

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 画像解析技術を用いた遠方からの床版ひび割れ定量評価システムの構築
- 研究責任者 : 大成建設株式会社 堀口 賢一



研究開発の目的・内容



研究開発の目的

- ・道路橋床板の劣化の程度を、画像解析処理技術を用いて定量的に評価できるシステムを開発

従来の橋梁床版の点検



従来の目視点検状況

- ・ひび割れ図を手書きで作成
- ・ひび割れの定量評価が困難
- ・遠方部、狭隘部の点検が困難

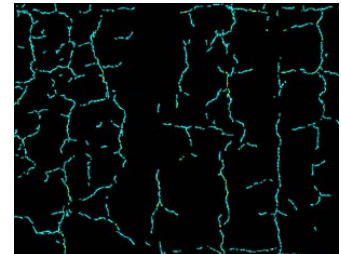


画像解析を用いた橋梁床版の点検

- ・正確なひび割れ図を自動作成
- ・ひび割れ幅ごとに長さを定量化
- ・遠方部、狭隘部の点検を効率化



UAVによる撮影状況



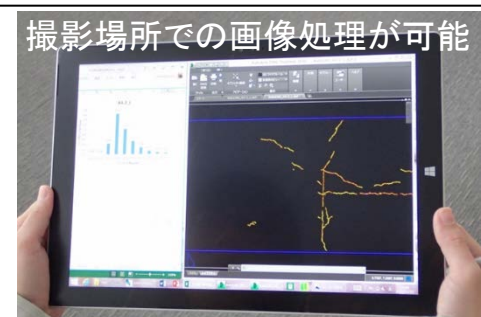
ひび割れ画像解析結果

研究開発の内容 (平成26～平成30年度)

- ・UAVやポールを用いたデジタル画像撮影技術の開発
→ 振動の影響を排除した高精細な画像撮影を実現
- ・平面的な損傷を抽出・定量評価できる画像解析技術の開発
→ 遊離石灰の面積算定、隠れたひび割れ幅推定を実現
- ・撮影場所で迅速に解析結果が得られる画像処理技術
→ タブレットを用いた処理の迅速化を実現



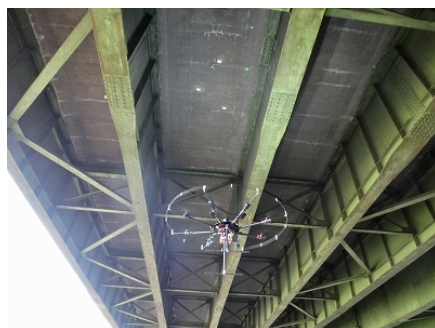
タブレットによる画像処理迅速化



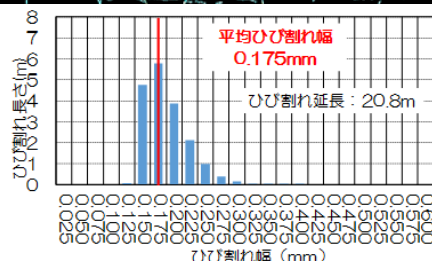
撮影場所での画像処理が可能

1. 遠方部・狭隘部の撮影技術

従来の橋梁床版の点検は、足場や橋梁点検車を使って、点検員による目視と手書き図面で行われている。これに対して本開発技術では、UAVやポールに搭載したデジタルカメラで高精細に撮影した画像から簡単にひび割れ図が作図でき、さらにひび割れの幅や長さを定量的に算定できる。



UAVによる床版撮影

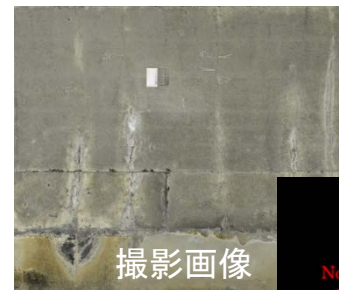


幅ごとのひび割れ長さ

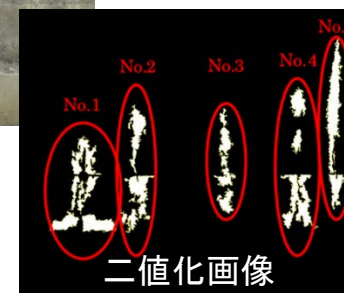
- ・遠方部や狭隘部の橋梁床版を高精細な画質で撮影可能
- ・デジタル画像からひび割れ図を簡単、正確に作図可能
- ・ひび割れ幅と長さ、ひび割れ密度の正確な算定可能
- ・点検員による誤差を排除し、点検の安全性も飛躍的に向上

2. 平面的な損傷の定量評価技術

橋梁床版は漏水を伴うと、遊離石灰が発生してひび割れが覆われてしまい、その内側のひび割れが定量的に評価できない。これに対して本開発技術では、遊離石灰の面積を画像解析から定量的に算定し、隠れたひび割れの幅を推定できる。



撮影画像



遊離石灰面積

グループ	面積 (mm ²)
1	46579
2	34542
3	21731
4	36671
5	37659

- ・遊離石灰の面積を画像解析で正確に算定可能
- ・面積から遊離石灰に隠れたひび割れの幅を推定可能
- ・ひび割れの画像解析結果と合わせて、床版の劣化度を的確に評価

活用例

- ・高架橋の下を店舗として利用している場所の調査
- ・離島架橋で足場の設置が極めて困難な場所の調査



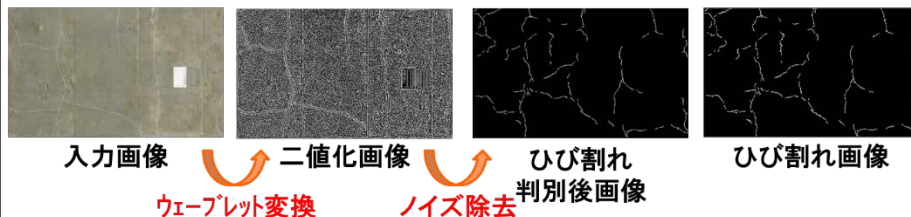
都市道路(店舗)

- ・短時間での調査場所の解放が可能
- ・海上での撮影の効率化が可能

3. 画像解析処理の迅速化技術

従来の点検員による調査や画像解析による調査では、調査データを持ち帰り、手書きによる作図や画像上でのトレースしたCAD作図などに時間を要し、撮影場所で直ちに調査結果を表示することが困難であった。これに対し本開発技術は、画像処理工程を簡略化し、タブレットでも処理できるため、結果を屋外で迅速に表示できる。

従来手法



迅速化手法



	従来手法	迅速化法
ノイズ除去・トレース	52:20	06:30
解析時間	02:46	01:37
合計	55:06	08:07

- ・画像解析処理の速度を大幅に向上
- ・撮影現場での調査結果の表示が可能

成果の活用フロー

1. 遠方・狭隘部の効率的な撮影

2. ひび割れの定量評価

3. 遊離石灰の定量評価

4. 定量評価結果のまとめ

5. 床版損傷度との関係性評価

橋梁床板の損傷度の定量的な評価を実現

最終数値目標

中小規模橋梁50万橋の点検のうち、シェア1%以上実現
(点検費用100万円/橋 × 50万橋 × シェア1% = 50億円)

対象ユーザー

構造物の調査会社、地方自治体のうち特に市町村 など

使用方法・使用場所等

- 1) 点検事業者へのシステムパッケージの販売
- 2) クラウド機能を活用した解析代行業業 など

販売、利益創出等の流れ

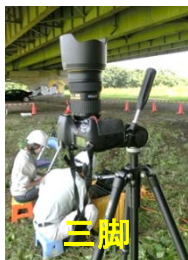
点検事業者が使いやすい機能、
インターフェースへのシステム化

点検事業者への技術サポート、
クラウド機能を活用した解析代行業業

点検データを集約した維持管理
データ管理代行業業

提供サービスの概要

道路橋床板の点検を効率化し、損傷の程度を定量的に評価できるデータを提供。



三脚

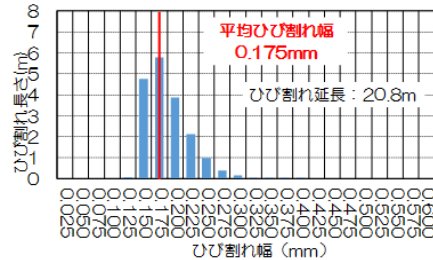


ポール



UAV

適切な撮影方法を選択可能



ひび割れ数量等を定量的に把握

損傷度	ひび割れ幅の基準	画像解析結果の反映
a	0.05mm	・ひび割れ幅、長さ、密度 ・遊離石灰面積からのひび割れ幅推定
b	0.10mm	
c	0.20mm	

橋梁床板の損傷度を正確に把握

従来は難しかった橋梁床板の損傷度を定量的に評価することが可能

→ 点検や対策・維持管理の優先度を定めるための情報提供を実現

【実用化(社会実装)に向けた取り組み】



構造物点検事業者による
実用性・使用性評価



琉球大学提供動画での
ひび割れ検出試行例

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : モニタリング技術の活用による維持管理業務の高度化・効率化
- 研究責任者 : モニタリングシステム技術研究組合 本間 淳史



研究開発の目的・内容

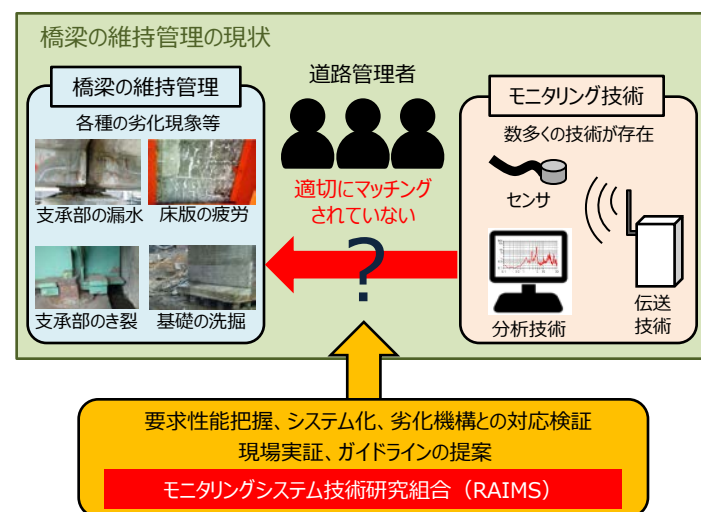


研究開発の目的

現状: 橋梁を対象とした多種のモニタリング技術や製品が存在しているが、現場で使用する仕様が標準化されていないため、どの技術をどのように適用してよいか、道路管理者が判断できない。



橋梁の点検から補修・補強にいたるまでの維持管理サイクルを高度化・効率化するため、実際の道路管理者のニーズを踏まえ、実験や解析、現場実証に基づいて、最先端のモニタリングシステムを現場に導入するためのガイドラインを提案する。



研究開発の内容 (平成26～30年度)

- 道路管理者のモニタリング技術に対するニーズを整理・分析
- モニタリング技術により得られる計測データと構造物の劣化損傷の関係について、室内実験や現場実証実験により検討
- 橋梁の維持管理業務へのモニタリング技術の導入シナリオを策定、モニタリングシステムのガイドラインを作成



道路管理者の目的にマッチしたモニタリングシステムをガイドラインとして提案することにより、モニタリング技術の導入を促進し、橋梁の維持管理業務の高度化・効率化を実現する。

現状の成果① (平成26～28年度に実施)

1. 道路管理者ニーズと要求性能の検討

道路管理者が必要としているモニタリング技術について、情報収集・整理。

- ① 道路管理者ニーズの整理(文献調査、有識者意見交換等)
- ② 橋梁の維持管理におけるモニタリングの適応場面の整理(地方公共団体の道路管理者へヒアリングを実施)
- ③ モニタリングに対する要求性能の検討

区分	管理者の目的	維持管理ニーズ	モニタリングの目的
点検を補助するモニタリング	日常点検時の変状の見逃しを低減する(スクリーニング)	効率化	何らかの異常があった箇所を把握する(事象は特定できなくてよい)
	定期点検の範囲を絞り込み、点検時間・費用を削減する	効率化	健全性が把握されている(点検不要とみなせる)範囲を把握する
診断を補助するモニタリング	予防保全対策の実施により劣化損傷の重症化を防ぐ	高度化	予防保全対策をとるべき状態に達したことを把握する
	措置の優先順位づけを行う	効率化	客観的評価を行うための定量的データを取得する
	供用状態を維持する	効率化	通行制限あるいは通行止めすべき状態に達したことを確認する
補修・補強の効果を確認するモニタリング	対策の妥当性を確認する	高度化	対策の効果、持続性を確認する
緊急時の対応を補助するモニタリング	交通開放するまでの時間を短縮する(高速道路)	効率化	落橋の危険が予測される箇所を把握する
	通行危険箇所を放置する時間を短縮する(一般道)		

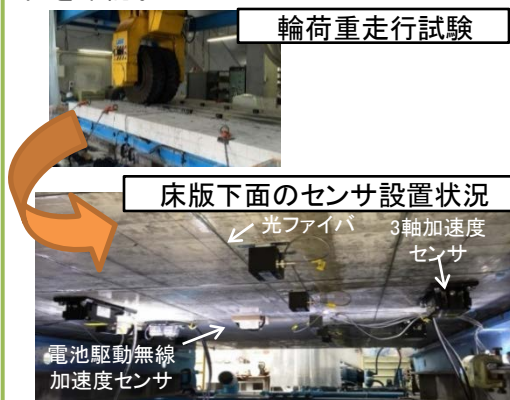
特に高い道路管理者ニーズ

- ・近接目視の義務化による負担増への対応
- ・跨線橋など近接困難な箇所の点検を補助
- ・要対策だが当面对応できない橋梁を監視
- ・地域にとって重要な橋梁を低予算で監視
- ・道路管理者に必要とされるモニタリングの適用場面と適用技術のマッチング

2. 床版モニタリング実験/RC桁モニタリング実験

室内実験(H27)

センサの適用性を確認するために、床版を模擬した供試体を用いて、輪荷重走行試験により床版の疲労損傷を再現しながら、たわみやひび割れのモニタリングを実施。劣化の各段階におけるセンサの適用性を確認。

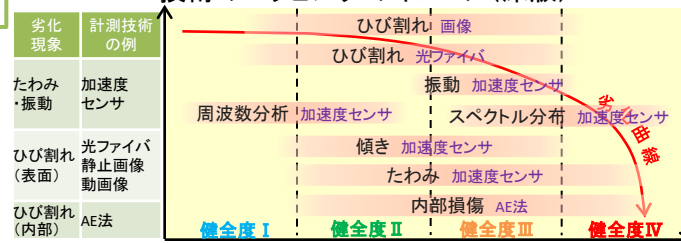


現場実証実験(H28)

室内実験にて有用性が確認されたセンサを中心に、たわみやひび割れのモニタリングを実橋にて実施し、屋外環境での適用性を確認。(一部はH29まで計測を継続する予定)

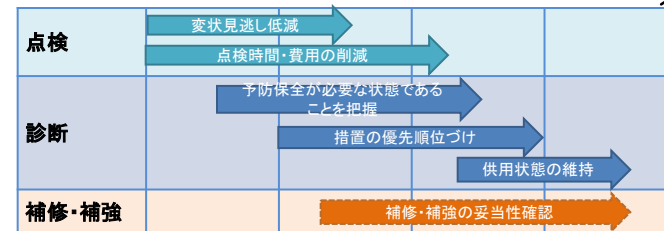


技術のマッピングのイメージ(床版)



橋梁の健全度に応じて、着目すべき劣化現象と、それを捉えることができるモニタリング技術をマッピング

- ・床版や桁の健全度に応じて、実用可能かつ効果的なモニタリング方法をガイドライン化



3. 塩害モニタリング実験

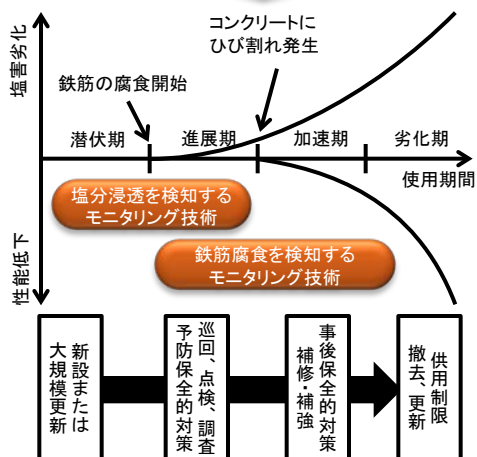
室内実験(H27)

鉄筋コンクリート梁を模擬した供試体を用いて、塩分浸漬や電食試験を行い、埋設したセンサにより塩分の浸透や鉄筋の腐食モニタリングを実施。計測の安定性や施工性について課題を確認。



現場実証実験(H28)

塩害の進行をモニタリングするためのセンサを実橋に設置し、屋外環境での適用性を確認。
(H29まで計測を継続予定)



塩害の進行状況に応じて適用可能なモニタリング技術をマッピング

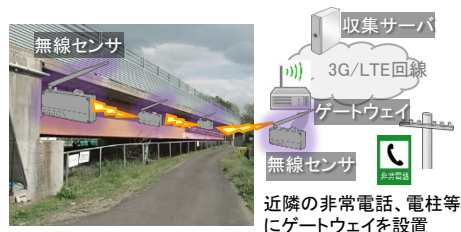
・塩害による劣化状況に応じて、実用可能かつ効果的なモニタリング方法をガイドライン化

4. 無線通信方式の評価

モニタリングデータの収集を想定した無線方式の現場実証実験を実施。

(1) 定点収集型モニタリング

センサ設置場所の間でマルチホップ無線通信が可能であることを確認するために、橋梁の各所で通信可能範囲を測定した。



定点収集型モニタリングのイメージ

(2) 巡回収集型モニタリング

80km/hの車で走りながらセンサデータを無線で収集する技術について、日常点検のパトロール車や他業務で広域を定期巡回する車両でデータを収集できることを確認した。

・無線通信を利用してモニタリングデータを収集する具体的方法をガイドライン化

成果の活用フロー

1. 道路管理者ニーズと要求性能の検討

橋梁モニタリングシステムの実証

2. 床版モニタリング RC桁モニタリング

3. 塩害モニタリング

4. 無線通信方式の評価

その他のモニタリング データ蓄積 等

モニタリングシステム導入のためのガイドラインを作成

モニタリングシステムを活用しやすくなり、橋梁の維持管理業務の高度化・効率化が図られる

最終数値目標

ガイドラインによってモニタリングの活用を促進することで、適切かつ効果的に橋梁を維持管理し、橋梁寿命100年を達成することを目指す。

対象ユーザー

すべての道路管理者（国、地方公共団体、高速道路会社など）

使用方法・使用場所等

ガイドラインをもとに、それぞれの道路管理者ごとに、目的や対象橋梁、管理体制等に応じたモニタリングシステムを、点検要領等に導入する。

ガイドラインの普及の流れ

講習会・技術展等による成果の発信、地方公共団体との連携

▶ 国道や高速道路でのモニタリング活用を推進
地方公共団体への情報発信・助言

提供サービスの概要

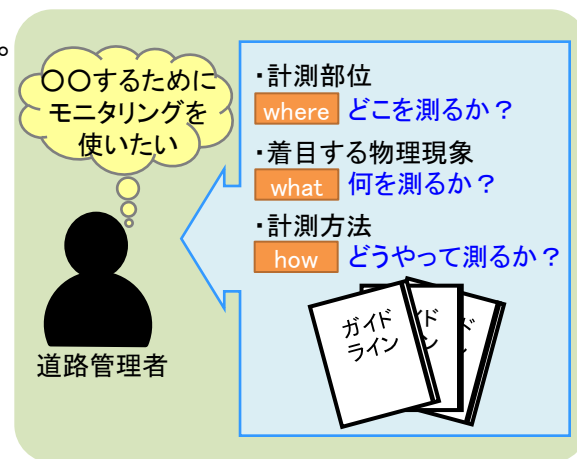
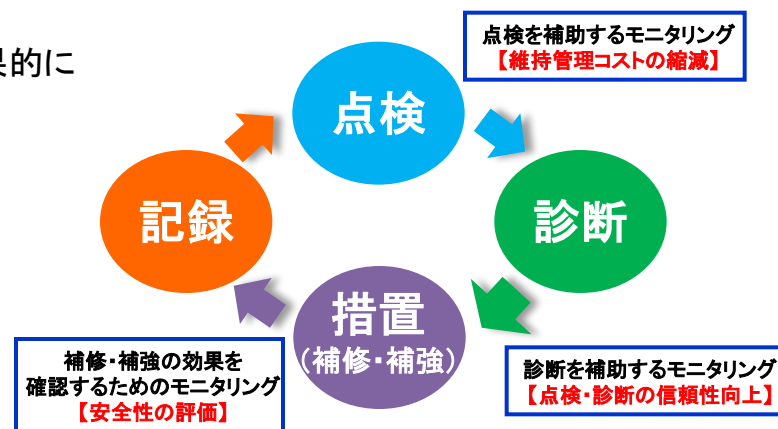
橋梁の維持管理におけるモニタリングシステムの活用方法をガイドラインにより提案する。

【活用例】

- 定期的なモニタリングデータを参照して点検計画のメリハリを付け、点検業務の効率化を図る。
- アクセスが難しい箇所の点検をモニタリングで補うことで、点検の精度の向上、損傷の見落としの減少を図る。
- 損傷の進んだ構造物を監視するためにモニタリングを導入し、安全性の向上を図る。
- 補修・補強後の効果をモニタリングにて確認することで、合理的な補修・補強方法を立案する。

道路管理者の目的に応じたモニタリングシステムの導入が可能

→ 橋梁の維持管理業務の高度化・効率化を実現



- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 省電力化を図ったワイヤレスセンサによる橋梁の継続的遠隔モニタリングシステムの 現場実証
- 研究責任者 : オムロン ソーシャルソリューションズ株式会社 西田秀志
- 共同研究グループ : 国立大学法人東京工業大学



研究開発の目的・内容



研究開発の目的

管理者にとって導入しやすくかつ客観的な情報取得できる、高度な橋梁維持管理システムを実現する

点検業務の課題解決

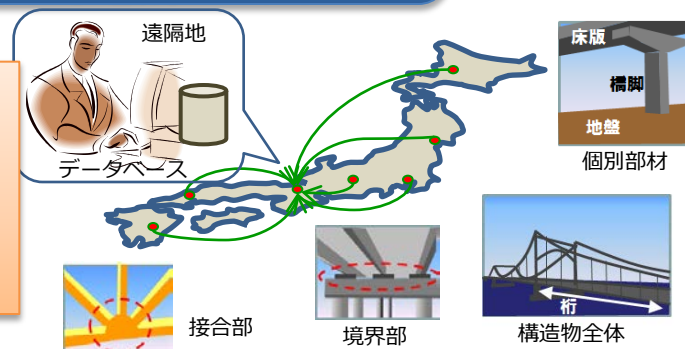


- ・5年に1度の目視点検
- ・橋梁数の多さ (69万橋)
- ・橋梁の老朽化
平均年齢 35年

- ・人手不足
- ・アクセス困難
- ・異常時の優先順位付け
- ・抜け漏れ発生
- ・維持管理レベルの低下

センシングによる遠隔モニタリング

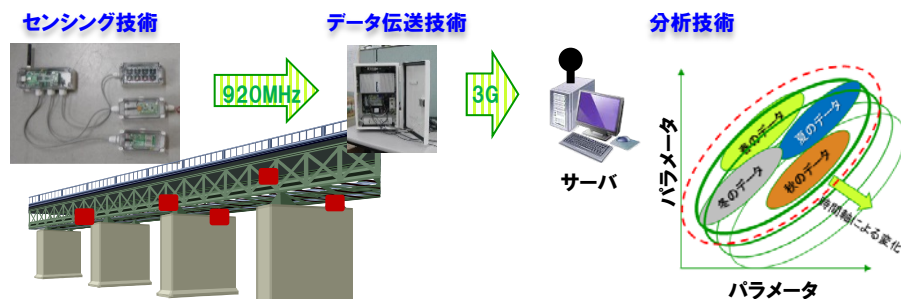
- ・簡単設置
- ・遠隔での橋梁監視
- ・微細な挙動把握
- ・理解し易い情報の提供



※出所: 国土交通省 近畿地方整備局 ホームページより

研究開発の内容 (平成26~30年度)

- ・省電力、屋外環境対応のセンシング技術
→ 長期信頼性確保 (電池駆動で寿命5年以上)
- ・データ伝送技術 (無線)
→ 設置性の良さと遠隔での効率的なモニタリング
- ・データ分析技術
→ 多様な劣化損傷の指標化 (特性カルテ)



現状の成果① (平成26～28年度に実施)

1. 実橋梁でのモニタリングシステム構築

センシング技術

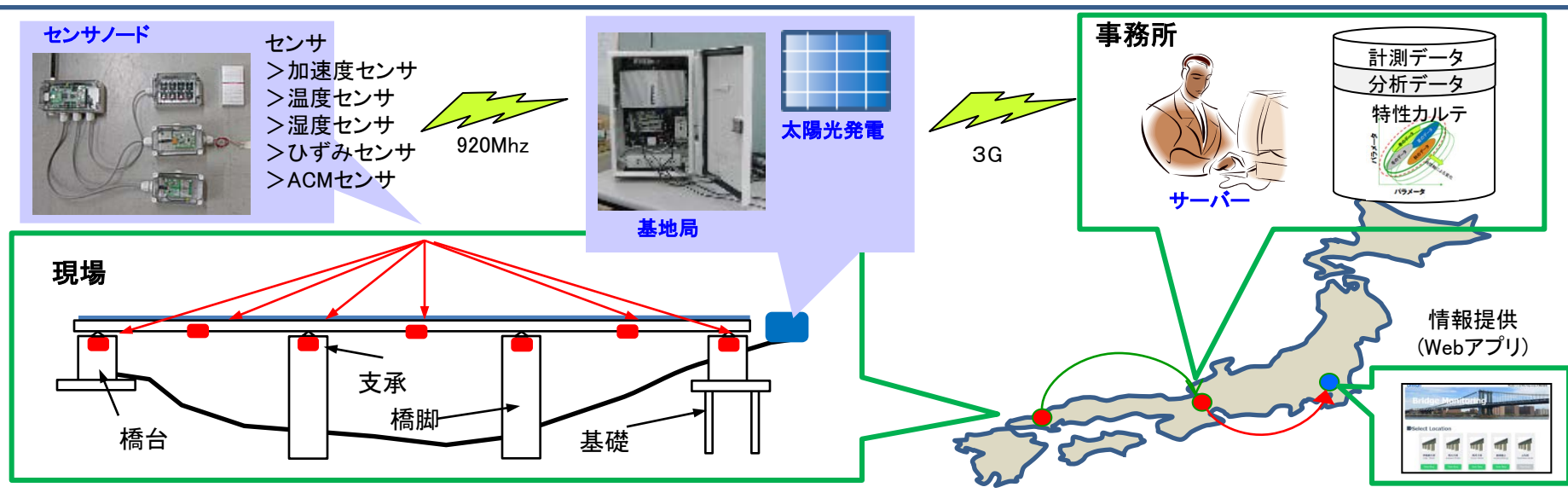
- ・センサノード31台を現場実装(省電力無線)
- ・Li電池で5年以上の稼働に目処
計測時間 5分×3回/日

伝送技術

- ・基地局1台現場実装
- ・太陽光発電のみで1年以上の稼働実績
- ・920MHz無線通信の品質確認 (橋長230m)
- ・1ms以下の高精度時刻同期 (GPS)

分析技術

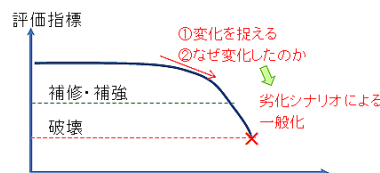
- ・遠隔地にサーバ設置
- ・基地局からのデータを蓄積(1年以上)
- ・特性カルテの情報提供開始



- ・電源工事不要で、容易に導入し、長期利用可能な、遠隔モニタリングシステムを実現
- ・橋梁の状態を、専門的な知識なしでも理解できる情報として、センサデータの指標化を実現

活用例

橋梁の損傷が見受けられる部位の状態を遠隔地でモニタリング



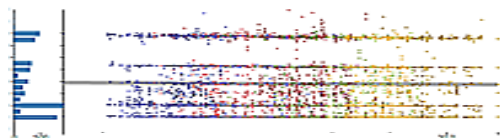
評価指標の変化から劣化進行を予測し、橋梁の予防保全が可能

現状の成果② (平成26～28年度に実施)

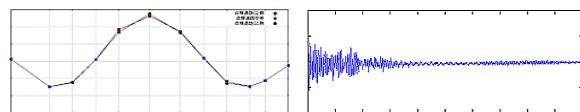
2. 加速度値

評価指標:

固有周波数、減衰比、振動モード形状



固有周波数、温度の時系列データ



モード形

自由減衰応答波形

構造物全体、個別部材の挙動を定量的に把握

3. ひずみ値

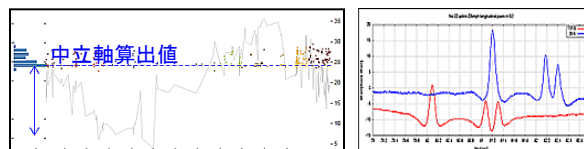
・自己発電型のピエゾ式ひずみセンサを活用

・以下の指標の妥当性確認

①中立軸の算出

②車両重量の算出(インプット情報として)

※インプットとアウトプットの相関を指標化



中立軸の時系列データ

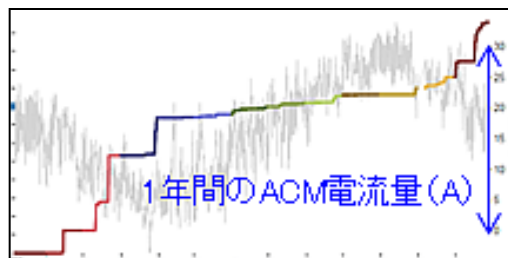
車両走行時のひずみ

床版のひび割れ、鋼部材の剛性低下などの
損傷・劣化状態を定量的に把握

4. 腐食値

腐食環境指標の傾向

= 実橋梁の調査結果 (板厚減少量)



腐食劣化の進行箇所、時期を定量的に予測

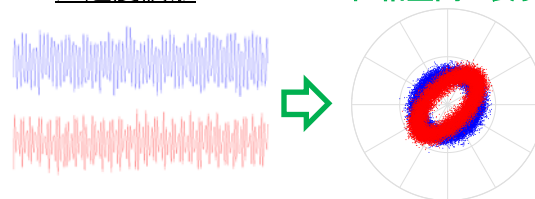
5. 分析技術

時系列のセンサデータを分析し、構造特性を把握するとともに、ダメージ検出を行う。本検討では、データを位相空間で表現し、ダメージ指標として活用する手法を適用。

(軌跡の中心移動量、大きさ、形状)

加速度波形

位相空間で表現



ダメージ発生の時刻、場所、レベルを検出

成果の活用フロー

対象橋梁の状況調査、構造解析により、劣化シナリオを推定

必要なセンサを選定
必要な指標を選定

2. 加速度値

3. ひずみ値

4. 腐食値

5. 分析技術

1. 実橋梁でのモニタリングシステム構築

対象橋梁に最適なモニタリングシステムを実現

最終目標

最終数値目標

電池駆動で5年以上運用できるセンサシステムを実現
分かり易く、使い易いモニタリングメニューを実現

対象ユーザー

道路管理者様(道路会社、国、地方自治体様) など

使用方法・使用場所等

監視の必要な橋梁にセンサを設置し、管理部門でデータを蓄積、維持管理を担当する事務所で状況を監視

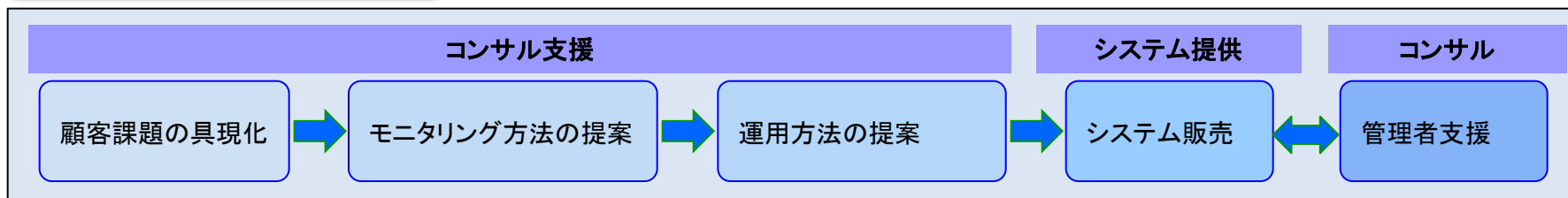
販売、利益創出等の流れ

オムロンソーシアルソリューションズ(株)
モニタリング提案、システム提供

コンサル会社 : 維持管理支援
建設会社 : 建設時、建設後の状況把握

道路管理者様
(道路会社/国・地方自治体様)

提供サービスの概要



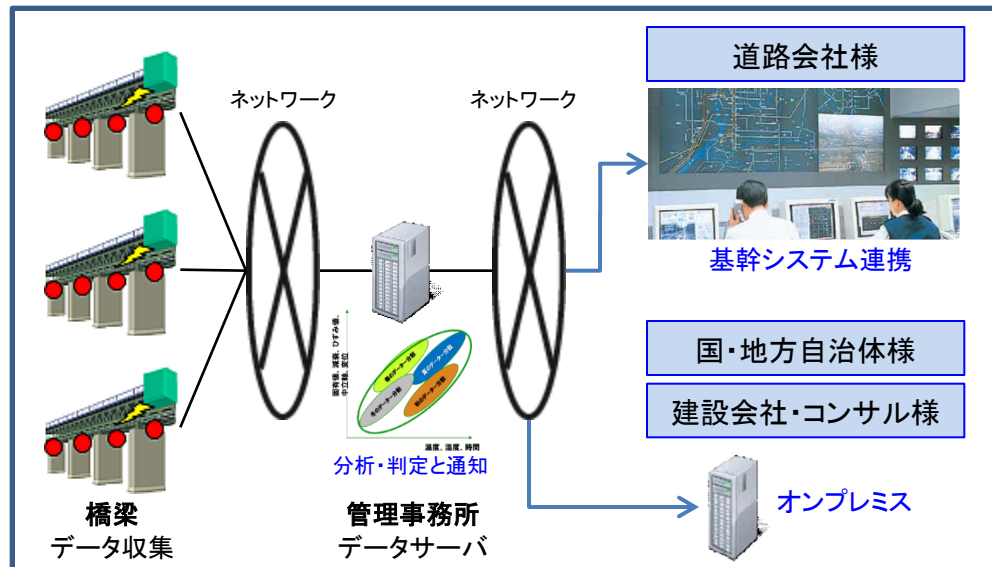
提供価値

- ・LCC最適化
- ・災害時復旧の迅速化
- ・見える化による定量的な修繕判断
- ・点検周期間の状態監視

を可能とし

- ・経済ロス低減
- ・プロアクティブな安全対策
- ・社会の信頼を獲得

を実現する



- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 橋梁点検ロボットカメラ等機器を用いたモニタリングシステムの創生
- 研究責任者 : 三井住友建設株式会社 土木リニューアル推進室長 藤原 保久
- 共同研究グループ: 株式会社日立産業制御ソリューションズ



研究開発の目的・内容



研究開発の目的

コンクリート橋の支承部・桁端部等、人が容易に近づけず**近接目視が困難な部位**を対象に、損傷状況の**経年変化データ**を取得する**定期監視型モニタリングシステム**を開発

従来の定期監視型モニタリング



- ・近接目視し難い箇所へアプローチが困難
- ・機器の設置箇所の連続性の確保が困難
- ・現場で過去のデータの参照が困難



ロボットカメラ等機器を用いた定期監視型モニタリング

- ・近接目視が困難な部位に適用可能
- ・GPS機器と連動により、前回と同じ位置に設置可能
- ・Webシステムとの連携により、現場でデータの出し入れが可能



研究開発の内容(平成26～30年度)

- ・使用する機器は、橋梁点検ロボットカメラ※、デジタルカメラ、レーザースキャナ
- ・機器相互では、**位置情報連動の補完機能**や**雲台付きポールユニットの活用**を開発
- ・実橋にて技術検証を実施

⇒ **それぞれの機器の長所を活かしたモニタリングシステムの構築を実現**

※橋梁点検ロボットカメラ: レーザ距離計や照明を搭載し、暗所でも撮れる高感度高機能カメラ

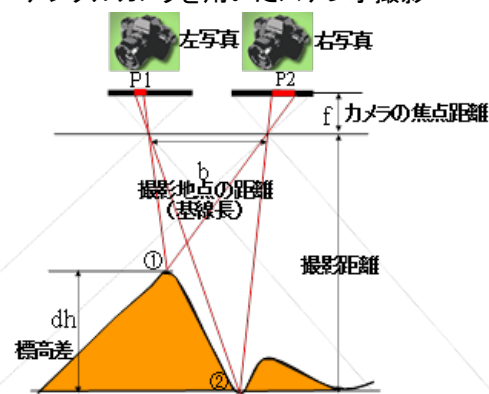
懸垂型



高所型



デジタルカメラを用いたステレオ撮影



戦略的イノベーション創造プログラム
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

インフラ維持管理・更新・マネジメント技術

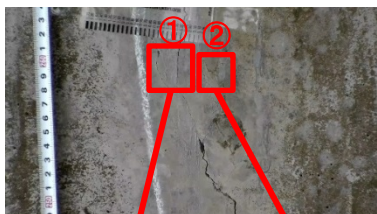
現状の成果① (平成26～30年度に実施)

1. 解像度の向上

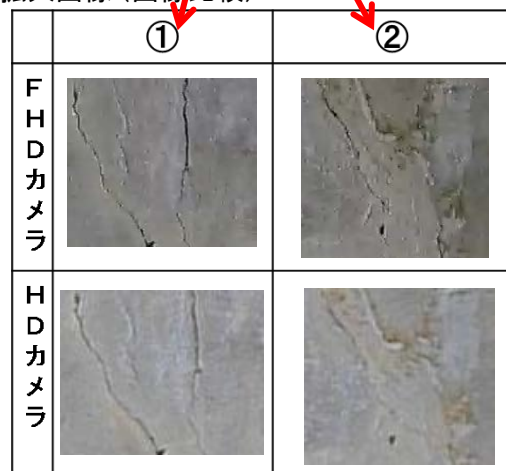
画面表示をHD(ハイビジョン)画像からFHD(フルハイビジョン)画像に拡張した試作機を開発し、解像度の向上を検討。

HDカメラ : 画素数 1280x720 約90万画素

FHDカメラ : 画素数 1920x1080 約200万画素



拡大画像(画像比較)



- ・ひびわれ視認性の向上を実現
- ・損傷の抽出性能の向上を実現

2. 位置情報の保持

GPS機器と点検ロボットカメラを接続し、データ連動機能を搭載。

画像データに撮影位置を特定する情報 (GPS情報[カメラ雲台座標]、パン・チルト角度、倍率)を追加。

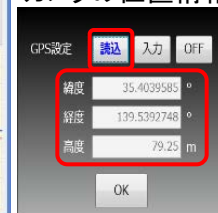
⇒ 撮影時期が異なっても、同じ位置で撮影可能



GPS機器と点検ロボットカメラの連動



操作端末に表示させた点検ロボットカメラの位置情報



- ・GPS機器と点検ロボットカメラの連動の実現
- ・操作端末上で位置情報を確認でき、同一箇所でのデータ取得が実現

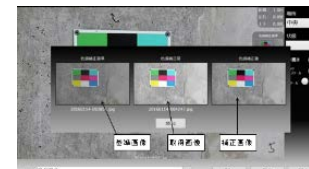
3. 画像の色調補正

同一箇所を撮影した画像において、撮影日時が異なれば天候や明るさの影響を受け、損傷の経年劣化状況が正しく判断できないことがある。

⇒ 環境条件の差異を排除するため、以下の色調補正技術を検討

(1) 色調規格パレットを用いた方式

対象表面に貼付けた規格パレットを写し込み、画像の色調補正を行なう技術の有効性を確認。



色調規格パレットを用いた方式

(2) レーザーポインタ光を用いた方式

現場で規格パレットが貼れない場合に対応するため、レーザーポインタ光を用いた画像の色調補正を検討。



レーザーポインタ光を用いた方式

- ・環境条件の差異を自動排除した画像比較の実現
- ・近接困難箇所における色調補正の実現

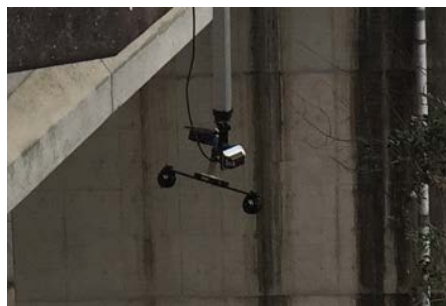
4. ステレオ撮影における基準距離取得

デジタルカメラを2台用いたステレオ撮影では、対象物の3次元形状が認識可能。ただし、解析する際、対象表面の基準となる目印相互の間隔(距離)データが必要。そこで、橋梁点検ロボットカメラのL型スケール表示について、**斜め面に応じた表示**を新たに開発。

⇒ **非接触計測の精度を向上**



斜め面に当てたL型スケール



デジタルカメラを用いたステレオ撮影

- ・斜め面に適用可能なL型スケールの実現
- ・デジタルカメラが対象面に正対していない場合におけるステレオ撮影の精度向上を実現

5. 時系列変化の可視化

時期が異なって同一箇所を撮影した画像について、画像より特徴点を複数抽出し、座標変換して同一方向の画像に変換。

⇒ 画像の重ね合わせが可能。重ね合わせた画像より、**変化が生じた箇所を色違いで表示する機能**を検証



時系列変化のあった箇所を色違いで表示

- ・同一方向に変換した画像の利用
- ・経時に伴う損傷変化箇所の可視化を実現

成果の活用フロー

橋梁点検ロボットカメラ

デジタルカメラ・レーザースキャナ

1. 解像度の向上

2. 位置情報の保持

3. 画像の色調補正

連続自動撮影機能

Webシステムの活用

4. ステレオ撮影における基準距離取得

5. 時系列変化の可視化

使用性に優れ、データ抽出精度の高い定期監視型モニタリングシステムを実現

最終数値目標

- ・橋梁点検ロボットカメラの解像度向上150%を実現
- ・斜め面に対するL型スケール表示の誤差10%以下を実現

対象ユーザー

橋梁管理者、建設コンサルタントなど

販売、利益創出等の流れ

橋梁点検ロボットカメラは、日立産業制御ソリューションズまたはSMCシビルテクノスより市販しており、点検用に流通している。また、販売のみでなく、レンタルも対応。

使用方法・使用場所等

コンクリート橋の定期監視型
モニタリングシステムに適用



ロボットカメラ（高所型）
を用いた桁端部の
モニタリング状況

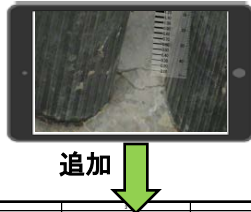
提供サービスの概要

- ・モニタリングに使用するデバイスとして、橋梁点検ロボットカメラ、デジタルカメラ、レーザースキャナを提供
 - ⇒ 桁端部・支承部のモニタリングに適した使用方法が選択可能
- ・経年毎の損傷データが格納できるデータベースから成るWebシステムを構築
 - ⇒ 現場からシステムにログインし、参照・編集が可能

GPS機器、デジタルカメラ、レーザースキャナは、市販品をユーザーが購入またはレンタル。

蓄積ウェブシステムのクラウドサービスは、日立産業制御ソリューションズ、または、サービス会社が提供。

追加



調査項目	1	2	3	4
調査日時	2015/1/10	2015/1/10	2015/1/10	2015/1/10
調査場所	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇
調査内容	12345678	12345678	12345678	12345678
調査結果	12345678	12345678	12345678	12345678
写真				
写真番号	0001	0002	0003	0004
撮影日時	2015/1/10	2015/1/10	2015/1/10	2015/1/10
写真				
写真番号	0005	0006	0007	0008
撮影日時	2015/1/10	2015/1/10	2015/1/10	2015/1/10
調査結果	12345678	12345678	12345678	12345678

調査結果の帳票（データベース化）

過去データダウンロード
点検データを追加アップロード



【Webシステム】モニタリング
調査データ

損傷の兆候や変化の発見に役立つモニタリングが可能

→ 使用性に優れ、データ抽出精度の高い定期監視型モニタリングシステムを実現

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 振動モード解析に基づく橋梁の性能評価システムの開発
- 研究責任者 : 公立大学法人大阪市立大学 川合 忠雄
- 共同研究グループ: IMV株式会社



研究開発の目的・内容



研究開発の目的

- ・地盤の支持剛性を評価し「経年変化による支持剛性の低下」や「急激な支持剛性の低下」を監視できるシステムを開発

従来の洗掘検査方法

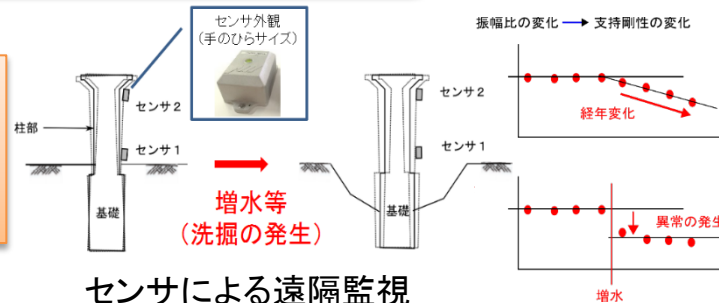


潜水士による調査計測★

- ・増水、濁流時での計測が困難
- ・潜水士の手配等が事前に必要

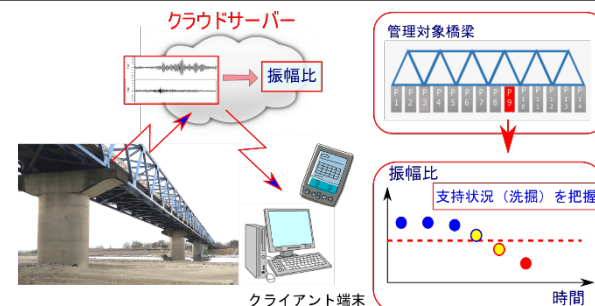
振動モードによる洗掘評価方法

- ・増水、濁流時での計測が可能
- ・必要なときにすぐに洗掘評価が可能



研究開発の内容 (平成26～29年度)

- ・橋脚の上部と下部のセンサで振動を計測するシステムの開発
 - 遠隔から橋脚の振幅比を計測するシステムを実現
- ・振幅比から地盤の支持剛性の違いを判別する手法の開発
 - 橋脚の支持状況(洗掘)を把握可能な手法を実現

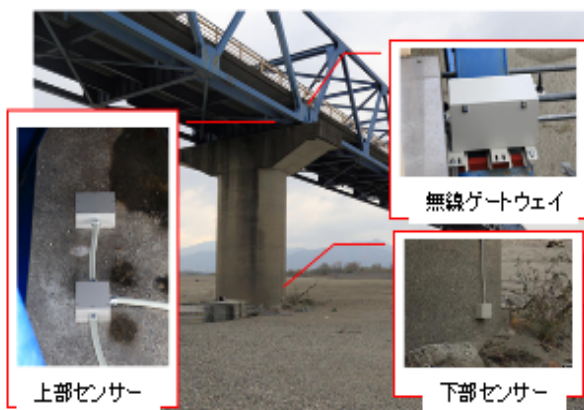


★出典: 河床洗掘事例から考察した施設点検について(九州地方整備局)

現状の成果① (平成26～28年度に実施)

1. 計測システムの構築

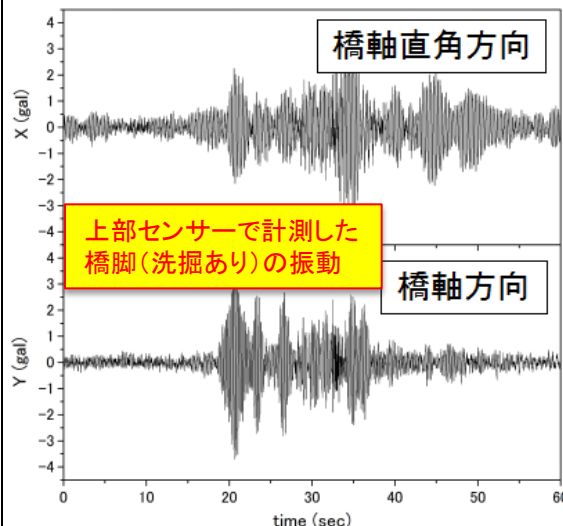
低水敷【洗掘なし】および河道内【洗掘あり】の橋脚において、上部と下部にセンサを設置し、無線ゲートウェイを介して、インターネット上で振動を計測できるシステムを構築。



・現地に行くことなく、インターネット環境のある事務所などから、いつでもデータが取得可能。

2. 橋脚振動の計測

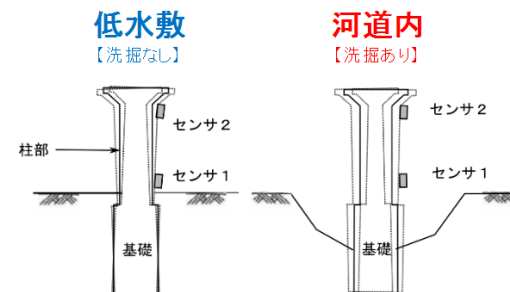
インフラ用に開発したセンサにより、数Hzと非常に低い橋梁に生じる振動を、低いノイズレベルで測定可能。



・振幅比を高い精度で求めることが可能となり、橋脚の支持剛性の変化を評価可能。

3. 振幅比による有意差の確認

低水敷【洗掘なし】および河道内【洗掘あり】の橋脚において、交通振動時の振幅比を求めた結果、橋軸直角方向(2Hz近傍)の振幅比で約1.5の有意差を確認。



※振幅比は、センサ2／センサ1にて算出しており、洗掘により値が小さくなる。

橋脚種類	低水敷 【洗掘なし】	河道内 【洗掘あり】
振幅比	4.31	2.80

有意差を確認(約1.5)

・振幅比の変化から洗掘有無を評価可能。

活用例

- ①増水時の高水位や濁水状態において橋脚の支持状態を遠隔で常時監視。
- ②複数箇所を同時に把握し、点検箇所の絞り込みや優先順位付けに活用。

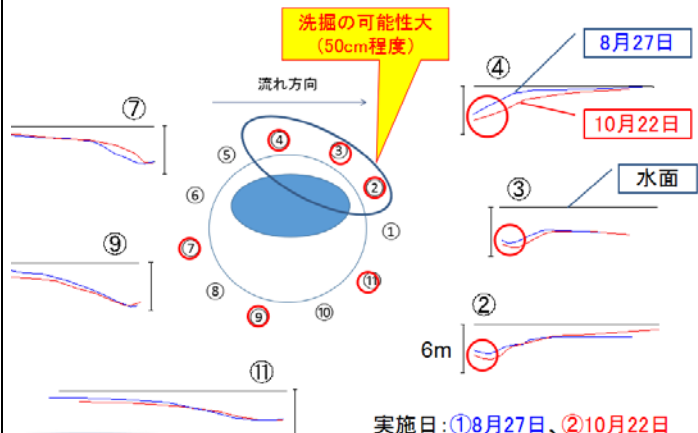


- ①災害時に安全かつタイムリーな対応が可能
- ②複数橋梁の効率的な点検計画を検討可能

現状の成果② (平成26～28年度に実施)

4. ソナーによる河床計測

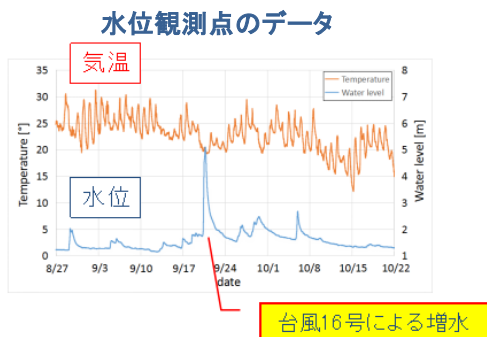
河道内【洗掘あり】の橋脚について、台風による増水の前後で超音波ソナーによる河床計測を実施し、実際の洗掘状態を確認。



・振幅比との比較において、実際の計測結果を用いることで、信頼性のある評価を実現。

5. 増水による変化の把握

近隣の水位観測(増水時)や、超音波ソナーによる河床計測の結果と、センサで捉えた振幅比の変化を対応づけて評価。



振幅比の変化

平均値 (標準偏差)	橋軸方向	
	洗掘なし (P12)	洗掘あり (P9)
8月30日	3.90 (0.364)	3.08 (0.223)
9月29日	3.67 (0.374)	2.82 (0.213)
10月21日	3.84 (0.553)	2.87 (0.259)

増水

10%弱の減少

・洗掘状態(橋脚の支持状態)の変化を、振幅比から評価できる手法を実現。

成果の活用フロー

1. 計測システムの構築

2. 振動の計測

3. 振幅比による有意差の確認

4. ソナーによる河床計測

5. 増水による変化の把握

災害対応の迅速化を実現
橋梁点検の効率化を実現

最終目標

最終数値目標

遠隔監視、優先度決定による点検作業の削減により、管理コスト50%ダウンを実現

対象ユーザー

鉄道事業者、高速道路会社、自治体 など

使用方法・使用場所等

橋脚にセンサー(上部と下部)とデータ送信ゲートウェイを設置し、WEB上で橋脚の状態を遠隔から監視。

販売、利益創出等の流れ

センサー、データ送信ゲートウェイを販売またはリース。

クラウドサーバーによる橋脚監視システムをリース。

災害時等の緊急時対応による交通障害の低減、点検の効率化による費用の削減。

提供サービスの概要

災害等の緊急時においてもタイムリーな対応が可能であり橋梁点検の効率化も実現できるサービスを提供

システム構成例(管理橋脚数:20 の場合)

初期費用 $80 \times 20 = 1,600$ 万円

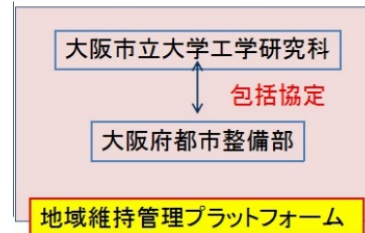
管理費用 $2 \times 20 + 60 = 100$ 万円(年間)

- ① 災害時に安全かつタイムリーな対応が可能
- ② 複数橋梁の効率的な点検計画を検討可能

→ 災害対応の迅速化、橋梁点検の効率化を実現

提供サービスの展開に向けた取り組み事例

実証実験、実用システムの開発

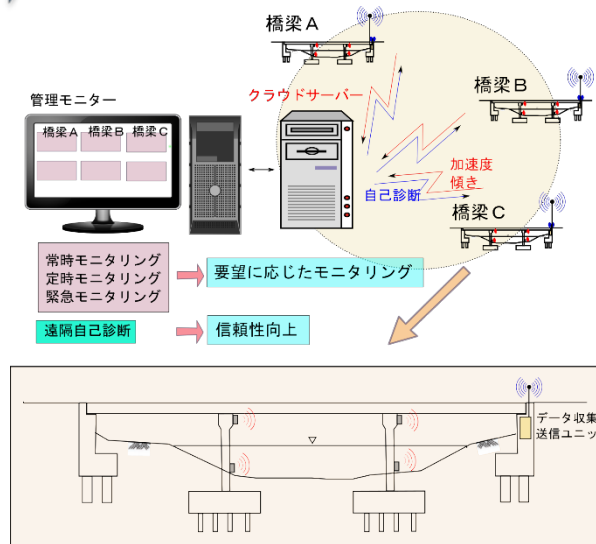


事業展開

自治体
鉄道会社
高速道路会社

地域への実装支援
関西・広島地域のインフラ維持管理の
枠組みと新技術の実展開
代表: 古田均(関西大学)

実証実験のフィールド
(大阪府内における設置例)



戦略的イノベーション創造プログラム
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

インフラ維持管理・更新・マネジメント技術

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : ALB(航空レーザ測深機)による洗掘状況の把握
- 研究責任者 : 株式会社パスコ 坂下 裕明



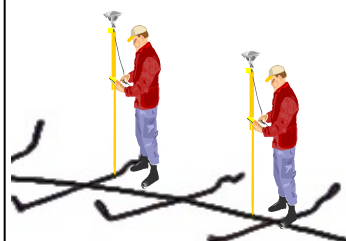
研究開発の目的・内容



研究開発の目的

- ・ALB(航空レーザ測深機)計測により、水面下で生じる橋脚の洗掘状況を定量的に評価するモニタリング手法を構築

従来の洗掘調査

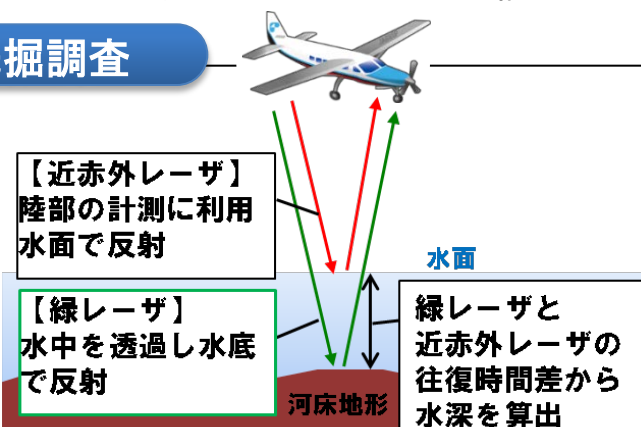


橋梁や距離標位置で
実測や目視点検を実施

- ・流速が速いときの目視点検は危険
- ・水面下の洗掘を把握するのは困難
- ・測線位置の断面しか把握できない

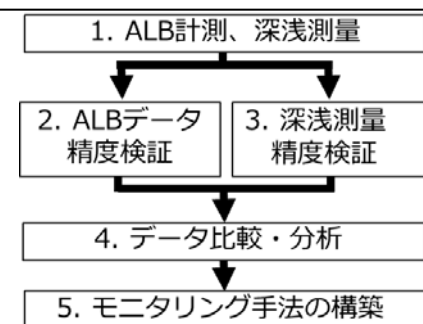
ALB による洗掘調査

- ・航空機から水深を計測可能
- ・広範囲の河床地形を短期間で計測
- ・三次元計測により任意断面を把握



研究開発の内容 (平成26~27年度)

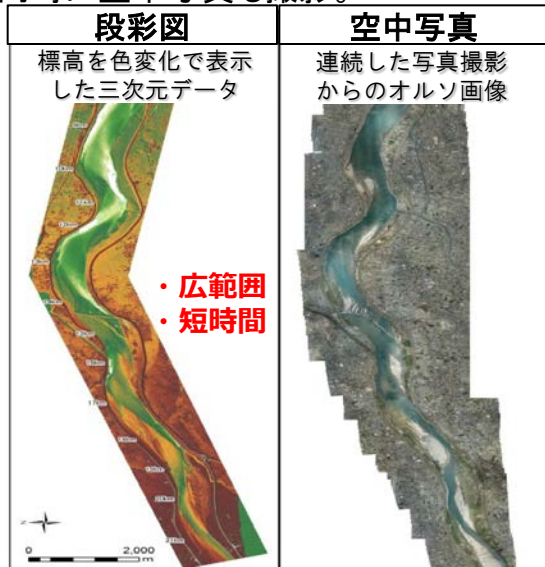
- ・従来手法(深淺測量)と比較・分析し、洗掘状況の把握能力を評価
→従来と同程度の精度を確保し、広域にわたる河床地形の安全かつ効率的な計測を実現
- ・ALBを用いた効率的かつ効果的な洗掘モニタリング手法の開発
→従来では困難だった洗掘の三次元形状、面的な河床変動量の効率的な把握による効果的な洗掘モニタリングを実現



現状の成果① (平成26～27年度に実施)

1. 広範囲を三次元で計測

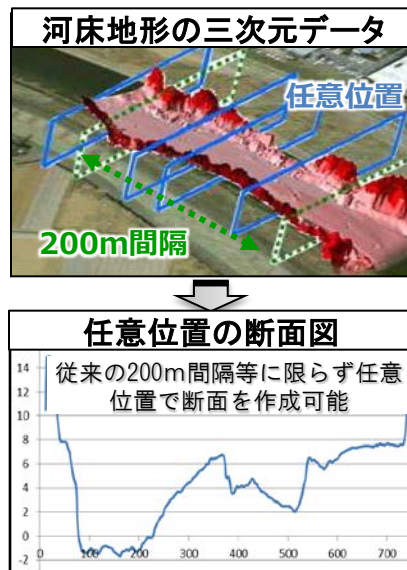
ALB(航空レーザ測深機)計測により、河床地形の三次元データを取得。同時に空中写真も撮影。



- ・河床地形の三次元計測を実現
- ・人が立ち入る調査が不要(安全)
- ・現地の機器設置が不要(効率的)

2. 任意位置の断面作成

従来は200m間隔等で把握していた河床地形を、三次元データで取得することで、任意位置の断面図を作成。

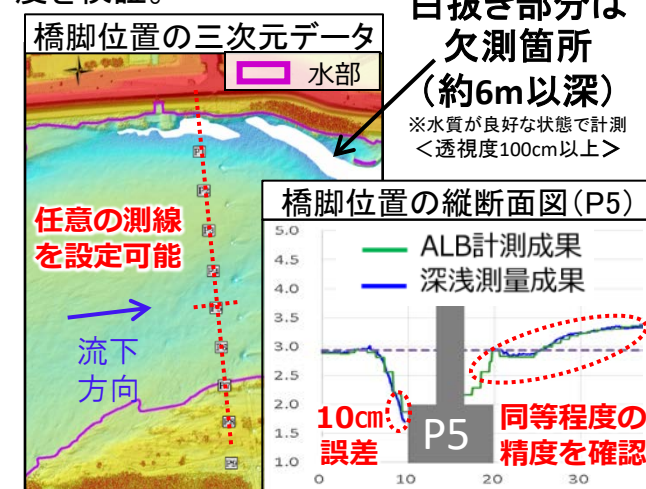


- ・一度の計測で任意の位置の断面形を把握可能
- ・洗掘リスク箇所の予測に貢献

3. 橋脚の洗掘状況を把握

橋脚位置における河床地形の三次元データを取得。

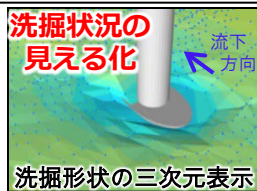
橋脚周辺の断面図で深淺測量と比較し精度を検証。



- ・深淺測量と同等程度の精度を確認
- ・今回の検証では水深約6mまで計測可能(水質次第)、洗掘深は約10cmの誤差
- ・洗掘状況から効果的な対策工を検討

活用案

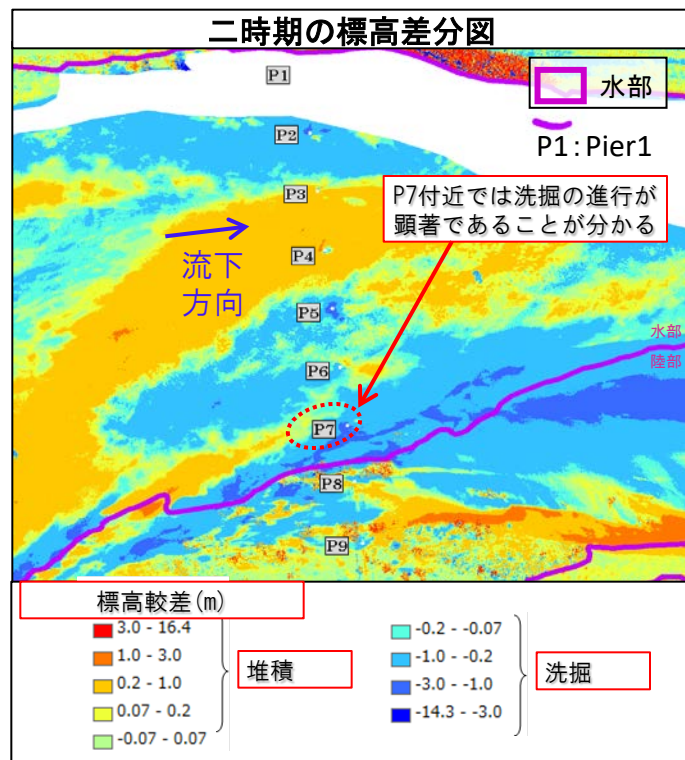
把握した洗掘(三次元データ)と橋梁一般図を重ね合わせることで洗掘状況の『見える化』を実現



広範囲の河床地形を効率的に計測し橋脚の洗掘状況を高精度で把握可能
効率的、効果的な施設管理に貢献

4. 二時期の変動量を算出

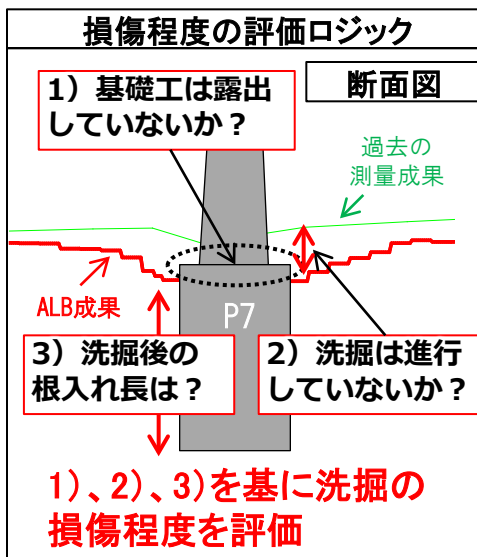
二時期のデータから標高の差分を算出することにより、面的な河床変動量を可視化。
橋脚周辺の河床変動量で洗掘を把握。



- ・洗掘の進行が顕著な橋脚を選定可能
(上図ではP7付近で洗掘が進行)
- ・洗掘の進行状況から対策時期を検討

5. 損傷程度の評価

把握した洗掘状況から、橋梁定期点検要領に基づき、損傷程度の評価を判定。



- ・損傷程度の評価を判定することで詳細調査や緊急対策の必要性を検討
- ・対策区分の判定に活用

成果の活用フロー

1. 広範囲を三次元で計測

2. 任意位置の断面を作成

3. 橋脚の洗掘状況を把握

4. 二時期の変動量を算出

5. 損傷程度の評価を判定

橋梁管理者が対策区分を判定

・洗掘モニタリングへの活用で
橋梁管理を高度化

最終数値目標

従来の洗掘調査と比較して10%のコスト削減を実現

対象ユーザー

河川管理者、橋梁管理者、港湾・海岸管理者 など

使用方法・使用場所等

レーザ・デジタルカメラ機器を航空機に搭載し、上空から対象範囲を計測

販売、利益創出等の流れ

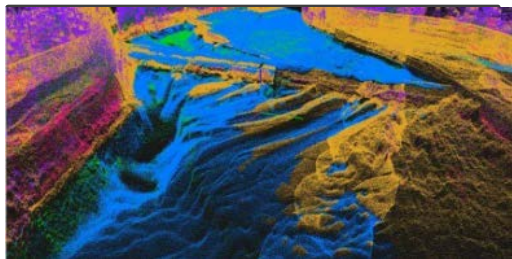
対象ユーザーに対し、ALB計測技術の提案活動を実施

管理者が発注する測量、洗掘調査等の業務を受注

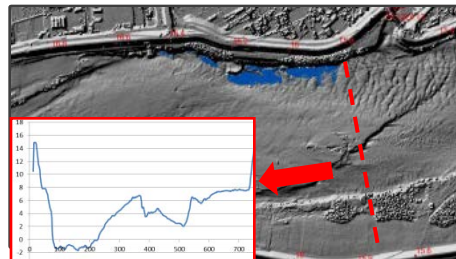
ALB計測技術およびその計測成果の分析・評価等のサービスを提供し、利益を創出。

提供サービス

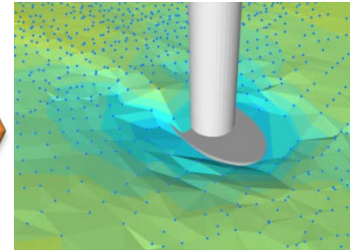
三次元地形データを取得し、橋脚の洗掘状況をモニタリング



高精細な三次元地形データを取得



任意位置の断面図を作成



洗掘状況のモニタリング

広範囲の河床地形を航空機で効率的に把握可能

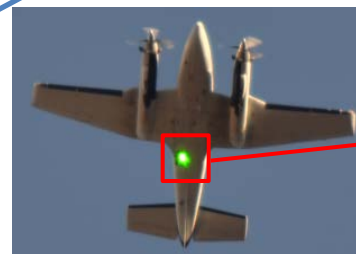
→ 洗掘モニタリングへの活用で河川管理・橋梁管理を高度化

水底地形を調査したい
洗掘状況を把握したい

デジタルカメラ

近赤外レーザ

緑レーザ



ALB計測風景



ALB搭載機器

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 高精度かつ高効率で人工構造物の経年変位をモニタリングする技術の研究開発
- 研究責任者 : 日本電気株式会社 村田 稔
- 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

- ・広域エリア内のインフラ(橋梁等の人工構造物)の経年変位を高精度かつ高効率でモニタリングする技術を開発

従来のインフラ点検



- ・近接目視による劣化把握
- ・打音検査による劣化把握
- ・センサ等による歪み計測

多くの手間と費用が必要(課題)



衛星SARによるインフラモニタリング

- ・広域エリア内のインフラ点検時における着眼点の抽出が可能
- ・水準測量より高密度計測が可能
- ・高精度計測 (mm/年) が可能
- ・周囲の地盤変動計測も可能

合成開口レーダ (SAR)

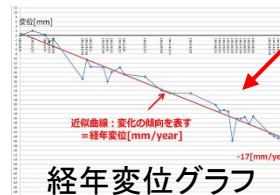


優先度の高い点検対象の特定が可能(スクリーニング)

研究開発の内容 (平成26~27年度)

- ・対象橋梁の衛星画像データを解析
 - 橋梁上の複数の計測ポイントにおける変位割合(mm/年)を把握
 - 橋梁周りの広範囲にわたる地盤の変位傾向(沈下/隆起)を把握
- ・検証実験により計測精度を確認
 - 社内のテストサイトに反射体を配置し変位量を計測(誤差0.5~1mm)

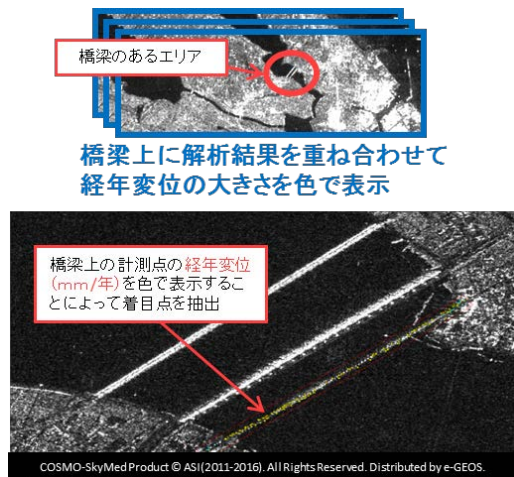
着眼点の抽出



現状の成果① (平成26～27年度に実施)

1. 橋梁の経年変位計測

広範囲のSAR画像解析を行い、
その範囲に含まれる橋梁の経年変位を
一度に計測



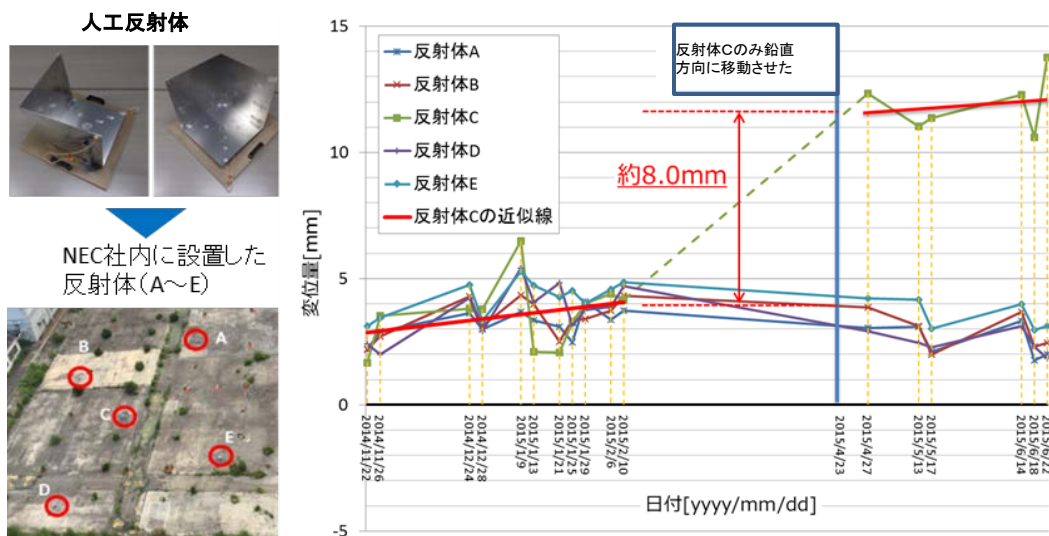
広範囲・高密度なモニタリング

- ・橋梁等人工構造物の異常部位の抽出
- ・近接目視における着眼点の抽出

2. 精度検証

社内のテストサイトにて、本手法の精度検証を実施

- ・反射体Cの異動量(約8.0mm)の算出結果より、本手法の精度は0.5～1.0mm程度



高精度のモニタリング

- ・橋梁等人工構造物をミリ単位の精度で計測

活
用
例

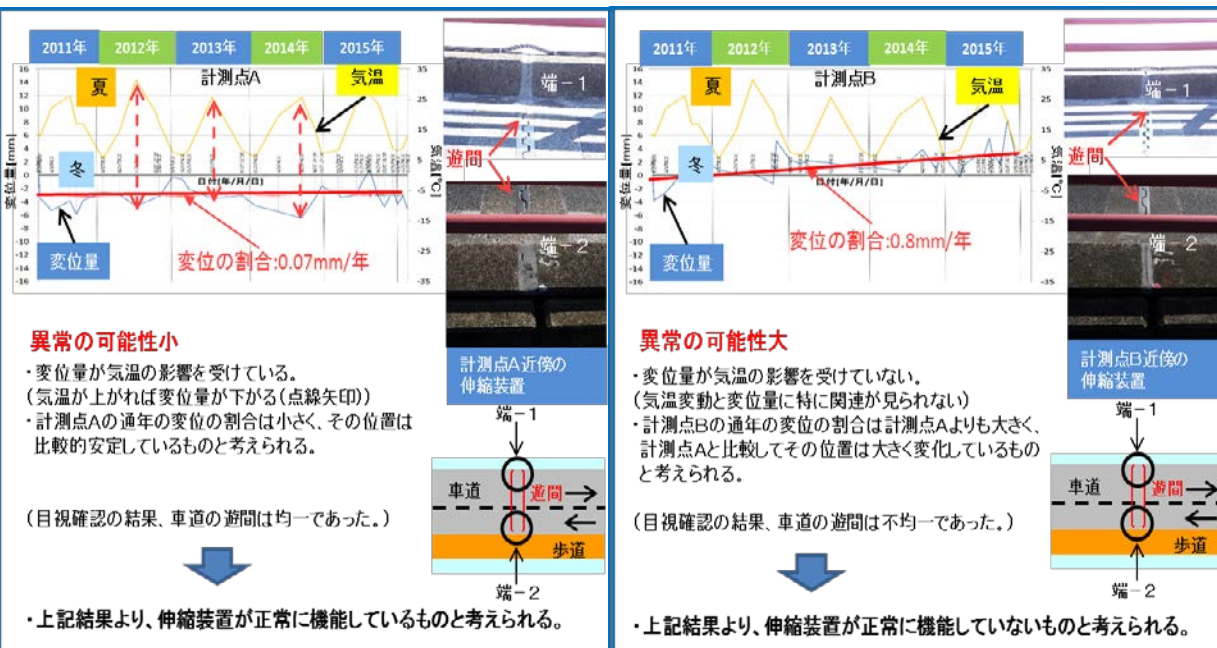
宅地耐震化推進事業
(大規模盛土造成地スクリーニング)



危険個所の特定(第二次スクリーニング)に
おいて定量的な判断基準の提供
(現場の負担が大幅に軽減)

3. 橋梁上の計測点の詳細解析

橋梁上のある計測点の変位と気温との関係を解析
(計測期間: 2011年4月～2016年2月)



現場負担を軽減できるモニタリング

- ・NEC独自の画像解析技術で橋梁上の異常の可能性が高い箇所を検知可能
(従って、点検現場での計測機器設置不要のため、道路使用許可/交通規制不要)
- ・点検対象構造物の周囲も高密度に同時計測(民地を含む)

成果の活用フロー

(橋梁の定期点検の場合)

点検計画

本成果の活用

スクリーニング(成果1・2・3より)
(優先順位付けによるライフサイクルコストの最小化)

近接目視等の実施

損傷状況の把握

定期点検結果の記録

維持・補修等の計画

(ライフサイクルコストの最小化)

広域エリア内の複数の橋梁の
スクリーニング、優先順位付け、
着眼点の絞り込みを実現

最終数値目標

地盤沈下のスクリーニングに30%の適用率を実現

対象ユーザー

地方自治体、高速道路会社、鉄道会社、ゼネコン など

使用方法・使用場所等

対象ユーザーが指定する各種インフラを含むエリアのSAR画像解析により、各インフラの経年変位情報を提供

販売、利益創出等の流れ

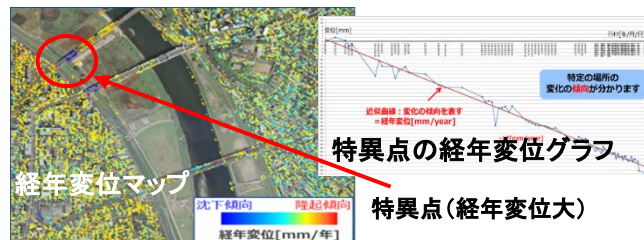
対象ユーザーが計測対象とする各種インフラと計測期間を指定

当該インフラを含むSAR画像を解析し、経年変位を計測

報告書やGISデータとして対象ユーザーに提供

提供サービスの概要

各種インフラ(橋梁、大規模盛土造成地、シールド工事上の地盤等)の経年変位データを提供



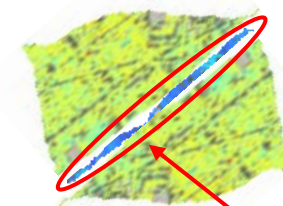
橋梁点検サービス

大規模盛土マップ



大規模盛土マップに経年変位データ重畳

大規模盛土造成地モニタリングサービス



地盤沈下モニタリングサービス

各種センサ、近接目視、水準測量では得られなかった高精度/高効率なインフラモニタが可能

→ インフラ予防保全の高度化を実現