

ひび割れ計測機と飛行ロボットによる橋梁点検手法に関する研究

プロジェクトリーダー 山口隆司 大阪市立大学教授

■研究の目的および背景

現行の橋梁点検作業は、近接目視が基本であり、足場や点検車両を用いた点検手法によるコスト増、膨大な作業時間を要することにつながっている。新たな機器活用による橋梁点検技術の効率化、高度化が求められ、実用化に向けた検討が広く行われているが、実橋に適用されたものはまだない。このため、ひび割れ計測機と飛行ロボットの活用による総合的な橋梁点検システムの実用化に向けた検討を行い、橋梁点検作業のコスト縮減、作業効率化に資することを目的とする。

■研究の内容

1. ひび割れ計測機と飛行ロボットによる点検手法の現状把握
2. 課題に対する対応方法の検討
3. 各種実証実験および結果検証
4. 新たな橋梁点検システムの提案

■研究期間

平成26年度～平成27年度

■参加メンバー(体制)

学 大阪市立大学

産 関西工事測量(株) 菱田伸鉄工業(株)

項目	H26	H27
ひび割れ計測機と飛行ロボットによる点検手法の現状把握		
課題に対する対応方法の検討		
各種実証実験および結果検証		
新たな橋梁点検システムの提案		

ひび割れ計測機と飛行ロボットによる橋梁点検手法に関する研究

橋梁点検作業は、近接目視が基本。膨大なコストと作業時間を要する。
新たな手法が検討中だが、実橋に適用されたものはまだない。

ひび割れ計測機が実用化

地上設置のため、
測定困難箇所が残存

座標データ活用による補正が可能

飛行ロボット橋梁点検活用が検討

精度および安定度から、
測定データとして実用は困難

任意の角度による撮影が可能

ひび割れ計測機と飛行ロボットの活用による総合的な橋梁点検システムを提案

H26年度の目標：ひび割れ計測機と飛行ロボットによる点検手法の現状把握と課題に対する対応方法の検討

H27年度：H26年度の結果を反映した橋梁点検システムの実証実験
およびマニュアルの作成を行う

目次

1. 研究目的・背景

2. KUMONOSと飛行ロボットアルバトロスの基本性能

3. H26年度の研究成果

4. H27年度の研究計画

1. 研究目的・背景

1.1 研究目的・背景

1.2 開発を目指す「実用的な橋梁点検システム」

1.3 橋梁点検システムが提供する内容

1.4 提案システムを活用した橋梁点検の流れ(想定)

1.1 研究目的・背景

研究の独創性, 先導性

既存技術と先進技術のコラボレーションにより, 実用的な橋梁点検システムを提案する

既存技術

ひび割れ計測機

- ひび割れの幅, 形状, 3次元位置座標を計測でき, また構造物の形状も計測できる
- 地上に機器を設置するので, 死角や暗所で計測不能箇所が残存する



先進技術

UAV

- 色々なアングルが撮影可能
照明機材を搭載し暗所のライティングが可能
- 精度および安定度から, 測定したデータをそのまま活用することは困難



コラボレーション

2つの技術
を利用

実用的な橋梁点検システムの構築をめざす！

1.2 開発を目指す「実用的な橋梁点検システム」

①ひび割れ計測機 (KUMONOS) の役割

ひび割れ
計測機能

ひび割れの幅, 形状を
計測可能

位置情報
取得機能

3次元位置座標, 構造物の形
状を計測可能



コラボレーション



ひび割れ計測機に不足した機能を
飛行ロボットで補完を行う

②飛行ロボット (アルバトロス) の役割



画像情報
取得機能

搭載する高感度の撮影機器
による撮影

移動機能,
照明機能

ひび割れ計測機 (KUMONOS) が
計測できない不可視部位に対
しても撮影可能になる

損傷経年変化評価システム

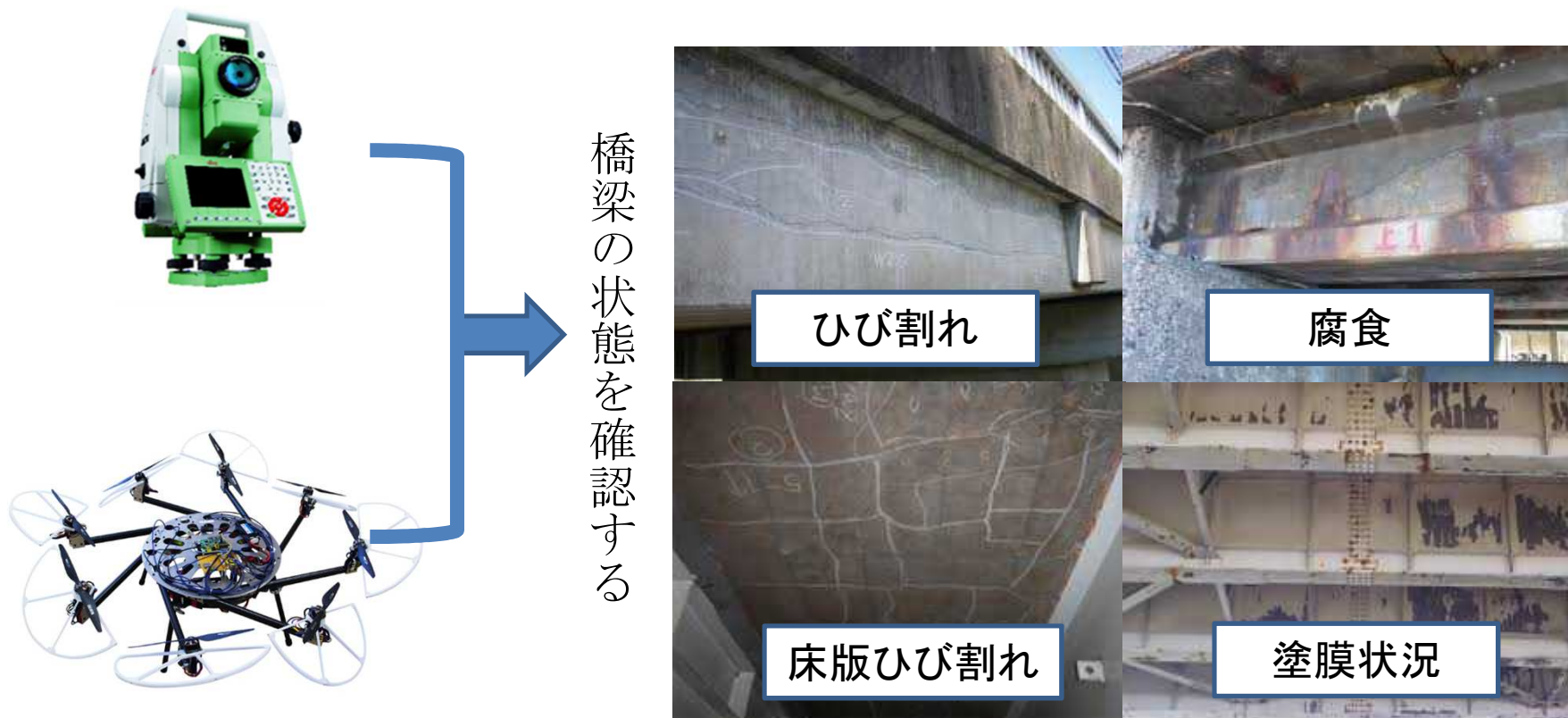


計測結果をデータとして保存し, 経年における損傷の変化
(ひび割れ, 塗膜割れ) を確認することが可能

1.3 橋梁点検システムが提供する内容

提供内容

- ・ 各種目視点検を行い, 点検写真を撮影する
- ・ 腐食, ひび割れ, 床板ひびわれの点検を行い, 損傷図を作成する
- ・ 鋼橋の塗膜などの画像をデータベース化して経年変化を観察する



1.4 提案システムを活用した橋梁点検の流れ(想定)



- ひび割れの計測
- 死角や暗所の確認
- 3次元情報の取得

ひび割れ計測機による橋梁計測



損傷例

- ひび割れデータをCADデータとして保存



飛行ロボット橋梁計測

- 死角や暗所での計測
- ひび割れ計測機の補助
- 橋梁データをデータベース化

2. KUMONOSと飛行ロボットアルバトロスの 基本性能

2.1 ひび割れ計測システム「KUMONOS」

2.2 飛行ロボット「アルバトロス」

2.1 ひび割れ計測システム「KUMONOS」

NETIS : KK-080019-V

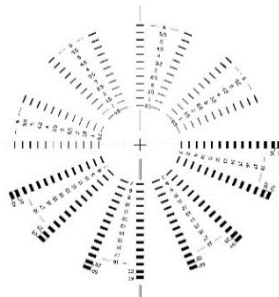
「平成24年度 準推奨技術(新技術活用システム 検討会議(国土交通省))」に選定

1) KUMONOSとは

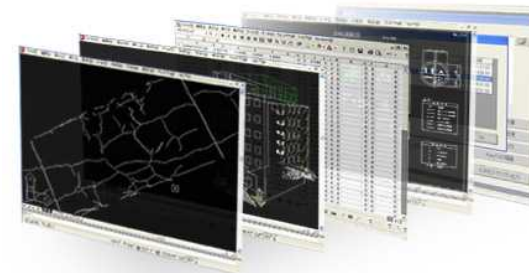
離れたところから安全かつ経済的にひび割れの幅・形状・3次元位置座標が計測できるシステム
高精度のデータを取得するためのクラックゲージ内蔵光波測量器とデータ処理やCADデータに変換するための解析ソフトウェアで構成



光波測量器



内蔵クラックゲージ



解析ソフトウェア

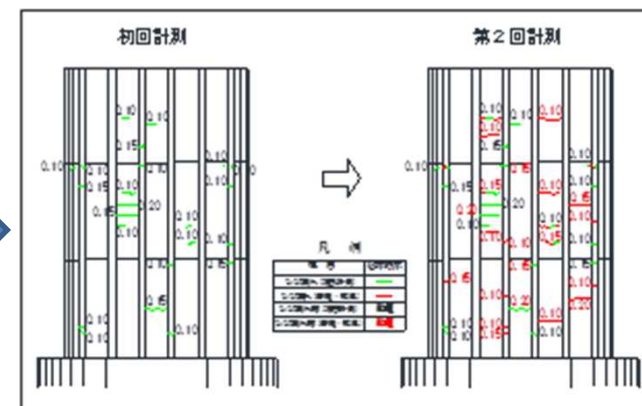
2Dや3D図面(CADデータ)として自動描画 → デジタルデータ化及び経年変化管理

2) 適用事例

適用範囲は、橋梁・擁壁・ダム・堰堤・トンネル・建物・その他コンクリート構造物全般であり、コンクリート表面に発生した変状状況やコンクリート構造物全体の変形状況等も把握



橋梁の劣化調査状況



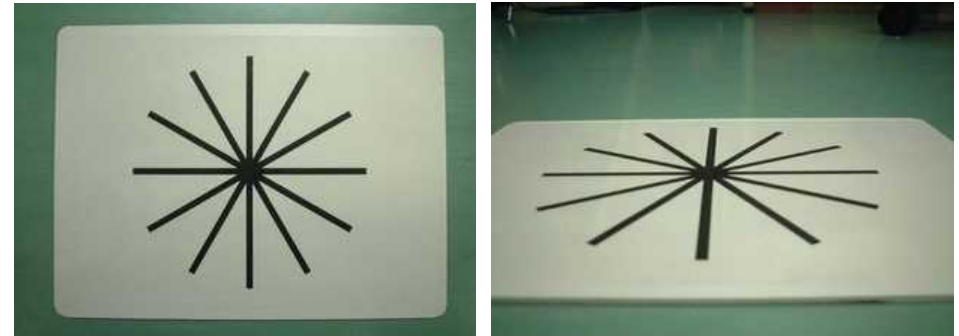
調査結果

3) KUMONOSの特徴

- ① 内蔵クラックゲージで幅を計測
45m先の0.2mmの幅が計測可能

器械からの距離(m)	最小計測幅(mm)
1.5	0.007
5	0.022
10	0.044
20	0.088
40	0.177
50	0.221
60	0.265
80	0.353
100	0.441

- ② 角度補正プログラム内蔵
斜めから見た時の幅を使って,真の幅に補正



正面から見た場合

斜めから見た場合

幅が異なって見える



自動的に補正(正しい幅を計算)

- ③ 構造物の形状を計測
展開図や立面図等も簡単に作成でき,変状・変形等の進行状況を定量的に把握

4) 応用事例:画像解析



UAVにより橋梁桁下の各位置で画像情報を取得し,全体を合成
KUMONOSで取得したデータと併用して画像情報に位置情報を付加

2.2 飛行ロボット「アルバトロス」

1) 目的

撮影機器や照明機材を搭載して飛行し、橋梁点検に必要な情報を収集する

2) 仕様

サイズ: 1480(W,D) 510(H)

重量: 8Kg

可搬重量: 3kg程度

飛行時間: 10分程度



飛行ロボット アルバトロス1号

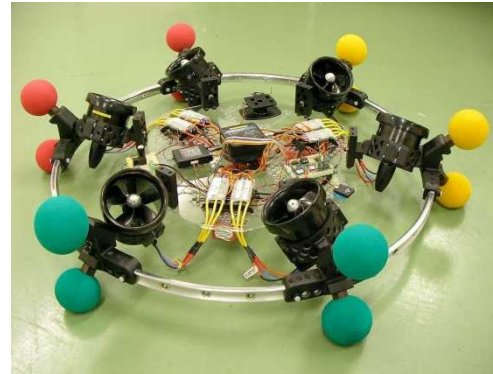
3) 特徴

- ・ 撮影飛行性能向上のため、プロペラを傾斜配置
メリット: 機体傾けず平行移動でき横風に強い → 空中での位置合わせが容易
デメリット: 飛行時間が短くなる
- ・ 安全性向上のため、8発のプロペラを装備
メリット: プロペラが1発故障しても即時墜落しない → 事故を回避できる
デメリット: コストアップ, 機体重量増加
- ・ 用途に最適なシステム開発のための、カスタマイズが可能
要求性能に応じた、機体のサイズ変更, 機能付加, 新たな機器搭載が可能

4) 飛行ロボットアルバトロス開発の経緯



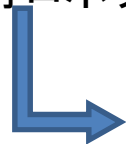
試作1号機
新たな制御技術の活用
飛行ロボットを提案



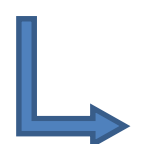
試作2号機
新たな機体形状の提案
理論の有効性を実証



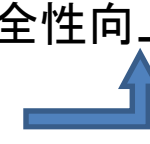
アルバトロス1号機
飛行時間延長のため、
大型プロペラを採用
安全性向上のため8発化



屋外使用の実現



商品開発



出願特許
「浮遊移動体の制御システム」
「ハイブリッド飛行船」
「ホロノミック浮遊移動体」

採択助成金
平成24年度 ものづくり中小企業・小規模事業者試作開発等支援補助金
池田泉州銀行 平成23年度 第8回コンソーシアム研究開発助成金
平成21年度 ものづくり中小企業製品開発等支援補助金

3. H26年度の研究成果

3.1 対象橋梁の選定

3.2 ひび割れ計測機 計測結果

3.3 飛行ロボット 計測結果

H26年度の研究成果

—対象橋梁の選定—

3.1.1 試行対象橋梁の選定条件

3.1.2 選定橋梁

3.1.3 計測対象範囲の設定

3.1.1 KUMONOSと飛行ロボットアルバトロスに対する試行対象橋梁の選定制約条件

①ひびわれ計測機 (KUMONOS)

- ▶主桁の下面構造が単純であること（鋼I桁, コンクリートT桁など）
- ▶支承部が地上から直視できないが, UAVで画像撮影が可能であること
- ▶ひび割れ計測機の作業スペースは最小で $1\text{m} \times 1\text{m}$

②UAV (アルバトロス)

- ▶桁位置があまり高くないこと（10m以下）
- ▶UAVの作業スペースは最低で $2\text{m} \times 2\text{m}$
- ▶水気があまりないこと
- ▶持ち運びを簡便にするため, 駐車場所から近距離



3.1.2 橋梁の選定



山中川高架橋
(側道橋を含む) PC橋, 鋼橋



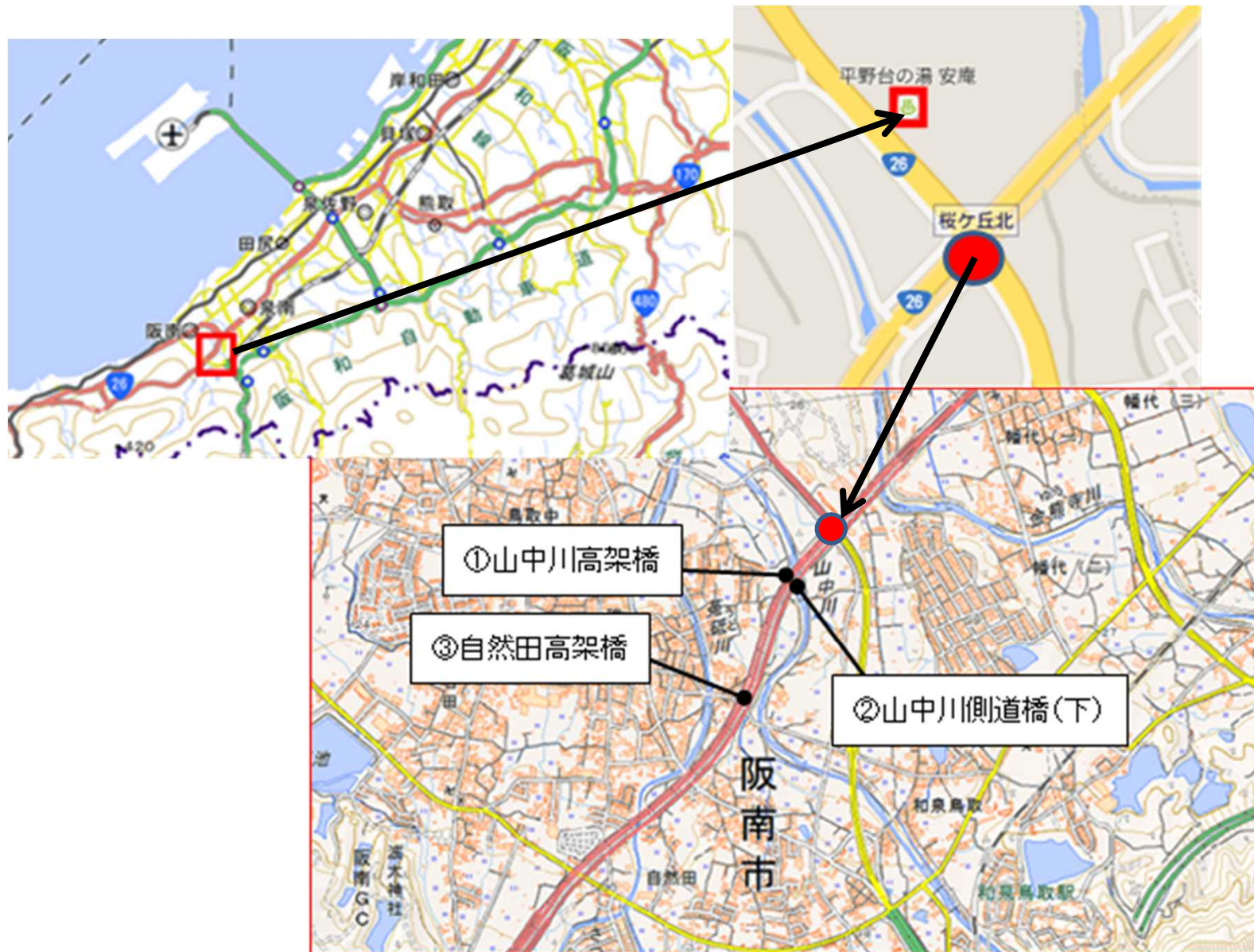
自然田高架橋
PC橋



選定橋梁 (山中川高架橋, 自然田高架橋)

3.1.2 対象橋梁の位置情報

大阪府阪南市鳥取中632-1

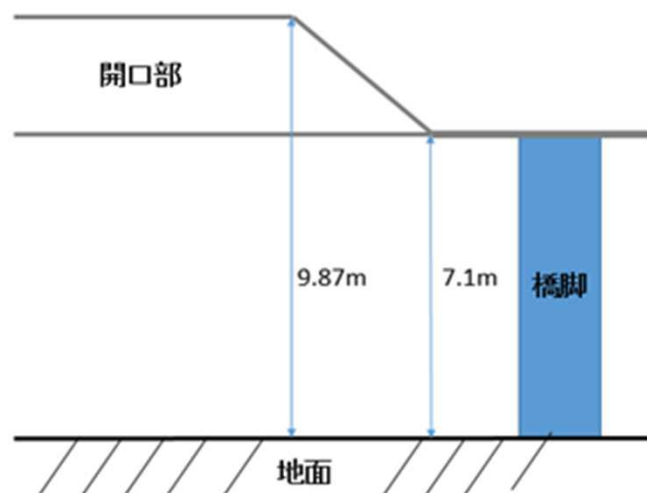


3.1.3 橋梁形式および計測範囲

山中川高架橋（PC橋，支間長48.5m）

架設年：2001年 直近点検年：2010年11月

橋梁形式：3径間連続ポステンPC箱桁橋



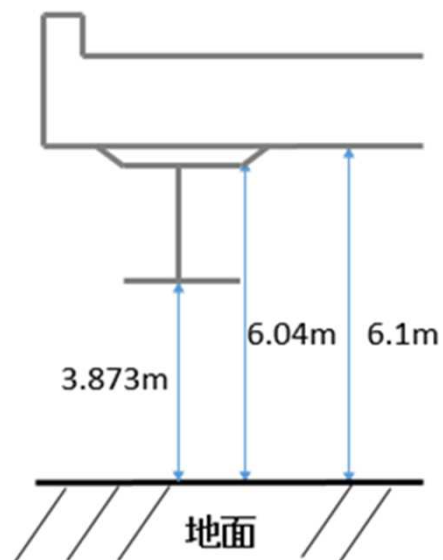
山中川高架橋写真（右）

3.1.3 橋梁形式および計測範囲

山中川側道橋（鋼橋，支間長44.9m）

直近点検年：2010年10月

橋梁形式：単純鋼I桁橋



飛行範囲



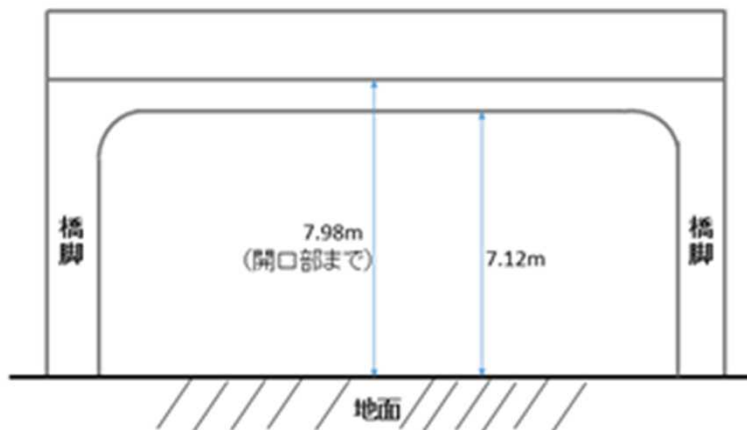
山中川側道橋写真（右）

3.1.3 橋梁形式および計測範囲

自然田高架橋（PC橋，支間長：23.5m）

架設年：2002年 直近点検年：2011年1月

橋梁形式：5径間連結PCプレテンT桁橋3連，



飛行範囲



自然田高架橋撮影写真（右）

—ひび割れ計測機 計測結果—

- 3.2.1 ひび割れ計測機による現場計測の概要
- 3.2.2 ひび割れ計測機による現場計測
- 3.2.3 飛行ロボットによる撮影画像とひび割れ計測データの合成
- 3.2.4 計測時に発生した課題

3.2.1 ひび割れ計測機による現場計測の概要

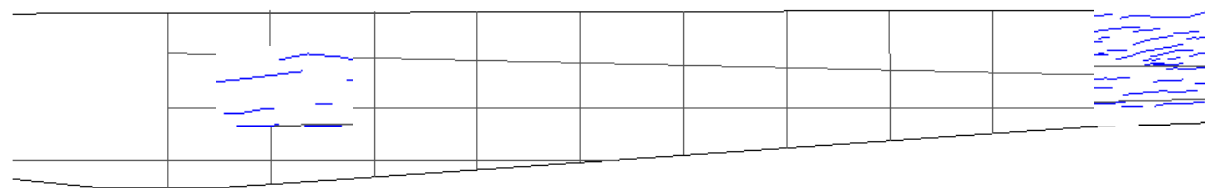
PC橋である山中川高架橋, 自然田高架橋を対象として, ひび割れ計測を実施



①ひび割れ計測機による橋梁計測



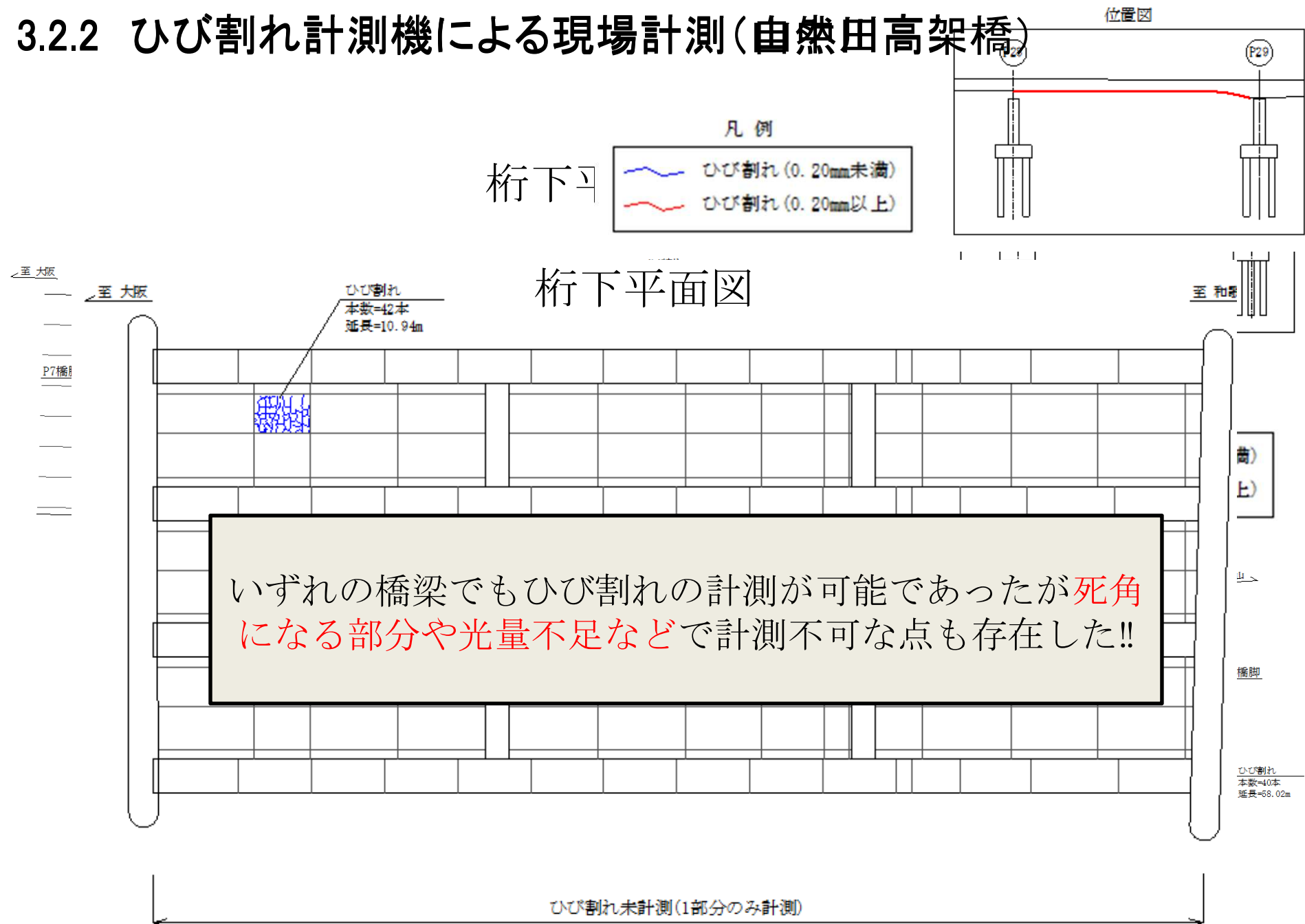
②橋梁の隅角部を計測し, 外形を記憶



③②で記憶した外形にひび割れデータを入力し, CADデータとする

1橋あたり2時間程度の計測時間が必要であった.

3.2.2 ひび割れ計測機による現場計測(由然田高架橋)



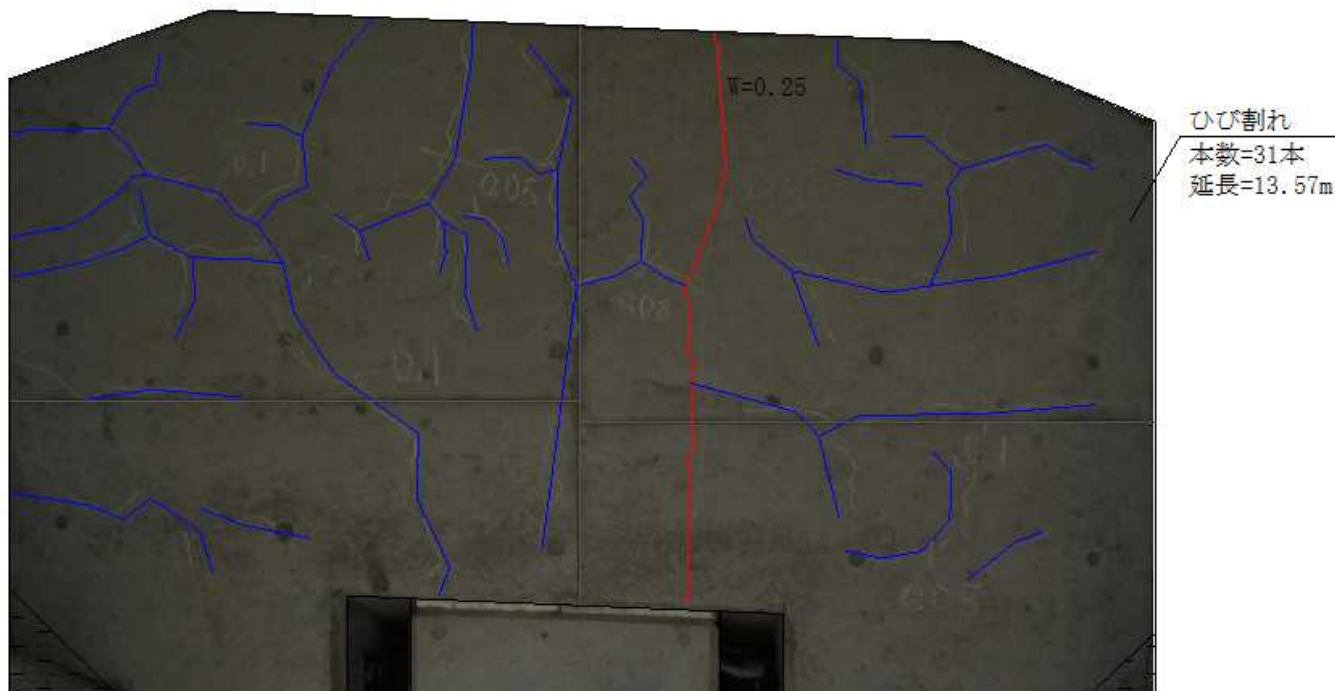
3.2.3 飛行ロボットによる撮影画像とひび割れ計測データとの合成

飛行ロボットによる撮影写真



CADデータ

側壁図(e-e)
(抜粋)

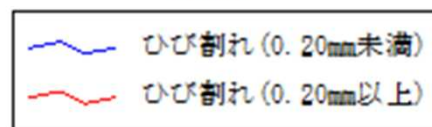


実際に構造物の撮影写真に損傷データを
組み込むことで経年変化が確認しやすくなる

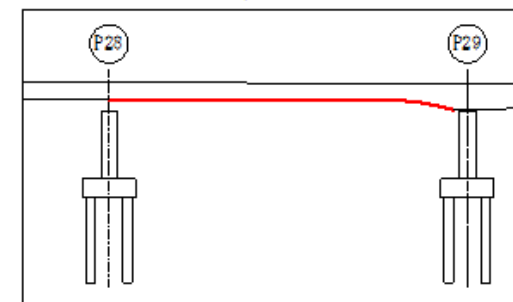
しかし問題点も・・・

ひび割れ計測機による現場計測(自然田高架橋)

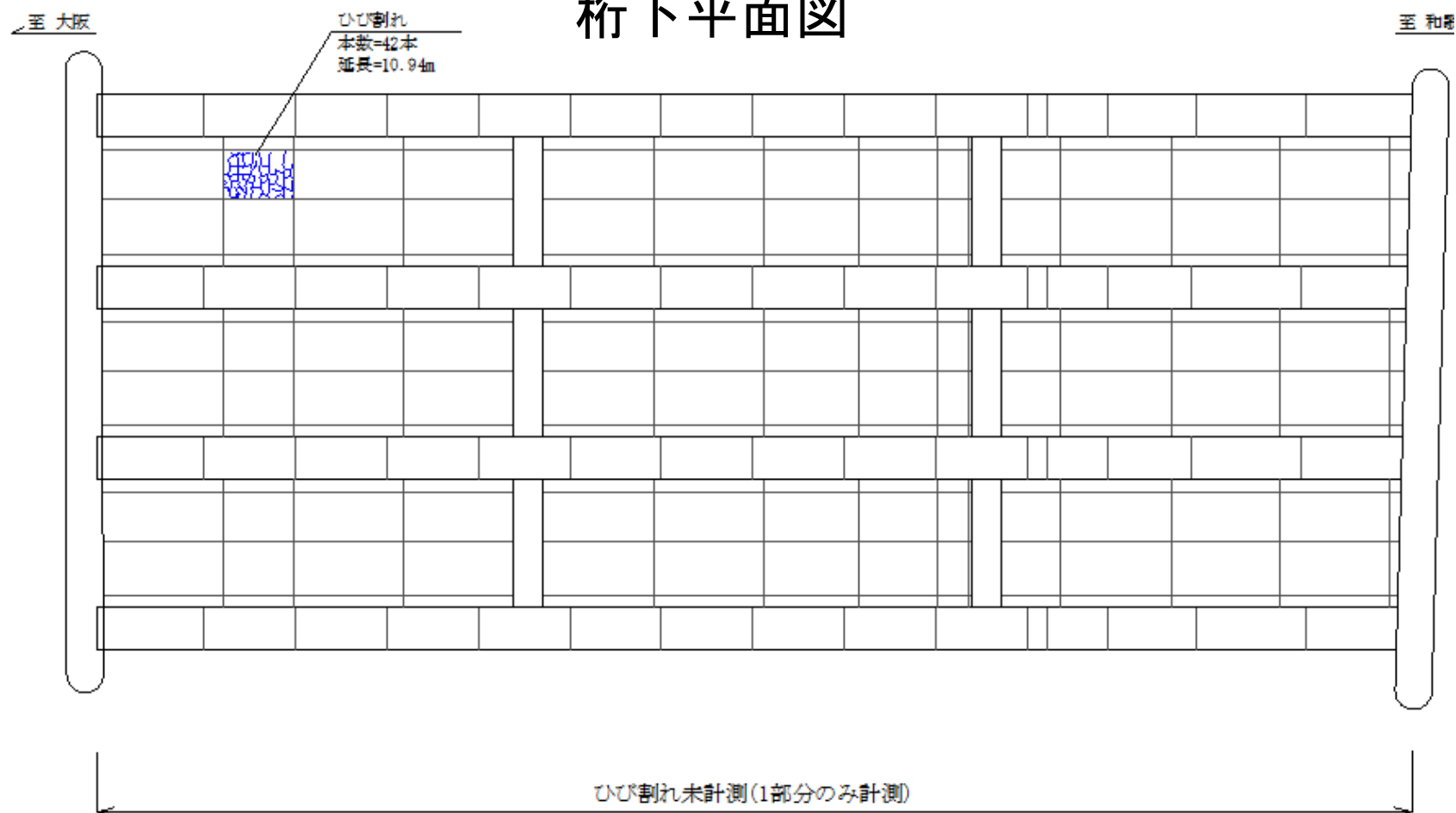
凡 例



位置図



桁下平面図



3.2.4 計測時に発生した課題

①照度不足による損傷位置の確認が困難なこと
や機体の映り込み

②撮影画像の歪みが大きい

補正前



補正後



③撮影機器の性能不足による変状の確認が困難

④動画から抽出した静止画での画質劣化

近景



遠景



まとめ(ひび割れ計測機からの飛行ロボットに対する改善要求)

- ①静止画像については、画質の向上をはかるとともに、適切な画像を自動的に複数枚取得し、必要な情報が抜け落ちないように撮影枚数を検討する必要がある。また、焦点が合っていない画像では、ひび割れ変状の数値化が困難であり、焦点のあった画像の取得が必要である。
- ②カメラの設置位置に関しても、飛行ロボット本体が写真に写り込むことがないような位置に設置することが必要である。また、影の部分では、光量が不足しており、照度の確保が必要である。
- ③動画に関しては、ぶれが大きく、損傷が見えても瞬間的な場合が多く、静止画像にすることが困難である。今回の試行では、飛行体の急旋回が多く、その都度撮影位置がわからなくなるため、動画撮影における機体の安定が不可欠である。

—飛行ロボット 計測結果—

- 3.3.1 飛行ロボットによる現場計測 留意点
- 3.3.2 飛行ロボットへの搭載機器
- 3.3.3 システムの構築および運用体制
- 3.3.4 飛行ロボットによる実証実験概要
- 3.3.5 飛行ロボット 実験の様子(山中川高架橋)
- 3.3.6 飛行ロボットによる現場計測結果

3.3.1 飛行ロボットによる現場計測 留意点

①運用安全対策

飛行区間の規定, 運用体制, 防災対策, 機体確認, 天候対策
バッテリー切れ対策, 無線混信対策を実施

②無線混信の影響

実証実験時に使用予定の発信機（ラジコン用プロポ, 使用帯域 2.4GHz）
と受信機および受信機に接続したサーボモータで簡易混信検知器を作成

混信の影響で機体が勝手に作動する可能性がある



実験地での混信発生の確率が低いことを確認



混信検知器

3.3.2 飛行ロボットへの搭載機器

①照明機器

ひび割れ計測機の計測際に最低でも125lx必要となる



LED照明

LED照明の色温度と距離, 光度の関係

色温度	125lx 距離(m)	1mの光度(lx)	2mの光度(lx)
低(暖色)	1.3	200	—
中間	1.5	270	72
高(寒色)	1.7	375	96

LED照明では125lxの光量を維持できる距離が短かく, 飛行ロボットと橋梁が接触する可能性があるために新たに照明器具の再選考が必要である.

②搭載バッテリー

6000mAh, 22.2V, のバッテリーを4つ搭載することで外気の影響されるが15分程度の飛行が可能 (大型バッテリーを検討 合計重量2kg弱)



搭載バッテリー

③撮影機器 (4kカメラ 検討中)

3.3.3 システムの構築および運用体制

機体局



検査対象物を撮影
(機体の映り込みを解消のためジンバルの設置位置を検討中)



地上局

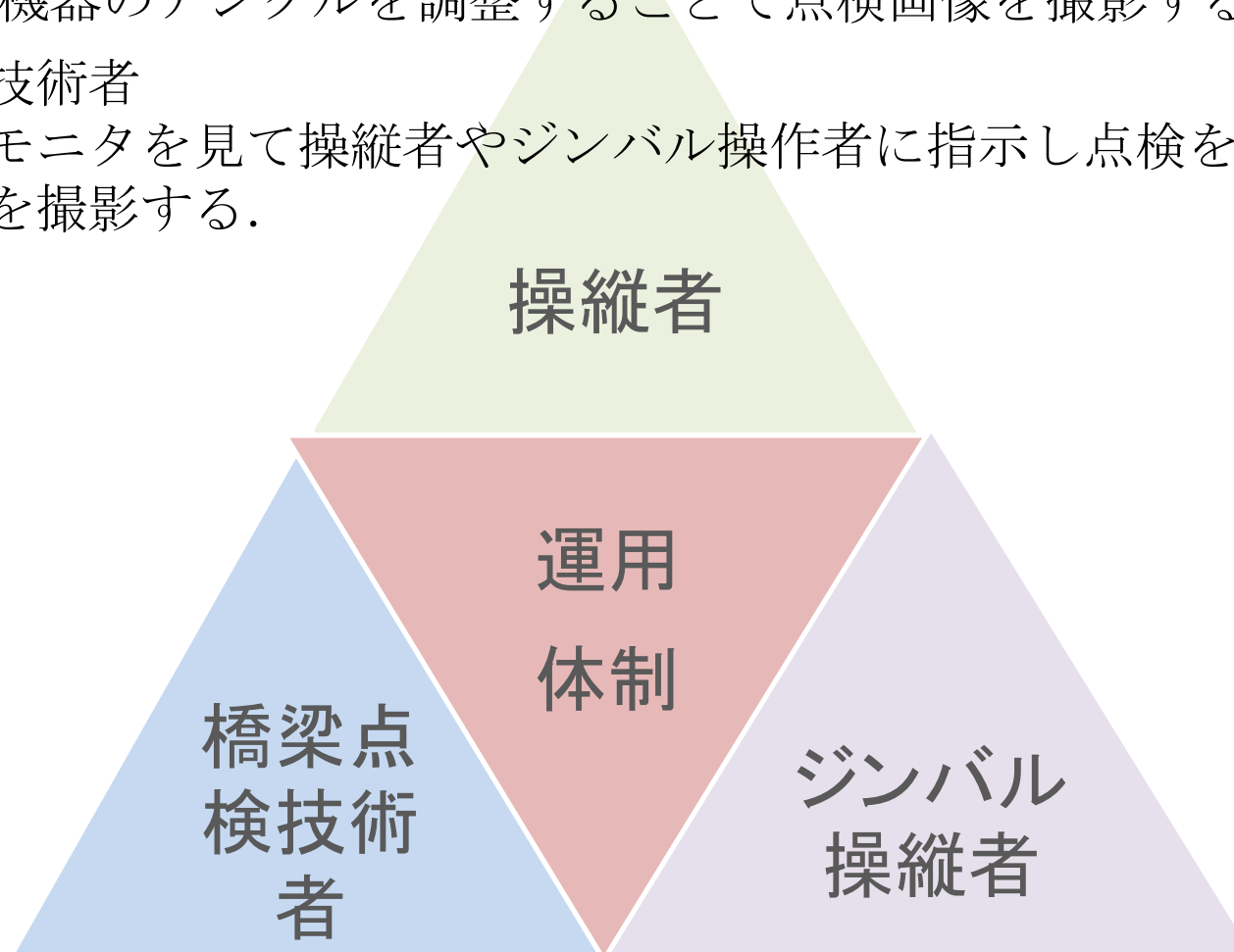
地上局へ映像が送信される



撮影状況と地上局とのタイムラグが
起こらないように対象物の撮影を実施
する必要がある。

3.3.3 システムの構築および運用体制

- ・ 操縦者
ラジコン用プロポを使い目視により機体を安定飛行させる。
- ・ ジンバル操作者
飛行ロボットに搭載された撮影機器の画像情報を地上局モニタ画面で確認し、撮影機器のアングルを調整することで点検画像を撮影する。
- ・ 橋梁点検技術者
地上局モニタを見て操縦者やジンバル操作者に指示し点検を行い、点検個所を撮影する。



3.3.4 飛行ロボットによる実証実験概要



水平配置（実証実験時に使用）



傾斜配置（検討中）

プロペラを水平方向に配置した一般的な形状での実証実験となった。本実験では安定したホバリング、飛行時間の確認、無線の混線の有無、橋梁撮影を実施した。

しかし、本来予定していた傾斜配置での安定したホバリング、任意の角度からの点検画像撮影を行うことができなかった。

3.3.5 飛行ロボット 実験の様子(山中川高架橋)



3.3.6 飛行ロボットによる現場計測結果



山中川高架橋



山中川側道橋



自然田高架橋

プロペラを水平配置にした場合で橋梁の撮影を行ったが、いずれの橋梁でも撮影可能であった。

しかし、問題点も判明した。

まとめ(飛行ロボットへの改善要求)

①飛行ロボット(アルバトロス)のプロペラの傾斜配置による性能改善

プロペラを傾斜配置にすることで安定した飛行が可能か検討する
性能検証指標として連続飛行時間, 飛行時における安定性 (空中静止時間
など), 飛行ロボットの重量 (搭載機器を含む) などが挙げられる.

②撮影範囲の向上のためのジンバルの機体上面への配置

飛行ロボットに搭載したジンバルの位置ではカメラに飛行ロボットが写り
こんでたため, ジンバルの搭載位置を飛行ロボット上面に設置する.

③合成図の精度上昇のための撮影機器の再選定

現在の撮影写真では500万画素で解像度が低く, ひび割れのCADデータとの
合成が困難であったため, 4kカメラを用いることで解像度の改善を図る.
4kカメラの使用で500万画素から829万画素の写真が得られる予定である.

④暗部照明によるKUMONOS測定範囲の拡張

飛行ロボットに搭載する照明の機能不足のために十分に橋梁を照らすこと
が困難であったことから, これを克服するための機器を新たに装備する.
ひびわれ計測機では測定困難な暗所を照らすことでひびわれ計測機の測定
範囲の拡張の可否を確認する.

4.H27年度の研究計画

昨年度の実験から得られた課題より実証実験を8月, 12月に実施予定

①実証実験 第1回 8月予定

検討項目

- ・飛行ロボット（アルバトロス）のプロペラの傾斜配置による性能改善
- ・撮影範囲の向上のためのジンバルの機体上面への配置
- ・飛行ロボットによる撮影した画像とひび割れ計測機のCADデータとの合成
- ・暗部照明によるKUMONOS測定範囲の拡張

②実証実験 第2回 12月予定

検討項目

- ・平行移動 : 制御ロジックを開発
- ・自律化 : 距離センサを設置
- ・地上局と撮影機器との画像伝達遅れの回避 : ギガテクノ画像伝達装置の設置



鋼橋の塗膜状況把握のための画像データの取得

飛行ロボットで鋼橋の塗膜状況の経年変化を確認するためには、撮影時の外界の環境（日光など）の影響を排除できるシステムが必要である。本年度は、これらの環境影響を排除し、撮影写真から塗膜情報を判断するシステムを構築することを目指す。

飛行ロボット 近況報告

全プロペラ8発を
10度の傾斜配置



上面配置により床版
の撮影が可能に！



飛行ロボット プロペラ傾斜配置



ジンバルの上面配置

飛行状況(動画 4k画質)

8. プロジェクトのフロー

平成
26
年度

- ① 「KUMONOS」,「アルバトロス」の橋梁目視点検全般での使用に関する検討
- ② 「KUMONOS」,「アルバトロス」の測定不能領域の明確化
- ③ 試行後,課題に対する対応方法の検討



平成
27
年度

- ④ 各種実証実験および結果検証
- ⑤ マニュアル作成
- ⑥ 新たな橋梁点検システムの提案