

CFRP 主ケーブル超長大吊橋の構造的耐風安定化策

京王電鉄 正会員 重岡剛雄 東京都立大学 正会員 前田研一*
 東京都立大学 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 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、なかでも軽量で比強度の高い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、吊橋の総死荷重に占める主ケーブルの自重の割合は長径間になればなるほど大きくなることから、鋼製ケーブルの代わりに FRP 製ケーブルを超長大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、経済性に及ぼす効果が特に大きくなるのではということが指摘されるようになってきている。本研究^{1)~4)}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 2,500m の超長大箱桁吊橋の試設計を行い、構造特性および経済性を調べて、鋼製主ケーブル使用の場合と比較、検討するものである。CFRP を用いることにより軽量となることが利点である反面、そのことにより耐風安定性が低下するため、本論文では、適切な構造的耐風安定化策について、解析結果をもとに検討を進めた。

2. 試設計の結果 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 に示す超長大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。鋼に比べ CFRP は死荷重が大幅に減少し、また 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、死荷重はそれにつれてさらに減少することがわかった。

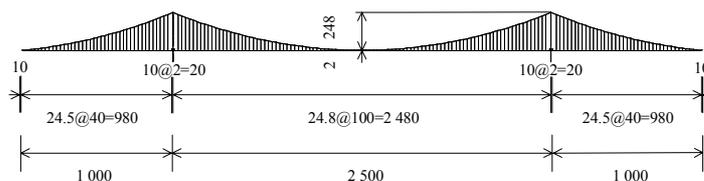


図-1 超長大吊橋の一般図

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_a (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

3. 基本モデルの動的耐風安定性 全ての種類的主ケーブルに対応する 7 種類の基本モデル (耐風安定化策を施さない状態) について連成フラッター解析を行い、得られた風速-減衰曲線を図-2 に示す。この結果より、CFRP は全て鋼に比べて耐風安定性が低下することが確かめられた。また、CFRP の種類別で見ると、CFRP(140)を除いて、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ており、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。

4. 構造的耐風安定化策 図-3 に示すリジッドハンガー、および、クロスハンガーはともに耐風安定化策として有効であると考えられているが、リジッドハンガーは補剛桁と主ケーブルを剛結する構造で、せん断抵抗の弱い CFRP 主ケーブルには適さず、また、クロスハンガーは安全な走

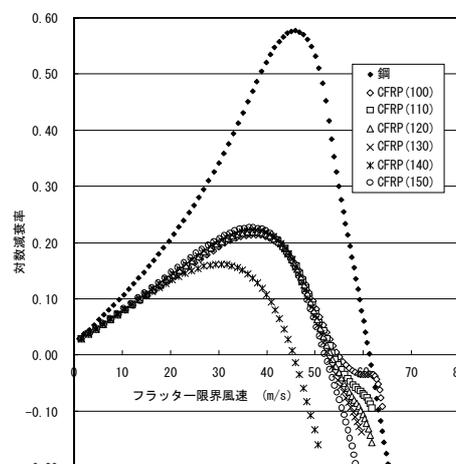


図-2 風速-減衰曲線

Key Words : 超長大吊橋, CFRP, 耐風安定性, リジッドハンガー, クロスハンガー

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

行や視野を妨げたり、風により面外変位が生じたときに片効き状態となり、効力が半減する欠点がある。これら2種の耐風安定化策の欠点を補い、長所を生かす耐風安定化策として、図のようにリジッドハンガーとクロスハンガーを組み合わせた形式をここでは提案した。したがって、この形式の構造の位置を橋軸方向にスライドさせ、また、図中にxで示したリジッドハンガー部の高さを変化させることにより、合理的な設置位置、および、リジッドハンガー部の合理的な高さを把握する必要がある。しかし、このような3次元的な検討は困難であるため、リジッドハンガー、クロスハンガーの位置を個々に橋軸方向にスライドさせ、各々の最も効果的であった位置でリジッドハンガー部の高さxを変化させて、耐風安定性に最も効果を及ぼした高さを求め、合理的な位置、高さとする事とした。

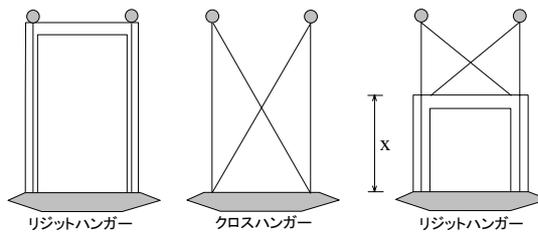


図-3 構造的耐風安定化策

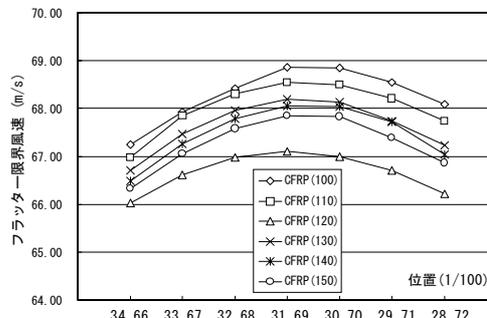


図-4 リジッドハンガーの位置と限界風速

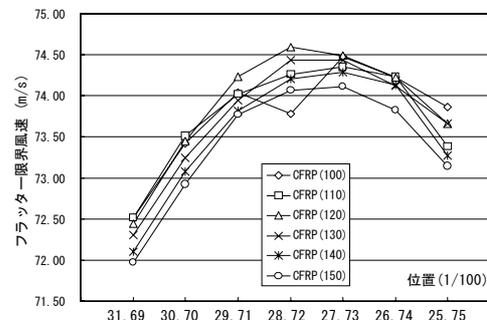


図-5 クロスハンガーの位置と限界風速

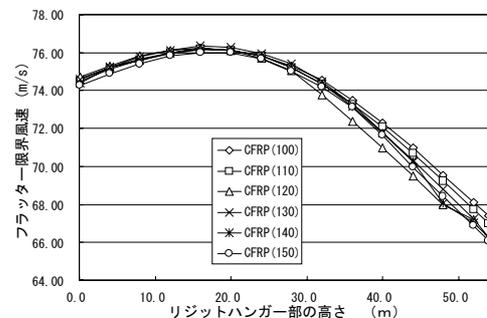


図-6 リジッドハンガー部の高さで限界風速

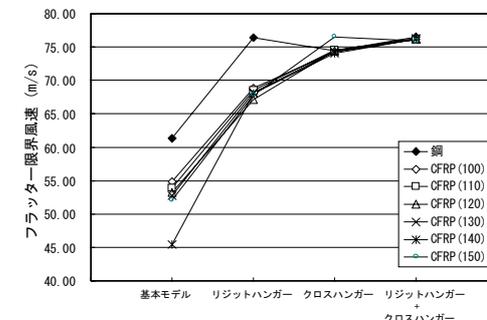


図-7 耐風安定化策の効果のまとめ

5. 耐風安定化に及ぼす効果 CFRP 主ケーブルの場合、リジッドハンガーの位置を橋軸方向にスライドさせた結果、最も効果的な位置は中央径間 31/100, 69/100 (図-4 参照) であり、クロスハンガーに関しては 27/100, 73/100 (図-5 参照) であった。図は省略したが、鋼主ケーブルの場合は両方とも効果的な位置は 35/100, 65/100 であった。よってこれらの位置にリジッドハンガー+クロスハンガー形式の構造を設置して検討を加えた。CFRP 主ケーブルの場合、クロスハンガーの合理的な位置に設置したもののほうが耐風安定化策として効果があったので、その場合の検討結果を図-6 に示す。最後に、種々の耐風安定化策を施した効果についてまとめた結果を表-3、図-7 に示す。

これらの図、表から、CFRP を主ケーブルに用いることにより、耐風安定性は低下したが、適切な構造的耐風安定化策を施すことにより、目標値であるフラッター限界風速 80m/s に迫り、鋼主ケーブルの場合とほぼ同程度まで耐風安定性が向上するといえた。また、リジッドハンガー+クロスハンガー形式はそれぞれの欠点を補うのみでなく、それらを単独で設置するより耐風安定性が向上することもわかった。

表-3 耐風安定化策の効果のまとめ

	基本モデル	リジッドハンガー	クロスハンガー	リジッドハンガー+クロスハンガー	
				リジッドハンガー基準	クロスハンガー基準
鋼	61.29	76.44	74.47	76.57	76.57
CFRP(100)	54.88	68.86	74.35	73.54	76.23
CFRP(110)	53.91	68.55	74.59	73.53	76.18
CFRP(120)	53.22	67.11	74.44	73.41	76.22
CFRP(130)	52.70	68.20	74.29	73.27	76.34
CFRP(140)	45.50	68.06	74.11	73.10	76.14
CFRP(150)	52.09	67.85	76.50	72.96	76.00

【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) 宗澤・前田・中村・重岡・森園・江口・藤野：CFRP 主ケーブル超長大吊橋の構造特性と経済性，第 56 回年次学術講演会講演概要集，2001。