

# モニタリング技術の現状と課題

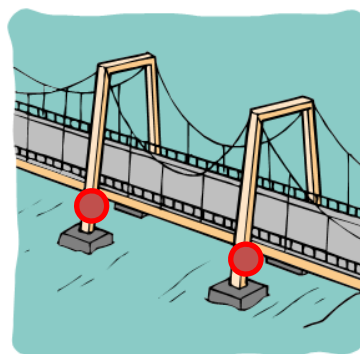
# 1. モニタリング技術の特徴

- 社会インフラにおけるモニタリング技術の活用に向けた取組として収集した31事例を、特徴ごとに分類すると以下の通り。

## (1) 計測形態

### ① 固定型

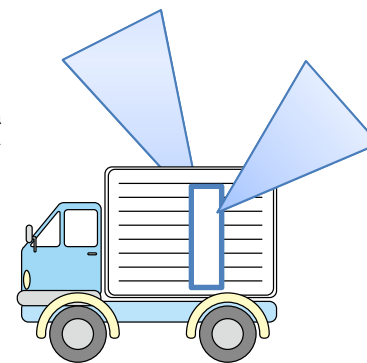
センサーやカメラ等を構造物に設置した上で監視  
⇒ 常時監視



【事例数】26/31

### ② 移動型

センサーやカメラ等を設置した移動体（車両等）を用いて監視  
⇒ 定期監視

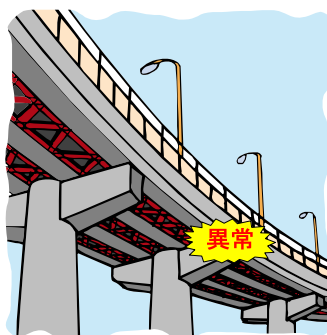


【事例数】5/31

## (2) 計測対象

### ① 構造物自体の監視

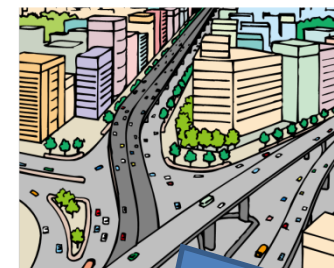
構造物自体の変位や異常を監視  
⇒ a. センサー等の測定結果（変位、加速度等）から構造物の状況を推測（健全度等の診断）  
⇒ b. センサー等の測定結果から異常の有無を直接判断（斜面崩壊、落橋等）



【事例数】30/31

### ② 外力（使用状況）の監視

構造物に影響を与える可能性のある外力（例：大型車の通行量）を監視  
⇒ 構造物の使用状況を監視



【事例数】1/31

特殊車両の通行状況など

### (3) 計測技術

計測手段	物理センサ			光学センサ	
	変位	音・振動	その他 (電気等)	形状	その他 (熱・光等)
<b>コンクリート</b> 【事例数】14/31	岸壁・護岸 1-1 栈橋 1-2 1-3 橋梁 1-4 1-5 1-6 1-7 1-8 共同溝 1-9 埋設構造物	岸壁・護岸 1-10 下水道 1-11 埋設構造物	栈橋 1-12	トンネル 1-13	トンネル 1-14
<b>鋼</b> 【事例数】7/31	橋梁 2-1 2-2 2-3 2-4	橋梁 2-5	栈橋 2-6		橋梁 2-7
<b>土</b> 【事例数】6/31	斜面 3-1 3-2 3-3 3-4			斜面/ 地盤 3-5 3-6	
<b>その他</b> 【事例数】4/31	その他 4-1 4-2			その他 4-3 4-4	

- 1-1. 護岸ブロックの流出検知による河川護岸監視
- 1-2. 栈橋上部工床版等のひずみ量モニタリング
- 1-3. 滑走路栈橋の変位把握による健全度評価
- 1-4. 光ファイバによるひずみ把握
- 1-5. 塩害コンクリート橋の架け替えまでの変位監視
- 1-6. 補修・補強を行ったコンクリート橋の長期モニタリング
- 1-7. 橋梁モニタリングシステムの適用性検討
- 1-8. 亀裂変位計および水管沈下計による損傷橋梁のモニタリング
- 1-9. 公益共同溝の光ファイバによる変状監視
- 1-10. 結水港湾における水中部の劣化把握
- 1-11. 広角カメラや衝撃弾性波などによる下水道管渠のモニタリング

- 1-12. 栈橋上部工の腐食モニタリング
- 1-13. 走行型計測車両を適用した移動体による変位観測
- 1-14. 画像による壁面劣化把握
- 2-1. 東京港臨港道路の橋梁動態把握
- 2-2. 本四連絡橋の動態把握システム
- 2-3. 破断検知線を用いた鋼橋の疲労損傷モニタリング
- 2-4. 亀裂発生箇所センサによる状況監視
- 2-5. 新湊大橋の耐風対策工効果把握のための振動観測
- 2-6. 電気防食化した栈橋鋼管杭部の腐食状況把握
- 2-7. ひずみ可視化シートによる構造部材劣化検知

- 3-1. 光ファイバセンサを活用した道路斜面モニタリング
- 3-2. 傾斜・ひずみセンサによる道路施設モニタリングシステム
- 3-3. 既設アンカーの荷重計による緊張力監視
- 3-4. GPSセンサによる法面の位置ずれ把握
- 3-5. デジタル画像計測による斜面モニタリングシステム
- 3-6. 干渉SAR解析による地盤変動監視
- 4-1. GPSを用いた堤体の変位把握による健全度把握
- 4-2. 特殊車両走行重量計測システム
- 4-3. カメラ・センサを搭載した車両による道路現況計測システム
- 4-4. 鉄道道床変位自動検知システム

## (参考) 把握すべき事象の例と既存のモニタリング事例における測定項目

### ① コンクリート構造物

把握すべき事象の例	既存のモニタリング事例における測定項目
全般※	ひずみ量等
ひび割れ、段差	ひずみ量、画像[赤外・可視]、ひび割れ幅、音・超音波・弾性波、断線
うき、はく離、はく落、鉄筋露出	画像[赤外・可視]、形状
コンクリート補強材の損傷(鋼板、繊維、鉄筋、塗装)	電位(腐食)、画像[赤外・可視]
傾き、沈下、変形、欠損、移動	ひずみ量、位置変位、水圧(沈下)、位置・形状変化
抜け落ち	
洗掘	
定着部の異常	
漏水、滞水、遊離石灰、つらら、側氷	画像[赤外・可視]
変色	
打継目の目地切れ	位置変位
異状な音・振動	振動
異状なたわみ	振動
その他(流出)	通信可否

### ② 鋼構造物

把握すべき事象の例	既存のモニタリング事例における測定項目
全般※	ひずみ等
破断	
変形・欠損	ひずみ、位置変位
沈下・移動、傾斜	
亀裂	断線
ゆるみ・脱落	
腐食	
防食機能の劣化(塗装・メッキ・金属溶射、耐候性鋼材)	電位
定着部の異常	
漏水・滞水	
異常なたわみ	位置変位
その他	振動

※点検項目に対応する特定の事象を対象とした測定ではなく、測定結果をもとに、各事象との対応付けを検証すること等を目的としたもの

## (参考) 把握すべき事象の例と既存のモニタリング事例における測定項目

### ③ 土構造・地盤

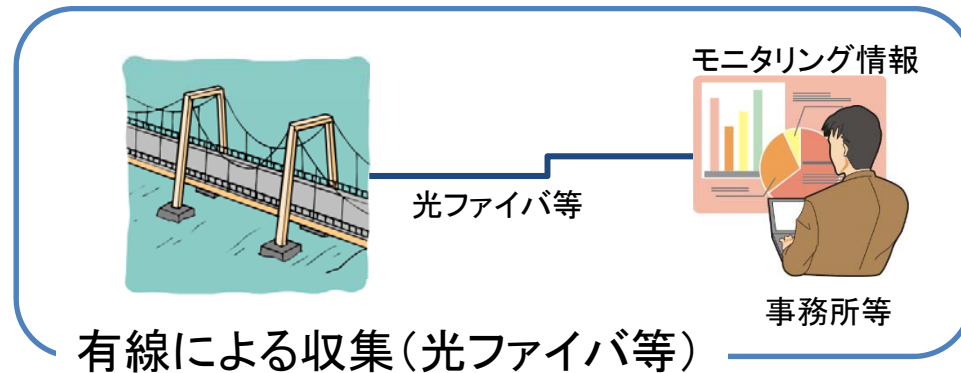
把握すべき事象の例	既存のモニタリング事例における測定項目
法面・小段のき裂、沈下、陥没、はらみだし、塵埃、土砂の堆積、法崩れ、寺勾配化、侵食等	
地表水や地下水の流出	
空洞	熱赤外画像
洗掘、侵食	位置変位
地表移動、クラック開口、地盤傾斜	位置変位、傾斜
地中ひずみ、地中移動、間隙水圧、地下水位、緊張力	水位、緊張力
浮石、転石	
法面・小段の不陸	
目地の開き、き裂、破損等	
根固工、水制工の変状	
遮水シートの露出や破断	
雨水排水上の問題箇所（小段の逆勾配や局所的に低い箇所）、排水施設の機能異常	
樹木の進入、拡大、植物の育成異常	
張芝のはがれ等、堤防植生、表土の状態	

### ④ その他構造物

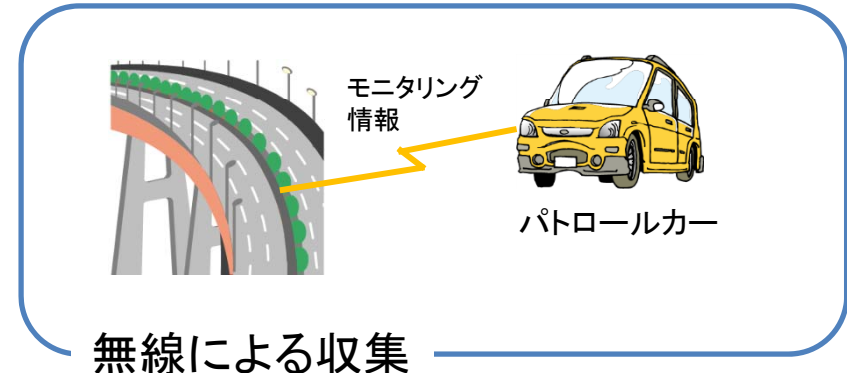
部材	把握すべき事象の例	既存のモニタリング事例における測定項目
舗装	ひび割れ	交通量、形状
	わだち掘れ	交通量、形状
	縦断凹凸	交通量、形状
	その他（空洞）	赤外線画像
付属物	破断	
	ゆるみ・脱落	
	変形・欠損	
	き裂	
	腐食（紡織機能の劣化、孔食、異種金属接触腐食）	
	滞水	

## (4)その他の特徴

### ● 計測データの収集方法



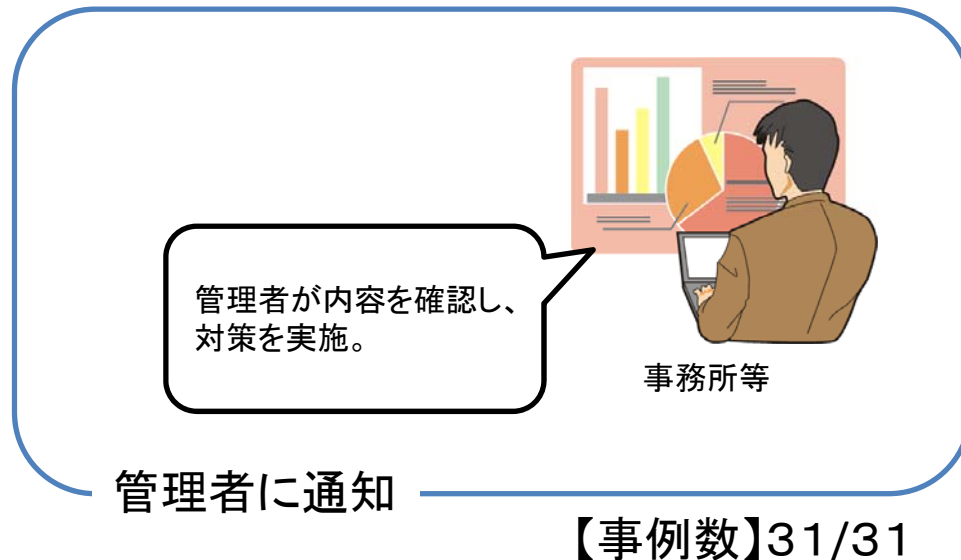
【事例数】20/31



【事例数】5/31

※移動型の事例など、どちらにも該当しないものが6事例あり

### ● モニタリング情報の通知方法

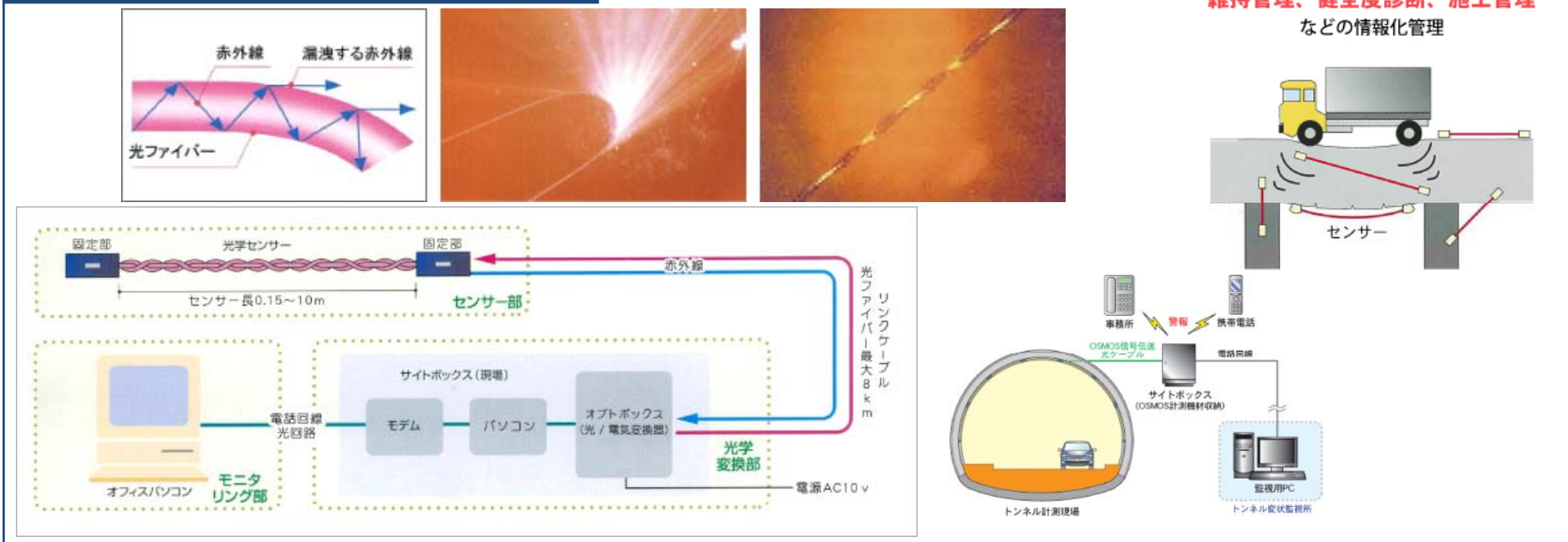


## 2. モニタリング技術の活用に向けた取組事例

### 事例1-4：光ファイバによるひずみ把握

概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>赤外線が光ファイバの曲がり部において漏洩し、通過する赤外線の強度が変化するマイクロベンディングの原理を利用し、構造物の相対変位を光ファイバセンサーにより計測する。リンクケーブル（最大8km）を経てサイトボックスでモニタリングし、電話回線・光回線を使って事務所等に通知する。</li> </ul>
成果・課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>2003年10月から現在にかけて長期的にモニタリングを継続している実績がある。</li> <li>計器などのインシャルコストが大きいとため、構造物の挙動を代表する箇所を予め設定し、測定対象を絞り込む必要がある。</li> <li>測定目的や測定対象に合わせたセンサー(光学ストランド、光学伸縮計)を選定する必要がある。</li> </ul>

#### モニタリング技術活用イメージ



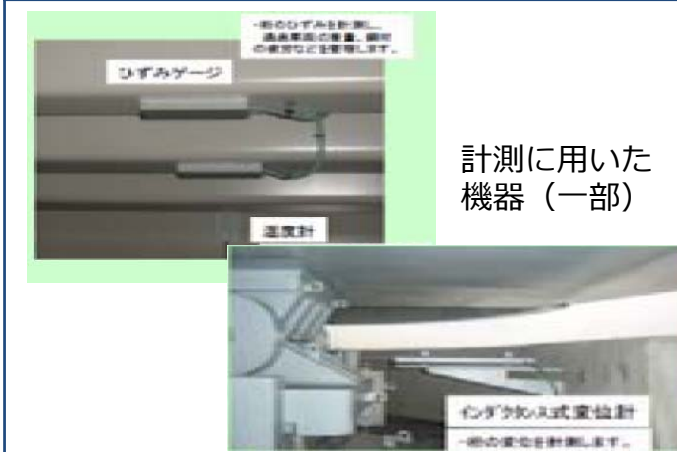
⇒維持管理コストの縮減・平準化が求められている中、高額な導入コストの負担が大きい。  
 (構造物の挙動を代表するポイントの設定が困難な場合は少なくない。)

## 2. モニタリング技術の活用に向けた取組事例

### 事例1-7：橋梁モニタリングシステムの適用性検討

- 概要**
- 各橋梁に歪みゲージ、変位計、光系センサ、温度計を設置。これらの計測装置を光ファイバー通信網に接続し、計測値を管理センターに送信する。地震時には被害状況の即時把握（通行可否判断）を行い、通常時には車両重量計測（Weight-In-Motion）により橋梁に作用する自動車荷重や部材の応答等、疲労損傷に関するデータを取得した。
- 成果・課題等**
- モニタリングシステムを構築し、システムの耐久性を確認。
  - 橋梁に作用する自動車荷重等の基礎的なデータを取得。
  - 個別橋梁の劣化状況把握など、管理業務において計測データをどの様に用いるべきかについては、計測期間中の損傷状況との比較を含め、今後の課題。

#### モニタリング技術活用イメージ



#### 鋼橋の計測



#### コンクリート橋の計測



⇒維持管理に活用するためには、計測データと劣化損傷等の関係に技術的な知見の蓄積が必要。



## 2.モニタリング技術の活用に向けた取組事例

### 事例1-10：結氷港湾における水中部の劣化診断

- 概要**
- 濁水中でも撮影可能な音響カメラ、それを水深10mの位置まで固定可能な架装装置、得られた画像から岸壁面全体の写真を作成する画像解析ソフトウェア、及び画像から経年劣化の把握が可能なデータ管理システムからなる港湾構造物水中部劣化診断装置を開発した。
- 成果・課題等**
- 現状作業の効率化を図ることで、港湾および漁港施設の機能保全に寄与する点検計測システムを開発した。
  - 港湾構造物水中部劣化診断装置は、音響カメラの低コスト化及び計測準備に時間がかかることから簡素化が必要。

#### モニタリング技術活用イメージ



⇒維持管理に係る予算やマンパワーが限られている中で、導入コストやシステム活用に係る負担が大きい。

## 2. モニタリング技術の活用に向けた取組事例

### 事例1-12： 棧橋上部工の腐食モニタリング

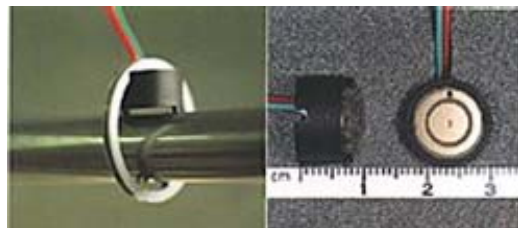
#### 概要

- 建設後25年が経過したコンクリート中の鉄筋近傍にセンサーを埋設し、鉄筋の電気化学的特性値（自然電位・分極抵抗・コンクリート抵抗）のモニタリングを実施。
- コンクリート部材中の鋼材腐食状況の検知を目的とし、2001年11月より横浜港、博多港、下関港、苅田港、小名浜港の棧橋上部工にて実施。

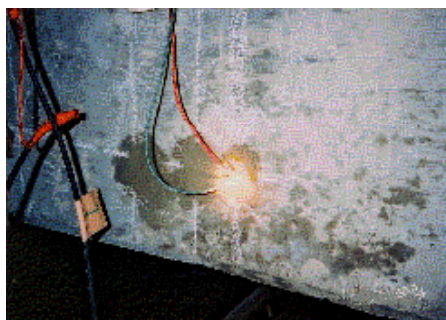
#### 成果・課題等

- センサ設置時から対策実施まで腐食発生の兆候を捉えることに成功。
- データのばらつきへの取り扱いが今後の課題。
- センサ・ケーブル類の耐久性が今後の課題。

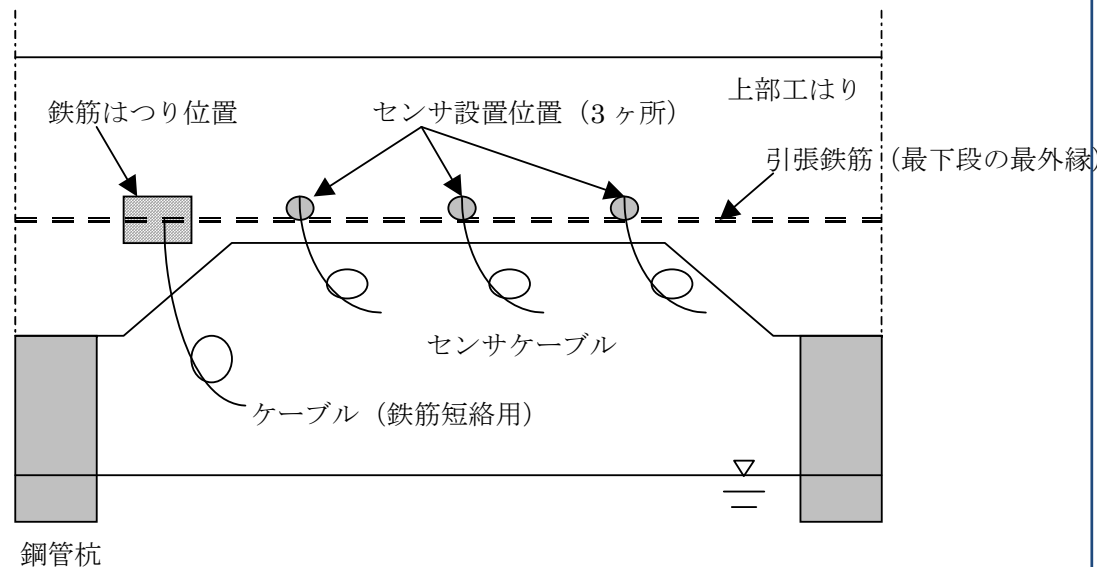
#### モニタリング技術活用イメージ



腐食センサ



設置概要



⇒過酷な環境下（風雨、地中、海中等）でも安定的に動作するように継続的な検討が必要。

## 2. モニタリング技術の活用に向けた取組事例

### 事例2-5：新湊大橋の耐風対策工効果把握のための振動観測

#### 概要

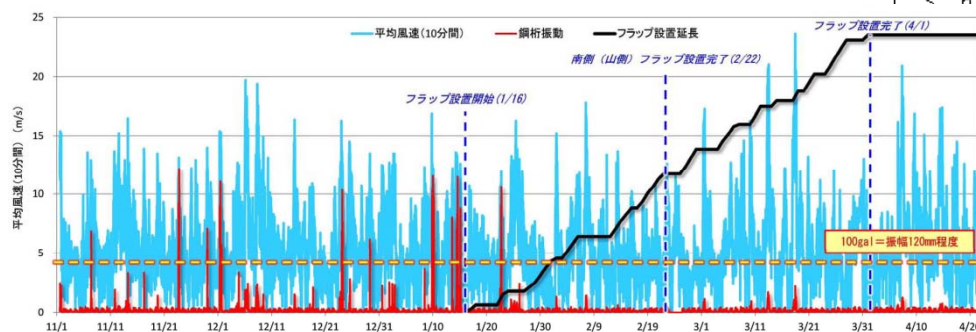
- 主橋梁部の中央に加速度計を内蔵した振動計を設置し、鋼桁の振動を24時間記録して解析を行った。
- 記録データは職員が定期的に収集したが、データの解析は発注した業務において実施した。
- 整備局所有のポータブル微動/強震観測キット、振動計測デジタイザー（データ蓄積用）を使用した。

#### 成果・課題等

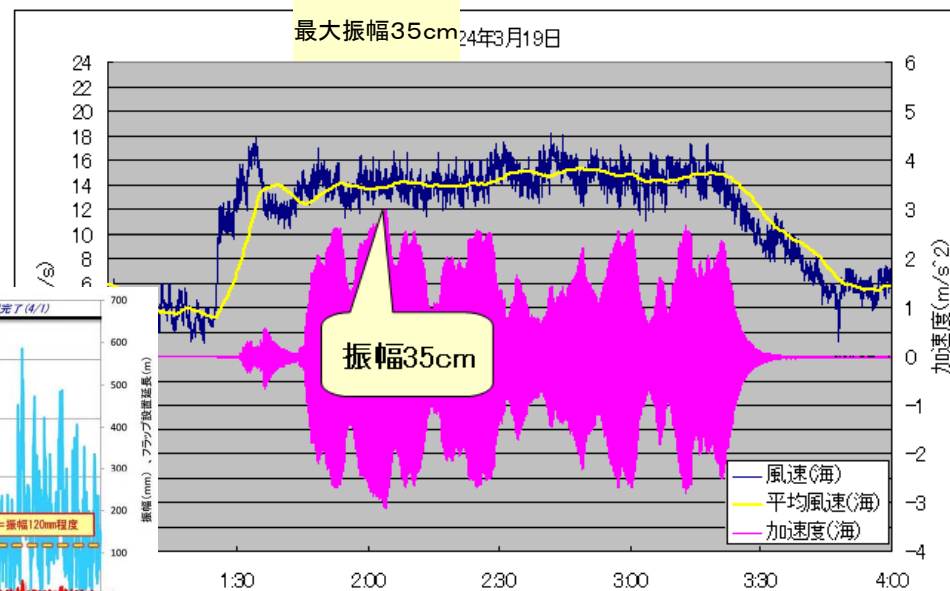
- 主橋梁部の鋼桁に発生した鉛直たわみ振動を正確に観測することができた。
- 耐風対策工（導流板(フラップ)取付)の効果を正確に確認することができた。
- 解析は、専用ソフトを使用すれば直営でも実施可能であるが、データ量が多く、分析・評価にあたっては、外部の専門知識が必要であった。

#### モニタリング技術活用イメージ

##### 耐風対策工（導流板(フラップ)取付)の効果を確認



##### 風向・風速と主橋梁部の鋼桁に発生した振動の関係を解析



⇒計測データが大量であるため、データの処理・分析にかかる負担が大きい。

## 2. モニタリング技術の活用に向けた取組事例

### 事例3-3：既設アンカーの荷重計による緊張力監視

- 概要** ●地すべり対策や斜面对策として施工されたグラウンドアンカーに対して、特殊な治具を用いてセンターホール型の荷重計を設置して緊張力を計測する技術。データ出力は、無線通信により遠隔から取得できる専用システムを構築するか、既存の自動計測システムに接続するなど現場条件に合わせて選択。
- 成果・課題等** ●供用中の既設アンカーに後から荷重計を設置し、それを交換することが可能である。  
●誘導雷や落石等によって、荷重計が故障する可能性がある（荷重計自体の寿命は一般に5～10年程度）。  
●荷重データを用いて斜面全体の健全性を評価する段階には至っていない。

#### モニタリング技術活用イメージ



⇒法面保護を要する期間に比して、荷重計の寿命が短い。

誘導雷といった自然現象が起こりうる場所のインフラには適用が困難。

## 2. モニタリング技術の活用に向けた取組事例

### 事例3-4： GPSセンサによる法面の位置ずれ把握

概要	<p>●法面の斜面上に複数設置したGPSセンサーを、GPS衛星が計測する複数点間の位置情報から、法面等のずれを監視センターで常時観測し、危険度予測を行う。斜面の情報は気象情報と併せて監視センターから配信され、利用者はPCや携帯端末等で最新の斜面状況を確認する。</p>
成果・課題等	<p>●地盤計測用に開発された小型・軽量のセンサーとデータを最新の解析手法で分析する監視センターとの組合せで、高精度（最高2mm程度）の計測が可能。</p> <p>●GPSセンサが雪に埋められると計測に支障があるため、積雪対策が必要。</p>

#### モニタリング技術活用イメージ



⇒GPSセンサが雪に埋められると計測に支障があるため、積雪対策が必要。

### 3.事例から浮かび上がってくる技術的課題

#### 事例から抽出された課題例

計器などのイニシャルコストが大きい

音響カメラの低コスト化及び計測準備に時間がかかることから簡素化が必要

センサーから得られるデータのばらつきの取り扱いが課題

管理業務において計測データをどのように用いるべきかについては、計測期間中の損傷状況との比較を含め、今後の課題

GPSセンサが雪に埋められると計測に支障があるため、積雪対策が必要

誘導雷や落石等によって、荷重計が故障する可能性がある

荷重計自体の寿命は一般に5～10年程度

計測データの量が多く、分析・評価は専門知識が必要であり直営での実施が困難

#### 技術的課題例

・維持管理コストの縮減・平準化が求められている中、システムの導入や維持にコストがかかるものは適用困難

・システムの精度や信頼度は、把握すべき劣化事象に見合ったものでなければ適用困難（高すぎれば無駄、低すぎれば無意味）

・劣化メカニズム等の技術的な知見レベルに整合しておらず、劣化損傷等を説明できない技術は適用困難

・過酷な環境下（風雨、地中、海中等）でも安定的に動作しなければ社会資本分野では適用困難

・インフラの寿命や点検サイクルに比してシステムの寿命が著しく短い場合は適用困難

・計測データが大量であるため、データの処理・分析にかかる負担が大きいと適用困難