

# 九州三次元河川管内図の仮想空間で実施した 堤防等河川管理施設の点検・評価の試行

## 目次


1.背景	1
2.点検・評価の視点	2
3.点検対象区間の概要	3
4.点検の試行	6
5.点検の高度化に向けたデータ処理等の試行	16
6.まとめと今後の課題	23

## 堤防等河川管理施設の維持管理の現状と課題

- 国土交通省は、堤防等河川管理施設の状態を良好に維持し、治水上の安全性を確保するために、河川堤防や水門・樋門・排水機場等の河川構造物について定期的あるいは出水等の外力作用後に現地点検を実施し、その安全性を評価し、必要な対策を実施しているところ。
- 九州地方整備局は、河川管理延長1,309.9km、排水機場・水門等の構造物3,156箇所(令和4年3月時点)と膨大な施設を管理しており、毎年の現地点検では約2万箇所を越える変状を確認し、全ての評価を終了するまでに数ヶ月を要している。

## 本報の報告事項

- 予防保全型の河川管理を実現するためには、より一層の点検・評価の効率化、対策実施までのプロセスの最適化が必要。



「防災・減災,国土強靱化のための5ヶ年加速化対策」の施策の一つとして、全国の1級河川を対象に令和7年度までに三次元河川管内図の作成が進行中。河川管理をはじめ、設計、施工・調査段階の様々な段階でその活用が期待



▲三次元河川管内図の作成事例

- 点検・評価から予防保全の対策までのプロセスの最適化を目的に下記事項を実施したので報告
  - ① 実河川の三次元河川管内図上の仮想空間で河川の点検・評価の試行結果
  - ② その実現性及び実装に向けた考えられる技術開発の方向性

### 本報における試行事項と点検の着眼点

- 三次元河川管内図を作成済みの川内川を対象に下記観点から机上点検を実施し、維持管理への適用性について評価を試みた。

#### ■点検の試行

##### ①目視による変状把握の可能性

- 直接確認：PCモニタ上で目視により変状を直接確認できるか
- 間接確認：コンター図などの補助情報を用いて変状を間接的に確認できるか

##### ②確認した変状の危険度把握の可能性

- 計画堤防断面の機能維持に対する影響を確認できるか
- 発見された変状の今後の進行を想定できるか
- 河川構造物の変位を確認できるか

#### ■点検の高度化に向けたデータ処理等の試行

##### ③画像処理による変状把握の可能性

- 画像処理技術により視覚情報を強調して変状を把握できるか

##### ④エッジ処理による地物データの境界把握の可能性

- 点群データから構造物の境界情報(エッジ)を適切に把握できるか

##### ⑤点群密度向上の試行

- 計測での工夫により点群密度を向上できるか

# 3. 点検対象区間の概要

- 検討対象河川区間は、ア)ALBによる三次元点群データの所在、イ)既往点検での変状確認状況、ウ)水衝発生の有無(洗堀により河道場が危険となる可能性がある)、エ)市街地(資産)の有無を勘案して選定

## 検討対象区間

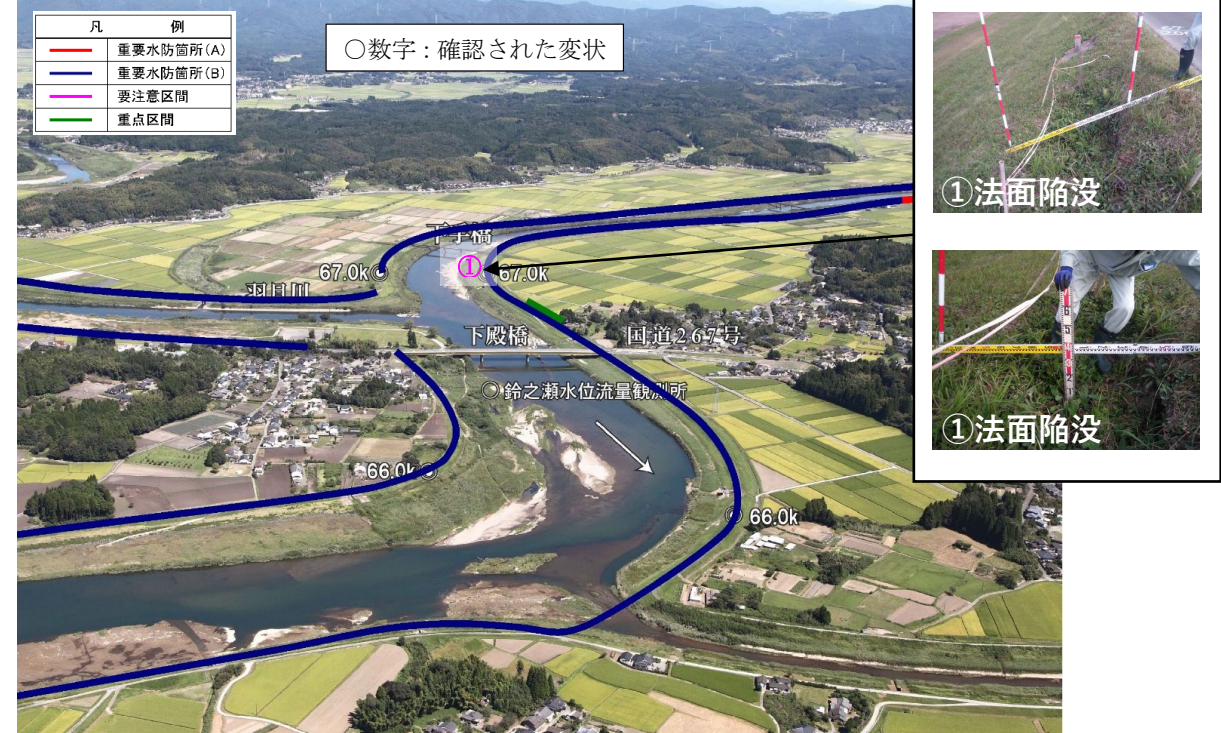
No	区間	抽出条件との合致			
		点群有	変状有	水衝有	資産有
1	16.6k~17.4k	●	●	●	●
2	67.0k~67.4k	●	●	●	●
3	81.0k~81.8k	●	●	●	●

### ◆確認された変状

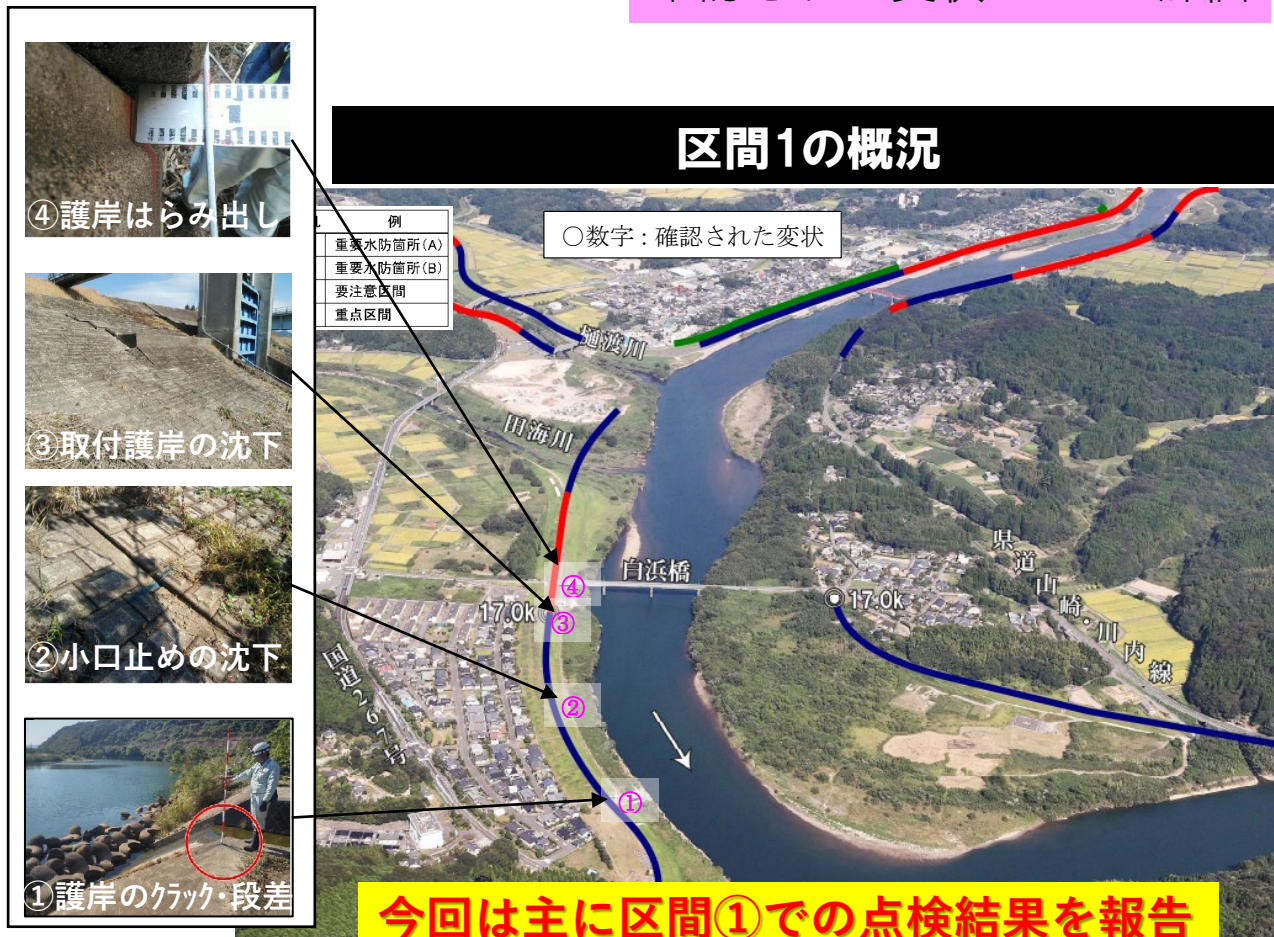
- 区間1：数cmオーダーの変状(クラック、沈下など)
- 区間2：陥没幅1.6~2.0m、陥没深0.4m程度
- 区間3：法崩れ幅5~10m、深さ1m程度

確認された変状は全てb評価

## 区間2の概況

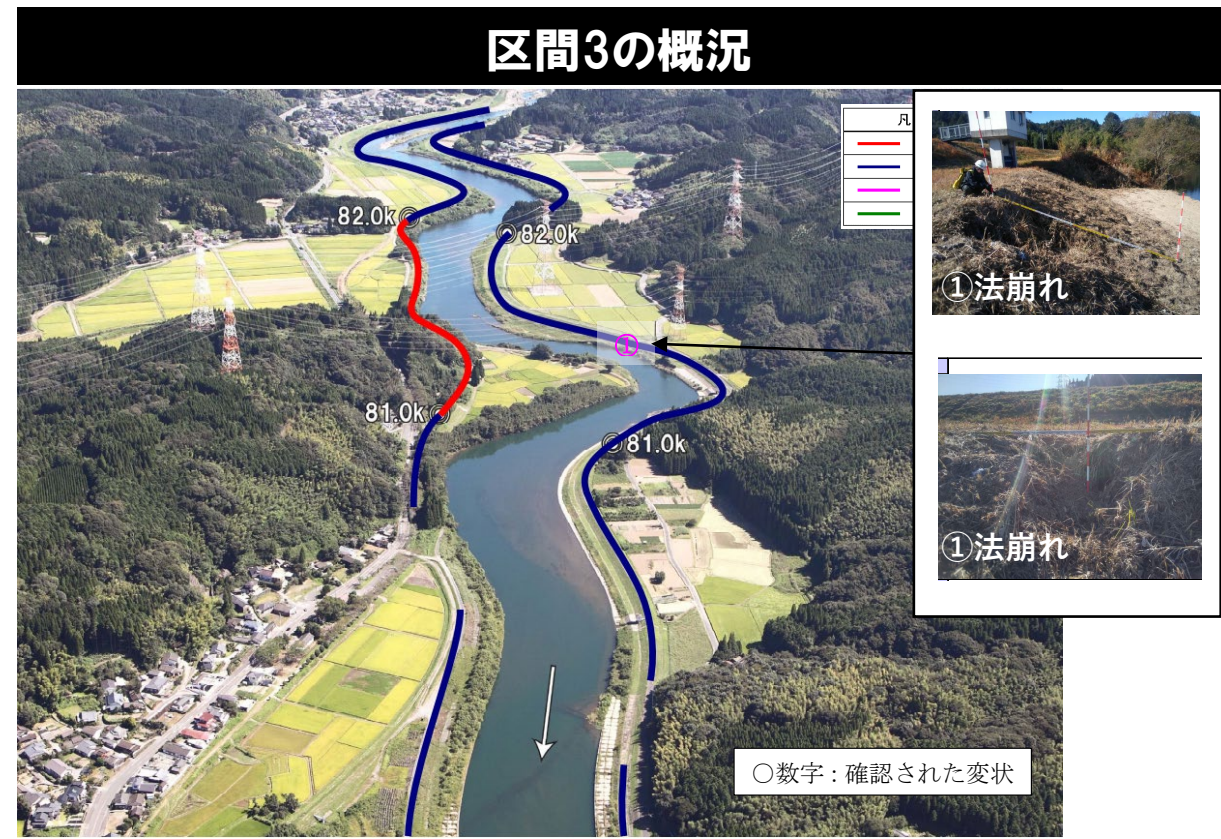


## 区間1の概況



今回は主に区間①での点検結果を報告

## 区間3の概況



### 3. 点検対象区間の概要

- 検討対象区間1で確認された変状は護岸の亀裂、小口止めの沈下、護岸沈下、ブロックのはらみだし等、比較的小規模な変状であり、箇所別評価は全てb評価とされている(区間全体の総合評価もB評価)。



①b評価(構造物)



川表取付護岸の亀裂  
(樹木成長により拡大の恐れ。函体に損傷なし。)

②b評価(堤防)



川表の護岸の小口止めの沈下  
(天端クラックからの雨水が原因と推察。)

③b評価(構造物)



川表の胸壁部周辺の護岸沈下  
(護岸尻部に土砂堆積。雨水による裏込材の流出と推察)

④b評価(堤防)

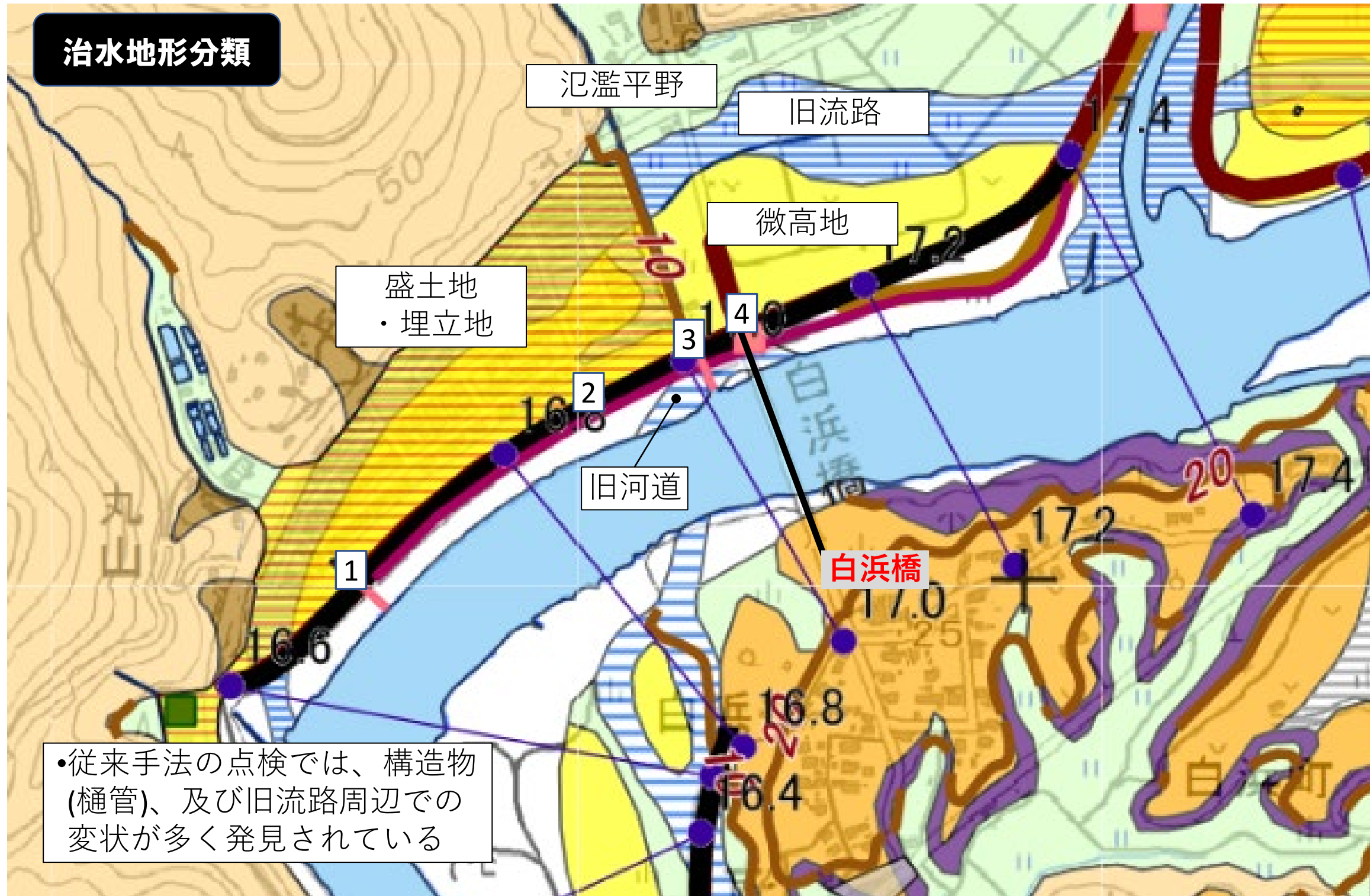


川裏のブロック積みのはらみだし  
(進行なし。周辺及び表法面に異常なし。)

### 3. 点検区間の概要

#### 【治水地形分類との関係】

- 確認されている変状の多くは旧河道や構造物周りの弱点部で発生
- 破堤リスクが高い箇所での変状のため、点検時には変状傾向の変化等に留意が必要

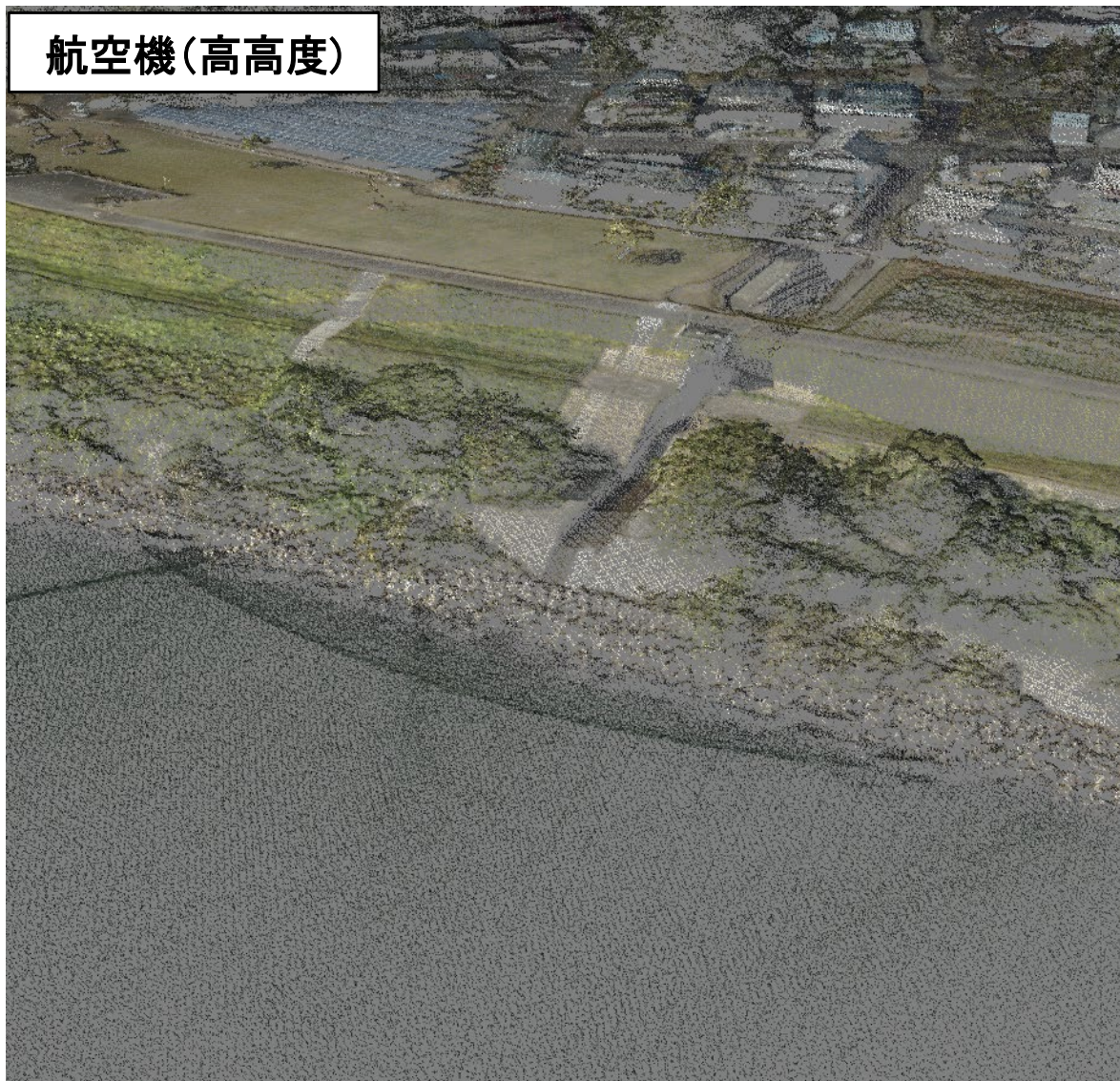


## 4. 点検の試行 ①目視による変状把握の可能性／直接確認

- 点群データ(色付)より直接目視による変状把握を試行
- 航空機による計測点群では直接目視が困難であったため、UAVによる低高度計測を実施して試行

点群密度：4～数10点/m<sup>2</sup>

航空機(高高度)



密度が小さく変状の目視確認は困難

点群密度：100点/m<sup>2</sup>以上

ドローン(低高度)



高密度だが小規模変状の確認は困難

- ドローンによる低高度レーザー測量のデータであっても現地目視により確認されている小規模な変状(幅数cm程度の目地の段差)の確認は困難

## ①b評価(構造物)

### 現地調査



現地点検

### ドローン(低高度)



変状箇所①の川面取付護岸の  
クラック周辺の点群による拡大画像(ドローン)

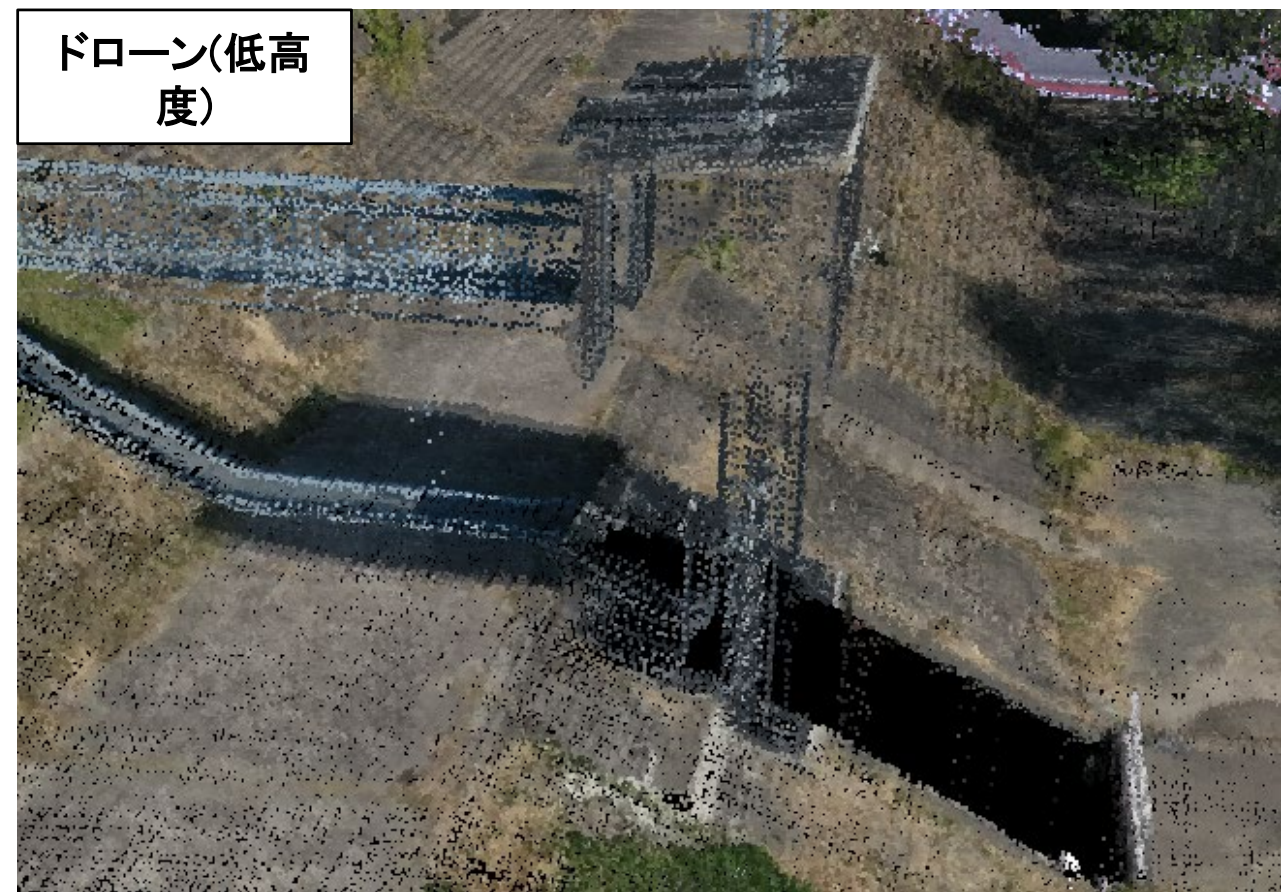


- ドローンによる低高度レーザー測量のデータであっても現地目視により確認されている小規模な変状(幅数cm程度の段差)の確認は困難

## ③b評価(構造物)



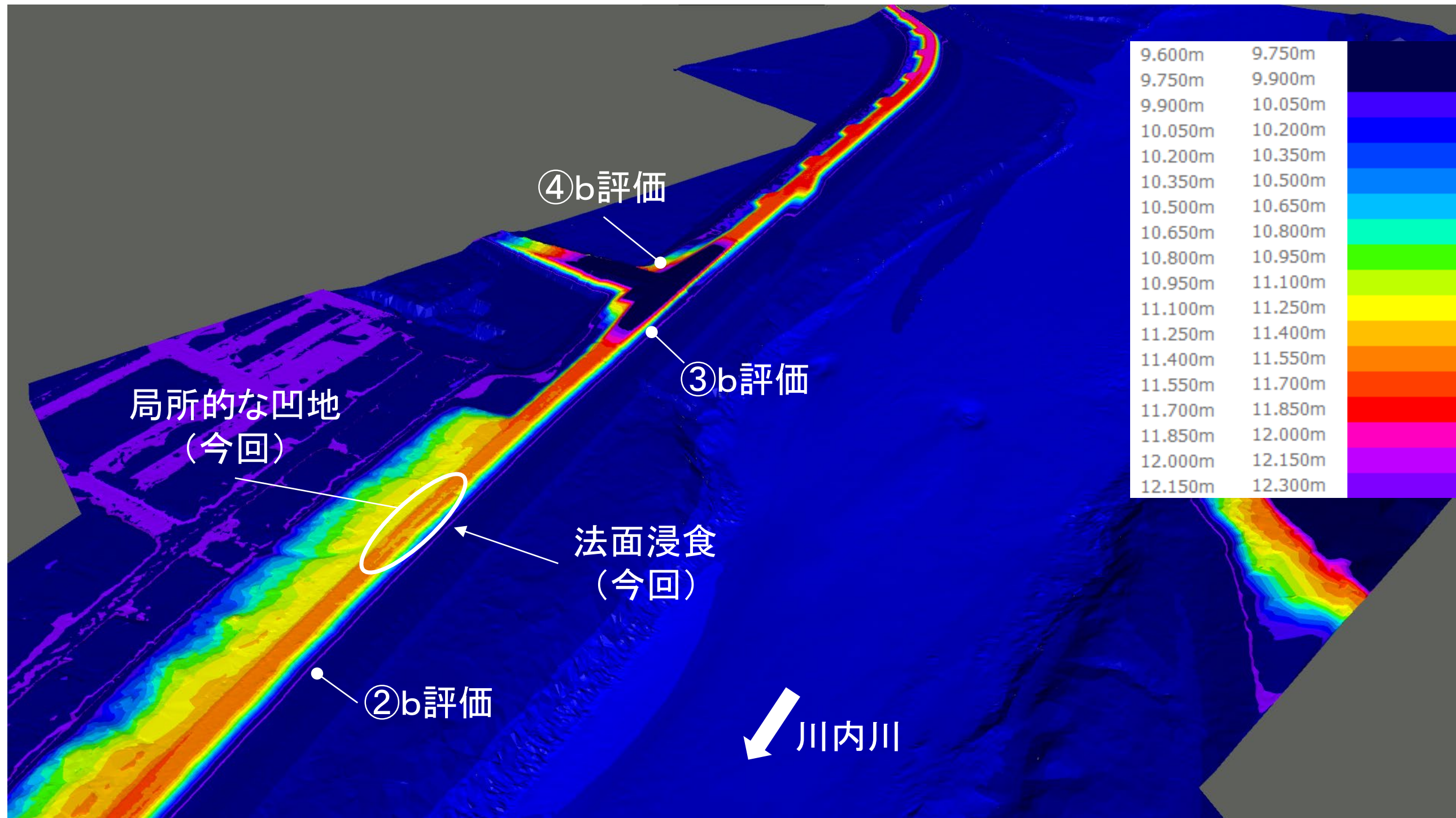
現地点検



変状箇所①の川面取付護岸のクラック周辺の点群による拡大画像(ドローン)

## 4. 点検の試行 ①目視による変状把握の可能性／間接確認


- 現地における目視困難な情報を可視化することによる変状把握の可能性について確認
- 補助情報(コンター図)を用いた堤防天端における変状の確認を試行




標高暖彩図(UAV計測データによる)

# 4. 点検の試行 ①目視による変状把握の可能性／間接確認

- 現地で確認されている護岸目地の段差について、直接視認は困難であったが近傍の堤防天端の不陸を確認
- 必ずしも不陸箇所の近傍で護岸変状が確認されている訳では無かったものの、不陸に着目することで周辺で護岸変状などを発見できる可能性があることが示唆


変状箇所	点検
②	 <p>PCモニタ上の直接目視でも護岸の目地は確認出来るが、段差までの確認は困難。 一方、変状箇所近傍では天端不陸が発生</p>

③	 <p>PCモニタ上の直接目視でも護岸の目地は確認出来るが、段差までの確認は困難。 天端不陸は変状箇所から離れており、直接的な影響があるかは不明</p>
---	--

# 4. 点検の試行 ①目視による変状把握の可能性／間接確認

- 川裏ブロックのはらみだしは、点群データでの確認も堤防天端不陸との関係把握も困難
- 一方、今回新たに確認された堤防天端不陸箇所では、接続法面での侵食発生を確認
- 不陸に着目することで周辺で護岸変状などを発見できる可能性があることが示唆

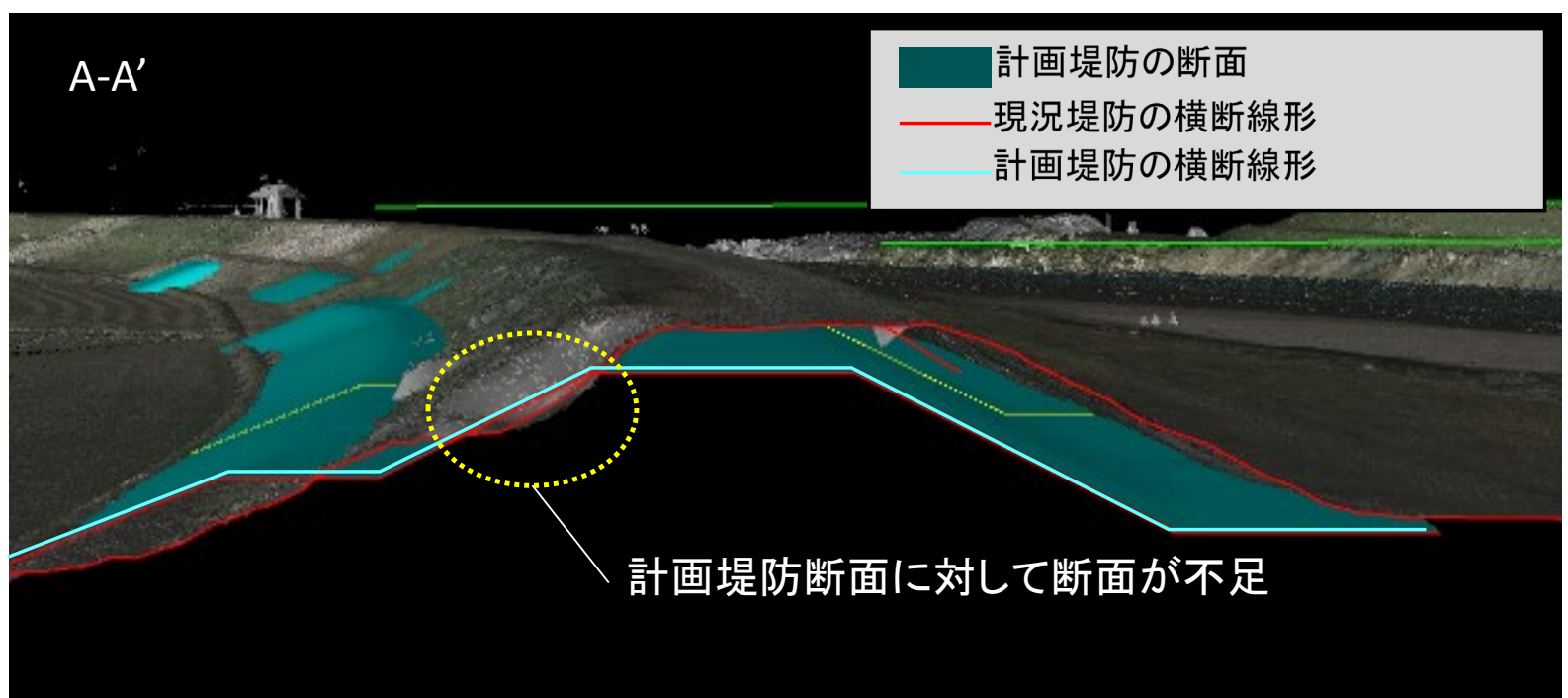
変状箇所	点検
------	----

④	 <p>PCモニタ上の直接目視であってもブロックのはらみだしの確認は困難。天端不陸との関係も明確ではない</p>
---	---

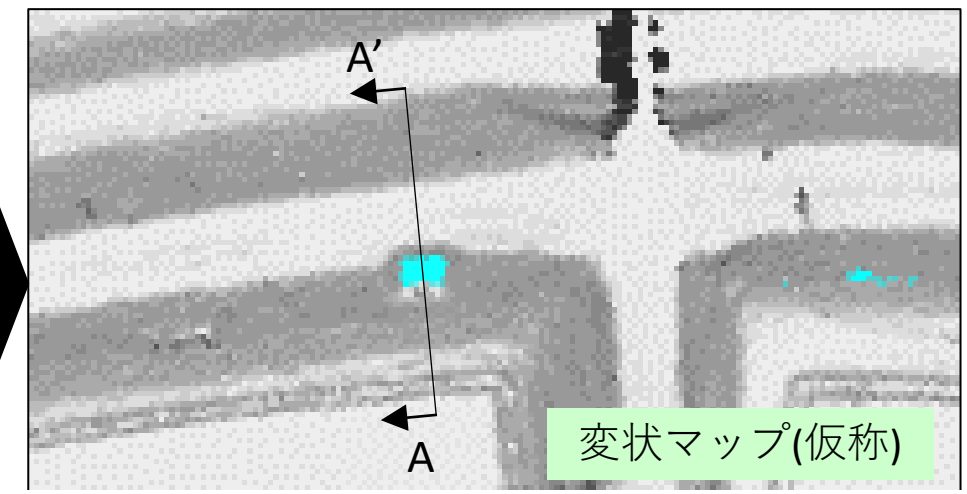
今回	 <p>既往堤防点検では報告されていなかった堤防天端の局所的な不陸を確認 周辺状況を現地確認したところ、不陸面と接続する堤防法面では表層の浸食が発生していることを確認</p>
----	---

# 4. 点検の試行 ②確認した変状の危険度把握の可能性／堤防機能維持への影響

- 三次元で計測された堤防形状と計画堤防断面とを比較し、変状が堤防機能に影響を及ぼしているか(危険度の高い変状か)否かについて判断可能かを評価
  - 定期横断測量間で確認されている変状であっても計画堤防形状を侵しているか否かを容易に把握できることを確認 ⇒ 断面不足箇所のスクリーニングへの活用が期待
- ※計画堤防断面の平面位置座標が明確にされていない場合、堤防位置を調整して影響評価する必要がある。

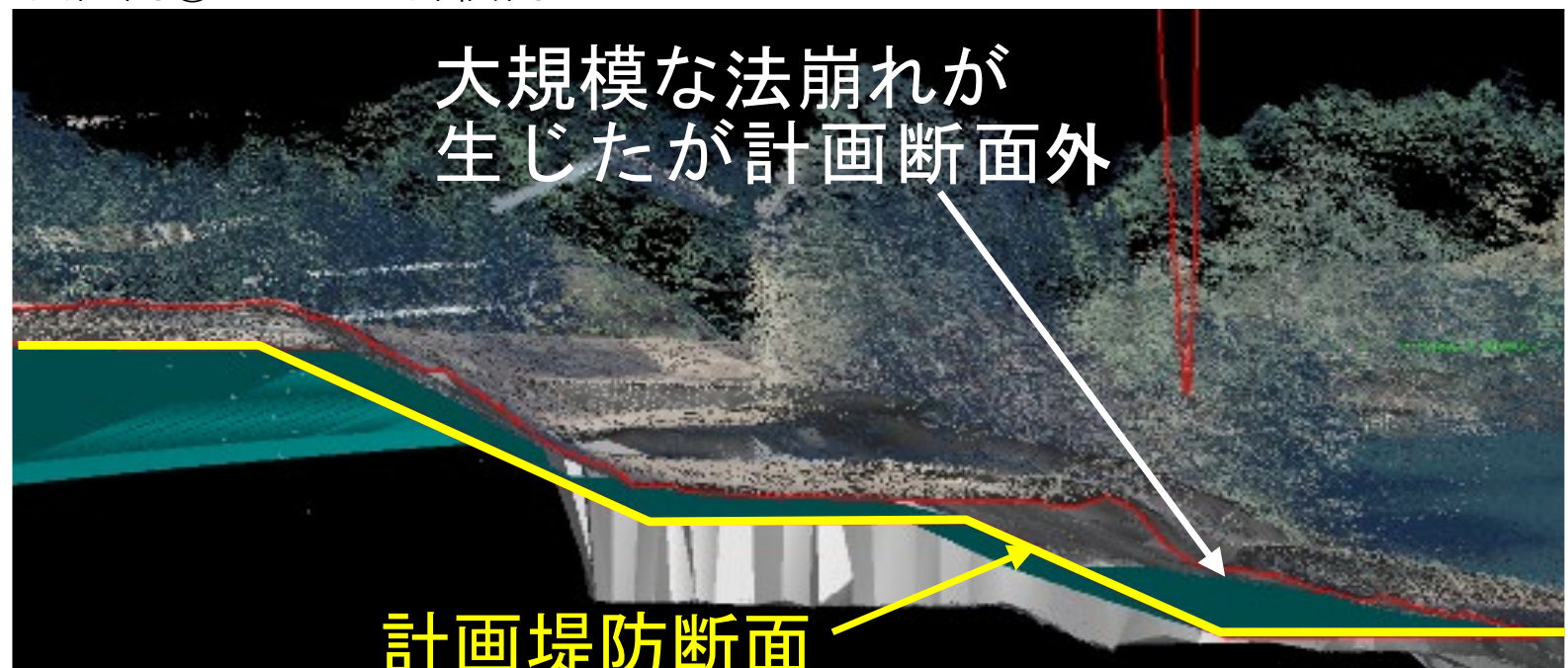


※区間②における評価例



計画堤防断面との差分を面的に出力することで、堤防機能に影響を及ぼす変状位置を視覚的に容易に把握することも可能

※水色：変状が計画堤防断面を侵している箇所



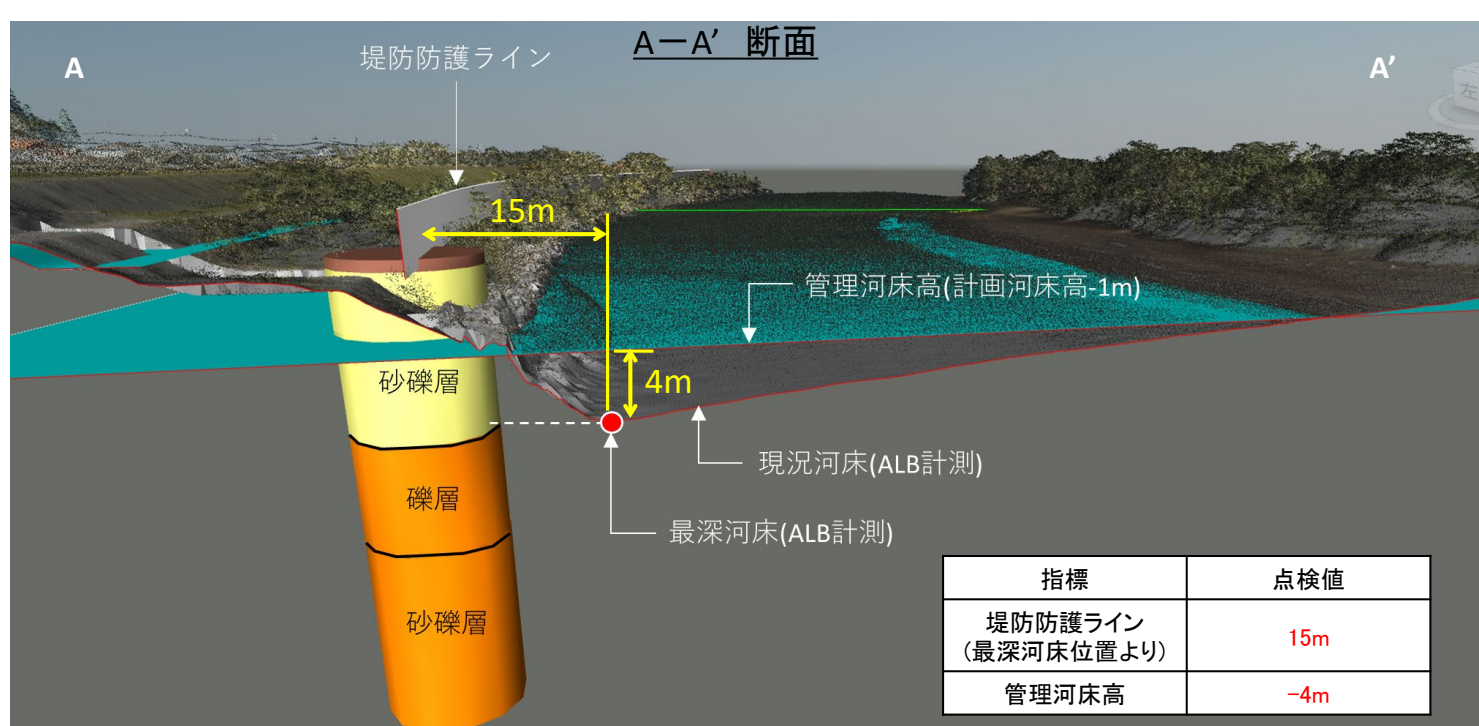
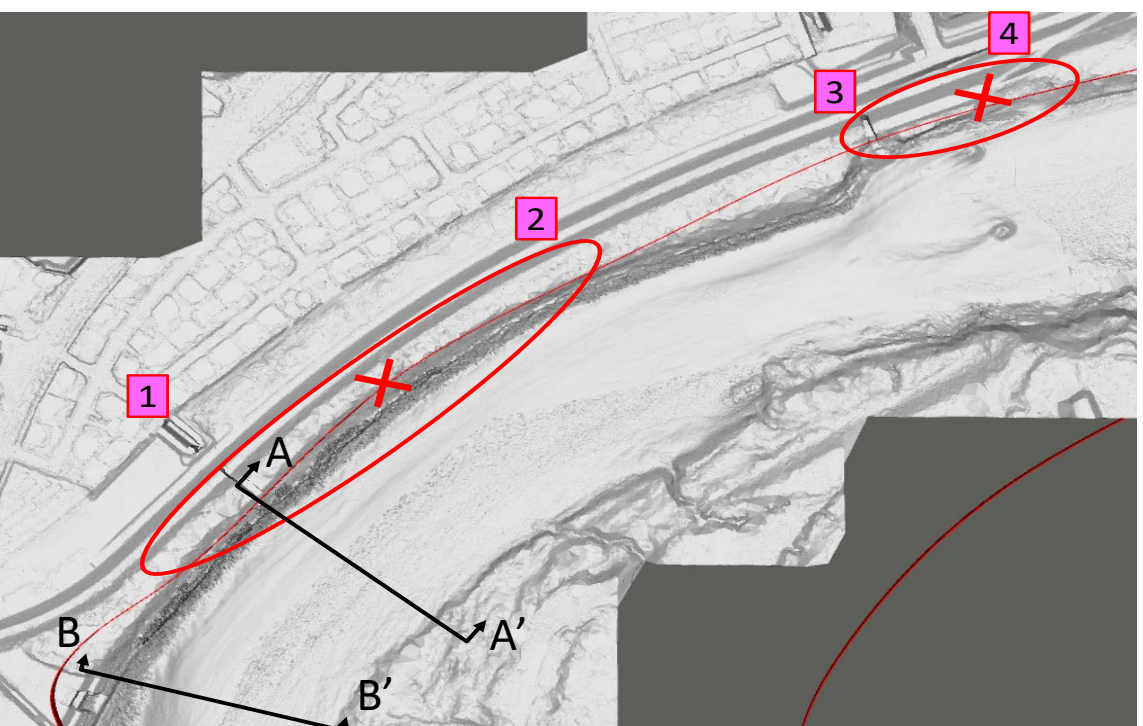
※区間③における評価例



一見大規模な変状であるが、計画堤防断面の外で生じているため、経過観察が妥当

変状が確認された区間の河道変化状況、及び今後の変化特性を把握するため、三次元計測した地形データに対し堤防防護ライン、護岸基礎高(計画河床高-1mにて想定)、近傍ボーリング調査結果、既往横断測量等の情報を重ね合わせた。

⇒当該区間は今後河床低下が進行する可能性があり、確認されている変状への影響も懸念されるため、重点的な監視(b評価ではあるが監視優先度を上げる対応)が必要であることが示唆



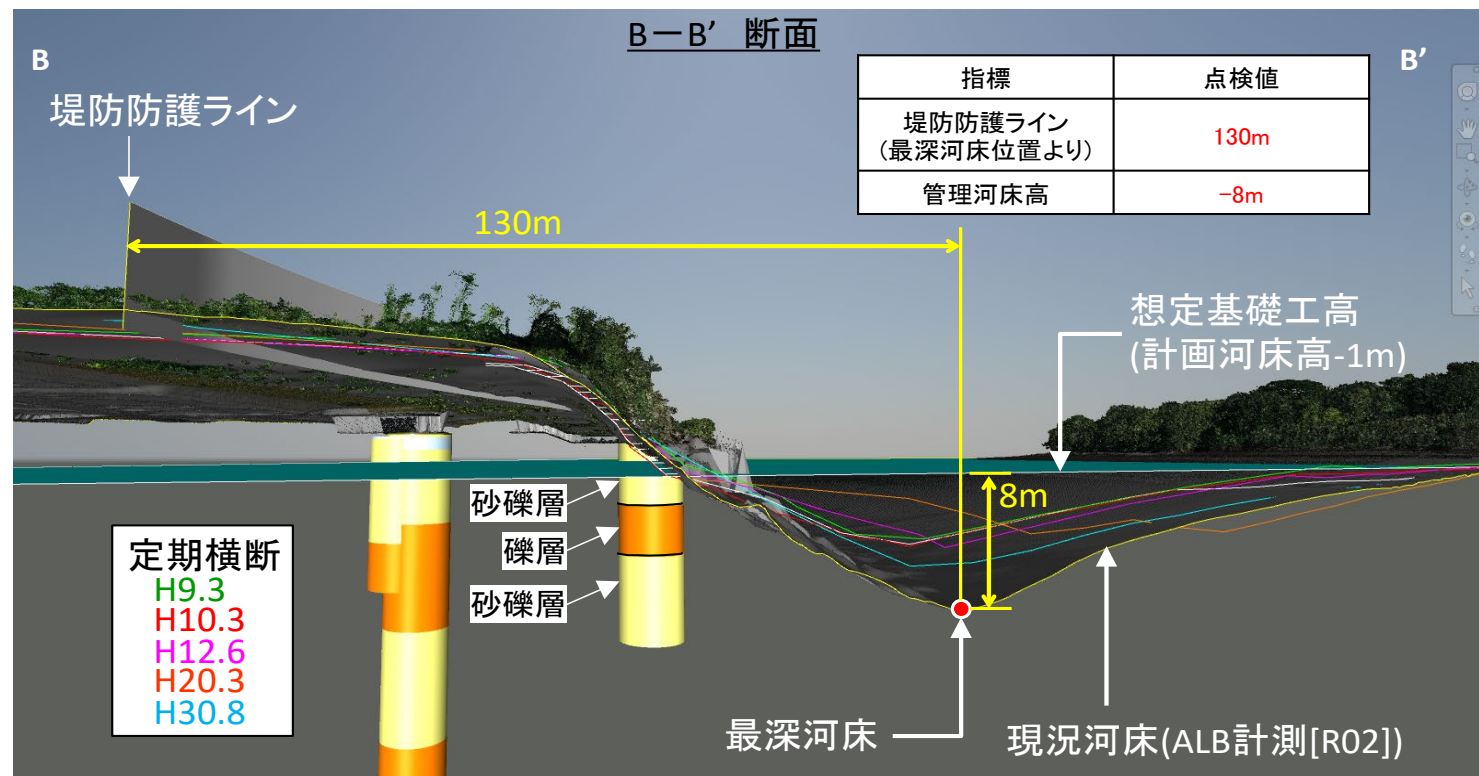
**A-A'断面**：既設樋管周辺で整理

- ・滯筋位置が堤防防護ラインまで近接
- ・最深河床高は護岸基礎高以深に位置、また礫層に到達しているため、粒径によっては急激な河床低下の進行も懸念

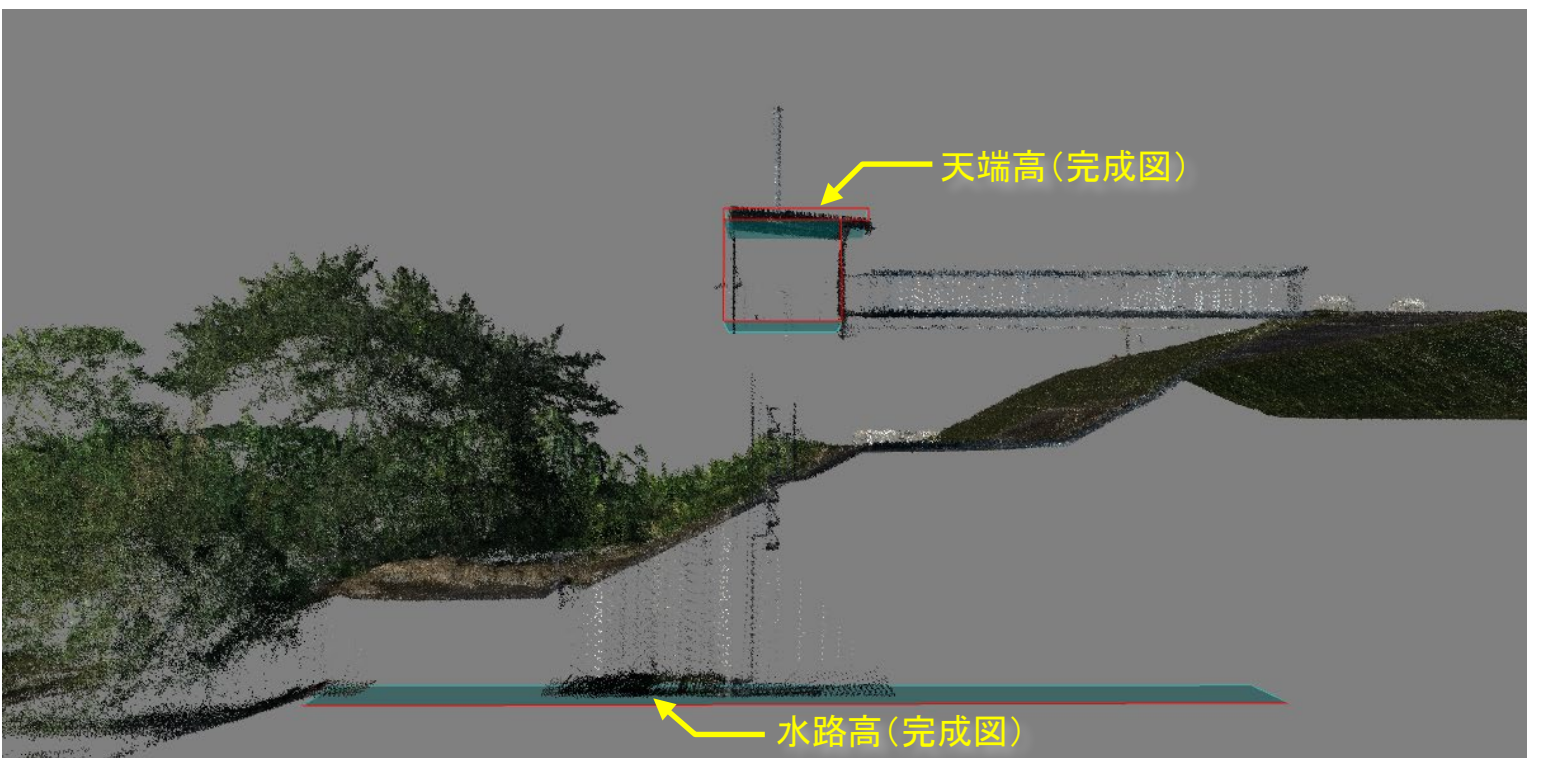
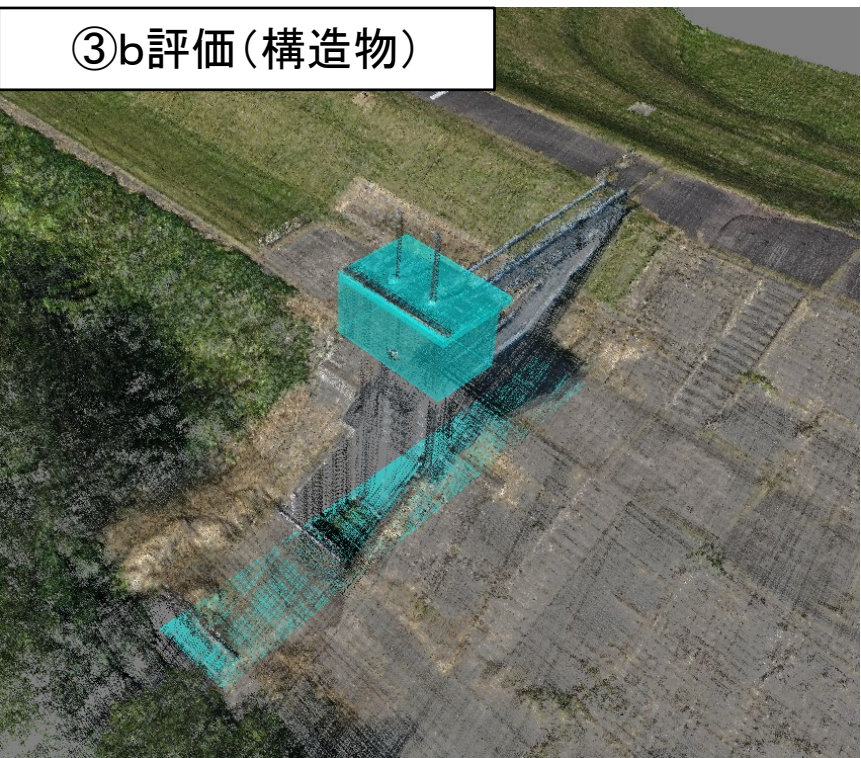
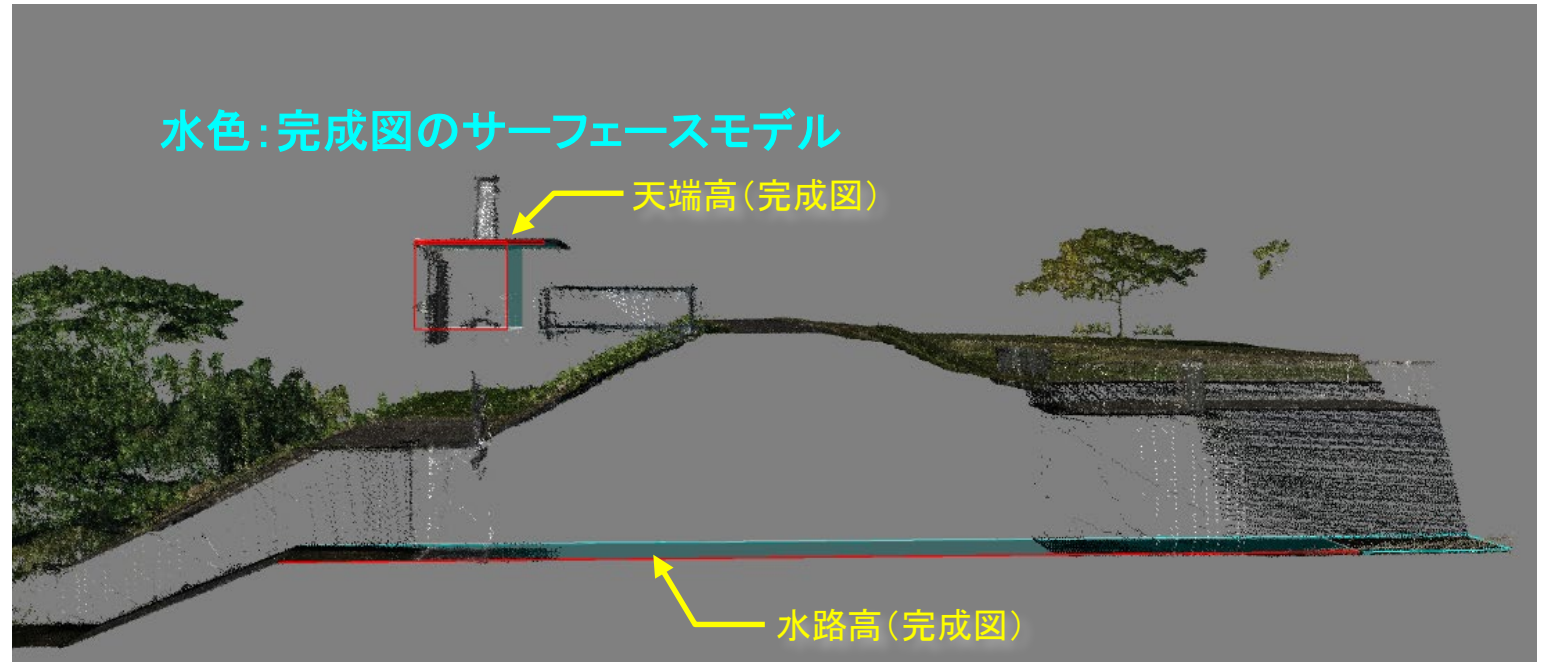
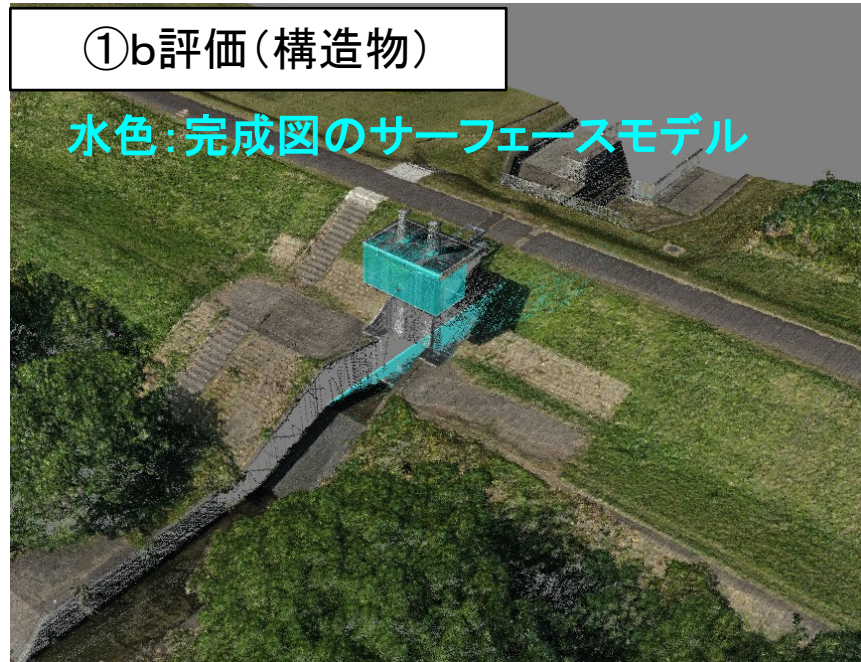


**B-B'断面**：定期横断側線と同位置で整理

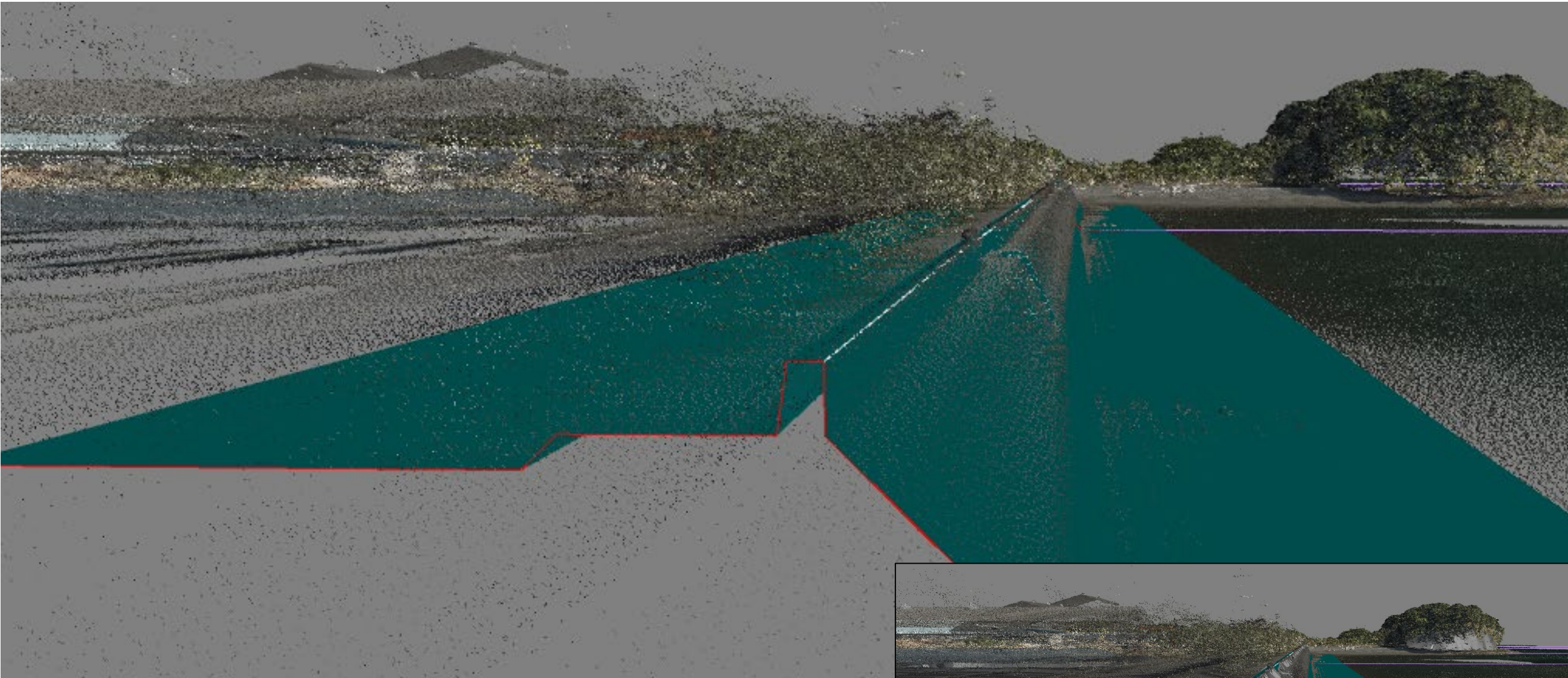
- ・定期横断測量(経年)を追加することにより、これまでの河床変動傾向も併せて今後の変動状況を想定
- ・H30までは局所洗堀が抑制されていたが、R2では急激に進行 ⇒ 最深河床が砂礫層に到達した可能性が示唆され、急激な河床低下の進行も懸念



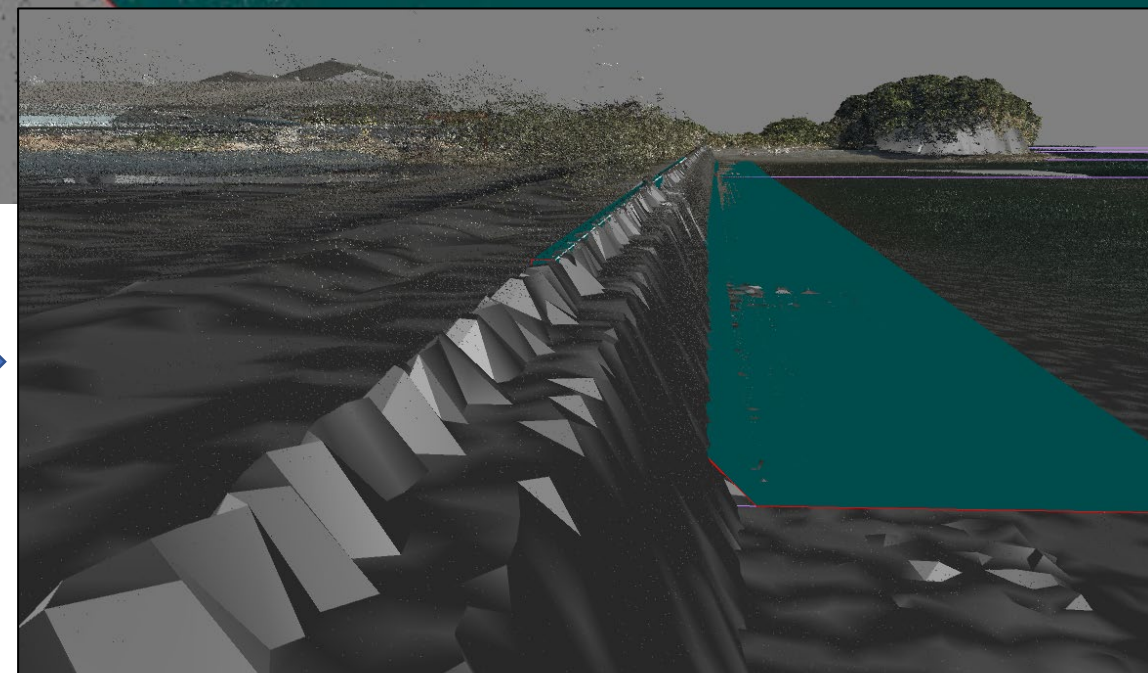
- 河川構造物について、設計図書より構造物サーフェースモデルを構築し、三次元計測データと比較  
 ※計測データは、主に構造物上方から発射されたレーザーにて構成されるため、構造物の天端や水路床の計測データと設計標高とを比較
- 点群データの取得精度(高さ方向の誤差)の影響もあり、明確に把握することは困難であるが、サーフェースモデルのような計測データと比較対象となる基準があれば変状把握は可能



- パラペットのような小規模構造物は、天端幅が小さいため高高度からのレーザー計測では天端面における点群密度が低すぎ、構造物サーフェースモデルとの形状比較が困難であった。  
⇒点群密度の向上が必要



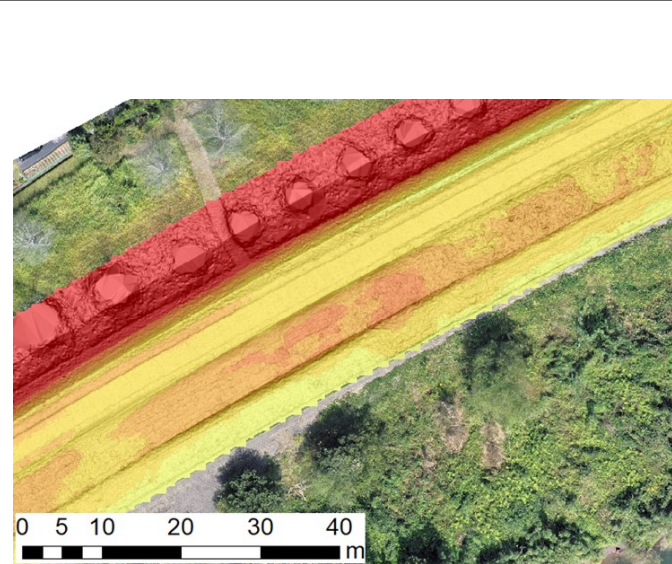
- 計測データを用いてパラペット構造の三次元モデル化を試みたが、点群密度が低いため天端面や構造物のエッジ(天端と側面との境界線)を適切にモデル化することは困難であった



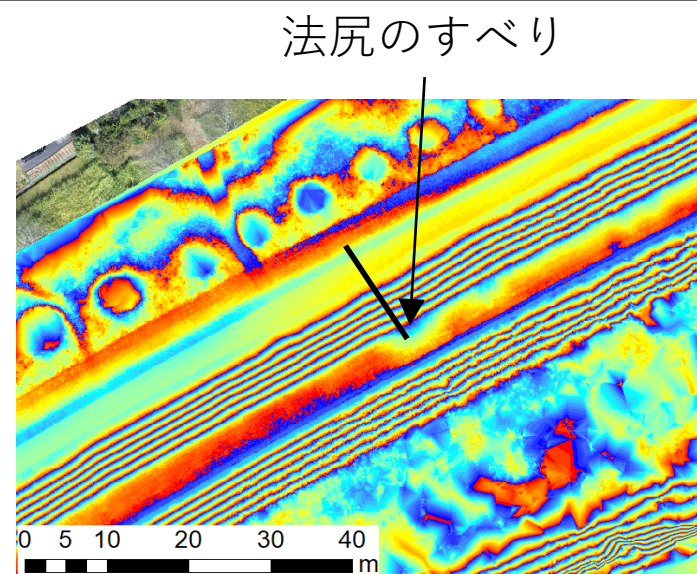


# 5. 点検の高度化に向けたデータ処理等の試行／画像処理による変状把握の可能性 16

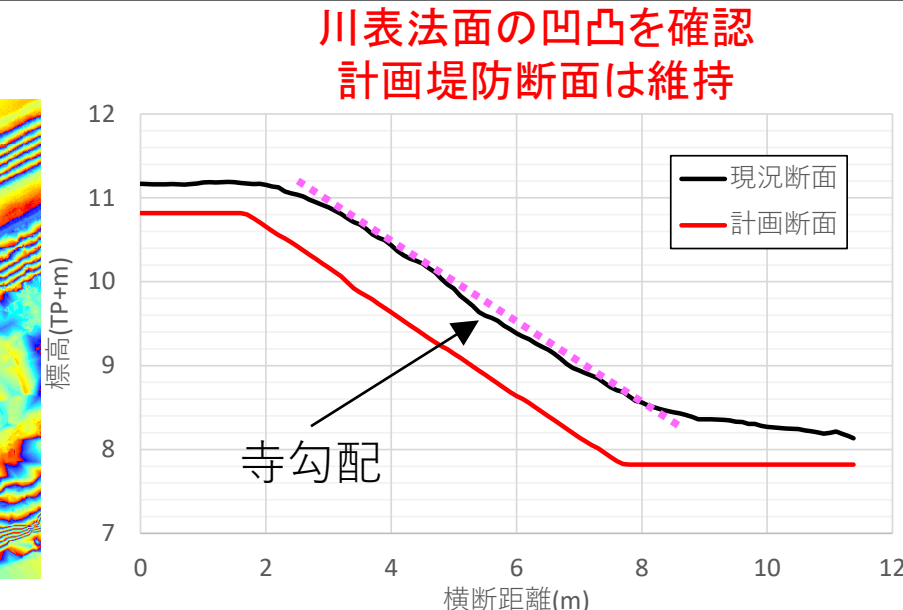
- 堤防天端などはコンター図により不陸などの変位把握が比較的容易だが、傾斜している法面では困難
- 現地点検による土堤点検では、0.02m以上の抜上りや護岸被覆境界付近の段差、特殊堤などの目地の開きを確認していることに着目し、微小な形状の可視化による変状把握を試行  
⇒点群データから標高0.02m毎に色を変え、0.5mごとに繰り返し色のパターンを繰り返す連続標高図にて地形変化を可視化。これにより色彩の変化箇所に変状が発生しているものと想定できる。
- 試行の結果、法面の寺勾配化や天端の傾斜など、過去の河川巡視で確認されていない堤防の変状を確認



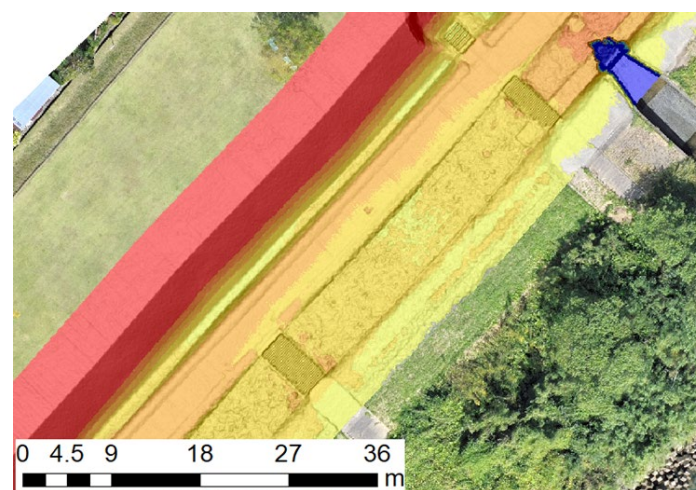
現地形-計画堤防との差分図



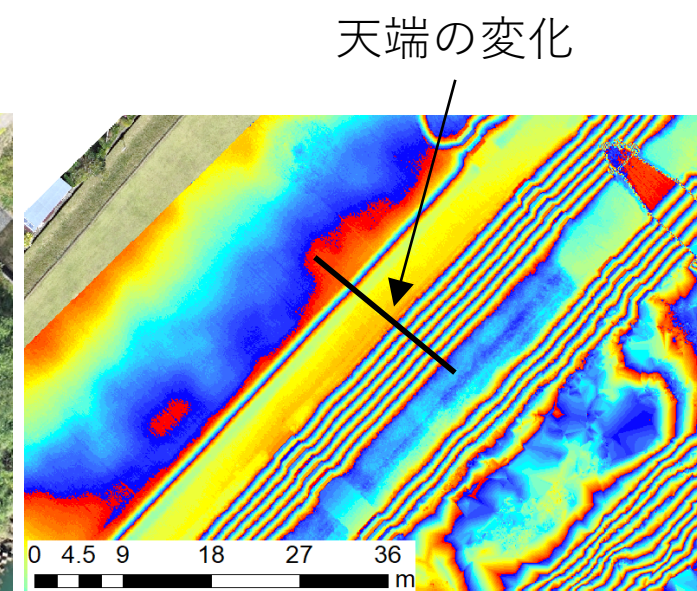
連続標高図



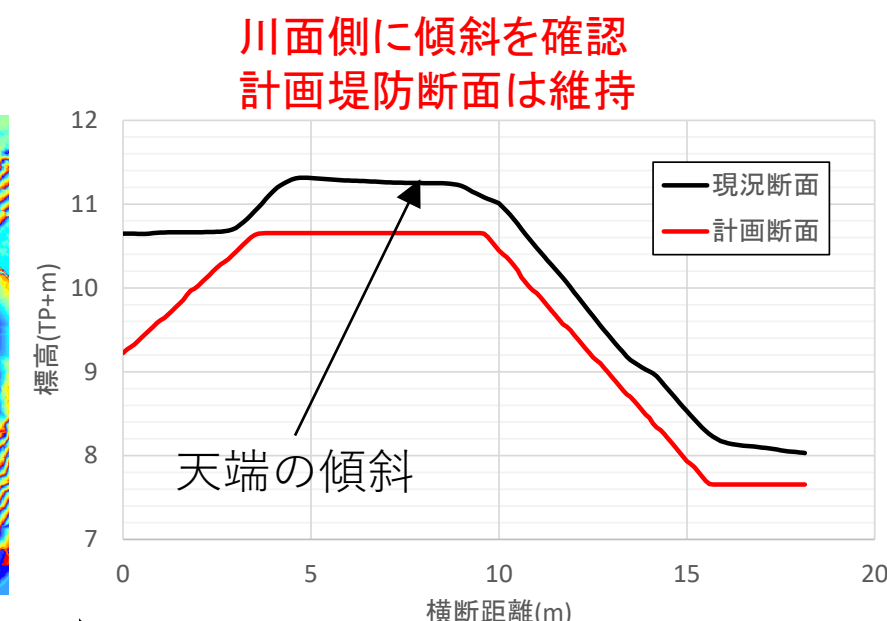
連続標高図からの断面図



現地形-計画堤防との差分図



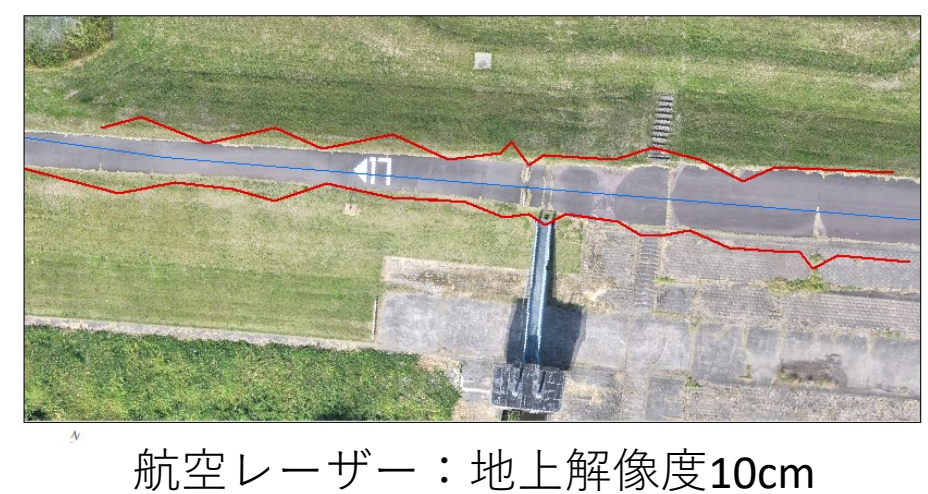
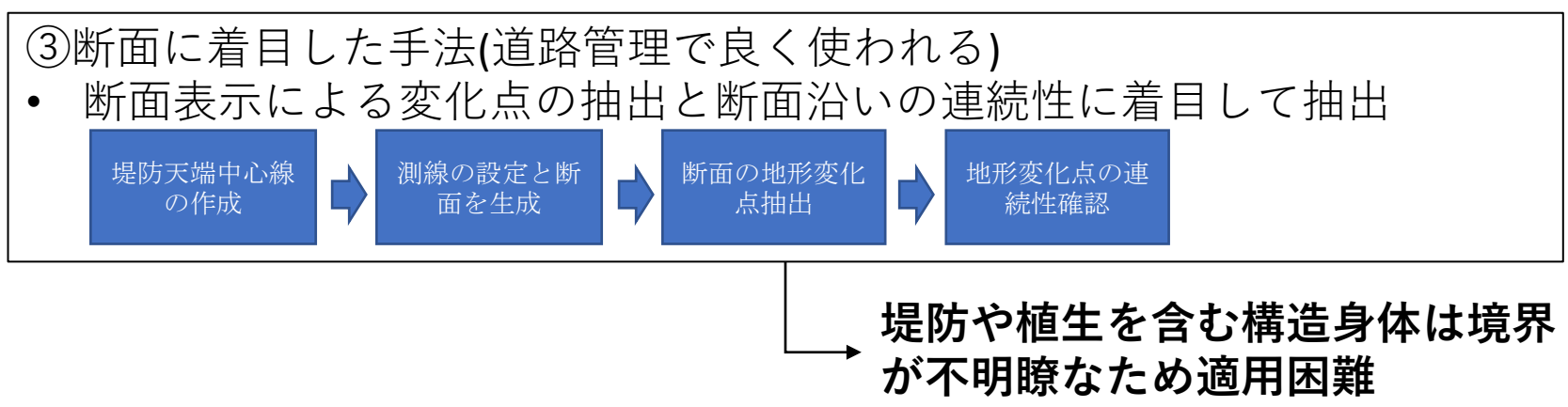
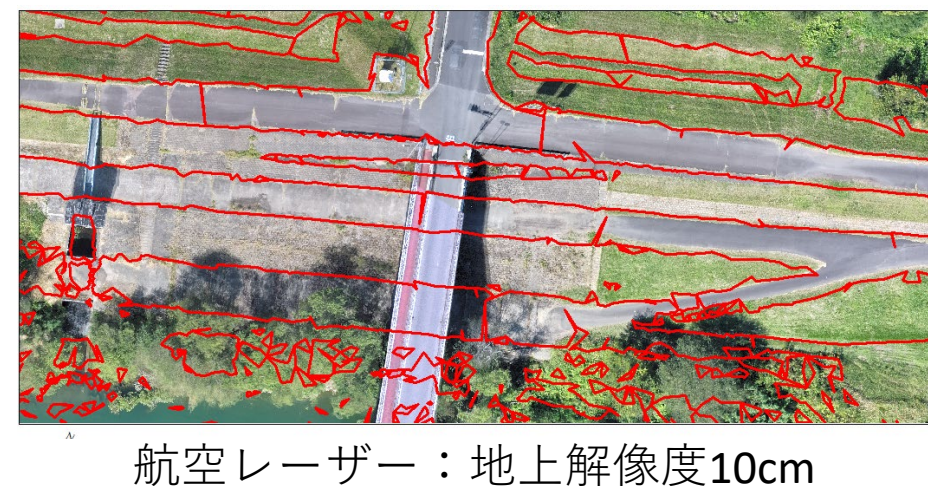
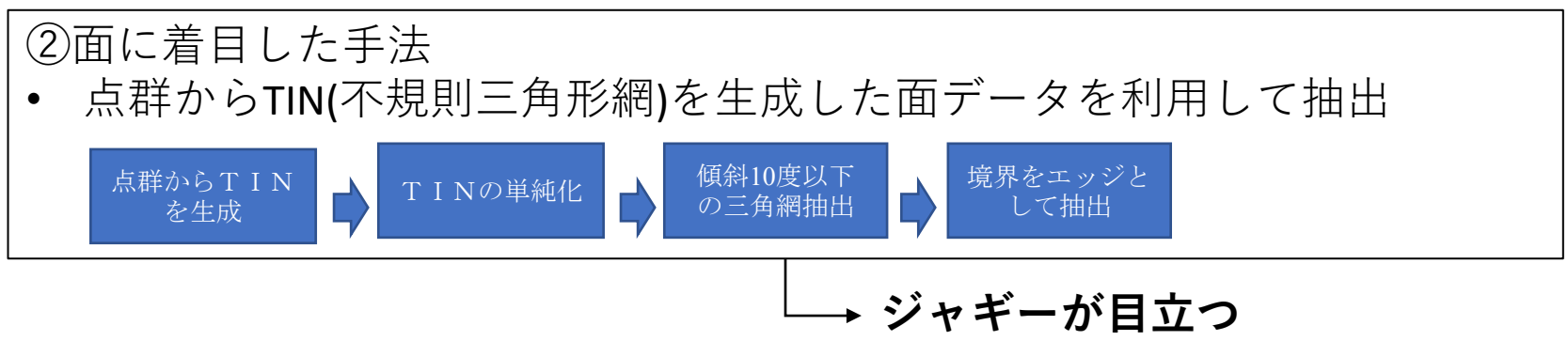
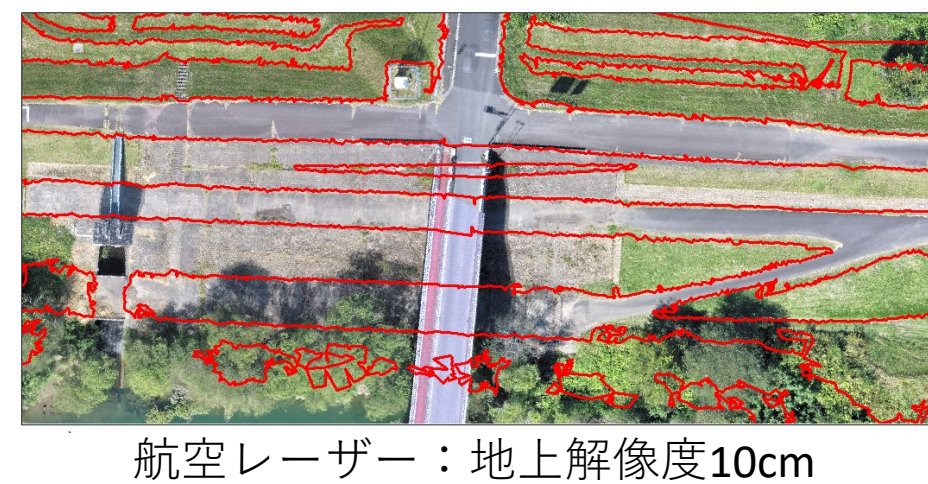
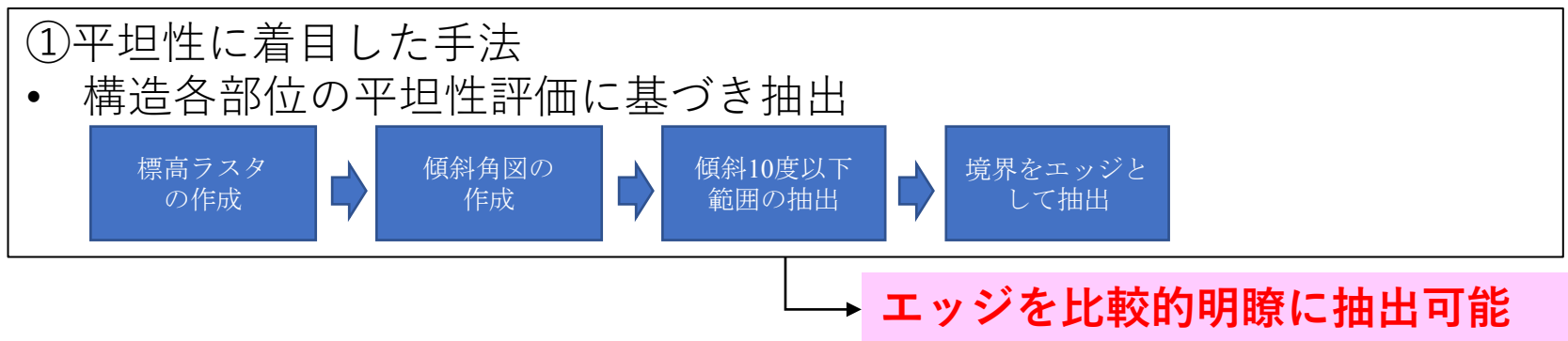
連続標高図



連続標高図からの断面図

# 5. 点検の高度化に向けたデータ処理等の試行／エッジ処理による地物データの境界把握の可能性 17

- 三次元データを活用した河川管理を推進するためには、堤防や各種構造物の3Dモデル化推進と併せ、河川管理施設の変状を早期に察知することが重要
  - 構造物の境界情報となるエッジの抽出方法、及びエッジ情報を用いた変状察知の可能性について検討



航空レーザー(4点～数十点/m<sup>2</sup>)



地上解像度1m



地上解像度0.5m



地上解像度0.25m



地上解像度0.1m

UAVレーザー(100点～/m<sup>2</sup>)



地上解像度1m



地上解像度0.5m



地上解像度0.25m



地上解像度0.1m

- 平坦性に着目したエッジ抽出手法について、データ取得方法、地上解像度別に望ましい点群密度を整理

- データ解像度が10cmでは凹凸が発生
- 堤防法肩のエッジ抽出であれば、**航空レーザー測深 地上解像度25cmの解析結果が、凹凸が少なく、堤防形状を再現可能**
- UAVレーザーは凹凸が発生

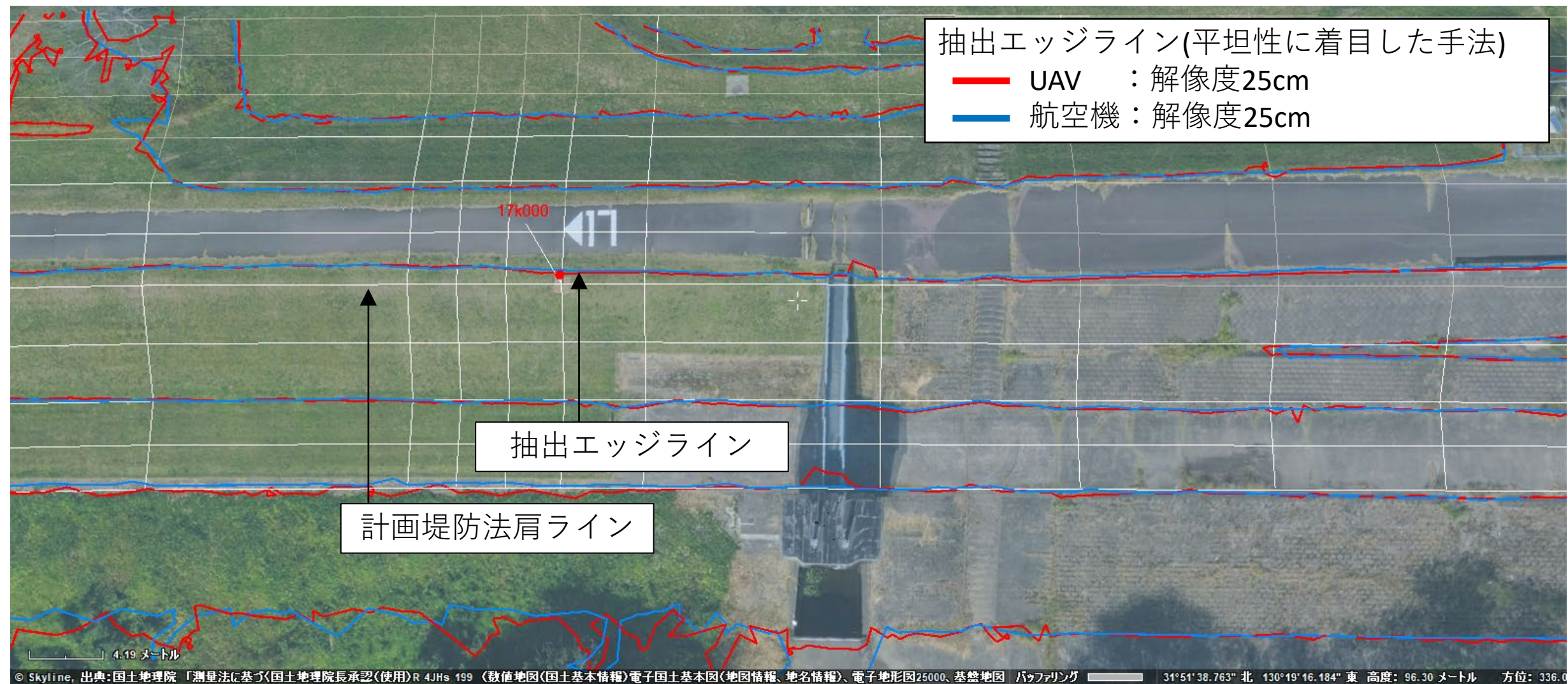


- エッジ抽出に必要な諸元  
資機材：航空機+ALB(or LP)  
点群密度：4点～数十点/m<sup>2</sup>

エッジ抽出のみを考えた場合、現在の航空レーザー測量結果を活用することで精度良く抽出できる可能性  
※点検精度向上には高密度の必要があるため、使い分けが必要か

※短エッジ(今回は25m以下)のラインを削除しており、樋門周辺、階段などの形状は割愛

- 定規断面(表法肩合わせ)と、抽出エッジとを比較
  - 計画法肩位置との位置関係により法面の変状を抽出できる可能性が示唆される  
エッジが定規断面の法肩からズレる⇒法すべり・沈下を評価出来る可能性
- ※評価にあたっては余盛や法面植生によるエッジのズレを考慮する必要がある



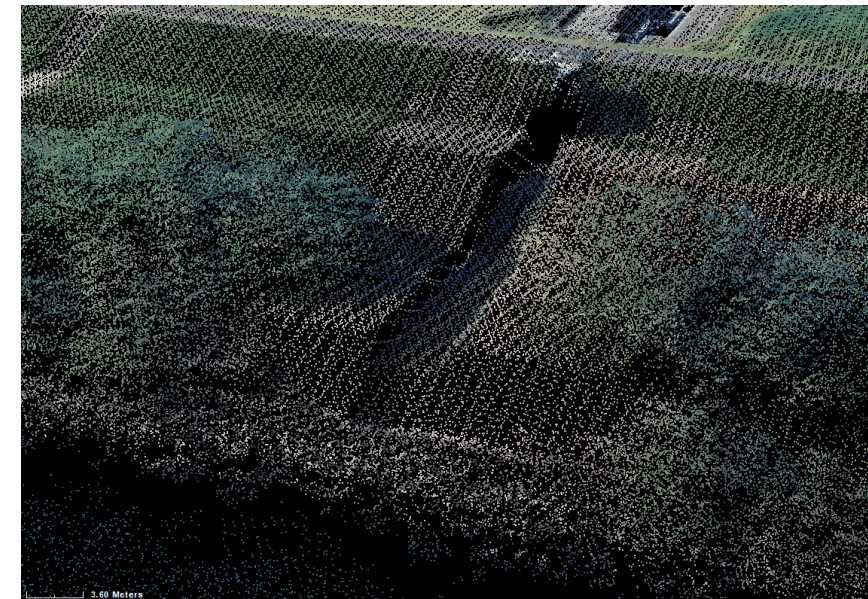
- 航空レーザ測深とドローンレーザ測深成果による地物の再現性を比較すると、点群密度の高いドローンレーザ測深による現地形の再現性が高い。  
 ※地上における点群密度は、航空レーザ測量が4～数十点/m<sup>2</sup>であるのに対し、ドローン(UAV)では100点/m<sup>2</sup>と10倍以上の差

試行結果

航空  
レーザ測深  
  
4点  
～  
数十点/m<sup>2</sup>



橋梁



樋管

25倍  
以上

ドローン  
レーザ測深  
  
100点～/m<sup>2</sup>



橋梁



樋管

# 5. 点検の高度化に向けたデータ処理等の試行／点群密度向上の試行

- 整備局にて保有する陸上・水中レーザドローンにて水中部の堰構造計測を実施
- 構造物形状を明確に把握するため、低高度・低速にて飛行しレーザーのラップ率を50%以上確保

	定期縦横断測量
陸上部	10点/m <sup>2</sup>
水中部	1点/m <sup>2</sup>

航空 レーザ測深	ドローン レーザ測深	陸上・水中 レーザドローン測 深 (整備局保有)
33点/m <sup>2</sup>	100点/m <sup>2</sup>	200点/m <sup>2</sup>
17点/m <sup>2</sup>		

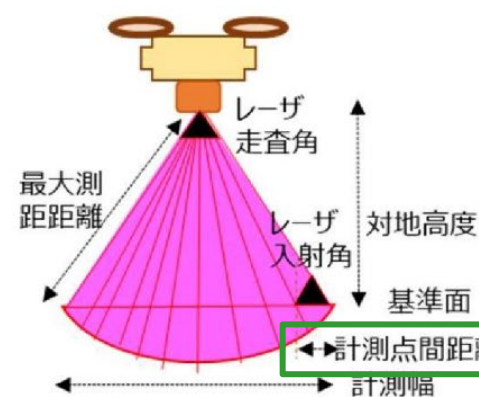


陸上・水中レーザドローン  
→国土交通省革新的河川管理プロジェクトによる開発機

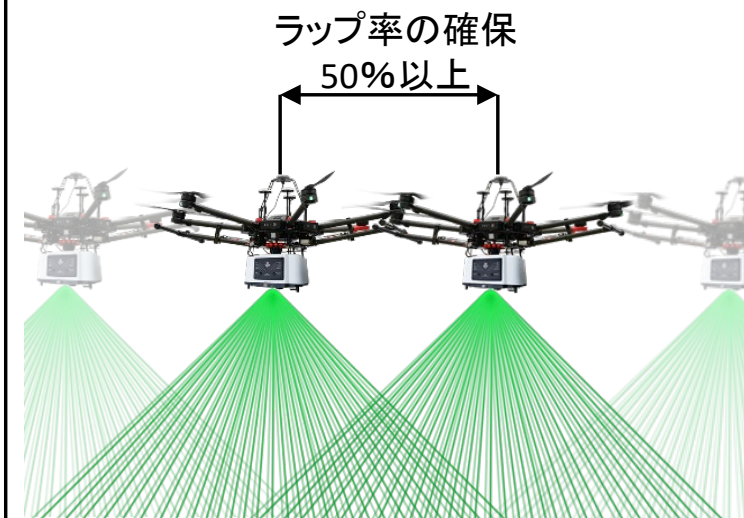
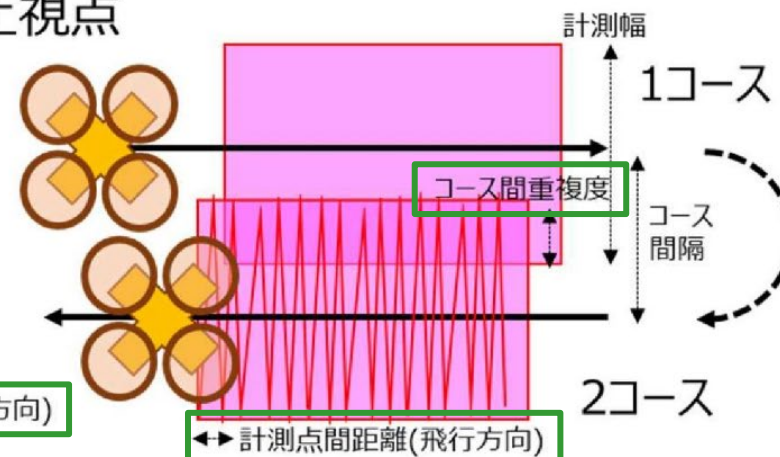
## 陸上・水中レーザドローン測深で点密度を増やすために工夫した事項

### 【計測模式図】

横視点(進行方向)



上視点



### 直角方向(低空飛行)

- 基準面からの対地高度を50mとし、可能な限り低空での飛行とした。
- 計測点間距離(直角方向)を狭める。(点間距離: 中央8cm 端部16cm)

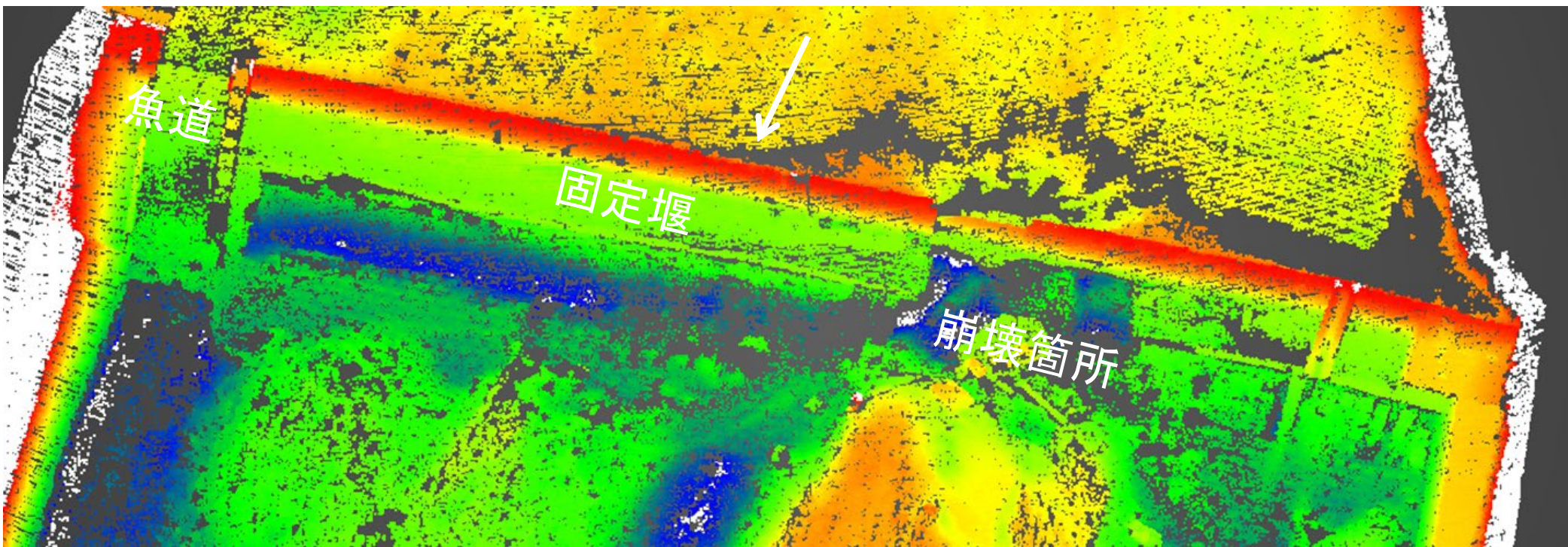
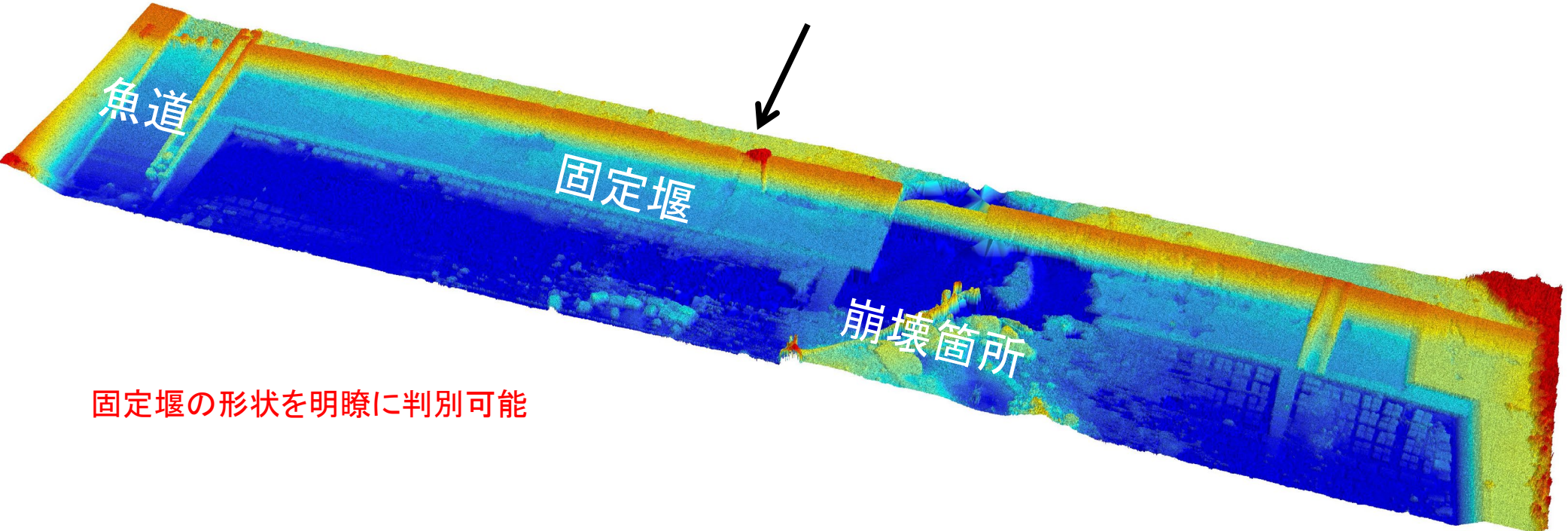
### 飛行方向(低速飛行)

- 低速度による飛行とした。
- 計測点間距離(飛行方向)を狭める。スキャナ回転30回転/s ÷ 飛行速度2.5m/s (点間距離: 8cm)

### コース間重複度

- コース間隔を狭め、ラップ率50%以上を確保する飛行とした。
- ラップさせることで密度を増やす。  
※レーザー入射角が大きくなる範囲を増やし、水部のデータ取得に配慮。

- 航空レーザ測深と陸上・水中レーザ測深による地物の再現性を比較
- 点群密度向上を工夫することで陸上部の再現性が向上
- 水中部についても高精細にて護床工形状を把握可能であり、状況把握のみならず、修正設計等にも有益であることを確認

試行結果	
航空レーザ測深	
陸上・水中レーザドローン測深	 <p>固定堰の形状を明瞭に判別可能</p>

### まとめ

- 土堤点検は,標高暖彩図により堤防天端の不陸抽出や,三次元で計画堤防形状と現地形を比較することで法面の変状箇所の抽出が可能である.
- 護岸点検は,堤防防護ラインや管理河床高と比較することにより,対策判断に資する客観的なデータ取得が可能となる.
- 樋管点検は,完成図と点群データとの標高差に着目して比較により変状の概略把握が可能である.
- 今後の河川点検の高度化に必要な技術は,点群から現地形を的確に生成するデータ処理技術である.

### 今後の課題

- 三次元河川管内図を作成するためには地形等の点群データ取得,及び現地形との比較対象となる堤防等各種構造物の三次元モデル構築が必要となるため、これらデータ構築の低コスト化が課題
- 小規模変状の把握に対する適用限界も検討するなど,実装に向けた検討を進めていく必要がある.



ご清聴ありがとうございました。