

現地調査結果

1. 源頭部崩壊面の概況

(1)源頭部崩壊地の全景



崩壊地全景。崩壊直後の動画に見られた大量の出水は、七尾調圧槽からつながる水道管の破断によるものであると推定される。水道管は旧林道の高さにあり、少なくともそれより下位は地山と判断される。また現道の高さには、中央崩壊地では異なる時期の盛土同士の境界、左岸側崩壊地では、盛土と地山の境界がある。湧水の多くは、盛土と地山の境界または崩土と地山の境界で発生しているが、盛土内や地山内からも発生している。

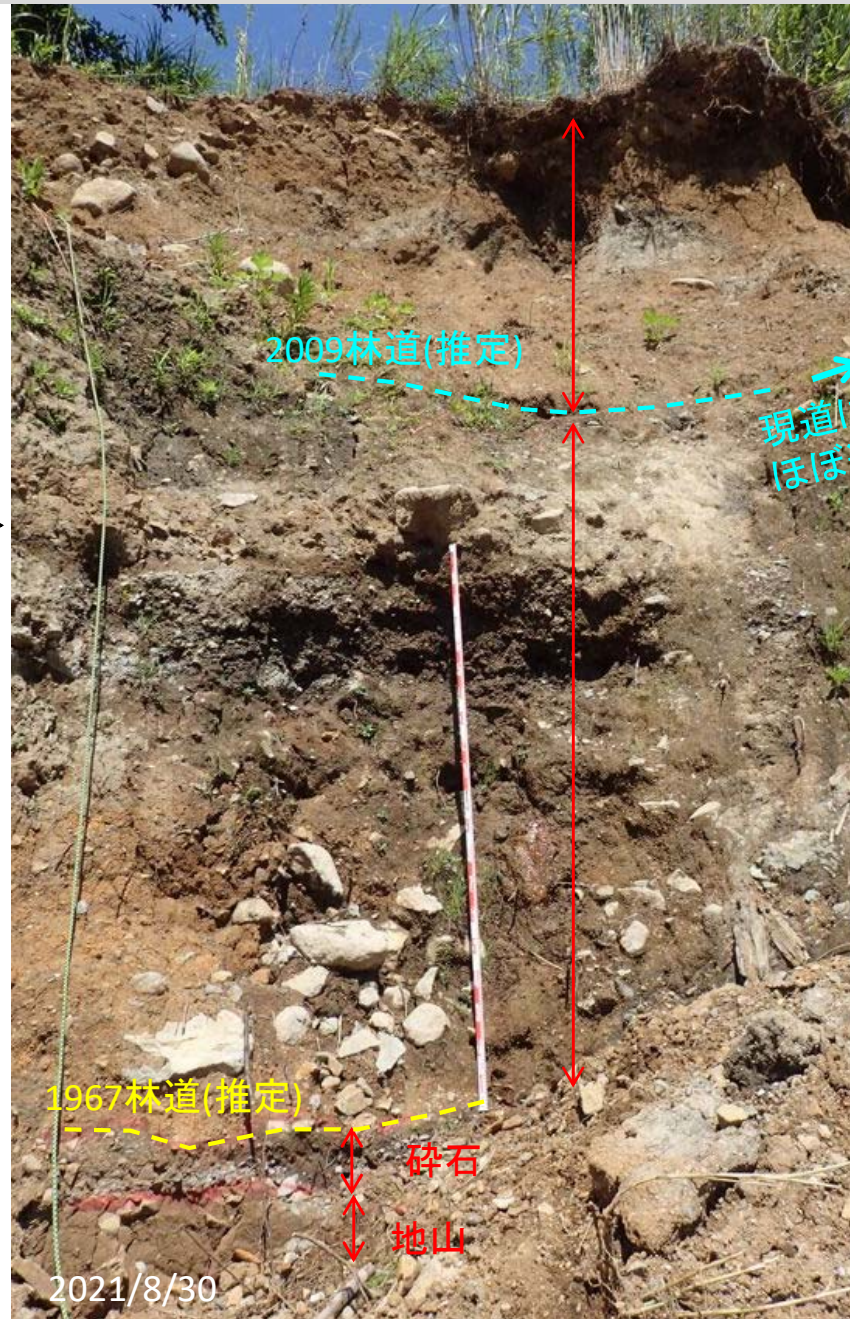
(2)中央崩壊地の露頭

中央崩壊地の源頭部。
複数時期の盛土からなる。



7m離れた
位置

地下水のしみ出しや湧水、一部にはパイ
ピングホールもあり。
※8月調査結果。



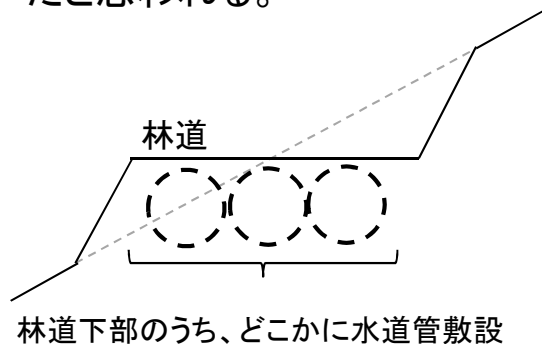
茶色い盛土：
現道より後に盛土さ
れたと思われる。

黒い盛土
(多様な土塊を
複数混合しており、
不均質な土層。
盛土内部から湧水
あり。)

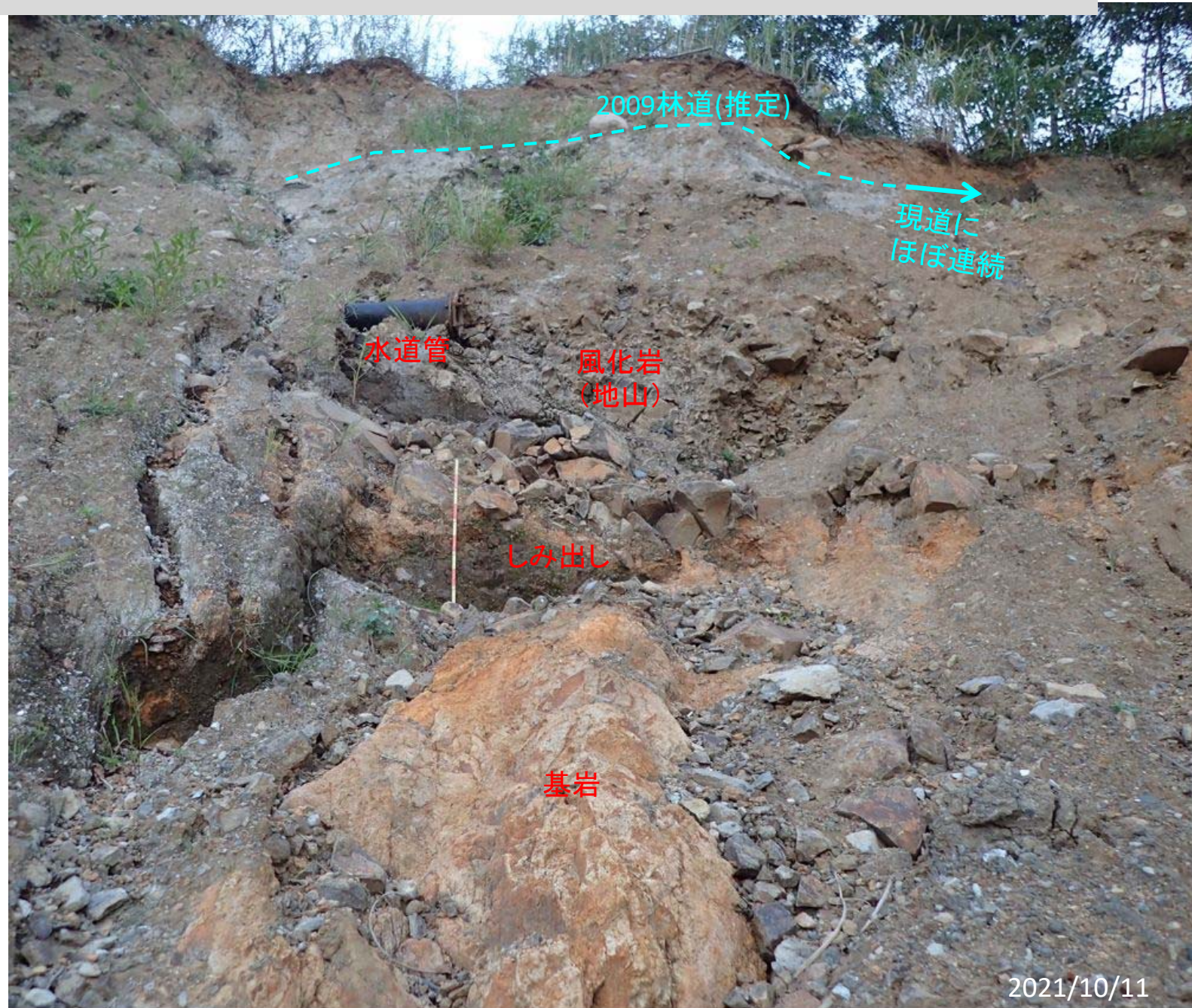
(3)左岸側崩壊地の露頭(地層の露出部分)

左岸側崩壊地の源頭部。
現地観察では、崩壊後の
露出部は、ほぼ全面が地
山と考えられる(ただし2009年
林道付近に一部林道盛土が残
る)。

水道管付近に1967当時の
林道があったと考えられる
が、その痕跡が見られない
ことから、地山まで崩壊し
たと思われる。



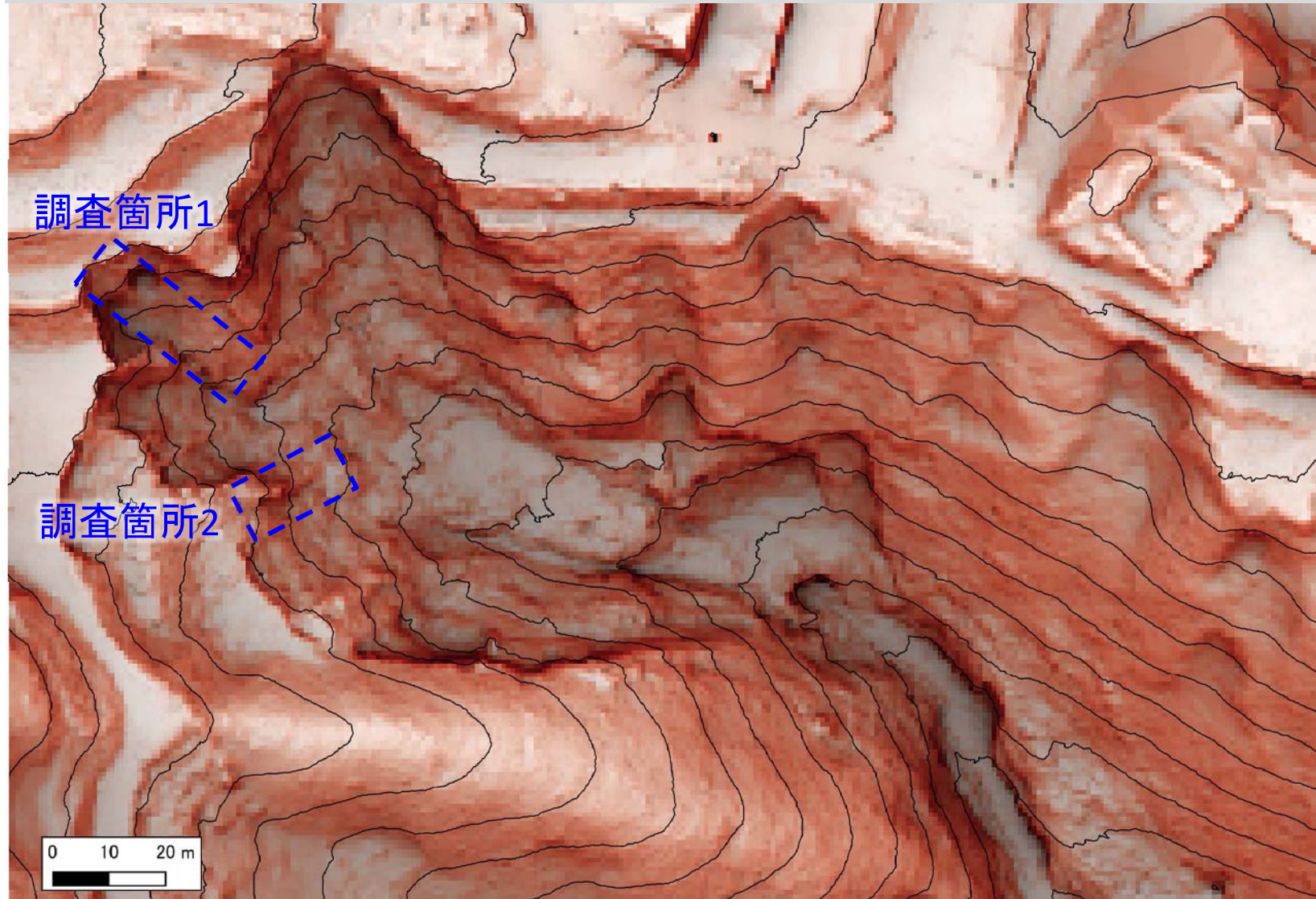
地山内部に地下水のしみ
だし痕跡があるが、その数
は中央崩壊地よりも少なく、
明確なパイピングホールも
ない。



2021/10/11

2. 盛土の構造・性質や混入物

(1)盛土の土壌硬度とpH



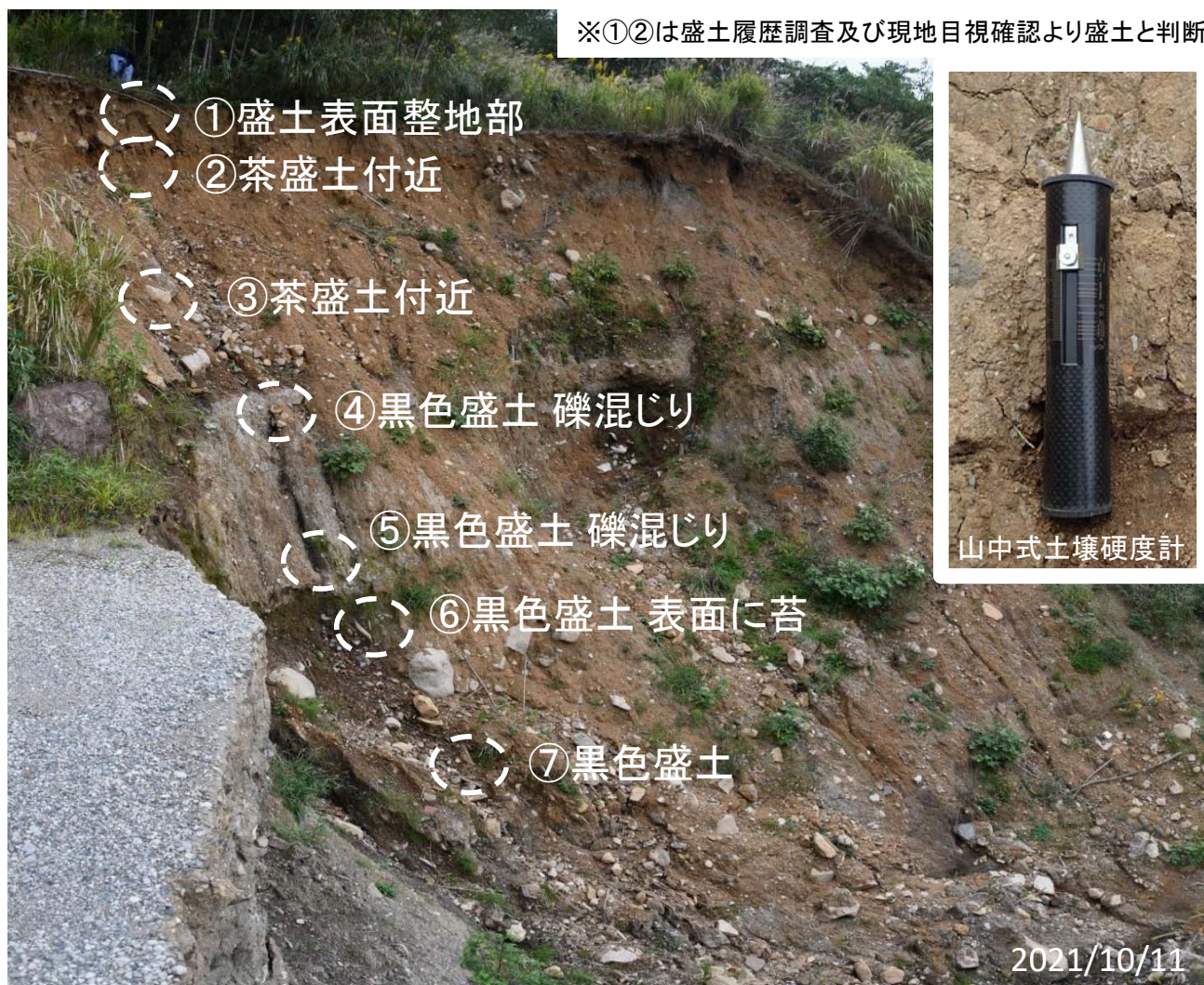
露頭部において鉛直方向の土壌硬度と土壌pH分布を計測した。

黒い盛土について、乾燥時には土粒子間の結合力により、かなり硬く(白くコンクリートのような見た目)、地山よりも硬いが、注水した場合、および降雨時には、硬度が大きく低下する。

土壌pHは全体に中性～ややアルカリ寄り。

(1)盛土の土壌硬度とpH

調査箇所1



計測時の天候は晴れ

	土壌硬度 (mm)	支持強度 (kg/cm ²)	土壌pH
①	19.8	6.13	7.37
②	18.8	5.29	6.40
③	17.7	4.45	7.52
④	31.2	50.23	7.62
⑤	32.2	65.92	6.35
⑥	16.0	3.49	7.06
⑦	23.7	11.16	7.22

支持強度とは
地盤が支えることのできる強度のこと。

調査箇所のうち、④および⑤、すなわち白く乾いた黒色盛土は、他の箇所に比べて強度が突出して高い傾向にある。
土壌硬度は山中式土壌硬度計で計測し、以下の理論式によって支持強度に換算した。

$$(\text{支持強度}) = 100 \times (\text{土壌硬度}) / (0.7952 \times (40 - \text{土壌硬度})^2)$$

※バネに支えられたコーンを地盤に貫入し、釣り合った状態での地盤からの反力が支持強度、バネの縮み長が土壌硬度である。
土壌硬度が40に近づくにつれて、支持強度は指数関数的に大きくなる。

(1)盛土の土壌硬度とpH

調査箇所2



計測時の天候は晴れ

	土壌硬度 (mm)	支持強度 (kg/cm ²)	土壌pH
①	20.0	6.29	7.46
②	18.7	5.16	7.58
③	24.3	12.47	7.56
④	25.2	14.38	7.52
⑤	17.7	4.45	7.23
⑥	20.2	6.45	7.46
⑦	20.8	7.13	7.33

黒色部の盛土であり、見た目の変化も小さい箇所である。調査箇所1と比較すると支持強度は小さい。

(1)盛土の土壌硬度とpH

湿潤時の硬度変化

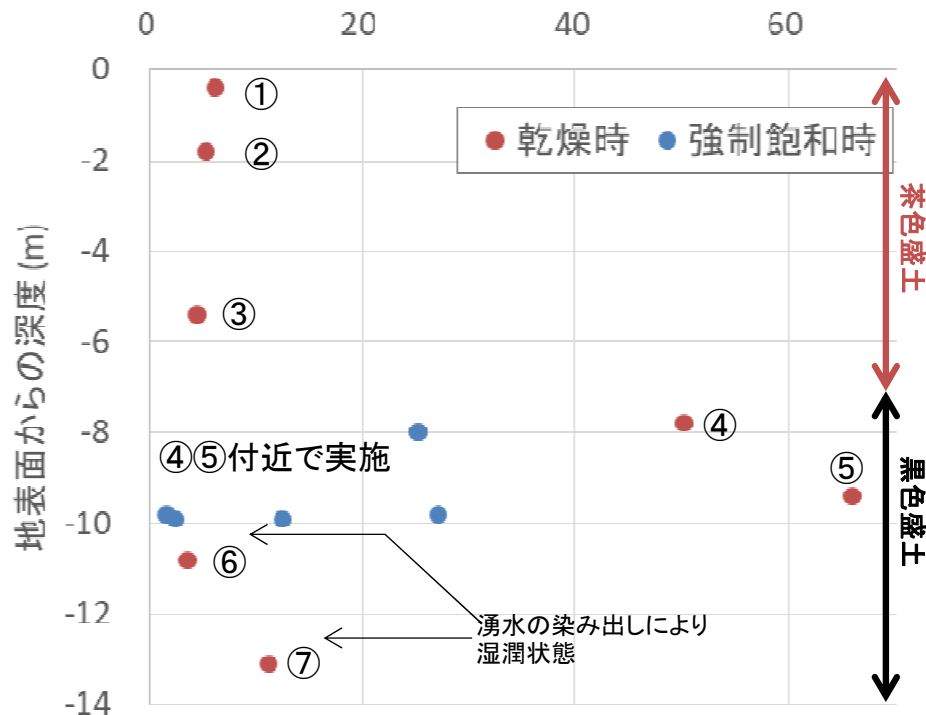
- 調査箇所1では、「白く乾いた黒色盛土」④⑤の付近で、注水により強制的に飽和させた上で、土壌硬度を計測した。
- 調査箇所2では、①～⑥と同一箇所で降雨時(降り始めからの雨量5.5mm)にも土壌硬度を計測した。
- いずれも支持強度に換算したものが下図。**湿潤により支持強度が大きく低下することが分かる。**

※①②等の番号は調査箇所1と調査箇所2で別個に付与したものであり、同一の深度や標高、土質等を示すものではない。

調査箇所1

計測日: 2021/10/11

支持強度 (kg/cm²)



調査箇所2

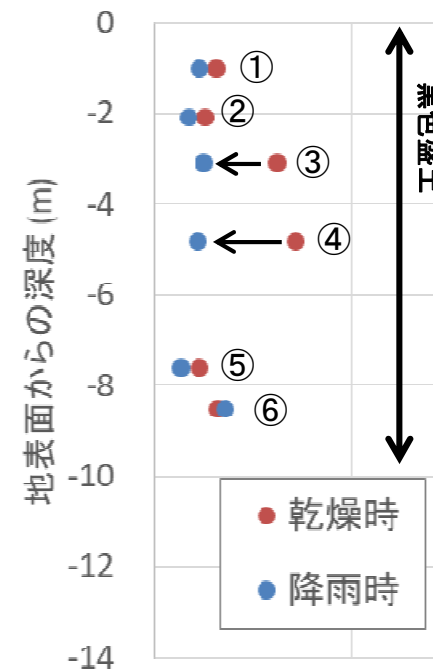
計測日:

乾燥時は2021/10/11、

降雨時は2021/10/13

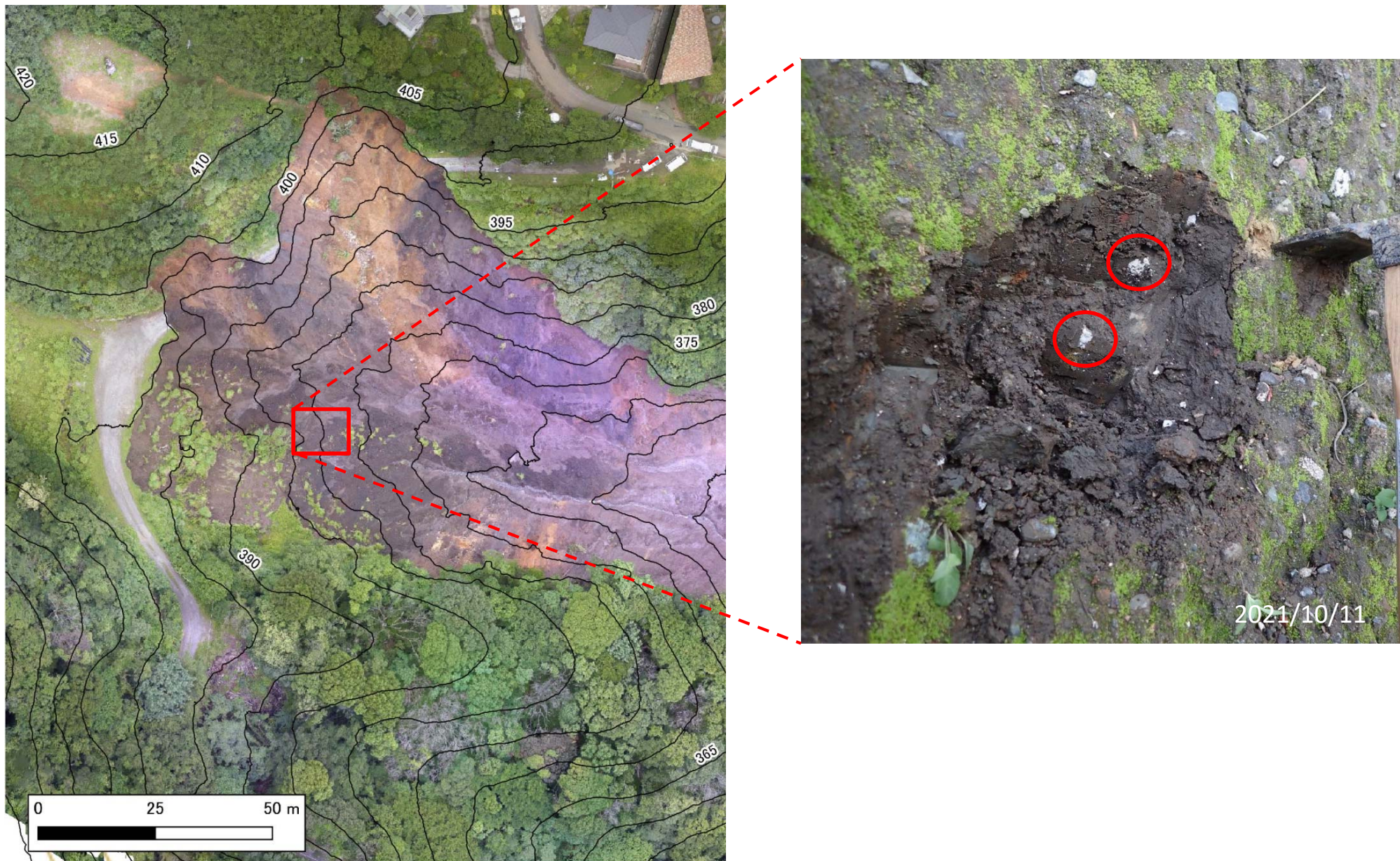
(降り始めからの雨量5.5mm)

支持強度 (kg/cm²)



注水の状況(調査箇所1)。
水平面を作り土が流出しないよう注水。
目視で飽和を判断。

(2)石灰と思われる欠片の存在



調査箇所2の黒い盛土内に、石灰と思われる白い欠片が点在している。大きさは大小様々であり、非常に脆い。

(3) 廃棄物の混入状況

源頭部と二宮町の位置関係



瓦等混入



二宮町指定ゴミ袋



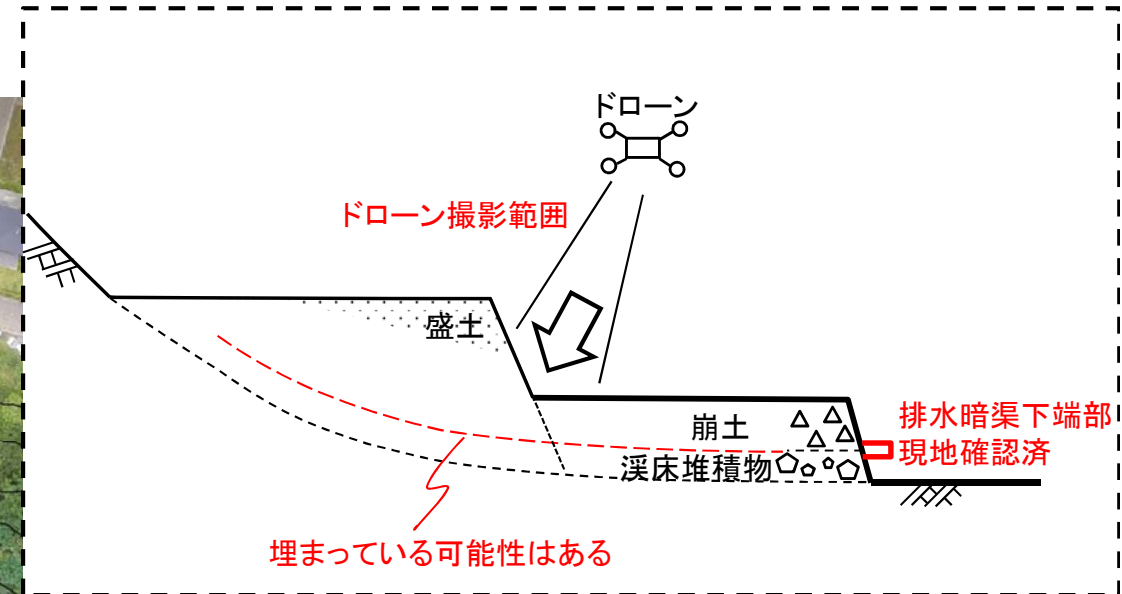
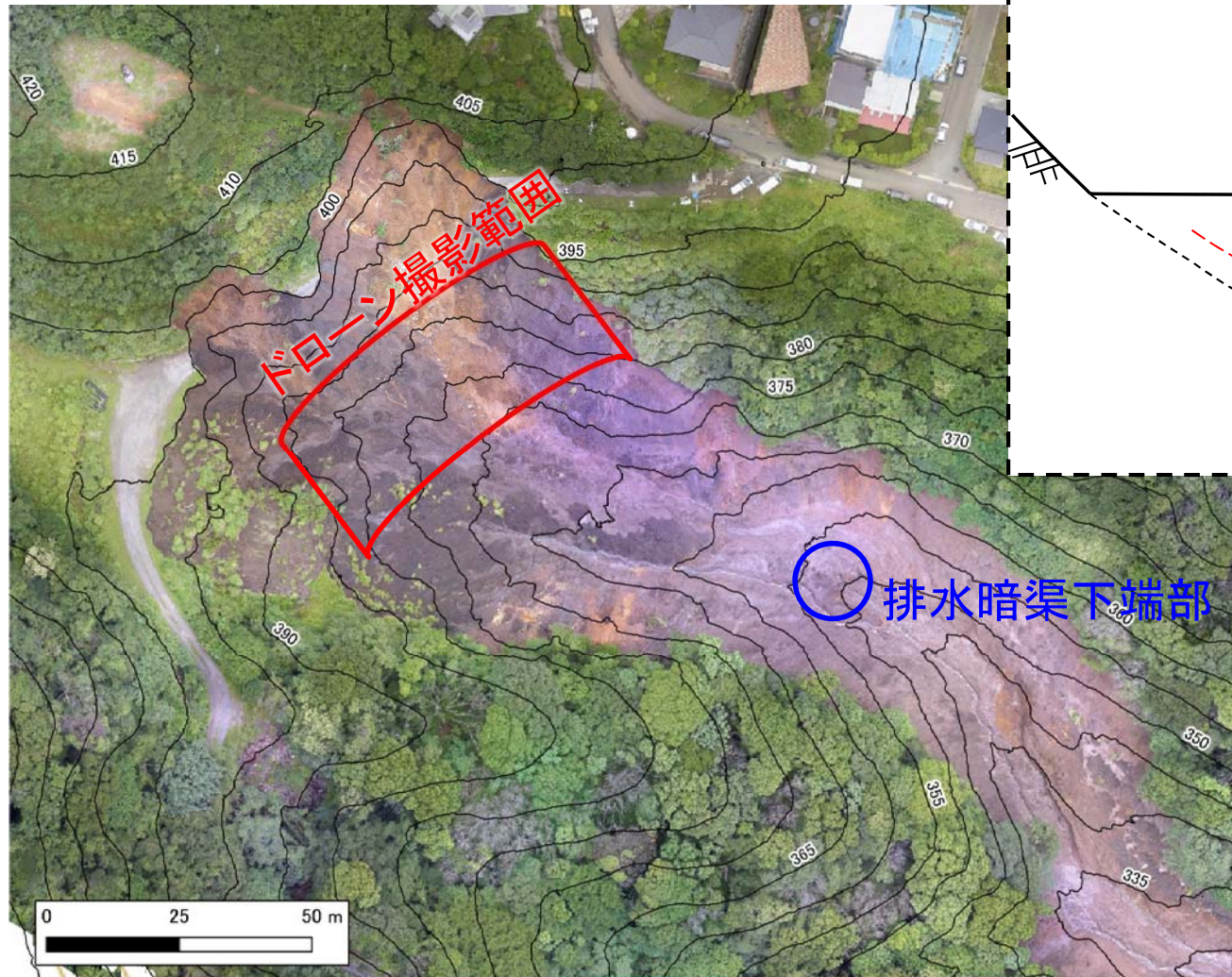
崩土内には、瓦の他、パイプ等も少数混入している。また、崩壊地より約30km離れた二宮町の指定ごみ袋も崩土内に混入していることを確認した。

(4)盛土の埋め立て状況



盛土内には、電柱や立木がそのまま埋められている。通常は除根の必要があるが、伐木のための状態で埋められている。電柱も、根入れと思われる部分が設置時点のまま残っている。

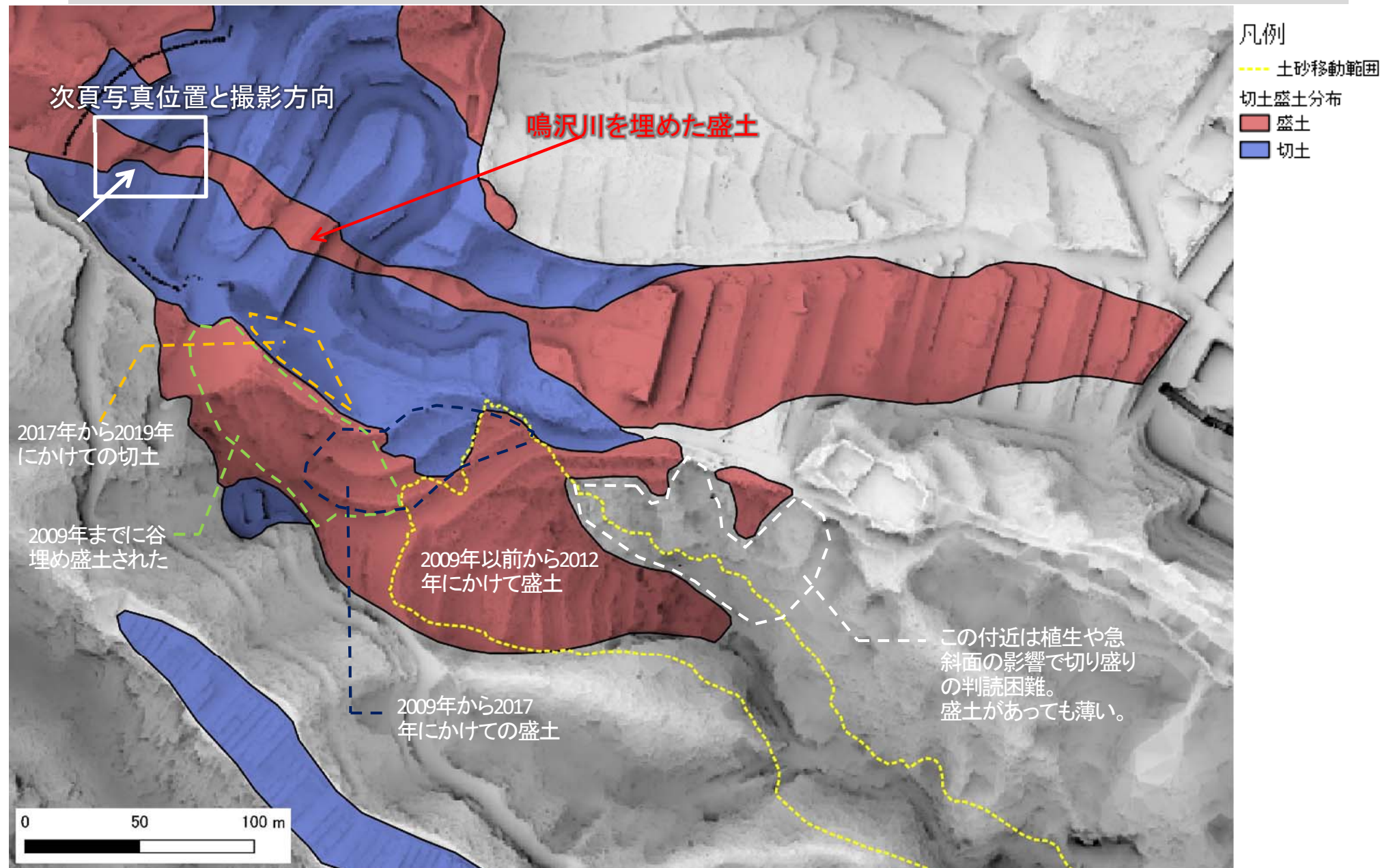
(5)排水暗渠の設置有無について



ドローンで、崩壊面下部を水平方向に撮影し、目視確認できる範囲では排水暗渠が認められないことを確認した。ただし盛土と崩土に埋まっている可能性はある。

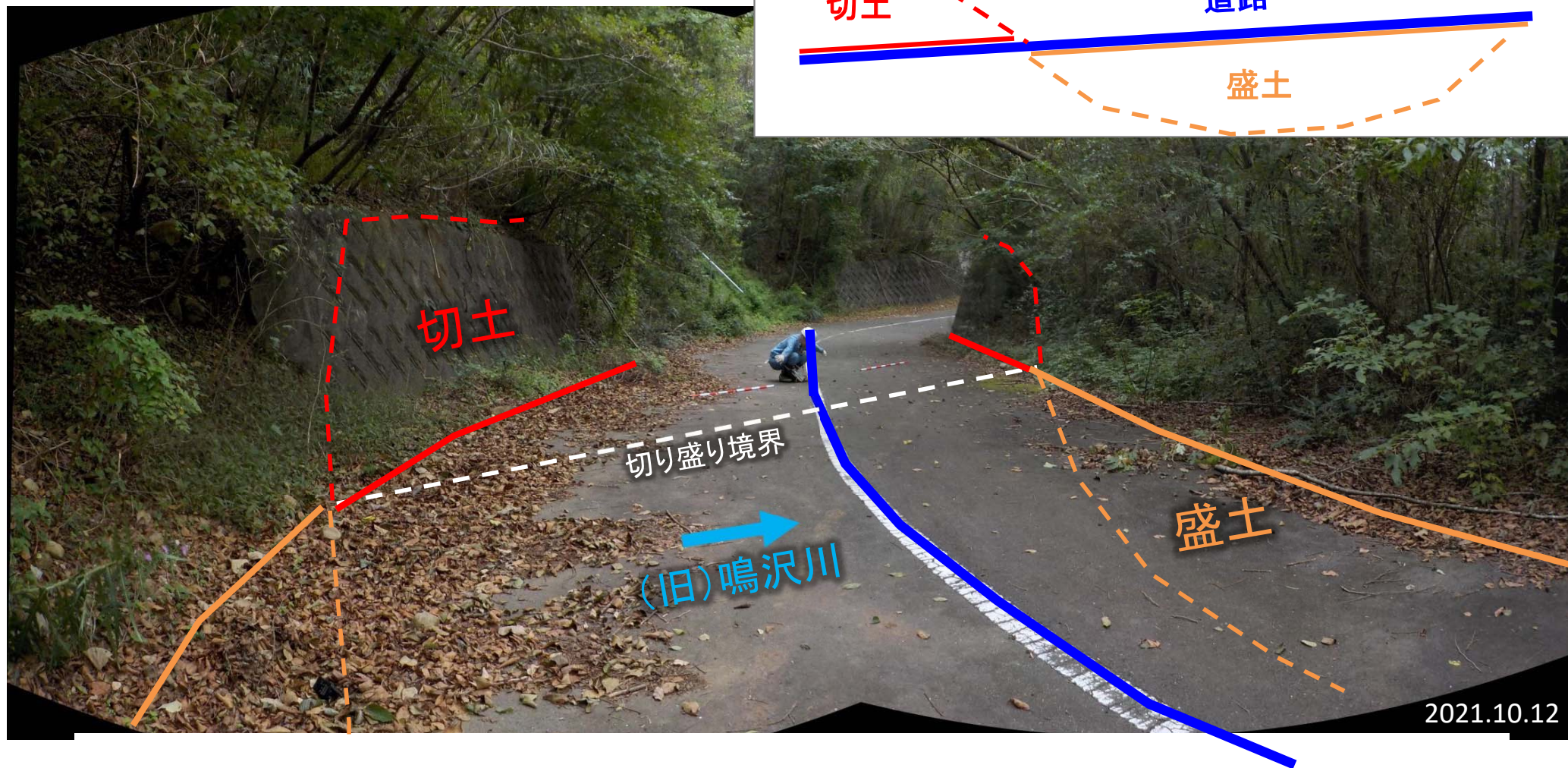
3. 鳴沢川上流部の改変状況

(1) 鳴沢川上流部の地形改変状況 机上整理結果



崩壊地源頭部および北側の切盛土状況を整理した(精査中であり、今後変更の可能性もある)。鳴沢川を埋めた箇所の現状を確認した。次頁に示す。

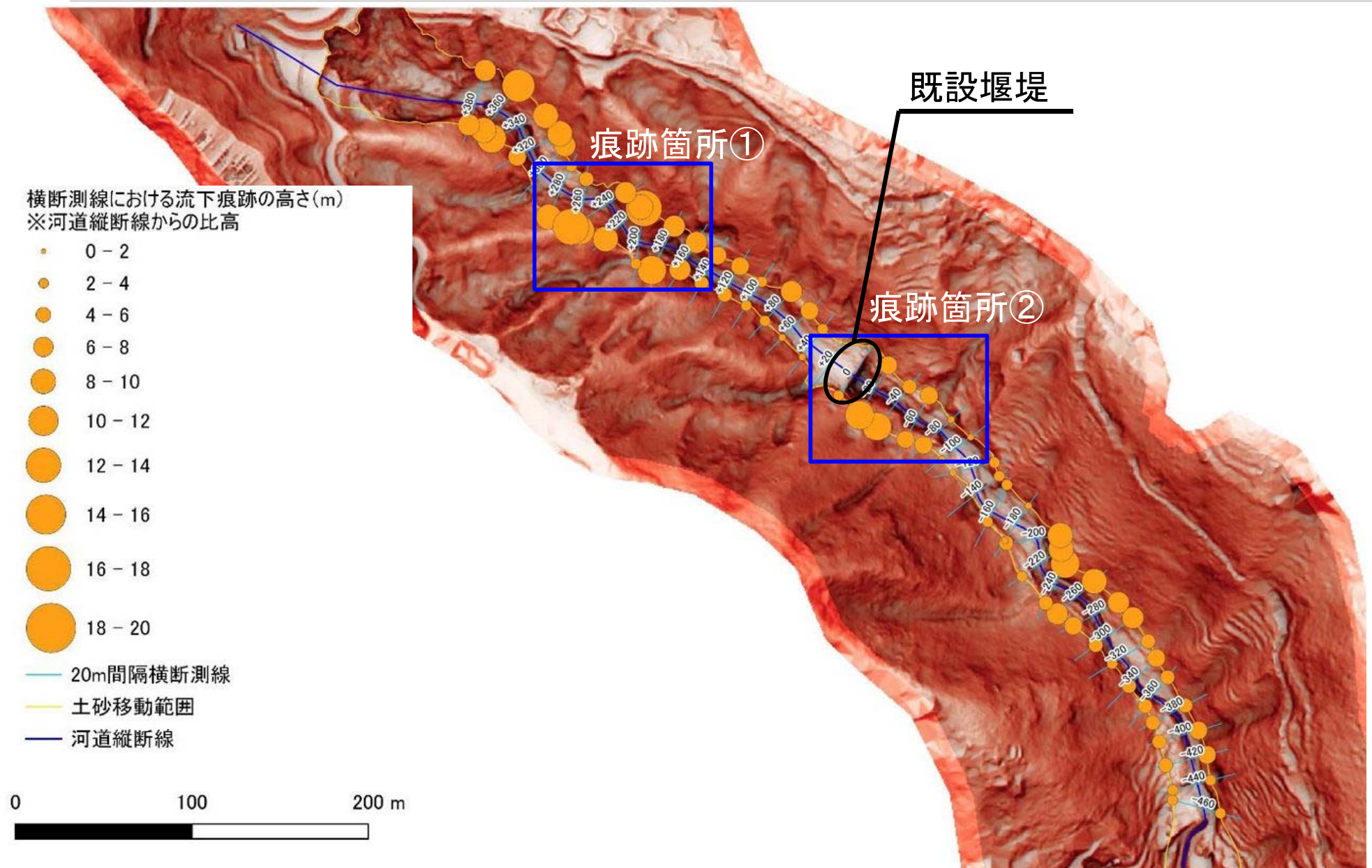
(1) 鳴沢川上流部の地形改変状況 現地写真



崩壊地の北側の写真(撮影位置は前頁に示す)である。旧鳴沢川は埋められて、道路が設置されている。調査時は、時間雨量0.5mm、累積雨量5～7mm程度の降雨があったが、表面水は確認されなかった。

4. 土石流流下痕跡調查

(1) 土石流流下痕跡調査



事前に空中写真等から判読した流下痕跡から、河道からの流下痕跡高を整理した結果を示す。流下痕跡高が高い青枠で囲んだ部分を次頁に示す。

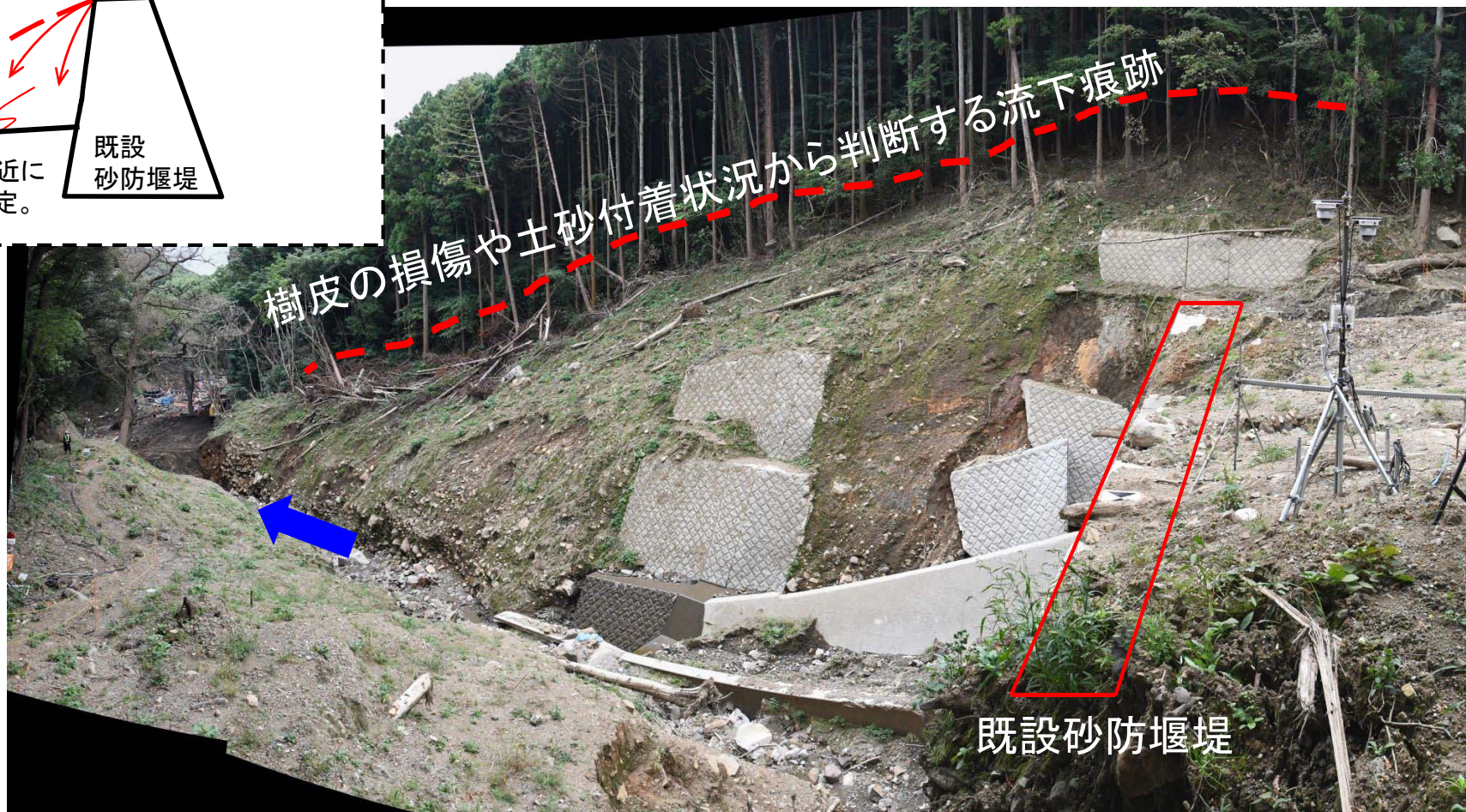
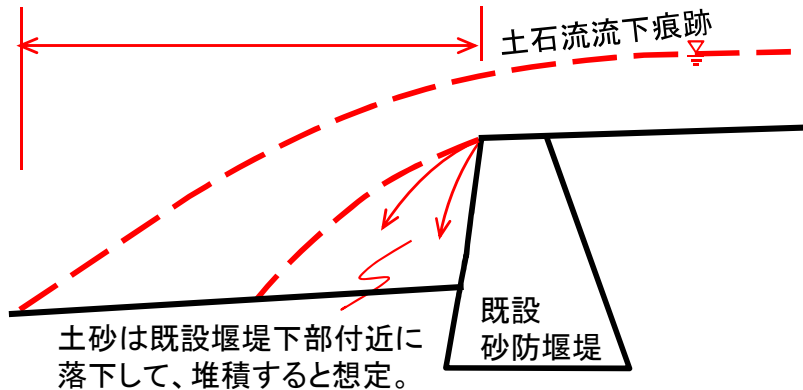
(1) 土石流流下痕跡調査 痕跡箇所①



痕跡箇所①は、断面狭窄部であり、兩岸の溪岸斜面上部を流下している。河積の狭さによる流下高さの上昇、および屈曲部の慣性力による乗り上げと考えられる。河床へ土砂が一時堆積した可能性は否定できないが、それを積極的に示す証拠は認められない。

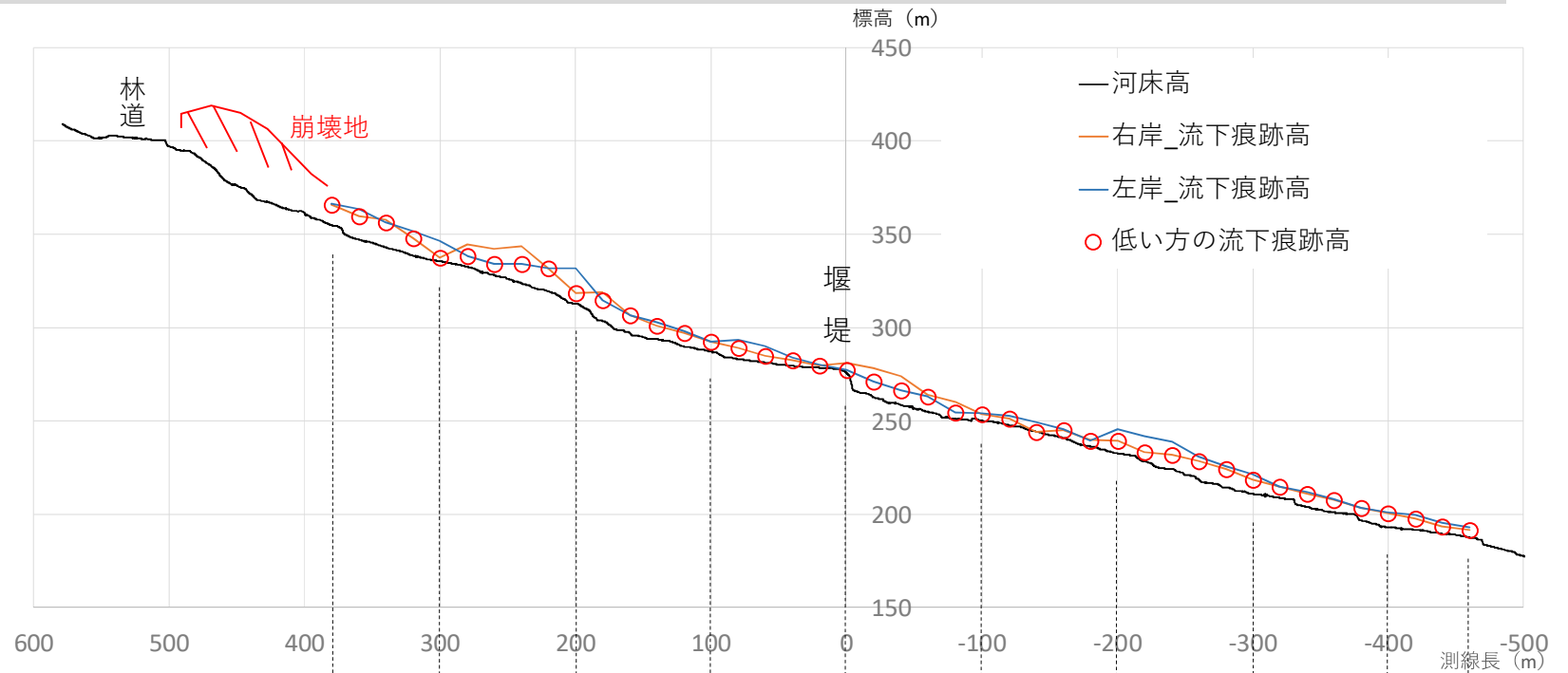
(1) 土石流流下痕跡調査 痕跡箇所②

流下痕跡が極端に高い範囲は、既設砂防堰堤から100m下流に及ぶため、慣性力による飛距離とは考えにくい。

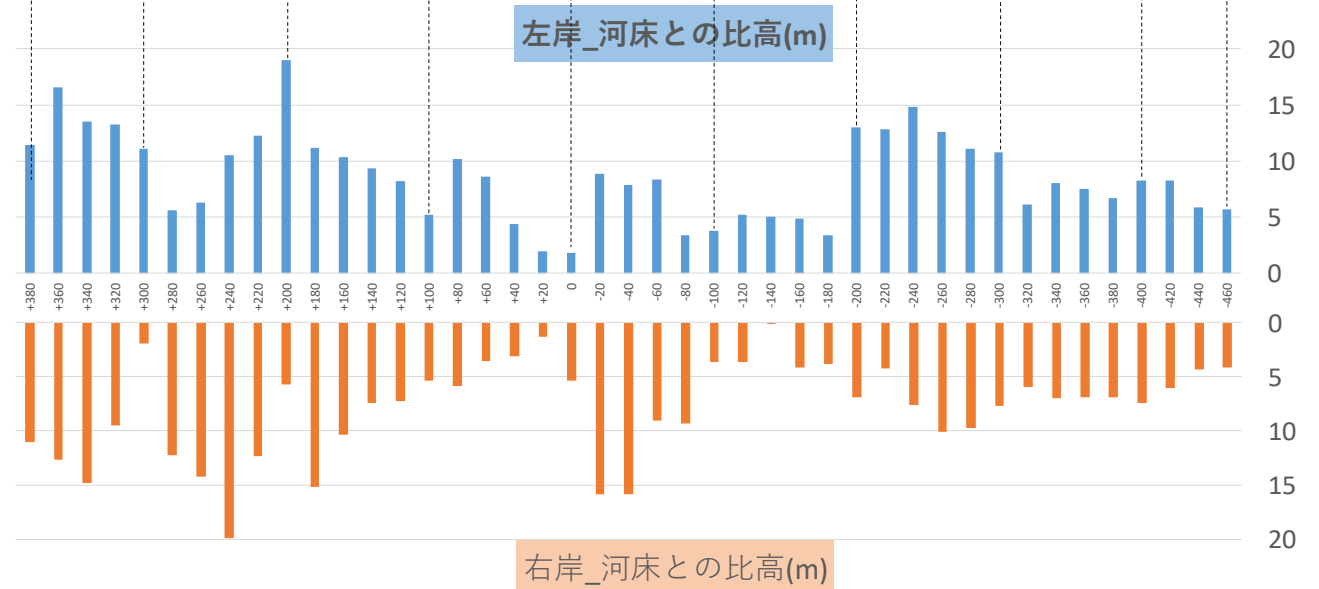


痕跡箇所②は堰堤の下流部である。左岸側は、応急対策工事の実施により痕跡はあまり確認できなかったが、右岸側は斜面を乗り越えるような形で痕跡が残っている。このように流下した場合には砂防堰堤下流側に一時的に土砂堆積し(上図参照)、その後の土石流または流水によって二次侵食されたと考えられる。

(2) 土石流流下痕跡の比高



流下痕跡の縦断図である。
左右交互に乗り上げているが、低い方を採用すると赤○になる。赤○を結んだ線に明瞭な逆勾配や水平線は無いことから、規模の大きな天然ダムが形成された形跡は無い。

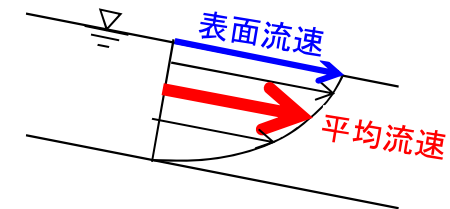


住民撮影動画及び 消防通報記録による 土石流流下実態の把握

資料12

調査方法

- 下記の資料から、発生した現象の時間と場所を特定した。
 - 住民が撮影した動画・静止画、28点。
 - NHK による9月2日放送番組の動画、4点
 - 熱海市による、崩壊地源頭部に存在した水道管の破断記録。
 - 消防の通報記録、54点（うち有用な情報は8点）。
- 動画から、可能なものについては流量を算出した。
 - 浮遊物の移動距離・時間から表面流速を算出。
距離は画像中の構造物（人家、欄干等）、空中写真、地形データより推定。
 - 平均流速 V = 表面流速 $\times$ 係数 K
係数 K は平均流速と表面流速の比で、ここでは0.6とした。
※欧・小橋・水山（1993）：土石流の発達過程に関する研究，新砂防Vol.46, No.3より。
 - 流下幅と流動深も同様にして推定。
 - 流量 Q = 平均流速 $V \times$ 流下幅 $\times$ 流動深 で算出。



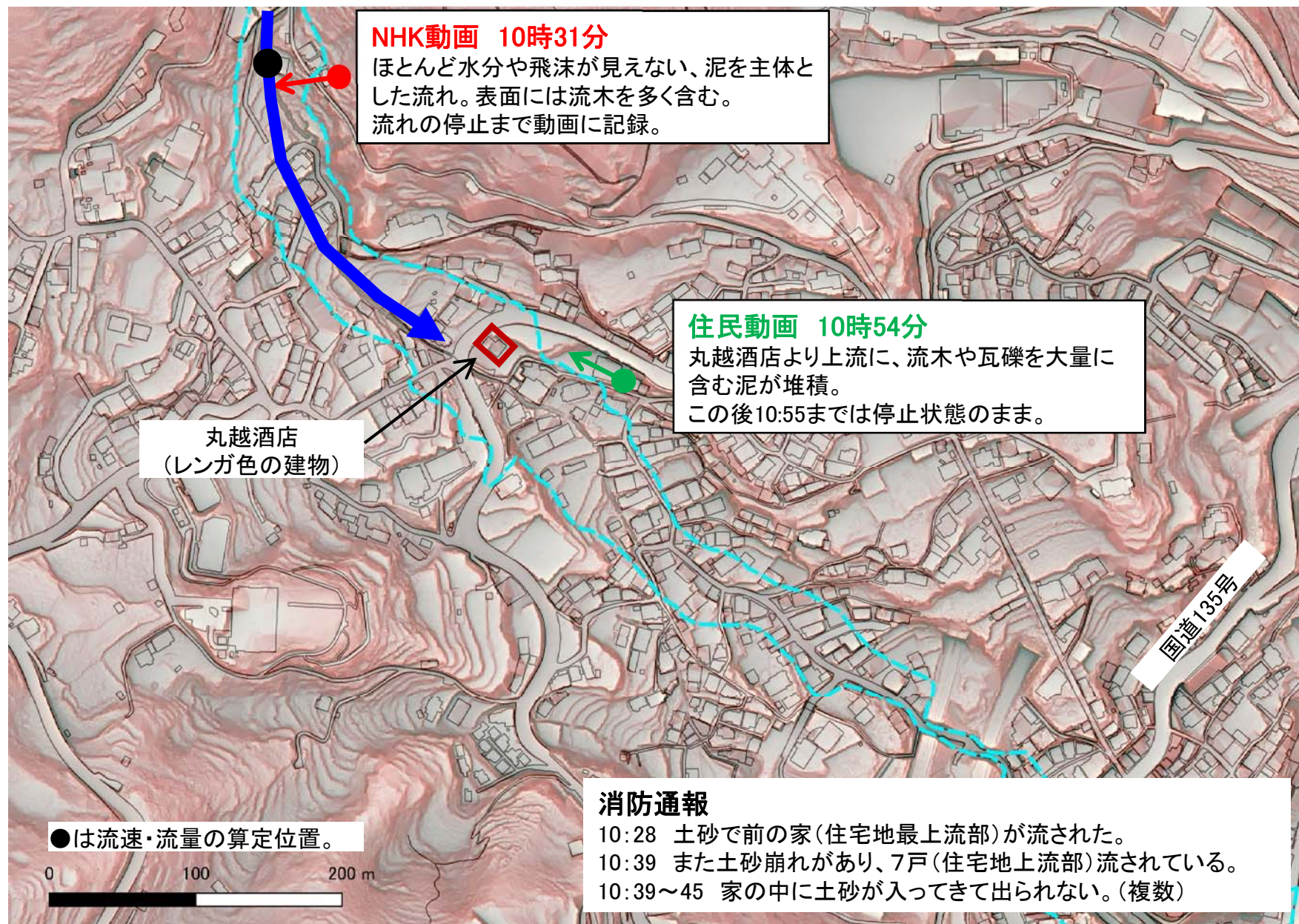
1. 流下実態の 時空間的な整理

7月3日 撮影時刻等	動画等 種別	場所	状況
8時17分	住民	コマツ屋製麺 所付近	道路上を赤っぽい茶色の泥水が流下する。水面の幅は道路の半分程度である。
10時28分	消防 通報	住宅地 最上流部	土砂で前の家が流された。（通報）
10時31分	NHK 住民	住宅地 最上流部	大量の土砂や木が流れている。土砂は粘性度が高く、流下速度も遅い。緑の木よりも枯れた木が多く含まれている。土石流は映像の最後で流下速度が大きく低下（停止）している。
10時39分 ～45分	消防 通報	住宅地 上流部	また土砂崩れがあり、7戸流されている。（通報） 家の中に土砂が入ってきて出られない。（複数の通報）
10時42分 ～55分	住民	丸越酒店付近	がれきを含む土砂が到達して停止。堆積高はガードレールより少し高い。丸越酒店周辺には見物人、救急車、消防車が集まっている。
10時53分	熱海市 データ	源頭部	市の水道管が破断 (源頭部で崩壊が発生した可能生大)
10時55分	NHK 住民	住宅地最上流 部より200m ほど下流： 赤い家付近	水分量の多い泥流が早い速度で一気に流れ落ち、家屋等を吹き飛ばしている。（注：10時31分に上流部で見られた粘性度の高い土石流は到達していないように見える。第1波の堆積物を乗り越えて、水分量が多く、 速度が速い泥流の第2波が流れてきた可能性 がある。）
10時55分 ～56分	住民	丸越酒店直下 流地点 (東側)	最初は泥水が道路上を流れているが、逢初川上流から土砂やがれきの非常に早い流れが流下し、家屋を押し流しながら流下する。逢初川左岸の4戸の家屋を新たに倒壊させる。 土石流は浮遊する木材の流下状況から、速度約10m/秒（＝600m/分＝36km/時間）程度、流下幅50m程度と推定される。 (注：逢初川源頭部から住宅地最上流部までは2～3分で到達)

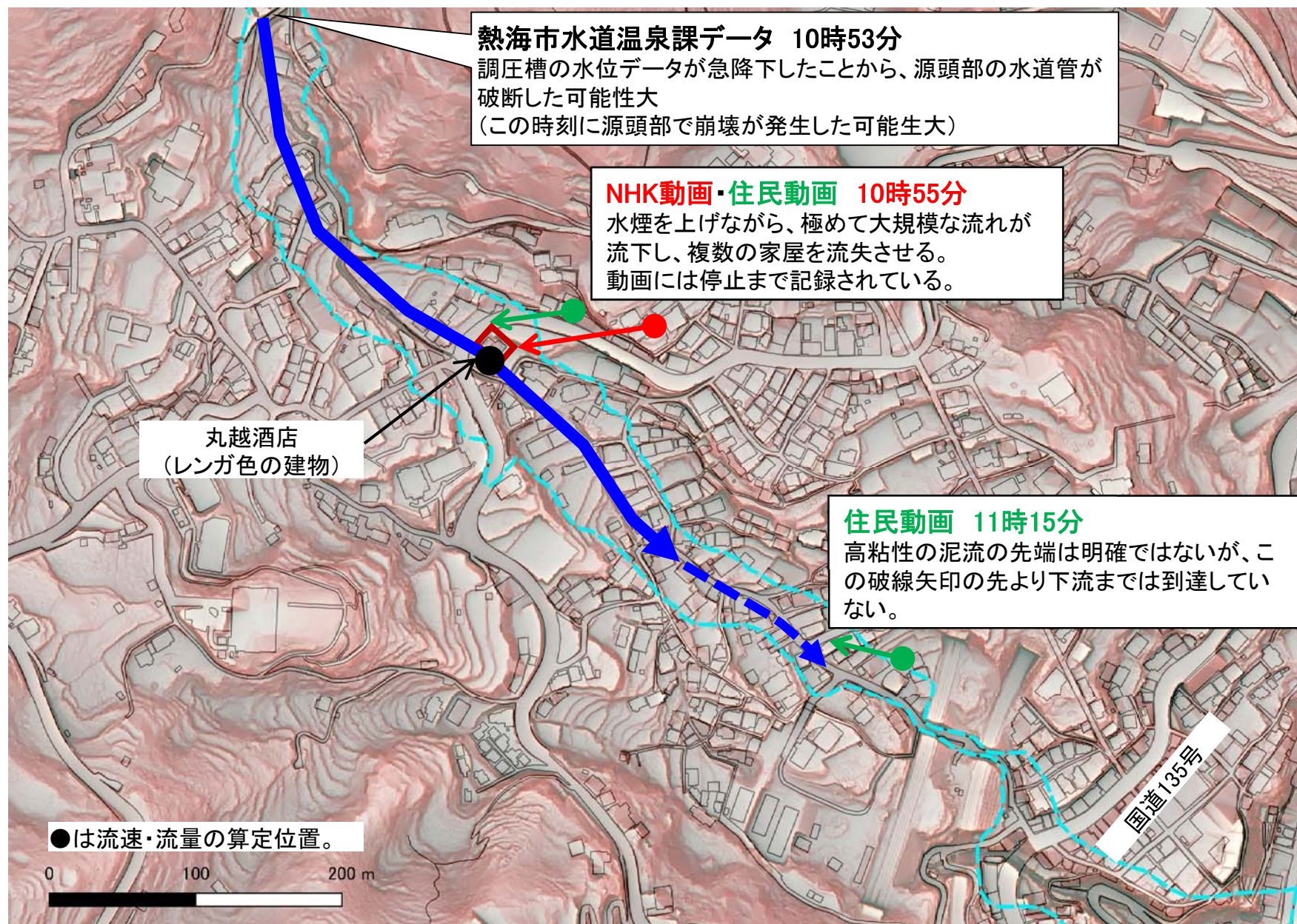
7月3日 撮影時刻等	動画等 種別	場所	状況
10時59分	住民	丸越酒店付近 (東側)	ゆっくりした流れから速度を上げ、20秒で再度停止する。 泥流の表面にがれきや木材が浮遊している状態で、最初に堆積していた土砂の上を後続の流れが乗りあげる。 また、西側ですでに到達していた土砂・がれきが再移動する。
11時07分	住民	丸越酒店直下 流地点 (東側)	丸越酒店上流から下流にかけて一面泥が堆積した状態になり、流れは確認できない。 丸越酒店北側の道路へ迂回流が発生し、道路上に泥、がれきが堆積。
11時12分	住民	丸越酒店直下 流地点 (東側)	① 広い氾濫跡の表層を泥水が緩やかに流下。 ② 広い氾濫跡の表層を速い泥水が流下。 ③ 一旦治まった後、再度速い泥水が流下。 ②の約30秒後に③の速い泥水が発生。いずれも10秒程度継続。 粘性の小さい流れ。
11時15分	NHK 住民	新幹線高架橋 の少し上流 (東側)	粘性度の高い土石流が到達しているが止まっており、付近の家屋は破壊されていない。その埋積土の上に、水分量の多い大規模の泥水が流れてきて、住宅などを一気に押し流している。
11時15分 ～19分	住民	新幹線高架橋 の少し上流 (東側)	広い氾濫跡の表層を速い泥水が流下し、一旦勢いを弱めた後、再度速い泥水が流下。
11時25分	消防 通報	逢初橋付近	逢初橋付近で土砂が溢れている。(通報)
11時48分	住民	新幹線高架橋 の少し上流 (東側)	道路上の泥流。正面の家屋の1階を泥流が通過した跡。 泥流の色は茶色。11時15分～19分の黒色の流れとは異なる。

7月3日 撮影時刻等	動画等 種別	場所	状況
11時59分 ～12時04分	住民	リゾーピア熱 海第2駐車場 の少し下流 (西側)	広い氾濫跡の中央部を泥水が流下。泥水で粘性は小さい。 表面は激しく波立っている。
12時10分	NHK 住民	逢初橋付近 (西側)	粘性度の高い泥流がすでに到達している。 その上に、比較的水分量の多い泥土が流れてきて、家がなぎ倒されている。
12時12分 ～13分	住民	リゾーピア熱 海第2駐車場 付近 (西側)	広い氾濫跡の中央部を泥水が流下。 その後、7秒付近で途中で急激に流量減少。
12時14分	住民	リゾーピア熱 海第2駐車場 付近 (西側)	広い氾濫跡の中央の、狭い範囲を泥水が流下。 18秒～32秒にかけて小規模な段波が確認される。
12時14分	消防 通報	逢初橋付近	小形タクシー前でバスが土砂に巻き込まれている。(通報)

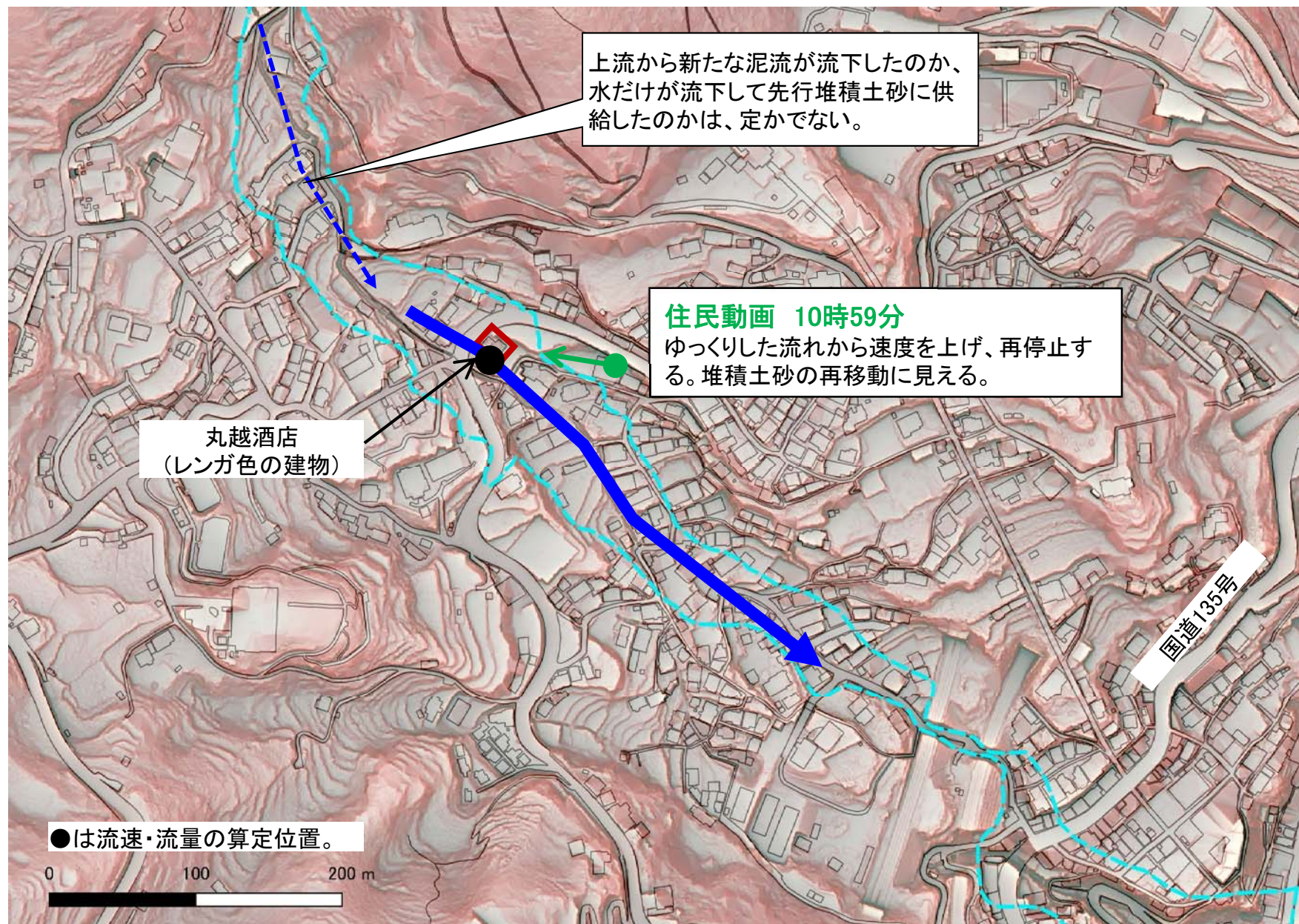
土石流の流下時系列① 10:28第1波



土石流の流下時系列② 10:55第2波



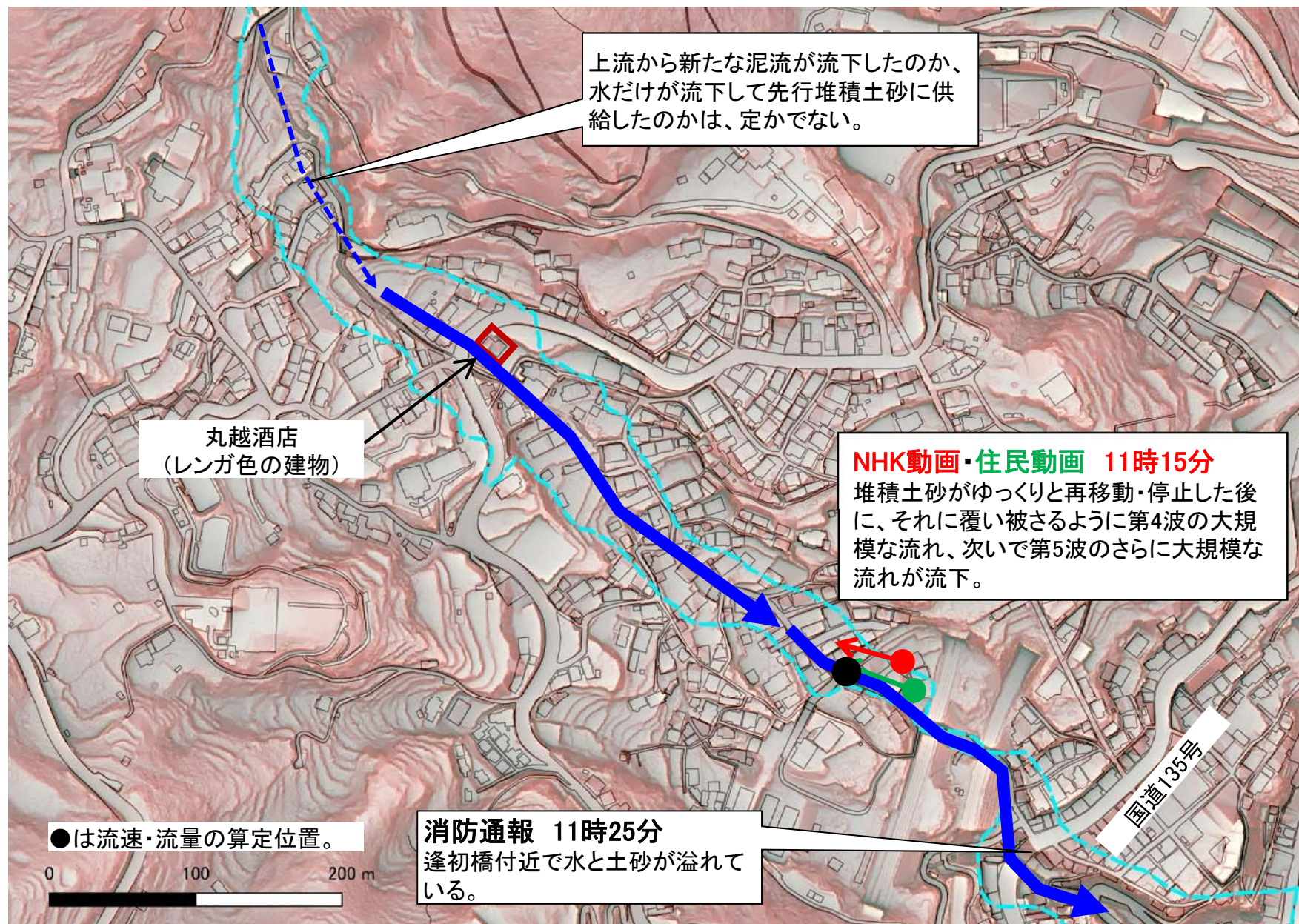
土石流の流下時系列③ 10:59第3波（第2波からの再移動？）



土石流の流下時系列④ 11時すぎの小康状態



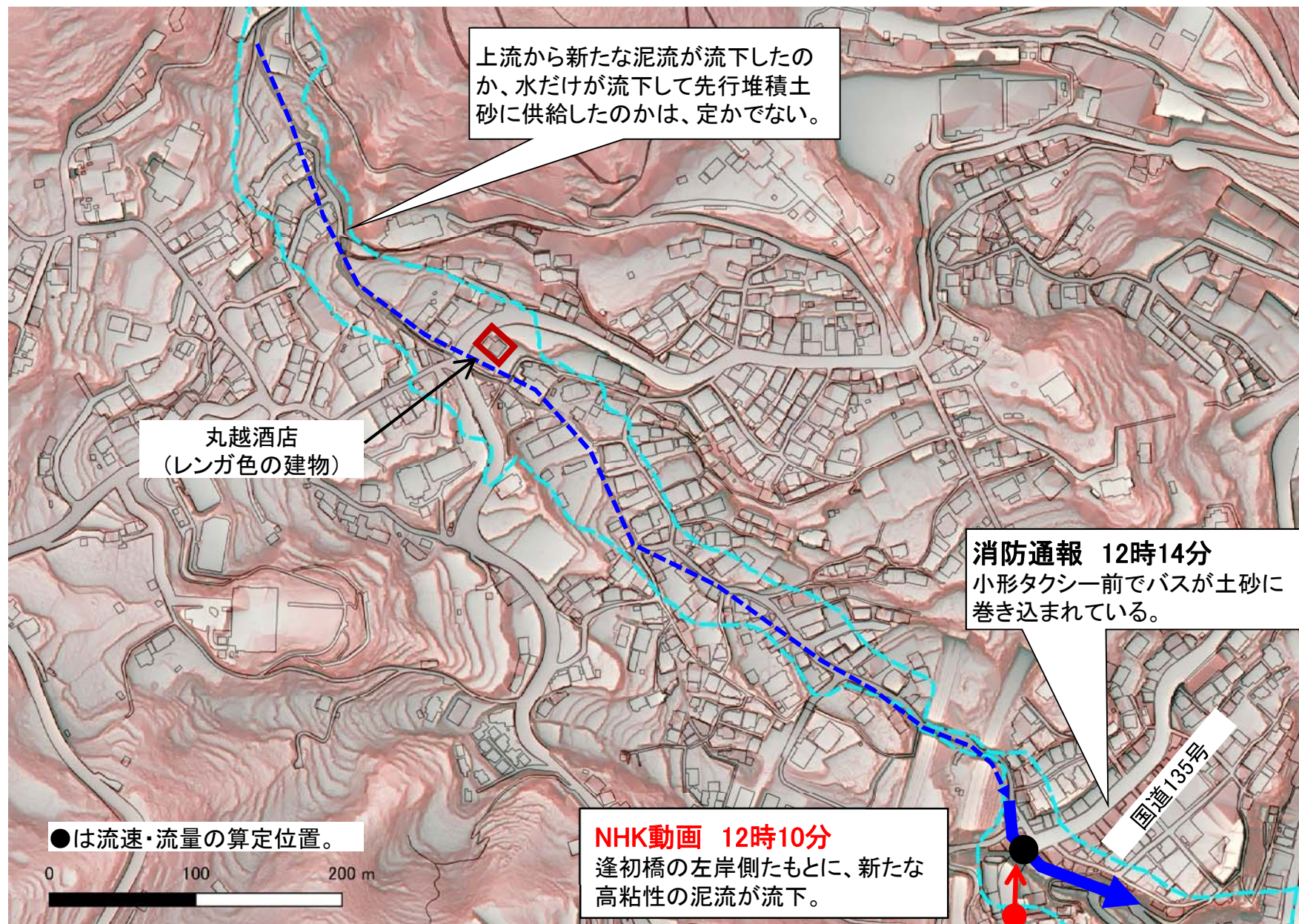
土石流の流下時系列⑤ 11:15第4波・第5波



土石流の流下時系列⑥ 12時までの小康状態

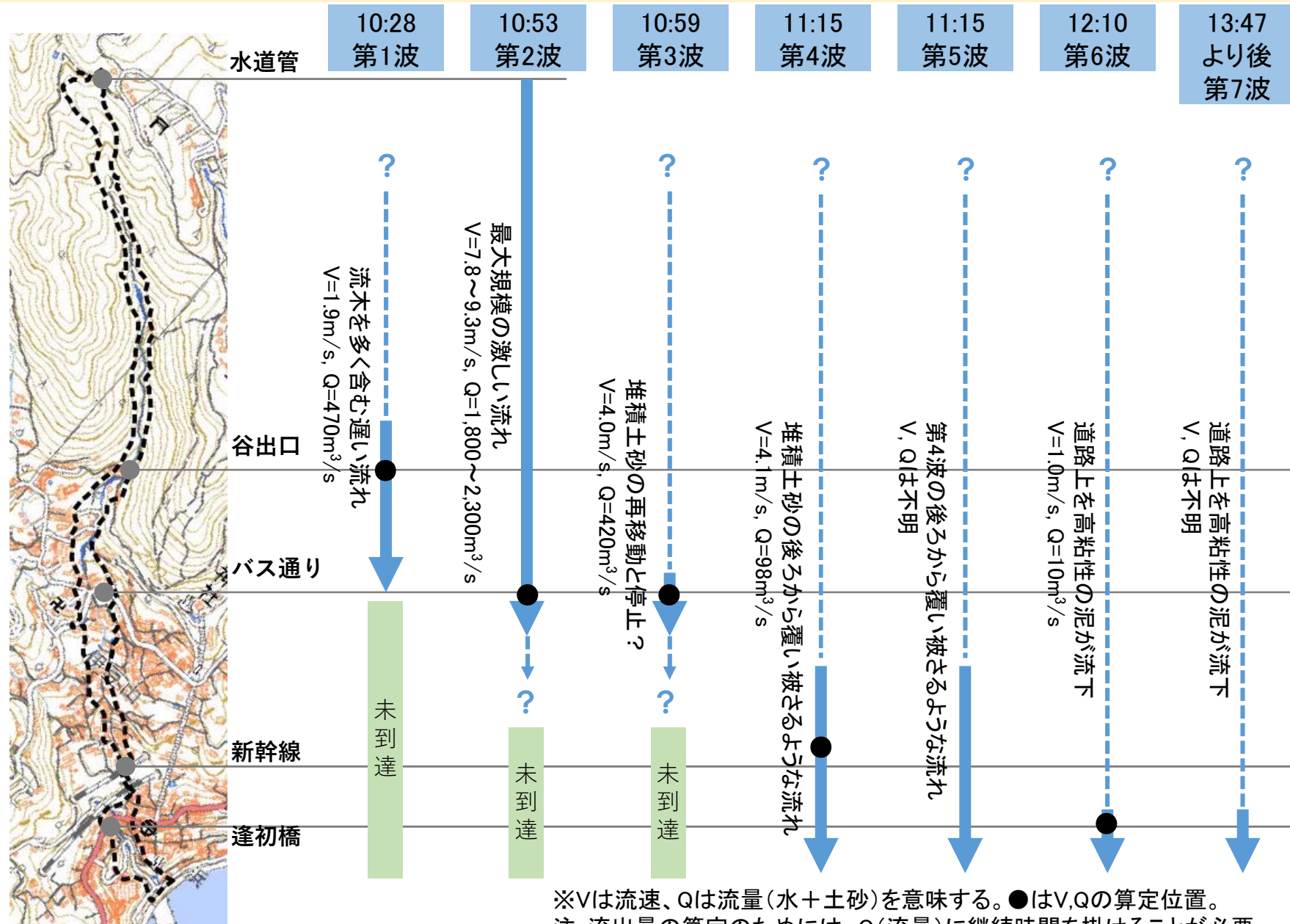


土石流の流下時系列⑦ 12:10第6波



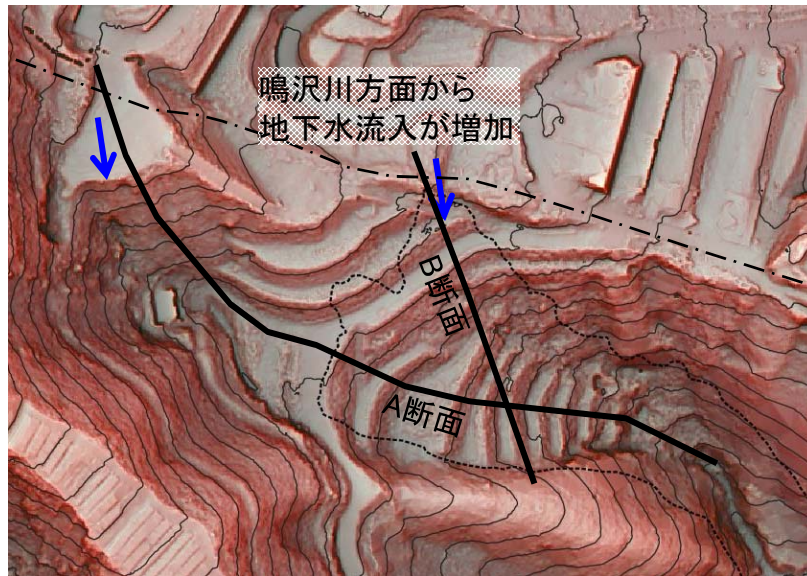
2.流速・流量の算出

総括図

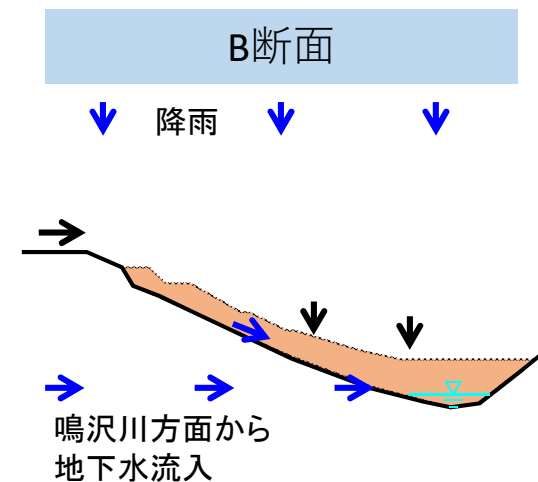
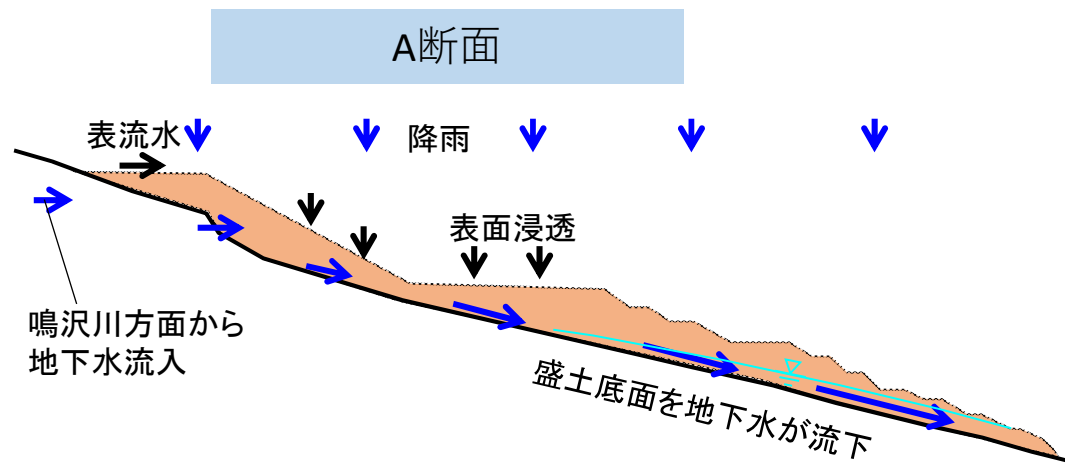


3.崩壊・流下過程の 推定まとめ

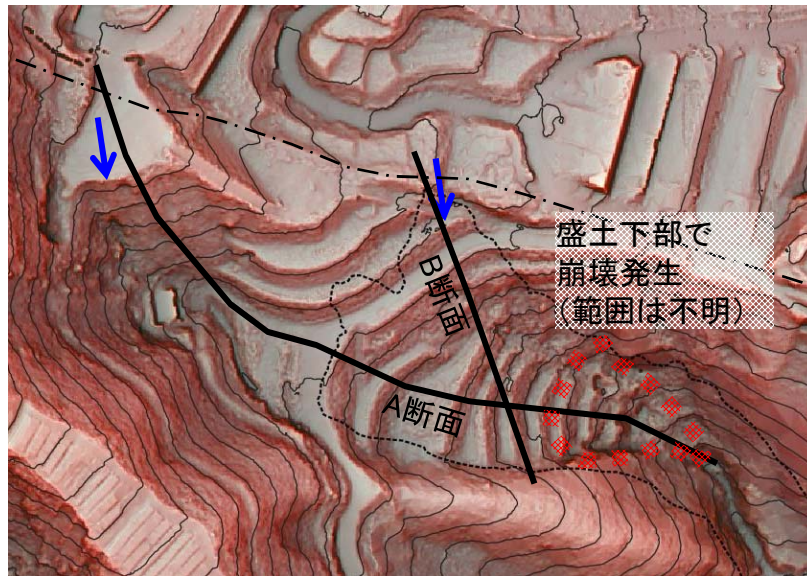
(1) 崩壊発生前



- 長期降雨によって、鳴沢川方面からの地下水流入が増加（根拠：孔内試験、流量・湧水観測）。
- 旧逢初川の溪床の高透水層を、地下水が流下（根拠：孔内での溢水、流量観測）。
- 近い流域からの流出である旧逢初川溪床の地下水の流出が大きくなる時と、鳴沢川方面の比較的広い流域から遅れて到達した地下水の流出が大きくなる時が一致していたことにより、盛り土内の地下水の流入量が大きくなっていた可能性も考えられる（未解明）。



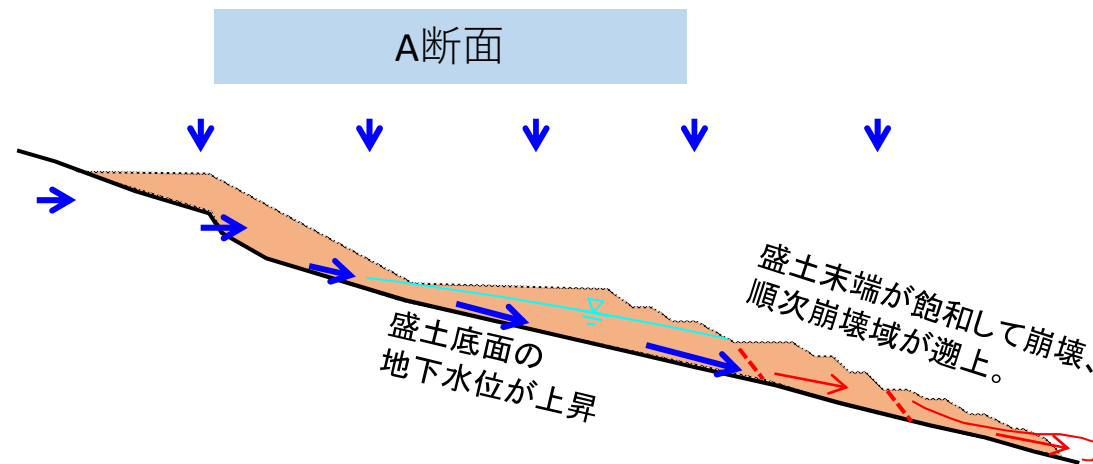
(2) 盛土下部の崩壊～土石流一次崩落



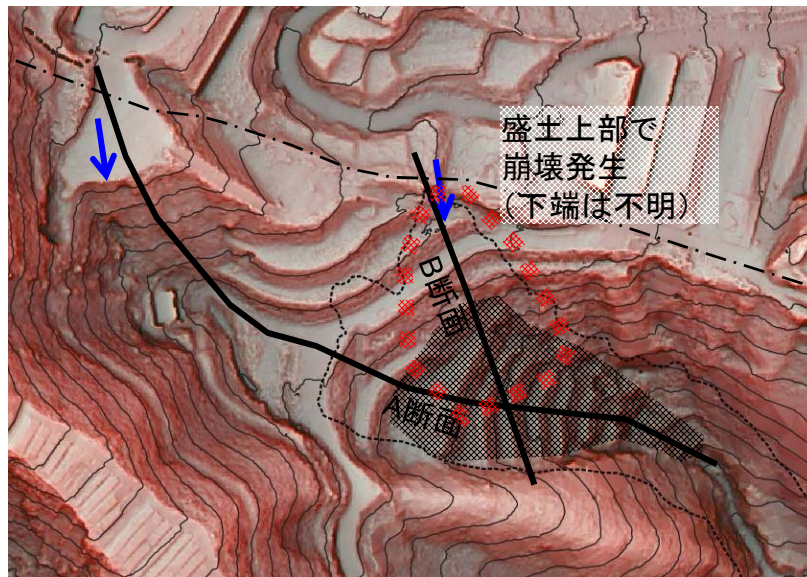
第一波の定義

・下流側で観測された第1波と上流部の一次崩落が同じ時かどうかは現時点では推測できない。上流部の一次崩落が複数回発生し、それらが重なり、下流側の第1波となった可能性があるからである。

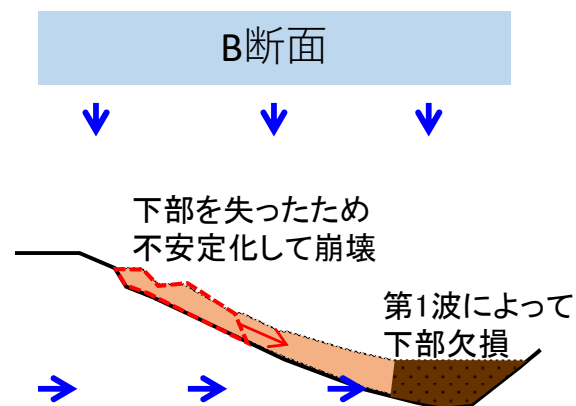
- 地下水の増加により、地下水位が上昇。
- 盛土末端が地下水で満たされて崩壊。末端が崩れることによってその上部が不安定化し、順次、崩壊域が遡上した可能性あり。
- 一次崩落土砂は10:28に谷出口の家屋を押し流し（消防通報）、バス通りの橋の上流まで流下（住民動画）。



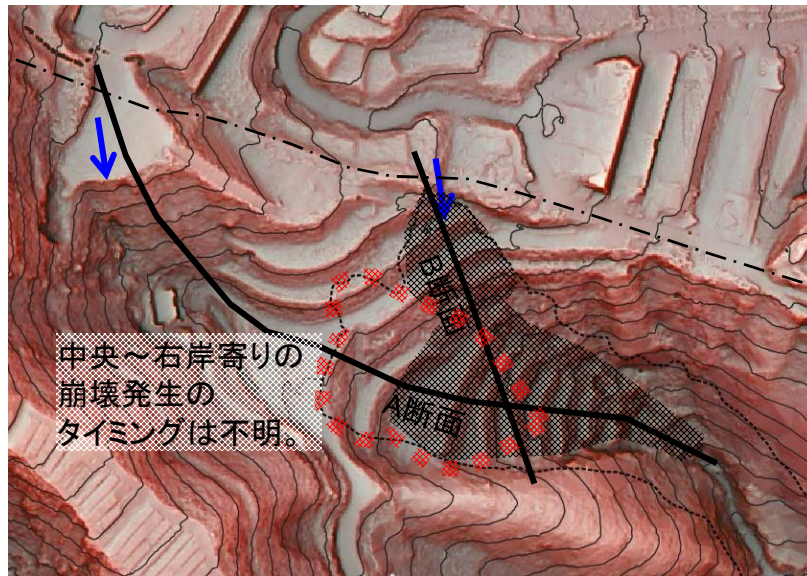
(3) 盛土上部の崩壊～土石流二次崩落（10時53分）



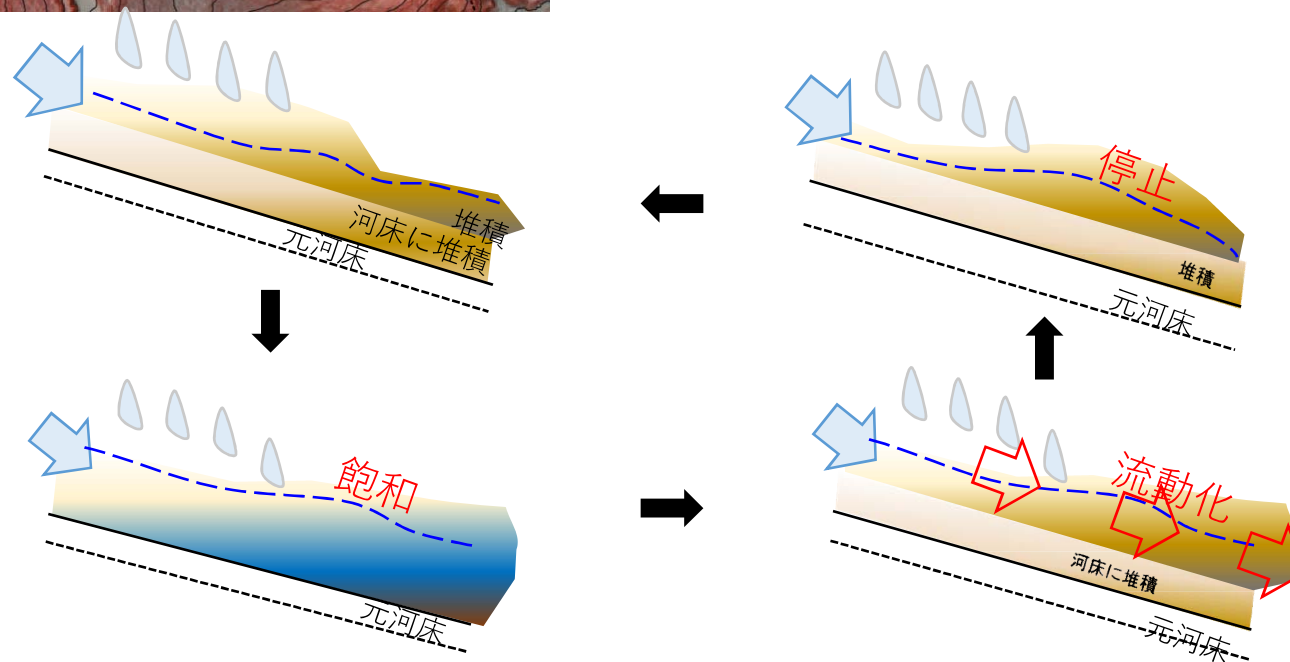
- 盛土下部を失ったことにより、上部が不安定化して崩壊（10:53、根拠は水道管破断記録）。
- 最大規模の激しい流れとなって、バス通り付近で多くの人家を破壊して流下（10:55、住民動画多数）。
- この崩壊は、流下途中で停止することなく一気に流下したと思われる（根拠：流速と距離の関係。二次崩落は流速が遅く、源頭部からバス通りまでの流下時間は2～3分と推定される）。



(4) 残りの崩壊地と土石流第3次崩落以降の関係



- 中央～右岸寄りの崩壊発生タイミングは、不明である。第1次崩落の時に崩壊した可能性も否定できない。
- 第3次崩落以降の土石流の発生箇所・発生原因は、現時点では不明である。第2次崩落までの土石流堆積物が、上流からの流水によって飽和・流動化と停止、それによる河川水の一時的な小規模貯留、堆積物移動に伴う貯留水の流下を繰り返した（下図参照）という可能性もあるし、または盛土の崩壊拡大に伴うものであった可能性もある。



5. これまでの調査結果から分かったことの総括と今後の対応

5-1 これまでの調査結果から分かったことの総括

(1) 降雨強度

長雨蓄積型の降雨であったことが、盛り土の崩落の原因となっている。

3日間雨量で見ると、7/1～7/3の降雨は20年に一度程度の雨と推定される。

(2) 崩壊前の盛り土の構造

- ① 崩壊した盛り土は標高 350m～405mの間に形成されていた。(その上流部にも盛り土は行われていたが、落ち残っている。)(事実)
- ② 盛り土の下端は、林地開発許可違反の復旧工事で設置されていた「転石積の土留+丸太土留」を何らかの方法で補強した土留が設置されていた。排水管は直径 20 cmのコルゲート管が土留から短い長さで設置されていた。(確度の高い推定)
- ③ 盛り土の地中には排水管は設置されていなかった。(確度の高い推定)
- ④ 盛り土の表面には排水溝は設置されていなかった。(事実)
- ⑤ 盛り土の表面、とりわけ標高が下部の盛り土は固化剤の使用により固く、水が地中浸透しにくい状況にあった。(確度は中程度の推定)
- ⑥ 盛り土の小段(10段)の水平面は地中浸透がしにくい状況にあり、左岸側に緩く傾斜していたため、盛り土の上に降った雨は左岸側に流れ、そこに自然に形成された水みちを通じて下部に流れていた。(事実)
- ⑦ 盛り土の表面は草地化しており、強雨があっても表層崩壊が起きにくい状況にあった。(確度の高い推定)

(3) 逢初川源頭部への水の流れ

- ① 地表水の流域からの水の流れ

地表水の流域面積は 46,684 m²。

7/1～7/3 10:00 までの期間雨量(熱海雨量観測所)は、449mm。

日本気象協会の分析を踏まえ、逢初川源頭部付近の雨量を、熱海雨量観測所の雨量の約 1.1 倍とし、期間雨量を 500mm とする。

7/1～7/3 10:00 までに逢初川の流域に降った雨の総量は、500mm×46,684 m²=

23,342 m³となる。

② 鳴沢川流域からの地下水の流れ

「地下水に関する考察」に示されたように、逢初川源頭部の盛り土の下端付近には、「無降雨時の基底流量」があることが確認された（p9-5）。また、より上部（標高の高い地点）にも常時湧水点を確認されている。

また、7月4日の早朝の観測においては、崩壊地左岸最上部付近からも湧水が確認された。

以上のことから、下記のことが言える。

- イ．盛り土の下端付近は、基底流量により、常に土砂は湿潤状態、あるいは水で空隙が飽和されている状態にあった。
- ロ．7月1日～3日の長雨により逢初川源頭部の上部の流域の地中及び鳴沢川流域の崩壊地に近い領域においては地下水位が上昇した。これにより、源頭部下部から上部までに多数存在する地下水の湧出点から盛り土内に大量の地下水が供給されていた。

- ③ ①②の推定から見て、崩壊地上端の道路より下部にある約6万m³の盛り土は、常時から下端付近は水の飽和度が高い状態にあり、そこに、7月1～3日の降雨により、逢初川流域の総雨量 23,000 m³のほとんどが流れ込み、かつ、鳴沢川流域から地下水が流入した。かつ、長雨により地下水位が上がっているため、盛り土の上部へも地下水が流入し、上部まで土砂の飽和度が高まっていた。

（４）盛り土の崩壊

（前提）

中下流域での土石流の第一波、第二波等の時間は特定できるが、上流域でいつ崩壊が始まったのかは特定できない。時間が特定できるのは、盛り土左岸側最上部の崩壊が10時53分であることだけである。

（推定される崩壊現象）（確度は全体としては中程度。）

（一次崩落）

- ① 盛り土下部で崩落が始まった。その時間と規模は不明。第一次崩落が一回なのか、数回に分かれて発生したのかは不明。一次崩落土は極めて粘性が高く、流木を含んで、ゆっくり流下した。砂防堰堤で7,000 m³が捕捉され、堰堤を超えて堰堤下にも堆積し、その後、住宅外に流れ込み、先端部はバス通り付近で停止した（10時28分頃）。
- ② 途中に、小さな土砂ダムが形成され、そこに、第二次崩落の土砂が流下してくるまでの間、流水を貯留した。（この現象の証拠はない）

(二次崩落)

- ③ 10 時 53 分に、左岸側上部が崩落した。右岸、左岸で流下痕跡高が異なるが（p 11-20、11-21）、これは早い速度、かつ大量の土の流れが流路の曲がり角で乗り上げながら流下したものと考えられる。

流下速度の速い流れは、下流では 10 時 55 分の第二波のみであることから、この流下痕跡を残したのは第二波であると考えられる。

- ④ また、流下痕跡（p 11-20、11-21）の標高が高い側（両方とも右岸側）では、盛り土が堆積していない。よって、この痕跡を残した流れは水分量が多いものだったものと推定される。
- ⑤ 源頭部左岸最上部付近は、仮に飽和度が 100% となったとしても、10 時 55 分バス通り付近で見られた大量の水を含むことはできない。
- ⑥ よって、一次崩落の後に小さな土砂ダムが、p 9-4 の R-4 付近か、その下部に形成され、逢初川源頭部からの流出水と、一つ南側の沢からの流出水を貯留していた。そこに二次崩落の源頭部左岸上部の土砂が落ち込み、土砂ダムを崩壊させた。（大胆な推定）
- ⑦ 源頭部の左岸の土砂にわずかに先行する形で、土砂ダムの水が流下し、バス通り付近で水しぶきを上げる形となった。また、水分量の多い土砂は、流下痕跡を残す形で斜面の表面を洗いながら、流下した。

(三次崩落)

- ⑧ その後は、三次崩落として、盛り土右岸側の土砂の崩落などが起きた。
- ⑨ 土石流は p 12-20 のように、河床に堆積、飽和、流動化、停止を繰り返しながら、中下流域で段波となり流下した。

5-2 今後の対応

(1) 盛り土崩壊解析の考え方

(前提)

盛り土は固化剤の投入によって、強度や物性が大きく異なる。

盛り土の実際の施行者からの施工方法の聴取が困難なことから（すでに警察の捜査段階のため等）、実際に盛り土のどの場所にどの程度の固化剤が投入されたかは不明である。

よって、盛り土の強度分布、土質性状の状況を特定できない。

この状態で、三次元解析など、高度な解析手法を用いて解析しても入力条件（土質定数など）を適切に設定できないので、解析結果が精度の高いものにはならない。

(解析方法)

上記前提から見て、解析は簡易な手法ながら比較的精度の高い「二次元の円弧すべり解析法」を用いて、ケース分類や複数のパラメーター設定を行い、どのような条件であれば、どういう現象が発生するのかの目安をつける。

これによって、崩落メカニズムの推定精度を上げ、何が起きたのか、なぜ崩落したのかを推定する。

(2) 検証手法の変更

検証委員会の目的

県が作成する土石流の発生原因調査報告書（案）の妥当性について、公平・中立な形で検証を行う。



第1回検証委員会で示した検討手法…現地調査に基づき条件設定を行い、解析モデルによる解析により、盛り土の崩壊メカニズムを特定



第1回検証委員会後の調査等で判明したこと

- ・住民の撮影動画から土石流が複数回発生したことは判明しているが、下流部の数波の土石流と、源頭部の数次の（と推定される）崩落が、一対一の対応関係にならない。また、盛り土箇所の施工状況などの情報が不足している。このため、複数の崩壊シナリオ・メカニズムを推定・設定し、その中から盛り土がいつ・どこで・どのように崩壊し、土石流が発生したかを特定しようとしても、特定はできない可能性が高い。



検証手法の変更

- ・盛り土の崩壊による土石流の発生メカニズムの特定は困難であると判断し、崩壊メカニズムを特定せず、複数の崩壊メカニズムを推定・設定する。それらの崩壊メカニズムについて、どのメカニズムがより可能性が高いかを検討するとともに、適切な工法・工事が実施されていた場合に被害が発生したか否か等を検証する。

浸透流解析

1) 目的

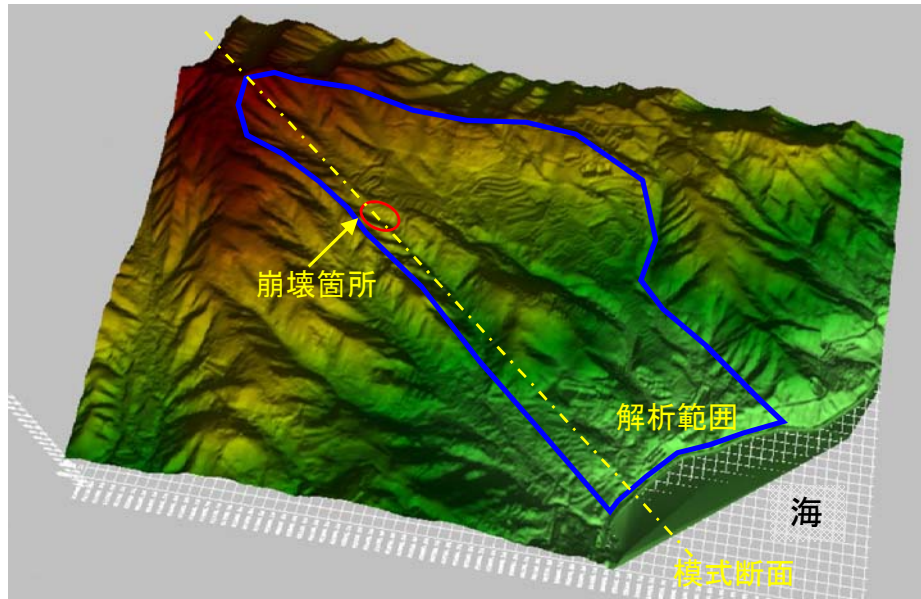
盛土施工(2012/12)がほぼ完了した時点の地盤モデルを用いて、
現地調査・観測(流量観測結果、孔内水位観測結果)
周辺地盤、盛土の浸透特性(透水係数や間隙比など)を元に、
周辺の水文特性(現地の地形、地層構成、降雨など)を加味して
斜面崩壊時における盛土地盤内、および盛土施工前の旧地表面以深の地盤内それぞれ
の「地下水の位置」、「地下水の流れる方向、流量」を予測する。

2) 浸透流解析の実施条件

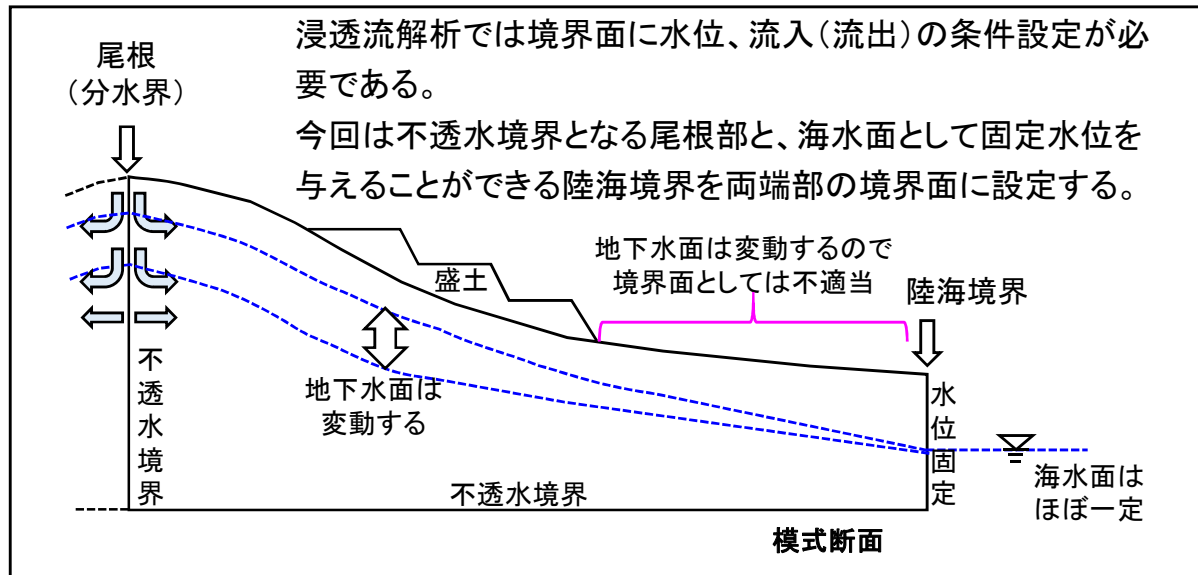
- 崩壊発生箇所を含む広範囲の三次元解析モデルを作成し、隣接流域から崩壊発生箇所に流入する地下水の流れを再現する。
- 現地調査に基づく盛土及び周辺地盤の水文特性(透水性、保水性)を考慮する。
- 表流水、地下水の両方を表現する。
- 異なる降雨条件(ハイエトグラフ)による再現計算によりパラメータフィッティングを行う。
- 今回の浸透流解析は盛土内への降雨や地下水の浸透に着目したものである。

解析範囲を盛土のみに限定すると、降雨などの影響を受けた地下水全てが盛土に浸透するという実現象とは異なった解析になってしまう。そのため、実現象(浸透した降雨水は旧地表面以深にも貯留する)に沿うように旧地表面以深の地盤中の地下水解析も実施する。

3) 浸透流解析の実施フロー



浸透流解析モデル範囲



境界条件の設定 (海までをモデル化する根拠)

解析モデルの作成

- ・解析範囲の選定
- ・モデル作成のための踏査
- ・3次元解析モデルの作成
- ・境界条件 (分水界、陸海境界) の設定

現況解析・・・(1)

各種計測結果を参考に現況の地下水状況を再現

- ・現地調査、流量計測結果

⇕ 相当な繰り返し検討

- ・解析によって現地調査、流量計測結果を再現

- ・解析用パラメータを確定

過去の状況解析・・・(2)

盛土施工が完了した2012年12月以降の
過去降雨データを元に、浸透流解析を実施

- ・現況解析で確定した解析パラメータを使用
- ・盛土地盤内、および盛土施工前の旧地表面以深の地盤内への地下水流入状況を予測

崩壊発生時の再現解析・・・(3)

過去の状況解析を元に、崩壊発生1年前から崩壊発生時までの
降雨データを入力し浸透流解析を実施

- ・斜面崩壊時における盛土地盤内、および盛土施工前の旧地表面以深の地盤内の「地下水の位置」、「地下水の流れる方向、流量」を予測

① 浸透流解析の実施方針

(1) 現況解析

現状での各種計測結果を参考に現況の地下水状況を再現する

※今までの調査結果（流量観測結果、孔内水位観測結果）を元に現況解析の検証を行う。

※解析の全体像が掴めてきた段階で現場調査結果（流向・流速測定結果など）を確認する

(2) 過去の状況解析

盛土施工が完了した2012年12月以降の過去降雨データを元に、浸透流解析を実施し、盛土地盤内、および盛土施工前の旧地表面以深の地盤内への地下水流入状況を予測

(3) 崩壊発生時の再現解析

(2)の結果（地下水流入状況予測結果）を元に崩壊発生1年前から崩壊発生時までの降雨データを入力し、崩壊発生時における盛土地盤内、および盛土施工前の旧地表面以深の地盤内の地下水流入状況の予測を行う

② 浸透流解析の流れ

(2) 過去の状況解析

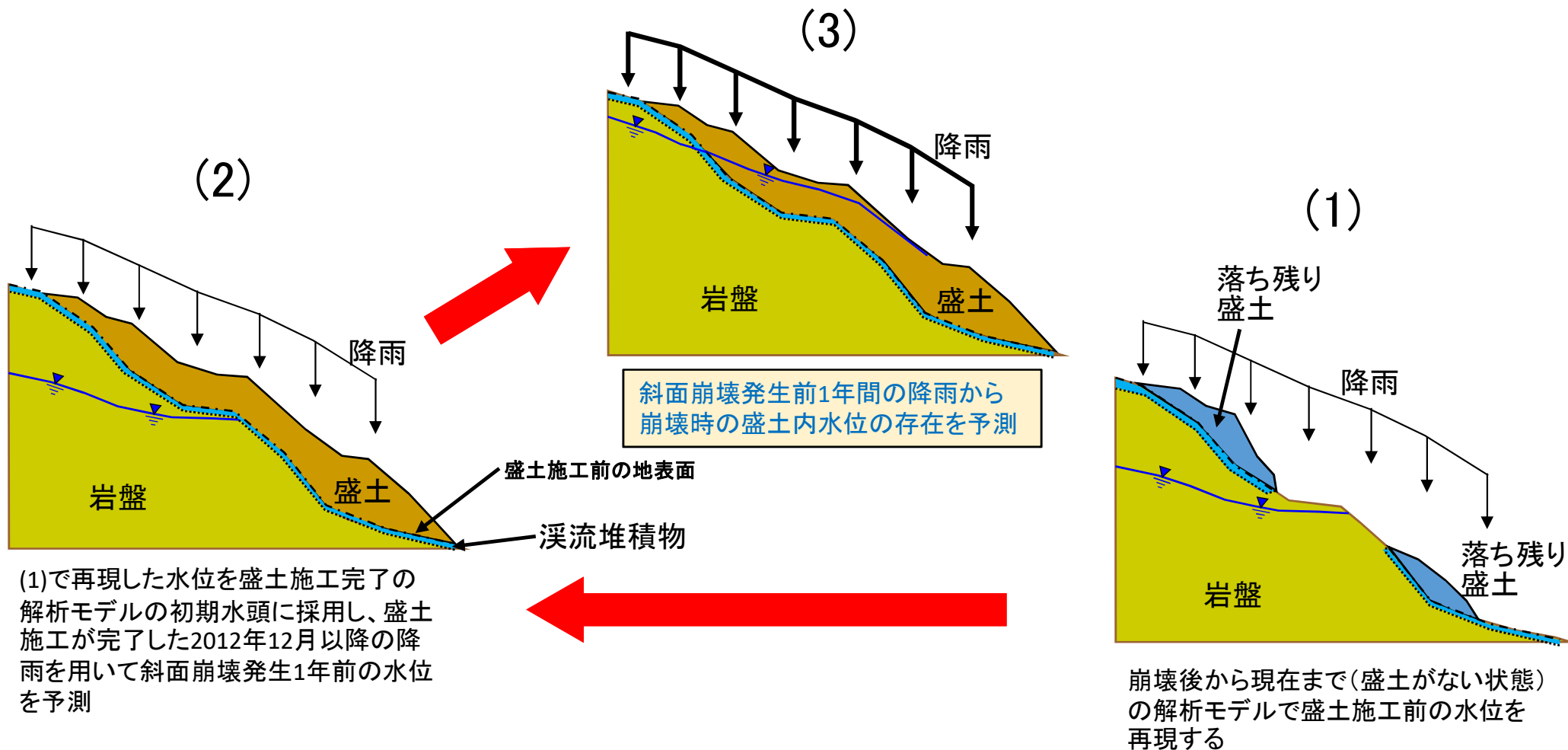
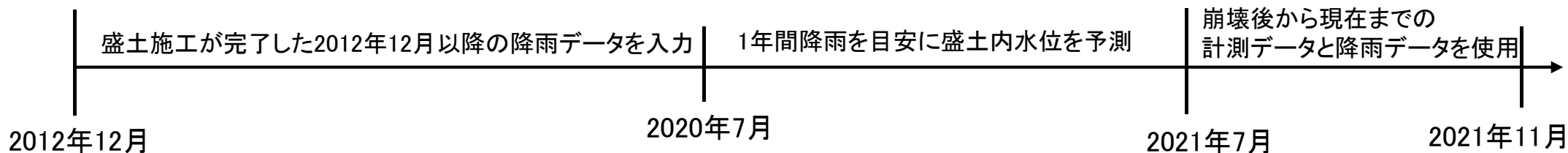
過去の降雨データによる地下水状況の再現

(3) 崩壊発生時の再現解析

盛土崩壊時の状況解析

(1) 現況解析

現況の地下水状況を再現

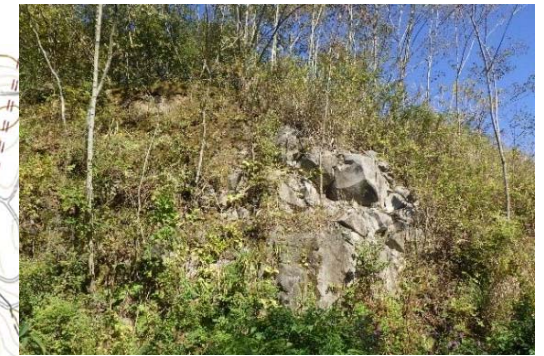


4) 浸透流解析実施に向けての現在の状況

現段階は

- ・解析範囲を選定し、モデル作成のための踏査は完了
※現在結果を整理中
- ・盛土崩壊前後の地表面データを元に地表面モデルを作成中

① 3次元解析モデルを作成するための踏査



安山岩の露頭
(Brコアでは確認されていない)



Brコアで確認されたものと同じ強風化安山岩
溶岩の露頭



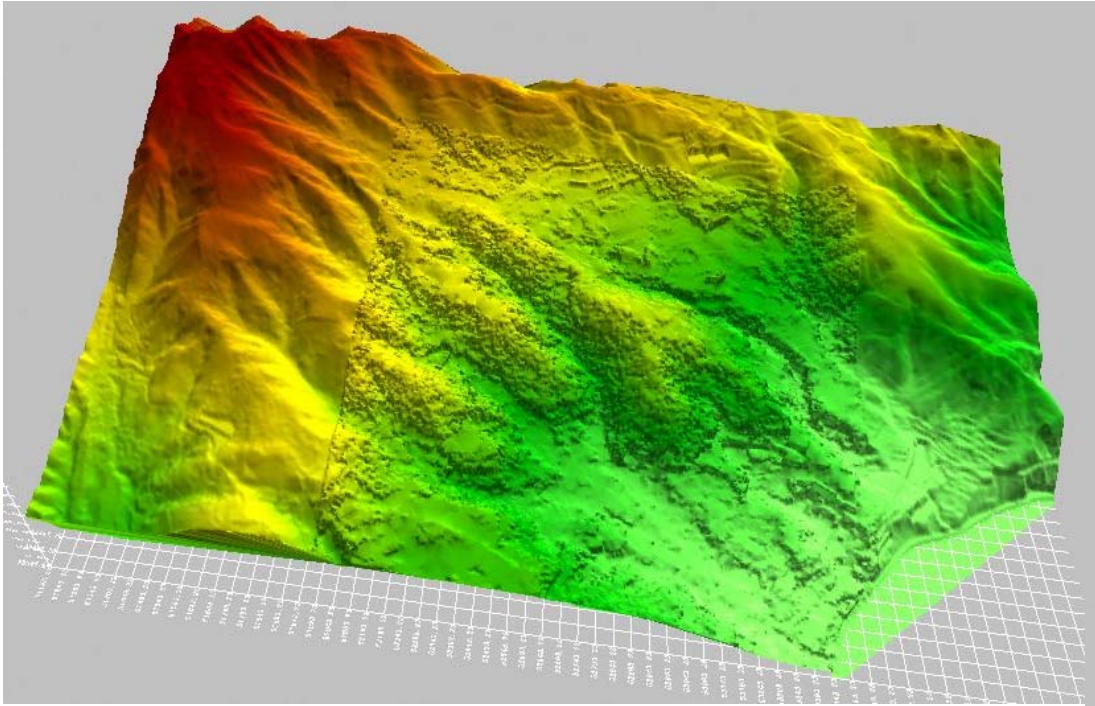
Brコアで確認されたものと同じ
弱風化安山岩溶岩の露頭



Brコアで確認されたものと同じ強風化安山岩
溶岩の露頭

踏査で確認された岩盤の露頭とBr調査で確認された岩盤とを比較し、
広域の地質状況を把握したうえで、3次元解析モデルを作成する。

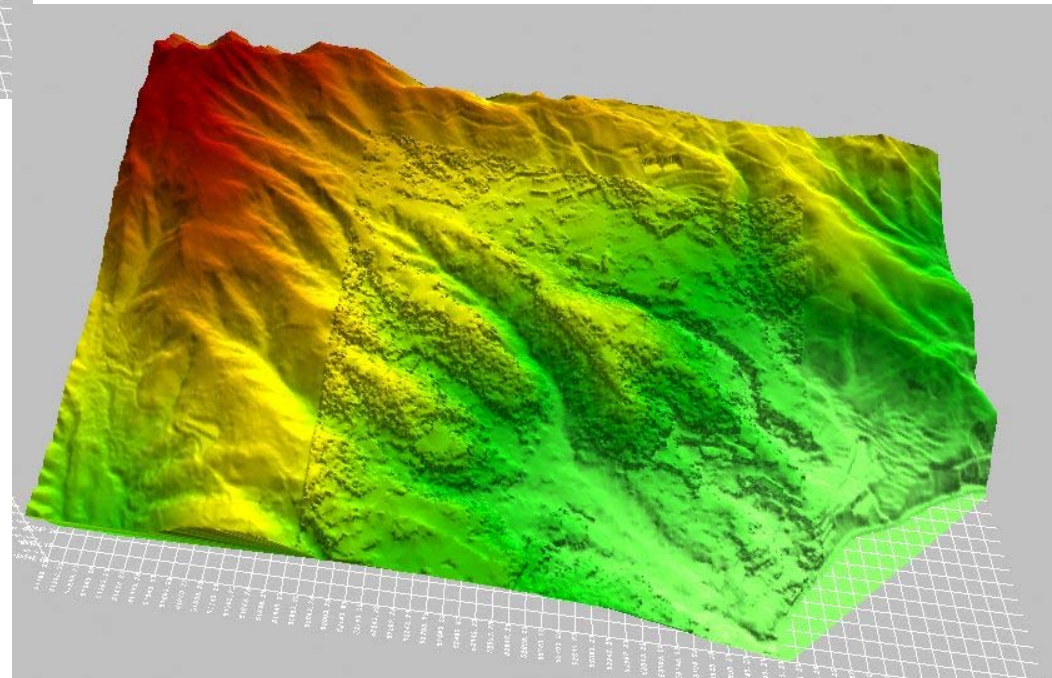
② 地表面モデル作成



盛土崩壊前3次地表面モデル

現地踏査結果整理はまだできていない。
実施時期:11月10日、11日

今後、踏査結果と現地調査結果を基に
解析モデルを作成する



盛土崩壊後3次地表面モデル

盛土崩壊解析の実施方針

1 盛土崩壊の考え方

（前提）

盛り土は、固化剤の投入によって、強度や物性が大きく異なる。

盛り土を実際に施行した者からの施工方法の聴取が困難なことから（すでに警察の捜査段階のため等）、実際に盛り土のどの場所にどの程度の固化剤が投入されたかは不明である。

よって、盛り土の強度分布、土質性状の状況を特定できない。

この状態で、三次元解析など、高度な解析手法を用いて解析しても入力条件（土質定数など）を適切に設定できないので、解析結果が精度の高いものにはならない。

（解析方法）

上記前提から見て、解析は簡易な手法ながら、比較的精度の高い二次元の円弧すべり解析法を用いて、ケース分類や複数のパラメーター設定を行い、どのような条件であれば、どのような現象が発生するのかの目安をつける。

これによって、崩落メカニズムの推定精度を上げ、何が起きたのか、なぜ崩落したのかを推定する。

2 盛土崩壊解析の目的

盛土の施工条件、浸透流解析結果から、複数の崩壊メカニズムを候補とし、それらの中から、どの崩壊メカニズムがより可能性が高いかを推定する。

3 盛土崩壊解析の実施フロー

1. 複数の盛土施工条件の設定



2. 複数の土質・地下水パラメータの設定



3. 様々な形態の斜面安定解析による崩壊の推定



4. 適切な工事を行った場合の被害状況

【ケース分類】(案)

区分	盛土施工条件			降雨条件	結果
	①排水処理	②盛土高	③擁壁設置	期間雨量	
実績1	不適	不適	不適	449mm	全体崩壊
実績2	不適	不適	不適	時間雨量70mm	非崩壊
仮定1	適	適	適	小規模降雨	非崩壊
仮定2	適	不適	不適		
仮定3	不適	適	不適		
仮定4	不適	不適	適		

実現象を
再現

崩壊解析

1. 複数の盛土施工条件の推定

① 固化材

- ・盛土に混合しない場合
- ・満遍なく盛土に混合した場合
- ・表層のみ混合した場合

② 排水処理

- ・地下水、地表水の処理が適切に実施された場合
- ・地下水、地表水の処理が不適切 …… 今回の場合

③ 盛土高

- ・適切な盛土高(15m以内)で実施
- ・今回の盛土高 …… 今回の場合

④ 擁壁

- ・盛土法尻へ適切に施工
- ・未施工 …… 今回の場合

2. 複数の土質・地下水パラメータの設定

① 固化材混合部の土質パラメータの取得

蛍光X線分析によるカルシウム量から、セメント等を混合した場合の添加量を算出し、配合強度試験を行い、改良土の土質定数($C \cdot \gamma$)を確認

② 盛土部の土質パラメータの取得

- ・ サンプリング及び落ち残り盛土で採取
- ・ 土質強度試験を行い、盛土の土質定数($C \cdot \phi \cdot \gamma$)を確認

③ 降雨条件による地下水(間隙水圧)パラメータの取得

C : 粘着力 ϕ : 内部摩擦角 γ : 単位体積重量

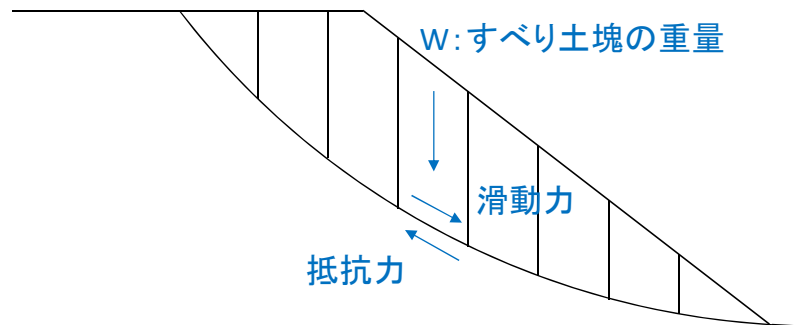
3. 様々な形態の斜面安定解析による崩壊の推定

※それぞれの形態の可能性の高さを推定
(円弧すべり法の安全率からどのような滑りがより起きやすいかを推定)

【解析手法】

① 斜面安定解析の概要

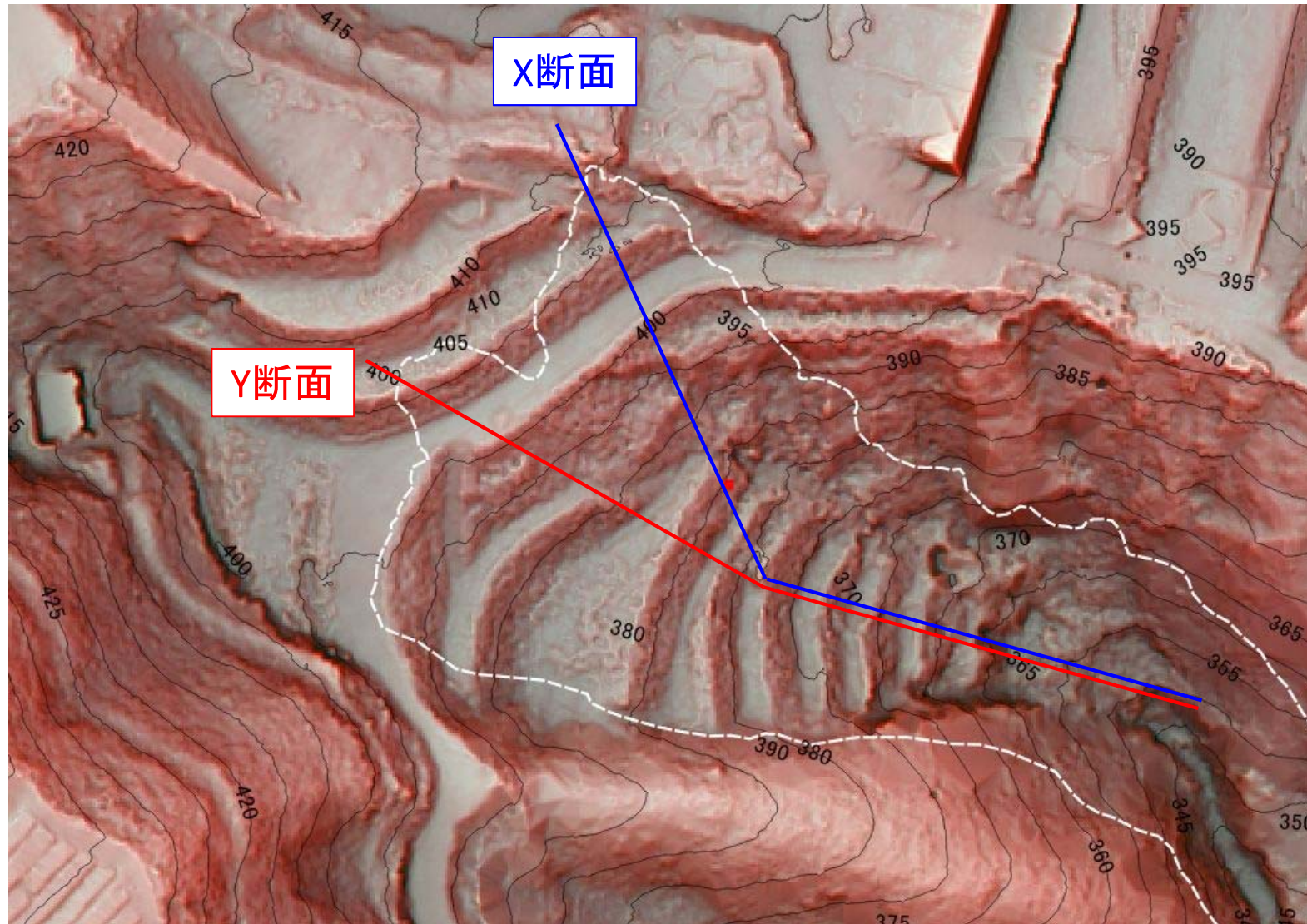
- 二次元のすべり安定計算
- 図に示すようなすべり面を仮定した場合、すべり面にはその面に沿ってすべりを起こそうとする滑動力と、それに抵抗する抵抗力が働く。すべり土塊を分割し、分割した各要素の活動力と抵抗力の和で安全率を算出する。



$$\text{安全率} F_s = \frac{\sum \text{抵抗力}}{\sum \text{滑動力}}$$

② 断面

下記の2断面を想定。



4. 適切な工事を行った場合の被害状況

※適切な工事を行った場合と、行われなかった場合を整理
（崩壊の有無、下流域への土砂流出の有無等）

全体フロー

第1回委員会(9月7日):調査内容の提案→現地調査実施(ボーリング調査、地下水検層、流向流速計、土質試験等)

第2回委員会(11月26日):各種調査結果の報告、解析手法の検討(浸透流解析及び2次元安定解析)

適切な排水工や擁壁土留があれば、今回の雨で崩壊が発生したかを2次元安定解析でケースごとに実施
【ケース分類】(案)
①盛土施工条件 ②土質パラメータ ③地下水パラメータ

現象の再現性の検証

第3回委員会(1月下旬):ケース分類ごとの解析結果と結果から判明した崩壊シナリオの報告

第4回委員会(3月):調査報告書(案)の報告