

【案件】

平成 30 年 7 月 5～6 日に神戸市で発生した土砂災害

灘区篠原台（しのはらだい）

北区筑紫が丘（つくしがおか）

北区有馬町（ありまちょう）

東灘区住吉台（すみよしだい）

【概要】

兵庫県と土木学会関西支部が締結した「災害時における調査の相互協力に関する協定」を発動し、調査員を派遣した。

【調査員】

中谷加奈（京都大学農学研究科助教）

里深好文（立命館大学理工学部都市システム工学科教授）

クリストファー・ゴメス（神戸大学院海事科学研究科准教授）

山野井一輝（理化学研究所）

平田育士（株式会社パスコ）

山口雄一（日本工営株式会社）

柳崎 剛（株式会社建設技術研究所）

笠原拓造（国際航業株式会社）

【調査日時】

平成 30 年 7 月 25 日 10:00～

平成 30 年 7 月 25 日現地調査速報

平成 30 年 7 月の豪雨によって神戸市で発生した土砂災害に関して砂防学会関西支部による調査を行った。

(1)調査地点

崩壊土砂が流動化し被害が発生した事例を主体に調査箇所を選定した

- ①灘区篠原台（排水路や建物、道路等の影響で土砂氾濫範囲が拡大した事例）
- ②北区筑紫が丘（土砂災害警戒区域が指定されていない場所で土砂が流出した事例）
- ③北区有馬町（砂防堰堤下流に土砂が氾濫した事例）
- ④東灘区住吉台（治山ダムが破損した事例）

(2)調査内容

崩壊土砂の流下、氾濫の状況

溪流内の不安定土砂の状況

(3)調査メンバー

中谷加奈（京都大学農学研究科助教）、里深好文（立命館大学理工学部都市システム工学科教授）、クリストファー・ゴメス（神戸大学院海事科学研究科准教授）、山野井一輝（理化学研究所）、平田育士（株式会社パスコ）、山口雄一（日本工営株式会社）、柳崎剛（株式会社建設技術研究所）、笠原拓造（国際航業株式会社）

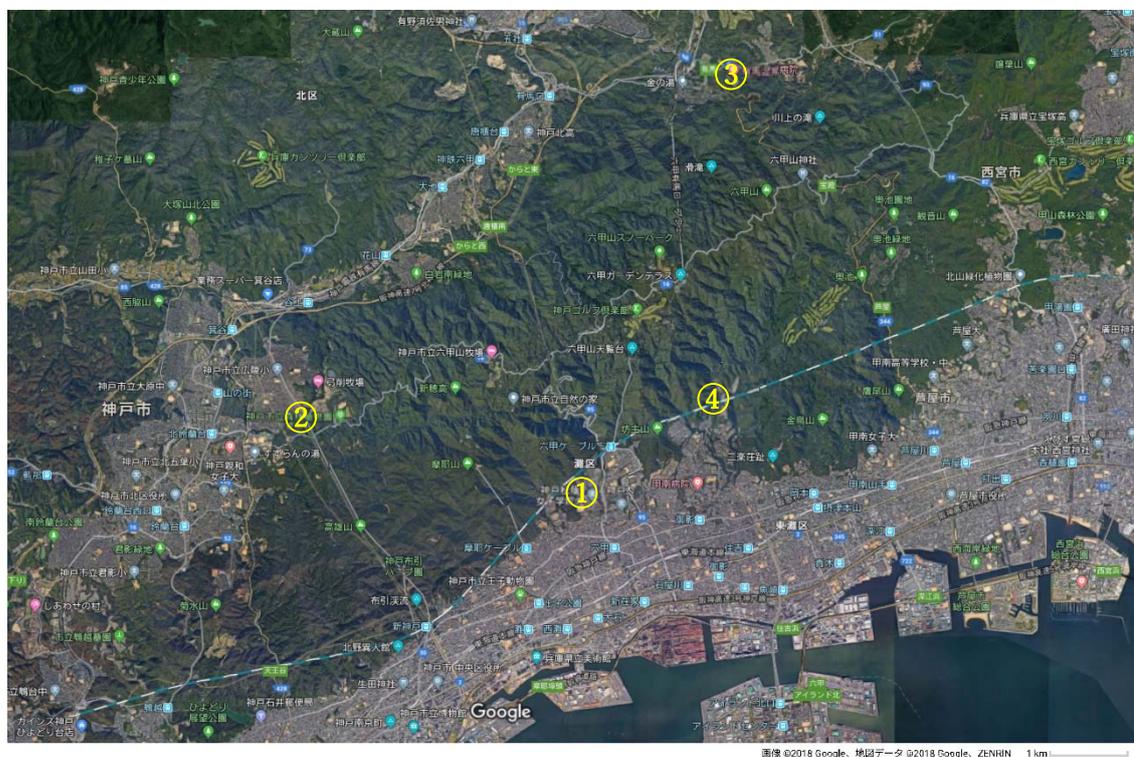


図-1 調査箇所の位置図

1. 神戸市灘区篠原台（しのはらだい）

1-1.土砂移動の概要

国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所より、災害後の7月14日撮影の航空写真及び災害前(平成26年10月24日~11月2日)の航空レーザ計測の情報を得た。

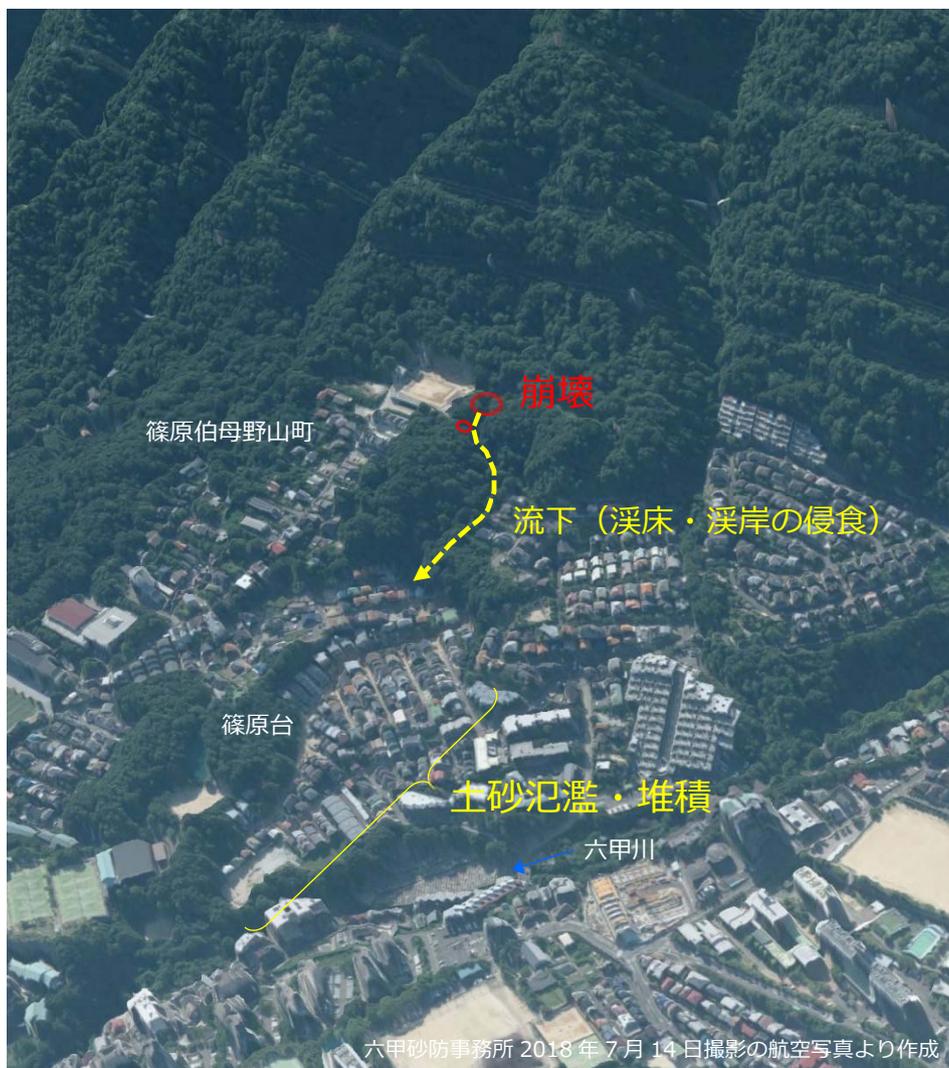


図-2 篠原台の崩壊発生位置と土砂移動状況

崩壊箇所は戦前に造成された篠原伯母野山町（しのはらおぼのやまちょう）の人工斜面に位置する。崩壊土砂は自然河道を流下し1960年代に造成された篠原台へ流出した。自然河道部に厚く堆積していた土砂は今回の流出で再移動したため、溪岸や溪床には風化花崗岩が露岩している。篠原台へ流出した土砂は谷出口の管路や暗渠を閉塞させ、建物や道路等の構造物の規制を受けながら住宅地内を流下し、主に路上に氾濫し堆積した。土砂の氾濫範囲の一部は土砂災害警戒区域外に及んだ。

土砂の流出は、ニュースや新聞報道等から7月6日の午後3時過ぎに小規模な流出があり、その後、午後8時半頃に大規模に流出したものとみられる。

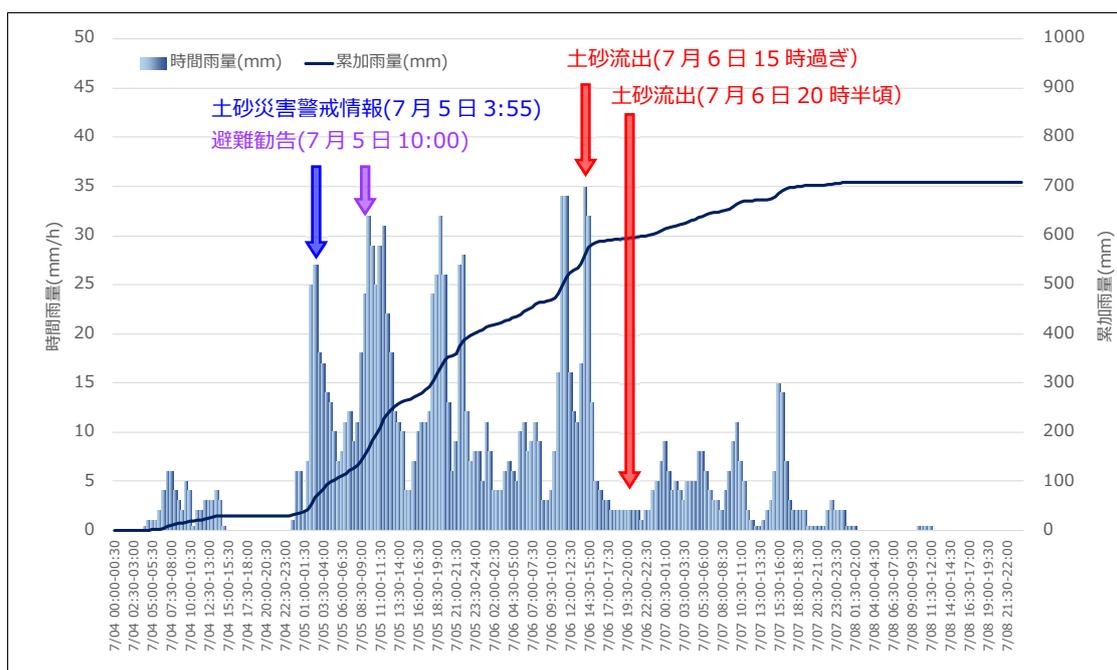


図-3 篠原台付近の降雨状況（気象庁解析雨量:メッシュ No52350187）

7月4日から土砂流出が発生した7月6日15時までの総降水量は約600mm、最大時間雨量は35mmであった。最大時間雨量25~35mm、継続時間6~10時間の雨が7月4日深夜から繰り返し発生し、一度も降り止むことなく3日間降り続いた。1つの雨のユニットは総降水量100~150mm程度であり、近年の降雨状況と比較しても突出した規模の雨ではなかったが、これが連続したため総降水量が非常に大きくなったことが今回の雨の特徴といえる。

1-2.土砂流出規模

現地状況と災害前のレーザ計測成果から、崩壊土砂量と溪岸・溪床の侵食量を試算した。その結果、土砂量は5,650m³となった。<参考：篠原台の土砂氾濫面積（約7,400m²；図-8）で割ると平均堆積深は約76cmとなる>

表-1 篠原台の崩壊土砂量等（試算）

区分	面積 (m ²)	最大深 (m)	土砂量 (m ³)	適用
崩壊地 A	900m ²	約 10m	4,367m ³	崩壊前DEMと崩壊後DEM(推定)の差分〔図-4,図-5〕
崩壊地 B	幅 8m 延長 15m	約 2.5m	300m ³	現地計測（幅×延長×崩壊深）〔写真-4〕
溪岸・溪床侵食	溪流長 180m	約 1.4m	983m ³	溪流長(m)×代表横断面の推定侵食量(5.46m ³ /m)〔図-6〕
合計			5,650m ³	

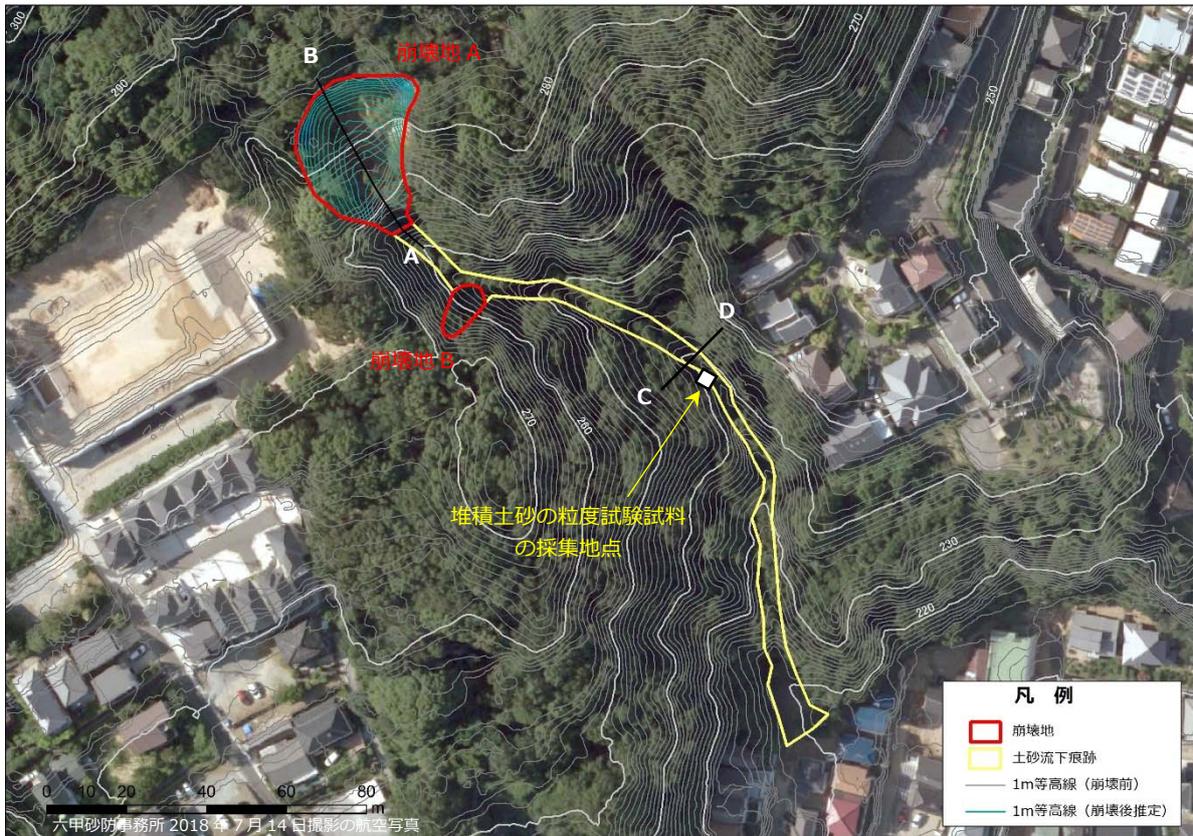


図-4 篠原台の崩壊地と土砂流下状況



←写真-1：崩壊地 A の上部の状況

幅数 m の平坦面となっており、背後の斜面から崩壊地内への水の侵入を防ぐため土嚢が積んである。

↓写真-2：崩壊地 A の土砂移動監視機器
(六甲砂防事務所による監視)





写真-3：崩壊地 A の状況（崩壊地内に崩壊土砂や流木が残存している）



写真-4：崩壊地 A の状況（崩壊斜面に見られる湧水や盛土の痕跡）

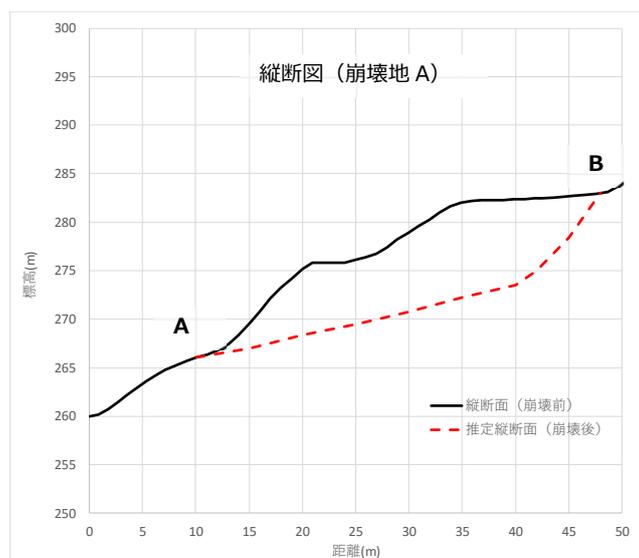


図-5 縦断面図 (崩壊地 A)



写真-5：崩壊地 B の状況（幅約 8m×延長約 15m×崩壊深約 2.5m）

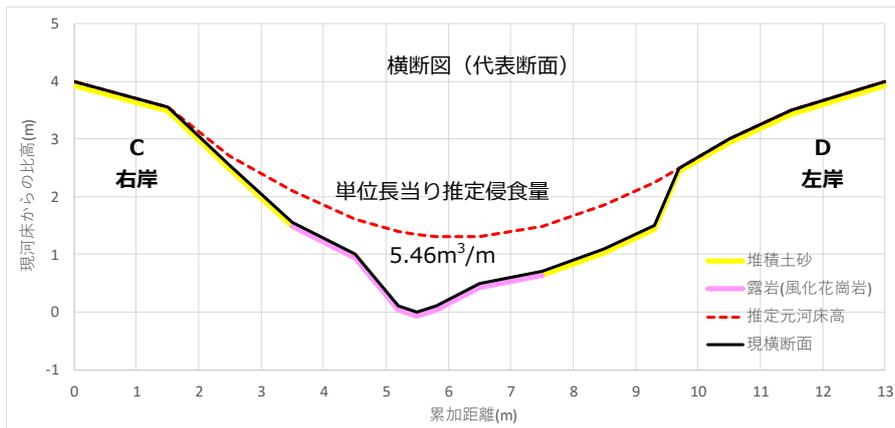


図-6 横断図（代表断面）



写真-6 代表断面の状況



写真-7 堆積土砂の粒度試験試料の採取状況

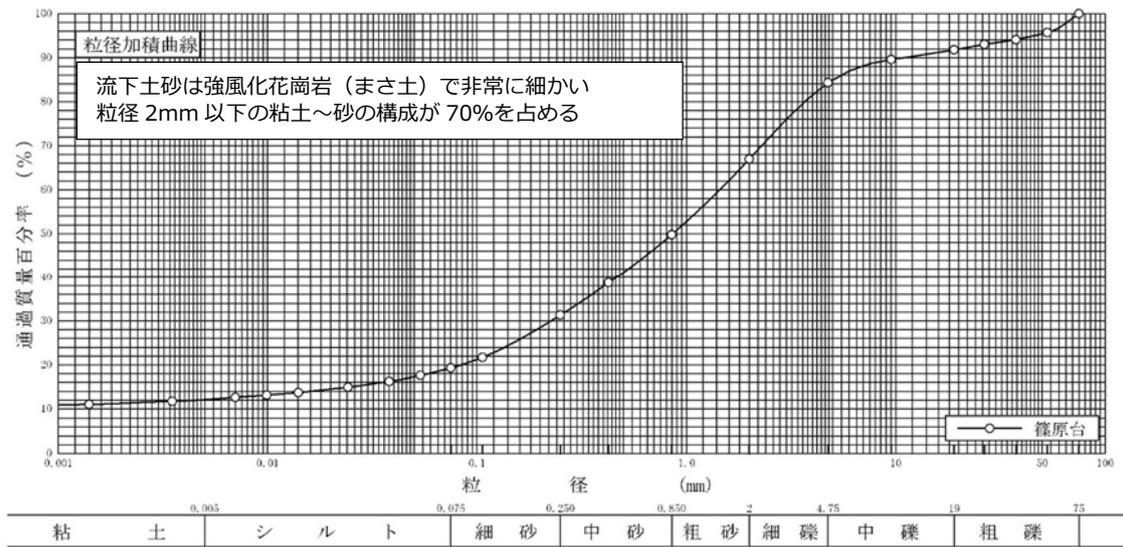


図-7 堆積土砂の粒度試験結果（粒径加積曲線）

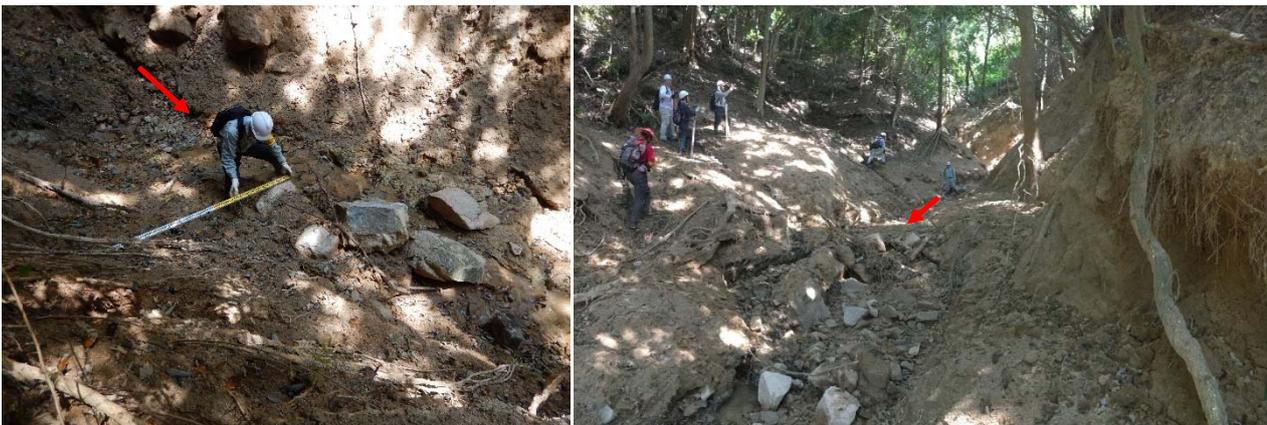


写真-8 溪床礫の状況

溪床には径 0.6~1m 程の礫が分布する。これらの礫は溪床や溪岸の堆積土砂内にあったものが細粒分の流出に伴い露出し、溪床に取り残されたものと推測される。



写真-9 既設構造物の状況（左：最下流，右：下流から2基目）



写真-10 谷出口付近の土砂堆積状況

（流出後10日たっても土砂の上に乗ると泥状に液相化した土砂に足がはまることもあった）

戦前の古くからの造成地で崩壊が発生した。崩壊地内には湧水の噴出孔の跡がみられる。累加雨量約600mmの長雨により盛土やその下部の花崗岩の風化層内へ地下水が多量に供給され間隙水圧が上昇し崩壊が生じたものと考えられる。

流下域の自然河道の溪床や溪岸には風化花崗岩起源の細粒分の多い土砂が厚く堆積しており、これらの堆積土砂が今回の流出で二次侵食を受け再移動した。流出した土砂は細粒分が多いこと等から流動性に富んだ流れであったと推測される。

崩壊土砂や流木の一部が崩壊地内に残存していること、溪床に礫（風化花崗岩のコアストーン）が残存していること、溪岸斜面に残っている堆積土砂が溪床の下刻により不安定化していること等から、今後の降雨でこれらが流出しないよう対策が必要と考えられる。

1-3.土砂氾濫状況

篠原台へ流出した土砂は谷出口の管路や暗渠を閉塞させ、建物や道路等の構造物の規制を受けながら流下し、主に路上に氾濫し堆積した。土砂が堆積した面積は痕跡から約7,400m²であった。土砂の氾濫範囲の一部は、土砂災害警戒区域外に及んでいる。

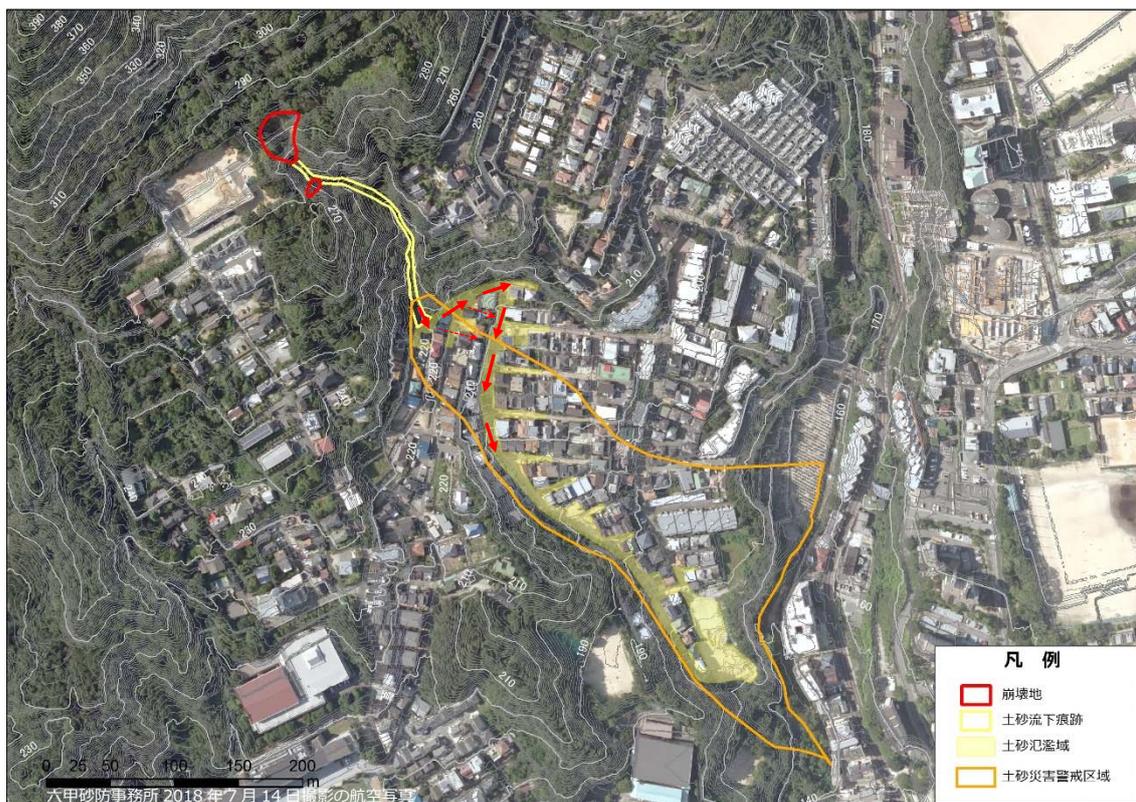


図-8 土砂氾濫、堆積域の分布と土砂災害警戒区域の状況



写真-11 谷出口の土砂の直撃を受けた建物（左）と土砂が流れ下った道路（右）の状況（土砂は建物にあたって流向を変え、道路や家と家の隙間を流下した。右写真の道路を流下した土砂は土砂災害警戒区域外の建物に影響を及ぼした）



写真-12 建物の被災状況

(建物被害の多くは土砂流の床上や床下浸水、土砂の堆積によるもので建物が倒壊する等の構造に大きく影響するものはなかった。しかし、谷出口の土石流の直撃を受けた建物には壁が壊れる等の礫の衝突によるものと思われる被害がみられた)

1-4.今後の課題について

今回の災害は、篠原伯母野山町や篠原台等の都市周縁に開発された人工改変地で発生した災害であり、下記のような都市砂防的な特徴がみられる。

- ・ 流末処理の課題（流路幅が谷出口下流で急縮する、溪流に蓋がされている）
- ・ 人工改変等により元の地形や土砂移動の特徴がみえにくい（都市周辺の山麓は、本来、土砂移動の場であることが多い。溪流の縦断勾配をみると、篠原台は、河床勾配が3～10度に位置し、土石流堆積区間に位置する。また、篠原台では住宅が密集し、水路には蓋がされ、普段、溪流の存在に気付きにくい）
- ・ 建物や道路が密集し流出土砂の流下方向が規制される

篠原台のような高度経済成長時代に開発された都市近郊の山麓の住宅地では、経済的な効率や利便性が重視され、宅地や道路が密集し自然現象の領域（土砂移動場）と社会活動の領域が分かれていない（土地に余裕がない）ことや高齢化の進行（人口減少、個人での建物の更新が難しい）等が課題としてあげられる。このような現在の制約の下で、何ができるの

か、今後どのようなことをすべきなのか考察した。

(1)ソフト対策（警戒避難）の充実

今回の災害では、土砂流出前に土砂災害警戒情報の発表や避難勧告の発令がされていたが実際に避難された方は少なかった。人口減少社会では、砂防堰堤等のハード整備の事業化は難しく警戒避難に頼らざるをえない。避難の動機付けに結びつくような情報をもっとしっかり地道に周知していく必要がある。

- ・現在、住んでいる土地のこと（土地の形成史や土砂移動形態の特徴）
- ・一色塗りのハザードマップでなく被害想定等に基づいたランク区分等の工夫等

なお、今回のような流動性に富んだ土砂流出の場合、建物や道路等の影響によりハザードマップの危険範囲よりはみ出して土砂が氾濫する場合がある。降雨パターンや土砂生産源の特徴が反映できるシミュレーション技術の活用は、被害想定等の検討において有効と考えられる。

(2)「被害最小化」のための取り組み（まちづくり）

住民への周知・理解が必要であるが、土石流発生時には道路を流すことを許容するようなまちづくりの検討は、中長期的な対応として有効と考えられる。

- ・宅地基礎の嵩上げ、1階部の構造の見直し、塀等の設置により無害に土砂を流す等

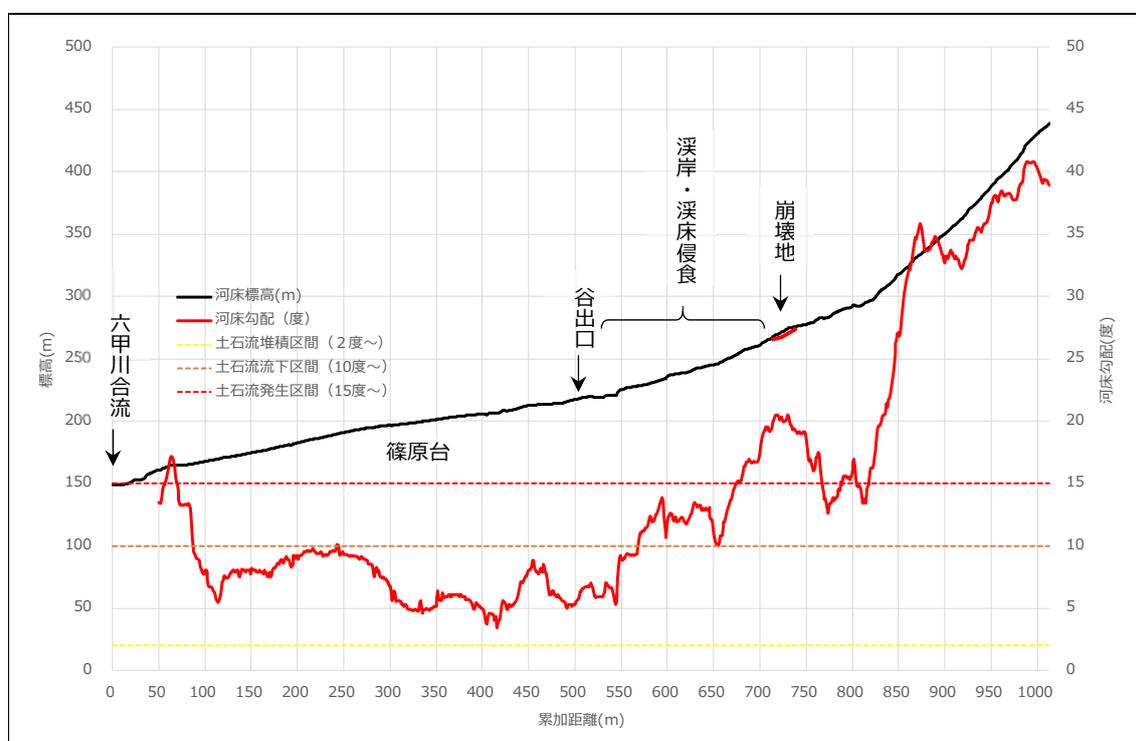


図-9 篠原台の河床縦断形状と河床勾配

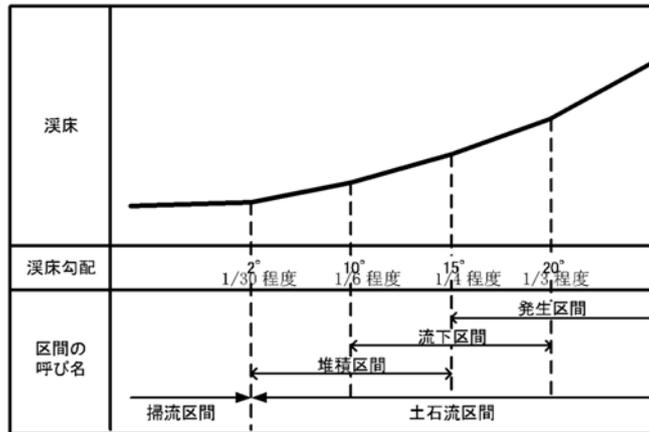


図-10 土砂移動の形態の溪床勾配による目安<参考>
 (平成 28 年 4 月 国総研資料第 904 号 砂防基本計画策定指針 (土石流・流木対策編) 解説より)



図-11 広島県呉市安浦町の土石流災害事例との比較<参考>
 (篠原台では、住宅が密集し、水路には蓋がされ、普段、溪流の存在に気付かない)

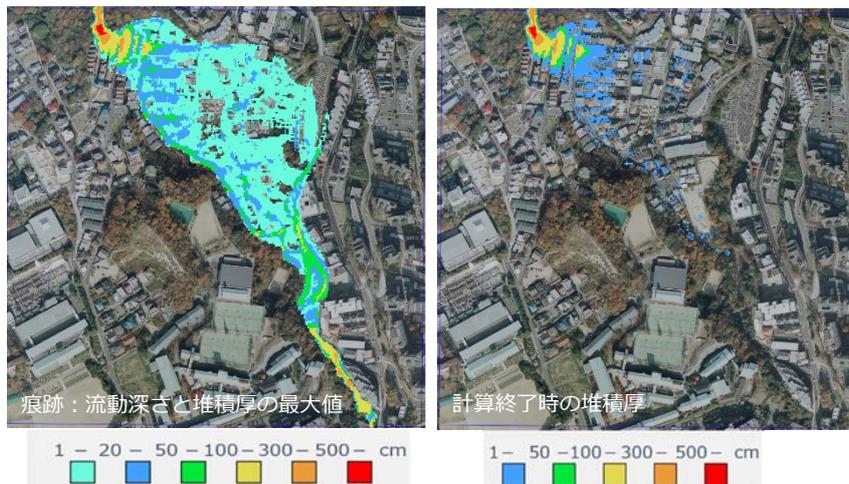


図-12 Hyper KANAKO を用いたシミュレーション事例 (篠原台の再現計算)
 (実際にはもう少し道路上に堆積していることから今後の詳細検討では細粒分による流体密度の増加の程度を検討する)

2. 北区筑紫が丘（つくしがおか）

2-1.土砂移動の概要

崩壊箇所は1970年代に開発された筑紫が丘の切土斜面上部に位置する。崩壊は流域面積約0.47haの自然斜面の谷地形部（谷頭凹地）で発生し、流動化した土砂が直下の住宅地に流出した。崩壊面積は約500m²、流出土砂量を500m³（＝氾濫面積約500m²×最大堆積深を擁壁に残る痕跡より約3m×円錐状に堆積したと仮定して1/3を乗じる）とした場合、平均崩壊深は1m程度と試算される。擁壁についての痕跡より、流出土砂の堆砂勾配は緩く、細粒分が多い流動性の高い土砂が流出したと推測される。土砂流出の発生は7月6日17時頃との記録があるが、当該箇所は土砂災害警戒区域に指定されていない場所であった。



写真-13 災害直後の土砂流出状況（兵庫県神戸土木事務所提供）



図-13 筑紫が丘の崩壊地と土砂流下状況

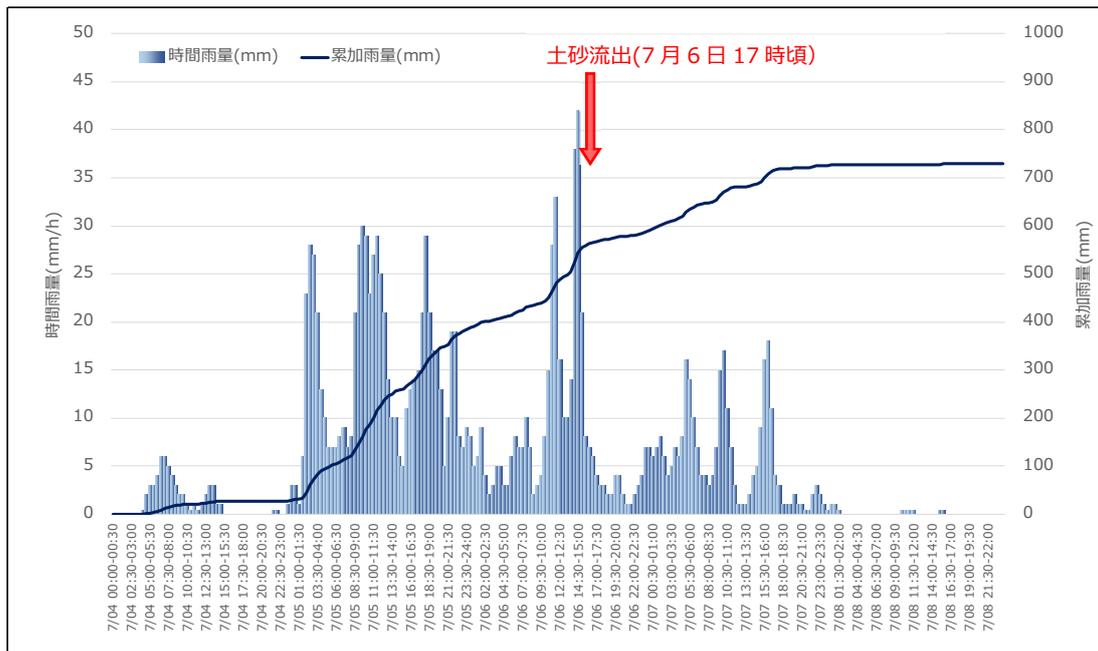


図-14 筑紫が丘付近の降雨状況（気象庁解析雨量：メッシュ No.52350194）



写真-14 崩壊地の状況及び擁壁に残る流出土砂の堆積痕跡

崩壊地には風化の進んだ花崗岩のマサ土が厚く分布する。湧水の噴出孔や湧水により深く侵食された溝がみられる。擁壁についた堆砂勾配の痕跡は緩い。

2-2.今後の課題について

今回の被災した箇所は土砂災害警戒区域に指定されていなかった。土砂災害に対する避難勧告や避難指示は土砂災害警戒区域の住民に向けて発令される場合が多く、今回のようなケースでは、逃げ遅れて人命に及ぶ災害に発展する恐れが懸念される。

今回の調査箇所は、流域面積は小さく、河床勾配15度以上の土石流発生域の分布も小さいことから、土石流危険渓流や土砂災害警戒区域の抽出要件に該当しなかったことが推測される。しかし、人工改変が行われる前の地形を過去の航空写真や地形図等で調べると、調査箇所は大きな流域の源頭部に位置していたことがわかる。このような頂部斜面付近の特徴としては、風化が進み厚い表土層が形成されていること、開発による切土や擁壁等の影響で地下水の流動が変化すること等があげられる。これらの特徴を有する箇所を抽出し危険性の調査を行うことは、今回の被災箇所のような斜面崩壊や谷頭侵食等の土砂移動の発生場を事前に予測するための一つの方法であると考えられる。

筑紫が丘の事例では、本来は源流部付近の土砂生産源と隣接する土地であることが、人工改変により元の地形や土砂移動の特徴が見えにくくなっていることを指摘したが、他にも土砂災害警戒区域に指定されてなく危険性のある箇所が存在するものと考えられる。このような箇所の抽出方法や危険性の評価方法の開発が今後の課題と考えられる。

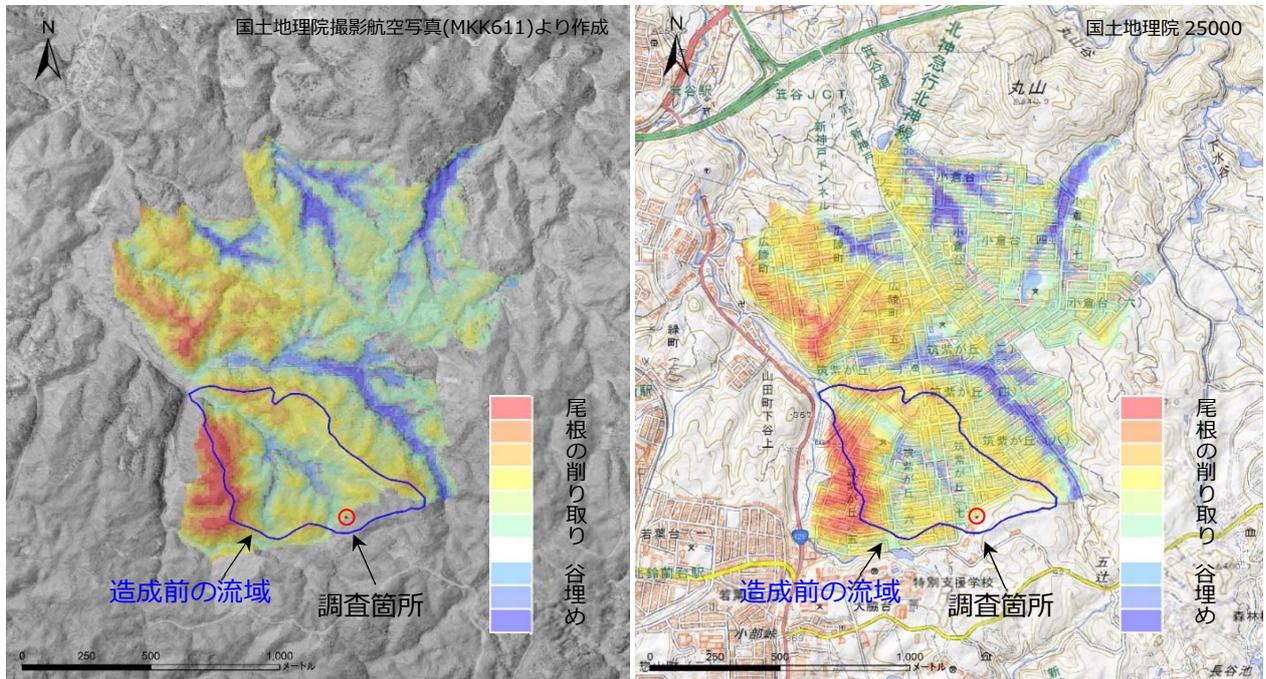


図-15 筑紫が丘の造成前と後の地形状況の比較

3. 北区有馬町（ありまちょう）

3-1.土砂移動の概要

1960年代に造成された盛土法面の一部が崩壊し、土砂が下流の病院へ流出した。法面は下部のコンクリート擁壁と上部の緩斜面に分かれており、崩壊は上部緩斜面の脚部で発生した。崩壊の規模は幅約30m×延長約20m程度であった。崩壊土砂の一部は河道や既設砂防堰堤に堆積したが、大半は谷出口の病院へ流出した。しかし、土砂が直撃した病院の窓ガラスが割れていないことなどから、砂防堰堤は礫や流木の捕捉、流体力の減衰等、被害軽減に寄与したと考えられる。災害発生は7月6日15時頃との記録があり、それまでの累加雨量は約600mmであった。



写真-15 災害直後の土砂流出状況（兵庫県神戸土木事務所提供）

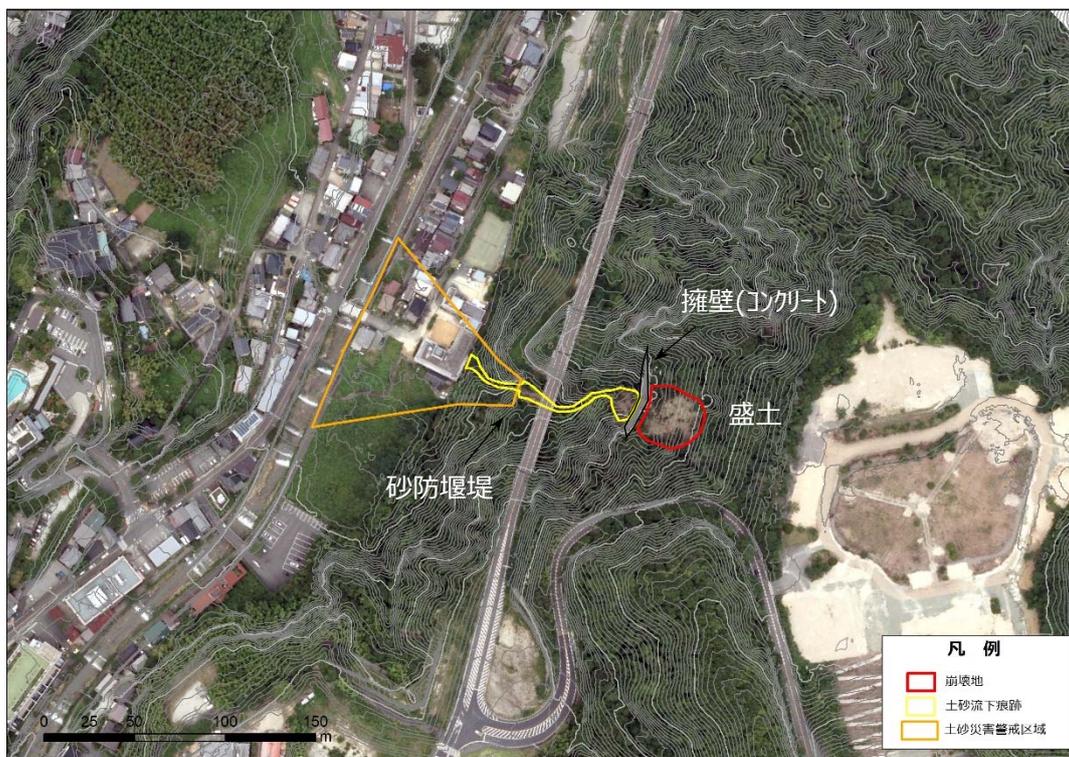


図-16 有馬町の崩壊地と土砂流下状況及び土砂災害警戒区域

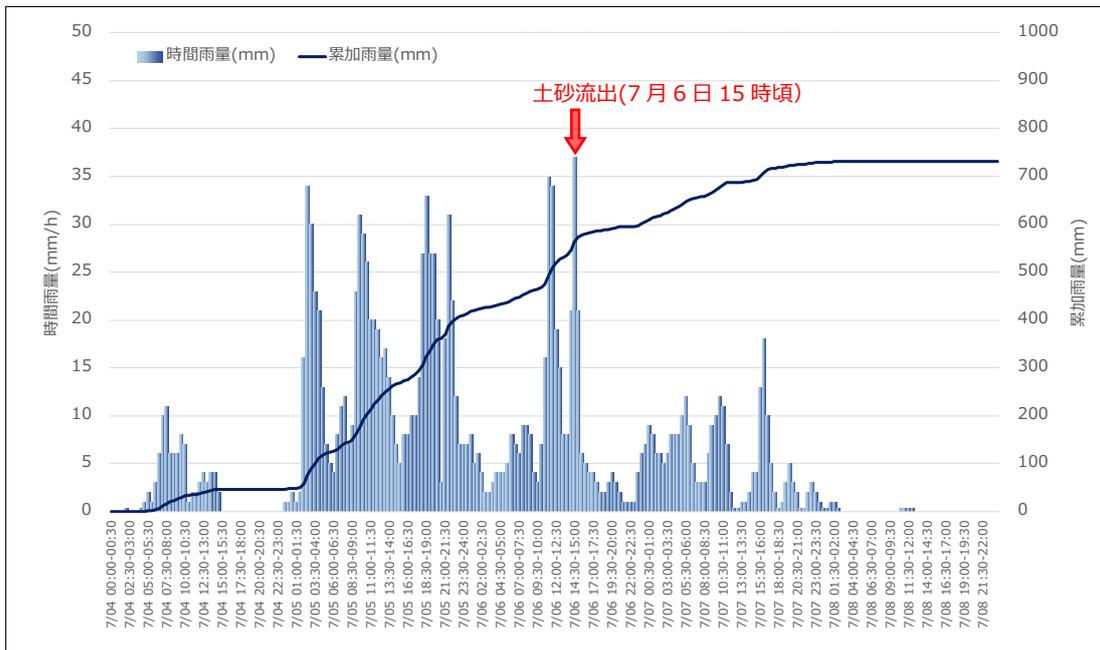


図-17 有馬町付近の降雨状況（気象庁解析雨量：メッシュNo.52351169）



写真-16 崩壊地の状況及び流出土砂の状況



写真-17 砂防堰堤上流の堆砂状況

(災害当時は満砂状態であったが、流木や土砂を捕捉している。堰堤の調節効果により堆砂の一部は後続流等により再移動したと思われる。堆積している土砂には層構造がみられる他、地表面には細粒分が流失した後の礫が残存している)



写真-18 砂防堰堤の状況

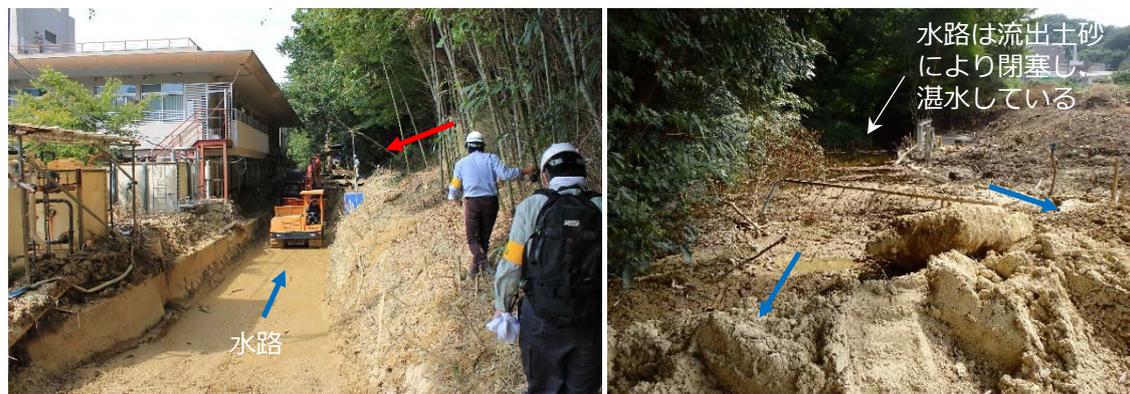


写真-19 病院裏の水路の状況

(水路は流出土砂により埋没した。水路の閉塞により上流側は湛水し、溢水している)



写真-20 被災した病院の状況
(病院の敷地内には細粒分の多い土砂が堆積している)

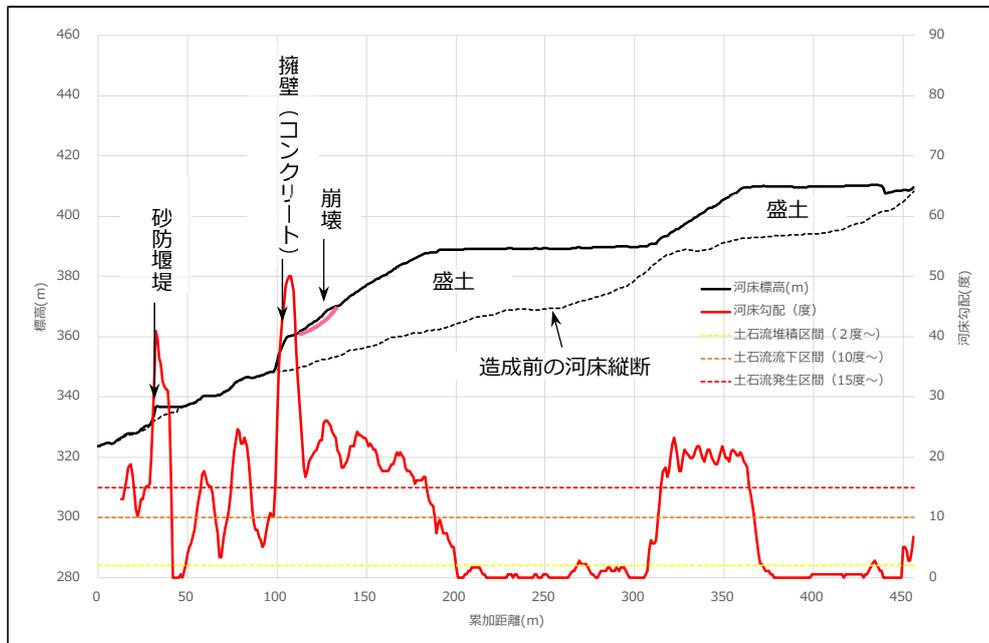


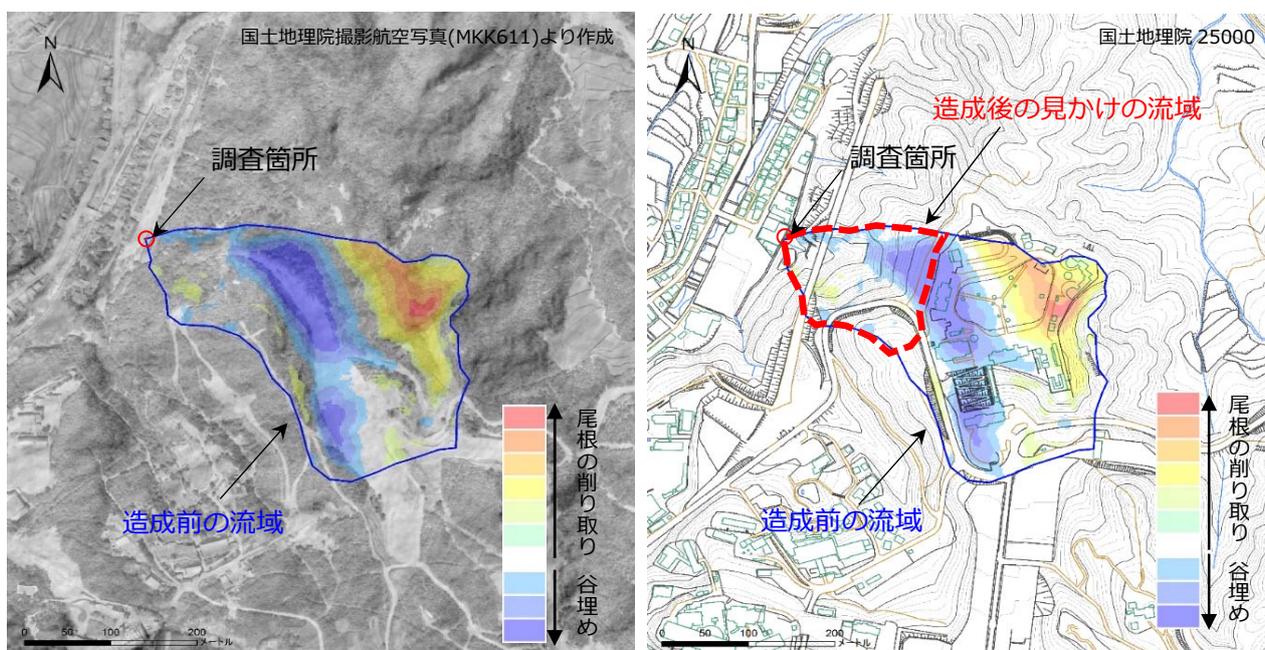
図-18 有馬町の河床縦断図
(造成前の河床縦断は1961年撮影の国土地理院航空写真より推定した)

3-2.今後の課題について

調査は災害の10日後であったが、溪流にはまだ多くの流水があった。流出した土砂は細粒分が多く、多量の流水が土砂の移動に影響したと考えられる。谷を埋めて造成した場合でも、その地下には造成前の溪流の流路や地下水の流動経路の構造が残存していると考えられ、実際に谷を流れている水は、造成後の見かけの流域よりも集水域はもっと大きいと推測される。

有馬町の場合も、今回崩壊した盛土の背後に旧集水域に降った雨が地下水となって多量に供給されたと考えられる。

人工改変等により本来の土砂移動の現象が見えにくくなっている。対策施設の検討においては、旧地形や土砂生産源の質の変化等を考慮し、実際の現象に見合った堰堤や水路の検討を行う必要があるものと考えられる。



造成前の地形〔昭和36年(1961)〕

現在の地形図に尾根の削り取り・谷埋めを重合せ

図-19 有馬町の造成前と後の地形状況の比較

4. 東灘区住吉台（すみよしだい）

4-1.土砂移動の概要

谷頭斜面で発生した崩壊からの土砂が治山ダムを直撃し、ダムの堤体が破損した。流出した土砂は、治山ダム下流の狭窄部（橋の橋脚）を閉塞させ堆積した。橋の構造等には特に被害はなかった。崩壊の発生日時は不明、7月4日からの一連の降雨の総降水量は約700mmであった。



写真-21 破損した治山ダムと土砂堆積状況

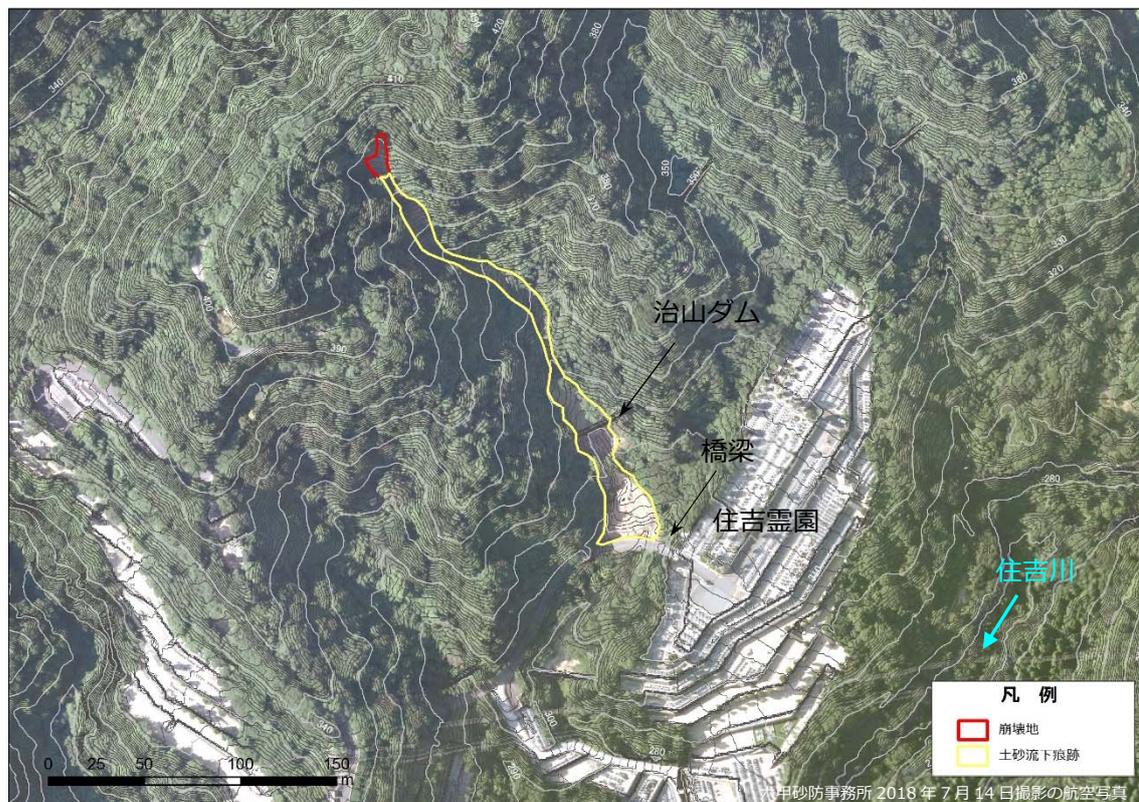


図-20 住吉台の崩壊地と土砂流下状況

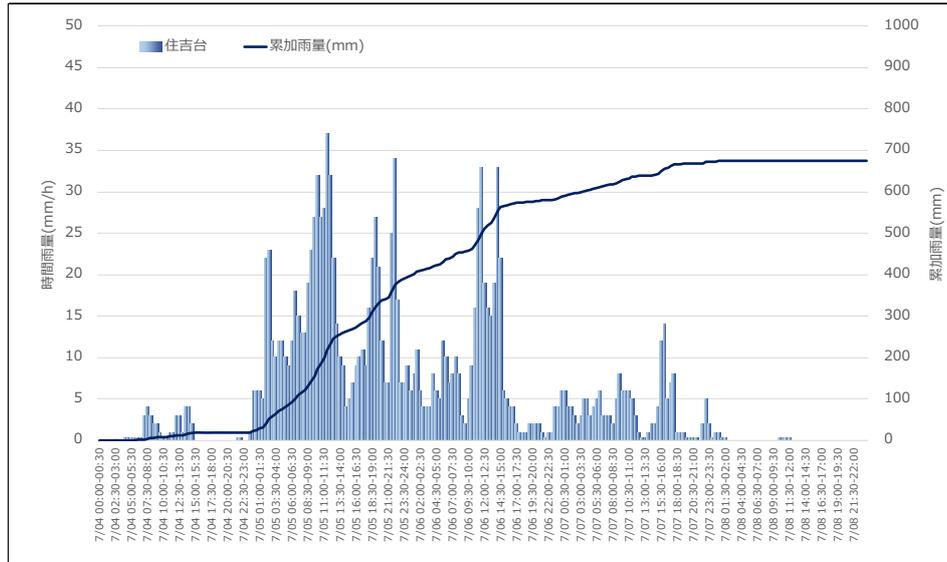


図-21 住吉台付近の降雨状況（気象庁解析雨量：メッシュ No.52350290）

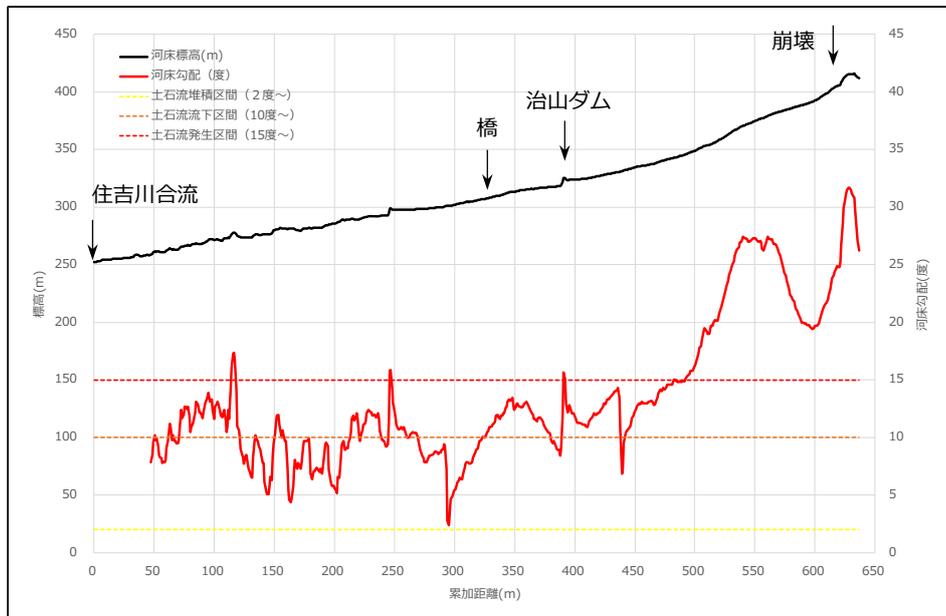


図-22 住吉台の縦断面

4-2. 今後の課題について

土砂流出前(平成 26 年 10 月 24 日~11 月 2 日)の航空レーザ計測では、治山ダムの有効高は 7~8m、満砂はしておらず天端から約 2~3m 程度の空きが確認できた。治山ダムは砂防堰堤と目的が異なり、土石流の直撃は考慮されていない。満砂していない状態で土石流が直撃した場合、今回のように堤体が破損することがある。

土石流対策における施設配置計画等の検討において、治山ダム等の既往施設の効果を見込む場合は、土砂移動形態の特徴を十分見極めたうえでその効果を評価し、検討を進める必要があると考えられる。



写真-22 住吉台の土砂流出状況