

少心架空光ケーブル

光・通信ケーブル事業部 塩原 悟*1・原 昌志*1・田中 志明*1・
下道 毅*2・御園 信行*3

Aerial Distribution Optical Cable

S. Shiobara, M. Hara, S. Tanaka, T. Shimomichi & N. Misono

本格的なブロードバンド時代の到来を迎え、FTTHによる高速光データ通信が急速に普及している。FTTHを構成する光線路部材にはさらなる経済化や効率化に対するニーズが高まっている。当社では、より効率的な光ファイバ心線の配線・布設・運用を実現するため、少心架空光ケーブルを開発した。このケーブルは、幹線ケーブルの分岐点から数戸の加入者宅までの架空配線および集合住宅などへの引き込みを主な用途とし、従来の架空光ケーブルに比べて大幅な細径、軽量化を達成し、施工性、経済性に優れていることを特長としている。

With the advent of the full-fledged broadband age, high-speed optical data communications making use of FTTH are fast becoming widespread, thus there is growing demand for further cost-effectiveness and efficiency regarding the optical line components used for FTTH. To allow for more efficient wiring, installation, and operation of fiber optic cores, we have developed aerial distribution optical cables. This cable is intended for use mainly in aerial wiring between backbone junction points and their attendant subscriber homes, as well as in branch lines to apartments. Compared to conventional aerial optical cables, this cable achieves significant reductions in diameter and weight, and provides outstanding workability and cost-effectiveness.

1. ま え が き

経済的・効率的なFTTH網の構築には、光線路部材の低廉化はもとより、加入者宅への回線引き込み要求に迅速に対応できる光線路システムが必要である。図1に示すような加入系架空配線区間や集合住宅などへの引き込みを対象に、少心架空光ケーブルを開発した。このような用途の

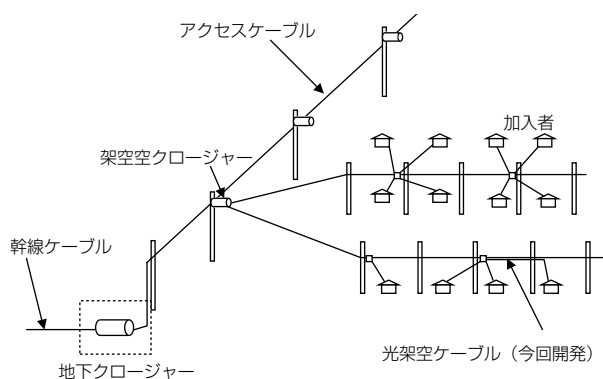


図1 加入系架空配線区間

The aerial wiring section between distribution points and subscribers

架空光ケーブルには、①細径、軽量で施工性に優れ、経済的な構造であること、②光ファイバ心線を効率的に運用するため、幹線系や準幹線系光ケーブルおよび光ドロップケーブルとの接続性に優れていること、③架空ケーブルとして、十分な強度と信頼性を有していることなどがあげられる。

2. 少心架空光ケーブルの設計

少心架空光ケーブルの構造を図2、表1に示す。図2(a)、(b)は、それぞれ250 μ mSM単心線型8心ケーブル、SM4心テープ心線型8心ケーブルを示している。単心線型は、加入者毎に1心を引き込む場合に、テープ心線型は、多心をオフィスビルや集合住宅などに引き込む場合の引き込みケーブルに、それぞれ対応している。

2.1 基本構造の設計

FTTHの需要が大きい都市部住宅エリアでは、メタル通信線、配電線、CATVや共同受信用の同軸ケーブル、有線放送用ケーブルなどの既設架空ケーブルが輻輳している。電柱上の限られた空間に光ケーブルを迅速に布設するためには、光ケーブルを極力細径化し、軽量でかつ布設作業性に優れていることが求められる。少心架空光ケーブルに実装する光ファイバ心線は8心とした。これは幹線系光ケーブルの多くが4心テープ心線を使用した構造であるこ

*1 通信技術開発部

*2 通信技術開発部グループ長

*3 通信技術開発部部長

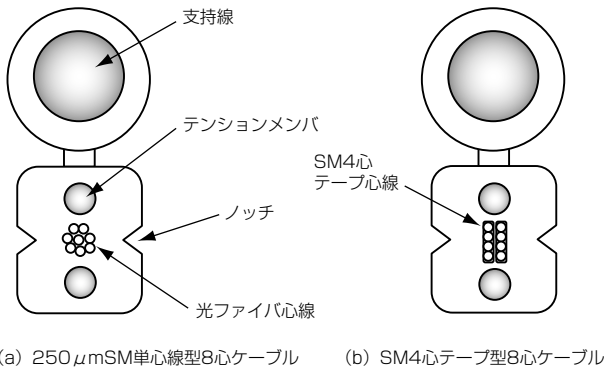


図2 少心架空光ケーブルの断面構造
Structures of aerial distribution optical cables

表1 ケーブル構造
Structures of aerial distribution optical cables

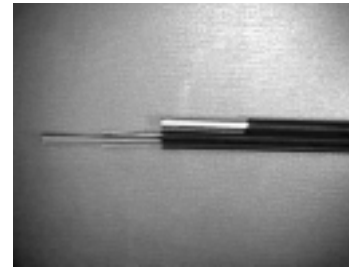
| 項目 | 250 μm SM単心線型 | SM4心テープ型 |
|----------|--------------------|---------------|
| 光ファイバ心線 | 250 μm SM単心線 8心 | SM 4心テープ心線 2枚 |
| テンションメンバ | φ0.4mm鋼線 | |
| 支持線 | φ2.3mm亜鉛アルミ合金めっき鋼線 | |
| シース | 黒色ポリエチレン | |

とから、4心単位で幹線系光ケーブルと接続することで光ファイバ心線を効率的に運用するためである。実装心数を最大8心とし、光ファイバ心線、テンションメンバおよび支持線用鋼線を耐候性ポリエチレンシースで共通被覆した構造とすることで、従来の架空光ケーブルと比較して大幅な細径・軽量化を実現した。図3にケーブルの外観写真を示す。また、同様の用途に用いられている集合ドロップケーブルとの比較を表2に示す。ケーブル断面積、質量とも50%以上の低減を実現した。

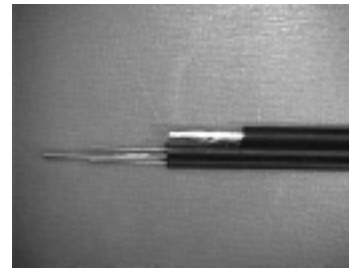
少心架空光ケーブルの支持線は、屋外通信線などに用いられている引き留め金物を使用可能なサイズとした。また8の字形自己支持ケーブルとして使用することで、施工性に優れた構造としている。さらに細径化、軽量化したことで、回線需要に応じた多条の少心架空光ケーブルをハンガ掛けなどによって一束化して布設することも可能となっている。光エレメント部のシース中央にはケーブルの長手方向に沿ってV字形の溝（ノッチ）を設けており、ノッチ部からシースを左右に切り開くことによって、単心線型、テープ心線型とも容易に光ファイバ心線を取り出すことが可能となっている。

2.2 強度設計

FTTHの普及促進に貢献するためには、布設径間長や地域を限定しない十分な強度と信頼性が必要であり、一般的な径間長30～50mに対応し、強風地域や降雪地域にも適用可能な構造であることが求められる。架空光ケーブルは気温や風圧荷重により支持線が伸ばされる。この伸びによって光ファイバ心線に加わる歪は、光ケーブルの寿命に影響する。光ファイバ心線に加わる歪による破断確率を式



(a) 250 μm SM単心線型8心ケーブル



(b) SM4心テープ型8心ケーブル

図3 少心架空光ケーブルの写真
Photographs of aerial distribution optical cables

表2 ケーブル構造比較
Comparison of structure with conventional cable

| 項目 | 【開発ケーブル】 少心架空光ケーブル | 【現行品】 8条SM型架空集合ドロップ |
|----|-----------------------|------------------------|
| 外径 | 約3.3×7.5mm | 約12mm |
| 質量 | 約0.06kg/m | 約0.15kg/m |

$$\lambda = \alpha \cdot \gamma \cdot N_p \frac{(\epsilon^n \cdot t_s)^\beta}{\epsilon_p^{n_p} \cdot t_p} \dots\dots (1)$$

- λ : 破断確率
- ε : 光ファイバ心線に加わる歪
- t_s : 設計寿命
- ε_p : スクリーニング試験の歪
- t_p : スクリーニング試験の時間
- n_p : スクリーニング試験時の疲労係数
- n : 使用環境における疲労係数
- α : 長手方向のクラックの分布を表すパラメータ
- γ : 強度を表すパラメータ
- N_p : スクリーニング試験における単位長当りの破断回数
- β : (n_p-2) / (n-2)

光ファイバ心線の歪と破断確率の関係を図4に示す。一般的な加入者線路における20年での破断確率は、0.0047/1心/km以下と見積もられている²⁾³⁾ので、許容歪は0.364%となる。

支持線の設計は、光ファイバ心線の許容歪を考慮して、径間長50mでの甲種風圧荷重、乙種風圧荷重下における支持線の伸びを0.3%以内とした。支持線に掛かる張力および弛度を式(2)と式(3)で計算した。また、支持線の伸びは式(4)で計算した。

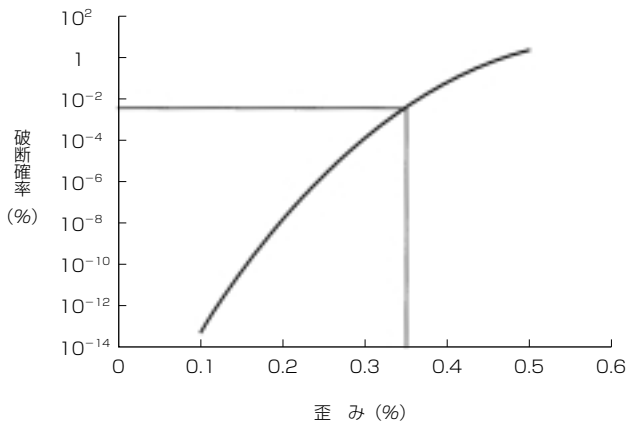


図 4 破断確率
Calculative failure probability of optical fiber

$$\left(\frac{T_2}{A}\right)^2 \cdot \left\{ \frac{T_2}{A} - (K - \alpha \cdot \Delta t \cdot E) \right\} = M \dots\dots (2)$$

$$K = \frac{T_1}{A} - \frac{W_s^2 \times E \times S^2}{24 T_1^2}$$

$$M = \frac{W^2 \times E \times S^2}{24 A^2}$$

$$d = \frac{W \times S^2}{8 \times T_2} \dots\dots (3)$$

$$\varepsilon = \frac{T_1}{E \cdot A} \times 100 \dots\dots (4)$$

- S : 径間長
- W : ケーブルの質量
- W_s : 最悪条件における合成荷重
- T₁ : 最悪条件における張力
- T₂ : 布設時の張力
- t₁ : 最悪条件における気温
- t₂ : 布設時気温
- Δt : t₂ - t₁
- A : 支持線の断面積
- E : 支持線の引張り弾性率
- α : 支持線の線膨張係数
- d : 弛度
- ε : ケーブル伸び

甲種風圧荷重、乙種風圧荷重下における支持線の伸びを図5に示す。布設時（気温15℃）の初期弛度を30cmとしたときの乙種風圧荷重条件での計算結果から、支持線のサイズを2.3mmとした。これは、種々の架空ケーブルが輻輳した架空環境を想定して、初期弛度がなるべく小さくなるよう配慮したものである。

風圧条件

- ①甲種風圧荷重 980Pa
気温15℃において風速40m/sの風が水平にあたる。
- ②乙種風圧荷重 ケーブルの周囲に厚さ6mm、比重0.9の

氷雪が付着した状態に対し、490Pa
気温-15℃において図6の着氷モデルに風速20m/sの風が水平にあたる。

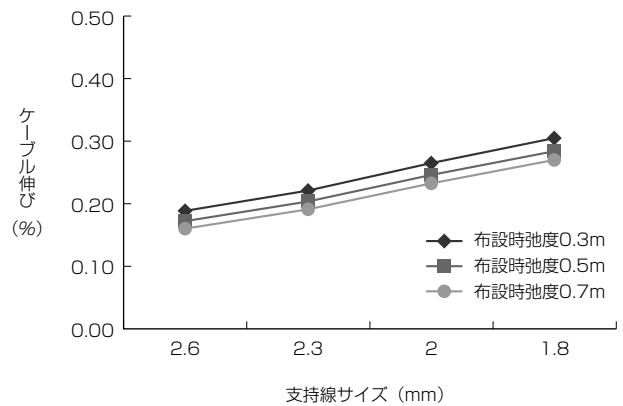


図 5 (a) 15℃, 甲種風圧荷重におけるケーブル伸び
Calculated elongation of aerial distribution optical cable caused by strong wind
(Wind velocity: 40m/s, Temperature: 15℃)

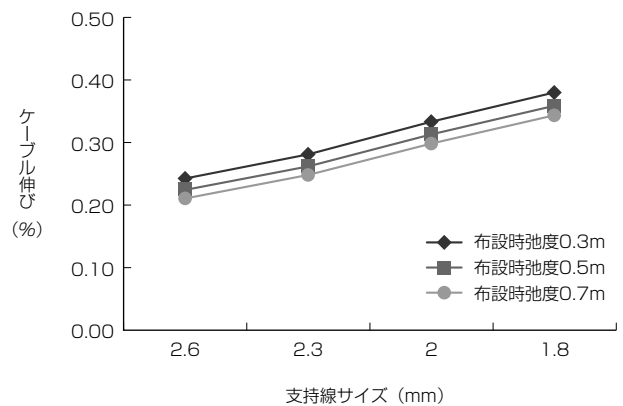


図 5 (b) -15℃, 乙種風圧荷重におけるケーブル伸び
Calculated elongation of aerial distribution optical cable caused by wind and ice load
(Wind velocity: 20m/s, Temperature: -15℃, Under ice load)

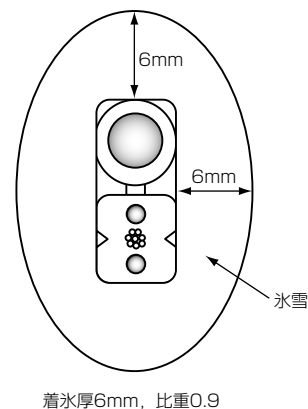


図 6 着氷モデル
Model of ice attach to the aerial distribution optical cable

3. 少心架空光ケーブルの特性

架空光ケーブルは気候変化により周囲温度が大きく変化する。また布設時や布設後に曲げや側圧、しごき、捻回などの外力を受ける。伝送損失の温度特性試験、各種機械試験、および模擬布設検証を実施した。

3.1 伝送特性

伝送損失の温度特性評価結果を図7に示す。試験方法はJIS C 6851に準じ、測定波長は1.55 μm としている。-30 $^{\circ}\text{C}$ ～70 $^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で3サイクルにわたり伝送損失は0.25dB/km以下、損失変動は0.05dB/km以下と良好な結果が得られた。

3.2 機械特性

機械特性として、曲げ、側圧、捻回、しごき、および衝撃落下試験を実施した。試験条件と評価結果を表3に示す。いずれの試験においても顕著な損失増加やシースの亀裂などの外観異常は認められず、良好な特性が得られている。

3.3 模擬布設検証

架空光ケーブルにおいては周囲温度の変化やケーブルの振動にともなって光ファイバ心線が移動し、端末部で伝送損失増加を引き起こす可能性がある。したがって架空光ケーブルではある程度の心線拘束力を有する必要がある。また布設時、および布設後の架線状態で、引張り、しごき、振動などを受ける。少心架空光ケーブルの信頼性を検証するために、布設を模擬した強度試験と心線移動に関する検証を実施した。

3.3.1 引張り試験

架空光ケーブルには布設作業中、あるいは架線状態で風圧や気温変化により、張力が加わる。このときに損失増加が発生したり、許容伸び歪以上に光ファイバ心線が伸ばされてはならない。支持線に2,250Nを印加した状態の損失変動とケーブル伸びを測定した。最大荷重印加時のケーブル伸びは0.3%以下であり、損失変動は0.01dB/心以下と良好な結果が得られた。

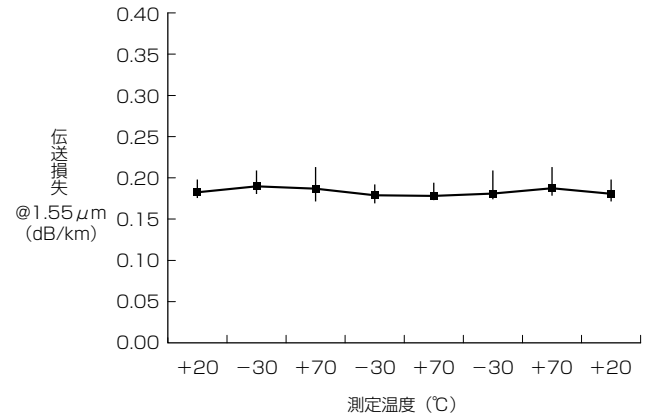
3.3.2 しごき試験

布設時の金車通過を模擬するため、しごき試験を実施した。ケーブルの印加荷重は牽引張力を想定して980Nとし、屈曲部半径を250mm、しごき角135 $^{\circ}$ としてしごきを与えた。損失変動は0.01dB/心以下と良好な結果が得られた。

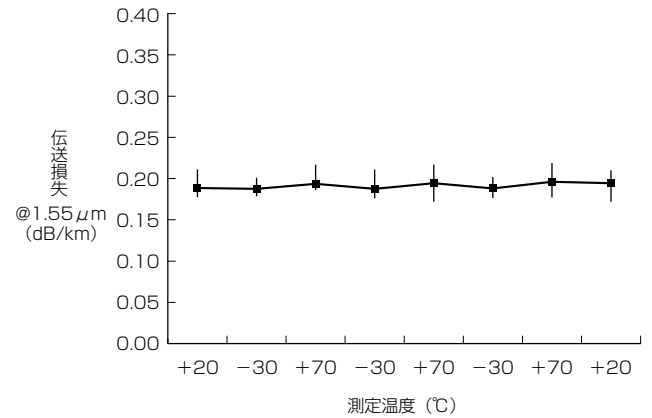
またしごき試験後のシースに亀裂などの外観異常が無いことを確認した。少心架空光ケーブルは布設時の金車通過に対して十分な強度を有している。

3.3.3 微振動試験

支持線部に2,250Nの引張り荷重を印加した状態で、車両通過時にケーブルへ伝播する微振動を想定して周波数10～16Hzの振動を加え、ケーブル端末部における光ファイバ心線の移動の状態を観測した。試験方法の概略を図8に示す。光ファイバ心線の移動量は1mm以下であり、良好な結果が得られた。



(a) 250 μm SM単心線型8心ケーブル



(b) SM4心テープ型8心ケーブル

図7 損失-温度特性

Measurement results of temperature cycling tests

表3 少心架空光ケーブルの一般特性
General characteristics of aerial distribution optical cables

| 試験項目 | 規格 | 条件 | 250 μm SM単心線型 | SM4心テープ型 |
|-------|------------|--|-------------------------------|-------------------------------|
| 伝送損失 | JIS C 6823 | | <0.23dB/km@1.55 μm | <0.23dB/km@1.55 μm |
| 温度特性 | JIS C 6851 | -30~70 $^{\circ}\text{C}$ 3サイクル | <0.05dB/km@1.55 μm | <0.05dB/km@1.55 μm |
| 曲げ特性 | IEC60794-1 | 半径60mm 10サイクル | 損失変動無し | 損失変動無し |
| 側圧特性 | IEC60794-1 | 1,960N/10cm 1min | 損失変動無し | 損失変動無し |
| しごき特性 | - | 700N印加 しごき角90 $^{\circ}$ しごき部R250mm 4サイクル | 損失変動無し | 損失変動無し |
| 捻回特性 | IEC60794-1 | $\pm 90^{\circ}/\text{m}$ 1サイクル | 損失変動無し | 損失変動無し |
| 耐衝撃特性 | IEC60794-1 | 0.3kg \times 1m 打撃面R10mm | 損失変動無し | 損失変動無し |

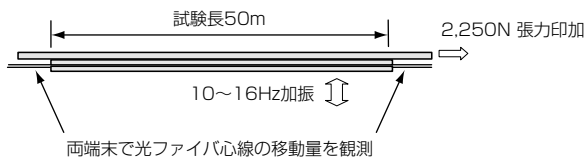


図 8 微振動試験
Diagram of vibration test

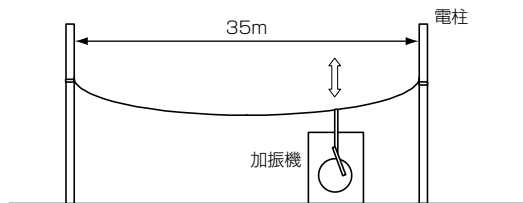


図 9 ダンシング試験
Schematic of experimental setup for dancing test

3.3.4 ケーブルダンシング試験

架空布設されたケーブルが比較的一様な強風にさらされると、一般的に知られている飛行機の翼と同じ原理によりケーブルに揚力が生じる。この揚力により発生する自励振動がダンシング現象であり、ケーブルは回転方向に運動する。ダンシング現象の発生は風速、風向のほか、ケーブル形状、質量、弛度、および径間長などによる。検証実験では径間35mの電柱間に布設したケーブルに加振機によりケーブルを上下方向に加振し、振動数と振幅を調整して回転運動を発生させることでダンシング現象を模擬した。試験条件および加振機を図9、図10に示す。光ファイバ心線の移動と損失変動を観測したところ、心線移動量は1mm以下であり、損失変動は0.01dB/心以下の良好な結果が得られた。またダンシング試験後のシースに亀裂などの外観異常が無いことを確認した。少心架空光ケーブルは布設後のケーブル振動に対して十分な強度を有している。

4. む す び

今後さらなるFTTHの普及に向けて、加入系架空配線区間の光配線の経済化・効率化を向上させるため、細径・軽量で経済的な少心架空光ケーブルを開発した。



図 10 加振機
Photograph of dancing test equipment

表 4 検証試験結果
Evaluation results of reliability tests

| 試験項目 | 損失増加 | 心線移動 |
|-------|------------------------|------|
| 引張り | <0.01dB/心@1.55 μ m | - |
| しごき | <0.01dB/心@1.55 μ m | - |
| 微振動試験 | <0.01dB/心@1.55 μ m | <1mm |
| ダンシング | <0.01dB/心@1.55 μ m | <1mm |

・少心架空光ケーブルは細径・軽量の8の字形自己支持構造としており、また光ファイバ心線の取り出しが容易であることから布設作業性の向上が期待できる。

・径間長50mに小さな弛度での布設が可能で、ほかの架空ケーブルが輻輳する環境への後布設にも適している。また着氷や強風時を考慮した設計となっており、架空配線において高い信頼性を有している。

少心架空光ケーブルがFTTHのさらなる発展・普及に貢献することを期待している。

参 考 文 献

- 1) Mitsunaga, et al.: Strength Assurance of Optical Fiber Based on Screening Test, The Transactions of IEICE, J66-B, 7, 1983
- 2) 佐野ほか: 加入者光線路の信頼性配分に関する一検討, 昭和60年電子情報通信学会総合大会, 2098
- 3) Kawase, et al.: Life-Time Design of Optical Cable Strength, The Transactions of IEICE, J66-B, 8, 1983