

通信管路設備の実被害分析による ライニング補強管路の耐震性に関する考察

田中 宏司¹・山崎 泰司²・片桐 信³・鈴木 崇伸⁴・杉山 俊幸⁵

¹NTTインフラネット株式会社（山梨大学大学院医学工学総合教育部博士課程在籍中）
（〒651-0088 兵庫県神戸市中央区小野柄通4-1-14）

E-mail:kouji-tanaka@ksi.nttinf.co.jp

²NTTアクセスサービスシステム研究所主幹研究員（〒305-0805 茨城県つくば市花畑1-7-1）

E-mail:yamazaki.yasushi@lab.ntt.co.jp

³摂南大学 理工学部 都市環境工学科 准教授（〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8）

E-mail:shin-k@civ.setsunan.ac.jp

⁴東洋大学理工学部都市環境デザイン学科教授（〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100）

E-mail:tsuzuki@toyo.jp

⁵山梨大学大学院医学工学総合教育部教授（〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11）

E-mail:t-sugiyama@yamanashi.ac.jp

通信管路設備は、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。一方、高度成長期に大量構築した管路設備が老朽弱体化しており、メンテナンスや補強により効率的に設備の信頼性を維持していく必要がある。本研究では、新潟県中越沖地震で光ファイバーケーブルの障害が生じた老朽化したネジ継手鋼管（以下SA管）について、現場調査および地震時応答解析を行いSA管の地震時応答を把握した後に、管内面にライニング補強を施した場合の内管の応答を解析および実験により確認した。老朽管路にライニング補強を施すことで、地震時のケーブル保護効果が向上し、合理的な耐震対策として期待できることが確認できた。

Key Words：地震被害,通信土木設備,管内面ライニング,光ファイバケーブル,
通信用地下ケーブル, 管路補強技術

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。

図-1に示すとおり、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¹⁾。通信地下ケーブルは管路設備あるいはと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を受け、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^{2) 3)}。また大都市では、ケーブル収容のためのトンネルであると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ルートしかないので現状である。また、高度成長期に大量構築した管路設備が老朽弱体化しており、メンテナンスや補強により効率的に設備の信頼性を維持する対策も急務

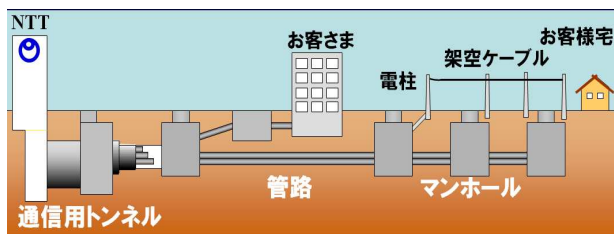


図-1 屋外通信設備の構成

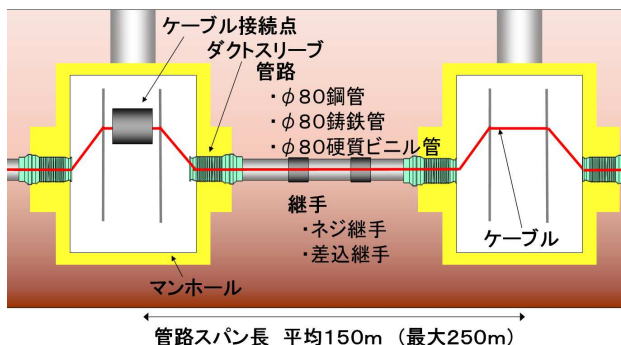


図-2 地下管路設備の概要

である。通信用地下ケーブルの耐震性能を把握することで、収容物であるケーブルの限界状態に応じた合理的な耐震対策を施すにより、管路設備の耐震性能を効率よく向上させることが必要とされる^{4) 5)}。NTTでは過去にも地震による被災程度を把握するためにケーブル損傷実験を行っており八木他によって報告されている^{6) 7)}。

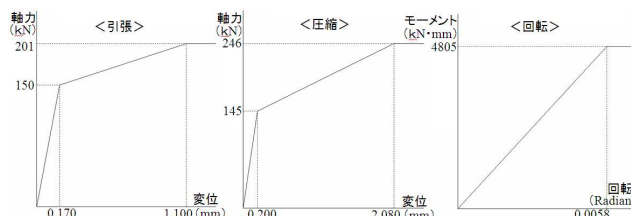
本研究は、2007年に発生した新潟県中越沖地震において、老朽化したSA管の継手部損傷により管内に収容されたケーブルに障害が生じた事例について、現場調査および地震時応答解析を行いSA管の応答を把握し、管内面にライニング補強を施した場合の内管の応答を解析および実験により推測した。ライニング補強管の解析は、これまでライニング補強を施した管路の被災例がないことから、SA管の地震時応答を弾性床上の梁理論に基づく地中管路の地震応答解析法により把握した後に、外管（SA管）と内管（硬質塩化ビニル[PVC]タイプのライニング管）との摩擦抵抗特性を考慮して、外管の挙動を外力として内管の応答を解析により求め、地盤ひずみと内管のひずみの関係について考察を行った。さらに、実際の被害ではネジ部の破損箇所にケーブルが食い込むことで損傷を受けるケースがあることから、ネジ部の破壊を実験上で再現することも行い、ライニング補強を施したSA管のネジ継手が破壊した場合のケーブル保護効果について確認を行った。

2. 管路設備の概要

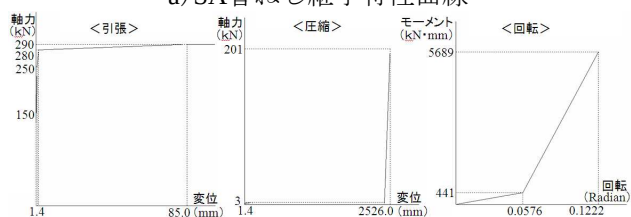
図-2に地下管路設備の概要⁸⁾を示すとおり、管路設備は矩形のマンホールで接続されており、管路とマンホールの接合部は1981年以降にダクトスリーブを導入したことで伸縮性および可とう性の向上を図り、地震時の振動や地盤変位を吸収する構造として

表-1 SA管とライニング管の管体特性

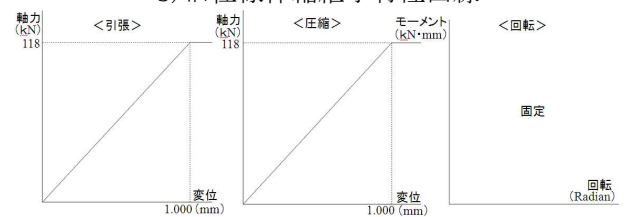
	SA管	ライニング管
標準管長 (mm)	5500	5500
外径 D (mm)	89.1	80.7
肉厚 t (mm)	4.2	3.0
弾性係数 E (N/mm ²)	205940	2000
塑性域の弾性係数(N/mm ²)	205940	20
ポアソン比	0.3	0.35
塑性開始ひずみ (%)	100	1.5
線膨張係数 (°-5)	1.2	100



a) SA管ねじ継手特性曲線



b) 旧仕様伸縮継手特性曲線



c) ダクトソケット特性曲線

図-3 SA管各継手の引抜・押込・回転特性

いる。それ以前の設備についてはモルタルによる固定方式を採用していたことから地震時には突き出しや引き抜きなどの被災事例が報告されている。管路自体の材質は主に鋼管および硬質ビニル管を使用しており、軟弱地盤や液状化地盤では鋼管を用い、地盤変位の予測される箇所には離脱防止継手を設けることとしている。また、軌道近傍の誘導による通信品質低下の恐れがある地域に鋳鉄管を使用することとしている。管路の内径はφ80mmを基本としており、収容される地下ケーブルも管路設備に布設することを前提として設計が行われている。継手構造は、1985年に地震時の震動や地盤変位に対して柔軟性のある差込継手を導入しているが、全管路のうち差込継手の割合は15%程度であり、それ以前のネジ継手を中心とする耐震性の乏しい旧仕様設備が大半を占めているのが現状である。地下ケーブルは、管路の中を引き通し、マンホール毎に側壁に設置されたケーブル受金物へ縛り紐により固定される。

3. SA管とライニング管の特性値

表-1にSA管の管体特性とライニング管の管体特

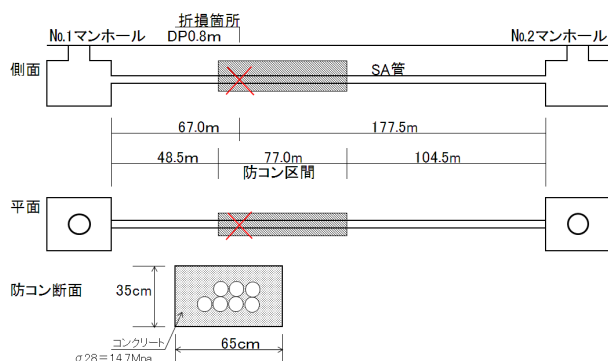


図-4 管軸方向の振動による被害例概要図



図-5 管路モデル図

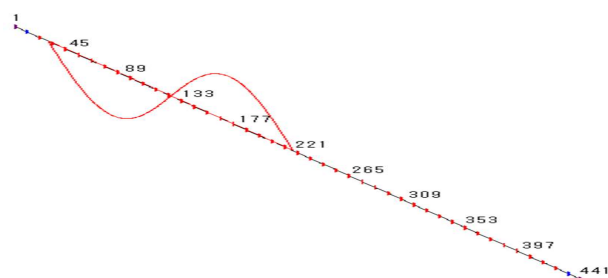


図-6 解析で使った入力地震波

表-2 地盤ばね特性

地盤 ばね	管 軸 方 向			管 軸 直 角 方 向		
	k (N/mm3)	k' (N/mm3)	σ (mm)	k (N/mm3)	k' (N/mm3)	σ (mm)
SA管 (一般地盤)	0.00582	0.000504	5.0	0.00267	0.0000267	40.0
SA管 (防コン部)	0.0582	0.00504	5.0	0.0267	0.000267	40.0

性を示す。また、SA管ねじ継手、SA管で使用されている旧仕様伸縮継手、マンホールとの接続部で使用されているダクトソケットの引抜・押込・回転特性を図-3に示す。ライニング管はSA管内にPVC管を挿入した後、温水を圧入することによりSA管内に膨張固定させるタイプのもので、SA管が腐食して強度がなくなった場合でも、土圧や車両による荷重に抵抗できる断面力を有している。SA管とライニング管の引抜試験（供試体の長さ570mm）により拘束力特性を計測した結果、最大の拘束力は相対変位35.6mmの際に抵抗力4.36kNとなった。SA管とライニング管本体との間の拘束力は極めて低く、上記の抵抗力は全てSA管継手におけるライニング管の食い込みに伴うものであった。したがって数値解析では、SA管継手の長さ（=120mm）範囲でこの抵抗力が作用すると考えて拘束ばね係数を下記のように求め、これを管全体にわたって作用させることで、ライニング管にとって厳しい解析条件となるよう

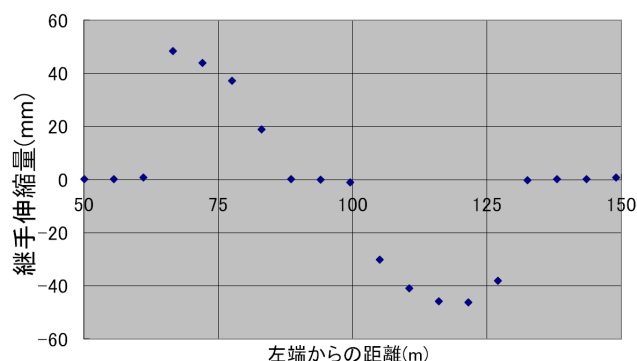


図-7 SA管の継手伸縮量分布

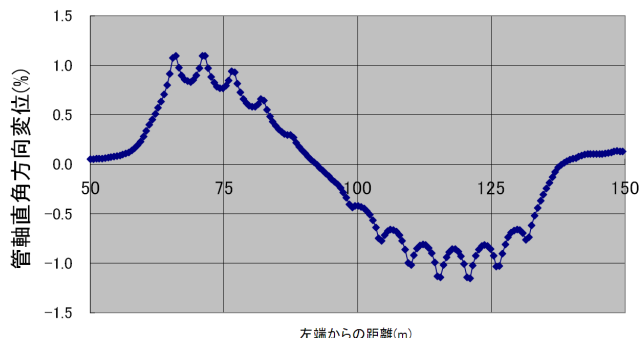


図-8 ライニング管のひずみ分布

にした。

$$k = 4.36 \times 1000 / (35.6 \times 120 \times 80.7 \times \pi) \\ = 4.03 \times 10^{-3} \text{ (N/mm}^3\text{)}$$

4. 被害箇所の状況と被災分析

新潟県中越沖地震で被害のあった柏崎市長崎の国道8号線上の光ファイバケーブル被害2例について検討を行った。被災分析は、弾性床上の梁理論に基づく地中管路の地震応答解析法（プログラム：ERAUL）を用いて行った。

(1) 管軸方向の振動による被害例の解析

管軸方向の振動によりSA管が圧縮および引張を受けてねじ継手部が損傷し、光ファイバケーブルに通信障害が発生したケースを分析する。管路の被災は図-4に概要を示すとおり、マンホールスパンの中間部で水路のカルバートボックスを上越しするために浅層埋設管路となる区間であり、道路工事などの外力から管路設備を保護するための防護コンクリート（以下防コン）を管路の外周に打設した端部で発生している。図-5に管路モデル図、図-6に解析で使った入力地震波、表-2に地盤ばね特性を示す。又木らの研究⁹⁾により提案された通信用中口径管路の挙動解析の地震波動外力モデルおよび一般地盤でのSA管の地盤反力特性を使用した。被災箇所に引張ひずみを与える疎密波とし、波長104.5m、最大振幅166mm（管軸方向地盤ひずみ1.0%）で設定した。防コン区間の地盤ばねを表-2に示すとおり通常地盤の10

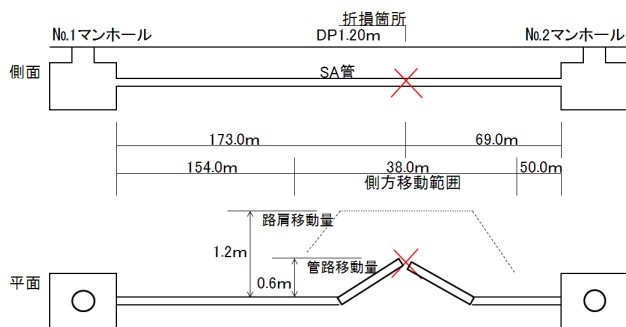


図-9 屈曲を伴う被害例概要図



図-10 管路モデル図

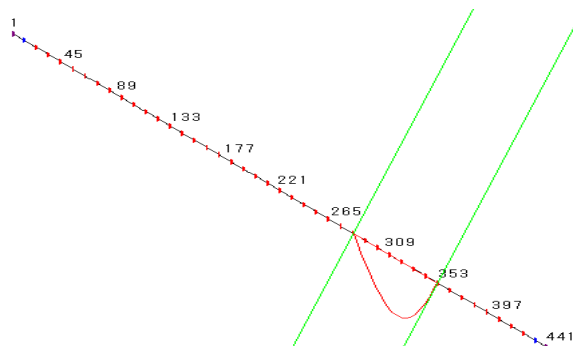


図-11 入力地震波動

倍にして解析を行った。

解析より得られた SA 管の継手伸縮量分布を図-7 に示す。防護コンクリート両端でネジ継手部に最大 50mm 程度の圧縮及び引張が生じ、ネジ継手部の破損が生じる。また、ライニング管の変位も SA 管の変位に追従するかたちで生じることが確認できた。図-8 にライニング管のひずみ分布を示すとおり、SA 管の継手破壊位置で管の変位が不連続になるため、これらの継手位置でひずみが局部的に高くなっている。ライニング管のひずみは防護コンクリートの端部で最大 1.2% 程度の圧縮ひずみが生じている。また、防護コンクリートの内部で最大 1.2% 程度の引張ひずみが生じているが、材料強度に相当する 1.5% のひずみには達しておらず、材料の破壊には至らないことが確認できた。

(2) 屈曲や偏心を伴う振動による被害例の分析

新潟県中越沖地震において、屈曲や偏心を伴う振動により SA 管の継手部の破損が生じ、通信障害が発生したケースを分析する。被災箇所は、図-9 に示すとおりマンホールから 170m 付近で路肩が崩壊し、屈曲を伴いながらネジ継手部が圧縮破壊した現場である。被災箇所の上下 38m にわたり路肩崩壊が発生し、地盤が 1.2m 側方に移動、管路が 0.6m 側方に移動し、ねじ継手部の管端同士

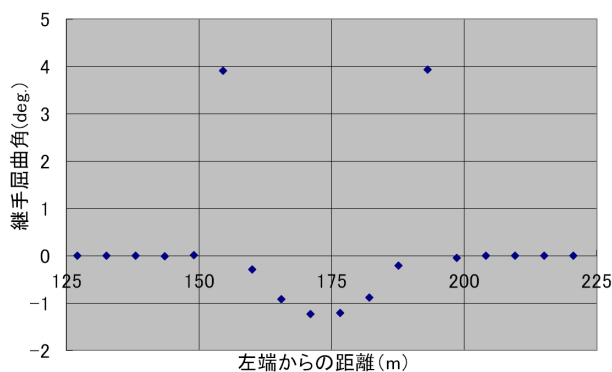


図-12 SA 管の継手屈曲角の分布

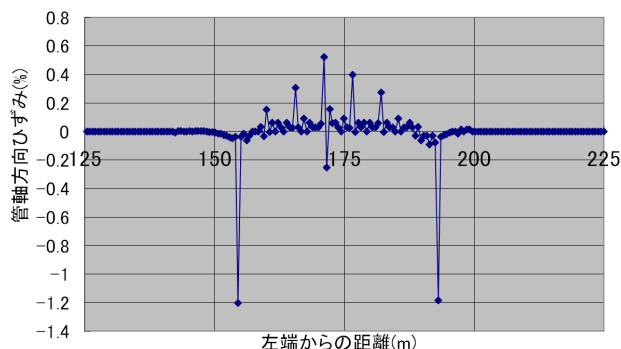


図-13 ライニング管のひずみ分布

がぶつかり合うことで光ファイバケーブルに管端部が食い込みファイバ心線が全断した。解析モデルを図-10 に示す。地盤ばね特性は表-2 の一般地盤を使用し、外力は図-11 に示すとおり、実測値の最大 1.2m の側方流動変位を入力した。

解析より得られた SA 管の継手屈曲角の分布を図-12 に示す。路肩の崩壊箇所で地盤の側方変位に追従し最大 4° の屈曲角が生じることで、SA 管継手部で離脱破壊が生じる結果となった。また、ライニング管の変位も SA 管の変位と全く同様の形状で追従することが確認できた。図-13 にライニング管のひずみ分布を示すとおり、SA 管の継手破壊位置でひずみが局部的に高くなるが、ライニング管のひずみは路肩崩壊箇所の両端部で最大 1.2% 程度の引張ひずみが生じる結果となった。材料強度に相当する 1.5% のひずみには達しておらず、ライニング管は材料の破壊には至らないことが確認できた。このことから、解析に使用した一般的な PVC ライニング材の場合、地中に埋設する際に必要な断面力を得るための肉厚 3.0mm を確保することで、地震時のケーブル保護効果が期待できると推定できる。

5. 被災再現実験によるライニング管の光ファイバケーブル保護効果

実際の SA 管の被害ではネジ部の破損箇所にケーブルが食い込むことで損傷を受けるケースがあることから、ネジ部の破壊を実験上で再現することを行い、ライニング補強を施した SA 管のネジ継手が破

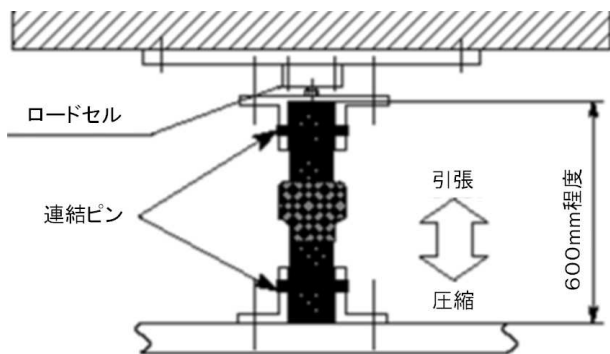


図-14 被災再現実験実験概要



写真-1 SA 管の状況



写真-2 ライニング管の状況

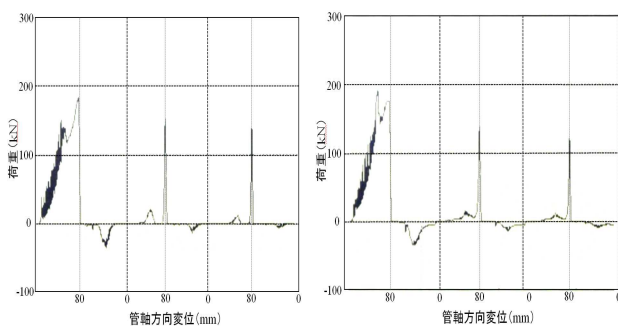


図-15 SA 管の軸方向変位と荷重の関係

壊した場合のケーブル保護効果について確認を行った。実験方法は、図-14 に示すように 250kN 万能試験機を用いて、管軸方向の繰返し载荷試験を実施した。地震波の振幅は過去の被災の調査結果や解析結果から継手が 50mm 押し込まれる位置までの圧縮と引張を再現した。押し込み・引抜きサイクル試験を 3 サイクル、試験速度は試験機の最大速度 500mm/min とし、管内部に光ケーブル (SM1000) を挿入し損傷状況を確認した。3.(1) 項の被災を再現した管軸方向の振動と 3.(2) 項の被災を再現した 4° の屈曲を伴う振動の 2 ケースについて、SA 管単体とライニング補強した場合の挙動比較を行った。

(1) 管軸方向の振動による被害例の確認実験

実際の試験では、試験機への供試体設置方法の制約からネジ同士を突き当てた位置 (ネジ込んだ位置から 30mm 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。

ライニングを施していない SA 管の試験の結果、写真-1 に示すようにネジ部が管内面にめくれるよう



写真-3 屈曲SA管の状況



写真-4 屈曲ライニング管の状況

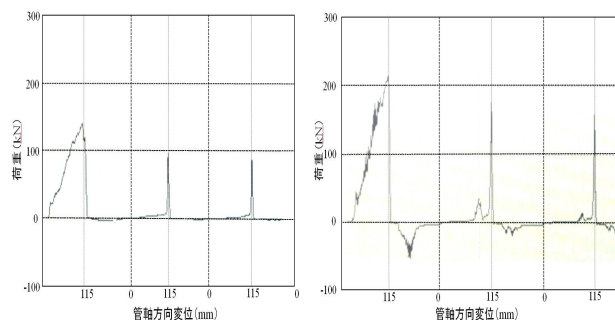


図-16 屈曲 SA 管の軸方向変位と荷重の関係

な被害の再現を行うことが可能であった。収容された光ケーブルは外被が損傷し、一部ファイバ心線の断線が確認された。1本の管路内に多条数のケーブルを布設する場合やケーブルの摩擦張力を負荷した場合は更に損傷度が高くなることが想定される。

ライニング補強した SA 管の被災再現試験後の管内面状況を写真-2 に示す。SA 管の継手は内管が無い場合と同様に破壊するが、内管は材料の柔軟性から損傷や破断することなくケーブルを保護することが確認できた。図-15 にライニング無しの SA 管とライニング補強した SA 管の軸方向変位と荷重の関係を示すが、双方ともほぼ同じ挙動を示しており、ライニング補強では SA 管の強度特性は全く変化しないことが分かる。3 本の供試体について試験を行い、全てで同様の結果が得られた。また、参考実験として、FRP タイプのライニング 2 種、3 穴形状の PVC タイプのライニング 1 種について同様の試験を実施したが、全て同様にケーブルを保護する結果となった。

(2) 屈曲を伴う振動による被害例の確認実験

実際の試験では、試験機への供試体設置方法の制約から管端部同士を突き当てた位置 (ネジ込んだ位置から 65mm 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。4.(2) 項の解析結果から継手部で 4° の屈曲角をつけた状態で振動を与えた。

ライニングを施していない SA 管の試験の結果、写真-3 に示すようにネジ部が管端部に食い込み、継手が激しく破壊される被災の再現を行うことが可能であった。収容された光ファイバケーブルは、管端部に食い込んだねじ部に押し潰され、ファイバ心線

が全断される結果となった。

ライニング補強した SA 管の被災再現試験後の継手部の状況を写真-4 に示す。内管がガイドとなり SA 管の継手の損傷が内管が無い場合と比較して著しく軽減される結果となった。試験後も内管は損傷や破断することなくケーブルを保護することが確認できた。図-16 にライニング無しの SA 管とライニング補強した SA 管の軸方向変位と荷重の関係を示す。ライニング無しの SA 管は継手部の屈曲により管端部が食い込むことで、屈曲無しの圧縮試験に比べ強度が低下しているが、ライニング補強管では内管がガイドとなりねじ部の損傷を軽減することで SA 管の強度の低下も抑制していることが確認できる。東日本大震災では、中小河川のカルバートボックス上越しのために、管路を浅い位置に曲げた区間での光ファイバケーブル被災が報告されており、管路の屈曲部の耐震対策としてライニング補強の適用が期待できる。本試験についても、3 本の供試体について試験を行い、全てで同様の結果が得られた。また、(1)項同様に参考実験として、FRP タイプのライニング 2 種、3 穴形状の PVC タイプのライニング 1 種について同様の試験を実施したが、全てケーブルを保護する結果となった。

6. おわりに

本研究は、弾性床上の梁理論に基づく地中管路の地震応答解析法により、まず外管である SA 管が地震波動・路肩崩壊により実被害を受けたケースの挙動を解析した。次に、得られた外管の変位を内管（PVC ライニング管）への入力と考え、同じ解析法で内管の挙動を求めることで、被災箇所にはライニングを施していた場合にライニング管が損傷するかを確認した。

また、実際の被害では地震時の振動によるネジ部の破損箇所に通信ケーブルが食い込むことで損傷を受けるケースがあることから、ネジ部の破壊を実験的に再現し、SA 管のネジ継手が破壊した場合のライニング管の収容ケーブル保護効果について確認を行った。

(1) 管軸方向の振動による被害分析のまとめ

管軸方向の振動による被害例の分析結果、新潟県中越沖地震における地震波動での実被災箇所の解析では、防護コンクリート両端部の継手が最大 50mm 程度の押し込み及び引き抜きにより破損する結果となったが、ライニング管は材料破壊に至らないことが確認できた。また、被災再現実験の結果、継手部でネジが管内部にめくれるように損傷し、ライニング無しの場合は収容された通信ケーブル外被を損傷することが確認できた。しかし、ライニング補強を施すことで、ライニング管にケーブルを保護する効果が期待できることが確認できた。

(2) 屈曲や偏心を伴う振動による被害例の分析

新潟県中越沖地震における盛土崩壊での実被災箇所の解析では、盛土の側方移動により、継手が最大 4°程度の屈曲を伴い破損する結果となったが、ライニング管材料破壊には至らないことが確認できた。また、被災再現実験の結果、SA 管のネジ継手部は管端同士が衝突し、継手部が著しく損傷、収容された通信ケーブルを全断することが確認できた。ライニング補強管は、内管がガイドとなり SA 管の継手の損傷が著しく軽減される。また、材料の柔軟性からネジ継手の損傷部でもライニング材に破損や切断は生じずに、ケーブルを保護する効果が期待できることが確認できた。

謝辞：本論文の作成にあたり、NTT耐震検討委員会で数々のご指導、ご助言を頂戴いたしました東京電機大学安田進教授、京都大学小池武教授、NTTアクセスサービスシステム研究所飯田敏昭PMをはじめ委員会メンバーの皆様に感謝します。

参考文献

- 1) 情報通信技術研究会新情報通信概論,財団法人電気通信協会発行,2004
- 2) 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,土木学会,pp759-786,2010
- 3) 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
- 4) 田中宏司,鈴木崇伸,山崎泰司:通信用地下ケーブルの耐震性能に関する実験的研究,第30回土木学会地震工学論文集,2009
- 5) 山崎泰司,瀬川信博,田中宏司,岡澤毅,石田直行,岸本敏明:通信設備の地震時機能性評価技術の開発,NTT技術ジャーナル,No8,2009.
- 6) 八木高司,鈴木崇伸,橋爪忠勝:屋外設備地震被害の要因と被害予測方法,NTTR&D,Vol.40No.7,pp.1005-1012,1991
- 7) 八木高司,工藤厚,又木慎治:屋外設備の地震時信頼性評価プログラム,NTTR&D,Vol.40No.7,pp.1013-1020,1991
- 8) 情報流通インフラ研究会,情報流通インフラを支える通信土木技術,財団法人電気通信協会発行,2000年
- 9) 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の検討,構造工学論文集Vol.42A,1996.3

STUDY ON EARTHQUAKE PERFORMANCE OF PVC LINED
TELECOMMUNICATION CONDUITS.

Koji TANAKA, Yasushi YAMAZAKI, Shin KATAGIRI,
Takanobu SUZUKI, and Toshiyuki SUGIYAMA

This paper confirmed behavior at seismic damage of telecommunication conduit by site investigation and earthquake deformation analysis. And we were inferred that PVC lined steel pipes have earthquake-proof performance through earthquake deformation analysis and simulation experiments. As a result, PVC lined steel pipe is effective as an earthquake-proof measure for Telecommunication conduit which became old.