河川基金助成事業

「令和３年７月静岡県東部豪雨災害調査」

助成番号：2021 - 5112 - 001

土木学会水工学委員会
委員長　　立川康人

２０２１年度

・ 助成事業者紹介

立川　康人（土木学会水工学委員会・委員長）

現職：京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻・教授

主な著書：水文学・水工計画学（分担執筆）（京都大学学術出版会、2013 年）
CommonMP 入門（編著）（技報堂出版、2011 年）
例題で学ぶ水文学（分担執筆）（森北出版、2010 年）
エース水文学（分担執筆）（朝倉書店、2006 年）　ほか

・ 共同研究者

土木学会水工学委員会「令和3年7月静岡県東部豪雨災害調査団」

氏名	所属・職位	役割
田中　博通	東海大学・名誉教授	団長
田代　喬	名古屋大学減災連携研究センター・副センター長／特任教授	幹事
居波　智也	東海大学海洋学部臨海実験場	団員
大石　哲	神戸大学都市安全研究センター・教授	団員
大槻　順朗	山梨大学大学院総合研究部工学域・助教	団員
尾畑　功	大豊建設株式会社　名古屋支店・次長 中部大学　客員研究員	団員
小林健一郎	神戸大学都市安全研究センター・准教授	団員
竹林　洋史	京都大学防災研究所・准教授	団員
戸田　祐嗣	名古屋大学大学院工学研究科・教授	団員
松本　健作	静岡理工科大学理工学部土木工学科・教授	団員
利藤　房男	名古屋大学減災連携研究センター・特任教授	団員

１．はじめに

2021年7月1日から本州の南を北上した梅雨前線は、2日から3日にかけて本州の太平洋岸に停滞した。この前線に向かって暖かく湿った空気が流入した影響により、東海地方から関東沿岸にかけて記録的な大雨となった。この豪雨により静岡県東部の逢初川と黄瀬川では下記に述べる災害が発生した。

熱海市では7月1日午前1時から7月3日午前10時までの57時間の総雨量は550 mmに達した。この豪雨による影響で、2級河川逢初川の源頭部にある推定55,000 m^3の盛土が、7月3日午前10時30分頃から泥流となって流下し、死者27名（関連死1名含む）、行方不明1名、建物被害132棟に及ぶ大災害が発生した。

現在、この災害の被災者は、原因究明と損害賠償を求める訴訟を起こしている。また、国土交通省は、24時間体制で既設砂防堰堤の除石、仮設ブロック堰堤の整備、砂防堰堤1基の新設工事を行っている。静岡県と熱海市は、盛土工事を行った経緯について調査委員会等で調査している。また、2022年4月から逢初川整備計画委員会が発足することとなった。

狩野川支川の黄瀬川流域では、7月1日1時から7月3日15時までの総雨量は約808 mm（速報値）に達した。黄瀬川西部の愛鷹雨量観測所では、7月3日午前2時に75 mm/hもの激しい降雨となった。この降雨により黄瀬川の水位は氾濫危険水位を超え、7月3日午前8時35分頃に黄瀬川大橋の橋脚が沈下し、家屋1棟が流出したほか、河道では各所で護岸が崩落し、指定区間において浸水被害が発生した。橋脚が損傷した黄瀬川大橋は8月末に応急復旧が完了し、現在は崩落した護岸の復旧工事が行われている。

このような災害を受けて、土木学会水工学委員会では、「令和3年7月静岡県東部豪雨災害調査団」（団長：田中博通東海大学名誉教授）を結成し、公募によって集まった11名の団員を得て、現地調査と研究を行ってきた。その成果として、2021年12月9日開催の第66回水工学講演会【ランチョンセッション】と2022年2月9日開催の「河川災害シンポジウム」では調査結果を報告した。

本調査を行うに当たり、国土交通省中部地方整備局、沼津河川国道事務所、富士砂防事務所、静岡県交通基盤部、静岡県熱海土木事務所、静岡県沼津土木事務所から貴重な資料提供と助言及び現地調査時の支援を受けた。調査団を代表して、ここに記して謝意を表する。また、土木学会水工学委員会、土木学会中部支部、河川財団からは、調査に対する支援を頂いた。調査団を代表して、ここに記して謝意を表する。

今回の災害で多くの人命が犠牲となり、多くの財産が喪失した。これを受けて、盛土等による災害から国民の生命・身体を守る観点から、盛土等を行う土地の用途やその目的にかかわらず、危険な盛土等を全国一律の基準で包括的に規制する「宅地造成等規制法の一部を改正する法律案」（盛土規制法案）が策定された。

私たちがこの国土で生活している限り、地震による揺れと土砂災害及び津波による流出、豪雨による洪水と土砂災害に対峙することになる。一般的な事故と犯罪の場合は、予見もしくは想定できたかが問われるが、自然災害も多くの経験と専門知識で予見もしくは想定することが重要となってくる。この報告書が、これから発生するかもしれない、豪雨による災害の参考になることを願ってやまない。

最後に、今回の災害で亡くなられた方々のご冥福をお祈り申し上げるとともに、被災された方々にお見舞い申し上げる。

令和4年4月

令和3年7月静岡県東部豪雨災害調査団・団長　田中博通

２．豪雨災害と調査の概要

2.1　気象・災害の概要

2.1.1　気象と降雨の概況

2021年7月1日から梅雨前線が本州の南を北上し、ほぼ停滞していた（図2.1.1）。この前線に向かって暖かく湿った空気が絶え間なく流入し、東海地方から関東沿岸にかけて記録的な大雨となった。72時間雨量は神奈川県箱根で805.5 mm(3日午後4時20分まで)、静岡県御殿場で560.0 mm(3日午後4時50分まで)で、いずれも7月の1位の値を大幅に更新している（気象庁，2021a；東京管区気象台，2021）。図2.1.2は、7月1日から3日の午前9時における気象衛星ひまわりによる画像である。この期間、雨雲は太平洋沿岸に広く分布し、梅雨前線に向けて湿った暖気が流入していることが分かる。

図2.1.3には、東海地方から関東地方南部における7月1日から3日の各日午前9時におけるレーダー雨量の分布を示す。梅雨前線沿いに降雨強度20 mm/hを超える帯域が分布しており、3日9時には静岡県東部から神奈川県西部にかけて30　mm/h程度の降雨となっている様子が見受けられる。また、図2.1.4に東海地方から関東地方南部における6月30日から7月3日までの期間降水量の分布図を、図2.1.5に7月3日午前10時時点の大雨警報（土砂災害、浸水害）と洪水警報の危険度分布（キキクルマップ）を示す。総雨量では箱根が最も多く、累積雨量が500　mmを超えた地域は富士山、愛鷹山、箱根山に囲まれた火山麓地域（主に黄瀬川の集水域）と重なっていることが分かる。今次の豪雨災害を被った主な市町村と河川を対応する災害が生じた時点のキキクルマップに併記してみると、それぞれ高い危険度を呈していることから、今次災害においても近年整備された防災気象情報の有効性が示唆された。

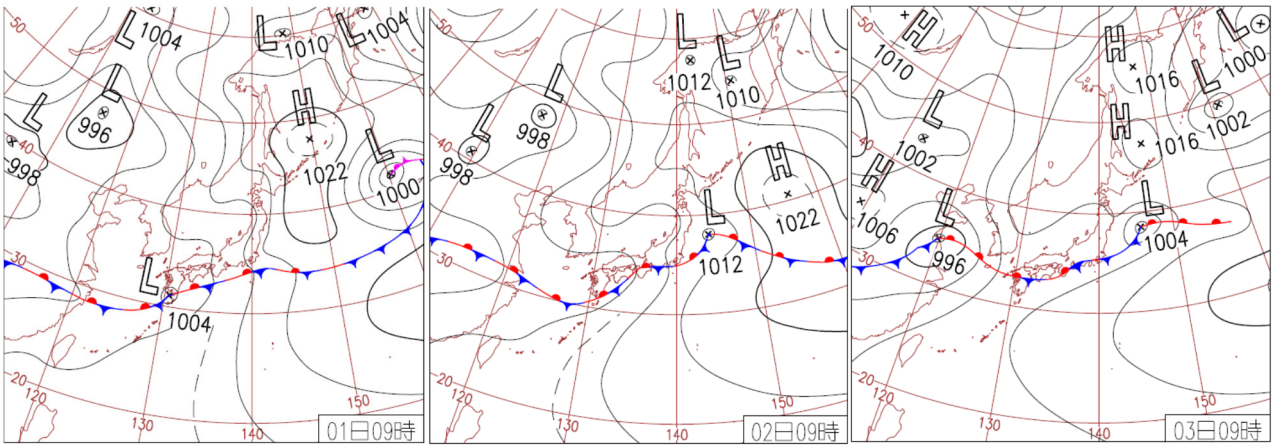


図2.1.1　2021年7月1日、2日と3日の午前9時時点における天気図（気象庁，2021a；2021b）

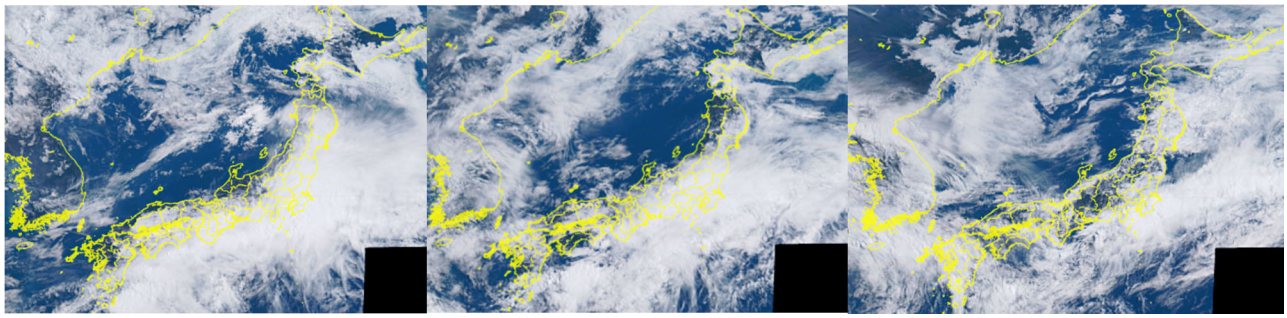


図2.1.2　2021年7月1日、2日と3日の午前9時時点における衛星画像
（情報通信機構「ひまわりリアルタイムWeb」）

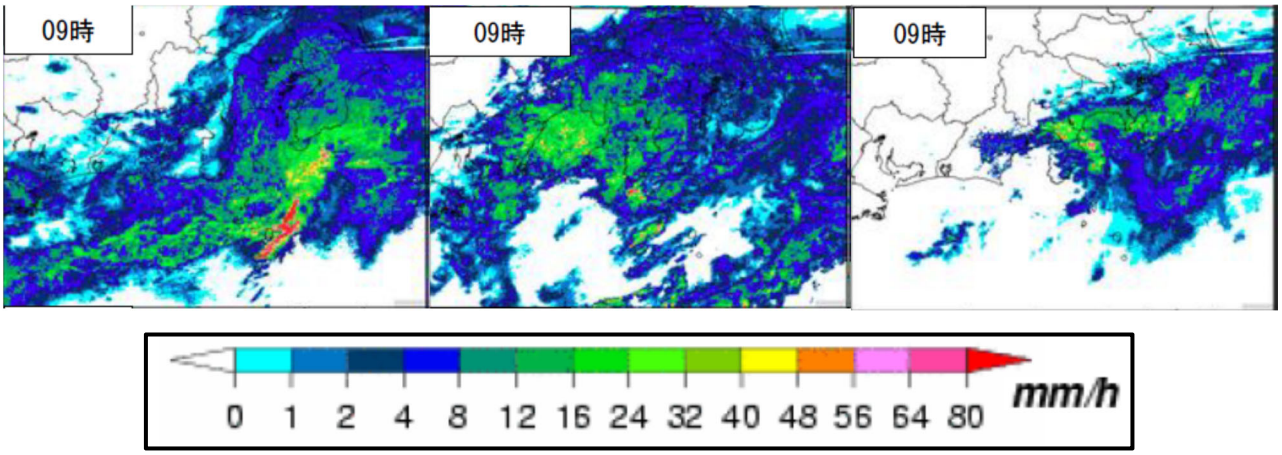


図2.1.3　2021年7月1日、2日と3日の午前9時時点におけるレーダー雨量（東京管区気象台，2021）

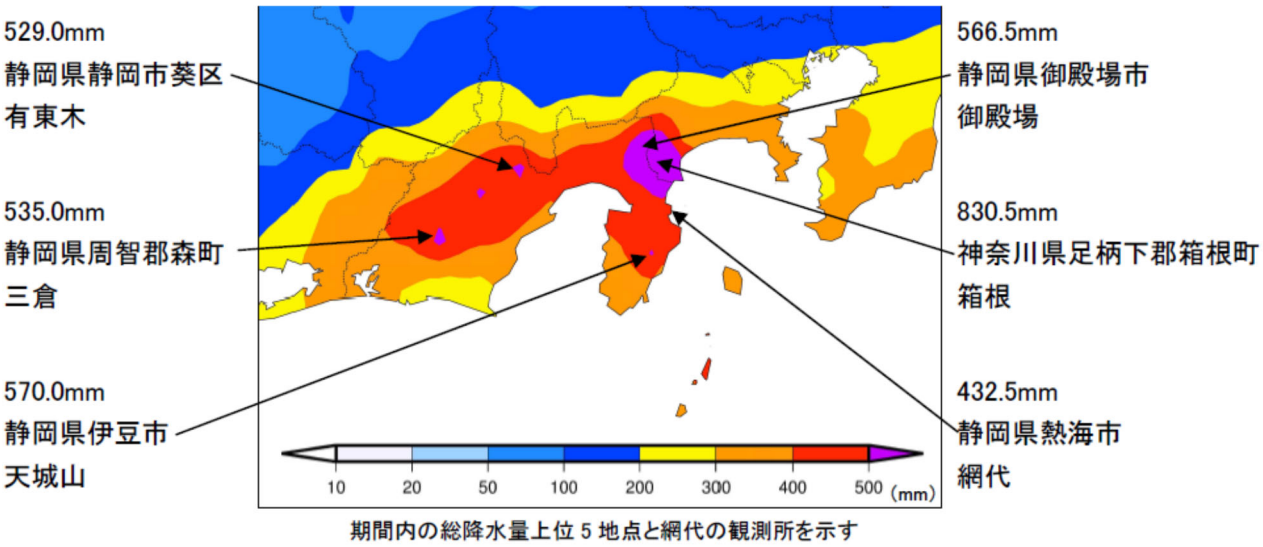


図2.1.4　6月30日から7月3日の東海地方から関東地方にかけての期間降水量分布（気象庁，2021a）

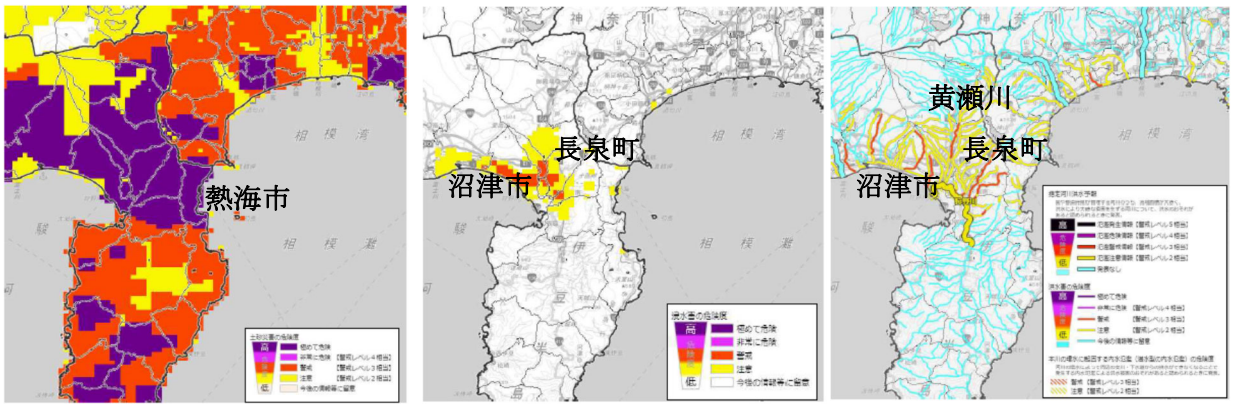


図2.1.5　7月3日午前10時時点発表の静岡県東部から神奈川県西部にかけての大雨警報（土砂災害、左）、（浸水害、中）と洪水警報（右）の危険度分布（気象庁，2021a）

2.1.2　豪雨に伴う被害の概況

今次豪雨梅雨前線による大雨に伴い、日本全国では死者27名、行方不明者2名に及ぶ犠牲者があった（総務省消防庁応急対策室，2022）。国が管理する直轄河川における洪水氾濫は、愛知県豊川市を流れる豊川における霞堤からの溢水の1水系1河川のみであったのに対し、都道府県による管理河川での洪水氾濫は25水系55河川に及んだが、これによる人的被害は報告されていない（国土交通省，2021）。静岡県内では、東部を流れる富士川水系の3河川（江尾江川、高橋川、沼川）と狩野川水系の4河川5地点（黄瀬川2、大平江川、大場川、久保川で各1）で洪水氾濫があったほか、黄瀬川の7地点を始め23河川29ヵ所において、河川管理施設の被害が生じた（国土交通省，2021）。土砂災害については、日本全国で263件発生しており、神奈川県で72件、鳥取県で44件、島根県で24件、静岡県で23件、千葉県で22件などの被害が生じた（国土交通省水管理・国土保全局砂防部，2021）。

人的被害が集中した熱海市伊豆山の逢初川では、源頭部から崩壊・流出した約5.5万 m^3の土砂による「泥流」が発生し、中下流域に押し寄せた土砂は、約130棟の住家を破壊し、27名の犠牲者（行方不明者1名含む）を出すなど、甚大な被害を生み出した。図2.1.6には、熱海市における6月30日から7月3日までの降水量と累積雨量の時間変化、ならびに、土砂災害警戒情報発表直前時点（2日12時）と災害発生直前時点（3日9時）における土砂災害のキキクルマップを示す。現地では、降り始めからしばらくは降雨強度20 mm以下の比較的弱い雨が降っていたが、累積雨量と降雨強度の増加に伴って2日12:30に土砂災害警戒情報が発表され、その後にも降り続いた強雨によって土砂災害の危険度が高まっていった。同市伊豆山においては3日午前10時30分に“泥流”が発生したとされるが、午前8時頃と10時頃に降雨強度20 mm/hを超える降雨があった。熱海市周辺では降雨強度50 mm/hを超える警報級の集中豪雨は見られなかったが、数日間にわたって停滞した前線による継続降雨の後にもたらされたこの比較的強い雨が、逢初川源頭部にあった集積土崩壊の引き金になったものと考えられる。また、長きにわたる降雨で総雨量が大きかったことが、盛土に雨水が浸透し含水率50%を超える泥流となって悲惨な災害が発生したものと考えられる（3.2参照）。

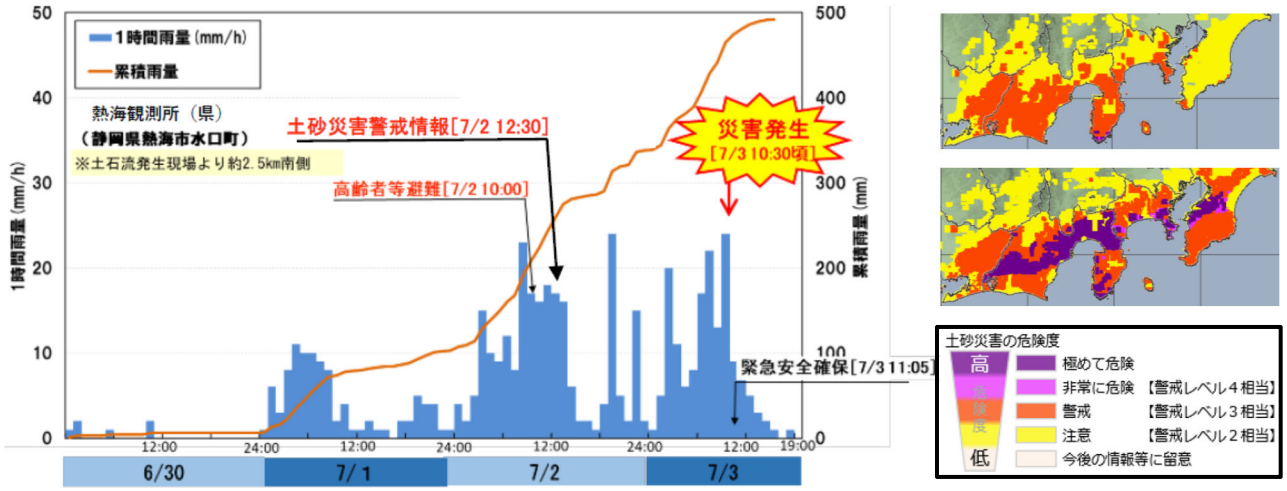


図2.1.6　熱海市の降水量の時間変化と土砂災害警戒情報の危険度分布（上：2日12時、下：3日9時）
（左：国土交通省提供、右：東京管区気象台，2021）

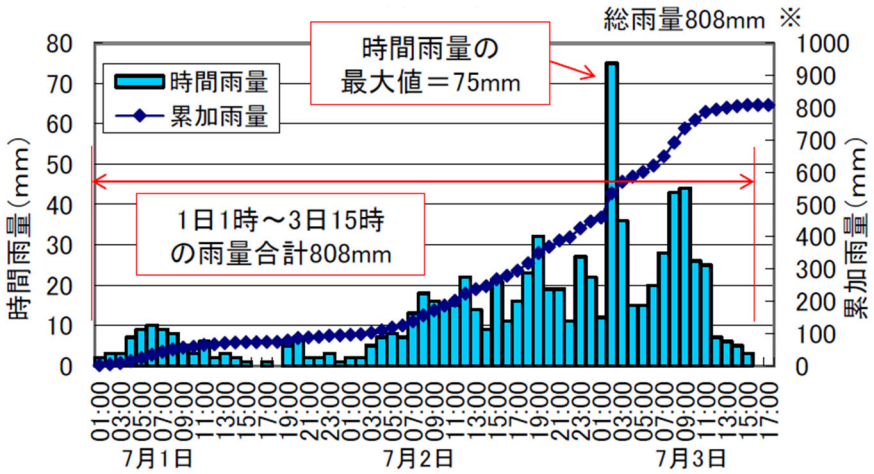


図 2.1.7　愛鷹雨量観測所における時間雨量の変化

（国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所，2021）

強雨域と集水域が重なった狩野川水系黄瀬川では既往最大級の洪水となり、黄瀬川大橋（狩野川合流点から1.0 km上流）の橋脚・橋梁が損傷し、護岸が崩落したほか、上流の指定（県管理）区間においては、家屋の流出（牧堰上流右岸）、護岸の崩落など、多数の被害が発生した。黄瀬川流域には、5箇所の雨量観測所があり、7月1日1時から3日15時までの総降水量は、それぞれ愛鷹雨量観測所808 mm、印野雨量観測所572 mm、須山雨量観測所739 mmに達した（国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所，2021）。図2.1.7には、愛鷹雨量観測所における時間雨量の変化を示すが、3日午前2時には75 mm/hに達するなど、当日の深夜から未明にかけて激しい降雨に見舞われた。前記したように、黄瀬川集水域は今次災害において総降雨量が最も大きかった地域であり、一連の降雨後の流出が最大級の洪水を引き起こしたと考えられる（4.1参照）。

令和3年静岡県東部豪雨災害の特徴の一つとして、時間的に大きな豪雨でなくても、20 mm/h以下の降雨が長時間継続して降ることによって総雨量が大きくなり、その影響で甚大な災害が発生したことである。即ち、停滞前線や線状降水帯などによる継続した降雨に注意を払う必要がある。

2.2　令和3年7月静岡県東部豪雨災害調査団の活動

2.2.1　調査団の概要

上記した豪雨により発生した災害に対し、土木学会水工学委員会では、「令和 3 年 7 月静岡県東部豪雨災害調査団」を結成した（2021 年 7 月 9 日発足、同 14 日確定、表 2.2.1）。主な調査対象は、熱海市伊豆山地区の泥流被害と狩野川水系黄瀬川の河川災害であり、コロナ禍を踏まえた調査活動を念頭に、近隣地区の研究者・技術者、被災地に係る研究者、および、対象災害のエキスパートにより構成した。調査団の結成に際しては、水工学委員会下の水害対策小委員会（委員長：神戸大学・大石哲教授、アドバイザー（中部地区）：名古屋工業大学・冨永晃宏名誉教授）での協議により、関東地区幹事の山梨大学・大槻と中部地区幹事の名古屋大学・田代が連携して対応する方針を確認した後、被災地周辺の地勢や管理に精通した東海大学・田中博通名誉教授を訪ね、被災地の先遣調査を行うことにより活動を開始した。田中名誉教授は、狩野川流域委員会（国土交通省沼津河川国道事務所）や糸川・初川・熱海和田川水系流域委員会（静岡県）の委員長を歴任するなど、長年にわたって静岡県内の河川・砂防行政に貢献されてきた当該分野の第一人者である。

表 2.2.1　土木学会水工学委員会「令和 3 年 7 月静岡県東部豪雨災害調査団」の構成
（2021 年 7 月 9 日に結成、同 14 日に確定）

氏名	所属・職位	役割
田中　博通	東海大学・名誉教授	団長
田代　喬	名古屋大学減災連携研究センター・副センター長／特任教授	幹事
居波　智也	東海大学海洋学部臨海実験場	団員
大石　哲	神戸大学都市安全研究センター・教授	団員
大槻　順朗	山梨大学大学院総合研究部工学域・助教	団員
尾畑　功	大豊建設株式会社　名古屋支店・次長 中部大学　客員研究員	団員
小林健一郎	神戸大学都市安全研究センター・准教授	団員
竹林　洋史	京都大学防災研究所・准教授	団員
戸田　祐嗣	名古屋大学大学院工学研究科・教授	団員
松本　健作	静岡理工科大学理工学部土木工学科・教授	団員
利藤　房男	名古屋大学減災連携研究センター・特任教授	団員

表 2.2.2　令和 3 年 7 月静岡県東部豪雨災害調査団の主な活動（2022 年 3 月現在）

日付	場所	調査・交流会名
7 月 7 日	熱海市伊豆山	東海大学・田中名誉教授、山梨大学・大槻助教、名古屋大学・利藤特任教授、田代特任教授、荒木特任准教授による熱海市伊豆山地区泥流の被災地踏査、今後の活動に関する打合せ（中日新聞社、ＣＢＣテレビ、名古屋テレビが一部同伴）
9 月 2 日 11 月 24 日	オンライン	土木学会水工学委員会「令和 3 年 7 月静岡県東部豪雨災害調査団」打合せ
11 月 24-25 日	熱海市伊豆山 逢初川流域	土木学会水工学委員会「令和 3 年 7 月静岡県東部豪雨災害調査団」合同調査（静岡新聞／静岡放送が一部同伴）
12 月 9 日	オンライン	第 66 回水工学講演会・ランチョンセッション 「令和 3 年静岡県東部豪雨調査速報会」 挨拶・概要：団長　田中博通（東海大学） 調査報告１：団員　竹林洋史（京都大学） 熱海市伊豆山で発生した泥流の流動特性 調査報告２：団員　利藤房男（名古屋大学） 熱海の投棄残土は何故流動したのか？～公開されている土質調査結果からの考察～ 調査報告３：団員　大槻順朗（山梨大学） 黄瀬川（狩野川水系）における被災について 司会：　　幹事　田代　喬（名古屋大学）

日付	場所	調査・交流会名
1 月 14 日	沼津市、清水町、長泉町ほか 狩野川水系黄瀬川	土木学会水工学委員会「令和 3 年 7 月静岡県東部豪雨災害調査団」合同調査
2 月 9 日	オンライン	2021 年度 河川災害シンポジウム 「令和 3 年 7 月静岡県東部豪雨災害調査団・中間報告」 概要：　団長　田中博通（東海大学） 令和 3 年 7 月静岡県東部豪雨災害について 報告１：団員　竹林洋史（京都大学） 熱海市伊豆山で発生した泥流の流動特性 報告２：団員　利藤房男（名古屋大学） 熱海の投棄残土は何故流動したのか？～公開されている土質調査結果からの考察～ 報告３：団員　大槻順朗（山梨大学） 黄瀬川（狩野川水系）における被災について 司会：　幹事　田代　喬（名古屋大学）

本調査団では、上記した被害の概要と特徴に鑑み、熱海市伊豆山における「泥流の流動特性の調査と解析」と「投棄残土の土質特性からみた流動化現象の考察」、狩野川水系黄瀬川における「河川管理施設等の被災概要」と「洪水時の橋梁被災に関する分析」などの課題を設定した。発災直後の先遣調査に始まり、両調査地における合同調査（2.2.2、2.2.3参照）などを通じた調査・分析を進めてきたところであり、2021年12月9日の速報会、2月9日の中間報告会などでの発表を行いながら、成果の取り纏めを進めている（表2.2.2、2022年3月現在)。

なお、本調査団の活動時期は、発災直後から現在も続く行方不明者の捜索活動やCOVID-19の感染拡大“第5波”（2021年7月初から9月末頃)、ならびに、その後の“第6波”（2022年1月から3月）とタイミングが重なり、特に被災地の現地調査を行う上で大きな制約が生じた。そのため、合同調査の実施に際しては、COVID-19の感染拡大を予防するため、調査団員には事前にPCR検査を行い“陰性”を確認したうえでの参加を求めるなどの対策を徹底した。

2.2.2　熱海市伊豆山地区における合同調査

熱海市伊豆山地区における合同調査は、本調査団からの依頼を受けた国土交通省中部地方整備局による計画・調整に基づいて準備が進められた。COVID-19 感染拡大の第 5 波の収束を見計らい、11 月 24 日から 25 日の 2 日間に実施する計画が定められ、国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所熱海緊急砂防出張所、ならびに、静岡県熱海土木事務所の案内により、熱海市伊豆山を流れる逢初川流域において実現した。本合同調査には団員を中心に延べ 10 名が参加したが、当日は“密”を排しながら効率的に調査を行うため、逢初川流域の中でそれぞれに関心のある地域に限り、1 日目は甚大な被害が生じた中下流域、2 日目は土砂の発生源となった源頭部を含む上中流域に分けて巡検するものとした。最終的には、調査団員とその関係者から、それぞれ 6 名が参加した（田中団長と田代幹事は両日とも参加)。

表 2.2.3　熱海市伊豆山地区における合同調査参加者

氏名	所属・職位	役割
田中　博通	東海大学・名誉教授	団長
田代　喬	名古屋大学減災連携研究センター・副センター長／特任教授	幹事
居波　智也	東海大学海洋学部臨海実験場	団員
大石　哲	神戸大学都市安全研究センター・教授	団員
大槻　順朗	山梨大学大学院総合研究部工学域・助教	団員
小林健一郎*	神戸大学都市安全研究センター・准教授	団員
松本　健作	静岡理工科大学理工学部土木工学科・教授	団員
利藤　房男	名古屋大学減災連携研究センター・特任教授	団員
豊竹　喬	静岡新聞／静岡放送　熱海支局長	

*指導学生 2 名を同伴

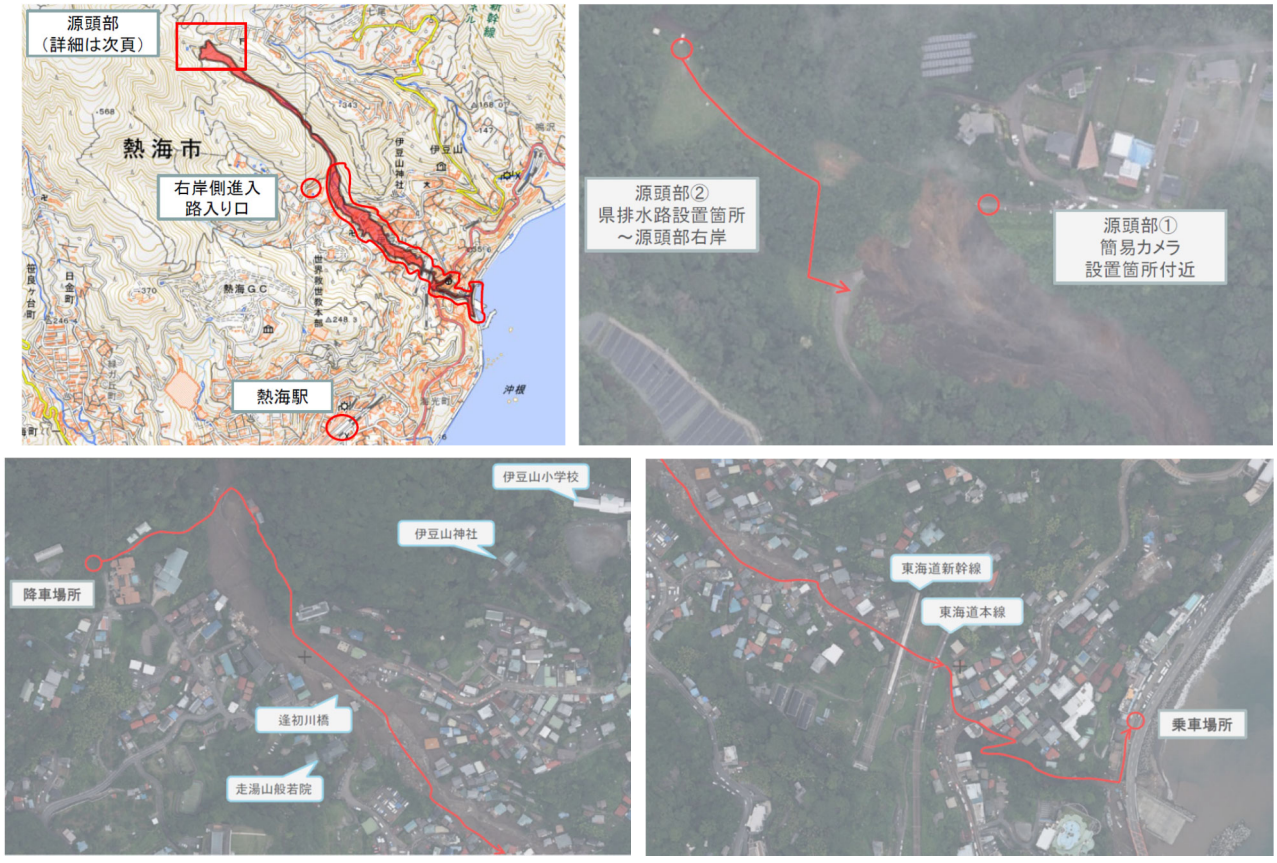


図 2.2.1　11 月 24 日に調査した逢初川源頭部・中下流域と行程（地理院地図に加筆）
（左上：位置図、右上：源頭部、中：中流域、下：下流域）

図 2.2.2　11 月 25 日に調査した逢初川源頭部・上流域と行程（地理院地図に加筆）
（左：位置図、右：上流域）

写真 2.2.1　被災から 4 ヶ月半余り経った
逢初川中流域の様子（11 月 24 日撮影）

写真 2.2.2　盛土崩壊が生じた
逢初川源頭部の様子（11 月 25 日撮影）

写真 2.2.3　逢初川上流部の既設堰堤における除石作業の様子（11 月 25 日撮影）

2.2.3　狩野川水系黄瀬川における合同調査

合同調査は、国土交通省沼津河川国道事務所、ならびに、静岡県沼津土木事務所の案内により、1 月 14 日に黄瀬川の流程に沿った直轄区間 4 カ所と県管理区間の 5 カ所を巡検した（図 2.2.3 参照）。調査団からは団員 5 名が参加した（表 2.2.4 参照）。

表 2.2.4　狩野川水系黄瀬川における合同調査参加者

氏名	所属・職位	役割
田中　博通	東海大学・名誉教授	団長
田代　喬	名古屋大学減災連携研究センター・副センター長／特任教授	幹事
大石　哲	神戸大学都市安全研究センター・教授	団員
大槻　順朗	山梨大学大学院総合研究部工学域・助教	団員
尾畑　功	大豊建設株式会社名古屋支店・次長／中部大学・客員研究員	団員

図 2.2.3　狩野川水系黄瀬川の調査地点と主な被災地の様子（1 月 14 日撮影）
（左：地理院地図に加筆、上：牧堰、中：本宿地点の崩落護岸、下：黄瀬川大橋）

（田中博通・田代　喬）

謝辞

国土交通省中部地方整備局、同富士砂防事務所・沼津河川国道事務所、ならびに、静岡県熱海土木事務所・沼津土木事務所の方々には、種々の情報提供により多大なご協力をいただくとともに、ここで記載した2回の合同調査の企画に対して多大なる便宜を図っていただいた。ここに記して御礼申し上げる。

参考文献

1) 情報通信機構：ひまわりリアルタイム Web, https://himawari8.nict.go.jp/.
2) 気象庁（2021a）：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雨，災害をもたらした気象事例，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.
3) 気象庁（2021b）：日々の天気図，234，https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html.
4) 国土交通省（2021）：令和3年7月1日からの大雨による被害状況等について（第25報，令和3年12月2日17時発表），https://www.mlit.go.jp/common/001444234.pdf.
5) 国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所（2021）：令和 3 年 7 月の出水状況，令和 3 年度狩野川水系流域委員会資料，令和 3 年 11 月 1 日，https://www.cbr.mlit.go.jp/numazu/river/pdf/r3_iinkai_siryou1.pdf.
6) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部（2021）：令和 3 年 7 月 1 日からの大雨による土砂災害発生状況（令和 3 年 8 月 3 日 9:30 時点），https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r3dosha/2107011ooame_210803_0930.pdf.
7) 総務省消防庁応急対策室（2022）：令和 3 年 7 月 1 日からの大雨による被害及び消防機関等の対応状況（第 36 報，令和 4 年 3 月 25 日（金）17 時発表），https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/210701baiuzennsenn36.pdf.
8) 東京管区気象台（2021）：令和 3 年 6 月 30 日から 7 月 4 日にかけての大雨に関する気象速報，令和 3 年 7 月 6 日（令和 3 年 7 月 8 日修正），https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2021/20210708/pdf/2021_2_tokyo_A.pdf.

３．熱海市伊豆山で発生した泥流被害

3.1　泥流の流動特性の調査と解析

3.1.1　はじめに

熱海市伊豆山地区で 2021 年 7 月 1 日午前 1 時ごろから降り始めた雨は、2021 年 7 月 3 日午後 2 時ごろまで降り続き、雨が降り止む約 3 時間半前の 7 月 3 日午前 10 時 27 分の少し前に最初の泥流が逢初川流域の宅地上流部の家屋を流出させた。その約 100 分後の 12 時 10 分までの間に少なくとも 8 回の泥流が発生し、多くの家屋が被災するとともに、死者 26 名、行方不明者 1 名の人的被害も発生した。

本節では、2021 年 7 月 3 日に複数回の泥流が発生した熱海市伊豆山逢初川流域の泥流の流動特性について調査研究を実施するとともに、土砂災害危険度の高い谷地形の宅地における泥流からの避難方法について検討した。なお、本報告は現時点で得られている情報や検討結果に基づいて作成されており、ここに記載された内容の一部は今後の新しい情報や現地調査などによって修正される可能性がある。

3.1.2　対象地点の概要

図 3.1.1 に示すように、熱海市伊豆山地区は静岡県東部の神奈川県との県境に位置しており、JR 熱海駅から北に約 1km の場所である. 図 3.1.2 は伊豆山地区がある逢初川流域を含む周辺地域の土砂災害警戒区域を示す. 泥流が発生した逢初川流域も土砂災害警戒区域が設定されており、図の中で濃い黄色で示されている領域である。つまり、対象地域は土砂災害の危険度が高い地域であることがわかる。逢初川流域は明確な谷地形であるため、土砂災害警戒区域も逢初川に沿って細長い形状となっている。

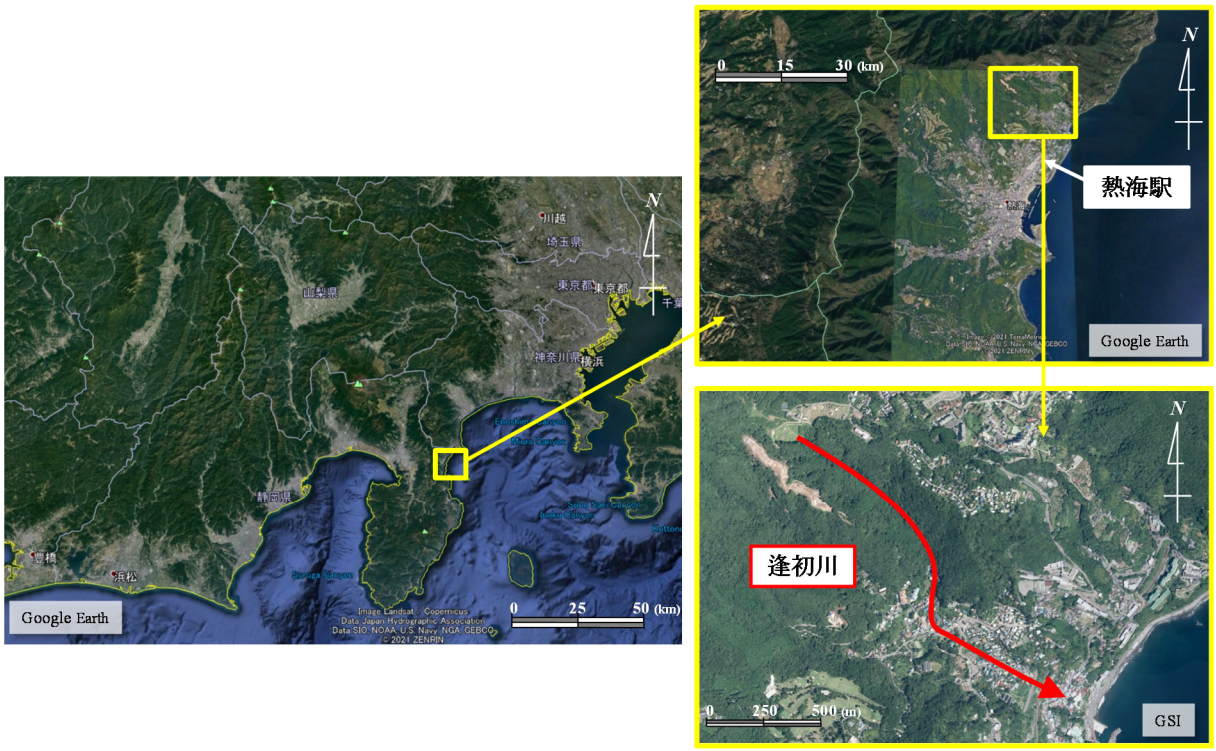


図 3.1.1　熱海市伊豆山地区の位置

図 3.1.2　逢初川流域を含む周辺地域の土砂災害警戒区域

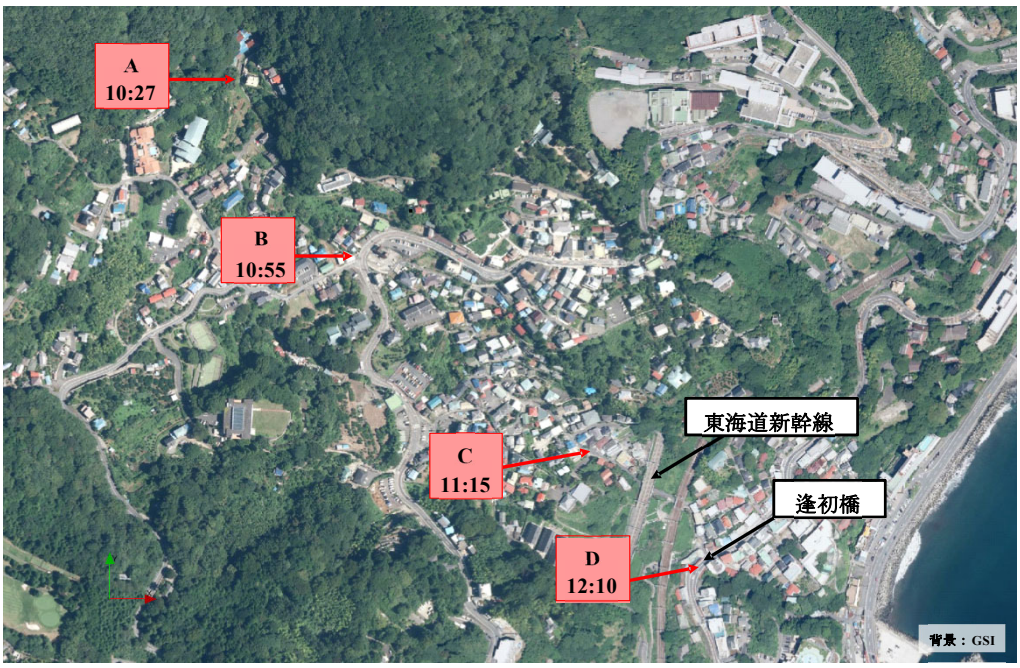
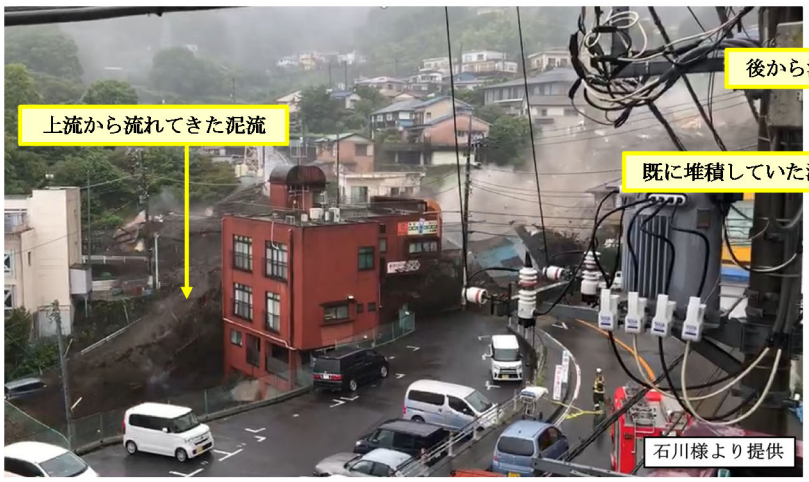


図 3.1.3　泥流が確認された場所と時間

また、土砂災害警戒区域は海岸まで続いているため、海岸まで地盤勾配が急であること、ならびに、泥流が海岸域まで到達する可能性があることを示している。濃い黄色で示された領域の上流端に赤で示された土砂災害特別警戒区域がある。土砂災害特別警戒区域は、家屋など建物の破壊の危険がある地域を示している。対象地域周辺は多くの土砂災害警戒区域があるとともに、それらの土砂災害警戒区域の内の 3 つが逢初川流域の土砂災害警戒区域の下流域で重複しており、被災領域の下流部は特に土砂災害の危険度が高いことがわかる。



(a)「B」地点・10 時 55 分

(b)「C」地点・11 時 15 分

(c)「D」地点・12 時 10 分

図 3.1.4　泥流の流動の様子

3.1.3　泥流の実態

図 3.1.3 に現地の住民や消防団などによって泥流が確認された場所と時間を示す。宅地に最初に流れ込んだ泥流が確認されたのは、図中に「A」として示している場所において 7 月 3 日午前 10 時 27 分少し前である。図中に「B」として示している場所で 10 時 55 分に撮影された泥流の動画をキャプチャーしたものを図 3.1.4（a）に示す。えんじ色のビルの奥側（南側）を黒色の泥流が流れている。動画から得られた泥流の流速は約 8 m/s であった。2013 年に伊豆大島で発生した泥流の数値シミュレーションで得られた泥流の流速は平均 14 m/s で場所によっては 20 m/s を超えており、「B」地点で観測された泥流の流速は、泥流としては比較的低速である。これは、上流で既に多くの家屋を破壊しながら流れてきたためと考えられる。なお、図 3.1.4（a）に示す泥流は、宅地に最初に泥流が流れ込んだ時刻から約 30 分経過しており、図 3.1.3 の「A」で確認された泥流とは異なる。図 3.1.3 に「C」として示している場所で 11 時 15 分に撮影された泥流の動画をキャプチャーしたものを図 3.1.4（b）に示す。図 3.1.4（b）に示す泥流は、図 3.1.4（a）に示す泥流が確認されてから約 20 分経過しており、両泥流は異なるものである。図 3.1.4（b）の泥流の下流部は 11 時 15 分よりも前に既に流れてきていた泥流で、ちょうど、図 3.1.4（b）に示す地点で停止していた。一方、図 3.1.4（b）の泥流の上流部は撮影

時に流れてきた泥流である。つまり、図 3.1.4（b）は停止していた泥流の上を別の泥流が覆い被さるように流れてきている状況を示している。図 3.1.3 に「D」として示している場所で 12 時 10 分に撮影された泥流の動画をキャプチャーしたものを図 3.1.4（c）に示す。泥流は家屋を破壊するとともに、逢初橋の高欄を乗り越えて逢初川に流れ込んでいる。

以上のように、泥流は大きなものが 1 回発生して海岸まで流れたのではなく、比較的小規模なものが間欠的に複数回発生したと考えられる。また、泥流は家屋などの建物に衝突・破壊する過程で減速しながら停止し、次の泥流が先に流れて停止した泥流上を流れ、停止した泥流を取り込んで規模を拡大させながらさらに下流に流れて家屋などの建物に衝突・破壊する過程で減速して停止するプロセスを繰り返しながら海岸まで到達したと考えられる。また、図 3.1.3 に「C」や「D」として示している場所に泥流が到達したのは、宅地に最初に流れ込んだ泥流が確認されてから約 50 分後と約 100 分後である。これらの場所においても人的な被害が発生している。これより、リードタイムが十分に確保できたとしても人的被害をゼロにすることは難しいことがわかる。避難せずに自宅に留まった理由は様々あると考えられるが、下流域の男性住民によると、上流域で発生している状況がイメージできていればより速やかに避難していたとのことである。つまり、上流域で土石流や泥流が発生したという状況を言葉のみで聞いても現在の自分は被災リスクが高い状態なのかどうか実感できないことが自宅に留まっていた理由の一つと考えられる。そのため、上流域で発生している現象を住民により速やかに認識・理解して頂くために、土砂災害警戒区域が設定されている渓流では上流に複数のカメラを設置し、下流域の住民がスマートフォンやテレビなどで上流の様子を視覚的に確認できるようなシステムの導入が有効と考えられる。

3.1.4　泥流の数値シミュレーション

熱海市伊豆山地区で発生した泥流の流動特性を明らかにするため、泥流の数値シミュレーションを実施した。解析に用いた数値シミュレーションモデルは、一般座標系で記述された平面二次元流れの基礎式による土石流・泥流シミュレーションモデルである（Takebayashi & Fujita, 2020）。初期地盤高は 2019 年に静岡県によって測量された DEM データを用いる。道路や家屋の形状をある程度表現するため、平均格子サイズは 2m とした。泥流は少なくとも宅地に 8 回流れてきているため、斜面崩壊は 8 回発生させた。

図 3.1.5 は泥流が 8 回流れた後の各地点での最大流動深の値を示す。泥流の最大流動深は建物の上流などで局所的に 10m を超える場所もあるが、多くの場所は 6m 以下である。泥流の流動幅は 50m～80m となっており、明確な谷地形が形成されているため流動幅が狭い。これは、渓流・河川の流れ方向に対して直角方向（横断方向）に数十メートル移動するだけで避難できることを示している。これらのことから、谷地形が発達している土砂災害危険地域については、渓流・河川横断方向に容易に移動できる道路を整備するとともに、渓流の流れに対して直角方向に数十メートル移動するだけで避難できることを住民に認識して頂くことにより、泥流による人的被害を大きく減少できる可能があると考えられる。

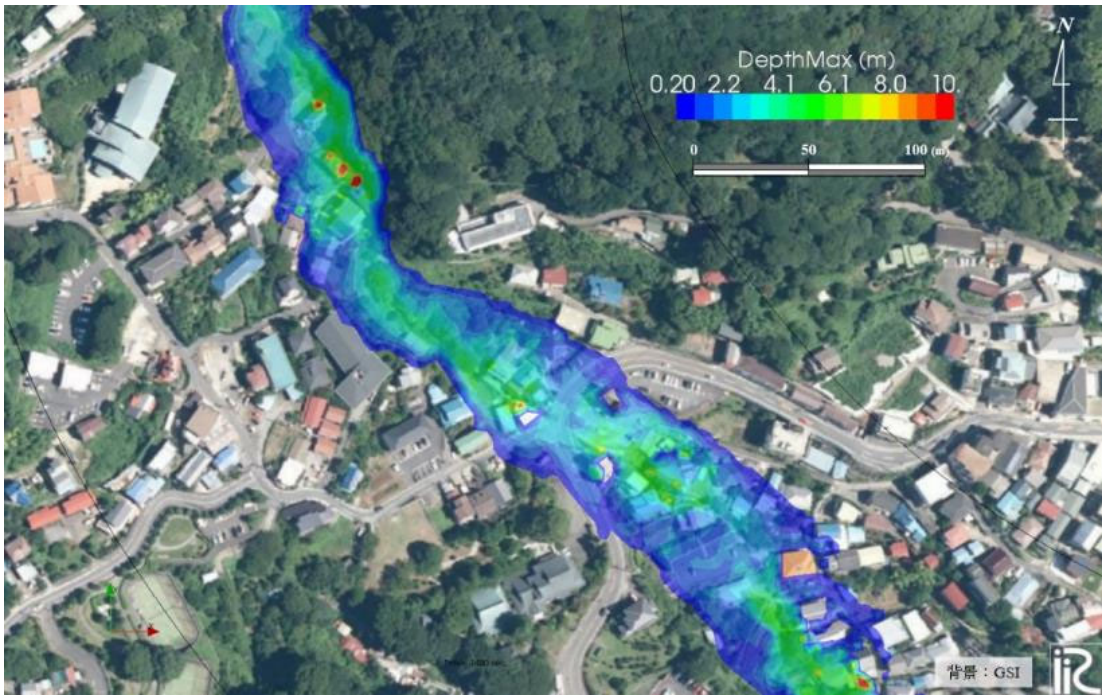


図 3.1.5　泥流の最大流動深の空間分布

3.1.5　おわりに

2021 年 7 月 3 日に複数回の泥流が発生した熱海市伊豆山逢初川流域の泥流の流動特性について調査研究を実施するとともに、土砂災害危険度の高い谷地形の宅地における泥流からの避難方法について検討した。得られた成果をまとめると以下のようである。

1)　対象流域は明確な谷地形が形成されており、泥流は横断的にはあまり広がらず、幅 80m 以下の範囲で流れている。これは、渓流・河川の流れ方向に対して直角方向（横断方向）に数十メートル移動するだけで避難できることを示している。これらのことから、谷地形が発達している土砂災害危険地域については、渓流・河川横断方向に容易に移動できる道路を整備するとともに、渓流の流れに対して直角方向に数十メートル移動するだけで避難できることを住民が認識することにより、泥流による人的被害を大きく減少できる可能があると考えられる。

2)　下流の新幹線や JR 周辺で泥流による人的被害が発生したのは、上流域で最初に泥流が確認されてから約 50 分後と約 100 分後である。これは、下流域の住民が上流域で発生している現象を正確にイメージできておらず、被災リスクが高い状況であることを理解していなかった可能性がある。そのため、上流域の様子を自宅などで確認できるカメラの設置など、容易に上流域で発生している現象をイメージできるシステムが必要と思われる。

3)　泥流は単発で大規模なものが発生したのではなく、小規模の泥流が複数回発生することによって結果的に大きな被害を発生させた。個々の泥流は家屋数軒を破壊した後に下流の家屋まで到達した時点で停止して土砂を堆積させ、その堆積した土砂を次の泥流が浸食して規模を大きくしながら家屋を数軒破壊してさらに下流の家屋に到達した時点で停止するプロセスの繰り返しで下流に伝播したと考えられる。

（竹林洋史）

3.2　「投棄残土」は何故流動化したのか～現地採取試料の土質特性からの考察～

静岡県交通基盤部河川砂防局（2021）では、令和 3 年 7 月 27 日に現地で採取した試料を基に土質試験（物理試験等）を実施し公開している。本節では、この土質試験結果を基に、崩壊した盛土は何故流動化したかに関して考察する。なお、今回、崩壊して流出した土砂については、（その由来は未だ不明であるものの）他地域から持ち込まれて捨てられた可能性が高いことから、宅地の盛土と区別するために、ここでは「投棄残土」と呼ぶ。

試料採取日：令和３年７月９日（金）、10日（土）

No.	試料名	採取位置	分類
No. 1	源頭部（地山）	源頭部	地山
No. 2	尾根部（ローム）参考	尾根部	近隣地山
No. 3	源頭部崖面（左岸側）褐色	源頭部	崩落崖面土砂
No. 4	源頭部崖面（右岸側）黒色	源頭部	崩落崖面土砂
No. 5	中流堆積部①（下段-1）	逢初川0. 8k地点付近	堆積土砂
No. 6	中流堆積部②（下段-2）	逢初川0. 5k地点付近	堆積土砂
No. 7	下流堆積部①（下段-3）	国道135号逢初橋付近	堆積土砂
No. 8	下流堆積部②（下段-4）	逢初川河口付近	堆積土砂

赤枠内が流動化した泥流
NO4～NO8
（No3は地山の可能性あり）

図 3.2.1　土質試験用試料採取位置（静岡県交通基盤部河川砂防局（2021）を改変）

【NO4試料】源頭部の崩れ残りの試料：黒色を呈し、水分やや抜け、ぼそぼその状態。流下した残土の流下前の状況。

【NO5試料】中流域に堆積した試料：黒色を呈し、水分多く、どろどろの状態。中流域まで流下しているので、流下時に周辺の表土などの混入可能性あり。

図 3.2.2　採取した試料の状況（静岡県交通基盤部河川砂防局（2021）を改変）

土質試験用の試料採取位置を図 3.2.1 に示す。試料採取は図に示す No.1～No.8 地点で行われている。この内、No.1～No.3 は地山の試料、No.4～No.8 は流出土砂の試料であるので、ここでは流出土砂の土質試験結果に着目する。なお、No.4 の試料は源頭部で崩れ残った投棄残土を露頭から採取したもので、No.5～No.8 は泥流として流下した試料で、No.5→No.8 と上流側から下流側に番号が付けられている。

採取した試料の状況を図 3.2.2 に示す。図の上段には No.4 の試料、下段には No.5 の試料の状況を示す。No.4 の試料は露頭より採取されたものでやや水分が抜けており、黒色でぼそぼその状態にある。No.5 の試料は泥流として流下した試料で、黒色で水分が多く“どろどろ”の状態にある。この試料は中流域まで流下しているので、投棄残土以外に周辺の表土なども混入している可能性がある。

3.2.1　投棄残土の透水性

崩壊時の降雨状況と過去の降雨状況を図 3.2.3 に示す。今回の 1 時間雨量は、過去最大 1 時間雨量の約 40%とはるかに少なく、短時間の集中豪雨で崩壊したものではないことが分かる。24 時間雨量でみると、今回の雨量とほぼ同じ雨量が過去 2 回発生しており、24 時間程度の継続した降雨で崩壊したものとも考えづらい。期間雨量(54 時間)でみると、今回の雨量は過去最大期間雨量の約 1.5 倍で、長時間継続した降雨が原因で崩壊したものと考えられる。それでは、今回のような降雨で飽和化する可能性を考えるために、採取試料の粒度試験結果から透水性を検討する。

採取試料の粒度構成（粒度試験結果）を図 3.2.4 に示す。図中の茶色が礫分、黄色が砂分、水色がシルト分、青色が粘土分を示す。盛土の粒度構成は中間土の粒度を示し、No.4～No.8 までの粒度構成はほぼ似通っている。粒度試験結果からクレーガーによる 20%粒径 D_{20} と透水係数 k の関係（河野, 1989）を基に、投棄残土の透水性を推定すると、20%粒径：D_{20} = 0.006～0.020 mm（No.4～No.8 試料でほぼ同一）、k = 4×10^{-8}～4×10^{-7} m/s となった。

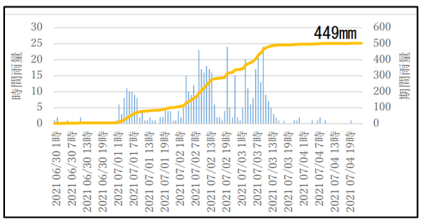
クレーガーの方法で求めた透水性は、細粒シルト～粗粒シルト相当の難透水性と判定される. このような透水性を持つのであれば、長時間の長雨でも浸透は少なく、飽和状態になるとは考えづらい。それにもかかわらず、今回の降雨により水が浸透した理由は、投棄残土が十分締固めされておらず、水が入りやすいほどに緩い状態であったことが想定される。なお、投棄残土への水の浸透は、表層からの浸透もあるが、谷沿いや側方など、周辺からの浸透もあったものと考えられる。

以下の過去の雨では盛土は崩壊しなかった。

（雨の条件）　（最大値）	1時間雨量	24時間雨量	期間雨量(一定の期間)
①2014年10月の豪雨	36mm	251mm	292mm
②2016年7月の豪雨	63mm	176mm	187mm
③2019年10月の豪雨	26mm	243mm	274mm

今回の雨では盛土が崩壊した。

（雨の条件）　（最大値）	1時間雨量	24時間雨量	期間雨量(一定の期間)
④2021年7月1日4時～3日10時(発災直前)	24mm	260mm	449mm



2021 年7月1日4時から、発災直前の7月3日10時までの降雨量(54時間)

図 3.2.3　崩壊時の降雨状況と過去の降雨状況（静岡県（2021）を改変）

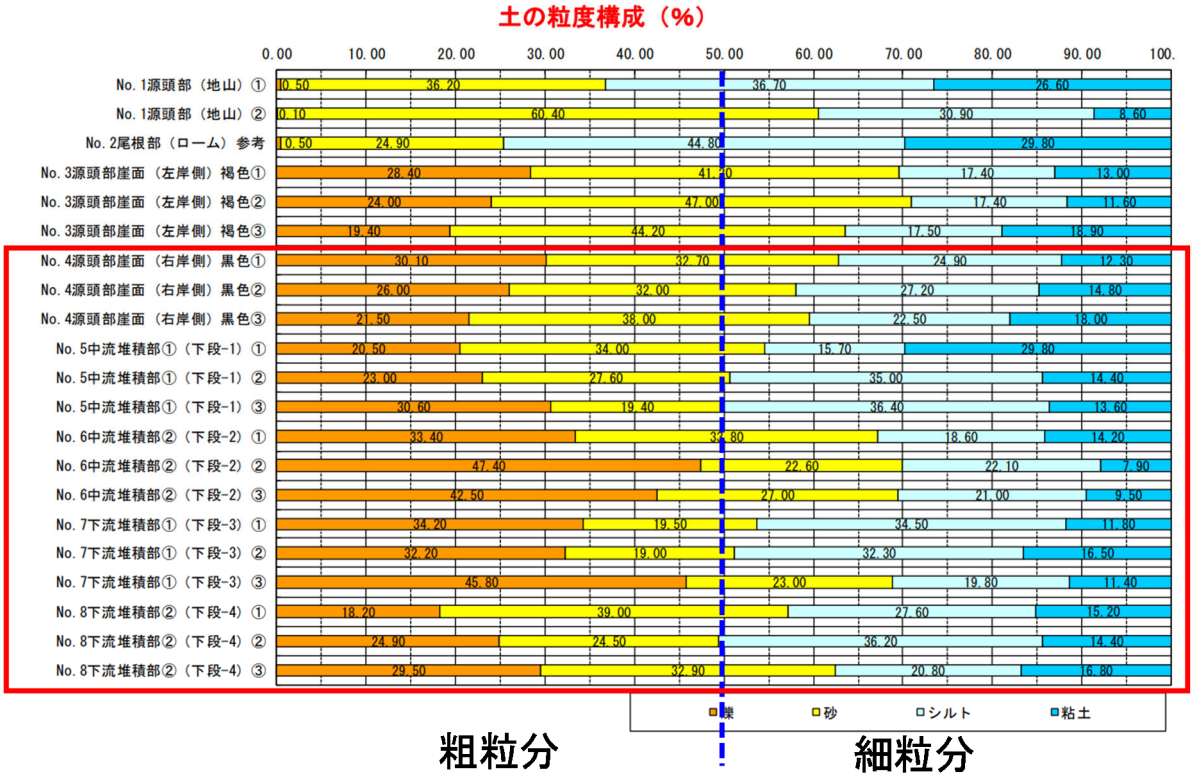


図 3.2.4　採取試料の粒度構成（静岡県，2021）

3.2.2　投棄残土の飽和化による強度低下

ここでは、投棄残土が降雨浸透等により飽和化したとして、何故崩壊に至ったかを考察する。図 3.2.5 に流動化した泥流の状況と源頭部の崩れ残った投棄残土の状況を示す。図の右の写真は 2021 年 11 月 25 日に現地で撮ったもので、降雨も比較的少ない時期でやや乾燥しているように見受けられる。これらの写真から、投棄残土は乾燥した状態（不飽和な状態）では急な斜面でも自立するような強度を持つが、飽和化することで強度低下を起こし、どろどろの状態になる可能性を示唆している。つまり、投棄残土は水分が少ない時には不飽和状態にあり、粒度構成が中間土であることも要因となりかなり大きなサクションを有し、投棄残土自体の締固め程度は低いものと考えられるが（実際の強度自体は小さい）、サクションが安定性に寄与していると考えられる。今回の期間雨量（54 時間で 449mm）により投棄残土は徐々に飽和化していき、サクションが消滅することで顕著な強度低下を生じたものと推定される。このような現象が起こったかどうかは、今後、現地にて乱れの少ない試料採取を行い、飽和～不飽和条件での三軸圧縮試験などにより確認することが可能である。

3.2.3　投棄残土の流動化しやすさ

次に崩壊した投棄残土が傾斜角 17～10° の斜面を何故流動化したのかを考察する。採取試料の粒径加積曲線を図 3.2.6 に示す。粒度分布は試料によるばらつきが少なく、粒度配合が良いことが特徴であり、均等係数は U_c = 82～1,460 と大きい。過去に起こった火山による泥流は、長距離を流下している事例が多い。その泥流の粒度配合と、今回流動化した投棄残土の粒度配合を比較してみる。対象としたのは、十勝岳の大正泥流（1926 年：大正 15 年）と約 22 万年前の富士相模原泥流である。

図 3.2.5　2021 年 7 月 7 日の泥流痕跡（左）と 2021 年 11 月 25 日の源頭部の状況（右）

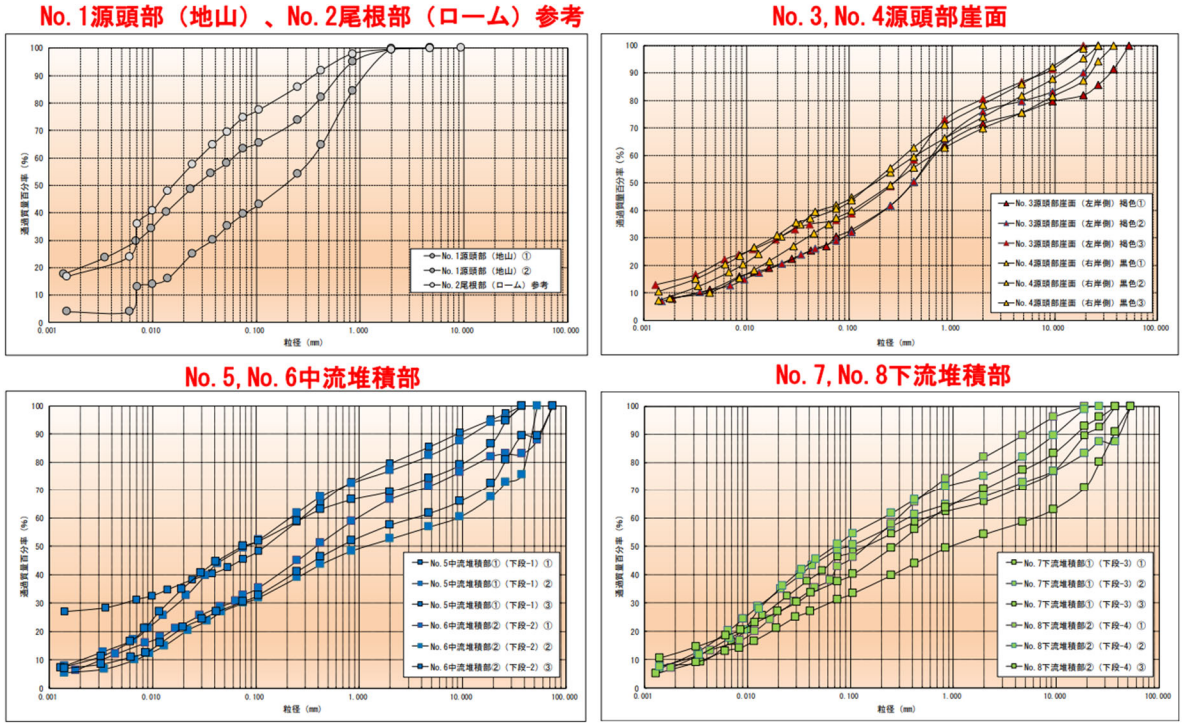


図 3.2.6　粒径加積曲線からみた粒度配合（静岡県，2021）

十勝岳大正泥流は、1926 年（大正 15 年）5 月 24 日の十勝岳噴火に伴って発生したもので、上富良野町・美瑛町（当時は村）合せて 144 人の犠牲者を出す大災害となった（北海道旭川土木現業所富良野出張所，1998）。この日、正午頃中央火口付近の西側で噴火が起こり、小規模な泥流が発生し白金温泉付近まで流下した。その約 4 時間後、中央火口丘の西半分を崩壊させるほどの大噴火が起き岩砕なだれとなって北西斜面を流下し、残雪を急速に溶かして更に大規模な泥流を誘発した。流下を続けた泥流は市街地にまで広がり、建物・橋・鉄道など全てを破壊し尽くし、その被害状況は復興が不可能ではないかと思わせるほどであった。当時の噴火と泥流で被害を受けた状況を図 3.2.7 に示した。この泥流に関してはトレンチ調査が行われており、その際採取した試料を用いて粒度試験が行われている。

粒度試験の結果を図 3.2.8 に示すが、粒度構成は中間土に近く（やや細粒分が多い）、均等係数は U_c=52～10,000 と大きく粒度配合が良い。

一方、富士相模原泥流は、相模川（山梨県では桂川）を流下した泥流で、その年代は ^{14}C 年代測定およびテフラとの層位関係より、約 22 万年前とされている（武原ほか，2017、図 3.2.9 参照）。この泥流に関しても現地より採取した試料を基に粒度試験が行われている。粒径分布を表したヒストグラムを図 3.2.10 に示す。粒度組成は、概ね粘土分 5～10%、シルト分 15～20%、砂分 15～25%、礫分 45～60%と礫分がやや卓越するが、礫分以外だと粘土分、シルト分、砂分ともに混入し粒径加積曲線はなだらかである。均等係数も $U_c \fallingdotseq$ 50～100 と大きく粒度配合が良い。

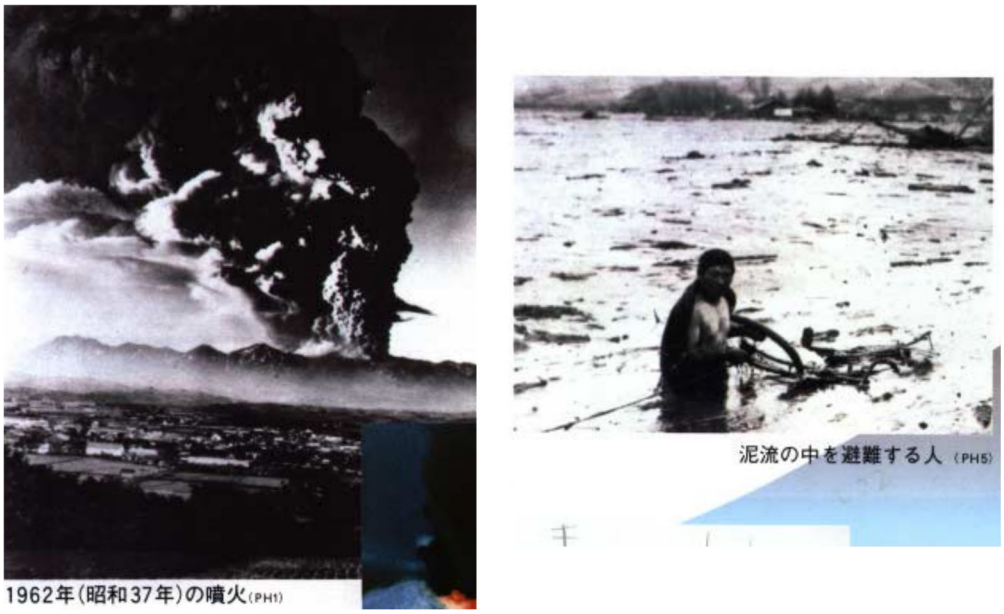


図 3.2.7　十勝岳の噴火と泥流の状況（北海道旭川土木現業所富良野出張所，1998）

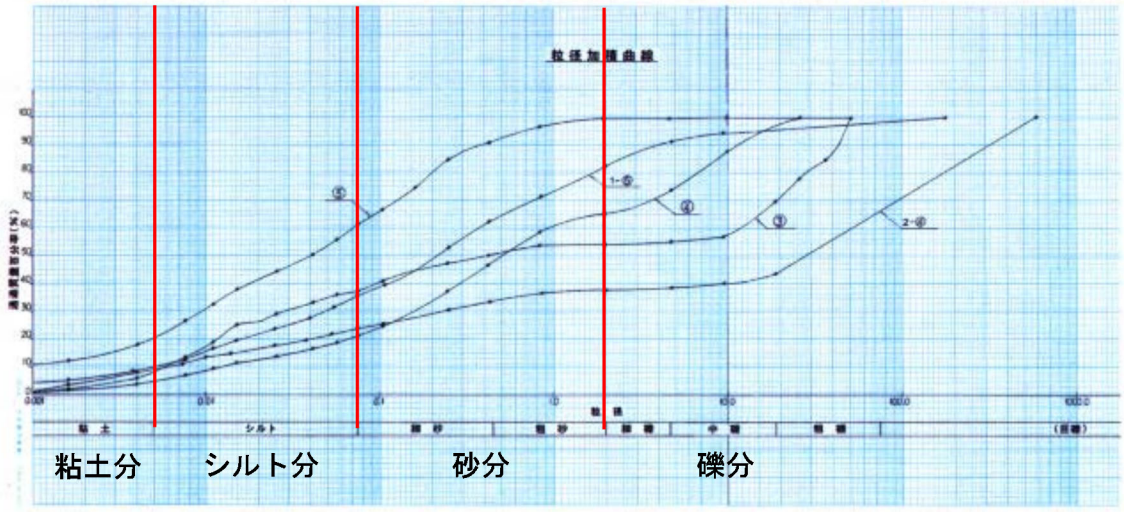


図 3.2.8　十勝岳泥流　1926 年（大正 15 年）の粒度試験結果
（北海道旭川土木現業所富良野出張所（1998）を改変）

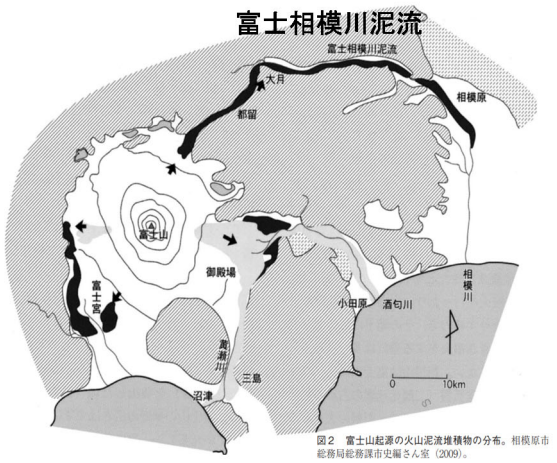


図2　富士山起源の火山泥流堆積物の分布。相模原市総務局総務課市史編さん室（2009）。

図 3.2.9　富士相模川泥流（約 22 万年前）
（武原ほか（2017）を改変）

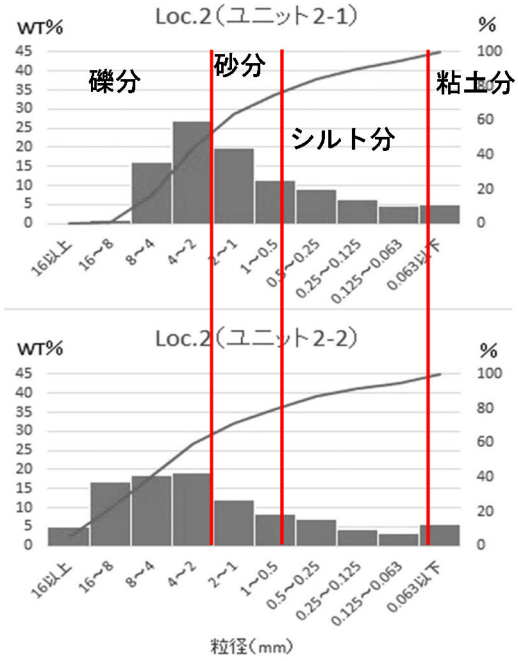


図 3.2.10　粒度分布を表したヒストグラム
（武原ほか（2017）を改変）

今回の投棄残土による泥流と過去の 2 事例の泥流の粒度の共通点として、礫分、砂分、シルト分、粘土分を程よく混入した中間土である事、粒度配合が良いことがあげられる。投棄残土はほとんど転圧をされていない緩い状態の中間土で、降雨による飽和化でサクションが無くなることで粘着力成分が減少し崩壊したと考えられる。シルト・粘土分を適度に含むため飽和化した時の含水比がかなり高く、雨水や周辺からの流入水で多量の水分を含むことになり、粒度配合が良いことも要因となり流動化しやすくなったと考えられる。

3.2.4　まとめ

今次災害における投棄残土の特徴と状態、および、それらに起因する崩壊から流動までの経過は、以下のように推察される。

1)　現地試料の粒径からは難透水性を示すものと推定されるが、盛土としての締固めはほとんどされておらず、緩い状態で集積していたため、水が入りやすい状態にあった可能性が高い。
2)　不飽和な状態ではサクションにより強度を保っているが、降雨浸透に伴って水が入り飽和化することによりサクションが失われ極端な強度低下を生じたものと考えられる。
3)　強度低下した投棄残土が崩壊した際には、河川堤防の浸透破壊などから想像するに、法尻部の侵食により斜面が不安定化した可能性が高い。投棄残土の崩壊は 8 回程度にわたって続いたとの推定（3.1 参照）から、崩壊と侵食による斜面の不安定化が断続的に進行したものと考えられる。
4)　投棄残土を構成する現地試料は、過去に発生した泥流と、中間土である事、粒度配合が良いことなど共通点がある。中間土でシルト分、粘土分の含有量が多いことから含水比も高いこともあり、崩壊後に流動化した。

（利藤房男）

謝辞

熱海市の住民の皆様から発災時の多くの情報をご提供頂いた。また、静岡県、熱海市（危機管理室、消防第四分団など)、アジア航測、パシフィックコンサルタンツ、NHK、朝日新聞、読売新聞、山口大学・山本教授から、各種データ・被災の状況など、詳しい情報をご提供頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献

1) 北海道旭川土木現業所富良野出張所（1998）：十勝岳と火山泥流　富良野川火山砂防事業の取りくみ，https://vivaweb2.bosai.go.jp/v-hazard/L_read/10tokachidake/10tokachi_1m02-L.pdf.
2) 河野伊一郎（1989）：地下水工学，鹿島出版会.
3) 静岡県（2021）：第1回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会，令和3年9月7日，http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/r3hasseigenninncyousakennsyouiinnkai.html.
4) 静岡県交通基盤部河川砂防局（2021）：熱海市伊豆山地区土石流土質調査結果（速報），令和3年7月27日，https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/documents/kisyateikyou_doshitucyousakekka.pdf.
5) Takebayashi, H. and Fujita, M. (2020): Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model, Geosciences 10, 45, https://doi.org/10.3390/geosciences10020045.
6) 武原未佳，白井正明，宇津川喬子，河尻清和（2017）：富士相模原泥流の堆積学的特徴とその流下機構に関する考察，相模原市立博物館研究報告25：60-73.

４．狩野川水系黄瀬川で生じた河川災害

4.1　河川管理施設等の被災概要

4.1.1 黄瀬川の概要

一級河川狩野川（流域面積 852km²、幹線流路延長 46km）は、伊豆半島の天城山系に源を発して田方平野で箱根山等からの諸支川を併せて北流して富士山麓から南下する黄瀬川と合流して駿河湾に注いでいる。狩野川水系にあって黄瀬川（流域面積 275km²、延長 30km）は、富士山東麓を源流とする最大の支川で富士愛鷹、箱根の火山に囲まれた火山地域の特徴的な河川である。狩野川水系は 4 次支川まで 21 河川で構成されているが（中部地方整備局「河川コード台帳」）、深良川より下流における東岸からの流入は残流域のみであるのに対し（箱根山麓側の集水域は大場川が担っており）、下流部は愛鷹火山東麓の峡谷からの合流支川を集めて流れることから、片側が小さく偏った扇状の流域形状を持っている（図 4.1.1）。この形状は黄瀬川の成因に拠るもので、約 40 万年前から噴火を始めて 10 万年前頃に噴火を終えた愛鷹山と箱根火山との間の凹地に、富士山の大規模噴火で流出した三島溶岩流が被さり、緩い分水嶺となって箱根火山からの流れを拒んだと思料される。その後、主に愛鷹火山東麓の峡谷からの流れにより下刻浸食が進み、2,500 年前の富士山の山体崩壊に伴う御殿場岩屑なだれによる堆積物が堆積、運搬されて、現在の黄瀬川が形成された。

図 4.1.1 狩野川水系図（狩野川北部に黄瀬川流域が含まれる）
（出典：静岡県交通基盤部河川砂防局河川企画課「しずおか河川ナビゲーション」）

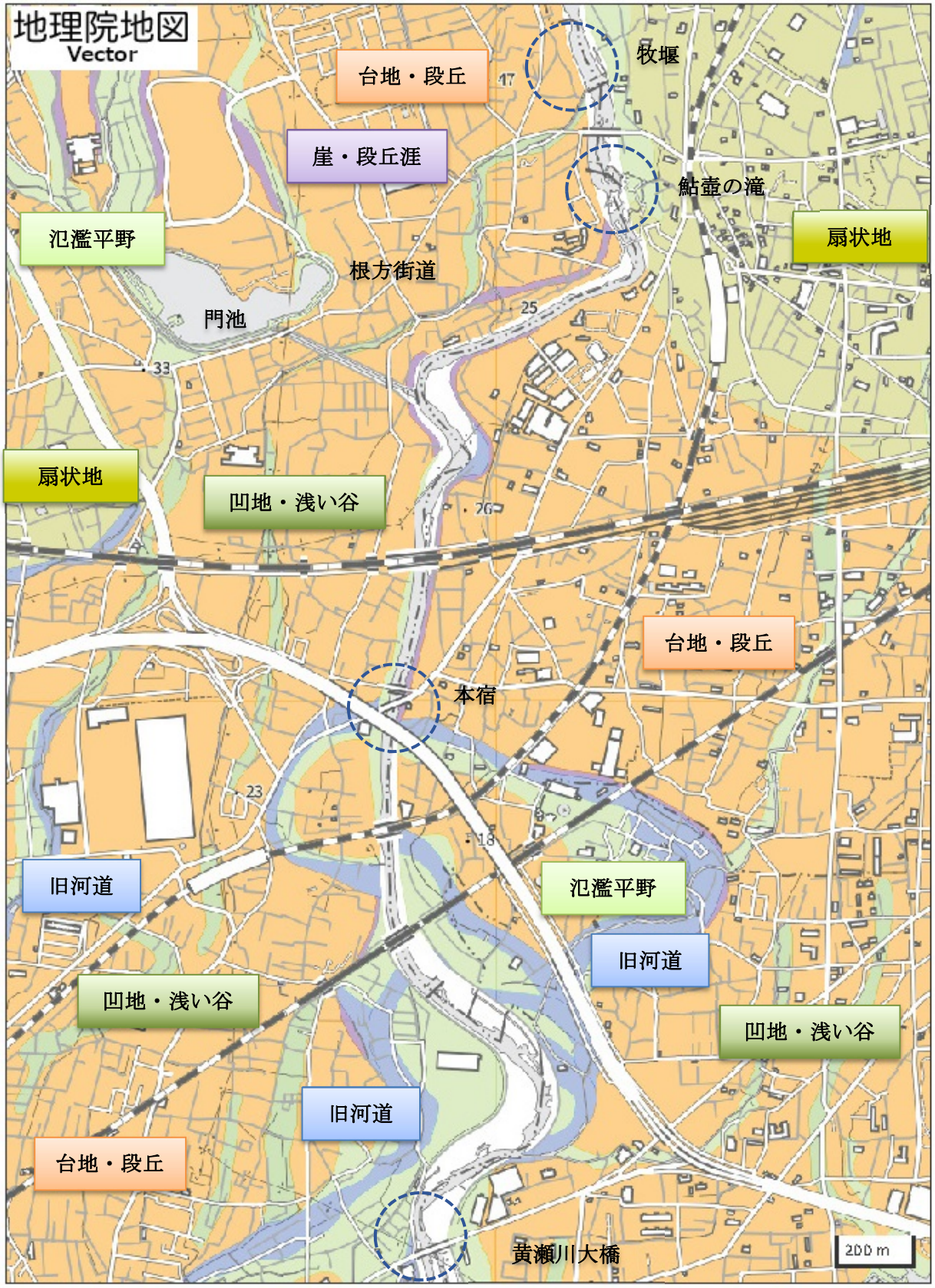


図 4.1.2　黄瀬川大橋から鮎壺の滝付近の治水地形分類図
（国土地理院「地理院地図 Vector」に加筆）

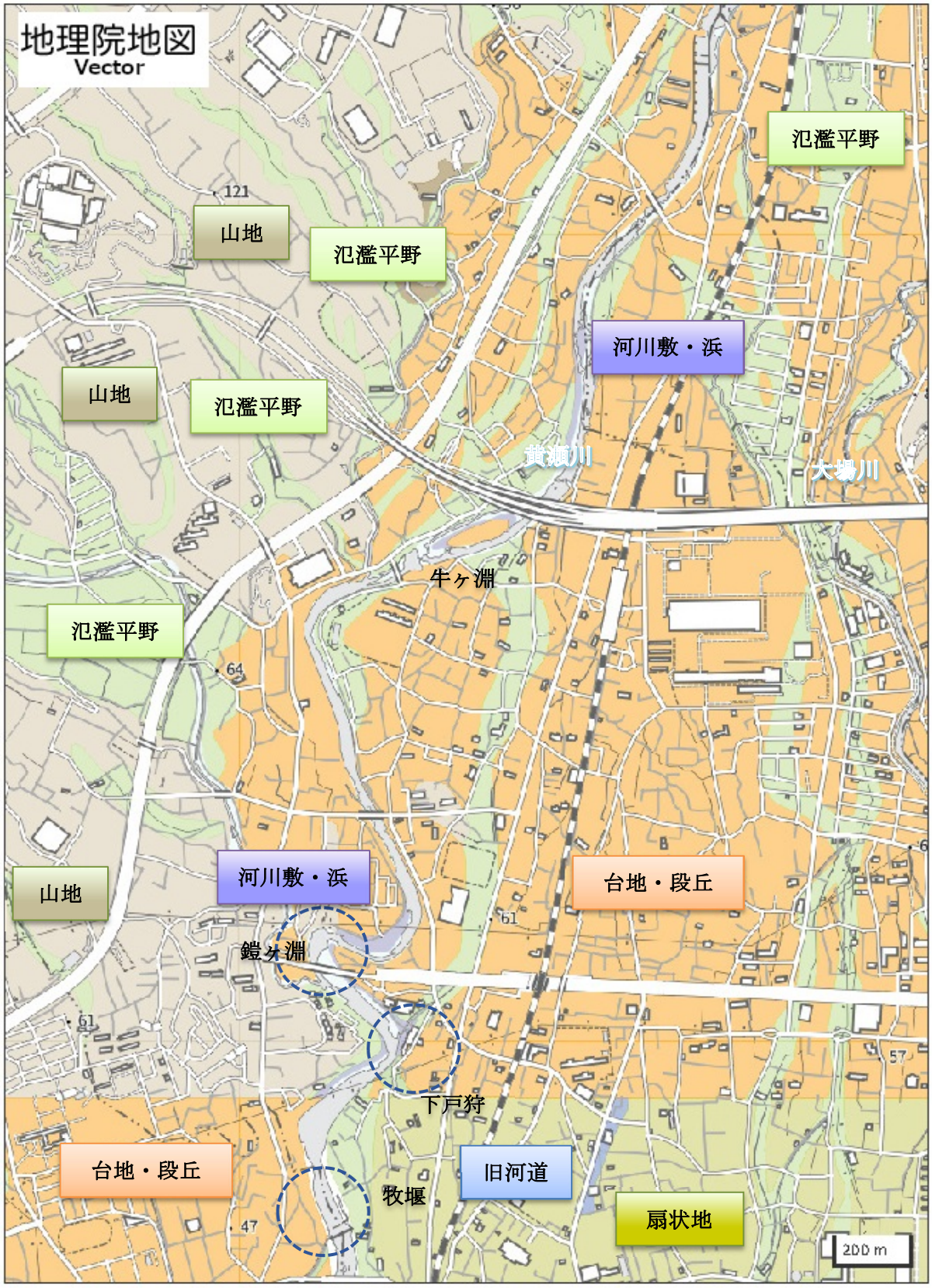


図 4.1.3　牧堰橋から牛ケ淵付近の治水地形分類図
（国土地理院「地理院地図 Vector」に加筆）

黄瀬川流域は、その地形的な特色により上流から富士火山山麓地域、溶岩流谷底平野地域、火山山麓扇状地地域に大別される（大矢ほか，1985）。図 4.1.2～3 には、黄瀬川大橋から牛ケ淵付近までの治水地形分類図を示す。ここで、各図中の青破線で囲った地点は、今次洪水により河川管理施設等が被災した箇所である。

源流は標高 570 mであり、富士市中畑の蕪木沢西公園辺りで陸上自衛隊東富士演習場から発する久保川に比べて 100 mほど低い。また、明瞭な分水嶺は無く酒匂川水系鮎沢川と並行して流れ、黄瀬川の源流より上流は鮎沢川の流域になっている。上流部は御殿場市市街地を東に流れ、JR 御殿場駅付近を過ぎて南に向きを変えて裾野市を流れる。中流部では、西の愛鷹、東の箱根の両火山の間の幅 1～2 km の谷底平野を流下しており砂礫層は薄く溶岩が露出する河床や滝が多数見られるが、裾野市南部からは火山噴出物が土石流となって流下堆積した火山麓扇状地を浸食し段丘化して流れている。隣接する大場川と 650 m程度の距離まで近づく地点があるが、河川争奪などにより流れが繋がった形跡は見られない。図中には、幾筋も分派して谷底平野を流れた形跡が見られることから、異常洪水時にはそのような流下経路を辿ることも示唆される。下流部では、長泉町周辺に見られる三島溶岩流の末端付近から厚い砂礫層が始まり、狩野川合流点近くの海成砂層の沖積地まで幾つもの旧河道が発達するなど蛇行を繰り返しながら、狩野川本川と合流している。

本宿より上流の県管理区間には、落差 13 mの「鮎壺の滝」を始め、「牛ケ淵」、「鎧ヶ淵」などに小規模な滝があるほか、石脇、岩波付近では急傾斜の早瀬が見られるなど、河床高さが急変する遷急点が散在している。これらの区間は、富士山からの溶岩流や安山岩により構成されるが、砂礫の堆積が見られるのは「鮎壺の滝」より下流に限られ、それより上流では至るところで岩盤が露出する岩石河川の様相を呈する。また、遷急点での後退速度は遅く、下流部への供給土砂は河岸や河床の侵食によるもので多くないことから、河床掘削が進められた状況下で大規模洪水が発生すると、河床低下による護岸基礎の露出のほか、狭窄部や水衝部における深掘れが発生し被災する可能性が高まると考えられる。

4.1.2 黄瀬川の今次出水について

狩野川流域は太平洋岸の多雨な地域であり、伊豆半島では前線や台風などによる豪雨が多い。狩野川本川上流の天城山では、年総降水量 5,000mm を超える年が過去 45 年で 11 回あって 1998 年には 6,141mm が記録されているのに対し、黄瀬川上流の御殿場では、年総降水量 3,000 mm を超える年が過去 30 年で 16 回あって、同じ 1998 年に 4,540 mm が記録されている（気象庁）。

2021 年には 6 月末から梅雨前線が北上し、7 月 1 日から 3 日かけて西日本から東日本に停滞した。前線に向かって暖かく湿った空気が流入した影響により、東海地方から関東地方南部を中心に記録的な大雨となった（気象庁，2021）。7 月 1 日から降り始めた雨は 2 日に神奈川県箱根で日降水量 384.5 mm に達したほか、3 日には静岡県下の複数地点において 72 時間降水量が観測史上 1 位を記録した。黄瀬川流域の西部では、3 日未明に愛鷹雨量観測所で時間雨量 80 mm/h に迫る非常に激しい雨となったほか、総降雨量でも 808 mm に達したことなどに伴い（図 4.1.4）、3 日 9 時には本宿水位観測所で水位 5.37 mを記録する洪水となった（国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所，2021）。これは同観測所における第 3 位の記録であり、近年では平成 19 年 9 月台風 9 号に次ぐ大出水である（表 4.1.1）。

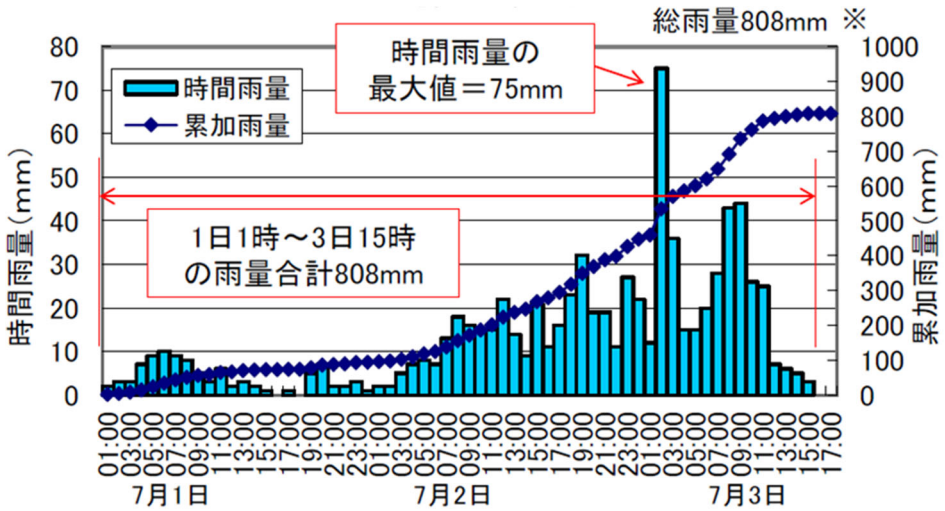


図 4.1.4　愛鷹雨量観測所における時間雨量の変化
（国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所，2021）

表 4.1.1　本宿水位観測所における黄瀬川の既往洪水ランキング
（国土交通省「水文水質データベース」）

順位	洪水名称・正規原因	水位(m)	生起年	西暦	月	日	観測時刻
1	平成19年 台風９号	5.57	H19	2007	9	7	1:00
2	昭和51年 台風第１３号	5.45	S51	1976	8	9	20:00
3	昭和54年 台風２０号	4.98	S54	1979	10	19	15:00
4	平成23年 台風１５号及び豪雨	4.72	H23	2011	9	21	17:00
5	平成19年 梅雨前線豪雨及び台風４号	4.49	H19	2007	7	15	0:00

4.1.3　河川管理施設等の被災概要

今次洪水により黄瀬川沿川地域では、河岸侵食による人家流出が 1 か所、流出の恐れでの避難が 1 か所、橋脚沈下による県道橋の通行止が 1 橋あり、溢流で河川沿いの都市公園の一部が利用不能になったほか、護岸、取水施設など河川管理施設等の被害が生じた。このうち、市民生活に最も影響が大きかったのは、県道 380 号富士清水線、沼津市と清水町とを結ぶ幹線道路である黄瀬川大橋の通行止めであったが、静岡県沼津土木事務所の復旧作業によって 8 月 31 日 13 時に仮橋による通行を再開した。

筆者の一人は 2021 年 7 月 14 日と 11 月 25 日、現地周辺に居住する大豊建設名古屋支店の野知泰弘次長とともに狩野川本川から黄瀬川を踏査し、洪水痕跡、施設被害について調査した。さらに、2022 年 1 月 14 日には、国土交通省沼津河川国道事務所、静岡県沼津土木事務所の案内による本調査団の合同調査へ参画して情報収集を行った（2.2.3 参照）。以下では、3 回にわたる現地調査の結果をまとめる。

ａ）黄瀬川 1.0km 地点、県道 380 号富士清水線・黄瀬川大橋

狩野川合流点から 1.0km 上流に位置する黄瀬川大橋が渡す道路はかつて国道 1 号線であったが、”沼津バイパス”の完成後に県道 380 号富士清水線となり、現在では通称”旧国一”と呼ばれている。黄瀬川大橋は、橋長 83.490　mの 5 径間鋼鈑桁橋で今回沈下した橋脚を含む 3 橋脚がケーソン基礎となっ

ている。旧建設省による直営施工の慣習が残る 1953（昭和 28）年に完成後、県道として静岡県沼津土木事務所に移管されている。幅 3m×4m楕円形のケーソン 2 基が橋脚を支持する構造で後年に中仕切壁が施工されたようである。今回は P4 橋脚が右岸側に傾いて沈下していた（写真 4.1.1)。

蛇行部外岸に位置する上流右岸から急傾斜特殊堤防が施工され護岸上の天端には橋桁を潜る遊歩道があるが、下流では通常の二割勾配の堤防断面に戻る特殊な護岸法線を呈している（写真 4.1.2)。被災箇所は治水地形分類上の旧河道のスタート地点に当たり（図 4.1.2)、上流右岸の水衝部における護岸被災が多くなることから、高流速の洪水流に耐える護岸や護床ブロックが配置されていたと考えられる。今回はこれらが洪水流に耐えて機能したことにより、大きく張り出した強固な護岸と橋脚の間では、沈下した橋脚周囲の河床が侵食されて護床ブロックが流出しケーソン基礎部まで洗堀された結果、当該橋脚が沈下して傾いたと言えよう（写真 4.1.3)。なお、橋梁の 200m ほど下流の河床には、橋脚周囲に配置されていたと思しき護床ブロックが散乱していた（写真 4.1.4)。

黄瀬川大橋付近の河道の経時変化について、近年の航空写真の変遷からは、1941 年以降、河道の法線形状に顕著な変化は認められなかったが（国土地理院「地理院地図 Vector」)、下流に架かる県道 145 号沼津三島線の黄瀬川橋、黄瀬川大橋上流の右岸堤防道路からの「Google ストリートビュー」で確認したところ、水制の配置やその一部が消失している様子が窺えることから、河岸の侵食や洗堀による被災とそれに応じた改修を繰り返してきた可能性が示唆された。

写真 4.1.1　上流右岸側からみた黄瀬川大橋被災の様子
（被災した P4 橋脚、遊歩道と狭い 5 径間）

写真 4.1.2　黄瀬川大岡護岸災害復旧工事
（出典：集組 website「実績紹介」）

写真 4.1.3　被災した橋脚と変状の無い護岸

写真 4.1.4　下流河床に散乱した護床ブロック

写真 4.1.5　堆積物による洪水流の痕跡

写真 4.1.6　黄瀬川本宿地点。上流・新寿橋から下流・国道 1 号線沼津高架橋を望む。
（左岸：本宿水位観測所、右岸：CCTV カメラ）

写真 4.1.7　上流から望む JR 御殿場線橋梁

写真 4.1.8　袋詰め玉石で覆われた護岸被災

写真 4.1.9 寿橋路面に堆積した砂と流下物

b）黄瀬川 2.6km 地点、本宿水位観測所、国道 1 号線、新寿橋と寿橋

狩野川合流点から 2.6km 上流に位置する本宿水位観測所では護岸高を越える水位となり、黄瀬川沿いの民家と建物の境界のブロック辺りまで洪水が流れて護岸肩の侵食などにより大きく護岸が被災した（写真 4.1.6、4.1.8)。その上流の直轄区間と県管理区間の境界にあたる寿橋では、踏査時に橋梁上の路面に堆積した砂や発泡スチロールの欠片が見られたことから（写真 4.1.9)、今次洪水によって冠水あるいは飛沫が掛かったと思われる。左岸側の量水標（青色のH鋼柱)、高架橋手前にある樹木から奥に向かって旧河道があり（図 4.1.2)、護岸の被災箇所は旧河道と現在の河道との境界に位置する。国道 1 号線の沼津高架橋から下流の現河道は、台地・段丘を貫いて直線的な河道となって JR 御殿場線橋梁を越えたところで旧河道と出会っており（図 4.1.2)、部分的に切土斜面が残っていることから人工的に造られた河道であると思われる。なお、今次洪水はほぼ河川内で収まって流れ下っており、現地に残された痕跡から、洪水位は左岸側の方が若干高いようであった。その結果、沼津高架橋の下流右岸の護岸は被災を免れたものと思われる。ただし、沼津高架橋の下流において左岸から右岸に流心が移っているように見受けられ、流木など洪水痕跡は右岸の深い位置まで流れ込んだ形跡があり砂州の堆積状況と合わせて洪水時の状況を推察することができる。

写真 4.1.10 鮎壺公園・本宿用水取水口付近の痕跡

写真 4.1.11 損傷した中州の松

ｃ）黄瀬川 4.2km 地点、鮎壺の滝、牧堰橋

北条早雲や源頼朝にも縁のある「根方街道」（県道 22 号三島富士線）は、愛鷹山南麓の集落地を縫うように結び（図 4.1.2)、海沿いの街道（浦方道）とともに旧東海道を形成していた。鮎壺の滝は、この根方街道が横切る黄瀬川（約 4.2 km 地点）の直下流に位置する黄瀬川において最大の滝である。愛鷹ローム層を三島溶岩流が覆った末端の地点に形成された滝で、これより上流の黄瀬川河床は溶岩によって構成される。川幅約 100 m、落差 13 mにも及ぶ雄大な景勝で静岡県の天然記念物に指定され、左岸には鮎壺公園が整備され吊り橋から滝が観察できる。左岸の公園内の本宿用水取水口周辺では、黄瀬川の洪水流により流された草がフェンスに絡んでいたほか、粗砂が最大 30 cm ほどの厚さで堆積していた箇所も見られたことから（写真 4.1.10)、ピーク時には地表から約 1.2 m の高さまで浸水し、長時間溢流していたものと推察される。また、中洲に生えた松の木は、約 1.5 mの高さまで損傷し、岩肌に張り付いた根も剥がれるなど、洪水流の痕跡を留めていた（写真 4.1.11)。

牧堰橋は根方街道に掛かる橋である。黄瀬川下流部はやや深い谷地形を流れる砂礫河川で三島扇状地との比高もあり利水が難しかったが、鮎壺の滝より上流の黄瀬川河床は溶岩で構成され安定して浅く開いた谷地形となることから、橋の下流左岸に本宿用水、上流右岸に牧堰用水が築かれている。今次洪水に伴う河岸洗堀による家屋流出が発生した箇所は、牧堰用水取水口の上流右岸側で比較的川幅も広く浅い箇所である。治水地形分類図によると牧堰用水の浅い谷地形が河岸から凹地として存在しており旧河道と同じく河岸浸食などの影響を受けやすい箇所であるが（図 4.1.2)、常緑樹が茂った河畔の造成地で住宅地やグランドとして利用されていた。また、周辺地域は台地の縁にあたり左岸は氾濫平野となっており古来は左岸に洪水が溢流して右岸の水衝を減じて河床洗堀を防いだと思われる。今回洪水でも鮎壺公園に溢流したが、市街化の進展で洪水時に遊水する箇所が少なく洪水の力が減じられなかった様子が窺われた。牧堰橋からの Google ストリートビューによると、2012 年時点では上流から一帯が自然河岸であったが 2019 年の上流側で護岸施工がされた後、顕著な変化は見られなかったことから、今次洪水によって河岸の侵食・洗堀が急速に進んだものと考えられる。

写真 4.1.12　牧堰上流右岸における河岸洗堀・家屋流出箇所

写真 4.1.13　護岸の侵食・洗堀による被災（左：下土狩、右：下長窪・鎧ヶ淵）

d）黄瀬川 5.4km 地点、下土狩、下長窪・鎧ヶ淵

長泉町下土狩では人家に隣接する護岸が被災して住民が一時避難した（写真 4.1.13 左）。また長泉町下長窪では鎧ヶ淵下流で道路沿いの護岸が被災した（写真 4.1.13 右）。治水地形分類図で下土狩の箇所は上流から連なる氾濫平野と現河道が重なる位置にあたり古くは旧河道との合流点でもあった様子が窺われる（図 4.1.3）。下長窪では現況河道が U ターンのような法線形状を呈し、急勾配の区間で低い台地を切り盛りした造成地に鎧が淵からの流水が直線的に当たった位置での護岸被災であり、現況の地形と土地利用のままで洪水時の被災を回避することは難しいものと考えられる（図 4.1.3）。

写真 4.1.14　黄瀬川湾曲部（狩野川合流点から 1.6km 上流）に設置された水制群

4.1.4 まとめ

今次洪水は過去最大規模の洪水であったが、堤内地への溢水・越水に伴う浸水被害は限定的で、洪水流の水衝部に当たる箇所での被災が中心であった。また、被災箇所の多くは旧河道や氾濫平野など治水地形との関連が深かった。以下に得られた結論を示す。

1) 過去の噴火由来の溶岩が分布する火山麓地域を流れる黄瀬川は、河床の侵食速度が不均一となるため、滝や淵など縦断的に河床高さが急変する遷急点、法線形状が大きく変わる屈曲点を多数抱える特異な河床形状を呈した。今次洪水では、それらの変曲点が固定された箇所に洪水流が作用して被災したケースが多く見受けられた。
2) 黄瀬川の沿川地域は、その利便性や優れた環境から高度に利用されている。洪水流による河床低下や河岸の侵食・洗堀の抑制を目的とし、限られた河道空間における整備を行う際には、護岸整備による“防御”のみならず、水制など付帯構造物の配置による“減勢”のための施工が効果的である可能性が見出された（例えば、写真 4.1.14)。
3) 黄瀬川周辺地域では、かつての洪水による溢流や氾濫で形成された土地が見受けられることから（図 4.1.2、4.1.3)、(既に河道内での対応が積み重ねられてきた現況を踏まえるに、) 迫りくる気候危機で懸念される将来の異常洪水に対しては、上下流の連続性を意識し、流域全体を俯瞰したうえで、河道内外の施設整備を組み合わせながら、戦略的に「流域治水」を進める必要性が強く示唆された。

（尾畑　功・田代　喬）

4.2 洪水時の橋梁被災に関する分析

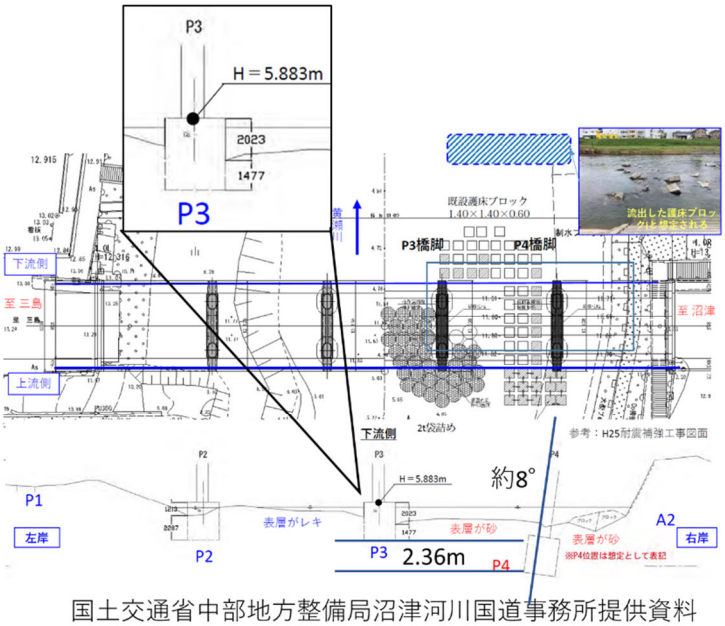
4.2.1 はじめに

本項では、黄瀬川大橋の沈下被災について、被災メカニズムと当該橋梁のリスク分析を行うことを目的としている。具体的な手順としては、（１）2 次元水理解析により出水時における被災橋梁周辺の流況を分析し、（２）解析結果および橋梁情報を過去の被災橋梁を対象とした統計分析結果に適用しリスク評価を行った。また、（３）類似被災事例と本被災条件を比較することで被災に至るメカニズムを検討した。

4.2.2 黄瀬川大橋について

被災した黄瀬川大橋は 1953 年に建設された橋梁である。橋長 83.5 m、径間数 5、最大支間長 16.7 m のケーソン基礎の構造を持つ (4.1.3 参照)。ケーソン基礎ではあるが根入れ深さは P3 で 1.5 m ほどと深くなく直接基礎に近い構造である。被災した橋脚は左岸側から 4 番目の P4 橋脚である。午前 10 時ごろに住民からの通報によって被災が確認された。被災した P4 橋脚以外の損傷状況としては、河岸ブロックには際立った損壊は確認できなかったが P4 を保護する護床ブロックが流失している。P4 橋脚は垂直方向に 2.36 m 沈下し、右岸方向におよそ 8 度傾きつつ沈下していた。被災後の潜水目視による確認結果によれば、橋脚周りには砂の堆積が確認された。黄瀬川大橋における河床については、経年的な河床低下により橋脚洗堀が懸念されていたものの、2007（平成 19）年以降は大きな洪水が無かったことから（表 4.1.1)、著しい洗堀状況は確認されていなかった。

建設年次	1953（1973補修）
橋長	83.5 m
径間数	5
最大支間長	16.7 m
基礎形式	ケーソン基礎
流域面積	270 km²
河床勾配	1/228



国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所提供資料

図 4.2.1　黄瀬川大橋の諸元とその構造の概要
（国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所提供資料を改変して作成）

4.2.3　観測流況と流況解析

対象洪水時の本宿観測所における流量（推定）、水位のハイドログラフを図 4.2.2 に示す。洪水は二山であり 2 つ目のピークがやや大きく最大流量は 1100m^3/sec と推定されている。水位は戦後最大の 1976（昭和 51）年洪水に迫るものであったが（表 4.1.1）、計画高水位（HWL）までは余裕がある状況であった。一方で、降雨が長時間に渡ったことで 3 時間以上にわたって氾濫危険水位を超過していた。

橋梁付近における流況を解析するため 2 次元水理解析を実施した。用いたモデルは iRIC Software の Nays2DH ソルバである。このモデルでは一般座標系計算格子による河道に適合した計算格子を用いることができる。計算区間は、黄瀬川下流の本宿観測所（2.6 km 地点）から狩野川の合流点（0.0 km 地点）までとし、横断方向に約 2 m、縦断方向に約 4 m の格子を設定した（図 4.2.3）。これに、2020 年度の ALB 点群測量データ（1 m グリッド、国土交通省沼津河川国道事務所提供）を重ね、格子点に与えた。粗度係数は 0.03（$ms^{-1/3}$）を一律に与えた。境界条件は、図 4.2.2 に示す流量ハイドロを 2021/7/3 0:00-12:00 の期間与え、下流端水位条件は勾配見合の等流水深を与えた。

計算結果による水理量の平面分布を図 4.2.4 に示す。洪水時の流速は、2.0 km 地点付近の堰直下および 1.0 km 地点付近の黄瀬川大橋右岸側で局所的に大きく 7 m/s 程度と推定された。1.4 km 地点付近の水制群の設置されている箇所については、それより流速が小さく 4 m/s 程度となった。黄瀬川大橋付近の断面で流量ピーク時の水位、流速、河床高、掃流力を見たものが図 4.2.5 である。これを見ると、右岸付近では流速が 7 m/s、掃流力が 300 N/m^2 に達していることが分かる。この値は岩垣による限界摩擦速度式から逆算すると移動可能となる粒径が 50 mm となり、河床の砂分は容易に移動しうることが分かる。一方で、水位は河岸高に対して 1.5 m ほど余裕があることが確認できた。現場においても右岸・左岸ともに越水をしておらず解析結果と整合する。

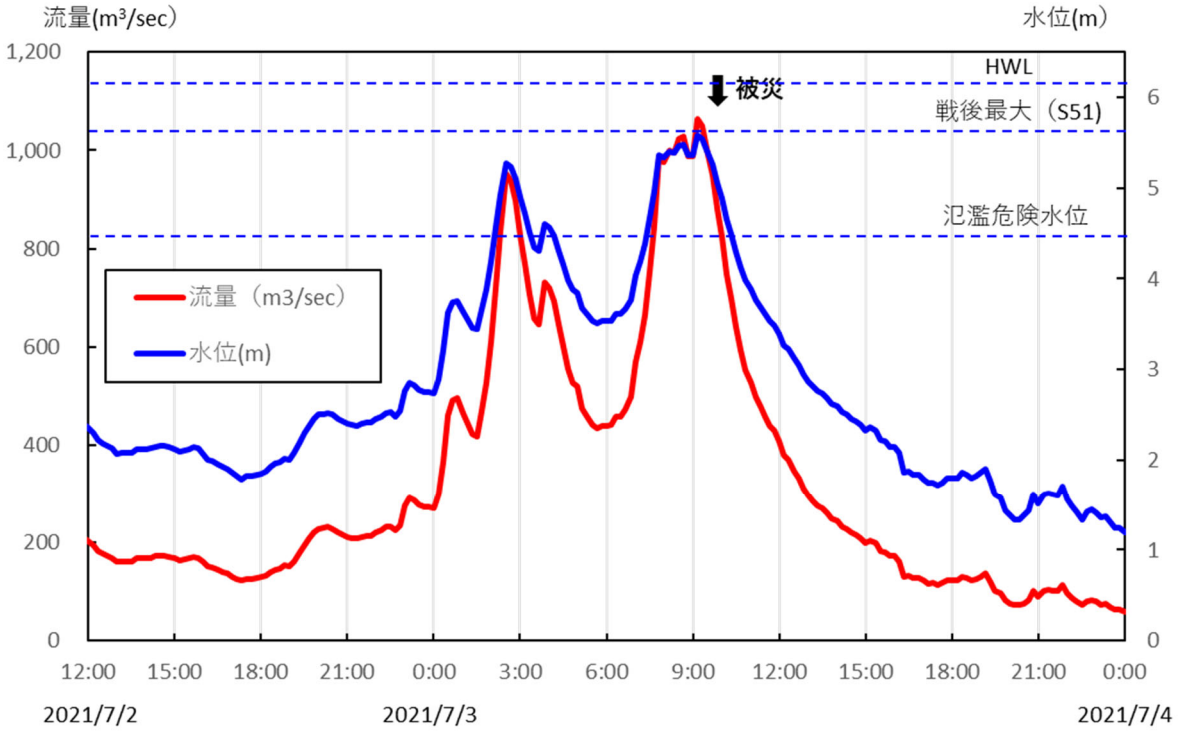


図 4.2.2 黄瀬川今次洪水における観測流況（本宿観測所）
（データ出典：国土交通省沼津河川国道事務所提供）

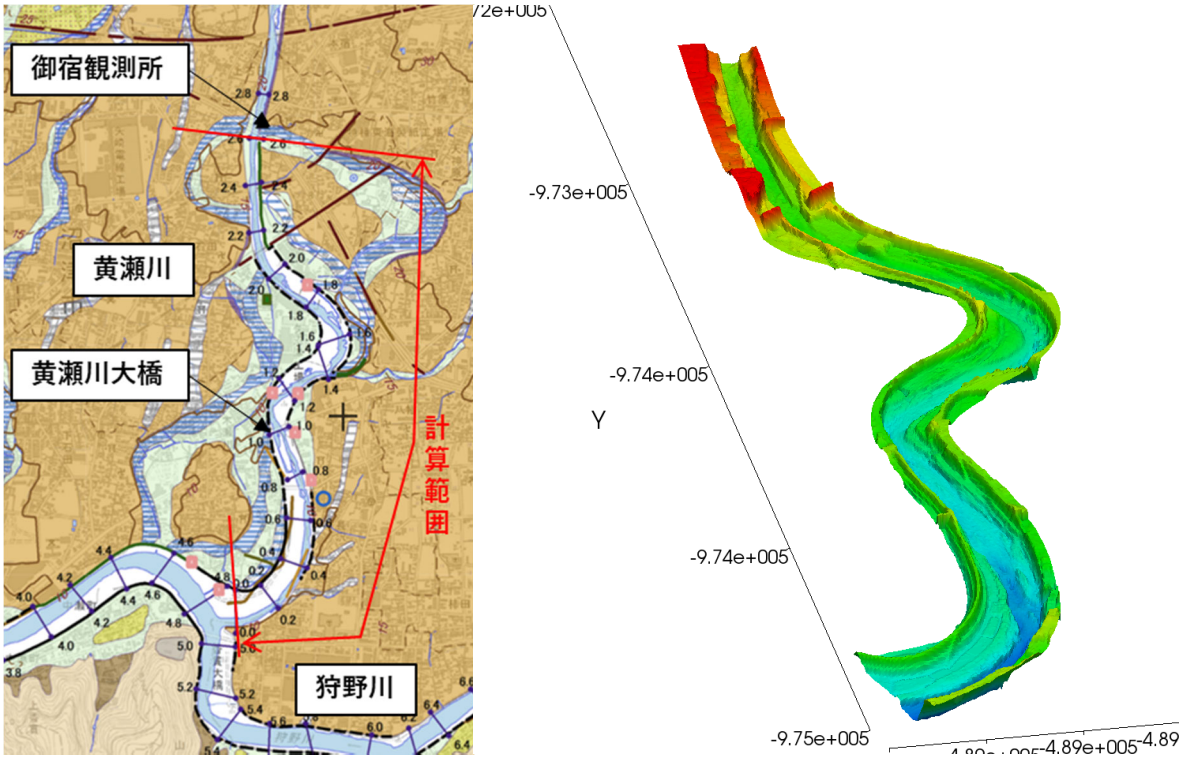


図 4.2.3 計算対象区間(左)および計算メッシュ（右）

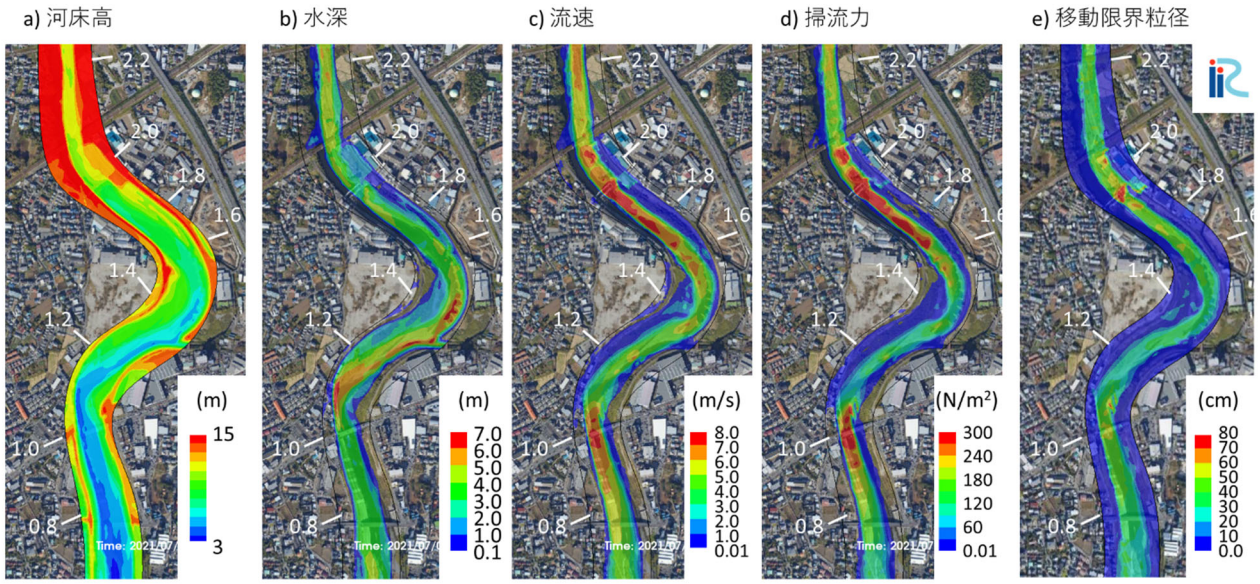


図 4.2.4　解析水理量の平面分布（ピーク流量時、2021/7/3 9:30）

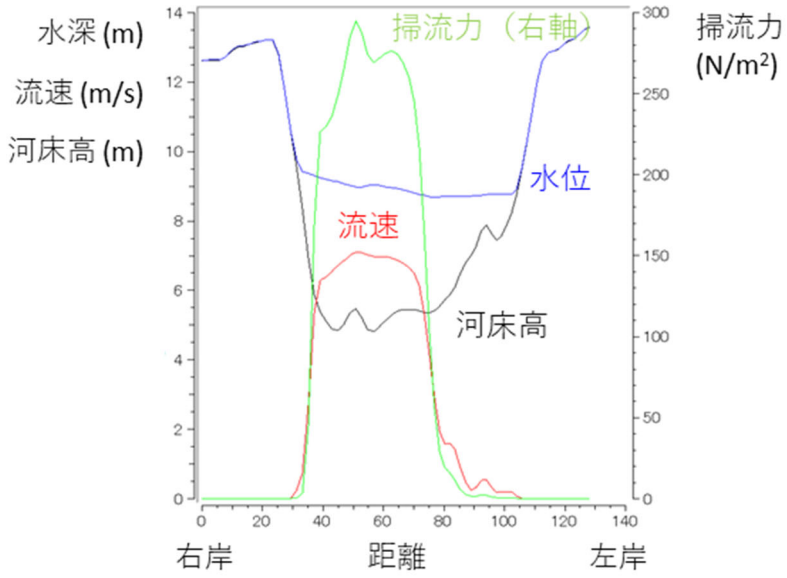


図 4.2.5　黄瀬川大橋地点（1.0k）における解析水理量の横断分布
（ピーク流量時、2021/7/13 9:30）

4.2.4　過去の洗堀被害事例との比較

ａ）統計的な分析（１）

藤田ほか（2019）は、2011～2016 年および平成 30（2018）年 7 月豪雨（西日本豪雨）での洗堀被災橋梁 183 橋および無被害 207 橋のデータから重回帰判別分析による被災要因推定を実施した。その結果、被害有無の説明変数として建設年次（-）、橋長（-）、径間数（-）、河床勾配（+）選択され、最大支間長、流域面積、河道形状（湾曲 or NOT）は選択されなかった。このモデルでは、R1 台風 19 号で被災した法雲寺橋、大善寺橋（相模川水系、セグメント１）は洗掘ありに判定された。変数選択の結果

から、河川管理施設等構造令制定（1976（昭和 51）年）前に建設された橋で、橋長に対して径間数が多いことが洗掘の要因になっていると推察された。

b）統計的な分析（２）

岡田ほか（1989）は、鉄道橋に関する 197 のデータに対し、水理学的条件、地形学的条件および洗堀防止工（ブロック）を説明変数に護床ブロックの安定性について統計的に分析した。収集されたデータの摩擦速度と被害率の分布をみると（図 4.2.6）、黄瀬川大橋における摩擦速度は、被災頻度の立ち上がり付近の頻度 40 %程度に位置しており、被災する可能性が十分ある領域であることが分かる。さらに岡田ほかは、統計分析によるコンクリートブロックの流出判別式として、式(1)を提案している。

$$Z=-4.47u_*+153/r+0.177W-0.343h-0.0218B/h+3.719 \quad (1)$$

ここに、Z：判別子（>0 安全）、u_*：摩擦速度（m/s）、r：曲率半径（m）、W：ブロックの重量（10.2 kN）、h:水深（m）、B:川幅（m）である。

この式を本研究の解析結果に適用すると表 4.2.1 が得られる。これより、各橋脚位置でのコンクリートブロックは「安全」と判定される結果となった。

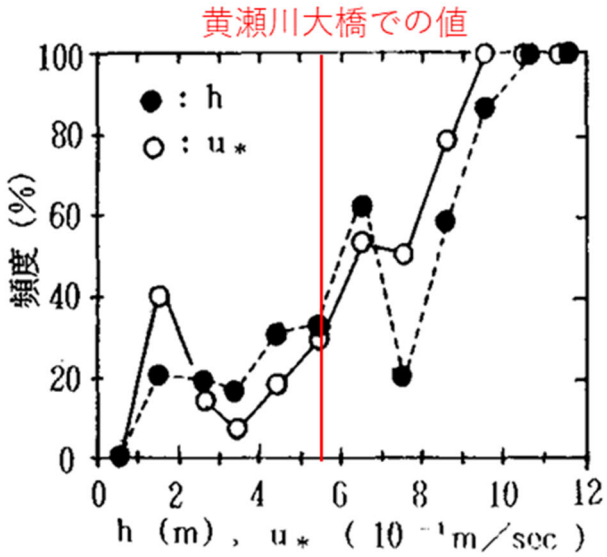


図 4.2.6　摩擦速度と被災頻度の関係（岡田ほか（1989）に加筆）

表 4.2.1　岡田ほか（1989）の提案式に基づくコンクリートブロック流出判定結果

パラメータ			係数	P1	P2	P3	P4
川幅	(m)	B	-	83.46	83.46	83.46	83.46
曲率半径	(-)	1/r	153	0.01	0.01	0.01	0.01
川幅水深比	(-)	B/h	-0.0218	26.944	26.944	26.944	26.944
最大水深	(m)	h	-0.343	1.103	3.165	3.925	4.196
最大流速	(m)	u		0.271	2.370	6.964	6.403
最大摩擦速度	(m/sec)	u*	-4.47	0.025	0.184	0.521	0.473
ブロック重量	(*10.2kN)	W	0.177	2.00	2.70	2.70	2.70
切片			3.719	1	1	1	1
判定Z				**3.818**	**2.525**	**0.758**	**0.876**
				安全	**安全**	**安全**	**安全**

表 4.2.2　佐溝ほか（2013）の提案式による沈下危険度判定

パラメータ					係数	P1	P2	P3	P4
河川地形・地質	川幅	(m)	B	-		83.46	83.46	83.46	83.46
	曲率半径	(-)	1/r*100	-		5	5	5	5
	流域侵食速度	(mm/year)	E		1.295	0.278	0.278	0.278	0.278
河川工学・水理	最大水深	(m)	h		0.176	6.001	6.001	6.001	6.001
	河床材料	(cm)	dm		-0.06	1	1	1	1
	植生	(-)	Vg		4.044	0	0	0	0
橋梁構造	橋脚位置	(m)	di	-		16.70	33.39	50.10	66.77
	橋脚幅	(m)	Di		0.41	1.24	1.24	1.24	1.24
	分担阻害率	(-)	Soi	-		0.07	0.07	0.07	0.07
	流路内位置比	(-)	Poi		2.437	0.200	0.400	0.600	0.800
	橋脚と水際線との距離	(m)	dsi		-0.043	23.765	7.0725	0	0
	支間長	(m)	Li	-		16.66	16.66	16.66	16.65
	切片				-4.742	1	1	1	1
	判定Z					**-3.412**	**-2.207**	**-1.415**	**-0.928**
						安全	**安全**	**安全**	**安全**

表 4.2.3　佐溝ほか（2013）の提案式による長期的河床低下危険度判定

パラメータ			係数	値
曲率半径	(-)	1/r*100	-4.942	5
最大水深	(m)	h	5.671	6.001
河床材料	(cm)	dm	-1.684	1.000
橋脚幅	(m)	D	23.032	1.240
切片			-55.11	1.000
判定Z				**-20.773**
				可能性大

c）統計的な分析（3）

佐溝ほか（2013）は、鉄道橋梁の被災・点検結果（被災有 91、被災無 75）を収集し、統計分析による沈下危険度判定および将来的な侵食危険度判定式を提案している。提案式は回帰式の形になっており、それぞれ、式(2)、(3)で表される。

$$Z=4.044V_{eg}+2.437P_{cl}-0.06d_{m}-0.043d_{si}+1.295E_{v}+0.176h_{i}+0.410D_{i}-3.742 \quad (2)$$

ここに、Z：判別子（<0 安全）、V_{eg}：植生の有無、P_{cl}：流路内位置比（外岸が 1 で内岸が 0）、d_{m}:河床材料粒径（cm）、d_{si}:橋脚と水際戦との距離（m）、E_{v}：流域の侵食速度（mm/year）、h_{i}：橋脚ごとの最大水深（m）、D_{i}：橋脚ごとの橋脚幅である。

$$Y/Q*10^{6}=-4.942(1/r*1000)-1.684d_{m}+23.032D_{imax}+5.671h_{imax}-55.11 \quad (3)$$

ここに、Y/Q：総流量あたりの河床沈下量（$1/m^{2}$）、D_{imax}：最大橋脚幅（m）、h_{imax}：最大水深（m）である。Y/Q が負の値を取れば、長期的な河床低下が懸念される。

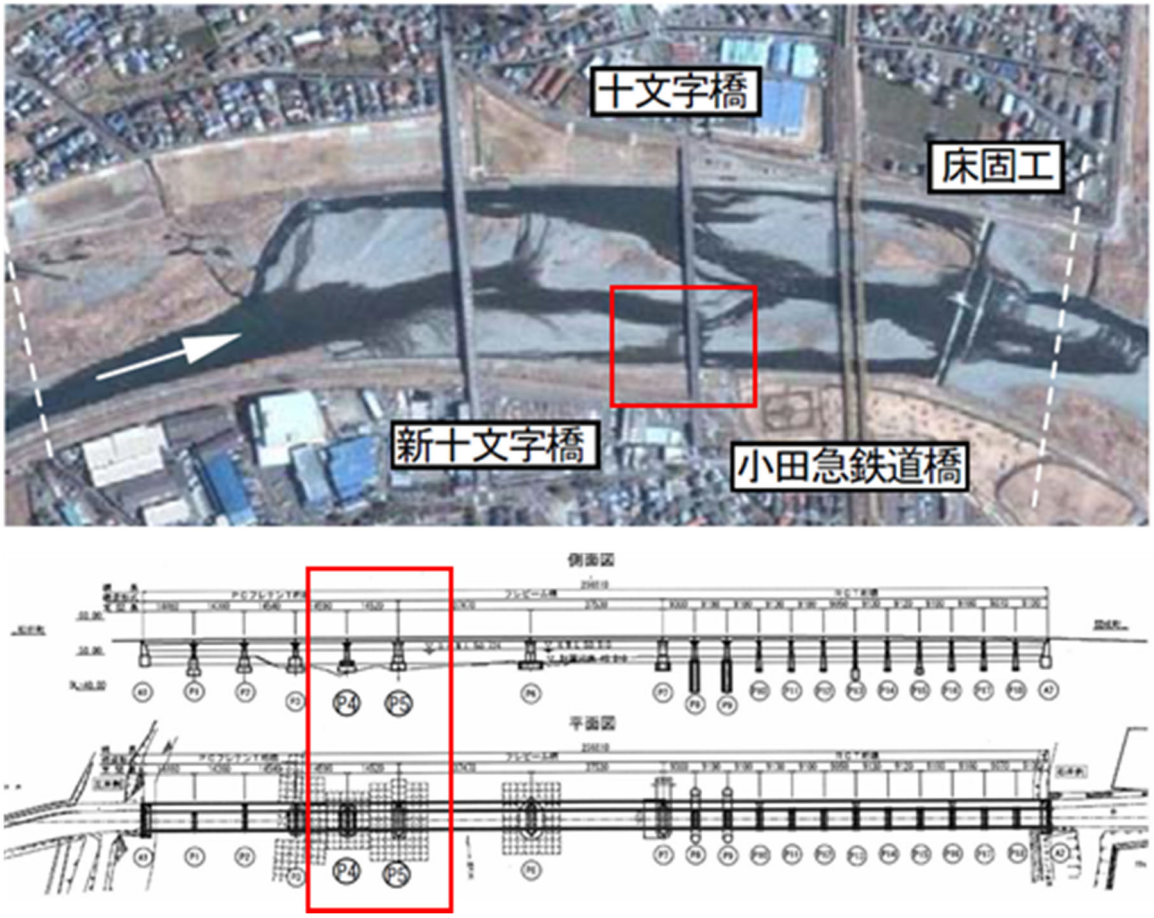


図 4.2.7　酒匂川・十文字橋橋梁の位置（石野ほか，2010）

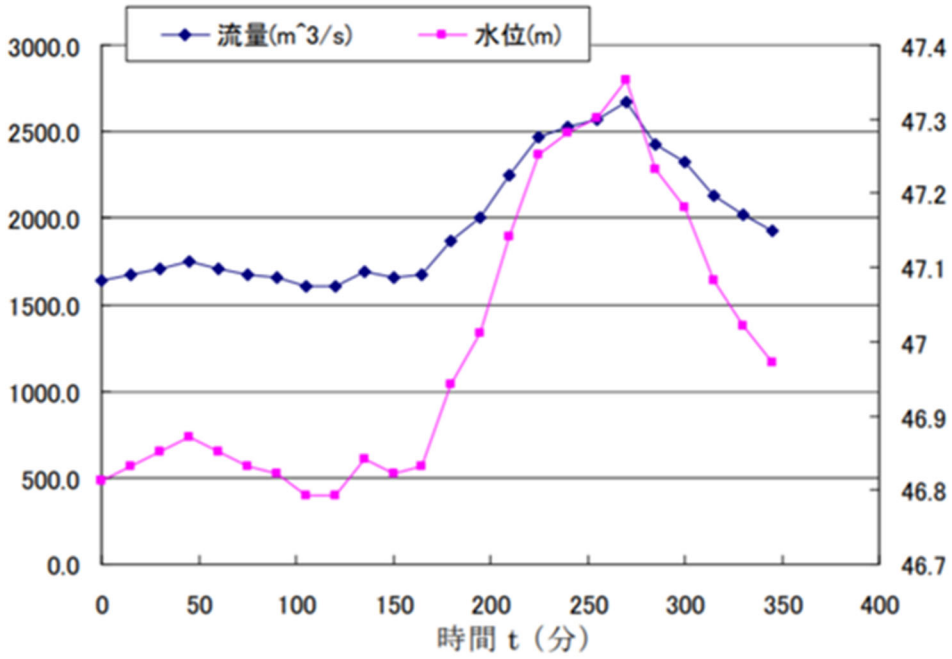


図 4.2.8　十文字橋梁被災時の出水状況（石野ほか，2010）

式（2）および式（3）を黄瀬川大橋に適用して得られた推定値がそれぞれ表 4.2.2、表 4.2.3 である。これより、被災した P4 橋脚は最も危険側であることが分かったが、判定結果としては安全となった。一方で、侵食判定式での推定値は負となっており、侵食傾向と判定された。本研究での対象被災では、非常に長時間に渡って出水が継続したことが大きな特徴である。短期的には安全側、長期的には危険側に判定されたことと、出水の特徴は大きな関係があるものと推察される。

4.2.5　過去の洗堀被害との比較

橋梁洗堀被害のうち、黄瀬川・黄瀬川大橋と特徴の類似する事例として、2007 年台風 9 号により被災した酒匂川・十文字橋橋梁の沈下被災がある(図 4.2.7)。酒匂川は神奈川県西部を流れる 2 級河川で、流域面積、勾配帯、背後地質が類似し比較的近傍に位置する。十文字橋は直接基礎を有する橋梁で、みお筋に位置していた P5 橋脚が 2.67 m 沈下し、下流に 1.22 m 移動した。

石野ほか（2010）は多種の水理シミュレーションを用いて橋梁被災要因について分析した。まず広域をカバーする 2 次元水理シミュレーションにより橋梁付近の流速を推定した。さらにこの解析結果を境界条件とした 3 次元解析によって橋梁下部の浸透流速について検討した。2 次元シミュレーションの結果、被災した P5 橋梁付近での最大流速は 4～5 m/s であると推定された。3 次元シミュレーション結果からは、橋脚上流側での最大流速は 13 cm/s と推定され、粒径分布と間隙比の関係を用いて実質的な流速に換算したところ、最大で 30 cm/s となると推定された。一方、十文字橋で採取された砂の最大粒径は 19mm であり、この粒径の土砂間隙中での移動限界流速は 30 cm/s 程度である(石野ほか, 1995)。このことから、橋梁被災メカニズムとして、橋脚底部の浸透流による砂分の輸送が橋脚の沈下被災に大きく関係している可能性があると結論された。

十文字橋の被災条件と黄瀬川大橋の条件を比較する。2 次元シミュレーションによる被災橋梁付近の流速推定値は、本研究での黄瀬川大橋における最大流速（約 6 m/s）よりもやや小さな値であった。出水の継続時間についても、酒匂川では 2 時間程度であったのに比べ(図 4.2.8)、黄瀬川大橋では 3 時間以上氾濫危険水位を超過するなど非常に長かった(図 4.2.3)。また、被災橋脚付近には比較的粗い砂分が堆積していた。黄瀬川大橋の橋脚はケーソン基礎であるものの、根入れ深さとしてはそれほど深くなく（1.5 m 程度）、直接基礎に近かった。以上の状況を勘案すると、黄瀬川大橋でも同様の事象が生じた可能性が示唆される。

4.2.6　まとめ

本項では、狩野川水系黄瀬川の黄瀬川大橋の被災事例に焦点を当て、水理解析と過去の被災事例との比較によって、被災メカニズムと被災リスクについて検討した。以下に明らかになったことをまとめる。

1) 黄瀬川（狩野川水系）において戦後最大同等の出水が発生し、7/3 に黄瀬川大橋の橋脚沈下被災が発生した。橋脚保護ブロックが流出し、その後橋脚底部が洗掘を受けて沈下したと見られる。
2) 時間雨量は最大 50mm 程度で、水位も HWL までには余裕があったものの、長時間の降雨により、3 時間以上にわたって氾濫危険水位を超えるなど、洪水が長引いた。シミュレーションの結果被災時の被災橋梁付近の流速はおよそ 7m/s と推定された。
3) シミュレーションの結果を提案されている手法によってリスク判定分析を適用した。その結果、橋梁、護床ブロックともわずかながら安全側に判定された。一方で、摩擦速度が同程度の場合に被

災に至っているケースも存在していた。このように被災したにも関わらず安全側に判定されたことは、洪水の瞬間的外力ではなく長期化したことが被災要因として優位であることを示唆する。

4) 条件や被災形態が似通った酒匂川・十文字橋の橋脚洗堀事例と黄瀬川大橋を比較した。十文字橋での既往の研究では、浸透流速の解析より、橋脚底部の砂の吸い出しに十分な間隙流速が発生していたとされているが、外力の大きさでは黄瀬川大橋のほうがより大きいことなどから、黄瀬川大橋でも同様の被災メカニズムで被災した可能性が示唆される。

R1 台風 19 号をはじめとして、近年全国で桁への越流を伴わない橋脚の沈下被害が頻発しており特に扇状地河川で顕著である。このような橋梁・河川では、HWL だけではない管理の考え方、予防保全や事後保全の考え方を検討していく必要がある。歴史的に橋梁の補強は昭和 20 年代の河川侵食、昭和 40 年代および阪神淡路大震災（1995）の耐震を契機に橋梁の強化が進められてきたが、近年の洪水外力の増大に対する動きは十分進められてこなかった。これに対し、国土交通省では、令和 3 年度 6 月に「鉄道河川橋梁における基礎・抗土圧構造物の維持管理の手引き」を通知した。これによりこれまで十分進められてこなかった水害に対する橋梁のリスク管理が前進すると考えられる。さらに、インフラの維持管理の原資を縮小せざるを得ない状況にも鑑みると、リスク管理の高度化のみならず低コストで効果的な補強技術についても、今後さらに求められてくるものと考えられる。

（大槻順朗）

謝辞

現地案内や資料提供では、国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所、ならびに、静岡県沼津土木事務所の方々に多大なる便宜を図っていただいた。また、(株) アジア共同設計コンサルタント・石野和男氏には橋梁洪水災害に関する情報提供をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献

1) 中部地方整備局：河川コード台帳（河川コード表編）・一級水系狩野川水系, https://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/kihonjoho/kasen_code.pdf.
2) 藤田智弘, 七澤利明, 佐々木惇郎（2019）：洗掘被害を受けやすい既設橋梁の抽出への線形判別分析の適用, 土木技術資料, 61(11), 36-39.
3) Google ：ストリートビュー, https://www.google.co.jp/maps/preview.
4) 一般社団法人iRIC-UC：iRIC Software, https://i-ric.org/ja/.
5) 石野和男, 大谷英夫, 勝井秀博（1995）：急潮流下における橋脚周辺の捨石洗堀防止工の設計法に関する研究, 土木学会論文集, 521／II-32, 123-132.
6) 石野和男, 楳田真也, 前野詩朗, 玉井信行（2010）：礫床河川において洪水中に発生した橋脚の沈下原因の究明および対策工の研究, 水工学論文集, 54, 847-852.
7) 株式会社集組：実績紹介, http://www.tudoigumi.jp/jisseki.html.
8) 気象庁：各種データ・資料 過去の気象データ, https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php.
9) 国土地理院：地理院地図Vector, https://maps.gsi.go.jp/vector/.
10) 国土交通省（2021）：ＪＲ河川橋梁対策検討会資料, https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk7_000024.html.

11) 国土交通省：水文水質データベース，http://www1.river.go.jp/.
12) 国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所（2017）：狩野川河川維持管理計画（大臣管理区間），https://www.cbr.mlit.go.jp/numazu/river/pdf/kanogawakasenijikanrikeikaku.pdf.
13) 国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所（2021）：令和3年7月の出水状況，令和3年度狩野川水系流域委員会資料，令和3年11月1日，https://www.cbr.mlit.go.jp/numazu/river/pdf/r3_iinkai_siryou1.pdf.
14) 岡田勝也，村石尚，国広敏彦（1989）：統計的手法による橋脚の洗掘防止工の安定度判定手法．土木学会論文集，403／IV-10，65-74.
15) 大矢雅彦，加藤泰彦，古藤田喜久夫，若松加寿江，高木勲，松原彰子，飯田貞夫（1985）：黄瀬川流域地形分類図，建設省中部地方建設局沼津工事事務所，https://ecom-plat.jp/suigai-chikei/group.php?gid=10100.
16) 佐溝昌彦，渡邉諭，杉山友康，岡田勝也（2013）：統計的手法による鉄道橋梁の増水時における被災注意橋脚抽出手法，土木学会論文集D3（土木計画学），69(3)，237-249.
17) 静岡県交通基盤部河川砂防局河川企画課：一級水系狩野川水系，しずおか河川ナビゲーション，http://www.shizuoka-kasen-navi.jp/html/kano/.

５．おわりに

令和 3 年 7 月初旬、西日本から東日本にかけて停滞した梅雨前線に向かって暖かく湿った空気が流入した影響により、東海地方から関東地方南部を中心に記録的な大雨となった。本報告書は静岡県東部で生じた当該豪雨災害を対象に、土木学会水工学委員会において結成された「令和 3 年 7 月静岡県東部豪雨災害調査団」による成果を取り纏めたものである。以下には、調査・分析によって得られた結論をまとめ，今後の被害軽減のために必要と思われる対応を関係する各主体に向けた提言として記す。

5.1　結論

5.1.1　熱海市伊豆山で発生した泥流被害調査から

土砂災害危険度の高い谷地形・逢初川源頭部の盛土崩壊を起因として生じた泥流被害を対象に、その流動現象を調査・解析するとともに、その発生要因について土質特性から考察した。

ａ）泥流の流動現象に関する調査と解析から

- 逢初川で発生した泥流は、横断的な広がりは 80m 程度と限定的で土砂災害警戒区域内に収まっていた様子が確認された。
- 源頭部において流出した土砂が約 1 km 下流の宅地域に到達したのは、上流域で最初に泥流が確認されてから、約 50 分後、および、約 100 分後であったと推定された。
- 泥流は単発で大規模なものではなく、小規模のものが複数回断続的に発生して被害を拡大させた。すなわち、個々の泥流は流下する過程で少しずつ家屋を破壊しては停止したが、後から流れてくる泥流が堆積物を巻き込みながら規模を拡大して流下する過程を繰り返すことにより、下流方向に被害を拡大させつつ伝播したと推察された。

ｂ）投棄残土の土質特性に基づく崩壊～流動過程の考察から

- 逢初川源頭部に投棄され集積した 55 万 m^3 もの残土（投棄残土）は、締固めされておらず緩く盛られていたため、雨水が浸透しやすい状況にあったと考えられた。
- 投棄残土は、不飽和な状態でサクションによる強度を保っているが、雨水等の浸透により飽和化することでサクションが失われ、極端な強度低下が生じた可能性が示唆された。
- 投棄残土による盛土は、法尻部からの侵食による不安定化が契機となって崩壊した後、シルト分、粘土分の含有量が多いことから含水比が高くなって流動化した可能性が示唆された。

5.1.2　狩野川水系黄瀬川で生じた河川災害調査から

火山麓地域を流れる黄瀬川において、戦後最大級の洪水に伴って生じた河川災害を対象に、流域・河道特性からその要因を考察するとともに、特に地域社会への影響が大きかった橋梁被災について、洪水流況解析と過去の被災事例に基づく経験的モデルから分析した。

ａ）河川管理施設等の被災状況から

- 過去の噴火由来の溶岩が散在することで河床の侵食速度が不均質となるため、黄瀬川はその流程において滝や淵など縦断的に河床高さが急変する遷急点、法線形状が大きく変わる屈曲点を抱える特異な河床形状を呈したものと考えられた。
- 今次洪水では、現河道と旧河道が交錯する箇所や河床の変曲点が護岸や工作物などにより「防御」（固定）された河岸に洪水流が作用して被災したケースが多く見受けられる一方、水制などの付

帯構造物の配置による「減勢」された箇所での被災は少なかった。

b）洪水時の橋梁被災に関する分析から

- 橋梁被災地点では、計画高水位までには至らなかったが、長時間の降雨により 3 時間以上にわたって氾濫危険水位を超えるなど洪水が長引いた。発災時の橋梁付近の流速はおよそ 7 m/s と推定されるなど、強い流体力が長期にわたって作用した。
- 洪水流況解析によって得られた水理諸量を既存の経験式に適用し、護床ブロックの流出危険度、橋梁の沈下危険度を判定したところ、いずれもわずかながら安全側に評価され、流域特性から評価される長期的な侵食危険度は危険側に評価された。
- 酒匂川十文字橋の橋脚洗堀と比較したところ、今次洪水で被災した黄瀬川大橋の外力の方が大きいことから、橋梁下部の浸透流速が被災要因となった可能性が示唆された。

5.2 提言

5.2.1 源頭部に集積した投棄残土の崩壊による泥流被害から

1) 【国・都道府県】危険な盛土地形とその想定流出域を含む“盛土災害危険区域”の指定と対策
現在進行中の総点検や詳細調査により「災害危険性の高い盛土」と判断された場合には、盛土だけでなくその想定流出域を含む“盛土災害危険区域”を指定・公表して、速やかな対策を講じる。

2) 【国・都道府県】急傾斜谷地形の源頭部における土地改変の制限・規制
新たに制定される「盛土等規制法」などを通じ、（特に急傾斜地の）源頭部における盛土、土砂投棄などを規制するだけでなく、改変の際には土塊流出を防ぐ対策の徹底を図る。

3) 【市町村・住民】土砂災害警戒区域に対する監視・警報体制の充実と活用
土砂災害警戒区域に対する監視・警報体制を充実させて下流域の住民の避難行動に活用する。

4) 【国・都道府県・市町村・住民】土砂災害に対する緊急退避における指向性情報活用の検討
谷筋に沿って流れ下る土砂の特性を意識した緊急退避行動ができるように、避難行動に指向性を持たせられるような避難情報を検討するとともに、地区防災計画などを通じ各地域で共有する。

5.2.2 河床が不連続に変化する急流河川における河川災害から

5) 【河川・橋梁管理者】老朽化した河道内工作物の適切な維持管理
河道内工作物は幾多の水流に晒されており、侵食や洗堀による基部流出やそれに伴う崩壊・崩落のリスクを孕む。洪水時の水流や河床変動を適切に想定した点検と補修による維持管理を進める。

6) 【河川管理者】「防御」と「減勢」による洪水流の多面的制御
洪水時に強大な流体力が作用する、川幅、河床高さ、勾配の急変箇所に対し、護岸などによる抵抗だけでなく、水制などによって受け流す施設整備によって、多面的に洪水を制御する。

7) 【河川管理者】強大かつ長期にわたる洪水外力に備えた河道内の施設整備
局所的に強大・長期化しうる洪水流に備えた施設（特に、整備途上の施設など）の整備を戦略的に推進する。

8) 【河川管理者・市町村】上下流の連続性と河道内外を俯瞰した「流域治水」の戦略的推進
流域地形の成因を踏まえつつ、整備途上でも治水／水防効果を発揮し、洪水による被害を最小限に食い止める、河道内外でのハード整備、ソフト対策を進める。