

橋梁 3次元モデルの構築（検証事例）

～UAV 撮影からオルソモザイク画像作成まで～

令和3年3月

国立研究開発法人 土木研究所

技術推進本部 先端技術チーム

目 次

1. 総則	1
1.1. 位置付け	1
1.2. 用語の定義	4
1.3. 実施場所	6
2. 実施方針	7
3. 作業手順	8
4. 計画準備	10
5. 撮影計画	12
5-1. 近景撮影計画	12
(1) 近景撮影距離の計算	12
(2) 近景撮影のラップ率	14
5-2. SfM 補完撮影計画	15
(1) SfM 補完撮影の目的	15
(2) SfM 補完撮影計画	15
(3) 近景撮影・SfM 補完の撮影計画図	17
5-3. 遠景撮影計画	18
(1) 遠景撮影計画	18
(2) 遠景撮影計画図	19
6. 撮 影	20
6-1. 近景撮影	21
6-2. SfM 補完撮影	23
6-3. 標定点設置	24
6-4. 遠景撮影	25
7. SfM 処理	27
7-1. 部材 3 次元モデル作成	27
7-2. 座標取得用 3 次元モデル作成	29
7-3. 橋梁 3 次元モデル作成	31
7-4. オルソモザイク画像作成	32
7-5. オルソモザイク画像の評価	34
8. まとめ	37
参考資料	38

1. 総則

1.1. 位置付け

国土交通省では、橋梁定期点検へ点検ロボットなど点検支援技術を活用するために、受発注者間の確認プロセスを「新技術利用のガイドライン(案)」に示し、新技術を選ぶ際の参考資料として「点検支援技術性能カタログ(案)」を策定している。この「点検支援技術性能カタログ(案)」では、点検支援技術として、点検ロボット(UAV、懸架型、ポール型など)や画像処理方法が多数掲載されている。

点検支援技術等を用いて取得した写真等から3次元モデルを作成し、その3次元モデル上に損傷位置を管理するために必要なデータ納品仕様は、国土交通省の「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3年3月(以下、「納品マニュアル」という。)」に定められている。

本検証事例は、納品マニュアルに示されている、3次元成果品の納品までの流れのうち、「①点検支援技術等を用いて写真を撮影」、「②写真から3Dモデルを生成」の2項目を対象としており、①に示す点検支援技術にはUAV、②に示す3Dモデル生成ソフトにはSfMソフトウェアを使用したものである。本検証事例では、3Dモデルの生成過程で作成可能なオルソモザイク画像の作成を含めている。オルソモザイク画像は、3次元モデルに対して設定したある投影面の2次元画像であるが、3次元モデルに比較して高精細かつ低容量とすることが容易なため、「③3次元成果品を作成・納品」のうち、「レイヤ構造図画ファイル(2D)」作成の効率化が可能である。(図1-1、図1-2)

また、本検証事例では、2次元の「レイヤ構造図画ファイル(2D)」へ3次元の位置座標を復元する方法を例示している。これにより、位置情報を有する3次元損傷形状データを作成することが可能となる。

橋梁点検業務は、「計画、状態の把握、健全度診断、定期点検結果の記録、納品」の手順で行われており、状態把握の方法や定期点検結果の記録には、多様な方法がある。本検証事例では、これら多種多様な方法のうち、UAVにより得られた写真のみで橋梁3次元モデルおよびオルソモザイク画像作成するために、SfMソフトウェアを用いた処理(以下、「SfM処理」という。)の事例を示している。(図1-3)

本検証事例で用いている数値(対物画素寸法やラップ率など)は、計算方法の解説を目的として記載した値である。本検証事例を参考として橋梁3次元モデルを作成する場合には、対象橋梁の損傷状況や点検目的に応じて、適時設定して頂きたい。

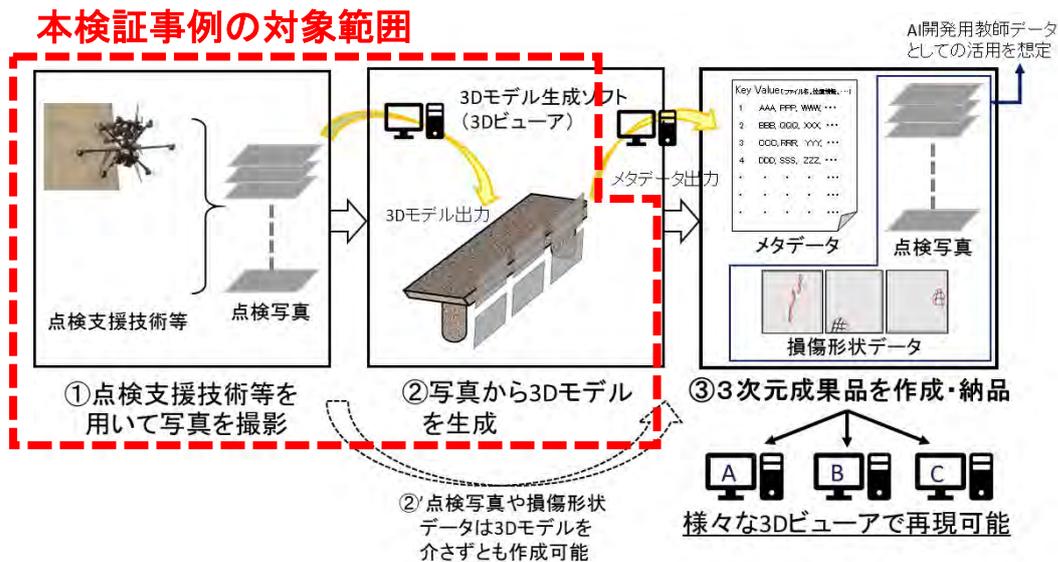


図 1-1 納品マニュアルにおける本検証事例の対象範囲

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
- レイヤ構造図画ファイル (2D)

【解説】

損傷形状データは、損傷の概略、損傷の位置・形状、損傷の範囲などの情報であり、(1) 3次元モデル、(2) レイヤ構造図画ファイル (2D) のいずれかの方法から選択してデータを作成する。

損傷形状データ作成にあたっては、点検写真に重ね合わせて利用できるように、点検写真のメタデータと同じ座標系を用いることとする。

なお、作成した損傷形状データは、今後点検支援技術の一つとして開発・活用が期待される。AIに必要な教師データの素材として活用することを想定している。

(1) 3次元モデル

損傷形状データは、3次元のポリライン、ポリゴン等として 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作成する。

また、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。表示する際には、旗上げ等を利用して損傷位置が把握できることが望ましい。

(2) レイヤ構造図画ファイル (2D)

損傷形状データは、点検写真と同じ大きさの領域の図面に、損傷箇所等をポリライン、ポリゴン等を重畳して図示し、損傷形状のレイヤ構造を持たせたファイルとして作成する。亀裂などは、亀裂箇所に沿う形でポリラインを、腐食などは該当箇所をポリゴンで囲むなどして作成する。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し、旗上げ表示する。

具体的には、画像編集ソフト等を用いて、点検写真と損傷箇所等の図示は異なるレイヤに保存する。また、点検写真と損傷箇所等の図示が市販のソフトウェアで容易に、事後に正確に重畳できるのであれば、レイヤ毎に別ファイルで保存してもよい。この場合、点検写真と別ファイルとして保存したものは、点検写真と同様に、メタデータで位置情報等を記載すること。

図 1-2 納品マニュアルにおける損傷形状データの説明

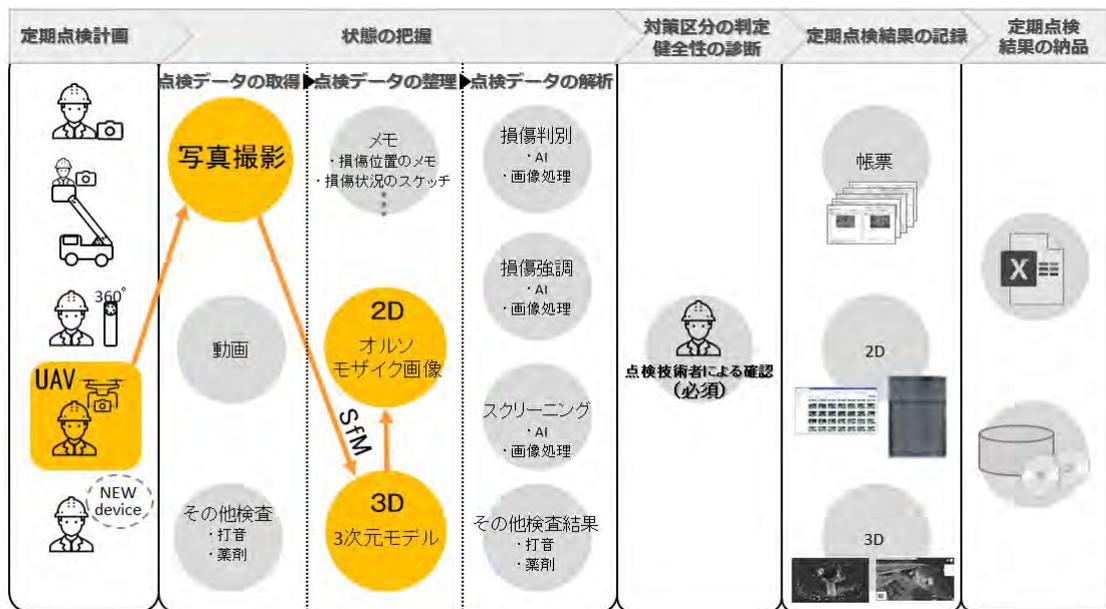


図 1-3 本検証事例の対象範囲

1.2. 用語の定義

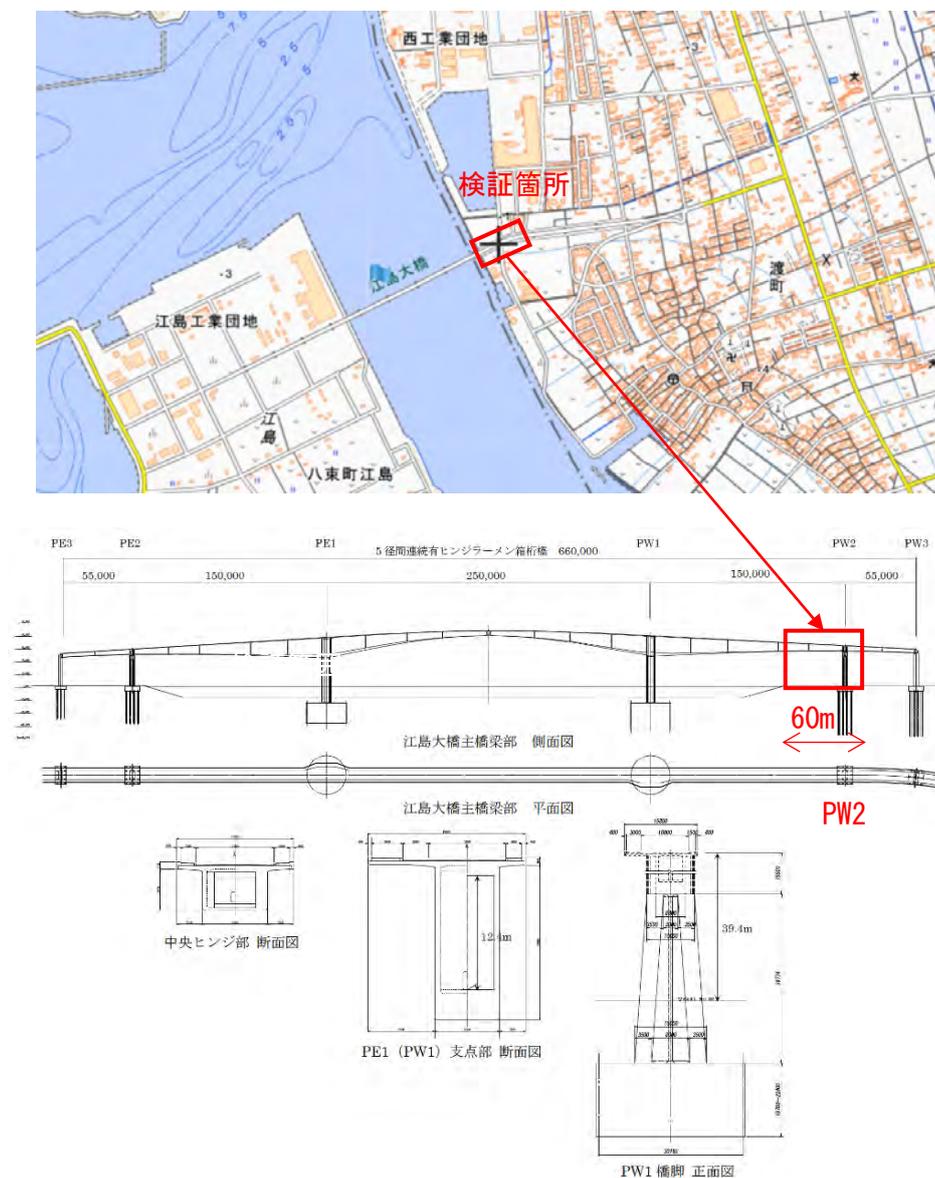
本検証事例で用いる主な用語の定義は、次による。

用語	定義
点検写真	点検支援技術等を用いて、点検対象となる部材を撮影した写真。オリジナル画像、オルソ画像、合成画像、オルソモザイク画像が含まれる。なお、オリジナル画像にはExif情報を含むものとする。
損傷形状データ	点検写真、3次元モデル、並びに図面に損傷の位置、形状、内容等を付加した損傷情報のこと。
オルソ画像	点検写真を正射投影し、傾きのない、画像の端部でも歪みがない画像に変換したもの
オルソモザイク画像	単一のオルソ画像をつなぎ目が目立たないよう接合し、統合した一枚のオルソ画像。
UAV	無人航空機、Unmanned Aerial Vehicle、ドローン
SfM	移動するカメラ、もしくは撮影位置が未知の複数のカメラで撮影した写真からカメラ位置・姿勢と撮影物体の形状の両方を復元する手法。Structure from Motion。
3次元モデル	点検対象となる構造物の3次元形状を表現したモデルのこと。
部材3次元モデル (本検証事例で定義)	橋脚や桁などの部材単位で作成した、位置座標を有していない3次元モデルとする。 近景撮影、SfM補完撮影で得られた写真を用いてSfM処理で作成した3次元モデル。
座標取得用3次元モデル (本検証事例で定義)	部材3次元モデルへ位置座標を付与するための、位置座標を有した3次元モデルとする。 遠景撮影で得られた写真を用いて、SfM処理で作成した3次元モデル。
橋梁3次元モデル (本検証事例で定義)	部材3次元モデルへ、位置座標を付与し、正しい位置や大きさを有する3次元モデルとする。
近景撮影 (本検証事例で定義)	点検用の写真を取得するための撮影。 得られた写真は、部材3次元モデルの作成に用いる。
SfM補完撮影 (本検証事例で定義)	近景撮影より広い範囲の撮影をSfM補完撮影とし、SfM処理によるカメラ位置・姿勢と撮影物体形状の復元の失敗を防止する。 得られた写真は、部材3次元モデルの作成に用いる。

遠景撮影 (本検証事例で定義)	橋梁全体の位置座標を取得するための遠方からの撮影。得られた写真は、座標取得用 3 次元モデルの作成に用いる。
対物画素寸法 (本検証事例で定義)	カメラのセンサー上の 1 画素に対する撮影対象物 (橋梁) の寸法とする。
位置座標	座標系情報のことで、世界測地系 1984 (WGS84)、日本測地系 2011 (JGD2011、世界測地系 (測地成果 2011))、平面直角座標系「平成 14 年国土交通省告示第 9 号」事をいう。 3 次元モデルを正しい位置へ配置するために用いる。

1.3. 実施場所

本検証事例では、ハイピア PC 橋である江島大橋の PW2 橋脚付近（鳥取県境港市：高さ 30m、幅 11.3m）の 60m 区間にて検証を行った。（図 1-3）



橋梁管理者	境港管理組合
橋種	PC5 径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋
材料	コンクリート
大きさ	全長 1.7 km、幅 11.3 m

図 1-3 実施場所

2. 実施方針

本検証事例は、規模が大きいコンクリート橋を対象としており、様々な計測技術がある中で、UAVで撮影した写真から橋梁3次元モデルを作成するための方法を示している。(図-2-1)

本検証事例で示す方法は、撮影・画像処理方法の一つであり、各現場、機材での最適な撮影方法は適宜検討の上、実施することを推奨する。本検証事例の方法は、SfM補完撮影・遠景撮影があるために現場撮影の時間が長くなる傾向にあるが、その後の画像処理(3次元モデル作成・オルソモザイク画像作成など)を短縮できる可能性が高い方法である。

本検証事例での成果品は、橋梁3次元モデル、部材のうち同一平面範囲ごとに作成したオルソモザイク画像としている。オルソモザイク画像は、画像上で2次元的に損傷形状を計測しポリライン等で記述するだけでなく、橋梁3次元モデルの位置座標を利用して、レイヤ構造図画ファイル(2D)を座標変換することにより、位置情報を有する3次元損傷形状データを作成することが可能であり、活用の幅が広がると考えている。

大規模橋梁の3次元モデルを作成する場合には、撮影枚数が膨大になることから部材単位など部分的に3次元モデルを作成し、その後、位置座標を付与することとなる。この位置座標を付与する方法として、橋梁上に標定点を多数設置し、測量機器(トータルステーション、3Dレーザースキャナ等)で計測する方法、BIM/CIMデータを活用する方法が考えられる。(図2-2)本検証事例では、汎用的かつ効率的な方法として、UAVで遠景撮影した写真と、橋梁上(歩道付近)に設置した標定点を用いて、直接標定点を設置しない部材の位置座標を推定し付与する方法を考案した。(図2-3)



図 2-1 規模が大きいコンクリート橋の例



図 2-2 大規模橋梁の標定点設置イメージ

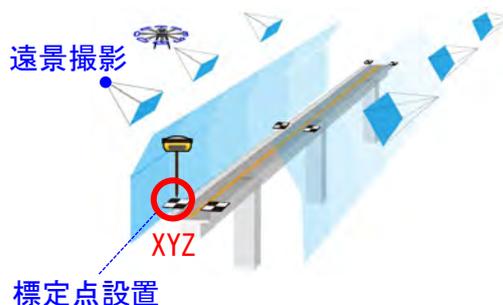


図 2-3 遠景撮影イメージ

3. 作業手順

本検証事例では、UAVで撮影した写真から①部材3次元モデルを作成し、遠方より撮影した写真から②座標取得用3次元モデルを作成する。②座標取得用3次元モデルの座標を①部材3次元モデルへ付与することにより、位置座標を有する③橋梁3次元モデルとなる。この③橋梁3次元モデルから、位置座標を有する④オルソモザイク画像を作成する。(図3-1)

具体的手順は、①部材3次元モデル作成、②座標取得用3次元モデル作成どちらも、撮影計画、UAVによる撮影、SfM処理となる。フロー図中の数字(5-1、5-2など)は、詳細説明の章番号を示している。(図3-2)

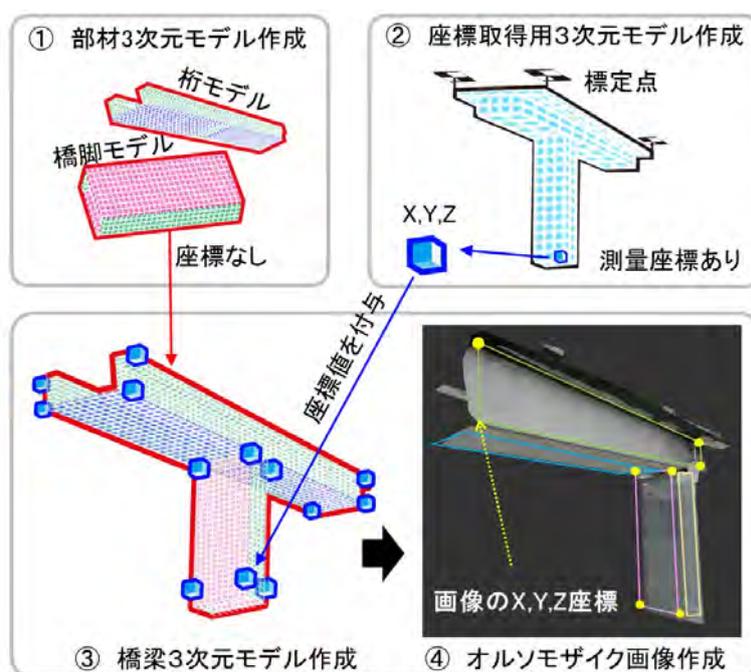
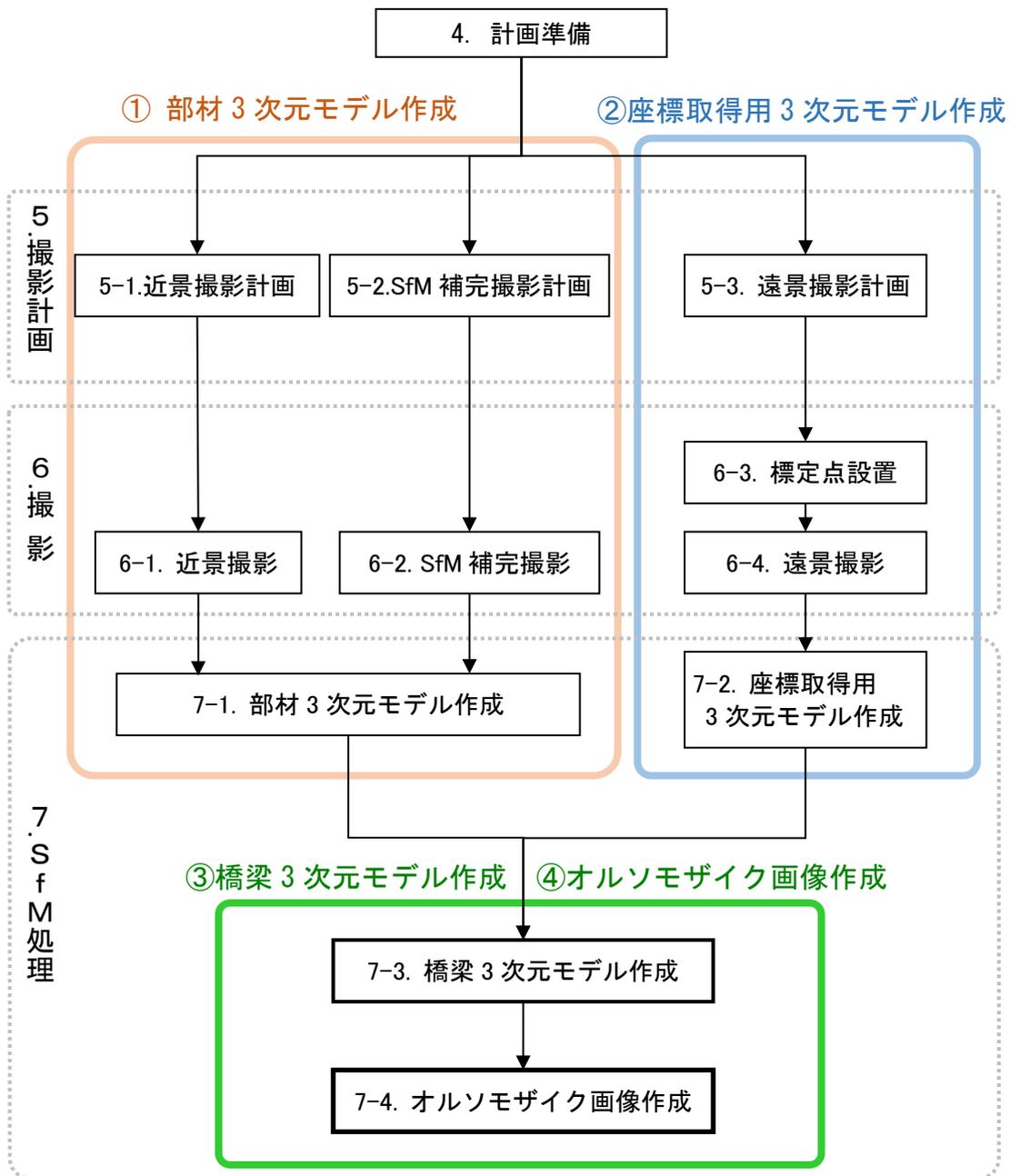


図 3-1 作業イメージ



※フロー図中の数字(5-1、5-2 など)は、詳細説明の章番号を示す。

図 3-2 作業フロー

4. 計画準備

江島大橋のPW2橋脚付近は、橋梁下に側道があり左右の敷地に大きな建築物が無い状況である。点検範囲は、PW2橋脚と桁40mとした。その上でUAVの飛行範囲は、橋梁管理者と協議を行い、検証目的、使用機材、安全対策を考慮し、橋梁側面から40m以内、橋梁の遮音壁より45度以下とした。(図4-1)

撮影にあたり下記の関係機関へ検証内容を説明し許可を得た。(図4-2、図4-3)

橋梁管理者（境港管理組合）

- ・港湾施設用地使用許可申請（①橋梁桁下利用のため）
- ・工作物設置許可申請書（②橋梁上に標定点を設置するため）

河川管理者（国土交通省 出雲河川事務所中海出張所）

- ・河川敷地利用届（③河川堤防上を利用するため）

境港市

- ・道路の通行規制願（④市道の交通規制を行うため）

境港警察署

- ・道路使用申請書（④市道の交通規制を行うため）

国土交通省航空局

- ・無人航空機飛行許可申請（対象物と離隔30m未満で飛行するため）
- ・ドローン情報基盤システム（UAV飛行のため）

隣接地所有者

- ・敷地立入り許可（⑤市所有地、⑥私有地）

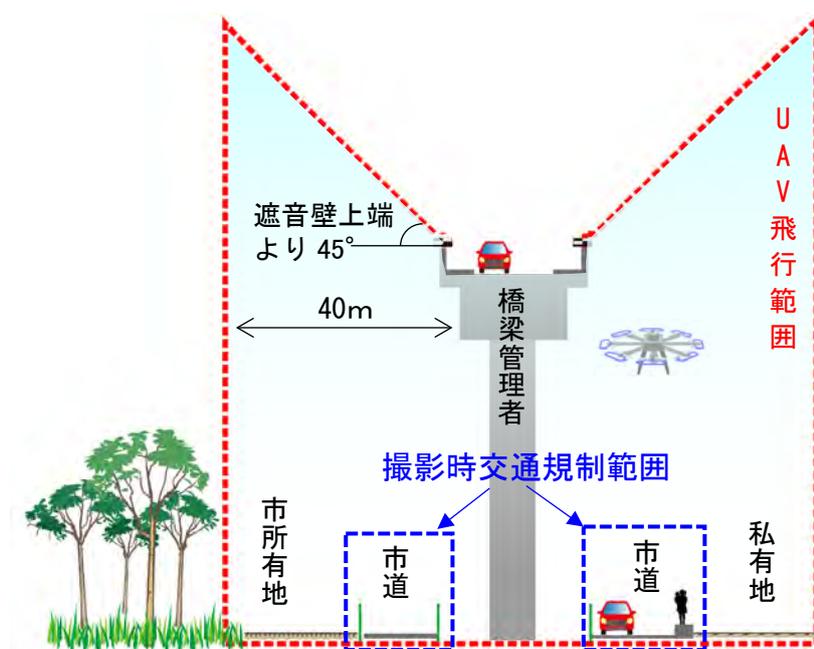


図4-1 UAV飛行範囲

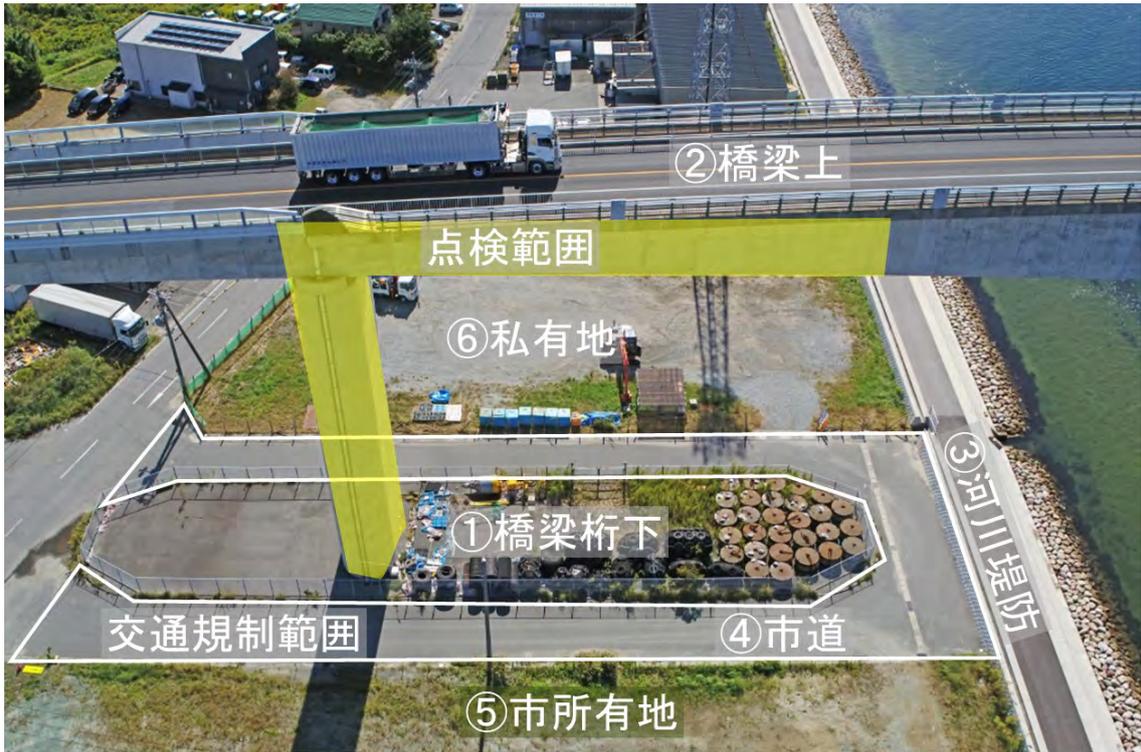


图 4-2 所有者管理状况

【概要説明】

交通規制範囲

【作業範囲】

作業範囲

【安全対策】

安全対策

图 4-3 概要説明用資料（抜粋）

5. 撮影計画

近景撮影、SfM 補完撮影の撮影計画は、それぞれの対物画素寸法から撮影距離を算出し、所定のラップ率から、UAV の撮影コースを設定した。

遠景撮影の撮影計画は、周囲状況から撮影距離を決定した。

5-1. 近景撮影計画

近景撮影は点検用の写真を取得するためのものであり、本検証事例では、対物画素寸法を 0.5 mm に設定し、カメラ諸元から撮影距離を算出した。対物画素寸法を 0.5 mm としたのは、コンクリート表層の 0.2 mm 幅のひび割れの抽出することを目標としたためである。また、SfM 処理に必要な進行方向のラップ率を 80%、隣接コースとのラップ率を 50% とした。

なお、対物画素寸法やラップ率は、橋梁点検内容に応じて適時設定する必要がある。

(1) 近景撮影距離の計算

対物画素寸 0.5 mm に必要な撮影距離を UAV に搭載したカメラの諸元と対物画素寸法を用いて算出した。算出の結果、撮影面（橋梁）からの撮影距離は 4.5m に設定した。（図 5-1、図 5-2）なお、対物画素寸法は、橋梁点検内容に応じて適時設定する必要がある。

【撮影機材】



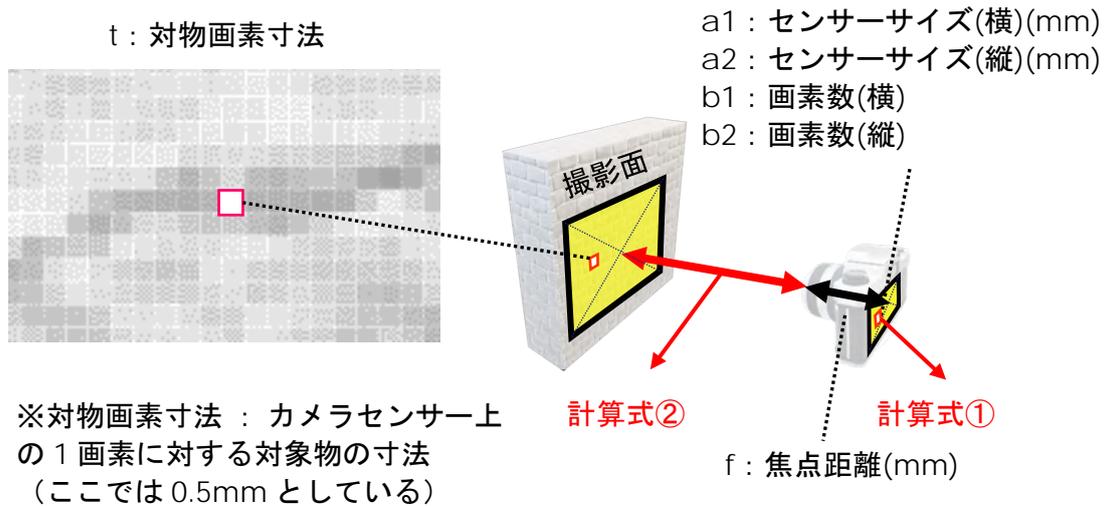
- ・ UAV : デンソー XDC02
- ・ 搭載カメラ : SONY α 6400

【カメラ諸元】

カメラ名	: SONY α 6400
レンズ焦点距離	: 35 mm
センサーサイズ (横*縦)	: 23.5 × 15.6 mm
センサー画素数 (横*縦)	: 6000 × 4000 pixel

※インターバル撮影

図 5-1 近景撮影及び SfM 補完撮影機材とカメラ諸元



計算式① 【センサー上の素子サイズの計算】

a1:センサーサイズ(横)
c:素子サイズ(1画素)
a2(縦)
b2:画素数(縦)
b1:画素数(横)

c:素子のサイズ(mm)
横方向での計算 $c = a1 / b1$
= 23.5 mm ÷ 6000pixel
= 0.0039mm
又は
縦方向での計算 $c = a2 / b2$
= 15.6 mm ÷ 4000pixel
= 0.0039mm

計算式② 【撮影距離の計算】

e : 写真スケール (素子サイズと対物画素寸法の比率)
 $e = d / c$
= 0.5 mm ÷ 0.0039 mm
= 128 倍
g : 撮影距離 (mm)
 $g = e * f$
= 128 × 35 mm
= 4480 mm

d : 対物画素寸法
c : 素子サイズ
f : 焦点距離
g : 撮影距離
撮影面(橋梁)
レンズ

撮影面(橋梁)からの撮影距離は、4.5m となる

図 5-2 撮影距離の計算式

(2) 近景撮影のラップ率

撮影間隔は、計画したラップ率（進行方向のラップ率 80%、隣接コースとのラップ率 50%）と撮影範囲を用いて算出し、進行方向に 0.4m 毎、隣接コースは 1.5m 毎に設定した。（図 5-3）なお、ラップ率は、橋梁点検内容に応じて適時設定する必要がある。

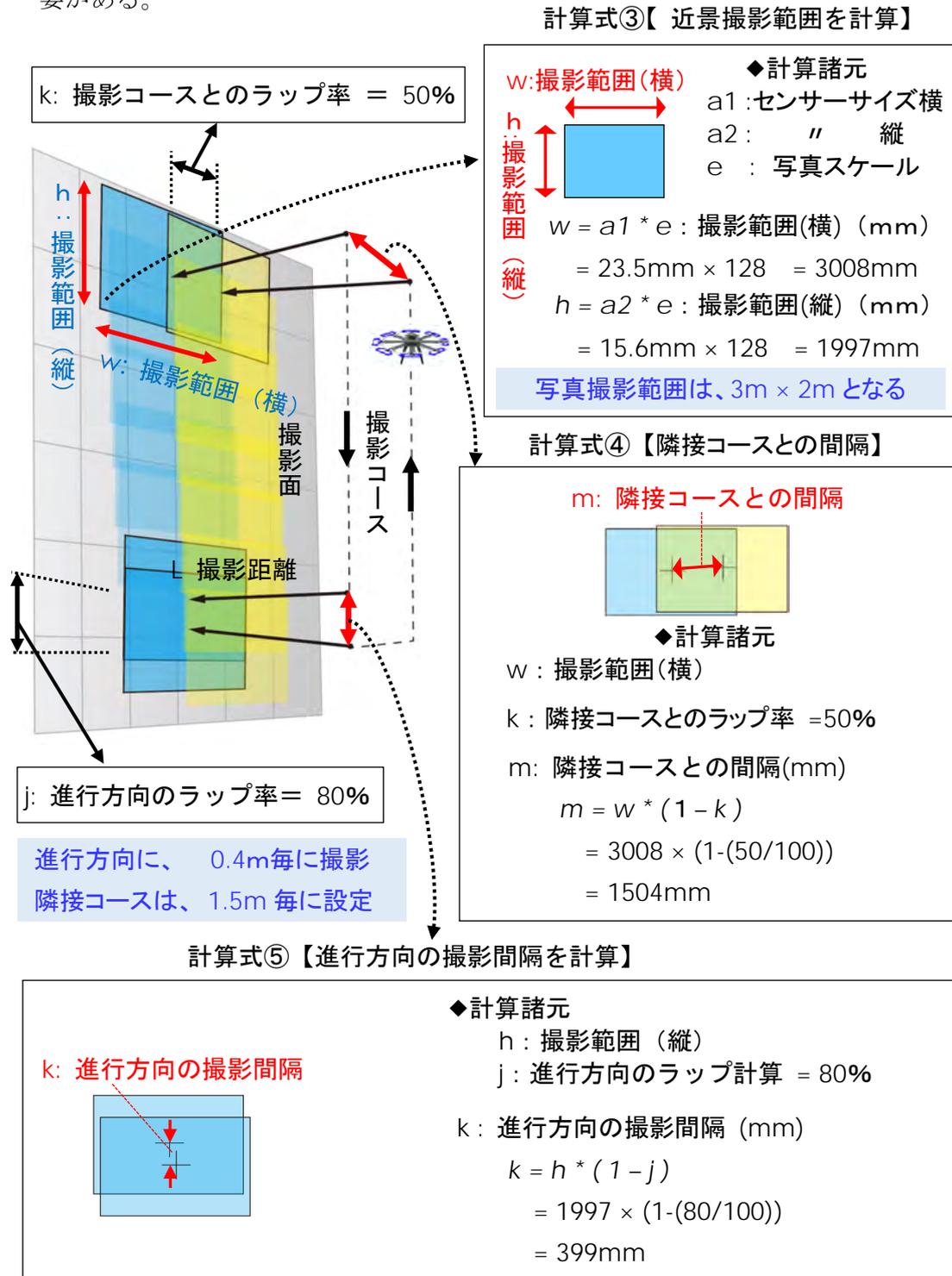


図 5-3 近景撮影間隔の計算式

5-2. SfM 補完撮影計画

(1) SfM 補完撮影の目的

近景撮影のみによる SfM 処理において、カメラ位置・姿勢と撮影物体形状復元の解析エラーを防止するために、近景撮影よりも広範囲を撮影する SfM 補完撮影を導入した。(図 5-4)

なお、SfM 補完撮影を導入せず、近景撮影だけで取得した写真で SfM 処理を行う場合には、写真間の重複率の不足、露出変化などの影響や、平面に対して均一な画像では深度推定しにくい SfM の特徴により、SfM 処理で写真の位置推定ができない不具合、歪み、直交する面同士のマッチングミスによる解析エラーが起こることがある。(図 5-5)

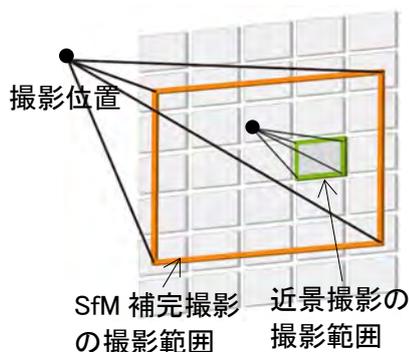


図 5-4 SfM 補完撮影イメージ

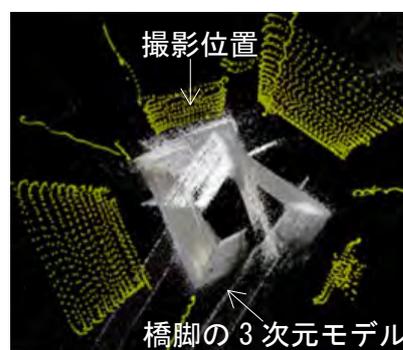


図 5-5 SfM 処理結果の事例

(2) SfM 補完撮影計画

本検証事例での SfM 補完撮影の撮影距離は、近景撮影の撮影距離 4.5m に対し 3 倍の 13.5m とした。なお、SfM 補完撮影は、近景撮影と同じカメラ、同じレンズ、同じ焦点距離で行った。(図 5-6)

本検証事例での SfM 補完撮影コースは、桁側面(上向き)、桁下面(上向き)に加え、この間に斜め方向からの斜め撮影コースを 2 コース追加した。これは、桁側面と桁下面のように撮影方向が異なる面を一度に SfM 処理するためである。また、橋脚に対しても同様とした。(図 5-7)

この SfM 補完撮影距離の 3 倍や、斜め撮影を 2 コースとすることは、土木研究所で SfM 補完撮影に関する検証にて得られた事項である。なお、この値は、撮影状況、使用機器およびソフトウェアにより異なる場合がある。

SfM 補完撮影の進行方向のラップ率は、60%~80%程度とし、1.8m~3.6m 毎とした。隣接コースのラップ率が必要な場合は 50%程度とした。(図 5-8)

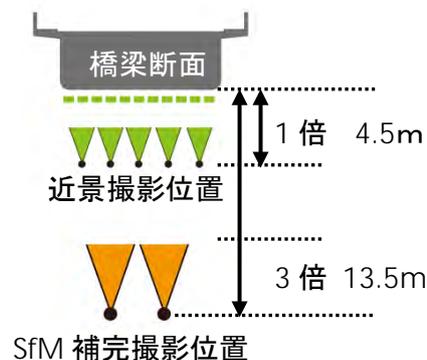


図 5-6 SfM 補完撮影距離

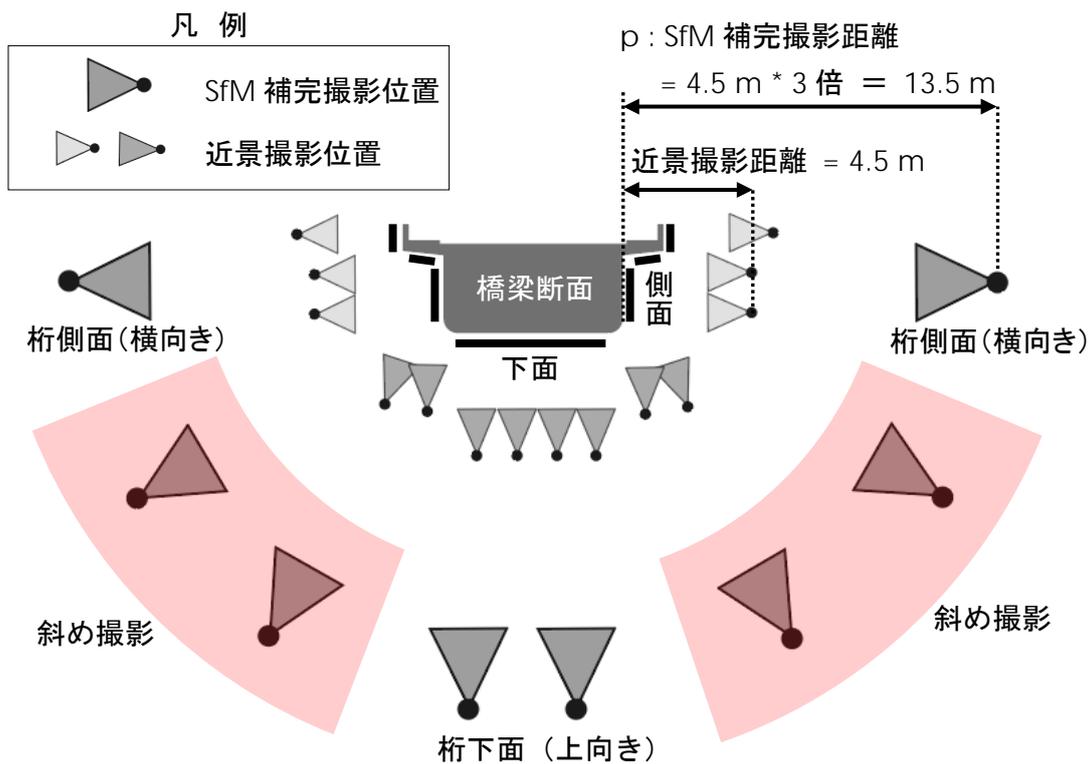
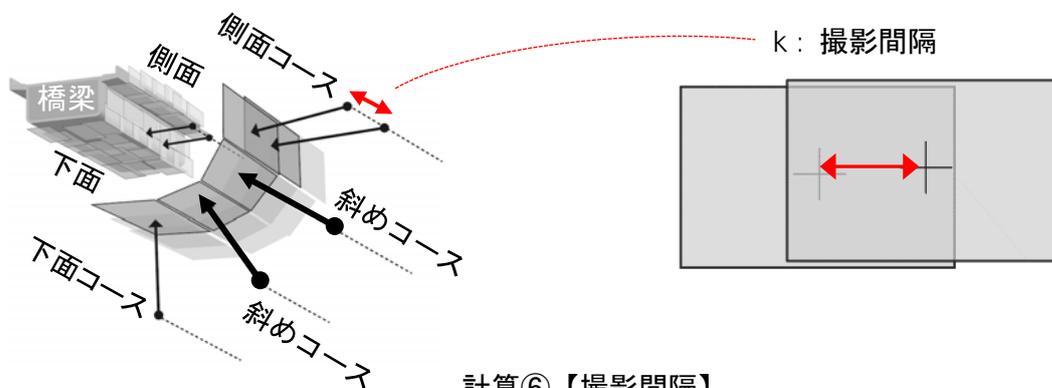


図 5-7 SfM 補完撮影コース



計算⑥【撮影間隔】

◆計算諸元

a1 : センサーサイズ (横)
 $= 23.5 \text{ mm}$

f : 焦点距離 = 35mm

g : 撮影距離 = 13500mm

j : 進行方向のラップ率
 $= 80\%$

e : 写真スケール (焦点距離と撮影距離の比率)

$$\begin{aligned}
 e &= g / f \\
 &= 13500 \text{ mm} \div 35 \text{ mm} \\
 &= 385.7
 \end{aligned}$$

k : 進行方向の撮影間隔 (mm)

$$\begin{aligned}
 k &= e * a1 * (1 - j) \\
 &= 385.7 * 23.5 \text{ mm} * (1 - (80/100)) \\
 &= 1813 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

進行方向に、1.8m~3.6m 毎に撮影

図 5-8 SfM 補完撮影間隔の計算式

(3) 近景撮影・SfM 補完の撮影計画図

撮影計画図は、近景撮影計画および SfM 補完撮影計画で計画した撮影距離、撮影間隔、撮影コースを平面図および断面図に記載し作成した。(図 5-9、図 5-10)

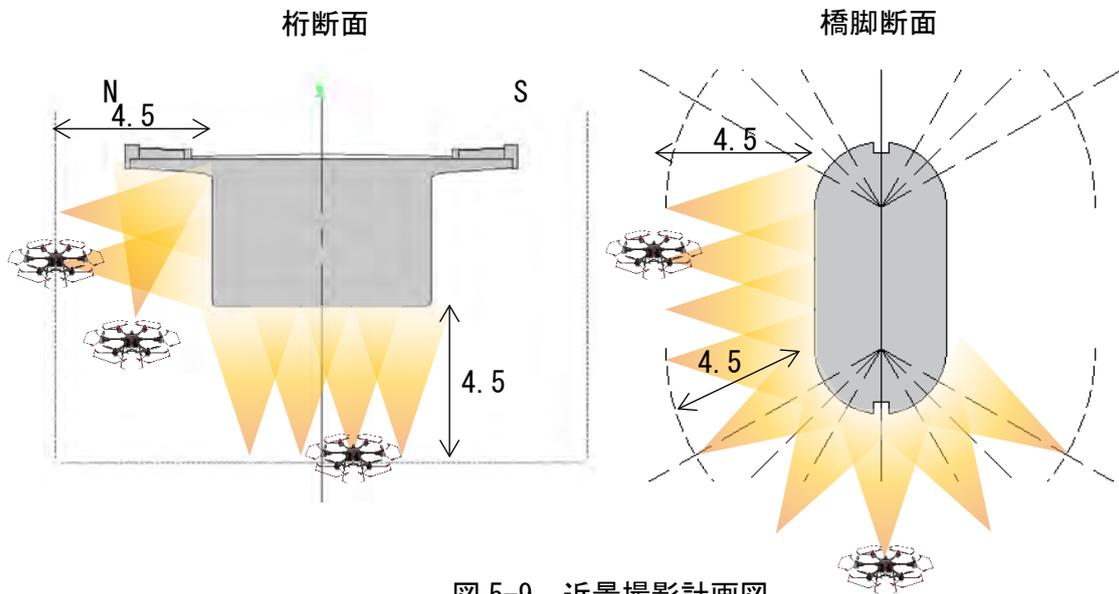


図 5-9 近景撮影計画図

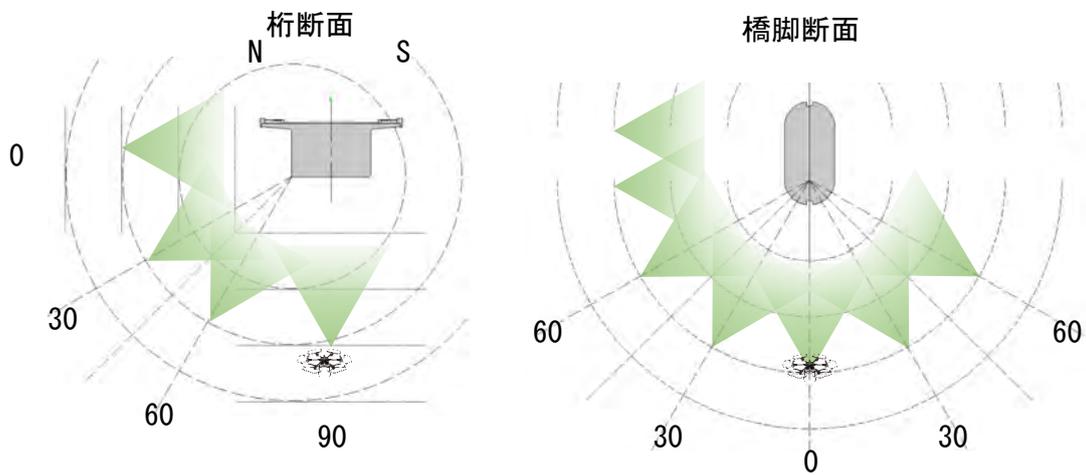


図 5-10 SfM 補完撮影計画図

5-3. 遠景撮影計画

(1) 遠景撮影計画

本検証事例では、遠景撮影の撮影距離を30mとした。(図5-11) 撮影距離は現場状況に応じて適時設定する必要がある。遠景撮影のコースは、桁に沿って撮影する遠景の桁側面コースと、橋脚を1脚ずつ撮影する遠景の橋脚側面コースを設定した。遠景の桁側面コースは、上段と下段の2側線の撮影を行い、上段側の撮影では、標定点が写真上で確認できることが重要である。(図5-12)

【撮影機材】	【カメラ諸元】	【撮影諸元】
 DJI 社製 MATRICE 210 V2	レンズ焦点距離：35 mm ISO：200~400	撮影距離：30m 対物画素寸法：5 mm レンズ焦点距離：35 mm ※インターバル2秒撮影

図5-11 遠景撮影機材と撮影諸元

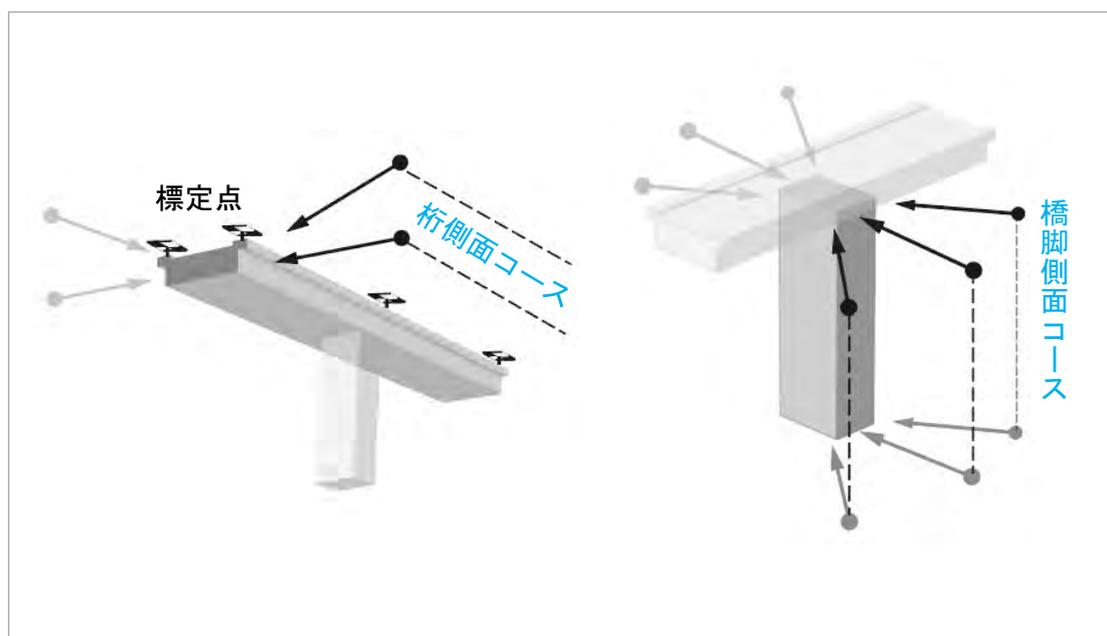


図5-12 遠景撮影コース計画

(2) 遠景撮影計画図

撮影計画図は、遠景撮影計画で計画した撮影距離、撮影間隔、撮影コースを平面図および断面図に記載し作成した。(図 5-13)

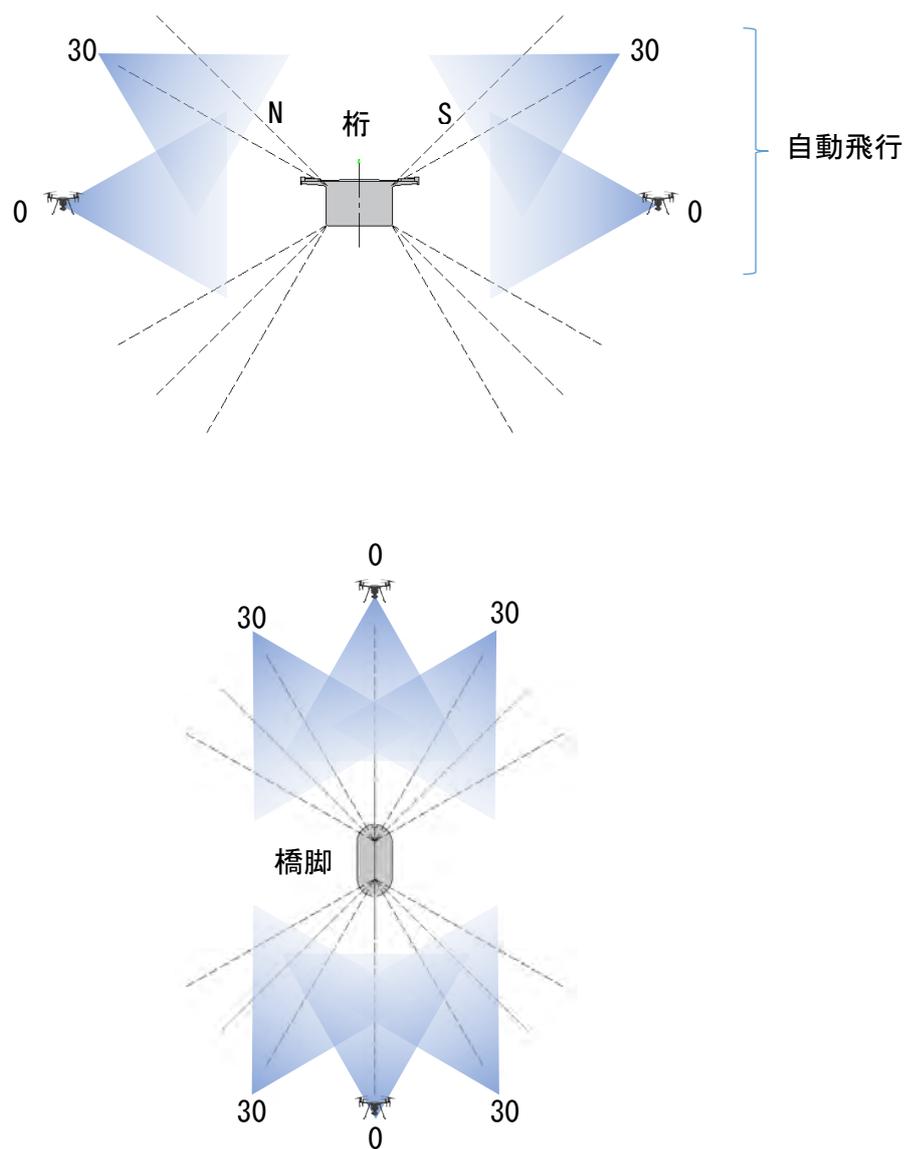


図 5-13 遠景撮影計画図

6. 撮影

本検証事例での離発着場所は、現地状況や UAV の特性を考慮し、近景撮影及び SfM 補完撮影、遠景撮影それぞれの UAV 撮影班の判断により決定した。(図 6-1)

撮影に伴う交通規制中には、安全対策のため交通誘導員を配置した。

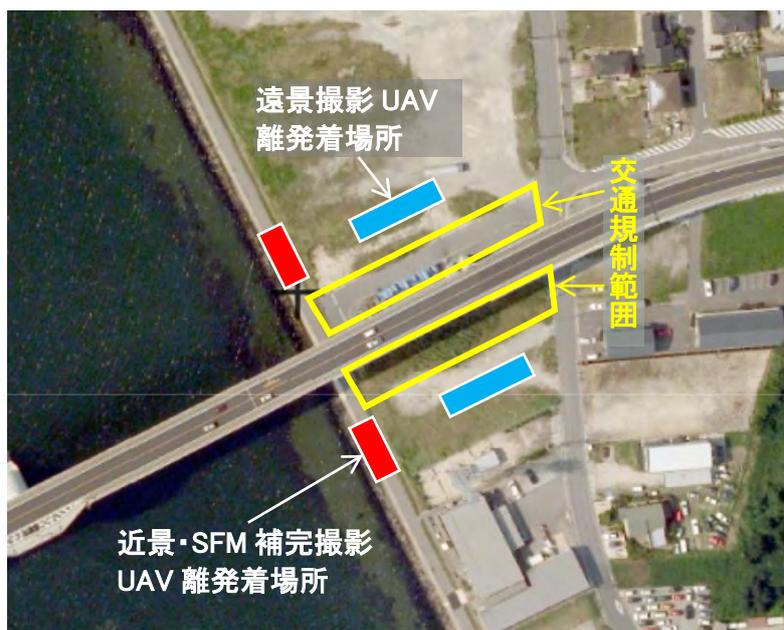


図 6-1 UAV 離発着場所

6-1. 近景撮影

近景撮影は、計画した撮影コースの座標データを用いて、基地局のトータルステーションより自動飛行した。撮影は、現地の光量や陰影の状況に応じてカメラの露出を調整し、インターバル機能で点検用の写真を取得した。(図 6-2、図 6-3)



図 6-2 近景撮影・SfM 補完撮影状況

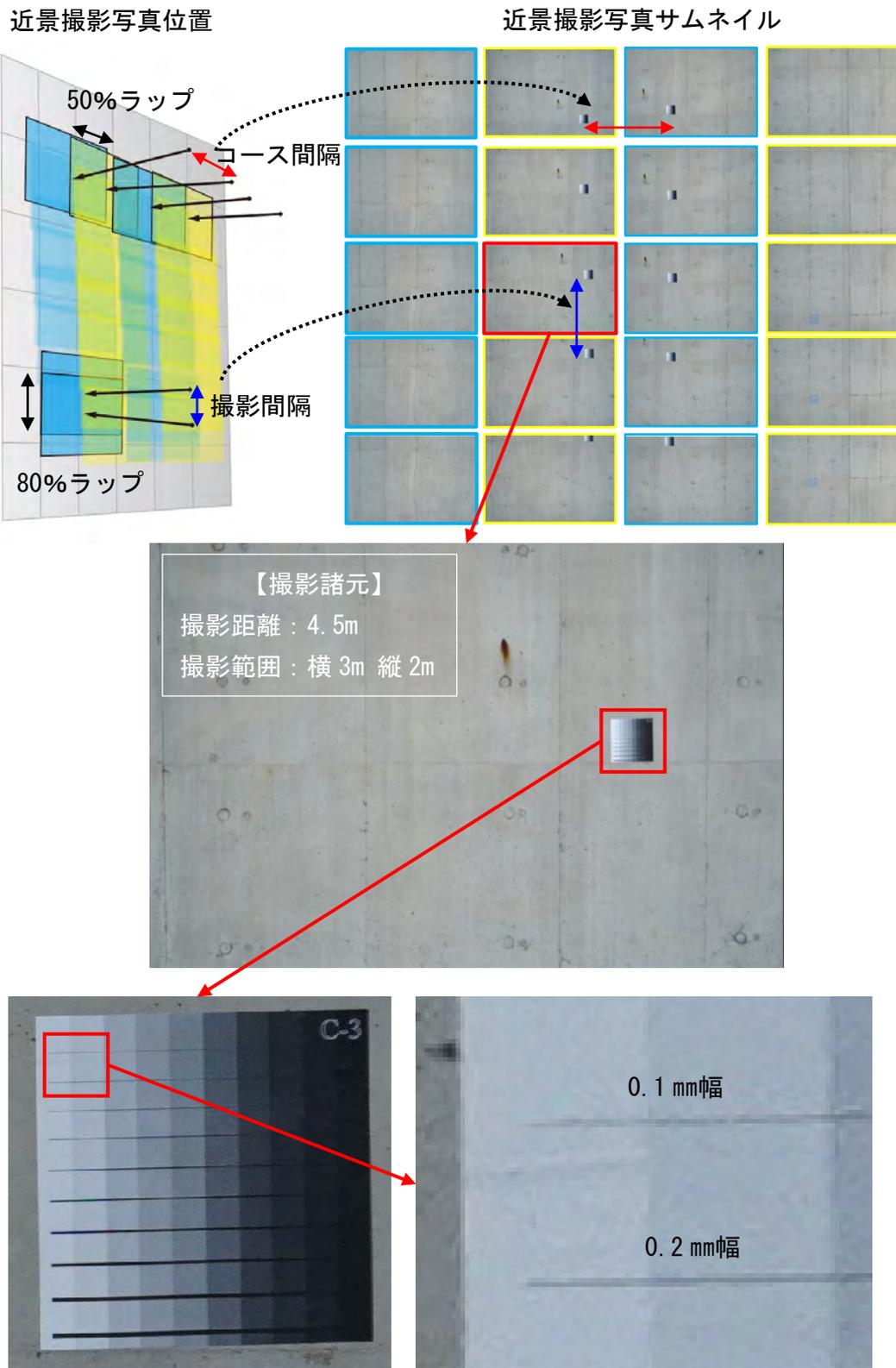


図 6-3 近景撮影写真

6-2. SfM 補完撮影

SfM 補完撮影は、近景撮影と同様の撮影機材および撮影方法により近景撮影より広範囲を撮影した。撮影距離は、近景撮影距離の 4.5m に対し 3 倍の 13.5m とした。(図 6-4)

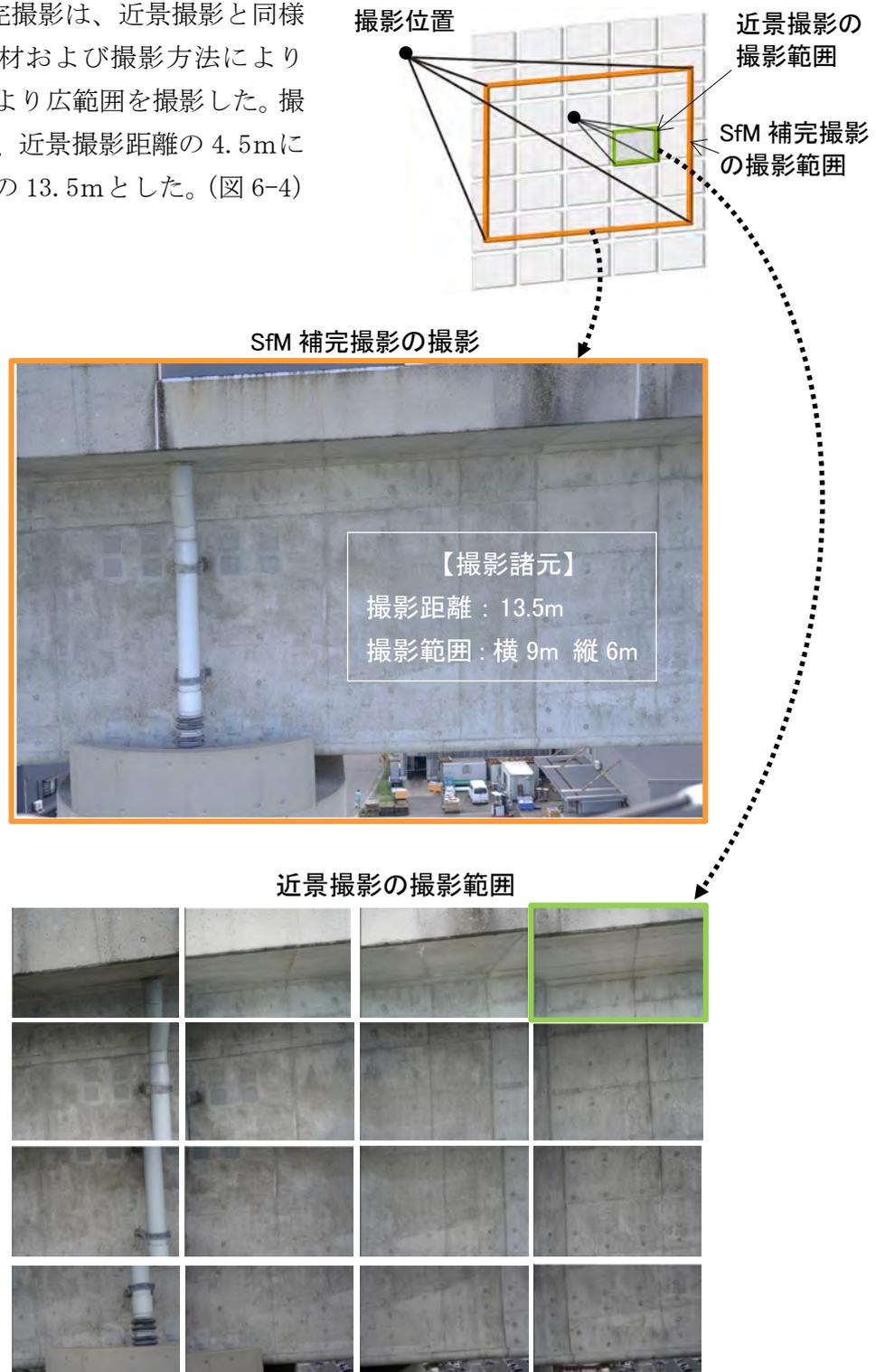


図 6-4 SfM 補完撮影範囲と近景撮影範囲

6-3. 標定点設置

標定点の設置個所は、橋梁の歩道付近などアクセスが容易で、遠景撮影による写真上で確認可能な歩道の高覧上面及び遮音壁付近とし6点設置した。標定点は、GNSS 測量機により座標を取得した。(図 6-5、図 6-6)

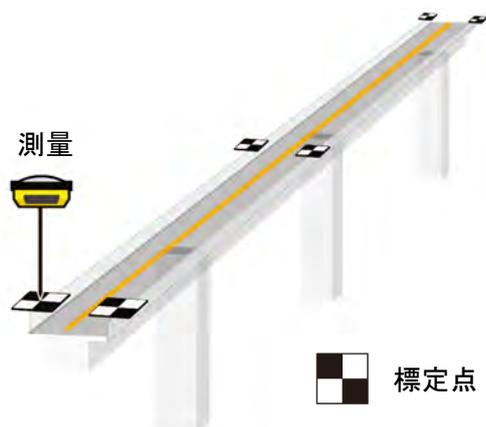


図 6-5 標定点の配置

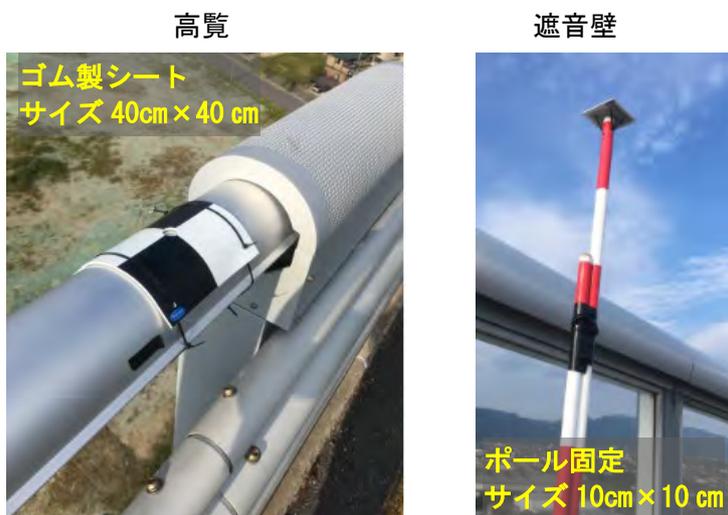


図 6-6 標定点設置

6-4. 遠景撮影

遠景撮影は、計画した撮影コースを飛行するように、橋梁から 30m 離れた位置に設置したカラーコーンを目印にマニュアル操作で位置（撮影距離）を合わせ、飛行高度は UAV に搭載されている気圧計で制御した。撮影角度は、対象物や標定点が画角内に収まるようカメラオペレータが微調整しながら撮影した。撮影は、現地の光量や陰影の状況に応じてカメラの露出を調整し、インターバル機能を用いて写真を取得した。また、桁側面においては、上空を遮る物が無い空間を利用し、RTK-GNSS 制御による自動飛行により効率的な撮影を行った。（図 6-7、図 6-8）



図 6-7 遠景撮影状況

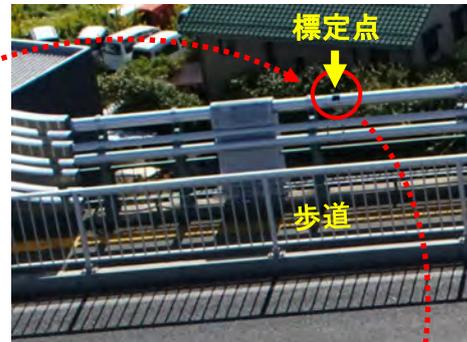
橋梁側面



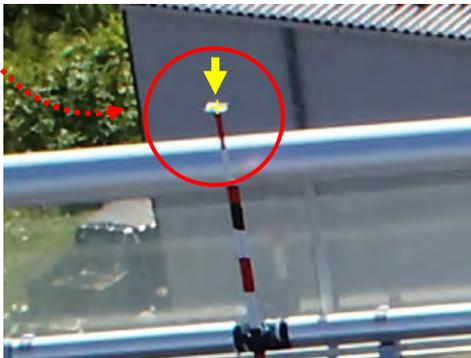
橋脚



標定点設置箇所



標定点(遮音壁付近に設置)



標定点(手すり設置)



図 6-8 遠景撮影写真

7. SfM 処理

SfM 処理は、撮影位置および 3 次元モデルを算出するものであり、撮影した各写真から、部材 3 次元モデル、座標取得用 3 次元モデルを作成した。これらから、位置座標を有する橋梁 3 次元モデルとオルソモザイク画像を作成した。

7-1. 部材 3 次元モデル作成

部材 3 次元モデルの作成には、橋脚や桁など部材毎に分類した近景撮影写真と SfM 補完撮影写真を用いる。部材毎に SfM 処理を行ない、撮影位置を推定し、部材 3 次元モデルを作成した。近景撮影よりも 3 倍離れた SfM 補完撮影を導入することにより、SfM 処理によるカメラ位置・姿勢と撮影物体形状の復元の失敗を防止できることを確認した。さらに、撮影方向が異なる桁下面、桁側面の近景撮影写真を一度に SfM 処理するためには、桁下面、桁側面、補完撮影 2 コースの SfM 補完撮影を用いることを行うことが確認できた。なお、部材 3 次元モデルは、位置座標を有しておらず、位置や大きさが確定していない。(図 7-1)

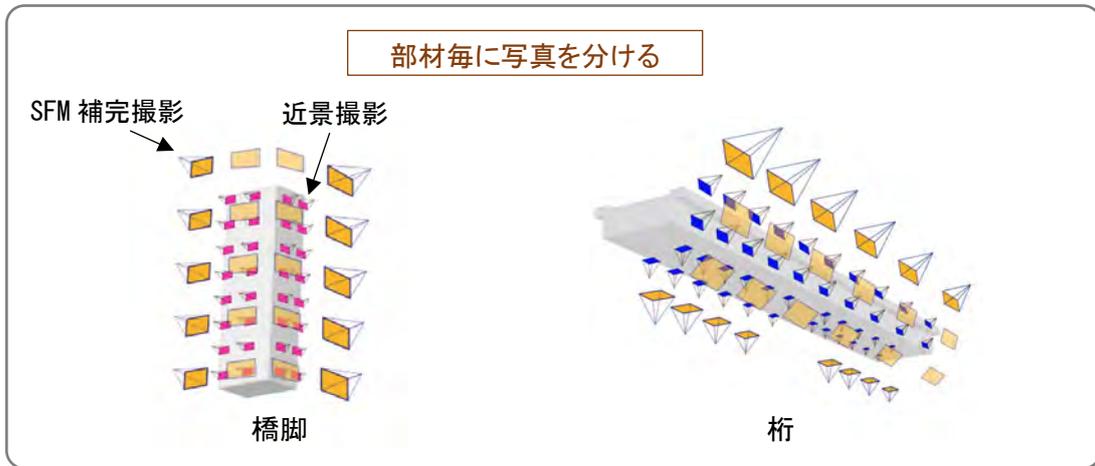
本検証事例では、以下のハードウェアを用い、1,800 枚の写真の SfM 処理に 15 時間を要した。

CPU: Intel(R) Core(TM) i7-8850H CPU @ 2.60GHz

RAM: 32GB

GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 24.20.100.6195),
NVIDIA Quadro P4200 (Driver: 24.21.13.9827)

① 写真の分類



↓ SfM 処理

② 部材 3 次元モデルの作成

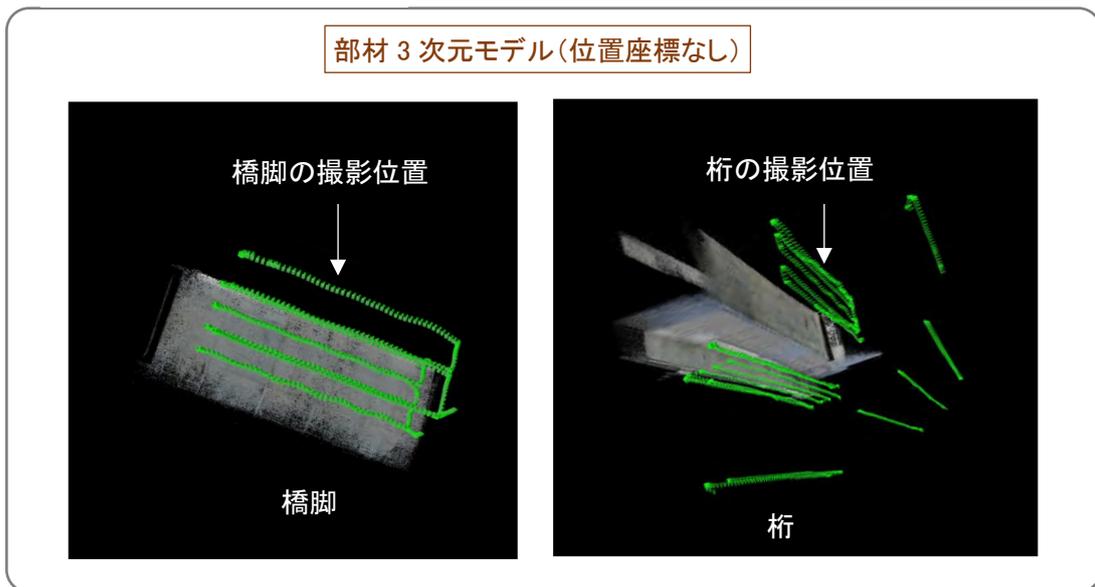
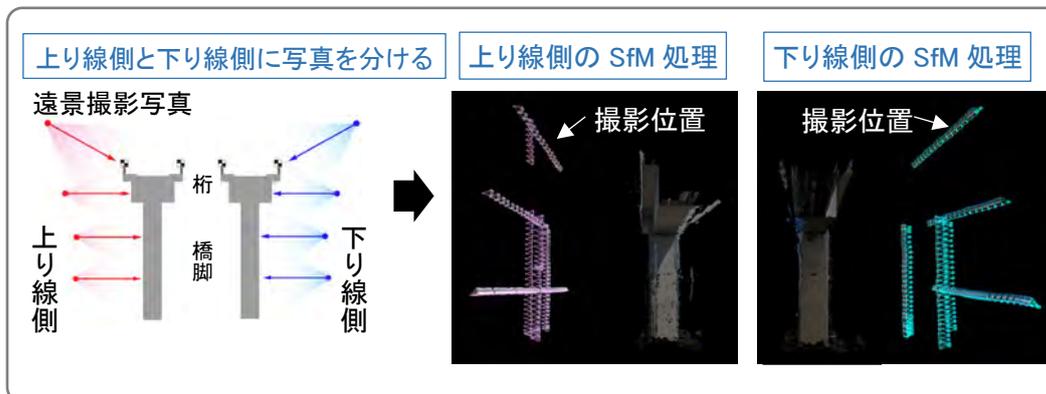


図 7-1 部材 3 次元モデル作成方法

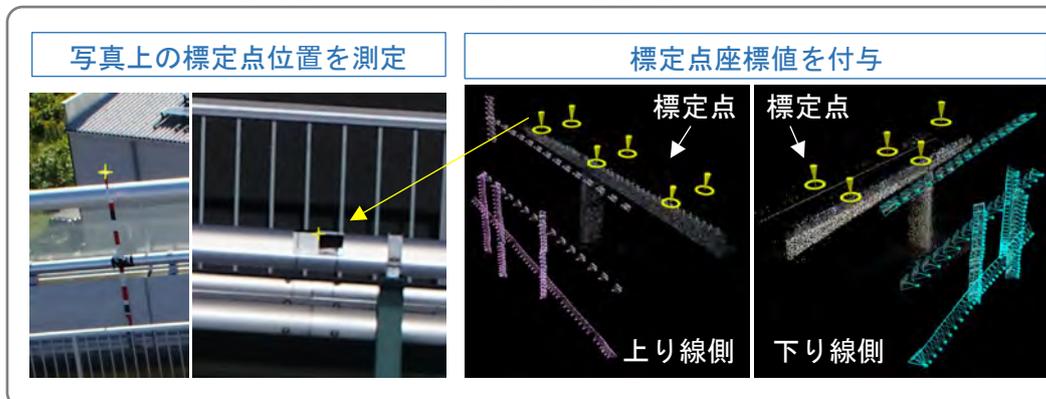
7-2. 座標取得用3次元モデル作成

座標取得用3次元モデルの作成は、まず橋脚と桁の遠景撮影写真を上り線側と下り線側に分類し、個別にSfM処理を行い、撮影位置の推定と3次元モデルの生成を行った。上り線側と下り線側の画像では、撮影方向が大きく異なるため、混合してSfM処理を行った場合に、橋梁形状を復元できない可能性があるため、個別にSfM処理を行っている。次に、それぞれの3次元モデルに対し、橋梁上に設置した標定点を用いて標定作業を行うことで、上り線側の3次元モデルと下り線側の3次元モデルが同一座標系に配置される。これらを統合することで、位置座標を有する座標取得用3次元モデルが得られた。(図7-2)

① 撮影位置の推定



② 標定点の測定と標定点座標値を付与



③ 座標取得用 3 次元モデル作成

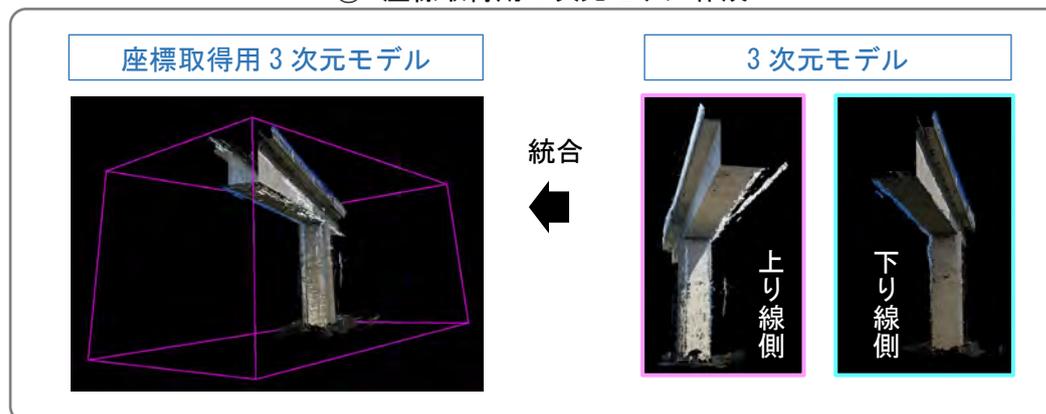


図 7-2 座標取得用 3 次元モデル作成方法

7-3. 橋梁 3次元モデル作成

橋梁 3次元モデルの作成は、まず、座標取得用 3次元モデルと部材 3次元モデルを比較し、形状や色の特徴から同一であると判断できる箇所を部材 3次元モデルの二次標定点として選定した。次に、座標取得用 3次元モデルから、二次標定点の位置座標を抽出した。二次標定点は1つの部材につき4点以上を選定した。

その上で、部材 3次元モデル作成に使用した近景撮影写真上で、二次標定点の位置を指定し位置座標を付与した。最後に、SfM ソフトウェア上で撮影位置および部材 3次元モデルを座標変換し、桁と橋脚の橋梁 3次元モデルが得られた。

座標が付与されたことで、それぞれの 3次元モデルを重ねて表示することも可能となる。(図 7-3)

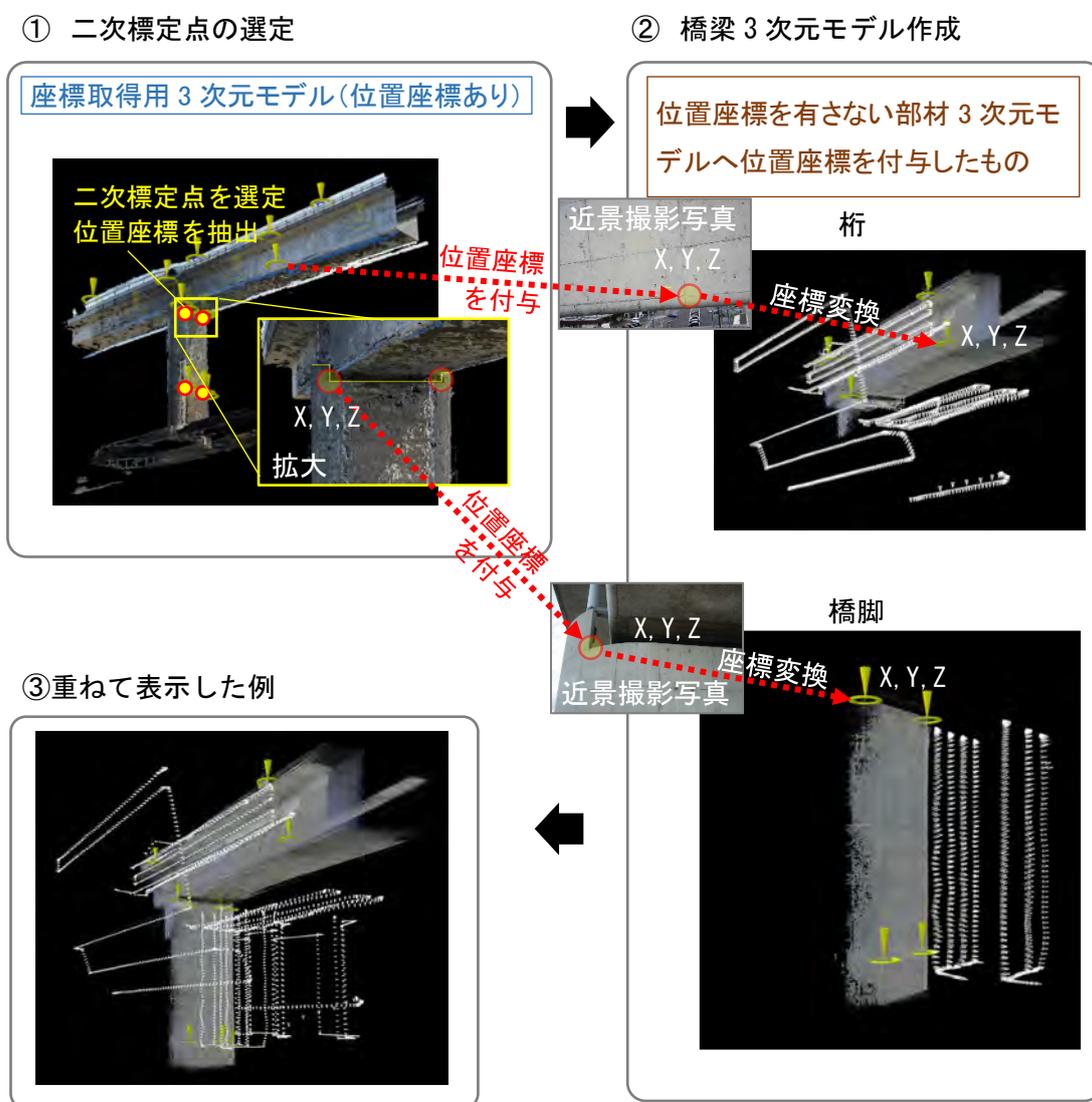


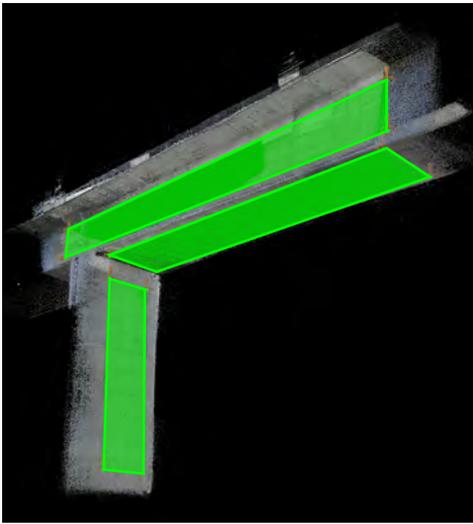
図 7-3 橋梁 3次元モデル作成方法

7-4. オルソモザイク画像作成

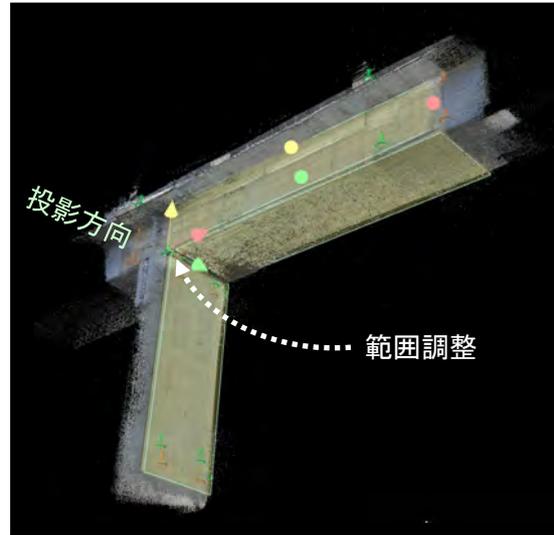
オルソモザイク画像の作成手順は、まず、橋梁3次元モデル上にオルソモザイク画像の作成箇所を決定した。次に、オルソモザイク画像の作成範囲（幅、高さ、奥行）、方向及び対物画素寸法を指定した。その上で、オルソモザイク画像作成を実行した。オルソモザイク画像作成後に、画像の座標として、作成範囲の4隅の位置座標を取得した。（図7-4）

留意点として、近景撮影写真とSfM補完撮影写真が混合した橋梁3次元モデルから、オルソモザイク画像を作成すると、オルソモザイク画像にSfM補完撮影写真が含まれ、画像の品質が低下するため、近景撮影写真のみでオルソモザイク処理を行わなければならない。

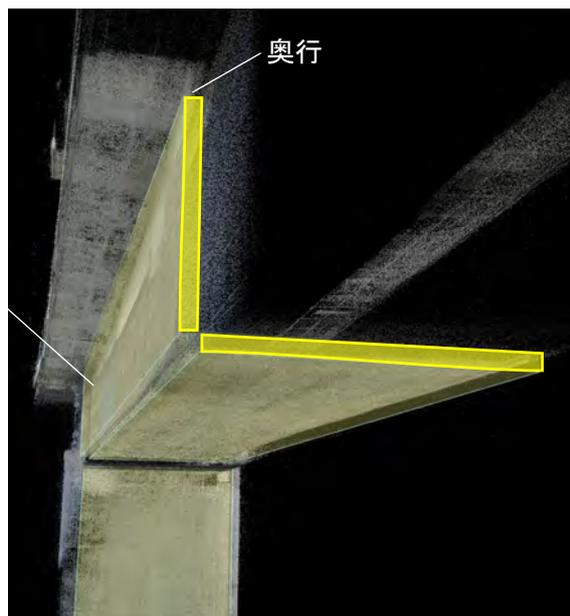
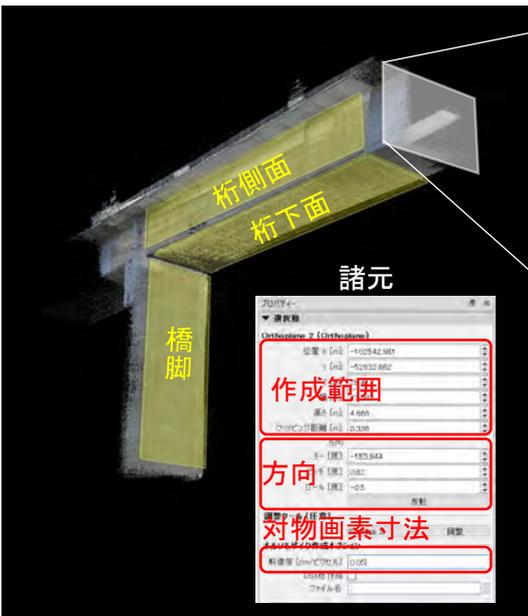
画像作成箇所の決定



画像作成範囲の指定画面



画像作成範囲指定



オルソモザイク画像 4 隅座標の取得

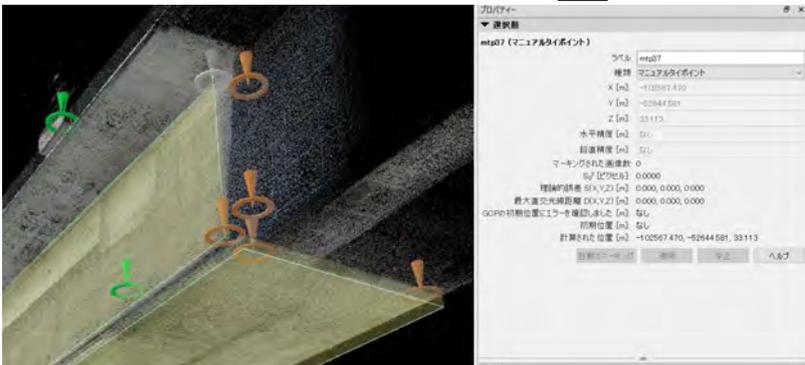


図 7-4 オルソモザイク画像作成方法

7-5. オルソモザイク画像の評価

3D CAD 上に、オルソモザイク画像の 4 隅の位置座標を入力し、そこへオルソモザイク画像を配置した。座標取得用 3 次元モデルを背景として配置し、オルソモザイク画像の位置が正しいことを確認した。オルソモザイク画像を拡大すると、模擬損傷シート上の 0.1mm 幅の線や状態を確認できた。オリジナル画像と比較しても、遜色はなかった。(図 7-5, 図 7-6, 図 7-7)

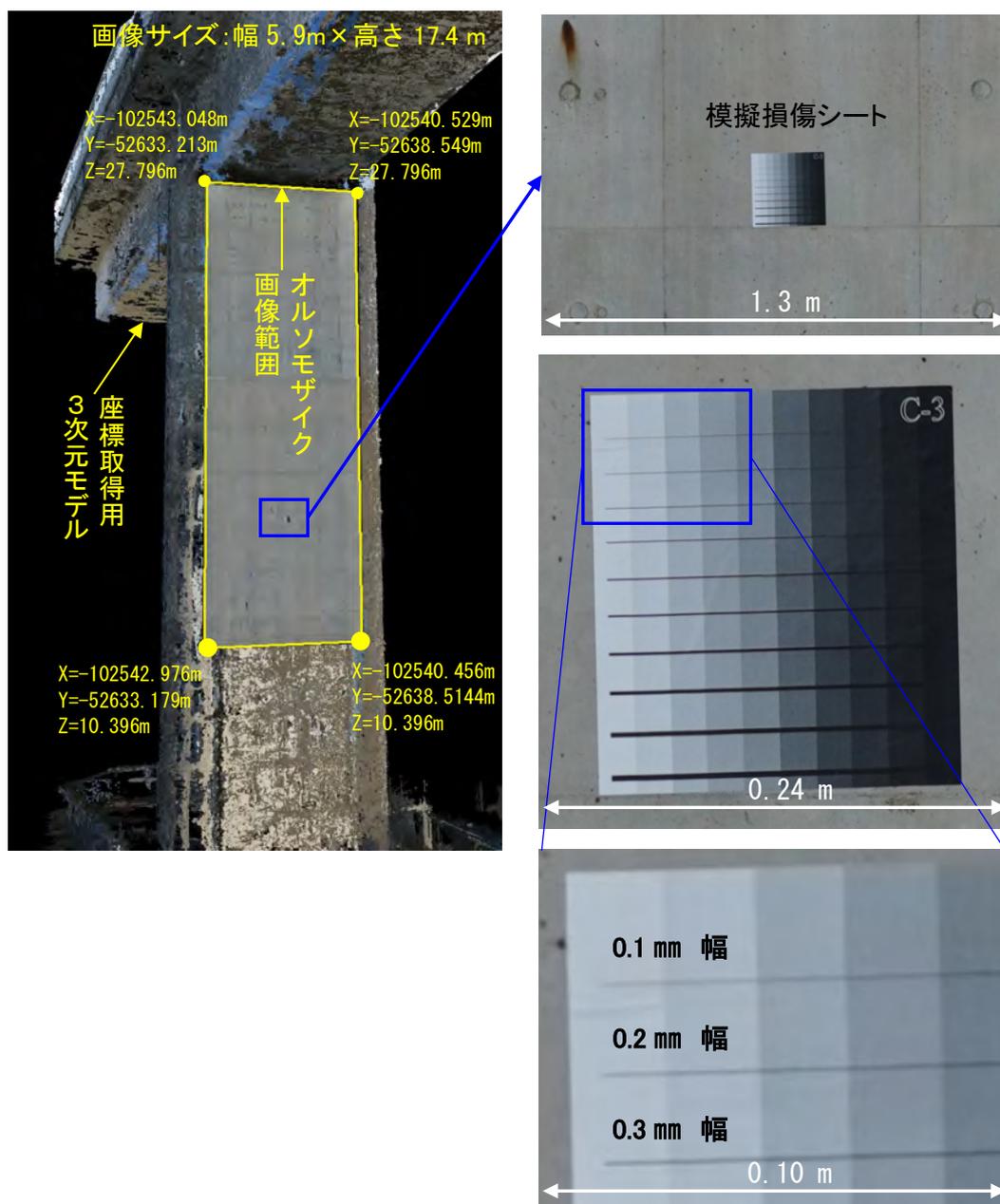


図 7-5 橋脚のオルソモザイク画像作成例

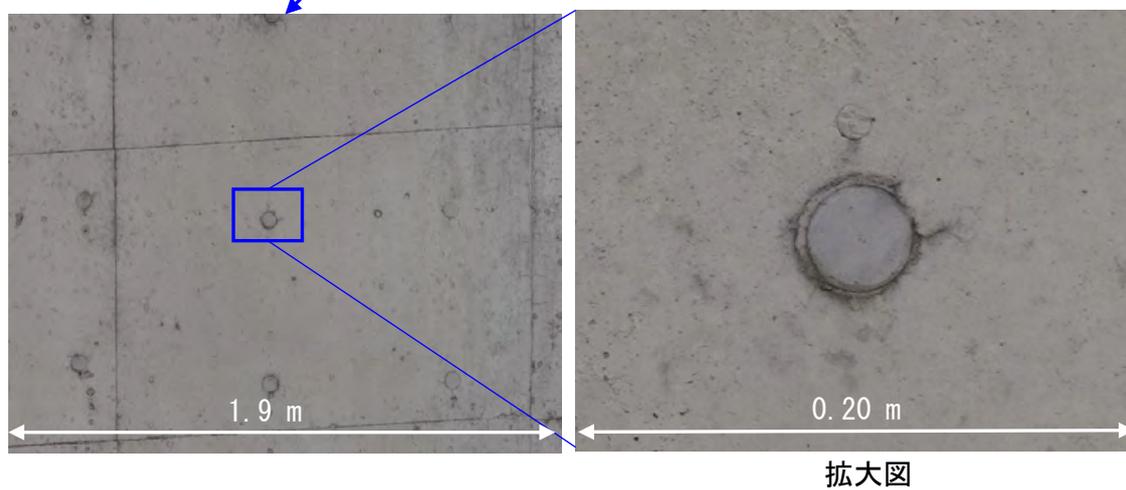
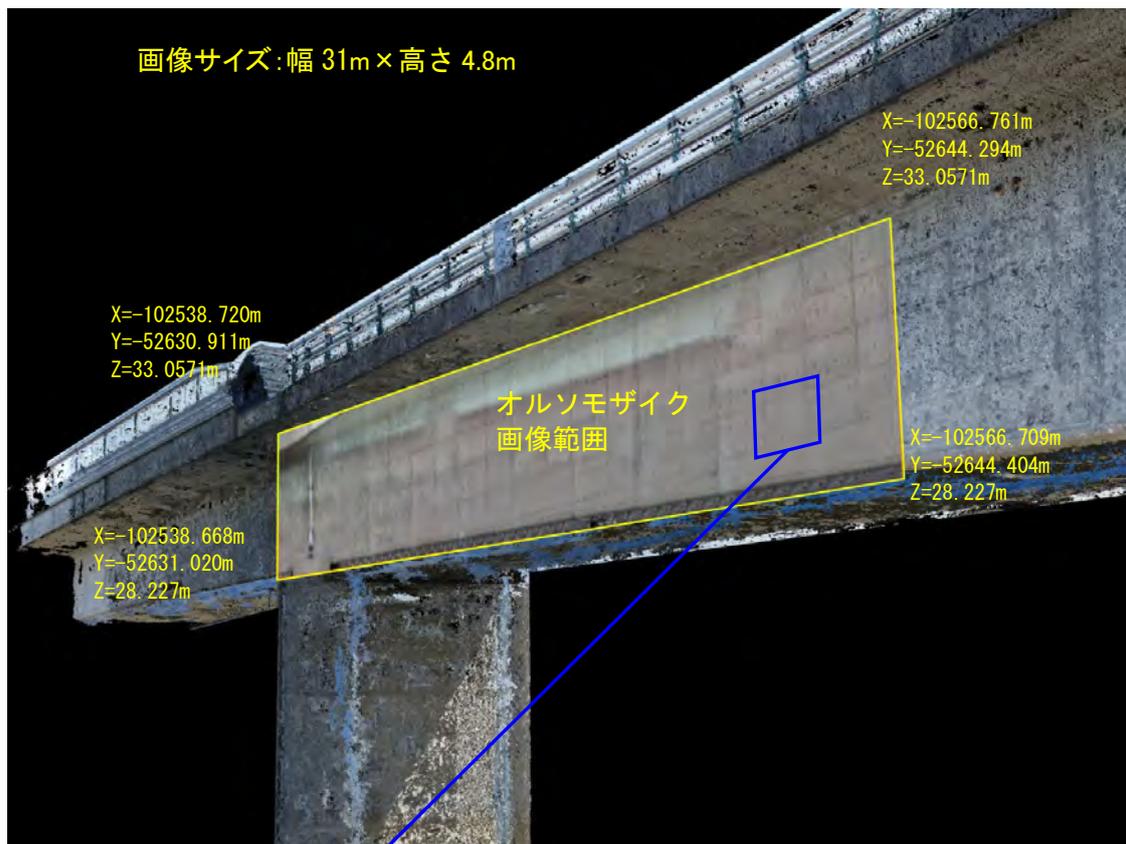


図 7-6 桁側面のオルソモザイク画像作成例

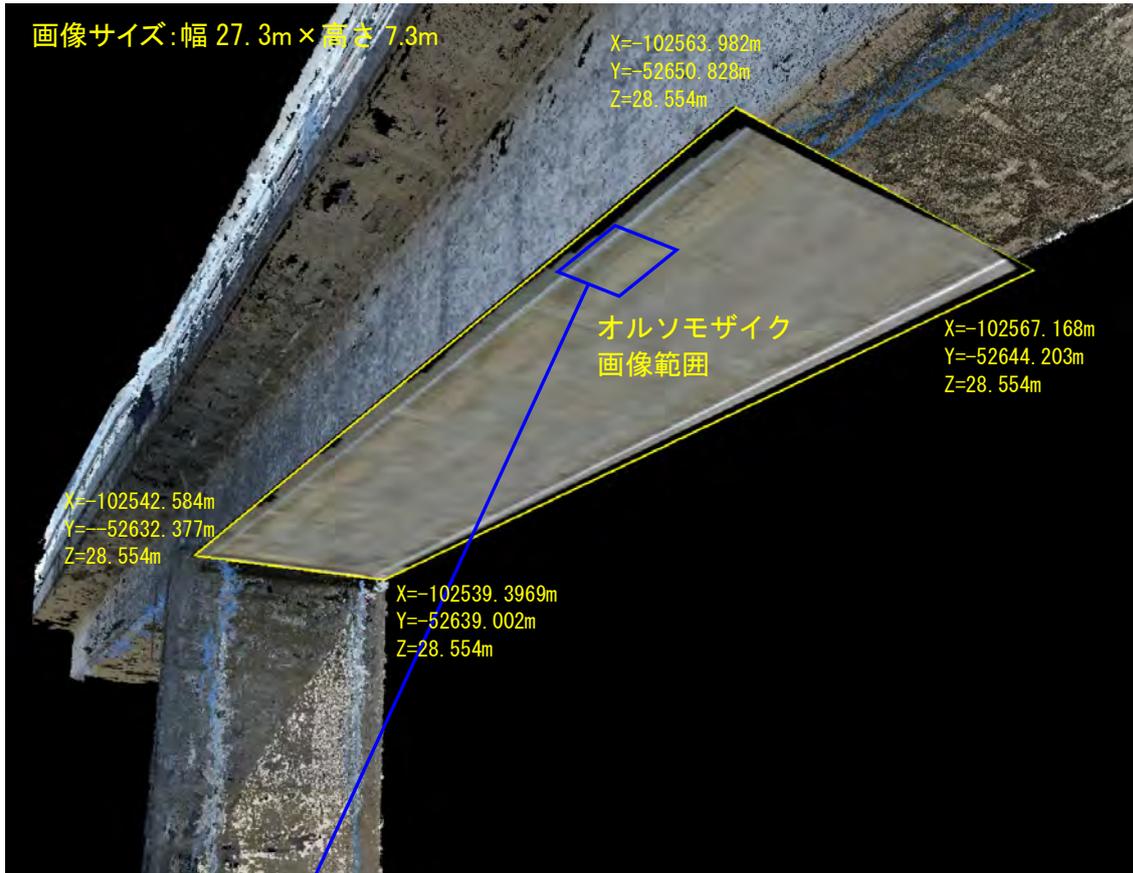


図 7-7 桁下面のオルソモザイク画像作成例

8. まとめ

本検証事例では、UAV で撮影した写真と少ない標定点から、部材 3 次元モデル、座標取得用 3 次元モデルを用いることにより、橋梁 3 次元モデルやオルソモザイク画像を作成する事例を示した。

部材 3 次元モデルの作成にあたっては、近景撮影よりも 3 倍離れた SfM 補完撮影や斜め撮影を導入することにより、カメラ位置・姿勢と撮影物体形状の復元の解析エラーを防止できることが確認できた。さらに、撮影方向が異なる桁下面、桁側面の近景撮影写真を一度に SfM 処理できることが確認できた。

作成したオルソモザイク画像からは、0.1mm 幅の模擬損傷などを確認できた。オルソモザイク画像から得られた、2 次元の損傷形状（ポリラインやポリゴン）は、橋梁 3 次元モデルから抽出した位置座標を利用し座標変換をすることで 3 次元の損傷形状データにすることが可能である。

本検証事例は、様々な計測技術や手法のうち、点検用の 3 次元モデルやオルソモザイク画像が確実に作成できる方法の 1 つを示したものである。そのため、現場状況や使用機材に応じて、各々で工夫し、更に効率的な手法を編み出して頂きたい。

参考資料

- (1) 橋梁 3 次元モデルの構築 (概要版)

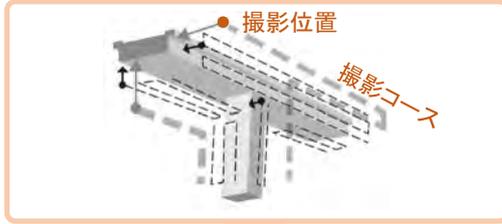
(参考資料-1) 橋梁 3 次元モデルの構築(概要版)

部材 3 次元モデル作成

座標取得用 3 次元モデル作成

5. 撮影計画

5-1. 近景撮影計画、5-2. SfM 補完撮影計画

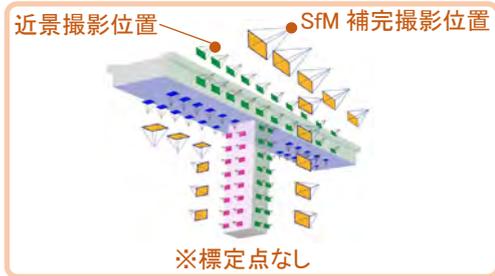


5-3. 遠景撮影計画

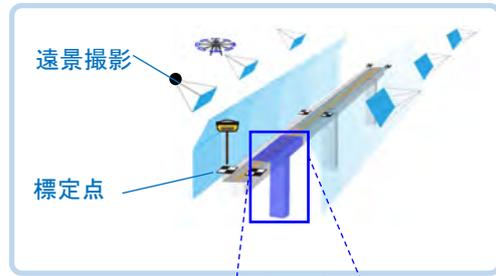


6. 撮影

6-1. 近景撮影、6-2. SfM 補完撮影



6-3. 標定点設置、6-4. 遠景撮影

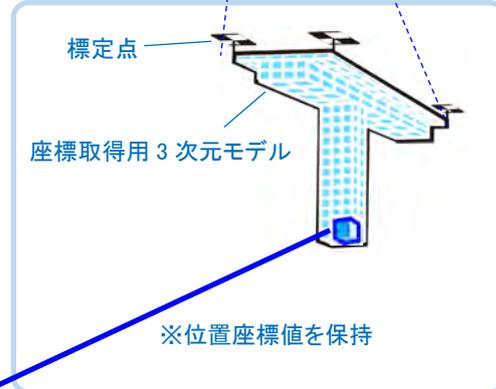


7. SfM 処理

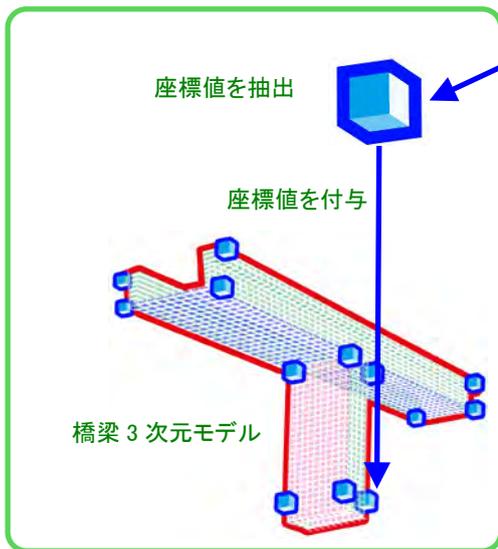
7-1. 部材 3 次元モデル作成



7-2. 座標取得用 3 次元モデル作成



7-3. 橋梁 3 次元モデル作成



7-4. オルソモザイク画像作成

