



# CONTENTS

「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」のご紹介 ..... 4  
研究開発項目のご紹介 ..... 6  
運営体制図 ..... 10  
研究開発テーマ一覧 ..... 11

## (1) 点検・モニタリング・診断技術の研究開発

1 異分野融合によるインオペティブメンテナンス技術の開発 ..... 12  
2 レーザー超音波可視化探傷技術を利用した鋼橋の劣化診断技術の開発 ..... 14  
3 インフラ劣化評価と保全計画のための高感度磁気非破壊検査 ..... 16  
4 レーザーを活用した高性能・非破壊劣化インフラ診断技術の研究開発 ..... 18  
5 舗装と盛土構造の点検・診断自動化技術の開発 ..... 20  
6 コンクリート内部の鉄筋腐食検査装置の開発 ..... 22  
7 コンクリート内部を可視化する後方散乱線装置の開発 ..... 24  
8 インフラモニタリングのための振動可視化レーダーの開発 ..... 26  
9 高速走行型非接触レーダーによるトンネル覆工の内部欠陥点検技術と統合型診断システムの開発 ..... 28  
10 高感度近赤外分光を用いたインフラの遠隔診断技術の開発 ..... 30  
11 学習型打音解析技術の研究開発 ..... 32  
12 ラジコンボートを用いた港湾構造物の点検・診断システムの研究開発 ..... 34  
13 空洞及び裏込沈下調査におけるチャープレーダ等・特殊GPR装置の研究開発 ..... 36  
14 衛星及びソナーを利用した港湾施設のモニタリングシステムの構築の研究開発 ..... 38  
15 地上設置型合成開口レーダおよびアレイ型イメージングレーダを用いたモニタリング ..... 40  
16 高解像度画像からのクラック自動抽出技術による空港の舗装巡回点検用モニタリングシステムの研究開発 ..... 42  
17 3次元カメラと全方位型ロボットによる滑走路のクラック検知システムの研究開発 ..... 44  
18 空港管理車両を活用した簡易舗装路面点検システムの研究開発 ..... 46  
19 衛星SARによる地盤および構造物の変状を地域かつ早期に検知する変位モニタリング手法の開発 ..... 48  
20 ALB(航空レーザ測深機)による沈没状況の把握 ..... 50  
21 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 ..... 52  
22 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 ..... 54  
23 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 ..... 56  
24 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 ..... 58  
25 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 ..... 60  
26 傾斜センサー付き打込み式水位計による表層崩壊の予測・検知方法の実証試験 ..... 62  
27 多点傾斜変位と土壌水分の常時監視による斜面崩壊早期警報システムの研究開発 ..... 64  
28 大型除草機械によるモグラ(小動物)穴の面的検出システム ..... 66

29-32 比抵抗による堤体内潜水状態モニタリングシステムおよび物理探査と地下水観測技術を活用した堤防内部状態のモニタリングシステム ..... 68  
30 河川堤防の変状検知等モニタリングシステムの技術研究開発 ..... 70  
31 衛星観測を活用した河川堤防モニタリングの効率化の研究 ..... 72  
33 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 ..... 74

## (2) 構造材料・劣化機構・補修・補強技術の研究開発

35 インフラ構造材料研究拠点の構築による構造劣化機構の解明と効率的維持管理技術の開発 ..... 76  
36 構造物の状態を高度可視化するハイブリッド応力発光材料の研究開発 ..... 80  
37 鋼構造物の腐食による劣化損傷の新溶射材による補修技術の研究開発 ..... 82  
38 超耐久性コンクリートを用いたプレキャスト部材の製品化のための研究開発 ..... 84

## (3) 情報・通信技術の研究開発

39 インフラ予防保全のための大規模センサ情報統合に基づく路面・橋梁スクリーニング技術の研究開発と社会実装 ..... 86  
40 社会インフラ(地下構造物)のセンシングデータ収集・伝送技術及び処理技術の研究開発 ..... 88  
41 インフラセンシングデータの統合的データマネジメント基盤の研究開発 ..... 90  
42 高度なインフラ・マネジメントを実現する多種多様なデータの処理・蓄積・解析・応用技術の開発 ..... 92

## (4) ロボット技術の研究開発

44 柔軟静電接着装置を搭載した半自律飛行マルチコプタによるインフラ構造物点検システムの開発 ..... 94  
45 マルチコプターによる計測データ解析に基づく異常診断技術の研究開発 ..... 96  
46 人体計測技術を用いた直感的な遠隔操作ロボットの開発 ..... 98  
47 自在適応で支えられる橋梁点検ロボットシステムの研究開発 ..... 100  
48 橋梁・トンネル用打音点検飛行ロボットシステムの研究開発 ..... 102  
49 トンネル全断面点検・診断システムの研究開発 ..... 104  
50 橋梁の打音検査ならびに近接目視を代替する飛行ロボットシステムの研究開発 ..... 106  
51 近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システムの研究開発 ..... 108  
52 二輪型マルチコプタを用いたジグザグ付近接画像を取得可能な橋梁点検支援ロボットシステムの研究開発 ..... 110  
53 無人化施工の新展開～遠隔操作による半水中作業システムの実現～ ..... 112  
54 社会インフラの点検高度化に向けたインフラ構造及び点検装置についての研究開発 ..... 114  
56 社会インフラ用ロボット情報一元化システムの構築 ..... 116

## (5) アセットマネジメント技術の研究開発

57 道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究 ..... 118  
58 コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発 ..... 120  
59 港湾構造物のライフサイクルマネジメントの高度化のための点検診断および性能評価に関する技術開発 ..... 122  
60 基幹的農業水利施設の戦略的なアセットマネジメント技術の開発 ..... 124

# 「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」のご紹介

# 「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」のご紹介

## 挨拶

### 安全安心なインフラシステムを目指す

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)は、総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)が司令塔機能を発揮し、科学技術イノベーションを実現するものとして創設されました。府省・分野横断型プログラムとして、基礎研究から実用化・事業化までを見据えて推進します。その課題の一つが「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(以下、「SIPインフラ」という。)です。

私たちの生活や社会経済活動は、道路・鉄道・港湾・空港などの社会インフラが支えています。しかし、その多くが高度成長経済期に建設されており、高齢化につれて重大事故の発生可能性とともに維持補修費の増大が大きな社会的課題となっています。本プログラムでは、世界最先端の情報技術やロボット技術を活用し、システム化されたインフラマネジメントを構築することで、事故を未然に防ぎ、維持管理やメンテナンスの負担減を図ることを目標とします。

インフラストラクチャは自動車やノートPCのような大量生産品とは違って、一つ一つを設計し、施工・製作する単品製品です。作られたときの初期状態も異なれば、使用環境が違うことも加わって劣化のスピードも異なります。何十年も使い続けていけば、中には痛んで事故の危険性が高いものも出てきます。したがって、無駄のない、効率的なインフラの予防保全マネジメント

を可能にし、安全安心なインフラシステムを確立するためには、膨大な数・量のインフラ一つ一つを現場で丁寧に診て、的確な診断、措置ができる技術が絶対に必要なのです。人手に頼る作業を極力なくす、危険な作業からの解放なども重要です。地方自治体が管理するインフラのマネジメントには低コスト化も特に重要な視点です。アジアでは現在、インフラの建設が盛んですが、すでに維持管理が大きな問題になってきています。具体的には、インフラ点検へのロボットの支援・代替、現場でできるコンクリート内部の損傷検知、移動型センシングによる交通規制を伴わないトンネルや橋の点検、河川堤防・ダムや港湾等の変状変形を空から検知する技術、コンクリートの高精度劣化予測技術、超高耐久性補修材料の開発、ビッグデータ処理による効率的なインフラマネジメント技術、AI、等々、新しいわくわくするような先端技術をインフラマネジメント技術に入れ込み、仕上げていく、これが「SIPインフラ」の狙うところです。

わが国のインフラストックは、800兆円を越えているといわれています。インフラは何十年

に亘って使うものです。インフラの情報プラットフォームを構築して、次の世代に、少ない維持管理の負担で安心して使えるインフラを受け渡すことが、我々の未来への責務なのです。「SIPインフラ」はそのシステムの確立を目標に頑張ります。



PD(プログラムディレクター)  
藤野 陽三  
横浜国立大学 先端科学高等研究院 上席特別教授

### プロフィール

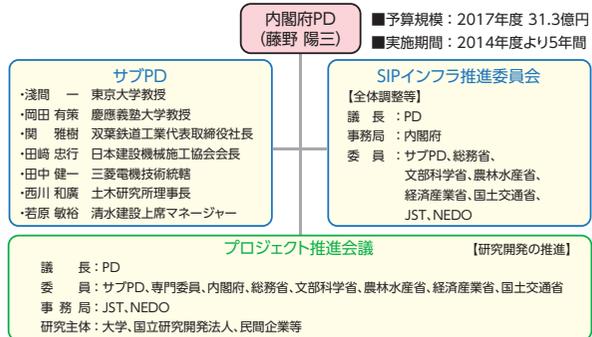
1972年東京大学工学部土木工学科卒業、同修士を経て、76年ウォータール大学博士課程修了(Ph.D.)、東京大学地震研究所、筑波大学構造工学系、東京大学工学部土木工学科を経て、90年同教授。2014年より横浜国立大学に勤務、同年10月より現職。東京大学名誉教授。専門は橋梁を中心としたインフラの構造・振動・制御・モニタリング、2007年新築費削減、2015年報公費(部報公費)などを受賞。

## 概要

インフラの高齢化が進む我が国では、2012年の笹子トンネル事故のような重大事故リスクの顕在化や、維持修繕費の増大が懸念されています。厳しい財政状況が続く、熟練技術者の減少が進むなか、予防保全による事故の未然防止とインフラのライフサイクルコストの最小化を実現するには、新技術を活用しシステム化されたインフラマネジメントが必須です。特に、世界最先端のICT\*を活用した技術は、従来のインフラ維持管理市場に新たなビジネスチャンスを生み出すとともに、同様の課題に向き合うアジア諸国へのビジネス展開の可能性につながるものと期待されます。これらの実現のために、インフラの維持管理に関わるニーズと技術開発のシーズとのマッチングを重視し、現場で使える新しい技術をさらに使いたくなる形へと展開させ、予防保全による維持管理水準の向上を低コストで実現していきます。これ

により、国内重要インフラを高い維持管理水準に保ち、地域におけるさまざまな経済活動を下支えするだけでなく、地域の活性化に貢献することを

目標としています。さらに、地域での成功例をもとに、魅力ある継続的な維持管理市場を創造し、海外展開の礎を築くことも視野に入れています。



\*ICT: ICT (Information and Communication Technology)+IRT (Information and Robot Technology)

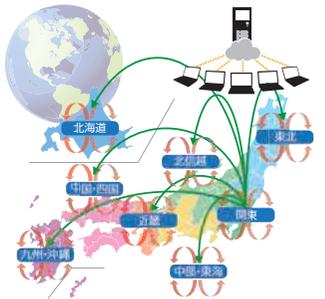
## 全体構想

物流、サービス、観光等の地域活性化の資源の機会損失を最小化するには、道路・鉄道・港湾・空港等みんなが使う、みんなの財産であるインフラの機能を常に保持できる効率的かつ経済性の高い維持管理・更新・マネジメントの実行が不可欠です。

総額800兆円に達するといわれるインフラの効率的な維持管理・マネジメントを達成するには、以下の点が重要です。

- ・土木工学とICT/ロボット技術等を含めた幅広い先端技術分野との連携
- ・現場適応を踏まえた技術のアレンジメント
- ・エンドユーザーのさまざまな状況を踏まえた技術仕様メニュー
- ・技術を的確に運用するための組織マネジメントを含む技術経営的視点
- ・開発技術の持続的支援体制

これらの実現のためには、各省庁、国立研究所、大学、民間の技術開発の成果に頼るだけでなく、これまでになく連携体制の構築が必要です。さらに、現状のインフラ維持管理における問題を直接的に解決するだけでなく、利用者の安心・レピュテーションといった、インフラが的確に維持管理されることによる新たな価値を社会に提供していく等、関連省庁・自治体を通じ、インフラ維持管理に関する新たな視座をさまざまなユーザー・市民に積極的に展開していかなくてはならないと考えています。



世界に先駆けた「超スマート社会」の実現 (Society 5.0)

\*IoT: Internet of Things

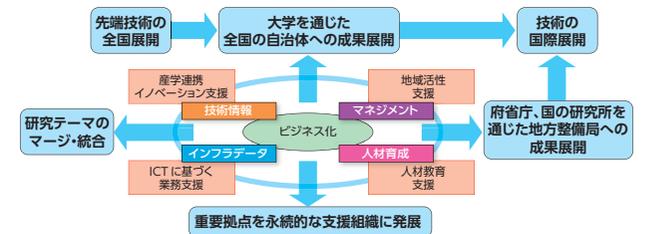
## 出口戦略

インフラ維持管理は、状況、対象、技術等が多岐にわたるため、アセットマネジメントの段階において、個別の開発技術を最適に組み合わせ、運用することを意図しております。一方、IoT等の進展は著しく、モニタリングやロボット、走行車両によるセンシング等の異質な技術をネットワーク化して包含するプラットフォームの構築が急速に現実味を帯びてきており、インフラ維持管理を抜本的に革新する大きな力となっています。こうしたことから、IoTプラットフォーム構築による個別の新たな開発技術の連携を重点的に推進し、アセットマネジメントとIoTプラットフォームとの両輪によって技術の統合を進めるスキームへの発展を図ります。

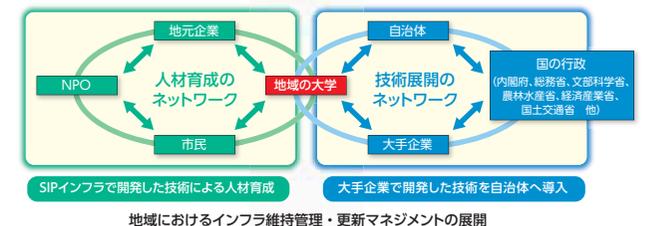
出口戦略の拠点としては、中心となる大学、地域拠点大学、国立研究所、農林水産省、国土交通省および自治体等との連携を積極的に行い、これまでになくインフラ関連研究のフレームワークを構築する予定です。具体的には、「個別テーマ独自の技術展開」、「地域の大学を通じた自治体へのビジネス展開」、「国の研究機関を通じた国の行政機関へ向けたビジネス展開」、「継続的な業界支援組織体制の確立」、「技術輸出、国際展開」等のビジネス展開パターンを検討しています。なかでも、【地域の特性にあわせたオー

ダーメイド型技術実装支援】に重点を置き、拠点機関による技術支援体制、資金支援体制、自治体における各種技術の定着および持続支援等の検討を行っていきます。またレピュテーション

マネジメントに基づく技術戦略プランを構築し、地域活性化に資するビジネスモデルをビジネス環境の整備と併せて具体化していく予定です。



SIP インフラ維持管理・更新・マネジメントにおける出口戦略の基本



地域におけるインフラ維持管理・更新マネジメントの展開



大学等



インフラ維持管理に必要な **5つの** 研究開発項目

**構造材料・劣化機構・補修・補強技術**

構造材料の劣化機構をシミュレーションし、構造体の劣化進展予測システムを構築



**点検・モニタリング・診断技術**

インフラの損傷度等をデータで把握する効率的で効果的な点検・モニタリングを実現



**情報・通信技術**

インフラの維持管理・更新・補修に関するビッグデータのマネジメント技術を開発

**ロボット技術 (点検、災害対応用等)**

効率的・効果的な点検・診断等を行うロボットや災害現場でも調査・施工可能なロボットを開発



連携

各省庁 施策

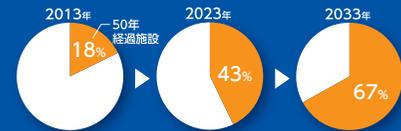


企業

国内外のインフラへの実装



橋梁 (2m以上)



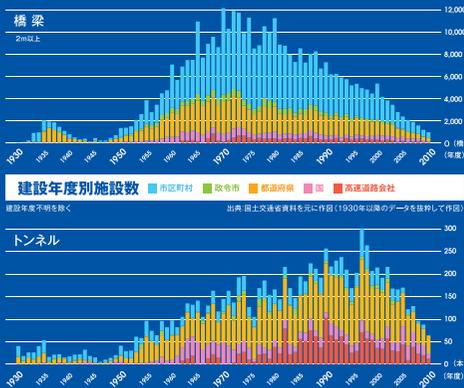
50年経過施設の割合推移



トンネル



建設年度不明を除く  
出典：国土交通省資料を元に作成

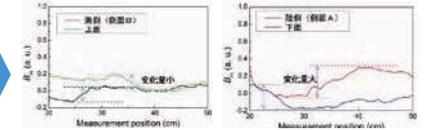
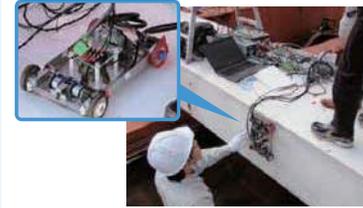


## 点検・モニタリング・診断技術



インフラの損傷度等を把握する点検・モニタリング・診断技術を開発します。高感度磁気非破壊検査、高速走行型非接触レーダーによる内部欠陥点検技術と統合型診断システム、高感度近赤外分光を用いた遠隔診断技術、簡易舗装点検システム、車載型地中探査レーダーによる床版劣化探知、衛星SAR(Synthetic Aperture Radar)によるインフラの変位モニタリング手法等に取り組みます。

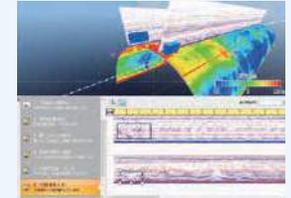
### ●インフラ劣化評価と保全計画のための高感度磁気非破壊検査



内部腐食が少ない

内部腐食が大きい

### ●高速走行型非接触レーダーによるトンネル覆工の内部欠陥点検技術と統合型診断システム



非接触レーダーによる点検・診断のイメージ図

### ●高感度近赤外分光を用いたインフラの遠隔診断技術



遠方から短時間かつ安価にコンクリート劣化成分の分析ができる近赤外イメージング技術

### ●空港管理車両を活用した簡易舗装点検システム



空港滑走路でのモニタリング現場実験の状況

### ●衛星SAR<sup>\*1</sup>によるインフラの変状を広域かつ早期に検知する変位モニタリング手法



衛星SAR技術を使った現場検証の取り組み <sup>\*1</sup> SAR: Synthetic Aperture Radar (合成開口レーダー)

### ●車載型地中探査レーダーによる床版内部の診断



車載型高速スキャンレーダーによる床版内部の診断

# 構造材料・劣化機構・補修・補強技術



構造材料の劣化機構に対するシミュレーション技術を開発し、構造体の劣化進展予測システムを構築します。インフラ構造材料研究拠点の構築による構造物劣化機構の解明と効率的維持管理技術の開発、超耐久性コンクリートを用いたプレキャスト部材の製品化と社会実装等に取り組みます。

## ●構造劣化機構の解明と効率的維持管理

通常の炭素鋼と耐食鋼との2年間暴露結果の比較 (伊良部大橋にて)



ASR\*劣化させたPC試験桁の暴露試験



## ●高耐久化を実現するプレキャスト製品

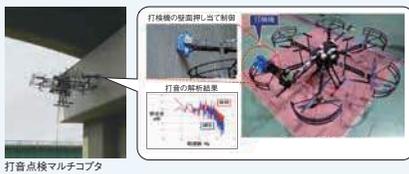
細骨材	耐塩害性	耐凍害性	複合劣化
従来品 (砕砂)	EPMA(電子線マイクロアナライザ)による表面からの塩化物イオンの浸透深さで劣化機構を解明	凍害試験	凍害試験
開発品 (高炉スラグ)	EPMA(電子線マイクロアナライザ)による表面からの塩化物イオンの浸透深さで劣化機構を解明	凍害試験	凍害試験
	5倍 塩化物イオンの浸透深さは5分の1	5倍 60⇒300 サイクル以上	300 サイクル以上

# ロボット技術 (点検、災害対応等)



橋梁・トンネル等の社会インフラ等を、安全で経済的に点検するために、各種ロボット開発を実施しています。また、ロボット技術の導入に適するインフラ構造の検討やロボット技術の有効的な活用のために情報を一元的に管理するデータベース構築も同時に進めています。これらにより、インフラ維持管理におけるロボットの社会実装を目指します。

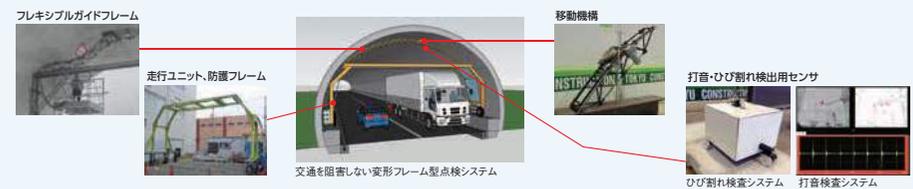
## ●橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステム



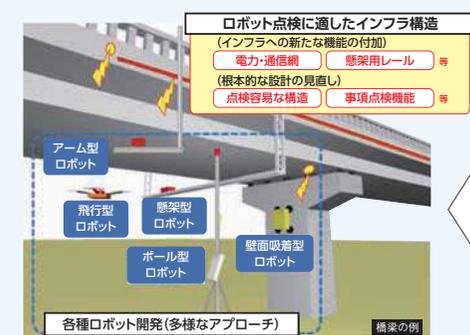
## ●遠隔操作による半水中作業ロボット



## ●トンネル全断面点検・診断システム



## ●ロボット点検に適したインフラ構造



## ●社会インフラ用ロボット情報一元化システムの構築



# 情報・通信技術

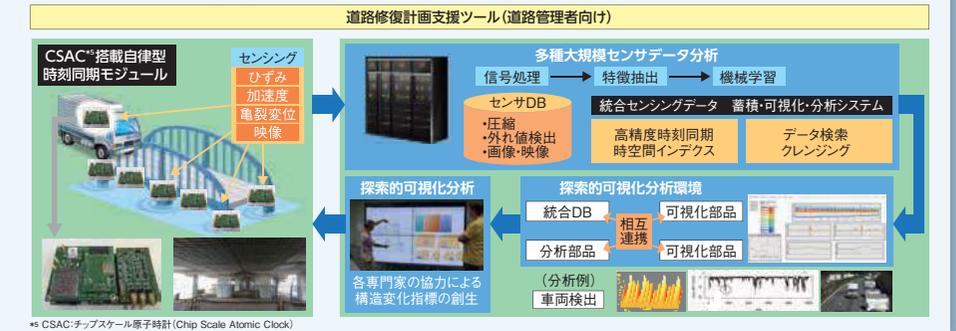


インフラの維持管理や更新、補修に関する膨大な情報を活用するため、情報・通信技術を駆使したデータマネジメント技術を開発します。具体的には、大規模センサ情報統合に基づく路面・橋梁等のスクリーニング技術、多種多様なインフラ管理データの一元管理を実現するデータ管理技術、蓄積データを現場業務で使える形にするデータ分析や可視化技術等の研究開発と積極的な社会実装に取り組みます。

## ●インフラ予防保全のための大規模センサ情報統合に基づく路面・橋梁スクリーニング技術



## ●インフラセンシングデータの統合的データマネジメント基盤

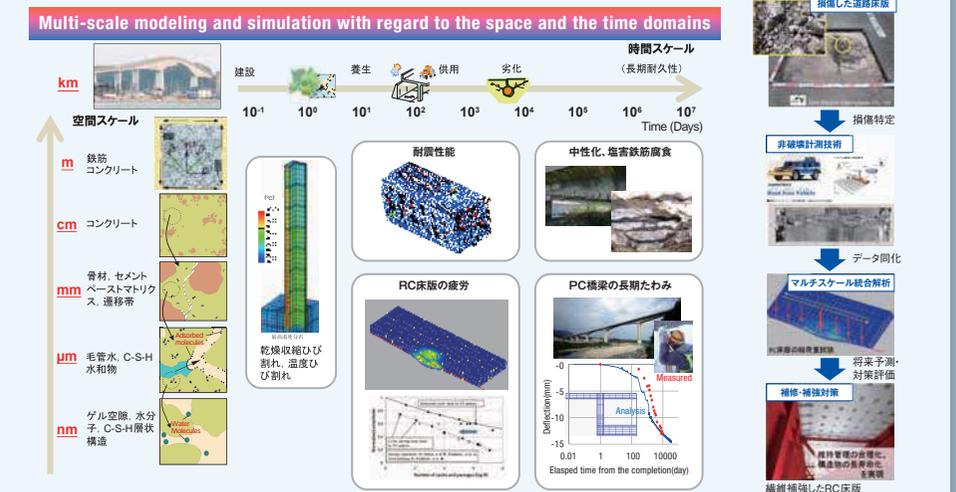


# アセットマネジメント技術



生活や経済の基盤であるインフラを安全に安心して使い続けるために、SIPで開発された技術をインフラ管理者と協力しながら社会実装します。非破壊検査技術、数値解析技術等の最先端技術の開発を行い、主要幹線道路等の重要インフラを確実に守ります。また、地方が抱える膨大なインフラを限られた予算で維持管理するために、契約制度や人材教育、民間活用、住民との協働といった視点から、継続性の高い仕組みを提案します。

## ●マルチスケール統合解析と非破壊検査のデータ同化



プログラムディレクター



藤野 陽三 横浜国立大学

※50音順 ※所属は平成30年4月現在

サブプログラムディレクター



浅間 一 東京大学, 岡田 有策 慶應義塾大学, 関 雅樹 双葉鉄道工業, 田崎 忠行 日本建設機械施工協会, 田中 健一 三菱電機, 西川 和廣 土木研究所, 若原 敏裕 清水建設

専門委員



天野 玲子 防災科学技術研究所, 新井 健生 電気通信大学, 魚本 健人 東京大学, 大須賀 公一 大阪大学, 大橋 弘 東京大学, 鎌田 敏郎 大阪大学, 河野 広隆 京都大学, 川原 圭博 東京大学, 木村 嘉富 国土技術政策総合研究所, 阪田 憲次 岡山県コンクリート技術センター, 坂本 好謙 鹿島建設, 佐藤 一郎 国立情報学研究所, 島田 清 東京農工大学, 杉山 進 産業科学技術研究支援機構, 田所 諭 内閣府 InPACT 東北大学, 戸辺 義人 青山学院大学, 永谷 圭司 東北大学, 藤田 博之 東京都市大学, 布施 孝志 東京大学, 保立 和夫 豊田工業大学, 三木 千壽 東京都市大学

幹事



阿部 雅人 JST / 幹事, 石塚 敬之 JST / 幹事, 金氏 眞 JST / 幹事, 信田 佳延 JST / 総括幹事, 三浦 悟 JST / 幹事, 和田 祐二 JST / 幹事

府省庁



内閣府

総務省

文部科学省

農林水産省

経済産業省

国土交通省

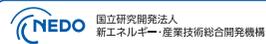
管理法人等



国土交通省



国立研究開発法人 科学技術振興機構



国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究主体

大学

国立研究開発法人

民間企業等

Table with 4 columns: 小項目, No., 研究開発テーマ名, 研究責任者(所属), 管理法人等. It lists various research topics such as 'Point Monitoring Technology for Bridge Inspection' and 'AI-based Management of Road Infrastructure'.





## 2 レーザー超音波可視化探傷技術を利用した鋼橋の劣化診断技術の開発



研究責任者 つくばテクノロジー(株) 取締役CTO 高坪純治  
共同研究グループ (国研)産業技術総合研究所、(株)復建技術コンサルタント

### 研究開発の目的・内容

#### 研究開発の目的

- 鋼橋の亀裂検査は、現在、磁粉探傷法を利用して実施されているが、①塗膜を剥がすのに時間を要する、②検査後に塗膜の補修が必要、③表面の亀裂しか検出できない、等の課題を有している。
- 上記課題を解決するために、レーザー超音波を利用して、塗膜を剥がさずに遠隔から亀裂を効率的に検出できる非破壊検査技術を開発する。

#### 研究開発の内容

- 検査部位を高速レーザー走査して超音波の伝搬映像を計測する技術
- 遠隔計測を可能とするレーザー光学系の構築
- コンパクト・軽量のレーザー超音波可視化検査装置の開発
- 計測映像の乱れを解析して亀裂の位置とサイズを検出する画像解析法の開発



### 現状の成果①

#### 2人乗り点検作業車にも搭載可能な小型レーザー超音波検査装置を試作

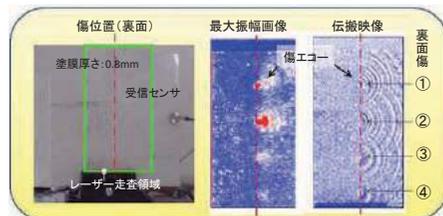
鋼橋を伝わる超音波の動画映像を現場で測定できる世界唯一の装置

#### 現場用可搬装置

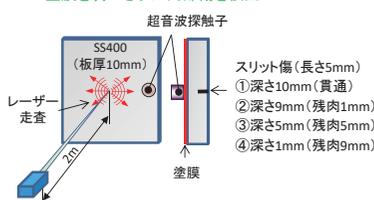


#### 検査部位から2m離れた位置で塗膜上からスリット亀裂を検出(試験片)

#### 塗膜の上から検査



#### 塗膜を剥がさずに内部傷を検出

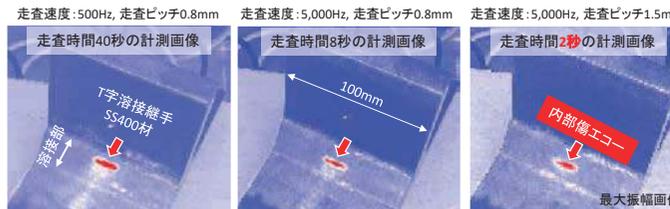


### 現状の成果②

#### 超音波伝搬の高速映像化

レーザー走査速度5,000点/秒の高速映像化を実現

この映像を2秒で計測



2秒で計測した映像で傷エコーを検出(接触式受信センサ)

#### 迅速検査

500mm×500mmの検査領域は22秒で映像化可能(走査速度5,000Hz、走査ピッチ1.5mm)

#### 鋼橋実地試験による有効性の確認

- 塗膜を剥がさずに溶接部の疲労亀裂を検出
- 検査結果は磁粉探傷の結果と良く一致



国道50号跨道橋

検査領域

計測映像

### 最終目標

レーザー超音波可視化探傷で検査工期・コストを半減



#### 非接触遠隔検査

近接目視点検時等を利用して貼り付けた反射シートを用いた遠隔検査装置を実用化(検査対象:補剛材、一般溶接部)

#### 接触式検査

接触式センサを用いた、可搬型・迅速検査装置を実用化(検査対象:鋼床版)

- 非接触検査で、長さ5mmの亀裂の有無を5m以上離れた位置で塗膜上から検出
- 接触式検査で長さ1mmの亀裂の有無を塗膜上から検出
- 溶接線を1m/30秒以上の速度で検査

国際展開 一般道路橋、高速道路、鉄道、工業設備



### 3 インフラ劣化評価と保全計画のための高感度磁気非破壊検査



研究責任者 岡山大学 大学院自然科学研究科 教授 塚田啓二

共同研究グループ 岡山大学、超電導センシング技術研究組合、(一財)発電設備技術検査協会、九州大学

#### 研究開発の目的・内容

##### 研究開発の目的

- 本研究開発では高感度磁気計測を用いた新規の非破壊検査を目指すものである。橋梁などの多くのインフラは、鋼材をもとにした構造物であり、それらの腐食や亀裂による劣化が問題となる。従来の磁気計測では表面のみの検査であったものを、本研究開発では、磁気センサの中で最も高い感度を有するSQUIDやMRを用いた検査装置を開発することにより、構造物の内部や裏面までも検査できる新しい磁気検査装置を実現する。
- 様々な鉄鋼構造物の腐食、亀裂形状による信号変化を解析する手法と計測方法の開発を総合的に行いインフラのメンテナンスマネジメントの指針を築く。

##### 研究開発の内容

- 磁気検査基本システムの開発**: 鉄鋼構造物における各種構造形状における欠陥に対応した磁気検査装置の開発を行うとともに、欠陥による信号抽出法とその表示法の開発を行う。これによりだれでも分かる欠陥の定量的かつ画像化を行う。
- フィールド検査用装置の開発と実地試験**: MRセンサを用いたポータブル検査装置と、SQUIDを用いた超高感度磁気検査装置の2種類の検査装置を実際のインフラに容易に設置できる装置機構と電源及び計測装置の可搬化を行う。この装置を用い実証試験を行い、その有効性を明らかにする。
- 社会実装**: 新しい磁気計測方法の国内外での情報発信とその有効性認知活動を行う。また、同時にJISやISOの標準化を推進する。

#### 現状の成果①

ポータブル検査装置

##### 磁気センサを用いたポータブル検査装置

磁気抵抗素子(MR)を用いた非破壊検査装置は、極低周波から磁気応答特性を調べることができるので、表面のみならず、内部、裏面の欠陥を検査できます。また、装置構成を簡単にすることができるので、ポータブルな検査装置となります。

従来にない新しい検査方法として

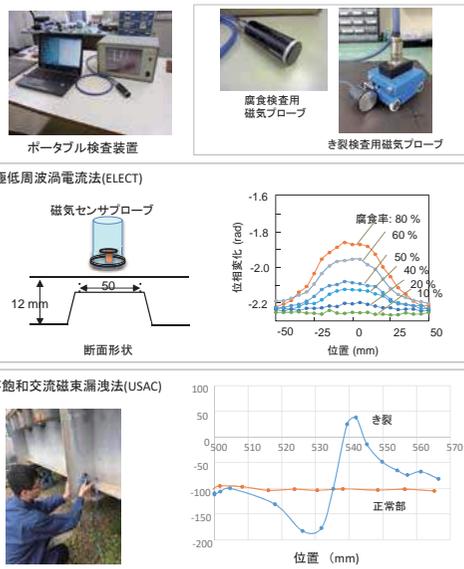
- 極低周波渦電流検査法 (ELECT)
- 不飽和交流磁束漏洩法 (USAC)

を開発しました。

極低周波渦電流検査法(ELECT)は鋼板の腐食による減肉を検査できます。現在その性能として板厚16mmまで可能です。

不飽和交流磁束漏洩法(USAC)は鋼板のき裂を検査できます。現在その性能として表面だけでなく、内部き裂として深さ10mmのところにあるき裂を検出することができます。

これらの検査は塗装表面やさび表面からでも検査できるため、簡単に測定することができます。



#### 現状の成果②

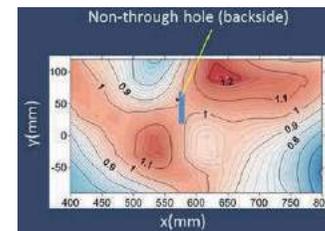
超高感度磁気検査装置

##### 超高感度非破壊検査装置の開発

酸化物高温超伝導体を用いた超伝導量子干渉素子(SQUID)磁気センサは他の磁気センサに比べ桁違いに高い感度をもち、安価で扱いが容易な液体窒素による冷却で使用することができます。

近年、橋梁や都市部の高速道路に使用されている鋼床版について、裏面の溶接部から進展する疲労亀裂が保全上の大きな課題になっています。現在は、鋼床版の裏面から近づいての磁粉探傷や超音波探傷による検査が実施されており、磁気センサを用い舗装の上から検査を行う渦流探傷装置の開発が行われています。SQUID磁気センサの低周波での超高感度性能を利用することにより、舗装の上から従来に比べ小さな貫通亀裂や、さらに非貫通の亀裂を検査する装置の実現が期待されます。

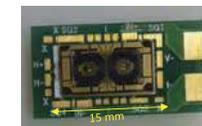
これまで、鋼板の非破壊検査に適した高感度かつ高い磁場耐性をもつSQUID磁気センサを開発すると共に、鋼板試験体を用い、センサから舗装の厚みに相当する距離にあるスリット状の非貫通欠陥を検出できることを実証しました。また、路上での検査に対応した非破壊検査試験装置を開発し、鋼床版試験サンプルを用いた性能評価を開始しています。



鋼板試験体の非貫通欠陥の検査例



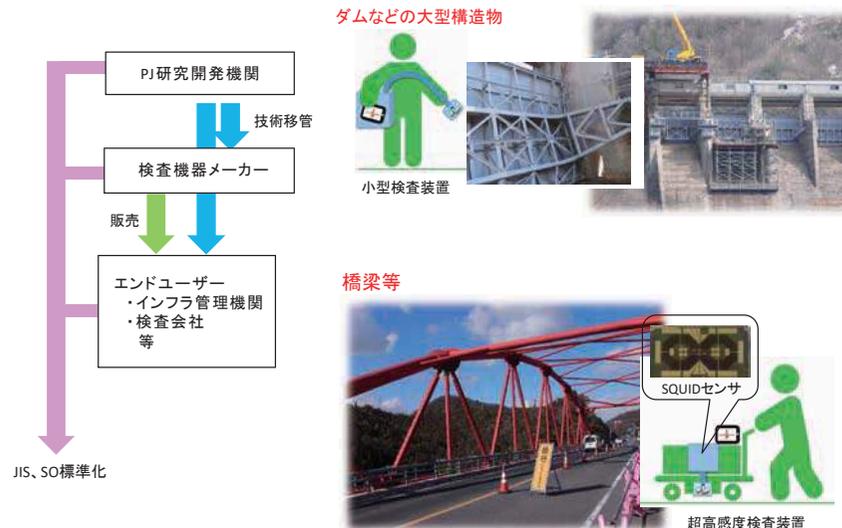
路上検査対応試験機



SQUID磁気センサ

#### 最終目標

新規磁気検査法の社会実装





# 4 レーザーを活用した高性能・非破壊劣化 インフラ診断技術の研究開発



研究責任者 (国研)理化学研究所 量子工学研究領域 領域長 緑川克美  
共同研究グループ (国研)量研機構、(国研)原子力機構、(公財)レーザー総研

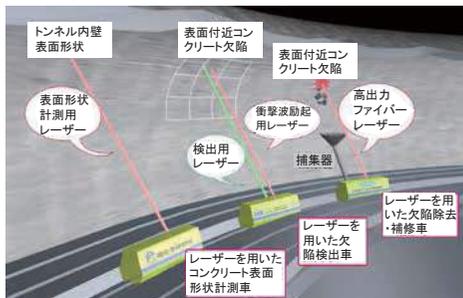
## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

高度経済成長期に建設されたトンネルなどのインフラは老朽化し、その維持管理は大きな社会問題となっている。技術者の目視確認や手作業(触診・打音・叩き落とし)による現状の保守保全作業は、非常に時間がかかるばかりでなく大きな危険が伴っている。そこで本研究では、レーザー技術を用いて老朽化したインフラの診断・保守保全作業を安全かつ高速そして効率化する手法を開発する。

### 研究開発の内容

- ・レーザーによるトンネル内壁面の3次元形状計測技術の開発
- ・レーザーの反射光の分光分析による漏水の検出
- ・レーザー打音によるトンネル壁面の高速内部構造の診断技術の開発
- ・レーザーを用いた脆弱部除去に向けた照射技術
- ・トンネル保守支援連携システムの開発  
実証実験使用の車両に搭載される計測機器群  
既存技術の製品・システム：
  - a. マッピング b. リモート近接目視
 新規開発技術の製品化
  - c. レーザー表面実測 d. レーザー打音検査
 新規技術の機能試作
  - e. レーザー溶融補修



## 現状の成果①

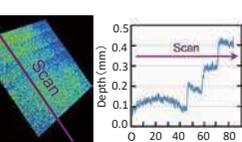
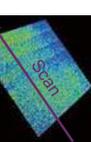
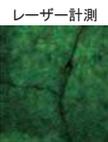
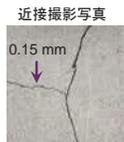
レーザーを用いてコンクリート表面の3次元形状計測と脆弱部除去をおこないます

### レーザーを用いたトンネル内壁の3次元形状計測と分光分析

目標 (1) 0.2 mmひび割れ検出 (2) 0.1 mm凹凸計測 (3) 漏水検出など分光計測

#### 0.15 mm幅のひび割れ計測が実現

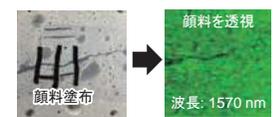
方法:ライダー計測 + 散乱計測法



#### 分光分析による汚れの透視が実現

方法:ライダー計測 + 分光計測法

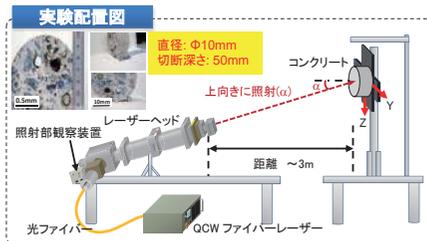
照射波長の適切な選定により、汚れている表面でもひび割れの検出が可能



### レーザーを用いたトンネル内壁の脆弱部除去

QCWファイバーレーザーを用いたコンクリート穿孔、切断除去の特徴(データベース化進行中)

1. 遠隔、非接触で脆弱部の穿孔及び切断が可能。
2. 準連続照射(QCW)により、レーザー光の重なり(オーバーラップ)を制御することで、熱影響の抑制及び加工効率の向上が可能。
3. レーザー照射条件の最適化により、高速でのコンクリート穿孔が可能。



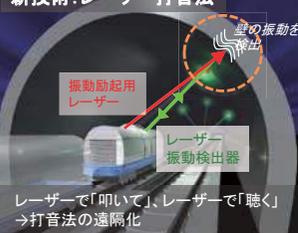
## 現状の成果②

トンネルコンクリート内部の検査の遠隔・高速化を行います

目標: 現在主流の打音法に代わる、遠隔かつ高速な検査法を開発。



### 新技術:レーザー打音法



#### 【成果】

- ・冷却系の改良・独自の光学配置により、小型高繰返し・高出力YAGレーザーを開発
- ・軽量、高剛性ガルバノミラーを用いた50ヶ所/秒の検査速度を達成
- ・レーザー打音高速検査システム屋外用試作機を開発

### 屋外用高速レーザー打音検査システムを開発

高速検査システムの概要

計測結果

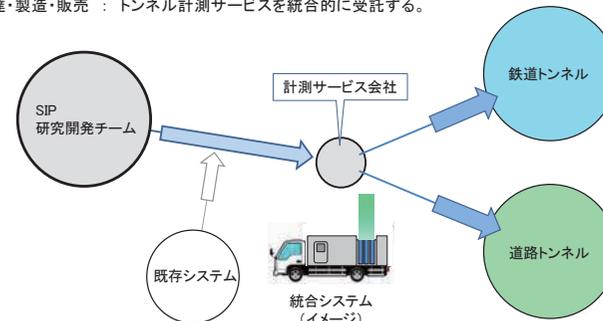
6m先のコンクリート供試体の50Hz検査と、内部欠陥の可視化に成功

## 最終目標

社会実装に向けたビジネススキーム

SIP研究開発終了時の到達目標は次のとおりです。

- ① 研究開発の技術的最終数値目標
  - a. レーザー表面計測システム : (距離5m) 0.2mm幅のひび割れ、深さ0.1mmの溝の図示化、発見
  - b. レーザー打音計測システム : (距離5m) 人手による打音検査に相当する剥離・内部空洞の検出
  - c. レーザーによる脆弱部除去 : コンクリートの破壊試験データベースの構築
- ② 製品・サービスの概要
  - a. 製品・商品 : 研究開発成果と既存システムを組み合わせた統合システムを製作し、計測サービスを商品化する。
- ③ 社会実装
  - a. ユーザー : 鉄道会社 および 地方自治体の道路保全部署
  - b. 使用場所 : 鉄道トンネル および 地方自治体の管理する道路トンネル
  - c. 調達・製造・販売 : トンネル計測サービスを統合的に受託する。





# 5 舗装と盛土構造の点検・診断自動化技術の開発

研究責任者 岐阜大学 工学部 教授 八嶋 博

共同研究グループ (株)セロリ、(公財)岐阜県建設研究センター



## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の背景と目的

**背景:** 豪雨や地震によって道路盛土が崩壊すると、交通網が遮断し、救急救命活動や災害復旧に影響し、大きな損害をもたらす。また、道路舗装の維持管理では、路面に現れた症状(ひび割れ、わだち掘れ)をもとに予防保全的に補修(オーバーレイや切削オーバーレイなど)が行われ、舗装の劣化原因を把握して抜本的な対策が行われることは極めて少ない。このため、同じ箇所でも道路補修が繰り返されることになり、将来的なコストの暴騰が懸念される。

**目的:** 舗装の劣化原因を含めた健全性と盛土の安定性を同時に効率的に点検・評価するための自動化診断技術を開発する。その診断結果と道路の補修履歴や管理情報に基づいた、本質的な予防保全による道路の長寿命化とライフサイクルコストの軽減を可能とする「道路維持管理マネジメントシステム」を構築する。

### 研究開発の内容

- ① これまで盛土調査等で実績のある2次元表面波探査装置の測定および解析について**全自動化**を達成する
- ② 地下水分布や土の分類判読に有効な牽引式電気探査の**探査深度増大と全自動同時計測化**を達成する
- ③ 現場計測から1次解析までを高速度ならびに標準化するための**汎用化**を行う
- ④ S波速度ならびに電気比抵抗による舗装ならびに盛土の安定性評価(液状化評価を含む)の**基準化**を行う
- ⑤ 計測結果の利活用方法の**マニュアル化**ならびに計測結果と道路情報の**データベース化**を行う
- ⑥ 計測結果をリアルタイムで活用する**道路維持管理マネジメントシステム構築(Web-GIS)**を構築する



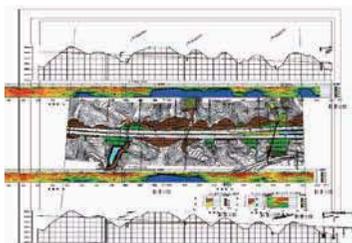
## 現状の成果①

- ① 2次元表面波探査および牽引式電気比抵抗探査のための自動化システムを設計し、プロトタイプを完成させた。特に道路線形追従性を重視した新しいカートを製作した。
- ② 計測速度として、500m/時間以上を達成した。
- ③ せん断波速度(Vs)と電気比抵抗(Q)を数多くの現場で計測した。特に、開通前の新東名高速道路愛知県区間30kmについて、盛土の初期状態を把握するための連続計測を実施した。
- ④ FWD試験の衝撃荷重を用いたハイブリッド計測システムを開発した。従来は、道路交通に起因する振動ノイズにより計測不能となっていたが、FWDによる大型振動励起により、普通交通下での計測が可能となった。また、舗装については、これまで数多くの実績を有するFWD試験による剛性評価、路床以下については、2次元表面波探査による剛性評価が連続的に可能となった。



① EVIによる自動計測および新しく設計されたカート

### ② 計測速度 ≥ 500m/時間



③ 高速道路のS波速度計測の一例



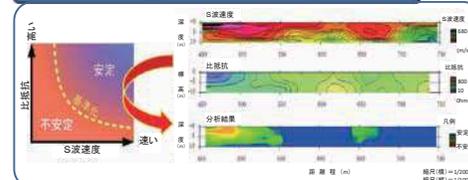
④ FWDと組み合わせたハイブリッド計測システム

## 現状の成果②

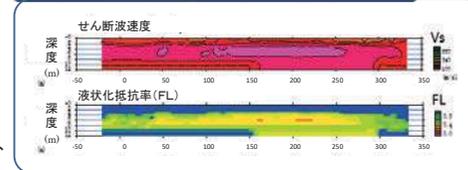
- ① 道路盛土の降雨時もしくは地震時の崩壊は、盛土内への水の浸入とそれによる盛土材料の劣化が主な原因の一つであることがわかっている。このため、盛土材料の経時的な剛性変化(劣化)と地下水位変化を知ることが重要である。
- ② 河川堤防を対象とした一連のせん断波速度(Vs)と電気比抵抗(Q)の計測結果より、盛土材料の土質特性(細粒分含有率を含む)が説明できるようになった。またせん断波速度(Vs)による土質強度、電気比抵抗(Q)による地下水位情報が、ある程度の精度で説明できることがわかった。
- ③ 盛土の安定性評価を、せん断波速度(Vs)と電気比抵抗(Q)により実施できるよう基準化を行った。特に、降雨時の盛土の安定性評価に有益な情報を与える。道路延長上に、せん断波速度(Vs)と電気比抵抗(Q)の分布を示すことができるとともに、同時に両者の関係に基づいた安定性評価結果を連続分布として示すことが可能となった(右図参照)。安定性評価精度は決して高いわけではないが、道路延長上に連続的な安定性情報が得られているので、道路の弱点などの、さらなる詳細評価を実施する場合には、有効なスクリーニング情報として十分に活用できる。
- ④ 道路延長上に、盛土もしくは自然地盤の液状化判定(FL値)結果を示すことが可能となった。特に、地震時の盛土および自然地盤の安定性評価に有益な情報を与える。せん断波速度(Vs)から求める土質強度、細粒分含有率、地下水位および想定地震道を入力値として、FL値が求められる(右図参照)。



### ②、③ Vs&Qを用いた盛土の安定性評価



### ④ Vs&Qを用いた盛土の液状化判定



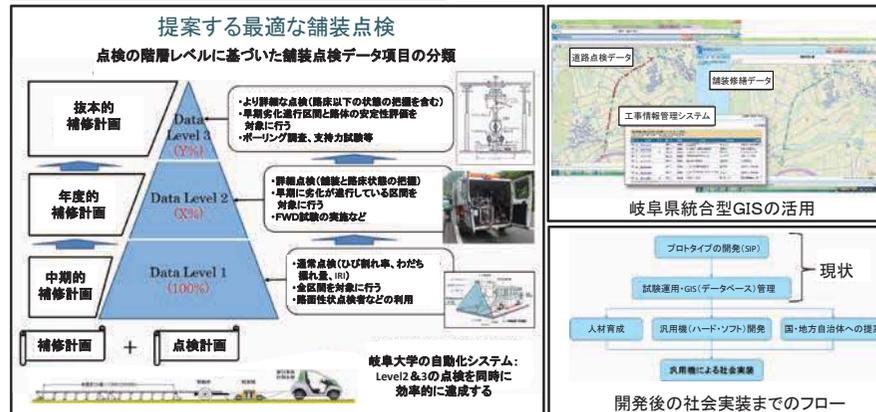
## 最終目標

- ① **全自動ハイブリッド計測による路面探査装置の開発**  
計測制御解析ソフトの完成  
プロトタイプの操作性として  
計測速度 500m/h以上  
探査深度 10m以上  
(2次元表面波探査は、探査深度20mまで拡張可能)  
2次元表面波探査の深さ方向の分解能として  
舗装部 0.2m 路体部(盛土) 1.0m

### ② 舗装維持管理マネジメントシステムの構築

**舗装と道路の評価技術**  
(道路延長2mごとに、舗装と盛土の健全度(剛性評価)ならびに盛土の安定度さらに液状化危険度を定量評価する)

**道路データベース構築**  
(Web-GISにより現場でリアルタイムに補修履歴と計測結果または過去の計測データとの対比を可能とする)



# 6 コンクリート内部の鉄筋腐食検査装置の開発



研究責任者 東京農工大学 大学院工学研究院 准教授 生嶋健司  
共同研究グループ (株)IHI検査計測、本多電子(株)

## 研究開発の目的・内容

**研究開発の目的** 事後保全から予防保全への転換を促す計測技術の創出

**目標:** 道路インフラ(特に橋梁)の鉄筋腐食を早期に検出し、適切な維持管理を行うことで、コスト削減とインフラの長寿命化をもたらす革新的な点検・モニタリング・診断技術を確立すること。

**現状:**

- ◆ コンクリート表面を目視点検する => ひび割れ・錆汁を確認。
- ◆ ひび割れが発生すると急激に腐食が進行し、部材の強度性能が低下。=> 大規模改修や補強。

**理想的な予防保全:**

- ◆ ひび割れ発生前の腐食進展期を検知。
- => 酸素・塩分を遮断する工法で小規模補修。=> コスト削減・長寿命化。

130年の鉄筋コンクリートの歴史において、非破壊に早期腐食を診断する技術は世界的に未開拓。

**本研究開発の目的:**

RC構造物において、目視点検では判定できない早期腐食を診断する非破壊検査技術を開発すること。

**研究開発の内容**

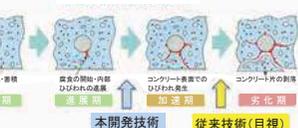
超音波誘起される交流磁場を検出する方法(ASEM法)による非破壊鉄筋磁性評価。

**音響誘起電磁法(ASEM法)の特徴**

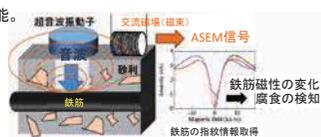
- 非破壊に磁気ヒステリシス・磁気イメージング測定可能。
- 簡便・コンパクトで安全な超音波計測。
- 磁性(物質の指紋情報)を通して腐食を検知。

**研究開発項目**

- 鋼材と腐食生成物の物性分析。
- 装置開発。
- 腐食との相関・指標作成。
- 現場試験。



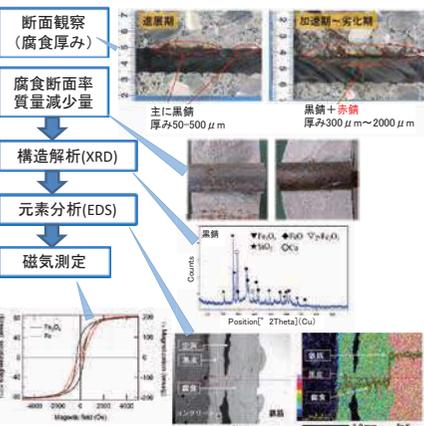
現状技術 本開発技術 従来技術(目視)



## 現状の成果①

### 鋼材と腐食生成物の物性分析

――電食試験体による分析――



- 【測定ターゲットの特定】**
- \* 腐食厚み 100 μm程度、断面率 100%、質量減少率 約3%。
  - \* Fe3O4(マグネタイト)。腐食生成物における含有率40～60%。
  - \* 鉄筋の鋼材表面がマグネタイトに変質する過程を検知。

### 装置開発



**装置本体**

- \* 高圧パルサー(1000V, 矩形波) FETシャント回路による残響抑制。
- \* 高速波形処理部
- \* 電磁石用電源

**プローブヘッド**

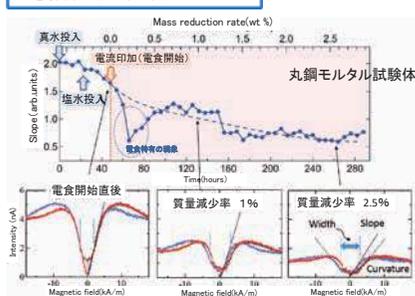
- \* 超音波振動子 200kHzコンポジット型。二重電磁シールド
- \* 受信アンテナ 共振回路と低雑音アンプ
- \* 音波遅延材 アクリル・テフロンタイプ 水媒体タイプ (用途により選択)
- \* 専用電磁石 鉄筋内磁場0.47 T, 重量2 kg以下。



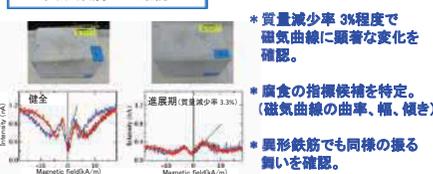
## 現状の成果②

### 腐食との相関・指標作成

#### 電解腐食中の経時モニタリング



#### 異形鉄筋での確認



- \* 質量減少率 3%程度で磁気曲線に顕著な変化を確認。
- \* 腐食の指標候補を特定。(磁気曲線の曲率、幅、傾き)
- \* 異形鉄筋でも同様の振る舞いを確認。

### 現場試験

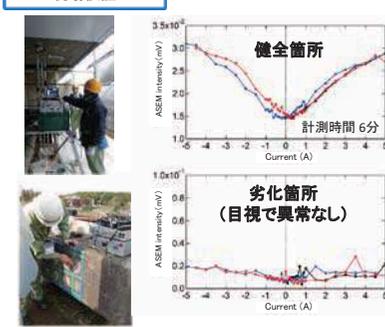
#### 腐食生成物採取・分析

竣工後70年経過した岸壁のコア抜き調査



\* マグネタイト含有率 30%。時間経過に伴う含有率低下を示唆。

#### 現場検証



\* コンクリート表面に異常がなくとも内部の劣化状況を把握。

## 最終目標

### SIPにおけるターゲットと到達目標

ターゲット	到達目標
道路橋床版を中心とした上部コンクリート。	* 現場検証用装置の完成。
かぶり30mm-50mm、鉄筋D13、D16、D19、D22	* 腐食との指標をパラメータ化。(腐食面積率、腐食厚さ)
	* 現場での診断スキームの構築。

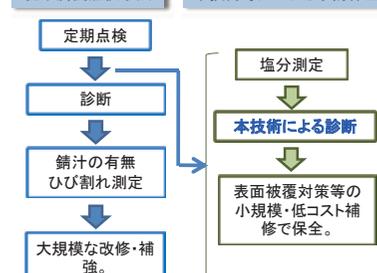
### 本技術の社会実装イメージ

- 点検業務への導入**  
5年に1回の橋梁点検業務の調査ツールとしての活用(右下図)。橋梁点検マニュアルへの登録。早期補修による事後保全から予防保全へのシフト。
- 鉄筋腐食検知装置のレンタル・販売**  
コンサル、検査会社等へのレンタルによる認知度の向上。鉄筋腐食を検知できる代表的な装置としての地位の確立。
- 技術指導、現場指導**  
塩分濃度測定や鉄筋探査の測定を含めた鉄筋腐食検査方法のレクチャー。非破壊検査協会やコンクリート診断士会での普及活動実施。
- 技術支援などの海外展開**  
米国の橋梁メンテナンス会社との連携と普及活動の実施。その他、インフラ老朽化が進む先進国への技術支援。

### 道路橋床版の鉄筋腐食評価



従来腐食点検手法 本技術導入による予防保全





# 7 コンクリート内部を可視化する 後方散乱 X 線装置の開発



研究責任者 (国研)産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門 研究グループ長 豊川弘之  
共同研究グループ (株)BEAMX・名古屋大学

## 研究開発の目的・内容

### 背景

- 日本は海岸線が長いので、塩害によるコンクリート中の鉄筋腐食が多く発生。
- 古い橋では、プレストレストコンクリートのシース管グラウト未充填による鋼材損傷が発生。
- 表面で見える状況では手遅れ。非破壊で内部を見なくてはならない。
- 高速道路床版や大型橋桁などX線透過撮影法が使えない場合も多く、新しいイメージング技術の開発が必要とされている。

### 研究開発の目的

- 橋梁やトンネルなどの劣化・損傷に起因する大事故を未然に防ぐため、放射線計測と電子加速器分野の最新技術を使った検査技術を開発する。

### 研究開発の内容

- 道路橋の床版、RC橋の鉄筋減肉、PC鋼材の破断などを非破壊で高精度にイメージングする装置を試作し、検査の高効率化と高精度化を実現する。



### X線透過試験(従来法)

- 利点:空間分解能が高い
- 欠点:位置合わせが難しい、厚いものは長時間測定



### 後方散乱X線イメージング(提案)

- 反射型なので現場で使い易い
- 厚いものや複雑な形状でも短時間で撮影可能
- 表面近傍の構造を鮮明に(mmオーダー)可視化

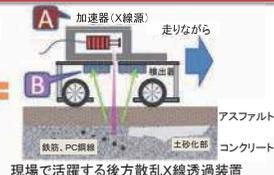
## 現状の成果①

装置開発 (平成26~27年)

### 現場に持ち出せるテーブルトップ加速器X線源の開発に成功!

①電磁界シミュレーション ②加速器開発 ③テーブルトップ加速器X線源 ④鉄筋(透過像)撮影

### 現場に持ち出せる加速器 後方散乱X線検出器



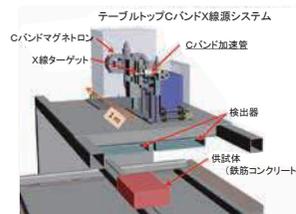
現場で活躍する後方散乱X線透過装置

### 後方散乱X線イメージング用のX線カメラ開発に成功!

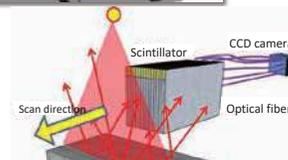
①放射線シミュレーション ②撮像素子の開発 ③後方散乱X線イメージング用X線カメラ

## 現状の成果②

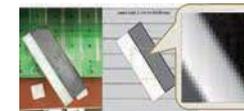
後方散乱イメージングの実証 (平成28年)



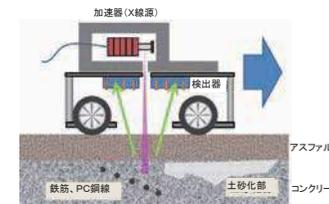
本プログラムにおいて、従来の装置よりも約3倍エネルギーの高いX線源の開発に成功しました。このX線はコンクリート深さ10 cmにある異物を反射を使って見ることができる性能があります。X線源と合わせて本プログラムで開発した後方散乱X線イメージング用検出器を組み合わせて、高エネルギー後方散乱X線画像の取得に成功しました。これは小型電子加速器技術と先端放射線計測技術を融合して得られた世界初の成果です。



### CバンドX線源を用いて撮影した後方散乱X線画像



豊川 第63回応用物理学会春季学術講演会(H28.3月)



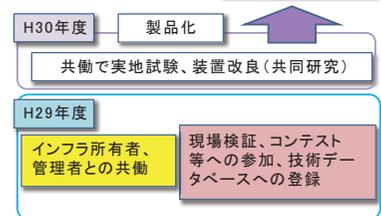
この技術を使うと、アスファルトの下にある空洞や、土砂化している部分、あるいはコンクリート内部で損傷している鉄筋、異物などを、従来技術よりも鮮明に画像として見ることができます。この装置を牽引車両に搭載して、道路を走りながら道路を後方散乱X線で検査することも夢ではありません。今はまだ解像度は深さ3 cmで数cm程度ですが、今後、X線エネルギーの最適化や検出器の性能向上によって、10cmの深さを数mmの解像度で撮影できる装置の開発を目指しています。

## 最終目標

### 達成目標と達成度

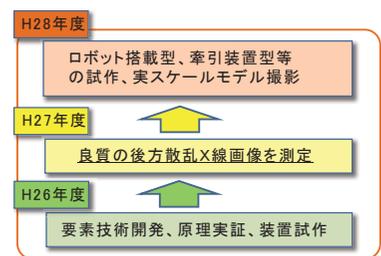
実施項目	達成目標	達成度
コンクリート内部の鉄筋イメージング	かぶり10cm、鉄筋直径1cmを可視化	かぶり10cm、鉄筋直径1cmの可視化に成功
道路床版の劣化診断	土砂化を検知できる装置の性能を決定	アスファルト下コンクリート密度20%低下の検知に成功
	ポットホール検出	アスファルト8cm下のポットホール検出に成功(目標達成)

### 上市、社会実装



### 本技術の社会実装イメージ

- 橋梁コンクリートの鉄筋劣化診断
  - PC橋梁のPC鋼線、グラウト材劣化診断
  - 道路床版のコンクリート劣化診断
- 上記3種の検査装置(X線発生部は共通化可能)の製品化を目的として、平成29・30年度にプロトタイプ機の製作を行い、実際の現場において実証試験を行う。
  - その後の製品化は、平成31年度から5年間で、全国に約70万ある道路橋、鉄道橋の1割を対象とした定期点検に対応できるよう自治体、インフラ管理者またはメンテナンス関係業者への供給を行っていく。



# 8 インフラモニタリングのための 振動可視化レーダーの開発



研究責任者 アルウェットテクノロジー(株) 代表取締役 能美仁  
共同研究グループ 早稲田大学、埼玉大学、東京大学

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

新たな試みとして振動可視化レーダーの開発により、橋梁、高架橋等の振動を計測・解析して、点検・モニタリング及び診断の安全性、効率性の向上を目指す。

- モニタリング能力 : レーダにより構造体の画像化を行い、各部の振動を解析して、健全性をモニタリング。
- 安全性、効率性 : 交通を遮断することなく、計測が可能。
- センサー、反射器等を観測対象に設置する必要がない。車両に搭載し、容易に移動、設置が可能。
- 非接触 : 数百m離れた点から微弱なマイクロ波を照射する非接触計測システム。

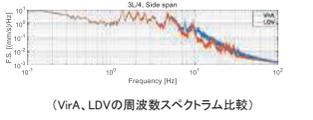
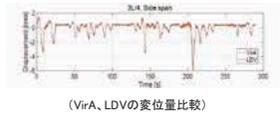
### 研究開発の内容

- VirAは、マイクロ波レーダ信号を送信して、計測対象から反射した信号をT字状に配置した多数のアンテナで受信すると共に、レンジ圧縮処理とデジタルビームフォーミング処理技術を用いて瞬時に3次元画像化を行う。また、各反射点の位相から微小変位と振動の検出方式、装置の開発。
- 最大毎秒500回の画像を作成して、観測範囲全体の反射振幅画像と、その画像上の各部の振動特性を色やグラフで表示を行う。また長期的な0.1mmオーダーの微小変動も画像表示方式の開発。
- 計測対象からのレーダー信号を用いた可視化アルゴリズム、画像化処理プログラムの開発。
- インフラモニタリングに必要な計測精度の検討、性能評価確認。また、従来計測装置との比較検証。
- インフラの維持管理への適用、モニタリング方法の検討、検証。

## 現状の成果①

表 I.4-1 VirAの目標仕様、実証確認結果 対照表

No	項目	仕様	実証確認値	備考
1	観測範囲	仰角 : 30度 方位角 : 45度	仰角 : 30度 方位角 : 37度	設計値、レーダー画像から確認
2	観測距離	100m~10km	実証確認距離 30m~4,500m	10Kmの確認実施場所がなく、未確認。
3	方位分解能	0.5度	同左	CR(反射器)の計測結果から確認。
4	撮像速度	500枚/秒	500枚/秒以下	計測距離に応じて、撮像速度が決まり幸魂大橋では500枚/秒で計測。
5	解析周波数	250Hz以下	同左	電波暗室、及び幸魂大橋の計測で、他センサとの比較計測により実証確認を行った。
6	計測振動振幅	0.1mm程度	同左	同上。
7	消費電力	4モジュール 300W以下 6モジュール 400W以下	4受信モジュール 250Wtyp 6受信モジュール 350Wtyp	
8	外形寸法、重量	約2,000(W)×1,500(D)×1,600(H)mm 約70kg以下(取付台重量除く) (送信部を含む6受信モジュール構成)		



## 現状の成果②

(側径間橋桁の面的変位量解析動画例)

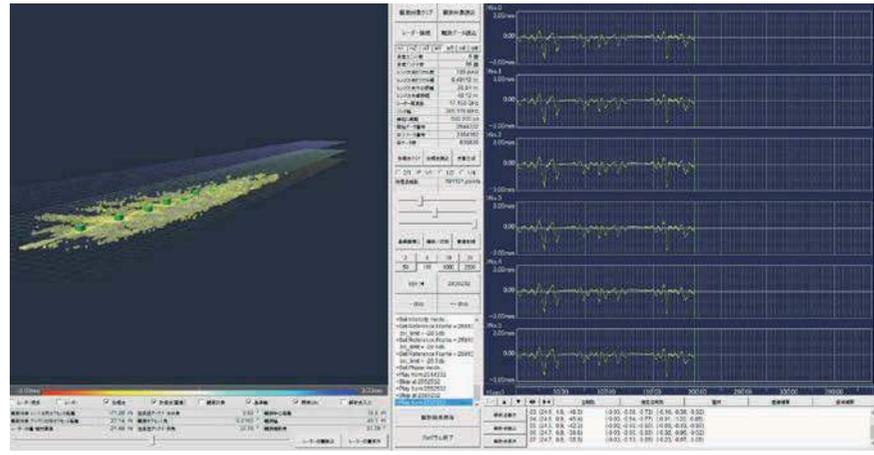
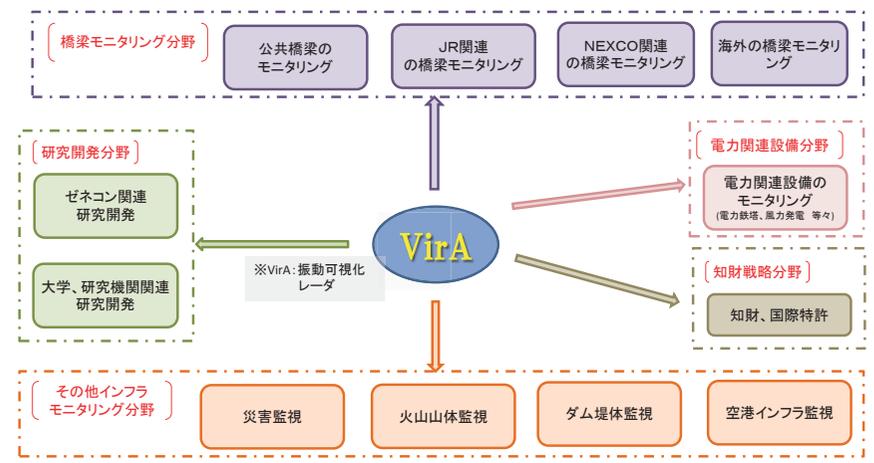


図 I.4-3-1 振動可視化ソフトウェアの解析画面

## 最終目標



(1)点検・モニタリング・診断技術  
 (2)橋梁計測技術  
 (3)画像処理技術  
 (4)データ解析技術  
 (5)ソフトウェア開発技術  
 (6)ハードウェア開発技術

(1)点検・モニタリング・診断技術  
 (2)橋梁計測技術  
 (3)画像処理技術  
 (4)データ解析技術  
 (5)ソフトウェア開発技術  
 (6)ハードウェア開発技術



# 9 高速走行型非接触レーダーによるトンネル覆工の内部欠陥点検技術と統合型診断システムの開発



研究責任者 パシフィックコンサルタンツ(株) 安田亨  
共同研究グループ (株)ウォールナット、iシステムリサーチ(株)、(株)三英技研、(株)フォーラムエイト

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- ① 打音検査の代替技術、補完技術として、覆工コンクリートの内部欠陥を、高速走行型非接触レーダーにより検出する点検技術を開発し、交通規制を要しないトンネル維持点検業務を実現する。
- ② 変状情報をレーザ計測の3次元位置情報と同期し、高精度な変状図を3次元可視化技術によってデータベース化するとともに、健全性を総合的に評価できる統合型診断システムを開発する。

### 研究開発の内容

**内部欠陥探査用レーダー**

- 非接触型アンテナ 3基搭載 (3m程度の探査距離は世界初)
- 時速50km/h程度での走行計測
- 問題箇所をスクリーニング
- 走行型計測車(MIMM-R)に搭載

標準MMS・レーザ  
3次元地形測量  
高密度レーザ(100万点/秒)  
覆工3次元形状計測  
非接触空調探査レーザ  
非接触内部欠陥探査レーザ  
SIP開発  
TYPE1: 巻厚と背面空洞  
TYPE2: 内部欠陥、ジャンカ  
ひび割れ・変状撮影

MIMM-R(カメラ、レーザ、空洞レーダー)に内部欠陥レーダーも搭載

## 現状の成果①

レーダーの開発

**内部欠陥レーダーアンテナ (SIP新規開発)**

◆対象とする内部欠陥  
うき、はく離、ジャンカ、豆板

◆開発した内部欠陥レーダーアンテナ

項目	諸元	備考
レーダー方式	FM-CW方式	送受別アンテナ方式
最大探知距離	4m	壁面まで 1m~ 3m(標準)
中心周波数(帯域)	3GHz	帯域 (2GHz)
アンテナ数	3基	大アンテナ1基、小2基

検証1 うき検出検証  
検証2 実トンネルでの検証

探査精度: 接触型に対し、80~90%

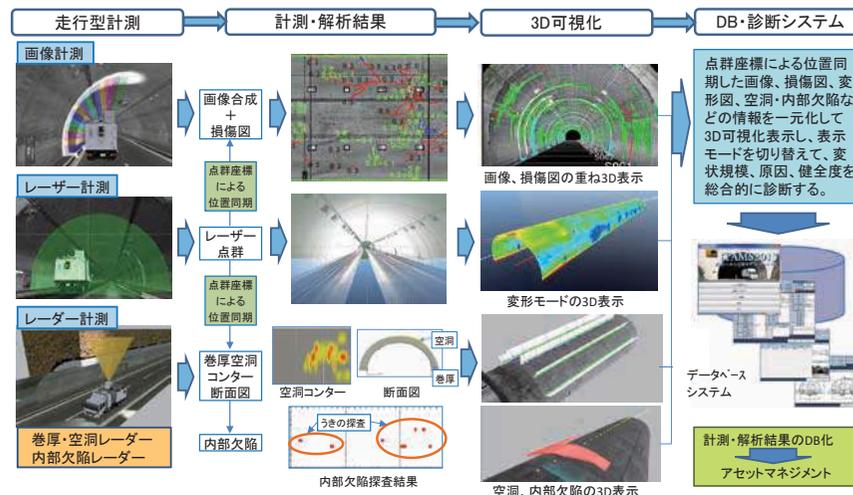
## 現状の成果②

3D可視化技術

### 3次元可視化技術(統合型評価診断システム)の開発【全体構成】

SIPにおける研究開発内容

- ◆ 点群解析機能: トンネル点群から自動的に目地位置検出を行い、スパンごとに断面形状やスパン軸を高精度に抽出する機能
- ◆ レーダー計測結果可視化機能: 内部欠陥、巻厚・空洞厚の計測・解析結果を位置同期し、3D表示、コンター、縦・横断面図表示する機能
- ◆ 下図の構成で、3D可視化、DB構築を行う。 **画像・レーザ・レーダーを組合せた健全度診断は日本で初めての試み。**



## 最終目標

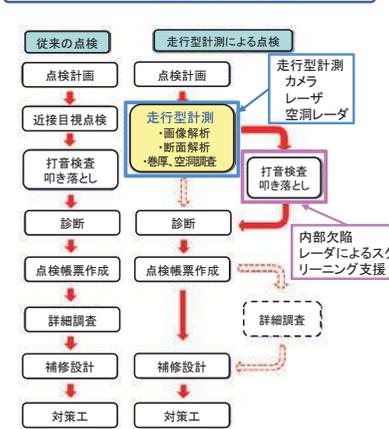
### 達成目標と達成度

実施項目	達成目標	達成度
内部欠陥点検診断技術	アンテナシステム構築 ・検出精度: 80%以上 ・縦断5cm、横断方向1m ・探査深度: 20cm程度	・アンテナシステム完成 ・目標とする内部欠陥の信号受信に成功 ・探査深度20cm以上
点検診断結果の可視化技術	・位置同期、目地位置同期、進行性評価ソフト ・3D可視化VRソフト	・位置同期、目地検出完了 ・変状進行性ソフト完成 ・3D表示機能: 完了 ・DBソフト iTAMS完了

### 本技術の社会実装イメージ

出口戦略	対象	スケジュール、見通し
① 開発レーダー、診断システム点検業務へ活用	自社業務 他事業者への貸与	SIP終了後、速やかに実施。H29年度より5年間で自社シェア20%程度までアップを目指す。
② 近接目視、打音検査の補完、支援技術として活用	国土省 他	次世代社会インフラ用ロボット試行と連動。点検要領の改訂まで視野に入れ普及、標準化
③ 技術指導、現場へのコンサルテーション	自治体	岐阜大などの社会実装プログラムとの連携 統合型診断システムの普及
④ 国内外へのレーダー・ソフト販売	コンサル 点検会社	レーダーは年5台程度の販売 ソフトは年10台程度の販売
⑤ レーダー販売、計測業務、技術支援等の海外展開	ASEAN	走行型計測車両を活用した海外ビジネスモデル、車両のカスタマイズ、診断ソフトを活用

### トンネル定期点検の支援



カメラ、レーザ、レーダーおよび、近接目視打音検査を総合的に融合させ、適切な判定を実施し、トンネル点検・診断全般の効率化、省力化を支援し、低コスト化を目指す。

# 10 高感度近赤外分光を用いた インフラの遠隔診断技術の開発



研究責任者 首都高技術(株) 津野和宏  
共同研究グループ 首都高技術(株)、(国研)産業技術総合研究所、東北大学、富士電機(株)、住友電気工業(株)

## 研究開発の目的・内容



### 研究開発の目的

コンクリート劣化因子を遠方から測定  
⇒ 接近不要、足場不要、交通規制不要  
1次スクリーニングで損傷の予防・早期診断  
⇒ 点検コスト削減、長持ちするインフラ

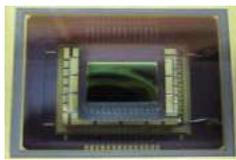
### 研究開発の内容

・遠方分光分析技術  
・1次スクリーニング技術  
・微量な劣化因子を計測  
} 劣化因子物質の分布 (水分・フリーデル氏塩)  
①精密検査箇所特定 ②予防保全・補修計画のための計測器

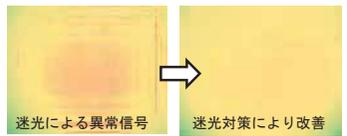
## 現状の成果①

装置・実装技術

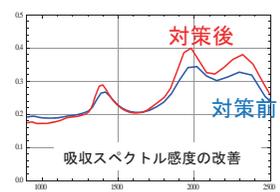
### <近赤外分光の検出器>



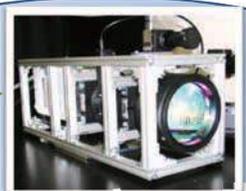
1.0~2.35 μmの広帯域近赤外センサーを採用。



本プロジェクトで迷光対策を実施。より高精度、高感度な検出を実現しました。

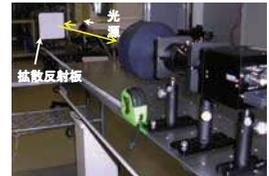


独自技術による干渉計とフーリエ分光法により従来の分光器よりも1000倍高感度



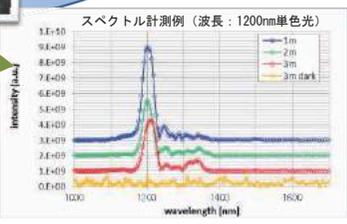
正確なスペクトル取得により高精度な化学分析技術を実現

### <遠方分光分析光学系>



本プロジェクトで遠方測定可能な光学系を開発。

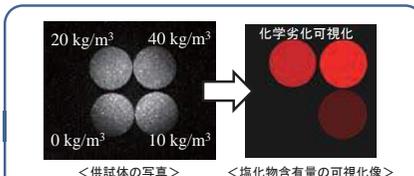
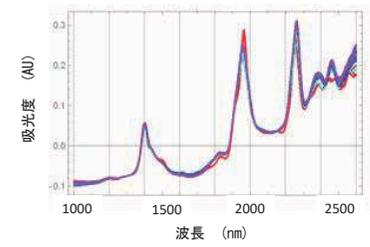
3m遠方から瞬時に近赤外スペクトルを取得



## 現状の成果②

コンクリートの分析

### ○ ケモマトリクスにより塩害を定量化



左図中の数字は、供試体に含有させた塩化物イオン量。右図の赤色はPLS解析の因子得点を画面表示したものの。黒は塩害なし。赤が濃い程塩害の度合いが高い。

### ○ 橋脚の水分分布の可視化



水分の含有量を検出し、モノクロの濃淡で可視化。

表面の水分が多いほど黒く表示される。

★本測定条件では、光量が飽和および不足する領域での水分含有量が計測できない。

今後、橋脚表面の塩害が評価できるようコンター図化機構を実装する予定。

## 最終目標

### 最終数値目標

- 1、3m離れた位置からコンクリート表面を診断 (水、塩化物)
- 2、エリア1m×1mあたり10秒で測定
- 3、装置重量5kg以下

### 点検活用イメージ



遠方からの1次スクリーニング結果(劣化因子の濃度分布)をコンター表示。重要点検箇所を抽出して予防保全を省力化。

### 事業化イメージ

- 1) 鉄筋コンクリート構造物の1次スクリーニング点検に利用可能
- 2) 劣化予防の長期メンテナンス計画の根拠資料

### インフラ点検サービス (コンサルティング付き)

トンネル点検バック	
12カ月点検バック	
橋脚点検バック	
(1) 橋脚 塩害分布図	〇〇万円
(2) 環境外力 影響図	〇〇万円
(3) 水分分布図	〇〇万円

★水洗いにお勧め!  
★長期メンテナンス計画に!  
★コア抜き箇所の参考に!



# 11 学習型打音解析技術の研究開発



研究責任者 (国研)産業技術総合研究所 人工知能研究センター 研究チーム長 村川正宏  
共同研究グループ 首都高技術(株)、東日本高速道路(株)東北支社、(株)ネクスコ・エンジニアリング東北、(株)テクニ-

## 研究開発の目的・内容

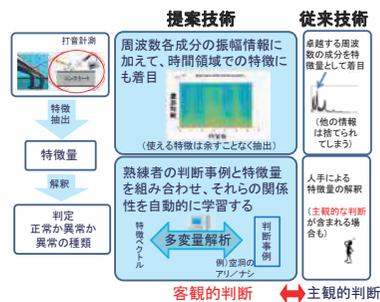
### 研究開発の目的

- ・1次点検手段としての打音装置の高度化
  - 簡便かつ確実
  - 高精度(熟練者でも難しい領域での損傷検知)
  - 報告書作成も含めたトータルな作業工数の削減
- ・打音検査結果の定量化と蓄積、その可視化を実現

### 研究開発の内容

- ・打音のデジタル化とその収集、分析による異常検知
- ・分析には機械学習に基づく音響解析技術を用い、打音の違いを自動判別し、構造物の損傷箇所を検出
- ・通常の点検ハンマと組み合わせて使える装置を開発し、提案手法の有効性を実構造物において検証

### 機械学習に基づく打音解析



## 現状の成果①

二段階学習による判定

### 二段階で行うメリット

- ・教師ラベル付のデータが十分に集まらない段階でも異常の有無が一段目で判定可能
- ・様々な構造物の打音の違いにも対応
- ・汎用的な枠組みで、任意の打音装置に適用可能

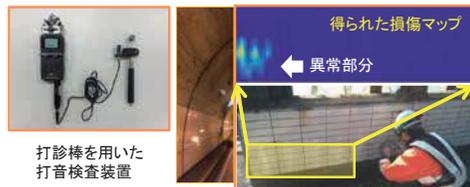
### 一段目: 教師なし学習手法

- ・検査対象ごとに、その場の「正常」を学習
- ・学習した「正常」からの逸脱として異常を定義
- ・異常の大小を各打撃点ごとに算出

### 二段目: 教師あり学習手法

- ・一段目の判定結果に教師ラベルをつけて蓄積
- ・蓄積した結果をもとに判別学習
- ・異常の有無の高精度化

### トンネル内タイル打音検査での有効性検証実験



騒音の大きいトンネル内においてさえタイルに浮きのある領域を確実に発見できた。

極めてノイズに強い解析手法であることを確認

## 現状の成果②

打音装置開発と実証

### 点検困難箇所用打音装置の開発



- ・橋台・橋脚等で手が届かない範囲の打撃用
- ・コンクリートの剥離だけでなく内部の欠陥も検知
- ・足場設置の作業工数削減

- ・打撃部にソレノイドを使用
- ・打撃対象面に打撃部がうまくフィットするような機構を導入
- ・開発中の打撃軌跡の自動取得システムと合わせて利用

供試体や地方自治体の実橋にて評価実験中

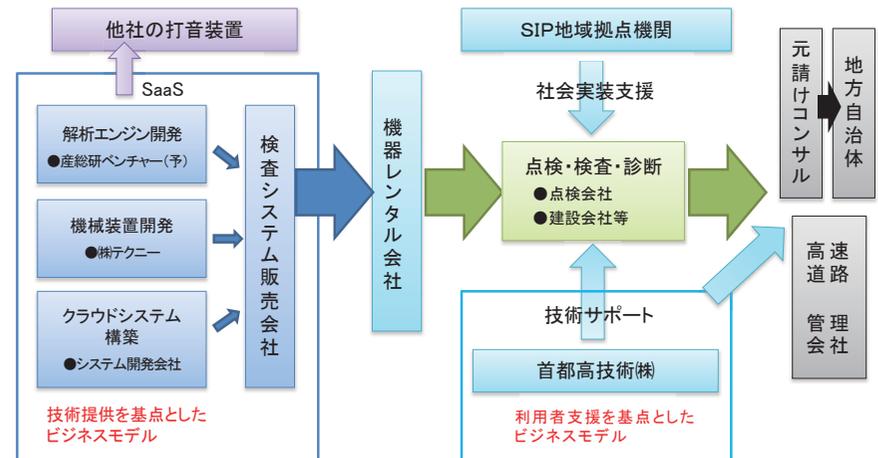
### 台車型打音装置の開発



現状の人手による打音検査



## 最終目標



- ① 継続的に技術の改良が行われる開発体制を構築
- ② 開発した機器+(SIP地域拠点のご支援/技術コンサル)で展開
- ③ 解析エンジンについてはSaaS(Software as a service)として提供
  - ・集中的なシステムの管理運営
  - ・サービスの安定供給とバージョンアップを継続化

# 12 ラジコンボートを用いた 港湾構造物の点検・診断システムの研究開発



研究責任者 五洋建設(株) 小笠原哲也  
共同研究グループ 五洋建設(株)

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- (1) 小型のラジコンボートに高性能の動揺抑制装置を介して撮影用カメラを搭載し、波浪による動揺を抑制しながら棧橋上部工下面部の画像を効率的に撮影できるシステムを開発する。
- (2) 撮影した画像から、画像解析により劣化診断・モニタリングするシステムを開発し、港湾施設の効率的・客観的な維持管理業務を実現する。

### 研究開発の内容



## 現状の成果①

### ラジコンボートと専用ソフトウェアを用いた総合的・診断システムの確立

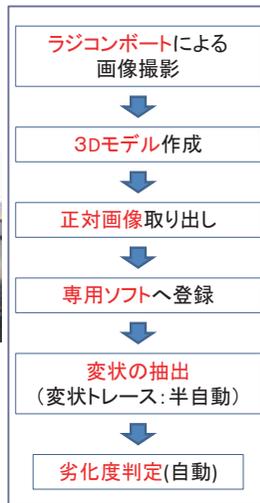
- 2014年～2015年に開発したラジコンボートと専用ソフトウェアを使用して、2016年に実棧橋下面を調査し、本システムの有用性を検証。
- 大量の撮影画像からSFM/MVSにより3Dモデルを作成したあと、正対画像を抽出し自動劣化診断ソフトによる診断結果と人員による診断結果を比較しました。本技術による診断結果と人員による診断結果は概ね一致し、本技術の有用性を確認できました。



実棧橋におけるラジコンボートによる調査状況

### 本技術によるメリット

- ① 専門知識を持たない人員により、直接棧橋下部に行かずに点検・診断可能
- ② 人員調査の2倍の速度で調査可能 → 点検の効率化
- ③ 画像による客観的なデータ蓄積 → 担当者が交代しても定量的に劣化状態把握
- ④ 3Dモデルにより、容易に劣化状態をパソコンで把握可能
- ⑤ 狭隘な箇所や上方への長時間にわたる調査で生じる点検者への負担を軽減
- ⑥ 専用の劣化ソフトにより、後処理を効率化。劣化状態を定量的に把握し、劣化の経時変化を比較(モニタリング)可能



○本技術の劣化診断フロー

## 現状の成果②

### ラジコンボートと専用ソフトウェアを用いた総合的・診断システムの確立

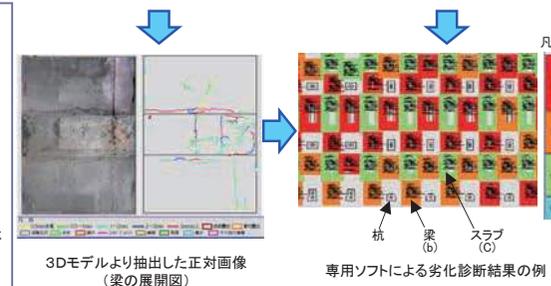


### 実棧橋での劣化診断検証結果

本技術と人員の劣化診断結果の比較

- ①スラブ → 100%一致
- ②梁 → 90%一致

梁部材について、本技術の調査で、主に雨天時の水滴と照度の影響で画像が悪く、ひび割れが判断できていない部分があったが、撮影方法の改善で対応可能。(LED照明増地)



## 最終目標

### 最終目標

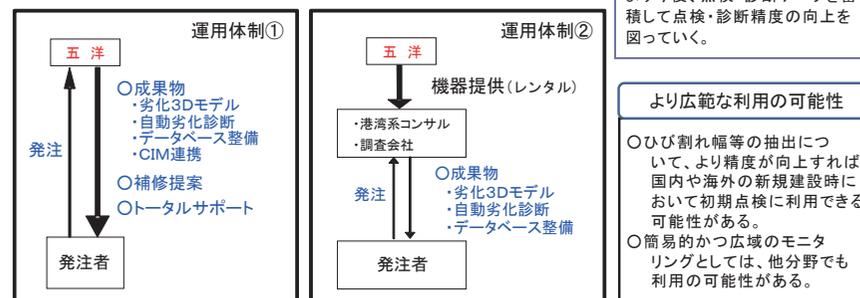
- 後処理の時間・コストまで含めて、従来の目視点検と比較していく。
- 人員調査結果と概ね一致しているが、一部において生じている。人員結果との相違の原因を突き詰めて、診断精度の向上を図る。
- 準備、後片付けの時間を短縮することを考え、1日にできる調査面積を増やすことを目標とする。
- 論文投稿、雑誌掲載等により、技術の普及を図る。

### 港湾施設の維持管理の効率化・進展に貢献

### 平成28年度(最終年)の最終目標

ラジコンボートと自動劣化判定ソフトを用いた総合的・診断システムの高度化と完成(効率化・高精度化)

### 本技術の社会実装イメージ



# 13 空洞及び裏込沈下調査におけるチャープレーダ等、特殊 GPR 装置の研究開発



研究責任者 川崎地質(株) 首都圏事業本部 保全部長 山田茂治

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

新技術として、探査可能深度を高めた「車両牽引式深層用空洞調査GPR」、探査の難しい鉄筋コンクリートに対応した「鉄筋コンクリート対応型マルチチャンネルGPR」を導入し、従来技術よりも岸壁の空洞や空洞化危険箇所の発見精度を向上、調査費縮減ならびにモニタリングシステムを構築する。

### 研究開発の内容

#### <車両牽引式深層用空洞調査GPR>

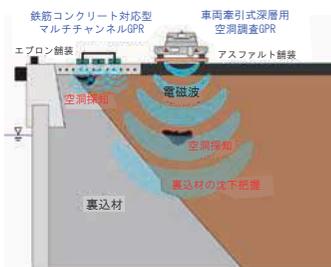


- As舗装岸壁に適用
- 従来技術より探知能力の深層化
  - 空洞検出、裏込め材沈下範囲検出に適用
  - 車両牽引で作業効率化

#### <鉄筋コンクリート対応型マルチチャンネルGPR>



- エプロン舗装岸壁に適用
- 従来技術では困難な鉄筋コンクリート下の空洞検出
  - 3台同時計測で作業効率化

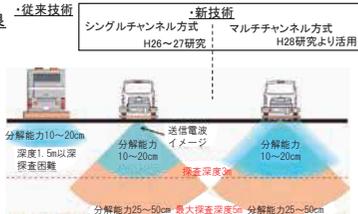


## 現状の成果①

#### <車両牽引式深層用空洞調査GPR>

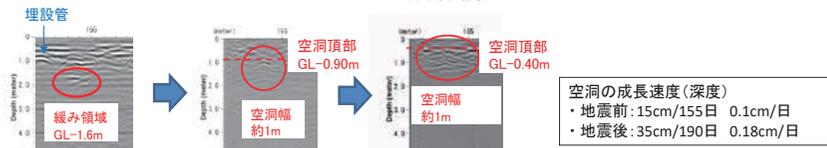
- <成果>
- モニタリングによる空洞検知精度10cm未満を確保
  - 探知能力の深層化により、裏込め材を検知
  - GPS機能により、測線設定の省略化

#### ◆システム改良



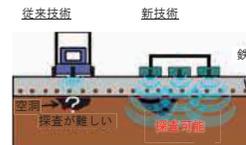
#### ◆空洞のモニタリング

- 2013/9/25 空洞なし
- 2015/9/29 空洞確認
- 2016/3/2 空洞深度・幅変化

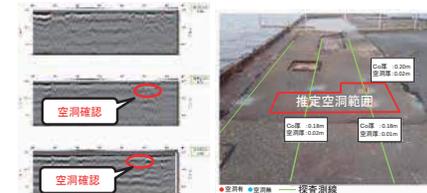


## 現状の成果②

- <成果>
- 空洞厚5cm未満の空洞検知
  - コンクリート厚38cmまで空洞検知可能
  - 3測線の同時計測により空洞範囲推定を効率化



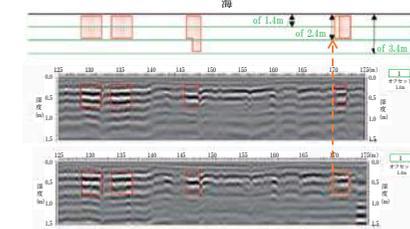
#### ◆微細空洞の検出



#### ◆オペレーションフロー



#### ◆空洞のモニタリング



オレンジ破線部が3か月間で幅1m程度広がった

## 最終目標

#### ◆最終目標

実施項目	達成目標	達成度	今後の課題
車両牽引式深層用空洞調査GPR	・空洞・裏込め材探知、精度10cm程度 ・作業の効率化 ・探査深度の高深度化(従来の1.5mに対して3m)	・空洞検知精度10cm未満 ・GPS機能による測線設定省略化 ・深度3m以深で裏込め材検知 ・システム改良によるコスト縮減	・技術における客観性の考察 ・第三者判定方法の検討
鉄筋コンクリート対応型マルチチャンネルGPR	・空洞探知、精度10cm程度 ・鉄筋コンクリート対応 ・作業の効率化	・厚さ5cm未満の空洞探知 ・鉄筋コンクリート厚38cmに対応 ・マルチ化による作業効率の向上	・モニタリング(空洞範囲拡大の対応) ・第三者判定方法の検討

#### ◆新技術のメリット

実施項目	新技術によるコスト縮減率	新技術による省力化
車両牽引式深層用空洞調査GPR	・従来技術より15%	・現場作業日数1/5
鉄筋コンクリート対応型マルチチャンネルGPR	・従来技術より19%	・現場作業日数3/5 ・解析日数2/3



# 14 衛星及びソナーを利用した港湾施設のモニタリングシステムの構築の研究開発



研究責任者 五洋建設(株) 技術研究所 担当部長 西畑 剛  
共同研究グループ (国研) 宇宙航空研究開発機構

## 研究開発の目的・内容

### 背景

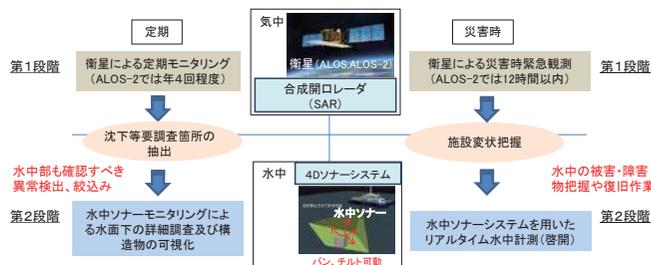
- ◆ 港湾施設の点検は、外観目視により実施される部分が多い。点検は調査者の経験・能力に依存し、水中では潜水士が必要なため多大な労力・費用を要する。
- ◆ 遠隔離島を有し広域に渡る港湾施設の効率的・効果的な定期モニタリング手法が開発されれば、港湾維持管理分野に有用である。
- ◆ 災害直後の施設変状把握は復旧計画に役立つ。

### 研究開発の目的

- ◆ 衛星の広域性とソナー等計測機器の詳細性を合わせた2段階モニタリングによる効率的かつ低廉な港湾施設維持管理のモニタリングシステムの構築

### 研究開発の内容

- ◆ 衛星画像を用いた広域モニタリング技術の開発並びに水中ソナーシステムによる計測技術の開発



## 現状の成果①

### 1. 災害時の施設変状把握

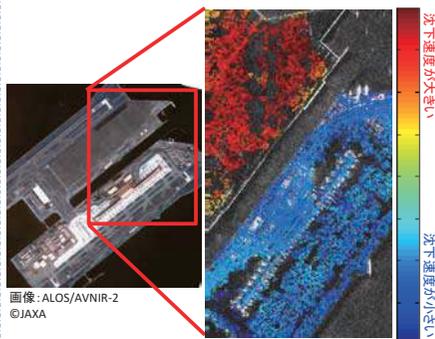
ALOS-2による平成28年熊本地震において、発災前後のデータを使用した計測で、被災速報図を試作。  
港湾管理者が被災地の被害度合いの識別を広域的/視覚的に把握可能となる。



精度検証や現在判定できていない領域への対応、判定精度の改善を今後続ける予定

### 2. 定期モニタリング

ALOS-2など衛星SARの解析結果が、空港公表の人手による現地測量とほぼ同等の精度であることを確認。  
従来と異なり衛星SARでは広範囲かつ面的に沈下傾向を把握することが可能。

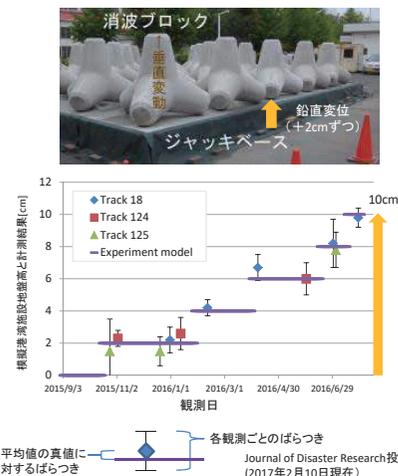


今後も精度検証や経年の沈下傾向の把握を続ける予定

## 現状の成果②

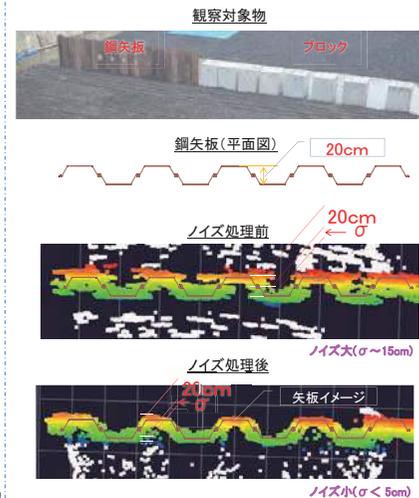
### 3. 人工構造物(消波ブロック)の変動観測

人工的に鉛直変動を与えた消波ブロックの変動を衛星から観測し、解析精度を検証  
各観測ごとのばらつき1.0 cm (1σ)、平均値の真値に対するばらつき0.4 cm(1σ)を確認



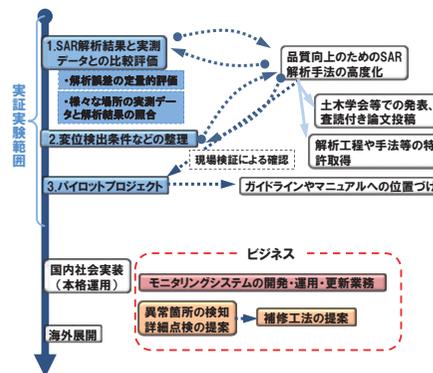
### 4. 水中ソナーによる計測

水中ソナーで港湾構造物(鋼矢板、ブロック)を計測、ノイズ処理により計測精度が向上



## 最終目標

### 本技術の社会実装イメージ



### 計測機器・手法と達成目標

	衛星	水中ソナー
活用場面	1. 災害時の港湾施設変状把握 2. 定期的な港湾施設の点検	1. 災害時の障害物把握(啓閉)、港湾の健全性評価 2. 変状が大きい施設水中部のモニタリング、維持管理
適用条件	1. 日本国内は12時間以内に災害時緊急観測 2. 差分干渉解析では2シーン以上でcmオーダーの変状把握 3. 時系列干渉解析では15シーン以上でmmオーダーの変状把握(およそ4回/年の取得率) ・計測範囲 1シーン50km四方 ・水平分解能 3m	1. 観測・初期設定に3日程度、計測はリアルタイム 2. 計測対象によってはcmオーダーの変状把握 ・計測範囲50° × 50° (分解能0.4°) ・最大測深レンジ150m以下 ・有義波高2m以下
費用	・衛星画像取得代 ・解析ソフト代、解析人件費	・水中ソナー等機械使用料(リース代) ・船舶費用、計測人件費 ・解析人件費

- ◆ 事業実施期間内(平成30年度まで)に災害時の施設変状把握と定期モニタリングについて、手法の手順化とマニュアル作成の実施。
- ◆ 研究開発成果の特許化や論文発表による公知化。
- ◆ 実証された技術の国内や海外展開。



# 15 地上設置型合成開口レーダおよび アレイ型イメージングレーダを用いたモニタリング



研究責任者 東北大学 東北アジア研究センター 教授 佐藤源之  
共同研究グループ 東北大学、(国研)情報通信研究機構

## 研究開発の目的・内容

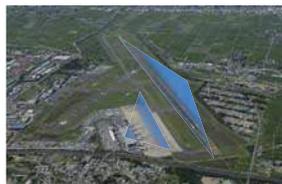
### 研究開発の目的

- 空港滑走路、誘導路、駐機場などの舗装体の異常を迅速かつ高精度に検知する。
- 広域を瞬時に計測するGB-SAR(地上設置型合成開口レーダ)と舗装体内部を精密に計測するGPR(地中レーダ)を組み合わせた革新技術

### 研究開発の内容

#### ◆ GB-SARIによる広域・高速異状箇所検知

- 数分間隔での計測
- 数百m程度の範囲を一度に計測
- 舗装表面の状態把握



#### ◆ アレイ型GPRによる精査

- 深度1mまで舗装体内計測
- 分解能:2cm
- 2cm以下の層内状態把握



従来の打音検査に置き換わる新しい電波技術の導入

## 現状の成果①

GB-SARによる広域計測

#### ◆ 羽田空港における実証試験

- 庁舎屋上にGB-SAR装置を設置し、滑走路や誘導路を連続観測
- 数分間隔の計測(最短1分間隔)と干渉処理による微小変位(最高分解能0.2mm)の検知
- 17GHz(Kuバンド)周波数利用
- 天候、昼夜を問わない24時間自動運用
- 規定以上の路面変異が認められた場合、自動的に早期警戒警報を発信



羽田空港に設置したGB-SAR装置

#### ◆ GB-SARによって計測可能な現象

- ブリスタリングによる舗装体の損傷に誘導される舗装面変位
- 航空機加重による舗装表面の轍の形状ならびに変形の様子
- 滑走路、誘導路上の異物

#### ◆ GB-SAR導入による技術的優位性

- 全自動計測
- 1時間毎の舗装面表面の変位を自動解析
- 設定した変位速度(例えば1mm毎時)が検知された場合に自動通知
- 常時モニタリングが可能
- 常時モニタリング、自動警報通報は宮城県荒砥沢地滑り計測で5年間の実証済
- 打音検査による従来手法での常時モニタリングは不可能



羽田空港で計測された路面表面の干渉SAR画像

## 現状の成果②

GPRによる精密計測

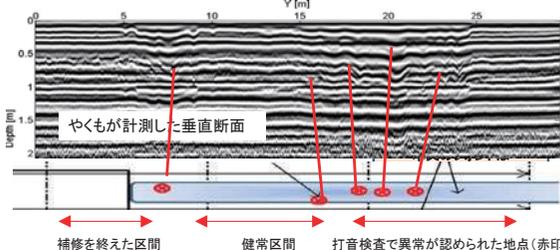
#### ◆ 羽田空港A滑走路誘導路における実証

- 8Ch送受信可能なマルチスタティック型GPR「やくも」を利用し64Chデータの同時取得
- 10%程度の水分率変化をCMP計測によってリアルタイム計測
- 補修箇所、健全箇所、打音検査による異常検知箇所を明確に識別できることを実証
- 打音検査で異常のある箇所では深度20~50cm程度にGPRによる変異が認められる



車両搭載型GPRによる定期点検

時速4km程度で2m常時モニタリング  
車載型GPRを使用し、滑走路、誘導路、駐機場などのすべての範囲を常時巡回モニタリング  
計測幅2m、時速25kmで計測:(3500m滑走路を一晚で5時間作業で60幅計測)



羽田空港における実証試験

計測対象位置までの移動(15分)  
計測準備(20分)

#### 計測(3分)(強雨条件下)

時速4km程度で2m幅のデータ取得  
異常区域は幅2m、長さ20mを想定  
解析(5分)

計測費用 設備費を除き人件費(運転1名、解析1名各4時間)、車両運行費  
【参考】巡回点検作業(目視、打音点検)の例  
作業員:8名  
作業時間:23:30~03:00(3時間30分)  
作業範囲:延長2,620m×幅80m

## 最終目標

#### ◆ 最終目標

##### ★ GB-SARとアレイ型GPRの総合運用システムの計測時間と計測精度

- GB-SARによる広域計測(常時モニタリング)  
400m四方以上 計測時間 3分、計測精度 変位1mm
- アレイ型GPRによる精密計測(GB-SARによる異常検知箇所または常時)  
計測精度 0.5cm、深度 50cm

##### ★ 耐用年数

- GB-SAR装置 20年
- アレイ型GPR装置 20年



1度のGB-SAR計測による対象範囲

#### 想定する利用形態

##### ◆ 日常的な運用

- GB-SARによる定期的な変位計測を行う(モニタリング)
- 許容範囲を超える地表面の変位、表面状態の変化を検知したら、自動的に警告を発する
- 空港管理者への自動通報
- GB-SARによって異状が検知された地点を担当者がGPRで直ちに計測を行う
- 車載型GPRによる計測は常態的に行うことも考えられる

##### ◆ 定期点検

- 担当者がアレイ型GPR(車載型を含む)により、計画された範囲を定期的に計測



羽田空港全域のモニタリングに必要なGB-SAR装置の配置図



# 16 高解像度画像からのクラック自動抽出技術による 空港の舗装巡回点検用モニタリングシステムの研究開発



研究責任者 (株)アルファ・プロダクト 原徹  
共同研究グループ (株)アルファ・プロダクト、大阪工業大学

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- 作業員の巡回目視による空港滑走路の点検を補完するために、滑走路表面のクラックについて、その長さや幅を精度よく簡易に記録し、得られたクラックデータを容易に既存滑走路平面図に転記できるシステムの開発。

### 研究開発の内容

- <クラック自動抽出>** 2台のデジタルビデオカメラで撮影した画像を、専用ソフトで自動処理し、クラックを0.5mm単位の幅別に色分け表示すると同時に、幅別の長さが集計される。
- <CADデータ変換、転記>** 得られたクラックデータをDXF形式に変換後、撮影開始時に測定したGPS座標と方位に基づいて既存CAD空港平面図に正確に転記することができる。
- <撮影機材>**
  - 2名による手押し撮影で、レーザーポインターを併用して直線性を確保、5時間で約12m×3000mの範囲の撮影が可能。牽引車による使用も可能。
  - 撮影機材は管理車両1台の荷台に積載できる組み立て式で、組立は2名で約30分、分解約15分。
  - 撮影装置の電源はすべて充電式バッテリーで、想定稼働時間は気温0度で約4時間。
  - ドップラー式レーザー距離計による正確な移動距離測定。

## 現状の成果①

開発システムの測定状況

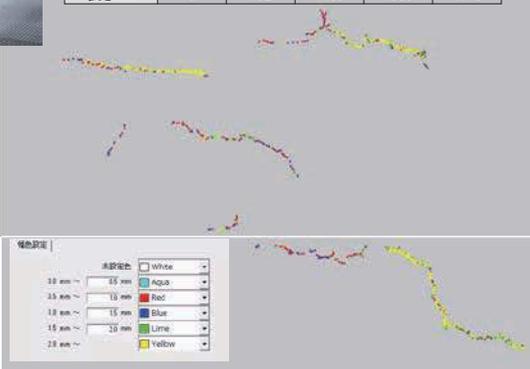


※ 画像とクラックの同時表示の例。  
画像は別途接合して保存され、随時閲覧可能。

### <自動抽出したクラックNo.10>

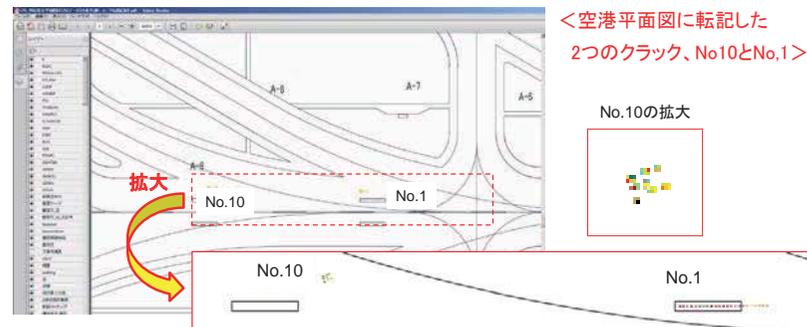
クラックNo.10とその色別表示、および長さ集計結果。

クラック幅	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-
長さmm	0	702	1169	1039	4746



## 現状の成果②

空港既存 CAD 平面図への転記図およびクラック経時変化の確認



<空港平面図に転記した  
2つのクラック、No.10とNo.1>

No.10の拡大

### <クラック経時変化の確認(トンネルセグメント破壊試験でのデータ)>



※ トンネルセグメント加圧破壊試験での経過時間(分単位)別データ。

①→③と時間経過によるクラックの成長が確認できる。

### <リアルタイムでの画像表示>

大型モニター2台にリアルタイムで画像表示が可能。

## 最終目標

### ■ 知財、登録等

クラック自動抽出技術はNETIS KT-130046-Vとして登録済。  
FOCUS-αは商標登録済。

### ■ 3案のビジネスモデルを検討中

- 解析ソフトを含めたシステム全体の販売。  
想定価格：約2,000-2,500万円
- 撮影装置のみの販売。データ解析は当社。  
現状の解析想定価格：約¥5,600/100m<sup>2</sup> ※
- 抽出精度を固定した自動抽出ソフトと画像接合ソフト、  
及びCADデータ変換ソフトの販売もしくはリース。  
想定価格：約200-300万円

※ 画像接合(100m単位)とクラック抽出。CADデータ変換は別途。  
2017年1月現在。

撮影装置の仕様

項目	ビデオカメラ連続撮影方式
撮影方法	連続走行
時間当たり撮影範囲	10.220m <sup>2</sup> /h
検出精度	0.35mm
撮影画像	880万画素
撮影機材	4Kデジタルビデオカメラ
レンズ焦点距離	37mm
撮影カメラ台数	2台
照明	LED常時点灯
電源	充電(内部・外部)バッテリー
撮影装置	アルミ製手押し台車
補助撮影機材	レーザー距離計/赤色レーザー
作業	時速5km/h 連続撮影
撮影準備作業	レーザー設置
機材運搬車両	1台(荷室のみ)
クラック自動抽出	連続自動抽出
クラック幅毎の色分け	あり
撮影方向画像接合	自動接合
隣接カメラの画像接合	自動接合
クラックのCADデータ変換	専用ソフト使用

データ処理の仕様

項目	画像からのクラック自動抽出
抽出精度	滑走路用0.35mm(最大0.1mm)
画像1枚当たりの処理速度	約4秒
処理ステップ	5
処理ステップでの調整	有り(設定後は自動処理)
適用パソコン使用	Core-i7,3GHz以上、RAM32GB以上



# 17 3次元カメラと全方位型ロボットによる滑走路のクラック検知システムの研究開発

研究責任者 エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジ(株) ネットワークサービスイノベーションビジネスユニット 木村康郎



## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

滑走路に発生するクラックは、舗装面の劣化を加速させアスファルトの表面剥離を発生させる原因の一つであり、大規模な表面剥離は、航空機の運航に支障をきたすため、早期に発見、補修を行う必要がある。また、滑走路の点検は夜間の限られた時間で実施されるため、短時間で確実に舗装面の変状を検知する必要がある。現状の点検業務は、定期的な巡回による目視点検が中心であり、巡回点検の効率化、高度化が求められている状況である。

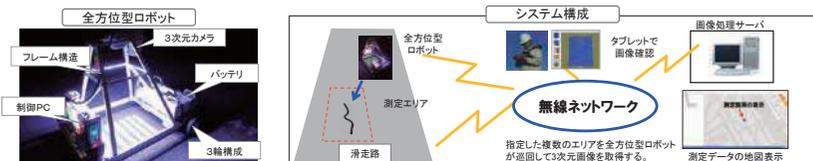


国土省航空局「アスファルト歩道の変状と空港舗装点検技術の現状」より

本研究開発は、3次元カメラと全方位型ロボットを活用し、滑走路の巡回点検における目視点検を代替する点検システムを開発し、巡回点検の高度化、効率化を実現するものである。

### 研究開発の内容

「3次元カメラと全方位型ロボットによる滑走路のクラック検知システム」は、3次元カメラを搭載した全方位型ロボットが、指定したエリアの舗装面の3次元画像を自動で取得し、画像解析することでクラックを抽出するものである。



## 現状の成果①

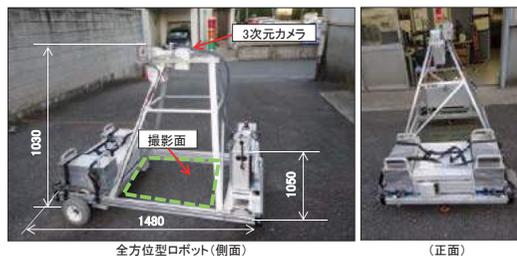
3次元カメラ搭載全方位型ロボット

### 全方位型ロボット

低重心、3輪構造、スプリングダンパーの採用により、路面の凹凸の影響を吸収し、移動・停止時の振動を抑制する機能を向上させ3次元カメラ搭載ロボットを開発し、指定したエリアの3次元画像を自動で取得し、解析サーバに送信する機能を実現した。

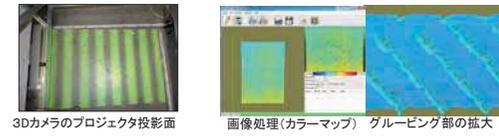
現状は3次元カメラの撮影毎にロボットを停止させる必要があり、撮影に時間を要しているが、無人での滑走路の点検を実現できる可能性を示すことができた。

### 全方位型ロボットの外観



### 諸元・機能

項目	内容
構造	駆動軸2輪、補助軸1輪の3輪校正
外箱寸法	幅：1050mm 長さ：1480mm 高さ：1030mm
重量	総重量：83kg (本体：60kg バッテリ：11.5kg×2台)
搭載カメラ	セイコーエプソン社製3次元カメラ
移動制御	駆動車輪の回転制御による移動制御方式
制御PC	マイクロPC2台構成 (ロボット制御用 / カメラ制御用)
位置精度	GPS：位置精度±1m
移動制御機能	移動制御機能 ・SLAM (周辺環境による自己位置推定技術) ・ジャイロ (ロボットの姿勢検出) ・オドメトリ (モータ回転数検出)
電源	リチウムイオン電池 (24Ah×2台構成) ・充電可能 ・連続動作時間：2時間以上 (動作内容により変わります。)
カメラ制御	3次元カメラの撮影制御 (ロボットの移動、停止に合わせて撮影) ・データ収集、保存
振動抑制	補助軸のスプリングダンパー ・駆動軸・フレキシブル ・カメラ取付位置を重心上部に設置 ・カメラマウントのフレーム構成 ・カメラマウント部の制御ゴム



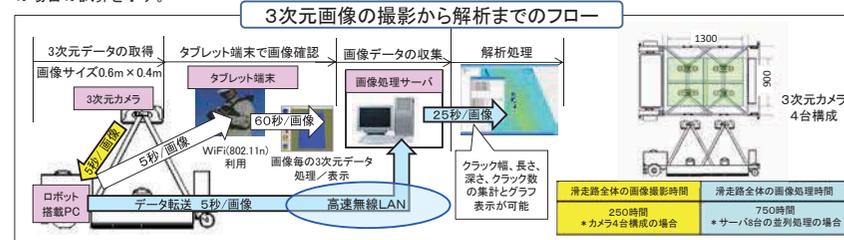
## 現状の成果②

データ処理時間の短縮化、データ表示機能

### 画像収集から解析処理までの時間の短縮化

3次元画像データはデータ量が多く、撮影、データ転送、データ解析において時間を要していた。H27年度時点での処理時間は、70cm×50cmの1画像(約70MB)の撮影、データ転送、解析処理に6分程度を要していたが、データ処理方法の見直しにより約30秒で処理できるようになった。

しかし、滑走路全体の撮影には1000時間程度を要するため、複数台のカメラによる処理が必要になる。カメラ4台構成の場合の試算を示す。



### 測定データの地図表示

測定した3次元画像データ、及び、クラックの解析結果を地図を活用して管理、表示する。主な機能を以下に示す。

- (1) 測定データの格納・表示(ツリービュー表示)
- (2) 測定箇所のバルーン表示
- (3) 測定データ詳細表示
- (4) 測定結果のグラフ表示

また、滑走路上でクラックの位置特定において、地図表示機能を活用することで、クラック位置確認が容易となり現場作業の効率化につながる。

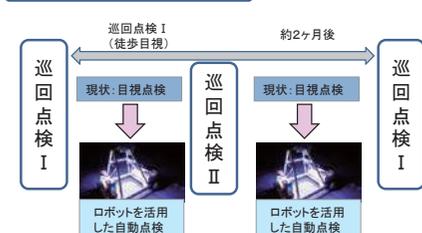


## 最終目標

### 達成目標と達成度

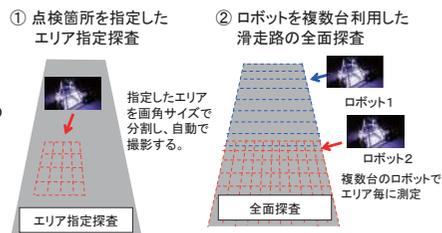
項目	達成内容
アスファルト舗装の3次元画像取得	・滑走路全体(幅60m×長さ3,000m)の撮影時間として、カメラ4台構成の場合、約250時間である。 ・画像処理に要する時間は、サーバ8台構成で約750時間である。
クラック抽出機能の開発	・幅1mm以上の線状のひび割れ → 自動抽出対応済み。 ・亀甲状クラック → 手動による抽出機能の改良が必要である。
モニタリングデータの可視化	・地図表示機構、グラフ表示機能

### 滑走路の巡回点検の支援



・目視点検をロボットの3次元画像撮影に置き換えることで巡回点検の高度化、効率化を目指す。

### 巡回点検方法(イメージ)



### 本技術の社会実装のイメージ

- ① 滑走路の巡回点検業務への適用
  - ・巡回点検 I、IIにおける目視点検の代替、及び、補完技術として活用する。
- ② 滑走路クラック検知システムの販売、及び、レンタル
  - ・滑走路の3次元画像収集ロボット、及び、計測システムの販売、及び、レンタル。
- ③ 現場への普及に向けた技術支援
  - ・ロボット、及び、解析システムの操作に関する技術支援を展開。
- ④ 計測業務の受託
  - ・計測業務の受託サービスを展開。

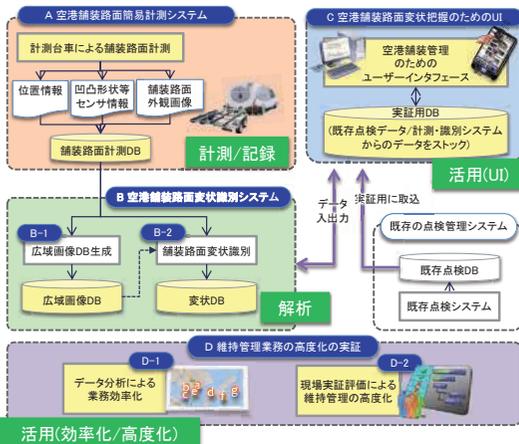
# 18 空港管理車両を活用した簡易舗装路面点検システムの研究開発

研究責任者 東京大学大学院 情報学環 石川雄章

共同研究グループ 東京大学、パシフィックコンサルタンツ(株)、(株)ソーシャル・キャピタル・デザイン



## 研究開発の目的・内容



### 研究開発の目的

- ▶ 空港管理者が行う舗装巡回点検において、舗装のひびわれ等の損傷を、**容易に計測、記録、可視化**を実現する。
- ▶ 継続的なモニタリングを行うことにより**変状の傾向を把握し、効率的な維持管理**に活用する。

### 研究開発の内容

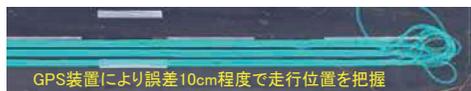
簡易舗装点検システムは、以下の項目により構成される。

- ▶ **A: 路面状態の簡易な計測・記録**
- ▶ **B: 計測データによる変状の識別**
- ▶ **C: 点検データ等の可視化による現場支援**
- ▶ **D: データ分析による業務の高度化、効率化を実現。**

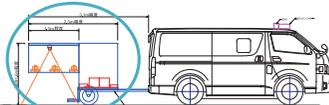
## 現状の成果①

### A 空港舗装路面簡易計測システムの開発

- ◆ **技術的な課題**
  - ▶ 空港管理者自らが操作できる容易な操作性
  - ▶ 短い点検時間で精細な大量のデータ取得を可能とする計測
- ◆ **システムの現状**
  - ▶ 光学カメラ、赤外線センサー、GPS装置等を搭載した計測台車を開発し、空港管理者所有の車両に取付け巡回点検で使用
  - ▶ 走行速度30km/hでの撮影、データ取得・蓄積が可能
- ◆ **最終目標**
  - ▶ 路面ひびわれ幅1mm、凹凸形状は上下5mm以内、水平面分解能3cmの計測精度

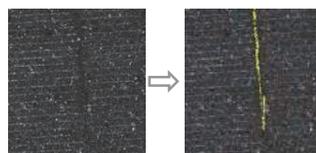


空港舗装路面簡易計測システム



### B 空港舗装路面変状識別システムの開発

- ◆ **技術的な課題**
  - ▶ 滑走路全体を網羅する広域画像の生成
  - ▶ 高精度の路面変状の識別
- ◆ **システムの現状**
  - ▶ 撮影動画のフレーム画像を合成し、滑走路全体を網羅する広域画像を生成可能
  - ▶ 合成画像に対し、幅1mm以上の線状ひび割れと亀甲状クラックを検出し、検出位置と共にDBに登録
  - ▶ 赤外線センサーの凹凸情報から深さ1cmの変状を検出し記録



グルーピングを除外して変状を識別

## 現状の成果②

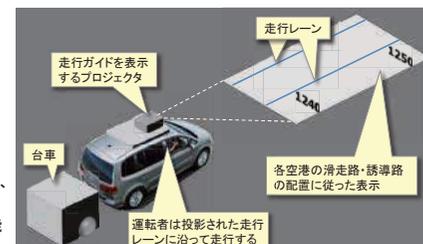
### C 空港舗装路面変状把握のためのUIの開発

- ◆ **現場の課題**
  - ▶ 複数回の現場実証による変状データ蓄積と経時変化把握
  - ▶ 既往データとの関連付けの実現
- ◆ **システムの現状**
  - ▶ 評価レベル分布、広域俯瞰写真、変状重量表示、変状リスト等の機能により、変状と過去の状態を可視化する機能を実現
  - ▶ 管理者の事務所のPC、現場のタブレット端末等で同様の情報を参照可能



### D 維持管理業務の高度化の実証

- ◆ **データ分析による業務効率化**
  - ▶ システムにより得られたデータを用いて、日常的な舗装の変状把握だけでなく、変状傾向や規則性を抽出するためのデータ分析を実施
- ◆ **実証評価を踏まえた維持管理業務の高度化**
  - ▶ 現場でのニーズを把握することにより、各種システムの有効性を検証
  - ▶ 現在の巡回点検とシステムの導入による手順について、実証試験を通じて検証し、効率化を実現
  - ▶ 測定時の走行精度を向上させるため、ガイドアプリ機能の開発により現場業務の高度化を実現



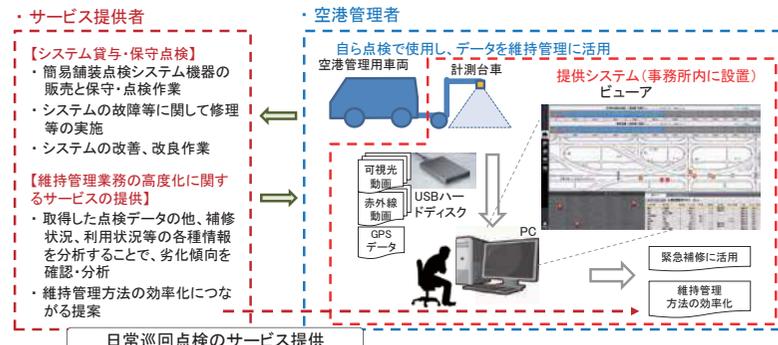
## 最終目標

### 達成目標

実施項目	達成目標
A: 簡易計測システム	幅ひび割れ1mm以上の検出、水平5mmの画像分解能、深さ1cmの変状分解能
B: 変状識別システム	滑走路の連続画像化、位置に対応した高速度画像表示、線状/亀甲状クラックの識別、損傷種別・ランク・サイズの記録
C: UIの開発	滑走路全体での変状の分布傾向、損傷ランクの推移傾向、損傷単位の変化を把握できるユーザーインターフェースの作成
D: 維持管理の高度化	変状DB等による空間分布や経年変化等の傾向分析。巡回点検等における効率化された業務手順の確立

### 想定するサービス提供の仕組み

- ◆ **日常の巡回点検として使用する場合**
  - ▶ 簡易舗装点検システムを販売(保守含む)し、管理者が自ら点検業務に活用。あわせて取得データをもとに業務の高度化サービスを提供。
- ◆ **定期点検として使用する場合**
  - ▶ 定期的な点検として、サービス提供者が舗装路面性状調査(ひび割れに関する事項)を実施し、データ解析、評価、分析までを実施し結果を提供





# 19 衛星 SAR による地盤および構造物の変状を広くかつ早期に検知する変位モニタリング手法の開発

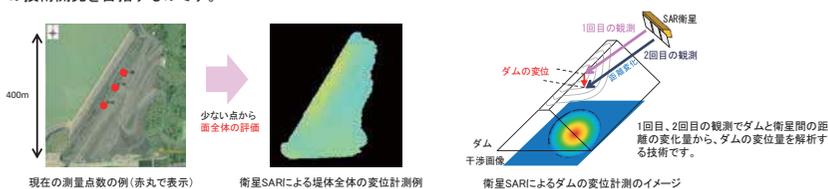
研究責任者 国土技術政策総合研究所 金銅将史



## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

地上のセンサが不要で広域な領域を撮影する衛星SARデータを活用することにより、衛星SARデータに含まれる複数の構造物の変位モニタリングを行い、災害時の早期被害把握や平常時のより詳細で効率的な構造物の変位モニタリングの技術開発を目指すものです。



### 研究開発の内容

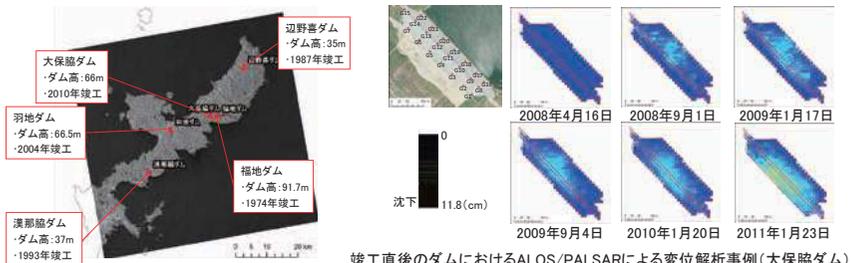
衛星SARによる変位モニタリング技術を中核技術として、以下の技術開発を進めています。

- ① ロックフィルダムへの実用化に向けた技術開発
- ② コンクリートダムや他の構造物への適用性の検討
- ③ 衛星SARと測量やGPS等を組み合わせた信頼性の高いモニタリング技術開発

## 現状の成果①

### (1)だいち1号のデータによる1シーン内(複数)のロックフィルダムでの試行

対象ダム:ロックフィルダム5基  
使用したデータ:「だいち」(H18~H23)のALOS/PALSAR(空間解像度10m、波長23.6cm(Lバンド))



SARと現状の計測方法による差		
	現状の計測方法	平均誤差(RMSE)単位mm
大保監ダム	GPS	6.0
羽地ダム	測量・GPS	4.4
福地ダム	測量・GPS	4.3
漢那監ダム	測量	5.5
辺野喜ダム	測量	6.7

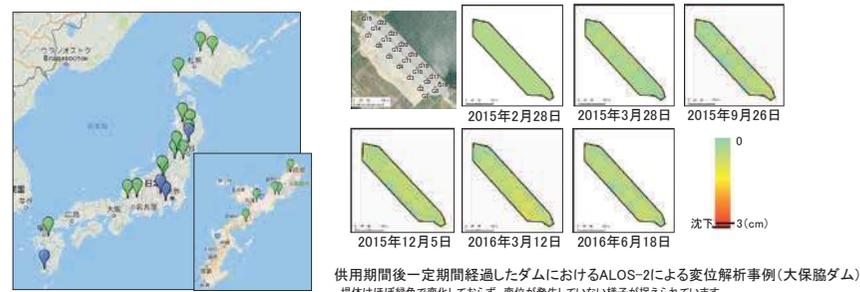


佐藤ら: ALOS/PALSARデータを用いた時系列干渉SAR解析による5基のロックフィルダムの外部変形計測、土木学会論文集、F3、Vol.73、2017年1月。

## 現状の成果②

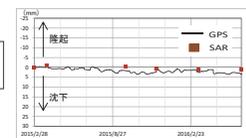
### (2)だいち2号のデータによる全国のロックフィルダムでの試行

対象ダム:ロックフィルダム19基  
使用したデータ:「だいち2号」ALOS-2(H26~)、(空間解像度3m、波長23.6cm(Lバンド))



全国的な展開を想定し、堤体の構造や向きなどが異なる多数のダムに試行を拡大

コンクリートダムについても試行検討中です。



衛星SARによるダムの変位計測結果は、測量やGPSと比較して約2mmの平均誤差と、高い精度の結果が得られました。

ロックフィルダムへの実用化に向けた取り組みを継続中です。

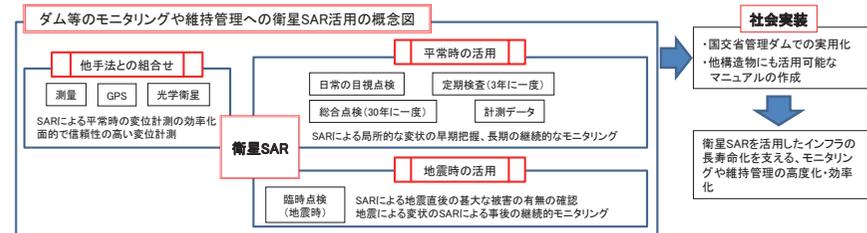
## 最終目標

### 【最終目標達成のための現在の進捗状況】

- ① 衛星SARを用いたロックフィルダムの変位計測の実用化に向けて
  - ・平常時の変位を精度良く計測する技術
  - ・地震時の変位を広域・迅速に計測する技術
  - …マニュアルの作成を予定
- ② コンクリートダムや他の構造物への適用性の検討
  - ・複数のコンクリートダムを対象に試行計測を実施中
- ③ 衛星SARと測量やGPS等を組み合わせた信頼性の高いモニタリング技術の開発
  - ・測量やGPSの計測が実施されていない箇所を衛星SARにより精度良く変位を計測する技術の開発(実施中)
  - ・衛星SARを主として、他手法(測量、GPS等)を組み合わせた信頼性の高いモニタリング技術の開発(実施中)

### 【最終目標】

- ・衛星SARと他手法を組合せることにより、効率的で効果的な変位モニタリングを実現
- ・現在の点検・検査に活用することにより、ダム等のインフラの長寿命化を支えるモニタリングに寄与





# 20 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)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



### 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

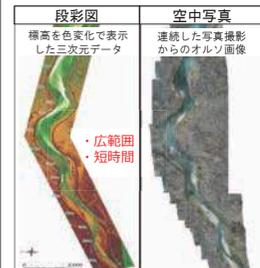


## 現状の成果①

(平成26~27年度に実施)

### 1. 広範囲を三次元で計測

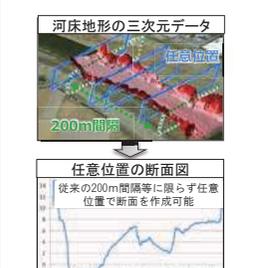
ALB (航空レーザ測深機) 計測により、河床地形の三次元データを取得。同時に空中写真も撮影。



- 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

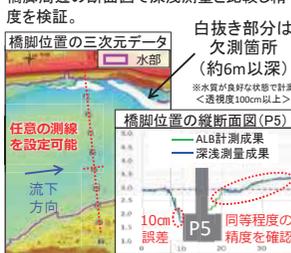
従来は200m間隔等で把握していた河床地形を、三次元データで取得することで、任意位置の断面図を作成。



- 一度の計測で任意の位置の断面図を把握可能
- 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



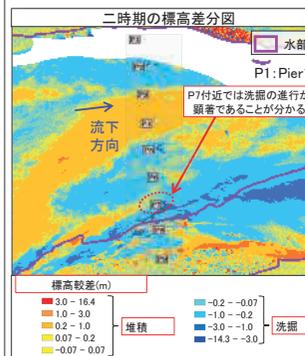
広範囲の河床地形を効率的に計測し橋脚の洗掘状況を高精度で把握可能  
効率的、効果的な施設管理に貢献

## 現状の成果②

(平成26~27年度に実施)

### 4. 二時期の変動量を算出

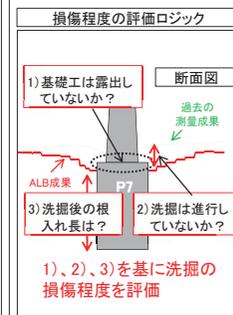
二時期のデータから標高の差分を算出することにより、面的な河床変動量を可視化。橋脚周辺の河床変動量で洗掘を把握。



- 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

## 最終目標

### 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

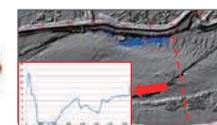
対象ユーザーに対し、ALB計測技術の提案活動を実施

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



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

# 21 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 大阪市立大学 川合忠雄  
共同研究グループ IMV (株)

## 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

### 従来の洗濯検査方法



・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濯評価方法



・増水、濁流時での計測が可能  
・必要なときにすぐに洗濯評価が可能

## 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(洗濯)を把握可能な手法を実現



★ 出典:河床洗濯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

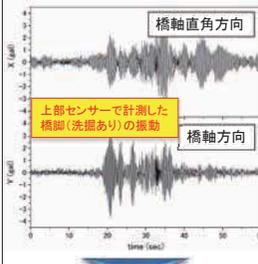
低水敷【洗濯なし】および河道内【洗濯あり】の橋脚において、上部と下部にセンサを設置し、無線ゲートウェイを介して、インターネット上で振動を計測できるシステムを構築。



・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

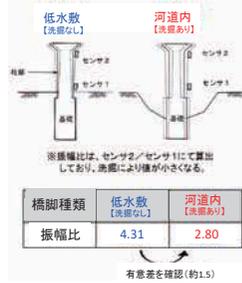
インフラ用に開発したセンサにより、数Hzと非常に低い橋脚に生じる振動を、低いノイズレベルで測定可能。



・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【洗濯なし】および河道内【洗濯あり】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。



・振幅比の変化から洗濯有無を評価可能。

### 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【洗濯あり】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、実際の洗濯状態を確認。



・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。



・洗濯状態(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。

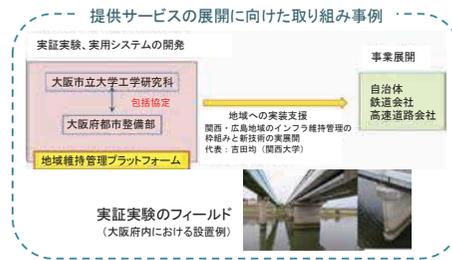
### 提供サービスの概要

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

### システム構築例(管理橋脚数:20の場合)

初期費用 80×20 = 1,600万円  
管理費用 2×20+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





# 22 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) 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)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

- ・人的な定期点検(労務が過剰)
- ・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

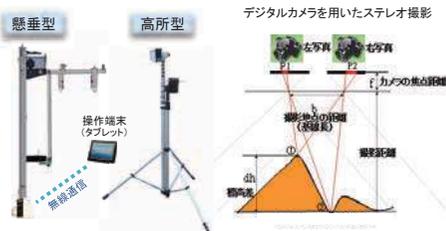
### ロボットカメラ等機器を用いた定期監視型モニタリング

- ・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、位置情報運動の補完機能や雲台付きボ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・レーザー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



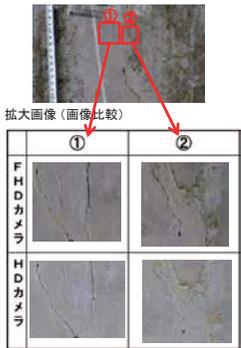
## 現状の成果①

(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



- ・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、データ運動機能を搭載。

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可能

### 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う技術の有効性を確認。



(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。



- ・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

## 現状の成果②

(平成26~30年度に実施)

### 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

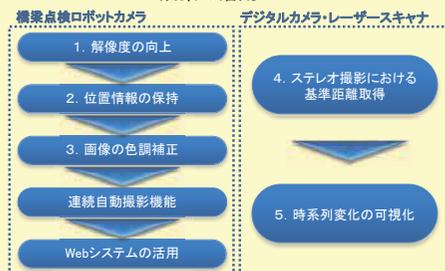
### 5. 時系列変化の可視化

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。



- ・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



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

## 最終目標

### 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

### 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

### 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シビルテクノより販出しており、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。

### 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

損傷の兆候や変化の発見に役立つモニタリングが可能

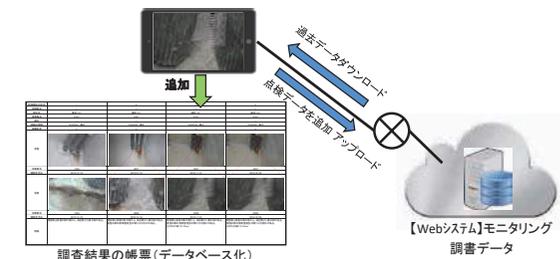
⇒使用性に優れ、データ抽出精度の高い定期監視型モニタリングシステムを実現



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

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。



# 23 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) 堀口賢一



## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

・道路橋床版の劣化の程度を、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



・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、狭隙部の点検が困難

### 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、狭隙部の点検を効率化

### 研究開発の内容 (平成26～平成30年度)

- ・UAVやボ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
- ・撮影場所ですぐ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

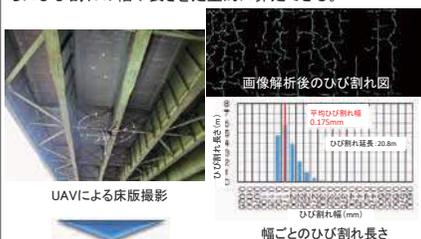


## 現状の成果①

(平成26～28年度に実施)

### 1. 遠方部・狭隙部の撮影技術

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やボ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成でき、さらにひび割れの幅や長さを定量的に算定できる。



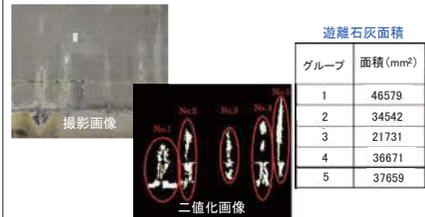
- ・遠方部や狭隙部の橋梁床版を高精細な画質で撮影可能
- ・デジタル画像からひび割れ図を簡単、正確に作成可能
- ・ひび割れ幅と長さ、ひび割れ密度の正確な算定可能
- ・点検員による誤差を排除し、点検の安全性も飛躍的に向上

**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

### 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。



- ・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

- ・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



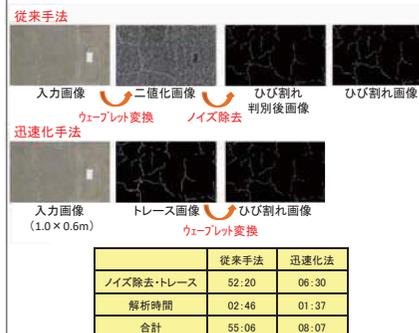
都市道路(店舗)

## 現状の成果②

(平成26～28年度に実施)

### 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、撮影場所ですぐ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、結果を屋外ですぐに表示できる。



- ・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・狭隙部の効率的な撮影
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

橋梁床版の損傷度の定量的な評価を実現

## 最終目標

### 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事業 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事業

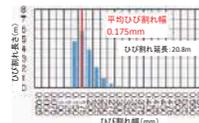
点検データを集約した維持管理データ管理代行事業

### 提供サービスの概要

道路橋床版の点検を効率化し、損傷の程度を定量的に評価できるデータを提供。



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	

橋梁床版の損傷度を正確に把握

従来は難しかった橋梁床版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

# 24 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) 西田秀志  
共同研究グループ 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

- ・人手不足
- ・アクセス困難
- ・異常時の優先順位付け
- ・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

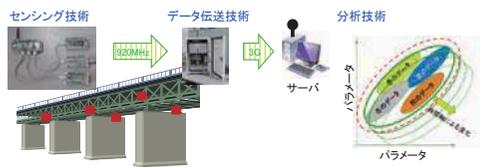
※出所：国土交通省 近畿地方整備局 ホームページより

### センシングによる遠隔モニタリング



### 研究開発の内容 (平成26~30年度)

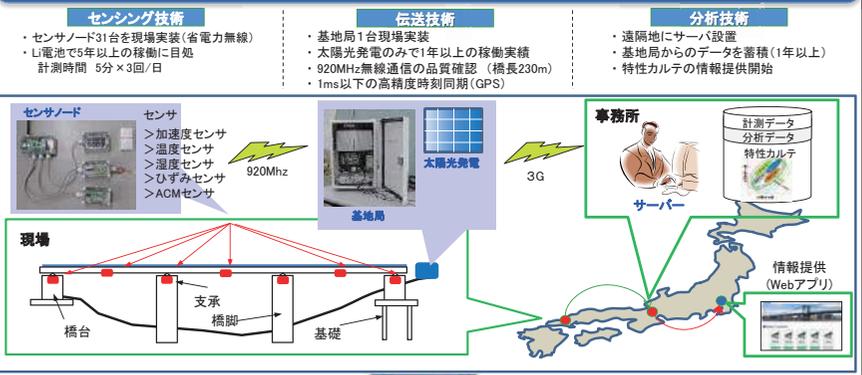
- ・省電力、屋外環境対応のセンシング技術  
→ 長期信頼性確保(電池駆動で寿命5年以上)
- ・データ伝送技術(無線)  
→ 設置性の良さや遠隔での効率的なモニタリング
- ・データ分析技術  
→ 多様な劣化損傷の指標化(特性カルテ)



## 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



- ・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



## 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

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 車高重量の算出(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

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。

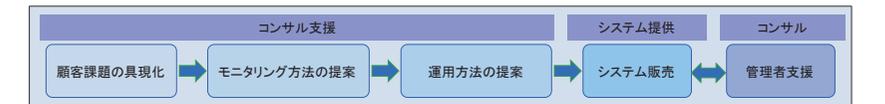
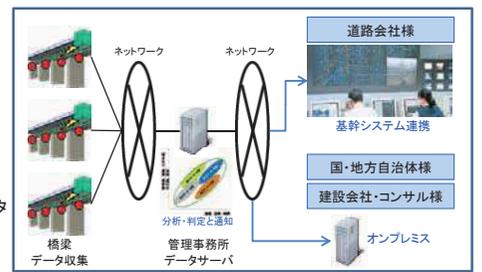
(軌跡の中心移動量、大きさ、形状)

ダメージ発生時刻、場所、レベルを検出



## 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**  
オムロンソーシャ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
- 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
  - ・点検期間中の状態監視
- 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

# 25 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) 村田 稔  
共同研究グループ (株)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



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)

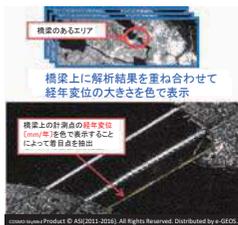


## 現状の成果①

(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

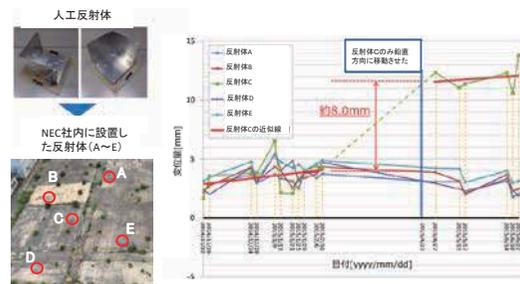


広範囲・高密度なモニタリング

- ・ 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、本手法の精度検証を実施  
・ 反射体Cの移動量(約8.0mm)の算出結果より、本手法の精度は0.5~1.0mm程度



・ 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)

## 現状の成果②

(平成26~27年度に実施)

### 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

## 最終目標

### 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



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



# 26 傾斜センサー付き打込み式水位計による表層崩壊の予測・検知方法の実証試験

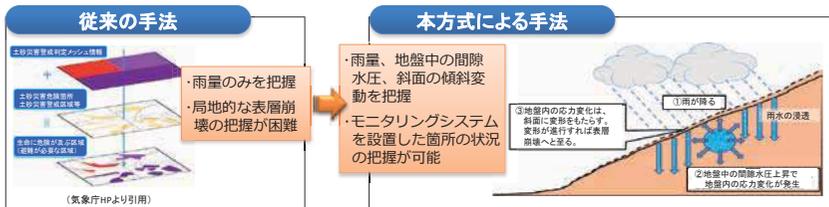
研究責任者 応用地質(株) 荘司泰敬



## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

・表層崩壊の予兆に関わる情報を国機関、自治体、住民等に伝達するモニタリングシステムを開発



### 研究開発の内容 (平成26~28年度)

・①雨量、②地盤中の間隙水圧、③斜面の傾斜変化を同時に計測し、観測データや警戒情報を任意の箇所に自動送信するシステムの開発

→適切な設置箇所の選定、モニタリングシステムの設計、設置、データ収集、情報発信までをパッケージ化したサービス提供を実現



## 現状の成果①

(平成26~28年度に実施)

### 1. 適切な設置箇所選定

国立研究開発法人 土佐研究所が開発した土層強度検査棒を使って、表層厚や地盤の土質性状を調べたのちに、設置箇所の選定を行い、そこにモニタリングシステムを設置する。



・地形・地質的に適切な観測箇所に設置することを実現

### 2. パッケージ化されたシステム

・①雨量計、②間隙水圧計、③傾斜計の3種類のセンサーと通信装置、電源からモニタリングシステムが構成されている。

・平成27年10月より、国道沿いの斜面に本システムを設置して実証試験中である。

・平成28年12月末時点でデータの取得は順調で推移し、表層崩壊を示す状況は発生していないことを確認した。



・雨量、間隙水圧、傾斜のそれぞれの状況の同時計測を実現  
・太陽電池との組み合わせで、外部電源を必要としない安定してモニタリングが可能なシステムを実現

### 活用例

近年、多発する局地的な豪雨による表層崩壊の状況をつかみ、それをいち早く行政担当者や地域住民に伝える。



→ 早めの退避行動による人的被害の軽減が可能

## 現状の成果②

(平成26~28年度に実施)

### 3. 使いやすいデータ取得、送信、表示機能

・データ取得から行政担当者や地域住民等へデータの送信、あるいは、設定した閾値を超えたときに発する警報メールの配信はすべて自動化されている。



データセンター(イメージ)

・データセンターに送信されたデータに基づき、各種情報をデータセンターからEメールとして発信  
・インターネットを介して携帯キャリアやPCに発信することが可能。  
・最大3段階の閾値を設定して、警報メールを発信することが可能。  
・警報発信先は、最大20アドレスまで設定可能。

\*メッセージ内容は、変更されることがあります。

・モニタリング実施箇所の斜面の状況をわかりやすく伝達するシステムを実現  
・地図データなどと組み合わせることで視覚的にわかりやすい表示をするカスタマイズも可能なシステムを実現

### 成果の活用フロー

1. 適切な設置箇所選定

2. パッケージ化されたシステム

3. 使いやすいデータ取得、送信、表示機能

斜面の状況を早めに把握し、早期の退避行動による人的被害の軽減などの事前防災に資するシステムを実現

## 最終目標

### 最終数値目標

・モニタリングシステムをパッケージ化することで、製品コストの約20%減を実現  
・計測箇所の選定からデータの配信までをワンストップで提供することで、稼働までに要する時間を約30%減を実現

### 対象ユーザー

道路管理者、土砂災害警戒区域等を管轄する行政担当者、地域住民など

### 使用方法・使用場所等

使用場所は道路や住宅地背後等の斜面

### 販売、利益創出等の流れ

地質コンサルタント社に対する業務委託

地形・地質の状況を理解しているコンサルタントが核となって設置計画策定

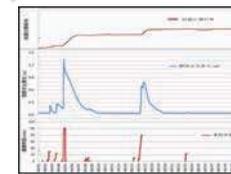
設置箇所の選定から設置、情報配信までのワンストップサービスを提供

### 提供サービスの概要

設置箇所の選定から設置、情報配信までのワンストップサービスの提供



場所の把握(要警戒箇所はどこか)



状況の把握(斜面はどのような状況なのか)

斜面の状況をリアルタイムでわかりやすく伝達することが可能  
→ 早期の退避行動による人的被害の軽減を実現

# 27 多点傾斜変位と土壌水分の常時監視による斜面崩壊早期警報システムの研究開発

研究責任者 中央開発(株) 王 林



## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

斜面崩壊前の予兆現象を効率よくかつ正確に把握するため、安価な傾斜センサーを活用した多点計測システムを開発

### 従来の伸縮計



- ・設置が難しい
- ・高価なため多数の設置は困難
- ・局所的な変状しか測定できない

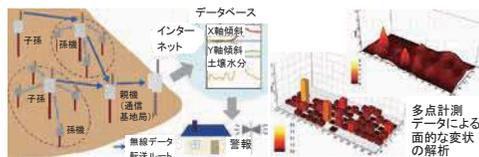
### 傾斜センサーによる多点傾斜変位警報システム

- ・簡単に設置できる
- ・1機あたりの機器費用と施工費用を従来の1/5に削減
- ・面的、空間的に斜面変状を把握



### 研究開発の内容 (平成26~28年度)

- ・より低コストで設置が簡単な傾斜センサー  
→ 多点計測の低コスト化を実現
- ・多点計測により斜面の面的な変状を事前に予測  
→ 安定かつ高精度の斜面崩壊早期警報システムの構築を実現

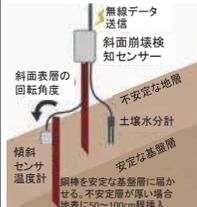


## 現状の成果①

(平成26~28年度に実施)

### 1. 簡易な設置

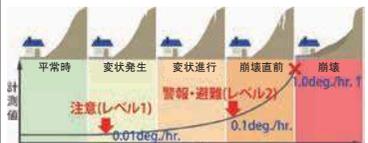
L型アンクルを斜面地盤に打ち込み、センサーモジュールをアンクルに固定することで、支障なく計測できることを確認。



現場作業の効率化を実現

### 2. 斜面危険度の評価手法と管理基準値の確立

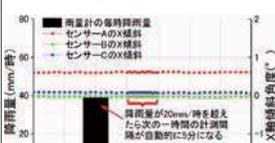
斜面変位により傾動するセンサーの傾斜角θを時系列で計測することによって、斜面の変動状況とその速度を把握し斜面の危険度を評価。また、過去の事例から斜面崩壊のリスク評価手法を整理し、警報基準を傾斜速度0.01度/時⇒注意喚起、0.1度/時⇒警報発令とすることを提案。



傾斜センサーによる斜面危険の評価を実現

### 3. 危険状態に応じた計測間隔の自動調整

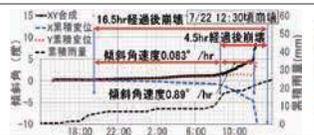
斜面傾斜変位は、降雨強度との関係性が強いので、降雨時の斜面危険性の迅速な判断は、安定性の高い判別には必須条件である。そこで、20mm/時(任意設定)を超える降雨の発生時には、自動的にデータ収集間隔を短縮するシステムを構築。



危険性の判断精度の向上を実現

### 活用例

他現場でも本傾斜センサーが崩壊までの斜面の挙動を捉えられており、その時の傾斜角速度と崩壊までの残余時間が反比例であることも確認できている。



傾斜速度の上昇が崩壊の前兆現象であり、崩壊までの残余時間との関係から早期警報の発令が可能

## 現状の成果②

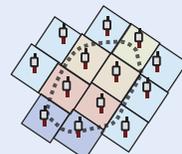
(平成26~28年度に実施)

### 4. 多点計測による安定性のある危険判断システムの構築

1 単一センサー⇒局所の動き、動物の接触や誤作動による誤報が発生しやすい



適切な配置計画(現場条件に応じて配置間隔を調整)に基づいて多点計測を行い、センサーごとのカバー範囲を縮小⇒誤報の防止、システム精度の向上



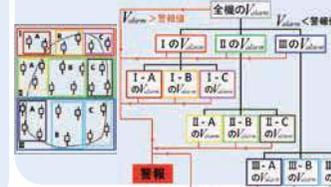
斜面崩壊早期警報システムの高精度化・安定化を実現

2 複数センサーの挙動の判断を用いた警報閾値の考え方:

$$V_{alarm} = \sum_{n=1}^N \left( |V_n| \times \frac{A_n}{A_0} \times \rho_n \right)$$

$V_n$  = 各センサーの毎時傾斜速度、1.0°/時を超える場合  $V_n=1.0$   
 $A_n$  = 各センサーが監視する範囲の面積  
 $A_0$  = 複数センサーで監視する範囲の面積  
 $\rho_n$  = 微地形・植生・地質土質等条件を反映する係数

3 監視斜面の区域を細分化し、多点計測により危険を判断して安定性の高い判別ルールを構築



### 成果の活用フロー

1. 簡易な設置
2. 斜面危険度の評価手法と管理基準値の確立
3. 危険状態に応じた計測間隔の自動調整
4. 多点計測による安定性のある危険判断システムの構築

崩壊予兆を見逃さず、かつ斜面の面的挙動を把握できる斜面崩壊早期警報システムの完成

## 最終目標

### 『多点傾斜変位と土壌水分の常時監視による斜面崩壊早期警報システム』



### 最終数値目標

- ・施工工程の短縮について、およそ60%を実現
- ・機器コストと施工コストの低下による経済性の向上について、およそ40%を実現

### 対象ユーザー

地方整備局、地方自治体、民間建設業者、海外支援組織など

### 技術サービスの概要

地方整備局と連携⇒成果展開へ



### 使用場所・使用方法

道路斜面、鉄道沿線斜面、切土法面、転石などに設置して変状を監視することによって、警報・防災等の役割を果たす。

斜面崩壊早期警報システムの高精度化・安定化が可能  
→ 斜面の面的挙動を把握できる斜面崩壊早期警報システムを実現

# 28 大型除草機械によるモグラ (小動物) 穴の面的検出システム

研究責任者 朝日航洋(株) 鈴木清



## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

・大型除草機械を利用した計測により堤防変状を客観的に把握し、点検の効率・高度化を図るモニタリングシステムの開発

### 従来の堤防点検



徒歩による目視点検は多大な時間と労力を要するが、担い手不足。点検の正確性は、各点検員の経験に依存。詳細で正確な堤防地形が計測困難。

### モニタリングシステムを利用した堤防点検



モニタリングシステムにより、点検効率が向上し、労力を削減。詳細な地形データを基に、客観的、定量的な点検が可能。除草作業に付随して計測を行うことで、草の影響を受けず、低コストで詳細かつ高精度な地形データを継続的に取得可能。

### 研究開発の内容 (平成26~28年度)

- 除草機に容易に装着できる計測機器の開発
  - 植生の影響を受けない、除草直後の地表面を計測
- ミクロ・マクロの堤防変状を自動検出するシステムの開発
  - 変状解析を自動化し、スピーディーに情報提供
- 堤防点検支援システムの開発
  - 変状解析結果を、現場で参照しやすい点検システムを開発



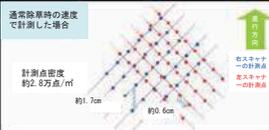
計測した堤防の点群データ

## 現状の成果①

(平成26~28年度に実施)

### 1. 計測機器の開発

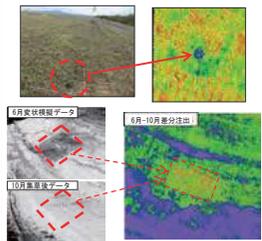
○ 大型除草機の後部に、簡単に取り付けられる計測機器を開発した。



・除草と同時に、地形を高密度で計測  
・植生の影響を受けない、除草直後の計測により、正確な堤防の地形を計測

### 2. 変状の検出精度確認

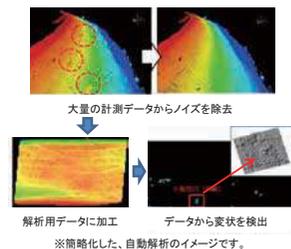
○ 小動物穴などのミクロ変状から天端沈下などのマクロ変状まで検出可能。  
(穴は小さくて見つけにくい。堤防天端の沈下は、穴でも沈下量がわずかなので、気づきにくい)。  
○ 変状の検出精度は、現状の目視確認に比べて優れている。



・小さな変状から大きな変状まで、目視では発見しにくいものを検出可能

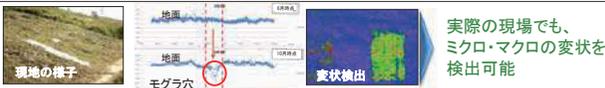
### 3. 自動検出システムの開発

○ 計測データから、変状箇所を自動検出するシステムを開発した。  
○ 従来、人が行っていた手作業と判断を自動化することで、堤防1km当たりの解析時間を20時間まで短縮した。



・時間、労力のかかる解析作業を自動化  
・変状解析結果をスピーディーに提供可能

**活用例** 実際の堤防で、計測したデータを解析して、二時期の変化をとらえた。

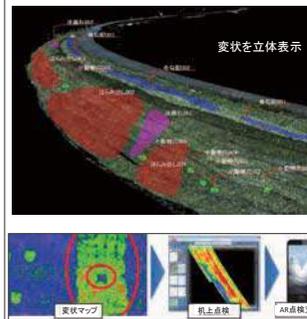


## 現状の成果②

(平成26~28年度に実施)

### 4. 点検支援システムの開発

○ 検出した変状の情報を、堤防点検で活用するための支援システムを開発した。  
・現場点検支援用のAR機能搭載モバイルシステム  
・机上点検用のクラウド型Webシステム など



・変状の発見が容易になり、堤防点検の効率が向上  
・点検者の経験のみに依存せず、より客観的に点検  
・客観的、定量的な堤防のデータがデータベースになり、今後の堤防状況のモニタリングにも有効

### 5. 使いやすい操作の実現

○ 計測は、特殊技能、専門知識が不要な操作を追及  
○ 除草作業に専念できるよう、最小限の操作で計測可能とした。



・タブレット・スマホによるタッチパネル操作  
・シンプルな操作画面  
・わかりやすいメッセージ  
・実際に応じた操作マニュアルを作成

・除草中に計測操作不要  
・パトライドにより計測状態の確認が可能  
・小雨程度ならば作業が可能

・現場への導入しやすさを実現

## 成果の活用フロー

1. 計測機器の開発
2. 変状の検出精度確認
3. 自動検出システムの開発
4. 点検支援システムの開発
5. 使いやすい操作の実現

○ 精度の高い堤防計測が、最小限のコストで継続的に実施可能  
○ 点検作業のICT化による維持管理の高度化を実現

## 最終目標

### 最終数値目標

- ・堤防変状の検出率90%
- ・堤防の計測及び解析リードタイムを、24時間/km
- ・導入済・予定の大型除草機への計測機装着率100%

### 対象ユーザー

河川管理者、除草事業者、河川協団体、NPO法人、など

### 使用方法・使用場所等

全国の河川で、毎年の堤防除草と同時に堤防の形状を計測し、堤防点検支援のための情報を蓄積、解析、提供

### 販売、利益創出等の流れ

除草事業者が本システムを装着した大型除草機により除草を実施

計測

・計測機器の販売、レンタル  
・解析サービスの代行、ライセンス料  
・点検支援システムのソフトウェアライセンス、特許料など

利益創出

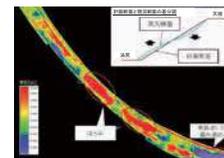
PCを利用した机上点検などの実現による新規の雇用創出  
・クラウドワーカー  
・シニア世代 などの参画

雇用創出

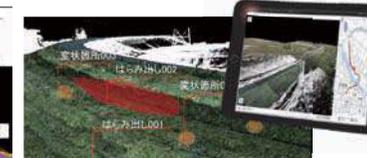
### 提供サービスの概要



計測機の販売・レンタル



データ解析サービス



点検支援サービス

→ 堤防維持管理の高度化を実現



堤防点検のICT化 → i-constructionへ



# 29・32 比抵抗による堤体内滞水状態モニタリングシステムおよび物理探査と地下水観測技術を活用した堤防内部状態のモニタリングシステム

研究責任者 応用地質(株) 斎藤秀樹 および 新清晃

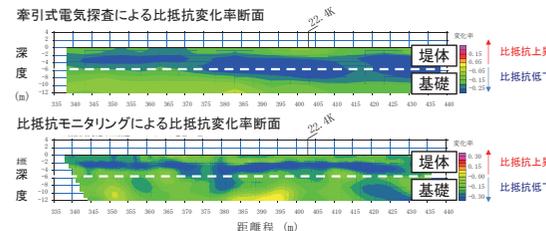


## 現状の成果②

(平成26~28年度に実施)

### 4. 堤防内部状態の把握

比抵抗変化により堤防内の水分状態の変化を把握。  
※ 簡便な牽引式電気探査で把握が可能な、比抵抗モニタリング結果と比較検討  
S波速度変化により堤防の緩みの有無を把握。  
※ 本研究期間中の出水では、堤防の緩みは発生しなかったと判定



高分解能な比抵抗モニタリング結果との比較により牽引式電気探査の妥当性を検証

- 出水による堤防内部の水分状態の変化の把握を実現
- 出水による堤防内部の緩みの有無の把握を実現

### 成果の活用フロー

1. 降雨前後の電気探査
2. 要監視箇所の絞り込み
3. 出水時の重点監視
4. 出水後の物理探査
4. 堤防内部状態の把握

水防活動・維持管理の効率化を実現

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

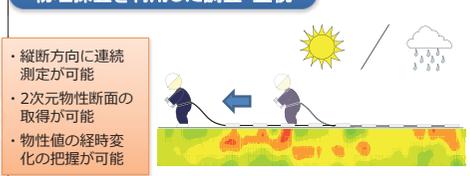
堤防の浸透に対する要監視箇所を絞り込む技術と、絞り込んだ箇所での堤防内部状態の変化を監視する技術を開発

### 従来の調査・監視



- 調査・監視点数が少なく、点の情報のみ
- 縦断方向の連続的評価が困難

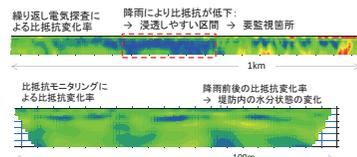
### 物理探査を利用した調査・監視



- 縦断方向に連続測定が可能
- 2次元物性断面の取得が可能
- 物性値の経時変化の把握が可能

### 研究開発の内容 (平成26~28年度)

- 降雨・出水前後の繰り返し物理探査結果の評価法の開発  
→ 比抵抗変化から要監視箇所の絞り込みを実現
- 出水時の堤防内部状態の監視技術の開発  
→ 降雨・出水による堤防内部の水分状態の監視を実現



## 現状の成果①

(平成26~28年度に実施)

### 1. 降雨前後の電気探査

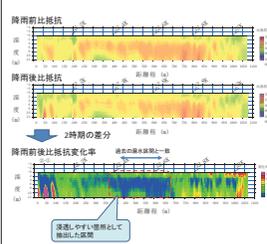
長大な堤防を効率よく探査できる「牽引式電気探査」を採用。  
降雨や小規模出水の前後での機動的な探査に対応可能。



- 短時間・低コストでの探査を実現
- 連続的な比抵抗変化の取得を実現

### 2. 要監視箇所の絞り込み

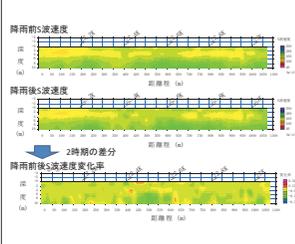
降雨・出水前後の比抵抗変化率を算出した変化率分布断面図を作成。  
比抵抗低下区間は雨水や河川水の浸透しやすい区間と判定できる。



- 比抵抗低下域の抽出を実現
- 出水時要監視箇所の絞り込みを実現

### 3. 出水前後の表面波探査

長大な堤防を効率よく探査できる「ランドストリーマ方式表面波探査」を採用。  
S波速度変化率の2次元断面を取得。  
出水による緩みはS波速度の低下を示す。



- S波速度の変化率分布断面の取得を実現
- 出水による堤防緩みの有無判定を実現

**活用例**  
測線長1,050mの探査区間から降雨による比抵抗の低下が顕著な約350m区間を抽出



降雨前後の電気探査により出水時の要監視箇所の絞り込みが可能

## 最終目標

### 最終数値目標

要監視箇所の絞り込みによる、重点監視の効率化。  
巡視費用の10%削減。

### 対象ユーザー

河川管理者

### 使用方法・使用場所等

河川堤防において、降雨あるいは出水の前後に同一測線で物理探査を適用する。

### 販売、利益創出等の流れ

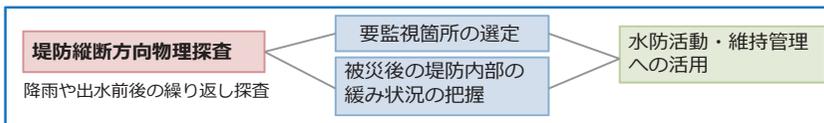
物理探査技術者による電気探査・表面波探査の実施。

河川技術者による探査結果の解釈とコンサルティング。

河川管理者による、水防活動・維持管理への活用。

### 提供サービスの概要

繰り返し物理探査による要監視箇所の選定、出水後の堤防内部状態の変化状況を提供。



出水時の要監視箇所の選定ならびに出水後の緩みの有無の判定が可能  
→ 河川堤防以外(斜面・盛土など)への適用も期待できる

# 30 河川堤防の変状検知等 モニタリングシステムの技術研究開発

研究責任者 (一財)国土技術研究センター 佐古俊介  
共同研究グループ (特非)光ファイバセンシング振興協会、坂田電機(株)、(株)キタック



## 研究開発の目的・内容

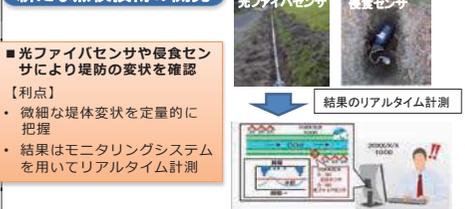
### 研究開発の目的

#### 従来の堤防点検



■ 徒歩による目視で  
変状を確認  
【問題点】  
・ 除草頻度や気象  
条件等によっては  
変状の発見が困難  
・ 点検要員の確保が  
今後難しくなる

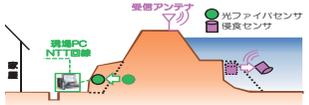
#### 新たな点検技術の開発



■ 光ファイバセンサや侵食センサ  
により堤防の変状を確認  
【利点】  
・ 微細な堤体変状を定量的に  
把握  
・ 結果はモニタリングシステム  
を用いてリアルタイム計測

### 研究開発の内容 (平成26~平成30年度)

- 光ファイバセンサを設置した箇所、堤防の土塊が移動・変形するとセンサが追従して動き、堤防の変状の位置、程度の計測をリアルタイムで実施する。
- 侵食や洗掘を侵食センサの姿勢変化で検知、土中・水中からリアルタイムで低周波電磁波で通報侵食位置の計測をリアルタイムで実施する。



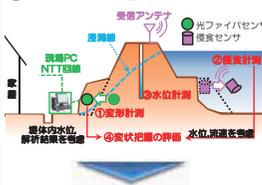
→ 目視点検によらない、浸透、侵食による堤防の変形を計測するモニタリングシステムを実現

### 現状の成果①

(平成26~28年度に実施)

#### 1. センサ類を用いた堤防変状 モニタリングシステム構築

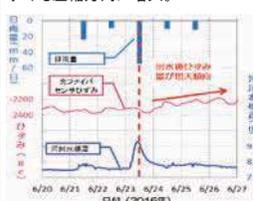
- 庄内川堤防において以下を実施。  
① 光ファイバセンサによる計測・整理  
② 侵食センサによる計測・整理  
③ 堤体内水位の計測  
④ センサによる変状把握の評価  
⑤ システムとして構築



● 光ファイバセンサと侵食センサによる  
堤防変状のモニタリングを実現。

#### 2. 光ファイバセンサによる 堤防変状計測

光ファイバセンサによる堤防変状(ひずみ)の計測を実施。  
降雨量、水位の増大に伴い、堤体ひずみも圧縮方向に増大。



● 出水に伴う堤体の変形(土塊の移動)等の、光ファイバでの把握を実現。

#### 3. 侵食センサによる 堤防変状計測

侵食センサによる堤防変状(侵食の有無)の計測を実施。  
出水に伴い、侵食センサ設置高さより水位が上昇、侵食センサ設置位置周辺で概ね50cm程度侵食。(侵食センサ直前で侵食は止まった)



● 水中で生じる侵食の有無を、センサからの無線信号で検知することを実現。

### 活用例

- ① 従来は、浸透による変状を巡視員等が目視点検で発見。
- ② また、侵食は水中で生じることから、巡視員等が発見することは不可能。



以下の点で、河川管理の  
確実性の向上と、省力化に  
活用。

- ① 光ファイバセンサで浸透による変状を定量的に把握
- ② 侵食センサで水中で生じる侵食現象を把握
- ③ 上記変状をリアルタイムで管理者が把握可能

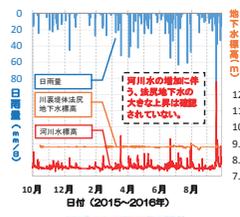


### 現状の成果②

(平成26~28年度に実施)

#### 4. 堤体内水位の計測

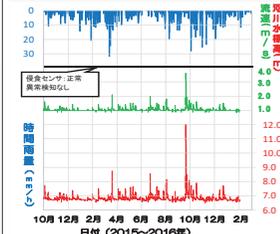
堤防内部の水位の計測を実施。  
堤体内水位に応じ、堤防の変状が大きくなることに着目



● 2016年9月における流速は3.6m/s程度。  
その時生じた侵食は、50cm程度であった。侵食センサは正常であったが検知には至らなかった。

#### 5. 解析モデルによる変状把握の評価

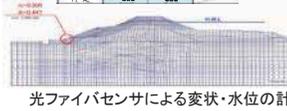
##### ● 侵食による変状評価



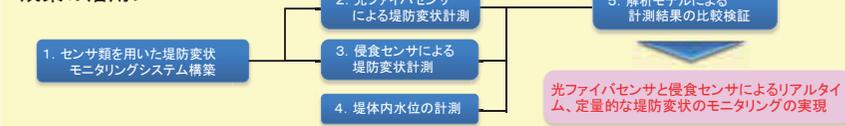
##### ● 浸透による変状評価

浸透流解析を用いて、出水時の降雨及び河川水位を外力とし、堤防内の浸透線の発達の計時変化を追跡する。

項目	箇所動水と貯の最大値		評価
	経路方向	水平方向	
経路	0.5	0.5	OK
水平	0.820	0.647	OK



### 成果の活用フロー



### 最終目標

#### 最終数値目標

浸透に対する重要水防箇所A(38.6km)、  
侵食に対する重要水防箇所B(84.0km)に  
対し、従来の目視点検と比較して費用約  
60%減を実現。(10年後のLCCの場合)

#### 対象ユーザー

- 国土交通省における河川管理者
- 都道府県所管の二級河川管理者
- 鉄道や道路等の盛土管理者、  
斜面の変状観測者等

#### 使用方法・使用場所等

- 直轄河川、都道府県所管の二級河川において浸透、侵食による変状をリアルタイムモニタリングするため、想定される重要水防箇所センサー類を設置。

#### 提供サービスの概要

従来の目視点検による定量的な堤防管理から、現場事務所において定量的でリアルタイムな情報を入手。

リアルタイムの情報を活かし、国民の生命・財産を守るための情報提供を迅速に行い「逃げ遅れゼロ」、「社会経済被害の最小化」に寄与することが可能となる。

#### コスト比較一覧表

設置位置	光ファイバセンサ			侵食センサ
	1箇所	3箇所	1箇所	
設置コスト	---	112百万円	38百万円	60百万円
維持管理コスト(年)	16百万円/年	3百万円/年	3百万円/年	1.12百万円/年※
5年後のLCC	82百万円/5年	126百万円/5年	53百万円/5年	66百万円/5年
10年度後のLCC	164百万円/10年	141百万円/10年	68百万円/10年	72百万円/10年
備考	費用：人件費	費用： 材料費+工事費+人件費	費用： 材料費+工事費+人件費	費用： 材料費+工事費+人件費
	夜間、植生繁茂時は確認不可	24時間、365日計測可能	24時間、365日計測可能	

#### 製造・調達・利益創出等の流れ



開発した新技術に基づき管理者が国民に情報提供を行う。質の高い情報を提供により管理者が信頼を得ることで、システムの製造・調達が行われ利益の創出が可能。





# 31 衛星観測を活用した河川堤防モニタリングの効率化の研究

研究責任者 (一社)国際建設技術協会 片山毅  
共同研究グループ (国研)宇宙航空研究開発機構、パシフィックコンサルタンツ(株)



## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

・衛星観測を活用して、年数回の頻度で広範囲の堤防を一括して監視し、堤防モニタリングを効率化

### 従来のモニタリング



定期横断測量

- 目視点検
  - ・広域を短時間で点検することが困難
  - ・緩やかな沈下等の発見が困難
- 定期横断測量
  - ・測量地点間の定量的な地盤高の変化を確認することが困難
  - ・頻度の高いモニタリングが困難

### 衛星観測によるモニタリング

- 衛星利用の特長
  - ・短時間で広範囲
  - ・縦断方向の連続した計測
  - ・年数回の頻度
- 優先的に詳細点検(目視点検等)すべき箇所の抽出

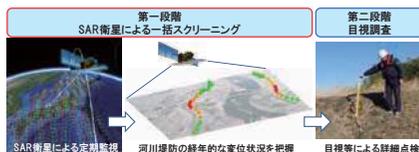


レゾルベーションレーダー(PALSAR-2)

### 研究開発の内容 (平成26~29年度)

- ・経年的な堤防高の変位量を算定する手法の開発
- ・算定した変位量の精度検証
- ・算定結果を平易に表示する手法の開発

→従来は管理区間の全域を踏査し目視等による点検が必要であったが、優先的に点検する箇所を抽出することが可能

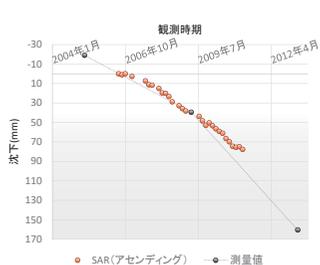


## 現状の成果①

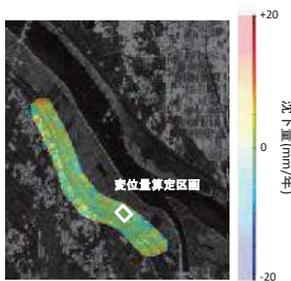
(平成26~27年度に実施)

### 1. ALOS観測結果を用いた衛星画像解析による平均地盤高変位量算定手法の構築

- ・ALOS衛星観測による解析結果と測量結果を比較
- ・河川堤防内のある区画(変位量算定区画)における平均地盤高の変位量を経年的に把握できることを確認
- ・この比較検証により、衛星観測画像を解析する手法を検討
- ・この手法を現在運用中のALOS-2(運用期間:2014年5月~現在)による観測結果を用いた解析に適用



図中のプロットは堤防天端を含む区画(概ね10ピクセル)。ピクセルのサイズは10m×10m程度の平均地盤高の相対的な変位量を示す。直線は3回の測量結果を結んだ直線である。



堤防の沈下量の程度を面的に表した解析図。白枠は平均地盤高の相対的な変位量を算定した区画(変位量算定区画)を示す。

- ・衛星画像解析により、堤防天端等の平均地盤高変位量の把握を実現
- ・経年的な堤防天端高の変化傾向を把握することが可能

## 現状の成果②

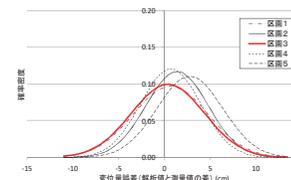
(平成26~27年度に実施)

### 2. 植生の影響の評価

当該衛星観測で用いる電波は波長の長いバンドであり、植生の影響は小さいと考えられるため、このことを以下のとおり現地にて検証した。

- ・常時除草が行われている区画と行われていない区画を対象とした衛星画像解析結果を比較。
- ・堤防法面(左図)を対象に、除草区画3と草丈50cm程度の区画1,2,4,5における地盤高の平均変位量に関する解析誤差を比較した結果、両者に有意な差は認められなかった(右図)。

→衛星画像解析で算定する地盤高変位量に与える植生による有意な影響はないことを確認



### 【上図の解説】

区画1~5の各々の区画内の複数の地盤高変位量解析地点における変位量に關し、衛星画像解析値と測量値の差分を求め、この差分の確率密度分布を示した。赤線で示す区画3(除草区画)における誤差の分布曲線とその他の区画(除草のない区画)における誤差の分布曲線を比較すると、除草有無で誤差の分布に明確な差がないことがわかる。

- ・植生のある地盤に対して衛星画像解析により変位量の把握が可能

## 成果の活用フロー

1. ALOS観測結果を用いた衛星画像解析による平均地盤高変位量算定手法の構築

2. 植生の影響の評価

ALOS-2観測結果を用いた衛星画像解析の検証(検討中)

衛星画像処理ツールの作成(検討中)

堤防管理者が衛星画像処理ツールを用いてモニタリング

優先点検箇所を抽出することで河川堤防モニタリングを効率化

## 最終目標

### 最終数値目標

平均地盤高の変位量を把握する最小区域単位として数100m<sup>2</sup>程度の精度を目標とする。

### 対象ユーザー

河川事務所(国土交通省、都道府県等)

### 使用方法・使用場所等

堤防天端高の変位量を把握するための衛星画像処理ツールを河川事務所等で使用する。

### 販売、利益創出等の流れ

- ・当該技術やツールのマニュアル化に取組む。
- ・河川事務所に衛星画像処理ツール等を納入する。
- ・河川事務所の管理委託業務の中で当該ツールを活用する。

### 提供サービスの概要

衛星観測画像の処理、画像処理結果の表示等が可能な処理ツールを提供する。表示される画像等を通じて堤防天端高の経年的な変位量等の監視を行う。

衛星観測データ

処理ツール1(画像解析ツール)

堤防変位量データ

処理ツール2(表示ツール)

堤防管理に利用可能な表示

衛星画像処理の流れ



衛星画像処理ツールによる堤防天端高変位量の把握(イメージ)

年に数回の頻度で、広範囲における堤防天端高の経年的な変位量を、縦断的に連続して把握することが可能

→優先点検箇所を抽出することで河川堤防モニタリングを効率化

# 33 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

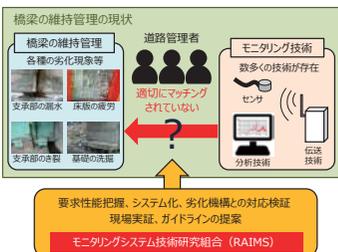
### 研究開発の目的

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、どの技術をも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



要求性能把握、システム化、劣化機構との対応検証  
現場実証、ガイドラインの提案  
モニタリングシステム技術研究組合 (RAIMS)

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。
- 道路管理者ニーズの整理(文献調査、有識者意見交換等)
  - 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)
  - モニタリングに対する要求性能の検討

区分	管理目的	維持管理ニーズ	モニタリング技術
劣化を抑制するモニタリング	日常点検や点検時に発生した劣化現象を早期に検知する	劣化検知	ひび割れ・変位・たわみ・加振センサ
劣化を抑制するモニタリング	劣化の発生状況を把握し、劣化の進行状況を把握する	劣化検知	ひび割れ・変位・たわみ・加振センサ
劣化を抑制するモニタリング	劣化の発生状況を把握し、劣化の進行状況を把握する	劣化検知	ひび割れ・変位・たわみ・加振センサ
劣化を抑制するモニタリング	劣化の発生状況を把握し、劣化の進行状況を把握する	劣化検知	ひび割れ・変位・たわみ・加振センサ
劣化を抑制するモニタリング	劣化の発生状況を把握し、劣化の進行状況を把握する	劣化検知	ひび割れ・変位・たわみ・加振センサ
劣化を抑制するモニタリング	劣化の発生状況を把握し、劣化の進行状況を把握する	劣化検知	ひび割れ・変位・たわみ・加振センサ
劣化を抑制するモニタリング	劣化の発生状況を把握し、劣化の進行状況を把握する	劣化検知	ひび割れ・変位・たわみ・加振センサ
劣化を抑制するモニタリング	劣化の発生状況を把握し、劣化の進行状況を把握する	劣化検知	ひび割れ・変位・たわみ・加振センサ
劣化を抑制するモニタリング	劣化の発生状況を把握し、劣化の進行状況を把握する	劣化検知	ひび割れ・変位・たわみ・加振センサ
劣化を抑制するモニタリング	劣化の発生状況を把握し、劣化の進行状況を把握する	劣化検知	ひび割れ・変位・たわみ・加振センサ

### 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を点検を補助
- 要対策だが当面対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技術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)

#### 技術のマップのイメージ(床版)

劣化	劣化機構	モニタリング技術
ひび割れ	ひび割れ	ひび割れセンサ
たわみ	たわみ	たわみセンサ
加振	加振	加振センサ
変位	変位	変位センサ
RC桁	RC桁	RC桁モニタリング

#### 点検

定期的な点検

#### 診断

劣化の進行状況の把握

#### 補修・補強

劣化の進行状況の把握

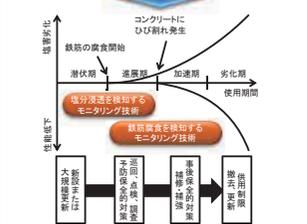
## 現状の成果②

(平成26～28年度に実施)

### 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。



(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、日常点検のバトロール車や他業務で広域を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

- 道路管理者ニーズと要求性能の検討
- 床版モニタリング RC桁モニタリング
- 塩害モニタリング
- 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

## 最終目標

### 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、管理体制等に合わせ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

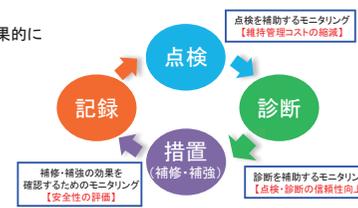
### 提供サービスの概要

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助することで、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



〇〇するためにモニタリングを使いたい

道路管理者

計測部位  
Where どこを測るか?

着目する物理現象  
What 何を測るか?

計測方法  
How どうやって測るか?

ガイドライン

# 35 インフラ構造材料研究拠点の構築による 構造劣化機構の解明と効率的維持管理技術の開発



研究責任者 (国研)物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 拠点長 土谷浩一  
共同研究グループ 京都大学、東京工業大学

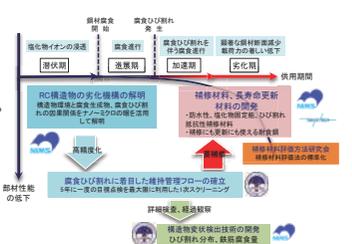
## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- 【社会的背景】:
  - ・我が国の膨大なインフラ維持管理を限られた財源と人材で対処してゆくためには維持管理フローの効率化が必要
  - ・維持管理フローの各段階に新技術を導入した容易かつ高精度な劣化診断手法および補修補強技術の確立が必要
- 【研究開発の目的】:
  - ・地方自治体等のインフラ構造物管理者による省力・低コスト、かつ計画的な維持管理を可能とする診断技術の開発
  - ・将来にわたり、材料から構造物までを俯瞰できるマルチディシプリナな人材(構造材料研究者やエンジニア)の育成

### 研究開発の内容

- ・土木工学と材料工学の異分野融合や、産学官連携研究と人材育成のためのインフラ構造材料に関する研究拠点を構築する。
- ・コンクリート構造を中心とするインフラ構造物損傷劣化機構を解明する。
- ・NIMSが培ってきた先進検査技術(腐食環境センサーや非破壊検査)を構造物変位測定に活用し、構造物設置環境・コンクリート内部環境と鋼材腐食や、コンクリートひび割れと耐荷性能の相関を解明することにより、インフラ寿命診断技術を高度化する。
- ・高効率補修材や長寿命更新材料の開発及び新評価手法を確立する。

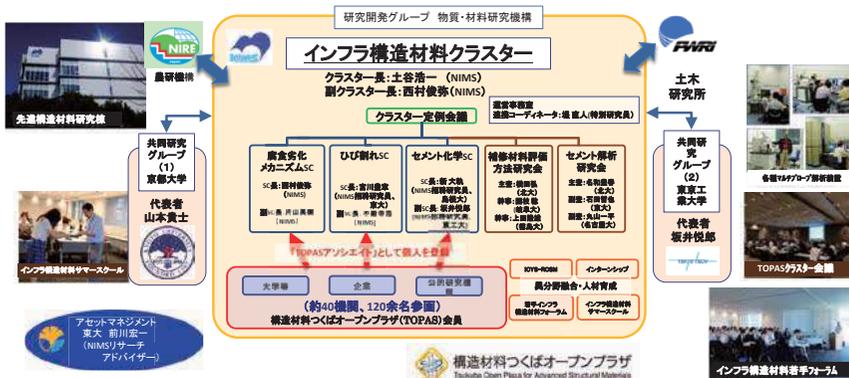


## 現状の成果①

インフラ構造材料研究拠点の構築

### 我が国のインフラ構造材料研究の中核的機関として産学官連携による拠点体制を整備

- ・様々な構造材料の研究に係る研究者・エンジニアならびに各種研究機器・設備を「先進構造材料研究棟」に機能集約。本プロジェクトにはSIP-インフラ構造材料ラボ(チーム)を組織化し、招聘研究者を含めて約30名が関与。



- ・「構造材料つくばオープンプラザ」を拠点内に設置し、産学官連携/オールジャパンで構造材料開発・実用化を推進。
- ・本プロジェクトについては「インフラ構造材料クラスター」(外部から民間31社、大学公的機関8社、総勢120余名)を核に、①情報交換、②各種人材育成プログラム開催(インフラ構造材料若手フォーラム、サマースクール、クラスターセミナー等)、③社会実装に向けた共同の開発アイテムへの技術探索討議、などを推進。

## 現状の成果②

NIMS シーズ活用による個別研究開発

### インフラ構造体維持管理への各種メカニズム解明およびNIMS開発シーズ適用について展開

#### 構造物の劣化機構の解明

維持管理フローの確立に必要な劣化機構解明のための基礎技術および高度化に資する研究シーズ

**A1① 腐食生成物の先端ナノスケール解析**

【論文】FIB/SEM:腐食生成物の形態観察に極めて有効  
環境SEM:セメント系補修材料解析

**A1② 加速試験開発(腐食因子供給加速装置の設計製作)**

コンクリート中での腐食を促進している因子の供給加速により、腐食を5倍以上加速

**A1③ 鋼材内部環境モニタリング(pHおよび塩分)**

耐アルカリ用参照極の開発とデータ収集システムの確立  
環境の厳しさが数層を超えると腐食が開始することを明示

**A1④ 腐食環境モニタリング・腐食環境マップの基礎構築**

腐食環境モニタリングシステムを企業と連携して開発(特許出願中)。ラボ内においては、コンクリート供試体の腐食モニタリングを実施し、腐食環境の差異を調査中。  
降雪・寒冷地環境から熱帯環境まで10か所以上のサイトで屋外試験を継続中。過去の文献、各種調査報告書の引用によるデータベースの充実化。

**A1⑤ 高塩分環境でも高耐食性を示す耐食鉄筋**

JIS規格を満たす異型鉄筋製作済コンクリート構造体での評価  
(京大・東大と連携)  
鋼矢板での実装検討(農工研と連携)

**A1⑥ コンクリート補修のための水中硬化型浸透補修材料**

量産化検討と実用化試験開始(産大企業と連携)  
コンクリート構造体での評価(京大と連携)

**A3① 非破壊検査(京大, NIMS)**

AETモグラフィにより床版内部ひび割れ特定  
AETクティブリティ計測  
AETモグラフィ解析  
AET位置特定  
速度構築  
内部ひび割れの特定

**A2② 非破壊検査(京大, NIMS)**

AETモグラフィによるRC内部損傷の特定、定量化  
コンクリート中の鉄筋の腐食状態、ASRの評価

**A2③ 構造耐荷力診断(京大)**

さびの生成環境を考慮  
ひびの特性  
生成履歴  
経時強度劣化  
3.1倍程度  
-10%以内  
安全側評価  
腐食ひび割れから耐荷力を推定するフレームワーク

**A3② 多重バリエーションを有する補修材料(東工大)**

内部: AFm生成による塩化物イオンの固定  
LHC-CA2-膨張材系の組成最適化

**A3③ 塩化物イオンの固定化とひび割れ抵抗性を有する材料(東工大)**

CAAF-Ca(OH)<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O水和物の反応電子像  
白色部分:AFm相  
黒色:AFm相  
AFm相による塩化物イオンの固定化、CAAF系膨張材の組成最適化

## 現状の成果③

共同研究グループの開発テーマ

### 新たな維持管理フローの確立(京都大学)ならびに次世代セメント系補修材料開発(東京工業大学)

The diagram illustrates the '新たな維持管理フロー' (New Maintenance Flow) and repair material development. It shows the progression from '潜伏期' to '劣化期' and the use of accelerated testing. Key outcomes include the development of repair materials with improved durability and the establishment of a maintenance flow for concrete structures.

現状の成果④

補修材料評価方法研究会の活動状況

新たな機能を有する補修材料などの開発・実用化に関して、標準化のための試験方法を検討



**自己治癒型充填材WG(活動状況)**

試験方法の開発に向けて検討事項の例(止水を目的とした場合の例)

材料の種類	充填厚さ	ひび割れの種類	ひび割れ幅	充填材の養生期間	充填率
コンクリート モルタル	20mm 50mm 100mm	切断面 ひび割れ面	0.2mm	28日	0.5m 1.0m

試験体の例(左：ひび割れ面、右：切断面)

今後の予定  
H28年度中に自己治癒充填材用の試験方法(試案)の作成

定水位透水試験のイメージ

**腐食抑制型浸漬材WG(活動状況)**

RC試験体作製

各種浸漬材散布

試験養生

腐食促進前の各種電気化学的測定

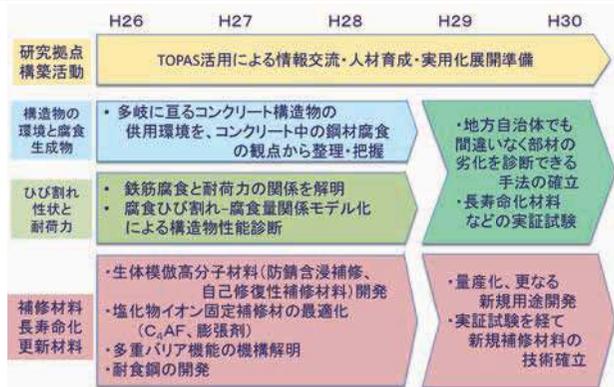
和歌山大学の「濃度」  
測定結果のグラフ

今後受注環境で腐食抑制効果確認

最終目標

SIP 開発成果の社会への具体的反映

高効率なインフラ構造体維持管理フローの確立に向けた、構造材料研究拠点での連携推進



- SIPプロジェクトとしての **研究拠点体制の構築**  
-インフラ構造材料研究用の**ツール整備と手法の開発**
- 継続的**ネットワークの形成** (企業・大学・研究機関)  
-TOPAS参画インフラ関連企業との協働
- インフラ構造材料に関する**“知の蓄積”**  
-京都大学、東京工業大学、東京大学等との連携研究
- **マルチディシプリンな若手人材の確保と育成**

# 36 構造物の状態を高度可視化するハイブリッド応力発光材料の研究開発



研究責任者 (国研)産業技術総合研究所 徐超男

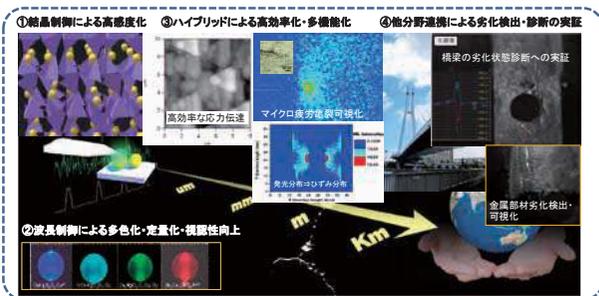
## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- 鋼橋の疲労き裂などの損傷を非破壊で検出・可視化する新機能材料として、応力発光材料を提供する。本材料の特性である、ひずみと発光強度の相関を利用して定量的な損傷レベルの判定を行い、効果的点検・補修に貢献する。
- 塗膜の上から構造物の劣化検出可能な高感度な材料を開発し、溶接部等の微小き裂・劣化検出調査を可能とする。疲労き裂が微小であれば、その場補修して完了確認することで、予防保全による維持管理が可能となる。

### 研究開発の内容

- 構造物の劣化(ひずみ、ひび割れ)を検出・可視化可能な高感度応力発光材料
- 劣化レベルの定量解析を可能とするハイブリッド材料
- 高速道路等での実証試験を重ね、開発した技術をインフラ定期点検に実装

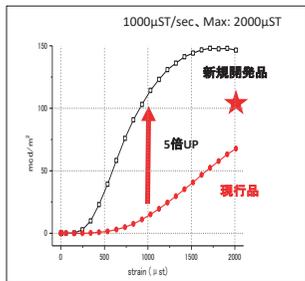


## 現状の成果①

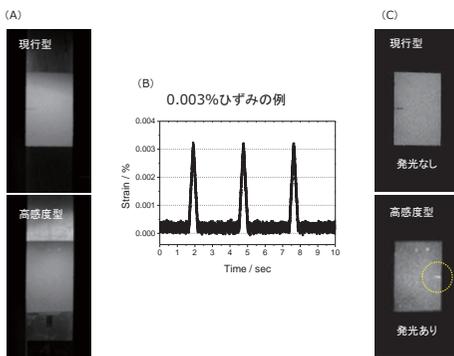
— 応力発光材料 —

SIP新規開発の高感度型応力発光材料で目視不能な微小疲労き裂を可視化

- マイクロき裂が十分可視化できる、0.1%ひずみに対して100mcd/m<sup>2</sup>以上の発光強度が得られる材料を開発した。
- 同一実験条件において、これまでの発光材料体(現行型)の発光強度より5倍以上の強度向上を実現できた。



- これまで発光させることができなかったき裂も明確に観察できた。



- (A) 現行型(上)、およびSIP新規開発の高感度型(下)の応力発光材料を塗装した金属試験片。  
 (B) 高速道路の車両通行を模擬し、最大0.003%のひずみを印加。ひずみ値はき裂部位から離れた箇所にて計測。  
 (C) 目視困難なマイクロ疲労き裂可視化の結果。現行型ではき裂の発光が観察できなかったが、高感度型の応力発光材料では、き裂部位に発光が確認できた。

## 現状の成果②

— 高速道路での実証 —

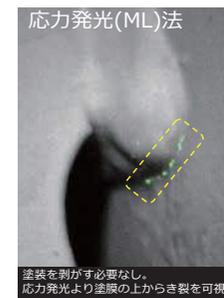
SIP開発新材料による点検の省力・短時間・低コスト化を実証

塗膜の上から疲労き裂検出・可視化

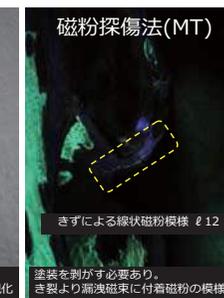
- 高速道路の鋼材の防食塗膜の割れ(塗膜割れ)発生箇所を対象に、応力発光試験を実施し、防錆塗料の上から鋼製部材における疲労き裂の有無を判定した。
- 検査実務において、塗膜割れが生じた箇所については疲労き裂が実際に発生しているか検査する必要がある。そのため、磁粉探傷検査法(MT)が用いられるが、検査対象となる塗膜割れの箇所周辺の塗膜を全て除去しなければならず、時間的、経済的なコストが大きい。またMTした箇所でき裂が検出される確率は1割以下である。
- SIPで新規開発した高感度型応力発光検査法(ML法)では、塗膜を除去しなくても防食塗膜下部の疲労き裂や応力集中を可視化できた。
- 実験に立ち会った維持管理の専門家からは、鋼橋における塗膜上からの疲労き裂の検出、微小き裂の補修効果の確認、応力集中の評価に用いる上で実用レベルに達しており、有用な技術と判断されるとの評価。作業量の軽減、コスト削減面でもメリットが大きい。



実証現場：福岡都市高速道路



応力発光法で検出した疲労き裂を磁粉探傷法で確認



塗装を剥がす必要あり。応力発光より塗膜の上からき裂を可視化

## 最終目標

### 開発の最終数値目標

- 応力発光性能  
応力集中が定量化できる、0.01%ひずみの可視化
- き裂の検出感度  
深さ1mm以下の微小き裂検出(幅μmオーダー)

### 社会実装に向けて

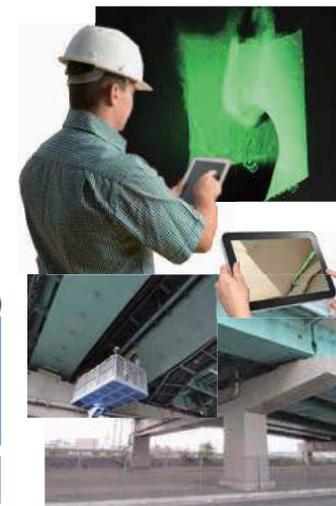
- 鋼橋の疲労き裂の可視化、微小き裂補修効果の確認、応力集中の評価による補修の要否判定等について、ビジネス化に向け環境を構築中

### 世界初の応力発光検査技術



技術の実証・普及のため、産総研に「応力発光技術コンソーシアム」を設立。問い合わせ先: mltc-s-ml@aist.go.jp

### インフラ点検の実務利用イメージ



# 37 鋼構造物の腐食による劣化損傷の新溶射材による補修技術の研究開発



研究責任者 大阪府立大学 工学研究科 教授 東健司  
共同研究グループ (地独)大阪府立産業技術総合研究所、コーケン・テクノ(株)、カンメタエンジニアリング(株)

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

**目的:** 鋼構造物(特に鋼橋)の腐食劣化による損傷の実態調査を行い、課題解決に適した防食耐久性に優れた金属溶射合金を開発して、維持管理が容易な補修技術を開発することで、安心して強靱なインフラを実現する。

**溶射合金の開発:** 重交通路線などの塗装塗り替え作業困難場所では高耐久性の防食技術が必要であり、厳しい環境での高耐久性、特に打痕傷・エッジ部・小端面での防食性に優れた溶射合金を開発する。

**狭隙部の金属溶射技術開発:** 腐食劣化部位は支承を含む桁端部であり、NEXCO西日本グループが開発した小型軽量なプラズマアーク溶射工法への適用を確立して、開発スピードを加速させる。

### 研究開発の内容

**実態調査:** 鋼橋の腐食劣化損傷部を調査して、補修技術としての課題を明確にする。

**溶射合金の開発:** 材料科学の防食機構を深堀して、第一原理計算による合金設計と電気化学的手法による耐食性評価で、自己修復性を有する防食性能の優れた溶射合金を開発する。

**プラズマアーク工法への適応:** 狭隙部の金属溶射に適したプラズマアーク溶射への適応確認試験を行う。

**防食性能の評価:** 腐食鋼材を用いた薄膜溶射皮膜やクロスカット試験体を作成し、複合サイクル試験にて、6,000時間(100年耐久性に相当)の確認試験を行う。腐食環境の厳しい、日本海、沖縄などでの大気暴露試験を行う。

**部分的試験施工:** 実鋼橋の桁端部の部分的試験施工を行い、施工性・コスト・皮膜性能等の検証を行う。



## 現状の成果①

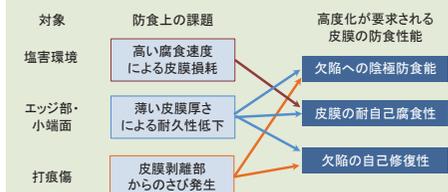
塩害などの厳しい環境、エッジ部・小端面部位、打痕傷に対して耐久性のある溶射合金を開発



## 現状の成果②

複合サイクル試験、実鋼橋での部分的試験施工により、耐久性と補修技術を確立

### 電気化学的手法による防食性能の優れた合金組成の決定



	陰極防食能	耐自己腐食性	自己修復性
試験法	・腐食電位測定 ・分極測定	・分極測定	・複合サイクル試験
評価	・腐食電位の貴卑 ・不動電位の有無	・腐食電流の大小	・外観
従来材	Al	○	○
	Al-Mg	○	○
新合金	Al-Mg-Ca	○	○
			25%向上*

\*クロスカット部での発錆時間

### 複合サイクル試験

屋外暴露と相関性が高いとされている複合サイクル試験で腐食促進試験を実施

エッジ部・小端面や打痕傷を想定したクロスカット試験片で、従来材の25%発錆までの期間が増加



Al-Mg-Ca合金 Al-Mg合金  
Al-Mg-Ca皮膜(膜厚100μm)の複合サイクル試験6,000時間経過後

### 実鋼橋での部分的試験施工

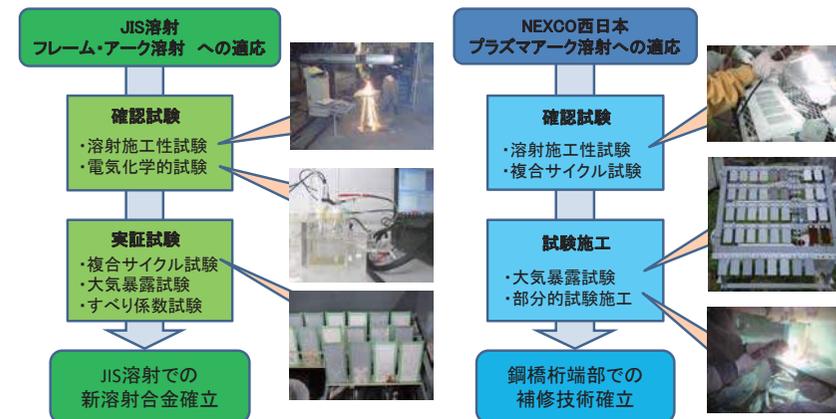
NEXCO西日本の実鋼橋において、新溶射材のプラズマアーク溶射による部分的試験施工を実施  
溶射作業性及び皮膜性能は社内品質管理規定を満足



補修後の仕上がり状態

## 最終目標

最先端計算科学と最新の腐食・防食機構の知見を活用した高耐久性溶射合金を開発し、補修試験施工性及び皮膜耐久性向上を実現



# 38 超耐久性コンクリートを用いた プレキャスト部材の製品化のための研究開発



研究責任者 岡山大学大学院 環境生命科学研究所 教授 綾野克紀  
共同研究グループ オリエンタル白石(株)、ランデス(株)、JFEスチール(株)

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

供用中の高速道路等で劣化が顕在化した部材を取替える大規模メンテナンス工事において、『交通規制の短縮』・『確実な施工』・『改修による耐久性向上』を実現するプレキャスト製品の開発を行う。

- PC (Prestressed Concrete) プレキャスト部材  
⇒「防水層に頼らず」塩害・凍害に耐える床版を提供
- RC (Reinforced Concrete) プレキャスト部材  
⇒優れた耐凍害性を「添加剤(AE剤)不要」で実現

### 研究開発の内容

『BFSコンクリートを用いたPCa部材の製造指針』を学会で発刊し、指針に基づき実施工を行う。

- 高炉スラグ細骨材が、コンクリートの耐久性を著しく向上させるメカニズムの解明
- 超耐久性コンクリートに用いることが可能な高炉スラグ細骨材を全国で使える供給体制を確保
- 実験室と同品質のコンクリートを実際の製品工場で製造可能にする、製造方法/検査方法の確立と品質管理体制の構築



## 現状の成果①

高炉スラグ細骨材

高炉スラグ細骨材を用いたコンクリート(高耐久BFSコンクリート)の品質確認

高炉スラグ細骨材の品質規格の決定

コンクリートの目標品質設定 / 製造仕様決定

実機工場で確認

部材の目標性能設定 / 設計

製品部材で確認

増粘剤による施工性能改善【特願2015-143297】

凍結融解抵抗性の確認

凍結融解後の水中疲労寿命【特開2016-216284】

塩分浸透性と防錆性能

高炉スラグ細骨材を用いたコンクリート(高耐久BFSコンクリート)の品質確認

凍結融解向上のメカニズムの解明

骨材界面の反応性

各地で製造される高炉スラグを用いた反応性確認試験方法の検討【特願2015-242333】

## 現状の成果②

プレキャスト製品

高炉スラグ細骨材を用いたコンクリート(高耐久BFSコンクリート)の品質確認

高炉スラグ細骨材の品質規格の決定

コンクリートの目標品質設定 / 製造仕様決定

実機工場で確認

部材の目標性能設定 / 設計

製品部材で確認

仕様決定

製品部材での施工性の確認

製品部材での定点疲労・輪荷重試験

製品部材の適用(製造実績:1.1万トン/年)

解析と実験の比較検証

性能: HDHPC床版, 大規模更新, 移移限界, ライフタイム(寿命), 供用年数

## 最終目標

① 高耐久性用高炉スラグ細骨材

品質の高い高炉スラグ細骨材の規格の確立

機能性骨材として適切な価格で各地域に供給

② PCプレキャスト製品

凍結防止剤が散布され、防水層が機能しなくなったとしても、従来のコンクリート部材より、凍結融解作用にも、荷重の繰返し作用にも、格段に抵抗性の高い製品を提供

③ RCプレキャスト製品

蒸気養生を用いた製造方法でも耐凍害性が担保された製品の供給

20mm程度のかぶりでも、高い耐塩害性を確保した製品の供給

(1) 劣化機構・補修・補強技術

(2) 構造材料劣化機構・補修・補強技術

(3) 劣化機構・補修・補強技術

(4) 劣化機構・補修・補強技術

(5)劣化機構・補修・補強技術

(1)劣化機構・補修・補強技術

(2) 構造材料劣化機構・補修・補強技術

(3) 劣化機構・補修・補強技術

(4) 劣化機構・補修・補強技術

(5)劣化機構・補修・補強技術

# 39 インフラ予防保全のための大規模センサ情報統合に基づく 路面・橋梁スクリーニング技術の研究開発と社会実装



研究責任者 JIPテクノサイエンス(株) 取締役 事業部長 家入正隆  
共同研究グループ 東京大学(工学系研究科/先端科学技術研究センター/生産技術研究所)

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

地震・台風・事故等のリスク低減と維持管理コスト削減のため、膨大なインフラの状態を効率的かつ客観的に把握し、詳細調査や補修の対象、事故リスクの高いインフラを確実に絞り込む、スクリーニング技術の研究開発と社会実装を目的とする。

### 研究開発の内容

- ① **業務車両を用いた大規模路面評価**: 車両応答を基に路面管理指標 (IRI) を推定するシステム (DRIMS) と、様々な業務車両に実装した計測システムを組み合わせ、日常業務走行時の車両応答を記録・収集・解析することで、**生活道路まで含めた広大な道路ネットワークの状態を準リアルタイムに把握するシステムを開発する。**
- ② **橋梁の一括モニタリングと解析**: 橋梁挙動を捉えられ、かつ、簡易で**従来比1/10の安価な無線センサ**を開発し、橋梁群大規模一括長期モニタリングシステムを構築する。
- ③ **省電力無線センサネットワーク基盤技術**: 「ルーティングレス・マルチホップ無線通信技術」を基礎として利用することで、**バッテリーで最長20年程度持続可能な無線型の省電力常時同期計測を実現する。**
- ④ **ビッグデータ処理・可視化基盤技術**: 100台規模の試験車両、橋梁に設置された数百台規模のセンサから得られるペタバイト規模のデータを高効率に格納・処理・可視化可能とする基盤技術の研究開発する。

## 現状の成果①

**計測アプリ高度化**

一般計測アプリ: サンプルングタイミングばらばら  
 加速度・角速度等計測アプリ(公開済)  
 サンプルングタイミング厳密化  
 ・条件によっては10〜数100万円のセンサより**高精度**

**車両同定モデル**

従来モデル → ピッチング運動も再現可能パラメータ同定法も開発  
 ・車両特性  
 ・センサ位置

**路面管理指標推定**

実証フィールドでのプロフィール実測値 (0.02〜0.5cycle/m)  
 Profile comparison  
 Kalman filter  
 Profiler  
 路面性状測定車に近いプロフィール推定が可能

**大規模実装・可視化**

広域道路ネットワークの状態  
 H27年度走行実績

	台数	走行距離(km)
業務車両 A	41	23,286
業務車両 B	10	55,062
業務車両 C	6	76,823
自治体車両 A	10	501
自治体車両 B	5	6,503

局所的評価  
 数10台規模の準RTデータ  
 広域一局所の両スケールでスムーズな可視化

実証実験に基づく開発へのフィードバック

## 現状の成果②

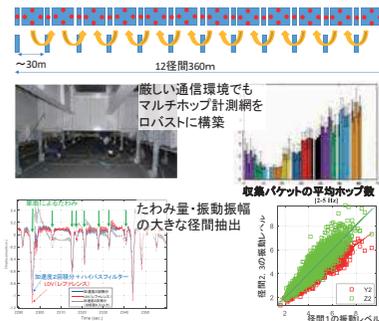
### 無線センサノード開発

- 安価で簡易、かつ高精度・高信頼性ノード
1. 地震計に近い**高精度加速度計測**
  2. マルチホップ通信で**広域同期計測網を瞬時に構築**
  3. 乾電池で**最長20年の長寿命**

プロトタイプ 開発中無線通信モジュール

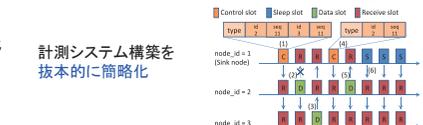
更なる  
 ・低消費電力化  
 ・ロバスト化  
 ・汎用化

### 実証実験1: 高速道路高架橋交通振動計測



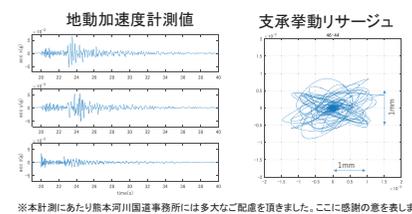
### ルーティングレスマルチホップ通信

- 1つのフラッディングが10ms程度で完結できることに着目し、高速にCTFをスケジューリングし、1秒に数10回、パケットをフラッディング  
 MACやルーティングを大幅に簡略化しつつ、高速収集、リプログラミング、100%高信頼など、特徴的な機能を実現



### 実証実験2: 地震応答計測

- 熊本地震余震における橋梁応答を10ノード以上/橋で密に計測。乾電池駆動でスタンドアロン(地震・台風等の場合に迅速展開が可能)。2週間以上に渡り震度1〜3の地震50回以上観測。  
 実測に基づく支承性能等の評価へ。



## 最終目標

**路面評価**

最終目標(数値)  
 IRI推定精度 10%台  
 局所変状検知(ジョイント・ポットホール等)  
 IRIによる劣化予測を用いた道路アセットマネジメントシステム  
 100台規模×数年間の高効率処理・可視化基盤構築  
 海外道路管理者への技術移転

**橋梁評価**

最終目標(数値)  
 地震計に近い加速度計測精度  
 数kmのロバストマルチホップ計測網  
 乾電池駆動で1ヶ月〜20年の長寿命  
 歪・傾斜・温度等のマルチセンサユニット  
 絶対時刻との同期、外部ネットワークへのシームレスな接続を省電力で実現  
 橋梁応答・作用外力の大きな橋梁抽出

**データ収集** → **道路管理者の日常管理** → **アセットマネジメント**

管理者ニーズを反映したサービス提供

高性能計測ノード販売  
 橋梁群比較計測サービス  
 類似構造から外れ値を探す(スクリーニング)  
 地震時通行可否判定支援サービス  
 無線センサ  
 道路管理者  
 要注意箇所警告表示

累積維持管理費用  
 従来型維持管理  
 戦略的維持管理  
 安価なIRI調査に基づく計画的舗装マネジメント  
 維持管理費削減

近3ヶ月でのIRI悪化箇所

段差  
 ポットホール

交通機動  
 地震動  
 加速度応答  
 たわみ、振動、振幅の相対評価  
 例) 揺れやすさスパンの抽出等

# 40 社会インフラ (地下構造物) のセンシングデータ収集・伝送技術及び処理技術の研究開発



研究責任者 日本電信電話(株) NTT未来なつと研究所 部長 吉野修一  
共同研究グループ エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジ(株)、首都大学東京、フジテコム(株)

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

通信環境が過酷な地下構造物(上水道管など)のモニタリングを、環境に適した無線通信を利用したデータ収集・活用により実現し、長期に信頼性の高い予防保全に資する技術を確認する

	従来 (人手による数年に一回の点検)	本研究開発による改善 (センサを用いた効率的モニタリング)
点検	・数年おきの定期点検 ・住民などからの通報	・長寿命化 ・長期メンテナンス不要なセンサの設置、活用
モニタリング	・マンホール開閉時の交通遮断や設置/撤去作業稼働	・地下伝搬解析無線通信最適化 ・マンホール開閉の不要 ・移動体および静止アクセスポイントによる自動データ収集
診断	・点検時の情報のみで判断 ・作業者の経験差による診断ばらつき ・劣化診断、予知は不可	・クラウド利用機械学習 ・過去データの活用により漏水検出精度が向上 ・作業者の技術力に依存しない診断 ・常時監視による水道管の健全度評価 ・災害対応時の水道管調査等の対応迅速化

### 研究開発の内容

技術	研究開発内容
ア) センシングデータ収集・伝送技術 (地下構造物対象)	・巡回収集方式: 走行車両からの無線センサ起動法と短時間データ伝送法 ・定点回収方式: 地上の柱等に設置した無線装置への長距離データ伝送法
イ) センシングデータ処理技術	・インフラ設備監視データ処理技術: 機械学習を活用した漏水箇所推定法 ・監視センサ省電力化技術: 送信データ量を削減するノイズ除去およびデータ圧縮法
ウ) 最適漏水監視システム計画	・漏水リスクおよび事故リスクのエリア評価・判定 ・水道管路ネットワークの構成を考慮した漏水監視センサの設置箇所の最適化
エ) 効率的な社会実装に向けた検討および高感度センサ端末技術	・経済化を含む事業者が導入しやすいデータ収集・運用方法 ・広周波数帯域にわたる高感度なセンサ端末技術

## 現状の成果①

データ収集方式の無線基本技術確立およびセンサ端末省電力化設計の完了

### ア) センシングデータ収集・伝送技術 (地下構造物対象)

#### 基本データ伝送技術を確立

- 無線回線設計
  - 電磁界解析と上水道管路テストベッド検証による複数の周波数帯の電波伝搬特性を明確化
  - データ伝送用周波数帯(920MHz帯)と端末起動用周波数帯(125kHz帯)を選定
  - 変調方式、誤り訂正方式、アンテナ等を選択し無線回線設計を完了
- データ伝送技術の基本性能を評価
  - 端末起動用・データ伝送用の送受信回路を試作
  - テストベッドにおいて、定点回収方式の目標である地下・地上間距離30mのデータ伝送および巡回収集方式の目標である走行中の端末起動とデータ伝送を確認
  - 実フィールドにおいて、走行中の端末起動およびデータ伝送性能を確認

#### イ) センシングデータ処理技術: 監視センサの省電力化

##### 目標とする5年以上の連続稼働を実現

- 装置回路を設計、シミュレーションによる消費電力評価から電池1本(容量10Ah)で約10年の連続稼働を確認



## 現状の成果②

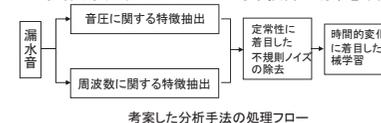
漏水判定の基本技術とセンサ最適配置定式化確立および高感度センサ端末の設計完了

### イ) センシングデータ処理技術: インフラ設備監視データ処理技術

#### 小口径金属管で漏水判定の基本技術の有効性確認

- 実データを利用した漏水判別課題の定量化
  - 管を伝う微小・微細な漏水音の特徴
  - 管路の素材や管口径、漏水量等による漏水音の特徴
  - 場所・時間帯毎に特有の不規則なノイズ
- 上記課題に対する分析手法の考案
  - 音圧・周波数分布に着目した多次元特徴抽出を用いた機械学習法
  - 音の定常性に着目した不規則なノイズ除去法
  - 音の時間的変化に着目した場所毎の個別学習モデルおよび場所に依存しない共通学習モデル

- 実測データによる考案技術の認識率確認
  - 上水道配水管として総管路長が長い小口径金属管について、実環境を含めた検証用データに対して場所毎の学習モデルで認識率98%以上を確認し、場所に依存しない共通学習モデルを評価中
  - 多様な実フィールドにおいて考案技術の効果を確認中



考案した分析手法の処理フロー

### ウ) 最適漏水監視システム計画

#### モデリングおよび数理最適化問題としての定式化を確立

- 漏水センサの最適配置を検討するため、施設配置問題の1つである「k-メデヤン問題」に着目し、基本的なネットワークで定式化
- 定式化したネットワークに路線の重要性やリスクを考慮した重みづけを行ない、最適となる設置場所を設計する手法の基礎的評価の完了



定式化したネットワークの例

### エ) 効率的な社会実装に向けた検討および高感度センサ端末技術

#### 高感度センサおよび一体型センサ端末の設計を完了

- 管路状態の監視による効率的で効果の高い社会実装に向け、従来の2倍の感度で広周波数帯域にわたる高感度なセンサ端末の設計を完了



設計した一体型高感度センサ端末

## 最終目標

社会実装に向け、実際の自治体の上水道環境において技術検証を完了する適用領域の拡大に向け、他のテーマとも連携し、データ収集・分析技術の機能拡張を完了する

- ア) センシングデータ収集・伝送技術: 地下に設置したセンサからマンホールを開閉せず、長期にデータ取得可能な伝送技術の実現
- イ) センシングデータ処理技術: 多次元特徴抽出を用いた機械学習の活用により、作業者の熟練度に依存しない漏水判定の実現
- ウ) 最適漏水監視システム計画: 水道管路網の最適漏水監視計画のための優先度評価システムの実現
- エ) 効率的な社会実装に向けた検討および高感度センサ端末技術: 微小な漏水音検出と長期設置が可能な実用レベルの高感度センサ端末の実現

### 展開イメージ

	取り組み内容
国内展開	老朽化の進む水道インフラの水道管モニタリングシステムとして本成果を適用し、漏水の早期発見・予防保全等の水道管の健全度管理に貢献
海外展開	水道管管理事業や水道インフラが未成熟な地域へ本成果を適用し、漏水の削減・水道管理事業の育成・水道インフラの整備等に貢献

# 41 インフラセンシングデータの統合的データマネジメント基盤の研究開発



研究責任者 国立情報学研究所 副所長・教授 安達淳  
共同研究グループ 北海道大学、筑波技術大学、長岡技術科学大学

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

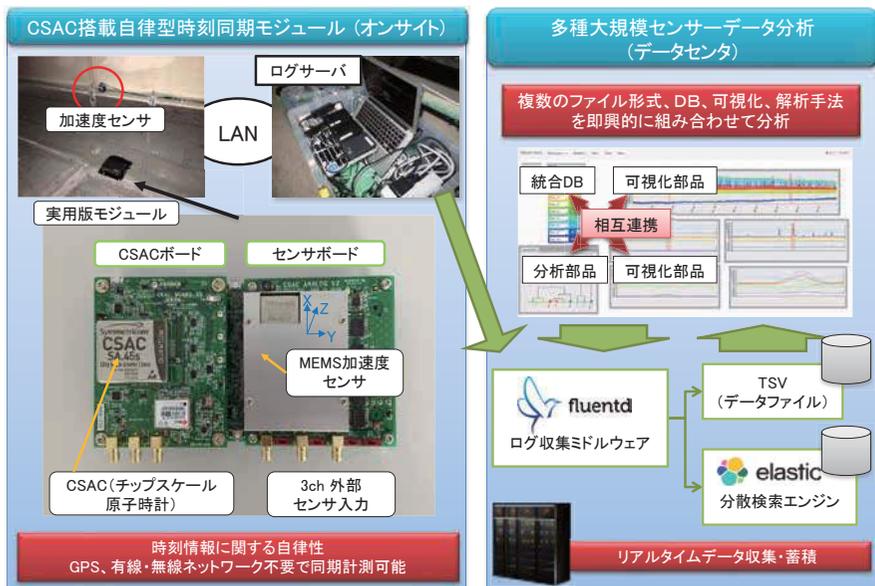
- ❖ **データ管理蓄積技術:**  
マルチモーダル・モニタリング・データの効率的な管理蓄積技術の研究開発
- ❖ **分析技術:**  
構造物の変状との関連が想定される特徴量を抽出および構造専門家、データ分析専門家の協働による構造変化指標の創生
- ❖ **時刻同期センシング技術:**  
構造体、移動体に設置する様々なセンサによる計測データを比較分析できる自律型時刻同期マルチセンシング技術の研究開発

### 研究開発の内容

- ❖ 多様な分析可視化ツール、データベースシステムを統合した探索的可視化分析環境の開発
- ❖ 周波数分析、信号処理、データ統合技術を用いた橋梁通過車両検知と橋梁の変状に関する特徴量抽出・構造変化指標創生
- ❖ テップスケール原子時計 (CSAC) を用いた自律型時刻同期マルチセンシング用モジュール及び異種センサを接続した自律型時刻同期マルチモーダル・モニタリング・システムの開発

## 現状の成果①

データマネジメント基盤

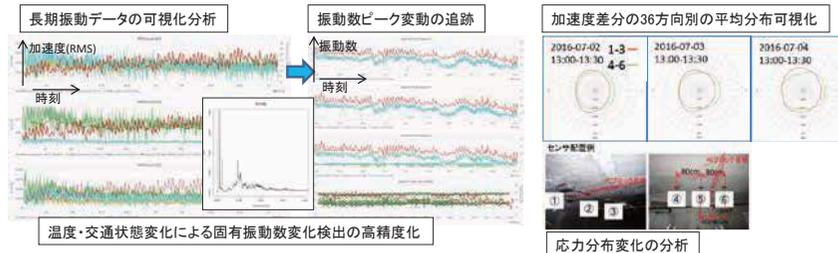


## 現状の成果②

センサデータ分析

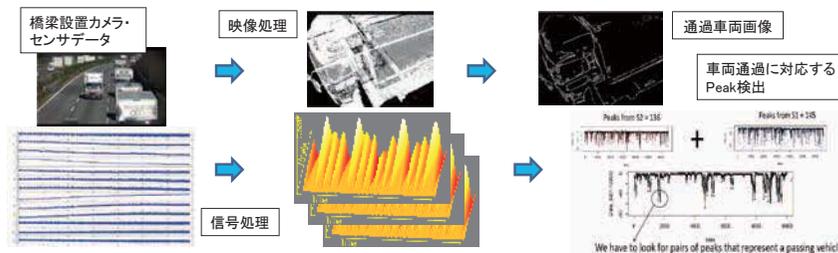
### ◆高精度加速度計を用いた長期マルチセンサ・モニタリングによる振動解析システム

- ❖ 長期マルチセンサ・モニタリングにより温度変化等の外的要因による振動特性の変化検出



### ◆高精度橋梁通過車両検出

- ❖ 映像・センサデータを統合的に解析することによって精度高く通過車両を検出

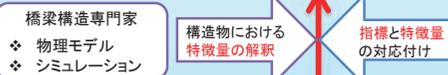


## 最終目標

道路維持管理業務の効率化

### 橋梁維持管理の支援

目視・打音・非破壊検査による構造物の変状判定についてより簡便・安価な判定の指標



モニタリングデータより構造物の変状との関連が想定される特徴量を抽出

- ❖ データ分析・マイニングによる特徴量の抽出
- ❖ 可搬型センシングによるスピーディなモニタリング
- ❖ 多様なセンサの時刻同期による多面的モニタリング

### アウトプット

#### 道路修復計画支援のためのセンシングデータ管理分析

- 各種インフラ維持管理データを管理する拠点DBシステムのプロトタイプを開発
- 活荷重計測の高精度化により、道路負荷状況に合わせた修復計画立案を支援
- センシングデータ分析のための指標群および利用指針

### 開発システムの普及促進

#### 自律型時刻同期マルチセンシング技術

商用化可能な技術仕様を整理し、メーカーによる製造・販売を促進する

#### 統合センシングデータ蓄積・可視化・分析システムのオープンソフト化

- ① パッケージ・ソフトウェアとして公開
- システム全体をパッケージとして公開
- ② 他ソフトウェアへの組み込みが容易な汎用性の高いライブラリとして公開
- 統合センシングDBシステム・データ可視化分析ライブラリ
- 通過車両検出、構造変化特徴抽出プログラム
- 対応センサ、対応データ形式の拡充
- チュートリアル、マニュアルの整備

商用ソフトウェアに組み込み可能なライセンス (Apache2.0, 修正BSDライセンス等) で公開することにより、商用利用での活用も含め普及の促進を図る

# 42 高度なインフラ・マネジメントを実現する多種多様なデータの処理・蓄積・解析・応用技術の開発



研究責任者 東日本高速道路(株) 上田 功  
共同研究グループ (株) ソーシャル・キャピタル・デザイン、(株) 横須賀テレコムリサーチパーク

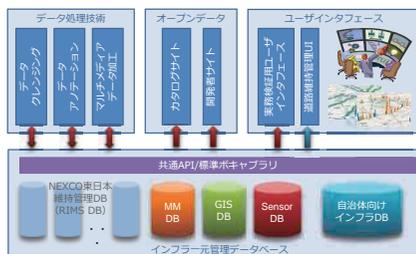
## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- 1) **維持管理に関わるニーズと技術開発のシーズとのマッチング**: NEXCO東日本の維持管理業務を実証フィールドとして、業務上の課題/ニーズと技術的な課題を明らかにした上で、マッチする開発要件(シーズ)を設定
- 2) **新しい技術を現場で使える形で展開**: 現行システム、蓄積データ等の既存資産の有効活用を図るとともに、新しい技術を現場で実証・評価しながら段階的に実運用に導入
- 3) **予防保全による維持管理水準の向上**: 多種多様なデータの有効活用を図るため、経営、マネジメント、現場が機動的に情報共有し、的確な判断と円滑な執行を支援するデータの「利用」環境を開発
- 4) **低コストで実現**: 現行システムの活用、オープンデータの活用、標準的な技術の採用等に留意し、自治体業務に活用

### 研究開発の内容

- 管理者の業務に合わせ、各種情報を**統合的に可視化**
- オープンデータ等、外部との情報流通を実現
- 業務に有効なデータ、分析手法、表現等を**DBに反映**
- 実務で**利用中DBの課題**を把握し現実的な方針を設定
- 各方面の**標準化**をインフラに適用して再構成し文書化
- 業務での利用方法を想定し、**データモデル/API等を設計**
- **現場実証**を踏まえて、段階的にデータを加工、補正
- データクレンジング、マルチメディア加工を**極力自動化**



## 現状の成果①

### 成果①: IoTを想定したインフラ維持管理向けデータモデル、システムアーキテクチャとDB設計

#### ■ 成果の概要

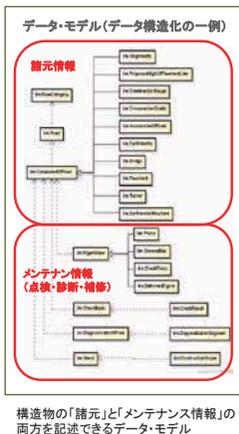
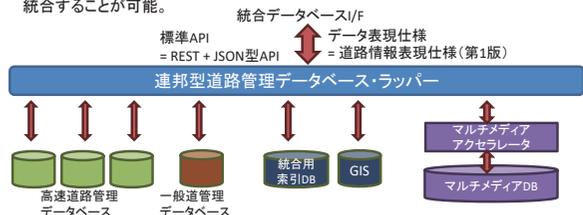
- (1) 過去に蓄積されたデータや今後想定されるセンサーデータなど、多種多様なデータの取得から活用までを対象にしたインフラデータを管理するためのデータモデルを開発し、「道路情報表現仕様(第1版)」として整理。このモデルは、高速道路、国道、地方道など異なるインフラ管理者にも適用可能で、構造物の諸元とメンテナンス情報の両方を記述可能。
- (2) データベースソフトウェアに依存せず、複数種のデータベースをまたいで検索できるWebベースの「道路情報データベース共通API仕様(第1版)」を開発。

#### ■ ニーズ・課題と本成果の有効性

インフラ管理者は多種多様なデータを保有しているが、データ形式の互換性やデータ定義の違い等の問題があり、データの流通・活用が難しかった。本成果により、複数のデータベースに登録された地理情報を結びつけて検索するなど、データの統合や連携による有効活用が可能。

#### ■ 技術的な新規性、優位性

多種多様なデータを組織間・業務間で流通・活用するためには、データモデルが必要不可欠であるが、道路維持管理の分野では、高速道路と一般道の両方を包括的に表現できるデータモデルはない。また、短期間・低コストで既存システムの稼働を維持しつつ、複数のデータベースを統合することが可能。



構造物の「諸元」と「メンテナンス情報」の両方を記述できるデータ・モデル

## 現状の成果②

### 成果②: 現場の利用実態を踏まえた対話的なUIの開発

#### ■ 成果の概要

「現状の成果①」で開発したDBを、API及びメッセージングを通じて活用し、現場での利用実態を反映した対話的なユーザインタフェースを開発してDBの機能を検証するとともに、現場で実証可能な検証用のアプリケーションを開発。

#### ■ ニーズ・課題と本成果の有効性

インフラ管理の現場では、本社、支社、事務所、現地などの中で、同時に同じ情報を共有すること、また、施設や位置に関する情報を複合的観点から把握することで、的確な判断が可能。本成果により、複数の現場、異なるデバイス間におけるリアルタイムのデータ連携と表示連携を実現。

#### ■ 技術的な新規性、優位性

様々な維持管理現場のニーズに応えるマルチスケールUIを実現。複数の視点(ビュー)により管理対象物を多角的に連携表示し、より総合的な管理や意思決定を支援。また、複数拠点で維持管理を運用するケースに対応するため、分散管理されたマルチメディアデータを自動集約・同期させる機構を開発。



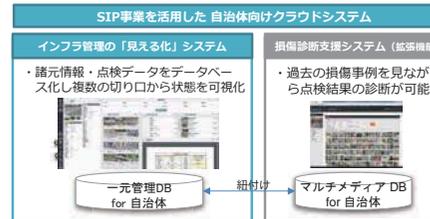
## 最終目標

### ① SIP成果を活用した製品・サービスの概要

地方公共団体等のインフラ管理者が点検・診断したデータ(テキスト・画像等)をDBに蓄積し、統合的な分析・評価を行う事で、自治体等のインフラ管理を支援する仕組みを構築。市町村・政令指定市・都道府県など個別のインフラ管理者毎の規模・財力等に応じて柔軟に対応するため、ソーシャルキャピタルデザイン社がクラウドシステムとして提供。クラウドシステムをベースに地域大学等と連携して点検・診断に対する技術支援やデータクレンジング等も提供。

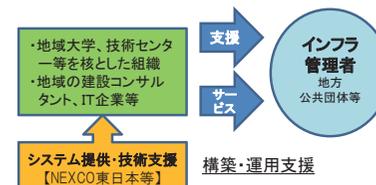
### ② 社会実装時の運用形態

地域大学や技術センター等が、本クラウドシステムをベースに、インフラ維持管理データを活用した業務改善や技術アドバイザー、人材育成等のサービスを地元自治体に提供。(平成29年度から、東北大学、山形県で実施予定) 各地域の建設コンサルタントやIT企業等が本システムを活用して各地域単位でサービスを提供することも想定。



### ③ 本事業による効果(雇用促進等)

点検・診断に係るコンサルタント、補修アドバイザーを行う建設会社、DB・UIを開発・保守するIT企業、技術的アドバイスや分析をサポートする大学研究者等の雇用促進。



# 44 柔軟静電接着装置を搭載した半自律飛行マルチコプタによる インフラ構造物点検システムの開発



研究責任者 芝浦工業大学 工学部 教授 長谷川忠大

## 研究開発の目的・内容

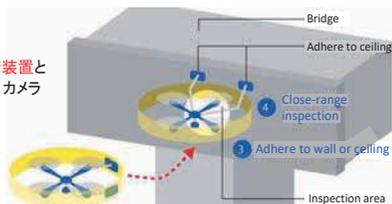
### 研究開発の目的

コストと時間をかけ足場を組み、危険を伴いながら検査員が点検を実施

点検作業の低コスト・高効率・安全性に課題

点検箇所まで半自律飛行マルチコプタを飛行させ、柔軟な静電吸着装置とマルチコプタの浮力を利用して、点検箇所の壁面に吸着・静態させ、カメラによる近接目視によりインフラ構造物を点検するシステムの開発

研究開発課題のイメージ



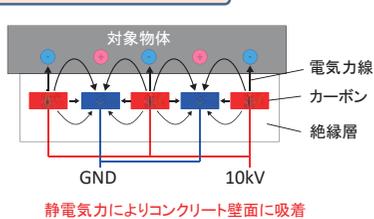
### 研究開発の内容

- 1) 静電吸着方式により壁面に柔軟に吸着する技術の開発  
10kV印加時に1kg以上の接着力を有する柔軟な静電吸着装置の開発
- 2) 構造物の壁面検査における有効性を検証システムの構築で検証
  - ① 小型飛行体による検査機器の運搬・アプローチ  
有線給電ケーブルを備えた半自律飛行マルチコプタの開発
  - ② 近接カメラ・機器による壁面検査  
カメラによる近接目視により、ひび割れを検出する画像処理アルゴリズムの開発

## 現状の成果①

柔軟静電吸着装置の開発

### 吸着原理



静電気力によりコンクリート壁面に吸着

### 小型・軽量・10kV昇圧電源の開発



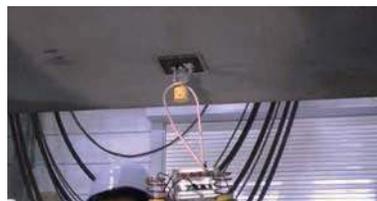
- 1) 小型・軽量 (157g、W120xD50xH30mm)
- 2) 9V乾電池から10kVに2時間安定して昇圧
- 3) 安全のため30mAの電流制限回路搭載

### 柔軟静電吸着装置の開発



- 1) 小型・軽量 (60g、75x75mm)
- 2) コンクリート面に貼ることができる柔軟性
- 3) 鋼材のみならずコンクリートにも接着可能

### コンクリート壁面での吸着実験



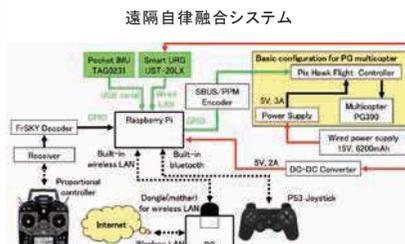
コンクリート壁面に対して接着力1kgfを証明

この静電吸着装置をマルチコプタへ搭載

## 現状の成果②

半自律飛行マルチコプタの開発

### 半自律飛行マルチコプタの開発

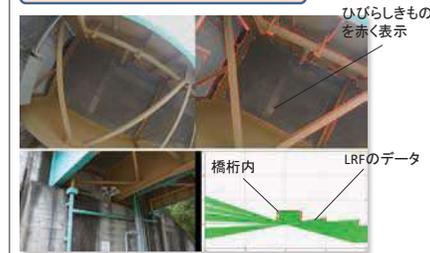


市販のマルチコプタへの適用が容易

開発プラットフォーム



### 国総研 橋梁での実証実験



橋梁における自律飛行のための各センサーデータおよび近接目視用カメラ映像を

### 次のステップ

- 1) 静電吸着装置を搭載した2号機の開発
- 2) 吸着するため床版へ安全にアプローチする自律飛行
- 3) 操作支援のための衝突回避機能
- 4) 橋梁でのマルチコプタの自己位置推定

## 最終目標

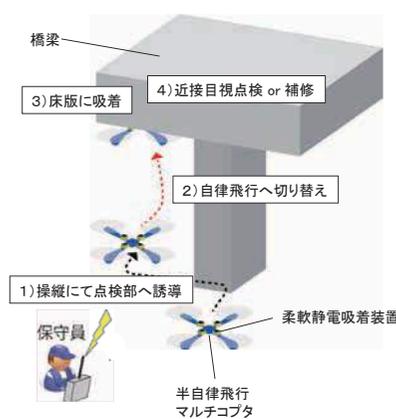
### 開発の最終(数値)目標

- 1) 柔軟静電吸着装置
    - ・コンクリート壁面にも吸着可能
    - ・静電吸着装置1つで吸着力1kgf
    - ・5mm以下の凹凸の壁面での吸着
    - ・複数の静電吸着装置を用いて、2kg程度のマルチコプタを壁面に吸着
  - 2) 半自律飛行マルチコプタ
    - ・飛行中に遠隔操縦と自律飛行の切替
    - ・操作支援のための衝突回避機能
    - ・橋梁において10cm程度の自己位置推定
- システムの一連の流れの実現

### 本技術の社会実装イメージ

- ・想定している使用者: 検査業者
- ・使用場所: 橋梁
- ・用途: 近接目視点検、クラックの補修、柔軟静電吸着装置のみを活用して検査装置の橋梁への固定

### 本技術の活用イメージ



橋梁のコンクリート壁面に吸着することにより、近接目視点検のみならず補修作業にも活用

# 45 マルチコプターによる計測データ解析に基づく異常診断技術の研究開発



研究責任者 名城大学 理工学部 教授 福田敏男  
共同研究グループ オキノ工業(株)

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

地方自治体による5年に1回の橋梁・トンネルの点検・診断の義務化

作業者の安全 点検の信頼性 点検コスト

ロボット技術に応用した  
新たなインフラ点検技術創出

マルチコプターの移動性能を有し、安定した打音・目視点検が可能な装置の実現

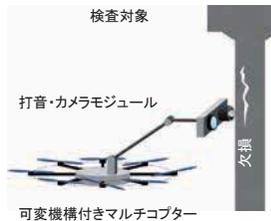
### 研究開発の内容

#### 研究開発項目1 打音・目視機能を搭載したマルチコプターの開発

- 1-1 可変機構、計測モジュールを搭載可能なマルチコプター開発
- 1-2 マルチコプター用シミュレータ開発
- 1-3 マルチコプター制御システムの構築

#### 研究開発項目2 打音・目視点検技術の開発

- 2-1 打音診断システムの研究開発
- 2-2 カメラによる異常診断手法開発



## 現状の成果①

コンクリート橋の点検可能なマルチコプター



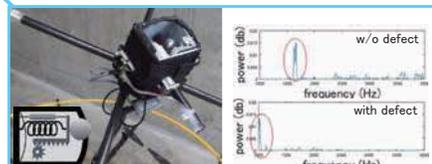
### カメラモジュール

特徴点を利用した移動量・自己位置の推定、視覚情報に基づく異常診断



### 1自由度マニピュレータ

1自由度のマニピュレータにより、床版および橋脚への接触が可能。橋脚全体の点検が可能。



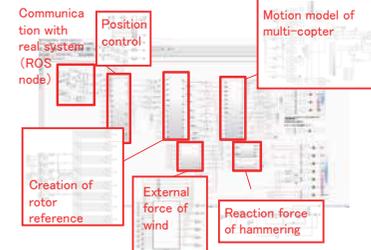
### 打音モジュール

検査面を叩きマイクで集音。音声を解析し欠損の有無を判定。検査面との接触力を計測・利用し、検査条件を一定化

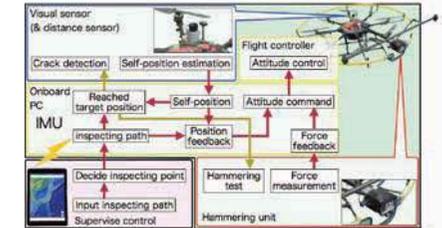
可変機構付きマルチコプター

## 現状の成果②

### マルチコプター用シミュレータ



### マルチコプター制御系



## 研究業績

### 国際会議

- ・ Takahiro Ikeda, Kenichi Ohara, Akihiko Ichikawa, Toshio Fukuda, "Pilot Study on Control of One DoF Manipulator on Quadcopter for Hammering Check," Proc. of 2015 Intl. Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, pp. 199, November 23 - 25, 2015.
- ・ Junpei Kishikawa, Kenichi Ohara, Takahiro Ikeda, Akihiko Ichikawa and Toshio Fukuda, "Vision-based Localization for Automated UAV Automated Multicopter Control," Proc. of 2016 Intl. Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, TP-14, November 28 - 30, 2016.

国内学会 6 件

### 特許

- 発明の名称： 飛行装置
- 発明の概要： プロペラにより飛行する装置に、検査装置を備えた簡易マニピュレータを装着することで、遠隔で点検が容易に出来る装置
- 出願番号： 特願2015-091386
- 発明の名称： 移動装置
- 発明の概要： 送り出し長さ調節機構を持つ複数のワイヤー巻き取り装置と、それにより懸架され、その位置が制御される移動装置本体と、その本体に具備した推進装置により懸架状態で拘束されていない方向に装置自身を移動できる機構を備えた移動装置。
- 出願番号： 特願2015-091387

## 最終目標

### 最終成果の数値目標

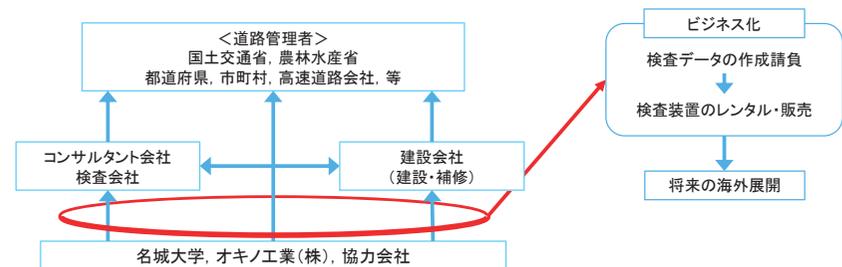
- 打音モジュール:**
  - ・ 50cm間隔で1回1秒で打音
  - ・ 深さ10cm程度の異常個所の自動判別
- カメラモジュール:**
  - ・ 0.2mmまでのひび割れの自動検出
- 飛行制御:**
  - ・ 自動飛行と簡易な人の指令によるスーパーバイズコントロール



安全性 高い信頼性 低コスト

自動点検

### 成果の社会実装イメージ



# 46 人体計測技術を用いた直感的な遠隔操作ロボットの開発

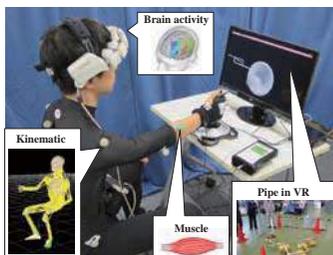


研究責任者 早稲田大学 創造理工学部 教授 菅野重樹  
共同研究グループ 千葉大学

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- 廃炉やドローンなどにおける操作の熟練者の標準的・共通的な人体特性モデルを抽出し、直感的な遠隔操作ロボットを開発
- 遠隔操作ロボットの作業現場は、未知で複雑であり、ロボットの行動範囲に制約があるものが多いため、直感的なインターフェースの開発が望まれている。
- 本研究では、それらの作業現場の環境を最も表している例として、**ガス管の点検**をテストケースとして直感的なインターフェースを開発する。



### 研究開発の内容

- ガス配管を**仮想環境下で再現シミュレーション**を構築
- 配管点検VRシミュレーションを操作している人の脳活動や操作の軌跡等を計測し、操作の熟練者における人体モデルを解明
- 抽出された人体モデルをベースに配管点検ロボットの構造や制御手法を導出。
- 従来の設計手法はミッションの達成を目指した作業成績による評価が中心であるのに対し、本研究から**人間中心設計**を前提としたロボットおよびインターフェースの開発が可能
- 直感的な遠隔操作ロボットの設計論を構築

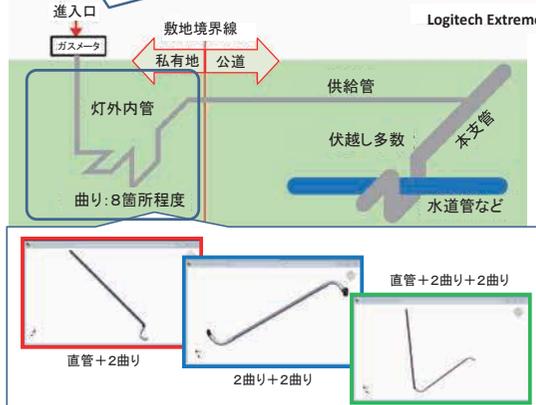
## 現状の成果①

VRシミュレーションの構築



Logitech Extreme 3D Pro

外観視点 シミュレーション操作画面



- ◆ 配管内部点検ロボットの設計開発用シミュレータ
- ◆ 配管内移動による異物確認
- ◆ ロボット先端に視点を配置して移動
- ◆ シナリオベースでの評価
- ◆ JIS規格に則った銅管を再現
- ◆ 25Aの8曲り+50Aの伏越

## 現状の成果②

操作者の計測・モデル化技術

### 直感的な操作性の評価手法の構築

#### マニピュレーション操作時の計測 (固定された視点位置で操作)

- 想定されるロボット
  - ◆ 瓦礫除去ロボット
  - ◆ アーム付きドローン

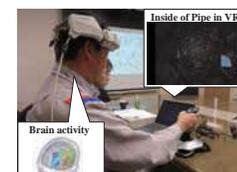


#### 得られた成果

- ◆ 直感的に操作可能なカメラとアームの配置位置の導出
- ◆ 直感的に操作可能なマスタ・スレーブ間の先端姿勢の許容誤差の導出

#### ロコモーション操作時の計測 (ロボットに配置された視点位置を操作)

- 想定されるロボット
  - ◆ 配管点検ロボット
  - ◆ ドローン



#### 得られた成果

- ◆ 歩行と同じ感覚で操作可能な速度増幅率の導出
- ◆ 操作時にかかるストレスを脳の活動量から表せるかを解明

### 直感的なインターフェースの開発

#### コンソールの開発

- ◆ ロボット先端部のピッチ、ヨー、ロール、前後推進を操作可能
- ◆ 手首の可動域を活用
- ◆ 各軸方向に力覚フィードバック

#### ナビゲーションの開発

- ◆ 操作者の**没入感**を提示するようなナビゲーションを画面に提示
- ◆ コントローラとロボット先端が対応するような視認性を向上させる

## 最終目標

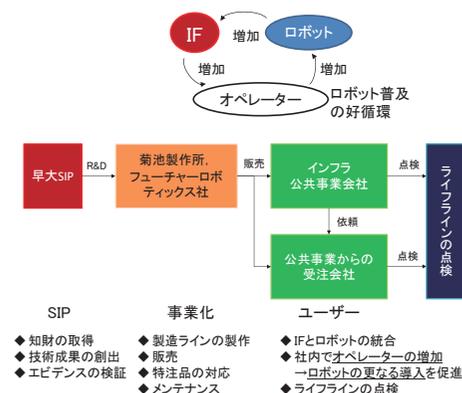
### ◆ 操作インターフェースの販売

- 移動ロボット全般に適用可能
  - ✓ 橋梁点検ドローン、潜水艇、配管点検、クローラなど
- 解決する問題
  - ✓ オペレーター不足の深刻化
  - ✓ オペレーターを増やし、ロボットの更なる導入を促進



### ◆ 社会実装時の運用形態

- 現場ユーザー
  - ✓ 橋梁・配管などの点検者
  - ✓ 瓦礫除去等のクローラ操作者
- 使用場所
  - ✓ 橋梁、配管、瓦礫現場など
- 調達、製造、販売、利益創出
  - ✓ 菊池製作所、フューチャーロボティクス社から事業化
  - ✓ インフラ公共事業会社、公共事業からの受注会社で購入



# 47 自在適応桁で支えられる 橋梁点検ロボットシステムの研究開発



研究責任者 (株)ハイボット 代表取締役会長 広瀬茂男  
共同研究グループ (株)建設技術研究所、東京工業大学

## 研究開発の目的・従来技術

### 研究開発の目的

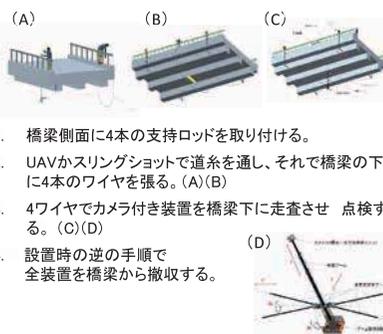
- 入り組んだ構造をもつ橋梁に対し、伸展アームで損傷に近づき、照明の方向と撮影の方向を変えた撮影を行い、表面状態をより明確に判別可能とするロボットシステムを開発する。
- 3Dモデルに撮影写真をはめ込むことで、周辺状況も考慮した現実的な評価が出来るようにする。
- 撮影部位の打音データを同時に出力可能とすることで、表面状態の評価可能性を向上させる。

### 研究開発の内容

- 4本の吊り下げワイヤ長さの制御で桁下の全方向に移動可能な**走行機**。
- 橋梁の損傷を点検する**近接目視**、**打音点検装置**。
- 近接目視、打音点検装置を搭載し、位置姿勢制御機構を備えた**伸展型アーム**。
- 橋梁へ固定する**クランプ機構**、**ワイヤ支持ロッド**、**統括制御装置**を搭載する台車。
- ガイドワイヤ架設用**UAV**、**スリングショット**。
- システム全体を制御する**点検制御システム**。
- 点検結果を整理、提供する**データベース**。

## 主な研究開発実施項目

- ❖ 新しいロボットシステムを使用した近接目視点検の評価方法の開発
- ❖ 以下に示す新ロボットシステムの開発



- 橋梁側面に4本の支持ロッドを取り付ける。
- UAVからスリングショットで道糸を通し、それで橋梁の下に4本のワイヤを張る。(A)(B)
- 4ワイヤでカメラ付き装置を橋梁下に走査させ 点検する。(C)(D)
- 設置時の逆の手順で全装置を橋梁から撤収する。

## 現状の成果①

### 新ロボットシステム(BRIDGEVIEW)の開発



## 現状の成果②

2016年11月1日 茨城県幸久橋にて、および、2017年1月26日 神奈川県戸沢橋にて、実証実験を実施し、以下の成果を確認した。

### ワイヤ支持用ロッド(プロトタイプ)



支持ロッド

- 地覆へのクランプ機構、補助ワイヤの併用により伸展アームを安定吊下げ可能
- 4本の吊り下げワイヤの送出し長さ制御により、5m×10mの範囲の任意位置に伸展アームを移動
- 伸展アーム移動速度: 8cm/s

### ガイドワイヤ架設用UAV(試作)



道糸搬送用UAV

- 映像、ジャイロセンサなど複数のセンサ情報を基にホバリングを行なう
- 模擬橋梁によるガイドワイヤ(道糸)架設実験により、10m主桁間を安定に飛行搬送できる

### 伸展型アーム(プロトタイプ)



伸展型アーム

- 装置重量: 15kg
- アーム先端に点検装置取付
- アーム伸展機構  
アーム伸展高さ: 3m  
アーム伸展速度: 10cm/s
- アーム傾斜機構  
アーム傾斜立体角: ±11度

### 近接目視点検装置(プロトタイプ)



カメラユニット

- 伸展アーム先端にクランプ機構で着脱する
- 装置重量: 0.7kg
- 仰角: ±35度
- 方位角: 全周(360度)
- 分解能  
暗部での分解能0.15mm

## 最終目標

### ロボットシステム仕様の最終目標(平成30年)

1	伸展アームの移動速度	0.3m/sec
2	伸展アーム伸展距離	2.5m
3	アーム傾斜立体角	20度以上
4	連続稼働時間	3時間以上
5	防塵防水性	IP55
6	吊り下げ点検装置の重量	15kg以下
7	4ワイヤがカバー可能な最大領域	30m × 30m
8	点検動作時振動の振幅	100mm以下

### 本ロボット(BRIDGEVIEW)の橋梁点検作業目標

点検要員数	点検員1名 点検補助員2名 合計 3名
点検時間	ロボット設置・撤去 1h 点検作業 3.5h
点検の品質	橋の3Dデータに位置座標付き撮影画像をレンダリングしたDBの提供(損傷箇所の経年変化を追跡可能)
交通規制の有無	車輛規制不要
点検箇所	橋脚の下側まで検査可能

### 目視点検装置仕様の最終目標(平成30年)

1	仰角	±90度
2	方位角	360度
3	暗部での橋表面欠陥判別分解能	0.05mm以下
4	防塵防水性	IP56
5	質量	2.0kg以下
6	連続稼働時間	3時間以上

- 橋梁点検車で点検している橋梁を本ロボットで代替点検可能とする。
- 協力企業を募って全国展開を図ると同時に対象橋梁の拡張を図る。
- 橋梁点検車や高所作業車で点検が困難な橋梁の点検を実施する。

# 48 橋梁・トンネル用 打音点検飛行ロボットシステムの研究開発



研究責任者 日本電気(株)西沢俊広  
共同研究グループ (株)自律制御システム研究所、(一財)首都高速道路技術センター、(国研)産業技術総合研究所

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

高所作業車等を利用した従来の打音検査の課題を解決するため、飛行ロボットを活用した点検システムを実現する。

### 従来の打音検査の課題

- ① 高所作業車による長時間の車線規制
- ② 高い橋脚等の足場設置が困難
- ③ 災害現場での人による点検が危険

### 飛行ロボットにより解決

- ① 車線規制時間の大幅短縮
- ② 死角など点検困難箇所の点検
- ③ 危険な場所での人の作業が不要



橋梁やトンネルの環境



打音点検飛行ロボット

打音点検センサ

### 研究開発の内容

- ① 橋梁・トンネルなどの非GPS環境、風などの外乱がある環境での**飛行制御技術**
- ② コンクリート構造物の打音による変状の**状況検知技術**
- ③ ロボットによる点検の**安全確保**と、従来の人手の点検からロボット導入による**生産性の向上**

## 現状の成果①

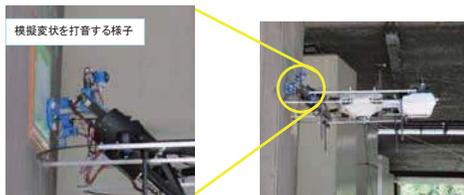
打音点検飛行ロボット/飛行制御技術

### 研究成果:

- ・打音点検飛行ロボットを試作し、国土交通省主催の現場検証にて要素技術の部分的な機能を確認。
- ・非GPS環境での飛行を目標としたトータルステーションとLRF※による位置姿勢情報による自律制御飛行を実現。
- ・搭載した打検機を壁面に押し当て、点検員が清音・濁音の判断がつく品質の打音の実現。
- ・JAXA風洞での飛行性能の評価により、風速8m/sの整流での飛行安定性の確認。
- ・逸脱防止用ネットによる飛行試験現場の安全性確保。

※LRF: レーザレンジファインダ

### 打検機を押し当てる飛行制御



模様変状を打音する様子

### 試作した打音点検飛行ロボット



### JAXA風洞での飛行性能評価



6.5m x 5.5mの大型風洞でのフリーフライト評価  
風速(整流)3m/s~8m/sで安定性確認

### 試作した逸脱防止用ネット展開システム



風を通しロボットをキャッチできる網を点検現場で展開可能な構造開発

## 現状の成果②

ボール打検機/状況検知技術

### 研究成果:

- ・6m以下の高さで安価な打音点検支援を実現するため、打音点検飛行ロボットと共通のセンサヘッドを用いたボール打検機を試作。
- ・国土交通省の現場検証において実用性を評価。従来の点検と同等の時間での作業性を確認。足場の構築時間、費用を縮減。
- ・機械学習を用いた打音の清音・濁音の識別機試作。
- ・飛行ロボットのノイズを低減する音響処理フィルタの開発、点検員の評価により聞きやすさの向上を確認。



試作したボール打検機



センサヘッド

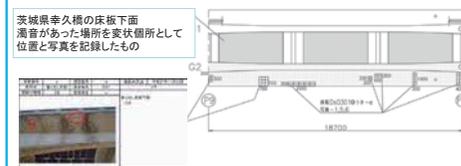
点検端末

点検員

点検補助員

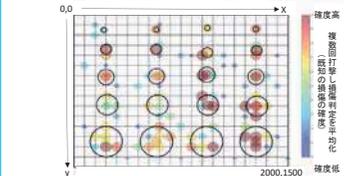
点検補助員がタブレットを操作し点検結果を記録

### ボール打検機による点検結果に基づく調査の例



架設車庫久橋の床板下面  
濁音があった場所を変状箇所として位置と写真を記録したもの

### 試験体を用いた清音・濁音の判別結果



黒い円で囲まれた箇所が変状部だま、下にいくほど大きく、右に行くほど浅い格子の交点で打音データを収集、変状可能性がある部分に色付けをした点検員と同等の判別性能を確認

## 最終目標

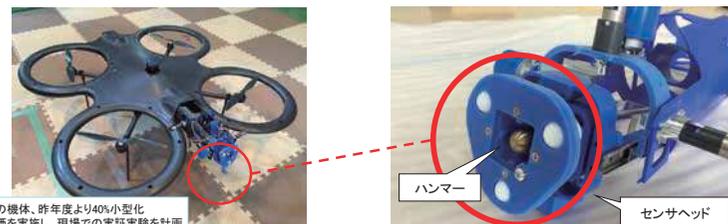
### 開発の最終目標:

- <共通>
  - ・橋梁・トンネルの打音点検の支援
  - ・清音/濁音の識別支援
- <打音点検飛行ロボット>
  - ・連続運用2時間(有線給電)
  - ・高度 30m ・平均風速8m/sで運用
- <ボール型打検機>
  - ・足場なしで高さ6m以下の打音点検

### 社会実装イメージ:

- ・従来の足場建設、または高所作業車や橋梁点検車が必要な高所の打音点検に本装置を活用
- ・従来の機械足場や点検装置と同じようにレンタルにより点検業者に提供
- ・点検データの管理、情報共有についてはクラウド型で情報サービスを提供
- ・岐阜大学SIP実装プロジェクトなどの現場検証に参加し、評価を反映した改良を経て、高速道路、国、地方自治体が管理する道路に展開
- さらに鉄道、ビル等の道路以外の点検に応用

### 改良中の打音点検飛行ロボットシステム



開発中の機体、昨年度より40%小型化  
今後評価を実施し、現場での実証実験を計画

ハンマー

センサヘッド

# 49 トンネル全断面点検・診断システムの研究開発



研究責任者 東急建設(株) 技術研究所メカトログループ 中村 聡  
共同研究グループ 東京大学、湘南工科大学、東京理科大学、(株)小川優機製作所、(株)菊池製作所

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

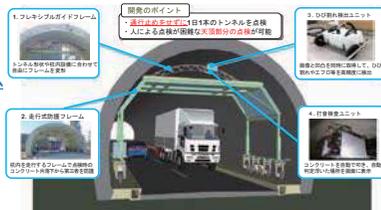
- トンネル点検時に必要となる交通規制を大幅に削減し、特に代替ルートの設定できないトンネルの点検を通行止めをせずに行うことで、生活道路としての機能や緊急車両の通行を確保する。
- トンネルのコンクリート覆工面に近づくため、高所作業で行っていた打音検査や近接目視による点検作業を遠隔操作ロボットで行う。
- 専門的な知識が必要なトンネルの点検・診断を点検システムがサポートすることで、専門家でなくても適切な補修や維持管理方法について判断可能な情報を提供する。



従来のトンネル点検例

### 主な研究開発の内容

1. 多様なトンネル形状や坑内設備に適應するフレキシブルガイドフレーム
2. コンクリート片の落下などの災害を防止する走行式防護フレーム
3. コンクリート表面の凹凸を検出し、汚れとひび割れを識別するひび割れ検出ユニット
4. 打音と画像から浮きの位置を記録する打音検査ユニット



トンネル全断面点検・診断システム

## 現状の成果①

### 交通を妨げない点検用フレームの開発

#### フレキシブルガイドフレーム



変形による附属物回避



ガイドフレーム(1ユニット)

**【技術概要】**

- ・ アクチュエータの伸縮によりガイドフレームが変形
- ・ 坑内設備位置を検出し、逆解析手法により変形量を決定

**【実施内容】**

- 模擬トンネルでの動作検証  
覆工面との接触や、特異点が発生すること無くフレームが変形可能であることを実証(11フレーム同時制御)
- 異常発生時の多重安全対策  
停電時でも形状を保持するセルフロック機構を採用

#### 走行式防護フレーム



模擬トンネル走行試験



フレーム組立実証実験

**【技術概要】**

- ・ トンネル線形に倣って坑内を走行、停止時に点検を実施
- ・ 一般車両走行エリアと点検エリアを区分し、災害を防止

**【実施内容】**

- 模擬トンネルにおいて走行性能を確認  
歩道への乗り上げ、覆工面との干渉、操舵性などに問題が無いことを確認
- フレーム組立作業を検証  
現地での組立、解体作業が想定される作業時間内で実現可能であることを確認

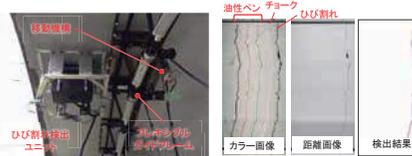
### 点検用フレームを使用するメリット

- ・ 反力を得られるフレーム構造により打音検査やたき落し、簡易補修作業が可能
- ・ 少ない交通規制で精密な点検作業ができる
- ・ 可変形状フレームにより適用可能なトンネルが増大

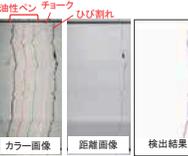
## 現状の成果②

### 遠隔操作による点検ユニットの開発

#### ひび割れ検出ユニット



ひび割れ検出ユニット



取得画像とひび割れ検出結果

**【技術概要】**

- ・ カラー画像と距離画像を組合せ  
汚れなどのノイズに頑健なひび割れ検出を実現
- ・ エフロッセンス等の変状も検出可能

**【実施内容】**

- ひび割れ検出性能試験  
試験体のひび割れと汚れの識別率70%以上を達成
- 模擬トンネルでの性能検証  
点検員の結果と比較し、一定の検出精度を確認(ひび割れ検出精度 幅 108%、長さ 95%)

#### 打音検査ユニット



打音検査ユニット



変状位置マッピング

**【技術概要】**

- ・ 画像と打音を同時に取得し、瞬時に浮きを判定
- ・ 検出箇所のマッピングにより浮きを可視化

**【実施内容】**

- 模擬トンネルや供試体による検出実験  
教師あり学習/チャレラベル学習に基づく推定法により、浮きや斜めひび割れの検出に成功
- スクリーニング手法の検証  
教師なし学習により現場キャリブレーション作業を削減

### 点検ユニットのメリット

- ・ 画像から汚れなどのノイズを除去する後処理の作業量が削減
- ・ 斜めひび割れや閉合箇所などを検出し、剥落につながる変状を早期に発見

## 最終目標

### 開発の最終目標

トンネル全断面点検・診断システムの検出精度

- ・ ひび割れ 80%以上(幅 0.5mm以上)
- ・ 浮きなどの変状 70%以上

を達成する

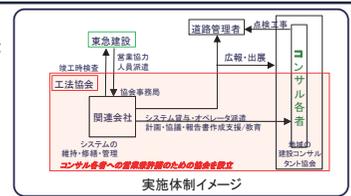
### 点検システムのターゲット

・ 技術者不足が深刻な地方自治体が管理する一般道トンネル

※ 全国のトンネルの約55%に点検システムが適用可能  
(点検システムが導入可能な道路幅員と有効高さなどから適用範囲内のトンネル割合を算出)

### 自治体が管理する道路トンネル点検支援

- 地元のコンサルタントや点検業者等に高所作業車、検査技術者経費と同等以下の価格で点検システムを貸与(レンタル)し、技術指導を行う
- 点検システムを中心とした協会を設立し、普及促進やシステム貸与、オペレータ派遣、計画や報告書作成支援、道路管理者への情報提供等を行う

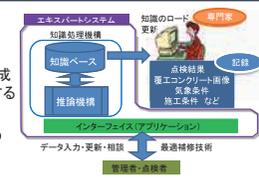


### 実用化に向けた技術開発

#### トンネル診断支援システム(開発中)

取得した点検データから変状展開図や写真台帳を作成し、最適な補修方法や材料、業者等のデータを提示するシステム。

この診断支援システムにより、技術者のいない地域の維持管理方針設定や補修費用の算出を支援する。



地方自治体における維持管理業務の人材不足や、構造物の基礎的情報不足に貢献するシステムを目指す

# 50 橋梁の打音検査ならびに近接目視を代替する飛行ロボットシステムの研究開発



研究責任者 東北大学 未来科学技術共同開発センター 准教授 大野和則  
共同研究グループ (株)リコー、千代田コンサルタント(株)、(一財)航空宇宙技術振興財団、東急建設(株)

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

橋梁や床版橋の近接目視、打音検査を代替するドローン(マルチコプタ)の研究開発

- 点検車両のアームが届かない橋梁も従来と同程度の時間で点検
- 点検用の足場作成のコスト・期間を削減
- 最小限の交通規制で点検業務を実施
- 損傷箇所に関する調査作成を支援するソフトを開発

### 研究開発の内容

- ぶつかっても落ちずに橋梁の奥まで入り込める点検用球殻ドローンの開発
- 構造物に吸着して見通し外の点検用ドローンへの通信を中継する通信中継ドローンの開発
- 点検映像に写った橋梁の損傷位置・程度の判定を支援する機能の開発
- 点検・航空・建設の専門家主導による性能実証試験の実施



研究開発成果の最終イメージ

## 現状の成果①

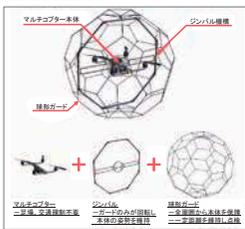
### 点検用球殻ドローンの開発 (東北大学)

球殻で保護されたぶつかっても落ちないドローン

H27国交省現場検証評価※

『従来必要だった人間用の足場や交通規制が原則不要』

『高解像度カメラで0.2mm幅の損傷(ひび割れ等)を撮影可能』



受動回転球殻ドローンの仕組み



橋梁の桁間に入り点検するドローン(直径0.95m、重量2.5kg)

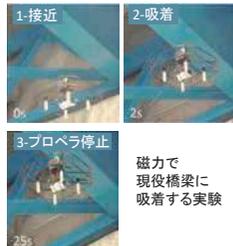
### 通信中継用吸着ドローンの開発 (東北大学)

橋梁外部に吸着し橋梁内部への通信中継を行うドローン

- 磁力で橋梁に吸着し、最小限の電力消費で、その場にとどまり通信を中継
- 点検用ドローンへの通信を確保し通信途絶による事故を予防



通信中継ドローンの運用イメージ



磁力で現役橋梁に吸着する実験

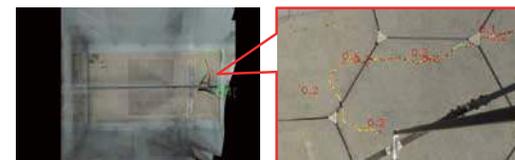
※ http://www.mlit.go.jp/common/001125338.pdf

## 現状の成果②

### 損傷位置・程度の判定を支援する機能の開発 (東北大学、リコー)

ドローンが接写した映像から橋梁の展開図を復元し損傷を検出

- 画像処理により接写映像から橋梁の展開画像を自動復元
- 映像中の損傷が全体像のどこかを特定し調査(点検報告書)作成を支援
- ひび割れ等の判定をソフトで支援



接写映像から復元した鋼橋床版の展開画像

接写画像上での床版のひび割れ検出

### 性能実証試験の実施 (千代田コンサルタント、航空宇宙技術振興財団、東急建設)

『現場で使える/使いたくなる』ツールとしてのロボット技術を目指し点検・航空・建設の専門機関が主導する性能実証試験を定期実施



実橋梁での点検試行



風洞での空力性能試験



人工気象室での天候耐性試験

## 最終目標

### [開発の最終目標]

開発項目	最終目標
飛行ロボットを利用した橋梁の損傷箇所の空撮と打音検査	<ul style="list-style-type: none"> <li>撮影対象:コンクリート橋、鋼橋</li> <li>点検に必要な機材を1BOX車で運搬</li> <li>到着後、15分程度で撮影機材の準備</li> <li>対象に合わせて軽量カメラを複数搭載し死角のない映像を取得(可搬重量300g)</li> <li>1フライト10分程度、連続飛行で空撮</li> <li>1径間あたり30分~40分で空撮</li> <li>打音で損傷を確認</li> </ul>
展開画像を利用した損傷の種類と箇所の特定と調査の作成	<ul style="list-style-type: none"> <li>1径間あたり数~十数時間で複数の撮影映像から展開画像生成</li> <li>コンクリート橋のひび、鋼橋の腐食など損傷の種類と位置を半自動で書き込み</li> <li>損傷図、損傷写真作成支援ツールによる一連の点検調査の作成</li> </ul>

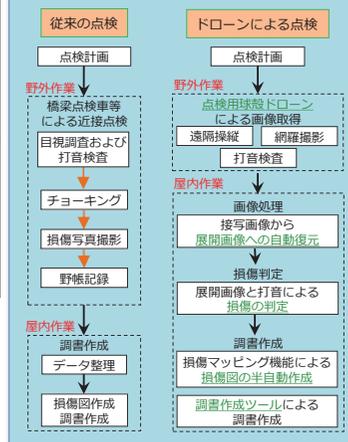
### [本技術の社会実装イメージ]

参加企業・組織を中心に下記業務を行う

- 橋梁点検飛行ロボットの製造、販売、リース、保守
- 損傷画像解析ソフトの製造、販売、リース、保守
- 操縦者・インストラクターの教育と資格認定

### [橋梁点検を支援・一部代替]

交通規制を伴う点検作業をドローンを用いて点検、画像処理・調査作成ツールによる調査作成の簡略化



# 51 近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システムの研究開発



研究責任者 新日本非破壊検査(株)メカトロニクス部 部長 和田秀樹  
共同研究グループ 名古屋大学大学院、九州工業大学大学院、福岡県工業技術センター、北九州工業高等専門学校

## 研究開発の目的・内容

### 背景

- インフラ点検には多くの課題
- ▶ 特殊車輛・足場使用のコスト
- ▶ 安全対策
- ▶ 点検者技能に依存
- ▶ 技術者の不足

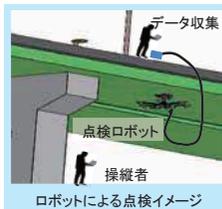


特殊車輛による点検

### 研究開発の目的

ドローン技術の活用とデータ解析で点検作業の効率化・低コスト化を支援

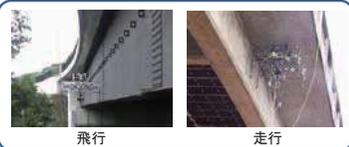
- ▶ 特殊車輛・足場費の削減
- ▶ 道路規制の低減
- ▶ 従来点検データの活用
- ▶ 変状の自動検出
- ▶ 点検調査の支援



ロボットによる点検イメージ

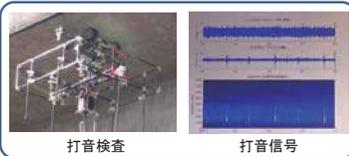
### 研究開発の内容

- ・ドローンと駆動車輪を合わせた移動機構
- ・近接目視・打音検査を実施する点検機構
- ・画像・音響解析による変状検出システム



飛行

走行



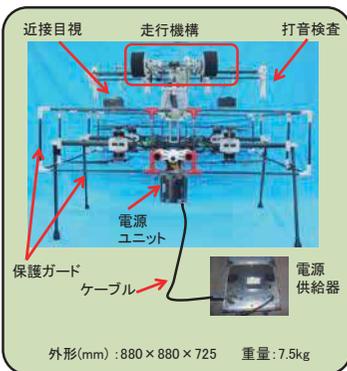
打音検査

打音信号

## 現状の成果①

### 点検ロボット

ドローンの上部に駆動車輪と点検機構を搭載した点検ロボットを開発  
車輪を押し当てて走行状態で連続点検



外形(mm) : 880 × 880 × 725 重量 : 7.5kg

### ロボットによる点検作業の代替

- ・人が容易に近づけない箇所へ飛行
- ・車輪を押し当て、走行状態で点検

### 飛行機構

点検部への接近は小型が有利  
⇒ 小型で高出力



(二重反転式クワッド型)

### 走行機構

点検面の傾斜に対応  
⇒ 車輪揺動



(前/後 ±15°) (左/右 ±20°)

### フィールド試験



## 現状の成果②

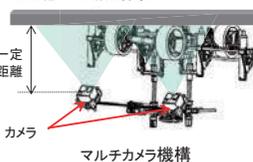
### 自動検出システム

ドローンに搭載したカメラ・打撃機構によりひびわれ、空洞等の検出を可能とした。

- ・自動記録による見落とし防止
- ・データの可視化

#### 近接目視

近距離から動画撮影



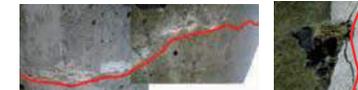
マルチカメラ機構

画像補正

- ・魚眼補正
- ・台形補正
- ・画像合成
- ・点検マップ作製

画像解析

- ・ひびわれ自動検出(幅0.2mm程度)
- ・ひびわれ測定(われ幅、長さ、位置)

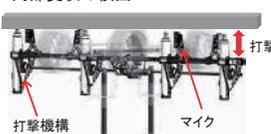


(遊離石灰)

(ひびわれ・剥離)

#### 打音検査

内部変状の検出

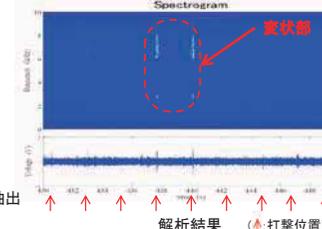


4連ピストン式打撃機構

- ・一定間隔で連続的な打撃
- ・マイクによる收音

打音解析

- ・プロベラノイズ除去
- ・周波数スペクトル変動の抽出(深さ60mm空洞検出が可能)



解析結果 (▲:打撃位置)

## 最終目標

### 最終数値目標

機能	目標値
ロボット	飛行範囲: 半径30m ケーブル長: 40m
近接目視	検出ひびわれ: 0.1mm 位置計測: ±10cm
打音検査	空洞検出: 深さ60mm RCひびわれ: かぶり深さ30mm
厚さ測定(鋼橋)	超音波厚さ測定 精度: ±0.2mm
点検作業	オペレータ: 3名/ロボット 作業可能風速: 6m/秒(平均) 点検速度: 250m <sup>2</sup> /時間

### 販売・レンタル

- ・点検システム
- ・ユニット(点検ロボット、打音機構など)
- ・検出ソフト(画像処理・打音処理)
- ・オペレータ\*1、点検技術者\*1
- ・オペレータ・メンテナンス教育 (\*1:レンタルのみ)

### 社会実装のイメージ

- ▶ 点検サービス
- ▶ 販売
- ▶ レンタル

### 点検サービス

#### ○コンクリート橋(RC構造、PC構造)

- 近接目視**(ひびわれ、剥離、鉄筋露出)  
対象: 床版、桁、橋脚、支承、その他
- 打音検査**(浮き、内部われ\*2)  
対象: 床版、桁、橋脚、その他

#### ○鋼橋

- 近接目視**(腐食、亀裂、変形)  
対象: 床版、主桁、横桁、支承、その他
- 超音波検査**(厚さ測定、われ)  
対象: 主桁、横桁、その他

#### ○トンネル(調査・部分点検)

- 近接目視**(ひびわれ、剥離、漏水、腐食)  
対象: 覆工、機器取り付け部、その他
- 打音検査**(浮き、空洞、内部われ\*2)  
対象: 覆工、ボックスカルバート、その他

(\*2: 鉄筋腐食による内部ひびわれ)

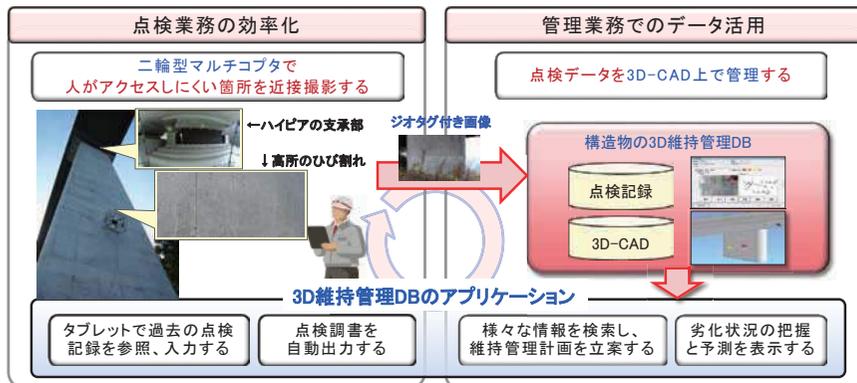
# 52 二輪型マルチコプタを用いたジオタグ付近接画像を取得可能な橋梁点検支援ロボットシステムの研究開発



研究責任者 富士通(株) 沢崎直之  
共同研究グループ 富士通(株)、名古屋工業大学、東京大学、北海道大学、(株)ドーコン

## 研究開発の目的・内容

人による点検が困難な箇所を近接撮影する点検用ロボットシステムと、点検データを3D-CAD上で一元管理して様々な用途に活用可能な点検データ管理システムを開発し、維持管理業務全般の省力化・高度化の実現を目指します。

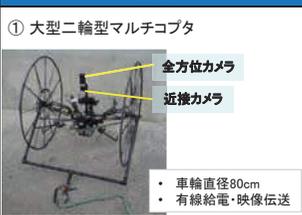
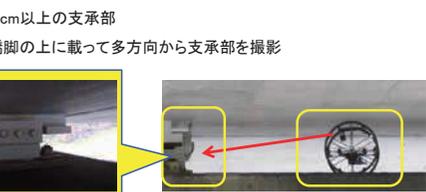


## 現状の成果①

点検ロボットシステムの開発

橋梁の橋脚や床板に接触し、走査しながら近接画像を取得可能な点検用ロボットの試作

- ① 大型二輪型マルチコプタ機構の開発
  - 約40mのハイビアで橋脚・支承の近接撮影ができることを確認(風速5m/s以下)
- ② 小型二輪型マルチコプタ機構の開発
  - 約50cmの支承部に進入して近接撮影できることを確認(風速2m/s以下)

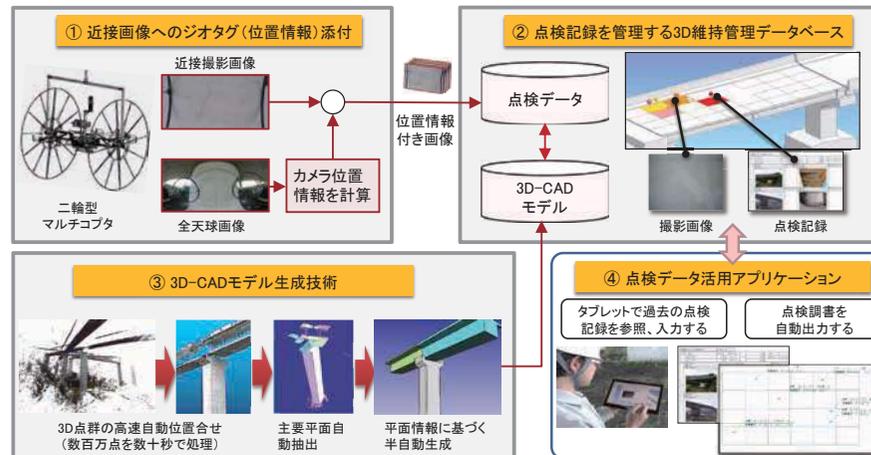
種類	ターゲット
① 大型二輪型マルチコプタ  全方位カメラ 近接カメラ ・車輪直径80cm ・有線給電・映像伝送	【対象】 高さ30m以上のコンクリート橋 【活用方法】 従来はロープアクセスで点検していた箇所を素早くアクセスし、有線映像伝送でリアルタイムに状態把握 
② 小型二輪型マルチコプタ  ・車輪直径40cm ・保護フレーム付き	【対象】 高さ45cm以上の支承部 【活用方法】 橋脚の上に乗って多方向から支承部を撮影 

## 現状の成果②

点検データ管理システムの開発

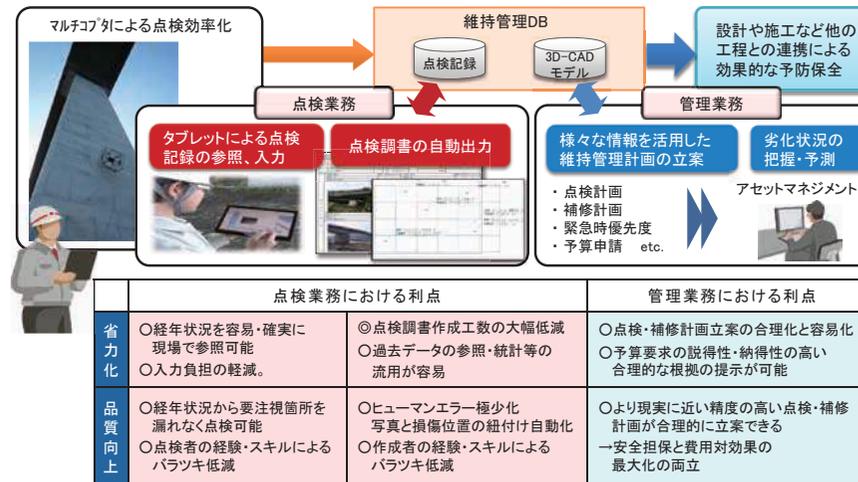
長期保存に耐え、点検データの高度活用が可能な点検データ管理システムの開発

- ① 全天球カメラを利用したSFM(Structure from Motion)に基づく、近接画像へのジオタグ添付技術の原理試作
- ② 国際標準(IFC)準拠の橋梁対応規格を検討し、3次元上で点検記録を管理するDBを試作
- ③ レーザ計測や写真計測から、現況の橋梁の3Dモデルや3D-CADを生成する技術の開発
- ④ 現場のタブレット等で過去記録の参照や損傷状況を簡易に入力可能なアプリケーションの試作



## 最終目標

- マルチコプタによる高橋脚コンクリート橋梁の橋脚、支承部、床版の近接撮影技術の開発
  - 実業務に適用可能な耐風性能を実現し、かつ安全に遠隔操作可能な機構、制御技術の確立
- 点検結果などデータを活用し、橋梁管理業務を効率化する技術の開発
  - 橋梁構成部材のCADモデル化支援、経年変化自動検知など、高度活用に向けた基本技術を確立



	点検業務における利点	管理業務における利点
省力化	<ul style="list-style-type: none"> <li>○経年状況を容易・確実に現場で参照可能</li> <li>○入力負担の軽減。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○点検・補修計画立案の合理化と容易化</li> <li>○予算要求の説得性・納得性の高い合理的な根拠の提示が可能</li> </ul>
品質向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>○経年状況から要視箇所を漏れなく点検可能</li> <li>○点検者の経験・スキルによるバラツキ低減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○より現実に近い精度の高い点検・補修計画が合理的に立案できる</li> <li>○一安全担保と費用対効果の最大化の両立</li> </ul>

# 53 無人化施工の新展開 ～遠隔操作による半水中作業システムの実現～



研究責任者 次世代無人化施工技術研究組合 理事長 油田信一  
研究開発チーム 次世代無人化施工技術研究組合

## 研究開発の目的・内容

### 背景

- 遠隔・無人化施工は、噴火や地震災害時などの緊急工事に適用されている我が国特有な技術
- 近年、集中豪雨等による水災害(地滑り・土石流・出水)が頻発



- 施工で重要な運搬は、現在の機器では対応できず、水際や半水中部の災害対応に課題

### 研究開発の目的

無人化施工の適用範囲を、作業員が入り込むことは危険な浅水域・水際に拡大し、頻発する水災害への迅速な対応を可能とする

### 研究開発の内容

- 水深2m程度の水際や半水中部で、作業・運搬などの一連の施工を実現する無人化施工の実証システムの構築
- 浅水域から陸上にわたる数百メートルの多様な状況下を効率よく安定して走破可能な遠隔操作型重運搬ロボットの開発

### 【具体的研究開発内容】



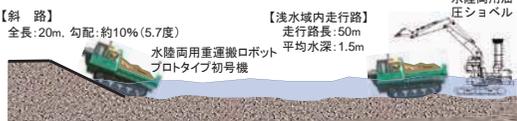
## 現状の成果①

### I. 半水中重運搬ロボット車両の開発

平成26～28年度の研究開発成果：  
半水中を走破するプロトタイプ初号機の試作と評価を反映した遠隔操作仕様の重運搬ロボット2号機の開発

#### 【河川閉塞土砂撤去をイメージした実機実証】

- 掘削土砂：6.0m<sup>3</sup>バケツ×5回＝約7.0t積載
- 水中走行：2.0km/h、水深1.5m、走行距離約50m



実験結果を反映

### 遠隔操作仕様の重運搬ロボット2号機

- エンジン防水隔壁仕様
- ユーティリティ部水没対策仕様
- 隔壁内の漏水センサ実装
- オーバーヒート対策仕様
- 電装品の浸水対策、梱装
- 排気、給気の必要シノケル実装
- 遠隔操作システム実装
- 水深走行：1.8m
- 積載荷重：10t



実験結果を反映

## 現状の成果②

### II. 半水中を走行させるための遠隔操作支援・ガイダンスシステムの開発

#### 平成26～28年度の研究開発の成果

#### 【GNSS-IMUを使用した遠隔操作ガイダンスシステムの開発】

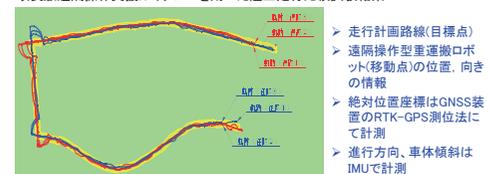
操作ガイダンス装置の操作画面において、操作性を向上させるために平成28年度は以下の改良と実験を実施した

- 表示車体の透過表示(走行計画線を見易くするため)
- 走行軌跡の矩形表示(走行方向を判断しやすくするため)
- 周辺背景の付与機能(陸上走行の操作性向上)



改良版遠隔操作支援ガイダンス表示画面

改良版遠隔操作支援ガイダンスを用いた陸上走行比較試験結果



改良版遠隔操作支援ガイダンス表示機能により、走行計画線に対するスレ量は、最大50cmであった。

#### 【水中における走行地盤状況の探査技術の開発】

カメラ映像の不足を支援する技術として、平成28年度は電磁波レーダ装置による走行地盤状況探査実験を実施した



高さ20cmのブロックを水中内道路上に沈め、電磁波レーダで計測する実験を実施

車面位置データと計測結果をリンクさせ、走行地盤状況の位置と計測結果を結合表示

#### オペレータへの情報提供システム

- カメラ映像の不足を支援するセンサ
- 自己位置の測定に基づく操作支援(ガイダンス)

平成29～30年度：これらの成果を半水中運搬ロボットに統合し実証フィールドにて評価

## 最終目標

(SIP 研究開発終了時) 国土強靱化に貢献

### 【開発の最終(数値)目標】

- #### 半水中運搬ロボット
- 水中での走破能力：
    - 積載荷重：10t
    - 走行速度：3km/h
    - 登坂能力：10%
    - 左右傾斜：3度
    - 段差乗り越え：20cm
    - 連続走行区間：200m
  - 遠隔操作機能
    - 無線による遠隔操作
    - 遠隔操作支援ガイダンス装置の実装
- 半水中における無人化施工の実現  
モデルシステムの構築

### 【災害時の活用イメージ】

無人化施工による、河川閉塞、堤防決壊、天然ダム決壊等の災害の拡大防止

従来型の遠隔操作水中バックホウ

本開発による半水中運搬ロボット

+

- 河川等を閉塞させる恐れのある水中の土砂の掘削
- 水路の開削、掘削
- 堤防の決壊や損傷等を防ぐための根固めブロック等の設置作業

- 土砂、瓦礫等の運搬
- 根固めブロック等の運搬
- 資機材の運搬

遠隔操作室

### 【社会実装：想定している災害対応のための保有・維持体制】

- #### 保有者と使用者
- 国土交通省/地方整備局/技術事務所
  - 地方自治体
  - 河川管理者
  - 民間会社(工事会社、レンタル会社等)
  - 研究機関(さらなる活用法の開発と評価)
- #### 活用のための管理体制
- 保有者：運用時の計画/保管/輸送/定期点検、メンテナンス
  - 使用者：現地取扱い/運用教育(使用方法、安全注意事項)/日時点検

### 【普及と維持のための平時利用との共用化(検討中)】

- #### 平時の利用法
- (水陸両用運搬車として使用：主に搭乗操作による)
- 河川・湖沼の浚渫、護岸工事
  - 河川・湖沼・海岸部の防災工事など
- #### 災害時・平時共用のための体制
- 半水中用車両と遠隔操作機能を分離して整備
  - 災害時には国・地方自治体主導で運用する体制を構築
- #### 供用、および、生産・販売台数の拡大
- 平時向けにレンタル、リースの導入を検討
  - 海外への展開(運用技術と機械)

# 54 社会インフラの点検高度化に向けた インフラ構造及び点検装置についての研究開発



研究責任者 (国研) 土木研究所 技術推進本部 主席研究員 藤野健一  
共同研究グループ (国研) 土木研究所、(一財) 橋梁調査会、(一社) 日本建設機械施工協会

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- ・老朽化する社会インフラ(橋梁・トンネル)に対し、国民が安全・安心に利用するためには、確実なメンテナンスが必要。一方、少子高齢化など建設産業における労働力不足や地方公共団体における技術者不足等の懸念有り。
- ・本研究は、社会インフラ(橋梁・トンネル)を安全に、効率的かつ経済的に点検することを目的とし、点検作業に適したインフラ構造化の検討を行うとともに、ロボット等の装置をより効率的に導入するための構造物設計等の配慮事項を明確化することにより、インフラ・ロボット・人が協調した最適な点検システムを提案する。
- ・H30年度末の目標として、ロボット技術の開発・普及レベルを踏まえ、従来の管理基準や手法を前提に、ロボット技術による「従来の近接目視の支援・効率化」の早期実現に取り組む。

### 研究開発の内容

- ・ロボット技術による、「従来の近接目視の支援・効率化」を実現するため、「点検困難箇所」(インフラ管理者等のニーズより)など、ロボット技術導入効果が期待される箇所を対象に、早期のロボット技術現場導入を実現するため、以下の支援(研究開発)に取り組む。

- ① 点検を考慮したインフラ構造(新設、既設)の検討
- ② 添架物設置要領の作成
- ③ 点検困難箇所等解決を図るロボット技術の性能規定(リクワイヤメント)の設定
- ④ 位置特定技術(マーカー)運用ガイドラインの作成、損傷図納品手法の検討

※①②については、点検困難箇所対策が主たる目的

## 現状の成果①

### 主な点検困難箇所とその対策案(作業効率向上と点検困難箇所改善の提案)

<点検困難箇所の整理(過年度整理済み)>

本四連絡橋、東京湾アクアラインなどの現地調査を行い、直轄国道の橋梁2万3千橋のデータに基づき、代表的な約120の点検困難箇所の事例を抽出、分析し、点検困難箇所を整理。当該整理に基づき、点検の効率化等に寄与する方策の検討・提案。

#### ① 点検を考慮したインフラ構造(新設、既設)の検討 桁端部及び落橋防止装置の改善提案

【点検困難箇所】落橋防止装置による遮蔽状況



#### 橋脚撤去の検討・提案

点検対象の削減、点検空間の確保等による点検効率化・精度向上

道路橋示方書では下横構設置が原則のため、構造計算等により安全性の確保(適宜、補剛材の補強など)が必要。

#### ② 添架物設置要領の作成

【点検困難箇所】添架物による遮蔽



例: 添架物の周囲に幅50cm以上の隙間確保を提案し、ロボット等による点検を容易にする。「添架物設置ガイドライン(案)」作成(H28予定)。

#### ③ 点検困難箇所等解決を図るロボット技術の性能規定(リクワイヤメント)の設定

○新しい点検システムの提案(機器の開発は行わない)  
概略設計により点検困難箇所等の点検可否を確認。



#### 【点検困難箇所】桁下狭隙部



#### ○ロボット技術の性能規定の設定(H28予定)

- ・ロボット作業が適用可能な点検作業の整理
- ・点検作業において活用が見込まれるロボット技術の整理

#### ④ 位置特定技術(マーカー)運用ガイドラインの作成、損傷図納品手法の検討

マーカーの検討、設置を提案  
5種類程度のマーカーを対象に、ロボット技術の視認性を調査(H28予定)。  
マーカー導入効果  
・点検箇所の誤認防止  
・写真合成時の作業効率向上(約4割)

## 現状の成果②

### 点検支援装置(プラットフォーム)の開発

点検作業上の課題(ヒアリングによる)  
・上向き姿勢(不自然な体勢)による作業による苦渋、疲れ等による点検効率の低下  
・台車の盛替え作業に時間がかかる

対応策 トンネルの断面形状に応じて、作業床を任意の角度に変更可能なプラットフォームを開発(設計段階)

【期待される効果1】ロボット技術の導入支援  
・ひび割れ検出装置等を搭載可能なレール設置により、ロボットを近接させて点検実施  
→点検作業の代替や点検作業員を削減



チョーキング/たき落とし(現状)

【期待される効果2】点検困難箇所対策  
・トンネル断面形状に沿った作業床とすることで、無理な姿勢での点検作業を軽減  
・点検時の台車の盛替え作業を減らし、点検作業時間を短縮



デッキの盛替え(現状)

1~2割程度の時間短縮効果を想定(現地調査に基づく試算)

### 位置特定技術(マーカー)の検討

点検作業、ロボット利用上の課題(ヒアリングによる)  
・トンネル内に特徴点がなく、位置情報の把握が困難  
・トンネル内に施工情報があれば、点検時の診断作業がより的確となる

対応策 トンネル点検の効率化を図るために人およびロボットに必要な各種情報とそれを認識可能なマーカー仕様について、基礎的な検討を実施

【期待される効果1】  
・トンネル内のGPSの電波が届かない、特徴点が少ないという条件下でロボットが自己位置を認識できる。  
・ロボットが取得する画像をつなぎ合わせる際の特徴点として利用できる。

【期待される効果2】  
・人による点検において、自己位置の把握や診断の参考となる施工情報等を知ることができる。

・点検もしくは内業作業時間の短縮効果が期待できる  
→ 具体的な短縮効果は、今後、実証実験等により把握する予定



## 最終目標

・H30年度末の出口戦略として、インフラメンテナンスにおいて、ロボット技術を「従来の近接目視の支援・効率化」として導入するため、以下のように成果をとりまとめる。

課題	最終成果
① 狭隘な点検空間(点検困難箇所対策)	・点検を考慮した構造(新設・既設)の提案 ・点検支援装置(システム)の設計
② 支障物による目視困難(点検困難箇所対策)	添架物の設置要領(新設・既設)の作成
③ ロボット技術によるインフラ点検	・現場におけるロボット技術の活用方法と要求性能(リクワイヤメント)の明確化 ・点検支援装置(システム)の設計
④ 点検の効率化・精度向上	位置特定技術(マーカー)運用ガイドラインの作成

### 【本研究開発の目的と研究内容】

- ロボット技術の現場導入支援施策(インフラ構造、点検支援設備など)
  - ① 点検を考慮したインフラ構造(新設、既設)基準の検討
  - ② 添架物設置要領の作成
  - ④ 位置特定技術(マーカー)運用ガイドラインの作成、損傷図納品基準の検討

### 【アウトカム】

ロボット技術導入による、インフラメンテナンスの効率化 など

- 現場におけるロボット技術の活用方法と要求性能(リクワイヤメント)の明確化
- ③ インフラ点検に活用するロボット技術の性能規定(リクワイヤメント)の設定

必要なロボット技術開発の促進 など

# 56 社会インフラ用ロボット情報一元化システムの構築



研究責任者 国土交通省 国土技術政策総合研究所 森川博邦  
業務実施機関 (一財)先端建設技術センター、(株)野村総合研究所

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- 各種ロボット技術が、社会インフラの維持管理及び災害時に有効に活用されるとともに、ニーズとシーズのマッチングを通じた継続的な研究開発に資することを目的とする。
- 開発したロボットの地域実装や国内外の市場を見据えた情報共有と交換ができる場を構築することで、ロボット技術のビジネス化を支援する。



### 研究開発の内容

- 社会インフラの維持管理及び災害対応に役立つ各種ロボット技術について、技術特性や配備状況等の関連情報を一元化し、その情報をロボットの利用者及び開発者等の各関係者により活用される仕組み(「社会インフラ用ロボット情報一元化システム」)を構築・運用する。
- 事業化や導入を目指す者が参考するコミュニティを開催・運営することにより、ニーズとシーズのマッチング、災害対応を含む調達支援情報を提供など、企業・研究機関等の開発者のみならず、国や地方自治体等のユーザーの導入を支援し、技術開発の推進、継続的な改良・開発、利用者の訓練・運用に幅広く貢献するシステムを構築する。



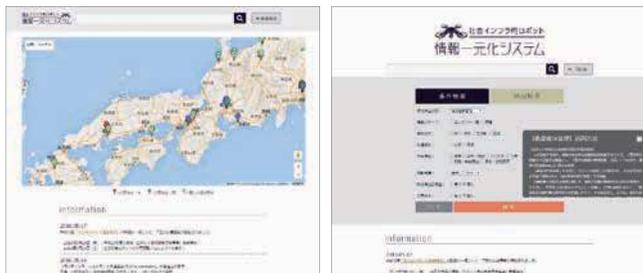
## 現状の成果①

簡易版DBの構築

### 社会インフラ用ロボット情報一元化システム・簡易版DBを構築

- 国土交通省 「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入」での維持管理分野(橋梁・トンネル・水中)と災害対応分野(災害調査、災害応急復旧)のそれぞれの現場検証での実績・評価結果を踏まえ、ロボット技術を整理、検索機能を追加。

分野	ニーズ技術	シーズ技術数
橋梁維持管理	近接目視の代替または支援	28
	打音検査の代替または支援	5
	点検者の移動、接近手段	0
トンネル維持管理	近接目視の代替または支援	6
	打音検査の代替または支援	6
	ダム	11
水中維持管理	ダム	2
	河川の近接目視の代替または支援	2
災害調査	土砂崩落・火山災害の画像・地形データ	12
	土砂崩落・火山災害の物性調査・計測	4
	トンネル崩落のガス等情報取得	0
	トンネル崩落の画像取得	6
災害応急復旧	掘削、押土、盛土等の応急復旧	4
	排水作業の応急対応	1
	機械等への掘削にかかる情報の伝達	4



## 現状の成果②

コミュニティの構築

### 技術開発と社会実装を促進する活動の場としてコミュニティの運営開始

- 開発者が集う場として「一元化交流サイト」コミュニティを構築。現在、SIP開発者を含め、71名が参加。
- 橋梁点検をテーマに「調査用ドローン活用検討」及び「3次元モデリング技術開発」の2つのコミュニティ活動をスタート。
- 従前の橋梁点検におけるロボット活用・支援を実現するための活動。

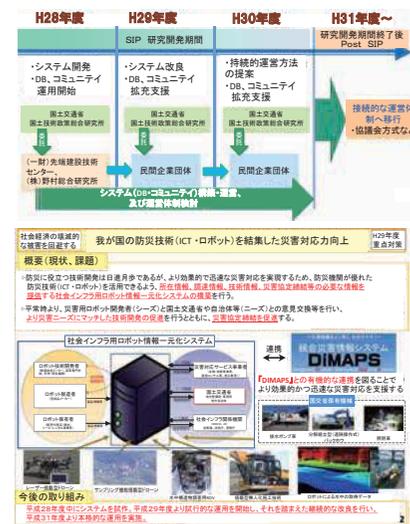


## 最終目標

ビジネスモデルに基づき、H28年度に開始するベータ版のシステム運用を通じ、利便性・有効性・持続可能性の改善・改良を行い、情報一元化システムの本格運用を目指す。

### 持続的な運営体制への移行準備

- 運用を通じた利便性・有効性・持続可能性の改善・改良。SIP後の運営体制の検討。
- H31年度から自立的体制でインフラ用ロボット情報一元化システムの運用を開始。
- 我が国の技術開発者、製造者、保有者、利用者によるロボット技術の開発・利活用に資する『知的情報ハブ』として機能することが目標。



### 国土交通省の各種施策との連携による価値創出

- 統合災害情報システム(DiMAPS)との連携、平成31年度以降の本格運用
- インフラメンテナンス国民会議の活動の一環としての位置付け
- i-Construction推進コンソーシアムのWGの一環としての位置付け

# 57 道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究



研究責任者 東京大学大学院 工学系研究科 教授 前川 宏一  
共同研究グループ 東京大学、日本大学、(株)土木管理総合試験所、(株)NIPPO、東日本高速道路(株)、首都高速道路(株)、横浜国立大学、東北大学、京都大学、大阪大学、高知工科大学、高知工業高等専門学校、東京工業大学、筑波大学大学院、土木学会技術推進機構、北海道大学、首都高技術(株)、(一財)首都高速道路技術センター、九州大学

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- 大目標:** 道路インフラ(特に橋梁)の劣化損傷を的確に検出し、適切な維持管理を行うことで、維持管理費を抑えつつ、安心して暮らせる社会を実現する。そのために必要な以下の技術開発を行い、国内外で実装する。
- ハード技術の開発:** 道路構造物のライフサイクルコストの最小化を実現するために必要となる、評価・検査・補修・補強・更新技術を開発する。
- ソフト技術の開発:** 地方自治体等の道路事業・管理主体において、維持管理の合理化を実現するシステムを開発する。
- 国内外での実装:** 開発した技術・システムを、国内外の道路インフラ、地方自治体に実装する。国際展開のスキームを構築する。

### 研究開発の内容

- 道路構造物の維持管理合理化達成のための要素技術を開発する:** 3次元レーダー、マルチスケール統合解析、データ同化、生存時間解析、新設・更新用高耐久床版、ウォータージェット、仕上げ機械、表層品質評価試験機、防水材
- 道路管理者向けの維持管理システムを開発する:** アセットマネジメントシステム、管理データベース、人材教育システム、維持管理のPDCAサイクル
- 維持管理の合理化とビジネス化の両立を達成する:** 地方自治体の維持管理向けの入札・契約モデル、ビジネスモデル、自己点検・改善方法の提案
- 国際展開:** コンクリート構造物の維持管理に関する国際標準ISOの作成、アジア諸国における国際展開拠点の形成、開発技術の海外への情報発信

## 現状の成果①

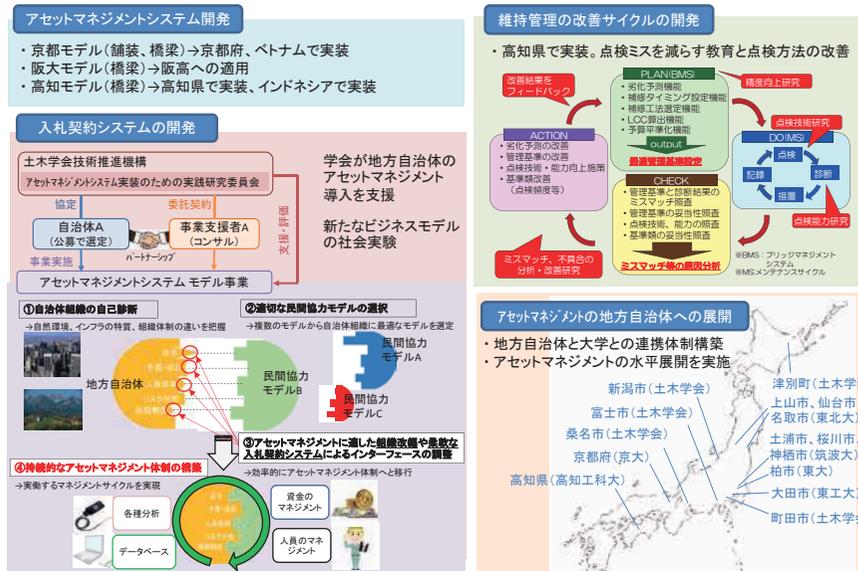
コストのかかる道路床版の維持管理を合理化します



## 現状の成果②

最適な維持管理システムのカスタマイズ・展開を図ります

### 道路管理者、地方自治体向けの維持管理システムを開発、試験運用



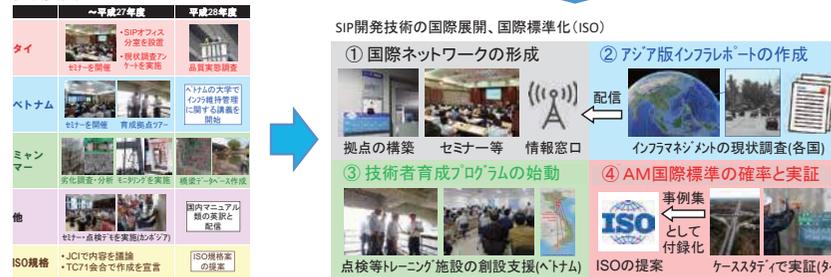
## 最終目標

SIP 開発技術を国内外へ実装します

### 開発技術の国内への実装



### 海外展開 (北大、東大)



57 道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究

57 道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究

# 58 コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発



研究責任者 金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授 鳥居和之  
共同研究グループ 金沢工業大学、石川工業高等専門学校、長岡技術科学大学、福井大学

## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- 北陸地方の橋梁は、以下のような過酷環境下に晒されている。
  - ▶ 海岸地域では、季節風などによって飛来する塩分により、塩害劣化が生じる。
  - ▶ 積雪寒冷地域では、冬季に散布される凍結防止剤の影響により塩害劣化が生じる。
  - ▶ 安山岩などの反応性骨材を使用した橋梁においてASR劣化が生じる。
  - ▶ 山間部における標高の高い地域では凍害劣化が起きやすい。



大目標：これらは全国標準の経年劣化と異なり早期に、かつ複合して劣化が生じている。北陸地方の道路橋に対する点検・診断・モニタリング、評価・判定、対策(補強・補修・更新)への一連の流れを産学官民のトータルな支援体制のもとメンテナンスマネジメントシステムとして確立する。

実装：北陸地方はもとより、同様な早期劣化を生じている地域へ展開する。

### 研究開発の内容

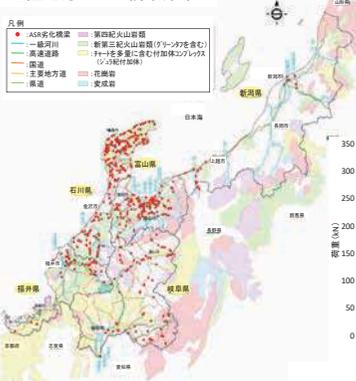
- 塩害やASRの早期劣化機構を解明し、道路を永く安心して使用できる策を開発する。
  - ・ 北陸地方の道路橋における塩害劣化やASR劣化の実態を調査する。
  - ・ 劣化を模擬した実寸の橋桁や床版を複製し、安全性能や使用性能を評価する。
  - ・ 地域環境の向上にも寄与するフライアッシュコンクリートを標準化し、塩害やASRの劣化進行を遅延させる。
  - ・ 簡易モニタリング技術を含めた合理的な点検技術を開発する。
- 地方自治体が運用できるメンテナンスマネジメントシステムを開発する。
  - ・ 健全度評価法、補修優先順位決定法および予算平準化手法を構築し、早期劣化に対応した評価・判定手法を提案する。
  - ・ 定期的に公開セミナーを開催し、人材を育成する。



## 現状の成果①

### 骨材の岩石・鉱物学的特徴とASR劣化度と関係を解明

#### 北陸地方のASR橋梁分布



### ASR劣化を模擬したPC試験桁を用いた劣化機構の解明



ASR劣化構造物の特徴をデータベース化することにより、ASR劣化の点検診断に役立つ

載荷試験によるASR劣化したPC桁の耐荷力性能の確認したところ、フライアッシュ混入により終局耐力、靱性が向上した。

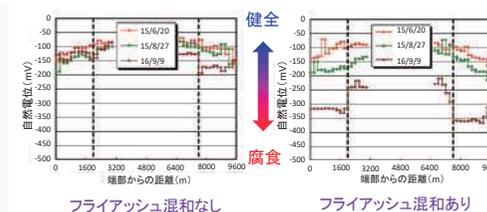
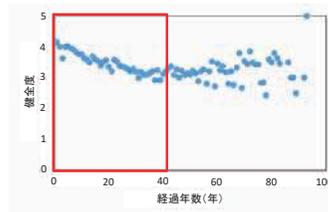


## 現状の成果②

移動式大型衝撃加振装置を用いた早期劣化した床版の健全度診断



塩害劣化させたPC桁に対するモニタリング



点検データを用いた経過年数と健全度との関係から、40年まで単調劣化の傾向が見られ、架設後40年以降は何らかの補修がされている。

塩害劣化に対するフライアッシュの効果を確認した

## 最終目標

構造物の正確な現況把握と診断技術の精度を向上させ、効果的な事後保全を繰り返しながら、50年後には地方自治体が身の丈に応じた予防保全に転換できるメンテナンスマネジメントを構築する。  
特長：現在の全国をマクロに見た画一的な維持管理の仕組みではなく、域の特徴を鑑みた維持管理の仕組みを構築することで、社会基盤の安全を向上し、かつ無駄な予算の支出を減らす。

### ホームページによる技術情報の公開

<http://sip-hokuriku.com>

### 技術者の育成

### 産学官連携



外部電源方式

流電陽極方式

北陸地方と同様な問題を抱えている地域へ情報発信



# 60 基幹的農業水利施設の 戦略的なアセットマネジメント技術の開発



研究責任者 (国研)農研機構 農村工学研究部門 施設保全ユニット長 中嶋勇  
共同研究グループ (株)ウォールネット、トライボテックス(株)、(株)フボタ、麗澤大学、石川県立大学、福島県農業総合センター、岡山大学

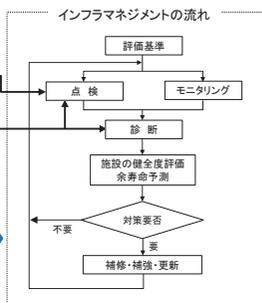
## 研究開発の目的・内容

### 研究開発の目的

- ① 総延長40万kmの農業水路、約1万2千kmにのぼる管路に代表される農業水利施設の機能維持のための新たな点検・診断技術を開発します。
- ② 施設の維持管理を担う組織・技術者を支援するための維持管理情報データベース、人材育成等のシステムを開発します。

### 研究開発の内容

- 点検・診断
- ① 管路の漏水位置検出技術の開発
  - ② ポンプ設備の状態監視保全技術の開発
- 支援技術
- ③ 基幹水利施設の更新整備シナリオ作成支援システムの開発
  - ④ 農業水利施設の管理技術継承のための情報整備手法の開発
  - ⑤ 地方大学を中核とした人材育成・研究ネットワーク構築



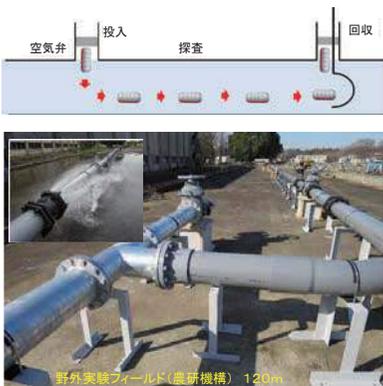
## 現状の成果①

点検・診断・対策技術

### ① 管路の漏水位置検出技術の開発

**従来方式** 水張り試験、地表漏水により発見

**開発技術** 超小型潜水艦形式の漏水探査ロボットにより漏水位置を検出



野外パイプライン漏水実験フィールドにて適用性を検証中。

### ② ポンプ設備の状態監視保全技術の開発

**従来方式** ポンプ設備を分解点検(10~20年に1回)

**開発技術** 潤滑診断方法(採油-分析して、機器の劣化を定量的に診断)



2箇所の排水機場(新潟、愛知県)に計測装置を取り付け実証試験中



目視点検では困難な施設の点検・診断法を開発

## 現状の成果②

維持管理組織の支援システム

### ③ 基幹水利施設の更新整備シナリオ作成支援システム

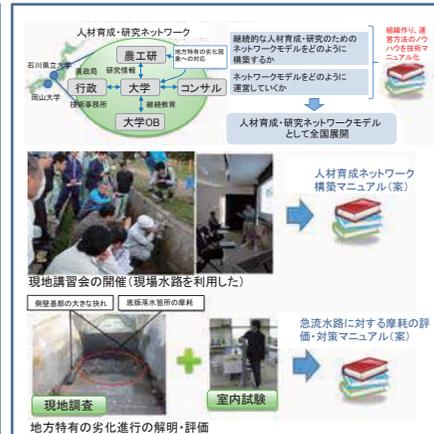
### ④ 農業水利施設の管理技術継承のための情報整備手法

施設の日常管理を担う土地改良区に蓄積された維持管理・災害情報をiPadや携帯で簡単にGISデータベース化するWebアプリケーションを作成中



### ⑤ 地方大学を中核とした人材育成・研究ネットワーク構築

地方大学を中核とした人材育成及び研究開発ネットワークモデルの構築し、地方のアセットマネジメントに貢献するとともに、組織作り、運営方法のノウハウを技術マニュアル化

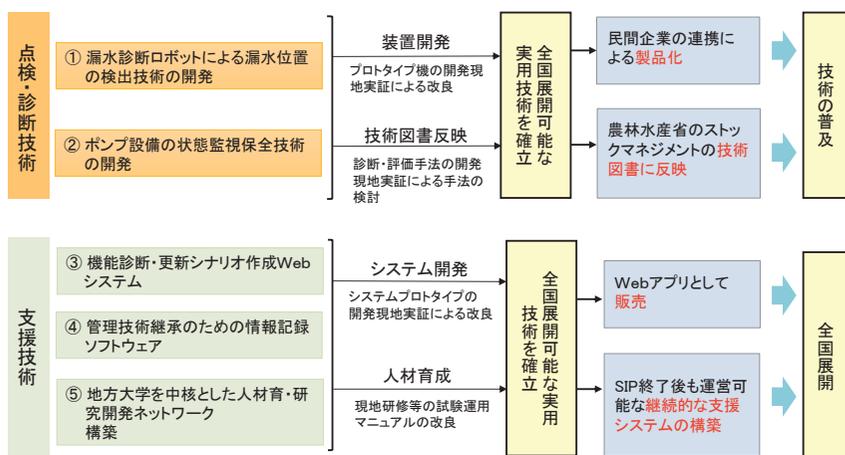


維持管理組織の弱体化を防ぐ支援・人材育成システムを開発

## 最終目標

SIPの開発技術を農業水利施設の保安全管理技術として実装します

## 開発技術の国内外への実装



モンスーンアジア地域の農業水利施設の保安全管理技術として海外展開

