

第2章 現地概要

2.1 崩落地内の踏査結果

2021年8月2日、8月30日、10月11日～12日、2022年5月2日、5月18日及び7月21日に崩落地内の詳細な現地踏査を行った。現地写真位置図及び地質平面図を図2-1に示し、写真を写真①～写真⑫に示す。現地踏査結果から下記の実態を把握できた。盛り土か地山かの判定や、崩落面に見られる私道痕跡の年代については、後述する盛り土履歴調査と併せて総合的に判断した。

- 崩落地は大きく分けて、中央、左岸側及び右岸側の3つに分けられる(写真①)。中央と左岸側では崩落面が急勾配で崩土はほとんど流出しているのに対し、右岸側上部は盛り土が斜面上に残っている。
- 崩落地内の地山は褐色の礫混り砂質シルト等からなる斜面堆積物(Dt)及び変質した溶岩からなる(写真⑤)。このうち、斜面堆積物(Dt)は左岸～中央崩落地の中腹部から下部にかけて広く分布し、変質した溶岩は崩落地滞筋の斜面堆積物の直下位に確認される(写真⑥)。
- 一方、盛り土は左岸側崩落地で見られるように色調や上下関係等から大きく3つに区分できる(写真④)。最も下位に分布する盛り土(B1)は左岸側崩落地の水道管付近より下位に窪地状に分布し、碎石を主体とする。その上位の盛り土(B2)は右岸側上部にも広く残存する黒色の谷埋め盛り土で、左岸側崩落地の東側にも一部残存する。最上位の盛り土(B3)は中央部崩落地の上方斜面にも分布する褐色盛り土で、B2の上位に確認される。
- 湧水の多くは、盛り土や崩土と地山の境界から発生しているが(写真⑪⑫)、一部は盛り土内からも確認される(写真⑩)。湧水箇所は逢初川の左岸側もしくは本川沿いに多くみられ、元々の本川の滞筋と想定される箇所では、円礫を主体とする溪流堆積物層(Rd)から大量の湧水(30L/分程度;2022年7月21日)を確認した(写真⑩)。
- 中央崩落地の露頭(写真②)では、表層に盛り土が存在し、その基底には地山が露出している。上層の盛り土(B3)は茶色く、下層の盛り土(B2)は湿潤時には黒色だが乾燥時には白色となる。黒色の盛り土は均質ではなく、様々な大きさの礫や土塊を中に含み、一部には盛り土内部に湧水を示す湿りやパイピングホールが認められる(写真③)。地山の直上には1967年時点の私道の路盤と思われる碎石が認められる(写真②)。
- 左岸側崩落地の露頭は、ほぼ全て地山である斜面堆積物(Dt)と判断される(図2-1(2))。ただし崩落面内に断続的に、2009年時点の私道(現在の私道とほぼ同じ位置)と推定される路盤の一部が残っている。またそれより下方に、破断した金属製の水道管が露出しており、これは中央崩落地の層順と比較すると1967年時点の私道に埋設されていたと推定される。水道管破断面の下方は最も下位の盛り土(B1)が露出している(写真④)。崩落発生直後に地元住民がツイッターに投稿した現地撮影動画では、水が激しく噴出する様子が見られたが、それはこの水道管からの噴出であると推定される。

※この水道管は七尾調圧槽（標高 410m）からつながるもので、水道施設の記録によると破断時刻は 10:53 である。（この付近の盛り土の崩落時刻が 10:53 であることが推定される。）

- ・ 崩土内には瓦礫のほか、家庭ゴミ用のゴミ袋（静岡県外の自治体指定のもの）も確認される（写真⑬～⑮）。
- ・ 盛り土内には電柱や立木が立ったまま埋められているところも見られる（写真⑯⑰）。通常は除根の必要があるが、幹を切っただけで根が残った状態で埋められている。
- ・ 盛り土末端付近の溪床洗掘地点に、φ20cm の有孔管が確認された（写真⑱）。この有孔管の上流部への接続は確認できなかった。崩落前には、盛り土底面に排水施設として敷設されていたと思われる。現在はパイプからの出水はないが、発災前に排水が機能していたかは不明である。
- ・ 第 3 章で整理する流域界周辺の土地の改変により、崩落地の上流側において、鳴沢川流域と逢初川流域の流域界が変化した可能性がある。現地踏査時においては、鳴沢川流域から逢初川流域に表流水が大量に流入した明瞭な形跡は、見られなかった（写真⑲～⑳）。

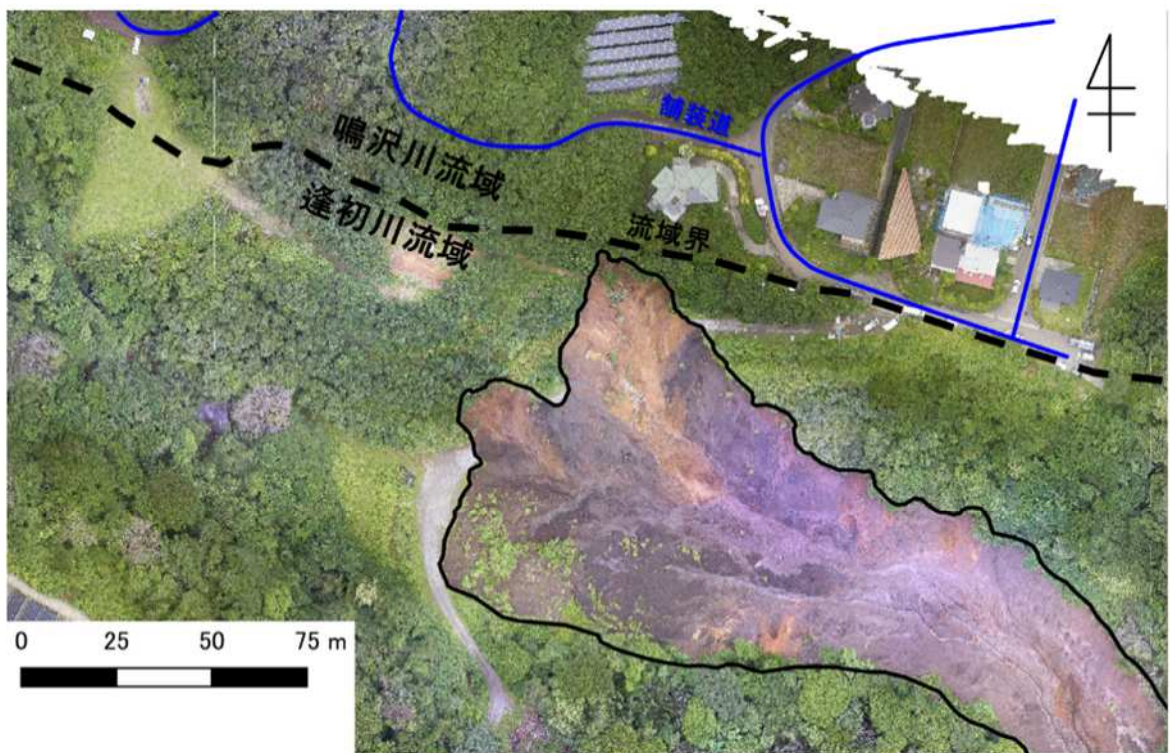
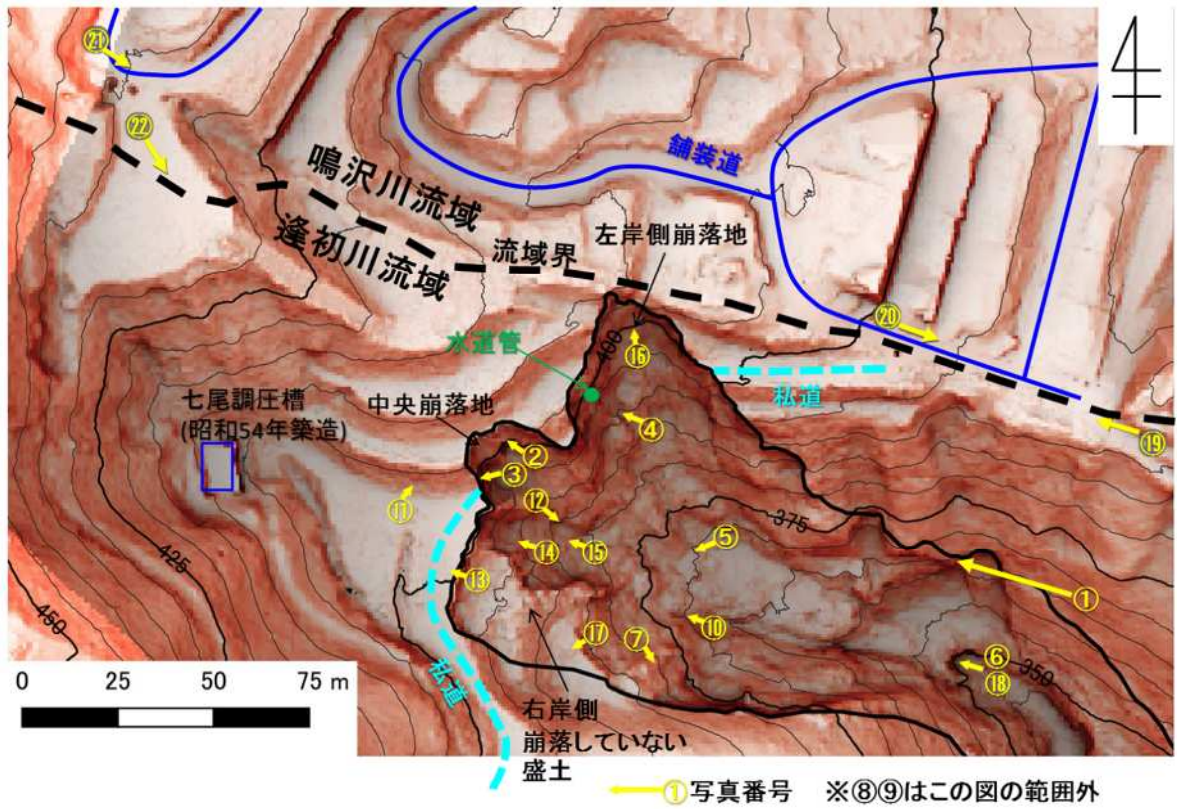
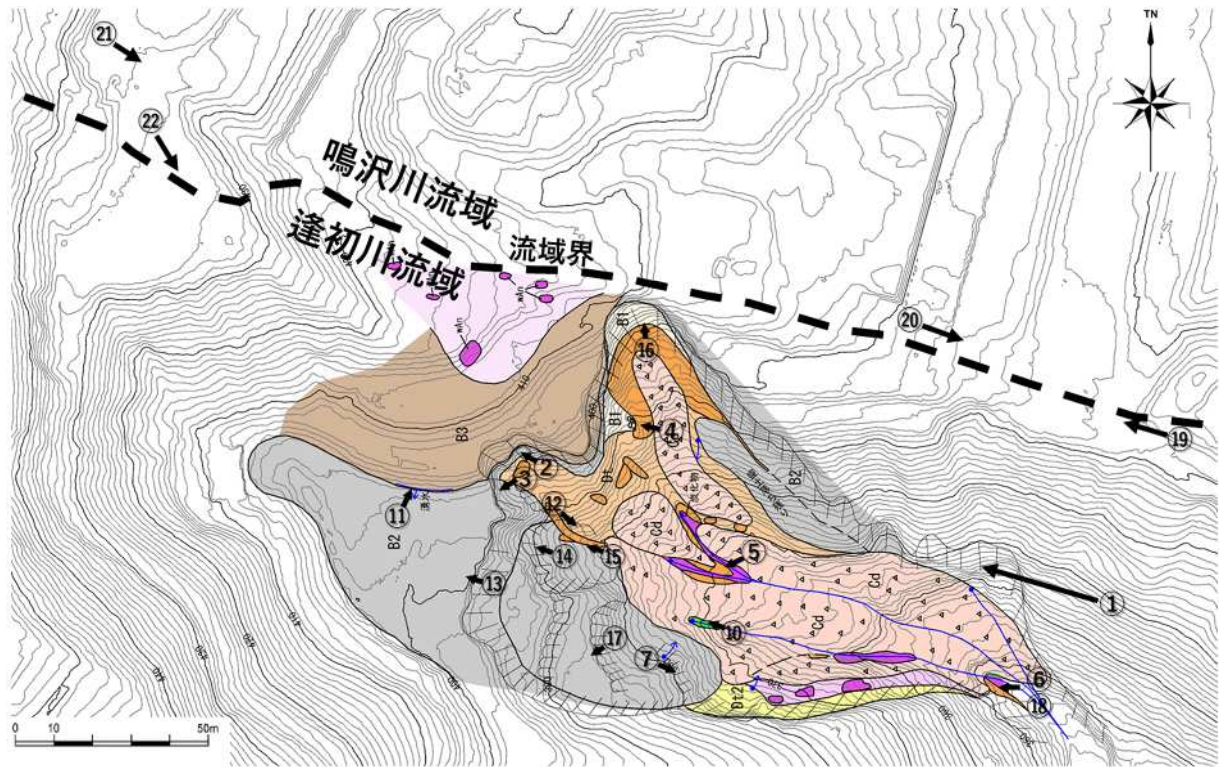


図 2-1 (1) 現地写真位置図

※流域とは、地形から推定された、ある川に降水が集まる範囲のこと、流域界は流域と流域の境



← ① 写真番号 ※⑧⑨はこの図の範囲外

凡 例

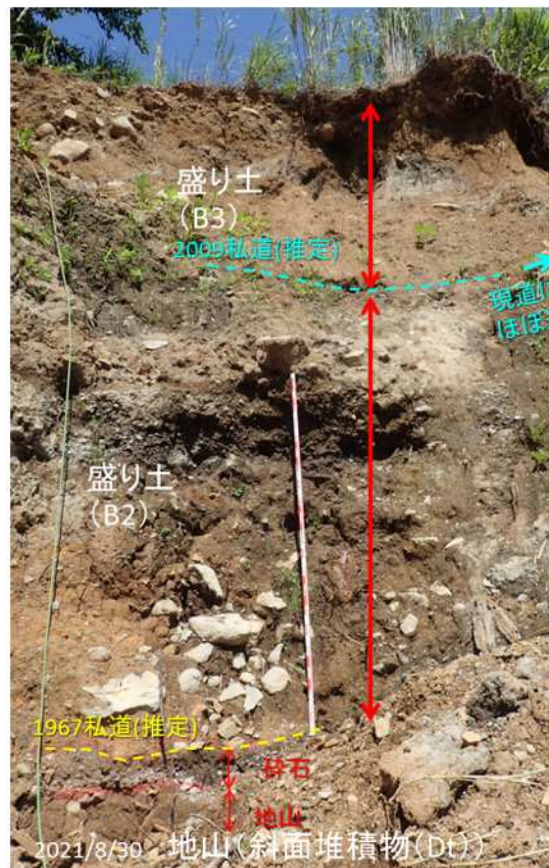
	Cd	今回崩壊・堆積した土砂
	B3	盛り土3 (褐色)
	B2	盛り土2 (黒色)
	B1	盛り土1 (褐色)
	Rd	深流堆積物
	Dt	斜面堆積物
	Dt2	斜面堆積物2
	wAn	(風化)安山岩溶岩
	水	

図 2-1 (2) 地質平面図



☒では8/2の撮影時点は湧水が見られなかったが、8/30踏査では湧水・浸みだしやパイピングホールが見られた。

写真① 崩落地全景



褐色盛り土 (B3)
現道より後に盛り土されたと思われる。

黒色盛り土 (B2)
多様な土塊を複数混合しており、不均質な土層。盛り土内部から湧水あり。

写真② 中央崩落地の露頭



写真③ 黒色盛り土内の湿りやパイピングホール

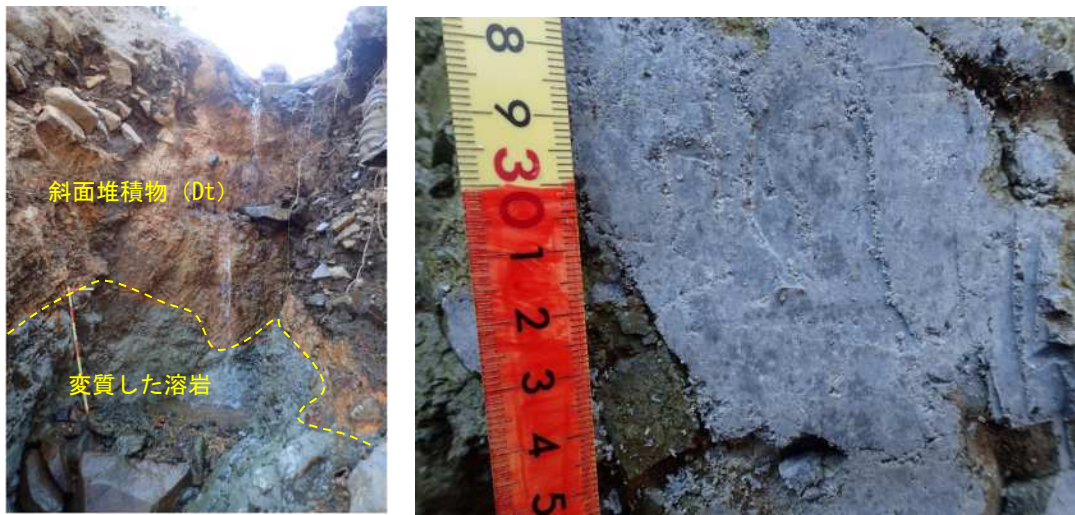
パイピングホール



写真④ 左岸側崩落地の露頭



写真⑤ 斜面堆積物(Dt)と変質した溶岩の境界部



写真⑥ 褐色斜面堆積物とその下位に露出した緑白色に変質した溶岩（盛り土下端付近の溪床）



基質は褐色砂～シルトであり、安山岩溶岩の角礫を多量に含む

写真⑦ 逢初川右岸斜面（崩落地南壁）にみられる斜面堆積物 2



写真⑧ 風化・変質を受けていない比較的堅固な安山岩（砂防堰堤よりも下流の溪床）



写真⑨ 岩戸山山頂付近に分布する風化の程度が低い溶岩（Sy）



湧水部は円礫を主体とする溪流堆積物からなる。2022年7月21日の湧水量は、30L/分程度。（湧水No.1 観測箇所P5-3、図 5-3）

写真⑩ 盛り土直下の溪流堆積物からの大量湧水



黒色盛り土(B2)と褐色盛り土(B3)の境界付近から湧水している

写真⑪ 盛り土内からの湧水



赤矢印より上は盛り土、
下は地山である。

地山は亜角礫を含む斜
面堆積物(Dt)からなる。

地山と崩土の境界で湧
水が発生し、地山の上
を流れながら(青矢印)、
地山を侵食している。

写真⑫ 地山上の湧水と侵食状況



写真⑬



写真⑭



写真⑮

写真⑬～⑮ 盛り土内にみられる廃棄物



写真⑯



写真⑰

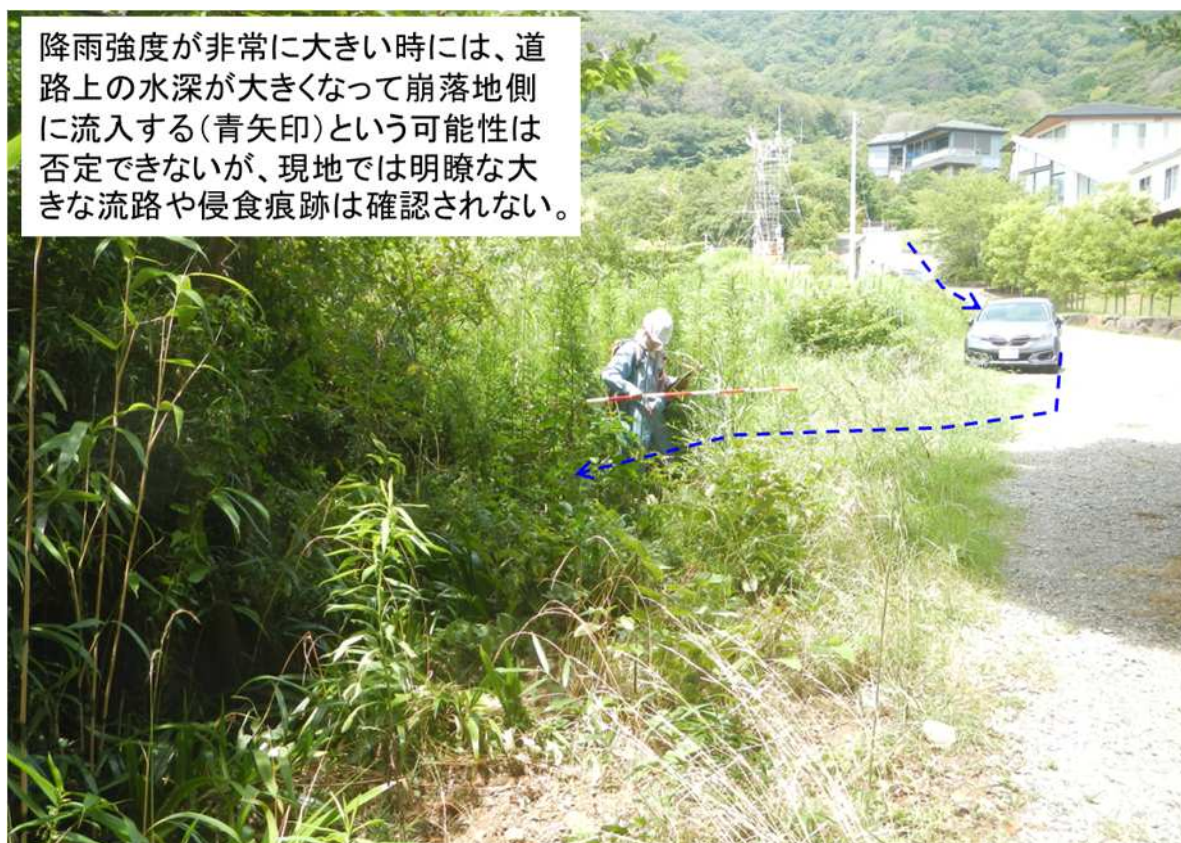
写真⑯～⑰ 盛り土内に残る、立ったままの電柱や立木

位置図

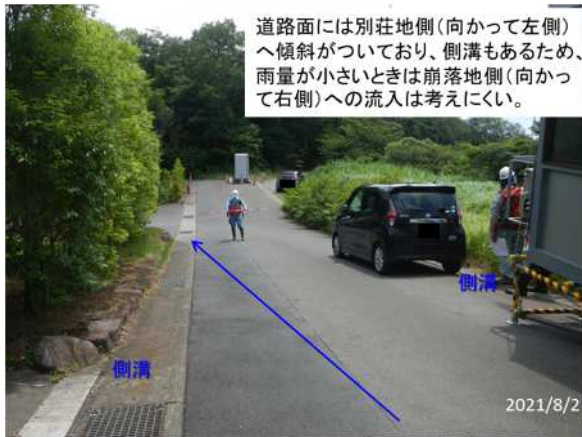


写真⑩ 崩落地下端付近に見られる有孔管

降雨強度が非常に大きい時には、道路上の水深が大きくなって崩落地側に流入する(青矢印)という可能性は否定できないが、現地では明瞭な大きな流路や侵食痕跡は確認されない。



写真⑪ 崩落地左岸側尾根上の道路



写真⑳ 崩落地左岸側の別荘地横の道路



写真㉑ 鳴沢川上流の舗装道路



写真㉒ 逢初川源頭部の盛り土平坦部

2.2 土石流流下域の踏査結果

崩落地内の踏査にあわせて土石流流下域の踏査を行った。現地写真位置図を図 2-2 に示し、流下痕跡を写真①～写真④に示す。踏査結果から下記の実態が把握できた。

- ・ 流下痕跡は左岸側と右岸側で高さが異なる。局所的に河床から 20m 程度に及ぶ（写真①）。高い流下痕跡の原因は、流下量に対する河道の断面積の狭さや、屈曲部での慣性力による乗り上げによって生じたと考えられる。
- ・ 砂防堰堤では中央部が盛り上がるように土砂堆積し、水通しがほとんど埋没している（写真②）。水通し上の堆積勾配は 42° と非常に大きい。
- ・ 砂防堰堤下流側に約 90m に渡って、右岸斜面の高い位置に流下痕跡が残っており、これは河道の屈曲による流向変化と慣性力によるものと考えられる。（写真③、写真④）。また、その末端には高い位置に土砂・流木堆積面があることから、一時的に河道内に土砂堆積し、その後の土石流または流水によって二次侵食された可能性がある。
- ・ 第 4 章 (4.2) に述べる流下実態から見て、10:55 に住宅街に達した土石流（第 2 波と推定される）は、土砂量・水分量が非常に大きかったように見えることから、仮に第 1 波により、一時的な河道内の土砂堆積やそれに伴う水の貯留が形成されていたとしても、第 2 波がそれらを次々に落とした可能性がある。よって、一時的な河道内の土砂堆積が形成されていたか否かについて、推定は困難である。

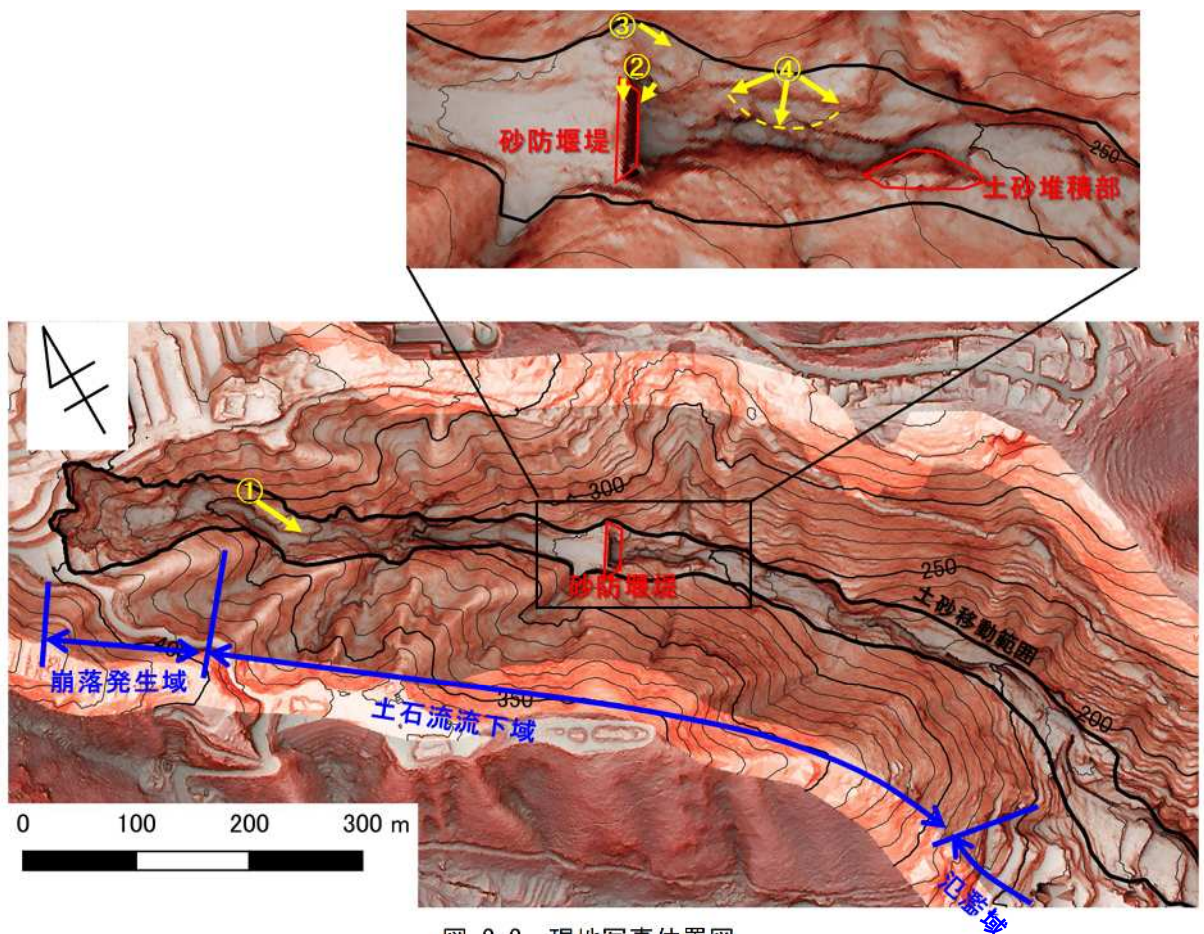


図 2-2 現地写真位置図



崩落地直下は河道が狭く、かつ屈曲している。流量に対して河道断面が狭いことと、屈曲部で慣性力が働くことにより、土石流が高い位置まで達したと思われる。

写真① 崩落地直下の流下痕跡



写真② 崩落地から約 400m 下流にある砂防堰堤



写真③ 砂防堰堤の下流右岸の流下痕跡



写真④ 砂防堰堤の下流右岸の流下痕跡と土砂堆積状況

2.3 ドローンによる湧水点調査

崩落地内には、崩落発生直後から多くの湧水点が認められた。これらの湧水点の分布は、盛り土の崩壊メカニズムを推定するために重要である。

一方、崩落地内には降雨や湧水による多数の雨裂¹も生じているが、現地での目視だけでは、湧水によるものか、降雨のみによるものかの判断が難しい。そこで、晴天時及び降雨後にドローンに搭載した熱画像カメラで崩落地内を観測し、湧水及び流水の分布を把握した。

2.3.1 調査方法

熱画像を用いて流水や湧水を把握するには、流水や湧水と、乾燥した地盤との温度差があることが望ましい。当初計画では、晴天時及び降雨後に、(1)日照の影響の少ない早朝、(2)日照により地盤が温まった日中、の計4回(2日間)の観測を予定したが、日中撮影では日光の当たる場所とそうでない場所の温度差が大きくなりすぎ、流水や湧水の判読が困難であった。そのため、日中観測は9月13日の1回のみとし、先行降雨条件が異なる早朝観測3回と合わせ、計4回の観測を実施した。表 2-1 に観測実績を示す。

観測に用いた機材は、DJI 社の Zenmuse H20T に搭載された放射分析サーマルカメラである。

表 2-1 観測実績

	観測日	撮影時刻	条件	気温	先行降雨	熱画像撮影	オルソ画像 ² 作成
1回目	2021年 9月13日	早朝(7:00~)	晴天時	21℃	4日前に累積41mm 1日前に累積0.5mm	○	○
2回目		日中(10:30~)		24℃		○	×
3回目	2021年 9月20日	早朝(5:30~)	降雨後	18.5℃	1日前に累積60mm (台風14号)	○	○
4回目	2021年 10月2日	早朝(5:30~)	降雨後	17.7℃	1日前に累積75mm (台風16号)	○	○

※9月13日の日中観測(第2回観測)では、砂防堰堤の除石に伴うヘリコプターが運行されていたため、低高度での観測のみ行った。そのため、第2回観測では熱画像のオルソ画像²は作成していない。



図 2-3 観測日と時間雨量・気温

¹ 地表面を流れる雨水の侵食などで地表面にできた溝状の地形。「ガリ」または「ガリー」とも言う。
² 写真のひずみ等を除去し地図と重ね合わせできるようにしたもの

図 2-4 に熱画像の例を示す。本調査における観測では、崩落地内の湧水や地表面温度の実測を行っていないため、温度そのものではなく相対的な温度差として表示している（熱画像内の最低温度～最高温度をカラーパレットに割り当て）。可視画像とあわせて観察することで雨裂内の水の有無を判別することができ、面的な湿潤部も可視化することができた。

なお、崩落地内で流水が始まる地点を湧水点とした。

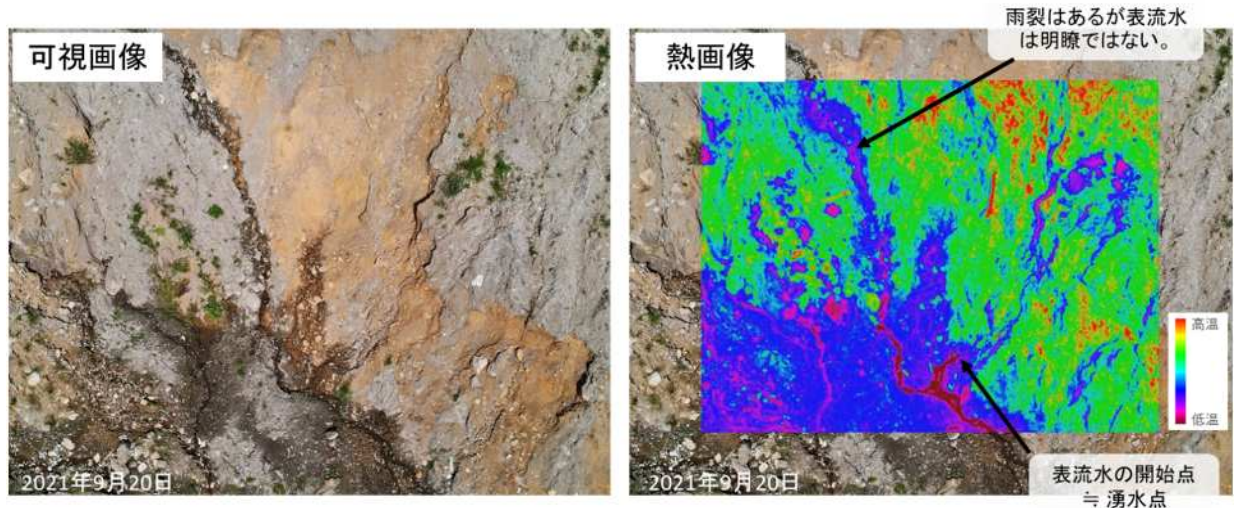


図 2-4 熱画像の例

2.3.2 調査結果

図 2-6～図 2-8 に9月13日、9月20日、10月2日の熱画像を示す。観測ごとに相対的に着色しているため、同じ色が同じ温度を示すわけではないことに注意が必要である。

9月13日については地表面温度に対し地下水及び表流水の温度が相対的に低く、9月20日と10月2日は地表面温度よりも地下水（表流水）温度が高くなっている。晴天時の9月13日は判読できる流水や湧水が最も少ない。最も先行降雨が多い10月2日は流水や湧水が最も広く分布し、崩落地最上部付近からの湧水も可視化されているが、一方で全体が湿潤になっており、湧水点を明確に把握することは困難である。

このため、中程度の先行降雨のあった9月20日の熱画像の判読により湧水点（流水開始点）を抽出し、そのうち晴天時の9月13日にも認められるものを「常時あり」とした。9月20日に認められるが9月13日に認められないもの、および、9月20日では不明瞭だが10月2日では確認できたものは「降雨後のみ出現、又は不明瞭なもの」とした（図 2-5）。湧水点の判読にあたっては、熱画像のほか、同時に撮影した空中写真から作成したオルソ画像（図 2-9）も参考とした。

作成した湧水地点分布図を図 2-10（背景：オルソ画像）、図 2-11（背景：崩落後地形）に示す。抽出した湧水点（82箇所）のうち、約70%にあたる57箇所が逢初川左岸側に分布する。湧水点と1967年地形（DSM 標高データから作成）を重ね合わせると（図 2-12）、左岸の谷地形部分に多くの湧水点が位置していることがわかる。このことは、北側の鳴沢川流域からの地下水が、相対的に標高の低い逢初川側に流入動・湧出している可能性を示唆している。これらの地形判読や熱画像の解析から、逢初川は他流域（特に鳴沢川流域）からの地下水流入が多い溪流であると推定できる。

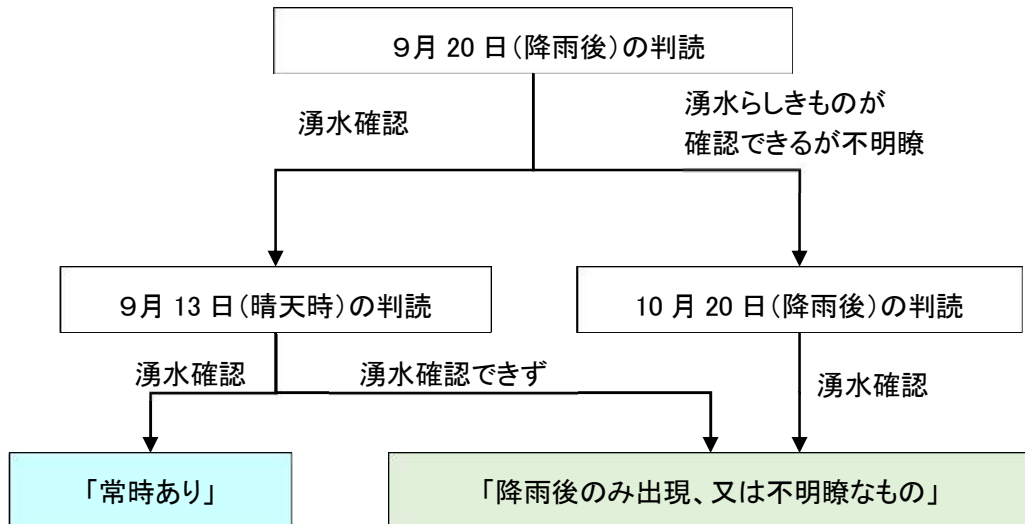


図 2-5 湧水点の区分フロー

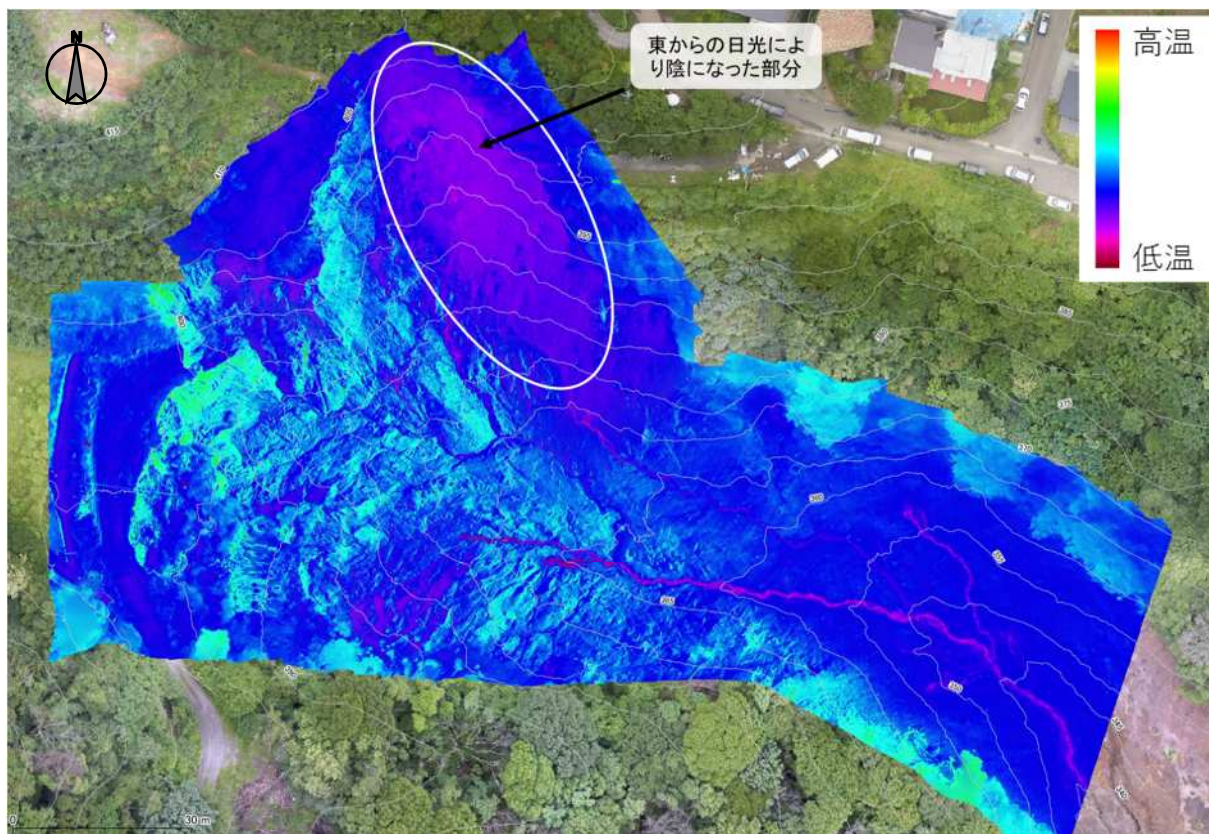


図 2-6 崩落地内の熱画像 (2021年9月13日早朝)

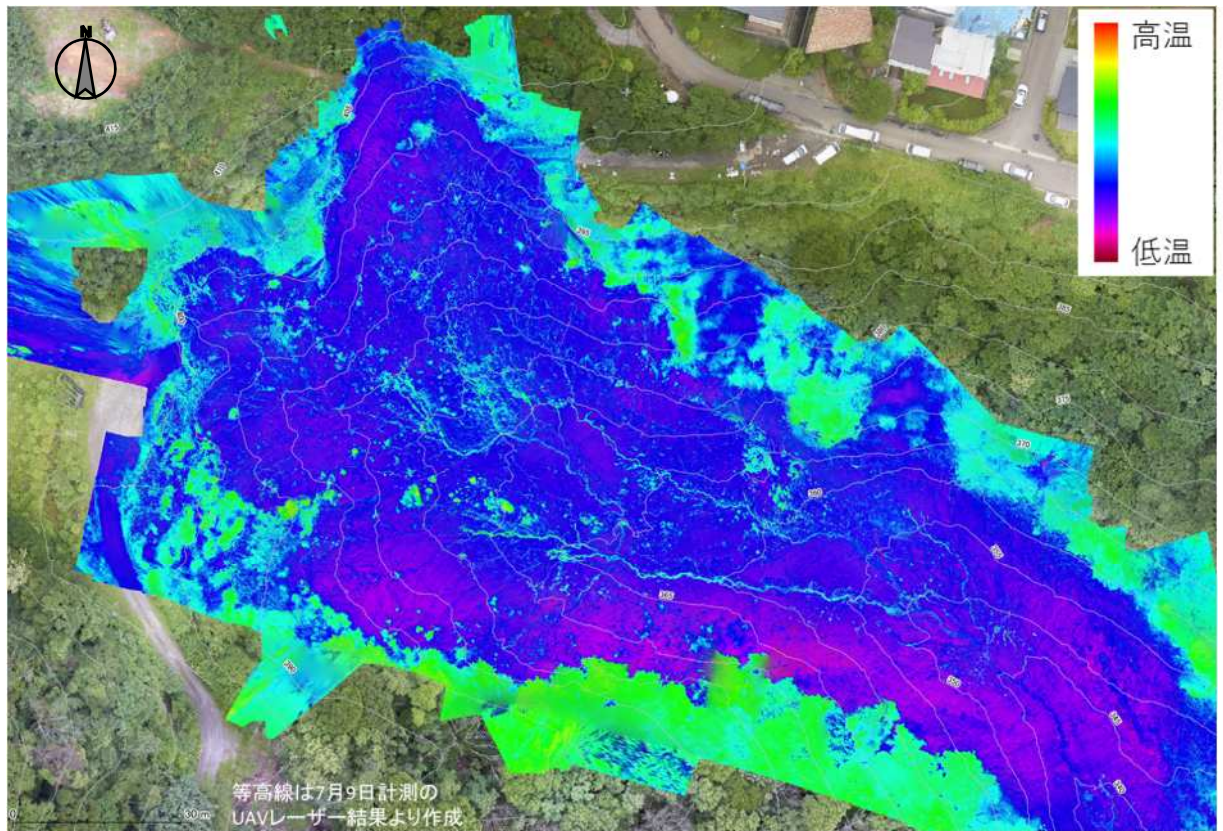


図 2-7 崩落地内の熱画像（2021 年 9 月 20 日早朝）

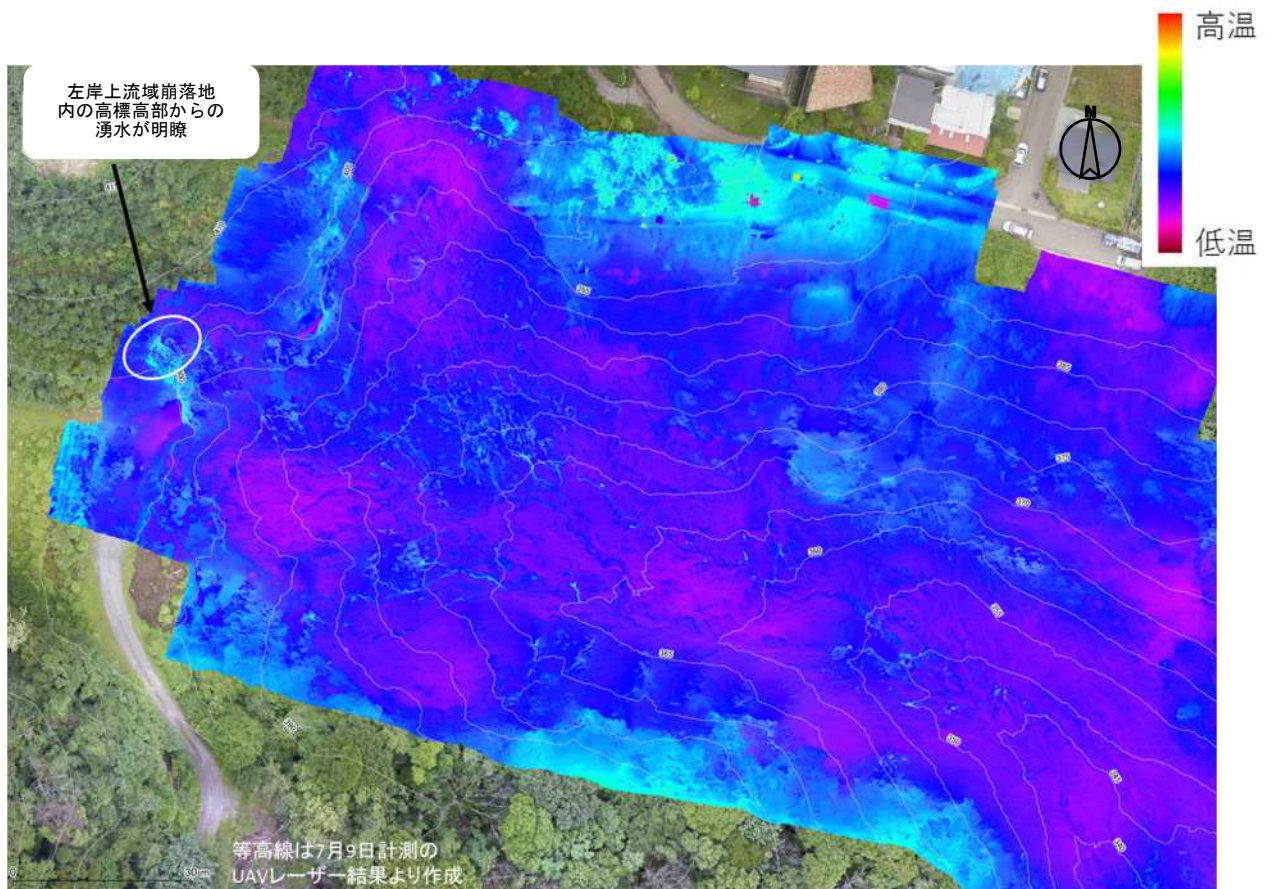


図 2-8 崩落地内の熱画像（2021 年 10 月 2 日早朝）



図 2-9 参考：オルソ画像（2021年7月9日）

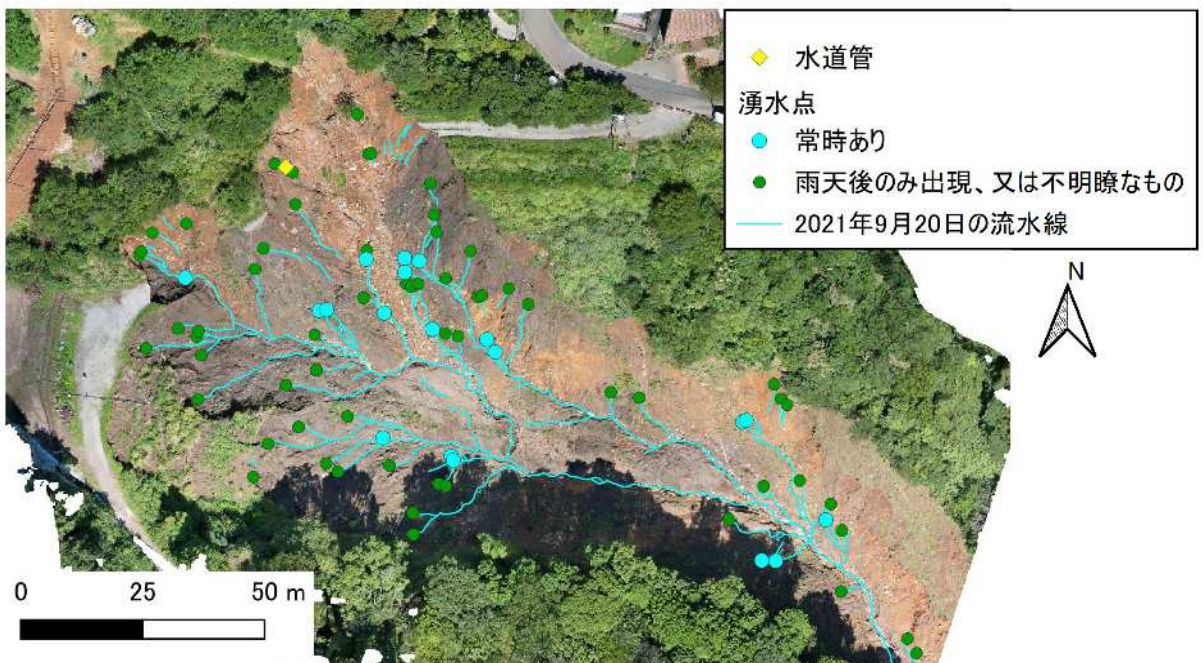


図 2-10 湧水地点分布図（背景：2021年9月10日オルソ画像）

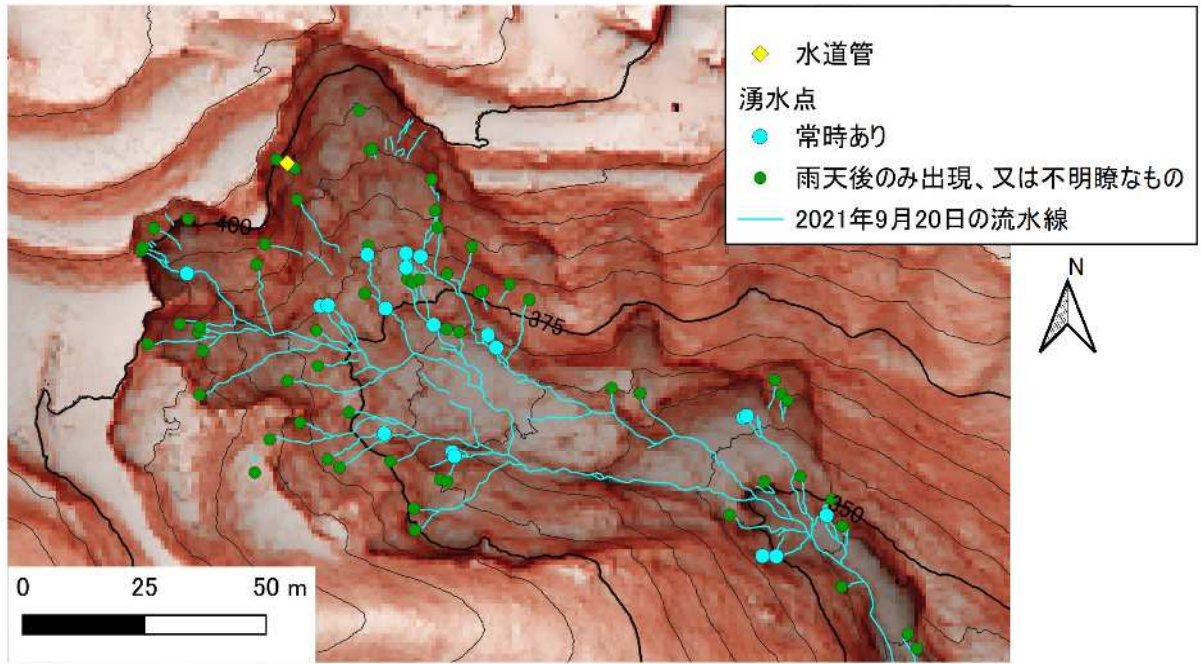


図 2-11 崩落後湧水地点分布図（背景：崩落後地形）

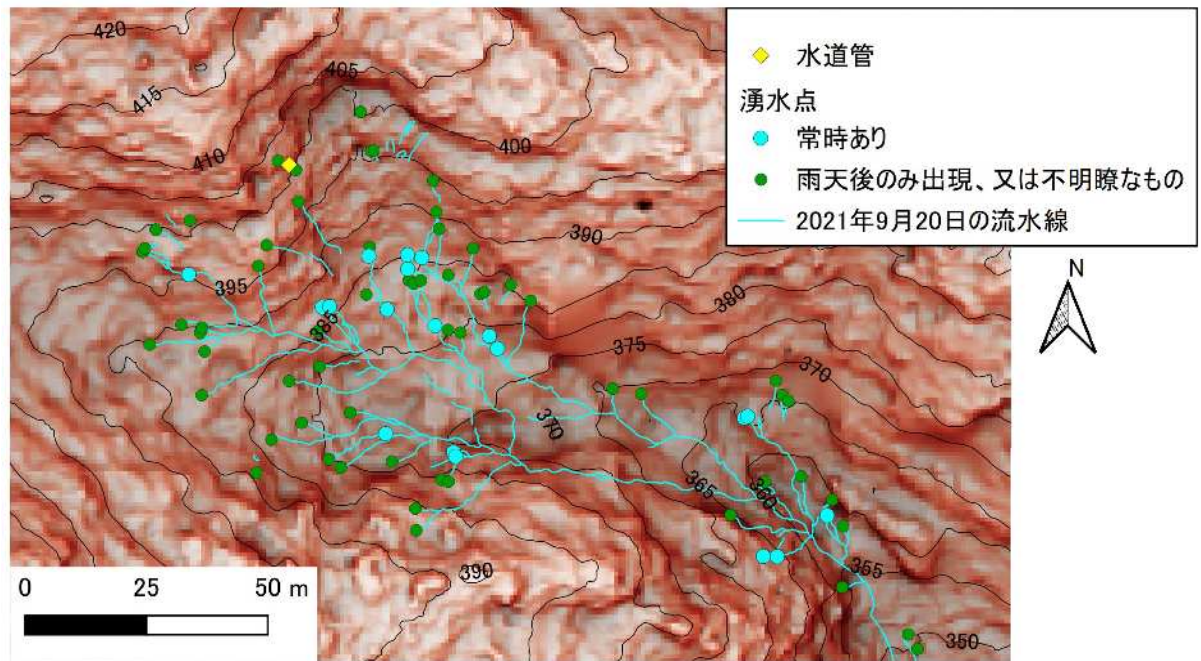


図 2-12 崩落後湧水地点分布図（背景：1967年地形との重ね合わせ）

2.4 源頭部の水道管からの漏水の可能性と源頭部水道管の切断時刻

(1) 源頭部水道管からの漏水の可能性

今回崩落した箇所には、熱海市が管理している水道管があり、七尾調圧槽から七尾第2配水池へ配水している。

土砂の崩落より前の時間に水道管からの漏水があった場合は、水道管からの漏水が、崩落に寄与したこともあり得る。よって、崩落前後の水道管の漏水の可能性を確認するため、水道管理者へのヒアリングや水道施設の水位記録等の調査を行った。

熱海市の水道経路は、図2-15のとおりであり、七尾地区には、七尾調圧槽—七尾第2配水池（柿田川水系）から配水する系統に加え、泉浄水場—七尾第2配水池（泉水系）から配水する系統の2系統で水道水が供給できるようになっている。

熱海市では発災前に以下の配水の切り替えを実施している（図2-14参照）。

- ・ 7月1日10時頃から泉水系に切り替えのため、柿田川水系の流入を停止した。
- ・ 7月2日16時頃に泉水系の水質が悪化（降雨により原水濁度が上昇）したため、再び柿田川水系に切り替え、七尾調圧槽から七尾第2配水池への送水を再開した。

7月1日10時～2日16時までの送水を停止していた間の七尾調圧槽の水位変化はごくわずかであり、七尾方面への送水流量にも変化がないことから、この間に漏水はなかったと考えられる。

7月2日16時の送水の再開後から7月3日10時53分までの七尾調圧槽の水位変化や七尾方面への送水流量は、送水が行われていた7月1日10時以前の傾向と同様である。よって、7月3日10時53分までの間は、漏水はなかったと考えられる。

(2) 源頭部水道管の切断時刻

図2-14に示すように、七尾調圧層（標高410m）の水位は10時53分に急低下している。この時に源頭部水道管（標高395m程度）が切断し、水が噴出したものと推定される。下流域の第2波は10時55分に観測されてることから、源頭部の水道管付近の崩落は10時53分であると推定される。

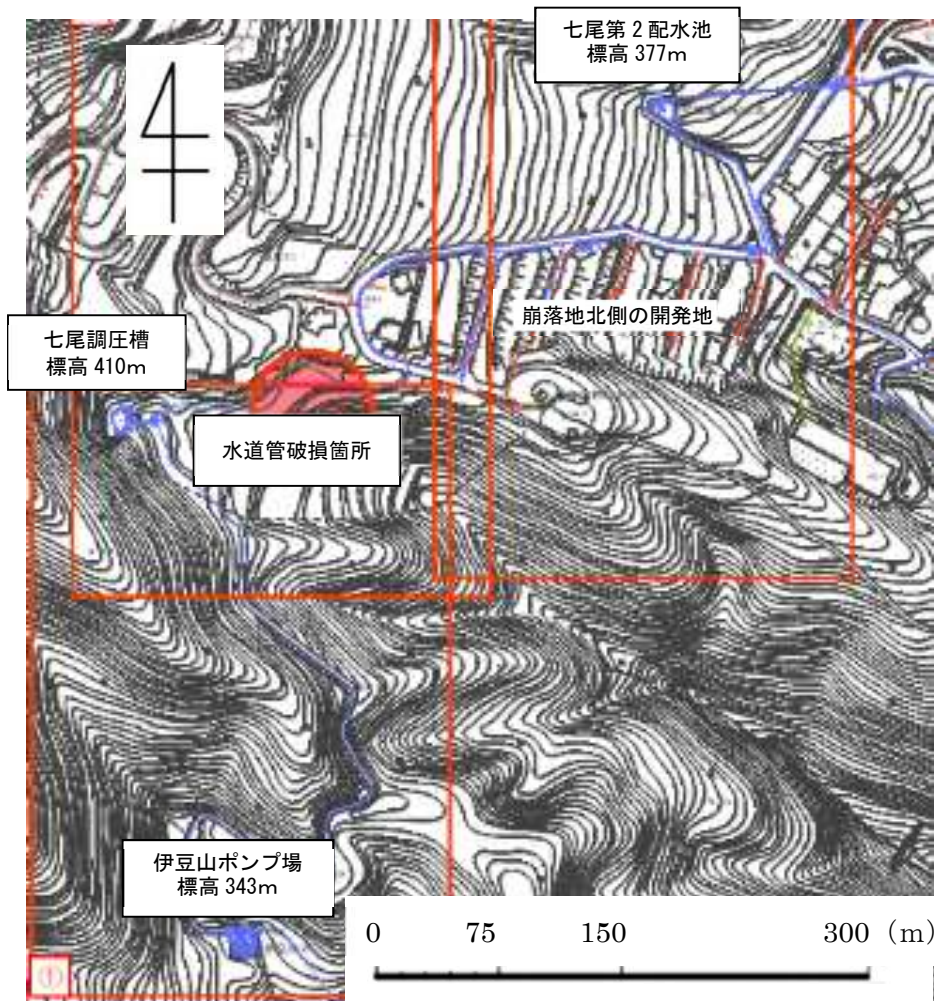


図 2-13 水道施設位置図

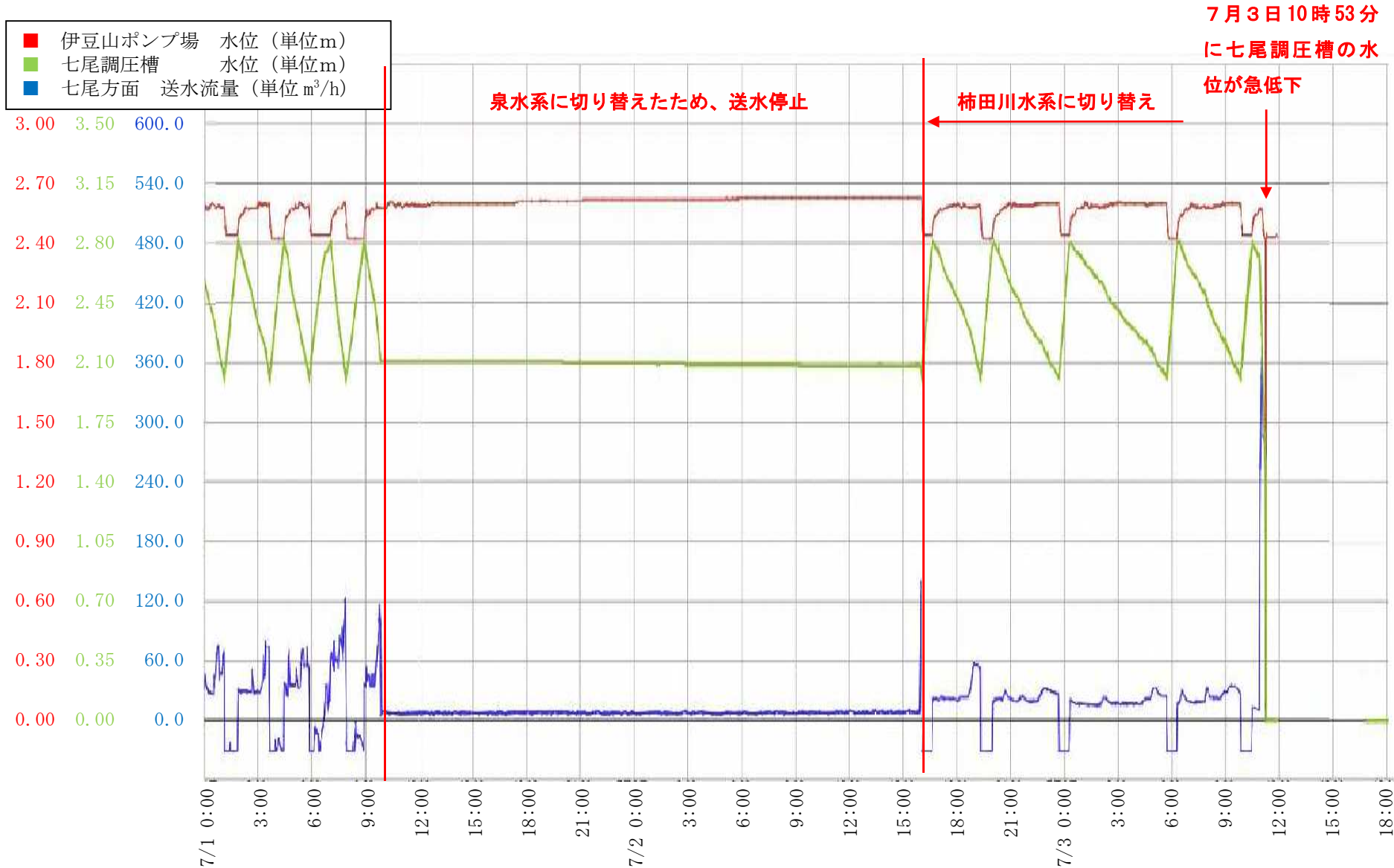


図 2-14 七尾調圧槽等水位図(熱海市資料に加筆)

※七尾方面 送水流量は、流量計の点検を実施していないため参考値

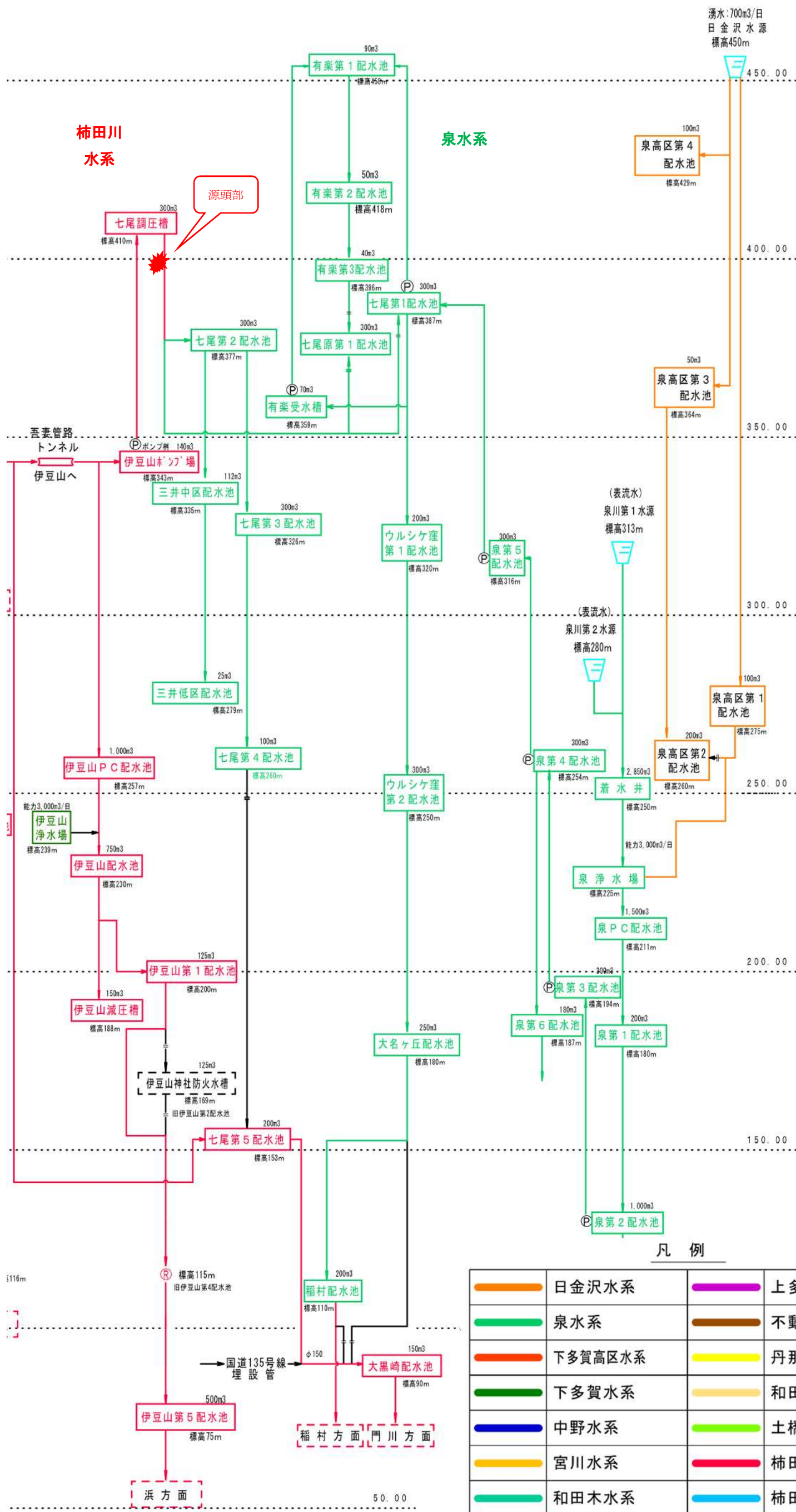


図 2-15 熱海市水系経路全図 (熱海市 HP より抜粋)