

通信管路設備の補修技術の開発と地下空間の安定利用

DEVELOPMENT OF THE REPAIR TECHNOLOGY OF TELECOMMUNICATIONS CONDUIT EQUIPMENT, AND STABLE USE OF UNDERGROUND SPACE

小泉 輝^{1*}・竹下 勝弥²・榊 克己³・鈴木 崇伸⁴

Akira KIZUMI^{1*}, Katuya TAKESITA², Katumi SAKAKI³, Takanobu SUZUKI⁴

Many things by which the pipeline for communication which stores the telecommunication cable of NTT was built at rapid economic growth are used. The functional decline by aged deterioration may actualize and these equipment may cause the shortage of accommodation spaces of a cable in the expansion term of an optical network. Moreover, since earthquake-proof performance is inferior in old conduit equipment, the disaster risk is increasing in the large-scale earthquake generating will be expected to be from now on. Although he wanted to renew old conduit equipment to new equipment, many subjects were left behind in conventional technology, such as traffic congestion by that service discontinuation of the stored cable occurs and excavation work, and generating of surplus soil. Then, the technology of repairing old pipeline equipment by un-excavating with a cable stored was developed. This technology can secure new cable accommodation space while repairing the superannuated pipeline equipment, and improvement in earthquake-proof performance can also plan it.

Key Words : Telecommunication civil engineering, Metal Pipeline, Repair ,No-Dig, Earthquake-proof

1. 開発技術の背景

(1) 通信用管路設備の現状

電話やインターネットを利用した多種多様な情報通信サービスは通信インフラによって支えられている。

図-1 に示すように地下に埋設された NTT 通信管路設備は約 63 万 km に及ぶ膨大な設備量を有しているが、高度経済成長期である 1960 年代中期から 1970 年代末までの 15 年間に急速な勢いで建設したため、通信管路建設後 30 年以上経過した老朽管路設備が約 70%以上を占めている。図-2 に示すように古い管路設備には金属管の割合が多く、建設年度が古いほど不良率が高くなる傾向にある。ここで不良率とは、光ケーブルを布設するた

めに必要な収容空間がない管路設備の割合である。

また、通信用管路内へのケーブル布設量も増加傾向にあり、近年の急速な通信技術の発達により通信の高速大容量化により通信サービスも音声通信からデータ通信へと高度化しており、従来のメタルケーブルから光ケーブルへの需要が高まっている。このような状況で NTT では、光ケーブルの増設を進めているが従来のメタルケーブルと光ケーブルが混在するため、通信管路設備を逼迫しつつある。解消するため通信管路を増設することは、多大なコストと長い工期によりタイムリーなサービス提供が困難なことに加え道路を掘削することになり交通渋滞や騒音などの問題があり大きな課題となっている現状がある。

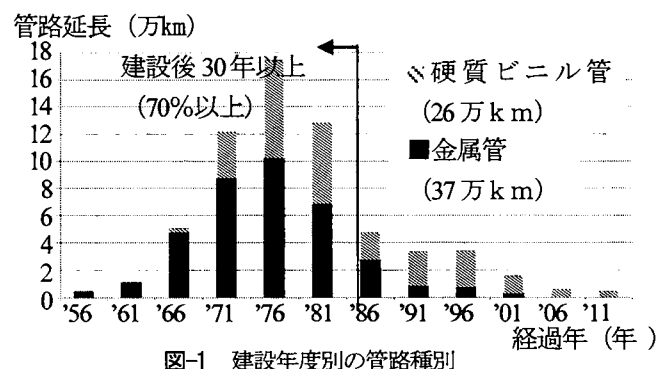


図-1 建設年度別の管路種別

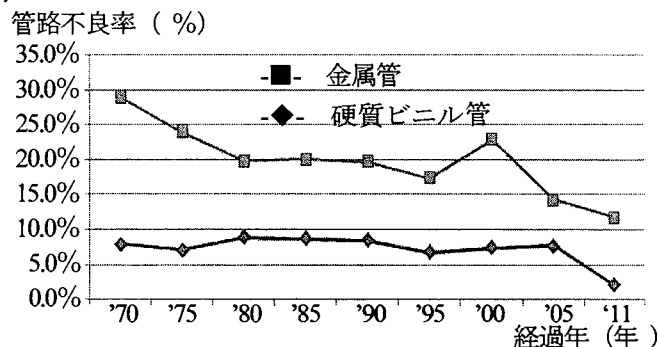


図-2 建設年度別の管路不良率

キーワード：通信土木技術、金属管路、補修、非開削技術、耐震

¹ 非会員 NTTアクセスサービスシステム研究所シビルシステムプロジェクト管路系グループ研究主任 Research Engineer, Pipeline System Technology Group, Civil Engineering Project, NTT Access Network Service Systems Laboratories, (E-mail:koizumi.akira@lab.ntt.co.jp)

² 非会員 NTTアクセスサービスシステム研究所シビルシステムプロジェクト管路系グループ主任研究員 Senior Research Engineer, Pipeline System Technology Group, Civil Engineering Project, NTT Access Network Service Systems Laboratories.

³ 非会員 NTTインフラネット株式会社 北陸支店 支店長 Branch manager Hokuriku branch, NTT Infrastructure Network Corp.

⁴ 正会員 東洋大学理工学部都市環境デザイン学科教授 Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng. Toyo University.

(2)ケーブル收容管を補修する技術開発の必要性

この課題に対して既存の通信用管路設備の有効活用を目的として1990年代中頃から、管路1条にケーブル1条布設されている通信管路（以下「ケーブル收容管路」という。）に2条以上のケーブルを布設する多条布設が実施されるようになった。図-3の棒グラフに示すように主線系の管路設備数は10年前から約58万km程度でほぼ一定数量であるのに対して、ケーブルの多条布設工程は、同じく図-3の折れ線グラフに示すように増加の割合が、現在10年前の倍以上に増加しており管路設備を逼迫している。

さらに図-4に示すように多条布設予定管路に対して実施した管路点検の結果では、約半分以上の管路が錆による腐食が進行し、管路内に錆こぶの発生や孔空きの発生による土砂流入によりケーブルを布設するスペースがなく多条布設不可の診断となり、多条布設を計画した管路の半分以上の区間で多条布設が出来ずに他ルートへの迂回や管路増管または、開削工事により不良管路の補修が必要となっている。従って、ケーブルを收容した不良管路を効果的に補修する技術の開発が必要となった。また、古い管路の多くは耐震性能が低い旧規格管路であり、大規模災害に備えて通信管路設備としての信頼性向上が必要であり、安心・安全な地下空間確保を念頭において技術開発を進めている。

(万 km)

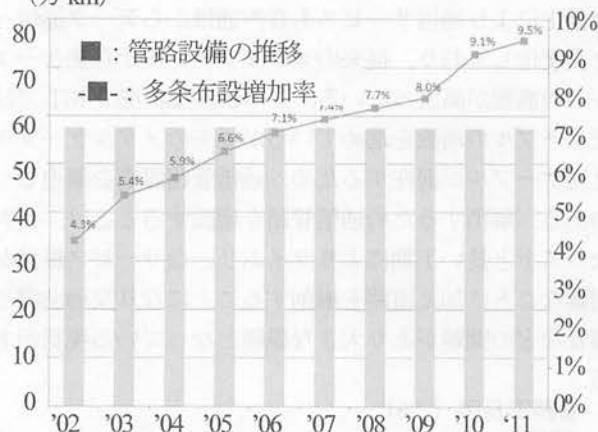


図-3 管路設備数推移と多条布設増加率



図-4 多条布設不可の不良管路

2. 地下管路を点検・補修する技術の現状

(1)地下管路の点検・補修技術の課題

NTT ではこれまでも様々な通信管路の維持管理技術を開発しており、ケーブルを收容していない通信管路（以下「空管」という。）を対象とした非開削維持管理技術については一通りの技術を実用化してきた。

一方、表-1 に示すようにケーブル收容管に対応する補修技術は、点検技術としてケーブル收容管用パイプカメラが実用化されているものの、補修技術については実用化された技術が存在しなかった。したがって、前述の様に不良と診断されたケーブル收容管に多条布設を実施するためには、補修するにしても、増管するにしても、道路掘削を伴う開削工事による対応が必要であった。

(2)ケーブル收容管補修における特殊性

ケーブル收容管における対する補修の最大の難点は、既設ケーブルを撤去せず管内に残して補修時に通信サービスに支障をきたさないようにする点である。また、図-5に示すようにNTTの通信用管路は、通常内径80mm程度であり、收容している光ケーブルの外径は最大31mmあるため50mm程度の極小空間内で曲線線形を有しながら最大250mに渡り補修する必要がある。

表-1 NTT 通信管路の点検補修技術

	診断技術	補修技術	
		遺物除去	再生
空管路	パイプカメラ	空管路洗浄技術	TMライニング ¹⁾ 薄膜ライニング ¹⁾ など…
ケーブル收容管路	パイプカメラ	新規開発領域	

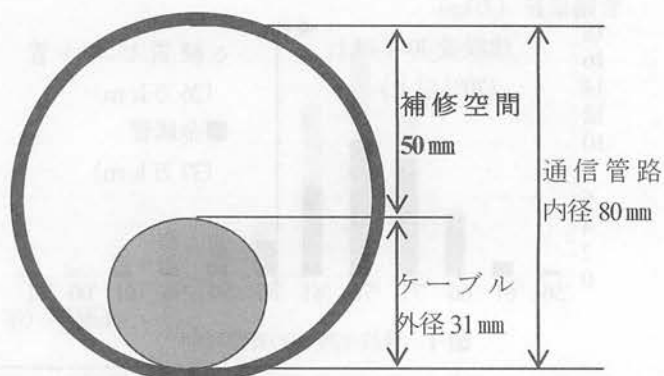


図-5 ケーブル收容管における補修空間

3. ケーブル收容管補修技術の開発

(1)開発目標

ケーブル收容管の特殊性及びNTT通信管路に使用する関係上必要となる条件を考慮して技術開発に取り組む必要があり、要求条件は表-2の通りである。

表-2 要求条件

	性能内容
補修工法に必要な性能	ケーブル收容したまま補修
	自立管としての部材強度設定
	推進力に耐えられる部材
	非開削で補修
	補修時にサービスを中断しない
	新たなケーブル收容空間の創出
NTT通信管路の設計に則した適用条件	耐震性能の向上
	内径75mm以上の通信管路
	補修可能超250mまで可能
	曲線区間2.5mR交角60°に対応 止水性能を有する

(2)開発概要

本技術の最大の特徴は、ケーブルを收容したまま不良管路を補修することである。開発技術の名称は、PIT 新管路方式と命名し、PIT とは Pipe Insertion Type の略称である。これを実現するため、図-6 に示すポリ塩化樹脂を主材料とした上下 2 分割部材（以下「PIT 部材」と呼ぶ）により既設ケーブルを抱き込み一体構造とし、継手部も部材どうしを接続する工程を繰り返しながら、不良管路内へ押し込み新たな管を成形する技術を開発した。ポリ塩化樹脂を主材料とするため金属管に起こる錆による腐食はなく、メンテナンスフリーを可能とした。

PIT 部材の構造的な特徴は、1つの部材長が 23 cm の短尺な部材であり、継手部に関してはゴムによる可とう性を有しており曲率半径 2.5m の曲線区間に対応可能とした。そして、水や土砂の流入を防ぐため止水材による止水機能を持っている。また、不良管路を補修すると同時に多条布設に対応するため、新たな光ケーブルを收容出来る $\phi 28$ mm の孔を 2 つ持ち最大 1000 心光ケーブル×2 条とし既設光ケーブルの收容と合わせると收容能力は最大 3000 心まで可能とした。

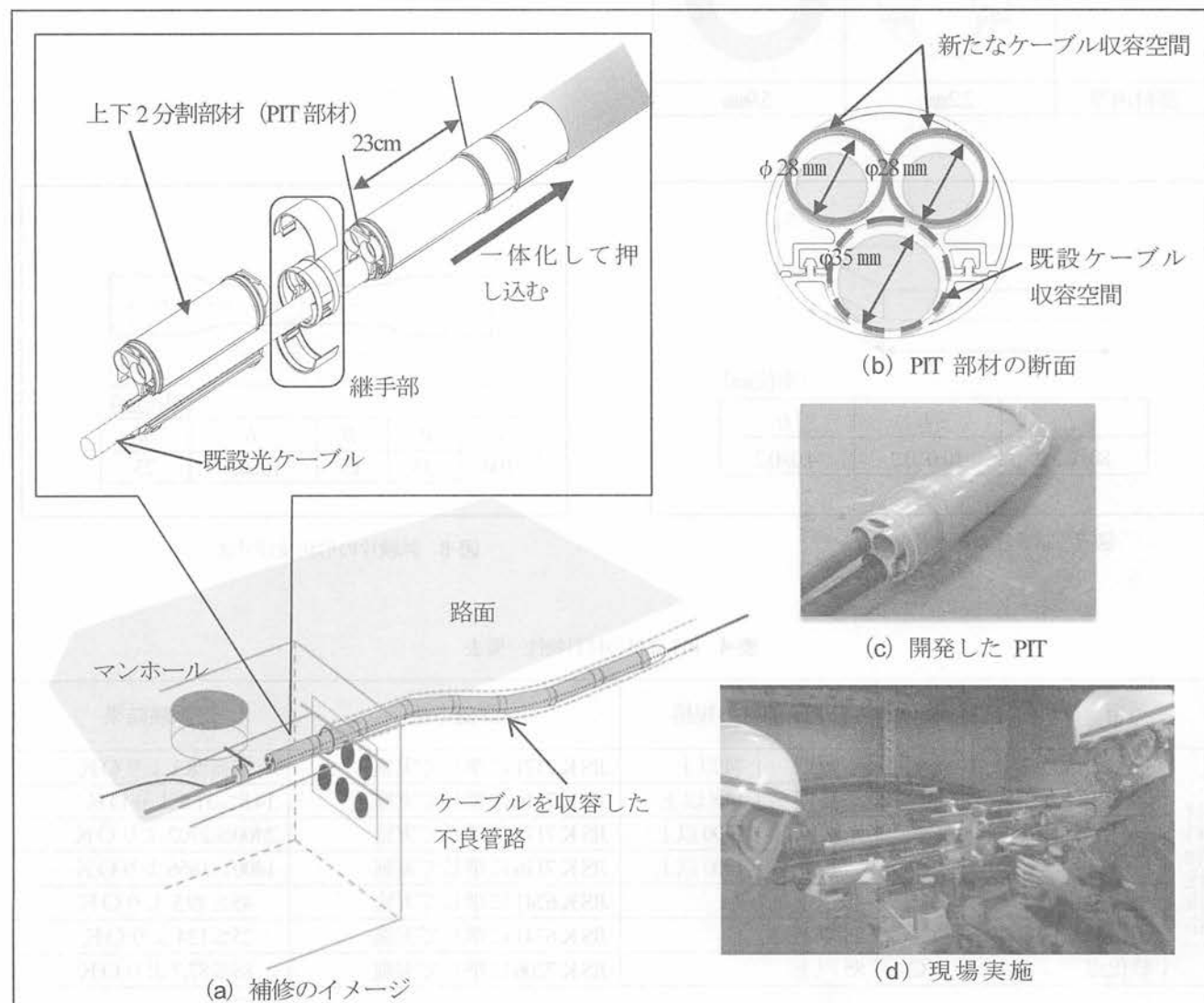


図-6 ケーブル收容管補修技術 (PIT 新管路方式)

4. ケーブル收容管補修技術の性能検証

(1) PIT部材の材料物性規格について

PIT部材の材料物性は、表-4に示す試験項目に対して規格値を定めている。

曲げ強さ、曲げ弾性係数については、外側の不良管路の強度に頼らずPIT部材の物理的な自立性能を担保するためJSWS K-1（下水道用硬質塩化ビニル管）の強度計算に準じて机上検討した²⁾。計算ではヤンセン公式により鉛直土圧及び曲げ応力を求めるが、断面形状が円環形状であることが前提となっているため表-3に示すようにPIT部材の3孔断面を円環に換算して地中での部材に発生しうる応力値から部材必要な強度を設定した。

表-3 PIT部材の円環への換算

	PIT実際断面	円環換算断面
		
部材肉厚	2.2mm	5.9mm

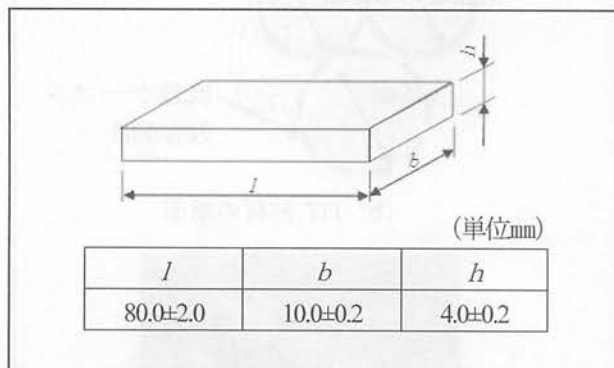


図-7 試験片の形状及び寸法

曲げ強さの試験方法は、JIS K 7171に準じて、図-7に示す試験片による3点曲げ試験により最大曲げ強度を測定し短期保証値とし、長期保証値は短期保証を安全率5倍で徐した値とし50年後の曲げ強さとして推定する。

曲げ弾性係数の試験方法は、曲げ強さと同様にJIS K 7171に準じて、図-7に示す試験片による3点曲げ試験により曲げ弾性係数の短期保証値を求め、長期保証値は、JIS K 7116による1000時間クリープ試験データから50年後の曲げ弾性係数を推定する。

引張降伏強さは、図-8に示す試験片を用いてJIS K 6741（硬質ポリ塩化ビニル管）の材質試験の方法で行い「JSWS K-1（下水道用硬質塩化ビニル管）と性能を同等とし、引張降伏強さの規格値を定めた。引張破断伸び率及び軟化点は、それぞれNTTの硬質塩化ビニル管と同等の性能として規格値を定めた³⁾。

PIT部材の材料物性は、表-4に示すように定めた規格値を満足する試験結果をえることが出来た。

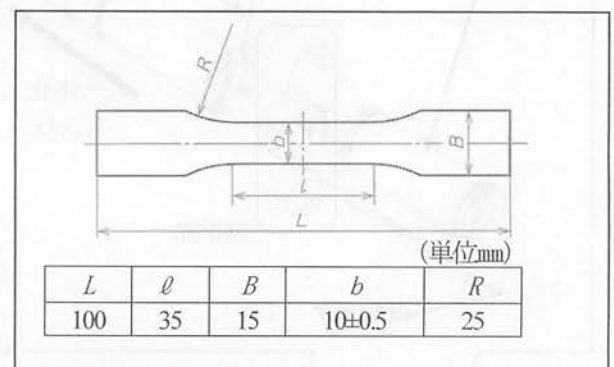


図-8 試験片の形状及び寸法

表-4 PIT部材の材料物性一覧表

項 目		単位	PIT 部材の規格		評価方法	試験結果
材料物性規格	曲げ強さ	MPa	短期	74 以上	JIS K 7171 に準じて実施	$74 \leq 78.3$ より OK
			長期	14.8 以上	JIS K 7116 に準じて実施	$14.8 \leq 31.8$ より OK
	曲げ弾性率	MPa	短期	2400 以上	JIS K 7171 に準じて実施	$2400 \leq 2702$ より OK
			長期	1400 以上	JIS K 7116 に準じて実施	$1400 \leq 1656$ より OK
	引張降伏強さ	MPa	45 以上		JIS K 6741 に準じて実施	$45 \leq 49.5$ より OK
	引張破断伸び率	%	25 以上		JIS K 6741 に準じて実施	$25 \leq 124$ より OK
	軟化点	℃	85 以上		JIS K 7206 に準じて実施	$85 \leq 87.7$ より OK

(2)PIT部材の構造規格について

PIT部材の構造規格は、表-6に示す試験項目に対して規格値を定めている。

扁平強さについて構造、埋設条件、扁平量等、諸条件を考慮し計算すると、PIT 部材の構造では外管を 2%扁平させるのに 1.6N/mm以上必要であることが計算から分かり、扁平強度の物理的試験の規格値を 1.6N/mmで定めた。ここで NIT の塩ビ管（外径 93 mm）は、土被り 0.5m～2.0m の埋設深さにおいて長期たわみ量を 2%としており PIT 部材においても長期的に自立管となることを想定し同様の要求性能とした。扁平試験の方法は、PIT 部材本体を一体化した後、長さ 50 mm±5 mm の環状試験片を切り取り、図-9 に示すように 2 枚の平板に挟み、断面方向に 0°、45°、90° に回転して位置を変えて圧縮し、扁平量が所定の値に達したときの荷重を測定する。試験回数は各断面方向で 2 回実施した。

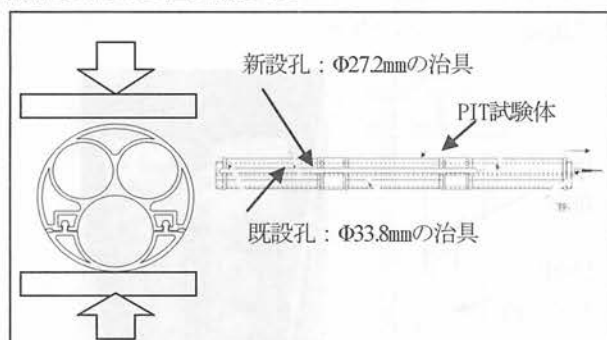


図-9 扁平試験及び内空間出来形試験

表-5 2%扁平荷重試験結果

外径(mm)			2%扁平		
試験回数：2回			偏位量 (mm)	荷重 (N)	線荷重 (N/mm)
	No.1	72.94	1.46	259.44	4.99
	No.2	72.98	1.46	284.92	5.43
	No.1	72.95	1.46	256.90	5.02
	No.2	72.98	1.46	242.95	4.66
	No.1	72.01	1.44	437.94	8.43
	No.2	72.30	1.45	413.03	8.11

内空間の出来形試験では2%扁平時にケーブル收容する3孔の空間が確保出来ているか図-9に示すように新設ケーブル收容孔は、直径27.2mmの治具が通過することを確認し、既設ケーブル收容孔は、直径33.8mmの治具が通過することを確認し評価する。

扁平強さの試験結果は、表-5に示すように2%扁平させるには、最低4.66N/mm必要であることから扁平に対して十分強度を持っている。また図-9に示す扁平時のケーブル收容空間の出来形確認は、治具により通過することを確認した。

PIT 部材の水密性について、PIT 部材内へ管内漏水・土砂等の流入等を防ぐため、部材本体部及び継手部にシール材による止水処理を施し、水密性を担保する構造としている。図-10 は止水の構造を示し、本体部軸方向には、ゴム板を採用し、継手部には水膨張性のシール材を採用した。シール材に必要な条件は、曲線管路布設時において柔軟に追従し、水分に触れると瞬時に膨張し、部材内部への水の侵入を防ぐ働きをする素材になる。検討には様々なシール材で検証し、最終的には不織布と呼ばれる繊維材を主材料とする水膨張シール材を用いることで、曲りに対する追従性と外水圧に対する水密性の両面を同時に確立した。図-11 は水密性を確認する実験の状況を示し性能を満足する結果を得た。

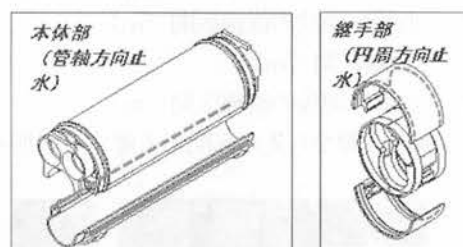


図-10 本体と継手の止水構造

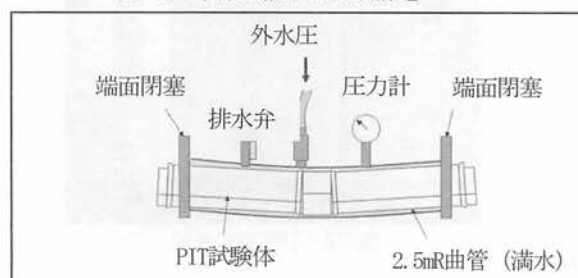


図-11 止水実験概要図

表-6 PIT 部材の構造規格一覧表

項 目	単位	PIT 部材の規格	評価内容
構造規格	扁平強さ	N/mm 断面方向 1.6 以上	荷重を除去時に試験片の内外面にひび、割れ等生じない
	内空間出来型	N/mm 断面方向 1.6	載荷時、規定の試験用治具が通過する
	水密性	kPa 49 以上	2.5mR 曲管内で外水 1 分間漏れない
	継手部引張強度	N 軸方向 400 以上	載荷時、本体端部及び継手嵌合部等に異常ない 400N 以下で強度と変位の関係グラフに不連続点がないこと
	軸方向圧縮強度	N 軸方向 7000 以上	載荷時、本体端部及び継手嵌合部等に異常ない 7000N 以下で強度と変位の関係グラフに不連続点がないこと
	曲管区間挿通性	— 曲率半径 2.5mR	スムーズに挿通可能

継手部引張強度については、継手部のゴムと本体部の離脱を防ぐ構造にしているが補修施工時においても引っ張らないことを基本としている。しかし作業者が誤って引っ張らないとも限らないことから、マンホール作業において1人で人力では外れない程度の強度を有するように設定し、400Nを基準値としている。図-12は引張試験の状況を示し試験結果は、図-13の通りであり性能を満足する結果を得た。

本体部軸方向圧縮強度について圧縮強度は、金属管路内に塩ビ製のPIT部材を押し進むのでその時に発生する推進力以上の部材体力を持つ必要がある。NTT管路の設計条件は、マンホールとマンホールの区間距離で最大250mまでである。曲線を設ける場合、150m以下の区間距離で曲線線区間における曲率半径2.5m以上交角60°までとなる。150m以上の区間距離で曲率半径10.0m以上交角60°までとなる。ここで、推進力を予想する関係式は、式1で示される。

$$F = 9.8\mu w l_1 + 9.8\mu w l_c e^{\mu \theta} + 9.8\mu w l_2 e^{\mu \theta} \quad (\text{式1})$$

ここに

F: 推進力 (N)

μ : ケーブルとPIT部材の摩擦係数

w: ケーブルとPIT部材の単位重量 (kg/m)

l_1 : 曲線区間前の直線区間 (m)

l_c : 曲線区間 (m)

l_2 : 曲線区間後の直線区間 (m)

$e^{\mu \theta}$: 曲線区間から先の区間で考慮する増加率

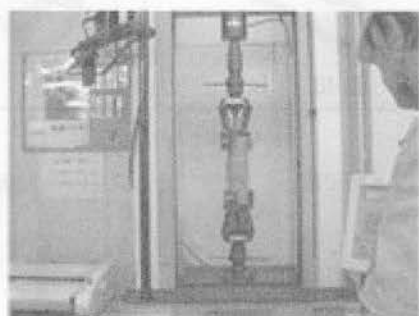


図-12 引張試験状況

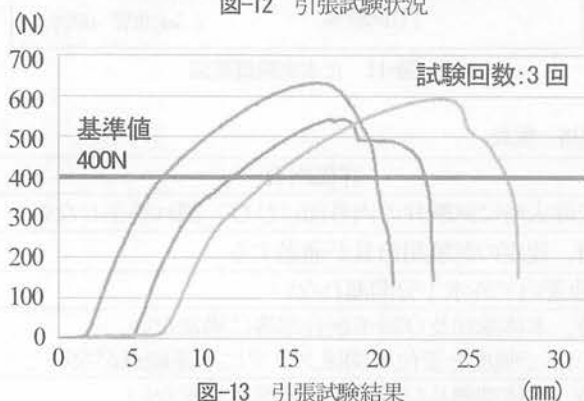


図-13 引張試験結果

式1を用いて最大推力が発生する管路モデルの条件は、区間長が最大250mの場合でその内曲線区間が10mの曲線半径で交角60°の場合である。線形は、曲線区間が端に交角60°あり残りは直線区間になる。推進方向は、曲線区間から推進する場合になる。この条件で最大推力を計算すると4200N程度になり安全率1.5倍をして6000N以上となるので基準値を7000Nと定めた。図-14は、内径80.7mmで2.5mRの曲管をガイド管に對手部を含むPIT部材を挿入して圧縮試験を実施する状況を示している。試験結果は、図-15の通りであり10000Nでも破壊しないため性能を十分満足する結果を得た。変位に2mm程度のバラつくが継手部が密着するまでにクリアランスがあためである。

曲線区間挿通性について、図-16に示すように曲線区間進時に部材端部の薄肉部への応力集中を回避するため端面に平面方向と縦断方向にテーパを設けることにより、安全に推進する構造とし、最小曲率半径2.5mの曲線形状に追従することができた。

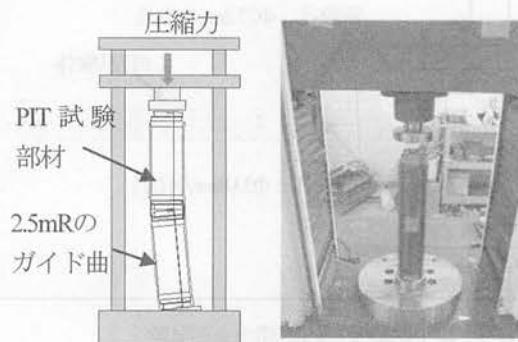


図-14 圧縮試験状況

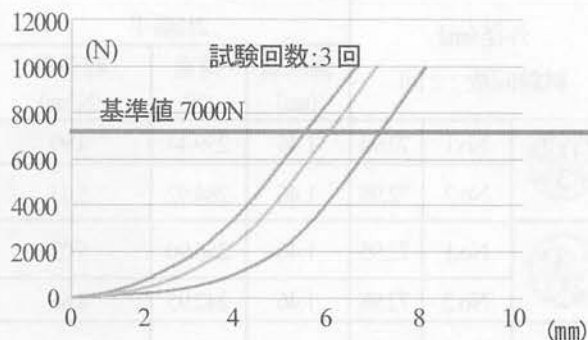


図-15 圧縮試験結果

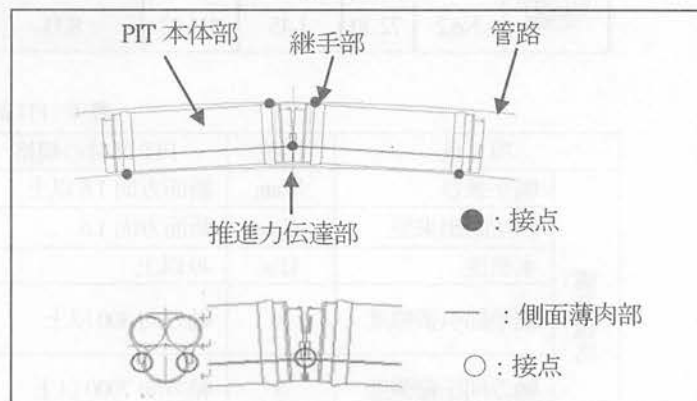


図-16 曲線推進への対応する構造

4. ケーブル收容管補修技術の施工性検証

実際の施工環境に近い実験設備で施工性を検証した。

(1)150m, 250mの施工性評価

最大推力が発生する管路設備の設計条件は、表-7 に示す条件⁴⁾となり、図-17 に管路モデルを示す。また到達時を最大推力の発生箇所と仮定し、鋼管内径 80.7 mmの鋼管の場合を摩擦係数 $\mu=0.3$ と仮定し、内径 75.0 mmの鋼管の場合を摩擦係数 $\mu=0.5$ と仮定して想定推力を算出し内径 80.7 mmの鋼管と内径 75.0 mmの鋼管それぞれで到達時推力の比較を行う。收容ケーブルは、PIT 部材との摩擦抵抗が最も大きくなる最大外径の光ケーブル (1000SM-HD-WB) を選定し施工性、推力検証、摩擦係数の検証を行う。施工性に関しては、図-18、図-19 にあるように人力施工、推進装置による施工の双方で推進を実施し、問題なく施工することを確認した。

表-7 推進実験の条件

	管路線形	管種	管内径
①	曲線半径：2.5m 交角：60° 推進距離：150m	鋼管	80.7mm
②	曲線半径：10.0m 交角：60° 推進距離：250m	鋼管	80.7mm
③	曲線半径：5m 交角：60° 推進距離：150m	鋼管	75.0mm
④	曲線半径：10.0m 交角：60° 推進距離：250m	鋼管	75.0mm

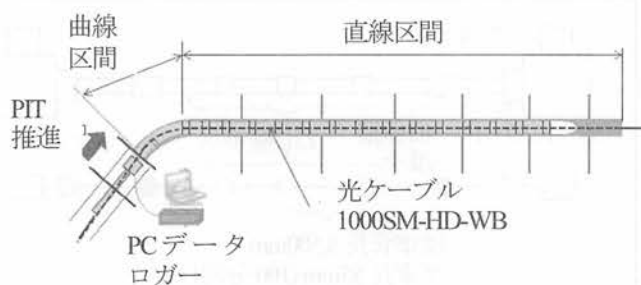


図-17 実験用モデル設備



図-18 人力施工

図-19 推進装置施工

(2)150m, 250mの推力と摩擦係数の検証

表-7にある①～④の実験結果は、図-20～図-23に示す通

りであり、部材が軸方向に耐える圧縮力は、基準値7000 Nとしているので十分安全に推進できる結果を得ることが出来た。想定推力算出に必要な摩擦係数については、①～④の実験モデルに対して到達時推力データ10回の値を用いて、推力を予測する関係式 (式1) から摩擦係数 μ を逆算した。そして推力推定に用いる摩擦係数は、金属管の内径=80.7mmの場合は、摩擦係数 $\mu=0.25$ とし内径75.0mmの場合は、摩擦係数 $\mu=0.5$ とした。

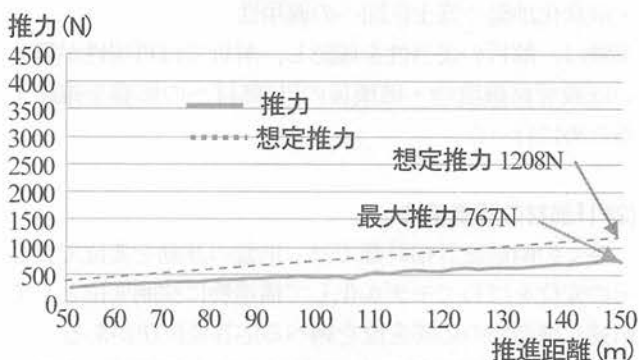


図-20 ①150m2.5R60° (内径 80.7 mm) の推力

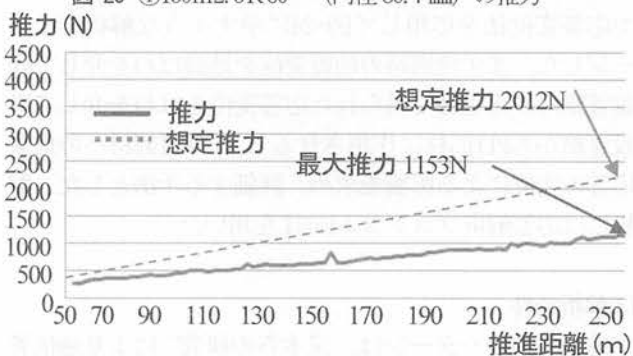


図-21 ②250m10R60° (内径 80.7 mm) の推力

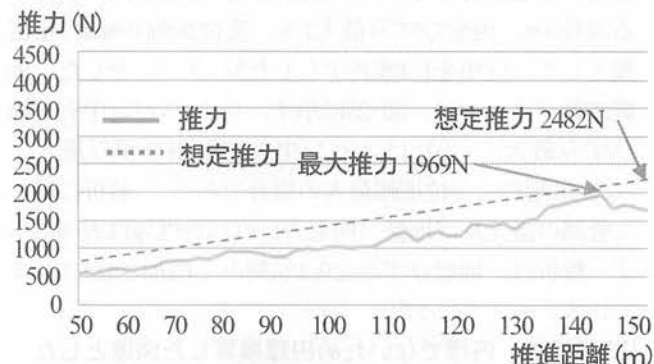


図-22 ③150m5R60° (内径 75.0 mm) の推力



図-23 ④250m10R60° (内径 75.0 mm) の推力

5. ケーブル收容管補修技術の耐震性評価

(1)評価の目的

PIT部材の耐震性は、以下の項目を念頭に解析と実験により評価した。

- ・既設管路が引張力で抜けた時の追従性
- ・既設管路が圧縮力で破壊した時の空間確保
- ・既設継手部が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し、解析では再現性が難しい既設管路破壊時・破壊後のPIT部材への影響を確認するために行った。

(2)PIT部材の評価手法

多くの耐震設計指針類では、地盤の運動を変位で表しその変位をばねでモデル化して構造物に強制変位として伝達し構造物の応答変位を調べる応答変位法がある。

補修すべく既設管路とPIT部材の二重管構造になるので応答変位法を応用して図-24に示すような解析をイメージした。まず地震時の地盤変位を地盤ばねを介して既設管路に作用させて得られた応答変位をばねを介して既設管路からPIT部材に作用させることでPIT部材への地震応答の変位による影響を求め、評価する手法とした。解析には応答解析プログラムERAULを用いた。

(3)解析条件

地震外力のパターンは、又木らの研究⁹⁾により通信管路用のL2地震動外力モデルを使用し、管軸方向に伝搬する波長99m、地盤ひずみ最大1%、変位振幅158mmの粗密波として、位相を1/4波長ずらした3パターンとした。地震波動パターンは、図-25に示す。(a)はスパン中央圧縮ひずみ最大、(b)はスパン中央で引張ひずみ最大、

(c)は端部で変位振幅最大の場合である。解析に用いた管路の諸元及び地盤(拘束力)ばね特性等は表-8に示す。解析は、地盤ひずみを0.1%刻みで増加させ1.0%まで10ステップで行った。

PIT部材は、円環でないため円環換算した肉厚とした。管路とPIT部材との拘束力は、引き抜き実験の実施により求めた。鋼管は1本当たり5500mmでマンホールとマンホールの間のスパン長は、99mとした。PIT部材は1本当たり220mmで継手があるモデルとした。(a)鋼管モデルと(b)PIT部材のモデルは、図-26に示す。

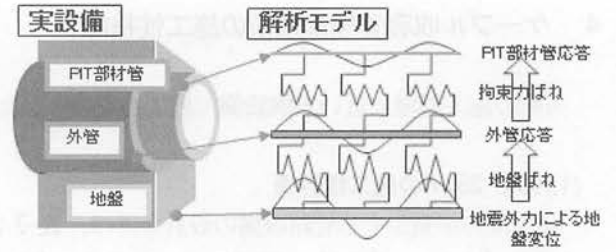


図-24 解析イメージ

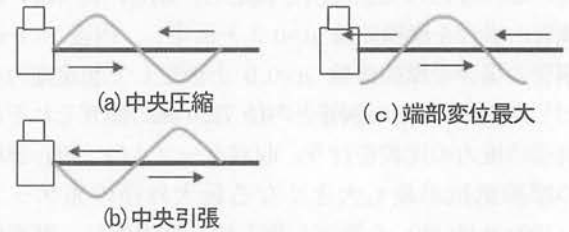


図-25 地震波動パターン

表-8 管路の諸元と特性値

項目	単位	鋼管	PIT
弾性係数E	N/mm ²	205940	2307
塑性域の弾性係数	N/mm ²	205940	23
弾性開始ひずみ	%	0.17	1.5
管路長	mm	5500	230
外径D	mm	89.1	78.0
肉厚t	mm	4.2	5.9
鋼管-地盤ばね係数K	×10 ⁻⁵	582	-
PIT-鋼管ばね係数K	N/mm ²	-	7.5
鋼管-地盤ばね係数K'		50.4	-
PIT-鋼管ばね係数K'		-	0

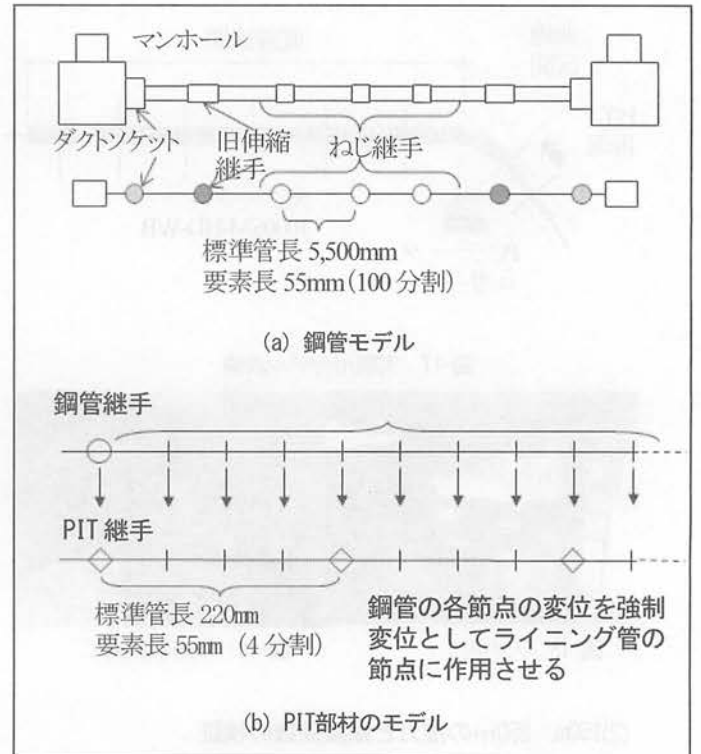


図-26 解析モデル

(3) 評価基準値

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っ張り強さを弾性係数で除した値とした。評価基準値を表-9に示す。

(4) 解析結果

解析結果の一例として図-25(b)中央引張の場合について述べる。図-27に鋼管及びPIT部材の変位を示す。正弦波は、仮定した地盤の変位分であり、地盤ひずみ1%を示すときの波形を示す。この時鋼管の応答変位は、スパン中央で最大変位±158mmとなりスパン中央はねじ継手で表-9の評価基準値を満足せず離脱する結果となった。次にPITの応答変位は、スパン中央で最大変位±5mmとなりスパン中央引張の変位量で最大13.7mmであることから離脱せずケーブルを保護できる結果となった。

PITの応答変位量が少ない理由として、鋼管は地盤のひずみを直接受けるがPITは、鋼管を返して地盤ひずみの影響を受けるため変位量が少ない。また短い間隔で伸縮性のある継手があり、変位を吸収したと考えられる。

表-9 評価基準値

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

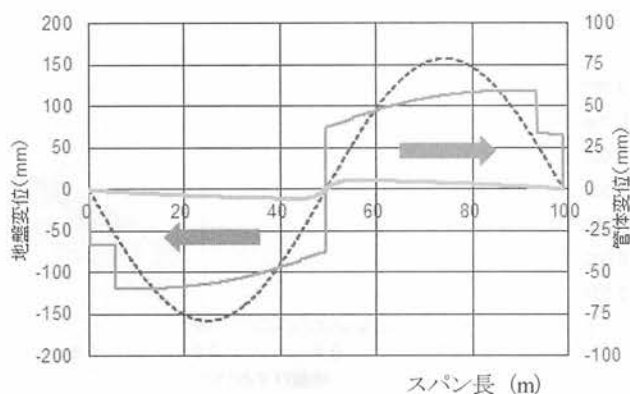


図-27 地盤変位と鋼管及びPIT部材の応答変位

6. 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結果を得た。そこで評価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-28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。供試体の長さは、PIT部材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PIT部材の軸方向ひずみである。軸方向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-10に示す。

表-10 供試体条件

継手	方向	継手伸縮量 (mm)	供試体長 (mm)
ねじ	押し込み	26	2100
	引っ張り	75	3500
旧伸縮	押し込み	26	2100
	引っ張り	156	5100

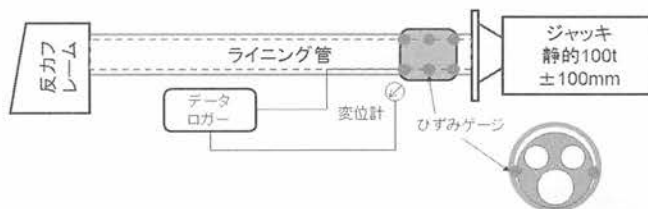
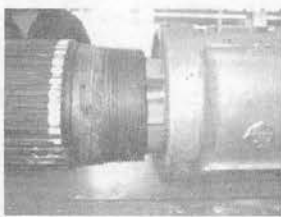
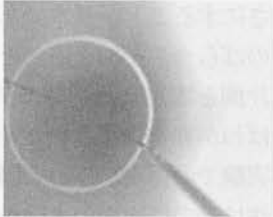
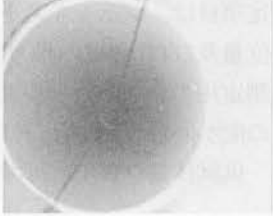


図-28 検証実験方法の概要

(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-11に示す。引張・圧縮それぞれの実験後の鋼管の外観及びPITのケーブル收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きいため引張の場合、載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、表-11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⁸⁾。PIT供試体は、全てのケースでケーブル收容空間に影響する損傷はなかった。

表-11 実験結果

	鋼管	PIT
引張		
	継手離脱	損傷なし
圧縮		
	押し込み破壊	損傷なし

(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-12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。

(4) PITの解析結果及び実験との比較

ねじ引張の実験値と解析値を図-29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、鋼管の変位が大きくなり、PIT部材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%程度と小さく結果となった。

表-12 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
外管の解析条件	地盤ばね無し（地上）
外管両端の条件	ジャッキ側：地盤と同じ 反力側：固定
PITの解析条件	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	

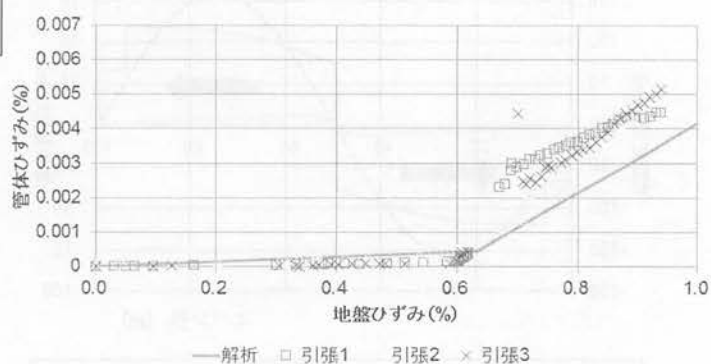


図-29 ねじ継手引張試験における地盤ひずみとPIT部材ひずみの関係

7. 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⁸⁾。

図-30に示すように、PIT部材無しの場合、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、大きく変形し、ケーブルが損傷した。PIT部材がある場合、PIT部材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。

8. 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、PIT部材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部材は、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部材は、両端でボルトにより固定した。実験状況を図-31に示す。

最大 15° まで曲げたが、屈曲部においてPIT部材の破損はなく、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。

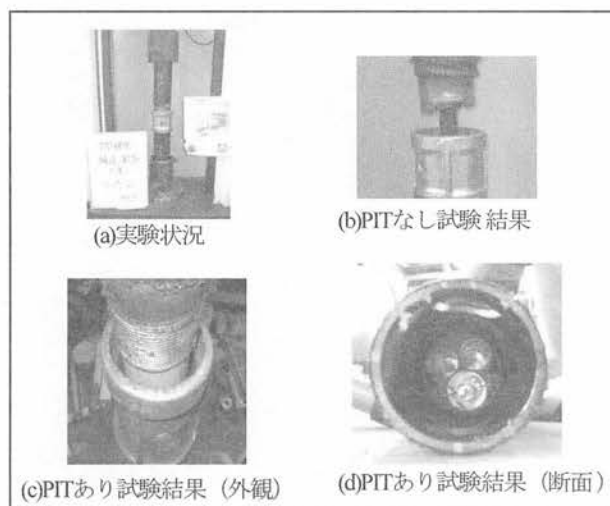


図-30 繰り返し圧縮・引張試験結果

9. 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PIT部材にせん断力が作用する様な状況を想定した。具体的には図-32に示す東日本大震災において、ボックスカルバート上越し箇所継手が劣化し、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PIT部材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-33に示す。PITに638Nのせん断荷重を作用させてもケーブル收容空間への影響はなかった。

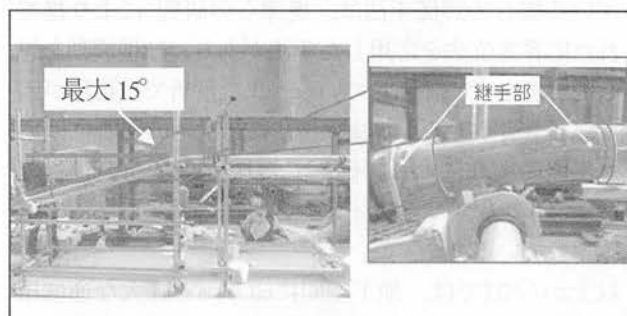


図-31 地盤追従性の実験状況

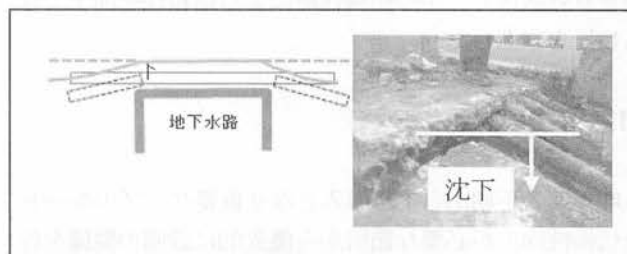


図-32 地下構造物の背後地盤の沈下事例



図-33 せん断体力実験状況

10. まとめ

ケーブル収容管補修技術（PIT新管路方式）において、構造的な特徴は、上下2分割構造であることから光ケーブルを収容したままサービス中断することなく老朽劣化した不良管路を補修再生する。そして光ケーブルを新規に2条追加布設可能な収容空間を創設することができる構造である。通信におけるマンホールの1つの間隔が長い区間では250mにもなる区間があるが既設管路内を推進する推力の増加も抑える構造になっており安全に推進可能になっている。

材質的な特徴は、不良管路の原因である金属管路の腐食に対してポリ塩化ビニル材を選定し、腐食劣化がなくメンテナンスフリーで管路の長寿命化を図ることができた。

施工においては、既存のマンホール内からPIT部材をケーブルを抱き込んで一体化し、継手部で接続して不良管路へ押し込む作業を繰り返し補修することから非開削で補修が可能となった。このため交通への影響が少なく、建設残土を出すこともないので環境にも配慮した技術になっている。

耐震性については、既設管路とPIT部材が二重管になっている場合の評価手法は、奥津らの研究⁹⁾により提案された応答変位法を応用した手法があり、L2地震動を想定して解析を行い評価している。また解析では再現が困難な既設管路破壊時、破壊後のPIT部材への影響についても実験の実施により評価しており結果は、PIT部材で光ケーブルを保護するガイド管としての効果があることを確認している。

以上からNTTでは、地下空間に63万kmと膨大な通信用の管路設備を保有しているが低コストで安定的に管路設備を有効活用し、かつ耐震性能による信頼性を向上できる技術を確立した。

11. 今後の課題

昨年度の下期から本格導入となり重要ケーブルルートの信頼性向上が必要な箇所から優先的に設備の整備を行った。今後の課題として地盤条件や管路布設形態に応じて地震被害を大きくする要因を明確にし、効果的な補修計画が作成できるようにする、本技術による設備の補修と信頼性向上を図ることが出来るようになるため、地震時信頼性ルート評価技術など更なる取組を行う必要がある。

参考文献

- 1) 田中宏司, 奥津第, 山崎泰司, 片桐信, 鈴木崇伸, 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), Vol.68, No.4 (地震工学論文集第31-b巻), I_959-I_968, 2012.
- 2) 管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン (案) : 日本下水道協会, P46-48, 2011.
- 3) 差込み継手硬質ビニル管物品規格書 : 東日本電信電話株式会社, 2001.
- 4) 電気通信技術標準実施方法「管路・マンホール設計編」, 西日本電信電話株式会社, p12-p14, 2006.
- 5) 奥津大, 瀬川伸博, 山崎泰司, 片桐信, 鈴木崇伸, 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, 第33回震工学研究発表会, 土木学会, 2013.
- 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.
- 8) 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.