

第4回委員会の委員意見一覧

資料1

項目	提案者	意見の内容
第5回 検討 資料2-2	鈴木委員	多くの点群データの取れている2016年の点群グランドデータから作成した推計地盤高データと、2020年の各点群グランドデータの同じX、Y座標での地盤高を比較することで、2016年から2020年の間の変位が見えてくるのではないかと
第5回 検討 資料2-3	鈴木委員	現場の左右岸の痕跡高の比高差と算出された数字について、資料を分かりやすく記載しておくべき。 一般的には土石流が発生する勾配は15°より急なところと経験的に認識されているが、土石流発生条件式から勾配が4°でも土石流化するとの表現は、誤解を招くため、表現を改めるべき。
第5回 検討 資料2-4	森脇委員長 木下副委員長	斜面変形の発生時期について、斜面の成り立ちを考えると2017年より前にも斜面変形があったと推定できるので、最終的な書き方については、検討すべきではないか。
第5回 検討 報告書 (案)	森脇委員長 木下副委員長 高橋委員	対策工事までの監視体制をしっかりと、検討していただきたい。また、周辺住民への周知も重要である。住民への周知は、防災士との協力も有効ではないか。
第5回 検討 報告書 (案)	菊地委員	近年、非常に強い雨が多くなっていることから、排水計画を上回る降雨があった場合の水の流れを把握していくことも必要ではないか。
第5回 検討 報告書 (案)	戸田委員	倒木を放置し、排水施設に流れ込むと危険な要因となってしまうかもしれないため、できる限り確認していただきたい。
第5回 検討 報告書 (案)	八木委員	史跡に指定されている都市公園を管理している県内の自治体も同じように、巨木の存在や雨による排水の問題などを課題としているため、対策完了までの住民への周知や樹木の点検についてなどの対策や課題の整理は、公園管理者にとっては、注目的となっているので、実現可能な対策をご検討していただきたい。
第5回 検討 報告書 (案)	鈴木委員委員	ハザードマップに関しては、土砂災害警戒区域だけでマップを構成するものではなく、これ以外のリスクも記載されている。そういったリスク情報に関しては、地域の特性を踏まえて、県市連携しながら検討すべきではないか。

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会

第 5 回委員会資料

第 4 回委員会の確認事項【松山市】

第 4 回検討委員会における課題の整理

1. 第 4 回委員会における課題と対応
2. 資料 3 修正 2016—2020LP 図の対比による斜面変形の確認
3. 資料 6 修正 流出土砂の移動速度等を踏まえた流下機構の検証
4. 資料 8 修正 斜面変形～土砂流出・土砂流下の発生機構と素因・誘因の推定

令和 7 年 1 月 30 日

< 目 次 >

第 4 回委員会の確認事項【松山市】

第 4 回検討委員会における課題の整理

1. 第 4 回委員会における課題と対応・・・・・・・・・・・・・・・・・・1

1. 第 4 回委員会における課題と対応

第 4 回委員会で示された課題について以下に示すともに対応結果を次項に示す。

表-1 第 4 回委員会で示された課題

第4回委員会資料名	第4回委員会資料の頁	委員名	コメント	対応結果
資料3	P3	鈴木委員	2016年の点群データを用いた想定地表面と2020年の点群生データの標高差分で検討を行うことを提案	資料2 2章
資料6	P6	鈴木委員	土砂乗り上げ箇所と計算結果の対比ができるように図面と本文を修正することを提案	資料2 3章 3 (1)
	P10	鈴木委員	泥流化する条件について、本文の記載をより正確に改めること	資料2 3章 3 (2)
資料8	P2、概要版	森脇委員長 木下副委員長	斜面変形（クリープ的変形）の発生時期について、記録に残っている2017年以前にも変状が発生していた可能性が否定できないことを記載すべきではないか	資料2 4章

< 目 次 >

2. 資料 3 修正	2016—2020LP 図の対比による斜面変形の確認	
2 (1)	2016-2020 差分図の誤差について	1
2 (2)	参考資料 : 4 回委員会における 2016-2020 年の LP 点群データ差分図及び点群密度に よる精度の検討について	3

2 (1) 2016-2020 差分図の誤差について (第 4 回委員会資料 3 の変更内容)

- 【目的】
- ・被災メカニズムの決定では、2024 年の崩壊箇所 (A 箇所) における変状の発生時期 (緊急車両用道路の施工時期と変状発生時期の関係) の整理が重要である、
 - ・緊急車両用道路は 2015 年に施工され、その後、変状監視がされているため、2017 年以降は道路クラックや擁壁傾倒といった変状が発生した記録が残っている (第 2 回委員会)。また、B 箇所は地形判読結果や樹高分布から判断すると、2017 以前から小崩壊が発生しており、斜面が不安定であったことが推定されている (第 4 回委員会資料)。第 4 回委員会では、そのため、経年的な斜面変形の有無の確認を目的に最も古い航空レーザー測量データ (以下 LP データ) である 2016 年 (2015 年の緊急車両用道路の施工前ではない) とその後取得された 2020 年の LP データを用いた差分図解析により変状の有無を協議した。
 - ・その結果、A 箇所と B 箇所の斜面の下方 (標高 90m 付近の赤線範囲) に土砂堆積による差分増の傾向がみられることが確認された。しかし、第 4 回委員会では、2020 年の LP データの点群密度が低いため、このデータのみから 2016-2020 の期間に土砂堆積が発生したと断定することは難しいという結論が示された (参考資料参照)。しかし、さらに委員から当該解析図における標高差分の検討方法として以下に示す手法が提案された。

【方法】

- 手順 1) 点群密度が高い (参考資料参照) 2016 年の LP データのグランドデータを用いて想定地表面を形成する。
- 手順 2) 点群密度の低い 2020 年の LP データのグランドデータを 2016 年の想定地表面と比較し、標高差分値を取得し比較する。

【結果】

- <標高差分が大きい箇所 (標高の特徴)>
- ・2016 年の点群データの面と 2020 年の点群データの面から作成した差分増の範囲 (土砂が新たに堆積した可能性のある範囲) は、降雨時の表流水のルートや馬蹄形の滑落崖の下方に位置しており、地形的に土砂がたまりやすい範囲である。
 - ・2016 年の点群データの面と 2020 年の点 (グランドデータ) の標高差は、上記の範囲の点は、2m 程度の増分となっている (右図参照)
- <差分数値の評価>
- ・差分の変位量が 2m 以上あり、周辺の点も 1m 以上あり、複数点で差分増となる傾向を示してる。しかし、未崩壊の B 箇所 (C・D 地点) は、現地踏査において新しい 2m 以上の土砂堆積は確認されていない (1m 程度の小崩壊あり)。
 - ・グランドデータ取得箇所が、傾斜地による水平位置精度のズレが大きい (2016 年の面平均値と 2020 年の 1 点を比較するため傾斜地では誤差大)、そのため標高誤差が大きく反映されている。
 - ・2016 年の想定地表面は、グランドデータから三角形を作成し面を形成させているため、2016 年 LP 点群の箇所による密度差や点の組み合わせにより誤差を有する。
 - ・地表面点群を抽出 (グランドデータ) にあたりフィルタリングした際に手法や条件によって地表点の除去や樹木影響が出る場合がある (対象箇所は一部が巨木の多い箇所と重複)。
- <結論>
- ・当該箇所の付近は増加傾向にある点が複数あり、この範囲は土砂移動に伴い差分増を示している可能性がある。しかし、標高差分値 2m は現地踏査結果と一致しておらず、その原因として精度に関する上記課題を有するため、本データのみで 2016-2020 期間の斜面クリープを断定するには至らなかった。

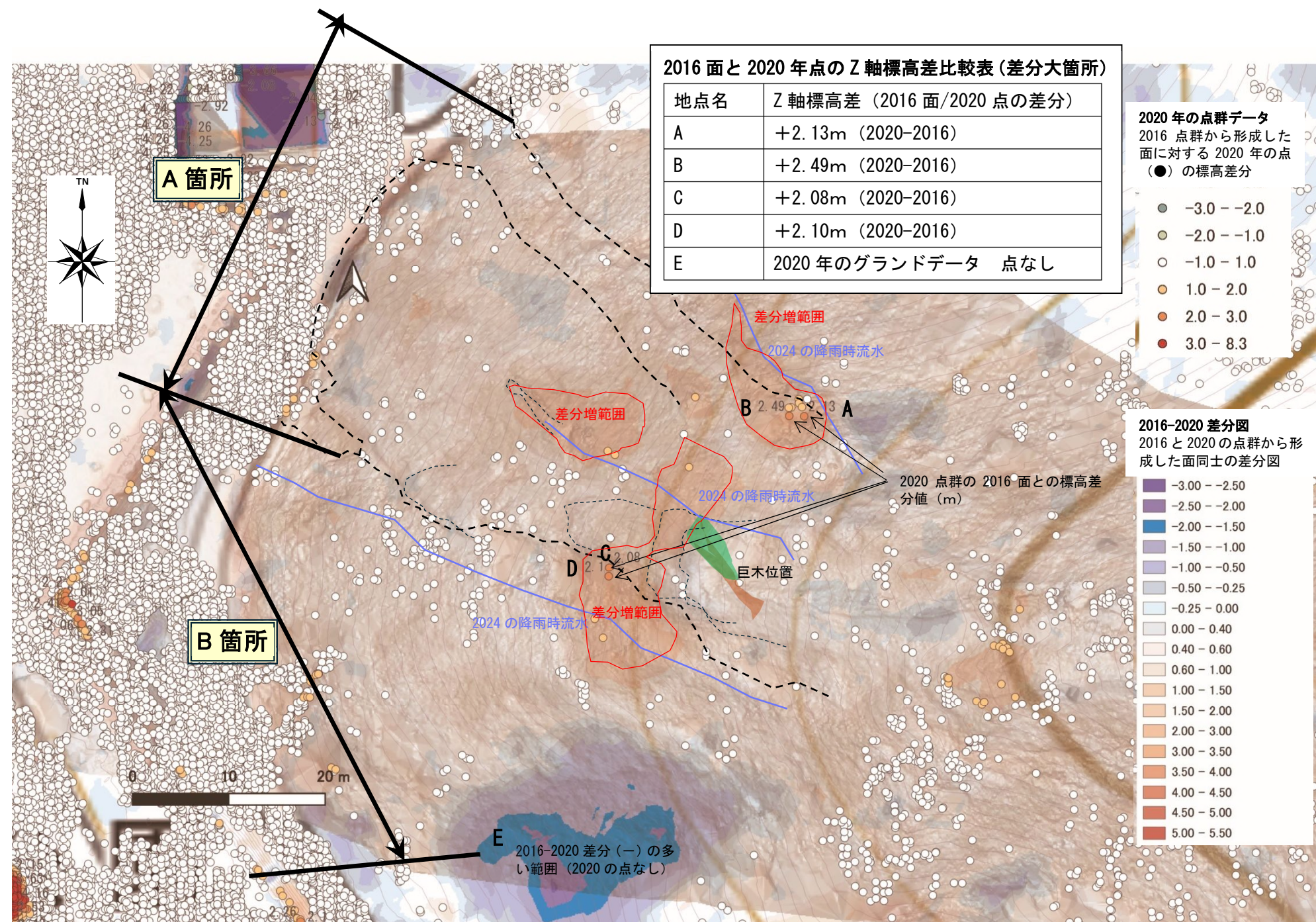


図 3.1 2016 想定面 (面) と 2020 年のグランドデータ (点) の標高差 (平面図)

■参考資料：2016年-2020年LP差分図の精度について

【目的】2016-2020LP 差分図のデータ精度の検証と斜面内の点群データの詳細検討を目的とする。

【方法】図3.1の差分図データの凡例区分でデータ数の多い-0.5～+0.5m 差分範囲の凡例を10cmピッチで表現。

①精度検討：樹木がなく平場のため最も精度の高い緊急車両用道路付近のデータにおいて、解析データの誤差を確認する。

②2016-2020年期間の変位：10cm 差分表現を用いて、微小な差分増減から斜面変形の傾向を検討する。

【結果】図3.2は、2020年LPデータの差分標高凡例を10cmに再区分し、後述する±20cmの差分解析誤差範囲を白表示とさせた図である。図3.3は、図3.2との比較を目的に図3.1の背景差分を非表示、かつ凡例で1.0m以上（大きな差分のみ）を強調した図である（前頁参照）。

・**精度**：不動点と判断している城山周回道路上は10～20cmの誤差を有する（図3.4）。そのため、当該図における植生のない平場における精度は約20cmと考えられる。なお、A箇所とB箇所中間に位置する緊急車両用道路は30cm以上の差分増が記録されている。これは2018年の道路舗装工事の路面高増加分を反映していると考えられる。なお、石垣や擁壁などの急傾斜部分は差分図の特性から誤差が大きい。同様の理由で、斜面内も勾配の影響で差分誤差が大きいと考えられる。また、斜面は上記に加えて、切株・倒木の影響、立木除去等による解析精度誤差が含まれるため、20cm以上の差分誤差を有すると考える。

・**2016年-2020年の斜面内の変状進行**：標高90m付近に1.0m以上の差分増箇所が存在するが、現地状況から誤差の影響が大きく、崩壊を断定するには至らない（前頁）。それ以外には、特にA箇所・B箇所の中腹斜面に差分増30～40cmの箇所が点在する。これらは小規模な土砂移動の特徴を示している可能性が考えられるが、変位量が上記の測定誤差範囲に近いため、断定することは難しい。

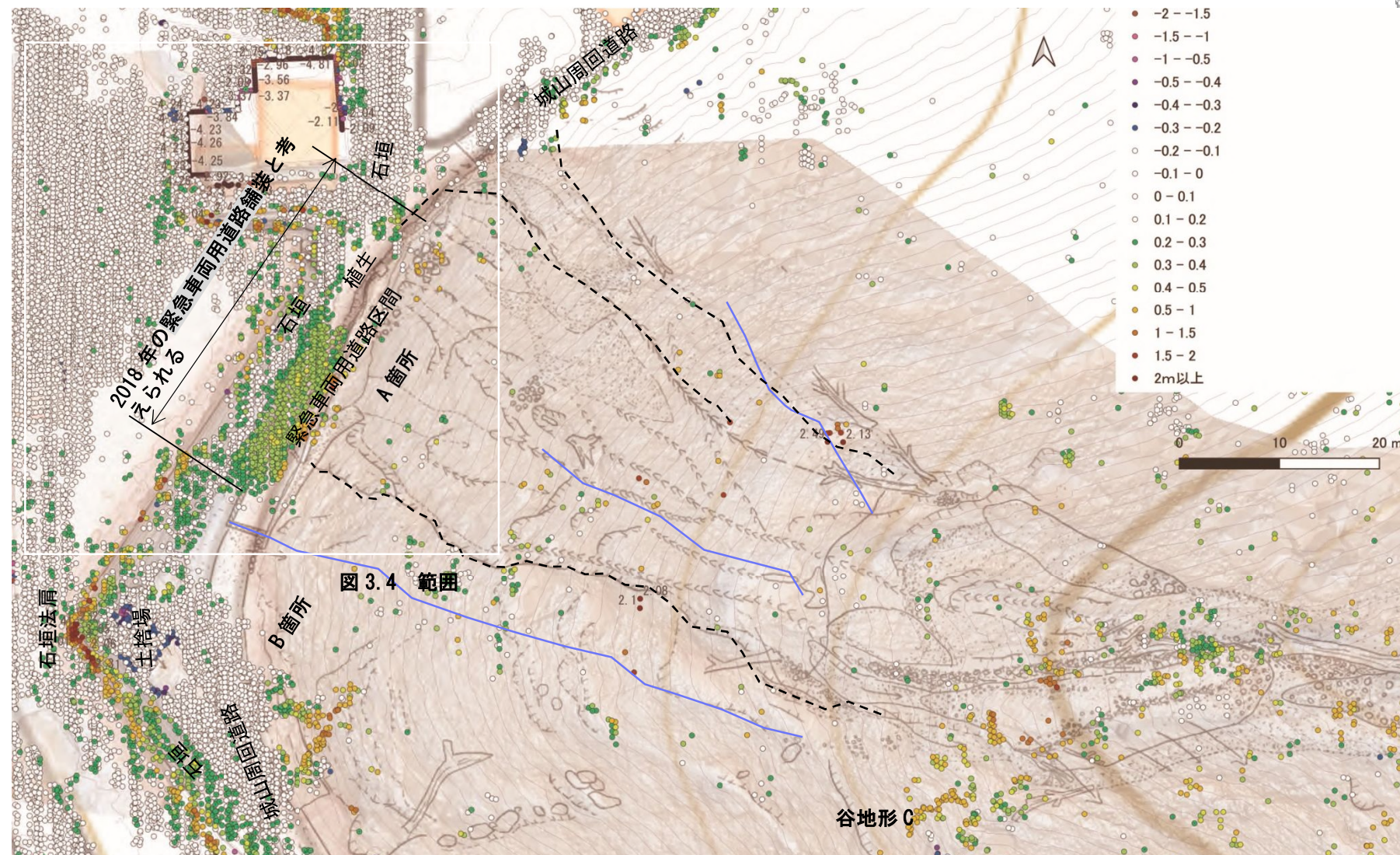


図3.2 2016想定面（面）と2020年のグランドデータ（点）の標高差（-0.5～+0.5m区間の凡例を10cm区分）

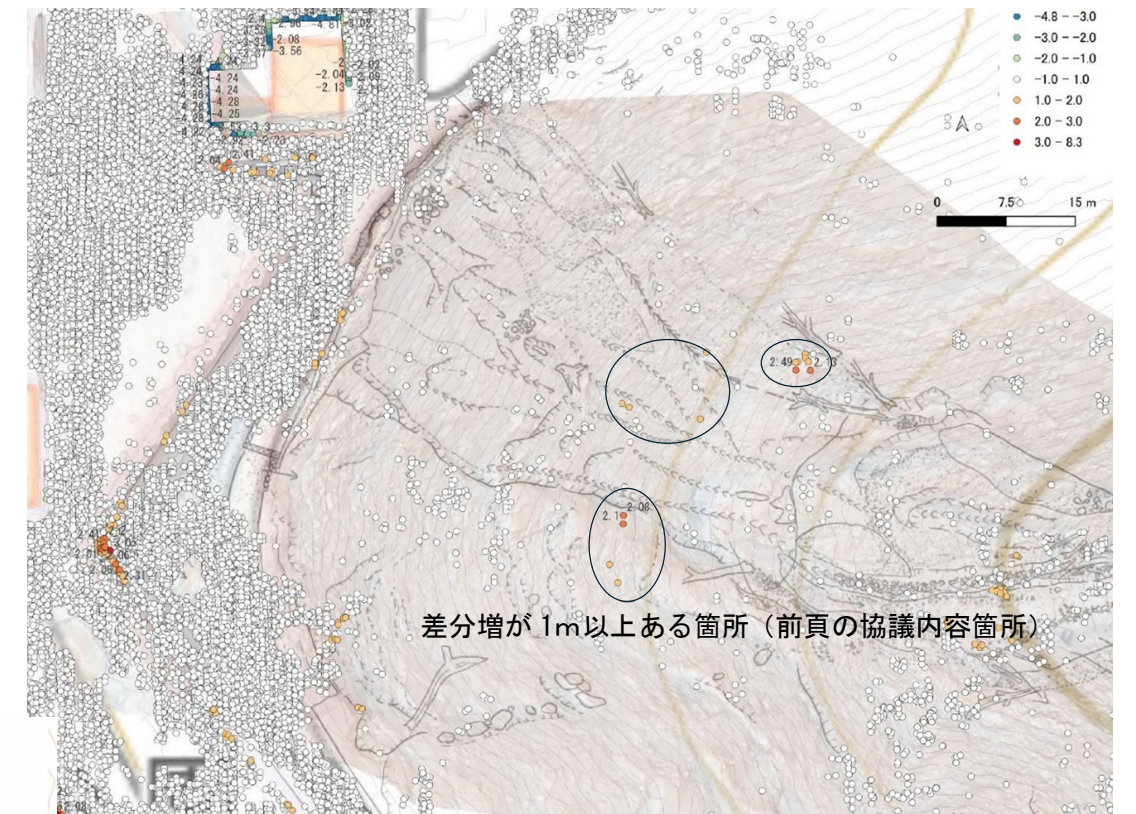


図3.3 2016想定面（面）と2020年のグランドデータ（点）の標高差（変位1.0m以上のみを強調凡例）

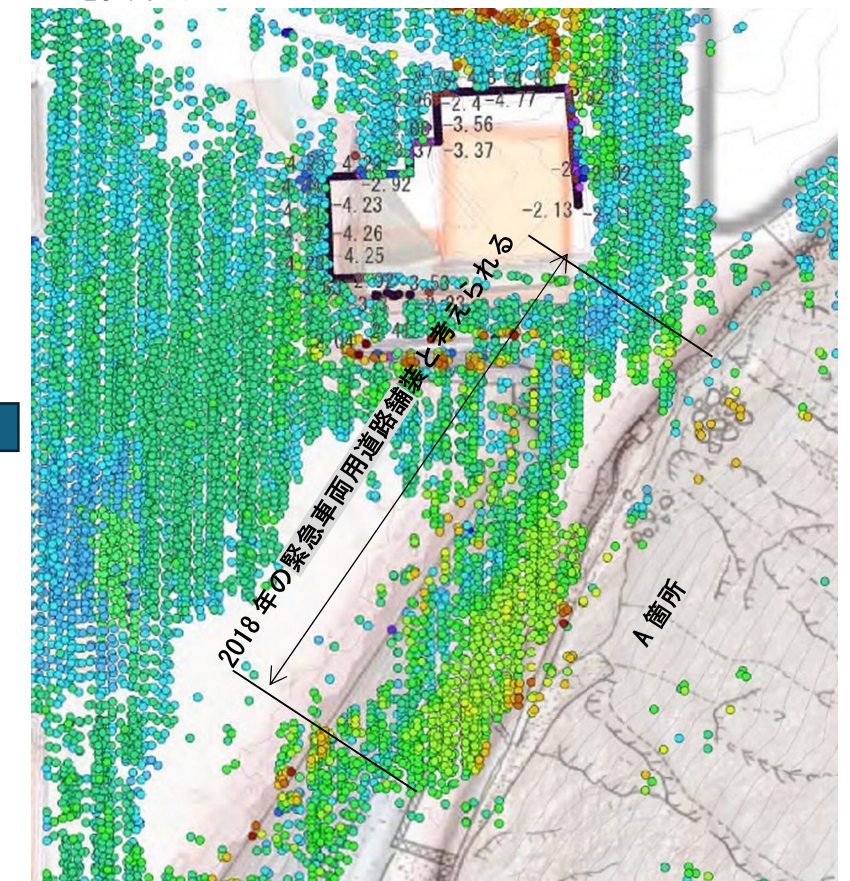


図3.4 本丸広場・城山周回道路（不動点）の差分図誤差（+20cm程度の差分誤差を有すると推定される）

2 (2) 参考資料

第4回委員会における2016-2020年のLP点群データ差分図及び点群密度による精度の検討について

1. 2016—2020LP 図の対比による斜面変形の確認結果について

- ・ A 箇所・B 箇所における地形変化（斜面変形）を確認するため微地形図（LP 図）を比較した。

【目的】

2015 年 6 月の緊急車両用道路施工後の 2017 年の道路擁壁の傾倒や 2018 年の路面クラックの原因 となった“斜面変形（クリープ的変形）”の変状範囲や時期について、最も古い LP データである 2016 年と道路変状（クラック・擁壁傾倒）確認後の 2020 年の斜面内の変化に着目して検討した。

【結果】

後述する理由により、過去の LP データの取得目的の違いによる誤差が大きく、2016-2020 の差分解析による上記検討は難しいと判断した。

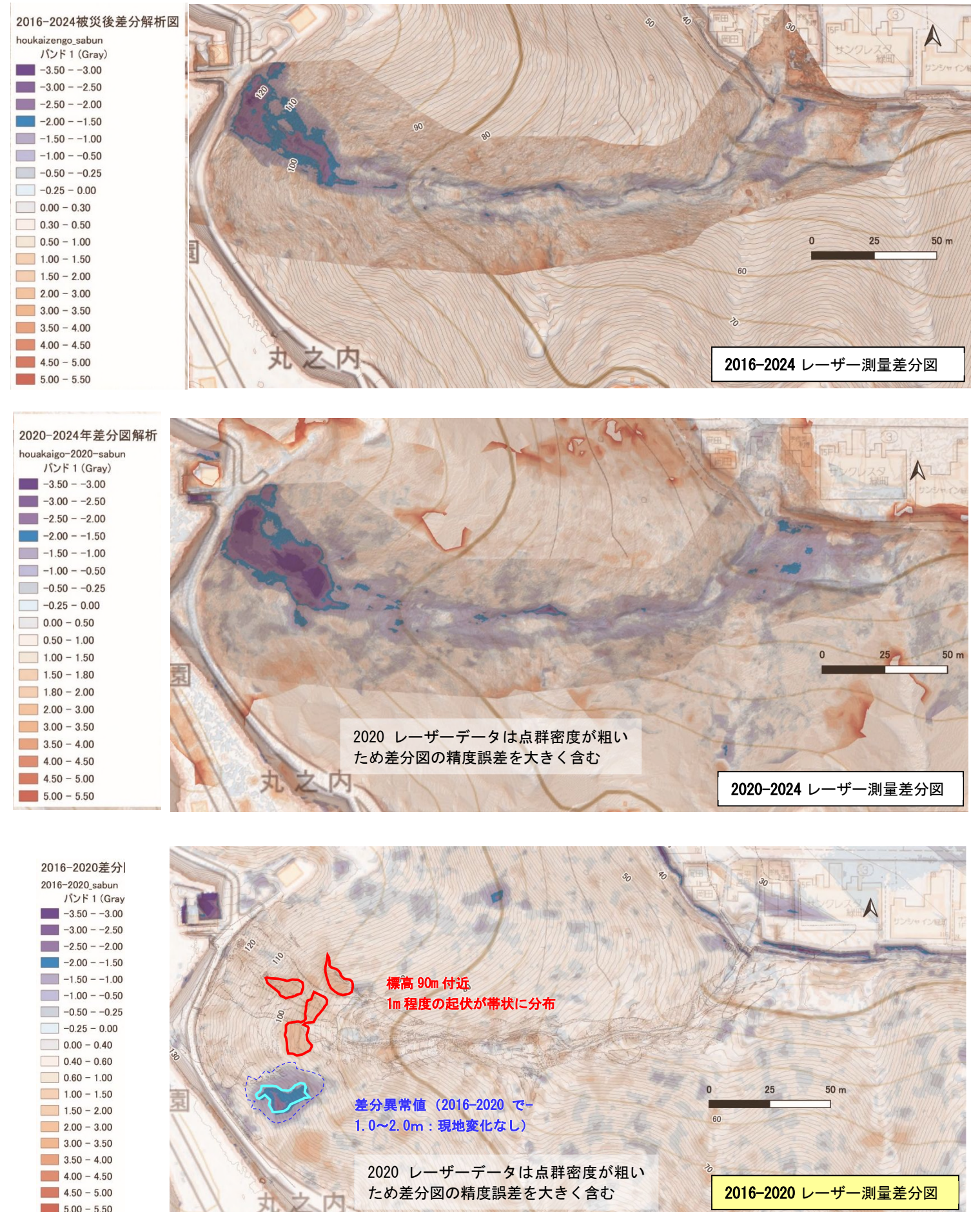
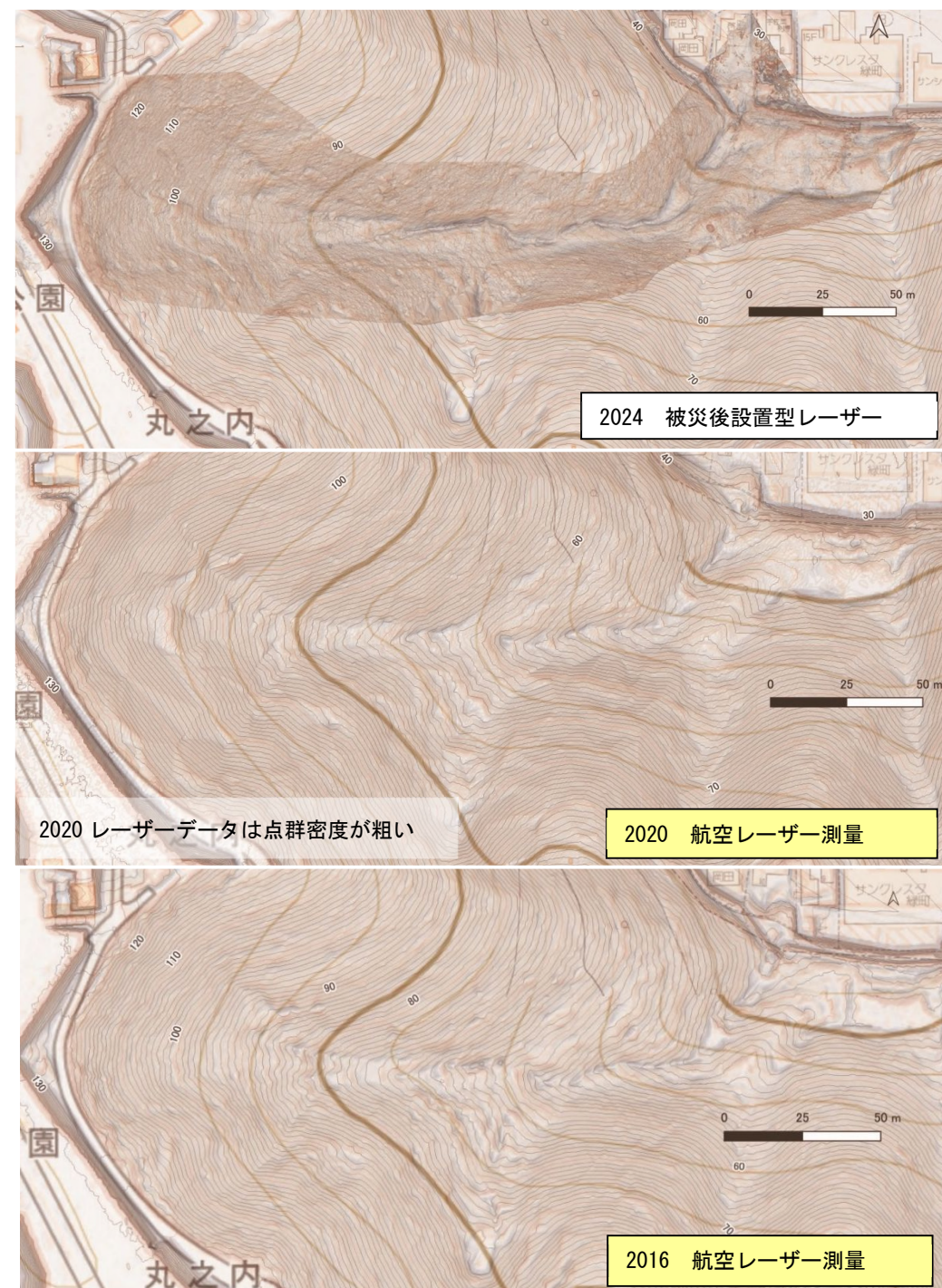
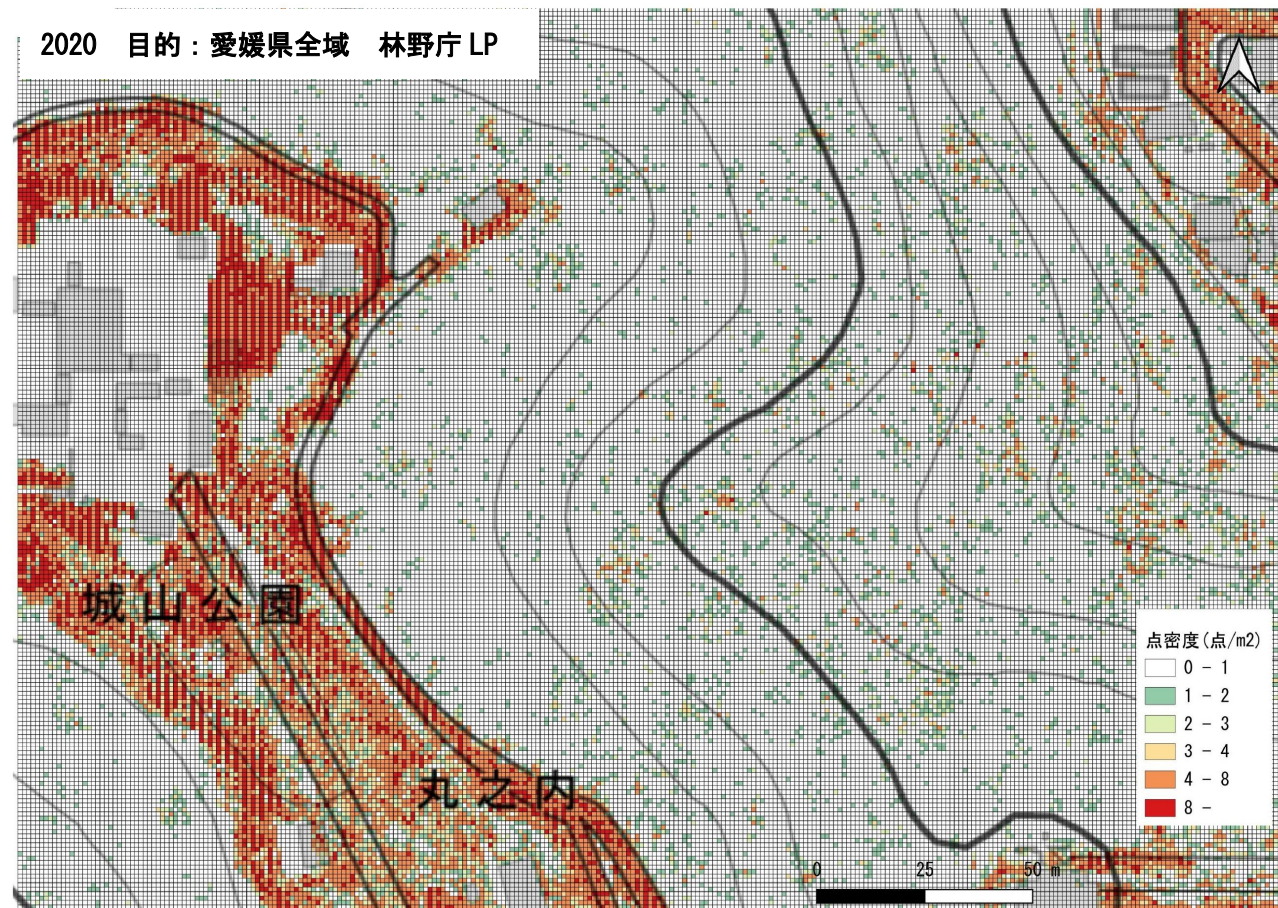
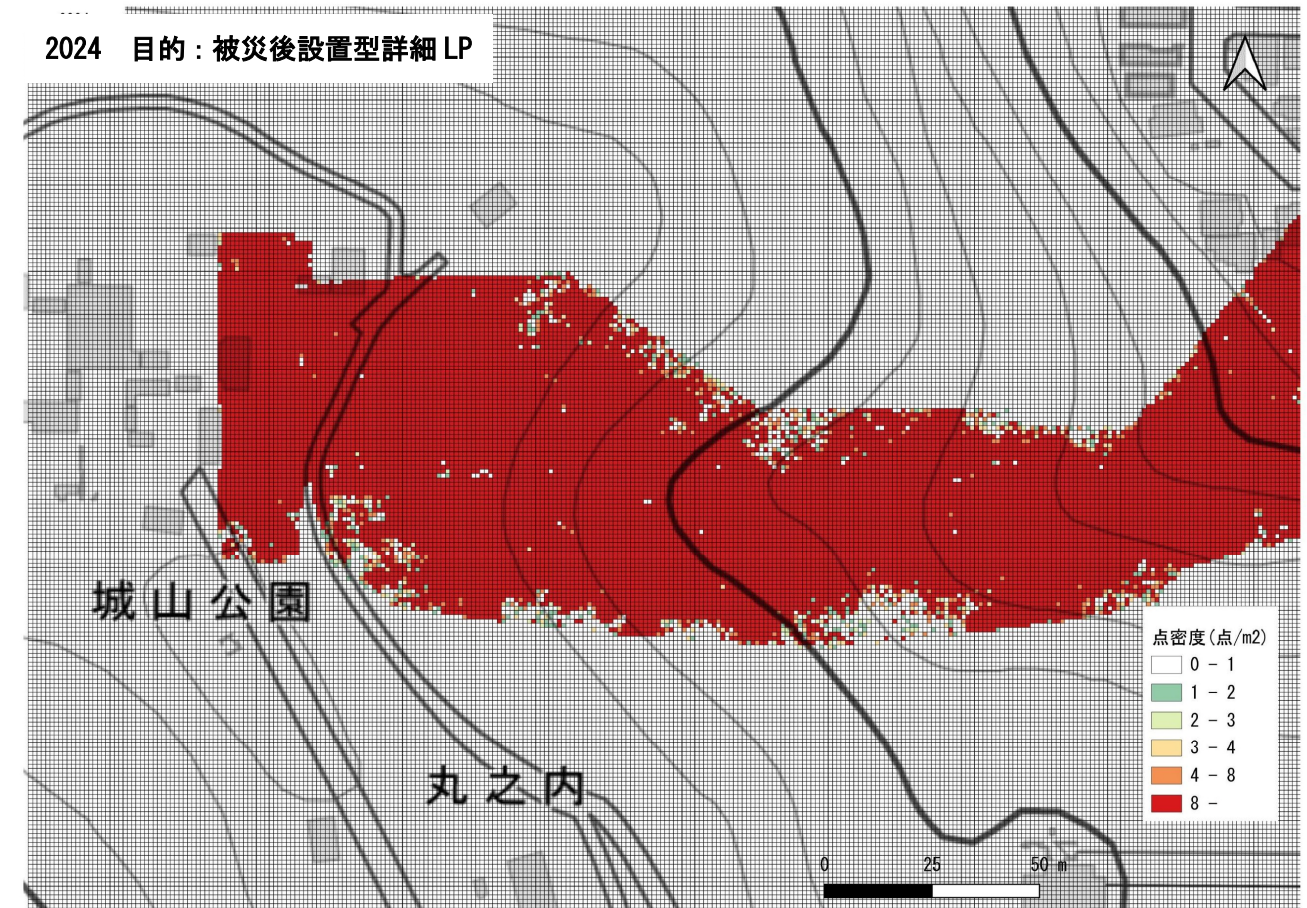
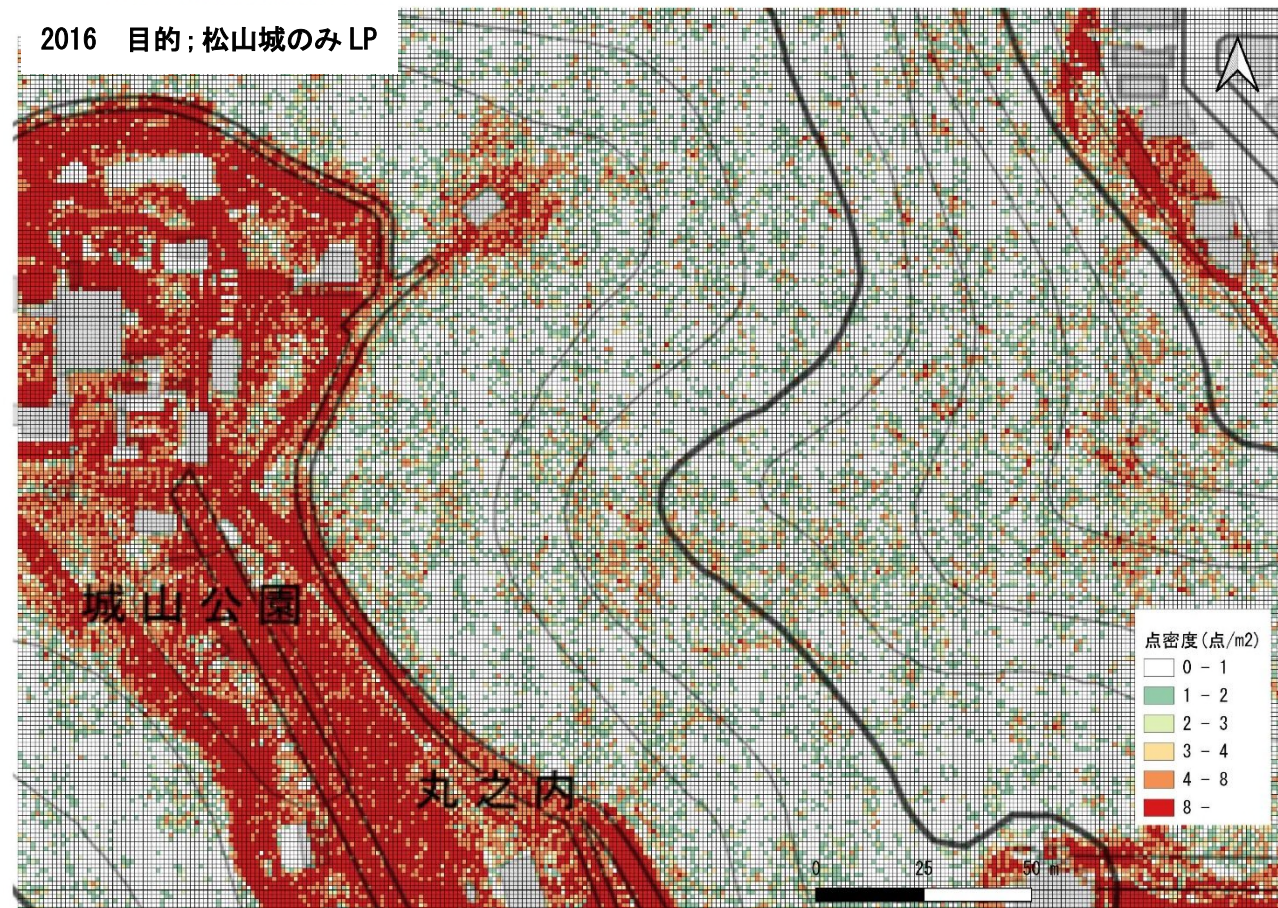


図-1 2016～2024 年の航空レーザー測量差分図

■参考：点群密度図を以下に示す（目的により地表到達 LP の密度が異なる）



< 目 次 >

3. 資料 6 修正 流出土砂の移動速度等を踏まえた流下機構の検証	
3 (1) 土砂乗り上げ箇所の記事の修正	1
3 (2) 堆積土砂の泥流化（土石流化）の妥当性評価の記事変更	3

3 (1) 土砂乗り上げ箇所の記述の修正

- 1. 第4回委員会での指摘事項：「乗り上げ痕跡を踏まえた土砂移動速度の妥当性評価」におけるA地点・D地点における乗り上げ高さを図中で明確に示すこと
- 2. 修正結果：現地状況の再確認の結果、乗り上げ現象はD箇所のみとし、再度乗り上げ現象の検証を行った。※赤字記載部分

1) 斜面モデルおよび計算条件

- ・ 斜面の縦断モデル作成のため、崩壊土砂の移動ルートを設定し（図 2.1-3 の赤線）、移動ルート沿いの被災前の地形データを踏まえ、斜面の縦断モデルを作成した（図 2.1-4）。見通し角は $H/L=89/306$ (16.2°) である。
- ・ A地点は地形変化による盛り上がりで、“遠心力による外湾部のせり上がり現象”と想定されるのはD地点、B、CおよびD地点（流下方向からは乗り上げ現象とも考えられる）において、移動土塊厚 3m と想定し、現地踏査で把握した乗り上げ高さをそれぞれ +1m、+5m、+4m とマーキングした。
- ・ マーキングした地形の上面を包絡するように、斜面モデルを設定した（表 2.1-2）。つまり、乗り上げ到達箇所を経由（乗り越える）して被災箇所まで到達する条件を検討した。

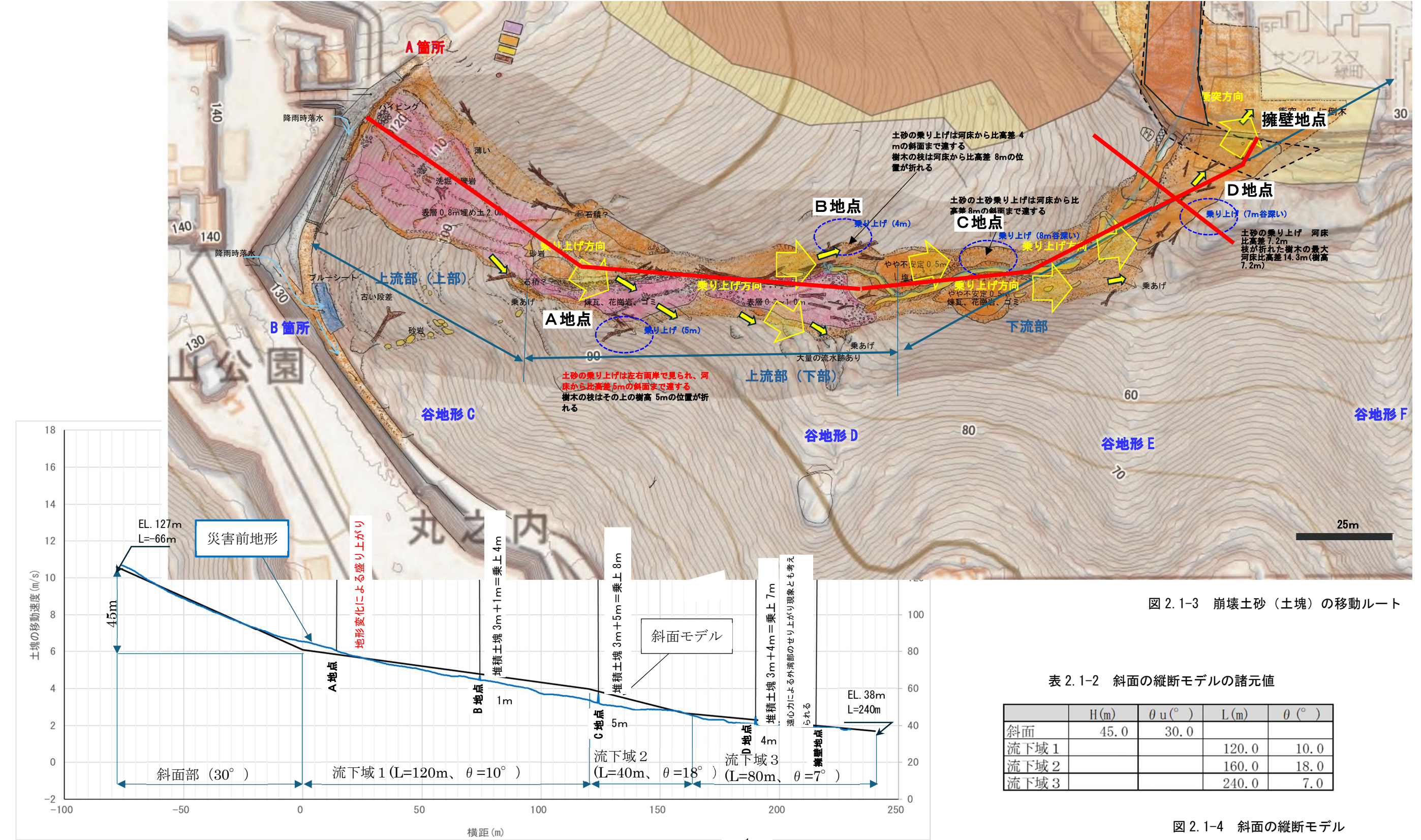


表 2.1-2 斜面の縦断モデルの諸元値

	H(m)	$\theta_u(^{\circ})$	L(m)	$\theta(^{\circ})$
斜面	45.0	30.0		
流下域 1			120.0	10.0
流下域 2			160.0	18.0
流下域 3			240.0	7.0

図 2.1-4 斜面の縦断モデル

2.2 乗り上げ痕跡を踏まえた崩壊土砂の移動速度の妥当性評価

- これまでの算定結果から、表 2.1-3 に示す CASE3 「移動時の内部摩擦角を 19.11° 【tan(30°)の 0.60 倍】」とした場合に、移動土砂が擁壁まで到達した。
- 移動時の内部摩擦角は、一般的に tan(斜面勾配)の 0.60～0.85 とされているので、斜面と移動土塊の界面はかなり泥濘化していたと想定される。
- 斜面中の乗り上げ地点のうち B および C 地点は、移動土砂が速度を持って通過しているので、実績と整合していると考え。また、A 地点は、左右岸とも同等の乗り上げ痕跡があることから、偏流ではなく、地形が斜面から谷地形に変化したことによる盛り上がりと判断される。このことから、D 箇所の乗り上げ現象に着目し、移動速度の妥当性を評価した。
- D 地点の乗り上げ現象は、図 2.1-3 に示した通りカーブしている箇所のため、“遠心力による外湾部の堰上がり現象”と想定する。
- 先に設定した移動ルートを基に、D 地点付近を通過する円弧を描いてみると、図 2.2-1 に示すように半径 150m 程度となる。移動速度の計算結果から円弧部分の平均流速 7m/s、曲率半径 150m として、土石流の外湾部の水位上昇を求める式³⁾ から外湾の最高水位 7.2m (標高約 44.8m、痕跡実績) となるような α を求めてみると $\alpha = 7.88$ となる(表 2.2-1)。 α の値には 2～10 の幅があり、7.88 の値は妥当といえる。
- 以上の算定結果の妥当性評価を踏まえると、急傾斜施設の擁壁設置箇所付近の崩壊土砂の移動速度は 4m/s (14.4km/h) であるといえる。

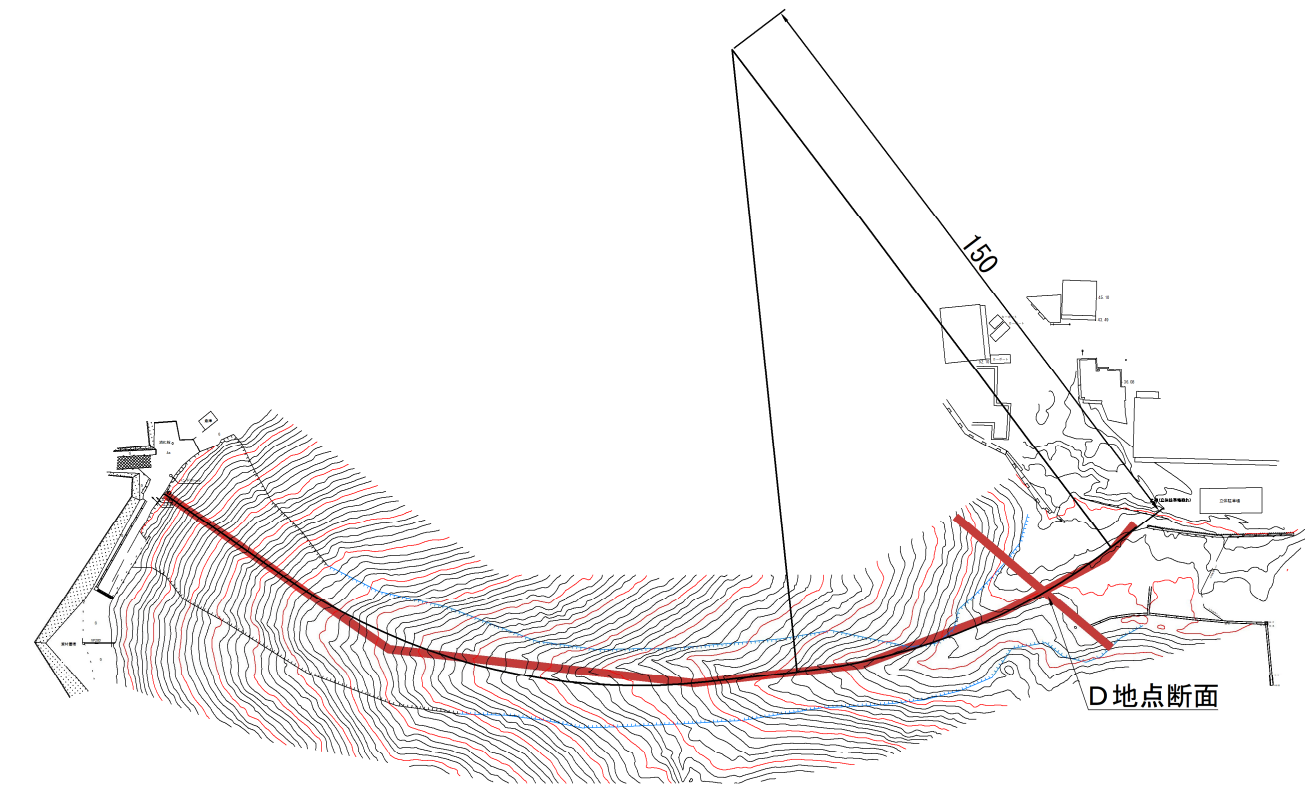


図 2.2-1 乗り上げ箇所（D 地点）の推定曲率

表 2.2-1 ナップの式による外湾部の堰上げ高さの計算結果（D 地点）

土石流の外湾部堰上げの計算（土石流・流木対策設計技術指針 解説,p51）

土石流では、外湾の最高水位 $D_{d(OUT)max}$ は $D_d + 10 \cdot (B_r \cdot U^2) / (\theta_r \cdot g)$ にもなることがあるが、一般に土石流導流工や流路工が施工される扇状地では、土石流および清流でそれぞれ下記の式で求める⁸⁾。

土石流：
$$D_{d(OUT)max} = D_d + 2 \frac{B_r \cdot U^2}{\theta_r \cdot g} \cdots (9)$$

清流（射流）：
$$D_{d(OUT)max} = D_d + \frac{B_r \cdot U^2}{\theta_r \cdot g} \cdots (10)$$

ここに D_d ：直線部での水深(m)、 B_r ：流路幅(m)、 U ：平均流速(m/s)、 θ_r ：水路中央の曲率半径(m)、 g ：重力加速度(9.81 m/s²)である。

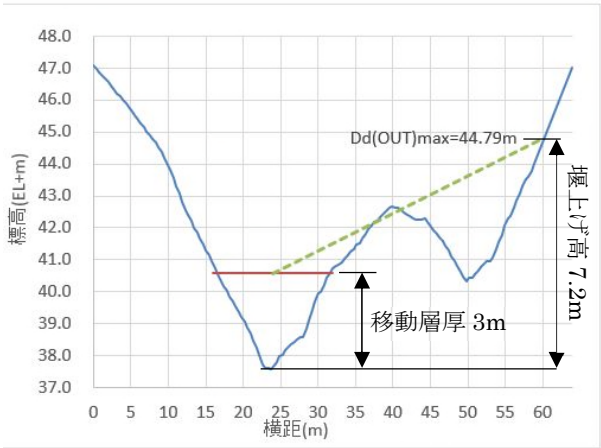
●計算条件

U：平均流速(m/s)	7.00
θ_r ：水路中央の曲率半径(m)	150.00
B_r ：流路幅(m)	16.00
g ：重力加速度(m/s ²)	9.81
D_d ：直線部での水深(m)	3.00
α ：土石流の場合2～10（下式）	7.88

$$D_{d(OUT)max} = D_d + \alpha \frac{B_r \cdot U^2}{\theta_r \cdot g}$$

●計算結果

$$D_{d(OUT)max} = 3.00 + 7.9 \frac{16.00 \times 7.00^2}{9.81 \times 150.00} = 7.20 \text{ m}$$



3) 国土技術政策総合研究所資料、土石流・流木対策設計技術資料（2016）, p51

3 (2) 堆積土砂の泥流化（土石流化）の妥当性評価の記載変更

- 1. 第4回委員会での指摘事項：「堆積土砂の泥流化（土石流化）の妥当性評価」における泥流化根拠の記載をより正確に修正すること
- 2. 修正結果：下記（第4回委員会資料6の10頁）の記載として修正した。※赤字記載部分

3. 2・3回目の土砂流出（泥流）に伴う流出土砂の流下機構の検証

3.1 1回目の崩壊土砂の堆積状況および運搬可能土砂量の推定

(1) 1回目の崩壊土砂の堆積状況の推定

- 被災前の2016年LP測量データに基づく3次元地形図や、被災直後の土砂流出範囲の状況（主に4箇所の土砂流出跡）を踏まえると、1回目の土砂流出（斜面崩壊）後～2・3回目の土砂流出（泥流）発生までの間に、図3.1-1に示す範囲に最大2,180m³の堆積土砂が存在していたことが推定される。
- 一方、1回目の流出土砂は、急傾斜施設の擁壁は倒壊させたが、民家側にほとんど出ていない。崩壊が発生した上流部（上部）斜面の流出土砂量は、LPデータと3Dスキャナの差分データを踏まえると約3,200m³とされる⁶⁾。よって、前述の擁壁を倒壊させた1回目の土砂流出時の土砂量は3,200m³－2,180m³≒1,000m³と推計される。

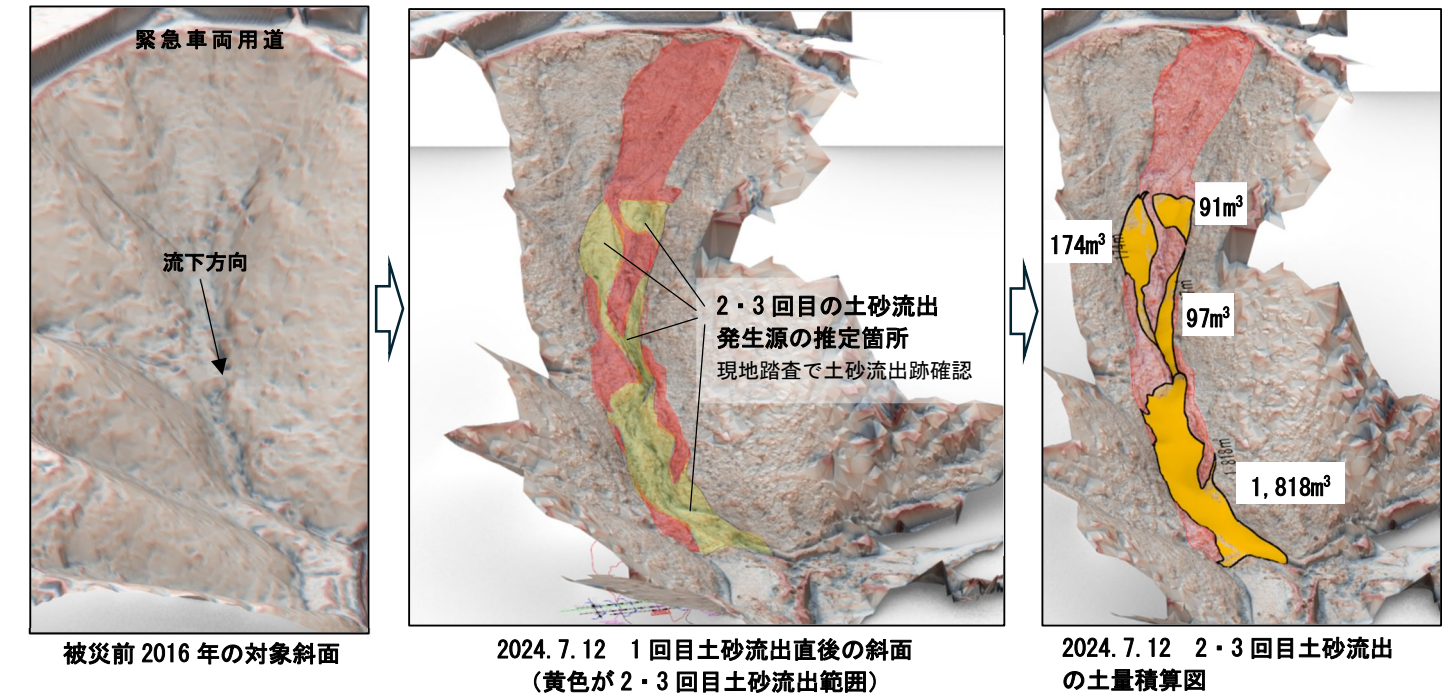


図 3.1-1 1 回目の土砂流出直後の堆積土砂（3 次元地形図からの推定）

(2) 運搬可能土砂量の推計

- 2・3 回目の泥流化に寄与した水量は、「1 回目の土砂流出発生直後～2・3 回目の土砂流出間に降った雨量」と、「1 回目の土砂流出時の土砂に含まれる水量」の合計と考える。
- 前者の対象雨量は、2:00（1 回目の土砂流出発生）～4:30（2・3 回目の土砂流出直前で少雨傾向になった）までとし、その総雨量は48mm（アメダス松山）であった。
- 後者の土砂量については、前掲の差分データに基づいた前出の約 3,200m³とすると、土砂濃度 0.6 であることから、堆積土砂に含まれる水量は3,200×(1-0.6)=1,280m³となる。この水量は流域面積 0.03km²を踏まえた雨量換算では42mm となる。
- 上記から 2・3 回目の泥流化に寄与した水量は、雨量換算で 48+42=90mm となる。
- この水量で運搬可能な土砂量を 2.1 章の検討と同じ算定式（表 2.1-1）で算出した。堆積土砂の内部摩擦角は一般値 35° とした算定結果を表 3.1-1 に示す。結果、土石流による運搬可能土砂量は約 2,500m³であることから、2・3 回目の土砂流出で流下した 2,180m³は土石流化（泥流化）したものといえる。

表 3.1-1 土石流によって運搬できる土砂量の算出結果

土石流によって運搬できる土砂量 (砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説，p.26～27,32に記載の式による流出土砂量)													
計算式	流出土砂量		$V_{d12} = \frac{10^3 \cdot P_p \cdot A}{1 - K_v} \left(\frac{C_d}{1 - C_d} \right) K_{f2}$										
	流出補正率		$K_{f2} = 0.05 (\log A - 2.0)^2 + 0.05$					$0.1 \leq K_{f2} \leq 0.5$					
	流動中の土石流の 容積土砂濃度		$C_d = \frac{\rho \cdot \tan \theta}{(\sigma - \rho) (\tan \phi - \tan \theta)}$					$0.30 \leq C_d \leq 0.9 \cdot C_u$					
	計算条件												
	礫の密度 σ		2,600 kg/m ³										
	水の密度 ρ		1,200 kg/m ³										
	堆積土砂の内部摩擦角 ϕ		35.0 °										
	堆積土砂の容積土砂濃度 C_u		0.6										
	連続雨量 P_p		90.00 mm										
計算													
計算流域	流域面積	流出補正率 K_{f2}		空隙率	渓床勾配	渓床勾配	流動中の土石流の 容積土砂濃度 C_d		運搬可能土砂量 V_{d12} (m ³)	実質 土砂量	土石流 総量	土石流中 の水量	備考
	A (km ²)	計算値	採用値	$K_v (=1-C_u)$	(1/n)	θ (°)	計算値	採用値	(空隙込み)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	
計画基準点	0.030	0.671	0.500	0.40	1.43	13.700	0.458	0.458	1,901	1,141	2,490	1,350	

3.2 堆積土砂の泥流化（土石流化）の妥当性評価

- 図 3.2-1 に土砂移動の形態の渓床勾配による目安を示した。当該溪流のうち堆積土砂が存在した範囲の勾配は約 14° である。これは、一般的な土石流溪流（実績による発生区間の勾配 15° 以上）に近い値であり、十分に土石流（泥流）化する可能性はあると評価できる。
- 参考までに、堆積土砂が土石流化するかどうか、土砂の礫径と流下部の水深を踏まえて評価を行った。
- 堆積土砂の最大礫径は、発災直後の愛媛大学の緊急調査で Dmax = 20mm であった（図 3.2-2 参照）。
- 流下部を流れる雨水（清水）流量については、アメダス松山の 10 分間雨量データを用いて、流域の雨水流出量を求める合成合理式より求めた。この場合の対象流域は前出の A=0.03km²、流出係数 f=0.9 とした。計算結果を図 3.2-2 に示す。流出計算結果では 3:00 頃に 0.20m³/s、4:00 頃に 0.18m³/s の流量が発生している。
- Manning 式に基づく等流計算（仮に水路幅 0.5m、両側岸 1.5 割の三角形断面としてみると）によると、この時の水深は、14cm 程度である（表 3.2-1）。
- 上記結果を踏まえ、高橋（1980）の土石流発生条件式により行った（表 3.2-2）、礫径 20mm (=2cm)、水深 14cm の場合の土石流発生判定では、計算上は十分土石流化する結果となった。

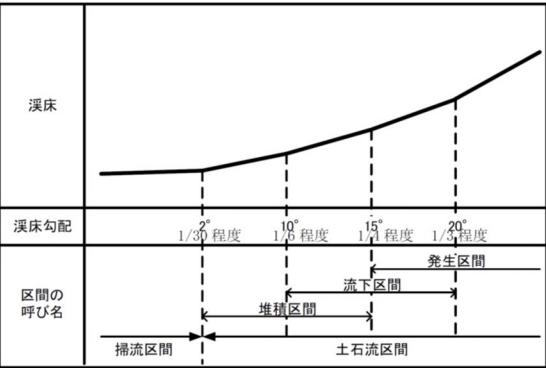


図 3.2-1 土砂移動の形態の渓床勾配による目安⁷⁾

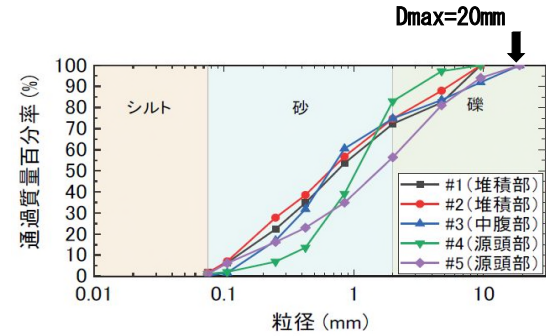


図 3.2-2 現地土砂の粒度試験結果

出典：小野、岡村（2024）：GIS 解析を用いた斜面不安定化の考察、第 3 回松山市城山斜面崩壊・緑町土砂災害調査速報会)

6) 松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会 第2回委員会資料（愛媛県） 資料3、3-6 頁

7) 国土技術政策総合研究所資料、土石流・流木対策設計技術資料（2016）, p1

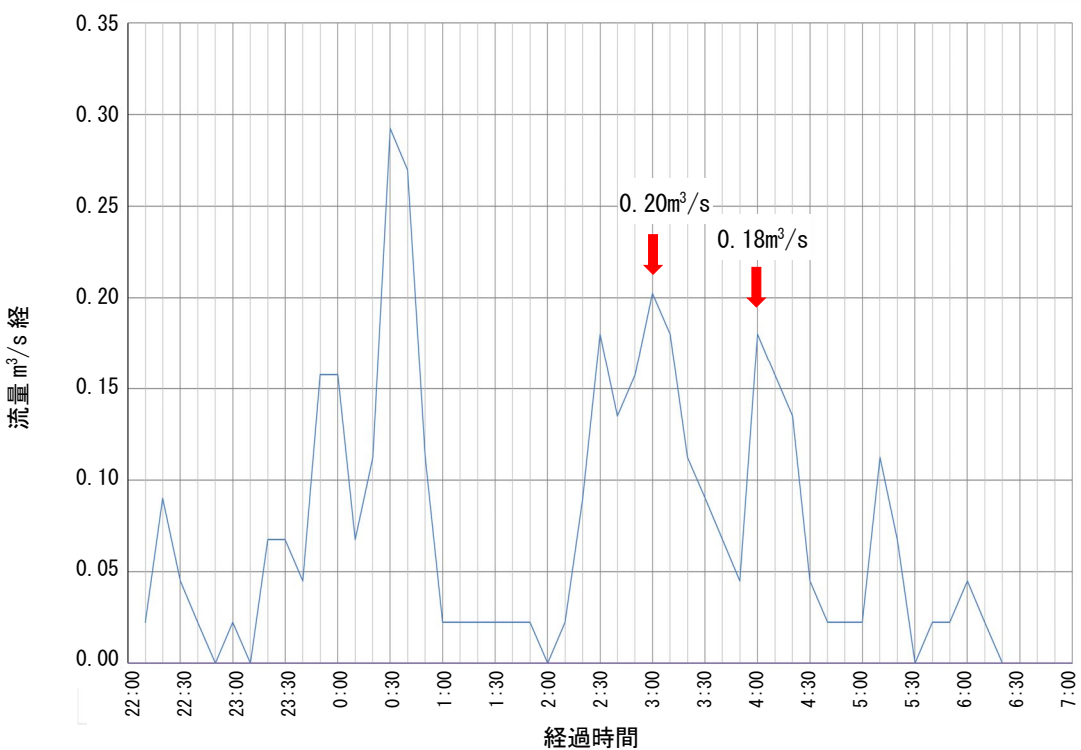


図 3.2-2 経過時間ごとの流出計算結果

表 3.2-1 等流計算結果による清水の水深と流速・流量の関係

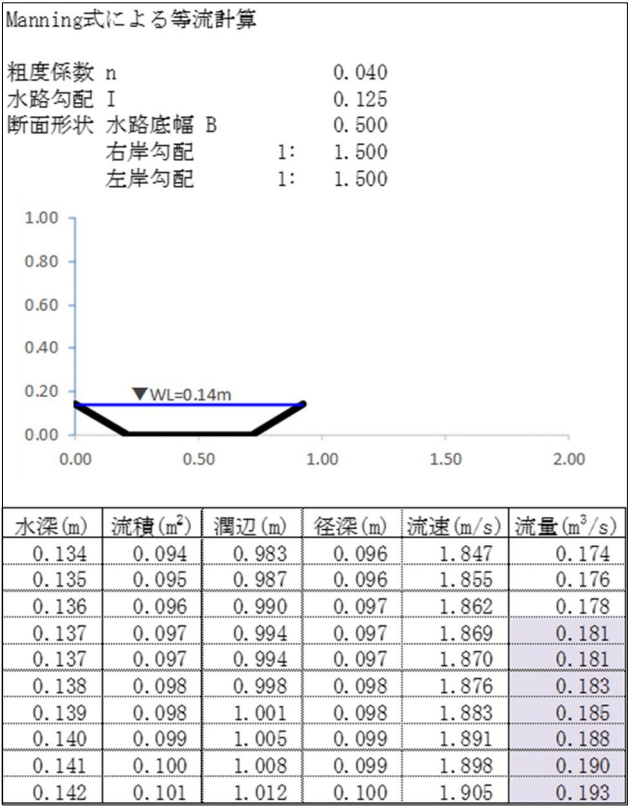


表 3.2-2 土石流の発生限界（堆積物の流動化）の判定結果

発生条件式（高橋保：土石流の力学的機構，土木学会水理委員会，1980年1月）

$$\tan \theta \geq \frac{C_s \cdot (\sigma - \rho)}{C_s \cdot (\sigma - \rho) + \rho \cdot (1 + h_0/d)} \cdot \tan \phi$$

・条件

$\tan \theta$: 河床勾配
 C_s : 堆積層の砂礫の容積土砂濃度 0.6
 σ : 砂礫の密度 2.6 (g/cm³)
 ρ : 水の密度 1.0 (g/cm³)
 ϕ : 堆積層の内部摩擦角 35 (°)
 d : 粒径 2 (cm)

・計算結果

表面流の水深 h_0 (cm)	勾配 $\tan \theta$	θ (°)
1	0.273	15.283
2	0.227	12.796
3	0.194	10.994
4	0.170	9.634
5	0.151	8.571
6	0.136	7.718
7	0.123	7.019
8	0.113	6.435
9	0.104	5.941
10	0.097	5.517
11	0.090	5.149
12	0.084	4.827
13	0.079	4.543
14	0.075	4.290
15	0.071	4.064
16	0.067	3.861
17	0.064	3.677
18	0.061	3.510
19	0.059	3.357
20	0.056	3.217

< 目 次 >

4. 資料 8 修正 斜面変形～土砂流出・土砂流下の発生機構と素因・誘因の推定	
A 箇所斜面の斜面変形（クリープ的変形）の発生時期について・・・・・・・・・・	1

A 箇所斜面の斜面変形（クリープ的変形）の発生時期について

【目的】：第4回委員会では、本資料の、A 箇所における2015年の緊急車両用道路施工前の斜面変形に関するコメントについて「変状発生は、道路記録のある2017年以降に限定すべきではないという指摘が示されている」ため、修正を実施した。

【結果】：下記に示すように隣接する周辺斜面の状況から、2017年以前から斜面変形が発生していた可能性が否定できないことを追加した。

■プロセス1の推定根拠（確認された事実と第3回委員会までの協議結果）

＜まとめ：プロセス1斜面変形（クリープ的変形）の推定根拠＞

- ・斜面変形（クリープ的変形）とは、広く捨土が分布する上流部（上部）に位置するA箇所と隣接するB箇所において、捨土が明確なせん断面を形成せずに下方に向けて変形し、斜面全体が不安定化した現象を指す【本委員会資料4】。
- ・A箇所・B箇所斜面は、記録のある2017年以降、降雨に伴い斜面下方への斜面変形（クリープ的変形）が進んでいた。【第2回委員会協議内容】。
- ・斜面変形（クリープ的変形）は、降雨時に変位が進行した記録があり、主たる誘因は降雨である。素因は、樹木の成長・緊急車両用道路の荷重増加や降雨による斜面侵食作用・経年変化の強度低下などがあり、それらのいくつかが個別もしくは複合的に影響を与えた可能性がある【第3回委員会協議内容】。

（1）A 箇所と B 箇所の土砂層厚の違いと変状の進行程度

1）A 箇所

- ・被災前、岩盤上に3.5～7m厚さの捨土が分布していた。崩壊箇所の地表踏査によると築城時の表土はほとんど存在せず、岩盤直上から捨土層が分布する（第2回委員会協議内容：本委員会資料4に再掲）。

2）B 箇所

- ・岩盤上に1～3m厚さの捨土層が分布。2024年7月12日には崩壊していない。崩壊地形跡や解析による地表水の集水状況から、過去に土砂流出し（小崩壊が発生していた履歴があり）、残存する捨土が薄くなっていたため崩壊に至らなかったと判断している（第2回委員会協議内容：本委員会資料4に再掲）。

（2）A 箇所・B 箇所における過去の変状経緯【少なくとも記録のある2017年以降は、2015年に施工された擁壁・盛土区間とそれ以外の区間の双方において、クラック等の変状が進展し、警報級降雨後に拡大する傾向を確認している】

【道路変状】

1）A 箇所

- ・記録のある2017年以降は、警報級の降雨に伴い道路クラックや擁壁変形、道路変形の拡大が記録されている（第2回委員会協議内容）。
- ・緊急車両用道路の擁壁は、2017年の計測段階で傾斜4°谷側に傾斜していた。また被災後の残存擁壁の傾斜角度は7°であり、2017～2024年の被災の間に傾動はわずかに進行した（第2回委員会協議内容）。
- ・緊急車両用道路の道路クラックは、7月1日に10cm程度の段差が発生し、7月2日に50cm以上の段差が発生した。その後7月3日から擁壁と背面盛土の撤去作業が行われ、7月12日の被災時には、撤去済であった（第2回委員会協議内容）。

- ・A 箇所の道路は、少なくとも記録のある2017年以降は、降雨に伴い斜面下方への斜面変形（クリープ的変形）が進んでいたことが確認されている。一方、後述するB箇所斜面は、地形判読により過去に発生した崩壊地形があることや、樹高分布から以前から斜面が不安定であったと考えられる。そのため、隣接するB箇所の状況からA箇所斜面も2017年以前から斜面変形が発生していた可能性は否定できない（第2回・第3回委員会協議内容）。

2）B 箇所

- ・B箇所の道路クラックや段差は、2020年の調査で確認され、その後2023年に段差が拡大していることが示されている。2024年被災後に地表傾斜計・孔内傾斜計を設置し、有意な変位量ではないものの、微小ながらもわずかに変位が累積し続けていることが確認されている。
- ・2024年11月2日降雨時には、地表傾斜計（クリノポールCP1、落ち残った道路部YSP15付近の路上に設置）について、豪雨ピーク時に斜面方向（X軸）で約0.02°/時の変動（管理基準値以下）が発生。またB箇所のCP4のX軸にも約0.01°/時の変動があった。このことは降雨に伴いわずかに斜面変形（クリープ的変形）が累積したことを示している（第2回委員会資料 本委員会参考）。

【斜面変状】

1）A 箇所

① 地形判読

- ・被災前（2016年LPデータ）は、明瞭な崩壊跡等は確認できなかった（第3回委員会協議内容：本委員会資料4に再掲）。

② 表流水解析・浸透流解析

- ・表流水は、上流部（上部）の末端部付近に集中する（第2回委員会協議内容）。地下水は、上流部（上部）の中腹付近から伏流（湧水）する。このことは2024/11/2の豪雨直後の踏査結果と整合していた（本委員会資料3、参考資料）。

③ 樹高分布図：

- ・樹高分布図によるとA箇所斜面は標高20～30m程度の樹木が繁茂していた。

2）B 箇所

① 地形判読

- ・複数の馬蹄形地形が確認され、過去に崩壊が発生していたことを示している（第2.3回委員会協議内容、本委員会資料4に再掲）

② 表流水解析・浸透流解析

- ・表流水は、本壇や本丸広場、緊急車両用道路から流入する（第2回委員会協議内容）。地下水は、ほぼ斜面全体から伏流（湧水）する。

③ 樹高分布図：

- ・樹高分布図によると、B箇所斜面は周辺よりも樹高が低い（樹高5～25m）ものが多い箇所がある。崩壊に伴い樹種が入れ替わり、B箇所だけ樹齢が若い可能性がある（第3回委員会資料、本委員会資料4）。

（3）土砂流出（斜面変形）に関わる可能性がある樹木の分布【集水が顕著な斜面末端部の巨木の存在】

- ・後述する「プロセス2」で、1回目の土砂流出（斜面崩壊）の発生源となる上流部（上部）斜面は、その末端部に周辺斜面では数少ない樹高32m以上の巨木が存在していた（被災後にこの巨木は倒木として確認された；第3回委員会で協議）。