

5. 画像処理

画像処理は、UAV で連続的に重複して撮影した画像と地上基準点の情報から対象となる施設や地形の三次元モデルを作成する。

処理に用いるソフトは、隣接する写真間で共通する特異点から立体視し、1つ1つの画像の水平および高さ情報を計算する画像処理ソフト(SfM)とする。

5.1 SfM 処理

SfM では、カメラで撮影した複数の画像から、それらの撮影位置を推定し、同一地点に対するそれぞれの画像の視差から対象物全体の三次元モデルを生成する。三次元モデルは、多くの点群データ（三次元 point cloud）で構成され、その精度は、撮影に使用したカメラの画素数、焦点距離、対象物までの距離、オーバーラップ率等に依存するため、これらの条件を整えることによって所要の精度に近づけることとする。

SfM 処理した三次元モデルは、相対的な位置関係の情報であり、地理空間座標が定義はなされていないため、モデル上の特定の複数の地点に地上の座標（地上基準点、GCP: Ground control point）を対応づけることによって地理空間座標を定義する。この手順で、UAV で移動しながらオーバーラップして撮影した画像から、撮影範囲が三次元モデルとして再現され、その中の施設構造物の形状も三次元の座標データとして特定する。さらに、三次元モデルに撮影した画像から生成した色や模様を貼付け、より現実的なモデルへの加工や正射投影画像（オルソフォト）を作成する。

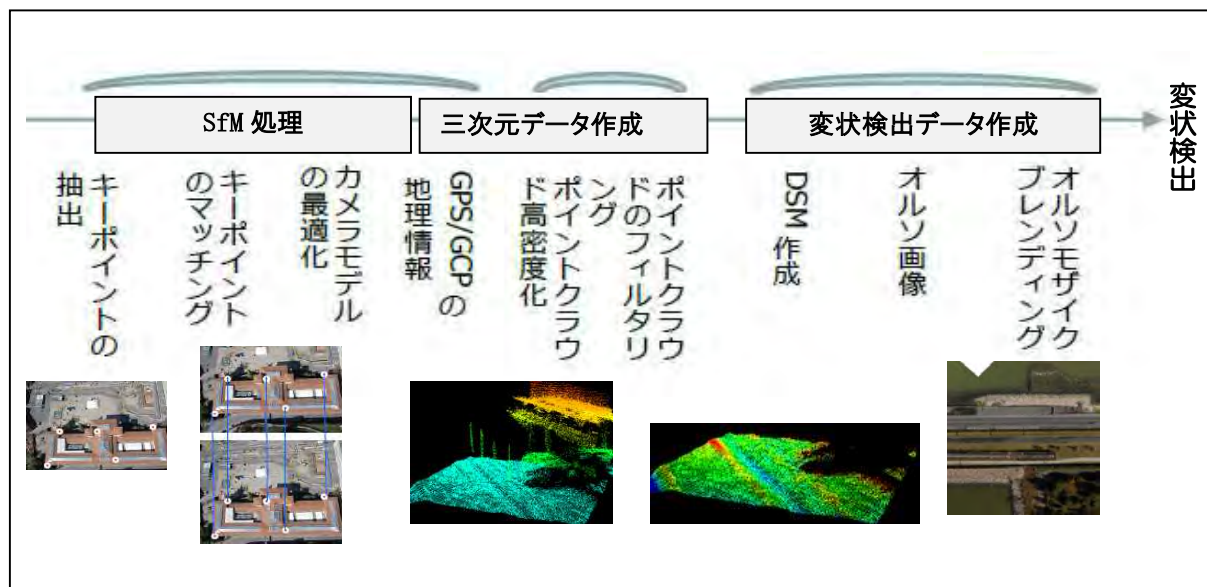


図5.1 画像処理手順

SfM ソフトウェアは、現在国内では3種類が普及している。それぞれの特徴は表 5-1 に示すとおりであり、調査における利用を制限するものではない。

表5.1 国内で使用されている主な写真測量用の SfM ソフトウェア

製品名	PhotoScan	Smart3DCapture	Pix4DMapper
開発社	Agisoft 社	Accute3D 社	Pix4D 社
開発国	ロシア	フランス	スイス
特徴	最も低価格。 カメラレンズのキャリブレーション補正を解析処理時に同時に行わない。	高い画像の処理能力 キャリブレーションを行い、高精度の画像処理。 優れた TIN 表示等によりビューワ表示が精細。	撮影画像を用いた精細なキャリブレーション補正で極めて高精度。 国内及び欧米で実績が多い。

注)・市販のソフトウェアの他オープンソースからも入手可能である。

・SfM では、複数の UAV で撮影した画像や手持ちカメラの画像と組み合わせて三次元モデルを生成することもできる。

5.1.2 入出力のデータフォーマット

本ソフトウェアにて作成できる点群データは、三次元鳥瞰図（色つき点群データ）として利用することが出来る。現時点では、一般的にデータが流通している txt 形式もしくは las 形式を標準とする。

5.2 主要成果品と活用方法

UAV で撮影した結果は、変状の検出に活用することを前提としていることから、判読しやすい形式に加工する必要がある。

上空から撮影した鉛直写真および対象物と正対するような斜め写真をもとに、変状の検出を行う。

撮影した画像では、オルソ画像とすることで、概略の施設の形状、劣化状況と損傷規模が施設全体について面的に把握する。

また、SfM により作成した三次元モデルでは、写真では判断しづらい高さ（不陸や高低差など）の変状を施設全体について面的に把握する。

5.2.1 データ活用方法

UAV で撮影した画像をもとに作成するデータとその活用方法を表 5.2 に示す。

表5.2 UAV 調査で作成する成果と活用方法

基礎データ	加工データ	活用方法
画像	単写真 (画質調整画像)	オリジナルの写真画像を拡大表示し、詳細な状況を検出する。 日射状況により暗い写真画像などは、明るさやコントラストを変えることで検出できることがある。
	オルソフォト画像	施設全体の概略の損傷状況を把握する。また、連続する損傷が存在する場合、その位置特定、長さ(延長)、範囲等を計測する。
三次元点群データ	標高分布図 等高線図	三次元モデルの標高を一定の高さ毎に色分け表示することで、画像のコントラストの変化による高低差が検出しやすくなる。施設の面的な陥没、隆起や沈下を検出する。
	縦断面図	天端の標高を連続で把握したり、施設の不陸や目地の段差などを検出し、絶対的、相対的な高を計測する。
	横断面図	三次元モデルから任意の断面図を作成することで、不陸を検出し、絶対的、相対的な高を計測する。

5.2.2 画像データ

① 単写真

- UAV で撮影したオリジナル写真であり、地理空間情報は保有していない。
- 写真の歪等の修正は行っていないため、画像中心点から離れると長さ（距離）等が実際と異なり、隣接する写真画像をシームレスに接合することはできない（接合部の画像が一致しない）。
- 単写真は、対象物の詳細な表面情報から、局所的な変状箇所（ひび割れ、陥没、欠損等）、平面規模を定性的に検出する。

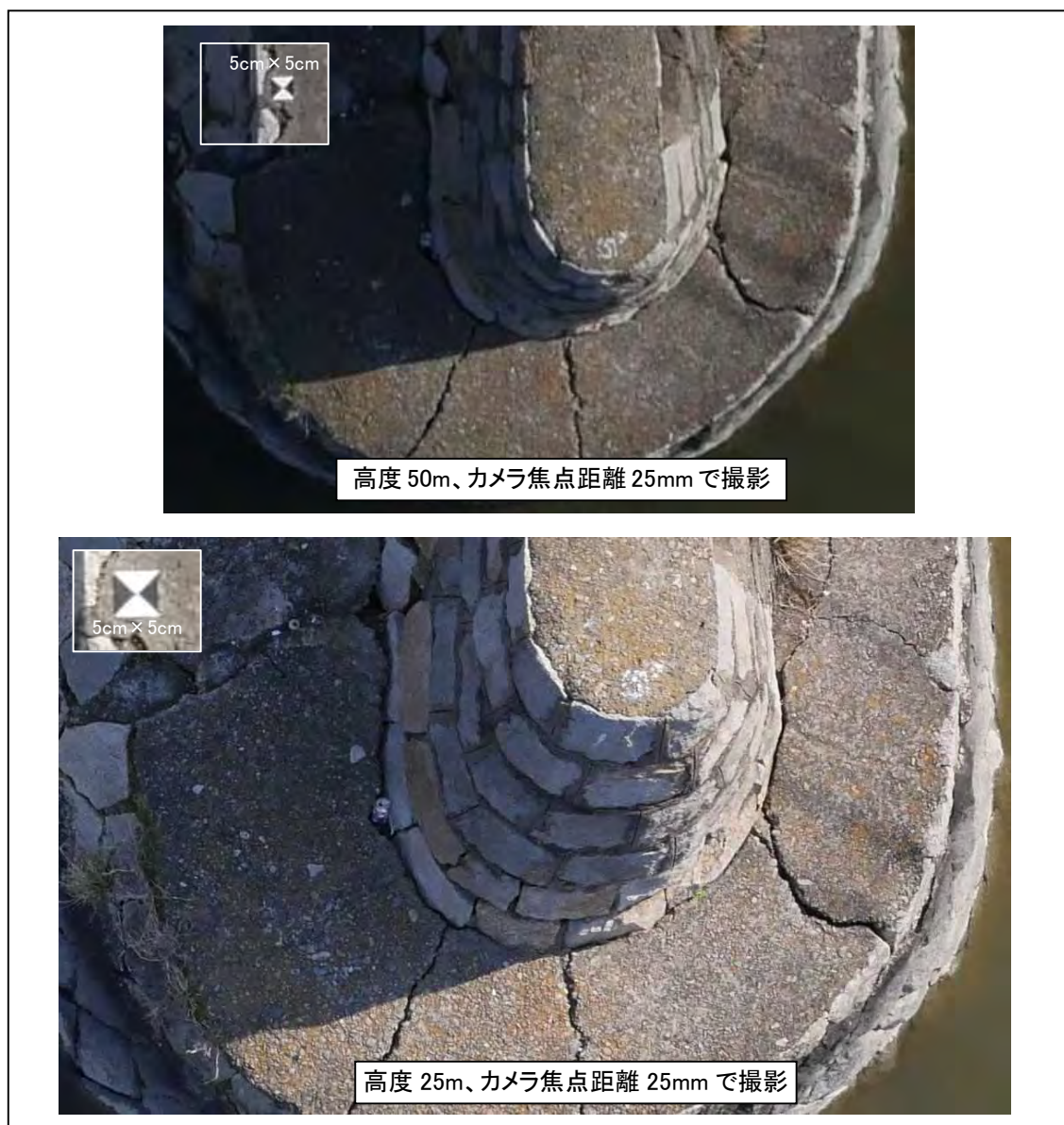


図5.2 撮影高度の違いによる単写真の視認性

【単写真画像による「ひび割れ」の検出精度例】

- 高度 10m 程度かつ、焦点距離 25mm のカメラで撮影した場合、擬似ひび割れ 1mm の検出が可能であった。
- 高度 3m 程度かつ、焦点距離 35mm のカメラで撮影した場合、実際のひび割れ 0.2mm の検出が可能であった。

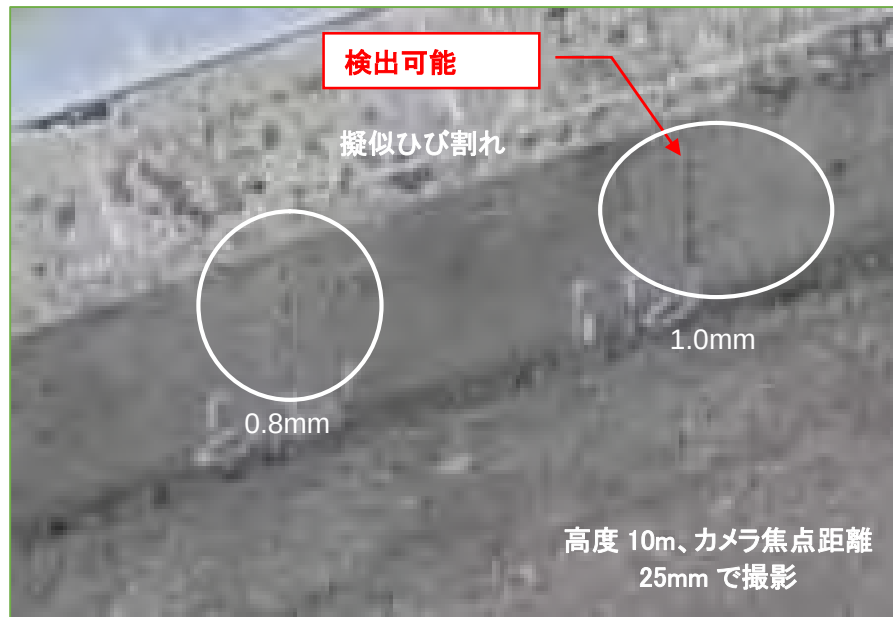


図5.3 ひび割れの検出限界調査事例

② オルソフォト画像

○オルソフォト画像は、撮影した 1 枚 1 枚の画像と高さ情報を組み合わせて真上から見るように処理した地理空間情報を有した正射画像である。

（オルソ画像で重要となる高さデータは、前述した SfM で作成した三次元モデルの情報を利用することで正確な位置座標を保有するオルソ画像を作成できる）

○オルソフォト画像は、対象物の表面情報から、変状箇所（ひび割れ、陥没、欠損等）、平面規模（範囲、長さ等）を定量的に検出する。



図5.4 オルソフォト画像(海岸堤防の例)



図5.5 オルソフォト画像(開水路の例)

5.2.3 三次元点群データ

- 三次元点群データは、SfM 処理により生成した空間地理情報を有するポイントデータであり、変状検出の基礎データとなる。
- 指定した対象物のポイントの平面位置、標高を取得し、基準（計画値）と対比することで指定ポイントの変状を定量的に検出する。
- 点群の生成密度は、数 cm に 1 点（撮影方法により異なる）と高密度であるため、鳥瞰画像とすることで、施設全体の概要を把握する。

(1) 概要

① データ概要

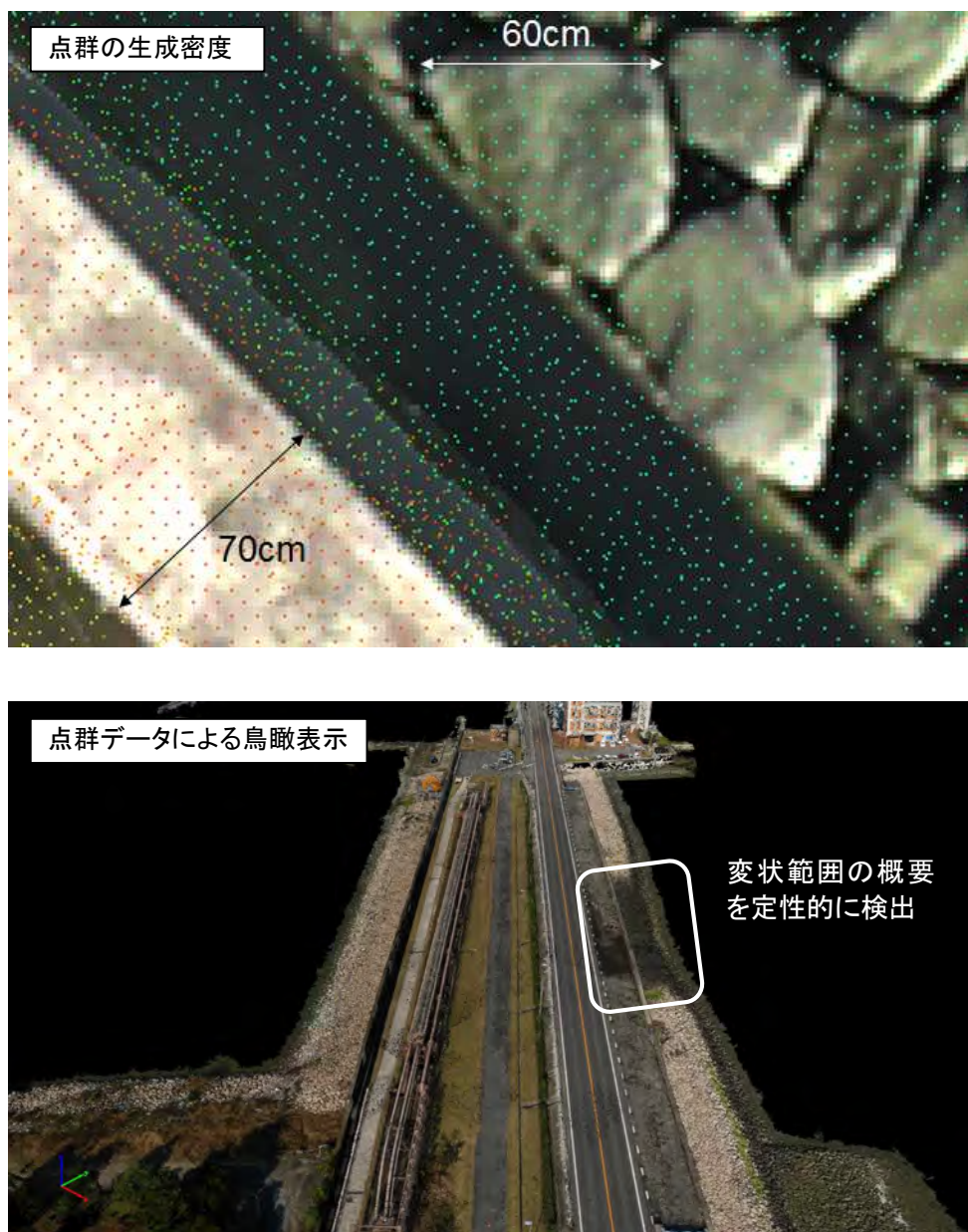


図5.6 三次元点群データの概要

② 三次元点群データの精度

三次元点群データは、cm レベルの高さ精度を取得することができる。
撮影高度が 10m・25m・50m における海岸堤防および開水路の高さを検証した結果、水準測量と比較して約 5cm 以内の高さ精度を得ることを確認している。

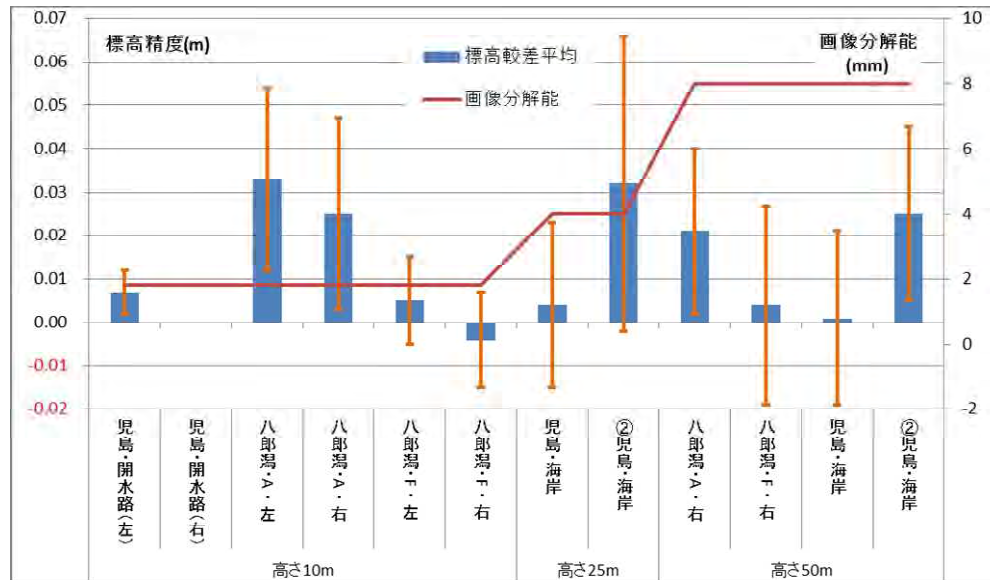
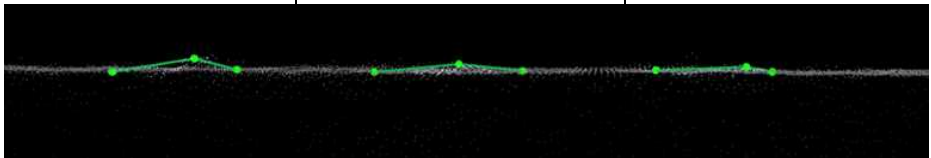


図5.7 撮影高度と対象施設別の高さの精度

③ 三次元点群データによる「起伏量」の判読精度

擬似的な段差を作成し、この模式を計測した結果、その精度は 6mm 以上で判読可能であることを確認している。

表5.3 擬似的な段差モードによる計測精度

	A (3枚)	B (2枚)	C (1枚)
場 所	上空写真より 		
設置詳細	段差 20mm 	段差 13mm 	段差 6mm 
解析処理 (側面図)			
段差計測	26mm	13mm	6mm
較差	- 6mm	± 0mm	± 0mm

④ 留意事項

対象施設の上空及び近傍に灌木（樹木）が覆っている場合には、三次元点群データの欠測が発生する。このような場所では、UAV 測量にてデータ作成ができないことを予め理解して調査することが必要である。

また、必要に応じて他の測量手法（地上測量）を併用することを検討しなければいけない。



図5.8 灌木(樹木)群によるデータ欠測例

(2) 標高分布図及び等高線図

- 標高分布図は、三次元点群データを標高区分毎に着色して作成する。
(標高区分は、点検目的によって決定する。)
- 標高区分図、等高線図により施設の面的な起伏、沈下を検出する。



(標高区分図)

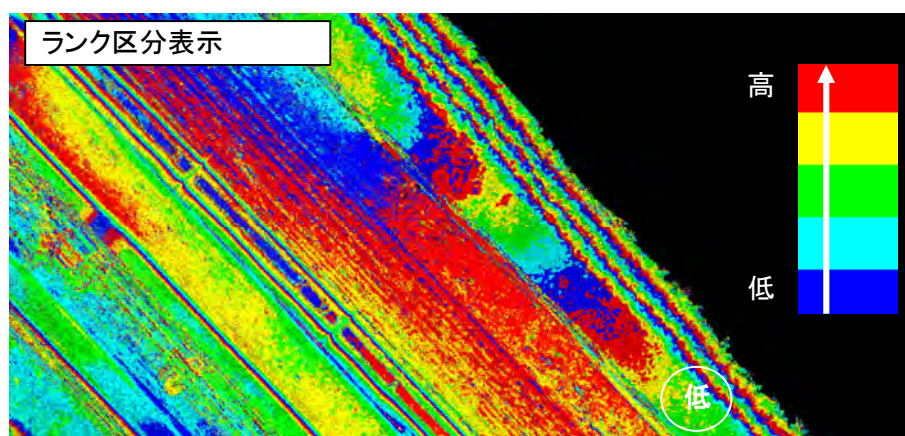
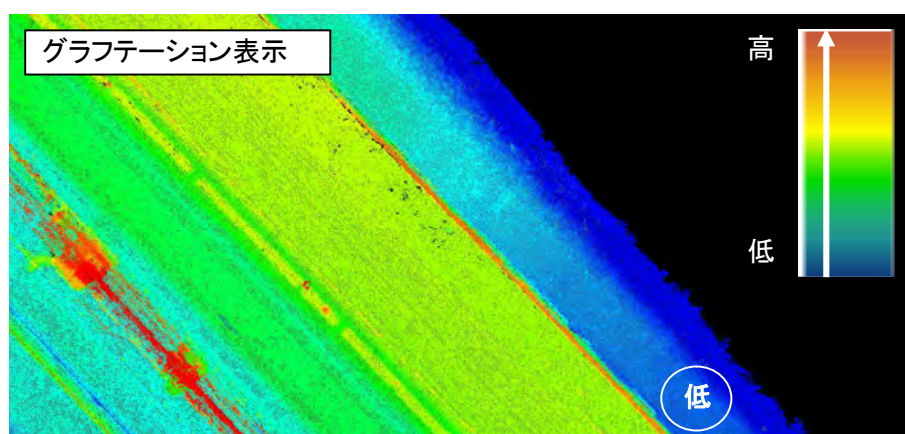
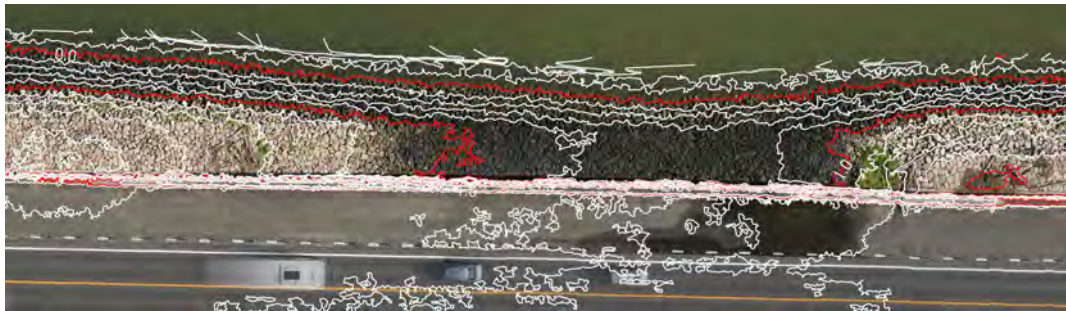


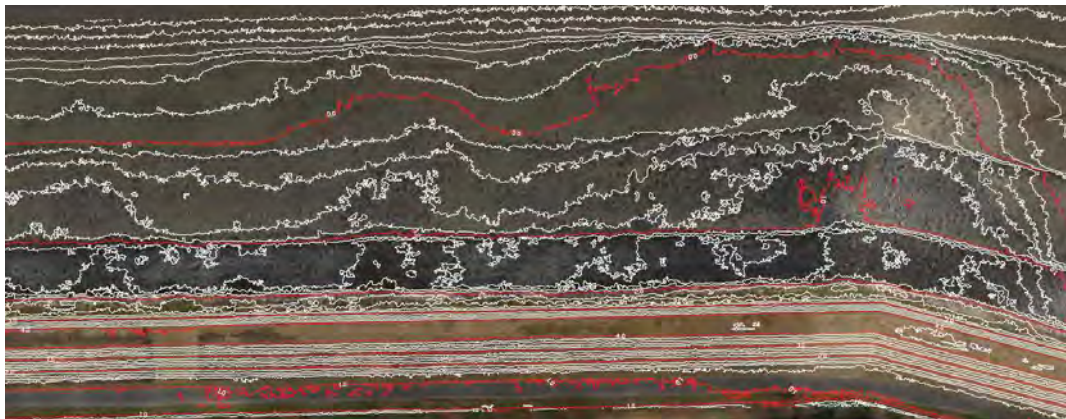
図5.9 標高区分図 (例)

(オルソフォト画像と等高線の重ね合わせ)

○堤防前面の被覆石が沈下している事例



○堤防前面の被覆石に起伏(沈下、堆積等)が生じている事例



○堤防全体に渡って大きな変状が無い事例



図5.10 等高線図 (例)

(3) 縦断面図・横断面図

○縦断面図・横断面図作成は、変状の検出項目、精度及びコンピュータの処理能力（時間）を考慮して三次元点群データより抽出、加工して作成する。

(縦断面図・横断面図作成例)

① 全点の表示

指定した測線を中心として一定幅内に存在する三次元データを全て抽出して作成する方法

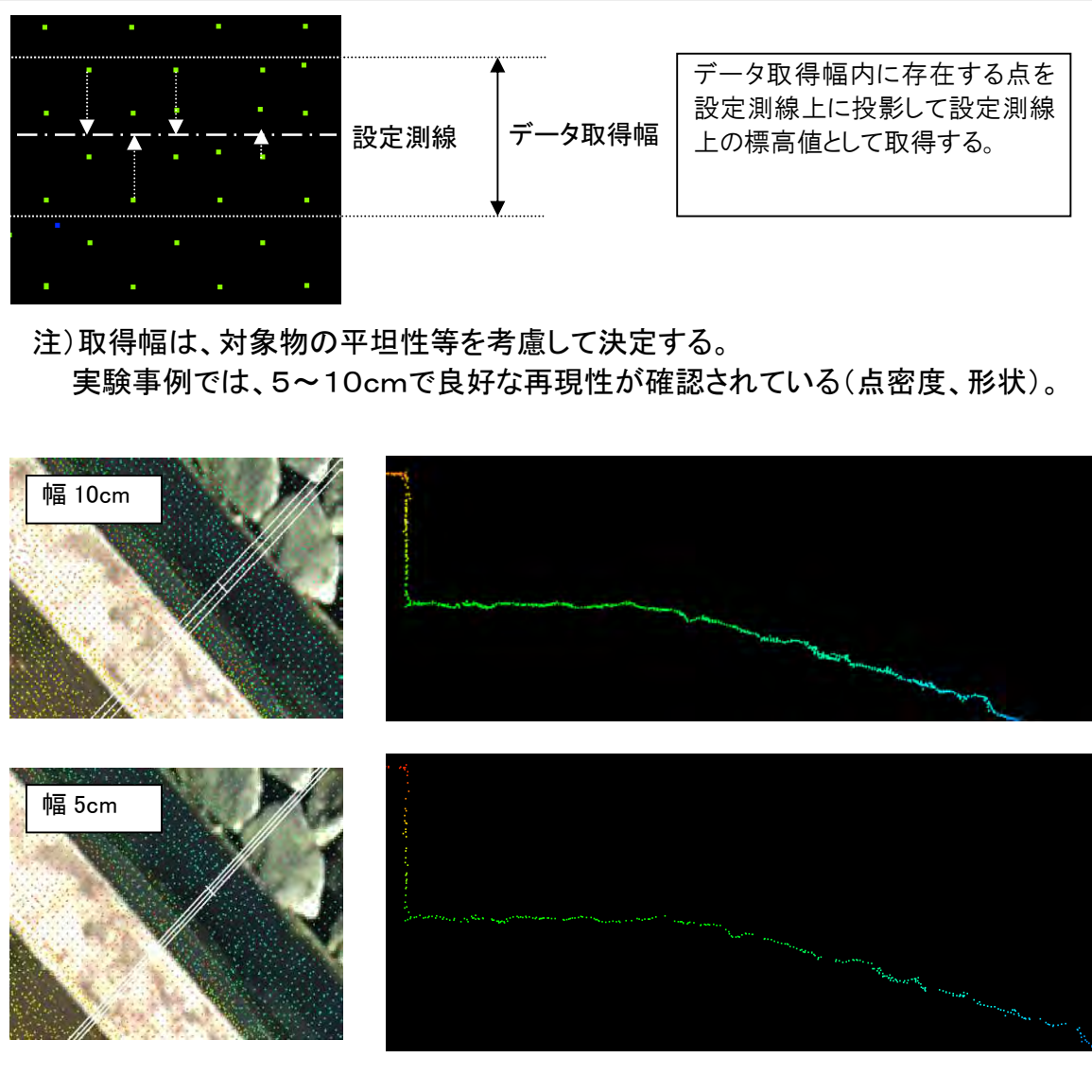
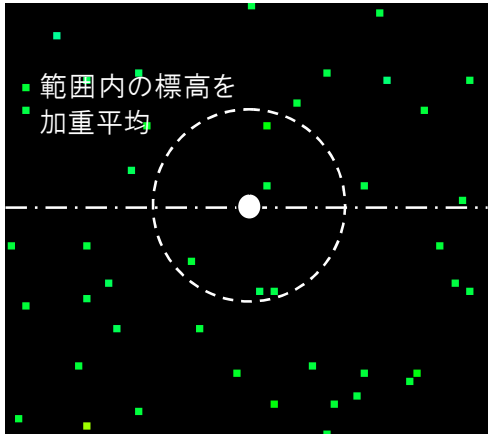
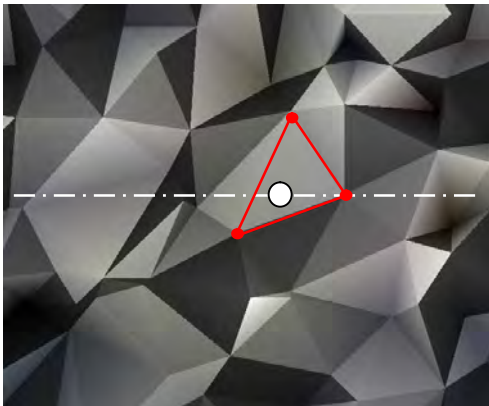


図5.11 データ取得幅を設定した全点表示（例）

② 代表点の表示

測線上に一定間隔又は代表地点を設定し、三次元点群データより標高を決定して作成する方法

表5.4 代表地点による縦断面図、横断面図データの取得方法

データ抽出方法	抽出イメージ
①最近値法 指定個所に最も近い点の高さを採用 注) 取得地点の設定にあたっては、地形変化点等に留意する必要がある。	
②平均値法 近傍の点の距離の逆数から逆距離加重にて決定 注) 取得地点の設定にあたっては、地形変化点等に留意する必要がある。	
③TIN 法 周辺の3点で面を形成し、指定位置を面上に落とし高さを決定 注) 点群データ数が大量となるため、TINモデル作成においては、高性能(処理能力)なコンピュータが必要となる(一般事務用では困難)。	

5.3 SfM 処理の留意事項

SfM 処理は、撮影した画像間の情報から三次元モデルを生成するため、撮影画像の状態が三次元モデルの品質を左右する。

5.3.1 撮影範囲

撮影画像は、計画コースと乖離がある場合は、画像に対象施設が映らず三次元モデルを作成できない。

撮影コースが乖離した場合は、対象施設を映す撮影を再度実施する。

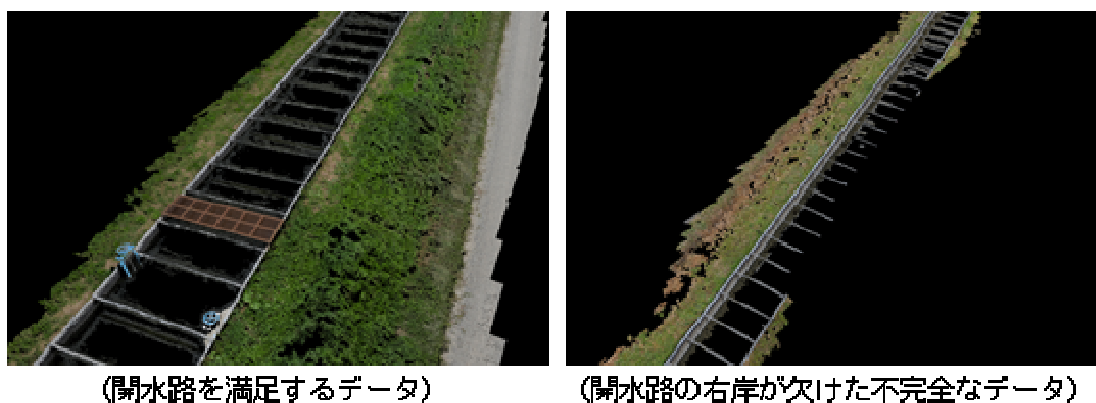


図5.12 撮影画像に依存する三次元モデルの例

5.3.2 キーポイントマッチング処理

二次元の画像と三次元点群ともに、色や形状に特徴がある点をキーポイント（特徴点）と呼ぶ。物体認識や対応点のマッチング、位置合わせ、検索などを行う際にこのキーポイントを利用する。

キーポイントを抽出する上で最も注意すべき事は、撮影対象の表面の状態である。対象の表面が草木に覆われているとか、水面、光沢のある材質である場合は、キーポイント抽出には向かないため解析処理が進まないことがある。画像内にキーポイントが多くある場合は、解析処理も短時間で済むとともに、位置情報の正確度も向上する（図 5.13）。

一方、キーポイントが少ない画像は、解析処理時間も長く、位置情報も不安定になりがちである。対象範囲にキーポイントが少ない地域では、適当な個所に例えば色つきのゴミ袋、木材、石、車両など、キーポイントに代替できそうな地物を設置しておくことでマッチング処理を向上させることもできる。

● 良い画像の例:

- 岩場、ブッシュ、土
- 建物、都市
- 10MP（メガピクセル）以上の画像
- 10,000点以上のキーポイントが得られる画像



● 難しい画像の例 :

- 砂地, 雪原, 霧
- ぼやけた画像、フォーカスが合っていない画像
- 露出過度、露出不足
- 3MP以下の画像
- 100点のキーポイントも得られない画像

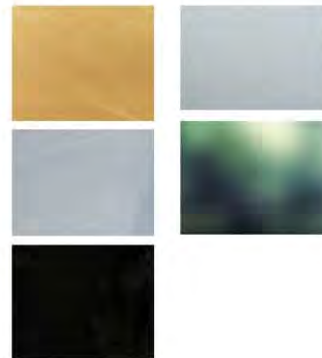


図5.13 キーポイントの選択例

5.3.3 画像の位置情報

SfM ソフトウェアは、画像データを重畳して特徴点の座標データを作成するが、画像のみでは歪みが生じてしまうことが多いため、画像データに Geo タグ情報を埋め込み、解析処理を行うことが望ましい。また、さらに精度を向上させるためには、計測した GCP を設置し画像標定する必要がある。

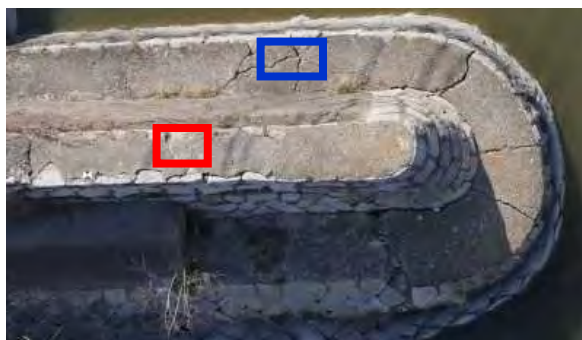
6. 画像処理による施設変状への活用方法

6.1 コンクリートのひび割れ

ひび割れは、画像劣化の少ない UAV で撮影した画像を直接確認することを基本とする。ひび割れの延長を計測する場合は、画像を平面投射して作成するオルソ画像を利用する。

6.1.1 ひび割れの判読

コンクリートの劣化・損傷は、ひび割れの状況を確認することを基本としている。ひび割れの判読は、上空から鉛直撮影した画像から判読するとともに、開水路の側壁や海岸堤防・護岸などの側壁は、斜めから撮影した画像から行う。



【撮影条件】

- ・ 飛行高度 25m
- ・ 焦点距離 26mm
- ・ 鉛直撮影

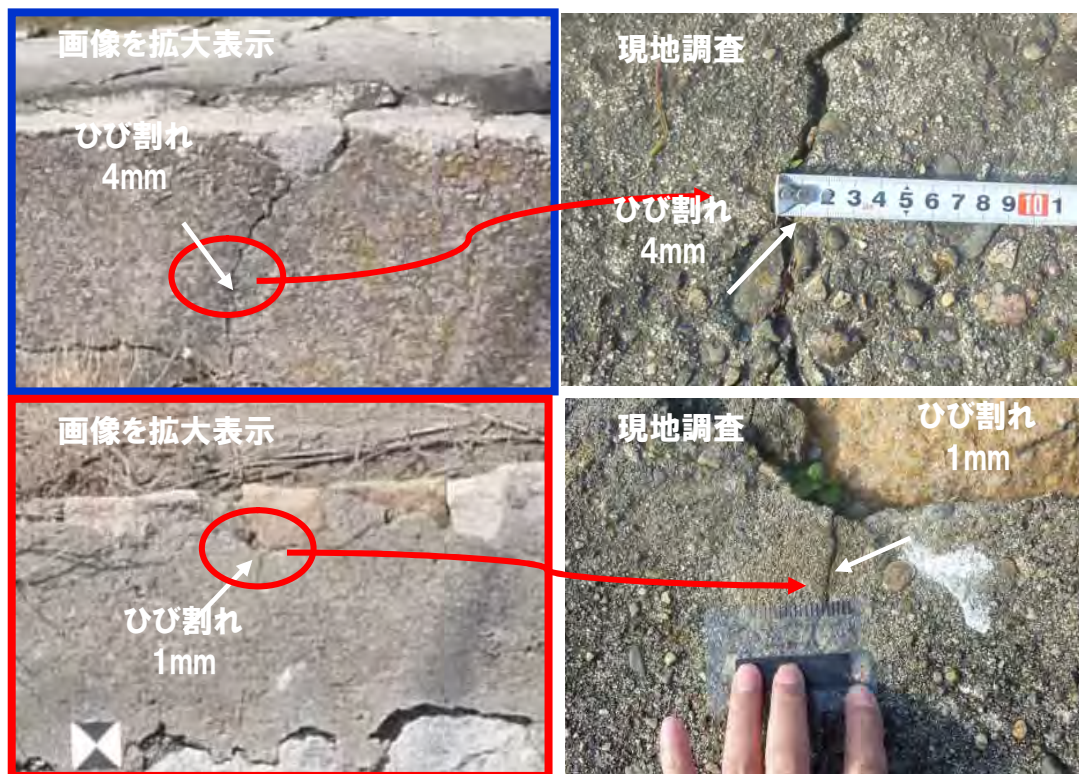


図 6.1 鉛直画像からの判読



【撮影条件】

- ・ 飛行高度 10m
- ・ 焦点距離 35mm
- ・ 斜め撮影

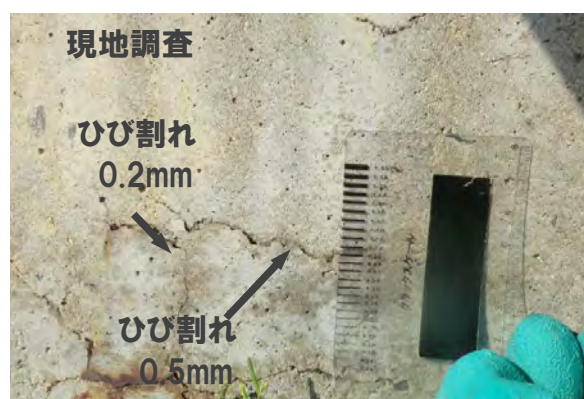


図 6.2 斜め画像からの判読

6.1.2 ひび割れの計測

コンクリートのひび割れの延長は、オルソ画像を作成して計測する。ただし、オルソ画像を作成する際に画像劣化が生じるため、ひび割れ幅や細かいひび割れの計測は、現時点では難しい。



図 6.3 側壁のオルソ画像