

土石流災害発生時の雨量規模

1. 要旨

逢初川流域で土石流災害が発生した際の雨量規模について、過去に観測された雨量データから見て、どの程度の頻度で発生する雨量かを検討した。逢初川に最も近い雨量観測所である熱海（静岡県）は、観測期間が2000年からと短いため、熱海観測所の近傍で観測雨量に相関があると考えられ、統計期間が1937年からと長い「網代（気象庁）」の雨量データを用いて検討する。

簡易的な検討の結果は以下のとおりである。すなわち、網代での今回（2021年7月1日～3日の降雨）の3日間雨量は、過去85年間で2番目に大きな降雨（年最大値での比較）。1番目に大きな降雨は2003年。3日間雨量が約400mmの雨は、80年に4回。これらから、今回の降雨は、3日間雨量では20年に1度程度の雨と推定される（統計処理方法としては正確性を欠いている）。

今後、最終とりまとめまでに、さらに詳細に雨量データの分析を進める。

2. 観測雨量（2021年7月1日～3日）

| | 観測雨量 (mm) | | | |
|----------|-----------|---------------|-------|-----------------|
| | 熱海 | | 網代 | |
| 3日間雨量 | 491 | 7月1日～3日 | 411.5 | 7月1日～3日 |
| 最大24時間雨量 | 260 | 7月2日8時～7月3日8時 | 183 | 7月2日11時～7月3日11時 |

（以下は、近傍の観測所である熱海（静岡県）ではなく、観測期間が長い網代（気象庁）の雨量と比較する。）

3. 網代観測所における既往観測雨量（年最大値）との比較

（1）3日間雨量

今回は、1937年から85年間で2番目に大きな降雨（年最大値）であった。

| 順位 | 年 | 月 | 日 | 雨量 (mm) | 備考 |
|----|-------------|----------|----------|--------------|--------------------|
| 1 | 2003 | 8 | 16 | 422.0 | 8/14～8/16 |
| 2 | 2021 | 7 | 3 | 411.5 | 【今回】7/1～7/3 |
| 3 | 1961 | 6 | 28 | 406.7 | 6/26～6/28 |
| 4 | 1983 | 8 | 17 | 399.0 | 8/15～8/17 |

（2）最大24時間雨量

今回は、1953年から69年間では22番目（年最大値）であった。

| 順位 | 年 | 月 | 日 | 雨量 (mm) | 備考 |
|----|-------------|----------|----------|------------|----------------------------|
| 1 | 1961 | 6 | 29 | 341 | |
| 2 | 2003 | 8 | 15 | 290 | |
| 3 | 2014 | 10 | 5 | 269 | |
| 4 | 1966 | 6 | 28 | 264.4 | |
| 22 | 2021 | 7 | 3 | 183 | 【今回】7/2_11時～7/3_11時 |

（参考）使用した雨量データ

- ・ 網代（気象庁）：日雨量 1937年～2020年、時間雨量 1953年～2020年

(参考)

1. 網代観測所における、300mm以上の3日雨量の観測記録（1937～2020年）

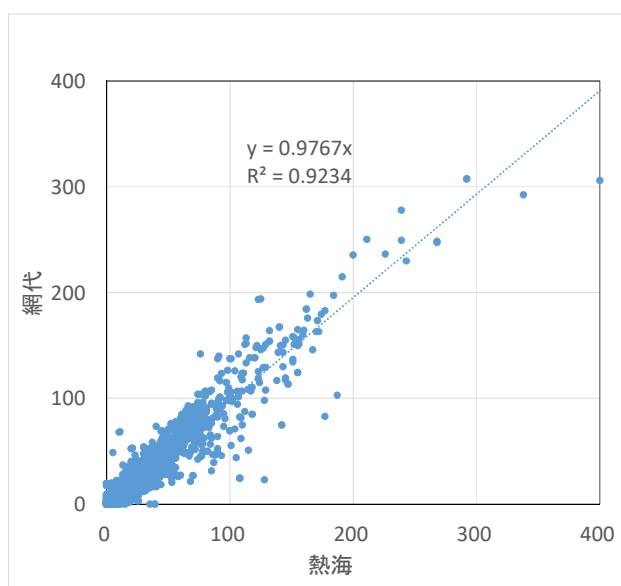
| | 年月日 | 3日雨量 |
|----|------------|-------|
| 1 | 1938年8月3日 | 354.3 |
| 2 | 1941年7月12日 | 333.8 |
| 3 | 1941年7月22日 | 354.5 |
| 4 | 1947年9月15日 | 351.3 |
| 5 | 1948年9月16日 | 310.6 |
| 6 | 1961年6月28日 | 406.7 |
| 7 | 1968年8月28日 | 324.0 |
| 8 | 1970年6月16日 | 306.0 |
| 9 | 1983年8月17日 | 399.0 |
| 10 | 1998年8月30日 | 326.5 |
| 11 | 2003年8月16日 | 422.0 |
| 12 | 2014年10月6日 | 307.5 |
| 13 | 2021年7月3日 | 411.5 |

2. 熱海（静岡県）と網代（気象庁）の雨量相関

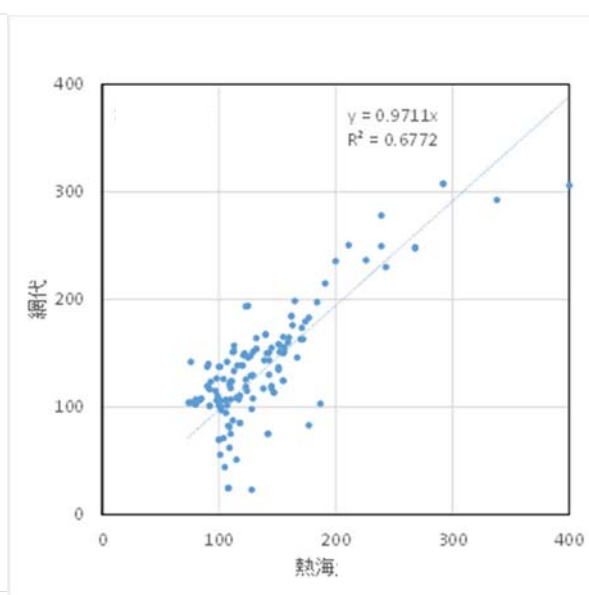
熱海（静岡）の雨量記録が電子データとして存在する2009年から2021年において、熱海（静岡）と同一期間の網代（気象庁）の雨量記録は相関があると考えられる。

【3日間雨量】

表（期間中の全観測記録）



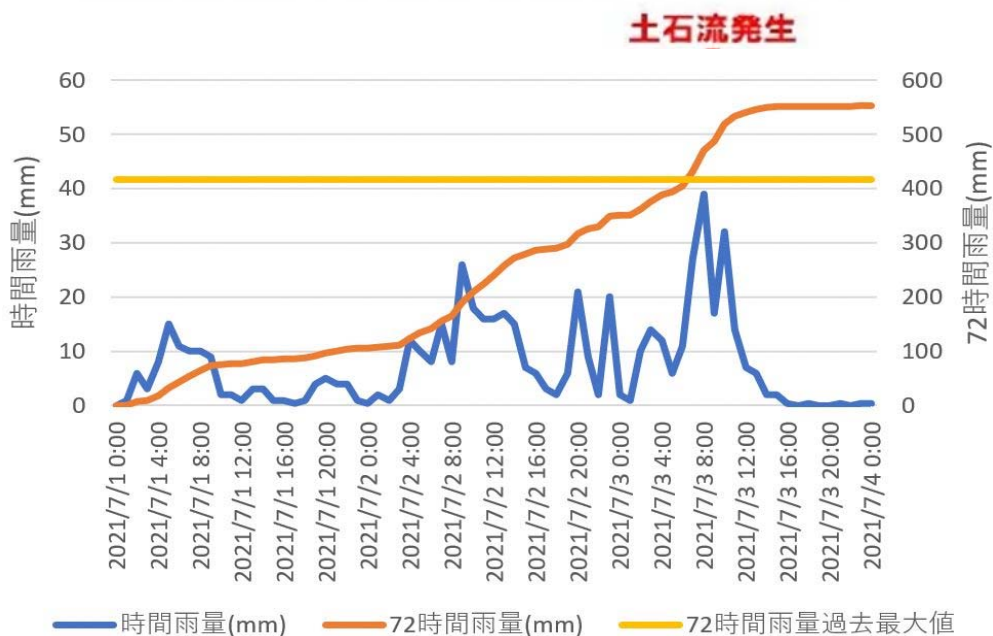
表（いずれかの観測所が100mm以上のみ）



3. 日本気象協会の情報

熱海市 土石流発生直前に30~40ミリの激しい雨が降っていた

熱海市における時間降水量の時系列



データ：国土交通省解析雨量(1kmメッシュ)

tenki.jp

熱海市の土石流発生地点の降水量を時系列で見ると、降り始めてから48~72時間にわたって時間雨量20mm以下の比較的弱い雨が降り続いていたことがわかりました。

ただし、土石流が発生した10時30分の2時間半ほど前には1時間40mmの激しい雨が降り、さらに土石流発生直前の10時台にも1時間30mmの雨が降っていたことがわかり、この比較的強い雨が引き金になった可能性があると考えられそうです。

今回の事例のように、2~3日かけて10~20mm程度の長雨が続き続いたときは、避難のきっかけがつかみにくいという性質があります。しかし、長時間の雨で地盤が緩んでいると、短い時間のやや強い雨が降っただけでもそれが土砂災害の引き金になることがあります。長時間雨が降っていて、自治体から避難情報が出ているときは、油断せずに避難を続けるようにしましょう。

「出典元：日本気象協会 tenki.jp」

(注目点：静岡県加筆)

- ①土石流発生時点までの期間雨量は500mmに達していた可能性がある。(熱海雨量観測所では449mm)
- ②7月3日7:00に1時間雨量40mm程度の激しい雨が降った可能性がある(7月3日の朝、黄茶色の道路上の流水があったという証言に関係している可能性がある)

流量等觀測結果

(雨量・流量・湧水量・EC・pH)

観測内容

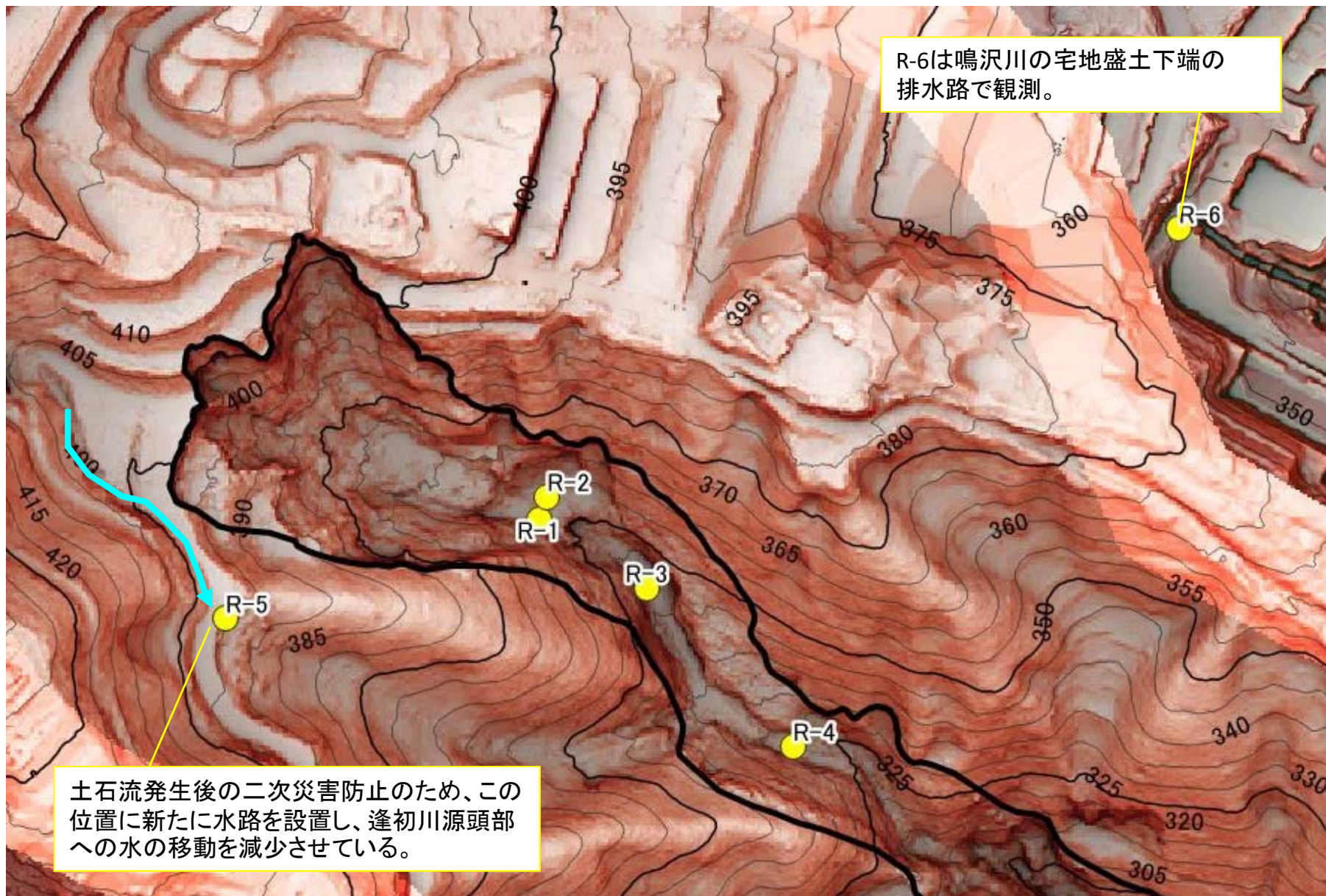
◆流量の連続観測

- 崩壊地内の常時流水箇所4箇所に三角堰を設け、流量を連続観測。
- 比較のために、崩壊地外の2箇所でも同様に連続観測。

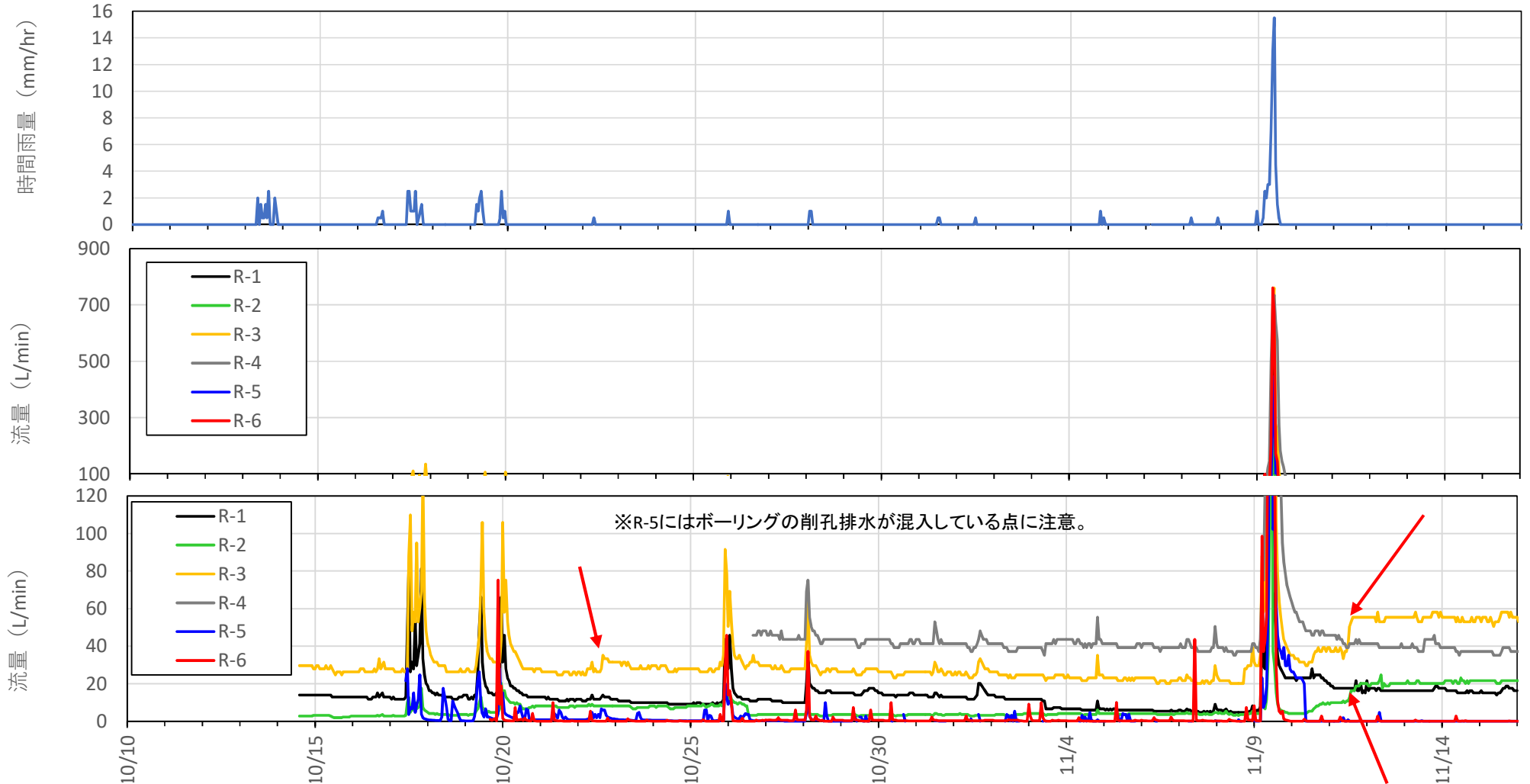
◆湧水量等の機動観測

- 崩壊地内の湧水箇所7箇所で、降雨後等に観測。
※常時湧水があるとは限らない。
- 観測項目は、湧水量、EC(電気伝導度)、pH(ペーハー)。
 - EC(電気伝導度)は一般に、地下水の流動経路が長いと地下水中の電解質の濃度の影響をより強く受けることで値が高くなる。
 - pHは石灰の影響でアルカリに傾く可能性を考慮。

(1) 流量観測 観測位置図

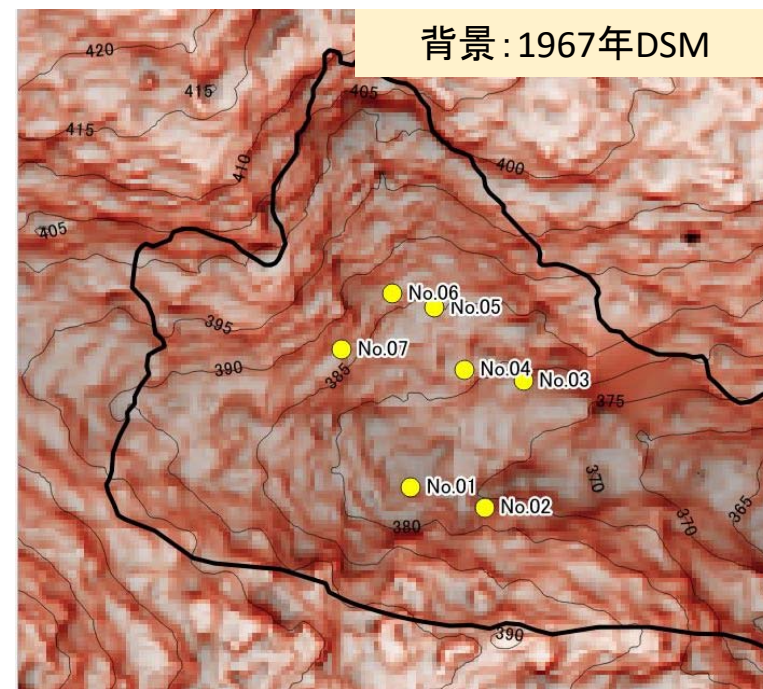
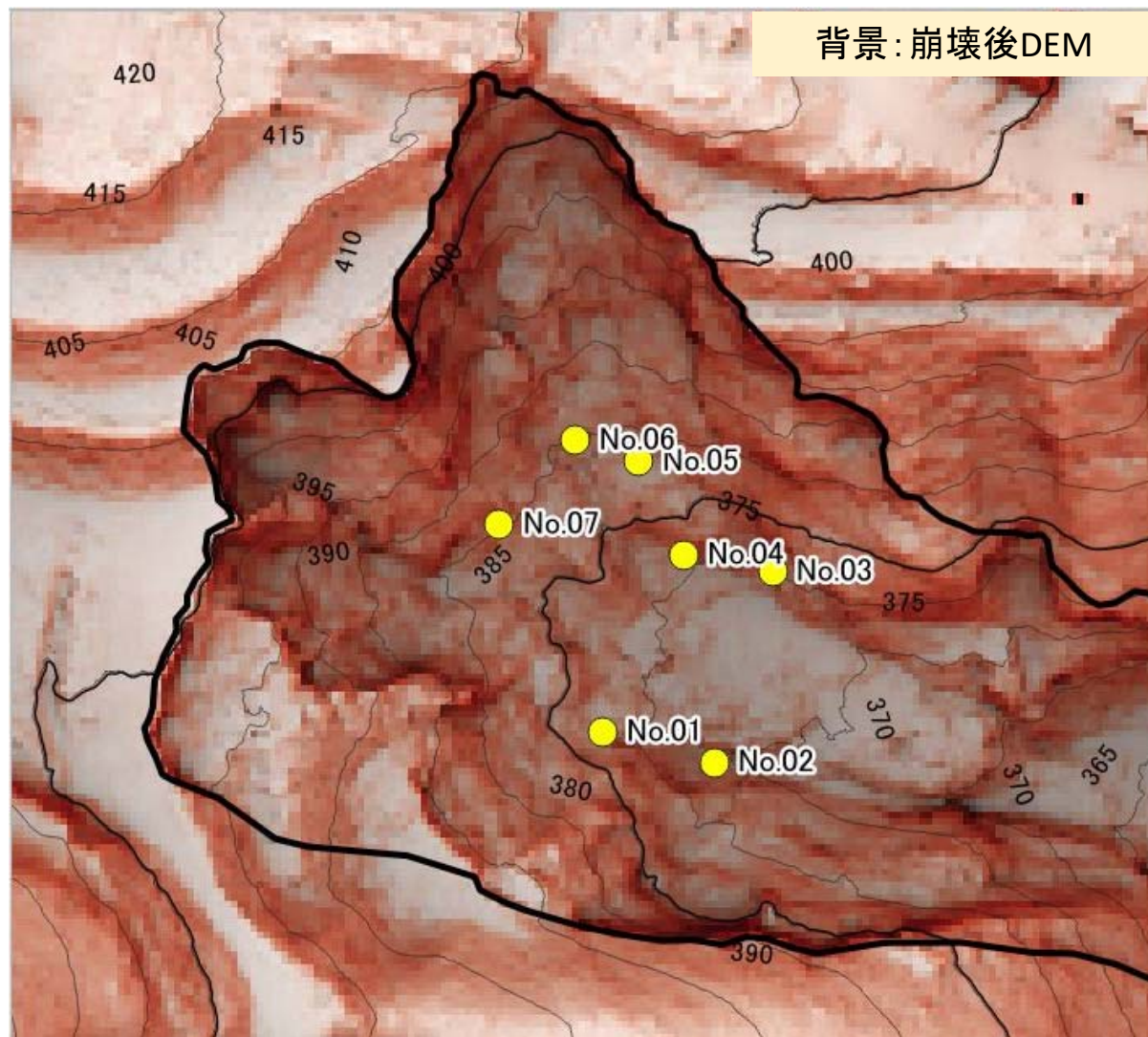


(1) 流量観測 観測結果



- 概して流量の多さは、 $4 > 3 > 1 > 2 > 5 > 6$ 。
- R-1～R-4は無降雨時にも基底流量が認められ、**地下水の流出が示唆される**。
これに対してR-5, 6は降雨時のみの流出であるため、表面流出と考えられる。R6は暗渠なので、地表排水路の地表流出水を集めたものと推察される。
- 11/9の降雨の後、**R-2とR-3において数日後に流量が増加している点が特徴的である**。同様の増加傾向は10/20過ぎにも認められる(赤矢印で記載)。
- 雨量との比較は資料-8で述べる。

(2) 湧水観測 観測位置図



No.1 崩土と地山の境界
No.4 地山内(露岩下部)

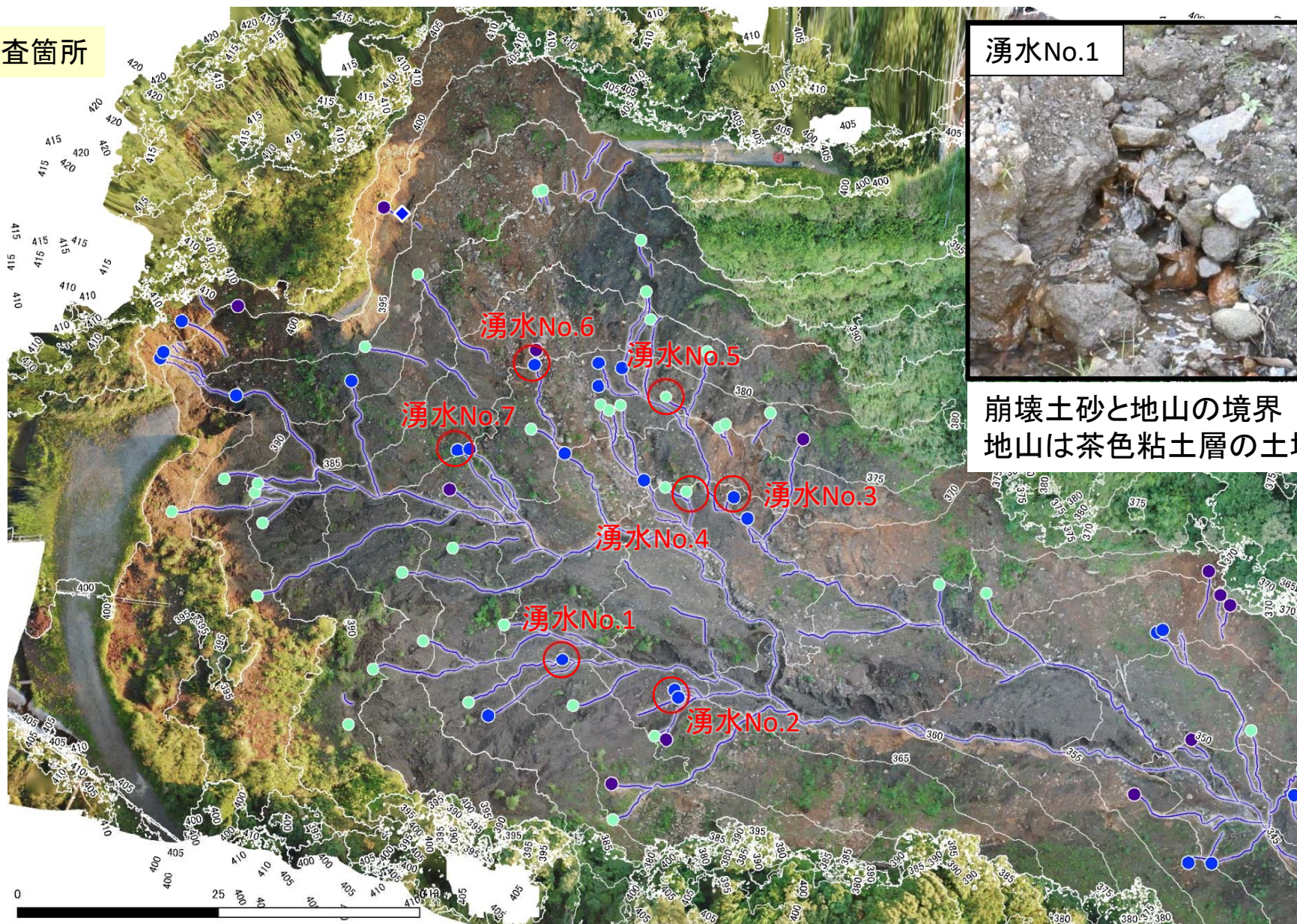
No.2 崩土と地山の境界
No.5 崩土上部(湿地状)

No.3 地山(崖錐堆積物)
No.6 地山(崖錐堆積物)

No.7 崩土と地山の境界

(2) 湧水観測 観測位置図

調査箇所

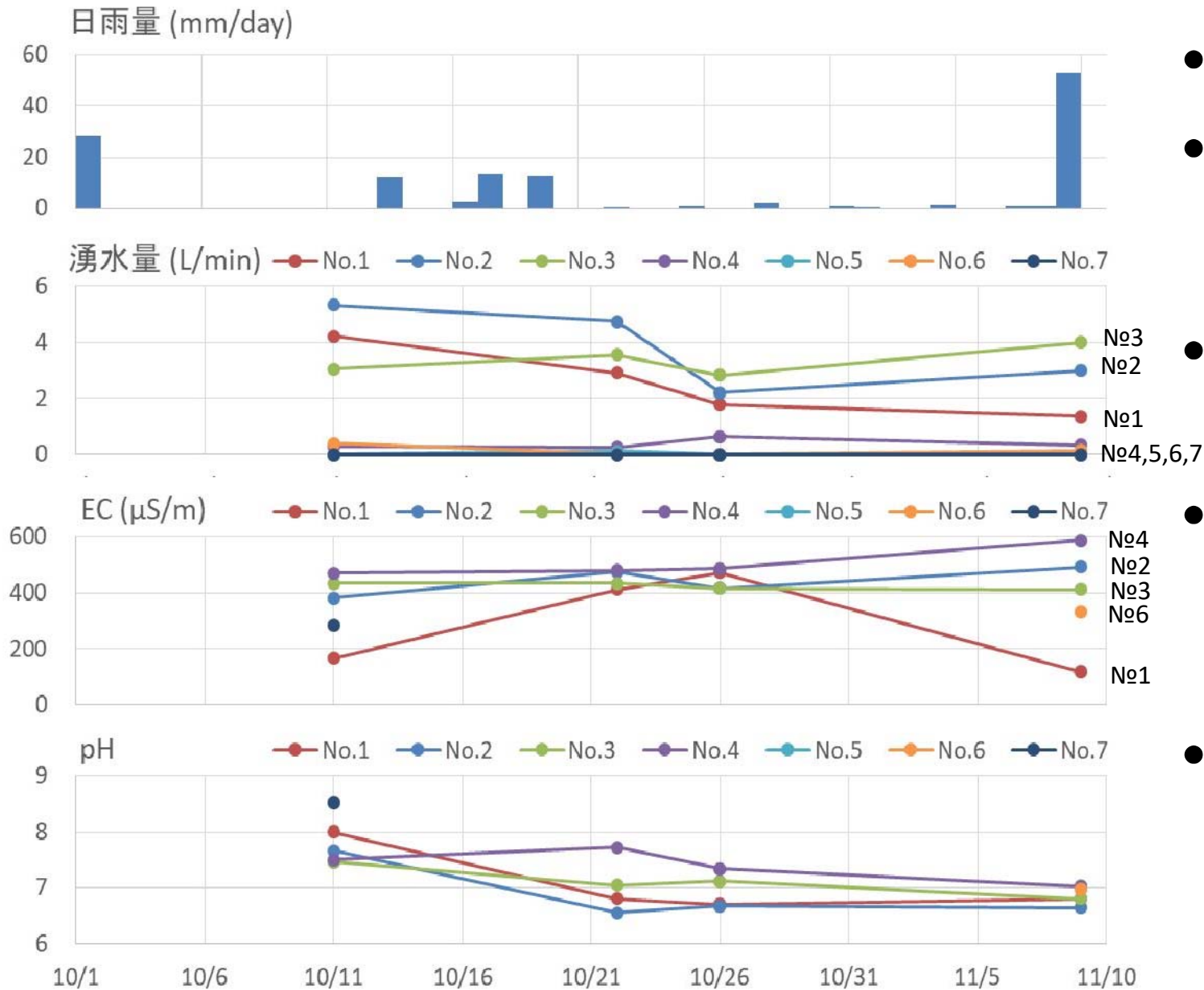


湧水No.1



崩壊土砂と地山の境界
地山は茶色粘土層の土壤

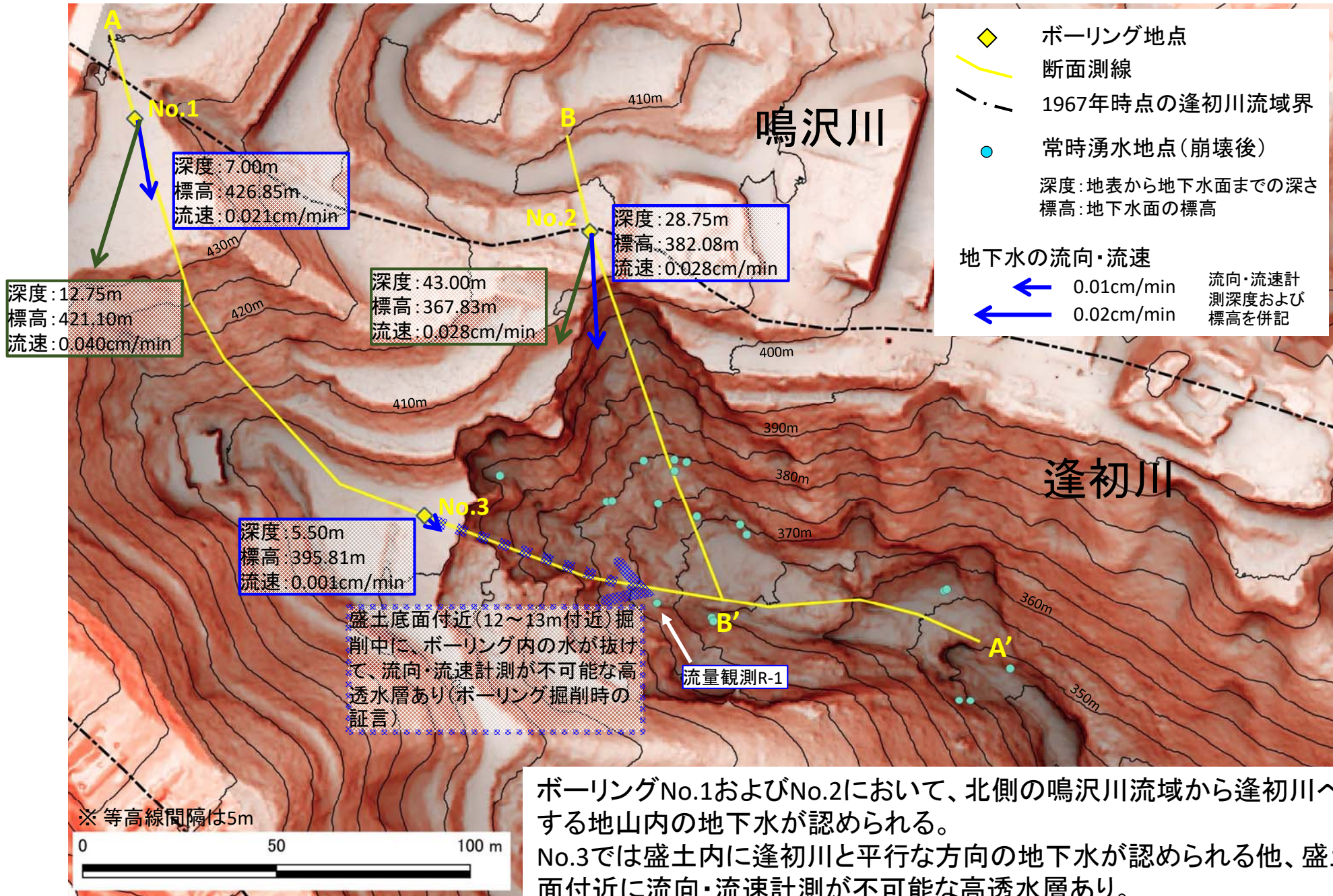
(2)湧水観測 観測結果



- No.1, 2, 3の湧水量が、他箇所より明確に多い。
- その中ではNo.3の湧水量が比較的安定している。No.3は地山(崖錐)の内部、またはそれと崩土との境界に位置する。
- ECは10/11と11/10は箇所ごとのバラツキがあるが、10/22と10/26はそうではない。この理由は不明。
- 10/11と11/10のECについて、造成前の溪床部に位置するNo.1で低く、岩盤内部からの湧水であるNo.4で高い点は、地下水の移動経路の長さによって説明可能。
- pHは10/11時点ではアルカリ性であり石灰の影響が疑われるが、その後中性に以降している。現段階で解釈は困難である。

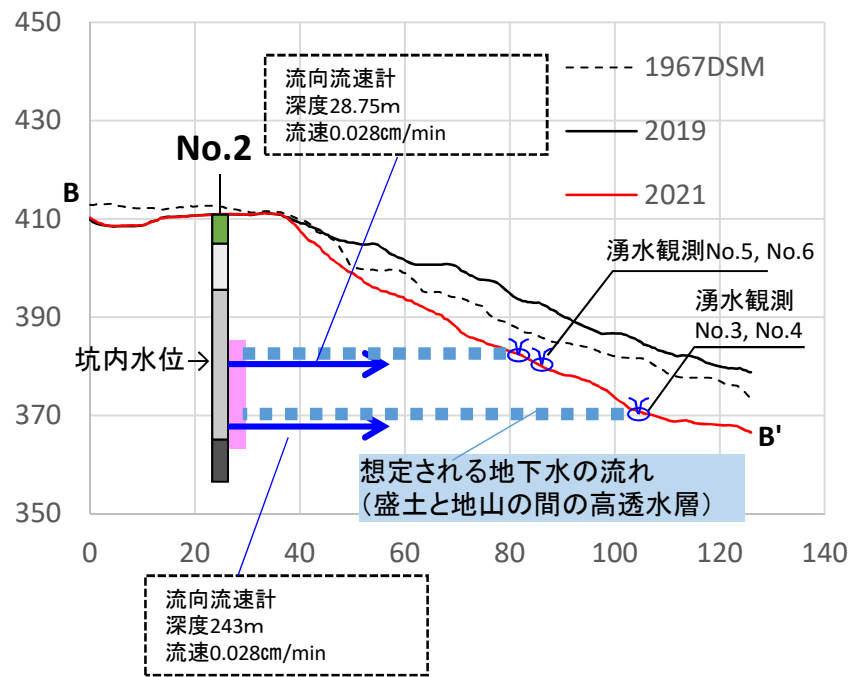
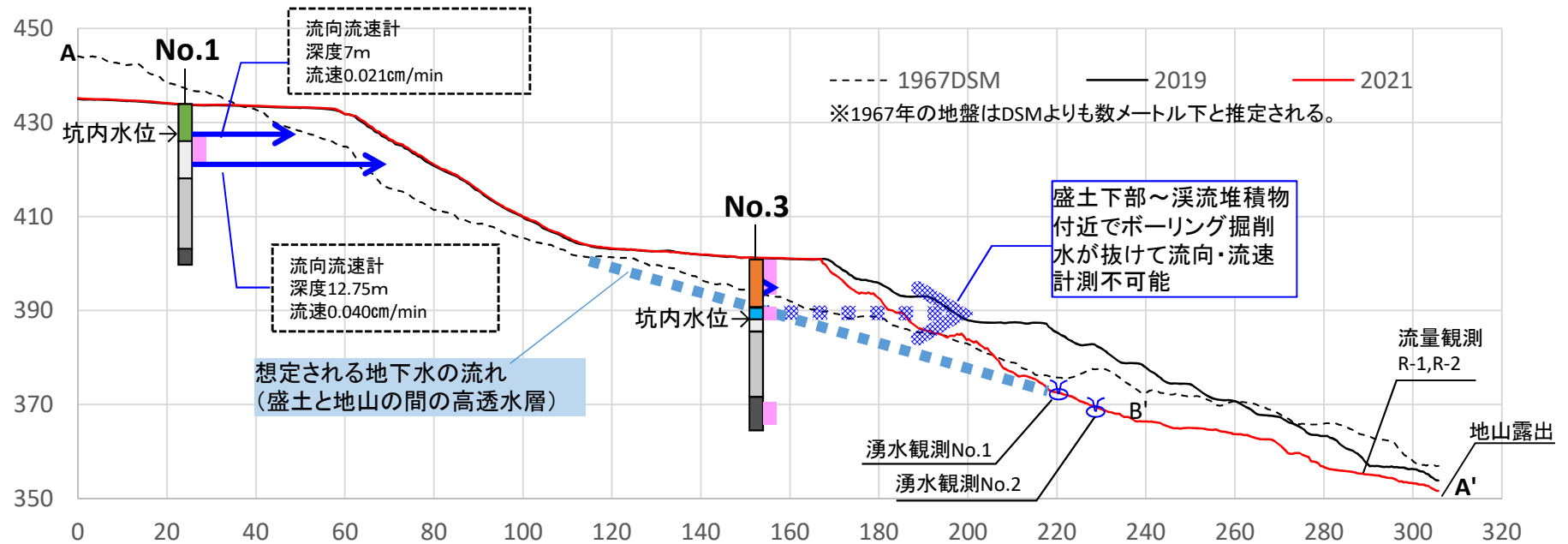
地下水に関する考察

(1) 流向・流速観測結果からみる地下水流動



ボーリングNo.1およびNo.2において、北側の鳴沢川流域から逢初川へ流入する地山内の地下水が認められる。
No.3では盛土内に逢初川と平行な方向の地下水が認められる他、盛土底面付近に流向・流速計測が不可能な高透水層あり。

(1) 流向・流速観測結果からみる地下水流動



地下水の流速

- 0.01cm/min
- 0.02cm/min

崩壊後湧水地点(おおよその位置)

地質区分(仮)

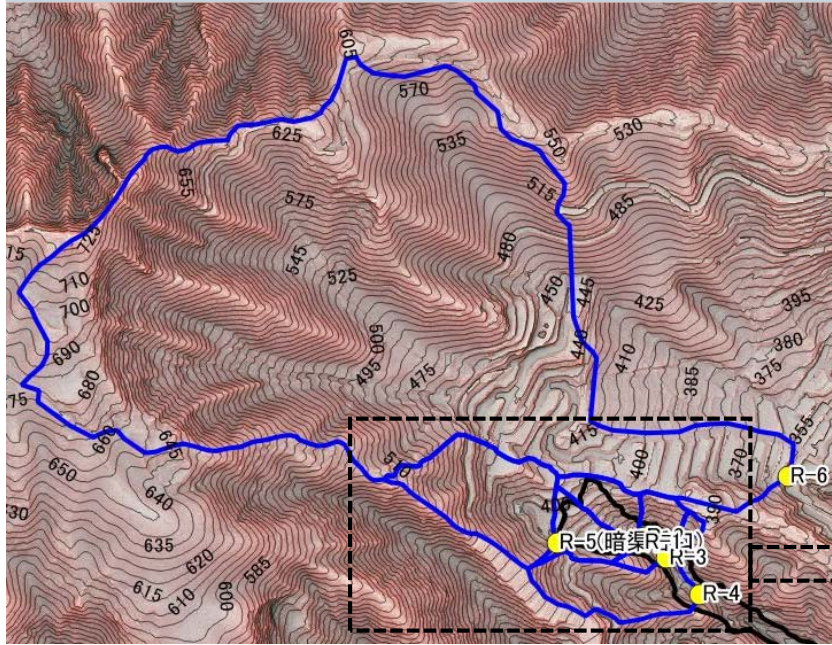
- 盛土
- 崖錐堆積物
- 溪流堆積物
- 強風化安山岩
- 変質化安山岩
- 弱風化安山岩質溶岩

地下水検層

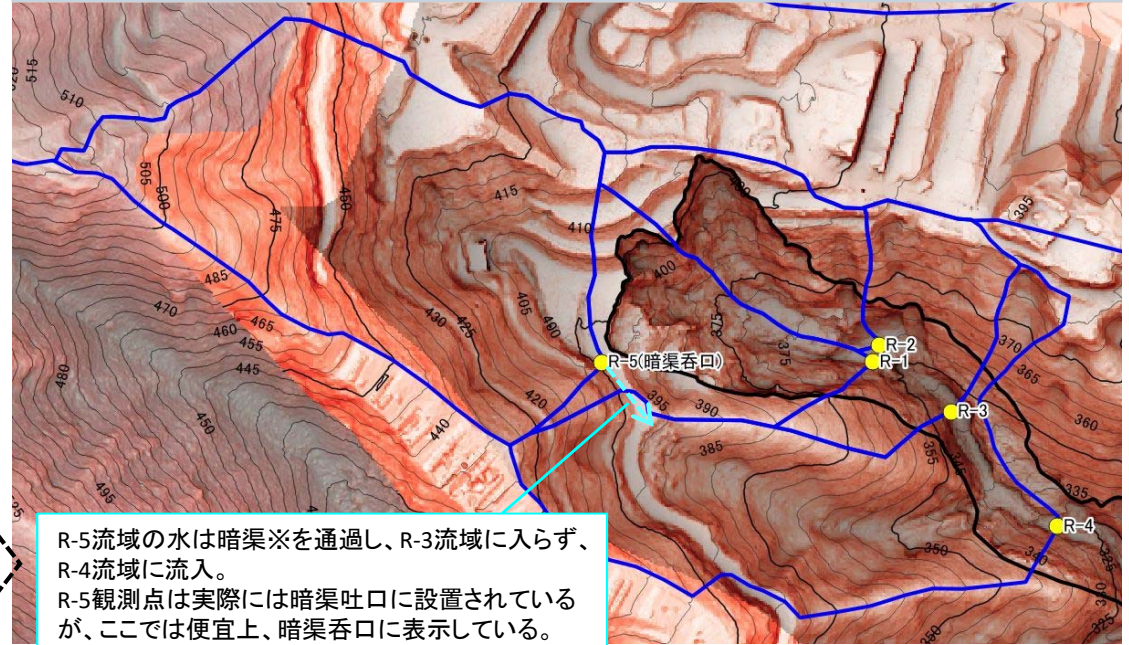
- 塩水の希釈が認められる範囲

(2) 流量観測結果からの考察

流量観測位置と流域範囲(全体)



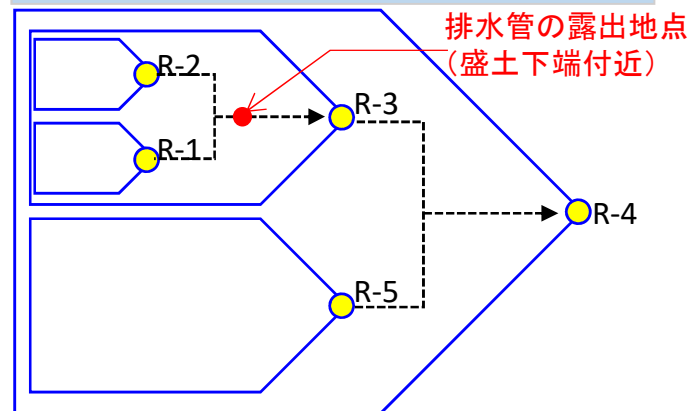
流量観測位置と流域範囲(拡大)



流域面積一覧

| 観測箇所 | 流域面積(m ²) |
|------|-----------------------|
| R-1 | 7,452 |
| R-2 | 6,598 |
| R-3 | 20,459 |
| R-4 | 64,413 |
| R-5 | 26,225 |
| R-6 | 386,748 |

観測点の上下流関係

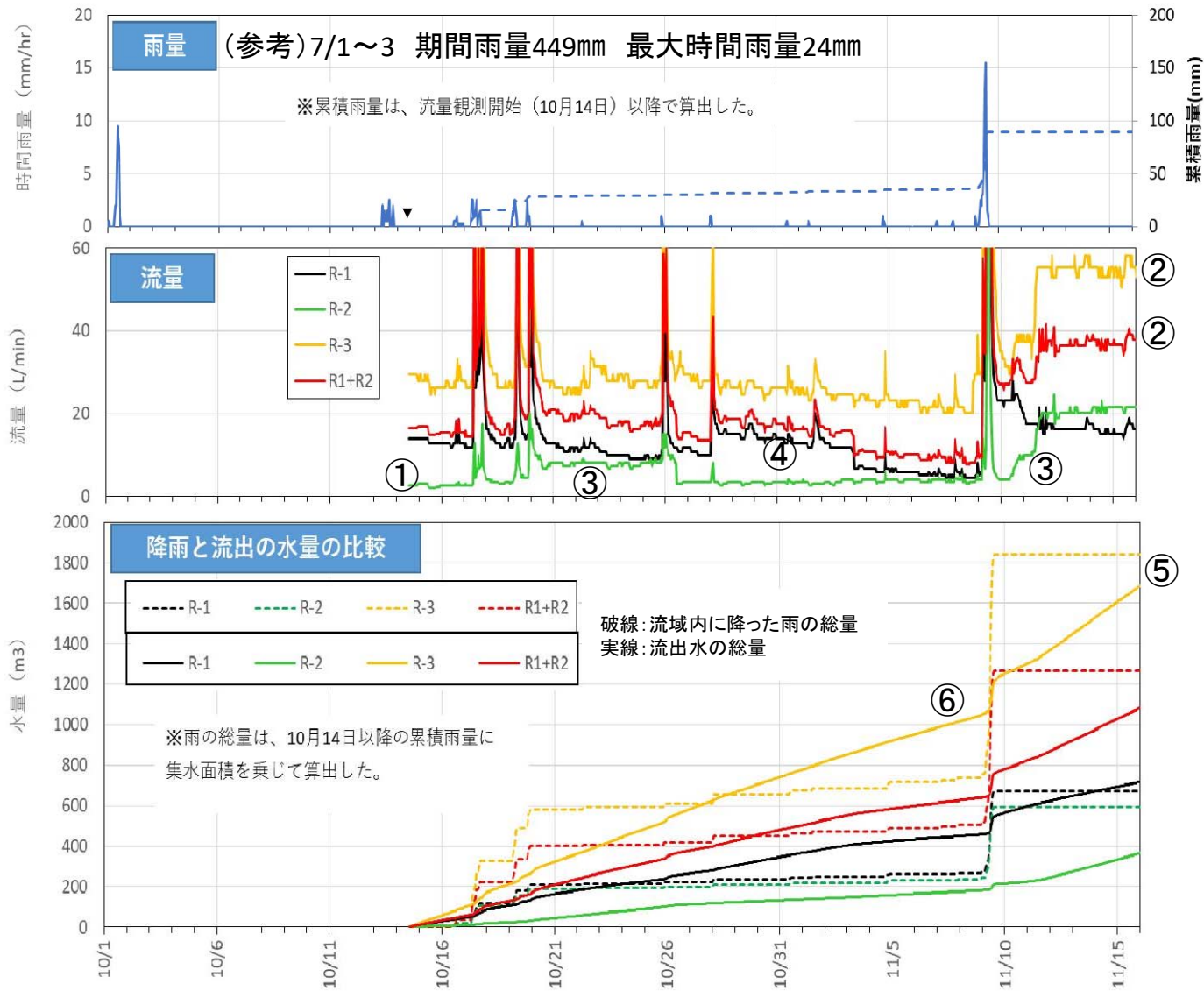


- 流量の連続観測結果より、流量変化の特徴や、雨量・流量の水量バランスを、観測点ごとに比較した。

※暗渠は災害発生後に上流域からの表面流を崩壊地内に流出させないために設置した

盛り土下端までの流域面積
R3+R5=46,684m²

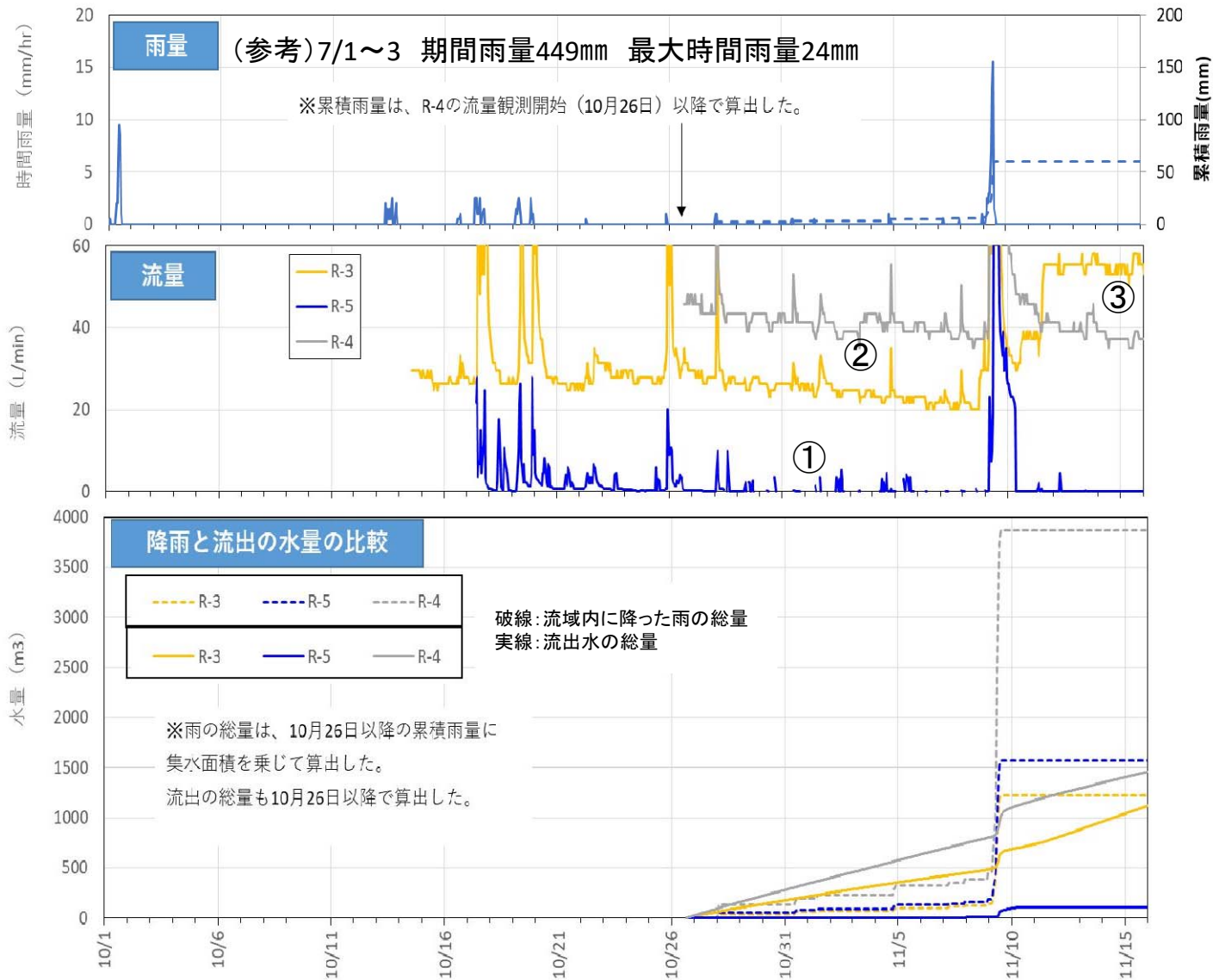
(2) 流量観測結果からの考察-1 R-1～R-3の比較



- ① R-1,2,3とも、無降雨時の基底流量(地下水流出)がある。
- ② R-1とR-2の合計(赤線)よりもR-3の方が流量が大きい。これはR-2～R-3間(排水管露出地点がある)での地下水流出を示唆する。
- ③ 大半の期間ではR-1の流量がR-2を上回るが、R-2は降雨後数日してから流量が増加し、11/12以降はR-1を上回っている。R-2では遠くの流域からの地下水が遅れたタイミングで流出していることを想起させる。
- ④ これに対してR-1は、R-2と比較して降雨後なだらかに流量が低減していることから、R-2よりも近くの流域からの地下水が流出していると考えられる。
- ⑤ 累積の流出水量(下図・実線)は概ね、期間を通じて一定の傾きであり、この程度の弱雨では地下水流出が卓越するが、それに対して強雨では、即時に反応して流量が増えることを示唆する。11/9の降雨後は傾きがやや大きくなっている。
- ⑥ 11/9の降雨の直前には、累計の流出水量が、降雨による水量を上回っている。ただし、まだ観測期間が短いため、これが他流域からの流入によるものか、評価は難しい。

※まだ観測期間が短いことに注意。より長期の観測結果を踏まえて考察する必要がある。

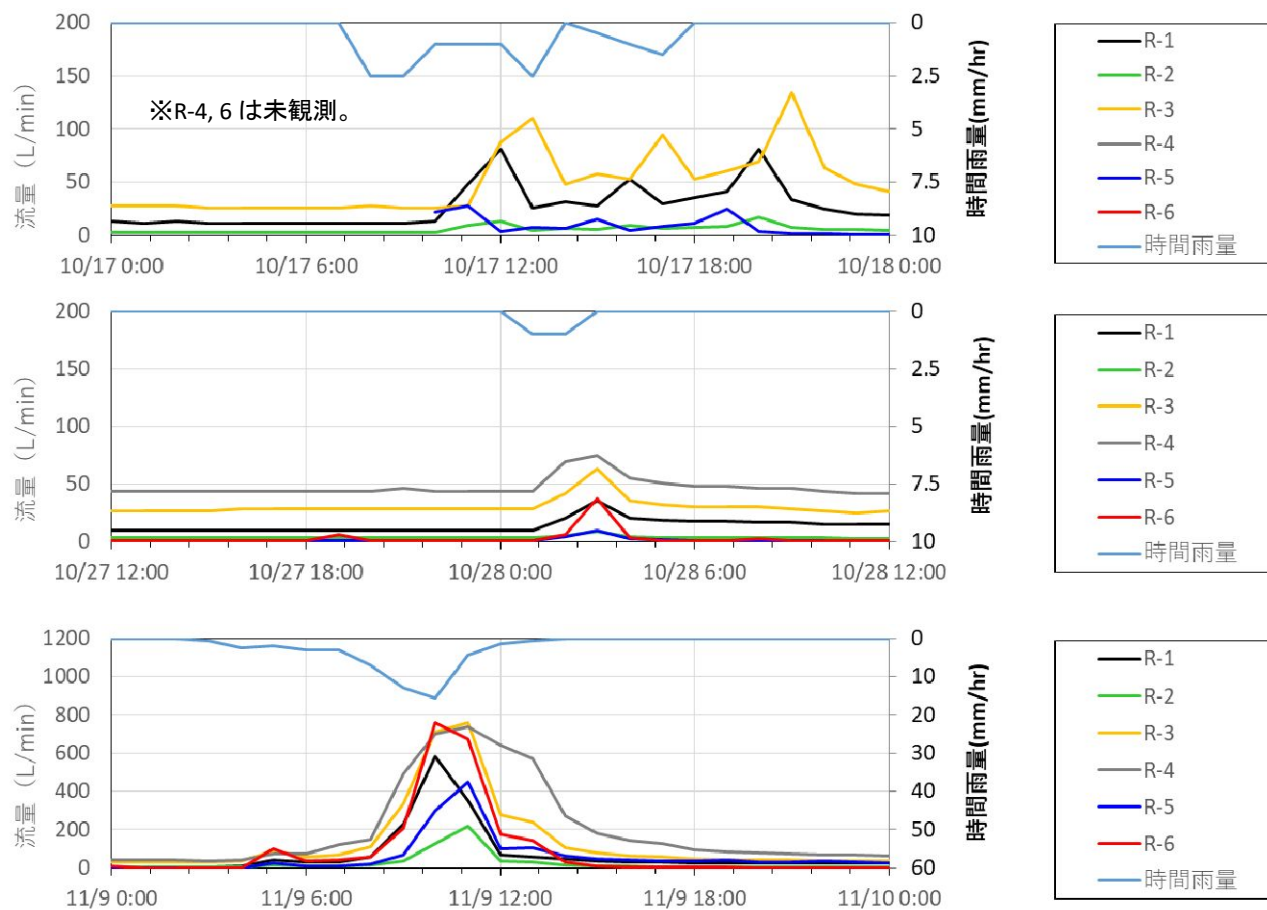
(2) 流量観測結果からの考察-2 R-3～R-5の比較



- ① R-5には基底流量がほとんど認められないことから、R-5では**表面流出が卓越**することが分かる。
 ※盛土内の№3ボーリング掘削中は、削孔排水をR-5に一時的に排水している
- ② R-3とR-4の基底流量に差があることから、R-3～R-4間でも**地下水の湧出**が示唆される。
- ③ 11/12以降、**上流のR-3の流量が、下流のR-4を上回っている**。差分の流量が途中で浸透していることになるが、計測誤差でないか今後確認を要する。

※まだ観測期間が短いことに注意。より長期の観測結果を踏まえて考察する必要がある。

(2)流量観測結果からの考察-3 降雨ピーク付近の比較



- ◆ R-1～R-6における降雨ピークからの流出ピークの遅れは、
 - 降雨強度が極めて小さいケース(上の2つの図)では、1～4時間程度。
 - 降雨強度が比較的大きいケース(最下図)では、0～1時間以内。
- ◆ このような、降雨に鋭敏に対応した流出は、表面流出と考えられる。
- ◆ 「流量観測結果からの考察-1」において、基底流量はR-2がR-1を上回ることもあったが、表面流出ではそのようなケースはない。
- ◆ 降雨強度が比較的大きい最下図では、R-6の流量が最も大きい。これは降雨強度の増加によって表面流出成分が多くなった結果、集水面積の大きさが支配的になったためと考えられる。

※まだ観測期間が短いことに注意。より長期の観測結果を踏まえて考察する必要がある。

(3) 地下水に関する考察

- 熱赤外画像の湧水点調査から崩壊斜面には多くの湧水点があることが判明した。
- ボーリング孔内の地下水の流動層測定や流向・流速観測結果より、北側の鳴沢川流域から、逢初川崩壊斜面に向かう地下水の流れが確認できた。
- これに対応して崩壊地内の流量観測R-2では、基底流量と降雨終了後数日かけての流量増加が認められ、比較的遠い流域からの地下水の流入が示唆された。
- またボーリングNo.3では、盛土と旧河床の境界付近に極めて透水性の高い地下水層が確認された。
- その下流に位置する流量観測R-1では基底流量が認められるが、R-2とは異なり、降雨後緩やかに減少しており、R-2よりも近い流域からの地下水の流出が示唆された。
- 上記より、崩壊した盛土には大きく分けて2ルート^①の地下水供給があった可能性がある。
 - 鳴沢川流域から逢初川の斜面脚部へ基岩内を通り、降雨後やや遅れて流入する地下水。
 - 上流側の盛土底面の、透水性の高い旧溪床堆積物を通り、降雨後比較的速やかに流入する逢初川の地下水。
 - このことは、電気伝導度の計測結果とも一致（逢初川のNo.1が低く、鳴沢川流域からのNo.4が高い）。

※ただし、まだ観測期間が短いため、引き続き観測を行い、より長期の観測結果を踏まえて考察する必要がある。