

I - B 357 主ケーブルに新素材を用いた超長大吊橋の構造特性と耐風安定性

東京都立大学大学院 学生員 重岡 剛雄

東京都立大学 正会員 前田 研一* 正会員 中村 一史

長 大 正会員 森園 康之 新日本製鐵 正会員 江口 立也

東京大学 正会員 藤野 陽三

1. まえがき 近年のインフラ充実やアメニティ追求から、土木構造物の(超)長大化・長寿命化・景観重視などがトレンドとなって、新しい素材の実用化が求められ、より軽く、より強く、耐久性・耐食性・景観性により優れた性能が要求されている。著者らは、橋梁用新素材として最近各分野で積極的に使用され始めたCFRP（炭素繊維強化プラスチック）をとりあげて、吊橋の主ケーブルに適用することを考え、中央径間長500m～1,500mにおける経済性を主とした検討¹⁾とともに、中央径間長2,500mの超長大吊橋を対象に種々の検討を行ってきた。本稿は、これらの研究成果のうち、主ケーブルの材料としてCFRPを用いた超長大吊橋の静的構造特性と耐風安定性、および、経済性の検討結果の概要について述べたものである。

2. 材料特性と解析モデル 図-1は応力-ひずみ曲線、表-1は主要な材料特性等について、鋼材と新素材（FRP）とを比較したものである。表-1に示したように、両者の許容応力値が一致するように安全率を設定し、単位重量が激減することによる影響を主に検討することとした。一方、図-2、3は、中央径間長2,500mの超長大吊橋の試設計例の一般図、補剛桁の断面図をそれぞれ示したものである。この試設計例は、鋼材である高張力ワイヤを用いた主ケーブルを対象に設計されたもの²⁾であるが、ここでは、主ケーブルの材料を鋼材から新素材に代えて、その断面積と材料特性を変更するのみで、その他の構造諸元などについては全く同一のものを検討対象とすることとした。すなわち、主ケーブルの形状、断面積(図-3に付記)、材料特性のみが異なる2種の解析モデルを作成し、両者の解析結果を比較することによって検討するものとした。

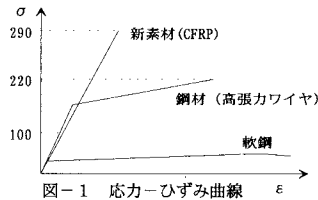


図-1 応力-ひずみ曲線

表-1 材料特性

	鋼材	新素材
引張強度(kgf/mm ²)	220	290
安全率	2.2	2.9
許容応力(kgf/mm ²)	100	100
単位重量(tf/m ³)	7.85	1.6
ヤング係数(tf/m ²)	2.0×10 ⁷	1.6×10 ⁷
線膨張係数(1/°C)	12×10 ⁻⁶	0.6×10 ⁻⁶

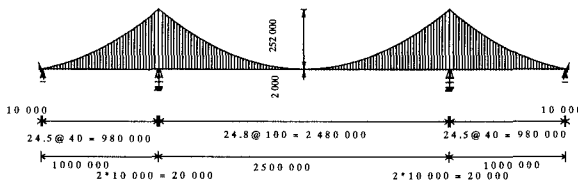


図-2 一般図

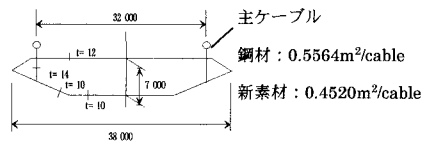


図-3 補剛桁断面図と主ケーブル断面積

3. 静的構造特性 静的構造特性の検討は、完成時の死荷重状態に、設計荷重である活荷重、温度の影響、および、風荷重をそれぞれ載荷して行った。まず、活荷重載荷では、新素材を用いたことによる主ケーブルの剛性の低下に伴って、鉛直変位が増加し、たわみ制限を僅かに超えることが解った。しかしながら、表-2に示すように、主ケーブルの最大張力は大きく減少し、総重量は単位重量の比率以上に低減されることが解った。また、温度の影響に関しては、変位、断面力ともに、当初予測していた程の大きな差異はみられなかった。さ

キーワード：超長大橋、吊橋、新素材、炭素繊維、耐風安定性、連成フラッター

連絡先*：〒192-03 八王子市南大沢 1-1 TEL 0426-77-1111(Ext. 4565) FAX 0426-77-2772

らに、風荷重載荷においては、新素材を用いたことによる主ケーブルの剛性の低下の影響が、受風面積の低下の影響を上回り、面外変位とともに、図-4に示すように補剛桁の面外曲げモーメントが若干増加したが、箱桁断面の板厚増を必要とする程の大きさとはならないことが解った。

4. 耐風安定性と安定化策 耐風安定性については、平板翼理論に基づく非定常空力（揚力、ピッチングモーメント）と準定常理論に基づく抗力を補剛桁に作用させ、40次までの固有振動モードを用いたモード解析法による連成フラッター解析^{3)・4)}を行って検討した。その結果、何ら耐風安定化策を施していない基本モデルでは、図-5に示すように、 $U-\delta$ 曲線から求められるフラッター限界風速が、新素材を用いたことによって、かなり低くなることが解った。

そこで、耐風安定化策として、新素材主ケーブルの基本モデルに、ハンガーと同断面積の新素材ケーブルを用いたケーブルステイを設置することを考え、このケーブルステイ設置モデルにおいて設置径間や定着位置を変えて検討した結果、図-6に示すように、case-1~3ともに最適な定着位置が求められ、設置径間に関係なく、ほぼ同程度の効果が得られて、鋼主ケーブルの基本モデルの限界風速を上回ることができることが解った。なお、鋼主ケーブルの基本モデルに同様のケーブルステイを設置しても、ほとんど効果はみられなかった。

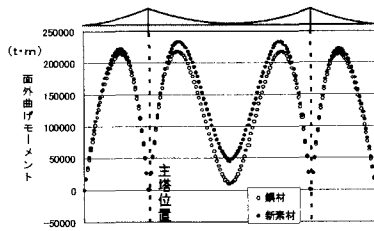


図-4 風荷重載荷時の補剛桁の面外曲げモーメント

表-2 主ケーブルの最大張力と総重量

	最大張力(tonf)			総重量 (tonf)
	D	D+L(中央径間)	D+L(全径間)	
鋼材	54984.43	59873.18	60636.31	40513.62
新素材	41841.48	46687.98	47336.29	6707.16

D:死荷重 L:活荷重

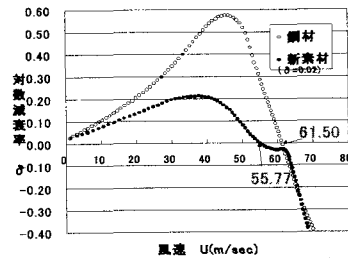


図-5 基本モデルの $U-\delta$ 曲線

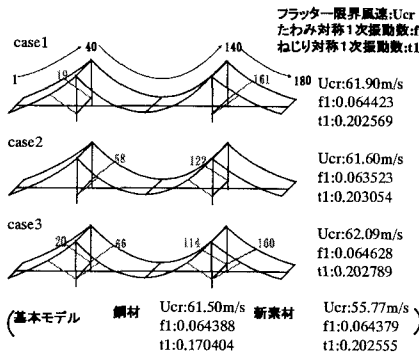


図-6 ケーブルステイ設置モデルの
フラッター限界風速と振動数

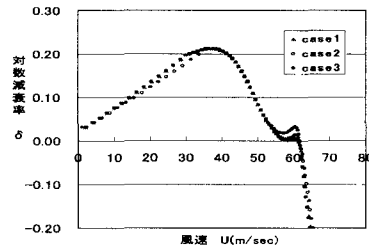


図-7 ケーブルステイ設置モデルの $U-\delta$ 曲線

5. あとがき 検討の結果、アンカレイジや中間橋脚、および、主塔などの工費の低減も期待され、現在は鋼材に対して重量比で10倍を超える新素材(FRP)の価格が、今後さらに低くなっていきさえすれば、多くの解決すべき課題は残されているものの、経済的にも実現可能となるのはそう遠くない将来であるといえた。

【参考文献】 1) 森野・江口・前田・中村・藤野：新素材ケーブルを用いた吊橋の経済性に関する研究，第54回年次学術講演会講演概要集1，1999。 2) 前田・岩本・森野・田平・長井・藤野：MONO-DUO形式化とリジッドハンガーによる超長大吊橋の耐風安定化策の実現性，構造工学論文集，Vol.44A，1998。 3) 岩本・藤野・長井：三次元モデルによる長大斜張橋のフラッター解析，第48回年次学術講演会講演概要集1，1993。 4) 宮田・山田・太田：立体骨組解析法における横たわみしたトラス補剛桁吊橋の曲げねじれフラッター解析，土木学会論文集，No.404/I-11，1989。