

平成28年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「たて編物・円筒織物技術を活用した新機能更生管とその検査技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成29年3月

担当局 中部経済産業局

補助事業者 公益財団法人石川県産業創出支援機構

## 目 次

### 第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制  
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 本論一(1)

- 2-1 簡易入取替可能な小口径用熱可塑性更生材料の開発
  - 2-1-1 力学的特性の観点からのよこ編物及び織物の設計
  - 2-1-2 筒状ファブリックの作製
  - 2-1-3 小口径用熱可塑性パイプの成形
  - 2-1-4 入取替の可能性の検証
- 2-2 構造ヘルスマニタリング機能を有する新規管更生材料の開発
  - 2-2-1 樹脂拡散機能を有する強化基材の製編
  - 2-2-2 力学的特性の観点からのたて編物設計
  - 2-2-3 センサを挿入した強化基材製編技術の確立
  - 2-2-4 構造ヘルスマニタリング機能を有する新規管更生材料の開発
- 2-3 超音波を用いた非破壊検査技術および強度予測手法の確立
  - 2-3-1 樹脂の硬化状態の評価
  - 2-3-2 劣化試験片の損傷評価
  - 2-3-3 強度予測手法の確立
  - 2-3-4 複合材料管における損傷評価

### 最終章 全体総括

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### (1) 研究開発の背景

H25年3月31日の現在の下水道普及率は76.3%に達し、下水道管総延長は約44万kmに達している。建設後から50年という耐用年数を超過した管路は7,000kmに及び、老朽化に伴う道路地盤陥没事故はH19年度に約4,700箇所も発生（(社)日本下水道協会 (<http://www.jswa.jp/qa/4-2.html>。 )）している。

耐用年数を超過した老朽管は劣化や破損をしており、その箇所から地下水や土砂が管内に入り込むことにより地盤陥没事故が多発している。また、『下水道地震・津波対策技術検討委員会第4次提言』（東日本大震災で被災した下水道施設の本復旧のあり方）には、21世紀における希望ある復旧にふさわしい技術の活用の一つとして「更生工法等による管路施設の耐震性向上」が挙げられており、地盤陥没事故を無くし、さらに管路の耐震化対策として管更生工法が全国で適用されている。

一方、国側の施策の一つとしてアセットマネジメントによる施設の管理が進められている。アセットマネジメントとは、右図に示すように使用限界の手前で修理することで施設の寿命を延ばして維持管理費を削減しようという考え方である。維持管理において、更生工法で施工した管（更生管）の耐用年数は50年であり、耐用年数に達すると

- ①更生管を撤去して新たに更生工法を施工
- ②更生管の内側にさらに更生工法を施工
- ③更生管を掘り返して新管を埋設
- ④そのまま継続して使用

などが考えられる。

①の場合、右の表のようになり、小口径管であれば熱可塑性材料が、中口径であれば熱硬化性材料が対応可能と考えられる。

②の場合、更生工法を2度実施しているので内空断面が縮小するため、流下性能が満足しない。

③の場合、施工日数や環境、騒音、費用などの問題が発生する。

④の場合、更生管の残存強度を調べる手法が必要となる。

これらのことから、①と④の場合が対応可能と考えられる。非破壊検査については、本年度に管更生のJISが発行される予定であり、国の政策として、芦森工業(株)が開発を進めている

超音波非破壊検査法を JIS 化した上で、その JIS を ISO に提案するという流れとなっている。さらに、国土交通省の施策の一つとして、管路の長寿命化支援政策がある。管更生により 50 年は長寿命化されるが、50 年経過時点で残存強度を有しているかどうかは不明であり、残存強度を非破壊で測定する技術が必要と考えられる。

このような環境において、下水道分野の川下製造業者から、国の施策に対応した安心・安全な管更生用基材が求められている。本事業では、よこ編物技術、たて編物技術、円筒織物技術および押出成形技術を用いた安心・安全な管更生材料および更生管の破壊状態を非破壊で計測する技術の開発をおこなう。開発にあたっては、編み物の製造技術を有する北陸ファイバーグラス（株）、（株）リベックス、ヒロベ産業（有）、テキスタイル複合材料の研究者である岐阜大学 仲井教授、複合材料のヘルスマニタリングの研究者である高知工科大学 高坂准教授、超音波の研究者である神戸市神戸高等専門学校 和田教授、川下業者であり円筒織物技術と押出成形技術を有する芦森工業株式会社がそれぞれ本研究に参画している。

## （２）研究目標

### 高度化目標

#### ア．高性能・高機能な材料及び複合技術の向上

ガラス繊維を特殊加工した安心・安全な下水道管更生材料の開発を目指す。

１）φ300 以下の小口径管の管更生の場合、施工時に以下の問題点が起こる。

①施工時、引込張力と温度により収縮する樹脂パイプは経年後取付管の位置がずれ、取付管からの下水が流れないことがある。

②耐用年数超過後の古くなった更生管の内側にさらに管更生を施工すると、内径が狭まり流量を確保出来なくなる。その後、再度更生管の内側に管更生工法を施工することは出来ない。

③熱可塑性樹脂パイプを引き抜く場合、熱をかけて樹脂を軟化させてから引き抜くことになるが、熱可塑性樹脂は熱時強度が低いため、引き抜き時に樹脂パイプが切れてしまう。

そこで、上記の問題点を解決すべく、高機能繊維を使用し、円筒状ファブリック加工技術と円筒押出成形技術の融合により、これまでに例を見ない低収縮繊維強化熱可塑性樹脂パイプを成形し、簡単に入取替が可能な小口径用熱可塑性更生材料を開発する。

2)  $\phi 301\sim 800$  未満中口径管の場合、以下の問題点が起こる。

①熱可塑性樹脂パイプは更生管の厚みが厚くなるために熱が十分に伝わらず、引き抜く時に樹脂が柔らかくならないので使用できない。

②GFRP 製現場硬化管の場合は更生管の空断面積は広いので更生管切断用ロボットを管内に挿入して更生管を切断することができるが、使用限界は把握できない。

このように構造健全性・安全性をリアルタイムで自己検知・診断を行う構造ヘルスマニタリング機能を有する新規管更生材料を開発する。また、現状の管更生材料の樹脂含浸工程は、樹脂流動性が悪いため、含浸に時間を要する。たて編物を用いることにより、樹脂を拡散しやすくするための樹脂拡散機能と、高い力学的特性を発揮する繊維配向を同時に実現する。

3) 現状では施工後の硬化確認や経年後の更生管の検査は、管内 TV カメラを用いた目視による診断が主流である。しかし、目視では更生材料の硬化度合いや経年後の劣化度合いは検査できない。そこで、定量的かつ製品の内部における欠陥の状況を把握するために、超音波を用いた非破壊検査法を確立する。また、経年後の更生管のひずみをリアルタイムで検知することにより、許容ひずみに到達した更生管を把握するとともに、更生管を非破壊検査することにより、更生管の使用限界を検査することができる。

## 技術的目標値

### 1. 簡易入取替可能な小口径用熱可塑性更生材料の開発】

#### 【1-1】力学的特性の観点からのよこ編物及び織物の設計

(平成 26 年度) よこ編物及び織物パラメータを設計し、ガラス繊維を用いた円筒状編物及び織物の作製を可能とする。

(平成 27 年度) ガラス繊維を用いた円筒状編物及び織物を現行の構成材料と同等の力学的特性：曲げ弾性率  $2,150 \text{ (N/m}^2\text{)}$ 、曲げ強度  $52 \text{ (N/m}^2\text{)}$ 、引張強度  $26 \text{ (N/m}^2\text{)}$  を達成する。

#### 【1-2】筒状ファブリックを作製する。

(平成 26 年度) 筒状ファブリックの作製を可能とする。

(平成 27 年度、28 年度) 樹脂パイプの収縮抑制と、高張力を満足する高機能繊維と熱可塑性樹脂との界面剥離強力が  $2 \text{ (N/mm)}$  以上の筒状ファブリックの作製を可能とする。

### 【1-3】小口径用熱可塑性パイプの成形

(平成 27 年度、28 年度)【1-1】および【1-2】により得られた知見をもとに本管の強化基材を作製し、熱可塑性樹脂パイプの収縮率を 0.1%に抑え、既設塩ビ管の埋設深さと同程度の地下水圧である 0.05MPa の水圧に耐える小口径の強化熱可塑性樹脂パイプを作製する。

### 【1-4】入取替の検証

(平成 28 年度) 100m の熱可塑性樹脂パイプを既設管から引き抜くための軟化条件を決める。

## 【2. 構造ヘルスマニタリング機能を有する新規管更生材料の開発】

### 【2-1】樹脂拡散機能を有する強化基材の製編

(平成 26 年度、27 年度) たて編物技術(ノンクリンプファブリック)を適用することで、樹脂含浸時間を 2/3 程度(100m/8h)に削減する。

### 【2-2】力学的特性の観点からのたて編物設計

(平成 26 年度)【2-1】で開発した新規管更生材料に対して編物設計をおこない、様々な構造を有する複合材料平板を成形する。

(平成 27 年度)【2-1】で開発した新規管更生材料に対して編物設計をおこない、様々な構造を有する複合材料平板を成形し曲げ特性を評価する。現行の構成材料と同等の力学的特性：曲げ弾性率 2,600(N/m<sup>2</sup>)、曲げ強度 59(N/m<sup>2</sup>)を達成する。

### 【2-3】センサを挿入した強化基材製編技術の確立

(平成 26 年度) たて編物技術を用いることで、センサを挿入した強化基材の製編を可能とする。

(平成 27 年度) センサを挿入した強化基材の製編を可能とし、光ファイバセンサを切断せずに連続して 40m の基材を製編する。

### 【2-4】構造ヘルスマニタリング機能を有する新規管更生材料の開発

(平成 26 年度、27 年度、28 年度)【2-2】で得られた強化基材を用いた複合材料平板において、引張ひずみを 10%以内の誤差で検知する。さらに、実際の更生管材料として施工後も、同等の検知能力を達成する。

## 【3. 超音波を用いた非破壊検査技術および強度予測手法の確立】

### 【3-1】樹脂の硬化状態の評価

(平成 26 年度、27 年度) 超音波を用いた非破壊「硬化」検査技術を確立する。既存工法の最大厚みである 24mm 更生管の硬化状態を評価可能とする。

【3-2】劣化試験片の損傷評価

(平成 26 年度) 超音波を用いた非破壊「劣化」診断技術を確立する。

(平成 27 年度、28 年度) 促進試験により劣化させた GFRP モデル材 (平板) について、破壊の同定手法を確立する。

【3-3】強度予測手法の確立

(平成 27 年度、28 年度) 非破壊検査 (超音波) による強度予測手法を確立し、±20%以内の精度で強度予測を可能とする。

【3-4】複合材料管における損傷評価

(平成 28 年度) 上記 GFRP モデル材 (平板) に関する知見を基に、複合材料管 (円筒) における損傷評価手法を確立する。

1-2 研究体制

	研究等実施機関 (機関名)	担当者名及び役職名
総括研究代表者	北陸ファイバーグラス株式会社	代表取締役 北村 雅之
副総括研究代表者	株式会社リベックス	代表取締役 山本 有二
	芦森工業株式会社	次長 北川 英二
	ヒロベ産業有限会社	代表取締役 廣部 晋彦
	国立大学法人 岐阜大学	工学部機械工学科 教授 仲井朝美
	高知工科大学	システム工学群准教授 高坂 達郎
アドバイザー	神戸市立神戸高等専門学校	和田 明浩



### 1-3 成果概要

#### 【1. 簡易入取替可能な小口径用熱可塑性更生材料の開発】

##### 【1-1】力学的特性の観点からのよこ編物及び織物の設計

- 熱可塑性パイプの収縮抑制と熱時引張強度を満足させるため、タテ系には、ガラス繊維とポリエステル繊維のコミングル系とポリエステル繊維撚り系の2種類を組み合わせ、さらにコミングル系の配置パターンを3種類設定し、ヨコ系にはコミングル系を用いてφ200筒状織物の試織を3種類行い、製織性と熱可塑性樹脂の押出被覆可否を確認した。
- (株)リベックスが作製したφ150よこ編物を押出ダイに挿通し、熱可塑性樹脂の押出被覆可否を確認した。
- 筒状織物に熱可塑性樹脂を押出被覆して作製したφ200繊維強化熱可塑性樹脂パイプの曲げ、引張特性を評価した。
- 織物の製織性、熱可塑性樹脂の押出被覆可否、引張特性から総合評価を行い、筒状ファブリックの構造を決定した。

##### 【1-2】筒状ファブリックの作製

- 当事業において作成されたコミングル系等を用いて筒状編物を作成した。編組織や度目の最適化を図り、まだ課題は残るものの中量産は可能となった。2015年末に導入した横編物機械を用いて緯系挿入された筒状編地の開発に取り組んでおり、筒状横編物の弱点であった過度の収縮を抑える点に特に注力した。
- 総合評価で決定した筒状ファブリックの筒状織物と熱可塑性樹脂シートを積層して平板を作製し、筒状織物と熱可塑性樹脂の界面剥離強力を評価した。

##### 【1-3】小口径用熱可塑性パイプの成形

- 総合評価で決定した筒状ファブリックの筒状織物を用いてφ200繊維強化熱可塑性樹脂パイプを成形し、加熱拡張後における管軸方向、周方向の収縮率を測定した。
- φ200繊維強化熱可塑性樹脂パイプの水密試験を行い、耐外水圧性を検証した。

##### 【1-4】入取替の可能性の検証

- φ200繊維強化熱可塑性樹脂パイプから試験片を作製し、施工現場において加熱可能な温度かつ繊維強化熱可塑性樹脂パイプを軟化させることができる温度として80℃、100℃を選定し、熱時引張試験を行った。
- 過去のφ200、φ300熱可塑性樹脂パイプの引込実験結果から、既設管に100m

のφ200、φ300 繊維強化熱可塑性樹脂パイプを引き込む際の引込荷重を推算し、100m のφ200、φ300 熱可塑性樹脂パイプを引き抜く際の張力を推定した。

- 繊維強化熱可塑性樹脂パイプの 80℃、100℃での熱時引張強度と 100m のφ200、φ300 繊維強化熱可塑性樹脂パイプを引き抜く際の張力推定値の関係から、100m の繊維強化熱可塑性樹脂パイプを入取替えする場合の軟化条件を検討した。

## 【2. 構造ヘルスマニタリング機能を有する新規管更生材料の開発】

### 【2-1】樹脂拡散機能を有する強化基材の製編

### 【2-2】力学的特性の観点からのたて編物設計

管更生向けの強化基材に用いるガラス繊維は耐酸性が求められるが、平成 27 年 4 月より国内では耐酸性ガラス繊維の入手が出来なくなった。そのため、海外製の耐酸性ガラス繊維特性を評価した。

### 【2-3】センサを挿入した強化基材製編技術の確立

平成 27 年度に確立した、たて編物技術を用いて強化基材のノンクリンプファブリック（NCF）中に光ファイバを挿入する手法を用いて、測定用光ファイバを管更生用 NCF に自動で編み込んだ。

### 【2-4】構造ヘルスマニタリング機能を有する新規管更生材料の開発

含浸性と物理的特性のバランスを考慮した強化基材を選定し、光ファイバーセンサーを挿入した基材を用いて更生管を成形した。成形した更生管の 3 点曲げ試験を実施した。更生管にはひずみゲージを取付け、ひずみゲージと光ファイバーセンサーのひずみをそれぞれ計測して、光ファイバーセンサーの精度を調べた。

## 【3. 超音波を用いた非破壊検査技術および強度予測手法の確立】

### 【3-1】樹脂の硬化状態の評価

### 【3-2】劣化試験片の損傷評価

強度予測のため、管内面が劣化し、管外面の劣化のない平板サンプルを作製した。平板は異なるガラス繊維を用いたガラスクロスを積層し、成形品を硫酸と硝酸に浸漬して劣化した平板を製作した。

### 【3-3】強度予測手法の確立

### 【3-4】複合材料管における損傷評価

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 本論一（1）

#### 2-1 簡易入取替可能な小口径用熱可塑性更生材料の開発

##### 2-1-1 力学的特性の観点からのよこ編物及び織物の設計

力学的特性の観点からのよこ編物及び織物の設計を行う事を目的として、よこ編物作製時に使用するコミングル系の候補材料となる数種類のガラス繊維と樹脂繊維、および、ガラス繊維の表面処理剤の違いが、繊維/樹脂界面のくつき度合いを表す界面せん断強度に及ぼす影響について検討を行った。

界面せん断強度を得るために、マイクロドロップレット（MD）試験を行った。以下にMD試験の模式図を示す。試験片は、アルミフレームにガラス繊維フィラメント1本を固定し、ホットプレートを用いて樹脂繊維を熔融させ、樹脂滴をガラス繊維のフィラメントに付けることにより試験片を作製した。その後、試験片は界面の状態を安定させるため1日室温で保管した物を使用した。

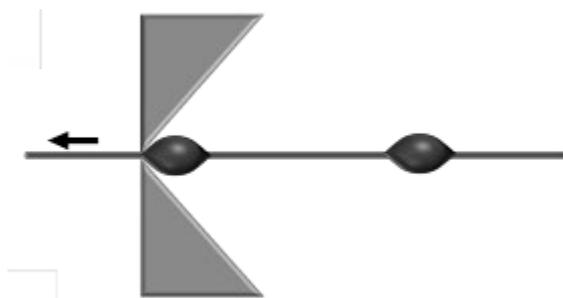


図 マイクロドロップレット法

図に示すように、フィラメントを試験機の両刃に挟み込むようにドロップレットを固定し、両刃に接触する方向にフィラメントを動かすことで、フィラメントからドロップレットがはく離するまでに得られる最大荷重をロードセルで測定した。この最大荷重を、以下の式に示すように樹脂滴と繊維の接触面積で除することにより界面せん断強度を求めた。

$$\tau_s = \frac{F_s}{\pi dl}$$

ここで、 $F_s$  は界面せん断力、 $d$  は繊維径、 $l$  は樹脂内の繊維の長さ、 $\tau_s$  は界面せん断強度を示している。

本試験で用いたガラス繊維と樹脂繊維の組み合わせを次表に示す。ガラス繊維はそれぞれ異なる Tex 数と表面処理剤のものを扱い、 $V_f$  をほぼ同じとするために、それぞれのガラス繊維の断面積とほぼ同じ断面積となるようなナイロン繊維を選定した。全部で 4 種類の組み合わせに関して検討を行った。

表 ガラス繊維と樹脂繊維の組み合わせ

①	GF	PA66	GF 直径( $\mu\text{m}$ )
①	ERS135-562 $\times$ 2	940T136-1781 $\times$ 2	9
②	ERS210-650 $\times$ 1	470T120-1781 $\times$ 3	11
③	ERS280-630 $\times$ 1	940T136-1781 $\times$ 2	9
④	ECG75-1/01ZYPS14	470T-136-1	9

各試験片の界面せん断強度の結果を次図に示す。②を除き、約 50MPa の界面せん断強度であった。②は、①③④の約半分の値であった。これより、①③④の組み合わせは、複合材料になった場合においても良好な界面状態を形成できると考えられる。

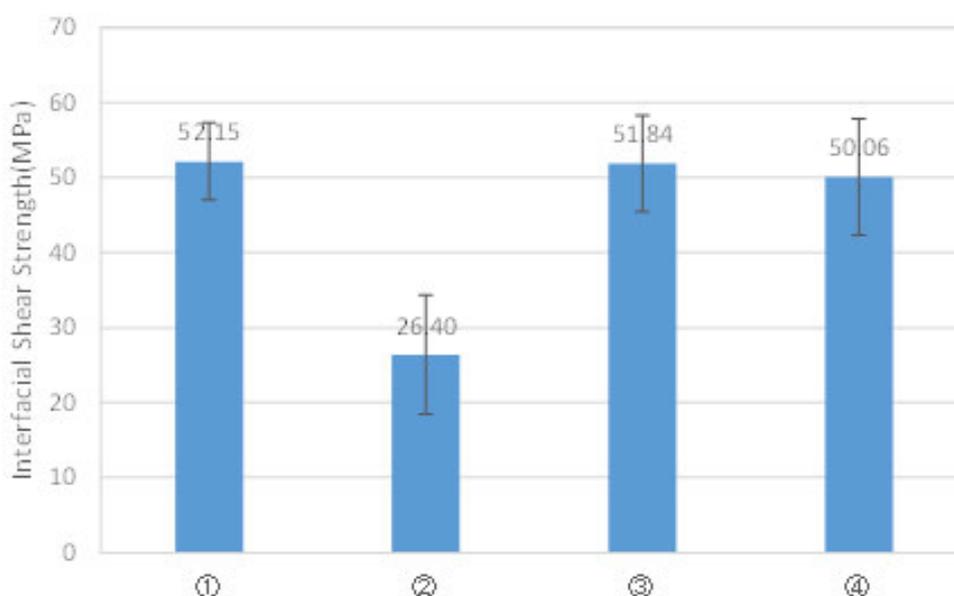


図 GF/PA66 界面せん断強度

ガラス繊維は有機繊維と比較して曲げ剛性が高くループ形状を維持できないこと、金属部品との摩擦が大きいこと等により、一般的な織機・編機では製織・製編が不可能である。このため、ガラス繊維を筒状織物および筒状編物に用いることができるよう、原糸の種類・繊度（太さ）、他の繊維との複合化、撚糸・タスラン等の加工方法の検討、織り組織の検討、編み組織・度目の検討、製織・製編速度の検討等を行い、作製した筒状織物・筒状編物について各種評価を行った後、総合評価として“筒状ファブリックの構造絞り込み”を行った。

#### (1) ガラス繊維を含む糸の構成・加工方法の検討

開発の基本的な方向性として、ガラス繊維をポリエステル繊維とエアで複合させてコミングル糸とすることで、製織性・製編性の改善、製織・製編時の風綿減少、金属部品との耐摩耗性向上を図ることとした。

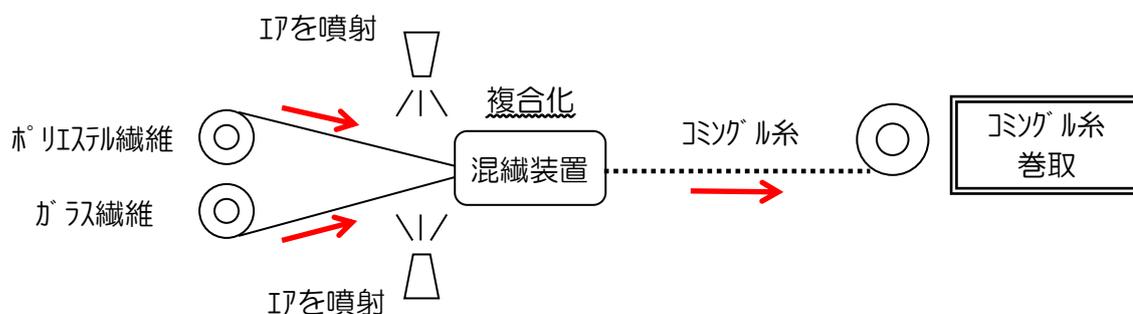


図 ガラス繊維とポリエステル繊維のエア複合加工の概要



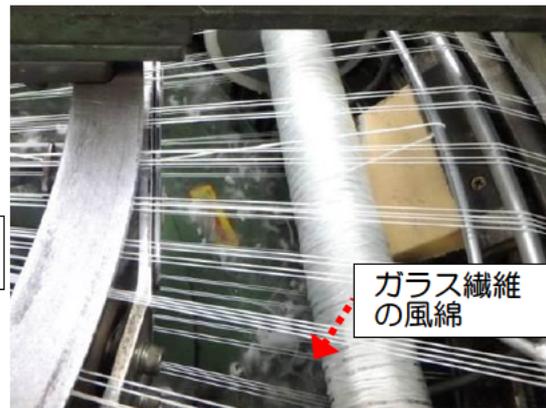
作製したコミングル糸の一例

作製したコミングル糸を、筒状織物では、まずヨコ糸のみに用いて試織し、熱可塑性樹脂の押出被覆加工により評価した。筒状編物では、度目・巻下げ張力・編み込むコミング

ル糸の本数調整等を行い、製編により評価した。当初、筒状織物では幅不同、外観不良が、筒状編物では糸の絡まり、編込不良が発生し、さらに製織・製編とも風綿の発生が多く、また筒状織物の押出被覆の際にはダイ部品との摩擦によってヨコ糸に使用したコミングル糸が切れる等の問題が起こった。しかし、ガラス繊維に複合させるポリエステル繊維の本数、ガラス繊維とポリエステル繊維の複合加工時のエア噴射条件・巻取速度、コミングル糸の撚り数等、各種設計パラメータを調整し、マイクروسコープによる外観観察や熱収縮チューブに入れた状態での断面観察を行ってコミングル糸の状態でのガラス繊維の分散性を評価すること等により、筒状織物の製織、筒状編物の製編が可能になった。また製織・製編時の風綿発生も当初より抑制できるようになった。さらにヨコ糸にコミングル糸を使用した筒状織物では、熱可塑性樹脂の押出被覆を行っても金属部品との摩擦に耐えるようになった。



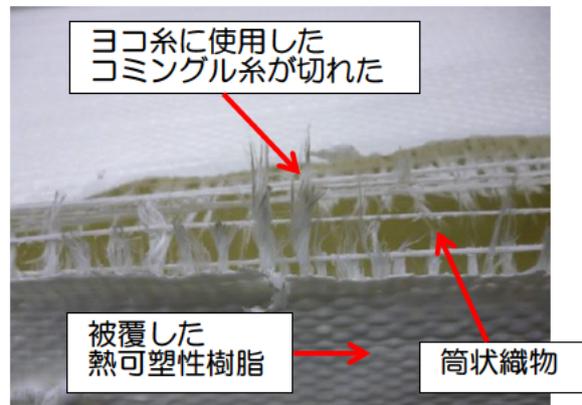
織機内の状況 当初：風綿が大量発生



設計パラメータ調整後 風綿が減少



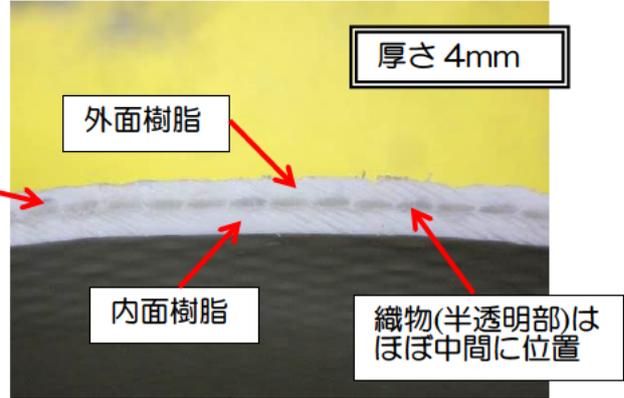
筒状織物の一例



当初の押出被覆状況



筒状織物の押出被覆サンプル



押出被覆サンプルの断面構造

### ヨコ編み物について

横編物機械を用いて筒状編地の作成を確立させた。コミングル系の伸度が無いため非常に編み辛い、度目調整、巻下げ張力の調整により、小口径、大口径とも3~5mの筒状編地の製編に成功した。

下図の1×1 リブ編みは正しくリブベースの筒状編地であるため伸縮性に優れるが、針床前後でのループの移動（目移し）が入るため、度目調整の余地が少なく、非常に編み辛い。同じくガーター編み組織の編地も試作したが、やはり目移しがあるため製編は難儀である。下図の袋編みによる筒状編地は編機針床の前後を螺旋状に編み上げていくため、度目調整での水準も比較的取り易かったが、天竺編地の為、伸縮が少なく、更生管への追従性に難がある。

何れの編地も筒状横編物の欠点である長さ方向への過度の伸縮が抑えられておらず、課題は多い。また、糸の番手も太いため、複数の糸での引き揃え編みが出来ず、1本での製編となった。せめて半分の太さになれば2本引き揃えが可能になり、これまでの経験上編み易くなると考えられる。



図 筒状編地（1×1 リブ編み）



図 筒状編地（袋編み）



図 筒状編地製編

筒状編地の製編は可能となったが、編物の特性として編目の隙間が出来てしまう。それが樹脂被覆の際に漏れ出たり、偏りができたりの原因となるためその改善が求められる。

また、筒状編地同士の結合等を鑑み、ツバ付筒状編地の開発も行った。これは上図に示したように配管のフランジ部に相当するもので、同じような接合方法や、管端部に被せるように設置することが可能である。

これらの編地は本研究のテーマである下水道の管更生材としての使用はもちろんだが、マンション等の集合住宅の建物内部の上下水道の配管や雨水など露出管の更正材としても使用が可能である。



図 ツバ付筒状編地



図 配管フランジ部の例

27年度末には下図に示す緯糸挿入機能を有した横編物機械を導入し、編地開発を行った。緯糸を編地内に挿入（インレイ）することにより、編地内にニットされない糸が入るため、伸縮の抑制、強度の向上などが期待される。これまでの横編地では樹脂含浸時の過度な生地の変縮が欠点とされていたが、その改善が見込まれる。



図 横編物機械



図 データシステム

下図に緯糸挿入のイメージ図を示す。本体部を編む糸（コミングル糸）とは別にインレイ（横挿入）される糸を並走させ、その糸は編まれずに生地内部に抑え込まれる。その糸はループを形成しないので編地自体の収縮を抑えると思われる。

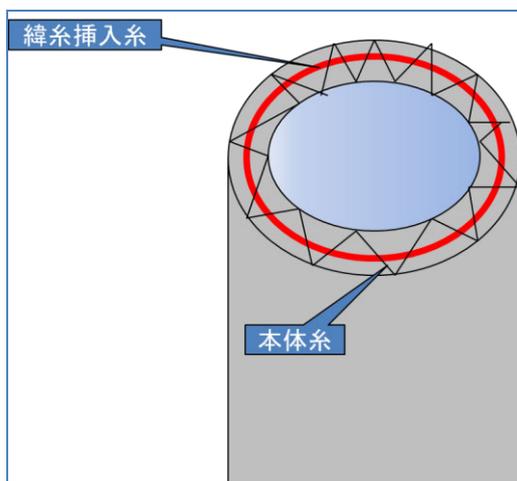


図 緯糸挿入のイメージ



図 緯糸挿入平生地

この製編方法では上図にある緯糸挿入平生地を編むことを可能とした。試作ではモノフィラメント糸を挿入したが、本体糸と同じ糸を挿入することにより、混率が変わらず、樹脂含浸時にも影響が出ないと思われる。しかし、それを筒状にすることは未だ実現出来ておらず、今後の継続課題とする。

(2) 熱可塑性樹脂の押出被覆性確認、複合材料の作製

筒状ファブリックの構造絞り込みに向けて、設計パラメータの決まったコミングル系を用いて筒状織物、筒状編物を作製し、熱可塑性樹脂の押出被覆が可能かどうかを改めて確認した。筒状織物は、タテ系構成を3種設定しヨコ系はコミングル系1種として、3種類作製した（以下、織物 a・b・c：サイズφ200）。タテ系構成は、ポリエステル繊維とコミングル系を組み合わせ使用し、コミングル系の配置パターン・本数を変えて設定した。

表 作製した織物 a・b・c の組織

試織 No.	タテ系の構成	ヨコ系の構成
織物 a	①ポリエステル繊維の撚り糸 ②コミングル系の撚り糸を周方向 約 90° 毎 4 箇所に複数本を並べた状態で部分配置	コミングル系の撚り糸 織物 a・b・c 全て共通
織物 b	①ポリエステル繊維の撚り糸 ②コミングル系の撚り糸を周方向 約 90° 毎 4 箇所にポリエステル繊維の撚り糸と交互に、複数本を部分配置	
織物 c	①ポリエステル繊維の撚り糸 ②コミングル系を周方向 ほぼ均等な間隔で分散させて複数本配置	

織物 a・b・c に対して熱可塑性樹脂の押出被覆を行ったところ、押出安定性に差が見られた。織物 a は繊維強化熱可塑性樹脂パイプ（＝複合材料）のサンプルを得ることができたが、押出被覆中にタテ系のコミングル系において不具合が発生し、長尺の安定成形を行うまでは至らなかった。織物 b・c はいずれも目標としていた押出条件の設定値まで到達することができ、長尺の安定成形と繊維強化熱可塑性樹脂パイプのサンプル採取ができた。なお、織物 b と織物 c を比較すると、織物 c の方が押出被覆時の挙動は安定していた。

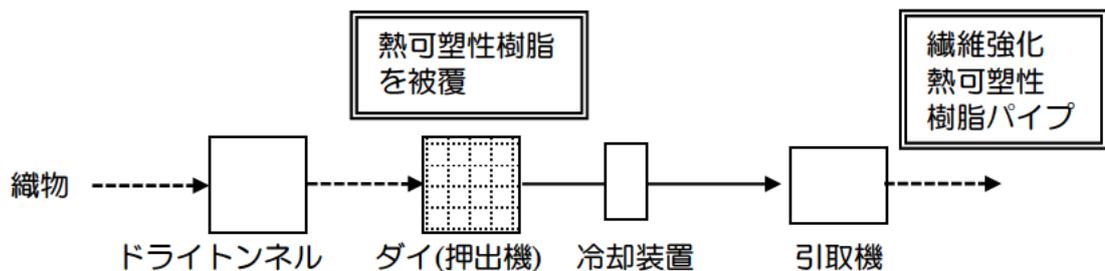


図 押出被覆工程 概要

筒状編物については、先ずは樹脂を押し出さない状態で押出ダイに挿通し、編物厚さと

ダイの編物通過部の隙間（ダイスリット）の寸法バランス、押出ダイ通過後の編物の状態を確認した。その結果、押出ダイ通過後の筒状編物には、長さ方向の過度の伸びによって目開き・径収縮が発生しており、熱可塑性樹脂を押出被覆するのは困難と判断した。

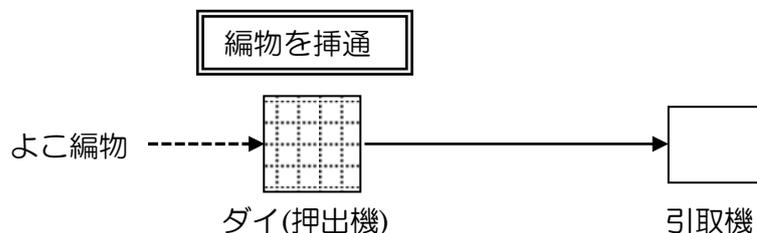


図 よこ編物の押出ダイ挿通試験 概要

以上より、本研究での筒状ファブリックの構成として、筒状織物の方が筒状編物よりも適していると判断した。

### (3) 曲げ特性・引張特性の評価

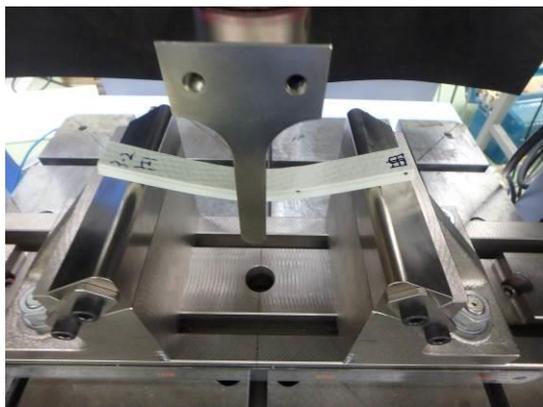
筒状織物で作製した繊維強化熱可塑性樹脂パイプを加熱拡張・冷却して円形にし、曲げ試験と引張試験を行った。その詳細を以下に示す。

#### ① 曲げ試験

下水道用管更生材の厚さ設計には、パイプ周方向の物性値が使用されるため、曲げ試験は繊維強化熱可塑性樹脂パイプの周方向について行った。なお、織物 a・b・c を用いて作製した繊維強化熱可塑性樹脂パイプ3種は、周方向に沿って配置されているヨコ糸はすべて同じコミングル糸で太さや打込数等が共通であることから、織物 a 入りの繊維強化熱可塑性樹脂パイプを代表サンプルとし、23℃の恒温恒湿室にて曲げ試験を行った。試験機は島津製作所のオートグラフを用いて、JIS K7171 より試験速度 2mm/min に設定した。試験状況・結果を以下に示す。



繊維強化熱可塑性樹脂パイプを加熱拡張 円形の繊維強化熱可塑性樹脂パイプ 一例



曲げ試験状況



曲げ試験後の試験片

表 繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物 a) 周方向の曲げ試験結果(23℃)

No.	厚さ [mm]	幅 [mm]	曲げ強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	曲げ弾性率 [N/mm <sup>2</sup> ]
1	6.89	15.34	61	2435
2	6.90	15.34	61	2463
3	6.87	15.34	61	2480

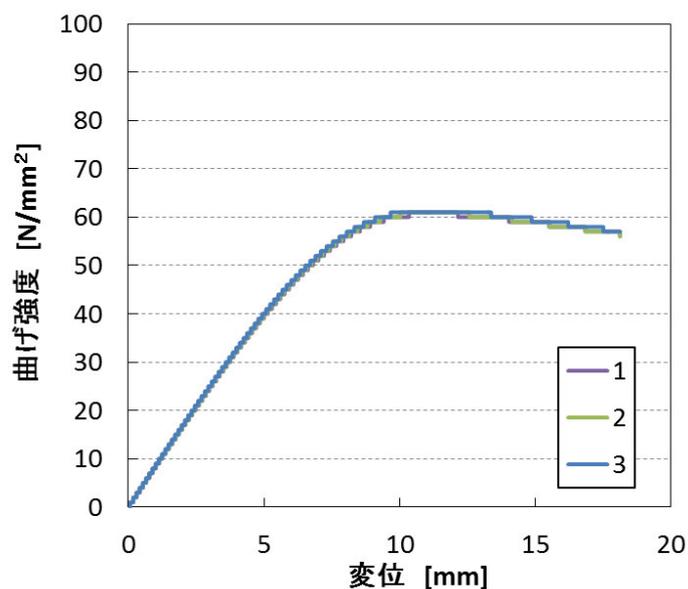


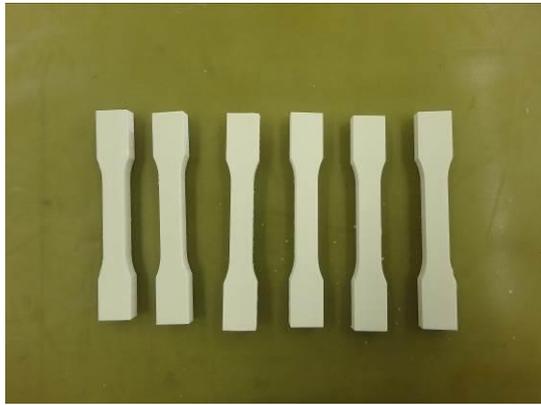
図 繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物 a) 周方向の曲げ試験結果(23℃)

繊維強化熱可塑性樹脂パイプは、曲げ弾性率の目標値 2150N/mm<sup>2</sup>、曲げ強度の目標値 52N/mm<sup>2</sup>を達成していることを確認した。

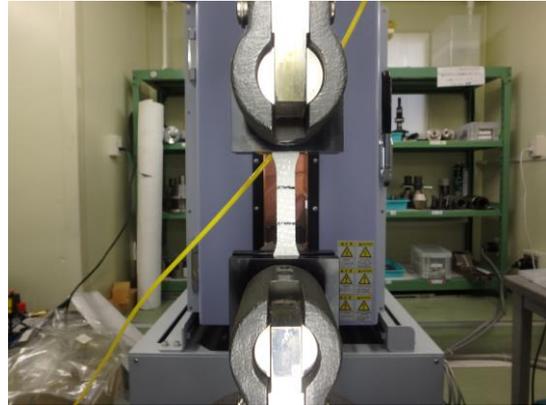
## ②引張試験

後ほど行う繊維強化熱可塑性樹脂パイプの引込特性・入取替の検証には、管軸方向の引張特性が使用されるため、引張試験は繊維強化熱可塑性樹脂パイプの管軸方向について行うことにした。試験条件は、後に行う熱時引張試験において引張ストロークを確保するた

め、JIS K7161 よりも小さい試験片寸法が規定されている下水道用硬質塩化ビニル管の規格 JSWAS K-1 引用の JIS K6741 に準拠することにし、試験速度は 5mm/min に設定した。試験機は島津製作所のオートグラフを用いた。23℃の恒温恒湿室にて引張試験を行った状況・結果を以下に示す。



試験片の一例

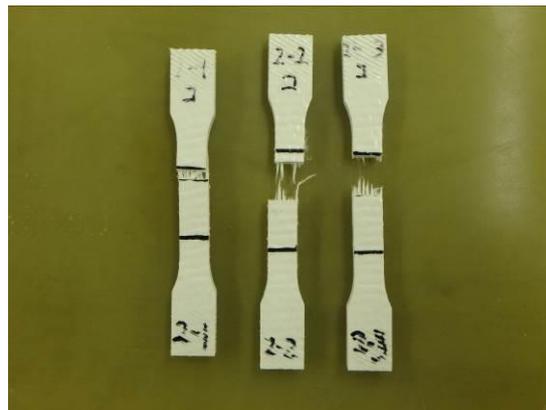


引張試験状況



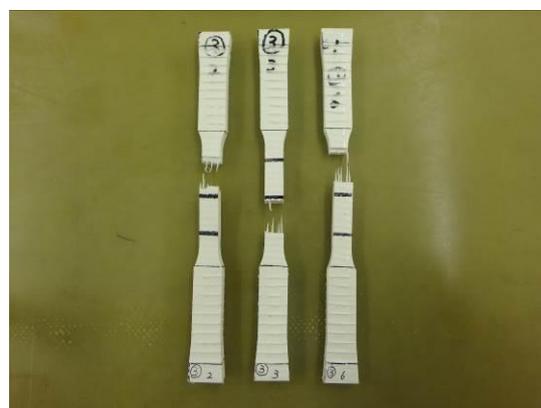
繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物 a : ポリエステル系・コミングル系配置部)

引張試験後



繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物 b)

引張試験後



繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物 c)

引張試験後

表 繊維強化熱可塑性樹脂パイプ 管軸方向の引張試験結果

試験片種類	測定箇所	No.	厚さ [mm]	幅 [mm]	引張強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	伸び (%)
織物 a 入り	ポリエステル系配置部	1	7.11	10.19	58	15.8
		2	7.05	10.11	55	15.2
		3	6.96	10.13	60	13.2
	コmingル系配置部	1	6.93	10.09	54	9.8
		2	6.88	10.10	54	11.2
		3	6.95	10.09	52	10.7
織物 b 入り	コmingル系配置部	1	7.60	10.25	58	8.5
		2	7.63	10.25	55	8.1
		3	7.53	10.27	59	6.7
織物 c 入り	コmingル系配置部	1	7.44	10.28	61	8.3
		2	7.76	10.26	59	10.2
		3	7.25	10.29	63	9.1

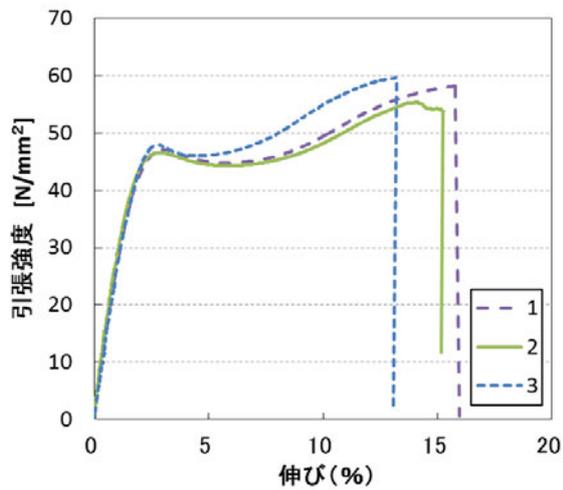


図 繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物 a)

引張試験結果

(23°C、ポリエステル系配置部)

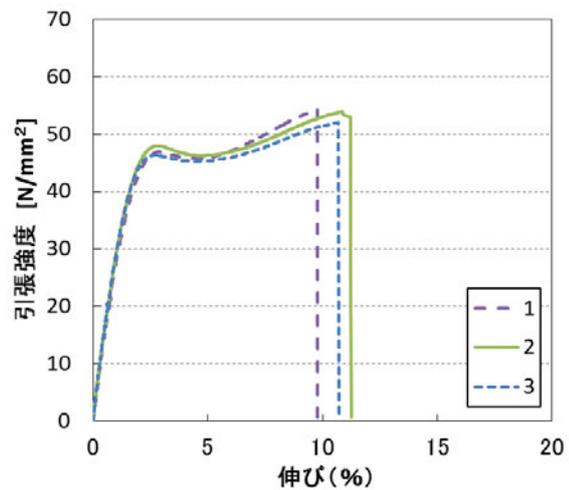


図 繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物 a)

引張試験結果

(23°C、コmingル系配置部)

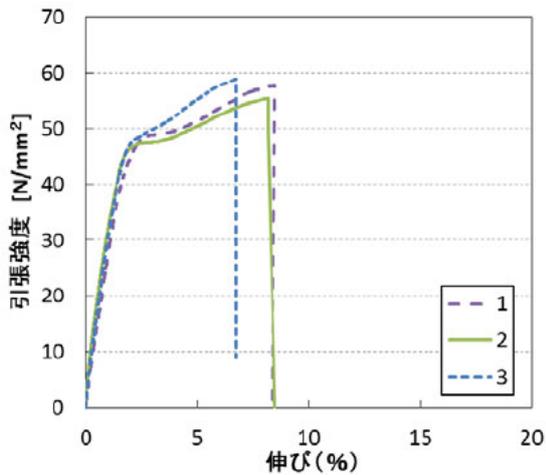


図 繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物b)

引張試験結果

(23℃、コミングル系配置部)

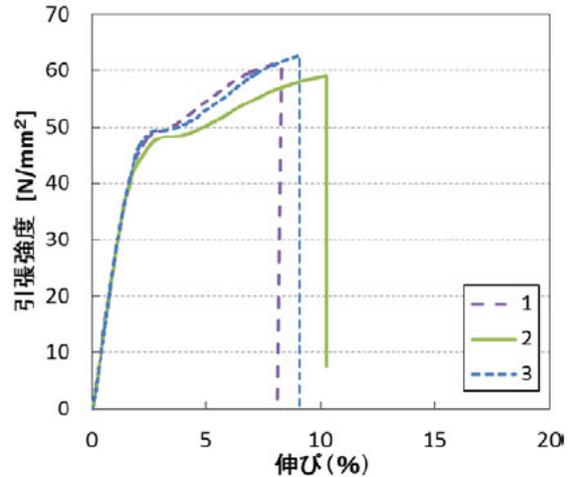


図 繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物c)

引張試験結果

(23℃、コミングル系配置部)

これらの結果より、繊維強化熱可塑性樹脂パイプは織物 a・b・c 入りのいずれについても、引張強度の目標値 26N/mm<sup>2</sup>を達成していることを確認した。

#### (4) 総合評価

繊維強化熱可塑性樹脂パイプの引張試験結果では、織物 a・b・c の違いで特に大きな優劣は付かなかったが、熱可塑性樹脂の押出被覆において織物 c が最も安定した挙動を示していたことから、筒状ファブリックの織り構造を織物 c に決定した。

#### 2-1-2 筒状ファブリックの作製

総合評価で決定した織物 c と熱可塑性樹脂の界面剥離強力を評価するため、剥離試験を行った。

##### (1) 試験片の作製

織物 c を、繊維強化熱可塑性樹脂パイプに使用しているものと同じ熱可塑性樹脂のシートに積層してホットプレスで加圧し、平板状サンプルを作製した。この平板を短冊状に切り出して試験片とした。試験片の作製状況を以下に示した。

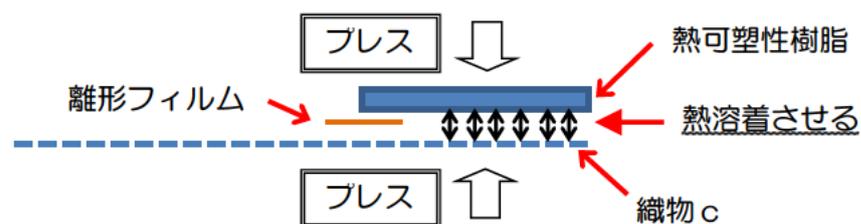


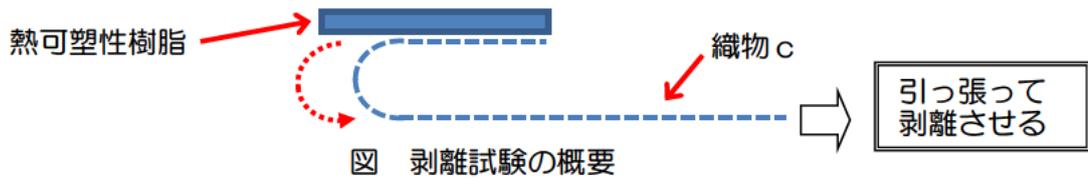
図 剥離試験片の作製 概要

\*ホットプレスの条件

180℃×5分で予熱し+約30MPa×1時間加熱+そのまま自然放冷

(2) 試験方法

試験機は島津製作所のオートグラフを用いて、23℃の恒温恒湿室にて行った。試験条件はJIS K6854に従い、試験速度50mm/minとした。得られた波状曲線（最初のピークから試験終了までの荷重の推移を表す曲線）は、JIS K6274のE法にて解析した。試験の概要を以下に示した。

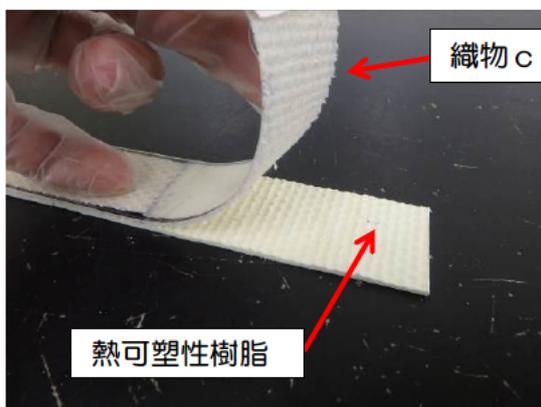


(3) 試験結果

得られた界面剥離強力の値、試験状況、得られた波状曲線（最初のピークから試験終了までの荷重の推移を表す曲線）の一例を以下に示した。

表 織物cと熱可塑性樹脂の剥離試験結果

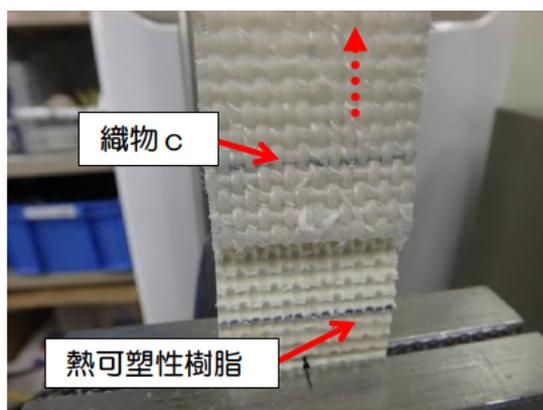
No.	幅 [mm]	剥離荷重 [N]	界面剥離強力 [N/mm]
1	22.44	158.0	7.0
2	27.87	194.8	7.0
3	27.81	283.0	10.2
4	27.34	211.2	7.7
5	27.16	217.3	8.0
		平均値	8.0



試験片の一例



剥離試験状況



剥離部分 詳細



試験終了後の試験片

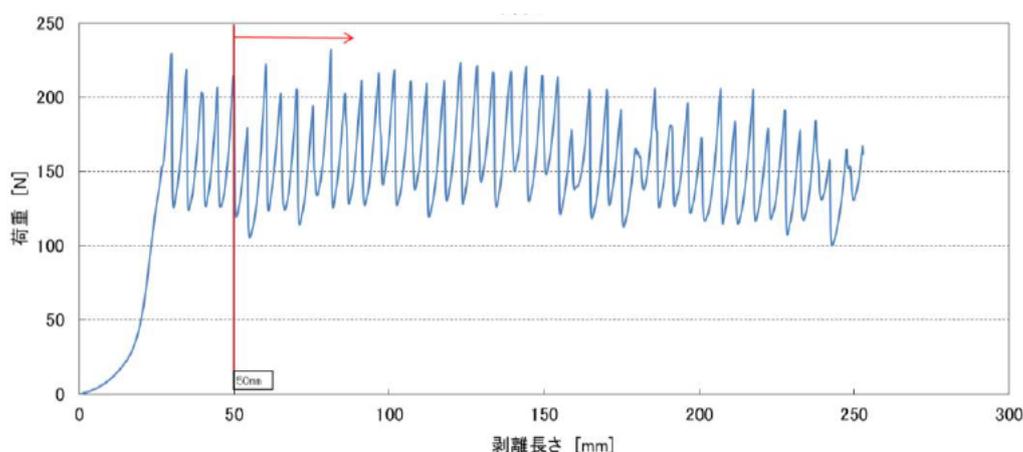


図 荷重と剥離長さの関係 一例

これらの結果より、織物 c は界面剥離強力の目標値 2N/mm を達成していることを確認した。

### 2-1-3 小口径用熱可塑性パイプの成形（芦森工業(株)大阪工場）

「小口径用熱可塑性パイプの成形」は総合評価で決定した織物 c を用いて行い、得られた  $\phi 200\text{mm}$  の繊維強化熱可塑性樹脂パイプについて各種評価を行った。

#### (1) 収縮試験

##### ① 試験方法

$\phi 200$  繊維強化熱可塑性樹脂パイプを鉄筋コンクリート 2 分割管の中で加熱拡張して断面形状を円形にした後冷却し、鉄筋コンクリート 2 分割管から取り出した繊維強化熱可塑性樹脂パイプの管軸方向寸法 L1・L2・L3 と円周方向寸法 Ld1・Ld2 の経時変化を計測し、収縮率を算出した。

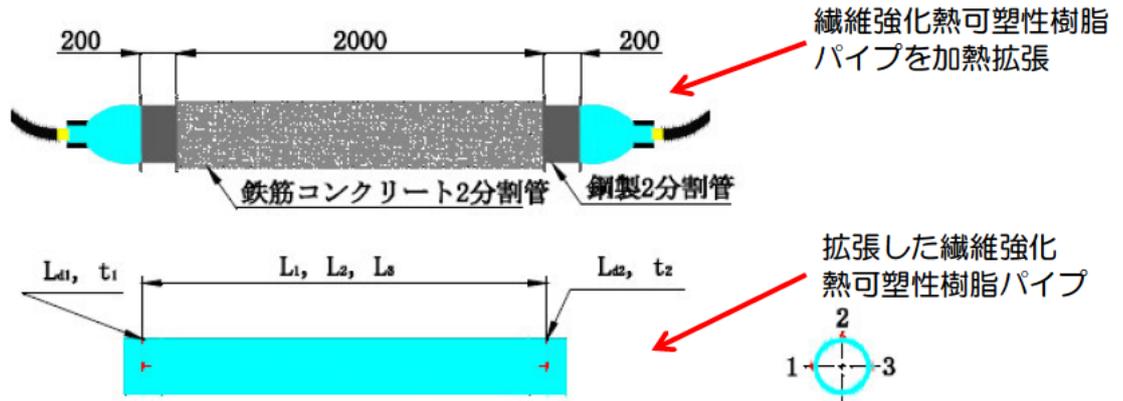


図 収縮試験の概要

管軸方向および円周方向の収縮率は、各計測値の平均値を用いて以下の計算式から算出した。

$$\text{管軸方向の収縮率} = \frac{\text{冷却直後の管軸長さ} - \text{各計測時の管軸長さ}}{\text{冷却直後の管軸長さ}}$$

$$\text{円周方向の収縮率} = \frac{\text{冷却直後の周長} - \text{各計測時の周長}}{\text{冷却直後の周長}}$$

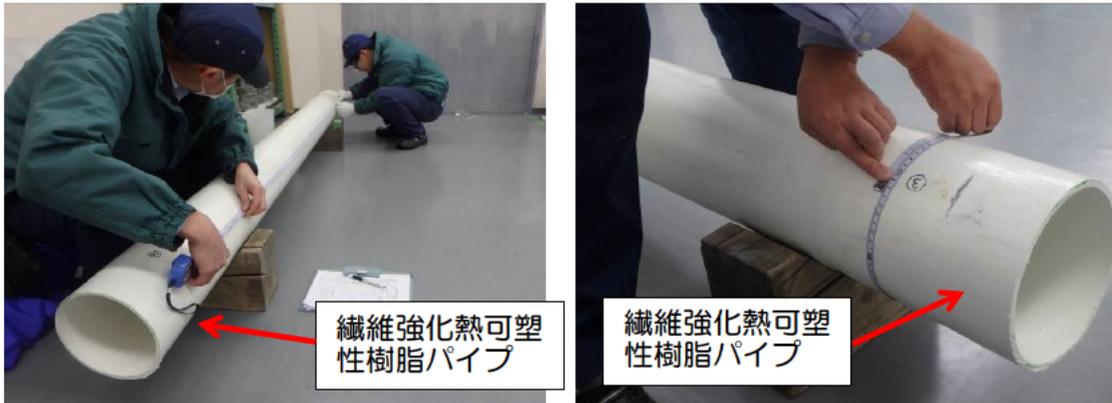
## ②試験結果

繊維強化熱可塑性樹脂パイプの管軸長さ・周長の計測結果、収縮率を次表に示す。

表 繊維強化熱可塑性樹脂パイプの管軸長さ・周長の収縮率

経過時間	管軸方向長さ [mm]			管軸方向収縮率(%)	周方向長さ [mm]		周方向収縮率(%)
	L1	L2	L3		Ld1	Ld2	
冷却直後	2198	2197	2196	—	626	625	—
30分	2198	2196	2196	0.02	626	625	0.00
1時間	2198	2196	2196	0.02	626	625	0.00
1.5時間	2198	2196	2196	0.02	626	624	0.08
2時間	2198	2196	2196	0.02	626	625	0.00
2.5時間	2198	2196	2196	0.02	626	624	0.08
3時間	2198	2196	2196	0.02	626	624	0.08
4時間	2198	2196	2196	0.02	626	624	0.08

織物cを用いた繊維強化熱可塑性樹脂パイプは管軸・周方向の収縮率が最大0.08%であり、目標値0.1%以内を達成していることを確認した。



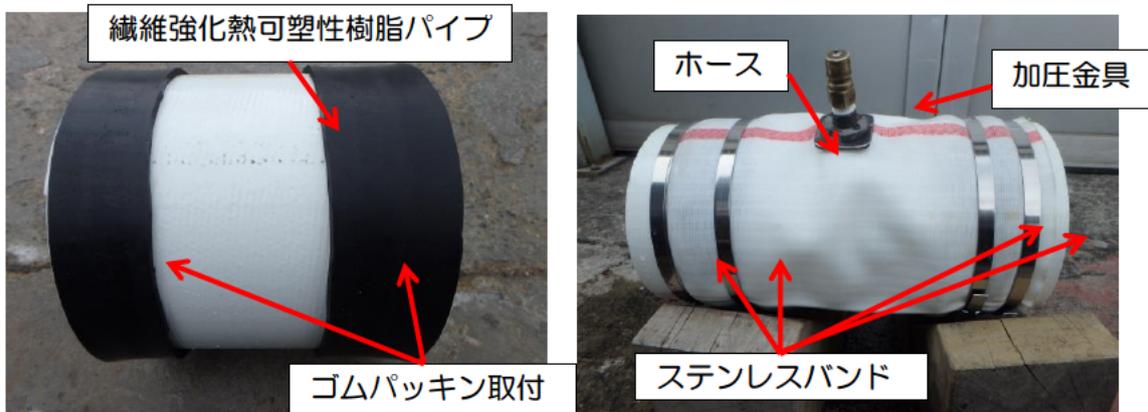
繊維強化熱可塑性樹脂パイプの管軸長さ・周長の計測状況

## (2) 水密試験

### ① 試験方法

円形にした繊維強化熱可塑性樹脂パイプの表面にゴムパッキンを取り付け、水密性のあるホースをゴムパッキンと繊維強化熱可塑性樹脂パイプ全体を覆うように被せ、ゴムパッキン取付位置にステンレスバンドを外側から巻いて固定した。

ホースに取り付けている加圧金具から、ホース内面と繊維強化熱可塑性樹脂パイプ外面の空間に水を入れ、繊維強化熱可塑性樹脂パイプの外面から 0.05MPa 以上の水圧を3分間負荷した。



ゴムパッキンの取付状況

ステンレスバンドで外側から固定

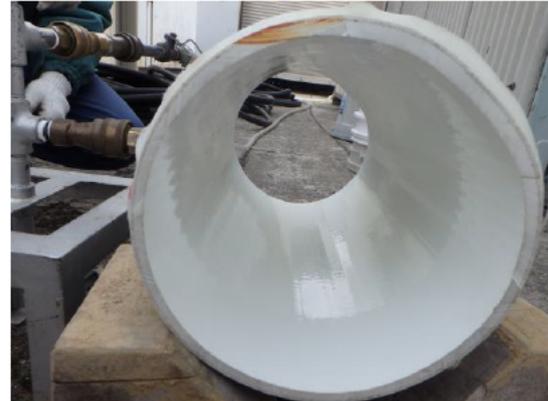
### ② 試験結果

繊維強化熱可塑性樹脂パイプの外面から 0.05MPa 以上の水圧を3分間負荷しても、繊維強化熱可塑性樹脂パイプには座屈・変形等の問題は見られなかった。



この内部空間  
に水圧を負荷

外水圧負荷状況



内面に座屈等は見られず

この結果より、繊維強化熱可塑性樹脂パイプは既設塩ビ管の埋設深さと同程度の地下水圧である0.05MPaの水圧に耐えることができ、目標値を達成していることを確認した。

#### 2-1-4 入取替の可能性の検証（芦森工業(株)大阪工場）

物cを用いた繊維強化熱可塑性樹脂パイプについて、以下のステップにより、入取替するときの軟化条件を検討した。

繊維強化熱可塑性樹脂パイプ 管軸方向の熱時引張強度を測定



過去の引込実験結果を用いて、100mの熱可塑性樹脂パイプを既設管に引き込むときの荷重を推算し、この荷重を100mの繊維強化熱可塑性樹脂パイプ引抜時の張力と推定



熱時引張強度から繊維強化熱可塑性樹脂パイプの熱時耐力を算出



繊維強化熱可塑性樹脂パイプの熱時耐力と、100mの繊維強化熱可塑性樹脂パイプを引き抜く際の張力推定値を比較し、100mの繊維強化熱可塑性樹脂パイプを入取替える場合の軟化条件を検討

##### (1) 熱時引張試験

現行の施工設備をふまえ、施工現場で繊維強化熱可塑性樹脂パイプを加熱可能な温度として80℃と100℃を設定し、これらの温度における繊維強化熱可塑性樹脂パイプの熱時引張強度を測定した

##### ① 試験方法

試験条件は23℃の引張試験と同様にJIS K6741に準じ、織物c入りの繊維強化熱可

塑性樹脂パイプを平板化して管軸方向の試験片を作製した。試験装置は島津製作所のオートグラフと、引張チャック部を収容可能な恒温槽を組み合わせ用いた。試験速度は23°Cでの試験と同じく5mm/minに設定した。



試験装置（オートグラフ、恒温槽）



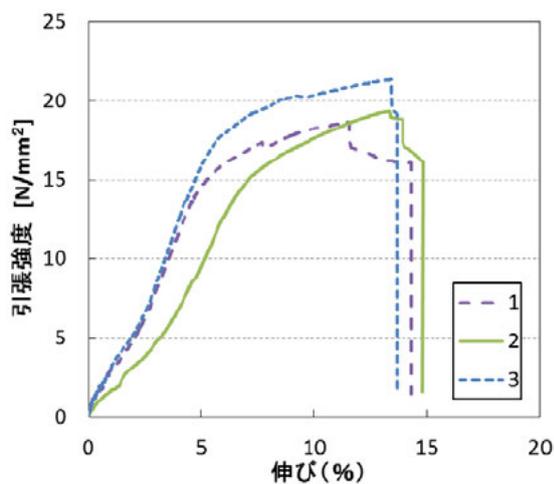
恒温槽の扉を開けた状態

②試験結果

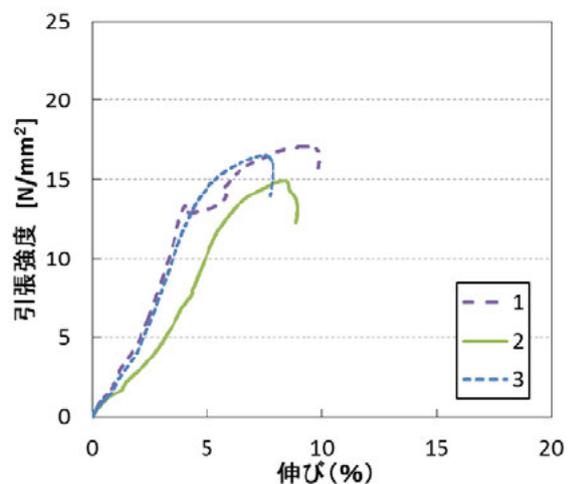
80°C、100°Cの引張強度と伸びの関係を以下に示す。

表 繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物c) 管軸方向の引張試験結果

試験片種類	試験温度	No.	厚さ [mm]	幅 [mm]	引張強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	伸び (%)
織物c入り	80°C	1	8.29	10.27	19	11.6
		2	8.51	10.26	19	13.3
		3	7.32	10.27	21	13.4
	100°C	1	7.27	10.25	17	9.2
		2	7.19	10.25	15	8.3
		3	7.43	10.29	17	7.5

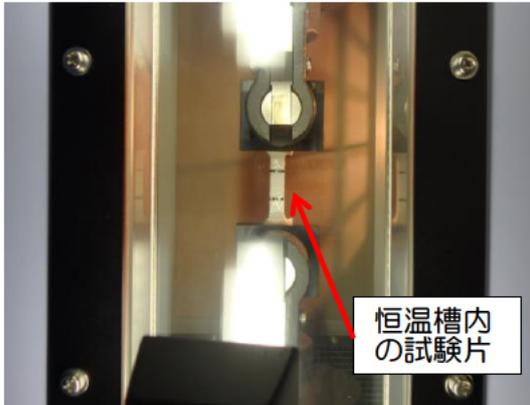


☒ 繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物c) 引張試験結果(80°C、ミツガル系配置部)

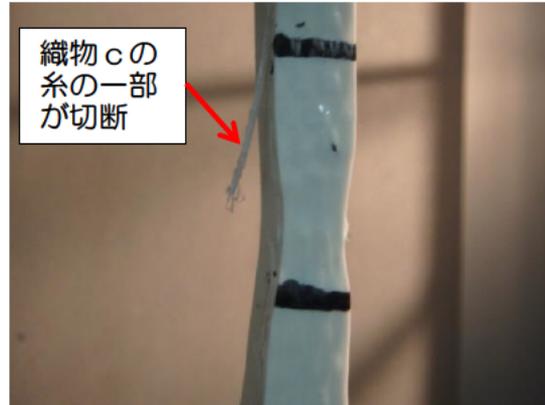


☒ 繊維強化熱可塑性樹脂パイプ(織物c) 引張試験結果(100°C、ミツガル系配置部)

80℃では、熱可塑性樹脂の降伏とほぼ同じタイミングで織物c中の糸が切れ、荷重が一気に低下して試験終了となった。試験後の試験片を確認したところ、織物cの切断箇所  
で熱可塑性樹脂がネッキングしていた。熱可塑性樹脂からの織物cの抜け出しは全く発生  
していなかった。



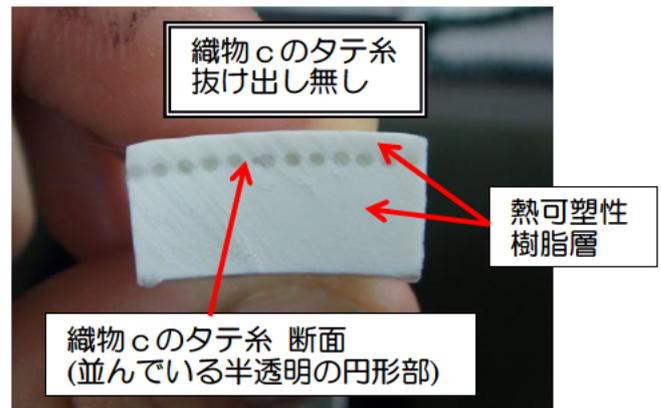
熱時引張試験の試験状況



80℃ 試験片破壊時の状況

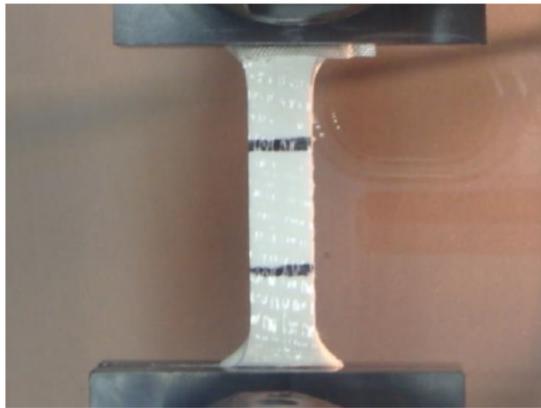


80℃試験後 破断部の状況

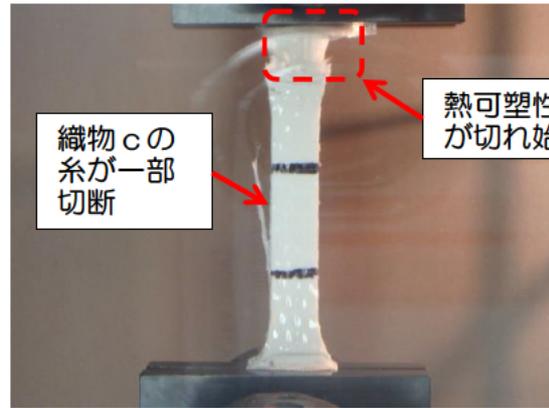


80℃試験後 試験片端部の断面

100℃では、織物cが一部切れた後に片面の熱可塑性樹脂が切れ始め、最後は織物cが熱可塑性樹脂の中から抜け始めて荷重が徐々に低下する傾向が、すべての試験片について見られた。熱可塑性樹脂が加熱によってかなり軟化しており、試験中に織物cと熱可塑性樹脂の間で少しずつずれが発生しながら織物cが伸び、最後は織物cの切断と片面の熱可塑性樹脂の切断に至ったと思われる。試験状況を以下に示す。



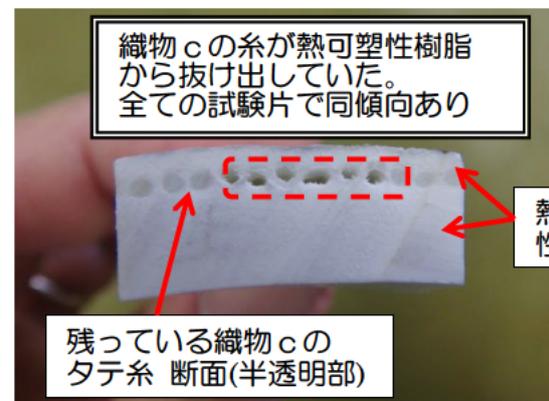
100°C 試験開始時



織物cが一部切れ、熱可塑性樹脂も切れ始める



100°C試験後 熱可塑性樹脂の切断箇所



100°C試験後 試験片端部の断面

### ③考察

100°Cでは、織物cが切れるまでに熱可塑性樹脂との間でずれが少しずつ発生していたと推測され、80°Cと異なり熱可塑性樹脂に対する織物cの補強効果が100%発揮できていないと考えられる。以上より、80°Cと100°Cでは、試験片の破壊状況が異なることが確認された。

### (2) 100m の熱可塑性樹脂パイプ 引抜時の張力推定

熱可塑性樹脂パイプを用いた過去の引込実験結果から、100m の熱可塑性樹脂パイプを引き抜く際の張力を推定した。過去の引込実験において、φ200、φ300 の模擬配管に熱可塑性樹脂パイプを引き込んだときの数m毎の引込長さ と引込荷重の関係が得られている。引込長さ と引込荷重の関係の一例を示す。

表 引込長さ と引込荷重の関係 (75°C加熱後に引込開始、引込中の加熱無し)

模擬配管の種類	引込長さ [m]	引込荷重 [kN]
φ200 1回目	16	2.4
φ200 2回目	17	3.2
φ300	60	14.0

上記の数m毎の引込長さとし引込荷重の関係をプロットして1次式で回帰分析を行い、得られた近似式から引込長さ100mのときの引込荷重をφ200、φ300について推算した。結果を以下に示す。

表 引込長さ100m時 引込荷重推算結果

模擬配管の種類	引込長さ100m時 引込荷重推算値[kN]
φ200 1回目	13.7
φ200 2回目	14.7
φ300	17.7

熱可塑性樹脂パイプを引き抜く際、引込時と同じ大きさの張力がかかると仮定し、この引込長さ100m時の引込荷重推算値を、100mの繊維強化熱可塑性樹脂パイプ引き抜き時の張力推定値として使用する。

(3) 100mの繊維強化熱可塑性樹脂パイプを入取替する場合の軟化条件

熱時引張強度から繊維強化熱可塑性樹脂パイプの熱時耐力を求め、100mの繊維強化熱可塑性樹脂パイプ引き抜き時の張力推定値と比較した。その結果を以下に示す。

表 繊維強化熱可塑性樹脂パイプの熱時耐力と100m引抜時の張力推定値の比較結果

加熱温度	パイプ種類	熱時耐力 [kN]	100m引抜時の張力推定値[kN]	熱時耐力と100m引抜時張力推定値の比較	安全率
80℃	φ200	80.1	14.2	熱時耐力の方が大きい	5.6
	φ300	174.2	17.7	熱時耐力の方が大きい	9.8
100℃	φ200	66.3	14.2	熱時耐力の方が大きい	4.7
	φ300	144.1	17.7	熱時耐力の方が大きい	8.1

※熱時耐力は、熱時引張強度の平均値と繊維強化熱可塑性樹脂パイプと類似の下水道用管更生材の設計厚さ最小値を用いて計算

φ200の100m引抜時張力推定値は過去実験の1回目と2回目の平均値を使用

繊維強化熱可塑性樹脂パイプの熱時耐力は、100℃であっても100m引抜時の張力推定値よりも十分に高い値となっており、入取替が可能であることを確認した。しかし、熱時引張試験での試験片の破壊状況から、100℃では張力が作用している間に熱可塑性樹脂と織物cの間ですれが少しずつ発生する可能性があることから、100mの繊維強化熱可塑性パイプを入取替える場合の軟化条件は80℃とする。

## 2-2 構造ヘルスマニタリング機能を有する新規管更生材料の開発

### 2-2-1 樹脂拡散機能を有する強化基材の製編

ノンクリンプファブリックは、繊維を直線的に配向しポリエステル繊維等の有機繊維のステッチによって固定された構造の強化基材である。本研究では、ノンクリンプファブリックを用いて、パラメータを変化させ、成形性を評価した。

#### (1) ノンクリンプファブリックの作製



たて編み機

	品番	Photo
0°	RSE 110QL -521	
90°	RSE 110QL -521	
マット	MCE 300 -104	

使用原材料

No.	品番
①	NF-WA24 WE60 CN
②	NF-WA24 WE60 NM45 CN
③	NF-WA24 WE60 TR
④	NF-WA24 WE30 CN
⑤	NF-WA24 WE38 CN
⑥	NF-WA24 WE47 CN
⑦	NF-WA24 WE66 CN

No.	ステッチ組織	たて			よこ			マット	TOTAL
		番手 (TEX)	密度 (本/IN)	質量 (g/m <sup>2</sup> )	番手 (TEX)	密度 (本/IN)	質量 (g/m <sup>2</sup> )	質量 (g/m <sup>2</sup> )	質量 (g/m <sup>2</sup> )
①	コンビネーション	1200	5.0	240	2400	6.3	600	無	840
②	コンビネーション	1200	5.0	240	2400	6.3	600	450	1290
③	トリコット	1200	5.0	240	2400	6.3	600	無	840
④	コンビネーション	1200	5.0	240	1200	6.3	300	無	540
⑤	コンビネーション	1200	5.0	240	1200	8.0	380	無	620
⑥	コンビネーション	1200	5.0	240	1200	10.0	470	無	710
⑦	コンビネーション	1200	5.0	240	1200	14.0	660	無	900

ノンクリンプファブリックの種類



トリコット組織



コンビネーション組織

## (1) 含浸実験

### 1) ノンクリンプファブリック

- ① PET コンビネーション (1200d/2400d、マット無し)
- ② PET コンビネーション (1200d/2400d、マット有り(450g/m<sup>2</sup>))
- ③ PET トリコット (1200d/2400d、マット無し)
- ④ PET コンビネーション (1200d/1200d、マット無し、打ち込み 6.3 回)
- ⑤ PET コンビネーション (1200d/1200d、マット無し、打ち込み 8.0 回)
- ⑥ PET コンビネーション (1200d/1200d、マット無し、打ち込み 10.0 回)
- ⑦ PET コンビネーション (1200d/1200d、マット無し、打ち込み 12.0 回)

### 2) チューブ

折り幅：323mm

### 3) 含浸基材

638mm 幅に切断したノンクリンプファブリックを4つ折りにして、端部を縫製して筒状にする。筒状にした基材の外側にプラスチックチューブを被せて含浸基材とする。図1に示すように含浸基材にマーキングし、樹脂含浸の目印とした。含浸基材を図2に示す。

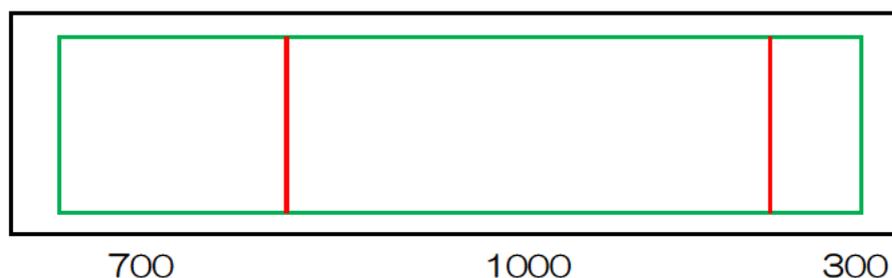


図1. 含浸基材



図2. 含浸基材

### 4) 含浸実験

図3のように含浸基材に樹脂を注入し、樹脂を基材に含浸した(図4)。マーキング箇所が含浸する時間を求めた。



図 3. 樹脂注入



(2) 結果

(1) 含浸性

含浸実験結果を 1 表と図 5 にまとめた。

- ・ 綴じ方の違いについてはコンビネーションの方が良い結果となった。
- ・ マットの有無については、含浸基材の厚みの差があるために単純に比較できないが、マットのある方が含浸性は悪い結果となった。
- ・ 打ち込みの違いについては、打ち込み本数が増えるに連れて、直線的に含浸時間が長くなっていった。
- ・ 成形後の平板を観察したところ、④と⑤が最も含浸性がよさそうであった。

表 1 含浸結果

番号	含浸時間(mi n)
①	3'33"
②	6'33"
③	5'47"
④	4'20"
⑤	6'19"
⑥	6'58"
⑦	8'34"

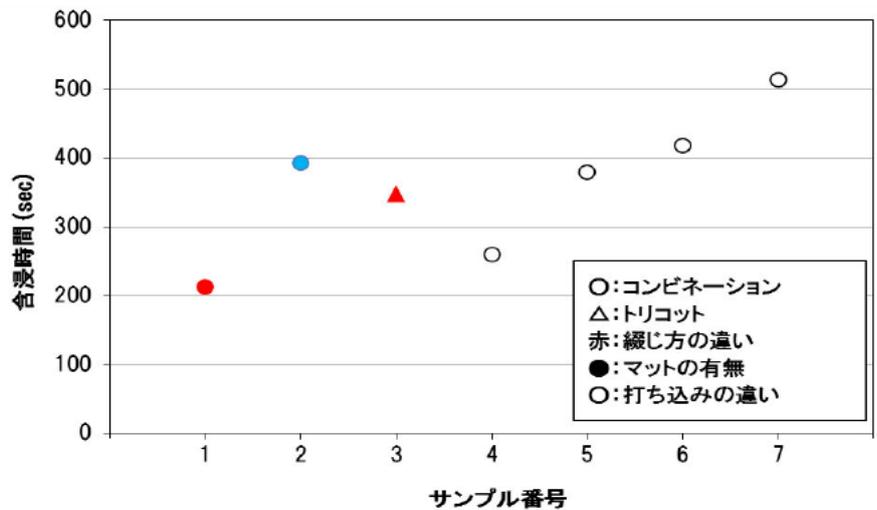


図 5. 含浸実験結果



図 6. 含浸基材 1



図 7. 含浸基材 2



図 8. 含浸基材 3

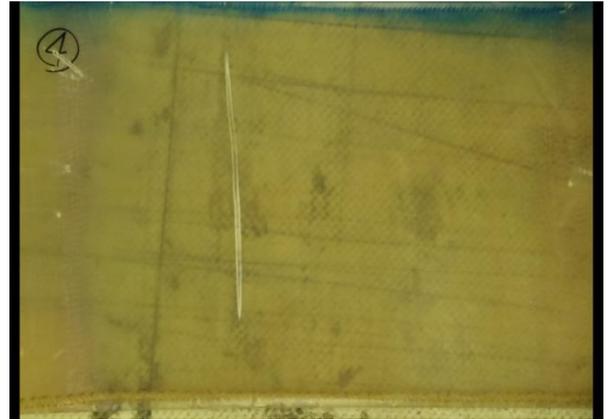


図 9. 含浸基材 4



図 10. 含浸基材 5



図 11. 含浸基材 6



図 12. 含浸基材 7

## (2) 曲げ特性

含浸性試験で使用した基材を用いて平板を成形した。その平板の曲げ試験を実施した。試験結果を表 2 と図 13 に、試験結果のまとめを図 14 に示す。

表2 曲げ試験結果

サンプル名	No.	厚さh (mm)	幅b (mm)	曲げ弾性率	曲げ強さ
No.1	1	3.71	15.14	12019	213
	2	3.46	15.19	15243	240
	3	3.93	14.97	12916	221
	4	4.05	14.56	16024	410
	5				
	6				
	7	4.34	15.13	15254	238
	8	4.21	15.19	15342	245
	9	3.91	14.94	12681	228
	10	4.11	15.04	19036	414
No.2	1	7.11	15.34	15937	437
	2	7.00	15.41	16334	447
	3	6.81	15.41	14453	387
	4	6.70	15.41	16470	471
	5	6.67	15.38	17881	436
	6	6.97	15.35	15024	436
	7	7.04	15.36	14988	414
	8	6.94	15.41	14295	453
	9	6.77	15.42	15432	456
	10	6.64	15.38	16692	476
No.3	1	5.96	15.34	8866	369
	2	5.69	15.41	9812	423
	3	5.40	15.41	10220	426
	4	5.12	15.36	11373	444
	5	4.97	15.46	12212	447
	6	5.77	15.37	9592	381
	7	5.56	15.31	10221	414
	8	5.29	15.43	10397	424
	9	5.16	15.42	11405	431
	10	5.00	15.42	13904	452
No.4	1	2.77	14.97	8309	496
	2	2.55	15.64	8487	441
	3	2.59	15.40	7471	504
	4	2.60	15.39	8811	286
	5	2.57	15.30	9133	477
	6				
	7	2.50	15.36	7944	197
	8	2.54	15.34	9135	223
	9	2.68	15.36	10898	380
	10	2.61	15.42	9163	541
No.5	1	3.54	10.42	13554	547
	2	3.46	10.39	14847	585
	3	3.45	10.39	15556	586
	4	3.46	10.36	16458	617
	5	3.49	10.39	16545	584
	6	3.30	10.40	15663	597
	7	3.26	10.39	17055	588
	8	3.23	10.36	18585	612
	9	3.20	10.39	16330	595
	10	3.19	10.35	16343	578
No.6	1	3.04	10.52	19766	612
	2	2.96	10.35	21305	625
	3	2.90	10.44	21297	633
	4	2.86	10.42	23153	655
	5	2.83	10.43	22757	691
	6	2.95	10.10	23080	756
	7	2.93	10.43	22733	686
	8	2.86	10.43	21958	742
	9	2.83	10.43	22881	819
	10	2.80	10.46	23601	856
No.7	1	4.09	10.51	19330	454
	2	4.04	10.28	19596	472
	3	3.94	10.29	18090	456
	4	3.86	10.23	20438	493
	5	3.86	10.29	17031	513
	6	4.09	10.10	20796	620
	7	4.11	10.26	20938	655
	8	4.08	10.27	19822	621
	9	4.02	10.25	20284	684
	10	3.93	10.26	20658	668

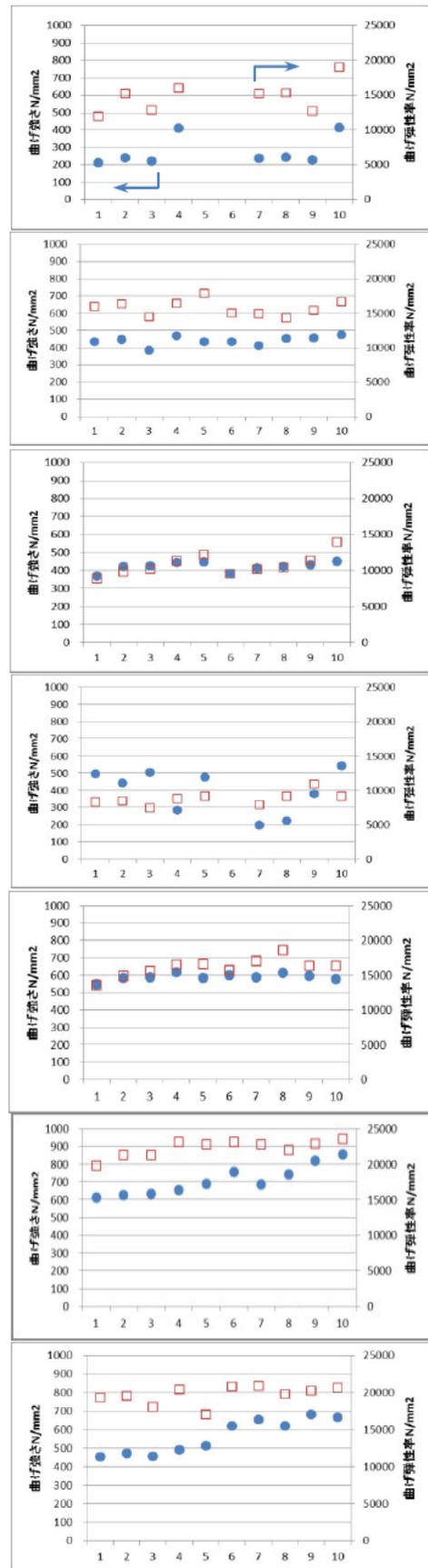


図 13.曲げ試験データ

No.1 は成形時にプレス機のクリアランス設定が不適切であったため、曲げサンプル厚みと同じくらいの樹脂リッチ部分ができている。樹脂層は磨いて処理した。また、樹脂含浸時に繊維が樹脂内で浮いた状態となり、平板成形時には配向が斜めとなったため、正確な強度が出ていないため、トリコットとコンビネーションの違いによる強度比較はわからない。打込み回数が増えるにつれ（No.4→6）、曲げ特性も高くなる傾向を示した。しかし、最も打ち込みの多いNo.7については曲げ特性がNo.6よりも低い値を示した。これは、繊維への樹脂含浸性が悪かったことが懸念される。

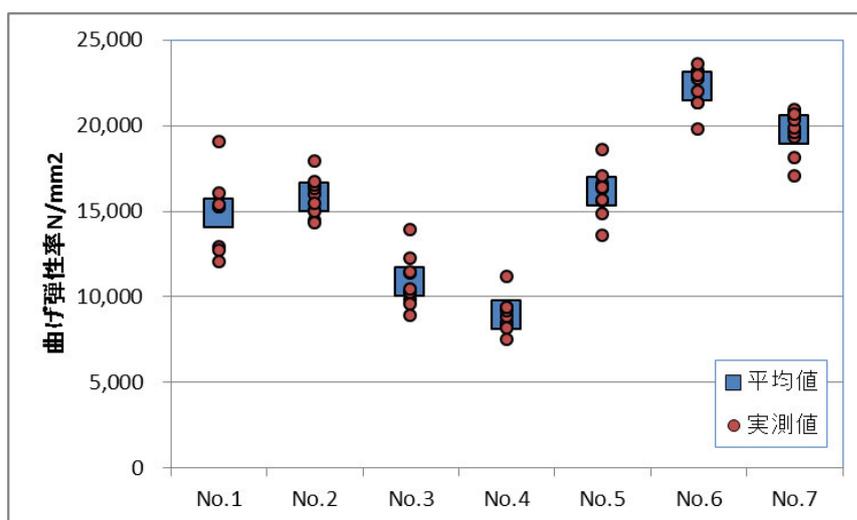


図 14.曲げ弾性率測定結果

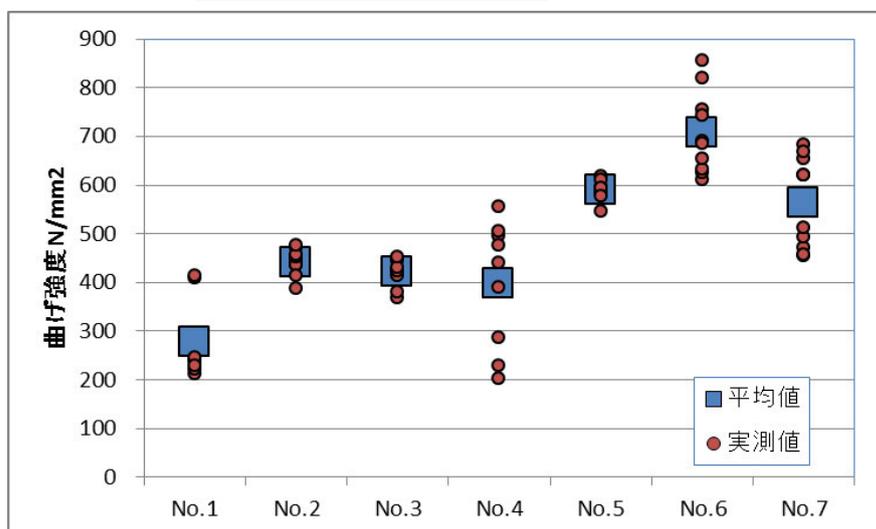


図 15.曲げ強度測定結果

### (3) 考察

含浸性と強度特性の両面から考えると、No.1、5が良さそうである。今後は厚みも必要となるため、積層構造も考慮して材料を選定する。

## 2-2-2 力学的特性の観点からのたて編物設計

## 2-2-3 センサを挿入した強化基材製編技術の確立

製編後の反末の処理における光ファイバの取り扱いとしては、一度切断する必要があることも分かった。そこで、切断した光ファイバセンサを再接合させても測定に使用可能であるかどうかを確認する試験を行った。光ファイバのコネクタから約 12m の位置でファイバを切断し、光ファイバ融着装置を用いて再接続を行った。その後、再接続部から端末側に 40℃ほどの熱を加えて、温度分布測定を行った。図 2-3-1 に、横軸をファイバ長さ位置、縦軸をひずみ値（単位は  $1 \times 10^{-6}$ ）としてその結果を示す。測定されたひずみ値  $200 \times 10^{-6}$  は温度差 20℃に相当し、再接続後も正しく測定出来ていることが分かる。さらに、反末処理で光ファイバを切断しても、再接続処理により計測に用いることができることを示した。

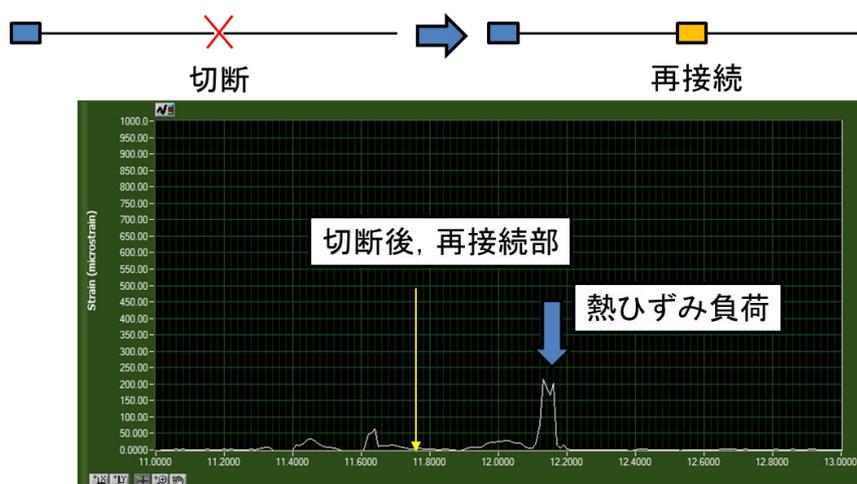


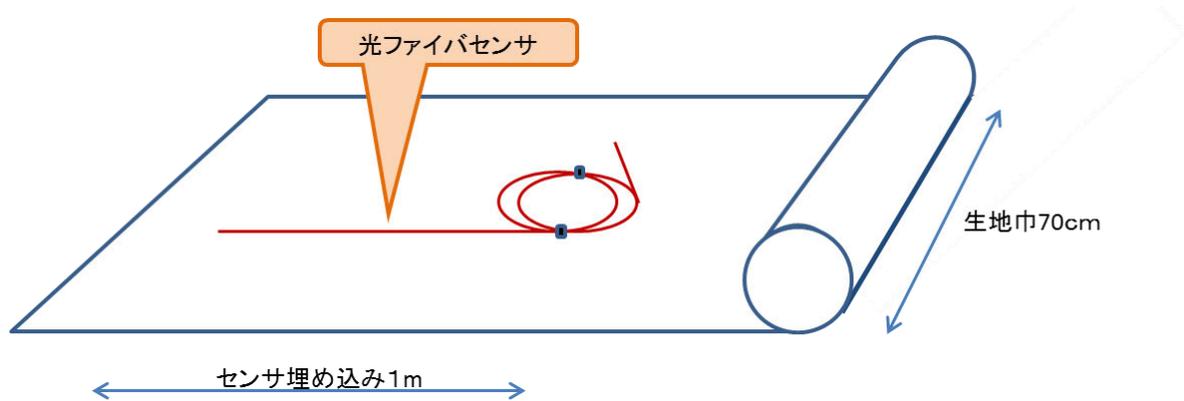
図 2-3-1 切断後の光ファイバセンサの熱負荷によるひずみ（温度）分布測定結果

たて編機を用いて、測定用光ファイバセンサを挿入したノンクリンプファブリックを製作した。

### ①光ファイバセンサ



## ② ノンクリンプファブリックのサイズと光ファイバセンサの位置



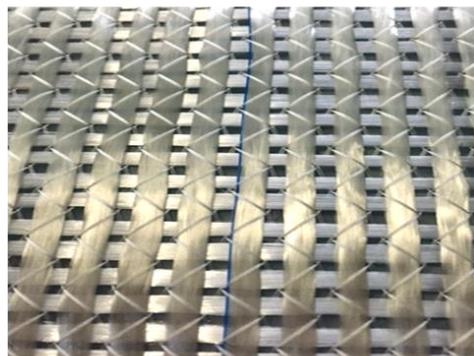
## ③ 編製



① センサの長さを2m測定し先端をカット



② 機械前面部より、センサを1m挿入



② 光ファイバセンサが挿入された  
ノンクリンプファブリック

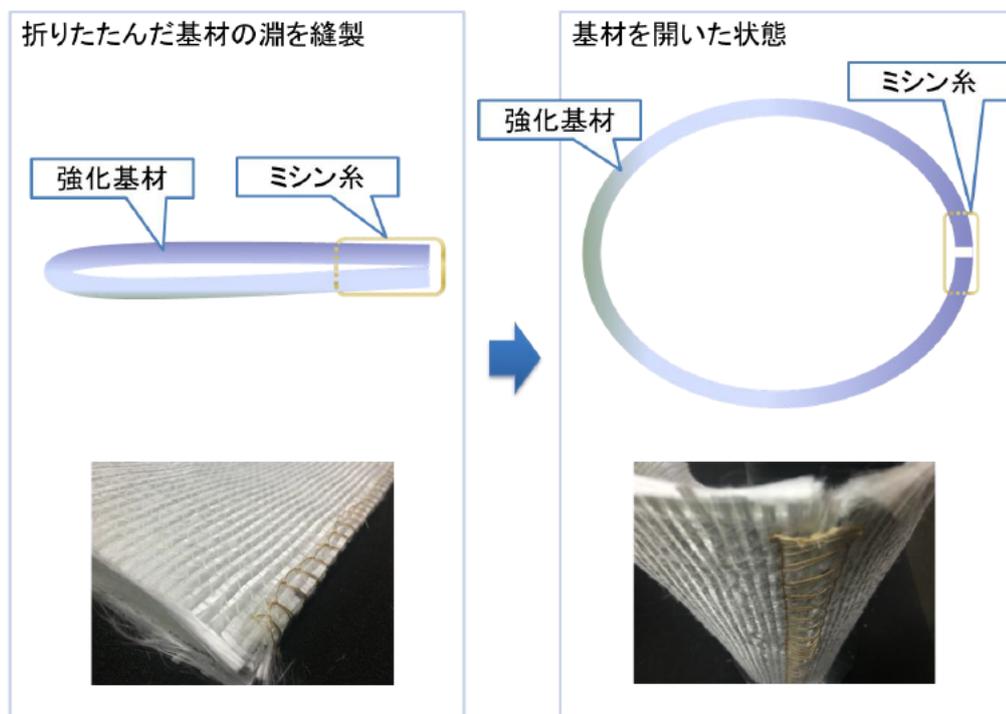
たて編物技術を用いて強化基材のノンクリンプファブリック（NCF）中に光ファイバを挿入する手法を用いて、測定用光ファイバを管更生用NCFに自動で編み込むことができた。

④縫製.

③で作製した強化基材を折りたたみ、その淵をオーバーロックミシンで縫製した。ミシン糸はアラミド繊維を使用した。

品番	番手	規格	引張り張力 (kg/f)	伸び率 (%)	引掛強力 (kgf)	沸水収縮率 (%)	乾熱収縮率 (%)
テクノーラ ESF0410	10	400D/1×2	20.59	5.7	14.05	0.1	0.0

ミシン糸の仕様



オーバーロックミシンによる筒状縫製の状況



縫製の様子

## 2-2-4 構造ヘルスマニタリング機能を有する新規管更生材料の開発

### (1) 更生材の製作

#### ①光ファイバーセンサー入りガラス基材

平成 27 年度の結果より、樹脂の含浸性と強度特性の双方を考慮し、NCF ガラス基材としては PET コンビネーション（1200d/2400d、マットなし）を選定した。ヒロベ産業で光ファイバーセンサーを挿入した基材を製作した。口径 200mm のパイプを成形するため、ガラス基材の幅は 700mm とした。



図 ガラス基材



図 光ファイバーセンサー

#### ②ガラス基材、不織布の積層

光ファイバーセンサー入りガラス基材を最外層とし、光ファイバーセンサーの入っていないガラス基材(1ply)、厚み 3mm の不織布、光ファイバーセンサーの入っていないガラス基材(2ply)を積層し、内面にホースを挿入した状態で筒状にする。



図 筒状に加工

#### ③筒状にした基材の外側にチューブを被せて基材を完成させる。



図 更生基材完成

(2) 樹脂含浸

③樹脂含浸位置をマーキングし、更生材の内部に樹脂を注入する。

④ローラーで樹脂を基材に含浸する。樹脂の含浸状態と光ファイバーセンサーの状態を示す。



図 含浸後の更生材

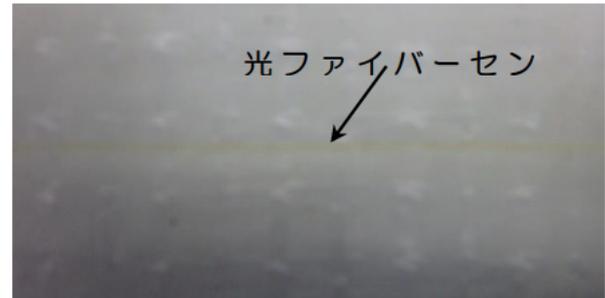


図 光ファイバーセンサーの状態

(3) パイプ成形

①樹脂含浸した更生材を  $\phi 200$  の管内に挿入し、更生材の両端部に金具を取り付ける。



図 基材を管内に挿入

①空気と蒸気を更生材の中に注入して更生材を拡張し、管にフィットしたら蒸気で更生材を硬化させる。



図 更生基材の加熱硬化状況

②硬化後に型枠を外して、内面の更生管を取り出す。光ファイバーセンサーはまっすぐにパイプに挿入されていた。



図 成形後の更生管

光ファイバーセンサー

#### (4) ひずみ測定

①パイプの底部（光ファイバーセンサーの入っている位置）にひずみゲージを貼る。  
貼る位置は管の長さに対して中央部と端部（3点曲げ試験の支持台近傍）、その中間の3箇所とする。

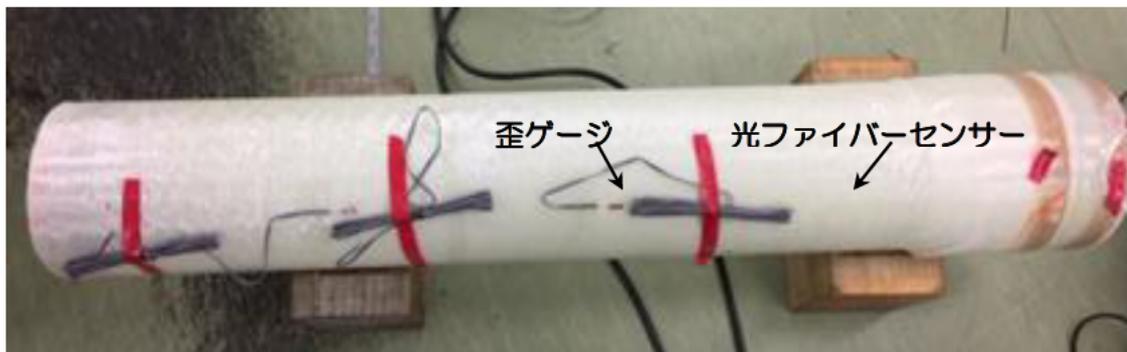


図 更生管に貼りつけた歪ゲージ

②パイプの3点曲げ試験を行う。

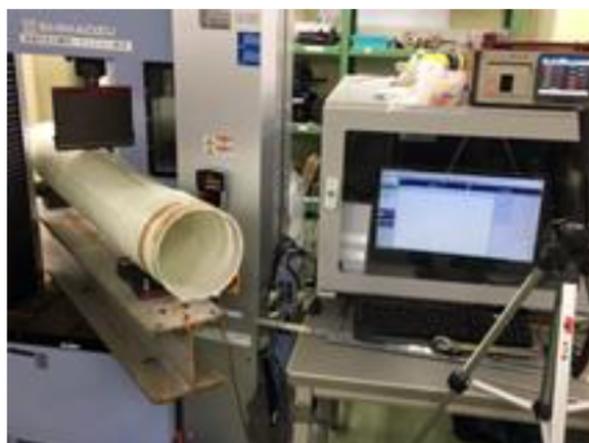


図 パイプの3点曲げ試験状況

③曲げ試験で得られた荷重-変位線図、荷重-ひずみ線図を下図に示す。変位の増加に伴い、荷重もほぼ直線的に増加していた。また、ひずみの増加に伴い、荷重は直線的に増加傾向を示した。

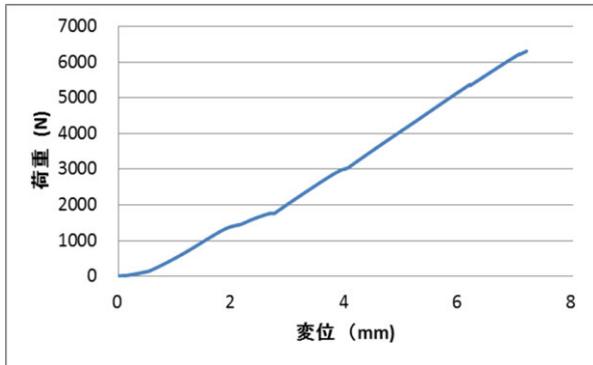


図 荷重-変位線図

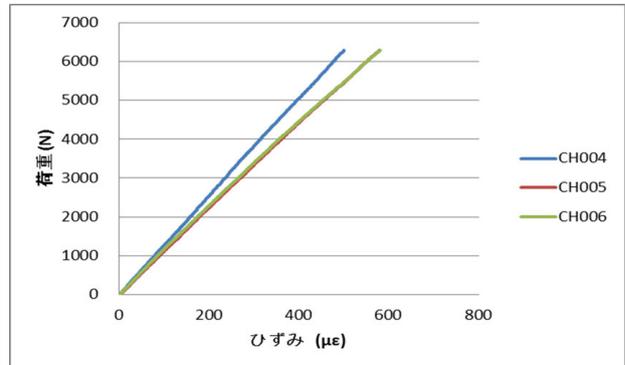


図 荷重-ひずみ線図

【平成 26 年度】

平成 26 年度には、基礎技術として、光ファイバセンサを貼り付けた更生管のひずみ分布測定技術の開発を行った。ひずみ分布の測定には、光ファイバ式分布型ひずみ測定システム (ODiSI) を導入した。図 2-4-1 に試験体の寸法およびセンサ貼り付け位置を示す。直径 200mm、厚み 6mm、全長 1.4m の GFRP 更生管 (芦森工業 (株) 製) を試験体とした。

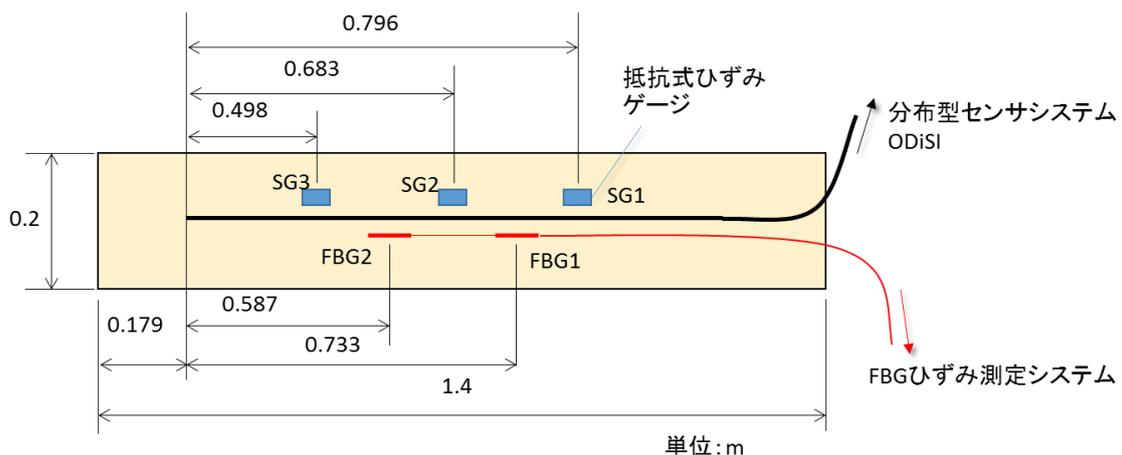


図 2-4-1 GFRP 更生管試験体寸法とセンサ貼り付け位置

ポリイミド被覆の光ファイバを分布型センサとして、更生管の長手方向表面に瞬間接着剤で埋め込んだ。センサの測定長は 1m、測定間隔は 1cm である。また比較のために、

FBG（ファイバー・ブラッグ・グレーティング）センサと電気抵抗式ひずみゲージも光ファイバセンサに沿って数か所に瞬間接着剤で貼り付けた。図中のFBG1,FBG2が2つのFBGセンサを、SG1,SG2,SG3が3つのひずみゲージを示す。

試験体を、コンクリートブロックで構成したスパン 1.2m の支点上に載せ、人載ることによって静荷重を与えた。本試験で重要なのはひずみ値の比較であり、荷重は測定していない。約 20~30 秒間負荷を与え、その後除荷するプロセスを 6 回繰り返した。なお、負荷する位置は 1, 2, 3, 4, 5, 6 回目についてそれぞれひずみゲージの貼り付け位置（SG2, SG1, SG3, SG2, SG1, SG3）付近とした。

図 2-4-2 は、FBG 貼り付け位置における分布型センサによる測定ひずみと FBG による測定ひずみの比較を示したものである。横軸は測定開始時からの経過時間を、縦軸はひずみ値を示している。図中の○で示したデータが分布センサによる測定結果であり、曲線で示したデータが FBG による測定結果である。また、青色・オレンジ色はそれぞれ FBG1、FBG2 の位置における測定結果を示している。図から分かるように、75 秒、145 秒、190 秒、220 秒、260 秒、300 秒においてひずみが大きく増加しているが、これは合計 6 回の負荷によるためである。分布型センサ、FBG センサのどちらの結果についても同じタイミングでひずみが増減しており、今回の試験の測定周期の 2.4 秒以内では時間的な遅れは見られないことが分かる。

測定ひずみの値をみると、3 回目の測定では FBG1,FBG2 のどちらの位置でも分布型センサと FBG センサの結果が非常によく一致している。他の回の測定では、FBG2 の位置についてはよく一致しているが、FBG1 の位置については 4 回目以降に分布型センサと FBG センサの結果に最大  $30 \times 10^{-6}$  程度の差が見られた。FBG1 の位置で精度が落ちた理由としては、位置 FBG1 における除荷時の分布型センサの値（青い○）の値が時間の経過とともに 0 からずれが生じ、340 秒後には  $-15 \times 10^{-6}$  となっていることから、FBG1 の位置の分布型センサを貼り付けた接着剤の一部が塑性変形を起こしたのではないかとと思われる。試験を通して、除荷時を除いて負荷した平均ひずみは  $95 \times 10^{-6}$ 、分布型センサと FBG センサの測定ひずみの差は最大で  $30 \times 10^{-6}$  以下、そして平均のひずみ差は  $8.3 \times 10^{-6}$  となった。よって、本試験で得られた、貼り付けた分布型センサによる更生管の分布ひずみ測定精度は 8.7% となることが分かった。この測定誤差は、平成 26 年度の目標である、「光ファイバを更生管に貼り付けて、10%以内の誤差でのひずみ分布測定」を達成している。

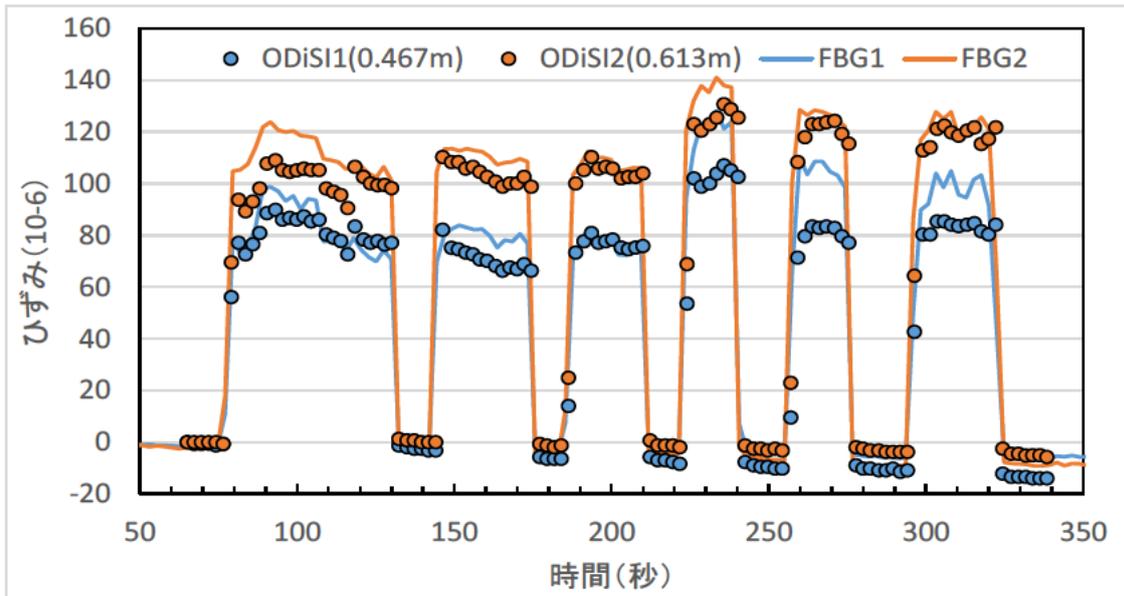
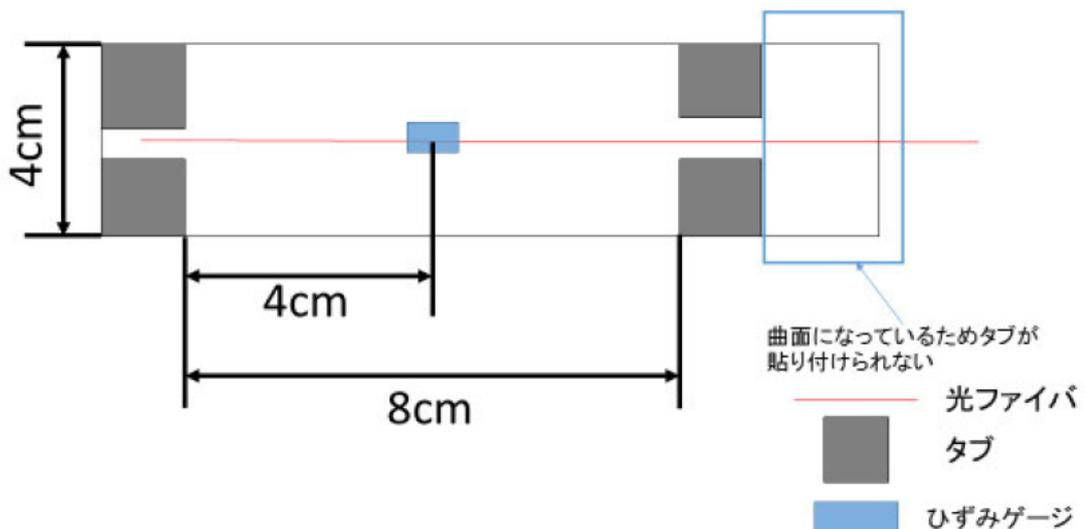


図 2-4-2 FBG 貼り付け位置における分布型センサによる測定ひずみと FBG による測定ひずみの比較

【平成 27 年度】

平成 27 年度では、光ファイバセンサを埋め込んだ NCF 平板を成形し、図 2-4-3 に示す形状に切り出してタブとひずみゲージを貼り付けて、光ファイバセンサとひずみゲージでひずみを測定しながら引張試験を行った。2kN まで荷重を上げて保持し、その後、1.5kN、1kN、0.5kN と荷重を下げていき、それぞれの地点で 20 秒ほど荷重を保持した。



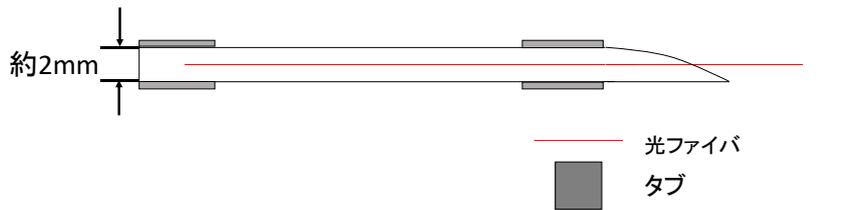


図 2-4-3 光ファイバセンサを埋め込んだ NCF 試験片形状

ひずみ測定試験の結果を図 2-4-4 に示す。横軸は試験時間、縦軸は光ファイバセンサとひずみゲージで取得したひずみである。試験結果より、光ファイバセンサで取得したひずみ値は、ひずみゲージで測定したひずみ値に非常によく一致することが分かった。具体的には  $500 \times 10^{-6}$  に対して  $10 \times 10^{-6}$  程度の誤差であり、本年度の目標である、「高度化目標及び技術的目標値である引張ひずみを 10%以内の誤差で検知」を十分に達成している。

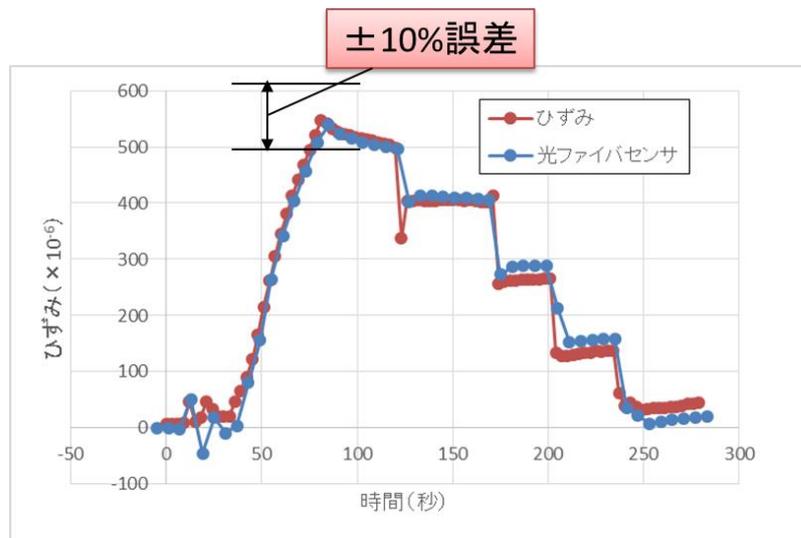


図 2-4-4 光ファイバセンサを埋め込んだ NCF 試験片形状

【平成 28 年度】

測定用光ファイバが編み込まれた管更生用基材に樹脂を含浸させて、ひずみ分布測定機能を有する更生管を成形し、三点曲げ試験を行った。

図 2-4-5 に、三点曲げ試験の概略図を示す。成形された GFRP 更生管から出ている光ファイバには、自動編み込み時に一旦切断しているために、コネクタが付いていない。そこで、試験前に融着によりコネクタ付き光ファイバとの接続を行った。接続後にセンサの健全

性を検証し、ひずみ測定機能に問題がないことを確認した後に試験を行った。三点曲げ試験では、まず5kNまで負荷を行い、いったん除荷をし、再び測定限界まで再負荷を行った。

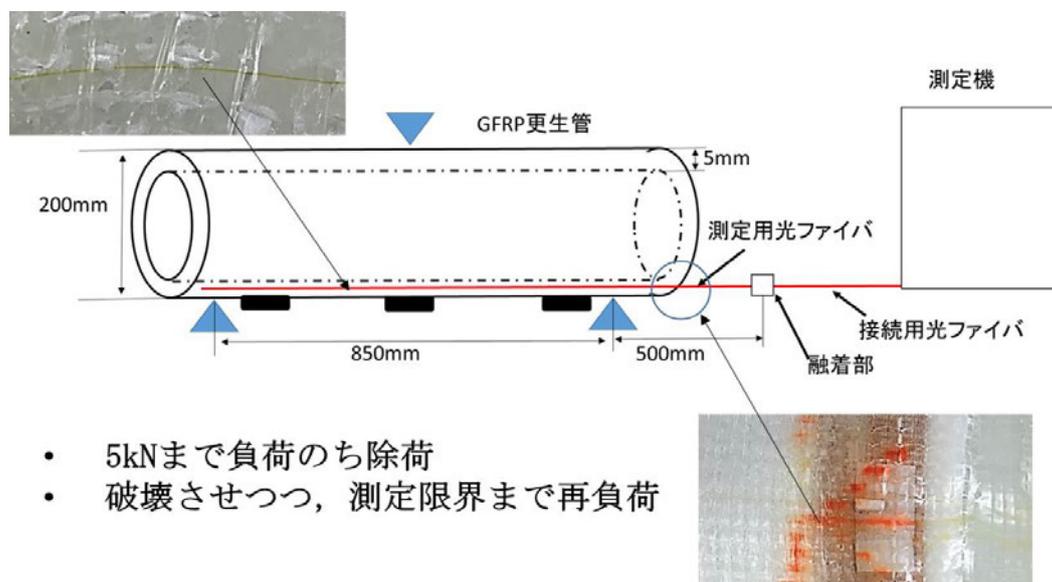


図 2-4-5 三点曲げ試験の概略

図 2-4-6 に、0kN から 5kN まで負荷したときの、光ファイバセンサ（中央部）とひずみゲージから取得したひずみと負荷荷重の関係（荷重—ひずみ曲線）を示す。光ファイバセンサとひずみゲージの測定値は非常によく一致しており、初期ひずみのずれを除くと互いの差は  $20\mu$  以下であり、非常に高い精度でひずみ測定ができていることが分かる。

図 2-4-7 に、0kN から試験終了（測定限界）まで最負荷したときの荷重—ひずみ曲線を、光ファイバセンサ（中央部）とひずみゲージから取得したひずみの両方について示す。図より、光ファイバセンサとひずみゲージの測定値が、負荷 14.5kN までは非常によく一致していることが分かる。負荷 14.5kN 以降は光ファイバセンサとひずみゲージの測定値に差がみられるが、これは表層に張り付けたひずみゲージの接着部に損傷が生じたためであると考えられる。荷重—ひずみ曲線は、大きな非線形挙動を示した。負荷 11kN において支持点での滑りや圧子付近の部分的な座屈によるひずみの減少を示し、さらに負荷 14.5kN において圧子付近の全面的な座屈による荷重一定（プラトー）領域を示した。それ以降は大きな曲げ変形を伴いながら、変形が進むことが分かった。このように更生管が、部分的な座屈損傷を生じながら大変形を起こすような場合でも、測定限界まで埋め込まれた光ファイバセンサによって、ひずみの高精度測定が可能であることを示すことができた。「引張ひずみを 10%以内の誤差で検知」という目標値は、グラフから十分に達成されていることが分かる。

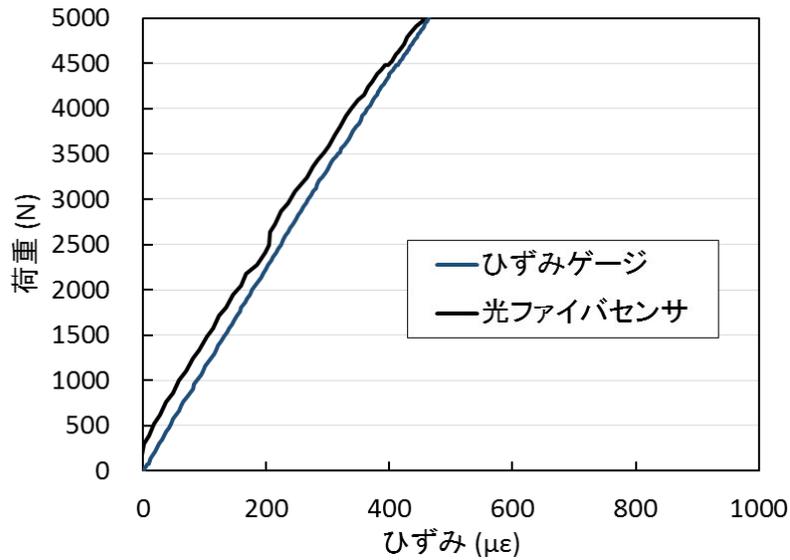


図 2-4-6 荷重—ひずみ曲線 (0 ⇒ 5kN 負荷)

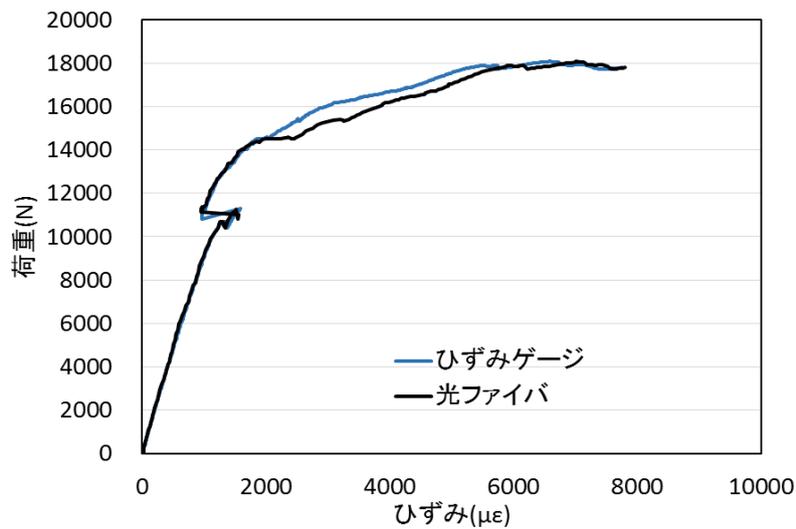


図 2-4-7 荷重—ひずみ曲線 (0 ⇒ 試験終了まで再負荷)

さらに、測定したひずみ分布を精査することによって、非常に興味深い結果が得られている。図 2-4-8 に、0kN から 5kN まで負荷したときの、光ファイバセンサによって測定したひずみ分布を示す。この分布で興味深いところは、位置 1.5m および 2.35m (図中の赤丸) において、圧縮ひずみが表れていることである。この位置は支持点直下に相当し、支持点における更生管円筒の断面形状の局所変形によって、曲率が逆転することを意味している。つまり、本手法によって局所的な変形を捉えることができることが示されたと言える。次に、図 2-4-9 に、0kN から試験終了まで最負荷したときの、光ファイバセ

ンサによって測定したひずみ分布を示す。無負荷状態において支持点直下には圧縮ひずみが残留していた。これは、支持点直下では5kNまでの1回目の負荷で損傷が生じたことを意味している。再負荷を続けると、1.7m付近において大きなひずみの変動がみられるようになった。これは、光ファイバセンサが埋め込まれた層の付近で損傷が生じ、局所的なひずみ分布が表れたことを示している。このように、光ファイバセンサはひずみを高精度に測定するだけでなく、ひずみ分布から支持点付近の特徴的な変形や、損傷を起因とする局所的なひずみ分布などの多くの情報を得ることができる。得られたひずみ分布と損傷形態との関係を明らかにすることにより、損傷形態の同定も可能になるだろう。

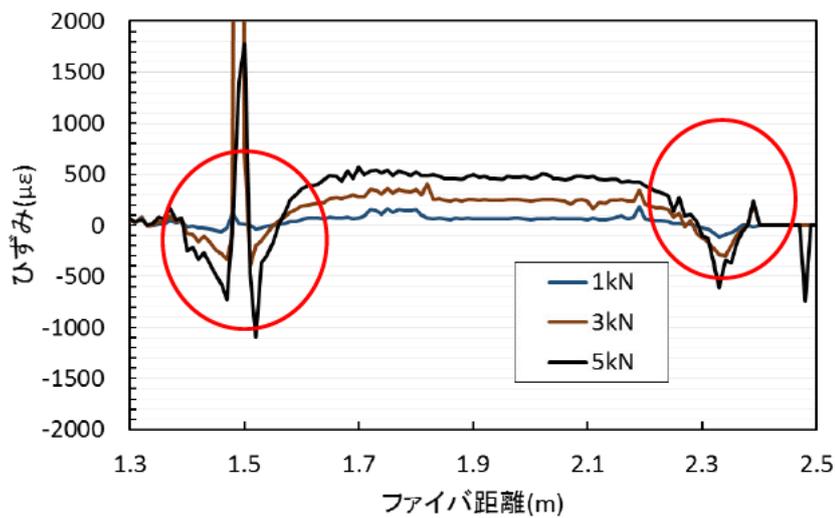


図 2-4-8 ひずみ分布 (0 ⇒ 5kN 負荷)

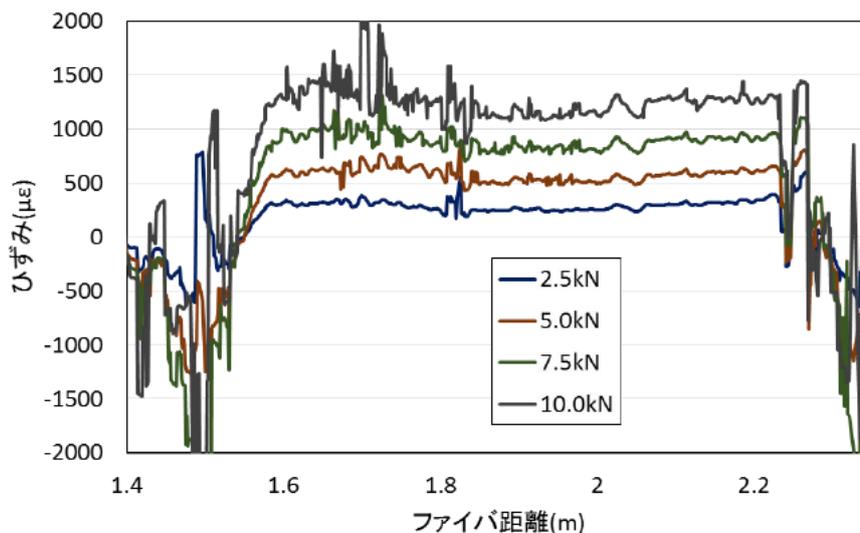


図 2-4-9 ひずみ分布 (0 ⇒ 試験終了まで再負荷)

## 2-3 超音波を用いた非破壊検査技術および強度予測手法の確立

### 2-3-1 樹脂の硬化状態の評価

平板成形

#### 1) 試験サンプル

平板サンプル (厚み 24mm)

測定点 11 点 (40mm ピッチ)

#### 2) 測定方法

連続式測定にて実施写真

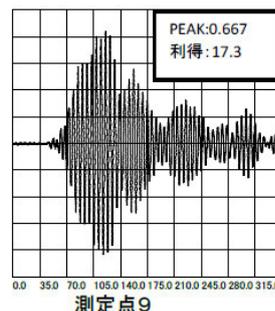
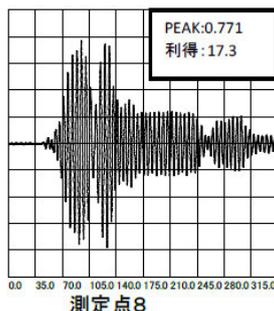
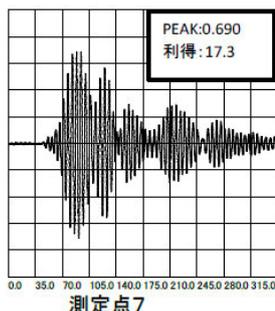
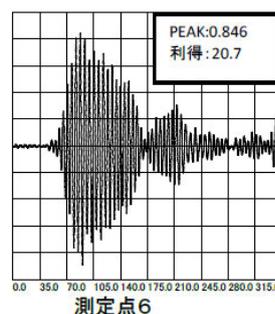
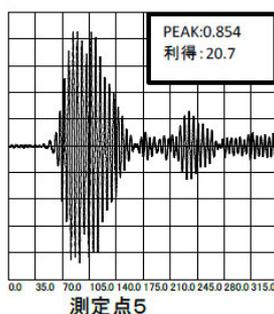
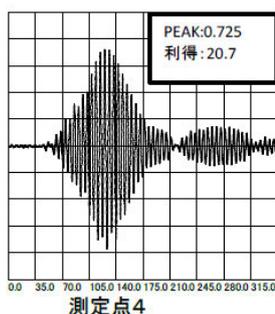
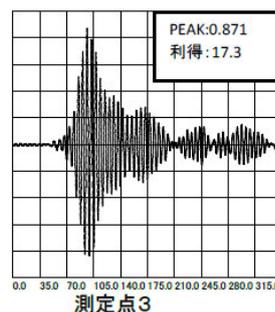
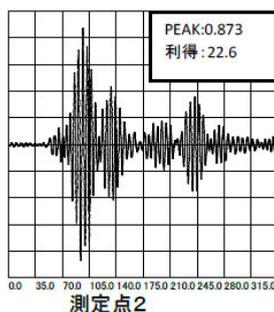
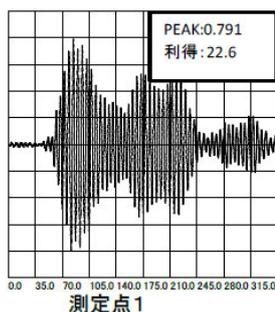
測定波形ピーク値から下記計算式にて

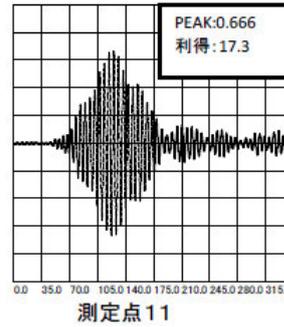
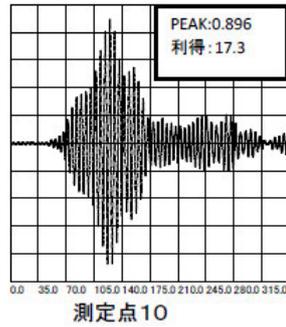
未硬化指数を算出した。

$$-20 \times \log(\text{ピーク値}) + (\text{利得値})$$

#### 3) 試験結果と考察

測定データは、下図を参照。





測定した波形より、未硬化指数を算出した。結果を下表にまとめる。未硬化指数は50 以下の場合は硬化と判断し、50 を超える場合は未硬化と判断する。今回の場合、全ての測定点で硬化しており、目標であった 24mm であっても超音波が伝搬して計測できることが確認できた。

表 超音波測定結果

測定点	PEAK	利得	未硬化指数
1	0.791	22.6	24.636
2	0.873	22.6	23.780
3	0.871	17.3	18.500
4	0.725	20.7	23.493
5	0.854	20.7	22.071
6	0.846	20.7	22.153
7	0.690	17.3	20.523
8	0.771	17.3	19.559
9	0.667	17.3	20.817
10	0.896	17.3	18.254
11	0.666	17.3	20.831

## 2-3-2 劣化試験片の損傷評価

### (1) 劣化材の製作

#### ①使用材料

- E ガラスロービングクロス
- ECR ガラスロービングクロス
- 不飽和ポリエステル樹脂

#### ②平板成形

- E ガラスロービングクロス×4ply と ECR ガラスロービングクロス×4py を積層し、不飽和ポリエステル樹脂を含浸させる。ホットプレスで平板を成形する。
- 曲げ試験用の短冊に切りだす。

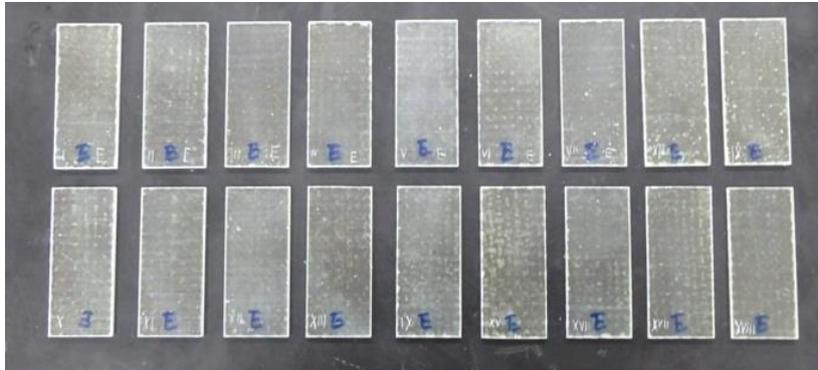


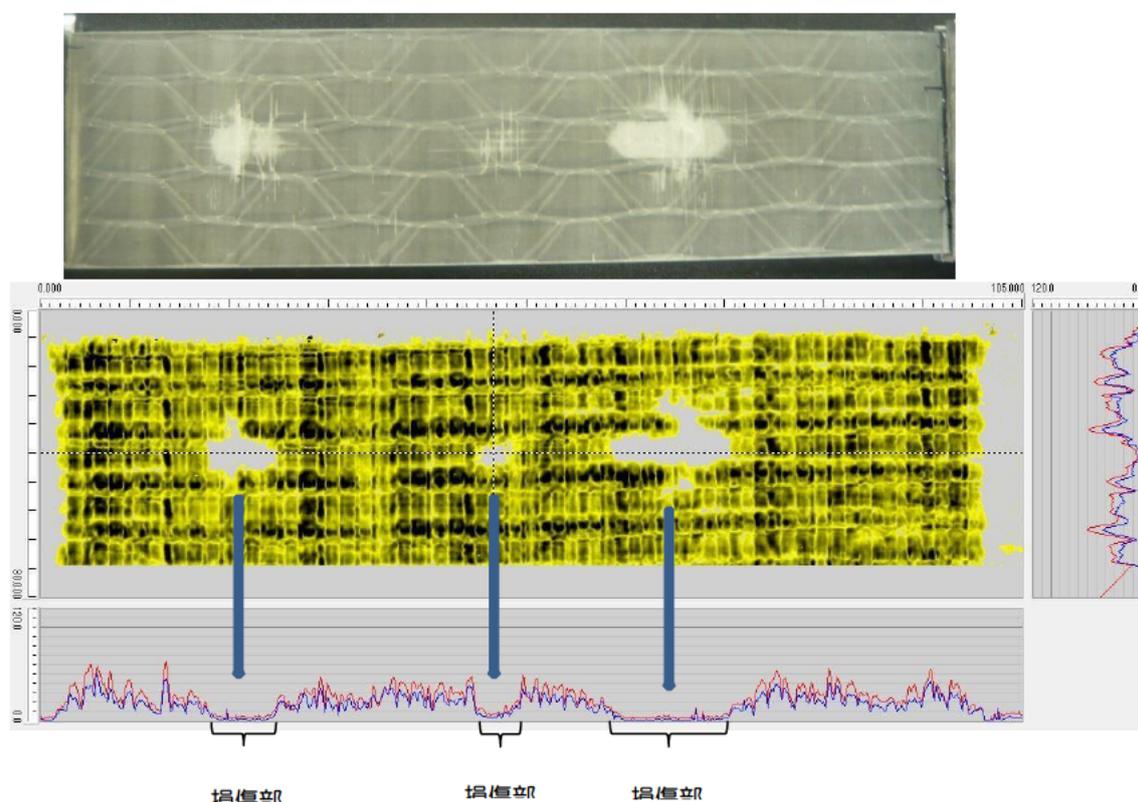
図 浸漬前の平板サンプル

### ③薬品浸漬

- 60℃に調整した硫酸（40%）と硝酸（30%）に試験片を浸漬させる。
- 定期的に試験片を取り出して状態を観察する。劣化が観察できれば、浸漬液から取り出して水洗いする。



強度予測のため、管内面が劣化し、管外面の劣化のない平板サンプルを作製した。平板は異なるガラス繊維を用いたガラスクロスを積層し、成形品を硫酸と硝酸に浸漬して劣化した平板を製作した。促進試験（温水浸漬等）により劣化させた GFRP モデル材（平板）について、表面・断面観察、重量測定、曲げ試験を行うことにより劣化状況を把握した上で、超音波エコー測定を行い、劣化状況と超音波エコーの変化との関係性を明らかにした。得られた結果の一例を以下の図に示す。



### 2-3-3 強度予測手法の確立

【3-2】により得られた知見をもとに、非破壊検査（超音波）による強度予測手法を確立し、 $\pm 20\%$ 以内の精度で強度予測を可能とすることを目的としていた。しかし、今回促進試験（温水浸漬等）により劣化させた GFRP モデル材（平板）では、耐酸性のない E ガラス繊維および耐酸性ガラス繊維を厚さ方向に半分ずつ積層したハイブリッド GFRP 板を用いたこと、促進試験後の劣化度合いが大きすぎたことから、各層の剛性を明確に同定することができなかった。現在、さらに追加実験をおこなっている段階であるが、促進試験には時間を要するため研究期間内の完了が困難であった。今後、補完研究において、目標を達成すべく追加研究を実施する。

## 最終章 全体総括

### 3-1 研究開発成果

#### ①簡易入取替可能な小口径用熱可塑性更生材料の開発

ガラス繊維と熱可塑性繊維を複合させた円筒状ファブリック加工技術と円筒押出技術の融合により繊維で強化した熱可塑性樹脂パイプの作製を可能とした。

円筒状ファブリックと熱可塑性樹脂の界面剥離強力の評価で目標値を達成した。熱可塑性樹脂パイプについては、収縮試験・水密試験をクリアし、最終的には熱時引張試験を行なった。その結果、繊維強化熱可塑性樹脂パイプの熱時耐力は、100m 引抜時の張力推定値よりも十分に高い値となっており、入取替が可能であることを確認した。

#### ②構造ヘルスマニタリング機能を有する中口径用新規管更生材料の開発

たて編物技術を用いて強化基材のノンクリンプファブリック（NCF）中に光ファイバを挿入する手法を用いて、測定用光ファイバを管更生用NCFに自動で編み込むことが可能となった。本研究では40m 長の試験を行ったが、光ファイバーセンサーが切断されない限り、100m 長・200m 長など、更に長尺が可能と思われる。

また、光ファイバーセンサーを挿入した基材に樹脂含浸してパイプを成形可能とし、更生管の3点曲げ試験によるひずみゲージと光ファイバーセンサーの両方のひずみ測定結果より、光ファイバーセンサーの計測誤差を確認した。ひずみ分布から支持点付近の特徴的な変形や、損傷を起因とする局所的なひずみ分布などの多くの情報を得ることができる。得られたひずみ分布と損傷形態との関係を明らかにすることにより、損傷形態の同定も可能になるとと思われる。

#### ③超音波を用いた非破壊検査技術および強度予測手法の確立

超音波を用いた樹脂の硬化状態の評価を行い、測定した波形より未硬化指数を算出した。結果、目標であった24 mmであっても超音波が伝搬して計測できることが確認できた。

促進試験（温水浸漬等）により劣化させたGFRPモデル材（平板）について、表面・断面観察、重量測定、曲げ試験を行うことにより劣化状況を把握した上で、超音波エコー測定を行い、劣化状況と超音波エコーの変化との関係性を明らかにした。

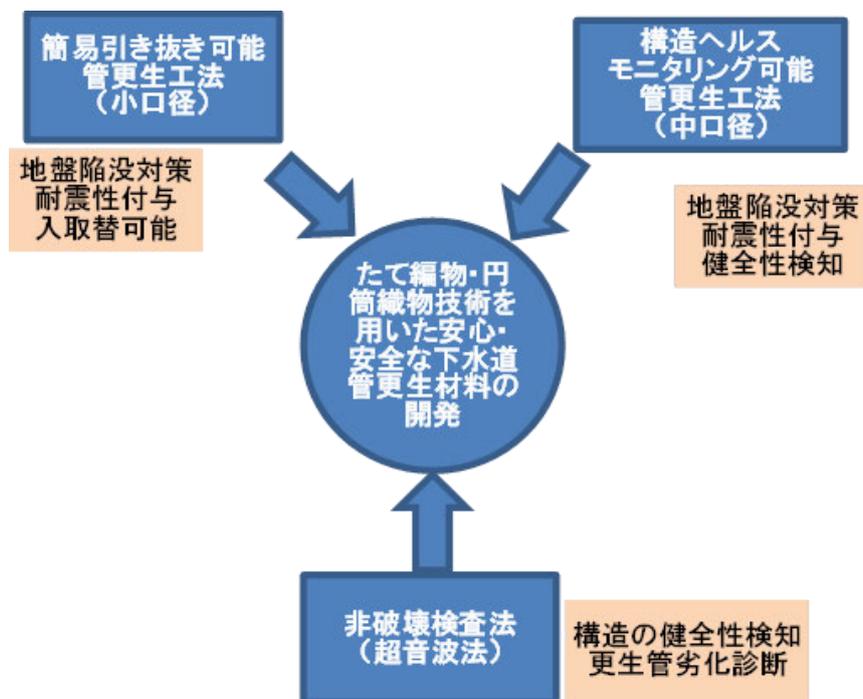
### 3-2 事業化展開

想定している具体的なユーザー、マーケット及び市場規模等に対する効果

【川下ニーズ（顧客）の状況と対応方針】

国内では年間で4000~6000件もの道路陥没事故が発生しており、その原因となる下水道本管の劣化や下水道本管と取付管部の接合部から管内への土砂流入を防ぐ方法として管更生工法が適用されている。しかし、さらなる顧客のニーズとして、更生管の使用限界が把握でき、施策であるアセットマネジメントへの対応が可能な管更生工法が求められている。また、求められる管更生工法には、地盤陥没の抑制や耐震性の付与についても要求されている。

顧客ニーズに対する具体的な対応



本研究開発成果において、顧客の要求である土砂流入防止や耐震性付与が可能であり、構造健全性と安全性をリアルタイムで自己検知・診断する構造ヘルスマニタリング機能を有することで、アセットマネジメントに対応できる更生管の使用限界を計測することが可能となる。さらに定量的に内部欠陥を把握できる非破壊検査法を確立することで更生管の使用限界を把握することが可能となる。

【想定する市場（現状、今後の動向）】

H23 年度における管更生の年間施工実績は約 410km であり、この数年は施工延長が減少傾向にあるものの 400km 以上の実績を維持している。また、H24 年 1 月 6 に発行された国土交通省事務連絡において全長管更生に対して交付金の活用が明示されているため、H24 年度以降の管更生市場は伸びてゆくと考えられる。管更生市場が伸びることにより品質管理も重要となると同時に、更生管の長寿命化支援政策により更生管の非破壊検査技術が望まれる。また、国土交通省の水戦略ビジネスに挙げられている日本の非破壊検査技術が JIS 化され、さらには ISO へ提案することにより、本技術の ISO 化されて世界的に認められるようになる。規格化されることで、本技術は国内の管更生の施工で活用されるものと考えられる。

顧客要求に対する市場の現状は以下の通りであり、本技術が完成すれば国内唯一の管更生工法となる。

- 下水道本管の土砂流入防止→工法あり
- 下水道本管と取付管接合部からの地下水や土砂流入の防止→工法はあるが不完全
- 更生管の使用限界を把握できる工法→なし

本研究は下水道を対象としているが、上水道や電力、通信などの分野にも展開できるほか、管路だけではなく、FRP 成型品などへの用途展開の可能性もある。