

I-753

小さい抗力と空力安定性の維持を目的とした斜張橋ケーブルの開発

横浜国立大学大学院 正員 新 和博

横浜国立大学 正員 宮田 利雄

新日本製鐵 正員 北條 哲男

横浜国立大学 正員 山田 均

背景と目的 斜張橋の長大化に伴い、レインバイブレーションをはじめとし種々の斜張橋ケーブルの空力振動の発生とその対策が議論されている。制振対策としては、構造力学的対策と空気力学的対策がある。斜張橋の長大化が進み、構造力学的な対策の場合、取り付け位置の制約上十分な制振効果が得られない場合が予想され、空気力学的対策の重要性が増す。一方、斜張橋の長大化に伴い斜張橋の風荷重が増加し、空力対策故の風荷重の増加波さけるべきである。したがって、斜張橋ケーブルのレインバイブレーションの空気力学的制振対策としては、抗力係数が小さくかつ制振性に優れたものを検討する必要があると思われる。本研究においては、ケーブル表面の微小な変化、つまり表面粗度に着目しインデント(凹型のくぼみ)による模様をケーブル表面に離散的に非均一に施すことにより、設計風速域において抗力係数を低くコントロールしやすくかつ、レインバイブレーションに対して制振効果を有するような斜張橋ケーブルの開発を、実験的に試みた。

三分力測定 従来使用されているポリエチレン管被覆の表面が平滑なケーブル(ノーマルケーブル)と非均一な表面粗度を施したレインバイブレーション制振対策ケーブル(対策ケーブル)に対して三分力測定をおこなった。対策ケーブルに施した粗度分布を図-1に、実験結果を図-2に示す。なお、図-1で示した粗度分布は離散的凹型の粗度分布¹⁾をさらに実用化に向け改良を加えたものである。本研究において用いた表面粗度は深さ1.5mmであり、粗度係数は $k/D=1.0 \times 10^{-2}$ となる。比較のため、 $k/D=1.0 \times 10^{-2}$ の均一な表面粗度を円柱に施した際の抗力係数特性²⁾を、図-2に併記した。本研究での表面加工は離散的であるため、迎角の影響が予測されるが、影響は少ないことが確認されている。

対策ケーブルの限界レイノルズ数は均一な表面粗度の場合より大きい、ノーマルケーブルよりは小さく約 5.9×10^4 である。また、限界レイノルズ数での抗力係数の値は均一な表面粗度の場合が $C_d \approx 0.80$ であるのに対し、 $C_d \approx 0.58$ と小さい。また限界レイノルズ数以降の抗力係数の傾向として、均一な表面粗度の場合は漸増していく傾向がみられるのに対し、対策ケーブルにはその傾向はみられず、 $Re \approx 8 \times 10^5$ においても C_d 値は約0.67で安定した特性を有しているのが確認でき、設計風速域の広い範囲にわたり低抗力係数特性を有している。例えば、直径が0.15mの斜張橋ケーブルの場合に設計風速が50m/s程度と仮定するとレイノルズ数域としては $10^4 \sim 5.0 \times 10^5$ 程度となる。レイノルズ数 $Re \approx 5.0 \times 10^5$ においてノーマルケーブルは $C_d \approx 0.52$ を示すのに対し、対策ケーブルは $C_d \approx 0.66$ でそれほどの増加はない。

降雨振動実験 ノーマルケーブル、対策ケーブルにおいて模擬降雨振動実験をおこない、レインバイブレーションに対する検討、対策ケーブルの制振性を調べた。実験条件としては、固有振動数 f は約0.45Hz、スクルートン数 Sc は実橋よりかなり低く2.0前後に設定した。また対策ケーブルにおいては、実橋レベルの Sc 数である $Sc=24.85$ においても実験をおこなった。ケーブル姿勢としては鉛直偏角 $\alpha=20^\circ$ ・水平偏角 $\beta=45^\circ$ のいわゆる正姿勢を設定した。ケーブルへの降雨方法は、ケーブル上端部に水を与える補給水の方法を採用し、補給水量 Q を0.8l/minに設定した。実験結果を図-3に示す。

レインバイブレーションの発生には上面水路の形成が重要であるとされていたが、風速4~8m/sの範囲で下面水路のみの形成によるレインバイブレーションの発生が確認された。また、上下面水路形成によ

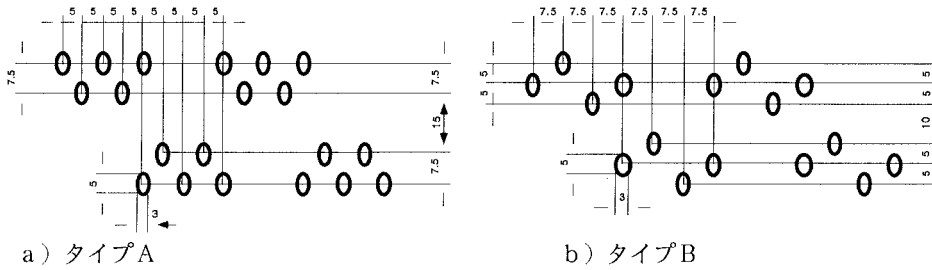


図-1 非均一な表面粗度分布（mm表示）

るレインバイブレーションも風速10m/s以上で発生することが確認された。下面水路のみ形成によるレインバイブレーションは振動数の低下より、ケーブルが振動しやすくなったことから発生したものと思われる。対策ケーブルの制振性としては、 $Sc=2.13$ の場合には、下面水路のみ形成のレインバイブレーションに対しては制振効果がそれほどみられなかった。しかし、 Sc 数が2.13という条件はレインバイブレーションの振動性状の把握のため、実橋に比べかなり低い値に設定していることから実橋でのレインバイブレーションの振動性状とは違うものと思われる。そこで、実橋レベルの Sc 数で実験をおこなった。実橋レベルの Sc 数（24.85）ではレインバイブレーションは全風速域で発生せず、十分制振効果を有していることが確認された。

まとめ 非均一な表面粗度をケーブルに施すことにより、①限界レイノルズ数以降の超臨界域において、抗力係数を低くコントロールすることができ、②設計風速域の広い範囲にわたり十分抗力係数の低減下が図られ、なおかつ、③レインバイブレーションに対しても優れた制振性を有していることが確認できた。本研究の抗力コントロールの考え方は、同じレイノルズ数の範囲ならば、円柱状の構造物に拡張が可能である。

〔参考文献〕 1) 宮田他：表面粗度を持つケーブルの空力特性 土木学会年講概要集 1993.9

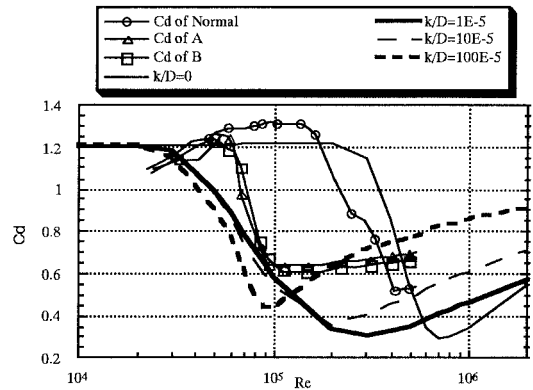


図-2 三分力測定結果

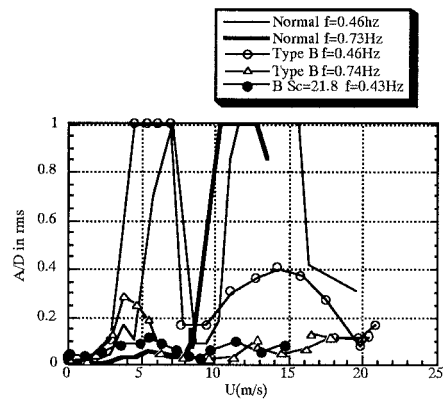


図-3 降雨振動実験結果