

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会

第 4 回委員会資料【松山市】

本復旧対策について

本復旧対策の設計について【松山市】

令和 6 年 12 月 23 日

< 目 次 >

本復旧対策について

本復旧対策の設計について

1. 土砂災害の素因・誘因と対策方針・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
2. A箇所・B箇所における対策について・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
3. 上流部（下部）～下流部の対策について・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
4. 緊急車両用道路の復旧について・・・・・・・・・・・・・・・・・・4

1. 土砂災害の素因・誘因と対策方針

資料8までの検討結果を踏まえ、土砂流出の素因、誘因に対して以下の通り対策工の方針立てを行った。

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	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
道路擁壁施工による荷重増加		
樹木の成長による荷重増加		
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、早急な洗掘防止が必要と考え流路工を配置する

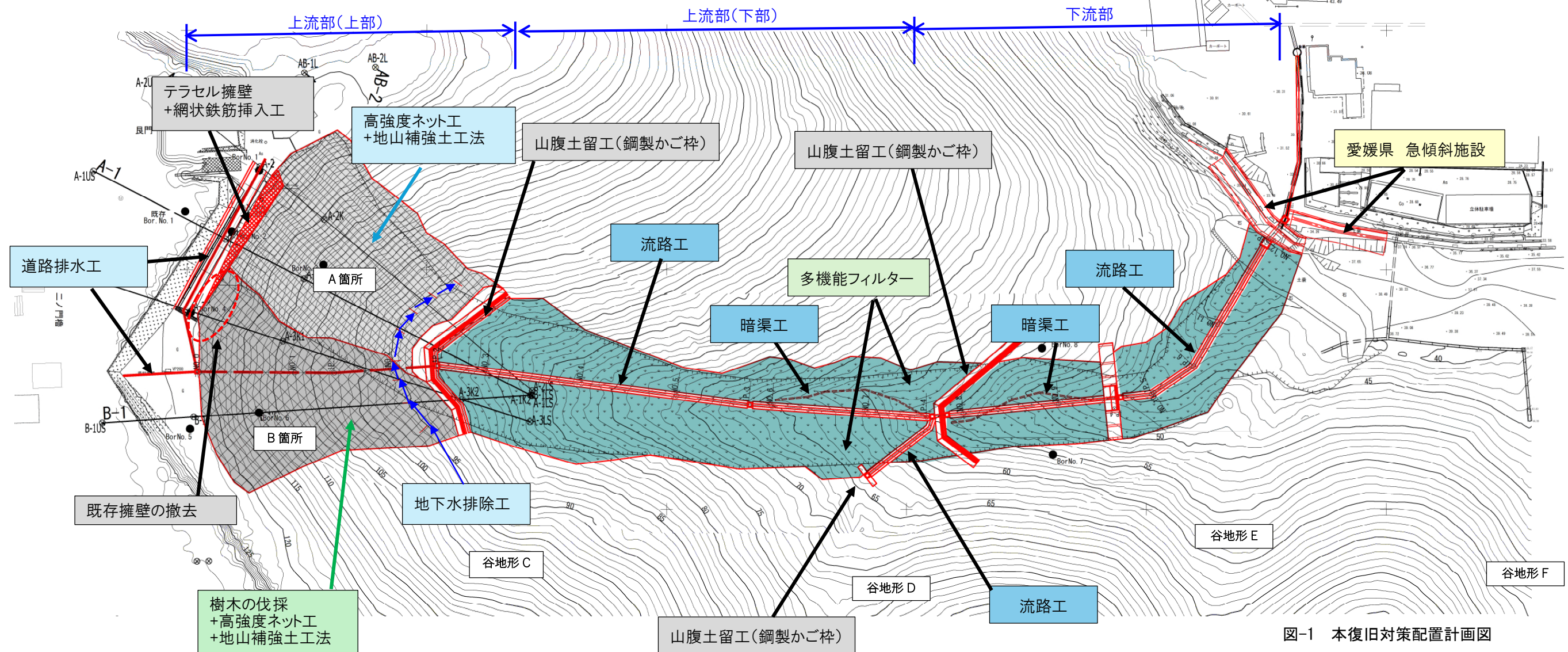


図-1 本復旧対策配置計画図

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-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。

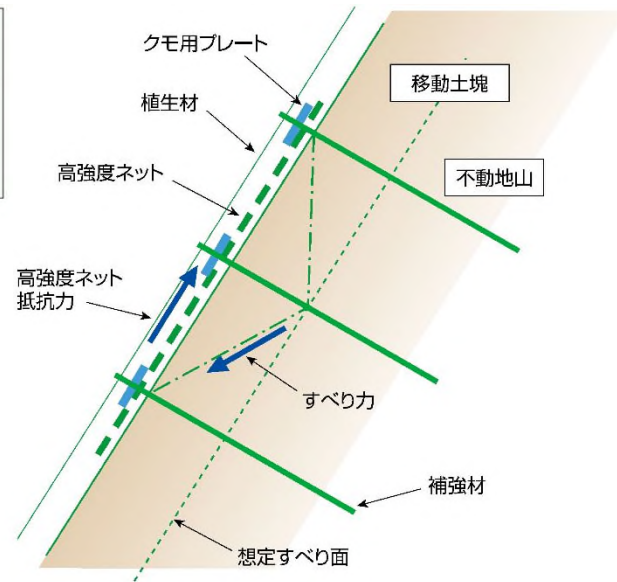
表-1 A箇所・B箇所対策工比較

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、抜け上がりが懸念され不適 ⇒ ×	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 ⇒ ○	



図-2 クモの巣ネットイメージ図

クモの巣ネット工法: EPN エコ・パ亜 W-ネット工法会パンフレットより引用



2.1 対策工検討の流れ

- 対策工の検討は、図-3のフローに基づき行った。
- 浸透流解析結果による土砂災害発生時の地下水位を踏まえ、安定計算の逆解析により各箇所の強度定数を算定した。その算定結果を基に、計画安全率 P.Fs=1.2 を満足する地山補強土工の配置等の検討を行った。

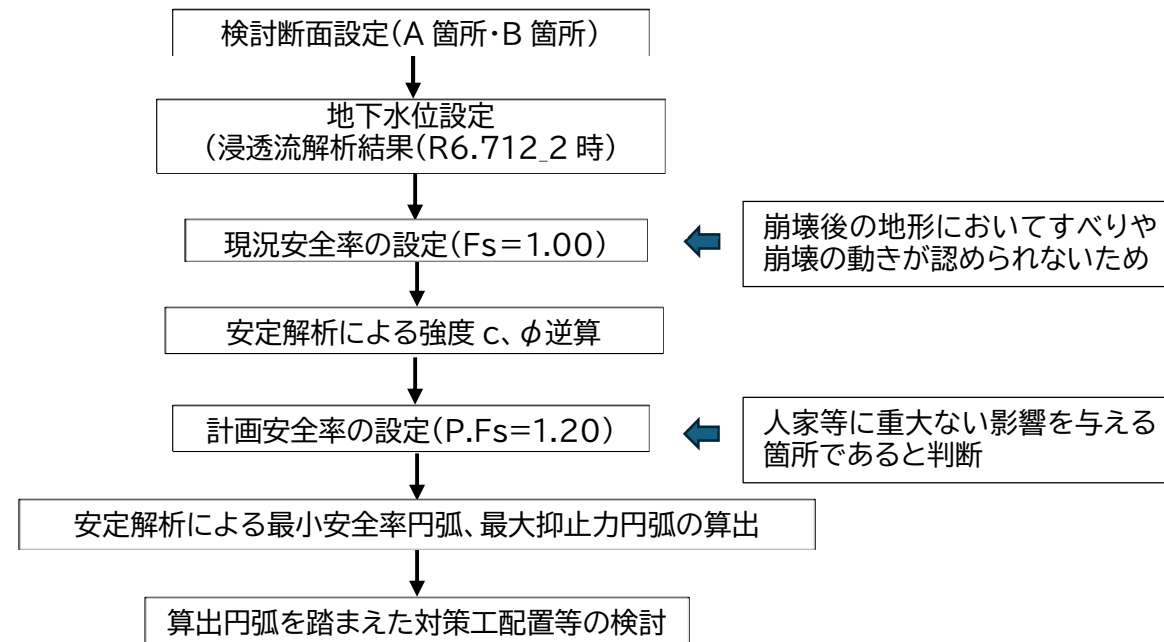


図-3 地山補強土工の検討フロー

2.2 安定計算結果

A箇所・B箇所における安定計算結果を以下に示す。

表-2 A箇所安定計算結果

強度逆算 条件 結果	対象斜面:	A1断面 (崩壊後)	
	地下水位:	浸透流解析結果水位 R06.07.12_2時	
	単位体積重量:	$\gamma t=20.0\text{kN/m}^3$ 、 $\gamma \text{sat}=21.0\text{kN/m}^3$	
	安全率:	Fs=1.00	
	逆算強度:	$\phi = 34.0^\circ$ 、 $C=5.76\text{kN/m}^2$	
対策検討	計画安全率	Fs=1.20	
	地下水位:	浸透流解析結果水位 R06.07.12_2時	
	円弧すべり	最小安全率円弧	最大抑止力円弧
	安全率Fs	1.000	1.017
	必要抑止力Pr (kN/m)	37.4	41.4
	円弧半径 (m)	14.503	18.995
すべり面長 (m)	13.177	14.186	

表-3 B箇所安定計算結果

強度逆算 条件 結果	対象斜面：	B1断面（現況）	
	地下水位：	浸透流解析結果水位 R06.07.12_2時	
	単位体積重量：	$\gamma t=20.0\text{kN/m}^3$ 、 $\gamma \text{sat}=21.0\text{kN/m}^3$	
	安全率：	Fs=1.00	
	逆算強度：	$\phi = 34.0^\circ$ 、 $C=6.22\text{kN/m}^2$	
対策検討	計画安全率	Fs=1.20	
	地下水位：	浸透流解析結果水位 R06.07.12_2時	
	円弧すべり	最小安全率円弧	最大抑止力円弧
	安全率Fs	1.000	1.020
	必要抑止力Pr (kN/m)	48.2	56.6
	円弧半径 (m)	15.664	24.588
	すべり面長 (m)	15.648	18.532

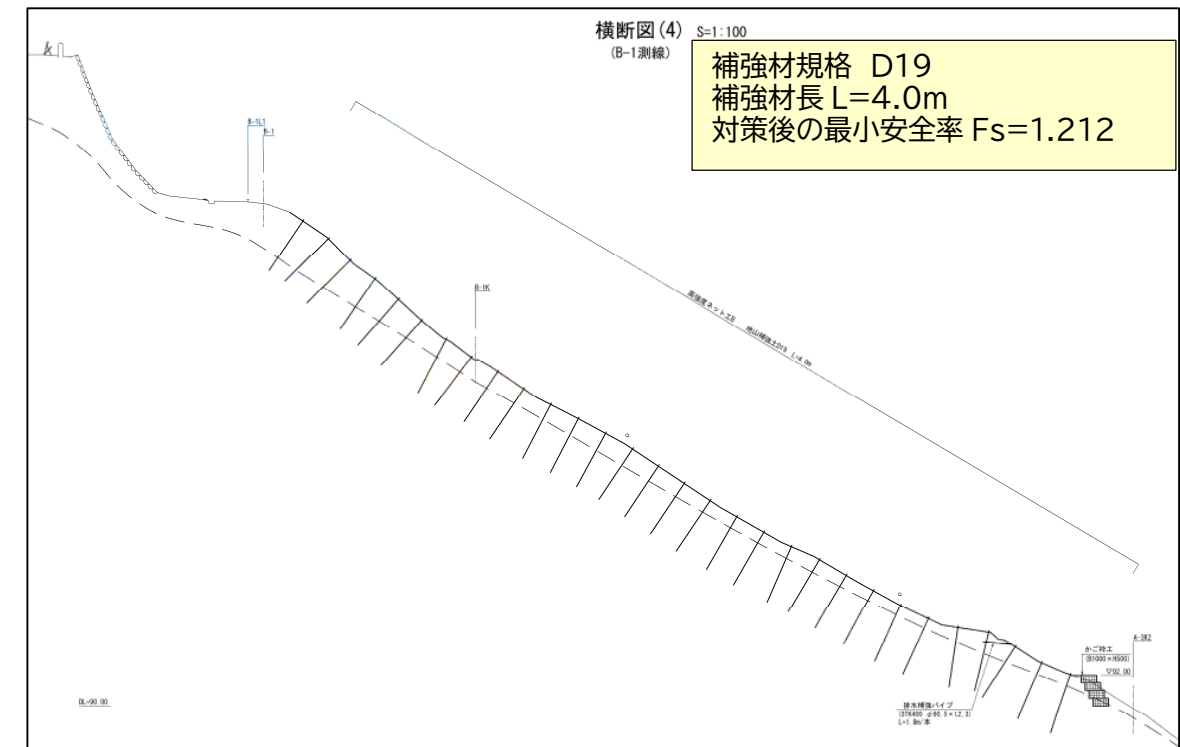


図-5 B箇所標準断面図

2.3 対策工法検討結果

A・B 両箇所について、安定計算によって得られた外力に対して高強度ネット工+地山補強土工の検討を行った結果を図-4、5に示す。

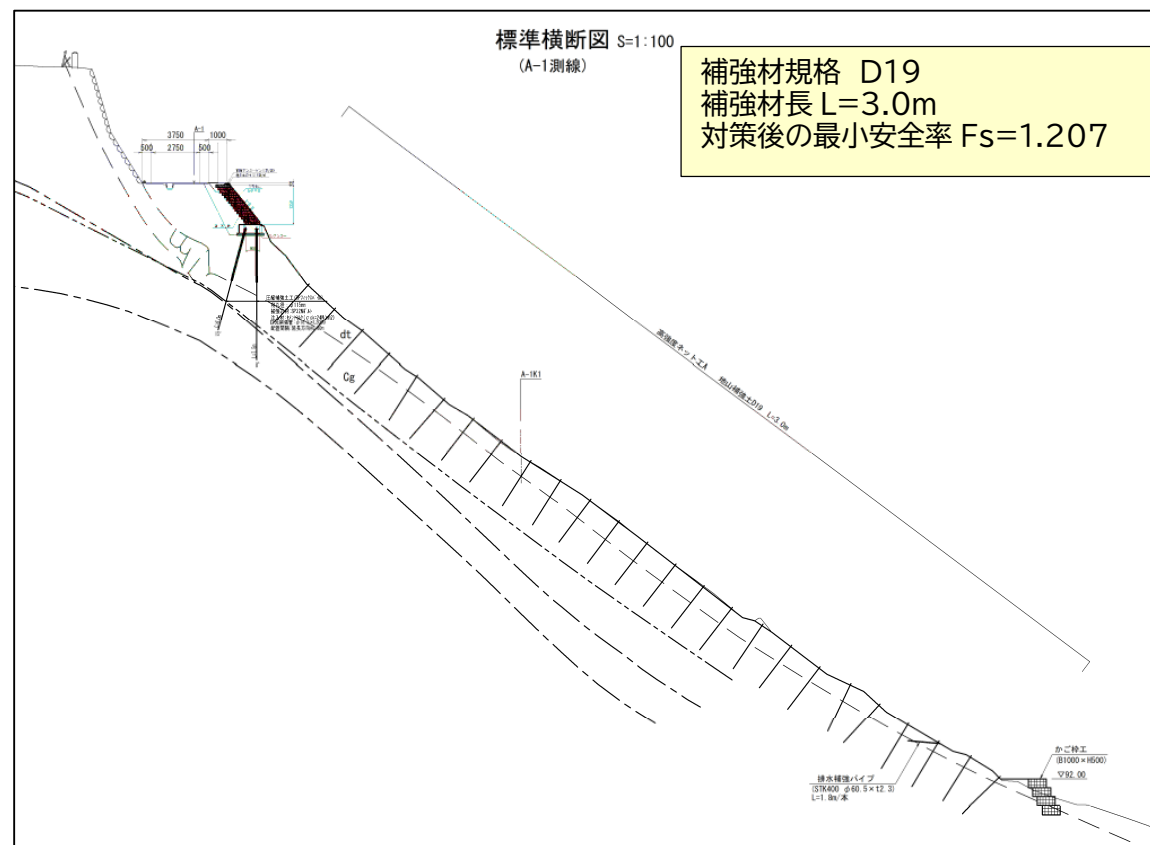


図-4 A箇所標準断面図

3. 上流部（下部）～下流部の対策について

- 堆積土砂の安定化や再流出などを念頭におき、1/10 確率年で流下可能な流路工を配置し、現況でガリー浸食が発達している沢部には暗渠を配置する（図-1 参照）。流路工、暗渠工の標準断面を図-6に示す。
- 側方浸食によって不安定化が想定される遷緩線および谷地形D出口には山腹土留工を設置し、土砂の不安定化を抑制する（図-1 参照）。
- 地表面保護を目的に、雨水による浸食防止を目的とした多機能フィルターを配置する（図-1 参照）。

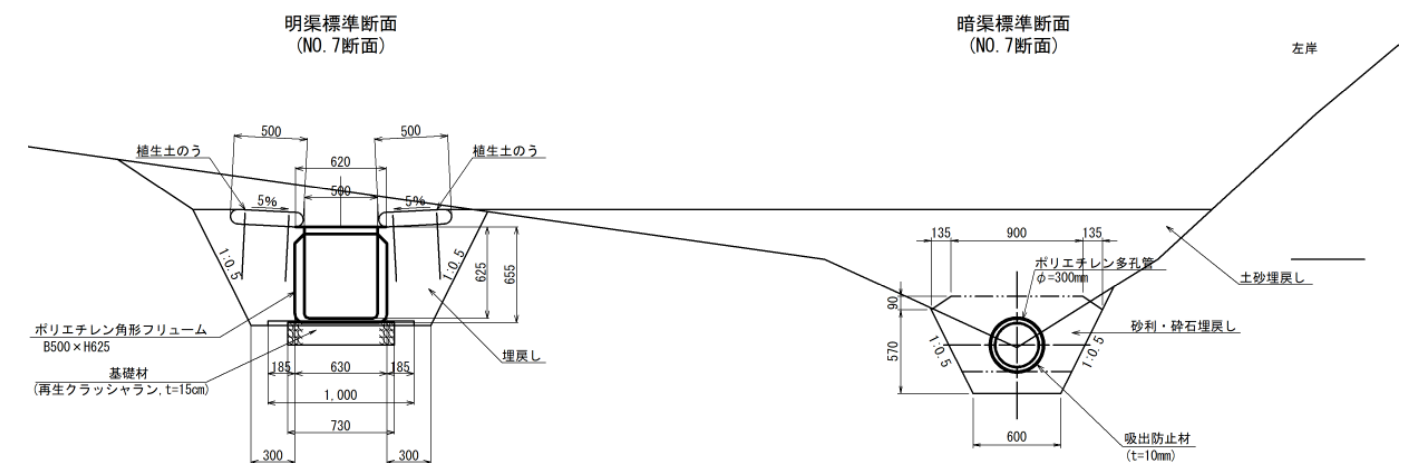


図-6 流路工標準断面図

4. 緊急車両用道路の復旧について

4.1 道路幅員、排水対策

- 緊急車両用道路は、道路構造令で定められている3種4級（小型道路）の幅員を基本とし、最低限、造園施工管理・技術編による有効幅員3.0mを確保する計画とした（図-7参照）。
- 城内からの排水が直接斜面に流入しないようにするため、道路排水溝を再整備する（図-1参照）。

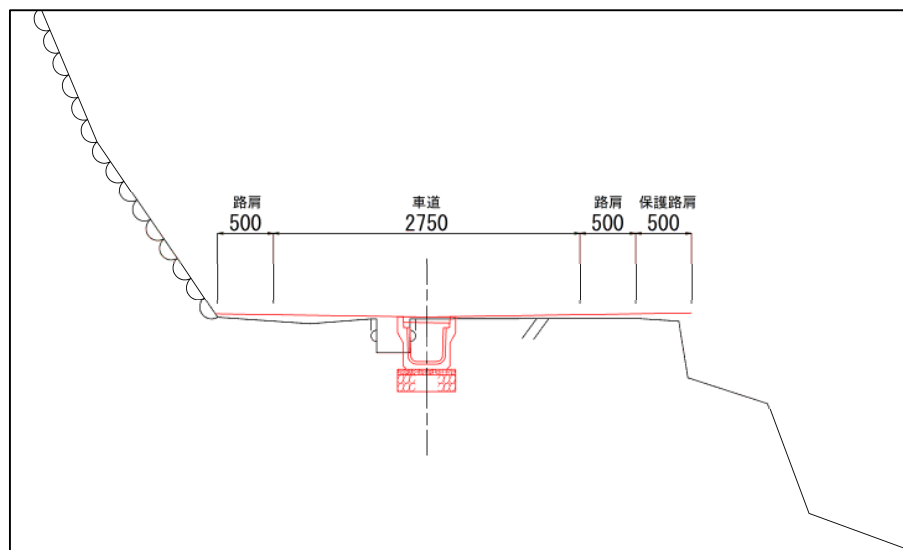
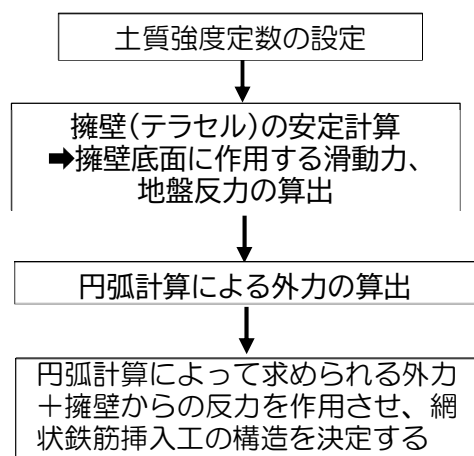


図-7 緊急車両用道路標準断面図

4.2 道路付帯構造物

- 図-8に検討フローと設計条件、図-9に標準断面図、図-10に対策イメージをそれぞれ示す。
- 土砂崩落によって不足する幅員に対しては、擁壁+杭式の基礎（網状鉄筋挿入工）により対応する。
- 擁壁の構造については、コンクリートより軽量な材料（テラセル）とする。
- 網状鉄筋挿入工については、鉄筋挿入を文化財である石垣根石を避けて配置する。



<検討フロー>

<設計条件>

項目	数値	備考
単位体積重量	20.0kN/m ³	
内部摩擦角φ	34.0°	
粘着力c	7.0kN/m ²	
上載荷重	10.0kN/m ²	
地震時水平震度	0.13	Ⅱ種地盤(0.15)×愛媛県補正係数(0.85)

図-8 付帯構造物の検討フローと設計条件

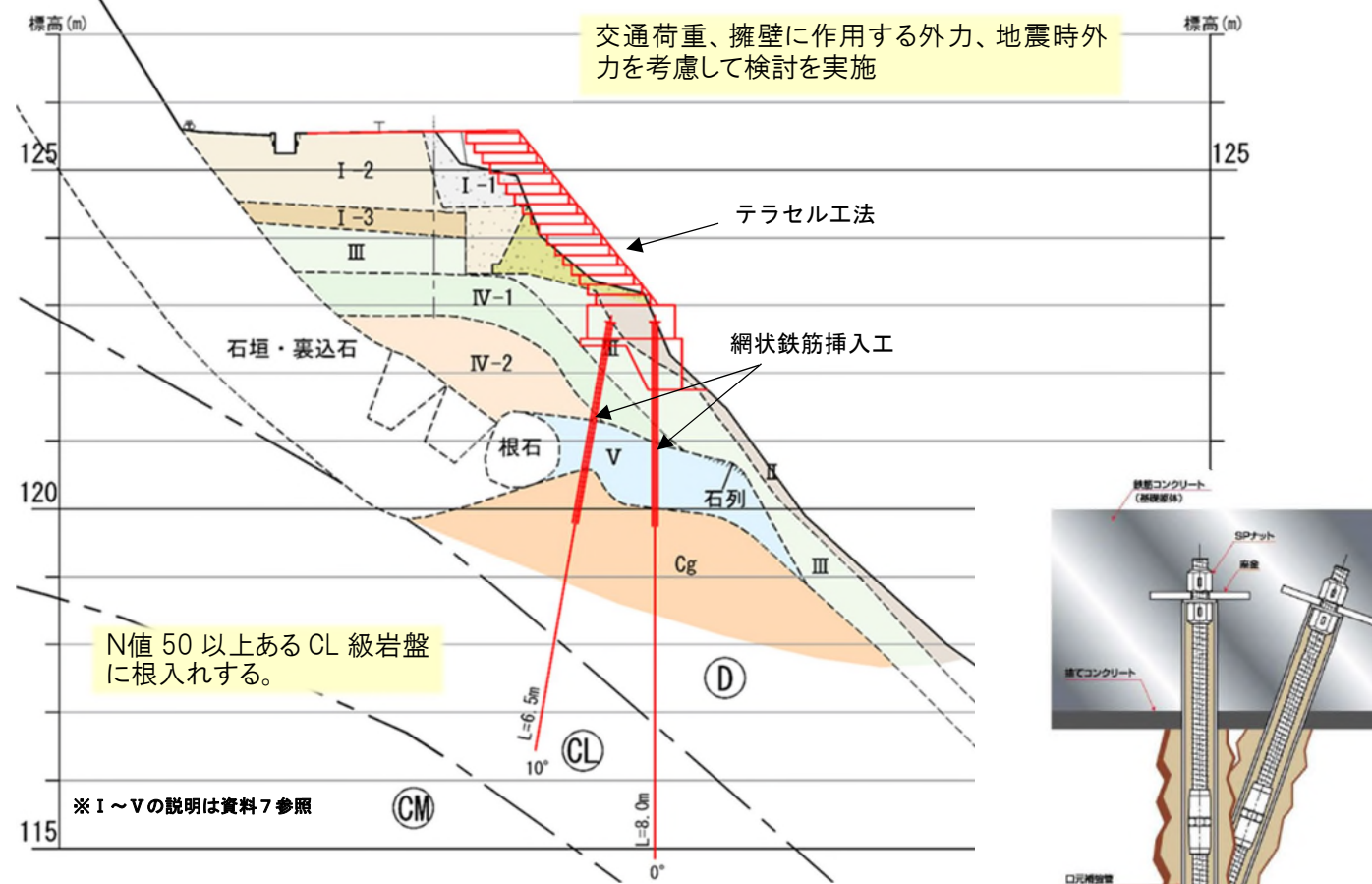


図-9 道路付帯構造物の標準断面図



図-10 テラセル工法および網状鉄筋挿入工イメージ図

テラセル工法総合カタログ：TOKYOink および
SPフィックスパイル工法カタログ：エステーエンジニアリングより引用

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会
第4回委員会資料

再発防止に向けた取組みについて
城山周辺斜面の安全確保について【愛媛県・松山市】

令和6年12月23日

< 目 次 >

再発防止に向けた取組みについて

城山周辺斜面の安全確保について

1. 松山城の斜面が抱える課題について 1
2. その他の考慮すべき課題について 1

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

- ・ 崩壊斜面には最大厚 3~4m程度の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の存在の確認が課題。

(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。

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。

松山市緑町土砂災害対策技術検討委員会
第4回委員会資料

11月2日の豪雨発生時の斜面状況等について【松山市】

令和6年12月23日

< 目 次 >

【参考資料】

11月2日の豪雨発生時の斜面状況等について・・・・・・・・・・1

■ 11月2日の豪雨発生時の斜面状況等について

1. 11月2日の降雨の状況

- 松山市周辺で記録的短時間大雨情報が発表された11/2の記録的な大雨は、気象庁アメダス「松山」で累積雨量145.5mm(図1-1参照)、時間雨量78mm(10:40~11:30、観測史上1位)、計測方法の異なるレーダー解析雨量(愛媛県土砂災害危険度情報HPメッシュ50326611)では、時間雨量85mm(11:30)に達した(図1-2)。
- 7/12の土砂災害発生時の降雨(アメダス松山の観測値)と11/2の降雨(アメダス松山の観測値、レーダー解析雨量)のスネーク曲線を比較した結果、11/2の低気圧による大雨は、被災した7/12の土砂災害発生時の降雨よりも降雨強度・降水量ともに規模が大きい降雨であった(図1-3)。
- この記録的な豪雨であった11/2の土壌雨量指数は144.3であり、図-4に示すように7/12の値を超過したが、後述するように新たな変状は発生していない。

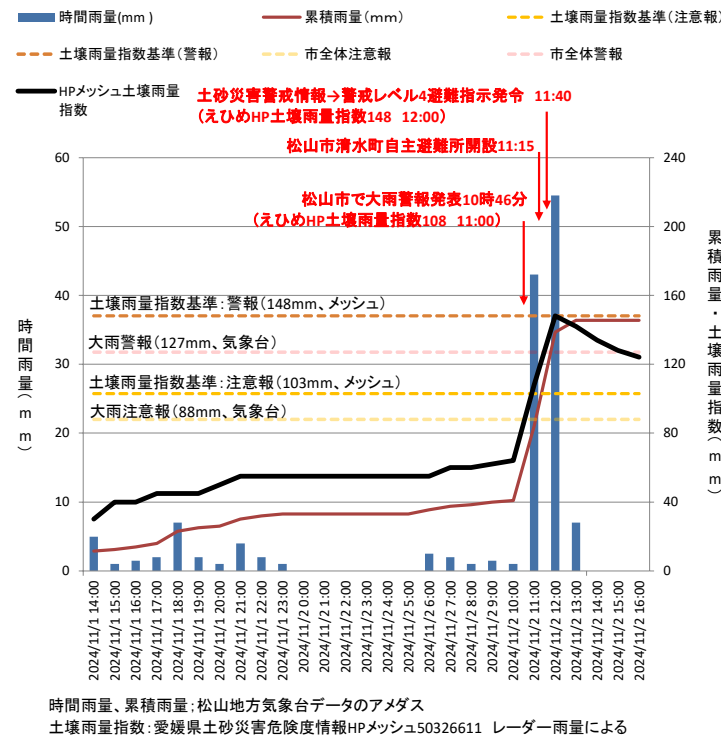
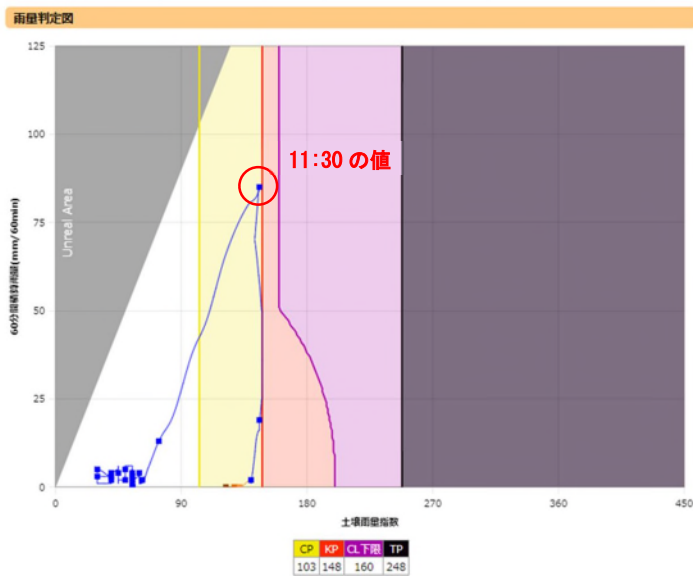


図1-1 11月2日の降雨状況 (アメダス、レーダー解析雨量による)



※愛媛県土砂災害危険度情報HPメッシュ50326611の11月2日のグラフ

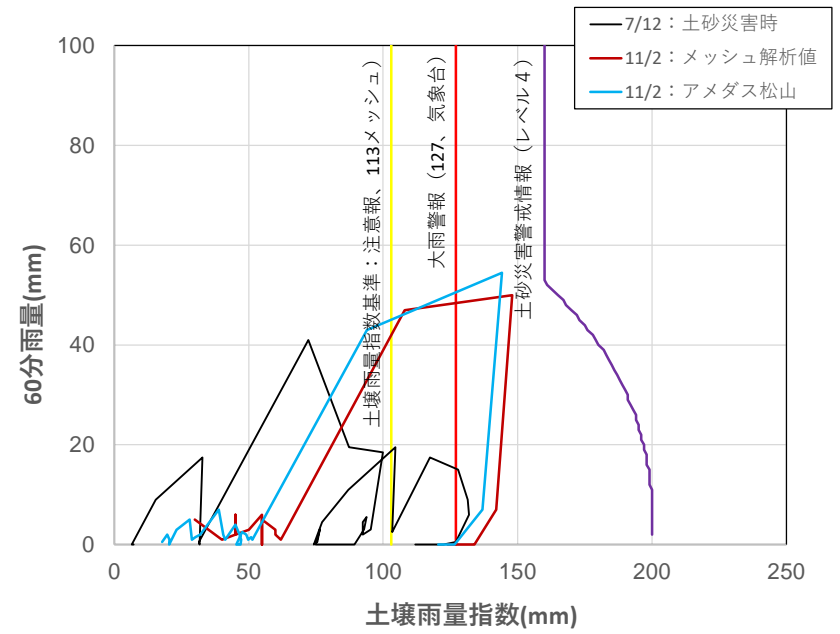


図1-3 7/12土砂災害発生時降雨と11/2の豪雨との比較(スネーク曲線)

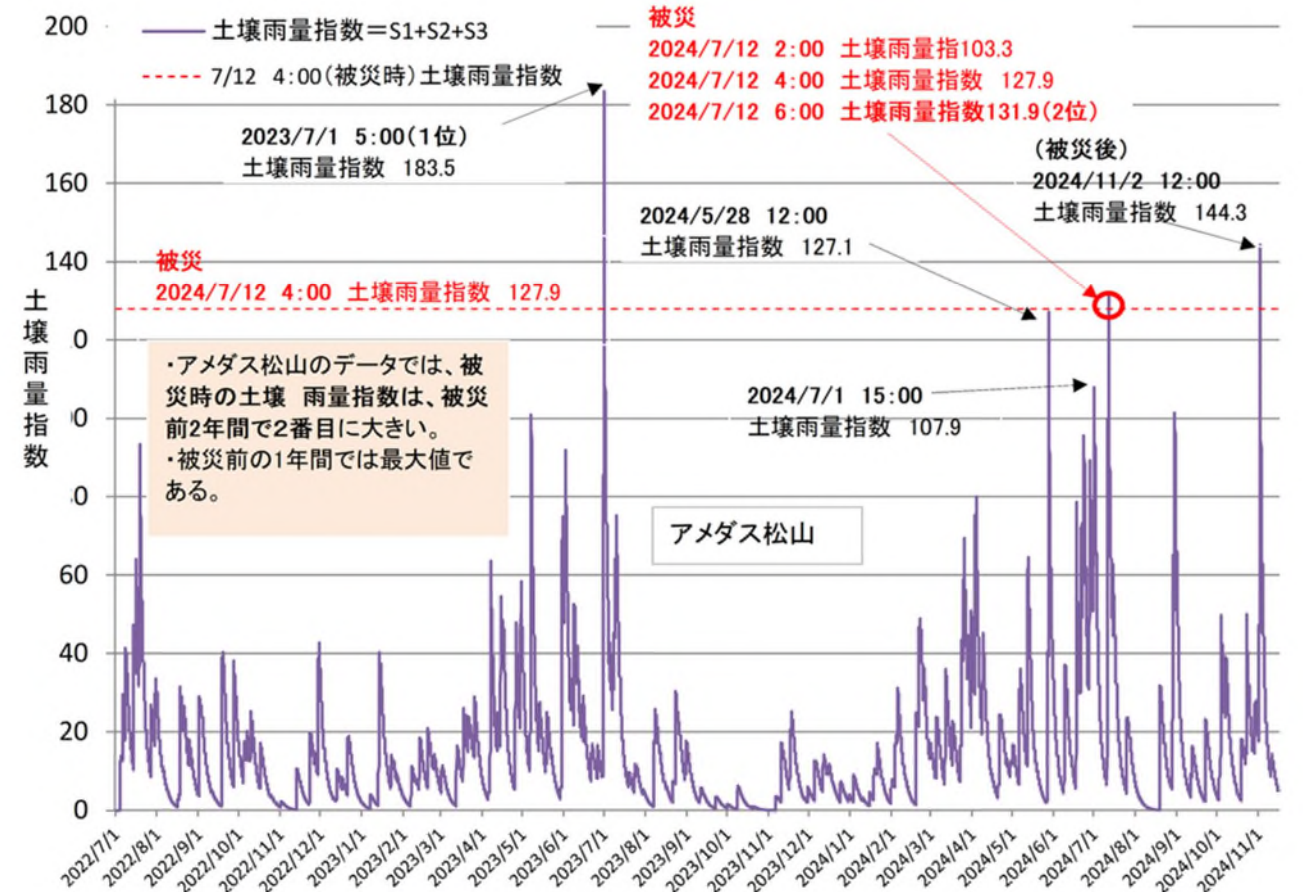


図1-4 2022/7/1~2024/11/15までの土壌雨量指数の比較(アメダス松山):再掲

図1-2 レーダー解析雨量による雨量判定図

2. 豪雨時の表層傾斜計の変位

- ・ 図2-1に示すように、緊急車両用道路沿いの5箇所で行っている表層傾斜計（クリノポール）の動態観測結果を図2-2に示す。
- ・ 土砂流出斜面の頂部（A箇所）に設置したCP1～CP3のうち、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）が発生した。同じく、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、非常にわずかに斜面変形（クリープ的変形）が累積したことを示している。しかし、雨が止んだ以降はいずれも変動の累積傾向は示されなかった。



図2-1 表層傾斜計（クリノポール）設置位置図

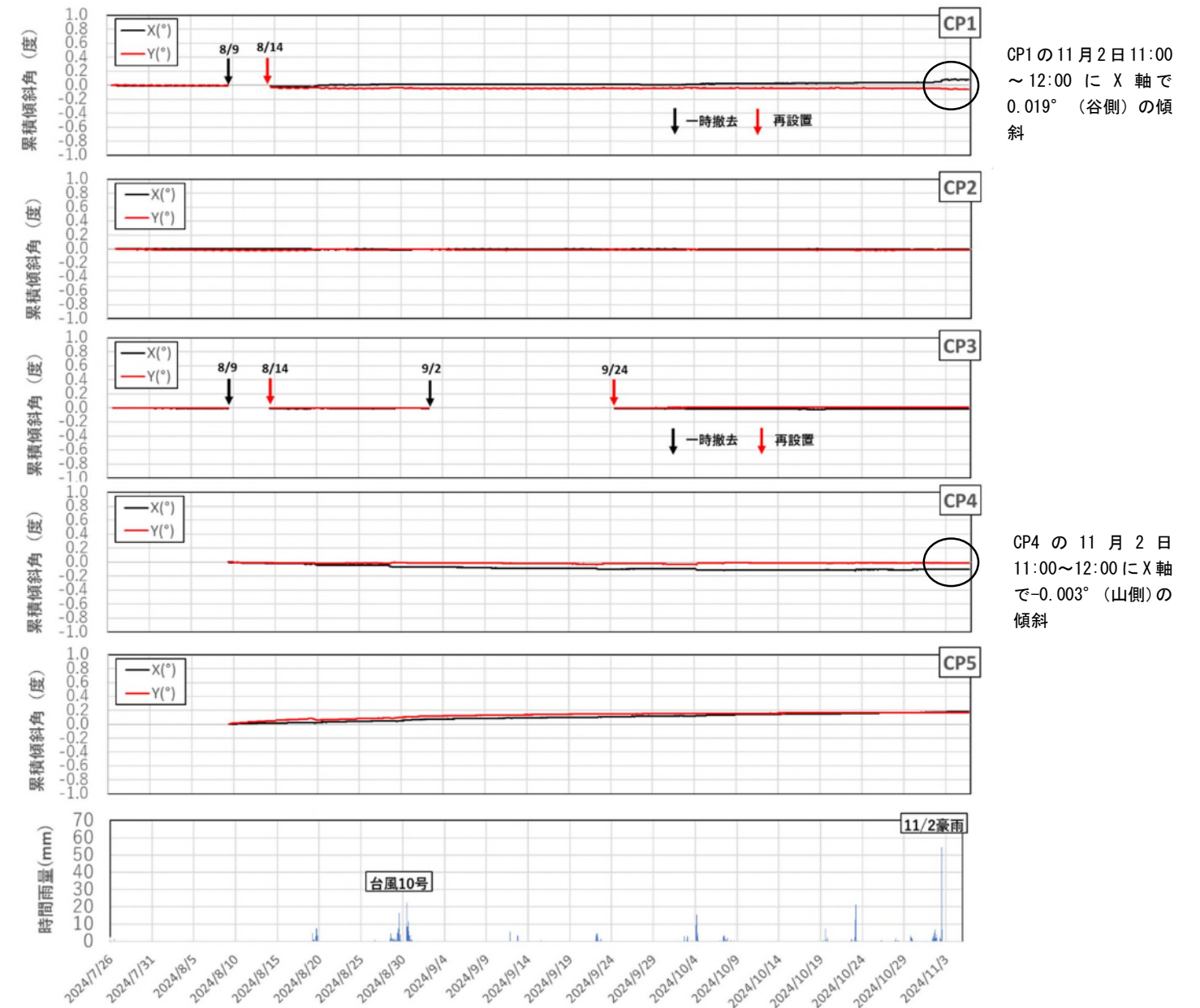


図2-2 クリノポール観測結果（傾斜量経時変化図）：雨量はアメダス松山の観測値による

3. 降雨後の踏査結果

- 降雨後（15:00～：降雨終了後3時間経過後）、応急対策工の効果や上流部上部斜面の湧水状況、緊急車両用道路の排水状況等を把握するため現地踏査を実施した。結果、大型土嚢や土砂流出防止工法（VCCO）に土砂が堆積したが、溪流内に残存する7/12に発生した土砂が降水に伴い再移動したものであり、周辺の斜面等に変状の進行は見られなかった。

(1) 緊急車両用道路の降雨後の状況

- 石垣屈曲部からの流水で水路が越水（写真③）。また、越水した水が未舗装部を流下した跡がある（写真②）。
- 緊急車両用道路（舗装部）に大きな流水跡はなく、変状の進行は見られない（写真④⑤）。

(2) A箇所上流部（上部）斜面状況

- 応急対策が施された斜面に変状拡大なし（写真⑥）。また、一定量以上の湧水が確認された地点の最高地点は、斜面中腹付近であった（切株付近、A箇所B箇所の境界部等；写真⑦）。
- A箇所の表流水総量は30～50L/分程度で、B箇所流下区域からの湧水は20～30L/分程度である（写真⑧）。

(3) 上流部（下部）斜面状況

- 洗堀に伴い幅2m×高さ1m程度の小崩壊が発生。規模が小さく斜面の安定性には影響はないと判断（写真⑨）。

(4) 下流部

- VCCOでは、14:00で約40cmの土砂が堆積。中央部流下部を清掃し、流下範囲を確保した後の16:00の段階では20cm程度の堆積厚となる（写真⑩⑪）。
- 大型土嚢背面は、溪流から流下した土砂（7/12の災害発生時に堆積した土砂が泥濘化）が20～40cm程度堆積（写真⑬⑭）。枝溪流（谷地形E）からの土砂流出は見られなかった。

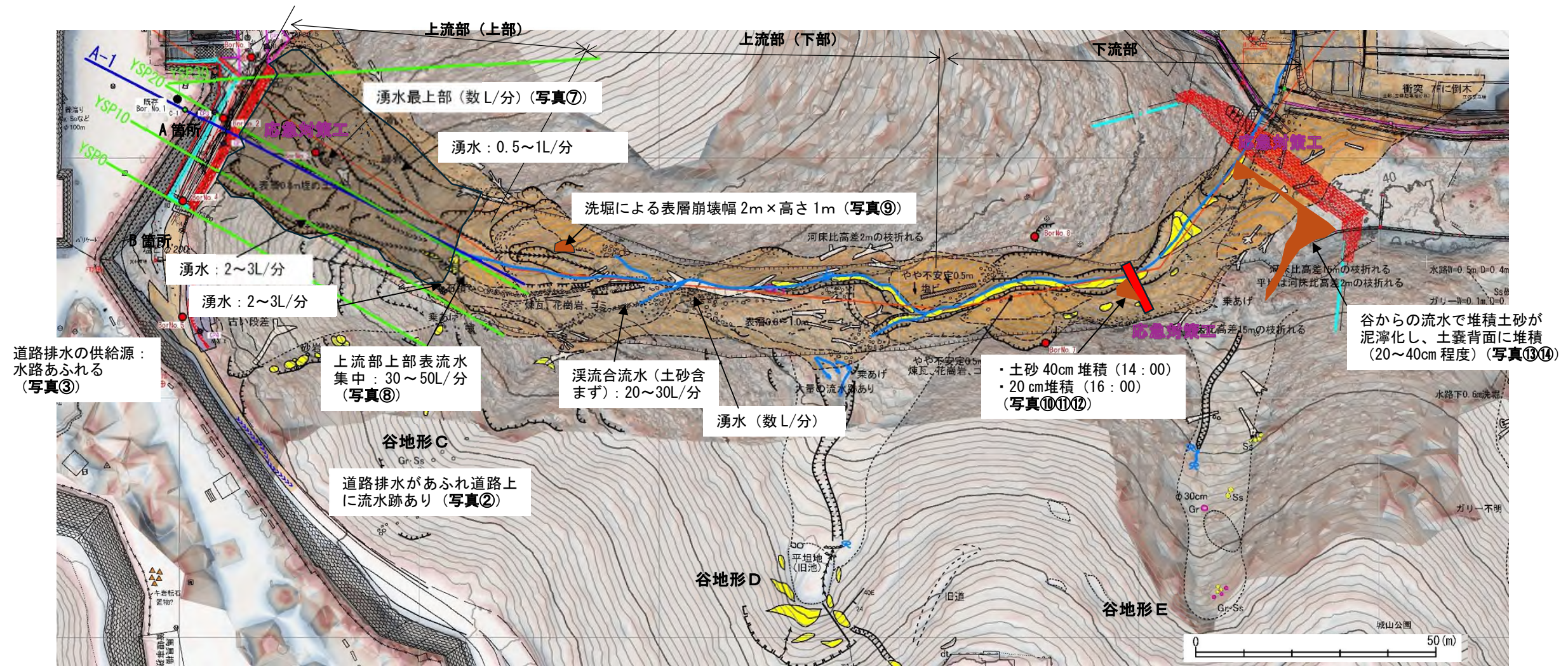


図3-1 11月2日の豪雨後の現地踏査結果



写真① 上流部（上部）全景



写真④ 緊急車両用道路の状況（変状なし）



写真⑦ 上流部上部の最上部湧水箇所（しみだし）



写真② 緊急車両用道路上の流水跡



写真⑤ 緊急車両用道路の状況（変状なし）



写真③ 緊急車両用道路の水路越水管所



写真⑥ 上流部上部斜面状況（変状なし）



写真⑧ 上流部上部の集水管所状況
（斜面内表流水とB箇所流下域合流部からの湧水）

写真 3-1 11月2日の豪雨後の現地踏査結果（現地状況写真①）



写真⑨ 唯一の変状（洗堀による表層崩壊）



写真⑫ 仮設対策工 VCCO の土砂堆積状況（流水部分は土砂撤去し流水確保）



写真⑬ 大型土嚢背面の土砂堆積状況（20 cm程度）



写真⑩ 排水管呑み口につまりはない。



写真⑪ 仮設対策工 VCCO は、14 : 00 で 40 cm の土砂が堆積。
中央部の流水確保作業後 16 : 00（写真）は 20 cm の土砂堆積となっている。



写真⑭ 大型土嚢側部の背面土砂堆積状況（20～40 cm程度）
流出土砂部分に溪流の流水が混ざり泥濁化したもの
溪流からの土砂ではない。

写真 3-2 11月2日の豪雨後の現地踏査結果（現地状況写真②）

【参考】2024年7月12日以前の被害（過去に小規模な土砂流入が原因で冠水が発生）

- ・2024年7月12日の土砂災害以前にも、表流水の流出による冠水被害が発生している。
- ・今後の課題に向けた参考として下記に経緯を整理して示す。
- ・11月2日の豪雨に伴い流出した土砂は、大型土嚢とVCCOにより途中で堆積したため、道路や民家周辺への流出には至っていないが、これらがなければ、2023/7/1のように下流の柵が土砂で閉塞し、冠水したり、道路に直接土砂が流出していた可能性がある。
- ・大型土嚢とVCCOの撤去後の本復旧対策の検討においては、このような土砂流出に対しても考慮する必要がある。

（過去の冠水被害）

（日時）2023年7月1日（2024/7/12の被災時よりも降水量が多い）

（場所）緑町1丁目

（被害状況）排水路や柵が閉塞。越水した土砂と水により道路の一部が冠水（土砂が覆う）。



写真3-3 2023年7月1日の冠水被害（上）原因となった排水管・柵の土砂閉塞状況、復旧工事の様子（下）