

CFRP 主ケーブル超長大吊橋の構造特性と経済性

東京都立大学 学生員 宗澤研郎 正会員 前田研一*・中村一史
 京王電鉄 正会員 重岡剛雄 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 フェロー 藤野陽三

1. まえがき 近年における新素材の開発の進展は著しく、なかでも繊維強化プラスチック(FRP)の性能の進歩には目を見張るものがある。特に最近では、その比強度が極めて高いことから、鋼製ケーブルの代わりにFRP製ケーブルを吊橋の主ケーブルに用いることによって死荷重を大幅に低減でき、総死荷重に占める主ケーブルの自重の割合が大きな長径間の橋になればなるほど、その効果も大きくなることが指摘されるようになっている。本研究^{1)~3)}は、このような指摘を受け、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)製ケーブルを主ケーブルに用いた中央径間長 2,500m の超長大箱桁吊橋の試設計を行い、静的構造特性、動的耐風安定性、および、経済性を鋼製主ケーブル使用の場合と比較、検討するものである。今回は、主ケーブルに用いるCFRPとして引張強度の異なる6種類のものを用い、それらの影響について解析結果をもとに検討を行った。

2. 材料特性 鋼主ケーブルとCFRP主ケーブルの主要な材料特性等を表-1に示す。表にも示したように、以後6種類のCFRPはそれぞれCFRP(許容応力度の数値)と表現する。これら鋼と6種類のCFRPとの計7種類の主ケーブル素材を用いて、図-1に示す中央径間2500mの超長大吊橋の試設計を行った結果、主ケーブル断面積と主ケーブル関係死荷重は表-2に示す値となった。これより鋼に比べCFRPは死荷重が大幅に減少し、CFRPでは、引張強度が大きくなると断面積がより小さくなるため、死荷重もそれにつれてさらに減少することがわかった。

表-1 主ケーブルの材料特性

	鋼	CFRP(100)	CFRP(110)	CFRP(120)	CFRP(130)	CFRP(140)	CFRP(150)
単位体積重量(tf/m ³)	7.85	1.60					
弾性係数(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}					
引張強度(kgf/mm ²)	200	250	275	300	325	350	375
安全率	2.0	2.50					
許容応力度(kgf/mm ²)	100	100	110	120	130	140	150

表-2
主ケーブル断面積と主ケーブル関係死荷重

	σ_s (kgf/mm ²)	A(m ²)	wc(tf/m)
CFRP	100	0.4540	0.905
	110	0.4096	0.830
	120	0.3746	0.770
	130	0.3446	0.720
	140	0.3192	0.680
	150	0.2963	0.640
鋼	100	0.5564	4.825

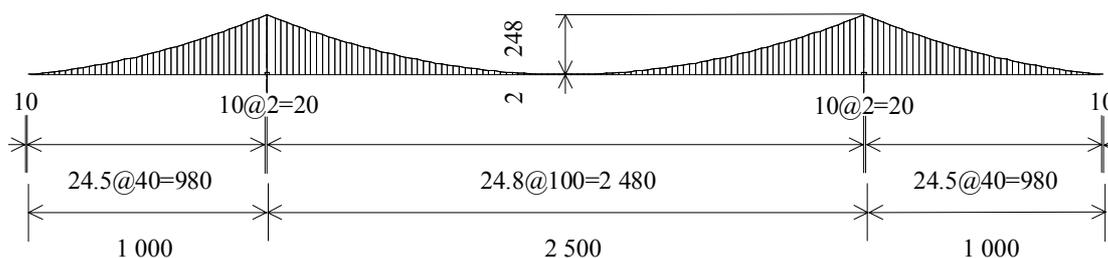


図-1 超長大吊橋の一般図

3. 静的構造特性 CFRP主ケーブルは鋼主ケーブルに比べ、断面積、弾性係数が小さいため剛性が低下し、設計荷重(活荷重、風荷重)に対する静的構造特性は劣る点が見られたが、大きな問題となる程ではなかった。また、図-2には活荷重載荷(全径間満載)時の主ケーブル張力の値を示すが、CFRPが軽量であるために、鋼に比べ、主ケーブル張力が大幅に低減されることがわかった。このことは経済性に大きく影響を及ぼすが、それについては後の経済性の部分でまとめて考察することとする。

Key Words : 超長大吊橋, CFRP, 静的構造特性, 耐風安定性, 経済性

連絡先* : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL 0426-77-1111 FAX 0426-77-2772

4. 動的耐風安定性 CFRP 主ケーブルは軽量であり、それが利点である反面、そのことにより耐風安定性が損なわれる。図-3 は連成フラッター解析結果を示したものであり、耐風安定性の低下が確かめられた。鋼に比べ、CFRP は全ての場合に耐風安定性が大きく低下し、CFRP(140)を除けば、CFRP(100)から CFRP(150)へと軽量になるにつれ耐風安定性が低下し、耐風安定性が主ケーブルの死荷重(質量)にほぼ依存していることがわかった。

CFRP(140)のみが特異な結果を示したことに関しては、質量との関係からは説明出来ず、また、ねじりやたわみの振動数の変化を調べた結果からも原因は把握できなかった。そこでモード寄与率を比較した結果、CFRP(140)に特徴が見られ、これが耐風安定性の低下の原因と考えられた。

これらの結果より、耐風安定性は主ケーブルの質量にある程度の相関関係を示すが、微妙なバランスの狂いにより寄与するモードの組み合わせが変化することによっても大きく耐風安定性が低下する可能性があるかと予測された。

なお、ここでは省略するが、別項⁴⁾で報告したように CFRP 主ケーブルを用いた場合であっても適切な耐風安定化策を施すことにより、6 種類全てフラッター限界風速 76m/s 程度まで耐風安定性を向上させることが可能であることを確かめている。

5. 経済性

図-2 に示した結果からは、CFRP を用いることにより主ケーブル最大張力が大幅に低減され、アンカレージや基礎にかかる費用を大きく縮減できると予想された。また、純粋に主ケーブル工事のみにかかる総工費を比較した結果を図-4 に示す。総工費は架設費と材料費を合計したものであり、CFRP の軽量の特性を生かせば、架設費を縮減できると予想し、単位体積当りで CFRP

は鋼の場合の半分として算出した。また、材料費は現在、単位重量当りでみると、CFRP は鋼の 20 数倍を超えているが、ここでは 10 倍または 15 倍の 2 通りを考えた。この図から、材料費が 15 倍までになると経済性の面で競合するようになり、10 倍までになると CFRP は 6 種類全てで経済的となることがわかった。

6. あとがき

鋼主ケーブルと比べ、CFRP 主ケーブルでは静的構造特性においてやや劣る点はあるものの、大きな問題はみられず、動的耐風安定性についても低下するが、適切な耐風安定化策を施すことによりフラッター限界風速 80m/s 弱まで耐風安定性を向上させることができた。経済性についても、単位重量当りで CFRP の価格が鋼の 15 倍程度になると主ケーブル総工費のみでも競合するようになることがわかった。

参考文献

- 1) 前田・森園・中村・江口・藤野：新素材 (FRP) 超長大吊橋の構造特性と経済性、構造工学論文集, Vol.46A, 2000.
- 2) 江口・前田・森園・中村・藤野：超長大吊橋メインケーブルへの CFRP の適用に関する 2, 3 の考察, 第 1 回 FRP 橋梁に関するシンポジウム論文集, 2001.
- 3) 前田・森園・中村・江口・藤野：長大, 超長大 CFRP 主ケーブル吊橋の経済性と耐風安定性, 第 1 回 FRP 橋梁に関するシンポジウム論文集, 2001.
- 4) 重岡・前田・中村・森園・江口・藤野：CFRP 主ケーブル超長大吊橋の構造的耐風安定化策, 第 56 回年次学術講演会講演概要集, 2001.

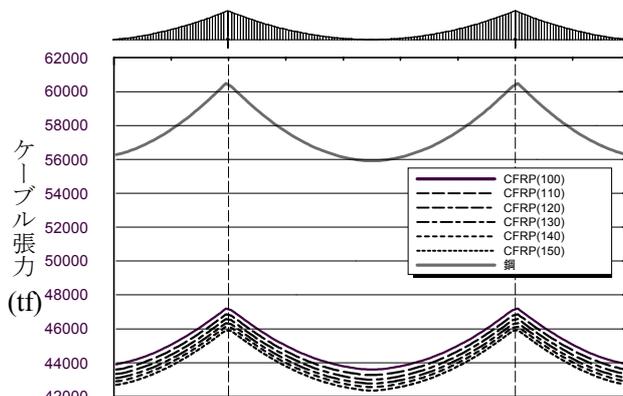


図-2 活荷重載荷時 (全径間載荷) の主ケーブル張力

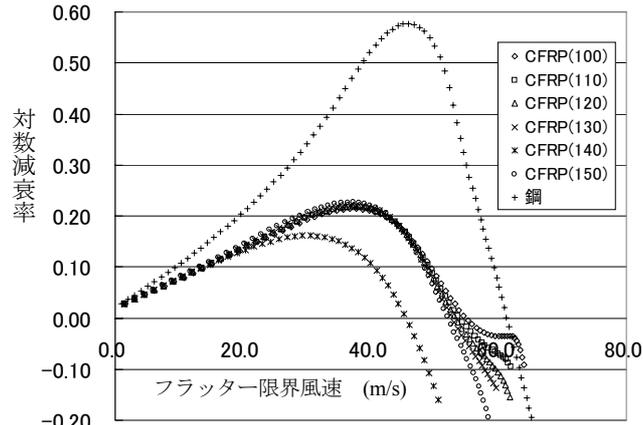


図-3 風速-減衰曲線

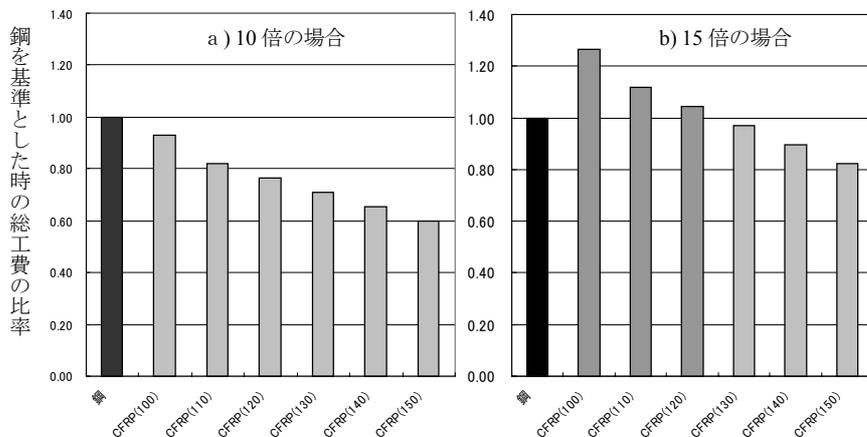


図-4 材料費 10 倍または 15 倍の場合における総工費の比率