

中間後分岐の容易な光ケーブル

光ケーブルシステム開発センター 大里 健¹・富川 浩二²・岡田 直樹³

New Design of Optical Fiber Cable for Easy Mid-span Access

K. Ohsato, K. Tomikawa, and N. Okada

近年、FTTHの急速な拡大にともない、アクセスネットワークを迅速かつ経済的に構築するため、施工性の良いケーブルに対する需要が高まっている。今回当社では、この要求に対応するため、優れた中間後分岐性を有する細径、軽量な新規ケーブルの開発を行った。本稿ではこのケーブル構造の特徴とそのコンセプトを示すとともに、ケーブル細径化を実現するための設計パラメータの最適化に関する検討結果について示す。また、本検討結果をもとに試作した40心ケーブルにおいて、優れた伝送特性と機械特性を有することを確認した。さらに中間後分岐性においてはSZスロットケーブルの約半分の時間で後分岐が可能となることを確認した。

In recent years, access cables have witnessed a widespread application in the construction of FTTH networks in Japan. In order to construct these networks economically, there is an increasing demand for the improvement in cable installation. For this purpose, we have developed a new optical fiber cable for easy mid-span access with a small diameter and light weight. In this paper, we describe the cable design concept and design parameters for minimizing the cable diameter. Moreover, we demonstrate not only that the trial cable has good mechanical characteristics and attenuation properties but also that the mid-span access work is achieved in about 2 minutes, which is 50% shorter time than that achieved by SZ-slotted core cables.

1. ま え が き

近年、FTTHの拡大にともないアクセスケーブルに対する需要が大幅に伸びている。また、アクセスネットワークをより経済的に構築するために、近年さまざまな構造のケーブルが開発され実用化されている¹⁾²⁾³⁾。アクセスケーブルに対する重要な要求特性の1つに中間後分岐作業性があげられる。これは、加入者数に応じて任意の位置でケーブルを後分岐する際の作業性であり、迅速かつ経済的な加入サービスの導入に不可欠な機能である。また、ケーブルの細径化と軽量化も経済的なアクセス網構築にとって重要な要素である。今回、当社ではこの容易な中間後分岐性を有した細径、軽量なケーブルの開発に成功したので、その結果について報告する。

2. ケーブル設計

2.1 ケーブル構造

日本国内では、中間後分岐に優れた光ケーブルとして

SZスロットケーブルが広く用いられている。今回、さらに細径、軽量、中間後分岐性を向上した図1に示す構造を考案した。本ケーブルはテンションメンバを実装したストレート溝のグループ（以下Cグループ）と、その開口部を覆う吸水テープと偏肉シースおよび2本のリップコードから構成されている。それぞれの部位の特徴と構成コンセプトを以下に示す。

1) Cグループ

Cグループは中間後分岐の際に光ファイバを摘出しやす

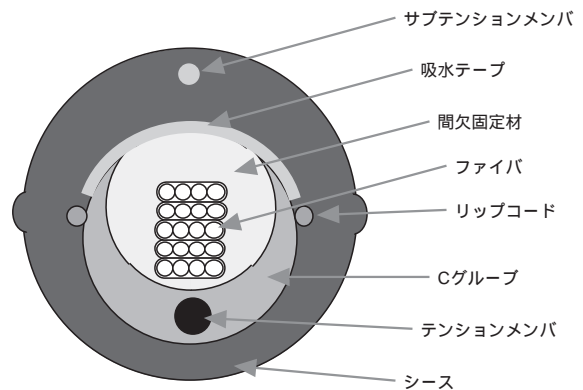


図1 ケーブル断面図

Fig. 1. Structure of newly developed cable.

1 光ケーブル開発部主席研究員

2 光ケーブル開発部

3 光ケーブル開発部長

いように長手方向に直線状の開口部を備えている．この開口部により、ルースチューブケーブルやSZスロットケーブルなどの既存ケーブルと比較して中間後分岐性を向上させることが可能となっている．また、Cグループ内に実装された光ファイバテープは、心線移動を抑制するため柔軟な樹脂で間欠的にCグループと固定される．

2) 偏肉シース

シースはCグループに対して偏肉被覆されるように設計されている．Cグループの開口部は他の部分と比較して強度的に弱い部分であるため、この強度不足を補うように開口部のシース厚を他の部分より厚く設計している．

3) テンションメンバ設計

テンションメンバはCグループ内に実装している．さらに、ケーブルの曲げ方向を制限し、ケーブル曲げに対する光ファイバの歪みを最小限にするためにシースの厚肉部にサブテンションメンバを実装した構造としている．

4) リップコード位置

中間後分岐の際にシースを容易に切断できるようにリップコードはCグループの外側に対向に2本配置している．さらに、その位置をケーブル外観上で認識できるようにシース上に小さな突起を設けている．

5) ドライ構造

中間後分岐を考慮すると、ジェリー等の介在物で防水特性を確保するのではなくドライ構造とすることが望ましい．そこで、Cグループ内の充填材を排除し防水性を確保するため、開口部のみに細幅吸水テープを縦添えした構造を採用している．さらに、吸水テープ上の粗巻き糸を排除することにより、シース除去後の心線取り出し性を大幅に向上させた構造としている．

2.2 ケーブル細径化設計

ケーブルの細径化設計にあたっては、低温環境下における光ファイバの曲率を考慮する必要がある．実装された光ファイバの余長率が極端に大きい場合あるいはケーブル内径が極端に小さい場合には、低温環境下におけるケーブルの収縮によりさらに光ファイバの曲率が小さくなり、容易に伝送損失を増加させることが考えられる．したがって、実際の細径化設計に際しては光ファイバ余長と内径の最適化に留意する必要がある．

図2に低温下におけるケーブル内の光ファイバの蛇行モデルを示す．光ファイバ

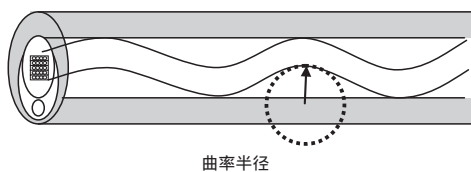


図2 光ファイバ蛇行モデル
Fig. 2. Optical fiber buckling model.

の蛇行を正弦波と仮定し、Cグループ内のクリアランスを a 、ケーブルの線膨張係数を k 、光ファイバ余長率を L 、ケーブル常温、環境温度をそれぞれ T_0 、 T とするとき、光ファイバの蛇行曲率半径は以下の式で表すことができる⁴⁾．

$$= \frac{a}{4(L - k(T - T_0))} \dots\dots\dots (1)$$

ケーブルの細径化設計には、実装された光ファイバが損失増加しない最小の曲率半径（以下、許容最小曲率半径 r_{min} ）を把握することが必要となる．つまり、この式において r_{min} の値をもとにクリアランスと余長率のパラメータを最適化すれば良い．そこで、以下に r_{min} を求めるための基礎実験を行ったのでその内容について示す．

この基礎実験では、Cグループの中に通常SM心線を用いた4心テープ10枚を間欠固定せずに実装した実験用ケーブルを用いる．はじめに、数十mの実験用ケーブルを延線する．試験中は伝送損失を常時モニタする(図3 a)．次にケーブル両端に一定の荷重を印加しケーブルを引っ張る(図3, b)．このとき、ケーブル末端ではケーブルの伸び量に応じて相対的に4心テープ心線がケーブル内に飲み込まれる．ついで、張力が印加された状態のまま保持し、ケーブル両端末で光ファイバとケーブルを固定する(図3, c)．ついで、ケーブルの印加張力を開放するとケーブル内で光ファイバ余長が発生し、余長率に応じてケーブル内でテープ心線が蛇行する(図3, d)．このようにしてケーブルの印加張力を変化させて同様の試験を繰り返すことにより、目的の光ファイバ余長とそれぞれの場合の伝送損失を得ることができる．

この結果得られた余長率と伝送損失の関係を図4に示す．さらにこの結果から、式(1)を用いて算出した曲率半径と伝送損失の関係が得られる．その結果を図5に示す．

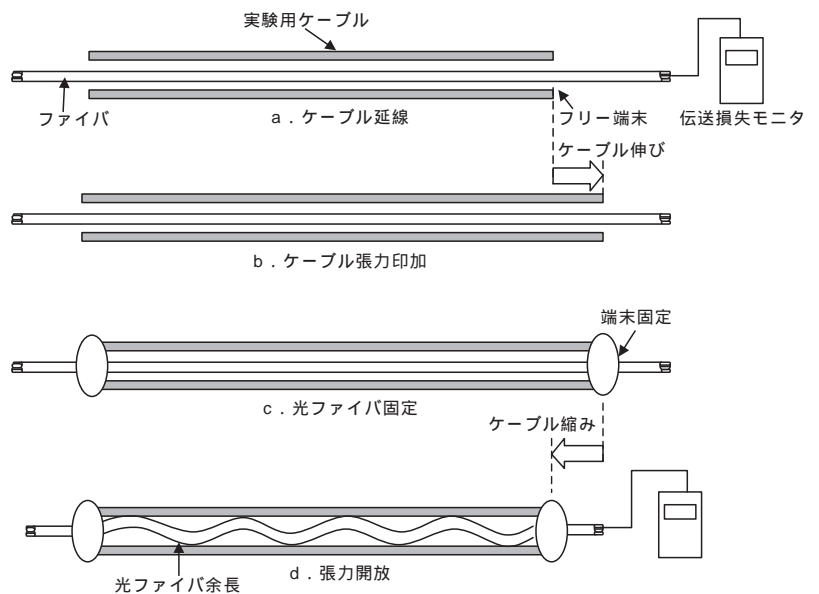


図3 基礎実験手順
Fig. 3. Test procedures.

この図から、曲率半径が小さい時には伝送損失増加量が大きいですが、曲率半径がある点を超えると伝送損失増加が解消されることがわかる。したがって、この損失増加の生じない最小の曲率点を本ケーブルにおける光ファイバの最小曲率半径 r_{min} とすることができる。

さらに、実際のケーブルでは低温環境条件を加味した余長設計が必要となる。図6では式(1)から導き出された3水準のクリアランス設計における、低温 -30℃ 設定時の余長と光ファイバの曲率半径の関係を示す。ここに基礎実験から得られた r_{min} をプロットする。この図を用いて、両者の関係を最適化することが可能となる。つまり、伝送特性を満足するためには r_{min} 以上の領域に入るようにクリアランスと余長率を設計すればよい。例えば、図中のクリアランス 1.0 (相対値) の場合 r_{min} 以上となる最適な余長率は存在しないが、クリアランス 1.5 や 2.0 の場合、 r_{min} 以上となる余長率でかつ細径となるようなクリアランス設計をすることで良好な伝送特性を得ることが可能となる。このようにしてケーブルパラメータの最適化を行った。

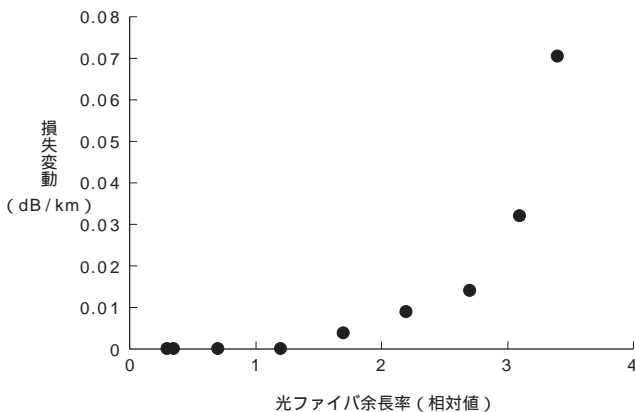


図4 光ファイバ余長率と損失変動の関係
Fig. 4. Relation between attenuation change and excess optical fiber length.

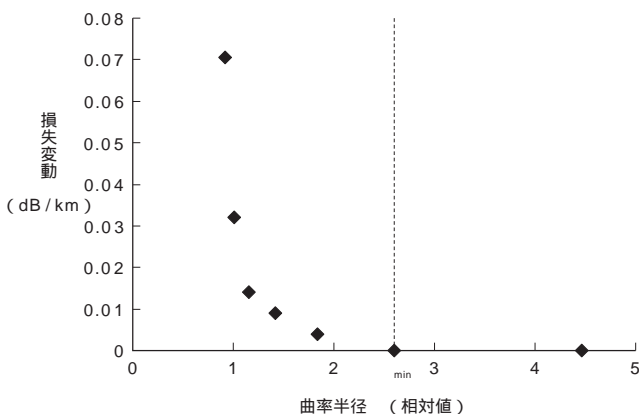


図5 光ファイバ曲率半径と損失変動の関係
Fig. 5. Relation between attenuation change and calculated curvature radius.

3. ケーブル試作・評価

3.1 試作ケーブル

上記の検討結果をもとに設計したケーブル寸法に基づき、4心テープを10枚実装した40心ケーブルを試作した。テープ心線には、専用工具を用いて容易に単心に分割可能なイーゼスプリット™テープを用いた。また、Cグループ内でのテープ心線の動きを抑制するため、柔らかい固定材を間欠的にCグループ内に挿入している。なお、試作品のケーブル外径を8.0 mmとした。

3.2 伝送特性

試作ケーブルの伝送損失温度特性の評価を行った。-30℃ から +70℃、2サイクルの温度条件における伝送損失を測定波長 1.55 μm で測定した結果を図7に示す。この結果、伝送損失は最大 0.23 dB/km であり良好な温度特性を有していることを確認した。

3.3 機械特性

試作ケーブルの機械的特性を評価した。その結果を表1に示す。各試験はIEC60794-1-2に準拠して実施した。各試験において良好な特性が得られていることを確認した。

本ケーブルは1つの開口部を有するCグループと偏肉シースの組みあわせ構造であるため、その強度を保証す

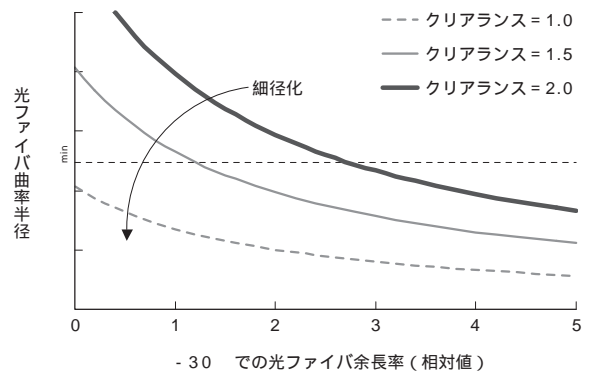


図6 光ファイバ曲率半径と余長率の関係
Fig. 6. Relation between excess optical fiber length and calculated curvature radius at -30℃.

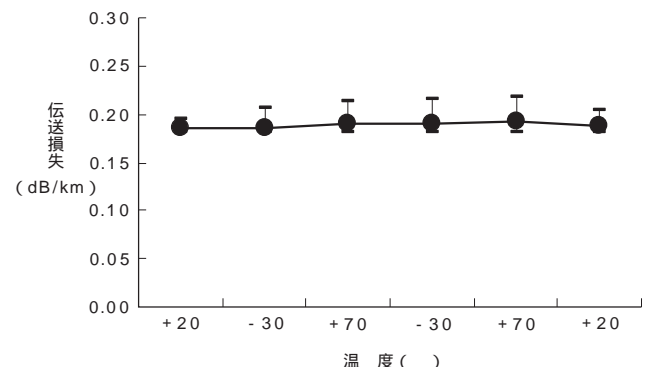


図7 伝送損失温度特性
Fig. 7. Temperature cycling behavior of trial cable.

るにはケーブル強度の異方性を評価する必要がある．図8に示すようにケーブル3方向による側圧試験を行い，側圧荷重に対するケーブルの扁平量を調査した．その結果を図9に示す．この結果，これら3方向の扁平量はほぼ同等であり，本ケーブルは円周方向に均等な強度バランスを有していることを確認した．

4．中間後分岐特性

本ケーブルの最大の特徴は容易な中間後分岐性にある．従来構造ではシース除去後に粗巻き糸や横巻きテープなどの除去が必要であり，これらが後分岐性を劣化させる要因となっていた．本構造では細幅テープを用い部分的に縦添えすることにより，Cグループ上に巻き付くテープや糸を排除することで容易な後分岐性を実現している．図10に本ケーブルの中間後分岐作業手順を紹介する．

表1 試作ケーブルの評価結果
Table 1. Test result of trial cable.

項目	試験条件 (測定波長 1.55 μm)	結果
伝送損失	1.55 μm	< 0.22 dB / km
側圧特性	2000 N / 100 mm	< 0.01 dB
衝撃特性	10 J	< 0.01 dB
曲げ特性	R160 mm	< 0.01 dB
しごき特性	392 N R250 mm	< 0.01 dB
捻回特性	1 m, ±90 度	< 0.01 dB
防水特性	40 m 240 時間	pass

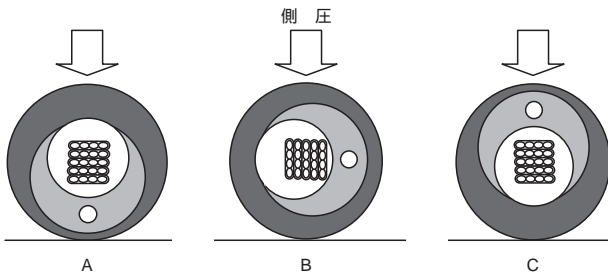


図8 側圧試験方向
Fig. 8. Direction of the crush test.

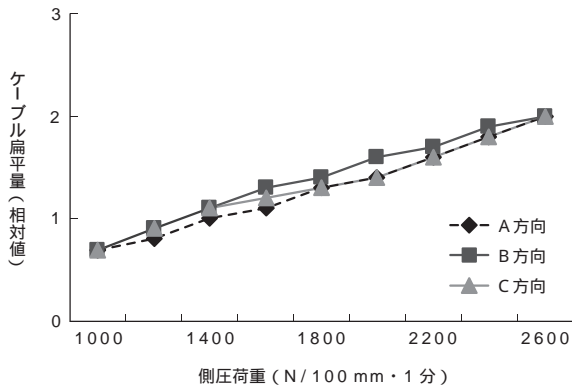


図9 側圧扁平量
Fig. 9. Cable deformation in crush test.

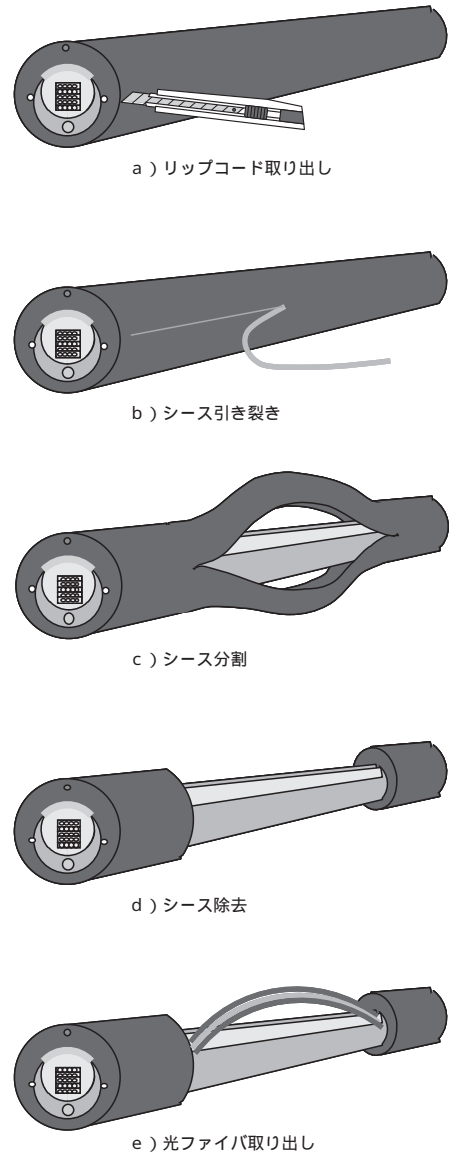


図10 中間後分岐作業手順
Fig. 10. Procedure of mid span access.

表2 試作ケーブルとSZスロットケーブルの比較
Table 2. Comparison of trial cable and SZ-slotted core cable.

種類	構造	外径	質量	中間後分岐時間
試作ケーブル (Cグループケーブル)		8.0 mm	0.05 kg / m	2分
SZスロットケーブル		11.0 mm	0.10 kg / m	4分

中間後分岐作業時間はシースを除去してテープ心線を取り出すまでの時間を示す

5. 従来構造との比較

本ケーブルとSZスロットケーブルの中間後分岐作業を実施し、それぞれの作業時間を測定した。その結果をケーブル構造、外径、質量の比較とともに表2に示す。本ケーブルの中間後分岐作業時間は2分以下であり、SZスロットケーブルより大幅な時間短縮が可能となった。また外径、質量に関しても細径、軽量構造であることが確認された。

6. むすび

Cグループと偏肉シースから構成された中間後分岐性に優れた新規構造のケーブルを開発した。さらに、光ファイバの最小曲率半径の算出からケーブルの内径と余長率を最適化することで、特性の良好な細径、軽量の光ケーブルの開発に成功した。試作ケーブルは伝送特性、機械特性にすぐれていることを確認した。また、中間後分岐

作業時間は2分以下であり、SZスロットケーブルと比較しておよそ半分の時間に短縮できた。ケーブル外径は8.0 mm、質量は0.05 kg/mであり細径、軽量化を実現した。本ケーブルの適用により、迅速でかつ経済的なアクセス網の構築が可能となると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 石田ほか：外径 0.5 mm 補強心線および単心型架空ケーブル，フジクラ技報，第 109 号，pp.5-9，2005
- 2) 塩原ほか：少心架空光ケーブル，フジクラ技報，第 108 号，pp.14-18，2005
- 3) 井野ほか：640 心SZスロットケーブルの細径化，フジクラ技報，第 112 号，pp.24-27，2007
- 4) Y. Hashimoto, et al. : Development and Challenge to Realize Ultra High Density Loose Tube Cable Optimized for Microduct Use, 55TH IWCS / Focus™, p.415, 2006