



目 次

□ 絵
2023年7月の大雨により福岡県久留米市と佐賀県唐津市で発生した土砂災害論 説
治山事業の今後の方針について.....河合正宏 1論 文
地震時土砂移動の発生場及び発生規模の広域的・定量的評価に関する研究
-地形・地質の類似性を考慮した評価精度と他地域への適用性の向上-
.....種平一成・坂井佑介・山越隆雄 3報 文
1978年～2020年に実施した現地調査の定点写真に基づく稻又谷川の河床変動秋山怜子・安仁屋政武 15
山形県鶴岡市西目の深層崩壊の破壊-崩壊経過と水文誘因-林拙郎 25災害報告
2023年7月の大雨により福岡県久留米市と佐賀県唐津市で発生した土砂災害

清水 収*1 地頭菌 隆*2 執印康裕*3 水野秀明*4
 大石博之・岡野和行・小野貴穂・影山大輔・加藤卓也・菊池英明・木藤賢一
 木原早紀・佐藤厚慈・篠原慶規・田方智・竹林洋史・千葉幹・鳥田英司
 中濃耕司・西脇彩人・平川泰之・福池孝記・福塚康三郎・本田健・本多泰章
 光永海斗・山越隆雄・矢渡岳・吉永子規・吉野孝彦 33

現場情報コーナー

常願寺川における流砂観測と今後の流砂観測に向けた課題村元陽介・中田圭一・石田孝司 44

シリーズ『はかる』

《現地調査・計測(20)》河川生態調査(その3)

山地河川における地形計測権田 豊 50

報告
8th International Conference on Debris Flow Hazard Mitigation 参加報告
.....内田太郎・岡本敦・酒井佑一・堀口俊行・宮田秀介・山野井一輝 58解 説
令和5年度「砂防・急傾斜管理技術者試験」問題と解説(その1)(公社)砂防学会試験委員会 63お知らせ
令和6年度 砂防・地すべり技術センター研究開発助成 募集のご案内(65)/国際会議情報(66)/会務報告(67)/
砂防学会誌原稿募集(67)/砂防学会 入会のご案内(68)/編集後記(69)

Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering

Vol. 76, No. 4, Ser. No. 369 November 2023

Contents

Paper
Study on wide-area and quantitative evaluation of the occurrence site and scale of coseismic landslide :Improvement of evaluated accuracy of location/magnitude and applicability to other regions, considering
similarity of topography and geologyKazunari TANEHIRA, Yusuke SAKAI and Takao YAMAKOSHI 3Technical Papers
Long-term stream dynamics of Inamata Valley on field surveys and photographic observations
of fixed spots for 1978-2020Reiko AKIYAMA and Masamu ANIYA 15Disaster Report
Sediment disaster in Kurume, Fukuoka Prefecture and Karatsu, SagaPrefecture due to heavy rainfall in July 2023
.....Osamu SHIMIZU, Takashi JITOUSONO, Yasuhiro SHUIN, Hideaki MIZUNO, Hiromi AKITA, Yuichiro AMANO,
 Hirotaka UE, Hiroyuki OISHI, Kazuyuki OKANO, Atsutoshi ONO, Daisuke KAGEYAMA, Takuya KATOU,
 Hideaki KIKUCHI, Ken-ichi KITOU, Saki KIHARA, Koji SATO, Yoshinori SHINOHARA, Satoshi TAGATA,
 Hiroshi TAKEBAYASHI, Miki CHIBA, Eiji TORITA, Koji NAKANO, Ayato NISHIWAKI, Yasuyuki HIRAKAWA,
 Takafumi FUKUIKE, Kozaburo FUKUZUKA, Takeshi HONDA, Yasuaki HONDA, Kaito MITSUNAGA,
 Takao YAMAKOSHI, Gaku YAWATARI, Shiki YOSHINAGA and Takahiko YOSHINO 33

災害報告

2023年7月の大暴雨により福岡県久留米市と佐賀県唐津市で発生した土砂災害

Sediment disaster in Kurume, Fukuoka Prefecture and Karatsu, Saga

Prefecture due to heavy rainfall in July 2023

清水 収*1	地頭菌 隆*2	執印康裕*3	水野秀明*4
Osamu SHIMIZU	Takashi JITOUSONO	Yasuhiro SHUIN	Hideaki MIZUNO
秋田 寛己*4	天野祐一朗*5	植弘隆*6	大石博之*7
Hiromi AKITA	Yuichiro AMANO	Hirotaka UE	Hiroyuki OISHI
岡野和行*8	小野貴穂*9	影山大輔*10	加藤卓也*9
Kazuyuki OKANO	Atsutoshi ONO	Daisuke KAGEYAMA	Takuya KATOU
菊池英明*11	木藤賢一*12	木原早紀*5	佐藤厚慈*8
Hideaki KIKUCHI	Ken-ichi KITOU	Saki KIHARA	Koji SATO
篠原慶規*1	田方智*13	竹林洋史*14	千葉幹*15
Yoshinori SHINOHARA	Satoshi TAGATA	Hiroshi TAKEBAYASHI	Miki CHIBA
鳥田英司*8	中濃耕司*16	西脇彩人*17	平川泰之*6
Eiji TORITA	Koji NAKANO	Ayato NISHIWAKI	Yasuyuki HIRAKAWA
福池孝記*5	福塚康三郎*11	本田健*18	本多泰章*18
Takafumi FUKUIKE	Kozaburo FUKUZUKA	Takeshi HONDA	Yasuaki HONDA
光永海斗*6	山越隆雄*17	矢渡岳*6	吉永子規*19
Kaito MITSUNAGA	Takao YAMAKOSHI	Gaku YAWATARI	Shiki YOSHINAGA
吉野孝彦*10	Takahiko YOSHINO		

1. はじめに

2023年(令和5年)7月7～10日にかけて、対馬海峡付近に停滞する梅雨前線に向かって暖かく湿った空気の流れ込みが続いた影響で、九州北部では前線の活動が活発になり、広い範囲で大雨となった。特に10日未明から昼前にかけて線状降水帯が発生して、福岡県や大分県に大雨特別警報が発表されるなど記録的な大雨となった(福岡管区気象台, 2023)。

この大雨で、7月10日に福岡県久留米市田主丸町竹野の千ノ尾川では土石流が発生し、死者1名、負傷者5名(国土交通省砂防部, 2023), 家屋損壊多数の甚大な被害が発生した。また、同じ7月10日、佐賀県唐津市浜玉町平原字今坂にある土石流危険渓流の今坂川第三においても土石流が発生し、死者3名、家屋全壊2戸(国

土交通省砂防部, 2023)と同じく甚大な被害が発生した。(公社)砂防学会では、砂防学会九州支部会員を中心とする災害緊急調査団を組織し、上述の2カ所の土砂災害を主な対象に2023年7月29日に緊急調査を実施した。本稿では、その調査結果を報告する。

2. 降雨状況

図-1は令和5年7月10日の土砂災害を引き起こした、一連の降雨の時間雨量と累積雨量の時間変化で、アメダス唐津とアメダス耳納山での計測値を示したものである。アメダス唐津は土砂災害の発生した場所から西北西に13.4km程度離れた海沿いの標高23mの丘に位置し、アメダス耳納山は土砂災害の発生した場所から南西に4.7km程度離れた、標高607mの尾根に位置する。一連の降雨は両観測所ともに令和5年7月7日午前8時

*1 宮崎大学 University of Miyazaki (smzo@cc.miyazaki-u.ac.jp)
 University *4 (国研)防災科学技術研究所 National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience *5 (一財)砂防・地すべり
 技術センター Sabo and Landslide Technical Center *6 (株)オリエンタルコンサルタンツ Oriental Consultants Co., Ltd. *7 西日本技術
 開発(株) West Japan Engineering Consultants, Inc. *8 アジア航測(株) Asia Air Survey Co., Ltd. *9 中日本航空(株) Nakanihon Air
 Co., Ltd. *10 (国研)土木研究所 Public Works Research Institute *11 八千代エンジニアリング(株) Yachiyo Engineering Co., Ltd.
 *12 (株)建設技術研究所 CTI Engineering Co., Ltd. *13 日本工営(株) Nippon Koei Co., Ltd. *14 京都大学防災研究所 Disaster
 Prevention Research Institute, Kyoto University *15 (一財)砂防フロンティア整備推進機構 Sabo Frontier Foundation *16 (株)久栄綜合
 コンサルタント Kyuei Sogo Consultants Co., Ltd. *17 国土交通省国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure
 Management, MLIT *18 (株)パスコ PASCO Corporation *19 砂防エンジニアリング(株) Sabo Engineering Co., Ltd. *1～*19 正
 会員 Member

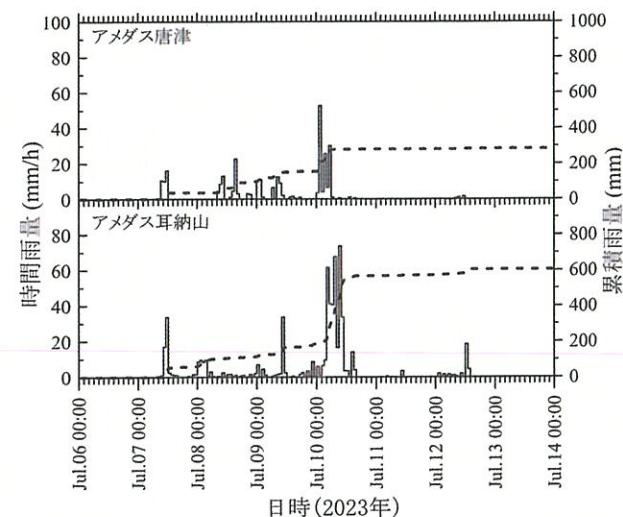


図-1 アメダス唐津・耳納山における一連の降雨

から始まり、唐津では同月 10 日午後 3 時、耳納山では同月 12 日午後 1 時まで継続した。最大時間雨量はアメダス唐津で同月 10 日午前 1 時に 52.5 mm/h、アメダス耳納山で同月 10 日午前 9 時に 73.5 mm/h であった。最大 24 時間雨量はアメダス唐津で同月 9 日午前 5 時～10 日午前 5 時までの 156.5 mm、アメダス耳納山で同月 9 日午後 3 時～10 日午後 3 時までの 398.5 mm であった。一連の降雨の累積雨量はアメダス唐津で 283.5 mm、アメダス耳納山で 604.0 mm であった。一連の降雨の期間内で、両観測所ともに、同月 7 日午前 7 時～午前 11 時頃まで、同月 9 日午前 5 時～午前 12 時頃まで、同月 9 日午後 11 時～10 日午後 3 時頃までの 3 期間で時間雨量の大きい期間が生じた。アメダス唐津では 2010～2022 年までの記録より、今回の最大時間雨量の再現期間は 5 年程度、最大 24 時間雨量の再現期間は 1.3 年程度であった。アメダス耳納山では 1976～2022 年までの記録より、今回の最大時間雨量の再現期間は 70 年程度、最大 24 時間雨量の再現期間は 70 年程度であった。

口絵写真-1 は国土交通省より提供された XRain データを基に、同月 10 日午前 0 時～午後 4 時までの期間の 2 時間おきの雨域の時間変化を示したものである。なお、図中には土砂災害の発生した唐津市（今坂川流域）と久留米市（千ノ尾川流域）、およびアメダス観測所と佐賀県並びに福岡県所管の観測所の位置を示した。今坂川流域では、80 mm/h 以上の雨域が同日午前 0 時過ぎ～午前 1 時過ぎまで通過し、その後、50 mm/h 以上の雨域が午前 3 時頃まで通過した。その後、10～30 mm/h 程度の雨域が午前 4 時頃まで通過した後、再び 80 mm/h 以上の雨域が午前 6 時過ぎまで通過した。その後、10～30 mm/h 程度の雨域が午前 7 時頃まで断続的に通過した。千ノ尾川流域では、50 mm/h 以上の雨域が午前 2 時過ぎ～午前 3 時頃まで断続的に通過した後、80 mm/h 以上の雨域が午前 4 時頃まで通過した。その後、30 mm/h 以上の雨域が午前 5 時過ぎまで通過し、再び 80 mm/h

以上の雨域が午前 6 時過ぎまで通過した。その後も雨域は断続的に通過し、再び 80 mm/h 以上の雨域が午前 8 時頃～午前 9 時頃まで通過した。その後、10～20 mm/h 程度の雨域が午後 3 時頃まで断続的に通過した。このように、80 mm/h 以上の強い降雨強度の雨域が今坂川流域では 3 時間程度、千ノ尾川流域では 4 時間程度通過したことがわかった。

3. 久留米市の千ノ尾川流域における土砂移動現象

7 月 10 日午前 9 時 15 分頃（久留米市、2023），久留米市田主丸町竹野地区は千ノ尾川で発生した土石流に襲われた。後述する千ノ尾川の左支川源頭部の崩壊地から南西方向約 1.4 km に位置する福岡県の発心北観測所における雨量データによると、7 月 7 日の降り始めから災害が発生した 10 日 9 時までの累加雨量は 615 mm、7 月 10 日には 6～7 時に 80 mm/h、8～9 時に 79 mm/h を記録している（図-2）。以下、土石流災害を引き起こした千ノ尾川流域の土砂移動に関する調査結果について述べる。

3.1 千ノ尾川流域の地形・地質

千ノ尾川は、福岡県南部の耳納山地の北側斜面に位置する土石流危険渓流である（図-3）。千ノ尾川流域の谷出口付近（標高 90 m）を下端とする流域面積は 0.89 km² であり、本川の標高 130 m 付近で合流している左支川の流域面積は 0.24 km² である。渓流の平均勾配は本川 13.7° および左支川 13.1°、流域の平均斜面勾配は本川 34.5° および左支川 35.8° であり、急峻な地形を呈している。また、谷出口の下流には扇状地が発達している。

耳納山地は、泥質片岩、砂質片岩および塩基性片岩からなる筑後変成岩類から構成され（産総研地質調査総合センター、2022；千田ら、2001），変成年代は後期三畳紀から中期ジュラ紀とみられている（柴田・西村、1989）。また、耳納山地の北縁には活断層である水縄断層帯が存在している（千田ら、2001）。

3.2 千ノ尾川の左支川流域で発生した崩壊

千ノ尾川流域では今回の大雨により複数個所で崩壊が発生した。ここでは、左支川の源頭部および左岸斜面で発生した崩壊の調査結果について述べる（図-4）。

口絵写真-2 は千ノ尾川の左支川源頭部の崩壊地をド

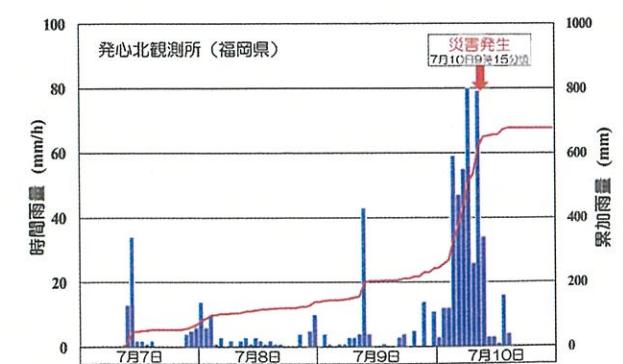


図-2 久留米市田主丸町竹野地区の災害発生時の降雨状況

清水ら：2023 年 7 月の大雪により福岡県久留米市と佐賀県唐津市で発生した土砂災害

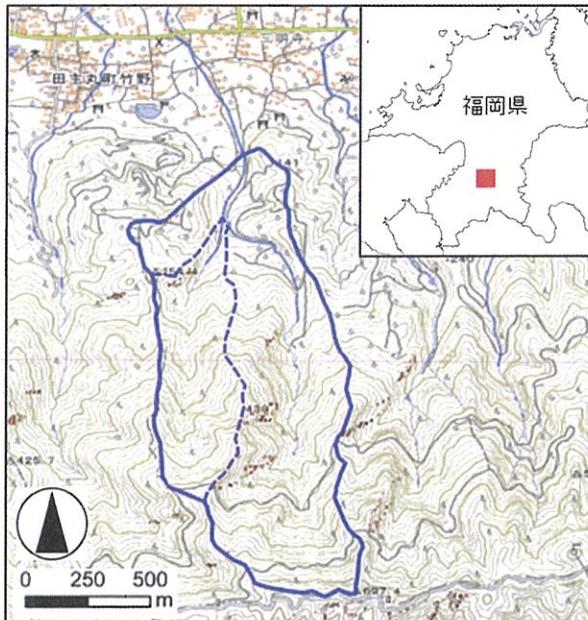


図-3 千ノ尾川流域の位置と地形

図-4 千ノ尾川の左支川流域の赤色立体地図
(アジア航測株式会社による 2023 年 7 月 11 日航空レーザ測量)

ローン撮影したものであり、口絵写真-3 は崩壊地の左岸側から撮影したものである。崩壊は、尾根に近い標高 530 m 付近の傾斜 35° の斜面で発生しており、崩壊規模は最大幅 30 m 程度、崩壊長さ（斜面長）50 m 程度、最大深（有効深）5 m 程度である。

図-5 は、崩壊地のルートマップと地質断面図である。崩壊した斜面の表層には表土や崖錐堆積物が分布しているが、崩壊地の側部と底部には基盤となる泥質片岩（一部に砂質片岩）が露出している（図-6）。この泥質片岩は、岩芯まで強く風化が及んでおり、著しく軟質な岩盤状態にあった（図-7）。岩盤に見られる片理構造は斜面に対して受け盤構造（東～西走向/南傾斜）を呈しているが、崩壊の底部付近には鏡肌を伴う流れ盤（北東走向/北傾斜）の面が見られ、崩壊は強風化した岩盤内部から崩壊したものと考えられる。

崩壊地付近は災害発生までの累加雨量が 600 mm を超えており、多量の雨水が強風化した地層に浸透し、地下水圧を上昇させて崩壊を引き起こしたと推定される。崩

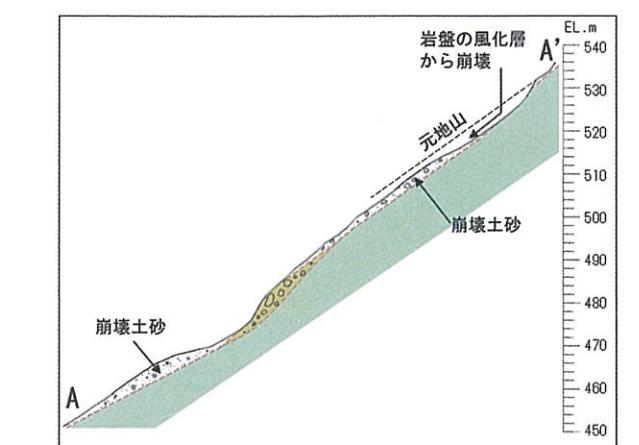
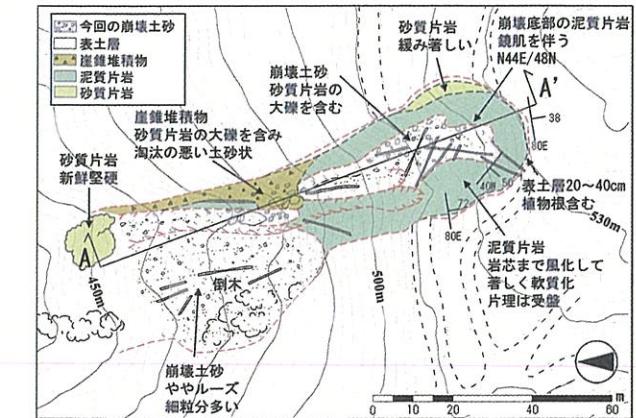
図-5 左支川源頭部の崩壊地のルートマップおよび地質断面図
図-6 左支川源頭部の滑落崖（2023 年 7 月 29 日撮影）

図-7 崩壊地底部の泥質片岩（2023 年 7 月 29 日撮影）



図-8 土石流の流下状況
(2023年7月29日, 崩壊地から下流を撮影)

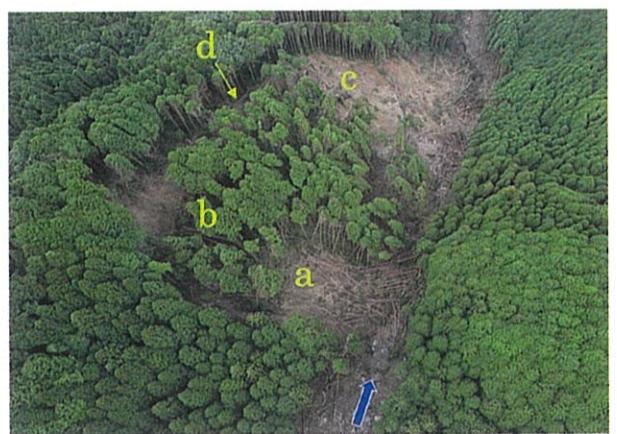


図-9 千ノ尾川左支川の左岸斜面の崩壊
(2023年7月25日ドローン撮影)

壊土砂は、土石流となって、渓床・渓岸を侵食しながら流下した（図-8）。

崩壊地内および急勾配の渓床には崩壊土砂が不安定な状態で堆積している箇所があり、今後の降雨により再移動する恐れがある。

図-9は千ノ尾川左支川の左岸崩壊地をドローン撮影したものである。左岸斜面には崩壊前にも複数の崩壊跡地が確認され、今回の崩壊はこれらの崩壊跡地の上部斜面が最大幅約200mに渡って拡大したものであった。崩壊地の上流側は流れ盤構造を有する泥質片岩（一部に砂質片岩）が露出し、風化した岩盤内部から崩壊していく（図-9のa）。崩壊面は直立に近い状態で切り立ち、崩壊土砂はあまり乱れず崩壊地内に留まって、植わっていたスギも立ったままで移動していた（図-9のb）。一方、崩壊地の下流側には、岩芯まで強く風化が及んで軟質化した泥質片岩からなり、崩壊土砂や植わっていたスギは崩壊地内から移動し、渓流を閉塞するように堆積していた（図-9のc）。

左岸斜面の崩壊土砂が渓床に大量に堆積していることから、左支川源頭部の崩壊により発生した土石流の通過後に左岸斜面が崩壊したと推定され、左岸斜面の崩壊には土石流による渓床・渓岸の侵食による斜面の不安定化

が関係していると考えられる。

左岸斜面の崩壊で生じた滑落崖の上方（図-9のd）には過去の崩壊で生じた比高3m程度の滑落崖が見られ、以前にも崩壊が発生したことがわかる（図-10）。今回の崩壊による滑落崖の上部斜面には複数の亀裂が生じており、今後の降雨により拡大崩壊の恐れがある。

3.3 千ノ尾川左支川の土砂および流木の流下・堆積状況

千ノ尾川流域の標高130m付近の本川と左支川の合流地点を調査したところ、土石流が本川上流から流下してきた痕跡はなく、左支川上流から流下していた。左支川は、源頭部の崩壊地から合流地点までほぼ全区間において渓床・渓岸が土石流により侵食され、また複数個所で渓岸崩壊が発生していた。

図-11は、土石流の流下によって連続的に渓床・渓岸が侵食されていると現地で観察された区間の代表的な断面（図-4の横断測線e）の写真に、現地で確認された左右岸の痕跡水位の渓床からの比高（黄色の矢印）を示すとともに、概ねこの写真の撮影範囲と同じ位置にお



図-10 左岸崩壊斜面の滑落崖 (2023年7月29日撮影
撮影位置は図-9のd地点)

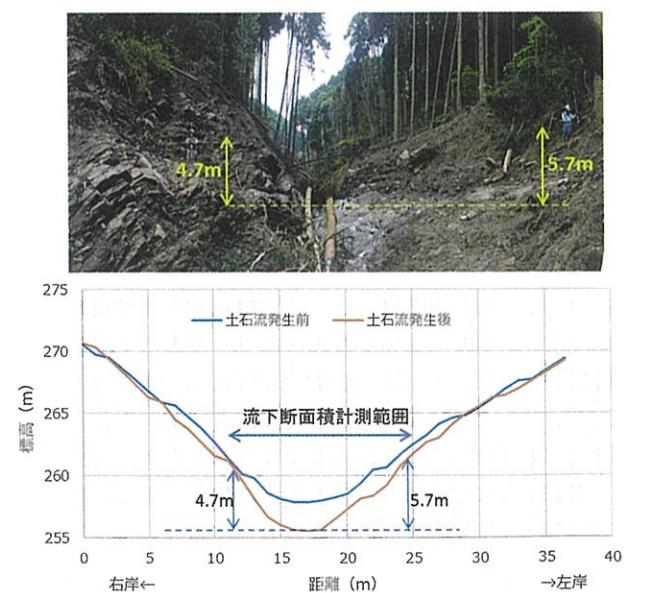


図-11 土石流による痕跡水位と航空レーザ測量結果
(2023年7月29日撮影, 下流から撮影, 位置は図-4のe断面)

ける渓流横断地形の土石流発生前後の航空レーザ計測結果をあわせて示したものである。

土石流発生後のレーザ計測による横断図上で比高がそれ左右岸の痕跡水位とほぼ同じになる横断方向の区間（流下断面積計測範囲）について、土石流のピーク流量による流下断面積を図上計測した。また、土石流発生後の横断地形が、後続流により侵食を受けた結果である可能性もあることから、同じ範囲について、土石流発生前のレーザ計測結果からも、同様に流下断面積を求めた。そして、この流下断面積を流下幅で除した値を断面平均流動深とし、航空レーザ計測データから求めた渓床勾配とともに、マニングの流速公式により断面平均流速を推定した。横断測線fでも同様に推定を行った。

以上より、横断測線e, fにおいて、断面平均流速は、概ね8~12m/sと推定され、流下断面積との積からピーク流量を試算すると、概ね250~600m³/s程度と推定された。これらの数値は、様々な仮定を重ねた推定であることから、今後の調査によって変わり得ることに留意が必要である。

合流点から約300m上流の標高200m付近には小規模な河道閉塞が確認された（図-12）。河道閉塞は、土石流の通過後に発生した右岸の渓岸崩壊によるものであり、土石流の後続流等に伴う土砂や流木が堆積していた。

3.4 航空レーザ測量データの差分解析による千ノ尾川流域の土砂移動量

口絵写真-4は、千ノ尾川流域の崩壊・土石流発生前後の航空レーザ測量成果を用いた差分解析結果を図示したものである。差分解析によると、千ノ尾川流域の全侵食土砂量は68,800m³であり、そのうち32,500m³の土砂が流域内に堆積し、36,300m³の土砂が下流に流出し



図-12 河道閉塞状況
(2023年7月29日撮影, 上: 河道閉塞の前景, 下: 上流側の土砂・流木の堆積状況, 位置は図-4に示す)

た。本川と左支川の合流点より上流の本川流域の侵食土砂量は11,700m³であり、合流点より下流に流出した土砂量4,500m³であった。左支川の左岸崩壊地より上流域の差分解析によると、侵食土砂量は9,000m³であり、そのほとんどの8,900m³の土砂が下流に流出していた。左支川の左岸崩壊地の侵食土砂量は24,800m³であり、そのほとんどの23,700m³の土砂は崩壊地内や渓床に堆積している。

航空レーザ測量データの差分解析から得られた千ノ尾川流域の土砂移動量の分布は、現地調査で確認した左支川源頭部の崩壊土砂が土石流となり、渓床や渓岸を侵食しながら土砂量を増したことを裏付けている。

4. 千ノ尾川下流域における土石流の氾濫

4.1 地形

図-13は国土地理院基盤地図情報数値標高モデルの5mメッシュより読み取った河床位の変化と勾配の計算結果で、土砂災害の発生前の地形である。河床位を計測した測線は、千ノ尾川と県道151号線の交差する橋（A点）からE点とF点までの区間である。図中のB点は東大光砂防堰堤、C点は堂所砂防堰堤、D点は笹尾砂防堰堤である。標高はA点で39m程度、B点で78m程度、C点で116m程度、D点で132m程度、E点で535m程度、F点で562m程度であった。勾配はA点から測線に沿って100m間隔の地点で読み取った標高値より計算した。勾配の値はA点からB点までの区間で3.2~7.6°程度、B点からC点までの区間で6.5~10.0°程度、C点からD点までの区間で9.8~12.2°程度、D点からE点までの区間で9.3~33.5°程度、D点からF点までの区間で6.2~32.0°程度であった。このことから、A点からC点までの区間は土石流堆積区間、C点からE

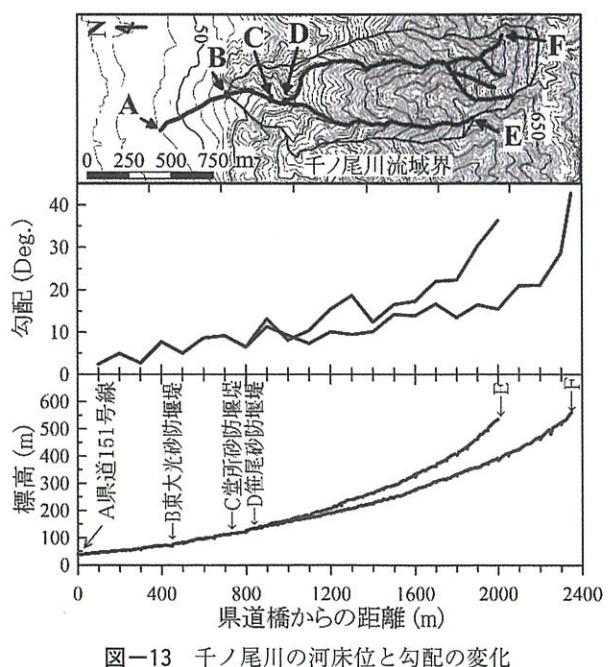


図-13 千ノ尾川の河床位と勾配の変化

点までの区間は土石流流下区間と土石流発生区間、C点からF点までの区間は土石流流下区間と土石流発生区間に大まかに分類できる（国土技術政策総合研究所、2016）。

4.2 砂防設備の損傷状況と土石流の氾濫状況

図-14は東大光砂防堰堤より下流域の拡大図で、国土地理院基盤地図情報の等高線、水涯線、建築物、道路線を平面直角座標系2系で描いたものに、災害後に朝日航洋株式会社が撮影したオルソ画像より読み取った土砂移動範囲を描いたものである。千ノ尾川下流域には、上流より笹尾砂防堰堤、堂所砂防堰堤、東大光砂防堰堤の3つの砂防堰堤と、東大光砂防堰堤から下流に渓流保全工が建設されていた。福岡県県土整備部砂防課より提供の資料によれば、竣工年度は笹尾砂防堰堤で昭和40年度、堂所砂防堰堤で昭和41年度、東大光砂防堰堤で昭和35年度であった。堰堤高は笹尾砂防堰堤で7.0m、堂所砂防堰堤で6.0m、東大光砂防堰堤で7.0mであった。渓流保全工は延長625mで、9基の床固工、11基の帶工と、両岸にブロック積み護岸工、河床をコンクリートで覆った三面張りであった。渓流保全工の底面の幅は2.5~3.0m程度で、高さは1.7~2.0m程度であった。渓流保全工は昭和36~43年度にかけて竣工した。なお、渓流保全工には、道路橋が東大光砂防堰堤から県道151号線まで区間内で4カ所設置されていた。これらの砂防設備は、建設省（現国土交通省）が土石流対策技術指針（案）を初めて通知した平成元年度よりも前に竣工した。

令和5年7月10日に発生した土石流は、笹尾砂防堰堤の右岸袖部、堂所砂防堰堤の左岸袖部、東大光砂防堰堤の右岸袖部（図-15）を流出させ、それぞれの砂防堰堤の一部を損壊させた。また、土石流は県道151号線の道路橋、その1つ上流側の道路橋を除く、2つの道路橋を流出させた。福岡県提供の資料によれば、3つの砂防堰堤とも堆砂面は水通し部とほぼ同じ高さで、満砂している。

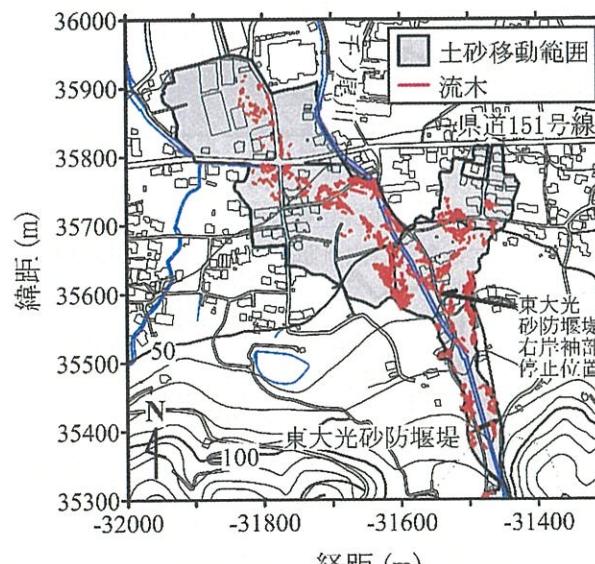


図-14 土砂氾濫範囲と流木の分布



図-15 東大光砂防堰堤の被災状況（2023年7月29日撮影）

たと考えられる。今回の調査では、いずれの砂防堰堤でも袖部の流出が確認された一方で、本体は多少の損傷を有するものの土砂を捕捉したままであった。このことから、3つの砂防堰堤とともに、いわゆる計画堆積土砂量と計画土石流発生抑制量に相当する土砂量の流出を防いでおり、効果を発揮したと考えられる。

また、土石流とともに流出してきた流木は、渓流保全工に架かる道路橋に堆積したり、家屋などの建築物の上流側に堆積したり、果樹園の樹木を含む立木に引っ掛けたりして堆積したりした。流木の直径は最大で0.7m程度で、多くの流木では直径0.4m程度であった。流木の長さは25m程度であった。国土地理院タイルとして公開されている全国最新写真（シームレス）（国土地理院、2023）と土砂災害発生後に撮影されたオルソ画像を比較すると、6軒の建築物が流出したことがわかった。土石流は主に2つの方向に流下したと推定される。1つは渓流保全工にそって流れたもので、もう1つは第6号床固工付近より右岸方向に流れたものである。

図-16は笹尾砂防堰堤より下流域の詳細な地形図で、国土地理院基盤地図情報数値標高モデルのDEMより生成した等高線と水涯線、土砂移動範囲を示したものである。数値標高モデルは2016年10月時点のものである。等高線は標高差1mの間隔で描いた。図中のアルファベットは砂防設備の場所を示す。東大光砂防堰堤の下流57m程度の位置に帶工（D地点）が見られた。東大光砂防堰堤から帶工（D地点）までの区間では、両岸の護岸工は一部流失し、ほぼ土砂に埋まった。帶工はかなり損傷した。また、土石流が左岸側の渓岸を侵食し、新たな流路を形成した。帶工（D地点）から第5号床固工（E地点）までの区間では、土砂や巨礫が堆積した。特に、直径1~2m程度の巨礫が流路内で互いにかみ合って閉塞した（図-17）。また、第5号床固工の左岸袖小口には、土砂で削られた傷が見られた。第5号床固工から第6号床固工までの区間では、土砂が流路内にほとんど堆積しなかった。また、第5号床固工の右岸袖部と前庭保護工の右岸側壁は流出した。渓流保全工の右岸側を流出した。

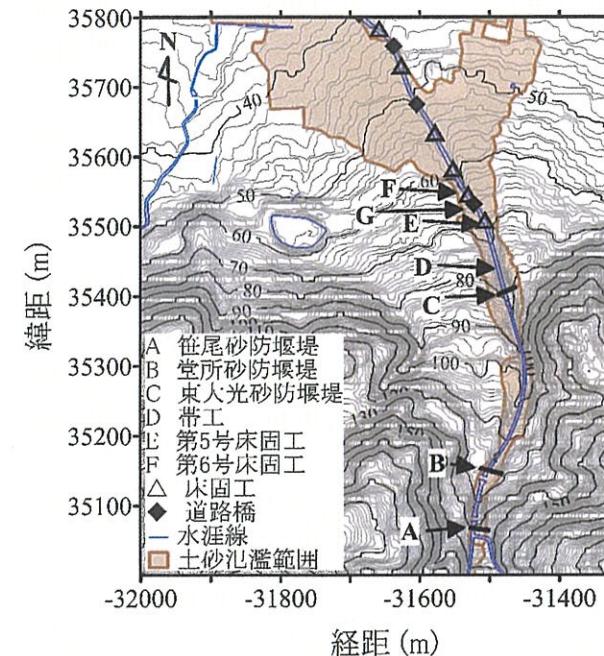


図-16 笹尾砂防堰堤より下流域の詳細な地形



図-17 巨礫により閉塞した流路（2023年7月29日撮影）

工は第6号床固工と道路橋の区間で上部の1m程度を流出した。左岸側の護岸工は上部の0.4m程度を流出した。最上流部の帶工から左岸側に形成された新たな流路は、流出した道路橋（G地点）付近から第6号床固工の間で、渓流保全工と合流した。第6号床固工の本体はあまり損傷しなかったが、その前庭保護工の左岸側の側壁が流出した。また、第6号床固工より下流側では、渓流保全工は土砂で埋まった。また、東大光砂防堰堤の右岸側の袖部が渓流保全工の右岸側を通る道路上で発見された（図-18、位置は図-14に示す）。渓流保全工に沿って流れた土石流は県道151号線の道路橋の1つ上の道路橋を閉塞した。そのため、土石流は渓流保全工から溢れて左岸側へと流れた。1m間隔の等高線より、最急勾配の方向は渓流保全工から左岸側へ向いている。このことからも、土石流が渓流保全工から溢れると、より左岸の方に流れると推測される。一方で、渓流保全工の右岸側を流れた土石流は東大光砂防堰堤の下流側で渓流保全工



図-18 東大光砂防堰堤右岸側袖部（2023年7月29日撮影）

から氾濫し右岸側に流れた。この土石流が渓流保全工から溢れた理由は、既に渓流保全工が石礫で閉塞し土砂で埋まったことや、東大光砂防堰堤の流出した右岸側の袖部のあった個所を土石流が流下したこと等、様々考えられる。現時点ではその理由を確定できないため、今後、原因究明に向けた研究が求められる。

5. 唐津市浜玉町今坂川流域の土砂移動現象

5.1 調査地の概況

口絵写真-5に調査地の全景を、図-19に調査地の概況を示す。今回の豪雨で土石流が発生したのは、二級河川玉島川水系の左支川・小川流域に位置する今坂川に流入する「今坂川第三」とおよび「嶽川第二」である。また、今坂川上流部に位置する渓流である「今坂川第一」のうち、本川に流入する2本の右支溪で2018年7月6日に土石流が発生したため、2021年3月に今坂川第一砂防堰堤が整備されている。これら4渓流は700m程度の円内に含まれるほど近接している。流域面積は今坂川第三が0.03km²、嶽川第二が0.02km²である。今坂川第一の流域面積は1.20km²である。

当該地域は中生代白亜紀の花崗閃緑岩や花崗岩が分布し、今坂地区付近では、今坂川付近を境に岩相が異なっている。今坂川の北側に位置する今坂川第三周辺には花崗閃緑岩、今坂川の南側に位置する嶽川第二周辺には花崗岩が分布し、両渓流の下流域に位置する今坂集落周辺には緩斜面を形成する扇状地堆積物（流出したコアストーンを含む砂礫層）が広がっており、古くから土砂移動が活発であったことがうかがえる。土地利用状況の変化として1974年当時は今坂川第三および嶽川第二の周辺斜面の大部分にはミカン畑が広がっていた。特に嶽川第二の崩壊地やその背後斜面およびその周辺の大半はミカン畑であったが、その後2000年代初頭にはその多くが減少して樹林に置き換わっている。

5.2 今坂川の土砂移動状況

口絵写真-6に今坂川第三、嶽川第二および2018年7月6日に今坂川第一の2本の支溪（各流域面積：0.03

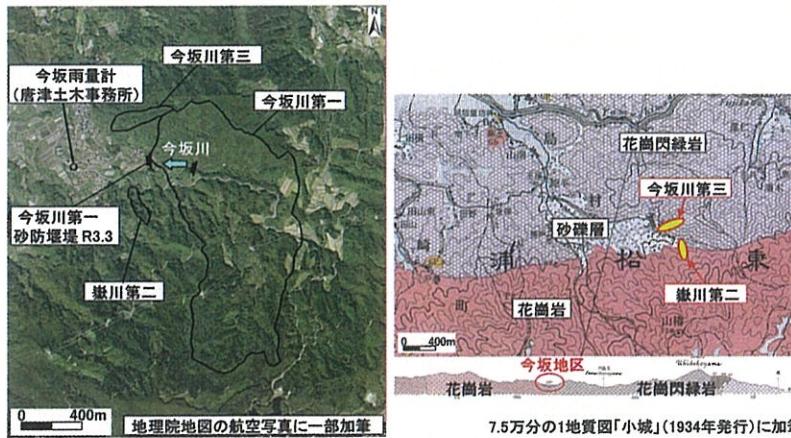


図-19 調査地の概況

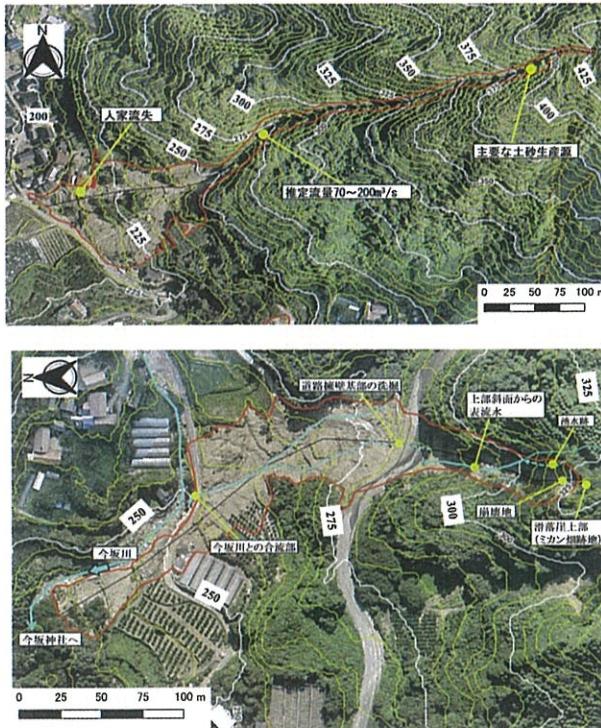


図-20 今坂川第三(上段)と嶽川第二(下段)の土砂移動範囲

km^2 , 0.01 km^2) で発生した土砂移動概略を, 図-20 に今坂川第三, 嶽川第二の土砂移動範囲を示す。以降は今坂川第三, 嶽川第二の土砂移動状況について記す。

5.2.1 今坂川第三の土砂移動状況

標高 250 m 付近の谷出口を境に, 上流の溪流内を発生・流下域, 下流側を氾濫域に区分することができる。発生・流下域の最上流部は, 標高 433 m の作業道直下に位置する。ただし崩壊深 50 cm 未満の薄い板状の崩壊であること, 尾根に近く集水面積が小さいこと, 作業道沿いに流水を集めた痕跡がないこと, パイピングホールが認められなかったこと等から, 土砂・水とも供給できた規模は小さく, この崩壊地が土砂災害発生源になったとは考えにくい。標高 370~390 m 付近は溪床侵食深が最も深く (最大 3 m 程度), 土砂災害発生源であると考えら

れる。河床には, 洗掘により洗い出されたコアストーンが多数散在していた (図-21(a))。縦断的に見ると遷緩点あたり, これより上流の勾配は 29°, 下流は 21° と緩くなっている。この区間で, 長さ 40 m × 侵食幅 10 m × 平均侵食深 1.5 m = 600 m³ 程度の土砂が生産されたと考えられる。土砂災害発生源より下流では幅 10 m 程度, 想定渓床侵食深 0.5~1.0 m 程度の状況が続いているおり, 数カ所に滝が形成されていた。渓床や渓岸には風化した花崗閃緑岩が露出し, 直径数メートルのコアストーンも多く見られた (図-21(b))。土砂災害発生源の直下では, 渓床に残存した倒木の土砂付着痕跡より, 土砂災害の流动深は 2.6 m 程度と推定された (図-21(c))。また下流過程の 2 カ所で下流痕跡高さよりピーク流量を推定したところ, ピーク流量時が河床洗掘前であれば流动深 1 m でピーク流量 70 m³/s 程度, ピーク流量時が河床洗掘後であれば流动深 2 m でピーク流量 200 m³/s 程度と推定された。発生・流下域全体での生産土砂量は, 長さ 410 m × 幅 10 m × 平均深さ 0.5 m でおよそ 2,000 m³ 程度と推定される。

以上のことから, 標高 370~390 m 付近の渓床堆積土砂の移動によって発生した土砂災害が, 流下過程で渓床侵食しながらやや規模を拡大しつつ流下したものと考えられ, 源頭部の崩壊に起因した土砂災害の可能性は低い。

5.2.2 嶽川第二の土砂移動状況

標高 250 m 付近を境として, 上流側を発生・流下域, 下流側を氾濫域に区分することができる。発生・流下域の平均勾配は約 29°, 泛濫域の平均勾配は約 10° であり, 崩壊地内の滑落崖の平均勾配は約 50° である。崩壊地の幅は約 15~20 m, 長さは約 45 m であり, 滑落崖の高さは 5~10 m 程度となっている。また, 調査時 (2023 年 7 月 29 日) において表流水の存在が確認された。この表流水は崩壊地上端に存在する上部斜面から流入していた。滑落崖にはパイピングは見られず, 上位に花崗岩の強風化部, その下位に花崗岩の弱風化部 (基岩) が分布している。崩壊地内ではコアストーンは確認されず, 白っぽいマサ土 (花崗岩起源) が主体であり (図-22(a)), 一



図-21 今坂川第三の土石流発生・流下区間の状況



図-22 嶽川第二の崩壊地および発生・流下区間の状況

部に岩脈と思われる花崗斑岩を確認している。これから崩壊要因の 1 つとして, 花崗岩中の風化境界の透水性や強度の不連続性が考えられる。なお, 土砂生産の主要部を滑落崖付近の崩壊と考え生産土砂量を概算すると, 長さ 10 m × 幅 17 m × 平均深さ 6 m, 約 1,000 m³ 程度と推定される。

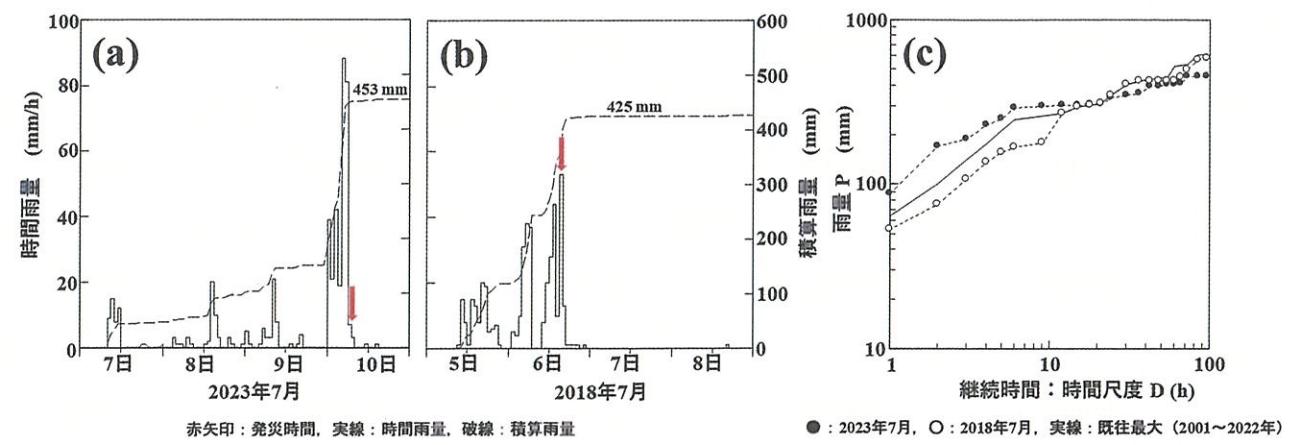
土砂災害の流下区間には渓流沿いに花崗岩のコアストーン ($\phi 1 \text{ m}$ 程度) が確認された。今坂川第三で見られる花崗閃緑岩と異なり, 有色鉱物がやや少ない白色の傾向を示す。ただし, 地表付近におけるコアストーンの数は少なく, かつ今回の豪雨に伴うガリ侵食で地中から露出したものである可能性が高い。崩壊に伴い十数本程度の流木が残存していることが確認されたが, 特に多量の流木は存在しない。氾濫域上部 (標高 290 m) では, 道路上を土砂災害が流下した際, 擁壁基部が洗掘された。洗掘深は約 60 cm である (図-22(b))。ただし, 路面自体は特に大きな損傷を受けておらず, このことからも土砂災害がコアストーンの巨礫を含んだものではないことが推察される。氾濫域 (標高 265 m) には長径 2~3 m 程度の巨大な花崗岩のコアストーンが出現していた。これは過去の土砂災害の一部であり, 今回の流下に伴う侵食により出現したものと考えられる。土砂災害の末端は標高 250 m 付近で今坂川に流入し, 河川および河川沿いの道路を流下したものと考えられる。今坂川の河川流量に加え土砂災害の流下に伴い, 河川護岸の背面が侵食され, 今坂川の河床部にはコアストーンの洗い出しによるものと考えられる花崗岩礫が多数見られた (図-22(c))。土砂災害の先端付近 (標高 245 m) では今坂川の左岸側の畑にマサ土と, 流下しない洗い出された可能性の

あるコアストーンが堆積しており, 嶽川第二で発生した土砂災害起源の流出土砂の一部は今坂川下流の今坂神社の境内にも流入したと考えられる。

5.3 今回の災害と 2018 年災害の両降雨状況の比較

今回の災害において, 人的被害が発生した今坂川第三では災害時刻が目撃情報から, 2023 年 7 月 10 日 6 時 12 分であること (2023 年 7 月 19 日付 佐賀新聞), 2018 年の災害時刻は 7 月 6 日 15 時 30 分頃であることが佐賀県の調査により確認されている。両災害時の降雨特性の比較結果を示す (図-23)。降雨データは佐賀県所管の今坂雨量計の 2001 年 1 月 ~ 2023 年 7 月 28 日 11 時までの 1 時間雨量を使用した。なお, 累積雨量は 24 時間無降雨を降雨イベント区切りとして求めている。

今回と 2018 年の災害の降雨状況を比較すると, 累積雨量がともに 400 mm 以上と顕著な差は認められない。時間雨量についてみると, 今回が 7 月 10 日午前 4~6 時までの 2 時間の 170 mm の降雨 (1 時間最大 88 mm) が発災の主たる誘因であることが確認できる。ただし発災時刻はこの時間帯ではなく, 降雨が小振りになった直後である (図-23(a))。一方で 2018 年の災害は 1 時間最大雨量が 55 mm と今回の災害を大きく下回っている状況であるが, 発災時間帯は 1 時間最大雨量が観測された時間帯と一致している (図-23(b))。次に, 両災害の継続時間 D (範囲: 1~96 時間) と雨量 P の関係 (以降, D-P 関係と称す) における降雨特性の比較結果を示す (図-23(c))。本図には 2001~2022 年までの既往最大ラインを併せて示している。本図より今回の災害が継続 1~15 時間の範囲で既往最大を超えており, 2018 年の災害は継続時間 15 時間を超えたほとんどの範囲で既



往最大であることがわかる。以上のこととは、2018年のD-P関係では崩壊が発生しなかった斜面の中で、2022年までの既往最大を超過した今回のD-P関係の範囲で崩壊が発生したことを示唆している。

5.4 土石流数値シミュレーション

今坂川第三で発生した土石流の流动特性を把握するため、土石流の数値シミュレーションを実施した。数値シミュレーションで用いた解析格子の平均格子サイズは2m×2mであり、初期地盤高さは国土地理院の5mDEMを用いた。不安定土砂の厚さは0.5mとし、土石流の発生起点は標高390～395mの範囲に設定している。数値シミュレーションに用いた基礎方程式は、一般座標系による平面二次元土石流解析のものを用いた(Takebayashi *et al.*, 2022)。

図-24に被災した宅地の状況を示す。土石流の直撃を受けて全壊している①の家屋では、住民1名が家屋内で被災して亡くなっている。①の家屋は被災前の黄色枠の画像で示すように、二階建て家屋であった。②の大きく被災している建物は納屋であり、住居は③の建物である。③の住居は②の納屋よりも山側に位置しているが、赤矢印で示した擁壁とフェンスが土砂の流れを抑制したため、③の建物の被害は②の納屋に比べて少ない。図-25に土石流の深さの時空間的な変化を示す。土石流は発生から66秒後に宅地に到達している。①の家屋に到達した時点での土石流の流動深は3.4m、流速は8.7m/sであり、過去の木造家屋の破壊事例と比較すると家屋に作用した流体力は小さめである。これは、斜面側の道路と被災した家屋の地盤高の差が3m程度あるとともに家屋の屋根が大きく損傷していることから、土石流が二階に衝突して家屋が破壊されたためと考えられる。

図-26に地盤高さの変動量を示す。侵食域と堆積域の大まかな分布は現地調査の結果を表現できていると考えている。宅地の上流域は侵食域であり、宅地に流れてきてから土砂は堆積し始めている。本計算による流出土砂量は3,100m³であり、現地調査による見積もりより少し多めとなっている。これは渓流出口から宅地までの



図-24 被災した宅地の状況

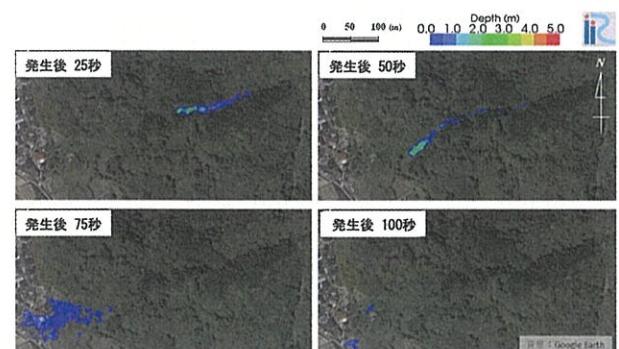


図-25 土石流の流動深の時空間的変化

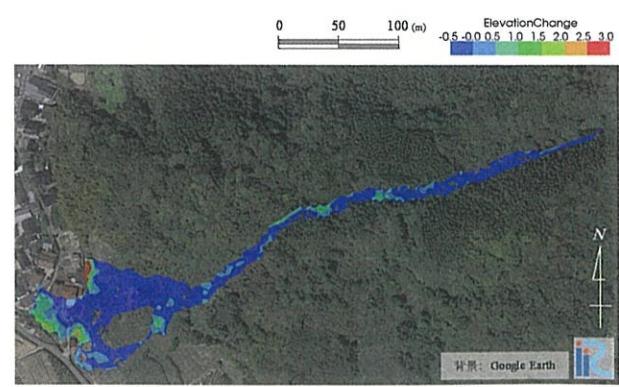


図-26 地盤高さの変動量空間分布

区間で侵食が卓越しており、数値シミュレーションではその侵食量も付加した値のためである。

6. おわりに

最後になりましたが被災地の1日も早い復旧と復興を中心よりお祈りいたします。なお、福岡県久留米市千ノ尾川の災害前の航空レーザ測量データは、福岡県の測量成果を複製したものである(承認番号令和5年8月23日5農振第292号-22)。また、千ノ尾川下流域の災害後のオルソ画像を、朝日航洋(株)から提供いただいた。さらに、この度の調査にあたり福岡県砂防課、佐賀県河川砂防課、久留米市総務部災害対策課ならびに都市建設部、の関係各位にご協力をいただいた。ここに記して、感謝申し上げます。

引用文献

- 千田昇・岡田篤正・中田高・池田安隆・高沢信司(2001)：1:25,000都市圈活断層図「久留米」、国土地理院
福岡管区気象台(2023)：災害時気象資料-令和5年7月7日から10日にかけての山口県・福岡県・大分県・佐賀県の大雨について-, <https://www.jma-net.go.jp/fukuoka/chosa>

/saigai/20230713_kyushu.pdf, 参照 2023-08-08
国土地理院(2023)：地理院タイル一覧, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>, 参照 2023-08-14

国土技術政策総合研究所(2016)：砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説、国総研資料、No.904, p.9

国土交通省砂防部(2023)：令和5年6月29日からの大雨による土砂災害発生状況(2023年8月21日9:00時点), https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r5/dosha/0629 ooame_230821_0900.pdf, 参照 2023-10-12

久留米市(2023)：広報久留米、令和5年8月1日号, p.7, http://www3.city.kurume.fukuoka.jp/shisei/23_8_1/, 参照 2023-10-12

佐賀新聞(2023)：<https://www.saga-s.co.jp/articles/-/1075088>, 参照 2023-07-28

産総研地質調査総合センター(2022)：20万分の1日本シームレス地質図v2, <https://gbank.gsj.jp/seamless>, 参照 2023-08-09

柴田賢・西村祐二郎(1989)：三郡結晶片岩の同位体年代、地質学論集, No.33, p.317-341

Takebayashi, H., Fujita, M., Ohgushi K. (2022) : Numerical modeling of debris flows using basic equations in generalized curvilinear coordinate system and its application to debris flows in Kinryu River Basin in Saga City, Japan, Journal of Hydrology, 615, Part A, 128636

(Received 2 October 2023 ; Accepted 16 October 2023)