



TP（技術資料）

分布型光ファイバひずみセンサ  
建設分野向けマニュアル

（Implementation Manual for  
Distributed Optical Fiber Strain Sensor for Civil Engineering Field）

OITDA/TP 36/FS : 2022

第 1 版

公表 2022 年 3 月

取纏委員会  
ファイバオプティクス標準化部会 光ファイバセンサ専門部会

The OITDA logo consists of the letters "OITDA" in a bold, sans-serif font, where the "O" and "I" are connected.

発行：一般財団法人光産業技術振興協会  
Optoelectronics Industry and Technology Development Association (JAPAN)

Intentionally Blank

# 目次

ページ

序文	1
1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語及び定義	2
4 分布型光ファイバひずみセンサ	5
4.1 概要	5
4.2 分布型光ファイバひずみセンサの導入手順	6
5 留意事項	11
5.1 概要	11
5.2 ブリルアン方式及びレイリー方式	11
5.3 ひずみ係数の取得試験	12
5.4 ケーブル敷設時の確認	12
5.5 温度補償	13
5.6 計測頻度及び期間	13
5.7 データ取得	14
5.8 システム化	14
6 適用例	16
6.1 コンクリートへの適用例	16
6.2 土工構造への適用例	16
参考文献	18
解説	19



## まえがき

分布型光ファイバセンサは、光ファイバそのものがセンサとして機能することから、予め発生箇所が分からないイベントを検知できるなど既存センサとは異なる利点をもつ。光ファイバに沿って連続的に分布計測ができるため、これまででない多チャンネルの計測を一本の光ファイバで実現でき、また、電気式センサと異なり化学的に安定していることから、長期耐久性の点で圧倒的に有利である。

同センサのこうした特長は、特に建設分野における長大構造物への長期的な適用に期待されてきたが、現状では十分に展開が進んでいるとは言えない。その原因の一つとして、同センサのこれまででない特長が広く理解されていない点が挙げられる。

分布型光ファイバひずみセンサについては、これまでのところ国内では技術的な標準や拠り所となる基本的資料がない。建設分野だけに限らず新技術の展開にあたっては、その標準に類する資料は不可欠である。現在、IEC において分布型光ファイバひずみセンサに関する標準化の取組みが開始されている [IEC61757-1-2, Strain measurement - Distributed sensing based on Brillouin scattering (2022年2月現在 CD 回覧中)] が、こうした測定器に対する標準化の動向を注視しつつも、光ファイバ敷設からデータ評価までを含めたユーザ視点でとりまとめた基本的資料が求められている。

これらの事情から、建設分野における導入マニュアルを作成し、分布型光ファイバひずみセンシング技術の適用を容易にすることを目的とし、本マニュアルを通じて、同センサの概要とともに、その利点や留意事項、また活用方法を事例として紹介することで、導入を進めるための一助とするものである。

この技術資料が今後の標準化活動へと繋がるとともに、光ファイバセンサの普及に一層のはずみがつくことを期待する。

この技術資料 (TP) は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

この技術資料 (TP) の一部が、特許権、出願公開後の特許出願又は実用新案権に抵触する可能性があることに注意を喚起する。光産業技術振興協会は、このような特許権、出願公開後の特許出願及び実用新案権に関わる確認について責任はもたない。

この技術資料は、一般財団法人光産業技術振興協会の標準に関する TP (技術資料) である。TP (技術資料) は、規格になる前段階、標準化の技術的資料、規格を補足する などのために公表するものである。

この技術資料に関して、ご意見・情報がありましたら、下記連絡先にお寄せください。

連絡先：一般財団法人光産業技術振興協会標準化室

e-mail : opt-st@oitda.or.jp



# 分布型光ファイバひずみセンサ 建設分野向けマニュアル

## Implementation Manual for Distributed Optical Fiber Strain Sensor for Civil Engineering Field

### 序文

この技術資料（TP）は、分布型光ファイバひずみセンサの概要とともに利点や留意事項をとりまとめ、読者へ同センサの導入を容易にするよう意図したものである。この技術資料は、特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会がまとめた“分布型光ファイバひずみセンサ建設分野向けマニュアル”を基本としつつ、適用例などは削除し、導入手順にターゲットを絞って再構成して作成したものである。

### 1 適用範囲

分布型光ファイバひずみセンサは、建設分野における構造モニタリング手段の一つとして期待されているが、同センサの特長、特有の留意事項や導入手順などに関する情報が十分に周知されておらず、その導入までに至っていない場合が多いと考えられる。

この技術資料（TP）は、同センサの概要とともに利点や留意事項をとりまとめることで、同センサの建設分野への導入を検討している、設備発注者、設備保有者、ゼネコン、保全会社、光ファイバセンシングの専業社や計測コンサル会社が、本技術資料を利用することでその導入を容易にすることを意図したものである。

### 2 引用規格

次に掲げる規格は、この技術資料（TP）に引用されることによって、記述の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む）を適用する。

**IEC 61757:2018**, Fibre optic sensors - Generic specification

**JIS C 5930-1:2016** 光伝送用スイッチー第1部：通則

**JIS C 5962:2018** 光ファイバコネクタ通則

**JIS C 6820:2018** 光ファイバ通則

**JIS C 6850:2006** 光ファイバケーブル通則

### 3 用語及び定義

この技術資料（TP）で用いる主な用語及び定義は、次による。

### 3.1

#### 位置 (location)

測定器から測定地点までの光ファイバに沿った長さ

### 3.2

#### 空間分解能 (spatial resolution)

二つの位置に生じた異なるひずみを区別できる最小距離

### 3.3

#### コア (core)

光ファイバ内で主に光が伝搬する領域

### 3.4

#### コネクタ (connector)

別々の光ファイバどうしを接続する連結部品

**注釈 1** 光コネクタともいう。

**注釈 2** JIS C 5962 で規定されている。

### 3.5

#### コネクタ挿入損失 (connector insertion loss)

コネクタ接続による光の損失

### 3.6

#### サンプリング間隔 (sample spacing)

測定器がデータを読み取る距離間隔

**注釈 1** 空間分解能以下に設定する。

### 3.7

#### 散乱 (scattering)

物質の密度揺らぎなどにより光が微少な反射をする現象

### 3.8

#### 精度, ひずみ精度 (measurement precision, strain measurement precision)

ひずみ測定結果のばらつきの程度

### 3.9

#### 測定器 (interrogation unit)

光ファイバに加わるひずみを測定, 記録する機器

### 3.10

#### 測定時間, 測定周期 (measurement time, time interval)

一回の測定に要する時間

### 3.11

#### 損失 (loss)

規定された区間で伝搬する光の減衰量

**注釈 1** 通常, 単位はデシベル (dB) で表す。

### 3.12

#### 耐久性 (durability)

測定器あるいは光ファイバセンサケーブルの品質で、指定期間でいかに耐えられるかを示す指標

### 3.13

#### 反射 (reflection)

異なる物質 (屈折率) の境目で光が入射側に戻る現象

### 3.14

#### 光スイッチ (optical switch)

複数の光ファイバを接続し、光路の切替ができる装置

**注釈 1** JIS C 5930-1 で規定されている。

### 3.15

#### 光ファイバ (optical fiber)

コアとその外周のクラッドからなる繊維状のガラスで、離れた場所に光を伝える伝送路

**注釈 1** JIS C 6820 で規定されている。

### 3.16

#### 光ファイバセンサ (optical fiber sensor, fiber optic sensor)

光ファイバを利用したセンサ

**注釈 1** 光学系も含む。

**注釈 2** IEC 61757 参照。

### 3.17

#### 光ファイバセンサシステム (optical fiber sensing system, fiber optic sensing system)

光ファイバセンサケーブル、測定器、ユーザーインターフェースなどから構成されるシステム

**注釈 1** 解析・表示も含む。

### 3.18

#### 光ファイバセンサケーブル (optical fiber sensing cable, fiber optic sensing cable)

センサ用途で光ファイバを 1 ~ 複数本束ね被覆や保護具をつけたケーブル

**注釈 1** 光ファイバケーブルは、JIS C 6850 に規定されている。

### 3.19

#### ひずみ (strain)

初期長さ ( $L_0$ ) と変形長さ ( $\Delta L$ ) を用いて式 ( $\varepsilon = \Delta L / L_0$ ) で示される値

### 3.20

#### ひずみ係数 (strain sensitivity)

式 ( $\Delta \nu = C_\varepsilon \cdot \Delta \varepsilon$ ) であらわされるひずみ変化  $\Delta \varepsilon$  に対する周波数シフトまたは散乱光スペクトルの変化  $\Delta \nu$  との比

### 3.21

#### ひずみ分解能 (strain resolution)

認識 (読み取り) できる最小の (ひずみ) 変化量

## 3.22

**ブリルアン散乱 (Brillouin scattering)**

透明な固体または液体に単色光が入射したとき、物質中の音波によって散乱する現象

**注釈 1** 光ファイバ中では、ガラス分子が振動することで発生する音響波（音波）と光との相互作用により光が散乱する。

## 3.23

**分布型光ファイバセンサ (distributed fiber optic sensor, distributed optical fiber sensor)**

光ファイバに加わるひずみ、温度、振動などを、光ファイバの長手方向に沿って測定するセンサ

## 3.24

**分布型光ファイバひずみセンサ (distributed fiber optic strain sensor, distributed optical fiber strain sensor)**

光ファイバに加わるひずみを、光ファイバの長手方向に沿って測定するセンサ

## 3.25

**曲げ損失 (bend loss)**

光ファイバの曲げによる光の損失

## 3.26

**レイリー散乱 (Rayleigh scattering)**

光の波長よりも小さいサイズの粒子による光の散乱

**注釈 1** 光ファイバ中では、ガラスの密度揺らぎによって生じる。

## 3.27

**光時間領域反射計 (optical time domain reflectometer, OTDR)**

パルス法により、レイリー散乱の強度をもとに光ファイバに沿った損失分布を測定する片端接続方式の測定器

**注釈 1** パルス光を用いることで位置分解が可能となる。

## 3.28

**ブリルアン光相関領域解析法 (Brillouin optical correlation domain analysis, BOCDA)**

相関方式により、ブリルアン散乱光の周波数シフトをもとに光ファイバの長手方向に沿ったひずみ分布を測定する両端接続方式の測定器

**注釈 1** ポンプ光及びプローブ光を対向伝搬させることで強い散乱強度が得られる。相関方式により位置分解が可能となり、空間分解能に優れる。

## 3.29

**ブリルアン光相関領域反射計 (Brillouin optical correlation domain reflectometer, BOCDR)**

相関方式により、ブリルアン散乱光の周波数シフトをもとに光ファイバの長手方向に沿ったひずみ分布を測定する片端接続方式の測定器

**注釈 1** 相関方式により位置分解が可能となり、空間分解能に優れる。

## 3.30

**ブリルアン光時間領域解析法 (Brillouin optical time domain analysis, BOTDA)**

パルス法により、ブリルアン散乱光の周波数シフトをもとに光ファイバの長手方向に沿ったひずみ分布を測定する両端接続方式の測定器

**注釈 1** パルス光及び連続光を対向伝搬させることで強い散乱強度が得られる。パルス光を用いることで位置分解が可能となる。

### 3.31

#### ブリルアン光時間領域反射計 (Brillouin optical time domain reflectometer, BOTDR)

パルス法により、ブリルアン散乱光の周波数シフトをもとに光ファイバの長手方向に沿ったひずみ分布を測定する片端接続方式の測定器

**注釈 1** パルス光を用いることで位置分解が可能となる。

### 3.32

#### FBG (fiber Bragg grating)

光ファイバのコア中に周期的な屈折率変化 (グレーティング : 回折格子) を形成した光ファイバ型デバイス

**注釈 1** グレーティング部分にひずみあるいは温度変化が与えられると、ブラッグ波長が変化するため、センシングデバイスとして利用されている。

### 3.33

#### 光周波数領域反射計 (optical frequency domain reflectometer, OFDR)

レイリー散乱の強度をもとに光ファイバに沿った損失分布やひずみ分布を測定する片端接続方式の測定器

**注釈 1** 波長可変の連続光を用いる。

### 3.34

#### 波長可変コヒーレント光時間領域反射計 (tunable wavelength - coherent optical time domain reflectometer, TW-COTDR)

レイリー散乱波形の干渉パターンに注目し、波長可変光源を組み合わせることで、光ファイバに沿ったひずみ分布を高精度に測定する片端接続方式の測定器

**注釈 1** パルス光を用いることで位置分解が可能となる。

### 3.35

#### プレストレストコンクリート (prestressed concrete, PC)

荷重によってコンクリートに生ずる引張応力を打ち消す目的で、圧縮応力 (プレストレス) をあらかじめコンクリートに人工的に加えることによって、ひび割れを防止し、従来のコンクリート構造よりも、強度・耐久性に優れ、長寿命化を図った構造材料

## 4 分布型光ファイバひずみセンサ

### 4.1 概要

光ファイバセンサの一般的な特長として、①細径・軽量、②可とう性 (外力によってしなやかにたわむ性質)、③高強度・耐久性・耐食性、④パッシブな計測部 (外部から給電不要)、⑤耐電圧性・耐電磁誘導性・安全防爆性、⑥遠隔計測などがあげられる [1, 2]<sup>1</sup>。

光は媒質の不均質性や媒質中の粒子の影響により微小な反射をするが、光ファイバ内でもガラスの密度

<sup>1</sup> 角括弧内の数字は参考文献番号を示す。

揺らぎなどによる光の散乱現象が生じ、散乱光と呼ばれる。散乱光のうち、コア内を全反射しながら入射光側に戻るものは、後方散乱光として観測することが可能である。観測される後方散乱光には、レイリー、ラマン及びブリルアン散乱光があり、それぞれ特徴をもつ（**図 1**）。分布型光ファイバセンサは、一般的にはこれらの後方散乱光を利用するもので、光ファイバ全長にわたり任意の位置をセンサ部（以下、センサとして働く光ファイバを”センサ部”又は“光ファイバセンサケーブル”という）として作用させることが可能である。分布型光ファイバひずみセンサでは、光ファイバに付与されたひずみ（ $\Delta\varepsilon$ ）に応じて変化するブリルアン周波数シフトの変化量（ $\Delta\nu_B$ ）またはレイリー散乱波形のスペクトル変化量（ $\Delta\nu_R$ ）を検出し、その後、ひずみに変換している。

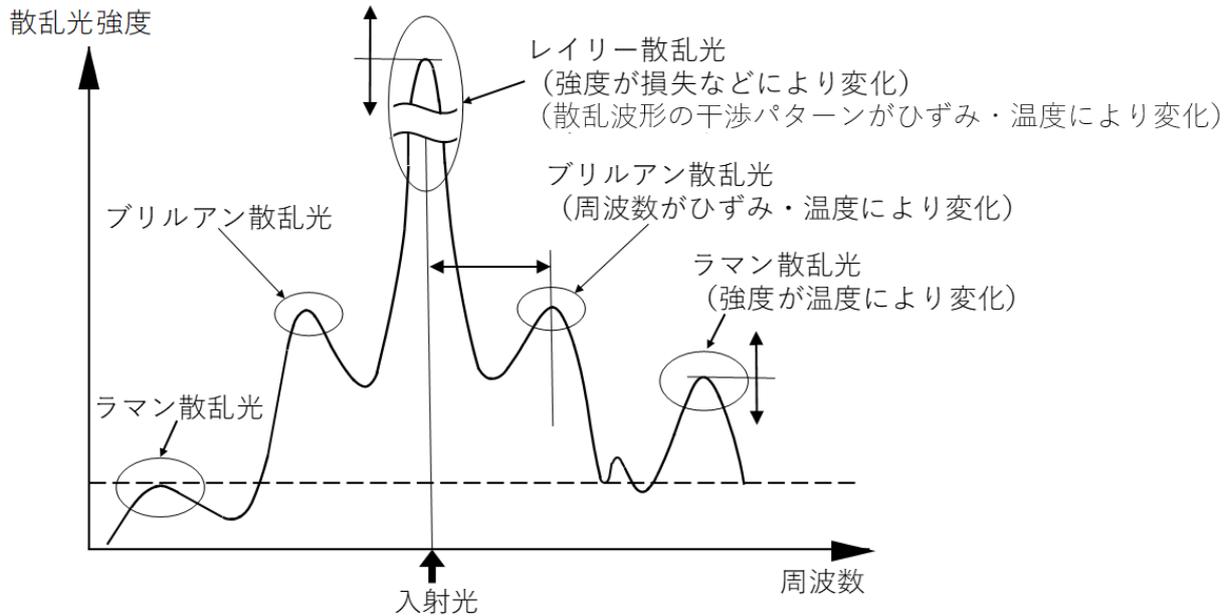


図 1—散乱光のスペクトル [1]

分布型光ファイバセンサは、光ファイバそのものがセンサ部となることから、全長にわたり任意の位置で測定することが可能である。後方散乱光のスペクトルから、その位置で光ファイバに加わった物理量（ひずみに比例するブリルアン周波数シフトの変化量またはレイリー散乱波形のスペクトル変化量） $\Delta\nu(x)$  が分かり、その結果、ひずみを知ることが出来る。位置情報の取得方法、センサ部を片端だけ接続するあるいは両端接続するなどの接続構成、利用する散乱光などにより様々な種類の計測方式がある [4.2.3 a) 参照]。

## 4.2 分布型光ファイバひずみセンサの導入手順

### 4.2.1 概要

図 2 に、与えられた条件をもとに分布型光ファイバひずみセンサを導入するために必要な技術的な手順（フロー）を示す。4.2.2 ～ 4.2.3 で主要な検討項目である計測方式及び光ファイバセンサケーブルについて記載する。また、4.2.4 では分布型光ファイバひずみセンサ特有の課題や留意事項についてそれぞれ記載する。

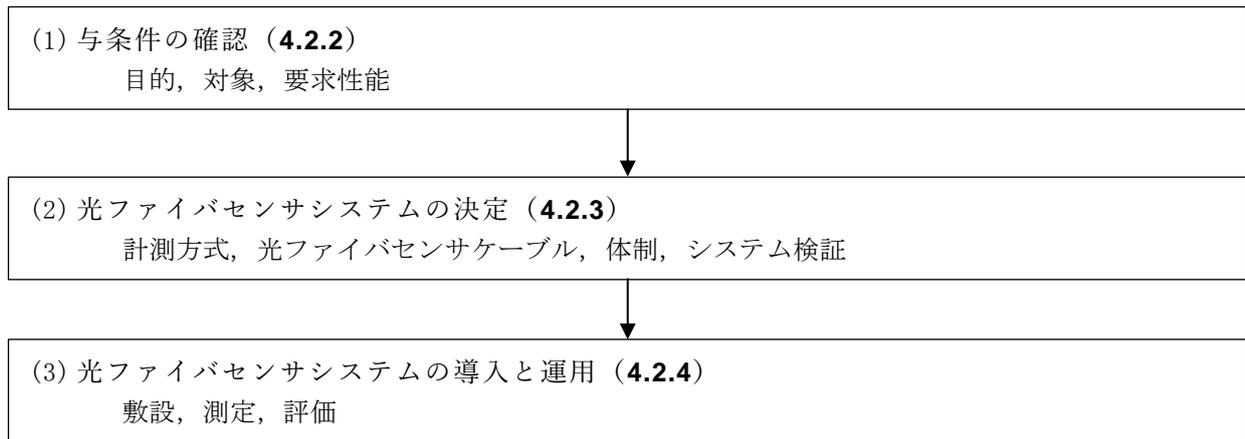


図 2-導入のフロー [1]

#### 4.2.2 与条件の確認

分布型光ファイバひずみセンサを導入するにあたっては、計測方式や光ファイバセンサケーブルなどを決定する必要がある。例えば、施工管理においてはその結果をフィードバックするためにも短い測定時間の計測方式が求められること、維持管理においては長期耐久性を有する光ファイバセンサケーブルと敷設方法が求められることなど、計測目的によって要求性能の明確化が可能である。そこで、与条件について以下に示すような順序で整理する。

##### a) 計測目的

はじめに、計測の目的を明確にすることが重要である。その目的をもとに、光ファイバセンサの要求性能や適用期間などが決められるためである。代表的な計測の目的についてその概要を以下に示す。

- ・ 施工管理の例：施工中の建設構造物を対象に、そのひずみ状態を把握し、施工品質や安全性を向上することを目的とする（6.1.3 参照）。
- ・ 維持管理の例：供用中の建設構造物を対象に、そのひずみ状態を把握し、継続使用における安全性の判断、点検作業の補助などへ貢献することを目的とする（6.2.1 参照）。
- ・ 検証の例：施工中の建設構造物を対象に、そのひずみ状態を把握し、新たな材料や工法、設計方法などを検証することを目的とする（6.1.1 参照）。

維持管理については、上記の他に、診断の補助、補修・補強の効果の確認、緊急時対応の補助など、その目的を明確にすることが重要である。

##### b) 計測対象

対象となる建設構造物の構造種別（コンクリート、鋼構造、土工構造、岩盤構造など）はもちろん、光ファイバの設置環境（貼付・埋込、温湿度環境など）、測定器の設置環境、計測期間などの項目を整理する。その整理によって、見積もりのために必要な数量がおおよそ算出でき、またシステム全体構成図（光ファイバセンサケーブル、測定器、電源など）が作成できることが望ましい。例えば、光ファイバセンサケーブルの敷設範囲（全長）や、敷設に伴う仮設の要否、必要なケーブル養生の程度、また測定器までの延伸や接続ボックスの要否、ケーブル本数と光スイッチの要否、測定器設置場所の電源や空調環境なども与条件として整理する。計測期間とともに、常設または定期計測（頻度）などについて決定しておくのが良い。

##### c) 要求性能

分布型光ファイバセンサの性能を規定する代表的なパラメータの一つに“空間分解能”がある。通常、長さ [単位 (m), (mm) など] で表される。空間的に大まかなひずみの挙動を把握するためであ

れば長い空間分解能で構わないが、細かなひずみの挙動を把握するためであれば短い空間分解能が必要となる。計測目的に応じた空間分解能を決定するのが良い。

“ひずみ精度”も重要なパラメータの一つであり、検知すべきひずみ変化に対して、最低でも 1/5～1/10 程度のひずみ精度を有することが望ましい。これも、計測目的に応じて決定するのが良い。必要なひずみ精度を得るためには、計測方式や光ファイバセンサケーブルの選定のみならず、対象物への敷設方法（ひずみのカップリングに影響する）が大きく影響するので、選定には十分な注意を払う必要がある。

“測定時間”については、必要最低限許される測定時間を把握しておく。基本的に、測定時間内にひずみが増加しない場合、測定時間が短いほどひずみ精度が低下する。分布型光ファイバひずみセンサのほとんどで、一回の測定時間を長くすると加算平均によってひずみ精度を向上させることができるからである。そのため、様々な条件下で許容される時間範囲のなかで、出来るだけ長く測定時間をとることが多い。

#### 4.2.3 光ファイバセンサシステムの決定

計測目的に応じた分布型光ファイバひずみセンサを導入するにあたっては、まず計測方式や光ファイバセンサケーブルなどを決定する。必要に応じたユーザーインターフェースなども含め、これらを総じて光ファイバセンサシステムと称する。

##### a) 計測方式の決定

与条件で決められた要求性能（“空間分解能”“ひずみ精度”“測定時間”）などを鑑み、計測方式を決定する。計測方式の大まかな特徴を表 1 にまとめて示す。これらは、ブリルアン散乱光利用のもの、レイリー散乱光利用のものに大別される。概して、前者は測定の再現性などに優れ、後者は測定のひずみ精度、ひずみ分解能などに優れる。

表 1—様々な計測方式 [1]

計測方式	特徴など
ブリルアン光時間領域反射計 (BOTDR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブリルアン散乱光利用</li> <li>・光ファイバ構成：片端接続</li> <li>・空間分解能：1m</li> <li>・実績多い</li> </ul>
ブリルアン光時間領域解析法 (BOTDA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブリルアン散乱光利用</li> <li>・光ファイバ構成：両端接続</li> <li>・空間分解能：数 cm～</li> <li>・両端接続で高性能</li> </ul>
ブリルアン光相関領域反射計 (BOCDR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブリルアン散乱光利用</li> <li>・光ファイバ構成：片端接続</li> <li>・空間分解能：数 cm～</li> </ul>
ブリルアン光相関領域解析法 (BOCDA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブリルアン散乱光利用</li> <li>・光ファイバ構成：両端接続</li> <li>・空間分解能：数 cm～</li> <li>・両端接続で高性能</li> </ul>
光周波数領域反射計 (OFDR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レイリー散乱光利用</li> <li>・光ファイバ構成：片端接続</li> <li>・空間分解能：数 mm～</li> <li>・短距離で高精度測定</li> </ul>
波長可変コヒーレント光時間領域反射計 (TW-COTDR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レイリー散乱光利用</li> <li>・光ファイバ構成：片端接続</li> <li>・空間分解能：数 cm～</li> <li>・短距離～長距離で高精度測定</li> </ul>

これら計測方式の原理や製品例については、文献 [1] [3] に詳しい記載がある。

## b) 光ファイバセンサケーブルの決定

与条件で決められた計測対象（光ファイバセンサの設置環境，計測期間など）などを鑑み，光ファイバセンサケーブルを決定する。様々な光ファイバセンサケーブルの大きな特徴を表2にまとめて示す。

表2—様々な光ファイバセンサケーブル [1]

タイプ	特徴など
光ファイバ素線，光ファイバ心線 [素線の周囲に樹脂を被覆 (外径 0.25 mm～0.9 mm)]	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安価，軽量で取り扱い容易</li> <li>・測定対象物へは接着剤などを用いて全長固定</li> <li>・断線リスク高い</li> </ul>
エンボス加工樹脂被覆タイプ (表面をエンボス加工樹脂で被覆)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・敷設工事時に折れにくい</li> <li>・コンクリートなどへの定着性が高い</li> <li>・端部処理含め取扱いが容易</li> </ul>
金属タイプ (金属管や金属より線の中に光ファイバを 挿入・固定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堅牢で断線リスク低い</li> <li>・測定対象物への固定には強い固定力が必要</li> <li>・端部処理含め取扱いが手間</li> </ul>
建材一体タイプ [ジオテキスタイルや PC (prestressed concrete) 鋼より線に光ファイバを組み込み]	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建材に光ファイバが組み込み済</li> <li>・現地での敷設が容易</li> <li>・断線リスク低い</li> <li>・端部処理が手間</li> </ul>

これら光ファイバセンサケーブルの詳細及び製品例については，文献[1][3]に詳しい記載がある。

## c) 体制の確認

分布型光ファイバひずみセンサの導入をスムーズにするうえで，計画から敷設，測定，評価作業のそれぞれが途切れることなく，連携していることが望ましい。施工管理が主目的であれば施工管理を請け負うゼネコンなどが，維持管理が主目的であれば施設のメンテナンス主体である保全会社などが，それぞれ主体となって計画を進める。そのうえで，発注者又は施設保有者と連携し，光ファイバセンシングの専業社やこれまで現場計測や点検業務を行ってきた計測コンサル会社などと実施体制を構築することを検討するのが良い。表3に実施体制の例を示す。

表3—実施体制の例 [1]

	施工管理の場合	維持管理の場合
計画	ゼネコン	保全会社
敷設	専業社 (計測コンサルなど)	専業社 (計測コンサルなど)
計測	専業社 (計測コンサルなど)	専業社 (計測コンサルなど)
評価	ゼネコン 専業社 (計測コンサルなど)	保全会社 専業社 (計測コンサルなど)
保守	専業社 (計測コンサルなど)	専業社 (計測コンサルなど)

## d) システムの検証

決定された計測方式と光ファイバセンサケーブルによる分布型光ファイバひずみセンサが，計測目的や計測対象に応じた必要な要求性能を満足しているかどうかを確認しなくてはならない場合がある。また，必要なひずみ精度を得るためには，計測方式や光ファイバセンサケーブルの選定のみならず，対象物への敷設方法（ひずみのカップリングに影響する）が大きく影響するので検証は極めて重要である。特に，これまで十分な実績がない敷設方法を適用する場合などは検証する必要性が高い。検証は，実際の計測対象や敷設方法を用いて試験的に行われるべきで，その最も一般的な検証方法は，引張試験や曲げ試験によって，光ファイバセンサの計測結果を理論値やその他の計器（ひずみゲージなど）と比較することである。

## 4.2.4 光ファイバセンサシステムの導入と運用

## a) 敷設

決定された光ファイバセンサシステムに応じて、光ファイバセンサケーブルの敷設を行う。それぞれの光ファイバセンサケーブルの特性をよく理解したうえで、敷設作業を行い、敷設やそれに前後する他作業などによって光ファイバセンサケーブルの損傷や断線がないように十分注意する必要がある。

敷設の進捗に応じて、光ファイバセンサケーブルの健全性を確認できるようにしておき、光ファイバセンサケーブルの損傷や断線があった場合に、迅速な対応ができるように進めることが望ましい。健全性の確認方法としては、可視光による導通状態のチェック、OTDRによる透過損失のチェック、実際のひずみ分布測定器によるひずみ分布状態のチェックなどが考えられ、その目的に応じて使い分ける必要がある（5.4 参照）。

また、光ファイバセンサケーブルの設置にあたって必要な仮設（足場などの安全設備、作業照度確保のための電源や照明、接着剤取扱いのための養生シートなど）を十分検討のうえ準備しなければならない。こうした仮設は、作業する季節や時間帯、並行する他作業状況などによって大きく影響を受けるため、事前に現地を確認することが望ましい。

## b) 計測

敷設された光ファイバセンサケーブルを測定器と接続し、計測を行う。計測に先立ち、敷設された光ファイバセンサケーブルの位置を確認する必要がある（5.4 参照）。また、測定器の計測パラメータを変えながら予備計測を何度か行い、所定の性能が達せられていることを確認するとともに、一回の計測にどのくらいの時間がかかるか、一回のデータでどのくらいの記録容量を必要とするか、などを確認しておくことが望ましい。

敷設状態によっては、光ファイバセンサケーブルの透過損失が多く生じる場合もあり、そのときには計測パラメータ（加算平均の回数、入射する光強度など）を変更する必要がある。透過損失が多い場合には、空間分解能を広げる必要性が生じる場合もある。また、複数の光ファイバセンサケーブルから構成される場合には、光スイッチによるチャンネル切り替えなどによって敷設状況に応じて再構成することも考慮するべきである。

ひずみは初期値に対する相対的な値であり、基準となる状態で初期値を計測する。このとき、温度補償（5.5 参照）を行う場合には、ひずみ測定と同じタイミングで温度補償方法に応じた初期値を計測するのが良い。

## c) 評価

得られたひずみ分布計測結果をもとに、目的に応じた評価を行う。基本的なフローを図 3 に示す。計測方式に問わず、測定器から得られるデータは、ある時点を初期値  $[v_0(x)]$  とした光ファイバ上の各位置  $x$  における光の物理量  $[\Delta v(x)$ : ブリルアン周波数シフトの変化またはレイリー散乱波形のスペクトル変化] である。このデータをもとに、必要に応じて温度補償  $[\Delta v_m(x)$ , 5.5 参照] を施した後、所定の係数によってひずみ換算  $[\Delta \varepsilon(x)$ , 5.3 参照] するとともに、光ファイバの位置を現場座標系  $X$  に合わせる  $[\Delta \varepsilon(X)$ , 5.4 参照] 処理を施す。こうしたデータの一次処理は、現場でリアルタイムに行うか、あるいはオフラインで後処理するか、計測目的や期間など（5.6 参照）に応じて、そのシステム化の要否（5.8 参照）を検討する。

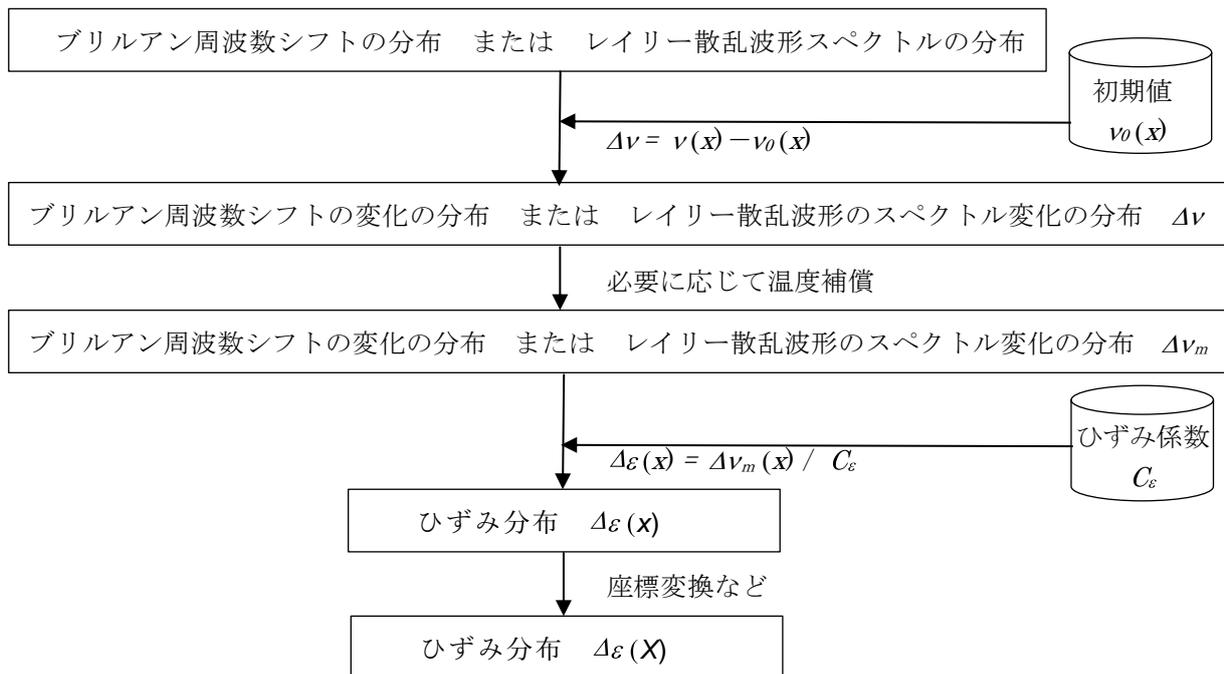


図 3—データの一次処理フローの例 [1]

## 5 留意事項

### 5.1 概要

分布型ひずみセンサは、これまでのセンサにない特徴をもつことから、導入にあたっては、計測方式や光ファイバセンサケーブルの選定以外にもいくつか留意すべき事項がある。特に重要と思われる事項について述べる。

### 5.2 ブリルアン方式及びレイリー方式

ブリルアン散乱光利用の計測方式（ブリルアン方式）とレイリー散乱光利用の計測方式（レイリー方式）とでは、ひずみ計測の原理や手順が根本的に異なる点については留意しておく必要がある [1]。

ブリルアン方式では、測定器で各位置におけるブリルアン周波数シフト（ $\nu_B =$  約 11GHz）が得られる。これは、光ファイバ中のガラス分子が振動することによる音響格子と、伝搬する光の相互作用によって生じるものであり、絶対量を観測することとなる。これを二時点でそれぞれ得たうえで（ $\nu_{B0}$ と $\nu_{B1}$ ）、両者の差（ブリルアン周波数シフトの変化） $\Delta\nu_B(x)$ （ $\propto$ ひずみ）から二時点のあいだで生じたひずみが算出可能である。各時点での結果は、光ファイバ中の音波の速度などに依存する絶対量として計測が可能である。

一方、レイリー方式（FBG 併用のものを除く）では、測定器では各位置（有限の区間 = ゲージ長）における光ファイバの有する屈折率の揺らぎなどによる散乱波形 [スペクトル  $I(x)$ ] が得られる。二時点の計測で得られたパターン [ $I_0(x)$  及び  $I_1(x)$ ] から、はじめてレイリー散乱波形スペクトルの変化  $\Delta\nu_R(x)$ （ $\propto$ ひずみ）が算出可能である [4, 5, 6]。各時点での測定結果は、光ファイバ固有の屈折率分布などによる干渉パターンであり、一回の計測で得られる結果には何ら物理的意味をもたず、二時点の結果を比較してはじめて意味を成すものである。このとき、二時点間でひずみが大きく発生するなど、両者のスペクトルパターンが大きく違う場合、二時点の計測の継続性（再現性）が失われる可能性がある。

### 5.3 ひずみ係数の取得試験

分布型光ファイバひずみセンサで得られる生データは光学的な物理量に過ぎず、正確な変換係数（ひずみ係数）を用いることで、センサ性能を十分に発揮することが可能となる。

周波数の変化（ブリルアン周波数シフトの変化  $\Delta\nu_B$  またはレイリー散乱波形のスペクトル変化  $\Delta\nu_R$ ）は、ひずみ係数  $C_\varepsilon$  とひずみ変化  $\Delta\varepsilon$  を用いて以下の式であらわされる。ひずみ係数の単位は、[MHz/ $\mu\varepsilon$ ] や [GHz/ $\mu\varepsilon$ ] である。

$$\Delta\nu_B = C_{\varepsilon B} \cdot \Delta\varepsilon \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta\nu_R = C_{\varepsilon R} \cdot \Delta\varepsilon \quad \dots\dots\dots (2)$$

ひずみ係数は、光ファイバセンサケーブル単体の引張試験によって取得する。引張試験によるひずみ係数の取得方法は、文献 [1, 7, 8, 9] に詳しい。

なお、分布型光ファイバセンサの性能はセンサ敷設方法（光ファイバセンサケーブルの対象への固定方法など）に大きく依存することに注意が必要である。特に新たな敷設方法を適用するにあたっては、事前に検証試験を実施することが望ましい。

### 5.4 ケーブル敷設時の確認

分布型光ファイバひずみセンサの有する特長をより発揮するためには、光ファイバセンサケーブルの敷設は最重要事項の一つである。ここでは、ケーブル敷設時に確認すべき事項として、“敷設の良否を確認する方法”、“敷設されたケーブルの位置を確認する方法”について記す。

#### a) 敷設の良否を確認する方法

実際の現場で光ファイバセンサケーブルを敷設した場合、最も注意すべきはその断線である。断線まで至らなくても、ケーブルに曲げなどが加わったり、接続コネクタ部が汚損されたりした場合、光の損失量が多くなるためひずみ測定に影響を与える恐れがある。測定器を用いずに、簡易に“敷設の良否を確認する方法”として、①可視光による導通確認（可視光チェッカーをつなげることで、敷設した光ファイバセンサケーブルの断線の有無を簡単に視認することが可能である）、②OTDRによる損失状態確認（OTDRを接続することで、敷設したケーブルの光の損失状態を定量的に確認することが可能である）などが採用されている。

また、敷設された光ファイバセンサケーブルの初期ひずみ分布の確認も重要である。初期ひずみ分布が大きく変動している場合、その後の測定時との差分を求める際に、変動のスロープ部分で差が大きく出てしまう（あたかもひずみが発生しているように見える）場合もあるため、初期ひずみ分布は極力フラットであることが望ましい。

#### b) 敷設されたケーブルの位置を確認する方法

分布型光ファイバひずみセンサは、光ファイバセンサ全長で計測ができる反面、光ファイバ上の計測位置と実際の現場位置の関係性を確認する手順が必要となる。通常、データは測定器を原点とする光ファイバ上の長さとの関係であらわされているため、光ファイバの位置（図3の  $x$ ）と現場位置（図3の  $X$ ）をひもづける必要がある（敷設マップの作成）。特に、現地での光ファイバセンサケーブルの敷設者、測定者、評価者が異なるような場合には特に注意が必要である。“敷設されたケーブルの位置を確認する方法”として、①温度変化による位置確認（ヒーターによる加温や、氷や冷却スプレーによる冷却を光ファイバセンサケーブルに与えることで、あたかも引張ひずみや圧縮ひずみがあったようなひずみ分布変化が得られる）、②コネクタ接続や融着接続箇所による位置確認（光ファイバ上

のコネクタや融着接続箇所、あるいは終端箇所などは、ひずみ分布計測結果に特異点としてあらわれる)、③光ファイバの種類の違いによる位置確認(光ファイバの種類によってそれぞれが有するブリルアン周波数シフト( $\nu_B$ : 常温下、ひずみのない状態で約 10.8 GHz)が僅かに異なるために確認が可能である)などが採用されている。

**5.5 温度補償**

分布型光ファイバひずみセンサでは、光ファイバに付与されたひずみ ( $\Delta\varepsilon$ ) に応じて変化する、ブリルアン周波数シフトの変化 ( $\Delta\nu_B$ ) またはレイリー散乱波形のスペクトル変化 ( $\Delta\nu_R$ ) を検知している。その変化量はひずみだけではなく、温度変化 ( $\Delta T$ ) の影響も受ける。

$$\Delta\nu_B = C_{\varepsilon B} \cdot \Delta\varepsilon + C_{TB} \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta\nu_R = C_{\varepsilon R} \cdot \Delta\varepsilon + C_{TR} \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots (4)$$

一定の温度下で計測される場合を除いて、測定器で得られた計測結果に対して温度補償をしたうえで、ひずみ分布結果を算出する必要がある。そのための温度補償の方法としては、大きく以下の二種類がある。

- a) 温度測定用センサ(被覆部と光ファイバ部が一体化されておらず、被覆部に生じたひずみが縁切りされたセンサなど)を並行に併設して、その結果から光ファイバ全長における温度影響分を補償する方法(“温度センサ併設方式”と呼ぶ)。
- b) ひずみセンサケーブルの一部に局所的に設けた温度測定用センサ(ひずみ加わらない箇所)の計測結果を利用して、光ファイバ全長における温度影響分を内挿して補償する方法(“温度センサ内挿方式”と呼ぶ)。

どちらの方法も、ひずみ測定用センサと温度測定用センサで温度補正係数 ( $C_T$ : 未知で構わない) が同じである必要がある。両方式の比較を**表 4**に示す。

**表 4—温度補償方式の比較 [1]**

	併設方式	内挿方式
光ファイバ構成	• 温度測定用光ファイバを並行に併設	• 温度測定用光ファイバをところどころに挿入
温度測定用光ファイバ	• 温度測定用光ファイバセンサ(管入り)且つ熱膨張が小さいもの	
施工性	• 縁切り部との切替箇所が少ない • 往復路が必要(2ch 測定器であれば往復路不要で同時測定可)	• 縁切り部との切替箇所が多い
精度	• 全長で補償可	• 全長は内挿して補償
その他	• 位置特定が必要	• 位置特定が比較的容易

**5.6 計測頻度及び期間**

定期計測は、測定器を現場に常設せず、定期的に測定器を持参するものである。現地に測定器一式(数 10 kg を越える場合もある)を運搬するため、そのアクセス方法を確保する必要がある。また、測定毎に光ファイバセンサケーブルの脱着を繰り返すため、その接続端部が汚損したりすることがないように清掃と養生に留意する必要がある。

常時計測は、測定器を現地に常設しておくものである。測定器を常時稼働させるため、安定した電源を確保する必要がある。特に、施工中の現場においては、電源が不安定な場合が多く、瞬停などに対する措置が必要である。また、結果として記録されるデータが多くなるため、測定とデータ回収の頻度に応じた保存領域を確保しなくてはならない。

測定器の設置場所は、風雨の影響を防ぐだけでなく、安定した空調環境を確保する必要がある。冬場の低温ならびに夏場の高温下にさらされた場合に、測定器が故障する場合がある。長期計測の場合は特に留意が必要である。そのためにも、計測期間の間、測定が順調に行われていることを確認できるような手段を確保することが望ましい。

計測形態による測定環境の留意事項を表 5 に示す。

表 5—計測形態による測定環境の留意事項 [1]

	概要	主な留意事項
常時計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定器を現地に常設</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安定した電源, 空調環境の確保</li> <li>十分なデータ保存領域</li> <li>稼働状況の確認手段の確保</li> </ul>
定期計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定器を現地に定期的に持参</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アクセス方法, 動線の確保</li> <li>計測毎に光ファイバセンサケーブル接続端部を清掃と養生</li> </ul>

## 5.7 データ取得

測定器からのデータ取得方法については、“5.6 計測頻度や期間”に大きく関係する。分布型光ファイバひずみセンサのデータの種類としては、測定器で得られる順に、“ブリルアン周波数シフトまたはレイリー散乱波形スペクトルのデータ ( $\nu$ )” 周波数シフトの変化またはスペクトルの変化データ ( $\Delta\nu$ ) “ひずみ分布データ ( $\Delta\epsilon$ )” に大別される (図 3)。

定期計測であれば、上記 3 つのデータをすべて記録することで良いが、常時計測の場合には、その取扱いを検討する必要がある (表 6)。

現地で対応できる担当者がある場合は、データ取得上大きな課題はない。一定間隔での巡回などを通じて動作確認ができるからである。そうでない場合、何らかの不具合による欠損データ期間を短くするために遠隔から監視できる方法を準備しておくことが望ましい。そのためには、計測画面などで稼働状況の確認が可能である、あるいは記録データの更新状況の確認が可能である、などの手段を検討する必要がある。

表 6—計測形態によるデータ取得の留意事項 [1]

	現地確認	遠隔確認
常時計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>担当者などによるデータ取得 (メモリなど)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>インターネット経由によるデータ取得 (データ種類によってデータサイズが異なるため注意が必要)</li> <li>カメラによる計測器の稼働状況確認</li> <li>ファイルサイズなどによる記録データの更新状況確認</li> </ul>
定期計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>その場でデータ取得 (メモリなど)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不要</li> </ul>

## 5.8 システム化

### 5.8.1 概要

ここではシステム化の考え方を示す。それによって、測定に必要な光ファイバセンサシステムの全体構成、測定データの取り扱い、ユーザーインターフェース (見える化)、測定システムの構築方法等について顧客の理解が進み、目的に合ったシステムが構築しやすくなる。

### 5.8.2 システム構成

測定システム構成は、スタンドアロン型、クライアント・サーバ型に大別が可能である。

- － スタンドアロン型：光ファイバセンサケーブルと測定器（場合によってコンソール PC 含む）を基本とする形態。
- － クライアント・サーバ型：測定器の上位にアプリケーションサーバ（AP サーバ）が配置される形態。システム構築時には、測定器とサーバ間で必要なデータ転送量、頻度、即時性、通信品質、使用回線を考慮し、最適なプロトコル選定をすることが重要である。

一方、システム構成は、測定器と光ファイバセンサケーブルの構成において、1対1接続、1対n接続に大別が可能である。

- － 1対1接続：測定器一台に、光ファイバセンサケーブルを1系統接続する構成である。本構成では、1台の測定器に1本の光ファイバセンサケーブルを接続する“基本形”である。現在においては、ほとんどの実装がこの構成をとっている。
- － 1対n接続：測定器一台に、複数の光ファイバセンサケーブルを接続する構成である。複数系統の接続（収容）には、光スイッチ装置等の切り替え装置を使用する方法がある。

### 5.8.3 測定データ

測定データは、通常、一定量が測定器に蓄積される。本項では、測定データの内容、データ記述形式、データ容量について解説する。

- － データ項目、内容：分布型光ファイバひずみセンサでは、光ファイバそのものがセンサ部となることから、全長にわたり任意の位置で測定することが可能である。この場合、測定器からの位置を  $x$ 、測定時刻を  $t$  とすれば、検出データは  $S(t, x)$  と表せる。また、検出データは、光ファイバに付与されたひずみに応じて変化するブリルアン周波数シフトの変化またはレイリー散乱波形のスペクトル変化である。
- － 記述形式（フォーマット）：測定データをコンピュータのエディタやエクセルなどで簡単に表示できるような、データ形式、エンコードタイプで取得することもシステム化の重要なチェックポイントである。主なデータ形式、エンコードタイプを示す。
  - ・データ形式：Variable（CSV、JSON）等
  - ・文字列のエンコードタイプ：ASCII 文字（テキスト）
- － データ容量：測定区間長、測定経路数、データ項目、測定周期、サンプリング間隔、記述形式等により、測定データ容量は増減する。これらは、測定器内の蓄積可能データ量、コンソール PC の蓄積可能データ量、通信帯域など広範囲に影響するため、システム設計時には留意する必要がある。

### 5.8.4 加工・解析

長期間、長距離の測定では大量のデータが生成されるため、顧客が必要とするデータを求めるためには、データの加工や解析が必要となる場合がある。主なデータ加工や解析処理内容を次に示す。

- － センサ区間データの切り出し：測定したい区間のひずみを把握する。
- － データ平均化：対象物のひずみ分布、変化の概要を把握する。
  - ・時間平均：複数の時刻サンプル値を平均して、その期間の平均値とする加工。
  - ・距離平均：複数の距離サンプル値を平均して、その区間の平均値とする加工。
- － 過去データとの比較：測定履歴間での比較（差分値）を把握する。

### 5.8.5 ユーザーインターフェース（GUI：見える化）

顧客視点で考えた場合、施工品質や構造物の健全度など、顧客が知りたい情報をわかりやすく表示する方法が求められる。

ー 表示内容

- ・測定区間：全区間のひずみ分布，指定箇所ひずみ分布，指定箇所ひずみ変化など
- ・測定周期：全期間ひずみ変化，指定期間ひずみ変化など
- ・イベント：閾値越えひずみ発生場所，最大/最小ひずみ値など

ー 表示形式

- ・測定区間の測定周期におけるひずみ変化をグラフィカルに表現など

## 6 適用例

### 6.1 コンクリートへの適用例

#### 6.1.1 概要

本項では、近年実施された実際のコンクリート構造物への主な導入例を通じて、具体的な技術的留意点などとともに、導入のためのコスト情報、得られた結果に対する効果などを提示する。さらに、導入判断の一助とともに、スムーズな導入の手助けになることを期待する。

#### 6.1.2 ひび割れ検知

コンクリート構造物のひび割れ検知に関する適用例について、文献 [1, 10] に詳しい。

#### 6.1.3 ひずみモニタリング

高層ビルの基礎スラブにおけるコンクリート打設後のひずみモニタリングへの適用例について、文献[1, 11] に詳しい。

プレキャスト床版の接合部のモニタリングへの適用例について、文献 [3] に詳しい。

#### 6.1.4 PC ケーブルの張力監視

PC (Prestressed Concrete) ケーブルの緊張管理への適用例について、文献 [1, 12] に詳しい。

### 6.2 土工構造への適用例

#### 6.2.1 概要

本項では、近年実施された実際の土工構造への主な導入例を通じて、具体的な技術的留意点などとともに、導入のためのコスト情報、得られた結果に対する効果などを提示する。さらに、導入判断の一助とともに、スムーズな導入の手助けになることを期待する。

#### 6.2.2 補強土の安定性モニタリング

補強土壁の健全性評価への適用例について、文献 [1, 13, 14, 15] に詳しい。

#### 6.2.3 道路舗装への適用

道路舗装の長寿命化を図るための施工適用例について、文献 [1, 16] に詳しい。

#### 6.2.4 グラウンドアンカーの張力監視

施工時における品質確保ならびに適切な維持管理のためのグラウンドアンカーの張力監視への適用例について、文献 [1, 17] に詳しい。

---

**参考文献**

- [1] 特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会, 分布型光ファイバひずみセンサ建設分野向けマニュアル, 2021年8月
- [2] 保立和夫, 村山英晶: 光ファイバセンサ入門, 光防災センシング振興協会, 2012.
- [3] モニタリングシステム技術研究組合, 土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン(案), 2019年12月
- [4] A. H. Hartog : An introduction to distributed optical fibre sensors, CRC press, 2017.
- [5] K. Nishiguchi, A. Guzik, A. , L. Che-Hsien, and K. Kishida : Constant false alarm detection of spectral shift for scattering-based distributed optical fiber sensors, In Proceedings of the ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and its Applications, 2010, pp.105-112, 2010.
- [6] S. Kreger, D. Gifford, M. Froggatt, A. Sang, R. Duncan, M. Wolfe, and B. Soller : High-resolution extended distance distributed fiber-optic sensing using Rayleigh backscatter, In Sensor Systems and Networks : Phenomena, Technology, and Applications for NDE and Health Monitoring, 6530, pp.65301R, 2007.
- [7] 鳥越寿彦: 光ファイバ計測原理を踏まえた計測手法の提案, コンクリート工学年次論文集, 27 (1), pp.1843-1848, 2005.
- [8] **ASTM F3079-14**, Standard practice for use of distributed optical fiber sensing systems for monitoring the impact of ground movements during tunnel and utility construction on existing underground utilities, 2014.
- [9] **IEC61757-1-2**, Strain measurement - - Distributed sensing based on Brillouin scattering , 2021. (CD 回覧中)
- [10] 今井道男, 一宮利通, 露木健一郎, 早坂洋太, 太田伸之: 光ファイバセンサによる10年間のPC 橋梁ひび割れモニタリング, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 75 (1), pp.17- 25, 2019.
- [11] C. Horch, J. HuSfer, and F. Schäfer : Distributed fiber optical sensing inside the foundation slab of a high-rise building, In AMA Conferences, pp.531-535, 2015.
- [12] 大窪一正, 今井道男, 曾我部直樹, 中上晋志, 千桐一芳, 二羽淳一郎: 緊張管理・維持管理に適用可能な光ファイバを用いたPC 張力分布計測技術の開発, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), 76 (1), pp.41-54, 2020.
- [13] ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 第二回改訂版, 一般財団法人 土木研究センター, 2013.
- [14] 伊藤修二, 辻慎一郎, 久保哲也, 廣田慎司: 熊本地震による補強土壁の被災調査結果, ジオシンセティックス論文集, 31, pp.227-234, 2016.
- [15] 二重壁構造を持つジオテキスタイル補強土壁「アダムウォール」建設技術審査証明報告書 (建技審証 第1103号), 一般財団法人 土木研究センター, 2012.
- [16] 村田芳信, 荻谷敬三, 八嶋厚, 岡村拓朗, 伊藤修二, 辻慎一郎, 横田善弘: 道路舗装長寿命化に向けたジオシンセティックスを用いた路盤改良の試み (2) - 試験施工の概要と効果確認の試み -, ジオシンセティックス論文集, 34, pp.69-74, 2019.
- [17] 大窪一正, 今井道男, 曾我部直樹, 戸邊勇人, 中上晋志, 早川道洋, 二羽淳一郎: 光ファイバを用いた引張り力分布計測技術のグラウンドアンカーへの適用, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 76 (1), pp.126-138, 2020.

# 分布型光ファイバひずみセンサ 建設分野向けマニュアル

## 解 説

この解説は、本体に記載した事柄を説明するもので、技術資料（TP）の一部ではない。

### 1 制定の趣旨

この技術資料は、光ファイバセンサの中でも建設分野における構造モニタリング手段の一つとして期待されている分布型光ファイバひずみセンサの建設分野への導入を容易にすることを意図して、分布型光ファイバひずみセンサの使用法と留意点について情報やノウハウを提供する。

### 2 制定の経緯

分布型光ファイバひずみセンサは、建設分野における構造モニタリングにおいても期待される一つの技術ではあるが、現状では十分に展開が進んでいないとは言えない。その原因の一つとして、同センサのこれまでにない特長が広く理解されていない点が挙げられる。分布型光ファイバひずみセンサについては、これまでのところ国内では技術的な標準や拠り所となる基本的資料がない。建設分野だけに限らず新技術の展開にあたっては、その標準に類する資料は不可欠である。

2021年8月に特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会において“分布型光ファイバひずみセンサ建設分野マニュアル”が発刊された。これは、光ファイバ敷設からデータ評価までを含めたユーザ視点でとりまとめた基本的資料である。同マニュアルは、分布型光ファイバひずみセンシング技術の適用を容易にすることを目的とし、同センサの概要とともに、その利点や留意事項、また活用方法を事例として紹介することで、導入を進めるための一助となることが期待されている。

この度、特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会のご理解により、さらに広範囲のユーザに分布型光ファイバひずみセンサ導入の対象を広げるべく OITDA 技術資料（TP）として発刊することに同意をいただいた。特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会発刊のマニュアルに記載されている適用例などは削除し、導入手順にターゲットを絞って再構成して作成を行うこととした。

以上の理由によって、ファイバオプティクス標準化部会光ファイバセンサ専門部会は、技術資料（TP）としてまとめた。本技術資料をもとに市場拡大ならびに今後の標準化提案へと繋げていく。

本 OITDA 技術資料は、2021年4月から2022年1月にファイバオプティクス標準化部会光ファイバセンサ専門部会で審議された。

### 3 審議中に特に問題となった事項

この技術資料の作成にあたり、審議中に問題となった事項及び審議結果は、次のとおりである。

- a) 特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会“分布型光ファイバひずみセンサ建設分野マニュアル”を再構成して TP とするうえで、著作権の問題が無いように注意して TP 案を作成する必要がある。また、図表を利用する場合は、許諾に関する書面の手続きが必要との指摘があった。TP 作成・検討メンバで審議し、必要な書面の手続きをとることで技術資料の作成作業を進めることとした。

#### 4 構成要素

主な項目は次のとおりである。

- a) 適用範囲（簡条 1）  
この技術資料は、分布型光ファイバひずみセンサの建設分野への導入を促進すべく、導入マニュアルとしてまとめた。
- b) 引用規格（簡条 2）  
関連する IEC 61757, JIS C 5930-1, JIS C 5962, JIS C 6820 および JIS C 6850 を引用した。
- c) 用語及び定義（簡条 3）  
この TP に記載する主な分布型光ファイバひずみセンサの用語及び定義を規定した。
- d) 分布型光ファイバひずみセンサ（簡条 4）  
分布型光ファイバひずみセンサの概要および導入手順（与条件の確認、光ファイバセンサシステムの決定、光ファイバセンサシステムの導入と運用）について記載した。
- e) 留意事項（簡条 5）  
導入にあたっていくつかの留意すべき事項（計測方式の違いの確認、ひずみ係数の取得方法、ケーブル敷設時の確認、温度補償、計測頻度や期間、データ取得、システム化）についてまとめた。
- f) 適用例（簡条 6）  
コンクリートへの適用例および土工構造への適用例について文献の紹介を行った。

#### 5 TP 作成・検討メンバ

TP 作成・検討メンバの構成表を、次に示す。

氏名	所属
足立正二	特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会
今井道男	鹿島建設株式会社
町島祐一	株式会社レーザック

(執筆者 足立 正二)

## 6 原案作成部会の構成表

原案作成メンバーの構成表を、次に示す。

### ファイバオプティクス標準化部会光ファイバセンサ専門部会 構成表

(2021年4月～2022年3月)

	氏名	所属
(議長)	村山英晶	東京大学
(メンバー)	足立正二	特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会
	飯田大輔	日本電信電話株式会社
	今井道男	鹿島建設株式会社
	大森賢一	株式会社フジクラ
	熊田亜紀子	東京大学
	黒澤 潔	
	小泉健吾	沖電気工業株式会社
	斉藤崇記	アンリツ株式会社
	佐々木 一正	産業技術大学院大学
	佐々木 勝	アダマンド並木精密宝石株式会社
	佐藤功紀	古河電気工業株式会社
	高橋正雄	株式会社東芝
	田畑和文	オプトオール株式会社
	福澤 亨	横河電機株式会社
	藤田圭一	長野計器株式会社
	町島祐一	株式会社レーザック
(オブザーバ)	山口達史	株式会社東光高岳
	池田和浩	経済産業省
	加藤俊二	国立研究開発法人土木研究所
	渋谷 隆	株式会社白山
	増田 岳夫	一般財団法人光産業技術振興協会
	宮端 茂	経済産業省
	森 洗遥	日本電気株式会社
(事務局)	依田幸英	日本電気株式会社
	村谷博文	一般財団法人光産業技術振興協会
	瀬戸山 徹	一般財団法人光産業技術振興協会 (～2021年6月30日)
浦野 章	一般財団法人光産業技術振興協会 (2021年7月1日～)	

(執筆者 足立 正二)

禁無断転載

この OITDA 規格の TP（技術資料）は、光産業技術振興協会ファイバオプティクス標準化部会光ファイバセンサ専門部会で審議・取纏めたものである。この資料についてのご意見又はご質問は、下記にご連絡ください。

TP（技術資料）：

**分布型光ファイバひずみセンサ建設分野向けマニュアル**

(Implementation Manual for Distributed Optical Fiber  
Strain Sensor for Civil Engineering Field)

TP 番号：OITDA/TP 36/FS：2022

第 1 版

公表日：2022 年 3 月 31 日

発行者：財団法人 光産業技術振興協会

住所：〒112-0014 東京都文京区関口 1-20-10

住友江戸川橋駅前ビル 7F

電話：03-5225-6431 FAX：03-5225-6435

e-mail:opt-st@oitda.or.jp （標準化室）