

オールプラスチック極超長大吊橋の試設計と材料特性

東京都立大学 フェロー 前田研一 東京都立大学 正会員 中村一史
東京都立大学大学院 学生員 巻島健吾
長 大 正会員 池田虎彦 土木研究所 正会員 明嵐政司

1. まえがき 1998 年策定の「新全国総合開発計画」において 6 ルートの海峡横断道路プロジェクトが選定され、海外においてもメッシナ海峡連絡橋やジブラルタル海峡連絡橋など中央径間 3,000m を超える超長大吊橋および中央径間 5,000m に至る極超長大吊橋が計画されている。これらにおいては死荷重の低減が求められるとともに、極超長大吊橋では塔高の制約からサグ比の低減の必要性も生じる。本研究で対象とした中央径間 5,000m、側径間 2,000m の極超長大吊橋（図-1）の場合、サグ比を従来の 1/10 から 1/20 程度までに低減せねばならず、鋼材の使用による実現が不可能であることは容易に確かめられる。これらの問題は、比強度の高い CFRP（炭素繊維強化プラスチック）を補剛桁・主ケーブル・ハンガー等に使用することで解決できる。本研究は前回の検討¹⁾の後、新たに得られた曲げ圧縮強度に関する知見を受け、再度試設計を行って静的構造特性を検討するとともに、動的耐風安定性も考慮して最適な材料特性の組み合わせを得ることを試みたものである。

2. 解析モデルと設計条件 3 径間 2 ヒンジ形式について立体骨組構造の有限変位解析モデルを作成し、試設計を行なった。一般図を図-2 に示す。補剛桁、主ケーブル、ハンガーには CFRP を用い、主塔は RC 橋脚の鉄筋を CFRP に置き換えた CFRP コンクリート合成柱とした（図-3）。補剛桁断面はねじり剛性が高く、抗力係数を低く抑えられる楕円形状とし、補剛桁中を車両が走行する構造とした（図-4）。各部材の材料特性を表-1 に、断面諸量を表-2 に示す。ただし、補剛桁の風荷重載荷時の許容応力度は、100N/mm² に割増係数 1.5 を乗じた 150N/mm² とした。

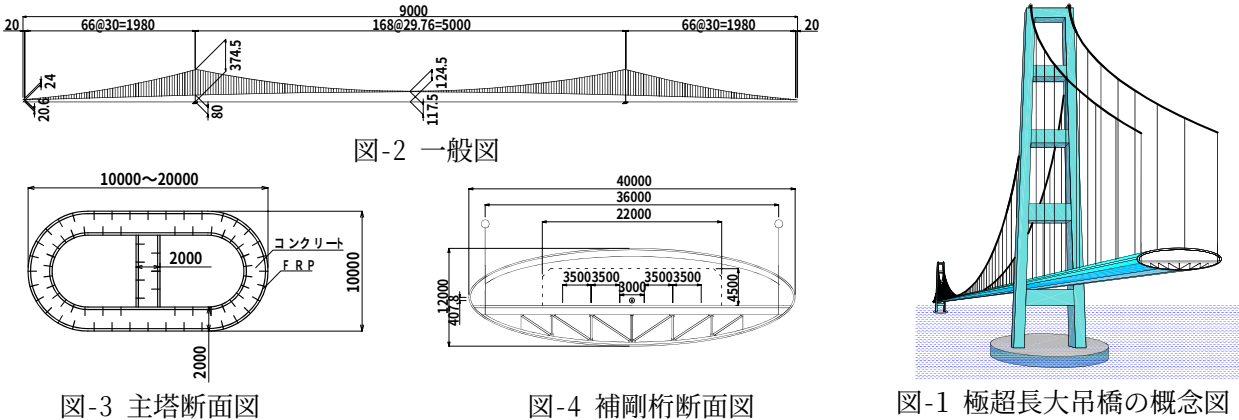


表-1 材料特性

材料	ケーブル・ハンガー	補剛桁	主塔
単位体積重量 (kN/m ³)	CFRP 15.7	CFRP 17.5	コンクリート 23.0
弾性係数 (GPa)	160	65	30
せん断弾性係数 (GPa)	—	30	13
線膨張係数 (1/°C)	10.0×10 ⁻⁷	10.0×10 ⁻⁶	—
引張強度 (N/mm ²)	2450	—	—
曲げ強度 (N/mm ²)	—	引張・1000 圧縮・500	—
安全率	2.5	5.0	—
許容応力度 (N/mm ²)	980	100	—

表-2 断面諸量

	主ケーブル	ハンガー	補剛桁
断面半径 (m)	0.63	0.04	40×12
断面積 (m ²)	1.25	0.006	6.14
外枠換算板厚 (m ² /m)	—	—	0.055
ねじり定数 (m ⁴)	—	—	352.3
面外断面二次モーメント (m ⁴)	—	—	896.0
面内断面二次モーメント (m ⁴)	—	—	100.5

3. 試設計結果と構造特性 試設計の結果、面内および面外に比較的大きなたわみを生じたが、車両の走行性や構造の安全性に影響を及ぼすほどの量ではなかった（図-6, 7）。風荷重載荷時の補剛桁に生じる面外曲げ応力度もほぼ許容範囲内（図-8）であり、試設計において静的には大きな問題は生じないことが解った。ただし、フラッター限界風速は約 50m/s と低く（図-9）、何らかの耐風安定化策の実施が必要であることが確かめられた。

Key Words : 極超長大吊橋、CFRP、材料特性、耐風安定性
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

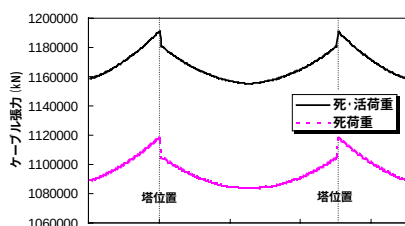


図-5 主ケーブル張力

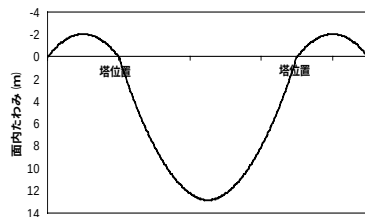


図-6 活荷重載荷時の面内たわみ

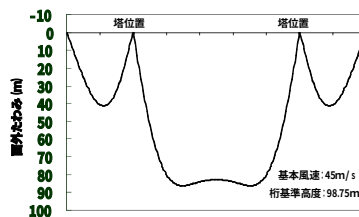


図-7 風荷重載荷時の面外たわみ

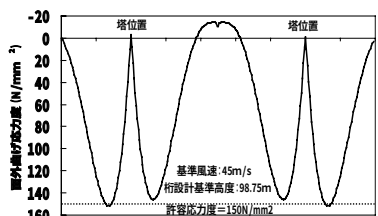


図-8 風荷重載荷時の面外曲げ応力度

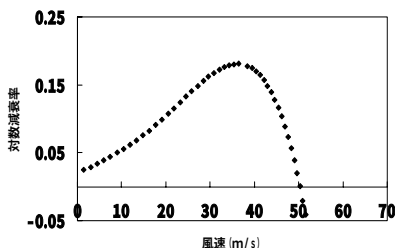


図-9 風速-減衰曲線

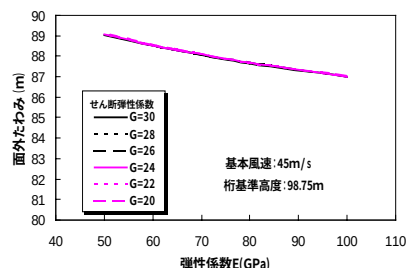


図-10 材料特性と面外たわみ

4. 補剛桁材料特性が構造特性に及ぼす影響 CFRP は異方性であり、内部の炭素繊維の方向とその割合を変化させることによって、弾性係数 E およびせん断弾性係数 G をある程度調整することが可能である。そこで、より高い耐風安定性を獲得し得る弾性係数とせん断弾性係数の組合せを検討することとした。それに先立って、静的構造特性に及ぼす影響を検討した結果、面外たわみおよび曲げ応力度については、弾性係数の影響のみを受けることが解ったが、弾性係数の増加に対する変化は小さかった（図-10, 11）。これに対してフラッター限界風速については、せん断弾性係数の影響が支配的で弾性係数の影響はほとんどみられなかった（図-12）。

次に、桁上部空間を制約無しに利用可能な点に着目した新たな耐風安定化策である「立体クロスハンガー」（図-13）²⁾ を全径間に設置したケースについても検討した。その結果、面外たわみなどについては未設置時とほぼ同様の傾向を示した。しかし、限界風速については弾性係数、剪断弾性係数ともに影響を及ぼし、弾性係数 65GPa 付近において支配的な振動モードの変化により、限界風速がピーク値となる傾向がみられた（図-14）。したがって、弾性係数 65GPa・せん断弾性係数 30GPa が、このケースにおける最適な値の組合せと考えられた。

5. まとめ 補剛桁材料の曲げ圧縮強度に関する新しい知見を反映させて再度試設計を行なった結果、および、新耐風安定化策の設置も考慮した適切な補剛桁材料特性を検討した結果、静的構造特性にはほとんど問題がないこと、さらに、フラッター限界風速を向上させる最適な材料特性の組合せが存在し得ることなどが解った。

参考文献

- 1) 宗澤・前田・中村・池田・明嵐：オールプラスチック極超長大吊橋の必要性和その試設計、第 57 回年次学術講演会講演概要集、2002.9.
- 2) 巻島・前田・中村・池田・明嵐：オールプラスチック極超長大吊橋の動的構造特性と新耐風安定化策、第 58 回年次学術講演会講演概要集、2003.9

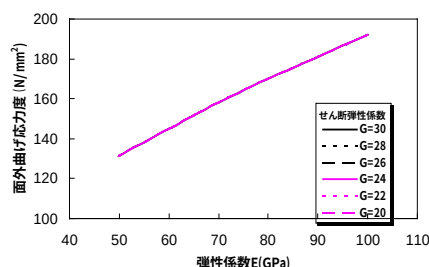


図-11 材料特性と面外曲げ応力度

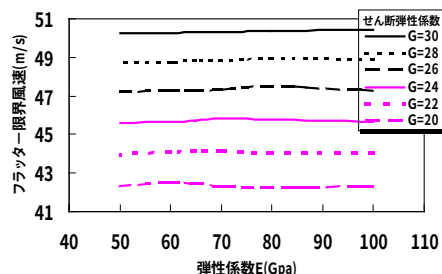


図-12 材料特性と限界風速

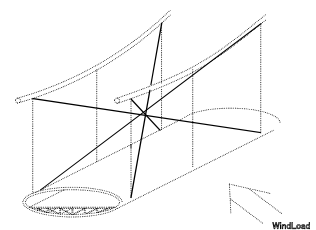


図-13 立体クロスハンガー

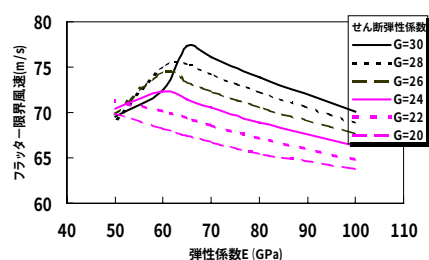


図-14 耐風安定化策設置時の材料特性と限界風速