

建設企画コンサルタント 正 員 〇武 伸明 建設企画コンサルタント 正 員 木谷紋太
 大阪大学大学院 学生員 小西英明 大阪大学工学部 正 員 西村宣男

1. まえがき 21世紀へ向けて、新しい広域経済圏の基盤を形成するため、第二国土軸に代表される新交通軸の必要性が議論されている。新交通軸を形成する海峡横断プロジェクトの実現には、社会的なコンセンサスを得るため、安全で、無駄のない構造形式が要求されるが、既往の技術の延長による設計ではこれらに対応しきれない問題があり、技術革新を必要としている。これまで、新形式吊橋として提案してきたデュアルケーブル形式吊橋^{1), 2)}に、重量比強度の優れる炭素繊維材をケーブルに適用した場合の構造特性と経済性について検討した。

2. 検討条件と解析結果

2.1 解析モデル 試設計を行うデュアル形式吊橋 (Type-D) の基本形状を図-1に示す。従来型吊橋 (Type-S) については、ケーブルシステム以外の基本的な構造諸元は同じとした。検討に用いたケーブルの機械的性質を表-1に示す。新素材ケーブルに、軽量かつ高強度、高弾性の繊維強化複合材料 (FRP) として実用化されているパン系の炭素繊維材を用いた (Type-SC, DC1, DC2)。炭素繊維材の引張強度に対する安全率は、実績が少ないことを考慮して3.0とした。



図-1 解析モデル

表-1 ケーブルの機械的性質

使用材料	鋼ケーブル	炭素繊維ケーブル
引張強度 (N/mm ²)	1960	2058
弾性係数 (KN/mm ²)	196	147
単位体積重量 (t/m ³)	7.85	1.6
許容応力度 (N/mm ²)	980	686
線膨張係数	1.2×10^{-5}	0.6×10^{-6}

2.2 解析手順 設計パラメータ (ケーブルシステム、ケーブル材料、中央スパン長、サブケーブルプレストレス) の影響を調べることを目的として、Selberg 式によりフラッター限界風速を算定し耐風安定性の照査を行うものとした。フラッター限界風速の算定に用いる鉛直たわみ、ねじれ固有振動数は、膜理論に準拠しケーブルシステムを考慮した振動方程式を導き近似的に計算した。また、立体骨組解析により求めた固有振動数との比較を行い、膜理論解析の固有振動数の精度を確認した。これにより、フラッター照査風速 (= 79.1 m/sec) を確保できる部材断面を求めた後、主塔を含む吊橋全体の立体有限変位解析を行い、部材断面を照査した。なお、仮定断面、仮定鋼重と精算値は、繰り返し計算を行い収束させた。Type-D, DC1, DC2 の自重を除いたサブハンガーを導入するプレストレスは、 $P = 147, 343, 539 \text{ KN/片側}$ とした。

2.3 静的構造特性 静的風荷重による水平変位の解析結果を図-2に示す。ケーブル材料の機械的性質に関わらず、デュアル形式は水平変位を抑制する効果があることを確認した。また、中央スパン長が増大するに従い、メインケーブルに弾性係数の低い炭素繊維ケーブルを用いた形式 (Type-SC, DC2) は、メインケーブルに鋼ケーブルを用いた形式 (Type-S, D, DC1) より変位が大きくなる。Type-SC, DC2 の最大水平変位は、中央スパン長 3000 m では、Type-S, D, DC1 と比べて、40~55%の増加となる。

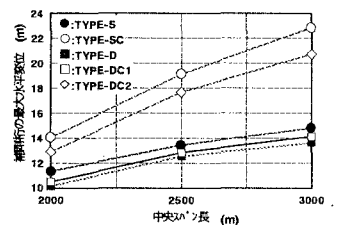


図-2 水平変位

2. 4 固有振動特性

ケーブル張力の復元力によるねじれ剛性、極慣性モーメントと中央スパン長の関係を図-3に示す。デュアル形式は、吊橋全体のねじれ剛性に占めるケーブル張力によるねじれ剛性の割合が高い。また、極慣性モーメントは、鋼ケーブルではケーブル死荷重の影響により、スパン長に比例して増加の割合が高くなる。

中央スパン長 3000m の場合のサブケーブルプレストレスと固有振動特性との関係を図-4に示す。炭素繊維ケーブルを用いた場合は、鋼ケーブルと比較して、鉛直たわみ固有振動数は 3~9%、ねじれ固有振動数は 31~43% 上昇する。ねじれ固有振動数が大きく上昇したのは、鋼に比べて約 4 倍の重量比強度である炭素繊維材の性能により、重量に比例する極慣性モーメントが減少したためである。また、サブケーブルプレストレスを導入した効果も、鋼ケーブルより大きい。特に、耐風安定性に影響のあるねじれ固有振動数は、サブケーブルプレストレスの導入量に比例して上昇しており、ケーブル張力の復元力によってねじれ剛性を高めたデュアルケーブルの効果が出ていると考えられる。

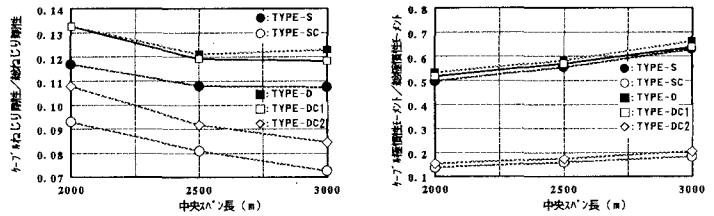


図-3 ねじれ剛性と極慣性モーメント

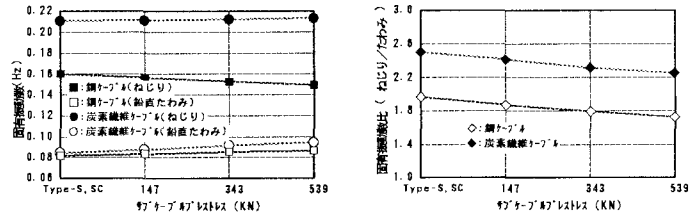


図-4 固有振動数

2. 5 経済性

炭素繊維ケーブルを使用した場合のケーブルプレストレスと使用材料の重量比との関係と、概算上部工工費と中央スパン長との関係を図-5に示す。炭素繊維ケーブルの単価は、鋼ケーブルの 10 倍として算定した。全体では Type-S の上部工工費が最小となるが、スパン長が増大しても差は 30% 以内である。ケーブル死荷重張力は、Type-SC, DC2 で約 40% 小さくなるため、アンカレッジなどの下部工工費を含めると、経済性の差は縮小すると考えられる。

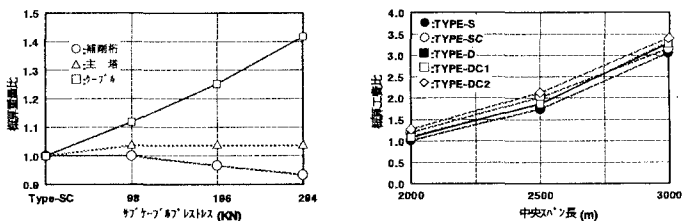


図-5 経済比較

3. まとめ

- デュアル形式に炭素繊維材を使用した場合、サブケーブルの拘束により、従来形式と比べて水平変位を約 10% 低減できる。
- デュアル形式のメイン・サブケーブルに炭素繊維材を使用すると、サブケーブルプレストレス導入量に比例して、ねじれ固有振動数は上昇する。
- Type-DC2 において、ケーブル張力によるねじれ剛性の増加により補剛桁鋼重は低減できることを確認した。鋼ケーブルと炭素繊維ケーブルとの単価差が縮小すると、経済性で有利となる可能性がある。炭素繊維ケーブルの効果は確認できたが、使用実績は少ないため、材質の信頼性、終局強度に対する安全性、アンカ一定着部やサドル部の角折れなどの検討が必要である。

【参考文献】

- 武伸明, 木谷紋太, 西村宣男, 小西英明: デュアルケーブル形式による超長大吊橋の試設計, 土木学会関西支部年次学術講演会概要集, 1996.5
- 西村宣男, 小西英明, 武伸明, 木谷紋太: 新形式吊橋の構造特性の比較, 土木学会関西支部年次学術講演会概要集, 1996.5