

大阪市立大学工学部 正 員 中井 博
大阪市立大学工学部 学生員○内田 諭

大阪市立大学工学部 正 員 北田俊行

1. まえがき 最近、表-1に示すように、鋼線に比べて著しく軽量で、引張強度、およびヤング係数が高い炭素繊維が開発されている。現在、橋梁のケーブルには、鋼線が使用材料の主流を占めている。これらの炭素繊維を鋼線の代替品として用いれば、長大橋の最長スパンや耐用年数が、飛躍的に向上することが期待される。そこで、本研究においては、図-1に示すような鋼線の周りを新素材で覆うハイブリッド・ケーブルを開発し²⁾、それを斜張橋に適用した場合の得失について検討した。

2. ハイブリッド・ケーブルの限界状態と安全率 文献 2)と同様に、次の3つの限界状態について、それぞれ異なる安全率 γ を設定した。すなわち、①降伏限界状態に対して $\gamma_Y=1.7$ 、②終局限界状態に対して $\gamma_U=3.0$ 、そして、③何らかの理由で炭素繊維が破断するハザード状態に対して $\gamma_R=1.1$ とする。

また、図-2には、ハイブリッド・ケーブルを用いた橋梁の荷重-たわみ曲線の一例を、安全率とともに、模式的に示している(図中、D は死荷重、L は活荷重、またPSはプレストレスの設計値を意味する)。

3. 斜張橋への適用 図-3(a)~(b)には、検討に用いた1段ケーブル、および3段ケーブルの斜張橋モデル³⁾を示す。なお、これらのモデルは、道路橋示方書にしたがって設計されている。また、ケーブルには、鋼線が用いられている。

まず、この鋼ケーブルを用いたモデルに、死荷重 D と活荷重 L とを $\alpha(D+L)$ として比例載荷し、終局状態に至るまでの挙動を弾塑性有限変位解析によって追跡した。ここに、係数 α は設計荷重に対する倍率であり、以下では荷重パラメーターという。解析の結果、図-3(b)の3段ケーブルのモデルでは、鋼ケーブルの降伏荷重パラメーターに、ばらつきがあることがわかった。そこで、3本のケーブルが $\alpha=2.5$ でほぼ降伏するように、断面を修正した鋼ケーブルの修正モデルを作成した。

つぎに、1段ケーブルの斜張橋については上記のモデルを、また3段ケーブルの斜張橋については修正モデルをそれぞれ基本モデルとし、表-1に示した材料のハイブリッド・ケーブルを用いたモデルを作成した。なお、これらのモデルのハイブリッド・ケーブルの断面は、基本モデルの鋼ケーブルの断面積より求まる鋼ケーブルの引張強度と前節の安全率とを用い、設計されている。そして、これらのハイブリッド・ケーブルを用いたモデルについても、終局状態に至るまでの挙動を、弾塑性有限変位解析により追跡した。

解析結果の一例として、図-4には、ケーブル取付け部の主桁の鉛直方向変位を示す。また、表-2、および表-3には、それぞれ1段ケーブル、および3段ケーブルのモデルの各限界状態における実安全率を示す。なお、これらの表において、係数 η は、次式で与えられる荷重分担率である。

表-1 各材料の機械的性質¹⁾

		$\sigma_y(\text{kgf/cm}^2)$	$E(\text{kgf/cm}^2)$
炭素繊維	鋼線	16,000	2.00×10^6
	鋼より線	14,000	1.95×10^6
	T400H	45,000	2.55×10^6
	M40J	45,000	3.85×10^6
	T700S	50,000	2.35×10^6
	T300	36,000	2.35×10^6

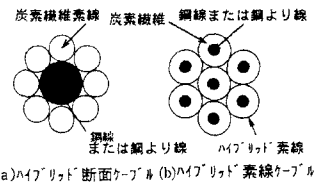


図-1 ハイブリッド・ケーブルの断面

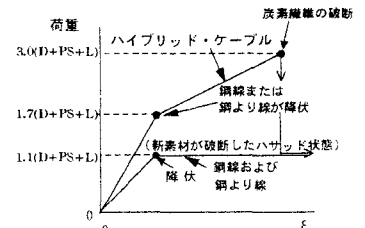
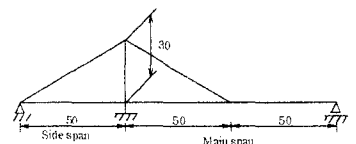
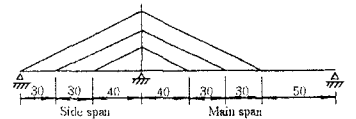


図-2 ハイブリッド・ケーブル素線における荷重-ひずみ曲線の一例



(a) 1段ケーブルの斜張橋



(b) 3段ケーブルの斜張橋

図-3 対象とした斜張橋モデル

$$\gamma = E_{ch} \Sigma A_{ch} L_T^2 / (E_G I_G) \quad (1)$$

ここに、 E_{ch} : ケーブルのヤング係数、 L_T : 橋長
 E_G : 主桁のヤング係数、 ΣA_{ch} : 全ケーブルの断面積の合計
 I_G : 中央径間部の主桁の断面 2 次モーメント

まず、表-2 より、1 段ケーブルのハイブリッド・ケーブル・モデルの終局安全率(終局荷重パラメーター)は、すべて期待する安全率 3.0 をかなり下回っていることがわかる。これは、ハイブリッド・ケーブルの炭素繊維の破断よりも先に、塔、および主桁が降伏したため、終局状態においても炭素繊維の強度が十分に発揮できなかったためである。

つぎに、表-3 より 3 段ケーブルのハイブリッド・ケーブル・モデルでは、ケーブル内の炭素繊維の破断によって終局限界状態が決まった。また、ハイブリッド・ケーブルを用いたモデルでは、ケーブルの荷重分担率が大きくなるほど、終局実安全率が、わずかではあるが低下していることがわかる。これは、荷重分担率が大きいハイブリッド・ケーブルを用いたモデルほどケーブルに作用する引張力が大きくなるためと考えられる。

さらに図-4(b)より、ハイブリッド・ケーブル・モデルでは、終局状態において、鋼線を用いたモデルよりも大きな変位が生じていることがわかる。これは、ハイブリッド・ケーブルの伸び剛性が鋼線に比べて小さくなり、橋梁全体のたわみ剛性が低下するためと考えられる。

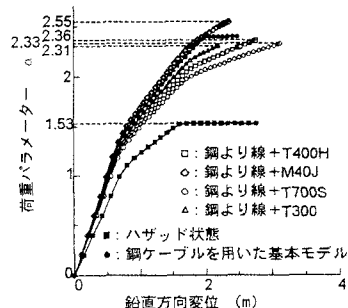
4. まとめ

- 1) 主桁の強度で終局強度が定まる斜張橋の場合には、ハイブリッド・ケーブルを用いた効果が十分に発揮できない。
- 2) ハイブリッド・ケーブルの炭素繊維の破断により終局強度が定まる斜張橋の場合は、ハイブリッド・ケーブルを用いる効果が十分に期待できる。その際、荷重分担率の高いハイブリッド・ケーブルを用いた方が、終局状態においては、主桁、および塔の変位が小さくなり、有利であることがわかった。
- 3) ハイブリッド・ケーブルの鋼線と炭素繊維との断面積比の決定には、鋼線、および炭素繊維の材料としての引張強度、および剛性のみならず、斜張橋に用いた場合の荷重分担率についても考慮する必要がある。

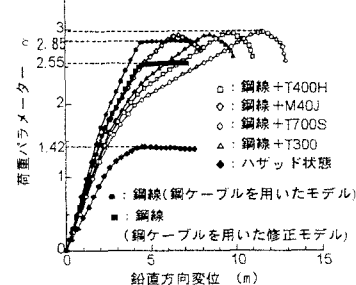
なお、本研究は、文部省・科学研究費補助金・試験研究 B(研究代表者: 中井 博)の研究活動の一環として行ったものである。

参考文献

- 1) 高性能炭素繊維トレカ、商品資料、PD-YN3、1991 年 11 月
- 2) 中井 博・北田俊行・三田村 武・石坪高典：橋梁用ハイブリッド・ケーブルの開発に関する基礎的研究、平成 7 年度土木学会関西支部年次学術講演会・講演概要集、pp I-79-1~2、平成 7 年 5 月 20 日
- 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、日本鋼構造協会、1994 年 6 月



(a) 1 段ケーブルの斜張橋



(b) 3 段ケーブルの斜張橋

図-4 ケーブル取付け部の荷重パラメーター変位曲線

表-2 ハイブリッド・ケーブル、および鋼線を 1 段ケーブルに適用した場合の実安全率

ケーブル	項目	荷重分担率 γ (m ²)	降伏実安全率 (主桁側割)	終局実安全率
鋼線		2.64×10^3	2.40	2.40
ハイブリッド・ケーブル	鋼より線+炭素繊維T400H	2.13×10^3	2.08	2.36
	鋼より線+炭素繊維M40J	2.58×10^3	2.33	2.55
	鋼より線+炭素繊維T700S	2.00×10^3	2.00	2.33
	鋼より線+炭素繊維T300	2.28×10^3	2.16	2.31
期待する安全率 (ハイブリッド・ケーブル・モデル)			1.7	3.0

表-3 ハイブリッド・ケーブル、および鋼線を 3 段ケーブルに適用した場合の実安全率

ケーブルの種類	項目	分担率 γ (m ²)	降伏実安全率	終局実安全率
鋼線 (鋼ケーブル基本モデル)		7.17×10^2	2.73	2.85
	鋼線 (鋼ケーブル修正モデル)	6.20×10^2	2.50	2.55
ハイブリッド・ケーブル	鋼線+炭素繊維T400H	4.87×10^2	2.02	2.95
	鋼線+炭素繊維M40J	5.96×10^2	2.35	2.92
	鋼線+炭素繊維T700S	4.50×10^2	1.87	2.97
	鋼線+炭素繊維T300	5.19×10^2	2.17	2.93
期待する安全率 (ハイブリッド・ケーブル)			1.7	3.0