

新素材主ケーブル超長大吊橋のサグ比と動的耐風安定性

春本鐵工 正会員 栗原 直久 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(FRP)の開発の進展は著しく、特に最近では、比強度が極めて高いことから、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）製ケーブルを吊橋の主ケーブルを用いることによって、死荷重を大幅に低減でき、長径間になるほど、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^{1), 2)}。本研究は、このような指摘を受け、中央径間 2,500m の超長大流線形箱桁吊橋の試設計³⁾を行い、サグ比を変えて動的耐風安定性の評価を行ったものである。

2.材料特性と解析モデル 鋼製、CFRP 製主ケーブルの主要な材料特性等を表-1 に、応力 - ひずみ曲線を図-1 に示す。この表に示すように、ともに許容応力度 100kg/mm^2 に一致するように安全率を設定して検討するものとした。また、解析対象とする一般図を図-2 に、補剛桁断面図を図-3 に、死荷重強度と主ケーブル断面積を表-2 に示す。解析モデルは、鋼製主ケーブルモデルと CFRP 製主ケーブルモデル、それぞれサグ比 4 種類、計 8 種類のモデルとした。便宜上、塔の断面諸量は同一とした。よって、各モデルの断面諸量の相違点は、主ケーブルの断面積と死荷重のみである。

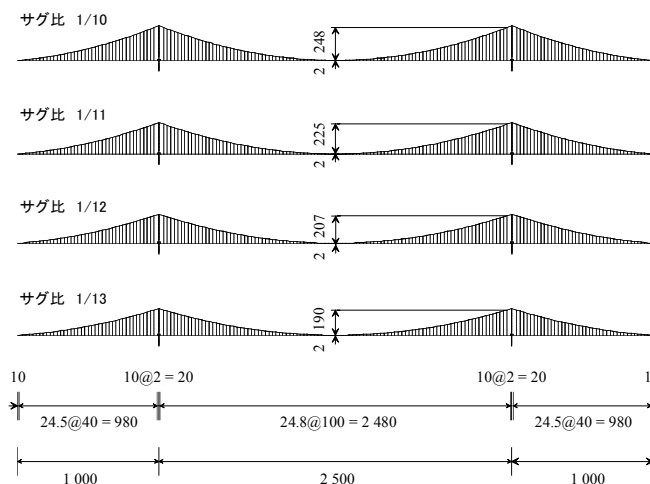


図-2 一般図

表-1 主ケーブルの材料特性

	鋼	CFRP
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
安全率	2.0	2.5
許容引張強度 (kgf/mm ²)	100	100

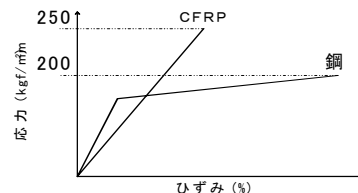


図-1 応力 - ひずみ曲線

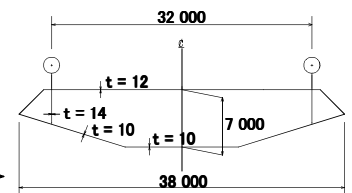


図-3 補剛桁断面図

表-2 死荷重強度と主ケーブル断面積

	f/L	f(m)	H=f+72(m)	A(m ²)	中央径間			側径間		
					ws(tf/m)	wc(tf/m)	w=ws+wc(tf/m)	ws(tf/m)	wc(tf/m)	w=ws+wc(tf/m)
鋼	1/10	248	320	0.5966	11.595	5.155	16.750	11.610	5.280	16.890
	1/11	225	297	0.6691	11.585	5.725	17.310	11.600	5.845	17.445
	1/12	207	279	0.7433	11.580	6.310	17.890	11.595	6.430	18.025
	1/13	190	262	0.8320	11.575	7.005	18.580	11.585	7.140	18.725
CFRP	1/10	248	320	0.4540	11.595	0.905	12.500	11.610	0.940	12.550
	1/11	225	297	0.4945	11.585	0.965	12.550	11.600	0.990	12.590
	1/12	207	279	0.5346	11.580	1.025	12.605	11.595	1.050	12.645
	1/13	190	262	0.5808	11.575	1.085	12.660	11.585	1.120	12.705

A: ケーブル断面積
 ws: 吊構造部死荷重
 wc: ケーブル関係死荷重
 H: 塔長
 L: 中央支間長
 f: サグ

3.動的耐風安定性 固有振動解析から得られる 40 次の固有振動数と固有振動モードを用いたマルチモード連成フラッター解析⁴⁾を行った結果を図-4 に示す。以下、鋼製主ケーブルモデルを Steel、CFRP 製主ケーブルモデルを CFRP と表示する。まず、耐風安定化策を施していない基本モデルについての結果を述べると、サグ比 1/10 で CFRP は、Steel に比べて限界風速が 10%程度低下を示した。この低下は主ケーブルの軽量化と伸び剛性、幾何剛性の低下が原因と考えられる。また、サグ比が低下するにしたがって Steel は限界風速が直線的に低下し、サグ

Key Words: 超長大橋, 吊橋, CFRP, サグ比, 耐風安定性, フラッター限界風速,

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

比 1/13 では CFRP と同程度まで低下した。一方，CFRP はほとんど変化しなかった。図-5 は，鉛直たわみ対称 1 次振動数とねじり対称 1 次振動数の推移を示したものであり，鉛直たわみ対称 1 次振動数は，サグ比の低下によってほとんど変化しなかったが，ねじり対称 1 次振動数は，CFRP に比べて Steel の方が大きな傾きで低下を示した。このねじり対称 1 次振動数の低下は，極慣性モーメントが増加したにもかかわらず，ねじり剛性の増加がみられなかったことによるものと考えられた。

4.耐風安定化策 これら基本モデルの検討に引き続き，耐風安定化策として図-6，図-7 に示す水平クロスステイの取り付けと，桁高を $\sqrt{2}$ 増加させることについて検討を試みた。これらは，景観，経済性をほとんど損なわずに構造的耐風安定性の確保が出来るため，耐風安定化策として効果的であるとされているものである。水平クロスステイの最適取り付け区間は，図-7 に示したように塔頂より中央径間側に 30 パネル(1 パネル：ハンガー一定着間隔)であった。また，最適桁高増加区間は図-8 に示したように塔から両径間に 25 パネルであった。

図-4 より，水平クロスステイを取り付けることによって，Steel では，サグ比 1/10 でほとんど変化がなかったのがサグ比 1/11 で 77.1m/sec と急激に上昇し，サグ比 1/13 へ直線的に低下している。このサグ比 1/10 からサグ比 1/11 への急激な上昇は図-8 の風速 - 減衰曲線の屈曲によるものである。一方，CFRP は 10%～15%程度の限界風速の上昇を示した。次に桁高を $\sqrt{2}$ 倍にすることによって，Steel では，サグ比の変化に関わらず 20%程度の限界風速の上昇を示し，CFRP でも 10～15%程度の限界風速の上昇を示した。さらに，水平クロスステイの取り付けと桁高の増加を組み合わせると，Steel においては桁高増のみの場合とほぼ同程度であったが，CFRP においてはかなりの相乗効果を示し，サグ比 1/10 で最大 30%程度の限界風速の上昇を示した。

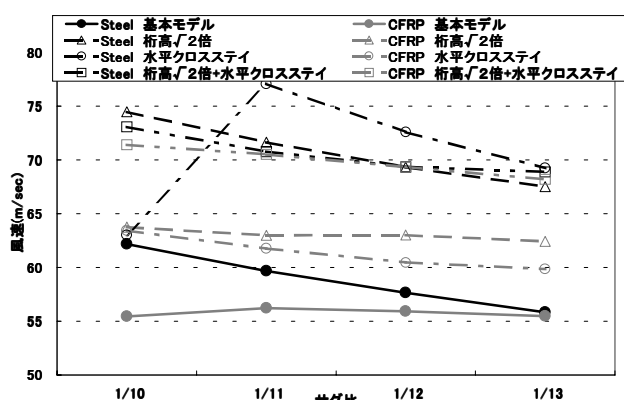


図-4 サグ比の変化による限界風速の推移

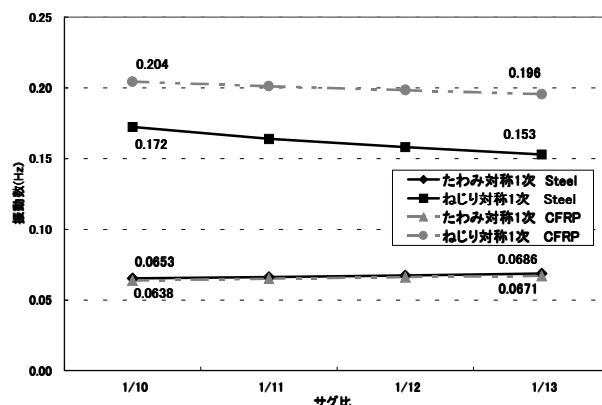


図-5 サグ比の変化による限界風速の推移(基本モデル)

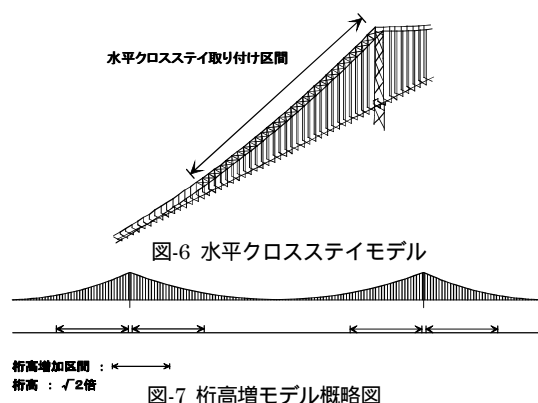


図-7 桁高増モデル概略図

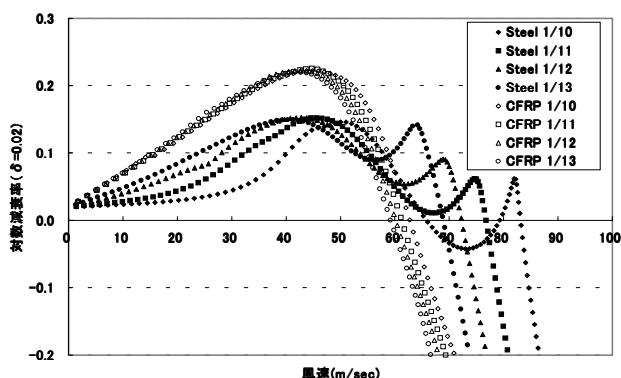


図-8 風速 - 減衰曲線(水平クロスステイモデル)

5.あとがき 以上，CFRP を用いた新素材主ケーブル超長大吊橋のサグ比の変化が動的耐風安定性に及ぼす影響について，基礎的な資料を得ることが出来た。また，動的耐風安定性が，効果的な構造的耐風安定化策を施すことでかなり改善されることも示唆できた。

【参考文献】1) 建設省土木研究所材料施工部化学研究室：繊維強化プラスチックの土木構造材料への適用に関する共同研究報告書() - 1 次構造材料としての FRP の適用事例調査 -，共同研究報告書 No.210, 1998. 2) 前田・森園・中村・江口・藤野：新素材 (FRP) ケーブルを用いた超長大吊橋の構造特性と経済性，構造工学論文集，Vol.46A, 2000. 3) 宗澤・前田・森園・中村・江口・藤野：新素材主ケーブル超長大吊橋のサグ比と経済性：第 55 回年次学術講演会講演概要集()，2000. 4) 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(I)，1993.