# ケーブル収容管用ライニング管のケーブル防護 機能に関する耐震性能評価

山崎 泰司<sup>1</sup>・田中 宏司<sup>2</sup>・奥津 大<sup>2</sup>・若竹 雅人<sup>2</sup>・鈴木 崇伸<sup>3</sup>・ 庄司 学<sup>4</sup>

> <sup>1</sup>正会員 NTT インフラネット株式会社 (〒460-0003 名古屋市中区錦 1-10-20) (筑波大学大学院システム情報工学研究科 博士後期課程 早期修了プログラム履修中) E-mail: yamazaki-yasushi@nttinf.co.jp

<sup>2</sup>正会員 NTT アクセスサービスシステム研究所(〒305-0805 つくば市花畑 1-7-1) E-mail: tanaka-koji@lab.ntt.co.jp E-mail: okutsu-masaru@lab.ntt.co.jp
<sup>3</sup>正会員 東洋大学教授 理工学部都市環境デザイン学科(〒350-8585 川越市鯨井 2100) E-mail: tsuzuki@toyo.jp
<sup>4</sup>正会員 筑波大学准教授 システム情報系(〒305-8573 つくば市天王台 1-1-1) E-mail: gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

地震時に既設管路設備が損傷しても光ケーブルを防護し通信遮断させない対策(二重管構造)が可能に なれば、減災効果を可能とする新しい設計・対策の展開を図ることができる.本研究では、管路が損傷し た後の光ケーブル損傷メカニズムを考慮した既設管路設備の性能評価を行う.具体的には、1)既設管路継 手が押込み・引き抜きにより繰り返し衝突する場合、2)液状化地盤並びに軟弱地盤での不等沈下や盛土の 側方流動など永久変位を受ける場合、3)防護コンクリートの破断に伴うせん断作用を受ける場合、の3通 りの作用を想定し、既設管路継手が破損した後、ケーブル収容管用ライニング管が光ケーブルの収容空間 を保持し、ケーブル防護機能を有することを実験及び解析的に明らかにした.

# Key Words: optical fiber cable, pipe in pipe, failure due to cyclic loadings, uneven subsidence, shear force

## 1. はじめに

上下水道,電気,ガス,通信など各ライフライン設備 は、人々の日常生活に無くてはならない重要な設備とい う共通点はあるものの、それぞれの提供するサービスの 違いにより、その設備に対する要求性能は異なる。例え ば、ガス管が地震時に破損しガス漏洩が発生した場合、 サービス提供に支障を生じることのみならず、人命に影 響しかねない大事故が想定されるためガス管そのものの 耐震性を向上させる必要がある。

一方,通信において通信サービスが途絶すると,被災 直後の安否確認や建物の被害状況などの把握が困難にな る他,災害救助に必要な行政・防災機関等においても初 動に必要な情報伝達が遅れるなど生命・財産に関わる重 大な危機を招く恐れがある.しかしながら,地震により 管路設備が被災しても,通信ケーブルが損傷せず使用可 能であればサービス提供を続けることが可能となる.

これまで、通信における管路の耐震対策は、主に継手 部における伸縮機能の向上や離脱防止機能、マンホール 取付け部における伸縮機能の向上であり、管路設備が力 学的に被災しにくくすることに重点が置かれ、管路規格 を変更してきた<sup>1)</sup>.しかしながら、現行規格の耐震対策 は、新設時に行うものであり既設管路には適用できず、 光ケーブルを収容している旧規格管路に対する耐震対策 は確立されていない.なお、現行規格の管路を新設し、 光ケーブルを収容替えする方法は、多大な費用を伴うこ とから現実的には行われていない.

一方、山崎ら<sup>2</sup>は、建設後 30 年以上経過した管路に 対し、光ケーブルとメタルケーブルの重畳期に伴う設備 容量の不足、光ケーブル布設前点検で約 6割が不良と診 断される老朽化の進展などに対処するため、光ケーブル が収容されている状態で既設管路を再生する技術として 「ケーブル収容管用ライニング管(PIT-78)」を 2010 年に 開発した.

ケーブル収容管用ライニング管は、自立強度を有する とともに非開削で施工でき、硬質塩化ビニル製で腐食す ることがなくメンテナンスフリー化が図れる技術である.

既設管路の内面ライニング技術は、下水道分野で導入 されており、日本下水道協会は 2011 年 12 月に「管きょ 更生工法における設計・施工管理ガイドライン(案)」 を発行している<sup>3</sup>. 同ガイドラインでは、既設管とライ ニング管を一体として評価する方法やライニング管のみ を評価する方法が提案されているが、既設管の挙動を考 慮したライニング管の耐震設計の考え方や手法は確立さ れていない.

通信分野において,田中ら<sup>45</sup>は,ライニングされた 管路の耐震性評価方法を提案し,ケーブルを収容してい ない空き管路用ライニング管を対象とした地震時の挙動 及びケーブル防護効果を解析と検証実験により確認して いる.空き管路用ライニング管は,継手構造を有しない, シームレスな円形パイプであり,本研究対象とする継手 構造を有するケーブル収容管用ライニング管とは,明ら かに構造特性及び地震時挙動が異なる.

ケーブル収容管用ライニング管によるケーブル防護効 果について、奥津ら<sup>6</sup>及び山崎ら<sup>7</sup>は、地震応答解析と 検証実験を行い、ケーブル収容管用ライニング管と既設 管路との接触面積が小さく既設管路の挙動による影響を 受けにくいこと、短い間隔で継手があり系として変位を 吸収できること、などから地盤ひずみ 1.0%の地震動を 想定した場合において光ケーブル保護効果が期待できる とし、既設管路継手が離脱した後の地震外力を想定した 実験を行っている.しかしながら、光ケーブルが被災に 至るメカニズムは十分に明らかになっておらず、さらに メカニズムを考慮した性能評価を示すには至っていない.

本研究では、地震応答解析では求めることが難しい、 既設管路が損傷した後のケーブル収容管用ライニング管

(以下, ライニング管)の光ケーブル防護機能の評価に 研究対象を絞り,光ケーブル損傷のメカニズムを実験及 び解析的に明らかにし,メカニズム毎の性能評価の詳細 を報告する.その上で,既設管路の損傷後におけるライ ニング管の光ケーブル防護機能を踏まえ,既設管路への 耐震対策としての有用性を提案する.

# 2. ライニング管,ねじ継手鋼管の特性

ライニング管の概要を図-1 に示す. ライニング管は, 既設の 1000 心光ケーブル 1 条と新設の細径 1000 心光ケ ーブル 2 条を収容できる独立した 3 つの光ケーブル収容 空間を備えている. 材料は主に硬質塩化ビニルである.

設計上の特徴としては、推進力を低減するためにライ





図-1 ライニング管の概要

表-1 ライニング管、ねじ継手鋼管の特性

分類	項目	単位	ライニング管	ねじ継手鋼管
	外径	mm	78.0	89.1
寸法	肉厚	mm	5.9	4.2
	管長	mm	230	5,500
材料 物性	弾性係数	N/mm <sup>2</sup>	2,307	205,940
	塑性後の弾性係数	N/mm <sup>2</sup>	23	205,940
	引張強度	N/mm <sup>2</sup>	44	350
	塑性開始ひずみ	%	1.91	0.17
	ポアソン比	-	0.35	0.3





ニング管の本体部外径 72.3mm に対し継手部外径 77.7mm と大きく,継手部が主に既設管路と接触する構造とする ことで摩擦力を軽減している.また,曲線区間への対応 として,ライニング管本体同士を接続する継手部分に 6mm の伸びしろを設け,一か所で約 7 度の曲げを可能 とすることで管軸方向および屈曲挙動に対し柔軟性を持 たせている.およそ 100mのスパンに換算すると 2.5mの 伸びしろに換算できる.

本研究に用いるライニング管とねじ継手鋼管の寸法及 び材料特性を表-1 に示す. ライニング管継手並びにね じ継手の引き抜きと押し込み、及び、回転に関する力学 性状を図-2、図-3 にそれぞれ示す.なお、ライニング 管の特性は、開発時の物性試験値を基に設定した.ライ ニング管は、内径 80.7mm の金属管に適用しており、既 設管路の大半を占めるねじ継手鋼管とライニング管との 組み合わせを検討する.ねじ継手鋼管における地震被害 は数多く報告されており、ケーブルを収容した状態でね じ継手鋼管の耐震性を向上させることが可能となれば、 実用的な対策として有用である.

## 3. 光ケーブル損傷のメカニズム

これまでの管路設備の耐震対策に関する検討は,第1 章で述べたように管路そのものが被災しにくくすること に重点が置かれてきた.高田ら<sup>899</sup>により通信管路の地 震時挙動の解析方法が研究され,1995年の兵庫県南部 地震,2004年の新潟中越地震,2007年の新潟中越沖地 震,2011年の東北地方太平洋沖地震,2016年の熊本地 震まで最大震度7の地震を経験し,既設管路の性能がお よそ判明し,光ケーブルが損傷するメカニズムについて もそのパターンが明らかになってきた<sup>1),14,15</sup>.

過去被災から管路が被災しやすい箇所は,液状化地盤 や軟弱地盤における永久変位,盛土造成における沈下・ 流動・崩壊,橋台背面やボックスカルバート周辺での不 等沈下などである.管路が被災してもケーブルが損傷し なければ,応急復旧までの短期間であれば,通信サービ スを維持できる.このような過去の被災状況から光ケー ブルが損傷に至るメカニズムについて,図-4 から図-7 に示す以下の4つのパターンに分類した.

パターン1は、軟弱地盤での不等沈下,液状化による 沈下や側方流動,盛土の流動・崩壊などによりマンホー ル間の区間長が長くなる場合や、ダクト部から管路がマ ンホール側に突き出す場合において、マンホール内に固 定している光ケーブルに引張が生じる作用形態である. このような場合には、引張力あるいは許容を超える屈曲 状態により光ケーブルが損傷もしくは伝送損失が増加す る.図-4 にマンホール内での引張・屈曲による被災メ カニズムを示す.図中のケーブル接続点の左側の光ケー ブルは通常の状態を示し、右側の光ケーブルは引張られ ることで屈曲角が生じている.なお、ねじ継手鋼管以前 の規格においては、ダクト部での管路突出しによる屈曲 状態を伴う被災も確認されている.

パターン2は、地震動によりマンホール間で管軸方向 の引張・圧縮を受け、管路の継手部が離脱し、その後の 繰り返し衝突により、管路の変形に伴い光ケーブルが損 傷もしくは伝送損失が増加する作用形態である. 図-5 に地震動による繰り返し衝突に伴う被災メカニズムを示 す.



図-7 パターン4 (せん断作用)



写真-1 ライニング管のマンホール内取付状況

パターン3は、橋台背面やボックスカルバート周辺な ど人口造成された比較的軟弱な地盤での不等沈下、同様 に液状化地盤で強固な構造物周辺に生じる不等沈下によ り、管路継手もしくは旧伸縮継手が離脱する.このよう な場合には、離脱した管路が地盤変状に追随し、光ケー ブルが損傷もしくは許容を超えた屈曲状態になることで 伝送損失が増加する.図-6 に管路区間での不等沈下に 伴う引張・屈曲による被災メカニズムを示す.

パターン4は、橋台背面やボックスカルバート周辺な ど人口造成された比較的軟弱な地盤での不等沈下や液状 化地盤で強固な構造物周辺におこる不等沈下により、防 護コンクリート区間内で防護コンクリートが破損し、鉛 直方向に沈下する作用形態である.このような場合には、 光ケーブルにせん断作用が生じ、損傷もしくは伝送損出 が増加する.図-7 に防護コンクリート区間内でのせん 断作用による破断・損失増加による被災メカニズムを示 す.

パターン1については、既設管路への対策ではなく、 マンホール内に光ケーブルの余長を多くとり、光ケーブ ルに作用する引張力や屈曲角度を緩和する方法が有効で ある. なお、既設管路の突出しに対しては、ライニング 管による二重管を適用している場合において、**写真-1** に示すようにライニング管把持具や取付け金物により、 ダクト部におけるコンクリートの剥離・落下や管路突出 しへの抑制効果も期待できることから、今後とも被災事 例を注視しつつ、特段の方策はとらないこととする.

従って、次章以降、パターン2からパターン4の3パ ターンについて、ライニング管によるケーブル防護機能 の性能評価を実験及び解析的に行い、光ケーブルの損傷 低減効果について述べる.

### 4. 繰り返し衝突に関するケーブル防護機能評価

#### (1)繰り返し衝突に関する評価モデルの設定

過去被災では、図-5 に示したとおり、土中での引張 と圧縮を受け、管路の継手部が被災し継手が離脱した後、 再び元の位置に戻ろうとするため離脱した継手部で繰り 返し衝突が生じ、ケーブル被災にまで至るケースがある. 繰り返し衝突によって管端部が著しく損傷した実被災状 況を**写真-2**に示す.

評価モデルを図-8 に示す.評価は、250kN 万能試験機 を用いて軸方向に繰り返し引張と圧縮を加え、ライニン グ管がある場合と無い場合で光ケーブルの損傷に与える 影響を比較する.振幅は、2007 年新潟県中越沖地震で の被災事例を再現した解析より得られた値<sup>50</sup>とし、継手 が 50mm 押し込まれる圧縮を想定している.その際、屈 曲角なしの場合(屈曲 0°)と側方流動等により屈曲角 を伴う場合(屈曲 4°)の2ケースを想定した.



写真-2 繰り返し衝突による実被災状況



図-8 繰り返し衝突の評価モデル



図-9 繰り返し衝突性能評価結果

屈曲角 0°の試験では、試験機の圧縮性能の関係から ねじ同士を突き当てた位置(ねじ込んだ位置から 30mm 程度抜けた位置)から 80mmの押し込み、引き抜きのサ イクル試験を 3 サイクル行った. ライニング管がない状 態で管内部に光ケーブル (SM1000)を挿入し、ケーブ ル外被の損傷状況を確認する.

屈曲角 4°の試験では、試験機の圧縮性能の関係から 管端部同士を突き当てた位置(ねじ込んだ位置から 65mm 程度抜けた位置)から115mmの押し込み、引き抜 きのサイクル試験を3サイクル行った。ライニング管の ケーブル収容空間に光ケーブル(SM1000)を挿入し、 ケーブル外被の損傷状況を確認する.なお、試験速度は いずれの屈曲角のケースにおいても試験機の最大速度で

#### (2) 繰り返し衝突に関する評価結果と考察

屈曲角 0°の時, ライニング管がない場合は, 図-9 (上)に示すように, 衝突時の軸ずれにより鋼管継手部 が管内側にめくれ上がる様な被災が再現され, 鋼管の変 形により収容された光ケーブルの外被が損傷している. ケーブルを多条布設している場合やケーブルに張力が働 いている場合は, 更に損傷度が高くなることが想定され る. 一方, ライニング管がある場合は, ねじ継手鋼管は 損傷するが, ライニング管が管軸方向へのガイドになり 鋼管の変形は軽減され, ライニング管の表面に傷は付い たがケーブル収容空間は健全であり, 収容した光ケーブ ルに損傷は生じなかった.

屈曲角 4°の時, ライニング管がない場合は, 図-9 (下)に示すように, 衝突時の軸ずれが大きくなるため 鋼管継手部が管内側に大きくめくれ上がり, 内側に食い 込む被災が再現され, 鋼管の変形により光ケーブルが断 線にまで至っている.一方, ライニング管がある場合, ねじ継手鋼管は損傷するが, ライニング管が管軸方向へ のガイドになり鋼管の変形は著しく軽減され, ライニン グ管の表面に傷は付いたがケーブル収容空間は健全であ り, 収容した光ケーブルに損傷は生じなかった.

繰り返し衝突に関する性能評価として、ライニング管 が無い場合のねじ継手鋼管は、継手部でねじが管内部に 捲れるように損傷し、収容された通信ケーブルを損傷す る可能性が高いことが確認できた.一方、ライニング管 がある場合、ライニング管表面に傷は付くものの、ケー ブルの損傷は無く、光ケーブルを防護する効果が期待で きることが確認できた.

## 5. 不等沈下に関するケーブル防護機能評価

#### (1) 不等沈下の評価モデルの設定と解析的検証

液状化地盤や軟弱地盤においては、図-6 に示したとお り、不等沈下、盛土の変状などにより、防護コンクリー ト直近継手部でケーブルが被災することがある.地盤変 状による管路の実被災状況を写真-3 に示す.なお、防 護コンクリートは、無筋構造で、そのコンクリート強度 は13MPa以上と定めている.

ここでは、防護コンクリートによる補強が機能し、防 護コンクリート区間直近の第一接続部のねじ継手が離脱 した事例を想定する.この被災パターンも、管路の連続 性が継手部で損なわれた場合にはケーブル被災にまで至 る可能性が高い.

このような箇所への耐震対策として,1983年に現行 規格として離脱防止継手を導入しており,現在まで被災 事例がないことから,その効用は確認できている.



写真-3 不等沈下による実被災状況

固	定点 <u>L=5.5</u>	<b>m</b> <sub>*</sub> <	5.5m		└ <u>→</u> ₭	5.5m	×
	\$0.1m	0.6m	₹ <sup>0.6m</sup>	Ĵ ₹	0.6m	Ň	0.6m
ボックス カルバート			w	w		w	,

━━ 防護コンクリート ━━ 鋼管 ● ねじ継手 👐 地盤ばね

図-10 不等沈下に伴うねじ継手の挙動解析モデル

表-2 部材特性

<b>em</b>	断面形状	部材特性		
防護コンクリート (外)区間	x● 外径: x● ★ *********************************	弾性係数E:206 kN/mm <sup>2</sup> 標準管長L:5500 mm 外径D:178 mm 肉厚t:0.92 mm		
防護コンクリート 区間 ◆	× • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	弾性係数E:35 kN/mm <sup>2</sup> 標準管長L:5500 mm 外径D:350 mm 肉厚t:16.5 mm		

表-3 地盤ばね

地盤	ばね (N/mm <sup>3</sup> )	すべり限界値 (mm)
軸直角方向 ≷	$K = 0.89 \times 10^{-3}$ K'=0.0089 × 10^{-3}	40
軸方向 ₩	$K=1.9 \times 10^{-3}$ K'= 0.17 × 10^{-3}	5

離脱防止継手の設計値は、引き抜き量 105mm、曲げ角 2.5°である.設計上の沈下量は、道路土工指針 <sup>10</sup>により 盛土道路における供用後の残留沈下量を 10~30cm 以内 になるよう規定していることから、30cm の不等沈下に 対応することとし、地盤沈下で 5mm、地震による伸縮 で 40mm、温度伸縮で 30mm、施工誤差等で 30mm を見 込み、引き抜き量 105mm としている.

ライニング管のケーブル防護効果を評価する手順は, 1) 解析により 30cm の不等沈下が発生した時のねじ継手 鋼管の挙動を求めた上で,ねじ継手鋼管の被災が見られ る場合には,2) 解析により 30cm の不等沈下が発生した 時の離脱防止継手の挙動を求め,3) さらに,解析結果で 離脱防止継手の被災が確認できない場合には,解析で得 られた離脱防止継手の挙動がライニング管に作用すると 考え,ライニング管が離脱防止継手以上の地盤追従性を 有するか検証する.

不等沈下に伴うねじ継手の挙動解析モデルを図-10 に 示す. 挙動解析は,不等沈下が発生した際の強制変位を 地盤ばねを介して管路に作用させた.解析には,地下線 状構造物の耐震解析に実績のある ERAUL2007 を用いた. 防護コンクリート部の長さを 5.5m とし,5.5m のねじ継 手鋼管3本が接続されたモデルとした.

1983年に離脱防止が導入される以前の管路設計に基づく、代表的な旧規格管路設備形態である. 図-10 に示すように左端のボックスカルバート端部は沈下しないため固定点とし、右端を自由端とした. 各部材の要素長は0.1m で分割した. 表-2 に防護コンクリート外の区間と防護コンクリート区間の断面形状を示す.

部材の特性は、ERAUL2007 で解析可能な様に、断面幅と断面係数が等価となるパイプ断面に置き換えた.地盤ばねは、又木らの研究<sup>10</sup>により報告された軟弱地盤における通信管路の挙動解析の値を用い、表-3 に示すようにバイリニア形の地盤ばね特性とした.すべり限界値までの地盤ばねを K、すべり限界以降の地盤ばねを K、 とする.ねじ継手の特性は、図-3 に示すように実験から得られた非線形特性を用いた.

表-4 に不等沈下に伴う挙動解析結果を示す.不等沈下に伴うねじ継手の挙動解析から,伸縮量は 0.02mm と 許容値 0.17mm を下回るものの,回転量については,沈 下量が 20cm を越えた時点で 0.73°となり,許容値 0.33°を大きく超える結果となった.

次に、防護コンクリート端部に離脱防止継手を設置し た現行設計における挙動を求める. なお,離脱防止継手 を設置した現行規格管路で被害が生じた事例は報告され ていない. 解析により 30cm の不等沈下が発生した時の 離脱防止継手の挙動を求めることで、既設管路に作用す る最大クラスの変形を求める.不等沈下に伴う離脱防止 継手の挙動解析モデルを図-11 に示す. 図-10 に示した ねじ継手の解析と同様に、防護コンクリート部の長さを 5.5m とし、防護コンクリート右端部の継手を離脱防止 継手とした. 各部材の要素長は 0.1m で分割した. 断面 形状・部材の特性および地盤ばね特性もねじ継手と同様 に, 表-2 および表-3 の値を使用した. 離脱防止継手の 特性は、図-12.に示すように実験から得られた非線形特 性を使用した. 設計上の引き抜き量は 105mm であるが, 実験で得られた結果から引き抜き量の許容値は 95mm と する.

不等沈下に伴う離脱防止継手の挙動解析結果を表-4 に示す. 沈下量 30cm の場合において,離脱防止継手の 伸縮量は 8mm 程度と許容値 95mm に対し小さな値とな り,回転量についても,1.7 となり,許容値 2.5 を下





表-4 不等沈下に伴う挙動解析結果

	沈下量	10cm	沈下量	20cm	沈下量 30cm		
第一接続点の 継毛 類別	回転量	伸縮量	回転量	伸縮量	回転量	伸縮量	
세조 그 가포 기기	(Deg)	(mm)	(Deg)	(mm)	(Deg)	(mm)	
ねじ継手	-0.14	0.01	0.73	0.02	1.70	0.02	
離脱防止継手	-0.23	4.10	0.69	7.00	1.74	8.01	

回り継手の損傷や収容ケーブルの被害は生じない結果と なった.従って、ライニング管の不等沈下に伴う地盤追 従性については、ライニング管が離脱防止継手以上の伸 縮量と回転量を有している場合、光ケーブルを防護でき る可能性が高いと考えられる.

図-2 に示したライニング管継手の特性から,離脱防止継手の伸縮量 8mm に対しライニング管継手は 13.7mm と上回り,離脱防止継手の回転量 1.7°に対しライニング 管継手は 9.6°と上回る結果となった.従って,図-10, 図-11 に示す不等沈下モデルに対し安全と考えられる. しかしながら,離脱防止継手の特性として,引き抜き量 95mm を有していることから,性能評価として離脱防止 継手と同等以上の引き抜き量と回転量を有していること を実験的に検証することとした.

#### (2) 不等沈下に関する評価結果と考察

検証実験は、ライニング管部材 36 個(8.3m)を接続し、 アクリル製の透明な管の中に設置した、アクリル管とラ イニング管は、両端でボルトにより固定した状態から、 引張から曲げの順番で行い、継手部に異常がないか確認 した、実験状況を**写真-4**に示す.

検証結果を表-5 に示す. 7cm から最大 20cm まで引張 り、0°から 2.5 °間隔で最大 15°まで曲げた. これらの 引張及び曲げ角度の数値は、2 項で述べたライニング管 継手の特性より、引張については 6mm/箇所×35 箇所、 曲げ角度については 10°/箇所×1, 2 箇所を考慮し、お



写真-4 不等沈下による検証モデル

表-5 ライニング管の性能評価結果

			回転変位量						
		$0^{\circ}$	2.5°	$5.0^{\circ}$	$7.5^{\circ}$	$10.0^{\circ}$	$12.5^{\circ}$	15.0°	
水	7cm 引張	離脱隊	与止継手						
平	10cm 引張	の可重	加域						
変位	15cm 引張			<sup>1</sup> ライニング管の可動域					
	20cm 引張								

よそ限界に達する範囲での検証とした. 接続部において ライニング管の破損は生じず,ねじ継手鋼管離脱後の地 盤変状に対して,現行対策である離脱防止継手以上の十 分な追従性を有していることを確認した.

### 6. せん断作用に関するケーブル防護機能評価

# (1) 被災事象を踏まえた光ケーブルに作用するせん断力の モデル化

暗渠や橋台などの周辺は、構造物を建設した後に埋め 戻した土により覆われている. 埋戻土は、一般地盤に比 べ地震動で沈下が生じやすい軟弱な地盤と言える. この ような、沈下の生じやすい埋戻土に覆われた暗渠や橋台 の周辺では、構造物の周辺地盤が沈下する不等沈下が発 生しやすい.

東北地方太平洋沖地震時に実際に生じたケーブル切断 事例は、図-7 に示すように、ボックスカルバートを上 越しした区間の防護コンクリートが破断し、周辺地盤の 沈下に伴い防護コンクリートが鉛直方向に沈下し、光ケ ーブルにせん断力が作用し破断した事例である.図-13 にその被災事象を示す.

被災は、国道に添って歩道内に占用する管路設備と国 道を横断するボックスカルバート製の水路との交差する 箇所で発生している.管路設備は、ボックスカルバート を上越しするために占用位置を浅くする必要があり、通 常であれば多条多段のところを1段9条の平積みにして ボックスカルバートに直接載せていた.管種は、ねじ継 手鋼管であり、継手位置は、管軸方向に千鳥配置ではな く同一箇所に全て位置していた.管路布設時に管路を並 べてから継手を接続するため施工上のやり易さから継手 位置を揃えていることが過去多かったためである.継手



図-13 せん断作用による光ケーブル損傷事象(上:縦断方向,下:横断方向)

位置としては、4条はボックスカルバート直上に位置し、 残り5条はボックスカルバート直上からずれ、埋戻土の 上に位置している.

被災状況は、ボックスカルバート端部に位置する管路 継手部で防護コンクリートが継手位置に添って割れ、管 路継手は全て離脱していた.今回、複数の管路継手の位 置を同一線上に揃えることで継手の外径分のコンクリー ト厚さが薄くなること、継手から継手管のコンクリート 厚さが薄くなることなど、構造体として弱点部になり易 いと考える.なお、離脱した継手のねじ部を中心に管路 が腐食しており、地震前から防護コンクリートに亀裂等 が発生し、水分を供給していた可能性も考えられるが、 コンクリート厚さが薄いことやこのような形態での施工 箇所が多いことを考えると防護コンクリート区間におけ る不等沈下に伴う現象と考えられる.

ボックスカルバート直上に継手が位置している4条に ついては、防護コンクリート端部がボックスカルバート 上にあり段差を伴う沈下は見られない.一方、管路継手 位置がボックスカルバート上に無い5条については、管 路を含む防護コンクリート、アスファルト舗装ともに管 軸鉛直方向に約 15cm 沈下している.鋼管の内径は 80.7mm、外径は 89.1mm であり、約 15cm の沈下は、管 路直径の約2倍の沈下に相当する.管路に収容されてい る光ケーブルは、ボックスカルバート上に位置し続ける 管路と離脱後沈下する管路に挟まれるように上載荷重相 当のせん断力が加わり、光ケーブルが破断し通信が途絶 した.

鋼管は、ボックスカルバートを上越しするため地表面 に近い場所に占用している.ケーブル切断箇所では、 15cm の沈下が見られたが、 lm 程度先からは元の地面と 接地しており上載荷重は地盤が負担している. 管路の占 用位置は、歩道 0.6m、車道 1.2mを標準としておりボッ クスカルバートを上越しする浅層区間からは通常の占用 位置に向かって深く埋設することになる.

今回の被災事象は、1)ボックスカルバートの埋戻土近 辺で発生する急激な段差を伴う不等沈下であること、2) 沈下側の管路,防護コンクリートの軸方向は埋設深度が 深くなる方向に傾斜していること、3)ボックスカルバー ト周辺から離れた位置では地盤の転圧が利いており比較 的安定した状態で防護コンクリートを支持していること、 などから光ケーブルに作用したせん断力は図-14 に示す 片端持上荷重モデルとした上で、全上載荷重 Fの1/2が せん断力 Q として作用するモデルで考えることとした. 図-15 に上載荷重モデルを示す.上載荷重としては、① アスファルト舗装重量、②防護コンクリート重量、③既 設管路重量、を考える.荷重モデルから総計重量の1/2 がせん断力として作用するので光ケーブルに作用するせ ん断力 Qは、以下の式(1)となる.

$$Q = \frac{1}{2} \left[ B \cdot h_1 \cdot L_s \cdot \gamma_1 + B \cdot h_2 \cdot L_s \cdot \gamma_2 - \frac{\pi}{4} D_c^2 \cdot L_s \cdot \gamma_2 \cdot R + \frac{\pi}{4} (D_c^2 - d_c^2) L_s \cdot \gamma_3 \cdot R \right]$$
(1)

ここに、Ls:管路軸方向の不等沈下する区間の長さ、 B:管路鉛直方向の沈下する防護コンクリートの幅、  $h_1$ :アスファルト厚、 $\gamma_1$ :アスファルト単位体積重量、  $h_2$ :防護コンクリート厚、 $\gamma_2$ :防護コンクリート単位体 積重量、 $D_c$ :管路外径、 $d_c$ :管路内径、 $\gamma_3$ :管路の単位 体積重量、R:管路条数をとする. なお、これらの諸量 は以下の数値となる.

- γ<sub>1</sub>:アスファルト単位体積重量 22.5 kN/m<sup>3</sup>
- γ2:防護コンクリート単位体積重量 23.0 kN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_3$ :管路の単位体積重量 78.5 kN/m<sup>3</sup>
- D<sub>c</sub>:管路外径:0.0891m
- d<sub>c</sub>:管路内径:0.0807m

これより、今回の被災事象における光ケーブルに作用 したせん断力を算出する.現場の状況から管路軸方向の 不等沈下した長さ *Ls* は 1m,管路鉛直方向の沈下した 防護コンクリートの幅 *B* は 1m,管路条数 *R* は 5条,ア スファルト舗装厚  $h_l$ は 0.15m,防護コンクリート厚  $h_2$ は 0.2m であることから、式(1)より 3.9kN であったと算出で きる.

なお、今後の対策を考える場合、設計時に光ケーブル に作用するせん断力を算出する必要がある.アスファル



ト舗装厚,防護コンクリート厚は設備記録図から算出で きるが,個々の地震時における不等沈下する長さや幅な ど挙動を把握することは困難である.高田ら<sup>&110</sup>は,実 際の地震時における地盤沈下では沈下部と非沈下部との 間に穏やかな過渡的沈下領域があること,本事例のよう な段差的な沈下は地中に強固な構造物が埋設されている など特殊な条件でのみで発生するとしている.

また、管路設備の占用位置は、地表面に近いボックス カルバートの上越し区間から深くなる方向に線形してい ることや、ボックスカルバート建設時に大型転圧機によ る施工が困難難しい箇所はボックスカルバートなど構造 物周辺に限られることを勘案し、不等沈下する長さは、 今回の被災事例である lm で設計した上で、防護コンク リート幅は、部分的な沈下を考慮せず既設設備全体を対 象に設計することが妥当と考える.ただし、この考え方 は、構造物周辺における転圧不足を想定したもので、大 規模な盛土のすべりや流動を想定したものではない.

#### (2) ライニング管のせん断耐荷力の算出

これまで、管路や管渠更生工法など地下に連続する小 口径の構造体では、管軸方向に地震動が伝搬するとして おり、そのため影響の受けやすい管軸方向を主体に検討 し、せん断力などの鉛直断面に対する照査・検証を省略 してきた.

評価実験にあたり、管路が継手部で破損し鉛直方向に 変位しようとする状況下で、光ケーブルを収容している ライニング管にせん断力が作用した場合には、ライニン グ管は徐々に変形するが、光ケーブル収容孔の内径が光 ケーブル外径より大きい状況では光ケーブルに外圧は作 用していないことから、通信が途絶することはないレベ ル(以下、通信途絶回避レベル)と定義する.

図-16に実験概要を示す.管路は既に離脱していることから250kN万能試験機に鋼管を固定した側と固定架台に固定した鋼管側を突合せ、その中にライニング管と光ケーブルを設置する.万能試験機に設置した鋼管側に鉛直方向に変位制御にて荷重をかけることでライニング部材にせん断力を作用させる.なお、固定側は、鋼管のたわみによる影響を低減するため木材で支えるとともに、鋼管が回転しないように固定した.



表-5 ライニング管へのせん断作用実験結果

ケース	破断荷重 (kN)	平均破断荷重 (kN)	空間限界荷重 (kN)	平均空間限界 荷重 (kN)	せん断耐荷力 (平均空間限界荷重 -1.64の) (kN)	
	22.8		10.1			
ケース 1	27.0	26.6	9.96	9.90	9.68	
	30.0		9.76			
	7.44	7.52	3.85	3.56	3.19	
ケース 2	8.16		3.31			
	6.97		3.51			
	11.2		8.36			
ケース 3	11.5	11.5 11.1	6.31	7.49	6.08	
	10.5		7.80			

載荷の際,光ケーブル収容孔が変形し光ケーブルを挟 み込むことで容易に軸方向前後に移動できなくなる荷重 を通信途絶回避レベルにおける空間限界荷重と定義する. その後,部材が破断するまでの荷重を破断荷重とする. なお、ライニング部材は、継手を有する構造から継手部 が弱点となり、せん断荷重を作用させる位置により空間 限界荷重,破断荷重が異なることが想定される.せん断 力を作用させる位置を3ケース設定し、各ケース3回測定 する.図-17にせん断荷重を作用させる3ケースの位置を 示す.赤色破線がせん断力を作用させる位置である.

ケース1は、部材本体部の中央に位置し、せん断力は 継手に左右されず本体部分に作用する.ケース2は、継 手部中央に位置し、継手内部の本体部材の切れ目となる ため、せん断力は継手部材に作用する.ケース3は、継 手部端部に位置し、継手内部の一部本体と継手部が重な り合っており、せん断力は本体並びに継手内部の一部本 体と継手部に作用する.

各ケースにおいて,破壊荷重>空間限界荷重の関係 が成り立ち,かつ空間限界荷重が弾性領域内での変形で あることが確認できれば,構造力学的に安定した状態で の通信途絶回避レベルを設定することが可能となる.

#### (3) せん断作用に関する安全照査方法の提案

表-5 に各ケースの試験結果を示す. 空間限界荷重は, ライニング部材にせん断力を作用させながら,光ケーブ ル収容孔の変形により光ケーブルが軸方向前後に移動で きなくなる位置まで載荷を行った結果である. 破断荷重







図-18 ライニング管のせん断耐荷力

は、ライニング部材が破断するまで載荷を継続的に行った結果であり、破断した試験体を**写真-5**に記載する.

ケース 1~3 で破断荷重,空間限界荷重ともに異なる 結果であった.

ケース1は破断荷重,空間限界荷重ともに最も高い数 値となっている.継手部を含まない本体部材のみでせん 断荷重を受けるため鋼管と鋼管に挟まれ本体部材に食い 込むように破断した.破断荷重一変位図から弾性変形領 域は 15kN となり,空間限界荷重は弾性領域内であった.

ケース2は破断荷重,空間限界荷重ともに最小値を示 した.これは、ライニング管の構造上の不連続点にあた る継手中央位置であり、せん断荷重に対しても最も弱い 箇所と言える.せん断荷重に継手部が抵抗するものの上 下に引きちぎられるように継手が離脱し破壊した.破断 荷重一変位図から弾性変形領域は 5.5kN となり、空間限 界荷重は弾性領域内であった.

ケース3は破断荷重,空間限界荷重ともにケース1, 2の間に位置する. せん断力が作用する継手部の端部は, 継手本体部材と継手内部で一部本体と継手部が重なり合っている箇所との間に位置するため,荷重の増加に伴い 継手部から本体部材側で引きちぎられるように破壊した. 破断荷重-変位図から弾性変形領域は 9kN であり,空 間限界荷重は弾性領域内での結果であった.

せん断荷重を作用させる位置を変えたいずれのケース も、「破断荷重>弾性領域>空間限界荷重」の関係が成 り立ことを確認できた、構造力学的に安定した状態で空 間限界荷重を通信途絶回避レベルとして設計に用いるこ とが可能であることを意味する.

さらにデータ母数が少ないこともあり試験結果を正規 分布と考え 95%の信頼性をもって安全側に判断するこ ととし<sup>12)</sup>,標準偏差を求め平均空間限界荷重から-1.64σ の値を通信途絶回避レベルにおけるせん断耐荷力 q と定 義する. なお,通信途絶を想定した限界設計であること から安全率は考慮しない.

部材が連続した状態での通信途絶回避レベルとしての せん断耐荷力を図-18に示す.横軸に本体部と継手部の 位置関係がわかるよう併記した.230mmが継手部の中心 となりケース2の載荷位置に相当する.なお,本体部分 でのせん断耐荷力が連続していると想定したラインを点 線で示した.実際の現場において,どの位置にせん断荷 重が作用するかは不確定なため,最も弱い継手部にせん 断荷重が作用するものと考えることが安全側と言える. 従って,ライニング管のせん断耐荷力*q*は,設計上3.2kN 程度と考えるのが妥当と言える.

光ケーブルに作用するせん断力 Qに対し,それを上回るに必要な必要条数  $P_x$ を求めることで,安全照査を可能とした設計が実施できる.式(2)に計算式を示す.

$$P_x > \frac{Q}{q} \tag{2}$$

ここに、 $P_x$ : ライニング管の必要条数(本),Q: 上載荷重に よるせん断力(式1),q: ライニング管のせん断耐荷力 (3.19kN/本)である.

通信途絶回避レベルでのライニング管のせん断耐荷力 を明確にすることで安全照査を可能とした耐震設計が可 能となる.

また、本事例と同様の現象を伴う橋台背面での不等沈 下対策への適用が期待できる.さらに、ケーブルが収容 されていない空き管路がある場合には、空き管用ライニ ング管を適用することで、全体としてのせん断耐荷力を 向上させる方法も考えられる.

これまで管路のような小口径の設備については、断面 方向の検討を省略してきたが、ライニング管など継手構 造を有する構造物については、せん断耐荷力を明確にし、 せん断荷重に耐えうる必要条数を設計することで安全照 査が可能となる.

## 7. まとめ

既設管路継手離脱後のケーブル収容管用ライニング管 (以下,ライニング管)の地震時挙動に対し,光ケーブ ルの損傷パターンを考慮した性能評価により,ライニン グ管によるケーブル防護機能の検証を試みた.このこと は、たとえ通信管路設備は被災しても、光ケーブルは途 絶させない、既設管路に対する耐震対策として有用であ る.

ただし、この性能評価は拘束条件のない地上で行って おり、実際の埋設環境とは異なる。軸方向変位であれば、 継手外径見合いの張出により地盤内に空隙を生じること <sup>13)</sup>や、沈下を伴う場合は、地盤拘束力が低下すること<sup>11)</sup> が知られているが、今後の被災事例に注視し、検証を重 ねる必要がある。

また、これまで管路のような小口径の設備については、 断面方向の検討を省略してきたが、ライニング管など継 手構造を有する構造物については、そのせん断耐荷力を 明確にし、せん断荷重に耐えうる必要条数を設計するこ とで安全照査が可能であることを提案した.

地滑りを伴うような著しい地盤変状や熊本地震で見ら れた断層による地盤のずれなどに関しては未確認である が,既往地震において経験した一般的な被災現象に関し ては,ライニング管を既設管路に適用することで光ケー ブルを防護することが十分可能であると考える.

以上より, ライニング管は, 既設管路破損後のケーブ ル防護機能の観点から, 既設管路に対する耐震性向上施 策として展開できることが明らかとなった. 既設管路の 耐震対策が進むことで, ネットワークのさらなる信頼性 向上が期待される.

謝辞:本研究にあたり,NTT 耐震検討委員会の関係各 位から数々のご指導ご助言を頂きました,また,博士課 程在籍中であり,筑波大学境有紀教授,松島亘志教授よ り論文指導を頂いています.ここに記して感謝の意を表 します.

#### 参考文献

- 土木学会:都市ライフラインハンドブック,第IV編 ライフラインの防災技術、6章情報通信,pp759-786, 2010.
- 山崎泰司,是国亨,小高直樹,山下宏幸,稲村俊郎, 山田佳彦,秋山武士:不良管路を再生する「ケーブ ル収容管補修技術」,NTT技術ジャーナル, 2010.12.
- 3) 公益社団法人日本下水道協会:管きょ更生工法にお

ける設計・施工管理ガイドライン(案),2011.

- 田中宏司,鈴木崇伸,片桐信,山崎泰司:通信管路 設備の実被害分析によるライニング補強の耐震性に 関する考察,土木学会第 64 回年次学術講演会, I-204, pp.407-408, 2009.
- 5) 田中宏司,奥津大,山崎泰司,片桐信,鈴木崇伸, 杉山俊幸:ライニング補強した通信管路の地震時ケ ーブル防護効果評価方法,土木学会論文集,A1(構 造・地震工学),V01.68 No.4, pp.I\_959-968, 2012.
- 奥津大,榊克実,山崎泰司,片桐信,鈴木崇伸:ケ ーブル収容管補修技術によりライニングした通信管 路の地震時ケーブル防護効果,土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.70, No.4(地震工学論文 集代 33 巻), L\_897-L\_907, 2014.
- 7) 山崎泰司,瀬川信博,奥津大,石田直之,稲村俊郎, 田中宏司:ケーブル収容管補修技術(3000 心タイ プ)による既設設備の耐震性向上,NTT 技術ジャー ナル, 2011.11.
- 高田至郎、中野雅弘、片桐信、谷和弘、小柳悟:地 震時地盤不等沈下を受ける耐震性硬質塩化ビニル管 路の挙動、土木学会論文集, No619/I-47, pp.145-154, 1999.4.
- 高田至郎,李騰雁,東俊司:多条多段地中管路の不 等沈下設計計算法, 土木学会論文集, No.577/I-41, pp141-151, 1997.

- 10) 又木慎治,出口大志,中野雅弘,鈴木崇伸,友永則 雄:通信用中口径管路設備の耐震設計方法の検討, 土木学会構造工学論文集, Vol.42A, pp.685-696, 1996.
- 11) 高田至郎: ライフライン地震工学, 共立出版, pp.112-119, 1991.
- 12) 土木学会:トンネル標準示方書シールド工法・同解 説,第5編限界状態設計法3材料の設計値,2006年, pp253.
- 13) 若竹雅人,伊藤陽,田中宏司,片桐信,鈴木崇伸: コンクリート巻き立て管の埋設地盤内の挙動に関す る研究,土木学会論文集 A1 (構造・地震工学),土 木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 72 (2016) No. 4, p. I\_496-I\_505, 2016
- 14) 山崎泰司,瀬川信博,石田直之,鈴木崇伸:東日本 大震災における電気通信土木設備の被害状況に関す る考察,日本地震工学会論文集,第12巻第5号(特 集号), pp55-68, 2012.
- 15) 土木学会他7学会:東日本大震災合同調査報告,土木編
   3 ライフライン施設の被害と復旧第6章 通信施設, pp.310-319,2015.
- 16) 公益社団法人日本道路教会:道路土工-軟弱地盤対策工 指針,第4章軟弱地盤対策4-3-3設計条件の設定,2012.
   (2016.\*.\*受付)

## EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE FOR THE PROTECTION OF OPTICAL FIBER CABLE BY CABLE-LAYING CONDUIT

# Yasushi YAMAZAKI, Koji TANAKA, Masaru OKUTSU, Masato WAKATAKE, Takanobu SUZUKI and Gaku SHOJI

The purpose of this paper is to develop a new earthquake-resistant design and a new countermeasure for telecommunication conduits against large earthquakes. The paper discusses the countermeasure, which doubles pipes by lining, through both experimental and analytical methods, considering failure mechanism of optical cables. Specifically, three next actions were assumed: when the joints of pipes collide during compression-tension cyclic loadings; when permanent ground displacement due to liquefaction, subsidence or collapse of ground occur; when the protection concrete fractures and the shearing stress act on the cables. It was found that even though the failures at the joints of pipes occur, the cablelaying conduit lining can still contain the essential function to keep space for cables and to prevent the disruption of cables.