

高レイノルズ数域における斜張橋ケーブルの静的空気力特性

神鋼鋼線工業株式会社
株式会社エスイー

正会員 ○榎 一平
正会員 中井 督介

京都大学大学院工学研究科 正会員
神鋼鋼線工業株式会社

八木 知己
孫 暁彤

1. はじめに

近年、斜張橋の長大化に伴うケーブル長尺化に対して制振対策の重要性が増しており、制振性能をメンテナンスフリーで維持できる空力的対策の有効性が高まっている。また、支間長が増加するほどケーブルへ作用する風荷重が斜張橋設計に及ぼす影響が大きくなるとされるが、実際の長大橋を想定して高風速域の静的空気力特性を計測可能な風洞設備は限られる状況にある。過去に様々なケーブル表面形状を用いた空力的対策に関する研究が実施されており、八木ら¹⁾が開発した12本のスパイラル状突起は優れた制振効果とともに抗力低減効果を有することを報告しているが、風洞設備の制約により高風速域までの測定には至っていない。また、素線に直接ポリエチレン(PE)被覆した工場製作型のケーブルに比べて、現場組立型ケーブルは外套管内にストランド架設のための間隙を確保することから、一般に大きな外径のPE管が用いられる。そこで、本研究では実橋梁への適用が予想される最大級の直径のケーブルを対象として、高レイノルズ数(Re数)域までの風速で風洞実験を実施し、その静的空気力特性を明らかにした。

2. 実験方法

実験に使用した設備は中南大学保有の循環式風洞(測定部断面は3,000mm×3,000mm)であり、約60m/sまでの高風速域まで計測を行うことで幅広くRe数を変化させながら、静的空気力を測定した。

測定に用いたケーブル模型を表-1に示す。芯材となる金属製パイプを実ケーブルと同種のPE材料で覆ったものを、表面加工を施していない円断面模型とし、これにらせん状の12本の突起を設けた図-1に示すスパイラル突起付き模型とを準備した。スパイラル突起形状は表-1に示す通りとし、2種類の直径サイズで相似となるように設定した。尚、太径ケーブルを模擬したφ321mm模型は一般に風洞閉塞率の影響の少ないとされる閉塞率5%を超過するため、風洞閉塞率4.9%となる細径φ148mmの模型についても計測を行った。本論文では円断面とスパイラル突起の直径Dは表-1に示すように共通の寸法として、抗力係数 C_D および揚力係数 C_L を下記のように定義し、閉塞率に対する抗力係数の補正はBarlowらの手法²⁾を用いた。図-2に静的空気力測定実験の状況を示す。

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U^2 D} \quad C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho U^2 D}$$

ここで、 F_D : 抗力[N/m]、 F_L : 揚力[N/m]、 ρ : 空気密度[kg/m³]、 U : 風速[m/sec]、 D : 直径[m]である。

表-1 ケーブル模型諸元

模型名称 直径D(mm)*1	スパイラル突起		
	高さt(mm)	幅w(mm)	巻付角 γ (°)
円断面 φ148	—	—	—
円断面 φ321	—	—	—
スパイラル突起 φ148	4.5	7	27
スパイラル突起 φ321	10.2	15	27

*1:スパイラル突起の直径Dは突起の谷部分の直径を示す。

*2:全ての模型長さは2,490mmとした。

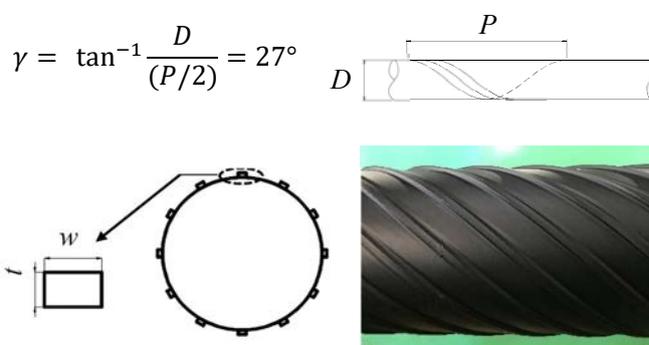


図-1 スパイラル突起付ケーブル模型

キーワード 斜張橋ケーブル, スパイラル突起, 空力的対策, 抗力係数, 高レイノルズ数

連絡先 〒660-0091 兵庫県尼崎市中浜町10-1 神鋼鋼線工業株式会社 TEL 06-6411-1082

3. 実験結果

円断面とスパイラル突起の抗力係数 C_D を図-3, 図-4 に、 $\phi 321$ mmの模型で計測した変動揚力係数 C_L' (揚力の標準偏差値) を図-5 にそれぞれ示す。

図-3 より、円断面 $\phi 148$ mm と $\phi 321$ mm の抗力係数 C_D は重複して計測した Re 数域 ($Re = \text{約 } 1.2 \times 10^4 \sim 7.0 \times 10^5$) で概ね重なっている。 $Re = \text{約 } 2.0 \times 10^5$ までの亜臨界域で約 1.2 を示していた円断面の抗力係数 C_D は $Re = \text{約 } 3.5 \times 10^5$ の臨界 Re 数で Drag crisis を生じ $C_D = 0.4$ 付近まで急激に低下、その後の超臨界領域以降では徐々に回復していくことが分かる。この様に円柱の抗力係数 C_D が Re 数の影響を受けることは一般的に知られており、既往の調査結果³⁾ともほぼ整合する。

一方、図-4 に示すスパイラル突起付き模型の抗力係数 C_D は今回計測した全ての Re 数領域で 0.63~0.68 程度のほぼ一定の値で安定しており、円断面ケーブルの設計で用いられる 0.8³⁾ を下回るとともに、円断面において見られた Re 数に応じた顕著な変化は生じないことが分かる。また、スパイラル突起 $\phi 148$ は突起形状を小型化 (高さ $t=3.4$ mm, $w=5.5$ mm) したケースと巻き付角 γ を大きくした ($\gamma=30^\circ$) ケースも実験したが、ほぼ一定の C_D (計測上限の $Re = \text{約 } 6.2 \times 10^5$ 付近でそれぞれ $C_D = 0.67$, 0.63 程度) となる同様の傾向を示した。

図-5 よりスパイラル突起の変動揚力係数 C_L' は全ての計測域で円断面より小さい。これは既往の研究¹⁾で確認したスパイラル突起によるカルマン渦抑制効果が今回計測した広範な Re 数領域においても発揮されていると推察される。

4. まとめ

斜張橋ケーブルとして実用される最大級の直径を有するケーブルについて高レイノルズ数まで抗力係数を調査し、得られた成果を以下に記す。

- (1) スパイラル突起付きケーブルの抗力係数は、広いレイノルズ数域で 0.63~0.68 程度の一定の値で安定することが明らかとなった。
- (2) スパイラル突起付きケーブルの有するカルマン渦抑制効果が、広範なレイノルズ数域で得られることを示唆した。

謝辞: 本風洞実験の試験計画、計測、結果の整理において、中南大学の何旭輝 教授および敬海泉 副教授に多大なるご協力を頂きましたことを感謝申し上げます

参考文献

- 1) 八木ら：表面形状を考慮した斜張橋ケーブルの抗力低減と空力安定化に関する研究，第 21 回風工学シンポジウム，2010，
- 2) Barlow, et al. : Low speed wind tunnel testing, 3rd Edition, 1999，
- 3) (社)日本道路協会：道路橋耐風設計便覧 (平成 19 年度改定版)



図-2 静的空気力測定実験状況

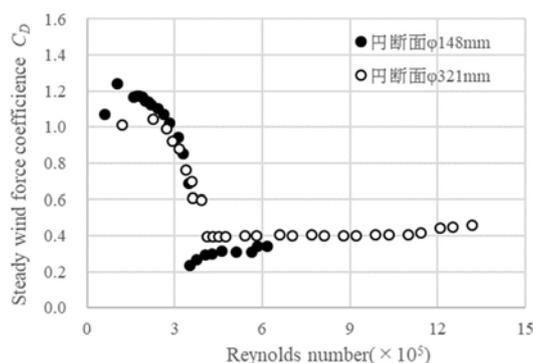


図-3 円断面の抗力係数 C_D

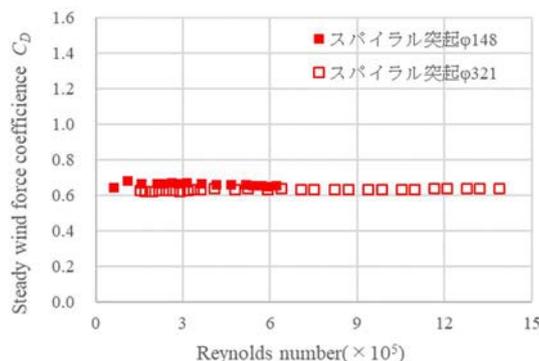


図-4 スパイラル突起の抗力係数 C_D

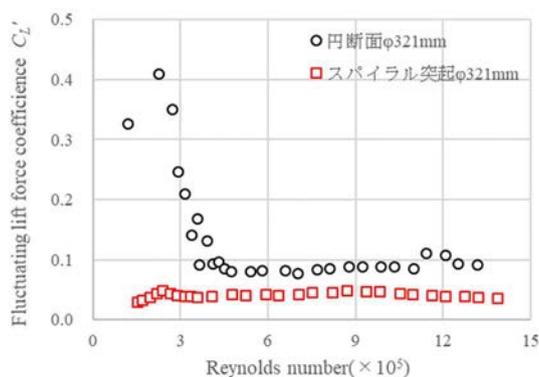


図-5 変動揚力係数 C_L'