

大阪市立大学工学部 正 員 中井 博
(株) 神戸製鋼所 正 員 三田村武
大阪市立大学工学部 学生員○石坪高典

大阪市立大学工学部 正 員 北田俊行
神鋼鋼線工業(株) 正 員 小林 剛

1. まえがき 新素材は、図-1に示すように、高強度であるが、脆性で高価でもある。また、鋼線は、延性であるが、重量が大きく、腐食が発生し易いという問題もある。これらの材料のそれぞれの欠点を互いにカバーし、両者の利点が発揮できるようにすれば、新しいケーブルが開発できる。本研究においては、鋼線の周りを綾紐状に編んだ新素材で覆うハイブリッド・ケーブル素線¹⁾を考案し、それを鋼橋に用いた場合の力学的特性について検討を行った。このようなハイブリッド・ケーブル素線のうち、本研究においては、炭素繊維と鋼より線とを組合わせたハイブリッド・ケーブル素線の安全性、その組合わせ、および斜張橋のケーブルへの応用について考案を行ってみた。

2.1 安全率の設定方法 炭素繊維は、構造部材として用いる場合、品質のばらつきによる強度の変動が大きい。そのため、終局限界状態に対する安全率 ν を大きくしたり、降伏限界状態や何らかの理由で炭素繊維が切断した状態(事故発生状態)についても安全性を照査する必要がある。図-2は、ハイブリッド・ケーブルを用い橋梁の荷重-たわみ曲線を例示したものである。ここで、係数 α は、設計荷重に対する倍率を表す荷重パラメータである。この値 α 、すなわち安全率 ν としては①降伏限界状態(㊸)に対して： $\nu_v=1.7$ 、②終局限界状態(㊹)に対して： $\nu_u=3.0$ 、また③事故発生状態(㊺)に対して： $\nu_R=1.1$ を確保する必要がある。

2.2 鋼より線と種々な炭素繊維との組合わせ 図-3に示すように、炭素繊維と鋼より線とからなるハイブリッド・ケーブル素線の解析モデルを考える。そして、上で示した炭素繊維の機械的性質や安全率を用い、ハイブリッド・ケーブル素線の試設計を行ってみた。その結果、現在、入手可能な炭素繊維の中では、炭素繊維トレカ T700S(破断強度 $\sigma_{cvt}=300\text{kgf/mm}^2$ 、ヤング係数 $E_{ci}=18,800\text{kgf/mm}^2$)²⁾が最適であることがわかった。なお、炭素繊維を編んで素線とすることによって炭素繊維の強度や剛性が低下するため、これらの試設計における、炭素繊維の破断強度 σ_{cv} 、およびヤング係数 E_c は、チャンピオンデータである σ_{cvt} 、および E_{ci} のそれぞれ60%、および80%の値を用いることにした。

3. 斜張橋のケーブルへの適用 図-4には、検討に供した斜張橋の基本解析モデルを示す³⁾。このモデルは、道路橋示方書にしたがって死荷重Dと活荷重Lの組合わせに対して設計された一段ケーブルの斜張橋である。そして、主桁と塔とは、完全に独立した構造となっている。また、ケーブルには鋼線が用いられている。

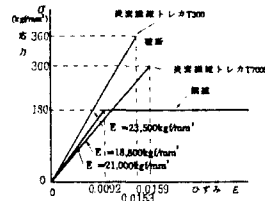


図-1 炭素繊維、および鋼線の応力-ひずみ曲線

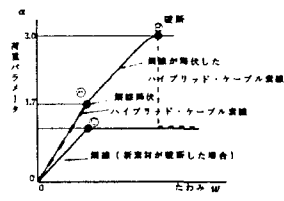


図-2 ハイブリッド・ケーブルを用いた橋梁の荷重-たわみ曲線の一例

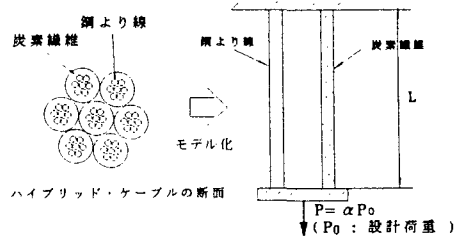


図-3 構造解析モデル

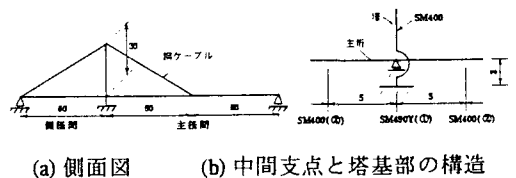


図-4 基本解析モデル(寸法単位: m)³⁾

この基本解析モデルに、死荷重Dと活荷重Lとを比例・漸増载荷、すなわち $\alpha(D+L)$ として载荷し、終局状態に至るまでの挙動と荷重パラメータ α とを弾塑性有限変位解析して求めた。

この基本解析モデルでは、ケーブルより先に主桁、および塔が降伏して終局状態に至った。そこで、ケーブルの破断で終局強度が決まるように、主桁と塔との断面を修正した鋼ケーブル修正モデルを作成した。その他、ケーブルにハイブリッド・ケーブルを使用したハイブリッド・ケーブル・モデル、およびハイブリッド・ケーブルの炭素繊維が破断した場合の事故発生モデルも作成した。これらのモデルを、図-5に示す。なお、ハイブリッド・ケーブルモデルにおいては、鋼ケーブル修正モデルの鋼ケーブルの断面積($A_s=0.0140\text{m}^2$)を使って鋼ケーブルの引張強度を求め、それと

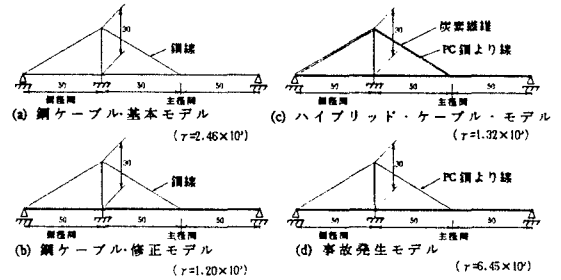


図-5 4つの解析モデル(寸法単位: m)

2.1の安全率とを用いてハイブリッド・ケーブルの断面設計を行った。そして、これらの4つの解析モデルの終局状態に至るまでの挙動を調べるため、弾塑性有限変位解析を行った。解析結果のうち、ケーブル応力と荷重パラメータとの関係を、図-6に示す。なお、同図(b)において、ハイブリッド・ケーブル素線の事故発生状態における安全率が1.1でよいのに対して、1.7と大きくなっているのは、主桁とケーブルとの荷重の分担率を表す図-5中に示した係数 γ が大きくなっているためである。

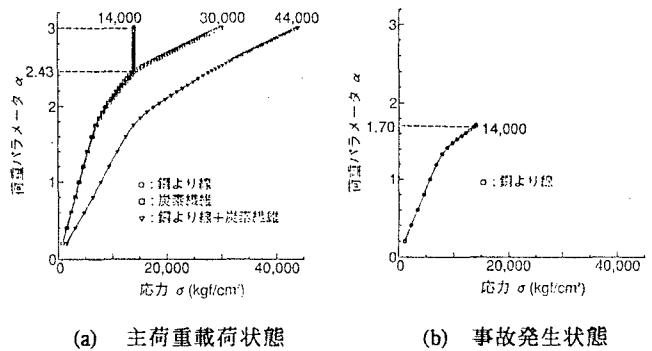


図-6 ハイブリッド・ケーブルの荷重パラメータ-応力曲線

4. まとめ 本研究で得られた主な結論は、以下に示すとおりである。

- 1) ハイブリッド・ケーブル・モデルの終局状態における安全率は、 $\nu_s = 3.0$ と大きくなった。しかし、炭素繊維の品質のばらつきによっては、実際の安全率が2.5ぐらいに低下する可能性がある。炭素繊維の品質が良くなると、もっと合理的で、経済的な設計が可能となる。
- 2) 基本解析モデルは、塔、および主桁が先に降伏して終局状態に至る。したがって、実設計の際、ケーブルの強度は、それほど重要な要因にならない。
- 3) 品質のばらつきにより、炭素繊維の降伏点がチャンピオンデータ σ_{cv} の50%ぐらいに低下しても、終局限界状態においては、2.5の安全率が確保できる。

以上より、静的強度の面から、炭素繊維と鋼より線とのハイブリッド・ケーブルの斜張橋への適用の可能性は、十分にあると思われる。また、炭素繊維の品質のばらつきが技術上小さくできれば、ヤング係数 E_c や破断強度 σ_{cv} の低下率も小さくなり、より合理的で、経済的な長大鋼橋の設計が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 島本 明・鈴木信太郎・藤原昭文・ダレル・リード・杉井謙一郎：炭素繊維強化プラスチック線材 FiBRA、神戸製鋼技報、Vol.42、No.1、pp.72～35、1992年。
- 2) 高性能炭素繊維トレカ、商品資料、PD-YN3、1991年11月。
- 3) 北田俊行・野口二郎・丹生光則・狩野正人：鋼斜張橋の耐荷力解析におけるプレストレスの取扱いに関する一考察、構造工学における数値的解析法シンポジウム論文集、第18巻、pp.371～376、1994年6月。