

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 光ファイバ式洗掘検知センサ、及び加速度センサによる洗掘の直接的、間接的モニタリング手法の研究開発
- 研究責任者 : 長野計器 株式会社 土屋 宗典
- 共同研究グループ: -

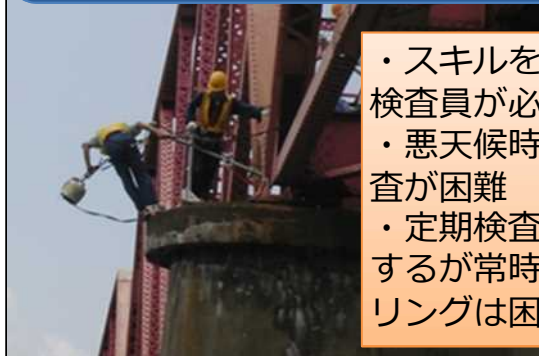


# 研究開発の目的・内容

## 研究開発の目的

橋脚基礎部の河床土砂が洗い流される洗掘被害の予防保全を低コストで可能とする常時モニタリングシステムを開発する

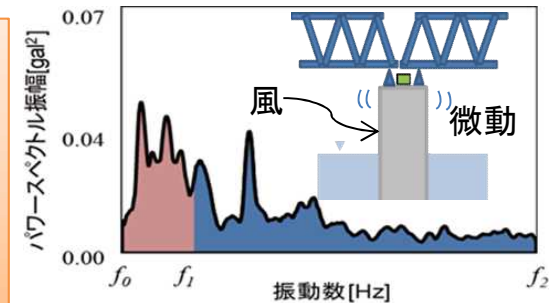
### 衝撃振動試験による従来手法



- ・スキルを有する検査員が必要
- ・悪天候時には検査が困難
- ・定期検査には適するが常時モニタリングは困難

### 常時微動計測によるモニタリング

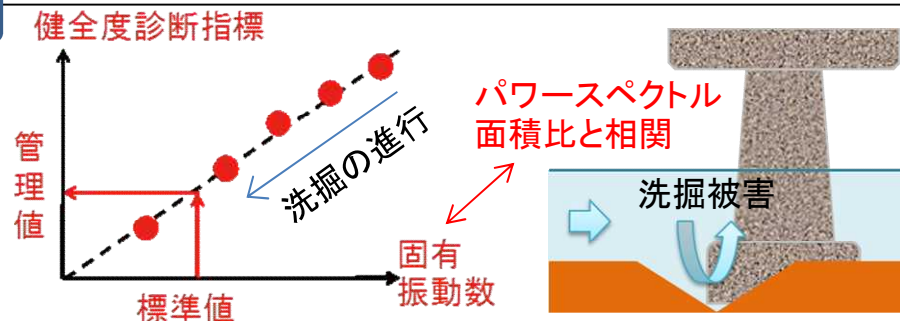
打撃ではなく、風などの自然力による微動のポワースペクトル面積比（鉄道総合技術研究所より提案）から洗掘度を評価する。検査員を要せず常時モニタリングを可能とする



$$\text{Power Spectral Area Ratio} = \frac{\text{Red Area} + \text{Blue Area}}{\text{Red Area}}$$

## 研究開発の内容（平成26～平成30年度）

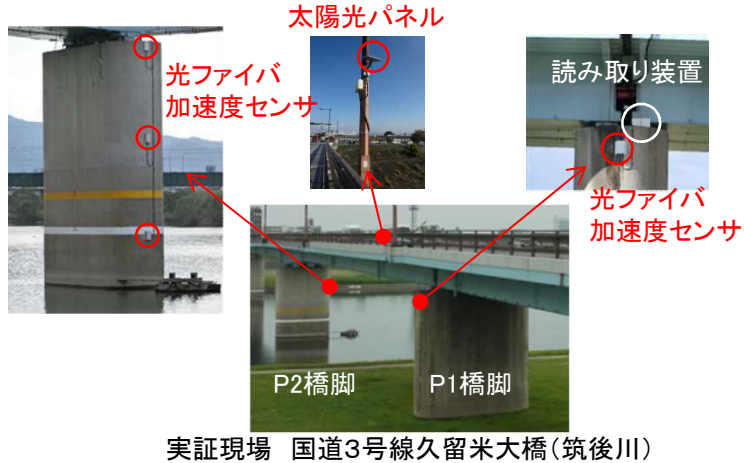
- ・スペクトル面積比を指標とし、洗掘深を維持管理に必要な精度で常時監視でき、設置が容易な(初期導入コスト、ライフサイクルコスト等含む)モニタリング手法を開発する。
- 重大事故につながる支持力低下を検知できる。
- 大規模修復工事が必要となる前に予兆を検知できる。



# 現状の成果① (平成26～28年度に実施)

## 1. システム設計と設置

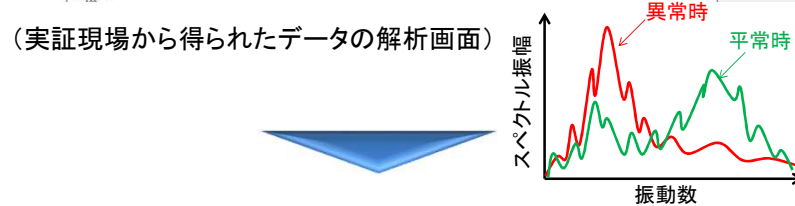
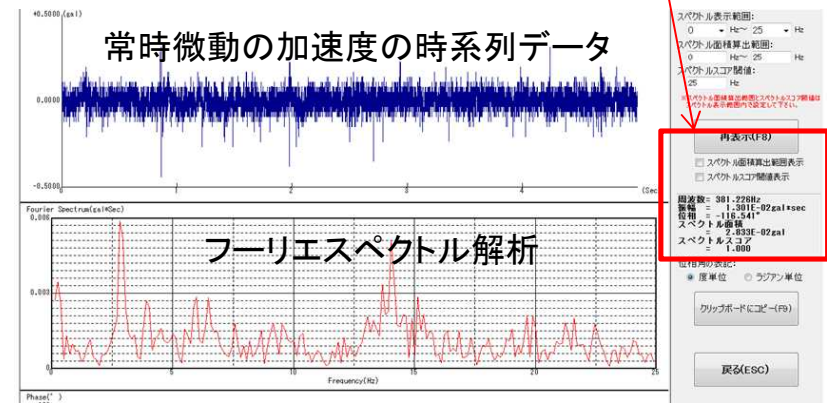
常時河川内のP2橋脚と河川敷にあるP1橋脚に高感度光ファイバ加速度センサを設置(平成27年11月)。電源は街路灯に取り付けた小型太陽光パネル(30W)により賄った。



平成27年12月より、日中の発電をバッテリーに蓄電し、明朝の午前3時～午前4時の間の10分間に振動計測を行う常時モニタリングを実施。計測値は携帯電話回線によって即時、サーバにアップロード。年間を通じて一度のトラブルも無く、安定した常時モニタリングシステムの構築を実現。

## 2. 常時モニタリングの実施

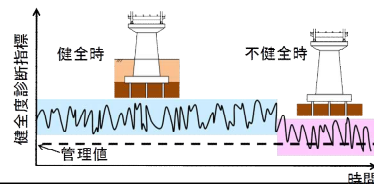
- ① 午後7時～午後8時 10分間 システムチェック用に起動
- ② 午前3時～午前4時 10分間 光ファイバ加速度センサにより常時微動を計測。フーリエスペクトル解析からパワースペクトル面積比を導出



- ・十分な加速度検出精度と分解能(0.001gal)を実現
- ・100%小型太陽光パネルによる電源供給で安定動作を実現

### 活用例

比較的水位の上昇が激しく、洗掘の進行が懸念される河川橋脚をセンサを用いて定量性のある指標を常時監視

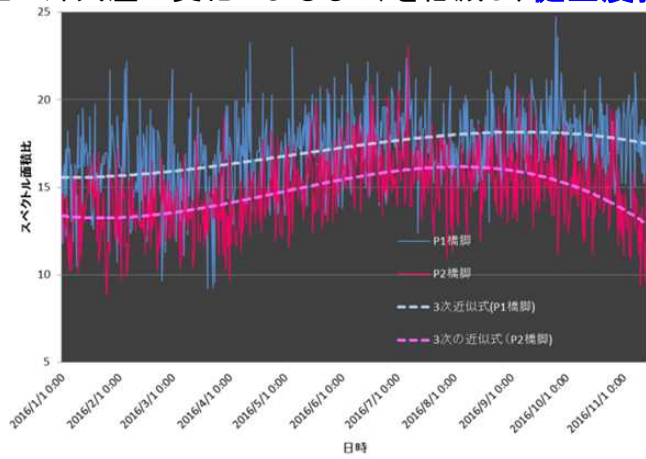


よりの確な施策(必要なときにだけ詳細調査)により、維持管理トータルコストの縮減や予算の平準化と的確な予防保全の両立が可能に

# 現状の成果② (平成26～28年度に実施)

## 3. データ処理

パワースペクトル面積比のプロットに適切なデータ処理を施すことで比較的高い周波数のノイズ(主に車両通行によるもの)と比較的低い周波数の環境ノイズ(主に外気温の変化によるもの)を低減し、**健全度指標となる信号品質を実現**



## 5. 河床深度直接計測

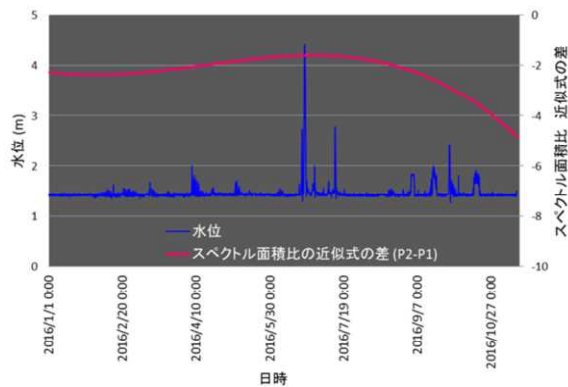


橋脚天端からの河床位置を直接計測したところ、モニタリング結果と傾向が一致する状態変化が見て取れる

今後、回数、測定点をさらに増やし精度(検知性能)と限界性能の検証を進めていき、実用化を目指す。

出水期の急激な水位上昇が観測された日を境にし、P2橋脚のパワースペクトル面積比のプロットが低下(河床位置が低下する方向)する傾向が見られた。この結果の確からしさについて、直接計測の結果と比較検証を実施。

## 4. 河床部の状態評価



## 成果の活用フロー

### 1. システム設計と設置

### 2. 常時モニタリングの実施

### 3. データ処理

### 4. 河床部の状態評価

### 5. 河床深度の直接計測

**本成果と同等のプロセスで社会実装が実現**

**今後、河床深度の計測精度の検証を重ねていく**

# 最終目標

## 最終数値目標

1回の直接計測と同等のコストで年間の常時監視を実現  
 実用化に必要な河床深度の変化の計測精度(数10cm相当)を実現

## 対象ユーザー

河川管理者、鉄道事業者(施設管理、運行管理者)

## 使用方法・使用場所等

橋脚天端に1台センサを据え付けるだけで電源、通信工事は不要。携帯端末によるデータ回収が可能

## 販売、利益創出等の流れ

【サービスの受託契約】イニシャル費不要  
 センサ製造・設置、点検、データ取得・解析、報告

収益性と事業者(ユーザー)の費用負担低減を両立する事業プラン

## 提供サービスの概要

センサ設計・製造、設置・撤去、保守メンテナンス、までの一貫したサービスを提供。



- 計画立案
- ポール・レッドによる直接測深
- 衝撃振動試験による固有値解析



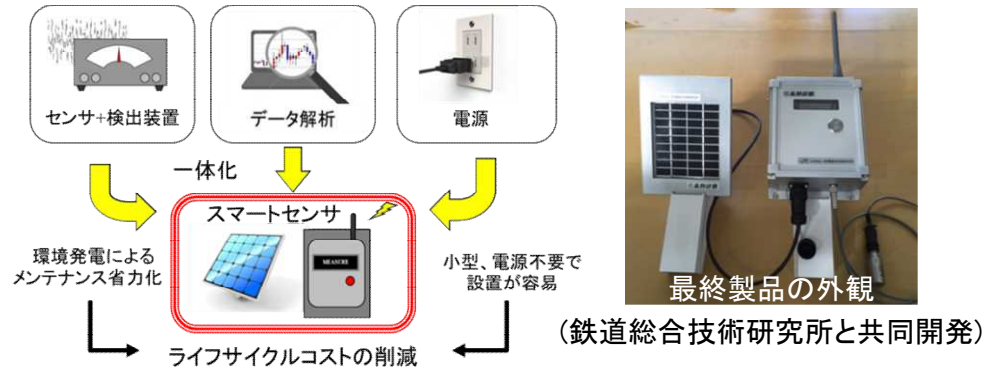
【初期状態の確認】

【センサの製造、設置・撤去 メンテナンス】

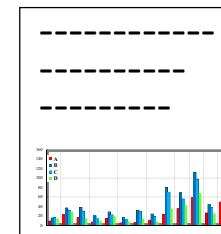
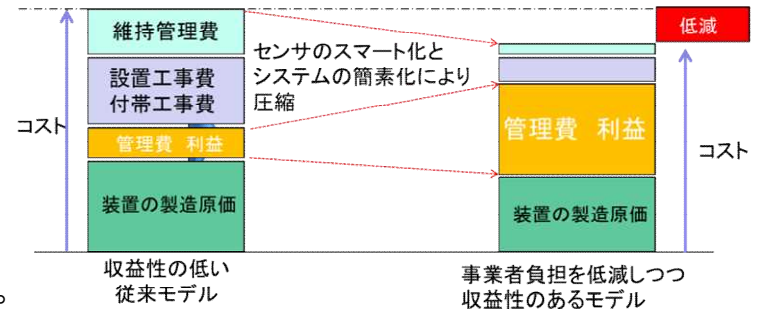
【データの定期回収・解析・報告】

低コストで洗掘度の進行の常時監視が可能

→ より的確な維持管理施策と確実な予防保全を実現



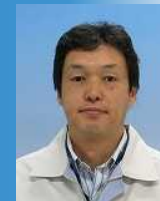
“発電・蓄電、計測・解析、データ送信”まで、全ての機能を  
 小型一体化 ⇒ 設置+運用コストの大幅な低減



維持管理施策に活用

- 詳細調査実施判断
- 予防保全、など

- 研究開発項目 : 維持管理の高度化・効率化に係るモニタリングシステムの現場実証
- 研究開発テーマ : 3次元橋梁挙動計測システムによる疲労損傷の点検・診断・モニタリング
- 研究責任者 : セイコーエプソン株式会社 加納 俊彦
- 共同研究グループ : 東京都市大学・総合研究所、関西大学



# 研究開発の目的・内容

## 研究開発の目的

- ・センサーを用い橋梁の疲労原因となる自動車の载荷による3次元変位の計測技術を開発

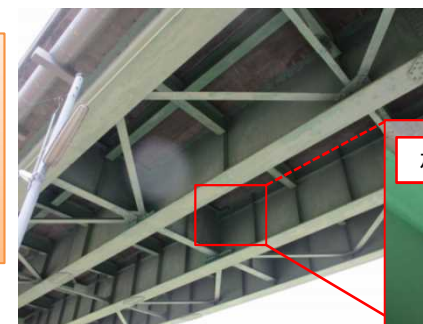
### 従来の橋梁変位計測



- ・橋梁の変位は“基本的”かつ“重要な維持管理指標”である
- ・橋梁は変位計測が困難(変位計測のための不動点の設定が困難)

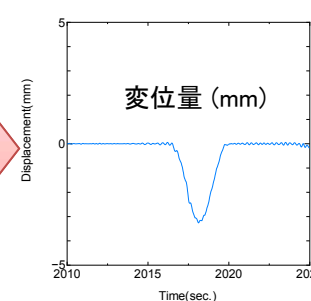
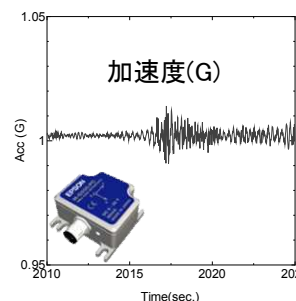
### センサーによる橋梁変位計測

- ・橋梁にセンサーを取付けるだけで変位計測が可能(不動点が不要)
- ・変位を指標とした維持管理・車重計測等が可能



## 研究開発の内容 (平成26~28年度)

- ・加速度センサーによる橋梁の変位計測技術を開発  
→**疲労原因・環境を評価する技術を実現**
- ・橋梁変位量を指標とした車重計測技術を開発  
→**加速度センサーを用いた車重計測を実現**



# 現状の成果① (平成26～28年度に実施)

## 1. 時刻同期測定

- ・水晶式加速度センサーを用いた低ノイズ加速度測定を実現
- ・複数センサー間の時刻同期計測技術を実現

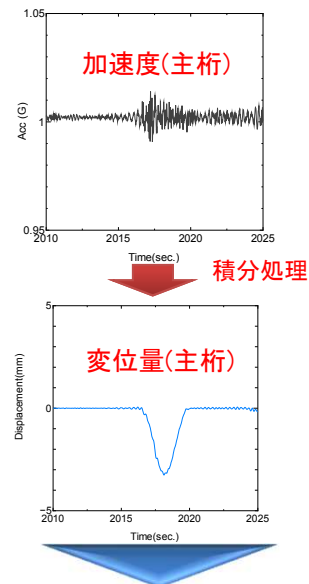


構築した時刻同期計測システム

- ・時刻同期精度±1msec以内で複数センサーを同期計測するシステムを構築

## 2. 積分アルゴリズム構築

- ・橋梁の振動を境界条件に利用した積分アルゴリズム(※1)を用い、橋梁の加速度を変位に変換(積分処理)

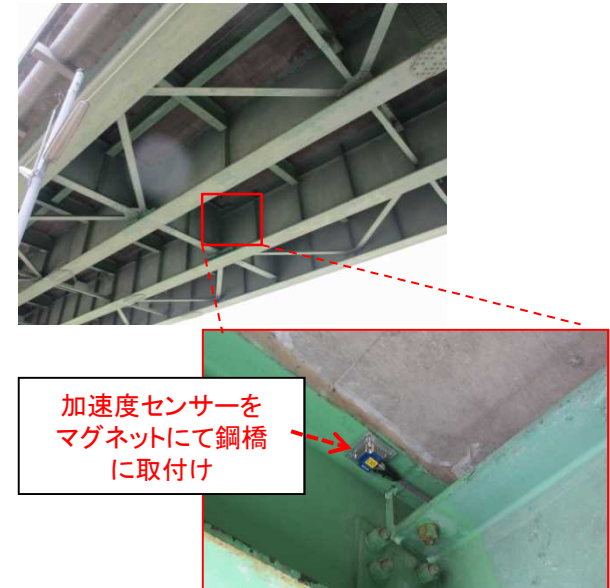


- ・二階積分にて発散しない加速度積分アルゴリズムの実現

(※1:関屋他、橋梁の加速度記録を用いた変位応答算出方の提案,土木学会論文集A1,Vol.72,No.1,61-74,2016)

## 3. 橋梁への簡便な取付け

- ・マグネット式の取付け治具を利用することで、鋼橋に簡便にセンサー取付けが可能
- ・施工時間・工数の大幅な短縮



- ・従来の変位計測技術と比べ、施工時間の大幅な短縮を実現

- ・小型でポータブルな計測システムを実現

### 活用例

センサーを用いて簡便に計測した橋梁部材の変位量を、維持管理へ活用する

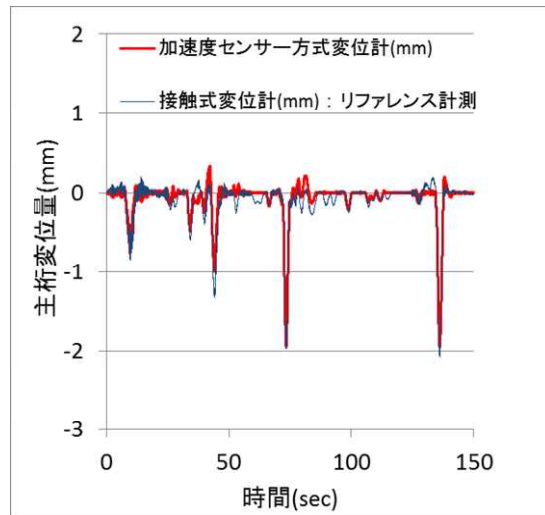


橋梁の変位量を指標とした、点検・診断  
・モニタリングが可能

# 現状の成果② (平成26~28年度に実施)

## 4. 活荷重載荷時の変位計測

- ・供用中の橋梁を用い変位計測技術を実証
- ・自動車の載荷によって発生する、橋梁の変位計測を実証

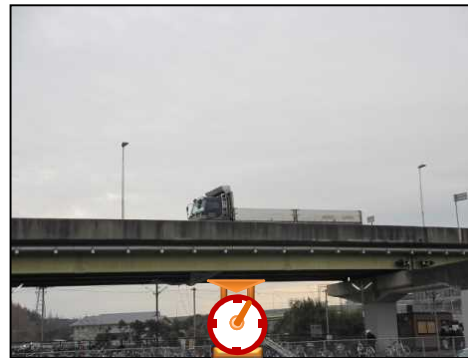


加速度センサーによる橋梁の変位測定結果  
(支間中央部・主桁下フランジ)

- ・加速度センサー方式の橋梁向け変位計測システムを実現
- ・1年間の連続計測を行い長期安定性・温度安定性を実証

## 5. 走行車両の重量計測

- ・変位情報を利用した走行車両の重量計測(Weigh In Motion: 以下W.I.M.)技術を開発



Weigh In Motion概念図

- ・加速度センサー方式W.I.Mを実現
- ・走行車両重量に基づく疲労評価環境の実現

## 成果の活用フロー

1. 加速度センサー取付け  
(鋼橋へマグネットで簡便に取付け)

2. 加速度センサーによる計測

3. 積分処理(加速度・変位変換)

4. 活荷重載荷時の変位算出

5. 走行車両の重量算出

加速度センサーを用いた変位計測  
および、車重計測(W.I.M.)を実現

# 最終目標

## 最終数値目標

変位計測誤差 : 目標値  $\pm 0.2\text{mm}$ 以内  
車両重量計測精度 : 目標値  $\pm 10\%$  以内

## 対象ユーザー

道路管理者(国道、県道、高速道など)、橋梁点検・調査業務従事者

## 使用方法・使用場所等

疲労損傷が確認されている橋梁に対する調査、および短期・長期モニタリング  
疲労損傷の発生の可能性が高い橋梁に対する調査・アセットマネジメント

## 販売、利益創出等の流れ

3次元橋梁挙動計測システムの販売

疲労損傷が懸念される  
橋梁の変位を計測

疲労損傷の点検・診断・モニタリング  
への活用

## 提供サービスの概要

変位量を指標とした点検・疲労環境評価・遠隔モニタリングを提供



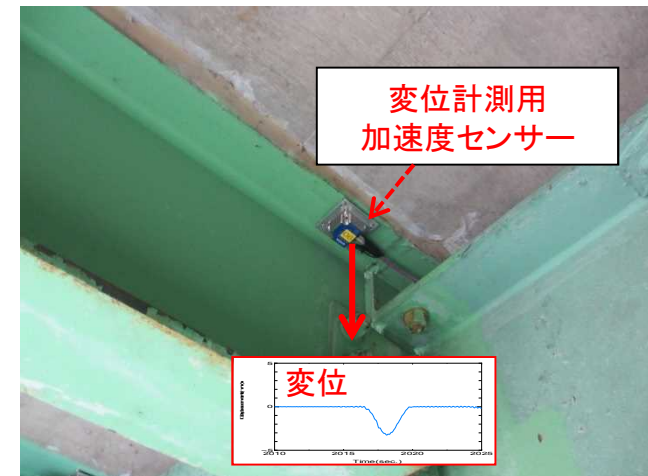
変位量の把握・モニタリング



走行車両重量の把握・モニタリング



詳細点検時の変位の把握



センサーを用いた橋梁の変位計測

加速度センサーによる橋梁の変位計測が可能

→ 変位量を指標とした点検・疲労環境評価・モニタリングを実現



- 研究開発項目 : 点検・モニタリング技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 無線センサを用いた下部工基礎の洗掘モニタリングシステムの研究開発
- 研究責任者 : 株式会社 福山コンサルタント リスクマネジメント事業部 中野聡
- 共同研究グループ : -



# 研究開発の目的・内容

## 研究開発の目的

・橋脚に設置した無線通信タイプの加速度計センサと携帯通信回線によるインターネット接続を用いて、橋脚の振動データを計測し、計測結果から下部工基礎の洗掘の状態を把握する技術を開発

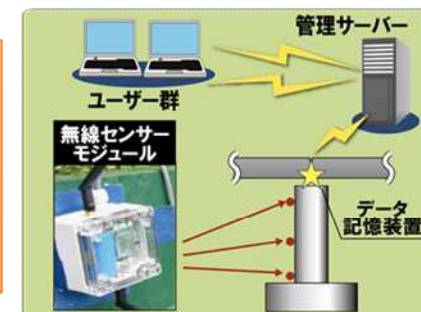
### 従来の洗掘調査



- ・水の中の不可視部の状況把握が困難
- ・洪水時の現地調査が困難
- ・洪水時の基礎の安全性の確認が困難

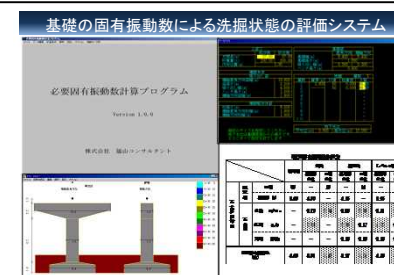
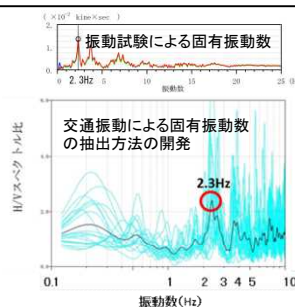
### 無線センサによる洗掘モニタリング

- ・橋脚の固有振動数から下部工の洗掘状況の把握が可能
- ・洪水時の現地調査がインターネットを通じた遠隔で可能
- ・洪水時の基礎の安全確認が橋脚の固有振動数から可能



## 研究開発の内容 (平成26~30年度)

- ・モニタリング結果から橋脚の固有振動数を抽出する方法の開発
  - 交通振動による橋脚の固有振動数の安定的な抽出を実現
- ・下部工基礎の洗掘状態の評価システムの開発
  - 固有振動数を用いた基礎の洗掘状態と安全性の評価を実現



# 現状の成果① (平成26～28年度に実施)

## 1. モニタリング機器設置

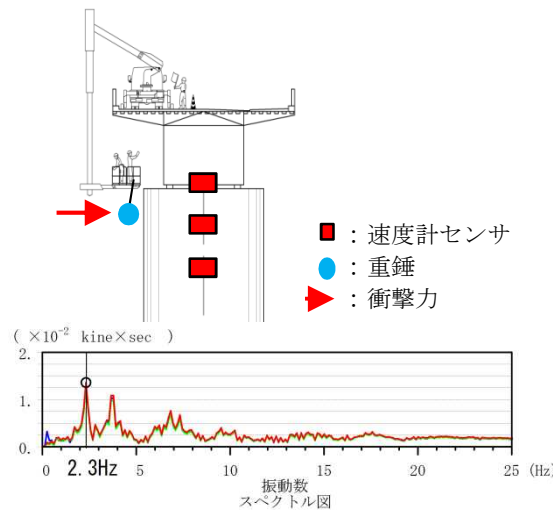
無線加速度センサを橋脚に設置した。橋脚のセンサとデータ記録装置間は、無線接続とし、データ記録装置よりインターネット接続した。



- ・センサは乾電池で5年間稼働を実現
- ・ネット経由でのデータ取得を実現

## 2. 橋脚の振動試験

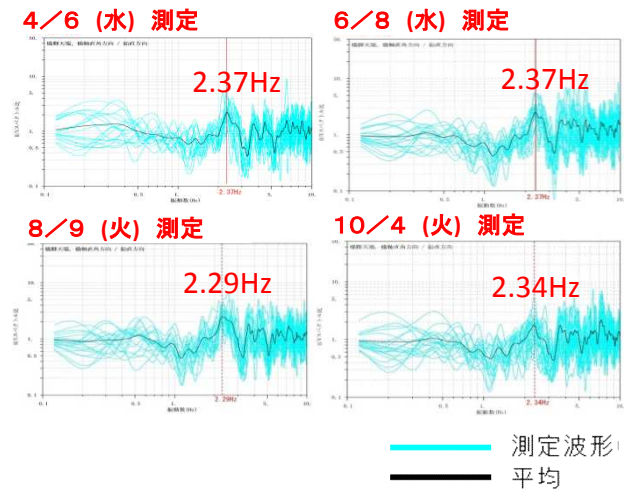
初回のみ、橋脚の振動試験を実施して、固有振動数を確認した。これは、初期値の位置づけで現況の河床位置における固有振動数を表す。



- ・重錘加振による高精度の計測を実現
- ・固有振動数の初期値評価を実現

## 3. モニタリング分析方法の検討

常時モニタリングは、橋梁を通過する交通振動による常時微動測定を用いた。常時微動波形の分析は、種々の分析方法を検討して、決定した。



- ・交通振動・振動試験と同様の結果を実現
- ・ばらつきのない安定した計測結果を実現

### 活用例

洪水発生時の他、トリガーセンサの設置により地震発生を検知して常時モニタリングを開始する。

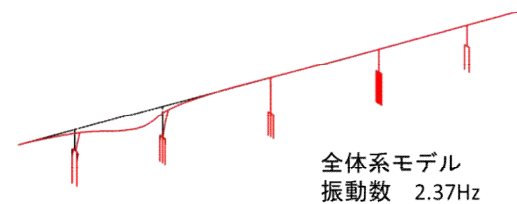
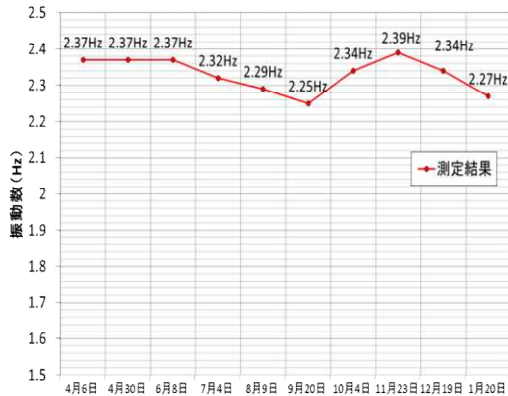


洪水や地震等の災害時に、現場に行かずに基礎の安全性を確認することが可能

# 現状の成果② (平成26～28年度に実施)

## 4. 固有振動数の推移

常時モニタリングの10箇月(4月～10月)の測定結果から、固有振動数は平均2.33Hz、標準偏差0.04Hzで推移していることを把握した。橋梁全体系モデルから固有値解析により固有振動数を算出し、計測結果との整合性を確認した。

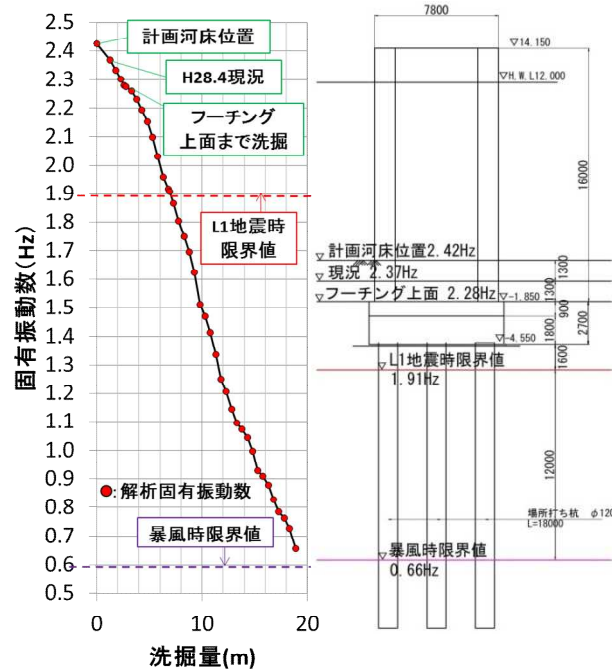


- ・固有振動数の推移の把握を実現
- ・解析による整合性確認を実現

## 5. 洗掘状況・安全性評価

橋脚の固有振動数と洗掘量の関係をモニタリング計測結果との整合性を確認した解析モデルを用いて算出した。

さらに、下部工基礎の安定計算を行って、基礎の安全性が確保される限界の河床位置と橋脚の固有振動数の関係を把握した。



- ・橋脚固有振動数と洗掘量の関係を把握
- ・基礎安全性と固有振動数の関係を把握

## 成果の活用フロー

### 1. モニタリング機器設置

### 2. 橋脚の振動試験

### 3. モニタリング分析方法検討

### 4. 橋脚の固有振動数の推移

### 5. 洗掘状況・安全性の評価

橋脚の固有振動数より洗掘量と安全性の評価を実現

# 最終目標

## 最終数値目標

モニタリング結果の分析手法の検証について、80%を実現  
基礎洗掘モニタリングシステムの構築について、70%を実現

## 対象ユーザー

国土交通省、地方公共団体、高速道路会社など

## 使用方法・使用場所等

洗掘の危険性がある橋脚に複数の無線加速度計センサとデータ記憶装置を設置し、ネットを通じて固有振動数の監視を行う。

## 販売、利益創出等の流れ

モニタリング機器等は、(株)HMBをH23.1に設立し、販売開始している。

機器とシステムの開発、ユーザーへの導入支援、導入後の教育支援は、(株)福山コンサルタントが行う。

安価で信頼性が高いシステムを目指しており、地方公共団体、地場のコンサル・建設会社への販売・リースと、基礎洗掘の分析・評価システムのための提供も行う予定。

## 提供サービスの概要

### <日常>

- ① 加速度センサを橋脚に設置
- ② 大型車両通過時・常時微動等の橋脚の振動を測定
- ③ 測定データを分析し、橋脚の振動特性(固有振動数等)から洗掘量を把握

日常の洗掘量の把握

### <災害時>

- 災害発生時
- ・洪水による河床位置の変動・洗掘発生
  - ・継続的な地震発生時
- 橋脚の洗掘量(固有振動数)と基礎の安全性を確保する限界値と比較し、安全性の判定を行って限界値を下回る場合は、警報を道路管理者に通知。

災害時の安全性の把握

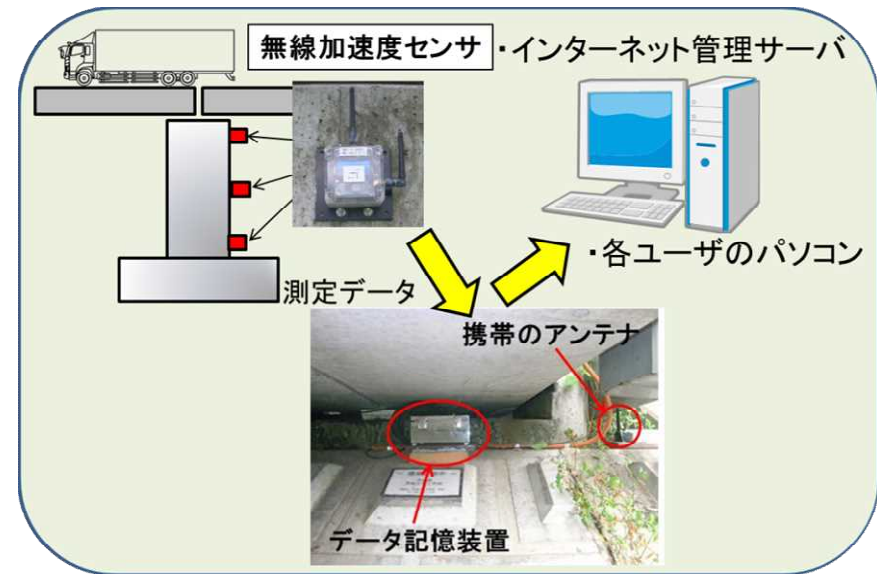
### <災害後>

- 災害後の対応
- ・洪水後の河床位置の変動・洗掘発生後
  - ・継続的な地震発生による被災後
- 橋脚の応急対策による固有振動数上昇度合いから、基礎の安全性の確保を評価し、供用開始の判定を行う。

災害後の供用可否の把握

橋脚の固有振動数のモニタリングから洗掘量の把握が可能

→ 災害時発生時の遠隔による基礎の安全性確認を実現



- 研究開発項目 : 点検・モニタリング技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 汎用機器を用いた橋梁の変状検知システムの実証
- 研究責任者 : NECネットエスアイ株式会社 社会インフラ販売推進本部長 飯塚光正
- 共同研究グループ : 株式会社熊谷組、株式会社構造計画研究所、株式会社シミウス



# 研究開発の目的・内容

## 研究開発の目的

・平常時及び災害・事故発生後などに、橋梁が日常的な変動の範囲内にあるか否かを自動判別し、変状の検知・通知や現場の監視記録により、初動対応を支援するモニタリングシステムを開発

### 従来の橋梁の異常把握



点検員が現地で  
直接確認し状況把握

- ・事後点検による状況把握
- ・素早い安全性確認が困難
- ・経験による判断の為均質的判断が困難

### たわみモニタリングによる橋梁の異常検知

- ・リアルタイムで桁・支承異常検知が可能
- ・映像による現地の状況確認が可能
- ・数値により判断の明確化が可能



## 研究開発の内容 (平成26~27年度)

たわみ量の変化をリアルタイム(2分以内)に検知するシステムを開発・実証

→2分以内に変状検知するシステムを実現

・事前解析及び初期実測に基づいて閾値を設定し、たわみ量と閾値の比較検証

→閾値設定及び異常検知手法を実現

・たわみ量が閾値を超過した際アラーム通知、たわみ量と現地映像を同時に確認するシステムの開発・実証

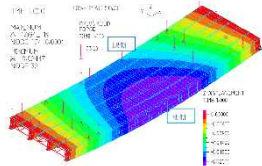
→アラーム時のデータと現地状況を同時に確認できる環境による初動対応判断の支援を実現

# 現状の成果① (平成26～28年度に実施)

## 1. 閾値の設定

### ■解析モデルによるたわみ量算出

実橋梁の解析モデルを用いて設計活荷重によるFEM解析を実施、設計たわみ許容値と設計活荷重による最大たわみ量を算出



設計活荷重によるFEM解析のたわみ分布(最大23mm)

### ■解析モデルによるたわみ量算出

センサー設置後の初期実測で計測したひずみよりたわみ量を算出し統計分析を実施。

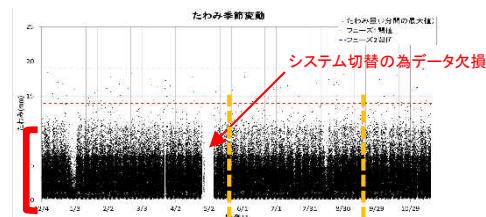
2015/11/16-2016/2/4 実測データ統計値(mm)	
平均値	-3.09
標準偏差	2.15
-8σ	-19.10
-5σ	-13.84
-3σ	-9.54

統計分析結果まとめ

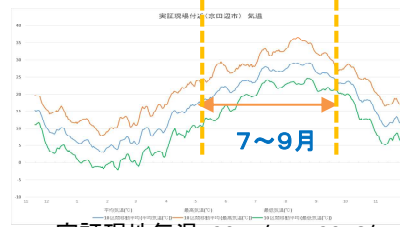
- ・解析モデル及び計測データの統計分析結果から管理上有効な閾値設定を実現

## 2. 主桁の異常検知手法確認

閾値設定後、四季のたわみ量の変動をモニタリングし、四季の環境変化による影響を考慮した閾値の有効性を検証



たわみ量集計

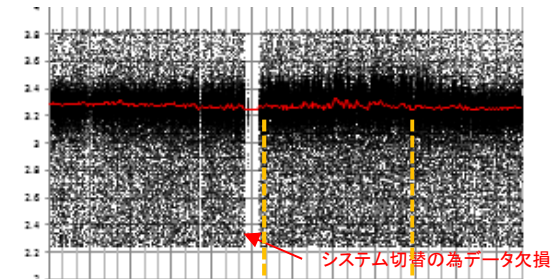


実証現地気温: 2015/11~2016/11

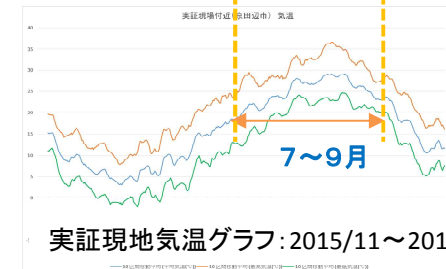
- ・四季の環境変化による影響無きたわみ算出および閾値超過検知を実現

## 3. 支承の異常検知手法確認

センサーにより計測されたひずみを解析することで、支承に異常が発生したことを検知できる可能性を検証。



計測データ解析結果

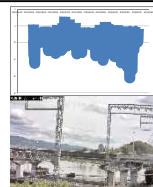


実証現地気温グラフ: 2015/11~2016/11

- ・支承に異常が発生していない場合の解析値の定常状態特定を実現

## 活用例

災害時に橋梁安全性をモニタリングにより確認し、迅速な共用可否判断を支援



センサーデータ  
イメージ

カメラ映像  
イメージ

データと映像により、迅速な現地状況・安全性確認が可能

# 現状の成果② (平成26～28年度に実施)

## 4. センサー評価

センサー設置では接着方式が一般的であるが、自重によるセンサーのはがれや劣化のリスクを考慮し、ハンダ式着装によりセンサーを設置。



- ・耐久性 : 接着剤と比較して長期間劣化しない。
- ・作業効率性: 設置時間の大幅短縮  
接着剤着装 : 24時間(乾燥含む)  
ハンダ式着装 : 30分
- ・耐候性 : 環境変化(1日、年間の温度変化等)での安定した着装を実現
- ・障害 : 実証中センサー自体の異常は発生していない

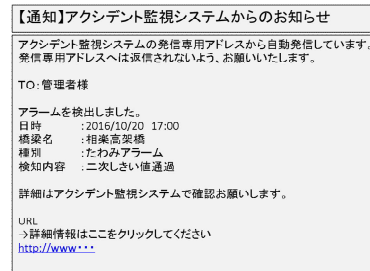
- ・設置工事の効率化を実現
- ・長期間の安定した計測を実現

## 5. 初動対応支援システム構築

- ・たわみ量の閾値超過を自動検知しアラーム通知
- ・アラームの詳細を確認出来るシステムを構築



たわみアラーム画面



アラーム(メール)イメージ

- ・管理者が異常発生時のデータと現地映像を確認し、初動判断できるシステムを実現

## 成果の活用フロー

1. 長期・安定計測環境

2. 桁・支承の異常検知

3. 異常検知精度の向上  
(継続)

4. 安価・簡易なモデル提供  
(将来)

5. 橋梁の劣化予測(将来)

橋梁の安全性をリアルタイムに確認できる環境を実現

# 最終目標

## 最終数値目標

橋梁(桁・支承)の異常について、  
2分以内の検知を実現

## 対象ユーザー

国交省(直轄国道)、自治体、道路事業者 など

## 使用方法・使用場所等

- ・跨線橋など点検が困難な橋梁や緊急輸送道路など重要な橋梁の安全性確認(異常検知)
- ・健全度Ⅲ～Ⅳの橋梁の安全性確認

## 販売、利益創出等の流れ

管理者が路線の重要性、定期点検  
結果を考慮し対象橋梁選定

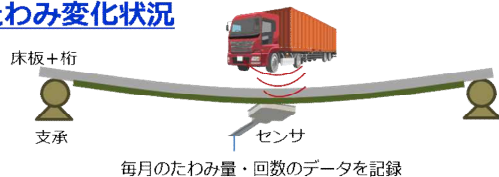
管理者が対象橋梁の供用停止による  
損失を検討し、モニタリング導入を判断

管理者がプロポーザル型の  
入札を実施し、モニタリングを  
導入

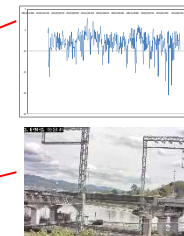
## 提供サービスの概要

閾値を超えるたわみが観測された場合に、管理者に通知し、管理者が発生時の映像とデータを即座に確認可能。

### 桁たわみ変化状況



モニタリング画面イメージ



アラーム発生時の  
たわみ状況

アラーム発生時の  
現地映像

リアルタイムの異常検知が可能

→ 災害時等のデータ・映像に基づく迅速な供用可否判断を実現

重要度	健全度	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
緊急輸送道路	緊急輸送道路をまったく跨線橋	本技術の対象			
	跨線橋				
	その他跨道橋				
	河川橋 他				
一般道	緊急輸送道路をまったく跨線橋	パートタイムモニタリング			
	跨線橋				
	その他跨道橋				
	河川橋 他				

対象橋梁イメージ



- 研究開発項目 : 橋梁分野
- 研究開発テーマ : 光ファイバセンサによる統合センシングシステムを用いた維持管理の効率化
- 研究責任者 : 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ 第一公共事業部 石川 裕治
- 共同研究グループ : エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社・株式会社TTES



# 研究開発の目的・内容

## 研究開発の目的

・光ファイバセンサによる交通荷重および疲労亀裂の統合センシングシステムを開発

### 従来のシステム

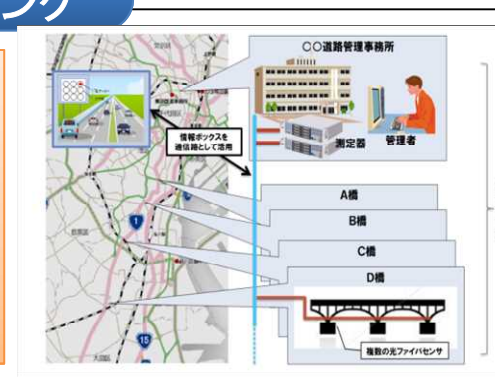
電気式センサの問題点

1. センサ自体への電源供給が必要となり、通信線、電源線の敷設コストが高くなる。
2. 粉塵・落雷等により、長期設置において故障のリスクが高くなる。

### 光ファイバによるセンシング

光ファイバセンサのメリット

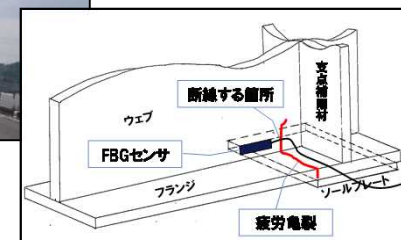
1. センサ自体への電源供給が不要となるため導入コストを低減
2. 電気式センサより粉塵・落雷等に強いため長期の安定計測が可能



## 研究開発の内容 (平成26~28年度)

・管理者ニーズが高いと想定される①交通荷重と②疲労亀裂に関し、両者のセンサを一つのシステムで計測可能な「統合センシングシステム」を構築し、以下の項目に対して検証を実施

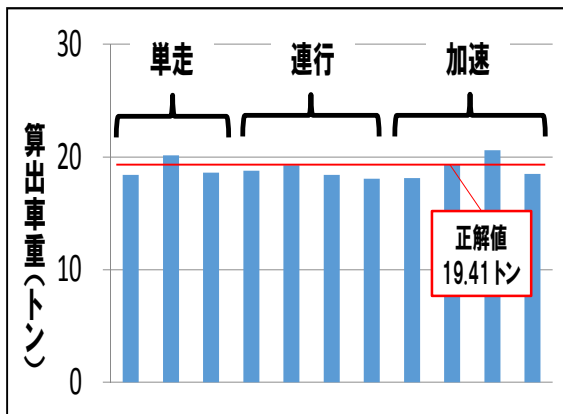
- ①交通荷重 A) 車重推定の精度評価(成果1、2)、B) 交通荷重把握の傾向評価(成果4)
- ②疲労亀裂 A) 計測安定性の検証、B) 亀裂検知の検証 (成果3)



# 現状の成果① (平成26～28年度に実施)

## 1. 車重推定の精度評価

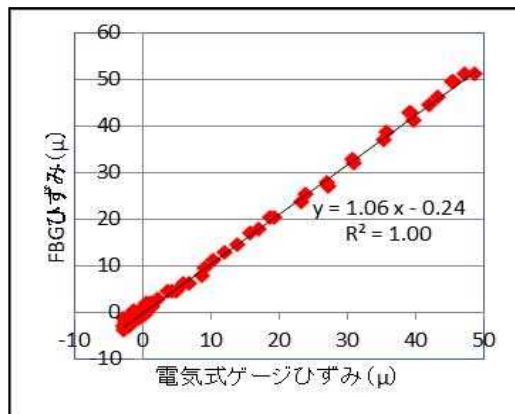
重量既知の車両を複数回走行させ、車重を算出し、精度評価を実施した。  
車両の走行条件(連行等)も変更し、精度への影響を検証した。



- ・得られた重量算出結果において、誤差は5%前後であり、概ね正しい精度で算出できていることを確認した。
- ・連行・加速における精度への影響はほぼ無かった。(並走については、上下1車線の橋梁であり、検証困難であった。)

## 2. 計測安定性の検証

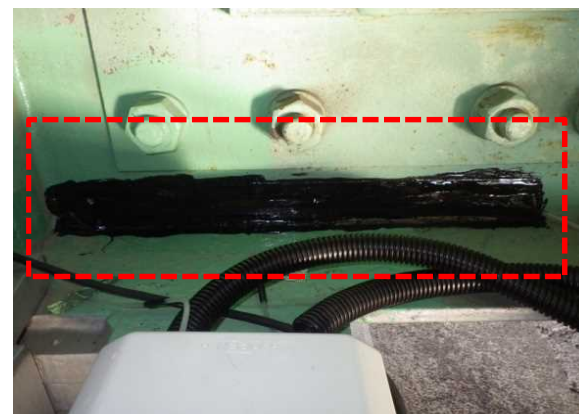
光ファイバひずみ計(FBG)と電気式ひずみゲージのひずみデータの相関性を確認することにより、FBGによるデータ取得の安定性を検証した。



- ・光ファイバによるセンシングにおいても、安定して精度の高い計測が実現可能であることを確認した。

## 3. 亀裂検知センサの施工性、安定性

亀裂検知センサとして光ファイバ素線を使用し、施工性と設置期間を通じての計測安定性を検証した。



- ・センサ設置に関しては、今回の橋梁のように作業スペースが確保できれば、短時間で施工できることを確認した。
- ・計測期間中に鳥獣によるセンサ故障が発生した。計測安定性の確保のために、センサ防護の重要性を改めて確認した。

### 活用例

交通荷重および疲労亀裂の把握が必要となる箇所にセンサを設置し、既設の光ファイバや情報ボックスを活用し、管理庁舎に情報を一括測定・提供する。

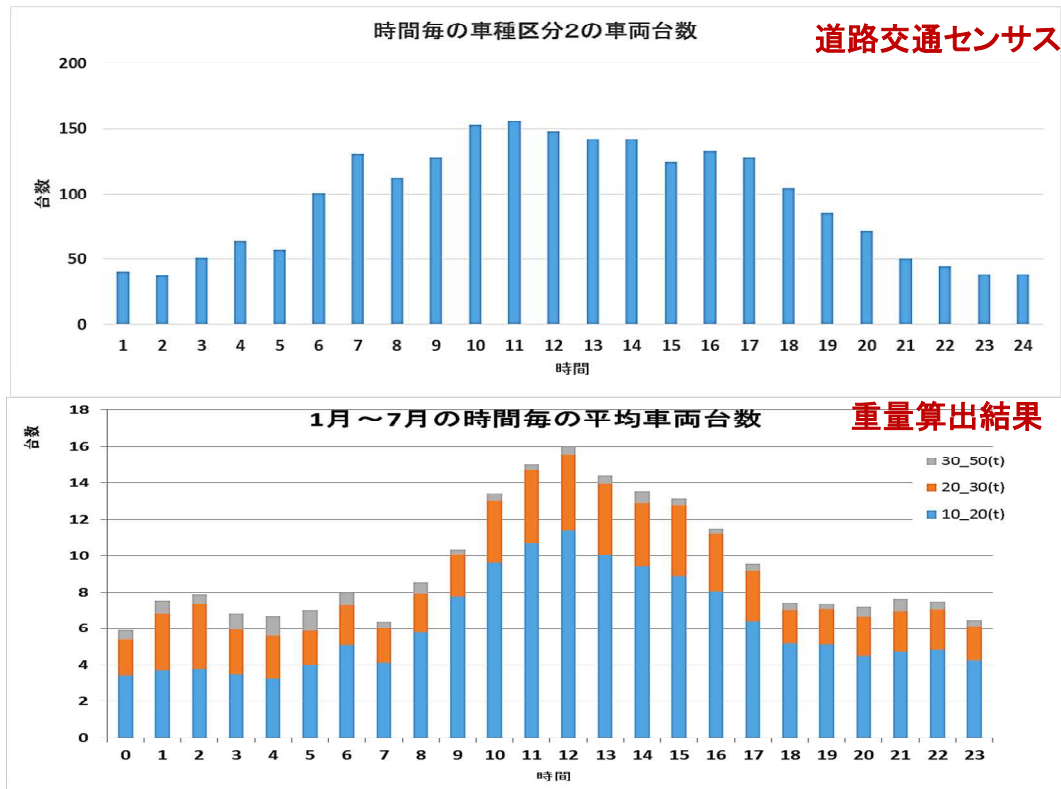


劣化・損傷状況の把握に必要な情報を一括測定・提供が可能

# 現状の成果② (平成26～28年度に実施)

## 4. 交通量把握の評価

交通量把握の検証のため、重量車両の算出結果(通行台数の時間推移)を実際の交通量傾向(交通センサスデータ)と比較した。



・増減の傾向が類似しており、交通量の概況把握が可能であると判断できる。  
→ 交通量調査ではわからない、通行車両の実際の荷重が把握でき、橋梁の健全性に対する重量車両通行の影響を、より正確に評価するためのデータ提供が可能となる。

## 成果の活用フロー

1. 技術検証の実施 (= 成果)

2. 実施課題の整理

3. 課題の解決による実用化

4. ユーザーニーズの把握

5. システム導入・普及

光ファイバセンサによる  
複数橋梁の広域監視を実現

# 最終目標

## 最終数値目標

- ・車重計測精度について、平均誤差5%を実現
- ・亀裂検知センサの耐用年数5年を実現

## 対象ユーザー

道路管理者（国、自治体、高速道路管理者など）

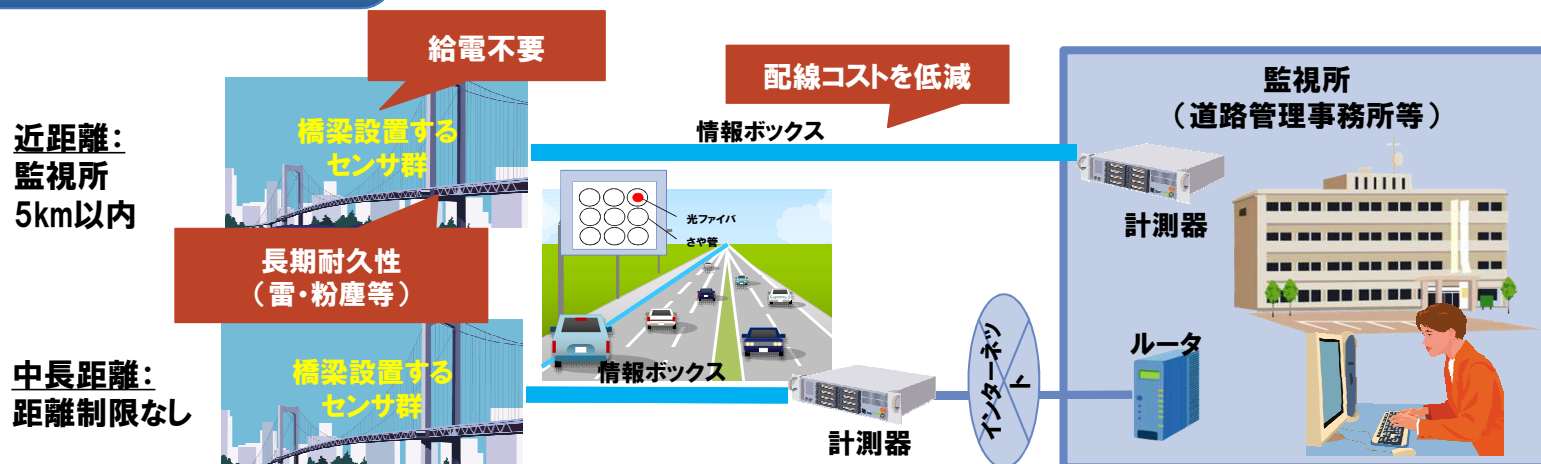
## 使用方法・使用場所等

橋梁管理者において交通荷重および疲労亀裂の把握が必要となる箇所にセンサを設置し既設の光ファイバや情報ボックスを活用し、管理庁舎に情報を一括測定・提供する。

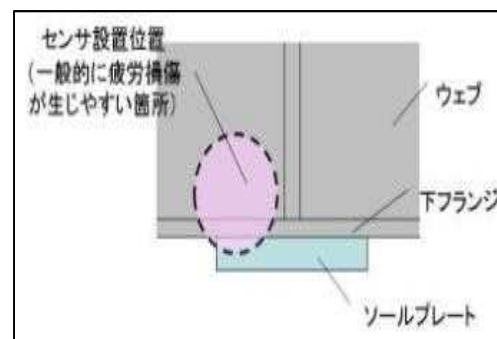
## 販売、利益創出等の流れ

- ・管理者への営業活動
- ・管理者からのサービス導入の依頼
- ・ニーズ・設置路線・対象橋梁等の調査
- ・橋梁・箇所を選定しシステム導入
- ・サービスの導入および提供に伴う、対価として利益創出

## 提供サービスの概要



センサによる車重計測や亀裂検知が可能 → 光ファイバセンサによる複数橋梁の広域監視を実現



- 研究開発項目 : 点検・モニタリング技術の研究開発
- 研究開発テーマ : デジタルカメラ画像処理を用いたひび割れモニタリングシステムの開発
- 研究責任者 : 株式会社 大林組 技術研究所 竹田宣典
- 共同研究グループ: 筑波大学、早稲田大学



# 研究開発の目的・内容

## 研究開発の目的

・クラックスケールを貼り付けることなくひび割れ幅を計測できるデジタルカメラ画像処理方法を開発

### 従来の目視観察



- ・構造物に近接して、ひび割れのマーキングが必要 (高所作業車などが必要)
- ・ひび割れ幅測定には、クラックスケールなどが必要
- ・ひび割れMAP作成に時間がかかる

⇒ 計測とデータ処理に多くの時間と労力を要し、少人数でスピーディな計測が困難

### デジタルカメラ撮影+画像処理による処理

- ・構造物から離れた位置から計測が可能
- ・クラックスケールを使用することなくひび割れ幅の計測が可能
- ・計測結果を現場でモニタリング可能 (デジタルデータの保管も可能)



⇒ 計測、データ処理の時間短縮、省略化が図られ、多くの構造物の計測が可能

## 研究開発の内容 (平成26~28年度)

- ・レーザーポインタによるひび割れ幅の計測方法の開発  
→ クラックスケール不要のひび割れ幅計測を実現
- ・画像処理によるひび割れMAPの迅速表示方法の開発  
→ 計測現場におけるひび割れ位置の表示を実現

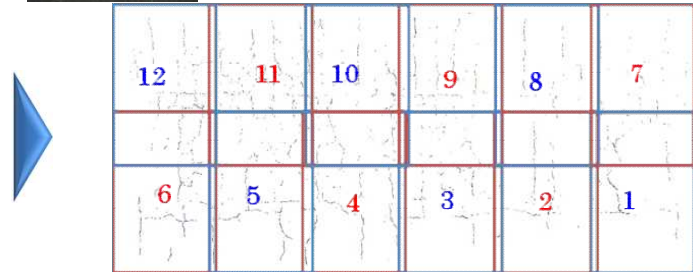
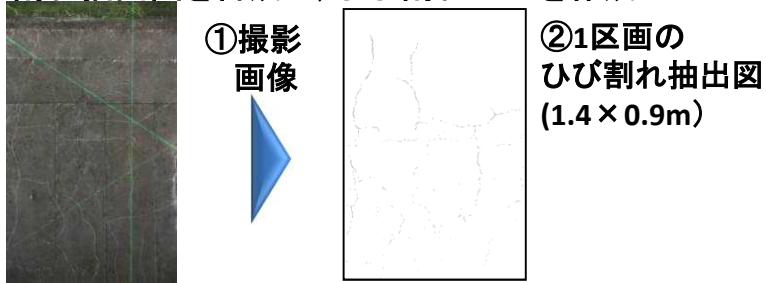


# 現状の成果① (平成26～28年度に実施)

## 1. デジタルカメラによるひび割れ計測

・デジタルカメラ(5,000万画素)と望遠レンズを用いて床版表面を分割撮影し(12区画, 1区画:概ね1.4×0.9m)、画像処理によりひび割れを抽出

・ひび割れ抽出図を合成し、ひび割れMAPを作成

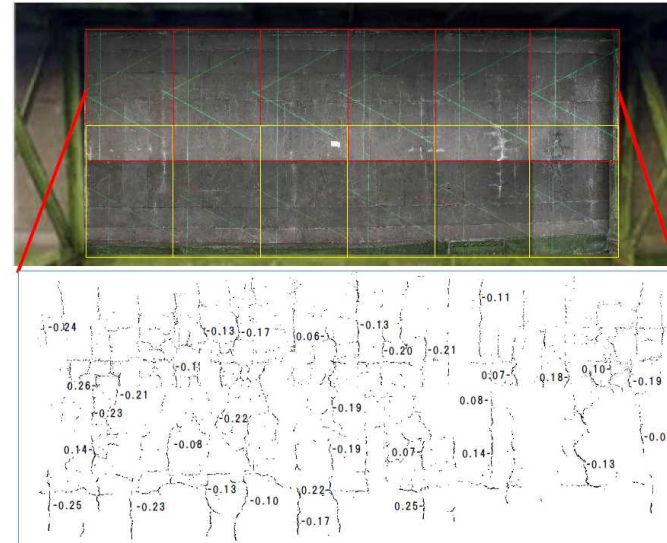


③ひび割れMAP  
(重畳図, 3×5m=15m<sup>2</sup>)

・デジタルカメラ撮影により、幅0.1mmまでのひび割れの測定を実現(構造物に近接しない測定を実現)を実現

## 2. レーザ照射によるひび割れ幅の計測

・レーザポインタ(線状)を3線照射し、構部物に写る三角形レーザ映像をひび割れと同時に撮影することにより、ひび割れ幅を計測



・クラックスケールを構造物に貼ることなくひび割れ幅の計測を実現

・計測時間の大幅な短縮を実現

活用例

橋梁床版のみならず、橋脚、トンネル覆工、擁壁、海洋構造物、災害などで近寄る事ができない構造物にも有効

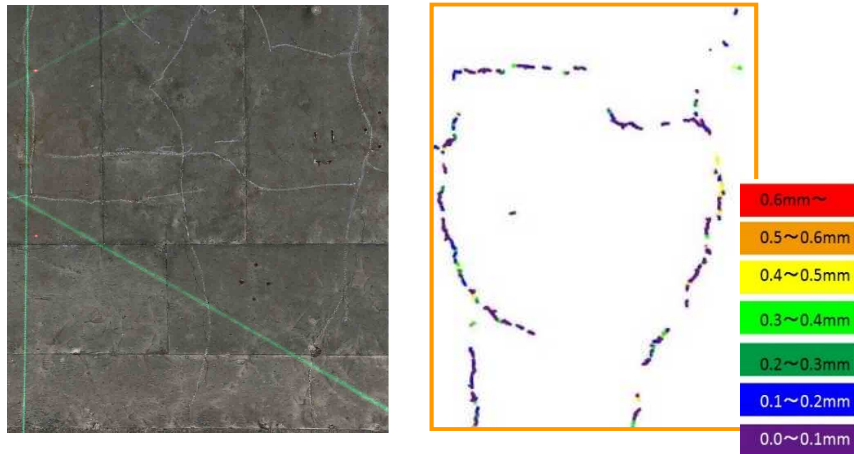


ひび割れ計測の省力化、迅速化、遠方からの計測が可能

# 現状の成果② (平成26～28年度に実施)

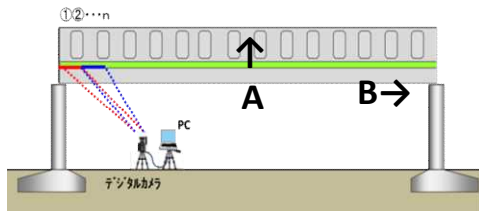
## 3. ひび割れの画像解析

画像解析により、任意の位置のひび割れ幅を自動的に  
0.1mm幅でグレーディング(色分け表示)



- ・任意の位置のひび割れ幅が一目で解る表示を実現
- ・ひび割れ幅のグレーディングの自動化を実現

・測定・処理時間の比較



	測定時間(分/m <sup>2</sup> )		
	目視 観察	デジ カメ	デジカメ /目視
A:床版下面 (実績)	68	22	約 1/3
B:橋脚側面 (推定)	32	20	約 2/3

## 成果の活用フロー

H28年まで

1. 試作システムの作製

2. 実証試験

- ・ひび割れ調査への適用の検証
- ・有効性(精度, スピード)の確認

SIPでの  
検討終了

H29年以降 (実務に応じて実施)

3. システムの改良  
(測定機, 解析ソフトの改良)

4. 実用システムの作製

手間のかからない(効率的な)ひび割れ  
調査で、確実な維持管理を実現

# 最終目標(出口戦略)

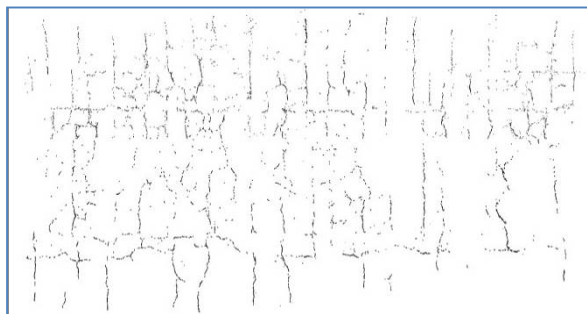
## 対象ユーザー

調査会社、施工会社、構造物管理者など

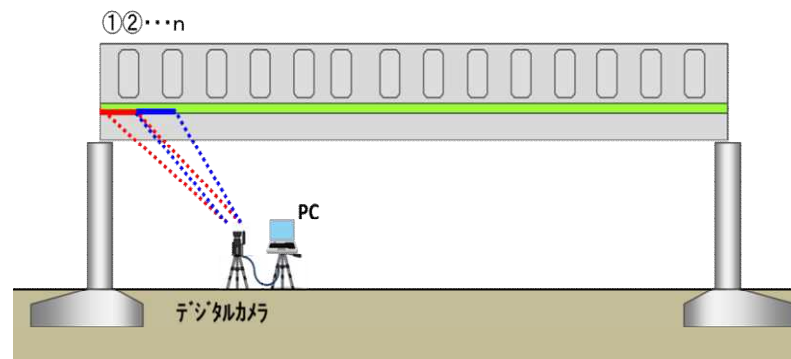
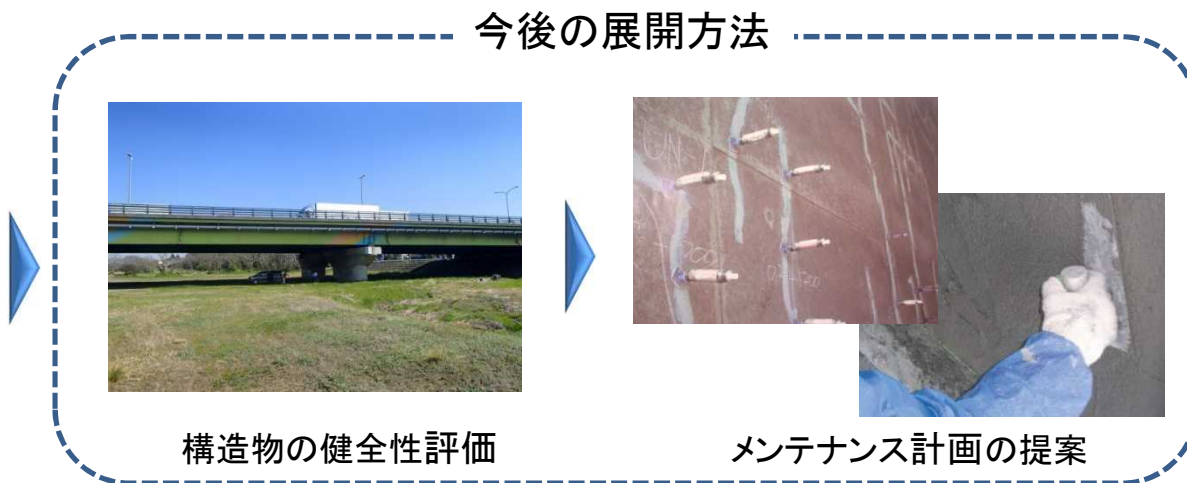
## 使用方法等

構造物の定期点検、リニューアル計画時、補修工事時の事前点検、  
PFI事業におけるメンテナンス など

## 提供サービス



ひび割れ発生状況、  
進展状況の把握



ひび割れ調査の迅速化, 精度向上が可能

→ 膨大な数のコンクリート構造物の劣化状況の把握を短期間を実現



- 研究開発項目 : 橋梁維持管理の高度化・効率化
- 研究開発テーマ : 床版貫通無線データ通信方式モニタリングシステム
- 研究責任者 : 東芝テック株式会社 橋爪 弘
- 共同研究グループ: 株式会社 大林組



## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- ・コンクリート床版の劣化を効率的に把握する技術を開発

#### 従来の床版ひび割れ検知

- ・高所難所での頻繁な目視点検は困難
- ・多数設置される無線センサの電池交換  
有線センサのケーブル設置は、負担が大きい

#### 床版貫通データ通信によるひび割れ検知

- ・橋梁上を走る車両から、床版越しに下面ひび割れの進行具合を随時検知可能
- ・無線センサはRFID技術を応用し電池レスで動作可能

#### 従来の床版劣化把握

- ・計測項目毎に専用の計測機器とケーブルを設置したり、通行規制を伴う特殊車両を使用する点検は負担が大きい

#### 多変量型無線センサによる床版劣化把握

- ・ケーブルが不要な小型無線センサで、同一測点における複数の計測項目(多変量)を同時に計測可能。
- ・多変量解析による高精度な劣化把握を可能にする。

# 研究開発の内容 (平成26~27年度に実施)

## 研究開発の内容

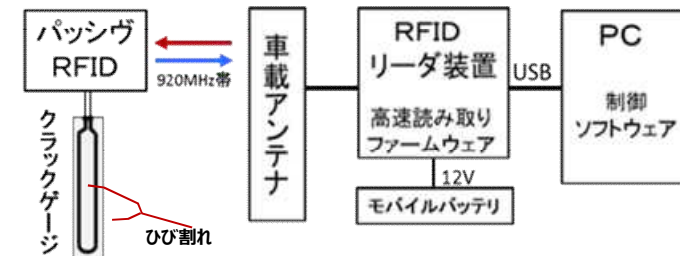
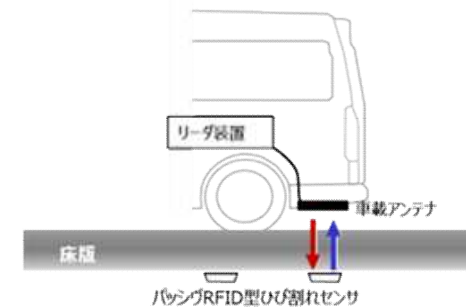
### 1. 床版を貫通して無電源RFIDセンサを高速に読み取る技術の開発

#### 開発要素

- ・RFID高速移動読み取り通信プロトコル技術
- ・床版貫通通信車載アンテナ技術
- ・無線チャンネル干渉回避技術
- ・コンクリート上で機能するRFIDアンテナ技術
- ・センサ筐体の軽量化、耐候性確保技術

#### 実証方法

毎月1回の走行データ収集でクラックゲージの断線を検知し、ひび割れ伸展をモニタリングする



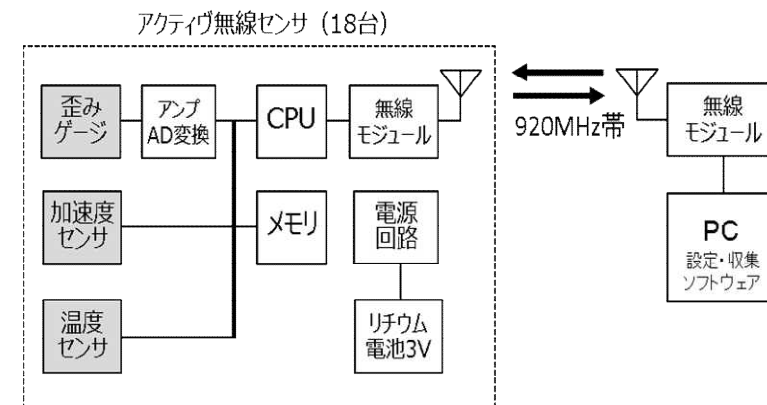
### 2. 多変量の同時計測・解析による床版劣化把握技術の開発

#### 開発要素

- ・低消費電力無線通信技術
- ・間接ひずみ計測技術
- ・多変量解析技術

#### 実証方法

無線センサが毎月2回の自動計測(加速度、歪、温度)を行い、毎月1回、現場でデータを無線収集し、解析による劣化進行把握を試みる。



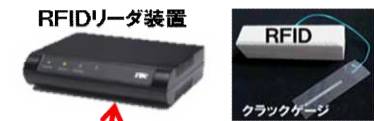
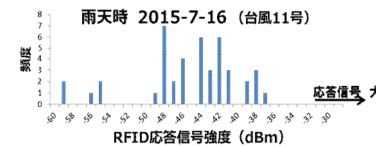
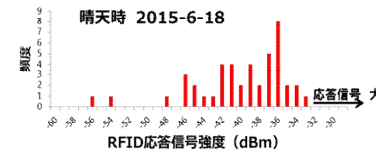
# 現状の成果 (平成26~27年度に実施)

## 1. 床版貫通データ通信によるひび割れ検知

- ・10m秒以内でRFIDとのデータ通信を完結する高速通信プロトコルとデータ収集ソフトウェアを開発した。
  - ・車幅方向1mの読み取り範囲を有し、リーダ装置間の無線チャンネル干渉を回避できる構造の車載アンテナを開発した。
  - ・コンクリート面に設置しても性能を維持するRFIDアンテナと、軽量化と耐候性を両立したセンサ筐体を開発した。
- ▼
- ・車速60km/hでの床版貫通センサデータ読み取りを実現
  - ・電波伝搬に不利な雨天時でも安定した読み取りを実現



床版下面へのセンサ設置



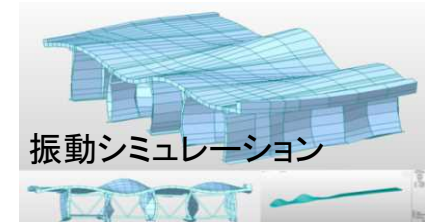
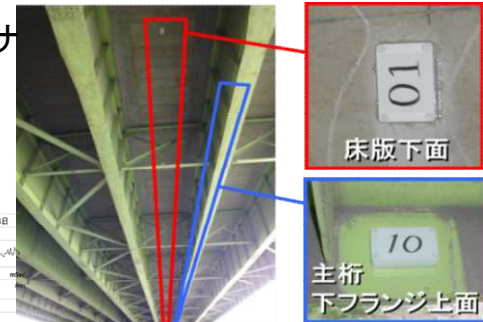
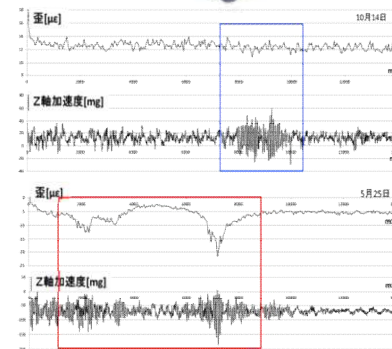
車載アンテナ

## 2. 多変量型無線センサによる床版劣化把握

- ・振動加速度、歪、温度の同時計測が可能な電池駆動型低消費電力無線センサ及び、リモート設定・データ収集用ソフトウェアを開発した。
  - ・無線センサ筐体と一体型の間接歪センサを開発した。
- ▼
- ・1年間の現場計測により、多変量解析に必要な高精度計測を行う為の技術課題を抽出できた。



多変量型無線センサ



振動シミュレーション

# 最終目標

## 対象ユーザー

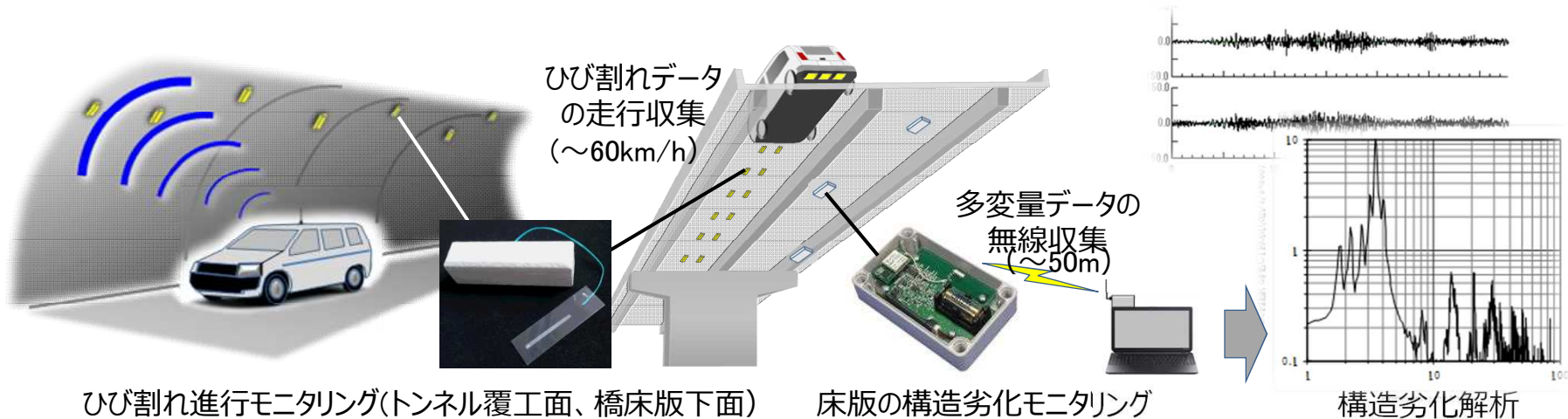
地方自治体様

## 使用方法等

ひび割れデータ収集は、橋梁を60km/h以下で走行。自治体公用車、タクシー、バス活用も視野。  
多変量データ収集は、全センサから収集が完了するまで無線通信範囲(約50m)に留まって行う。

## 提供サービス(活用案)

劣化進行モニタリングから、解析、補修・改修工事に至るサービス



効率的な劣化把握と適時な補修・改修による予防保全が可能  
→ 地方自治体でのインフラ維持管理・更新の推進に貢献