

長大 CFCC 斜張橋の試設計と静的構造特性

首都大学東京大学院 学生員 田島遼

首都大学東京 正会員 中村一史・フェロー 前田研一

浙江大学 張治成・謝 旭 東京製綱 正会員 榎本剛

1. はじめに 現在の世界最長の斜張橋は中央径間 890mを有する多々羅大橋である。近年の斜張橋の長大化は目覚しく、中国では中央径間長 1,000mを超える斜張橋が建設中である。斜張橋の限界支間長を決める種々ある要因の中で支配的なものは、斜ケーブルのサグによる軸剛性の低下と主桁の座屈耐荷力であるが、前者による影響が最も厳しいという指摘もある。

そこで本研究では、従来の鋼製ケーブルに比べて、耐食性に優れ、高強度かつ軽量で、サグおよび自重を大幅に低減できる CFCC(Carbon Fiber Composite Cable)を斜ケーブルとして用いた場合、長大斜張橋の静的構造特性に及ぼす影響を解析的に検討し、その適応可能性について検討することを目的とした。

2. 解析手法及び解析モデル 従来の鋼製ケーブル(ST1770)を基に試設計された中央径間長 1,500m長大斜長橋¹⁾を参考に、CFCCの弾性係数を 137、160、200(GPa)と変化させて試設計を行った。形状決定は図-1に示すようにケーブルの断面積を決定するため、繰り返し計算によった。主塔はA型塔とし、主塔と主桁は全てのモデルで同じ断面諸元とした。長大斜張橋の一般図、主桁断面図を図-2、3に、ケーブル及び主桁、主塔の断面諸元を表-1、2に示す。サグの影響を考慮するために、ケーブルに中間節点(8分割)を設けたリンクケーブルモデルと、サグの影響を無視した一本の軸力部材の直線ケーブルモデルを作成し、検討を行った。なお、CFCCとの比較のために、斜ケーブルに鋼製プレファブケーブルの既製品を適用した場合についても検討することとし、これを鋼製ケーブルモデルとして改めて作成した。

本州四国連絡橋公団の基準を準用し、作用させた荷重は固定活荷重、温度荷重(基準温度 20℃、温度範囲±30℃)、面外風荷重(設計基準風速 37m/s)であり、荷重の組み合わせを考慮して応力度照査を行った。全て立体骨組構造でモデル化し、解析は有限変位解析にて行った。

3. 解析結果と考察 試設計の結果、ケーブル断面積は表-3 のようになった。表-3 よりCFCCでは弾性係数にかかわらず断面積が等しくなるという結果となった。CFCCの断面積は鋼製ケーブルに比べて平均で約 7%小さくなることがわかった。これはケーブルの自重が鋼よりも小さくなり、表-5 から解るようにサグが大幅に減少し、張力が減少することによるものである。

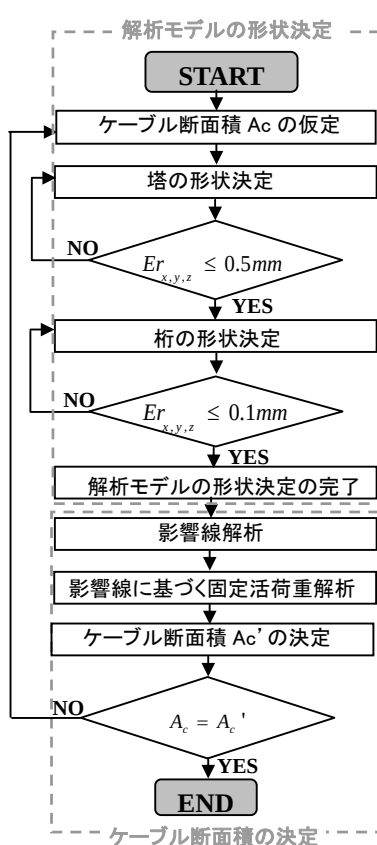


図-1 試設計フロー

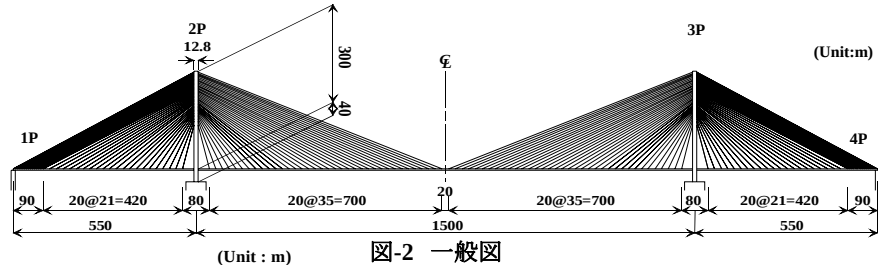


図-2 一般図

表-2 主桁と主塔の断面諸元

	A(m ²)	J(m ⁴)	Iy(m ⁴)	Iz(m ⁴)	E(GPa)	G(GPa)
主桁	1.428	12.22	6.09	113.73	210	81
	1.815	16.72	7.832	144.71	210	81
	2.104	19.15	9.095	166.66	210	81
	2.385	22.99	10.301	188.71	210	81
主塔上部	1.792	40.445	45.438	29.149	210	81
主塔下部	2.24	67.41	56.8	36.864	210	81

図-3 主桁断面図

表-1 ケーブルの設計条件

	STEEL	CFCC
引張強度(MPa)	1770	2140
比重	7.8	1.5
安全率	2.5	3.0
弾性係数(GPa)	200	137,160,200
線膨張係数(×10 ⁻⁶ /℃)	12	0.6

表-4 ケーブル自重 (Unit:tf)

	STEEL200	CFCC137	CFCC160	CFCC200
ケーブル自重	11722	3145	3147	3150

表-3 ケーブルの清算断面積 (Unit:m²)

	STEEL200	CFCC137	CFCC160	CFCC200
最上段	0.01297		0.01115	
中段	0.00974		0.00944	
最下段	0.00627		0.00601	

表-5 斜ケーブルに生じたサグ量 (Unit:m)

	STEEL200	CFCC137	CFCC160	CFCC200
最上段	11.318		3.181	
中段	3.554		1.053	
最下段	0.517		0.144	

Keyword: 長大斜張橋、CFCC、弾性係数、サグ、試設計

連絡先: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 FAX.042-677-2772

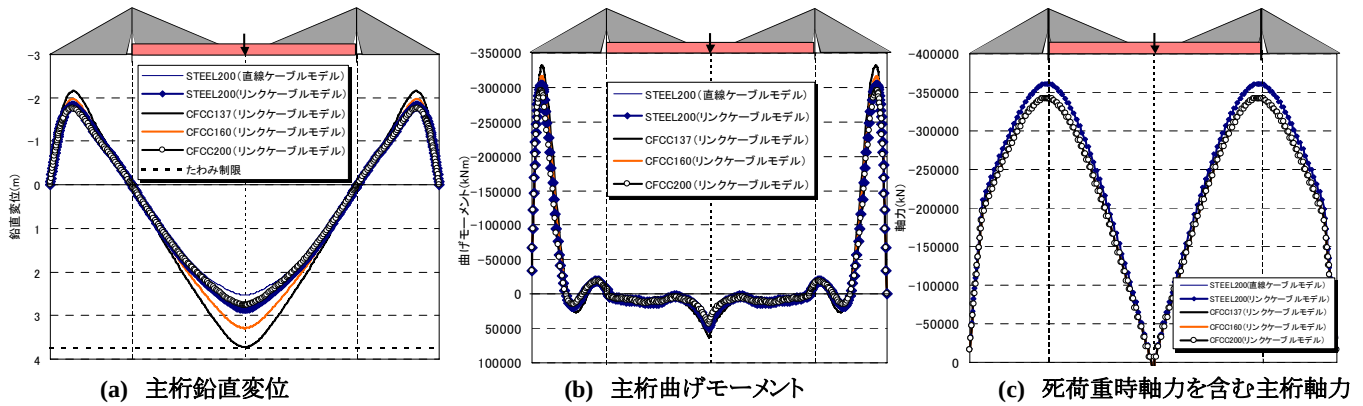


図-5 中央径間全載時における主桁の変位及び断面力

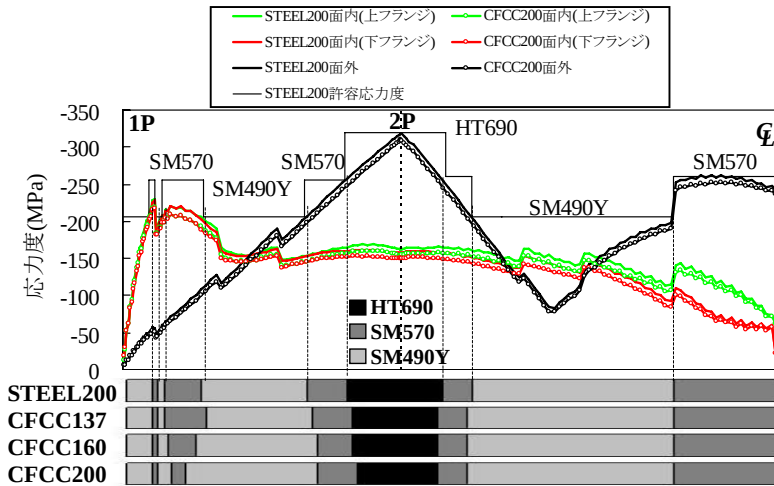


図-8 主桁の最大応力度(STEEL, CFCC200)と応力度に基づく鋼種

また、表-4 に示ようにケーブル自重は約 73% 低減した。

中央径間全載時における固定活荷重解析結果からは、図-5(a)より、CFCC では弾性係数の低下に伴って鉛直変位が増加するものの、全てのケースでたわみ制限(L/400)を満足した。主桁曲げモーメントに関しては、全てのケースにおいて側径間端部で大きな曲げモーメントが発生しており、CFCC137では鋼製ケーブルに対し10%ほど大きくなった(図-5(b))。リンクケーブルモデルと直線ケーブルモデルとを比較すると、CFCC では直線ケーブルモデルの結果を略しているが、鉛直たわみ、曲げモーメントともに同程度であった。これに対し、表-5 に示したように、サグの大きい鋼製ケーブルではリンクケーブルモデルの方が大きくなった(図-5(a),(b))。これはサグの発生による見かけの弾性係数の低下に起因するものと考えられる。図-5(c)からは主桁に生じる軸力は CFCC が鋼より小さくなることが解る。これは活荷重によって生じる軸力はほぼ等しかったことから、ケーブル死荷重の軽減が主桁軸力の低下に寄与したものと考えられる。

次に、温度応力解析結果の一部として、図-6 に主桁鉛直変位を示す。図より、鋼に比べて CFCC の方が大きくなることが解る。これは両者の線膨張係数の相違によるものであるが、中央径間では温度変化に伴う鉛直変位の方向が鋼とは逆になることも解る。なお、図を略したが、主桁軸力に及ぼす影響は小さいこと、また、主桁曲げモーメントについても CFCC の方が大きくなるものの、固定活荷重によるものに比べて十分に小さいことを確認している。

面外風荷重解析結果の一部として、図-7 に主桁面外曲げモーメントを示す。図より、ケーブルの種類によらず同程度であることが解る。図を略したが、主桁面外たわみについても全てのケースで約 18m であり、同程度であった。

最後に、主桁の応力度照査結果について、鋼と CFCC200 を比較して図-8 に示す。図中には応力度照査結果に基づき、鋼種の変更で精査した結果も併記している。まず、面外の応力度では、ケーブルの軽量化により主桁軸力が低減する影響が大きく、全体的に応力度が低くなることが解る。また、面内の応力度は、側径間端部と中央径間の一部分が支配的となるが、側径間端部以外は十分に余裕のあることが解る。CFCC137 では前述したように側径間端部の主桁曲げモーメントが増大して鋼種をアップする必要があるものの、全体的には鋼に比べて鋼種を若干低くできることが確かめられた。

4. あとがき 以上のことから、鋼製ケーブルの場合と比較して静的構造特性に大きな問題はみられなかったことから、長大斜張橋の斜ケーブルにCFCCを適用することが十分に可能であることが確かめられた。また、ケーブル死荷重の大幅な低減により、各部の断面を低減できる可能性もあることが解った。

参考文献: 1) 中村・前田:長大斜張橋主桁の塔位置支持条件および面外耐荷力に関する2,3の考察、構造工学論文集, pp.873-881, Vol.50A, 2004.3