



なる。高橋<sup>9)</sup>によると崩壊土砂が流動化するには崩壊土砂量と同程度の水分量が必要とされており、5万m<sup>3</sup>以上の土砂が流動化するために必要な水分量の半分にも届かない。したがって静岡県逢初川土石流の発生原因調査検証委員会が指摘するように集水域の外、つまり別の集水域からの流入が影響したと考えられる。

図-1は航空レーザー測量から得たDEMデータを図化したものであるが、この図を注意深くみると図中に加筆した3カ所の矢印部分には北側の造成地から逢初川に向かう流路が形成されていることがわかる。流路の末端は崩壊した盛土の末端部に向かっており、2019年当時から北側造成地から表流水の流入があった可能性が示唆される。

源頭部周辺では7カ所で土地改変が行われている。静岡県の公表資料<sup>7)</sup>によると、土地改変がそれぞれカッコ内に示す通り、行われた。①土砂の盛土(2007～2011年)、②太陽光発電施設(2016～2017年)、③緊急伐採(2016年)、④北西部宅地造成(2002～2010年)、⑤北東部宅地造成(2003～2006年)、⑥産業廃棄物投棄(2009年以降)、⑦土砂投棄(2021年)。

本研究ではこれらの土地改変が源頭部付近の表流水の流下過程に変化をもたらせた可能性があるのではないかと考え、2019年に静岡県が取得している詳細なDEMデータを用いて、地形改変前後の雨水流出過程の変化について数値解析により分析し、源頭部付近で行われた地形改変の危険性について考察する。

## 2. 解析方法と計算ケース

### (1) 解析対象範囲と地形データ

解析対象範囲は図-3に示す逢初川の集水域全体と北側に隣接する鳴沢川の集水域の一部を含む範囲(1134m×784m)である。地形データとしては静岡県提供の50cmDEM(2019年12月11日取得のLPデータから作成)と国土地理院の5mDEM(標準地図より補間されて作成されたと考えられる)から平均及び空間内挿により、



図-2 源頭部周辺の土地改変(静岡県資料<sup>6)</sup>)

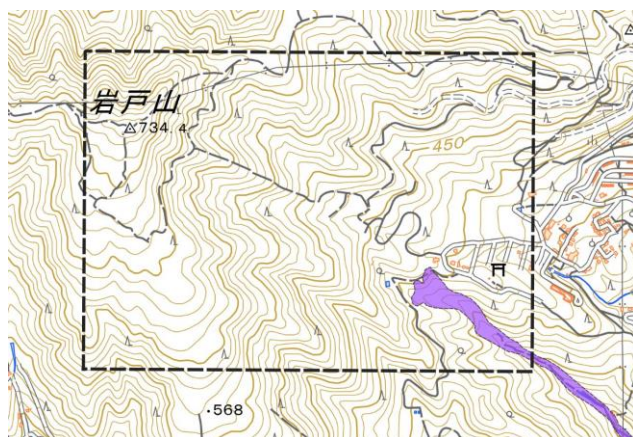


図-3 解析対象範囲

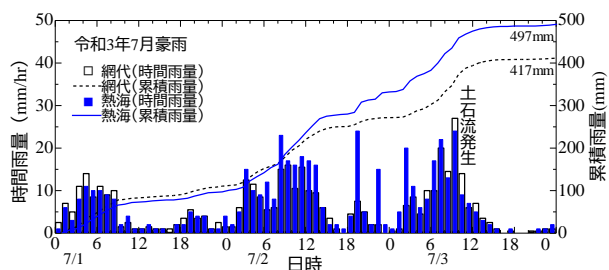


図-4 熱海市付近の降水状況

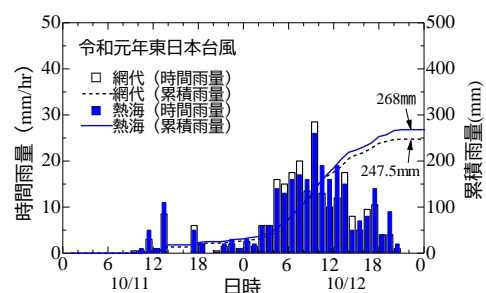


図-5 令和元年東日本台風時の降水状況



2m メッシュデータを作成した。前者を土砂崩壊前地形，後者を盛土や宅地造成前に相当する造成前地形と呼称する。

## (2) 降雨条件

逢初川と鳴沢川の集水域付近での降雨観測は網代（気象庁，熱海市網代）と熱海（静岡県，熱海市水口町）で行われている。7月1日0時から3日にかけての今次災害時の降水状況を図-4に示す。3日間にわたり数mm～20mm超の雨が続き，集水域により近い熱海の雨量は3日間で497mm，網代は417mmの雨を記録している。集水域の北側に位置する箱根観測所の期間内雨量が830.5mmと最高値を記録し，箱根に近づくにつれて雨が強く降っていることを考慮し，解析には熱海観測所の雨量データを用いる。

また，2年前の令和元年10月には伊豆，関東，東北に大きな被害をもたらした台風19号（令和元年東日本台風）が伊豆地方に大雨をもたらしており，この豪雨時の状況と比較するため，令和元年東日本台風時の降水状況（図-5）についても対象降雨として解析する。令和元年東日本台風では凡そ24時間で約270mmの雨を記録している。対象域の大半を占める森林域の流出係数は0.3とした。

## (3) 計算手法

数値解析には雨水流出と洪水氾濫解析に適するAFREL-SR(ニタコンサルタント(株))を用いた。計算格子は2m×2mの正方形メッシュで2021年7月1日0時から3日11時までの59時間をタイムステップ0.05sで計算した。このソフトウェアは故岡部健士教授が徳島大学環境防災研究センター長在任中に，平面2次元浅水流方程式を時間方向には風上差分，空間方向にはスタカードメッシュを用いた中央差分形式で離散化して作成したOKABEエンジンを基にして，ニタコンサルタントが改良を加えたものである。本計算では北側隣接地内の雨水下水路の考慮が必要であるが，このソフトウェアでは図-6に示すように雨水下水路を考慮した計算が容易にできるのが特徴である。北側の造成宅地には上ぶた式U字側溝が設置されており，現地での簡易計測をもとに幅0.5m，深さ0.4m，上ぶたからの流入率は10%と仮定して計算に用いた。なお，森林域のマニングの粗度係数は0.06とした。

## (4) 計算ケース

計算ケースは令和3年7月豪雨の降雨に対して，造成前地形と土砂崩壊前地形の2ケースに加えて，令和元年東日本台風時の降雨に対して，土砂崩壊前地形でのケースを加えた計3ケースを実施し，流出特性の比較検討を行う。なお，令和元年東日本台風を対象とした計算では降雨の始まる2019年10月11日9時から12日21時までの36時間を計算対象期間とする。

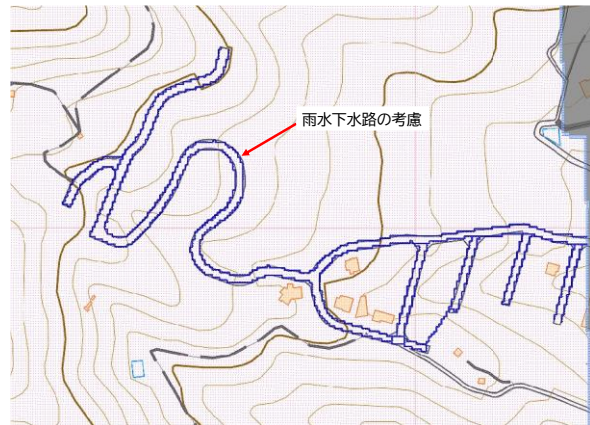


図-6 北側隣接造成宅地内の雨水下水路（側溝）の考慮

# 3. 解析結果

## (1) 最大浸水深分布

令和3年7月豪雨に対して，造成前地形と土砂崩壊前地形で計算した最大浸水深分布を図-7，図-8に比較して示す。両者の地形再現精度や分解能が異なるため，随所で違いがみられるが，特に図-8中に丸で囲んだA付近（図-2，④北西部宅地造成エリア），B付近（図-2の⑤北東部宅地造成エリアの西端部），C付近（図-2，⑤北東部宅地造成エリアの南端部）では造成前地形では見られない水の流れがあることが示唆される。A付近の水流は元々谷の下流側で鳴沢川に合流してい



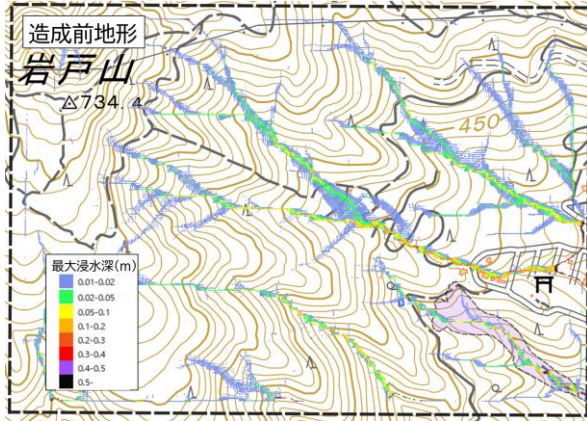


図-7 最大浸水深分布（造成前地形）

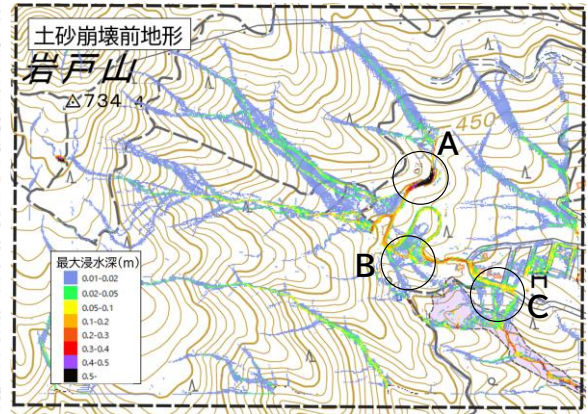


図-8 最大浸水深分布（土砂崩壊前地形）

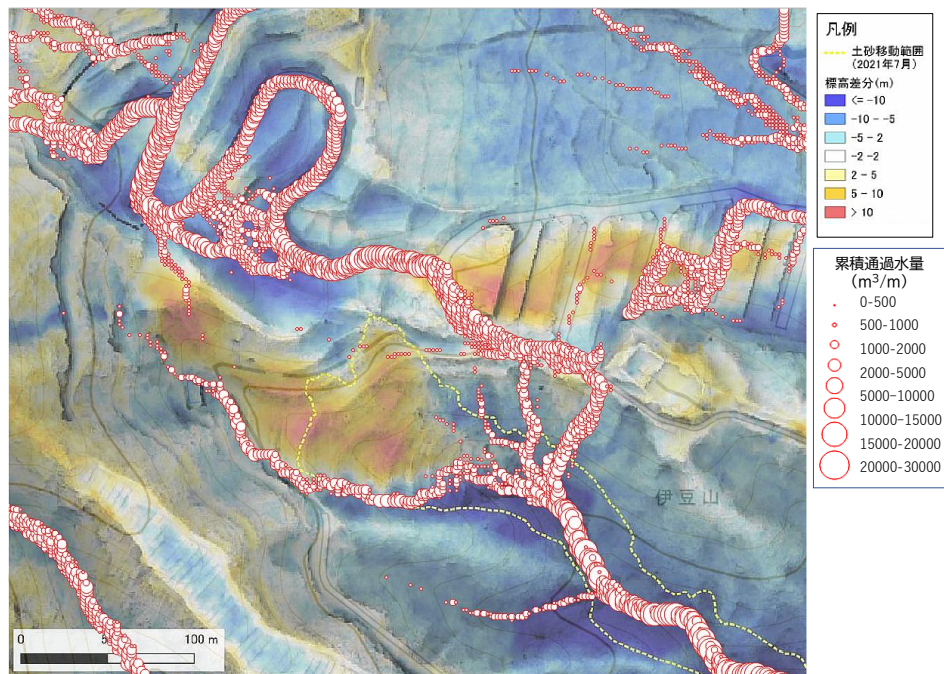
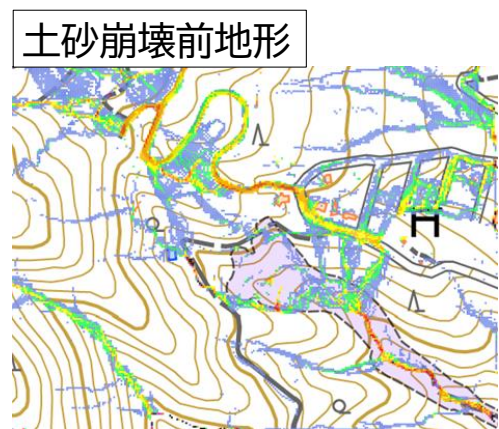
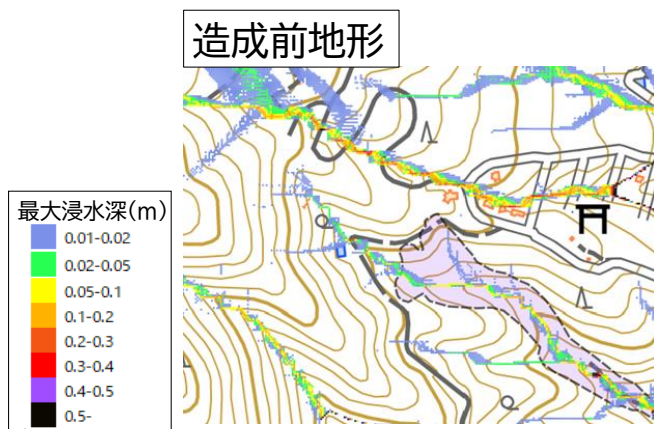


図-10 累積通過水量の計算結果（土砂崩壊前地形）

たものが④の造成に伴い、⑤の宅地造成エリアを通過して鳴沢川に流れるように変わったことを示している。また、B、Cについては鳴沢川と逢初川を区分する分水嶺付近での地形改変により、鳴沢



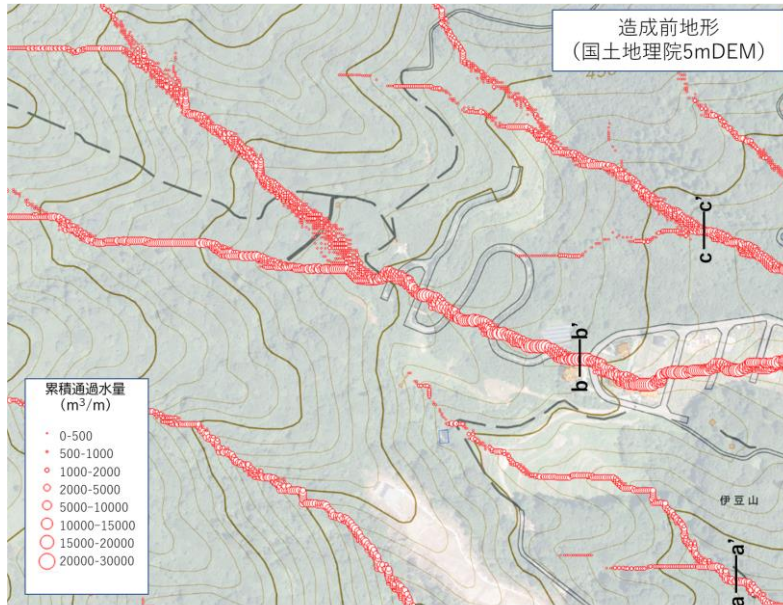


図-11 累積通過水量の計算結果（造成前地形）

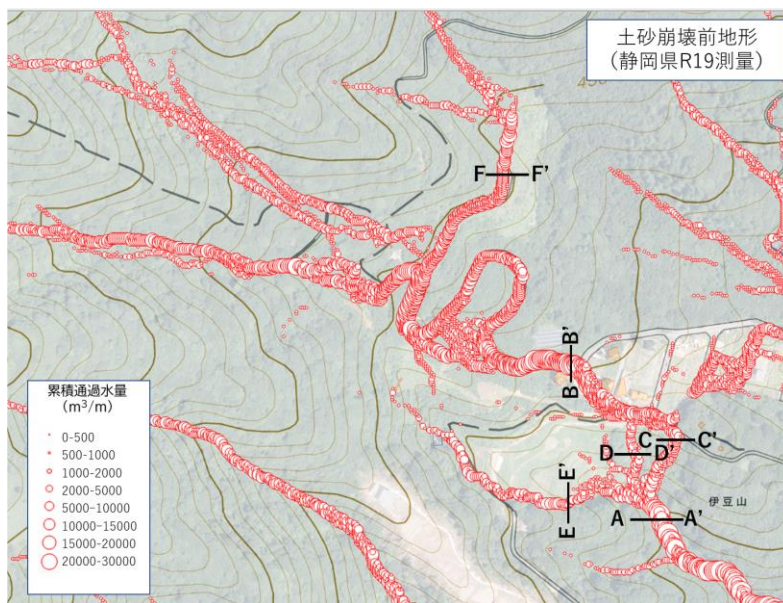


図-12 累積通過水量の計算結果（土砂崩壊前地形）

川流域から一部の雨水が逢初川に流下している状況を示すものと思われる。BとC付近を詳しく見るために、この付近を拡大して図-9に表示した。Bからは盛土の上端部付近へ、Cからは盛土の末端部に流下している様子が確認される。

## (2) 累積通過水量

最大浸水深ではベクトル情報がないために通過する水量の大きさがわからない。そこで、10分ごとに出力させた浸水深と流速を乗じることで単位幅流量を求め、7月1日0時から3日11時までに通過する単位幅あたりの累積水量を求めることにした。

図-10は土砂崩壊前地形についての計算結果で、累積通過水量を静岡県がまとめた地形改変による地形差分図に重ねて表示している。宅地と盛土の造成による地形改変の結果、北側に隣接する宅地造成エリアから盛土末端付近へ集中的に雨水流入があることがわかる。また、盛土の上流部から

は主に盛土と南斜面の境界を流下するが、北東部宅地造成エリアからの流入もあることがわかる。

### (3) 断面通過水量

地形改変に伴い、流下する水量がどの程度変化したかを確認するため、**図-11** 及び**図-12** 中に示す各断面 (a-a'~c-c'断面, A-A'~F-F'断面) を通過する水量を求めた結果を**図-13**, **図-14** に示す。

a-a'~c-c'断面は造成前地形に対するもので、a-a'断面は逢初川源頭部付近での通過水量、b-b'断面は鳴沢川上流部での通過水量、c-c'断面は下流で鳴沢川に合流する支流の通過水量に当たる。土砂崩壊が起こった直後の7月3日11時までの断面通過水量はそれぞれ、 $1.67 \text{ 万 m}^3$ 、 $3.97 \text{ 万 m}^3$ 、 $2.26 \text{ 万 m}^3$ で、本来の集水面積に応じた値となっている。一方、A-A'~F-F'断面は地形改変後の土砂崩壊が発生する直前の地形での断面通過水量で、A-A'断面が盛土末端部を通過する水量、B-B'断面はb-b'断面と同じ、鳴沢川上流部での通過水量、C-C'とD-D'断面は隣接する北側造成地より、流入する水量、E-E'断面は盛土の南側を通過して上流部から流下する水量、F-F'断面は北東部宅地造成の結果、鳴沢川支流から鳴沢川上流部に流入する水量である。

この内、最も多いのはB-B'断面通過水量で鳴沢川支流からの流入などの影響もあり、b-b'に比べて約 $3.3 \text{ 万 m}^3$ も多くなっている。盛土末端部A-A'断面で流下する水量は $4.53 \text{ 万 m}^3$ で造成前地形に比べると2.7倍、 $2.86 \text{ 万 m}^3$ 増加している。C-C'断面とD-D'断面を通過する水量は合わせて $2.82 \text{ 万 m}^3$ と水量増加分に相当しており、鳴沢川流域から地形改変の結果、流入するようになったと考えられる。

**図-15** は土砂崩壊前地形と令和元年東日本台風の降水量を与えて各断面の通過水量を計算したものである。盛土末端部を通過する水量は $2.08 \text{ 万 m}^3$ で、令和3年7月豪雨時の1/2未満となっており、造成前地形を仮定した場合の $1.67 \text{ 万 m}^3$ を上回ったものの、土砂崩壊が起こる危険度には達していなかったと考えられる。

## 4. 考察

**図-16** は崩壊した盛土周辺での切り盛り分布を静岡県<sup>8)</sup>が整理したものである。図の青で着色さ

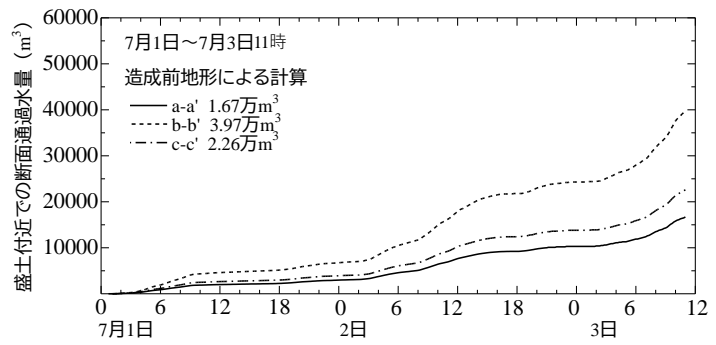


図-13 各断面通過水量 (造成前地形)

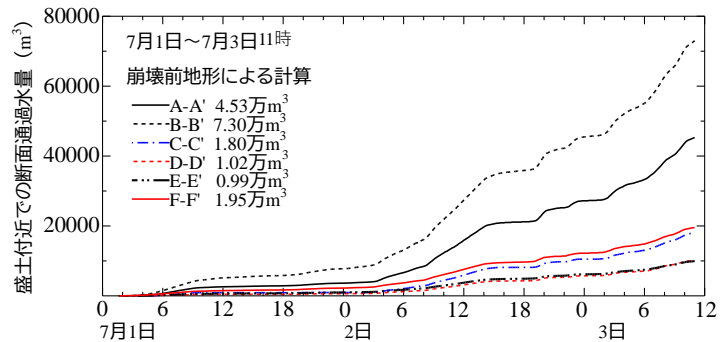


図-14 各断面通過水量 (土砂崩壊前地形)

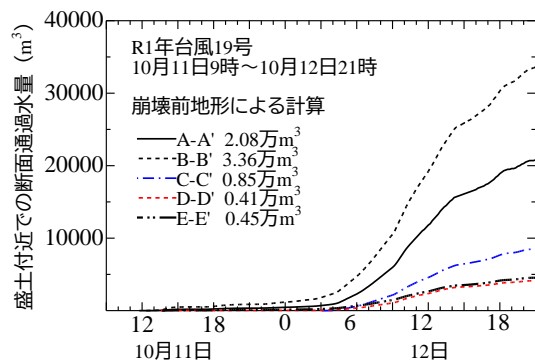


図-15 各断面通過水量

れた部分が切土，茶で着色された部分が盛土となっている。崩壊盛土に隣接した北側の鳴沢川に沿って尾根部を削り，谷の部分を盛土することにより，宅地造成が行われた。図中で青に着色された最も北側の部分の切土は鳴沢川の直上流の谷と鳴沢川支流の谷の間の尾根を削ることにより，鳴沢川の支流筋から本流筋への流入を誘引した。一方，中央部の青く着色された切土は鳴沢川と逢初川を分ける分水嶺を除くこととなった。この結果，図-8のA及び

Bの水の流れを形成することにつながったと考えられる。

北側の宅地造成の際には，雨水排水のための道路の両端に凡そ幅0.5m，深さ0.4mの上ぶた式U型側溝が整備されており，中程度の降水では正常に排水処理されていたと思われる。一方，大雨の際には道路に沿って流れ下る雨水の全量を側溝に収めることができなかつたことで，道路上を雨水が走るような状況が発生し，特に逢初川源頭部の盛土部に隣接する造成宅地の南端の道路から一部の雨水が逢初川側へ流入したものと推察する。

近年，市街地が形成されている斜面地の先端部等において太陽光発電施設の設置が頻繁に行われている。また，熱海市の事例のように都市近郊部の斜面地の上部で宅地開発が行われることがある。特に下流に市街地が立地する上流部での用地造成では流域の擾乱を招かないように十分注意する必要がある。

## 5. おわりに

逢初川源頭部で発生した土石流災害の調査を行う中で，源頭部の異常な盛土はもとより，周辺部の度重なる地形改変が少なからず影響を与えてのではないかと考えて，分析を始めることとなった。特に崩壊盛土に隣接する北側の宅地造成では分水嶺付近が削られ，谷が埋められた結果，雨水の流出過程が大きく変化することになった。今回，得られた結果は盛土の安定性に関する知見を含むものではないため，盛土崩壊のメカニズムを解明するものではない。しかし，少なくとも分水嶺付近での地形改変は避けるべきであること，どうしても何らかの地形改変が必要な場合には雨水流出過程を乱さないように慎重に調査と計画を立案することが必須であることが理解された。

数値解析において必要となる流出係数等のパラメータについて，同定作業なども行っていないため，精度を吟味できる段階ではないため，今後，精度検証などが必要であることを付記する。

謝辞：解析に必要となる地形や降雨に関するデータは静岡県交通基盤部より，提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 気象庁：災害をもたらした気象事例「7月1日から3日の東海地方・関東地方南部を中心とした大

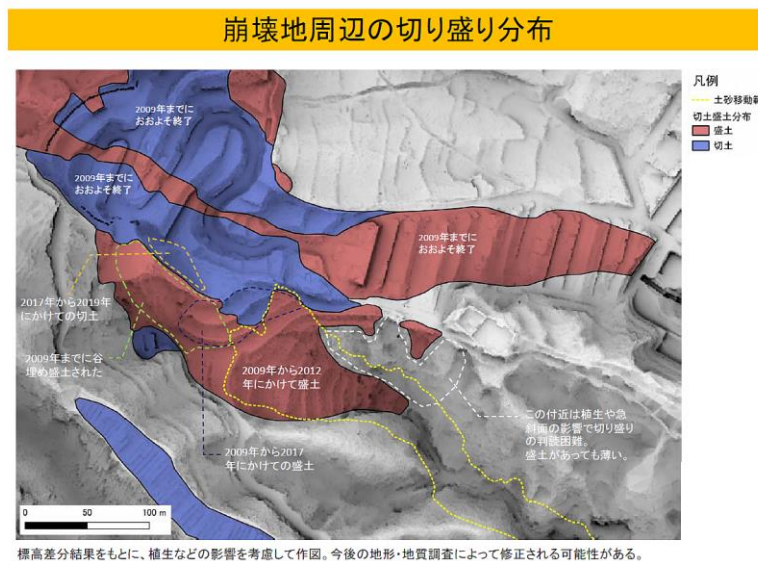


図-16 崩壊地周辺の切り盛り分布（出典：静岡県<sup>8)</sup>）



- 雨」，令和3年7月8日，  
[https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2021/20210708/jyun\\_sokuji20210701-0703.pdf](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2021/20210708/jyun_sokuji20210701-0703.pdf)
- 2) 静岡県：熱海市伊豆山地区土砂災害の被害と対応について（総括情報），令和3年12月15日，  
<https://www.pref.shizuoka.jp/kinkyu/documents/atamidoshasoukatsu1215.pdf>
  - 3) 静岡県：3次元点群データを活用した崩壊土砂量及び補足土砂量の推定，令和3年7月8日，  
<https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-960/documents/dosharyo.pdf>
  - 4) 国土地理院：令和3年(2021年)7月1日からの大雨に関する情報，航空レーザ測量による二時期および三時期の標高値変化量抽出（7月9日更新），[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3\\_0701\\_heavyrain.html#5](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3_0701_heavyrain.html#5)
  - 5) 静岡県：逢初川源頭部の総盛土量の推定，静岡県第1回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会，資料7，令和3年9月7日，<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/documents/shiryou2.pdf>
  - 6) 高橋 保：土石流の発生と流動に関する研究，京都大学防災研究所年報，第20号B-2，pp.405-435，1977.
  - 7) 静岡県：熱海市伊豆山地区内の土石流発生箇所付近の土地の改変行為，逢初川土石流災害に係る「行政手続き確認作業チーム」による確認結果（県の行政手続き）等について，令和3年10月18日，  
<https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-520a/izusandosekiryuu.html>
  - 8) 静岡県：空中写真判読による盛土履歴，第2回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会，資料10，令和3年11月26日，<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/documents/2kennsyouiinnshiryou10.pdf>