

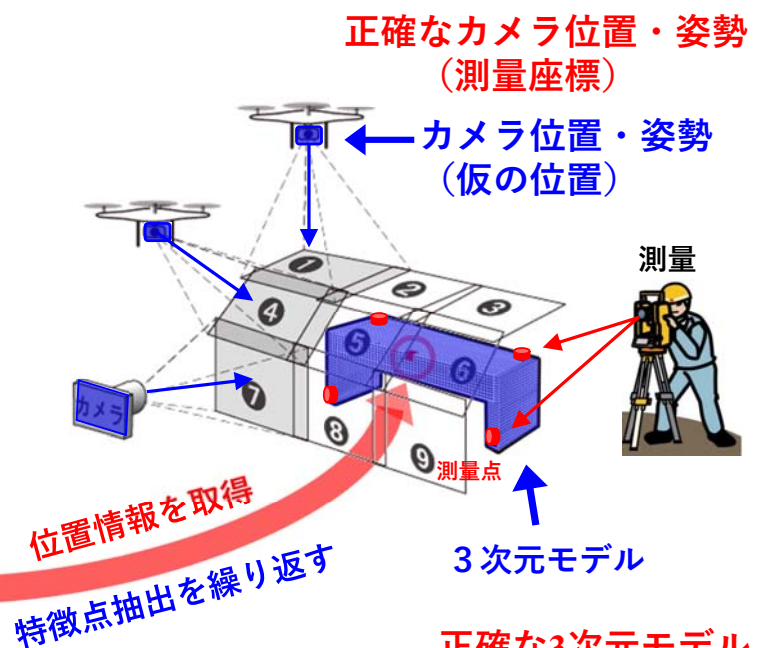
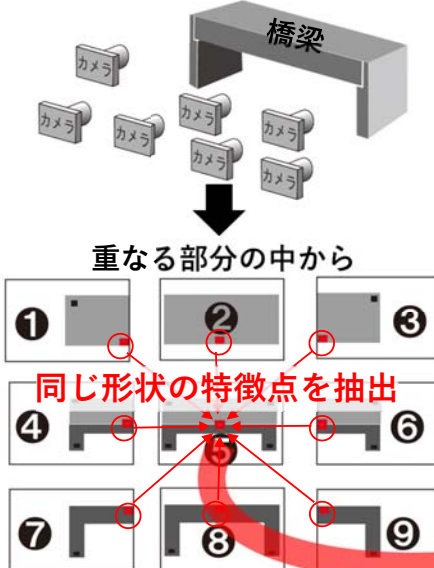
今回の技術開発の目的および内容

国立研究開発法人 土木研究所
先端技術チーム 主任研究員
服部達也

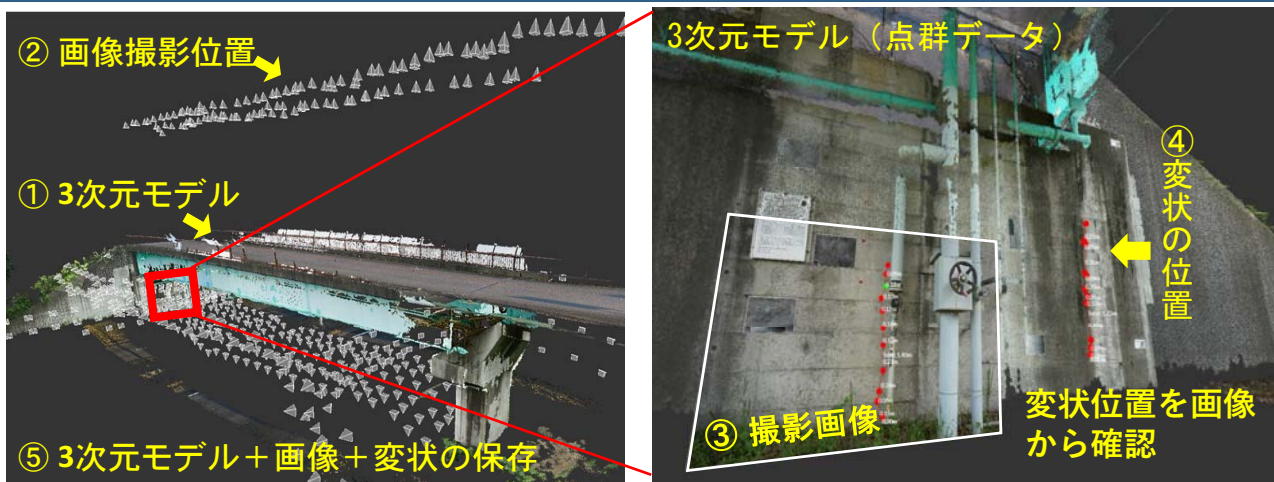
SfM とは

SfM (Structure from Motion) とは撮影した複数の画像からカメラ位置、カメラ姿勢、撮影物体の形状 (3次元モデル) を復元する手法です。

撮影した複数写真の



3次元モデルの効果 (分かりやすい表現)



②+④ = ひび割れ幅・長さの計測が可能

⑤ = 撮影画像と変状の管理の効率化

- ・ロボット点検では、撮影枚数が膨大になる。
- ・変状箇所を、誤解なく伝えることが可能。
- ・変状の詳細は、オリジナル画像で確認可能。



3

3次元モデルの効果 (損傷展開図の作成)

スケッチによる損傷図と異なり、背景に展開画像があることで、位置精度が高く、客観性の高い損傷評価が可能。



P1橋脚南面の損傷展開図
(上部のみ抜粋)

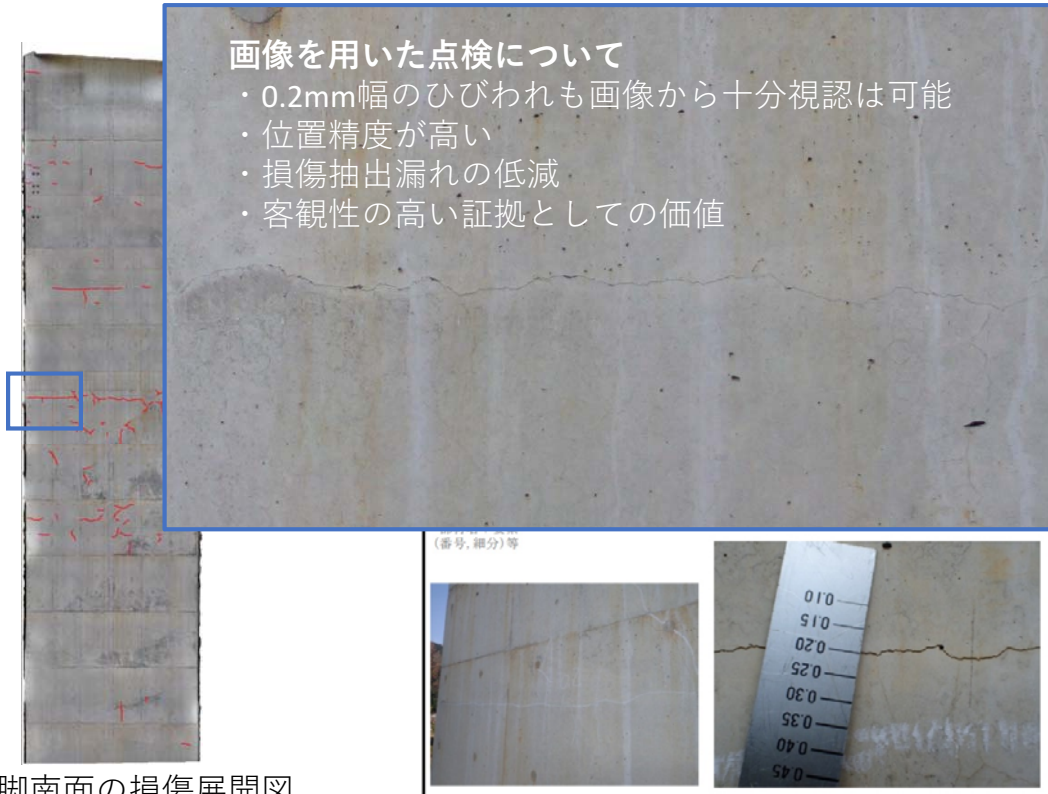


拡大図

4

3次元モデルの効果（過去の点検結果との比較）

損傷展開図と鳥取県より受領した淵見大橋の過去の近接目視点検結果を比較



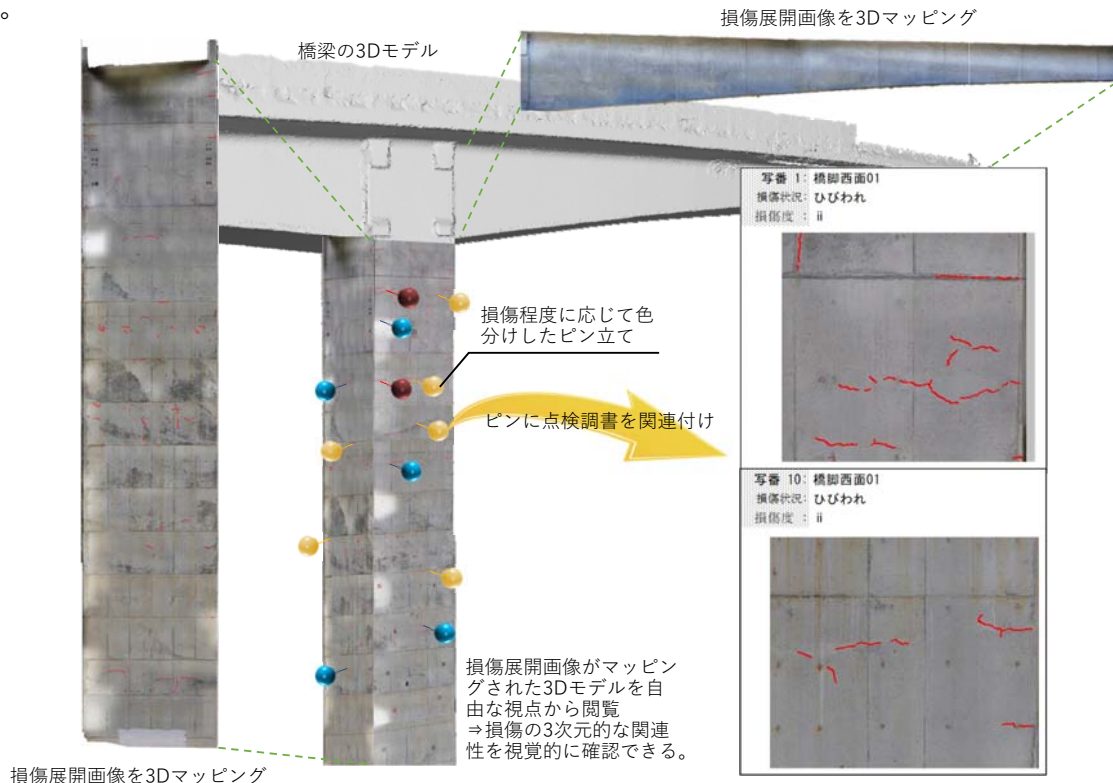
P1橋脚南面の損傷展開図
（上部のみ抜粋）

点検結果（近接目視点検）

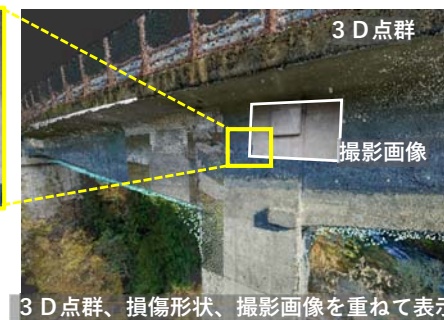
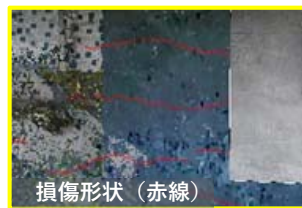
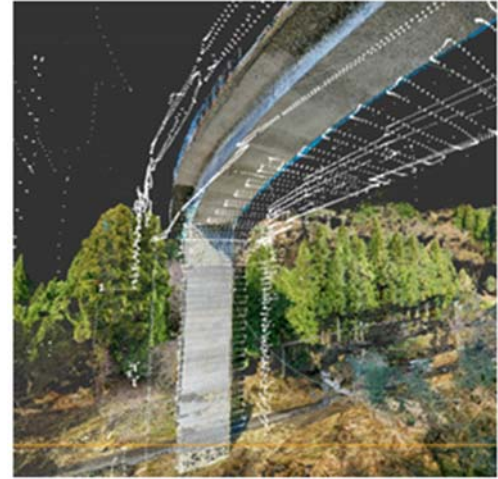
5

3次元モデルの効果（納品イメージ1）

管理しやすいフォーマットで画像による点検結果を納品する必要がある。「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」を元に効果的な納品方法を検討していく必要がある。下記は、画像および3Dレーザスキャナなどを用いて作成した3Dモデルに損傷展開図や点検台帳をリンクさせたイメージ。



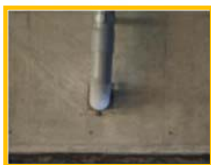
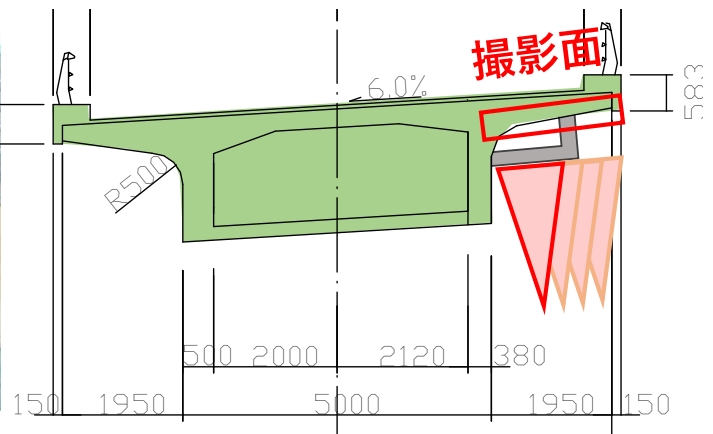
6



- 3次元モデル上に
- ・損傷形状をポリラインとして表示
 - ・撮影画像は、点群モデルに重ねて表示

3D点群、損傷形状、撮影画像を重ねて表示

3次元化には、(撮影枚数が多い)



Tue Dec 10 2019



Tue Dec 10 2019



Tue Dec 10 2019



Tue Dec 10 2019

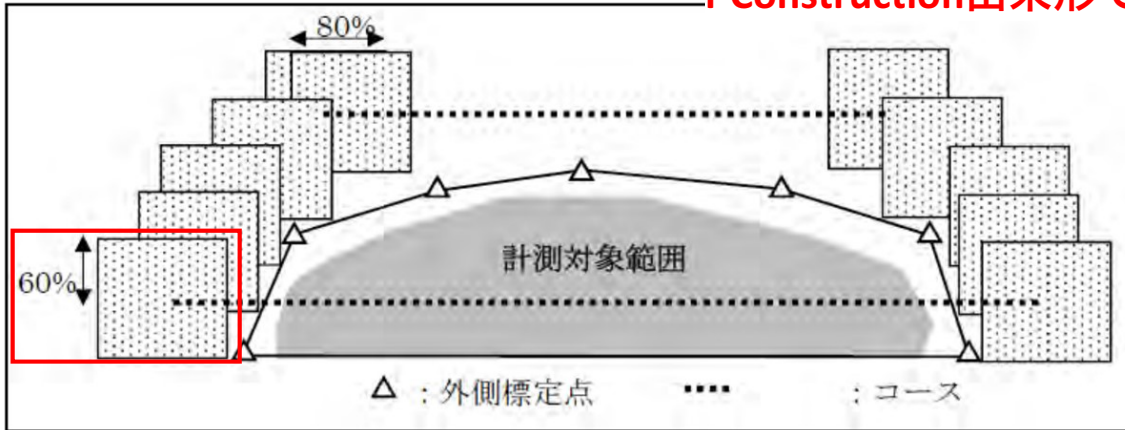


Tue Dec 10 2019

前後の写真では、80%が同一範囲 (オーバーラップ)

→ 撮影枚数が多い

i-Construction出来形でも同様



Tue Dec 10 2019



Tue Dec 10 2019



Tue Dec 10 2019



Tue Dec 10 2019



Tue Dec 10 2019

前後の写真では、80%が同一範囲（オーバーラップ）

隣のコースとは、60%が同一範囲（サイドラップ）

→ 撮影枚数が多い

撮影の実態（近景画像）

使用カメラ：SONY α6500

撮影画素分解能：0.4mm/pixel（0.2mm幅のひびわれの視認および撮影効率を考慮）

撮影距離：約5m

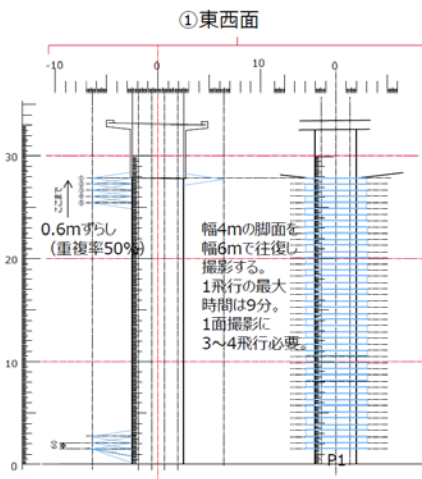
撮影画角：約2.4m×1.6m

ラップ率：オーバーラップ60%、サイドラップ50%（0.6m/sで飛行）

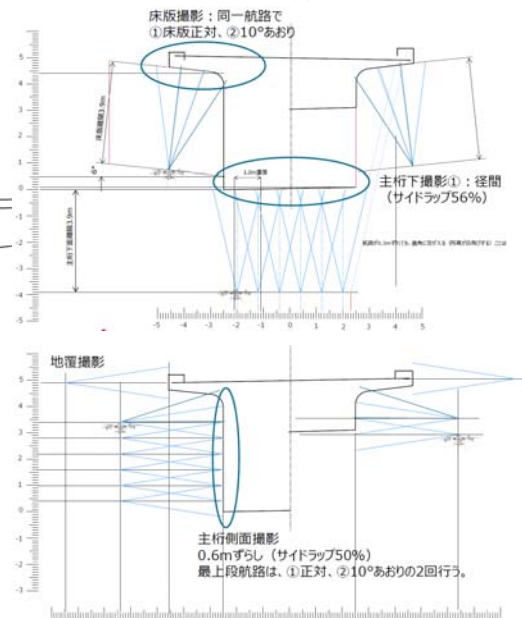
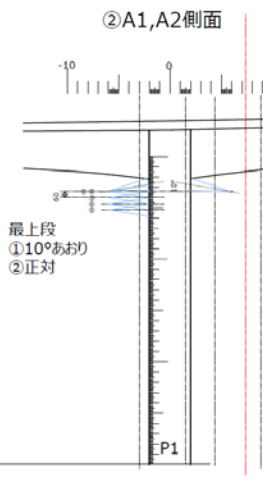
その他

- ・近接画像は正対撮影が基本
- ・SfM/MVS解析により3D化するため、橋脚や桁下面などの面が直交する箇所は、45度方向からの斜め画像を補完撮影

フライトプラン



P1橋脚4面の撮影：延べ2日間



P1-P2間桁撮影：延べ3日間



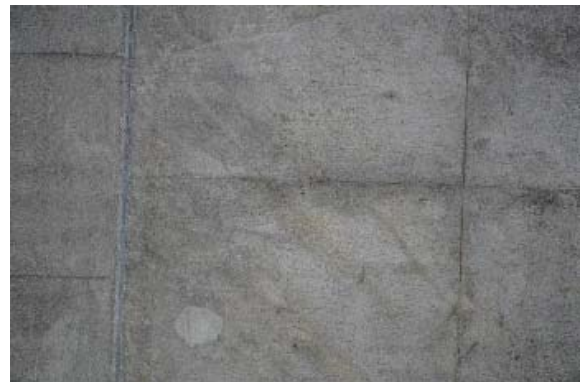
橋脚側面



張出床版下面

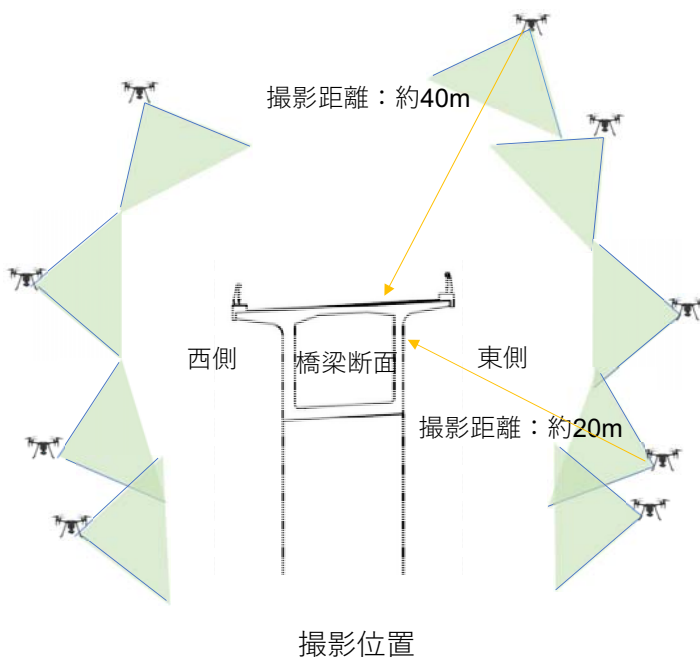


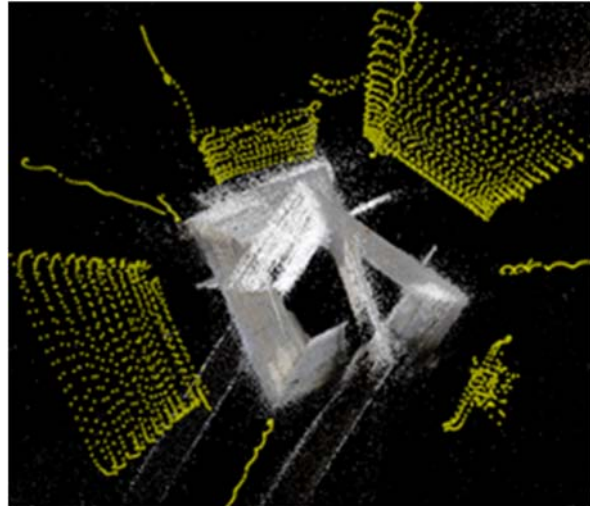
橋脚角部



主桁下面

総フライト数 9フライト
 総飛行時間 約65分（約7分/フライト）
 撮影枚数、容量 約15,00枚、約13GB





失敗例

橋脚（四角柱）の4面を同時に3D処理すると、四角柱にならずに、奇形な形状になる場合がある。

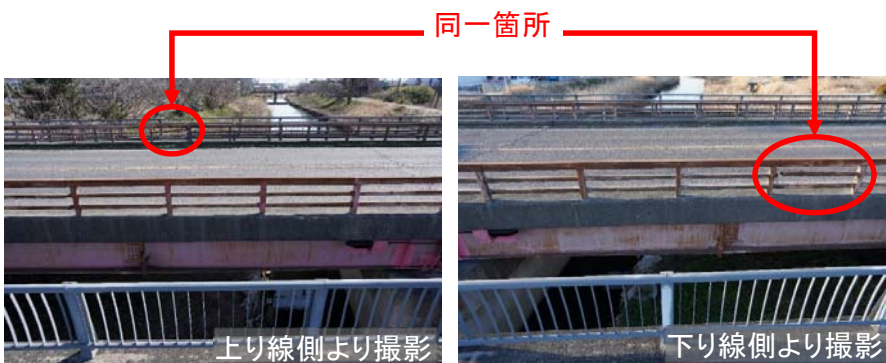


東側からの撮影



西側からの撮影

東側、西側の画像を同時に3D処理すると片側からの画像と誤認識してしまう。



橋梁側面の画像では、上り側、下り側を区別できない。

上り側・下り側を同時に3D処理すると、片側からの映像と誤認識してしまう。

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
【橋梁編】
（案）

令和2年3月
国土交通省

2.2. 損傷形状データ

損傷形状データとして、次のいずれかを作成する。

- 3次元モデル
- レイヤ構造図面ファイル（2D）

(1) 3次元モデル

3次元モデルによる損傷形状データは、3次元のポリライン、ポリゴン等を3DCAD等で作成する。亀裂などは、**亀裂箇所に沿う形で3次元ポリライン**を、腐食などは該当箇所をポリゴンで囲むなどして、**正確な形状が記録**されるように作成する。

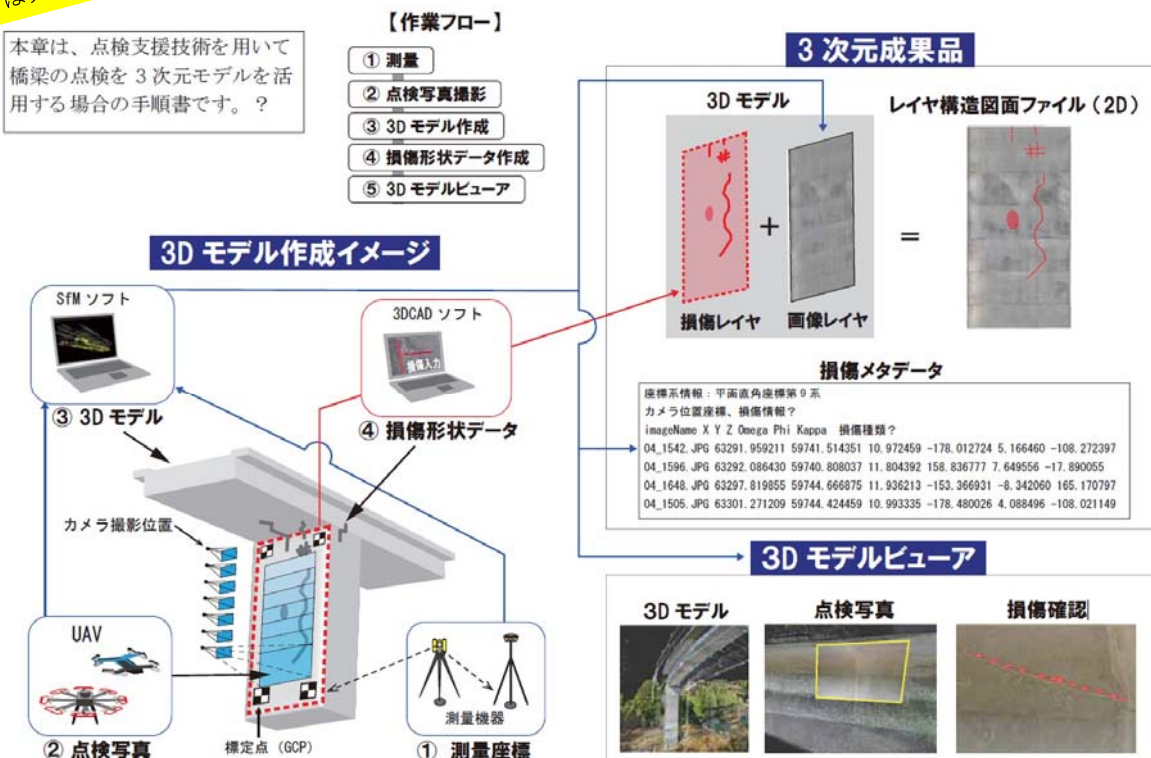
3次元モデルによる損傷形状データには、必要に応じて、損傷の種類、損傷程度、メモなどの属性情報を付与する。また、これらの情報は、必要に応じて、旗上げ表示等を利用することで、損傷位置が把握できるようにすることが望ましい。

- ・ **橋梁3次元モデル作成にはノウハウが必要**
 - ・ 画像撮影方法
 - ・ SfMソフトウェアの操作方法
- ・ 「**橋梁撮影マニュアル**」として作成中
 - ・ 手戻り無く 3次元モデルを作成できるように
 - ・ 3部構成
 - ・ 橋梁3次元モデルの基本
 - ・ 橋梁の撮影方法
 - ・ 橋梁3次元モデル作成
 - ・ 今年の秋に土木研究所のHPで公開(予定)

橋梁撮影マニュアルの紹介

注意事項：作成中のため
最終版とは異なります

3次元成果品について

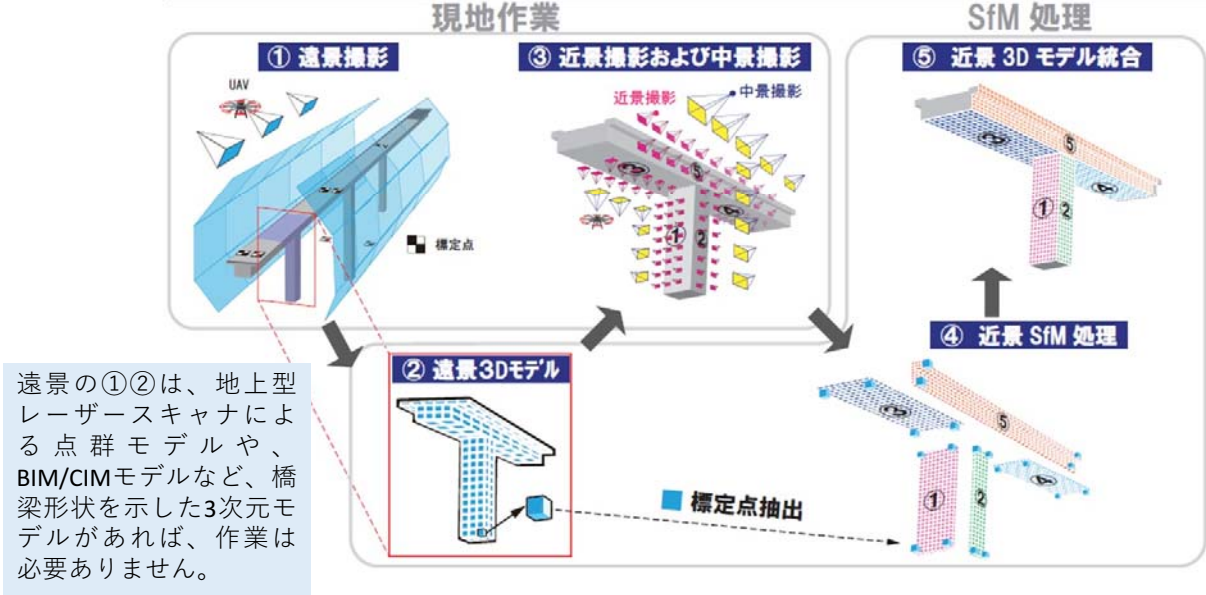


注意事項：作成中のため
最終版とは異なります

遠景 + 近景 で 3Dを作成

1. 作業の流れ

ここでは、ロボット (UAV) を活用し大規模な橋梁を 3 次元成果品作成について説明します。なお、現場の状況で作業手法は異なりますので参考として利用願います。
 ① 点検対象が広域となる場合、高い場所や橋梁裏面等は標定点設置が困難なため、遠景撮影から広域の 3 次元モデルを作成する。作成した 3 次元モデルから近景撮影の SfM 処理に必要な座標を取得する。
 ② 近景撮影は撮影枚数が多く時間がかかるため、風や日照の変化など天候の影響を多く受けるため、SfM 処理のエラーなどが発生する恐れがある。その対策として近景撮影を補うために近景撮影範囲を網した中景撮影を実施する。



注意事項：作成中のため
最終版とは異なります

遠景撮影は、色々な高度から撮影

3. 撮影計画 (ハイピア PC 橋)

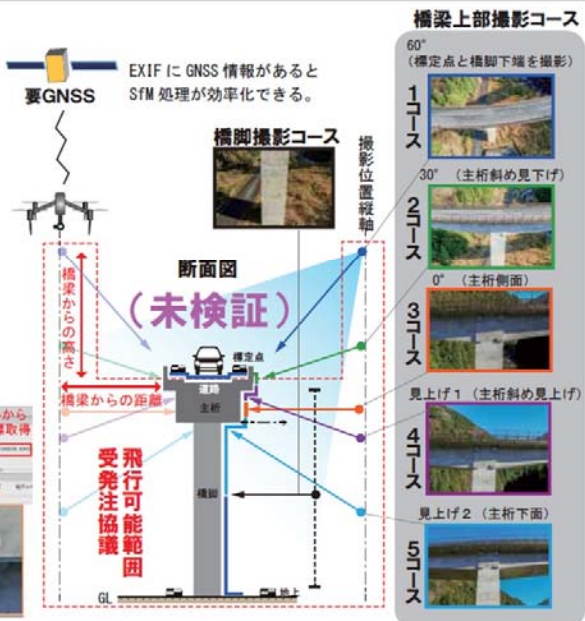
撮影計画は、橋梁撮影マニュアル共通編を参考に、撮影面番号の設定、撮影距離、ラップ率、標定点設置場所などを計画し撮影計画図を作成する。また、撮影困難な場所については航空写真や現地踏査で確認し、点検方法を事前に検討する。

3-1. 遠景撮影について

撮影方法は橋梁上部ならびに橋脚の全体を網羅し、垂直方向から橋梁の下面までを複数方向から重複した撮影を行う。安全対策として、車両や歩行者との接触の恐れがある橋梁から上部の垂直や斜め方向の撮影については、安全な撮影距離を確保するため、受発注者協議により決定する。

- 【撮影条件】
- ・対物画素寸法：1cm 以内
 - ・サイドラップ率：70%以内を標準とする。
 - ・撮影方向：橋梁上部構造は図のように見下げ 60 度および 30 度、水平方向、見上げ 2 方向の 5 方向を標準とする。※現地状況に応じて、方向、角度、コース数などの調整を行う。
 - ・橋脚は縦に 5 方向から、撮影距離は橋梁上部の 1/2 以上とする。
 - ・全工程の効率化のため写真枚数は計画に近い写真枚数とする。

3D モデルからの標定点抽出方法



- 検証項目 飛行コースをどうするか。
 撮影時のラップ率は、どの程度必要か。
 標定点を路面上に設置した場合に地上部の精度はどの程度か。

注意事項：作成中のため
最終版とは異なります

近景撮影 少し離れた写真も

3-3. 近景撮影について

近景撮影は橋脚や主桁などの表面から損傷が把握できる対物画素寸法の画像を取得する。撮影方法は「橋梁撮影マニュアル共通編」を参考に撮影面に番号を設定し、撮影距離や間隔などの計画を行う。

中景撮影の撮影距離は、近景撮影の2倍以内（未検証）とし、各撮影面を網羅すること。

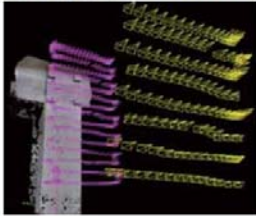
【近景撮影条件】

- ・対物画素寸法：0.3mm～0.6mm程度
- ・サイドラップ率：30%以内（未検証：漏見は50%）を標準とする。
- ・オーバーラップ率：70%以内（未検証）を標準とする。
- ・露出：MF、絞り

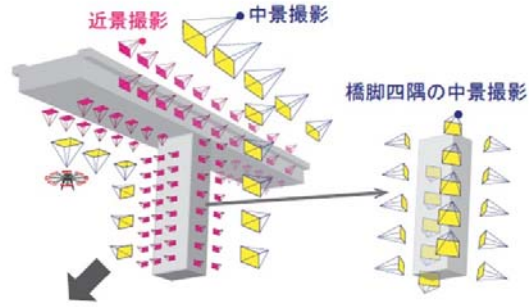
【中景撮影条件】

- ・撮影距離：近景撮影の2倍以内（未検証）
- ・サイドラップ率：50%以内（未検証）を標準とする。
- ・オーバーラップ率：70%以内（未検証）を標準とする。
- ・露出：MF、絞り
- ・橋脚角も撮影する。

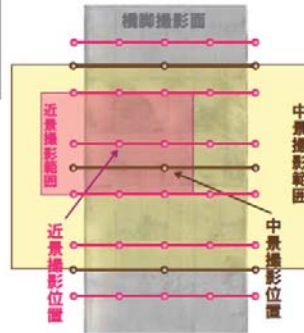
近景撮影中景撮影 SfM 処理イメージ



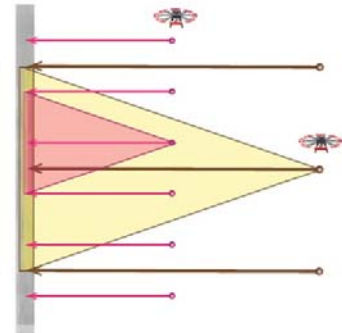
近景撮影・中景撮影イメージ図



撮影計画平面図



撮影計画側面図



検証項目 中景撮影がある場合、近景撮影のラップ率を減らすことが可能か。
中景撮影の、適切な距離・適切なラップ率ほどの程度か
手戻りのなく、精度の高い、3次元モデルの作成方法の確立

江島大橋での検証項目

検証項目

- 遠景撮影 : 撮影距離、ラップ率、撮影高度、撮影角度、標定点数
- 近景撮影 : 中景撮影の撮影距離、ラップ率、焦点距離など
- SfM処理 : 画像精度、手戻りしないこと、複数のSfMソフトで検証

