディンプル付きケーブル（ $D=78\text{mm}$ ）は、MODEL-DSやその他のレインバイブレーション対策用ケーブルと比べてより低風速域（ 4m/s 程度）から後流幅が遷移しはじめ、 8m/s 程度以上の風速域からは後流幅が大幅に縮小する特性を有するものと思われる。したがって、全表面にディンプルを付与した $D=78\text{mm}$ なるケーブルでは、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。

【参考文献】

- 1) 宮崎 他：斜張橋ケーブルの空力制振対策，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集，平成5年9月。
- 2) 宮田 他：表面粗度を持つケーブルの空力特性，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集，平成5年9月。