

令和6年度 第2回 国道169号 下北山村上池原地区 防災対策検討委員会

日時：令和6年4月22日（月）18：00～

場所：奈良国道事務所4階第一会議室（対面、オンライン会議併用）

議 事 次 第

1. 開会

2. 議事
 - （1）本格復旧案の検討に必要な調査内容について
 - （2）今後のスケジュールについて
 - （3）仮橋の進捗状況について
 - （4）質疑・意見交換

3. その他

配付資料

- 資料1：本格復旧案の検討に必要な調査内容について
- 資料2：今後のスケジュールについて
- 資料3：仮橋の進捗状況について

- **本格復旧案の検討に必要な調査内容について**

本格復旧案の検討に必要な調査内容について

■ 臨時委員会（3/7）の資料抜粋

現道での本格復旧について ～被災箇所周辺の独自の地形的特徴について（外的要素の視点）～

- 池原ダムの付け替え国道は、**深層崩壊の危険性がある箇所**で建設。
- 当該箇所は、**岩盤分類の確立がされていない昭和45年（1970年）以前の昭和30年代にダムの付替道路として、発破などの旧来の工法で構築されたため**、岩盤分類に応じた施工を実施しておらず、**法面勾配が非常に急勾配な状況**。
- 今回の被災箇所を含めた下北山村前鬼～上池原間においては、**深層崩壊の危険性のある箇所**で、かつ、**流れ盤構造の岩塊が確認**されているため、**流れ盤すべりの発生する可能性が高い地形的特性がある**。

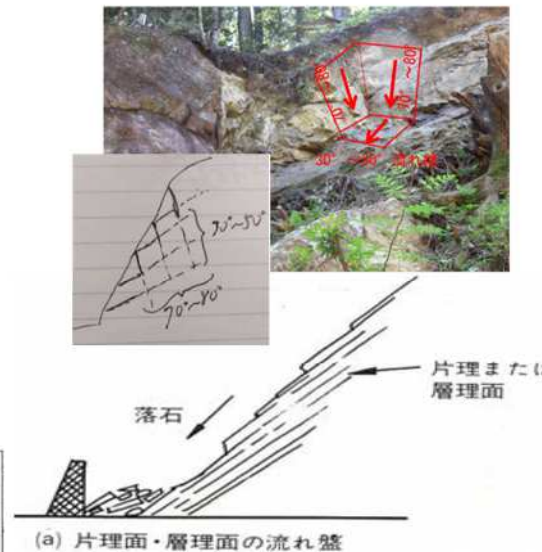
※なお、国道169号の池原ダムの付け替え国道においては、同様な道路の条件（法面勾配が非常に急勾配、深層崩壊の危険性のある箇所）ではあるが、今回の被災箇所周辺には、流れ盤構造を有していることから、全面通行止めを伴う大規模な土砂崩落が発生している（過去5年間で2回）。

■ 奈良県深層崩壊マップ〔四万十帯〕



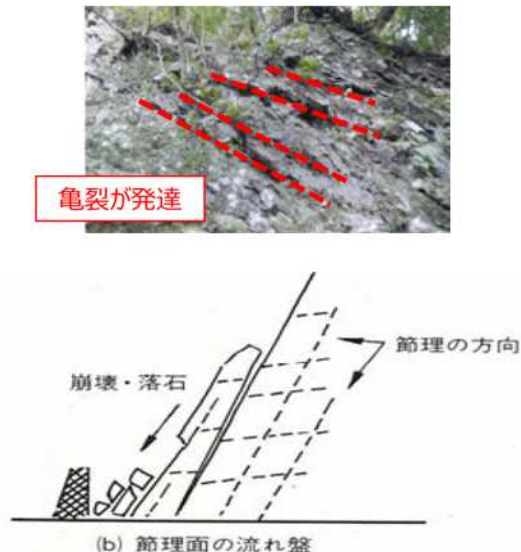
【被災箇所の北側】

3方向に亀裂が発達し0.5m～2m大の岩塊に分離しやすい**流れ盤構造**。



【被災箇所の南側】

露岩の近景。
流れ盤状の硬質な塊状泥岩。



【流れ盤イメージ図】

本格復旧案の検討に必要な調査内容について

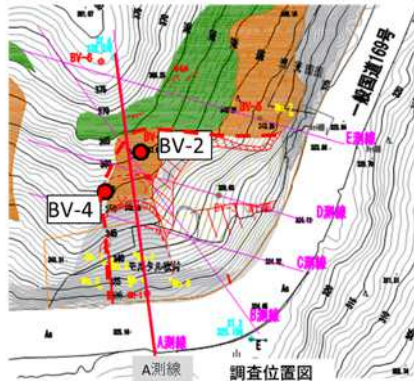
■ 臨時委員会（3/7）の資料抜粋

現道での本格復旧について ～新たなボーリング調査結果の分析に基づく深層崩壊の誘因性について～

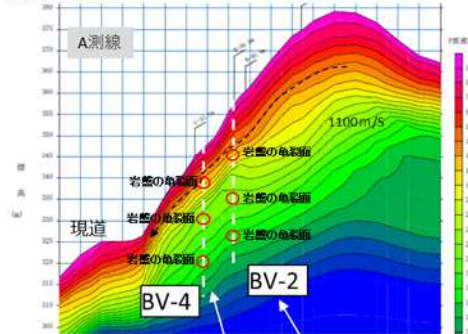
■ ボーリング調査結果から考察した深層崩壊の誘因性について

- 今回の災害に伴い、被災箇所周辺のボーリング調査を進めていたところ、**地形図では危険度の高い溪流ではなかったが、比較的浅い箇所から最深の30m附近までの間に、規則的な開口亀裂や、構造が連続しない不安定な岩盤層、及び地下水などを複数確認し、深層崩壊危険流域の蓋然性が高まった。**
- 今回の深層崩壊の懸念流域は、**深層崩壊の誘因に関連した特徴が確認**出来ている。また、昨年12月に発災した崩壊が、深層崩壊の規模ではないものの、**深層崩壊と同様のメカニズム**であったこと踏まえれば、今後、**大雨や地震時などにより甚大な被害が引き起こされる可能性が極めて高い。**

【平面図】



【横断面図】



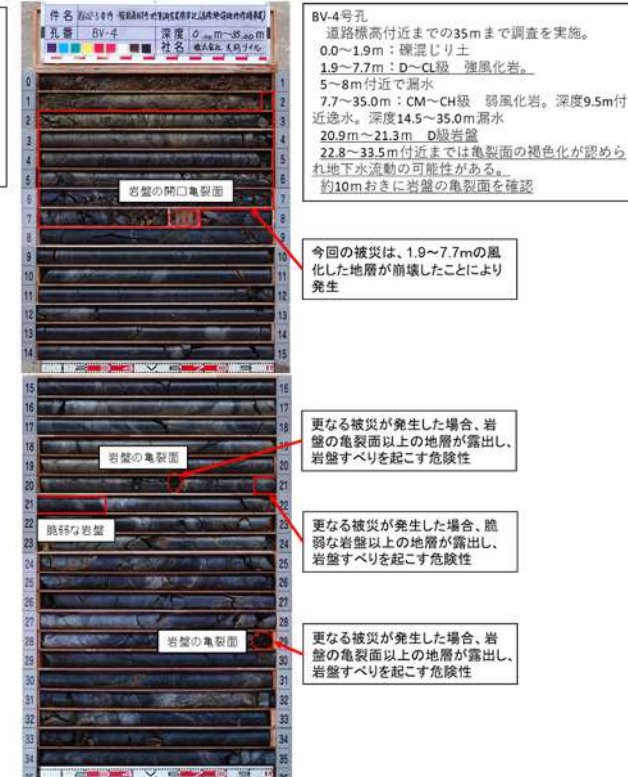
BV-4で、約10mおきに岩盤の亀裂面が確認されており、P波1000m/s以上の速度の速い層でも亀裂面が確認されたため、深層崩壊危険流域であることが判明。

BV-2で、約10mおきに岩盤の亀裂面が確認されており、P波1000m/s以上の速度の速い層でも亀裂面が確認されたため、深層崩壊危険流域であることが判明。

BV-2



BV-4



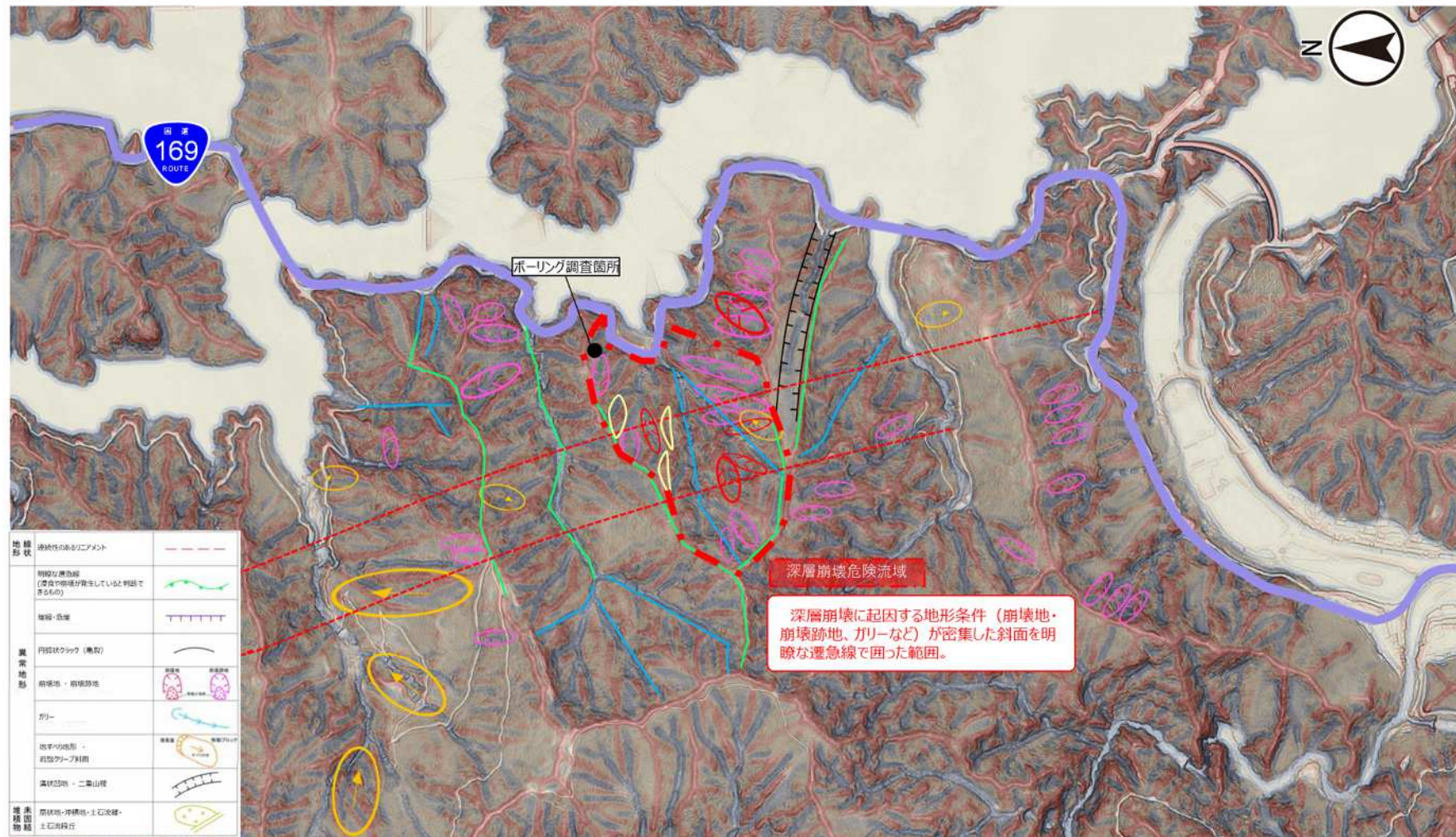
- 上記の特徴を勘案した上で、本格復旧にあたっては、**深層崩壊の危険性があることを考慮し、検討が必要。**

本格復旧案の検討に必要な調査内容について

■ 臨時委員会 (3/7) の資料抜粋

現道での本格復旧について ～航空レーザー測量データを用いた地形判読について～

- 航空レーザー計測データを用いて、**崩壊に起因する崩壊地形等の地形情報等を抽出。**
- 地形判読を行った結果、深層崩壊に起因する地形が密集した斜面を遷急線で囲ったエリアを**深層崩壊危険流域の範囲が明らかになった。**



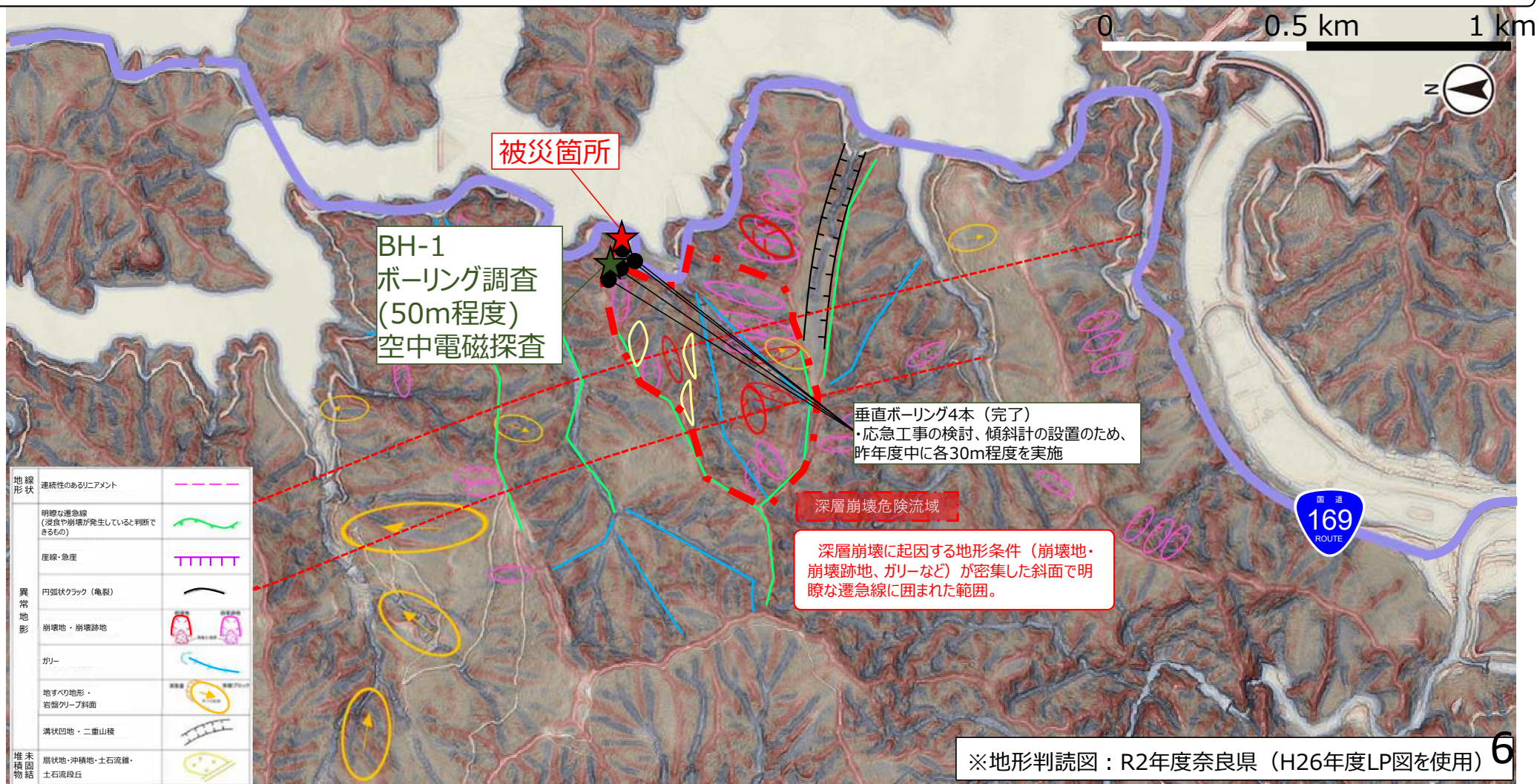
- 深層崩壊危険流域の地形を改変すると、応力解放により深層崩壊を誘発する可能性が高く、危険流域を避けた方がよい。

- 調査内容や方法については、地形判読などの広範囲の調査結果を踏まえて、ターゲットを絞りながら精度を高めて実施するべきである。
- 早くボーリング調査を実施し、災害以降のこれまでの調査と組み合わせ、被災箇所危険度を評価するべきである。
- 調査済みのボーリングコアでは、地表に近い部分と深さ30m付近に亀裂があるので、深さ30m付近の亀裂がすべり面と考えられるが、今後のボーリング結果ですべり面判断すれば良い。

本格復旧案の検討に必要な調査内容について（今回被災箇所）

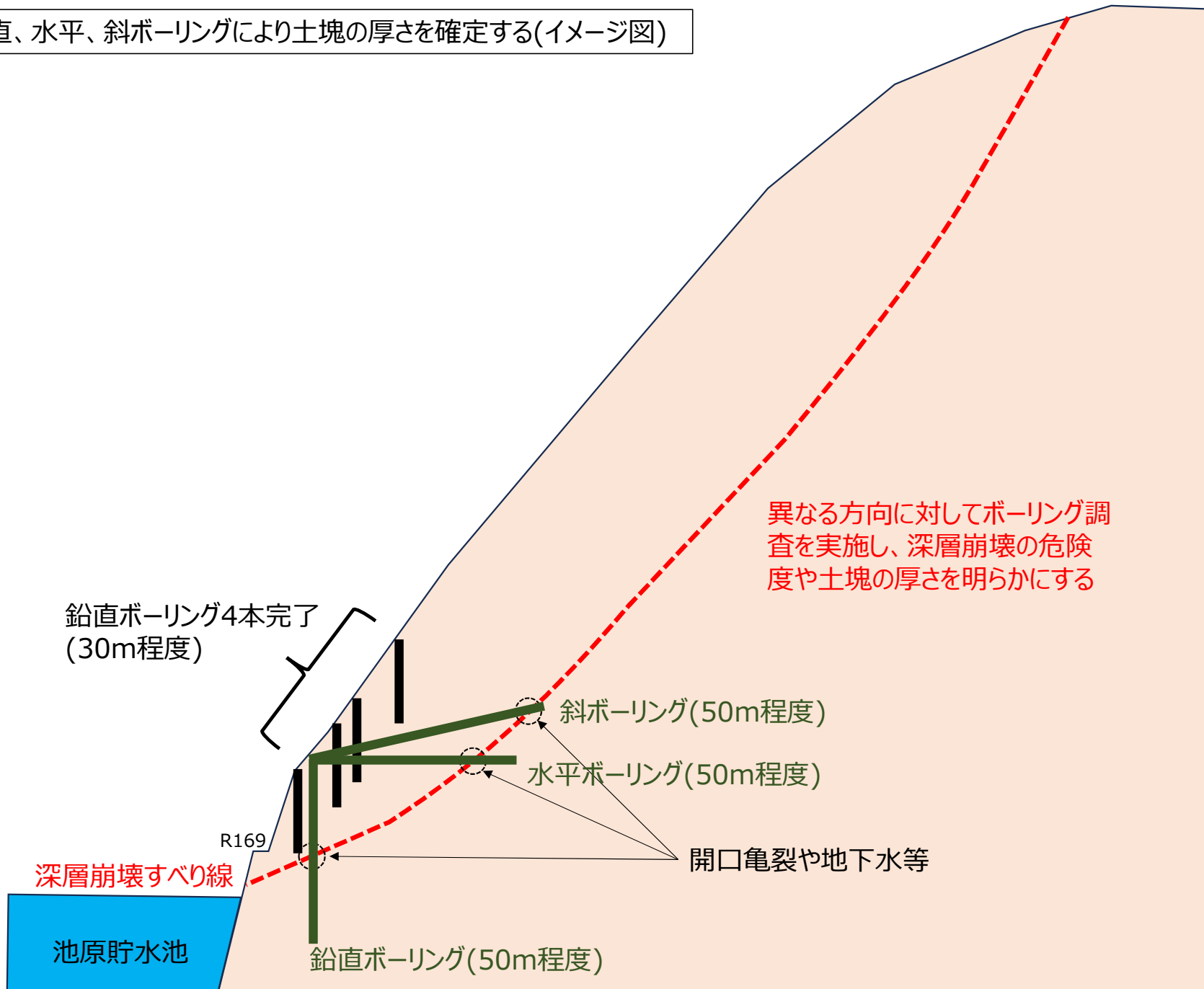
- これまでの調査で明らかになったこと：地形判読を行った結果、深層崩壊に起因する地形が密集した斜面で遷急線に囲まれたエリアが **深層崩壊危険流域の範囲**
- これからの調査で明らかにすること：ボーリング調査(ボアホールカメラ)を実施することにより、規則的な開口亀裂や構造が連続しない不安定な岩盤層、及び地下水の有無を調査し、**深層崩壊危険流域における危険度や土塊の厚さを明らかにする**

★ 今回の被災箇所ではボーリング調査(ボアホールカメラ)を実施
 ⇒ 山裾部で1箇所（BH-1）で**垂直ボーリング、水平ボーリング、斜ボーリング(各50m程度)を実施**



深層崩壊危険流域における土塊の厚さの検討方法（今回被災箇所）

・鉛直、水平、斜ボーリングにより土塊の厚さを確定する(イメージ図)



本格復旧案の検討に必要な調査項目と判明する情報について

机上調査

調査名	目的	対象	地質リスク 範囲の絞り込み
①既存調査のレビュー	● 過去に調査された広域的な地形地質リスク分析を確認する。	面的	○
②地形解析調査 (航空測量データ差分解析)	● 過去と現在の航空写真測量データから等高線を対比してm単位で地形の変化量、変化状況を確認する。	面的	○
③干渉SAR時系列解析	● 過去と現在の衛星から地上との距離データを解析してmm単位で地形の変化量を確認する。	面的	○

危険度の高い地形を把握し、詳細調査の範囲を絞る

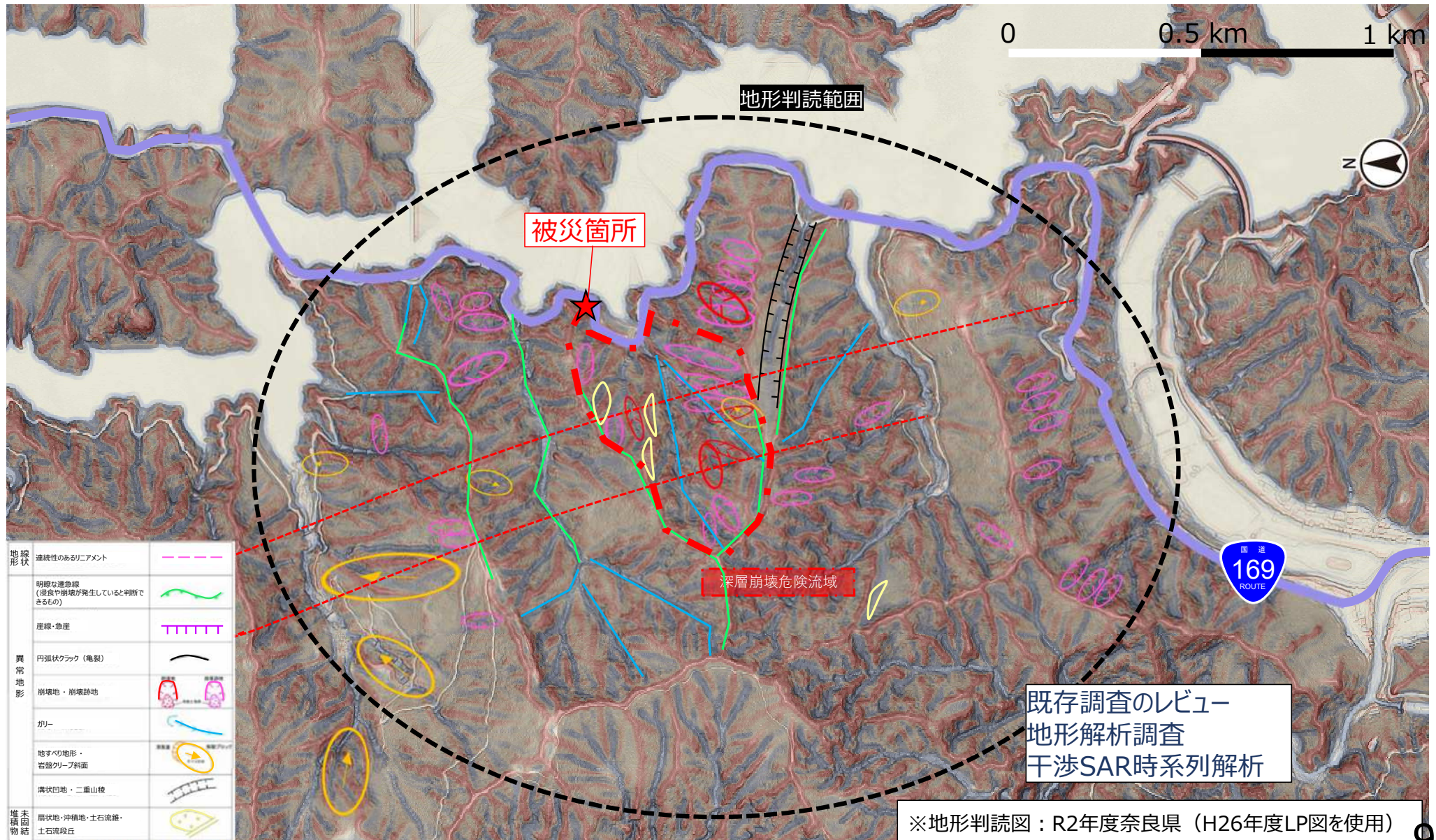
現地調査

調査名	目的	対象	地質リスク
			危険度
④ボーリング調査 (ボアホールカメラ)	● 地質や亀裂・風化具合によりすべり面を確認し、土塊の厚さを把握する。	点的	○
⑤弾性波探査	● 地盤から反射される弾性波を確認し、地質の成層状況や地盤の強度を把握する。	点的	○
⑥空中電磁探査	● 地盤の含水量を3次元で確認し、風化具合や地下水分布状況を把握する。	面的	△ (④を補完)
⑦現地踏査	● 地表に現れる岩盤の走向傾斜を確認し、受け盤か流れ盤かを把握する。	面的	△ (④⑤を補完)

本格復旧に必要な調査項目の調査範囲（被災箇所周辺）～選定の考え方①～

■ 調査箇所選定の考え方(被災箇所周辺)

○机上調査（既存調査のレビュー、地形解析調査、干渉SAR時系列解析）により広範囲に地形判読を実施し、地質リスクが高い地形条件を有するエリアを確認。



本格復旧に必要な調査項目の調査範囲（被災箇所周辺）～選定の考え方②～

■ 調査箇所選定の考え方(被災箇所周辺)

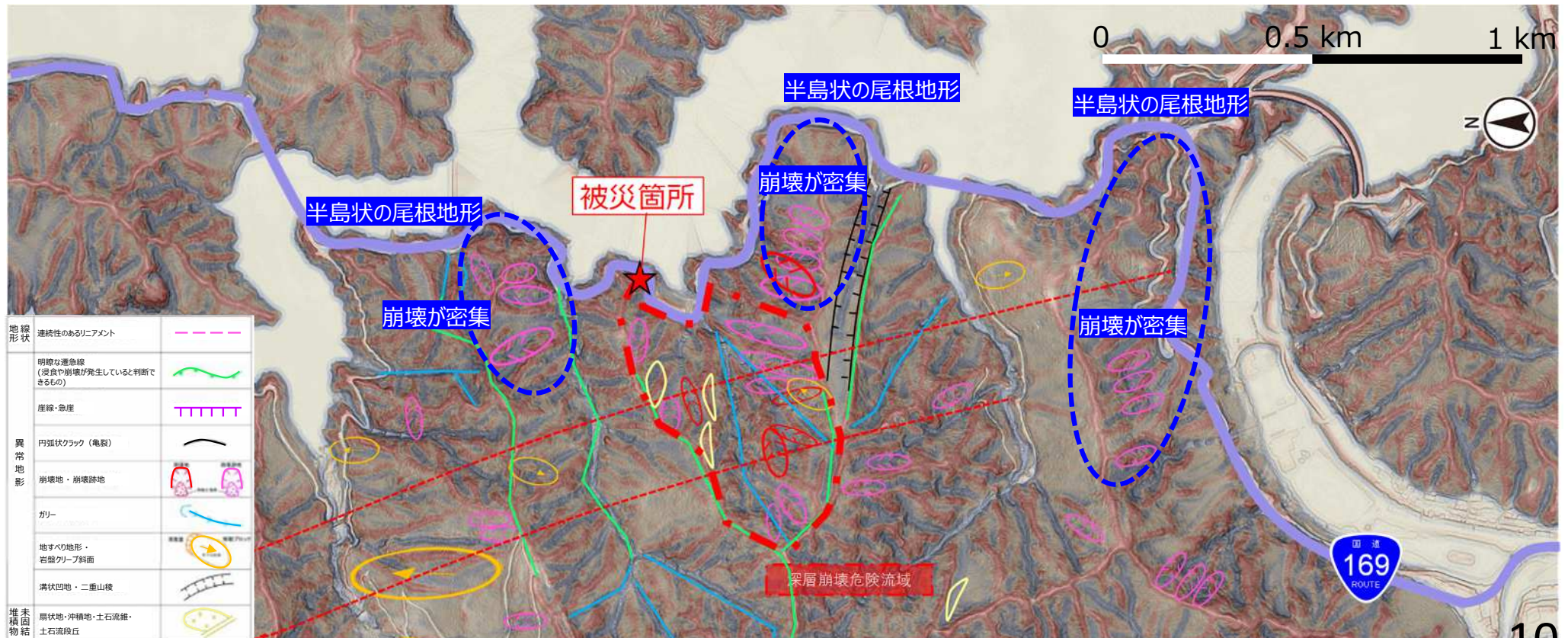
○地形判読の結果、地質リスクが高い地形条件を有するエリアに着目し、調査箇所を選定

①崩壊が密集するエリア

- 崩壊跡やガリーなどの地形などが密集しているため、脆弱な地質的特徴を有する可能性が高いと考えられる

②半島状の尾根地形を呈するエリア

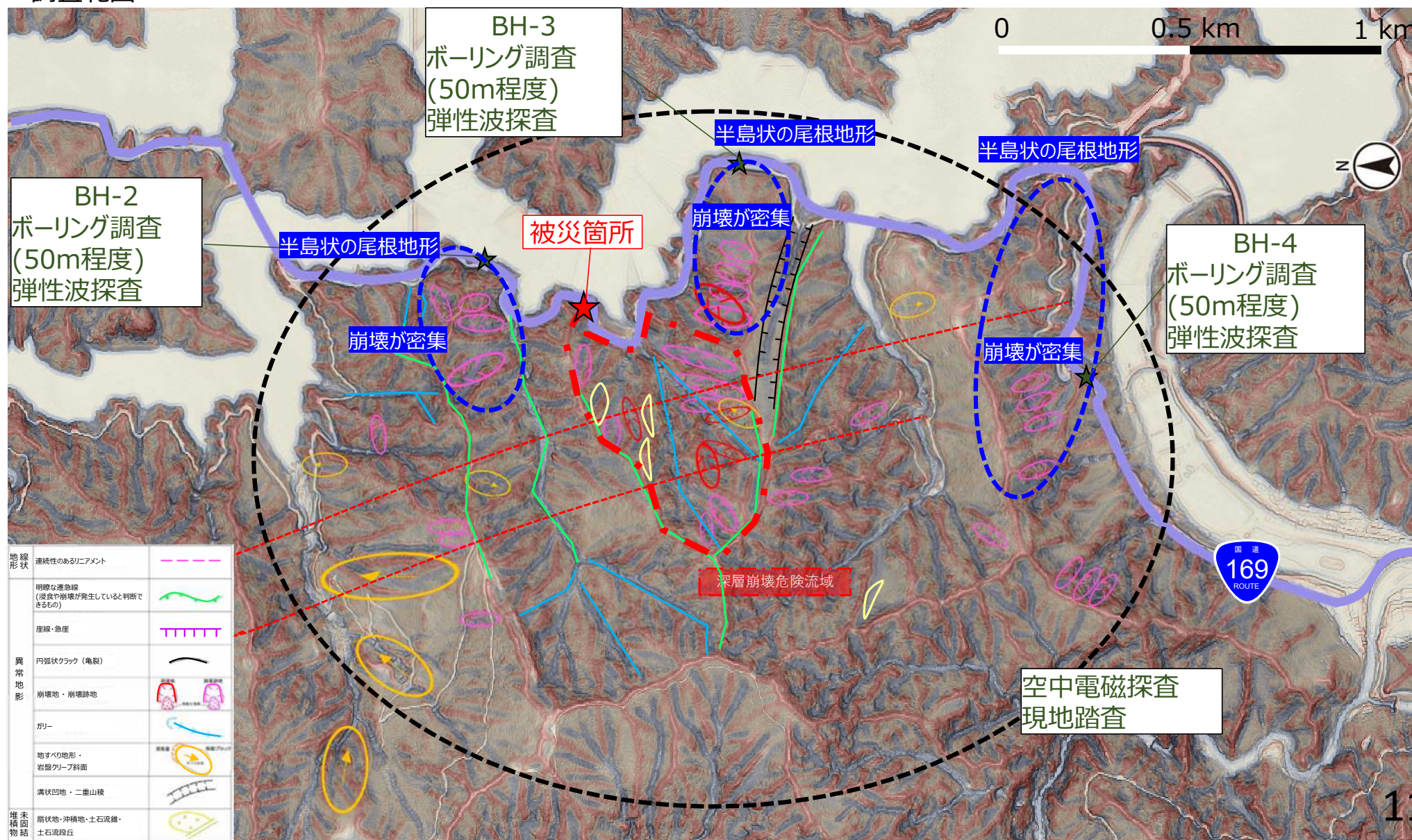
- 貯水池側に半島状に突き出た尾根地形
- 尾根地形は元々硬質な岩盤から形成されていたと考えられるが、ダム建設時の切土以降経年的な風化が進んだことから、次第に尾根全体が緩み、地盤の強度が低下していると考えられる



本格復旧に必要な調査項目の調査範囲（被災箇所周辺）

○ボーリング調査・ポアホールカメラ、弾性波探査、空中電磁探査、現地踏査を踏まえて、**地質リスクの危険度や範囲を明らかにする。**

■ 調査範囲



○ 参考資料（調査内容）

- ▶ 既存調査のレビュー
- ▶ 地形解析調査
- ▶ 干渉SAR時系列解析
- ▶ 空中電磁探査

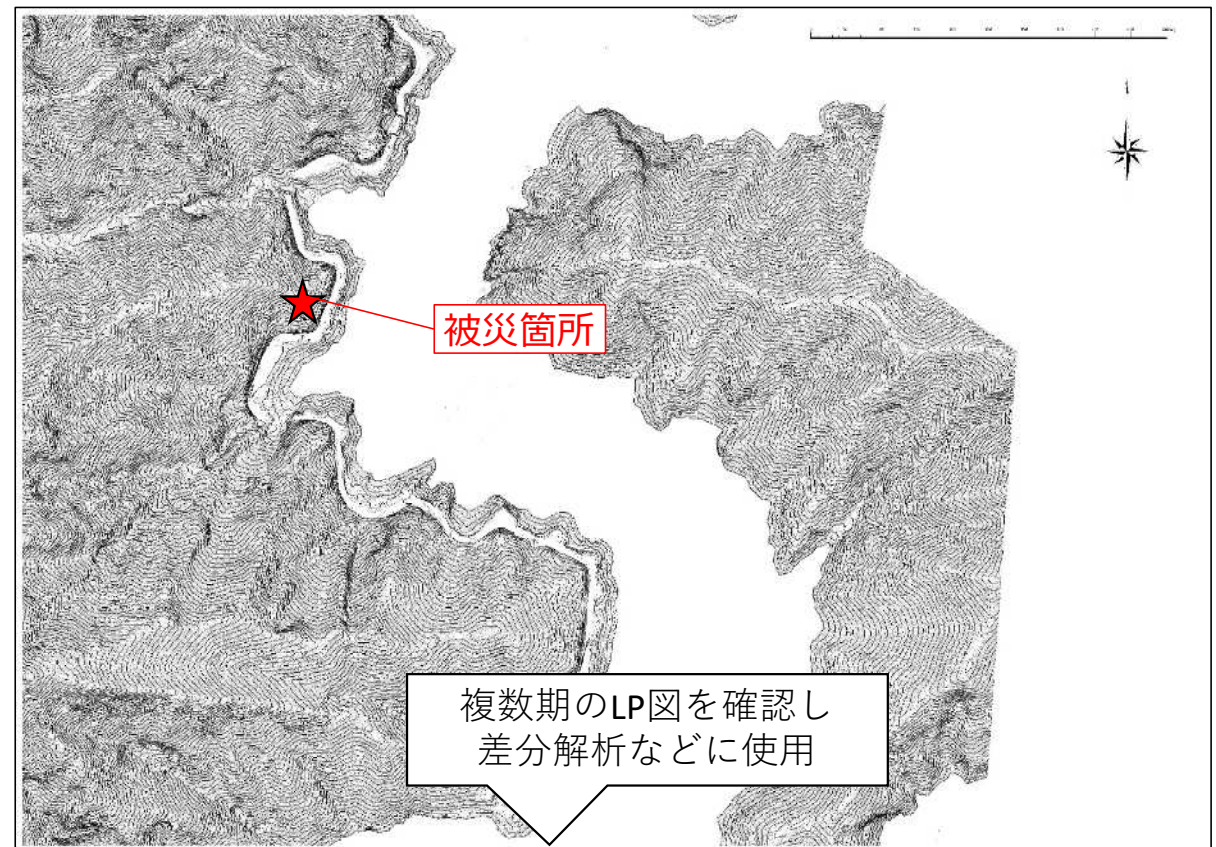
本格復旧案の検討に必要な調査内容について ～ 既存調査のレビュー ～

○ 奈良県庁他部局、近畿地整紀伊山系砂防事務所等で行われている既往の航空測量データや当該地域周辺の地形データや解析に関する資料を収集し、対象区間の現状把握を行う。

⇒過去に調査された広域的な地形地質リスク分析のレビュー。これまでの考え方の整理と調査検討手法に重複、漏れ、不足点がないかのチェックする。



収集資料例：微地形表現図（CS立体図）



収集資料例：LP図

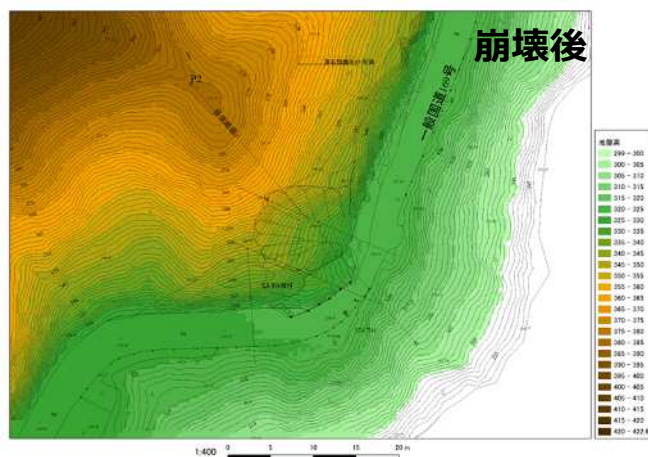
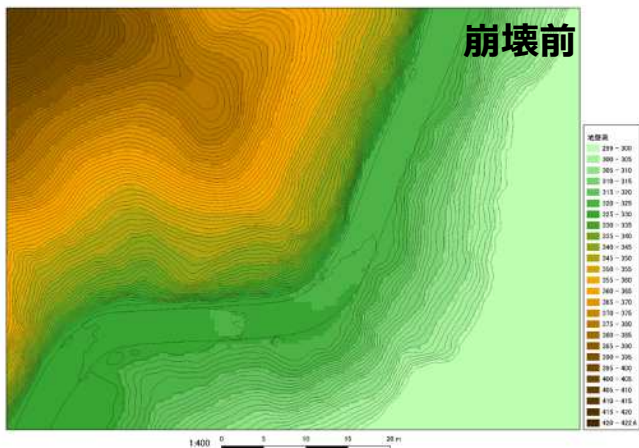
本格復旧案の検討に必要な調査内容について ～ 地形解析調査～

- 過去と現在の航空写真測量データから等高線を対比してm単位で地形の変化量、変化状況を確認する。

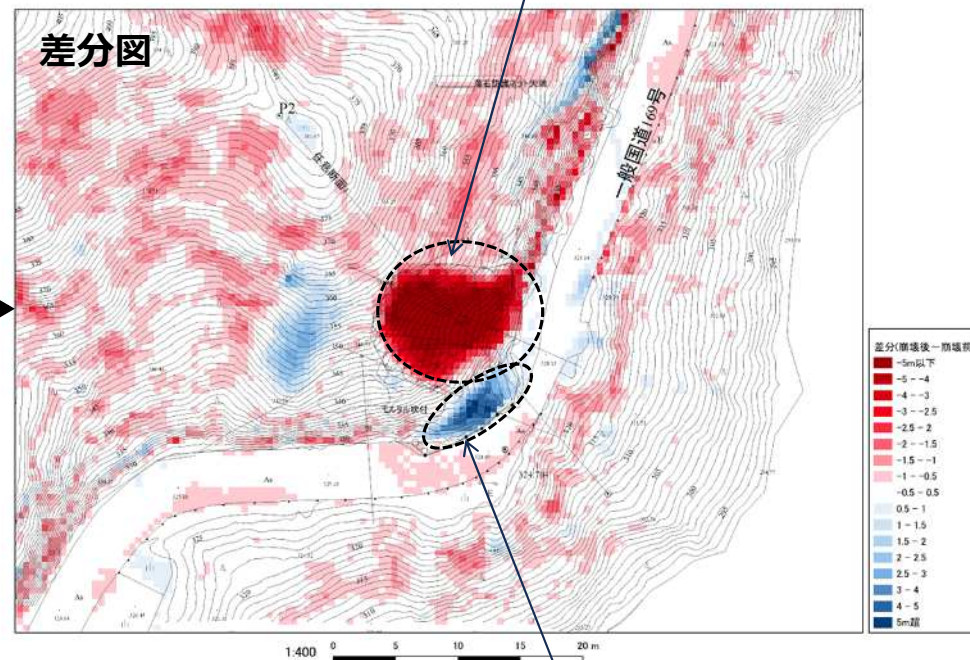


解析範囲

- 地形解析調査のイメージ 二次期のLPデータを使用し、地形に差異が生じている箇所を抽出



崩壊箇所
⇒崩壊前に比べて地盤高が低い



崩積土堆積

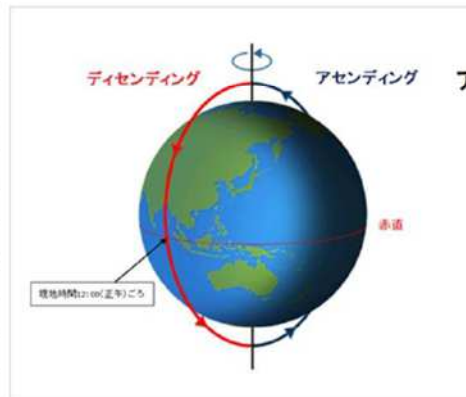
○過去と現在の衛星から地上との距離データを解析してmm単位で地形の変化量を確認する。

■干渉SAR時系列解析のイメージ

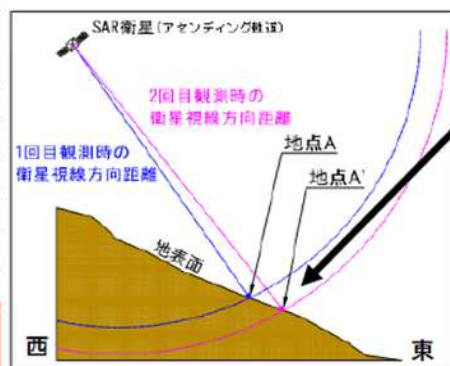
SAR衛星軌道・観測方向と解析対象斜面との関係

- 同一エリアに対し、2方向から観測される。
- 解析対象斜面は主に東向き斜面であることから、東向き斜面の解析に適したアセンディング軌道で解析した。

ALOS-2観測日
2014-09-10
2015-03-11
2015-06-17
2016-02-24
2016-11-16
2017-02-22
2017-05-31
2018-03-21
2019-02-20
2019-05-29
2019-11-13
2020-02-19
2020-05-27
2021-02-17
2021-05-26
2021-11-10
2022-02-16
2022-11-23
2023-01-18
2023-02-15
2023-10-25



解析対象斜面とALOS-2軌道・観測方向



地点Aと地点A'との差分を変位として解析

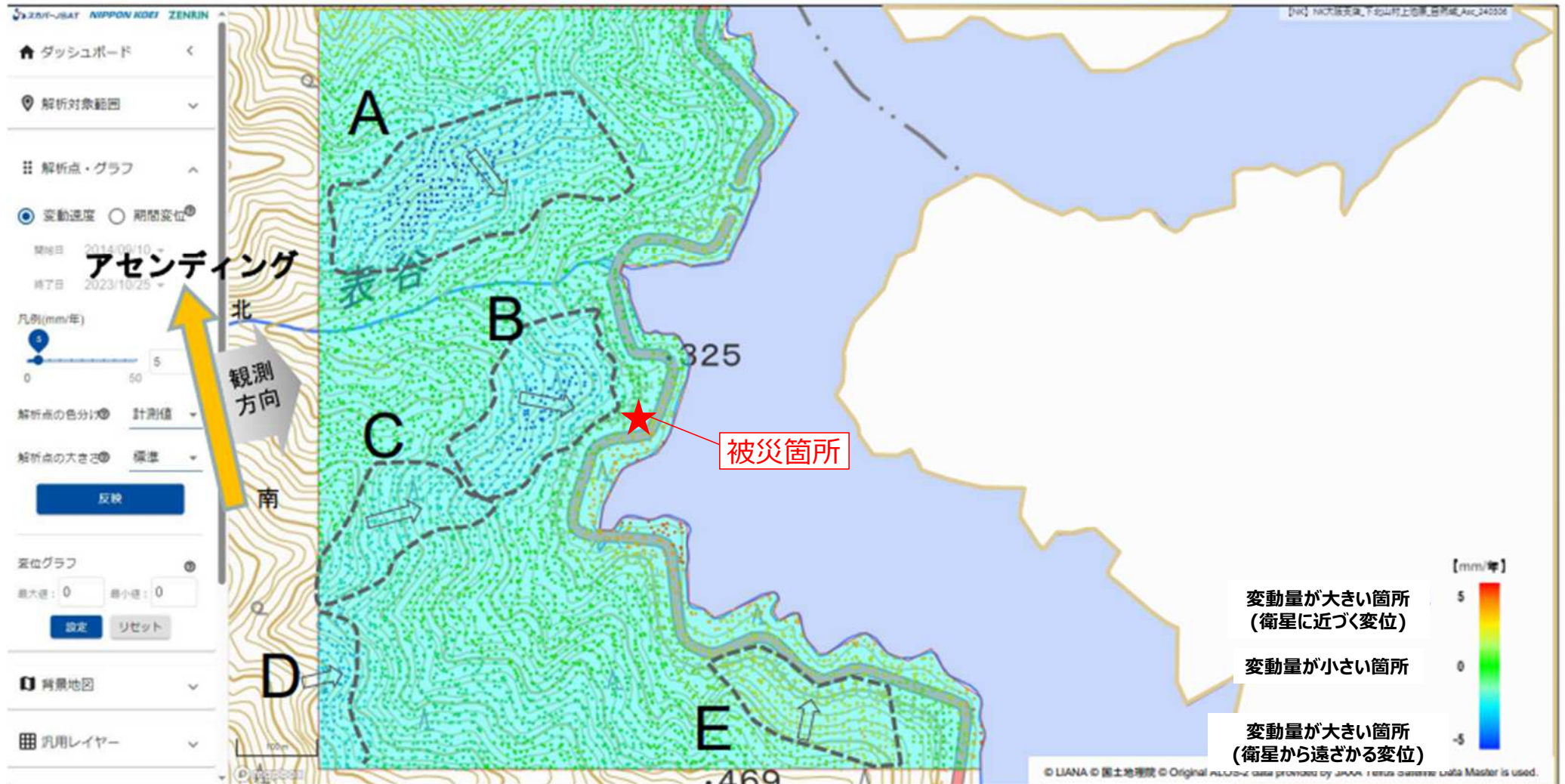
斜面変位解析のイメージ

例として、
約8ヶ月間
を比較

本格復旧案の検討に必要な調査内容について ～ 干渉SAR時系列解析 (2/3) ～

- SAR(合成開口レーダ) 衛星データを用いた解析を行い、1回目の観測と2回目の観測の差で変動量を判別する。
- 変動量が小さい箇所は緑色、変動量大きい箇所(衛星から遠ざかる変位)は青色、変動量大きい箇所(衛星に近づく変位)は赤色となり、青色、赤色の集合体を不安定斜面として評価する。

■ (例)2023年2月15日(1回目観測)と10月25日(2回目観測)の解析結果



※Dは解析範囲の一部のためデータなし 16

■ 干渉SAR時系列解析のイメージ

二時期差分干渉SAR解析

二時期の間に発生した変動量を解析

1回目観測
2回目観測

1回目観測と2回目観測の位相(波の位置)の差から変動量を求める

2014年9月～2014年12月	2014年12月～2015年5月	2015年5月～2015年7月
2015年7月～2015年12月	2015年12月～2016年5月	2016年5月～2016年7月

メリット : 解析結果が面的に表示されるため変動発生箇所が分かりやすい。
 デメリット : 真の変動以外のノイズを含む場合がある。空間スケールの小さい変動は抽出できない。
 解析精度 : mm/年

干渉SAR時系列解析

二時期解析結果を統計処理して信頼性の高い計測点を抽出

信頼性の高い計測点のみを取り出す

2時期の差分解析結果にはノイズが含まれる

変動量

時間

変動量

時間

メリット : 変動の時系列変化がわかる。空間スケールの小さい変動も抽出できる。
 デメリット : 短期間に発生した突発的な大変動(数10cm以上)は計測できない場合がある。
 解析精度 : mm/年

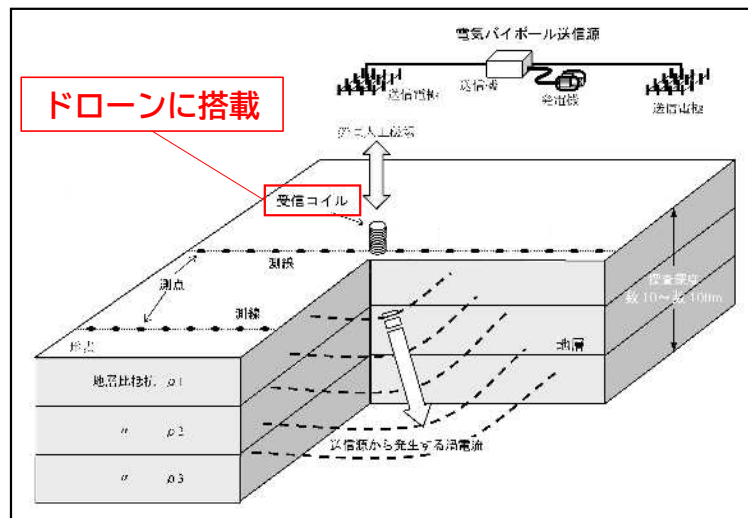
本格復旧案の検討に必要な調査内容について ～ 空中電磁探査(1/2)～

○当該区間周辺の広域的な地形について、地盤の含水量などの状態によって地盤の「比抵抗」と呼ばれる電気的特性が異なるため、空中電磁探査によって比抵抗を調査・解析する。

⇒ **地下の比抵抗分布を3次元的に測定・解釈することにより、地下の地質リスク（風化度合い）、地下水の分布状況を把握する**

■ 概要

- ドローンを用いた地上送信源型の空中電磁探査は、深度200m～300m付近までの地盤の電気的物性である比抵抗の構造を簡便に、かつ迅速に測定できる。また、空中で飛行測定する為、舗装された地面、人が立ち入れない場所等の測定が可能である。



■ 探査原理

- 人工的に発生させた磁場が、地盤に透入する際に生じる**電磁誘導**現象を利用して地盤の電気的性質を調査する。

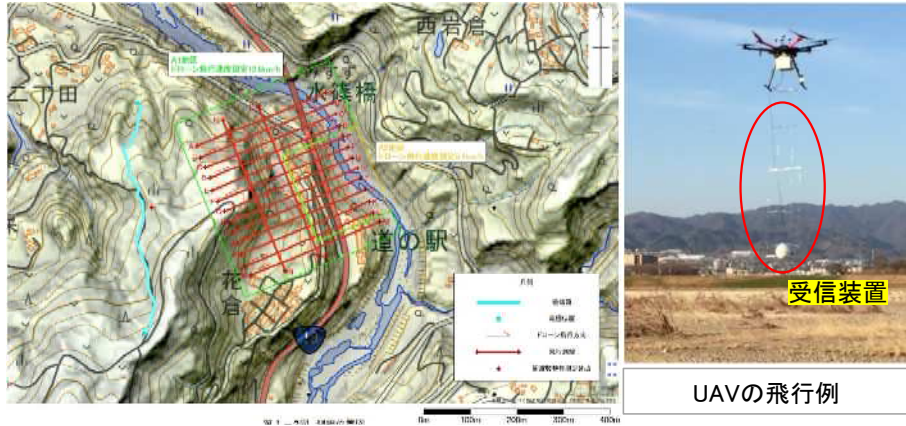
※電磁誘導：コイルの中の磁界が変化すると、コイルに電流が流れる現象



本格復旧案の検討に必要な調査内容について ～ 空中電磁探査(2/2) ～

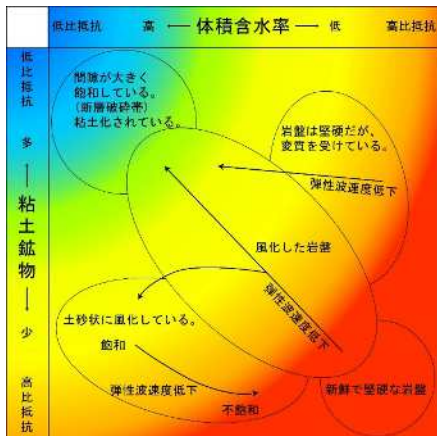
探査概要

- ▶ 変状の要因の一つとして山側斜面からの地下水の供給が想定された。対策工の検討に際し、地下水排除工の検討が有効な対策と判断されたことから、地下水の供給源の推定を目的として、空中電磁探査を実施した。



UAVの飛行例

- ▶ 空中電磁探査では、地上に設置した送信源より時間変化する電磁場を発生させ、UAVに吊した受信装置にて地中の比抵抗値を計測することにより、地下構造を推定する。
- ▶ 一般に地中の比抵抗値は地下水の存賦状況や地質状況および風化・変質の程度(粘土鉱物の相対的な量)に影響されることから、空中電磁探査により地中の地質状況や地下水分布状況を推定することが可能である。
- ▶ 本調査地では既往地質調査が実施されており、地質分布状況や地下水位状況が想定されており、比抵抗値の分布から地下水の流動域を想定できる可能性がある。



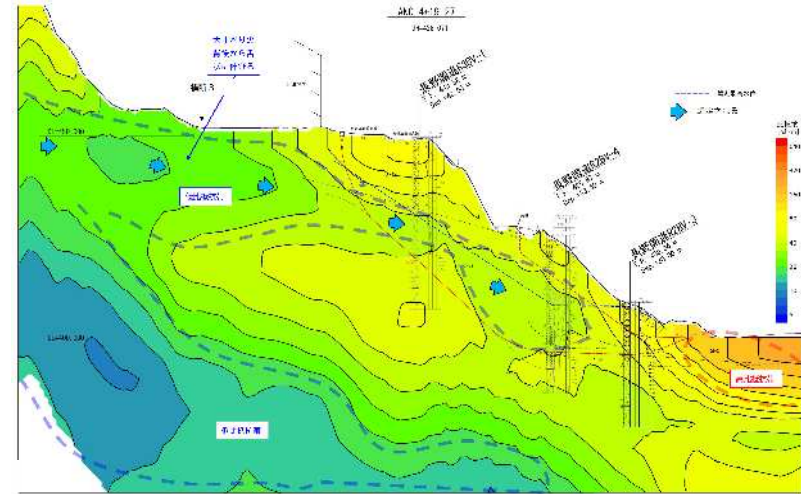
横軸：地下水に関する情報
 指標：体積含水率 (= 間隙率 × 飽和度)
 ・間隙率が大きく、飽和度が大きいほど、**低比抵抗**
 ・間隙率が小さく、飽和度が小さいほど、**高比抵抗**
 ・間隙率が大きく、飽和度が小さいほど、**高比抵抗**

縦軸：地質に関する情報
 指標：粘土鉱物の含有量
 ・新鮮岩の場合、泥質(粘土)分が多いほど、**低比抵抗**
 ・新鮮岩の場合、泥質(粘土)分が少ないほど、**高比抵抗**
 ・風化変質の程度が大きい(粘土分が多い)ほど、**低比抵抗**
 ・風化変質の程度が小さい(粘土分が少ない)ほど、**高比抵抗**

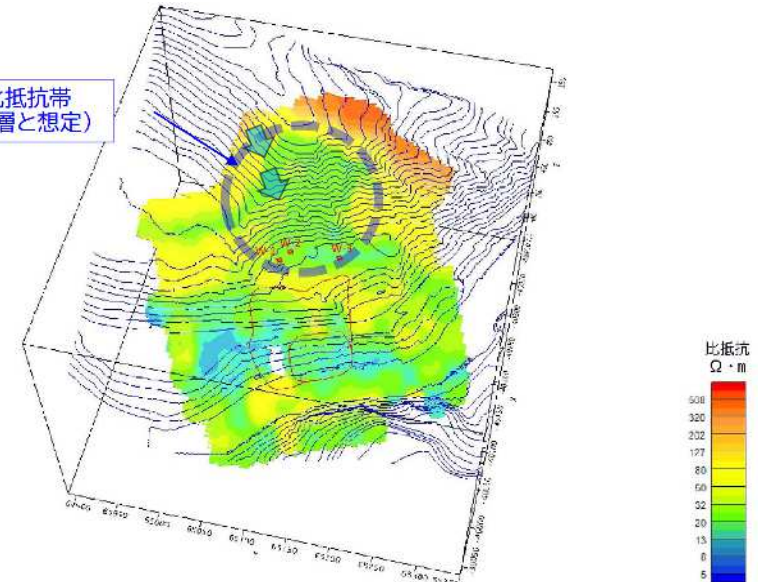
調査地域の「比抵抗」から推定できる地質・地下水情報
低比抵抗：「帯水層」(間隙率が大きく飽和度が大きい地盤) および/または、「泥質岩」あるいは「粘土分の多い風化変質岩」
高比抵抗：「砂質岩や礫質岩で、緻密な岩盤」 または、「粘土分を伴わない風化変質岩で、地下水に不飽和な開口割れ目が発達した岩盤(緩み岩盤)」

探査結果

- ▶ 高比抵抗帯・低比抵抗帯の分布、厚さを立体的に確認できた。
- ▶ 標高400m付近に分布する低比抵抗帯の上面に薄い高比抵抗帯を挟み、その上位に舌状に分布する低比抵抗帯(帯水層)が標高450m付近の平坦面の背後に位置する尾根地形から広く分布していることが明らかとなった。
- ▶ 地すべり土塊に供給している地下水は主に地すべり土塊の西側に分布する尾根部より供給されているものと評価される。



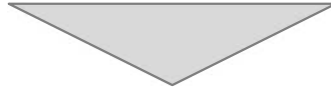
低比抵抗帯 (帯水層と想定)



防災対策検討委員会

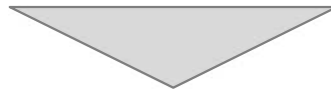
臨時委員会（R6.3.7）

- ・深層崩壊危険流域の蓋然性が高まった、範囲が明らかになった
- ・復旧は高度な技術が必要



令和6年度第1回委員会（R6.4.4）

- ・国で本格復旧することの報告
- ・今後の進め方について確認



令和6年度第2回委員会（R6.4.22）

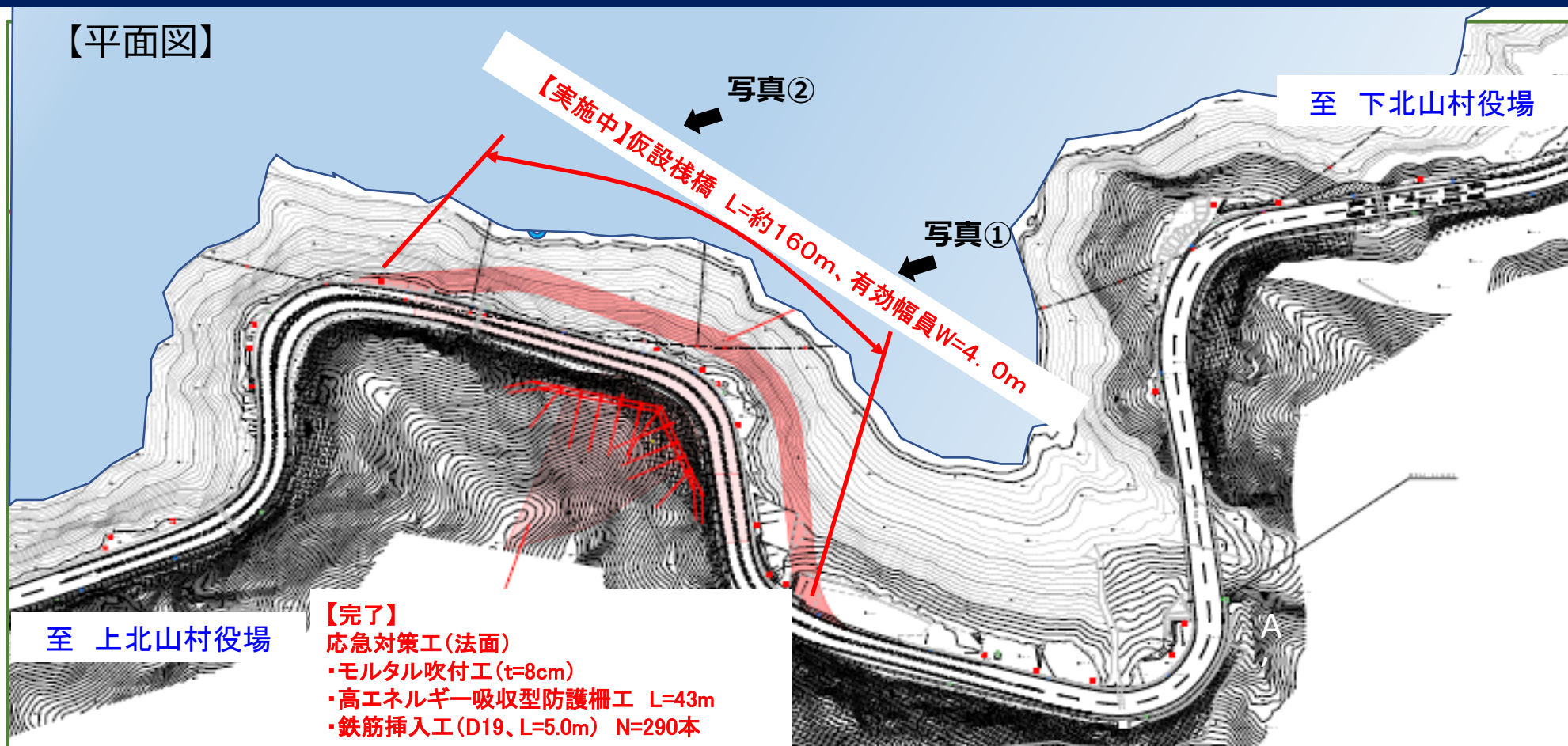
- ・本格復旧案の検討に必要な調査内容について確認



- ・国から調査結果の報告
- ・本格復旧案の検討に向けた配慮事項



- ・本格復旧案について確認



写真① (4月17日時点)



写真② (4月17日時点)

