

CFRP 極超長大吊橋の構造特性と新耐風安定化策

日本構造橋梁研究所 正会員 巻島健吾

首都大学東京 フェロー 前田研一 首都大学東京 正会員 中村一史

長 大 正会員 池田虎彦 土木研究所 正会員 明嵐政司

1. 研究背景と目的 現在、国内外において中央径間 3,000m ~ 5,000m に至る超長大、極超長大吊橋が検討されている。橋梁の極超長大化には、橋梁の自重増大化による主ケーブルの負担増加への対処および主塔高を抑えるためのサグ比の低減が必要不可欠となる。本研究においては、試設計対象として 2,000 + 5,000 + 2,000m の 3 径間 2 ヒンジ吊橋を設定した（図-1）。上述の問題には、ほぼ全ての構造部材に軽量かつ比強度の大きいCFRP（炭素繊維強化プラスチック）を使用することで対処した上で静的・動的構造特性の検討を行った。

2. 解析モデルと設計条件 中央径間 5,000m、側径間 2,000m の 3 径間 2 ヒンジ形式を対象とし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。一般図と塔断面図を図-2,3 に示す。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、補剛桁内部を車両が走行する構造とした（図-4）。また、補剛桁断面形状は、ほぼ同じ断面積であるTYPE1,2 の 2 ケース（図-5）について比較を行った。

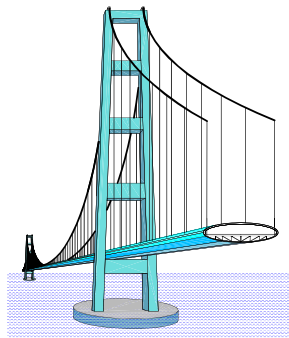


図-1 概念図

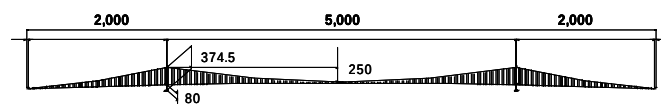


図-2 一般図

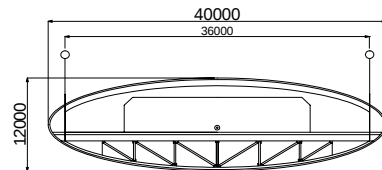


図-4 補剛桁断面図

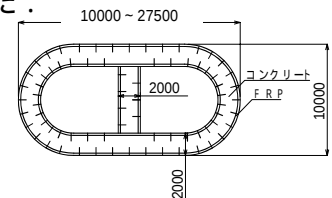


図-3 主塔断面

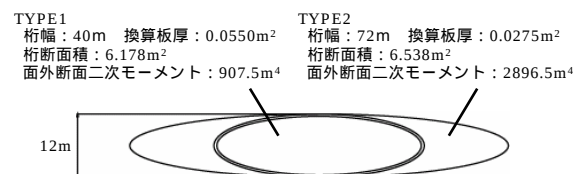


図-5 補剛桁 TYPE1,2 の断面諸量

3. 試設計結果と構造特性 TYPE1,2 に風荷重を載荷した際の補剛桁面外たわみを図-6 に示す。補剛桁の面外断面二次モーメントを割増しても、風荷重載荷時の補剛桁面外変位の抑制効果は小さかった。これは、補剛桁と主ケーブルの面外変位差が大きくなることで、ハンガーに発生する復元力が増加し、それによって主ケーブルの負担する風荷重の割合が増大するためであり、その結果補剛桁の剛性が構造全体に及ぼす影響が相対的に小さくなっているためとわかった（弾性分配理論）。著者らが以前に報告した中央径間 2,500m 三径間吊橋における傾向と本対象モデルにおける傾向とは明らかに異なっている（図-7 a）b）。次にフラッター限界風速に着目すると、TYPE1 のほうが 10m/s 以上高くなった。これは補剛桁外枠の板厚を増すことでねじり剛性が強化され、結果、ねじり対称一次振動数が上昇したためである。したがって、TYPE1 を用いるほうが合理的であるといえた。

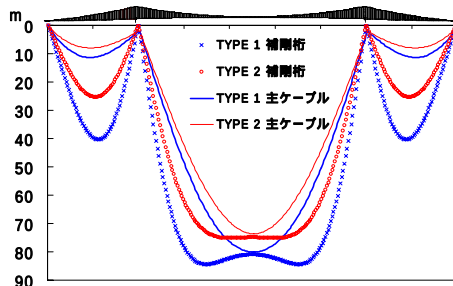


図-6 風荷重載荷時面外変位図

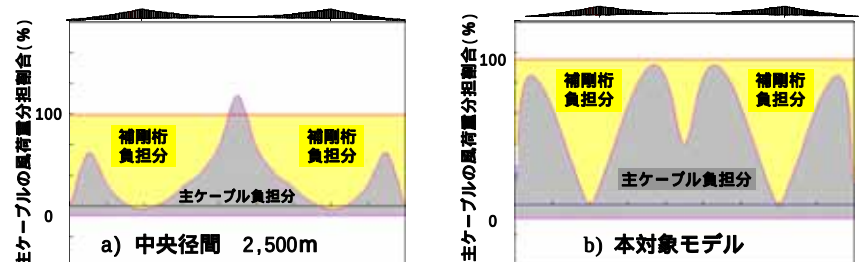


図-7 主ケーブルの風荷重分担割合(弾性分配理論)

Key Words : 極超長大吊橋, CFRP, 弾性分配理論, 耐風安定性, モード寄与率

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

しかしながら、フラッター限界風速は 50m/s 程度であり、耐風安定性に不安を残す結果となった。以上より、耐風安定化策の検討が必要であることがわかった。

4. 耐風安定化策の提案 既存の構造的な耐風安定化策の代表的な形式として『クロスハンガー』、『水平クロスステイケーブル』などが挙げられる。本研究では新たな耐風安定化策として『立体クロスハンガー』（図-8）を提案した。立体クロスハンガーはクロスハンガーと水平クロスステイケーブルとを組み合わせた形式であり、4本のケーブルを立体的に設置することで吊区間のねじり剛性の向上を期待したものである。

5. 立体クロスハンガーの合理的な設置形式・設置位置の検討 立体クロスハンガーを構成する4本のケーブルを1～6パネルに設置することで、合理的な設置間隔の検討を行った。解析の結果、1パネルのケースで減衰曲線のモードが他と異なっており、フラッター限界風速が高くなることがわかった（図-9）。また、合理的な立体クロスハンガー断面積の検討を行った結果、 0.018m^2 を境にして2段階の傾向が見られた（図-10）。モード寄与率に着目すると、 0.015m^2 以下では面内たわみ対称一次モードとねじり対称一次モードとが支配的であるのに対し、 0.018m^2 以上では面内たわみ対称一次モードとねじり対称二次モードが支配的であった（図-11）。以上の結果から、1パネルに断面積 0.018m^2 で設置するのが最も合理的であることがわかった。次に、CFRPが異方性であり、弾性係数 E およびせん断弾性係数 G の調整が可能であることに着目し、立体クロスハンガーを全径間に設置した場合について合理的な補剛桁材料特性の組合せを検討した。解析の結果、基本的にせん断弾性係数 G が支配的ではあるが、弾性係数 $E = 65\text{GPa}$ においてフラッター限界風速がピークを迎えるケースが多いことがわかった（図-12）。せん断弾性係数 $G = 30\text{GPa}$ 時に着目してモード寄与率を調べた結果、 $E = 65\text{GPa}$ を境に連成する支配的な振動モードが変化していた。これは耐風安定化策を設置しなかった場合には見られなかった挙動であった。以上の結果から、 $E = 65\text{GPa} \cdot G = 30\text{GPa}$ が最も合理的であるといえた。また、合理的な集中配置位置は検討の結果、中央径間・両主塔から支間 $1/4 \cdot 3/4$ 地点であった（図-13）。

6. 結論 本研究対象モデルについて補剛桁の剛性を増すことによる面外変位抑制効果は非常に小さいことがわかった。これは極端な長大化により風荷重の分配比率が一般的なケースと異なったためと考えられる。立体クロスハンガーを合理的な設置位置に集中配置した場合、フラッター限界風速 70m/s と、耐風安定性を大きく向上させることができ、新耐風安定化策が極超長大吊橋に対して極めて有効であるといえた。

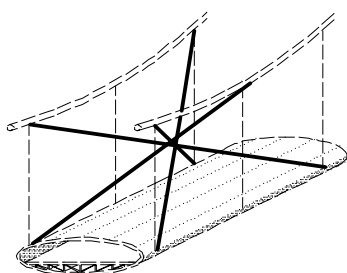


図-8 立体クロスハンガー概念図

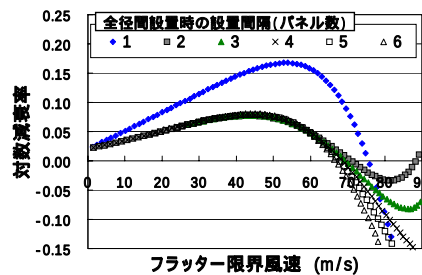


図-9 設置間隔と減衰曲線

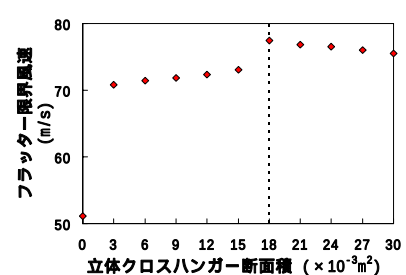


図-10 断面積とフラッター限界風速

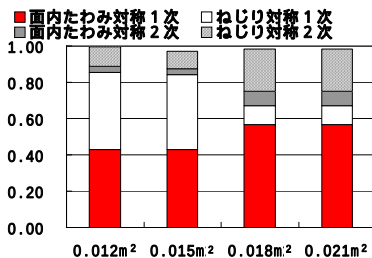


図-11 断面積とモード寄与率

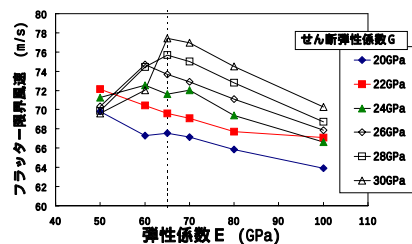


図-12 補剛桁材料特性と限界風速

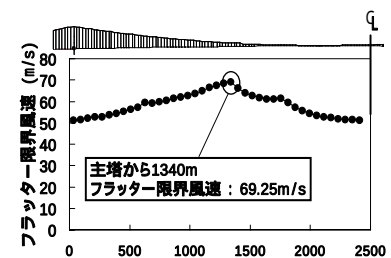


図-13 集中配置時の合理的設置位置

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) 前田・巻島・中村・池田・明嵐：オールプラスチック極超長大吊橋の試設計と材料特性，第58回年次学術講演会講演概要集，2003.9.
- 3) 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.