

光ファイバ複合引込み用ビニル絶縁電線の開発

Development of Optical Fiber Composite Polyvinyl Chloride Insulated Drop Wire

中嶋 史紀*
Fuminori Nakajima

乙須 総一郎*
Soichiro Otsu

鎌田 良行*
Yoshiyuki Kamata

木島 孝*2
Takashi Kijima

川嶋 純一*3
Jun'ichi Kawashima

概要 一般家庭への光通信の普及のためには、家屋への光ファイバ引き込みをより低価格で行う必要がある。そのためには、光ケーブルなどの配線材料と同時に布設方法についても検討が必要である。これに関し、家屋への電力引き込み用DV線（Polyvinyl Chloride Insulated Drop Wire）と光ファイバを複合することは、DV線を光ファイバの抗張力体としても利用でき、布設条数を低減できるなど有効である。今回、家屋への光ファイバ引き込みケーブルについて、DV線との複合に適した構造の光ファイバユニットの検討を行い、光ファイバユニット及びDV線との複合ケーブルとしての評価を行った。その結果、良好な特性の光ファイバ複合引込み用ビニル絶縁電線を得ることができた。本ケーブルは一般家庭への光ファイバ引き込みを促進するものと期待される。

1. はじめに

近年、一般家庭へのインターネットの普及や動画配信などの光通信需要の増大に伴い、種々の通信事業者によるFTTH（Fiber To The Home）が検討されている。しかしFTTHの本格的導入のためには、低コストでネットワークを構築する必要がある。これまでの一般家庭への光ファイバ引き込み線には、図1のような構造の光ケーブルがあり、光ファイバ単独での施工を前提に、布設時及び布設後の張力に光ファイバが耐えるように鋼線製の支持線を使用した構造となっている。一方、家屋には図2の電力供給用の低圧引込み用ビニル絶縁電線が布設されるが、このDV線と光ファイバケーブルを一体化することで、次のような利点が想定できる。

- ・ DV線を光ファイバの抗張力体として利用することで、引込み用光ケーブル構造を簡易化できる。
- ・ 家屋への布設線路を増やさず、光ファイバ引込みを可能とする。
- ・ DV線と光配線を一度の工事で行え、工事費を低減できる。

そこで、DV線との複合に適した光ファイバケーブルの検討を行い、次の2種類の光ファイバ複合引込み用ビニル絶縁電線（Optical fiber composite polyvinyl chloride Insulated Drop Wire: 以下OPDV）を開発した。

(1) 光ユニット一体型：光ユニットをDV線に巻き付けるタイプ

(2) パイプ一体型：パイプをDV線と一体化し、需要に応じ後から光ユニットをパイプ内に挿入するタイプ

光ファイバ心線には上り下りの光伝送路を分けることを前提に2心テープ心線を採用した。OPDVの布設概況は図3のようになる。

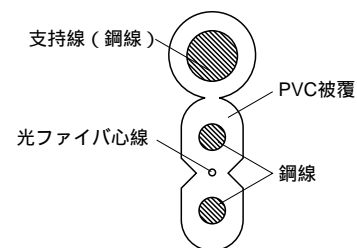


図1 従来型光ファイバ引込ケーブル
Conventional optical drop wire

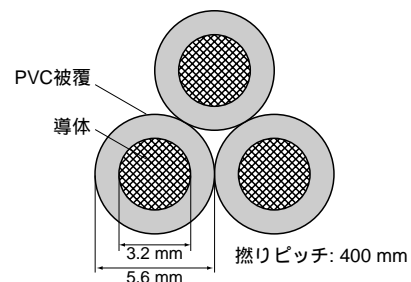


図2 DV線
Polyvinyl chloride insulated drop wire

* オプトコム事業部 技術部

*2 電線・機器事業部 技術開発部

*3 中部電力株式会社 配電部

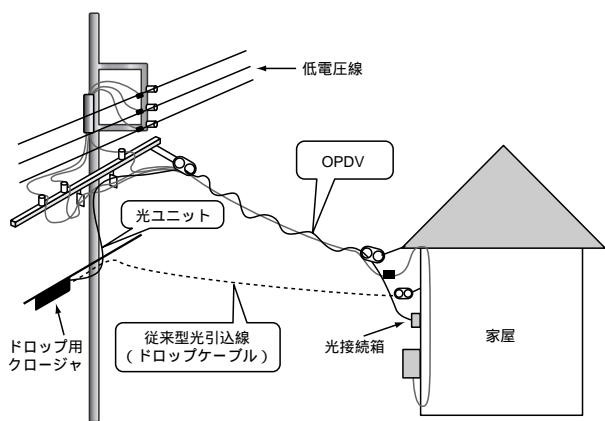


図3 OPDV 布設概況
The general situation of OPDV wiring

2. 光ユニット一体型 OPDV

2.1 構造

DV線に巻き付ける光ユニット一体型の光ユニットの基本的構成は、中心の2心テープ型光ファイバ心線の両側に抗張力体を配し、PVC被覆したもので、抗張力体にはDV線短絡時の電磁反発力による断線を防止するため、ノンメタリックのガラスFRPロッドを採用した。ガラスFRPロッドのサイズは、耐張力特性及び光ユニットのDV線への巻き付け性を考慮し、外径0.7 mmとした。被覆樹脂にはDV線と同等の難燃性を持たせることができ、かつ低価格な材料であることからPVCを採用した。更に、最適な形状を決定するため以下の検討を行った。

2.1.1 形状検討

OPDVは架渉作業において、電柱に設置された腕金で図4のようにしごかれる場合がある。そこで、図5. a~図5. cの構造の光ユニットを試作し、それぞれについて腕金での側圧特性、及びしごきを想定した評価を実施した。光ユニットは心線を容易に取り出せるように心線上下の被覆にノッチを設けた構造としている。

腕金での側圧を想定した評価方法を図6に示す。側圧試験では図7のように、2本の抗張力体の並びに対して、垂直方向と平行方向で特性が異なることが想定されることから、側圧の方向を変えて試験を行った。結果を表1に示す。また、腕金でのしごきを想定した評価方法及び条件を図8に、結果を表2に示す。

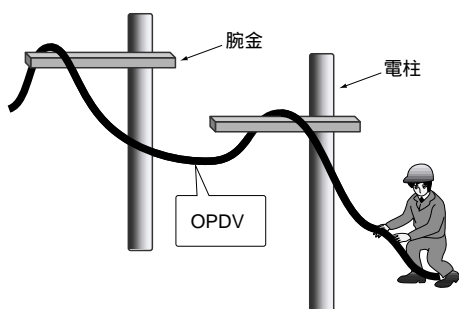


図4 OPDV 架渉作業
Cabling situation of OPDV

表1と表2の結果から、最適な光ユニットの形状・サイズは図5.aとなることを確認した。DV線と一体型とした断面形状は図9のようになる。

3. パイプ一体型 OPDV

光ユニット挿入用パイプをDV線と一体化し、需要に応じて光ユニット通線可能なタイプについて検討を行った。パイプ及

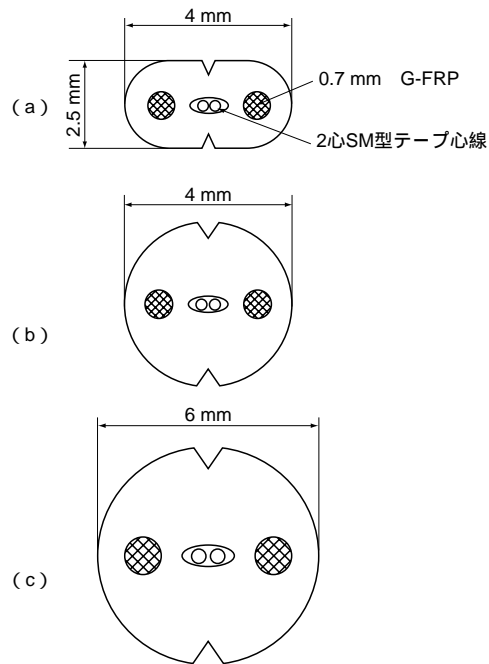


図5 検討光ユニット構造
Trial structures of optical unit

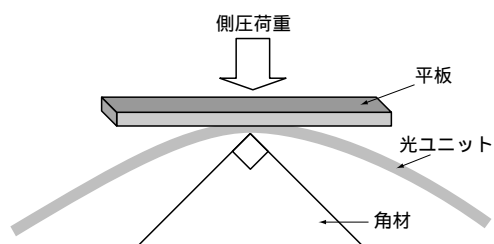


図6 腕金側圧試験方法
Crush test with a square arm

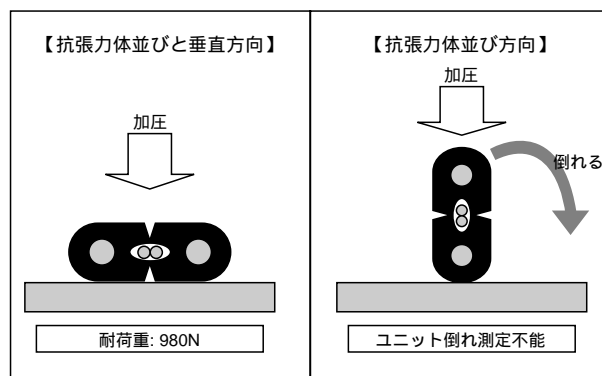


図7 側圧試験
Crush test

び光ユニット被覆材料には、摩擦力の小さいポリエチレンを使用した。ただし、パイプには難燃性を確保するため、PVCを厚さ0.5 mmで被覆した構造とした。パイプ一体型における開発ポイントは、DV線の最大径間長である60 mにおいて、光ユニットの貫通を可能とすることである。挿入方法は、従来より実用化されている圧縮空気による送通方法もあるが、この方式はコンプレッサーなどの大型で高価な専用装置が必要であり、バケット車上や電柱上部では作業が困難なものとなる。このため、低廉で容易な手挿入方式を念頭に、パイプ一体型ケーブルを検討した。

表 1 腕金側圧試験結果
Result of the square arm crush test

光ユニット形状	抗張力体並びと垂直方向側圧	抗張力体並び方向側圧
図5 (a) 平型タイプ	980 N以下	ユニット倒れるため測定不能
図5 (b) 丸型4 mmタイプ	780 N以下	390 N以下
図5 (c) 丸型6 mmタイプ	1180 N以下	390 N以下

*測定波長1.55 μmで残留ロスが発生しない側圧範囲

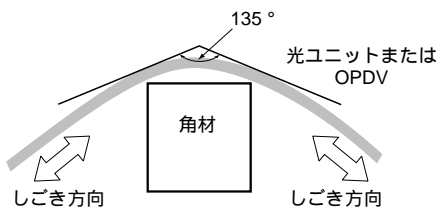


図 8 腕金しごき試験方法
Abrasion test with a square arm

表 2 腕金しごき試験結果
Result of the abrasion test

光ユニット形状	光ユニット単体しごき	DV線複合での外観
図5 (a) 平型タイプ	残留損失なし 外観損傷なし	撚り乱れなし
図5 (b) 丸型4 mmタイプ	残留損失なし 外観損傷なし	撚り乱れ有り
図5 (c) 丸型6 mmタイプ	残留損失なし 外観損傷なし	撚り乱れ有り

*測定波長1.55 μm

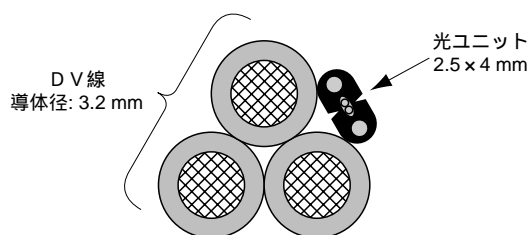


図 9 光ユニット一体型
Bundle type OPDV

3.1 挿入用光ユニット

パイプへの光ユニット挿入特性を検討したところ、光ユニットの挿入可能距離は、光ユニットの曲げ剛性と相関が有ることが分かった。曲げ剛性の測定方法を図10に、光ユニットの曲げ剛性と直線状態でのパイプ挿入距離の関係を図11に示す。評価に使用したポリエチレン製パイプは内径4.5 mmである。この結果をもとに、60 m挿入可能な光ユニットとして、図12の光ユニットを得ることに成功した。

3.2 パイプ複合方法の検討

3.2.1 パイプ撚り合わせ型

パイプをDV線に複合する方法として、まずパイプとDV線の撚り合わせを検討した。DV線へのパイプの撚り合わせピッチについて、3.1項で得られた光ユニットの挿入可能距離を評価した結果、DV線自体の撚りピッチ約0.4 mに対し表3のようにパイプの撚りピッチは1 m以上必要であることが分かった。しかし、実際に撚りピッチ1.4 mのパイプ一体型DV線で架線

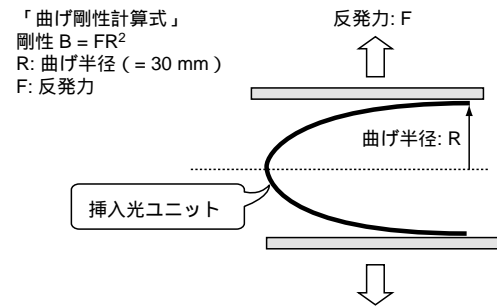


図 10 曲げ剛性測定方法
Measurement method of flexural rigidity

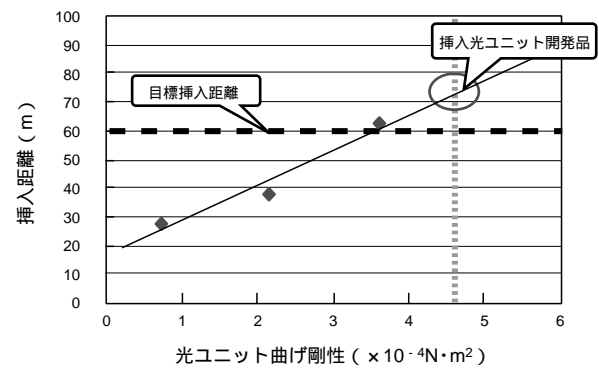


図 11 光ユニット曲げ剛性とパイプ挿入距離の関係
Relationship between flexural rigidity and inserted distance

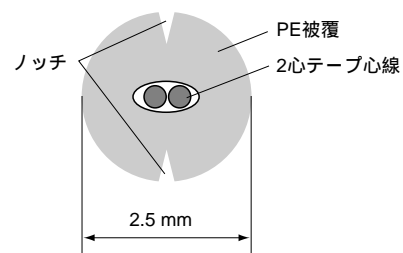


図 12 挿入光ユニット
Insertion type optical unit

表3 パイプ撚りピッチと通線距離
Relationships between bundle pitch and inserted distance

パイプ撚りピッチ	通線距離
0.6 m	35 m
1.0 m	60 m以上
1.2 m	60 m以上

*架渉条件：径間60 m，弛度1.2 m

作業を行うと，撚りピッチの乱れが生じ，60 mの挿入が不可能であり実使用に適さないことが確認された。また，長ピッチで束取りを行うとパイプの巻きが崩れるなどの問題もあり，撚り合わせ型は実用化に適さないものであると考えられた。

3.2.2 パイブラッシング型

DV線へのパイプ撚り合わせ型が，実用化に適さないものであることから，パイプをDV線に撚らずに縦添えし，一体化にはラッシングワイヤを使用する方法を採用した。ラッシングワイヤ材質は，DV線短絡時の電磁反発力による断線を防ぎ，抗張力特性にも優れることからアラミド繊維を採用した。更に，アラミド繊維の耐候性，ハンドリング性，難燃性確保を考慮し，アラミド繊維に厚さ0.5 mmのPVC被覆を施した構成とした。パイプ型体の形状を図13に示す。

4. OPDVの長期信頼性

光ユニット一体型における光ファイバの長期信頼性について，実使用における破断確率の検証を行った。

4.1 光ファイバ歪み

OPDVの製造から布設状態で生じる光ファイバ歪みを成分ごとに分けると以下の(1)~(6)となる。(1)~(3)がケーブル構造に起因する歪みであり，(4)~(6)が布設環境により生じる歪みである。各項目について発生する光ファイバ歪みを算出すると表4のとおりとなる。ここで，算出の前提条件として，光ユニット一体型ではDVと光ユニットは同等の伸びになるものとした。また，パイプ型体については，光ユニットはDV線との撚り合わせが無いこと，及びDV線架渉後挿入されることからこれらの項目についてのファイバ歪み発生はないものとした。

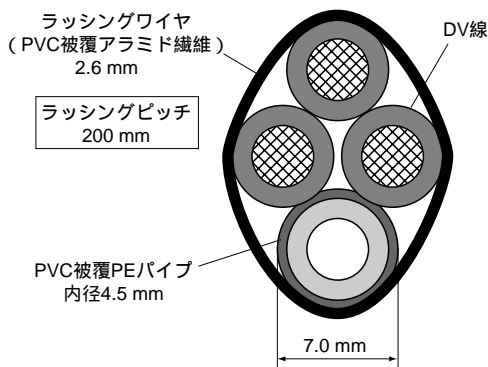


図13 パイプ型 OPDV
Pipe type OPDV

- (1) 捻回歪み
DV線への巻き付けにより生じる捻れ成分歪み
- (2) 曲げ歪み
DV線への巻き付けにより生じる曲げ成分歪み
- (3) 製造歪み
DV線との撚り合わせ製造時の張力差歪み
- (4) 架渉歪み
架線時の布設張力により生じる歪み
- (5) 気象歪み
布設後，風圧荷重により生じる歪み
- (6) 電流印加歪み
DV線電流印加時の温度変化による線膨張歪み

4.2 破断確率

4.1項の光ファイバ歪みより，OPDVの光ファイバ破断確率λの計算を(1)式を使用して行った¹⁾。

$$\lambda = \alpha N_p \frac{(\bar{\epsilon}^n t_s)^\beta}{\epsilon_p^{np} t_p} \tag{1}$$

なお，各パラメータは以下の()内の値を使用した。

- $\bar{\epsilon}$ ：光ファイバに加わる等価負荷歪み(表4のトータル歪み)
- ϵ_p ：スクリーニング歪み(1%)
- t_s ：寿命(20年)
- t_p ：スクリーニング時間(1秒)
- n ：スクリーニング試験時の疲労係数(23)
- n_p ：使用環境における疲労係数(23)
- α ：光ファイバ長手方向のクラック分布を表すパラメータ(0.14)
- N_p ：スクリーニング試験時の破断確率(1回/100 km)
- β ：(n_p - 2)(n - 2)

(1)式を用いて破断確率を求めると，光ユニット一体型で3.0 × 10⁻⁹回/km/20年，パイプ型体で1.8 × 10⁻¹²回/km/20年となり，通常用いている光ファイバの1.8 × 10⁻⁵回/km/20年と比較し，十分な長期信頼性を有していることを確認した。

5. OPDVの特性

作製した2タイプのOPDVと各々の光ユニットについて特性評価を行った。光ユニット一体型と巻き付け光ユニットの特性

表4 要因別光ファイバ歪み
Breakdown of optical fiber strains

項目		光ユニット一体型 ファイバ歪み(%)	パイプ型体 ファイバ歪み(%)
構造歪み	捻回歪み	0.008	-
	曲げ歪み	0.010	-
	製造歪み	0.010	-
布設環境 歪み	架渉歪み	0.037	-
	気象歪み	0.068	0.068
	電流印加歪み	0.102	0.102
トータル歪み		0.235	0.170

表5 光ユニット一体型OPDVと巻き付け光ユニットの特性
Performance of bundle type OPDV and the optical fiber unit

項目	光ユニット一体型OPDV		巻き付け光ユニット	
	試験条件	評価結果 (1.31 μm)	試験条件	評価結果 (1.31 μm)
伝送損失	-	-	-	0.34 dB/km
温特	- 20 ~ 60	損失変動0.01 dB/60 m以下	- 20 ~ 60	0.01 dB/km以下
引張り	2820 N	ロス残留なし, 伸び: 0.14%	100 N	ロス残留なし
屈曲	R70 mm, 180度, 5回	ロス残留なし	R30 mm, 180度, 5回	ロス残留なし
圧縮	980 N/50 mm	ロス残留なし	1960 N/50 mm	ロス残留なし
衝撃	0.5 kg, 1 m, 10箇所	ロス残留なし	1 kg, 1 m, 10箇所	ロス残留なし
振動	± 5 mm, 10 Hz, 100万回	ロス残留なし	± 5 mm, 10 Hz, 100万回	ロス残留なし
捻回	245 N, ± 90度, 3回	ロス残留なし	10 N, ± 270度, 3回	ロス残留なし
難燃特性	JIS C 3005傾斜燃焼	10秒以下で消炎	JIS C 3005傾斜燃焼	10秒以下で消炎

表6 パイプ一体型OPDVと挿入光ユニットの特性
Performance of pipe type OPDV and the inserted optical fiber unit

項目	パイプ一体型OPDV		挿入光ユニット	
	評価条件	評価結果 (1.31 μm)	評価条件	評価結果 (1.31 μm)
伝送損失	-	-	-	0.34 dB/km
温特	- 20 ~ 60	損失変動0.01 dB/60 m以下	- 20 ~ 60	0.01 dB/km以下
引張り	2820 N	ロス残留なし, 伸び: 0.17%	5.8 N	ロス残留なし
屈曲	R70 mm, 180度, 5回	ロス残留なし	R30 mm, 180度, 5回	ロス残留なし
圧縮	980 N/50 mm	ロス残留なし	1760 N/50 mm	ロス残留なし
衝撃	0.5 kg, 1 m, 10箇所	ロス残留なし	0.5 kg, 1 m, 10箇所	ロス残留なし
振動	± 5 mm, 10 Hz, 100万回	ロス残留なし	± 5 mm, 10 Hz, 100万回	ロス残留なし
捻回	245 N, ± 90度, 3回	ロス残留なし	-	-
難燃特性	JIS C 3005傾斜燃焼	10秒以下で消炎	-	-

を表5に、パイプ一体型OPDVと挿入光ユニットの特性を表6に示す。一連の特性について良好な特性を有していることが確認されている。

6. まとめ

FTTHの早期実現のため、低廉な布設方法及び光ケーブルが必要である。今回、光ファイバの引き込み線について、布設及び光ケーブルの低コスト化を目標にDV線と光ユニットを一体化した光ファイバ複合引込み用ビニル絶縁電線(OPDV)の試作・検討を行い、優れた特性の2タイプのOPDVを開発した。本OPDVを使用することで、一般家庭への光ファイバの引き込みを促進するものと期待できる。

参考文献

- 1) 満永豊他, “光ケーブル強度の信頼性”, 信学論(B), J66-B, 8, pp1051-1058, 1993