

VI-32

新素材斜張橋ケーブルの
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 同 正会員 大塚 久哲
東京製綱㈱ 押尾 祐三 同 榎本 剛

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おり、建設分野においても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⁾。著者らはこれらの中から炭素繊維複合材料ケーブル（CFCC）²⁾を斜張橋ケーブルに利用することを想定して、振動実験および非線形特性、耐風安定性に関する基礎的検討を始めたので³⁾、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PCC鋼より線とはほぼ同じ強度をもち、単位長さ当りの重量は約1/5と軽い。

表-1 CFCCの基本的特性²⁾

	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	16400	14000	151
SWP R 7 A 12.4φ	93	18170	20140	729

3. 実験結果および考察

供試体は表-1に示すものを用い、ケーブル長は20mとした。ケーブルの張力と1次固有振動数の関係を図-1、張力と対数減衰率の関係を図-2に示す。固有振動数は弦理論式による計算値とほぼ一致する。CFCCの固有振動数は鋼より線の約2.2倍である。対数減衰率は、低張力域では鋼より線の方がCFCCより大きい、4tf近くで逆転し、切断荷重の1/3の5.5tf（CFCCの場合）ではCFCCは鋼より線の約1.5倍である。

4. 数値計算結果および考察

1) 非線形特性

CFCCは鋼より線に比べて軽いため、ケーブルの非線形特性の大小に直接的な結びつきを持つサグがかなり小さくなる。斜張橋ケーブルの最大水平長を検討する場合、強度からの制限より剛性からの制限の方が

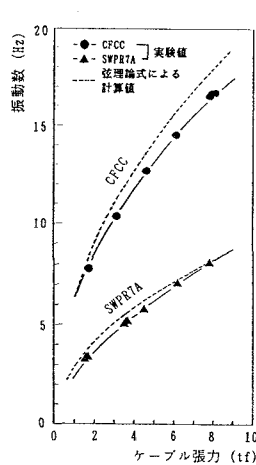


図-1 ケーブル張力と固有振動数の関係

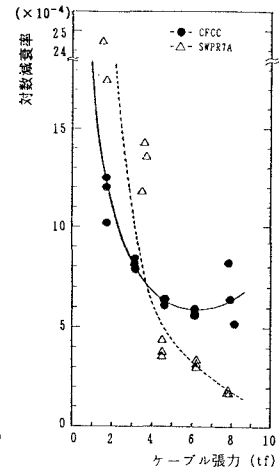


図-2 ケーブル張力と対数減衰率の関係

より厳しいものとなることがわかっている⁴⁾、表-2に示すケーブルについて、切断荷重の1/3の張力を作させた際のケーブル水平長と見かけの弾性係数の低下の関係を求め、CFCCの適用範囲について検討した。CFCCIは現在製造されているCFCCであり、CFCCIIは将来的には製造可能と考えられる弾性係数16000kgf/mm²のCFCCである。図-3にケーブル水平長と相対軸剛性の関係を示す。PWSのサグを無視した場合の弾性係数である20000kgf/mm²を基準値E₀とした。CFCCIは790m以上で、CFCCIIは600m以上でPWSより剛性が大きくなる。したがって、剛性のみから判断した場合、将来的にはスパン1200m以上の斜張橋においてCFCCが有利であると言える。

表-2 ケーブル諸元

	断面積(mm ²)	切断荷重(tf)	弾性係数(kgf/mm ²)	単位重量(kg/m)
PWS-169	3318	520	20000	26.0
CFCCI	3581	520	14000	7.2
CFCCII	3581	520	16000	7.2

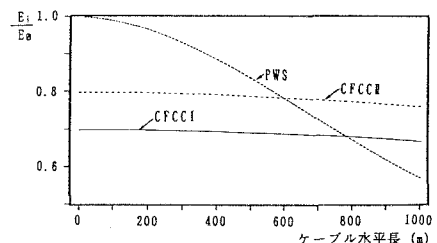


図-3 ケーブル水平長と相対軸剛性の関係

2) 耐風安定性

現在いくつかの斜張橋でケーブルの空力振動が比較的低風速の時に観測されており、重要な問題となっている。本論文ではその中から主に渦励振とギャロッピングについて検討した。

・渦励振 文献5) 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5） 図-3,5参照）。

ここで、

$$\delta^* = \frac{2 \pi C_c}{\rho d^2 s \omega_0} \quad (1)$$

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と鋼より線を比べると、 ω_0 、 C_c の値のみが大きく異なる。CFCCの ω_0 は前述の実験結果より鋼より線の約2.2倍である。また、実際に使用される張力範囲におけるCFCCの対数減衰率は鋼より線の1.5～1倍であるので、式(2)より C_c は約3/5～2/5となる。したがって、 δ^* は約1/4～1/5である。文献5)の図-3より、 δ^* と最大変位は反比例の関係にあるので、CFCCの最大変位は鋼より線に比べて4～5倍になることが予想される。

$$C_c = \frac{\delta}{\pi} \sqrt{\frac{E w}{g}} \quad (2)$$

ただし、 δ : 構造物の対数減衰率 w : 単位長さ当り重量

最大変位発生流速 v_{max} は文献5)の図-5より1.1倍以上となる。ここで、 $\nu = \omega_v / \omega_0$ (ω_v :振動子の固有円振動数)であり、CFCCは ω_0 が鋼より線の約2.2倍であるので、 ω_v は約2.5倍となる。したがって、式(3)より最大変位発生風速 V は約2.5倍になる。

$$V = \frac{d \omega_v}{2 \pi S} \quad (3)$$

ただし、 S : ストローク数

・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6)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。

$$V_{or} = \frac{2 \delta \omega_0 w}{\pi \rho D g (-d C_F / d \alpha)} \quad (4)$$

ただし、 D : 代表長さ

C_F : 無次元空気力係数

α : 迎え角

CFCCは鋼より線に比べて ω_0 が約2.2倍、 w が約1/5であるので、ギャロッピング発生風速は約2/3～1/2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。

5. まとめ

剛性の面からはスパン1200m以上の長大斜張橋においてCFCCは有利であり、今後有望であると考えられる。CFCCは鋼より線に比べて渦励振の最大変位発生風速が約2.5倍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が、最大変位が4～5倍となる。さらにギャロッピング発生風速は約2/3～1/2に落ちる。これらに関しては何らかの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) 東京製綱株式会社：CFCC技術資料、平成元年4月
- 3) 大久保・大塚：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、西部支部講演概要集、pp.26～27、1990。
- 4) N.J.Gimsing（大塚訳）：超長大支間の斜張橋、橋梁と基礎、1989-6
- 5) 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。
- 6) 横山 他：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。