

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 正 員 北田俊行  
 (株)神戸製鋼所 正 員 穂山正幸  
 大阪市立大学大学院 学生員 ○内田 諭

1. まえがき 橋梁用のケーブルとして、表-1に示す鋼線と新素材とを組み合わせれば、新素材が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、両者の長所が互いに最大限に発揮できる。本研究においては、図-1に示すハイブリッド・ケーブル<sup>1)</sup>をニールセン・ローゼ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1)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 $\nu$ を設定した。すなわち、①鋼線の降伏限界状態に対して $\nu_Y=1.7$ 、②終局限界状態に対して $\nu_U=3.0$ 、また③何らかの理由で新素材が破断するハザード状態に対して $\nu_R=1.1$ を、設定する。図-2には、ハイブリッド・ケーブルを用いた橋梁の荷重-ひずみ曲線の一例を、上記の安全率 $\nu$ とともに、模式的に示す。ここで、図中

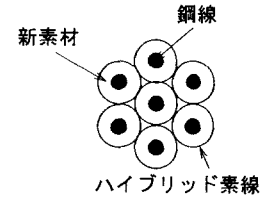


図-1 ハイブリッド・ケーブルの断面

表-1 各材料の機械的性質<sup>1)</sup>

| 項 目  | $\sigma_{YS}(\text{kgf/cm}^2)$ | $E(\text{kgf/cm}^2)$ |
|------|--------------------------------|----------------------|
| 鋼 線  | 16,000                         | $2.00 \times 10^6$   |
| 炭素繊維 | 50,000                         | $2.35 \times 10^6$   |
| アラミド | 35,000                         | $1.00 \times 10^6$   |

3. 解析モデル 図-3には、支間長が254mのニールセン・ローゼ橋の解析モデルを示す。なお、このモデルでは、アーチリブ、上横繫ぎ材、および補剛桁に弾塑性箱形断面梁・柱要素、またケーブルに弾塑性ロッド要素を用いた。

そして、このニールセン・ローゼ橋のケーブルに鋼線を用いた①鋼ケーブル・モデル、およびハイブリッド・ケーブルを用いた②ハイブリッド・ケーブル・モデルに対して、弾塑性有限変位解析<sup>2)</sup>を行った。対象とした荷重の組み合わせは、死荷重と活荷重とである。このうち、活荷重は満載するものとみなした。

4. ハイブリッド・ケーブル断面の設計 ハイブリッド・ケーブルの断面積比の決定は、各限界状態における力のつり合い条件式にもとづくこととした。まず、鋼ケーブル・モデルの鋼線の断面積を $A(\text{cm}^2)$ 、降伏点を $\sigma_{YS}(\text{kgf/cm}^2)$ 、および安全率を $\nu=2.5$ とすると、ケーブルの引張強度 $P$ は、次式で与えられる。

$$P = A \times \sigma_{YS} = 2.5 \times P_0 \quad (1)$$

ここに、 $P_0$ は、ケーブルの許容引張力である。

ハイブリッド・ケーブルの鋼線、および新素材の断面積を、それぞれ $A_S(\text{cm}^2)$ 、および $A_n(\text{cm}^2)$ とすると、ハザード状態における力のつり合い条件式は、次式で与えられる。

$$1.1P_0 = \sigma_{YS} \times A_S \quad (2)$$

また、新素材の引張強度を $\sigma_n$ とすると、終局限

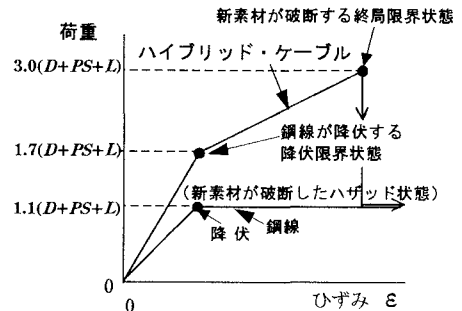


図-2 ハイブリッド・ケーブル素線における荷重-ひずみ曲線の一例

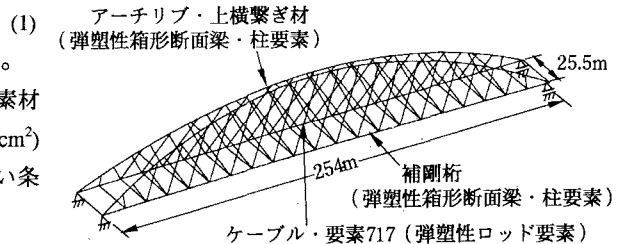


図-3 解析モデル

界状態における力のつり合い条件式は、次式となる。

$$3.0P_0 = 1.1P_0 + \sigma_n \times A_n \quad (3)$$

さらに、降伏限界状態における力のつり合い条件式は、鋼線の降伏ひずみ  $\varepsilon_{SI}$ 、鋼線、および新素材のヤング係数をそれぞれ、 $E_S$ 、および  $E_n$  とすると、

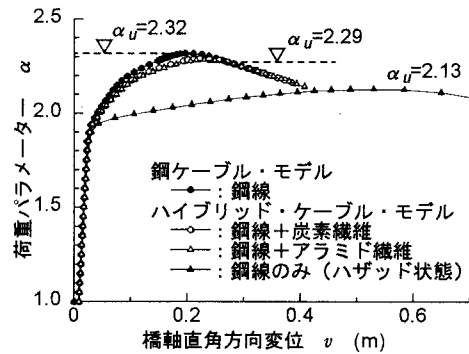
$$1.7P_0 = \varepsilon_{SI}(E_S A_S + E_n A_n) \quad (4)$$

で与えられる。それらの式による試設計を行った結果、炭素繊維の断面積は終局限界状態で決定され、またアラミド繊維は降伏限界状態で決定されることがわかった。

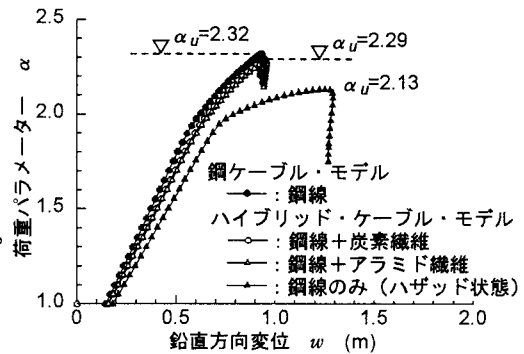
5. 耐力力の解析結果とその考察 耐力力の解析結果を、図-4、および表-2 に示す。これらの図表において、係数  $\alpha$  は設計荷重に対する倍率を表す荷重パラメーターであり、また  $\alpha_u$  は終局限界状態における  $\alpha$  の値である。そして、解析結果によると、以下の諸点が、明らかとなった。

- (1) 鋼ケーブル・モデルとハイブリッド・ケーブル・モデルとを比較すれば、アーチクラウン、および支間中央部の変位には、大差は見られなかった。
- (2) 同様に、終局強度についても、大差は見られなかった。

これは、ニールセン・ローゼ橋の場合、ケーブルの剛性の終局強度に及ぼす影響が小さいためであると考えられる。また、ハザッド状態に対しては、設定した安全率  $\nu_R = 1.1$  を著しく上回り、実安全率が 2.13 となっている。



(a) アーチクラウン



(b) 径間中央部

図-4 荷重パラメーター-変位曲線

表-2 各モデルのケーブル(要素 717)の諸定数と終局荷重パラメーター

| 項目                                | 鋼ケーブル・モデル | ハイブリッド・ケーブル・モデル |         |        |
|-----------------------------------|-----------|-----------------|---------|--------|
|                                   |           | 鋼線+炭素繊維         | 鋼線+アラミド | ハザッド状態 |
| 使用ケーブル                            | 鋼線        | 鋼線+炭素繊維         | 鋼線+アラミド | ハザッド状態 |
| 鋼線の断面積 $A_S(\text{cm}^2)$         | 21.170    | 9.314           | 9.314   | 9.314  |
| 新素材の断面積 $A_n(\text{cm}^2)$        | —         | 5.149           | 10.144  | —      |
| $A_S + A_n(\text{cm}^2)$          | 21.170    | 14.463          | 19.458  | 9.314  |
| 伸び剛性 $EA(\times 10^6 \text{kgf})$ | 42.34     | 30.73           | 28.77   | 18.63  |
| 終局荷重パラメーター $\alpha_u$             | 2.32      | 2.29            | 2.28    | 2.13   |

6. まとめ ハイブリッド・ケーブルを用いたニールセン・ローゼ橋の挙動は、鋼線を用いたニールセン・ローゼ橋のそれと比較すれば、大差が無い。したがって、実橋への適用が、十分に可能であると考えられる。今後は、ハザッド状態における安全率をもう少し下げのために、①鋼線の断面を少なく、新素材の断面を多くしたハイブリッド・ケーブルの検討、および②鋼ケーブルとハイブリッド・ケーブルとの断面積を等しくし、ハイブリッド・ケーブルの本数、すなわちケーブル定着部の数を少なくすることによる経済効果について検討する必要がある。

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) 中井 博・北田俊行・内田 諭：ハイブリッド・ケーブルの斜張橋への適用に関する基礎的研究、平成 8 年度土木学会関西支部年次学術講演会・講演概要集、pp. I-60-1~2、平成 8 年 5 月 15 日
- 2) 北田俊行・大南亮一・丹生光則・田中克弘：ケーブルを用いた鋼橋の耐力力解析用の汎用プログラム開発、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、日本鋼構造協会、第 13 巻、pp. 89~94、1989 年 7 月