

6.2 不同沈下

不同沈下は、UAV 画像から生成する三次元モデルから対象施設の高さを計測することができる。この計測により、水利施設における計画高の不足における有無を確認することができる。

6.2.1 不同沈下の計測方法

三次元モデルは、1つ1つの点群データについて高さの情報を保有しているので、水利施設および周辺の知りたい個所の高さを計測することができる。海岸堤防の堤防高を計測したい場合は、図 6.4 に示すように三次元モデル上で指定する堤防個所の高さを読み取る。読み取りには、以下に示す3手法で実施する。

- ① 最近値法：指定個所に最も近い点の高さを採用
- 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
- ③ TIN 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

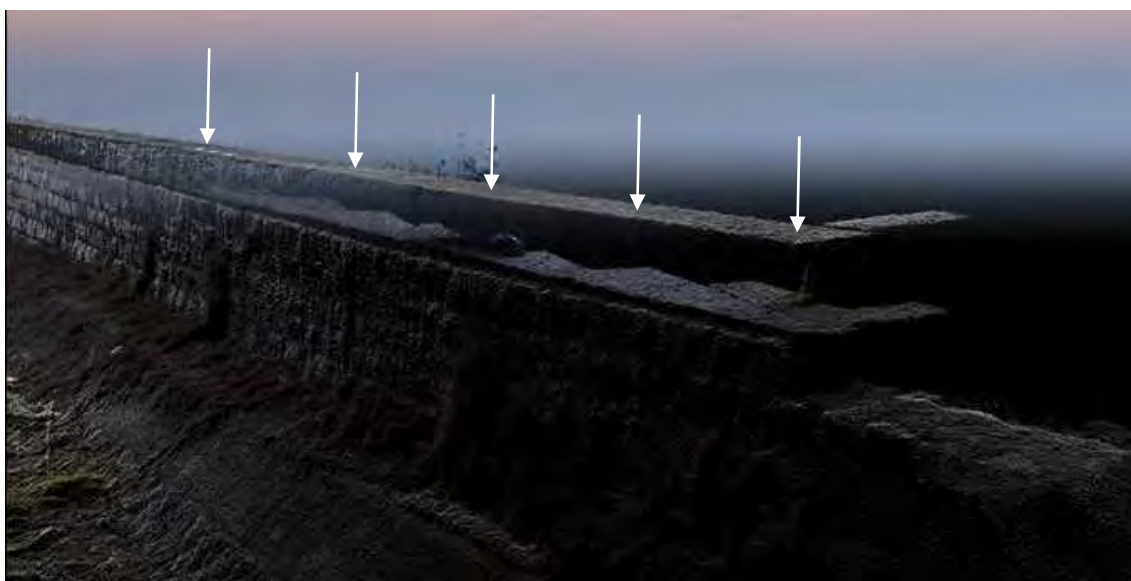


図 6.4 三次元モデルから高さの抽出するイメージ

6.2.2 三次元モデルの標高精度

UAVによる三次元モデルは、cmレベルの高さ精度を取得することができる。高さの精度は、撮影高度や障害となる地物の有無に左右されるが、概ねcmレベルでの精度となる。

図6.5には、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事例を示す。撮影高度と精度は関連があるものの高度と精度の比率は同等ではないが、水準測量と比較して約5cm以内の高さ精度を得ることが可能である。

ただし、このような高さ精度を得るには、撮影画像間で十分な重複が確保でき、かつ地上基準点を設置することが必要である。

なお、正確な高さを求める調査では、地上基準点を設置する際に、対象範囲内に検証点を設置することを薦める。検証点は、観測した成果の信頼性を高めるための措置である。

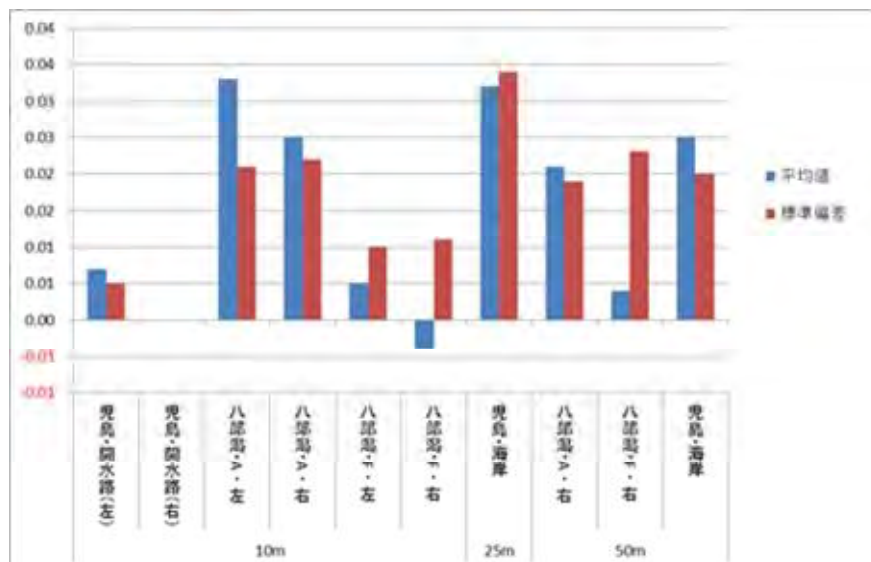
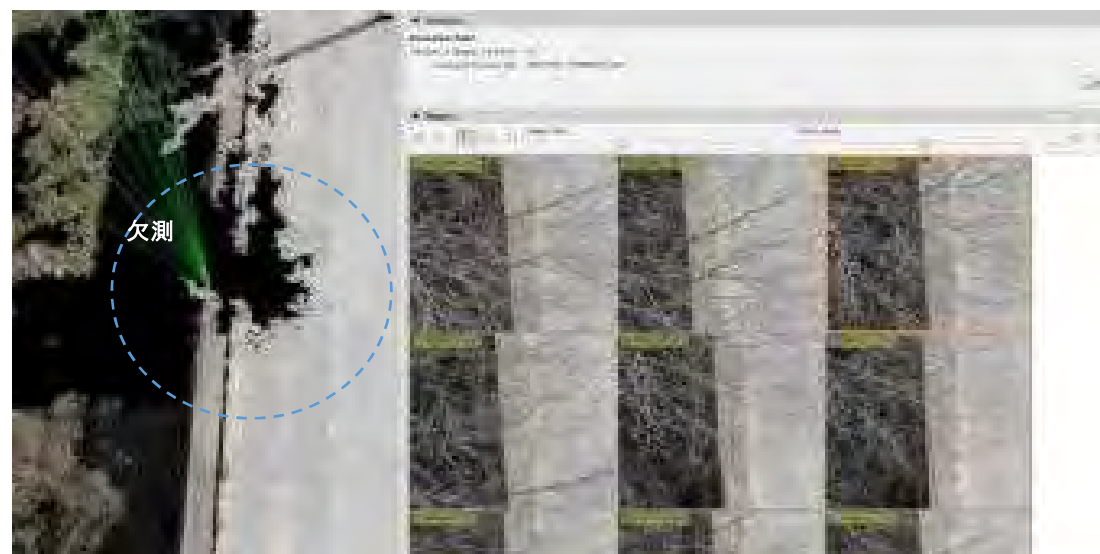


図 6.5 撮影高度と水利施設別の高さの精度事例（平均値/標準偏差）

6.2.3 留意事項

UAVによる撮影画像において、水利施設の上空に灌木が覆っている場合（図6.6）には、三次元モデルにデータ欠測が発生することがある。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ならない。



上空から見た三次元データ欠損 データ欠損部の撮影画像（灌木が堤防を覆う）

図 6.6 データ欠測箇所事例

6.3 その他変状

その他変状は、UAV の写真画像および三次元モデルから確認する。主に、材料劣化や目地の劣化、周辺地盤の状況および雑草・堆積等の確認が可能である。

6.3.1 材料劣化

コンクリート構造物では、材料劣化が生じるとひび割れや浮き・剥落、錆汁、エフロレッセンス（白化）、すりへり（摩耗）などの画像により認識可能な状態となることが多い。それら材料劣化の症状は、基本的にオルソ画像もしくは写真から判読することを基本とする。

6.3.2 目地の劣化

コンクリート製の開水路や海岸堤防・護岸などでは、数年すると土圧や水压等の外力により、目地のコーナー部分に亀裂を伴う損傷を受けることが多い。また、開水路では、施工性の良さから近年はプレキャストの柵渠が整備されることが多く、側壁の背面土砂の流出に伴い目地部で部材のズレが生じているものも点在している。これら目地部の劣化は、写真画像によりその変状が把握できることから、写真による判読を基本とする。

6.3.3 周辺地盤

周辺地盤の沈下や隆起については、上空から撮影した写真で判読することが困難な場合が多いため、三次元モデルにより色つき標高表示や三次元点群データ等を斜めから確認することにより把握可能である。よって、地盤の起伏は、三次元モデルを活用して判読することを基本とする。

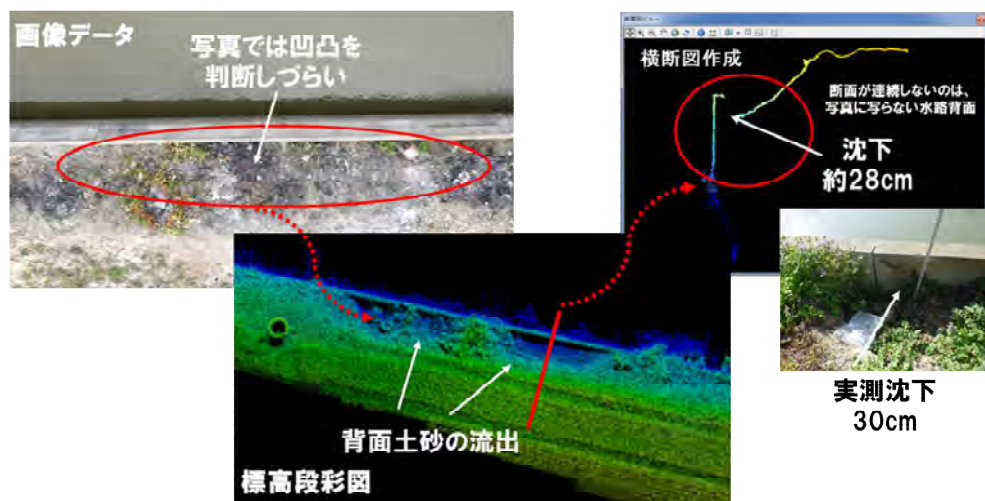


図 6.7 地盤沈下の確認例

6.3.4 雑草・堆積

雑草・堆積は、水中にある土砂堆積を除き、写真により確認できるため、写真による判読を基本とする。

7. 調査事例

7.1 作業計画書の記載例

作業計画書の記載内容について以下に示す。

1. 目的

本実験によって取得するデータは、官民連携共同研究開発において、損傷箇所の調査事例および水路と水田の測量精度の検証事例として利用することを目的とする。

2. 行政担当

行政機関名 部門 担当者

3. 現地調査主体

会社名

管理技術者：部門 担当者

4. 現地撮影

【調査日程・体制】

○測量日程：○月○日（曜日） 12:00～17:00（標定点の設置、計測）

○撮影日程：○月○日（曜日） 13:00～17:00

○撮影日程：○月○日（曜日） 9:00～12:00

※雨天の場合、翌日に実施もしくは中止・順延する

○調査体制：調査員4名程度

【使用機器】

現地調査で使用するドローン及び搭載カメラの仕様は、以下に示すとおりとする。

イメージ		ZionQC730	
	モータ軸間	730mm	
	プロペラ径	18 インチ	
	飛行時間	15 分～40 分	
	航続距離	10km～25km	
	測量面積	1km ²	
イメージ		SONY α 6000	
	撮影素子	APS-C サイズ	
	総画素数	約 2470 万画素	
	画像ファイル形式	JPEG、RAW(ソニー ARW 2.3 フォーマット)	
	外形寸法	約 120.0(幅) x 66.9(高さ) x 45.1mm	
	質量	344g	
		利用レンズ	16mm、35mm

図 1. 現地調査で使用する機器仕様

【調査方法】

ドローンの飛行は、離着陸地点（操縦地点）からドローンが視認できる範囲内で予めプログラミングしたコース上を自動航行し、離陸から着陸までの飛行時間は、10 分程度を標準とする（電池最大容量 20 分×安全率 0.6）。

また、飛行高度は、約 10m～50m以内とする。
ドローンの飛行は、写真に示すとおり 3 名体制で行う。



写真 1. ドローン調査概要

【調査範囲】

調査範囲は、延長 100m～200m 程度で周辺民家への影響が少ない区間とする。



図 2. 現地調査範囲・位置図

【現地調査】

- 調査範囲内でドローンを飛行させて、鉛直および斜め撮影を行う。

※撮影高度 10m、25m

※必要に応じて、雑草の除去

- 撮影範囲内に標定点を VRS 測量により 5 点以上設置する。（後日実施）

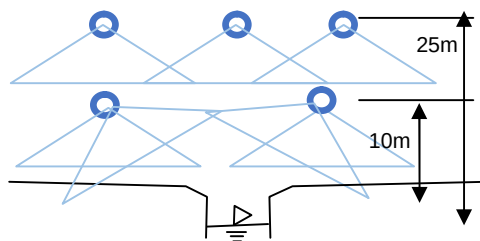


図 3. 飛行断面図

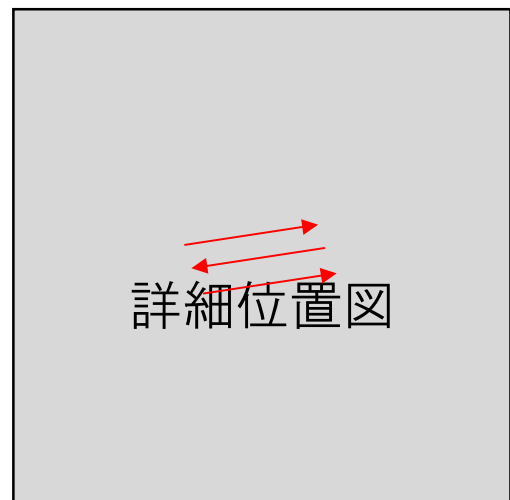


図 4. 飛行ルート

5. 安全管理

現地作業員は常に安全に心がけ、災害、緊急事態発生時また、その恐れがある場合は人命救助を最優先とし速やかに応急措置をとることとする。また、緊急時連絡体制表に従って関係機関に連絡を行い、その指示に従い速やかに措置をとることとする。

【調査の安全について】

- 作業員に対し、前日の十分な睡眠や当日の天候への対処を指導し、常に健康管理に留意させる。また、気分が優れない時は速やかに申し出るよう指導する。
- 余裕のあるスケジュールで行動し調査を実施する。
- 作業員の服装及び履物は運動性に優れたものとする。
- 作業着手前に作業全般についての安全ミーティングを開催し安全管理の確認を行う。
- 現場作業開始時は、KY 活動を行い安全確保に努める。
- 作業現場において災害または被害が発生した場合は、速やかに適切な処置を施すとともにその経緯を直ちに調査職員に報告する。
- 火気の使用を厳に慎み、煙草の吸い殻の始末等にも注意し、防火に努める。
- 作業中は、道路利用者（車両、歩行者）の通行の妨げとならないよう注意するとともに、事故防止に充分配慮して作業を実施するよう徹底する。
- 作業中は一般交通や歩行者に対し、細心の注意を払い、良識ある行動に努める。
- 現地調査中は、身分証を携帯する。



KY 活動実施例

【ドローンの安全について】

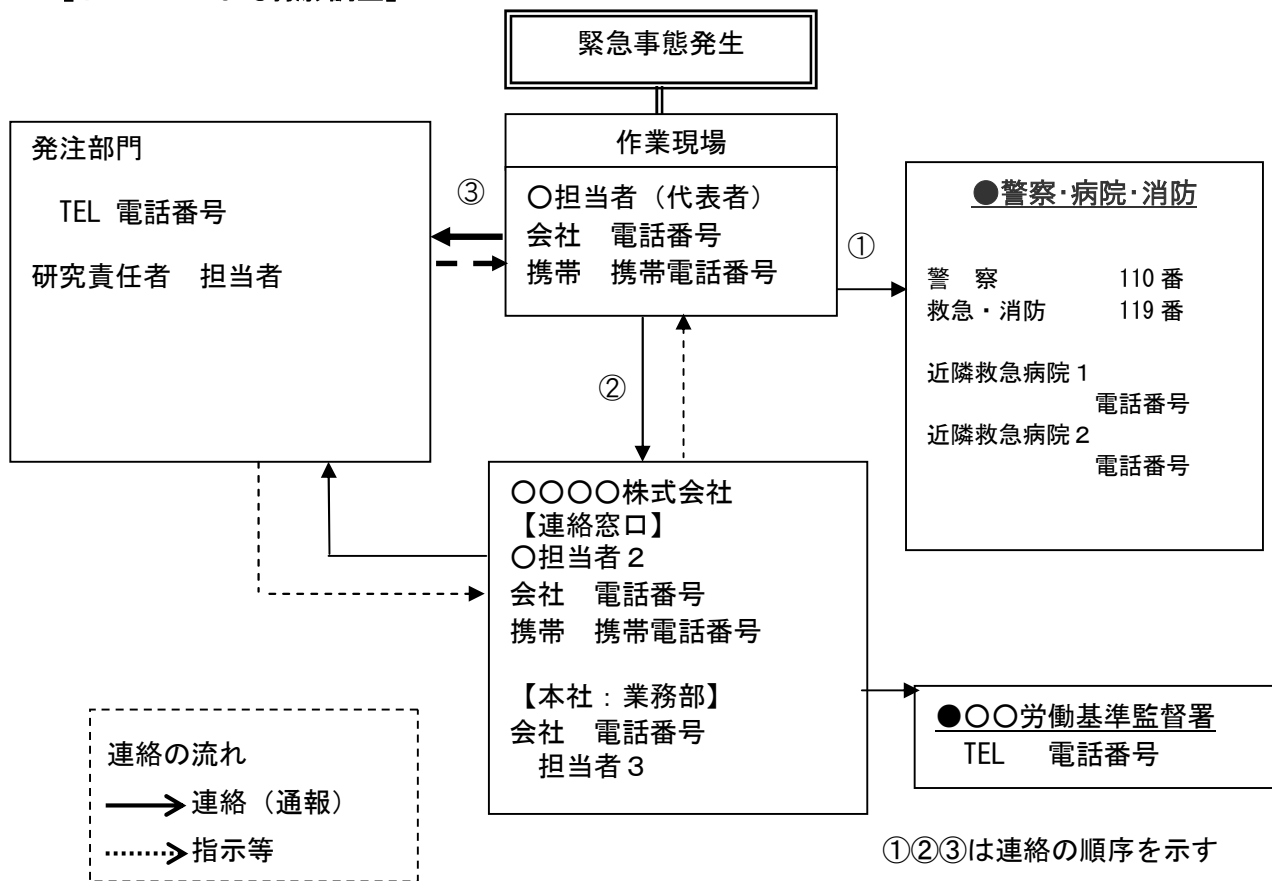
ドローンを利用した実験飛行にあたっては、以下の事項に留意して実施する。

- ドローンの操作を行う場合は、安全確認・操作連絡確認の徹底を図り事故防止に努める。
- 気象（降雨、風速）については、機器性能等を踏まえて安全を確認した後、実施する。
原則として、降雨時、平均風速10m/s以上では飛行しない。
- 飛行範囲内の障害物（高圧線等）を事前に確認し、障害物が存在する場合は飛行しない。
- 離発着場所は十分な広さのある場所(10m 四方以上)で行い、民地の利用は避ける。
また、公有地については、事前に利用の承諾を得て利用する。
- 飛行範囲及び周辺の土地利用に留意し、物的損害、人的な危険が想定される場合は、飛行しない（市街地上空、交通量の多い道路、鉄道の上空等）。
- 飛行は、非常時の対応を可能とするため、操縦基地から視認できる範囲で行う。
- 航空法、航空法の一部を改正する法律、電波法等を遵守して飛行する。
- 飛行時は、飛行区域内に見張り員を配置し、常に周辺状況や機体の状態を監視し、異常が発見された場合は、速やかに中止する。

6. 連絡体制

現地作業時に事故・災害が発生した場合には、被害を最小限にとどめる様に適切な処置を講ずるとともに、下記の緊急時の連絡網図に従って、速やかに、必要関係各所に連絡する。

【ドローンによる撮影調査】



初動対応

- 1) 作業従事者の待避
立入禁止（二次災害の防止）
- 2) 被災者の救出、応急処置
- 3) 関係機関への通報
（消防署、警察署）
- 4) 病院への連絡
- 5) 現状の保存と目撃者の確認
- 6) 発注者への連絡
- 7) 会社への連絡

事故発生時の報告要領

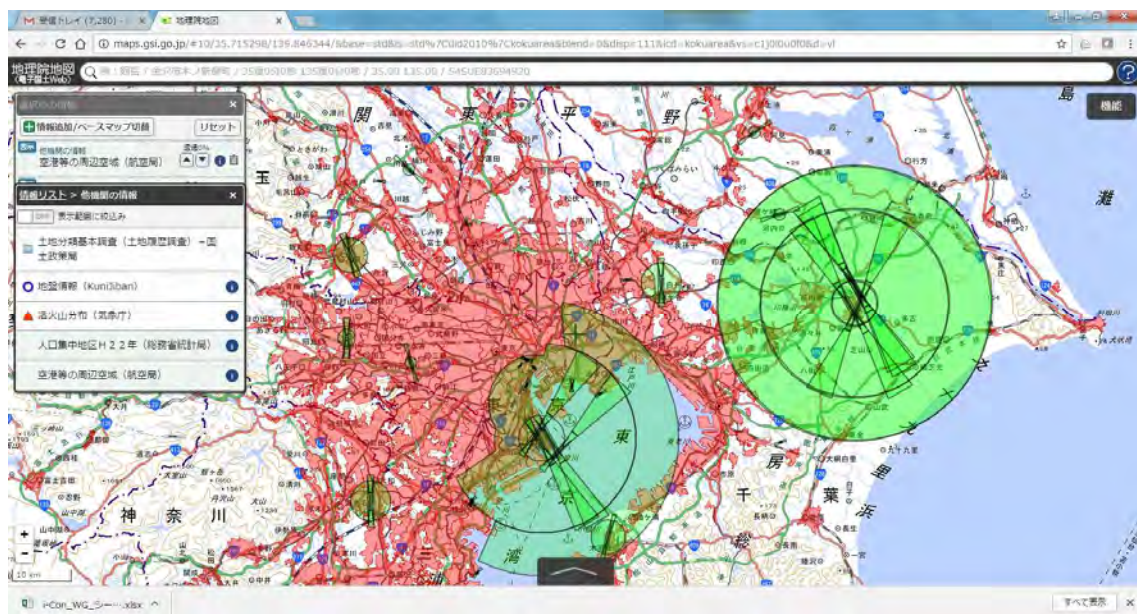
（落ち着いて、要点を、客観的に、手短に）

順序	項目	報告（連絡）内容
1	どこの誰（報告者）	・ 所属 ・ 担当（管理技術者、現場作業担当者など） ・ 氏名 ・ 連絡先（携帯など）
2	どんな業務	発注者や業務名
3	いつ（発生日時）	〇〇日、〇〇時〇〇分頃
4	どこで（場所）	住所または調査地点などの具体的な場所
5	何が	事故の種類
6	どれだけ	規模（発生規模、災害規模、被害規模など）
7	どうなった	・ 事故の内容結果（人身事故か物損事故か、被害者は誰か） ・ 今の状況
8	どうした（処置）	・ 警察・消防・発注者への通報状況 ・ 二次被害防止策、被害の拡大防止策 ・ 第一発見者の所在 ・ 現場作業員の対応状況
9	これからどうする （指示を受ける）	・ 今後の行動予定（現場と会社の動き） ・ 今後の報告予定 ・ 客先、会社からの指示を受ける一具体的な行動の決定

以上

【参考資料】

- ・当該地区は、航空飛行制限、DID 等の制約はない。



※地理院地図により、確認が可能

<http://maps.gsi.go.jp/#10/35.715298/139.846344/&base=std&ls=std%7Cdid2010%7Ckokuarea&blend=0&disp=111&lcd=kokuarea&vs=c1j0l0u0f0&d=vl>

7.2 UAV 撮影による施設点検事例

7.2.1 海岸堤防

(1) 基本的な考え方

海岸保全施設維持管理マニュアルは、巡視（パトロール）、定期点検（一次点検、二次点検）について点検手法を定義しており、これに従い具体的な点検が実施されている。二次点検では、目視にて実施した一次点検の結果、変状が確認された箇所において、その規模を把握する事が必要となっており、その損傷状況に応じて簡易な計測（損傷の規模を計測）と詳細な計測（潜水調査や試験を伴う）を実施する。

UAV で撮影した画像の点検は、写真による変状箇所の検出に加え、三次元点群データを整備することにより、その規模の検出を行う。

なお、適用範囲は、実験事例等から巡視（パトロール）および定期点検（一次点検、二次点検（簡易な計測））の一部とする。

(2) 点検項目と適用範囲

UAV で撮影した画像による点検項目及び UAV の適用範囲は、表 7.1 に示す項目とする。

なお、排水工については、水利施設（開水路）の点検で記載し、消波工については、本マニュアルの対象外とする。

表7.1 点検項目及び UAV の適用範囲

点検場所	点検項目	巡視 点検 ^{注1)}	点検内容と対応可(○)否(×)		利用成果	
			1次点検	2次点検	写真	3D ^{注2)}
天端	天端の高さ	—	必要高さに対する不足 ○	—	×	○
波返工 (胸壁については 堤体工)	ひび割れ	○	ひび割れの有無 ○(幅 1mm 以上を対象)	ひび割れの長さ、ひび割れ幅 △(幅は不可)	○	×
	剥離・剥落・欠損	—	剥離・剥落・欠損の有無 ○	剥離の範囲、剥落・欠損の深さと範囲 △(深さは不可)	○	×
	鉄筋の腐食	—	錆汁、鉄筋露出の有無 ○	錆汁の有無と範囲、鉄筋露出の長さ ○	○	×
	目地の開き、隣接スパンとの 相対移動量	○	隣接スパンとの高低差、ずれ、目地の開き の有無 ○(段差 6mm 以上を対象)	隣接スパンとの高低差、ずれ、 目地の開き幅 ○	○	○
	修繕箇所の状況	—	修繕箇所における変状の発生の有無 ○	—	○	○
天端被覆工 (水叩き工を含 む) 表法被覆工 裏法被覆工	ひび割れ	○	ひび割れの有無 ○(幅 1mm 以上を対象)	ひび割れの長さ、ひび割れ幅 △(幅は不可)	○	×
	目地部、打継ぎ部の状況	—	目地材の有無、隙間・ずれの有無 ○(段差 6mm 以上を対象)	目地材の有無、隙間・ずれ幅 ○	○	○
	剥離・損傷	—	剥離・損傷の有無 ○	剥離・損傷の深さと範囲 △(深さは不可)	○	×
	沈下・陥没	○	沈下・陥没の有無 ○	沈下・陥没の深さと範囲 ○	○	○
	漏水	—	漏水痕跡の有無 ○	—	○	×
	植生の異常(繁茂等)	—	植生の以上(繁茂等)の有無 ○	—	○	○
	修繕箇所の状況	—	修繕箇所における変状の発生の有無 ○	—	○	○
砂浜	侵食・堆積	—	砂浜の侵食、浜崖形成の有無、浜幅減少 ○	砂浜の侵食、浜崖形成の有無、浜幅 ○	○	○

注 1) 巡視点検: 点検レベルは変状の有無の検出まで(○: UAV 撮影で対応可能、-: 維持管理マニュアルでは点検項目に該当しない)

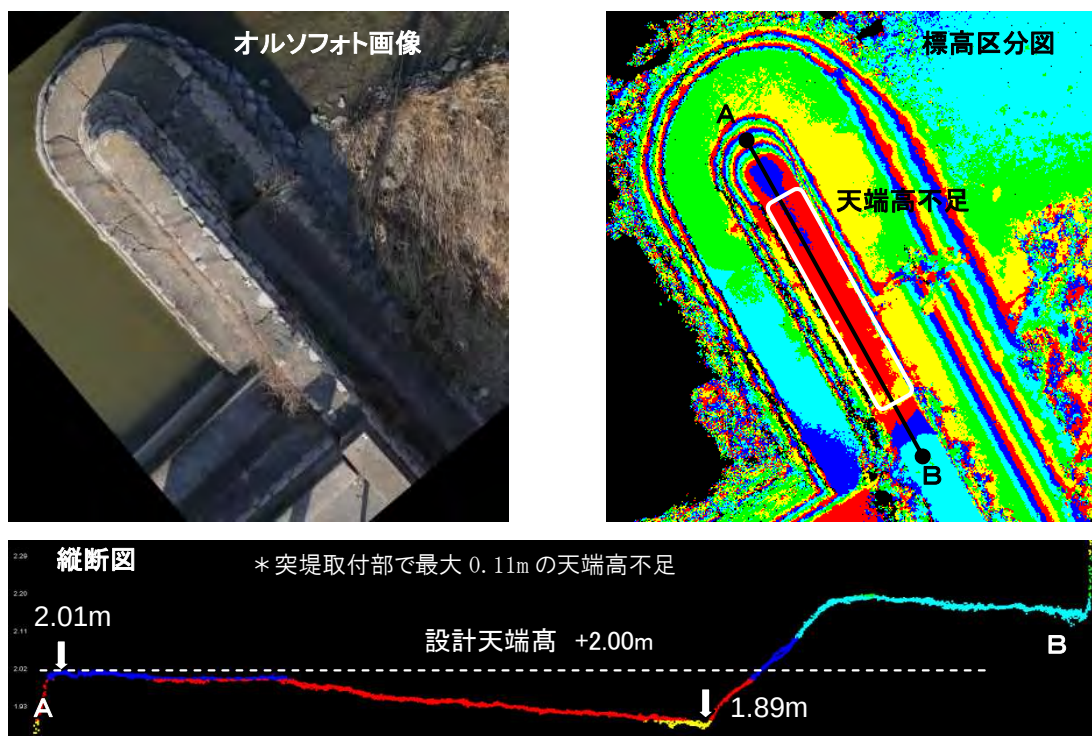
注 2) 3D: 三次元点群データ及びその加工成果

(3) 点検方法と検出事例

① 天端の高さ

- 天端の高さは、三次元点群データより作成した標高区分図、縦横断図から計測する。
- 基準高さ(設計高)との相対高、過年度計測高さとの差分は、縦横断図から算出する。

■ 天端の高さ計測例 (標高区分図、縦断図を利用した場合)



(基準高さの充足点分布、縦断図を利用した場合)

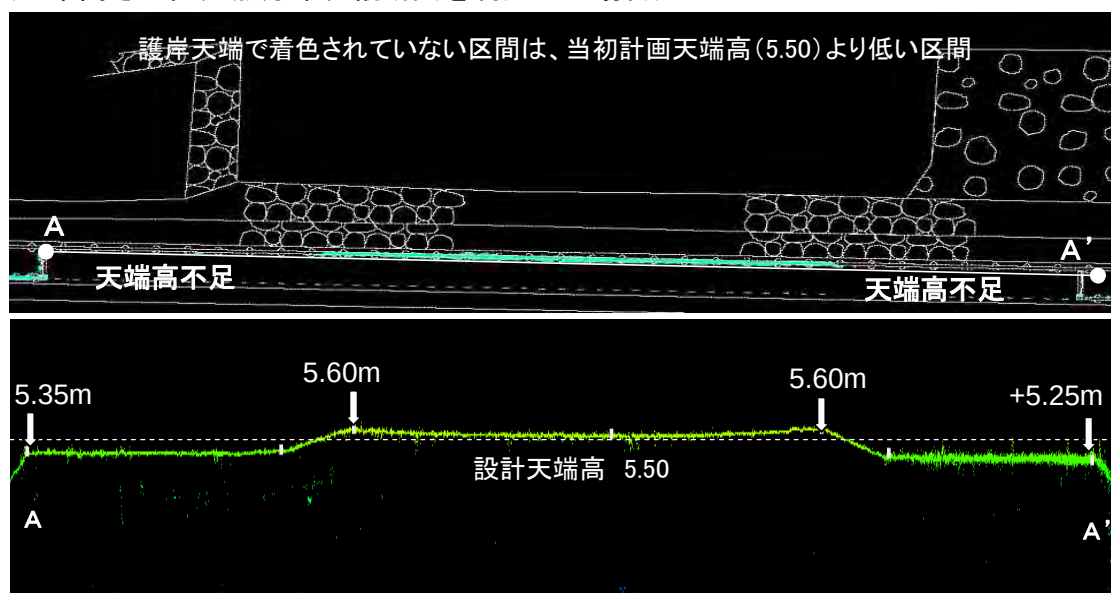


図7.1 天端の高さ計測例

② ひび割れ

○ひび割れは、垂直撮影および斜め撮影の単写真、オルソフォト画像より変状箇所・範囲を検出する。

注) 高度 3m で 0.2mm 以上まで検出可能であるが、飛行の安全面から高度 10m で 1mm 以上までの検出を標準とする。

○ひび割れの長さは、オルソフォト画像より直線的に計測する。

■ ひび割れの検出例



図7.2 ひび割れの検出例

■ ひび割れ長さの計測例



図7.3 ひび割れ長さの計測例

③ 剥離・剥落・欠損

○剥離・剥落・欠損は、単写真、オルソフォト画像、標高区分図より剥離・剥落・欠損箇所・範囲を検出する。

○欠損の深さは、検出箇所について三次元点群データから計測する。

■ 剥離・剥落（被覆石）の検出例



図7.4 剥離・剥落の検出例

■ 欠損の検出、計測例

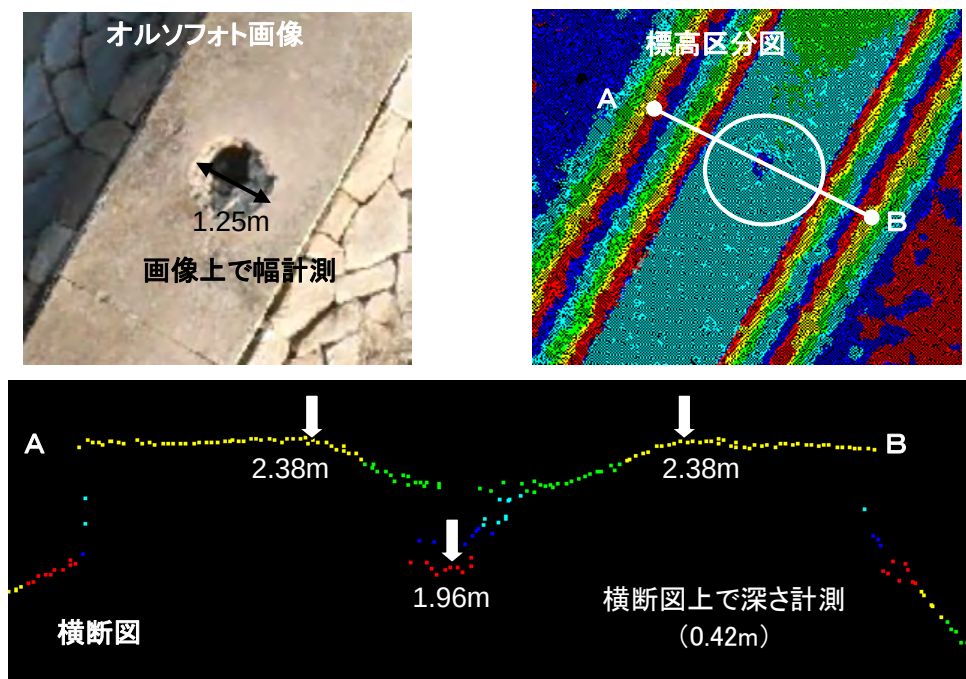


図7.5 欠損の検出、計測例

④ 鉄筋の腐食

○鉄筋の腐食・露出は、垂直撮影および斜め撮影の単写真、オルソフォト画像より錆汁箇所・範囲を検出し、露出長さを計測する。

■ 鉄筋の露出検出例

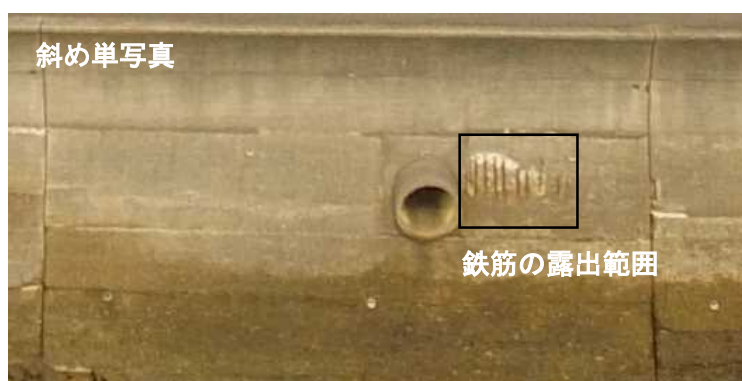


図7.6 鉄筋の露出検出例

⑤ 目地の開き、隣接スパンとの相対移動

○目地の開き、隣接スパンとの開き、平面的な相対移動量は、鉛直撮影および斜め撮影の単写真、オルソフォト画像より変状箇所・範囲を検出する。
○鉛直的な相対移動量は、三次元点群データから計測する。

■ 隣接スパンとの開き、隣接スパンとの相対移動量の計測例

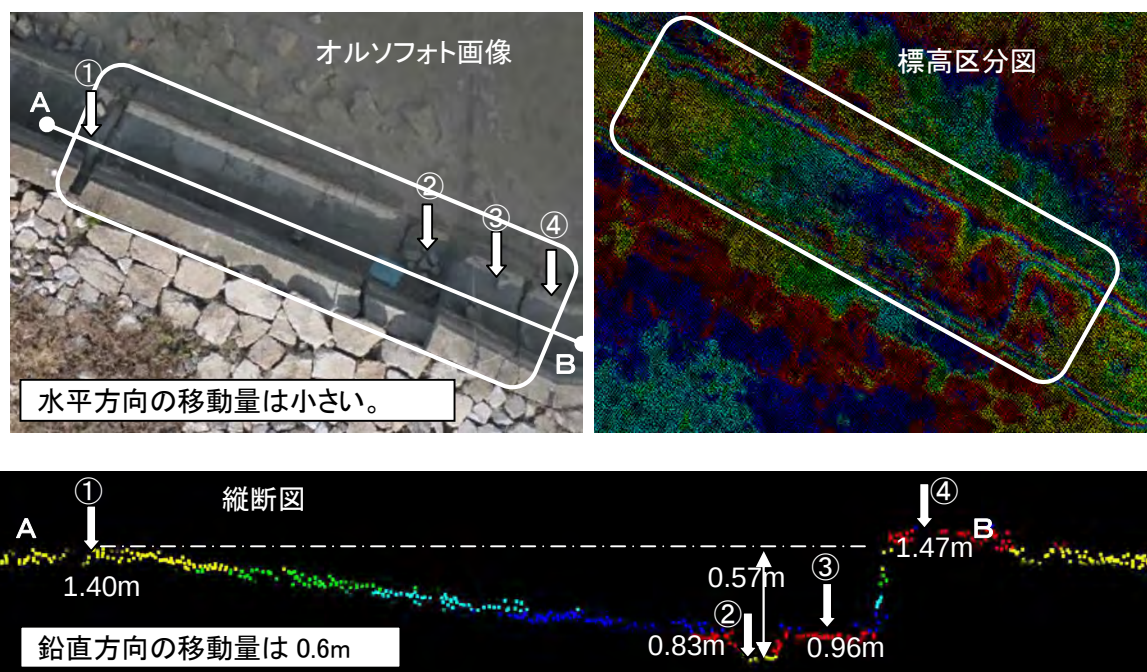


図7.7 隣接スパンとの相対移動量計測例

■ 目地の開き、相対移動量の検出例

○オルソフォト画像より、目地開き幅:10cm、ズレ幅 18cm

○横断図より、目地開き箇所の段差はほとんどないことが確認できる。

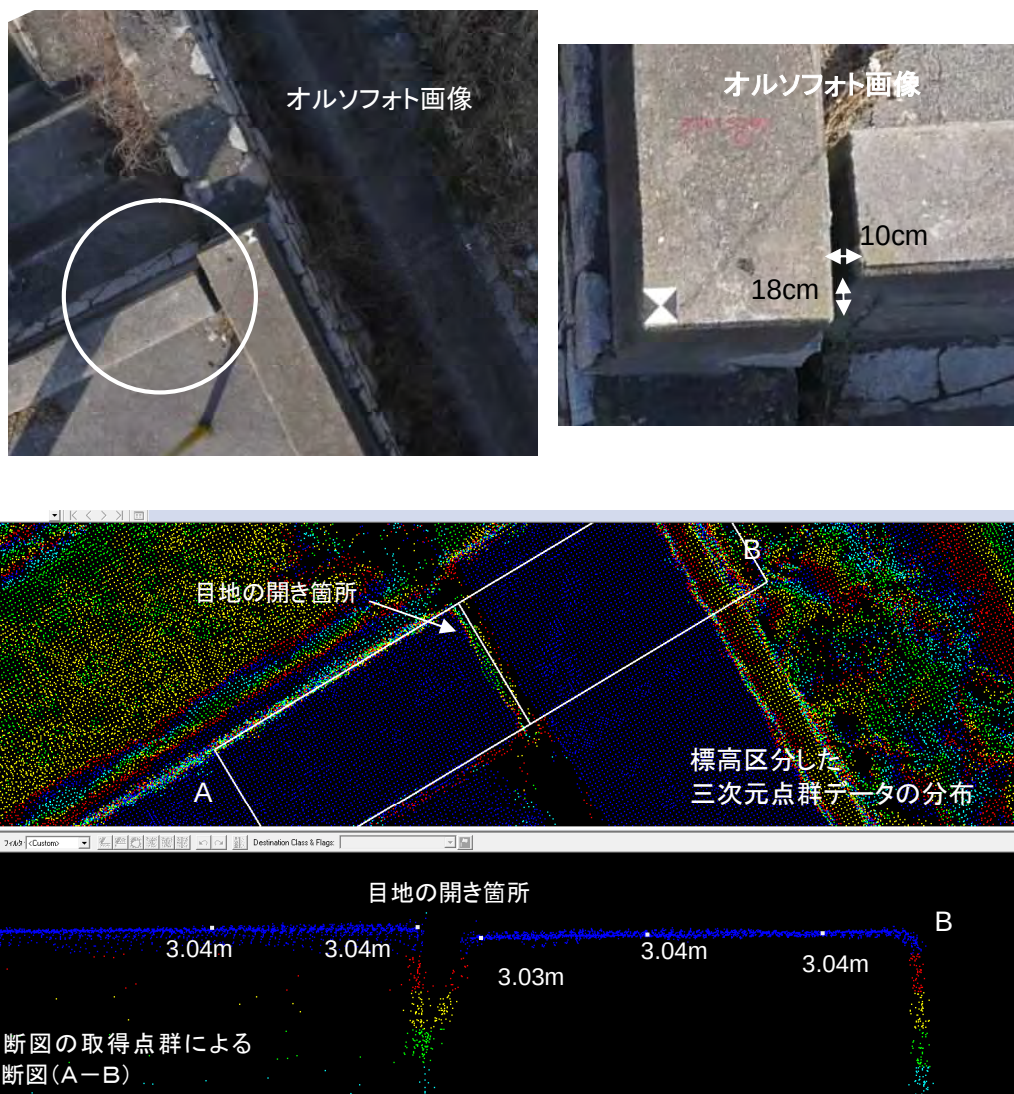


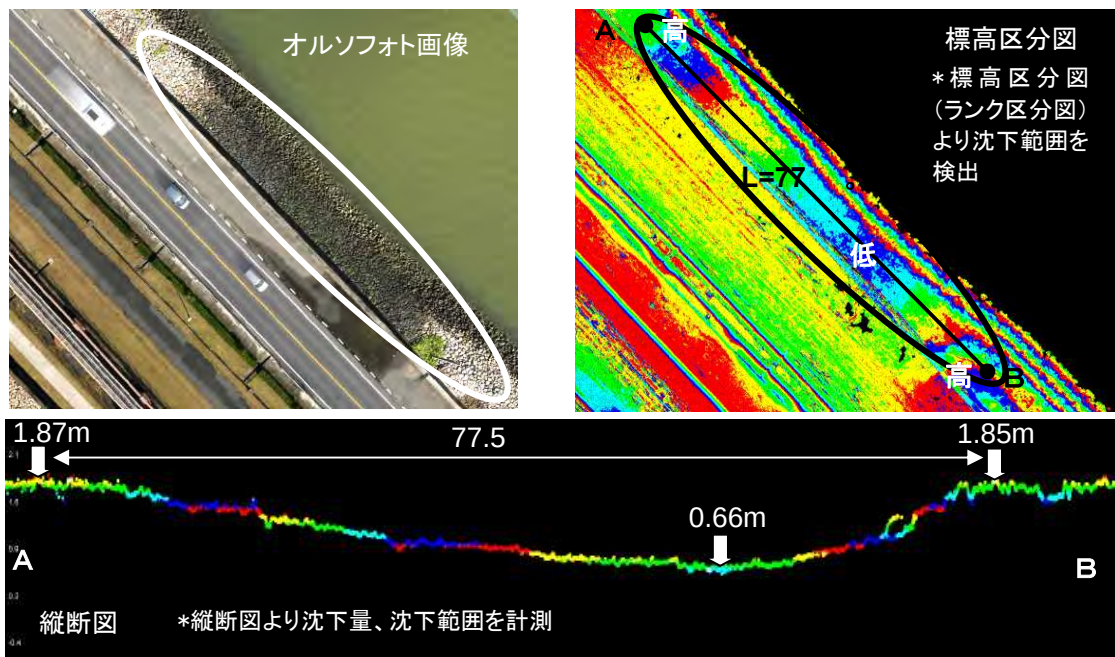
図7.8 目地の開き、相対的移動量の検出例

⑥ 沈下・陥没

○沈下・陥没箇所、範囲は、三次元点群データより作成した標高区分図、等高線から検出する。

○沈下量、陥没量は、基準高さ(設計高)との相対高、過年度計測高さとの差分を縦横断面図から算出する。

■ 沈下・陥没の検出例



標高区分図より、被覆石に沈下を検出され、その延長は 77.5m である。
縦断面図より、沈下部の最低標高が 0.66m で周囲との標高差が 1.2m である(沈下量 1.2m) である。

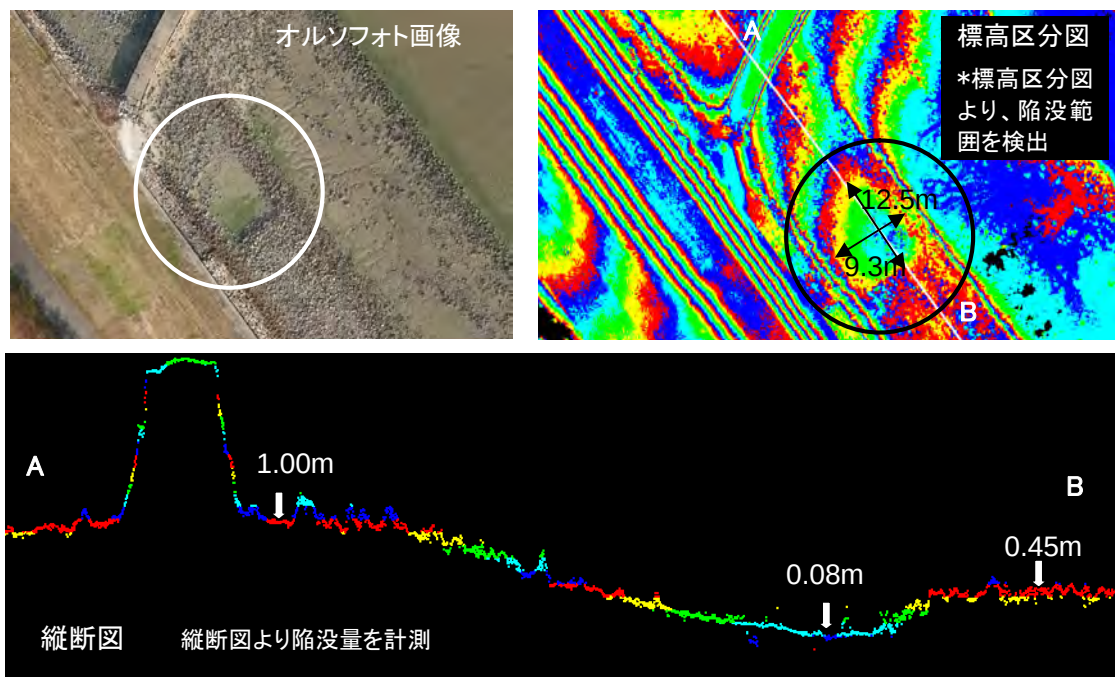


図7.9 沈下・陥没の検出例

⑦ 漏水

○漏水の痕跡は、垂直撮影および斜め撮影の単写真、オルソフォト画像より箇所・範囲を検出する。

⑧ 植生の異常(繁茂等)

○植生の繁茂範囲は、単写真、オルソフォト画像より検出する。

○樹木等の高さは、標高断面分布図(断面図)により計測する。

■ 植生繁茂状況の検出例

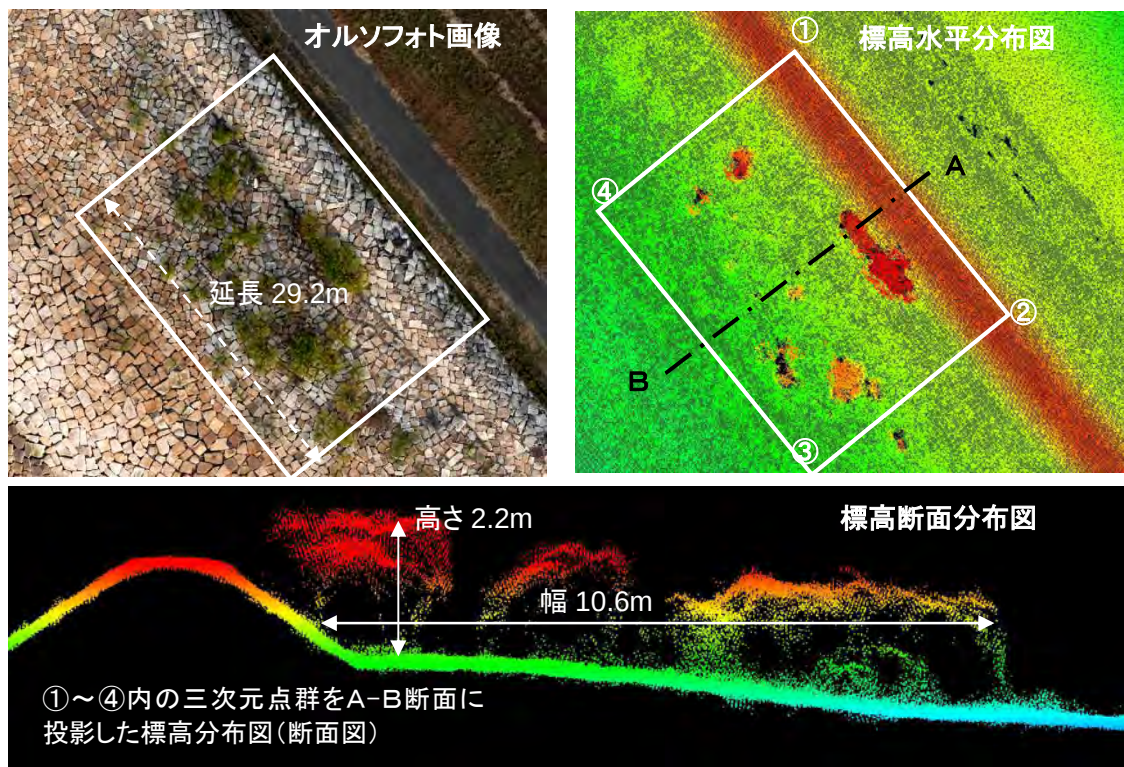


図7.10 植生の繁茂状況の検出例

⑨ 侵食・堆積（砂浜）

- 侵食・堆積箇所、範囲は、三次元点群データより作成した標高区分図、等高線から検出する。
- 侵食・堆積量は、横断面図から平均断面法により算定する。

■ 堆積区域の検出例

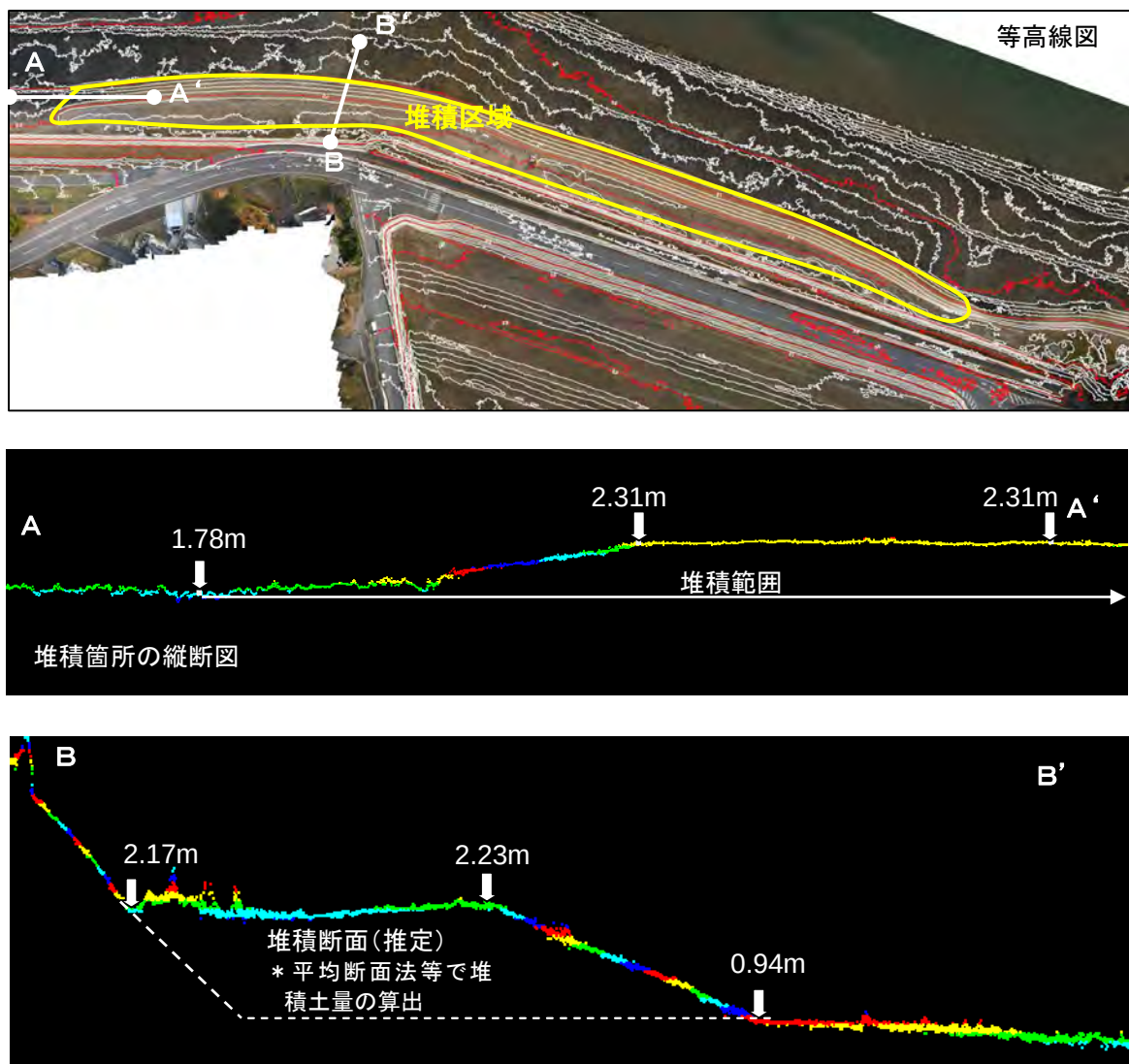


図7.11 堆積区域の検出例