

I - B 370

斜張橋用マルチストランドケーブルの静的空気力特性

(株) エスイー 正員○松永 徳重 九州工業大学 正員 久保 喜延
九州工業大学 正員 加藤九州男 九州工業大学 学生員 田中 英之
(株) エスイー 正員 及川 孝一

1. はじめに

近年、斜張橋の中央スパンは架設技術、構造計算の発達により、長大化の一途を辿っている。それに伴い、斜張橋用ケーブルの風による振動、それに働く風荷重により安全性、使用性に問題が生じている¹⁾。さらに、多々羅大橋に採用されたインデントケーブル²⁾のように、これらの問題を改善したケーブルも開発されたものの、今後のスパン長大化を考慮すると、経済性の面において問題が生じてくることが予想される。よって、ケーブルの空力安定性、風荷重低減、製作コスト削減を同時に満たすケーブルが必要とされている。

そこで、本研究では、これらの条件を満たし得ると考えられるマルチストランドケーブル、およびその外周に螺旋状に素線ケーブルを付加したスパイラル付マルチストランドケーブルを提案したところ、空力応答に関して良好なストランド配置、およびスパイラルの有効性が確認できた³⁾。本研究の目的は、応答実験の結果より代表的なタイプのケーブルを取り上げ、風荷重低減効果を確認することである。

2. 実験概要

実験には境界層型風洞縮流部(測定断面:1800×1100)を使用した。供試模型は、図1に示すたわみ1自由度応答実験においてギャロッピングの振動が発生した Type A, 良好な応答特性を有していた Type C, さらに Type C にスパイラルを $\theta=30^\circ$ 、 60° で付加したもの(ストランド径: $\phi=10\text{mm}$, スパイラル径: $\phi=10\text{mm}$, 模型長 $L=790\text{mm}$)とした。実験は供試模型の両端を三分力天秤で支持し、気流は一樣流で、風速 V を $0\sim 15\text{m/sec}$ ($Re \approx 0\sim 7.0 \times 10^4$) まで 1m/sec 刻み、迎角 α を $0^\circ \sim 30^\circ$ まで 2° 刻みで変化させ、静的な空気力の三分力である抗力、揚力、空力モーメントを測定した。得られた空気力は、次式で示す各空気力係数として整理した。

$$\text{抗力係数: } C_D = F_D / (1/2 \rho V^2 \cdot S) \quad (1)$$

$$\text{揚力係数: } C_L = F_L / (1/2 \rho V^2 \cdot S) \quad (2)$$

$$\text{空力モーメント係数: } C_M = F_M / (1/2 \rho V^2 \cdot S \cdot B) \quad (3)$$

F_D : 抗力, F_L : 揚力, F_M : 空力モーメント

ρ : 空気密度, S : 各力方向の投影面積, B : 模型幅

3. 実験結果

図2に各実験ケースの迎角 $\alpha=0^\circ$ での抗力係数 C_D とレイノルズ数の関係を示す。図2から Type A においては、レイノルズ数の増加に伴い、抗力係数 C_D が徐々に減少する傾向にある。これに対し、Type C においては、レイノルズ数が 3.7×10^4 以下で抗力係数 C_D が急減しており、 3.7×10^4 以上になると抗力係数 C_D はわずかながら上昇することが確認できる。このことは円形あるいは一般的な粗度を設けたケーブルにおいて、臨界レイノルズ数域で抗力係数 C_D が減少し、その後再増大する現象と類似している。さらに、抗力係数 C_D キーワード: 斜張橋, ストランドケーブル, スパイラルケーブル, 抗力係数, レイノルズ数

連絡先: 〒804 - 8550 北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学工学部建設社会工学科 久保喜延

Tel. (093) 884 - 3109 Fax. (093) 884 - 3100

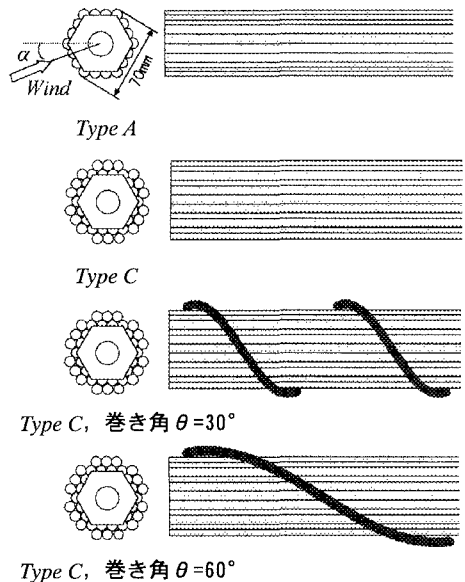


図1 供試模型

の急減の割合は、迎角 α によって変化するものの、迎角 $\alpha=0^\circ \sim 30^\circ$ すべてにおいて同様の傾向が見られた。以上のことから *Type A* に比べ、*Type C* では、その断面形状の違いから抗力に対するレイノルズ数の影響が大きいと考えられる。*Type C* にスパイラルを付加したケーブルについては、迎角 $\alpha=0^\circ$ 時に臨界レイノルズ数域における抗力係数 C_D の減少の割合が小さくなっており、さらに、急減後はほぼ一定の値を取っており、抗力係数 C_D とレイノルズ数の関係においてもスパイラルの効果を確認できた。

次に、 $R_e \approx 7.0 \times 10^4$ の抗力係数 C_D を各迎角毎にまとめたものを図 3 に示す。図 3 より、マルチストランドケーブルではどの迎角においても基本断面である *Type A* より、*Type C* において抗力係数の低減が見られる。スパイラル付マルチストランドケーブルでは、巻き角 $\theta=30^\circ$ において *Type C* より抗力係数 C_D が増大しており、場合によっては *Type A* よりも増大する。この原因としては、巻き角 $\theta=30^\circ$ ではスパイラルの巻き数が多いことにより、ケーブル表面が平滑、かつ形状が円断面に近くなったためと考えられる。逆に、巻き角 $\theta=60^\circ$ では広い迎角範囲において *Type C* より抗力係数 C_D が低減しており、抗力係数 C_D が増大している範囲においてもその割合は、約 3~10% と非常に小さい。以上のことより、*Type C* にスパイラルを巻き角 $\theta=60^\circ$ で付加することにより、空力応答特性の向上だけでなく、抗力低減効果も得られることが確認できる。

次に、 $R_e \approx 7.0 \times 10^4$ の揚力係数 C_L を各迎角毎にまとめたものを図 4 に示す。図 4 より、*Type A* においては迎角が $0^\circ \leq \alpha \leq 16^\circ$ で $dC_L/d\alpha < 0$ となっており、準定常理論に基づくギャロッピング的振動の発生し得る領域と推定できる。また、*Type C* に巻き角 $\theta=60^\circ$ でスパイラルを付加することで、スパイラル無し時における $0^\circ \leq \alpha \leq 6^\circ$ 、 $26^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ での $dC_L/d\alpha$ の負勾配が小さくなっており、スパイラルの有効性が確認できる。たわみ 1 自由度応答実験において、*Type A* ではギャロッピングの振動が発生し、*Type C* にスパイラルを巻き角 $\theta=60^\circ$ でスパイラルを付加すると空力応答特性が向上したことを考慮すると、今回の静的三分力測定でも同様の傾向となっていることが確認された。さらに、巻き角 $\theta=30^\circ$ でスパイラルを付加すると、 $dC_L/d\alpha \approx 0$ 、 $C_L \approx 0$ となっており、円形断面に似通った結果が得られた。

4. 結論

- (1) スパイラルを付加することにより、抗力係数 C_D の急減後の再増大が抑制される。
- (2) *Type C* にスパイラルを最適な巻き角（本研究では巻き角 $\theta=60^\circ$ ）で付加すると抗力係数 C_D が低減する。
- (3) 静的三分力測定結果（揚力係数 C_L ）からも、応答実験とほぼ同様な傾向を確認できた。

5. 参考文献

- 1) 日本鋼構造協会：構造物の耐風工学，東京電機大学出版局，1997
- 2) 宮田，山田，北条：表面粗度を持つケーブルの空力特性に関する実験的研究，橋梁と基礎 Vol. 2，1993
- 3) 田中，久保，及川，加藤，松永：斜張橋用マルチストランドケーブルの空力安定性，第 15 回風工学シンポジウム論文集，pp533~538，1998

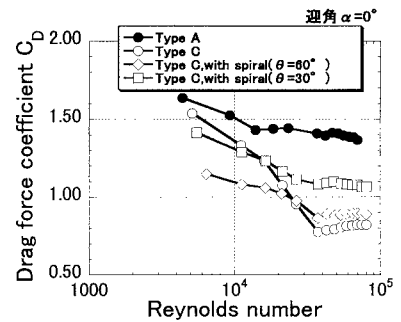


図 2 迎角 $\alpha=0^\circ$ の抗力係数 C_D

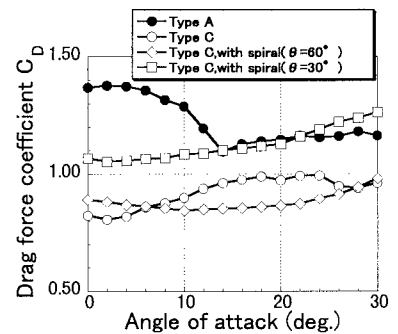


図 3 各迎角毎の抗力係数 C_D

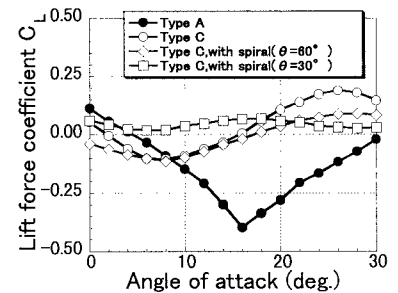


図 4 各迎角毎の揚力係数 C_L