

分布型光ファイバ計測技術 によるインフラモニタリングの革新

～中国地方建設技術開発交流会～

2021. 10. 26

【日本建設業連合会】

鹿島建設株式会社

技術研究所

永谷 英基

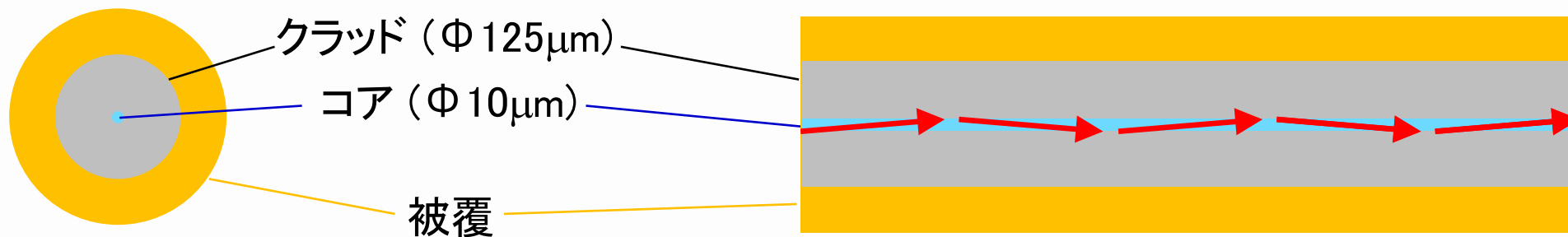
1. 分布型光ファイバセンサ

1. 分布型光ファイバセンサについて
2. 最新の計測方式【レイリー計測】
3. モニタリング事例紹介

1. 分布型光ファイバセンサ

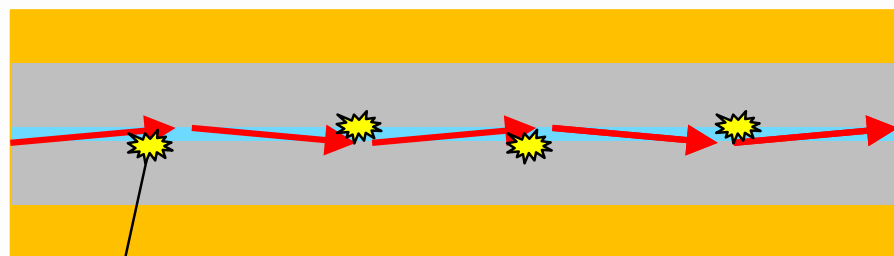
光ファイバの特長

- ・小型・軽量(素線で100g以下/km)
- ・電磁気ノイズの影響を受けない
- ・防爆性がある
- ・低損失で長距離伝送に適している
(1kmで信号強度が4%減)
- ・センサ部に電源供給が不要
- ・化学的に安定

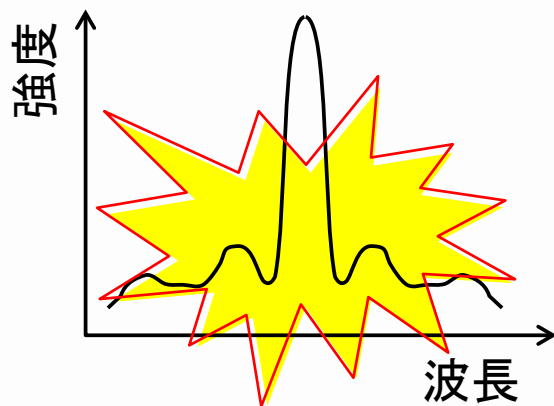


1. 分布型光ファイバセンサ

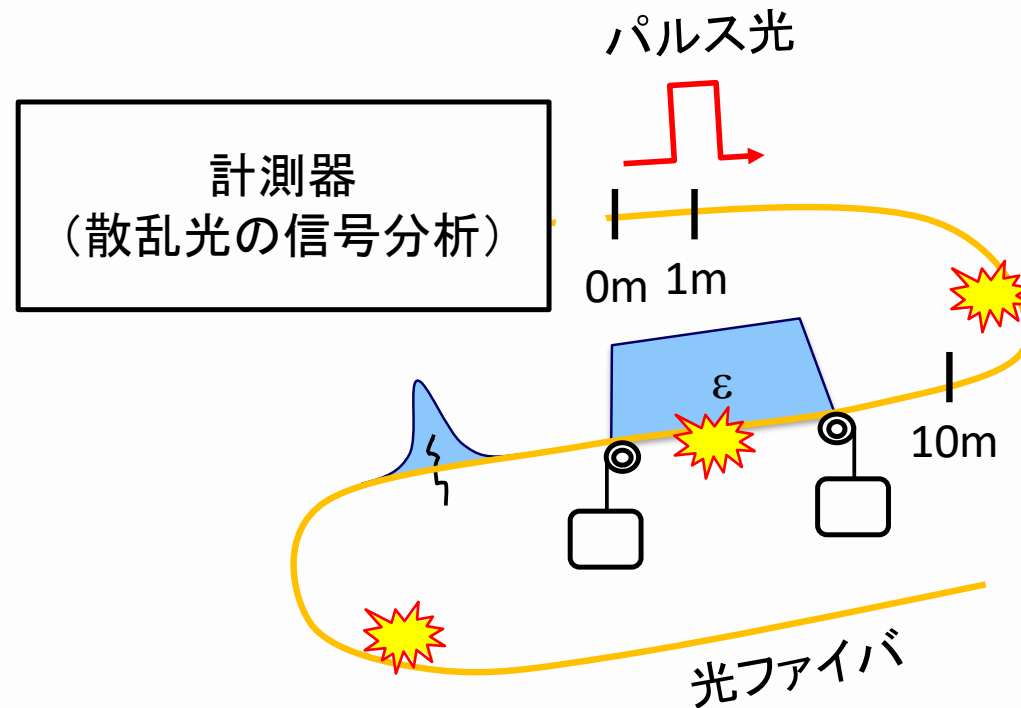
外的な要因で生じる光ファイバ内の光の物理量変化を捉える。
 → **光ファイバそのものがセンサ**になる！ (分布計測が可能)



散乱光



散乱光の信号



分布計測

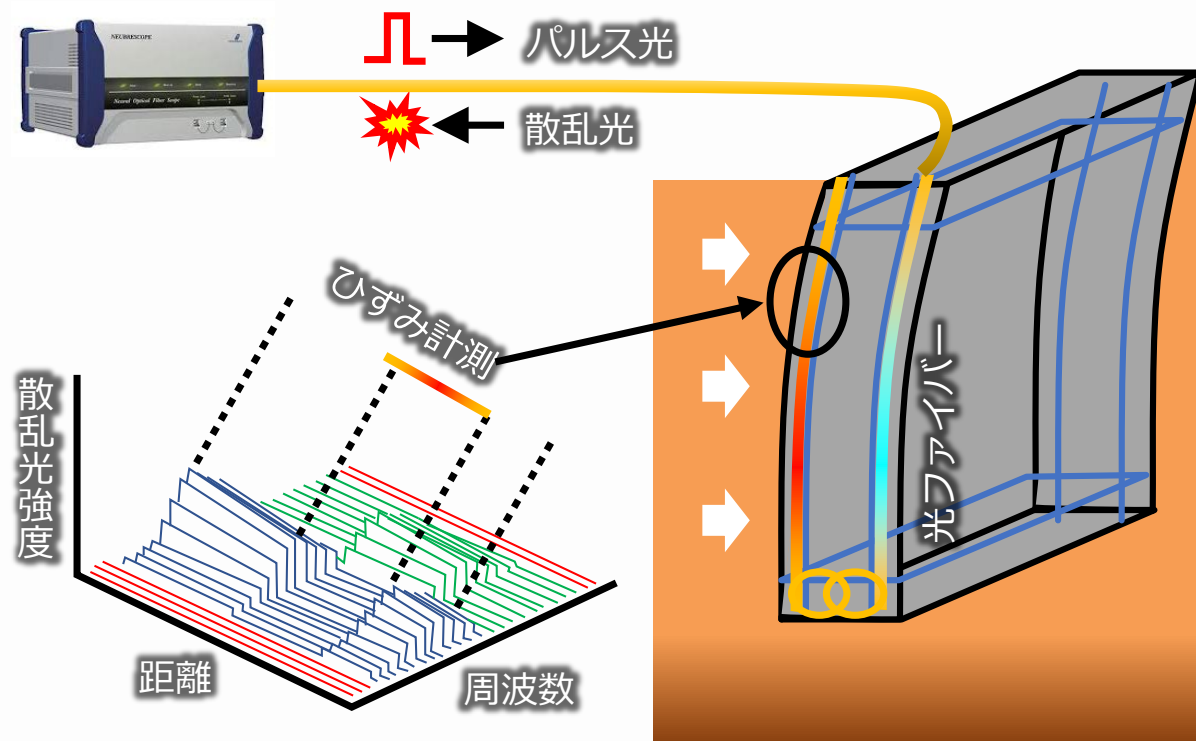
1. 分布型光ファイバセンサ

センサとしての長所

- ・通信用光ファイバを活用
(安価: 500~2,000円/m)
- ・配電が不要で外乱に安定
(落雷、漏電等と無縁)



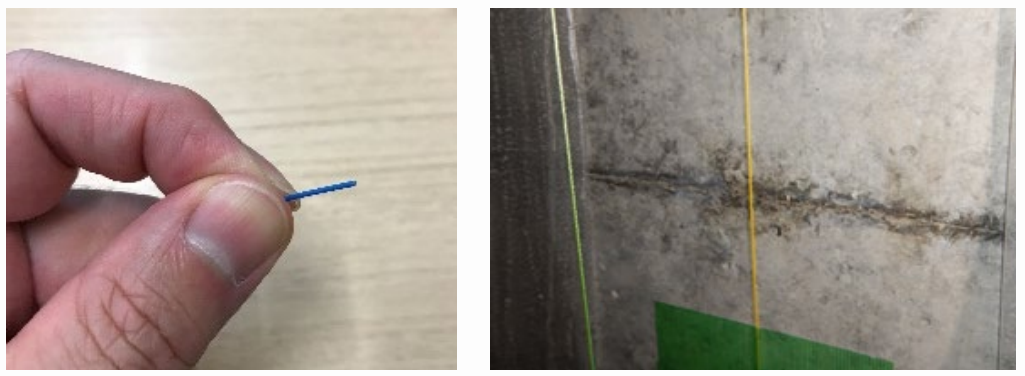
- ・目に見えない構造物内部や地盤内の現象をリアルタイムで把握
 - ➔ ひずみ、温度の連続的な分布(kmオーダー)
- ・長期のモニタリングが可能(長寿命: 数十年)



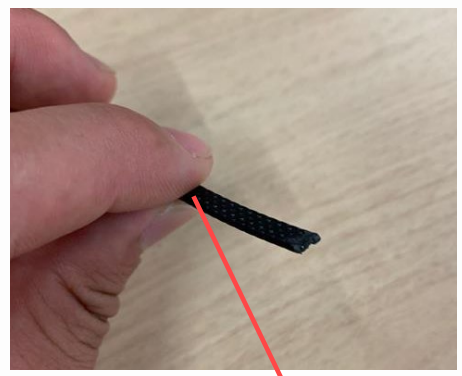
1. 分布型光ファイバセンサ

光ファイバケーブル

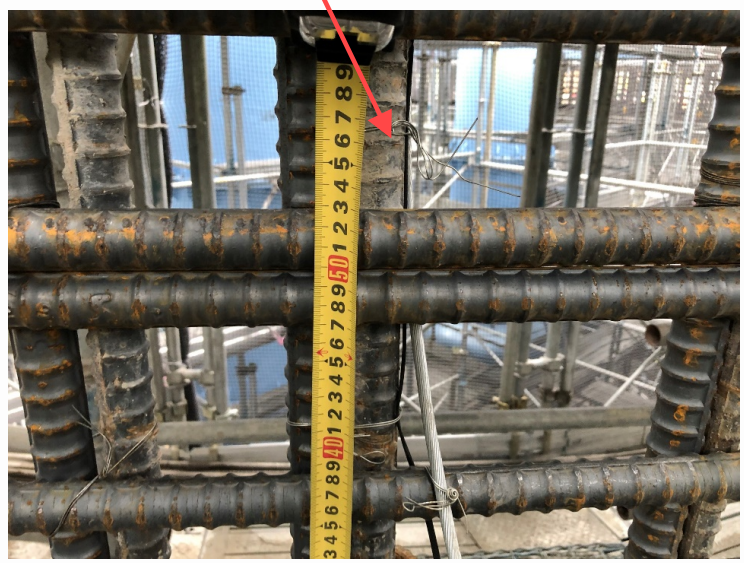
コンクリート表面や鋼材



コンクリート内



通信・配線用



2. 最新の計測方式【レイリー計測】

1. 分布型光ファイバセンサについて

2. 最新の計測方式【レイリー計測】

“高精度” “高速度”を実現

3. モニタリング事例紹介

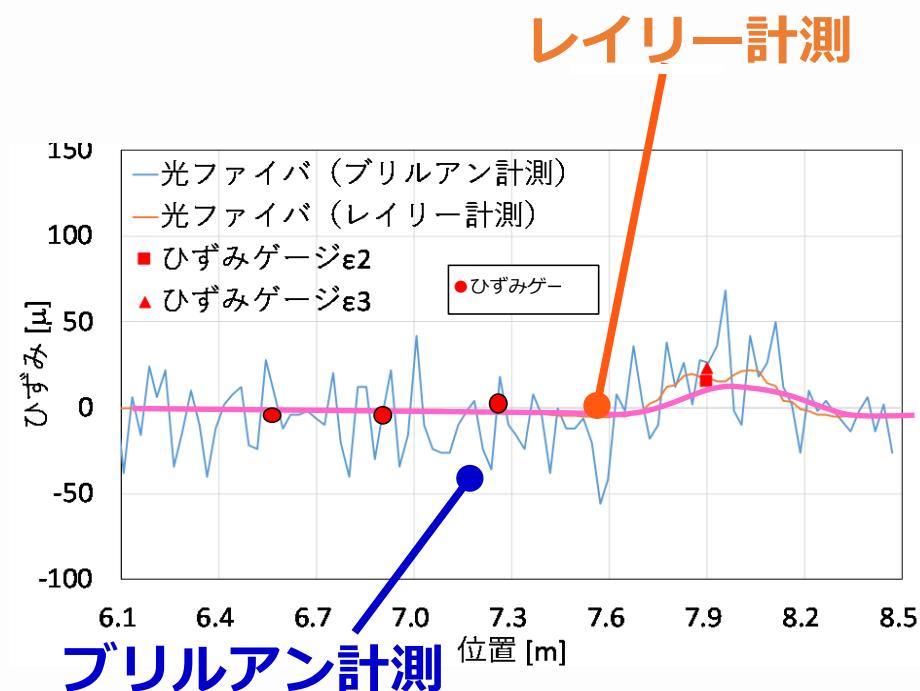
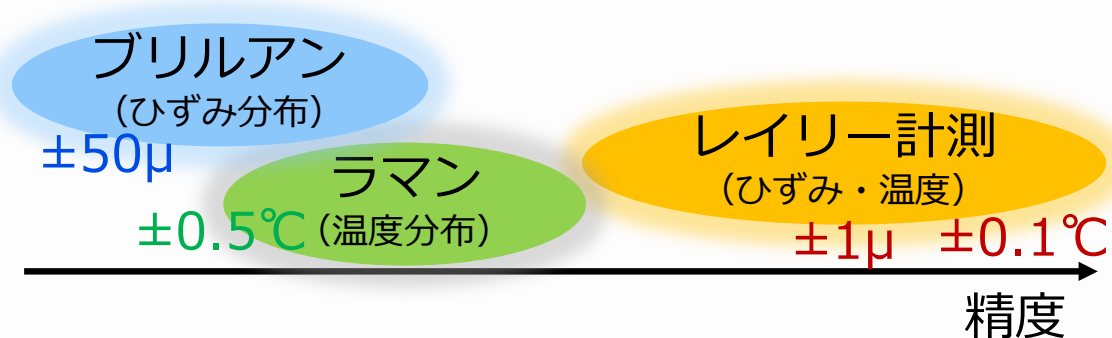
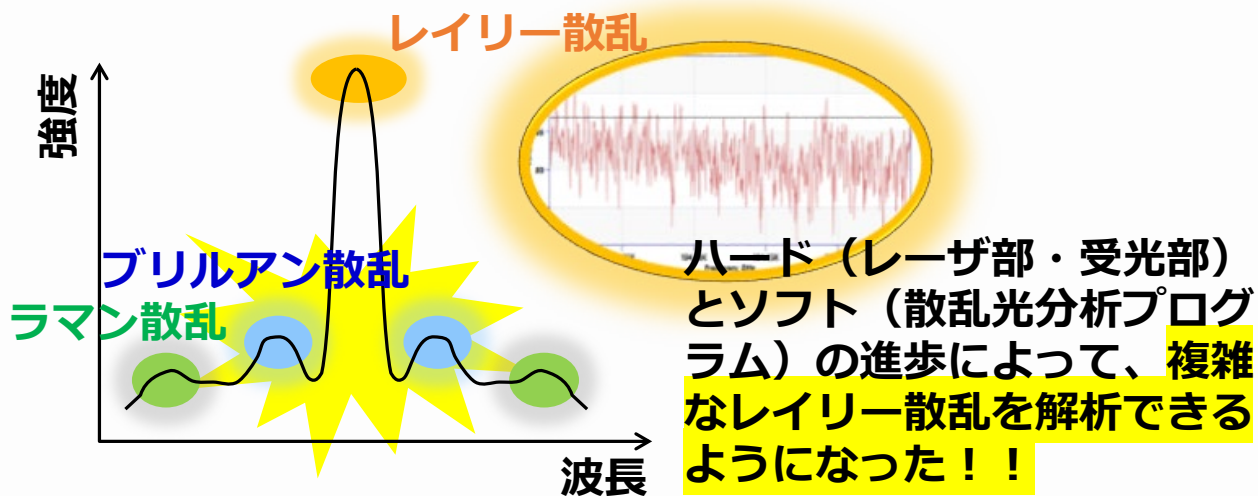
2. 最新の計測方式【レイリー計測】

概要

- これまでの分布型センサ
 - ラマン散乱: 温度分布センサ
 - ブリルアン散乱: ひずみ分布センサ

新たな光ファイバセンサ:

レイリー散乱: ひずみ分布&温度分布センサ



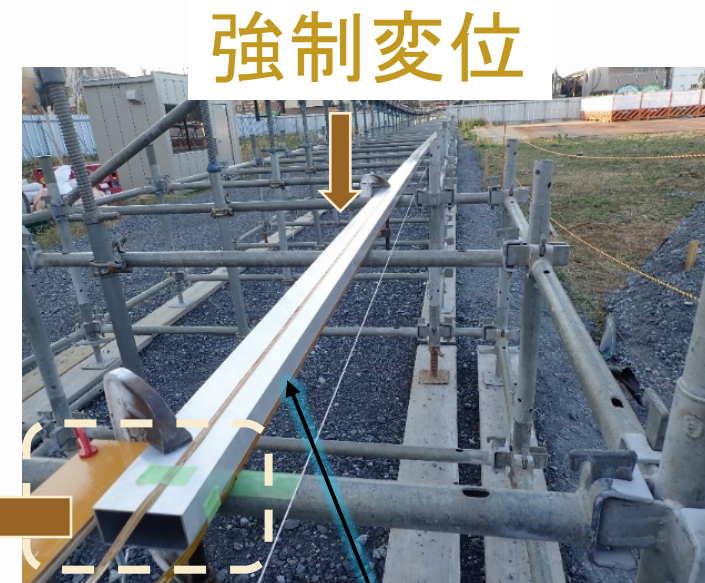
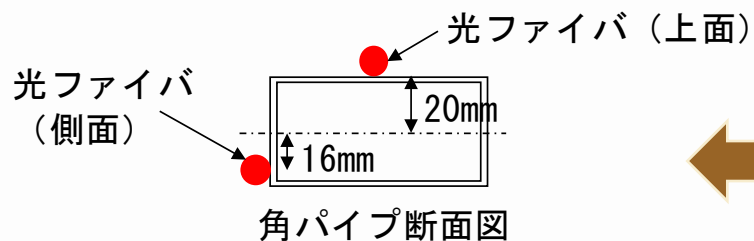
2. 最新の計測方式【レイリー計測】

レイリー計測技術で実現できること

ファイバ長 数百mの場合

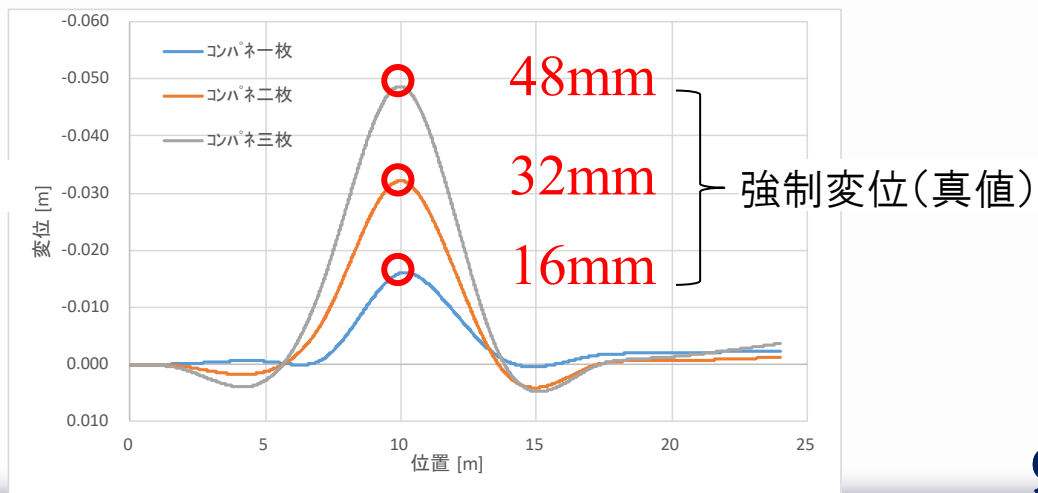
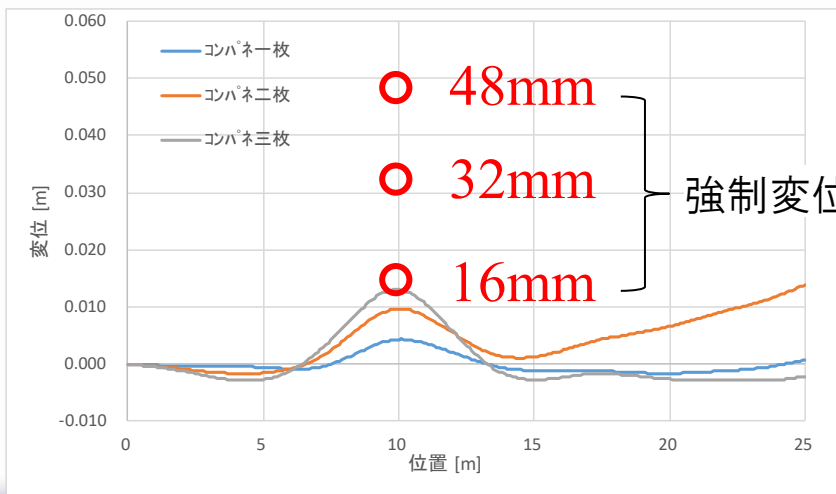
- ・精度 $\pm 50 \mu \Rightarrow \pm 1 \mu$ (分解能 最小2cm)
- ・計測速度: 5~10分 \Rightarrow 5秒 (リアルタイム化)

例えば
 曲げ変形の計測
 曲げひずみから換算



レイリー計測

ブリルアン計測



2. 最新の計測方式【レイリー計測】

レイリー計測技術で実現できること

ファイバ長 数百mの場合

- ・精度 $\pm 50 \mu \Rightarrow \pm 1 \mu$ (分解能 最小2cm)
- ・計測速度: 5~10分 \Rightarrow 5秒 (リアルタイム化)

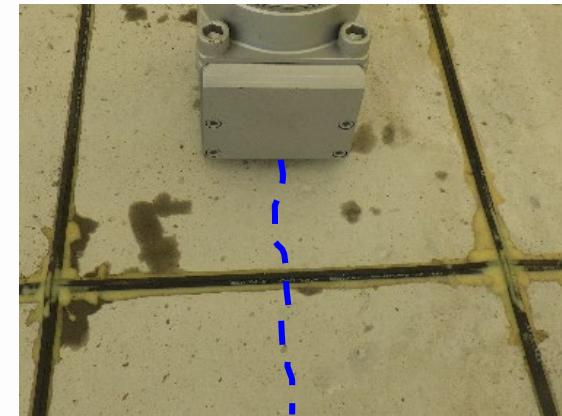
起こったことが分かる

例えば
RC構造物
のひび割れ
約 100μ で発生



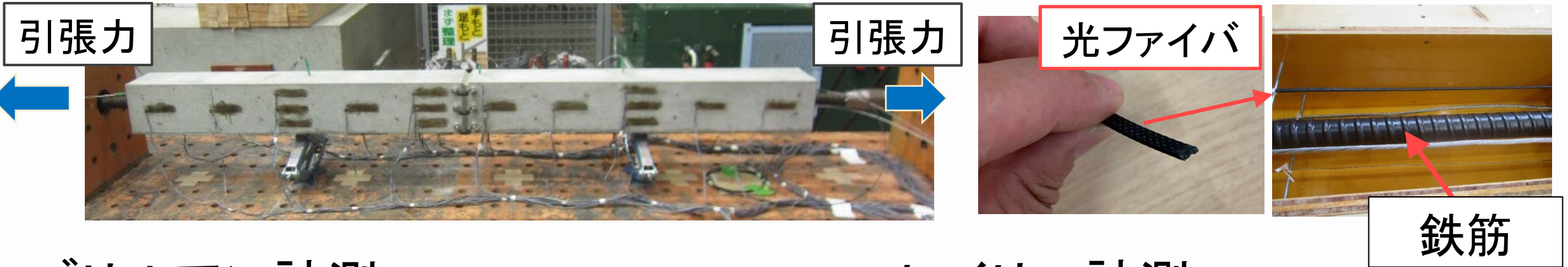
これまで

起こる前に“予兆”をとらえる！

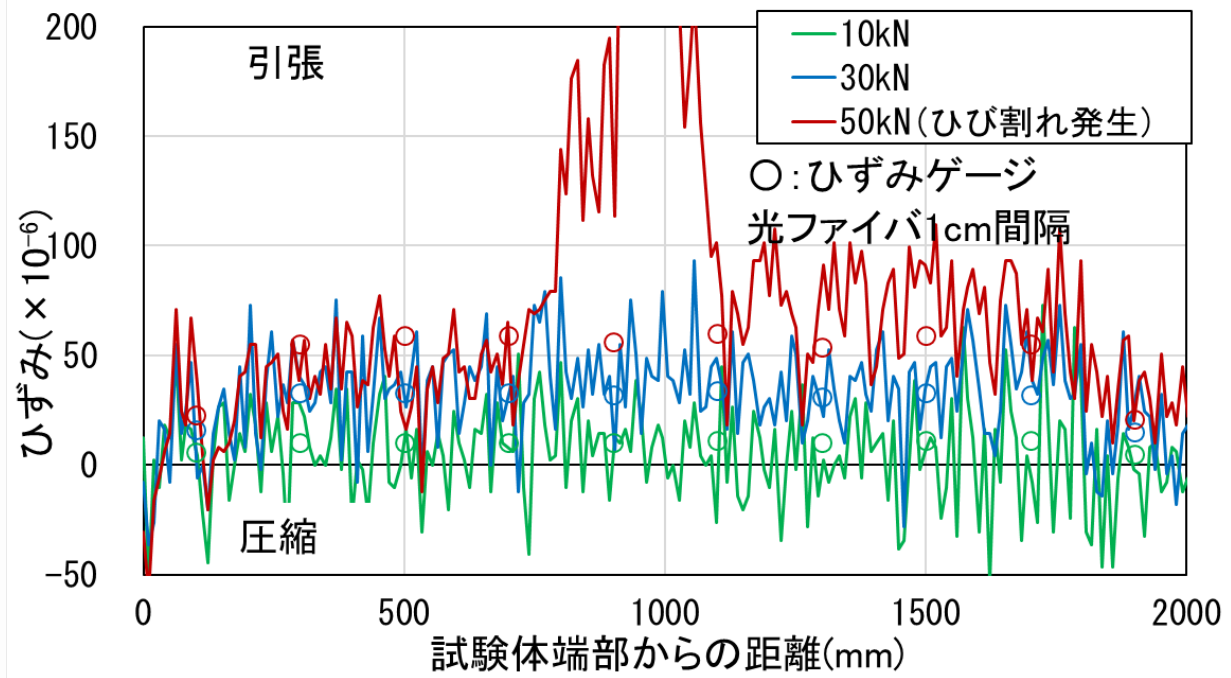


これから

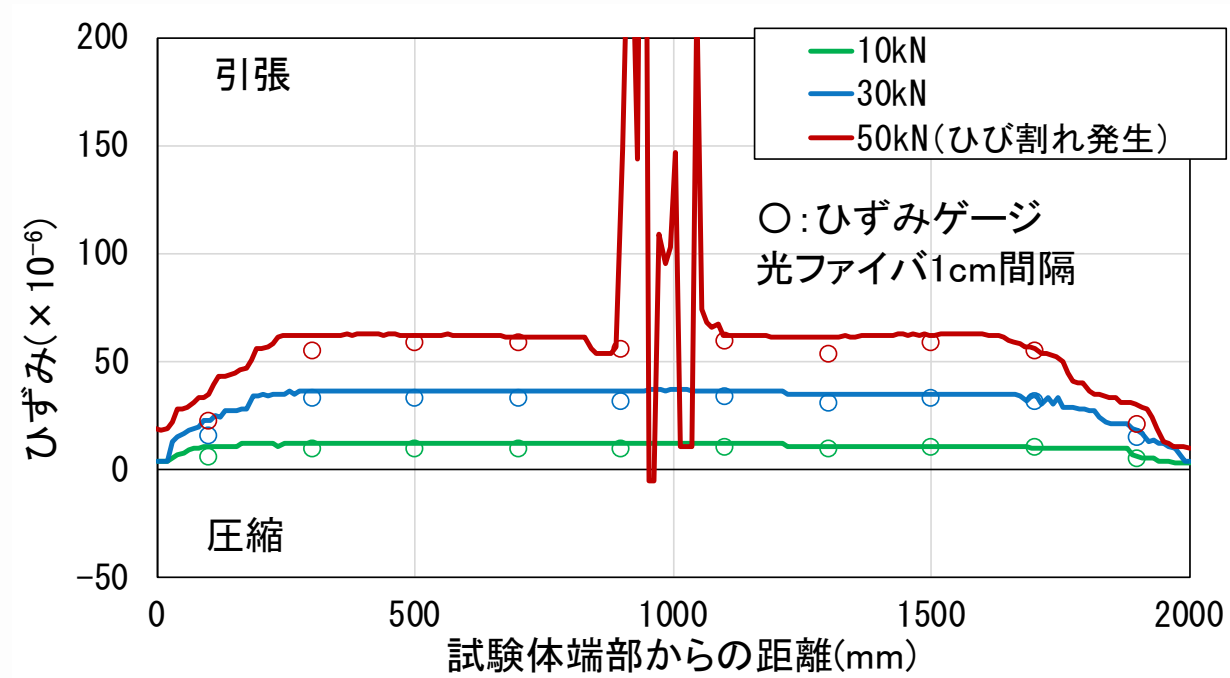
2. 最新の計測方式【レイリー計測】



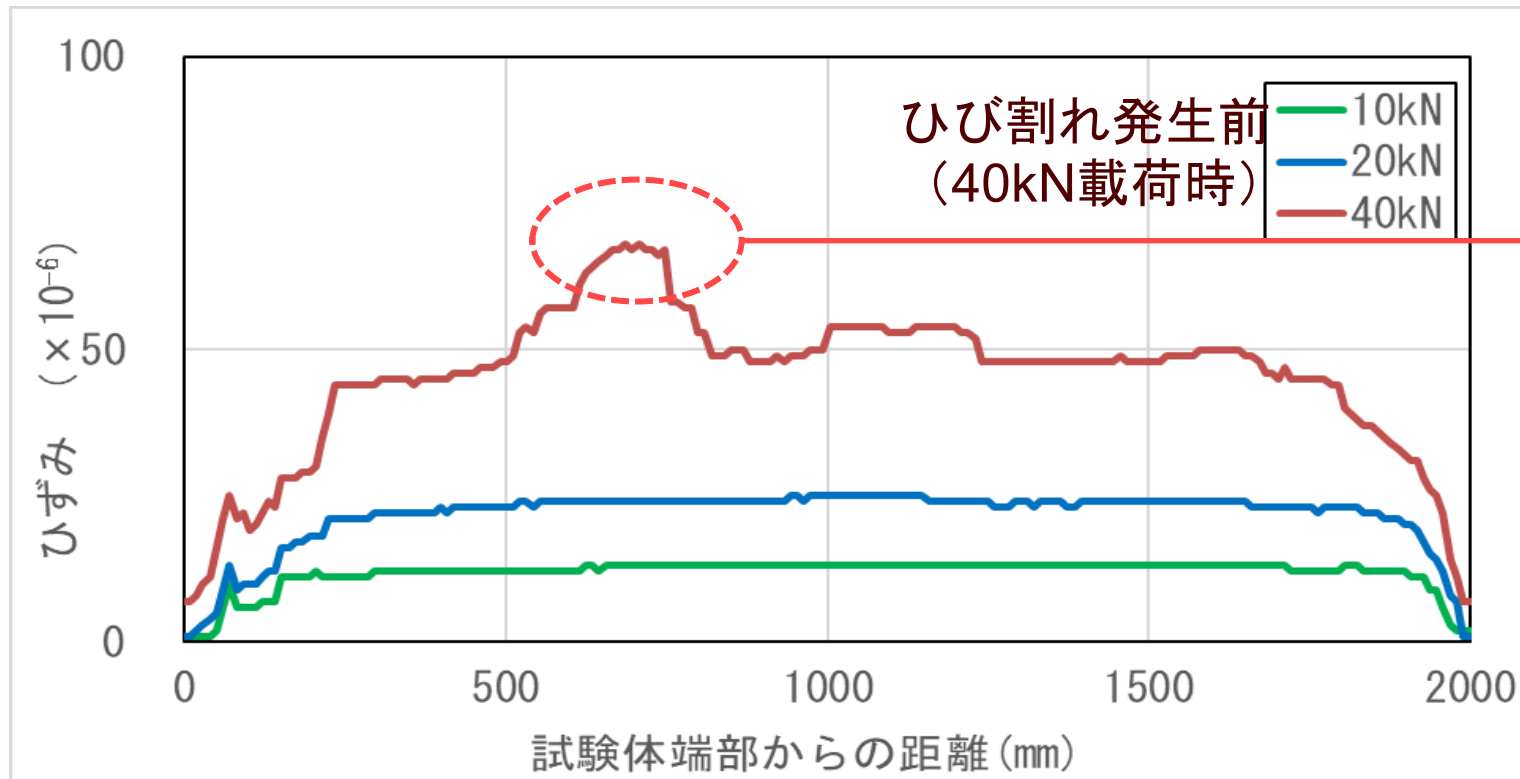
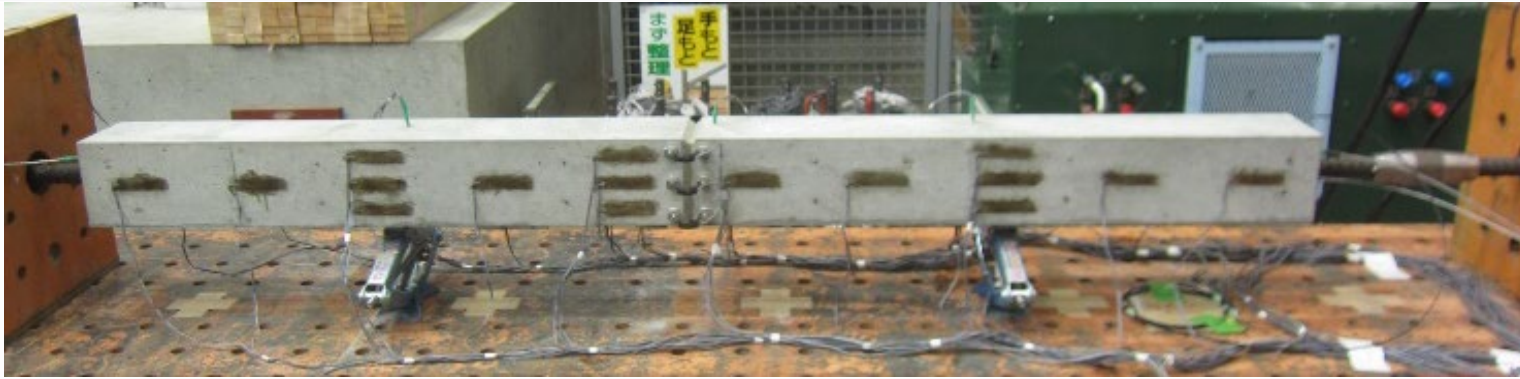
ブリルアン計測



レイリー計測



2. 最新の計測方式【レイリー計測】



レイリー計測

ひずみが増加
ひび割れの予兆を
検知

3. モニタリング事例

1. 分布型光ファイバセンサについて
2. 最新の計測方式【レイリー計測】

3. モニタリング事例紹介

見えていなかった現象
(地中, 全体像, 予兆)が“見える化”

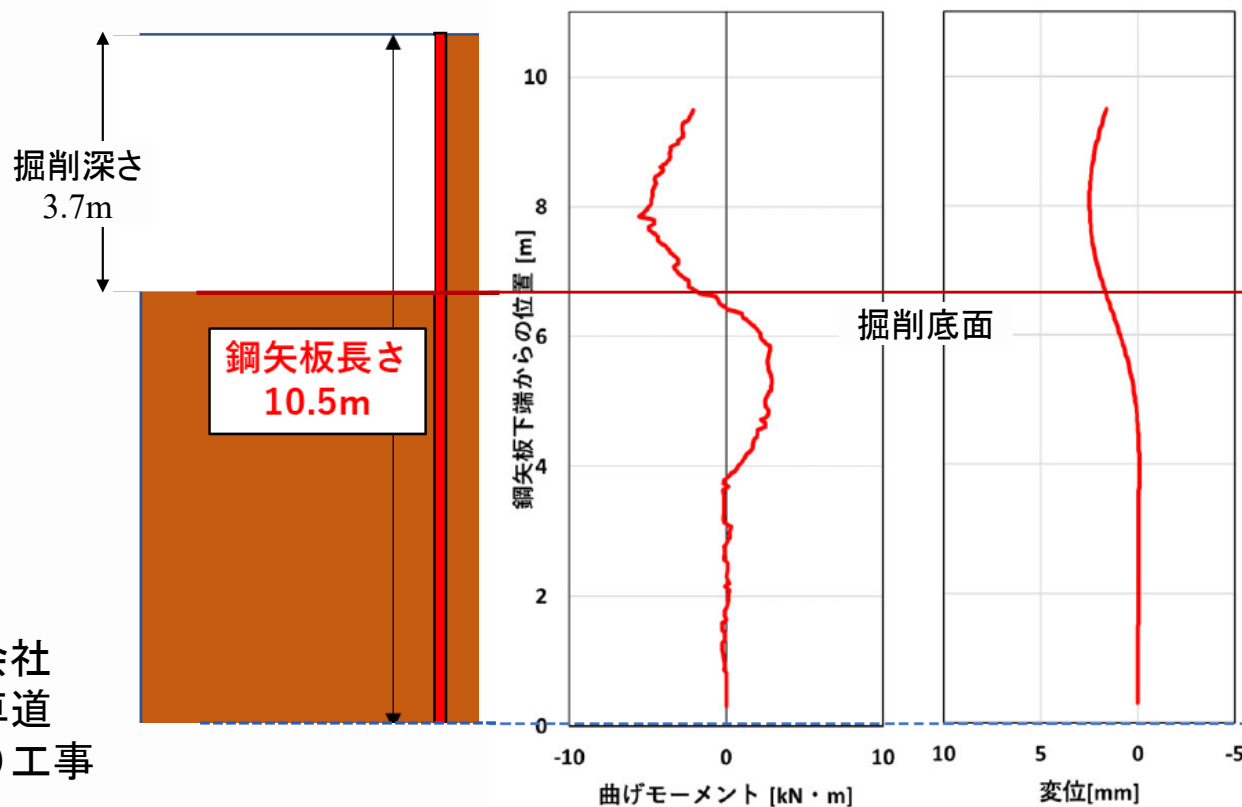
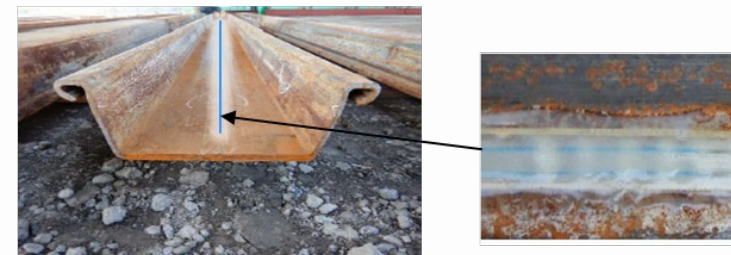
3. モニタリング事例(施工管理)

事例①: 鋼矢板のひずみ・変位を詳細把握し施工管理に活用

・従来の計測: 点での計測(ひずみゲージ・ひずみ計・傾斜計)

➤ 光ファイバを鋼矢板に貼るだけで計測可能

➤ ひずみから応力 & 変位分布を高精度・高密度に計測可能



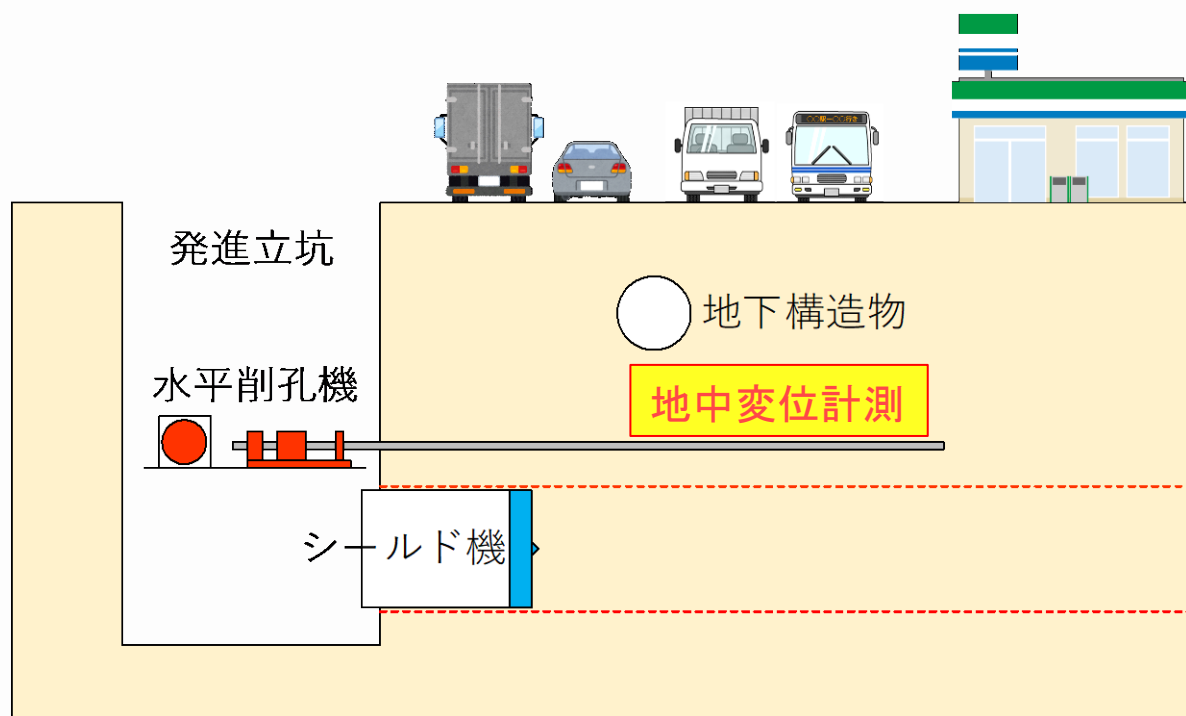
・5cm間隔に詳細なひずみを取得
 ・曲げモーメント、変位を同じ光ファイバより算出

東日本高速道路株式会社
 首都圏中央連絡自動車道
 下万田高架橋(下部工)工事

3. モニタリング事例(施工管理)

事例②: シールド直上の地中変位を詳細把握し掘進管理に活用

- ・立坑から水平ボーリング孔を設置し、光ファイバセンサを挿入敷設
- ・シールド掘進時にリアルタイムに地中変位をモニタリング



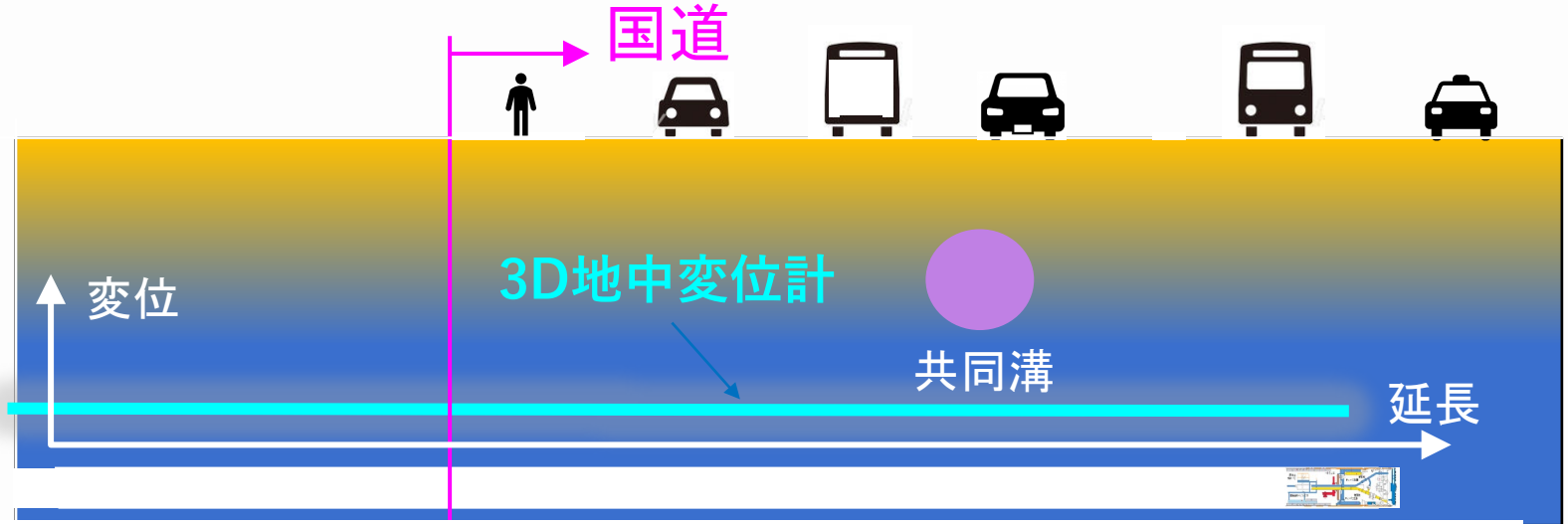
東京都水道局
上北沢給水所(仮称)から世田谷区船橋四丁目地先間配水本管
(1100mm・1000mm)新設工事(シールド工事)



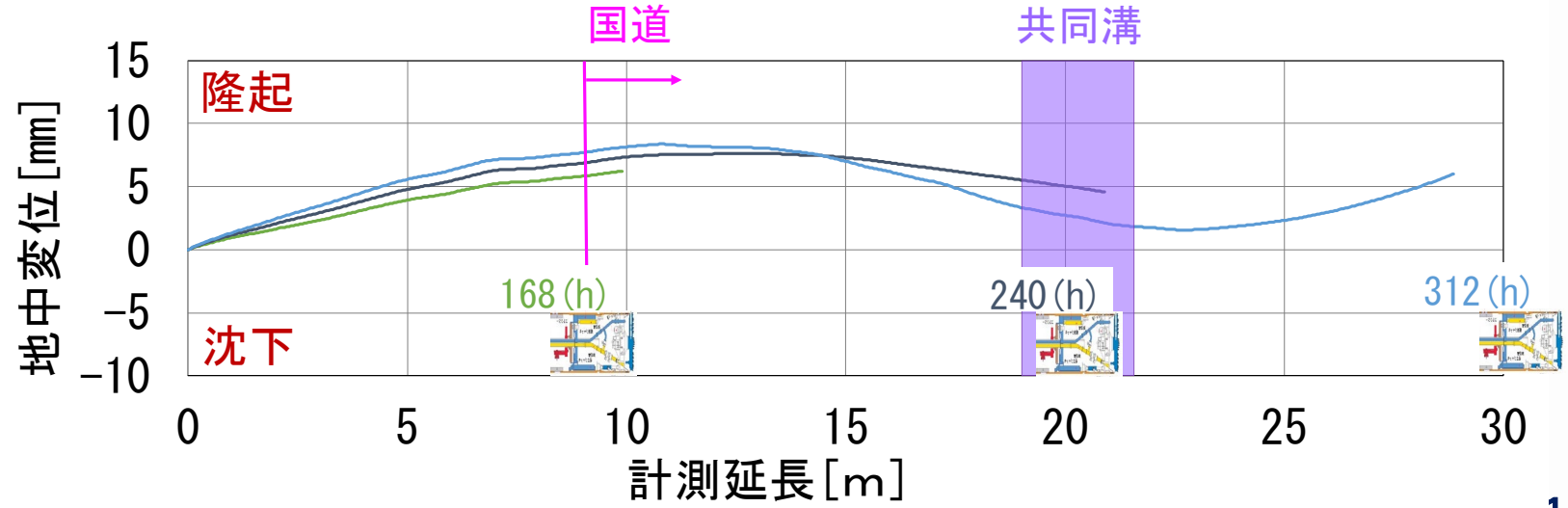
国道20号(甲州街道)直下を横断

3. モニタリング事例(施工管理)

事例②: シールド直上の地中変位を詳細把握し掘進管理に活用



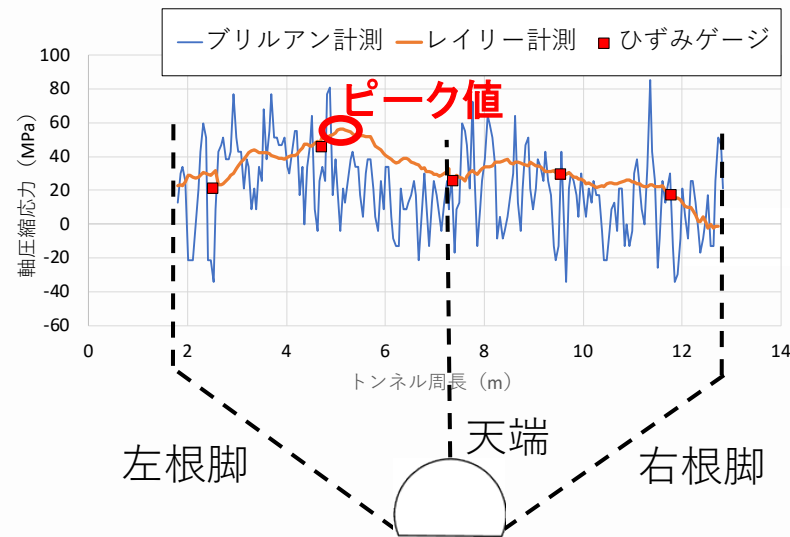
- 地表面並びに共同溝に変位を与えることなく、**マシンの通過に成功**
- **地表面の過大な沈下や陥没事象の発生を確実に防止**できる**安全・安心な施工が可能**



3. モニタリング事例(施工管理)

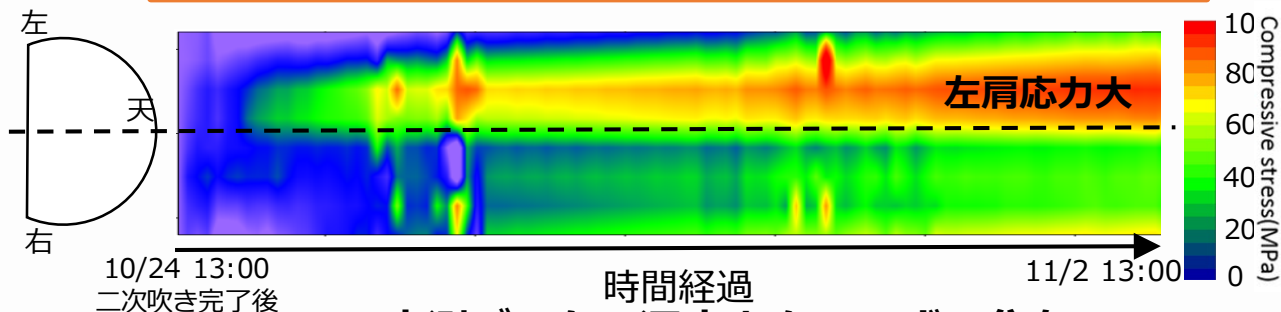
事例③: 支保や覆工コンクリートの応力を網羅的に把握し、施工管理に活用

- ・従来の計測: 支保や覆工コンクリートの応力は点で把握
- ・新たな光ファイバセンシングにより、
 - 応力分布の計測によりピーク、変形モードを把握し、**地圧分布**を把握
 - 掘削後の**時間変状**を把握
 - **適切な支保パターン**により効率的な施工を実現
 - 崩落を防ぐ**安全な施工**を実現



支保への光ファイバ設置概要

- 支保全長を漏れなく把握し、**最大応力と発生位置**を把握、かつ時間経過を把握

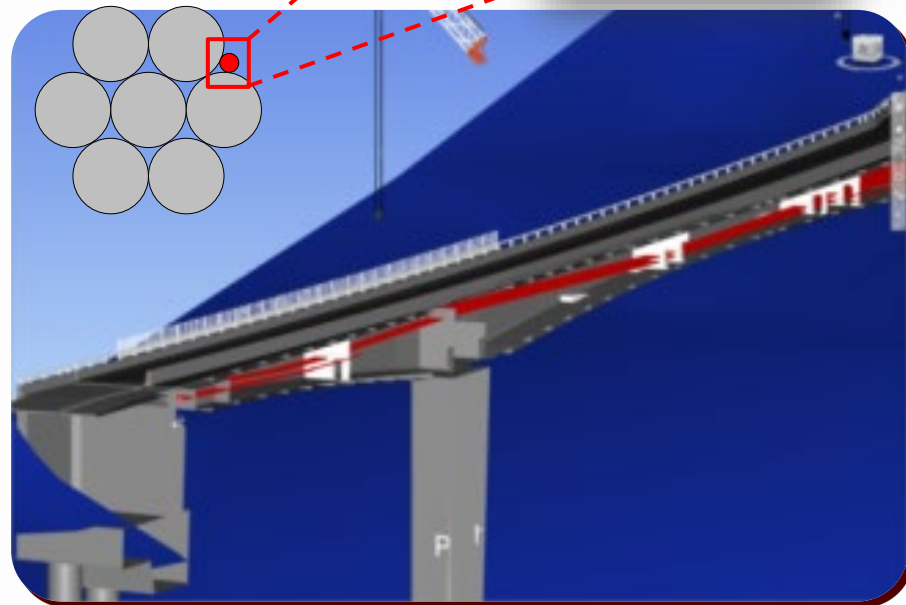
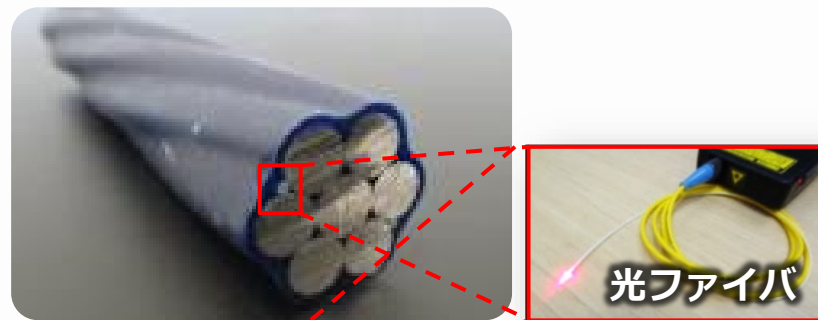
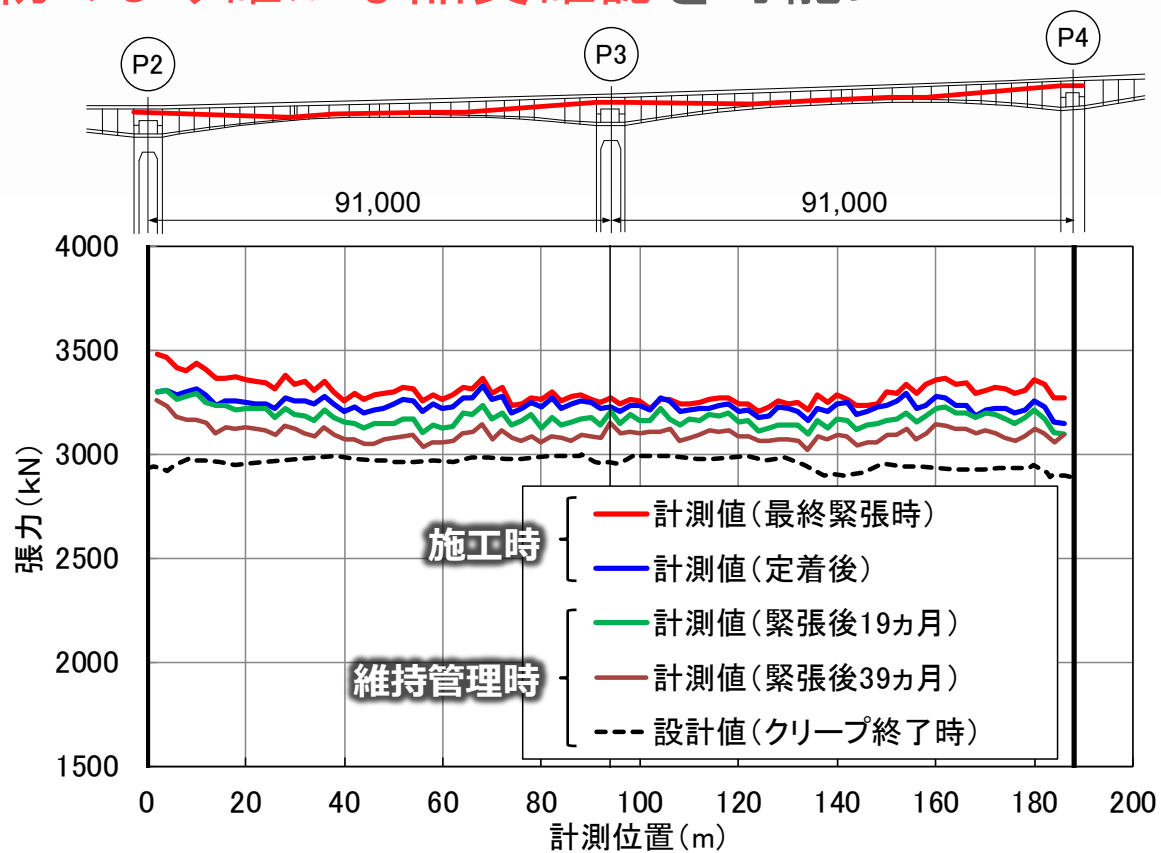


実測データ: 深度方向のひずみ分布

3. モニタリング事例(維持管理)

事例①: PCストランドの張力分布計測管理に活用

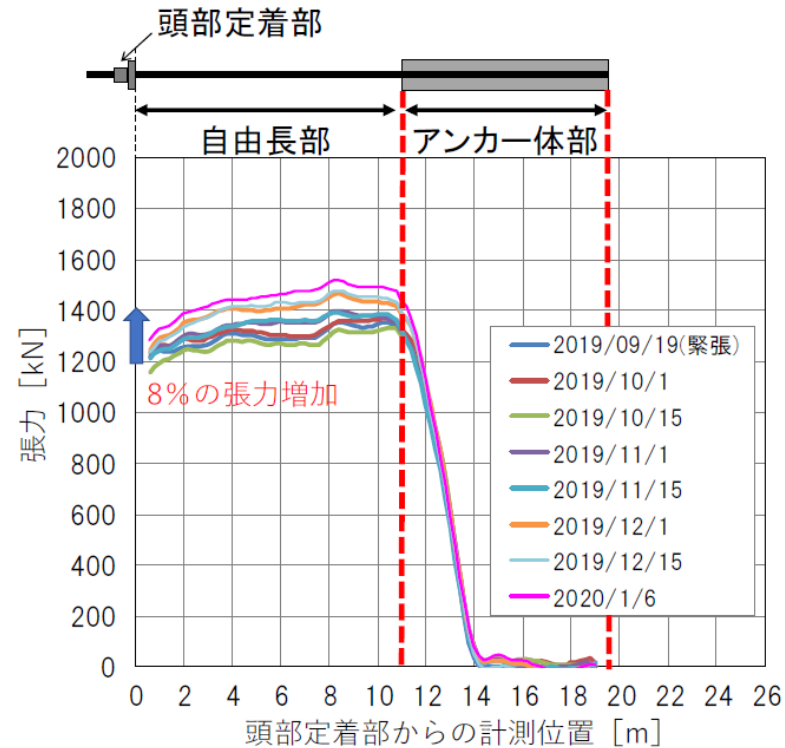
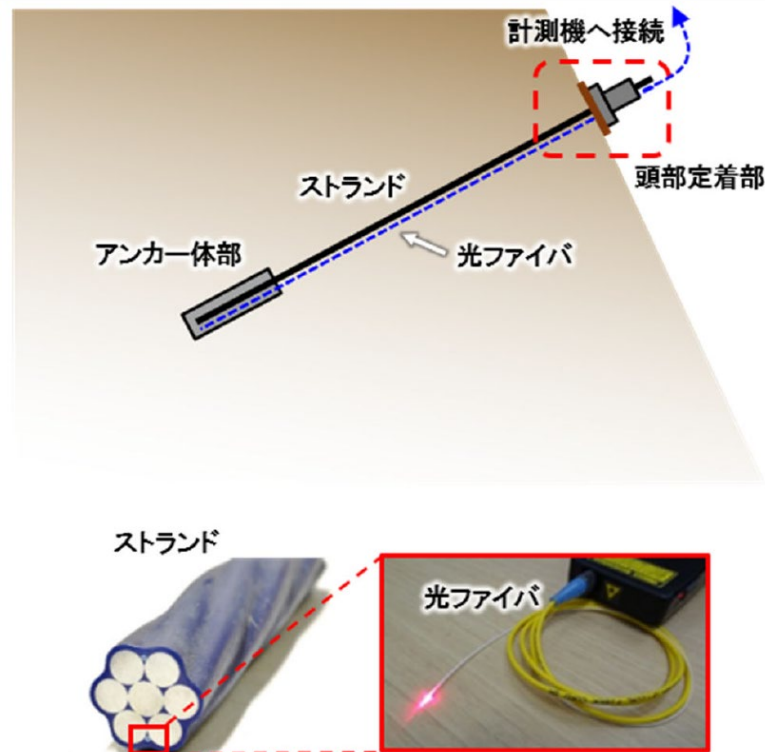
- 従来困難であったPCケーブルの張力管理を施工時から維持管理までの確に行い、PC構造物のより確かな品質確認を可能に



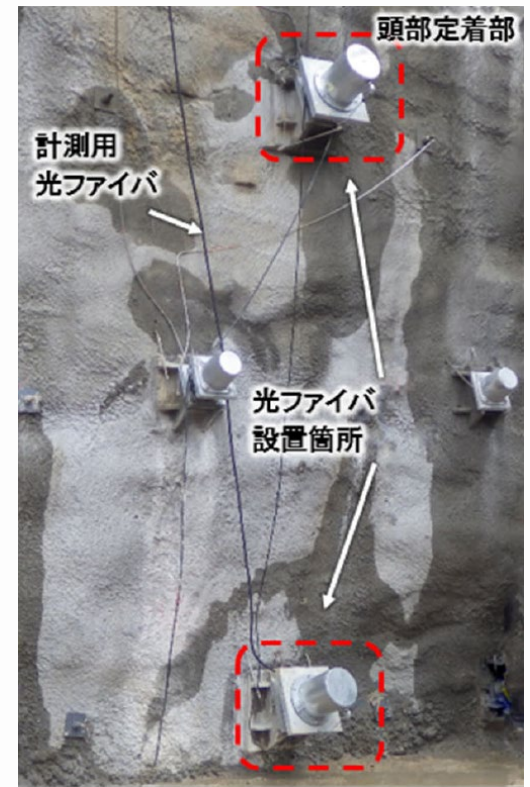
3. モニタリング事例(維持管理)

事例②: グラウンドアンカーの張力分布計測に活用

- ・従来困難であったグラウンドアンカーの張力管理を施工時から維持管理までの確に行い、**点検の効率化・定量的な健全性評価**を可能に
- ・張力の経年変化や地盤のすべりを検知



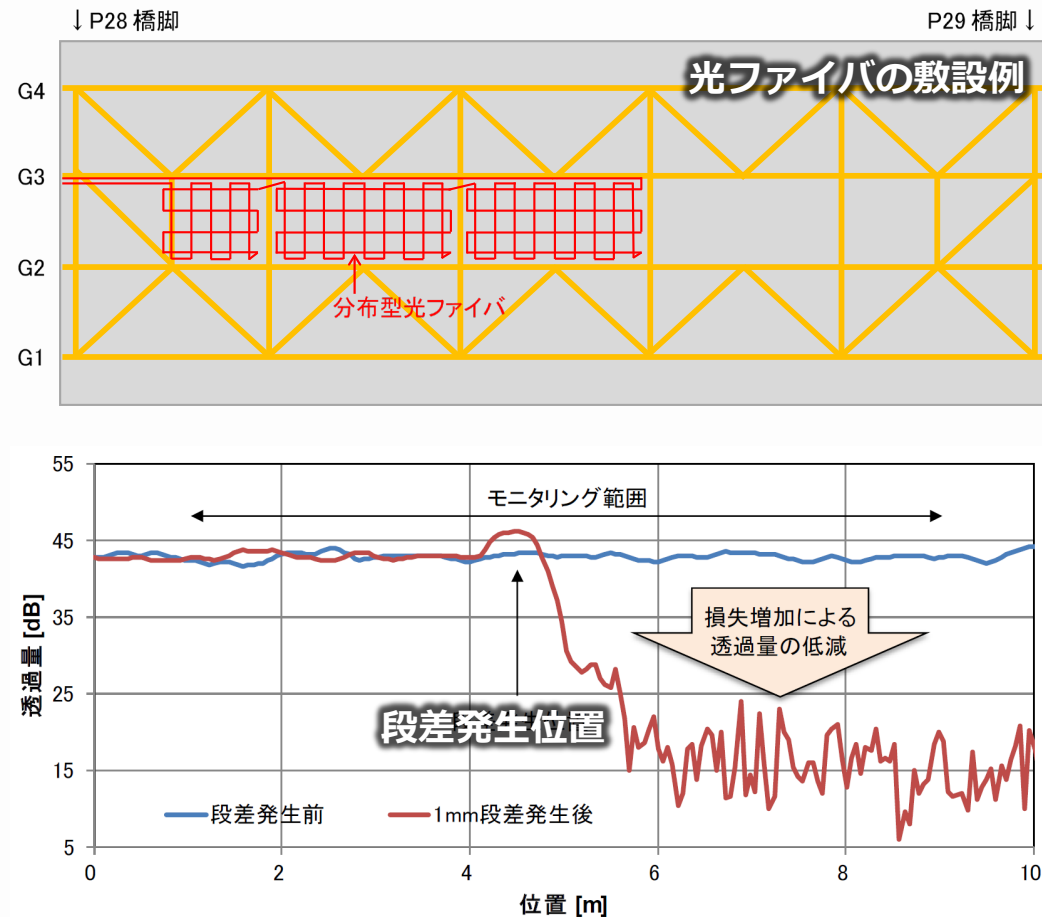
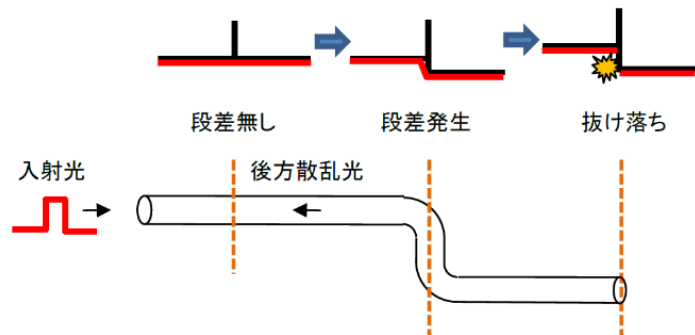
計測結果



3. モニタリング事例(維持管理)

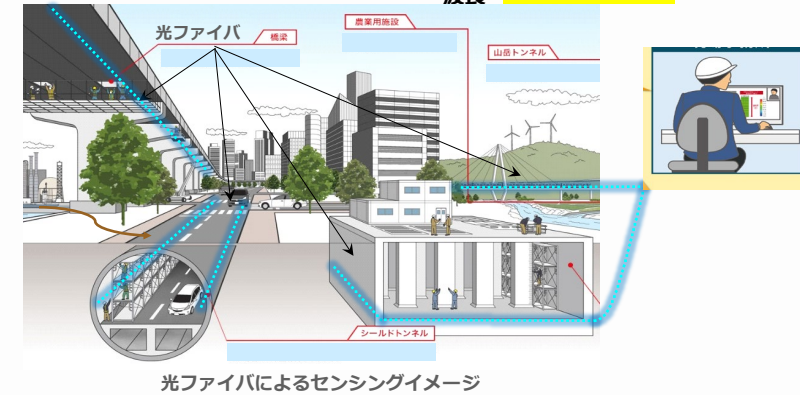
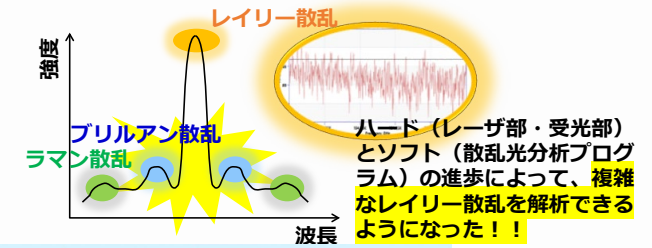
事例③: RC床版の抜け落ち監視(常時モニタリング)

- 劣化が進行して抜け落ちが懸念されるRC床版を対象に、**抜け落ちの兆候を検知することで危険性の監視を可能に**



レイリー計測技術の特徴

- ・ **ひずみ、温度の連続的な分布 (kmオーダー) を計測可能**
- ・ **高精度 ($\pm 1 \mu$) と高速度 (5秒/1計測) を同時に実現**
→ “現象” と “予兆” を把握
- ・ **地盤や構造物のひずみ、温度を、見える形 (変位、応力、ひび割れ) で取得し 客観的で定量的なデータとして評価**
→ 技術者から一般の方まで “視覚的” な認識



光ファイバの実装により “施工～竣工時～供用後～災害時”
インフラのライフタイムで一貫した遠隔モニタリングが実現可能に！

ご清聴ありがとうございました。