

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会
報告書（案）

令和7年1月30日

< 目 次 >

1. 被災状況	1
2. 土砂流出発生斜面の特徴	3
3. 推定される土砂流出の発生メカニズム	8
4. 発生メカニズムのとりまとめ	15
5. 本復旧対策	17
6. 再発防止に向けた取組みについて	19

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会 報告書（案）

はじめに

令和6年7月12日に松山城城山の北東側斜面が崩壊し、土砂が樹木とともに山裾の急傾斜地崩壊防止施設の擁壁を乗り越え、松山市緑町1丁目の住宅密集地に流れ込み、死者3名、住家被害として全壊3棟に及ぶ甚大な被害をもたらした土砂災害が発生した。

愛媛県では二度と同じような被害の発生を防止するため、同月17日に学識経験者及び国・県・市の行政関係者11名から構成する「松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会」（以下「技術検討委員会」という。）を立ち上げ、直ちに発生メカニズムの解明と再発防止策の検討に取り組んだ。技術検討委員会は、現地調査や解析結果等をもとに5回開催し検討を重ね、結果を本報告書にとりまとめた。

最後に、今回の土砂災害で亡くなられた方々のご冥福をお祈りするとともに、被災された方が一日も早く日常を取り戻し、今後同様の土砂災害が発生することがないよう強く願うものである。

令和7年1月

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会

1. 委員会のメンバー

委員長	：森脇 亮	愛媛大学工学部・教授
副委員長	：木下 尚樹	愛媛大学工学部・教授
	高橋 治郎	愛媛大学・名誉教授
	鈴木 啓介	国土交通省国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部砂防研究室長
	戸田 崇	国土交通省四国地方整備局 建政部都市調整官
	菊地 志郎	国土交通省四国地方整備局 松山河川国道事務所長
	洲之内 聖二	愛媛県土木部河川港湾局砂防課長
	八木 裕紀	愛媛県土木部道路都市局都市整備課長
	渡部 真司	愛媛県教育委員会管理部文化財保護課長
	渡邊 裕二	松山市開発建築部市街地整備課長
	直野 慎平	松山市都市整備部 道路河川整備課盛土・がけ対策担当課長

2. 開催状況

第1回	令和6年	7月29日
第2回	令和6年	9月2日
第3回	令和6年	10月11日
第4回	令和6年	12月23日
第5回	令和7年	1月30日

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会 設置要綱

(目的)

第1条 令和6年7月の松山市緑町における土砂災害の発生メカニズムの解明や再発防止に向けた検討を行うため、松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会(以下「委員会」という。)を設置する。

(所掌事務)

第2条 委員会では次に掲げる事項を処理する。

(1) 令和6年7月の松山市緑町における土砂災害の発生メカニズムの解明に関すること。

(2) 同様の土砂災害の再発防止に向けた検討に関すること。

(3) その他必要な事項

(組織)

第3条 委員会は別表に掲げる委員をもって組織する。

2 委員への就任については知事が委嘱する。

3 委員のうち、関係行政機関の職員のうちから委嘱された委員が出席できないときは、その命じた者を出席させることができる。

(委員長及び副委員長)

第4条 委員会に委員長及び副委員長を置き、委員の互選により定める。

2 委員長は委員会を代表し、会務を総理する。

3 副委員長は委員長を補佐し、委員長に事故があるときはその職務を代行する。

(会議)

第5条 委員会の会議は、委員長が招集し、委員長が議長となる。

2 委員長は、必要に応じて、関係者の出席を求め、意見を聴くことができる。

(解散)

第6条 委員会は、その任務が達成された時に解散する。

(事務局)

第7条 委員会の事務を処理するため、愛媛県土木部河川港湾局砂防課に事務局を置く。

(雑則)

第8条 この要綱に定めるもののほか、委員会の運営に関し必要な事項は、委員長が定める。

附 則

この要綱は、令和6年7月17日から施行する。

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会 報告書（案）

1. 被災状況

1.1 被災概況

- 2024年7月12日早朝、松山城北東側斜面で土砂流出が発生、松山市緑町1丁目において住宅等が被災した。
- 被害状況：死者3名、住宅被害（全壊3棟、一部損傷12棟）、非住家（全壊1棟、半壊1棟）

第1回技術検討委員会 資料-2 p2, p5

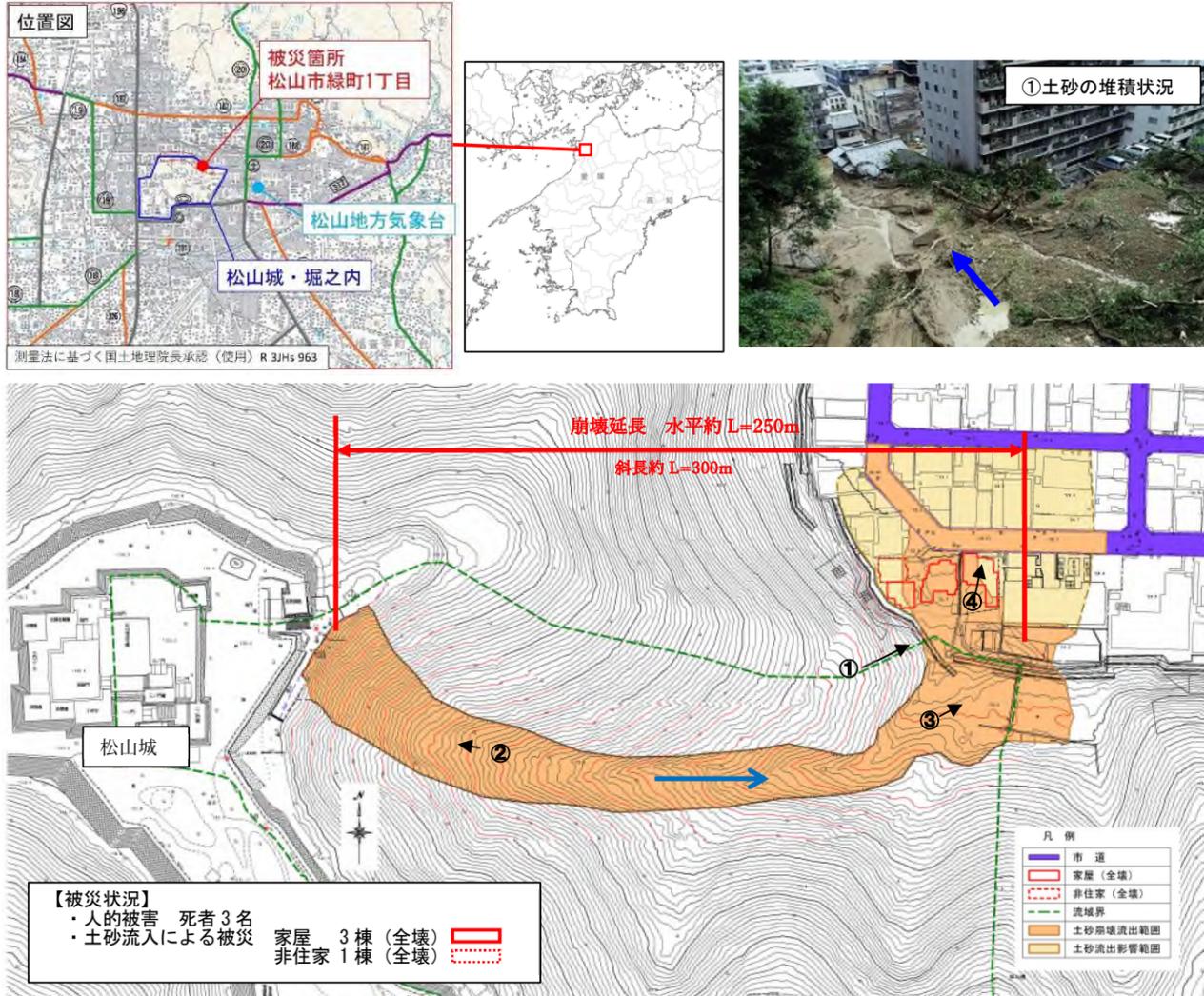


図 1.1-1 被災概況

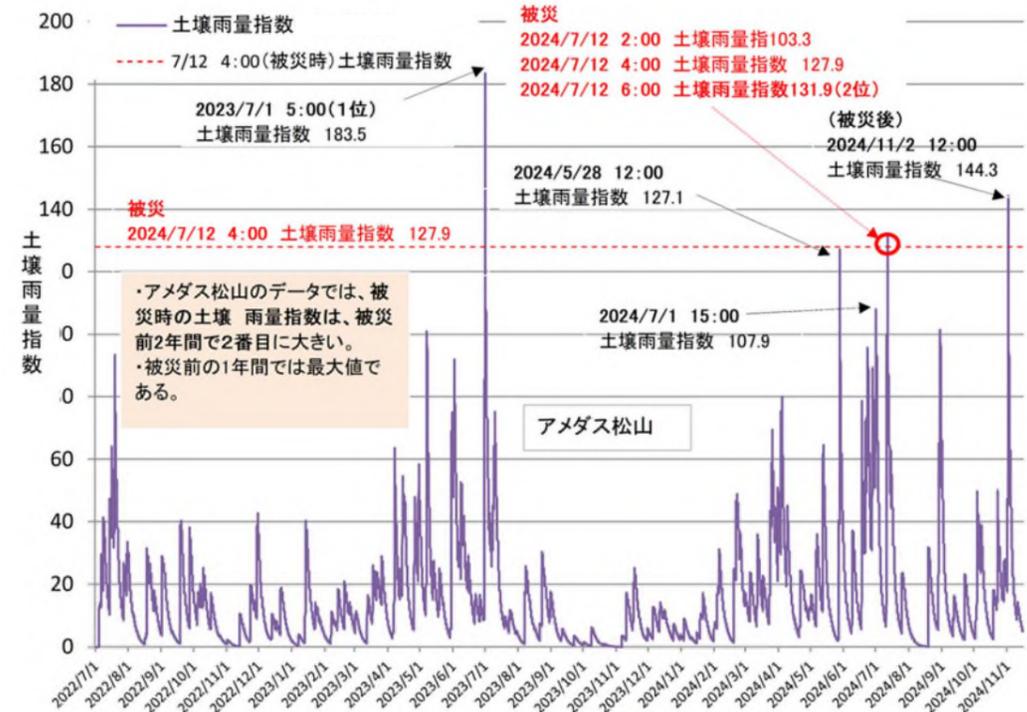
1.2 被災時の降雨

- 7/10 24時～7/12 7時までの総降水量は213mm、最大時間降水量は41mm（7/11 3時～4時）となっている。
- 7/12の土壤雨量指数は、被災前1年間では最大値を示す（被災前の1年間では最も斜面の安定性が低い状況）。

第1回技術検討委員会 資料-2 p4, 第4回技術検討委員会 資料5 p5



図 1.2-1 7/10 24時～7/12 12時までの時間降水量・累積降水量（松山気象台）※第1回技術検討委員会資料より引用



※松山気象台の雨量データを使用。土壤雨量指数は気象庁のタンクモデルによる計算手法・条件に基づき算出した

図 1.2-2 2022/7/1～2024/11/15 までの土壤雨量指数の比較 ※第4回技術検討委員会資料より引用

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会 報告書（案）

1.3 緑町地区の土砂流出発生状況

- 土砂流出の発生状況について、消防局、報道発表、X・YouTubeなどのSNS等、及び愛媛大学での調査資料を収集整理し、時系列を以下に示す。
- 緑町地区では、大きく2度の土砂流出が確認されている（1回目：3:40頃、2・3回目：4:45頃）。

第2回技術検討委員会 資料3 p3-2, p3-5

表 1.3-1 土砂流出の発生状況のまとめ

起った事象	報道発表、SNS等	愛媛大学の調査資料（提供）より
数か月前	・数カ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	・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）	・斜面の一部崩壊開始。遠くでバサッパサッという木の倒れる、それまで聞いたことのない音がした。との証言
3:40頃	<ul style="list-style-type: none"> ・3時頃に崩れたらしいとの投稿あり（SNS投稿 7/12） ・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パラパラと飛んできた。木が当たってベランダのステンレス欄が外れていた。（日テレNEWS マンション住人 7/12） ・土砂が崩れマンションや家にかぶさっているとの通報（日テレNEWS 7/12） ・「ギイイ」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時に土砂災害発生との投稿あり（SNS投稿 7/12） ・4時頃に凄まじ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） 	<ul style="list-style-type: none"> ・近くでバサッパサッという音がした。 ・急傾斜施設の一部倒れて、土砂と流木が犠牲者宅を押しつけて傾けさせた。 ・泥流は発生せず。 ・大きな音がして建物が揺れた。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。 ・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） ・マンション下の立体駐車場が無くなった。との証言 ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・2回目の土砂崩壊（消防局の証言） ・3回目の土砂崩壊（消防局の証言） 	<ul style="list-style-type: none"> ・午前5時頃「ゴーン、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回目のとき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度目はこれまでと異なる現象が起き、「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な、泥水がバシャッと出てきた」（NHK 松山放送局 7/23）

③急傾斜地崩壊防止施設の被災時期

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画を、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

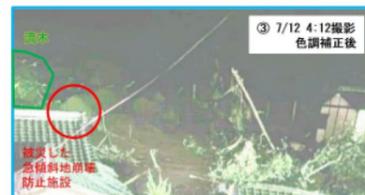


写真1-5 4時12分の写真



写真1-3 急傾斜地崩壊防止施設の被災状況



写真1-6 4時56分の映像

図 1.3-1 土砂流出の発生状況

■ 複数回にわたる土砂流出の特徴 第2回技術検討委員会 資料3 p3-3, 資料5 p5-2~p5-3

- 発災直後のドローン映像から水色破線枠の流木には、泥流が被っていない。4:45頃発生した土砂流出（2・3回目の泥流）は、倒壊家屋の向きへ変化している。
- また、4:00頃の段階ではマンション下の立体駐車場が無くなっていたとの証言と、4:12の写真を確認した結果、マンション側から土砂の流出が見られると共に、転倒した擁壁が写っていることから、重力式擁壁（急傾斜地崩壊防止施設）は、マンション方向に流下したと想定される3:40頃（1回目）の流出土砂により倒壊したと想定される。



図 1.3-1 土砂災害発生直後のドローン映像（愛媛県撮影）

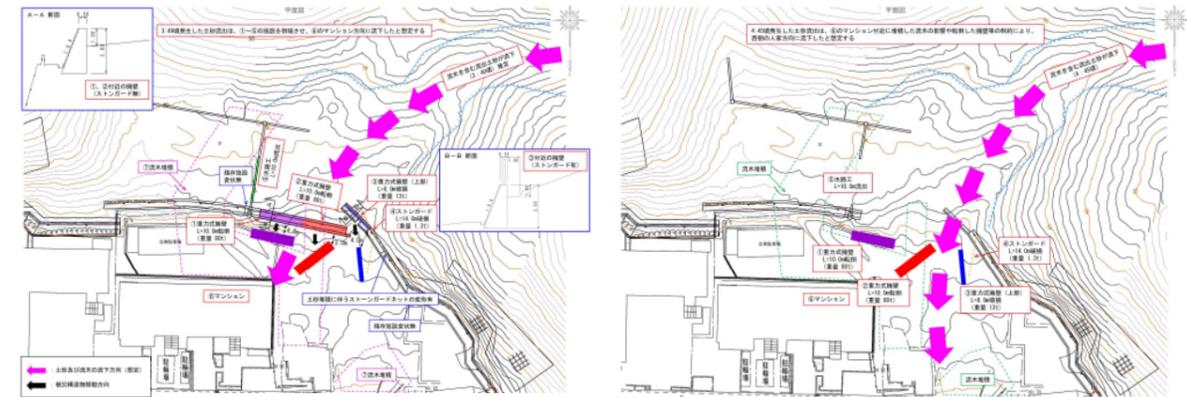


図 1.3-2 被災状況平面図（左）1回目（3:40頃）（右）2・3回目（4:45頃）

1.4 推定される流出土砂量

- 災害発生前の地形（2018年（H30年））のLPデータと災害発生後の地形（2024（R6）年レーザースキャナー計測データ）を重ね合わせ、その差分量（体積）を求めた結果、約6,000m³の流出土砂量が推定される。

第2回技術検討委員会 資料3 p3-6

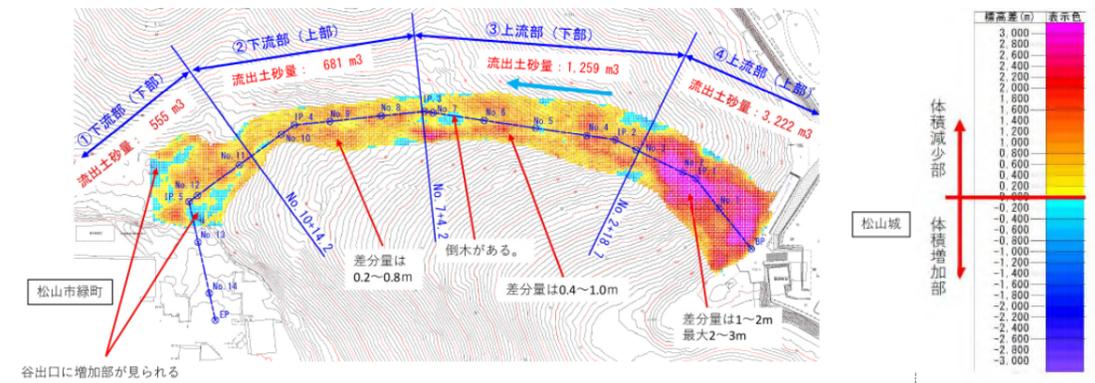


図 1.4-1 LPデータと3Dレーザースキャナーデータの差分平面図

1.5 土砂災害警戒区域及び史跡の指定状況 第1回技術検討委員会 資料2 p9, p10



図 1.5-1 土砂災害警戒区域・特別警戒区域図

(えひめ土砂災害情報マップ HP <https://www.sabo.pref.ehime.jp/map/MapForm.aspx?mtype=1&t=3>)

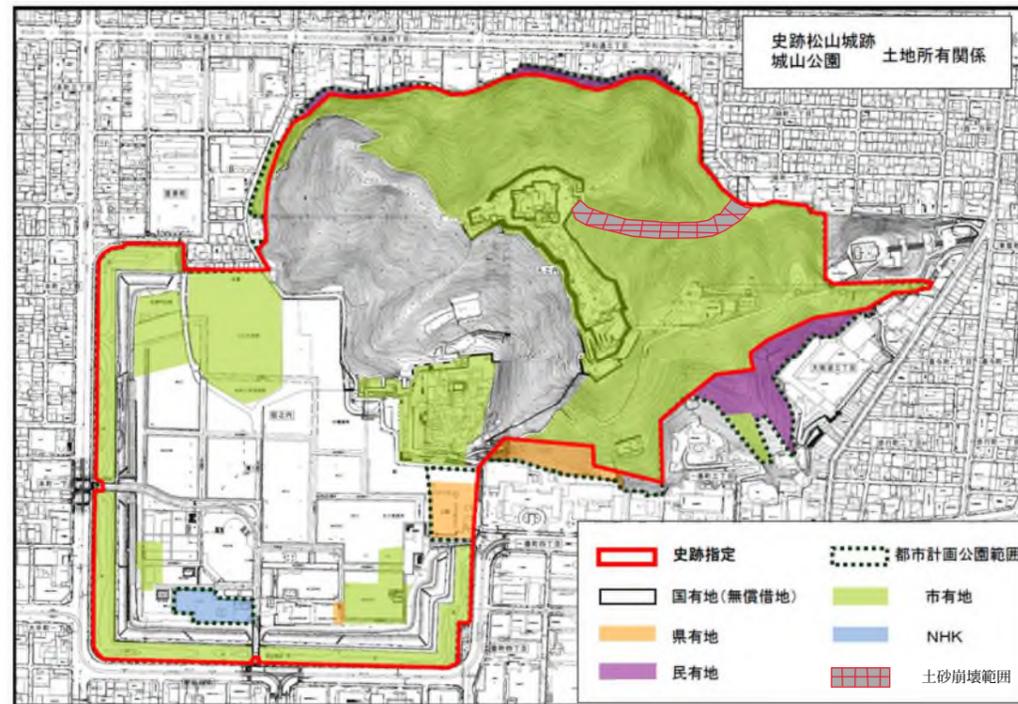


図 1.5-2 史跡指定図

2. 土砂流出発生斜面の特徴

2.1 地形・地質

- 松山市中心部に単独峰として位置する勝山（城山）の山頂に松山城の本丸がある。本丸の周囲は40°程度の急斜面に囲まれており、本丸を中心として四方に谷地形が発達する。土砂流出発生斜面の頂部は、東に延びる谷地形の頭部にあたり、発生した土砂は谷に沿って流下している。谷地形の上方では約40°、下方は約20°の勾配を示す。
- 勝山（城山）の基盤地質は、北側は花崗閃緑岩、南側は礫岩、砂岩、泥岩層などの和泉層群から構成される。土砂流出の発生範囲は和泉層群分布域であり、谷地形沿いに砂岩および礫岩の露頭が確認される。

第2回技術検討委員会 資料4 p1

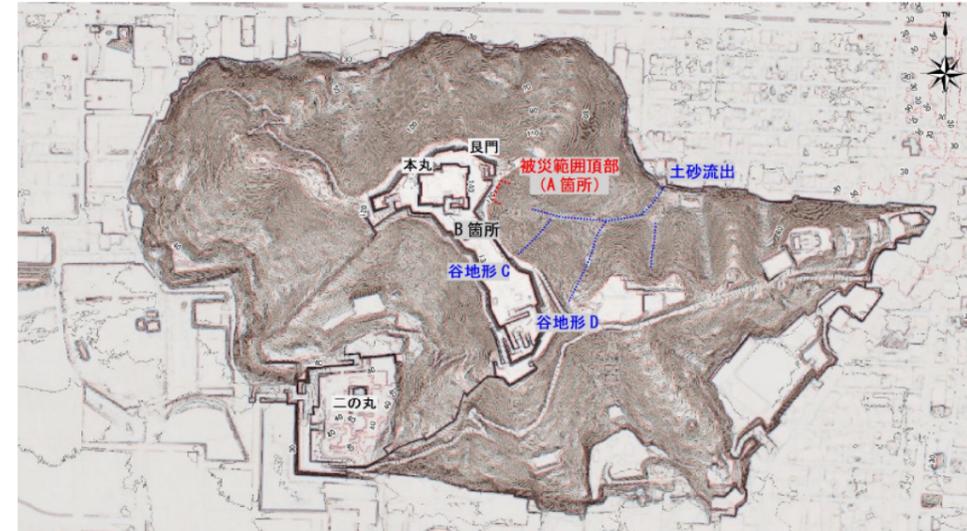
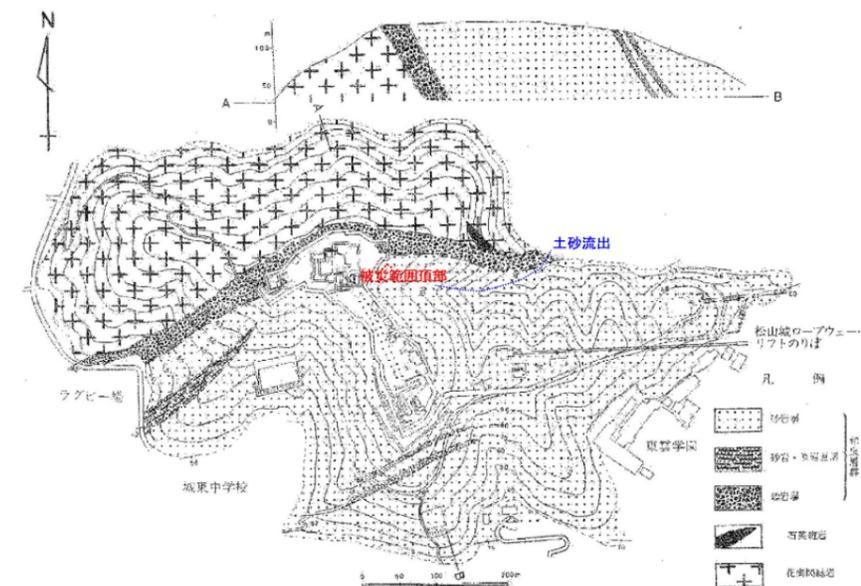


図 2.1-1 勝山（松山城）の微地形図（2016 航空レーザー測量成果より作成）

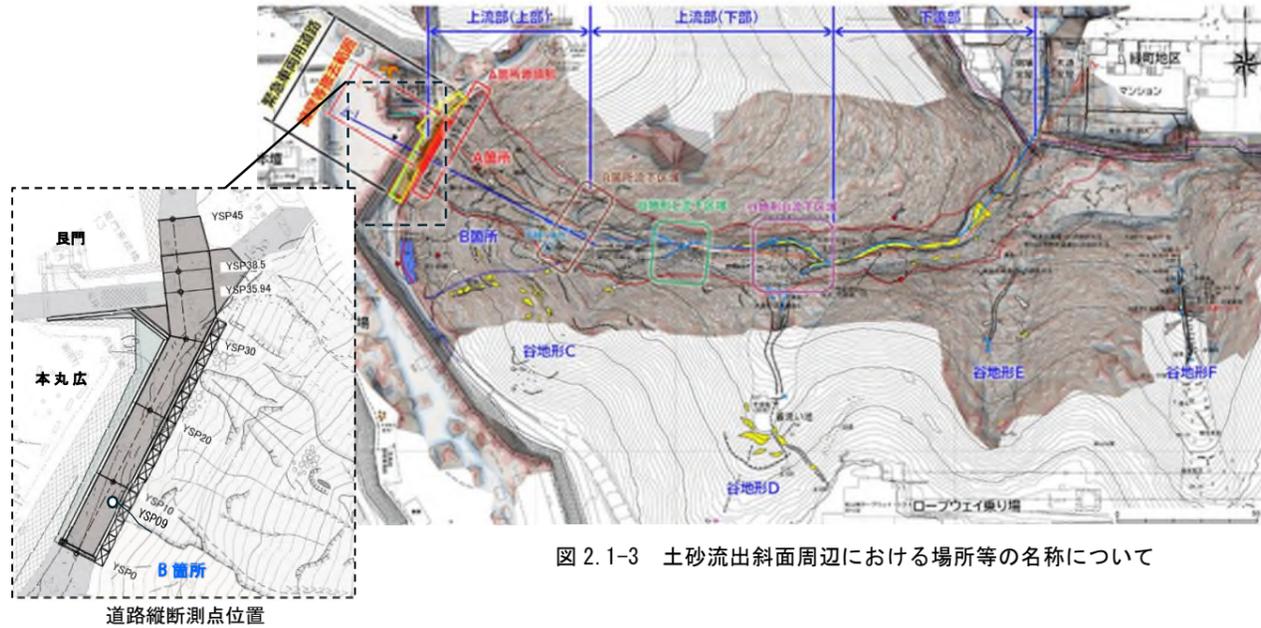


※高橋治郎・鹿島愛彦（1981）：松山市，城山の地質，愛媛大学教育学部紀要 自然科学 第1巻，pp.31-37 より引用・一部加筆

図 2.1-2 勝山（松山城）の地質図

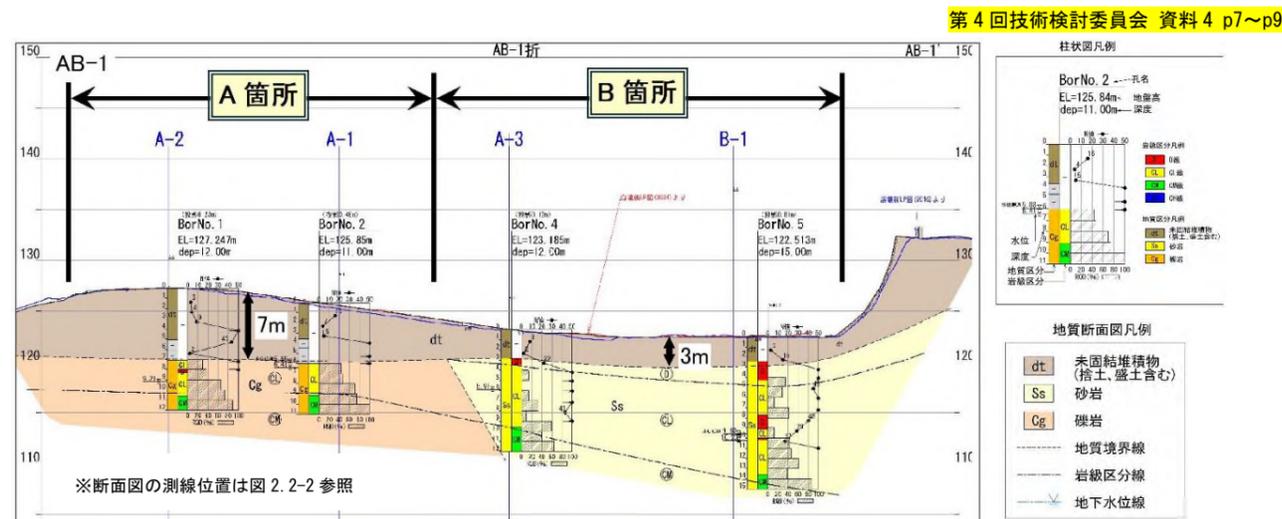
■ 土砂流出斜面周辺の区分・名称 第4回技術検討委員会 資料4 p1

- 土砂流出発生斜面の区分：上流部（上部）、上流部（下部）、下流部
- 斜面および谷地形の名称：A箇所（土砂流出の発生源）、B箇所（路面変状あり）、谷地形C～F
- 緊急車両用道路：2015年（平成27年）度以降に構築された盛土区間を指す
 - ※ A箇所とB箇所は同一の谷地形に位置し、本丸広場の石垣屈曲部が谷地形の中心にあたる。緊急車両用道路区間のうち、YSP9付近から終点側（北側）の区間がA箇所源頭部に、YSP09から起点側（南側）がB箇所源頭部に位置している。



2.2 斜面に分布する“捨土”の存在

- 土砂流出の発生源であるA箇所と隣接するB箇所は、軟質な“捨土”を含む堆積物に覆われている。捨土を含む堆積物は全体に軟質で表層は空隙が多く、不均質で細粒分に乏しく、含水比は小さい。
- A箇所・B箇所ともに基盤岩との境界部に瓦片が認められており、地表から基盤岩までの全深度に捨土が分布する。捨土を含む堆積物の厚さを被災前地形と比較すると、A箇所が厚く（3.5～7m）、B箇所が薄い（1～3m）。



（写真）A箇所斜面に残存する未崩壊の堆積物
 基盤岩（礫岩）の上位にゆるい堆積物が分布する。一部に層状を呈するが、堆積物が複雑に重なっており、不規則かつ不均質である。砂層は、指圧で容易に掘削できる程度の硬さである。最下層の礫混じり土には花崗岩の円礫や瓦片が含まれる場合がある。

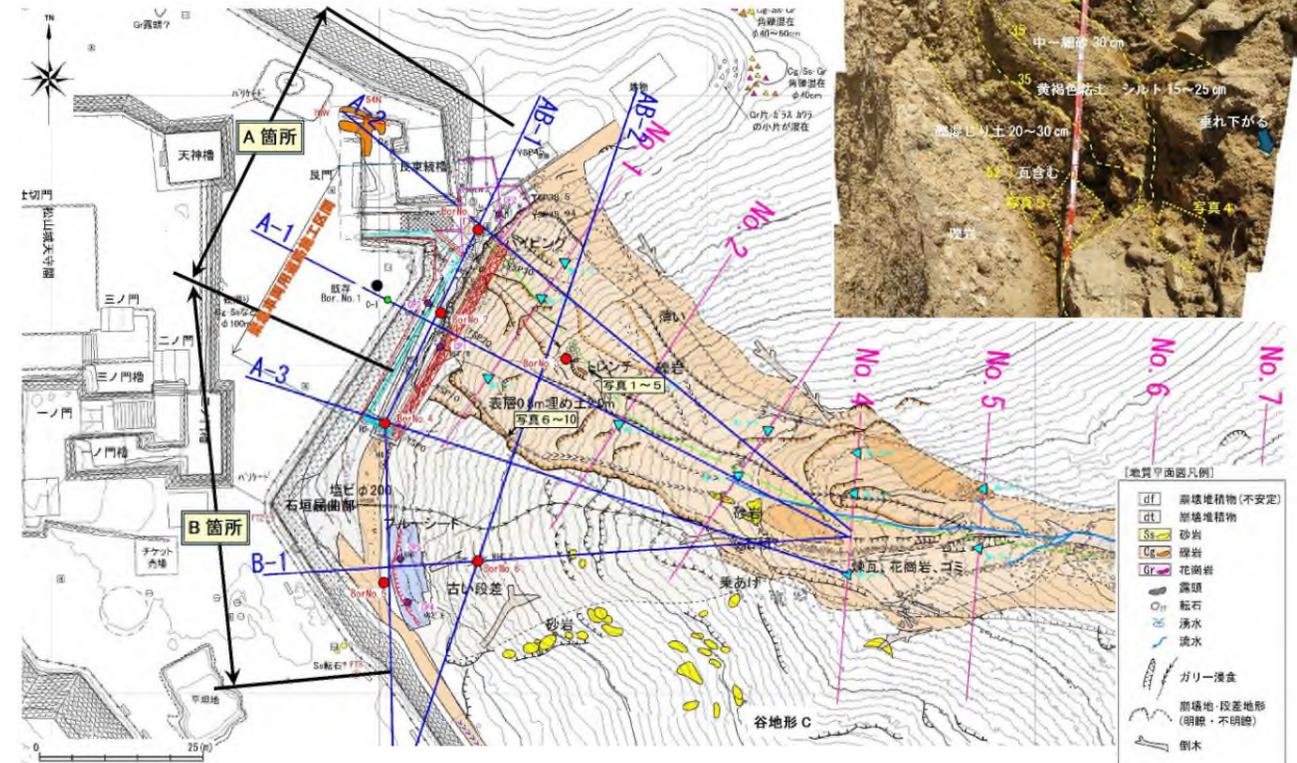
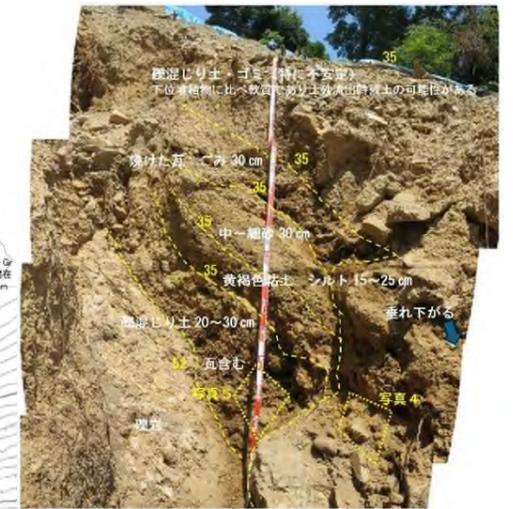


図 2.2-2 （下）地質平面図（A箇所およびB箇所）、（右上）A箇所斜面に残存する捨土層

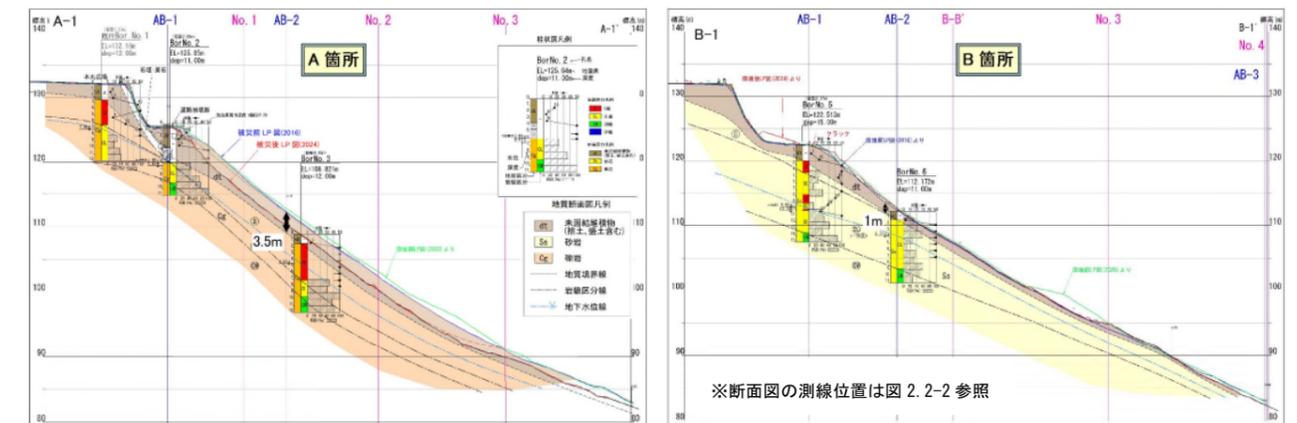
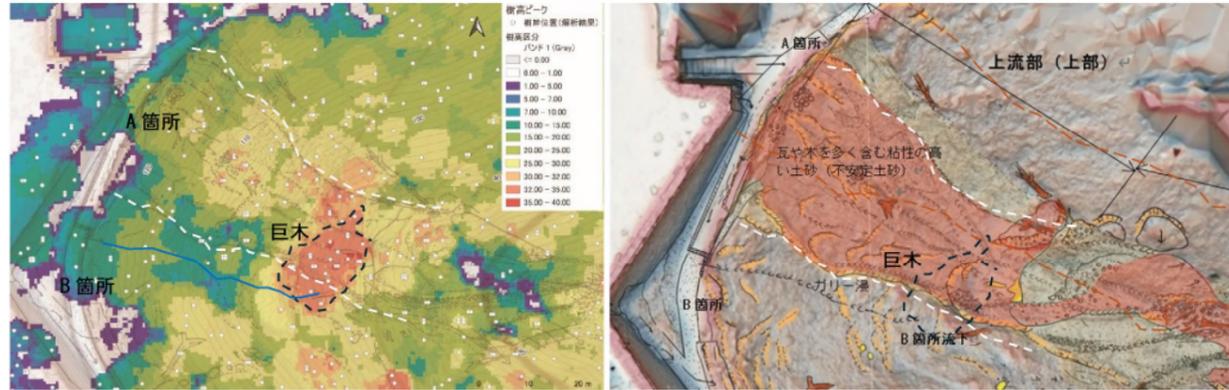


図 2.2-3 地質断面図 A-1測線（左）、B-1測線（右）

2.3 樹木の分布（巨木の存在）

- ・ 上流部（上部）＝A箇所急傾斜斜面下方には、樹高30m以上の樹木が存在していた。
- ・ B箇所は周辺に比べ樹高が低い（10m以下；過去に崩壊していたため、樹齢が若く樹高が低くなっている可能性がある）。

第3回技術検討委員会 資料2 p10

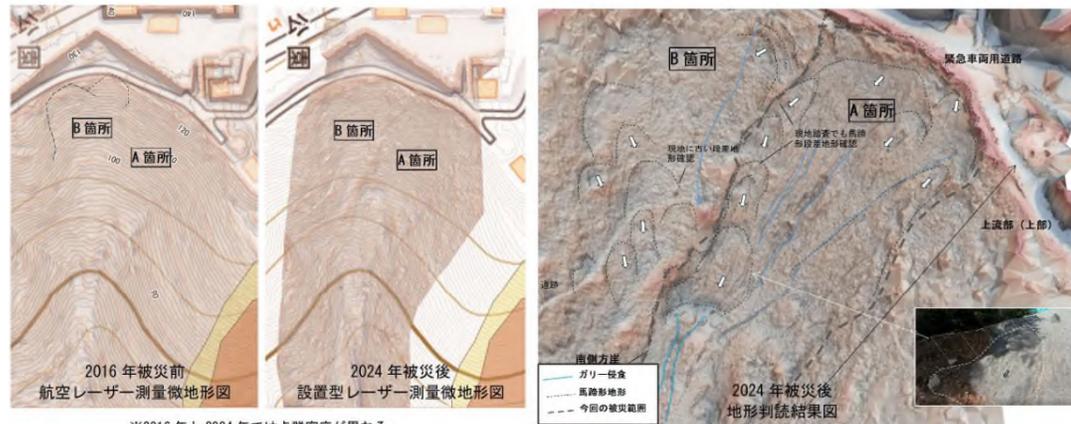


※樹幹位置は枝のピークを示している可能性がある：愛媛大学大学院農学研究科提供データを加工

図 2.3-1 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と樹高

■ 微地形判読による崩壊跡の確認 第4回技術検討委員会 資料4 p11

- ・ 3次元地形図を用いた地形判読結果図より、A箇所（土砂流出箇所）では、2024年の被災後の微地形図から複数の馬蹄形地形（崩壊跡）が判読できるが、被災前にあたる2016年の微地形図では、明朗な崩壊跡（抜け跡）は確認できなかった。
- ・ 一方、B箇所は2024年7月12日には土砂流出が発生していない斜面である。2024年の微地形図は、複数の馬蹄形地形（崩壊跡）が判読でき、全体に凹状（集水）地形を呈する。2016年微地形図でも、やや不明瞭ながら崩壊跡が確認される（過去の崩壊跡や侵食の進行）。



※2016年と2024年では点群密度が異なる

図 2.3-2 3次元地形図を用いた地形判読結果図

2.4 被災以前から変状が生じていた緊急車両用道路の存在

- ・ 2015年（平成27年）の緊急車両用道路構築以降、2017年9月～2024年6月にかけて断続的に“道路変状”（路面クラック、擁壁の傾倒等）が発生している。道路施設（重力式擁壁等）の荷重による変形の可能性も考えられるが、重力式擁壁が構築されていない（盛土厚さが小さい）良門スロープ下周辺や、未施工区間であるB箇所でも変状が生じている。
- ・ これらの道路変状は「土砂災害警戒情報」発表の基準値を超過する降雨に伴い顕在化する傾向を示しているため、主たる要因は降雨を誘因とする斜面変形であると考えられる。

第4回技術検討委員会 資料4 p2, p5

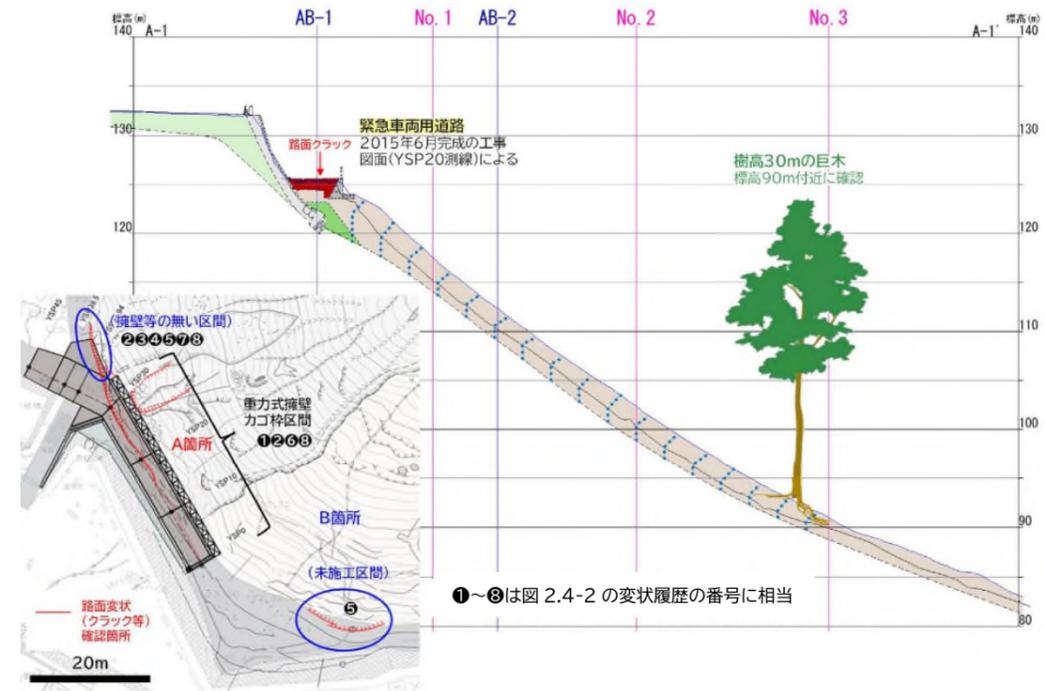


図 2.4-1 緊急車両用道路構築以降（2015年以後）の上流部（上部）斜面の推定

年月日	各種履歴 記録的な大雨 道路変状等	箇所 番号
2017 (H29) 年9月17日	累積雨量187.5mm 土壌雨量指数最大159mm(19時)	①
2017 (H29) 年9月19日～2018 (H30) 年11月21日	擁壁に軽微な傾きも確認	
2018 (H30) 年7月5日～7月8日※西日本豪雨	累積雨量361mm 土壌雨量指数最大196mm(7日7時)	②
2018 (H30) 年7月17日～7月30日	舗装面に亀裂発生も確認	
2018 (H30) 年9月8日～9月10日	累積雨量199mm 土壌雨量指数最大158mm(9日16時)	③
2018 (H30) 年11月28日～12月13日	良門スロープ下（A箇所）の道路（斜面側）地盤の沈下、 舗装面下空洞確認	
2020 (R2) 年7月6日～7月8日	累積雨量299.5mm 土壌雨量指数最大177mm(8日3時)	④
2020 (R2) 年8月17日	良門スロープ下（A箇所）の道路に近い舗装面に凹み確認	
2023 (R5) 年6月30日～7月1日	累積雨量263.5mm 土壌雨量指数最大183mm(1日5時)	⑤
2023 (R5) 年7月10日～7月13日	良門スロープ下（A箇所）の道路下斜面の一部崩壊 B箇所（擁壁未施工箇所）でクラック確認	
2023 (R5) 年10月2日～11月27日	擁壁・カゴ作りの隙間、カゴ作下部斜面の表層崩壊	⑥
2024 (R6) 年6月	月間降水量363mm 出水期の平均月降水量の約2倍 6月降水量としては第2位（過去20年間の記録による）	
2024 (R6) 年6月27日～7月1日	累積雨量199mm 土壌雨量指数最大107mm(1日16時)	⑦
2024 (R6) 年6月11日	良門スロープ下（A箇所）の道路路肩の舗装に亀裂確認。	
2024 (R6) 年7月1日～7月2日	道路起点～良門スロープ下（A箇所）間の路面亀裂拡大 （斜面側への沈下）と擁壁の傾きも確認	⑧

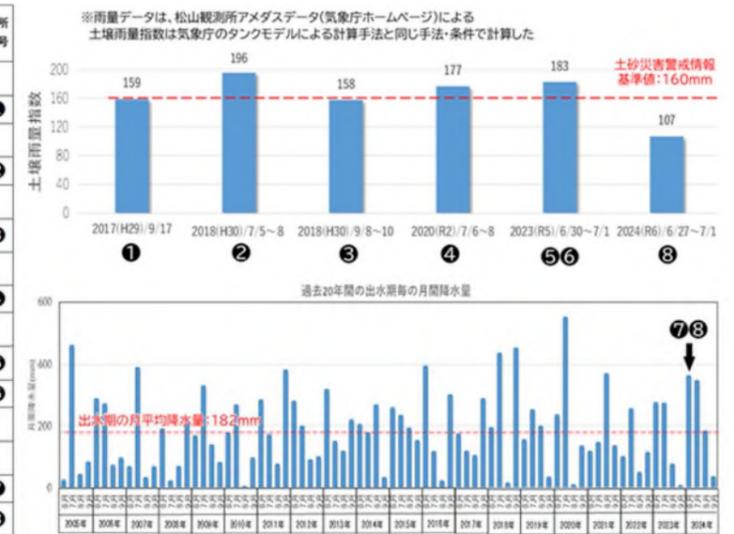


図 2.4-2 緊急車両用道路における主な変状と降雨の関係

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会 報告書（案）

(1) トレンチ調査に基づく YSP20 測線付近の重力式擁壁と土層構成との位置関係 第4回技術検討委員会 資料7 p16~p17

- 緊急車両用道路の道路構造（重力式擁壁）と土層の構成の“位置関係”を把握するため、擁壁起点側端部（YSP0 測線）付近にあたる、B 箇所上方の道路部にてトレンチ調査を行った。
- YSP0 の重力式擁壁の形状をトレンチ面に投影すると、Ⅲ層（整地層：江戸時代～戦前までの盛土）が擁壁底盤に分布し、つま先にⅡ層（戦前・戦中の捨土）が若干かかる。
- A 箇所主測線の YSP20 付近の基礎の高さは、トレンチを実施した YSP0 付近に対して 2m ほど高い（縦断勾配で 14% 程度）。ため、YSP20 付近の擁壁・カゴ枠はⅡ層（捨土）が主体になると想定される。

*YSP 測線位置は図 2.1-3 参照

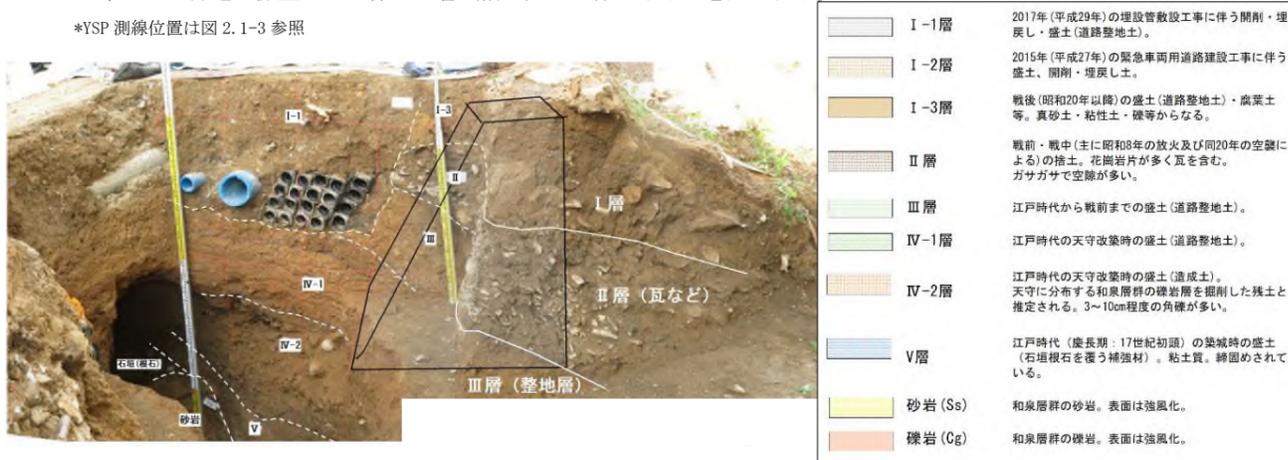


図 2.4-3 トレンチ位置と擁壁の関係(左) トレンチ区分結果(右)

【YSP0 測線付近より A-1 測線(YSP20 付近)へ投影】

- 松山城の築城期以降の盛土(Ⅲ、Ⅳ-1層)は、空隙が多い盛土(Ⅳ-2層)の上位に締りめられた整地層(Ⅳ-1層)が覆い、その上位にⅢ層が覆う。これらは、古いものでは築城直後から約 400 年間、新しいものも戦後から約 50 年間残存しており、比較的安定性が高いと考えられる。
- 捨土層(Ⅱ層)は、Ⅲ層の谷側に張り付くように(地形なりに)分布しており、過去に谷側に破棄された瓦等の異物が全体を覆い(不均質な)土層となっている。
- 緊急車両用道路は、主に築城期以降の盛土(Ⅲ、Ⅳ-1層)および戦後の盛土(Ⅰ-3層)上に構築されているが、重力式擁壁の基礎の一部は、不均質な捨土層(Ⅱ層)にかかっている配置になっている。

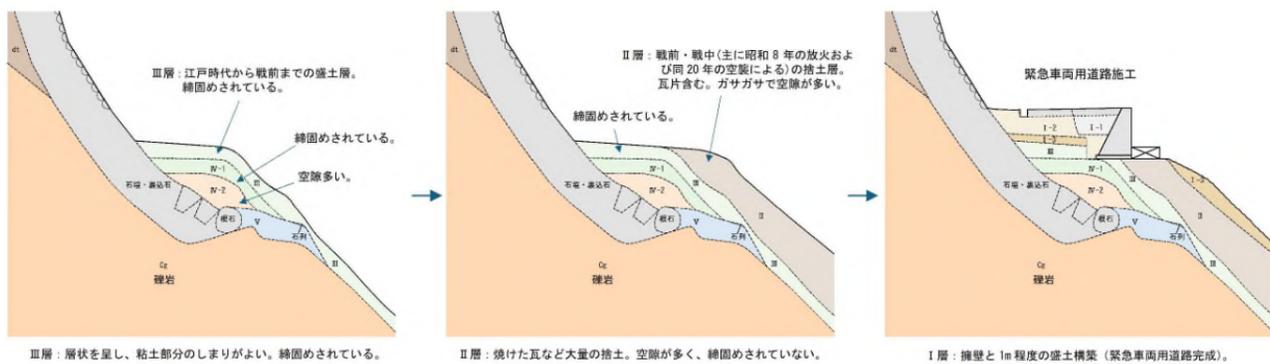
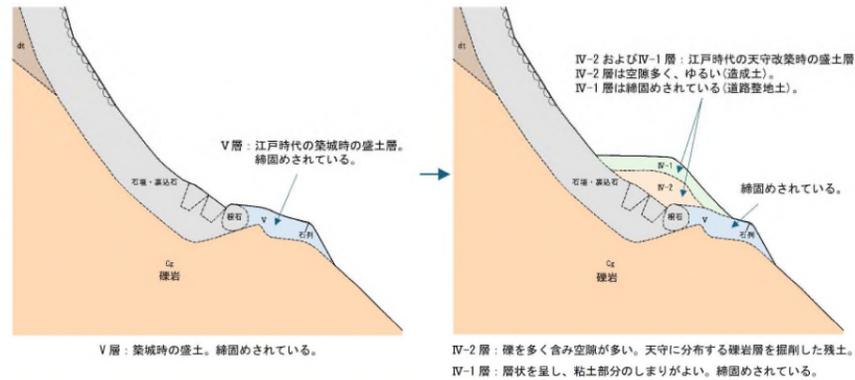


図 2.4-4 石垣の構築から緊急車両用道路完成までの各土層の形成過程 (YSP20 付近)

(2) A 箇所に見られた道路変状の拡大・進行 第4回技術検討委員会 資料4 p2, 資料7 p5~p9, p20

- 2024年6月中旬以降、A 箇所に見られた道路変状(路面クラック)が拡大し、7月2日には 50cm の段差を形成するに至った(写真 2.4-1)。2024年6月の月間降水量(363mm)は、過去 20 年間の出水期(6月~9月)の月間降水量の平均(182mm)の約 2 倍である(図 2.4-2)。
- 擁壁の傾斜角度は、2017年計測時(図 2.4-2 の①の履歴に相当)に 4° 谷側に傾斜しており、図 2.4-5 右の傾倒差を見ると、さらに数度(10° 程度)傾倒したことが読み取れる。擁壁・カゴ枠はⅡ層(捨土層)を基礎地盤としていることから、捨土層が変形したことで、擁壁・カゴ枠の下方移動にともない道路クラックが発生した。
- その後、2024年7月3日に応急対応(擁壁撤去)工事が開始された。応急工事により、段差を伴う路面変状の前面に位置する重力式擁壁やカゴ枠の大部分は、7月12日の災害発生前(7月9日)に撤去されている。



写真 2.4-1 2024/6/12~2024/7/2 間の A 箇所の路面クラックの変化

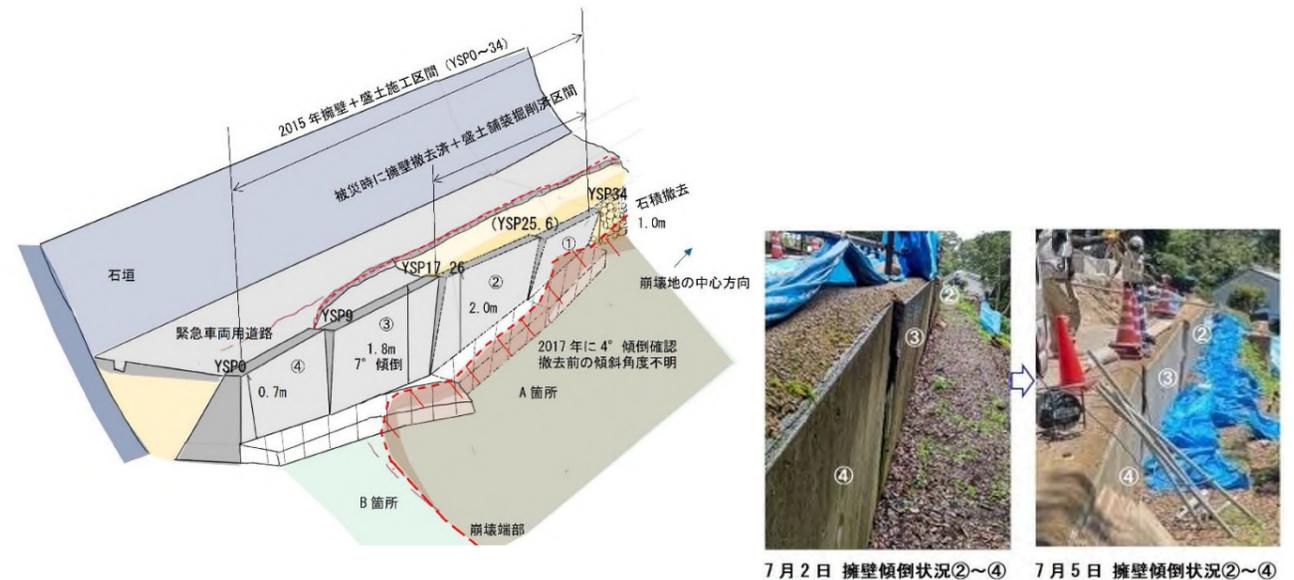


図 2.4-5 擁壁配置概要図(左)、擁壁傾倒状況(右)

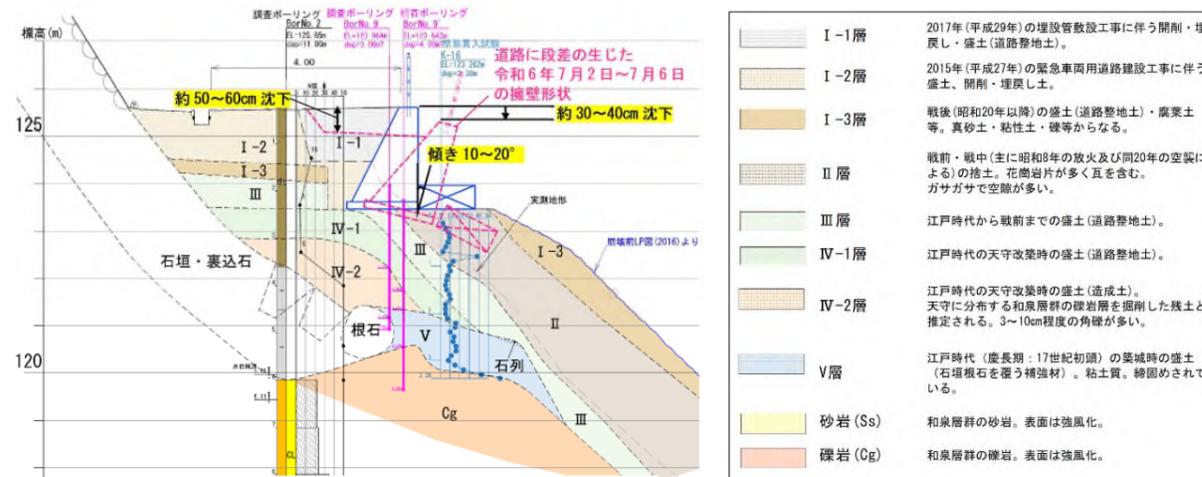


図 2.4-6 A-1 測線 (YSP20 付近) における擁壁・カゴ枠の変形と土層の分布について

2.5 表流水、地下水の存在

- ・ 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箇所斜面内に流下する表流水は非常に少ない。土砂流出斜面の上方に位置する本丸広場の表流水はB箇所集中している。
- ・ 土砂流出が発生したA箇所を含む城山の東側斜面は、捨土・盛土を含む堆積物が概して薄く（5m程度以下）、斜面は 30° 以上と急傾斜をなすため、堆積物内に水が保持されることなく地形に沿って下方に流下する（表流水となって流出する）とともに、地下水としては風化岩の分布深度付近に形成される傾向を示す。

第3回技術検討委員会 資料2 p17, 第4回技術検討委員会 資料5 p1~p2

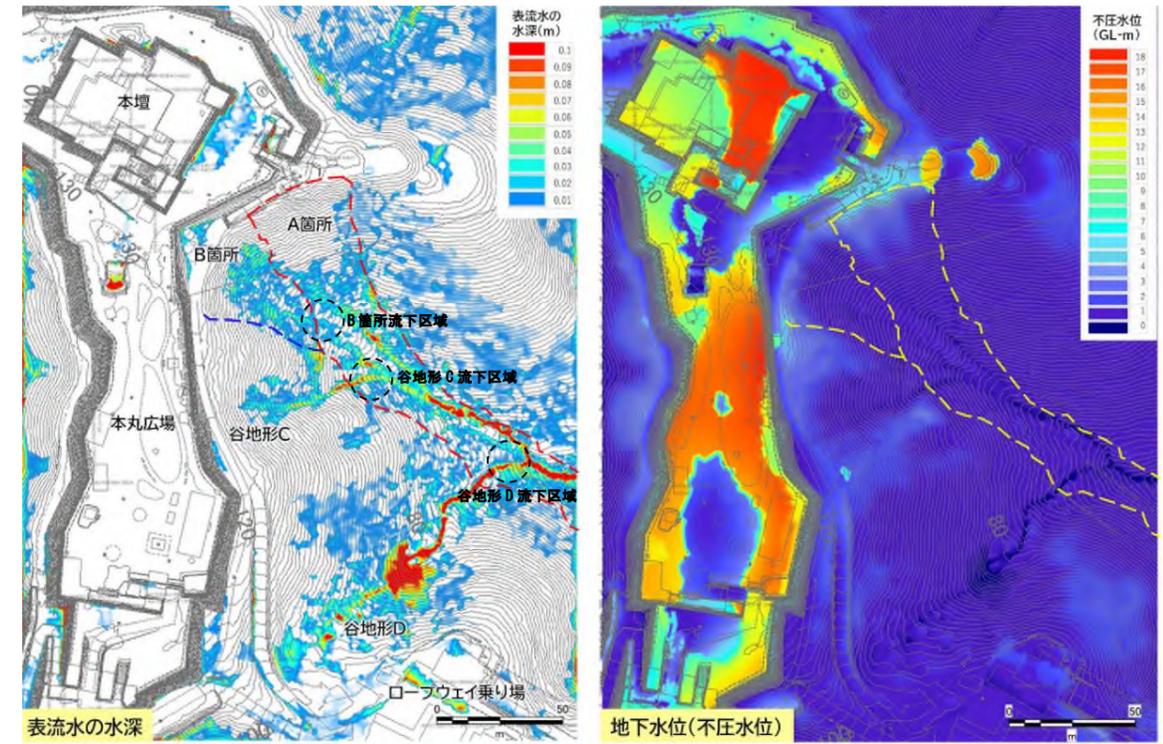


図 2.5-1 1回目の土砂流出が発生したと目される時点である7/12 2:00の降雨条件による解析結果

(1) 土砂流出斜面で表流水が集まりやすい箇所 第2回技術検討委員会 資料4 p14, 第3回技術検討委員会 資料2 p14

- ・ 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（図2.5-1左の表流水の水深による）。
- ・ 7月12日被災直後のドローン動画（愛媛県撮影）でも、B箇所、谷地形C・D合流部で湧水や表流水が確認されている。



図 2.5-2 7月12日撮影のドローン動画から切り出した湧水・表流水の発生状況 (左) B箇所流下区域、(中) 谷地形C流下区域、(右) 谷地形D流下区域

(3) 斜面変形への道路荷重の影響 第4回技術検討委員会 資料4 p4~p5

- ・ 道路に生じた段差地形（路面クラック）を通過する“円弧すべり”に見立てた安定解析から、道路荷重の影響について試算した結果、いずれの円弧すべりの場合も、擁壁・盛土があることで安全率が低下（4.6%~7.9%減）するため、斜面変形に道路荷重が影響した可能性がある。
- ・ ただし、水の影響を受けた場合の安全率の低下の程度は大きく、“満水位”という条件ではあるものの、52%~57%減との結果が得られている。

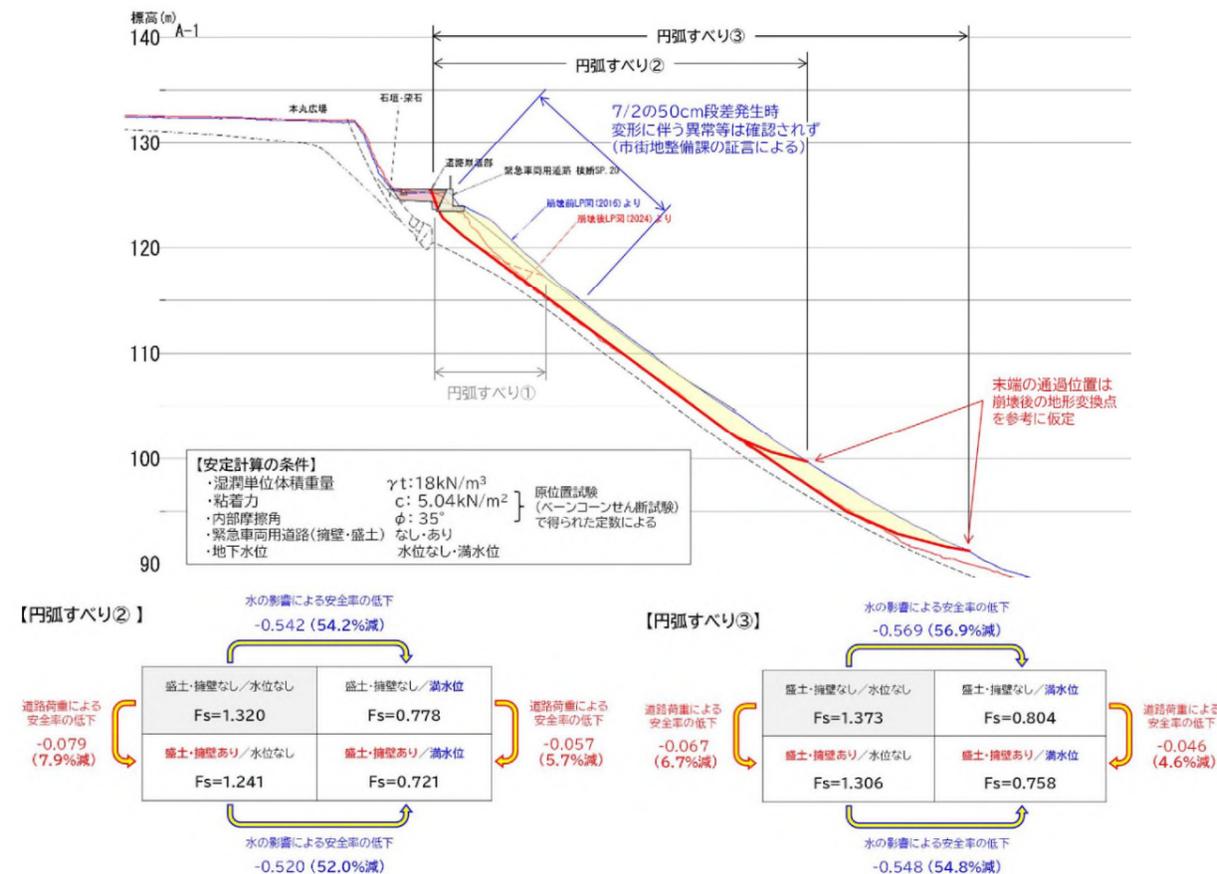


図 2.4-7 斜面変形を“円弧すべり”に見立てた安全率の計算条件（上）、試算結果（下）

(2) 地下水解析結果にみる地下水位が高かった時期 第4回技術検討委員会 資料5 p3

①50cmの段差を伴う路面変状が顕在化した時点の7/1の日降水量に基づく地下水位、②土砂流出発生前日の最大時間雨量時である7/11 4:00時点の地下水位、③1回目の土砂流出が発生したと目される時点である7/12 2:00時点の地下水位について予測計算を行った結果、A-1測線では、③7/12 2:00時点が最も高い水位を示した。

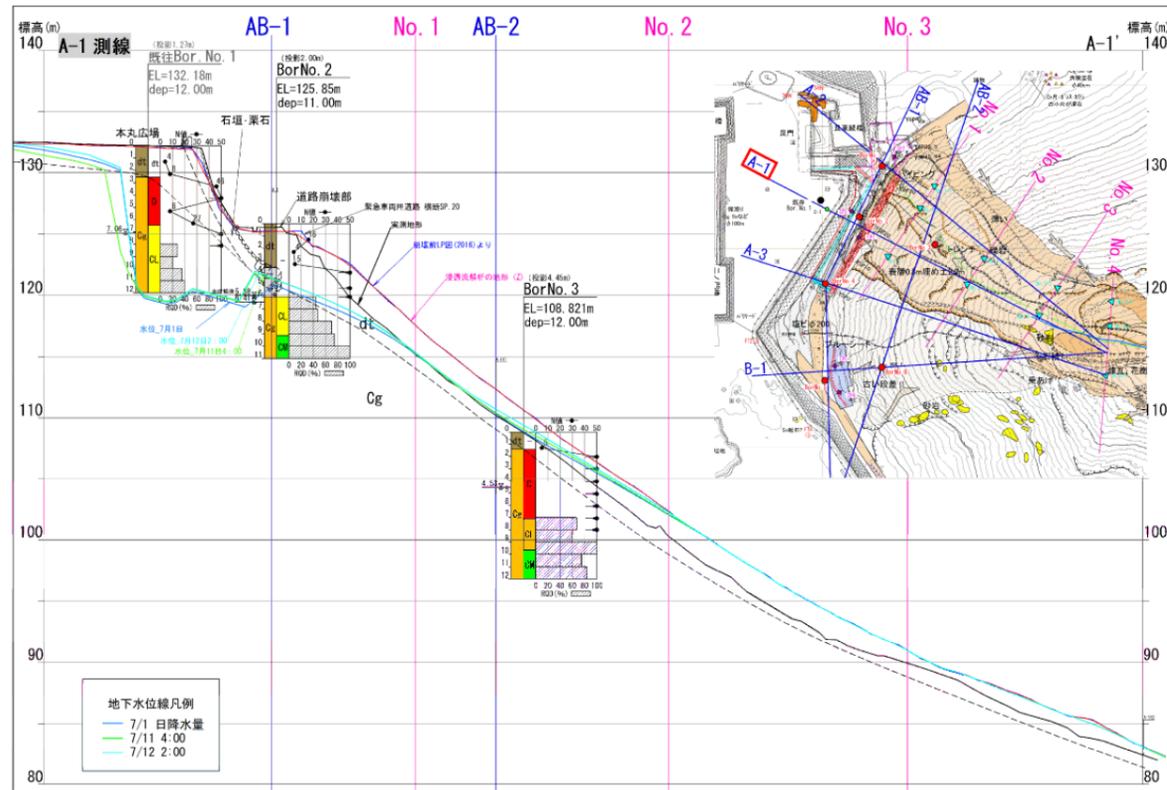


図 2.5-3 A-1 測線 地下水位断面図

3. 推定される土砂流出の発生メカニズム

1章で示した被災状況と、2章で示した土砂流出発生斜面の特徴および緊急車両用道路の変状発生状況等から、7月12日に発生した土砂流出について、以下に示す1～3のプロセスが推定される。

3.1 土砂流出の発生プロセス

～2024/7/12

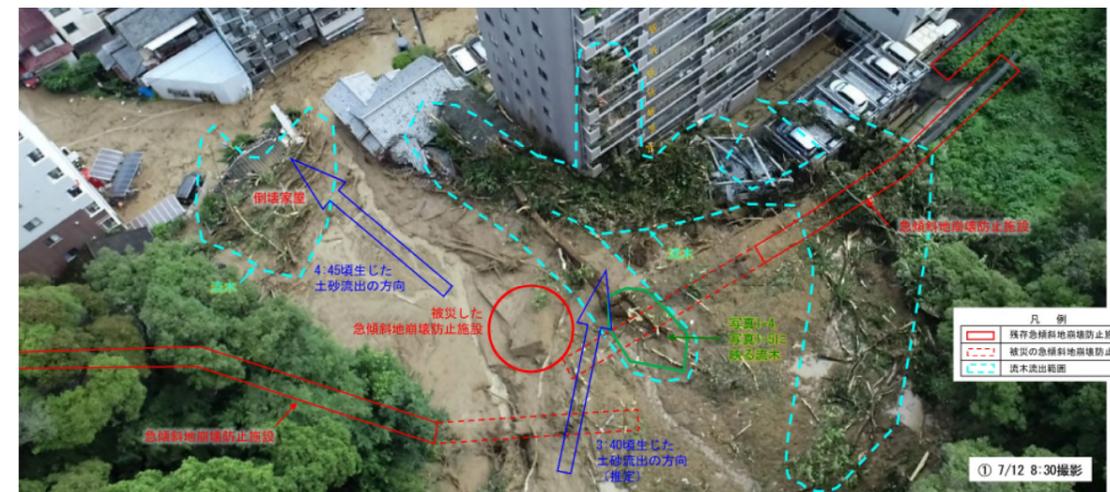
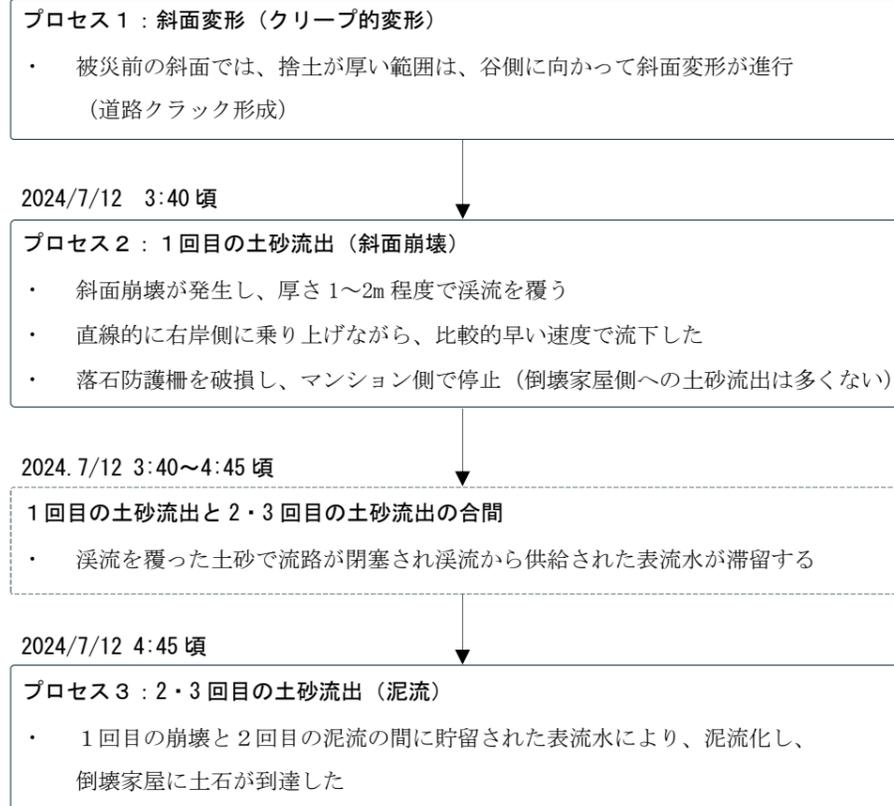


図 3.1-1 土砂災害発生直後のドローン映像（愛媛県撮影）（再掲） 第2回技術検討委員会 資料3 p3-3

3.2 プロセス1：斜面変形（クリープ的変形）

- ・ A 箇所・B 箇所斜面は、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。
- ・ 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、それらのいくつかは個別もしくは複合的に影響を与えた可能性がある。

第 4 回技術検討委員会 資料 8 p1~p2

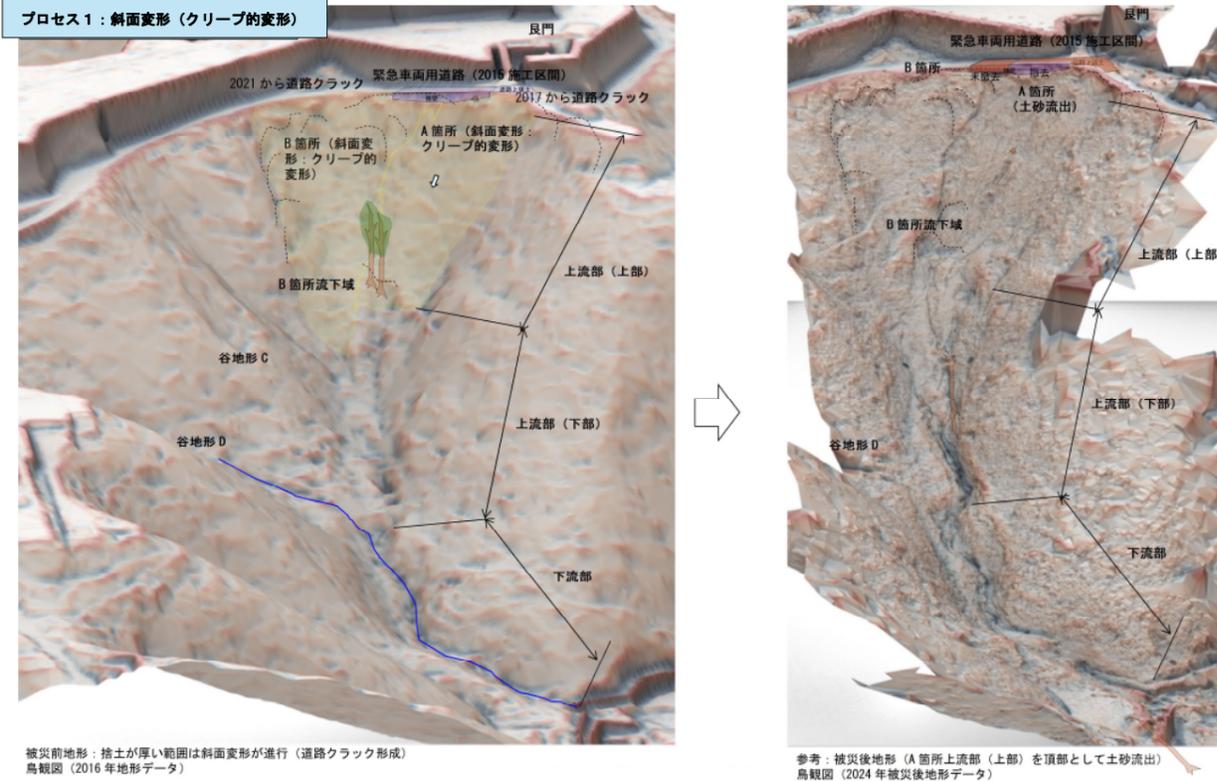


図 3.2-1 プロセス1：被災前の斜面変形の範囲

(1) 斜面変形（クリープ的変形）

- ・ 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さす。
- ・ 捨土の厚さと勾配に着目した直線斜面による安定度の試算結果から、A 箇所源頭部～B 箇所流下区域の一部を含む上流部（上部）は不安定化しやすい状況にある。

第 4 回技術検討委員会 資料 4 p2

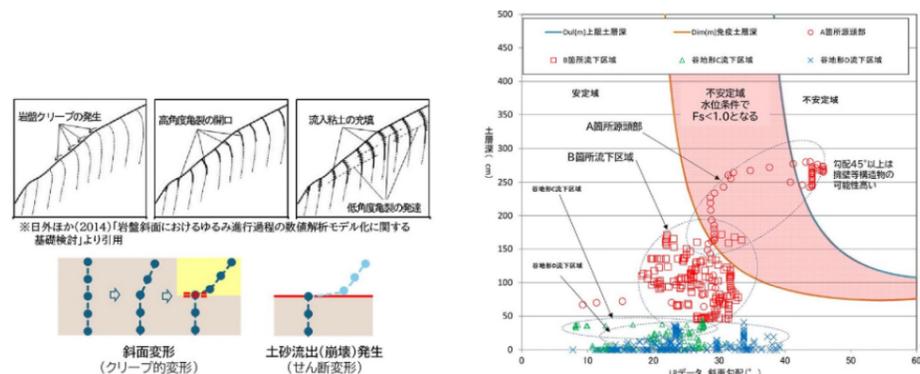


図 3.2-2 クリープ的変形のイメージ（左）、直線斜面の安定解析による斜面の安定性試算結果

(2) 捨土層の分布と斜面変状

- ・ A 箇所は被災前、厚さ 3.5～7m の厚さの捨土が分布していたが、2016 年 LP データで明瞭な崩壊跡は確認できなかった。
- ・ B 箇所は 1～3m 厚さの捨土層が分布し、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。残存する捨土が薄くなってしまったため、崩壊には至らなかったと判断している（本資料 2.2 章～2.3 章）。

第 4 回技術検討委員会 資料 8 p2

(3) 樹木の分布

- ・ 1 回目の土砂流出（後述するプロセス 2：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 30m 以上の巨木が存在していた（本資料 2.3 章）。

第 4 回技術検討委員会 資料 8 p2

(4) 緊急車両用道路下の土層構成と被災前の道路変状

- ・ 緊急車両用道路は、松山城の石垣の腹付け盛土の上部に構築されており、軟質な捨土層と人工的に締め固められた盛土（整地層）が複数重なっていることが確認された。特にⅢ～Ⅴ層は、盛土形成後 50～400 年程度経過した整地層を含んでおり、現在でも当時のままの盛土が残っている（本資料 2.4 章）。
- ・ 7/1～7/2 の 50cm の段差を伴う路面変状が発生した後、もともと 4° 以上傾斜していた擁壁は、7/2～7/6 に下方谷側に移動しつつ、わずかに谷側に向かって傾倒したと考えられる。このような擁壁移動は、擁壁がⅡ層（捨土層）とⅢ層を基礎地盤としているため、Ⅱ層（捨土層）が斜面変形（クリープ的変形）して擁壁が移動し、それに伴いⅢ層の表層部が引きずられたため発生したと考えられる（本資料 2.4 章）。
- ・ 安定計算の結果、擁壁・盛土があることで斜面全体の安全率が低下することが確認されたため、斜面変形（クリープ的変形）に道路荷重が影響した可能性が考えられる（本資料 2.4 章）。

第 4 回技術検討委員会 資料 8 p3

(5) 降雨と変状発生との関係

- ・ 斜面変形は、土砂災害警戒情報発表の基準値を超過する降雨に伴い顕在化する傾向を示しているため、斜面変形の主たる誘因は降雨であると考えられる。少なくとも記録のある 2017 年以降、2015 年に施工された擁壁・盛土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、警戒級降雨後に拡大する傾向を確認している（本資料 2.4 章）。
- ・ 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。
- ・ 被災後にあたる 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° /時の変動が発生（管理基準値以下）。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が累積したことを示している。

第 4 回技術検討委員会 資料 8 p2, 参考資料 p2 及び第 5 回技術検討委員会資料資料 2-2-4 P1

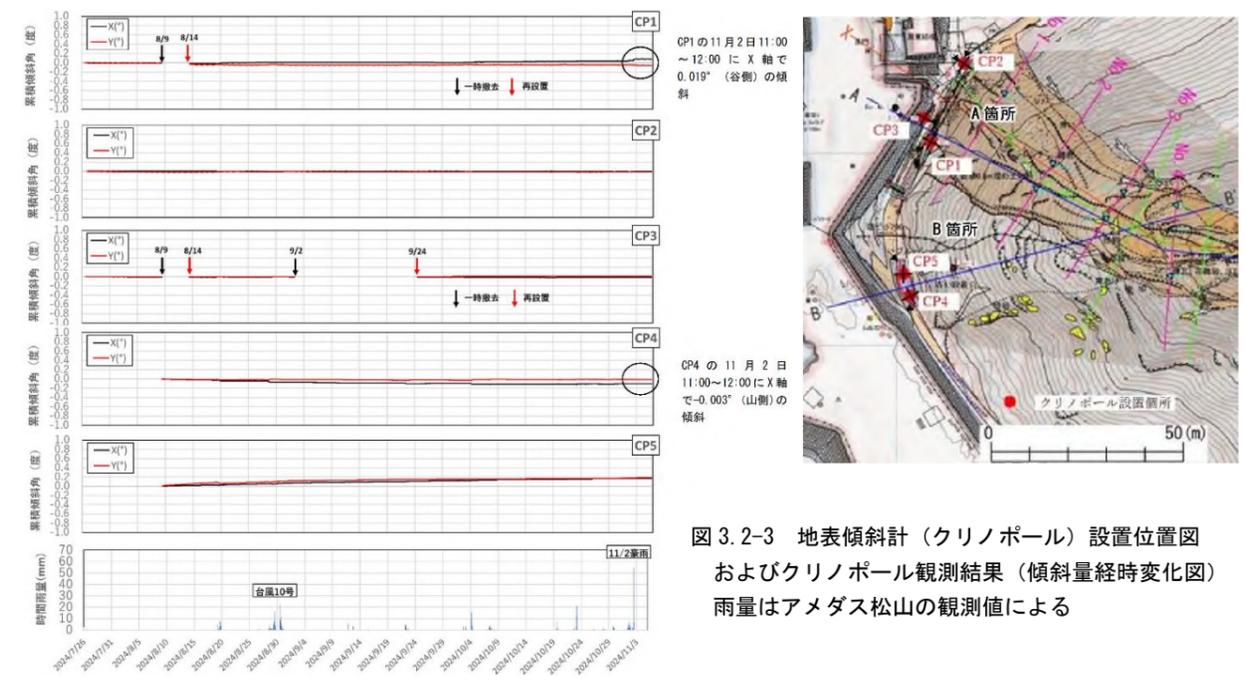


図 3.2-3 地表傾斜計（クリノポール）設置位置図およびクリノポール観測結果（傾斜量経時変化図）雨量はアメダス松山の観測値による

3.3 プロセス2：1回目の土砂流出（斜面崩壊）

- 1回目の土砂流出は“斜面崩壊”である。降雨を誘因とする“斜面変形（クリープ的変形）”が進行した結果、上流部（上部）A箇所にて土砂流出（斜面崩壊）が発生し、落石防護柵まで達した。
- 斜面崩壊は、下記に示す【可能性1】もしくは【可能性2】双方の可能性があるものの、特定には至っていない。
【可能性1】 上流部（上部）斜面の中段部もしくは末端部から、流出した土砂が標高90m付近の巨木を巻き込みながら流下した
【可能性2】 不安定化が進行していた斜面で、巨木の倒木が発生し、崩壊が上方に向けて拡大した

第4回技術検討委員会 資料8 p4~p6

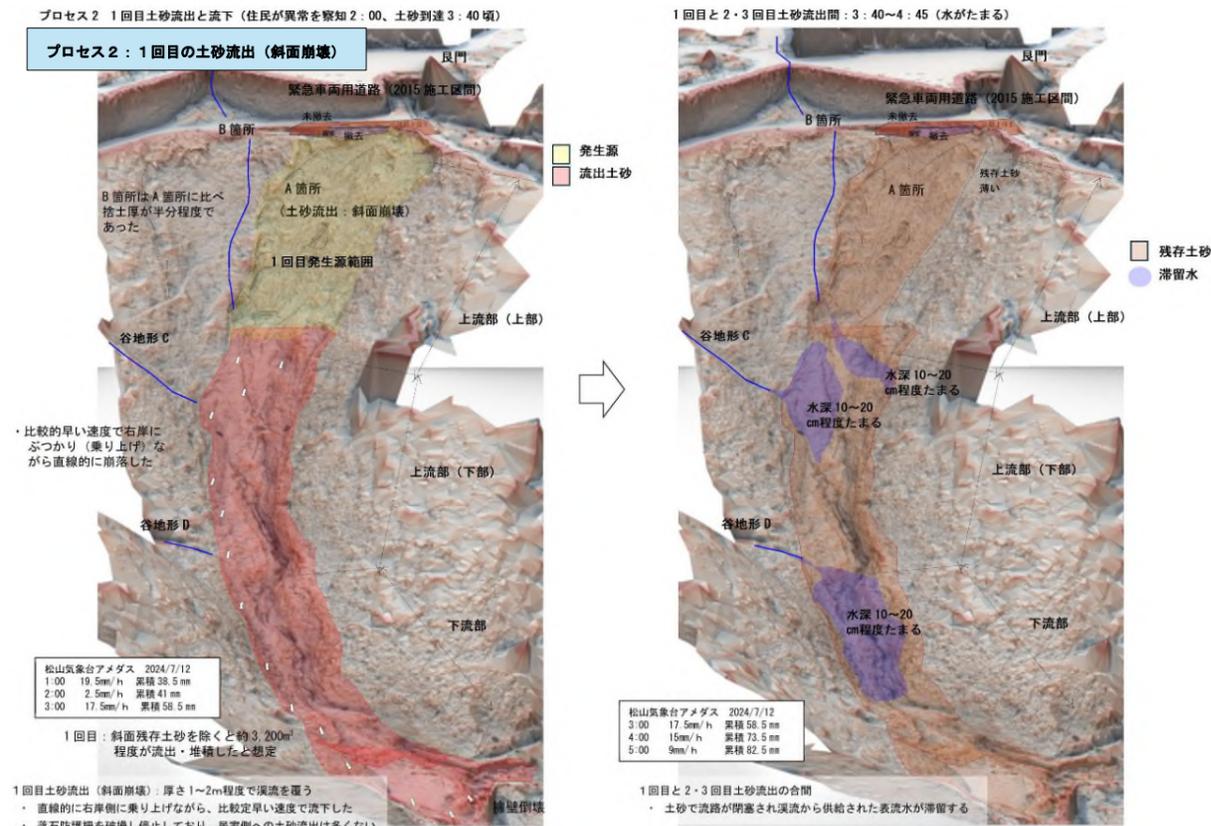


図 3.3-1 プロセス2：1回目の土砂流出＝斜面崩壊 説明図

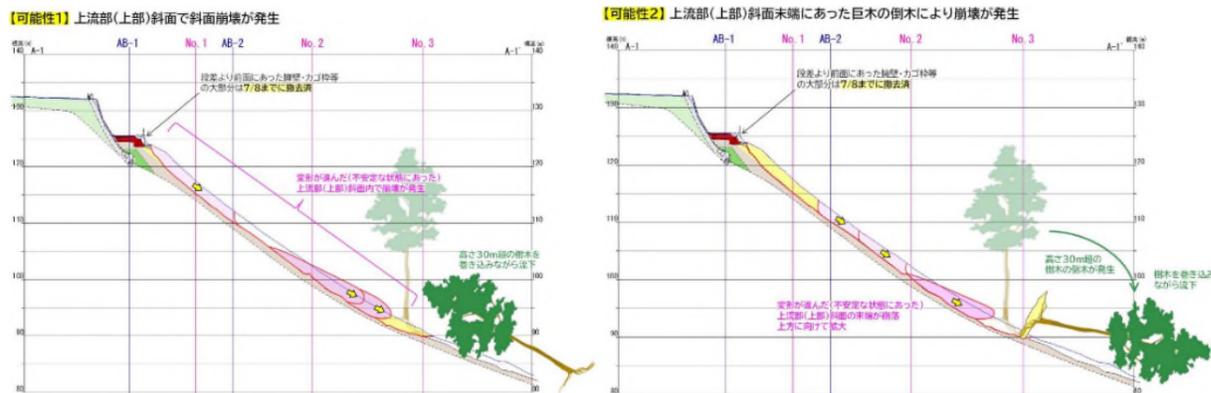


図 3.3-2 上流部（上部）斜面における1回目の土砂流出（斜面崩壊）の2つの可能性

(1) 1回目の土砂流出を斜面崩壊とした根拠

1) すべり面を伴わない崩落

- 上流部（上部）（A箇所）で発生したもので、7/2までに進行した“クリープ的変形”で不安定化した斜面が、7/11～7/12の降雨を誘因として土砂流出に至ったものとする。
- この1回目の土砂流出は、 $<35^\circ$ 以上の急傾斜部に分布する捨土が原形（地盤の構造）をとどめず崩落して発生し、かつ“すべり面”を伴っていないことから、発生形態は「斜面崩壊」と言える。

第3回技術検討委員会 資料2 p3, 第4回技術検討委員会 資料4 p3, 資料7 p1

- 緊急車両用道路直下にあった樹木の移動：切株は、土囊を乗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）。

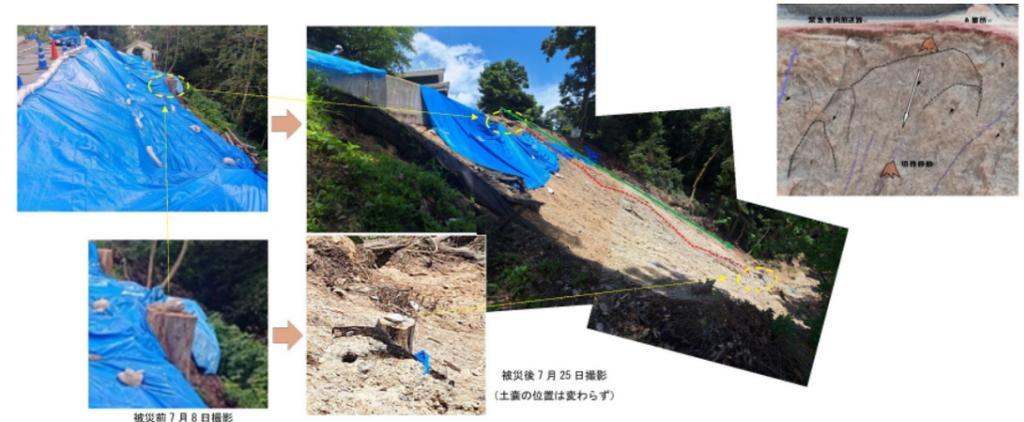


図 3.3-3 上流部（上部）の緊急車両用道路脇の切株の回転を伴わない移動状況

- 緊急車両用道路直下斜面の確認結果：被災後の微地形判読図では、すべりに伴う“押し出し地形”（はらみだし）は確認されない。ブルーシート下の斜面には“すべり面”（押し出しを伴う分離面）は確認されない。

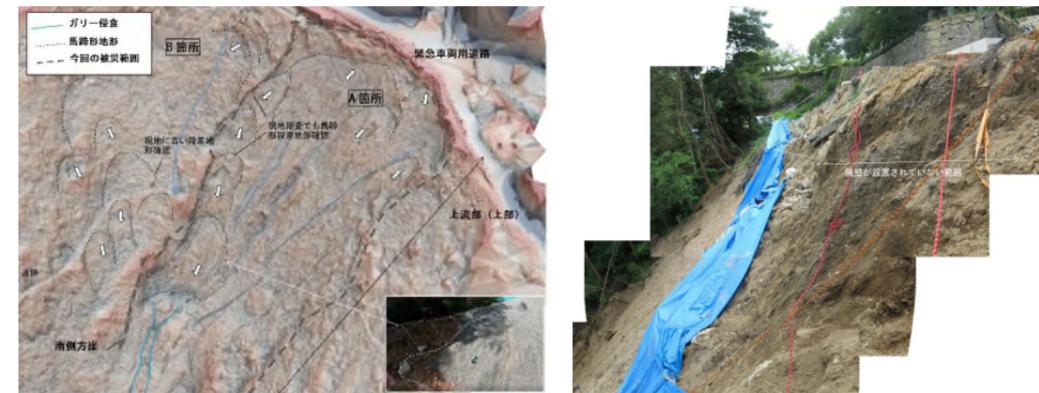


図 3.3-4 (左) 被災後の地形判読結果図、(右) 斜面崩壊源頭部のブルーシート下の状況写真（7月25日撮影）

2) 1回目の土砂流出に伴う流出土砂の流下機構の検証

- 降水量と集水面積から推定する運搬可能土砂量に対して、流出土砂量が多すぎるため、1回目の土砂流出は含水の少ない斜面崩壊と判断する（内部摩擦角 $=19.11^\circ$ の場合は、被災箇所まで土砂が到達する）。この内部摩擦角以上の場合でも住宅地に土砂が達した可能性としては、崩壊土砂が含水に富む箇所に崩落したため、含水の低い土砂の下位に泥濘化した層がある“2層構造”になり、すべりやすくなったことが考えられる。
- 土砂乗り上げ状況から、崩壊した土砂が堰上げ高7.2m・標高44.8m程度の位置まで上がる条件を想定して計算すると、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）程度の値となる。
- 倒壊した落石防護柵と擁壁（本資料1.3章）は、土塊の流速が4.0m/sを超えると転倒する。崩壊土砂の擁壁地点の速度は4.0m/s（14.4km/h）であり、当該速度で衝突した土砂により擁壁が倒壊したといえる。

第4回技術検討委員会 資料6 p1~p9, 第5回技術検討委員会 資料2 3(1)P2

※ 上記の検討結果は、想定される土砂流出の過程に対して、限られた状況証拠やパラメータ設定を踏まえ、複数ある検討手法の中で一般的に採用されている手法を踏まえて例示的に行ったものであり、一連の現象を定量的に結論づけるものではないことに留意されたい。

（2）降雨と斜面崩壊の関係

- 7/12の被災時は、降水量は小さいものの土壌雨量指数が過去2年間で2位である。
- 特に7/12は、被災前1年間では最も斜面の安定性が低い状況であった（本資料1.2章）。

第4回技術検討委員会 資料5 p5

（3）斜面崩壊の発生原因について

- 標高90m付近に樹高30mの巨木が存在していた（本資料2.3章）ことを踏まえ、上流部（上部）からの土砂流出について、2つの可能性が示唆された（図3.2-2）。
- 【可能性1】もしくは【可能性2】は、安定解析や現地踏査・地形判読（後退性すべり地形の存在など）から双方の可能性があることが示されている。しかし、崩壊痕跡がすべて流出しているためいずれかを特定することは困難である。

第4回技術検討委員会 資料8 p5

（4）安定解析による斜面崩壊箇所の推定

- 極限平衡法を実施し、発生源であるA箇所“上流部（上部）”斜面を3分割した3円弧を想定し、各部分に対して2024/7/12の降雨（地下水位が最も高い条件；本資料2.5章）で最も不安定化しやすい箇所（円弧）を計算により求めた（上部①、上部②、末端部）。結果、安全率の低下量が最も大きい箇所は斜面の“末端部”であった。また、相対的に安全率が小さい箇所は“上部②（斜面中腹）”であった。

第4回技術検討委員会 資料5 p6~p7, 資料8 p7

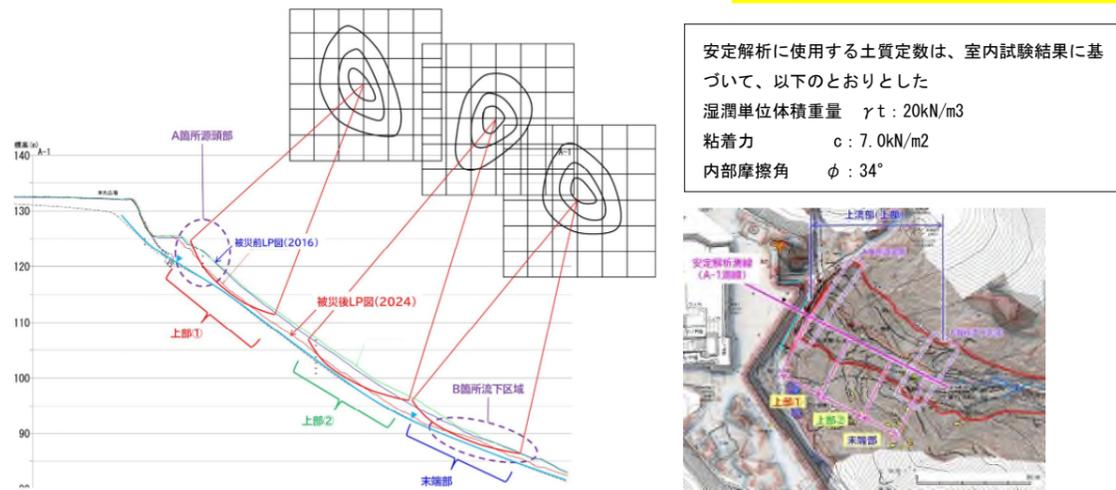


図3.3-5 上流部（上部）を対象とした安定解析の検討断面（左）、安定解析に用いた斜面区分と位置関係について（右）

表 3.3-1 最小安全率の円弧すべりによる安全率の変化

水位条件	上部①			上部②			末端部		
	安全率	安全率相対差	すべり面長(m)	安全率	安全率相対差	すべり面長(m)	安全率	安全率相対差	すべり面長(m)
水位無し	1.286	-	20.221	1.587	-	20.943	1.937	-	14.243
R6.7.1 水位	1.286	0.000	20.221	1.261	-0.326	13.906	1.312	-0.625	14.245
R6.7.11 4:00 水位	1.285	-0.001	20.221	1.241	-0.346	13.907	1.312	-0.625	14.245
R6.7.12 2:00 水位	1.280	-0.006	22.407	1.195	-0.392	13.907	1.312	-0.625	14.245

※ 当該検討における安全率の取り扱いについて

- 当該斜面の土砂流出（斜面崩壊）は、捨土や古い盛土（整地層）などが不均質に混在した斜面で発生しており、同じ“堆積物”の中にあってもその強度差が大きいと想定される。記録のある2015年以降は降雨時に斜面変形（クリープ的変形）が継続している（2016年の段階で倒木は発生していない）。再現した2024/7/12は、道路クラックが発生した（ $F_s < 1.0$ ）7/1~7/2よりも高い水位であったことを考えると、上記の安全率が斜面全体の安定性を反映できていないと判断する。
- 被災前の上流部（上部）斜面の安定性を“絶対値の安全率”を用いて検討することは難しいと判断し、7/12の降雨条件において、最も安全率の低下量が大きい位置に着目して資料をとりまとめるものとした。

（5）緊急車両用道路の構造と1回目の土砂流出（斜面崩壊）

- 緊急車両用道路と斜面崩壊の関係を整理した結果、道路擁壁区間（YSP0~34）のうち、YSP0~YSP28区間は、擁壁基礎及び撤去済の擁壁基礎跡の下方斜面から崩壊している。YSP28~YSP34区間は、擁壁基礎跡の幅1m程度の土砂が流出している。
- 擁壁は、YSP20付近ではII層とIII層にまたがるように設置されており、盛土は緊急車両用道路として1m程度であった（本資料2.4章参照）。緊急車両用道路直下の斜面崩壊により流出した土層はII層（捨土層）主体であり、その下位（背面）に分布するIII層（整地層）は、崩壊・流出していない。

第4回技術検討委員会 資料7 p10, 資料8 p7, p9



図3.3-6 緊急車両用道路擁壁の撤去後の基礎と滑落崖の関係

YSP09~YSP28区間（写真手前）は撤去後の擁壁手前の斜面を滑落崖として崩壊が発生し、SP28~34（写真奥側）は、擁壁基礎跡の幅である約1mの土砂が流出している。ただし、ここから流出した土砂は数m下方の斜面で停止している。

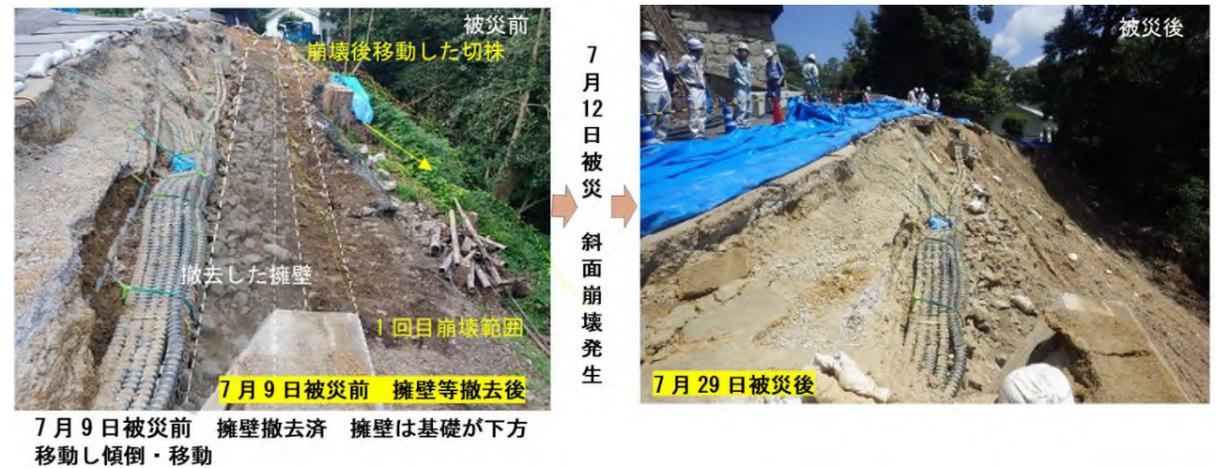


図3.3-7 被災前（擁壁等撤去後）と被災後の比較写真



YSP30～YSP34' 付近の擁壁基礎部にあった解体したかご枠の栗石材は直下に分布（移動距離が小さい）。

図 3.3-8 被災後の斜面状況

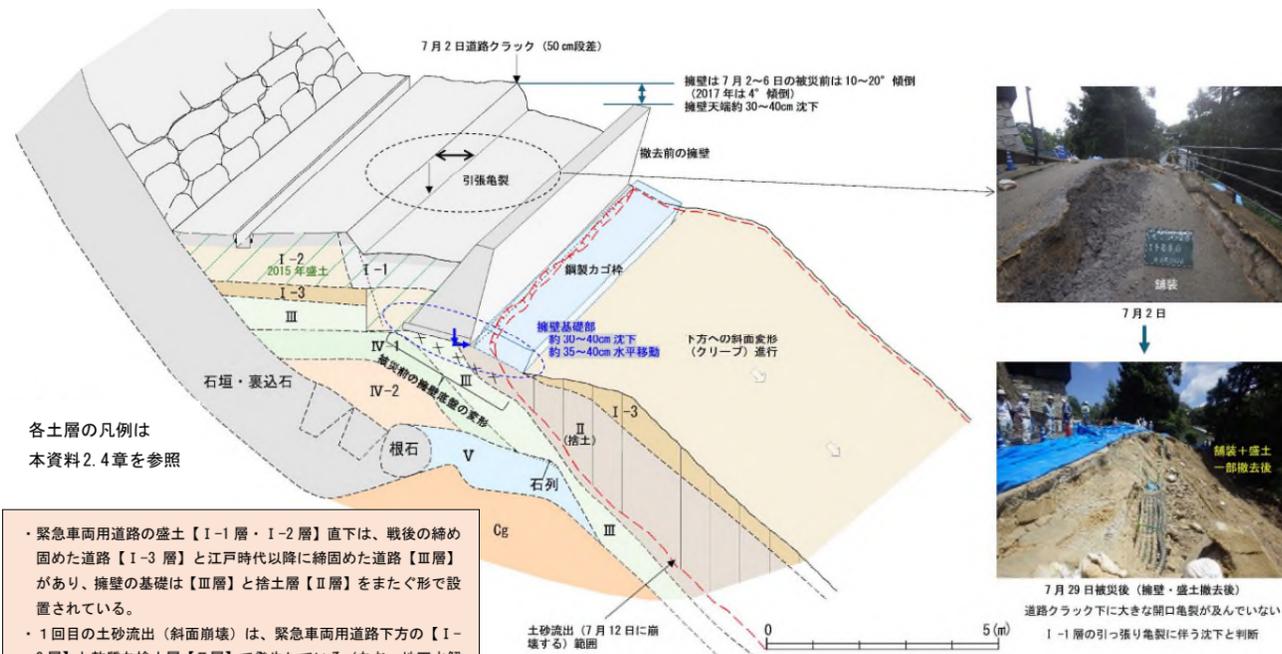


図 3.3-8 7月2～6日の道路クラック
（斜面変形：クリープ的変形と旧盛土の構造、土砂流出の関係）

各土層の凡例は
本資料 2.4 章を参照

- ・緊急車両用道路の盛土【I-1層・I-2層】直下は、戦後の締め固めた道路【I-3層】と江戸時代以降に締め固めた道路【III層】があり、擁壁の基礎は【III層】と捨土層【II層】をまたぐ形で設置されている。
- ・1回目の土砂流出（斜面崩壊）は、緊急車両用道路下方の【I-3層】と軟質な捨土層【II層】で発生している（なお、地下水解析結果と安定解析結果から、被災直前は斜面中腹～末端部周辺が不安定しやすかったことが示された；図 3.3-5、表 3.3-1）。

3.4 プロセス3：2・3回目の土砂流出（泥流）

- ・ 2・3回目の土砂流出は“泥流”。
- ・ 1回目の土砂流出（斜面崩壊）で堆積した土砂が泥流化するために必要な水量が十分に供給されており、かつ発生した泥流が被災箇所まで流下するのに可能な渓床勾配を有していた。

第4回技術検討委員会 資料 8 p11

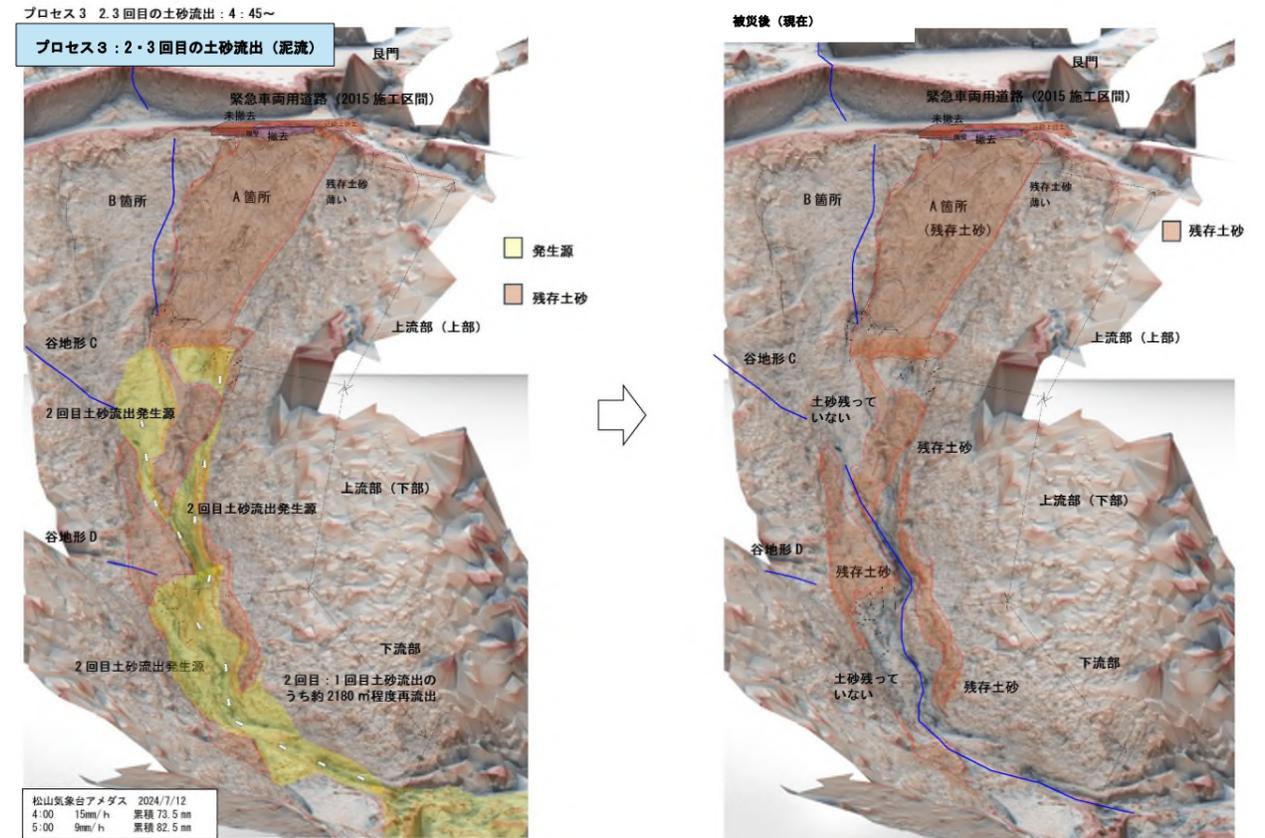


図 3.4-1 プロセス3：2・3回目の土砂流出＝泥流 説明図

(1) 2・3回目の土砂流出について

- ・ 2・3回目の土砂流出は、被災時の動画から、含みに富み泥濁化していたと考えられる（本資料 1.3 章）。
- ・ この現象は、1回目の土砂流出（斜面崩壊）で上流部（下部）～下流部に堆積した堆積物（崩土）が泥濁化して流出した“泥流”である。

第4回技術検討委員会 資料 8 p11

(2) 2・3回目の土砂流出に伴う流出土砂の流下機構の検証

- ・ 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（実績による勾配の値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。高橋（1980）の土石流発生条件式により行った、礫径20mm（=2cm）、水深14cmの場合の土石流発生の判定では、計算上は土石流化する結果となった。

第5回技術検討委員会 資料 2 3(2)P3

- ・ 擁壁は1回目に倒壊したあと、一部は残存していた（本資料 1.3 章）。その後の2・3回目の泥流は速度が遅く、残存擁壁は倒壊させていないと判断した。想定した2・3回目の土砂流出（泥流）の速度は2.06m/sであり、擁壁の倒壊を発生させる（土塊の流速が3.5m/s以下であれば転倒しないが4.0m/sを超えると転倒する）大きさでは無かった。

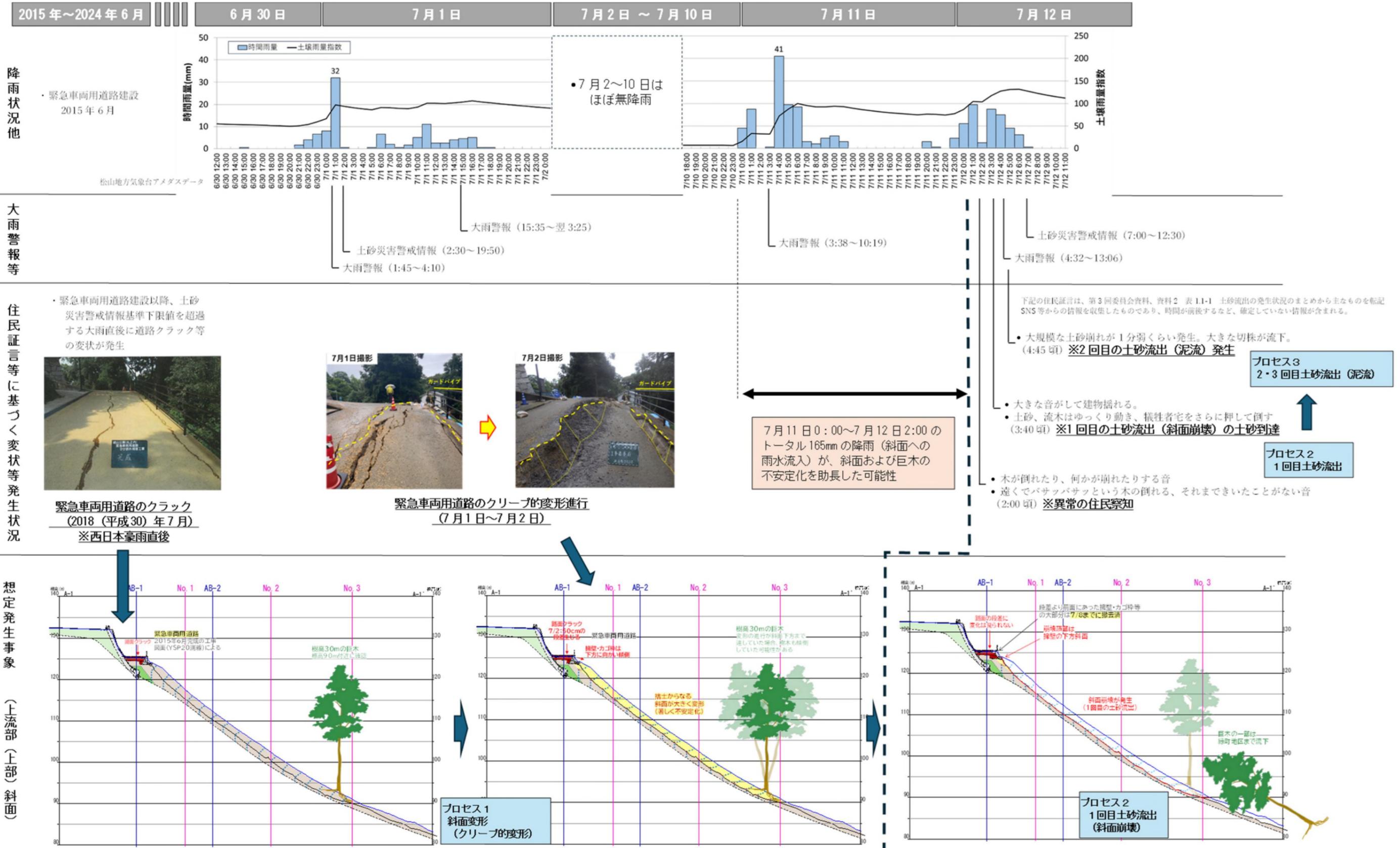
第4回技術検討委員会 資料 6 p10～p11、資料 8 p11

※ 上記の検討結果は、想定される土砂流出の過程に対して、限られた状況証拠やパラメータ設定を踏まえ、複数ある検討手法の中で一般的に採用されている手法を踏まえて例示的に行ったものであり、一連の現象を定量的に結論づけるものではないことに留意されたい。

第4回技術検討委員会 資料 7 p10、資料 8 p7

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会 報告書（案）

■ 緊急車両用道路建設～7月12日の災害発生までの降雨状況、住民証言、発生事象の時系列的整理 第4回技術検討委員会 資料8 p12(一部加筆)



3.5 推定されるプロセス1～プロセス3の発生機構からみた素因・誘因の整理

(1) 素因【その土地が持っている災害原因となる性質】

- プロセス1の経年的な斜面変形（クリープ的変形）を発生させた原因とする。
直接的・間接的に長期間にわたって斜面の不安定化影響を与えた事象。

プロセス1の経年的な斜面変形（クリープ的変形）を発生させた原因

素因	斜面不安定化の要因	原因	検討状況
せん断抵抗力の低下	地盤材料の強度低下（風化・変形）	・ 経年変化による強度低下の可能性	・ 長期間の斜面変形の影響に伴い、斜面・盛土材料の強度低下した可能性がある。
	斜面の侵食	・ 過去の降雨や表流水により、斜面の侵食が進行しており、表層が不安定化していた可能性	・ 地形判読や地表踏査、過去の道路変状から道路施工区間（A箇所）・未施工区間（B箇所）の斜面は、双方とも斜面変形が発生していた可能性が高く、変形に伴い不安定化していた可能性がある。
	伐採影響	・ 伐採により樹木の根茎が枯れたことで斜面の抵抗力が低下	・ 土砂流出は樹木の根系よりも下位で発生しているため、工事伐採に伴う根系の土砂流出防止機能の低下の影響は小さいと考える。
せん断応力の増加	荷重増加	・ 2015（平成27）年の道路擁壁施工による荷重増加	・ 被災前の緊急車両用道路で発生していた道路クラックの原因である“斜面変形”には、緊急車両用道路の擁壁・盛土荷重が影響を及ぼした可能性がある。 ・ ただし、7月12日の土砂流出は、擁壁や盛土は撤去済みであり、荷重増加の影響はなかった。
		・ 樹木の成長に伴う荷重増加	・ A箇所の土砂流出した斜面には、被災前に城山に少ない30mを超える巨木があったことが確認された。 ・ 土砂流出箇所は、硬く透水性の低い礫岩上に、軟質な捨土が1～3m程度で覆っており、巨木の根元は降雨時に地表水が集中し、不安定化しやすかったと推定される。
築城以降の捨土が分布	軟質な捨土の分布	・ 被災前は最大厚3～4m程度覆っていた（レーザー測量差分+現地簡易貫入試験結果） ・ それらは瓦片などを含み、不均質で強度が低い	・ 同左。
林内の浸透能・排水機能の低下（植生）	植生の浸透能・排水機能の低下に起因する表面侵食や斜面崩壊の危害	・ 史跡松山城跡樹木管理計画*では、城山の土砂流出及び山地崩壊防止機能などの低下に対する対応の必要性が指摘されている。 ・ 城山の時間あたりの浸透能（森林土壌が地表にある水分を吸収・浸透させる量）は、平均80mm前後、未整備地では40mm前後（森林の整備率は「不可」の評価）であり、表面流が発生しやすい。 ・ また林内の浸透能や排水機能が低下し、小崩壊跡や表面侵食の痕跡が各所に認められているとの指摘がある。	・ 道路周辺の樹木伐採は、道路付近の13本のみである。 ・ ただし、樹木伐採に伴う浸透能の影響は不明。

*松山市ほか（2023）：史跡松山城跡樹木管理計画，松山ホームページ

(2) 誘因【災害を発生させる直接的な引き金】

- プロセス2の1回目の土砂流出（斜面崩壊）に直接影響を及ぼした原因とする。
- プロセス3の1回目土砂流下および2・3回目の土砂流下に直接影響を及ぼした原因とする。
プロセス3は、プロセス2の崩壊堆積物の堆積と表流水・地下水の集中が原因である。

プロセス2の1回目の土砂流出（斜面崩壊）に直接影響を及ぼした原因

プロセス3の1回目の土砂流下および2・3回目の土砂流下に直接影響を及ぼした原因

誘因	斜面不安定化の要因	原因	検討状況
せん断応力の増加	荷重増加	・ 降雨による浸透水・地表水・地下水の流入による飽和に伴う土砂荷重増加の可能性	・ 斜面変形に伴い発生した道路クラックは、警報級の降雨後に拡大することが確認されており、降雨による荷重増加は誘因の一つと考える。
せん断抵抗力の低下	降雨による浸透水・地表水・地下水の流入、通水・排水阻害による間隙水圧上昇	・ 降雨：7月11日～12日の降雨は、被災時には20mm弱/時間程度であったが、7月12日午前3時には土壌雨量指数113に達していた。また6月の1か月降水量は歴代2位（20年間）であった ・ 地表水（地下水）の流入：本丸広場、緊急車両用道路や周辺斜面・谷地形からの流入水による可能性	・ 地下水解析結果により、7/12の被災時水位を再現した。 ・ 降雨による間隙水圧の影響は、斜面上部に比べ斜面中腹部や斜面末端部が大きく、斜面上部に比べ、斜面中腹や斜面末端部の安全率が低下する結果となった。

(3) その他：被害を拡大させた原因

- 被災した流出土砂流量は、約6,000m³とされている（本資料1.4章）。しかし、当該斜面における土石流の基礎調査の運用マニュアルに準じた「侵食可能土砂量」は2,000m³程度と試算されており、被災時は、想定約3倍の土砂が流出した。このことが、被害拡大の原因の一つであったと想定される。
- 実際の流出土砂量と「想定した侵食可能土砂量」の差が生じた原因は、土砂流出範囲に築城以降の捨土が厚さ3m程度覆っていたことが挙げられる。

4 発生メカニズムのとりまとめ

7月12日に松山市緑町で発生した土砂災害のメカニズムについて、以下のとおり、とりまとめた。

大きなプロセスとして、①斜面変形（クリープ的変形）、②土砂流出（斜面崩壊）、③土砂流下の過程を経て発生したと推定しており、まず、①斜面変形が進行する中、②上流部（上部）で土砂流出が発生し、住宅地まで流出（1回目）した後、③土砂の一部が上流部（下部）に一旦堆積したものの、その後、流入した水と混合し泥濁化したものが新たに流下（2・3回目）した。

なお、緊急車両用道路※1（以下「道路」という。）については、土砂流出発生時は、変状のあった道路擁壁を撤去しており、②土砂流出の起点となるような直接の影響を与えた可能性は低いが、安定計算などから、①斜面変形には、道路の擁壁・盛土荷重が影響を与えた可能性がある。

※1 緊急車両用道路：施工延長43m。うち擁壁設置区間は34mで高さ1.2～2m。残る9m区間は路床盛土。

【①斜面変形（クリープ的変形）】

「斜面変形（クリープ的変形）」とは、軟質な捨土※2（以下「捨土」という。）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もの。

2015年（平成27年）に道路が構築され、2017年（平成29年）以降は、「土砂災害警戒情報」発表の基準値程度に達する降雨に伴い、ひび割れ等の道路変状が発生していた。A箇所では、降雨に伴い2024年（令和6年）7月1日から2日にかけて路面に50cmの段差が生じるなど斜面下方への移動が発生しており、これらの道路変状は斜面変形の進行によるものと考えられる。

斜面変形は、降雨時に変位が進行した記録があることから主たる誘因は「降雨」であるが、素因として「捨土の分布」・「樹木の成長」・「道路の擁壁・盛土荷重増加」や「降雨による斜面の侵食作用・経年変化による強度低下」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。

※2 軟質な捨土：主に1933年（昭和8年）の放火および1945年（昭和20年）の空襲で生じた瓦を含み花崗岩片が多く、空隙が多い土層を含む堆積物で、A箇所の最大厚さ7m程度。

＜道路の影響について＞

安定計算の結果、擁壁・盛土があることで斜面全体の安全率が低下することが確認されたため、斜面変形には道路の擁壁・盛土荷重が影響した可能性がある。

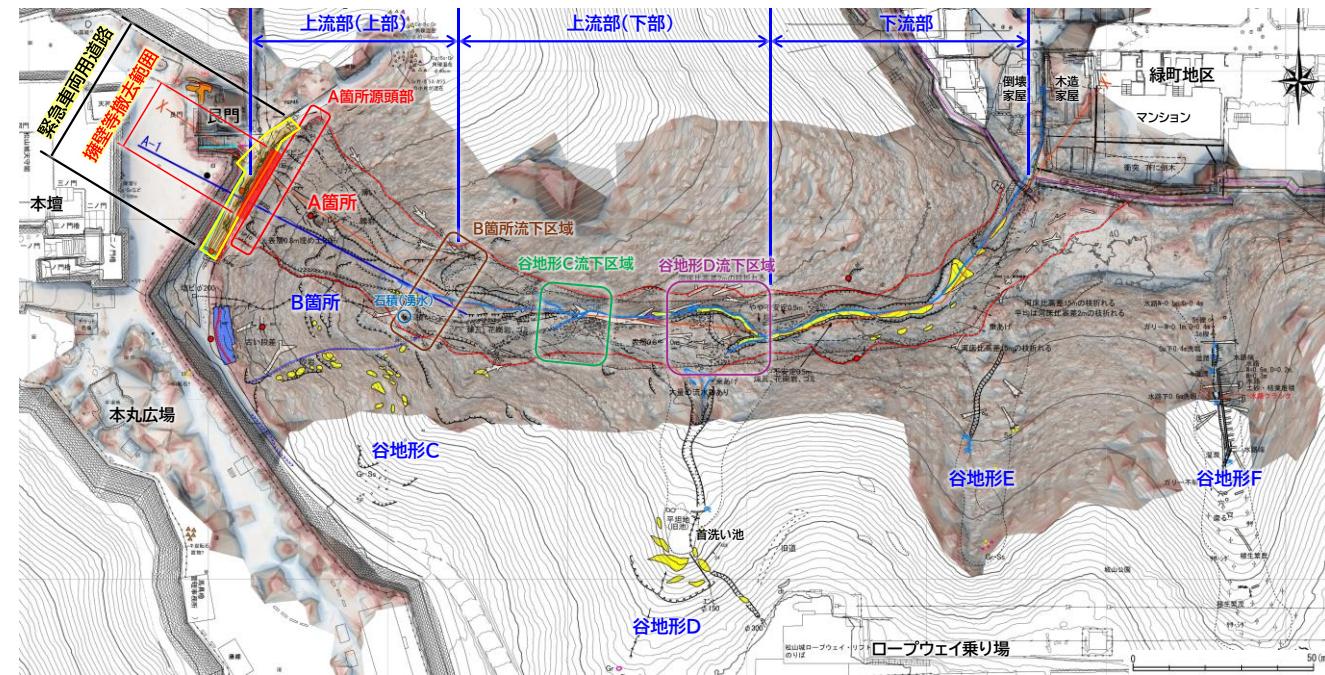


図4.1 土砂流出斜面周辺における場所等の名称

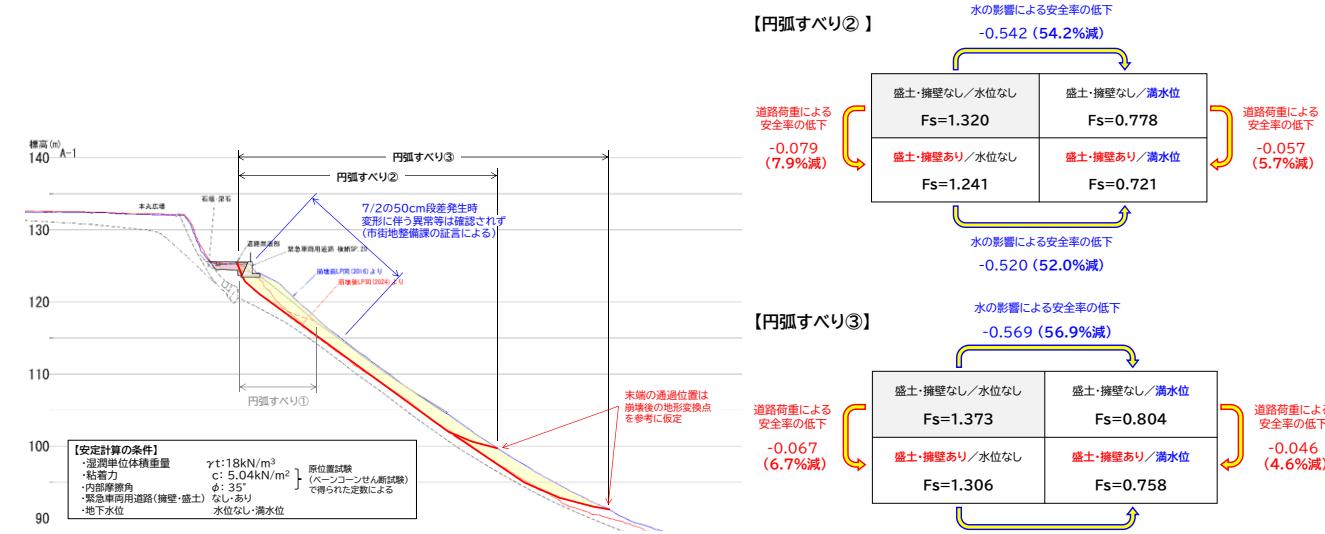


図4.2 斜面変形を“円弧すべり”に見立てた安全率の計算条件（左）、試算結果（右）

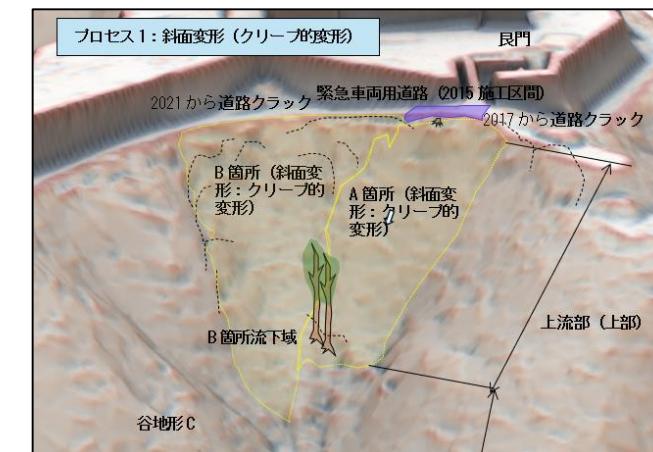


図4.3 プロセス1：被災前の斜面変形の範囲

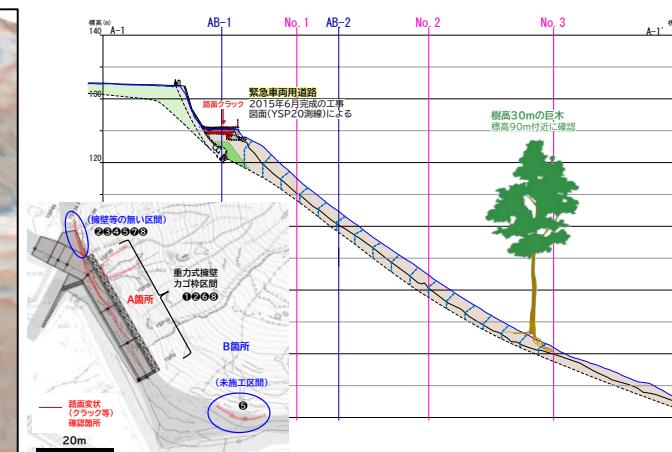


図4.4 緊急車両用道路構築以降（2015年以降）の上流部（上部）の推定

【②土砂流出（斜面崩壊）】

7月12日午前3時40分頃、広く捨土が分布する上流部（上部）に位置するA箇所斜面の35度以上の急傾斜部で、捨土が原形（地盤の構造）をとどめずに（明瞭なすべり面を伴わずに）崩落した。

降雨を誘因とする「斜面変形」が進行した結果、上流部（上部）で「土砂流出」が生じたもので、1回目の斜面崩壊で上流部（上部）から流出した土砂は、秒速4m程度で湾曲部の外湾側右岸よりを流下し、山裾の急傾斜地崩壊防止施設を破壊、住宅地に流出した。

土砂流出の発生位置（起点）については、次の「可能性1」もしくは「可能性2」の2つの可能性に絞り込んだ。

「可能性1」とは、上流部（上部）の中段部もしくは末端部から、流出した土砂が標高90m付近の巨木※3を巻き込みながら流下したもので、地下水解析を踏まえ、上流部（上部）の上段部・中段部・末端部の安全性を評価したところ、中段部の安全率の値が最も小さく、末端部の安全率の低下割合が最も大きいことから、中段部もしくは末端部と想定した。

「可能性2」とは地下水解析の結果、上流部（上部）の末端部において、水の集中が確認されたことから、不安定化が進行していた斜面で、巨木の倒木が発生し、崩壊が上方に向けて拡大したものの。

※3 巨木：上流部（上部）の末端部付近の樹高30m以上の樹木

<道路の影響について>

「可能性1」の場合

- ①土砂流出した土層は、捨土（II層）が主体であり、道路擁壁の一部基礎は、捨土層の上に載せられていた。
- ②1回目の土砂流出が発生したとき、道路擁壁区間YSP0からYSP34のうち、YSP17.26からYSP34の擁壁等は撤去されていた。
- ③YSP0からYSP28の区間は、擁壁基礎及び撤去済の擁壁基礎跡の下方斜面から崩壊していた。
- ④YSP28からYSP34の区間では、撤去した擁壁基礎跡の基礎幅1m程度の範囲の土砂が流出していたが、その土砂（栗石）は、2m程度下方で留まっており、崩壊初期に発生したものではないと判断される。

したがって、道路が土砂流出の起点となるような直接の影響を与えた可能性は低い。

「可能性2」の場合

巨木と道路との距離が水平で40m離れており、直接影響した可能性は低い。

【③土砂流下】

1回目の土砂流出によって、上流部（下部）に堆積した崩土にB箇所流下区域や谷地形C・Dから供給された表流水が滞留し、泥濁化した。

その後、午前4時45分頃に、泥濁化した土砂が流下（2・3回目）した。

「土砂流下」は、上流部（上部）から1回目に上流部（下部）に一旦堆積したものの、谷に流入し続けた水と混合して泥濁化したものが流下した現象を指し、左岸側を秒速2m程度で流下したものの。

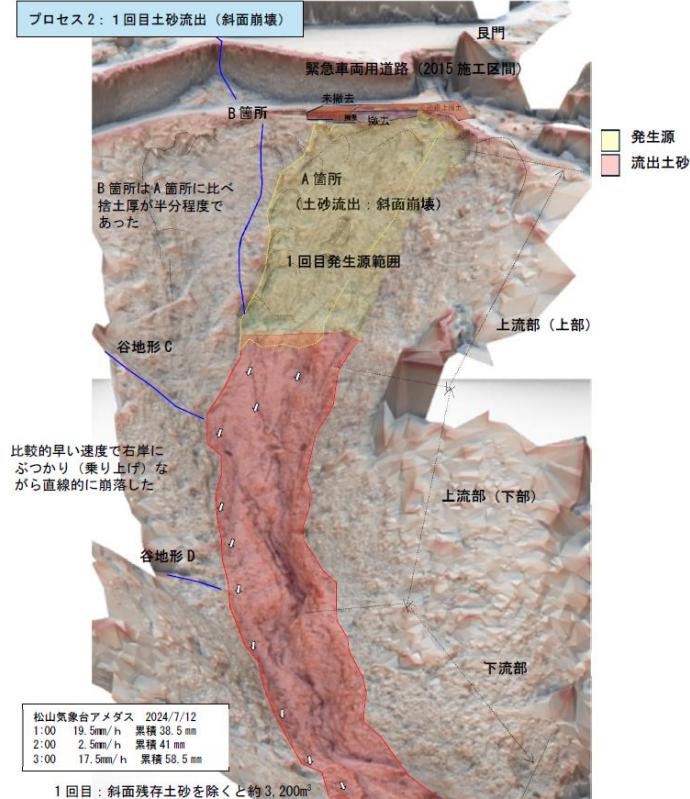
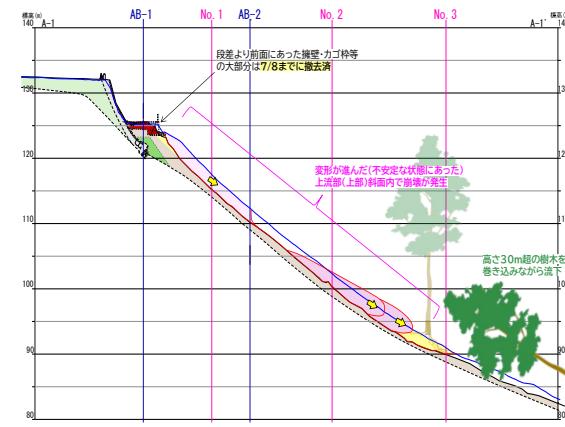


図4.5 プロセス2：1回目の土砂流出 説明図

【可能性1】上流部（上部）斜面で斜面崩壊が発生



【可能性2】上流部（上部）斜面末端にあった巨木の倒木により崩壊が発生

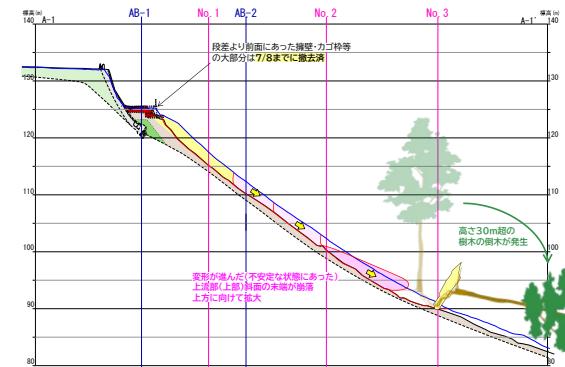


図4.6 上流部（上部）における1回目の土砂流出の2つの可能性

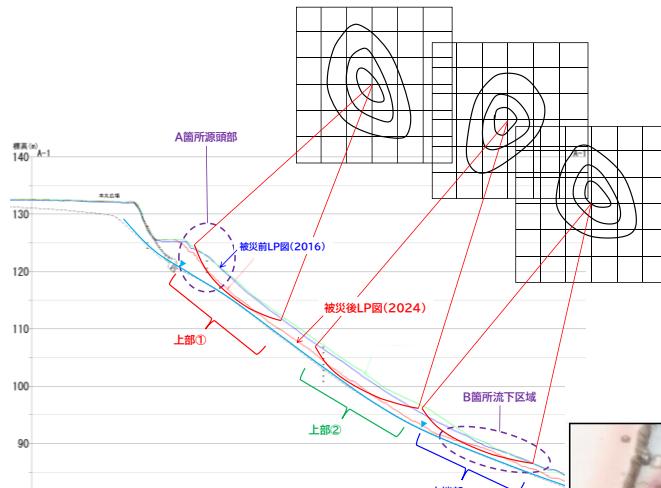


図4.7-1 上流部（上部）を対象とした安定解析の検討断面

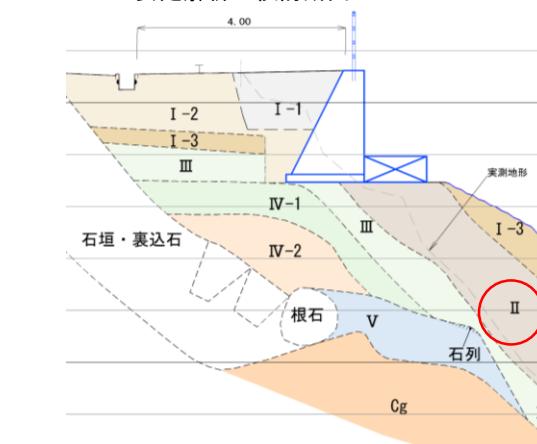


図4.8 YSP20付近における土層分布

水位条件	上部①		上部②		末端部	
	安全率	安全率相対差	安全率	安全率相対差	安全率	安全率相対差
水位無し	1.286	-	1.587	-	1.937	-
R6.7.1 水位	1.286	0.000	1.261	-0.326	1.312	-0.625
R6.7.11 4:00 水位	1.285	-0.001	1.241	-0.346	1.312	-0.625
R6.7.12 2:00 水位	1.280	-0.006	1.195	-0.392	1.312	-0.625

図4.7-2 安定解析による最小安全率の変化

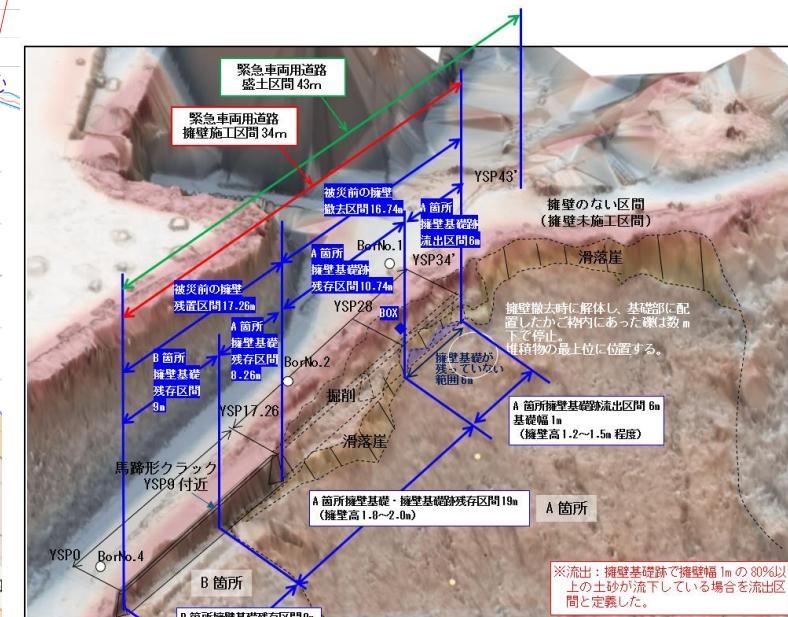


図4.9 土砂流出時の緊急車両用道路の状況と滑落崖の関係

5. 本復旧対策

5.1 対策方針

(1) 素因誘因と対策方針

- 土砂災害の素因、誘因に対して以下の通り対策工の方針立てを行った。

第4回技術検討委員会 資料9 p1

表 5.2-1 素因・誘因に対する対策工実施方針

上流部（上部）の対策方針

素因	対策方針	具体策
経年劣化による地盤の強度低下	斜面の補強対策	高強度ネット工+地山補強土工
表層の侵食による不安定化		
伐採による根茎の抵抗力の低下		
軟質な捨土の分布		
道路擁壁施工による荷重増加	既存擁壁の撤去および斜面への影響のない構造での復旧	撤去工+擁壁工+網状鉄筋挿入工
樹木の成長による荷重増加	樹木の伐採	同 左
誘因	対策方針	具体策
排水機能の低下	流路工の整備+地下水排除工	緊急車両用道路の排水工+地下水排除工
降雨による土砂荷重の増加		
降雨による間隙水圧の増加		

上流部（下部）+下流部の対策方針

現状	対策方針	具体策
堆積した土砂の流出	侵食防止のための水路整備	流路工+暗渠工+山腹土留工
土砂流出した際に侵食を受けた裸地部の不安定化	植生の早期回復による安定化	多機能フィルター
合流する谷地形からの土砂流出	待受けによる対策	流路工（水路工）もしくは土砂止め工（将来計画）

谷地形Dのみ降雨時の出水量が多いため、早急な洗抑防止が必要と考え流路工を配置する

(2) A箇所・B箇所における対策について

- A箇所・B箇所の対策について、「史跡保護」と「人家保全」の2つの観点より対策工法の検討を実施し、地山補強土工、地下水排除工、流路工が有効であると結論付けた（表 4.2-1 参照）。
- 切土補強土工は景観性を考慮して、高強度ネット工+地山補強土工（クモの巣ネット工）を採用する。

第4回技術検討委員会 資料9 p2

表 5.2-2 A箇所・B箇所の対策工比較

対策工法	当地区への適用性	総合判定
待ち受け工 (土砂止め工)	史跡保護 : 崩壊が進行することで史跡である石垣が不安定になるとともに緊急車両用道路が通行不能となる ⇒×	史跡保護の観点からは不適と判断されるが、谷地形C~Fの土砂流出防止を目的とした対策は人家保全の観点からは有効 △
	人家保全 : 各谷地形の出口に設置することで人家への土砂流出が抑制可能であるため人家保全の観点からは適する ⇒○	
切土工	史跡保護 : 安定勾配での切土は緊急車両用道路が機能不全になること、城壁を不安定化させる恐れがあり不適 ⇒×	人家保全の観点からは適すると判断されるが、史跡保護の観点からは不採用。 ×
	人家保全 : 不安定な土塊を除去できることから人家保全の観点からは適する ⇒○	
アンカー工	史跡保護 : 不安定な土塊を抑止できるが対象とする土砂厚が1m~3m程度と比較的薄いことから不経済となり不適 ⇒△	地山補強土工で対応出来る規模であるため、不経済となり不採用 △
	人家保全 : 同上 ⇒△	
地山補強土工	史跡保護 : 不安定な土塊を抑止でき、対象とする土砂厚から最も適する ⇒○	不安定斜面の崩壊防止対策として最も有効 ◎
	人家保全 : 同上 ⇒○	
杭工	史跡保護 : 不安定な土塊に杭を打設する対策であるが、対象とする土砂厚が1m~3m程度と比較的薄いことから中抜け、抜け上がり懸念され不適 ⇒×	層厚の薄い不安定斜面の抑止対策としては適さないため不採用 ×
	人家保全 : 同上 ⇒×	
地下水排除工	史跡保護 : 地下水が誘因の1つであることから斜面安定性の向上が期待できる ⇒○	誘因の1つである地下水排除工は対策として有効 ○
	人家保全 : 同上 ⇒○	
流路工	史跡保護 : 城郭からの雨水排水路として有効 ⇒○	新たな不安定な斜面を発生させない対策として有効 ○
	人家保全 : 側方侵食を抑制することで新たな不安定土砂を生産しないことが期待できる ⇒○	

5.2 対策工種

(1) A箇所・B箇所（上流部（上部）（下部）・下流部）の本復旧 第4回技術検討委員会 資料9 p1

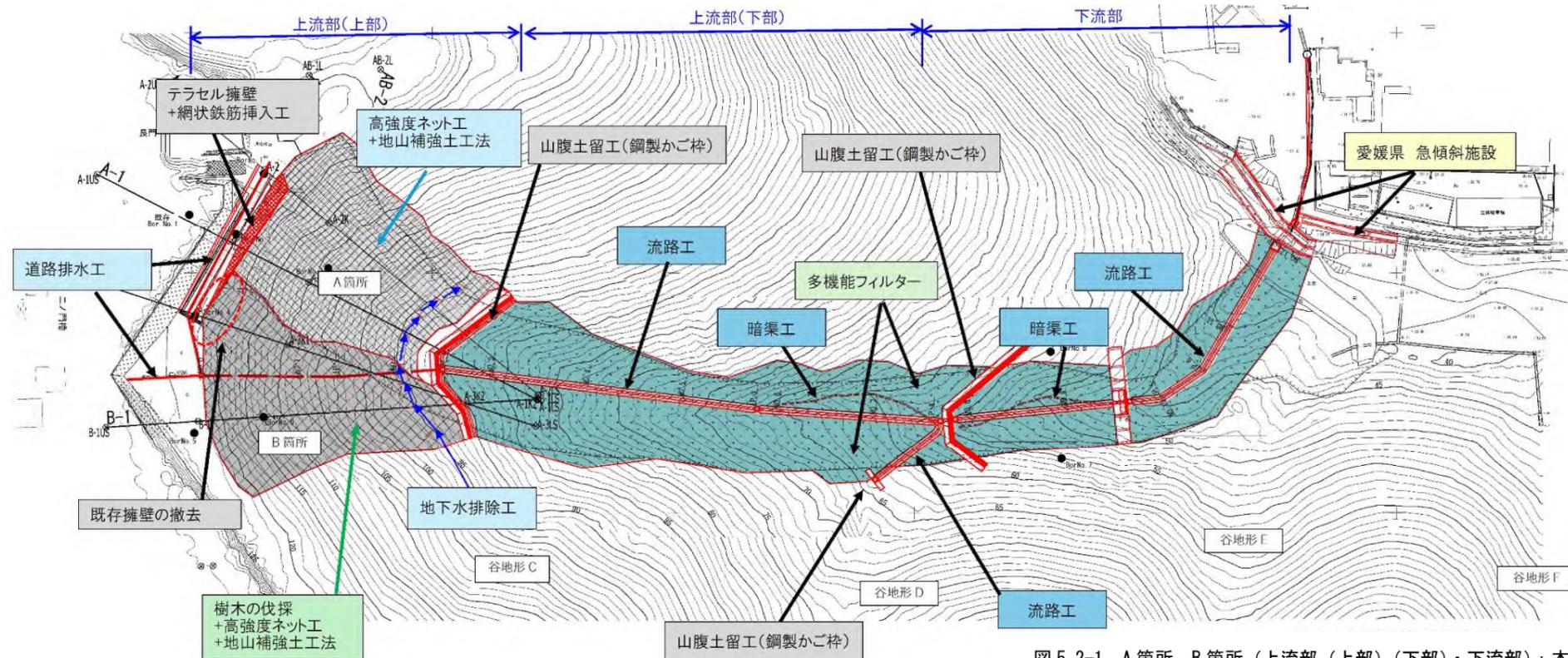


図 5.2-1 A箇所 B箇所（上流部（上部）（下部）・下流部）：本復旧対策配置計画図

(2) 急傾斜地崩壊防止施設の本復旧 第3回技術検討委員会 資料6-1 p6-1-2

- ・ 上流部（上部）（下部）、下流部で行う斜面対策の本復旧工事を踏まえ、急傾斜地崩壊防止施設の復旧を計画する。
- ・ 現況施設と同等の機能を有した対策を行う。

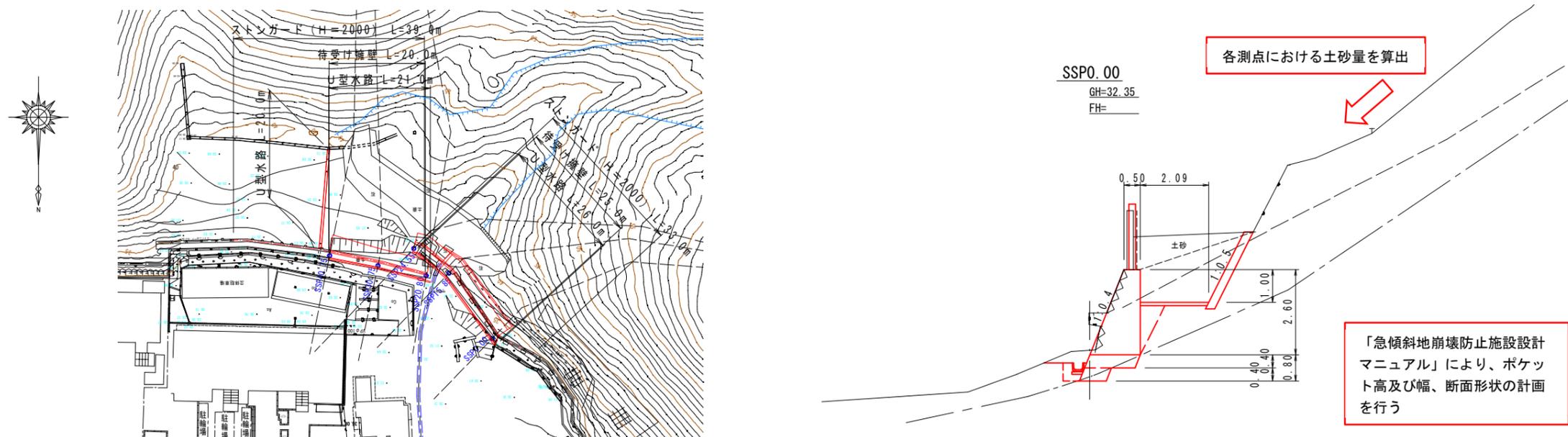


図 5.2-2 急傾斜地崩壊防止施設：本復旧対策計画（左）平面図・（右）横断面図

6. 再発防止に向けた取組みについて

6.1 松山城の斜面が抱える課題について

現状存在し、その状態を把握しなければならない課題として、以下の3つが挙げられる。

（1）巨木の存在

- ・樹木の生長による荷重増加。土砂流出した斜面には、30mを超える巨木の存在。軟質な捨土上の巨木の根元は降雨時に地表水が集中し、不安定化しやすかったと推定。
- ・城山周辺の斜面上の巨木の存在とその状態の確認が課題。

（2）軟質な捨土分布

- ・崩壊斜面には松山城築城以降に形成された捨土が堆積（瓦片などを混入し、不均質で強度が低い）。この捨土層が斜面の不安定化の要因となった。
- ・城山周辺の谷地形の同様な捨土堆積箇所存在の確認が課題。

（3）降雨による水の流入

- ・本丸広場、緊急車両用道路や周辺斜面・谷地形からの流入水による可能性。降雨による浸透水、地表水、地下水の流入、通水・排水阻害により地盤の間隙水圧が上昇し、斜面の不安定化につながった。
- ・城山周辺の本壇、本丸広場周辺で、同様に水が集中しやすい箇所の確認が課題。

城山周辺において、今回と同じような災害の再発防止にあたっては、上記3つの課題を念頭においた調査を行う必要がある。

6.2 その他の考慮すべき課題について

今回の土砂災害を踏まえて、災害発生あるいは被害拡大に寄与すると考えられる今後の課題について、以下のとおり整理する。

（1）城山周辺の今後の施設設置時の対策

- ・2010年7月の大雨の際に城山南側斜面で土砂災害（愚陀仏庵の災害）が発生していた。
- ・城山の斜面上方で大規模な地形改変を伴う道路等の施設設置の際には、発生メカニズムを踏まえた設計計画や点検方法などに留意が必要である。

（2）土砂災害警戒区域の未指定への対応

- ・今回土砂災害が発生した谷部は、土砂災害警戒区域の指定は無かった。周辺は急傾斜地の崩壊に関する警戒区域に指定されていた。
- ・土砂災害警戒区域の指定について検討する必要がある。

（3）被災した溪流以外の斜面・谷地形の対応

- ・今回土砂災害が発生した谷部の周辺斜面についても調査を実施し、危険性が指摘された場合は、流出土砂に対する適切な対策を実施する必要がある。

（4）恒久対策実施中および恒久対策終了後の安全確保

- ・斜面对策工が完成するまでの期間における住民安全確保のための監視体制を検討する必要がある。また監視体制や降雨状況に応じた住民に対する危険性の周知が重要である。
- ・住民周知の方法として、ハザードマップの利用、防災士等を活用した住民への説明機会を設けることが望ましい。