

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 (その2) ケーブル収容管補修技術の評価

奥津 大¹・瀬川信博²・山崎泰司¹・片桐 信³・鈴木崇伸⁴

¹NTTインフラネット株式会社 (〒108-0004 東京都中央区東日本橋1-8-1)

E-mail: masaru-okutsu@hqt.nttinf.co.jp yamazaki.yasushi@lab.ntt.co.jp

²NTT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: segawa.nobuhiro@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 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

既設管路を補修する方法としてライニング技術がある。ライニング管は自立強度を有しており、地震時においてケーブルを保護するうえで効果が期待できることから、ライニングされた管路の耐震性について検討を行ってきた。耐震性の評価には地盤から外管、外管からライニング管へと変位を伝達させる応答変位法を応用した手法を用いた。この評価手法をケーブル収容管を非開削で補修するライニング管に適用し、耐震性を解析的に評価するとともに、ケーブル防護効果を実験的に検証した。その結果、外管継手を破壊するような地震外力に対してもライニング管はケーブル防護機能を有することを確認した。

Key Words : Telecommunication conduit, cable conduit, lining, seismic deformation method

1. はじめに

NTTの管路設備は、光サービスの拡充に伴う光ケーブルとメタルケーブルの重畳期を迎え、逼迫しつつある。その為、1条の管路へのケーブル多条布設が恒常的に実施される様になっている。しかし、多条布設予定管路の事前点検では、約6割の管路が錆・腐食により不良と診断されている。

そこでNTTグループは、錆・腐食による不良ケーブル収容管をライニングにより補修する技術を開発・導入した。なお、ケーブルを収容していない空き管路を補修する技術については導入済みである。ライニング管は、樹脂製で腐食することがないため半永続化、メンテナンスフリー化が期待される¹⁾。

既設管路をライニングすると、地震に対してケーブルを保護するという管路の機能が向上することが期待される。田中らは、ライニングされた管路の耐震性評価方法を提案し、事業導入済みの空き管路用ライニング技術を対象として、地震時のライニング管の挙動及びケーブル防護効果を解析的・実験的に確認した²⁾³⁾。

本稿では、ケーブル収容管を対象として開発したライニング管の耐震性・ケーブル防護機能を解析及び実験により確認した結果について述べる。

2. ライニング管概要

本稿で対象とするライニング管は、PIT (Pipe Inset Type) と呼ばれるタイプである。PITの概観を図-1に示す。

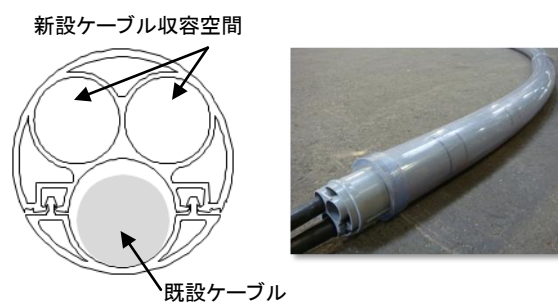


図-1 PIT 概観

PIT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、インナーパイプ無しで収容可能な独立した3つの空間を備えている。材料は主に硬質塩化ビニルである。

PITの施工方法を図-2に示す。工場成型品である短尺の部材を現場で組み立て、既設ケーブルを収容し、継手で連結しながら既設管路内に挿入してライニング管を施工する。

継手部は、ゴム継手とライニング材端面の傾斜面（テーパ）により曲線区間にも対応できる構造とした。ライニング材の構造上、継手部に隙間ができやすいため、そこから水や土砂等が流入するのを防ぐ必要がある。ライニング材の止水機能として、ライニング材本体部の嵌合面にはSBR（スチレンブタジレンゴム）の板状ゴムを採用し、継手部の内面には曲線区間で部材の動きに追従する素材として、水分を吸収すると、ある程度膨張して隙間を適度に埋める超吸水性繊維の止水材を採用することで水密性を確保した。

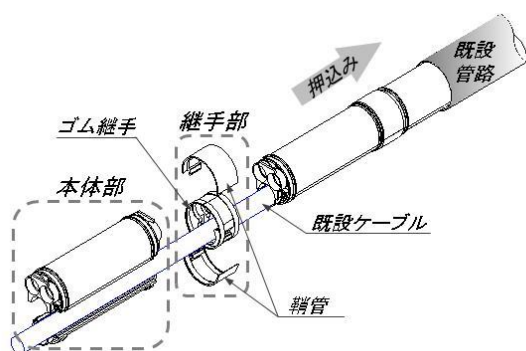


図-2 PIT 施工イメージ

3. 評価の目的と流れ

ライニング管の耐震性、ケーブル防護効果は以下の項目を念頭に解析と実験により評価した。

- 外管継手引き抜け時の追従性
- 外管継手圧壊時の空間保持
- 外管継手せん断破壊時の追従性
- 液状化地盤や盛土区間への適用性

実験は、解析の妥当性を確認するとともに、解析では再現が難しい既設管破壊時・破壊後のライニング管への影響を確認するために行った。

検討の流れを図-3に示す。

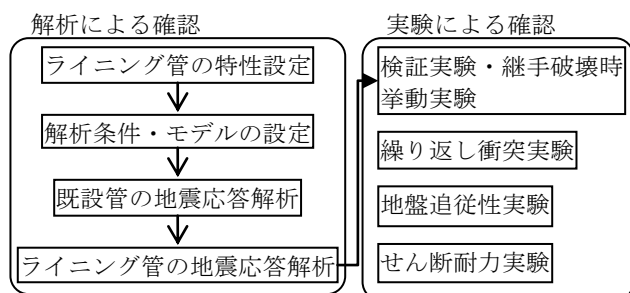


図-3 検討の流れ

4. ライニング管の評価手法

埋設管、トンネル等の地中構造物は、地震時に周辺地盤に追従して変形することが知られている。そこで、多くの耐震設計指針類では、地盤の運動を変位で表わし、その変位をばねを介して構造物に強制変位として加える応答変位法が用いられている。

既設管路の内面をライニングする技術は、下水道等でも導入されており、日本下水道協会は「管きよ更生工法における設計・施工管理ガイドライン（案）」（2011年12月）⁴⁾を発行している。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劣化した既設管を考慮せず、ライニング管のみを評価する方法が提案されているが、ライニングされた管路の耐震設計の考え方、手法はまだ確立されていない。

本研究では、地中構造物の地震解析に一般的に用いられている応答変位法を応用したライニング管の解析を試みた。解析イメージを図-3に示す。この方法では、まず地震時の地盤変形を地盤ばねを介して外管に作用させてその応答（変位）を把握する。次に応答変位法で求めた外管の変位を、ばねを介してライニング管に作用させることによりライニング管の地震応答を求める。ライニング管の解析においては、外管とライニング管との間の拘束力特性をばねにモデル化する。

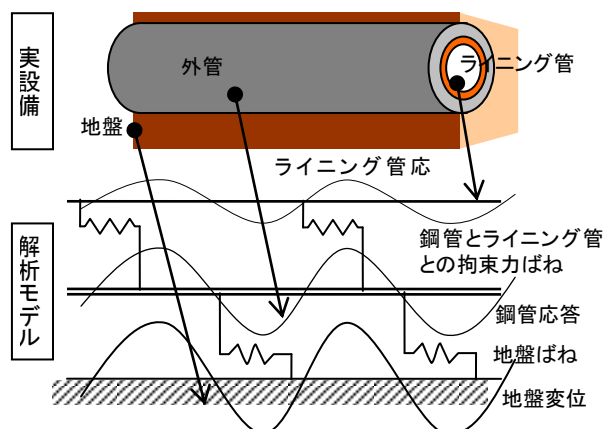


図-4 解析イメージ

5. 管の諸元・特性

(1) 管の諸元

解析に用いた管の諸元を表-1に示す。特性は、開発時の物性試験値等を基に設定した。

PITライニングは、内径80.6～80.7mmの金属管を対象としていることから、設備量の多い鋼管との組み合わせとした。鋼管の継手は、時代とともに変遷しているが、設備量が多く、地震による被害が多く報告されているねじ継手を対象にした。

表-1 管諸元

分類	項目	単位	PIT	鋼管
寸法	外径	mm	78.0	89.1
	肉厚	mm	5.9	4.2
	管長	mm	230	5,500
材料物性	弾性係数	N/mm^2	2,307	205,940
	塑性後の弾性係数	N/mm^2	23	205,940
	引張強度	N/mm^2	44	350

(2) ばね特性

鋼管と地盤，ライニング管と外管それぞれの相互作用を表すばね（管軸方向）の特性を図-4及び表-2に示す．ばね特性は実験に基づき設定した．

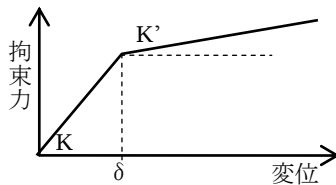


図-5 ばね特性モデル

表-2 ばね特性

	K (N/mm^3)	K' (N/mm^3)	δ (mm)
鋼管－地盤	5.8×10^{-3}	0.5×10^{-3}	5.0
PIT－鋼管	7.5×10^{-6}	0	5.0

(3) 継手特性

鋼管の継手3種類及びPITの継手特性を図-5にそれぞれ示す．継手特性は実験に基づき設定した．

6. 地震応答解析概要

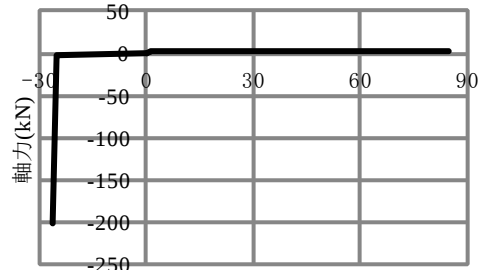
地震応答解析は，弾性床上の梁理論に基づく地中管路の地震応答解析プログラムERAUL⁵⁾を用いた．解析の概要を以下に述べる．

(1) 地震外力

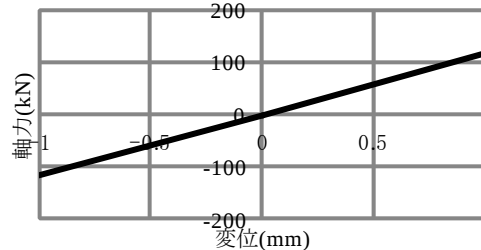
地震外力は，又木らの研究⁶⁾により提案された通信用管路の挙動解析のL2地震波動外力モデルを使用し，管軸方向に伝搬する波長を99m，地盤ひずみを最大1.0%（変位振幅158mm）の疎密波とし，1/4波長ずつ位相をずらした3パターンを設定した．地震波動パターンを図-6に示す．（a）はスパン中央で圧縮ひずみが最大，（b）はスパン中央で引張ひずみが最大となるパターンであり，（c）はその中間の位相である．解析は，地盤ひずみを0.1%ずつ増加させ1.0%まで10ステップで行った．



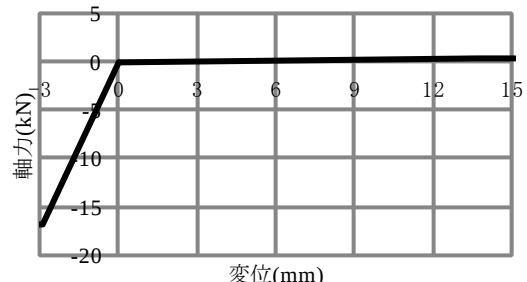
(a) 鋼管 ねじ



(b) 鋼管 旧伸縮



(c) 鋼管 ダクトソケット



(d) PIT

図-6 継手特性

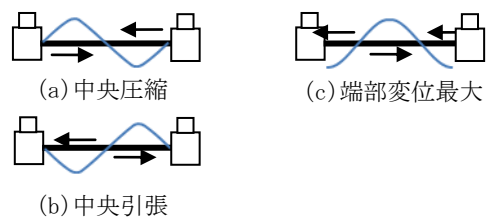


図-7 地震波動パターン

(2) 管路モデル

鋼管は標準管長5,500mmでスパン長は99mとした．両端マンホール際はダクトソケット，1ヶ所目は旧伸縮継手，それ以外の一般部はねじ継手である．

PITは標準管長220mmで継手のあるモデルとした．両端マンホール内で治具によって緩く把持されているため解析においては，厳しい条件となるようマンホールの動きに追従する設定にした．

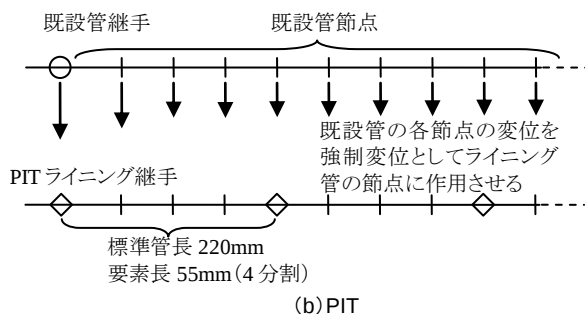
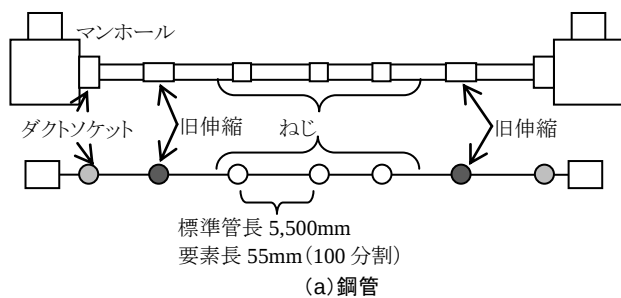


図-8 解析モデル概要

鋼管及びPITの解析モデルを図-7に示す。外管と内管の要素長は55mmで等しく設定した。第一段階として応答変位法で外管の各節点の変位を求め、第二段階で外管の節点の変位を対応する位置にある内管の節点に拘束力ばねを介して作用させた。

(3) 評価基準値

検討対象とした各管種、継手の評価基準値を表-3に示す。管体ひずみの評価基準値は弾性限界ひずみとした。弾性限界ひずみは、材料の物性試験で得られた引張強さを弾性係数で除した値とした。継手の評価基準値は、図-3を参照して伸縮量で設定した。

表-3 評価基準値

		継手伸縮量(mm)		管体ひずみ(%)
		圧縮	引張	
鋼管	ねじ	2.1	1.1	0.17
	旧伸縮	26.0	85.0	
PIT		2.9	13.7	1.91

(4) 解析結果

解析結果の一例として、図-6 (c) 中央引張の場合について述べる。

図-8に鋼管の管体変位を示す。縦軸のプラス方向は右から左、マイナス方向は左から右への変位を表す。細い実線は地盤1%での地盤変位分布である。管体変位分布が不連続となっている箇所は継手の伸縮によるものである。

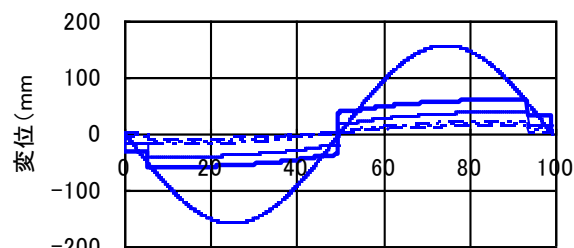


図-9 鋼管 管体変位

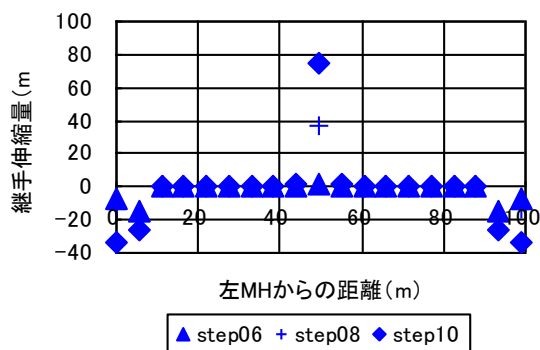


図-10 鋼管 継手伸縮量

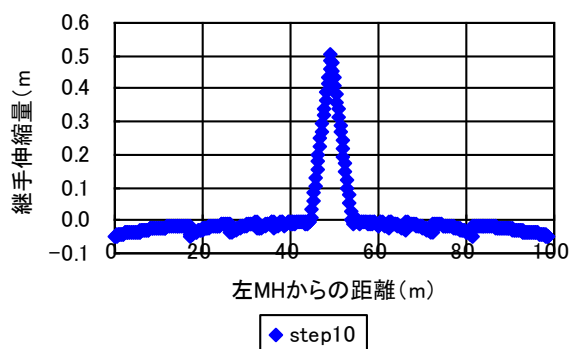


図-11 PIT 継手伸縮量

図-9に鋼管の継手伸縮量を示す。スパン中央のねじ継手がstep6以降評価基準値である2.1mmを超過し、離脱している。

図-10は、図-8で示した鋼管の管体変位を強制変位として拘束力ばねを介してPITに作用させた解析によるPITの継手伸縮量である。鋼管ねじ継手が離脱した箇所でも0.5mm未満であった。

地盤ひずみ1.0%のときの各管種の継手伸縮量、管体ひずみの最大応答値を表-4に示す。なお、表中の括弧内は評価基準値に対する応答値の比を表しており、この値が1より大きい場合は損傷と判定される。

地盤ひずみ1.0%までを想定した場合、疎密波の位相によって異なるものの、鋼管継手部は地盤ひずみが0.4%より大きくなると応答値が限界値を超えて損傷する結果となった。しかしライニング管の応答値は、評価基準値以下で損傷には至らないという結果だった。

表-4 解析による最大応答値

		圧縮	引張
鋼管 継手伸縮量 (mm)	ねじ	26.7 (12.8)	74.8 (68.0)
	旧伸縮	26.9 (1.0)	158.2 (1.9)
鋼管ひずみ (%)		0.1 (0.7)	0.1 (0.5)
PIT	継手伸縮量 (mm)	0.4 (0.1)	2.5 (0.2)
	ひずみ (%)	0.1 (0.0)	0.0 (0.0)

PITの応答値が小さい理由としては、PITの場合、
1) 拘束力ばね特性が小さく、既設管の変位が伝達されにくい、2) 短い間隔で継手があり、継手が変位を吸収する、などが挙げられる。

7. 検証実験

解析では鋼管損傷後もPITは損傷せず、ケーブルを保護する効果があるという結果であった。そこで、評価手法の妥当性を実験により検証した。

鋼管継手近傍のある区間を取り出した供試体を作成し、この供試体に表-5に示した地盤ひずみ1%のときの当該鋼管継手の伸縮量が生じるよう供試体に強制変位を加えた。このとき、継手変位量、PITのひずみ等を測定した。また供試体寸法、拘束条件等を考慮したモデルによる解析をあわせて行い、ひずみの解析値と測定値を比較した。

(1) 実験概要

実験方法を図-11に示す。供試体の外管片端を反力フレームに固定し、もう一方の端をジャッキに取り付け強制変位を加えた。

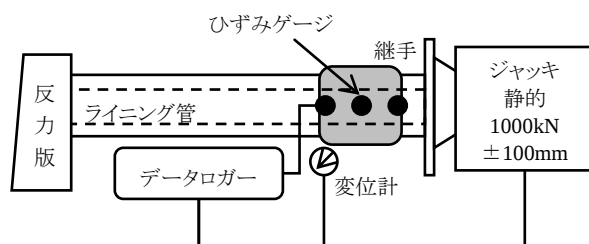


図-12 検証実験方法概要

供試体の長さは、ライニング管に作用する拘束力と、強制変位が継手の最大押し込み量または最大引き抜き量に達するときの軸力が等しくなる付着長を考慮して設定した。付着長は、継手を中心に両側を同じ長さにすることが基本であるが、実験によって起きる現象のばらつきを抑えることや実験設備上の制約を考慮し、片側を固定した半分モデルとした。

PITの場合、拘束力ばねが非常に小さいため、必

要付着長が90m以上になり、実験での再現が極めて困難である。そのため、外管の寸法は過去に同様の実験を行った実績のあるものと同じとし、拘束条件や予備荷重により調節することとした。

測定項目は、ジャッキストローク、ジャッキ荷重、継手変位量及びライニング管軸ひずみである。軸ひずみ測定用のひずみゲージは、継手中心とその前後の3断面の向かい合う2ヶ所、計12ヶ所に貼り付けた。

供試体長を表-5に示す。

表-5 供試体概要

継手	方向	継手伸縮量(mm)	供試体長(m)
ねじ	押し込み	26	2.1
	引き抜き	75	3.5
旧伸縮	押し込み	26	2.1
	引き抜き	156	5.1

(2) 実験結果

実験結果一例として鋼管ねじ継手のケースを表-6に示す。引張・圧縮それぞれの実験後の鋼管の外観及びPITのケーブル収容空間の状況である。PITの画像で軸方向に延びる線は部材の組み立て面であり、損傷ではない。

鋼管ねじ継手は、伸縮しろは小さいものの耐荷力は大いため引張の場合、载荷開始直後から荷重が急激に増大し、限界に達すると瞬間的に強烈な破裂音を伴って離脱する。しかし、継手の離脱や本体の損傷はなかった。

一方、圧縮の場合、図-13の画像では確認できないが、鋼管は限界値を超えると継手内部で管の端部がすぼまるように変形しながら押し込まれている。過去の地震において、このような管継手部での押し込み破壊によるケーブル損傷が確認されており⁷⁾、実験によっても再現されている³⁾。PIT供試体は、全てのケースでケーブル収容空間に影響する損傷はなかった。

図-13 実験結果一覧

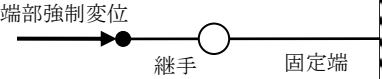
	鋼管	PIT
引張		
圧縮		

(3) 検証実験モデル解析

検証実験は、地上で一軸載荷という条件で行ったため5章で行った解析と異なる。そこで、検証実験での拘束条件等を考慮した解析を行った。検証実験モデル解析の概要を表-7に示す。

解析に使用した鋼管及びPITの各種特性は5章の解析と同じである。

表-6 検証実験モデル解析概要

	概要
外力	端部強制変位 粗密波解析で求めた地盤ひずみ 1%での 継手伸縮量相当
外管解析条件	地盤ばね無し(地上)
外管両端 条件	ジャッキ側: 地盤と同じ 反力側 : 固定
ライニング管 解析条件	外管変位を強制変位として作用させる 拘束力ばね有り
解析モデル イメージ	

(4) PIT の解析結果及び実験との比較

事例としてねじ引張の実験値と解析値を図-12に示す。縦軸はPITの管体ひずみ、横軸は地盤ひずみである。プロットは、供試体1～3それぞれの全ひずみゲージのデータを平均した値である。

実験、解析とも地盤ひずみ約0.6%でねじ継手が離脱することにより、鋼管の変位（目開き）がそれ以前と比較して大きくなり、ライニング管のひずみも大きくなっている。

実験値と解析値の傾向は似ており、両者の差は最大で0.002%程度と小さい

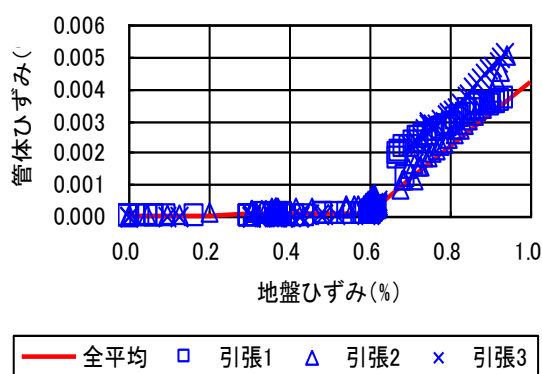


図-14 ねじ継手引張試験における地盤ひずみとPIT管体ひずみの関係

8. 継手離脱後の繰り返し衝突の影響

過去の地震で、継手離脱後の繰り返し衝突によって管端部が著しく損傷した事例がある。そこで、250kN万能試験機を用いて軸方向に繰り返し圧縮・

引張を加える実験を実施した。

振幅は、2007年中越沖地震での被災事例の再現した解析より得られた値とし、押し込み、引き抜きを3回繰り返した³⁾。

ライニング無しの場合、離脱した管先端が継手に押し込まれる際にめくれ上がったり、すばまったりして大きく変形し、ケーブルを損傷させるケースがあった。PITがある場合、PITは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。ライニング管がガイドとなり、鋼管継手が真っ直ぐ当たることでライニング管が無い場合と比較して損傷が軽微となることがわかった。



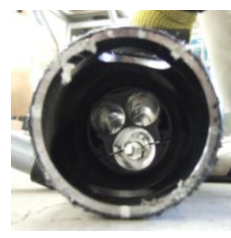
(a) 実験状況



(b) ライニングなし実験結果



(c) PITあり実験結果(外観)



(d) PITあり実験結果(断面)

図-15 繰り返し衝突実験結果

9. 継手離脱後の地盤追従性

地震動等で既設管の継手が離脱し、地盤変状により曲げが作用するような状況を想定し、ライニング管が離脱防止継手の限界値以上の性能があるか否かを確認した。離脱防止継手の限界値は、引き抜き量105mm、曲げ角2.5°である。

PITライニングは、部材36個を接続し、アクリル製の透明な管の中に設置した。アクリル管とPITライニングは、両端でボルトにより固定した。実験状況を図-16に示す。



図-16 地盤追従性実験状況

最大15°まで曲げたが、屈曲部においてPITライニングの破損はなく、鋼管継手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。

10. 継手離脱後の不等沈下の影響

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。埋め戻し土は、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め戻し土に覆われた暗渠や橋台の周辺では、構造物は沈下せず周辺地盤のみが沈下する不等沈下が発生する。

管路が不等沈下を生ずる環境に設置されている場合、現行の耐震対策が施してあれば、その影響を免れると考えられるが、旧規格の耐震対策や対策自体が未実施の場合には、地震動や不等沈下により、管路の継手部が損傷する可能性がある。

地震動等で既設管の継手が離脱し、地盤の不等沈下によりライニング管にせん断力が作用する様な状況を想定した。具体的には東日本大震災において、ボックスカルバート上越し箇所で継手が劣化し、せん断的な荷重で管路が損傷した事例を参考に試算したせん断荷重638Nを250kN 万能試験機でライニング管に作用させてケーブル保護機能を確認した。

実験状況を図-17に示す。PITに638Nのせん断荷重を作用させてもケーブル収容空間への影響はなかった。



図-17 せん断耐力実験状況

11. まとめ

本研究は、筆者らが提案している二段階の応答変位法によるライニング管の耐震性評価手法を用いて、ケーブル収容管補修技術PITの耐震性を評価したものである。また、モデル実験により評価手法の妥当性を検証するとともにPITの地震時におけるケーブ

ル防護効果を確認した。

地震応答解析において地盤ひずみ1.0%の地震動を想定した場合、外管である鋼管が継手で破壊してもPITは破壊することが無く、ケーブル保護効果が期待できる結果となった。また、評価手法の検証実験では実験値と解析値が比較的よい対応をしていた。

PITは、外管との接触面積が小さく外管の影響を受けにくい点や短い間隔で継手がある系として変位を吸収できる点が耐震上の優位点である。

さらに、解析では表現できない様々な動的挙動に関して、実際の被災を基に、再現実験によりPITライニングの耐震性を確認した。地滑りを伴う様な、著しい地盤変状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、十分対応可能であると考えられる。

本研究により、PITを従来の用途である既設管路の補修だけでなく、耐震性の向上のために適用できることがわかった。これにより既存の標準対策が適用できない既設管路の耐震対策が可能となり、ネットワークのさらなる信頼性向上が期待できる。

謝辞：本論文の作成にあたり、東京電機大学安田進教授、京都大学大学院小池武教授、地震予知総合研究振興会大保直人副主席主任研究員に数々のご指導、ご助言をいただきました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 秋山武志，山崎泰司，是國亨，谷島章彦，阿部智徳，保坂陽：ケーブル収容管路再生技術の開発，土木学会第64回年次学術講演会，VI-399，pp.797-798，2009。
- 2) 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
- 3) 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，土木学会第31回地震工学研究発表会論文集，2011
- 4) 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
- 5) 高田至郎：ライフライン地震工学，共立出版，1991
- 6) 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
- 7) 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。

ASEISMIC CAPABILITY OF TELECOMMUNICATION CONDUIT REPAIRED WHITH LINING

Masaru OKUTSU, Nobuhiro SEGAWA, Yasushi YAMAZAKI, Shin KATAGIRI and
Takanobu SUZUKI

The lining technologies are used for repairing existing underground conduits. We have been examining the aseismic capability of underground conduit repaired with lining members. It is expected that constructed lining pipes will improve the cable protection function of underground conduit against earthquake since it has considerable intensity.

To evaluate the aseismic capability of lined conduit, we used an application method of the conventional method that transmits ground displacement to outer conduit and then transmits outer conduit displacement to the lining pipe through ideal springs.

In order to verify the validity of this evaluation method, the experiment which adds compulsive displacement of the axis direction to the lined pipe test piece was conducted.

As a result, the analysis value and the experimental value had correlation until outer conduit joint broke, but it turned out after joint destruction that the behavior may vary with a destructive form or characteristics of a lining pipe.