

WG2 研究テーマ：事前道路通行規制基準および規制解除に関する検討

目次

1. はじめに.....	1
2. 表層崩壊発生危険度評価手法による安定性評価.....	3
2.1 目的.....	3
2.2 既往資料整理.....	3
2.3 表土層深にかかわる評価.....	10
2.4 表層崩壊危険度評価手法による検討.....	11
2.5 まとめ.....	28
3. 落石危険度評価に関する検討.....	30
3.1 点群データを用いた転石抽出.....	30
3.2 打撃調査による危険度評価.....	38
4. 土砂流出危険度評価に関する検討.....	55
4.1 目的.....	55
4.2 実施計画.....	55
4.3 2020年度の観測.....	57
4.4 2021年度の観測.....	70
4.5 2022年度の観測.....	106
4.6 まとめ.....	110
5. 通行規制基準として土砂災害危険基準線（CL）の導入.....	112
5.1 はじめに.....	112
5.2 土砂災害危険基準線（CL）を用いた規制・解除基準.....	113
5.3 CLを用いた通行規制・解除の適性についての検討.....	115
5.4 まとめ.....	132
6. おわりに.....	134

1. はじめに

神戸市が管轄する異常気象時に通行規制をかける箇所は、図-1.1に示すように、事前通行規制区間として8路線10箇所、六甲有料道路には3路線3箇所の合計11路線13箇所存在する。通行規制基準としては、①120・160・200mm以上/24h、または②直近24h雨量100mm以上かつ30mm以上/hが設定されており、通行規制解除基準としては、降雨後2h経過したのち、パトロールで安全を確認が設定されている。その中で、県道神戸三田線(図-1.1中の⑦)では、道路拡幅工事に伴い、法面保護や落石対策(防護フェンス)を設置するとともに、さらに、一部区間のバイパス(トンネル)工事を行うことで、整備事業完了にあわせて、規制区間の一部解除を目指している。国道における規制区間の解除を検討する際には、対策工事が完了していること、学識経験者らにより安全性が確認されていること、規制降雨を経験し無被災であることの規制解除要件が設定されているが、神戸市ではそのような基準は設定されていない。

また、現行の連続雨量(降り始めからの累積降雨量)で設定された通行規制基準では、通行規制前に斜面災害が発生する「見逃し」や、通行規制実施中に斜面災害が発生しない「空振り」が発生している。その原因の一つに、現行の連続雨量(降り始めからの累積降雨量)で設定された通行規制基準では、斜面崩壊の発生メカニズムにおいて重要である土中の水分量を十分には考慮できていないことが挙げられる。通行規制時間の適正化のためには、降雨中および降雨後の斜面・のり面の(定量的に)土中の水分量を考慮した上で行われることが重要である。

このような背景から、本WG(事前道路通行規制基準および規制解除に関する検討WG)では、表-1.1に示す委員が神戸市が管轄する11路線13箇所全体の規制・解除基準の確立を目指すための前段階として、「規制対象区間で発生しうる土砂災害の危険度評価手法」ならびに「新たな通行規制基準として土砂災害危険基準線(CL)の導入」について検討するため、下記の4つを研究テーマとして活動を2019年度から行ってきた。

- 1) 「表層崩壊」に対する危険度評価
 - 2) 「落石」に対する危険度評価
 - 3) 「土砂流出」に対する危険度評価
 - 4) 通行規制基準として土砂災害危険基準線(CL)の導入
- 次章以降に、これまでに得られた検討結果について報告する。

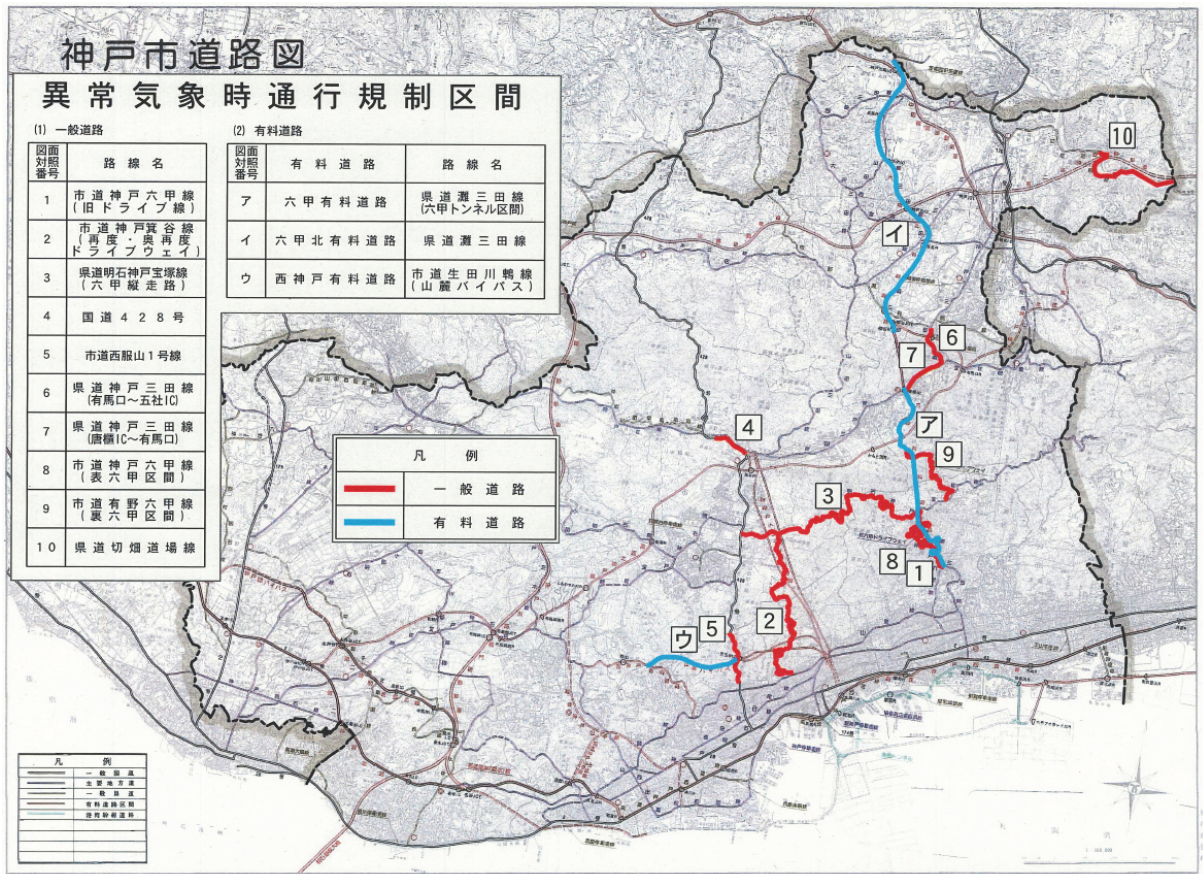


図-1.1 神戸市管轄の異常気象時通行規制区間

表-1.1 通行規制検討WGの委員構成

No.	団体名	部署	委員	備考
1	株式会社 ケーティービー	大阪営業所	小松 晃二	
2	サンコーコンサルタント(株)	大阪支店	中村 静也	
3	サンコーコンサルタント(株)	大阪支店	辻野 裕之	
4	国際航業株式会社	公共コンサルタント事業部	渡辺 隆吉	
5	国際航業株式会社	公共コンサルタント事業部	小泉 和也	
6	国土防災技術株式会社	技術本部 第二技術開発センター	土佐 信一	
7	神戸市立工業高等専門学校	都市工学科	鳥居 宣之	WGリーダー
8	近畿大学	理工学部	河井 克之	
9	一般財団法人 地域地盤環境研究所	地盤情報グループ	藤原 照幸	WG幹事
10	国際航業株式会社	公共コンサルタント事業部	原口 勝則	
11	国際航業株式会社	公共コンサルタント事業部	村田 叔充	
12	国際航業株式会社	公共コンサルタント事業部	笠原 拓造	
13	復建調査設計株式会社	大阪支社	小田 高幸	
14	株式会社ダイヤコンサルタント	関西支社 地質・防災部	鏡原 聖史	
15	応用地質株式会社	関西事務所	小松 慎二	
16	株式会社エイト日本技術開発	関西支社 防災保全部	藤原 康正	
17	株式会社パスコ	中央事業部 技術センター	西川 大亮	

2. 表層崩壊発生危険度評価手法による安定性評価

2.1 目的

神戸三田線規制区間の道路法面上部には、崖錐層が広く分布しており、豪雨時の表層崩壊の発生が懸念される。表層崩壊発生の可能性について、簡易貫入試験による表土層計測結果を用いて、無限長斜面安定解析に基づく表層崩壊発生危険度評価手法により安定性の評価を行い、追加対策工の検討を行うことを目的とする。

2.2 既往資料整理

箇所別土砂災害危険度予測システムにおける危険箇所ならびに 1mDEM を用いた地表面流の流下しやすい場所の整理がなされている。

(1) 既往資料収集整理

既往の現地資料によると、当該箇所は有馬層群流紋岩質溶結凝灰岩、花崗斑岩（貫入岩）および崖錐堆積物が分布しているとされている（図-2.2.1 参照）。現地踏査においても角礫が広く分布していることが確認されている。

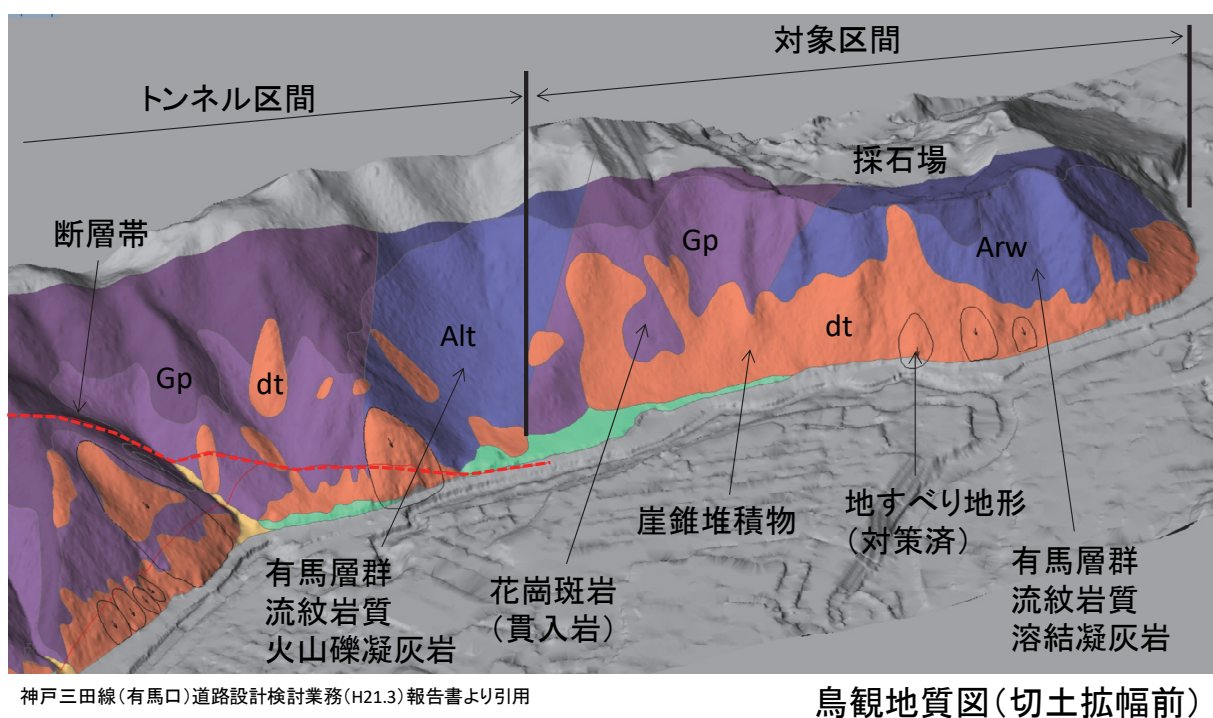


図-2.2.1 調査地の地質（切土拡幅前）（既往報告書より）

当該箇所では、箇所別土砂災害危険度予測システムが整備され、運用されている。箇所別土砂災害危険度予測システムは、表層崩壊の危険評価手法の1つである沖村・市川モデル¹⁾を用いたものである。沖村・市川モデル¹⁾は、日本で多発する表層崩壊の発生に影響を及ぼすと考えられる要因である傾斜、集水性、表土層深分布の3つの要因を同時に考慮して広域を対象として表層崩壊の発生危険度を評価することがで

きる手法として広く知られている。このモデルでは、地下水位およびその他の地形要因、土質要因等を入力条件として、数値標高モデル（DEM）上の各格子上（単位格子と称する）において（図-2.2.2 参照）、有効応力法による無限長斜面安定解析を行い、すべての単位格子を対象にその発生危険度を評価する手法である。

沖村・市川¹⁾の評価手法で用いられる無限長斜面安定解析式は次式である。

$$Fs(t) = \frac{C_s + A(t) \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \varphi}{B(t) \sin \beta \cdot \cos \beta} \quad (2.1)$$

$$A(t) = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot h(t) + \gamma_t \cdot (H - h(t)) \quad (2.2)$$

$$B(t) = \gamma_{sat} \cdot h(t) + \gamma_t \cdot (H - h(t)) \quad (2.3)$$

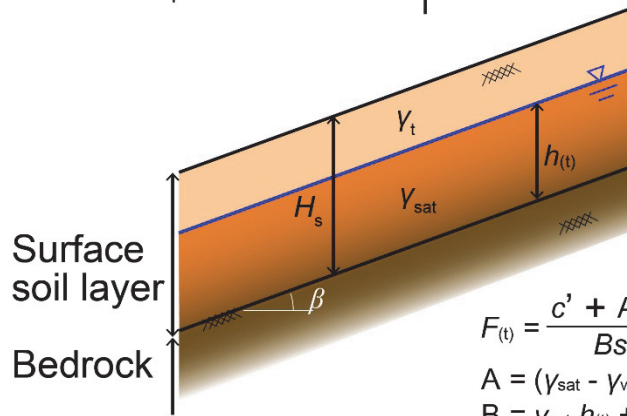
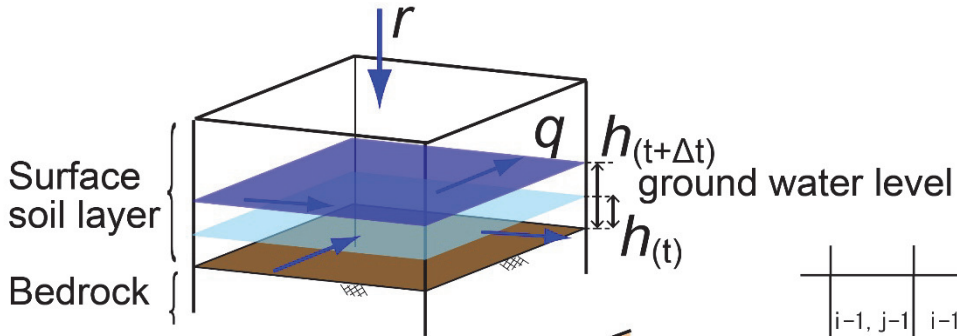
ここで、 $Fs(t)$ ： t 時間における安全率、 H ：基岩面からの表土層深（m）、 $h(t)$ ： t 時間における基岩面からの地下水位（m）、 C_s ：土の粘着力（kN/m²）、 φ ：土の内部摩擦角（°）、 γ_{sat} ：土の飽和単位体積重量（kN/m³）、 γ_t ：土の湿潤単位体積重量（kN/m³）、 γ_w ：水の単位体積重量（kN/m³）、 β ：斜面勾配（°）である。

この沖村・市川モデルが神戸市域を対象にモデル化され、リアルタイムで気象庁の雨量を入力し、土砂災害危険度予測²⁾が行われている。

図-2.2.3 は、神戸市域で土砂災害が発生した平成 26 年 8 月ならびに平成 30 年 7 月の豪雨時に斜面崩壊が発生すると判定された箇所を示している。この図に示すように通行規制区間の斜面において、複数箇所で崩壊の危険性が高まった状態であった可能性がある。ただし、このシステムでは、これまでの崩壊実績をもとに、地質ごとに地表面傾斜角と表土層深さを整理して、広域の表土層深さを推定している（図-2.2.4 参照）。そのため、当該箇所も地表面傾斜角から表土層深が推定されている。より高い精度で崩壊発生危険度を評価するためには、この表土層深を調査することが必要である。特に、このシステムで危険と判断された箇所の表土層深を調査することが重要である。

つぎに、斜面上部に人工改変地が認められる。六甲山では、人工改変地（宅地や道路など）付近での崩壊が多発し、その原因は地表面を流下した水の影響の可能性が高いとの報告³⁾がなされている。また、1mDEM を用いた水系網と崩壊箇所の検討が行われた事例⁴⁾を参考に、当該箇所における水系網図を作成した（図-2.2.5 参照）。この図から斜面上部の人工改変地から道路側の斜面に流入する明瞭な流れはほとんどないことがわかる。また、斜面内では地表面流が集中する場所が複数箇所確認できる。

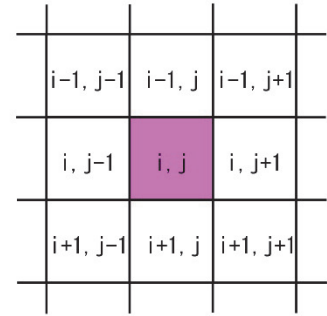
Groundwater level estimation model



$$F_{(t)} = \frac{c' + A \cos^2 \theta \tan \varphi}{B \sin \theta \cos \theta}$$

$$A = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) h_{(t)} + \gamma_t (H_s - h_{(t)})$$

$$B = \gamma_{\text{sat}} h_{(t)} + \gamma_t (H_s - h_{(t)})$$



Digital elevation model

Infinite slope stability analysis model

図-2.2.2 沖村・市川モデル¹⁾の概念図

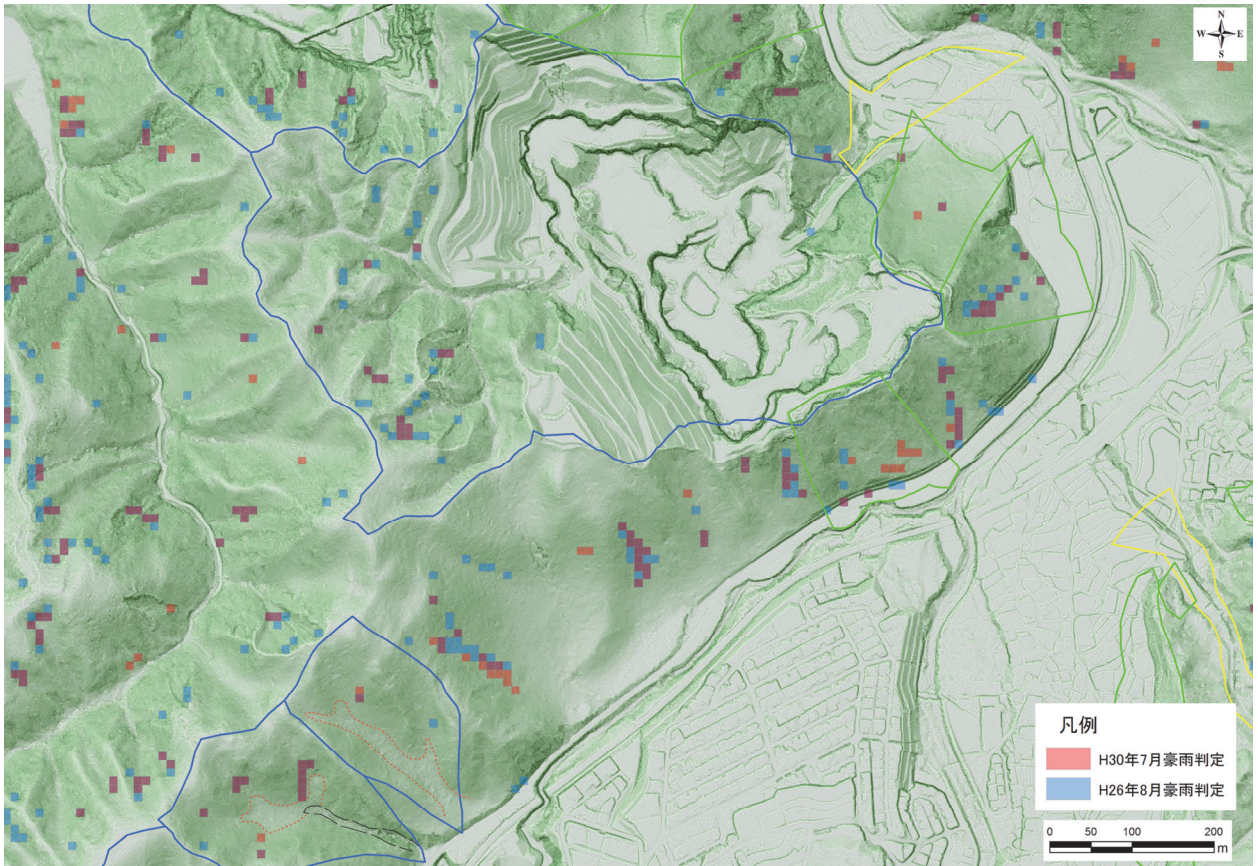


図-2.2.3 平成26年8月ならびに平成30年7月の豪雨時に斜面崩壊が発生すると判定された箇所

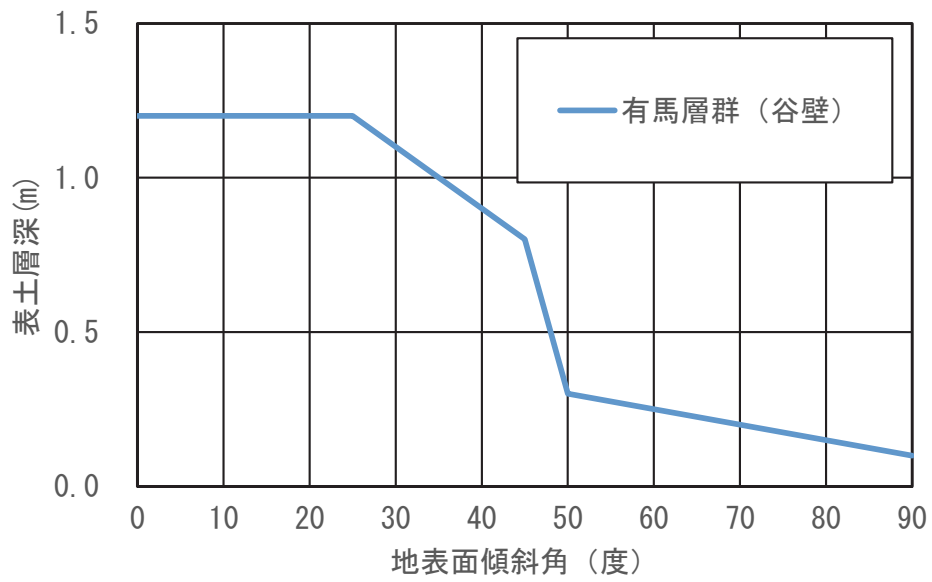


図-2.2.4 地表面傾斜角と表土層深の関係

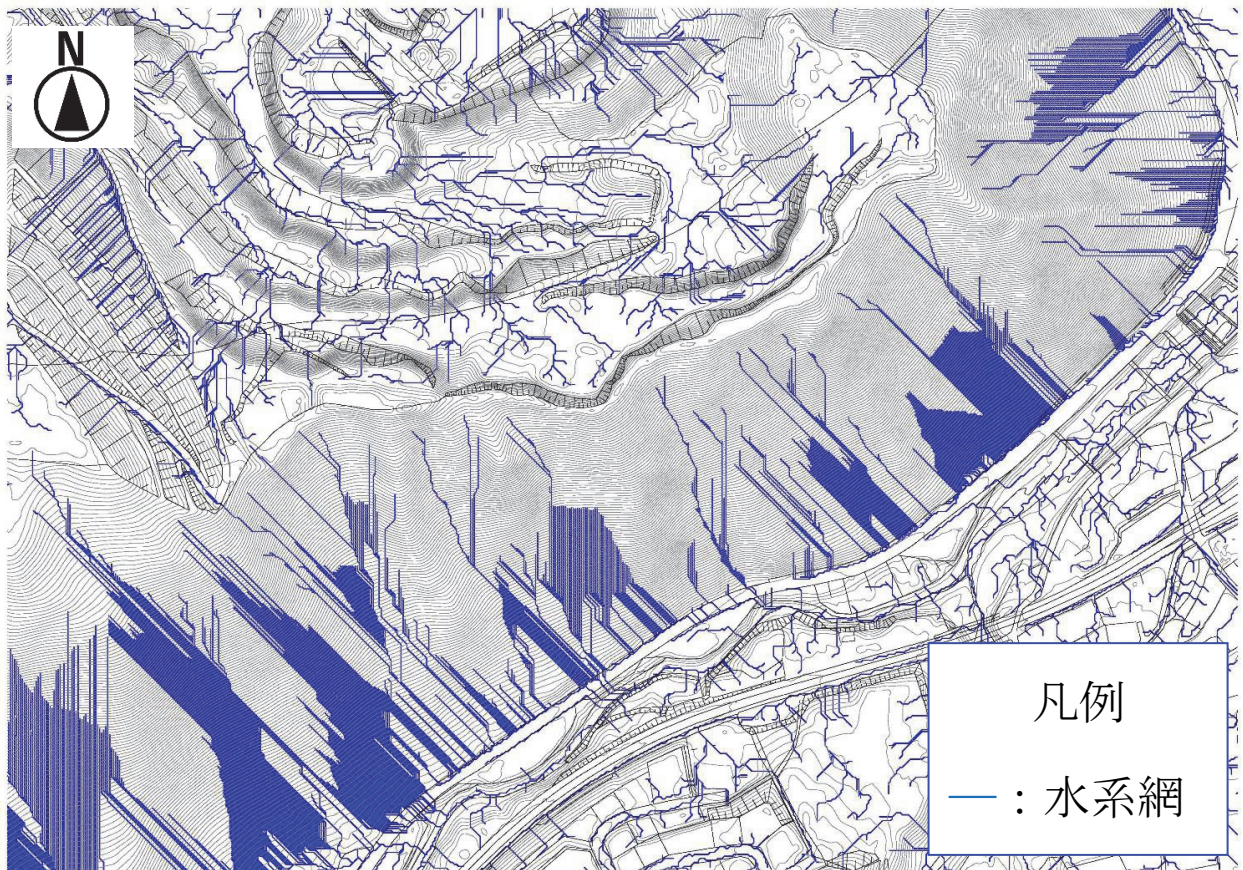


図-2.2.5 1mDEMを用いて作成した水系網図 (H24年撮影LPより作成)

(2) 調査結果

調査は、表土層深を把握することを目的として実施した。特に、当該斜面地の表層崩壊の危険性を把握するために、箇所別土砂災害危険度予測システムにおいて、平成26年8月ならびに平成30年7月の豪雨時に斜面崩壊が発生すると判定された箇所周辺の表土層深を把握すること、さらに、1mDEMを用いて作成した水系網図と重なる箇所においても表土層深を把握することとして実施した。

調査は、表土層深を把握するために、斜面地における表土層深さの調査で適用されることが多い、簡易動的コーン貫入試験が実施されている。簡易動的コーン貫入試験の方法について、以下に示した。

簡易動的コーン貫入試験は、図-2.2.6に示すとおりである。

ノッキングヘッドにガイドロッドと、先端に直径30mmのコーンを取り付けたロッドを取り付ける。重さ5kgのウェイトの下面がノッキングヘッド上面より500mmの所にくるように持ち上げ、ガイドロッド沿いにウェイトを自由落下させる。

この操作を繰り返し、コーンが10cm程度貫入するまでウェイトの落下を続け、その時のコーン貫入深度と打撃回数を記録する ($N_d = \text{打撃回数} / \text{貫入量} \times 10$)。

なお、本調査は、表層崩壊の土層厚を把握することを目的としているため、沖村ら⁵⁾や国土技術政策総合研究所⁶⁾の N_d 値を参考に、調査終了深度は $N_d \geq 30$ を目安とし、最大調査深度は5mとした。

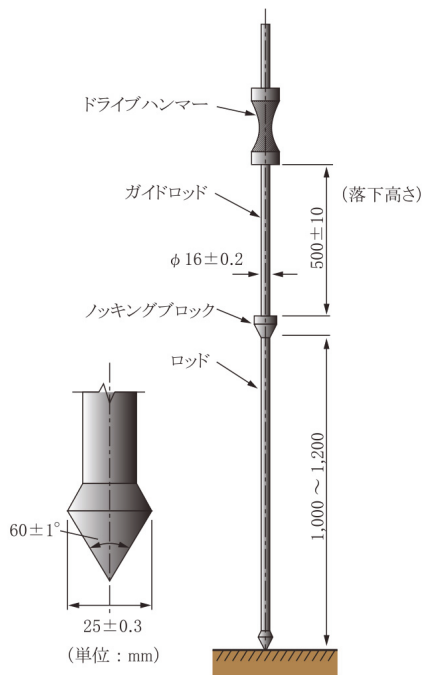


図-2.2.6 簡易動的コーン貫入試験模式図⁷⁾

簡易動的コーン貫入試験実施箇所は、図-2.2.7 に示すように、危険箇所が分布している箇所ならびに浮石調査時に実施された箇所の全 30 箇所で実施した。

図-2.2.8 に簡易動的コーン貫入試験の代表的な結果と作業状況を示した。この図に示すように地表から 80cm 程度まで $N_d \leq 20$ の土層が分布している状況が確認できる。

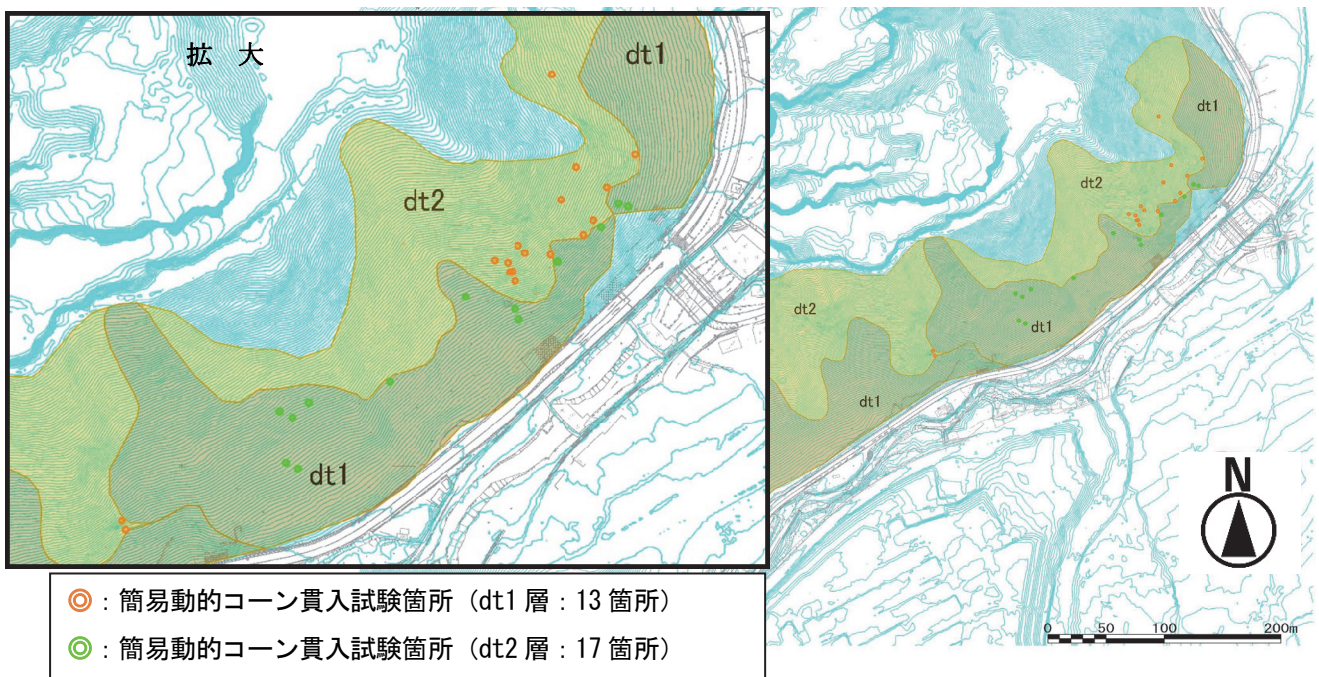


図-2.2.7 簡易動的コーン貫入試験実施箇所

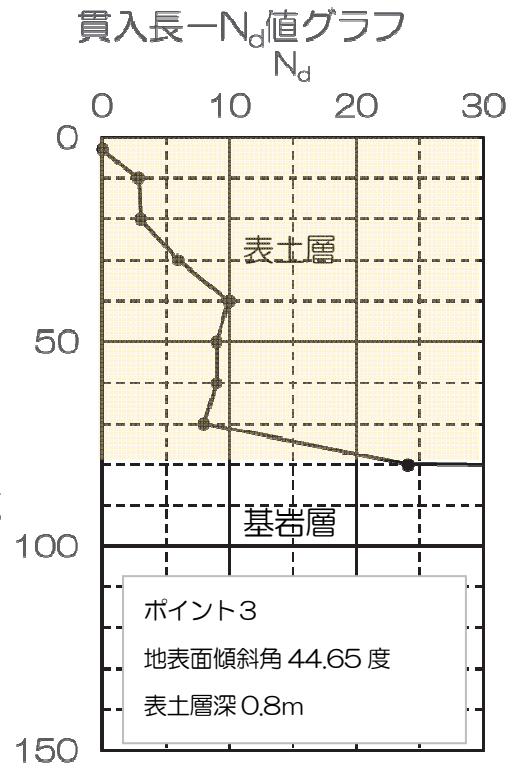


図-2.2.8 簡易動的コーン貫入試験実施状況ならびに代表的な結果

2.3 表土層深にかかわる評価

試験の結果で示したように $N_d \leq 20$ の土層が分布しており、既往の文献などから $N_d \leq 20$ の土層が崩壊しやすいとの報告があることから、表土層は、 $N_d \leq 20$ の土層の深さとして整理した。また、試験箇所的位置情報をもとに 10mDEM における地表面傾斜角を算出して、表土層深と地表面傾斜角の関係として整理した。その結果を図-2.3.1 に示した。この図より一部深い箇所もあり、ばらつくものの箇所別土砂災害危険度予測システムで想定されている表土層深と、地表面傾斜角の関係と概ね整合する結果が得られた。さらに dt1 , dt2 に分けて見てみると、dt1 は、35 度から 40 度程度で表土層深が小さくなっていること。dt2 は、40 度から 45 度程度で表土層深が小さくなっていることがわかる。傾斜 35 度から 45 度では dt2 の方が、dt1 より表土層深が大きいことから、現地における堆積状況とも一致する。このことから、現在運用されている箇所別土砂災害危険度予測システムのモデルの表土層深をさらに細分化して、表土層深を設定することにより、当該箇所に適した表層崩壊の危険度の評価が可能であると考えられる。

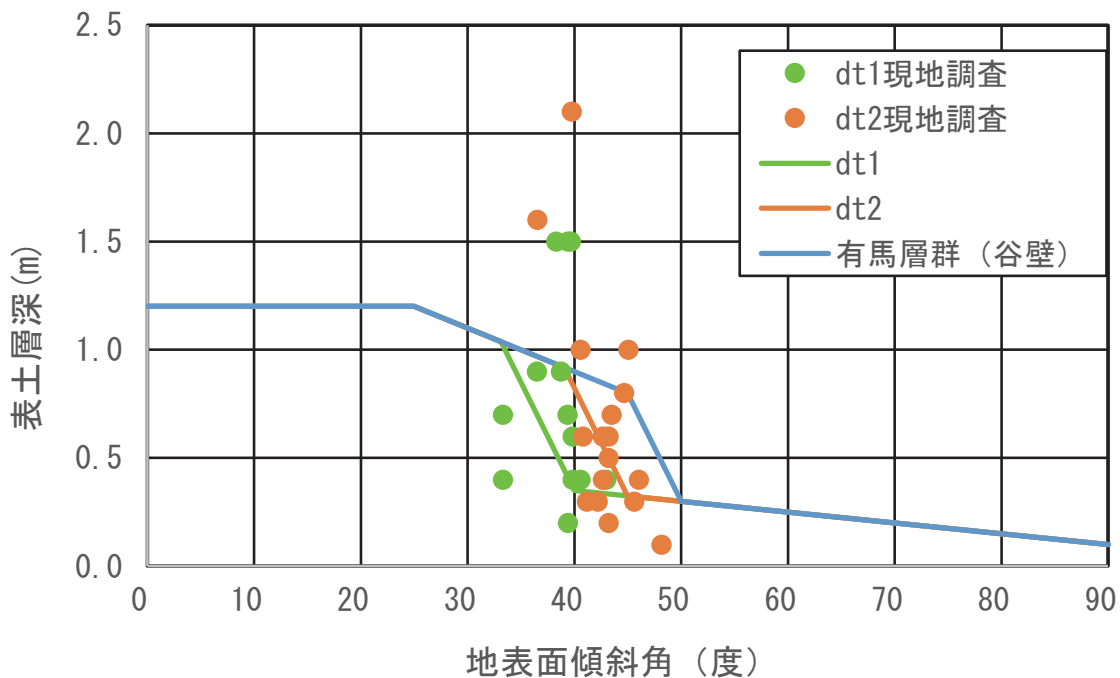


図-2.3.1 地表面傾斜角と表土層深の関係に現地調査結果をプロット

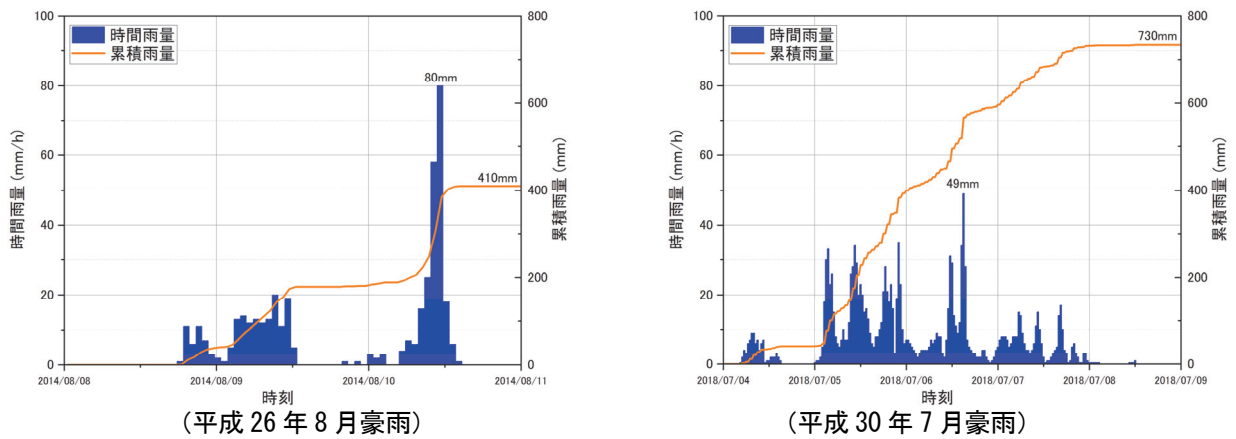
2.4 表層崩壊危険度評価手法による検討

(1) 沖村・市川モデルを用いた表層崩壊危険度評価

表層崩壊危険度評価として、先に述べた沖村・市川モデルを用いて、神戸市域で土砂災害が発生した平成26年8月豪雨と平成30年7月豪雨時の危険度評価を行った。ここで、計算モデルは、神戸市域を対象にモデル化されたものをベースとして、表土層深を当該箇所の表層地質区分ならびに調査結果に基づき入力した。以下に検討した入力条件、計算の結果について示した。

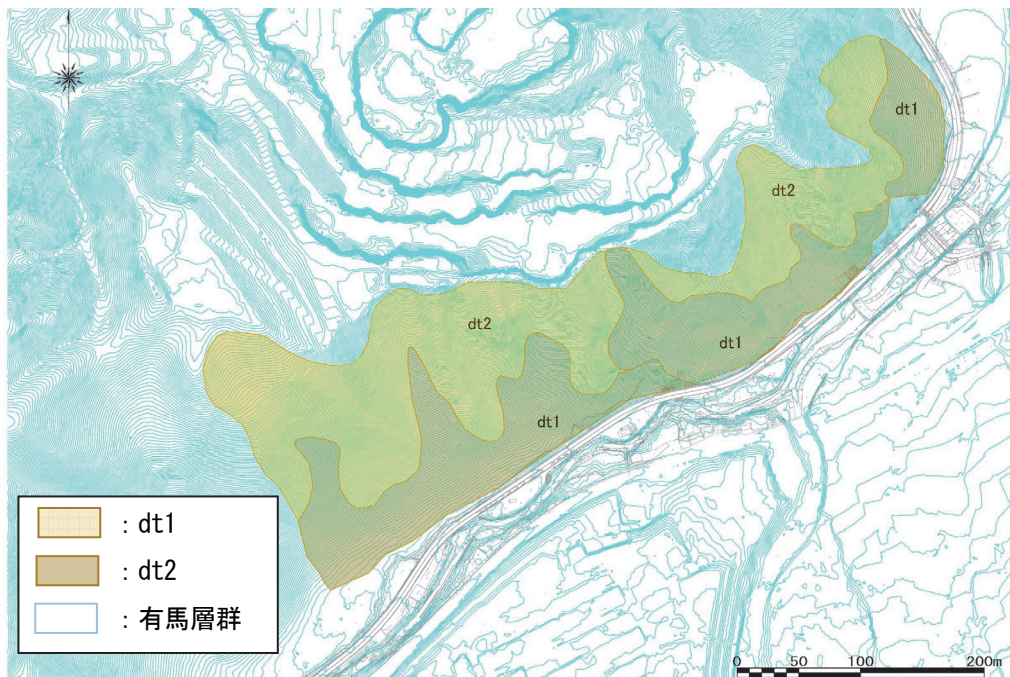
1) 降雨条件

降雨は、1kmメッシュの解析雨量で、図-2.4.1に示す2つの降雨イベントとした。



2) 表層地質区分図

当該箇所の表層地質区分は、既往の調査結果に基づき、図-2.4.2に示すように有馬層群、dt1、dt2の3つに区分した。



3) 表層土層深

当該箇所を表層土層深は、調査結果に基づき、図-2.4.3 に示すように有馬層群、dt1、dt2 の3つに区分し、地表面傾斜角に応じてモデルに表土層深を設定した。

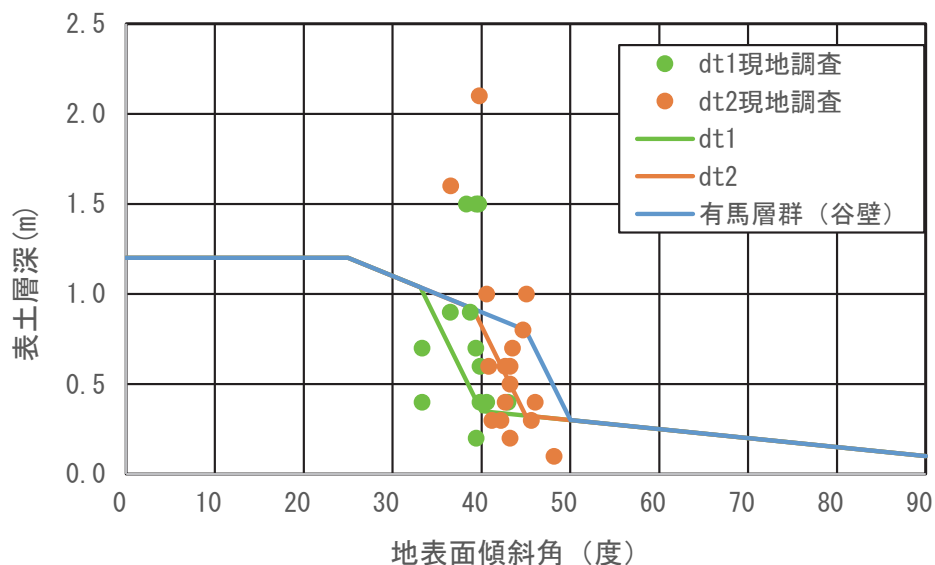


図-2.4.3 地表面傾斜角と表土層深

4) 地盤物性条件

地盤物性条件は、dt1、dt2、風化した有馬層群で単位体積重量やせん断強度が異なることが予想されるが、当該箇所における地盤材料の室内試験を行っていないことから、神戸市域を対象にモデル化されものをベースに表-2.4.1のように設定した。また、透水係数は、図-2.4.4に示すとおりとした。

表-2.4.1 地盤物性値

	数値	単位
単位体積重量	16	kN/m ³
飽和単位体積重量	19	kN/m ³
粘着力	5	kN/m ²
内部摩擦角	32	°
空隙率	0.35	
透水係数(斜面)	0.056	cm/s
透水係数(溪流側壁斜面)	0.112	cm/s
透水係数(溪流(0次谷))	0.28	cm/s

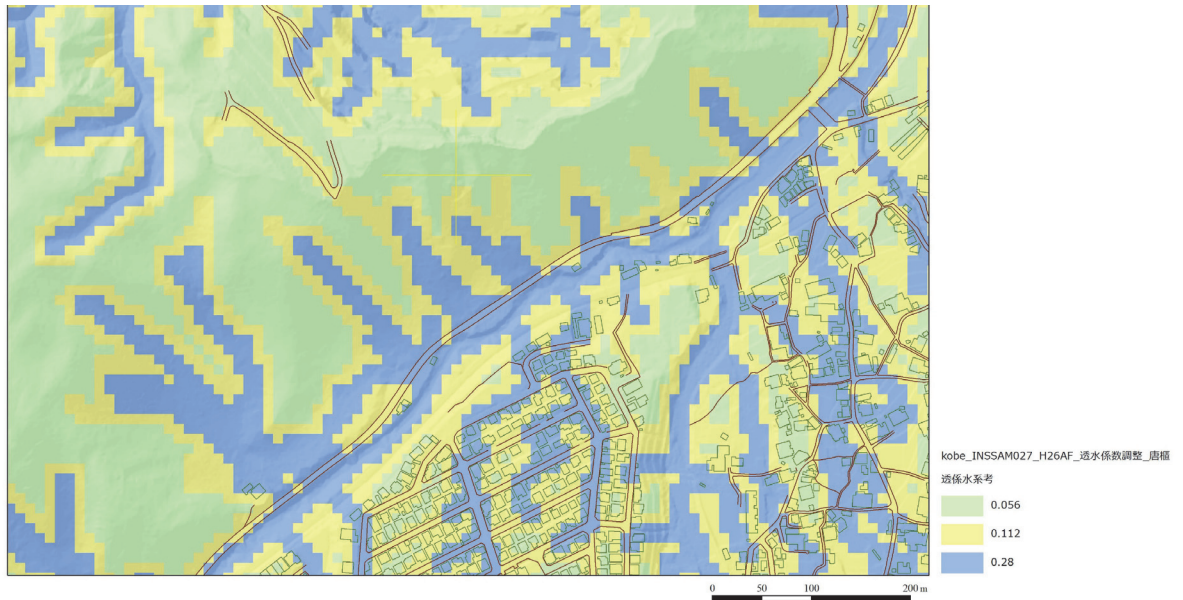


図-2.4.4 透水系数の設定区分

5) 計算結果

・平成26年8月豪雨

平成26年8月豪雨における危険箇所（安全率1.0）を図-2.4.5に示した。dt2と有馬層群の箇所わずかに危険箇所が確認できる。

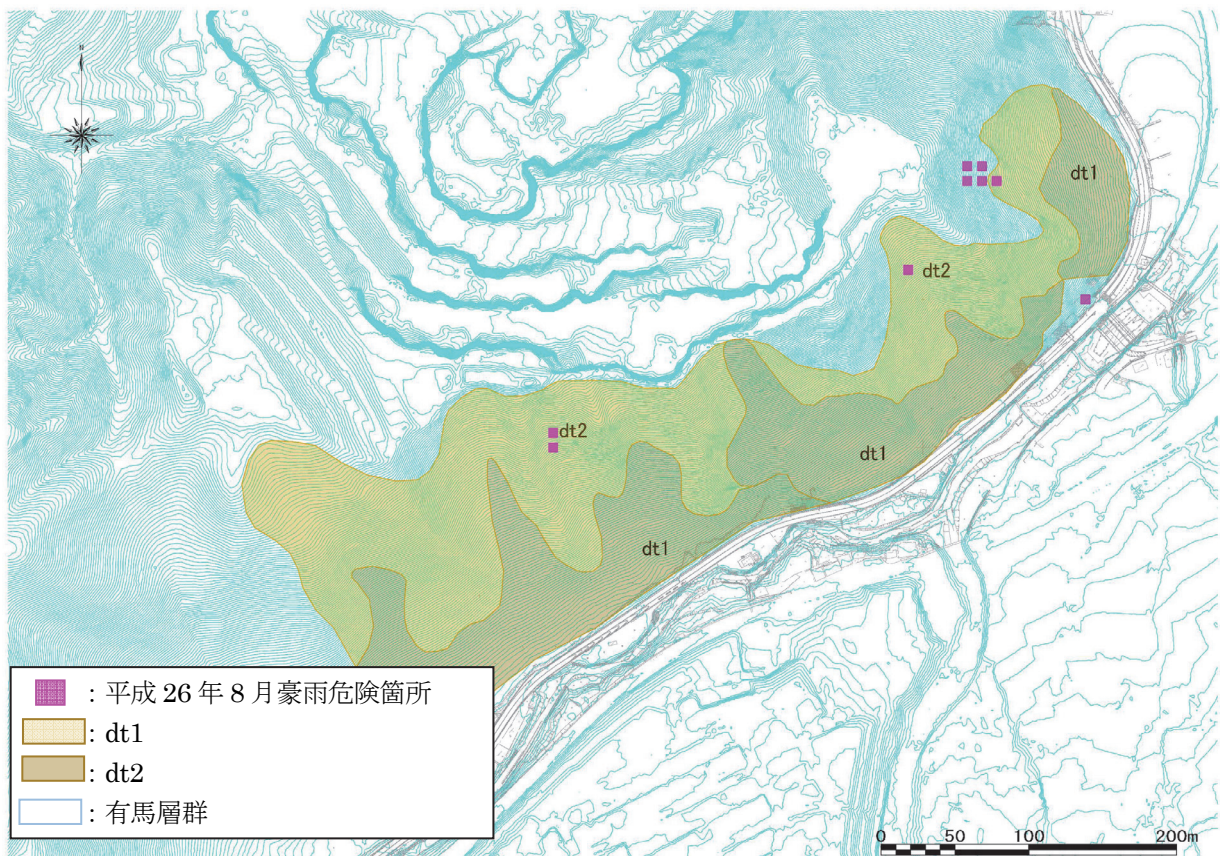


図-2.4.5 平成26年8月豪雨時の表層崩壊危険箇所

・平成30年7月豪雨

平成30年7月豪雨における危険箇所（安全率1.0）を図-2.4.6に示した。dt2と有馬層群の箇所で危険箇所が確認できるが、斜面全体として、危険箇所はほとんどない。平成26年8月豪雨の危険箇所と比較して、危険箇所が少ない。

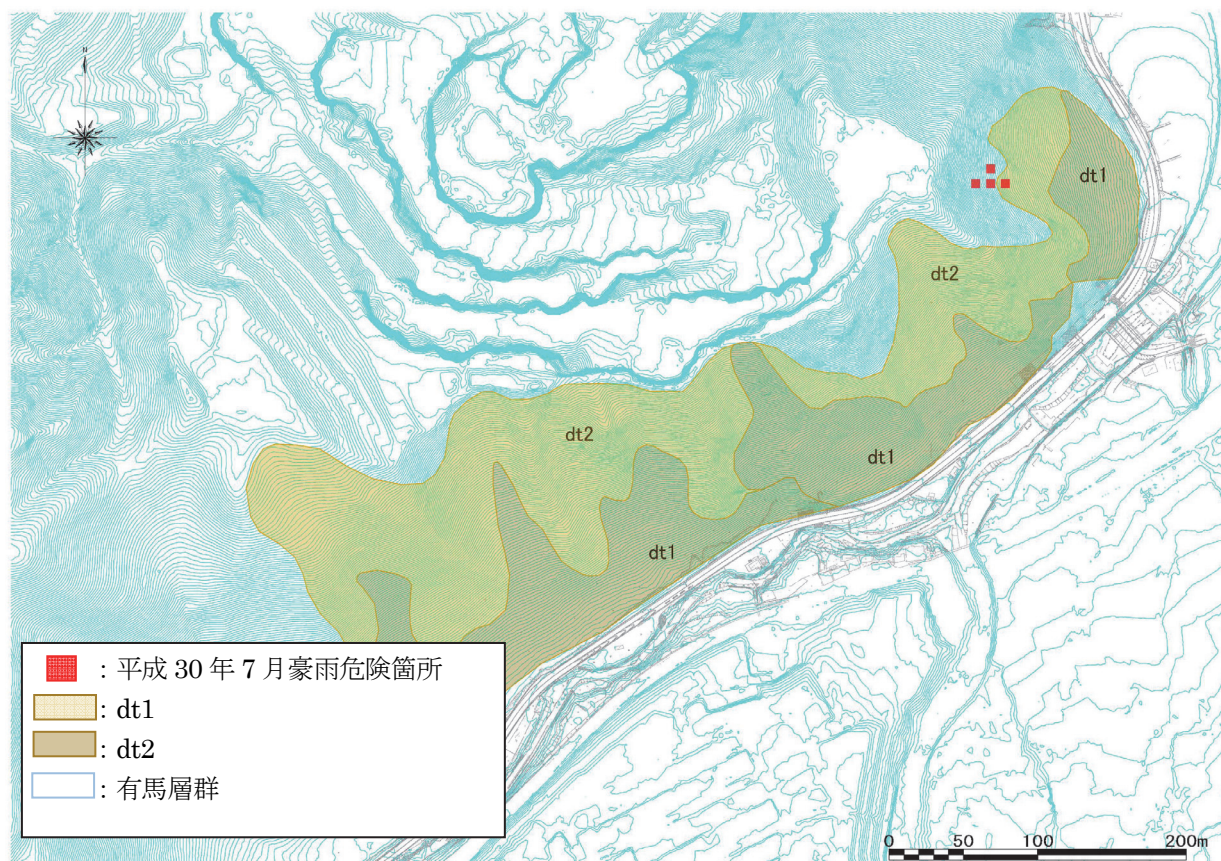


図-2.4.6 平成30年7月豪雨時の表層崩壊危険箇所

(3) 既往降雨による当該表層崩壊危険度の評価

既往資料，現地調査結果などにに基づき，当該箇所を対象に表層崩壊危険度評価を実施した結果，平成 26 年 8 月豪雨による表層崩壊危険箇所は 4 箇所，平成 30 年 7 月豪雨による表層崩壊危険箇所は 1 箇所であった。この箇所は，既往の現地踏査結果から不明瞭であるが滑落崖があり，比較的危険な箇所と評価できる。また，現在は，碎石場の地形改変によって，図-2.4.8 に示すように斜面高さが低くなり，斜面自体が消滅しており，危険箇所への集水性も低くなっていると考え，実際崩壊していない結果とも整合しており，妥当な結果であると判断できる。また，道路近傍における危険箇所は，現在拡幅工事で切土やのり面対策が実施されているところである。

また，斜面内に確認されているガリー浸食箇所と 1mDEM で作成した水系網がよく一致していた。このことから 1mDEM で作成した水系網は，現地地形から地表面流の流下経路を知るひとつの方法と考えられ，地表面流が集中する場所が事前に確認でき，現地点検時や斜面維持管理時における着目箇所の抽出手法として利用できる考える。

ここで整理したモデルをもとに，事前通行規制基準降雨を複数パターン入力して，表層崩壊危険度の評価を行い，規制基準雨量の緩和に資する基礎資料の整理を進めた。

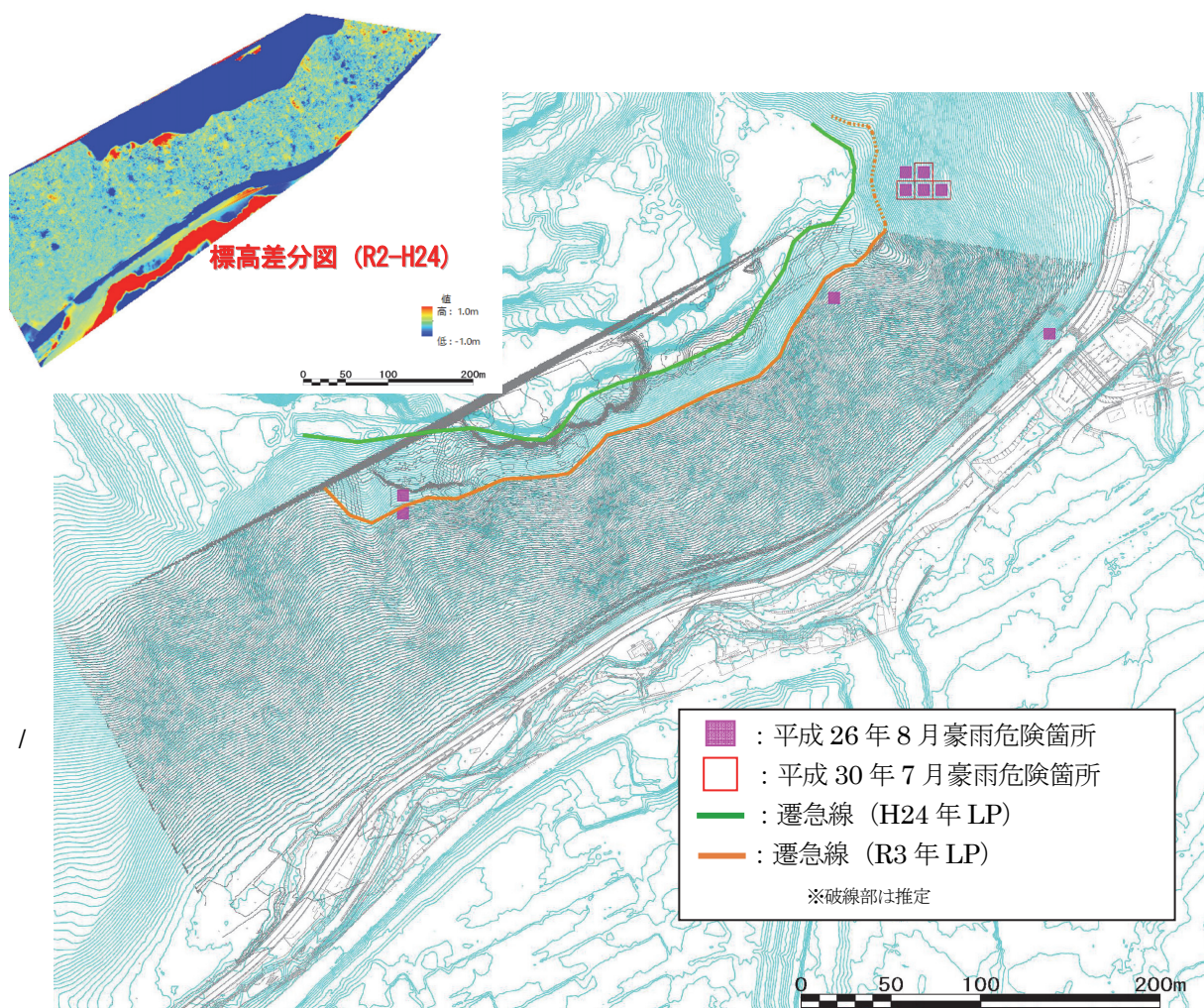


図-2.4.8 平成 24 年地形計測データと令和 2 年地形計測データとの比較

(4) 想定通行規制雨量による検討

平成 24 年の地形データをもとに検討を進めてきたが、令和 2 年に実施した一部の地形計測結果を考慮して、想定通行規制降雨を入力したシミュレーションを行った。

1) 地形改変について

斜面上部の採石場の影響で、斜面高さが低くなっており、これにより、斜面内の集水面積が小さくなっている。この影響を考慮するために、R2 年の LP 測量データから水系網図を作成し、水系網図より斜面方向に流水が流れる境界線を作成した。なお、斜面東部は R2LP 測量範囲外のため、H24 コンター沿いに推定境界線として作成した。その後、図の赤セルを構成する 4 点の標高を 0m と仮定して道路側の計算領域に雨水、浸透水が流下しないように INSSAM 計算上の地形条件とした (図-2.4.9 参照)。

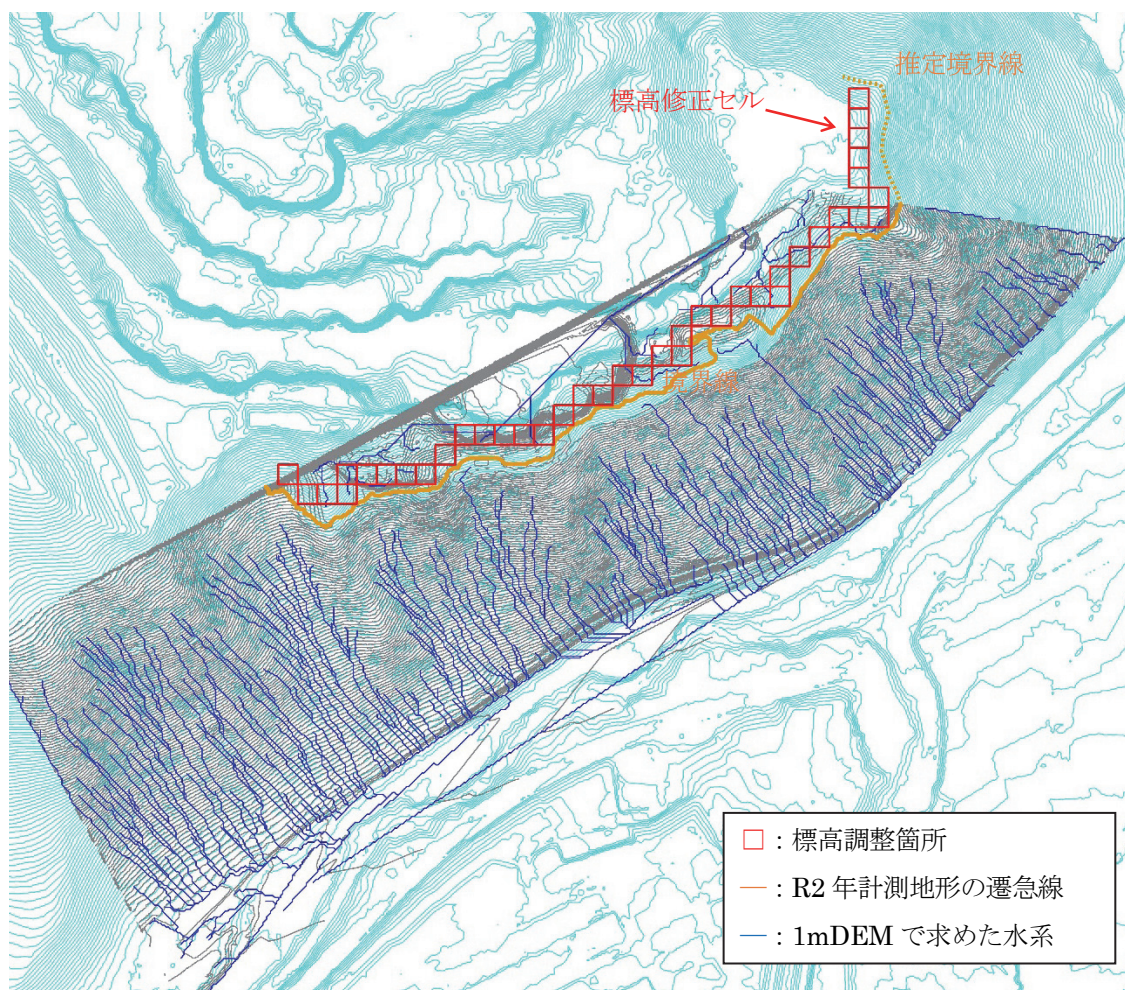


図-2.4.9 INSSAM 計算上の地形条件

この処理を行い、再度 H26 年、H30 年豪雨における INSSAM の再計算を行った (図-2.4.10, 図-2.4.11 参照)。集水面積が小さくなったことで斜面内の危険判定セルはほぼ無くなった。ただし、地形は H24 年 DEM データの一部を R2 年データの結果を基に置き換えているため、H26 年、H30 年当時の地形条件を正確に再現できているわけではない。

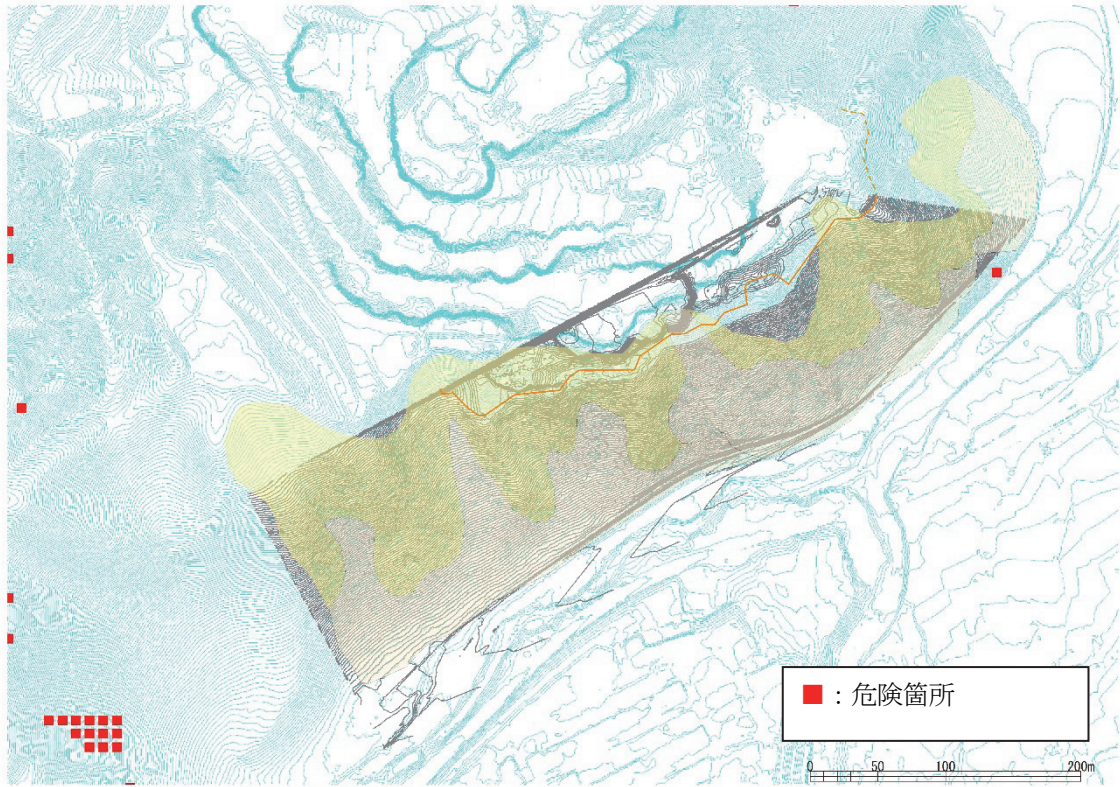


図-2.4.10 H26年再計算結果（地形修正後）

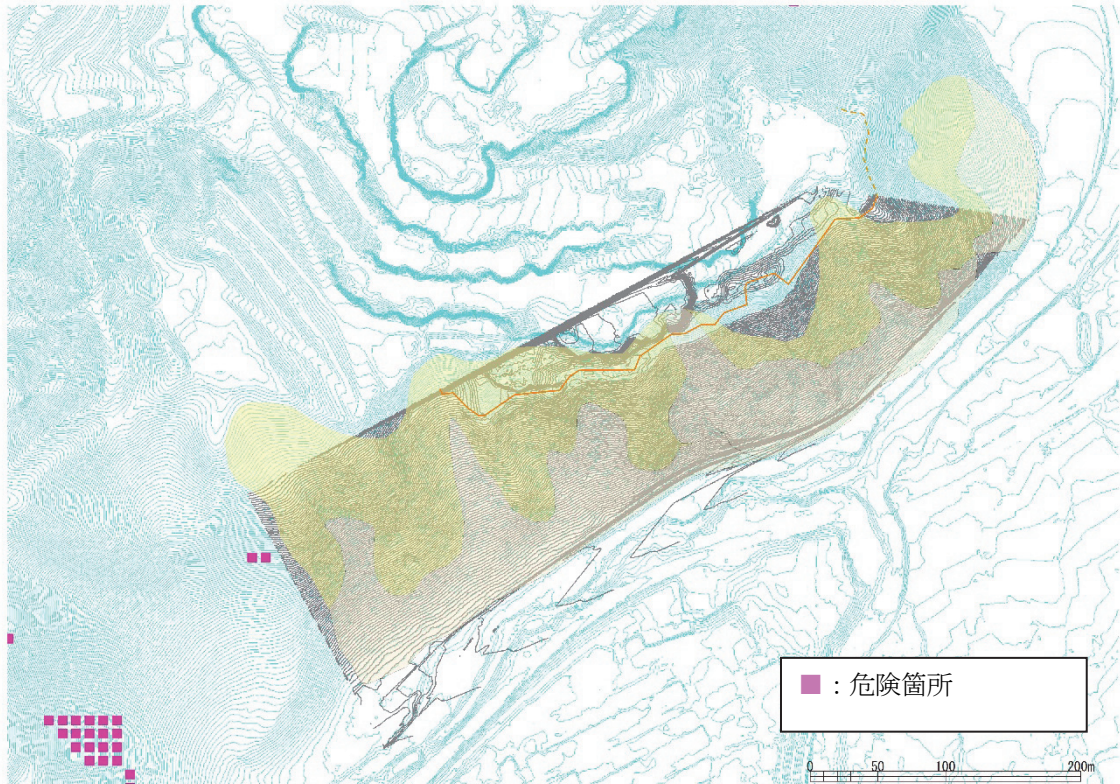


図-2.4.11 H30年再計算結果（地形修正後）

2) 規制雨量

神戸市は、県道神戸線（唐戸 IC～有馬口）の通行規制を以下の様に規定している。

通行注意基準雨量	：24 時間の降雨量が 100mm 以上のとき
通行止基準雨量	：24 時間の降雨量が 160mm 以上のとき または、前期降雨*があり、1 時間の降雨量が 30mm 以上のとき
規制解除基準	：降雨後 2 時間以上経過し、特に異常現象が視認されないとき

※前期降雨は『直近の 24 時間雨量が 100mm 以上の場合』としている。

通行止基準雨量時の安定性、およびそれを超過したときの安定性を、降雨を仮定して計算した。
検証降雨条件パターンは以下の通りとした。

- ① 160mm/24h
- ② 100mm/12h+30mm/h
- ③ 400mm/24h (30 年確率)
- ④ 450mm/24h (30 年確率)
- ⑤ 400mm/24h+50mm/h (30 年確率)
- ⑥ 300mm/24h (実降雨に近い分布)
- ⑦ 400mm/24h (実降雨に近い分布)

シミュレーション降雨と計算の結果を次ページ以降に示した。シミュレーションの結果、規制雨量以下では、表層崩壊の危険箇所はない結果であった。30 年確率降雨程度の降雨の場合（中央集中型で最大時間雨量が大きい）では、表層崩壊の危険箇所が 14 箇所（今回の検討結果の最大）であった。

3) シミュレーション結果

① 160mm/24h

シミュレーション降雨（160mm/24h）の場合，崩壊危険箇所はない。

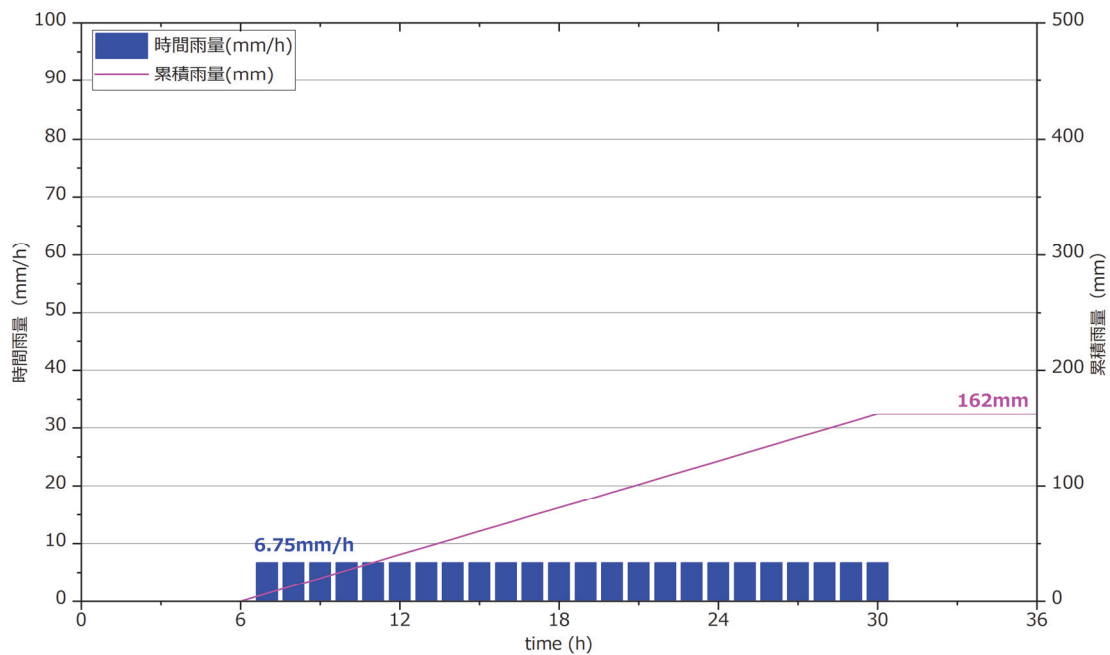


図-2.4.12 シミュレーション降雨（160mm/24h）



図-2.4.13 計算結果（160mm/24h）

② 100mm/12h+30mm/h

シミュレーション降雨（100mm/12h+30mm/h）の場合、崩壊危険箇所はない。

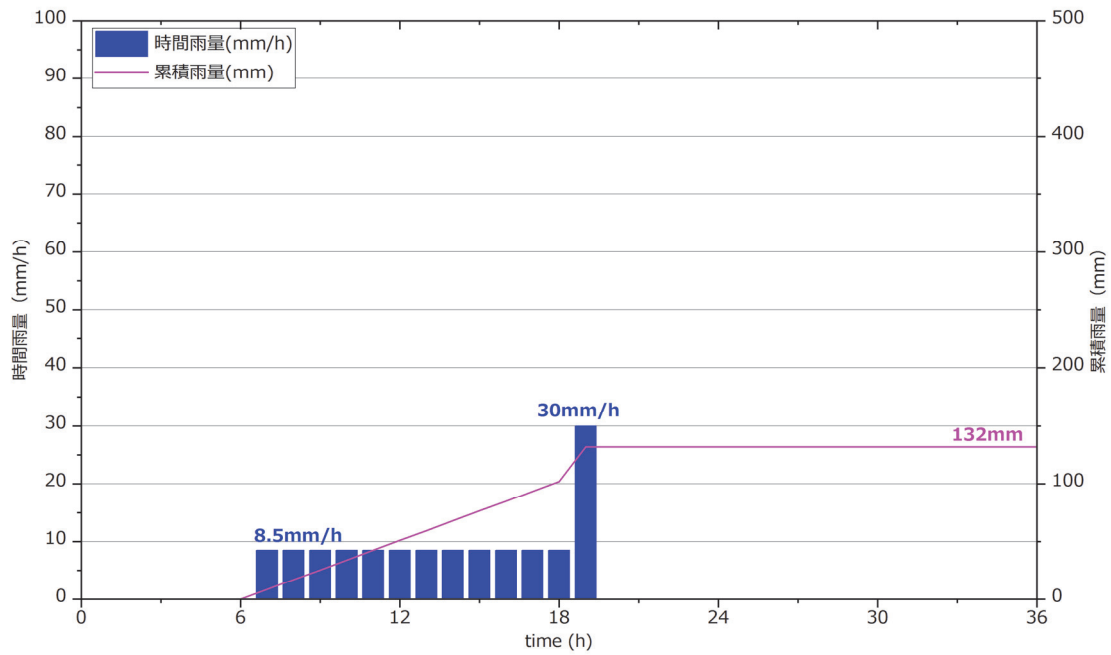


図-2.4.14 シミュレーション降雨（100mm/12h+30mm/h）



図-2.4.15 計算結果（100mm/12h+30mm/h）

③ 400mm/24h

シミュレーション降雨（③400mm/24h）の場合、評価対象範囲内での崩壊危険箇所はない。

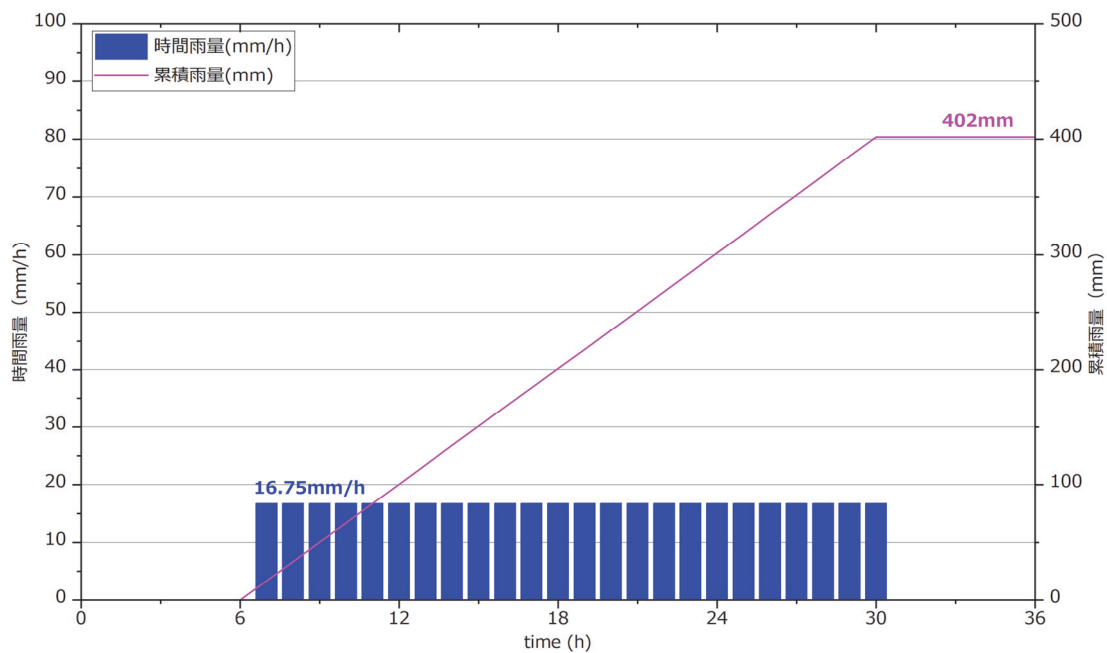


図-2.4.16 シミュレーション降雨（400mm/24h（30年確率）

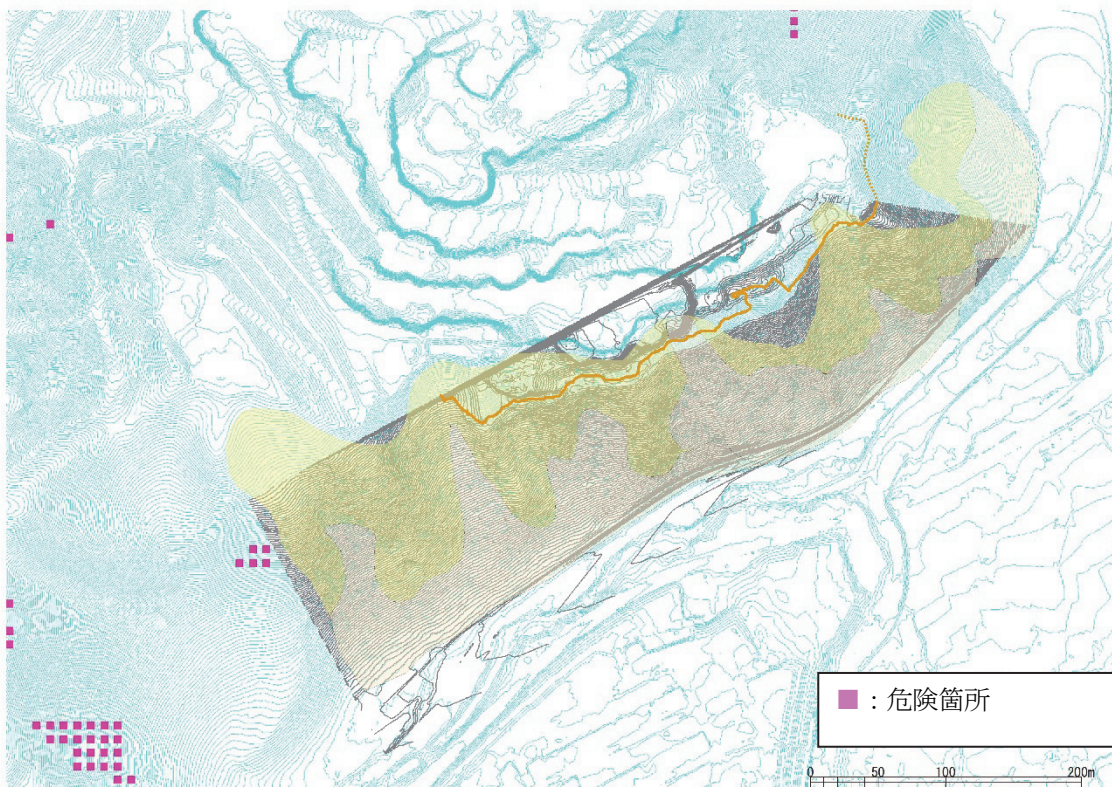


図-2.4.17 計算結果（400mm/24h（30年確率）

④ 450mm/24h (30年確率)

シミュレーション降雨(450mm/24h(30年確率))の場合、評価対象範囲内で崩壊危険箇所は2箇所確認できる。

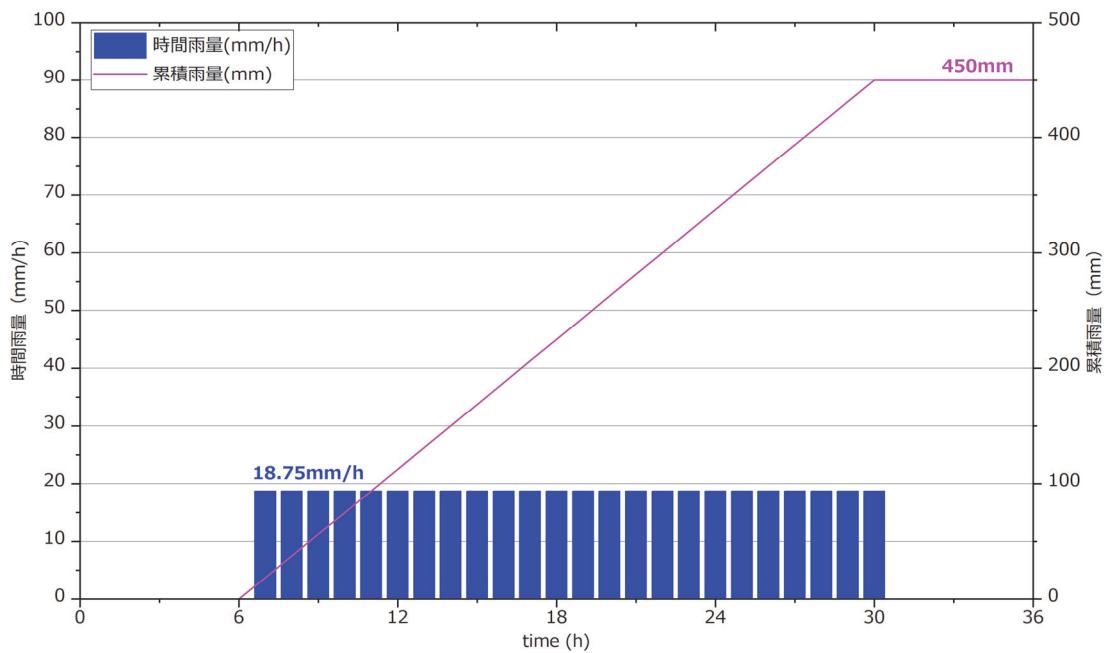


図-2.4.18 シミュレーション降雨 (450mm/24h (30年確率))

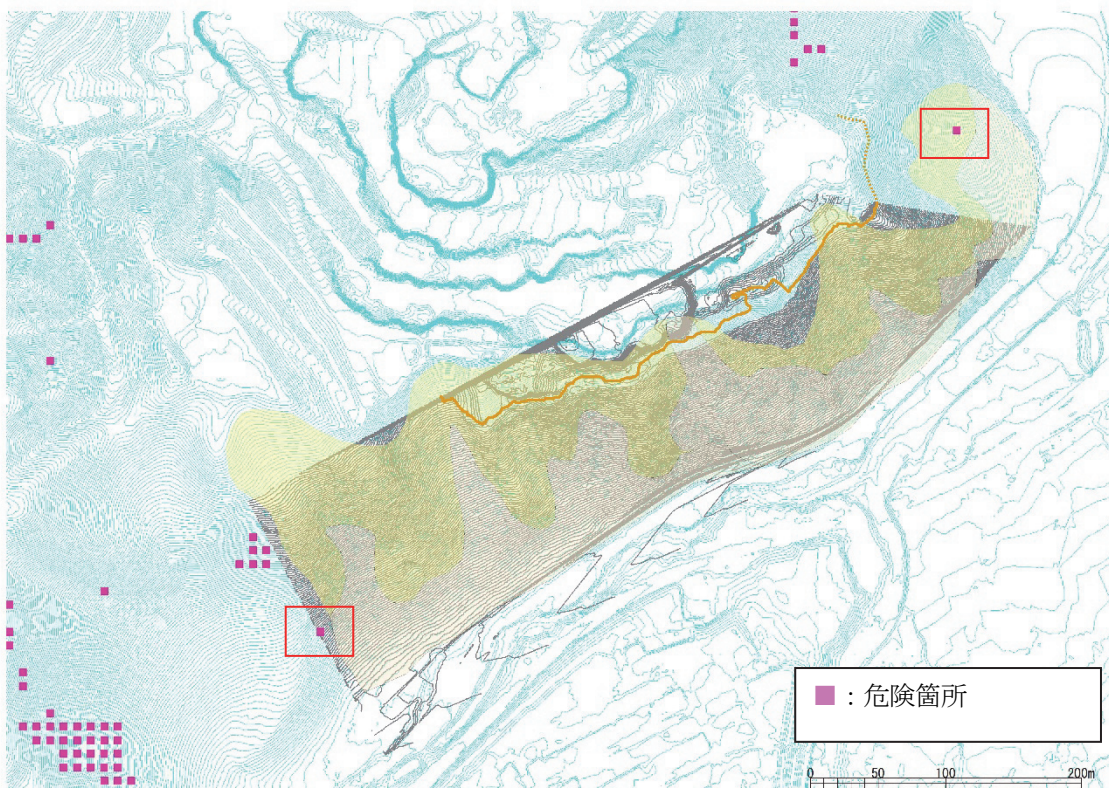


図-2.4.19 計算結果 (450mm/24h (30年確率))

⑤ 400mm/24h+50mm/h (30年確率)

シミュレーション降雨 (⑤400mm/24h+50mm/h (30年確率)) の場合、評価対象範囲内で崩壊危険箇所は4箇所確認できる。

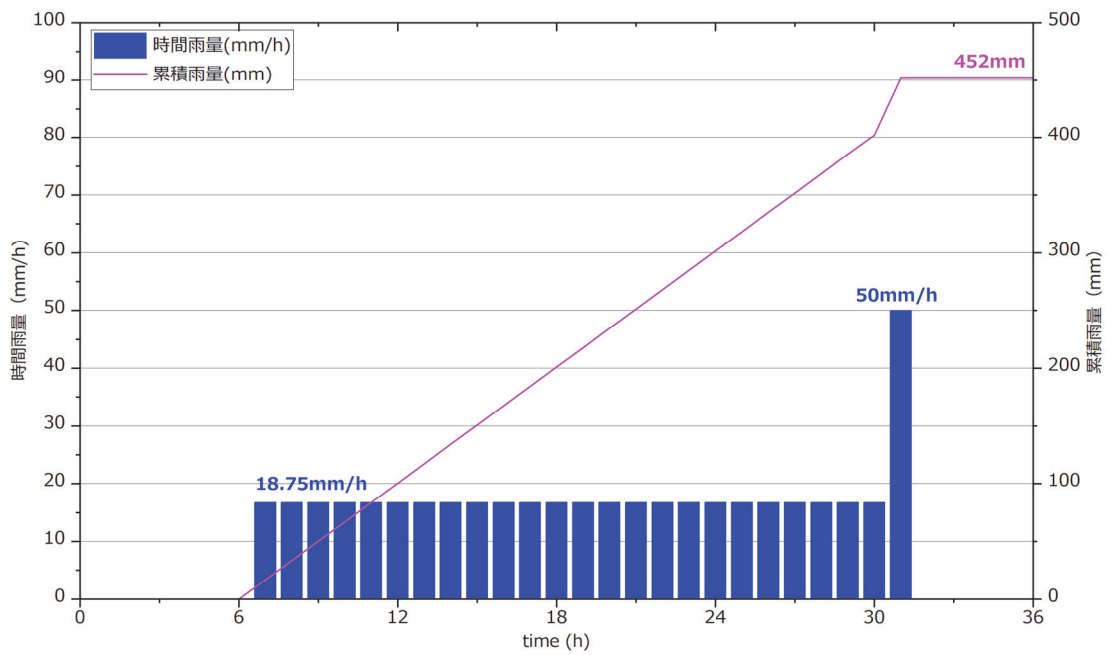


図-2.4.20 シミュレーション降雨 (400mm/24h+50mm/h (30年確率))

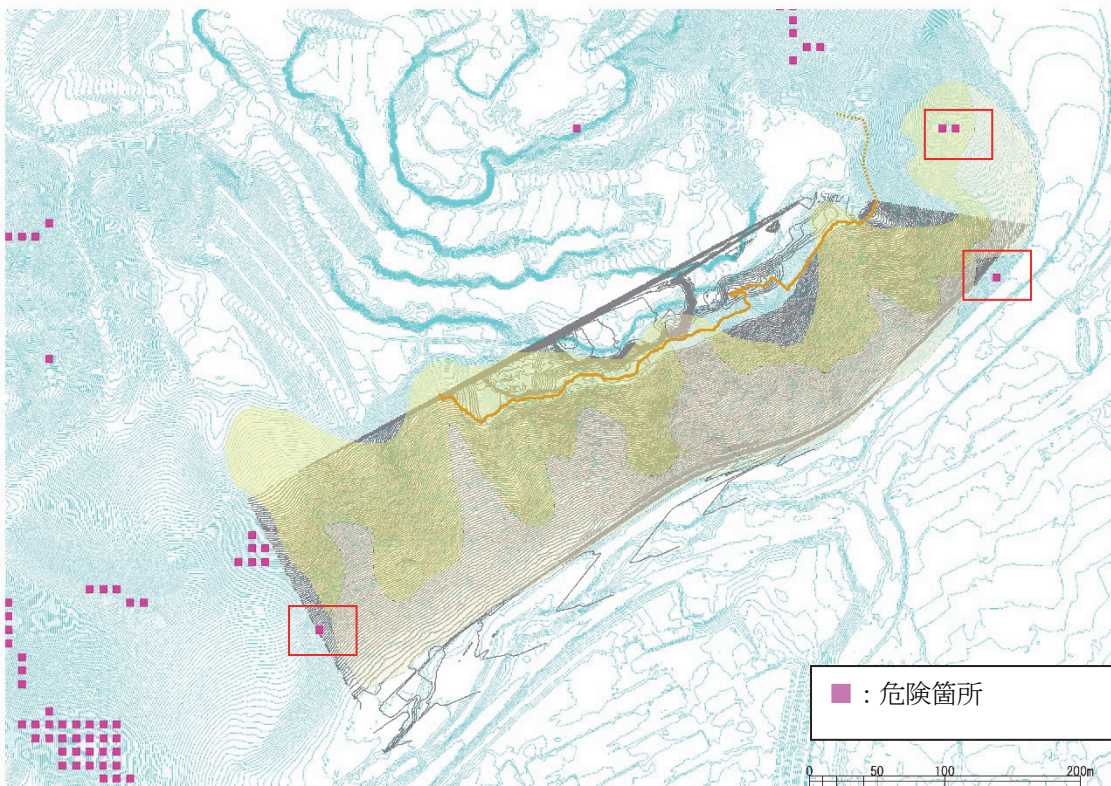


図-2.4.21 計算結果 (400mm/24h+50mm/h (30年確率))

⑥ 300mm/24h(実降雨に近い分布)

シミュレーション降雨 (300mm/24h) の場合、評価対象範囲内での崩壊危険箇所は確認できない。

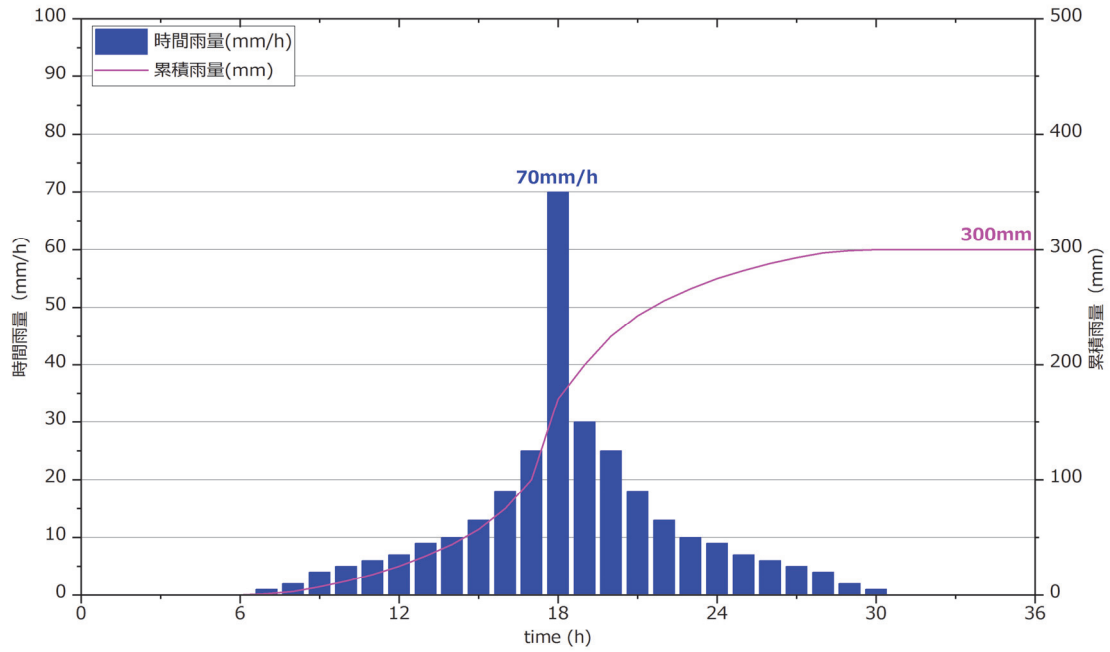


図-2.4.22 シミュレーション降雨 (300mm/24h(実降雨に近い分布))



図-2.4.23 計算結果 (300mm/24h(実降雨に近い分布))

⑦ 400mm/24h (実降雨に近い分布)

シミュレーション降雨 (400mm/24h) の場合、評価対象範囲内で崩壊危険箇所は 14 箇所確認できる。

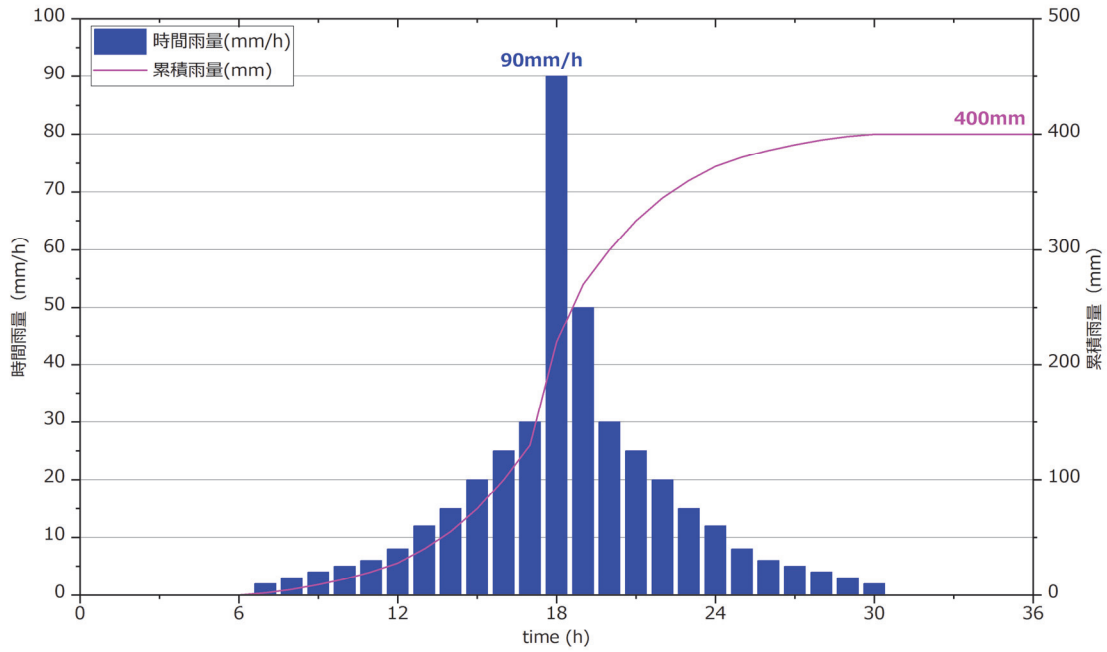


図-2. 4. 24 シミュレーション降雨 (400mm/24h (実降雨に近い分布))

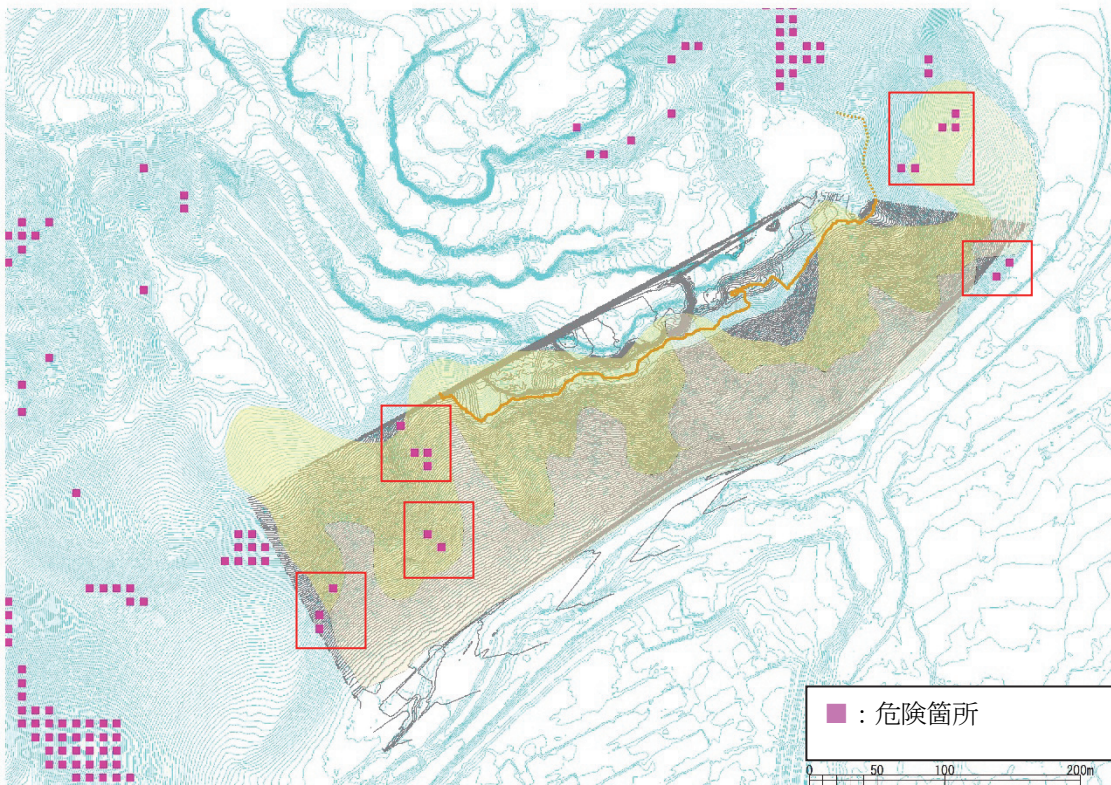


図-2. 4. 25 計算結果 (400mm/24h (実降雨に近い分布))

降雨条件パターン⑦における評価対象範囲内の危険判定セル 14 箇所の時間ごとの安全率変化を以下に示す。時間降雨のピーク以降 2～9 時間の間、安全率が 1.0 以下となるセルがあることが確認できる。

このことから、評価対象範囲において、200 mm 程度の累積雨量後に強い時間雨量 (90 mm/h) を受けると評価対象地内で複数箇所が危険となる可能性があると言える。

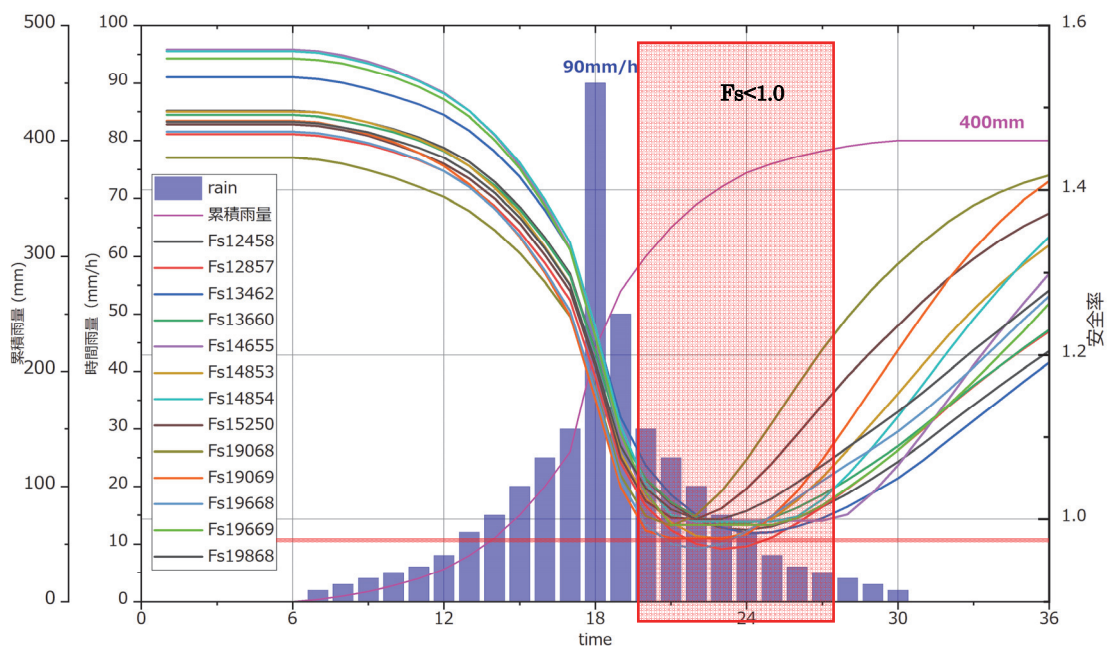


図-2.4.26 降雨波形と危険箇所の安全率の変化 (400mm/24h(実降雨に近い分布))

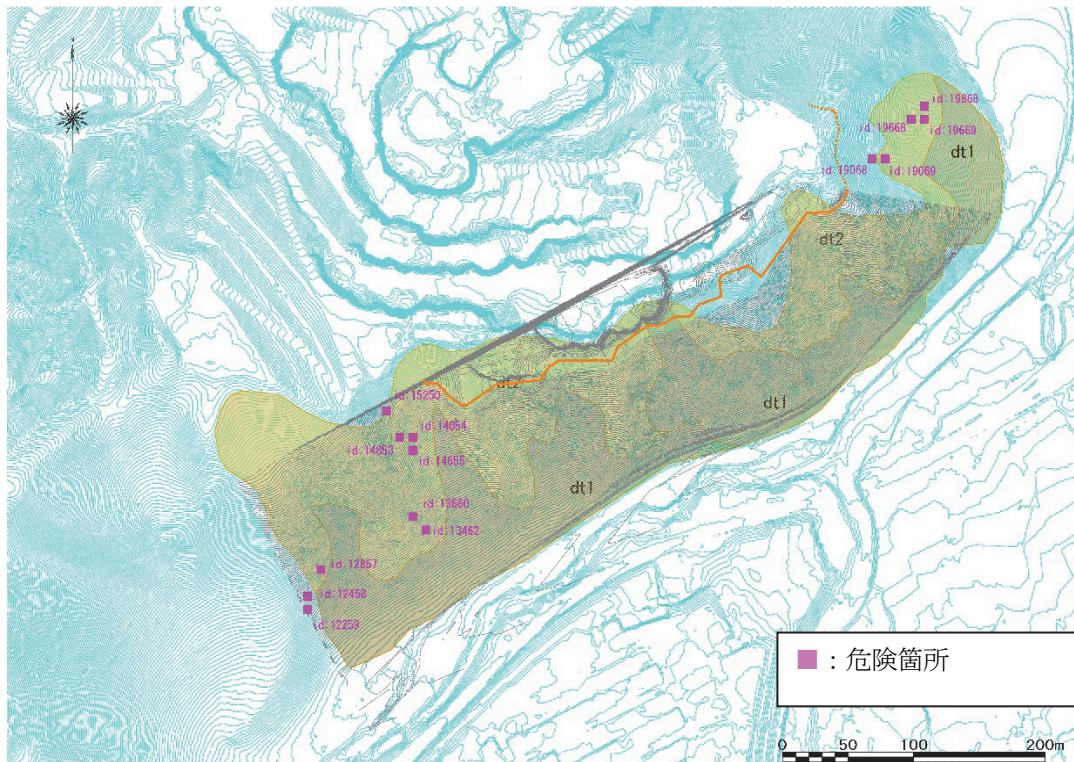


図-2.4.27 危険箇所の分布 (400mm/24h(実降雨に近い分布))

2.5 まとめ

事前道路通行規制区間の解除に資する検討として、表層崩壊の発生に着目して一連の検討を実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 表層崩壊危険度評価手法による既往の降雨（平成 26 年 8 月豪雨や平成 30 年 7 月豪雨）の検証計算では、表層崩壊危険箇所が数か所確認できた。ただしそれらの危険箇所は、砕石場の地形改変によって、計算で用いた地形モデルより斜面高さが低く、斜面自体が消滅しており、危険箇所への集水性も小さくなっていると考えると、実際崩壊していない結果とも整合しており、妥当な結果であると判断した。また、道路近傍における危険箇所は、現在拡幅工事で切土やのり面対策が実施されているところで、すでに対策済みの箇所であった。
- 斜面内に確認されているガリー浸食箇所と 1mDEM で作成した水系網がよく一致していた。このことから 1mDEM で作成した水系網は、現地地形から地表面流の流下経路を知るひとつの方法と考えられ、地表面流が集中する場所が事前に確認でき、現地点検時や斜面維持管理時における着目箇所の抽出手法として利用できると考えた。
- 表層崩壊危険度評価モデルに、シミュレーション規制降雨を入力した結果、評価対象範囲内には表層崩壊の危険箇所はなかった。さらに 30 年確率降雨程度の降雨の場合（中央集中型で最大時間雨量が大きい）では、表層崩壊の危険箇所が 14 箇所（今回の検討結果の最大）確認できた。それら危険箇所は、時間降雨のピーク以降 2～9 時間の間、安全率が 1.0 以下となっていた。このことから、評価対象範囲において、200 mm 程度の累積雨量後に強い時間雨量（90 mm/h）を受けると評価対象地内で複数箇所が危険となる可能性がある。

以上のことから、当該箇所において、事前通行規制区間の規制緩和として、通行止基準雨量の上限を緩和することが可能であるといえる。さらに、規制区間の解除を行うためには、シミュレーション降雨⑦で示したように 200 mm 程度の累積雨量後に強い時間雨量（90 mm/h）を受けると評価対象地内で複数箇所が危険となる可能性があることから、それらが崩壊することを予防する対策や崩壊しても崩壊土砂が道路に流出することを防ぐ対策工を施すなどの対応が必要であるといえる。なお、想定最大の降雨規模や波形なども検討する必要がある。

参考文献 (2章)

- 1) 沖村孝, 市川龍平: 数値地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法, 土木学会論文集, III-3, pp. 69-75, 1985
- 2) 沖村孝, 鳥居宣之, 尾崎幸忠, 南部光広, 原口勝則: 豪雨による土砂災害を対象としたリアルタイムハザードシステムの構築, 砂防学会誌, 63 巻, 6 号, pp. 4-12, 2011
- 3) 山田裕司, 竹下洋一, 林一郎, 鏡原聖史, 根本信行, 岡崎敬祐: 六甲山上部における豪雨による平成 26 年 8 月災害と平成 30 年 7 月災害での崩壊地の特徴, 2019 年砂防学会研究発表会概要集, P-096, pp. 563-564, 2019
- 4) 高橋良輔, 村上晴茂, 林一郎, 鏡原聖史, 根本信行, 宮林周平, 岡崎敬祐: 1mDEM から作成した水系網図を用いた崩壊危険箇所抽出方法, 第 55 回地盤工学研究発表会, DS-7-09, 2020
- 5) 沖村孝, 田中茂: 一試験地における風化花崗岩斜面の土層構造と崩壊発生深さに関する研究, 新砂防, 33-1, pp. 7-16, 1980
- 6) 小山内信智, 内田太郎, 曾我部匡敏, 寺田秀樹, 近藤浩一: 簡易貫入試験を用いた崩壊の恐れのある層厚推定に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, 第 261 号, pp. 1-29, 2005
- 7) 株式会社東北地質 web:
<http://www.tohokuchishitsu.com/> (2022. 6. 15 閲覧)

3. 落石危険度評価に関する検討

3.1 点群データを用いた転石抽出

3.1.1 はじめに

唐櫃 IC～有馬口間（現道拡幅区間）の斜面内には、亀裂が緩み浮石化した岩盤の露頭や不安定な転石が点在し、落石の発生が懸念される（写真－3.1.1）。既設の落石対策工は、斜面中腹に採石場が設置した落石防護柵、現道沿いに落石防護ネットと落石防護柵があるものの、破損による機能低下や設置区間が不足しており、空間的解除に向けては、新たな落石対策工の敷設が必要な状況である。

落石対策工には、斜面から転落あるいは落下してくる落石を斜面途中や道路際で待ち受ける落石防護工と発生源において対策を講じる落石予防工があり、落石の個数、落石エネルギー、施工条件等を考慮して、工種を選定することになる。

このため、対策工を検討する際には、まず、対象斜面をくまなく踏査して、不安定な転石・浮石（以下「転石等」）を見つけ、その位置をトータルステーション測量や GPS 測量等によって計測するとともに、転石等の規模や不安定度を記録する転石調査を行うことになる。この際、対象斜面が広大であると、膨大な時間と費用を要することになり、また、見落としや調査時の振動によって落石を発生させてしまう等の問題が生じる。そうした背景から、近年では、航空レーザ測量で取得した三次元点群データを用いて、フィルタリングによって転石を抽出する手法の研究が進んでいる。



写真－3.1.1 現地調査で確認された斜面の状況

(1) 点群データを用いた転石調査の現状

通常、転石調査に用いる点群データの取得には、飛行速度が遅く、単位面積当たりのレーザ照射点数を増やすことが可能なヘリコプター搭載のレーザスキャナ（ヘリレーザ）を用いることが多い。ヘリレーザで取得した点群データからは、50cm メッシュの精密な DEM を作成することが可能であり、φ1m 程度の転石を判読できるとされている。

また、最近では、UAV によるレーザ測量（UAV レーザ）の利用が急速に増加している。UAV レーザの利点は、ヘリレーザに比べて低コストであることと、低空を飛行できるために高密度の点群データを取得できる点にある。一方、ヘリコプターに比べて風の影響を受けやすいため、対象斜面が広く複数の計測コースを設ける場合には、接続部の精度が低下することなどの問題がある（表－3.1.1）。

落石対策工の選定において、φ50cm 程度までの落石は、ほとんどの場合が普及型の落石防護工（防護柵やポケット式ロックネット）で対応でき、これよりも大きい落石には、高エネルギー吸収型の防護工、あるいは発生源での予防工を選択するケースが増えてくる。このため、転石調査では、φ50cm 以上の転石等の把握が重要となるケースが多く、このため、ヘリレーザよりも精密な UAV レーザの活用が期待される。

なお、浮石については、露岩との区別が UAV レーザをもってしても困難である。しかし、転石の分布状況と露岩の位置が把握できれば、浮石の危険性があるエリアをある程度まで絞り込むことが可能となり、

現地調査の効率化に繋がる。

表-3.1.1 ヘリレーザ測量と UAV レーザ測量の特徴

	ヘリコプターによるレーザ測量	UAV によるレーザ測量
調査費用	ヘリの飛行費用が高い。ただし、調査範囲が広い場合は割安となるケースがある。	ヘリコプターに比較して安価
飛行制限	人家密集地 300m 以上 その他 150m 以上	高度 150m 以下 人家密集地等は許可が必要
最小メッシュ	25cm 程度	10cm 程度
識別できる転石の大きさ	条件が整えば ϕ 1m 程度	条件が整えば ϕ 0.5m 程度
備考	GPS の精度が高い。 風の影響を受けにくい。	風の影響を受けやすく、複数の計測コースを設ける場合には、データ接続の際の精度が低下するケースがある。

(2) 点群データを用いた転石抽出の課題

航空レーザ測量で取得された三次元点群データ（オリジナルデータ）から地形図を作成する際には、まず、樹木などのデータを取り除くフィルタリング処理が行われる。通常、この処理は、なだらかな自然地形を前提として、機械的にグラウンドデータを抽出し地形モデルを作成する（図-3.1.1）。このため、急崖や転石などの微地形が表現されないことがある。点群データの断面図を見ながらグラウンドデータを手作業で識別すれば、こうした問題を軽減することは可能²⁾であるが、航空レーザ測量を用いるようなケースは、一般的に作図範囲が広く、その処理には多大な費用と時間を要することになる。また、土工構造物やコンクリート構造物等の設計・施工では微地形が重要視されない傾向があり、ソフトを利用して機械的にフィルタリングを行うことが多いのが実情である。一方、我々が取り扱う

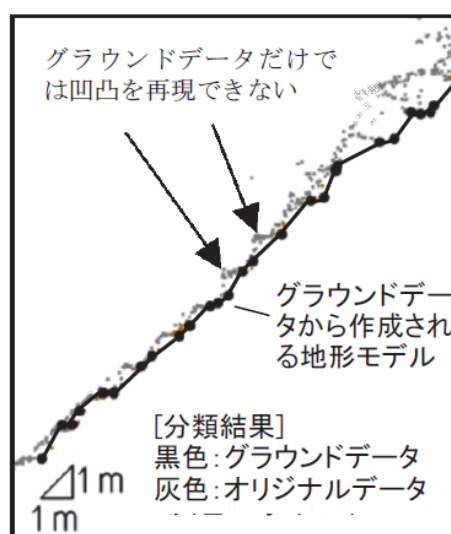


図-3.1.1 一般的な地形モデル³⁾

防災の観点では、転石に限らず、崩壊地形や谷底の堆積地形等の微地形は重要な情報であり、慎重なフィルタリング処理が必要となる。そうした背景から、フィルタリング処理に関する研究は各方面で進められている³⁾。

(3) 当該路線への適用

フィルタリング手法の一つに、通常処理で抽出したグラウンドデータから任意の距離に位置する点群だけを抜きだし、その最下層面のみを用いた作図処理により地盤面の詳細な凹凸を表現する手法がある。これはフィルタリング処理によって除外されるオリジナルデータを見直し、微地形を再現しようとするものであり、点群データの断面図から手作業で微地形を抽出する作業に比べて、効率的である。

本研究では、この手法を用いて、唐櫃 IC～有馬口間（現道拡幅区間）と有馬口～五社 IC 間の一部（過年度の点検で落石の危険性が特に高い斜面）について、転石等の机上抽出を行った。

3.1.2 実施方針

唐櫃 IC～有馬口間（現道拡幅区間）では、平成 26 年度にヘリレーザによって点群データが取得されている。しかし、点群の取得密度が粗く、フィルタリング処理により転石等を抽出することができない。このため、本 WG において、UAV レーザ測量を実施し、その点群データを用いて転石等の抽出を試みるものとした。

① 計測範囲（図-3.1.2）

エリア I 唐櫃 IC～有馬口間（道路拡幅区間）

エリア II 有馬口～五社 IC 間の一部（過年度の点検で落石の危険性が特に高い斜面）

② 計測日・・・令和 2 年 12 月 22 日（落葉後）

③ 使用機器（図-3.1.3）



図-3.1.2 計測範囲



センサー	Riegl miniVUX-2
IMU	Applanix APX-20
計測精度	2cm～5cm
レーザーレンジ	150m (計測最適高度50m～90m)
計測点数	200,000点/秒
取得パルス数	5

図-3.1.3 使用機器

3.1.3 UAVレーザ測量結果

UAVレーザの点群データから、グラウンドデータを抽出し、作成したTIN図を図-3.1.4、図-3.1.5に示した。

図-3.1.4には、平成26年度に計測されたヘリレーザから作成した同じカットのTIN図を添えた。いずれも、既製のソフトを用いてフィルタリングを行って作成したものであるが、UAVレーザのTIN図では、ヘリレーザに比べて、地形面の起伏が緻密に表現されていることがわかる。

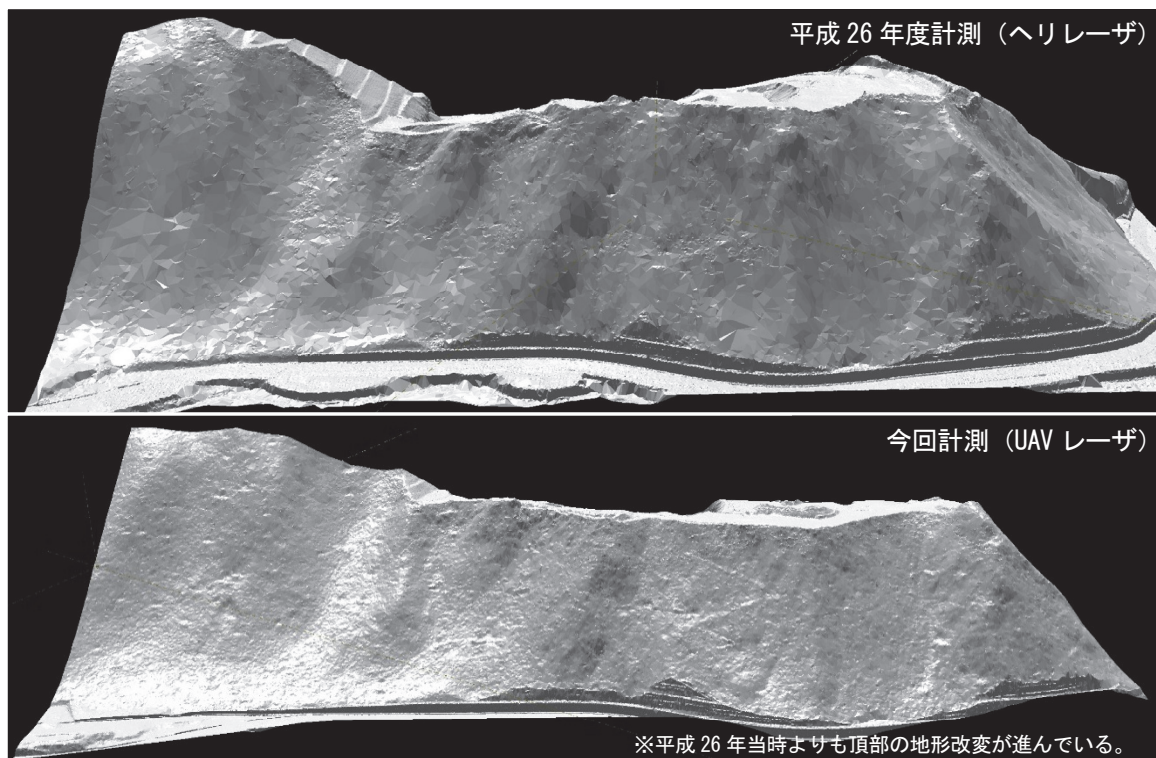


図-3.1.4 エリアIのTIN図（グラウンドデータ）比較

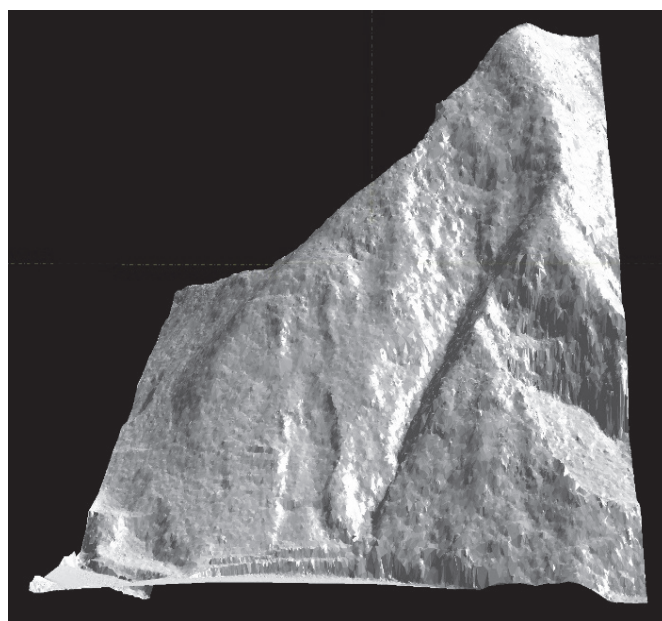


図-3.1.5 エリアIIのTIN図（グラウンドデータ）

3.1.4 転石等の抽出

(1) 抽出手順

転石等の抽出は、既製のソフトで作成したグラウンドデータ (GR) の TIN と、グラウンドデータ抽出時に省かれた点群から、GR+0.5m, +1.0m, +1.5m, +2.0m の高さの範囲にある点群を抜き出し、これらを GR に加えて作成した、GR, GR+0.5m, +1.0m, +1.5m, +2.0m の TIN を比較することで行う。

GR を抽出する際に省かれる点群の多くは、「立木」に反射したデータであり、転石等の抽出では、「立木」の見極めがポイントとなる。GR から、GR+0.5m, ..+2.0m の順に TIN を見ていくと、レーザが幹に反射した「立木」は、尖った形状で表示されることが多い。一方、「転石」を含む地表面の凹凸は、ある高さからは、形状がほとんど変わらないものとなる。転石等の抽出では、この視点で「立木」とそれ以外の選別を行い、つぎに、周囲の地形面との相似を見ながら、転石や露岩、地形の凹凸を判断する (図-3.1.6)。

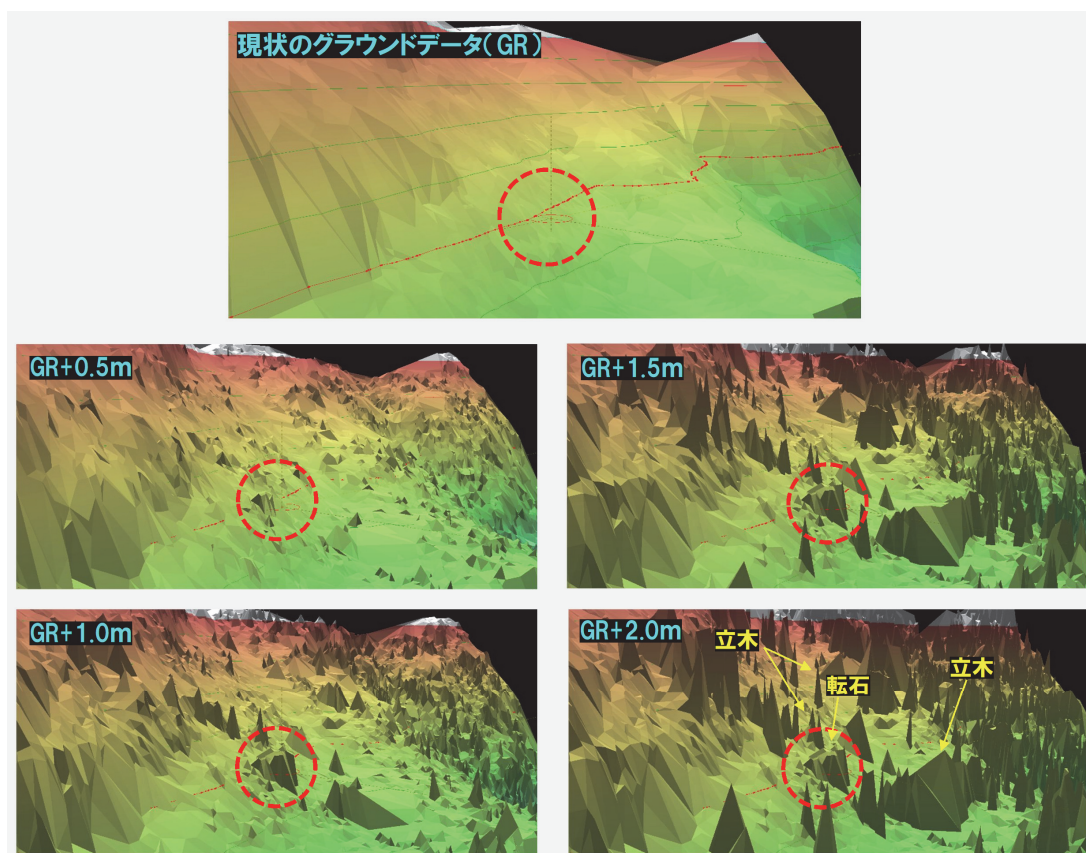


図-3.1.6 転石等の抽出事例

(2) 抽出結果

エリア I, II について、転石等 (φ50cm 程度以上) を抽出した結果を図-3.1.7, 図-3.1.8 に示した。

エリア I では、全 126 個の転石等が抽出された。このうち、比較的明瞭と判断されたのは、転石が 4 つだけであり、残りは不明瞭なものが大半を占めている。また、分布域は、ブロック⑤⑥⑩に集中し、ブロック⑩については、ほとんどが斜面中腹にある既設の防護柵よりも上方に分布している。ブロック⑤⑥は、事前に行った現地確認でも多くの転石が確認されたエリアで、抽出結果はこれに整合している。

表-3.1.2 抽出個数

エリア	転石			露岩			合計
	○明瞭	△不明瞭	×疑い	○明瞭	△不明瞭	×疑い	
I	4	75	17	0	26	4	126
II	3	16	4	0	33	14	70

別途、神戸市北建設発注の業務において、実施された転石調査 (以下「目視調査」) の結果と対比すると、位置や分布個数に相違がある。UAV で取得した位置座標に対して、目視調査時に用いられたハンディ GPS の位置精度が劣るため、そもそもピンポイントでの比較ができない状況であるが、相違の主たる要因は、当エリアに分布する転石等の規模が小さいこと挙げられる。点群データから抽出できる転石等は、短径で 0.5m 程度以上のものであるため、抽出した転石等の大半が「不明瞭」なものである。その上で、目視調査の事前段階において活用する手法の位置づけから、抽出漏れがないことを重視した結果、目視確認された個数に対して、多くなっている。

エリア II では、全 70 個の転石等が抽出された。そのほとんどが不明瞭な露岩である。このエリアでは、過去に道路防災点検が行われているが、割れ目が緩み浮石化した露岩や不安定な転石が多くあったために、詳細な調査が断念されている。本研究でも抽出結果を踏まえて現地確認を行ったものの、やはり斜面下方の露岩部を確認するのが限界であった。このため、抽出結果の正否を検証することはできていない。ただし、一部、現地で確認した斜面下方の露岩状況 (ブロック③の沢沿い) に関しては、抽出結果と整合するものである。

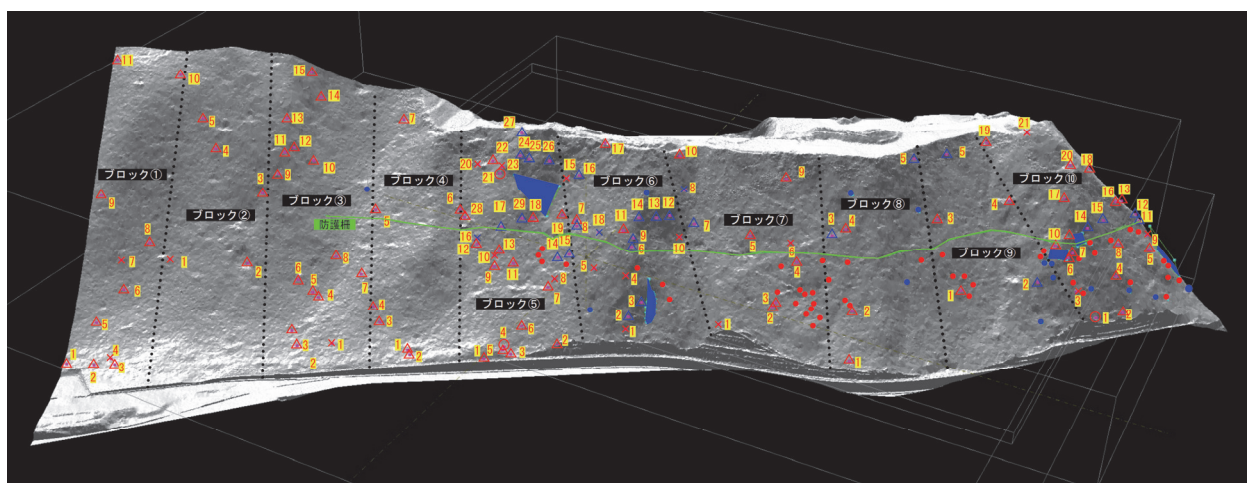


図-3.1.7 転石等抽出結果 (エリア I)

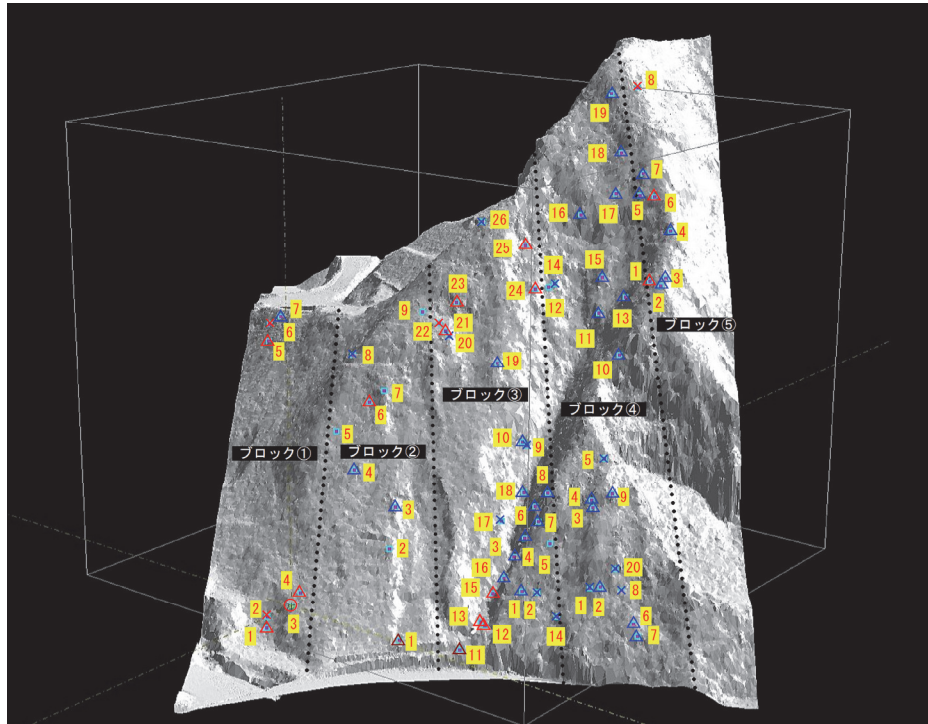


図-3.1.8 転石等抽出結果（エリアⅡ）

(3) 転石調査への適用

エリアⅠでは、本技術で対象とする短径 0.5m 以上の転石等が少ないため、抽出された転石等は、ほとんどが不明瞭なものであり、目視調査の結果とも相違がある。ただし、大局的に見れば、抽出された転石等は、目視調査で確認された転石等の周辺に集中し、エリアⅡでは斜面下方の露岩状況が抽出結果と整合する結果となっている。

以上から、本技術のみで、転石等の大きさや分布を確定させることは困難なものの、目視調査の重点エリアを絞り込むことに関しては、一定の成果が得られたと考える。特に、歩行調査が困難なエリアⅡ（有馬口～五社 IC 間の斜面）に関しては、今後、ロープアクセス等による調査が考えられるため、抽出結果をもとに点検箇所を選定するなど、作業の効率化に繋がるものとする。

3.1.5 まとめ

落石の危険性は、通常、対象斜面をくまなく踏査し、不安定な浮石・転石を見つけ、その大きさや安定度等を記録する転石調査を行って評価する。しかし、対象斜面が広大な場合には、調査に膨大な時間と費用を要し、また、不安定な転石や浮石が多くある場合には、調査時の振動で落石を発生させる危険性を伴うことになる。

そこで、本研究では、UAV レーザ測量で取得した点群データから、落石化の危険性がある転石、及び転石の発生源となる露岩の机上抽出を試みた。その結果、机上抽出のみで、転石等の大きさや分布を確定させることはできなかったものの、目視調査に先行して実施することで、目視調査を効率的に進めることができる一定の成果が得られた。

今後、さらに、事例を積み重ねることで抽出のロジックが確立され、机上での抽出結果を現地で検証することによって、「教師データ」を蓄積すれば、将来的には AI を使った抽出も可能になるものと考えられる。また、落石に限らず、緻密な LP データは、土砂災害の発生場所や危険度の評価など、活用性が高いため、UAV 等による LP 測量のさらなる普及が望まれる。

3.2 打撃調査による危険度評価

3.2.1 落石の形態

落石の発生形態⁴⁾は、①転石型落石（抜落型落石）、②剥離型落石（浮石型落石）、③その他の落石、の3つに分類することができる。これらは発生機構や素因・誘因も異なるため、上記分類を行うことは、落石が発生する可能性の想定や、落石対策を検討するための前提となる。

①転石型落石（抜落型落石）

転石型落石は、土砂中の礫のみが運動を開始する場合と、土砂の崩壊に伴って落石が発生する場合がある。すなわち、マトリックスが表面流や地下水によって浸食され、落石発生源となる岩塊が地表面に浮き出し、遂には平衡状態を失うことで抜け落ちる落石形態である。図内 (a) に示す礫を含む土砂斜面は、一般に傾斜の緩い斜面を形成するため、抜け出し直後に飛跳運動をすることは稀である。一方、図内 (b)・(c)・(d) は、一般に抜け出し直後に飛跳運動をする。

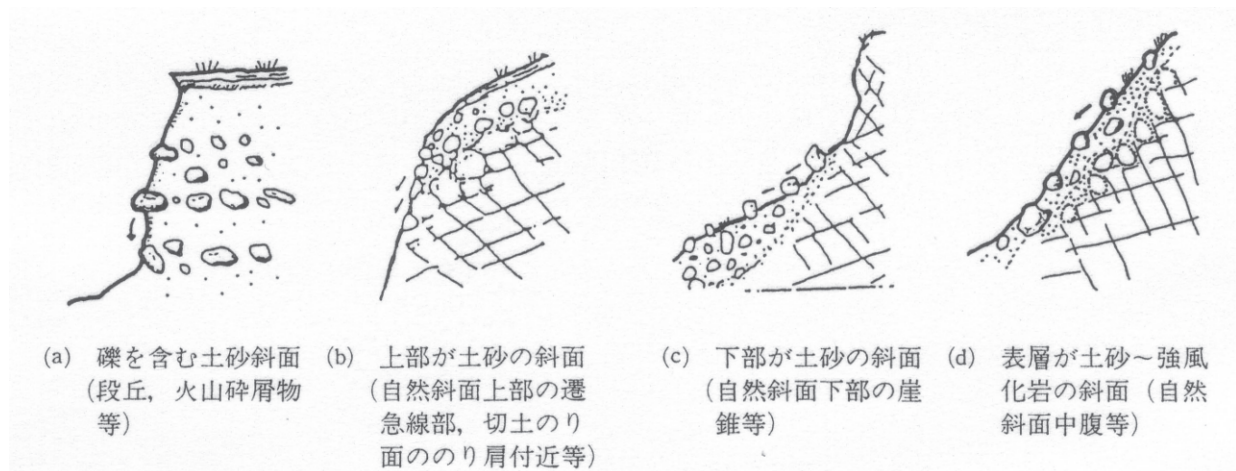


図-3.2.1 転石型落石の発生形態

②剥離型落石（浮石型落石）

剥離型落石は、主に岩盤斜面上で発生する。発生規模は小さいが、発生機構は岩盤崩壊と同一である場合が多い。剥離型落石は最初から岩目が無くとも、新たな引張亀裂（テンションクラック）が発生して剥離することもあり、第三紀層等、比較的新しい年代の地層や火山岩類によく見られる。

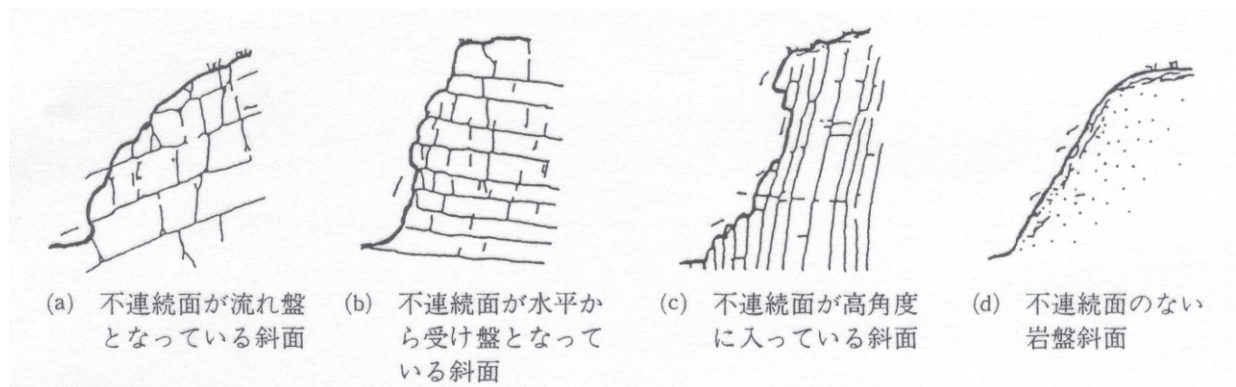
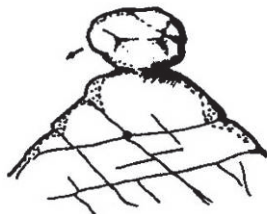


図-3.2.2 剥離型落石（浮石型落石）の発生形態

③その他の落石

その他の落石の発生形態は、以下のような場合に見られる。これらは特殊なケースであるが、落石の発生原因の一つであると考えられている。

- 風化花崗岩地帯において、風化・浸食に強い岩塊が風化により残存して、トア（岩塔）地形を形成し、これが崩落して落石となる。
- 凝灰角礫岩地帯において、浸食を免れた礫が不安定な状態で残存した部分が落石となる。



風化・浸食で残留した
尾根上の巨礫等

図-3.2.3 その他の落石の発生形態

3.2.2 調査方法

当調査では、下記に述べる深田らが提案する『振動計測に基づく斜面上転石の落石危険度評価方法⁵⁾』を採用した。

深田らは、定量的な落石危険度評価方法を確立するためには、転石の振動特性を把握すること、そして転石型落石の力学的な発生メカニズムを考慮することの重要性を説き、振動を利用した転石の根入れ深さを推定⁶⁾した上で力学的安定度を計算し、落石危険度を評価する手法⁷⁾を提案している。

(1) 振動を利用した転石の根入れ深さの推定方法

深田らは、次図に示す地盤中に根入れを有する転石を模擬した剛体を作製し、剛体の形状寸法・重量・地盤固さ・根入れ深さ等の条件を変えて、ハンマー打撃時に計測した加速度波形から固有振動数を算定した。

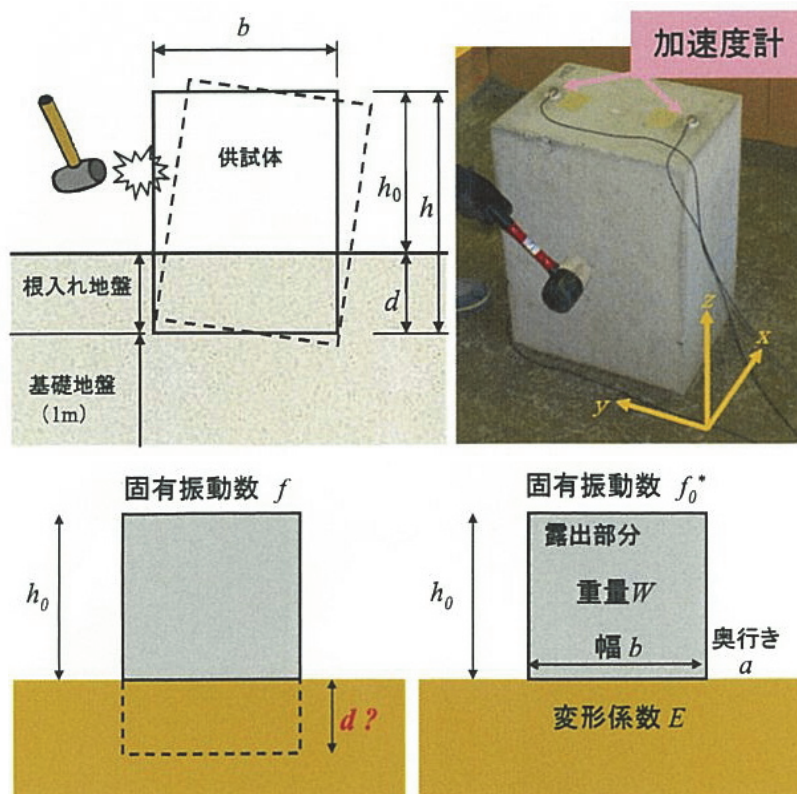


図-3.2.4 転石を模擬した剛体に関する振動計測実験

また、転石や地盤をモデル化した三次元有限要素法による固有値解析から、転石の根入れ深さを推定する方法を考案し、更に根入れ深さは X 方向及び Y 方向打撃時の 2 方向からそれぞれ得られる推定長の平均値を採用することを提案している。また、これら推定式より求まる根入れ深さが、±5cm 程度の誤差で推定できることを、現地で打撃した転石を掘削して根入れ深さを目視確認することで検証している。

(2) 実斜面における振動計測方法

振動計測器の取付イメージを次図に示す。調査対象落石に加速度計を固定し、ゴムハンマーで打撃した時の加速度波形を AD 変換してパソコンに記録する。また、計測はゴムハンマーによる加振を行う者と、パソコンを操作する者の 2 名で行う。そして、計測した加速度波形を高速フーリエ変換し、フーリエスペクトルが最大となる卓越振動数を、調査対象落石の固有振動数として算出する。

(3) 斜面における地盤の変形係数

地盤の変形係数は、急斜面で測定できる方法として、簡易貫入試験の N_d 値によって評価を行った。簡易貫入試験は、転石に対しては転石の直下 1 箇所、露岩に対しては露岩の直上と直下の 2 箇所で行い、後者の N_d 値は 2 箇所の平均で求めた。

一般的に N_d 値と N 値には、 $N_d = (1 \sim 3) N$ の関係がある。ここで根入れ深さの推定パラメータには地盤の変形係数が含まれており、根入れ深さを過大に算出しないために $N = N_d$ とし、変形係数と N 値の一般的な関係である $E = 700N$ (kN/m^2) を用い、これを動的な歪みレベルに対応した 2 倍相当値として、 $E = 2 \times 700N_d = 1,400N_d$ の計算式により地盤の変形係数を算出した。

なお、今回対象とする転石の露出高は最大で 1.0m 程度であり、一般的には根入れ深さがその半分の 0.5m 程度（根入れ比：0.5 以上）あれば十分に安定である。したがって、地盤の評価は深さ 0.5m 付近の N_d 値で行うこととした。

また、地盤の粘着力： c と N 値の関係は、斜面の概略安定計算に用いられる $c = N/16$ (kgf/cm^2) = $6N$ (kN/m^2) として評価した。

(4) 転石露出部分の形状近似

提案する方法で根入れ深さを推定するためには、まず転石の露出部分の形状を把握する必要がある。このため転石の露出部分の外形寸法を、傾斜に添った斜面走向方向の寸法： a 、斜面方向寸法： b 、斜面直角方向高さ： h_0 の直方体に近似した。

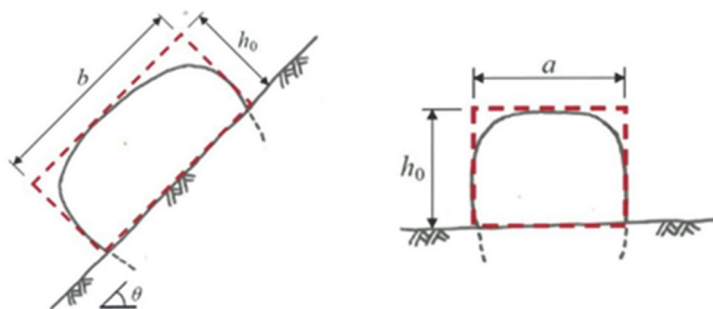


図-3.2.7 転石の形状近似

(5) 打撃による固有振動数および加速度

一般に、打撃方向に対して、動きにくい（安定した）岩盤を打撃する場合は、固有振動数及び加速度が大きくなる。これは打撃時に発生した波が減衰することなく反発するためである。一方、動き易い（不安定化した）岩盤を打撃する場合は、打撃する落石も打撃方向へ移動するため、打撃時に発生した波が減衰し、固有振動数及び加速度は小さくなる。また、加速度は打撃箇所付近が一番大きく、遠方に進むにつれて減衰し、小さくなる。

したがって、個々の落石を打撃することによって得られる固有振動数及び加速度を評価する際に、以下の前提を定義する。また、深田らは経験則より打撃計測によって得られる最大固有振動数は、100Hz を超えると一般的に高い（打撃対象落石が安定している。）と定義している。

固有振動数の特徴	加速度の特徴
<ul style="list-style-type: none"> ・固有振動数：大 → 打撃方向に対して移動しにくい ・固有振動数：小 → 打撃方向に対して移動しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ・加速度：大 → 打撃箇所から近い ・加速度：小 → 打撃箇所から遠い

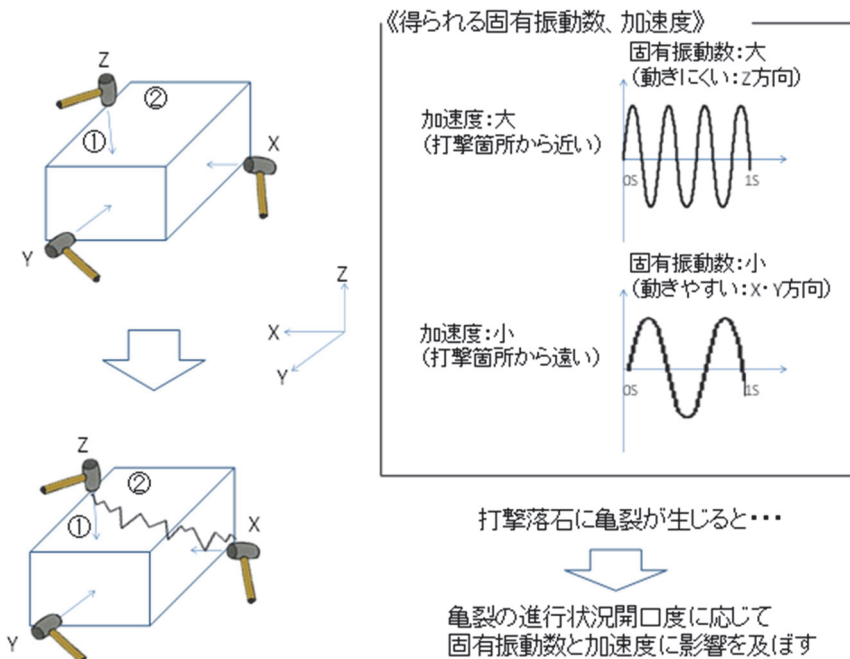


図-3.2.8 落石打撃によって得られる固有振動数及び加速度

落石打撃時の最大固有振動数及び最大加速度は、解析ソフト（Wave Stocker（IMV株製））を用いて取得した。図内拡大箇所では、加速度 Ch 毎、かつ X・Y・Z 方向毎に取得した打撃波形を高速フーリエ変換（FFT）した最大固有振動数及び最大加速度が把握できるようになっている。

拡大図右側には、縦軸に最大加速度、横軸に最大固有振動数が両対数軸でプロットされる。拡大図左側には、波形にピークが認められる箇所の最大固有振動数と最大加速度を加速度順に上位 10 位まで記載される仕組みとなっている。打撃する落石の亀裂状態や周辺の地質状況等によって、必ずしも 1 つの波形ピークが得られるわけではないため、複数の波形ピークが認められた場合は、不安定側の意味合いである小さい方の固有振動数を採用することを原則とする。

また三軸方向を容易に把握するため、それぞれ X 方向（青）、Y 方向（赤）、Z 方向（緑）で色別される。

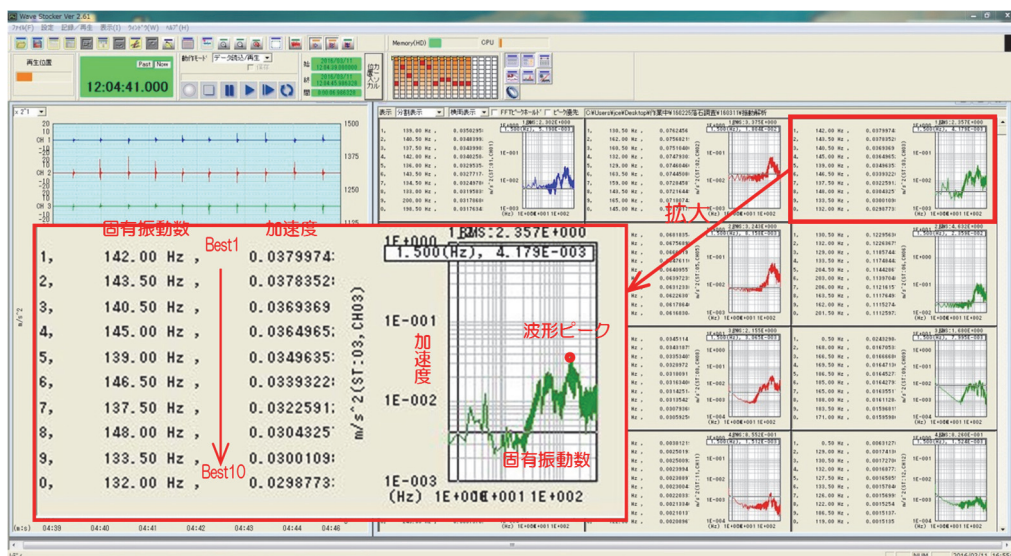


図-3.2.9 解析ソフト（Wave Stocker Ver 2.61）画面

3.2.3 調査結果

(1) 調査対象とした落石の位置および斜面状況

当該調査の打撃調査対象落石位置を次図に示す。

斜面 B, D, E, F において転石型落石 9 箇所 (9 個), 露岩 8 箇所 (同一箇所で複数個の落石の打撃調査を含み全 11 個), 合計 20 個の落石を打撃調査した。

(2) 調査対象とした落石および斜面状況

全 17 箇所・20 個の調査対象のうち、本報告書では転石型落石と露岩を各 1 箇所のみ抜粋して示す。

① 転石 No.12

対象の落石は、浸食域の埋もれた「転石型落石」である。斜面上位に位置する露頭から剥離崩落した転石が山腹の緩傾斜部で停止し、崖錐によって徐々に埋積した状態であると考ええる。

図内、黄枠に示す転石型落石の形状寸法は、 $a \times b \times h_0 = 0.6\text{m} \times 0.6\text{m} \times 0.2\text{m}$ であり、斜面平均傾斜角は 41° 、簡易貫入試験により得られた深度 0.5m における N_d 値は 5 であった。



図-3.2.11 対象の落石-全景写真【転石 No. 12】

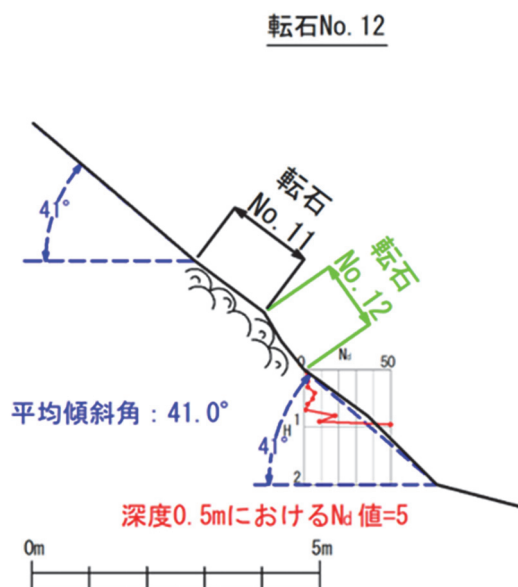


図-3.2.12 転石 No. 12 付近の斜面状況図および想定岩塊

②露岩 No.15

対象は、浸食域にある急傾斜面上の岩盤露頭である。部分的に亀裂が卓越している箇所があるものの、目視では安定であると推察される。当該露岩は他との比較対象として参考とする目的で、No.15-1 と No.15-2 の2個の露岩の打撃調査を実施した。

図内、黄枠に示す転石型落石の形状寸法は、15-1 : $a \times b \times h_0 = 1.1\text{m} \times 1.6\text{m} \times 0.3\text{m}$ 、15-2 : $a \times b \times h_0 = 1.5\text{m} \times 1.1\text{m} \times 0.4\text{m}$ であった。また、斜面平均傾斜角は 37° 、簡易貫入試験により得られた深度0.5mにおける平均Nd値は7.5であった。

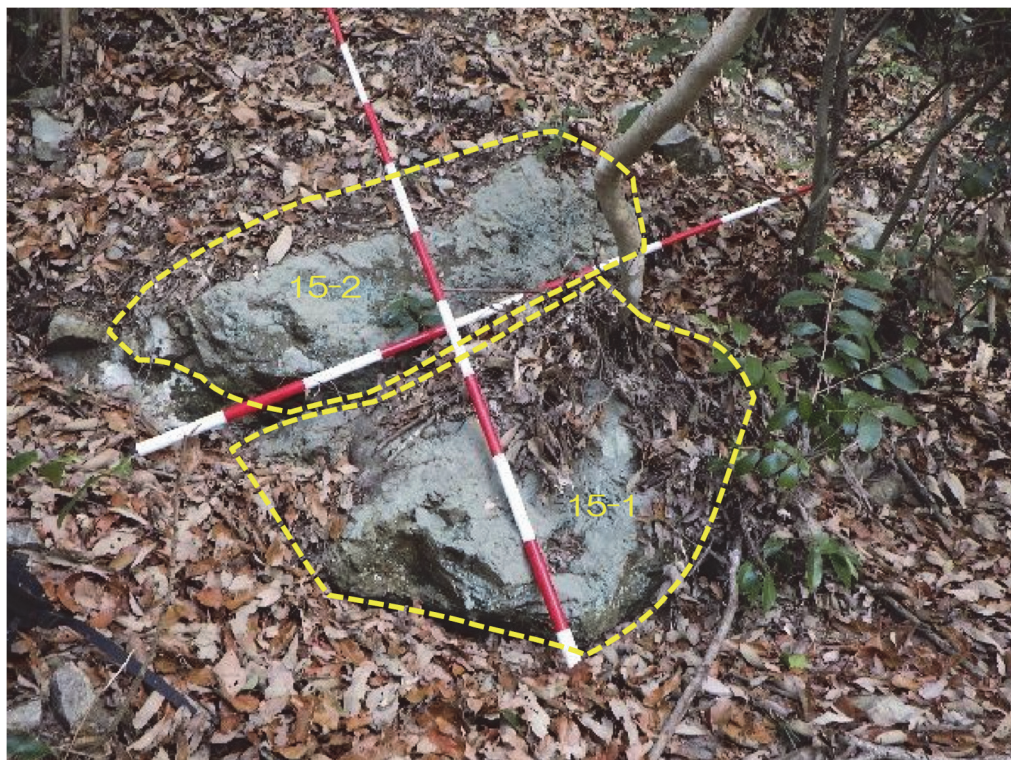


図-3.2.13 対象の落石-全景写真【露岩 No. 15】

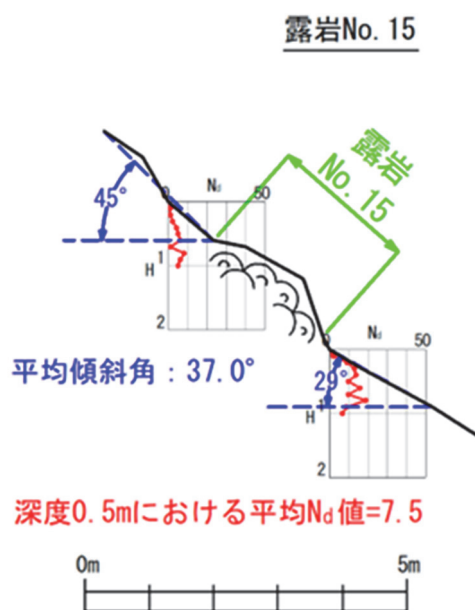


図-3.2.14 露岩 No. 15 付近の斜面状況図および想定岩塊

(3) 各落石の調査結果

全 17 箇所・20 個の調査対象のうち、本報告書では転石型落石と露岩を各 1 箇所のみ抜粋して示す。

① 転石 No.12

転石 No.12 における、(a)軸方向の設定、(b)加速度計の設置箇所、(c)具体的な打撃箇所について示す。

(a) 打撃対象落石の状態から基準面を決定した。基準面に対して垂直方向を Z 軸、また、最大傾斜方向を Y 軸とし、基準面の走向方向を X 軸と設定した。

(b) 加速度計は、基準面にて可能な限り中央となるように 1 箇所設置した。

(c) 図内に示すように、それぞれの打撃方向が X・Y 軸のいずれかの方向となるように打撃した。

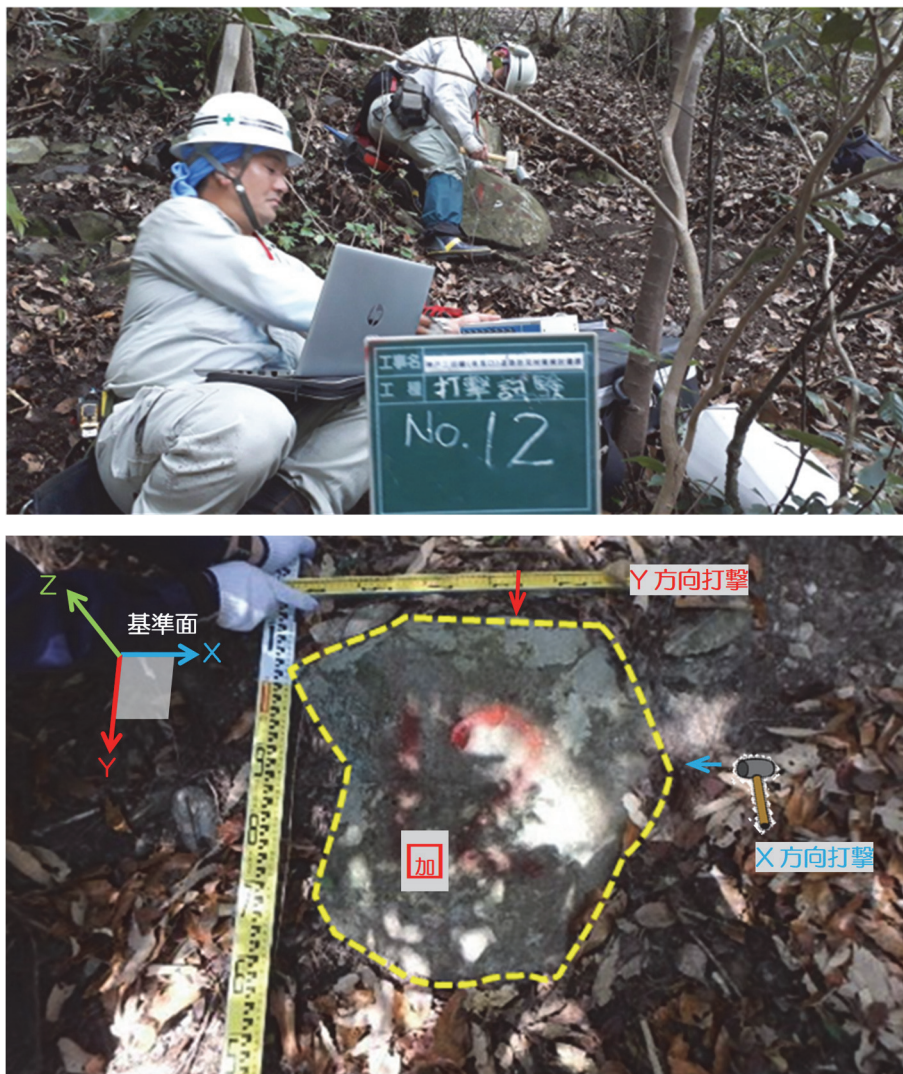


図-3.2.15 打撃方向の決定および落石打撃計測状況【転石 No.12】

当該落石における X 方向打撃調査結果、Y 方向打撃調査結果を次図に示す。設置した加速度計は各打撃に対して 3 軸 (X・Y・Z) 方向の固有振動数をサンプリングできるが、ここでは各打撃方向に対して、加速度でサンプリングした打撃方向と同方向の固有振動数について検討対象とする。

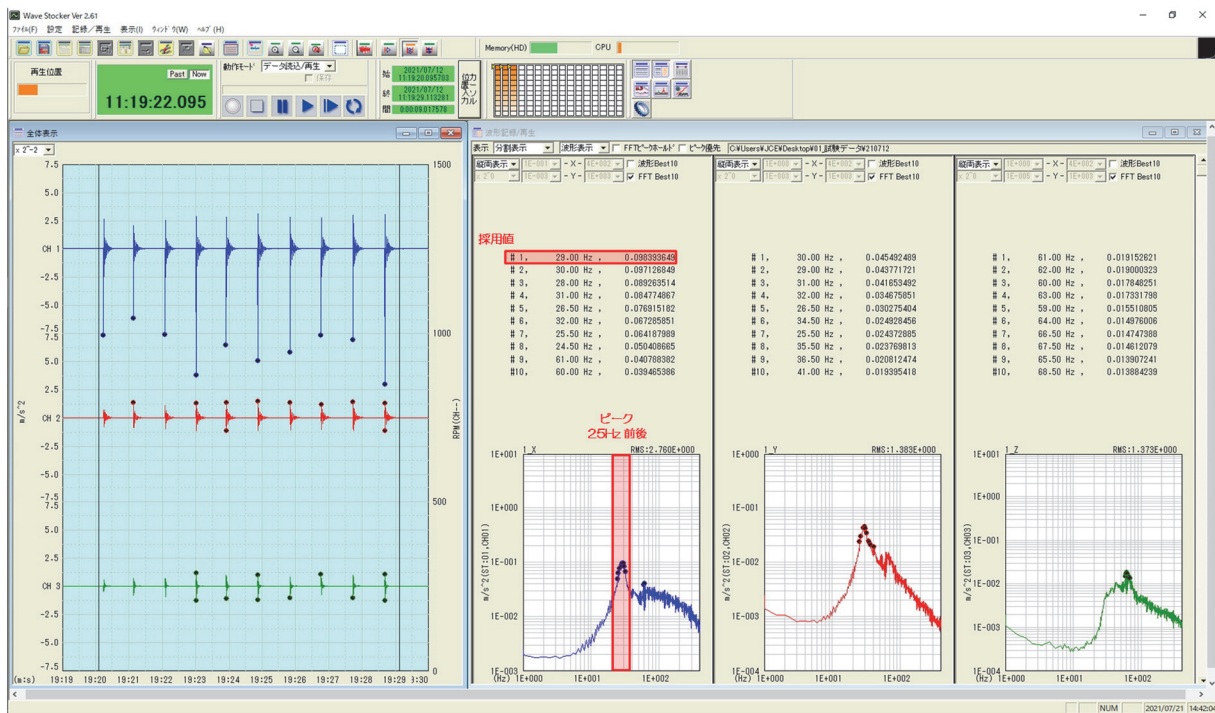


図-3.2.16 落石打撃結果【転石 No. 12-X 方向打撃】

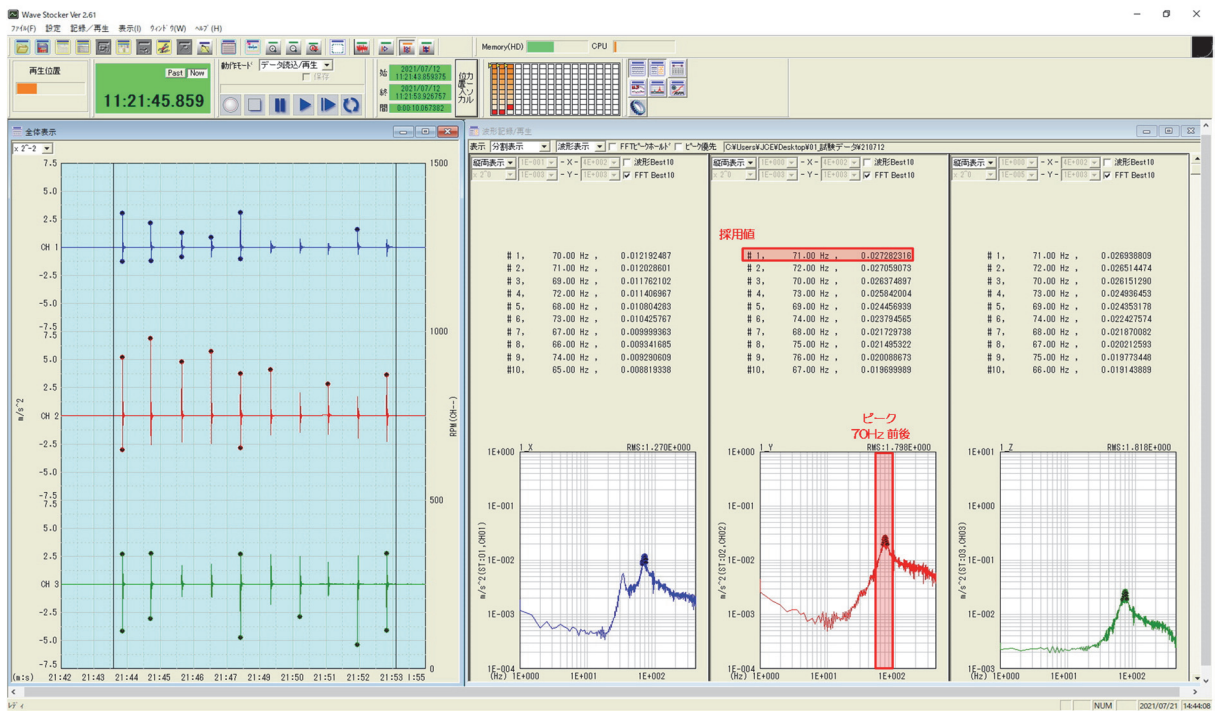


図-3.2.17 落石打撃結果【転石 No. 12-Y 方向打撃】

《最大固有振動数について》

- X 方向打撃時：最大固有振動数のピークは 25Hz 帯前後で認められ、加速度最大の 29.0Hz を採用。
- Y 方向打撃時：最大固有振動数のピークは少し幅が広く 70Hz 帯前後で認められ、同 71.0Hz を採用。
- 最大固有振動数の傾向：Y 方向打撃時の方が 40Hz 程度大きい傾向がある。現地における打撃対象落石の X 方向及び Y 方向背面には、落下を妨げる支障物等は共に特に見当たらないが、斜面への根入れ部が Y 方向に動きにくいことを示していると考える。

②露岩 No.15

露岩 No.15 における(a)軸方向の設定, (b)加速度計の設置箇所, (c)具体的な打撃箇所について示す。

(a) 打撃対象落石の状態から基準面を決定した。基準面に対して垂直方向を Z 軸, また, 最大傾斜方向を Y 軸とし, 基準面の走向方向を X 軸と設定した。

(b) 加速度計は, 基準面にて可能な限り中央となるように 1 箇所設置した。

(c) 図内に示すように, それぞれの打撃方向が X・Y 軸のいずれかの方向となるように打撃した。

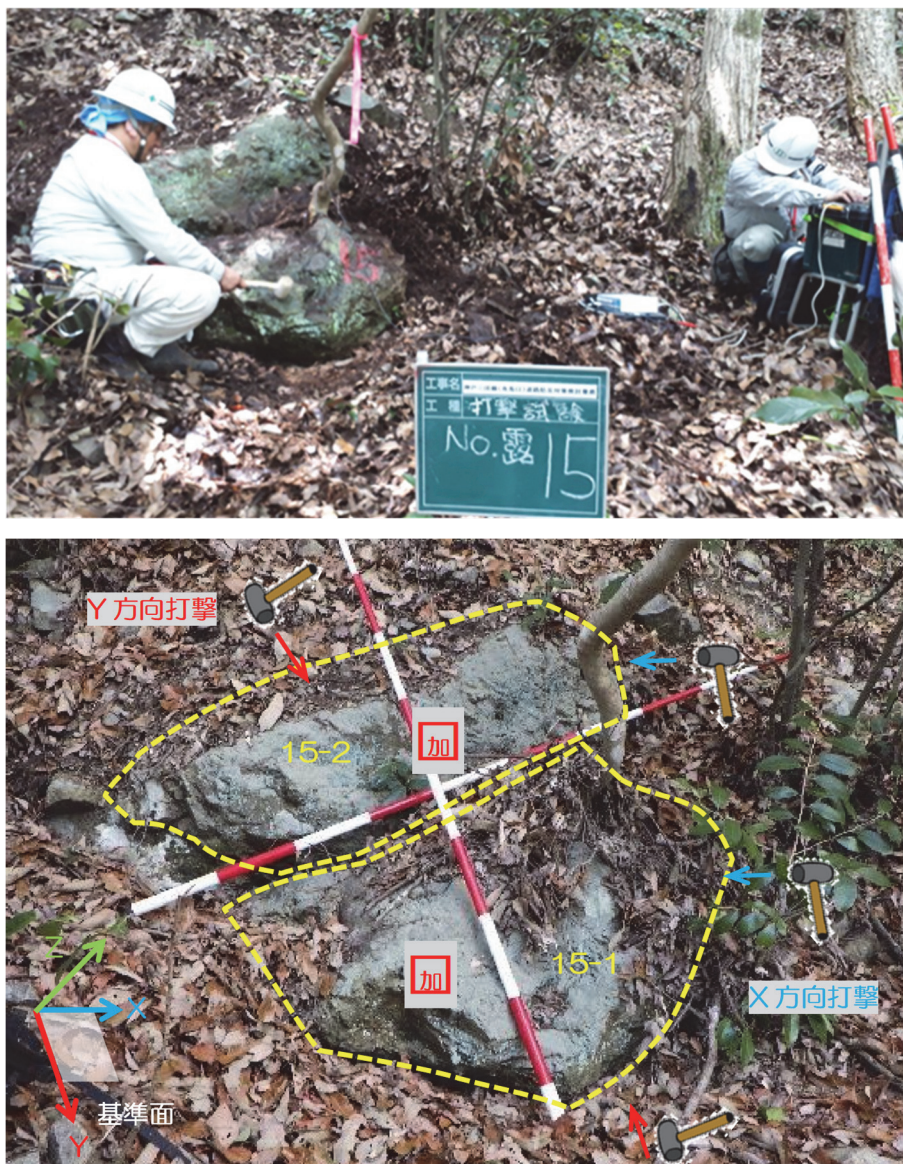


図-3.2.18 打撃方向の決定および落石打撃計測状況【露岩 No. 15】

当該落石 No.15-1 における X 方向打撃調査結果, Y 方向打撃調査結果を次図に示す。設置した加速度計は各打撃に対して 3 軸 (X・Y・Z) 方向の固有振動数をサンプリングできるが, ここでは各打撃方向に対して, 加速度でサンプリングした打撃方向と同方向の固有振動数について検討対象とする。(例: X 方向に打撃をした場合は, 加速度計でサンプリングした 3 方向の固有振動数の内, X 方向の固有振動数を検討対象とし, 評価する。)

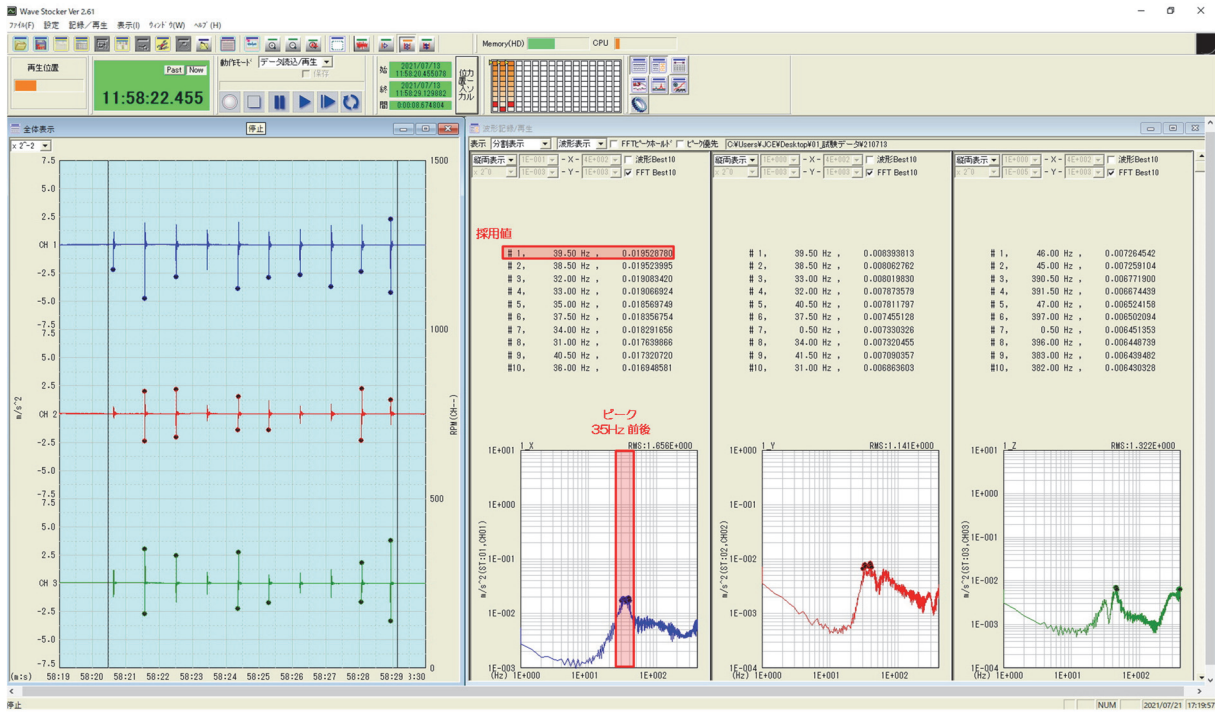


図-3.2.19 落石打撃結果【露岩 No. 15-1-X 方向打撃】

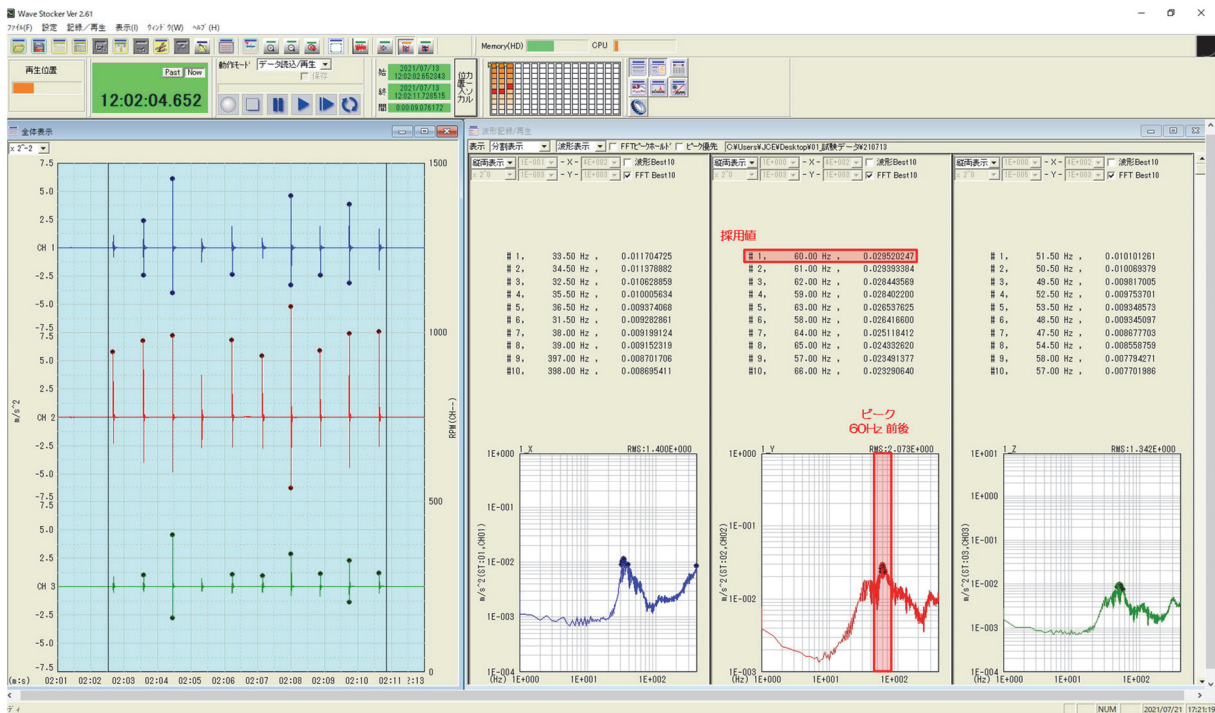


図-3.2.20 落石打撃結果【露岩 No. 15-1-Y 方向打撃】

《最大固有振動数について》

- X 方向打撃時：最大固有振動数のピークは 35Hz 帯前後で，加速度最大の 39.5Hz を採用する。
- Y 方向打撃時：最大固有振動数のピークは 60Hz 帯前後で，加速度最大の 60.0Hz を採用する。
- 最大固有振動数の傾向：Y 方向打撃時の方が 25Hz 程度大きい傾向があるが大差ない。現地における打撃対象落石は一見安定しているように見えるが，Y 方向底面は地山との間に間隙を有し，ポールが 60cm 程度貫入することができる。これより，見た目の印象と比べて根入れ長を有さない状態であると考える。

3.2.4 落石危険度（滑動・転倒）に対する検討

(1) 検討に用いる数値

深田らが定義した当該落石の斜面における滑動及び転倒に対する検討にあたって、土の単位体積重量及びせん断抵抗角は道路土工-擁壁工指針⁸⁾に準ずることとし、本調査地で用いる土質定数は緩い砂質土を想定し、単位体積重量：17kN/m³、せん断抵抗角：30°とした。

(2) 滑動・転倒の検討結果

落石安定度の検討結果一覧表を次表に示す。ここでは露岩部対象落石もすべて転石型落石を想定して検討を行った。

表-3.2.1 落石安定度（転石型）判定結果表

調査箇所		計 測 値						根入れ深さの計算					安定度		落石危険度 判定結果
場所	転石No.	外形寸法(m)			傾斜角 θ	N _d 値	実測固有振動数		根入れ推定長		根入れ深さ 【平均長】	根入れ比 d/h ₀	滑動 F _s	転倒 F _r	
		a	b	h ₀			f _x	f _y	d _x	d _y					
斜面F	転石No.1	0.50	0.60	0.40	34.5	12.0	118.5	164.5	1.16	1.63	1.39	3.48	7.80	1000.00	安 定
斜面E	転石No.5	0.60	0.60	0.30	40.0	2.0	38.5	248.5	0.56	5.75	3.15	10.51	9.61	1000.00	安 定
斜面D	転石No.12	0.60	0.60	0.20	41.0	5.0	29.0	71.0	(0.04)	0.48	0.22	1.11	3.22	1000.00	安 定
斜面D	転石No.20	0.60	0.70	0.30	38.0	3.0	40.0	58.0	0.45	0.80	0.63	2.09	4.37	1000.00	安 定
斜面D	転石No.21	0.70	0.70	0.30	32.0	2.0	28.5	31.5	0.34	0.42	0.38	1.28	4.06	1000.00	安 定
斜面D	転石No.37	1.40	1.20	0.30	23.0	6.0	271.0	97.0	4.87	1.50	3.19	10.63	8.71	1000.00	安 定
斜面D	転石No.38	0.90	0.80	0.90	20.0	21.0	43.0	68.5	0.47	1.07	0.77	0.85	6.05	44.33	安 定
斜面D	転石No.46-a	0.70	1.00	0.30	35.0	3.0	45.0	68.5	0.65	1.14	0.90	2.98	4.29	1000.00	安 定
斜面E	転石No.56	0.70	0.70	0.40	42.5	1.0	99.0	46.5	3.89	1.62	2.75	6.89	7.90	1000.00	安 定
斜面B	露岩No.3-1	0.70	1.50	1.20	44.0	4.5	40.0	96.0	2.35	4.07	3.21	2.68	4.28	1000.00	安 定
斜面B	露岩No.3-2	0.50	0.60	0.20	44.0	4.5	31.0	92.0	(0.00)	0.75	0.38	1.88	3.83	1000.00	安 定
斜面B	露岩No.3-3	0.40	0.50	0.20	44.0	4.5	93.0	111.0	0.72	0.88	0.80	4.00	6.10	1000.00	安 定
斜面E	露岩No.4	0.30	0.60	0.60	41.5	7.0	82.0	60.5	2.12	0.81	1.46	2.44	7.20	1000.00	安 定
斜面D	露岩No.5	3.50	4.30	0.90	36.5	26.0	393.5	387.5	10.54	10.26	10.40	11.55	3.86	1000.00	安 定
斜面D	露岩No.7	0.30	0.80	0.40	43.0	27.5	57.0	134.0	0.20	0.54	0.37	0.92	3.42	49.41	安 定
斜面E	露岩No.8	2.20	1.00	0.10	50.0	11.5	121.0	352.5	0.63	2.61	1.62	16.24	3.78	1000.00	安 定
斜面E	露岩No.15-1	1.10	1.60	0.30	37.0	7.5	39.5	60.0	0.31	0.66	0.48	1.61	2.29	1000.00	安 定
斜面E	露岩No.15-2	1.50	1.10	0.40	37.0	7.5	283.0	395.0	5.31	7.79	6.55	16.37	7.15	1000.00	安 定
斜面E	露岩No.16	0.30	0.60	0.40	41.0	6.5	43.5	89.5	0.47	0.90	0.68	1.71	5.32	1000.00	安 定
斜面D	露岩No.17	1.50	1.60	0.40	33.0	25.5	254.5	276.5	2.71	2.97	2.84	7.10	5.02	1000.00	安 定

(注1) 根入れ深さの平均長がマイナスとなる場合は、根入れ深さ0とす。

(注2) 転倒に関する安全度計算式において、h/2-d<0の場合、すなわち根入れ深さが露出高さよりも大きい場合には、F_r<0となるが、この場合は転石の重心位置が地盤中にあることになるので、転石は安定であるとみなす。
—この時、F_rは“1000”を表示している。

表に示すとおり、当該調査で実施した対象落石は、目視のみでは技術者判断がわかれそうな落石もいくつか存在したが、いずれの落石も安定な状態であるという結果が得られた。最小の安定度は、露岩 No.15-1 における滑動の F_s=2.29 である。すなわち、深田らが提案する『振動計測に基づく斜面上転石の落石危険度評価方法』にて実施した転石・露岩については、特段の落石対策工の必要性はないものと評価できる。

また、安定度を評価する際には滑動と転倒の2項目を検討する必要があるが、いずれの落石も滑動の安定度の方が小さい値をとる結果となった。これは打撃調査によって得られる各落石の推定根入れ深さが、露出高さよりも大きくなるためであり、推定根入れ深さ<露出高さとなる場合は、転石の重心位置が地盤中に位置することを示している。

3.2.5 調査結果および検討結果の考察

打撃調査結果および検討結果からの考察を以下に述べる。

- ① 当該調査で実施した対象落石は、いずれの落石も現状のまま安定な状態であるという結果が得られた。打撃調査を実施した転石・露岩に関しては特段の落石対策工の必要性はないものと評価できる。
- ② 安定度を評価する際には滑動と転倒の2項目を検討する必要があるが、いずれの落石も滑動の安定度の方が小さい値をとる結果となった。これは打撃調査によって得られる各落石の推定根入れ深さが、露出高さよりも大きくなるためであり、推定根入れ深さ<露出高さとなる場合は、転石の重心位置が地盤中に位置することを示している。
- ③ 当該調査で実施した対象落石は、目視のみでは技術者判断がわかれそうな落石がいくつか存在したが、深田らが提案する『振動計測に基づく斜面上転石の落石危険度評価方法』を用いることによって、落石安定度を評価する際に従来の定性的な評価ではなく、定量的な計算根拠に基づき、評価することができた。
- ④ また本手法により、落石危険度を、滑動と転倒の安定度として数値で評価できることから、得られた安定度に応じて「対策の優先順位」を定めることにも活用できる。

参考文献 (3章)

- 1) 山田 晃, 栃本泰浩, 千田良道:航空レーザ測量を用いた地質調査事例, 全地連「技術フォーラム2011」No.2011_15, 全地連「技術フォーラム」発表論文閲覧サイト.
- 2) 菊池輝行, 鹿野久米豊:地上型3Dレーザースキャナを用いた地質調査事例, 日本応用地質学会 平成25年度研究発表会講演論文集, pp85-88.
- 3) 増田 仁, 田近真悟, 沢田和秀, 小野貴稔:転石調査のための高密度航空レーザ計測による斜面の可視化, 第23回調査・設計・施工技術報告会, 地盤工学会中部支部 HP
- 4) 公益社団法人 日本道路協会:落石対策便覧, p8-p10, 2017
- 5) 深田 隆弘, 谷口 達彦, 澁谷 啓:振動計測に基づく斜面上転石の落石危険度評価方法の提案, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol.69, No.1, p140-p151, 2013
- 6) 深田 隆弘, 橋元 洋典, 澁谷 啓:転石を模擬した剛体の振動特性による根入れ深さの推定方法, 土木学会論文集A2(応用力学), Vol.68, No.2(応用力学論文集 Vol.15), I_337_I_344, 2012
- 7) 深田 隆弘:鉄道沿線の斜面管理における転石型落石の健全度判定方法に関する研究, 学位論文(工学), 2013
- 8) 社団法人 日本道路協会:道路土工 擁壁工指針, p66, 2012

4. 土砂流出危険度評価に関する検討

4.1 目的

神戸三田線規制区間の道路沿いには小溪流が多数存在し、これらからの流出土砂が道路に影響を及ぼすことが懸念される。本研究の目的は、事前通行規制の適正化のための評価方法の開発であり、土砂流出に関しては、流出土砂が道路へ及ぼす影響について定量的に評価する方法を検討することである。そのためには、降雨に応じて土砂の流出量や流出タイミングを算定できる土砂流出モデルの作成が有効と考えられる。土砂流出量やタイミングを推定するため、降雨と土砂流出の関係を把握する目的で、神戸三田線規制区間の3箇所の溪流においてインターバルカメラ等を用いた流量観測を実施した。

4.2 実施計画

(1) 対象溪流

対象とする溪流は、図-4.2.1に示す3溪流である。

溪流 A：土砂災害警戒区域（土石流）に指定されている

溪流 B：道路へ土砂が流出した実績がある

溪流 C：上流域に崖錐跡物が厚く堆積している（土砂流出の影響が大きいと懸念される）

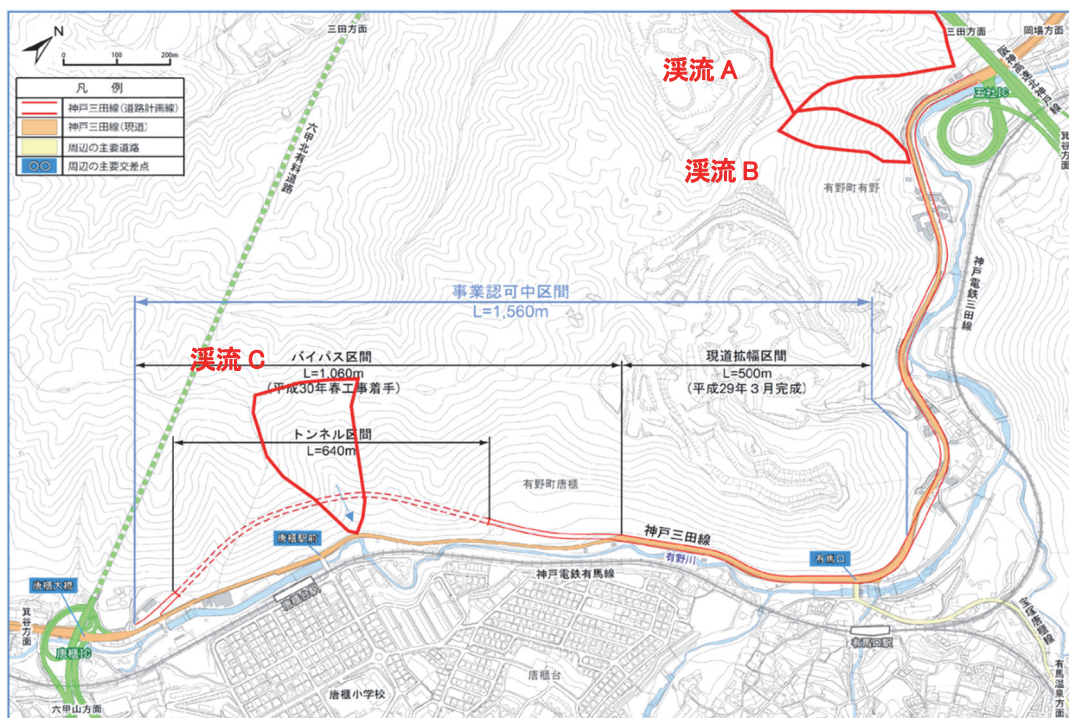


図-4.2.1 調査対象溪流の位置図

(2) 資料収集

観測期間中の降水量データとして、気象庁の 1km メッシュの解析雨量 (30 分毎の 1 時間雨量データ) を収集した。対象溪流と、解析雨量メッシュの対応は、図-4.2.2 のとおりである。

溪流 A : 気象庁解析雨量メッシュ ID (52351166・52351167)

溪流 B : 気象庁解析雨量メッシュ ID (52351167)

溪流 C : 気象庁解析雨量メッシュ ID (52351156)

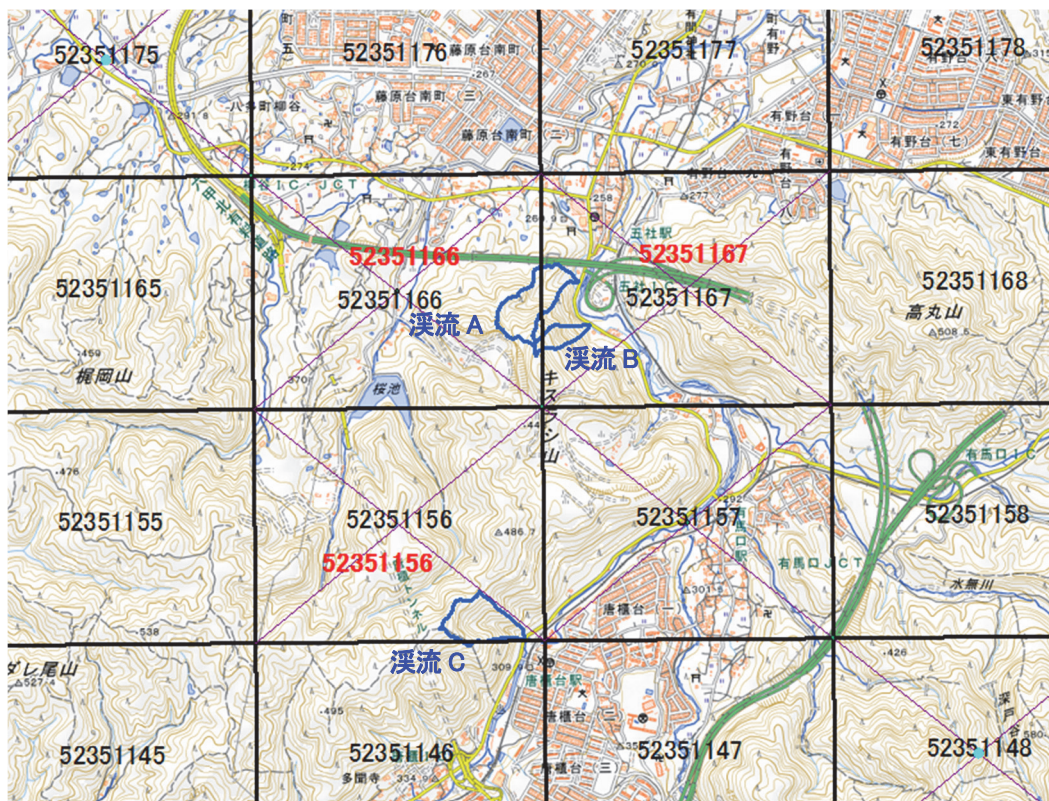


図-4.2.2 調査対象溪流と気象庁解析雨量 1km メッシュの位置図

4.3 2020年度の観測

土砂流出量やタイミングを推定するため、降雨と土砂流出の関係を把握する目的で、神戸三田線規制区間の3箇所の溪流においてインターバルカメラを設置し流出状況の観測を行った。

(1) インターバルカメラの設置

2020年6月20日にインターバルカメラ(図-4.3.1参照)を設定し、観測を開始した。カメラの設定状況を図-4.3.2に示す。



Brinno 社製 TLC 200
サイズ：125 mm×89 mm×54 mm
画角：59 度
解像度：1280×720
夜間の撮影は不可
電池単三 4 本、約 1 カ月撮影可能

図-4.3.1 観測に用いたインターバルカメラ



図-4.3.2(1) インターバルカメラの設置状況(2020.6.20設置)



谷出口付近



撮影画角



設置カメラ



設置位置遠景

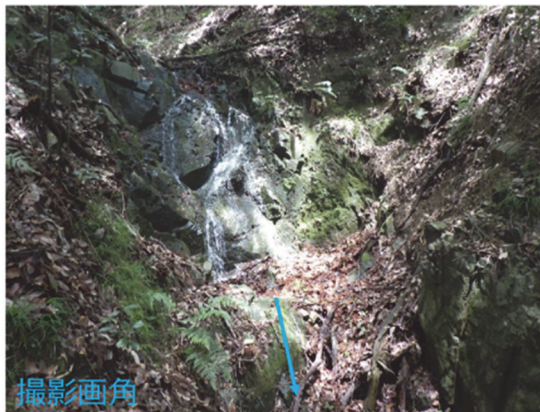


設置カメラ

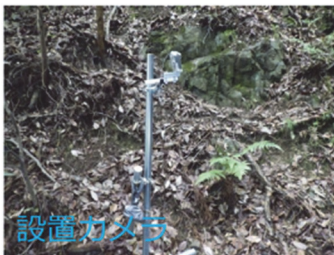
溪流 B



谷出口付近



撮影画角



設置カメラ



設置位置遠景

溪流 C

図-4.3.2(2) インターバルカメラの設置状況(2020.6.20設置)

(2) 降水量の整理

2020 度の降雨状況を図-4.3.3 に示す。雨は 7 月に多く、土砂災害警戒情報が 3 回発表された。一方、8 月以降は雨は少なく、連続雨量が 100mm を超えるような降雨は発生は無かった。

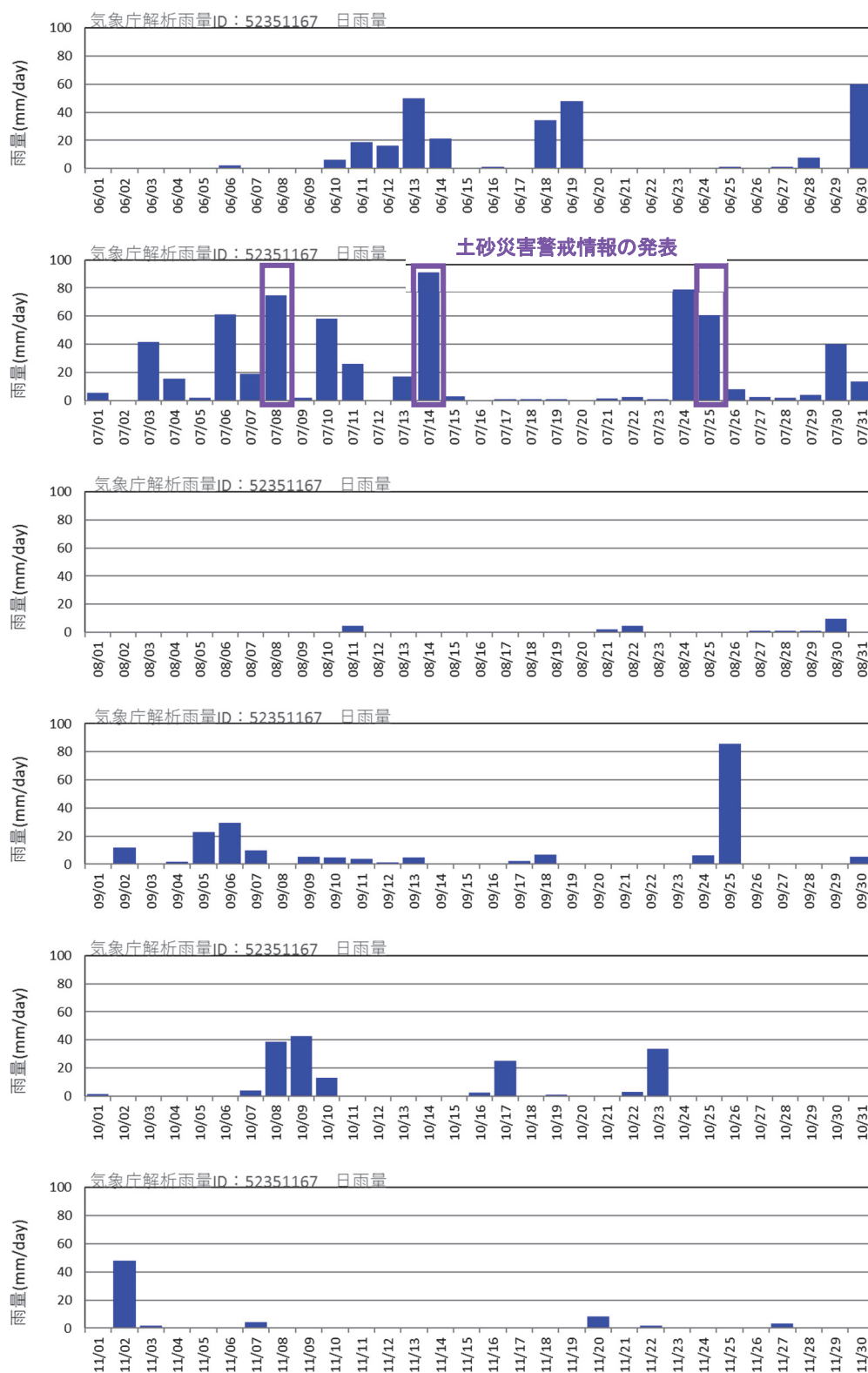


図-4.3.3 観測期間中の降雨状況（解析雨量を日雨量(0:00-24:00)として集計）

(3) 動画データの整理

インターバルカメラで撮影した動画の撮影状況を表-4.3.1~4.3.2に示す。表中の動画取得状況で、6/29~7/17の期間の溪流BとCにデータが取得できなかったことを示す「×」が入っているが、これは、撮影間隔を10秒としており、期間中にSDカードの記録容量を超えてしまったため、カメラが停止したためである。以降、撮影間隔は30秒に変更することとした。

インターバルカメラによる主要な降雨の観測状況を図-4.3.4~4.3.6に示す。観測及び流況に関する知見を以下に整理する。

【観測に関する知見】

- ・流量の変化や濁り等の定性的な流況の把握はインターバルカメラで把握できる
- ・降雨のピークが夜間の場合、観測できない
- ・出水時の流れが滝状となる場合や複数の滞筋に分かれてしまうと、流下幅や水深等の情報を定量的に把握しづらい（当初想定していた流出量よりも大きな流出が発生することがわかった）
- ・水深を測定するには、目印となるものを設置しておかないと把握しづらい

【流況に関する知見】

- ・溪流水が流れはじめる、または急激に増加し始めるまでに、ある程度の前期降雨が必要
- ・雨が降り止んだ後も、溪流の流量は多い状態が続く
- ・上流に崖錐堆積物が厚く堆積している溪流Cの方が溪流ABと比較し上記の傾向が大きい

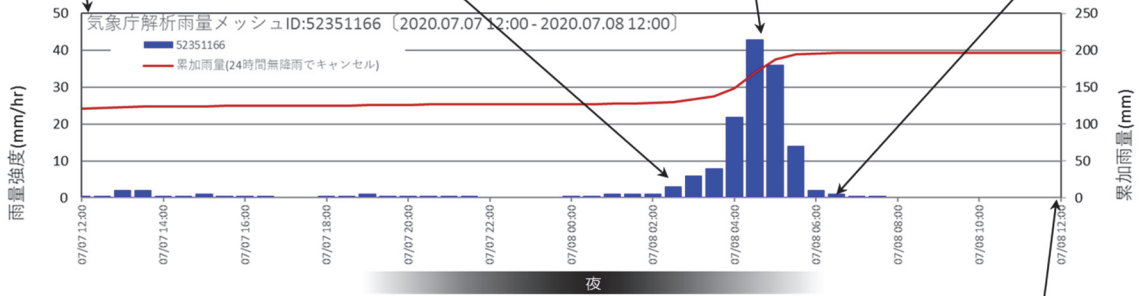
表-4.3.1 インターバルカメラの撮影状況

年月日	TimeLaps動画取得状況					降雨状況											
	観測点A interval (30sec)	観測点B interval (10/30 sec)	観測点C interval (10/30 sec)	備考	動画メモ	01km解析日雨量(mm/day)			01kmピーク雨量(mm/hr)			ピーク時刻			参考		
						観測点A	観測点B	観測点C	観測点A	観測点B	観測点C	観測点A	観測点B	観測点C	日雨量	ピーク時刻	
						52351166	52351167	52351156	52351166	52351167	52351156	52351166	52351167	52351156			
2020/6/20	○	○	○	設置												0.0	
2020/6/21	○	○	○													--	
2020/6/22	○	○	○													--	
2020/6/23	○	○	○													--	
2020/6/24	○	○	○													--	
2020/6/25	○	○	○													2.5	
2020/6/26	○	○	○													0.0	
2020/6/27	○	○	○													0.0	
2020/6/28	○	○	○													7.5	
2020/6/29	○	×	×													0.0	
2020/6/30	○	×	×	10:40頃より流量増大。11:40~12:10頃がピーク?		54.6	59.7	61.9	18.0	19.0	18.0	10:00	10:00	10:00	74.0	11:00	
2020/7/1	○	×	×			4.0	5.5	4.2	4.0	4.0	4.0				4.0		
2020/7/2	○	×	×			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				--		
2020/7/3	○	×	×	夜間のため画像確認不能。		40.0	41.7	42.4	10.0	15.0	15.0	23:00	23:00	23:00	64.5	23:00	
2020/7/4	○	×	×			13.8	15.6	15.7	6.0	6.0	7.0				10.5		
2020/7/5	○	×	×			1.7	1.8	2.0	1.0	1.0	1.0				1.0		
2020/7/6	○	×	×	9:30頃より流量増大。14:00頃がピークか。		54.4	61.1	66.5	16.0	17.0	18.0	10:00	10:00	10:00	48.5		
2020/7/7	○	×	×			17.1	18.7	19.9	3.0	3.0	4.0				15.0		
2020/7/8	○	×	×	濁水? 7:30頃がピークか。		71.4	74.8	75.8	43.0	48.0	48.0	4:30	4:30	4:30	87.0	5:00	
2020/7/9	○	×	×			1.2	1.9	1.8	0.4	1.0	0.4				0.5		
2020/7/10	○	×	×	夜間のため画像確認不能。		61.2	58.2	63.6	26.0	23.0	24.0	19:30	19:30	19:30	45.5		
2020/7/11	○	×	×	9:30頃がピークか。		25.8	26.1	29.8	7.0	8.0	8.0	6:30	6:30	6:30	42.5		
2020/7/12	○	×	×			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				--		
2020/7/13	○	×	×			16.4	16.8	16.3	2.0	2.0	2.0				16.0		
2020/7/14	○	×	×	濁水: 9:50頃より。10:30~11:30頃がピークか。		84.7	94.2	96.7	27.0	29.0	30.0	10:30	10:30	10:30	78.0	11:00	
2020/7/15	○	×	×			2.1	2.6	3.4	2.0	2.0	3.0				--		
2020/7/16	○	×	×			0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4				--		
2020/7/17	○	×	×			1.0	1.0	0.8	0.4	0.4	0.4				1.5		
2020/7/18	○	○	○	SD交換		0.4	0.6	1.0	0.4	0.4	0.4				0.0		
2020/7/19	○	○	○			0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4				0.0		
2020/7/20	○	○	○			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0		
2020/7/21	○	○	○			1.3	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0				0.0		
2020/7/22	○	○	○			2.5	2.5	2.5	1.0	1.0	1.0				0.0		
2020/7/23	○	○	○			1.6	1.0	1.6	0.4	0.4	0.4				0.0		
2020/7/24	○	○	○	夜間のため画像確認不能。		79.6	82.1	81.4	38.0	38.0	36.0	21:00	21:00	21:00	60.0	21:00	
2020/7/25	○	○	○	観測点は1秒の撮影間隔を10SECから30secに変更、6:00頃~7:00頃がピークか。		58.5	60.5	65.9	17.0	17.0	19.0	5:30	5:30	5:30	71.5	4:00	
2020/7/26	○	○	○			8.1	8.0	7.5	3.0	3.0	2.0				10.0		
2020/7/27	○	○	○			2.4	2.4	2.4	0.4	0.4	0.4				2.0		
2020/7/28	○	○	○			1.6	1.8	2.5	1.0	1.0	2.0				0.5		
2020/7/29	○	○	○			3.6	3.6	3.0	2.0	2.0	1.0				0.0		
2020/7/30	○	○	○	16:30頃がピーク		39.2	40.0	38.2	36.0	34.0	32.0	16:30	16:30	16:30	18.0	17:00	
2020/7/31	○	○	○			11.5	13.5	11.4	10.0	12.0	10.0				9.5		
2020/8/1	○	○	○			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0		
2020/8/2	○	○	○			0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4				0.0		
2020/8/3	○	○	○			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0		
2020/8/4	○	○	○			0.6	0.0	0.6	0.4	0.0	0.4				0.0		
2020/8/5	○	○	○			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0		
2020/8/6	○	○	○			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0		
2020/8/7	○	○	○			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0		
2020/8/8	○	○	○			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0		
2020/8/9	○	○	○			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0		
2020/8/10	○	○	○			0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4				0.0		
2020/8/11	○	○	○			3.4	2.7	4.6	2	2	2				0.0		
2020/8/12	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/13	○	○	○			0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4				0.0		
2020/8/14	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/15	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/16	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/17	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/18	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/19	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/20	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/21	○	○	○			3.9	2.5	2	3	2	1				1.0		
2020/8/22	○	○	○			3.7	4.2	4.5	4	6	5				0.5		
2020/8/23	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/24	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/25	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/26	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/8/27	○	○	○			1	0.6	1	0.4	0.4	0.4				0.0		
2020/8/28	○	○	○			1.2	1	0.8	0.4	0.4	0.4				0.0		
2020/8/29	○	○	○			1.2	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4				5.0		
2020/8/30	○	○	○			9	7.6	9.8	9	7	10				11.5	18:00	
2020/8/31	○	○	○			0	0	0	0	0	0				0.0		
2020/9/1	○	○	○			0.6	0.8	0.6	0.4	0.4	0.4				0.0		
2020/9/2	○	○	○			13.5	11.3	11.8	9	7	7				19.0	15:00	
2020/9/3	○	○	○			0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4				0.0		
2020/9/4	○	○	○			1.4	1.4	1.6	0.4	0.4	0.4				0.5		
2020/9/5	○	○	○			24.4	22.4	23.1	21	19	19				17.0	18:00	
2020/9/6	○	○	○	16:00頃がピーク		23.2	29.2	29.4	13	16	15				8.5		
2020/9/7	○	○	○			9.6	9	9.6	3	3	3				4.0		

表-4.3.2 インターバルカメラの撮影状況

年月日	TimeLaps動画取得状況				降雨状況												
	観測点A	観測点B	観測点C	備考	動画メモ	01km解析日雨量(mm/day)			01kmピーク雨量(mm/hr)			ピーク時刻			参考		
	interval	interval	interval			観測点A	観測点B	観測点C	観測点A	観測点B	観測点C	観測点A	観測点B	観測点C	7マス神戸	ピーク時刻	
	(30sec)	(10/30 sec)	(10/30 sec)			52351166	52351167	52351166	52351166	52351167	52351166	52351166	52351167	52351166	日雨量	ピーク時刻	
2020/9/8	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/9/9	○	○	○			5	4.4	5.3	1	1	2					3.0	
2020/9/10	○	○	○			4.8	3.7	4.6	2	2	2					2.5	
2020/9/11	×	×	×	移設		4.1	3.8	3.8	1	0.4	0.4					0.0	
2020/9/12	○	○	○			1.6	1.6	1.2	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/9/13	○	○	○			4.7	3.9	4.9	2	2	3					3.0	
2020/9/14	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/9/15	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/9/16	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/9/17	○	○	○			3.2	1.4	2.4	2	1	1					0.0	
2020/9/18	○	○	○			6	5.9	6.6	2	2	2					1.0	
2020/9/19	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/9/20	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/9/21	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/9/22	○	○	○			0	0.4	0	0	0	0.4					0.0	
2020/9/23	○	○	○			0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/9/24	○	○	○			6.8	6.3	6.3	3	3	3					4.5	
2020/9/25	○	○	○		ピークは夜間	81.5	82	85.5	16	17	18					77.5	
2020/9/26	○	○	○			0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/9/27	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/9/28	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/9/29	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/9/30	○	○	○			5.1	5.1	5.1	4	4	4					2.0	
2020/10/1	○	○	○			1.2	1.5	1.5	0.4	1	1					2.0	
2020/10/2	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/3	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/4	○	○	○			1.2	1.2	0.6	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/10/5	○	○	○			0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4					1.5	
2020/10/6	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/7	○	○	○			3.8	3.3	3.8	2	1	2					3.0	
2020/10/8	○	○	○			36.8	34.9	38.8	4	4	4					34.0	
2020/10/9	○	○	○	SD交換	流水少ない	42.9	40.3	42.8	4	4	4					51.0	
2020/10/10	○	○	○			13.8	12.3	13	4	4	4					10.0	
2020/10/11	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/12	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/13	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/14	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/15	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/16	○	○	○			2.6	2.4	2.6	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/10/17	○	○	○		流水なし	24.7	21	25	4	3	4					19.0	
2020/10/18	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/19	○	○	○			0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/10/20	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/21	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/22	○	○	○			3	3	3.2	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/10/23	○	○	○		流水少ない	33.3	31.6	33.8	6	6	6					34.0	
2020/10/24	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/25	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/26	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/27	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/28	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/29	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/30	○	○	○	SD交換		0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/10/31	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/1	○	○	○			0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/11/2	○	○	○		流水少ない	46	44	48	8	8	8					38.5	
2020/11/3	○	○	○			1.1	1.8	1.6	1	2	2					0.5	
2020/11/4	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/5	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/6	○	○	○			1.2	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/11/7	○	○	○			4.3	3.6	4	1	1	1					4.5	
2020/11/8	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/9	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/10	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/11	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/12	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/13	○	○	○			0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/11/14	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/15	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/16	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/17	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/18	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/19	○	○	○			0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/11/20	○	○	○			7.6	7.5	8	3	2	3					4.5	
2020/11/21	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/22	○	○	○			1.6	1.6	1.6	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/11/23	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/24	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/25	○	○	○			0	0	0	0	0	0					0.0	
2020/11/26	○	○	○			0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4					0.0	
2020/11/27	○	○	○	撤収		2.8	3.1	3.1	3	3	3					0.5	

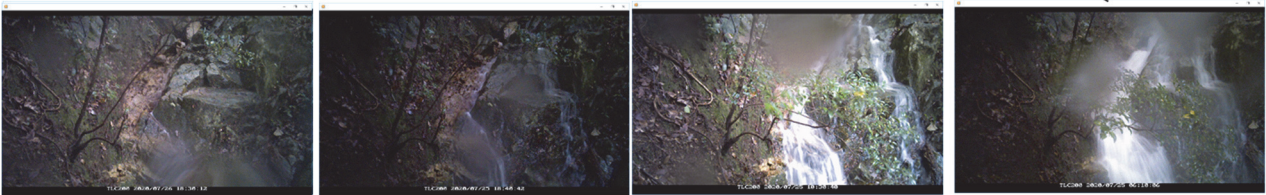
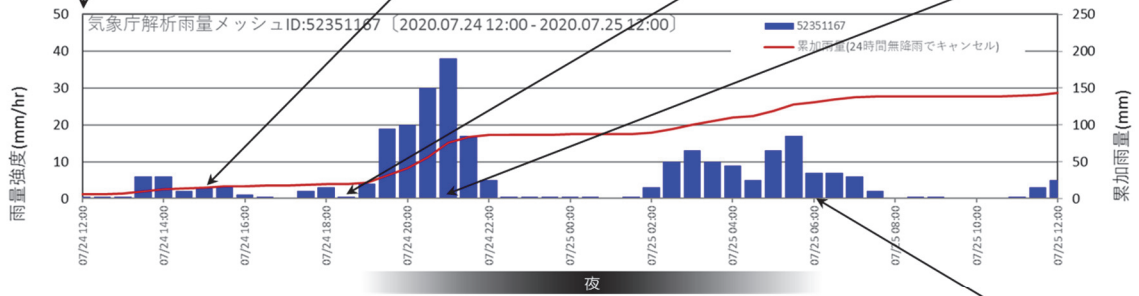
①降雨前日(前期降雨により流水あり) ②降り始め(夜間で観察不可) ③降雨ピーク(夜間で観察不可) ④明朝(増水が確認できる)



⑤降雨後約36時間(流水あり) ⑦降雨後約24時間(流水あり) ⑥降雨後約12時間(流水は減少) ⑧降雨後約6時間(増水確認)

図-4.3.4 溪流 A 2020.7.8(土砂災害警戒情報発表降雨)

①降雨前(流水はわずか) ②降り始め(流水はわずか) ③降り始め(流水はわずか) ④降雨ピーク(夜間で観察不可)



⑤降雨後約34時間(流水わずか) ⑦降雨後約10時間(流水減少) ⑥降雨後約2時間(流水はやや減少) ⑧明朝(増水確認)

図-4.3.5 溪流 B 2020.7.24-25(土砂災害警戒情報発表降雨)

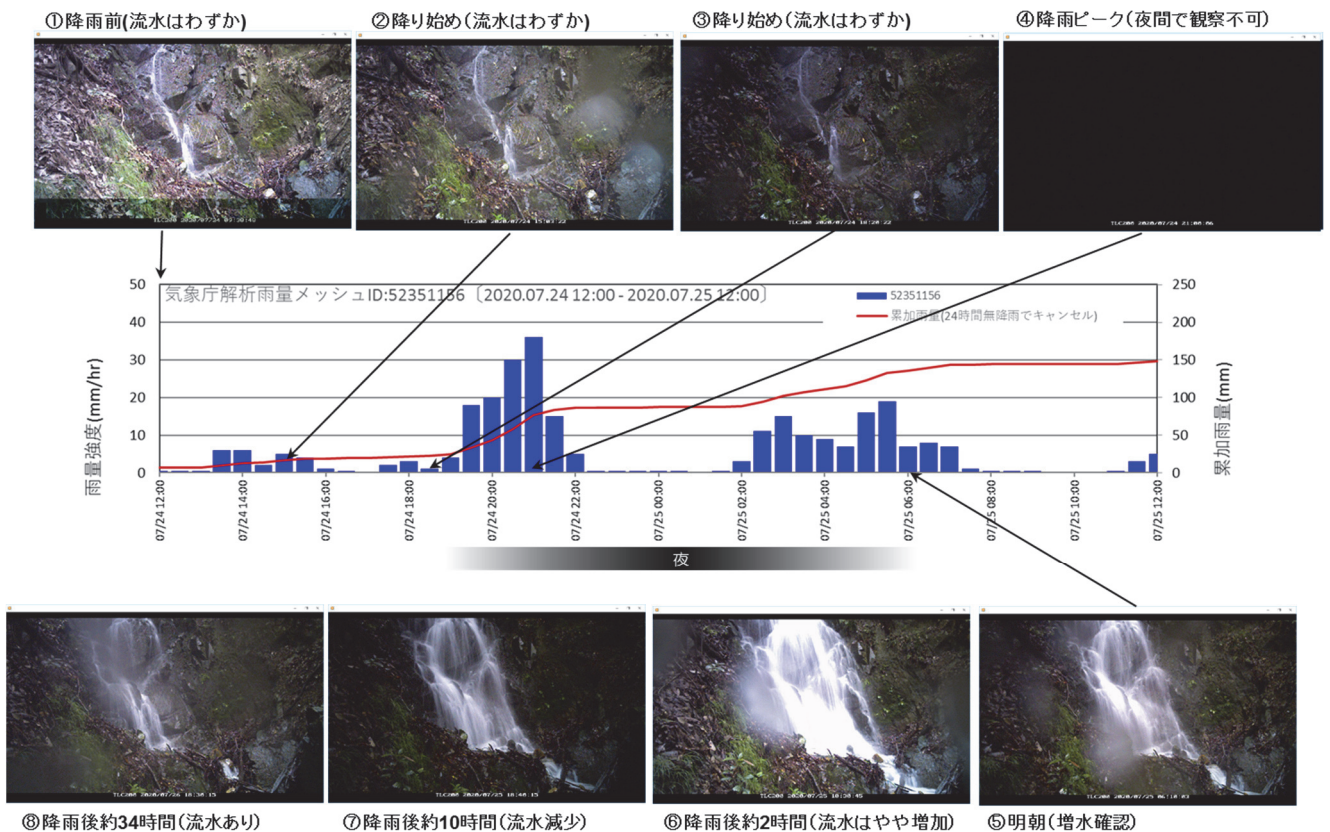


図-4.3.6 溪流C 2020.7.24-25(土砂災害警戒情報発表降雨)

(4) インターバルカメラの移設

2020年7月の観測結果をうけて、9月11日にカメラ位置の変更や流下幅、水深を計測するための目印の設置した(図-4.3.7参照)。また、流量計測の精度向上のため、断面形状の測定を行った(図-4.3.8～4.3.10参照)。

溪流A：直線流路で流下断面形状が単純な矩形となうようにカメラを上流へ移設、目印を設置

溪流B：直線流路で流下断面形状が単純な矩形となうようにカメラを下流へ移設、目印を設置

ただし、河床に砂礫が堆積しており、通常時または少雨時は伏流して表流水はない

溪流C：直線流路で流下断面形状が単純な矩形となうようにカメラを下流へ移設、目印を設置

ただし、河床に砂礫が堆積しており、通常時または少雨時は伏流して表流水はない



図-4.3.7 カメラ位置の変更と目印（リボンテープ）の設置状況

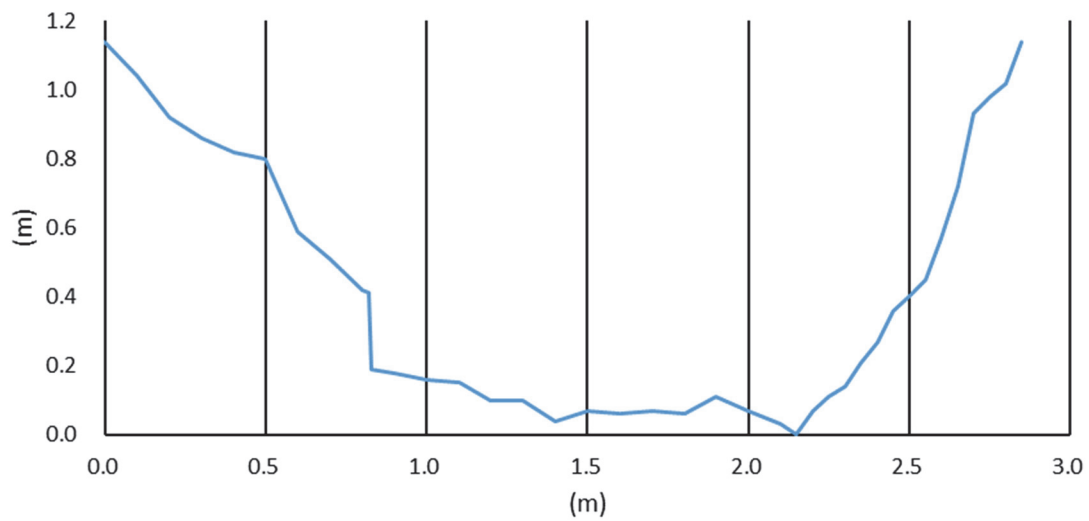


図-4.3.8 断面形状（溪流A）

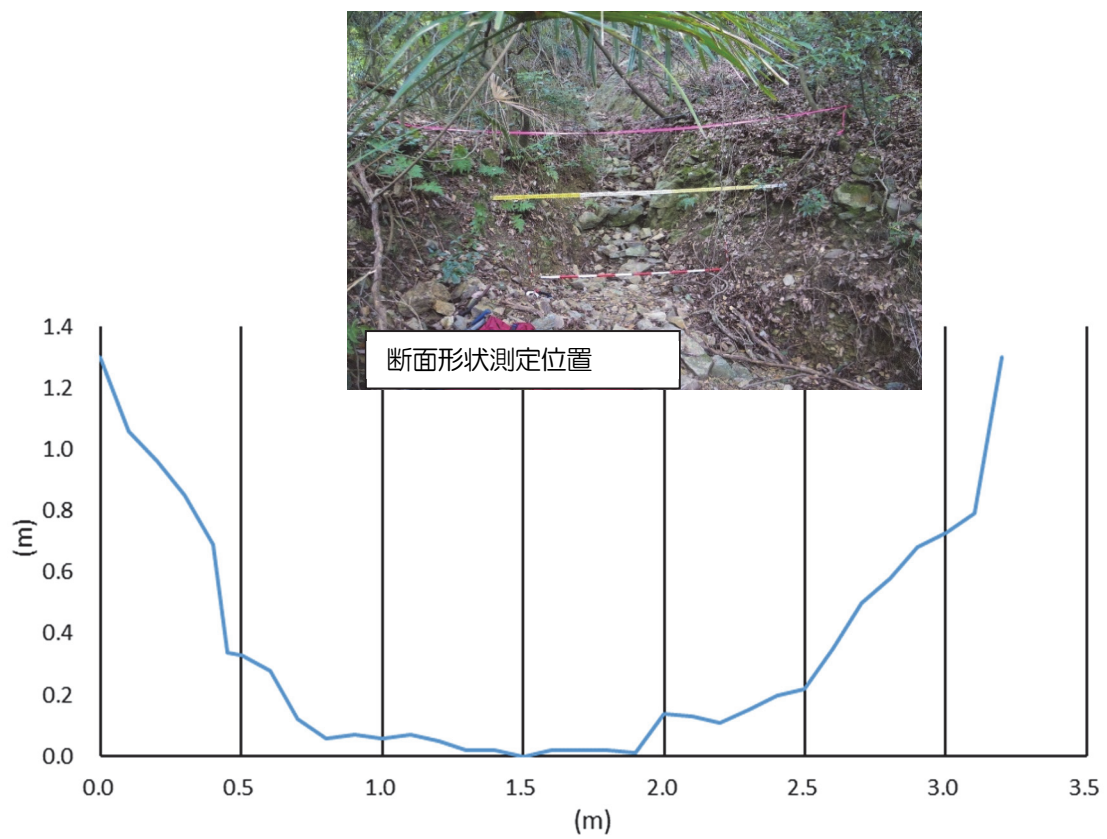


图-4.3.9 断面形状 (溪流 B)

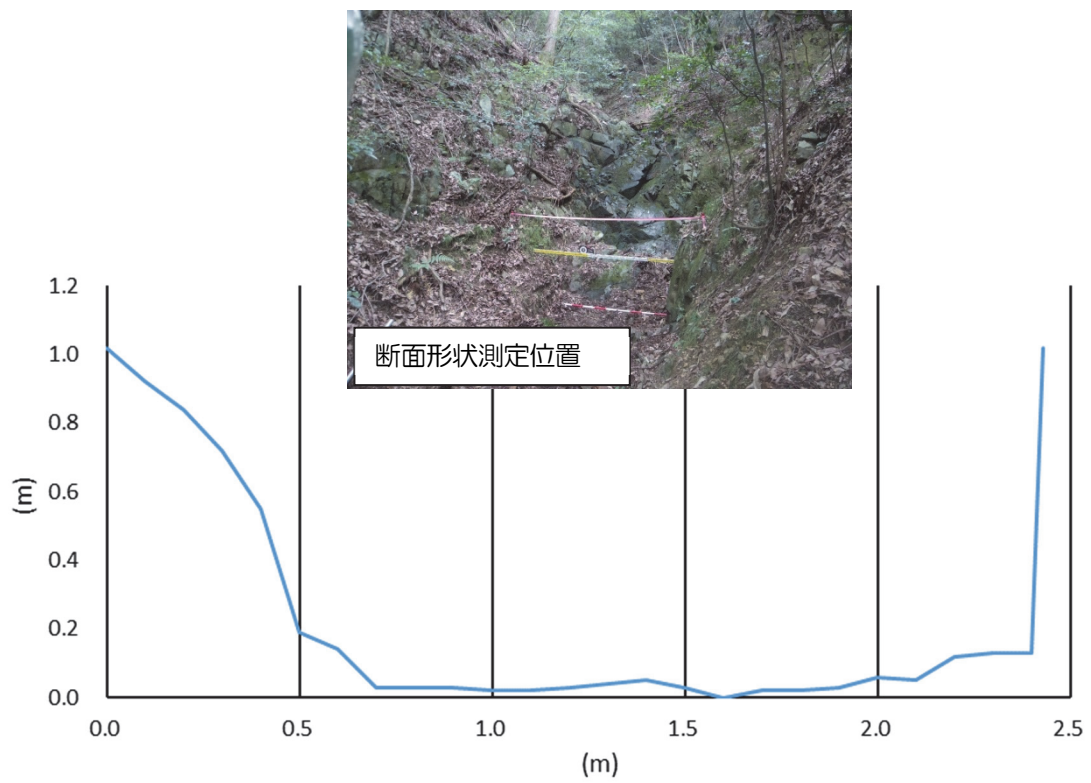













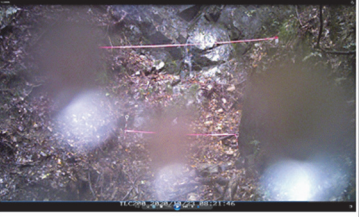





图-4.3.10 断面形状 (溪流 C)

移設設置のインターバルカメラの取得映像を表-4.3.3に示す。なお、移設後の9月～11月は、総雨量100mmを超える雨はなく、流量計測を行うような流出はみられなかった。

表-4.3.3 インターバルカメラの撮影状況

降雨 生起日	雨量 ピーク 時刻	渓流A	渓流B	渓流C
2020/9/6	16:30	2020/9/6 16:17	2020/9/6 16:30	2020/9/6 16:10
				
カメラ移設				
2020/9/25	9:30	2020/9/25 10:10	2020/9/25 9:16	2020/9/25 9:15
				
2020/10/9	12:30	2020/10/9 12:54	2020/10/9 12:30	2020/10/9 13:00
				
2020/10/17	15:30	2020/10/17 15:51	2020/10/17 15:35	2020/10/17 15:50
				
2020/10/23	8:00	2020/10/23 9:10	2020/10/23 8:10	2020/10/23 8:21
				
2020/11/2	9:30	2020/11/2 10:16	2020/11/2 9:48	2020/11/2 10:37
				

(5) 2020 年度の観測のまとめ

2020 年度の観測結果から、インターバルカメラを用いることで、自然河道の流況（流下幅、水深）や流水の濁りの状況を比較的安易に長期間連続して観察できることが確認できた。しかし、流下幅や水深を計測するには、流れが滝状になる場合や複数の滞筋に分かれないようなカメラ位置（直線流路、矩形に近い流下断面）を探すことや、計測のための目印を設置する等の工夫が必要であることがわかった。特にカメラ位置に関しては、小溪流の下流流路では、すべての条件に適合する地点がないことも想定されるので、観測はいくつかの溪流で並行して実施するのが望ましいと考えられる。

一方、水深の観測結果から流量への換算においては、普及しているデイトタイプ（夜間）のインターバルカメラでは夜間の観測が難しいことや、流速情報の取得が難しいことがあげられる。流速については、特に今回のような山地の小流域では洪水継続時間が短いため、出水中に現地に行き直接流速を測るのは安全管理も踏まえると至難であることが想像できる。この夜間対応と流速観測が課題であることが確認された。

【夜間対応・流速観測に関する試験観察】

2021 年 3 月 17 日に夜間撮影（赤外）対応の監視カメラ（インターバル機能、動画機能）を試験的に設定した。

夜間対応 : 夜間のインターバル撮影可能

流速観測用の動画撮影 : スマートフォンから動画撮影（30 フレーム/秒）モードに切り替え可能



図-4.3.11 暗視カメラ設置及びインターバルカメラ観測再開状況【溪流A】(2021.3.17)

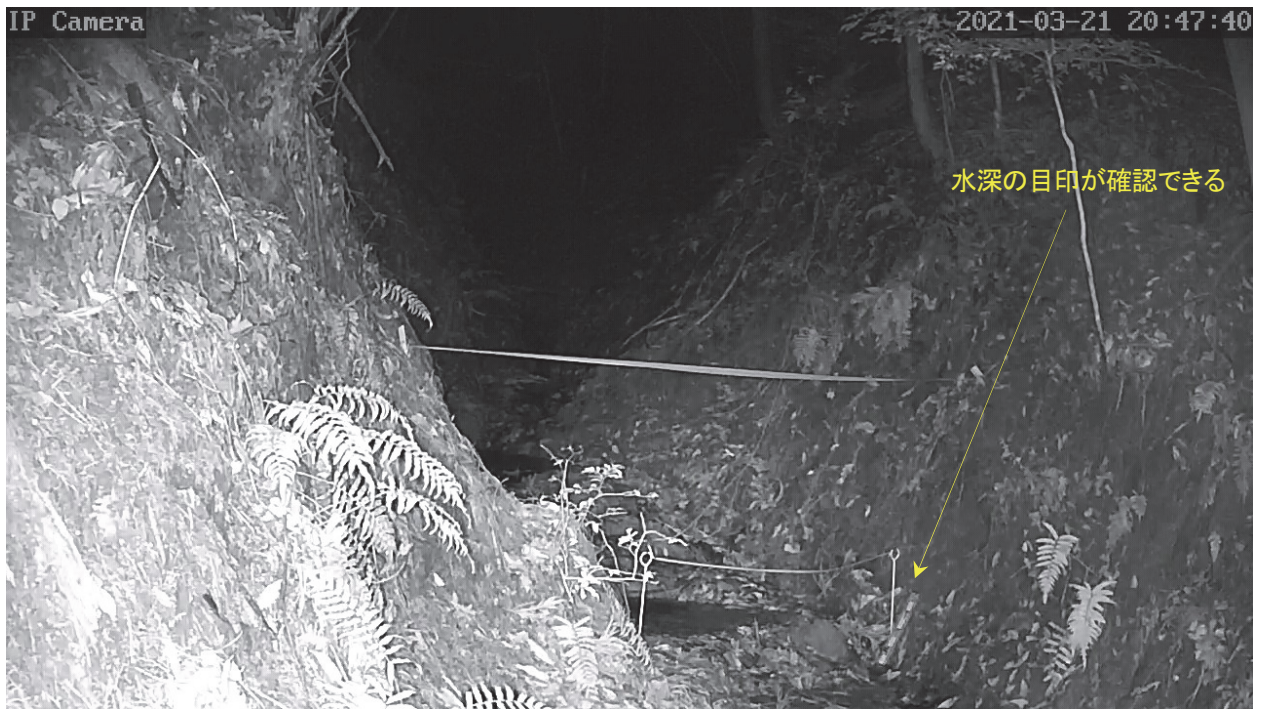


図-4.3.12 暗視カメラの取得画像【溪流A】(2021.3.21 21:47)

夜間の観測・流速情報の取得への対応として、夜間暗視カメラを試験的に設置したが、12V100AHの鉛蓄電池で3日程度しか稼働できないことがわかった。

4.4 2021 年度の観測

2020 年 6 月より、神戸三田線規制区間の 3 溪流にインターバルカメラを設置し、土砂流出モデル作成・検証のための基礎データとして降雨と流出状況の観測データを蓄積している。2021 年度は、これまでの観測で課題としてあげられていた夜間の観測と流速情報の取得への対応として、赤外線動画撮影に取り組んだ。

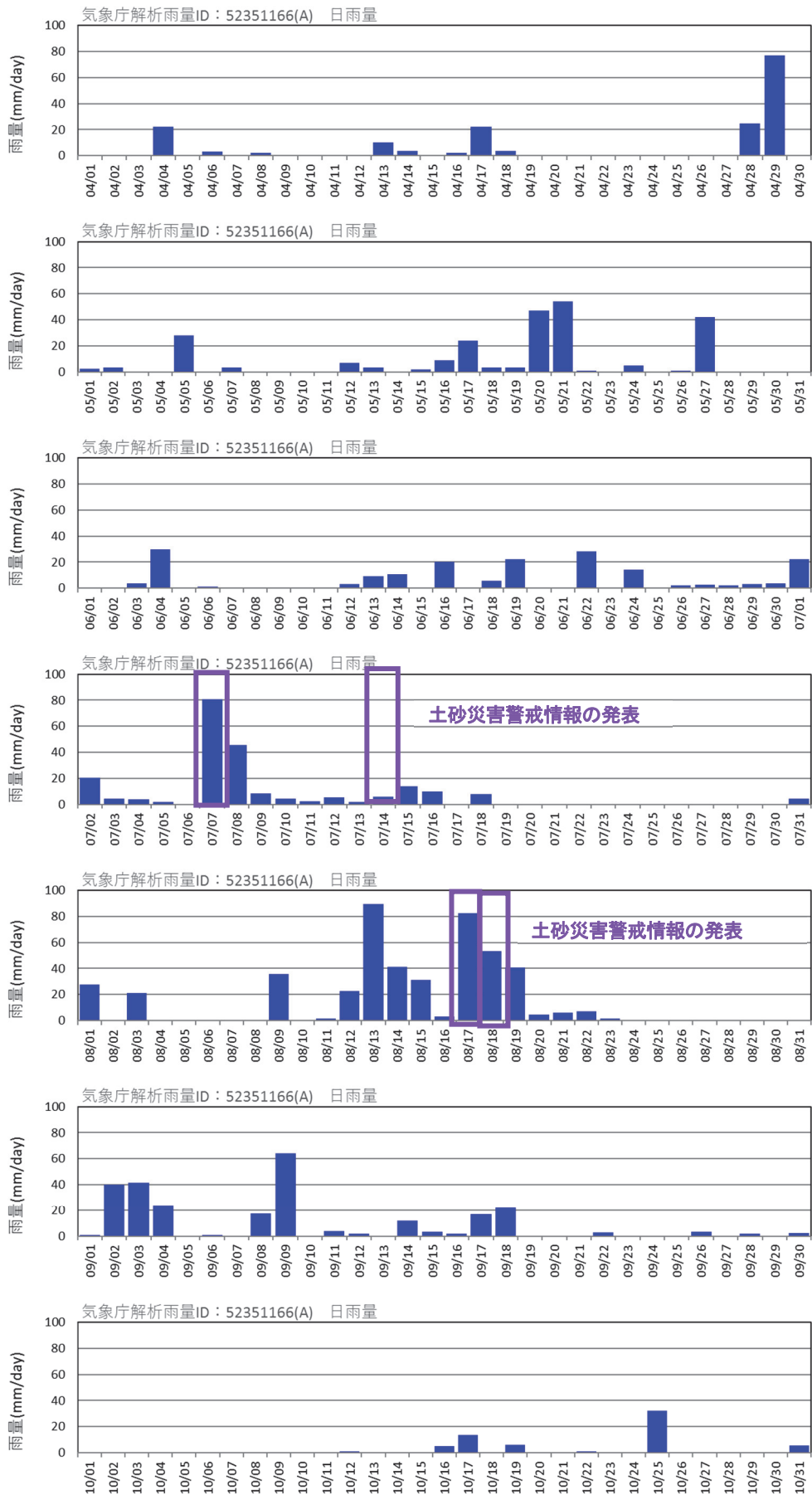
(1)2021 年度の観測概要

2020 年度に引き続き 3 溪流で流出状況の観測を実施した。商用電源の引き込み工事を行い暗視カメラ（動画撮影、携帯通信）を設置した。商用電源が確保できるまでの期間については、2020 年度と同様にインターバルカメラ（デイライトタイプ）での観測を継続した。なお、試験的にインターバルカメラ（暗視タイプ、インターバル動画撮影）を設置し、取得した動画から PIV（粒子画像流速測定法）による流速計測を試みた。

観測期間中の降雨状況を図-4.4.1 に示す。2021 年度は年間を通じて大きな雨は少なく、日雨量の最大値は 104mm 程度であった。土砂災害警戒情報は下記に示す 4 回発表されたが、道路に影響のあるような土砂流出は発生しなかった。

【神戸市で土砂災害警戒情報の発表のあった降雨】

2021 年 7 月 7 日	: 最大時間雨量 24.0mm (52351156)
	連続雨量 133.9mm (52351156, 7/7-7/8 の 2 日間の総雨量)
2021 年 7 月 14 日	: 最大時間雨量 5.0mm (52351156)
	連続雨量 135.2mm (52351156, 7/7-7/14 の 8 日間の総雨量)
2021 年 8 月 17 日	: 最大時間雨量 26.0mm (52351167)
2021 年 8 月 18 日	: 最大時間雨量 16.0mm (52351167, 52351156)
	連続雨量 186.6mm (52351156, 7/17-7/19 の 3 日間の総雨量)



図一4.4.1 観測期間中の降雨状況（解析雨量を日雨量(0:00-24:00)として集計）

(2) インターバルカメラの設置状況

20213月17日にインターバルカメラ(図-4.4.2~4.4.3参照)を設定し、観測を開始した。カメラの設定状況を図-4.4.4に示す。



Brinno 社製 TLC 200
サイズ：125 mm×89 mm×54 mm
画角：59 度
解像度：1280×720
夜間の撮影は不可
電池単三 4 本,約 1 カ月撮影可能

図-4.4.2 観測に用いたインターバルカメラ(デイトライト撮影)



サンワサプライセキュリティカメラ
CMS-SC03GY
サイズ：136mm×96 mm×80 mm
画角：105 度
解像度：3840×2160
夜間の撮影(赤外線フラッシュ最大 15m)
電池単三 8 本,約 1 カ月撮影可能

図-4.4.3 観測に用いたインターバルカメラ(夜間の赤外線撮影可能)



溪流 A



溪流 B



溪流 C

図-4.4.4 インターバルカメラの設置状況 (2021. 3. 17 設置)

(3) インターバルカメラ画像データの整理

インターバルカメラで撮影した画像の撮影状況を表-4.4.1~4.4.5に示す。インターバルカメラによる主要な降雨の観測状況を図-4.4.5~4.4.24に示す。観測及び流況に関する知見を以下に整理する。

【観測に関する知見】

- ・流量の変化や濁り等の定性的な流況の把握はインターバルカメラで把握できる
- ・赤外線撮影により夜間の撮影も可能

(2021年8月16日(溪流A) 9月16日(溪流B・C) 設置)

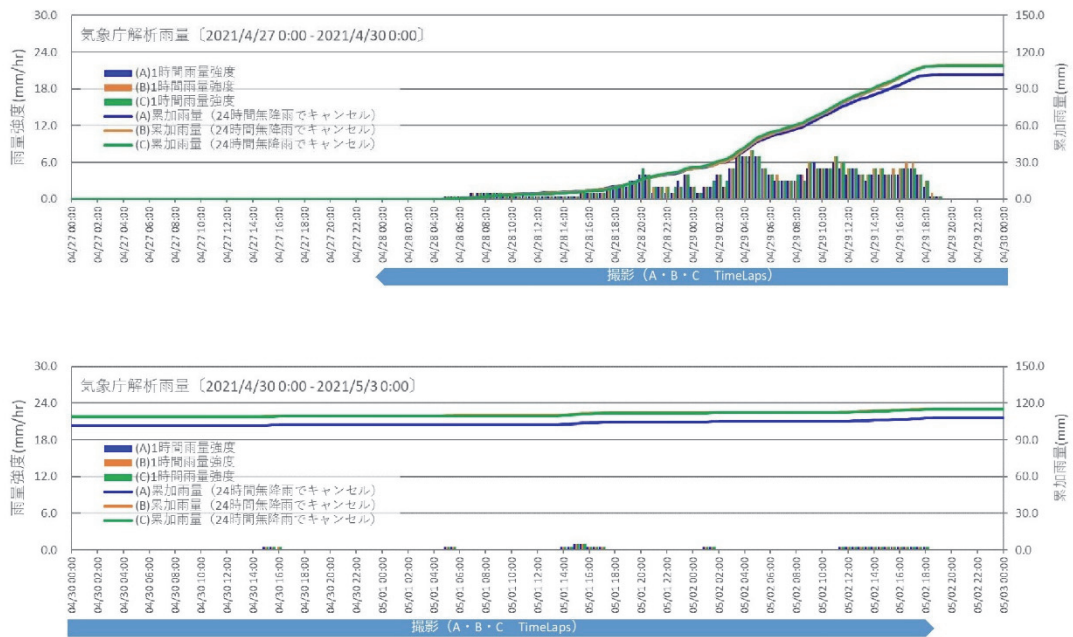
【流況に関する知見】

- ・溪流水が流れはじめる、または急激に増加し始めるまでに、ある程度の前期降雨が必要
- ・雨が降り止んだ後も、溪流の流量は多い状態が続く

表-4.4.4 インターバルカメラの撮影状況

年月日	撮影画像取得状況												降雨状況(気象庁解析雨量)												有馬川(国交省)		
	渓流A			渓流B			渓流C			備考	撮影メモ	日雨量(mm/day)			最大時間雨量(mm/hr)			降雨ピーク時刻			日雨量(mm/day)	最大時間雨量(mm/hr)	降雨ピーク時刻				
	TLC interval(sec)	赤外線 interval(sec)	interval(sec)	TLC interval(sec)	赤外線 interval(sec)	interval(sec)	TLC interval(sec)	赤外線 interval(sec)	interval(sec)			渓流A	渓流B	渓流C	渓流A	渓流B	渓流C	渓流A	渓流B	渓流C							
2021/8/16			●							降雨-6			3.2	3.4	3.4	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0				
2021/8/17			●						降雨-6	Aは画像なし、確認不能。Bは14頃に流量MAX、以降流量多いまま。			82.4	92.2	89.2	22.0	26.0	24.0	14:00	14:00	14:00	85.0	23.0	17:00			
2021/8/18		●	●						降雨-6	Aは画像なし、確認不能。Bは6時頃まで流量多いまま、以降徐々に減少し18時頃流水消失。			53.1	56.1	58.1	15.0	16.0	16.0	4:30	4:30	4:30	61.0	18.0	2:00			
2021/8/19		●	●						降雨-6	Aは12時頃が増水ピーク、以降徐々に減少。Bは9時前頃に流水発生、9時半頃まで増水、以降徐々に減少。			40.6	36.1	39.3	22.0	18.0	21.0	9:00	9:00	9:00	23.0	11.0	9:00			
2021/8/20		●	●						降雨-6				4.6	4.2	4.6	0.4	0.4	0.4				1.0	1.0				
2021/8/21		●	●						降雨-6				6.2	6.7	6.2	4.0	5.0	4.0				3.0	3.0				
2021/8/22		●	●						降雨-6				6.9	7.2	7.0	1.0	2.0	2.0				8.0	5.0				
2021/8/23		●	●						降雨-6				1.5	1.1	1.2	1.0	1.0	0.4				1.0	1.0				
2021/8/24		●	●						降雨-6				0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0				
2021/8/25		●	●						降雨-6				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0				
2021/8/26		●	●										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0				
2021/8/27		●	●										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0				
2021/8/28		●	●										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0				
2021/8/29		●	●										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0				
2021/8/30		●	●										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0				
2021/8/31		●	●										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0				
2021/9/1		●	●										0.8	1.2	1.2	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0				
2021/9/2		●	●						降雨-7	Aは18:30頃に流量MAXか? Bは流水なし。			40.2	42.7	44.1	11.0	11.0	15.0	18:00	18:00	18:30	34.0	8.0	18:00			
2021/9/3		●	●						降雨-7	Aは11~12時頃に流量MAXか? Bは10時頃に流水発生、流量微増するも11時頃に流水消失。			41.3	42.1	44.3	16.0	17.0	17.0	10:00	10:00	10:00	34.0	15.0	10:00			
2021/9/4		●	●						降雨-7	Aは14時頃に流量MAXか? Bは流水なし。			23.9	27.6	26.7	15.0	17.0	16.0	13:00	13:00	13:00	26.0	21.0	13:00			
2021/9/5		●	●										0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0				
2021/9/6		●	●										0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0				
2021/9/7		●	●										0.0	0.4	0.4	0.0	0.4	0.4				0.0	0.0				
2021/9/8		●	●							Aは24時までは増水なし。Bは日中は流水なし、降雨ピーク時は夜間のため画像確認不能。			17.2	16.7	18.3	17.0	16.0	16.0	24:00	24:00	24:00	18.0	14.0	24:00			
2021/9/9		●	●						降雨-8	Aは02:30頃に増水MAX、以降8時頃まで流量多いまま。Bは画像が確認できる05:30には流水あり、徐々に減少し10:30頃に流水消失。			64.1	66.1	64.1	21.0	20.0	20.0	0:30	0:30	0:30	56.0	18.0	2:00			
2021/9/10		●	●										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0				
2021/9/11		●	●										3.8	3.8	3.8	2.0	2.0	2.0				2.0	1.0				
2021/9/12		●	●										1.6	1.4	1.6	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0				
2021/9/13		●	●										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0				
2021/9/14		●	●										11.9	13.3	12.4	1.0	2.0	2.0				7.0	2.0				
2021/9/15		●	●										3.2	3.5	3.4	1.0	1.0	1.0				1.0	1.0				
2021/9/16	●	●	●		●								1.8	1.4	1.8	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0				
2021/9/17	●	●	●		●				降雨-9	A・Cは降雨ピーク時までは流量少ない。Bは流水なし。			17.1	19.9	18.6	9.0	10.0	9.0	24:00	24:00	24:00	21.0	11.0	24:00			
2021/9/18	●	●	●		●				降雨-9	Aは0時頃に流量MAXに到達、7~8時頃まで流量そのまま、以降徐々に減少。Bは流水なし。Cは降雨ピーク前後は画像不鮮明で確認不能、ただし7時頃の流量は前日17日の17時頃よりは増水が見られる。			22.1	19.9	21.9	9.0	8.0	9.0	0:30	0:30	0:30	26.0	12.0	2:00			
2021/9/19	●	●	●		●								0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4				0.0	0.0				
2021/9/20	●	●	●		●								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0				
2021/9/21	●	●	●		●								0.4	0.0	0.4	0.4	0.0	0.4				0.0	0.0				
2021/9/22	●	●	●		●								2.9	2.1	2.9	2.0	2.0	2.0				0.0	0.0				

降雨-1 4月28～29日降雨



降雨-1 観測事例：溪流A（4月28～29日降雨）TimeLaps

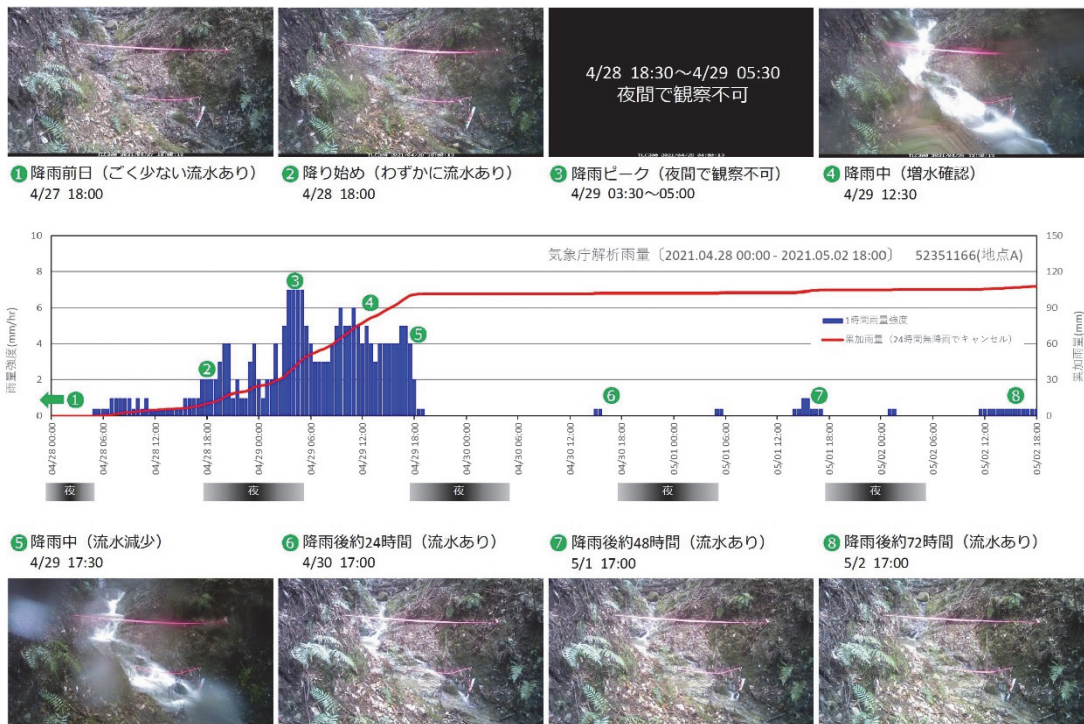
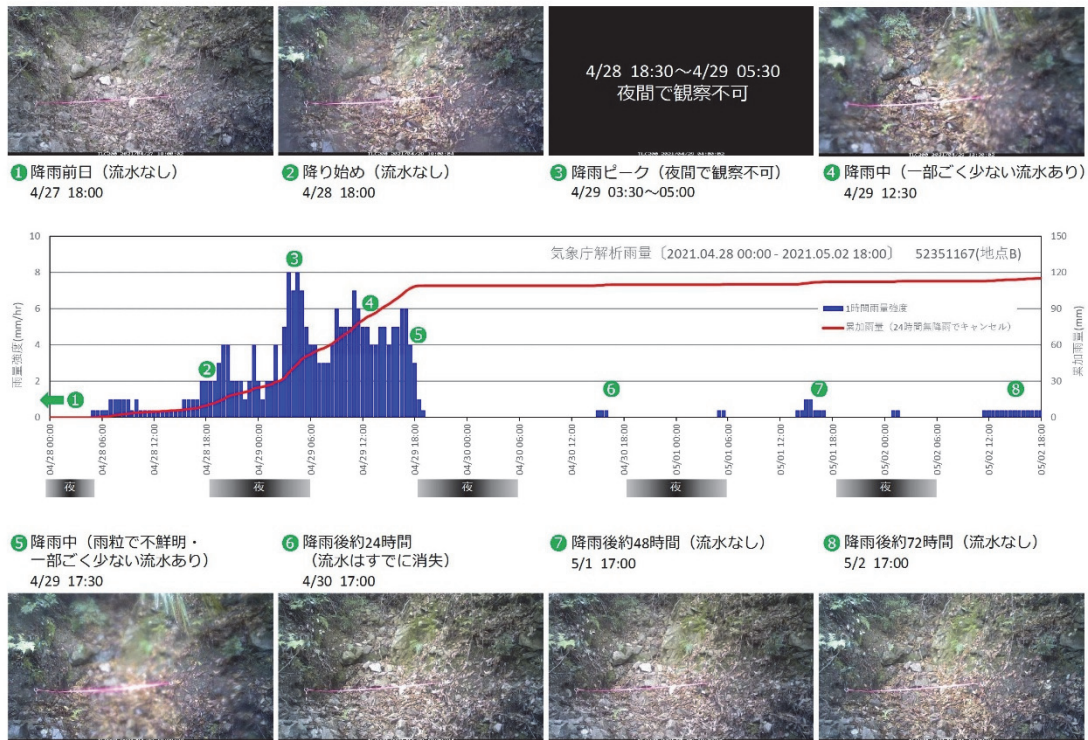


図-4.4.5 インターバルカメラの撮影状況

降雨-1 観測事例：溪流B（4月28～29日降雨）TimeLaps



降雨-1 観測事例：溪流C（4月28～29日降雨）TimeLaps

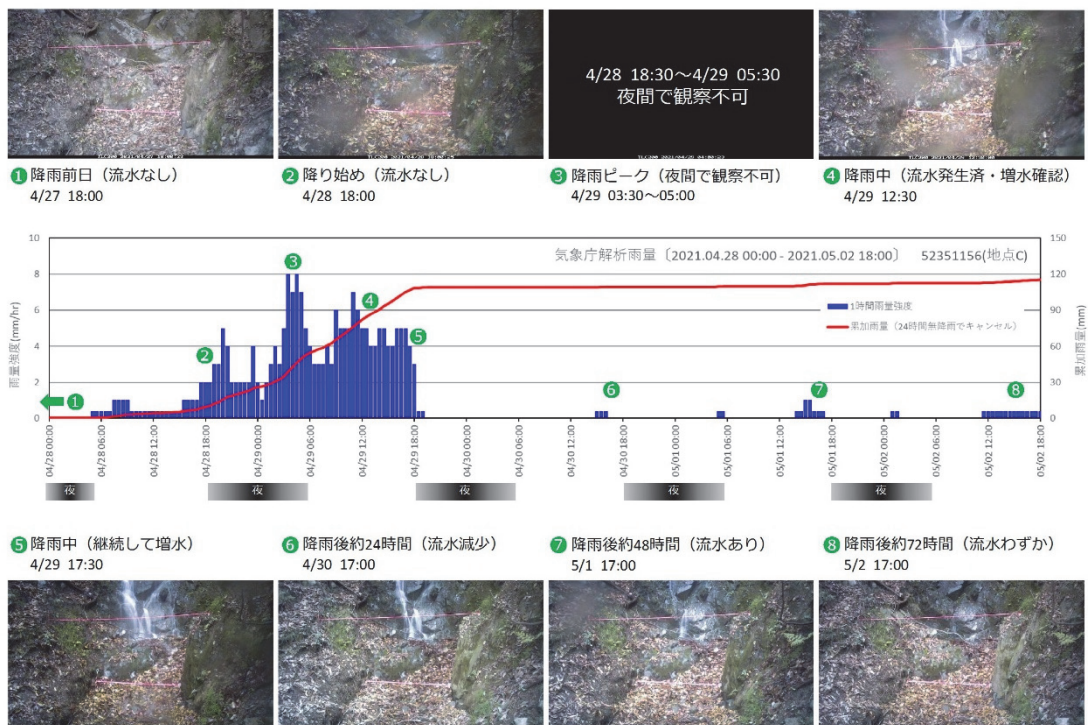
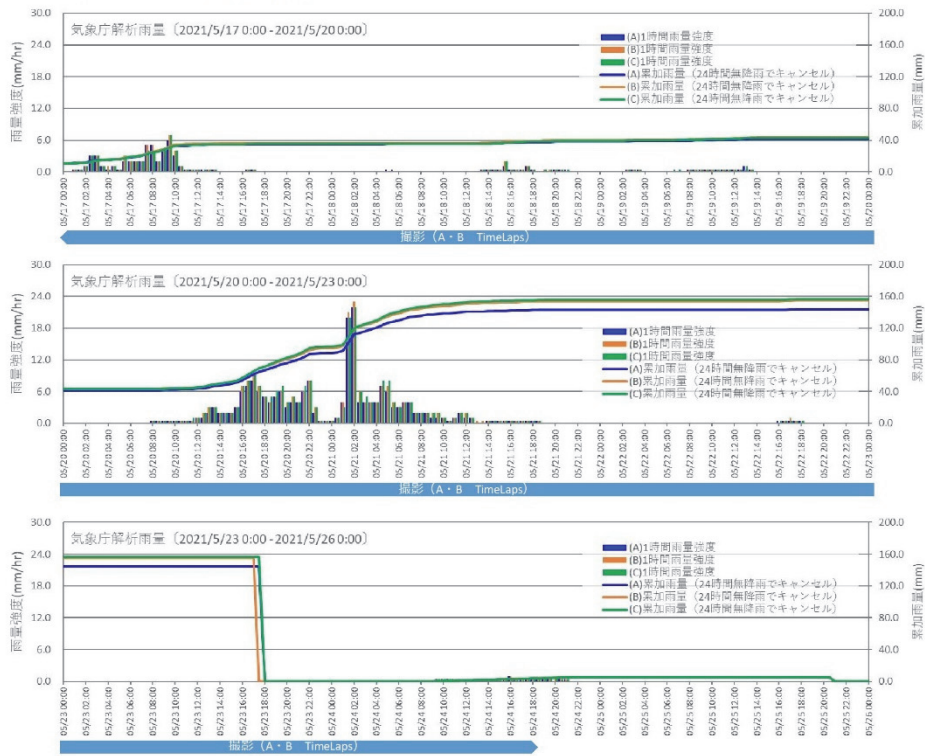


図-4.4.6 インターバルカメラの撮影状況

降雨- 2 5月20～21日降雨



降雨-2 観測事例：渓流A（5月20～21日降雨）TimeLaps

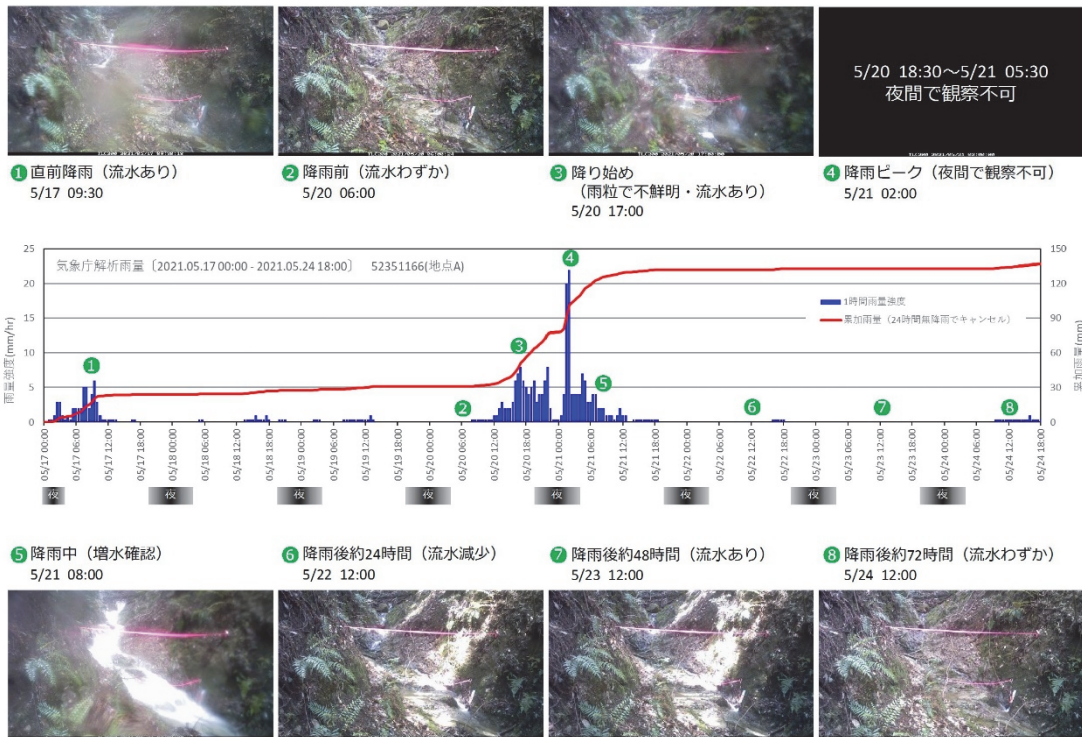


図-4.4.7 インターバルカメラの撮影状況

降雨-2 観測事例：溪流B（5月20～21日降雨）TimeLaps

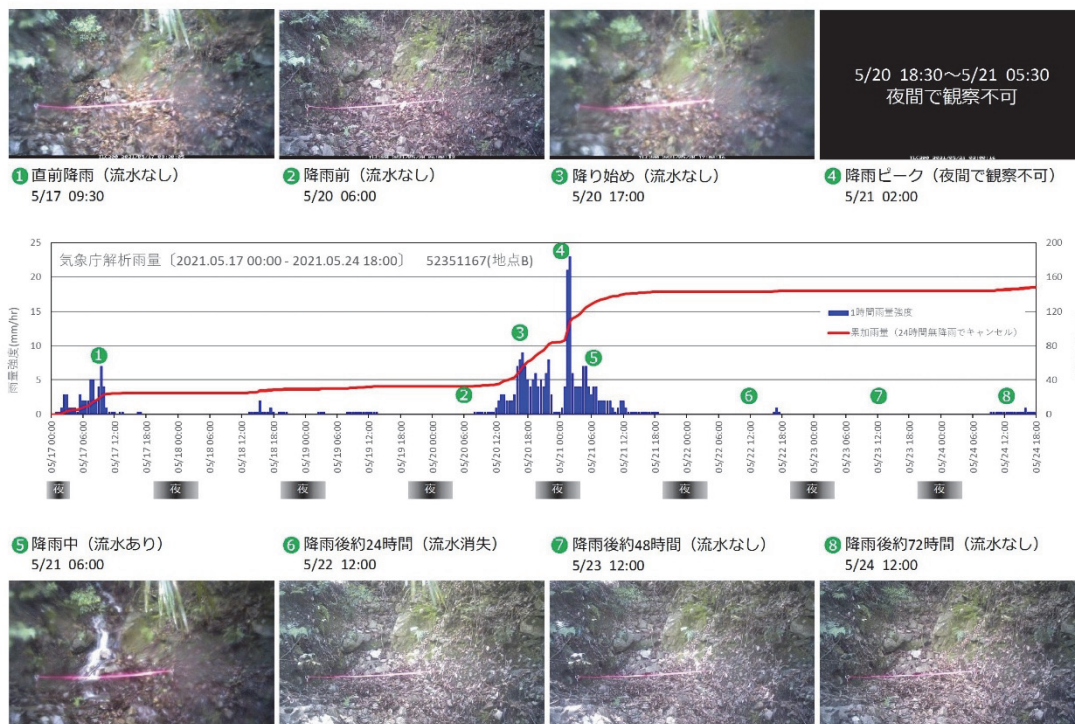
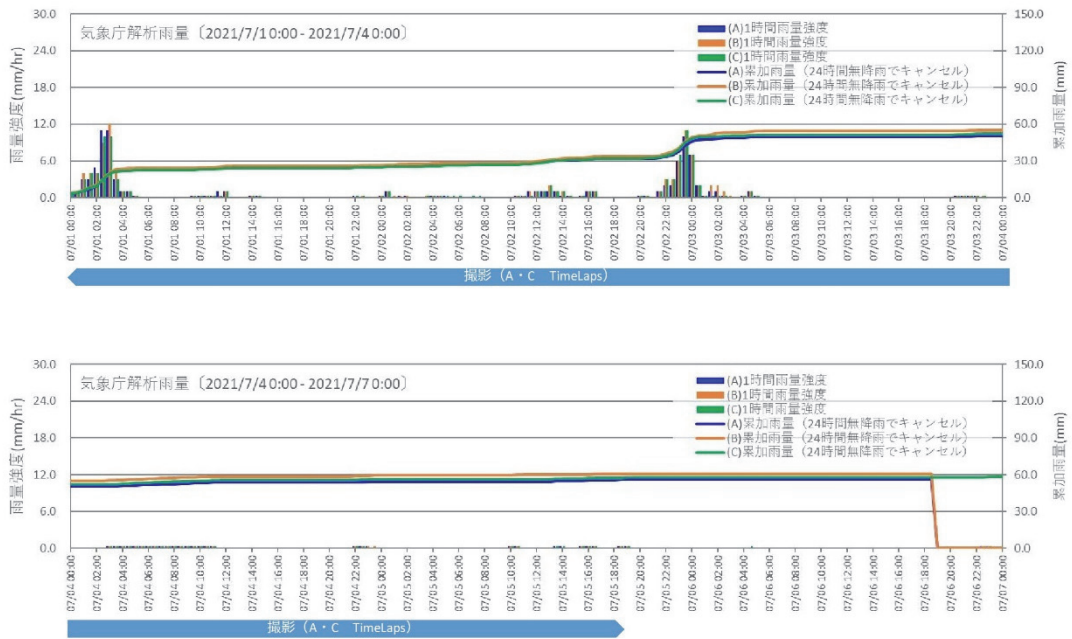


図-4.4.8 インターバルカメラの撮影状況

降雨-3 7月1～3日降雨



降雨-3 観測事例：溪流A（7月1～3日降雨）TimeLaps

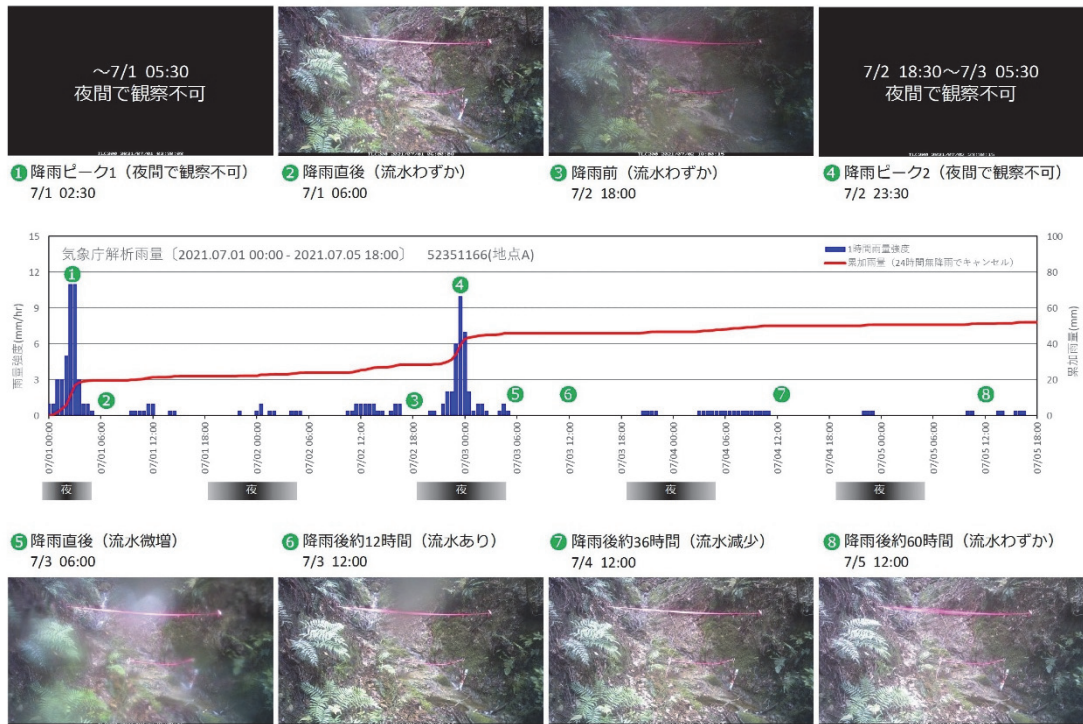


図-4.4.9 インターバルカメラの撮影状況

降雨-3 観測事例：溪流C（7月1～3日降雨）TimeLaps

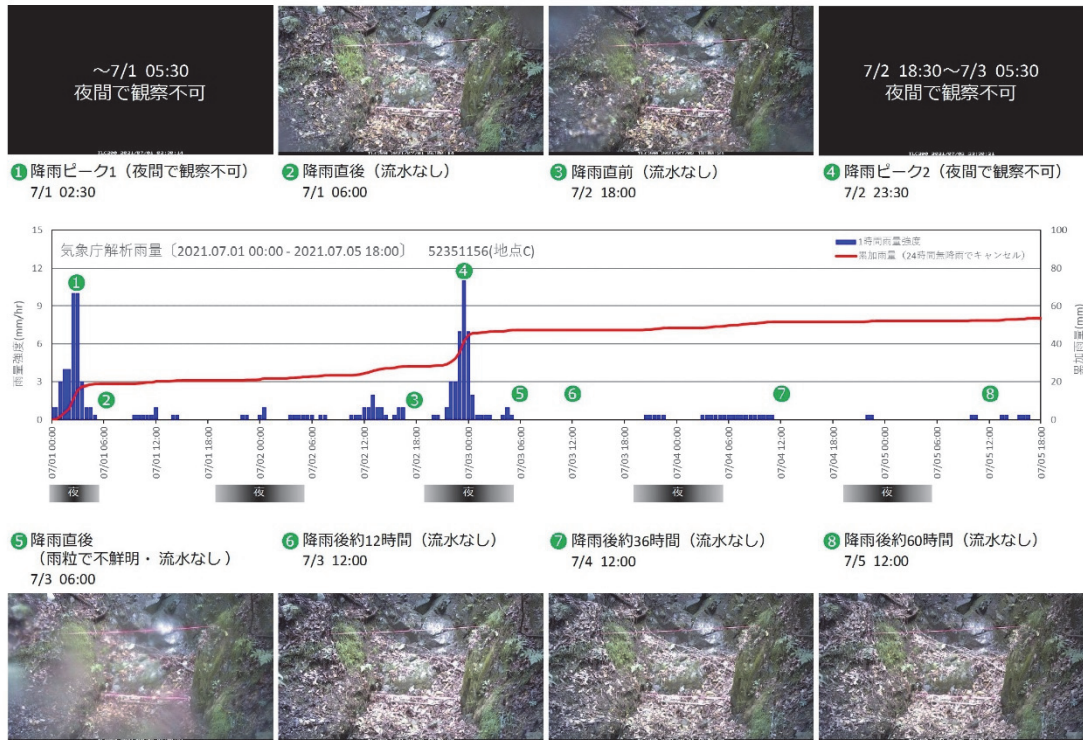
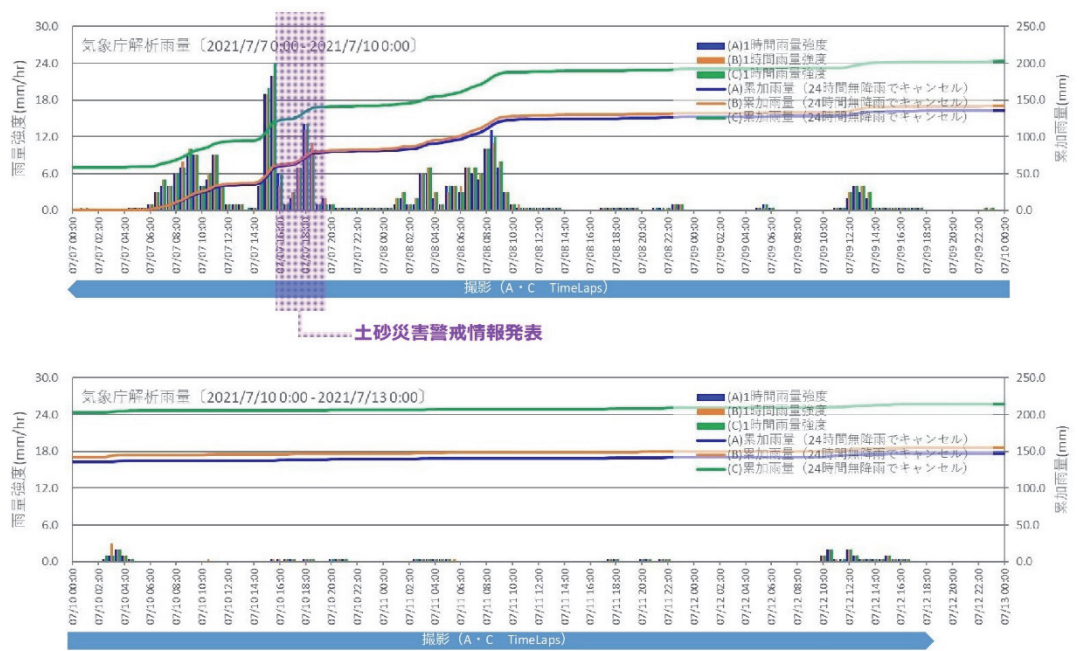


図-4.4.10 インターバルカメラの撮影状況

降雨- 4 7月7~8日降雨



降雨-4 観測事例：溪流A（7月7~8日降雨）TimeLaps

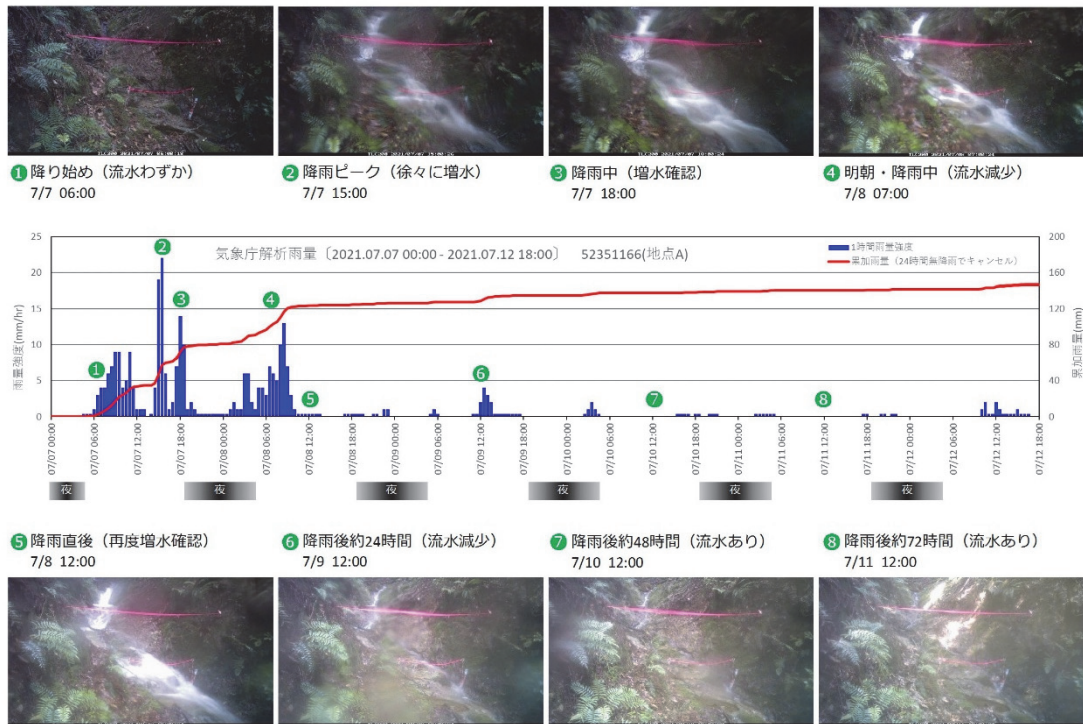


図-4.4.11 インターバルカメラの撮影状況

降雨-4 観測事例：溪流C（7月7～8日降雨）TimeLaps

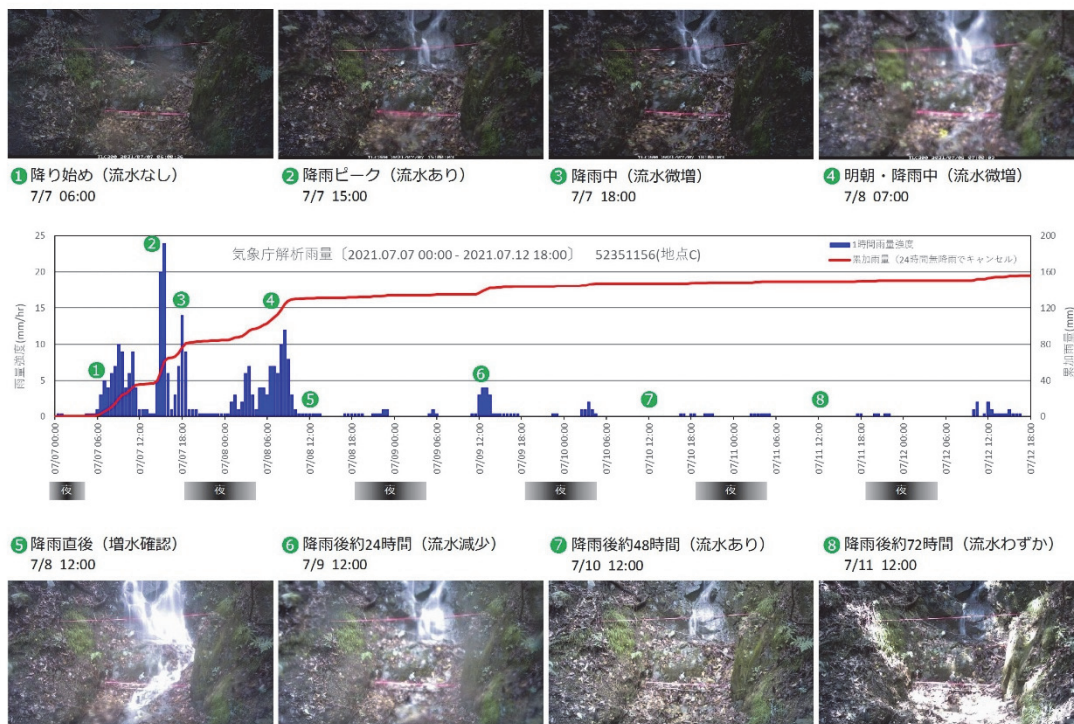
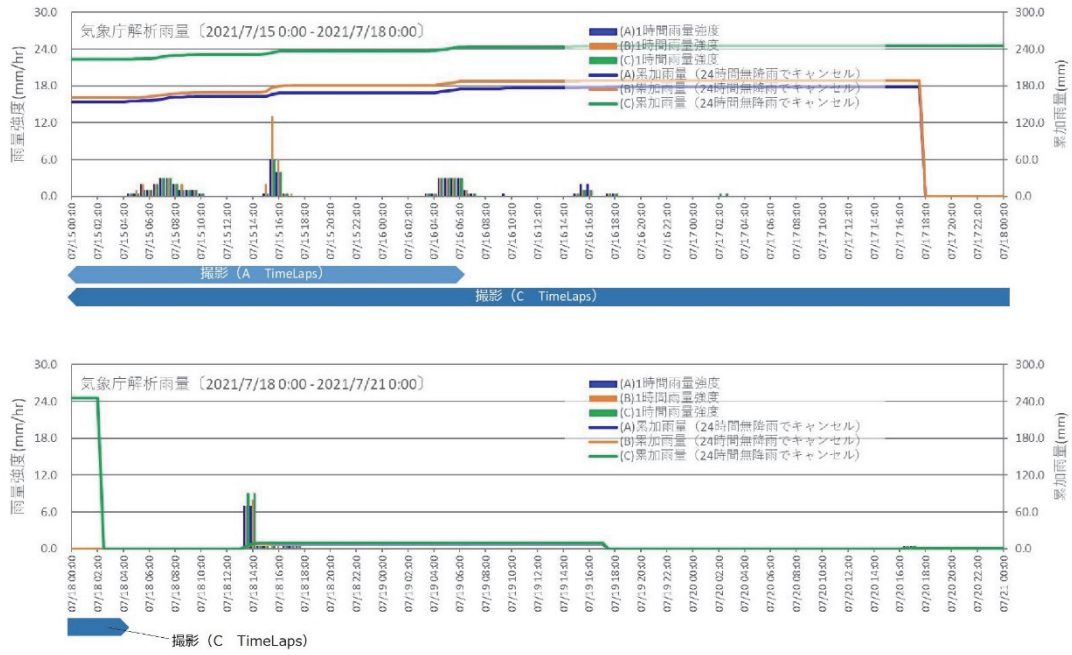


図-4.4.12 インターバルカメラの撮影状況

降雨-5 7月15～18日降雨



降雨-5 観測事例：溪流A（7月15～18日降雨）TimeLaps

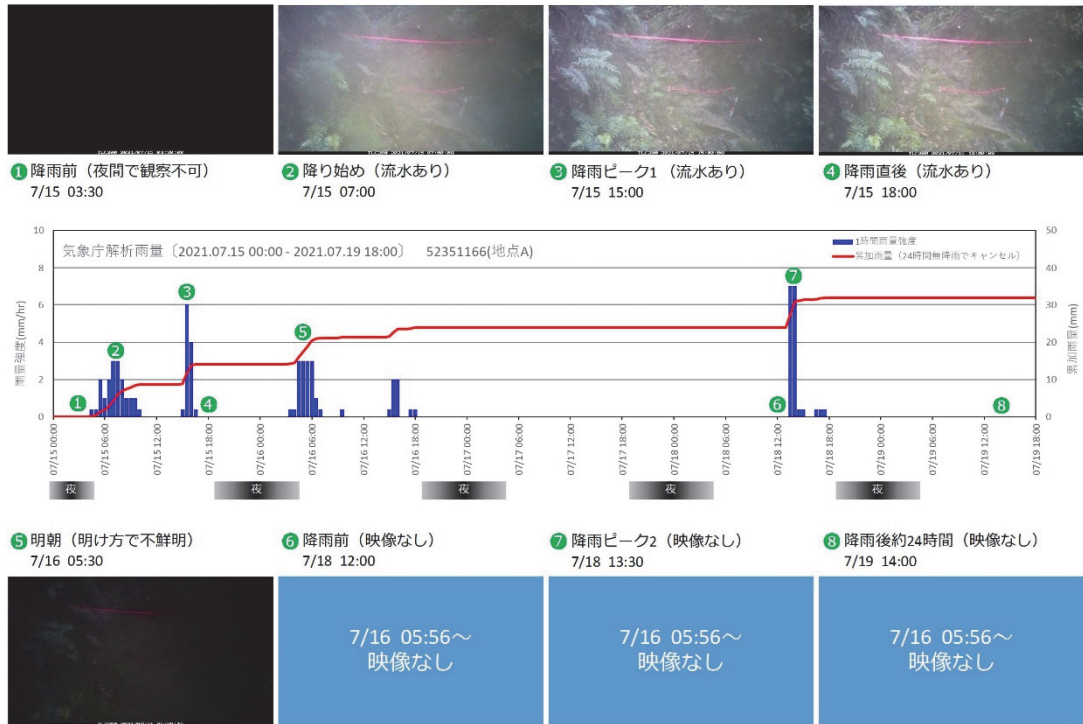


図-4.4.13 インターバルカメラの撮影状況

降雨-5 観測事例：溪流C（7月15～18日降雨）TimeLaps

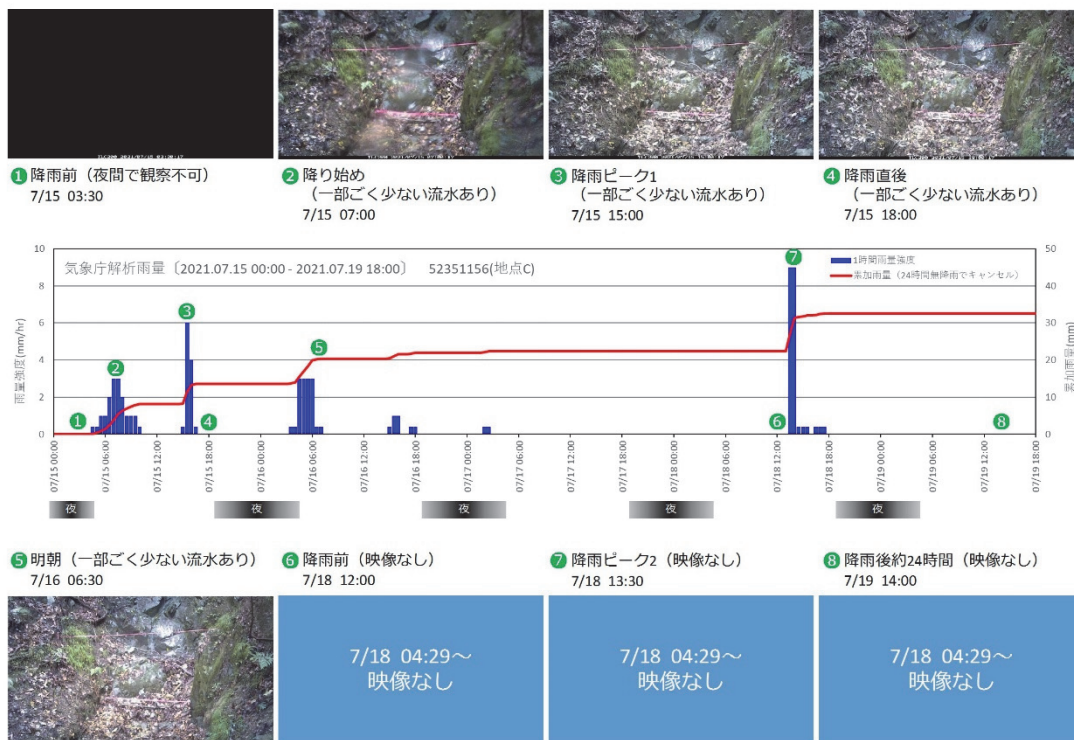
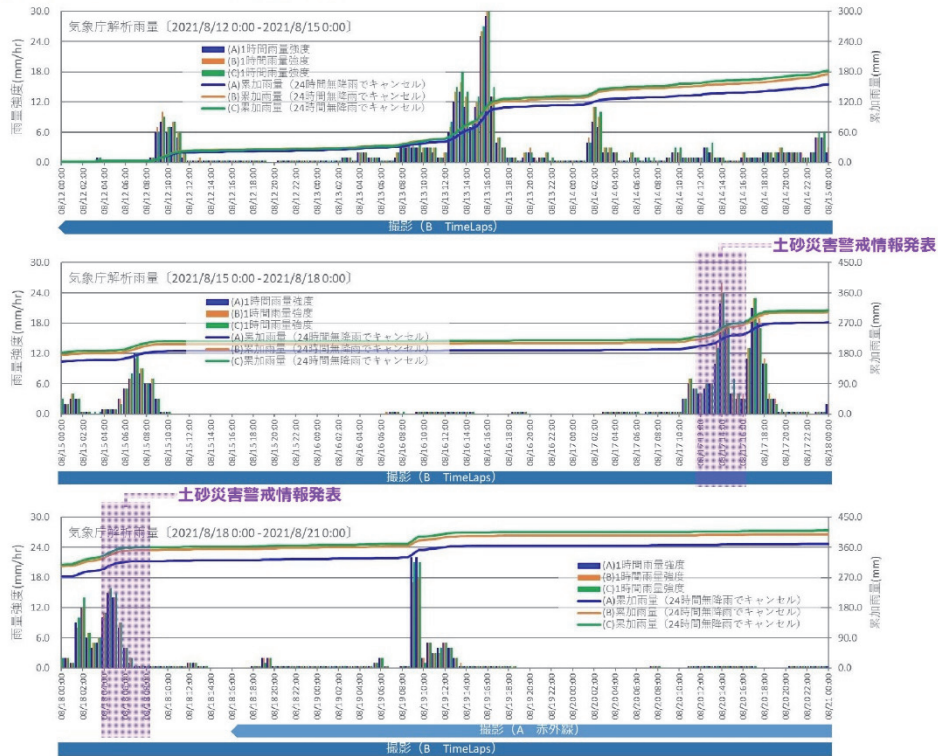


図-4.4.14 インターバルカメラの撮影状況

降雨-6前半 8月12～25日降雨



降雨-6後半 8月12～25日降雨

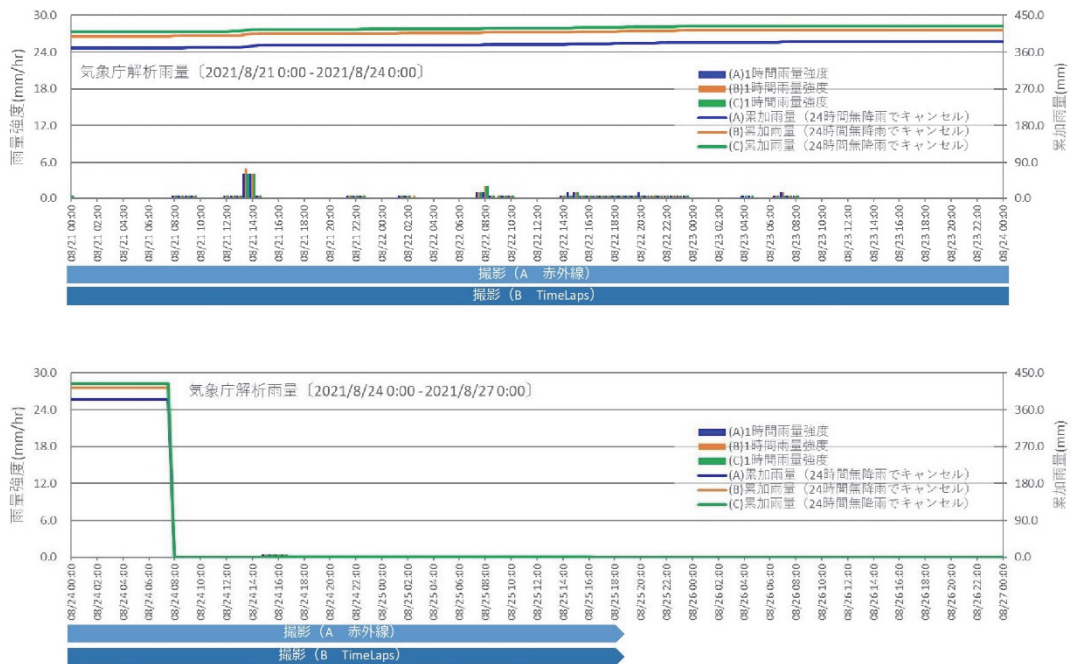
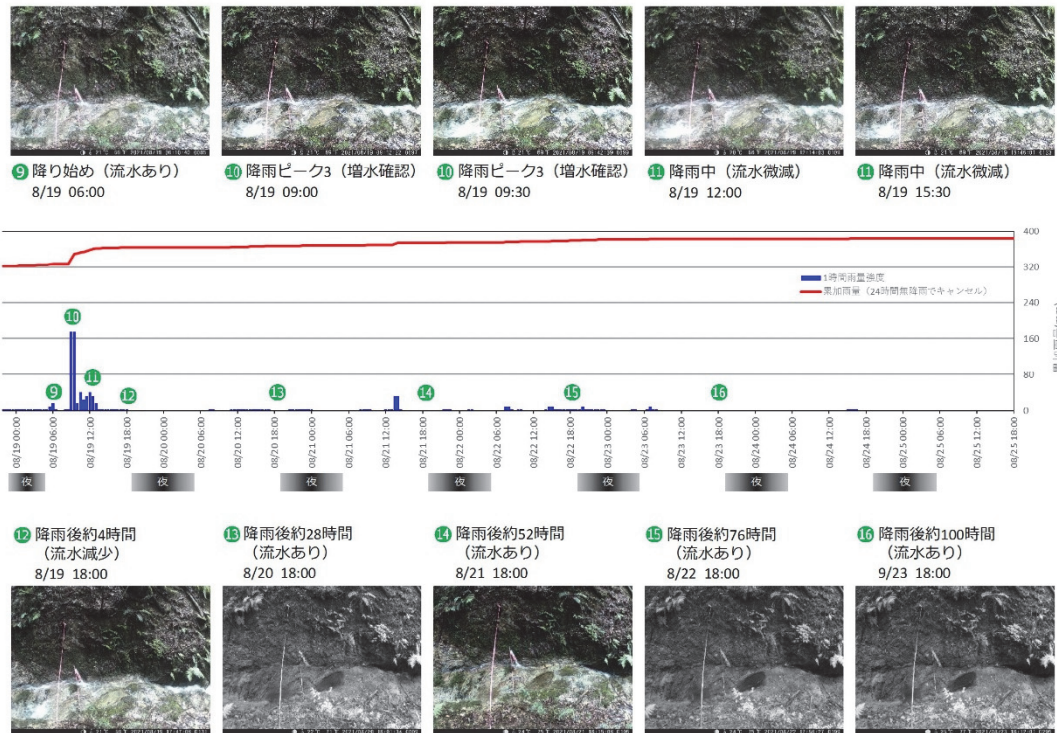


図-4.4.15 インターバルカメラの撮影状況

降雨-6 観測事例：溪流A（8月12～25日降雨）赤外線カメラ



降雨-6 観測事例：溪流B（8月12～25日降雨）TimeLaps

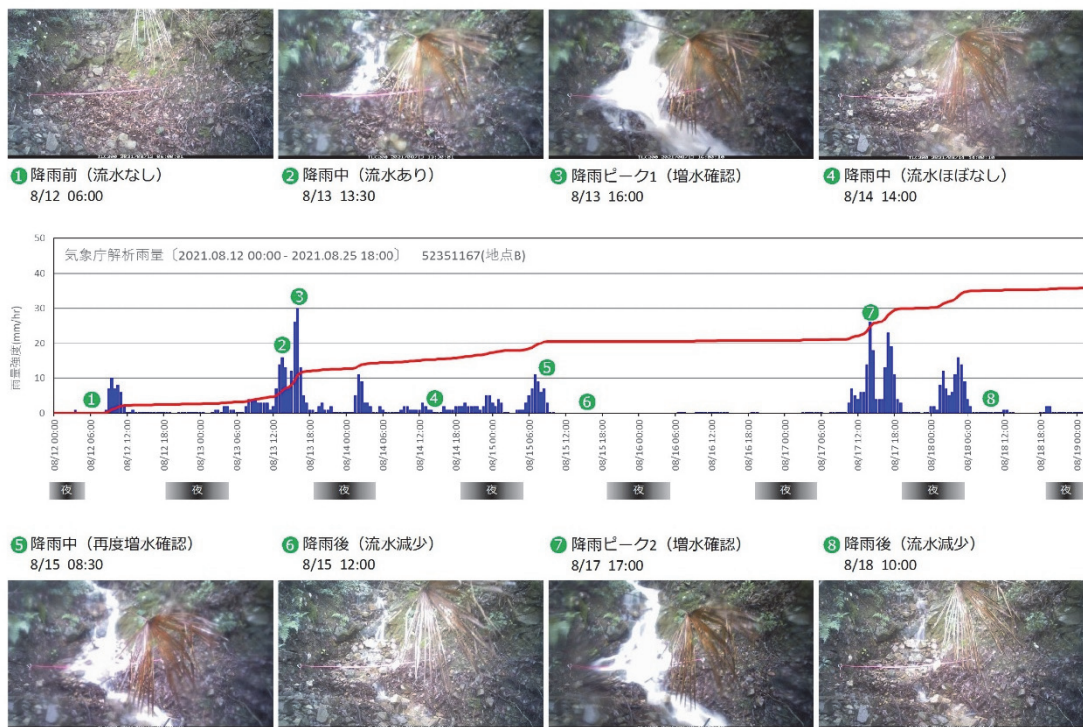
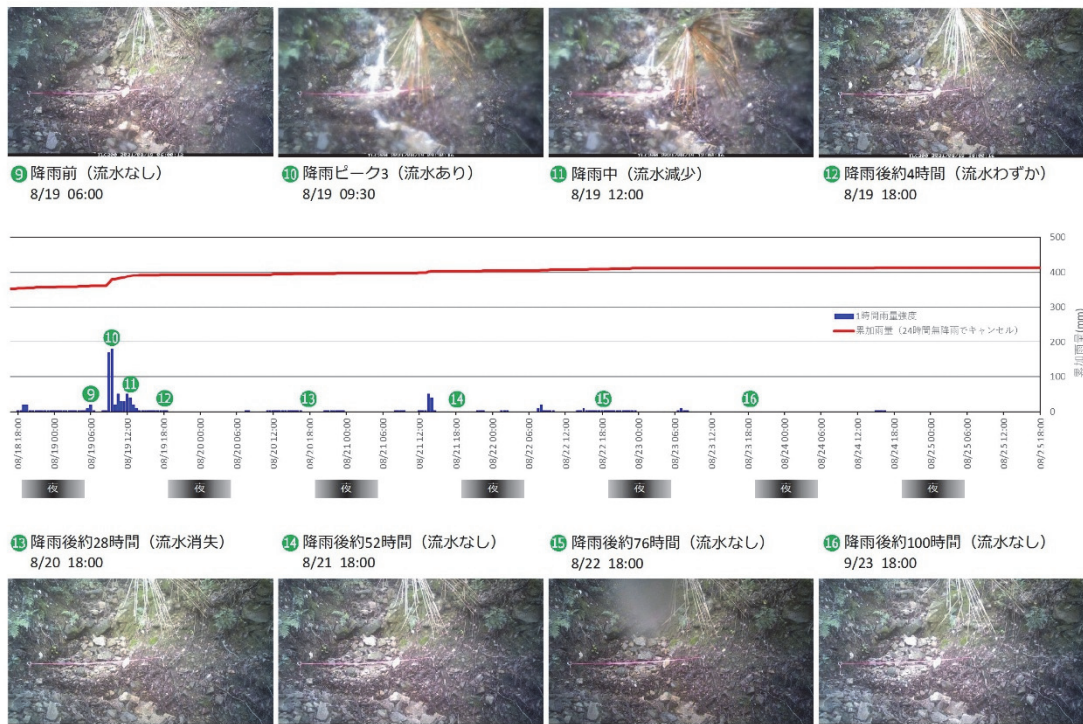


図-4.4.16 インターバルカメラの撮影状況

降雨-6 観測事例：溪流B（8月12～25日降雨）TimeLaps



降雨-6 観測事例：溪流A（8月12～25日降雨）赤外線カメラ

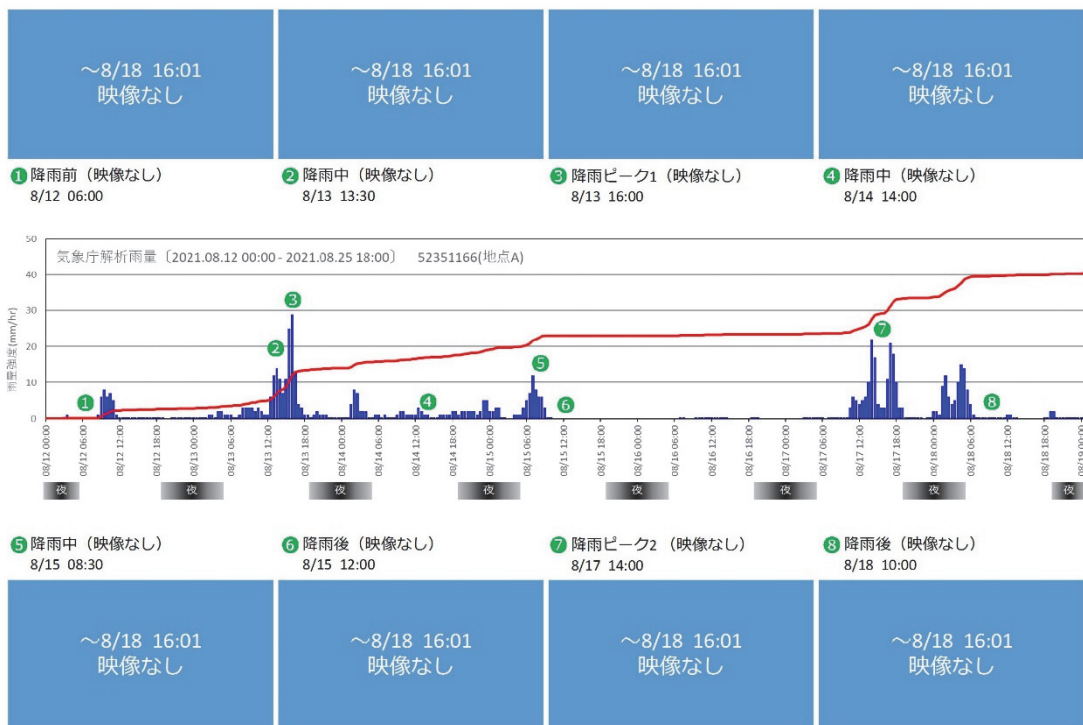
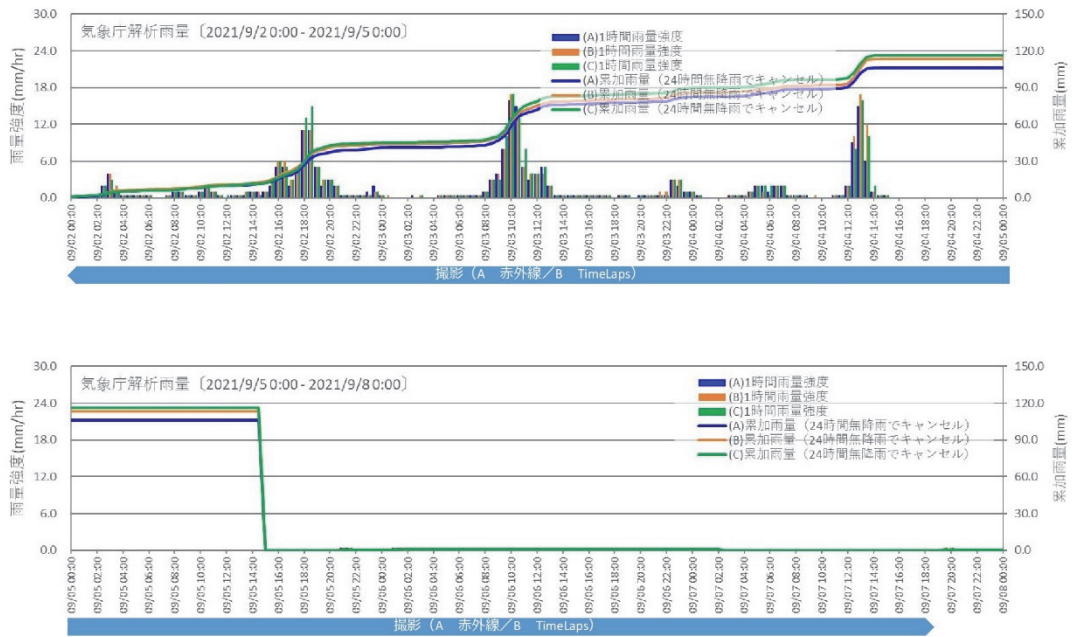


図-4.4.17 インターバルカメラの撮影状況

降雨-7 9月2～4日降雨



降雨-7 観測事例：溪流A（9月2～4日降雨）赤外線カメラ

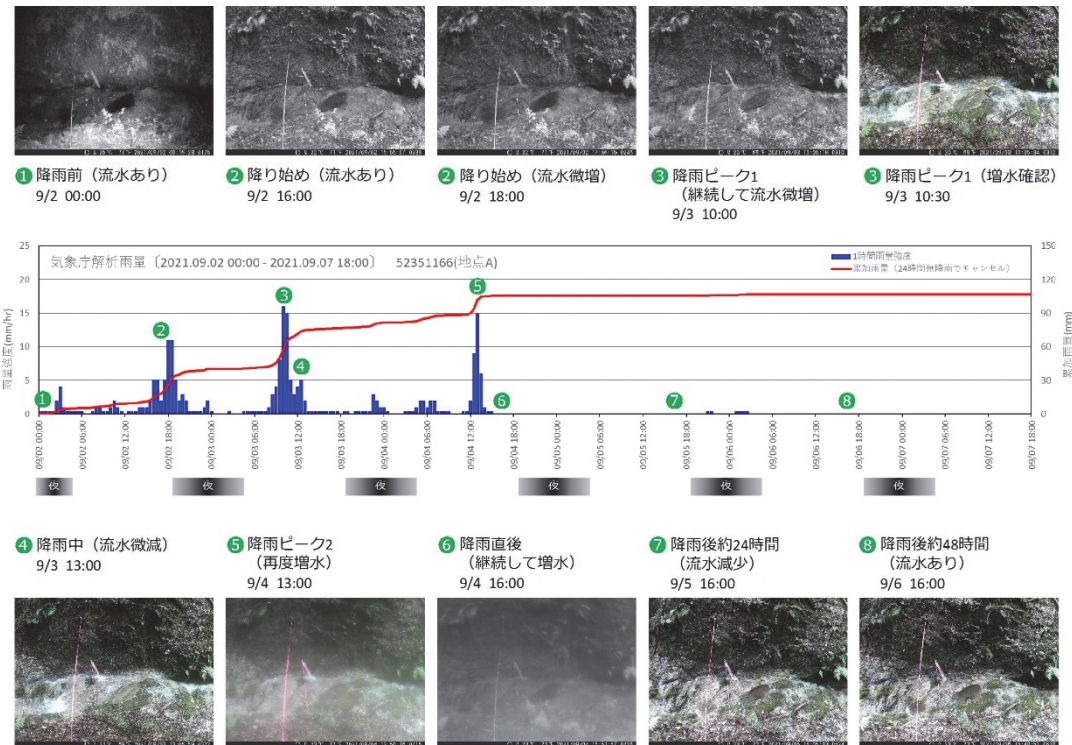


図-4.4.18 インターバルカメラの撮影状況

降雨-7 観測事例：溪流B（9月2～4日降雨）TimeLaps

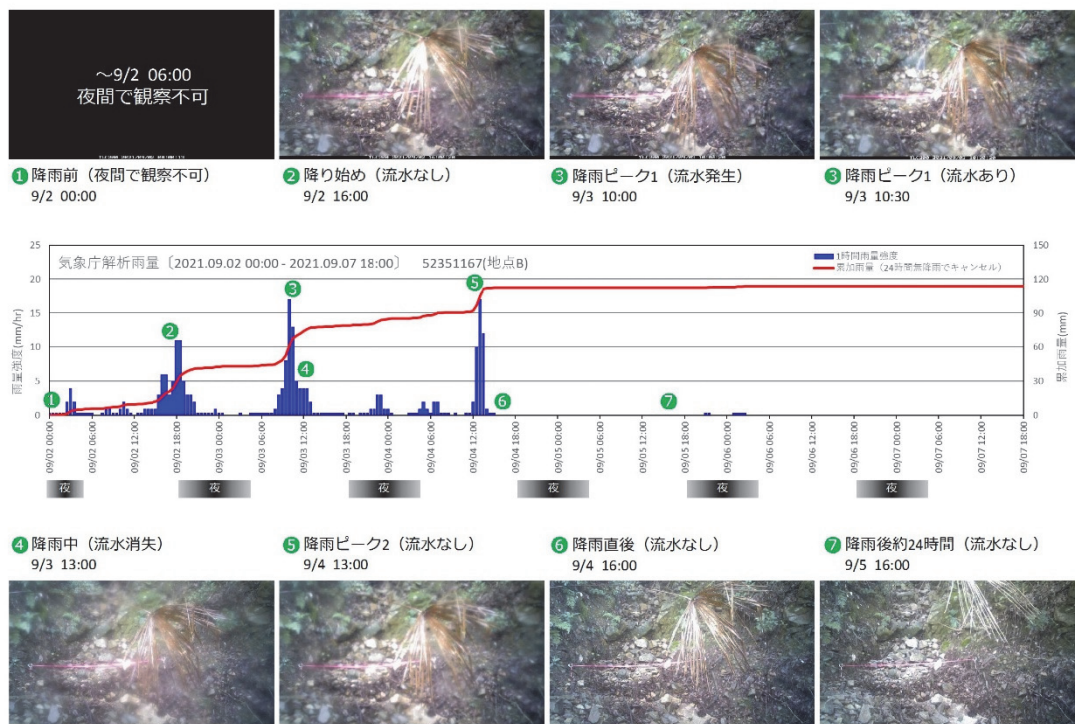
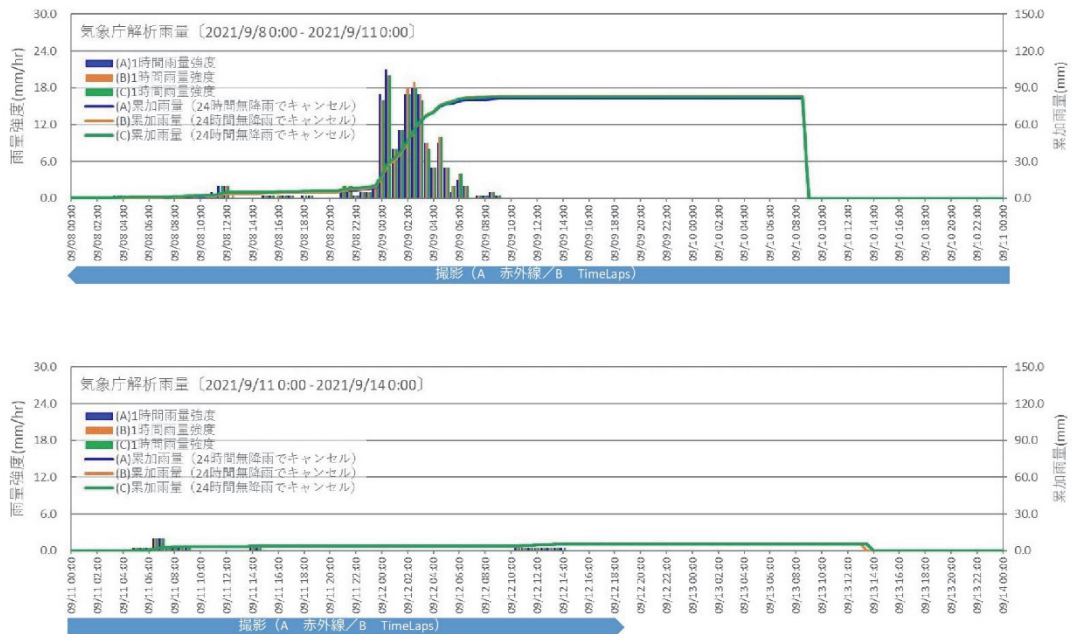


図-4.4.19 インターバルカメラの撮影状況

降雨-8 9月9日降雨



降雨-8 観測事例：溪流A（9月9日降雨）赤外線カメラ

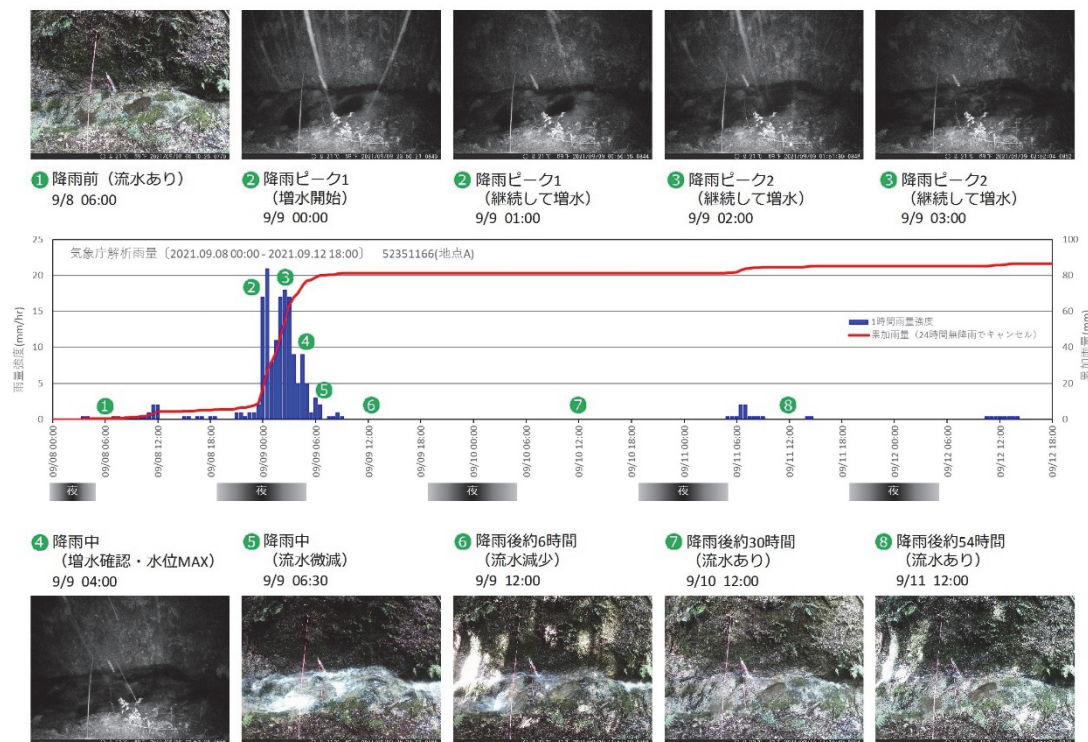


図-4.4.20 インターバルカメラの撮影状況

降雨-8 観測事例：溪流B（9月9日降雨）TimeLaps

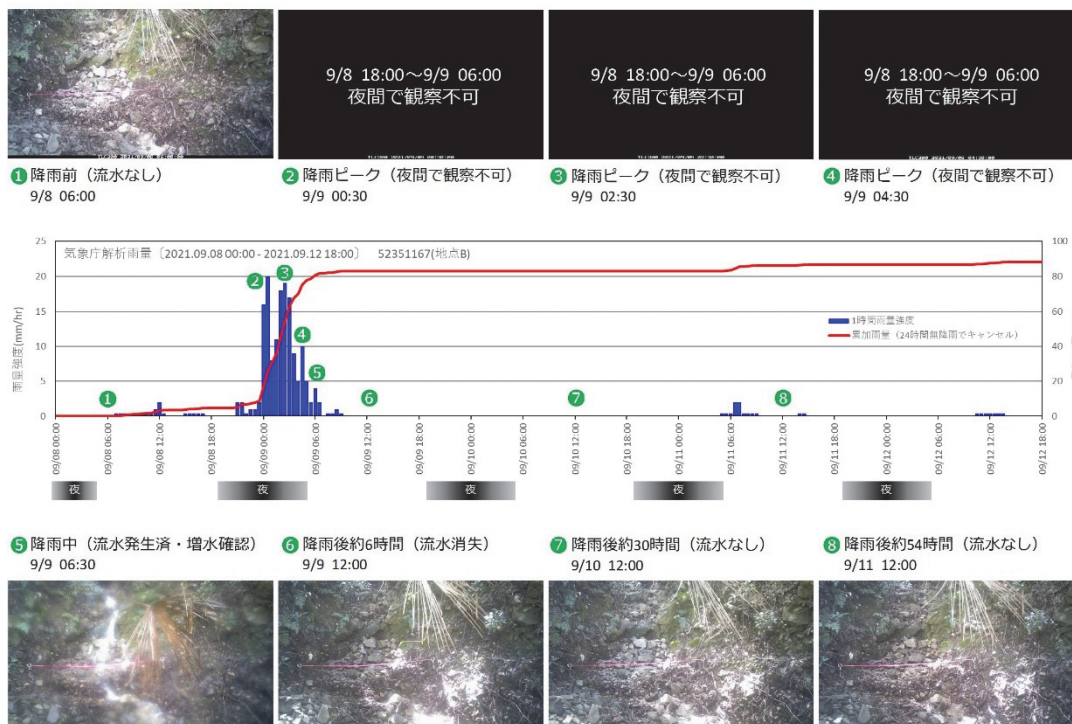
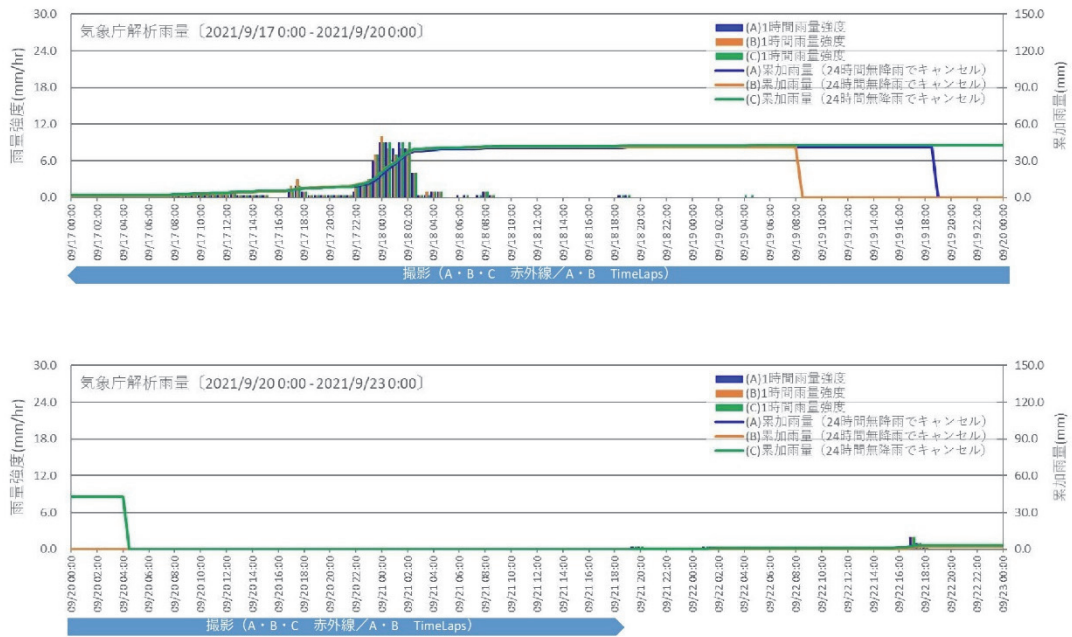


図-4.4.21 インターバルカメラの撮影状況

降雨-9 9月17～18日降雨



降雨-9 観測事例：溪流A（9月17～18日降雨）TimeLaps

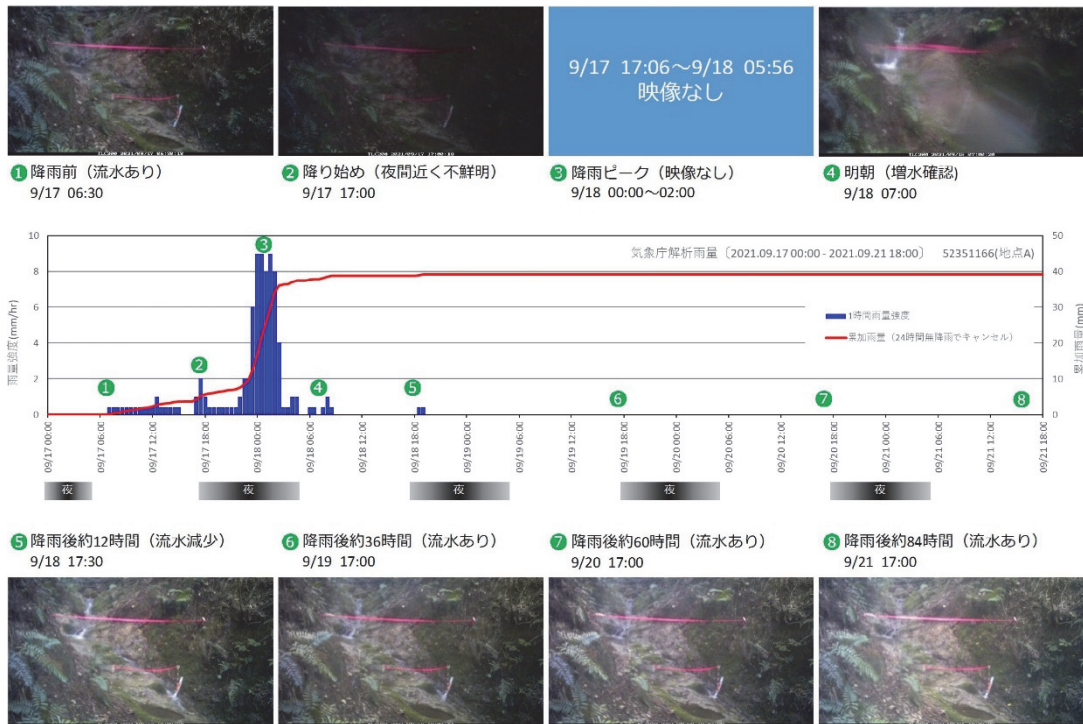
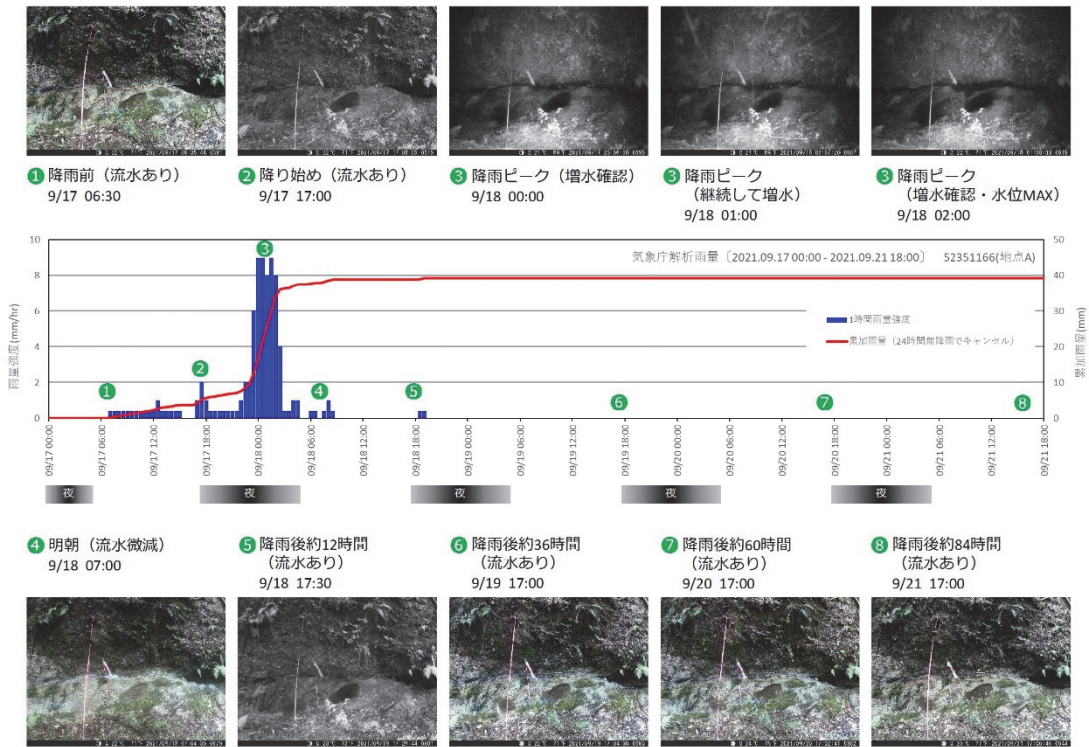


図-4.4.22 インターバルカメラの撮影状況

降雨-9 観測事例：溪流A（9月17～18日降雨）赤外線カメラ



降雨-9 観測事例：溪流B（9月17～18日降雨）TimeLaps

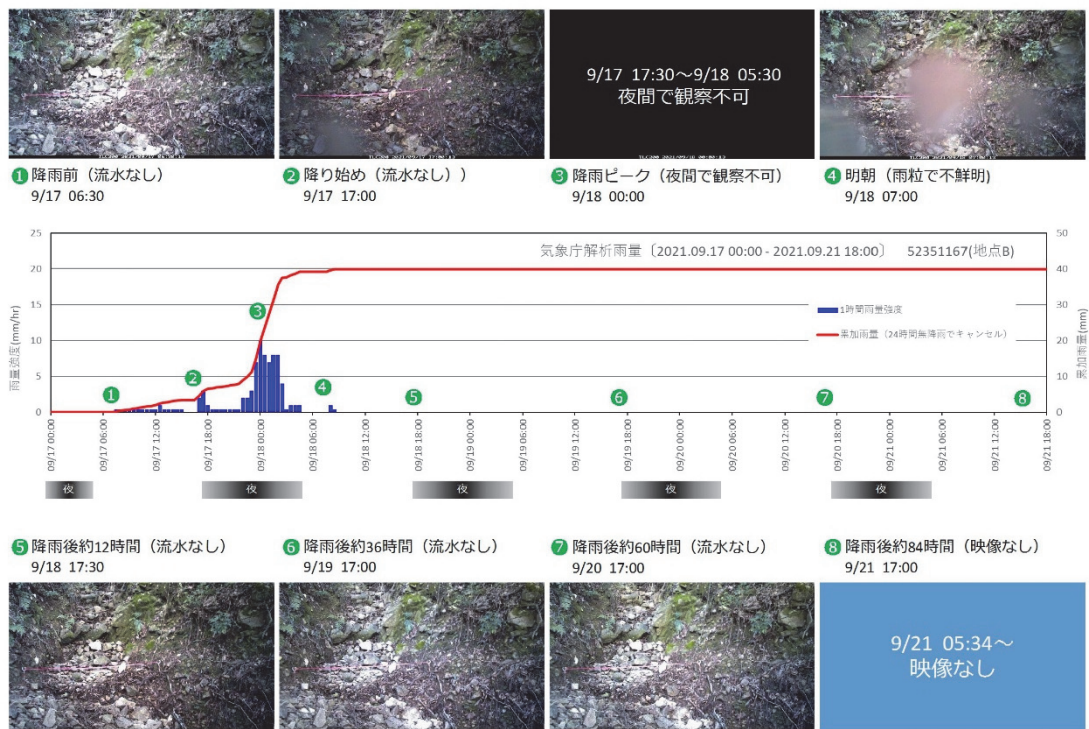
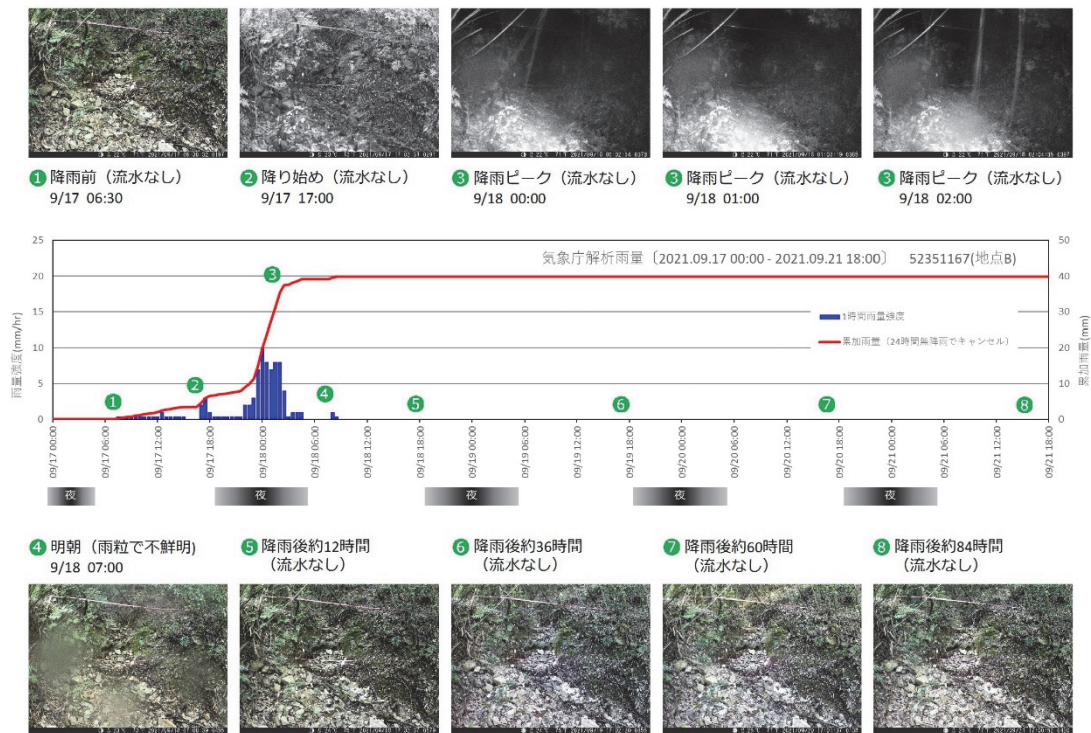


図-4.4.23 インターバルカメラの撮影状況

降雨-9 観測事例：溪流B（9月17～18日降雨）赤外線カメラ



降雨-9 観測事例：溪流c（9月17～18日降雨）赤外線カメラ

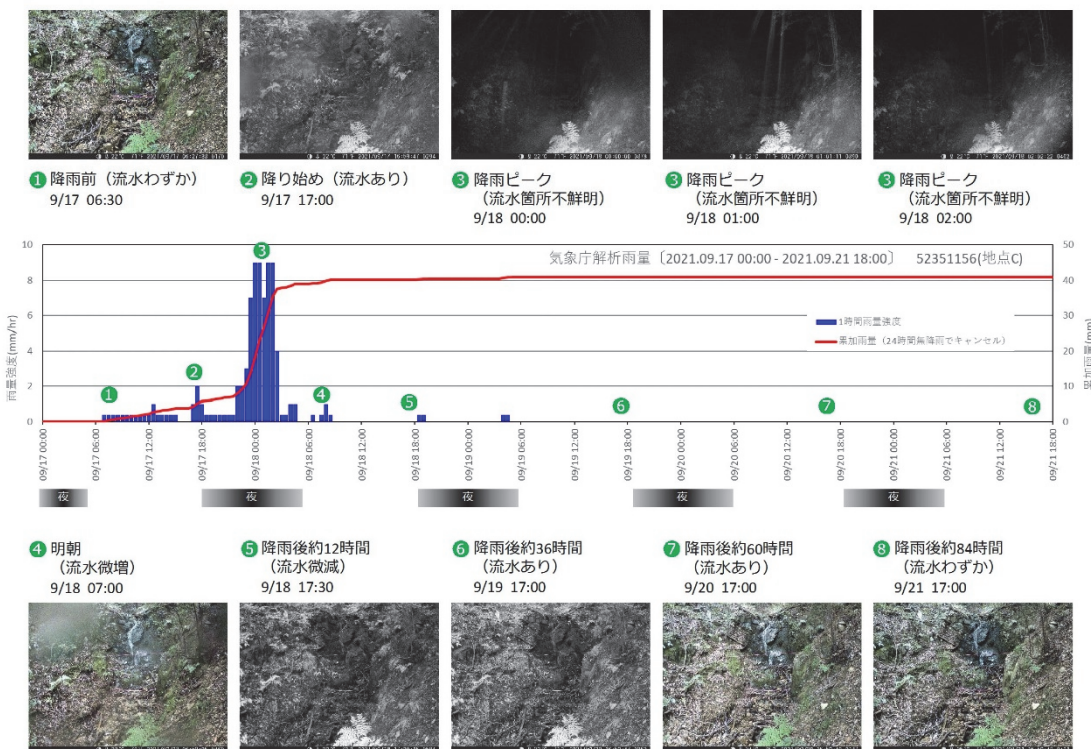


図-4.4.24 インターバルカメラの撮影状況

(4) Web カメラの設置

商用電源の引き込み工事を行い、赤外線撮影（夜間対応）可能な Web カメラを設置した。

1)商用電源の引き込み

商用電源（交流 100V）の引き込みにあたり、関西電力の電柱から観測地点までの電線の引き込みルート計画図（用地等の状況整理）を作成した（図-4.4.25～4.4.27）。

関西電力の引き込みは、2021 年 12 月初旬から 12 月 17 日にかけて実施した。3 溪流とも図中に示す計画案 1 のルートで引き込み工事を行った。

溪流 A：受付月日：11 月 29 日

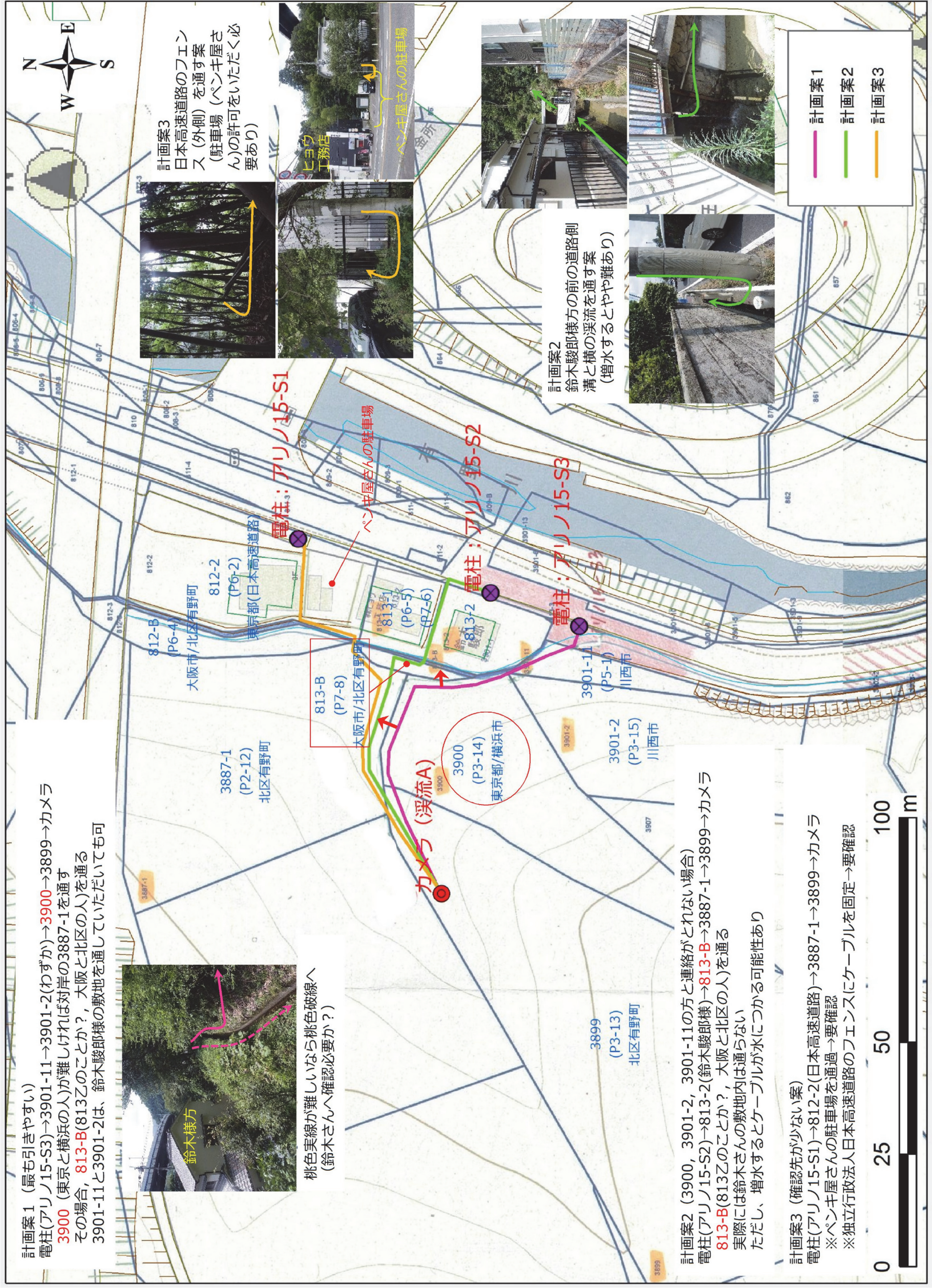
- ・受付事業所：神戸契約管理センター
- ・託送申込番号：47-I38719
- ・託送受付番号：47-58100
- ・契約種別：定額電灯
- ・お客さま番号：08-47-5313-015601
- ・供給地点特定番号：060-08-47-5313-015601-10000

溪流 B：受付月日：11 月 29 日

- ・受付事業所：神戸契約管理センター
- ・託送申込番号：47-I38720
- ・託送受付番号：47-58101
- ・契約種別：定額電灯
- ・お客さま番号：08-47-5320-013402
- ・供給地点特定番号：060-08-47-5320-013402-10000

溪流 C：受付月日：11 月 29 日

- ・受付事業所：神戸契約管理センター
- ・託送申込番号：47-I38718
- ・託送受付番号：47-58099
- ・契約種別：定額電灯
- ・お客さま番号：08-47-5313-012104
- ・供給地点特定番号：060-08-47-5313-012104-10000



計画案1 (最も引きやすい)
 電柱(アリノ15-S3)→3901-11→3901-2(わづか)→3900→3899→カメラ
 3900 (東京と横浜の人が難しければ対岸の3887-1を通す
 その場合, 813-B(813乙のことか?, 大阪と北区の人)を通る
 3901-11と3901-2は、鈴木駿郎様の敷地を通していただけいても可



桃色実線が難しいなら桃色破線へ
 (鈴木さんへ確認必要か?)

計画案3
 日本高速道路のフェンス(外側)を通す案
 (駐車場(ペンキ屋さんの)の許可をいただく必要あり)



計画案2
 鈴木駿郎様方の前の道路側
 溝と横の溪流を通す案
 (増水するとやや難あり)



- 計画案1
- 計画案2
- 計画案3

計画案2 (3900, 3901-2, 3901-11の方と連絡がとれない場合)
 電柱(アリノ15-S2)→813-2(鈴木駿郎様)→813-B→3887-1→3899→カメラ
 813-B(813乙のことか?, 大阪と北区の人)を通る
 実際には鈴木さんの敷地内は通らない
 ただし、増水するとケーブルが水につかる可能性あり

計画案3 (確認先が少ない案)
 電柱(アリノ15-S1)→812-2(日本高速道路)→3887-1→3899→カメラ
 ※ペンキ屋さんの駐車場を通過→要確認
 ※独立行政法人日本高速道路のフェンスにケーブルを固定→要確認



図-4.4.25 商用電源の引き込み計画図(溪流A)

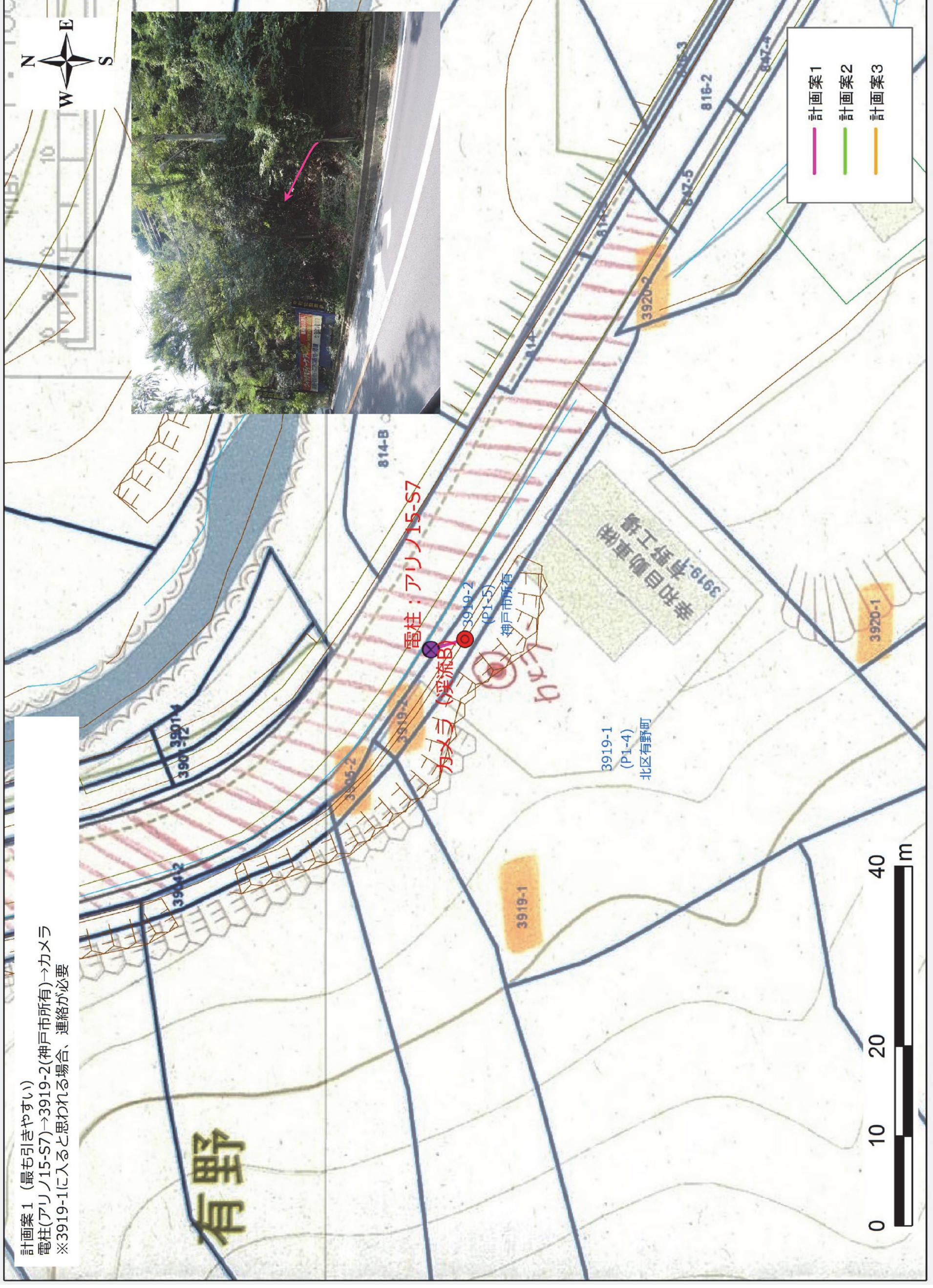
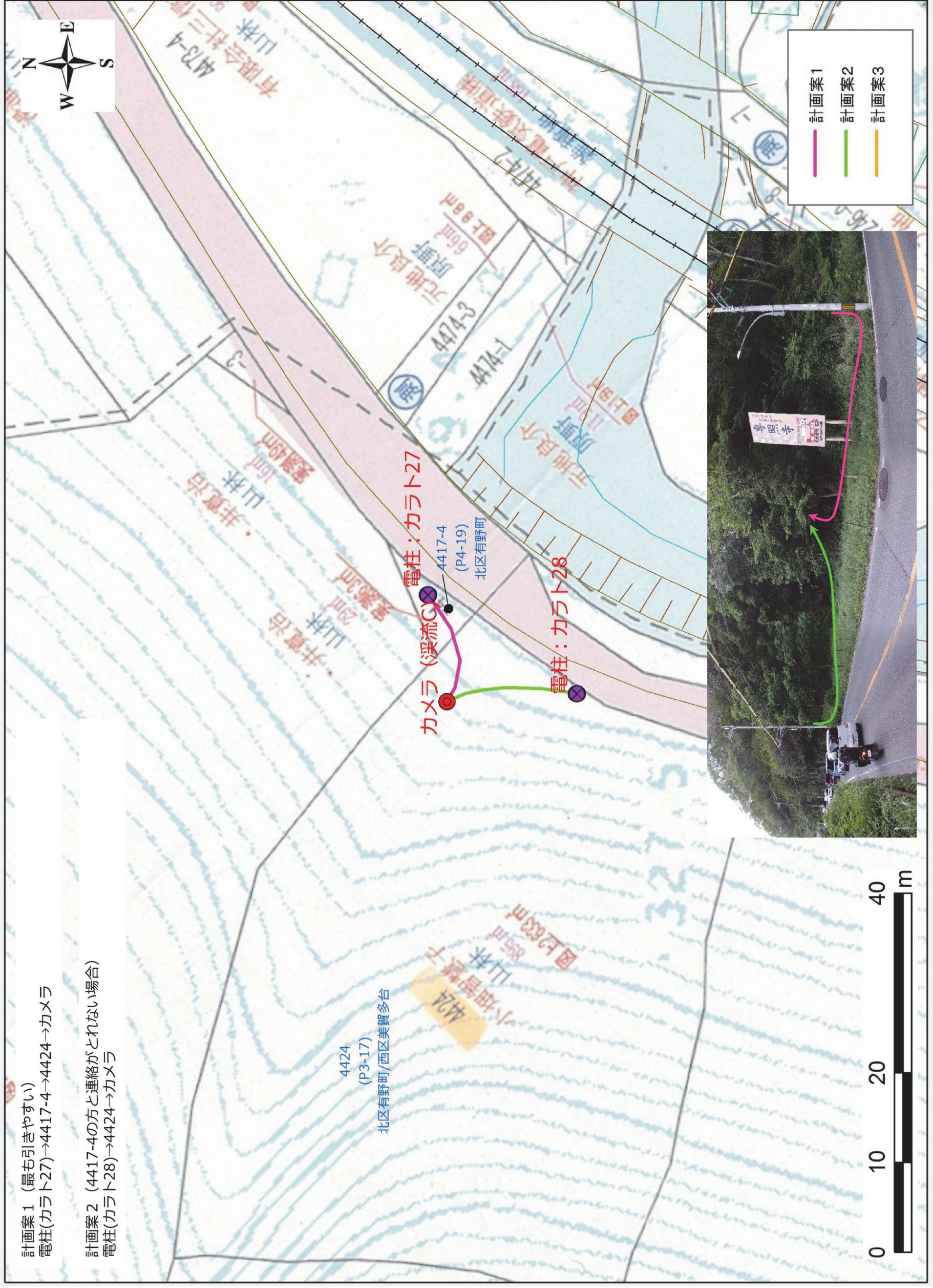


図-4.4.26 商用電源の引き込み計画図(溪流B)



計画案1 (最も引きやすい)
電柱(カラト27)→4417-4→4424→カメラ

計画案2 (4417-4の方と連絡がとれない場合)
電柱(カラト28)→4424→カメラ

- 計画案1
- 計画案2
- 計画案3

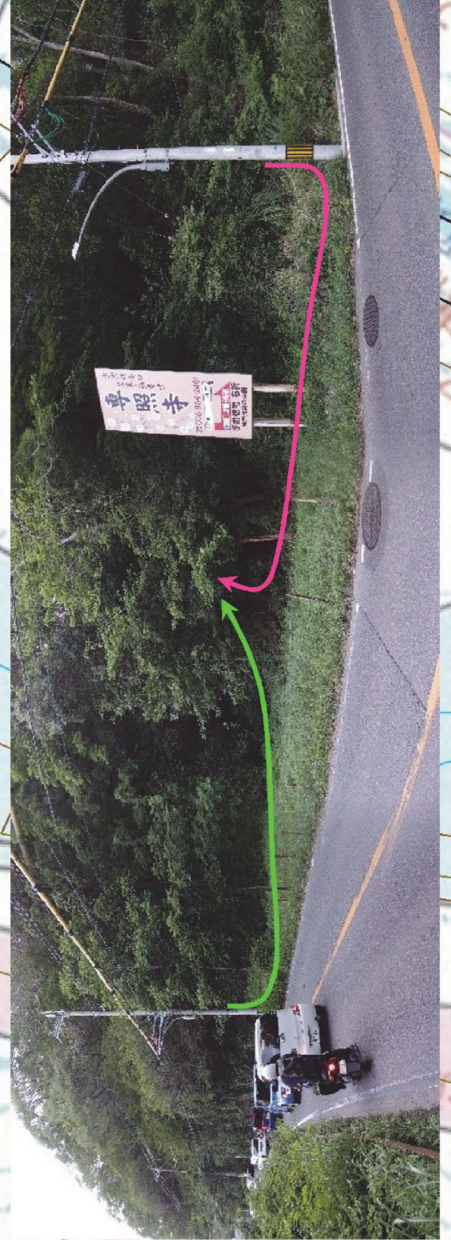


図-4.4.27 商用電源の引き込み計画図 (溪流C)

2)Web カメラの設置

電源工事後，Web カメラを調達し，IP アドレス等の設定を行い2022 年 2 月 25 日に設置した。



溪流 A



溪流 B

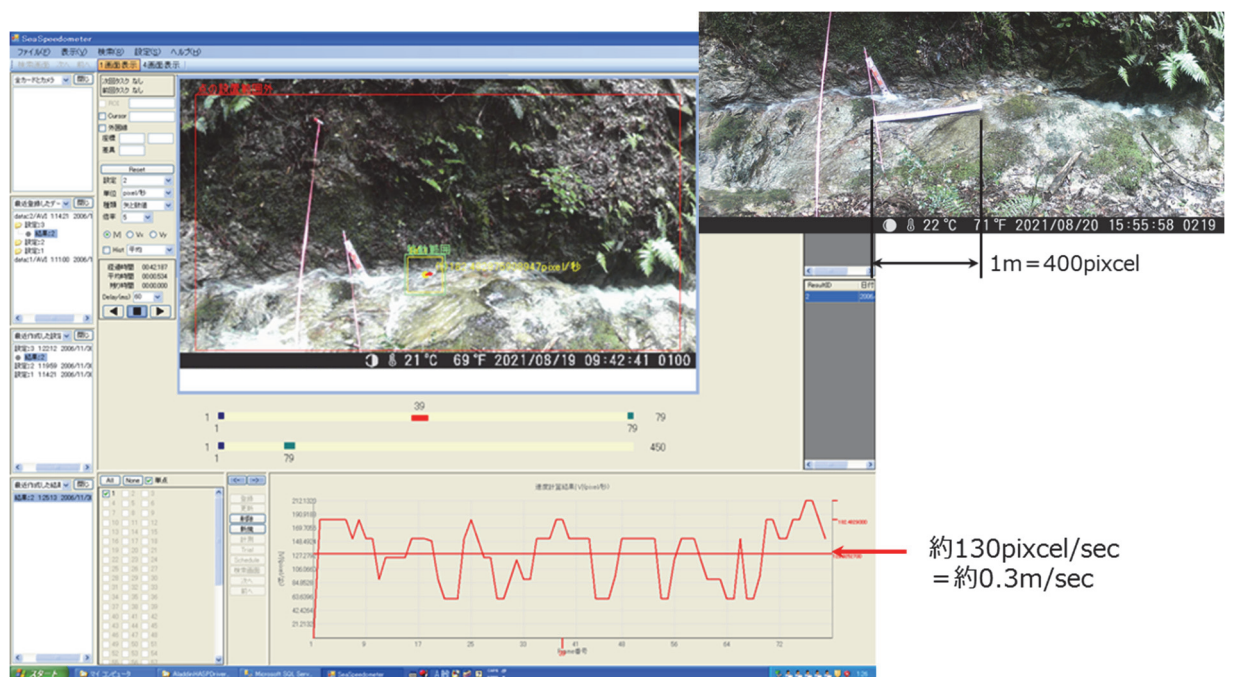


溪流 C

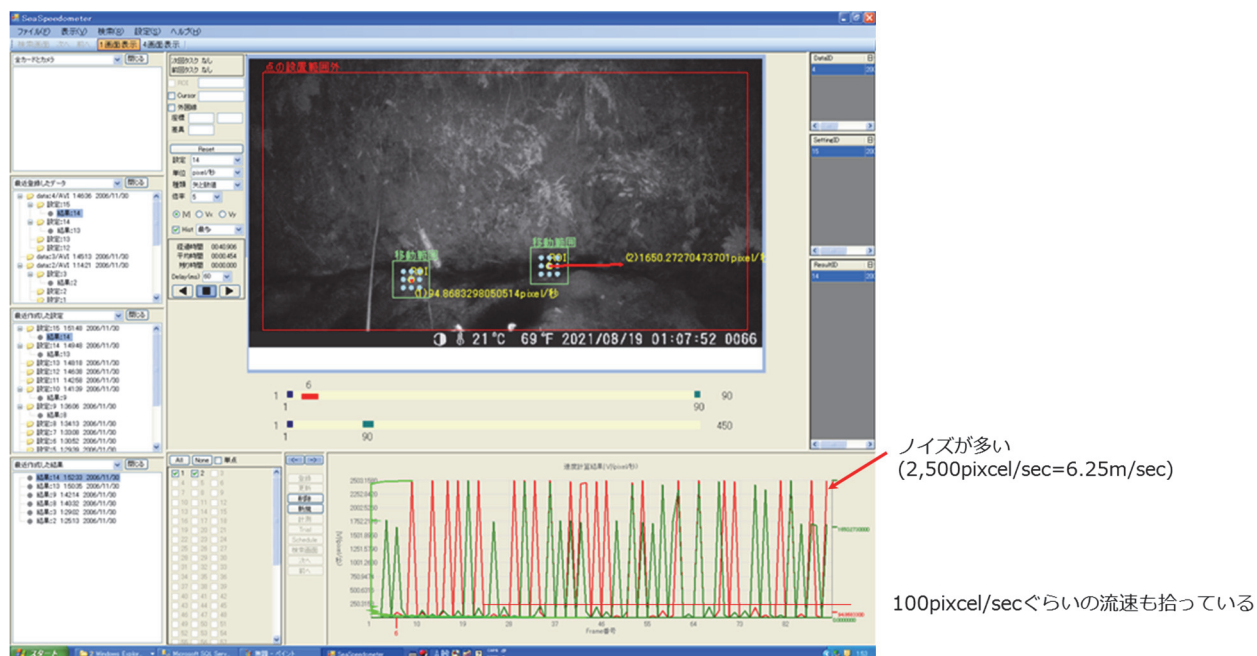
図-4.4.28 Web カメラの設置状況 (2022. 2. 25 設置)

(5) PIVによる流速の計測

Webカメラの設置以降に大きな降雨は無く、溪流を流水が流下する動画は得られていない。ここで、溪流Aで試験的に撮影した動画を用いて、PIV(粒子画像流速測定法:Particle Image Velocimetry)による流速の自動解析を行った。昼間の動画と夜間の動画の両方で流速の計測は可能であった。



昼間の動画（流速データは安定して取得可能）



夜間の動画（流速データにはノイズが多いが、解析ソフトの設定を調整することで流速の計測は可能）

図-4.29 PIV(粒子画像流速測定法:Particle Image Velocimetry)による流速の自動解析
(溪流A, 2021年8月19日撮影)

4.5 2022 年度の観測

2021 年度に引き続き 3 溪流で赤外線撮影（夜間対応）可能な Web カメラとインターバルカメラ（暗視タイプ、インターバル動画撮影）を設置し流出状況の観測を実施した。

観測期間中の降雨状況を表-4.5.1~4.5.2 に示す。2022 年度は、これまでに大きな雨は少なく、日雨量の最大値は 34mm 程度で道路に影響のあるような水位の上昇や土砂流出は発生しなかった。

表-4.5.1 2021 年度の観測期間中の降雨状況

年月日	降雨状況（気象庁解析雨量）									（参考）近隣の地上雨量観測局		
	日雨量(mm/day)			最大時間雨量(mm/hr)			降雨ピーク時刻			有馬川（国交省）		
	溪流A	溪流B	溪流C	溪流A	溪流B	溪流C	溪流A	溪流B	溪流C	日雨量 (mm/day)	最大時間 雨量 (mm/hr)	降雨 ピーク 時刻
	5235 1166	5235 1167	52351 156	5235 1166	5235 1167	5235 1156	5235 1166	5235 1167	5235 1156			
2022/4/1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0				1.0	1.0	
2022/4/2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/3	2.2	2.2	2.2	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0	
2022/4/4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/7	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0	
2022/4/8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/13	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0	
2022/4/14	16.7	13.8	15.7	5.0	5.0	4.0				15.0	7.0	
2022/4/15	6.5	7.2	7.4	2.0	2.0	2.0				3.0	1.0	
2022/4/16	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0	
2022/4/17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/18	0.8	0.6	0.8	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0	
2022/4/19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/21	16.3	16.5	17.5	3.0	4.0	3.0				13.0	5.0	
2022/4/22	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4				0.0	0.0	
2022/4/23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/24	10.5	10.5	10.5	3.0	3.0	3.0				7.0	3.0	
2022/4/25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/26	24.9	25.6	27.4	8.0	8.0	8.0				29.0	7.0	
2022/4/27	7.2	8.1	7.7	4.0	5.0	5.0				7.0	5.0	
2022/4/28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/4/29	33.0	32.5	34.0	11.0	12.0	12.0				36.0	10.0	
2022/4/30	0.6	0.0	0.6	0.4	0.0	0.4				1.0	1.0	
2022/5/1	20.4	22.7	21.7	4.0	4.0	3.0				19.0	4.0	
2022/5/2	1.6	1.6	1.6	0.4	0.4	0.4				1.0	1.0	
2022/5/3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/7	1.2	1.0	1.2	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0	
2022/5/8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/9	1.4	1.8	2.2	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0	
2022/5/10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/11	3.9	3.9	4.2	1.0	1.0	1.0				3.0	2.0	
2022/5/12	14.2	13.1	13.9	2.0	2.0	2.0				12.0	3.0	
2022/5/13	15.2	14.8	15.7	2.0	3.0	3.0				13.0	3.0	
2022/5/14	9.1	9.8	9.1	3.0	4.0	3.0				9.0	3.0	
2022/5/15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	

表-4.5.2 2021 年度の観測期間中の降雨状況

年月日	降雨状況〔気象庁解析雨量〕									(参考)近隣の地上雨量観測局		
	日雨量(mm/day)			最大時間雨量(mm/hr)			降雨ピーク時刻			有馬川(国交省)		
	溪流A	溪流B	溪流C	溪流A	溪流B	溪流C	溪流A	溪流B	溪流C			
	5235 1166	5235 1167	52351 156	5235 1166	5235 1167	5235 1156	5235 1166	5235 1167	5235 1156	日雨量 (mm/day)	最大時間 雨量 (mm/hr)	降雨 ピーク 時刻
2022/5/19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/21	2.6	2.8	2.8	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0	
2022/5/22	3.6	3.8	3.0	3.0	3.0	2.0				2.0	2.0	
2022/5/23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/26	4.3	4.9	4.6	2.0	2.0	2.0				3.0	1.0	
2022/5/27	9.6	10.4	9.6	6.0	7.0	6.0				8.0	4.0	
2022/5/28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/5/30	6.5	6.7	6.7	1.0	1.0	1.0				5.0	2.0	
2022/5/31	3.0	4.8	3.2	1.0	1.0	1.0				2.0	1.0	
2022/6/1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/6/2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/6/3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0	
2022/6/4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/6/5	9.8	10.4	11.3	4.0	4.0	4.0				14.0	6.0	
2022/6/6	30.7	31.1	30.1	6.0	6.0	5.0				44.0	7.0	
2022/6/7	2.0	1.0	2.0	0.4	0.4	0.4				0.0	0.0	
2022/6/8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/6/9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/6/10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	
2022/6/11	5.8	5.8	5.8	0.4	0.4	0.4				1.0	1.0	
2022/6/12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				1.0	1.0	
2022/6/13	0.2	0.2	0.0	0.4	0.4	0.0				0.0	0.0	
2022/6/14	19.3	21.3	20.8	3.0	4.0	3.0				33.0	6.0	
2022/6/15	5.1	5.0	5.6	1.0	2.0	2.0				3.0	1.0	
期間中の最大	33.0	32.5	34.0	11.0	12.0	12.0				44.0	10.0	
期間中の合計	291	297	302							285		

6月で最も日雨量の大きかった6日の溪流の状況について、最大時間雨量5~6mmを記録した午前5時とその1時間後の午前6時のWebカメラのキャプチャー画像を図-4.5.1~4.5.3に示す。

溪流A：流水はみられるが、流量はごくわずかである

溪流B：流水なし

溪流C：流水なし

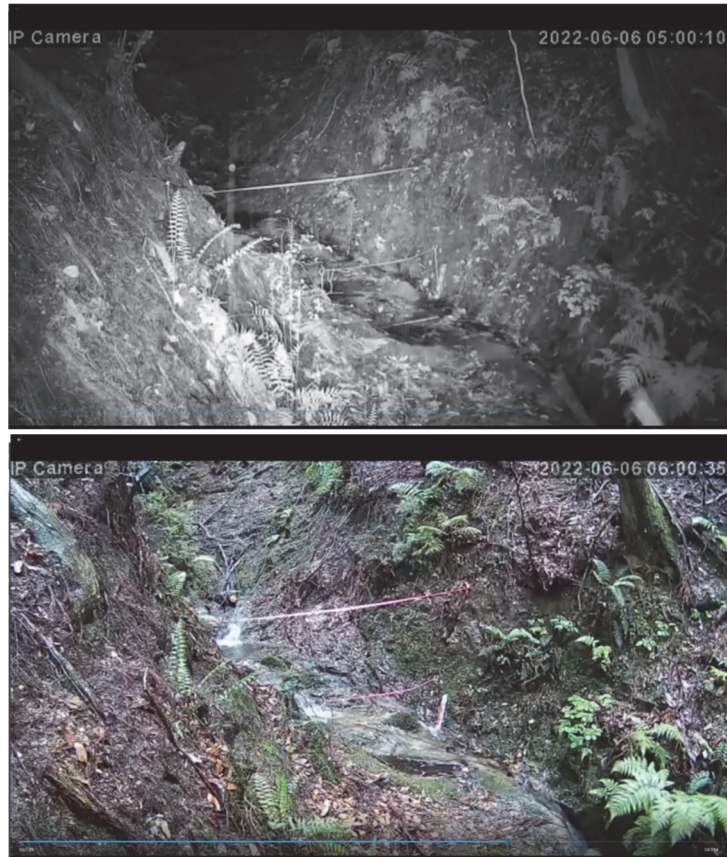


図-4.5.1 Web カメラのキャプチャー画像（溪流A：2022/6/6 5:00 上図, 6:00 下図）



図-4.5.2 Web カメラのキャプチャー画像（溪流B：2022/6/6 5:00 上図, 6:00 下図）



図-4.5.3 Web カメラのキャプチャー画像（溪流C：2022/6/6 5:00 上図, 6:00 下図）

4.6 まとめ

2021年度に商用電源を引き込み、夜間撮影対応のWebカメラを設置した。これにより夜間の観測（赤外線撮影）と流速情報の取得（動画撮影）が可能となった。しかし、Webカメラ設置以降、大きな降雨イベントはなく、流出の動画は得られていない。このため、継続して降雨流出観測を実施し、各溪流においてH-Q曲線の作成を行うほか、観測した流量と降雨の関係から、入力降雨に対する道路への降水氾濫を予測する土砂流出モデルの作成を行う必要がある。

■H-Q曲線の作成イメージ

2020～2021年度の撮影画像から水深と流速を計測し、流量を推定する。

過年度に蓄積しているインターバルカメラ画像からH-Q曲線を用いて流量を推定する。

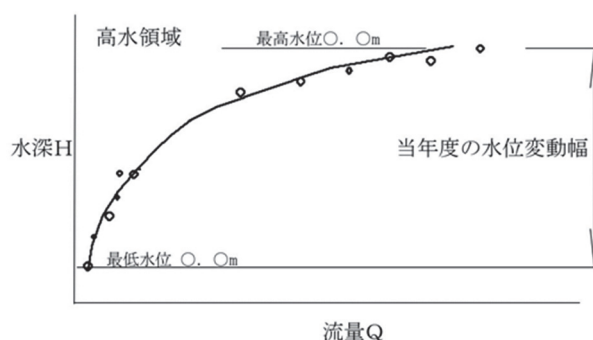


図-4.5.1 H-Q曲線の設定イメージ

■土砂流出モデルの検討イメージ

これまでの観測で地表流が発生あるいは増加するまでの有効雨量や降雨終了後の流水の量や継続時間等の流出特性に、崖錐が厚く堆積する溪流としない溪流で違いがみられ、これらは斜面内のパイプ流¹⁾や岩盤への雨水の浸透²⁾の影響等が指摘されている。地形や地質条件、地被状況、降雨に応じた適切な流量の予測のため、今後も継続して、精度の高い降雨-流出観測を実施する必要がある。

参考文献 (4 章)

- 1) 内田太郎, 小杉賢一郎, 大手信人, 水山高久: パイプ流が斜面安定に与える影響, 水文・水資源学会誌, No.1.9, No.4, pp.330-339, 1996
- 2) 佐山敬洋, 小杉 賢一郎: 水文・水資源学会研究発表会要旨集, 水文・水資源学会 2015 年度研究発表会, 2015

5. 通行規制基準として土砂災害危険基準線（CL）の導入

5.1 はじめに

現在、事前通行規制に用いられている指標として、連続雨量や24時間雨量がある。図-5.1.1に連続雨量、図-5.1.2に24時間雨量を指標とした事前通行規制の概念図を示す。連続雨量は主に国道で運用されており、24時間雨量は一部の国道・県道・市道で運用されている。しかし、国道における連続雨量では、時間雨量2mm以下が3時間継続した際に連続雨量がリセットされることから、斜面崩壊の発生メカニズムを考える上で重要である土中の水分量を十分には考慮できず、先行降雨の影響が考慮できないことが指摘されている。また、24時間雨量は連続雨量に比べて先行降雨の影響は考慮しやすいモデルであるものの、24時間の降雨が限界であり、降ってから24時間以上経過した降雨が与える土中の水分量を定量的に考慮できないことが課題として挙げられる。これにより、通行規制前に斜面崩壊が発生する災害の「見逃し」や、通行規制実施中に斜面崩壊が発生しない通行規制の「空振り」というものが多く発生しているのが実情である。

このような課題に対して小田ら⁵⁾の研究では、通行規制の基準指標に土中の水分量を定量的に考慮できる土壌雨量指数⁵⁾を使用する手法を提案している。具体的には、過去の降雨データから算出した土壌雨量指数と60分積算雨量ならびに災害履歴をもとに土砂災害危険基準線（CL：Critical Line）を設定し、このCLを兵庫県洲本市に存在する国道28号炬口区間に適用することで、現在運用されている連続雨量を基準とした場合に比べ、災害の「見逃し」や通行規制の「空振り」ならびに通行規制時間が減少することを示した。

本研究では、24時間雨量を事前通行規制の指標としている神戸市の一般道路と有料道路の計12（県道切畑道場線は除く）区間を対象にCLを適用し、現行の基準との比較をすることで、小田ら⁵⁾と同様に、道路事前通行規制・解除の基準としてCLの概念を取り入れることの適性を評価することを目的とする。

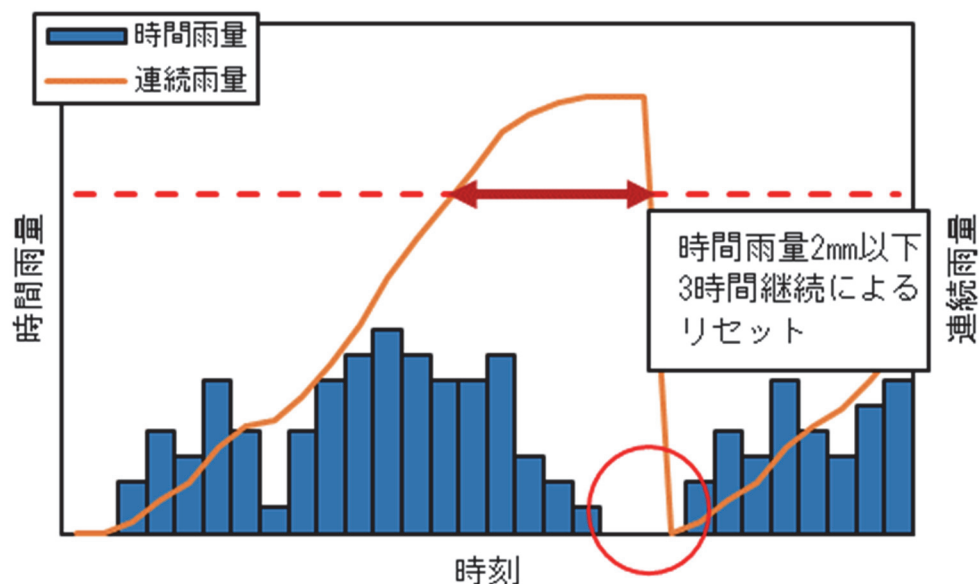


図-5.1.1 連続雨量を指標とした事前通行規制の概念図

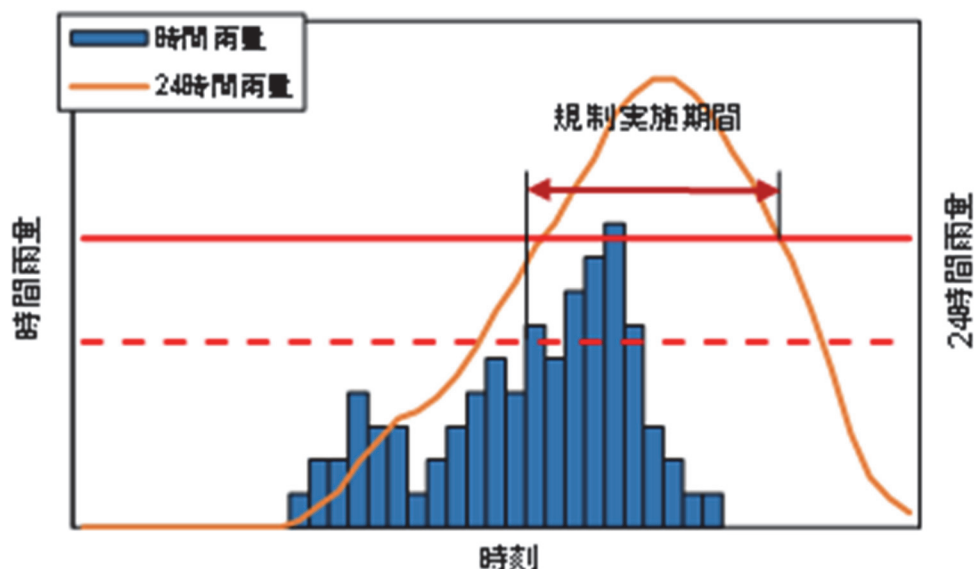


図-5.1.2 24時間雨量と時間雨量を指標とした事前通行規制の概念図

5.2 土砂災害危険基準線（CL）を用いた規制・解除基準

(1) はじめに

土砂災害警戒情報の発令・解除基準として気象庁ならびに各都道府県の砂防部局によって設定された土砂災害危険基準線（CL）は、自然斜面での降雨データと災害履歴をもとに設定されている²⁾。一方、小田ら¹⁾の研究によって提案された土砂災害危険基準線（CL）は、事前通行規制区間の道路法面での降雨データと災害履歴をもとに設定されている。以下、本研究では、前者を砂防CL、後者を道路CLと呼ぶこととする。通行規制基準としてCLを用いる場合、道路CLを用いるべきだと言えるが、道路CLは全国各地に設定されておらず、対象区間における降雨データと災害履歴から全国各地の通行規制区間ごとに道路CLを設定する必要があるのに対し、砂防CLは全国各地に設定されていることから、本研究では簡易的に運用できる砂防CLを用いることとする。以下、土砂災害危険基準線（CL）は砂防CLのことを指すこととする。

(2) CLを用いた規制・解除基準の検討について

CLには、短期降雨指標として60分間積算雨量、長期降雨指標として土壌雨量指数が用いられている。これにより、長雨や近年増加しているゲリラ豪雨等のあらゆる降雨への対応が期待できる。なお土壌雨量指数の概念、計算方法は付録に示す。

図-5.2.1はCLの設定概念を示している。縦軸に60分間積算雨量、横軸に土壌雨量指数をとり、対象地域における過去の災害発生降雨データと災害非発生降雨データから土砂災害が発生しない降雨の上限を設定する。この上限がCLとなる。つまり、CLの外側は土砂災害が発生しやすい降雨であり、CLの内側は土砂災害が発生しにくい降雨となる。なお、CLを用いた通行規制としては、図-5.2.2に示すようにCLを超過した時刻を規制時刻、CLの超過が終了した時刻を解除時刻とすることとする。

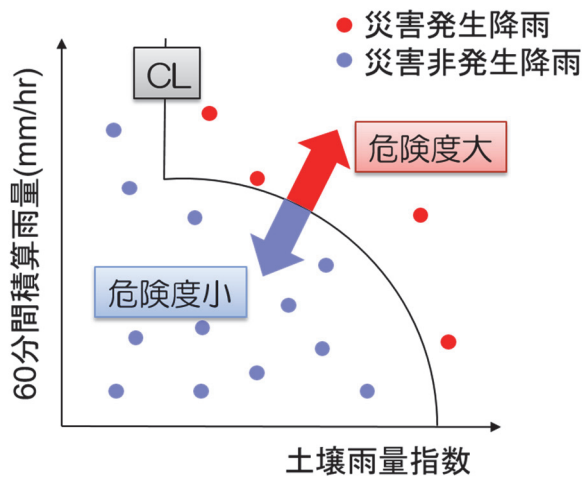


図-5.2.1 CLの設定概念

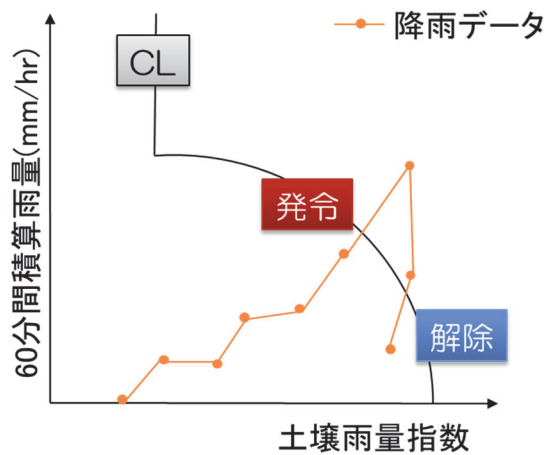


図-5.2.2 CLによる通行規制の概念

(3) 神戸市の事前通行規制区間

神戸市の事前通行規制区間は、一般道路に10区間、有料道路に3区間の計13区間ある。図-5.2.3は、規制区間と雨量等観測所の位置を示している。また、図-5.2.4は規制区間ごとの規制実績(2014年~2018年)を示している。ここで、「事前」とは土砂災害が発生する前に通行規制が行われていた事例を指す。図-5.2.4より、「空振り」が多く発生しており、一部「見逃し」も発生していることが確認できる。

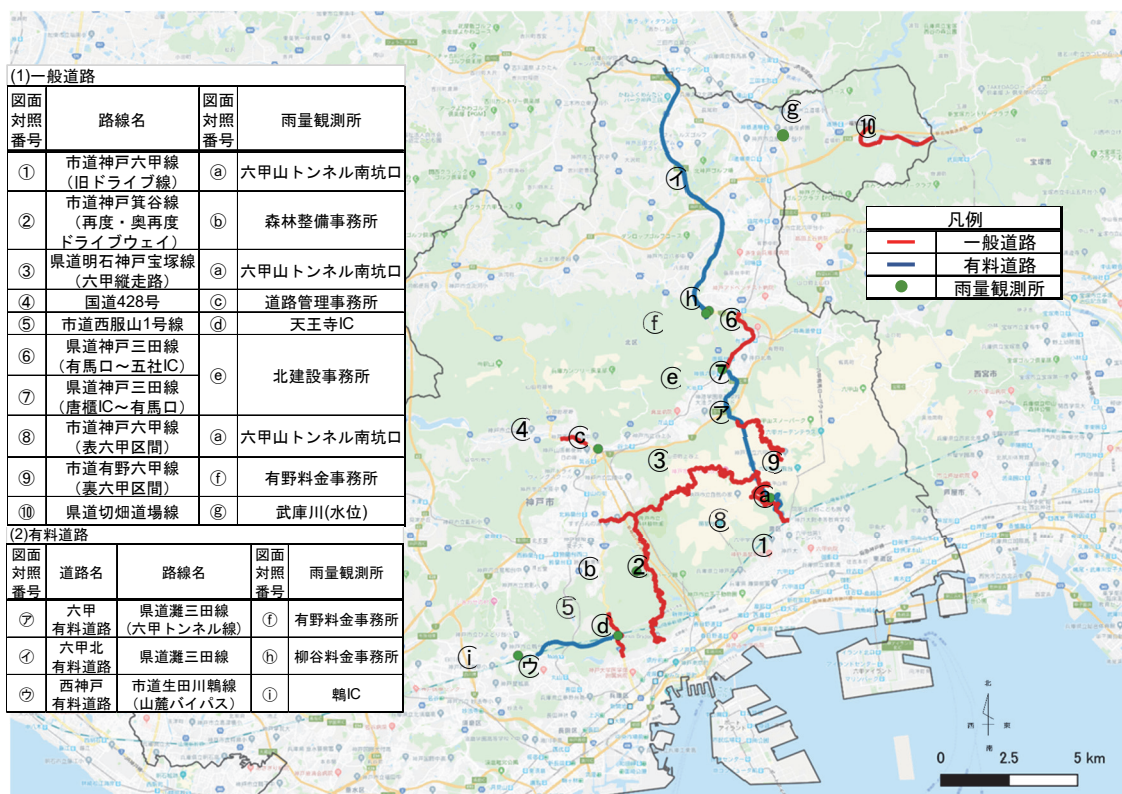


図-5.2.3 神戸市の事前通行規制区間ならびに雨量観測所の位置

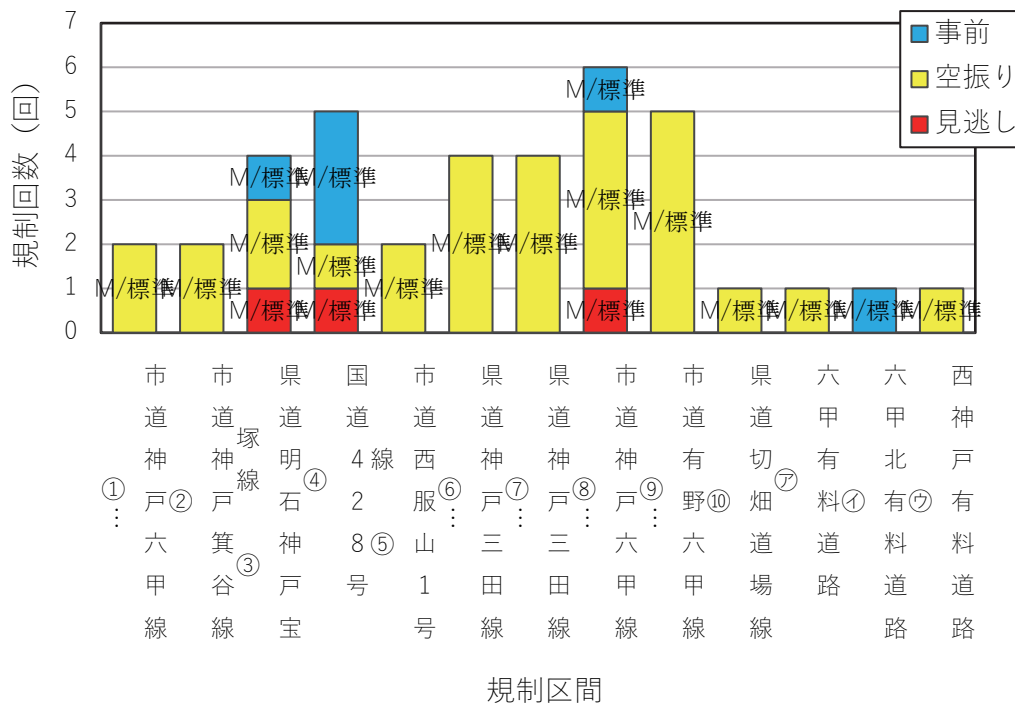


図-5.2.4 通行規制実績 (2014年~2018年)

県道切畑道場線は武庫川の水位を規制基準としており、降雨が測定されていないため、土壌雨量指数が算出できない。したがって、本研究では、県道切畑道場線を除く、一般道路9区間、有料道路3区間の計12区間を研究対象区間とする。

5.3 CLを用いた通行規制・解除の適性についての検討

(1) 検討条件

a) 検討に用いる降雨データ・通行規制実績

検討に用いる降雨データは、表-5.3.1に示す期間とする。本研究では、降雨データから算出した土壌雨量指数を用いたCLによる通行規制と現行基準による通行規制を比較するため、図-5.2.4に示している2014年から2018年の通行規制実績から表-5.3.1に示すデータ期間中の通行規制実績のみを抽出し、図-5.3.1に示している。

b) 土壌雨量指数の計算

小田ら¹の研究では、時間雨量から1時間ごとの土壌雨量指数を算出しているが、今後の課題として10分ごとの土壌雨量指数を用いることを述べている。10分ごとの土壌雨量指数を用いる理由は、例えば13時15分にCLを超過する際、1時間ごとの土壌雨量指数では14時00分に通行規制をするのに対し、10分ごとの土壌雨量指数では13時20分に通行規制することが可能だからである。

本来なら10分間雨量から10分ごとの土壌雨量指数を算出すべきである。しかし、入手した降雨データが時間雨量のため、本研究では時間雨量に1/6を乗じたものを10分間雨量(計算値)とし、この10分間雨量(計算値)を用いて10分ごとの土壌雨量指数を算出する。また10分ごとの60分間積算雨量は、時間雨量をそのまま用いる。つまり0分から59分までの1時間中にある6つの60分間積算雨量は一定となる。

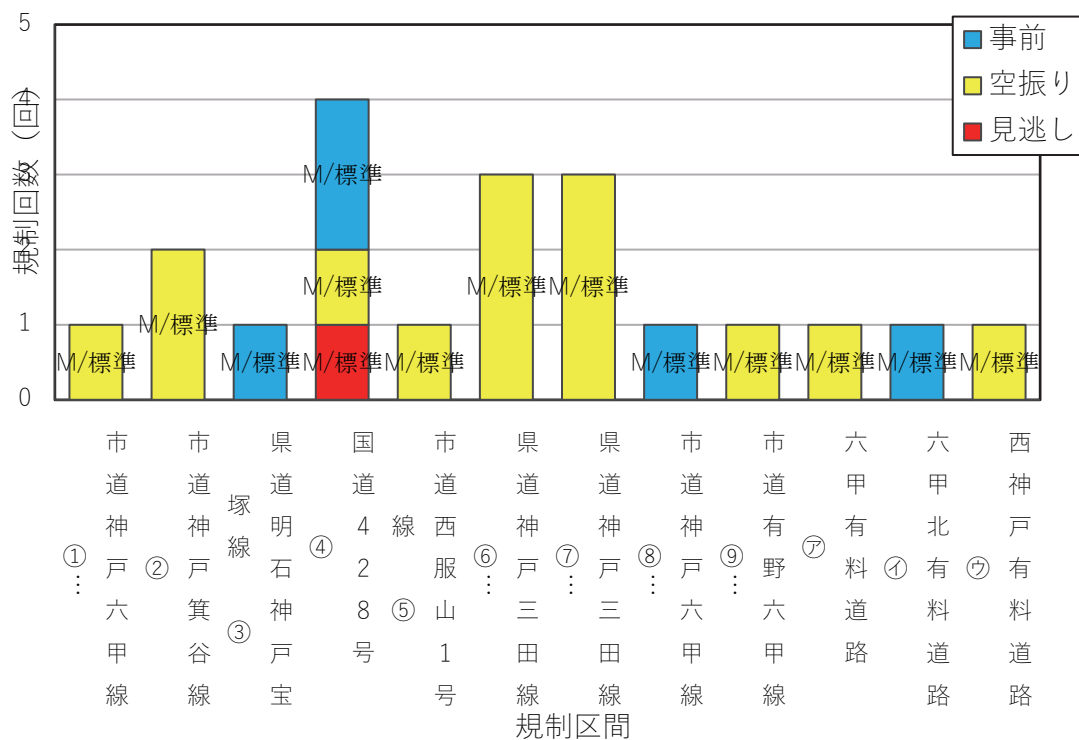


図-5.3.1 用いる降雨データ期間中の通行規制実績

表-5.3.1 検討に用いた雨量観測所ごとのデータ期間

雨量観測所	データ期間
森林整備事務所	2015年6月～2018年12月 (一部欠測期間あり)
道路管理センター	
北建設事務所	
六甲山トンネル南坑口	2018年4月～2018年12月 (一部欠測期間あり)
天王谷 IC	
有野料金事務所	
柳谷料金事務所	
鶉 IC	

c) CL の設定

研究対象の事前通行規制区間と雨量観測所に 5km メッシュを重ねたものを図-5.3.2 に示している。土砂災害警戒情報の発令・解除基準として設定された CL は、メッシュごとに異なる CL が設定されている。また、ほとんどの事前通行規制区間は複数のメッシュに属している。表-5.3.2, 5.3.3 は、路線ごとに規制区間と雨量観測所が属しているメッシュを示している。本研究での CL を用いた通行規制の検討では、属する複数の CL の中で最も内側（安全側）の CL を現行基準による通行規制との比較に用いることとする。

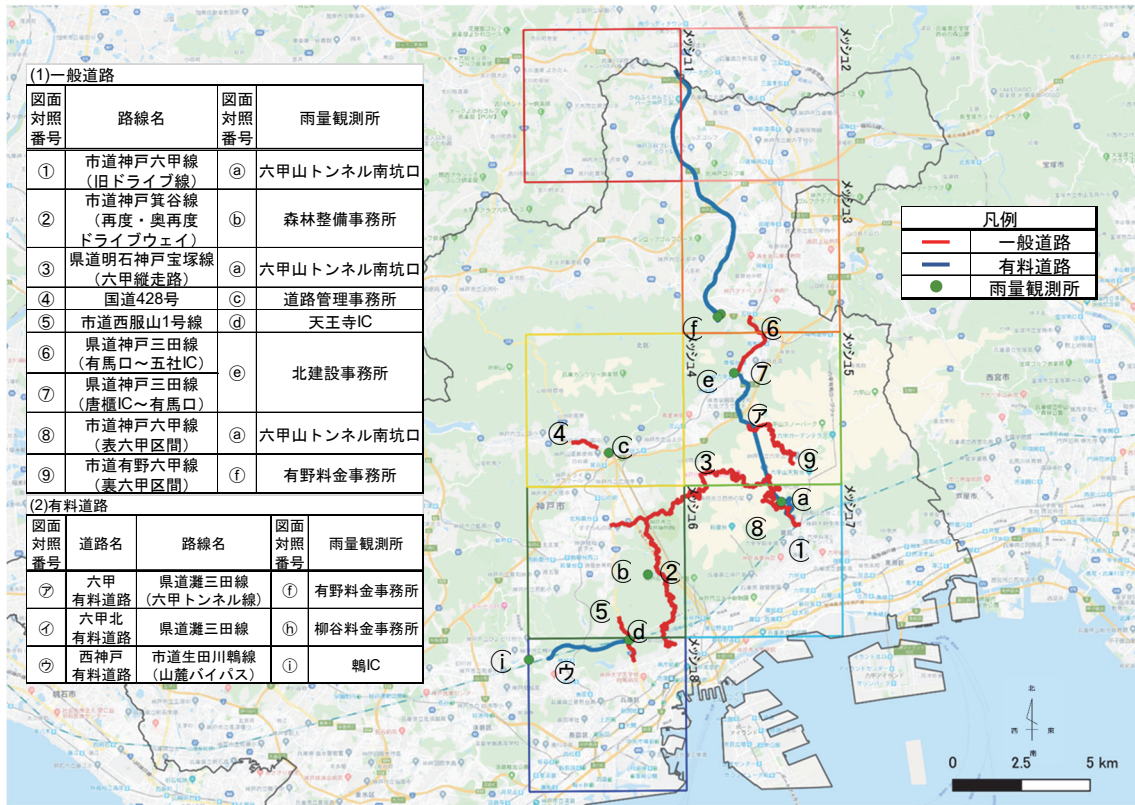


図-5.3.2 研究対象の事前通行規制区間、雨量観測所、メッシュの位置

表-5.3.2 通行規制区間・雨量観測所が属するメッシュ（一般道路）

路線名	通行規制区間・雨量観測所が属するメッシュ番号
①市道神戸六甲線（旧ドライブ線）	7
②市道神戸箕谷線 （再度・奥再度ドライブウェイ）	6, 8
③県道明石神戸宝塚線（六甲縦走路）	5, 6, 7
④国道428号	4
⑤市道西服山1号線	6, 8
⑥県道神戸三田線（有馬口～五社IC）	3, 5
⑦県道神戸三田線（唐櫃IC～有馬口）	5
⑧市道神戸六甲線（表六甲区間）	5, 7
⑨市道有野六甲線（裏六甲区間）	3, 5

表-5.3.3 通行規制区間・雨量観測所が属するメッシュ（有料道路）

道路名	路線名	通行規制区間・雨量観測所が属するメッシュ番号
㉗六甲有料道路	県道灘三田線 (六甲トンネル線)	3, 5, 7
㉘六甲北有料道路	県道灘三田線	1, 2, 3
㉙西神戸有料道路	市道生田川鶴線 (山麓バイパス)	8

(2) 現行基準と CL を用いた規制・解除の比較

a) 災害非発生時の規制・解除時刻の検討

災害非発生時（いわゆる「空振り」時）における、24 時間雨量を用いた現行基準による通行規制時間と CL を用いた規制時間の比較を表-5.3.4 に示す。ここで、減少率とは現行基準による規制時間に対する CL 超過時間の減少割合を指す。表-5.3.4 より CL を用いた通行規制では、24 時間雨量を用いた現行基準による規制と比較して、概ね 66%の規制時間の短縮が可能となっている。

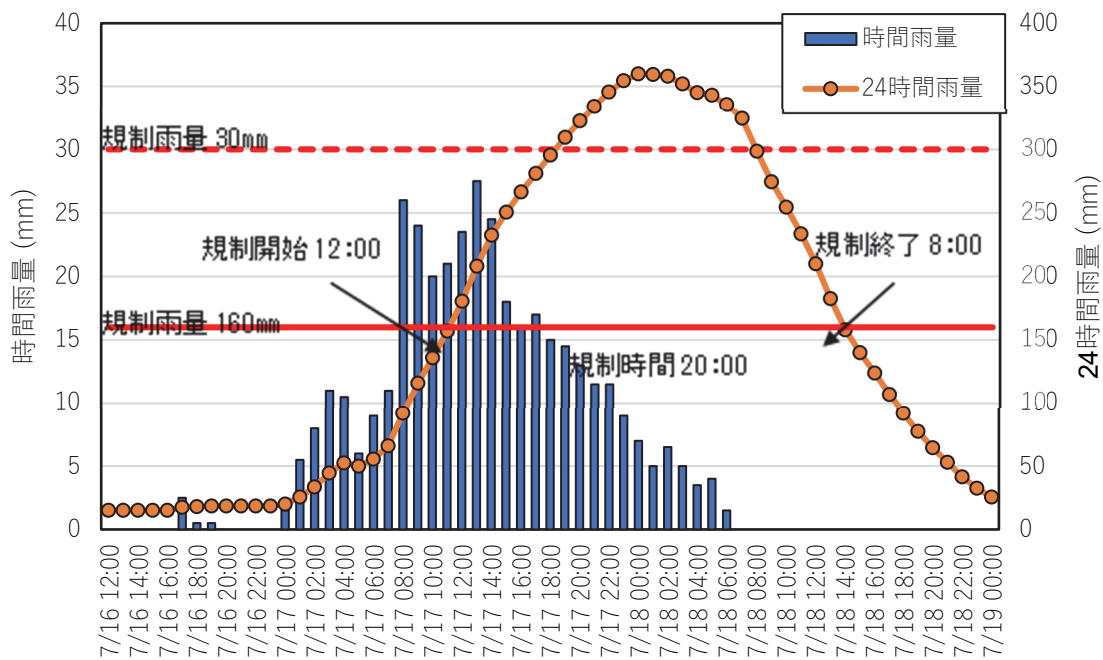
表-5.3.4 通行規制時間の比較（災害非発生事例）

No.	規制区間	降雨日	現行基準による規制時間	CL 超過時間	減少率	備考
1	神戸六甲線 (旧ドライブ線)	2018/07/05	68:15	6:50	90%	CL 超過 2 回
2	神戸箕谷線	2015/07/17	27:00	7:20	73%	
3		2018/07/05	70:50	20:50	71%	CL 超過 6 回
4	国道 428 号	2018/07/05	68:00	44:50	34%	CL 超過 4 回
5	西服山 1 号線	2018/07/05	64:18	6:00	91%	CL 超過 2 回
6	神戸三田線 (有馬口 ~五社 IC)	2015/07/17	20:00	0:00	100%	
7		2017/10/22	9:30	0:00	100%	
8		2018/07/05	71:00	32:20	54%	CL 超過 6 回
9	神戸三田線 (唐櫃 IC ~有馬口)	2015/07/17	20:00	0:00	100%	
10		2017/10/22	9:30	0:00	100%	
11		2018/07/05	71:00	32:20	54%	CL 超過 6 回
12	神戸六甲線 (裏六甲区間)	2018/07/05	74:35	42:50	43%	CL 超過 2 回
13	六甲有料道路	2018/07/05	65:40	42:10	36%	CL 超過 2 回
14	西神戸 有料道路	2018/07/05	60:30	4:00	93%	
合計			700:08	239:30	66%	

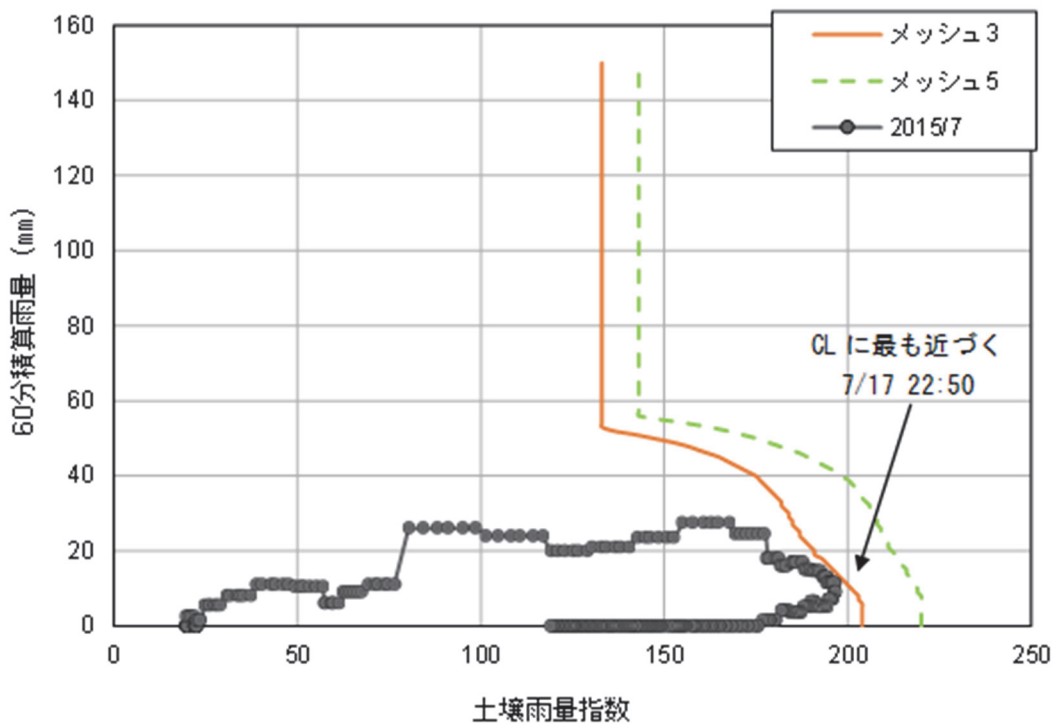
また、代表的な降雨についての規制時間の比較資料を図-5.3.3~5.3.8 に示す。

図-5.3.3, 5.3.4 に示した事例 No.9, 10 において、CL 超過をしていない。つまり、通行規制基準に CL を用いることにより「空振り」が解消されていることが分かる。一方、図-5.3.5~5.3.8 に示した事例 No.2, 14, 4, 13 において、CL 超過をしている。つまり、現行基準による規制と CL を用いた規制は、ともに「空振り」が発生している。しかし、減少率は 73%, 93%, 34%, 36%となっており、規制時間がかかり減少していることが分かる。ただし、図-5.3.7, 5.3.8 に示した事例 No.4, 13 においては、短時間に繰り返し CL 超過が発生しており、規制と解除が繰り返し発生することとなる。これは、小田らりの研究でも発生しており、今後の課題とさ

れているため、本研究では繰り返し CL 超過について c) で検討する。

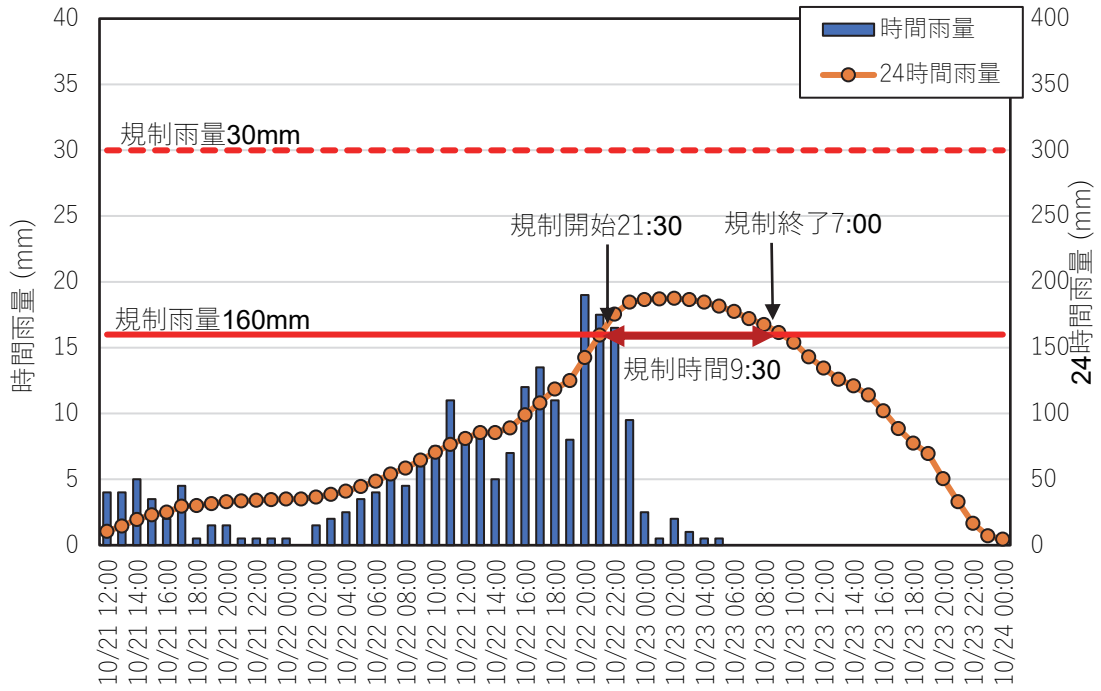


a) 現行基準による規制

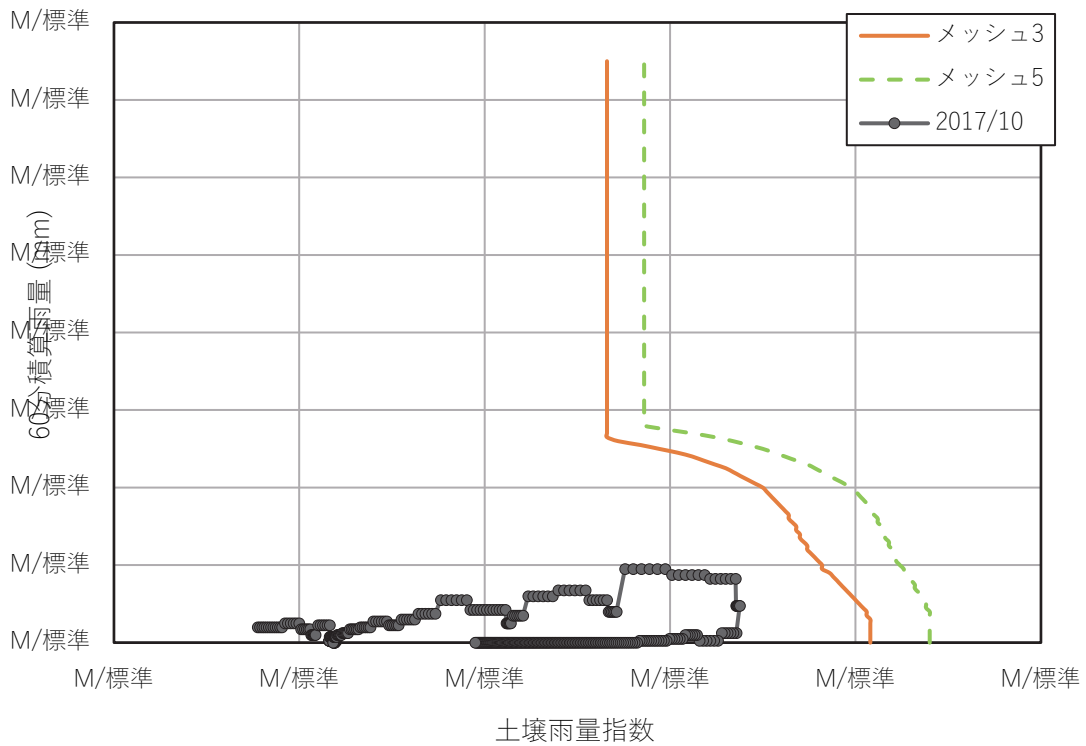


b) CL を用いた規制

図-5.3.3 現行基準と CL を用いた規制・解除の比較 (事例 No. 9 神戸三田線 2015 年 7 月降雨)



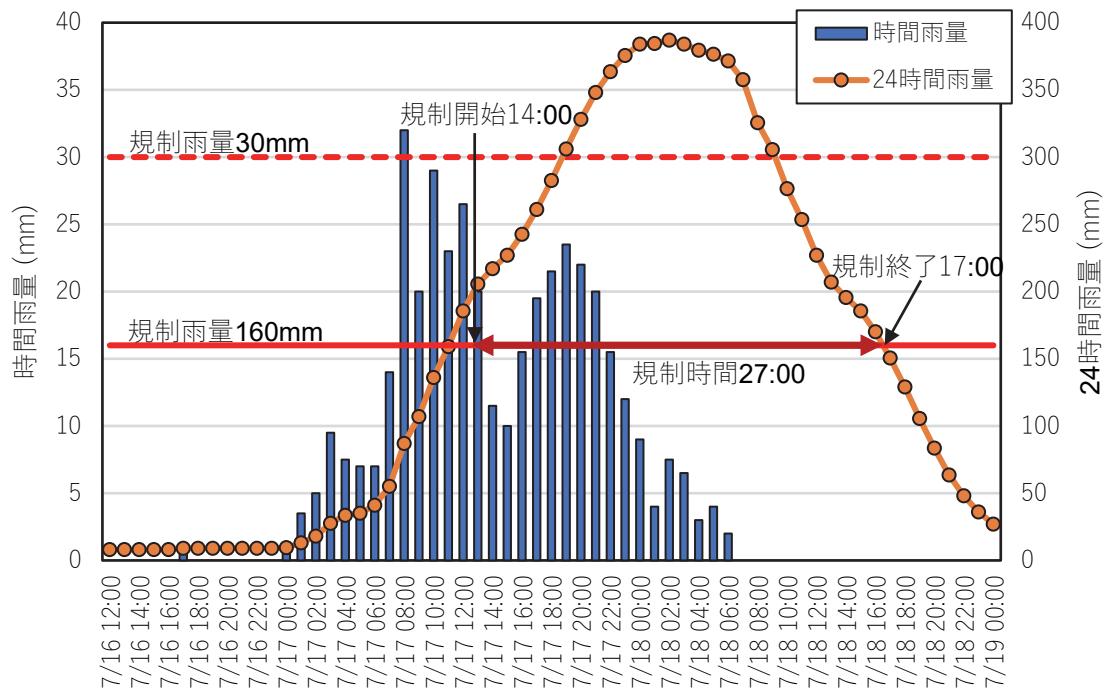
a) 現行基準による規制



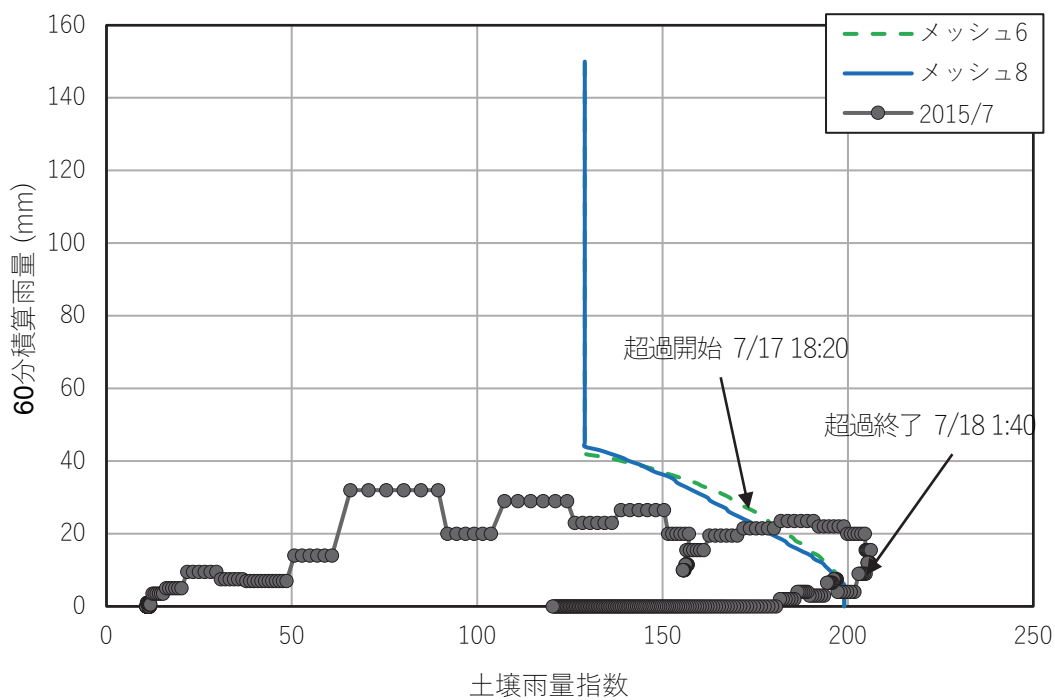
b) CL を用いた規制

図-5.3.4 現行基準とCLを用いた規制・解除の比較

(事例No.10 神戸三田線 2017年10月降雨)



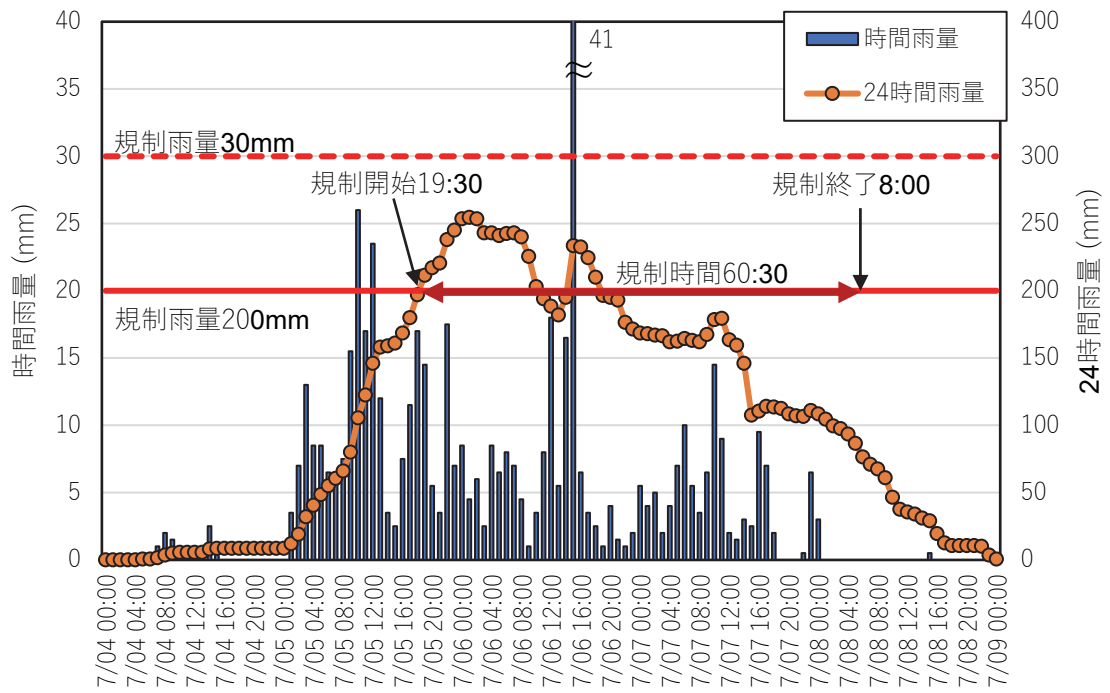
a) 現行基準による規制



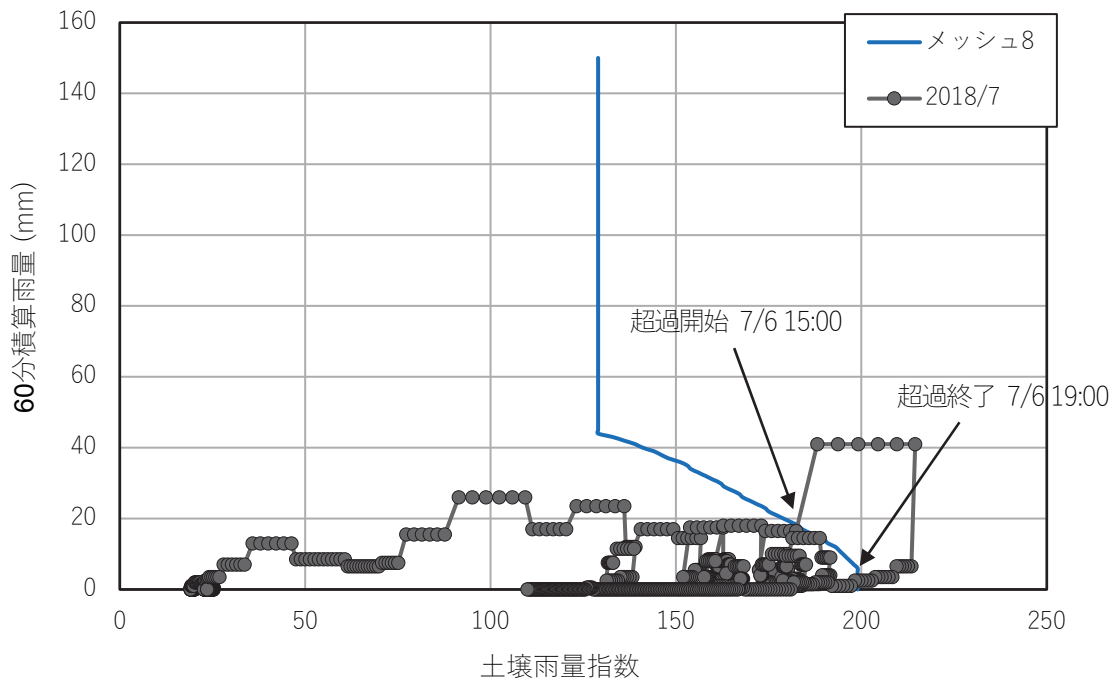
b) CL を用いた規制

図-5.3.5 現行基準とCLを用いた規制・解除の比較

(事例 No. 2 神戸箕谷線 2015年7月降雨)

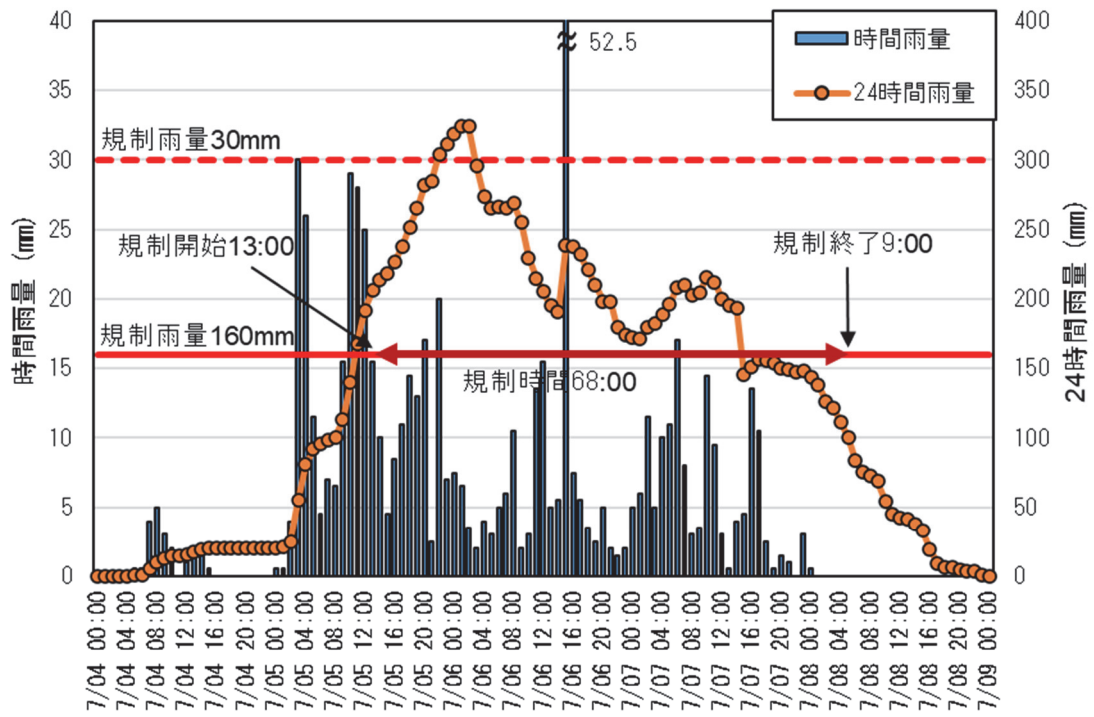


a) 現行基準による規制

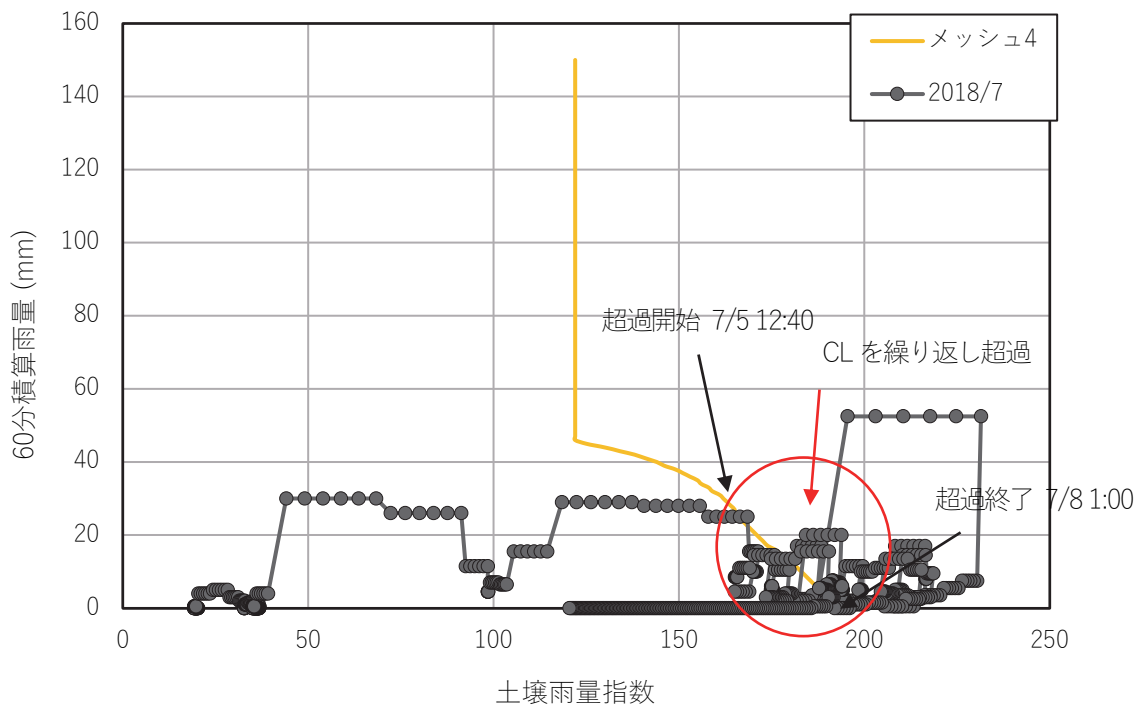


b) CL を用いた規制

図-5.3.6 現行基準とCLを用いた規制・解除の比較
(事例No.14 西神戸有料道路 2018年7月降雨)



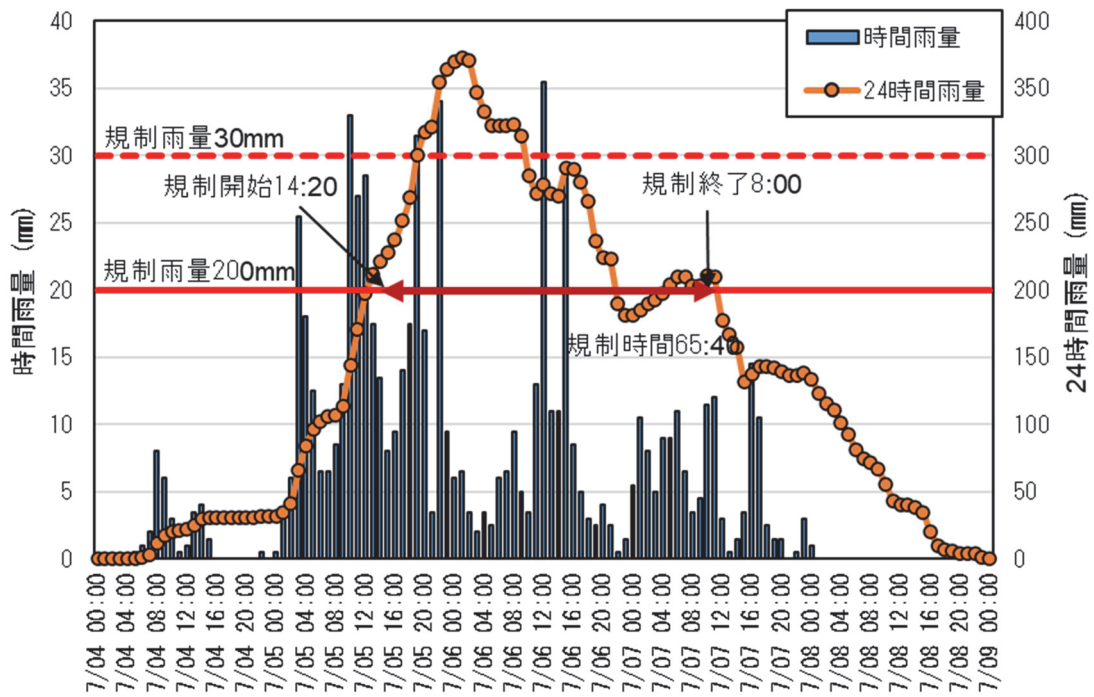
a) 現行基準による規制



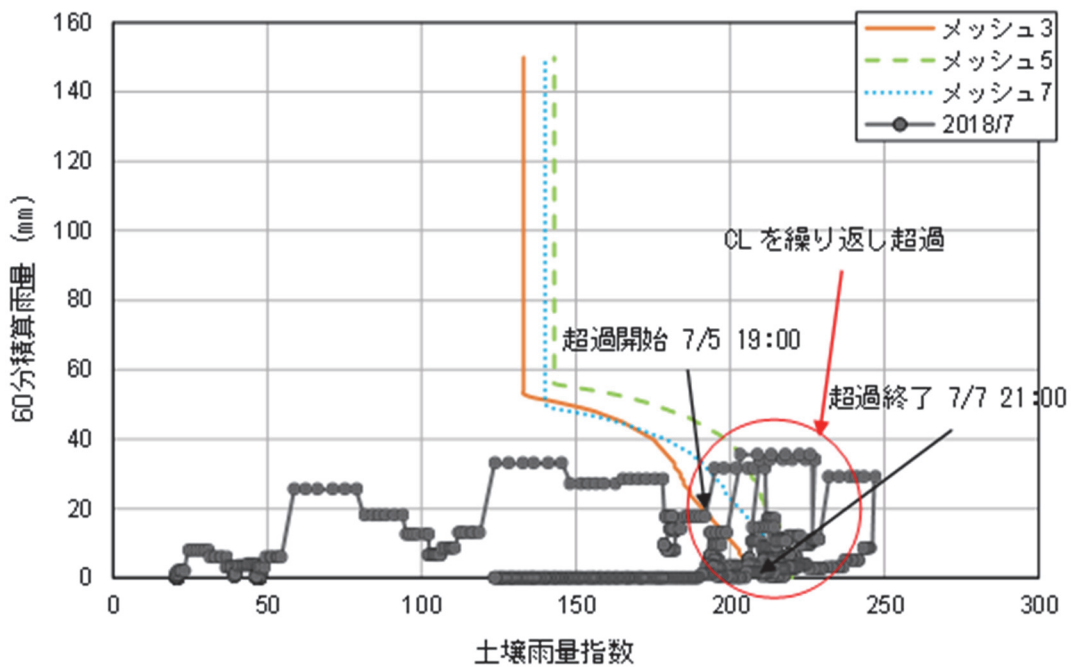
b) CL を用いた規制

図-5.3.7 現行基準とCLを用いた規制・解除の比較

(事例No.4 国道428号 2018年7月降雨)



a) 現行基準による規制



b) CL を用いた規制

図-5.3.8 現行基準とCLを用いた規制・解除の比較

(事例No.13 六甲有料道路 2018年7月降雨)

b) 災害発生時の規制時刻の検討

土砂災害が発生した事例では規制基準の雨量を下回っても災害箇所の修復工事により解除できない場合がほとんどであるため、災害発生時の規制時刻に着目して検討を行う。

24時間雨量を用いた現行基準による通行規制時刻とCLを用いた規制時刻の比較を表-5.3.5に示す。また、図-5.3.9～5.3.12は事例No.15～18のCLを用いた通行規制を示している。ここで事例No.19, 20は、比較する災害発生時刻が不明のため、検討の対象外とする。

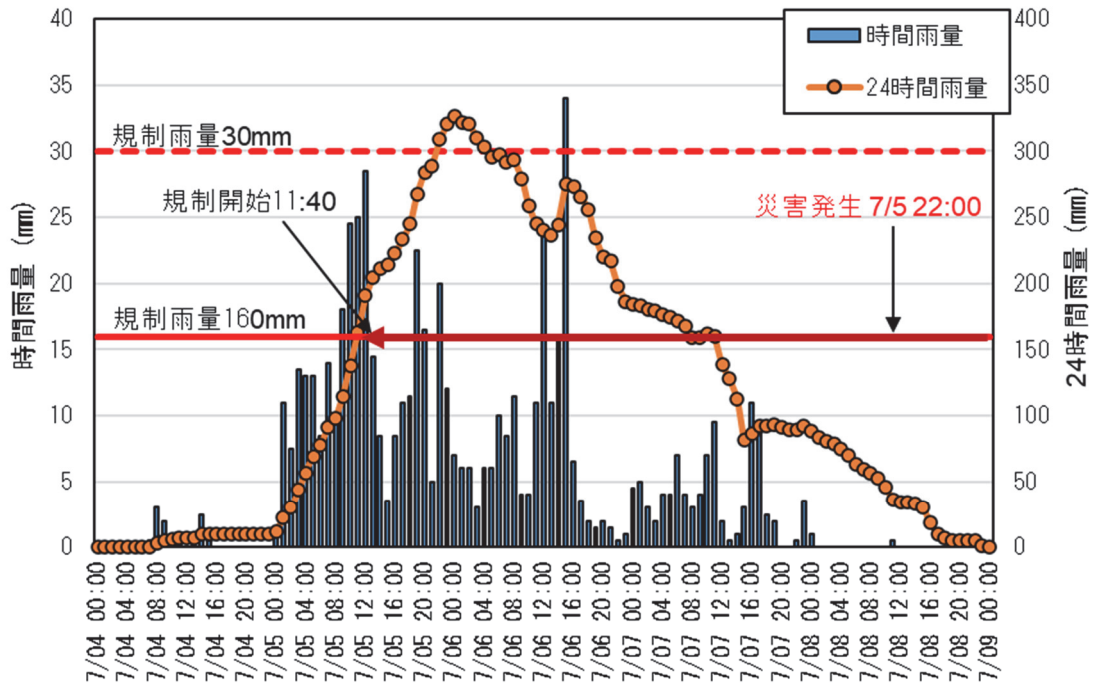
表-5.3.5ならびに図-5.3.9, 5.3.10ならびに5.3.12より、事例No.15, 16, 18において現行基準による規制とCLを用いた規制は、ともに災害が発生する前に行われている。また、事例No.15, 16, 18のすべてにおいて、CLを用いた規制時刻は、現行基準による規制時刻に比べ災害発生時刻に近づいていることから、CLを用いた規制の方がより高い精度で災害発生時刻を捉えられているといえる。

しかし、図-5.3.9に示した事例No.15において、災害発生時にはCL超過が終了している。これより、CL超過の終了と同時に通行規制の解除を行うのではなく、現行の解除基準に設定されているような「降雨後2時間以上経過し特に異常現象が視認されないとき」等の条件を加える必要があると考えられる。

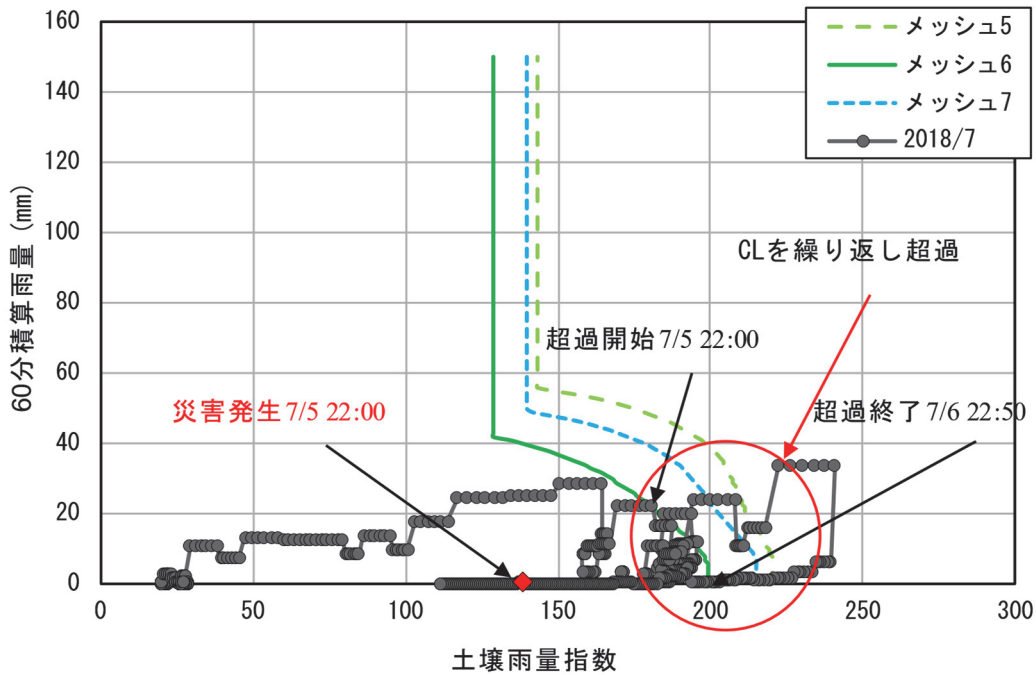
表-5.3.5ならびに図-5.3.11に示した事例No.17において、現行基準による規制とCLを用いた規制は、ともに災害発生時に行われていない（いわゆる「見逃し」）。これは、砂防CLが本来捉えるのは土石流等の人命に関わる規模の土砂災害であるため、土石流に比べて災害規模の小規模な土砂流出を捉えることが困難だからである。しかし、通行規制においては土砂流出等の災害も捉える必要があるため、このような小規模な土砂流出に対しては、砂防CLをそのまま通行規制基準として用いることはできないと考えられる。したがって、4章で検討した評価手法が必要になるといえる。

表-5.3.5 通行規制時刻の比較（災害発生事例）

No.	規制区間	降雨日	災害状況	災害発生時刻	現行基準による規制時刻	CL超過時刻
15	明石神戸宝塚線	2018/07/05	法面崩落 路肩崩壊	7/08 12:20	7/05 11:40	7/05 22:00
16	国道428号	2015/07/17	土砂流出	7/17 21:00	7/17 12:00	7/17 16:50
17		2017/09/17	土砂流出	9/17 21:30	9/17 21:30	CL超過なし
18		2017/10/22	土砂流出	10/22 22:10	10/22 19:50	10/22 21:10
19	神戸六甲線 (表六甲区間)	2018/07/05	上法崩壊	不明	7/05 10:00	7/06 12:20
20	六甲北有料道路	2018/07/05	上法崩壊	不明	7/05 15:30	7/05 22:00

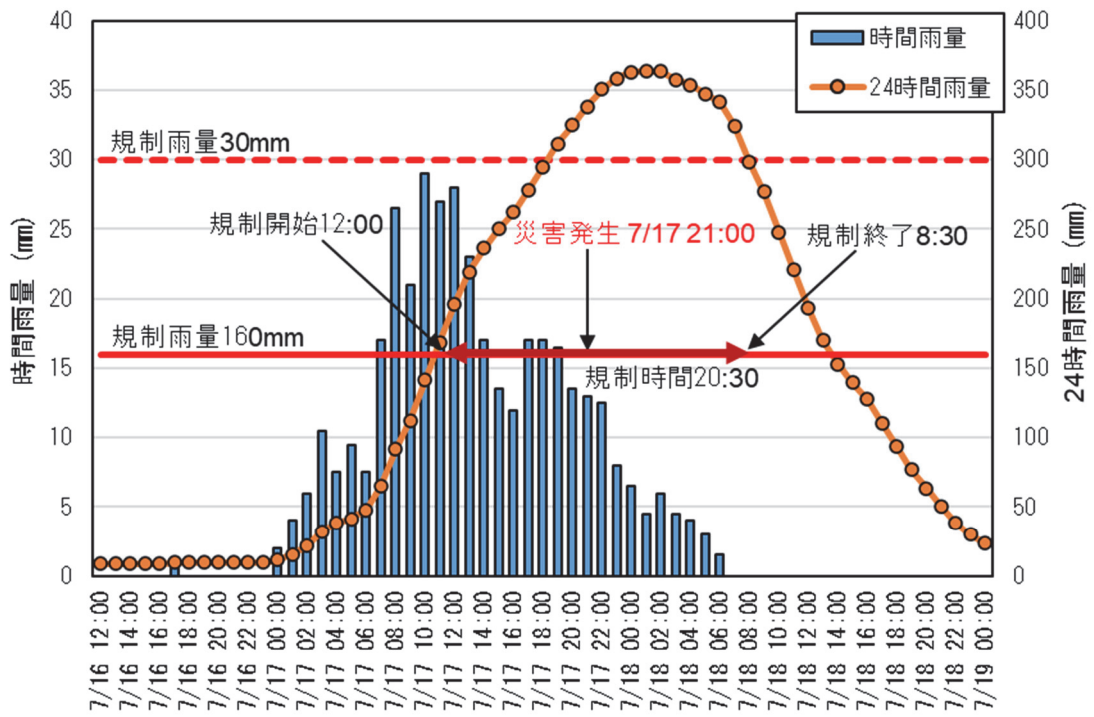


a) 現行基準による規制

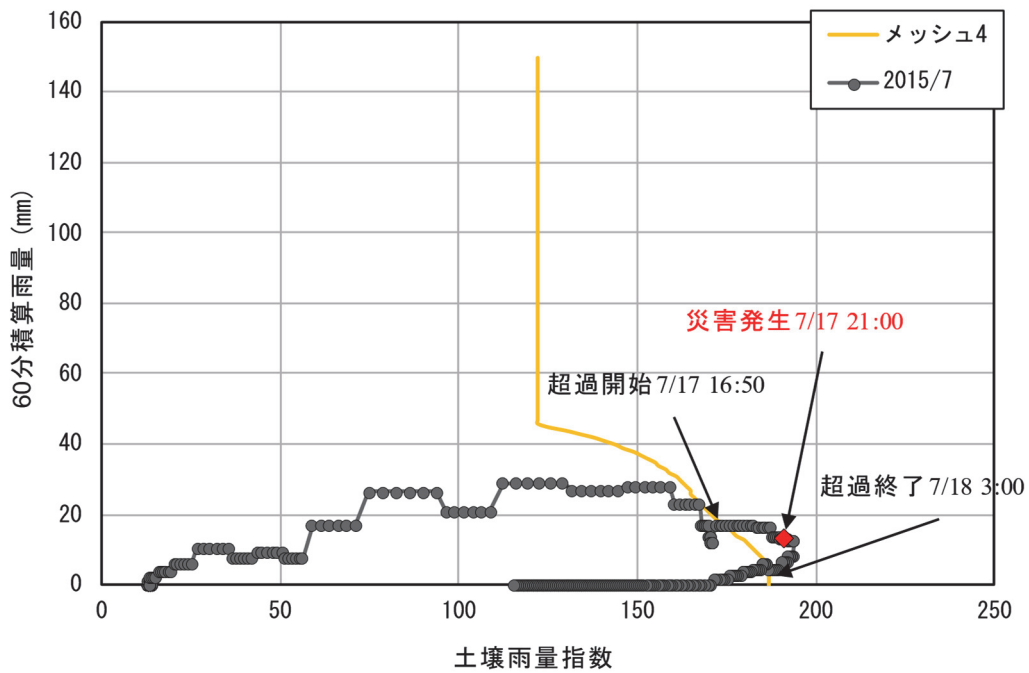


b) CL を用いた規制

図-5.3.9 現行基準とCLを用いた規制・解除の比較
(事例No.15 明石神戸宝塚線 2018年7月降雨)



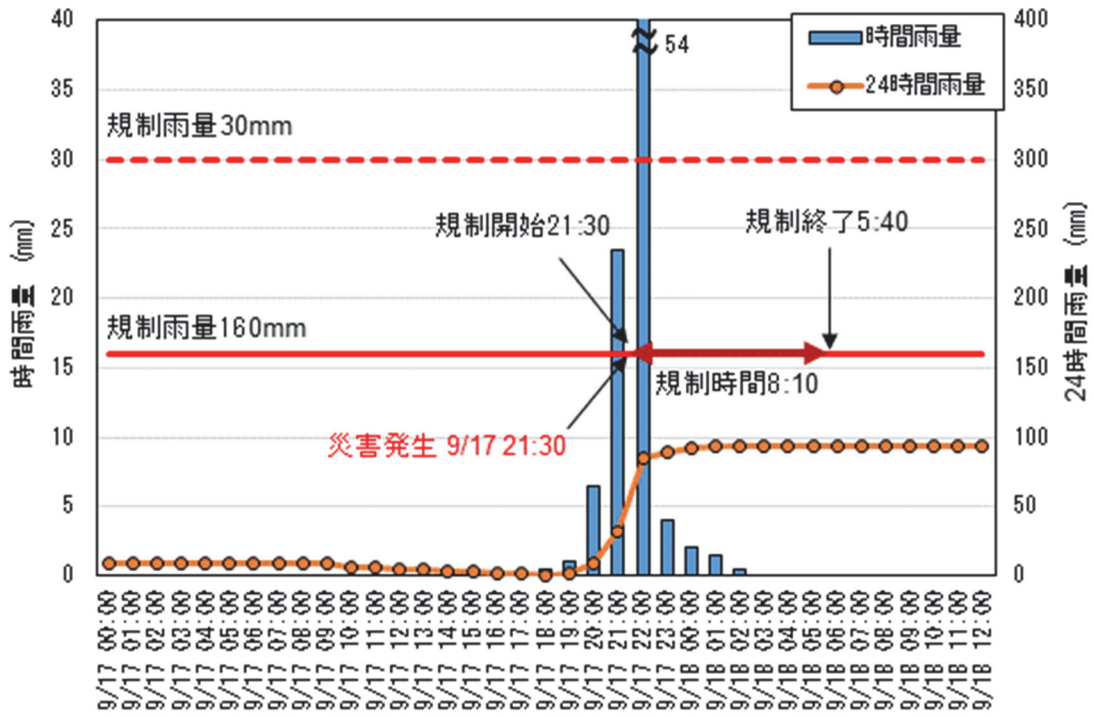
a) 現行基準による規制



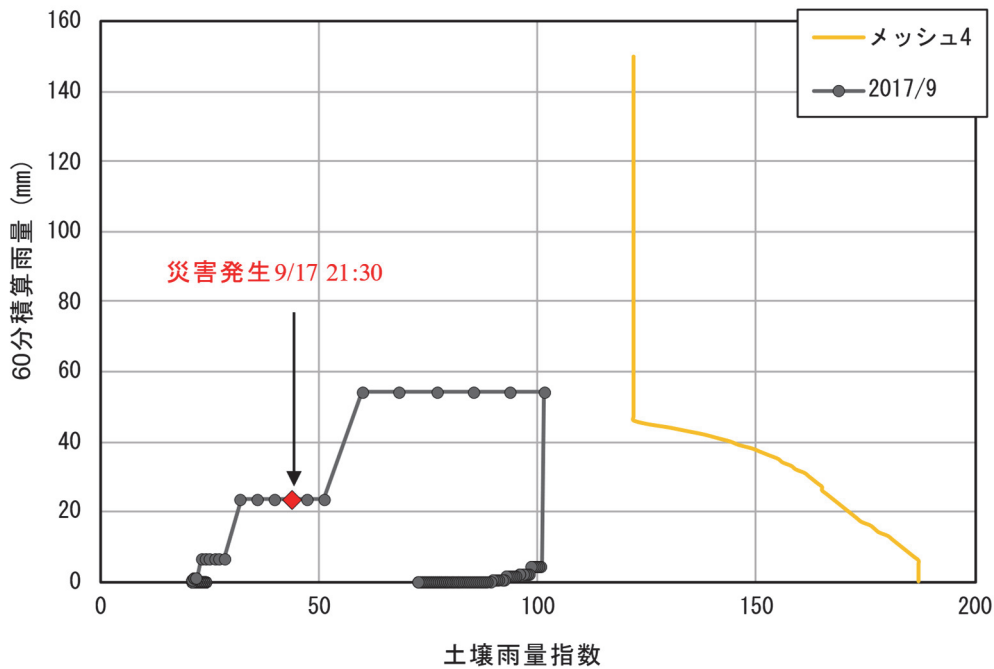
b) CL を用いた規制

図-5.3.10 現行基準とCLを用いた規制・解除の比較

(事例No.16 国道428号線 2015年7月降雨)



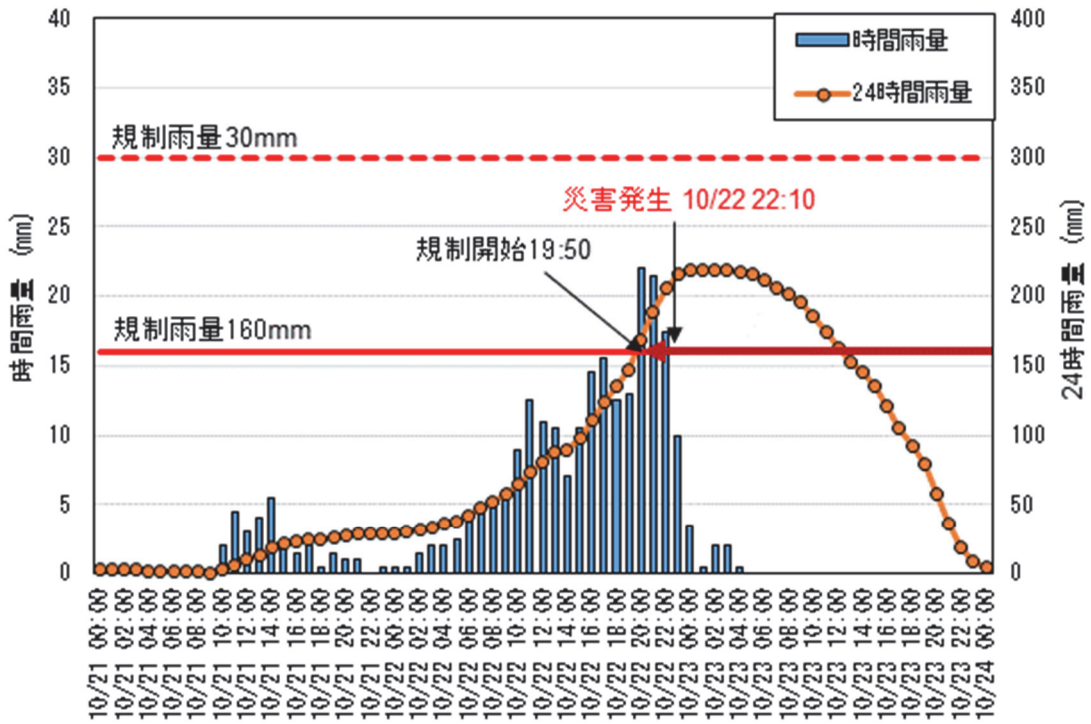
a) 現行基準による規制



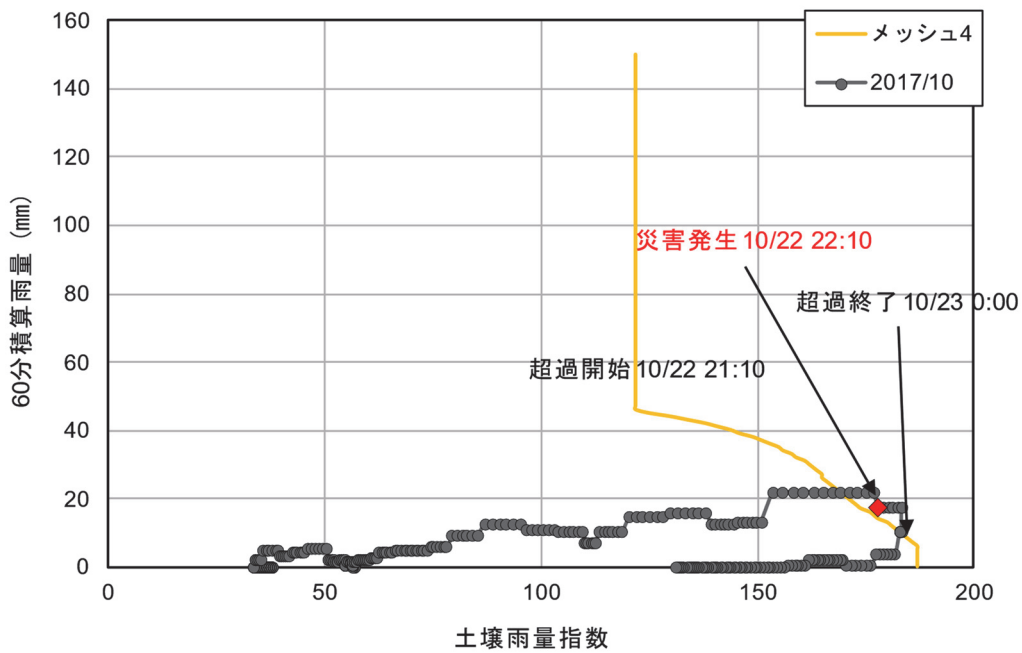
b) CL を用いた規制

図-5.3.11 現行基準とCLを用いた規制・解除の比較

(事例No.17 国道428号線 2017年9月降雨)



a) 現行基準による規制



b) CL を用いた規制

図-5.3.12 現行基準とCLを用いた規制・解除の比較

(事例 No. 18 国道428号線 2017年10月降雨)

c) 繰り返し CL 超過の検討

a)に示したいくつかの事例において、短時間に繰り返し CL 超過が発生しており、規制と解除が繰り返し発生することとなる。これは、道路交通の混乱を引き起こす要因となる。そこで、CL 超過の終了と同時に通行規制の解除をするのではなく、気象庁が発表している降水短時間予報³⁾を用いて、CL 超過の終了後に繰り返し CL 超過が発生しないか判定する手法について検討する。つまり、数時間先の降雨による繰り返し CL 超過が確認できた場合は、通行規制は解除せず規制したままとする手法である（図-5.3.13 参照）。現在、降水短時間予報は 6 時間先までの降水予報を 10 分毎に発表している。また現行の通行規制解除基準では「降雨後 2 時間以上経過し特に異常現象が視認されないうき」と定められており、国道の通行規制解除基準では「時間雨量 2mm 以下が 3 時間継続し、道路パトロールを行い安全が確認されたとき」と定められている。これらの時間を参考に、CL に 2 時間先、3 時間先、6 時間先の降水予報データを取り込んだ場合について検討することとする。ただし本研究では、実際に観測された雨量データを用いて検討するため、CL 超過が終了してから 2 時間後、3 時間後、6 時間後までの降雨データを降水短時間予報データとみなして検討する。

表-5.3.6 は CL 超過があった事例において、2 時間先、3 時間先、6 時間先の降水予報データを取り込んだ場合のそれぞれの規制回数を示している。なお、0 時間先の降水予報データを取り込んだ場合とは、CL 超過終了と同時に通行規制解除を行うことを意味するものである。また、CL 超過が一度も発生しなかった事例は表-5.3.6 に含んでいない。表-5.3.6 より、2 時間先、3 時間先、6 時間先の降水予報データを取り込んだ場合の規制回数は、降水予報データを取り込まない場合に比べ、-20%、-23%、-35%となっている。これより、降水予報データを取り込むことで、繰り返し CL 超過による規制回数は減少することが確認できた。また、6 時間先の降水予報データを取り込んだ場合が、最も繰り返し CL 超過による規制回数が減少することが期待される。

しかし、前述したように、本研究では実際に観測された雨量データを用いて検討するため、CL 超過が終了し

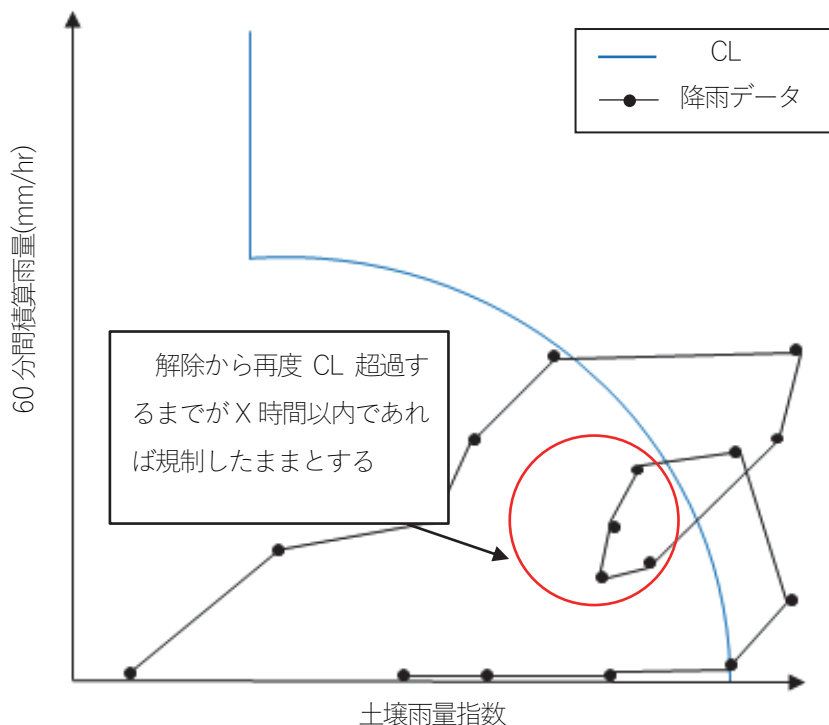


図-5.3.13 X 時間先の降水短時間予報を用いた CL による通行規制の概念図

てから2時間後、3時間後、6時間後までの降雨データを降水短時間予報データとみなして検討している。そのため、降水短時間予報データはあくまで予報のため、実際の降雨との誤差が発生することが推測できるにもかかわらず、その誤差が考慮されていない。さらにその誤差は、降水予報時間が長くなるにつれ大きくなることが推測できる。

これより、降水短時間予報の降水予報時間別精度の比較、ならびに降水短時間予報データがCLに与える影響について検討することが今後の課題である。

表-5.3.6 降水予報時間ごとの規制回数の比較

規制区間	降雨日	メッシュ	降水予報時間ごとの規制回数			
			0h	2h	3h	6h
市道神戸六甲線 (旧ドライブ線)	2018/07/05	7	2	1	1	1
市道神戸箕谷線	2015/07/17	6	1	1	1	1
		8	1	1	1	1
	2018/07/05	6	5	4	4	3
		8	6	5	5	3
県道明石神戸宝塚線	2018/07/05	5	1	1	1	1
		6	2	2	2	2
		7	1	1	1	1
国道428号	2015/07/17	4	1	1	1	1
	2017/10/22	4	1	1	1	1
	2018/07/05	4	4	3	3	2
市道西服山1号線	2018/07/05	6	2	1	1	1
		8	2	1	1	1
県道神戸三田線 (有馬口~五社IC)	2018/07/05	3	6	3	2	2
		5	4	4	4	3
県道神戸三田線 (唐櫃IC~有馬口)	2018/07/05	3	6	3	2	2
		5	4	4	4	3
市道神戸六甲線 (表六甲区間)	2018/07/05	5	1	1	1	1
		7	1	1	1	1
市道有野六甲線 (裏六甲区間)	2018/07/05	3	2	2	2	2
		5	5	4	4	3
六甲有料道路	2018/07/05	3	2	2	2	2
		5	5	4	4	3
		7	5	4	3	3
六甲北有料道路	2018/07/05	1	4	4	4	3
		2	2	2	2	2
		3	4	3	3	3
西神戸有料道路	2018/07/05	8	1	1	1	1
合計			81	65	62	53
減少率(対降水予報時間0h比)				20%	23%	35%

5.4 まとめ

本研究は、道路事前通行規制・解除の基準として CL の概念を取り入れることの適性を評価するために、神戸市の一般道路と有料道路の計 12（県道切畑道場線は除く）区間を対象に CL を適用し、現行の基準との比較を行った。以下に本研究の結果を列挙する。

- ①災害非発生事例において、CL を用いた通行規制では、現行基準による通行規制に比べ概ね 66% の規制時間の短縮がみられた。また、CL を用いた通行規制により空振りが解消した事例も確認できた。
- ②災害発生事例において、CL を用いた通行規制時刻は、現行基準による通行規制時刻に比べ災害発生時刻に近くなっていることから、CL を用いた通行規制の方がより高い精度で災害発生時刻を捉えることが可能だと分かった。しかし、災害の種類によっては CL では捉えられない事例も確認できた。
- ③CL を用いた通行規制では、概ね災害発生の前に CL 超過していたが、災害発生時既に CL 超過が終了していた事例もあった。また、現行基準による通行規制において「見逃し」が発生した事例では、CL を用いた通行規制においても「見逃し」が発生した。
- ④CL を用いた通行規制では、短時間に繰り返し CL 超過が発生した事例が確認された。その不具合を解決するため、短時間降水予報を活用することとし、6 時間先の降雨データを取り込んだ手法を適用したところ、取り込まなかった場合に比べ概ね 35% の規制回数の短縮が確認できた。

以上より、道路事前通行規制・解除の基準として CL の概念を取り入れることについて、「空振り」事例の規制時間の短縮は大いに期待できると考えられる。しかし、災害発生事例では CL を用いた通行規制において、上記の③のような「見逃し」事例も発生しているため、本研究で用いた砂防 CL をそのまま道路事前通行規制・解除の基準として運用すると、「見逃し」発生の可能性がある。これに対しては、小田ら⁹⁾の研究で提案されたように、通行規制区間ごとに道路 CL を設定する必要があるといえるが、過去の災害や降雨データを用いた CL の設定においては、1 度災害が発生した降雨は、同じ降雨であれば次も災害が発生するという考えで CL が設定されている。しかし、道路では災害発生後、次に同じ降雨で災害が発生しないようにハード対策が行われるのが一般的であるため、このハード対策の影響を受けずに CL を設定することが今後の課題である。それに当たって、現在の通行規制区間における災害発生降雨と非災害発生降雨の判定を行うことを可能にするシミュレーションを行い、通行規制区間ごとに CL を設定することが必要である。

本章の成果は、佐伯勇輔：土砂災害危険基準線（CL）を用いた時間的な道路事前通行規制・解除基準の検討，神戸市立工業高等専門学校都市工学科令和元年度卒業研究報告書の内容をまとめたものである。

参考文献 (5章)

- 1) 小田和広・鳥居宣之・小山倫史・小泉圭吾・藤本将光：連続雨量に基づく通行規制・解除基準と土壌雨量指数によるその比較, Kansai Geo-Symposium 2019 論文集, 2019
- 2) 国土交通省気象庁：リーフレット「土砂災害警戒情報について」,
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/doshakeikai/index.html> (2019.7.15 閲覧)
- 3) 気象庁 | 国土交通省：降水短時間予報と降水ナウキャスト,
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kurashi/kotan_nowcast.html (2020.1.6 閲覧)

6. おわりに

本報告は、2019年度から活動を行なってきたが、2020年度からの新型コロナウイルス感染症の影響で委員がなかなか集まって会議等を行うことができない中でまとめ上げた成果である。時間が十分とれず、もう少し検討を要する部分もあるが、当初の目的である「規制対象区間で発生しうる土砂災害の危険度評価手法」ならびに「新たな通行規制基準として土砂災害危険基準線（CL）の導入」について検討を行えたものとする。

本WGの成果が、今後の神戸市が管轄する11路線13箇所全体の規制・解除基準の検討の一助になれば幸いである。

本WG活動に際し、神戸市建設局道路工務課ならびに北建設事務所の職員の皆様には、データ提供ならびに現地調査などの協力を得ました。ここに記して、謝意を表します。