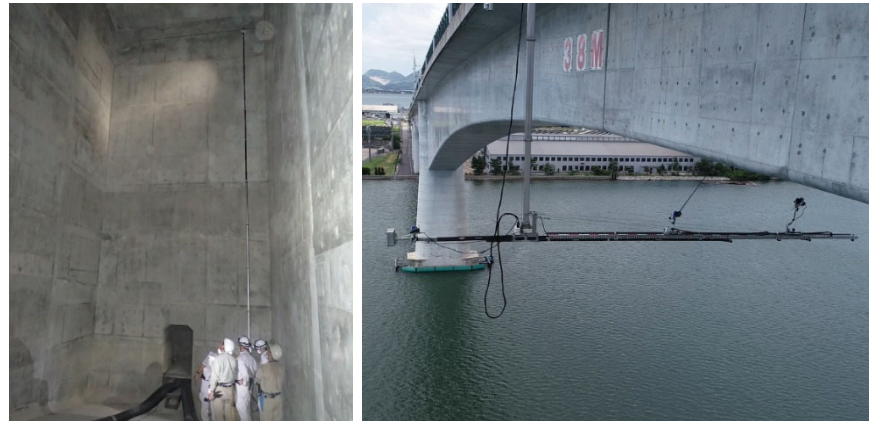


令和2年度中国地方建設技術開発交流会
令和2年11月18日 13:10-13:30

ロボット技術を活用した橋梁点検手法の開発



株式会社 計測リサーチコンサルタント



<http://www.krcnet.co.jp>
E-mail:krc@krcnet.co.jp

(株) 計測リサーチコンサルタント
クリエイティブ事業部 課長
木本 啓介 博士(工学)

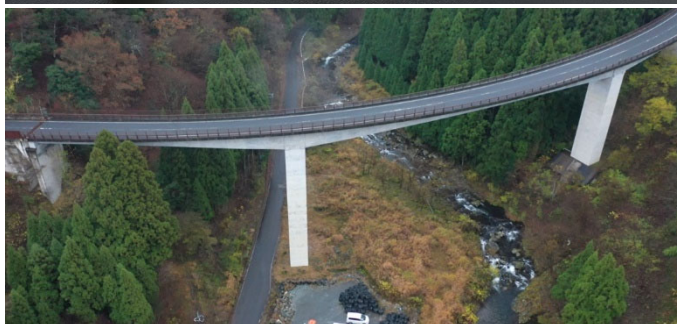
2019年2月の「道路橋定期点検要領」改訂により近接目視と同等と認められた点検手法の採用が承認され、点検支援技術（ドローン等のロボット技術）の活用が可能となった。ロボット技術はSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」などで研究開発され、社会実装可能な技術も多々ある。

鳥取県では、2018年にSIPインフラ地域実装支援鳥取大学チームとして江島大橋（松江市-境港市）を対象にロボット技術による点検実証試験（江島大橋プロジェクト）を行い、その有用性の実証や課題抽出を行った。その翌年には淵見大橋（八頭郡若桜町）で同様の試験を行い、ロボット技術による点検成果の納品方法などの検証を継続的に実施している。

キーワード：道路橋定期点検要領改訂、点検支援技術、ロボット技術



2018年度
SIPインフラ江島大橋プロジェクト
江島大橋（松江市-境港市）



2019年度
土木研究所プロジェクト（PRISMの研究課題）
淵見大橋（八頭郡若桜町）

ロボットによる点検技術

点検ロボットは、目的・用途、移動機構、制御方法により分類される。本発表では、特に飛行型画像撮影ロボット（ドローン）技術について述べる。

目的・用途による分類

- ・ 画像撮影ロボット
- ・ 打音、触診ロボット
- ・ 内部透視ロボット

移動機構による分類

- ・ 車両型ロボット
- ・ 懸架型ロボット
- ・ 飛行型ロボット
- ・ ポール型ロボット
- ・ 吸着型ロボット

制御方法による分類

- ・ 自律制御型ロボット
- ・ 遠隔操作型ロボット

橋梁点検においては、i-Construction の出来形管理に用いるドローンより高精度な性能・機能を有していることが求められる。

- 撮影画像から**0.2mm幅のひびわれ**のような微細な情報を精度よく抽出するために、対象構造物に接触もしくは数メートル離隔で情報を取得できること
- 橋梁下面など**非GNSS環境下**で飛行可能なシステムを有していること

	橋梁点検に用いるドローン	i-Construction出来形管理 に用いるドローン
目的	損傷確認 (0.2mm幅のひびわれなど)	形状確認 (cmレベル)
飛行場所	構造物周辺 (接触～数m)	上空50m程度
制御方法	非GNSS方式	GNSS制御
難易度	高い 構造物への接触等のリスク	(左記より) 低い 自動航行が可能

ロボットによる点検技術

ロボットによる点検技術は、簡易的なものから高性能なものまで多々あり、管理者や点検技術者が要求する点検成果品質や架橋環境、構造等に応じて適切なロボット技術（性能・機能）を選定して点検を実施することが期待されている。

要求成果の品質レベル

最小ひびわれ幅は？
網羅的な撮影？ or 局所的な撮影？
3Dデータの取得の必要性？

橋梁の架橋環境、重要度

人がアクセスできるか？
橋梁の利用頻度、交通量は？
予防保全としての初期値？

予算

高度なロボット技術に頼らずに点検が可能な
ロボット活用方法の検証
⇒ 淵見大橋実証試験（土木研究所PRISM課題）

ロボット技術が近接目視点検
の代替となることの実証
⇒ SIPインフラ江島大橋プロジェクト

近接目視点検の代替

Ex. 網羅的な撮影と点検
橋梁全体の展開画像の蓄積
0.1mm幅のひび割れ抽出

近接目視点検の補完

Ex. 局所的な撮影と点検、0.5mm幅のひび割れ抽出
人の近接目視点検が実施できない箇所の点検（組合せ）

遠望目視点検の代替、スクリーニング

Ex. 簡易的なドローンの活用、パノラマカメラの活用

ロボット技術（性能・機能）

高性能

背景

◆ 江島大橋の定期点検における問題点

江島大橋では立地条件や構造的制約条件から近接目視点検が困難である。

- 桁高が高く、大型の橋梁点検車でも近接不可
- 足場、ロープアクセスによる点検は、費用・工数の面で困難
- 交通規制により甚大な交通渋滞を招き、大きな社会損失が発生

◆ 橋梁点検ロボット技術の現状と課題

実務に活用するためには難易度の高い橋梁で実証し、ロボット適用時の制約条件や実状に則した点検期間、費用の算出、そして運用体制の整備などが必要である。

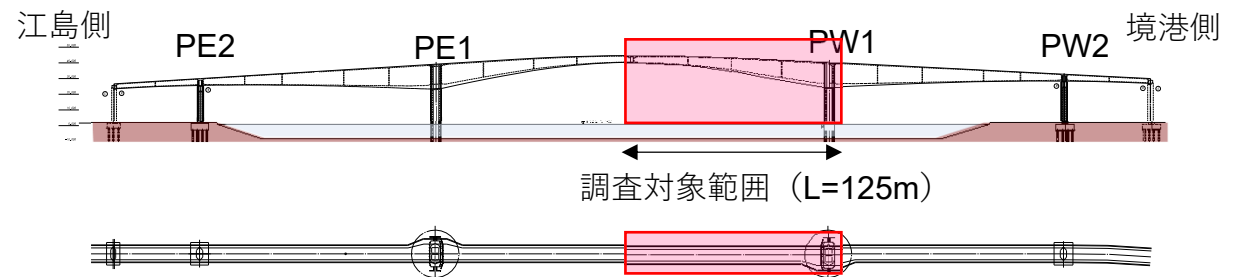


江島大橋にてロボット技術を活用した橋梁点検の実証試験



実証試験対象範囲

全長1446.2m 主橋梁部（660m）は中央径間250mの5径間連続PC有ヒンジラーメン箱桁橋





適用ロボット技術と対象範囲

株式会社 計測リサーチコンサルタント

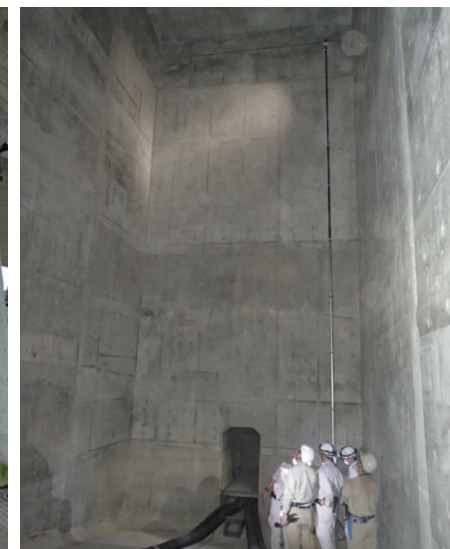
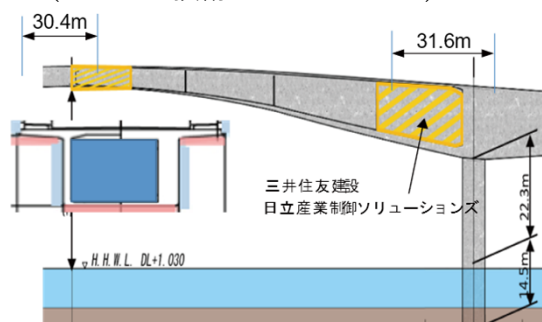
KEISOKU
RESEARCH
CONSULTANT CO.

4つのロボット技術開発チームと鳥取県内の建設コンサルタントをペアリングして現地作業、データ処理、点検成果作成を行った。各技術の特性に応じた点検対象範囲を設定。

橋梁点検ロボットカメラ

NETIS : KT-160016-A

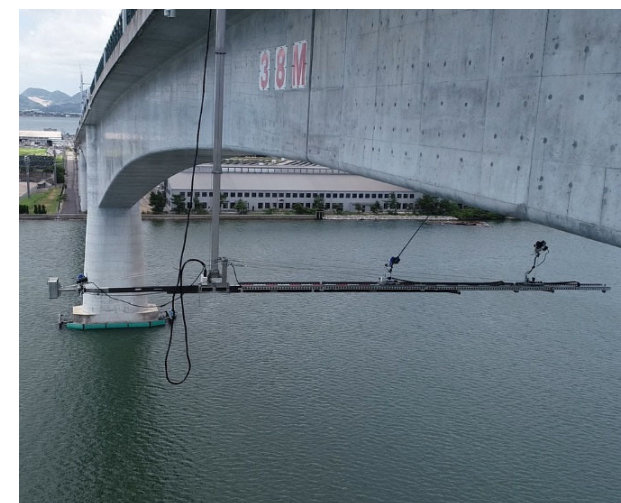
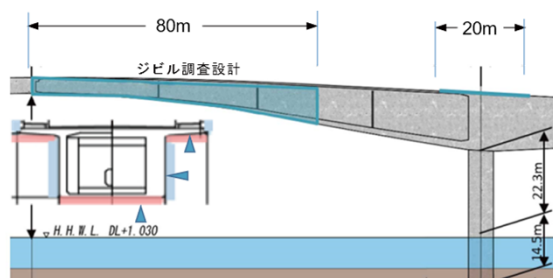
三井住友建設、日立産業制御ソリューションズ
(ヨナゴ技研コンサルタント)
(サンイン技術コンサルタント)



橋梁点検支援ロボット『見る・診る』

NETIS : KK-110063-VR

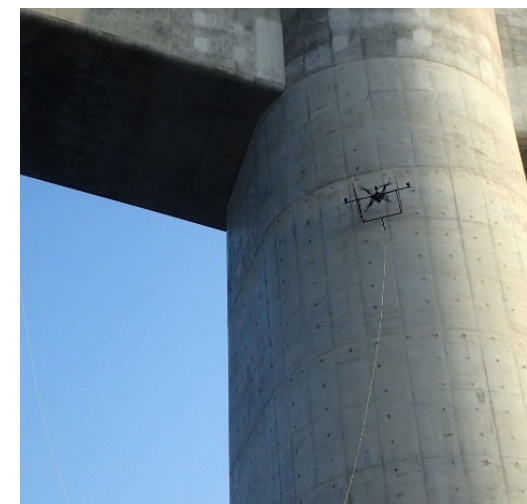
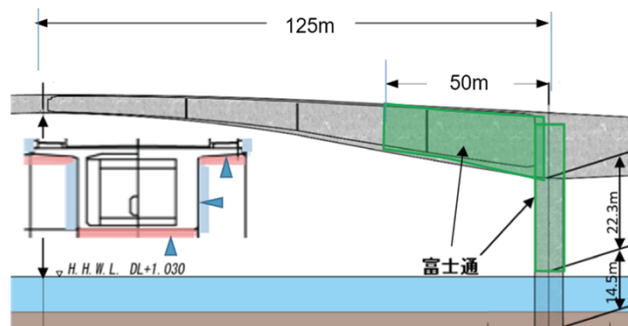
ジビル調査設計
(西谷技術コンサルタント)



4つのロボット技術開発チームと鳥取県内の建設コンサルタントをペアリングして現地作業、データ処理、点検成果作成を行った。各技術の特性に応じた点検対象範囲を設定。

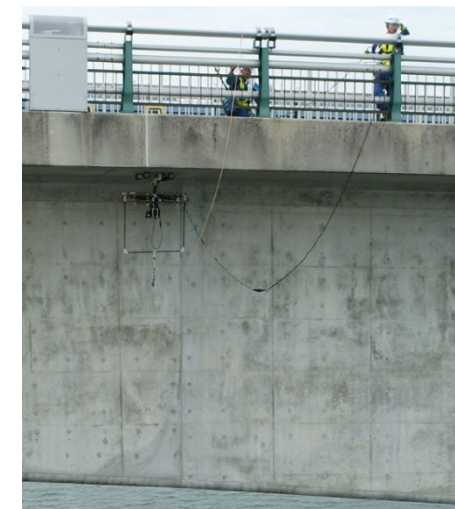
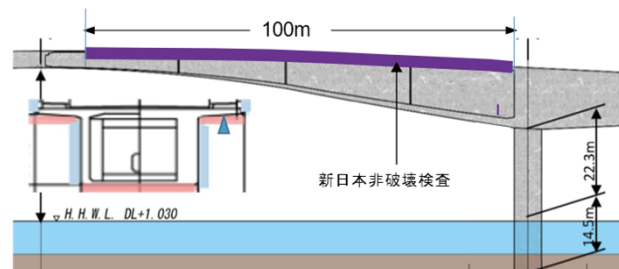
二輪型マルチコプタ 性能カタログ：BR010021-V0020

富士通
(アサヒコンサルタント)



打音機能付飛行ロボット NETIS：QS-180005-VR

新日本非破壊検査
(荒谷建設コンサルタント)



ロボットにより撮影された膨大な画像からSfM/MVSなどの画像解析技術を用いて展開画像を作成し、損傷図作成・損傷評価を行う。

人による近接目視点検と同等の検出が可能な品質の画像取得



点検技術者が画像から損傷程度の評価や健全性診断を行う（客観性・定量性の高い診断）



点検に使用した画像、展開画像は診断決定に対する客観的根拠として保存



以後の維持管理において有効活用（経年劣化の抽出など）



ロボットが取得した膨大な画像



画像解析により展開画像作成



展開画像を元に損傷図トレース
位置把握が容易

以下にロボットで撮影した画像から作成した江島大橋桁側面の展開画像を示す。
0.1mm幅のひび割れが視認可能な画素分解能0.3mm/pixelで撮影しており、実際の展開画像を拡大すると
0.1mm幅のひび割れを視認することができる。

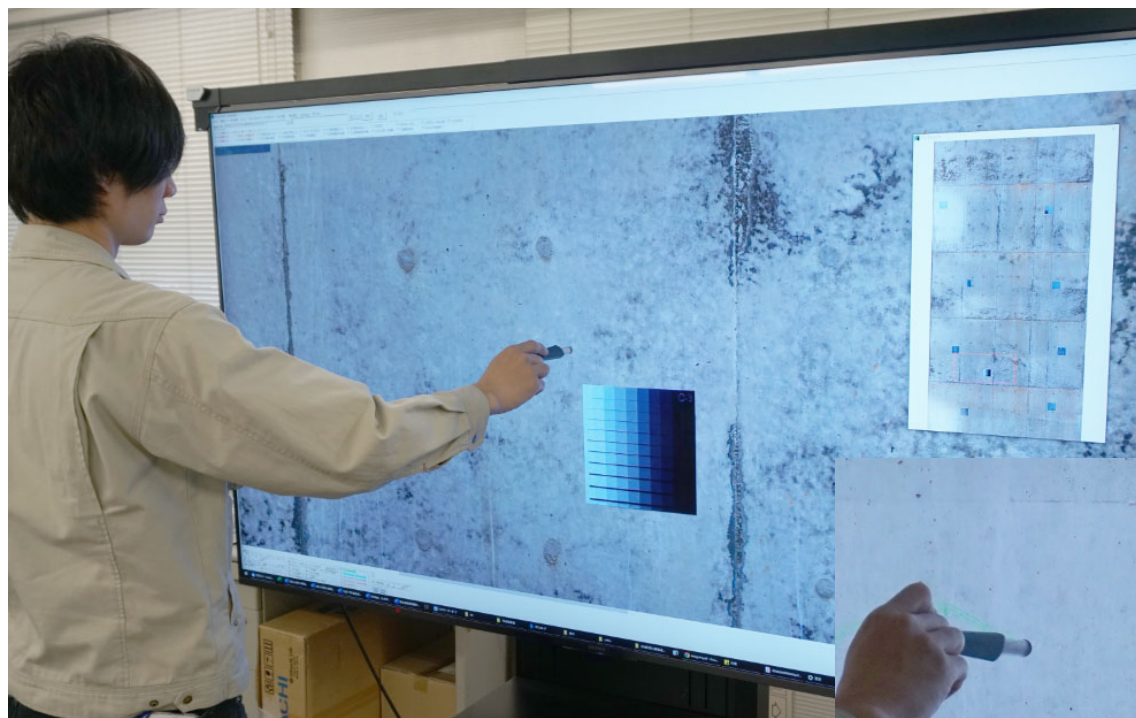


位置を把握しながら0.1mm幅のひび割れなどの損傷を抽出することが可能

75型のモニタに展開画像を等倍表示し、現地で点検している状況を室内で再現して損傷図作成。

当社開発の「ひび割れ描画支援システム※」を用いてひび割れの幅と位置を半自動抽出。

※分解能以下のひびわれ幅は特徴値と分布幅で特定でき、クラックインデックス〔CI〕：「特徴値×分布幅」という指標とひびわれ幅の相関からひびわれ幅を半自動で推定するソフトウェア





江島大橋プロジェクトの成果

- SIPインフラで開発された4つのロボット技術の橋梁点検への適用は可能であることが実証された。（性能、機能、精度）
- 実証したロボット技術を組み合わせることで各部位の点検に活用可能
- ロボット技術を用いた点検業務発注に向けて
 - ・ ロボット技術シートの作成（点検支援技術性能カタログのような資料）
 - ・ ロボット技術を活用した橋梁点検指針
 - ・ ロボット技術を活用した道路橋定期点検業務 仕様書【鳥取県】
 - ・ ロボット技術を活用した道路橋定期点検業務積算基準【鳥取県】



今後の課題

ロボット技術の有用性や精度などは実証できたが、ロボット点検普及のためには、より**効率的なデータの取得方法**や**分かりやすく扱いやすい点検結果の納品方法**などの検証が必要である。

淵見大橋での実証試験（2019年）

実証試験の目的

ロボット技術の特徴

- ・ 現地でロボットが損傷の有無を判断することなく、**網羅的に撮影**
- ・ 屋内で**点検技術者が**ロボットが撮影した**画像から損傷の有無を判断**し、評価
- ・ 新規損傷は、損傷発生前の画像との比較が可能



ロボット技術による点検の高度化が可能だが、**分かりやすく扱いやすい納品形態**を構築することが必要（**江島大橋プロジェクトで見えた課題**）

⇒管理者、点検技術者が扱いやすい手法の検討



3Dデータの有効性



点検に資する画像と橋梁全体の3Dモデル作成のための画像をロボットで撮影し、効率的な点検手法を検討するために、淵見大橋で実証試験を実施

近景画像：点検に資する画像を高精度な位置制御が可能なロボットで撮影

遠景画像：橋梁全体の3Dモデルを作成するために一般的なドローンで撮影



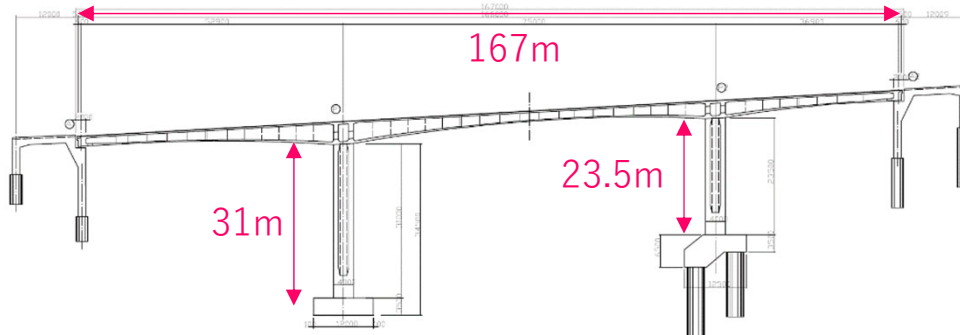
3Dデータと点検結果のリンク手法の検証、近接画像撮影位置（メタデータ）の付与

点検支援技術（画像計測技術）を用いた3次元成果品納品マニュアル（案）【橋梁編】

淵見大橋での実証試験（2019年）

淵見大橋概要

鳥取県八頭郡若桜町にあるPC3径間連続ラーメン箱桁橋
橋長167m、全幅員9.2m、P1高さ31m、P2高さ23.5m



使用したロボット

近景画像撮影 デンソー製橋梁点検ロボットXDC02

点検支援技術 性能カタログ掲載
UAV を用いた近接撮影による橋梁点検支援システム
BR010012 - V0020



大きさ 1500×1500×525mm

高精度な位置制御技術を有している

遠景画像撮影 DJI MATRICE 210 V2



大きさ 883×886×398mm

現地撮影

株式会社 計測リサーチコンサルタント

KEISOKU
RESEARCH
CONSULTANT CO.

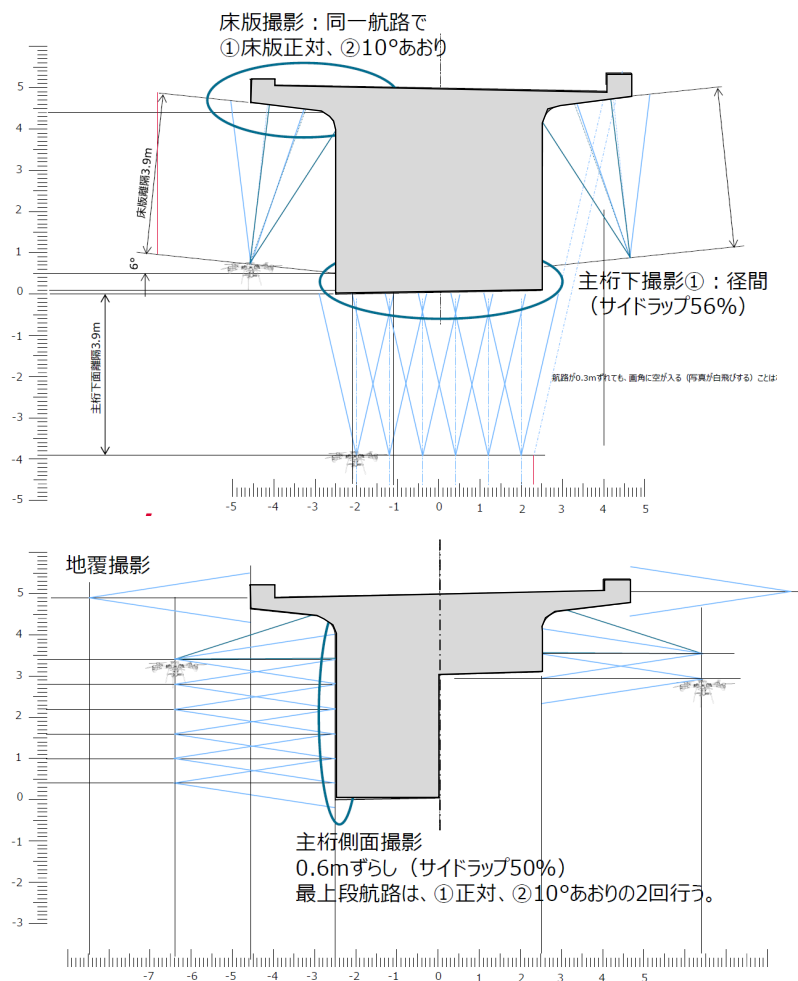
近景撮影

撮影距離：約5m

撮影画素分解能：0.4mm/pixel

オーバーラップ 60%、サイドラップ 50%

正対撮影を基本

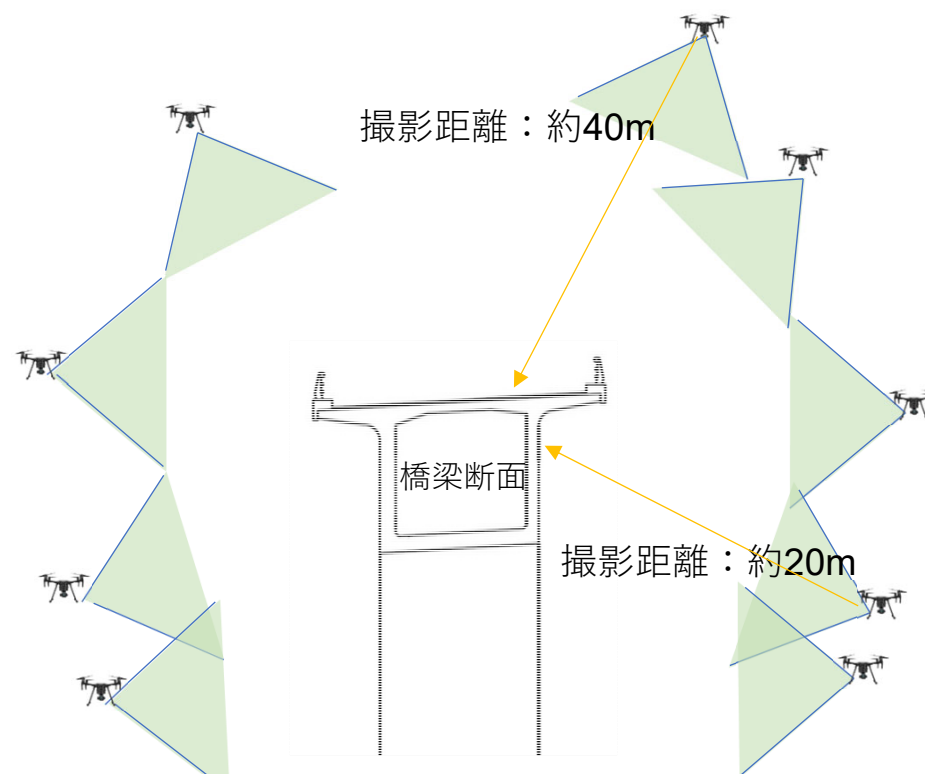


遠景撮影

撮影距離：約20~40m

撮影画素分解能：約3~5mm/pixel

橋梁を俯瞰的に角度を変えて撮影



撮影画像例

近景撮影例

総飛行時間
約350分

撮影枚数
約14,000枚
(110GB)

橋脚側面



橋脚角部



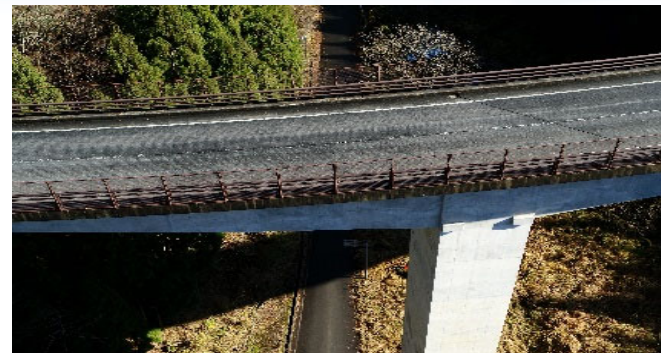
張出床版下面



遠景撮影例

総飛行時間
約65分

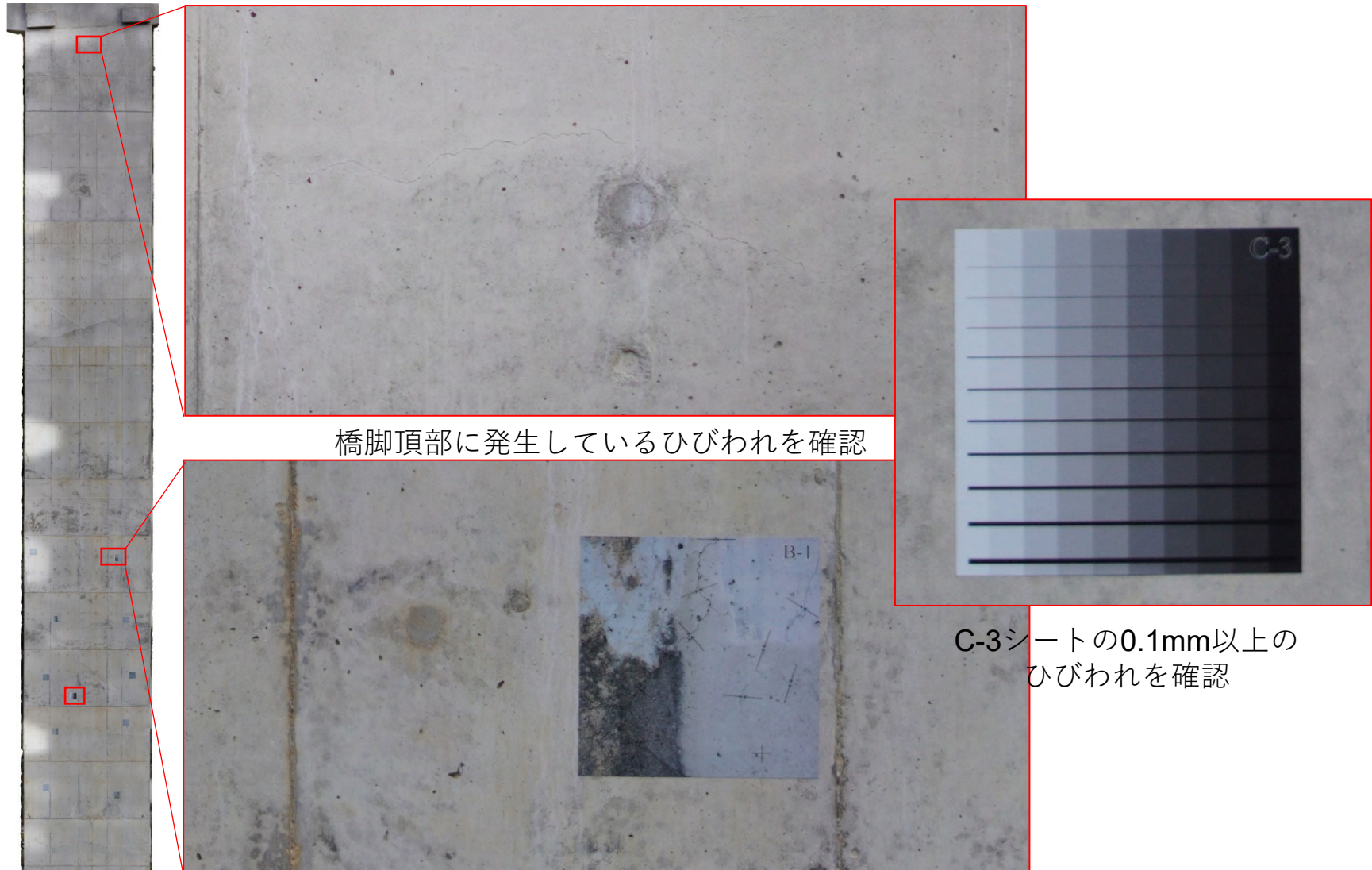
撮影枚数
約1,500枚
(13GB)



近景画像から0.1～0.2mm幅のひび割れを視認することは可能だが、画像単体では位置特定は難しい

近景画像を用いた損傷図作成^{3M}

近景画像を用いて画像解析（SfM/MVS解析）により各部位の展開画像を生成。展開画像は、オリジナル画像と同等の画素分解能となるよう調整し、出力。

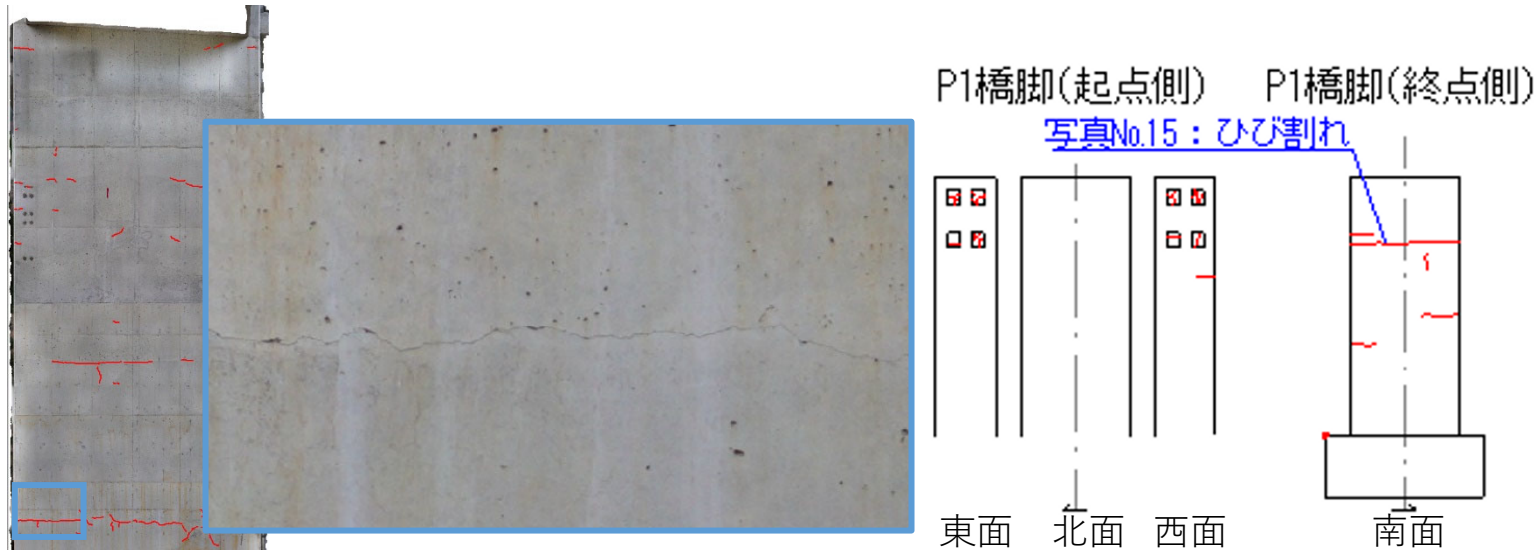


P2橋脚西面の展開画像

B-1シートのひびわれなどを確認

近景画像を用いた損傷図作成^{3M}

展開画像をトレースすることで位置精度が高い損傷図を作成可能。画像を下図としているため損傷抽出漏れの低減や複数チェックの実施等が可能となり、客観性の高い点検ができる。



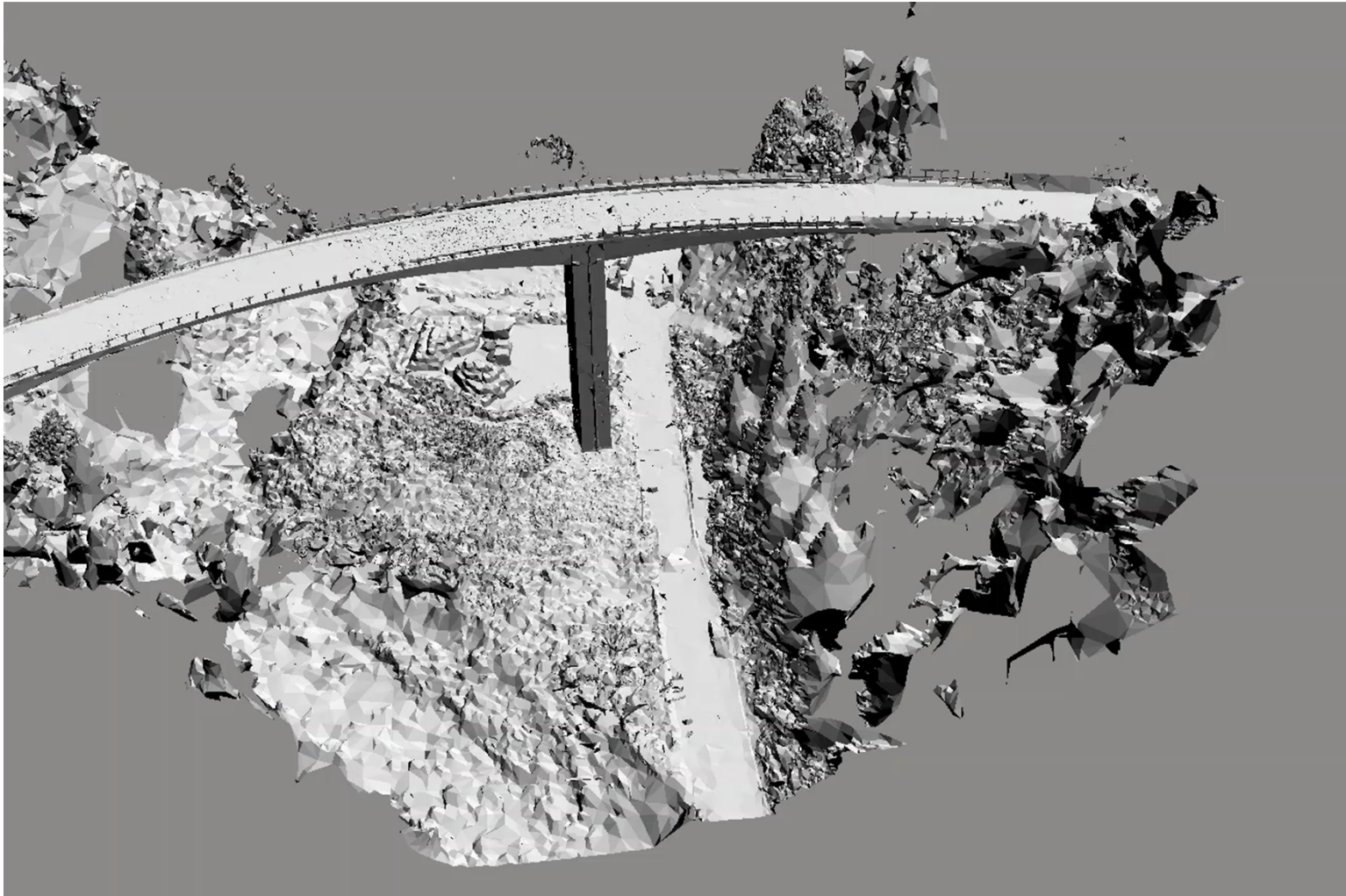
P1橋脚南面の損傷展開図
(上部のみ抜粋)



過去の近接目視点検結果

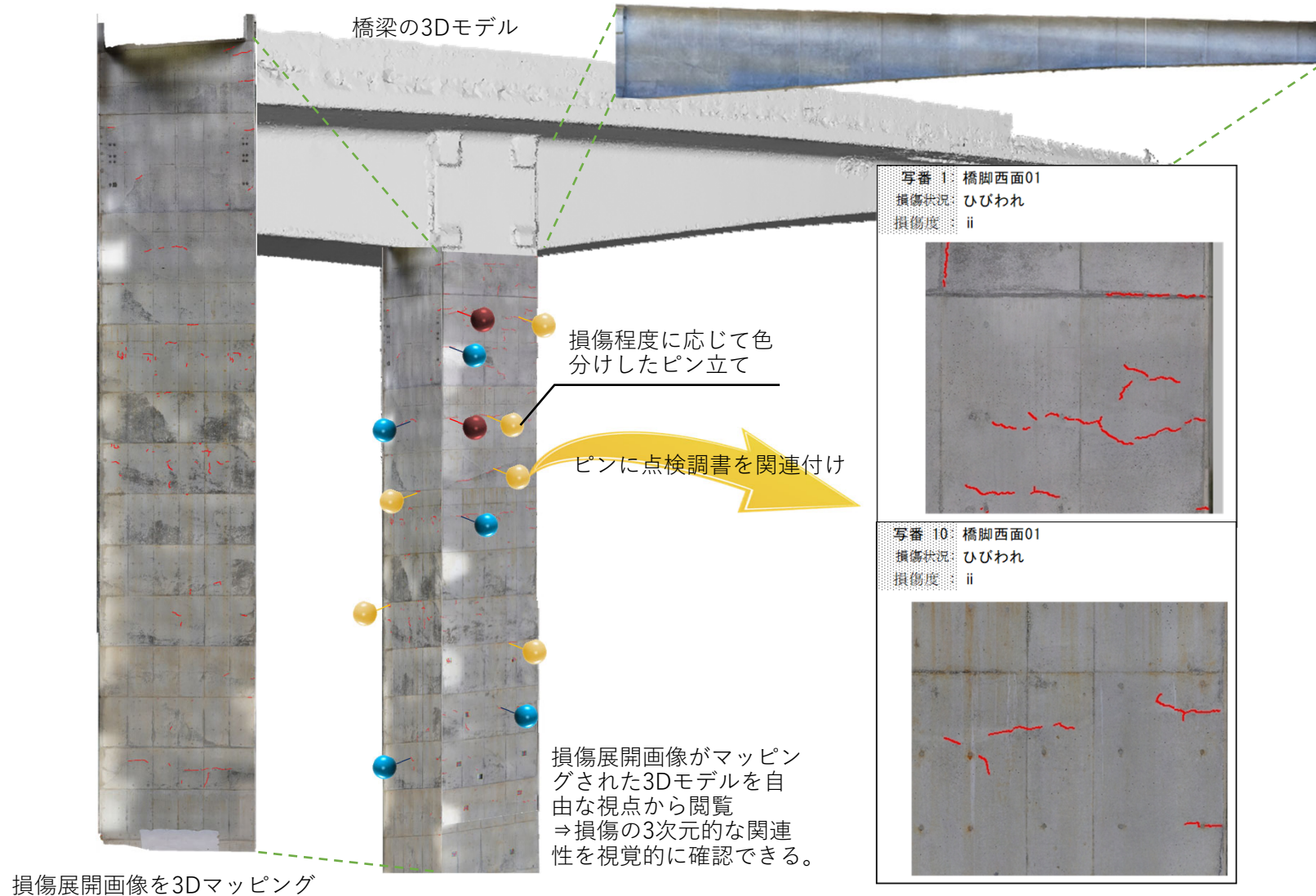
遠景画像を用いた橋梁全体の3Dモデル

遠景画像約1,500枚を用いて、画像解析（SfM/MVS解析）により橋梁全体の3Dモデルを作成
画像のみで3Dモデルを構築でき、このデータに点検成果をリンクすることで3次元的に損傷
情報を管理することができる。



株式会社 計測リサーチコンサルタント
 **KEISOKU
RESEARCH
CONSULTANT CO.**

損傷展開画像を3Dマッピング



実証内容

- ・ 江島大橋、淵見大橋の実証試験によりロボット技術の有用性が実証された
特に近接が困難な橋梁や社会的損失が大きな橋梁に対し活用することで下記が期待できる

点検期間の短縮、省人化
大規模な足場や機材の縮減



効率化ならびに点検作業の安全性向上

画像という客観的なデータに基づく点検



点検作業の精度向上や高度化

- ・ 淵見大橋の実証試験では、近景画像と遠景画像を撮影することで3Dモデルをベースとした成果物の作成を検証できたが、実装するためには多くの課題解決を図る必要がある

課題

◆撮影作業にかかる作業量の増大

近景画像から展開画像を作成するためには、80%程度ラップ画像が必要で膨大な枚数となり、ロボットによる撮影や解析作業に大きな負担がかかる。

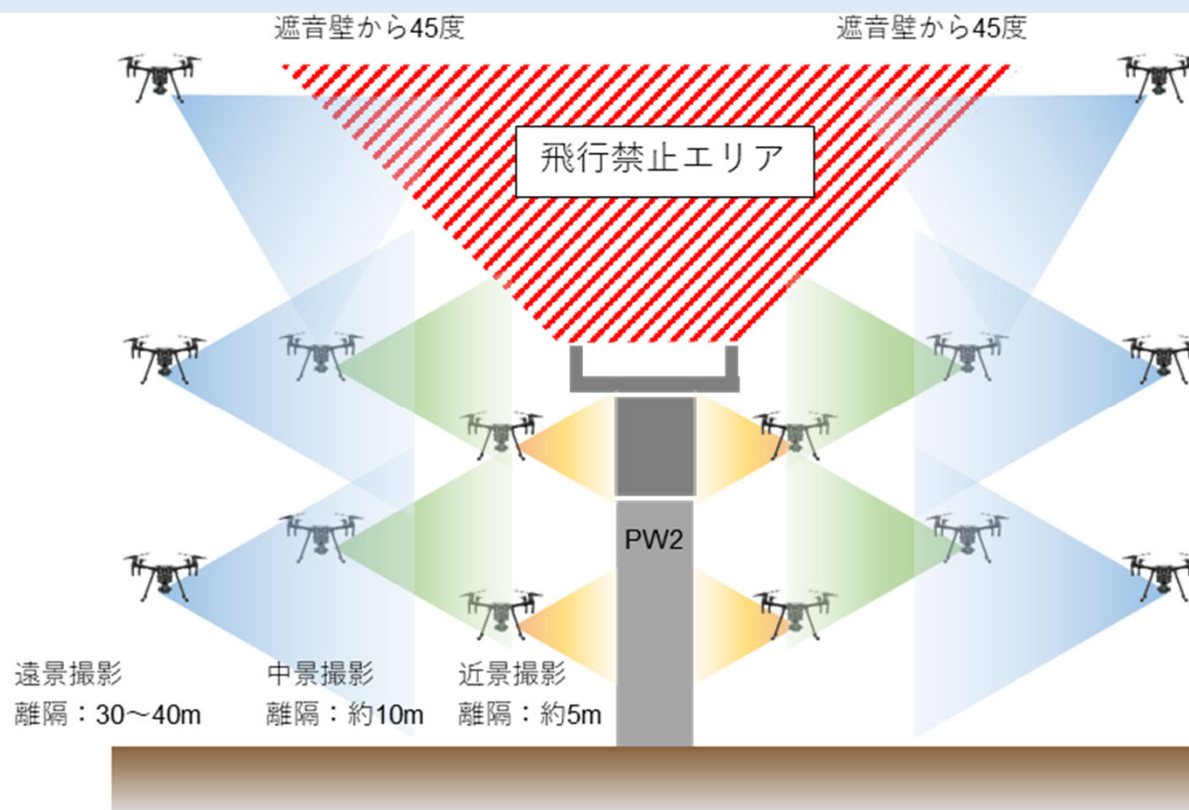
3D化のための簡易で効率的な撮影手法の確立

- ➡ 近接画像の撮影枚数を低減し、中景・遠景画像を効果的に補完して総合的な効率化が必要
＜現地作業負担の低減、画像解析に要する時間の低減＞
- ➡ 高性能なロボット技術だけでなく、簡易なロボットでも点検が可能なマニュアルづくり
＜簡易的なロボットの普及、点検コストの縮減＞

今後の展開

◆効率的な撮影手法確立のため、今年度も土木研究所プロジェクトで江島大橋、淵見大橋にてロボット技術による橋梁点検実証試験を実施

点検に資する画像（近景画像）を最低枚数で撮影し、効果的に中景・遠景画像を撮影することで、点検品質を維持した撮影手法の検討とマニュアル化



近景画像の撮影枚数・時間の減少 ⇒ 撮影作業の効率化、近接撮影の接触リスク等の低減

まとめ

今後の展開

◆高度なロボット技術だけでなく、橋梁管理者（自治体など）が導入しやすく、要求成果品質やコストに応じたロボット点検手法の確立と体制構築が必要

3Dデータによる点検結果の統合、適材適所なロボット技術の適用

◆ロボット点検成果を管理者・点検技術者が容易に管理できるプラットフォームの構築

各点検手法を一元管理できる3Dデータを基盤とした維持管理システムの構築

要求成果の品質レベル

最小ひびわれ幅は？
網羅的な撮影？ or 局所的な撮影？
3Dデータの取得の必要性？

橋梁の架橋環境、重要度

人がアクセスできるか？
橋梁の利用頻度、交通量は？
予防保全としての初期値？

予算

