

建設企画コンサルタント 正 員○武 伸明
大阪大学工学部 正 員 西村宣男

1. まえがき 補剛桁の下側にサブケーブルを配置し、メインケーブルとサブケーブルの間にプレストレスを導入する補助的ケーブルシステムにより、ねじれ剛性の増加と死荷重の軽減を目的とした新構造吊橋を提案した。プレストレスの効果はケーブルの死荷重張力を増加させることによる剛性増加をもたらすが、スパンが長大になりサブケーブルが扁平になるとサブケーブルの重量が増加して桁自重低減の効果が消滅する。本研究では、プレストレスの効果を改善するため重量比強度の優れる新素材として炭素繊維ケーブルを使用したデュアル形式吊橋の試設計を行い、鋼ケーブルを使用した形式と比較して、構造特性と経済性について考察を行う¹⁾。

2. 検討条件 デュアル形式吊橋の基本形状を図-1に示す。中央径間長 L は $1000\sim 3000m$ とし、単径間吊橋を対象とした。従来形式吊橋 (CASE 1) とデュアル形式吊橋 (CASE 2) のケーブルシステムを図-2に、各解析タイプに用いたケーブル種別とケーブルシステムの組み合わせを表-1に示す。炭素繊維材はフィラメント強度 $3430kN/mm^2$ 以上の製品が商品化されているが、エポキシ樹脂等の結合材で補強したものがケーブル材として供給される。そのため、複合材である炭素繊維ケーブルは、フィラメントの材質や混入率により様々な機械的性質を持たせることが可能である。ここでは、PC橋での使用実績があるCFCC工法の炭素繊維ケーブルを考慮して、 $2060kN/mm^2$ の引張強度を有するPAN系の炭素繊維材を使用することとして機械的性質を設定した²⁾ (表-2)。

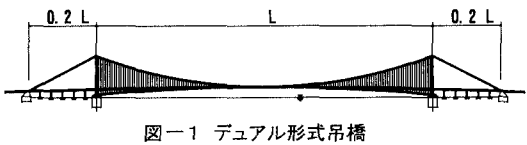


図-1 デュアル形式吊橋

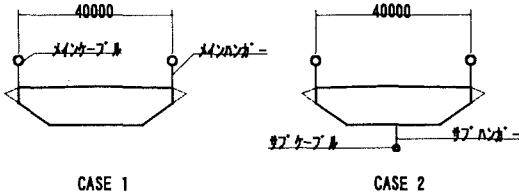


図-2 ケーブルシステム

表-1 解析タイプとケーブル種別

解析タイプ	メインケーブル	サブケーブル	ケーブルシステム
Type-S	鋼 線	—	CASE 1
Type-SC	炭素繊維	—	CASE 1
Type-D	鋼 線	鋼 線	CASE 2
Type-DC1	鋼 線	炭素繊維	CASE 2
Type-DC2	炭素繊維	炭素繊維	CASE 2

表-2 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)	2160	2060
弾性係数 (kN/mm^2)	196	147
単位体積重量 (tf/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}

3. 解析結果

3.1 静的構造特性 静的風荷重を作用させた場合の補剛桁最大水平変位を図-3に示す。Type-SC, DC2 は、中央径間長が増大するに従い、Type-S, D, DC1 より水平変位が大きくなる。Type-SC, DC2 の最大水平変位は、Type-S, D, DC1 と比べて、 $L=1000m$ では24~25%、 $L=2000m$ では35~36%、 $L=3000m$ では、46~51%の増加となる。これはケーブルの軽量化により死荷重が減少し、水平横方向変位に対するケーブル復元力が低下するためである。

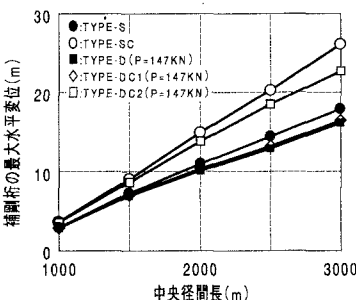


図-3 最大水平変位と中央径間長

Nobuaki TAKE, Nobuo NISHIMURA

3.2 固有振動特性

中央径間長をパラメータとした場合のプレストレス導入量と固有振動数との関係を図-4に示す。耐風安定性に影響のあるねじれ固有振動数について、Type-DC2 はプレストレス導入量に比例して上昇している。これは、炭素繊維ケーブルの軽量化に伴うケーブル張力の減少によるねじれ剛性の低下はあるものの、重量に比例する極慣性モーメントの減少が大きく上回ったためであり、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。

3.3 プレストレス導入量と部材重量

図-5は、プレストレス導入量と補剛桁・ケーブル・主塔の重量との関係を、Type-DC2/Type-S (L=3000m) について示している。炭素繊維ケーブルの重量は、単位体積重量比で補正して鋼ケーブルと比較した。

3.4 ケーブルシステムと経済性

比較したケーブルシステムにおける各部材の重量の内訳と中央径間長との関係を図-6に示す。鋼ケーブルを使用した場合、中央径間長の増大とともに総重量に占めるケーブル重量分は指数的に大きくなるが、炭素繊維ケーブルの場合は、直線に近い増加となっている。

図-7は、Type-S (L=1000m) の上部工工費を 1.0 として、中央径間長を変化させた場合の概算上部工工費の比率を示している。材料費と架設費を含めた炭素繊維ケーブルの重量当たりの単価は、今後の量産化によるコストダウンを考慮して鋼ケーブルの 5 倍に設定した。図では Type-SC, DC2 の工費は、Type-S を下回り L=2000m 以上になると工費差が開いていくことを示している。Type-DC2/Type-S の概算工費比を比較すると、L=1000, 2000, 3000m において、0.99, 0.96, 0.87 となる。中央径間長の増大とともに、総工事費に占めるケーブルコストの割合は重量に比例して指数的に大きくなり、ケーブルのコストが建設費に影響することが判る。

4. まとめ

- (1) メインケーブルに炭素繊維材を使用した場合、鋼材の場合と比べて、水平横方向変位に対するケーブル復元力が低下するため、水平変位は増加する。
- (2) 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、ケーブルによる極慣性モーメントの増加を抑えることができるため、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。
- (3) Type-DC2 において、プレストレス導入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価格差が縮小すると、中央径間長の増大とともに経済性で有利となる可能性がある。

炭素繊維ケーブルを長大吊橋に本格的に採用するには、材料コストの低減が第一であるが、材質の信頼性、終局強度に対する安全性、アンカー定着部やサドル部の角折れなどについても検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 武伸明, 木谷紋太, 小西英明, 西村宣男: 新素材を適用したデュアルケーブル形式吊橋に関する考察, 鋼構造年次論文報告集, 1997.11
- 2) 土木学会: 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針 (案), コンクリートライブラリ-88号, 1996

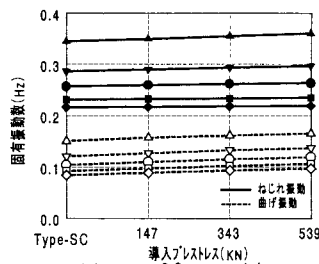


図-4 プレストレス導入量と固有振動数

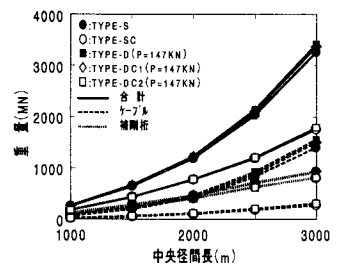


図-6 概算重量

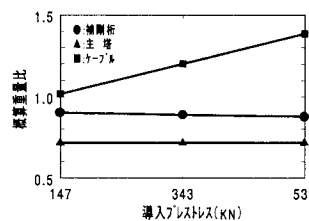


図-5 プレストレス導入量と重量

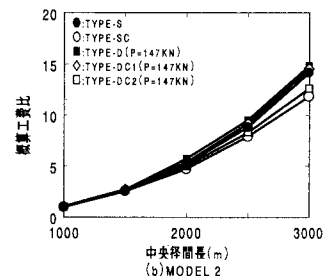


図-7 経済比較