

6. 土砂災害

6.1 概要

令和元年台風第15号により土砂災害は77件生じたが、土砂災害による人的被害は発生していない。6章では、甚大な土砂災害が発生した、令和元年台風第19号等による土砂災害について記述する。

6.1.1 令和元年台風第19号による土砂災害の概要

台風第19号は、発生後まもなく急速に発達、非常に強い勢力を維持し、10月12日19時前に大型かつ強い勢力で伊豆半島に上陸した。12時間降水量については東日本を中心に120地点で観測史上1位を記録する大雨となった。

台風第19号に伴う土砂災害は、図-6.1.1、表-6.1.1に示すとおり東日本を中心に20都県に及び、このうち8県において40件以上の土砂災害が発生しており、被害が広域にわたり同時多発的に起こった。

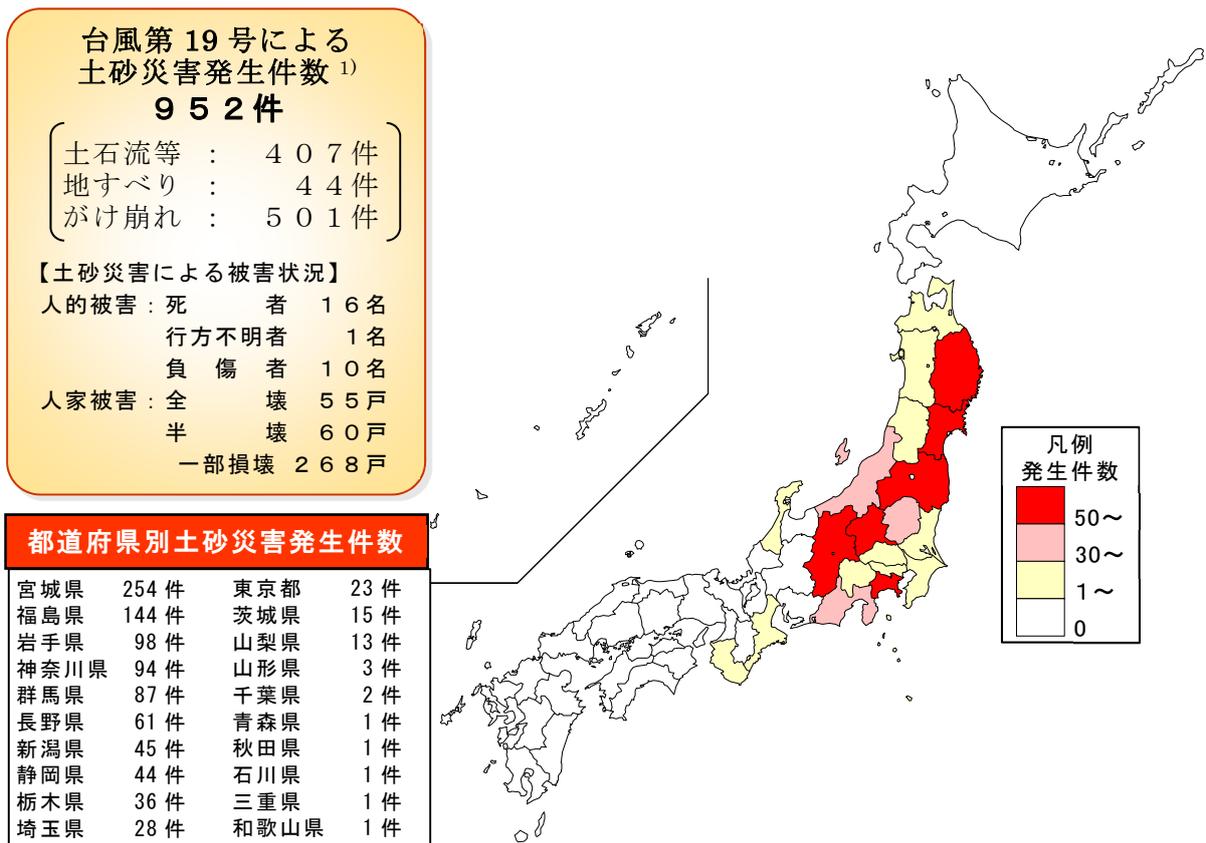


図-6.1.1 台風第19号による都道府県別の土砂災害発生件数¹⁾

この台風により952件（令和元年12月24日時点の集計）の土砂災害が発生した。年間の土砂災害の発生件数は、昨年までの10年間の平均が約1,400件であるので、ひとつの台風で年平均発生件数の約7割に及んだことになる。一つの事象としては、平成30年7月西日本

豪雨により2,581件の土砂災害が発生しているが、台風第19号による土砂災害は、台風に伴うものとしては、記録が残る昭和57年以降で最多の発生件数となった。

表-6.1.1 過去10年間の主な風水害における土砂災害発生件数

発生年	災害名	土砂災害発生件数	土砂災害が発生した都道府県数	
			全数	40件以上発生
平成21年	中国・九州北部豪雨	492	25	2
平成21年	台風第9号	145	15	1
平成23年	台風第12号	208	20	1
平成23年	台風第15号	198	29	1
平成24年	九州北部豪雨	268	17	2
平成26年	8月豪雨	637	29	5
平成27年	台風第18号	177	18	1
平成28年	台風第16号	233	24	2
平成29年	九州北部豪雨	316	17	2
平成29年	台風第21号	373	33	2
平成30年	西日本豪雨	2,581	32	8
平成30年	台風第24号	175	25	1
令和元年	6月下旬からの大雨	221	16	1
令和元年	8月の前線に伴う大雨	171	15	2
令和元年	台風第19号	952	20	8

また、この台風では、平成30年7月西日本豪雨の被災地である広島県や平成29年九州北部豪雨の被災地である福岡県等と同様に、宮城県丸森町、福島県浜通り北部等において土砂・洪水氾濫により甚大な被害が発生しているのも大きな特徴である。水が引いた後も、土砂等が地域に広く堆積し、緊急的な対策を行う上で大きな障害となった。丸森町の災害の詳細については後述する。

6.1.2 土砂災害の専門家の派遣

国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部と国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループは連携して、甚大な土砂災害が発生した5箇所に対し、土砂災害の専門家として図-6.1.2に示すとおり職員をのべ31人日（国総研22人日、土研9人日）派遣した。この中で最も重点的に派遣したのは、後述する宮城県丸森町での土砂災害である。

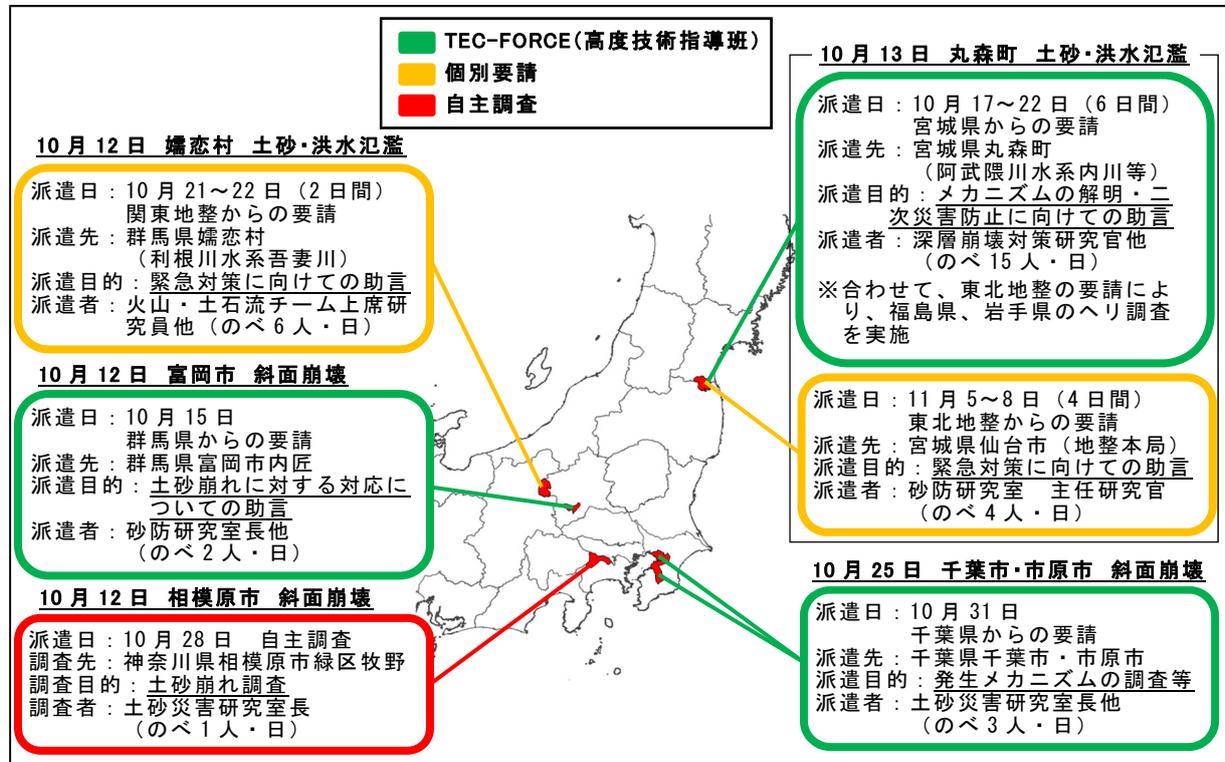


図-6.1.2 台風第19号とその後に発生した低気圧に伴う大雨による土砂災害に対する国総研・土研職員の派遣状況

図-6.1.2 の各災害箇所における派遣専門家等の活動の様子を写真-6.1.1～写真-6.1.7に示す。



写真-6.1.1 富岡市長へ調査結果説明



写真-6.1.2 記者会見（群馬県富岡市）

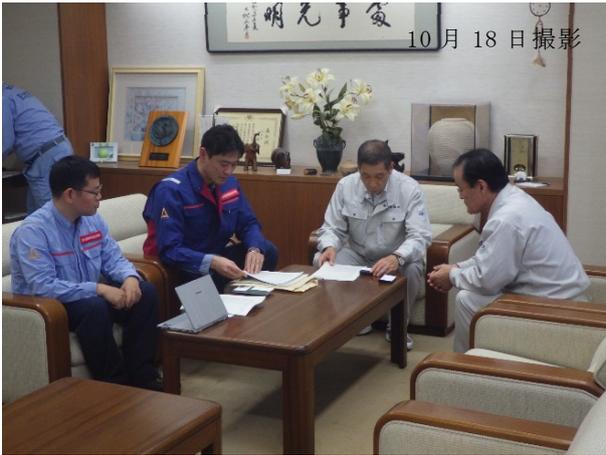


写真-6.1.3 丸森町長へ調査結果説明



写真-6.1.4 取材対応（宮城県丸森町）



写真-6.1.5 現地調査（群馬県嬭恋村_利根川水系吾妻川）



写真-6.1.6 現地調査（神奈川県相模原市緑区牧野）



写真-6.1.7 現地調査と取材対応（千葉県千葉市・市原市）

6.2 土砂災害のソフト対策に関連した調査

6.2.1 土砂災害警戒区域等関連調査

台風第19号関連では土石流407件、地すべり44件、がけ崩れ501件、土砂災害合計952件(国土交通省砂防部、2019年12月24日時点)と多数の災害が発生した¹⁾。東日本を中心に強雨域となった地域においては、中、下流域で土砂・洪水氾濫が見られた一方、河川から距離のある台地周辺部を中心に、斜面としてはそれほど急峻ではない箇所でも災害があった。土砂災害防止法に基づく土砂災害警戒区域等の調査基準、指定基準を満たさず、指定対象外と分類されてきた斜面においても災害が見られた。台風第19号等による人家被害箇所について、法指定と災害発生との対応関係を図-6.2.1に示す(国土交通省砂防部提供)。

未調査、未指定は、箇所としての「見逃し」に相当することから、災害対策の研究上、改善が求められる。そこで、国土交通省砂防部と調整の上、抽出箇所において現地調査を実施した。

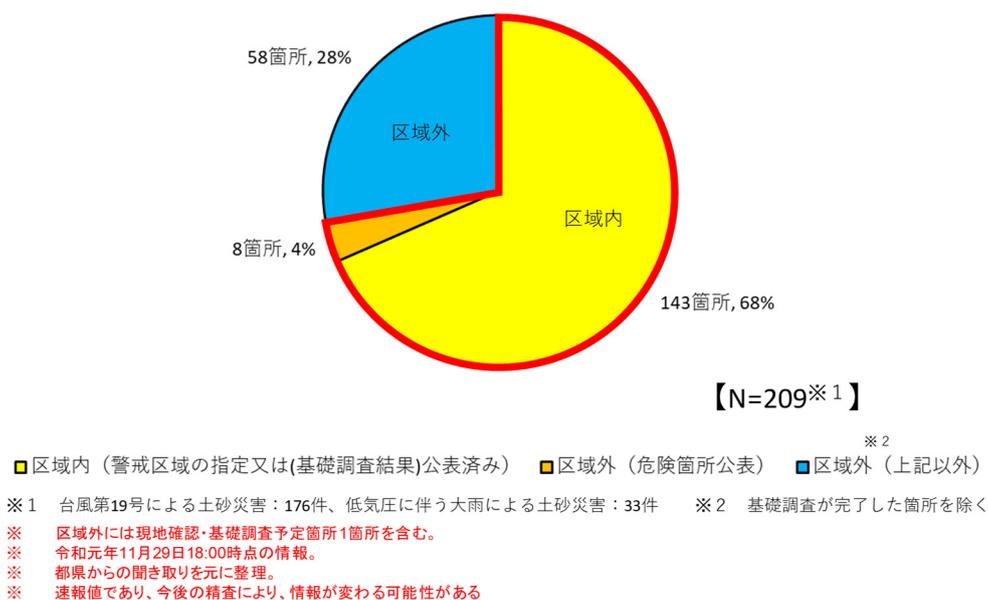


図-6.2.1 土砂法指定と災害発生との対応関係(台風第19号等^{※3}、人家被害箇所)

※3 2019年台風第21号から変わった低気圧による災害を含む。

(1) 神奈川県相模原市緑区の災害

神奈川県相模原市緑区牧野で発生した 2 件の災害のうち、土砂災害警戒区域等の未指定地である地番「5339-1」の災害について記述する。

1) 発生日

2019 年 10 月 12 日 (16 時半頃)

2) 調査日

2019 年 10 月 28 日

3) 概要

地番「5339-1」の災害は、行方不明者 2 名、区域未指定の大規模崩壊現場である。上部民有杉造林地が最大で 4m、平均で 3m 深、長さも幅も 70m 程度で流動し、中下段まで一様に続く緩かな果樹園で停止できずに流動し住宅を巻き込んだもの。保安林は未指定。地権者は被災者を含む可能性含めて調査継続中であった。果樹園は農業振興指定がなされていた。上部の斜度は 30 度あるものの、住家までは 50m 以上あるため警戒区域指定は該当していなかったもの(写真-6.2.1)。

4) 分析

相模ダム建設、相模湖創出に伴い元の山林や付け替え、拡幅された道路沿いに移転した比較的新しい住宅に土砂流入があった。南及び南西向き山林斜面。地番「5339-1」は集水の良い長年の杉人工林、地番「5519-4」は雑木林であり、いずれも尾根直下で谷地形ではなく、大量の地下水は認められなかった。但し、基岩は凝灰角礫岩で透水性は相対的に低かった。このことから、崩壊は地下水よりは多量の降雨により、増大した自重でローム主体の表層土層が崩落したと見られ、表層崩壊に分類される。急傾斜に相当する山腹斜面崩壊であるが、森林土壌が最大 4 メートルと極めて大きく、記録的な総雨量により含水量が増大し、流動化したものと考えられる。法尻、斜面下が長大(緩)斜面で崩壊土砂が停止せずに被害をもたらしていた。極端に大きい土層厚、降雨量、長大な下部斜面の 3 条件が複合して発生した特異的なものであった。



写真-6.2.1 相模原市緑区牧野の崩壊現場

(2) 千葉県千葉市及び市原市の災害

緑区誉田町、板倉町、市原市郡本の3箇所あり、いずれも未指定。

1) 発生日

2019年10月25日*

*台風第19号通過後13日が経過。温帯低気圧化した台風第21号の影響で発生したもの。

2) 調査年月日：2019年10月31日

3) 箇所別概要

千葉市緑区誉田町については、高さ約11mの急傾斜地における崩壊であった。崩壊斜面の両端で傾斜度を計測したところ、南端A地点において 30.3° 、北端B地点において 31.7° であった。崩壊深は浅く、崩壊土量も少ないと思われる。崩土によって斜面下部の人家が甚だしく全壊し、崩土が斜面下部の道路まで到達していた。崩土は高い流動性を有していた(写真-6.2.2)。

千葉市緑区板倉町については、高さ10m程度の急傾斜地が崩壊し、家屋が全壊していた。崩壊斜面の植生は竹林であり、立ち木のまま厚さ1m程度の表層が円弧状に滑動した様子であった。その背後には高さ4m程度の滑落崖が現れ、軟質な堆積岩が確認できるほど深かった(写真-6.2.3)。

市原市郡本については、高さ10m弱の急傾斜地が崩壊し、家屋にもたれるように堆積していた。崩土の流動性は低かった。但し、部分的に含水量が大きく緩く堆積する場所があった(写真-6.2.4)。

4) 分析

海成の粘性土互層土を基盤とし、その上部に厚さ2m前後の関東ロームが成層するほぼ一様な土質特性を有する斜面であった。崩土の状況は豪雨から6日程度経過した調査時点においても含水量が多く、透水性が低い土質特性を有する粘性土主体であった。10月25日の180～200mm程度の豪雨の影響だけではなく、台風第19号による豪雨など10月の間に450mm程度の降水量が観測されている。発生箇所・地域としては記録的な多量の降雨があったことと、粘性土の土質特性が降雨の影響を長期化させたことが今回の崩壊を引き起こした要因であると考えられた。



写真-6. 2. 2 千葉市誉田町の崩壊現場



写真-6. 2. 3 千葉市板倉町の崩壊現場



写真-6. 2. 4 市原市郡本の崩壊現場

6.2.2 リアルタイム情報に関連した調査

土砂災害からの警戒避難を支援するため、東日本を中心に全国各地で土砂災害警戒情報(以下、「警戒情報」と略す。)が発表された(図-6.2.2)。発表単位である市町村単位での的中率、捕捉率はそれぞれ約33%、約93%であり、全体では表-6.2.1の通りとなった。警戒情報は長期降雨指標(土壌雨量指数)と短期降雨指標(60分間降雨量)に基づいて運用されている²⁾。各指標の最大値と災害の発生状況の関係を、警戒情報の発表区域と合わせて示すと図-6.2.3(長期降雨指標)と図-6.2.4(短期降雨指標)の通りである。台風第19号は本土接近前に前線帯を刺激して降水をもたらしたため、長期降雨指標は広範囲で大きくなった。長期降雨指標により見逃しは防がれている。他方で、災害の発生との適合性は短期降雨指標の方が高くなっており、60分間降雨量に着目すれば空振りは減らせる状況であった。予測可能性の観点からは、先行降雨を含む長期降雨指標の方が過去の実績降雨の寄与度が大きいため安定しており、予測性は高く、更新間隔の短い60分間降雨による短期降雨指標の方が予測性は低い。台風性の降雨であっても、実際の強雨域を時間と場所を特定した量的予報には依然として課題がある。土砂災害警戒情報は2時間先の予測値に基づいて発表されている。事前避難のためには、降水短時間予報等、実況と直前予測となるナウキャストの改善が不可欠と言える。

警戒情報を補足する情報のプロトタイプとして国総研土砂災害研究部では水管理・国土保全局砂防部と共同で「土砂災害危険度評価システム(以下、評価システム)」を運用している³⁾。評価システムでは、線状降水帯等の強雨停滞(予測)域を抽出して表現している。降雨量が多く、土砂の崩壊・流動の多発した秩父山地東縁、及び阿武隈山地の2地域における台風第19号時の評価システムの画像の例を示す(図-6.2.5、図-6.2.6)。台風の移動が速かったため、災害発生分布と強雨停滞域との対応は十分とは言えず、今後の改良が必要である。過去の強雨停滞域を統計的に抽出し、地形特性から強雨停滞域の発生危険性を表現したマップ上に主要な災害箇所を重ねて表示したものは図-6.2.7のようになった。評価システムで検出する対象は台風ではなく前線性豪雨が中心であるため、マップの適用性は十全ではないものの、今回の台風でも過去に強雨停滞域があった地域上ないし近接地域で強雨となっていたことが分かる。地形による降雨増幅に着目した図-6.2.7は降雨特性から見たハザードマップとして防災上の参考資料として一定の有用性を持つ可能性がある。

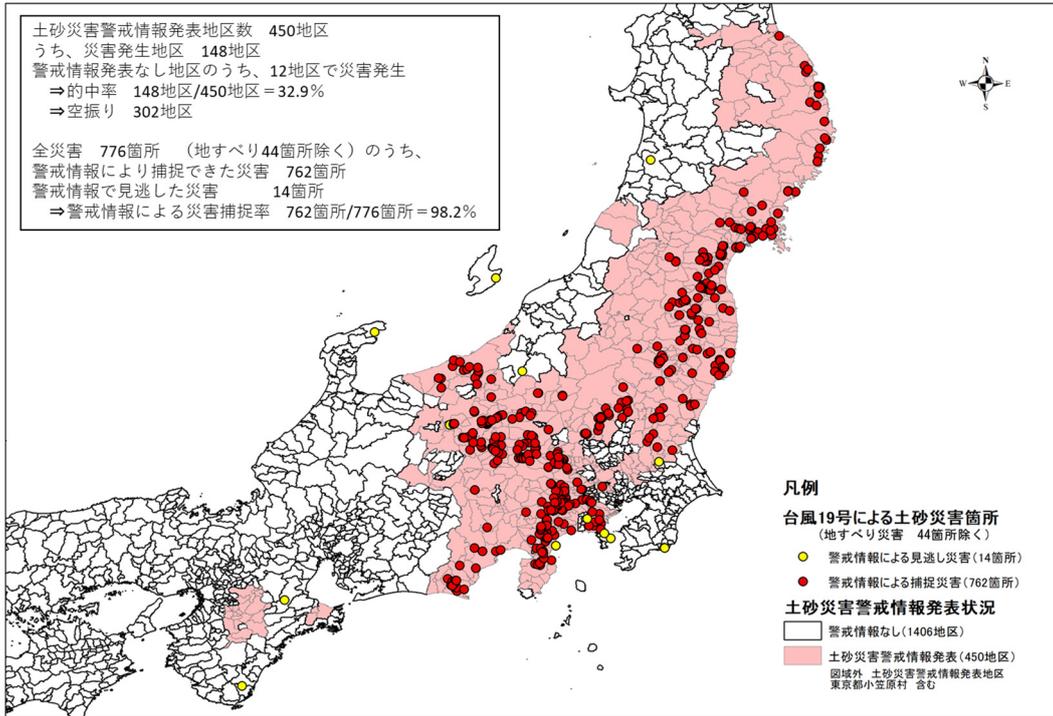


図-6.2.2 土砂災害警戒情報の発表状況(2019年台風第19号)

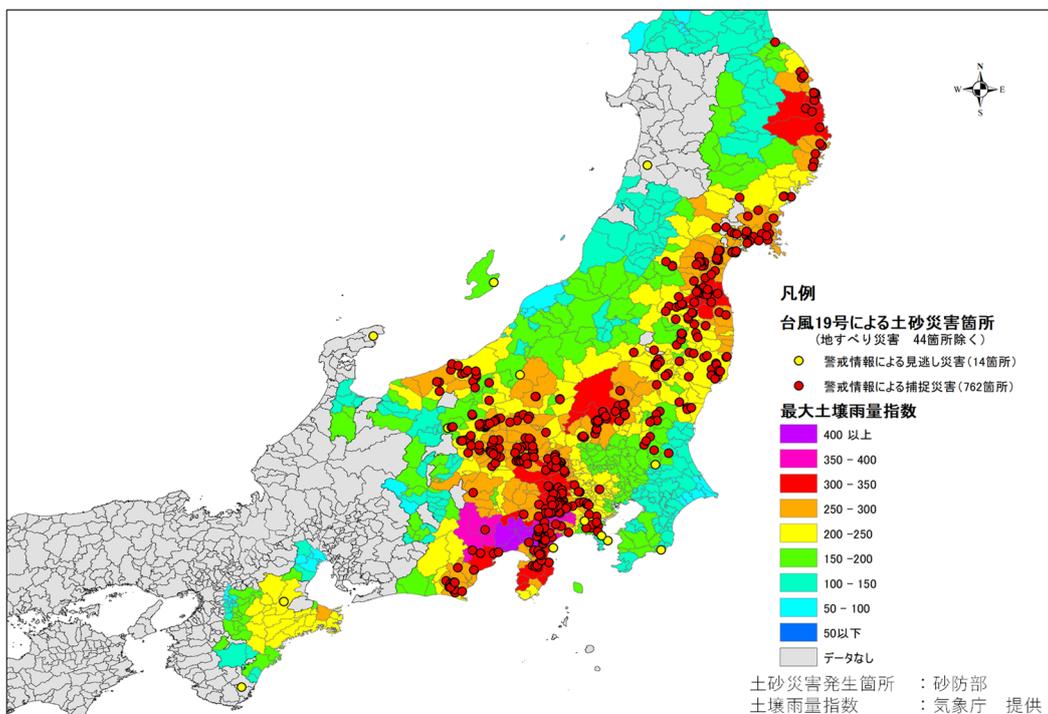


図-6.2.3 降雨指標の最大値と災害の発生状況の関係(長期降雨指標)
 (提供 土砂災害発生箇所:国土交通省砂防部、土壌雨量指数:気象庁)

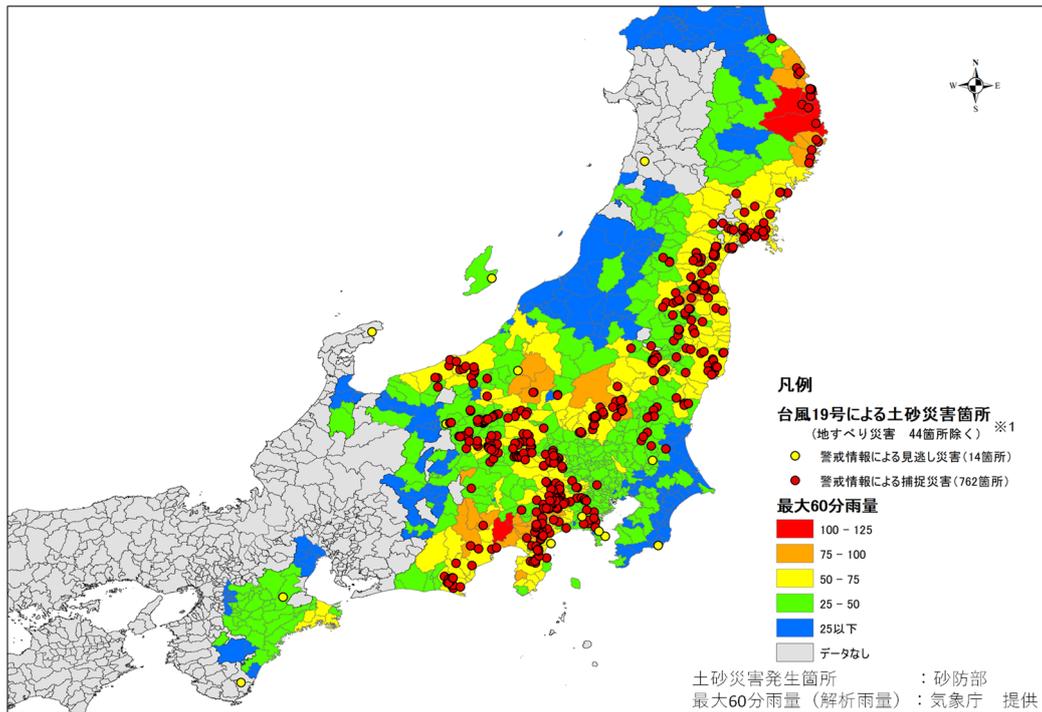


図-6.2.4 降雨指標の最大値と災害の発生状況の関係(短期降雨指標)
 (提供 土砂災害発生箇所：国土交通省砂防部、最大60分雨量：気象庁)

表-6.2.1 土砂災害警戒情報の運用成績(2019年台風第19号)

種別	市町村数 箇所数
発表市町村数	450
災害発生市町村数	148
見逃し市町村数	12
災害箇所数	776
警戒情報による捕捉災害数	762
警戒情報で見逃した箇所数	14

種別		的中率 捕捉率
市町村単位	的中率	32.9%
	捕捉率	92.5%
災害箇所単位	的中率	—
	捕捉率	98.2%

地すべり災害(44箇所)を除く土砂災害箇所(776箇所)対象。

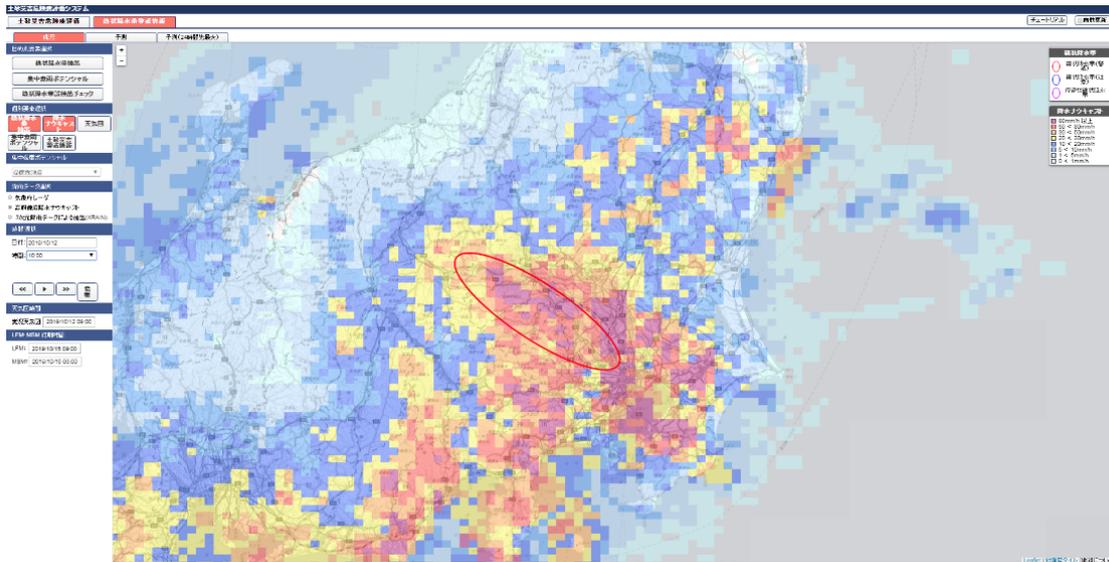


図-6.2.5 土砂災害危険度評価システムの画像例
 (台風第19号、10/12/2019 10:00 秩父山地東縁)

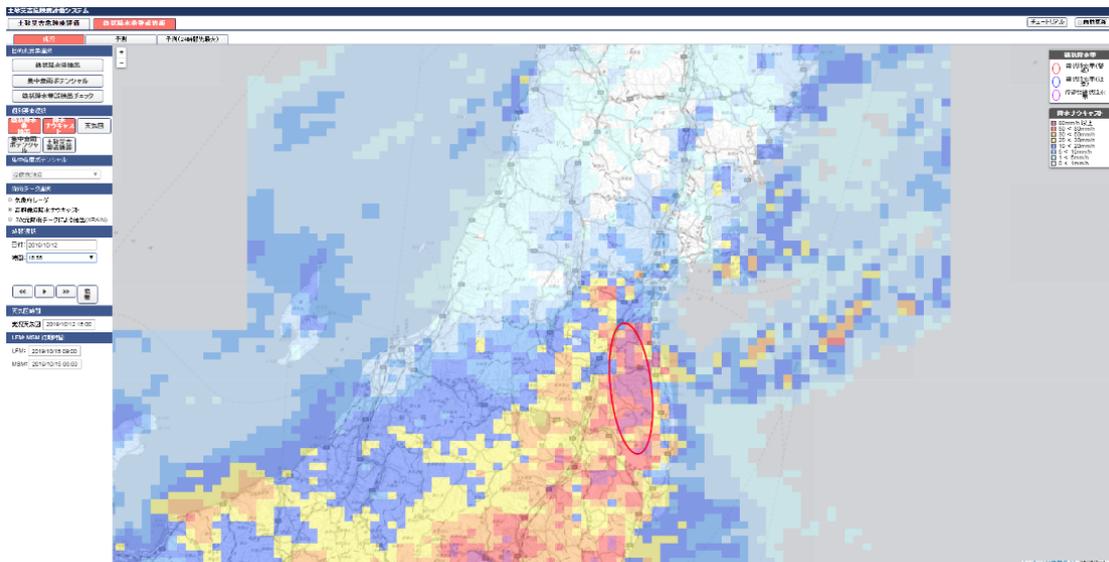


図-6.2.6 土砂災害危険度評価システムの画像例
 (台風第19号、10/12/2019 15:55 阿武隈山地)

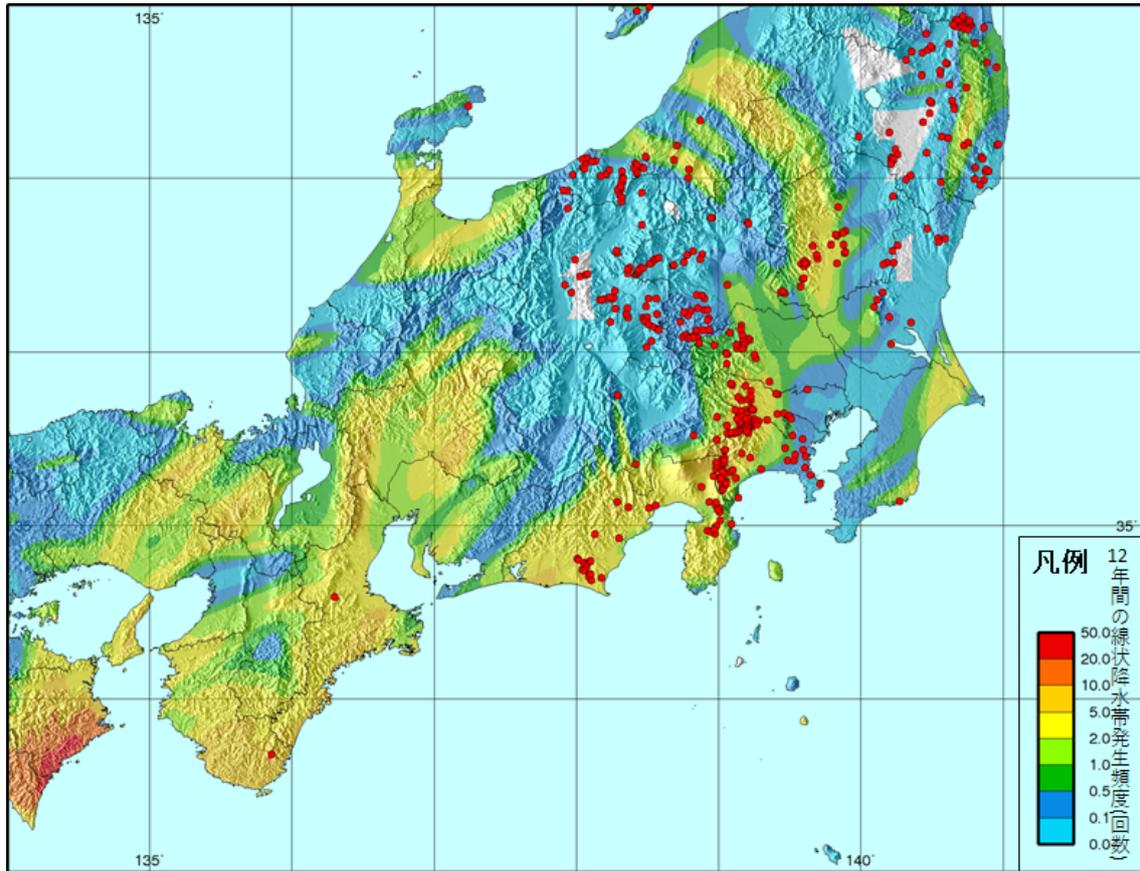


図-6.2.7 強雨停滞域*と主要災害発生箇所(2019年台風第19号)
 *土砂災害危険度評価システムで解析した発生履歴頻度
 (2007~2018年実績による)

6.3 阿武隈川水系内川流域（宮城県伊具郡丸森町）で発生した土砂災害

令和元年台風第19号に伴う豪雨によって、阿武隈川水系内川流域を含む宮城県南部から福島県北東部にかけて強い雨が降り、多数の斜面崩壊、土石流が発生した。特に内川流域では、土砂・洪水氾濫が発生し（写真-6.3.1）、下流の阿武隈川と合流する平地において、土砂・流木等が堆積して被害をもたらした。

国土技術政策総合研究所土砂災害研究部と土木研究所土砂管理研究グループでは、発災直後より職員を派遣して調査を行うとともに、その後も引き続き調査を行ってきた。本節では、これまでに実施してきた調査によって中間的にとりまとめた結果を報告する。



写真-6.3.1 五福谷川での土砂・洪水氾濫の発生状況（2019年10月17日撮影）

6.3.1 被害の概要

丸森町内では、洪水や土砂災害のために死者・行方不明者11名、人家被害850件という甚大な被害にあった（令和元年11月末時点、丸森町調べ）。特に、内川における氾濫が被害を大きくしていて、町役場も浸水被害にあった。土砂災害としては、143箇所が発生の報告があり（令和2年2月中旬時点 国土交通省調べ）、令和元年台風第19号に伴う土砂災害では、全国で最も発生件数が多い自治体である。同町としては、昭和61年以来の死者を伴う風水害であり、土砂災害としても、平成19年以来の発生事例であった。

6.3.2 降雨の概要

このような被害が生じた要因として、総雨量607.5mm、最大60分間雨量80.5mm（10月12日19:30～20:30）の雨が降った（AMeDAS 筆甫）ことがあげられる（図-6.3.1）。特に、同観測所の日降水量（558mm（10月12日））は、観測所の既往最大値（日降水量：359mm（1989年8月6日））をはるかに超えた異常な降雨であった。

また、気象庁のレーダー解析雨量による最大の1時間、6時間、12時間、24時間雨量の分布を、後述する国土地理院による斜面崩壊・堆積範囲の分布と重ね合わせたものを図-6.3.2に示す。雨量の多い範囲は、およそ10km程度の幅をもって、内川流域の中・下流域

を北西から南東に横切るように分布している。しかし、この強雨域の外側についても、この地域としては既往最大に近い、日雨量で200mm以上の雨が降っている。

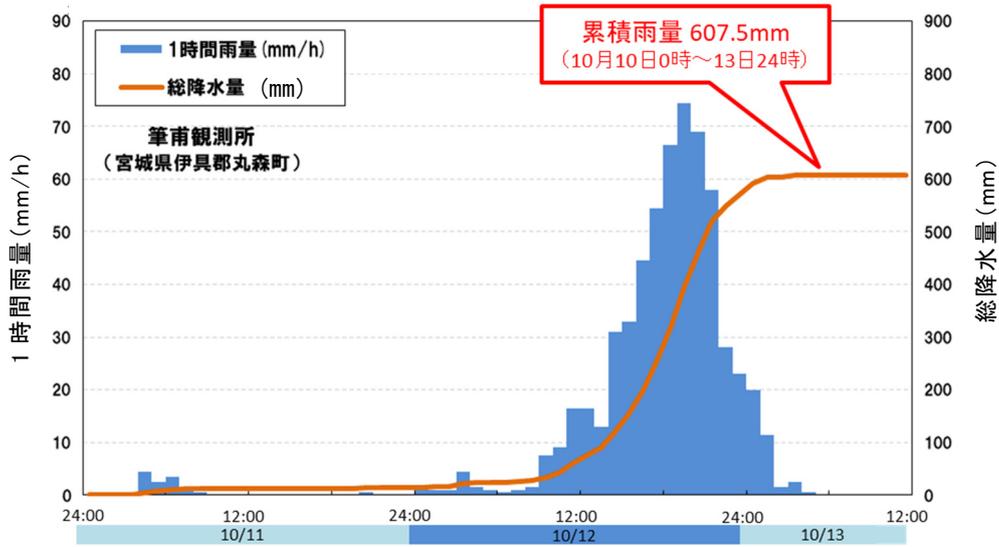


図-6.3.1 令和元年台風第19号に伴う被災地周辺の降雨量

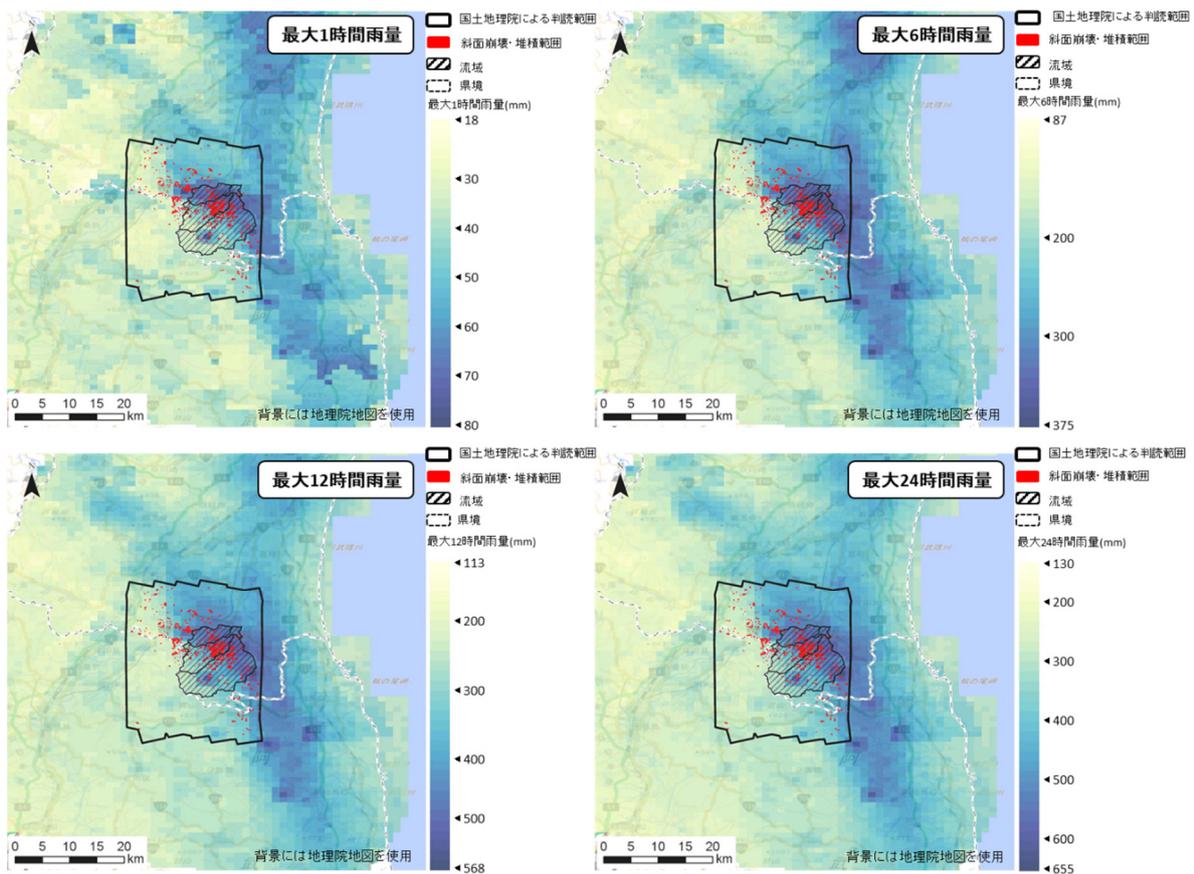


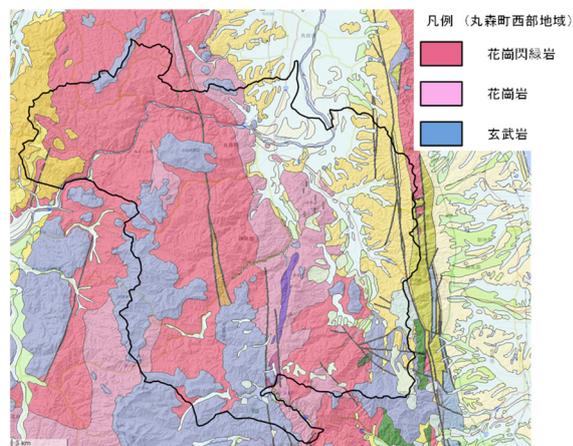
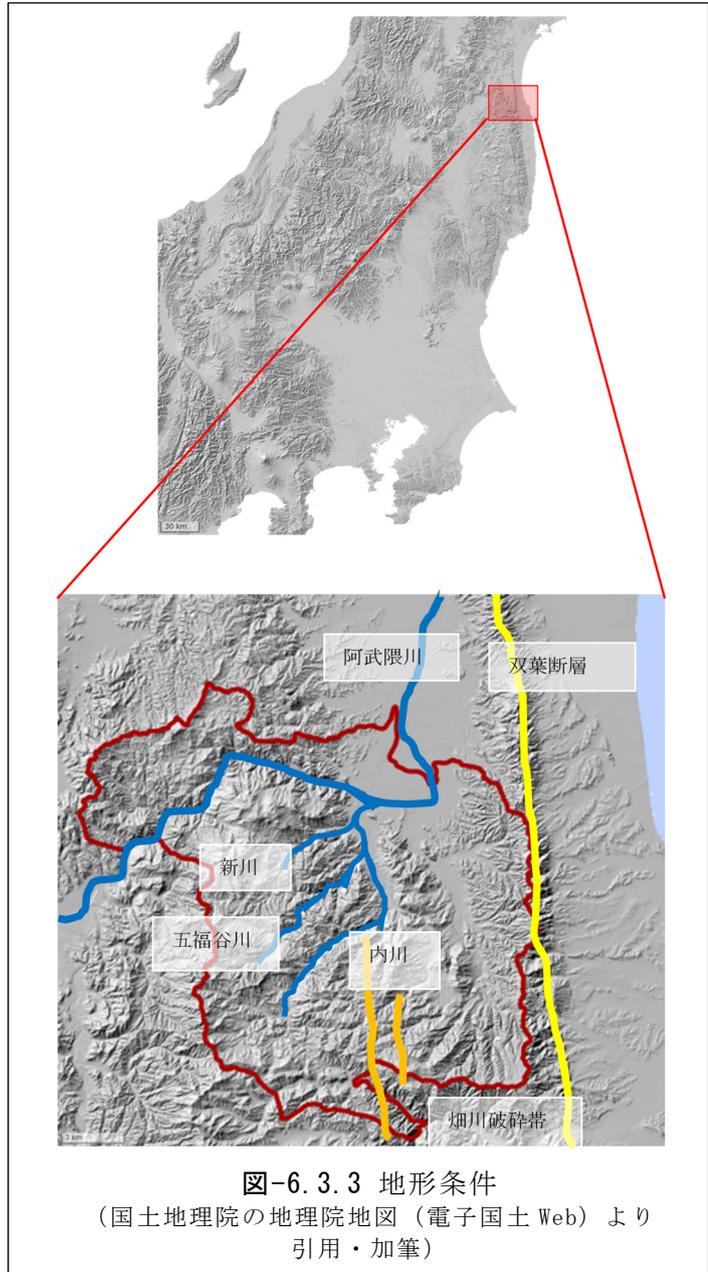
図-6.3.2 令和元年台風第19号に伴う被災地周辺の降雨分布
(気象庁レーダー解析雨量)

6.3.3 地形・地質の概要

令和元年台風第19号に伴う豪雨で土砂災害が集中的に発生した宮城県伊具郡丸森町（図-6.3.3に赤線で示す）は、阿武隈高地の北端付近に位置し、町域の北部を横断するように阿武隈川が南西から北東方向に向かって流下している。北部を除くと、ほぼ山地で占められている。町役場は、阿武隈川へ内川が合流する箇所に形成された平地部に位置している（図-6.3.3）。

内川は、最高標高692m（海拔）、流域面積105.91km²の流域である。上流域では北東方向に緩やかな勾配（2°未満）で流下し、中流部から平野部に至るまでやや勾配が急（2～4°程度）になり北流して阿武隈川に合流する（図-6.3.5）。主な支川は、新川（14.79km²）五福谷川（26.08km²）等であり、いずれも、内川の上流部とほぼ並行して南西から北東方向に流下してそれぞれ内川に合流する（図-6.3.3）。

丸森町は、中央部と東縁部にそれぞれ畑川破碎帯と双葉断層帯の2つの断層帯が走っており（図-6.3.3）、図-6.3.6に示す土砂災害が集中して発生したエリアは、畑川破碎帯の北端にあたる花崗岩・花崗閃緑岩の分布するあたりに分布している（図-6.3.4）。また、内川・五福谷川・阿武隈川では一部流路が直線状になったのちにほぼ直角に流れが変更となっている箇所がいくつか見受けられることから、断層運動によって、流路変更が発生して現地形が形成されたことがうかがえる。



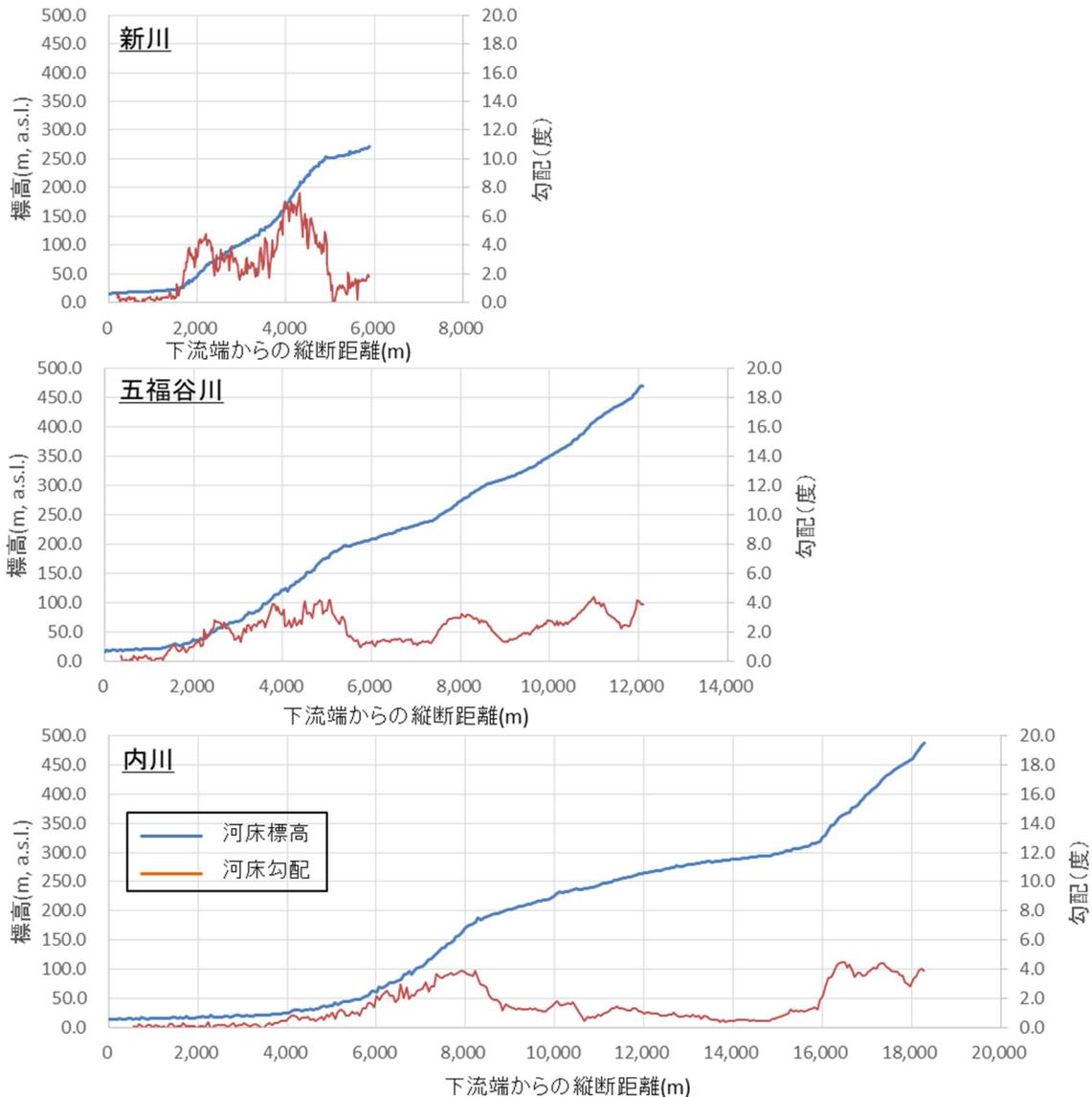


図-6.3.5 内川とその支川の河床縦断勾配

6.3.4 土砂移動現象の実態

(1) 斜面崩壊・土石流の実態

1) 斜面崩壊・土石流の分布と全般的な特徴

図-6.3.6に、国土地理院による斜面崩壊・堆積範囲の判読結果等を示す⁴⁾。これは、10月20日および21日に撮影された空中写真を用いて、宮城県南部から福島県北東部にかけてのおよそ東西20km南北30km程度の範囲について判読して作成された。これらは、斜面崩壊の発生域だけでなく、その堆積域、また、土石流として流下・堆積した範囲も含めて判読されている。この分布図から、判読範囲の北西の隅角にあたる阿武隈川の左岸側から南東の隅角にあたる福島県北東部にかけて、帯状に斜面崩壊等の土砂移動現象の発生域が分布していることが分かる。

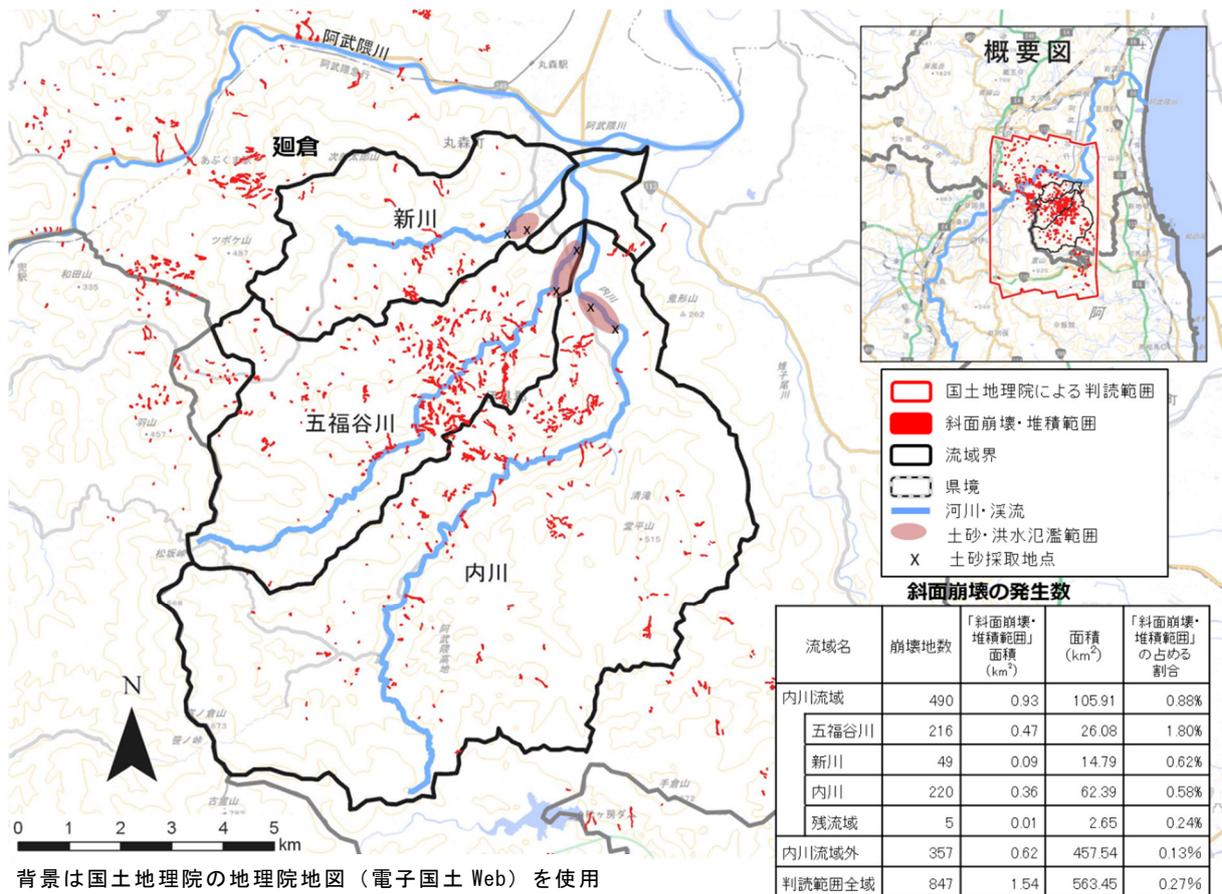


図-6.3.6 内川流域における斜面崩壊・土石流、土砂・洪水氾濫の発生状況

図-6.3.2に示した斜面崩壊・土石流の分布と最大雨量分布の図から、短時間の最大雨量、長時間の最大雨量の分布ともそれほど大きな違いは無く、土砂移動現象が集中して発生している範囲の南西側の境界は、この図において暗色で表示される雨量が特に多い領域の境界によって画されていると言える。一方、土砂移動現象が集中している範囲の北東側は、台風による雨量が特に多かった領域であるにもかかわらず、地形的に平坦であるため斜面崩壊が集中して発生していない。

国土地理院により「斜面崩壊・堆積範囲」と判読されたのは847箇所である。そのうち490箇所が内川流域内にあり、雨量が特に多い領域と重なる中流部に特に集中している。内川流域は、内川本川に西側から五福谷川、新川の2支川が合流する流域であるが、土砂移動現象の発生した箇所数は、内川本川、五福谷川、新川の順に多い。しかし、「斜面崩壊・堆積範囲」の面積で見ると、五福谷川が最も多く、その面積が流域面積に占める割合で見ると、他の流域よりも2倍以上大きい。五福谷川の流域に最も斜面崩壊や土石流の発生が集中していることがわかる。

2) 斜面崩壊・土石流の特徴

内川流域及びその周辺で発生している斜面崩壊の中には、斜面の深い層から崩れる大規模な崩壊は見られず、ほぼすべてが表層崩壊であると見られる。現地調査した斜面崩壊の一例を写真-6.3.2に示す。この崩壊地は、五福谷川下流域の右岸側の斜面で発生していた幅約20m高さ約6mの崩壊である。花崗閃緑岩が風化しマサ状になっており、表層の腐植土層とその下のマサの一部が崩れ落ちている。崩壊の深さはほぼ一様な表層崩壊である。崩壊した土砂は脚部に薄く堆積していた。



写真-6.3.2 小規模な斜面崩壊の発生状況
(左：全景、右：近接写真、10月18日撮影)

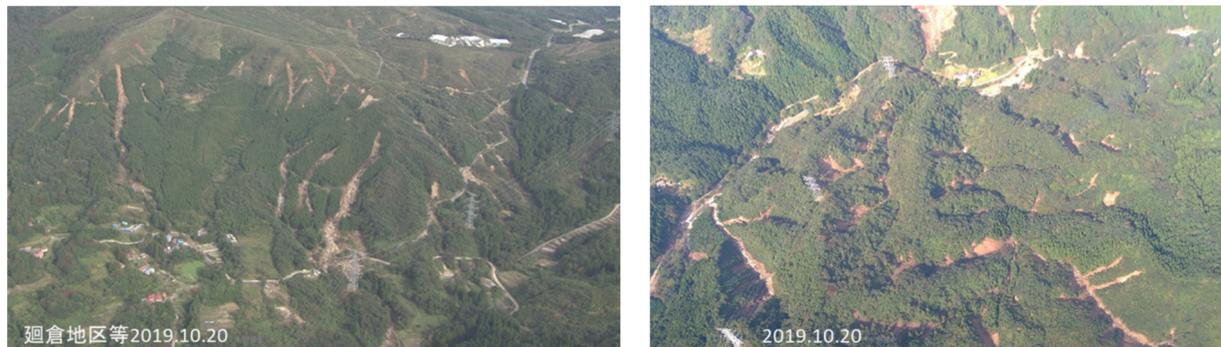


写真-6.3.3 斜面崩壊、土石流が集中的に発生している様子
(左：廻倉地区、右：五福谷川上流域、10月20日撮影)

また、写真-6.3.3に示すとおり、樹枝状に多数の崩壊が発生して、谷筋をさらに侵食して土石流となって流下している状況も見られた。特に、内川流域の西側に隣接する斜面（阿武隈川の右岸側斜面にあたる）では、多数の斜面崩壊、土石流が発生していた。このエリアに含まれる廻倉地区では、土石流が集落を直撃し、死者・行方不明者4人という被害が生じている。

廻倉地区で発生した土石流は、比較的谷地形が不明瞭な箇所が発生していることが特徴である。図-6.3.7の左図に、国土地理院による「令和元年台風19号に伴う斜面崩壊・堆積

分布図」⁴⁾の当地区近傍を拡大した図を示す。ここでは、「斜面崩壊・堆積範囲」を示すポリゴンは、土石流の発生、流下、堆積域を示している。ポリゴンの上流端の位置を見ると、背景に使われている10m間隔の等高線においては、多くの箇所、谷地形を表す等高線の凹みが明瞭ではないことがわかる。

しかし、**図-6.3.7**の右図に示す通り、詳細な地形データで評価すると、10m間隔の等高線では現れなかった微妙な起伏が土石流の発生、流下域と整合を見せることがわかる。この図は、基盤地図情報数値標高モデル（5mメッシュ）を用いて、ArcGISの水文解析ツールで算出できる累積流量（当該メッシュの集水域とみなせるメッシュ数を表したもの）値を算出し、50メッシュ以上を表示した図である。すなわち、着色されているメッシュは、これより上流に少なくとも約1250m²の集水域を有することを示すとともに、それがつながった線分は、仮にこの地形上に地表流が流れるとした場合の流水線を表している。

通常、土石流は、前述の通り、10m間隔の等高線の凹みとして明瞭に表れるような谷地形を呈する斜面で発生・流下する。これは、豪雨によってこれまでも地形的に雨水が集中して、時に土石流が発生する等、侵食が繰り返され谷地形を呈するようになってきたことを意味している。一方で、この地区で発生した土石流は、上述の通り、確かに雨水が集中しやすい微妙な起伏に伴う集水地形を呈する斜面から発生しているが、まだそれらの斜面は10m間隔の等高線の凹みとして明瞭に表れるような谷地形を呈するに至っていなかった。これまで、この地方で降る程度の降雨であれば、今回土石流が発生した斜面では、地形的に土石流が発生するほどには雨水が集中し得なかったものと考えられるが、今回の土石流は、豪雨が記録的であったために土石流が発生するほどに雨水が集中した結果、まだ明瞭な谷地形を呈さない地形条件にもかかわらず発生したものとも考えられる。

ただし、この斜面は、2002年に森林火災で焼けた後に植林されたと推定されている等、土石流の発生には、様々な要因が関係しているものと考えられ、さらに今後調査が必要である⁵⁾。

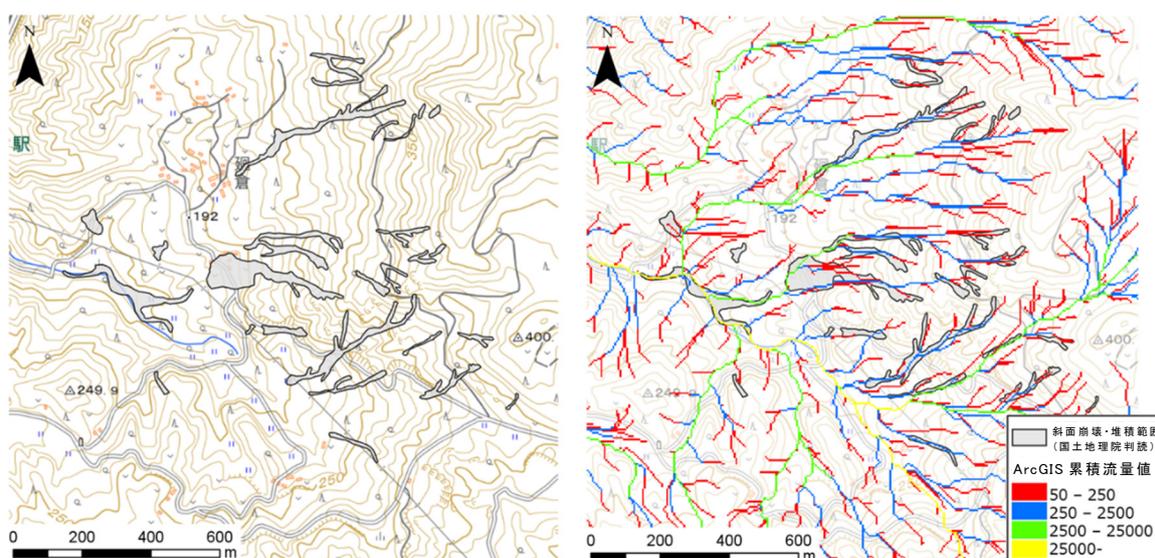


図-6.3.7 廻倉地区における「斜面崩壊・堆積範囲」（左図）と ArcGIS による累積流量図（右図）

(2) 土砂・洪水氾濫の実態

内川流域では、内川本川に加え、五福谷川、新川の2支川においても土砂・洪水氾濫が発生していた（図-6.3.6）。3川の谷出口の平地部では、いずれも上流の山地から流出した土砂の堆積によって河床が大きく上昇している状況が確認され、多くの家屋被害が生じていた。土砂・洪水氾濫範囲において、家屋被害が多く分布する範囲の勾配は概ね1/150～1/100であった。

氾濫範囲で採取した表層の土砂の粒径は、砂成分が支配的である（表-6.3.1、写真-6.3.4）。各河川の氾濫開始点付近では、シルト・粘土成分が含まれておらず、ほとんどすべてが砂粒径となっており、氾濫範囲のより下流部で採取したサンプルでは、礫成分がほとんど無く、シルト・粘土成分の割合が増えている。

表-6.3.1 土砂・洪水氾濫による堆積物の粒度組成

採取地点	礫成分	砂成分	シルト・粘土成分
内川-1	10%	90%	1%未満
内川-2	-	80%	20%
五福谷川-1	19%	80%	1%未満
五福谷川-2	-	85%	15%
新川-1	10%	90%	1%未満
新川-2	10%	90%	1%未満

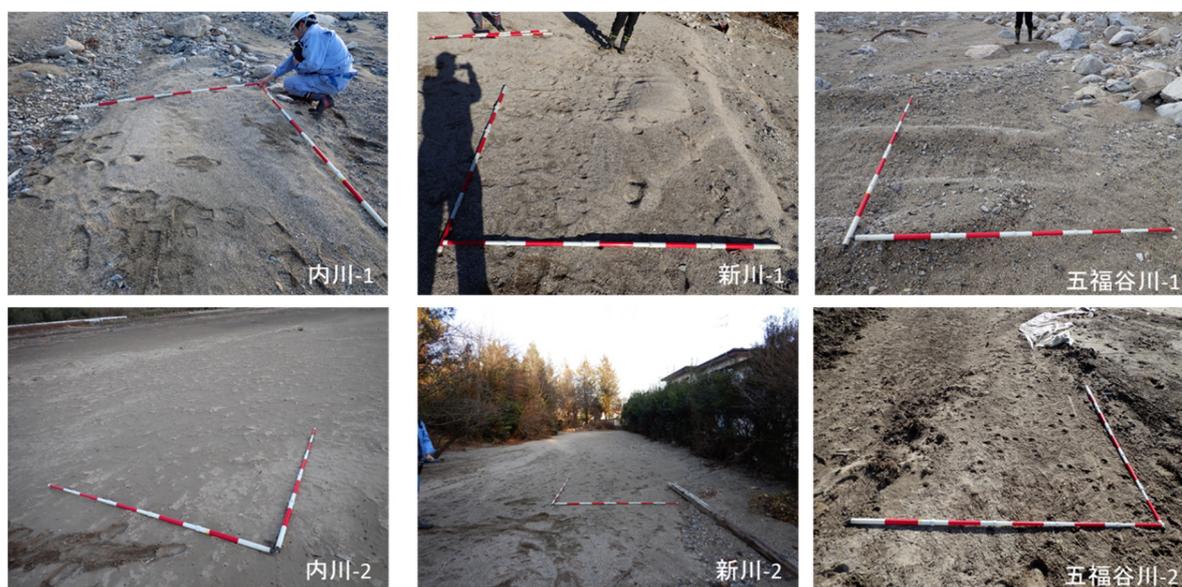


写真-6.3.4 土砂採取地点の状況（土砂採取地点は、図-6.3.6に示す）
（上段：氾濫開始点周辺、下段：氾濫範囲下流部）

以下、10月18日に五福谷川、10月21日に内川、新川を対象に現地調査した結果を示す。

1) 五福谷川

山地河道区間から平野部に流入する箇所には床固工があり、流れは水通しだけでなく、両袖部を含めた全断面で流れが越流していた。この下流から堆積区間が始まる。700mほど続く谷底平野の区間の河床が上昇し、平地部に出ると、元の河道の右岸側方向に、県道45号を越えて土砂の堆積範囲が広がり、氾濫している様子がわかる（写真-6.3.1）。堆積した土砂は、大きな礫は少なく、砂を主体とする花崗閃緑岩由来の土砂と考えられる。流木の流出も見られた（写真-6.3.5）。五福谷川の氾濫開始点付近の河道の流下痕跡から推定されたピーク流量は約400m³/sであった。



写真-6.3.5 五福谷川における土砂洪水氾濫による被害の状況
(左：河床上昇の状況、右：流木の流出状況、10月18日撮影)

五福谷川の中流部では、露岩していない区間はほとんどが溪岸侵食、溪岸崩壊を起こしている（写真-6.3.6）。薄平地区（内川合流点から約3km地点）では河道がほぼ土砂で埋塞しており、土砂・洪水氾濫が発生したと考えられる。また、集落の左岸側の背後斜面から土石流が発生しており、それによっても被害が生じていた（写真-6.3.7）。



写真-6.3.6 五福谷川中流部における土砂・洪水氾濫と土石流により被災した薄平地区の状況（10月17日撮影）



写真-6.3.7 中流部における土砂・洪水氾濫による被害の状況
(左：土砂・洪水氾濫被害、右：土石流による被害、10月17日撮影)

2) 内川

山地河道から平野部に流入する箇所には上滝砂防堰堤があり、堆積敷に土砂・流木の堆積が見られた。しかし、そのすぐに下流の区間は、兩岸を急崖に挟まれた地形となっている（写真-6.3.8）。



写真-6.3.8 上滝砂防堰堤（左）とその下流河道区間の状況（右）（10月21日撮影）

兩岸を急崖に挟まれた河道の区間のすぐ下流にある橋梁（馬越道大橋）では、橋桁下1.5m程度まで河床が上昇している。欄干に流木が多く引っかかっており、洪水時には川の流が橋梁を越流していたものと思われる（写真-6.3.9）。また、左岸側に越流した流れが氾濫して流下している様子も観察された。

同橋梁の下流の流路においても河床上昇が見られるが、内川に右側から合流する小支川（奈良又川）の合流点直下流付近から、水・土砂の氾濫が生じていた。内川本川の河床上昇および支川からの水・土砂の流入により、氾濫が生じたように見られた。内川からの氾濫土砂（花崗岩の礫、マサ土が主体）は、川から離れるにつれて粒径が細くなる傾向が見られた。流木塊も見られる（写真-6.3.10）。



写真-6.3.9 馬越道大橋（左）と内川と奈良又川の合流点（右）（10月21日撮影）

合流点下流の氾濫土砂については、内川本川の河床上昇の氾濫によるものと、馬越道大橋の部分的な閉塞に伴う左岸側への越流によって生じた氾濫によるものがそれぞれ見られた。



写真-6.3.10 内川の氾濫土砂・流木塊（10月21日撮影）

3) 新川

山地河道から平野部に流入する箇所には土ヶ森砂防堰堤があり、主に右岸側の堆積敷に土砂・流木の堆積が見られた（写真-6.3.11）。その地点から100mほど下ると集落のある区間となるが、集落周辺の河道では花崗岩の礫、マサ土を主体とした土砂による著しい河床上昇により、河道埋塞・流路の蛇行が生じている。また、流木も多く見られる。これらにより家屋に被害が生じている。家屋は1階部分が土砂で埋塞しているものが多い（写真-6.3.12）。

河床上昇の著しい区間の下流は築堤区間となるが、河床上昇に伴い、右岸側の堤防の最上流部において、堤防の越流・侵食が生じており、堤防が一部流亡している。堤防の越流・流亡部分から水・土砂が、出水中、下流の宇垂松地区に流入したように見られた（写真-6.3.13）。その下流に続く築堤区間は、内川との合流点付近まで、マサ土の流下堆積

物を主体とした河床上昇が見られる。



写真-6.3.11 土ヶ森砂防堰堤（左）と河道埋塞・流路の蛇行により基礎が流亡し倒壊した家屋（右）（10月21日撮影）



写真-6.3.12 河床上昇により埋塞した家屋（左）と築堤部右岸最上流部での越流・侵食状況（右）（10月21日撮影）



写真-6.3.13 堤防の流亡部分と築堤区間の河床上昇（10月21日撮影）

(3) 土砂移動マグニチュード

土砂移動マグニチュード(Sediment Movement Magnitude, 以下SMM)は、内田ら⁶⁾によって提案された、土石流、がけ崩れ、地すべりなど多様な土砂移動現象について、個別に「移動比高」×「移動土砂量」を計算することで、統一的に発生規模の大きさを評価できる指標である。その後、林ら⁷⁾によって1つの豪雨で崩壊や土石流が同時多発する現象に対して、個別の土砂移動現象を全て積算した「1つの豪雨や地震(以下1イベント)による土砂移動マグニチュード(SMMevent)」として、以下のような式が提案された。なお、以下、「土砂移動マグニチュード」とは、このSMMeventを指すものとする。

$$SMMevent = \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n HiVi \right) \quad \dots \dots (1)$$

ここで、n:1イベントで発生した土砂移動現象数

Hi (m):1イベントで発生した土砂移動現象の内、個別の土砂移動現象のSMMが大きい方からi番目の土砂移動現象の移動比高

Vi (m³):1イベントで発生した土砂移動現象の内、個別の土砂移動現象のSMMが大きい方からi番目の土砂移動現象の移動土砂量

林・内田⁸⁾では、移動比高と移動土砂量について、算出方法を代表事例に限定した手法でSMMを算出しており、その妥当性について評価している。

今回、丸森町で発生した斜面崩壊について、国土地理院が空中写真判読を行い、WEB上で公開された「斜面崩壊・堆積」範囲のポリゴンデータを用いてSMMを算出した。算出に当たっては、GIS上で作業を行い、すべてのポリゴンから土砂移動発生域と移動比高を算出した後に式(1)に示すとおり積算して、土砂移動マグニチュードを算出した。

なお、式(1)で必要な移動土砂量の算出はGuzzetti et al⁹⁾で提唱された

$$V = \alpha A^{1.45} \quad \dots \dots (2)$$

この時、V:移動土砂量 (m³)

A:土砂移動発生域面積 (m²)

α:0.074

を用いて算出した。この式は、斜面崩壊等の土砂移動の発生域の面積から移動土砂量を推定するために一般的に用いられる式である。前述のとおり、国土地理院の公開ポリゴンは、SMM算出に必要な土砂移動現象の発生域だけでなく、流下域、堆積域を含めた土砂が移動した範囲を斜面崩壊・堆積範囲全体を一つのポリゴンとしている。従って、この面積を式(2)に代入して移動土砂量を推定すると、その推定移動土砂量およびそれから算出されるSMMは実際より過大評価されることになる。しかし、現時点では、斜面崩壊等の土砂移動の発生域に限定した写真判読結果や、航空レーザー計測データによる差分解析結果は得られていないことから、この数値を用いて暫定的に土砂移動マグニチュードを計算した。

また移動比高については、ポリゴンデータの最高標高値と最低標高値の差分(図-6.3.8)から算出した。

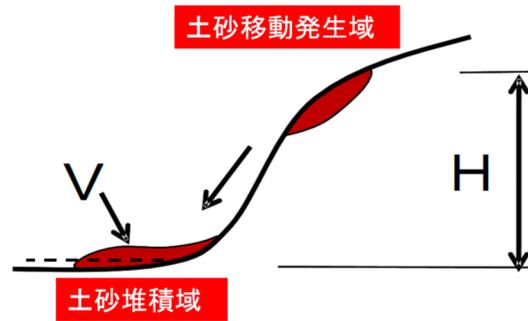


図-6.3.8 土砂移動比高 H (m) のイメージ図

土砂移動マグニチュードの算出結果は、8.5 となった。過去の主な土砂災害について求められた土砂移動マグニチュードやその被害の状況⁸⁾を表-6.3.2 に示す。数値としては概ね 2015 年の関東・東北豪雨時の日光における土砂災害と同程度の規模であったこととなる。林・内田⁸⁾によれば、土砂移動マグニチュードが 8 程度の災害の特徴の一つは、「比較的狭い範囲で斜面崩壊、土石流が同時多発したイベント」としている。丸森町における土砂災害はまさにそのような特徴を示しているといえる。

表-6.3.2 過去の主な土砂災害時の土砂移動マグニチュード (SMMevent) とその特徴

発生年	災害名	原因	SMMevent	移動土砂量(m ³)	人的被害	家屋被害
2011	紀伊半島大水害	豪雨	10.5	10000万	62	190
2008	岩手・宮城内陸地震	地震	10.4	13000万	18	3
2004	新潟県中越地震	地震	9.9	10000万	4	93
2005	台風14号(九州地方)	豪雨	9.9	2300万	11	76
2018	西日本豪雨(広島県)	豪雨	9.4(9.6)	800万	87	711
2017	九州北部豪雨(筑後川右岸)	豪雨	9.3(9.5)	1100万	41	1134
2016	熊本地震	地震	8.8	440万	10	35
2015	関東・東北豪雨(日光芹沢地域)	豪雨	8.3(8.5)	80万	0	7
2014	長野県南木曾土石流	豪雨	8.1	10万	1	13
2014	広島豪雨	豪雨	8	50万	74	429
2009	山口県防府市	豪雨	8	240万	14	91
2013	伊豆大島豪雨	豪雨	7.9	18万	39	203
2014	京都府丹波市	豪雨	7.8	100万	1	43
2006	長野県岡谷市	豪雨	7.4	10万	8	27
2003	熊本県水俣市集川	豪雨	7.5	9万	19	16
2003	福岡県太宰府市	豪雨	6.7	1.5万	1	40
2013	秋田県仙北市	豪雨	6.4	1.5万	6	6

SMM	特徴	被害
概ね10以上	深層崩壊が多発したイベントであり、複数の大規模な河道閉塞が発生	大規模な河道閉塞により、長期間の避難が必要な場合がある。土砂災害により、数100戸以上の人家が被災し、数10人の人的被害が生じる場合がある。
9程度	斜面崩壊・土石流が広域で多発したイベントであり、土砂・洪水氾濫による被害が発生	土砂災害により、数100戸以上の人家が被災し、数10人の人的被害が生じる場合がある。
8程度	①比較的狭い範囲で斜面崩壊・土石流が同時多発したイベント ②概ね1つの土石流危険渓流内のみで生じた場合であっても極めて規模の大きいイベント の2つのタイプが存在	土砂災害により、数10戸～数100戸の人家が被災し、数人～数10人の人的被害が生じる場合がある。
6～7程度	比較的規模の大きい土石流・斜面崩壊や複数の斜面崩壊・土石流が集中するイベント	土砂災害により、数戸～数10戸の人家が被災し、数人～10数人の人的被害が生じる場合がある。

(林・内田⁸⁾ から抜粋)

6.3.5 阿武隈川水系内川流域で発生した土砂災害のまとめ

台風第 19 号によって、宮城県丸森町では、総雨量 600mm 以上の雨が観測される等、記録的な豪雨に見舞われ、雨量が著しく多いエリアにおいては、斜面崩壊、土石流が集中的に発生した。大きな被害が生じた廻倉地区では、谷地形が不明瞭な斜面であるにもかかわらず土石流が発生していた。丸森町およびその周辺で集中的に発生した斜面崩壊、土石流の規模は、H29 年、H30 年に九州北部や、広島等の花崗岩類の分布する地域で発生した同時多発的な表層崩壊、土石流と類似した現象であったものと考えられる。ただし、規模としては、H29 年九州北部豪雨、H30 年西日本豪雨で集中的に発生した崩壊、土石流の土砂災害マグニチュードが 9.5、9.6 とされている⁸⁾のに対して、丸森町周辺で今回発生した現象についての土砂災害マグニチュードの試算結果は、7.8~8.5 である。しかし、この数値幅の上限値は、堆積域までも崩壊域と見なした場合の数値であるので、むしろ実態はこの数値幅の下限に近いと考えられることから、H29 年、H30 年の豪雨災害と比べると土砂災害マグニチュードとしてはかなり小さいと言える。崩壊に関わる斜層土の状態、過去の降雨履歴の違いなど様々な面から比較・検証が必要と考えられる。

一方、斜面崩壊や土石流が集中的に発生した内川流域では、内川本川と五福谷川、新川の 2 支川において、上流域から流出した大量の土砂が、それらの谷出口より下流の河道で堆積することにより、河床上昇が引き起こされ、土砂・洪水氾濫が発生して多くの家屋被害をもたらした。前述の通り、これらの流域では、数多くの斜面崩壊、土石流が発生して、大量の土砂が供給されたものと考えられる。また、溪岸、溪床の侵食も著しく、流下区間での土砂生産の影響も大きいと見える。先に述べた H29 年、H30 年の豪雨災害時においては、内川流域と同様に、土砂・洪水氾濫が発生した（表-6.3.3）。これらの事例は、深成岩類（花崗岩類）の地質で、標高も 400~600m 程度の低山という点では類似しているが、崩壊生産土砂量や流出土砂量は互いに異なっており、今後、詳細に LiDAR 計測データの解析等を通じてさらに五福谷川等の内川流域内の土砂動態の分析を進めていく予定である。

なお、本節は令和 2 年 3 月時点で明らかであった資料および情報に基づいて書かれたものである。

表-6.3.3 近年の主な土砂・洪水氾濫事例との比較

河川名	総雨量	流域面積 平均勾配*	地質	崩壊生産 土砂量**	流出土砂量
五福谷川	607.5mm (AMeDAS 筆甫)	26.1km ² 1/27	深成岩類（花崗岩、花崗閃緑岩）	47 万 m ³ (暫定値)	-
赤谷川 (H29 九州北部豪雨)	610mm (AMeDAS 朝倉)	20.1km ² 1/21	変成岩類、深成岩類（花崗閃緑岩）	290 万 m ³	68 万 m ³
大屋大川 (H30 西日本豪雨)	471mm (AMeDAS 呉)	4.8km ² 1/12	深成岩類（花崗岩）	13.5 万 m ³	8.5 万 m ³

* 国土地理院地図において、各河川の水涯線の最上流地点と大河川への合流点もしくは海岸までの標高差をその間の河道距離で除したもの。

** 災害前後のレーザー測量結果の差分値。なお、五福谷川については図-6.3.6 に示した五福谷川流域内の「斜面崩壊・堆積域」の総面積に厚さ 1m を乗じて求めたもの。

6.4 群馬県富岡市の災害

国土技術政策総合研究所砂防研究室と土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチームでは、群馬県からの要請をうけ、2019年10月15日に現地調査を行い、応急対策や警戒避難体制等について、群馬県及び富岡市に助言した。調査結果について以下に報告する。

6.4.1 概要

(1) 災害発生状況

群馬県では、2019年10月12日16:30頃崩壊性地すべりが発生し、死者3名、負傷者3名、全壊家屋1戸、半壊家屋5戸の甚大な被害をもたらした。図-6.4.1に内匠地区の位置概略を、写真-6.4.1に被災状況を示す。現場から約4kmの距離に位置する群馬県富岡土木事務所の雨量観測データによると、降り始めからの連続雨量は495 mm（2019年10月11日14:00～10月12日23:00）に達し、崩壊発生時刻付近の12日17時頃までの連続雨量は397mmであった。また、最大時間降水量48.5 mm（10月12日12:00～13:00）を記録した約4時間後に崩壊性地すべりが発生した（図-6.4.2）。

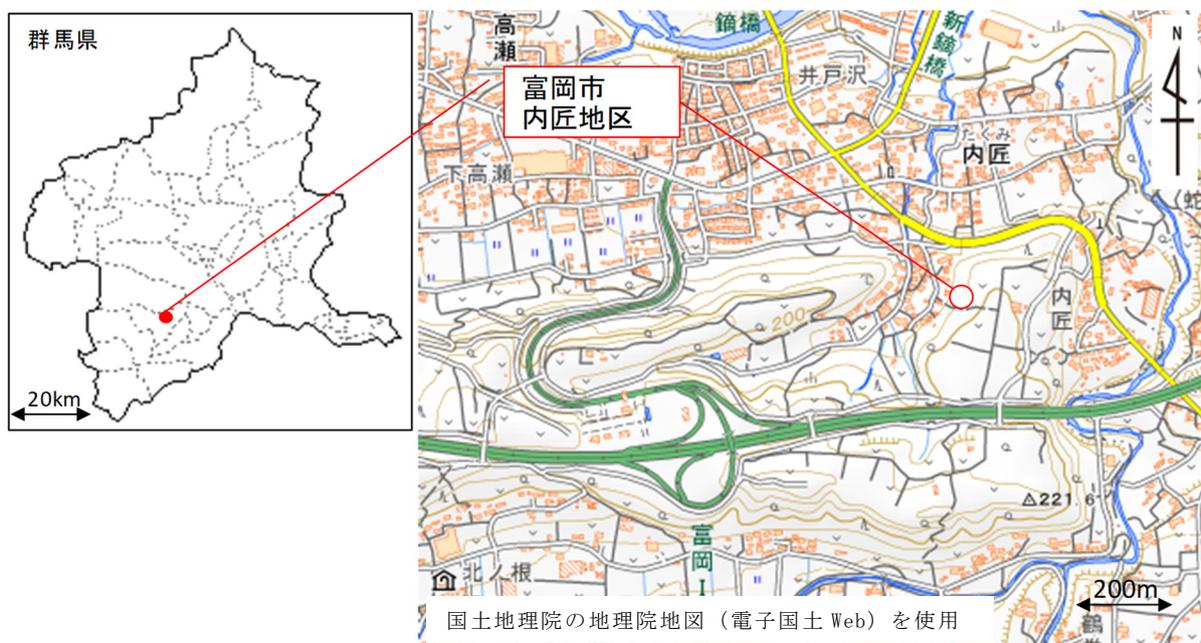


図-6.4.1 災害発生個所の位置概略



写真-6.4.1 内匠地区の被災状況（10月15日撮影 富岡市消防局）

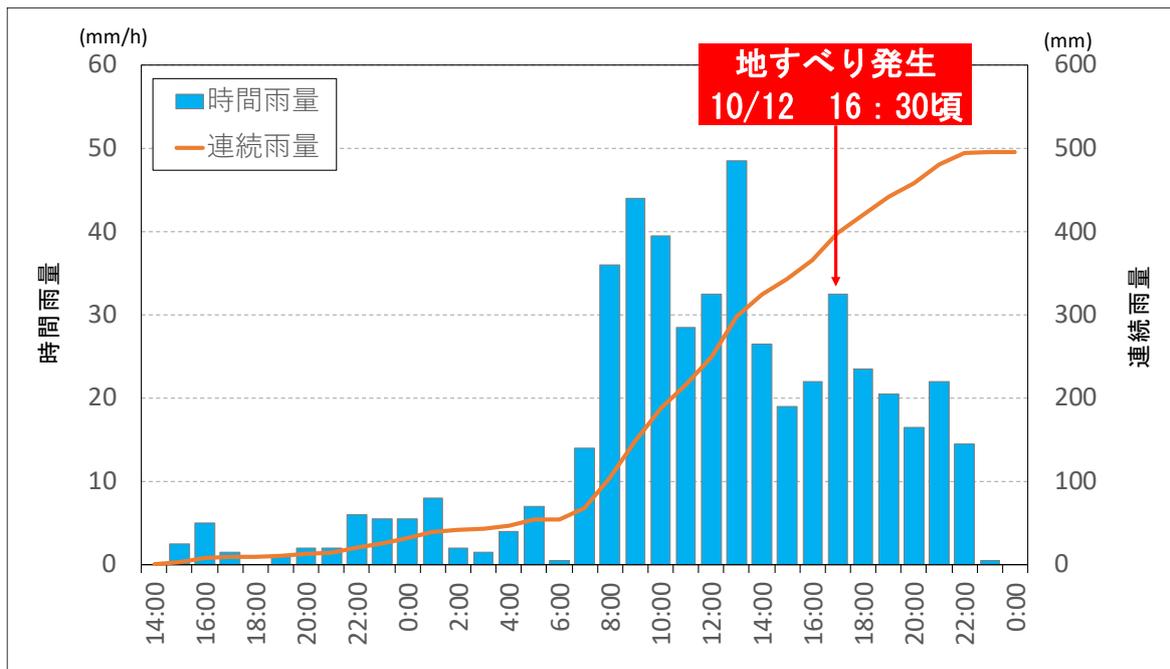


図-6.4.2 降雨の経時変化（富岡雨量観測所）

(2) 地形の概況

写真-6.4.2に崩壊性地すべりの発生域の状況を、図-6.4.3に崩壊発生前地形の傾斜量図を示す。内匠地区の位置する鐮川流域は、段丘地形の発達がよく、崩壊性地すべりは段丘崖の斜面上部で発生した。発生域は勾配が15～25度の比較的緩い斜面であり、上位の段丘面には緩く傾斜した耕作地が広がっており、比較的大きな集水域が存在している。また、災害発生前後に取得されたLPデータをもとに標高差分を算出したところ、崩れた深さはどちらも最大で3～4m程度であった（図-6.4.4）。なお、災害発生前のLPデータは利根川水系砂防事務所の平成21年測量データ、発生後は群馬県の令和元年測量データを用いた。



写真-6.4.2 崩壊性地すべりの発生域の状況（10月15日撮影 富岡市消防局）

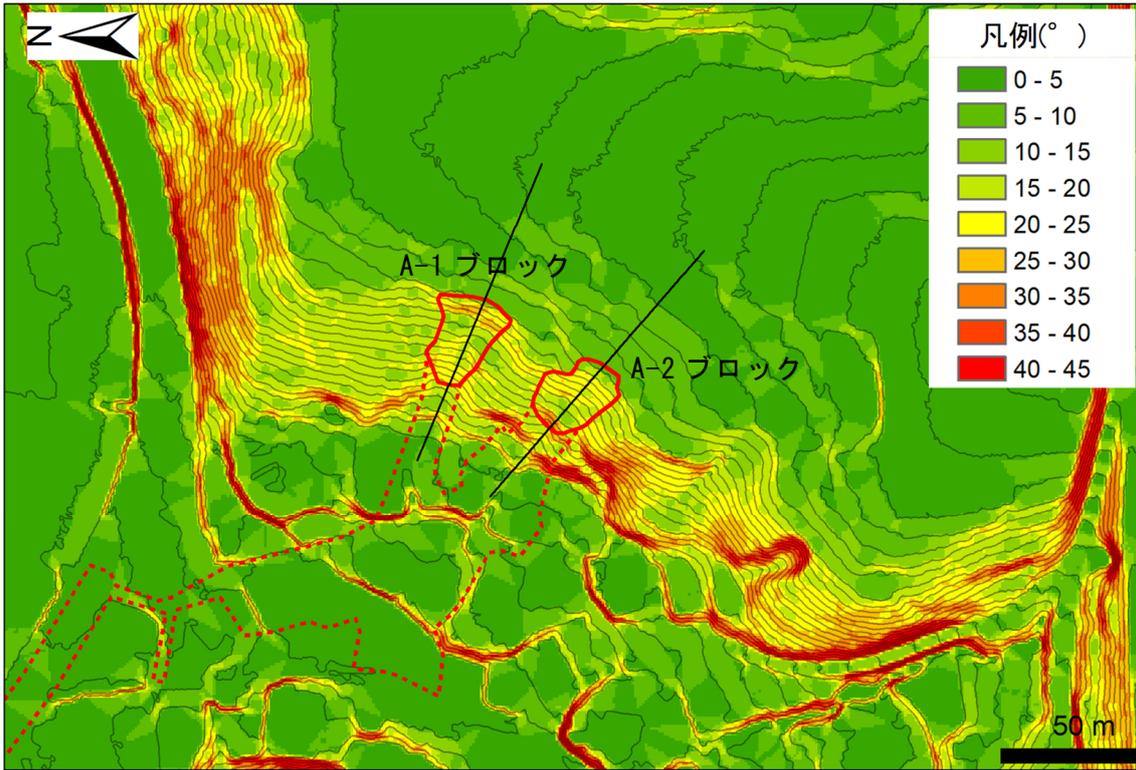


図-6.4.3 傾斜量図 (H21利根川水系砂防事務所測量データをもとに土木研究所にて作成)

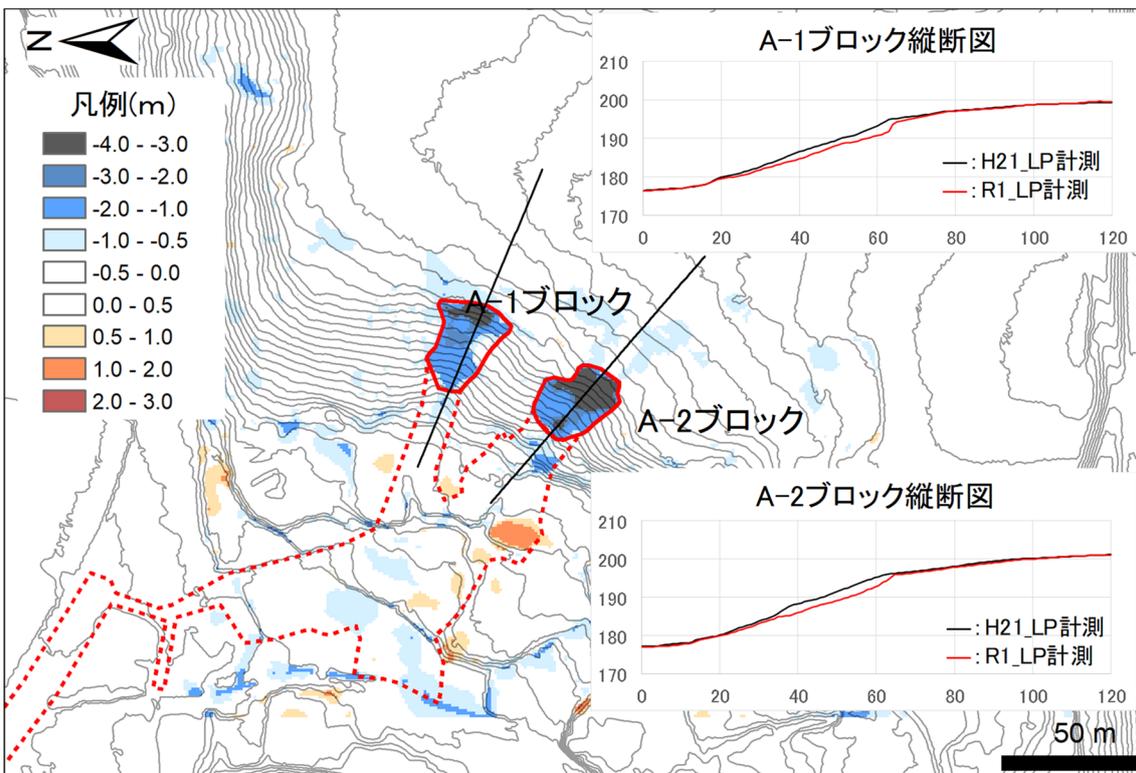


図-6.4.4 標高差分と縦断面図 (H21利根川水系砂防事務所測量データ、R1群馬県測量データより土木研究所にて作成)

6.4.2 現地調査結果

(1) A-1ブロック崩壊性地すべり発生域

斜面に向かって左側（北側：A-1ブロック）の崩壊性地すべりの発生域の規模は、幅30m、長さ35m、深さ最大3m程度であった。写真-6.4.3に斜面全景を、写真-6.4.4に斜面脚部の状況を示す。滑落崖では、表層から約2m程度の黒色の有機土層、その下に砂質火山灰土、その下に風化により軟弱な状態の風化軽石層、さらにその下に粘土層を確認した（写真-6.4.5）。崩壊性地すべりが発生した斜面の上位の段丘面には、新たな亀裂等は調査時点では確認されなかった。



写真-6.4.3 A-1ブロックの全景（10月15日撮影 富岡市消防局）



写真-6.4.4 斜面脚部の状況

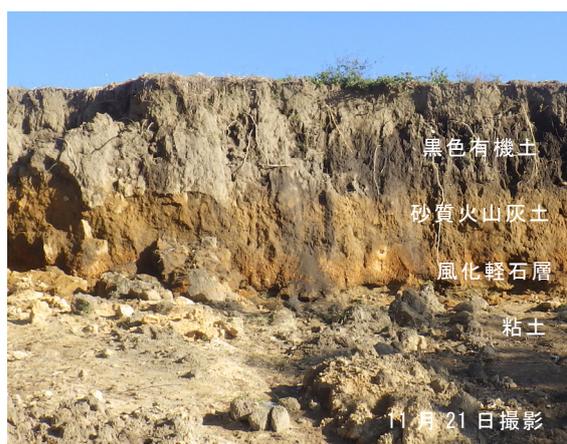


写真-6.4.5 滑落崖の状況

(2) A-2ブロック崩壊性地すべり発生域

斜面に向かって右側（南側：A-2ブロック）の崩壊性地すべりの発生域の規模は、幅25m、長さ30m、深さ最大3m程度であった。写真-6.4.6に斜面全景を、写真-6.4.7に斜面脚部の状況を示す。滑落崖では、表層から黒色の有機土層、その下に砂質火山灰土、その下に風化により軟弱な状態の風化軽石層、さらにその下に粘土層を確認した（写真-6.4.8）。側部においても同様の地質構造となっており、斜面に沿って流れ盤状態で堆積していると考えられる（写真-6.4.9）。今回の崩壊は軟弱な風化軽石層にすべり面が形成されたと考えられ、崩壊性地すべりが発生した斜面上部では、写真-6.4.10に示すようにすべり面が露出しており、調査時には滑って歩きにくい状態であった。風化軽石層と粘土層との境界部には写真-6.4.9や写真-6.4.11に矢印で示すように、多数のパイプが見られ、写真-6.4.12に示すように湧水が確認された箇所もあった。崩壊性地すべりが発生した斜面の上位の段丘面には、新たな亀裂等は調査時点では確認されなかった。



写真-6.4.6 A-2ブロックの全景（10月15日撮影 富岡市消防局）



写真-6.4.7 斜面脚部の状況



写真-6.4.8 滑落崖の状況

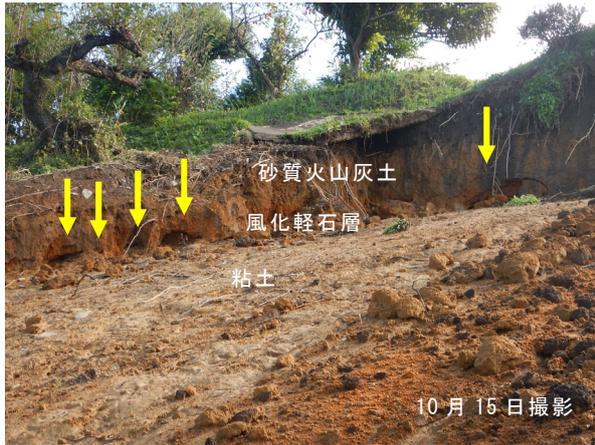


写真-6.4.9 側部の状況



写真-6.4.10 すべり面付近の状況



写真-6.4.11 パイプと推定される穴



写真-6.4.12 湧水の状況

(3) 流動化した土砂の堆積状況

図-6.4.5に崩壊性地すべり発生域（実線）、土砂の堆積域（点線）を示す。ここで示した土砂は、直撃により斜面下の家屋に損壊を生じさせたものと、多量の水とともに道路を流下したものとが考えられるが、明確に区分できないため合わせて示している。家屋に損壊を生じさせた土砂は、A-2ブロック斜面直下の家屋を全壊させ、さらに市道を越えた先の家屋の1階部を埋め尽くして堆積した（写真-6.4.13）。発生域末端から約70m離れた家屋の1階部に土砂が到達して、家屋に損壊を生じさせており、発生域斜面長の2.5倍程度の遠方まで到達したこととなる。大雨により大量の水が土砂に含まれていたことが影響し、流動性が非常に高かったと考えられる。

また、道路を流下した土砂は、写真-6.4.14に示すように、勾配のついた市道沿いを県道の方へ流出し、県道と市道との合流点付近では10cm程度の堆積痕跡を確認した（写真-6.4.15）。さらに、写真-6.4.16に示すように県道にまで到達し、最終的には、発生域から約500m離れた地点まで到達した（図-6.4.6）。



図-6.4.5 発生域と堆積域の状況（10月15日富岡市撮影写真をオルソ化）



写真-6.4.13 市道下の家屋の被災状況



写真-6.4.14 流下した土砂の痕跡



写真-6.4.15 県道と市道の合流点付近に
堆積した土砂の痕跡



写真-6.4.16 県道の状況

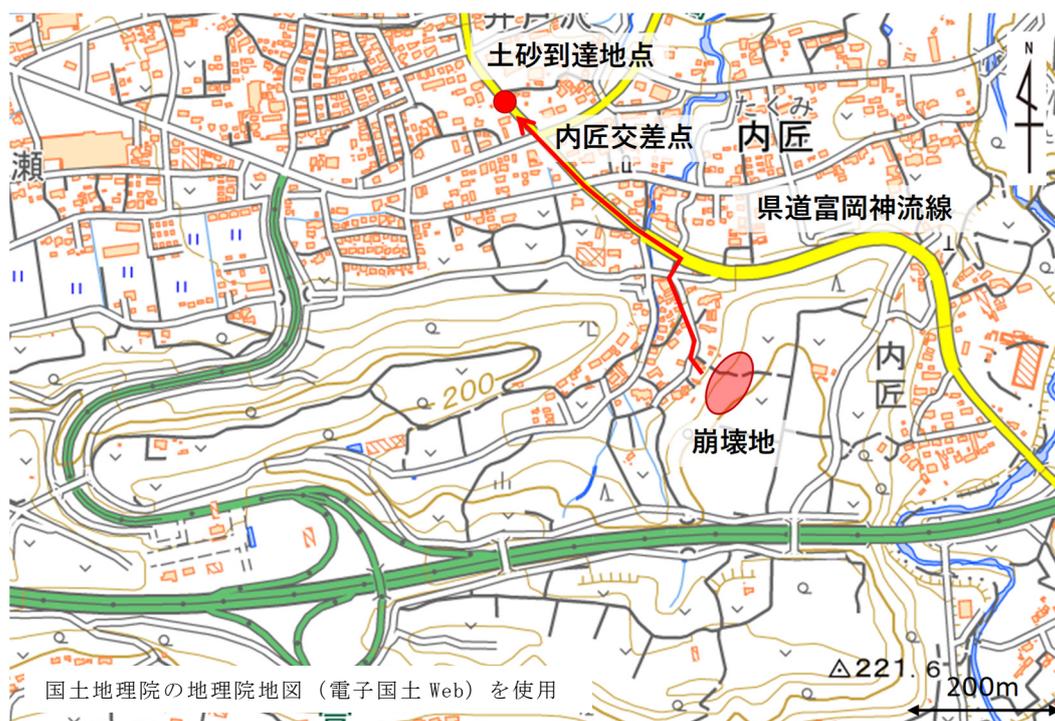


図-6.4.6 県道まで流下した土砂の到達地点の位置概略

(4) 発生原因の推定

以上の調査結果から、崩壊性地すべりが発生した斜面の地質的特徴としては、軟弱な風化軽石層が斜面に沿って流れ盤状態で堆積していたことが挙げられる。また、地形形状から斜面上位の緩斜面は比較的大きな集水域となっているため、豪雨の際には多量の水が供給されたと推定される。さらに、滑落崖の風化軽石層と粘土層との境界部付近には、パイプと推定される複数の穴が存在していたとともに、発生から3日後の時点でもすべり面付近から湧水が確認された箇所を確認した。このような要因から、台風第19号による豪雨によって、本斜面において崩壊性地すべりが発生したものと推定される。

6.5 まとめ

台風第19号に伴い降水量が多かった地域では、斜面崩壊や土石流等が多数発生するとともに、中、下流域で土砂・洪水氾濫が発生した。さらに台地周辺部を中心に、それほど急峻ではなく土砂災害防止法に基づく土砂災害警戒区域等の調査基準、指定基準を満たさず、指定対象外と分類されてきた斜面においても土砂災害が発生した。

H29九州北部豪雨、H30西日本豪雨に引き続いて、台風第19号に伴い東日本（宮城県丸森町ほか）において土砂・洪水氾濫が発生したことで、国内では3年連続で土砂・洪水氾濫により甚大な被害が発生した。気候変動の影響による土砂災害の激甚化・頻発化・同時多発化が懸念される。

引き続き、土砂・洪水氾濫対策や警戒避難対策等の研究が重要である。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：令和元年台風19号による土砂災害発生状況（2019年12月24日 時点）、国土交通省ホームページ、
<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/rldosha/rityphoon19191224jiten.pdf>
- 2) 国土交通省河川局砂防部、気象庁予報部、国土交通省国土技術政策総合研究所：国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)、2005、
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/sabo/dsk_tebiki_h1706.pdf
- 3) 国土交通省・国土技術政策総合研究所(2019)：重大な土砂災害を引き起こす「線状降水帯」を早期検知！～実効性のある避難に向けて「土砂災害危険度評価システム」の機能を検証～、報道発表資料、2019年6月5日
http://www.mlit.go.jp/report/press/sabo01_hh_000084.html
- 4) 国土地理院：令和元年台風第19号に伴う斜面崩壊・堆積分布図（丸森地区）、
https://www1.gsi.go.jp/geowww/201910/houkai/houkai_1.pdf、参照 2020-3-11、2019
- 5) 井良沢道也ほか：2019年10月台風第19号による東北地方における土砂災害、砂防学会誌、Vol. 72、No. 6、pp. 42-53、2020
- 6) 内田太郎、國友優、寺田秀樹、小川紀一郎、松田昌之：土砂災害の規模の表現方法に関する一考察、砂防学会誌、Vol. 57、No. 6、pp. 51～55、2005
- 7) 林真一郎、内田太郎、蒲原潤一：土砂災害被害と降雨確率規模、災害発生頻度の関係、土木技術資料、56-1、pp. 40-43、2014
- 8) 林真一郎、内田太郎：土砂移動マグニチュードと土砂災害の特徴の関連性及び早期算出方法、土木技術資料、61-5、pp. 30-33、2019
- 9) Guzzetti F., Ardizzone F., Cardinali M., Rossi M. and Valigi, D.: Landslide Volumes and Landslide Mobilization Rates in Umbria, Central Italy, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 279, pp. 222-229, 2009