

新素材ケーブルを用いた斜張橋の 力学挙動に関する基礎的考察

九州大学工学部 学生員 ○大久保浩弥

九州大学工学部 正会員 大塚 久哲

1. 緒言

近年の技術革新はめざましく、より高機能を持った新素材が開発されている。建設分野においても「より軽く」、「より強く」、「より耐蝕性に優れた材料」として開発された炭素繊維やアラミド繊維などを利用しようという機運が高まっている¹⁾。著者らはこれらを斜張橋ケーブルに利用することを想定して、従来のスチール製ケーブル(ＳＣ)と炭素繊維複合材料ケーブル(ＣＦＣＣ)²⁾の非線形特性、耐風安定性について基礎的な検討を始めたので、その結果を報告する。

2. ＣＦＣＣの基本的特性

ＣＦＣＣは表-1に示すようにＰＣ鋼より線とほぼ同じ強度をもち、単位長さ当りの質量は1/5～1/4程度と軽い。

表-1 ＣＦＣＣの基本的特性

	有効断面積(mm ²)	切断荷重(kgf)	弾性係数(kgf/mm ²)	単位重量(g/m)
ＣＦＣＣ 1×7 12.5φ	76	16200	14000	164
ＰＣ 1×7 12.4φ	93	18170	20140	729

注：参考文献2)より抽出

3. 数値計算結果および考察

1) 非線形特性

非線形特性の大小に直接的な結びつきを持つ張力とサグの関係を検討する。サグは次式で与えられる。式中の記号は図-1参照。

$$f = \frac{\omega L \ell}{8 T \cos \theta} \quad (1)$$

ただし、

ω ：ケーブル単位長さ当りの自重

実際に、式(1)を用いてケーブル水平長200mと500mのケーブルについてＣＦＣＣとＳＣのサグを比較する。ＳＣはＣＦＣＣと同タイプのスパイラルロープを用い、諸元は表-2の通りとした。ケーブル水平長200mと500mのケーブルでは L 、 ℓ の値のみが異なり、500mのケーブルの諸元を表中()に示す。

図-2は計算結果であるが、ＣＦＣＣを用いるとサグがかなり小さくなることがわかる。サグが小さくなると弾性係数の低下は小さくなるので、ＣＦＣＣがＳＣより有利となる。

2) 耐風安定性

ケーブルで起こり易い渦励振、ギャロッピングの各発生風速等を

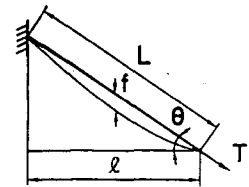
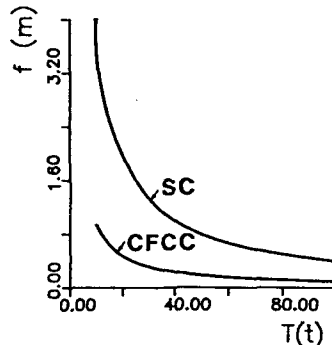


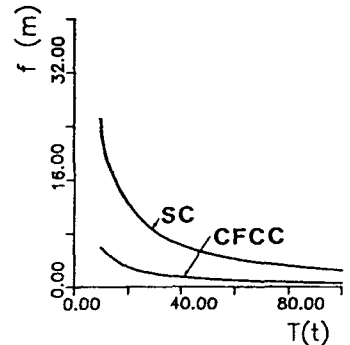
図-1 ケーブル要素

表-2 ケーブルの諸元

	ＳＣ 36φ	ＣＦＣＣ 40φ
有効断面積(mm ²)	786.0	752.6
切断荷重(kgf)	109500	109300
弾性係数(kgf/mm ²)	14000	16000
ω (kg/m)	6.42	1.508
L (m)	223.6(559.0)	223.6(559.0)
ℓ (m)	200.0(500.0)	200.0(500.0)
$\cos \theta$	0.8944	0.8944



(a) ケーブル水平長200m



(b) ケーブル水平長500m

図-2 張力とサグの関係

検討した。

・渦励振

文献3)では、亜臨界レイノルズ数領域での一様流中の二次元円筒を対象とした場合、円筒の最大変位及び最大変位発生流速が減衰比 δ^* に関して示してある(文献3) 図-3,5参照)。

ここで、

$$\delta^* = \frac{2\pi C_c}{\rho d^2 s \omega_0} \quad (2)$$

ただし、

C_c : 円筒の減衰係数 ρ : 流体密度 d : 円筒直径
 s : 円筒長 ω_0 : 円筒の固有円振動数

であり、CFCCとSCを比べると、 ω_0 、 C_c の値のみが大きく異なる。 ω_0 は弦理論より以下の式で求められる。

$$\omega_0 = \frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{Tg}{\omega}} \quad (3)$$

CFCCは ω がSCの約1/5~1/4であるので、 ω_0 は2倍強になる。また、対数減衰率が等しいとして C_c が1/2倍と仮定すると、 δ^* は1/4弱である。

文献3)の図-3より、 δ^* と最大変位は反比例の関係にあるので、CFCCの最大変位はSCに比べて4倍強になることが予想される。最大変位発生流速 v_{max} は文献3)の図-5より約1.1倍となる。

ここで、

$$v = \omega_v / \omega_0 = V / V_{cr} \quad (4)$$

であり、CFCCは ω_0 がSCの2倍強であるので、最大変位発生風速 V_{cr} も2倍強になる。

CFCCはSCに比べて渦励振が生じた場合最大変位が4倍強となり不利であるが、最大変位発生風速が2倍強となるので比較的低風速で生じているケーブル振動が現れなくなることが期待される。

・ギャロッピング

ケーブル断面が円形の場合、ギャロッピングはほとんど心配ないが、積雪等により断面が変形すると、起こり易くなる。文献4)では、六角形断面のケーブルのギャロッピング発振風速が次式で与えられている。

$$V_{cr} = \frac{2\delta\omega_0\omega}{\pi\rho Dg(-dC_F/d\alpha)} \quad (5)$$

ただし、

δ : 構造物の対数減衰率 D : 代表長さ
 C_F : 無次元空気力係数 α : 迎え角

CFCCはSCに比べて ω_0 が2倍強、 ω が約1/5~1/4であるので、ギャロッピング発生風速は1/2弱になり、したがってこれに準じたレインバイブレーション等も起き易くなることが予想される。

4. まとめ

CFCCは長大斜張橋のケーブル長を制限する大きな要素である軸方向剛性の低下を軽減することができ、今後有望であると考えられる。ただし、耐風安定性については、何らかの防止対策が必要になることも予想され、今後の詳細な検討が望まれよう。

参考文献

- 1) 片脇・西崎：新素材を利用したPC構造物に関する研究、第18回日本道路会議論文集
- 2) 東京製鋼株式会社：CFCC技術資料、平成元年4月
- 3) 田村：円筒の渦励振モデルに関する研究、構造物の耐風性に関するシンポジウム、pp.199~205、1978。
- 4) 横山・山川・坂田・斉藤・鈴木：斜張橋の大形化に対するケーブルの振動とその防止対策、三菱重工技報、Vol.14、No.3、1977。