

第2回委員会の委員意見一覧

資料1

項 目	提案者	意見の内容
前回資料の追加 (資料1)	鈴木委員	・松山市の和泉層群の過去の被災実績によると侵食可能断面積が、平均7.8m ² とある。その母集団の個々の分布に照らし今回の被災箇所については、どの程度特異性があったのか整理すること。
3-(1) 土砂流出の発生プロセスの推定 (資料2)	鈴木委員	・急傾斜地崩壊防止施設の被災状況（被災範囲、移動方向等）から、流れの方向や流体力などが推定できないか。 ・「流木堆積範囲」として示される範囲は谷筋より高い位置にある直進コースであることから、地形なりに流れたものと比較し速度が速い現象だったと考えている。右岸寄りのコースをとった流れと左岸側のコースをとった流れで「流木堆積範囲」における泥の付着状況などによりこういった性状のものが、どう流れてきたかを推察できないか。 ・マンション5階～8階に到達している倒木の長さ、樹種などから被災前にどこに分布していたかを整理できないか。
	高橋委員	・（倒木が流れる際に、）残った木にぶつかった跡、方向、根の向き、どちらの方に流れるか整理してほしい。
	洲之内委員	・今回の土砂災害の源頭部はどこになるのか。 ・樹木の位置や高さ等を整理してほしい。
	高橋委員	・植生の変遷を整理して欲しい。 ・小規模な馬蹄形の地形があるが、大きくなりすぎて倒れた木の位置で確認されている可能性があるため分布を確認して欲しい。 ・倒木等については、根の状況から斜面のせん断破壊によるものかなどを確認すること。
	鈴木委員	・捨土・瓦礫の分布について地表面の調査で推定できるのか整理する必要がある。 ・斜面上部が主たる発生源であろうと仮定して考えるなら、崩壊した土砂が1度に市街地まで流出したのか、あるいは流域内で一度堆積した土砂が渓流水を取り込んで改めて流出したのか整理する必要がある。 ・土石流の発生区間、流下区間、堆積区間などの縦断勾配の目安も参考にしつつ発災後の渓床堆積物について、今回崩れたものが堆積したものか、元から河床にあったものかについても推定しながら議論していく必要がある。
3-(2) 土砂流出の発生箇所の推定 (資料3)	森脇委員長	・今回崩壊が起きた斜面に生えていた樹木の樹高は、LPデータ等で類推できないか。
	菊地委員	・簡単な物理現象ではない、かなり複雑なことが起こっていることは分かってきたかなと思う。複数の崩壊過程をどのように理解し、その複数回流出したものの物性が、少し違っていることに関してどう説明をつけるのか。
	森脇委員長	・検討に必要な地下水位を整理して欲しい。
3-(3) 緊急車両用道路の影響検討 (資料4)	鈴木委員	・被災前の2時期のLPのデータを活用し、平成30年豪雨の前後（2016年、2019年）で、斜面全体の変状箇所の整理をして欲しい。
	木下副委員長	・7月12日に崩壊が起きた原因としてB箇所が発生した現象は、重要な現象であるため変状経過を整理してほしい。 ・7月12日以前にどのような変状があったのかを整理することも重要であると考えているため、その点が説明できるような資料の整理をしてほしい。 ・緊急車両用道路の施工の影響がどの程度あったのか説明する資料の整理をしてほしい。 ・緊急車両用道路の影響の度合いを説明しやすいような材料を整理すること。
4 本復旧対策の方針について (資料6)	洲之内委員	・2016年のLPデータと緊急車両用道路の横断図に有意な差（変位）が確認できるか。（過年度からすでに動いていたのか・擁壁の足元が崩れていたか） ・いろいろな条件をこれから整理されていくが、A箇所の上部の斜面変状との関連性を整理する必要がある。
	鈴木委員	・松山市は発生源での斜面对策を行うという説明であったが、0次谷はA箇所B箇所だけでなく、どこから崩れるかわからないため、一般的には待ち受け対策の方が合理的と考える。今後の検討会での内容もみながら幅広く検討いただきたい。

侵食可能土砂量の特異性について

前回の第2回技術検討委員会において「土砂災害警戒区域を設定した場合の侵食可能土砂量」に用いた「和泉層群」の「災害実績値及び既往資料平均値」の根拠となるデータを用い、今回の崩壊土砂量の特異性の確認を行った。
根拠とする災害実績値は、平成16年の台風により新居浜市において発生した崩壊及び土石流の箇所で、「和泉層群」の0次谷箇所を抜粋し、確認を行った。
第2回技術検討委員会資料を基に、松山市緑町の崩壊土砂量に対する断面積の算定（□囲み）を行った。
今回の崩壊土砂量から断面を逆算した値を図1-1のグラフに示した結果、平均値（7.8）の3.1倍、新居浜市の最大災害実績値（14.4）の1.7倍となり、特異性がみられる。

表1-1 H16災 災害実績土砂量
(和泉層群)

溪流番号	谷次数	侵食(m2)	流域面積(km2)
205-1009	0	8.8	0.15
	0	2.7	0.15
	0	3.9	0.15
205-1072	0	8.3	0.16
	0	8.5	0.16
205-1013	0	14.4	0.01

表1-6 災害実績値及び既往資料平均値
(侵食可能断面積(m2))

新市町名	旧市町村名	谷次数	地 質
松山市	松山市	0	災害実績値 和泉層群
	北条市	1	12.1
	中島町	2	11.1
		3	-
		4	-

表1-7 侵食可能土砂量

谷次数	区間長	侵食可能 断面積
	Lme (m)	Ae (m2)
0 次 谷	240	7.8
1 次 谷		
2 次 谷		
3 次 谷		
4 次 谷		
侵食可能土砂量(m3)		1,872

※図表番号は、第2回技術検討委員会時の番号である。

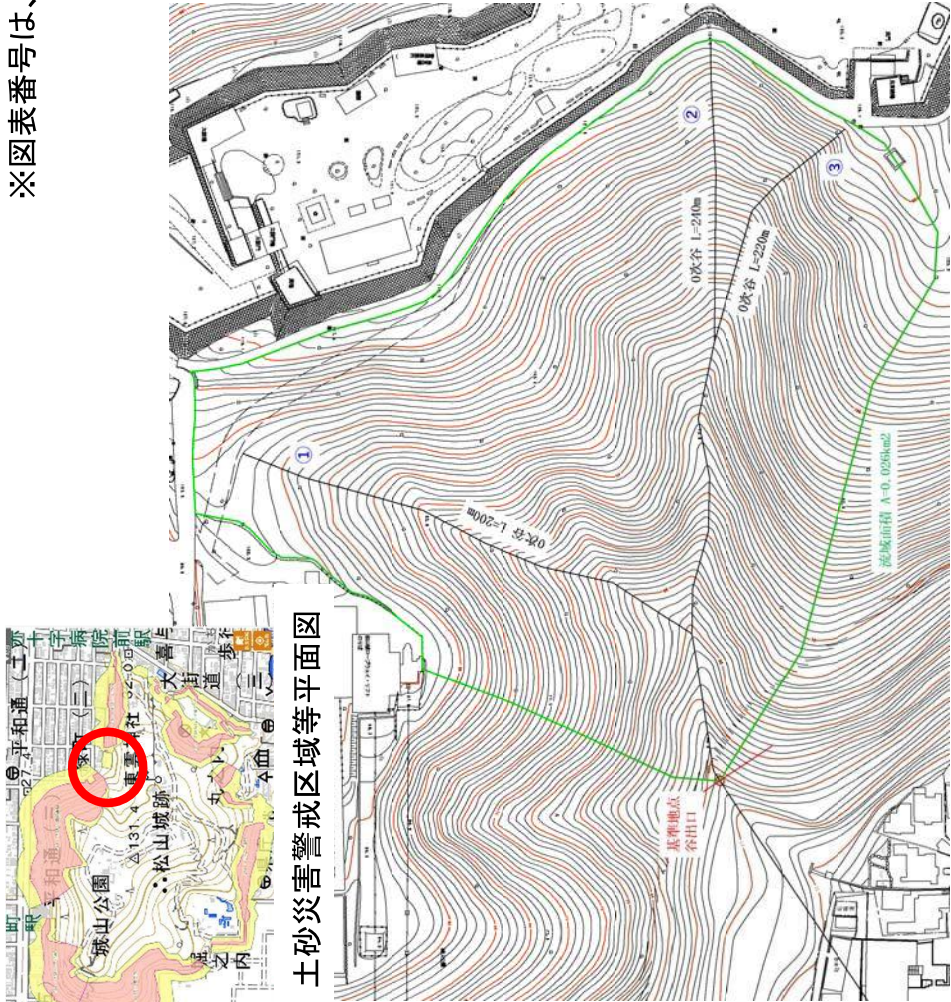


図1-5 土砂災害警戒区域等平面図

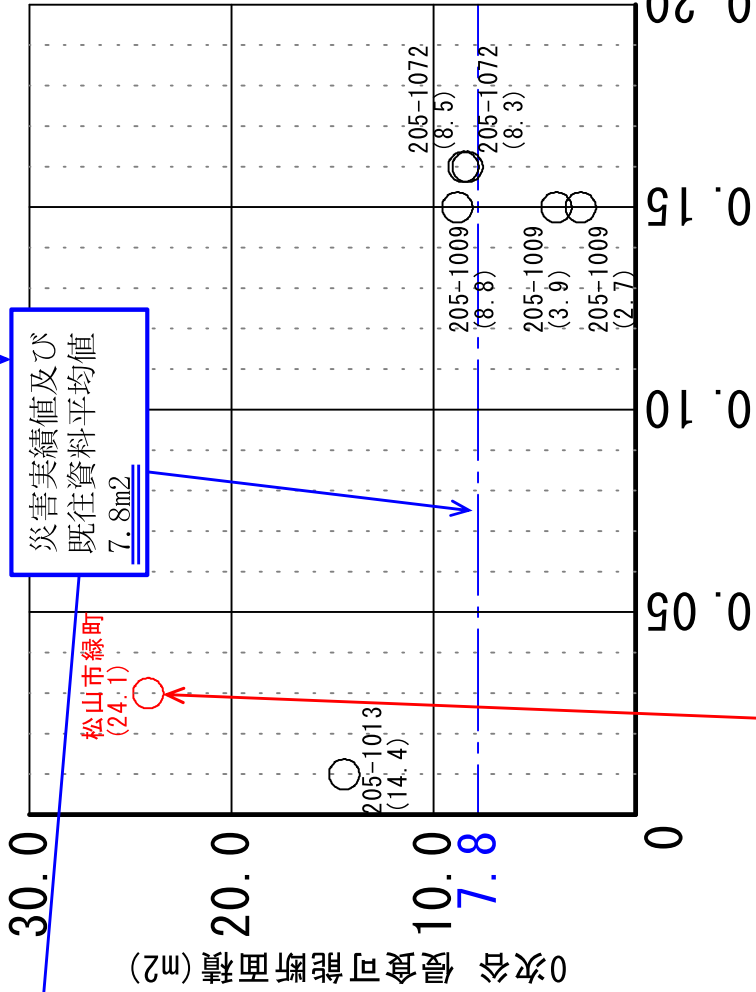


図1-1 0次谷における侵食土砂量実績図

土砂量
④3, 222 + ③1, 259 + ②681 = 5, 162m3
延長
No. 10 + 14. 2 ~ BP = 214. 2 ÷ 214m
侵食可能断面積
5, 162 / 214 = 24. 1m2

図1-6 平面図

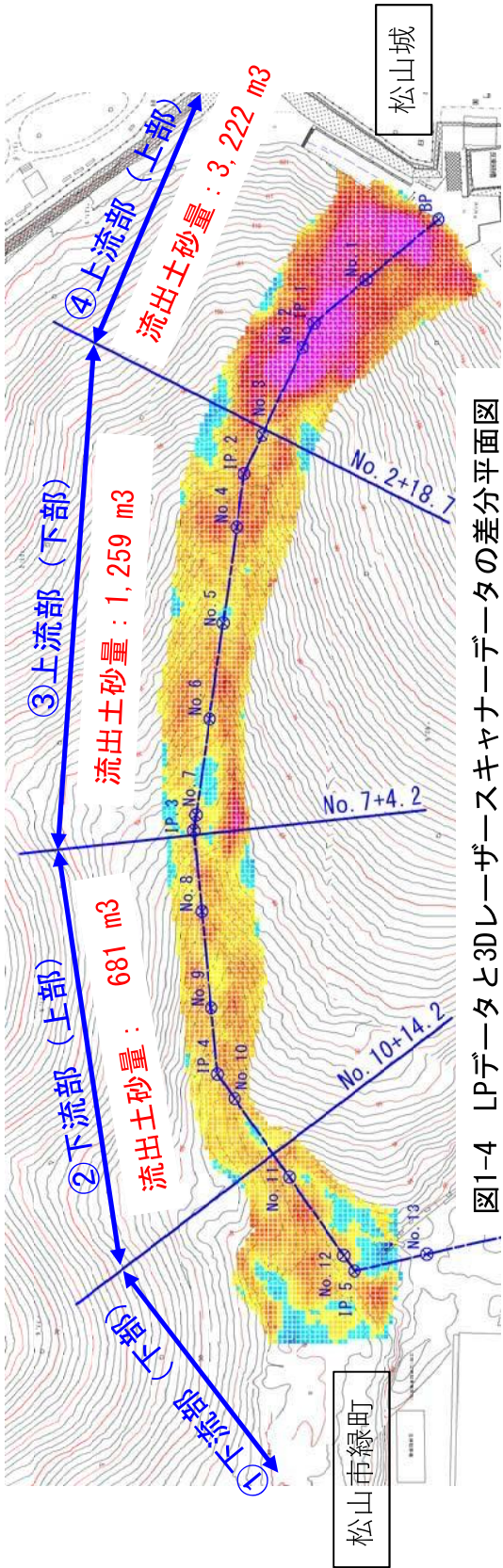


図1-4 LPデータと3Dレーザースキナーデータの差分平面図

土砂量及び延長は、第2回技術検討委員会で示したように、仮に「土石流」の土砂災害警戒区域を設定する場合の基準地点（図1-6参照）より上流側で設定し、図1-4の差分平面図の②～④の区間において算定（崩壊土砂量から断面を逆算）を行った。

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会

第3回委員会資料【松山市】

3. 発生メカニズムについて
- (1) 土砂流出の発生プロセスの推定【松山市】
- ・ 土砂流出範囲全体における土砂流出プロセスの推定

令和6年10月11日

目 次

3. 発生メカニズムについて	
(1) 土砂流出の発生プロセスの推定	
1. 土砂流出発生時の時系列の整理	1
2. 土砂と共に流出した樹木・擁壁の位置から推定される流出経過	5
3. 土砂流出堆積物の整理	11
4. 土砂流出発生箇所の水の流れについて	17
5. 土砂流出の発生プロセスの推定	18

1. 土砂流出発生時の時系列の整理

土砂流出プロセスの推定にあたり、第 2 回委員会協議内容を含めて被災状況を整理した。

1.1 土砂流出の発生状況（第 2 回検討委員会資料より引用）

土砂流出の発生状況について、消防局への通報や報道発表、X・YouTube などの SNS の情報ならびに愛媛大学の調査資料等を時系列で整理した結果、大きく以下の 2 回の土砂流出の発生が推定されている。

- ・ 1 回目 3：40 頃の土砂流出：マンション 5F 窓ガラス破壊、マンション立体駐車場破壊
- ・ 2 回目 4：45 頃の土砂流出：泥水と土砂が民家脇を大量に流下する動画が残されている

表 1.1-1 土砂流出の発生状況のまとめ

	起こった事象		報道発表、SNS等		愛媛大学の調査資料（提供）より
数か月前		数か月前	・数か月前から夜中にバキバキと木の音が聞こえた。（愛媛新聞 7/13）		
7月12日 2：00頃		2：00頃	・木が倒れたり、何かが崩れたりする音がした。（愛媛新聞 7/15）	2：00頃	・斜面の一部崩壊開始。遠くでバサッバサッという木の倒れる、それまで聞いたことない音がした。との証言
3：00 過ぎ			・3時頃に崩れたらしいとの投稿あり（SNS投稿 7/12）	3：00 過ぎ	・近くでバサッバサッという音がした。 ・急傾斜施設を一部倒して、土砂と流木が犠牲者宅を押し倒けさせる。 ・泥流は発生せず。
3：49頃	・1回目の土砂崩壊 （発生時間未定）			3：40頃	・大きな音として建物が揺れた。との証言 ・土砂と流木の流下はゆっくりと続き、犠牲者宅をさらに押し倒す。 ・犠牲者宅道路側の生垣（ひば）が道路に倒れ込んでいる。 ・道路には土砂が流出していない。
	・3:49土砂災害発生 の119番通報がある。 （消防局の証言）	3：50頃	・3:50頃、ゴーという音と、いきなりドンという音、マンションの5Fの窓ガラスが割れて頭になにかバラバラと飛んできた。木が当たってベランダのステンレス柵が外れていた。（日テレNEWS マンション住人 7/12）		
		3：50	・土砂が崩れマンションや家に覆いかぶさっているとの通報（日テレNEWS 7/12）	3：57	・2回目の大きな音がした。「また来た。やばい」との声が外から聞こえた。との証言（写真1-4）
		4：00頃	・「ギイイイ」と何かを引きずるような大きな音で目が覚める。立体駐車場が土砂で押しつぶされていた。（愛媛新聞 7/13） ・4時頃、土のにおいそれからすごい音（南海放送news YouTube 7/12） ・1 度目は4時頃、瓦屋根の民家が押し流されていた。（NHK 松山放送局 7/23） ・4時に土砂災害発生 の投稿あり（SNS投稿 7/12） ・4時頃に凄 い音がしたとの投稿あり（SNS投稿 7/12） ・4:37市道への土砂流出の投稿あり（SNS投稿 7/12）	4：08	・マンション下の立体駐車場が無くなった。との証言
				4：12	・前面道路に土砂が認められる。 ・犠牲者宅道路側の生垣（ひば）が道路に完全に倒れている。（写真1-5）
4：45頃	・2回目の土砂崩壊 （消防局の証言）			4：45頃	・消防隊へのインタビューより、大規模な土砂崩れが1分弱くらい発生。大きな切株が流下。
4：50頃		5：00頃	・午前5時頃「ゴー、ドシャン」と大きな音がし、滝のような音とともに土砂崩れが再び発生。倒れた家をのみ込み、道路に消防が設置したテントを押し流した。（愛媛新聞 7/13） ・午前 5 時前、店に土砂が流れ込んできたため避難した。（NHK 松山放送局 7/19） ・土砂崩れが同5時頃にも起きた。（時事通信社 7/12） ・2 度目は午前5時頃で、1 回目の中には屋根が残っていたのが、完全に家がつぶれた。（NHK 松山放送局 7/23） ・3 度目はこれまでも異なる現象が起き、「土砂崩れが起きたというよりは溜まっていた水が出てきたみたい、泥水がバシャッと出てきた」（NHK 松山放送局 7/23）	4：56	・前面道路へ泥流（土砂と流木）が勢いよく流れだす。（写真1-6） ・救急消防の退避
		5：44	・土砂流出後の動画（SNS投稿 7/12）		

愛媛大学の調査資料（提供）である倒壊家屋の向かいのマンションから撮影された写真及び映像からの静止面を、時系列で以下に示す。

4時12分と4時56分を比較した際に、どちらの写真にも、被災した急傾斜地崩壊防止施設並びに流木（根元部分）が映っていることから、4時12分には急傾斜地崩壊防止施設は被災していることが確認できる。これより、3時40分頃からの1回目の土砂流出で被災したと想定される。



写真1-4 3時57分の写真



写真1-5 4時12分の写真



写真1-6 4時56分の映像

図 1.1-1 土砂流出の発生状況（愛媛大学調査資料（提供）による）



写真1-3 急傾斜地崩壊防止施設の被災状況

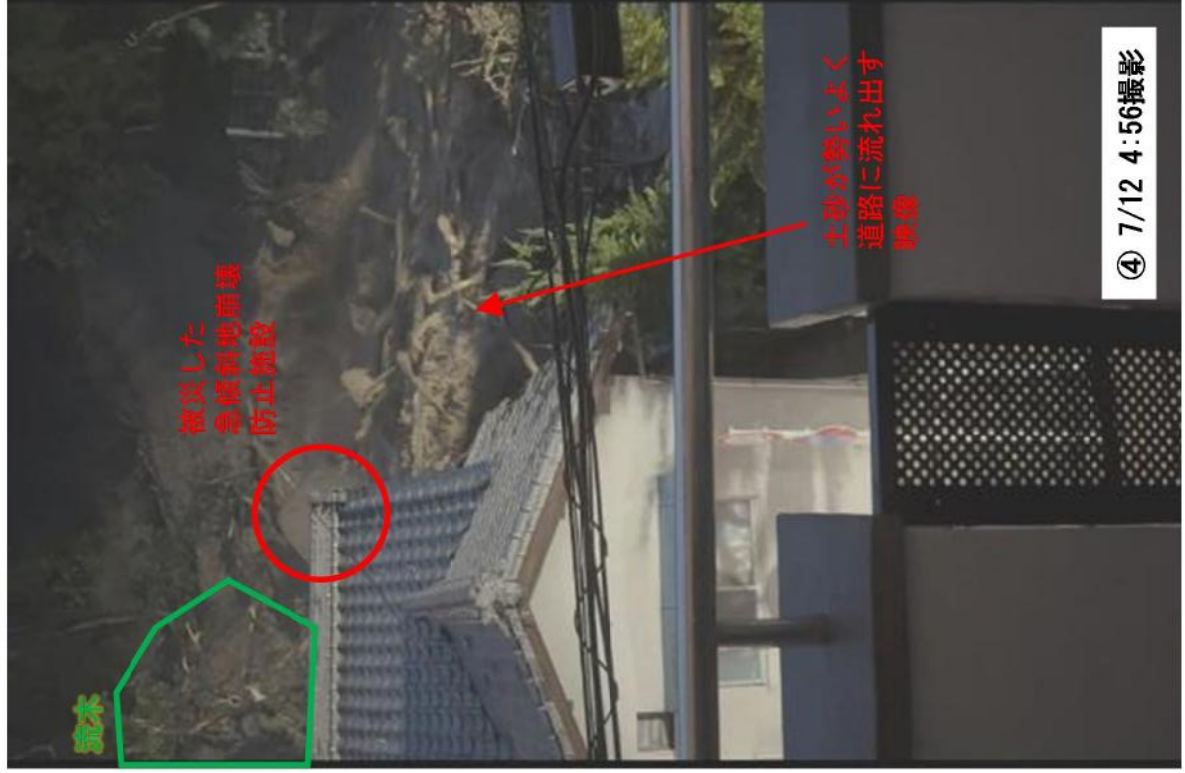


写真1-4 3時57分の写真

1.2 発災直後の上流部（上部）斜面の状況

被災後の緊急車両用道路脇の“切株の移動”と、1回目の土砂流出の約2.5時間後（午前6：20）の土砂流出頂部の斜面状況をまとめる。

(1) 緊急車両用道路直下にあった樹木の移動

工事箇所の切株は、土嚢を載せたまま回転を伴わず、約20m下方に移動している（層状の移動）。



被災前 7 月 8 日撮影



被災後 7 月 25 日撮影
(土嚢の位置は変わらず)



図 1.2-1
上流部（上部）の緊急車両用道路脇
の切株の回転を伴わない移動状況



(2) 被災後の斜面の土砂流出状況と緊急車両用道路周辺の状況（7月12日 朝6：20分ごろ＝1回目の土砂流出の約2.5時間後の斜面状況：図1.2-2～図1.2-3）



図 1.2-2 被災直後の上流部（上部）表流水の状況（午前6：20ごろ）

- ＜被災直後の表流水・土砂状況＞
- 1) 土砂は斜面末端部（黄色線）にやや厚く堆積する。
 - 2) 表流水は B 箇所流下区域流量が増加するが、上部斜面の表流水は少ない
 - 3) 擁壁の施工されていない区間は道路越流水の跡や表流水跡がみられる。



＜被災直後の斜面状況 午前 6：20 頃＞

- 1) ブルーシート末端の重りとしていた土嚢袋が斜面上部に散乱（移動距離が小さい）。
- 2) 正面の樹木は、山側に傾斜。
- 3) 緊急車両用道路直下は、大きなガリー侵食や湧水は見られない（湧水量が少ない）。



＜被災直後の斜面下方の状況 午前 6：20 頃＞

- 1) B 箇所流下区域より下方は流水が多い。
- 2) 被災直後は土砂や倒木が残っている。
- 3) 倒木根本に水たまりがあり、斜面下方は水が多い。



＜被災直後の道路状況 午前 6：20 頃＞

- 1) 1 回目の土砂流出の約 2.5 時間後の道路は、枕土嚢やブルーシートの配置に大きな変化はない。
- 2) パイロンの位置は動いておらず大きな流水や変形はない。
- 3) 表流水の流下跡はない。



＜被災直後の斜面上部の近接状況 午前 6：20 頃＞

- 1) 枕土嚢やパイロンのずれはない。
- 2) 斜面上部の表流水は多くない。

■ 結果

- ・ 緊急車両用道路上は変状の進行はみられない（パイロン・土嚢等にも流水影響なし）。
- ・ 上流部（上部）斜面の上部は、土砂が回転を伴わずに表層部が移動している。斜面流水やガリー侵食は顕著ではない。
- ・ 上流部（上部）斜面の下方は、土砂が多く、特に B 箇所流下区域より下方において表流水が増加し、土砂が厚く堆積する。

図 1.2-3 被災直後の上流部（上部）斜面状況（午前 6：20 ごろ）

2. 土砂と共に流出した樹木・擁壁の位置から推定される流出経過

2.1 流出した樹木の位置と推定される土砂流出の経過

- (1) 目的：第1回目の土砂流出時に擁壁の倒壊と倒木の流出が発生している。そこで被災直後の倒木の状況から、末端部の土砂流出の経過を推定する。
- (2) 方法：今回の土砂災害により、土砂と共に樹木も流出して、マンションや隣接する木造住宅に接触し、各建物に損傷を与えている（図2.1-1）。

この流出した樹木が、どのあたりに植生し、どのようにに流出したか、その経過を推定した。

対象とする樹木は、木造住宅に接触した樹木（樹木A）およびマンション8階ベランダに接触した樹木（樹木B）とする。

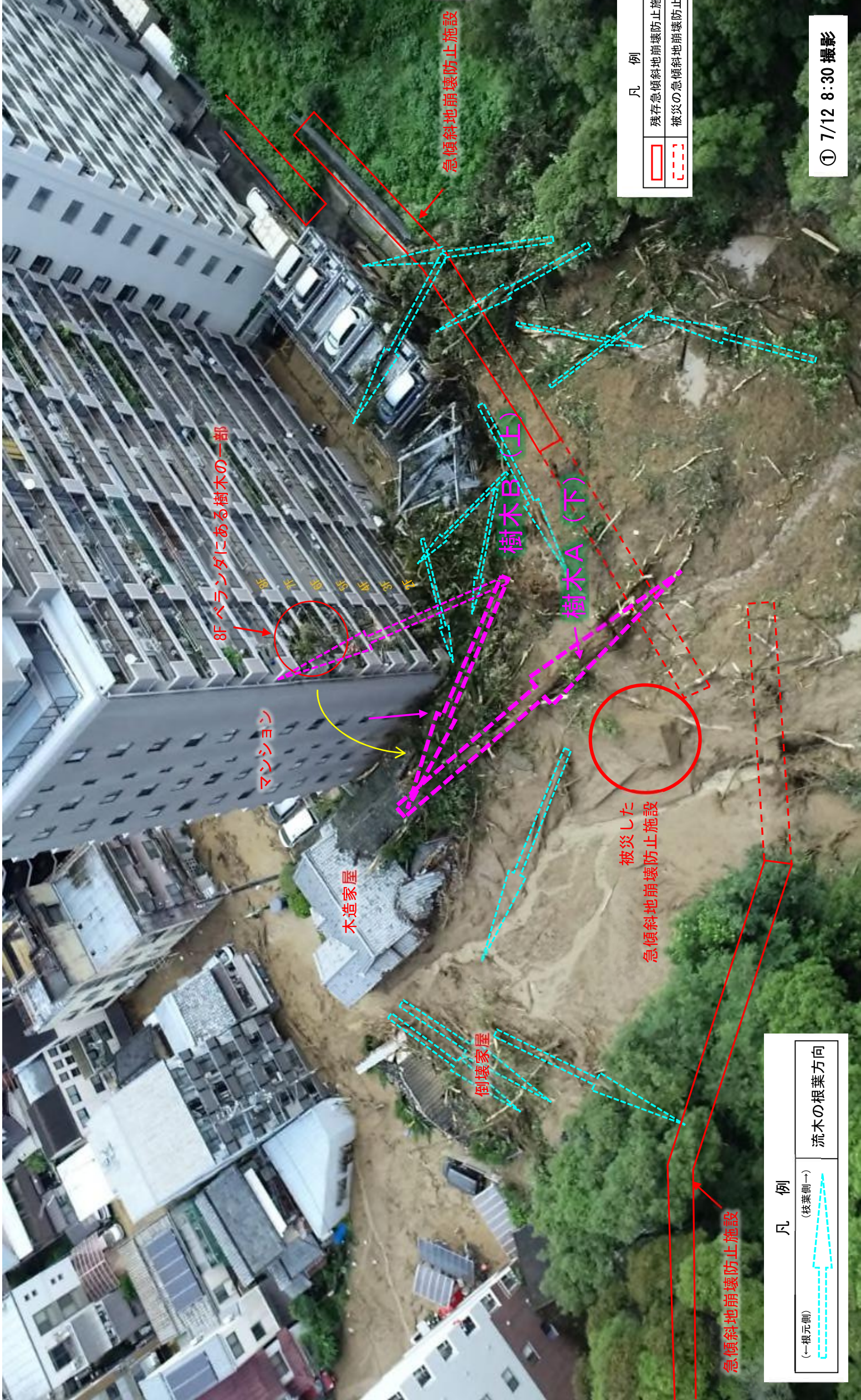


写真 2.1-1 土砂流出発生直後（午前 8:30 頃）のドローン映像（愛媛県撮影）

(3) 検討結果(1回目の土砂流出で発生した想定される流木の位置から、土砂流出の発生源を推定し、後述する発生プロセス検討の根拠とした)

1) 樹木 A (木造建物に接触した樹木：上流部上部からマンション横に流出)

- ・ 空中写真により被災前と被災後の樹木を比較したところ木造家屋に接触した大木と同程度の樹木は青桢部分に多く植生しており、また青桢以外で大木と思われる樹木は被災後も残存していることから、木造家屋に接触した大木は下図の青桢あたりに植生していたと考えられる。
- ・ 樹種は樹皮からセンダンの木と推察され (上部に同じと思われる樹木も確認できる)、大きさは、写真から推定して高さ 25m 程度、幹の太さは直径 60 cm 程度と考えられる。
- ・ 木造家屋に接触した樹木 A は、根の部分の木造家屋側にあるため、下図のとおり樹木の足元から土砂が流出したことにより斜面側に転倒し下流部へ流出し、木造家屋に接触したと考えられる。

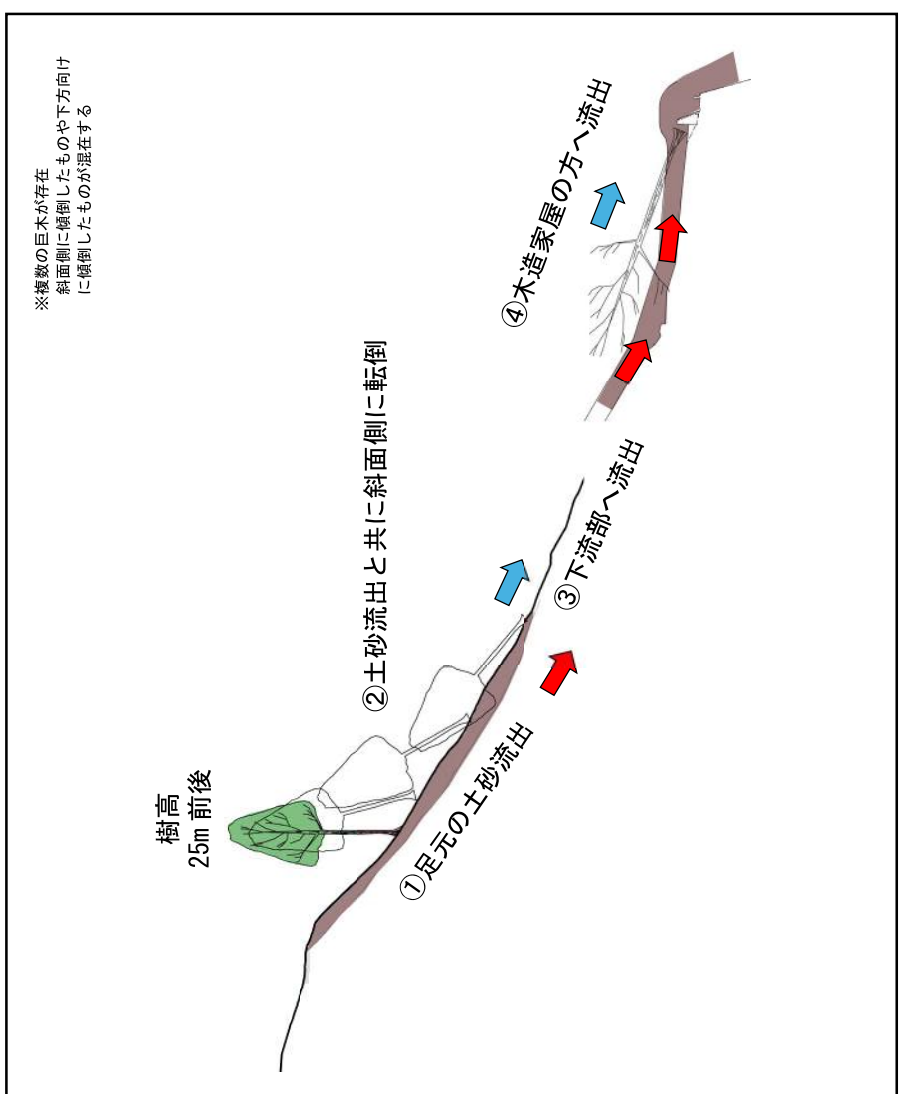
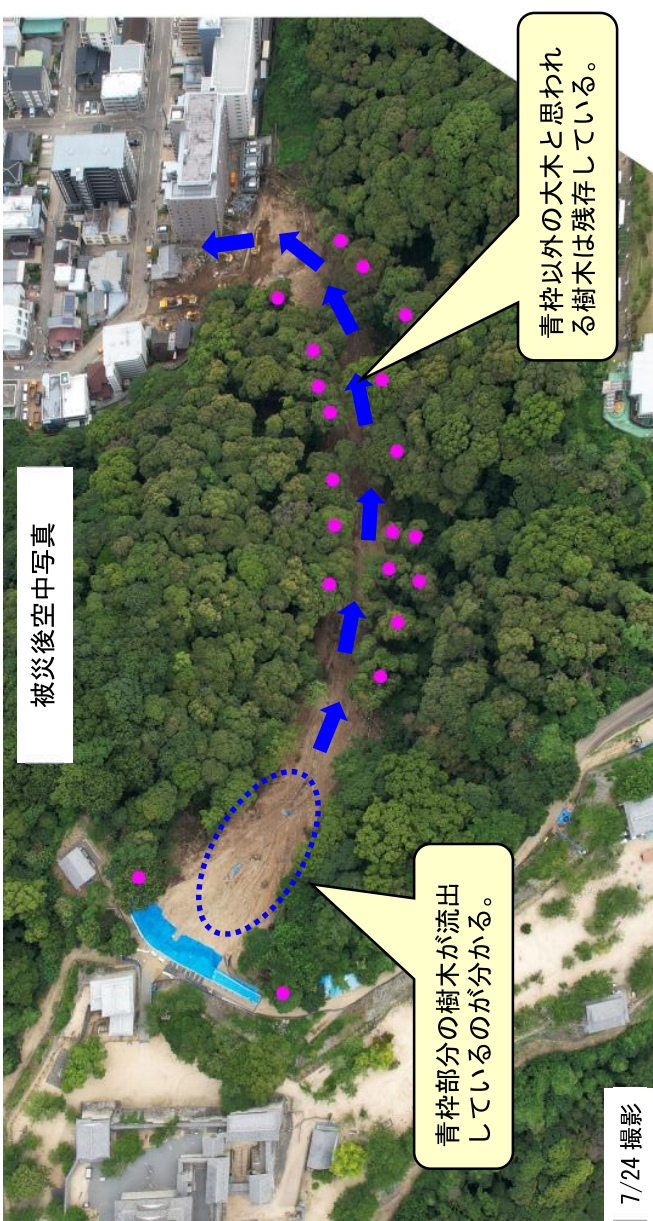
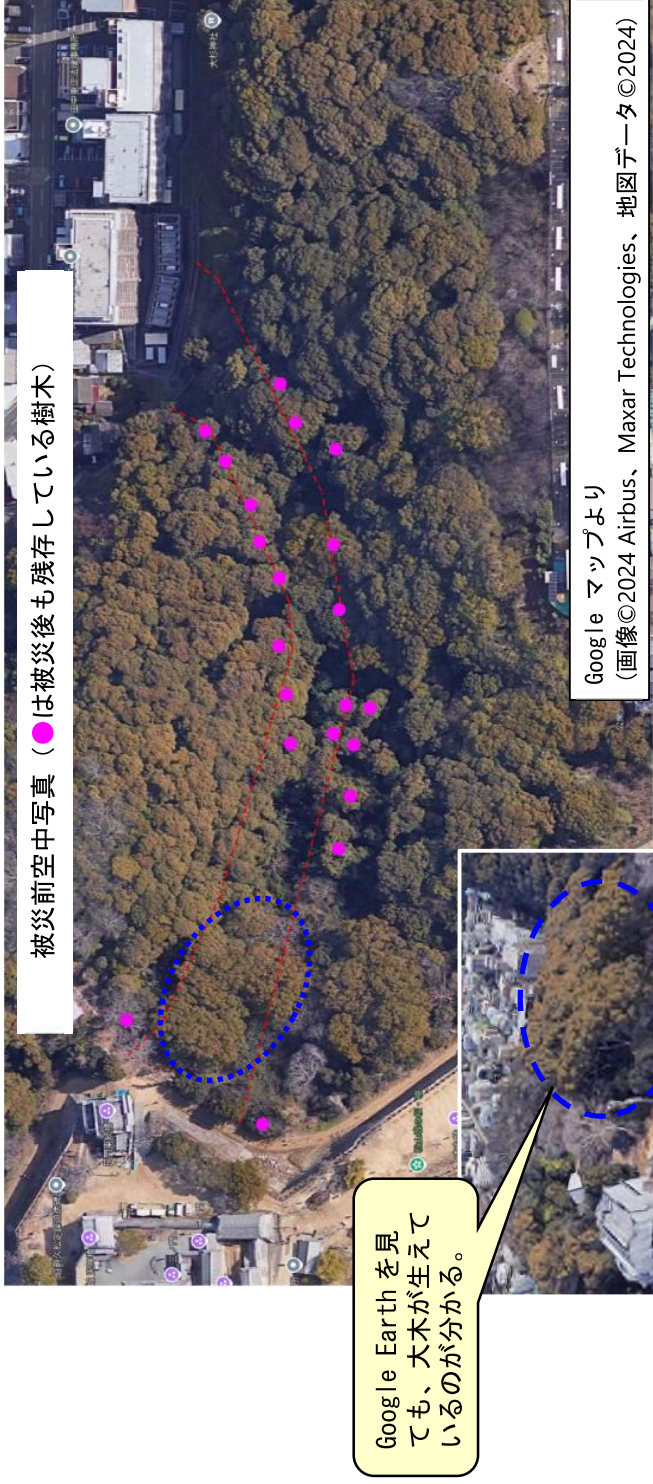


図 2. 1-1 樹木 A (木造建物に接触した樹木) の推定される被災前の位置と流出経過

2) 樹木B（マンション8階に接触した樹木：擁壁直上斜面から落下し、マンションにもたれかかった後に転倒）

- ・ 今回の土砂流出の際、写真のとおりマンション8階に樹木が接触しており、枝が残っているのが分かる。（写真①赤枠）
- ・ 樹種は葉の様相からシイの木（スダジイ、コジイなど）と推察され、別の写真（写真②）から、接触した樹木は、位置関係からマンションのすぐ横に倒れている樹木と考えられる。
- ・ 大きさは、写真から推定して高さ18m程度、幹の太さは直径20～30cm程度と考えられる。
- ・ スダジイやコジイなどは山林でよく見られる樹木であり、城山のどこに生えていてもおかしくはないが、樹木があまり汚れていない、枝が下流側に向いている、幹もあまり折れていないことから、比較的マンションの近くに

植生していた樹木（下図の位置）が流出した土砂に押し出され、擁壁に接触したところでマンション方向に転倒したと考えられる。



7/12 8:30 撮影

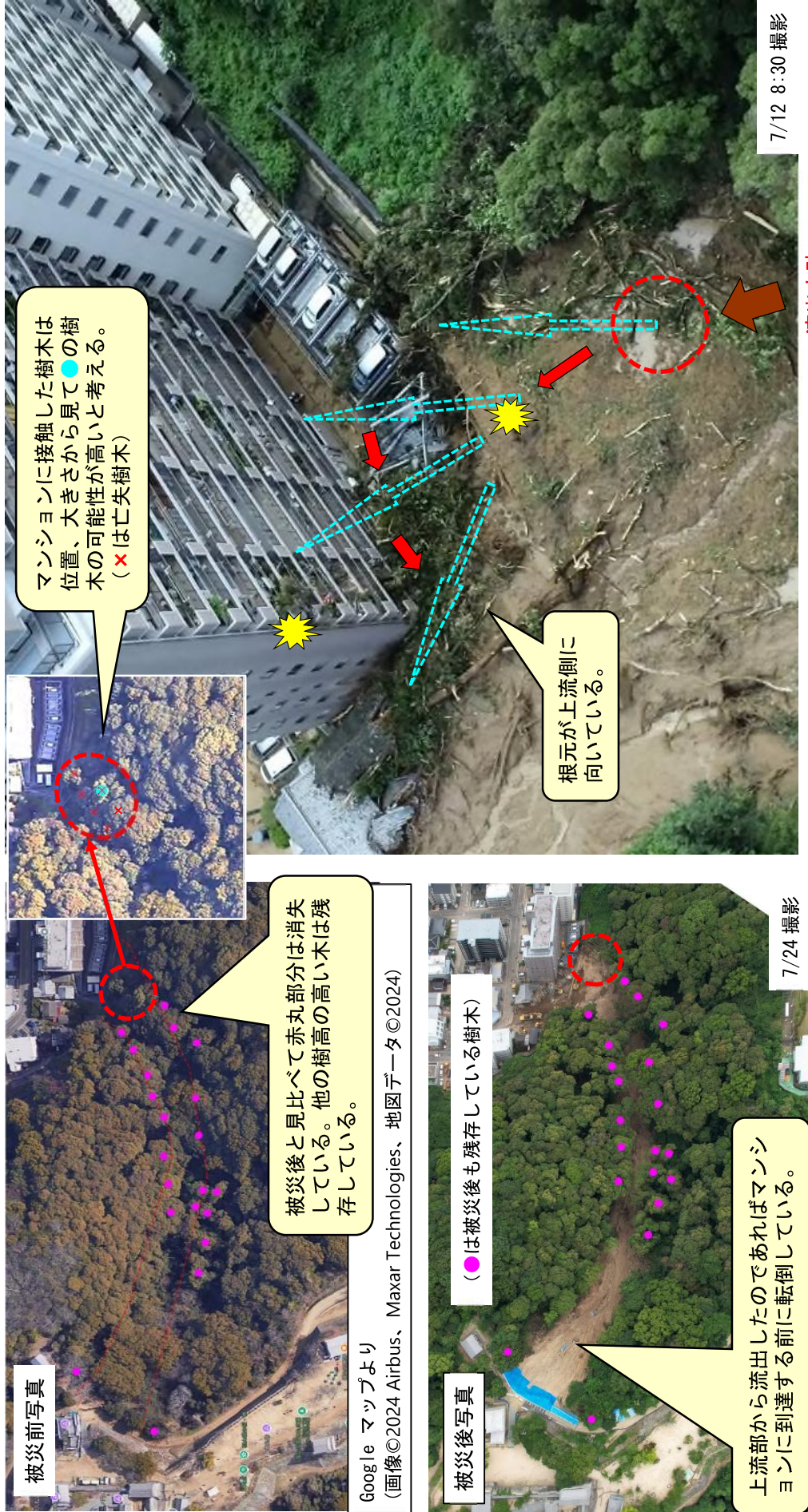
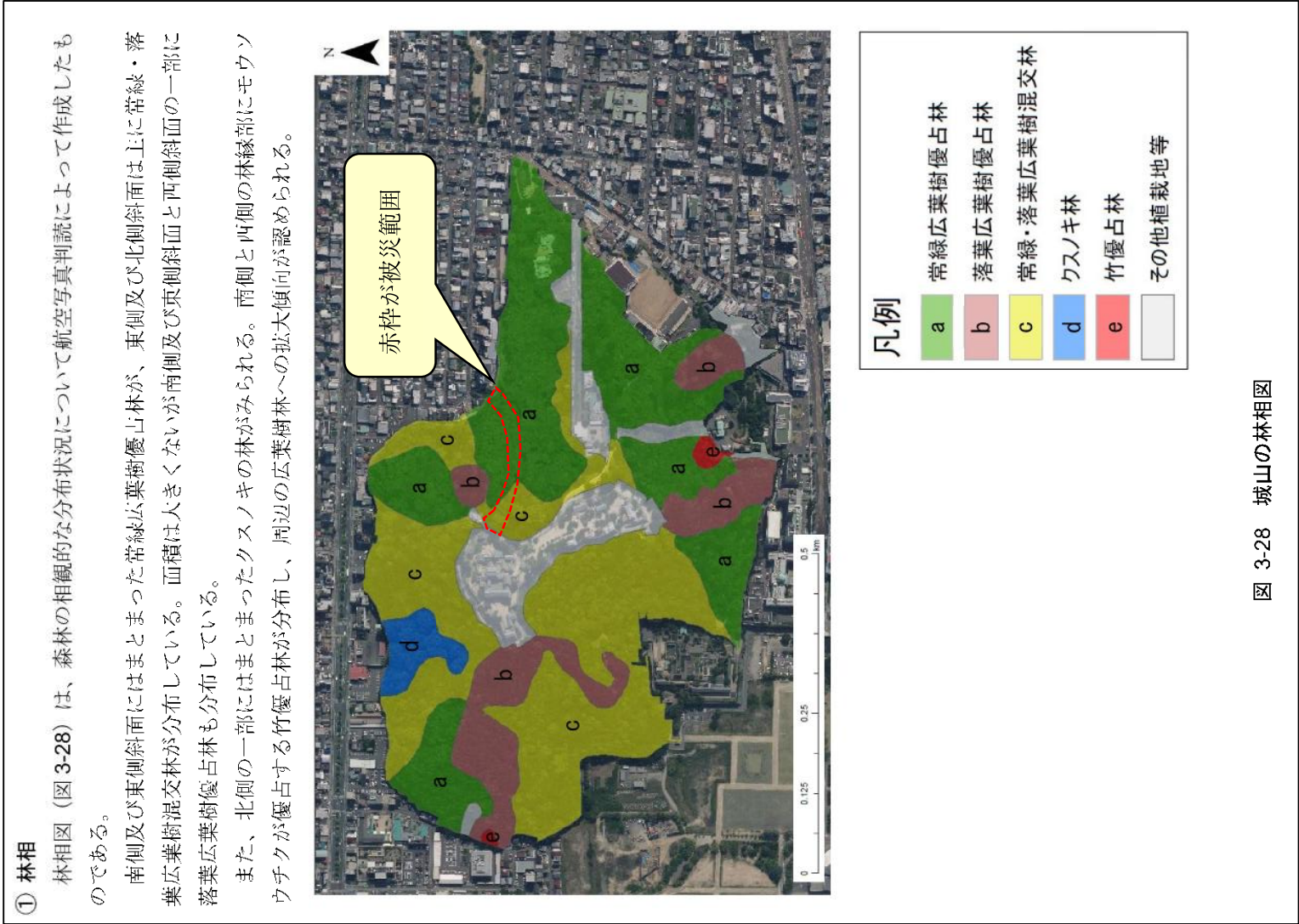


図 2.1-2 樹木B（マンション8階に接触した樹木）の推定される被災前の位置と流出経過

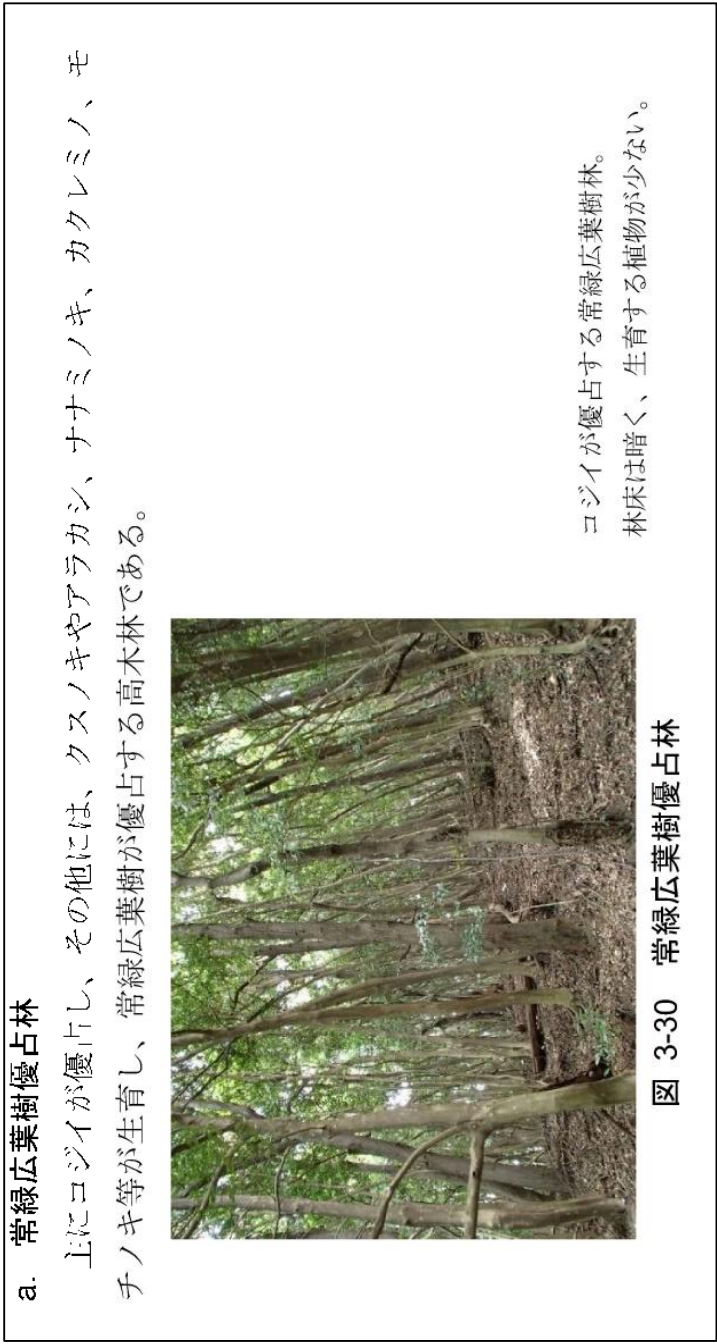
3）林相

- ・ 当該被災箇所に植生している樹木は「史跡松山城跡樹木管理計画」から見て林相「a」及び林相「c」であり、樹木 A が上流部上部、樹木 B が下流部からの流出想と一致している。
- ・ 先に考察した、樹木 A（センダン）は、林相「c」に位置していると考えられ、コジイ、アラカシ、クスノキ等の高木層となっている。
- ・ また、樹木 B（シイ）については、林相「a」位置していると考えられ、主にコジイが優占している林相である。



出典：史跡松山城跡樹木管理計画

図 2. 1-3 城山の林相について（史跡松山城跡樹木管理計画による）



出典：史跡松山城跡樹木管理計画



出典：史跡松山城跡樹木管理計画

2.2 土砂・樹木の移動速度の想定

1) 目的： 1 回目の土砂流出において擁壁到達時の速度を想定することで流出プロセス検討の基礎資料とした。

2) 検討方法

検討方法は、土塊の速度を変化させて、擁壁に作用する移動土塊の流体力について下式を用いて求める。これを基に、擁壁の安定計算を行い、転倒する（外力の合力作用点が底面外に出る。）時の速度を求める。

土石流流体力は、次式で求める。

$$F=K_s\cdot\frac{\gamma_d}{g}\cdot D_d\cdot U^2$$

ここに、 F ：単位幅当りの土石流流体力 (kN/m)、 U ：土石流の流速 (m/s)、 D_d ：本
指針 2.6.5 に従って求めた土石流の水深 (m)、 g ：重力加速度(9.81m/s²)、 K_s ：係数
(1.0 とする)、 γ_d ：土石流の単位体積重量 (kN/m³) である。

(砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）：国土交通省 国土技術政策総合研究所、2016. 4, p34 より引用)

<計算諸元>

a) 擁壁の形状

図 2.2-1 より、天端幅 0.5m、高さ 3.0m、前面堤体勾配 1:0.4 とした。

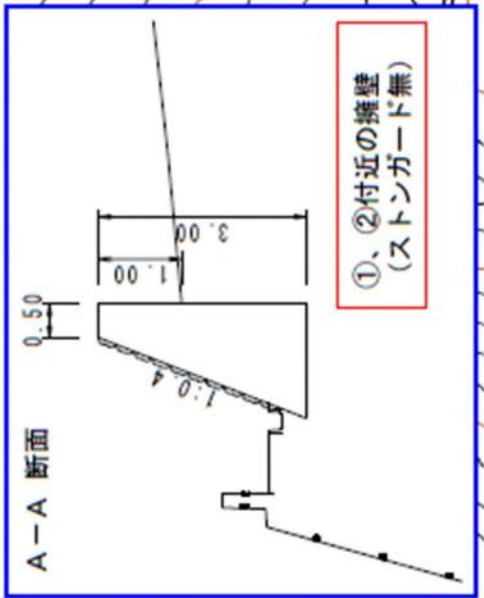


図 2. 2-1 擁壁の形状

(松山市緑町土砂災害委員会第 2 回委員会 資料 5 より引用)

b) 土砂の単位体積重量

擁壁に作用した移動土塊の土砂は、水分を多く含み泥濘化していることが想定される。

移動土塊の単位体積重量は、第 2 回委員会 で引用した愛媛大学の試験結果をもとに、砂礫の密度および泥水の密度の一般値を踏まえて検討し、空隙が満水となった状態として求めた値である 19.19kN/m³とした（土砂移動時の密度のため、後述する被災時と条件を変えている）。

c) 擁壁に作用する土砂の厚さ

乗り越した土砂の流体力は、壁体に作用しないと考え、擁壁の山側の空間の 1m とした。

d) その他

その他の設定値は一般的な値とした。

表 2. 2-1 検討に用いた条件

基礎地盤		礫層	
許容支持力 (kN/㎡)		qu	600
許容剪断強度 (kN/㎡)		τ 0	0
摩擦係数		f	0. 60
水中堆砂単位体積重量 (kN/㎡³)		γ s	8. 24
水の単位体積重量 (kN/㎡³)		γ w	11. 77
コンクリートの単位体積重量 (kN/㎡³)		γ c	23. 05
堆砂主働土圧係数		Ce	0. 30

3) 検討結果

検討結果を以下に示す。土砂・樹木の流速が 3.5m/s 以下であれば、擁壁は安定であるが、4.0m/s を超えると転倒する。したがって、土砂・樹木の速度は 4.0m/s (14.4km/h) 以上であることがと推察される。

表 2. 2-2 流速を変えた擁壁の安定性検討結果一覧表

No	高さ H m	谷側堤 体勾配 m	天端幅 b m	土塊 流速 U m/s	土塊の 単位体 積重量 γ kN/m³	全 鉛直力 Σ V kN	全 水平力 Σ H kN	下流端起点モーメント			安全率	判定	
								Σ MV kN・m	Σ MH kN・m	Σ MV< Σ MH		f=0. 6	Σ MV< Σ MH
01	3.0	0.4	0.5	0.5	19.19	76.07	9.88	83.33	8.99		4.62		
02	3.0	0.4	0.5	1.0	19.19	76.07	11.35	83.33	12.66		4.02		
03	3.0	0.4	0.5	1.5	19.19	76.07	13.79	83.33	18.76		3.31		
04	3.0	0.4	0.5	2.0	19.19	76.07	17.21	83.33	27.31		2.65		
05	3.0	0.4	0.5	2.5	19.19	76.07	21.62	83.33	38.34		2.11		
06	3.0	0.4	0.5	3.0	19.19	76.07	27.00	83.33	51.79		1.69		
07	3.0	0.4	0.5	3.5	19.19	76.07	33.35	83.33	67.66		1.37		
08	3.0	0.4	0.5	4.0	19.19	76.07	40.69	83.33	86.01		1.12		転倒
09	3.0	0.4	0.5	4.5	19.19	76.07	49.00	83.33	106.79		0.93	滑動	転倒
10	3.0	0.4	0.5	5.0	19.19	76.07	58.29	83.33	130.01		0.78	滑動	転倒

2.3. 土砂流出発生前の植生樹高の分布

2.1 章～2.2 章より 1 回目の土砂流出で流下したと想定される樹木が A 箇所上流部（上部）由来である可能性が示された。1 回目の土砂流出の発生箇所を検討するため、被災前の樹幹位置と樹高について「航測レーザー測量データ」をもとに解析し、土砂流出（斜面の安定性）と樹木の関係を整理した。

- 1）手法
- ・土砂流出前の 2016 年航測レーザー測量データを用地、地表面データと樹木先端の標高差から樹高図を作成する（愛媛大学提供データ（DHCM）による）。
- ・樹高図と地表踏査結果や微地形の判読結果を反映した平面図を比較する。
- 2）結果
- ・上流部（上部）＝A 箇所の急斜面下方には、樹高 30m 以上の樹木が存在していた。この樹木うち 1 本は土砂流出箇所内で確認される長さ 25～30m の倒木と考えられる（右写真）ため、**A 箇所の土砂流出は、急傾斜斜面下方の巨木の不安定化が関与した可能性**が考えられる。
- ・B 箇所は周辺に比べ樹高が低い（10m 以下）。B 箇所は過去に崩壊していたため、樹齢が若く樹高が低くくなっている可能性がある。

- 3）考察
- ・A 箇所は、急傾斜斜面の下方部分に樹高 30m を超える巨木が存在していた。
- ・地盤は捨土で厚みが 3m 程度しかなく、その下は根茎が発達しにくい砂岩・礫岩の岩盤であるため、表流水や浅層地下水の集中に伴い、成長しすぎた樹木の荷重で不安定化した可能性と、土砂流出に伴い倒木が発生した可能性がある。
- ・当該箇所以外にも**城山には樹高 30m を超過する樹木が散在**している（図 2.3-3）。表層堆積物の厚さや性状・表流水を調査し、**必要に応じて樹木の管理を行う必要がある**と考えられる。

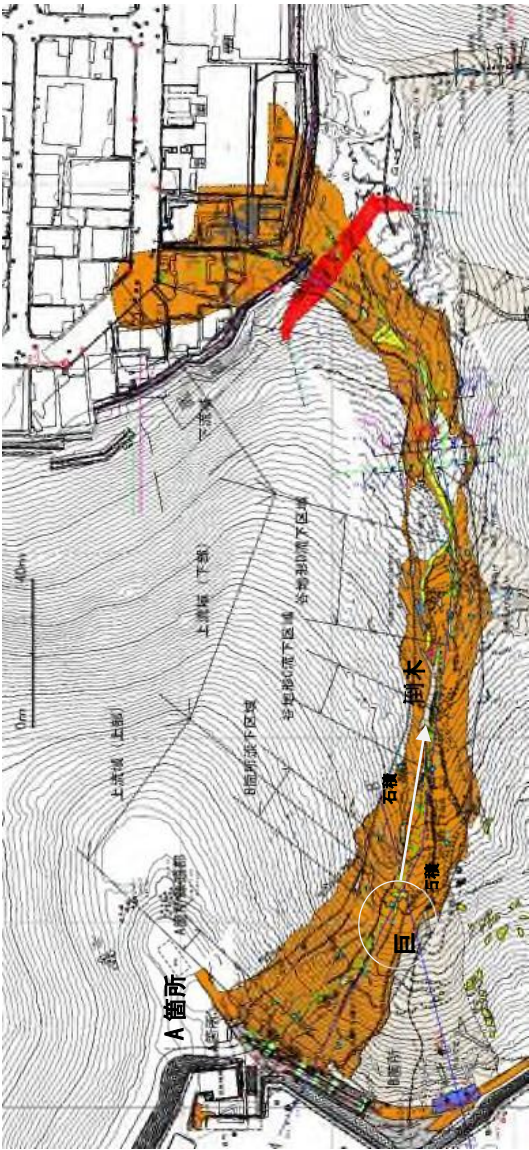


図 2.3-2 上流部（上部）斜面のレーザー生データの密集部から想定した樹幹概略位置（解析結果）と樹高（樹幹位置は枝のピークを示している可能性がある：愛媛大学大学院農学研究科提供データを加工）

- ・A 箇所（上流部（上部））の斜面末端部付近に 30m 以上の樹木（巨木）が見られる。
- ・A 箇所の右岸側斜面の末端部の凹地形とその上の馬蹄形の地形は、倒木後の凹地形である可能性が高い。
- ・B 箇所のガリー侵食跡（青線）箇所は、樹木の低い箇所であり、過去の表層崩壊等により、倒木が発生したため、樹木年数が周辺より若い可能性がある。



図 2.3-3 城山全体の樹高図（愛媛大学大学院農学研究科提供データを加工）
城山の北側斜面の一部に今回の土砂流出渓流と同様に 30m 以上の巨木が密集するエリアがある

図 2.3-1 樹高図と土砂流出斜面の関係
（上流部（上部））の下端部に 30m 以上の巨木あり；愛媛大学大学院農学研究科提供）

3. 土砂流出堆積物の整理

3.1 堆積物の区分

目的：第 2 回委員会ですした地表踏査結果をもとに 7 月 12 日に発生した土砂流出による堆積物による堆積物を区分し、その分布から発生プロセスの考察に用いる基礎資料を得る。

方法：3 次元微地形図を用いた詳細地表踏査を実施。今回、流出した樹木や瓦片などを多く含む堆積物（“不安定土砂”と仮称）と、旧表層堆積物の侵食もしくは今回の土砂流出堆積物であるが後半に堆積した薄く縮まった堆積物（“やや不安定な土砂”と河床）の区分を試みた。

結果：地表踏査から、土砂流出斜面の“不安定土砂（赤着色）”と“やや不安定な土砂（橙色着色）”を区分した。

- “不安定土砂（赤着色）”は、含水が高く粘性が高い堆積物で流木・土砂を多く含む。上流部（上部）は“不安定土砂”が斜面全体を覆っており、上流部（下部）では、堆積した土砂が侵食により 2 次的に流出したと考えられる箇所が確認された。また下流部は、溪流の両岸の上部に乗り上げた侵食残りが残存しているものと考えられる。なお、応急対策は相対的に侵食に弱く不安定な“不安定土砂”を対象としている。
- 一方“やや不安定な土砂”は、薄く広範囲に見られる。“不安定土砂”と同様に多くの瓦片や花崗岩・円礫を含むが、比較的に縮まっていることから、その多くは表土が侵食されて露出した古い堆積物である可能性が高い（写真参照）。

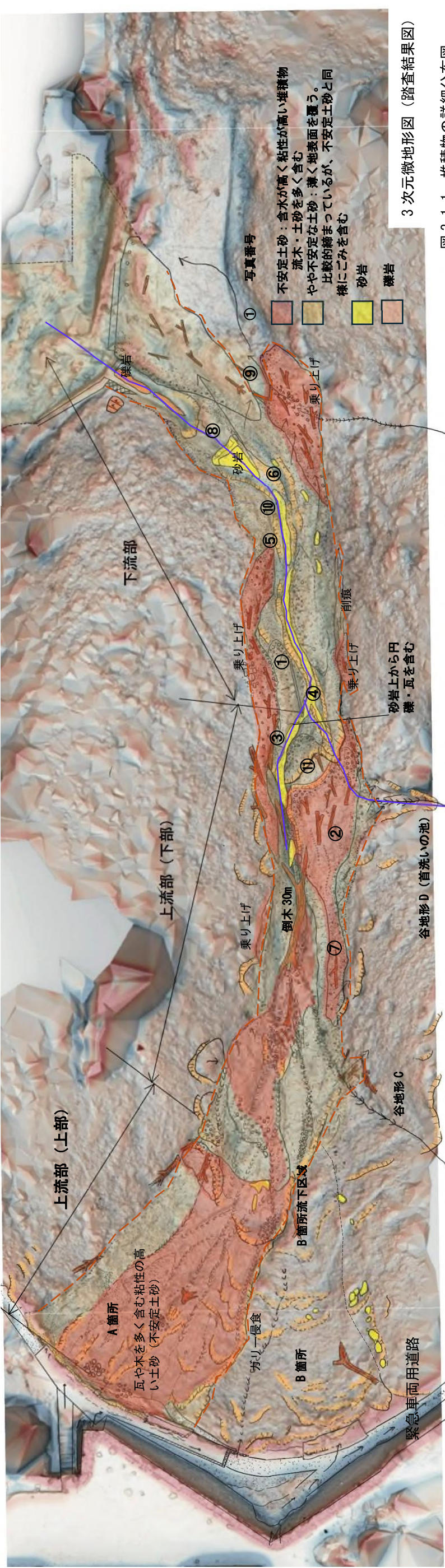


図 3.1-1 堆積物の詳細分布図

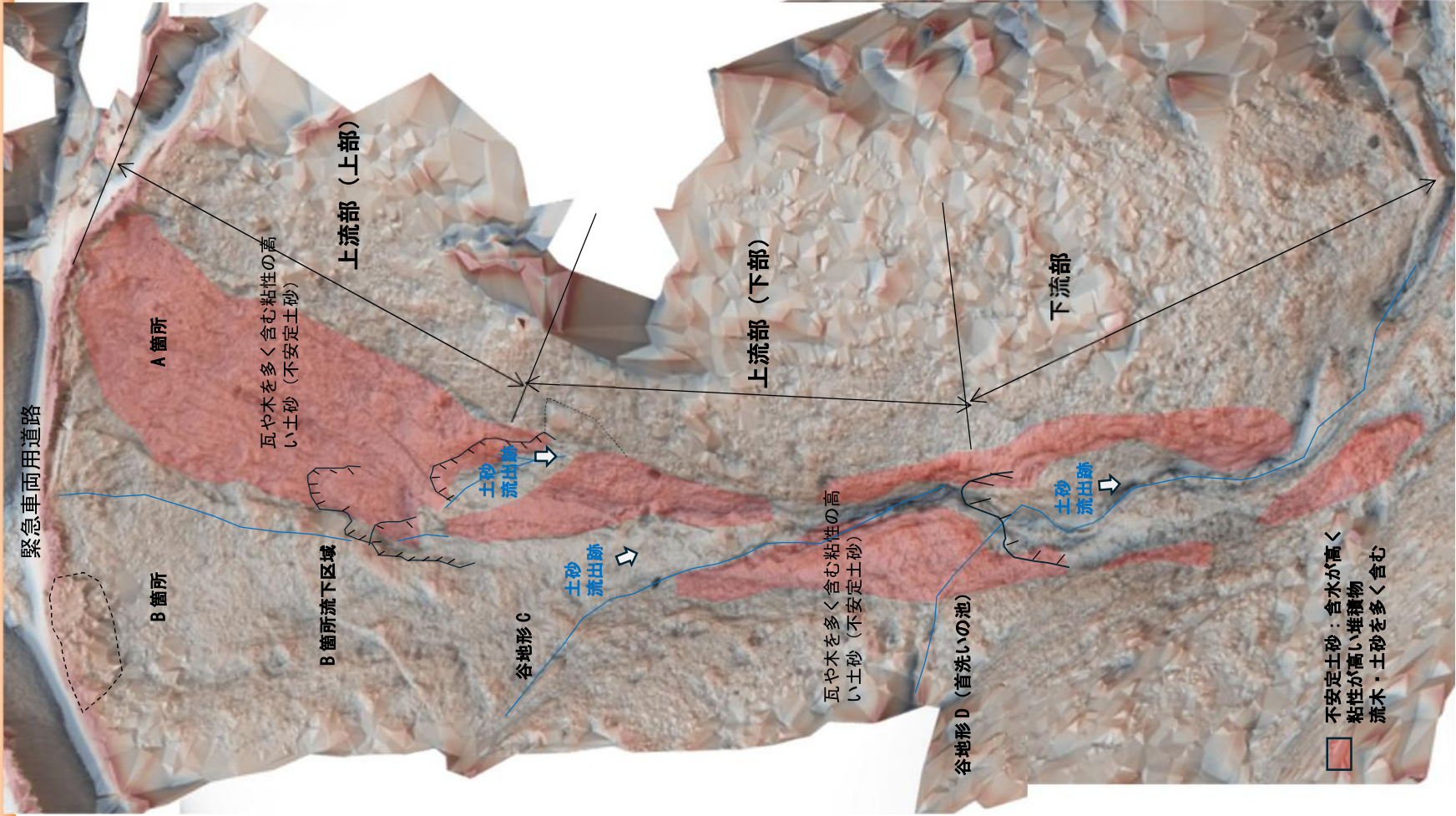


図 3.1-2 3 次元鳥観図と不安定土砂の侵食残りの分布

不安定土砂は、表流水の流路付近では堆積後に侵食され、斜面の上部に残存し、溪床を埋没させた後に流出した不安定土砂が存在したと推測。

■堆積物・基盤岩区分の特徴



写真①不安定土砂（赤着色）：含水が高く粘性が高い堆積物。礫が浮いており基質はやわらかい。流木・土砂を多く含む。
上流部（上部）は厚さ 1m を超えるが、その他の箇所は厚さ 1m 未満が多い。



写真②やや不安定な土砂（前頁橙着色）：薄く地表面に分布。比較的締まっているが、不安定土砂と同様に瓦片等を含む。表土が侵食されて露出した古い堆積物である可能性が高い



写真③砂岩と上位の堆積物：砂岩の直上 10 cm に花崗岩礫や円礫を含んでいる（砂岩直上に捨土が分布する）。



写真④砂岩：河床の侵食部に露出する砂岩。風化乏しく、上位の堆積物との境界は明瞭。

■ 堆積物の分布



写真⑤ 下流部の溪流の左右岸の上部に残る不安定土砂



写真⑥ 下流部右岸の侵食残りの不安定土砂



写真⑦ 上流部（下部）の谷地形D合流部から下流部の侵食残りの不安定土砂



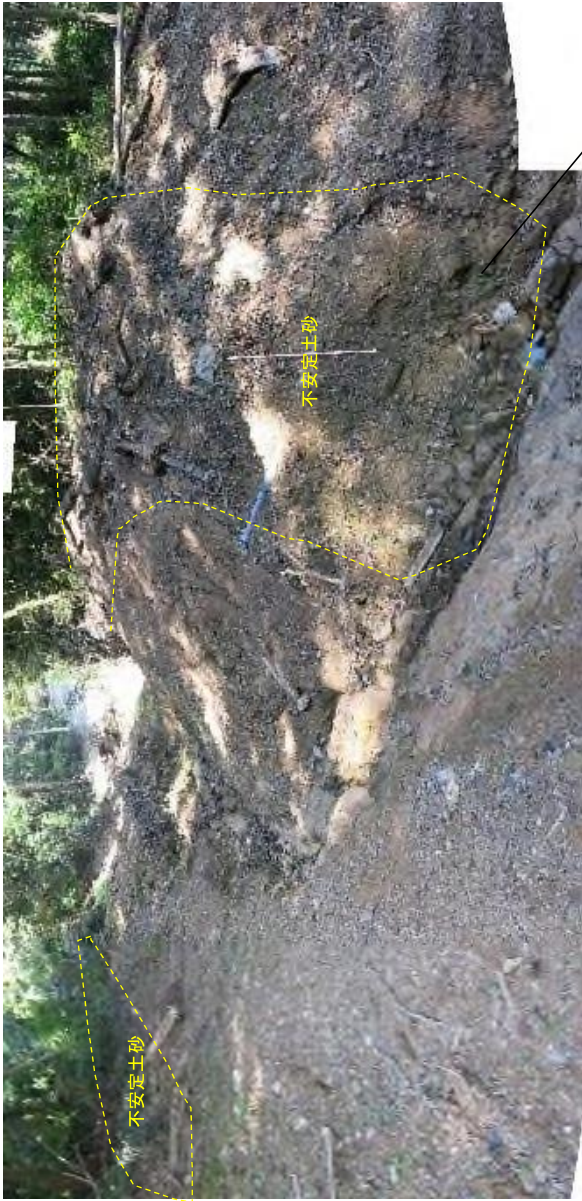
写真⑧ 写真⑧大型土嚢直上の不安定土砂の分布（溪流中心部は流出し土砂は残存しない）



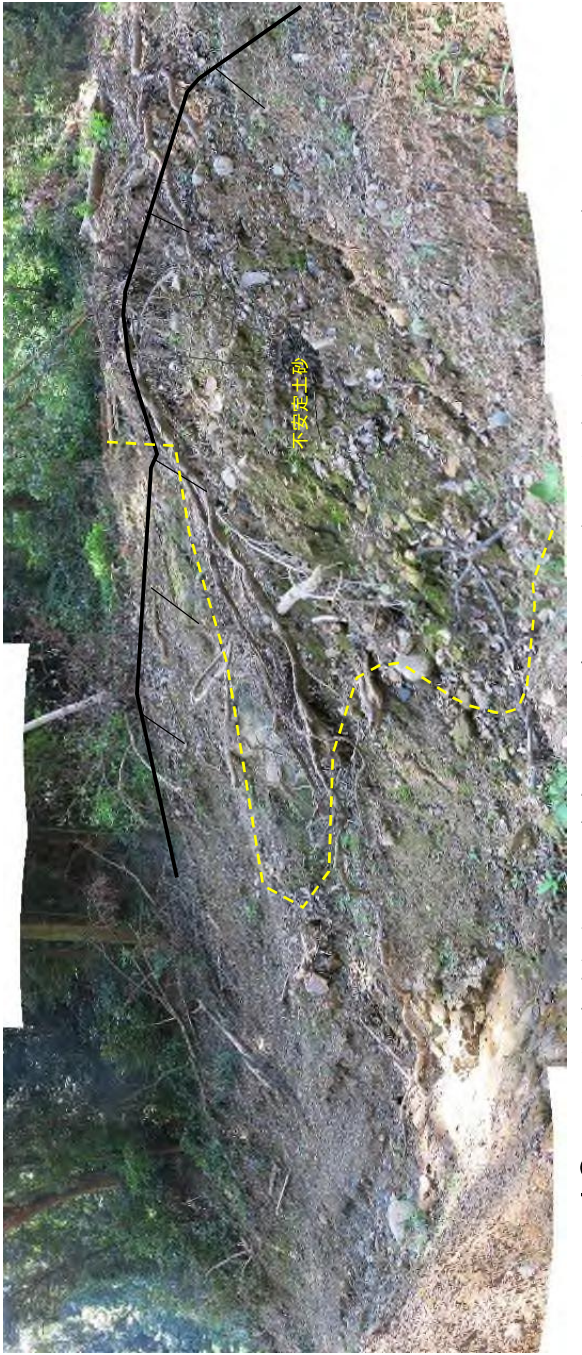
写真⑨ 下流部から上流部（下部）の溪流左右岸の不安定土砂

参考 A箇所・B箇所・上流部（上部）斜面の3次元鳥観図（上流部（上部）の地形比較用）



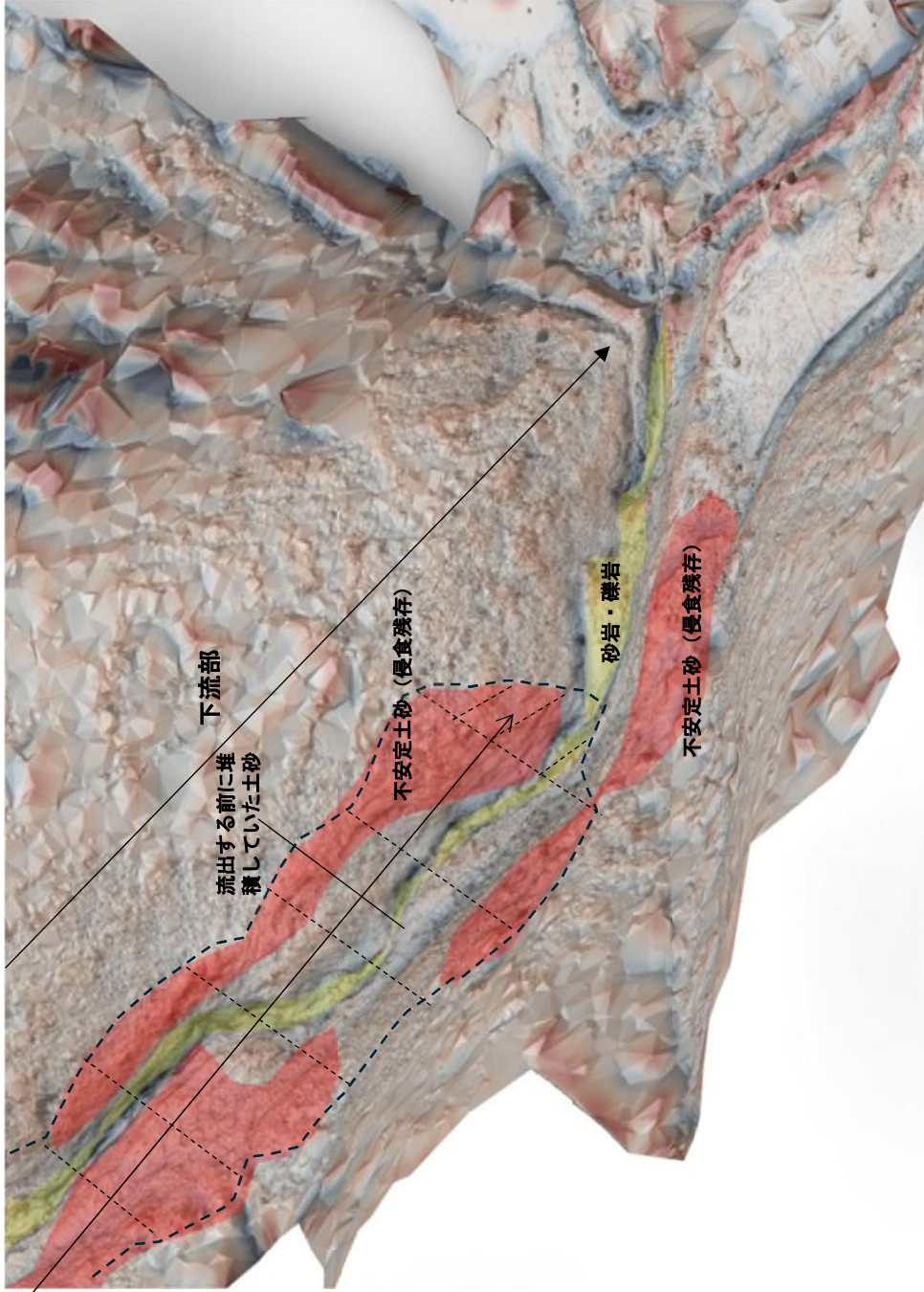
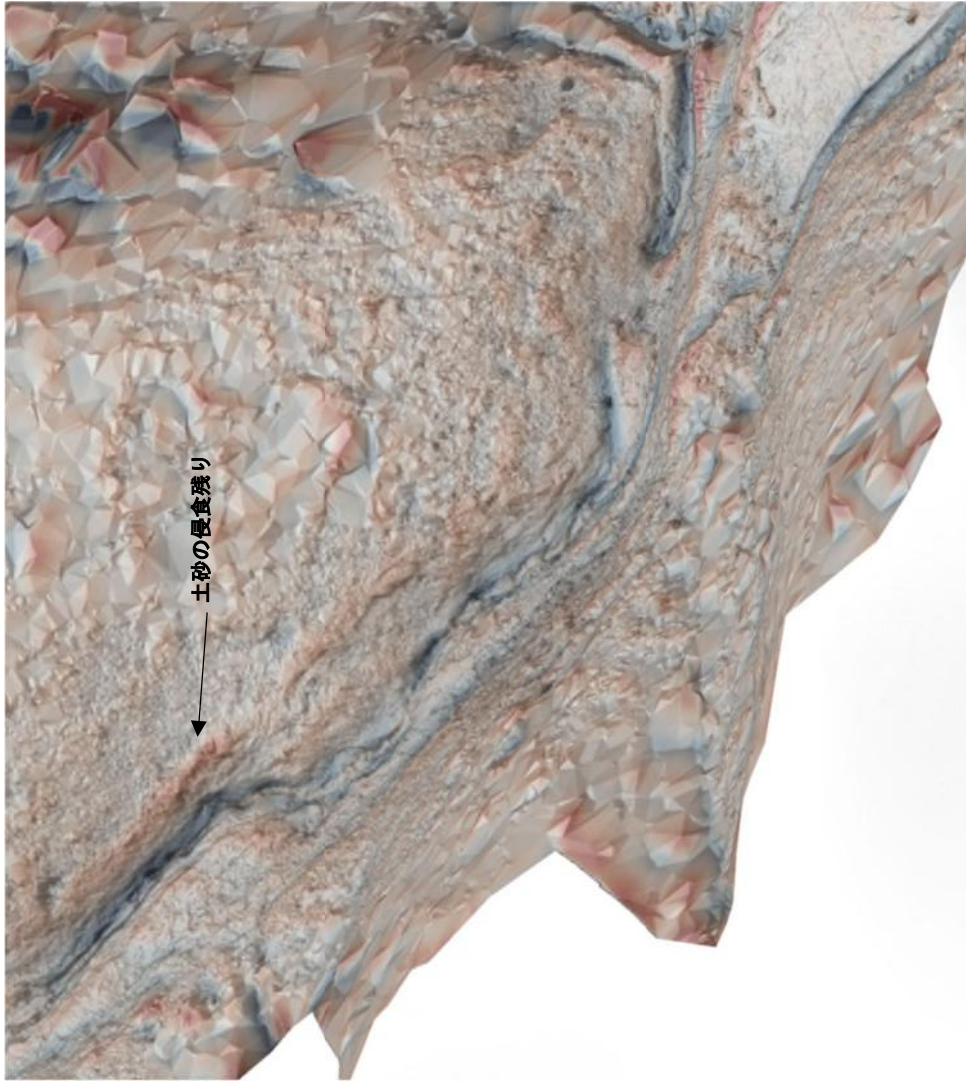


写真⑩ 下流部の不安定土砂（溪流中心部は流出し土砂は残存しない）



写真⑪ 谷地形D合流部直下の不安定土砂 写真左側；下流側は侵食に伴い土砂が残存しない

■ 下流部に見られる不安定土砂の残存状況について



下流部は、河床から1～3m程度の箇所に帯状の“不安定土砂（赤着色）”が残存している。

3.2 流出土砂の“乗り上げ”の状況（第 2 回検討委員会資料より引用・加筆）

目的：土砂の流出プロセスを検討するにあたり、第 2 回検討委員会で示した土砂の乗り上げや立ち木への衝突痕の図を再掲し、不安定土砂の分布と乗り上げ部分を比較した。

方法：地表踏査により、今回の土砂流出跡や乗り上げ跡、立木への衝突痕を整理し、土砂流出ルートを想定。残存堆積物と比較する。

結果：右岸側の土砂乗り上げが多く確認された。右岸沿いに上流から下流に向かって直線的（谷地形に沿っていない）に土砂が流下し、下方のマンションに向かって流下し、既設の擁壁等を破壊せたと考えられる（衝突痕や土砂の乗り上げが見られる箇所は図中に黄色⇒で示した）。図 3.1-1 の両岸に残存する“不安定土砂”は、乗り上げた形跡のある箇所位置している。

- ・ 上流部（下部）：上流部（上部）直下の箇所は、斜面最大傾斜方向に 5m 程度の乗り上げが見られる。
- ・ 上流部（下部）：谷地形 D との合流付近は、両岸に 4m 程度土砂が乗り上げている。
- ・ 下流部：谷が侵食で深いため、谷底からの比高差 7～8m 程度まで土砂が乗り上げている。
- ・ 流末：下方のマンションの 8 階ベランダに倒木先端が到達しているほか、7 階下側（約 15m）にも立木衝突し破損している。5 階のベランダ上部（約 12m）も破損している（斜面側擁壁高さ約 7m：右写真参照）。

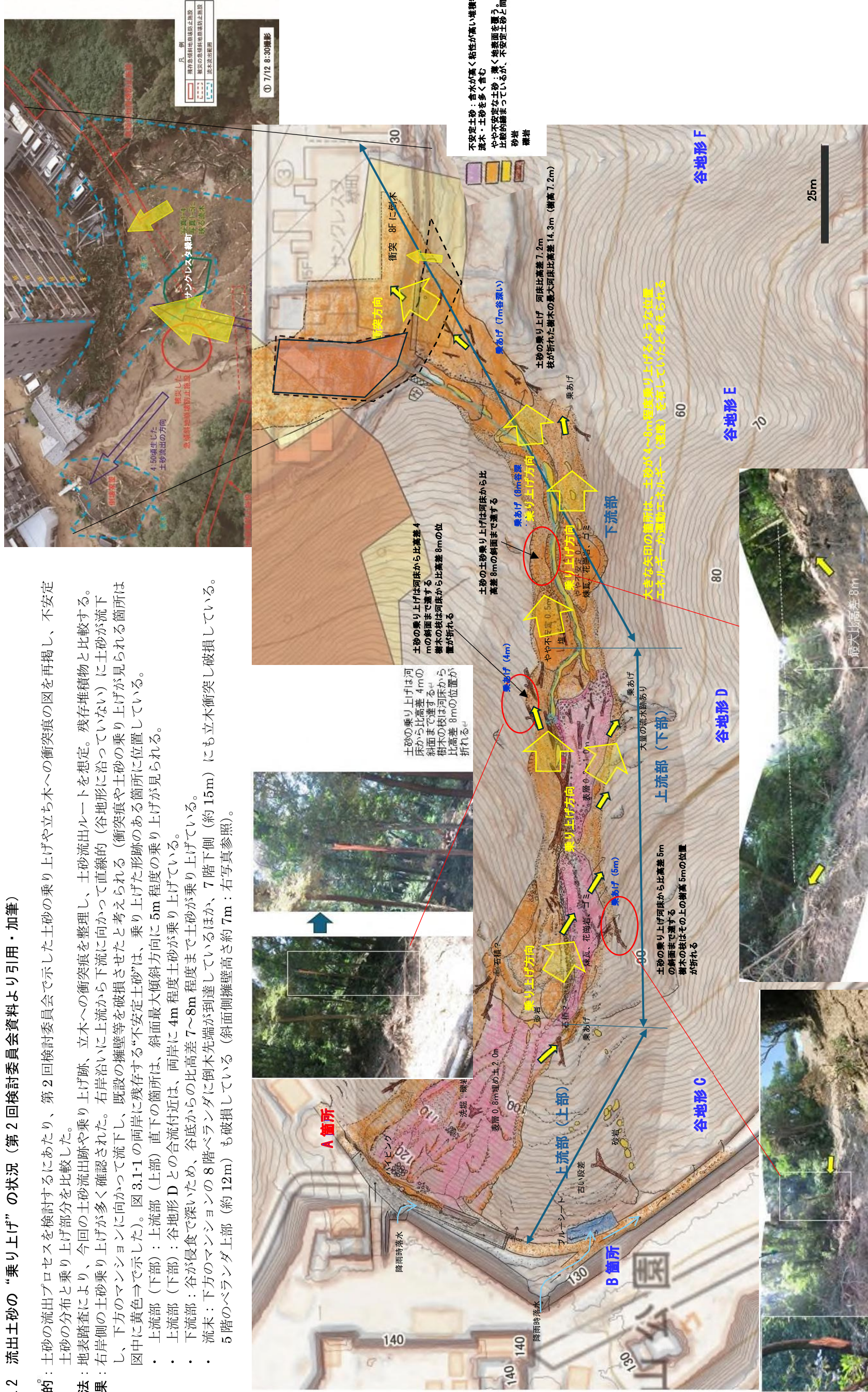


図 3.2-1 立ち木衝突痕や斜面への土砂乗り上げから推定される土砂流路

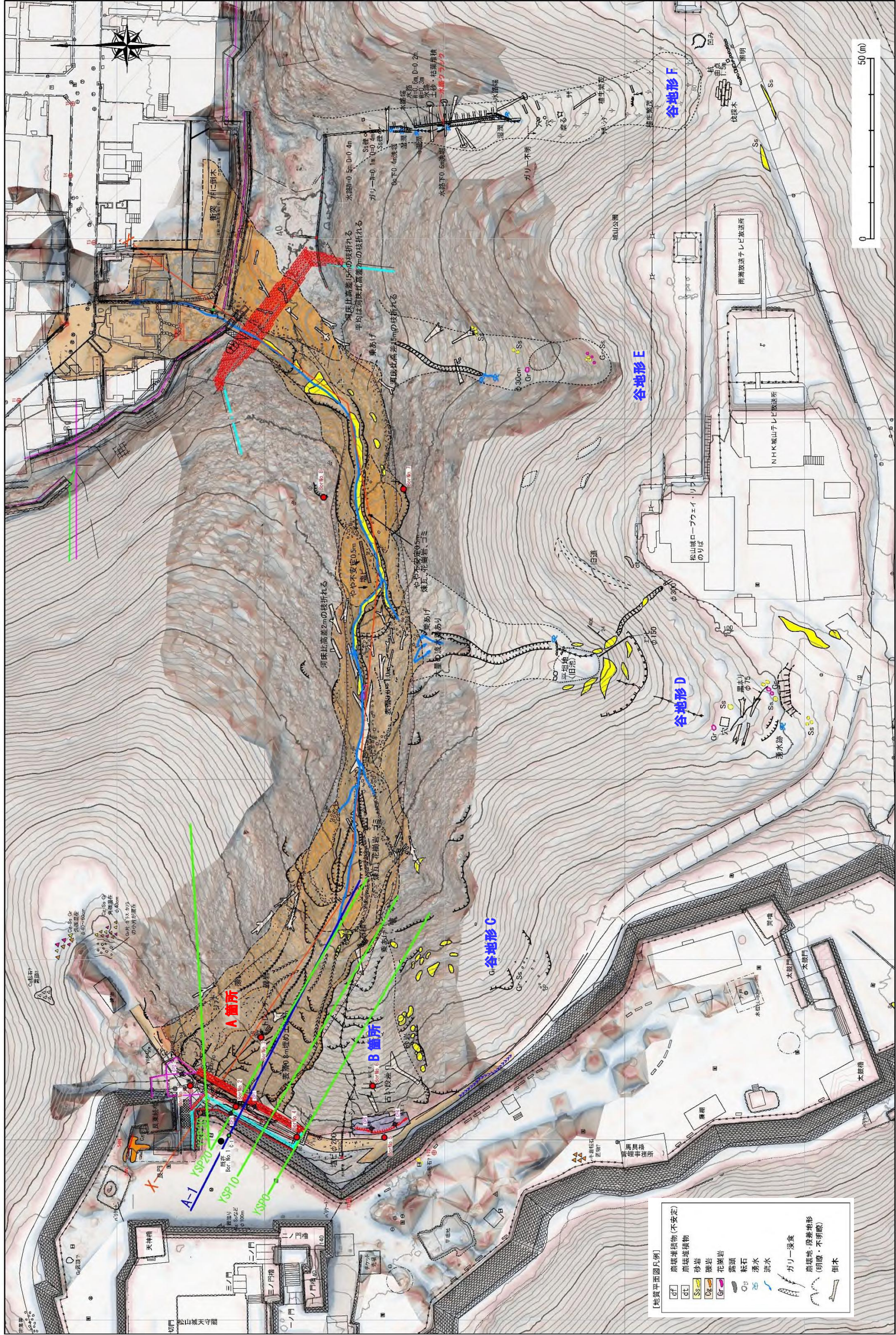


図 3.2-2 参考：地表調査結果及びボーリング調査箇所・検討断面位置総合図

4. 土砂流出発生箇所の水の流れについて（第 2 回委員会資料を引用加筆）

土砂流出の発生プロセスを推定するにあたり、第 2 回委員会ですした“表流水の流れ”について再掲し、表流水が集中しやすい箇所等について整理した。

（1）本壇・本丸広場～緊急車両用道路周辺の表流水の流れについて（現地踏査結果）

- ・良門東側は“やせ尾根”となっているため集水範囲は狭く、A 箇所斜面内へ流下する表流水は非常に少ない。
- ・本壇の東側は、側溝水路・暗渠水路が東側へ傾斜しており、表流水は天神櫓南堀内側にある集水桝へ集まる。集まった水は本丸広場を東方向～南東方向へ流下し、緊急車両用道路を横断して B 箇所へ流れる。また、本壇の西側の表流水は、側溝水路・暗渠水路を通じ東側へ流れ、南側のスロープで流下している。流下した水は本丸広場を経由して良門南堀の屈曲箇所を集まり、緊急車両用道路を横断して B 箇所斜面内へ流れる。
- ・このように土砂流出斜面の上方に位置する本丸広場の表流水（雨水排水）は B 箇所に向かい集中しており、降雨時には土砂流出箇所と B 箇所下方の合流点（写真③）付近に表流水が集中していた可能性がある。

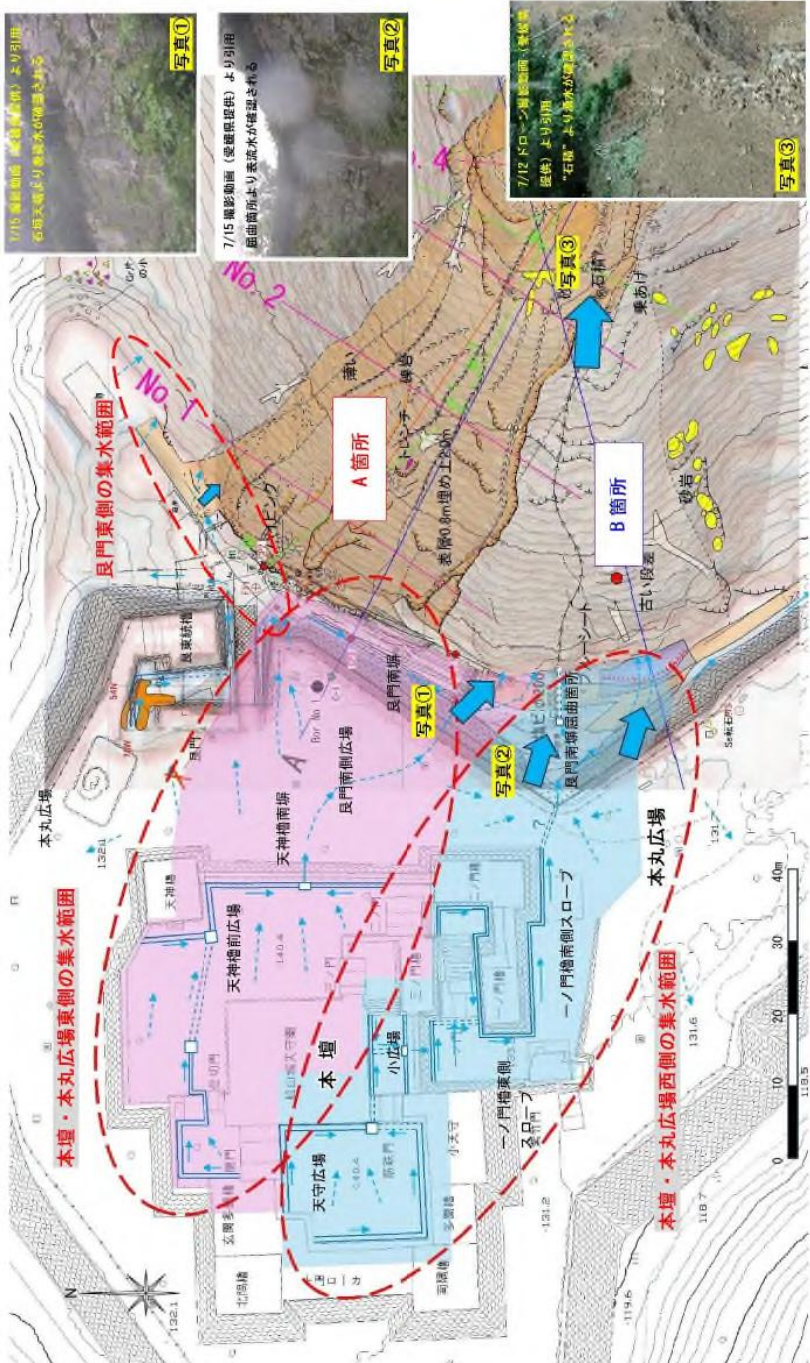


図 4-1 本丸広場（本壇）周辺の集水範囲および流水経路

（2）推定される表流水の流下経路について（表流水の解析結果）

- ・地表水のための解析（地下浸透を考慮しない）結果ではあるが、表流水は本壇⇒本丸広場⇒緊急車両用道路⇒斜面・谷地形の経路を示している。
- ・また、数値解析の結果から、A 箇所源頭部への表流水の流入は少なく、B 箇所、谷地形 C、谷地形 D 流下区域への水の流入が多かったと推察される。
- ・特に谷地形 D で水深・流速がやや大きい傾向にあり、流れが合流する地点（谷地形 D 流下区域）で流速が最大となる傾向を示している。

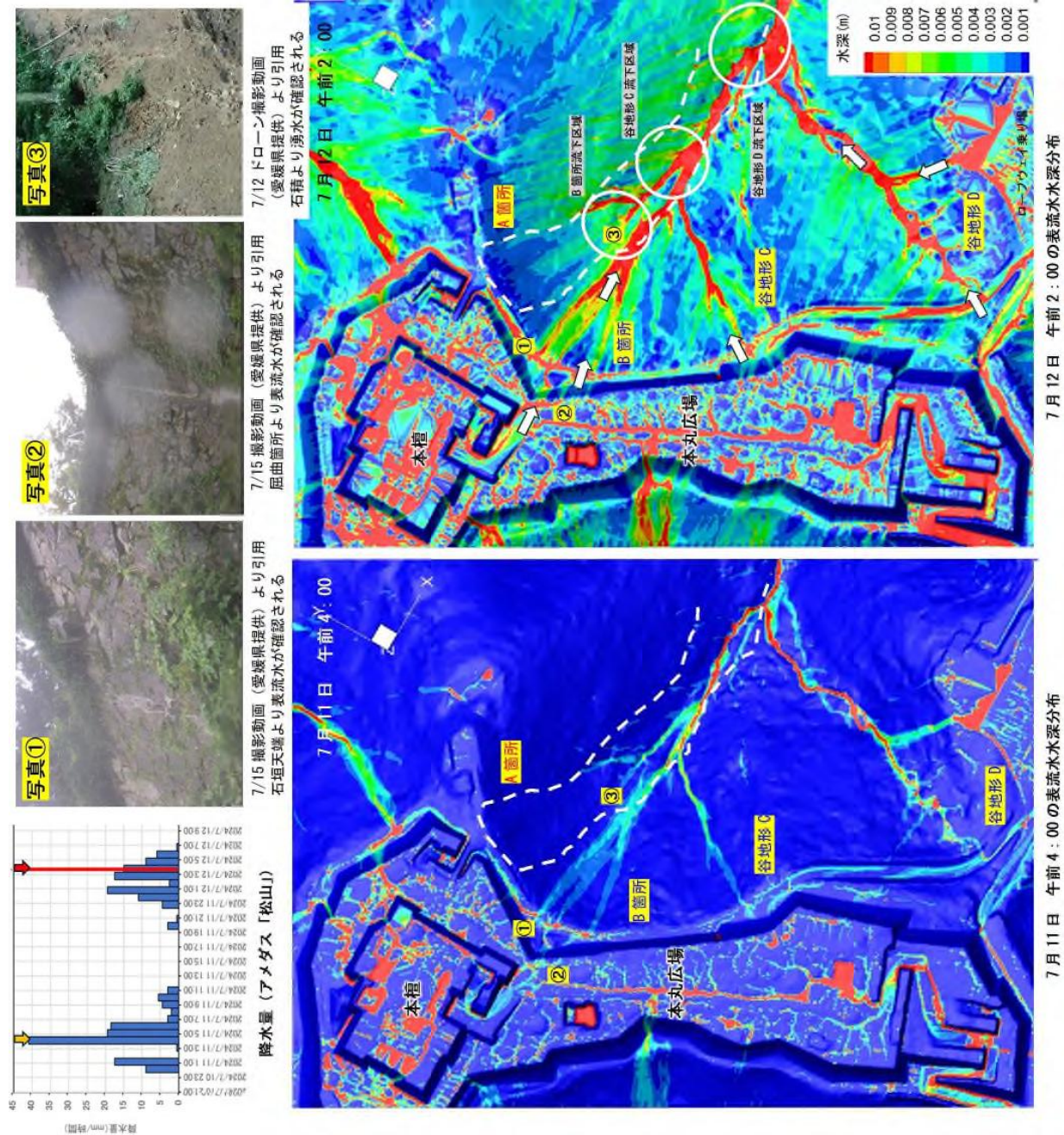
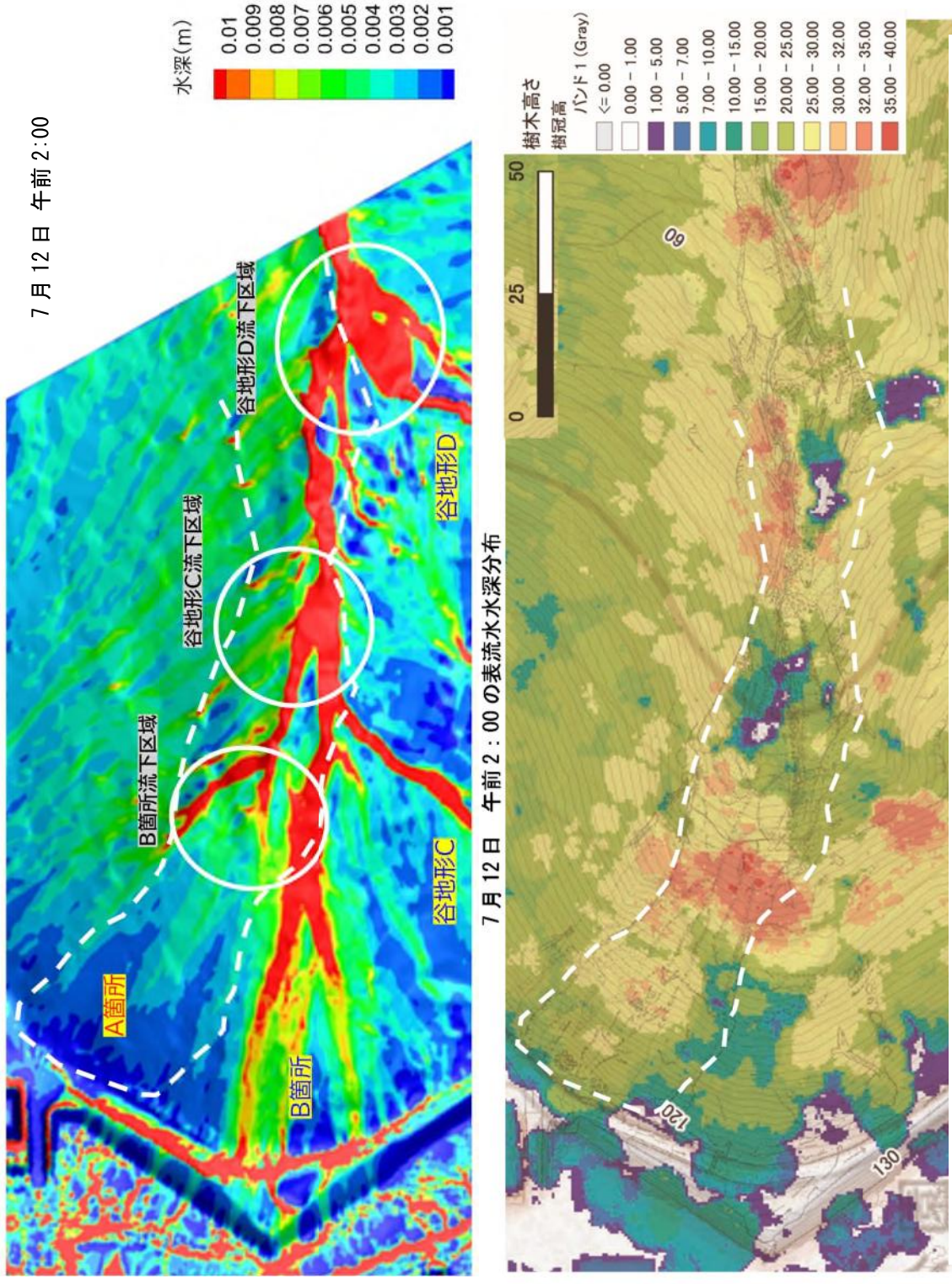


図 4-2 表流水の解析結果（水深分布）

5. 土砂流出の発生プロセスの推定

4章までの現地状況の検討結果を以下に示す。また、当該地区の被災後の状況を整理した上で、土砂流出の発生プロセスを推定した。

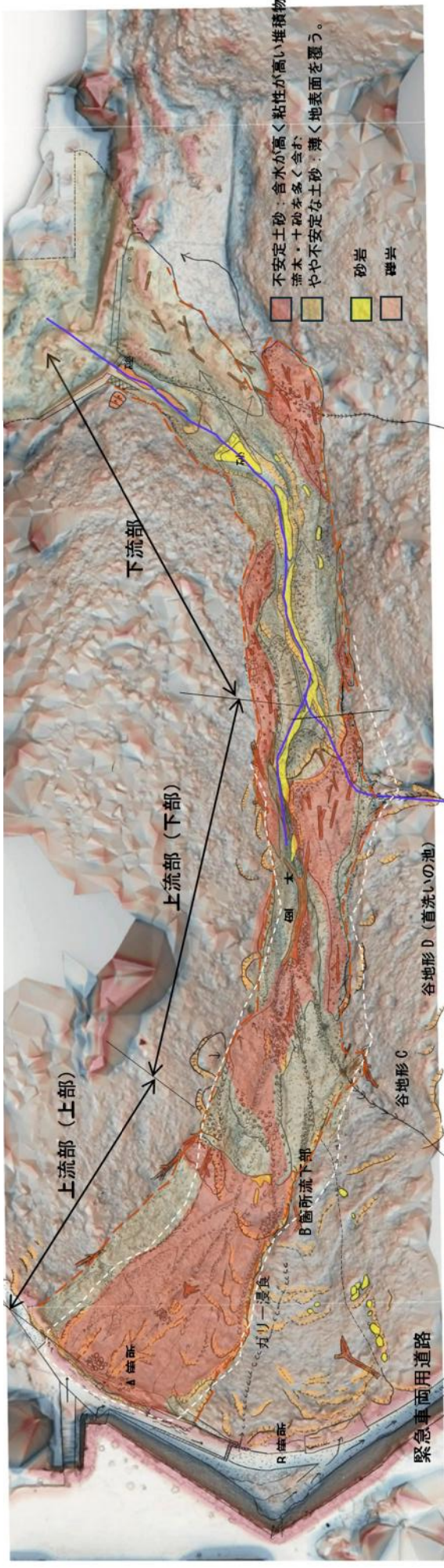
5.1 表流水・樹高・堆積物分布のまとめ



■ 比較結果

- ・ 高さ30m超の巨木は、表流水の集中するB箇所流下部付近に位置する（上段図と中段図より）。
- ・ この巨木は、踏査結果図の馬蹄形の崩壊跡地形がある位置にあり、その上部は、踏査で後退性のすべり地形が確認されている。

2016年の航空レーザー計測 (DHCM) 樹高図 (愛媛大学提供データを用いて作成)

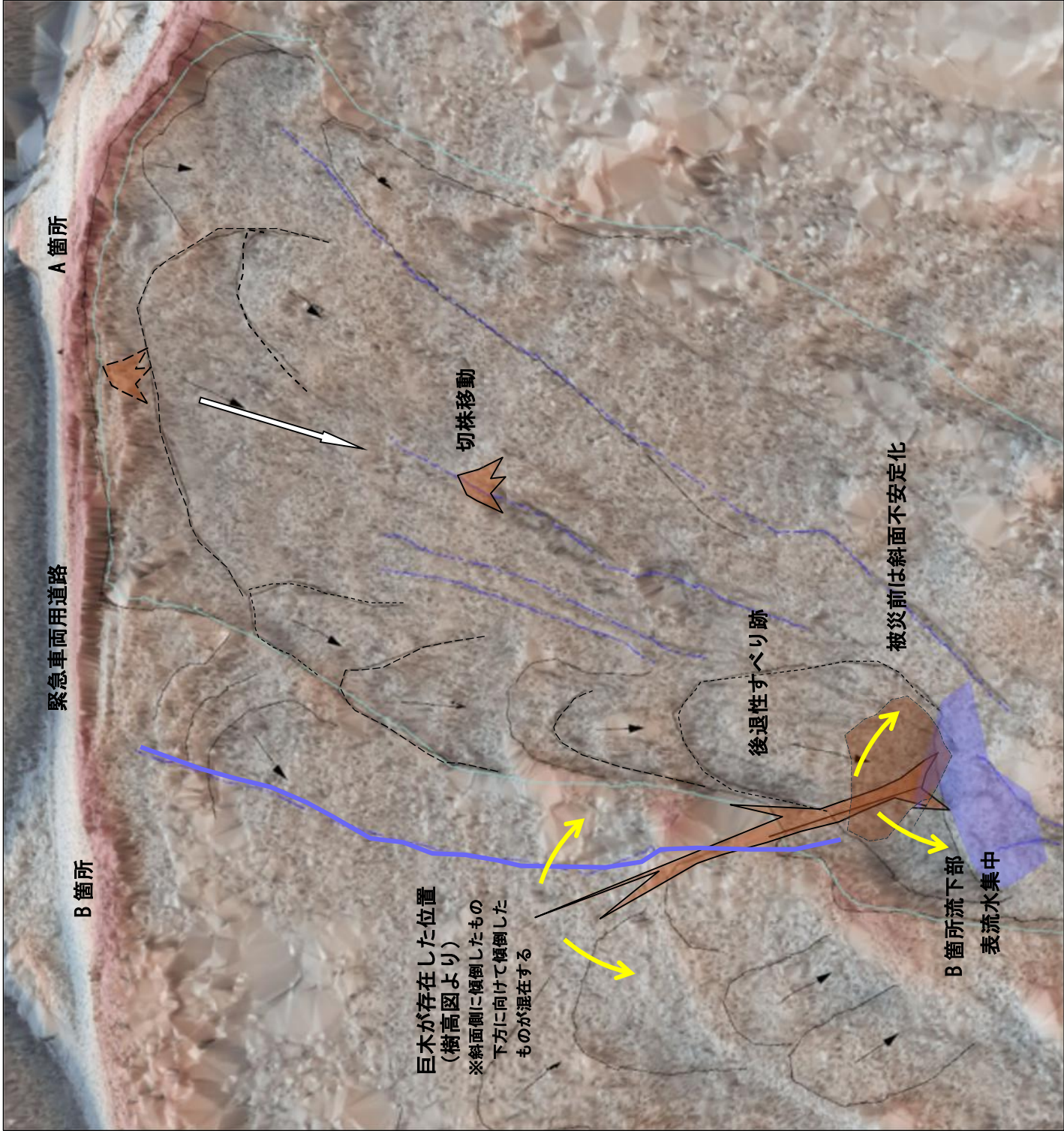
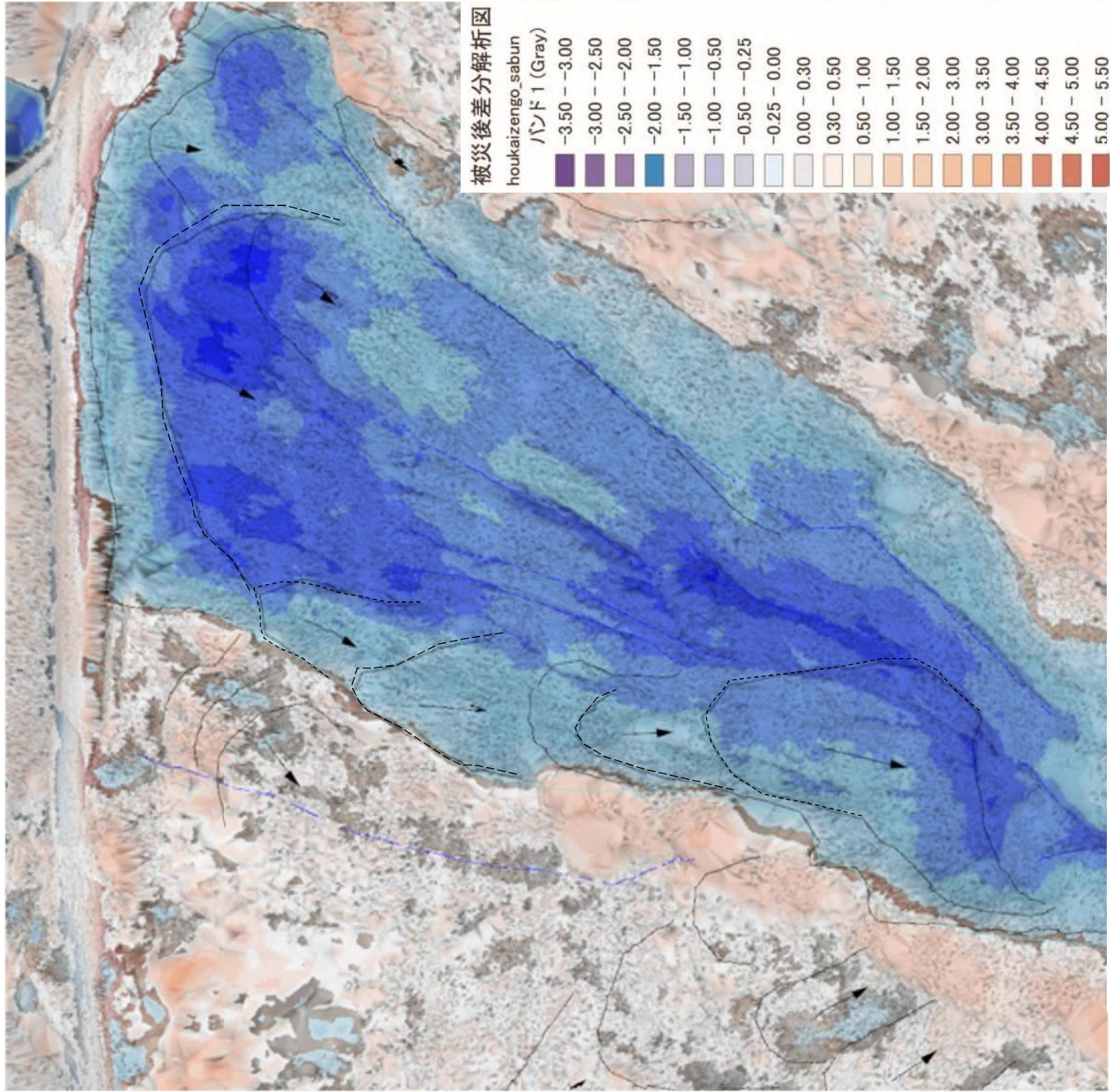


3次元微地形図(踏査結果図)

图 5.1-1 表流水解析图·高图·3 次元微地形图(踏査结果图) 比較

5.2. 被災前後の立木・切株位置のまとめ

- ・1章で述べた樹木の流出状況から、上流部（上部）の立木が1回目の土砂流出で民家まで到達していることが確認された。
- ・B箇所下区域は、樹高図から巨木が確認された箇所である。被災後は、巨木はなくなり差分図でも土砂が流出した箇所の一つとなっているため、倒木を伴いながら土砂が流出したと考える。
また、倒木箇所の上部は、馬蹄形の崩壊地形が連続しており、土砂流出に伴い生じたと考えられる後退性のすべりの痕跡がみられる。



2016 年/2024 年被災後 レーザー測量データ差分解析図 (3 次元鳥観図)

2024 年被災後 レーザー測量データ測量 3 次元鳥観図に巨木位置・表集水集中位置を示す

- <巨木>・2016 年に巨木が確認されるが、2024 年被災後は抜け跡のみで樹木なし。巨木の根元は、B 箇所流下部に位置する。
- ・巨木が存在した位置の上部斜面は、後退性すべり地形がみられる。
- <切株>・斜面中央部の切株は、緊急車両用道路直下から 20m 程度移動したものである。
- 1 回目の土砂流出で上流部（上部）斜面の立木が流出していることと土砂の乗りあげ状況から、比較的早い速度の土砂流出は上流部（上部）において発生したと推定する。

図 5.2-1 3 次元鳥観図（微地形図）による巨木・表流水集中箇所の概要図

5.3 土砂流出プロセスの推定

前章で述べた現場状況と考察から土砂流出の発生プロセスを推定した。

① 1 回目土砂流出（3：40 分頃）

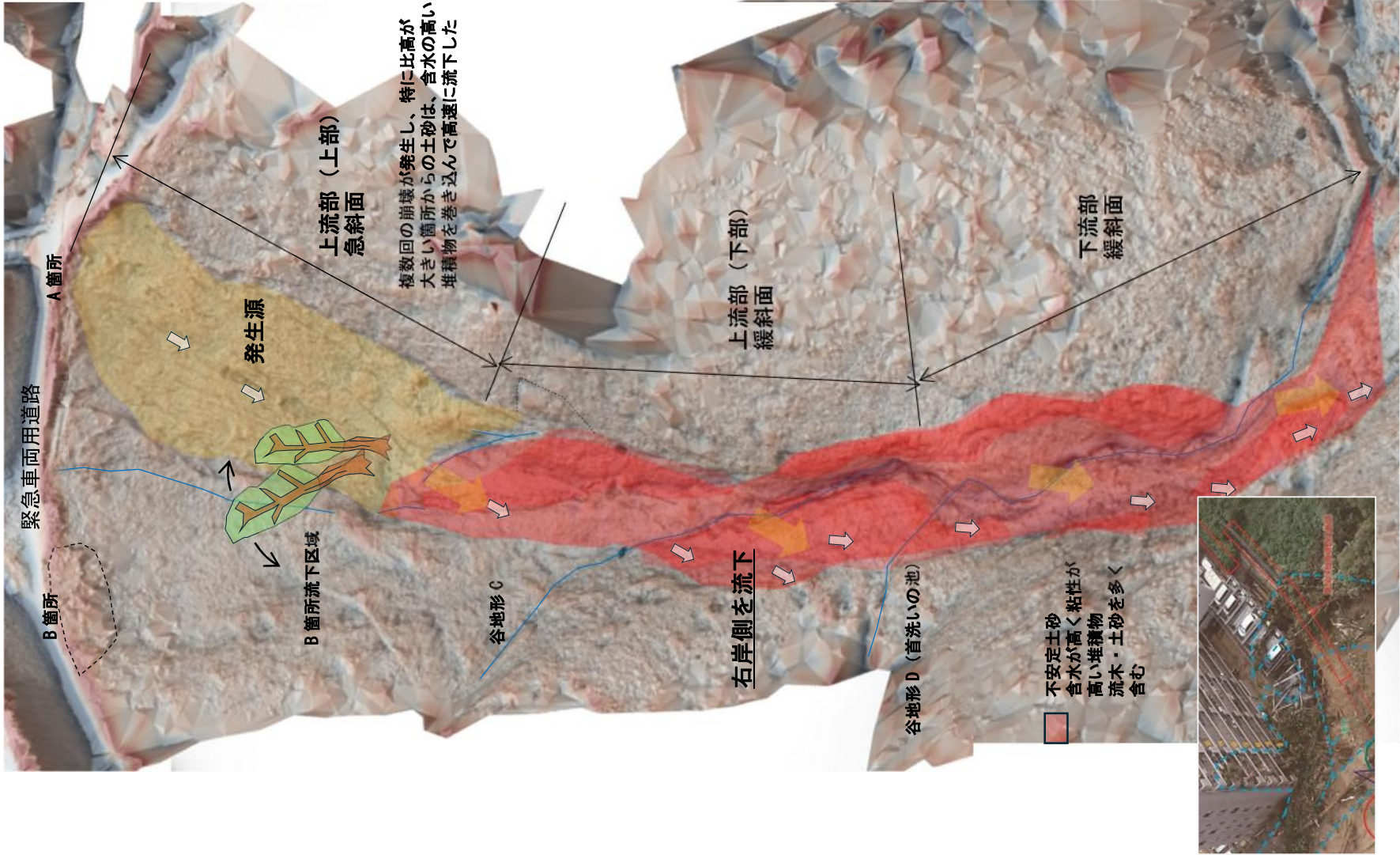


図 5.3-1 7 月 12 日の土砂流出：推定されるプロセス（1）

【土砂流出の発生プロセスの推定根拠】（推定に用いた事実）

- 土砂流出斜面内には、含水が低く粘性が高い、ゴミや瓦、樹木を多く含む堆積物が部分的に存在する（左図で赤色に着色している範囲）。
- 赤で着色した堆積物上面はわずかに侵食があるものの、ゴミが残っており、堆積後に堆積物全体を覆うような大量の流水があった形跡は乏しい。
- 谷地形 D より下流は、河床から 1.0m 程度の高さに堆積物の痕跡が見られるものの、概して赤着色の堆積物が少なく侵食が顕著である。
- 赤着色の堆積物の堆積後、洗堀・流出している。
- 右岸側に乗り上げた土砂分布・撮影された土砂状況から、1 回目の土砂移動は比較的速かったと考える。

【推定される土砂流出の発生プロセス】

- ・ 1 回目土砂流出（3：40 頃）：上流部（上部）の急斜面（A 箇所）周辺で発生。上流部下から下流部を厚さ 1m 程度で埋めながら、右岸側を高速で直線的に流下した（赤着色の堆積物が堆積）。
- ・ 2・3 回目土砂流出（4：45～4：50 頃）：B 箇所下区域や谷地形 C・D からの表流水が堆積物で堰き止められて一時的に貯留。水分を多く含んだ状態（泥濘化）の堆積物の一部が、左岸側の谷底を洗堀しながら泥流として流下した。

＜下流域への土砂到達について＞

- ・ 右岸側に乗り上げた土砂の分布や、撮影された土砂の流出状況から、1 回目の土砂移動は比較的速かったと考える。この流速の原因は、位置エネルギーの高い上流部（上部）から流出したことによると考えられる。
 - ・ 1 回目の土砂流出が、上流部（上部）A 箇所のどの位置で発生したかは図 5.3-2 に示す 2 つの可能性が考えられる。
- ＜まとめ＞
- ・ 1 回目に流出した土砂は、水分の少ない瓦やゴミ、樹木を含む土砂の流出であり、乗り上げた堆積物や流出した樹木の位置から、上流部（上部）斜面で発生したと推定する（資料 2 2 章 3 章参照）。
 - ・ 流出土砂の流速は早く、右岸側に沿って流下し、主に右岸側を乗り上げながら周辺の樹木をなぎ倒し、立ち木を取り込みながらやや高速で流下したと考えられる。
 - ・ 発生源の位置エネルギーが比較的大きかったため、やや速い土砂が直線的に右岸沿いを流下し、下流部の木造家屋やマンション付近まで流下した倒木が発生したと考える。

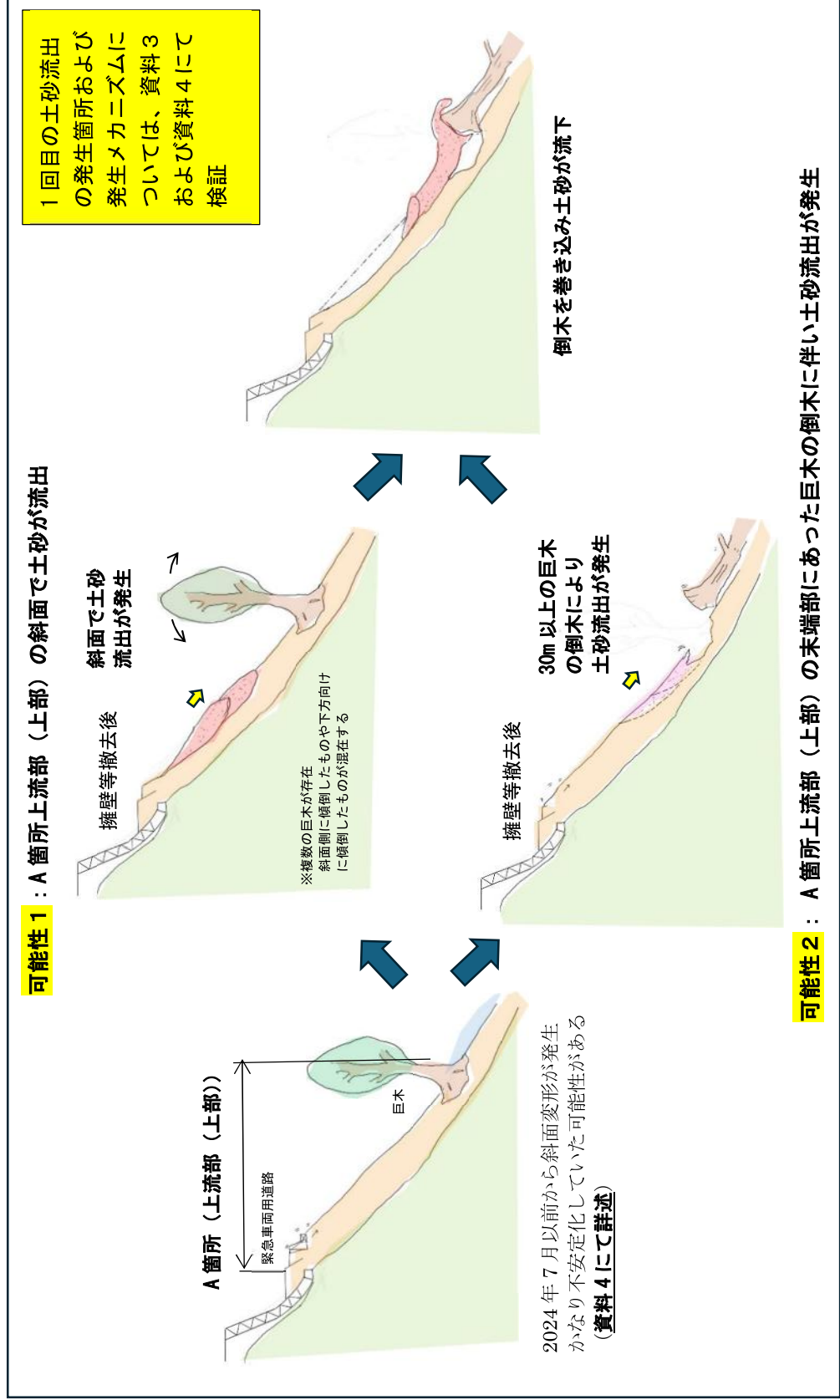
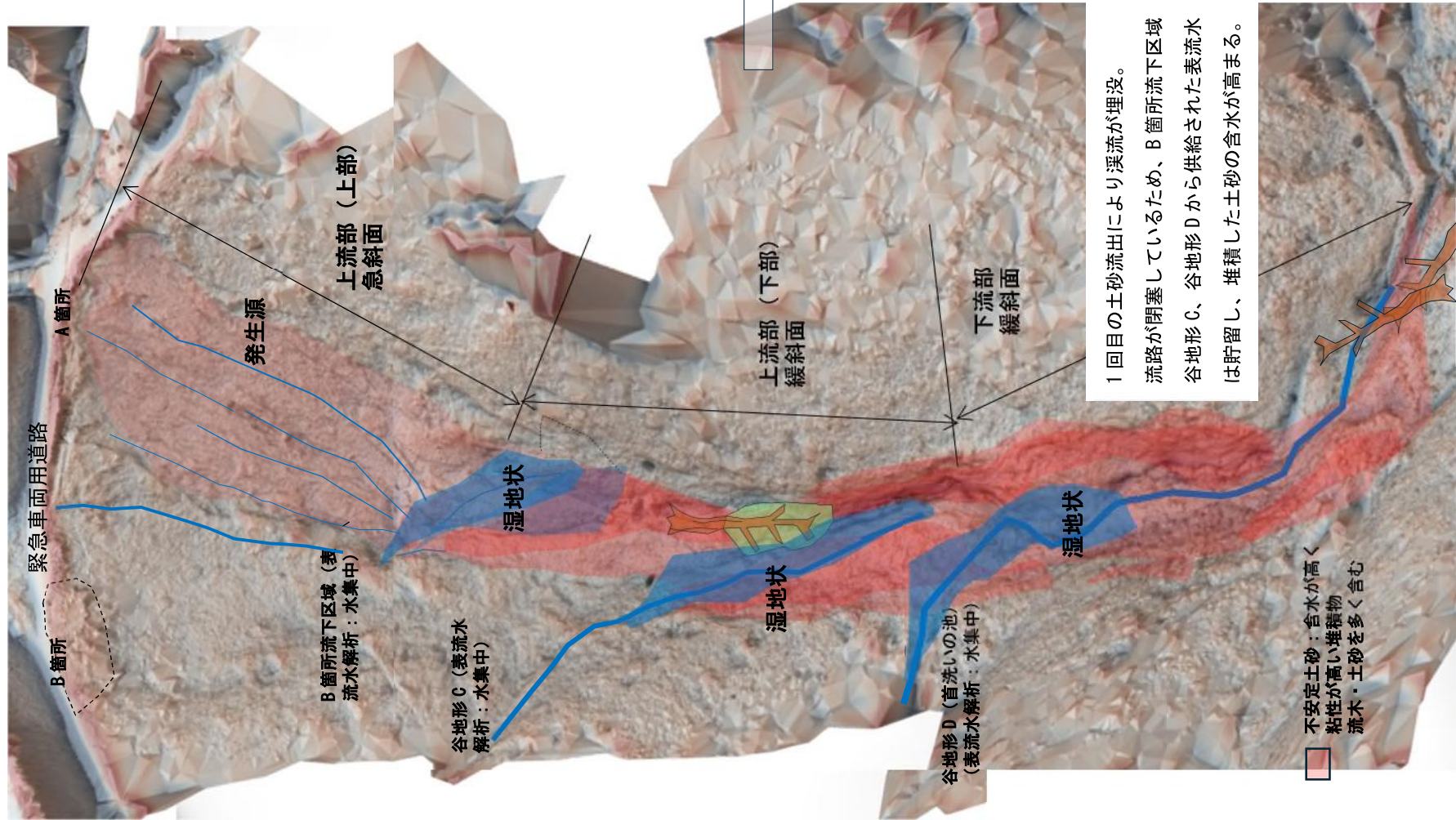
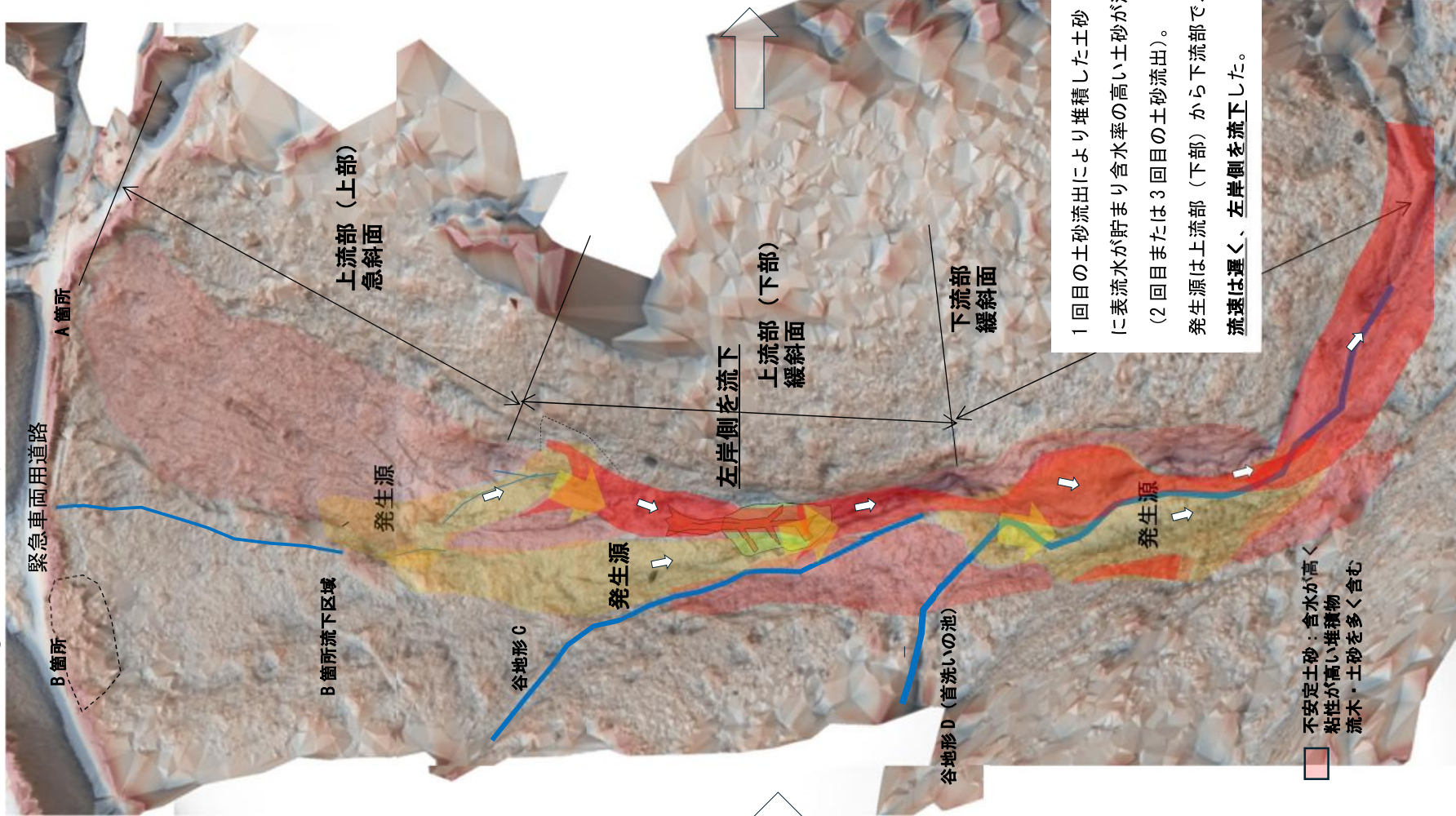


図 5.3-2 上流部（上部）A 箇所の 1 回目の土砂流出の発生源について

② 3：40～4：45（流水と土砂は流出し続ける）



③ 2・3回目の土砂流出（4：45頃～4：50頃）



④ 2・3回目の土砂流出後

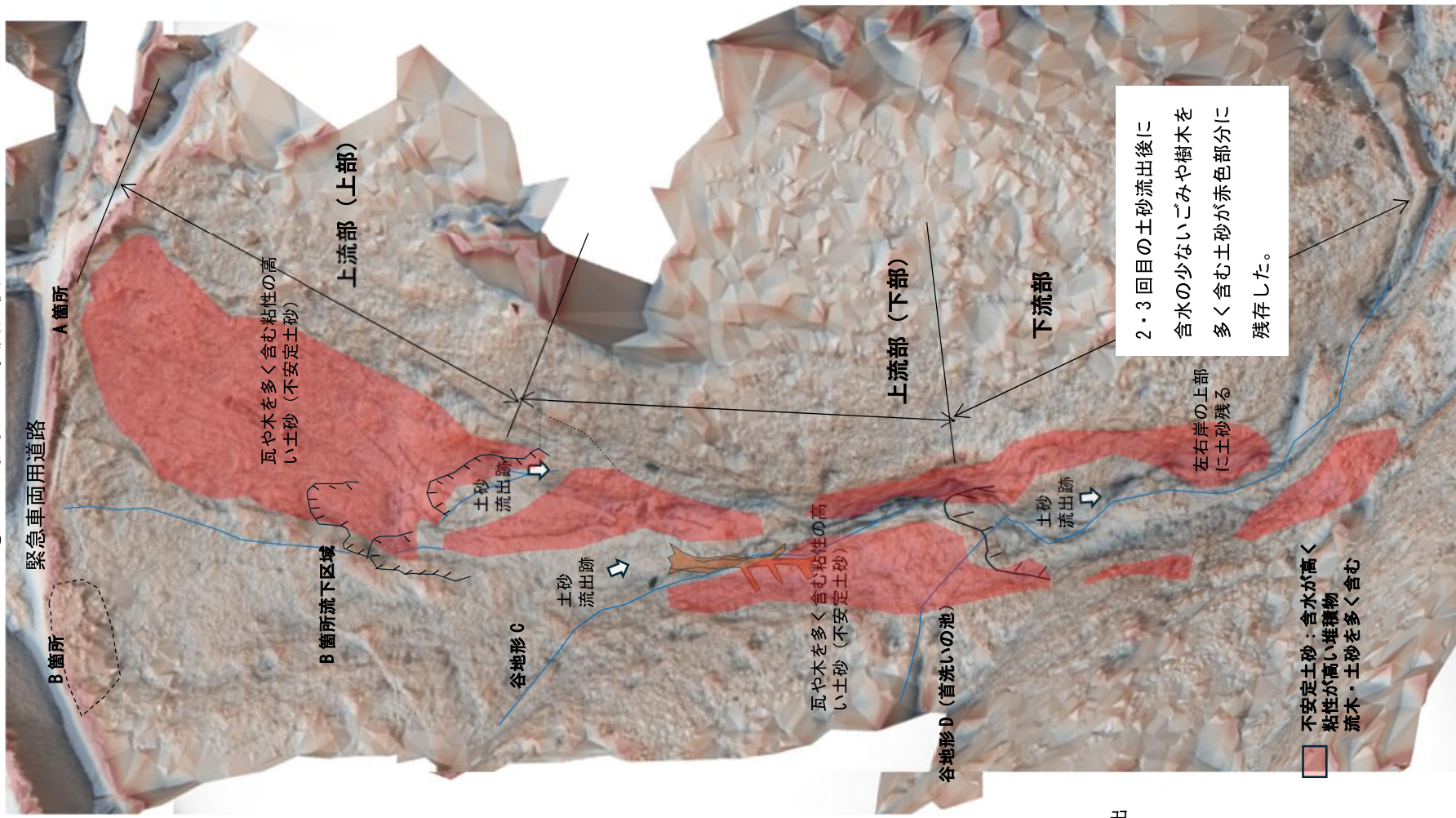


図 5.3-3 7月12日の土砂流出：推定されるプロセス（1）