

I-A 302 炭素繊維使用のハイブリッド・ケーブルを適用した斜張橋の耐荷性に関する一研究

大阪市立大学大学院 学生会員 内田 論
 大阪市立大学工学部 正会員 中井 博
 大阪市立大学工学部 正会員 北田俊行

1. まえがき 橋梁用のケーブルとして、表-1に示す鋼線と炭素繊維¹⁾とを組み合わせれば、炭素繊維の脆性であるという欠点と鋼線が腐食するという欠点とを互いにカバーでき、両者の利点がともに最大限発揮できる。本研究においては、図-1に示すハイブリッド・ケーブルを開発し²⁾、それを斜張橋に適用した場合の耐荷性を種々な面から検討した。

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、以下の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 $\gamma=1.7$ 、②終局限界状態に対して $\gamma=3.0$ 、また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 $\gamma_R=1.1$ に設定する。図-2には、ハイブリッド・ケーブルを用いた斜張橋の荷重-たわみ曲線の一例を、上記の安全率 γ とともに、模式的に示している。ここで、図中の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. 斜張橋のモデルと解析方法 図-3(a)~(b)には、耐荷性の検討に供した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、鋼ケーブルを用い、道路橋示方書にしたがって設計されたものである。

まず、これら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 $\alpha(D+L)$ に組み合わせて比例載荷し、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を意味するもので、以下では、荷重パラメータという。解析の結果、図-3(b)の3段ケーブルのモデルでは、各鋼ケーブルの降伏時の荷重パラメータに、差異があることがわかった。そこで、3本のケーブルがほぼ $\alpha=2.5$ で降伏するように、鋼ケーブル断面を修正したモデル（以下、修正モデルという）を試設計した。

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試設計した。その際、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ケーブルの引張強度と前節の安全率とを用い設計した。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対しても、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。

4. 解析結果と考察 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 γ は、次式で

表-1 各材料の機械的性質¹⁾

項 目		$\sigma_y(\text{kgf/cm}^2)$	$E(\text{kgf/cm}^2)$
鋼 線		16,000	2.00×10^6
鋼より線		14,000	1.95×10^6
炭素繊維	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

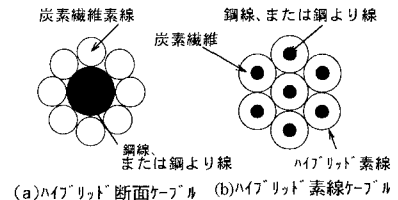


図-1 ハイブリッド・ケーブルの断面

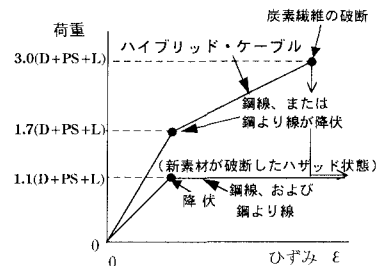


図-2 ハイブリッド・ケーブル素線における荷重-ひずみ曲線の一例

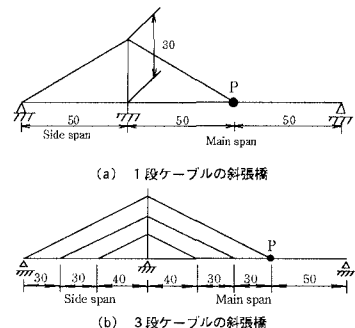


図-3 対象とした斜張橋モデル 寸法(m)

与えられる荷重分担率である。

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

ここに、 ΣA_{cb} ：ケーブルの断面積の合計、 L_T ：橋長

E_{cb} ：ケーブルのヤング係数、 E_G ：主桁のヤング係数、

I_G ：中央径間部の主桁の断面2次モーメント

これらの図表から、以下の諸点が考察される。

- 1) 表-2によると、ハイブリッド・ケーブルを用いた1段ケーブルの斜張橋の終局実安全率(終局荷重パラメーター)は、すべての場合で期待する安全率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・ケーブル内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、終局状態において炭素繊維の強度が十分に発揮できなかったためである。
- 2) 表-3によると、ハイブリッド・ケーブルを用いた3段ケーブルの斜張橋では、ハイブリッド・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・ケーブルを用いた斜張橋では、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・ケーブルを用いた斜張橋ほど、ケーブルに作用する引張力が大きくなるためであると考えられる。
- 3) 図-4(b)によると、ハイブリッド・ケーブルを用いた斜張橋では、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ケーブルに比べて小さくなり、斜張橋全体にわたるたわみ剛性が低下するためであると考えられる。

5. まとめ

ハイブリッド・ケーブル内における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、およびヤング係数のみならず、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ことがわかった。

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

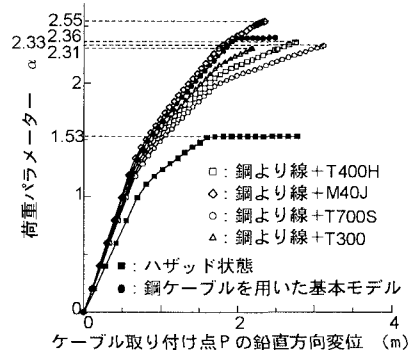
- 1) 高性能炭素繊維トレカ、商品資料、PD-YN3、1991年11月
- 2) 中井 博・北田俊行・三田村 武・石坪高典：橋梁用ハイブリッド・ケーブルの開発に関する基礎的研究、平成7年度土木学会関西支部年次学術講演会・講演概要集、pp. 1-79-1～2、平成7年5月20日
- 3) 北田俊行・野口二郎・丹生光則・狩野正人：鋼斜張橋の耐荷力解析におけるプレストレスの取扱いに関する一考察、構造工学における数値的解析法シンポジウム論文集、第18巻、pp.371～376、日本鋼構造協会、1994年6月

表-2 ハイブリッド・ケーブルを1段ケーブルの斜張橋に適用した場合の実安全率

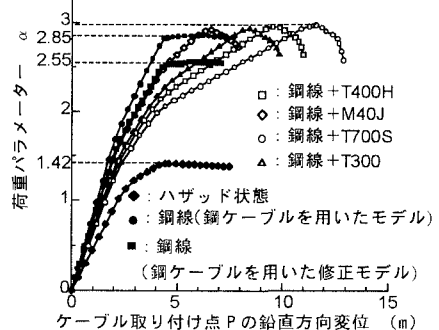
ケーブル	項目	荷重分担率 γ (m ²)	降伏実安全率 (主径間側)	終局実安全率
鋼線		2.64×10^3	2.40	2.40
ハイブリッド・ケーブル	鋼より線+炭素繊維T400H	2.13×10^3	2.08	2.36
	鋼より線+炭素繊維M40J	2.58×10^3	2.33	2.55
	鋼より線+炭素繊維T700S	2.00×10^3	2.00	2.33
	鋼より線+炭素繊維T300	2.28×10^3	2.16	2.31
	期待する安全率 (ハイブリッド・ケーブル・モデル)		1.7	3.0

表-3 ハイブリッド・ケーブルを3段ケーブルの斜張橋に適用した場合の実安全率

ケーブルの種類	項目	荷重分担率 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)		7.17×10^3	2.73	2.85
鋼線 (鋼ケーブル修正モデル)		6.20×10^3	2.50	2.55
ハイブリッド・ケーブル	鋼線+炭素繊維T400H	4.87×10^3	2.02	2.95
	鋼線+炭素繊維M40J	5.96×10^3	2.35	2.92
	鋼線+炭素繊維T700S	4.50×10^3	1.87	2.97
	鋼線+炭素繊維T300	5.19×10^3	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



(a) 1段ケーブルの斜張橋



(b) 3段ケーブルの斜張橋

図-4 荷重パラメーター変位曲線