

# 通信用地下ケーブルの耐震性能に関する 実験的研究

田中 宏司<sup>1</sup>・鈴木 崇伸<sup>2</sup>・山崎 泰司<sup>3</sup>

<sup>1</sup>NTTアクセスサービスシステム研究所 (〒305-0805 茨城県つくば市花畑1-7-1)

E-mail:kojit@ansl.ntt.co.jp

<sup>2</sup>東洋大学理工学部都市環境デザイン学科教授 (〒305-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

E-mail:tsuzuki@toyonet.toyo.ac.jp

<sup>3</sup>NTTアクセスサービスシステム研究所 (〒305-0805 茨城県つくば市花畑1-7-1)

E-mail:y-yamazaki@ansl.ntt.co.jp

通信土木設備は、地下に布設するケーブルを効率的に運用・保守するだけでなく、地震時にはケーブルに作用する外力を低減する性能が求められる。管路設備の耐震性能を効率よく向上させるには、通信用地下ケーブルの耐震性能の把握が不可欠であり、収容物であるケーブルの限界状態に応じた性能設計が必要とされる。本研究は、管路設備が地震外力により破損した状態を想定して、収容した地下通信ケーブルに外力を与え、ケーブルの変形と通信サービスへの影響を計測して、ケーブルの限界状態を明確にした。限界状態把握実験の結果、管路設備が被災した際にケーブル障害が生じる張力と屈曲角の関係が明確になり、通信サービスの途絶を防止する対策検討への活用が期待できる。

**Key Words :** 通信土木設備, 光ファイバケーブル, 通信用地下ケーブル, 性能設計

## 1. はじめに

電気通信事業が民間開放されて20年以上が経過した。旧電電公社の時代から日本中に光ケーブルネットワークの構築が進められ、いまや、社会システムの神経系統を担う基盤設備となっている。民間開放以降、多くの会社が通信事業に参入し、通信基盤設備を使ったさまざまなサービスを展開している。

屋外の通信基盤設備には通信ケーブルなどの線路設備と通信ケーブルを支持、防護する土木設備がある。通信地下ケーブルは管路設備あるいはどう道設備に収容され、平常時には自重以外の外力が作用しないように防護されている。また架空通信ケーブルは、電柱によって支持され、地震力や風力のほか、地震などによって倒壊した家屋の影響や、火災の影響を受ける構造となっている。とりわけ地下通信ケーブルは大容量の通信サービスを支えている設備であり、地震時にも安定して通信できることが望まれる。

通信土木設備は、地下に布設するケーブルを効率的に運用・保守するだけでなく、地震時にはケーブルに作用する外力を低減する性能が求められる。こ

れまでの地震の教訓によれば、管路設備の一部は被害となり、収容ケーブルの損傷あるいは過度の変形が生じることがわかっている。このため、中継ケーブルは原則として2ルート化され、非常時の緊急オペレーション方法が構築されている。また大都市では、ケーブル収容のためのトンネルであるどう道設備が構築され、信頼性向上が図られている。しかしながら、多くの地下ケーブルは管路設備に収容されており、加入者ケーブルは1ルートしかないのが現状である。管路設備の耐震性能を効率よく向上させるには、通信用地下ケーブルの耐震性能の把握が不可欠であり、収容物であるケーブルの限界状態に応じた性能設計が必要とされる。

本研究は、管路設備が地震外力により破損した状態を想定して、収容した地下通信ケーブルに外力を与え、ケーブルの変形と通信サービスへの影響を計測して、ケーブルの限界状態を明確にしている。通信ケーブル自体も剛性や強度をもつが、管路に比べるとはるかに小さい。管路の被害が防止できない場合には、ケーブルの変形をある範囲内に抑え、通信ケーブルの変形性能や強度を利用して通信サービスを継続する対策も考えられる。通信ケーブルまで含

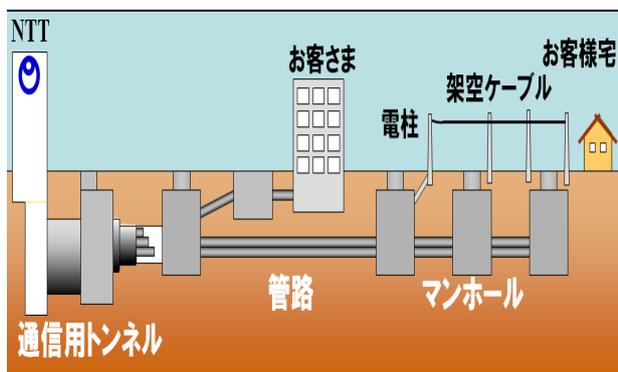


図-1 屋外通信設備の構成

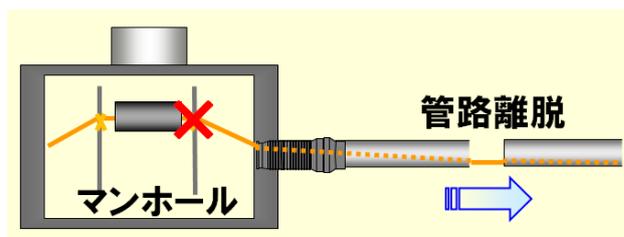


図-2 管路離脱によるケーブル切断

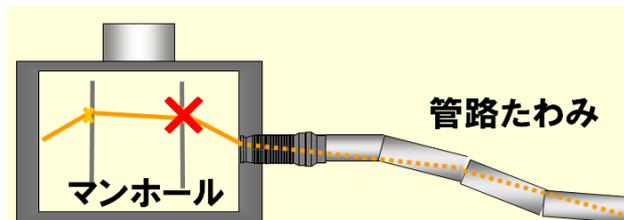


図-3 管路のたわみによるケーブル障害例



写真-1 マンホール内での光ケーブル切断  
新潟県中越地震（2004）



写真-2 マンホール内での光ケーブル引張  
新潟県中越沖地震（2007）

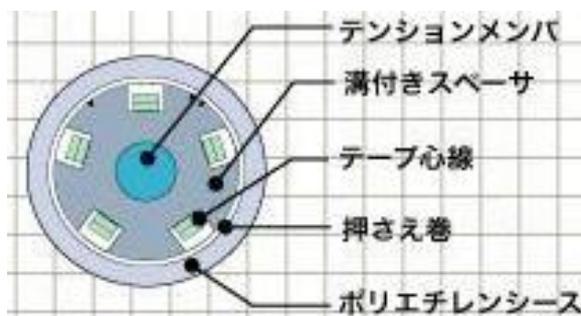


図-4 光ファイバケーブルの断面構造

めた使用限界，修復限界を明確にすることにより，合理的な耐震対策を行うことができる。

## 2. 管路設備の概要と地震被害

図1にNTTビルからお客様までの地下通信設備の構成を示す。

兵庫県南部地震以前は，通信地下ケーブルの地震による被災は，地盤急変部や他埋設物越区間での地盤沈下などにより管路が折損離脱し，ケーブルに急激な曲げやせん断力が作用することにより生じるケースが多く報告されており，管路の継手部及びマンホールとの接続部を可動構造とすることで，耐震性能の向上を図ってきた。

これに対し，通信ケーブルの光化が進んだ2004年の新潟県中越地震や2007年の新潟県中越沖地震では，管路の折損離脱箇所だけではなく，道路の崩壊や地盤沈下等によりマンホール内ダクトへケーブルが引

き込まれ，ケーブルに引張力が生じることで伝送損失増加やケーブルの切断が生じる被災事例が報告された。被災調査の結果，写真-1のケースは，図-2に示すように道路崩壊に伴う管路離脱により，ケーブルに張力が作用し，マンホール内の固定金物上でケーブルが切断された。また，写真-2のケースでは，図-3に示すように道路の路肩崩壊により管路が大きいたわむことで，ケーブルに張力及び固定点での屈曲が作用することで光伝送障害が発生した。

光ファイバケーブルは本来，外力に抵抗する設備ではないが，鋼線やポリエチレン被覆によりある程度は引張・圧縮や曲げ外力に抵抗する構造になっている。そこで，通信ケーブルの引張時や曲げ変形時の光伝送損失量や光ファイバ心線に発生するひずみを把握し，通信ケーブルの修復限界を明確にする。

## 3. 通信ケーブルの概要

地下に布設される光ケーブルは一般的に図-4に示すようなスロット構造を採用しており，光ファイバ心線はテープ状に成形され，スロットと呼ばれる空隙内に収容される。ケーブル布設時等の張力はテンションメンバに作用し，光ファイバ心線自体には作

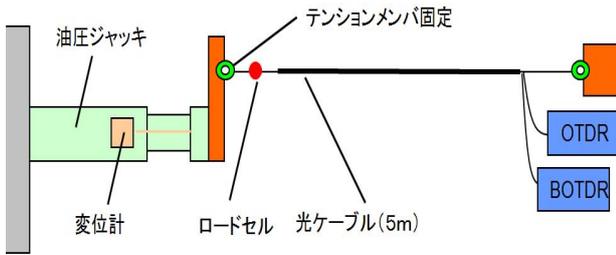


図-5 光ケーブル引張実験概要図



写真-3 光ケーブル引張試験

用しづらい構造になっている。テンションメンバは鋼線や鋼撚線で構成され、4kN(100心ケーブル)から8kN(1000心ケーブル)程度の破断強度を有している。マンホール内でのケーブル固定は、通常写真-1のように受金物に縛り紐で固定する。光ファイバ接続点がある場合、テンションメンバを金物で固定することで、光心線の接続部へは直接張力が作用しない構成をとっている。

ケーブル布設時の基準は、ケーブルに作用する張力をケーブル毎に規定されている基準値以下とし、最小曲率半径を60cm以上に保つように布設する。また、ケーブル固定に際しては、マンホール内でケーブル余長を設け、最小曲率半径を30cm以上に保つように固定することとしている。すなわち、張力が作用するときは曲率半径60cm、張力が作用しないときには曲率半径30cmが安全基準とされている。

#### 4. 光ファイバ限界状態把握実験

##### (1) 光ケーブル引張実験

光ファイバケーブルに対して図-5に試験概要を示すように、油圧ジャッキを用いて引張試験を実施し、引張変形と光伝送損失の関係を明確にする。荷重条件は静的荷重を油圧ジャッキにより载荷した。光心線の伝送損失を計測しながら引張力を载荷するため、光ケーブルのテンションメンバを固定金具を用いて固定した。写真-3に光ケーブル引張試験の実施状況写真を示す。

試験を実施した光ファイバケーブル種別は表-1に示すとおり6種類とし、測定項目は荷重、変位、ケーブルの伸びひずみ、OTDRによる光ケーブルの伝

表-1 光ファイバ引張試験測定条件

光ファイバ種別	測定項目
<ul style="list-style-type: none"> <li>SM40心</li> <li>SM100心</li> <li>SM200心</li> <li>SM300心</li> <li>SM400心</li> <li>SM1000心</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>荷重</li> <li>変位</li> <li>ケーブルのびひずみ (テンションメンバ間の実測値)</li> <li>光ファイバ心線ひずみ (BOTDR計測値)</li> <li>光伝送損失 (OTDR計測値)</li> </ul>

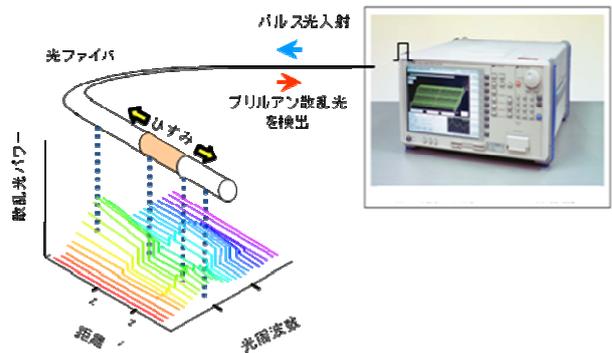


図-6 BOTDRによる光ファイバひずみ計測イメージ

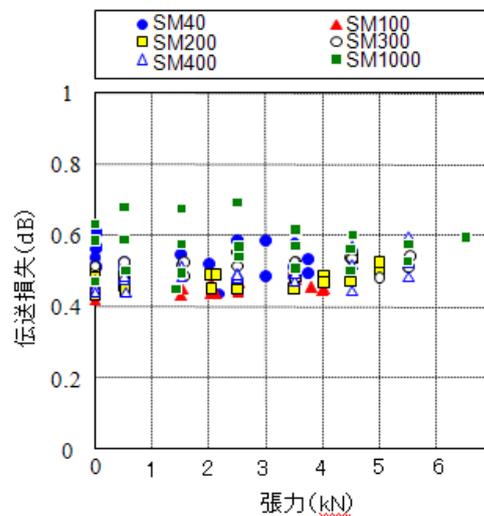


図-7 ケーブル張力と光伝送損失の関係

送損失測定、BOTDRによる光心線の歪み測定を行い限界状態を測定した。OTDRは、光ファイバに光パルスを入射した時に発生する後方散乱光の強度から、光信号の伝送損失を測定するものである。BOTDRは、光ファイバに光パルスを入射した時に発生するブリルアン散乱光のピーク周波数スペクトルがひずみに比例してシフトする現象を利用し、光ファイバ自体のひずみを測定することが可能である。図-6にBOTDRによる光ファイバ心線自体のひずみ

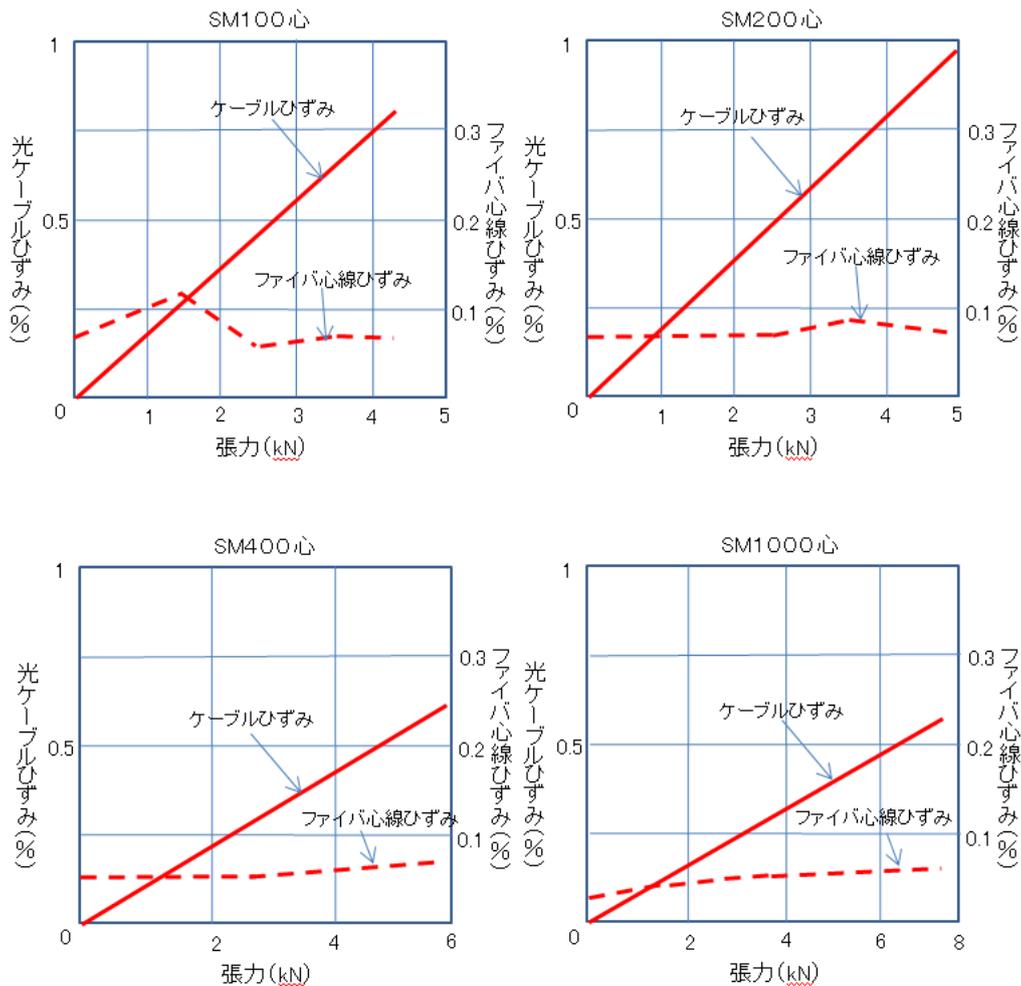


図-8 光ケーブルの引張ひずみとファイバー心線のひずみ

計測イメージを示す。地震時の被災判定の目安について、ファイバ心線に生じるひずみは、光ケーブル布設張力設計基準で規定されている、長期信頼性に影響のする 0.2%を超えたポイントとし、光伝送損失は、光ファイバ接続基準で規定されている、接続点の伝送損失限界値 1.6dB を超えたポイントを目安とした。

図-7にケーブル張力と伝送損失量の関係を整理した。芯線数によりばらつきがあるものの、通信ケーブルの引張荷重に対して伝送損失は初期値からほとんど変化せず、一定値を示している。引張力のみ作用する場合は、ケーブルの破断張力まで伝送損失は生じないことが判明した。

図-8にケーブル張力とケーブルひずみ、心線ひずみの関係について、使用頻度の高いSM100心、SM200心、SM400心、SM1000心の測定結果を示す。ケーブルひずみは、図-5で示すテンションメンバの固定点の間隔を実測した値である。心線ひずみは、BOTDR計測による光ファイバ心線自体のひずみ値である。

また、図-8のケーブルひずみと心線ひずみは、3本の供試体を破断するまで載荷した結果を平均化した

数値である。心線自体に生じるひずみの限界値は長期信頼性を考慮すると0.2%程度とされているが、テンションメンバが破断するまで、心線に生じるひずみは全く問題ないレベルであり、光ケーブルのスロット構造がケーブルに働く外力から、心線を保護していることが確認できた。

## (2) 光ケーブル曲げ実験

図9の実験概要図に示すように光ファイバを通線した管路を回転させることでケーブルに屈曲角を与え、ケーブル屈曲角と光伝送損失の関係を計測した。試験を実施した光ファイバケーブル種別は表-2に示すとおり6種類とし、測定項目はケーブル屈曲角とOTDRによる光ケーブルの伝送損失測定、BOTDRによる光心線の歪み測定を行い限界状態を測定した。各光ファイバとも3パターンの張力を作用させた状態で伝送障害の発生屈曲角を確認した。

張力は75mスパン、150mスパン、250mスパン（スパン：マンホールからマンホール間の管路長さ）中に、管路の布設計準の最大交角である60度の曲がりがある場合のケーブルと管内面との摩擦張力と

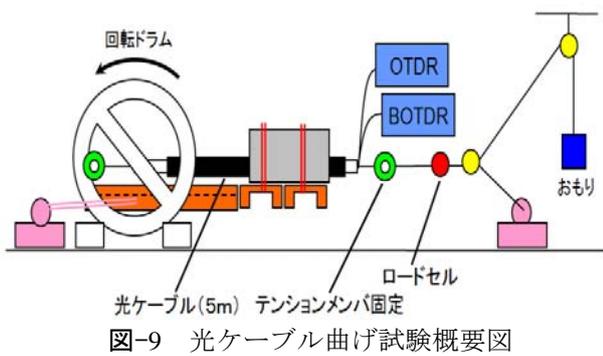


表-2 光ファイバ曲げ試験測定条件

光ファイバ種別	張力	測定項目
<ul style="list-style-type: none"> <li>・SM40心</li> <li>・SM100心</li> <li>・SM200心</li> <li>・SM300心</li> <li>・SM400心</li> <li>・SM1000心</li> </ul>	管路スパン長 ・75m ・150m ・250m	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーブル屈曲角</li> <li>・光ファイバ心線ひずみ (BOTDR計測値)</li> <li>・光伝送損失 (OTDR計測値)</li> </ul>

した。通常、管路スパン長は最大250mを上限として設計を行うこととしているため、250mスパンの摩擦張力は、光ケーブルに作用する最大摩擦張力を想定している。また、全国の平均的な管路スパン長である150mと摩擦張力が少ないケースとして75mのスパン長での光ケーブルの伝送損失を計測した。

図-10にケーブル屈曲角と光伝送損失の関係についてSM100心、SM200心、SM400心、SM1000心の測定結果を示す。図-10のケーブル屈曲角と光伝送損失の測定値は各スパン長毎に3本の供試体について一定速度で屈曲角度を大きくしていき、完全に光伝送ができなくなるまでケーブルを屈曲させた結果を平均化した数値である。いずれのケースも屈曲角が小さいと伝送損失も小さいが、ある屈曲角を境に伝送損失量が急増しはじめる特徴がある。

光ファイバーの芯数が少ないほど伝送損失が発生する曲げ角度は大きくなる傾向が見られる。屈曲角に対しては芯数の少ない(細い)ケーブルの方が有

利である。管路スパン長が短いほど伝送損失が発生する曲げ角度は大きくなる傾向が見られ、設計ケーブル長さが75mの場合は伝送損失が発生する角度は概ね100°を超える。最も条件の厳しいSM1000心ケーブルの管路スパン長250mの場合で屈曲角が約60°を超えると伝送損失が修復限界値を超える傾向が見られる。最大管路スパン長は250mであるため、地震時にケーブルに作用する屈曲角が60°を越えないように管路設備を構築することで、地震時にも光ケーブルの修復限界は超えない対策を行うことが可能である。また、屈曲角が厳しい条件での管路設計を行う場合、管路スパンを短くしケーブルに作用する摩擦張力を小さくする方法も考えられる。

BOTDRによるファイバ心線ひずみは光伝送が完全できなくなる状態まで発生しなかった。BOTDRの分解能が1m程度ファイバ長さが必要なため、屈曲部のみに発生した心線ひずみは検知できなかったことが想定される。

## 5. 地下通信ケーブルの耐震性能と管路の耐震対策

光ケーブルの限界状態確認実験により、単純な引張のみでは伝送障害は発生せず、ケーブルに作用する張力に加えて、屈曲角が作用することで被災が生じることが確認できた。

また、マンホール内のケーブル余長を十分にとり、地震時に光ケーブルが破断するほどの異常張力の発生を防ぐことで、光ケーブルの修復限界は屈曲角が60°以下の範囲であると考えられる。

今後管路設備の設計にあたり、光ケーブルの長期信頼性を確保できる曲率半径30cm以上を保つことを考慮した従来の使用限界に加え、災害時の修復限界を考慮することで、信頼性の向上をはかる必要がある。

これまで、NTTで取り組んで来たマンホール内でのケーブル余長を十分にとることに加え、ケーブル固定位置を屈曲角の小さな位置に設置することだけでも信頼性の向上が期待できる。写真1及び2の例でもケーブル余長と屈曲角を小さくすることでケーブル障害は防げた可能性がある。

本研究の結果を利用して現在取り組んでいる例として、免震橋に添架された管路設備が地震時に大きく変位することで管路が離脱し、収容されたケーブルに著しい曲げと張力が作用する問題への対策がある。可とう管と伸縮管を組み合わせることで、地震時には使用限界は確保できないが、屈曲角60°以下の修復限界は確保させることで、合理的な対策実施を可能としている。

また、今後老朽化する金属管の補強技術や更改技術の導入にあたり、使用限界、修復限界を考慮し、地震時にも通信サービスは途絶させない合理的な設計方針策定に活用する予定である。

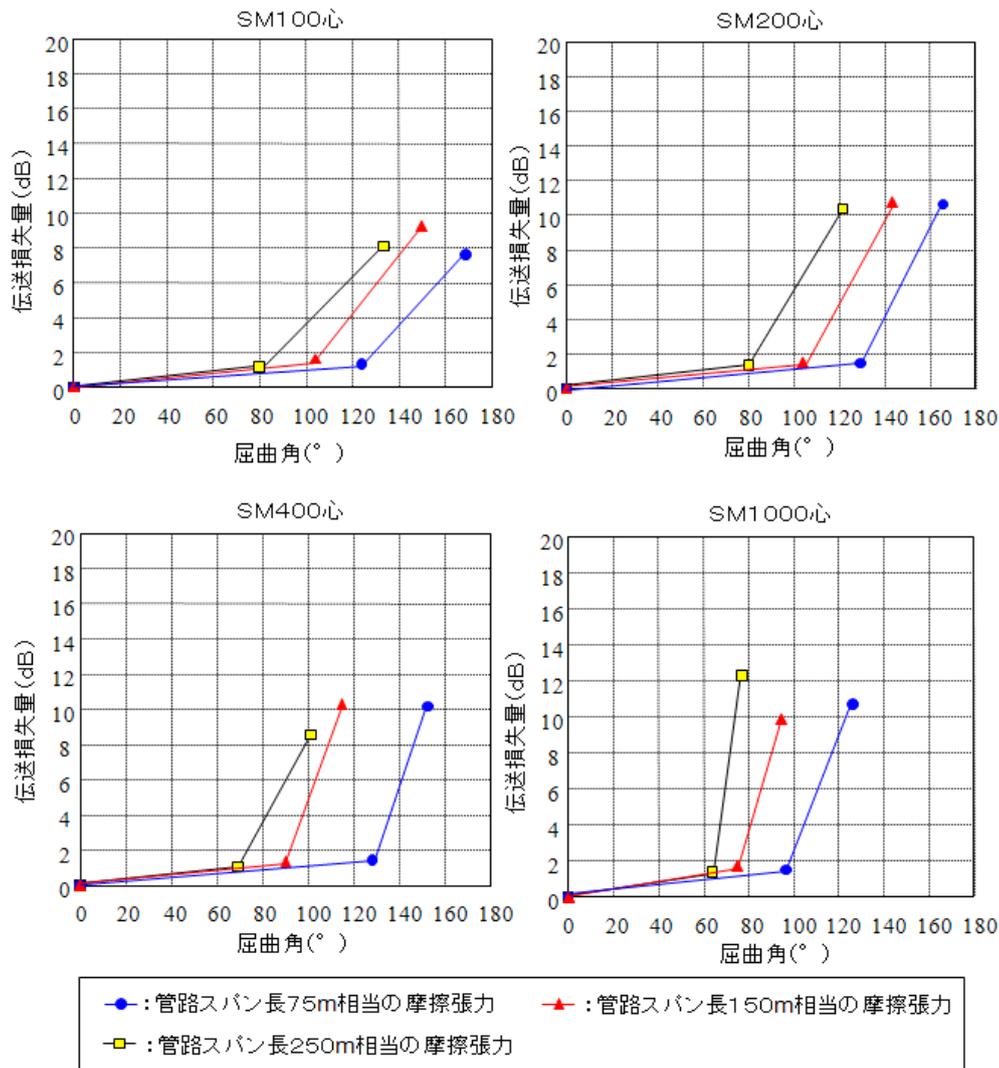


図-10 ケーブル屈曲角と伝送損失の関係

## 6. おわりに

本研究は、管路設備が地震外力により破損した状態を想定して、収容した地下通信ケーブルに外力を与え、ケーブルの変形と通信サービスへの影響を計測して、ケーブルの限界状態を明確にしている。

その結果、光ケーブルは単純な引張のみでは伝送障害は発生せず、ケーブルに作用する張力に加えて、屈曲角が作用することで被災が生じることが確認できた。

最も条件の厳しいSM1000心ケーブルの管路スパン長250mの場合でも屈曲角を60°以下におさえることで、光伝送損失の発生を規定値以下とすることが可能であることが分かった。マンホール内のケーブル余長を十分にとり、地震時に光ケーブルが破断するほどの異常張力の発生を防ぐことで、光ケーブルの修復限界は屈曲角が60°以下の範囲であると考えられる。

今後の管路設備の耐震対策の検討は、従来からの

使用限界に加え、本実験により確認できた修復限界を考慮し、合理的な対策設計を行う必要がある。

謝辞

本報告は(財)地震予知総合研究振興会に設立した委員会の検討結果を元に作成したものであり、委員会メンバーである東京電機大学安田進教授、東京都市大学小池武教授のご指導に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Koji Tanaka, Takanobu Suzuki, Yasushi Yamazaki, Kishimoto Toshiaki, Iwata Katsuji: Experiment on Seismic Disaster Characteristics of Underground Cable, 14th WCEE, 06-0069, 2008.
- 2) 田中宏司, 山崎泰司: 地下通信設備の耐震性評価技術, NTT技術ジャーナル, No. 10, pp.52-55, 2007.
- 3) 田中宏司, 上原秀幹: 安全・安心なネットワークに寄与する防災・セキュリティ技術, NTT技術ジャーナル, No. 3, pp.55-58, 2006.
- 4) 田中宏司, 山崎泰司, 岸本敏明: 地下通信ケーブルの

地震時被災確認実験について, 土木学会第62回年次学術講演会, pp.1237-1238, 2007.

5) 田中宏司, 鈴木崇伸: 新潟県中越地震の電話施設の被害分析, 第12回地震工学会シンポジウム, 2006

## Experimental research for earthquake-proof performance of underground communications cable

Koji Tanaka · Takanobu Suzuki · Yasushi Yamazaki

This research simulated the state that the conduit equipment is damaged due to the earthquake, and clarified the state of the limit of the underground telecommunications cable. The relation between the tension and the curvature that the cable suffers damage is clarified. This research uses for the measures technology to prevent the damage of the telecommunication service.