2018 年 7 月西日本豪雨災害調査報告会用 暫定版調査報告書

2018 年 7 月西日本豪雨災害 調査報告書



2018年12月

公益社団法人 土木学会中国支部

(公益社団法人)土木学会中国支部

2018 年 7 月西日本豪雨災害 緊急調査団調査報告書

日次(案)

序文・謝辞	1
序論 2018 年7月豪雨災害における気象状況	
1. 概況	4
2. 中国地方における降雨の特徴	9
3. 中国地方における気象情報の発表と避難に関する行政対応	14
4. 近年の豪雨災害との類似点および相違点	17
5. まとめ	18
第I編 岡山県	
1. はじめに:災害の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	20
2. 調査団の概要	25
3. 調査報告	
3. 1 気象状況と河川水位状況	
3. 1. 1 気象状況	25
3. 1. 2 降雨状況	25
3. 1. 3 降雨の統計解析	29
3. 2 河川災害	
3.2.1 河川災害の概要:降雨流出特性:河川水位,ダム操作 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	42
3. 2. 2 吉井川水系 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	45
3. 2. 3 旭川水系 ······	47
3. 2. 4 高梁川水系	51
3. 2. 5 真備町での気象警報と避難の状況	67
3.2.6 小田川洪水 : 洪水流・氾濫解析 ····································	69
3. 2. 7 旭川洪水 : 洪水流解析 ····································	75
3. 3 土砂災害	
3.3.1 河川堤防の被災状況	81
3. 3. 2 斜面災害状況	91
3.3.3 ため池の被災状況	160

第	Π	編	広島嶋	ļ
粐	щ	小冊	山田ヶ	1

1.	はじめに:災害の概要	 166
2.	河川災害	
	2. 1 河川災害の概要	 167

2. 2 河川災害調査団の概要	169
2. 3 河川別の被害状況	
2. 3. 1 太田川水系三篠川	170
2. 3. 2 太田川水系根谷川	178
2.3.3 太田川水系榎	180
2. 3. 4 瀬野川水系瀬野川	182
2. 3. 5 野呂川水系中畑川	189
2.3.6 黒瀬川水系黒瀬川 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	200
2.3.7 黒瀬川水系笹野川	208
2. 3. 8 沼田川水系沼田川	213
2. 3. 9 沼田川水系天井川 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	229
2.3.10 沼田川水系仏通寺川	232
2. 3. 1 1 沼田川水系菅川	233
2. 3. 1 2 沼田川水系梨和川	237
2.3.13 沼田川水系三次川	239
2. 3. 14 本郷川水系本郷川	240
2. 3. 1 5 芦田川水系福川	243
2. 3. 16 芦田川水系吉野川	247
2. 3. 17 河川災害の特徴	251
2. 4 ダム操作の課題 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	253
2.5 被害軽減に向けた今後の検討課題 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	256
3. 土砂災害	
3. 1 土砂災害の概要	259
3.2 土砂災害調査団の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	263
3. 3 被害状況	
3.3.1 県道34号線昭和入口周辺	264
3. 3. 2 広島市安芸区矢野東七丁目(梅河ハイツ	271
3. 3. 3 広島市安佐北区口田南地区	278
3.3.4 安芸郡坂町(水尻・小屋浦地区) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	291
3. 3. 5 安芸郡熊野町川角五丁目(大原ハイツ)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	302
3. 3. 6 尾道・松江道	311
3.3.7 呉市天応・吉浦・焼山地区 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	327
3.3.8 呉市安浦地区	345
3. 3. 9 呉市音戸・倉橋・蒲刈地区 ······	350
3. 3. 10 呉市阿賀・広・郷原地区	360
3.3.11 ため池の被災状況	367
3.3.12 砂防ダム等の被災状況	375
3.3.13 土砂流出量について	376

3.3.14 広島県の過去の土砂災害との比較	379
3. 4 今後の検討課題	407
4. 橋梁被害	409
4. 1 橋梁調査流域	
4.1.1 調査日と調査員	412
4. 1. 2 三篠川流域の橋梁調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	412
4. 1. 3 対象流域の治水に関する現状と課題(広島県 HP 公表より抜粋)	412
4.1.4 三篠川沿いの調査橋梁群	413
4.2 三篠川の橋調査(8月7日)	
4.2.1 鳥声橋	414
4.2.2 迫田橋 ····································	418
4.2.3 寺山橋 ······	420
4. 2. 4 スラブ橋(床版桁橋)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	422
4.2.5 実重橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	423
4.2.6 市明橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	424
4.2.7 高瀬橋	426
4.2.8 安駄橋	427
4.2.9 JR 第一三篠橋梁	431
4.2.1 0 鋼吊橋 ······	435
4.2.A 1 轟橋 ······	438
4.2.A 2 大寺橋 ······	439
4.3 東広島市の橋調査	
4.3.1 中原橋(RC 歩道橋)	441
4.3.2 塚地橋	442
4.3.3 一貫田橋	443
4.3.4 川原橋	444
4. 4 安浦町の橋の被災事例	
4. 4. 1 呉市安浦町の頓原橋の被災・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	444
4. 4. 2 女垣内の集落の橋	446
4.5 竹原市・三原市の被災橋調査	
4.5.1 竹原市の上成井橋	447
4.5.2 水ノロ橋	447
4.5.3 三原市の下畑橋	448
4.6 橋梁の損傷について	449
4.7 洪水時の流体力による橋設計の盲点 橋桁部や橋脚の安定性の検討の必要性・・・・・・・	452
4.7.1 洪水時の重力式橋脚の転倒安定性について	452
4.7.2 橋桁部のみ転倒流出について	454
4.7.3 被災事例にみる橋桁の流出安定性について	454

4.8 まとめ	456
5. 交通ネットワークの被害・・・・・・	459
5.1 平成30年7月豪雨災害の特徴	463
5.2 交通インフラの被害状況	
5.2.1 道路ネットワークの被害 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	464
5. 2. 2 鉄道人流・物流の被害	465
5.2.3 災害後の交通量・交通容量の変化	466
5.3 緊急対応策	
5.3.1 道路の復旧経緯	467
5.3.2 公共交通機関との連携	468
5.3.3 災害時 BRT の運行	469
5.3.4 道路ネットワークの復旧方針の検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	470
5. 4 まとめと今後の課題	
5. 4. 1 主な調査結果	471
5.4.2 交通マネジメント手法の確立	472
5.4.3 避難県連情報と避難行動の関連分析	473
5. 4. 4 事前復興計画の立て方	473

口県

1. はじめに:災害の概要	475
2. 調査団の概要	477
3. 調査報告	
3.1 気象状況 ······	478
3. 2 河川災害	
(1)島田川の河川氾濫 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	484
(2)獺越地区の土石流および河川氾濫	487
3. 3 土砂災害	
(1) 岩国市玖珂町国道2号の被災状況	496
(2)笠戸島崩壊,岩国土石流発生渓流の被災状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	499
(3) 下松市と光市の境および熊毛郡田布施町の被災状況	509
(4)岩国市周東町の被災状況	513
4.まとめ	515

※本報告書は、「2018 年 7 月西日本豪雨災害緊急災害調査報告会」の暫定版資料につき、一部発表 資料、未記入の部分がありますことをお詫びいたします。 なお、年度内に、正式な「2018 年 7 月西日本豪雨災害緊急災害調査報告書」を発行予定としてお ります。 序文

平成 30 年 6 月 28 日以降の台風第 7 号や梅雨前線の影響によって,西日本を中心に全国的に広い範囲 で発生した豪雨(気象庁「平成 30 年 7 月豪雨」)は、6 月 28 日から 7 月 8 日までの総降水量は四国地方 で 1,800mm,東海地方で 1,200mm を超え、7 月の月降水量平年値の 2~4 倍となる地域もありました。こ の大雨によって、河川の氾濫、浸水害、土砂災害等が発生し、死者・行方不明者は 1 府 13 県で 230 名を 超え、家屋、道路、鉄道、公共土木施設、農業・林業施設等にも甚大な被害を及ぼしました。

土木学会中国支部では,7月9日に緊急災害調査対応委員会を立ち上げ,調査団の派遣と調査の基本方 針を定めました.基本方針は,この度の災害は複数の県で発生しており,各県で円滑な調査と報告ができ るように次のようにしました.

1. 各県域(地域)が中心となり、それぞれが調査団を設立し調査する.

2. 調査の進行状況を支部で共有し、最終的な報告書や報告会は統一して実施する.

3. 情報共有先は支部事務局とする. 調査団の行先や状況は事務局に報告する.

実際,緊急災害調査団は岡山県と広島県では,河川グループと土砂グループを,山口県は統一調査団 を,さらに,橋梁グループを加え,支部としては6調査団(グループ)を立ち上げました.

各調査団 (グループ)からは逐次報告を受けその成果を速報として,順次支部のホームページに掲載し ました.そのような調査結果に基づき,また新たな考察も加え,このたび,土木学会中国支部の報告とし て取りまとめました.本報告書が今後の,防災・減災の実現の一助になることを期待します.

謝辞

ご多忙の中,調査団に参画いただき,報告書作成の労をとってくださった土木学会員,また,ご協力い ただいた方々に感謝申し上げます.

現場における調査および報告書作成にあたり,国土交通省中国地方整備局はじめ関係する諸機関,また,土木学会本部,ならびに,関係する委員会,さらに,地盤工学会には,ご支援ご協力をいただきました.ここに感謝の意を表します.

平成 30 年度土木学会中国支部

支部長 清水 則一

(1)	岡山河川グ	ループ	調査団
-----	-------	-----	-----

	氏名	所属	執筆担当:第1編 岡山県
団長	前野 詩朗	岡山大学大学院 教授	$1 \cdot 2 \cdot 3.1 \cdot 3.2$
団員	近森 秀高	岡山大学大学院 教授	3.1
団員	吉田 圭介	岡山大学大学院 准教授	$1 \cdot 2 \cdot 3.1 \cdot 3.2$
団員	赤穗 良輔	岡山大学大学院 准教授	$1 \cdot 2 \cdot 3.1 \cdot 3.2$
団員	工藤 亮治	岡山大学大学院 准教授	3.1

(2) 岡山土砂グループ調査団

	氏名	所属		執筆担当:第 I 編 岡山県
団長	西村 伸一	岡山大学大学院	教授	3.3
団員	西山 哲	岡山大学大学院	教授	
団員	竹下 祐二	岡山大学大学院	教授	3.3
団員	小松 満	岡山大学大学院	准教授	3.3
団員	金 秉洙	岡山大学大学院	助教	3.3
団員	柴田 俊文	岡山大学大学院	准教授	3.3・第Ⅱ編 広島県3.3
団員	珠玖 隆行	岡山大学大学院	准教授	3.3

(3) 広島河川グループ調査団

	氏名	所属	執筆担当:第Ⅱ編 広島県
団長	河原 能久	広島大学大学院 教授	$2.1 \cdot 2.2 \cdot 2.4 \cdot 2.5$
団員	内田 龍彦	広島大学大学院 准教授	2.3
団員	北 真人	広島大学大学院 特任助教	2.3
団員	田中 健路	広島工業大学 准教授	2.3
団員	黒川 岳司	呉工業高等専門学校 准教授	2.3

(4) 広島土砂グループ調査団

	氏名	所属	執筆担当:第Ⅱ編 広島県
団長	土田 孝	広島大学大学院 教授	$1 \cdot 3.1 \cdot 3.2 \cdot 3.3 \cdot 3.4$
団員	橋本 涼太	広島大学大学院 助教	3.3
団員	森脇 武夫	広島工業大学 教授	3.3
団員	加納 誠二	呉工業高等専門学校 教授	3.3

(5)広島橋梁グループ調査団

	氏名	所属	執筆担当:第Ⅱ編 広島県		
団長	有尾 一郎	広島大学大学院 助教	$\begin{array}{c} 4.1 \cdot 4.2 \cdot 4.3 \cdot 4.4 \cdot 4.5 \cdot \\ 4.6 \cdot 4.7 \cdot 4.8 \end{array}$		
団員	柴田 俊文	岡山大学大学院 講師	4.2		
団員	渡辺 学歩	山口大学大学院 准教授	4.2		
団員	海田 辰将	徳山工業高等専門学校 准教授	4.2		
団員	河村 進一	呉工業高等専門学校 准教授	4.2		

(6) 交通ネットワークの被害

氏名	所属	執筆担当:第Ⅱ編 広島県
藤原 章正	広島大学大学院教授	5

(7)山口グループ調査団

	氏名	所属		執筆担当:第Ⅲ編 山口県		
団長	鈴木 素之	山口大学大学院	教授	$1 \cdot 2 \cdot 4$		
団員	清水 則一	山口大学大学院	教授	3.3		
団員	朝位 孝二	山口大学大学院	教授	3.1 · 3.2		
団員	中田 幸男	山口大学大学院	教授	3.3		
団員	榊原 弘之	山口大学大学院	教授	1		
団員	森 啓年	山口大学大学院	准教授	$1 \cdot 2 \cdot 4$		
団員	赤松 良久	山口大学大学院	准教授	3.2		
団員	白水 元	山口大学大学院	助教	3.1 · 3.2		

序論. 平成 30 年西日本豪雨の概要

平成30年6月28日から7月8日の期間にかけて、台風第7号と梅雨前線により、日本の広範囲で 記録的な大雨が発生した.本章では、今回の豪雨の全体像とその要因について概論し、中国地方にお ける降雨に関する特徴について各論を述べる.

1. 概況

平成30年7月豪雨の期間中(2018年6月28日~7月8日)の気象庁地上天気図を図 1.1¹に示す.豪雨の 初期においては、日本海から対馬海峡に向かって梅雨前線が南西側に延び、その西側先端部にあたる 九州北部を中心に1時間に60~80mmの短時間大雨が観測された.台風第7号が6月29日にフィリピンの 東方沖で発生し、台風の北進と共に太平洋高気圧の勢力が強まり、6月30日~7月3日までの間、北海道 上空まで梅雨前線が北上した.台風第7号が7月3日に東シナ海を北上した後、進路を北東に変えた.7 月4日には日本海上空を通過し、梅雨前線を取り込みながら温帯低気圧に変わり、7月5日には北海道東 方沖へと進んでいった.低気圧の移動と共に、オホーツク海上の高気圧が南下し、7月5日から8日にか けて本州上空を中心に梅雨前線が停滞し、西日本を中心に長時間大雨が発生した.7月8日から9日にか けて梅雨前線が再度北上し、日本の広範囲で梅雨明けが発表された.



図1.1 平成30年7月豪雨期間の地上天気図(気象庁)¹⁾

豪雨発生期間の日本周辺の総観場について、気象庁数値予報GPV全球モデルの初期値による上空 300hPa面,500hPa面の風と湿潤空気・乾燥空気の分布を図1.2に示す.7月3日9時(日本時間)の時点では、 台風の南東側からの湿潤空気の北上が顕著であり、その北東側に位置する太平洋高気圧の北縁に沿っ て、北海道上空に上空の湿った空気が流れ込んでいた.対流圏上層の300hPa面においては、チベット 高気圧の北縁の強風軸に沿って、大陸側からの乾燥空気が東に移動しており、朝鮮半島上空に形成さ れた気圧の谷に沿って南下したとされる.台風通過後も太平洋高気圧の縁に沿った湿った空気の流れ と共に、中国内陸および南岸からの上層の湿った空気が、太平洋高気圧側の乾燥空気と朝鮮半島上空 の気圧の谷の乾燥空気の間に挟まれる形で日本列島上空に流れ込む形となった.

気象庁長期再解析(JRA-55)²による日本周辺の極東アジア域の可降水量の分布(図1.3)によれば、本州 上空で梅雨前線が停滞した7月6日の時点で、可降水量60mmを超える領域が、東シナ海および華中平原 の広範囲に見られ、東側では九州上空および中四国地方西部まで広がっていた.近年の豪雨の例の比 較として、2014年8月の広島豪雨土砂災害、および、2017年7月の九州北部豪雨災害の降雨ピーク時の 可降水量分布を同図に示しているが、いずれの事例においても、湿潤空気の上流側に位置する東シナ



図 1.2 上空の気象場. 等値線は等圧面高度(60m間隔), 矢羽は風向風速(長矢羽:5m/s, 旗矢羽: 25m/s)を表し, 水色の領域は相対湿度80%以上の湿った空気, 橙色の領域は相対湿度20%以下の乾燥 空気を表す.

海上では、60mmを超える可降水量は解析されなかった.したがって、近年の事例と比べて、今回の事例は、西日本の広範囲にわたり降雨の素となる大量の水蒸気が流入する背景が特に顕著であったと考えられる.



図 1.3 日本周辺の極東アジア域における可降水量の分布. 等値線間隔は10mm. 気象庁長期再解析 (JRA-55) 毎6時間鉛直積分解析値を使用.

気象庁アメダス観測による全国の降雨状況に ついて、期間全体の降水量を図1.4に、1時間、3 時間、24時間、48時間降水量の最大値を図1.5に それぞれ示す.気象庁の観測点で期間降水量が 最も多かったのは、高知県魚梁瀬(やなせ)の 1852.5mmで、1000mmを超えた地点は高知県と 徳島県の山間部、および岐阜県・長野県北部の 一部に集中した.1時間100mmを超える極端な 短時間大雨を観測したのは、金山(岐阜県)、 宿毛(高知県)、城辺(沖縄県)、中筋(沖縄 県)の4地点のみであった.1時間80mm以上の猛 烈な雨を観測したのは上述の4地点以外に、岐 阜、徳島、山口、長崎、沖縄の5県で計11地点で あった.このうち、中国地方のアメダス観測点



図 1.4 気象庁アメダスの期間降水量分布

として、山口県下松1地点のみが、最大1時間降水量80mmを超えた.記録的規模の短時間大雨を観測した地点が少数であったのに対し、24時間降水量250mmを超えた地点が120地点、48時間降水量400mmを超えた地点が72地点、それぞれ西日本の広範囲に分布している.



図 1.5 気象庁アメダス観測点における各継続時間の最大降水量の分布.

表1.1に対象時間別の観測史上最大雨量および7月の最大値をまとめたものを示しているが、1時間、 3時間の短時間降水では、観測史上1位を記録した地点は10地点前後であった.24時間を超える長時間

降水では、観測史上1位を記録した地点が50地 点を上回る数となり、その地点は中国地方や北海 道、岐阜県および高知県に集中した.

平成30年7月豪雨の期間のうち,1時間,12時間, 24時間それぞれの継続時間の最大降水量の観測 起日の分布を図1.6に示す.最大1時間降水量の起 日の分布は,初期から末期まで分散したが,継続 時間が長くなると,岐阜県以西の広範囲で前線が 本州上空に停滞した7月6日~8日に観測された地 点が多数を占めた.北陸地方,近畿地方北部,お よび,鳥取県では,7月4日~5日の台風7号通過直 後に12時間降水量の最大値を観測した.図1.5,図 1.6より,中国地方の大雨に関しては台風7号が通 過した後の7月5日~7日の3日間が特に重要であ ると考えられる.これについては,次節にて述べる.

表 1.1 気象庁アメダス観測点における観測史 上1位および7月1位の降水量を観測した 地点数.1980年以前に観測を開始した978

地点を対象.

継続時間	観測史上1位	7月1位
1時間	10	22
3時間	12	45
6時間	21	72
12時間	40	76
24時間	58	85
48時間	88	82
72時間	79	106



図 1.6 1時間30mm以上, 12時間100mm以上, 24時間150mm以上を観測した地点のそれぞれの最大値の起 日の分布.

2. 中国地方における降雨の特徴

2.1. 地上雨量観測から見られる特徴

今回の豪雨で、中国地方の被害が特に甚大であった広島、岡山、山口の3県について、気象庁、国土 交通省、県の設置している雨量観測網を基に期間総降水量、および、1時間~72時間までの各継続時間 における最大降水量の分布をまとめたものを図1.7に示す.期間降水量が700mmを超えたのは、713mm を観測した野呂川ダム(広島県呉市)と721mmを観測した長野山(山口県周南市)の2地点で、600mm以上 の総降水量は、山口県岩国・周南地方、広島県廿日市市・佐伯区の山間部と呉市、岡山県津山市でそ れぞれ観測された.

降水継続時間の長さに関わらず、中国地方では、山口県周南地方から広島湾を跨いで広島市東部や 呉地域に降水量最大となる領域が分布し、その領域から北東方向の広島県北東部や岡山県北部に向か って延びる傾向にある.最大1時間降水量80mm以上を観測したのは、田尻、中山川ダム(いずれも山 口県岩国市)、下松(山口県下松市)、荒谷ダム(山口県山口市)、警固屋(広島県呉市)の5ヶ所で あった.その一方で、最大1時間降水量が30mm未満の地域が岡山県南部や広島県北西部などに分布し ており、大規模な浸水被害が発生した高梁川水系小田川流域はその一部である.



山口県周南,岩国地区の観測局の降雨観測例を図1.8に示す.図1.8の積算雨量は7月5日0:00からの積 算値を表す.前1時間雨量は10分観測値から算出したものとして示している.6月28日~7月8日の期間 の総雨量が700mmを超えた長野山(周南市)では,期間前半から1時間数mm~30mm程度の降雨が断 続的に降り続き,7月5日0:00時点で降り始めからの総雨量が360mmに達した.降雨のピークは7月6日 14:00頃で前1時間雨量36mmを観測した.長野山から約30km南南東に位置する岩国市田尻では,7月4 日まで長野山の降雨とほぼ同時間帯に降雨が観測されたが,7月5日0:00までの積算雨量は117mmで長 野山の約3分の1程度の雨量であった.両者の観測点での大きな違いは,7月7日未明の降雨である.南 側の田尻では,7月7日2:30までの1時間に87mmの猛烈な雨を観測したが,長野山では1時間5mm程度 の降雨にとどまった.山口県内では,前線の停滞や台風接近時の局地規模の降水系の位置関係によっ ても,期間前半と後半の降雨量の差が大きく表れている.下松,玖珂,岩国にかけての地区は,図1.8 の田尻観測局と同様の傾向が見られる.



図 1.8 山口県長野山(周南市)と田尻(岩国市)の降雨時系列.

広島県における降雨観測のうち、瀬野川(広島市安芸区),警固屋(呉市),野呂川ダム(呉市) および、下三永(東広島市)の降雨時系列を図1.9に示す.広島市東部、安芸郡、呉、東広島市を含む 地域では、7月6日18:00~21:00の時間帯と、7月7日4:00~6:00の時間帯に2度降雨のピークが観測され た.前半においては、広島市安芸区瀬野川、呉市警固屋、野呂川ダムで1時間60mm以上の非常に激し い降雨を観測し、後半においては、東広島市下三永や呉市で1時間40~60mmの降雨を観測した.それ ぞれの観測所において、7月5日午前から1時間数mm~20mm程度の降雨が断続的に発生し、7月6日夕 方のピーク前には、7月5日の降り始めからの積算雨量が200mmを超え、表層土壌に大量の水分が浸透 したと考えられる.東広島市下三永のように、前半と後半の降雨のピークが1時間40mm~50mm程度 の降雨の場合、前半と後半の降雨どちらが最終的な土砂災害の引き金となったか、判別が困難なよう に思われる.



図 1.9 広島県の雨量観測の例.上から瀬野川(広島市安芸区), 警固屋(呉市), 野呂川ダム(呉 市), 下三永(東広島市)の順.

岡山県における降雨観測のうち,北部の坂根(西粟倉村)と南部の真備(倉敷市)の例を図1.10に示 す.広島湾や安芸灘から流入した降水系が北東〜東北東に進み,岡山県側では北部で1時間30mm〜 50mmの激しい雨を観測した.坂根観測所では、7月5日午前から夕方にかけて降雨が続き、同日18:00 頃に1時間40mmの降雨を観測した.7月5日の深夜から6日の明け方にかけて一旦降雨が止んだが、7月 6日の午前中から再び降雨が始まり、広島県内で観測されたのと同様に7月6日夕方から深夜にかけて2 度のピークが観測された.その結果,7月5日~7日の積算雨量が500mmを超える大雨となった.一方, 南部の真備観測所では,期間全体を通じて1時間30mmを超える激しい降雨は観測されず,1時間数mm ~20mm程度の降雨が続き,7月5日0:00からの積算雨量300mmを超える大雨となった.



図 1.10 岡山県の雨量観測の例.上から坂根(西粟倉村), 真備(倉敷市).

2.2. 中国地方上空の降水系

本州上空に梅雨前線が停滞した2018年7月5日~7日の期間内での、中国地方上空における降水系の 発達と移動について、図1.11に基づいて述べる.7月5日3:00頃に豊後水道側から山口県周南市、下松 市付近に流れ込み降水セルが発達(図1.11 (a))、その後、前線に向かう大量の暖湿気の流入と共に、 梅雨前線の南側、南北幅100~150kmを持つ雨域が発達。雨域の軸となる1時間雨量30mm以上の線状の雨 域が中国山地付近の上空に発達していった(図1.11 (b)).発達した雨域は7月5日17:00を過ぎて瀬戸 内海上空に向けて徐々に南下した(図1.11 (c)).7月5日21:00~7月6日4:00過ぎまでの間は降雨が治 まったが、九州北部上空で積乱雲の活動が活発化しはじめ、徐々に雨雲が下流側の中国地方へ移動し ていった(図1.11 (d)).7月6日15:00頃には、前線全体の雲域の中で広島県北部の内陸部を中心に80mm/ 時を超える強さを持つ積乱雲群が線状に発達しながら東進していった(図1.11 (e)).同日18:00頃に はその風上側の広島湾から広島市東部を中心とした領域で積乱雲群が発達し、北東方向に降水帯が線 状に延びながら徐々に東へ移動していった(図1.11 (f)).この降水帯の風上側にあたる山陽地方の瀬 戸内海沿岸を通過する際に、局地的に降雨強度が80mm/時を超え、沿岸の山地形に沿った強制上昇によ り、降水が強まったと見られる.前半の降水帯が過ぎ去った後に、山口県周南市を中心とする上空に 80mm/時を超える雨雲が団塊状に発生し、強雨域が徐々に東進していった.呉市付近の上空に到達する と、瀬戸内海を挟んで愛媛県の上空から南北に延びる降水帯として発達していった.



図 1.11 気象庁レーダー観測による中国地方の降雨状況

図1.11に示した中国地方上空の降雨域は、地上の梅雨前線に近接した位置で発生し、北西側の上空 からの乾燥空気の沈降と東シナ海側から流れ込んできた下層の暖湿流の微細な勢力差により、東進し ながらの一時的な南下、北上を繰り返していた.図1.12は気象庁レーダーの降雨強度分布に数値予報 GPVメソスケールモデルの初期値の風の場を合成したものである.7月6日18:00,7月7日6:00の2つの時 刻の状況について示しているが、いずれも、上空の前線の南側近傍で50mm/時を超える雨域が見られる. 7月6日の前半の場合と比べて、7月7日の後半の場合の方が、降雨域の南北方向に延びる形状となって いる.また、上空850hPa面風の場では、広島上空に低気圧性の渦が解析されており、渦の南西側象限 では、上空からの乾燥寒気の沈降と東シナ海や太平洋側からの暖湿気の流入と上昇により、広島・愛 媛県上空で南北に延びる降水帯の発達に寄与していたものと考えられる.



図 1.12 気象庁レーダー降雨強度と気象庁数値予報GPV(メソスケールモデル)初期値 850hPa面風の場 との合成.

3. 中国地方における気象情報の発表と行政対応

平成30年7月豪雨では、特別警報の運用が開始されて以来最多の11の府県において発表された.各府 県における気象情報の発表状況については、対象府県の各地方気象台作成の速報資料にその詳細が記 述されている.本稿では、中国地方の広島、岡山、山口の3県における気象情報の発表状況について概 要を述べる.

3.1. 広島県における気象情報の発表²⁾

広島県では、台風第7号の接近に際する降雨に対して、広島県西部の5市町(広島、大竹、廿日市の 各市と北広島町、安芸太田町)を対象として大雨警報(土砂災害)を7月3日10時29分に発表し、7月4日9 時39分に解除した.台風通過後の前線の停滞による大雨に対しては、7月5日8時8分に廿日市市を対象 として大雨警報(土砂災害)が発表されたのをはじめ、7月5日12時38分までの間に広島県南西部と北 東部、および東部沿岸部(三原、尾道、福山の3市)で大雨警報が次々と発表された。7月5日15時37分 には、山間部の市町(府中市、および、安芸太田、北広島、神石高原、世羅の各町)に大雨警報(土砂災 害)が発表され、翌日7月6日5時40分には、未発表の市町を含む広島県全域を対象に大雨警報が発表さ れた.洪水警報は、7月5日12時38分に三次市・庄原市にて発表されたのをはじめ、7月5日18時43分ま での間に山間部を中心に10市町で発表された。7月5日21時46分に東広島市と福山市を除き、洪水警報 町(広島, 呉, 竹原, 三原, 尾道, 福山, 三 次, 庄原, 東広島の各市と世羅町)で洪水警 報が発表され、同日18時6分までに広島県 内全ての市町に洪水警報が発表された.

県内全市町に大雨洪水警報が発表され て約1時間30分後の7月6日19時40分に、県 内10市6町に大雨特県内全市町を対象とし て大雨特別警報が発表された. 広島県内に 発表された大雨特別警報は、7月7日10時50 分に大雨警報に一斉に切り替えられ,7月8 日10時30分に大雨警報が一斉解除された.

土砂災害警戒情報は、7月5日17時15分に 庄原市を対象として最初に発表されたが, 7月6日1時35分に解除された.7月6日には 14時5分に広島市を対象として発表された

は一時解除された.7月6日10時6分に9市1 表1.2 広島県各市町における大雨特別警報の発表時刻 2) 斜字は警報対象の追加発表.土は土砂災害に 関する大雨特別警報、浸は浸水害に対する大雨 特別警報を表す。

発表時刻	対象市町
7/6 19:40	広島市 ^{土浸} ,呉市 ^土 ,三原市 ^浸 ,三次市 ^{土浸} ,
	庄原市 ^{土浸} ,大竹市 ^{土浸} ,東広島市 ^{土浸} ,
	廿日市市 [±] ,安芸高田市 ^{±浸} ,江田島市 [±] ,
	府中町土港,海田町土港,坂町土港,熊野町土港,
	北広島町 [±] ,世羅町 [±]
7/6 20:25	<i>吳市^{士浸},</i> 竹原市 ^{土浸} ,世羅町 ^{土浸} ,
	神石高原町土浸
7/6 20:46	府中市土浸
7/6 21:37	<i>竹原市土</i> , 尾道市土, 福山市土,
	大崎上島町土

のをはじめ、14時25分に廿日市市、14時40分に庄原市、安芸高田市、安芸太田町、北広島町、15時10 分に三次市、大竹市と14時から15時にかけて県北部と西部を中心に対象地域が拡大した.その後、7月 6日17時~19時の時間帯にかけて、県全域に対象地域が拡大していった.17時35分時点の発表では、府 中,海田,坂,神石高原の4町,17時50分の発表では、大竹市,東広島市,18時10分の発表では、呉、 三原, 江田島の3市と熊野町, 18時40分の発表では, 尾道市, 府中市と世羅町, 19時00分の発表では, 福山市と大崎上島町が、それぞれ新たな対象地域として発表された.

3.2. 岡山県における気象情報の発表³⁾

岡山県では、7月5日14時19分に県北部の3市2町(真庭、津山、美作の各市と鏡野町、美咲町)に大雨警 報(土砂災害)が発表されたのをはじめ,同日19時40分までの間に和気町を除く全市町村に大雨警報が 発表された.翌7月6日の明け方までの間、一部の市町村では一時的に大雨警報が大雨注意報に切り替 えられたが、降雨の継続に伴い、7月6日9時35分の時点で岡山県内の全市町村に大雨警報が発表され た.7月5日の時点で発表された大雨警報では、岡山、倉敷、総社、笠岡、浅口、真庭の各市、里庄、 勝央、美咲の各町で土砂災害、浸水害の双方を対象とし、他の市町村では土砂災害のみを対象として いた.7月6日に発表された大雨警報では、真庭市と津山市で土砂災害と浸水害を対象としていたのを 除き,他の市町村では土砂災害のみに対する大雨警報として発表された.

洪水警報は,7月5日15時38分に岡山県北部の5市1町(高梁,新見,真庭,津山,美作の各市と鏡野町) に発表された.7月6日9時35分の時点で、3市3町2村(玉野,瀬戸内,備前の各市,和気,早島,久米南 の各町,および新庄村,西粟倉村)を除く岡山県全域に洪水警報が発表された.上述の未発表の市町村 では、7月6日15時45分に西粟倉村、17時42分に新庄村と西粟倉町、19時39分に和気町、22時40分に早 島町,23時10分に玉野,瀬戸内,備前の3市に対して洪水警報がそれぞれ発表された.

大雨特別警報の発表時刻の一覧を表 1.3に示す.7月6日19時39分に6市3町1村で 大雨特別警報が最初に発表され,同日21時 35分,22時40分,23時10分に表1-2に示す市 町村を対象として追加で大雨特別警報が 発表された.岡山県内では,県南東部の備 前市,赤磐市,和気町を除く全域に大雨特 別警報が発表された.岡山県における大雨 特別警報の多くは土砂災害のみが対象と なっており,浸水害も対象となったのは, 新見市などの6市であり,いずれも土砂災 害に対する大雨特別警報の発表後に追加 される形で発表となった.

表1.3 岡山県各市町村における大雨特別警報の発表時 刻³. 斜字は警報対象の追加発表. 土は土砂災害 に関する大雨特別警報, 浸は浸水害に対する大 雨特別警報を表す.

発表時刻	対象市町村
7/6 19:39	井原市 [±] ,高梁市 [±] ,新見市 [±] ,真庭市 [±] ,
	津山市土,美作市土,吉備中央町土,
	鏡野町土,美咲町土,西粟倉村土
7/6 21:35	岡山市 [±] ,総社市 [±] ,笠岡市 [±] ,新見市 ^{±浸} ,
	新庄村土
7/6 22:40	玉野市 [±] , 倉敷市 [±] , 浅口市 [±] , <i>井原市^{±浸}</i> ,
	高粱市生灵,津山市生灵,早島町土,里庄町土,
	矢掛町 [±] ,久米南町 [±] ,勝央町 [±]
7/6 23:10	瀬戸内市 [±] , <i>倉敷市^{±浸},浅口市^{±浸}</i>

大規模な氾濫被害が発生した小田川に 関しては,7月6日 21時50分に氾濫警戒情

報,同日22時20分に氾濫危険情報,7月7日0時30分に氾濫発生情報がそれぞれ発表された.小田川流域 で氾濫危険情報が発表された時刻は,流域を有する倉敷市で大雨特別警報が発表された時刻よりも20 分前であったが,7月5日19時40分に洪水警報が発表されてから24時間以上継続された中であったこと も留意する必要がある.

岡山県内での土砂災害警戒情報は、7月5日17時00分に津山市、真庭市、鏡野町、17時30分に美作市、 奈義町、美咲町、西粟倉村の県北部を中心とした地域を対象として発表され、同日18時~22時の時間帯 において、岡山市と吉備中央町(18時55分)、笠岡市(20時15分)、倉敷市、玉野市(いずれも21時25分)が 対象地域として追加された.土砂災害警戒情報の対象区域は7月6日以降も対象区域が広げられ、9時25 分には井原市、総社市、浅口市、早島町、里庄町の3市2町、15時10分には新見市、15時25分には高梁 市と勝央町、18時00分には新庄村、18時25分には久米南町、21時00分には和気町と矢掛町、21時30分に は赤磐市、23時15分には備前市と瀬戸内市がそれぞれ追加された.土砂災害警戒情報は7月8日7時50分 に一部の市町で解除されたのち、同日13時50分に岡山県全域で解除された.

3.3. 山口県における気象情報の発表4)

山口県内では、大雨洪水警報の発表対象となった市町はなかったが、7月5日から7日にかけて県内 の各市町に大雨警報が発表された.7月5日1時50分に周南、下松、岩国の3市を対象として大雨警報 (土砂災害)が発表され、同日2時42分には光市に大雨警報(土砂災害)が発表された.以降、7月5日16時 7分までの間に、周防大島、上関、平生、阿武の4町を除く全域に大雨警報が発表された.山口県西 部、北部と山口市では、7月7日5時48分に大雨警報から大雨注意報に変わり、7月9日5時6分に注意報 を解除した.それ以外の市町では、一度大雨注意報に切り替わった後、同日16時34分、および22時13 分に再度大雨警報が発表されて7月9日5時6分に大雨注意報に切り替わり、8時53分に注意報解除とな った.

山口県内で洪水警報が発表されたのは、和木、周防大島、上関、平生、阿武の5町を除く13市1町で あった.7月5日に下松市(2時42分~6時18分)で洪水警報が発表されたのをはじめ、7月6日の午前中か ら夕方にかけて各市町で洪水警報が発表された.同日午前中は、7時34分に下関市と山口市、8時36分 には、宇部、山陽小野田、萩、美祢、長門の県西部と北部の5市で洪水警報が発表され、山口市を除 く西部と北部は同日23時55分に警報が解除された.7月6日午後に入り、防府市で13時24分、周南、岩 国、光の3市で15時18分、下松市で16時35分に洪水警報が発表された.7月7日未明には、県東部の柳 井市と田布施町で3時22分に洪水警報が発表された.防府市は7月6日23時55分に洪水警報から洪水注 意報へ切り替え、山口、下松、柳井の各市と田布施町では7月7日5時48分に洪水注意報に切り替え、 周南、岩国、光の各市では、7月7日16時34分に洪水注意報に切り替えられた.

山口県内の土砂災害警戒情報は、7月6日4時55分に下関市を対象として発表されたのをはじめ、午前 7時~9時の時間帯の中で、宇部、山陽小野田、美祢の各市で7時25分、山口市で7時40分、萩市、長門市、 阿武町で8時10分、防府市で8時45分にそれぞれ追加発表された. 同日午後に入り、14時~17時の時間 帯において、県東部や周南・下松地域に土砂災害警戒情報が発表され、18時30分の時点で県内の全市 町に対象地域が拡大された. その後、県北部では7月6日22時30分、美祢市を含む県西部では7日5時35 分に解除され、県中部と南部では7月7日14時50分までに解除された. 周防大島町と柳井市では7月8日 未明(それぞれ1時10分と5時00分)に再度土砂災害警戒情報が発表され、同日中に解除された.

3.4. 各種気象情報の周知と課題

上述の通りに,各市町村を対象として,大雨警報,大雨特別警報,洪水警報,土砂災害警戒情報な ど,大雨による浸水害や土砂災害に関する様々な気象情報が発表されてきた.これらの警報や気象情 報とは別に,全般的な気象情報として大雨に関する注意情報が気象庁や各管区・地方気象台より発表 されている.

広島地方気象台では、7月2日から3日かけて台風第7号の接近に伴う気象情報を発表し、国土交通省 中国地方整備局および広島県庁に今後の見通しについて説明を行った.7月4日16時20分に大雨に関す る広島県気象情報の第1回目発表を行い、8日までに計15回情報提供を行った²⁾. 岡山地方気象台も広島 地方気象台と同様、7月4日16時20分より大雨に関する気象情報の発表を開始し、7月8日までの間に計 19回情報提供を行った³⁾. 下関地方気象台では、7月4日16時50分に大雨に関する気象情報の発表を開始 し、7月9日までに計23回発表⁴⁾を行った.

以上より、今回の豪雨に関しては、前線全体規模の大雨の発生の可能性については、7月4日の時点 で既に気象庁から発表されており、広島、岡山両地方気象台では、7月5日午後に県庁や国土交通省に 対して大雨の今後の見通しに関する説明を行い、必要に応じて対象市町村にホットラインによる支援 や県庁にリエゾン派遣を行うなど、発災前からの情報発信や行政対応支援を積極的に行っていた.一 連の情報を自助・共助・公助の観点から十分に利活用できたかについては今後更なる検討が必要であ る.

4 近年の豪雨災害との類似点および相違点.

梅雨前線および秋雨前線おける集中豪雨について,前線の構造的性質や地形との関連性などから、 集中豪雨が発生しやすい領域について,過去の研究からいろいろと指摘され,議論されてきている. その一つの特徴が前線の南側に形成される上空の湿潤空気(湿舌)の南縁付近で集中豪雨が発生しや すい⁵⁾というものである.1時間100mmを超える記録的,猛烈な雨が数時間続く事例が近年報告され ているが,例えば,2014年8月広島豪雨⁶,2013年7月山口島根豪雨では,いずれも前線の南側300km 前後の位置で集中豪雨が発生した.

一方,南北に蛇行している停滞前線が上空にあるときに,前線の暖湿気側から乾燥(寒気)側に遷移

17

する際に,数10分~2時間程度の間,1時間数10mmの大雨を伴う場合がある.例えば,1999年6.29災害 の時の降雨状況や2003年7月の梅雨末期の降雨⁷がこれに該当する.広島県西部をはじめとする中国 地方沿岸は,前線が概ね南西—北東方向に向いているときに,海面付近の下層暖湿気が豊後水道や九 州北部から回り込んで入りやすい傾向にあり,これに上空の乾燥空気が前線の北側から入ってくる と,山口県東部から広島県の山陽地方で大雨になりやすい.

今回の大雨は,前線が本州上空に停滞する中で,数mm~20mm程度のやや強い降雨が続く中に, 上述のうちの後者のメカニズムの作用により,1時間40~80mm規模の大雨が数時間のうちに複数回 発生したところが,土砂災害や洪水の実態解明の上で重要となる.前線の南北移動伴う大雨は,梅雨 末期において比較的良く見られるものであり,本事例も一連の典型的なメカニズムの組み合わせの一 っとして捉えられる.尚,広範囲での長期間大雨という観点から,昭和47年7月豪雨や昭和57年7月豪 雨等,過去数10年間の事例との広域的な気象場の比較を行い,地球温暖化進行による豪雨の発達傾向 への影響について,今後更なる研究が必要である.

5 まとめ

平成30年7月豪雨に関する気象状況のうち、中国地方で特に大きな被害を発生させた大雨は、7月5日から8日にかけて本州上空に梅雨前線が停滞した期間のものである。

(1)総観規模の気象場から述べれば、台風第7号通過後のオホーツク海高気圧の発達に伴う湿潤空気のブロッキング、活発な太平洋高気圧の南縁や南シナ海、中国内陸からの大量の湿った空気の流入、 そして、上空のチベット高気圧と太平洋高気圧の間に位置する朝鮮半島上空の上層の気圧の谷が、梅 雨前線の南側の広範囲の長時間降雨を司ったと考えられる.

(2) 中国地方における降雨の特徴としては、1時間降水量は概ね10~20mm程度、最大で50~70mm程度で記録的な強さと呼べるものではなかった.ところが、比較的弱めの降雨が数10時間持続することで、積算時間24時間以上の雨量で観測史上最大となる地点が続出した.中国地方においては、広島県南部から岡山県北部にかけて期間降水量が400mmを超える区域が広がっており、岡山県の瀬戸内海側では300mm前後であった.

(3) 広島県における土砂災害の最終的な引き金となる大雨は,7月6日18:00~21:00に広島市安芸区, 坂町,呉市を中心として発達した線状降水帯と7月7日1:00~8:00の間に,山口県周防半島で発達した 線状降水帯の通過によるものであったと考えられる.いずれも,中国地方上空で梅雨前線が南北にゆ らぎ,暖湿側から乾燥側に位置関係が変化する際に発生したものと考えられる.前半はやや弱い帯状 の降雨の中に,バックビルディング型の線状降水帯が発達したものと見られ,後半は,中間規模(メ ソ)低気圧が前線上に発生し,前線の南西側で乾燥空気流入が強まった結果,降水帯が南北に延びる 特徴を持ったと考えられる.

(4) 台風通過後の7月4日の時点より、大雨に関する気象情報を発表し、7月5日には広範囲で大雨警報 や洪水警報が発表されており、特別警報の発表の可能性を含めた情報発信が様々行われた.事前に発 信された情報を自助・公助・共助の観点からどの程度利活用されたか、その実態把握が求められる.

参考文献

1) 気象庁:日々の天気図 (2018年6月,7月) https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html.
 2) 広島地方気象台:平成 30年7月3日から8日にかけての台風第7号と梅雨前線による大雨について、平成 30年7月8日発表、35p.

3) 岡山地方気象台:平成 30 年 7 月 3 日から 8 日にかけての台風第 7 号と梅雨前線による大雨について、平成 30 年 7 月 10 日発表, 28p.

4) 下関地方気象台:災害時気象資料,平成 30 年 7 月 3 日から 8 日にかけての台風第 7 号と梅雨前線 による大雨について,平成 30 年 7 月 10 日発表, 20p.

5) 吉崎正憲,村上正隆,加藤輝之(編):メソ対流系,気象研究ノート第208号,386p.,2005年

6) 田中健路:平成 26 年 8 月広島豪雨土砂災害をもたらした大雨の発生条件について,消防科学と情報,vol.120,44-49,2015 年

7) 栗原佳代子,金森恒雄,瀬古弘:2003年7月18日に広島県で発生した線状降水帯 ―気象庁非静力 学モデルで解析した気流構造と地形や中層乾燥気塊の効果―,天気,第56巻,pp.613-626,2009年

1. はじめに:災害の概要

岡山県において2018年7月5日から7日にかけて降り続いた豪雨は、広範囲において甚大な洪水被害や土 砂災害をもたらした.主な被災地域は高梁川水系小田川であるが、それ以外にも旭川や高梁川の県管理 区間や、砂川では堤防決壊や越水が生じた.小田川下流部では支川を含めて8箇所の堤防決壊が生じ、倉 敷市真備町では広範囲で浸水被害が発生した.また、県内各所では斜面崩壊やため池の損壊も生じた.

本豪雨によりもたらされた岡山県下の被害状況を表1-1¹⁾,表1-2^{2),3},表1-3⁴⁾に示す.これらのデータは 岡山県のwebサイトなどにて公表されている資料を整理したものである.被害は,人的被害,住家被害に 加え,断水や停電,交通機関,道路などのライフラインの途絶による被害も発生している.表1-1には人 的被害・住家被害状況を示す.岡山県では人的被害は61名で,倉敷市真備町では51名と突出している. 真備町では小田川やその支川での大規模な浸水により,60代以上の方が数多く亡くなり,町全体の9割を 占めた.表1-2にはライフライン等の被害状況を示す.小田川の外水氾濫に加えて,県内では内水氾濫が 多数の箇所で生じたため,ライフラインに障害が発生している.道路・交通の被害は主に,河川氾濫や 土砂災害によるものである.

被害項目	分類	岡山市	倉敷市	津山市	玉野市	井原市	総社市	高梁市	新見市	瀬戸内市
			52							
	死者	2	(うち真備町			2	2			
人的被害(人)			51)							
	行方不明者							1	1	
	重傷者		3				2	1		
	軽傷者	4	103			4	36	1	1	
住家被害(棟)	全壊	12	4285	3		9	96	58	3	
	半壊	1149	1085	1	2	32	540	248	2	
	一部半壊	21	529	20	5	17	500	6	9	3
	床上浸水	2132	69			126		56	30	
	床下浸水	4389	1	184	13	148	369	90	92	1
被害項目	分類	赤磐市	浅口市	真庭市	笠岡市	備前市	美作市	和気市	早島町	里庄町
人的被害(人)	死者		1		1					1
	行方不明者									
	重傷者		1		1					
	軽傷者				3					
	全壊			2	5					
	半壊	5	2	4	55			18		
住家被害(棟)	一部半壊	3	8	12				2	1	5
	床上浸水	10	5	35	152	4	27	6		
	床下浸水	34	61	82	128		74	30	51	9
被害項目	分類	矢掛町	鏡野町	吉備中央町	西栗倉村	新庄村	勝央町	奈義町	美咲町	県全体
人的被害(人)	死者									61
	行方不明者		1							3
	重傷者									8
	軽傷者	1								153
	全壊	4	1							4478
	半壊	203	1							3347
住家被害(棟)	一部半壊	50	26	6						1223
	床上浸水	142		3	3				3	2803
	床下浸水	129	15	7	13	1	6	2	30	5959

表1-1 人的被害·住家被害状況(平成30年9月5日(水)14:00現在)

	倉敷市:約7600戸 断水							
①水道	新見市:約540戸 断水							
2電話	倉敷市真備町:加入電話等:3100回線 使用不可、フレッツ光等:29	000回線 使用不可、専用線等:60回線 (吏用不可					
3電気	岡山県内:約51200戸 停電							
ふギュ	倉敷市真備町;936戸(旧簡易ガス),供給停止							
<u>а</u> лх	倉敷市広江区;20戸(都市ガス), 供給停止							
同苦吸胆病	【通行規制:2018年7月22日15:00時点】県管理道路151箇所(全面通行禁止73箇所、片側通行禁止68箇所、その他10箇所)							
③迫陷舆係	うち崩土によるもの59箇所 路肩崩壊によるもの72箇所、国道181号、430号、484号、486号で通行止め箇所あり							
	運休区間:2018年7月7日0:00時点	バスによる代行の有無	復旧見込み					
	山陽本線 笠岡~梅田市間 岩国~徳山間 一部不通(180km)	有(三原~白石間)	数ヶ月~年内					
	井原鉄道井原線 総社~神辺間 全線不通(41.7km)	有(総社~三谷間)	1か月以上					
	津山線 岡山~津山間 全線不通(58.7km)	有(岡山~金川間)	8月上旬					
⑥交通機関	因美線 用瀬~東津山間 一部不通(49.7km)	有(津山~智頭間、津山~美作河井間)	数ヶ月~年内					
	芸備線 備中神代~広島間 全線不通(151.9km)	有(新見~備後落合間)	数ヶ月~年内					
	姫新線 上月~新見間 一部不通(107.2km)	有(津山~佐用間、新見~津山間)	数ヶ月~年内					
		有(総社~備中高梁間、備中高梁~	0日上句					
	旧调禄 启敖~工石兑间 一部个通(80.7km)	新見間、新見~上岩見間)	8月上旬					

表1-2 ライフライン等の被害状況

表1-3 人命及び家屋の被害

		平成30年7月	平成10年10月	昭和47年7月
		豪雨	集中豪雨	集中豪雨
	死者(人)	60	4	16
人	行方不明者(人)	2	1	
	重軽傷者(人)	10	15	43
	全壊(棟)	4473	11	270
家屋	半壊(棟)	4258	122	1000
	床上浸水(棟)	2619	2175	3588
	床下浸水(棟)	5592	2810	13633

表1-4 水系毎の既往水害との被害の比較

	発生原因	諸量	旭川	高梁川	吉井川
		ピーク流量(m³/s)	4610	8000	5000
四千つ4つ左		2日雨量(mm)	268.7	273	272
1111年14月 11日	垢雨前緽	死者·行方不明者(人)	諸重 旭川 高梁川 吉井川 -夕流量(m³/s) 4610 8000 5000 日雨量(mm) 268.7 273 272 行方不明者(人) 4 3 3 全半壞(戸) 25 227 13 上浸水(戸) 1225 2144 70 下浸水(戸) 3084 5203 728 -夕流量(m³/s) 4310 7200 8000 日雨量(mm) 179.9 145 174 行方不明者(人) 3	3	
/月 焦山三西	竹井下月月月	全半壊(戸)		13	
未中家的		全半壊(戸) 25 227 13 床上浸水(戸) 1225 2144 70 床下浸水(戸) 3084 5203 728 ピーク流量(m ³ /s) 4310 7200 8000 2日雨量(mm) 179.9 145 174 死者・行方不明者(人) 3	70		
		床下浸水(戸)	3084	5203	728
		ピーク流量(m³/s)	4310	7200	8000
平成10年 10月		2日雨量(mm)	179.9	145	174
	公国10日	死者·行方不明者(人)	3		
10月 焦山宣王	音風10号	全半壊(戸)			14
朱甲家附		床上浸水(戸)	358	14	3229
		床下浸水(戸)	615	130	2661
平成30年		ピーク流量(m³/s)	4500	9000	
7月 豪雨	梅雨前線	累加雨量(mm)	ピーク流量(m ³ /s) 4610 2日雨量(mm) 268.7 渚・行方不明者(人) 4 全半壊(戸) 25 床上浸水(戸) 1225 床下浸水(戸) 3084 ピーク流量(m ³ /s) 4310 2日雨量(mm) 179.9 諸・行方不明者(人) 3 全半壊(戸) 358 床下浸水(戸) 615 ピーク流量(m ³ /s) 4500 累加雨量(mm) 361	429	406

表1-3には人命及び家屋の被害に関して、岡山県内の過去の水災害との比較を示す.また、表1-4^{5),6),7)}には参考として、岡山県内の一級河川での流量規模と流域毎の被災状況を併せて示した.昭和47年には 梅雨前線が中国地方に停滞した影響で継続的に雨が降り、4日間雨量で500mmを記録した.また、平成10 年には台風第10号が岡山県玉野市付近に上陸した影響で,2日間雨量で180mmを記録した. 図1-1~図 1-5^{5),6,7)}にはこの時の岡山市内(京橋地区,海吉地区),美作町および倉敷市真備町での洪水氾濫・浸水状 況を示す. 今次豪雨では小田川での大規模な浸水被害により,過去の水害に比べて,死者や家屋全壊が 著しく大きい. また,外水氾濫以外にも内水氾濫が多数生じ,浸水被害があった. 図1-6 には岡山市内の 氾濫状況を示す.



位置:岡山市内(京橋地区) 位置:岡山 図1-1 旭川の被災状況(昭和47年7月洪水)⁵⁾



位置:岡山市内(海吉地区) 年7月洪水)⁵⁾



位置:岡山市内 (東西中島地区)



位置:岡山市内 (分流地点と中原地区)

図1-2 旭川の被災状況(平成10年10月洪水)⁵⁾



図1-3 吉井川での洪水状況(昭和47年7月(梅雨前線),美作町(旧柵原町))の



図1-4 高梁川水系小田川の堤防決壊による浸水状況(昭和47年7月洪水,倉敷市真備町遠田地区)⁷⁾ 注:元出典は昭和47年豪雨災害誌(建設省).



図1-5 平成10年10月洪水の浸水区域(吉井川)の



図1-6 平成30年7月豪雨による岡山市内の浸水区域(内水氾濫の被害,岡山市提供)

引用文献

- おかやま防災ポータル:岡山県公式HP http://www.bousai.pref.okayama.jp.cache.yimg.jp/bousai/
- 平成30年7月豪雨による被害状況等について:内閣府防災担当発表 http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/300730_h30typhoon7_01.pdf

- 岡山県災害報道発表 : 岡山県公式HP http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/574773_4683866_misc.pdf
- 過去の主な土砂災害:砂防資料室 岡山県土木部防災砂防課 http://www.d-keikai.bousai.pref.okayama.jp/pc/kanren/kako.html
- 5) 旭川水系河川整備計画【国管理区間】平成25年3月発表:国土交通省 中国地方整備局
- 6) 吉井川水系河川整備計画【国管理区間】平成 29 年 12 月発表: 国土交通省 中国地方整備局
- 7) 高梁川水系河川整備計画【国管理区間】平成 29 年 6 月発表: 国土交通省 中国地方整備局

2. 調査団の概要

本報告は災害発生直後に行われた調査結果である. 岡山県の調査団の構成を以下に示す.

岡山河川:

団長:前野詩朗(岡山大学)

団員:近森秀高(岡山大学),吉田圭介(岡山大学),工藤亮治(岡山大学),赤穂良輔(岡山大学) 協力団員:二瓶泰雄(東京理科大学),赤松良久(山口大学)

岡山土砂:

団長:西村伸一(岡山大学)

団員:西山哲(岡山大学),竹下祐二(岡山大学),小松満(岡山大学),柴田俊文(岡山大学),珠玖 隆行(岡山大学),金秉洙(岡山大学)

3. 調査報告

3.1 気象状況と河川水位状況

3.1.1 気象状況

図 3-1-1¹⁾に 2018 年 7 月 5 日から 8 日までの地上天気図と衛星写真を示す. 6 月 29 日に日本の南海上 で発生した台風第 7 号は 7 月 3 日夜に対馬海峡を通過し,4 日には日本海に進み同日 15 時に日本海中部 で温帯低気圧に変化した.その後,この低気圧からのびる梅雨前線が西日本上空に停滞し,南からの暖 かく湿った空気が流れ込み続けたことで前線の活動が非常に活発となった.

3.1.2 降雨状況

図 3-1-2²にはレーダ雨量計による降雨量の時間変化を示す.前線に伴う降雨は7月5日の午後から夜間まで,および7月6日の午後から翌日7月7日の夜明けまでの2つの時間帯で断続的に生じた.特徴的なこととして,いくつもの線上降水帯が北東から南西にかけて伸び,それらが中国地方を西から東に通過し,岡山県内のほぼ全域に渡って降雨をもたらした点である.結果として,降雨強度として,線上降水帯付近では時間雨量で約10mmから最大 50mm 程度,その他では1mmから10mm 程度の降雨が3日間程,続いた.



図 3-1-1 天気図及び気象衛星画像 ¹⁾

図 3-1-3¹⁾には7月3日00時~7月8日24時までのアメダスによる期間降水量の平面分布と気象台観測 所の位置図を示す.岡山県ではほぼ全域で300mmを超える雨量があったが、これは7月の平均月間降



図 3-1-2 レーダ雨量の時系列変化

水量の2倍程度に相当する.県北で比較的降雨が多く,県北の智頭や恩原で約500mm,新見で446mm, 高梁で371mm,赤磐で315mm,また県南の岡山で338mm,矢掛で306mm,倉敷で294mm,和気で322mm の降雨があった.図3-1-4¹⁾には各地点での1時間雨量の時系列を示す.概ね,線上降水帯の通過と相 関して,7月5日の午後から夜間,および7月6日の午後から翌日7月7日の夜明けまでの各時間帯で 降雨が見られる.後の期間の降雨の方が降雨強度は相対的に大きく,また時間が長い.県南の岡山や赤 磐では7月6日の夜間に最大20mm程度の降雨が観測されているが,県北の津山や新見では同時間帯に 時間30mmを超える大雨が観測された.



図 3-1-3 アメダス期間降水量 1)(7 月 3 日 00 時~7 月 8 日 24 時)



図 3-1-4 アメダスによる降雨量の時系列¹⁾ (観測所の位置は図 3-1-3 に記載)

表 3-1-1 岡山気象台が発表した情報

●:発表	◇:特別警報か	ら警報 ▽:特	別警報から	注意報 ▼:警	報から注意報	〇:継続	解:解除
浸:浸水器	上:土砂災害	土浸:土砂災	害.浸水害	斜体字:発	表 下線:特別	警報から警	铎報

		_	_		_	_		_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_		_			
発表時刻	警報·注意報	岡山市	玉野市	瀬戸内市	吉備中央町	備前市	赤磐市	和気町	倉敷市	総社市	早島町	笠岡市	井原市	浅口市	里庄町	矢掛町	高梁市	新見市	真庭市	新庄村	津山市	鏡野町	久米南町	美咲町	美作市	勝央町	奈義町	西粟倉村
7月5日 19時40分	大雨警報	土浸	±	±	±	±	±		土浸	土浸	±	土浸	±	土浸	土浸	±	±	±	土浸	±	土浸	±	±	土浸	±	土浸	±	±
	洪水警報	O			Ο					Õ			0				0	Ο	O		Ō	0	Ο	O	Ο	O	\bigcirc	\bigcirc
	大雨注意報							\bigcirc																				
	洪水注意報		\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc		\bigcirc			\bigcirc									\bigcirc								
発表時刻 7月5日 19時40分 7月5日 23時08分 7月6日 05時53分 7月6日 15時45分 7月6日 17時42分 7月6日 19時39分 7月6日 21時35分	大雨警報	土浸	±	±	±				土浸	土浸	±	土浸	±	土浸	土浸	±	±	±	±		±	±	±	±	±		±	±
	洪水警報	\bigcirc			0		0		\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc								
	大雨注意報 洪水注意報		0	0		▼ ○	▼	0			0									▼			▼			▼		▼
7月6日 05時53分	大雨警報	±	±	±	±				±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±		±	±	±	±	±		±	±
	洪水警報	\bigcirc			\bigcirc		\bigcirc		0	\bigcirc		\bigcirc	0	\bigcirc	0	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	0		0	\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	
	大雨注意報					\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc												\bigcirc						\bigcirc		
	洪水注意報		\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc		\bigcirc			\bigcirc									\bigcirc			\bigcirc					\bigcirc
7月6日 09時35分	大雨警報	±	±	±	±	\pm	\pm	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	洪水警報	0			0		Ο		0	\bigcirc		0	0	0	0	Ο	0	0	0		0	0		0	0	\bigcirc	\bigcirc	
	洪水注意報		0	0		0		0			0									0			0					0
7日6日 15時45分	大雨警報	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	土浸	±	土浸	±	±	±	±	±	±	±
7700 1307437	洪水警報	\bigcirc			\bigcirc		\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc		0	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	Ο	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc	勝央町 土 土 1 1 1		
発表時刻 7月5日 19時40分 7月5日 23時08分 7月6日 05時53分 7月6日 15時45分 7月6日 17時42分 7月6日 19時39分 7月6日 21時35分	洪水注意報		\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc		\bigcirc			\bigcirc									\bigcirc			\bigcirc					
7日6日 17時42公	大雨警報	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	土浸	±	土浸	±	±	±	±	±	±	±
7月0日 17時年2月	洪水警報	\bigcirc			\bigcirc		\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	Ο	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc
	洪水注意報		0	0		0		\bigcirc			0																	
7月6日 19時39分	大雨特別警報				±								±				±	±	±		±	±		±	±		\pm	\pm
	大雨警報	±	±	±		±	±	±	±	±	±	±		±	土浸	±				±			±			±		
	洪水警報	0			0		Ο		0	\bigcirc		0	0	0	0	0	\bigcirc	\bigcirc	0	0	0	0	0	0	\bigcirc	\bigcirc	0	0
	洪水注意報		\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc					\bigcirc																	
	大雨特別警報	±			±					±		±	±				±	土浸	±	±	±	±		±	±		±	±
7月6日 21時35分	大雨警報		±	±		土浸	土浸	±	±		±			±	土浸	±							±			±		
	洪水警報	\bigcirc			\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc	0	0	\bigcirc													
	洪水注意報		\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc					\bigcirc																	

表 3-1-1¹⁾には本豪雨において,岡山気象台が7月5日19時40分から7月8日22時41分までに発令した岡山県内の気象警報・注意報を示す.ここで,表中,「●」は警報・注意報の発表,「○」は警報・注意報の継続,「解」は警報・注意報の解除,「◇」は特別警報から警報への切り替え,「▽」は特別 警報から注意報への切り替え,「▼」は警報から注意報への切り替え,「浸」は浸水害,「土」は土砂 災害,「土浸」は土砂災害と浸水害,「斜体字」は特別警報の発表,「<u>下線</u>」は特別警報から警報への 切り替えを示す.

本豪雨では岡山県内では先ず、7月5日の14時19分に、真庭市、津山市、美作市で大雨警報(土

発表時刻	警報·注意報	岡山市	玉野市	瀬戸内市	吉備中央町	備前市	赤磐市	和気町	倉敷市	総社市	早島町	笠岡市	井原市	浅口市	里庄町	矢掛町	高梁市	新見市	真庭市	新庄村	津山市	鏡野町	久米南町	美咲町	美作市	勝央町	奈義町	西粟倉村
7月6日 22時40分	大雨特別警報	±	±		±				±	±	±	±	土浸	±	±	±	土浸	土浸	±	±	土浸	±	±	±	±	±	±	±
	大雨警報			±		土浸	土浸	±																				
	洪水警報	\bigcirc			\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	0		0	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	Ο	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	Ο	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	0	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	0
	洪水注意報		0	\bigcirc		\bigcirc																						
	大雨特別警報	±	±	±	±				土浸	±	±	±	土浸	土浸	±	±	土浸	土浸	±	±	土浸	±	±	±	±	±	±	±
7月6日 23時10分	大雨警報					土浸	土浸	±																				
	洪水警報	\bigcirc			\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
7月7日 04時25分	大雨特別警報	±	±	±	±				土浸	±	±	±	土浸	土浸	±	±	土浸	土浸	±	±	土浸	±	±	±	±	±	±	±
	大雨警報					土浸	土浸	±																				
	洪水警報	\bigcirc	0	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	0	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	\bigcirc	Ο	Ο	\bigcirc	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
7月7日 10時33分	大雨特別警報	±	±	±	±				土浸	±	±	±	土浸	土浸	±	±	土浸	土浸	±	±	土浸	±	±	±	±	±	±	±
	大雨警報					±	±	±																				
	洪水警報	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
	大雨警報	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
7月7日 15時10分	洪水警報	0							0	0																		
	洪水注意報		▼	▼	▼	▼	▼	▼			▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
	大雨警報	t	1±	±	±	±	±	±	t	t	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
/月/日 23時0/分	<u>洪水警報</u>	\cup				\cap			\cup	\cup				\cap				\cap	\cap			\cap						
	洪水注息 致	-	\square	\square	\bigcirc		\bigcirc	\square	-	-	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc	\square	\bigcirc		\bigcirc	\square	\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc		$\underline{\bigcirc}$	\bigcirc	$\overline{\bigcirc}$
7日0日 02時22公	<u></u> 入的言和 洪水發起	-	1	-	-	-	-	-			1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7月0日 02時32万	<u>洪小言和</u> 洪水注音品	-	\cap	\cap	\cap	\cap	\cap	\cap			\cap	\cap	\cap	\cap	\cap	\cap	\cap	\cap	\cap	672	\cap	\cap	\cap	\cap	\cap	\cap	\cap	佃
	大雨擎報	+	+		+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<u></u>	+	+	+	+	+		+	+
	洪水警報	-	-						$\overline{\bigcirc}$	$\overline{\bigcirc}$		-							-			-		-				-
7月8日 10時26分	大雨注意報			▼		▼	▼	▼																		▼		
	洪水注意報	\bigcirc	0	Ó	解	解	Ó	Ó			解	0	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc	0	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc		\bigcirc	\bigcirc	解	解	解	解	\bigcirc	
	大雨警報	±	±		±				±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±		±	±		±	±			Ħ
7日9日 16時22公	洪水警報								O	\bigcirc																		
7月8日 10時22万	大雨注意報			0		\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc												▼			▼			\bigcirc	▼	
	洪水注意報	0	解	0			0	解				0	0	\bigcirc	解	0	0	\bigcirc	0		0	解					解	
	大雨警報											±	±									±						
7月8日 22時41分	洪水警報	-	-	477	_	<u>4</u> 71	<u>4</u> 77	4 77	Õ	1 <u>O</u>	_			_	_	-	_	_	_		_			_	_	<u></u> дл		_
77]0H 224] 117]	<u> 一 下 雨 江 意 報 </u>		▼	解		艄	<u> </u>	194		▼					▼					O			\bigcirc	▼	▼) 脌	\bigcirc	▼
	洪水注息 報	()		111年			1914	1	1	1	1	()	()	()		$\left(\right)$	()	()	()	1	()							

表 3-1-1 岡山気象台が発表した情報(続き)

砂災害)が発表された. その後,7月5日の15時39分に県内で大雨警報が発表される箇所が増えていき,5日の19時13分から翌6日の17時42分にかけては,瀬戸内海沿岸の市や町を除く岡山県内全域で土砂災害や浸水害をもたらす大雨警報や洪水警報が発表された.また,7月6日の19時39分から翌7日の10時33分までは数十年に一度の規模の降雨量となる,大雨特別警報(土砂災害,浸水害)が備前市,赤磐市,和気町を除く岡山県内全域で発表された.その後,7日の正午以降には強い雨は収まったが,土砂災害の懸念から7月8日の22時41分まで備前市,赤磐市,和気町を除く県内全域で大雨警報(土砂災害)は発令され続けた.

3.1.3 岡山県における降雨の統計解析^{3),4),5)}

以下では、岡山県内を対象に平成30年7月豪雨の雨量の規模を統計解析によって評価する.

(1) 解析資料の収集・整理

解析には、岡山県内の気象官署、アメダス(図 3-1-5)で観測された 30 年間(1988~2017)の時間雨 量および今回の豪雨資料として 2018 年 7 月 3 日~8 日までの時間雨量を用いた.



図 3-1-5 解析対象地点

(2) 評価手順

平成 30 年 7 月豪雨の確率評価手順を図 3-1-6 に示す.確率評価では過去 30 年の時間雨量データから 降雨強度(Intensity) —降雨継続時間(Duration) —発生頻度(Frequency)の関係を表す IDF 曲線を作成 し、同図に今回の豪雨から抽出した降雨強度一降雨継続時間の関係(以下,降雨強度曲線)をプロット することで,降雨継続時間ごとに豪雨規模の確率評価を行う. IDF 曲線はある確率年に従って発生する 降雨強度と降雨継続時間の関係を意味し,各確率年の IDF 曲線と平成 30 年 7 月豪雨の降雨強度曲線を 比較することで,複数の降雨継続時間に対応する確率規模が容易に評価できる.以下,具体的な手順に ついて説明する.

1)継続時間別年最大雨量の抽出

まず,収集した過去30年間の時間雨量から複数の継続時間の雨量を求め,その年最大値を抽出する. 平成30年7月豪雨はおよそ3日程度(7月5~7日)に集中していることから,降雨継続時間を1,3,6, 12,24,48,72時間と設定した.

2) 確率分布の適用

手順1)で抽出した各継続時間の年最大雨量に極値分布の一種である一般化極値分布を当てはめ、確


※IDF曲線: Intensity-Duration-Frequency曲線の略で、同発生頻度の降雨強度を連ねた曲線

図 3-1-6 評価手順の概要

※IDF 曲線: Intensity-Duration-Frequency 曲線の略で、同発生頻度の降雨強度を連ねた曲線

<一般化極値分布の概要>

一般化極値分布は、グンベル分布、フレシェ分布、ワイブル分布を包含する確率分布であり、分布関数は以下のようになる.

$$F(x) = \begin{cases} \exp\left\{-\left[1 - \frac{k(x-c)}{a}\right]^{\frac{1}{k}}\right\} & (k \neq 0) \\ \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-c}{a}\right)\right\} & (k = 0) \end{cases}$$
(1)

ここに, a, c, k: パラメータであり, k = 0のときグンベル分布となる. 確率密度関数は以下のようになる.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{a} \left\{ 1 - \frac{k(x-c)}{a} \right\}^{\frac{1-k}{k}} \exp\left\{ - \left[1 - \frac{k(x-c)}{a} \right]^{1/k} \right\} & (k \neq 0) \\ \frac{1}{a} \exp\left\{ - \frac{x-c}{a} - \exp\left[- \frac{x-c}{a} \right] \right\} & (k = 0) \end{cases}$$
(2)

一般化極値分布の平均 μ および分散 σ_x^2 以下のように表される.

$$\mu = c + \frac{a}{k} \{ 1 - \Gamma(1+k) \}$$
(3)

$$\sigma_x^2 = \left(\frac{a}{k}\right)^2 \{\Gamma(1+2k) - \Gamma^2(1+k)\}$$
(4)

ここで, Γはガンマ関数であり,以下のように定義される.

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-t} t^{x-1} dt \tag{5}$$

<一般化極値分布のパラメータ推定>

一般化極値分布のパラメータは、確率分布関数F(x)の累乗で加重して求めた確率重み付き積率

(probability weighted moment, PMW)を用いるL積率法を用いて推定するのが一般的である(Hosking, 1990).

まず,確率分布関数に対する PWM は次式で表される.

$$\beta_{\gamma} = E\{X[F(X)]^{\gamma}\} = \int_{0}^{1} [xF(x)]^{\gamma} dF$$
(6)

ここに、 β_{γ} は 次の PWM であり、F(x)は x の非超過確率を示す. N 個の標本 x_j ($j=1, 2, \cdots, N; j$) は小さい方から数えた番号)の 次の PWM β_{γ} は以下のようになる.

$$\hat{\beta}_{\gamma} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N} x_j \{F(x)\}^{\gamma}$$
(7)

 x_j の非超過確率を示す F(x)は, j と標本の大きさ N とを用いてプロッティング・ポジション公式により 表すことができる. 一般化極値分布のパラメータ推定では以下に示す APL 式が用いられる.

$$F(x) = \frac{j - 0.35}{N}$$
 (8)

 γ 次の L 積率 λ_{ν} は, PWM を用いて以下のように表される.

$$\lambda_1 = \beta_0 \tag{9}$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \tag{10}$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \tag{11}$$

一般化極値分布の場合, $\lambda_1 \sim \lambda_3$ とパラメータの関係は次のようになる ($k \neq 0$ のとき).

$$\lambda_1 = c + \frac{a}{k} \{ 1 - \Gamma(1+k) \}$$
(12)

$$\lambda_2 = \frac{a}{k} (1 - 2^{-k}) \Gamma(1 + k) \tag{13}$$

$$\frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} = \frac{1 - 2^{-k}}{1 - 3^{-k}} \tag{14}$$

これらの式から一般化極値分布のパラメータ*a,c,k*を求めることができる.

式(14)からはkを陽的に表すことができないが、kについては以下のような近似式が知られている.

$$k \approx 7.8590d + 2.9554d^2 \tag{15}$$

$$\Box \Box \breve{C}, \ d = \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} - \frac{\ln 2}{\ln 3} = \frac{2\beta_1 - \beta_0}{\beta_2 - \beta_0} - \frac{\ln 2}{\ln 3}$$
(16)

である.

<適合度の評価>

一般化極値分布の適合度は、プロッティング・ポジション公式を用いた確率紙による方法と標準最小 二乗規準(SLSC)を用いる方法との2通りの方法で評価した.

確率紙による方法による確率分布の適合度は,当てはめた確率分布関数とプロッティング・ポジショ ン公式を用いて計算したそれぞれの非超過確率を比較することにより視覚的に評価する.プロッティン グ・ポジション公式は,対象とした標本の大きさと標本値の大きさの順にならべて得られる順位から非 超過確率を計算するものである.本報告ではプロッティング・ポジション公式として次式のワイブルプ ロットを用いた.

$$P_j = \frac{j}{N+1} \tag{17}$$

ここに、j は昇順につけられた番号であり、 $P_j: j$ 番目の観測値の非超過確率、N は標本サイズである.

一方,標準最小二乗規準(SLSC)(高棹他 1986)により適合度を定量的に評価する. SLSC は次式 で表される.

$$SLSC = \frac{\sqrt{\varepsilon_{min}^2}}{|s_{1-p} - s_p|}$$
(18)

ここに、 s_{1-p} , s_p は非超過確率p, 1-pに対応する標準変量である.通常はp=0.01が用いられる. ε^2 は、i 番目の順序統計量 x_i に対する標準変量 s_i と、適当に定められる確率 p_i に対応する標準変量 s_i^* の 差の二乗平均で、以下のように表される.

$$\varepsilon^{2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (s_{i} - s_{i}^{*})^{2}$$
(19)

SLSCの値が0に近いほどその分布の適合度はよく、一般に0.04以下で、適合度がよいとされる.

<T年確率雨量の推定>

当てはめた一般化極値分布から T 年確率雨量を算出する. 確率年 T は 10, 30, 50 年とした. 一般化極値分布において, ある確率年 T に従う確率雨量 x_T は以下の式により求めることができる.

$$x_{T} = c + \frac{a}{k} \{1 - [-\ln F(x)]^{k}\} = c + \frac{a}{k} \{1 - \left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]^{k}\} \quad (k \neq 0)$$

$$x_{T} = c + a \cdot \ln\{-\ln F(x)\}^{k} = c - a \cdot \ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right\} \quad (k = 0)$$
(20)

3) 降雨継続時間---降雨強度の関係の整理

手順2)により算出した確率雨量を降雨継続時間で除すことで降雨強度(mm/h)に換算した後,確率 年毎に継続時間と降雨強度の関係を両対数紙にプロットして IDF 曲線を作成する.また,平成 30 年 7 月豪雨から各継続時間の降雨強度の最大値を抽出し,抽出した降雨強度から作成した降雨強度曲線を, IDF 曲線と同図にプロットすることで継続時間ごとに降雨強度の確率評価を行う.

(3)評価結果

1) 一般化極値分布の適合結果

各継続時間雨量の年最大値に一般化極値分布を当てはめた例として佐屋と岡山の結果を示す(図 3-1-7,図3-1-7).まず佐屋(図3-1-7)では,継続時間1時間,3時間,48時間でSLSCが0.04を上 回っている.これは,上位1~2位の雨量のワイブルプロットが一般化極値分布を示す曲線と乖離してい るためと考えられる.その他の継続時間では、グラフ上でも両者はよく適合しており,SLSCも0.04以 下となっている.一方,岡山(図3-1-7)では継続時間が24時間以上になると上位の降雨で一般化極値 分布とワイブルプロットが乖離しているものの,全ての継続時間でSLSCが0.04を下回っている.それ ぞれの地点で各継続時間のSLSCを平均すると佐屋,岡山ともに0.033となった.その他の地点を含め ると各継続時間のSLSCの平均は21地点中17地点で0.04以下となった.より適合度を重視する場合に は、複数の確率分布からSLSCが最小となる確率分布を採用することも考えられるが、本報告では一般 化極値分布のみでも全体として良好な適合度が得られている判断した.



GEV:当てはめた GEV で求めた非超過確率

ワイブルプロット:実測値にワイブルプロットを適用して求めた非超過確率



図 3-1-8 GEV の当てはめ(岡山)

GEV:当てはめた GEV で求めた非超過確率

ワイブルプロット:実測値にワイブルプロットを適用して求めた非超過確率

2) 平成 30 年 7 月豪雨の確率評価結果

図3-1-9~図3-1-11に IDF 曲線および今回の豪雨における降雨強度曲線を両対数紙にプロットした結果を示す.図3-1-5に示すように,被害の状況を鑑み岡山県を西部,北部,中南東部の3地域に分けて確率評価を概観した.

<岡山県西部(図 3-1-9)>

まず,継続時間1時間をみると、今回の豪雨の降雨強度は全地点で10年確率のIDF曲線を下回っている.図示していないが、今回の豪雨における1時間の降雨強度はおよそ2年確率(平年値)の降雨強度と同程度であった.一方で,継続時間が長くなるほど今回の豪雨の降雨強度曲線が確率年の大きなIDF

曲線の降雨強度を上回っていることがわかる.たとえば今回大きな被害を受けた小田川流域の上流部に あたる佐屋や高梁川流域である高梁,千屋,新見,下呰部では,6時間以上の継続時間では50年確率の IDF曲線を大きく上回る降雨強度を示している.その他,笠岡,矢掛など県西南部でも継続時間が概ね 12時間を超えると確率年が50年を超える傾向がみられる.



図 3-1-9 平成 30 年 7 月豪雨の雨量の確率評価(県西部)

※黒線は過去 30 年(1988~2017 年)の資料から推定した継続時間別の確率降雨強度で、上から順に 50 年確率、30 年確率、10 年確率の降雨継続時間-降雨強度の関係を表している



※赤線は平成30年7月豪雨のうち7月5日~8日の4日間の時間雨量から抽出した降雨強度である

図 3-1-10 平成 30 年 7 月豪雨の雨量の確率評価(北部)

※黒線は過去30年(1988~2017年)の資料から推定した継続時間別の確率降雨強度で、上から順に50 年確率、30年確率、10年確率の降雨継続時間-降雨強度の関係を表している ※赤線は平成30年7月豪雨のうち7月5日~8日の4日間の時間雨量から抽出した降雨強度である

<岡山県北部(図 3-1-10)>

西部と同様にどの地点でも継続時間が長くなるほど、確率年が大きくなる傾向にある.特に久世や津山、奈義などで12時間を超えると50年確率を大きく上回っている.またその他の地点も24時間を超えると概ね50年確率と一致、もしくは若干ではあるが上回る傾向がみられる.

<岡山県中南東部(図 3-1-11)>

岡山県南部でも西部や北部と同様に継続時間1時間の降雨強度は10年確率を大きく下回るのに対し, 継続時間が長くなるほど確率年が大きくなる傾向を示している.ただし,同地域の中でも確率年の大き い岡山や倉敷,福渡などでもほぼ50年確率と一致しており,50年確率を大きく上回っている西部や北 部などと比較すると,あくまで他地域と比較してではあるが,中南東部の確率年は比較的小さいといえ る.



図 3-1-11 平成 30 年7月豪雨の雨量の確率評価(中南東部)

※黒線は過去30年(1988~2017年)の資料から推定した継続時間別の確率降雨強度で、上から順に50 年確率、30年確率、10年確率の降雨継続時間-降雨強度の関係を表している ※赤線は平成30年7月豪雨のうち7月5日~8日の4日間の時間雨量から抽出した降雨強度である 以上より,今回の豪雨では継続時間が1時間や3時間などの短時間の雨量は概ね平年並みであったものの,12~24時間を超える継続時間の雨量は,少なくとも近年では発生していない規模であったと評価できる.

最後に、今回の豪雨の確率年の空間分布を吟味した(図 3-1-12).同図には参考のために流域界を示している.まず、IDF曲線による評価でも示したように降雨継続時間が1時間、3時間の雨量では10年以下の確率年を示す地点が多い.ただし、西部では3時間降雨強度で10年確率を上回る地点もある.6時間、12時間になると西部の多くの地点で50年確率を超える降雨強度となり、24時間を超えると西部以外の北部、中南東部でも確率年50年を上回る地点が多くなる.72時間になると大部分の地点で50年確率を超えている.

流域別に見ると、高梁川流域では上流から下流にかけて、概ね 12 時間以上の継続時間の雨量は、確率 年が 50 年を超えている. 同様に旭川流域もほぼ全地点で 50 年確率を上回っており、被害の大きかった 2 流域では流域全体で長時間雨量の規模が大きかったと考えられる. また、岡山や倉敷など岡山南部の 一部でも 24 時間以上の雨量の確率年が 50 年を超えており、このことが笹ヶ瀬川や砂川など南部の比較 的流域面積の小さい河川で内水氾濫や外水氾濫による被害が生じた要因と考えられる. 一方、吉井川流 域では上流に比べ、下流では確率年が相対的に小さい. 吉井川流域でも被害はあったと考えられるが、 降雨分布としては他 2 つの一級河川と異なっている.

(4) 確率評価のまとめ

確率評価で得られた結果をまとめると以下のようになる.

- 1) 今回の豪雨において、1 時間降雨強度の確率年は 10 年を下回っており、概ね平年並である 2 年確率 程度であった.
- 2) 降雨継続時間が長くなると、今回の豪雨の降雨強度は確率年の大きい IDF 曲線を上回るようになり、 継続時間が長いほど確率年が大きくなる傾向がみられた.
- 3) 確率年の空間分布を吟味すると,県西部では6~12時間の平均降雨強度の確率年が50年超える地点 が多くなる.一方,継続時間24時間以上の平均降雨強度の確率年は,県内の広い範囲で50年以上を 示すようになる.
- 4)被害の大きかった高梁川や旭川では上流域から下流域にかけて 50 年確率を超える規模の降雨が発生しており、規模の大きい降雨が流域全体で発生していたと考えられる.一方、吉井川流域では上流域に比べ下流域で確率年が相対的に小さい傾向が認められ、降雨分布は他の一級河川とは異なっていた.
- 5) 岡山や倉敷など岡山南部の一部でも24時間以上の雨量の平均降雨強度の確率年が大きくなっており、 このことが笹ヶ瀬川や砂川など南部の比較的流域面積の小さい河川で内水氾濫や外水氾濫による被害 が発生した要因になったと考えられる.

本報告では、気象庁の観測値を元に解析を行った.2級河川である笹ヶ瀬川や砂川などについては十 分な観測資料を入手しておらず、流域内の降雨分布について詳細な解析はできていない.今後、県、市 町村などで長期間観測している雨量データが入手できれば、笹ヶ瀬川や砂川でも流域内の雨量分布につ いて詳細な吟味が可能となる.



図 3-1-12 岡山県における観測雨量の確率年(平成 30 年 7 月豪雨時) 図中の太線は県界,細い点線は流域界で左から高梁川,旭川,吉井川を表しており, 南部の流域が笹ヶ瀬川を表している

引用文献

- 平成30年7月3日から8日にかけての台風第7号と梅雨前線による大雨について:岡山地方気象台 https://www.jma-net.go.jp/okayama/
- 日本気象協会(tenki.jp)HP https://tenki.jp/radar/7/36/
- 3) 田中丸治哉他(2016):地域環境水文学,朝倉書店, 144-166.
- 4) 高棹琢馬他(1986):琵琶湖流域水文データの基礎的分析,京都大学防災研究所年報,27B-2,157 171.
- 5) Hosking, J.R.M. (1990): L-Moments; analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics, Journal of Royal Statistics Society, B, 52,2,105-124.

3. 2. 河川災害

3.2.1 河川災害の概要

岡山県の主要水系は、高梁川水系、旭川水系および吉井川水系である(図3-2-1).本豪雨での各河川 (国交省管轄区間)の主要地点における雨量と水位の時間変化を図3-2-2¹⁾に示す.図において、日羽 と酒津は高梁川、矢掛は小田川、下牧は旭川、原尾島は百間川、津瀬は吉井川、尺所は金剛川における 河川の水位観測所を示し、水位の単位はT.P.mである.



図 3-2-1 岡山県の 3 水系における水位観測所とダムの配置



図 3-2-2 岡山県 3 水系における主要地点での雨量・水位の時系列変化 1)

各地点では雨量と水位には概ね相関があり、県北を流域にもたない尺所(金剛川)を除き、明瞭な水 位のピークが2回見られる.また、金剛川では雨量と水位の上昇に時間差はあまりないが、他の箇所で は水位上昇は降雨の6時間程度後に見られる.このことは尺所を除く地点では上流域での豪雨が洪水と して流下し、水位上昇をもたらした可能性が大きいと考えられる.また、本豪雨では降雨継続時間が長 かったため、どの地点においても7月6日の午後から深夜にかけての降雨によって氾濫危険水位を超え る洪水が発生している.

図 3-2-3 いには各観測所における年間最高水位の経年変化を示す.金剛川を除いて、本豪雨では各観

測所で既往最大の水位を記録したことが分かる.なお,吉井川,旭川,百間川では平成10年の洪水が, 高梁川では平成23年の洪水が,また小田川では昭和47年と51年の洪水が,今次豪雨による洪水に次ぐ 高水位として記録されている.

本豪雨では高梁川水系において,特に大きな河川被害および浸水被害が生じた.国直轄の主要河川の 被害状況を整理すると下記の通りである(図 3-2-4).

・吉井川水系吉井川:堤防からの漏水が発生した.

- ・高梁川水系高梁川:低水路護岸の損壊と漏水が発生した.
- ・高梁川水系小田川:堤防が決壊し、倉敷市真備町で大規模な浸水被害が発生した.

・旭川水系旭川:低水路護岸が損壊した.

同様に、県管理区間の河川の被害状況を整理すると下記の通りである(図 3-2-4).

- ・高梁川水系高梁川:越水が発生した(日羽,美袋,備中広瀬地区).
- ・高梁川水系成羽川:越水が発生した(落合阿部地区).
- ・高梁川水系小田川:堤防が決壊し、浸水被害が発生した(矢掛地区).
- ・高梁川水系真谷川:堤防が決壊し、浸水被害が発生した(真備地区).
- ・高梁川水系高馬川:堤防が決壊し、浸水が発生した(真備地区).
- ・高梁川水系末政川:堤防が決壊し、浸水が発生した(真備地区).
- ・高梁川水系尾坂川:堤防が決壊し、浸水被害が発生した(甲弩地区).
- ・旭川水系旭川:堤防が決壊し、浸水が発生した(国ヶ原地区).
- ・旭川水系砂川:堤防が決壊し、浸水が発生した(平島地区).

以下, 3.2.2~3.2.4 では主要水系毎に具体的な被害状況を記す.





津瀬水位観測所最高水位(吉井川水系吉井川)

矢掛水位観測所最高水位(高梁川水系小田川)





尺所水位観測所最高水位(吉井川水系金剛川)

図 3-2-3 各観測所における年間最高水位の経年変化(続き)¹⁾



図 3-2-4 岡山県内の河川被害の概要(県管理河川の欠損箇所を除く.)

3.2.2 吉井川水系

図 3-2-5²と図 3-2-6²には今次豪雨における津川ダム(下津川)と八塔寺川ダム(八塔寺川)での流 域雨量,貯水位,ダムへの流入量,ダムからの全放流量の時間変化を示す.岡山県北の津川ダムでは 7 月5日の午後と,6日の午後から深夜にかけての降雨に対して,また,県南の八塔寺川ダムでは6日の 午後と深夜の降雨に対して適切にピークカットが行われた.さらに,図 3-2-7 には今次豪雨における国 管理の苫田ダムでの同様の図を示す.苫田ダムでは7日の正午前頃に最大 500m³/s 程度,ピークカット が行われた.図 3-2-8¹¹には吉井川(国直轄区間)における河川の被害状況を示す.直轄区間では河川 堤防の基盤漏水や法崩れが発生した.











図 3-2-8 吉井川(国直轄区間)における河川の被害状況

3.2.3 旭川水系

図 3-2-9~図 3-2-13²⁾には今次豪雨における湯原ダム(旭川),旭川ダム(旭川),河平ダム(日山谷 川),鳴滝ダム(加茂川)および竹谷ダム(竹谷川)での流域雨量,貯水位,ダムへの流入量,ダムから の全放流量の時間変化を示す.湯原ダムと旭川ダムでは7月5日の午後と,6日の午後および深夜にか けての3つの降雨帯に対してピークカットが行われており,湯原ダムでは最大500m³/s程度,旭川ダム では最大700m³/s程度,下流河道への負担を軽減した.また,県南の河平ダムでは5日の午後と6日の 深夜の降雨に対して適切にピークカットが行われた.



図 3-2-9 旭川水系湯原ダムの洪水調節実績図



図 3-2-10 旭川水系旭川ダムの洪水調節実績図







図 3-2-12 旭川水系竹谷ダムの洪水調節実績図



図 3-2-13 旭川水系鳴滝ダムの洪水調節実績図



図 3-2-14 旭川(国直轄区間)における河川の被害状況

図 3-2-14¹⁾には旭川(国直轄区間)における河川の被害状況を示す.直轄区間では河川堤防の護岸損 壊や法崩れが発生した.以下では旭川水系の県管理区間で浸水被害があった2箇所について記す.

(1) 国ヶ原地区(旭川,県管理区間,図3-2-4参照)

国ヶ原地区は岡山市北区御津に位置する.国ヶ原地区では旭川 27km 左岸で越水により約 50m 程度堤防が決壊し,浸水被害が生じた.図 3-2-15 には国ヶ原地区における河川被害の状況を示す.



図 3-2-15 国ヶ原地区における河川被害状況



図 3-2-16 平島地区における河川被害と浸水分布

(2) 平島地区(旭川,県管理区間,図3-2-4参照)

平島地区は岡山市東区沼に位置する. 平島地区では百間川の支川である砂川の約 11km 左岸で越水や浸透により約 120m 程度,堤防が決壊した. その結果,浸水は南北に約 6km,東西に約 3km に渡って広がり,住宅約 2230 棟が浸水した. この棟数は岡山市の浸水被害の約 3 割を占める.

図 3-2-16 は平島地区における河川被害と浸水分布の概要を示す.写真①は堤内地から堤防決壊箇所 を示す.写真②は堤防決壊箇所の越水状況を示す.岡山市の調査では堤防決壊は7月7日の午前1時頃 に堤防は決壊したものと推察されている.写真③は氾濫の痕跡を示す.岡山市の報告では浸水面積は約 750ha(右岸側150ha,左岸側600ha)であり,左岸側は堤防決壊のため,浸水範囲は広域となった.浸 水深は地盤高に依存し,大きい箇所で2~3m,小さい箇所で0~1mであった.

3.2.4 高梁川水系

図 3-2-17~図 3-2-22²には今次豪雨における河本ダム(高梁川水系西川),高瀬川ダム(高梁川水系 高瀬川),三室川ダム(高梁川水系三室川),千屋ダム(高梁川水系高梁川),楢井ダム(高梁川水系谷川), 新成羽川ダム(高梁川水系成羽川)での流域雨量,貯水位,ダムへの流入量,ダムからの全放流量の時 間変化を示す.これら県北部のダムにおいては7月5日の午後と、6日の午後および深夜にかけて3つ の降雨帯があり,鳴滝ダムを除いてそれらに対してピークカットが行われている.河本ダムでは最大 200m³/s 程度,高瀬川ダムでは最大 30m³/s 程度,三室川ダムでは最大 80m³/s 程度,千屋ダムでは最大 180m³/s 程度,楢井ダムでは最大 10m³/s 程度,新成羽川ダムでは最大 600m³/s 程度,下流河道への負担 を軽減した.

図 3-2-23¹⁾には高梁川(国直轄区間)における河川の被害状況を示す.直轄区間では河川堤防の護岸 損壊や漏水が数カ所で発生した.

小田川(国直轄区間,真備地区)での河川の被害状況は下記(1)に示す.また,小田川(県管理区 間,矢掛地区)とその支川の尾坂川(県管理区間,甲弩地区)での河川の被害状況は下記(2),(3) に,高梁川(県管理区間)とその支川の成羽川(県管理区間)での河川の被害状況は下記(4)に示す.



図 3-2-17 高梁川水系河本ダムの洪水調節実績図













図 3-2-21 高梁川水系樽井ダムの洪水調節実績図







(1) 真備地区(小田川, 国直轄区間)

真備地区は岡山県倉敷市に位置する. 真備地区は東を高梁川,南を小田川に囲まれた,面積が約4400haの地区である. 真備地区では小田川の3.4km 左岸と6.4km 左岸が洪水流の越水により堤防が決壊した. また,小田川の支川である末政川0.4km 左岸と0.7km 左右岸,同支川の高馬川0kmの左右岸,および同支川の真谷川0.5kmの左岸が溢水や越水により堤防が決壊した(図3-2-24,表3-2-1). その結果,真備地区では地区全体の約27%の範囲で大規模な浸水が生じた. また,小田川右岸の堤内地でも越水により浸水が生じている. なお,いずれの河川においても記録的な豪雨により各河川の水位は計画高水位を長時間超過した. また,各河川ともに自己流ではなく,本川(小田川では高梁川,末政川・高馬川・真谷川では小田川)の背水の影響で水位が上昇し,越水が生じたものと推察されている.



図 3-2-24 真備地区周辺の河川における堤防決壊状況

被災河川の地点	被災した堤防の 縦断距離	被災の主要因	被災の推定日時
小田川 3.4km 左岸	約 100m	越水	7/7(土), 2~3 時頃
小田川 6.4km 左岸	約 50m	越水	7/7(土), 0時頃
末政川 0.4km 左岸	約 40m	溢水	不明
末政川 0.7km 左岸	約 110m	越水	7/7(土),6~7 時頃
末政川 0.7km 右岸	約 150m	越水	7/7(土), 0時頃
高馬川 0km 右岸	約 55m	越水	7/6(金), 23~24 時頃
高馬川 0km 左岸	約 20m	越水	不明
真谷川 0.5km 左岸	約 75m	越水	不明

表 3-2-1 真備地区で大規模な浸水をもたらした河川の堤防被害

注1) 被災距離と主要因は、国土交通省小田川堤防調査委員会の判断による.

注 2) 被災の推定日時は、住民への聞き込み調査や、民放テレビ局の取材映像に基づく.



図 3-2-25 真備地区周辺の被災前後の衛星写真画像

図 3-2-25³には真備地区周辺の被災前後の衛星写真(株式会社パスコ提供),図 3-2-26⁴には国土地理 院が公表した推定浸水範囲を示す.参考のため,図 3-2-27⁵には真備地区における既往(昭和47年,昭 和51年)の浸水被害状況(岡山河川事務所作成,高梁川河川整備計画)を示す.今次被災は既往被害を 超える規模であったものがわかる.なお,今次災害での浸水範囲は倉敷市が作成する洪水ハザードマッ プと概ね一致していた.大規模な浸水の結果,真備地区では51名の方が亡くなり,また,地区の半数で ある4000棟以上の家屋が浸水被害を受けた.



図 3-2-26 真備地区における浸水範囲(国土地理院作成)



図 3-2-27 真備地区における既往の浸水被害状況(昭和 47 年,昭和 51 年) (岡山河川事務所作成,高梁川河川整備計画より抜粋)

図 3-2-28^のには今次豪雨における小田川周辺のドローン画像などによる家屋の浸水状況を示す.家屋 は概ね 2 階以上まで浸水しており,浸水被害の大きさが理解できる.図 3-2-29 には現地調査より得ら れた,真備地区における浸水深分布を示す.最大浸水深は約 5.38m であり,5m 以上の箇所が 5 地点あ った.また,小田川周辺では 4m 以上の箇所が多く,小田川の右岸側でも 4m 以上の箇所があった.



7月8日(日)撮影 左岸6k400付近堤内地

7月7日(土) 操影 右岸2k400付近

図 3-2-28 真備地区における浸水被害状況(今次豪雨,国土交通省中国地方整備局提供)



図 3-2-29 真備地区における浸水深分布(7/17,7/18 合同調査結果,二瓶教授とりまとめ)



図 3-2-30 真備地区での浸水痕跡(浸水深 5m の民家, 7/17, 7/18 合同調査結果)



図 3-2-31 真備地区における家屋被害調査結果(7/17,7/18 合同調査結果,二瓶教授とりまとめ)

図 3-2-30 には浸水深が約 5m であった民家における現地調査の様子を示す.この家屋では 2 階において、人間の背丈以上の浸水があったことがわかる.図 3-2-31 には真備地区における家屋被害の調査結果を示す.浸水深の調査結果と比較すると、堤防決壊箇所の近くでは家屋は 2 階以上で損壊または流出しており、これらは氾濫流の流体力や地盤洗掘による影響とみられる.

図 3-2-32 には小田川 3.4km 左岸の堤防決壊状況を示す.この箇所は小田川と高馬川が合流する地点付近で,小田川の水位上昇により 7/7 の深夜 2~3 時頃には越水が生じたと考えられている(表 3-2-1). 現地での落堀箇所との位置関係から,越水により小田川左岸堤防が約 100m に渡って決壊し,堤防護岸が飛散すると共に,真備地区へ大量の氾濫水が流入したものと考えられる.また,図 3-2-33 には小田川 6.4km 左岸の堤防決壊状況を示す.この箇所は小田川と内山谷川が合流する付近で,小田川の水位上昇により 7/7 の深夜 0 時頃に越水が生じたと考えられている (表 3-2-1).その結果,小田川左岸堤防が約 50m に渡って決壊し,真備地区へ大量の氾濫水が流入したものと考えられる.



図 3-2-32 小田川 3.4km 左岸地点の堤防決壊状況(左:決壊箇所の下流側,右:決壊箇所の上流側)



図 3-2-33 小田川 6.4km 左岸地点の堤防決壊状況(左:決壊箇所の下流側(小田川の左岸堤防), 右:決壊箇所の上流側(内山谷川の左岸堤防))



図 3-2-34 高馬川の堤防決壊・損壊状況

図 3-2-34 には高馬川 0km 右岸の堤防決壊と, 左岸の損壊状況を示す.また,図 3-2-35 には高馬川下流の痕跡水位と河床高,堤防高の縦断分布を示す.この箇所では,小田川の水位上昇に伴う背水により 7/6の深夜 23~24 時頃に小田川よりも時間的に前に,両岸で越水が生じたと考えられている(表 3-2-1). 現地での落堀箇所との対応関係から,越水により高馬川右岸堤防が約 55m に渡って決壊し,堤防護岸が 飛散すると共に,真備地区へ大量の氾濫水が流入したものと考えられる.



図 3-2-35 高馬川の痕跡水位の縦断分布(7/17,7/18 合同調査結果,二瓶教授とりまとめ)



図 3-2-36 末政川 0.4km 左岸の堤防決壊・損壊状況(左上:橋より下流を撮影, 右上:下流右岸より上流を撮影,下:橋の右岸側より堤防裏法崩れの様子を撮影)

図 3-2-36 には末政川 0.4km 左岸の堤防決壊・損壊状況,図 3-2-37 には末政川 0.6km の堤防損壊状況, 図 3-2-38 には末政川 0.7km の堤防決壊状況をそれぞれ示す.また,図 3-2-39 には末政川下流の痕跡水 位と河床高,堤防高の縦断分布を示す.末政川 0.4km の箇所には道路橋があり,小田川の背水の影響で 水位が上昇し,この橋梁部から洪水流が溢水した.その結果,末政川 0.4km の箇所では溢水した氾濫水 が周辺堤防の裏法面を洗掘し,左岸側の堤防決壊に至ったと考えらえる.決壊した箇所の縦断距離は約 40m である.また,末政川 0.4km 右岸側では堤内側・堤外側ともに法崩れが生じた.



図 3-2-37 末政川 0.6km の堤防損壊状況



図 3-2-38 末政川 0.7km の堤防決壊状況



図 3-2-39 末政川の痕跡水位の縦断分布(7/17,7/18 合同調査結果,二瓶教授とりまとめ)



図 3-2-40 真谷川 0.5km 左岸の堤防損壊状況(左:左岸堤内地より左岸決壊箇所を撮影, 右:右岸堤防より左岸決壊箇所を撮影)



図 3-2-41 真谷川 0.5km 右岸側での越流痕跡状況

一方,末政川 0.6km の箇所では同様の影響で水位が上昇し,左右岸の堤外側で法崩れが生じた. さらに,末政川 0.7km の箇所では同様の影響で水位が上昇し,左右岸で越水が生じたものと考えられる. ただし,右岸側の堤防高が少し低いために,7/7の0時頃に先ず右岸堤防が決壊し,その後,小田川 3.4km の決壊によって(真備地区の)氾濫水で堤内水位が上昇し,7/7の午前 6~7時頃に左岸堤防が決壊したものと考えられる. なお,末政川 0.7km で決壊した箇所の縦断距離は左岸で約 110m,右岸で約 150m である.

図 3-2-40 には真谷川 0.5km 左岸の堤防決壊状況を,図 3-2-41 には真谷川 0.5km 右岸側での越流痕跡 箇所を,図 3-2-42 には真谷川 0km 右岸(小田川との合流部)の堤防損壊状況を示す.また,図 3-2-43 には真谷川下流の痕跡水位と河床高,堤防高の縦断分布を示す.この箇所では小田川の背水の影響で真 谷川の水位が上昇した.また,同時に,0km 右岸側では堤防が損壊したため,小田川の河川水が真谷川 の右岸側堤内地へ大量に流入し,堤内側の水位が上昇していったものと考えられる.その結果,真谷川



図 3-2-42 真谷川 0km 右岸の堤防損壊状況



図 3-2-43 真谷川の痕跡水位の縦断分布(7/17,7/18 合同調査結果,二瓶教授とりまとめ)

右岸では 0.5km(左岸側の堤防決壊箇所)より上流部では堤外側から堤内側へ越流が生じ,逆に,下流 部では堤内側から堤外側へ越流が生じたものと考えられる.よって,堤防が相対的に低い右岸側では堤 内地が氾濫水で満たされために堤防決壊は生じず,一方で堤防が高い左岸側でもその後,越水が生じて, 堤防決壊が生じたものと考えられる.

(2) 矢掛地区(小田川,県管理区間,図3-2-4参照)

矢掛地区は岡山県小田郡に位置する. 矢掛地区では小田川の約 14km 左岸(東川面),約 15.7km 右岸 (江良)および約 16km 左岸(本堀)の3箇所で越水により,各々,約 40m,約 30m および約 40m 堤防 が決壊した. その結果,住宅約 123 棟が浸水するなど被害が発生した. 図 3-2-44 は矢掛地区における 河川被害と浸水分布の概要を示す.3箇所で堤防決壊が生じたため,浸水は広範囲に広がっており,浸 水深は決壊箇所付近で最大 3m 近くにまで達した.また,決壊箇所近くでは人が通行できる簡易な作り の橋の橋桁が流出していた.想定される浸水面積は約 350ha であった.





図 3-2-44 矢掛地区における河川被害・浸水状況(上)と浸水時の様子(下)(岡山県提供)

(3) 甲弩地区(県管理区間, 図 3-2-4 参照)

甲弩地区は岡山県笠岡市に位置する.甲弩地区では小田川の支川である尾坂川の約0.8km 左岸で法面 浸食により,約80m 堤防が決壊した.図3-2-45 は甲弩地区における河川被害と浸水分布の概要を示す. 堤防が決壊した甲弩地区周辺は田畑が多く,想定される浸水面積は約100haであった.

(4) 日羽,美袋,広瀬,落合阿部の各地区(小田川,県管理区間,図3-2-4参照)

日羽・美袋地区は岡山県総社市に位置する.日羽地区では高梁川の約26~27km 左岸で河川水位の上 昇により,越流が生じて外水氾濫が生じた.図3-2-46 には日羽地区における浸水状況を示す.越流が 生じた箇所と想定される地点を図中に矢印で示す.浸水深は1~2m 程度で,深い箇所では3m 近くまで 及んでいる.一方,高梁川の約30km 左岸に位置する美袋地区では内水氾濫により,最大2m 程度の浸 水被害が生じた.図3-2-47 には美袋地区における浸水状況を示す.

広瀬地区は岡山県高梁市の備中広瀬駅周辺を指す.広瀬地区では高梁川の約38km 左岸で河川水位の 上昇により越流が生じて外水氾濫が生じた.図3-2-48 には広瀬地区における浸水状況を示す.広瀬地 区では浸水により,電柱などが破損した.越流が生じた箇所と想定される地点を図中に矢印で示す.浸 水深は4~5m 程度にも達していた.広瀬地区では大型車がJR 伯備線の線路を塞ぐ被害が生じた.



図 3-2-45 甲弩地区における河川被害と浸水状況



図 3-2-46 日羽地区における浸水状況



図 3-2-47 美袋地区における浸水状況(内水氾濫)



図 3-2-48 広瀬地区における浸水状況と線路内に残された大型タンクローリー車



図 3-2-49 落合阿部地区における浸水状況

落合阿部地区は岡山県高梁市に位置する.落合阿部地区は高梁川と成羽川に挟まれた箇所である.図 3-2-49には落合阿部地区における浸水状況を示す.この地区では豪雨により,高梁川と成羽川の合流部 箇所,および成羽川 3.5 km 左岸と 5.5 km 左岸から越水が生じ,広範囲に外水氾濫が起こった.浸水深は 1~2m 程度で,合流箇所では 3m 近くまで及んでいる.また,成羽川では堤防上の道路などが被災した.

3.2.5 真備町での気象警報と避難の状況

今次豪雨において岡山県では甚大な人的・物的被害を受けた.県内では、特に小田川と高梁川に挟ま れた倉敷市真備地区での浸水被害は際だった.**表 3-2-2**^{8),9}には真備地区において発令された気象警報と 避難に関する情報の履歴,および小田川やその支川での堤防決壊の推定時刻をまとめた.時刻情報は原 則,住民からの聞き取りにより得た.また,図 3-2-50¹⁰には真備地区に浸水被害をもたらした直接的な 要因であると推察される,小田川の河川水位(小田川 0.8km 地点の矢形橋観測所)の時間変化を示す.

岡山県の倉敷市内では7月5日の18時半頃から「大雨警報」が発表され、その後の降雨により「洪水 警報」も発表された.翌7月6日の20時には高梁川では「氾濫警戒情報」が発表され、同日21時45 分には「氾濫危険情報」も発表された.また、同日19時半には倉敷市では山沿いに「避難勧告」が発表 されたが、これは土砂災害を警戒したものと理解される.その後、7月6日の21時50分には小田川に おいても「氾濫警戒情報」が発表された.また、22時には真備地区全域において「避難勧告」が発表さ れた.このとき、矢形橋観測所での水位データをみると、21時以降から急激な水位上昇が見られるが、 約12mを超えた時点(前日5日のピーク水位、6日では22時頃の水位に相当)で、倉敷市による避難 勧告の発表がなされたこととなる.また、実績水位の時間変動を見ると、真備地区での避難勧告の時間 から矢形橋観測所の水位が計画高水位を超えるまでは1時間程度は猶予があったこととなる.

一方,その後,22時20分に小田川では「氾濫危険情報」が発表され,続いて22時40分には倉敷市で「大雨特別警報」が発表された.そして,23時を過ぎる頃には小田川の支川の高馬川0km右岸や末 政川0.4km左岸では小田川の著しい水位上昇とその背水のために,堤防が決壊した.
発表時刻		気象庁・国土交通省の情報(倉敷市関連)	倉敷市の情報	
7月5日	18時30分	大雨警報(土砂災害)発表		
	19時40分	大雨警報(土砂災害・浸水)発表		
	21時25分	土砂災害警戒情報発表		
	23時08分	洪水警報発表		
	19時30分		倉敷市内山沿いに避難勧告	
	20時00分	高梁川氾濫警戒情報発表		
	21時45分	高梁川氾濫危険情報発表		
	21時50分	小田川氾濫警戒情報発表		
7月6日	22時00分		真備地区全域に避難勧告	
	22時20分	小田川氾濫危険情報発表		
	22時40分	大雨特別警報発表(倉敷市)		
	23~24時頃	高馬川 0km 右岸 堤防決壊 (越水)		
	23時45分		小田川の南側に避難指示(緊急)	
	0時頃	小田川 6.4km 左岸 堤防決壊 (越水)	末政川 0.7km 右岸 堤防決壊 (越水)	
	0時30分	小田川氾濫発生情報発表		
	1時30分		小田川の北側に避難指示(緊急)	
7月7日	2~3時頃	小田川 3.4km 左岸 堤防決壊 (越水)		
	2 0414	小田川 4km 右岸付近, 小田川 7km 右岸付近 堤防の越水を確認		
	6~7時頃	未政川 0.7km 左岸 堤防決壊 (越水)		
	15時10分	大雨特別警報解除		
7月8日	13時50分	土砂災害警戒情報解除		
	22時40分	大雨警報解除		
7月12日	午後		服部地区に避難指示(誤情報)	
7月13日	19時35分	洪水警報解除		

表 3-2-2	真備地区におい	て発令された気象と	:避難に関す	る情報の履歴
---------	---------	-----------	--------	--------



また,23時45分には小田川の南側で「避難指示(緊急)」が発表されているが、これは内水氾濫と小田川の右岸側堤防で越水による外水氾濫が進行していたものと考えられる.さらに、7日深夜0時には小田川6.4km 左岸や末政川0.7km 右岸、2時には小田川3.4km 左岸で次々に堤防が決壊したものと考えられている.深夜0時半には小田川で「氾濫発生情報」、1時半には小田川の北側で「避難指示(緊急)」が発表されているが、これは小田川やその支川での複数箇所での堤防決壊により大規模な洪水氾濫が生じて、真備地区の住民に大きな危険が差し迫った状況であったと推察される.その後、7日の朝6時頃には末政川0.7km 左岸で堤防が決壊し、真備町は地区全体で深刻な浸水被害を受けることとなった.

3.2.6 高梁川・小田川の洪水および倉敷市真備町の氾濫状況

本節では、高梁川及び小田川の改修前の現況河道と改修後の計画河道を対象とした、今次洪水の再現計算を実施した。

(1) 計算モデル

洪水流解析モデルには、平面二次元モデルを用いた.離散化手法には、三角形非構造格子における有限 体積法を用い、数値流束は Roe の近似 Riemann 解法より算出した.本モデルは、河川合流部などの複雑 な形状の領域における洪水流に対し柔軟に適用可能である.

(2) 計算条件

a)対象区間

解析対象区間は,高梁川は河口から 6.40km の船穂観測所から 27.60km の日羽観測所まで,小田川は 現況の合流点(0km)から矢掛観測所 (13.00km) までとした.また,改修後は小田川の付け替え河道-3.50km を下流側区間とした.計算格子のサイズは全域で約 25m とし,計算格子数は,現況と付替え後でそれぞ れ 43680 個, 45588 個である.

b)河床高

図 3-2-51,図 3-2-52 に改修前後の河床高分布を示す.河床高は平成 23 年の 200m 定期横断測量デー タと平成 25 年の国土地理院の 5m メッシュ標高データを用い,改修後の小田川の付け替え河道について は、計画断面を与えた.





図 3-2-53 改修前の河床高分布

図 3-2-54 改修後の河床高分布



図 3-2-55 高梁川上流端における境界条件

c)粗度係数

図 3-2-53, 図 3-2-54 に改修前後の粗度係数を示す. 粗度係数は,国土交通省が計画洪水の準二次元不 等流れ計算に用いた値を参考にし,更に出水前の航空写真を参照して,河道内に繁茂する樹林帯の分布 を再現できるよう調整した.

d)境界条件

平成30年7月5日8時から7月8日2時までの66時間を対象として解析を行った. 図3-2-55, 図3-2-56, 図 3-2-57 に上流端境界および下流端境界に与えた流量と水位を示す.上流端流量は,各観測所で得ら れた10分間隔の水位データをH29年度H-Q式を用いて流量換算し,さらにピーク流量が各支川の計画 流量の総和の50%を加算された値になり,かつ波形が維持できるよう全体を線形的に調整した.また, 下流端水位は,船穂観測所で得られた10分間隔の水位データより与えた.なお,上流端に与えた流量に



図 3-2-57 高梁川下流端における境界条件

ついては、暫定的な値を用いており、今後さらなる検討が必要である.

(3) 計算結果

a)縦断痕跡水位との比較

図 3-2-58、図 3-2-59 に高梁川および小田川の解析最大水位と痕跡水位の比較を示す.高梁川については、縦断的に概ね良好に一致している一方、小田川はやや再現性が低いことが確認できる.これは、高梁川における最大水位については、氾濫による影響が比較的小さいことが示唆されている.また、小田川については、破堤した 3.4KP より上流側では全体的に解析値が過大となっている一方で、3.4-6.4KP 区間では、解析値が過小となっていることが分かる.これらの結果については、上流側は氾濫による影響、下流側は、支川流入による影響の可能性があり、今後さらなる検討を行う予定である.





図 3-2-58 高梁川の解析最大水位と痕跡水位の比較

図 3-2-59 小田川の解析最大水位と痕跡水位の比較

c)付け替え効果についての検討

図 3-2-60 に付け替え前後の合流部周辺における流速コンター,図 3-2-61 に合流部の水位コンター及 び流速ベクトルを示す.改修前は,7/6 22:00 ごろから高梁川と小田川の合流部付近で水面勾配が小さく なり,流速が非常に小さくなっていることが分かる.この背水現象は,23 時頃に最も大きくなり,その 後,徐々に順流に戻っている.合流部付け替えにより,背水が発生せず,小田川の水位低下に大きな効 果があることが示唆されている.今後,解析に用いる流量設定および粗度係数の調整を行い,より再現 性の高い解析から付け替え効果についてより詳細な検討を行う予定である.



図 3-2-60 合流部周辺における流速コンターの時間変化



図 3-2-61 合流部の水位コンター及び流速ベクトルの時間変化

3.2.7 旭川の洪水:洪水流解析

本豪雨においては旭川下流河道(国直轄区間)では洪水が発生し,3.2.1 で示した通り,基準点の下牧(19.0KP)においては7月7日(土)の午前3時20分に6.94(T.P. m)の最高水位を記録した.先に示した通り,本洪水は昭和47年以降,既往最大の洪水であり,旭川では本洪水に次ぐ大きな洪水には平成10年洪水が挙げられる.本節では旭川の10.7KPから17.5KP及び百間川11.4KPから分流堰までの範囲を対象に行った洪水流解析の結果を示す.ここで,KPは河口からの距離(km)である.また,旭川・百間川では河道整備基本方針や河道整備計画に則って,下牧(19.0KP)での計画高水流量6000m³/sに対して,百間川に2000m³/s分流するように,これまで分流部改築や百間川河口水門を含めた河道整備事業が行われてきたが,ここでは本洪水における分流部改修事業の効果について簡単に触れる.

図 3-2-62 には解析対象範囲を灰色枠で示す. 旭川 12KP の分流部周辺には,土木学会認定の選奨土木 遺産である「一の荒手(図中,分流堰)」や「二の荒手」などの治水施設群があるが,これらの改修工事 は平成 26 年から平成 30 年まで実施されてきた.完成後の分流部のイメージパースを図 3-2-63 に示す.

図 3-2-64~図 3-2-66 には解析対象範囲の河床高,植生種および分布を示す.これらのデータは 2017 年 11 月に計測された ALB データを利用した.旭川下流部は近年,樹林化が進行しており,ヤナギなど の樹木や竹林が洪水時に水位上昇を引き起こすため,懸念されている.図 3-2-67 には解析の境界条件 を示す.上流端(17.5KP)では下牧観測所の水位データから H-Q 式により流量を与え,下流端(旭川 10.7KP・北方観測所,百間川 11.4KP・原尾島観測所)では水位を与えた.解析モデルや ALB データの 処理に関しては既往研究を参照されたい¹¹⁾.



図 3-2-62 旭川下流河道の解析対象範囲(旭川: 10.7KP から 17.5KP, 百間川: 11.4KP から分流堰まで)



図 3-2-63 旭川分流部周辺の改修後の完成予想図(岡山河川事務所 提供)



図 3-2-64 解析対象範囲の河床高の分布



図 3-2-65 解析対象範囲の植生種の分布



図 3-2-66 解析対象範囲の植生高の分布



図 3-2-67 解析の境界条件 (岡山河川事務所 提供)



図 3-2-68 流量ピーク時の水位縦断分布(7月7日3時20分,左:旭川,右:百間川)¹²⁾ (痕跡水位,計画高水位:岡山河川事務所より提供)

図 3-2-68 には流量ピーク時の水位縦断分布(7月7日3時20分,河道中央,左:旭川,右:百間川) を示す.図中には痕跡水位データ(左右岸の平均値)および,参考のため,平成10年の痕跡水位データ (左右岸の平均値)¹²⁾と計画高水位を併せて示した.上流側(17.0KP周辺)の水位は計画高水位に近 いが,これはこの周辺には竹林が密生しているためである.なお,河川堤防の天端高は計画高水位に対 して数m高いため,旭川の本洪水では越流はしていない.図 3-2-69 には流量ピーク時の分流部周辺の 水深平均流速の平面分布(7月7日午前3時20分)を示した.図中,白点線は分流堰の位置を示す.本 解析で用いた河床高データは2017年11月のALBデータであり,また,用いた計算格子の大きさは10m 程度はある.そのため,分流堰の形状が適切に洪水流解析に反映されているとは言えないが,分流堰上 では5m/s程度の高流速が観察される.図 3-2-70¹³⁾の右図に示す通り,H10年の旭川洪水では分流堰周 辺では構造物の破壊や中原地区で23戸が浸水するなど被害がでているが,本洪水では分流堰は改築効果 により,破壊を免れた.一方,本洪水では分流堰前面の明星堰の一部が洪水流により破損した.

図 3-2-71 には分流部改修前後での分流量比の計画値を示す.ここで,分流量は堰通過直後の流量を示す.また,同図には本解析結果も併せて示した.また,表3-2-3 には旭川洪水の分流量(流量ピーク時)に関して,今次洪水に対する本解析値と平成10年洪水の観測値¹²⁾を比較して示した.図より,解析結果によれば本洪水ではほぼ改修後の計画値通りに分流がなされたことがわかる.また,表より,分流前の下牧観測所(19.0KP)での流量を比べると今次洪水は平成10年洪水に対して100m³/s程度多いが,分流後の旭川本川では流量が300m³/s程度減少し,その分が百間川へ分流したことがわかる.旭川7.5KPの東西中島地区が浸水したH10年洪水(図 3-2-70の左図)と比較すると,今次洪水では分流部改築の効果により,旭川本川の負担が軽減されたことがわかる.なお,図 3-2-71 に示した分流量比図で分流前の流量 5000m³/s以上では改修前後で変化が見られないが,分流部改修前の段階では旭川と百間川の間には背割堤が建設されておらず,平成10年洪水時には洪水が堰通過後に,旭川と百間川間で流れが往復した.そのため,平成10年洪水時に 5000m³/s以上の洪水が襲来した場合には,百間川の下流に流れる分流量はこの通りではない.







回直:岡田市内 (東西中島地区)

位置:岡山市内 (分流地点と中原地区)

旭川の被災状況(平成10年10月洪水)

図 3-2-70 平成 10 年旭川洪水時の流況 ¹³⁾ (左:東西中島地区,右:分流地点)



図 3-2-71 分流量比¹⁴⁾

表 3-2-3 旭川洪水の分流量(今次洪水と平成 10 年洪水の比較,流量ピーク時)

	平成10年洪水12)	平成 30 年洪水
旭川流量(分流前)(m³/s), 下牧	4405	4512
旭川流量(分流後)(m³/s),北方	3531	3201
百間川分流量 (m³/s),原尾島	874	1311

引用文献

- 平成 30 年 7 月豪雨関連情報,中国地方整備局管内の出水概況:国土交通省公式 HP http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/syussui.htm
- 洪水調節報告書:岡山県公式 HP http://www.pref.okayama.jp/page/536800.html
- 3) 2018年7月 豪雨災害:株式会社PASCO提供

https://www.pasco.co.jp/disaster_info/20180709/

- 4) 真備地区における浸水範囲: 国土地理院作成
- 5) 高梁川河川整備計画より抜粋:岡山河川事務所作成
- 6) 真備地区における浸水被害状況: 国土交通省中国地方整備局提供
- 7) 岡山県矢掛町: 公式 HP

http://www.town.yakage.okayama.jp/files/20180713saigaikensu.pdf

8) 総務局 防災対策本部発表: 倉敷公式 HP

http://www.city.kurashiki.okayama.jp/32987.htm

9) 防災情報:国土交通省 中国地方整備局(本情報を一部,含む.)

https://www.cgr.mlit.go.jp/saigai/saigai/main.htm

10) 矢形橋水位情報: 国土交通省 水文水質データベース

http://www1.river.go.jp/cgi-bin/SiteInfo.exe?ID=307111287708170

- 11) 吉田圭介,前野詩朗,間野耕司,岩城智大,小川修平,赤穂良輔:航空レーザ測深を用いた河道の植 生種分布の判定手法の検討,土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 73, No. 2(応用力学論文集 Vol. 20), I_607-I_618, 2017.
- 12) 前野詩朗, 宮内洋介, 森卓也: 植生が旭川の洪水流に及ぼす影響の検討, 水工学論文集, 第48巻, pp.757-762, 2004.
- 13) 旭川水系河川整備計画【国管理区間】平成25年3月発表:国土交通省 中国地方整備局
- 14) 第3回 百間川分流部水理検討委員会資料 平成19年3月:国土交通省 中国地方整備局 岡山河 川事務所

3.3 土砂災害

3.3.1 河川堤防の被災状況

倉敷市真備町および岡山市内における主な河川堤防の被災状況について記述する.小田川およびその 支流の河川堤防の地盤状態や決壊のプロセスについては、国土交通省中国地方整備局により公開されて いる高梁川水系小田川堤防調査委員会資料を参考にした.

(1)小田川堤防左岸 3k400 地点の決壊¹⁾

決壊した箇所は高馬川との合流地点であり、治水地形分類図によれば、当該箇所は「扇状地」、「旧河道」、「氾濫平野」地形が混在する複雑な基礎地盤を形成していると推察されている.3k300地点および3k400地点のボーリング調査結果などにより、決壊箇所における堤防の地盤状況としては、以下のように推察されている.

①堤防盛土材料は、堤体下部が粘性土主体で、上部が礫質土主体で構成されている.

②堤防基礎地盤は、堤体直下に約3mの「Ac層」が存在し、その下部に「As層」が分布している.

決壊区間下流端部の現地観察によれば,決壊箇所の下流端断面における堤防の盛土材料は「粘性土」 が主体の旧堤防を「礫質土」主体の中間土が覆っており,表土は礫分の少ない「砂質土」が主体となっ ていることが確認されている.合流地点の破堤前の状況を**写真3-3-1**に与える.本堤の破堤状況を**写真 3-3-2**に示しているが,100mに渡って越流破堤が生じている.

堤防の決壊プロセスとしては、以下のように推測される.

①堤防盛土層内の水位(浸潤線)上昇:降雨および河川水位が高い状態(計画高水位を超過)が長時間 継続したことにより,河川水及び雨水が堤体内部に浸透した.

②越水および内水の発生:河川水位の上昇により,まず,小田川より堤防高の低い高馬川が越水し,そ の後,小田川の前後区間と比較して相対的に堤防高さの低い高馬川合流点付近の隅角部への越流水の集 中が発生した.写真3-3-1において,破堤前の堤防の高さが確認できる.また,宅地側では内水による浸 水も発生していた.

③堤防川裏のり面の浸食および法尻部の洗掘:越流水により,川裏のり面の表土が侵食されて堤防断面 が減少した.堤防法尻付近では最大深さ1.2m程度の「落堀」が確認されていることから,堤防法尻部分 では洗掘が進行したと思われる.

④堤防決壊(堤体の流出):川裏のり面の表土の浸食と法尻部の洗掘が進行し、堤防断面の減少および 堤防の弱体化により、高馬川合流点付近の堤防から決壊し、小田川下流側へ堤防決壊が拡大した.



写真 3-3-1 高馬川と小田川の合流地点(破堤以前)



写真 3-3-2 小田川本川の破堤部分(高馬川との合流箇所:高馬川左岸から望む)

(2) 小田川堤防左岸6k400地点の決壊¹⁾

決壊した箇所は内山谷川との合流部(**写真3-3-3**)にある「一の口樋門」付近である.治水地形分類図によれば、当該箇所は「氾濫平野」地形が基礎地盤を形成していると推察されている.6k400地点および 6k300地点のボーリング調査結果などにより、決壊箇所における堤防の地盤状況としては、以下のように 推察される.

①堤防盛土材料は、堤体内部が砂質土主体で、上部が粘性土主体で構成されている.

②堤防基礎地盤は、堤体直下に約3mの「Ac層」が存在し、その下部に「As層」が分布している.

また,決壊区間下流端部の現地観察によれば,決壊箇所の下流端断面における堤防の盛土材料は「粘 性土」が主体の旧堤防を「礫質土」主体の中間土が覆っており,表土は「粘性土」で覆われていること が確認された.

堤防の決壊プロセスとしては、以下のように推測される.

①堤防盛土層内の水位(浸潤線)上昇:降雨および河川水位が高い状態(計画高水位を超過)が長時間継続したことにより,河川水及び雨水が堤体内部に浸透した.

②越水および内水の発生:河川水位の上昇により,まず,内山谷川の橋梁部より溢水が発生し,その後, 小田川の前後区間と比較して相対的に堤防高さの低い箇所から越水が発生した.また,宅地側では内水 による浸水も発生していた. ③堤防川裏のり面の浸食および法尻部の洗掘:越流水により,川裏のり面の表土が浸食されて堤防断面 が減少し,法尻部分で洗掘が進行した.一ノロ樋管上流付近には,最大深さ1.5m程度の「落堀」が確認 されている.

④堤防決壊(堤体の流出):川裏のり面の表土の浸食と法尻部の洗掘が進行し、堤防断面の減少および 堤防の弱体化により堤防が決壊した(写真 3-3-4).



写真 3-3-3 小田川本川の破堤部分(内山谷川との合流箇所)



写真 3-3-4 小田川本堤と内山谷川合流部分の破堤箇所(小田川本堤左岸から望む)

(3) 末政川左岸0.4k堤防の決壊²⁾

決壊した箇所の上流部分(0.45k付近)(**写真3-3-5**)には、上下流に比べて相対的に低位にある有井橋 があり、橋梁部からの溢水の痕跡が確認されているが、自己流水位は桁下には到達していないと推測さ れている.

決壊箇所における堤防の地盤状況としては,地盤調査により以下のように推察されている. ①堤防盛土材料は,砂質土(Bs)である.

②堤防基礎地盤の表層には、固い粘性土層(Ac)が5m程度堆積しており、この粘性土の下は締まった砂礫 層(Dg)が存在している.

堤防の決壊プロセスとしては、以下のように推測される.

①堤防盛土層内の水位(浸潤線)上昇:長時間にわたる降雨と小田川の水位上昇(背水)に伴い,末政 川の水位が上昇し,河川水及び雨水が堤体内部に浸透した. ②溢水の発生:河川水位の上昇により,有井橋から溢水が発生した.

③堤防川裏のり面の侵食:橋梁部からの溢水が川裏側に流入し、川裏のり面が浸食された.

④堤防決壊(堤体の流出):川裏のり面の表土の浸食が進行し、堤防断面の減少および堤防の弱体化に より堤防が決壊した.川裏の法面勾配が 1:1.7 であり、すべり破壊の必要安全度を下回っていたことか ら、浸透によるすべり破壊が発生した可能性は否定できない.



写真 3-3-5 末政川決壊箇所

(4) 末政川左右岸0.7k堤防の決壊²⁾

決壊した箇所付近を境に、上流区間に向けて堤防高が低位になっている.同区間の堤防高に対して,小 田川のピーク水位は高位に位置している.決壊区間には「伏越し」が2箇所存在しており、「伏越し」 箇所における水みちの形成による浸透破壊の助長および「伏越し」の取り付け水路に越流水が集中し、 堤体川裏の侵食を助長した可能性などが考えられる.

決壊箇所における堤防の地盤状況としては,地盤調査により以下のように推察されている.

①堤防盛土材料は、砂質土主体であり、表層が砂質土(Bs)、内部に一部礫を含んだ砂質土(Bsg)が存在する.

②堤防基礎地盤の表層には,固い粘性土層(Ac)が2m程度堆積しており,この粘性土の下は締まった砂礫 層(Dg)が卓越している.

堤防の決壊プロセスとしては、以下のように推測される.

①堤防盛土層内の水位(浸潤線)上昇:長時間にわたる降雨と小田川の水位上昇(背水)に伴い,末政 川の水位が上昇し,河川水及び雨水が堤体内部に浸透した.

②越水の発生:河川水位の上昇により、越水が発生し、越流により川裏のり面が浸食された.

③右岸堤防の決壊(堤体の流出): 越流水により,川裏のり面の表土が浸食されて堤防断面が減少し, まず,右岸堤防が決壊した.

④左岸堤防の決壊(堤体の流出):小田川堤防左岸 3k400の決壊に伴い,末政川右岸側の堤内水位が上 昇し,左岸堤防からの越流が発生した.越流による浸食の進行により,左岸堤防も決壊した. **写真 3-3-6**は、上記のプロセスにしたがって左右岸が越流破堤し箇所である.一方、**写真 3-3-7**は、越流の後はとくに見られず、裏のり面のみが崩落している箇所である.これは、左右岸共に川裏の法面勾配が 1:1.5 であり、すべり破壊の必要安全度を下回っていたことから、浸透による間隙水圧が上昇し、すべり破壊に繋がった可能性が否定できない.**写真 3-3-8**は、表のり面が洗掘された箇所であり、堤防内の内部侵食も多くの箇所で生じていることが想像される.**写真 3-3-9**に示されるように、堤防からの流入土砂が多量に滞積している状況であった.

末政川0k700地点では、同一箇所で両岸の堤防が決壊したために、非常に大きな被害が発生した。両岸 堤防が決壊したメカニズムとしては、以下のように考えられている³⁾.

①高梁川の水位上昇による背水の影響により、小田川やその支川である末政川の水位が上昇した。

②末政川の堤防高が低い箇所から越水が発生し、相対的に堤防高の低い右岸側の堤防が先に決壊した。
③小田川の背水の影響により、末政川の水位が高い状態が長時間継続し、決壊していない左岸側堤防の弱体化が進行した。

④小田川左岸3k400地点の決壊による氾濫水が末政川右岸側堤内地に流入し,その浸水深は末政川右岸の 堤防高を越えるまでに上昇し,末政川の水位を上昇させた.(末政川は小田川の浸水想定区域内に存在 している)

⑤弱体化した末政川左岸の堤防において再度越水が生じ,決壊が生じた.

以上より,河川堤防の両岸が決壊する代表的な要因としては,以下のような事項が考えられる.

川幅が狭い堤防(天井川の堤防)

②河川水位と堤内地の標高差(比高差)の大きな堤防

③基礎地盤が砂質土であり、河床の浸食や洗掘を受ける可能性のある堤防

④河川水位の高い状態(背水の影響など)が長時間継続する、水量の大きな洪水による堤防の弱体化

本川の浸水想定区域内に存在している支川では、本川の堤防決壊による氾濫水によって生じた堤内地 側の浸水深が支川の堤防高を越える場合には、自己流による越水が発生していない場合でも堤防の決壊 が生じる可能性があると思われる.



写真 3-3-6 末政川左右岸破堤箇所



写真 3-3-7 末政川裏のり面崩落箇所(越流痕無し)



写真 3-3-8 表のり面の崩落箇所



写真 3-3-9 堤防から流亡した土砂

(5) 高馬川右岸0.1k,左岸0.0k堤防の決壊²⁾

小田川との合流地点(0.0k)から上流区間に向けて堤防高が低位になっており,同区間の堤防高に対し て,小田川のピーク水位は高位に位置している.高馬川の決壊箇所付近において,今次洪水の推定流量 は疎通可能であり,越水は小田川の背水に起因するものであると推定されている.

決壊箇所における堤防の地盤状況としては、小田川左岸3k400における地盤調査により以下のように推察されている.

①堤防盛土材料は、全体が粘性土質砂(Bsc)である.

②堤防基礎地盤の表層には、固い粘性土層(Ac)が3m程度堆積しており、この粘性土の下位には広く砂層 (As)が分布している.

堤防の決壊プロセスとしては、以下のように推測される.

①堤防盛土層内の水位(浸潤線)上昇:降雨および小田川の背水に伴い,高馬川の水位が上昇したこと により,河川水及び雨水が堤体内部に浸透した.

②越水の発生:河川水位のさらなる上昇により,越水が発生した.

③堤防川裏のり面の浸食:越流水により、川裏のり面の表土が浸食されて堤防断面が減少した.左岸側 決壊箇所の下流端に深さ1.2m程度の「落堀」が、右岸の基礎地盤にも深さ1.0m程度の「落堀」が確認さ れた.

④堤防決壊(堤体の流出):川裏のり面の表土の侵食が進行し,堤防断面の減少および堤防の弱体化に より堤防が決壊した.

高馬川堤防の破堤原因は、上記のプロセスを通しているものと思われる. 写真 3-3-10 では、越流に よる破堤と侵食による表のり面の崩落が見られる. また、写真 3-3-11 に示す様に、局所的に裏のり面 が崩落している部分があり、内水氾濫による侵食よりも、堤体内の水圧の上昇によるせん断(すべり) 破壊を起こしたと考えられる箇所も存在する. 川裏の法面勾配が 1:1.5 であり、すべり破壊の必要安全 度を下回っていたことから、浸透によるすべり破壊が発生した可能性は否定できない.



写真 3-3-10 高馬川表のり部分の崩落と越流破堤箇所



写真 3-3-11 高馬川裏のり部分の崩落

(6) 真谷川左岸0.5k堤防の決壊²⁾

決壊した箇所付近(**写真3-3-12**, **写真3-3-13**)の堤防高は上下流区間の堤防高に比べて低位である.同 区間の堤防高に対して,小田川のピーク水位は高位に位置している.決壊箇所付近において,今次洪水の 推定流量は疎通可能であり,越水は小田川の背水に起因するものであると推定されている.

決壊箇所における堤防の地盤状況としては、地盤調査により以下のように推察されている.

①堤防盛土材料は、上部が礫質砂(Bsg)、下部が粘性土砂(Bsc)である.

②堤防基礎地盤の表層には、固い粘性土層(Ac)が2m程度堆積しており、この粘性土の下位には砂層(As)および砂礫層(Ag)が堆積している.

堤防の決壊プロセスとしては、以下のように推測される.

①堤防盛土層内の水位(浸潤線)上昇:降雨および小田川の背水に伴い,真谷川の水位が上昇したこと により,河川水及び雨水が堤体内部に浸透した.

②越水の発生:河川水位のさらなる上昇により,越水が発生した.

③堤防川裏のり面の浸食:越流水により、川裏のり面の表土が浸食されて堤防断面が減少した(写真 3-3-14).決壊箇所の堤内地盤に最大深さ0.65m程度の洗掘が確認されている.

④堤防決壊(堤体の流出):川裏のり面の表土の浸食が進行し、堤防断面の減少および堤防の弱体化に

より堤防が決壊した(**写真 3-3-15**). 川裏の法面勾配が 1:1.5 であり, すべり破壊の必要安全度を下回っていたことから, 浸透によるすべり破壊が発生した可能性は否定できない.



写真3-3-12 真谷川破堤箇所



写真3-3-14 越流による裏のり面の浸食と破堤箇所



写真3-3-13 真谷川左岸の破堤箇所



写真3-3-15 越流による左岸破堤箇所

(7)砂川堤防の決壊(岡山市東区沼)

砂川左岸堤防(写真 3-3-16)は100m以上に渡って決壊しており(写真 3-3-17),主な原因は越流と推 測される.堤防を走る道路上に越流混が見られた.堤防は完全に浸食された形になっている.堤体の材 料はまさ土を基本とする砂質材料で,堤体の下には,粘土層も確認された(写真 3-3-18).決壊は免れ ているが,小崩落を生じていている箇所も確認され(写真 3-3-19),越流→小崩落→侵食の進行→決壊 というプロセスが推測される.



写真 3-3-16 砂川被災箇所



写真 3-3-18 堤体土砂



写真 3-3-17 砂川堤防決壊箇所



写真 3-3-19 小崩落の箇所

(8) 旭川堤防の決壊(岡山市北区国ヶ原)

岡山市北区国ヶ原付近(**写真3-3-20**)で旭川が決壊し,周辺が氾濫した.約50mに渡って堤防が越流に より決壊したと見られる(**写真3-3-21**, **写真3-3-22**).堤体材料は均質なまさ土と見られるが,破堤箇所 以外は完全に原型を保っていることから,堤体は比較的強固な状態にあったと推定される.決壊に至る 前に,越流が生じていたと考えられ,堤体上の道路のガードレールに引っかかった草が見られるなど(**写 真3-3-23**),越流痕を見ることができる.



写真 3-3-20 旭川被災地域



写真3-3-21 砂川左岸堤防決壊箇所(上流側から撮影)



写真 3-3-22 砂川左岸堤防決壊箇所(下流側から撮影)

写真 3-3-23 旭川における越流痕

(9)河川堤防の決壊の原因のまとめ

今回の河川堤防の決壊の原因は、基本的には越流破堤によるものが支配的である.堤防構造物は越流 が生じると、侵食が生じ、遅かれ早かれ破堤する.また、越流破堤に至るまでの初期要因としては、堤 体内の間隙水圧の上昇によるせん断(すべり)破壊が生じている可能性がある.現に、裏のり面がすべ りを起こしているが、越流破堤には至っていない箇所も多く見られた.その他の堤防損傷要因として、 パイピング破壊の可能性が疑われる.パイピングが堤防の破堤に結びついた事例としては、矢部川決壊 事例⁴⁾が有名である.小田川は、過去にもよくパイピングを起こしているという経緯がある.今回も、**写** 真3-3-24のような噴砂痕が確認されている⁵⁾.噴砂痕が確認された場所は、氾濫していないところである が、氾濫箇所でもパイピングが生じていた可能性は十分に考えられる.同様に、噴砂痕は砂川でも確認 されており(**写真3-3-25**)、今後、パイピングと堤防の安定の関係を十分に研究する必要がある.



写真3-3-24小田川における噴砂痕 (平成 30 年 7 月豪雨による地盤災害緊急調査報告資料)⁵⁾



写真3-3-25 砂川における噴砂痕 (岡山大学・前野詩朗氏提供)

3.3.2 斜面災害状況

本節では、岡山地域で発生した土砂災害(主として表層崩壊、土石流)に対する現地調査の結果を示すとともに、全体の概要および特性についてまとめる.

(1) 調查地域

現地調査は、報道で取り上げられていた地域を中心に実施したが、その調査中に新たに発見した崩壊 箇所も調査対象とした.調査箇所を表3-3-1 および図3-3-1 にまとめる.調査は、車中からの目視で確 認された崩壊箇所に立ち寄る、という方法であったため、岡山県内全体を網羅的に調査することはでき なかった.調査地点が主として岡山県中部~西部に偏っているのは、上記の調査方法によるものである. 調査結果は地点ごとに緊急調査用のフォーマットにまとめており、各地点の崩壊状況の写真や地質など の詳細は節末の個表を参照されたい.

No.	市	田九	災害事象
1	岡山市	北区谷万成(京山)	土石流
2		北区福居	表層崩壊
3		北区芳賀	表層崩壊
4		北区山上(県道 72 号線)	表層崩壊
5	倉敷市	福田町広江	土石流
6	井原市	上出部町	表層崩壊(→土石流)*
7		岩倉町	表層崩壊(→土石流)*
8		井原町(向町)	表層崩壊
9	笠岡市	茂平	崩壊
10	高梁市	落合町近似	表層崩壞
		(落合橋西)	
11		落合町近似	土石流
12	新見市	上熊谷	表層崩壊
13	津山市	中北上	表層崩壊
14	吉備中央町	吉川(県道 72 号線)	表層崩壊(→土石流)*
15		三谷	表層崩壊
16		加茂市場	表層崩壊

表 3-3-1 調查個所一覧

*崩壊土砂が崩壊箇所からある程度離れた位置で確認された箇所



図 3-3-1 岡山県の概略図と調査個所の分布図

(2) 調査内容

今回の調査では、以下の項目について緊急調査用フォーマットにまとめた.

- ✔ 発生日時
- ✔ 発生場所
- ✓ 被災対象・被災状況
- ✔ 形態
- ✔ 規模
- ✓ 想定されるメカニズム
- ✓ 地質・土質
- ✓ 地形
- ✓ 事前の防災情報
- ✓ 素因
- ✓ 誘因
- ✓ 調査日時

発生日時に関して、ほとんどの地点で不明であるが、地域住民に聞き取りが実施できた場合には正確 な日時を記入することができた.調査項目のうち規模、メカニズム、素因、誘因は、現地による目視に 基づいて調査者の判断で記入した.地質に関しては、西部技術コンサルタント株式会社のHP⁶⁾で公開さ れている岡山県内地質図に基に記入し、地形に関しては現地の状況に加え地形図でも確認することとし た.調査事前の防災情報には、崩壊箇所が土砂災害警戒区域/特別警戒区域(いわゆるイエロー/レッド ゾーン)であったかどうかを記入した.

92

(3) 崩壊箇所の分布と降雨量の関係

崩壊箇所の分布には,調査方法に起因する偏りがあるが,県内の降水量との関係を定性的に示す.降水量に関しては,岡山県内の各気象観測点(図3-3-2(1))で観測された7月6日から9日にかけての積 算降雨量の空間分布に着目した.積算降雨量の空間分布を求めるために,岡山県内を図3-3-2(2)のよう なメッシュに分割し,各セルの値を逆解析で求めた.



逆解析で推定した累積降雨量の空間分布と調査個所の比較を図3-3-3に示す.累積降雨は,県の北西部で大きく,南東部が小さい値を示しているが,定性的には崩壊箇所は岡山県西部に集中しているが,崩壊箇所の分布がその累積降雨分布と高い相関を示しているとは言えない.降雨と崩壊箇所の相関を正確に評価するためには,より詳細な崩壊箇所の分布を得る必要がある.





(4) 防災に関する事前情報との関係

土砂災害警戒区域の「土砂災害が発生した場合,住民の生命または身体に危害が生ずるおそれがある と認められる土地の区域」という定義に照らし合わせ,定義に合致する地点に対して防災情報と崩壊箇 所の関係を調べた(表 3-3-2)にまとめる.崩壊した箇所で実際に事前に想定されていた個所数は7箇 所中6箇所であり,的中率は約86%であった.このことから,提供されている事前の防災情報の精度は 高く,地域住民が命を守る行動を取る際に十分活用できる情報であることが示された.

No.	市	田丁	事前の防災情報	
1	岡山市	北区谷万成(京山)	なし(周囲に土砂災害警戒区域,急傾斜)	×
2		北区福居	土砂災害警戒区域(急傾斜)	0
5	倉敷市	福田町広江	土砂災害特別警戒区域(急傾斜),警戒	\bigcirc
_			区域(土石流,急傾斜)	
7	井原市	岩倉町	土砂災害警戒区域(土石流)	0
11		落合町近似	土砂災害警戒区域、土石流(周辺に土石	\bigcirc
			流,急傾斜警戒区域多数)	
13	津山市	中北上	土砂災害警戒区域(急傾斜)	0
14	吉備中央町	吉川(県道 72 号線)	土砂災害警戒区域(急傾斜)	\bigcirc

表 3-3-2 崩壊箇所と事前の防災情報との関係

(5) 岡山地域の斜面災害の概要

各地点の詳細は節末に示すが、岡山県内での斜面災害の概要を以下にまとめる.

- ✓ 崩壊箇所の規模は大きなものから小さなものまで幅広く、特徴的な傾向は認められなかった.
- ✓ 岡山県内は花崗岩類が広く分布しており、多くの崩壊箇所の地質が花崗岩類(まさ土)であった.地質と崩壊の関係について、特徴的な傾向は認められなかった.
- ✓ 想定されるメカニズムは、豪雨による土塊の重量増加や浸透破壊であり、今回の災害で特別な 事象は認められなかった.

今回確認された「住民の生命または身体に危害が生ずるおそれがある崩壊箇所」のほとんどは、土砂災 害(特別)警戒区域に指定されており、事前の防災情報は確度は高く、命を守る行動を取る際に非常に 有益な情報となる.

※節末資料として、以下に各地点の調査結果の詳細を示す.

1 岡山市北区 谷万成

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月7日 AM2:00頃
発生場所	〒700-0071 岡山県岡山市北区谷万成 1-7
被災対象・被災状況	民家,水路,道路(ガードレール)
形態	土石流
規模	幅 6m-8m×深さ 1m-1.5m×長さ 25m-30m
想定されるメカニズム	重量増加による不安定土塊の崩壊,
地質・土質	細粒・粗粒花崗岩類(まさ土)
地形	緩やかな谷地形
事前の防災情報	なし(周辺に土砂災害警戒区域,急傾斜)
素因	地形(勾配)
誘因	降雨
調査日時	2018年7月11日(水)10:00~11:00 珠玖

【写真】



【地図】



Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)





国土地理院地図 (<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)



岡山全県統合型 GIS(http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

2 岡山市北区 津島福居

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月7日
発生場所	岡山市北区津島福居2丁目(2箇所)
被災対象・状況	民家(全壊,負傷者2名),アパート(1階に土砂流入)(西側) 民家(倒木)(東側)
形態	表層崩壊
規模	幅 40m×最大深さ 12m×斜長 170m(西側) 幅 20m×最大深さ 10m×斜長 100m(東側)
想定されるメカニズム	円弧すべり(風化土と基岩の境界付近)
地質・土質	スレート,砂質岩(泥岩・細粒土)
地形	尾根地形 (西側), 谷地形 (東側)
事前の防災情報	土砂災害警戒区域(急傾斜)
素因	地質、地層の走向・傾斜
誘因	降雨
調査日時	2018年7月10日(火)9:30~11:30 竹下・金・小松 2018年7月12日(木)9:30~13:00 竹下・金・小松 江草(岡山大学施設整備課長)

【写真】



(西側)

(東側)



民家(全壊,負傷者2名),アパート(1階に土砂流入)(西側)



民家 (倒木) (東側)



源頭部 (西側)



源頭部から下へ / 中腹部(山道地点)

/ 中腹部(山道地点)(西側)



中腹部から下へ / 堆積部(西側)



源頭部 / 源頭部から下へ(東側)



源頭部付近の不安定土塊の亀裂様子(東側)



中腹部地点 / 中腹部から下へ(東側)

【地図】






国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)

【事前の防災情報】



3 岡山市北区 芳賀

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月(日時は不明)
発生場所	〒701-1221 岡山県岡山市北区芳賀
被災対象・状況	桃畑
形態	表層崩壊
規模	幅 15m~18m×深さ 0.5m×高さ 10~12m(目測)
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化(重量増加)による崩壊
地質・土質	中粒花崗岩類,山砂利層(円礫および粗粒砂)
地形	急傾斜
事前の防災情報	なし
素因	傾斜(約 50 度)
誘因	降雨
調査日時	2018 年 8 月 1 日 (水) 9:00~10:00 佐藤先生 (高知大学), 上野先生 (島 根大学), 珠玖







Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)

【事前の防災情報】



岡山全県統合型 GIS (http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

4 岡山市北区 山上

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月(日時は不明)
発生場所	〒701-1526 岡山県岡山市北区山上 県道 72 号線
被災対象・状況	国道 72 号線の一部
形態	表層崩壊
規模	幅 16m~18m×深さ 0.5m 未満×高さ 5~6m(目測)
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化(重量増加)による崩壊
地質・土質	石英閃緑岩~閃緑ヒン岩、山砂利層(円礫および粗粒砂)
地形	急傾斜
事前の防災情報	なし
素因	傾斜(約 60 度)
誘因	降雨
調査日時	2018 年 8 月 1 日 (水) 9:00~10:00 佐藤先生 (高知大学), 上野先生 (島 根大学), 珠玖









Google Map (<u>https://www.google.co.jp/maps/</u>)



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)

【事前の防災情報】



岡山全県統合型 GIS (http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

5 倉敷市 福田町広江

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月(日時不明)
発生場所	〒712-8042 岡山県倉敷市福田町広江
被災対象・状況	民家(全壊,半壊多数),道路
形態	土石流
規模	原頭部:幅 30m×深さ 10m~15m×長さ 50m(目測) 崩壊(流下)延長:450m
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化 → 土砂の流動化 → 流下
地質・土質	中粒花崗岩,流紋岩質凝灰岩
地形	谷地形
事前の防災情報	土砂災害特別警戒区域(急傾斜),警戒区域(土石流,急傾斜)
素因	谷地形 (集水地形), 急傾斜
誘因	降雨
調査日時	2018年7月10日(火)14:00~15:00 珠玖, 原田(M2)

【写真】





Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)

【事前の防災情報】



岡山全県統合型 GIS(http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

6 井原市 上出部町

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月7日 不明
発生場所	井原市上出部町
被災対象・状況	民家1軒,道路封鎖
形態	表層崩壊
規模	幅 50m×最大深さ 5m×斜長 150m(目測)
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化(重量増加)による崩壊
地質・土質	まさ土,花崗岩(中粒花崗岩類)
地形	谷地形
事前の防災情報	なし(周囲に土砂災害警戒区域(急傾斜))
素因	谷地形
誘因	降雨
調査日時	2018年7月10日(火)10:00~11:00 珠玖,原田(M2) 2018年7月17日(火)14:00~14:30 珠玖,原田(M2)

【写真】





Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)

【事前の防災情報】



岡山全県統合型 GIS (http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

7 井原市 岩倉町

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月7日 22:30頃
発生場所	〒715-0016 岡山県井原市岩倉町236-32
被災対象・被災状況	民家 (1 軒),畑,水路,道路 (ガードレール)
形態	表層崩壞
規模	幅 8m-10m×深さ 1m-1.5m×長さ 35m-40m
想定されるメカニズム	重量増加による不安定土塊の崩壊
地質・土質	まさ土,花崗岩,中粒花崗岩類
地形	尾根地形
事前の防災情報	土砂災害警戒区域(土石流)
素因	地形(勾配, 25~30度)
誘因	降雨
調査日時	2018年7月10日(火)10:00~11:00 珠玖,原田(M2) 2018年7月17日(火)14:00~14:30 珠玖,原田(M2)





Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)



国土地理院地図 (<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)

【事前の防災情報】



岡山全県統合型 GIS (http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

8 井原市 井原町 (向町)

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月(日時は不明)
発生場所	〒715-0019 岡山県井原市井原町3557-1
被災対象・被災状況	道路(ガードレール)
形態	表層崩壊
規模	幅 20m-25m×深さ 1.5m-2.0m×長さ 15m-20m
想定されるメカニズム	重量増加による不安定土塊の崩壊、浸透破壊
地質・土質	玄武岩質凝灰岩(強風化)
地形	-
事前の防災情報	周囲に土砂災害警戒区域(急傾斜,土石流)
素因	地形(勾配, 25~30度)
誘因	降雨
調査日時	2018年7月17日(火)14:30~15:30 珠玖,原田(M2)









Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)

【事前の防災情報】



9 笠岡市 茂平

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月7日 AM4:30頃
発生場所	笠岡市茂平
被災対象・状況	自動車部品工場(ヒルタ工業笠岡工場) 6名が崩壊土砂の生埋め(うち2名が死亡)
形態	表層崩壊
規模	幅 50m×最大深さ 5m×斜長 150m(目測)
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化(重量増加)によるがけ崩れ
地質・土質	まさ土,花崗岩(粗粒花崗岩類)
地形	尾根地形
事前の防災情報	なし(周辺に土砂災害警戒区域(急傾斜))
素因	地形(尾根部)
誘因	降雨
調査日時	2018年7月10日(火)9:00~10:00 珠玖,原田(M2) 2018年7月17日(火)13:00~13:30 珠玖,原田(M2)











Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)

【事前の防災情報】



岡山全県統合型 GIS (http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

10 高梁市 落合町近似(落合橋西)

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月(日時は不明)
発生場所	〒716-0062 高梁市落合町近似(落合橋西)
被災対象・状況	道路盛土
形態	表層崩壊
規模	幅 15m×深さ 0.5m~1.0m×高さ 22m(目測)
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化(重量増加)による崩壊
地質・土質	頁岩
地形	-
事前の防災情報	周辺が土砂災害警戒区域(急傾斜、土石流)
素因	急傾斜(おおよそ 50 度)
誘因	降雨
調査日時	2018年7月13日(金)9:00~10:00 小松,珠玖





Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)



岡山全県統合型 GIS(http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

11 高梁市 落合町近似

災害事象	斜面災害
発生日時	2018年7月7日(22時~23時)
発生場所	〒716-0062 高梁市落合町近似
被災対象・状況	民家,道路
形態	土石流
規模	原頭部:幅9m×深さ5m×長さ50m(目測) 崩壊(流下)延長:470m
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化 → 土砂の流動化 → 流下
地質・土質	粗粒花崗岩
地形	谷地形
事前の防災情報	土砂災害警戒区域(土石流)(周囲に急傾斜,土石流の警戒区域が多数 存在)
素因	谷地形(集水地形),急傾斜
誘因	降雨
調査日時	2018年7月13日(金)10:00~12:00 小松,珠玖

【写真】





Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)



岡山全県統合型 GIS (http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)
12 新見市 上熊谷

災害事象	斜面災害			
発生日時	2018年7月(日時は不明)			
発生場所	〒718-0001 岡山県新見市上熊谷			
被災対象・状況	高速道路盛土,民家(全壊1棟),鉄道(JR西日本,姫新線)			
形態	表層崩壊			
規模	幅 20m×深さ 0.5m~1.0m×高さ 15m(目測)			
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化(重量増加)による崩壊			
地質・土質	-			
地形	-			
事前の防災情報	-			
素因	傾斜(25度)			
誘因	降雨			
調査日時	2018年7月13日(金)13:00~14:00 小松,珠玖			

【写真】



【地図】



Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)

【地形図】



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)

【事前の防災情報】



岡山全県統合型 GIS (http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

13 津山市 中北上

災害事象	斜面災害			
発生日時	2018年7月(日時は不明)			
発生場所	〒709-4606 岡山県津山市中北上7 6 5			
被災対象・状況	斜面対策工,民家			
形態	表層崩壞			
規模	幅 14m×深さ不明×高さ 9m(目測)			
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化(重量増加)による崩壊			
地質・土質	泥質片岩			
地形	急傾斜			
事前の防災情報	土砂災害警戒区域(急傾斜)(周辺に土石流警戒区域)			
素因	傾斜(55度)			
誘因	降雨			
調査日時	2018年7月13日(金)15:00~16:00 小松,珠玖			



【地図】





Google Map (https://www.google.co.jp/maps/)

【地形図】



国土地理院地図 (<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)



岡山全県統合型 GIS (http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

14【吉備中央町 吉川】

災害事象	斜面災害				
発生日時	2018年7月(日時は不明)				
発生場所	〒716-1241 岡山県加賀郡吉備中央町吉川 県道 72 号線				
被災対象・状況	国道 72 号線の一部				
形態	表層崩壊				
規模	幅 5m×深さ 5m×長さ 10m(目測)				
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化(重量増加)による崩壊				
地質・土質	粗粒花崗岩類(赤土)				
地形	急傾斜				
事前の防災情報	なし				
素因	傾斜(約 45 度)				
誘因	降雨				
調査日時	2018 年 8 月 1 日 (水) 10:00~11:00 珠玖, 佐藤先生 (高知大学), 上 野先生 (島根大学)				

【写真】



【地図】



Google Map (<u>https://www.google.co.jp/maps/</u>)

【地形図】



国土地理院地図 (<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)

【事前の防災情報】



岡山全県統合型 GIS (http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

15【吉備中央町 三谷】

災害事象	斜面災害			
発生日時	2018年7月(日時は不明)			
発生場所	〒709-2662 岡山県加賀郡吉備中央町三谷			
被災対象・状況	農道の一部			
形態	表層崩壞			
規模	幅 15m×深さ 1m 未満×高さ 10m~12m(目測)			
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化(重量増加)による崩壊			
地質・土質	中粒花崗岩類			
地形	急傾斜			
事前の防災情報	なし(周囲に土砂災害警戒区域(急傾斜))			
素因	傾斜(約 50 度)			
誘因	降雨			
調査日時	2018 年 8 月 1 日 (水) 13:00~14:00 珠玖, 佐藤先生 (高知大学), 上 野先生 (島根大学)			



【地図】



Google Map (<u>https://www.google.co.jp/maps/</u>)

【地形図】



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)



岡山全県統合型 GIS(http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

16【吉備中央町 加茂市場】

災害事象	斜面災害			
発生日時	2018年7月6日(時間は不明)			
発生場所	〒709-2333 岡山県加賀郡吉備中央町加茂市場			
被災対象・状況	生コン工場の施設の一部、フェンス			
形態	表層崩壊			
規模	不明			
想定されるメカニズム	降雨による土塊の不安定化(重量増加)による崩壊			
地質・土質	粗粒花崗岩類			
地形	-			
事前の防災情報	なし(周囲に土砂災害警戒区域(急傾斜))			
素因	-			
誘因	降雨			
調査日時	2018 年 8 月 1 日 (水) 14:00~15:00 珠玖, 佐藤先生 (高知大学), 上 野先生 (島根大学)			

【写真】





Google Map (<u>https://www.google.co.jp/maps/</u>)

【地形図】



国土地理院地図(<u>https://maps.gsi.go.jp/</u>)



【事前の防災情報】

岡山全県統合型 GIS (http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/PositionSelect?mid=5002)

3.3.3 ため池の被災状況

(1)冠光寺池(岡山市北区)

堤高:12.9m,堤長:111.0m,上流勾配:1:2.0,下流勾配:1:1.6,天端幅:4.8m,総貯水量:337,950m³, 堤体土質はまさ土(均一型)で,防災重点ため池に指定されている.洪水吐は堤体左岸側に,底樋は堤 体中央部に設置してある.堤体には水道管,下流側には電柱などが設置されており,天端はアスファル トで舗装されている.このため池堤体の状況により,緊急速報メールが数度配信された.ため池として は,比較的貯水量が大きいため,破堤した場合は甚大な被害が予測された.

降雨と浸透水による間隙水圧の上昇によりすべり破壊が発生した可能性が高いが、右岸側の道路から 大量の雨水が流入し下流斜面に流下していたとの情報もあり、侵食された可能性も否定できない.7月 上旬には堤体部に現存していたガードレールが、10月上旬にはすべり破壊の進行により、滑落していた (写真 3-3-26 および写真 3-3-27).損傷後の対応として、破堤を防ぐため、ポンプで洪水吐から排水 (写真 3-3-28)を行って水位を下げていた.また、損傷箇所の一部をブルーシートで被覆し、雨水の侵 入を防いでいた.



写真 3-3-26 堤体損傷部 (左岸より望む・7/10 撮影)



写真 3-3-27 堤体損傷部 (左岸より望む・10/5 撮影)



写真 3-3-28 ポンプによる洪水吐からの排水

写真 3-3-29 底樋



(2) 江田池 (岡山市北区/倉敷市)

堤高:9.0m,堤長:102.0m,上流勾配:1:2.0,下流勾配:1:1.8,天端幅:3.9m,総貯水量:31,660m³, 堤体土質はまさ土でゾーン型(**写真 3-3-30**),洪水吐は堤体左岸側に,底樋は堤体左岸・右岸側に設置 してある.

図 3-3-5 堤体崩落箇所

11001

すべり破壊が発生したものと思われるが(写真 3-3-31),堤体から水が噴出していたとの証言がある ため、パイピングによる浸透破壊の可能性もある.ため池上流の斜面が崩壊し、土砂が大量に流入して いた(写真 3-3-32,写真 3-3-33).この土砂の流入による急激な水位上昇が、パイピングの原因になっ たことが疑われる.損傷箇所の一部をブルーシートで被覆し、雨水の侵入を防いでいた(写真 3-3-31).



写真 3-3-30 ため池諸元



写真 3-3-31 ため池損傷箇所(右岸より望む)



写真 3-3-32 流入した土砂



写真 3-3-33 上流の斜面崩壊



図 3-3-6 江田池の位置

(3) 南谷池(総社市)

総貯水量が約 100m³ のため池.谷川からの土砂が流入し,貯水量が増加することで越流破壊(写真 3-3-34)が生じたと思われる.破堤により,下流部にある圃場に土砂が流出する被害が生じていた(写 真 3-3-35).



写真 3-3-34 破堤の状況

写真 3-3-35 流出した土砂



図 3-3-7 南谷池の位置

(4) 山田池(久米郡美咲町)

総貯水量が約100m³のため池で堤体左岸側に洪水吐がある.堤体幅がやや狭い箇所で越流破壊が発生したと考えられる(**写真 3-3-36**, **写真 3-3-37**).

(5) 大田池(浅口市)

堤高:9.3m,堤長:112.0m,上流勾配:1:1.0,下流勾配:1:1.5,天端幅:5.1m,総貯水量:17,000m³ のため池.洪水吐は堤体左岸側に設置で堤体右岸側に斜樋がある.堤体土質はまさ土で,上流側は張り 石が施工してある.また,破堤箇所では基礎地盤(砂岩)が露出していた(**写真 3-3-38**).**写真 3-3-39**, **写真 3-3-40**, **写真 3-3-41** が破堤の状況である.ため池が決壊したため水位は低かった.



写真 3-3-36 山田池の破堤箇所



写真 3-3-37 山田池前景



図 3-3-8 山田池の位置



写真 3-3-38 基礎地盤





写真 3-3-40 破堤した堤体(下流側から望む)

写真 3-3-39 破堤した堤体(上流側から望む)



写真 3-3-41 決壊部から下流の状況



図 3-3-8 大田池の位置

引用文献

- 国土交通省中国地方整備局:第4回高梁川水系小田川堤防調査委員会,資料-1-1被災要因の分析(小田川), http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/odagawateibochosa.htm, 2018.
- 国土交通省中国地方整備局:第4回高梁川水系小田川堤防調査委員会,資料-1-2被災要因の分析(末 政川,高馬川,真谷川),http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/odagawateibochosa.htm, 2018.
- 3) 国土交通省中国地方整備局:第5回高梁川水系小田川堤防調査委員会,資料-1 末政川 0k700 の被災メ カニズム, http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/odagawateibochosa.htm, 2018.
- 4) 矢部川堤防調查委員会: 矢部川堤防調查委員会報告,

http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/site_files/file/torikumi/01-plan_course/tyosa/saisyu/houkokusyo.pdf, 2013.

- 5) 石原雅規:最近の堤防の被災事例と特徴,平成 30 年 7 月豪雨による地盤災害緊急調査報告資料, 2018.
- 6) 西部技術コンサルタント株式会社:岡山県地質図(http://seibuct.co.jp/chishitsuzu/index.html), 閲覧日 2018 年7月9日.

第Ⅱ編 広島県

1. はじめに:災害の概要

(執筆中)

2. 河川災害

2.1 河川災害の概要

序論で述べたように、広島県の南部から東部にかけての広範囲において、2018 年 7 月 5 日から 7 日に かけて、記録的な豪雨に見舞われた.そのため、広島県内の多くの河川、とりわけ中小河川において、多 くの災害が発生した.図2-1-1 は、広島県管理河川で破堤や越流・溢水の発生した箇所と浸水の状況を示 している.また、広島県に依れば、広島県・市町管理の公共土木施設のうち、河川の被災箇所数は 3,284 箇所、被害額は約 570 億円と査定されている¹⁾.



図 2-1-1 広島県管理河川の被災状況

個別の河川の被災状況を後述するが、まず、今回の河川災害を浸水被害の原因別に整理する.

【浸水氾濫の原因】

- 1) 洪水流下能力不足による越流や破堤による外水氾濫(例:沼田川)
- 2) 本川への排水不良による支川での越流氾濫(例:菅川)
- 3) 河道に供給された多量の土砂や流木の影響による外水氾濫(例:中畑川)
- 4) 排水機場のポンプの能力不足や運転停止による内水氾濫(例:福川)
- 5) 異常洪水時防災操作時の放流による外水氾濫(例:野呂川)

図 2-1-1 に示すように、多くの河川で計画規模かそれを超える降雨によって大規模な洪水が発生した.

1) は河川の洪水流下能力が不足していたため越水したものである.その中には、川幅が狭い場合や堤防 高が低い場合だけでなく、土砂の堆積や樹木・植生の繁茂が進行していたために有効な河積を確保できて いなかった場合を含んでいる.一方,2)は、長い時間にわたって本川の水位が高い状況が継続し、それ が支川の水位を上昇させ、越水を発生させたケースである.さらに、今次の豪雨では、多くの箇所で土石 流が発生し、河川に多量の土砂と流木を流入させた.多量の土砂は分級され、粒径の小さい土砂は下流に 輸送され、河床高を上昇させたり、河床形状を変化させたりし、越流の発生や護岸の破壊に大きな影響を 与えた.その現象に対して「土砂洪水流」という呼び方が用いられている.また、流木が橋脚部に集積し 越流を引き起こした事例も多発した.このようなケースが3)である.4)は本川から支川への洪水の逆 流を防ぐために樋門・水門を閉め、ポンプ排水で対応しようとしたが、ポンプの排水能力が低く、内水氾 濫の拡大を防ぐことができなかったケースである.土石流や浸水によって排水ポンプが運転不能になっ たケースや、ポンプの燃料不足や整備不十分のために排水が不十分となり、浸水域を拡大させることにな った事例も発生した.5)は今次の豪雨で発生したものであり、ダムの異常洪水時防災操作で規定された 流量よりも大きな流量を放流したために下流地区において越流による浸水域を拡大させたケースである. また、河川構造物の被害として以下のような事象が挙げられる.

【河川構造物の被害】

- 1) 堤防の破壊・欠損(例:菅川)
- 2) 護岸の破壊・損傷(例:瀬野川)
- 3) 橋脚や橋梁の被災(例:三篠川)
- 4) 高水敷の侵食(例:瀬野川)

1)の堤防の破壊・欠損は、越水によるものが多いと推測されているが、沼田川水系天井川のように堤防の盤ぶくれが確認された事例も確認されている.また、河川によっては長時間にわたって水位が高い状況が継続したため、堤防の強度が低下した箇所もあると推測される.一方、2)は、河道の湾曲部の外岸側や水衝部、取水堰下流において、護岸の破壊や側岸侵食が発生したものを示す.越流時に外岸側の天端に沿って高速流が流れ、天端から侵食が進み、護岸の背面の土砂が流出したものや、護岸の根固め付近で局所洗掘が発生し、根固めが沈下・流失し、護岸が不安定化したものである.また、土石流に伴って多量の土砂が河道に供給され、それが河床形状を変化させ、直線的な河道において側岸侵食を発生させた可能性がある.3)は、橋脚周辺の局所洗掘に伴って橋脚が沈下・傾斜し、橋梁が破損したもの、あるいは流木や植生などが橋脚や橋桁に引っかかり、大きな流体力を受けて変形したり落橋したりしたものである.4)は高水敷上を流速の大きな流れが通過することによって侵食が発生したものである.それぞれの具体的な事例は後述の調査結果で説明される.

今回の河川災害では、今後も懸念される、記録的な豪雨に対する中小河川の脆弱性とその地点が明示さ れた.また、今回の洪水氾濫に関して着目すべき点は、従来の洪水と比較して、多面的な災害を引き起こ したことである.氾濫が、重要な道路の不通、停電の発生、水道施設の破損による上水道の停止、光ケー ブルの破損等、生活基盤に大きな損傷を与え、被災地の住民に深刻な影響を長期間にわたって与えた.今 後の防災減災に資するために、河川災害を正確に記録すること、その災害の発生原因を分析・特定し、今 後の有効な対策の検討に活用することが求められている.

2.2 河川災害調査団の概要

今回の豪雨災害発災害直後に、土木学会中国支部と連携して、地元の研究者を中心とした災害調査団を 結成し、調査を開始した.その後、水工学委員会から連絡をいただき、調査団メンバーを拡充し、表 2-2-1 に示すメンバーで活動を行った.なお、国土交通省中国地方整備局や広島県土木建築局河川課からは 適宜、災害情報の提供をいただいた

これまで水工学委員会災害調査団の活動として,適宜調査内容を支部の HP で報告するとともに, 8 月 4 日に土木学会会長特別調査団に同行するとともに,広島 YMCA にて記者会見を行った.また,北 海道大学で開催された平成 30 年度全国大会において,「2018 年 7 月西日本豪雨災害調査団報告会」が 8 月 31 日に行われた.そこでは,水工学委員会の調査報告の中で内田龍彦准教授が「広島県における河川 災害の概要」を報告した.

役割	名前	所属 (調査当時)	本報告書の執筆箇所
グループ長	河原能久	広島大学大学院工学研究科・教授	2.1, 2.2, 2.4, 2.5
メンバー	内田龍彦	広島大学大学院工学研究科・准教授	2.3.8~2.3.13, 2.3.17
メンバー	李 漢洙	広島大学大学院国際協力研究科・准教授	
メンバー	北 真人	広島大学大学院工学研究科・特任助教	2.3.12, 2.3.14~2.3.16
メンバー	田中健路	広島工業大学環境学部地球環境学科・准教授	2.3.1~2.3.4
メンバー	黒川岳司	呉工業高等専門学校環境都市工学科・准教授	2.3.5~2.3.7
メンバー	竹林洋史	京都大学防災研究所・准教授 (水工学委員会)	—

表 2-2-1 水工学委員会西日本豪雨災害調査団(広島河川グループ)のメンバー

2.3 河川別の被害状況

2.3.1 太田川水系三篠川

三篠川は太田川流域のうち下流東部に位置し,広島市安佐北区,東区,安芸太田市,東広島市に跨る幹 線流路延長 42.4 km,流域面積 274.2 km²の河川である.流域の全体図を図 2-3-1-1 に示す.三篠川に流れ 込む主な支川として,安佐北区志和口を合流点とし,東広島市志和を上流部に抱える関川(延長 13.7 km, 流域面積 69.5 km²)や安佐北区白木地区を流域として抱える英堂川(延長 8.9 km,流域面積 24.5 km²)な どを有する.三篠川本川は,太田川の合流点から 9.45 km(安佐北区狩留家)までの区間が国土交通省の 直轄区間,それよりも上流側は広島県の管理区間に分かれている.



図 2-3-1-1 三篠川の流域の概要²⁾

三篠川の河床勾配は、合流点から 10~25 km の区間で約 1/200,30 km 付近で約 1/150 程度であり、中流 域の大半は北東-南西方向に走る V 字谷に沿って流下している.中流域の区間には河床や河岸に岩盤の 一部が露出している箇所が見られ、その一部は出水時における局所的な渦の形成や水位上昇に影響を与え たものと考えられる. 三篠川の支川の一つである関川は、三篠川合流点から 6~11 km の東広島市志和の 区間は河床勾配約 1/200 と緩やかであるが、合流点から 5.4~1.5 km の区間が鎌倉寺山と安駄山との間の 谷間を流れる狭窄部となっており、合流点から 1.5 km 付近で、流下方向から北向きから西向きへと大きく 湾曲する箇所がある. 関川の上流部では、山陽自動車道が跨いでおり、志和トンネルへの土砂流入が発生 した.

三篠川の水位観測局のうち,向原,白木,中深川の三地点におけるハイドログラフを図 2-3-1-2 に示す. 向原と白木の観測局のハイドログラフに記載している越水開始水位は,各水位観測所の受け持ち区間の中



図 2-3-1-2 三篠川の水位観測局のハイドログラフ.上から順に向原,白木,中深川.

で越水が開始する水位を示している.向原観測所の受け持ち区間は栄堂川合流点(太田川合流点から25.4 km)から出口橋(同37.5 km)までの間,白木観測所の受け持ち区間は,国直轄区間上流端から栄堂川合流点までの区間である.上流の向原では、7月6日15:30に氾濫危険水位1.15mを超過した.その後、同日15:50~18:30までの間水位が1.4mと高い値で一定となった後に、18:30~20:00にかけて水位が更に上昇し、18:50に越水開始水位を超過、20:10に最高水位2.5mを記録した.最高水位に到達後7月7日0:00頃まで水位が低下し、2:30~5:00にかけて水位が再上昇、3:10に再び氾濫危険水位に到達した.白木観測局では、7月6日16:20頃には氾濫危険水位付近まで水位が上昇し、18:00に氾濫危険水位を超過した.7月6日20:20と7月7日4:10に最高水位2.3mを観測したが、越水開始水位2.66mには到達しなかった. 中深川では、7月6日17:40に氾濫危険水位に達し、その後21:00過ぎまで上昇、21:30に最高水位5.3mを観測した.その後、7月7日2:00過ぎまで水位が低下するが氾濫危険水位を超過した状態が続いたまま、3:00~6:00の時間帯で4.2mまで水位が上昇した. 三篠川の本川での浸水は大小合わせて少なくとも 62 ヶ所,家屋への浸水被害は 29 ヶ所発生した(図 2-3-1-3).JR 芸備線第一三篠川橋梁の落橋をはじめ,6 橋の落橋被害が発生していた.三篠川からの溢水ま たは越水によるものが大半であったが,支川からの越水によるものが3 か所,内水氾濫が5 ヶ所,越水と 内水氾濫の双方による浸水被害も1 ヶ所見られた.以下,代表的な被災箇所について述べる.



(1) 安芸高田市向原~出口橋

図 2-3-1-3 三篠川浸水被害範囲(安芸高田市向原~出口橋)

この区間では、三篠川からの越水による田畑への浸水被害が中心であった.出口橋より上流側からの急流が河道上に沿って湾曲できずに河岸を超えて越水した痕跡(図2-3-1-4a)が見られた.フェンスに付着した塵芥の痕跡を測定したところ、地盤高+1.3mであった.ブロック1~7は水田や田畑への越水による浸水が主であるが、ブロック3、4では河床侵食による護岸損壊(図2-3-1-4b)や橋脚の洗堀による沈下が見られた.ブロック8は橋の左岸上流側からの越流による護岸損壊(図2-3-1-4c)により、住宅の床下浸水被害が発生した.土塀の痕跡高を測定すると地盤高+75 cmであった(図2-3-1-4d).ブロック9,10,11では越流による堤内地の侵食が発生していた.小丸子橋左岸上流側のブロック9では、河岸に設置されているフェンスが上流側では堤内地側に、下流側では堤外地側に向かって時計回りに捻じれながら倒伏していた(図2-3-1-4e).小丸子橋右岸下流側のブロック11では、越水に伴う表土の侵食により、河岸に設置されていた太陽光発電システムの土台が一部崩壊し、ソーラーパネルが破損する被害が見られた.



(a) 右岸側への越水痕跡(安芸高田市出口,
図 2-3-1-3 ブロック 1)



(b) 右岸の越水による侵食と橋脚の沈下 (安芸高田市向原坂,図2-3-1-3 ブロック3)







(c)実重橋(安芸高田市向原隠地)左岸側の堤防損壊に伴う応急対策工の様子(ブロック8)

(d)家屋の塀に付着した浸水痕跡(ブロック 8)



(e) 越水と排水に伴うフェンスの倒壊.安芸高田市向原中組(ブロック9)



(f) 護岸損壊による右岸の侵食.太陽光発電システムの被害(〇枠内)安芸高田市向原中組(ブロック11)

図 2-3-1-4 安芸高田市出口橋~向原間の主な被害状況の写真 (2018 年 9 月 14 日)

(2) 広島市安佐北区志和口~安芸高田市向原

図 2-3-1-5 に広島市安佐北区志和口から安芸高田市向原の区間の浸水状況の分布図を示す. 図に示す ブロック 12~31 の概要について述べる.

ブロック 15, 16, 17 は堤外地からの越流や溢水が確認されず,内水氾濫の可能性が高いと考えられる. ブロック 28 は関川が三篠川に合流する直前の湾曲部で外岸側に越水した.それ以外は連続する蛇行区間 において,外岸側の水位が上昇し,堤内地側に越水する痕跡が見られた.図2-3-1-6 に被害例の写真を示 す.安芸高田市向原下長坂では,支川との合流点を上流端として越水し,路面地盤高+50cmの浸水痕跡 が残っていた(図 2-3-1-6a). 県道 34 号線新大見橋下流側のブロック 21, 22 では, 越流による護岸の侵 食が発生(図 2-3-1-6b)し、左岸側の住宅では、地盤高+90cm~120cmの浸水痕跡が確認された.JR 芸 備線志和口駅周辺のブロック 26 では、駅西口に接続する県道 46 号線柏木橋の左岸上流側で越流による 護岸損壊が発生した(図2-3-1-6c). 流木などの付着痕跡の高さは,柏木橋の橋脚上端までに留まってお り、このブロックの上流側からの越水が、JR 志和口駅の構内に広島駅方面に向かうように流れ込み、構 内のフェンスは構外(堤外地側)に向かって倒伏していた(図 2-3-1-6d).



図 2-3-1-5 三篠川浸水被害範囲(広島市安佐北区志和口~安芸高田市向原)



(a) 浸水痕跡(安芸高田市向原下長坂, 図 2-3-1-5 ブロック 12)



(c) 県道 46 線柏木橋に付着した流木と右岸の侵食 (d) 志和口駅構内のフェンスの倒伏 (図 2-3-1-5 ブロック 26)



(b) 越流による護岸侵食状況(広島市安佐北区 見張) (図 2-3-1-5 ブロック 22 内)



(図 2-3-1-5 ブロック 26)

図 2-3-1-6 三篠川向原~志和口間の被害状況の写真(2018 年 9 月 14 日撮影)

(3) 中流域

図 2-3-1-7 に三篠川中流域区間の被害範囲の分布を示す. 三篠川中流域は、内水によるものと思われ る浸水箇所1箇所と支川からの出水と見られる1箇所を除き、越水による浸水が主なものであった. こ の区間の特徴として、河床が局所的に硬い岩が露出しており、出水時になると、水面形の凹凸が激しくな り、露岩している区間の周辺での堤防損壊や浸水などが起こる危険性が高いことにある. そのうちの一つ がブロック 39,40の区間である.

地域住民に対してインタビューを実施したところ、上流側のブロック 38 に架かっていた轟橋が 7 月 6 日 20 時 30 分頃に落橋し、梁が流されてブロック 39,40 の区間の護岸に衝突し、急激な水位上昇を伴っ た.橋梁上での痕跡として、橋上の水銀灯に路面高+2.6m の高さで痕跡が付着しており、図 2-3-1-8a の 写真の左側の家屋の1階の外壁が剥離している.下流側の図 2-3-1-8b では、水位上昇による左右両岸で の侵食が見られる.橋の下流側左岸寄りに、滑(なめら)石と呼ばれる岩床があり、これによって下流側 への流れが遅くなり、出水時に局所的な水位上昇が生じると考えられる.広島市安佐北区三田小学校周辺 も同様に、右岸側に凹凸の大きな岩床があり、流れのはやい左岸側で浸水被害が発生した.図 2-3-1-8c に小学校のグラウンドの被害状況を示す.痕跡高は河岸側の並木に付着した塵芥では、地盤高+1.3~1.5m 程度であるのに対し.下流側のフェンスには地盤高+4.0mの高さに痕跡が付着している.周囲の状況と比 べて極端に高い痕跡を示している理由やメカニズムについては、今後の課題である.



図 2-3-1-7 三篠川中流域の浸水被害分布


(a)広島市安佐北区白木町上三田地区、右岸側の
越流痕跡、写真左端の家屋の外壁損壊
(図 2-3-1-7 ブロック 40)



(b) (a) の橋梁下流側の越流による侵食状況(図 2-3-1-7 ブロック 40)



(c) 三田小学校グラウンドの浸水痕跡(図 2-3-1-7 ブロック 48)

図 2-3-1-8 三篠川中流域の被害状況の写真(2018 年 9 月 14 日撮影)

(4) 下流域(第一三篠橋鉄橋~太田川合流点)

第一三篠橋から太田川合流点までの下流域での浸水被害状況をまとめたものを図 2-3-1-9 に示す. ブロック 53,54 は第一三篠橋鉄橋周囲の浸水域である. ブロック 55,56 の浸水は湯坂川の氾濫によるものである. ブロック 57 の浸水は斜面側からの内水,中深川駅を中心とするブロック 62 の浸水は斜面から流れ込んだ内水によると推測される.

図 2-3-1-10 は,高陽自動車学校傍の道路橋の落橋の様子を示したものである.図 2-3-1-10 左側には, 右岸側の越水痕跡の状況を示している.法面に打ち込まれている計画高水位 4.70m を大幅に上回る水位 に達したことを道路上の痕跡が示している.道路橋は流れが特に速い中央部で梁の流失が見られた.

図 2-3-1-11 は中深川地区(ブロック 62)の浸水痕跡等を示している.上流側の深川 7 丁目では, 渓流 からの大量の礫交じりの土石流によって,低地部を走る水路が閉塞し,周囲の住宅や田畑に浸水が広がったものと見られる(図 2-3-1-11).



図 2-3-1-9 三篠川下流域における浸水範囲



- (a) 右岸の越水痕跡
- (b) 崩落した道路橋

(c) 左岸のアパートの被害状況

図 2-3-1-10 三篠川 5.8k 橋梁崩落地点の状況. (2018 年 7 月 10 日撮影)



(a) 中深川駅付近の浸水痕跡



(b) 深川7丁目の水路の埋塞状況

図 2-3-1-11 中深川における氾濫の痕跡(図 2-3-1-9 ブロック 62)

2.3.2 太田川水系根谷川

太田川水系根谷川は流路延長約 18.7km, 流域面積約 87km²(支流域も含む)を有する太田川流域の北東 部を流れる河川であり,根谷川流域の南東側は三篠川流域と接している.図2-3-2-1に根谷川の上原橋, 新川橋のハイドログラフを示す.根谷川の水位観測局は他にも三入観測局が設置されているが、7月6日 19時20分以降欠測となったため割愛している.7月6日18時から19時の時間帯と、7月7日4時から 5時の時間帯に水位のピークが2回観測されており、このうち、7月6日のピーク水位の方が高かった. 下流側の新川橋観測局では、7月6日17時50分~20時30分頃の時間帯に氾濫危険水位を超過し、7月 7日4時40分頃にも10分程度の短時間ではあるが、氾濫危険水位を超過した.



今回の大雨では、合流点から 4.2km 付近の可部三丁目の右岸での堤防の欠損、および、合流点から 4.8km 付近の法面侵食および土嚢からの漏水が発生した.右岸の護岸の欠損箇所の直ぐ上流には緩斜落差工が 設置されており、左岸側へ給水する 2 本の用水路の取水口がある.国土交通省撮影の写真(図 2-3-2-3a) によると、濁流が右岸近傍で激しく飛沫をあげながら流下しており、天端付近から欠損している様子が見 られる.河床洗堀よりも乱れの強い流れの衝突、衝撃による損壊の可能性が高いと考えられる.

合流点から 4.8km 付近では、地域住民へのヒアリングによれば、7月6日19時ごろに土嚢の上から2番目の高さまで浸水している様子を目撃している。図2-3-2-2のように法面保護の藁材が剥離した痕跡が示すように、一番上の土嚢の下から約30cm程度の高さまで水位が上昇したと推察される.土嚢からの漏水は、拡幅区間に設けられている窪みに溜まり、窪みから水が溢れたとされる.これに伴う浸水範囲は根谷川左岸側で実施中の河川改修³⁾の区域内にほぼ収まり、住宅地への浸水被害には至らなかった.



図 2-3-2-2 根谷川の被害発生箇所



(a) 当時の状況(2018年7月6日,国土交通省中国地方整備局撮影)



(b) 緊急工事の状況(2018年7月11日)

図 2-3-2-3 根谷川右岸(合流点から 4.2k)における堤防の欠損



(a) 法面の侵食状況(2018 年 7 月 11 日)



(b) 土嚢下流側の窪みと溢水痕跡(赤丸の範囲内)(2018 年 7 月 11 日)

図 2-3-2-4 左岸 4.8km 付近の土嚢の隙間からの漏水の痕跡

2.3.3 太田川水系榎川

榎川は広島県安芸郡府中町を流れる流域面積約7.0km², 延長約4.2kmの河川である. 下流端は太田川 水系府中大川と合流する. 合流点から1.2km付近までは標高10m以下,河床勾配1/100以下の低平地区 間であり,合流点から1.2km~2.3km(府中みくまり病院)の区間は,平均勾配4/100前後の扇状地上を 流れている. 合流点から2.5kmより上流側はみくまり森林公園の敷地内であり,散策用の遊歩道やキャ ンプ場などが渓流沿いに設けられている.

府中町安全安心室⁴⁾によれば、7月6日14時50分に府中大川での避難判断水位超過が確認され、同日18時20分に氾濫危険水位を超過(19時20分以降欠測)し、18時48分に府中町全域に土砂災害に対する避難勧告,18時54分に府中大川周辺地区に浸水害に対する避難勧告が発令された.その後、大雨特別警報の発表を受けて全域に避難指示(緊急)が発令された.この時間帯の大雨による越流や溢水による住宅への大規模な氾濫被害は生じず、7月9日9時30分に避難指示を解除したが、榎川の合流点より1.2km付近より上流側の地区では避難勧告を継続していた.7月10日11時頃に榎川の氾濫の発生を確認し、11時25分に府中、府中北小学校区、および、府中東小学校区の一部に避難指示が発令された.洪水に対する避難勧告は7月13日20時54分に解除され、土砂災害に対する避難勧告は8月2日16時25分に解除となった。

7月10日の氾濫の原因として、7月6日から7日の降雨に伴う土石流が渓流途中の緩斜面で一時的に 堆積し河道を閉塞し、上流からの浸透流出した水が溜まって決壊し、段波が発生したと予想されたが、砂 防学会による緊急調査⁵によれば、渓流を横過する林道の盛土崩壊が原因となっている可能性が高いと指 摘されている.

図 2-3-3-1 は国土地理院航空写真と現地調査(2018 年 7 月 10 日, 11 日)に基づく,合流点から 2.3km までの中下流域の榎川流域での被害発生箇所をまとめたものである.合流点から 0.9km~1.1km の区間を 中心に両岸側に越水し,護岸の損傷が少なくとも 9 ヶ所確認され,右岸側では府中小学校付近の本町二 丁目,三丁目を中心に浸水範囲が広がった.また,合流点から 1.1km 付近には支川の山田川の合流点があ り,山田川の上流に向かって背水による浸水痕跡が見られた.氾濫域の上流端は合流点から 1.2km の左 岸側であり,低平地区間の入り口に対応する.低平地の浸水区域以外では,合流点から 1.7km(府中北小 学校)付近での路上の越水が発生したとみられるが,低平地のように住宅地への広がりは見られず,この 区間での越水量は少なかったと思われる.



図 2-3-3-1 榎川流域における被害箇所

合流点 1.2 km までの中流域の区間までは、氾濫流は大きな減速がなく流れていったが、下流側の低平 地区間に入った途端、先端を流れる流木が向きを変えながら急減速し、橋に引っかかり、後続流が堰き止 められるとともに、土砂が河道を埋め尽くすように堆積し、浸水が発生したものと考えられる.



(a) 流木の堆積と周囲の土砂流の浸水(2010 年 7 月 10 日)



(c)府中みくまり病院側の侵食状況(2018年7月11日)



(b) 流木の堆積と周囲の土砂流の浸水 (2018 年 7 月 10 日)



(d) みくまり森林公園キャンプ場付近の土砂 堆積状況(2018年7月11日)

図 2-3-3-2 榎川の被害状況

2.3.4 瀬野川水系瀬野川

瀬野川は広島市安芸区,東広島市,安芸郡熊野町,海田町を跨り,流域面積 122 km²,幹線延長 22.5 km を有する.主な支川として熊野川,畑賀川が挙げられ,それぞれの支川の流域でも土石流やがけ崩れなど の被害が多数発生した.瀬野観測所では氾濫危険水位(2.00m)に留まらず計画高水位を超過する 2.92m の最高水位を7月6日20時00分に観測した⁶.下流側の石原観測所では7月6日18時過ぎに 2.96m を 観測して以降欠測となった.

(1) 瀬野川上流域の被害

瀬野川上流域(東広島市八本松~広島市安芸区上瀬野)の被害発生箇所の分布を図2-3-4-1に示す.東 広島市内の上流域では、支川の合流点や湾曲部の外岸側において、越水による堤内地の侵食(図2-3-4-2a)や、橋脚陥没などの被害が発生している.ブロック5においては、右岸側の斜面崩壊によって生産さ れた土砂が瀬野川本川に流れ込み、その際に護岸が損傷したものと推察される.上瀬野町大元谷川との合 流点から熊野川との合流点の区間において護岸損傷や越流による浸水が集中している.支川の大元谷川 において発生した土石流(図2-3-4-2b)により、大量の土砂や流木を伴う出水が加わったことが要因の 一つとして考えられる.この区間を流下していく際に、護岸の損傷により、堤防の内部に埋設されている 礫が掻き出され、上流側の土石流による礫と混じって流下するようになる.



図 2-3-4-1 瀬野川上流域の被害発生箇所



(a) 東広島市八本松での越流による侵食 (ブロック3)(2018年9月18日)



(c)護岸損傷と橋梁流失(広島市安芸区上瀬野町)(図 2-3-4-1のブロック 11, 12)
(2018 年 9 月 18 日)



(b)広島市安芸区上瀬野大元谷川の河道埋塞 (2018 年 9 月 18 日)



(d) 左右両岸の損傷と礫の堆積状況(広島市安芸
区上瀬野町)(図 2-3-4-1 のブロック 18, 19)
(2018 年 9 月 18 日)



(e)上瀬野南2丁目の左岸の侵食(2018年7月14日)

図 2-3-4-2 瀬野川上流域の被害状況

(2) 瀬野駅周辺の被害

熊野川合流部から JR 山陽線瀬野駅を中心とする区間における被害状況の分布を図 2-3-4-3 に示す. 熊野川合流部(ブロック 26)下流側に架かる橋梁のうち、下流側の右岸側が落橋していたが上流側は大 きな損傷はなかった.橋の上流側に越流痕跡がわずかに見られる程度であった.安芸区上瀬野南一丁目 (ブロック 27)の左岸では、瀬野バイパスの上流側にある橋梁流出地点(図 2-3-4-4a)より約 300m下 流側の連絡橋までの区間で越水痕跡が見られ,その連絡橋の下流側約 150mの区間で左岸の護岸損壊が 発生していた.護岸損壊箇所周辺では,右湾曲から左湾曲に転向しており,下流側に向かって川幅が狭 くなっている.右湾曲の終端部で左岸側に強い流れが偏ったのと共に河床が大きく侵食され,護岸の崩 壊に至ったものと考えられる.中野7丁目の護岸損壊(ブロック 29,30)も湾曲部の外岸の侵食による ものと考えられる.

JR 瀬野駅周辺では, 榎ノ山川の河道が瀬野川合流点から 300m 付近の瀬野 5 丁目住宅地から JR 山陽 線までの区間で土砂や礫によって埋塞(図 2-3-4-4b, c)し,地盤高+1.0~1.3m の浸水が発生した.地 域住民に対するヒアリングによれば,瀬野 5 丁目での榎ノ山川の氾濫は7月6日21時過ぎ頃から始ま り,7月7日の早朝5時過ぎに図 2-3-4-4d のように越水して1階床上まで浸水した. 同地点の浸水高を 測定すると,河床からの最大水位が 3.0m まで上昇した. 上流からの土石流は,瀬野駅構内を中心に JR 線路上に広く堆積し,国道2号を超えて瀬野川本川までの瀬野1丁目に浸水が拡大した. 瀬野 5 丁目よ り上流の榎ノ山川沿いにおいては,局所的な侵食による護岸の損傷被害が点在しているものの,住家へ の浸水被害は確認できなかった.



図 2-3-4-3 瀬野駅周辺の被害状況の分布



(a) 上瀬野南での橋梁流失(2014 年 7 月 14 日)



(c) 土砂によって河道が塞がった様子 (広島市安芸区瀬野2丁目)(2018年7月14日)



(b) JR 山陽線瀬野駅上り側の状況 (2014 年 7 月 14 日)



(d) 榎ノ山川の豪雨当時の水位(地域住民提供)日) (2018 年 7 月 7 日)

図 2-3-4-4 瀬野駅周辺の被害状況

(3) 本川中下流部(広島市安芸区中野~瀬野川河口)

図 2-3-4-5 に安芸区中野〜畑賀川合流部までの被害状況を、図 2-3-4-6 に海田町内の被害状況をそれ ぞれ示す.安芸区中野東6丁目の平原橋の湾曲部(ブロック 30,31)において,外岸側左岸の侵食によ る護岸損壊が発生した(図 2-3-4-7).湾曲部の左岸側で速い流れに伴う河床侵食が生じ,護岸のブロッ クが根元から沈下,倒壊し,国道2号線が陥没した.中野4丁目より下流側の区間では,越水,逆流に 伴う浸水被害は右岸側に集中して発生している.その理由の一つとして,国道2号線が走っている左岸 側の天端高は,右岸側と比べて数10cm高いことが挙げられる.右岸側の海田町畝地区の越水による浸 水区間では,図2-3-4-8の越水痕跡が見られ,付着物の高さから浸水高は地盤高+30cm程度と推定さ れる.国土地理院の5mDEMによれば,右岸側の地盤高6.7m,対岸の左岸の国道2号線上の地盤高は 7.5m前後である.また,JR山陽本線の下を潜り高水敷の遊歩道と繋がっている人道ボックスカルバー トや水路を通じて,堤内地側への浸水の危険も高い.



図 2-3-4-5 瀬野川中野地区および畑賀川の被害箇所の分布



図 2-3-4-6 安芸郡海田町の被害箇所の分布



図 2-3-4-7 中野東の国道 2 号線の堤防損壊 (2018 年 7 月 14 日)



図 2-3-4-8 海田町畝地区の越水痕跡 (図 2-3-4-6 のブロック 40) (2018 年 7 月 17 日)

(4) 畑賀川の被害状況

本調査で得られた畑賀川における被害箇所を図 2-3-4-5 に示す.砂防堰堤より下流側の26ヶ所をプロットしている.主に河床侵食に伴う,護岸根元からの洗堀による被害が中心であった(図 2-3-4-9a,bなど).石積みブロック全体が崩壊し,家屋や建造物真下の地盤を侵食する被害が見られる.家屋地盤への 侵食が確認されたのは,図 2-3-4-5のH6(左岸側),H12(右岸側),H13(右岸側),H15(左岸側),H19 (左岸側),H20(右岸側)の6箇所であった(図 2-3-4-9c,d,e).その他では,河床の侵食により,石 積みブロックの根元から崩壊し,盛土が奥行深く崩壊する形での被害が随所に現れている.H12ブロック の支流合流部では,右岸側の地盤の侵食により,家屋2棟倒壊する被害が発生した.護岸崩壊により流出 した中には,大きさ1mに及ぶ礫やブロックなども混ざって流下していた.合流部に堆積した土砂(図 2-3-4-9f)のうち,そのすべてが上流側の土石流危険渓流で生産されたものとは限らず,過去の土砂災害で 中流部に一時的に堆積した巨礫混じりの土砂が,河床や護岸の侵食によって再度河道内に流出,堆積した ものも混じっているように思われる.



(a)砂防堰堤直下の越流による被害(H26)(2018 年 8 月 29 日)



(c) 地盤の侵食による消防団出張所の被害(H20)(2018 年 8 月 29 日)



(e) 左岸の侵食(H6)(2018年7月17日)



(a) 左岸側の護岸の損壊状況 (ブロック H25) (2018 年 8 月 29 日)



(d) 合流点付近の右岸側の河床侵食と堤外地側に転倒した家屋(H12)(2018 年 8 月 29 日)



(f) 瀬野川合流点(2018 年 7 月 17 日)

図 2-3-4-9 畑賀川での被害状況

2.3.5 野呂川水系中畑川

中畑川(図 2-3-5-1)は二級河川の野呂川水系に属し,前平山(標高 500.9m)と虚空蔵山(標高 431.2m) の間の谷地にあたる呉市安浦町大字中畑から南東方向に流れ,安浦町内海北 4 丁目で虚空蔵山の東側を 流れる二次支川の赤向坂川が合流し,そのまま南東方向に流下し内海南 1 丁目で本川の野呂川と合流す る.なお,この合流地点は河口から約 1.3km にあり,そのすぐ下流で中切川も注いでおり,この周辺は標 高が 3m に満たない低地となっている.宅地や商業地は,この低地周辺から山の裾野にかけて広がってい る.河床勾配は赤向坂川の合流点(内海北 4 丁目)辺りまでが 1/25 程度,内海北 1 丁目辺りまでが 1/100 程度,野呂川との合流点(内海南 1 丁目)までが 1/500 程度となっており,流路延長 6km 程度の間に急 激に河床勾配が変化している.



図 2-3-5-1 野呂川水系中畑川

(1) 中畑川中流部

図 2-3-5-2 に中畑川中流部での調査地点を示す.

図 2-3-5-3 に地点①および②での被災状況を示す.地点①は赤向坂川との合流地点から数百 m 下流に 位置する湾曲部となっており,橋梁(頓原橋)もあることから橋梁の上流側で水位が上昇し,湾曲部外岸 で水衝部となっている右岸側が激しく侵食され,護岸が破壊され破堤に至っている(図 2-3-5-3a).そし て,図 2-3-5-3b に示すように,主にこの地点から越水し田畑に土砂流出が生じている.また,橋梁(頓 原橋)の床版上にも流木が捕捉されていることから,水位は路面以上に達し,内岸側にあたる左岸でも越 水したと推測される.そのため橋梁のすぐ下流の左岸側の護岸も,上部から裏込めへの浸水により崩落す る形で破壊が生じている(図 2-3-5-3c).地点①からさらに数百 m 下流に位置する地点②の橋梁(北川 橋)は完全に破壊され,橋桁,橋脚とも流失した(図 2-3-5-3d).残存した右岸側の柵部分に流木の捕捉 や,橋梁の上流側の左岸のやや低くなっている部分に土砂の堆積が確認できる.ただし,右岸側の道路に さほど多くの流出土砂は見られない.また,橋梁の中央部分に一本あった橋脚の跡には河床洗堀は見られ なかった.これらのことから,地点②前後,つまり地点①下流側から地点③付近までのほぼ直線の部分で



図 2-3-5-2 中畑川中流部(県道 34 号線以北)の調査地点(地点①~⑥)



(a) 地点①右岸側(外岸側) 越水箇所



(b) 地点①右岸側での土砂流出の状況

北川林



(c) 地点①左岸側での護岸の破壊
(d) 地点②:橋梁(北川橋)の破壊・流失
図 2-3-5-3 中畑川中流部(地点①,②)の被災状況(7月20日撮影)

は、両岸への越水は少なく流れが河道に集中し、桁や橋脚に流木等が引っ掛かった状態で流体力が作用し



(a) 地点③; 湾曲部(水衝部)



(b) 地点③右岸側の道路(土砂等流出)



(c) 地点④右岸側での越水, 土砂・流木流出の状況



(d)橋梁高欄の破損・流失



(e) 地点④右岸側での破堤の状況(7月20日撮影((e)は15日撮影))

図 2-3-5-4 中畑川中流部(地点③)④)の被災状況

押し流される形で橋が流失したものと推測される.

図 2-3-5-4 に地点③,④,図 3-5 に地点⑤,⑥の被災状況を示す.図 2-3-5-4a に示す地点③は,地点 ①下流側から続く直線部分が左岸側に湾曲し始める水衝部にあたり,地点③より下流の右岸側は山の裾 野につながる左岸側より地盤が低くなっている影響もあり,右岸側堤内地(安浦町内海北 2 丁目)に越 水・土砂流出が生じた(図 2-3-5-4b).この右岸からの越水は,図 2-3-5-4c に示す地点④の状況のよう に,比較的地盤が高い県道 34 号線御幸橋(地点⑤付近;内海北 2 丁目 1 番)辺りまで続き,内海北 2 丁 目 1 番~9 番の堤内地一帯は浸水と大量の土砂流入が見られた.これに対して左岸側の住民の方に伺った





(a) 地点⑤右岸での土砂痕跡(奥:御幸橋)

(b) 地点⑤での橋梁高欄の破損





(c) 地点⑥での痕跡水位(70cm)
(d) 地点⑥での流木等によるフェンス破損
図 2-3-5-5
中畑川中流部(地点⑤,⑥)の被災状況(7月20日撮影)

ところ, 左岸側(内海北3丁目, 中央北2丁目)は越水・浸水被害はあまりなかったとのことであった. これは, 図2-3-5-5aからも分かるように, 右岸側堤内地が左岸側より地盤が低く, 地点③より下流の右 岸から越水したためと考えられる. その結果, 地点⑥周辺の右岸側堤内地では, 70cm 程度冠水し, 流入 した流木や押し流された石塊などによる家屋の損壊も生じた(図2-3-5-5c, d).

図2-3-5-6に堤内地(安浦町内海北2丁目1番~9番)への越水および土砂・流木等の流出の概要を示 す.地点③上流側の直線部分から勾配が緩くなるとともに湾曲し水衝部となっている地点③から,左岸に 比べて地盤が低くなっている地点④,⑤にかけての右岸側から越水が生じた.これには,地点③から⑤に かけての3本の橋梁がいずれも破損または流失が起きていることから,3本の橋梁の存在が越水を助長し たと考えられる.特に,地点④の橋梁は流失を免れたことで隣接していた倉庫(この倉庫は倒壊)と一体 となって大量の流木を捕捉し,河道での流下を阻害することで堰上げが生じ,すぐ上流側右岸の破堤につ ながったと推測される.この結果,破堤箇所を中心に堤内地への浸水・土砂流入が生じたと考えられる.



図 2-3-5-6 堤内地(内海北2丁目)への越水・土砂流出の概要(写真:2009 年撮影)



図 2-3-5-7 中畑川下流部(県道 34 号線以南)の調査地点(地点①~⑩)

(2) 中畑川下流部

図 2-3-5-7 に中畑川下流部での調査地点を示す.

図 2-3-5-8 に地点①の状況を示す.図 2-3-5-8a は地点①から上流側,図 2-3-5-8c は下流側をそれぞ れ撮影したものある.図 2-3-5-8a から分かるように県道 34 号線御幸橋辺りから河口までほぼ直線河道 となっている.御幸橋以北では左岸側への越水は多くなかったが,御幸橋以南では左岸側へも越水・土砂 流出が見られる.これは、この周辺の左岸側の地盤が低いことと、図 2-3-5-8d に示すような橋梁で捕捉 された流木等による流水阻害に伴う堰上げが生じていたと推測される.また、図 2-3-5-8a に示す右岸側 に安浦小学校があり、小学校校門での痕跡水位は約 70cm であった(図 2-3-5-8b).

図 2-3-5-9 は鉄道橋より下流側の地点②(右岸)の様子である. 痕跡水位はコンクリート堤より数十 cm 高く(図 2-3-5-9a),堤防を越水し,土砂の堆積を生じさせた(図 2-3-5-9b).また,地点②のすぐ上 流にあった橋梁(人道橋)は破壊され流失しており,洪水流の流体力の大きさを物語っている.右岸側への越水により,内海南1丁目3番の周辺(横町商店街と呼ばれている地区の周辺一帯)では,図 2-3-5-10の痕跡水位が示すように,最大で約200cmの浸水が生じた.

図 2-3-5-11 に示すように、地点②の左岸側(安浦町中央2丁目6番)で長さ約30m にわたる破堤が生じた. これの原因は、100m ほど下流にある橋梁(道路橋と人道橋)での流木等による流水阻害の影響もあり、水位が堤防天端を越えていた時間が長かったことに伴う越水による破堤である. 図 2-3-5-12 に破堤箇所周辺の標高を示す. 図 2-3-5-13 はより広域の標高図を示している. 破堤箇所付近の左岸側堤内地は、右岸側堤内地よりも 1~2m 地盤が低い後背湿地で水田となっている. また、堤防付近に石垣等でかさ上



(a) 地点①上流側(右岸側は安浦小学校)





(b) 安浦小学校校門での痕跡水位(70cm)



(c) 地点①下流側(正面: JR 呉線鉄道橋)
(d) 鉄道橋の流木撤去前の状況
図 2-3-5-8 中畑川下流部(地点①)の被災状況(7月20日撮影((d)は15日撮影))





(a) 地点②右岸側の痕跡水位等
(b) 土砂堆積(右岸)と,橋梁の流失
図 2-3-5-9 中畑川下流部(地点②)の被災状況(7月20日撮影)



図 2-3-5-10 中畑川下流部(地点③)の被災状況(7月20日撮影)



(a)破堤箇所(上流側)(b)破堤箇所(下流側)図 2-3-5-11 中畑川下流部(地点②)の被災状況;左岸側破堤(7月20日撮影)

げされて堤体と一体となる形でほぼ天端の高さに家屋が立ち並んでいるが,2軒分または3軒分家屋が建っていない区間が2つあり,さらにその家屋がない部分の裏のり尻,つまり農地の堤防側の隅に倉庫などが建っていた.また,堤防付近に石垣等でかさ上げされて堤体と一体となる形でほぼ天端の高さに家屋

が立ち並んでいるが、2軒分または3軒分家屋が建っていない区間が二つあり、さらにその家屋がない部 分の裏のり尻、つまり農地の堤防側の隅に倉庫などが建っていた.そのため、越水時に右岸側よりも左岸 側の方で、左岸側のうちではこの家屋がない二つの区間でより越水流の流速が上がりやすい条件となっ ており、裏のり尻の洗堀が集中的に進行し、この場所で破堤したものと推定される.

この破堤により、安浦町中央1丁目~6丁目および中央北1丁目、2丁目の広範囲に濁水が浸水した. 図 2-3-5-14 に示す7月10日での航空写真(株式会社パスコ撮影)と、図 2-3-5-13の標高図と照らし合わせると、浸水および土砂が堆積した範囲は標高2m以下の地域(図 2-3-5-11 または図 2-3-5-12 の白および赤茶色の部分)とほぼ一致する.なお、この冠水した濁水は、降雨が収まっても数日は水が引かなか



図 2-3-5-12 破堤箇所周辺の標高(国土地理院地図より作成)



図 2-3-5-13 対象地域の標高(国土地理院地図より作成)



図 2-3-5-14 航空写真(株式会社パスコ,7月10日撮影)

った.

(3) 野呂川と中畑川の合流地点付近

中畑川の野呂川,中切川との合流地点付近や,この付近の野呂川,中切川の調査地点は,図2-3-5-7に示した通りである.

図 2-3-5-15 に野呂川との合流地点(地点④),中切川との合流地点(地点⑤),三川合流後の河口付近 (地点⑥)の土砂堆積の様子を示す.図 2-3-5-15a に示すように,中畑川と野呂川の様子が大きく異な る.写真は豪雨災害から2週間後(7月20日撮影)のものであるが,中畑川の水は濁ったままである. 流送土砂の粒径は野呂川の方はかなり大きく石,礫も流送されているのに対し,中畑川ではかなり粒径が 細かくシルト分も多く含まれている様であった.これは,野呂川の上流には野呂川ダムがあるのに対し, 中畑川にはダムはなく,中畑川上流域で多発した土石流による粒径の小さい真砂土の河川への流入の影 響が大きいと考えられる.また,撮影日はまだ堤内地への浸水により市街地に被覆された泥の撤去作業, 清掃作業が行われている段階であったことの影響も考えられる.いずれにしても今回の豪雨による中畑 川上流域での流出土砂量の多さを示す現象と言える.中切川の合流の様子は野呂川と似ており,比較的粒 径の大きい砂礫分が多く見られた(図 2-3-5-15b).三川が合流後は,河幅が広がり,河床勾配も小さく なることから,特に滞留しやすい左岸側に多量の土砂の堆積が見られた(図 2-3-5-15c).

なお,野呂川との合流地点付近の中畑川の被災状況は,左岸側堤防付近に関しては合流地点に近づくほ どいくらか越水した痕跡が見られる程度で大きな被害はなかったようである.これは,数百 m 上流で生



(a) 野呂川との合流地点(地点④)の様子



(b) 中切川との合流地点(地点⑤)の様子 (c) 河口付近の土砂堆積の様子 図 2-3-5-15 野呂川・中切川との合流地点付近(地点④~⑥)の被災状況(7月20日撮影)

じた破堤によるもので,左岸側堤内地の被害の度合いは地盤高による浸水深に依存している.むしろ,合 流地点付近では右岸側堤内地の方が浸水等の被害が大きかった.これは,この地区が野呂川の左岸側堤内 地にも当たるためである.また,中畑川の破堤により安浦町中央に冠水した水が引くまでに時間を要した ことは本川である野呂川の影響も考えられることから野呂川の状況も簡単に記しておく.

図 2-3-5-16 に野呂川での被災例を示す.図 2-3-5-16a は野呂川(地点⑦)での橋梁の損壊状況である. 野呂川にはこの橋梁より下流側に3本の人道橋が掛かっていたが,いずれも損壊・流失している.崩落し た橋桁には木の枝などの漂流物が引っ掛かっており,また下流側での痕跡水位を見ると越水した様子が 伺え,河道も直線的であることから相当な流速と流量で流下していたと考えられる.図 2-3-5-16b は地 点⑧での河岸の侵食の状況である.この地点は湾曲部の外岸側にあたり,水衝に伴う側方侵食が生じた. 中畑川での洪水と比較すると,大きな流木は流れていないこと,下流域に関わらず粒径が大きいことなど が挙げられる.これは,上流には野呂川ダムの存在によって下流の河道を流下する流出土砂が少なかった と推測される.例えば,地点⑧では水衝部で越水した様子もあったが,越水によって道路上に流れ出た土 砂を見ると,一般的な河川の洪水時に見られるような砂質の土砂で,粒径の小さい中畑川でのシルト質の 堆積物とは大きく異なる.つまり,中畑川が今回の豪雨災害の特徴でもある多発した土石流等の土砂災害 に伴う大量の河道への土砂流入が特徴的であるが,野呂川がダムの存在により下流域では大量の土砂流





(a)野呂川(地点⑦)での橋梁の損壊
(b)野呂川(地点⑧)での河岸侵食
図 2-3-5-16 野呂川(地点⑦,⑧)の被災状況(7月20日撮影)

入を伴わない洪水であったと言える.ただし,洪水流量としては想定を遥かに上回るものであったと言える.そして,この想定を超える流量・水位の維持が中畑川河口部(野呂川への合流部)の水位も維持させ, 安浦町中央の冠水の長期化に影響した可能性がある.ただし,安浦町中央の排水は中央 6 丁目の排水機 場の稼働状況との兼ね合いもあるため,冠水が長期化した原因については今後の検討が待たれる.

2.3.6 黒瀬川水系黒瀬川

黒瀬川は、流域面積 238.8km²、流路延長 50.6km の二級河川であり、流域北端の標高 666m 虚空蔵山に 始まり、吾妻子の滝を挟んで西条盆地、黒瀬盆地を南流し、二級峡を経て、広沖積平野から瀬戸内海に注 ぐ(図 2-3-6-1). 西条盆地内を湾曲しながら流れる上流部は概ね河床勾配 1/300~1/800、川幅 10~50m で、黒瀬盆地内で蛇行を繰り返す中流部は概ね河床勾配 1/700~1/800、川幅 50~70m であるが、下流部 二級峡で約 1/70 の急勾配となった後、河口部では勾配 1/1,000~1/1,500、川幅 100~150m のゆったりとし た流れに戻り海に至る.



図 2-3-6-1 黒瀬川水系黒瀬川

(1) 黒瀬川中流部

図 2-3-6-2 に黒瀬川中流部での調査地点を示す.

図 2-3-6-3 に地点①の被災状況を示す.中流部(黒瀬町南方)で湾曲部外岸側にあたる左岸堤防の表の りに幅約 3m に渡る崩落が発生した(図 2-3-6-3a).奥行きは天端(幅約 3m)の3 分の1 程度までに達 していた.崩落箇所の約 50m 上流左岸側が支川の竹保川の合流地点となっているが,砂州の形状から, 合流による剥離流発生などの影響は小さく崩落箇所辺りが黒瀬川本川での洪水流の水衝部となっていた と考えられる(図 2-3-6-3b).また,対岸での植生の倒れ等の痕跡から,ピーク時には天端まで1~2m まで水位が迫ったと推測されるが,越水はしていない(図 2-3-6-3c).これは,この地点①から最も近い 上流に約 4.5km の樋ノ詰および下流に約 4.2km の松ヶ瀬の両水位観測所とも一時はん濫危険水位を超え



図 2-3-6-2 黒瀬川中流部の調査地点(地点①~③)



(a) 地点①での表のり面の崩落

(b) 上流側の様子



(c) 痕跡水位(対岸)
(d) 護岸工の状況(Google マップ)
図 2-3-6-3 黒瀬川中流部(地点①)での表のり面の崩落((d)を除き7月20日撮影)

た(樋ノ詰:はん濫危険水位 3.00m に対し最高水位 3.93m,松ヶ瀬: 2.65m に対し 4.47m)ものの,殆ど 越水はしていないことから妥当である.したがって,この地点①での表のりの崩落は,湾曲部の外岸側で



図 2-3-6-4 黒瀬川中流部(地点①付近)での床固め工の破損状況(7月20日撮影)

高速流域となり、高い掃流力でのり先またはのり面中央あたりを直接侵食することで、天端部分から崩落 したものと推定される. なお、図 2-3-6-3d に示すように、崩落箇所の上流側、下流側ともコンクリート ブロック護岸などがあるものの、この崩落箇所を含む約 30m にはコンクリート製の護岸は施されていな かったことも、この地点でのり面の崩落が生じた要因と考えられる.

なお,同様な増水による護岸の崩壊は,黒瀬川の上流域・中流域において,西条町寺家や西条町田口な ど数地点で発生している.

図 2-3-6-4 は、地点①より 300m ほど上流に設置されていた床固め工(帯工)の被災状況である.床固め工の構成要素であるコンクリートブロックが剥がれるような形で外れて、少し下流側に押し流されて 散乱している.河道の中央ほど外れているように見える.この度の豪雨災害は被災の範囲がとてつもなく 広く甚大であるため、このような見落とされそうな比較的軽微な被害も相当数発生していると考えられ る.

図 2-3-6-5 に地点②の撮影場所 A~D の位置を示す.図 2-3-6-6a は右岸側から床固め工や左岸側を撮影したものである.床固め工など河川構造物の損壊等は見られなかった.図 2-3-6-6b は左岸側から松ヶ瀬橋のすぐ下流右岸側に設置されている松ヶ瀬水位観測所を撮影したものである.7月6日に記録された最高水位 4.47m の位置は堤防天端に近く,痕跡からも完全に越水した様子はないものの,構造物による堰上げなどにより一部で水が天端に達したと推察される.図 2-3-6-6c は右岸側の図書館入口付近の土砂の堆積の様子を示すが,右岸側ではこの周辺を中心に洪水流が天端に達した痕跡が見られた.これは,図書館入口付近の表のり面に親水施設としてスロープなどがあるため,洪水流が昇りやすくなっていたに達した時刻前後の比較的短時間であったと考えられる.この右岸側のわずかな越水は,図 2-3-6-6d に示すようにやや地盤高がある黒瀬中央橋付近で治まっている.これは,最高水位でも黒瀬中央橋の上部工までは達せず橋梁による堰上げがあまり生じなかったことが一因と推察される.

図 2-3-6-7 に黒瀬中央橋より上流側左岸(地点 A 辺り)から下流方向を撮影したものを示す. 図 2-3-6-8 に地点③(黒瀬中央橋より下流側)の被災の状況を示す. なお,撮影場所は図 2-3-6-5 に示している. 図 2-3-6-7 より,黒瀬中央橋の上部工の下から,黒瀬中央橋より下流側の左岸天端が見える. つまり,



図 2-3-6-5 地点②および③の撮影位置(A~J)



(a) A: (左岸側から) 床固め, 図書館



(b) B:(右岸側から) 松ヶ瀬水位観測所



(c) C:図書館入口付近の土砂の堆積



(d) D:右岸側の黒瀬中央橋付近 図 2-3-6-6 地点②の様子(写真A~D;7月20日撮影)

黒瀬中央橋より下流側の左岸は最高水位より低くなっており、越水が生じやすくなっていたと考えられ る.

図 2-3-6-8a に示すように、右岸側は黒瀬中央橋西詰めの路面から徐々に 1m以上下っており、痕跡が 示す通り越水が生じた.図2-3-6-8bは黒瀬橋西詰め近くの右岸側堤内地の土砂堆積の様子である.この 周辺はショッピングセンターの駐車場となっており天端に比べて地盤が低く、洪水流が流入しやすい状



図 2-3-6-7 黒瀬中央橋の上流左岸側(地点 A 辺り)から下流側を撮影



(a) E:右岸側表のりの様子



(b) F:右岸側堤内地の土砂堆積



(c) G:砂州·流路と護岸崩落地点



(d) H: 笹野川合流点での護岸の崩落





(e) I:左岸側の洪水痕跡
(f) J:左岸側(裏のり面)の
図 2-3-6-8 地点③の様子(写真 E~J:7月 20 日撮影)

況であったと推測される. 図 2-3-6-8c は砂州の形成と流路の様子を示すが,ちょうど直線的に流下した 洪水流が水衝する場所が支川の笹野川との合流部となっており,図 2-3-6-8d に示すように護岸の侵食・ 崩落が生じた.ここでのコンクリート護岸の上端は堤防天端から 1~1.5m 下に位置しており,洪水時に は護岸工の上端より水位が上昇したことから,裏込めへの浸透が生じて護岸がずれ落ちたものと推察される.図2-3-6-8e,fに示すように左岸側でも越水が生じた.

(2) 黒瀬川下流部

図 2-3-6-9 に黒瀬川下流部での調査地点を示す.

図 2-3-6-10 は町田水位観測所付近での 7 月 7 日 10 時頃の黒瀬川の様子である.町田観測所でのはん 濫危険水位は 3.45m で,最高水位は 4.43m を記録している.7 日 10 時頃は,ピークは過ぎていたものの 依然としてはん濫危険水位程度の状態であった.図 2-3-6-10a, b, c からいつ氾濫してもおかしくない危 険な状況であったことが分かる.また,図 2-3-6-10d から分かるように,さらに上流側での土石流発生に 伴う土砂の流入により,多量の土石が堆積した.

図 2-3-6-11 に、流失した真光寺橋(地点⑤)の様子を示す. 真光寺橋は歩行者専用の木造の橋梁である. ただし、橋脚はコンクリート製である. これが、右岸側の2つの橋脚と左岸側の2つの橋脚とそこまでの桁を残して、大部分が倒壊・流失した. 洪水痕跡では、2m以上あるものの橋桁部分には達していないことから、橋脚に多量の流木等が捕捉され流体力の増大により倒壊したものと推測される. 倒壊した真光寺橋の大部分は、すぐ下流の橋梁に引っ掛かった状態となっていた(図 2-3-6-11e, f).

図 2-3-6-12 に、黒瀬川河口から約 1.6km にある日の出橋の床版下部に放置されていたペットボトルを 示す.これは7月9日撮影に撮影したもので、ペットボトルのラベルの退色具合から、7月6日の洪水発 生以前に置かれたものと考えられ、洪水時にはこの位置まで水位が達していなかったことを示している. っまり、直近の町田観測所で計測された水位では、はん濫危険水位を 1m 近く上回っていたものの、黒瀬 川の下流部では海への排水能力に優れ、越水や破堤等の大きな被害に至らなかったと言える.ただし、周 辺の一部地区では本川の黒瀬川の水位が高く維持されたため、内水氾濫が生じたとの報告がある.



図 2-3-6-9 黒瀬川下流部の調査地点(地点④~⑥)



(a) 町田観測所付近下流側(7日10時)



(b)町田観測所付近上流側(7日10時)







(a) 真光寺橋左岸側



(b) 真光寺橋全景 (左岸から撮影)



(c)痕跡水位



(d) 橋脚の流木等の捕捉





(e) 捕捉された倒壊した真光寺橋1
(f) 捕捉された倒壊した真光寺橋2
図 2-3-6-11 倒壊・流失した真光寺橋の様子(7月9日撮影)





図 2-3-6-12 日の出橋の床版下部に放置されていたペットボトル(7月9日撮影)

2.3.7 黒瀬川水系笹野川

笹野川 (図 2-3-7-1) は二級河川の黒瀬川水系に属し,主に東広島市黒瀬町兼広と黒瀬町楢原を流れる, 流路延長が 2km 程度の小河川である.

(1) 笹野川での被災箇所の様子

笹野川での被災は2箇所の堤防の崩壊である.いずれも本川の黒瀬川との合流部の近く,一つは図2-



図 2-3-7-1 黒瀬川水系笹野川



図 2-3-7-2 笹野川での被災箇所(地点①, ②)の位置

3-7-2 中の地点①で,合流点から 90m ほどの右岸側の裏のり部(堤内地側)で,河道としては湾曲部の内 岸側にあたる.もう一つは図 2-3-7-2 中の地点②で,こちらは合流点からわずか 20m ほどの右岸側の裏の り部(堤内地側)で,河道としては地点①の湾曲部を過ぎて合流点直前の直線部分にあたる.

地点①の被災状況を図 2-3-7-3 に示す.崩壊部分の上流側の端(図 2-3-7-3a)から下流側の端(図 2-3-7-3b)までは約 30m に及んでいた.河道にはコンクリート護岸が施されているが,この護岸の損傷は 見られず,図 2-3-7-3c に示すように表のりの護岸工上端の土の部分からアスファルト舗装された天端も 含めて裏のりにかけての裏込め土砂が,護岸工の裏部分まで掘り起こされるような形で,堤内地に向けて 河道湾曲のほぼ法線方向に直線的に流出している(図 2-3-7-3d).流出した土砂の幅は 20~10m ほどあ り,その長さは 100m 近くまで達しているように見受けられた(図 2-3-7-3e, f).

地点②の被災状況を図 2-3-7-4 に示す.裏のり部(堤内地側)で,天端で道路として使用するためにア スファルト舗装された部分と,裏のり面への続く天端の隅の部分のアスファルト舗装されていない部分



(a)崩壊部分の上流側



(b) 崩壊部分の下流側



(c)崩壊部分の裏込め



(d) 正面中央からの様子



(e) 裏込め土砂の流出(堤防付近)
(f) 裏込め土砂の流出(中間)
図 2-3-7-3 堤防の崩壊箇所:地点①の様子(7月20日撮影)



図 2-3-7-4 堤防の崩壊箇所:地点②の様子(7月 20 日撮影)

の境目から裏のり部分がずれ落ちる形で崩壊している.崩落した部分の大きさは幅が約 3~4m,長さは約 5m である.

(2) 笹野川での被災(堤防の崩壊)のメカニズム

笹野川の黒瀬川との合流点近くの2箇所で発生した堤防崩壊のメカニズムを、図2-3-7-5に示すよう な周囲の洪水痕跡から検討した.図2-3-7-5a,bより,痕跡水位が1m以上と高く、しかも土砂流出の方 向や痕跡から推察される流向は笹野川河道から見たらほぼ直角方向であり、笹野川の流量の増大による 越水で地点①の崩壊が起きたとは、笹野川の河川規模からすると考えにくい.しかも、地点②の堤防崩壊 は、橋梁による堰上げによるものとすると発生位置が不自然であるし、地点①での崩壊が生じている時点 で地点②での崩壊は起こり得ないと考えられる.また、図2-3-7-5cで示した痕跡も笹野川の流向とは異 なり笹野川の河道を横断する方向となっている.図2-3-7-5eに示すように、黒瀬川との合流地点より少 し上流側の痕跡を見てみると、越水の痕跡が見られ、越水後に笹野川を横断するような流向の跡が見られ る.また、黒瀬川では黒瀬中央橋の下流右岸で越水が生じて、右岸側の店舗駐車場に濁水が入流したこと が明らかになっていることから、その濁水が笹野川の河道に対して直角方向に流れ込んだと推定すると、 地点①での崩壊と土砂流出の方向はうまく説明がつく.さらに、図2-3-7-5dのように、この黒瀬川堤防 を越水した水が橋梁(笹野橋)の上を流れて地点②(笹野川の石岸堤防の裏のり)に達したとすると、地 点②での裏のりの崩落もつじつまが合い、地点①での崩壊と同時に起こったとしても矛盾は生じない.

以上のことをまとめると、笹野川の合流点近くで発生した2箇所の堤防崩壊は、黒瀬中央橋下流側から笹野川との合流点までの右岸を越水した洪水流が笹野川の左岸側から横断方向に流入・流過することで、笹野川の右岸側が弱くなり、流れが集中しやすい地点①や②で崩壊が生じたと推察される.

このメカニズムの端的に捕らえた航空写真を図 2-3-7-6 に示す.この写真は,近くの黒瀬町上保田で 発生した土石流を捉えたものであるが,写真の下部に今回の笹野川での2箇所の堤防崩壊が捕らえられ ている.特に,地点①の土砂の流出や,黒瀬中央橋下流側からの越水による濁水の拡がりは分かりやす い.



(a) 堤防近くの痕跡水位 1.7m(奥に流出土砂)



(b) 痕跡水位 1.4m(奥に流出土砂の中間)



(c) 地点①から約 50m 上流側の痕跡



(d) 合流点の橋梁上に土砂 (奥に地点②)



(e)黒瀬川(合流点上流側)からの越水の痕跡

図 2-3-7-5 黒瀬川からの越水よび笹野川横断の痕跡(7月20日撮影)


図 2-3-7-6 航空写真(株式会社パスコ,7月10日撮影)

2-3-8 沼田川水系沼田川

沼田川は、その源を鷹ノ巣山(標高922m)に発し、途中、支川である入野川、椋梨川、菅川、梨和川、 仏通寺川、天井川を合わせながら南東方向に流れ、瀬戸内海へ注ぐ流域面積 540.0 km²、流路延長 47.8 km の二級河川である(図2-3-8-1、表2-3-8-1)^{6,7)}. 流域は、大きく上流の東広島市、下流の三原市に分かれ、 一部竹原市を含む.東広島市に沼田川本川の福富ダム、椋梨川に椋梨ダムを有する. 図2-3-8-2は沼田川 下流域の河川縦断図である.下流から12kmまでの平均勾配はおよそ1/1400である.表2-3-8-2に本川、支 川の水位観測点の標高を示す.



図 2-3-8-1 沼田川流域⁷⁾

河川夕	河川延長	流域面積
何川泊	(km)	(km^2)
沼田川	47.8	540.0
入野川	16.8	74.3
椋梨川	31.5	168.9
菅川	3.7	19.2
梨和川	4.8	43.1
仏通寺川	17.1	33.0
天井川	9.7	38.9

表	2-3-8-1	沼田川水系の主な支川と流域面積
---	---------	-----------------



図 2-3-8-2 沼田川下流の河川縦断図⁷⁾

本川の	ゼロ点高	知测地上 (士川友)	ゼロ点高
観測地点	(T.P.m)	観側地点(又川名)	(T.P.m)
河戸	174.9		
		中島(入野川)	203.5
		失平 (入野川)	139.9
中河内	101.2		
		椋梨(椋梨川)	292.5
		和木(椋梨川)	265.2
		奥条(椋梨川)	139.2
船木	7.0		
		菅川橋(菅川)	10.3
		南方(梨和川)	8.1
		本郷(仏通寺川)	5.2
七宝	1.4		
		沼田東(天井川)	3.7

表 2-3-8-2 水位観測点の標高

図2-3-8-3に本豪雨による沼田川本川の水位計で計測された水位変動量のハイドログラフを示す. 沼田 川上流部に位置する中河内では7月6日夜に第1ピーク,7月7日朝に第2ピークをもつが,下流部の船木,七 宝では,これらのピークはほとんど目立たなくなっている.これは,後述するように,大きな流域面積を 持つ椋梨川からの流入量が椋梨ダムによって第1ピークと第2ピークがカットされ,全体的に1つのハイ ドログラフとして流出したためである.このため降雨から自然流出する洪水ハイドログラフは二山であ ったが,福富ダム,椋梨ダムの効果によって,第1ピーク,第2ピークが低減され,一つの緩やかな波形の 洪水ハイドログラフが下流域に流下した.本川の水位ピーク発生時間を表2-3-8-3に示す.支川ハイドロ グラフの影響はあるものの,水位が上昇すると洪水到達時間が早くなっていることが確認できる.第1ピ ークは下流でつぶれていて判断できないが,第2ピークから,中河内〜船木間の洪水水位ピーク通過時間 はいずれも1.17時間であった.



図 2-3-8-3 沼田川本川の水位変動量

	水位ピーク時間 2018/7/05 0:00 をゼロ			
水位ピーク時刻(中河内)	河戸	中河内	船木	七宝
2018/07/05 19:30	19.33	19.50	21.83	23.17
(計測点間時間)		0.17	2.33	1.33
2018/07/06 9:30	33.17	33.50	35.00	36.33
(計測点間時間)		0.33	1.50	1.33
2018/07/06 21:40	45.17	45.67	45.67	-
(計測点間時間)		0.50	0.00	
2018/07/07 6:40	54.50	54.67	55.83	57.00
(計測点間時間)		0.17	1.17	1.17

表 2-3-8-3 沼田川の本川の水位ピーク時間

図2-3-8-4に沼田川上流部の本川水位ハイドログラフと入野川, 椋梨川の水位ハイドログラフの比較を 示す.入野川合流直後の水位ハイドログラフ(中河内)の波形は本川上流に位置する阿戸の水位ハイドロ グラフよりむしろ入野川の合流前の水位ハイドログラフ(矢平)の波形と似ており,中河内の洪水ハイド ログラフは本川よりむしろ入野川合流によって形づけられている.これは,本川の洪水ハイドログラフは 福富ダムによってピーク波形などがカットされているためと考えられる.椋梨川では,椋梨ダム上流の水 位観測点,椋梨,和木では,入野川と同様に明瞭な2つのピーク波形が認められるが,ダム下流の奥条で は、ダムの流量調整によりピーク流量が低減され,水位波形が全体的に遅れていることが分かる.表2-3-8-1より,入野川の3倍強の流域面積をもつ椋梨川で2つのピーク波形をカットして,緩やかな1つのハイド ログラフが流下したことが,長い時間水位が一定の船木の水位ハイドログラフが形成された一つの要因 である.



図 2-3-8-4 沼田川上流部の本川と流入支川の水位変動量

図2-3-8-5に沼田川下流部の本川水位ハイドログラフと下流支川の菅川,梨和川,仏通寺川,天井川の 水位観測点の水位ハイドログラフを示す.本川下流の七宝においても,下流潮位の影響は受けていないこ とが分かる.また,本川下流の水位ハイドログラフで見られない2つの水位ピークが,いずれの支川の水 位ハイドログラフでも明瞭に確認でき,少なくとも観測点においては,本川の背水の影響よりも,流域降 雨の流出の影響の方が支配的である.菅川の第1ピークの立ち上がり水位が船木水位とほぼ一致している のは,なお,菅川の流出波形と沼田川の水位波形が2つの水位観測点の水が一致するように偶々重なった ものと考えられる.

図 2-3-8-6は本川,支川の水位変動波形を比較したものである.ダムの影響を受けている阿戸(福富ダム下流),奥条(椋梨ダム下流)以外の水位波形はよく似ており,沼田川流域全体に一様に降雨が発生したことが分かる.

ダムを集水域に含まない観測点の平均水位変動と各観測点の水位変動の比較を図2-3-8-7に示す.鋭い ピーク波形をもつ入野川以外は、およそ平均水位波形の±0.5m以内に収まっている.図2-3-8-8に、福富ダ ム、椋梨ダム下流の水位変動とダムの無い場合の平均水位波形の比較である.ダムの機能から自明なよう に、水位上昇期に流量を低減させるために、図2-3-8-8はH-Qループのように反時計回りのループを描く (Qがx軸、Hがy軸に対応).即ち、水位下降期の水位上昇は大きくなく、ダムがない場合と比べて、河 道の水位上昇がかなりの程度抑えられている.特に、福富ダム下流の水位は、ダムの無い場合の水面変動 が1.5m以下で、平均値と比較してほぼ-0.5m以下の変動量である.椋梨ダム下流においても、ダムの無い 場合の水面変動が3m以下でやや平均値よりも大きいが、図2-3-8-7の他の点と比較して、大きくなく、ダ ムの無い場合の水面変動が3m以上では水位変動量が平均より明らかに小さい.また、水位上昇から下降 にかけて、グラフの形が右下がりになることなく、概ね平坦に維持されていることは、ダム放流によって 水位を上昇させていないことを意味する.以上のことから、2つのダムの効果の定量評価は流出解析等に よって詳細に検討する必要があるが、全体的に見て、ダムの洪水調節機能が認められる結果となった.



図 2-3-8-5 沼田川下流部の本川と流入支川の水位ハイドログラフ







図 2-3-8-7 集水域にダムを含まない観測点における水位変動



図 2-3-8-8 ダムの存在が水位変動に与える影響

沼田川沿いの各地区の被害状況の説明に先立ち,沼田川下流部の被害の概要を図2-3-8-9に示す.本川 沿いの右岸,左岸が広域で越水による氾濫被害が生じているが,本川堤防は,後述するように,船木地区 で越流侵食被害を受けている箇所はあるものの,破堤は免れている.しかし,沼田川下流域に流入する支 川については,右岸側の菅川が4箇所,仏通川が1箇所,左岸側の梨和川が2箇所(三次川含む),天井川 が1箇所と,いずれの支川も破堤し,氾濫被害を生じさせている.このように,沼田川下流部で浸水被害 を大きくした要因の一つは,このように支川からの越水あるいは破堤氾濫による.特に,菅川では沼田川 側と反対側の堤防が決壊し,ハザードマップに示されていない箇所に浸水被害が広がった(図2-3-8-10).



図 2-3-8-9 沼田川下流域の被害状況

広島県資料(平成30年8月17日現在暫定結果)⁸⁾に菅川右岸の破堤点を追加した.



図 2-3-8-10 船木地区のハザードマップ(三原市資料⁹⁾より作成)と 西日本豪雨による浸水域(広島県資料⁸⁾より作成)の比較



図 2-3-8-11 船木大橋上下流における沼田川の洪水後の状況と氾濫の概要



図 2-3-8-12 船木大橋上下流の沼田川の痕跡水位

(1) 沼田川本川船木地区

図2-3-8-10, 図2-3-8-11に示すように,船木大橋付近の堤内地では大きな浸水被害を受けた.船木大橋 付近の痕跡水位を図2-3-8-12に示す.船木大橋付近では,河道湾曲の影響により,外岸となる右岸側では 1m程度左岸水位よりも高くなり,洪水流は右岸堤防を越流した.

図2-3-8-11に示す①船木大橋の上流右岸では、図2-3-8-13に示すように、堤防を越流する流れにより、 広範囲の堤防の侵食被害と堤内地の浸水、土砂被害を生じさせた.4つの連続した侵食箇所が見られた. 下流から2番目の侵食形状は円弧上になっており,越流侵食は越流する流れを集中化させることによって 三次元的に進むことが考えられる.堤体は主として砂で構成されており,堤内地の宅地用の盛土と併せて 侵食し,堤内地に堆積した.図2-3-8-14は船木大橋上流の右岸越流侵食箇所の堤防の被災状況である.非 越流侵食は免れたものの,堤防の河川側の堤防天端付近において,縦断的に広範囲に亘って侵食被害を受 けている.

図2-3-8-15は船木大橋下流の右岸越流侵食箇所の堤防の被災状況である.民家のある地盤高が高い箇所でも150cm以上,低いところは200cm以上の浸水深であった.



図 2-3-8-13 船木大橋上流右岸の侵食被害の様子. 越流侵食箇所は4か所で下流から順に 番号を付けている.



図 2-3-8-14 船木大橋上流右岸の非越流箇所の侵食被害の様子



図 2-3-8-15 船木大橋上流右岸の堤内地の浸水被害の様子(図2-3-8-11⑦)

船木大橋下流においても図 2-3-8-16 に示すように大規模な円形の越流侵食被害が見られた.船木大橋 下流右岸の浸水,侵食被害は堤防を越流した洪水流だけでなく,図 2-3-8-17 に示すよう小河川を遡上, 氾濫したことも大きく影響した.小河川沿いのパラペットを超え,河川沿いの工場のフェンスに多量の草 本が引っかかって水流の作用により変形している.この工場の敷地内にためられた洪水は,図 2-3-8-18 に示すように道路盛土の大規模侵食破壊を引き起こし,氾濫被害を拡大させたと考えられる.船木地区の 右岸氾濫域は,図 2-3-8-19 に示す土砂堆積の様子から,船木大橋下流の氾濫水が土砂とともに船木大橋 上流右岸の氾濫域に流れることによって広がったことが推察される.





図 2-3-8-16 船木大橋下流右岸の侵食箇所(図2-3-8-112))



図 2-3-8-17 船木大橋下流右岸小河川からの氾濫被害(図 2-3-8-112)



図 2-3-8-18 船木大橋下流右岸工場沿いの道路盛土の崩壊(図2-3-8-11⑤)



図 2-3-8-18 船木大橋下流右岸氾濫水の上流氾濫域への拡大(図2-3-8-11⑥)

図 2-3-8-19 は船木大橋下流左岸の浸水侵食被害の様子である. 左岸堤防高は県道 33 号線となっており,侵食被害はあまり見られなかったものの,今回のピーク水位に比べてかなり低く,多量の洪水流が越流して,左岸の浸水域を拡大させた.



図 2-3-8-19 船木大橋下流左岸氾濫域の様子(図2-3-8-11®)

(2) 沼田川本川本郷地区

図 2-3-8-20 に茶山涯頭首工上流湾曲部をドローンにより撮影したものである.本出水により内岸の砂 州形状が大きく変化している.右岸湾曲部外岸には図 2-3-8-21 左に示すようにパラペット堤が設置され ているが,越流し,堤内地は浸水被害を受けた.右岸外岸部に氾濫した洪水流は上流部の道路盛土を越流 し,図 2-3-8-21 右に示すように侵食を引き起こした.この道路盛土の先には地盤高の低い堤内地が広が っており,仮に決壊すると,相当の氾濫被害が生じたと考えられる.





図 2-3-8-20 茶山涯頭首エ上流湾曲部の洪水前(上2018.3撮影), 洪水後(下2018.7撮影)の様子



図 2-3-8-21 茶山涯頭首エ上流湾曲部右岸の氾濫被害の様子

沼田川沿いの本郷地区には、広島県の本郷取水場(図 2-3-8-9)と三原市の4取水施設があったが、浸水被害を受け、給水再開に長期間を要した.本郷取水場は高さ2mの堤防で囲まれていたが、越流によって 浸水した.断水は復旧活動や病院の入院患者のケアなどに甚大な影響を与えた.

(3) 沼田川本川上流部

図 2-3-8-22 に船木地点上流の湾曲部の橋梁被災箇所を示す.橋梁は外岸部が流出している.残された橋梁にも流下物が捕捉されていることから,外岸に流下物が集中し,流体力が増幅されたことが考えられる.橋梁上流部の護岸は崩落していることが分かる.その直下の JR 線は斜面崩壊によって崩落したが,河岸には侵食や洗掘被害は見られなかった.その下流の③湾曲部外岸では河岸侵食により土砂が抜け,道路が陥没した.



図 2-3-8-22 船木地点上流湾曲部右岸(瀑雪の滝付近)の被災位置



図 2-3-8-23 橋梁被害の様子(図-2.3.8.22①)



図 2-3-8-24 斜面崩落による被害(左,図 2-3-8-22②)と 湾曲部外岸の道路陥没(右,図 2-3-8-22③)

図2-3-8-25に沼田川上流部の入野川や椋梨川との合流部付近の侵食被害箇所を示す. 椋梨川合流後, 沼田川は蛇行しながら流下しているが, 図2-3-8-25の範囲では蛇行4波長含まれ, 図2-3-8-26に示すように 左岸道路沿いの外岸部はいずれも被災している. 特に, 椋梨川合流部近くの④③の湾曲部では, それぞれ 100m, 200mとかなりの長い縦断距離にわたって護岸が崩落している. また, ①の下流の右岸側外岸部が 図2-3-8-22の①の橋梁崩落個所であり, 椋梨川合流部下流の蛇行部の外岸6箇所が連続して崩落したこと



図 2-3-8-25 沼田川上流部入野川・椋梨川合流部付近の被災位置

になる. 図2-3-8-26の⑤は入野川合流部であり, 左岸側には東広島市立河内中学校があるが, 合流部直下の水位が上昇し, 左岸天端高よりも60~80cm高い痕跡水位となっていた.



図 2-3-8-25 沼田川上流部入野川・椋梨川合流部付近の被災位置

2.3.9 沼田川水系天井川

図2-3-9-1に沼田川下流4河川の水位変動の比較を示す.全体的に水位波形はどの河川も同様であることが分かる.これはそれぞれの支川にダムはなく,流域面積に大きな差はなく,雨が広い範囲で一様に降ったためと考えられる.

天井川の破堤は, 図2-3-8-9, 図2-3-9-2に示すように直線部の左岸側で生じた. 破堤部の様子を図2-3-9-3-2に示す. 調査時(7月12日)には破堤部の復旧中であったが, 堤内地には堤防を構成していたと思わ れる土砂が堆積していた.



図 2-3-9-1 沼田川下流4河川の水位変動の比較



図 2-3-9-2 天井川の破堤箇所



図 2-3-9-3 天井川破堤箇所の被災後の様子(7月12日撮影)

図2-3-9-4に破堤部上下流の痕跡水位を示す.痕跡水位は,堤防天端高よりも30~40cm低かった.図2-3-9-5は破堤部直下流の様子である.堤防のり面の植生が堤内地側に倒れている.アスファルトの下が大 きく侵食され,空洞が形成されている.また,堤防裏法面が膨らんでいた.破堤部から下流100mでは堤 防断面が大きくなったおり,痩せた堤防の範囲で図2-3-9-6のようにひび割れや天端陥没などの被害が多 く見られた.図2-3-9-7に破堤部の堤防断面を示す.破堤部以外でも,浸透と見られる天端のひび割れ, 天端の陥没,裏法の盤ぶくれなどが確認され,天端を越水した痕跡が見られず,河道内の痕跡は天端より も明らかに低かったことから,天井川の破堤は浸透によるものと考えられる.





図 2-3-9-4 天井川の痕跡水位



図 2-3-9-5 破堤部直下流の様子





図 2-3-9-6 破堤部下流の堤防断面変化部



図 2-3-9-7 破堤部の堤防断面

2.3.10 沼田川水系仏通寺川

図2-3-10-1に仏通寺川破堤部をドローン撮影した様子を示す.破堤部から多量の土砂が堤内地に流出 し、堆積している様子が分かる(図2-3-10-2).図2-3-10-3に破堤部上下流の被害の様子を示す.破堤部 上流では、住宅街に向かう道沿いに堤防を越流した水が流れ、その流れによって段落ち流れが生じ、侵食 被害が生じている.破堤部下流では、土砂が堤防を乗り上げ、裏法側に多量の土砂が堆積している.破堤 前にかなりの水量が越流していたと考えられ、越流侵食が主な破堤要因と考えられる.



図 2-3-10-1 仏通寺川破堤付近の被害全景



図 2-3-10-2 仏通寺川破堤部の様子 (図2-3-10-1①)



図 2-3-10-3 仏通寺川破堤部の上下流の様子(図 2-3-10-1 左2),右③)

2.3.11 沼田川水系菅川

図2-3-8-9,図2-3-8-10に示したように、菅川では右岸2箇所、左岸2箇所破堤した(図2-3-11-1).その菅川の痕跡水位縦断図を図2-3-11-2に示す.また、図2-3-11-3に合流部付近の破堤の様子を示す.沼田川合流部付近では菅川堤防はかなり低く、沼田川本川との合流点付近の高い水位の影響を受け、多量の氾濫水が菅川から右岸に流れたと考えられる.ヒアリング調査によると、まず沼田川合流部付近の①が破堤し(図2-3-10-4),菅川右岸氾濫域が浸水した.その後、7日夜が明けてから左岸側が破堤したとのことである.このとき、河道水位の低下に伴って、菅川右岸の氾濫域の氾濫水が河道に戻り、その時の流れによって民家の塀やパラペット、堤防が河道方向の流れによって破壊した.破堤した堤防の堤内地側の樹木付近は越流した割には侵食や土砂堆積はほとんど見られず、河道への戻り流れにより破堤が生じたと考えられる.図2-3-11-5は菅川左岸破堤箇所③の様子である.左岸破堤箇所③の下流側堤防は橋梁の堰上げもあり、住宅地を流れて段落ち部を破壊している.縦断水面形から、破堤部の越流水深は高くないが、破堤の下流で越流した流れが侵食し、③の破堤につながったものと考えられる.なお、図より、菅川の河床は密生した植生で覆われていた.図2-3-11-6は菅川左岸破堤箇所④の様子である.破堤部④では痕跡水位と堤防高はほぼ一致し、大きな越流水深の痕跡が見られなかったため、破堤のきっかけが越流であったのかどうかは不明である.堤防が損傷した後は、越流する流れが生じて、落堀と多量の土砂堆積が生じている.



図 2-3-11-1 菅川合流部付近の被災状況の全景







図 2-3-11-3 菅川の破堤部①



図 2-3-11-4 菅川の破堤部②



図 2-3-11-5 菅川左岸の破堤部③



図 2-3-11-6 菅川左岸の破堤部④

2.3.12 沼田川水系梨和川

図2-3-12-1は、梨和川とその支川である三次川の破堤箇所とその周辺箇所の航空写真である.また、図 2-3-12-2は梨和川の氾濫状況を示しているが、広範囲にわたり、かなりの浸水深を記録している.また、 河川沿いのフェンスには氾濫水で運ばれた草が引っかかっている.

図2-3-12-3は、破堤箇所の河川の状況を示している.河川には植生が繁茂しており、左岸側の樹木に多くの流下物が引っかかり、これによって堤防付近の水位の局所的な上昇と偏流を発生させたものと考えられる.また、図2-3-12-4は、梨和川左岸の堤内地の様子である.図2-3-12-1においても地表面が薄茶色で覆われていることからも確認できるが、細粒の土砂が広範囲に広がった.災害後の連日の猛暑によって、その細粒土砂は粉塵として舞い上がり、復旧活動の障害となった.



図 2-3-12-1 梨和川・三次川左岸破堤部の航空写真(国土地理院の航空写真¹⁰⁾を一部加工)



広島県提供データより



図 2-3-12-2 梨和川左岸の破堤位置と浸水状況



図 2-3-12-3 梨和川左岸の破堤位置





図 2-3-12-4 梨和川右岸堤内地の浸水痕跡

2.3.13 沼田川水系三次川

梨和川の支川である三次川は,植生が繁茂していた河川である.三次川は,図2-3-13-1に示す,梨和川 との合流点付近の左岸で越流・破堤し,広範囲にわたって浸水域を発生させた.また,図2-3-13-2に示す ように,流出した細粒土砂が三次川と国道2号線の間に堆積した.



広島県提供データより

図 2-3-13-1 三次川左岸の破堤位置と浸水状況



図 2-3-13-2 三次川左岸の破堤状況

2.3.14 本郷川水系本郷川

本郷川は、広島県東部の福山市、尾道市の境界に位置している(図 2-3-14-1). その源を尾道市原田町 に位置する摩訶衍山(標高 382.8 m)北部の山麓に発し、その南東から東方向に流下しながら支川最大河 川となる小原川に合流し、その後南に方向を変えながら大谷川などの支川に合流する. そして、福山市今 津町市街地の中央を流れて松永湾に注ぐ. 表 2-3-14-1 に本郷川の流域面積、河川延長、河床勾配を示す ¹¹⁾. 表 2-3-14-1 に示すように、上流・中流部では急勾配となっており、下流部で勾配が緩やかになって いる.

図 2-3-14-2 に豪雨発生時における 10 分間雨量のハイエトグラフを示す. なお, 観測所は図 2-3-14-1 に示す気象庁福山雨量計の地点に位置する. 本郷川流域では7月5日の朝から7月7日の朝にかけて継続的に降雨が見られる. また, その累積は3日間で350 mmを超える. 図2-3-14-3 に同期間における今津水位観測地点における水位ハイドログラフを示す. 図より,6日18時には氾濫注意水位を超え,その約1時間後に氾濫危険水位を超えている. また,ピークは7日0時と7日9時の2回となっており,両者で約1.5mを記録している. そして,水位ハイドログラフの2回のピークは降雨のピークとも対応している.5日からの継続した降雨で河川が増水したことに加えて,6日夜から7日朝方の強い降雨が発生したことで氾濫危険水位にまで水位が上昇した.



図 2-3-14-1 本郷川流域図

流域面積(km ²)	30.4	
河川延長(km)	13.0	
河床勾配	上流中流下流	1/20~1/70 1/70~1/140 1/140~1/1000
川幅(m)	- 上流 中流 下流	

表 2-3-14-1	本郷川	の諸元



図 2-3-14-2 福山雨量観測所(気象庁)におけるハイエトグラフ (2018 年 7 月 5 日 0 時~2018 年 7 月 8 日 0 時)



図 2-3-14-3 今津水位観測所(広島県)における水位ハイドログラフ (2018 年 7 月 5 日 0 時~2018 年 7 月 8 日 0 時)

図2-3-14-4に調査地点を示す. 図中のA1地点における被災状況を図2-3-14-5に示す. A1地点では, 左 岸側の橋脚と比べて橋脚頂部の位置が低下していることが分かる. 橋脚の下流では土砂の堆積が確認さ れた. このことから, 橋脚周辺で局所洗掘が進行により, 橋脚の支持力が低下し, 沈下することによって 床版が傾いたと推測できる.

図 2-3-14-6 は A1 地点から上流 50m 付近の A2 地点における被災後の復旧状況を示している.調査地 点は湾曲部の内岸側に位置している.一般に,内岸側の流速は小さくなり,侵食が起こりにくいことが考 えられる.したがって,侵食が発生した理由として,図 2-3-14-5 からも知られるように,右岸側の堤防 にはコンクリートによる護岸工が施されているのに対し,左岸側の堤防では整備されていないため,洪水 流によって左岸側で侵食が発生したものと考えられる.



図 2-3-14-4 被災調査地点の位置



図 2-3-14-5 A1 地点(橋脚の沈下) (撮影:2018 年 7 月 16 日)



図 2-3-14-6 A2 地点(護岸の崩壊) (撮影:2018 年 7 月 16 日)

2.3.15 芦田川水系福川

福川は、一級河川芦田川水系瀬戸川支流の一つである.石槌山(標高:275m)を源流として東向きに 流下し、市街地へ到達した後に南向きへと流向が変化し、瀬戸川へと合流する.流域面積は7.9km²、河 川延長は4.5kmである(図2-3-15-1)¹²⁾.福川の堤内地盤高は低く、平成28年6月23日にも内水氾濫 による浸水被害が発生しており(図2-3-15-2),浸水対策として瀬戸川へのポンプ排水能力の増強等を検 討している河川でもある.

瀬戸川と福川との合流点に位置する瀬戸雨量観測地点における 10 分間雨量のハイエトグラフを図 2-3-15-3 示す.7月5日の朝から7月7日の朝にかけて継続的に降雨が見られる.図2-3-15-4に同期間に おける水位ハイドログラフを示す.図中の福川観測所は福川の水位(内水位)を,西神島観測所は瀬戸川 の水位(外水位)を,山手観測所は芦田川本川の水位を観測している.7月5日18時ごろ福川の水位を 瀬戸川の水位が上回るようになり,福川の樋門が閉められた.その後,福川の水位は上昇するが,瀬戸川 の水位より低くなっている.7月6日19:00頃,瀬戸川の水位は氾濫危険水位に達し,その後1日弱にわ



(a) 芦田川流域

(b) 福川流域





図 2-3-15-2 平成 28 年 6 月 23 日の内水氾濫による被害状況¹³⁾

たって氾濫危険水位を超えた. 図 2-3-15-2 に示すように,瀬戸川の下流端の水位は山手観測所の水位よ りある程度低いと推測されるが,両地点のハイドログラフの変化が7月7日には同様になっており,瀬 戸川の水位が芦田川の水位の影響を受けているかどうかについては検討が必要である. 福川の水位は,7 月6日18:00頃から増加を続け,7日13:00頃にピークの水位5.28mを記録している. 福川最下流の堤防 高が5.42m であり,福川での流速は殆どないため氾濫域では水平に湛水したと推測される. 平成28年6 月23日の内水氾濫時には下流端での水位が4.57m¹³であり,今回の福川の下流端の水位はそれより70cm 程度も高い. このため,図 2-3-15-5に示すように,福川周辺では広範囲にわたり浸水した.図2-3-15-2 と比較すると,今回の浸水規模の大きさが確認できる. なお,福川の下流端にある佐波排水機場の運転記 録を入手していないため,そのポンプの稼働状況は不明であるが,瀬戸川で高水位の状態が継続されたこ とから,ポンプ排水が十分に行われなかった可能性が考えられる.



図 2-3-15-3 瀬戸雨量観測所(広島県)におけるハイエトグラフ (2018 年 7 月 5 日 0 時~2018 年 7 月 8 日 0 時)



図 2-3-15-4 福川(広島県), 西神島(国), 山手(国)水位観測所に おけるハイドログラフ(2018 年 7 月 5 日 0 時~2018 年 7 月 8 日 0 時)



図 2-3-15-5 福川周辺での浸水状況

図 2-3-15-6 (図 2-3-15-1 右の四角枠に対応) に示すように, A1-2 地点 (アパート) での痕跡浸水深は 70cm であった.住民にヒアリングしたところ,6日午後11時には氾濫直前の状態であり,7日午前には さらに水位が上昇し氾濫に至ったとのこと,また,平成28年6月にも浸水深は50cm 以下であったが, 今回の豪雨では浸水深が増したとのことであった.

図 2-3-15-7 は福山市中心地域での浸水域の発生状況¹⁴⁾ と洪水ハザードマップ¹⁵に記載されている浸水域を示している.福山駅周辺とそれより南部を除く広範囲で,福川流域を含めて,両者の間に良い対応が認められる.すなわち,洪水ハザードマップと今回の豪雨・避難情報をうまく活用すれば被害を軽減することができることを示している.あるいは,抜本的なハード対策を実施しない限り,洪水ハザードマップの浸水区域では豪雨の度ごとに浸水被害を心配しなくてはならないとも言うことができる.





A1-2 地点での浸水痕跡

図 2-3-15-6 福川の痕跡調査(2018 年 7 月 16 日)



(b) 今回の浸水地区¹⁴⁾

(a) 洪水ハザードマップ ¹⁵⁾



2.3.16 芦田川水系吉野川

吉野川は一級河川芦田川水系高屋川支流の一つである.図2-3-16-1に示すように,福山北部に位置する福山北部流通工業団地付近を源流としている.支川の西川と合流しながら福山市駅家町中心部を南下した後,東向きに流れが変化し高屋川と合流する.流域面積は5.6 km²,河川延長は10.2km である¹²⁾.



図 2-3-16-1 芦田川流域および吉野川流域

図 2-3-16-2 に豪雨発生時における 10 分間雨量のハイエトグラフを示す. なお, 観測は図 2-3-16-1 に 示す, 芦田川沿いに位置する七社雨量観測所(広島県)におけるものである. 7月5日から7日まで豪雨 が3波のピークを伴って発生した.図 2-3-16-3 に同期間におけるハイドログラフを示す.図より,第1 波の豪雨を受けて吉野川の水位は5日夜に氾濫危険水位を超えた.そして,6日18時頃から一日弱の期 間にわたり,氾濫危険水位を超える高水位が継続した.また,ピーク水位は2.0mを記録し,氾濫危険水 位を約1m超過した.



図 2-3-16-2 七社雨量観測所(広島県)におけるハイエトグラフ (2018 年 7 月 5 日 0 時~2018 年 7 月 8 日 0 時)


図 2-3-16-3 万能倉水位観測所(広島県)における水位ハイドログラフ (2018 年 7 月 5 日 0 時~2018 年 7 月 8 日 0 時)

図 2-3-16-1 右に示した黒枠の拡大図を図 2-3-16-4 に示す. この調査地点では,破堤と侵食が確認された.図 2-3-16-5 左に示すように,調査地点の左岸部では堤防の破堤が発生しており,土嚢による応急処置が施されている.そして,図 2-3-16-5 右に示すように堤内地にある田んぼへと大量の土砂が流れ込んだ跡が見られる.一方で,右岸側の堤内地では図 2-3-16-6 に示すような越流による侵食が見られた.上述のように右岸側では越流であるのに対し,左岸側で破堤が発生している.その理由としては右岸側では道路舗装があるのに対し,左岸側では護岸はあるものの堤防頂部に舗装がなされていない状態であった.このことから,左岸側では越流時に堤内地側から崩れやすい構造になっていることが考えられる.それに加えて,図 2-3-16-5 に示すように河道が狭いことから流下能力が低く,図 2-3-16-5 に示すように高水位の状態が長く続いたことも一因として挙げられる.



図 2-3-16-4 調査地点



図 2-3-16-5 A1-1 地点での被害状況(左:破堤,右:氾濫後の土砂堆積) (撮影:2018 年 7 月 16 日)



図 2-3-16-6 A1-2 地点での越流による堤内地の路肩の侵食 (撮影:2018 年7月16日)



図 2-3-17-2 沼田川上流と瀬野川における護岸被害箇所

2.3.17 河川災害の特徴

今回の豪雨では、24時間雨量は広島県全域において記録的降雨量となり、県内全域の河川が被害を受けた.広島県の調査によると、図2-3-17-1に示すように、広島県の基準水位設定の61河川のうち、氾濫危険水位を超過した河川は46河川、避難判断水位を超過した河川が 6河川に上り、避難判断水位以下の河川はわずか 9河川のみであった.また、県の管理する499河川のうち、破堤した河川が12河川、越水・溢水した河川が82河川であった.

これらの河川被害の大きな特徴は支川からの氾濫被害が多く発生したことである.その要因として2点を指摘できる.1点目は、支川の破堤であり、特に、沼田川下流部の主な支川すべてが決壊した(菅川4箇所, 梨和川・三次川3箇所, 仏通寺川1箇所, 天井川1箇所).このうち, 仏通寺川, 天井川の破堤箇所以



図 2-3-17-1 西日本豪雨時の広島県の河川水位と被災状況⁸⁾

外は、合流点の直上流であり、越流破堤と言えない箇所が含まれるものの、本川水位あるいは合流点での 水位の上昇が破堤の危険性を増大させたと考えられる.また、菅川で見られたように、支川が破堤するこ とによって、ハザードマップに示されていない氾濫域が生じた.2点目は、土石流の流入による支川での 土砂堆積である.土石流は、道路あるいは河川に沿って流れるために、このような被害は県内全域で発生 した.その中には、瀬野川の右岸支川である榎ノ山川、畑賀川、野呂川の左岸支川である中畑川が含まれ る.土砂堆積による氾濫の例として、7月10日に発生した、みくまり峡からの土石流を受けた榎川や甚大 な土砂災害を受けた坂町の総頭川等が挙げられる.計画規模の強い豪雨時には、河道に土砂や流木が多く 流れ、洪水流を阻害し、河道の通水能を著しく低下させるなど、洪水流の挙動を大きく変えるため、これ らを河道設計に対してどう位置づけるのかが重要になる.

洪水では多くの道路橋,鉄道橋が流木や流下草本類を集積し,水位を堰上げる問題も生じた.さらにその結果,橋梁被害も多く見られた.洗掘による橋梁被害もあったが,多くの被害は橋桁まで水位が堰上がることによる流体力の増加が原因と考えられた.河川管理施設等構造令第60条では,橋梁は計画高水位以下の水位に対して安全かつ,橋脚・橋台は流水の妨げにならないこととある.このことは,計画高水位を基準にして設計される上述の堤防についても同様であり,超過外力,即ち計画水位を超えた場合についても検討し,何が起こるのかを想定することが重要と考えられる.

本洪水によって県内全域の多くの護岸で被害を受け、隣接する主要道路、鉄道が寸断された. 図 2-3-17-2 は、沼田川と瀬野川において、河岸侵食被害が生じた箇所を示す. 河岸侵食の多くは湾曲部外岸で 生じており、上流の蛇行部では外岸部が連続して被害を受けている. なお、湾曲部内岸は、蛇行入口の流 速が大きくなる箇所に多く、また直線部の一部は上流の湾曲部外岸の下流部となる個所が含まれている. これと上述の橋梁被害や土石流被害と併せて、交通ネットワークをいたるところで遮断し、被害を時空間 的に拡大させた(相乗型豪雨災害).

2.4 ダム操作の課題

今次の豪雨や土石流の多発を受けて、ダムの効果が明らかになるとともに、ゲート操作に関わる課題も 浮かび上がった.ここでは野呂川ダムで行われたダム操作を例に挙げ、課題を整理する.

野呂川ダムは二級河川野呂川水系野呂川の本川に位置する広島県管理のダムである.その位置は図2-3-5-1 に示されている.野呂川水系の流域面積が43.2km²であることに対して,ダムの集水面積は13.0km² である.野呂川ダムは1967年7月の集中豪雨(昭和42年7月豪雨)を契機に計画され,洪水調節(1/50 確率)と下流に広がる農地に供給する不特定灌漑用水の確保を目的として建設され,1976年4月から運 用が開始されている¹⁶.

図 2-4-1 右に示すように,洪水調節は水位を洪水時満水位 134.40m と常時満水位 124.40m の間に保つ ように行われ,その洪水調節容量は 105 万 m³ である.また,放流設備として幅 10m の洪水吐ゲート(ロ ーラーゲート)1 門と低水放流用のホロージェットバルブ1 門を有している.

野呂川ダムの操作は、ダム下流の河道整備の進捗状況に合わせるように、当初の操作規則が変更され、 現在の操作規則となっている.洪水調節は、水位が常時満水位を超える場合にはゲートを 0.42m の一定 開度に保って放流させること、また、水位が洪水時満水位を超える場合には流入量に相当する量を放流す ること、と定められている¹⁷⁾.

2018 年 7 月 6 日~7 日にかけて野呂川ダムの水位が洪水時満水位を超えることが予想され,異常洪水時防災操作が行われた. 図 2-4-2 は,実際のダム操作状況を雨量,警報の発令,関係機関へのダム操作の通知等とともに時系列的に示したものである¹⁸⁾. 黒線が貯水池への流入量,赤線が放流量,青線が貯水池内の水位を示す.7月6日夜と7月7日の早朝にまとまった降雨があり,貯水池の流入量もそれらに対応して2 つのピークを示している.そして,7月6日23:50~7月7日10:24 にかけて異常洪水時防災操作

(ただし書き操作)を実施している. その期間中,7月7日0:10~4:10と6:10~10:24の2回にわたって, 放流量が流入量を超える操作,ダムの操作規則に反する操作が行われた. 特に,6:10~10:24にかけての 放流は,野呂川の水位が高く危険な状況下であったにもかかわらず,規則に反して大きな流量を流したも のであり,重大な問題となった. 想定されなかった状況が発生したのも事実である. 土石流が多発して補 助員がダム管理事務所に到着できず異常洪水時防災操作を補助できなかった. また,行政 LAN が不通と なり災害・気象情報を入手できず,防災無線で情報収集を行うこととなった. そのような状況下で,ダム 操作の当事者が今後の予想される降雨によって水位が上昇することを懸念して,ゲートの開度を小さく しなかったという事態が発生した.

	洪水時満水位 EL_134.4m				1	
	F 51.87 + 27 H	【 杀木湖游安景 1,050,000m ⁴	***	E.L. 124.4m	-	
		千時定容量 156,000m ²				
		1	888.80	EL 122.4m		
	旅行水商業	堆砂容量 590,000m ¹				ダム高 44.8m
A huge the second	1,700,000m ²				0.00	
	1	1	基礎地質	E.L.B1.0m	Contract of	ų

図 2-4-1 野呂川ダムの外観と容量配分図¹⁶⁾



図 2-4-2 2018 年 7 月豪雨時の野呂川ダムの操作状況¹⁸⁾

ダム操作によって下流の被害が拡大したことは、幸いにもその影響が限定的なものであったとしても、 重く受け止めることが必要である.野呂川ダムの主な目的は洪水調節であり、下流の被害を減ずることで ある.ダムの操作規則によれば、洪水調節時には貯水池や貯水池の上下流の被害の状況並びに河床変動の 状況を記録しておかなければならいないとされている¹⁷⁾.夜間での緊迫した状況においてダム操作を実 施することの困難さは想像できるが、県庁から、下流の被害の発生状況や放流量が規則を逸脱しているこ とを連絡し、早期にダム操作を規則通りに修正させることができなかったのか、再発防止のためにも確実 な監視体制の整備が必要であるように思われる.

規則に反して行われた異常洪水時防災操作が下流の氾濫に及ぼした影響については、広島県の検討会において数値解析を用いて検討中である.下流での氾濫の拡大を防ぐためにダムからの放流を抑制することの可能性や事前放流の可能性など、既存のダムのより効果的な運用方法についても検討することが必要である.

一方,野呂川ダムが下流に及ぼした望ましい影響について指摘しておくことが必要である.野呂川水系の野呂川と中畑川の周辺では土石流が多発し,多量の土砂や流木が河川に流入した.野呂川の場合にはダムによって流木や巨礫などが捕捉され,細粒土砂のみがダム下流に流された.ダムの下流では野呂川に土石流が直接的に流入し,多量の土砂が供給された.そのため,野呂川では顕著な河床上昇が発生し,越流による氾濫が拡大した.しかし,流木による河道閉塞は発生しなかった.上流にダムのない中畑川での甚大な越流氾濫と比較すると,野呂川からの越流氾濫は小規模なものに留まった.野呂川ダムによって下流の被害の軽減が行われたことは理解されるべきである.異常洪水時防災操作を規則通りに行うことによ

って被害軽減をさらに進めることができたと考えられる.

なお、沼田川水系椋梨川に位置する椋梨ダム(図 2-3-8-1)においては、異常洪水時防災操作には至ら なかったものの、下流の沼田川本川の水位が越流するような状況下に、まとまった放流を行った.その状 況を図 2-4-3 に示す.下流の氾濫被害を軽減するために放流量を抑制することの可能性について、検討 することが必要である.



図 2-4-3 2018 年 7 月豪雨時の椋梨ダムの操作状況¹⁸⁾

2.5 被害軽減に向けた今後の検討課題

広島県では記録的な豪雨を受けて中小河川を中心に河川災害も多発した.本章では各河川での被害調 査の結果とダム操作の課題をとりまとめてきた.本章を締めるに当り,今後の検討課題をとりまとめた い.

2.1の河川災害の概要で述べたように、調査結果に基づいて浸水氾濫の原因や河川構造物の被害を分類 することはできる.しかし、個別の河川の特定の箇所における有効な対策を立てるためには、真っ先に、 2つのことを進めることが必要である.一つ目は、被害を招いた現象を発生させた主たる原因を特定する ことである.そのために、二級河川に関する基礎データを収集し、降雨・流出・洪水・氾濫解析(洪水流 は1次元解析)を通して、妥当な洪水流量の推定を行うことが必要である.それによって河川の洪水流下 能力不足による越水氾濫の解析の多くを検討することが可能となる.ただし、河道内の堆積土砂や樹木群 の繁茂が洪水流下能力に与える影響の評価や河川構造物の被害のメカニズムを明らかにするためには、 平面2次元洪水流解析が有効である.もう一つは、被災データのデータベース化を進めることである.本 章で取り上げた河川は、その被害が大きかったものに限っており、広島県管理の河川の被害を網羅したも のではない.今後、被災した二級河川の中には、財政的な制約等から復旧・復興に長期間を要するもの、 したがって近い将来に再度災害を被る可能性が高いものが生じるかもしれない.そのことを考えると、今 回の被災箇所や被災の状況を GIS 上でデータベース化し、どこにどのような弱点が存在しうるかを整理 しておくことも必要である.

今後,数値解析を活用することによって,短期的対策(5年間程度で完成)と中期的対策を検討してい くことになるが,それらに関連する課題を列記すると以下のようになると考えられる.

【短期的な課題】

1) 被災状況のデータベース化

- ・堤防,護岸,橋梁,堰などの河川工作物の被災箇所,被災状況のデータベース化
- ・越水・溢水箇所のデータベース化
- 2) 被災地域における早期の河道整備メニューの作成
- ・堤防の整備(嵩上げ、決壊を遅らせる工夫)・点検
- ・河道掘削
- ・堤防護岸の整備
- ・樹木群の伐採・管理(環境に配慮して)

3) ダムの操作方法の検討

- ・洪水期における利水容量の有効活用(気象予報の活用した事前放流)
- ・下流域の氾濫を抑制するためのダム操作の変更
- 4) 排水ポンプ,水門・樋門の点検
- 5) ICT の活用(国交省 i-River 2.0 に対応)
- ・水位・流量観測の無人化
- ・UAV による堤防・樹木・土砂堆積の点検の高度化と高効率化
- 6) 土砂洪水流の解析手法の開発
- 7) 豪雨災害に関する行政,住民,マスコミのリスクコミュニケーションの促進
- 8) SNS の災害情報の収集や避難活動への活用

【中期的な対策】

- 1) 河道の整備や河川構造物の改築
- ・河道の法線形の検討
- ・ダム放流量の増加に対して障害となっている区間の河川改修
- ・堰の撤去・集約化,可動化
- ・橋桁の嵩上げ、流木の集積しにくい橋脚の構造
- 2) 河道内に流入する土砂・流木への対策
- ・渓流の出口付近での遊砂地の設置
- 3) 流域の保水機能の向上による内水対策
- · 土地利用規制
- ・小規模な雨水貯留・浸透施設の設置
- 4) 排水機場のポンプの強化
- 5) 既設ダムの再生

なお、長期的な河川災害対策は、今後のまち・地域の人口・経済・社会の動向を十分に考慮して立て られるべきものであるが、不確実なことが多いため、当面はその方向性を示すことに留まるものと考え られる.気候変動の河川計画への考慮、計画を超過する規模の洪水への対応、Society5.0への対応など の技術的な課題は国の根幹に関わる基本的な問題であり、今後着実に議論が深められることが求められ ている.

参考文献

- 広島県:平成 30 年 7 月豪雨災害からの復旧・復興プラン〜創造的復興による新たな広島県づくり 〜, 2018.
- 2) 広島県河川課:一級河川太田川三篠川ブロック整備計画,2003年.
- 広島市都市整備局:平成26年8月20日豪雨災害 復興まちづくりビジョン,地区別の方向性(3)安 佐北区可部東地区, http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1431480142799 /index.html (2018年9 月29日確認).
- 府中町安全安心室:平成30年7月豪雨による被災状況など, https://www.town.fuchu.hiroshima.jp/soshiki/17/13011.html (2018年10月16日確認).
- 5) 砂防学会:平成 30 年 7 月豪雨による西日本土砂災害に対する豪雨第一次調査報告会資料,第1 班の 調査概要, https://jsece.or.jp/wp-content/uploads/2018/08/houkoku No1.pdf (2018 年 10 月 10 日確認).
- 6) 広島県:二級河川沼田川水系河川整備計画,2007.
- 7) 広島県:平成 30年7月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会,河川・ダム 部会(第1回ワーキング資料)【沼田川流域】,2018.
- 8) 広島県:平成30年7月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会,河川・ダム 部会(第1回ワーキング資料),平成30年8月17日現在暫定結果.
- 9) 三原市:三原市総合防災ハザードマップ(平成 22 年 3 月発行), http://www.city.mihara.hiroshima.jp/soshiki/19/sougouhazad.html.
- 10) 国土交通省国土地理院:平成 30 年 7 月豪雨に関する情報,空中写真(垂直写真・正射画像) http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30.taihuu7gou.html.
- 11) 広島県:二級河川本郷川水系河川整備基本方針, 2018.
- 12) 広島県: 一級河川芦田川水系芦田川下流ブロック河川整備計画, 2011.
- 13) 広島県:瀬戸川流域における治水対策について、〜報告書〜、2016. https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/life/522592_1561183_misc.pdf.
- 14) 朝日新聞 DIGITAL:広島) 排水ポンプ能力不足・福山の浸水・改善策検討, https://www.asahi.com/articles/photo/AS20180904003353.html.
- 15) 福山市: 洪水ハザードマップ, http://www.city.fukuyama.hiroshima.jp/soshiki/kikikanri/43650.html.
- 16) 広島県:野呂川ダム, https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/99/1171427432284.html.
- 17) 広島県:野呂川ダム操作規則, http://www3.e-reikinet.jp/hiroshima-ken/d1w_reiki
 /35190220000900000MH/35190220000900000MH/351902200009000000MH_j.html.
- 18) 広島県:平成 30 年 7 月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会,第2回検討 会資料, https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/325922.pdf.

3.1. 土砂災害の概要(広島大土田)

表 3-1-1 に広島県内の土砂災害の概要を示す。表のように、今回の災害による県内の土砂災害発生箇 所は 624 か所であり、死者・行方不明者 116 名のうち 87 名が土砂災害による死者であって、災害による 全死者・行方不明者の比率は 75%に達している。また、土砂災害による死者 87 名は 2014 年の広島土砂災 害の 75 名 (災害関連死 1 名を含む)、1999 年の 6.29 豪雨災害の死者・行方不明者 32 名をおお上回って おり、近年でもっとも多くの犠牲者を出した災害であるということができる。

	死亡	行方不明	死者・行方 不明者	土砂災害発生 件数	土砂災害の 死者	全死者・行方不明者に対する土 砂災害による死者の割合(%)
広島市	23	2	25	62	20	0.80
呉市	24	1	25	172	20	0.80
竹原市	4	0	4	70	4	1.00
三原市	8	1	9	45	5	0.56
尾道市	2	1	3	17	2	0.67
福山市	2	0	2	9	0	0.00
府中市	2	0	2	22	1	0.50
三次市	0	0	0	1	0	_
庄原市	0	0	0	13	0	_
大竹市	0	0	0	1	0	_
東広島市	12	1	13	44	8	0.62
廿日市	0	0	0	13	0	_
安芸高田市	2	1	3	3	0	0.00
江田島市	0	0	0	40	0	_
府中町	0	0	0	27	0	_
海田町	1	0	1	6	0	0.00
熊野町	12	0	12	36	12	1.00
坂町	16	1	17	41	15	0.88
太田町	0	0	0	1	0	_
北広島町	0	0	0	1	0	_
計	108	8	116	624	87	0.75

表 3-1-1 広島県内の土砂災害の概要

図 3-1-1 は広島大学地理学グループの後藤らが災害直後に調査した広島県内の土石流発生地点および 斜面崩壊地点である。後藤らは、被災前後の航空写真から土砂の動きを計測し、土砂の移動量によって土 石流と斜面崩壊地点を分類した。後藤らによると、被害の有無に関係なく土砂の動きだけで計測すると、 土石流相当の土砂の動きがあったのは7,660 箇所、がけ崩れ相当の動きは746 箇所、合計 8406 箇所とさ れている。表 3-1-1 に示すように、土砂災害により何らかの被害が発生したのは 624 か所であるが、そ の 10 倍以上の箇所において、土石流やがけ崩れ相当の土砂の動きがあったことがわかる。表 3-1-2 は、 後藤らが計測した箇所数を広島県内の市町別に示し、表 3-1-1 に示した土砂災害発生箇所とともにまと めた表である。表のように、土砂の動きから計測した土石流およびがけ崩れの箇所数を市町別にみると



図 3-1-1 広島県内の土石流発生地点と斜面崩壊地点(土砂の動きから計測) (後藤秀昭ほか、広島大学地理学グループ、広島大学防災・減災センターhttps://www.hiroshimau.ac.jp/system/files/108139/広島県の斜面崩壊の詳細分布図%EF%BC%88 第一報%EF%BC%89_広島大1018.pdf)

東広島市が2,730か所で最多となっており、次いで呉市の1,460か所、三原市1,198か所、広島市645か所となっている。東広島市、三原市は土砂の動きによる土石流・がけ崩れ発生地点の数に比べ実際に被害が発生した土砂災害箇所数は少ない(1.7%~4.0%)が、呉市、坂町、熊野町、府中町、海田町では、土砂の動きによる箇所数の12%~48%が土砂災害発生箇所数となっている。このような違いが発生した原因については今後さらに検討する必要がある。

図 3-1-2 は、広島市安芸区役所、呉市役所、広島県 東広島支所における7月3日以降の降雨の観測記録 である。図のように、いずれの地点でも降雨強度のピ ークが7月6日午後7時以降と7月7日早朝にあり、 土砂災害のほとんどはいずれかの降雨ピーク時の前 後に発生している。7月3日から7日までの累積雨量

表 3-1-2	土砂の動き	がら計測	した土石流
発生地点	えと斜面崩壊	裏地点の市	町別の内訳

	土砂の動きか	土砂災害発 生箇所		
	地点と斜面崩壊地点(後藤ら)			
	土石流	がけ崩れ	計	
東広島市	2,605	125	2,730	44
呉市	1,392	68	1,460	172
三原市	1,112	86	1,198	45
広島市	555	90	645	67
福山市	489	87	576	9
江田島市	289	171	460	40
竹原市	396	19	415	70
尾道市	241	53	294	17
坂町	206	26	232	41
熊野町	150	2	152	36
府中市	119	5	124	22
府中町	56	13	69	27
海田町	37	1	38	6
世羅町	8	0	8	1
神石高原町	5	0	5	0
計	7,660	746	8,406	597



図 3-1-2 7月3日からの降雨と災害発生時刻

は 400~550mm であるが、7 月 6 日午後 7 時前後の発災時における累積雨量はいずれの地点でも約 300mm となっている。

図 3-1-3 は広島県がまとめたおもな土砂災害の発生状況(場所と被災の状況)である。



図 3-1-3 広島県における土砂災害発生状況(広島県砂防課作成)

3.3.2 土砂災害調査団の概要

	氏名	所属
団長	土田 孝	広島大学大学院教授
団員	橋本 涼太	広島大学大学院助教
団員	森脇 武夫	広島工業大学教授
団員	加納 誠二	呉工業高等専門学校 教授

3.3.1 県道34号線昭和入口周辺

(1)調査対象

調査対象は広島市安芸区の県道 34 号線沿いにある昭和入口交差点周辺(図 3-3-1-1)である.本地点 は矢野方面,熊野町方面,焼山方面の結節点となっている交差点であり,県道 34 号が矢野川と昭和入口 交差点にて交差した後,広島熊野道路の高架をくぐり,並行して北へと下る複雑な地形条件の場所であ る.周辺には複数の渓流について指定前の土石流特別警戒区域,警戒区域が公開されていた(図 3-3-1-2).実際に,7月6日夜に交差点で信号待ちをしていた複数台の車に大量の土砂(濁流)が流れ込んだと 報じられており¹⁾⁻³,被災箇所は交差点から広島熊野道路の高架下カーブまでの約 300m の下り坂区間で ある.本報告では7月14日と8月3日に実施した調査結果について記す.







図 3-3-1-2 土砂災害特別警戒区域・警戒区域図(昭和入口交差点)

(2) 道路上の車両の状況

道路上の車両の被災状況を(図 3-3-2-3~図 3-3-2-5)に示す.道路は北に向かって下っているため坂の上方からの土砂,流木に押し流された車両(図 3-3-2-3)が複数見受けられた.押し流された後,倒れた電信柱に引っかかっている車両(図 3-3-2-4)があった他,カーブのガードレールを突き破り広島熊野道路の高架の桁に挟まっている車もあった(図 3-3-2-5).また,道路の川側には陥没があり(図 3-3-2-6),河道に転落した車両もあった(図 3-3-2-7).



図 3-3-1-3 道路上の車両の被災状況①



図 3-3-1-4 道路上の車両の被災状況②



図 3-3-1-5 道路上の車両の被災状況③



図 3-3-1-6 道路の陥没



図 3-3-1-7 河道に転落した車両

(3)昭和入口上流からの土砂流出の全体像

っづいて、本サイト周辺の土砂の流出状況を概観するため、被災前と被災後の航空写真を図 3-3-2-8 に 示す.このように、図 3-3-1-2 に示した土石流危険渓流のうち①~⑤の渓流にて土石流が発生している. これより、昭和入口交差点周辺には大きく分けて二つの土砂の流れがあったと推察される(図 3-3-2-9). つまり、渓流②のど者が焼山方面の道を流下したものと、渓流③④の土砂が矢野川沿いに流下したもの である.





Googleマップより

7月11日時点の航空写真(国土地理院)



図 3-3-1-8 河道に転落した車両

A. 渓流②の土砂が焼山方面の道を流下



図 3-3-1-9 河道に転落した車両

B. 渓流③④の土砂が矢野川沿いに流下



図 3-3-2-10 および図 3-3-2-11 は渓流②の出口付近の状況を示す. 渓流②で発生した土石流は, 焼山 方面の道路に面する出口(図 3-3-2-10)から流出して道路の防音壁に衝突・破壊した後(図 3-3-2-11), 道路の勾配にしたがって昭和入口交差点方面へと流下しており, 土砂に巻き込まれた車両も見られた(図 3-3-2-12). 土砂はそのまま交差点を通過し下流へ流れたと考えられる.



図 3-3-1-10 渓流②の出口





図 3-3-1-11 渓流②の土石流が破壊した防音壁



図 3-3-1-12 渓流②からの土石流の土砂に巻き込まれた車両

次に、矢野川沿いの土砂の状況を渓流②の出口付近の状況を示す.図 3-3-1-13 は 7 月 14 日の調査時 に撮影した交差点から矢野川の上流を見た写真である.このとき、付近の病院の駐車場一面に上流から の土砂が堆積し、平坦になっていた.しかし、8 月 3 日に再度調査に訪れると、そこでは元々存在してい た深さ 5m 程度の河道が完全に土砂で閉塞していたことがわかった(図 3-3-1-14).結果としてここに数 千 m3 程度の土砂が捕捉されていたと推察される.図 3-3-1-15 は同一箇所を上流側から見たものである が、矢野川は交差点で道路の下のカルバートを通って流れており、災害当時は閉塞して、流入する水や後 続の土砂が道路上へ溢れ出たと推測される.



図 3-3-1-13 昭和入口交差点から上流側を見た矢野川の状況(7月14日)



図 3-3-1-14 昭和入口交差点から上流側を見た矢野川の状況(8月3日)



図 3-3-1-15 道路の下を通る矢野川のカルバート

(4) 推定される被災メカニズム

以上を踏まえて推定される昭和入口交差点周辺の被災メカニズムは図 3-3-1-16 のようにまとめられる. すなわち,図 3-3-1-2 の渓流②で発生した土石流が防音壁に衝突後道沿いに流下したこと,また,渓流③と④で発生した土石流が矢野川沿いを流下し,昭和入口交差点のカルバートを閉塞することで道路上へと溢流したことで,下流側の道路上の車両が押し流され,県道に沿って流下したものと考えられる.

なお、矢野川にはさらに下流にも道路と川がカルバートで交差する箇所が存在し(図3-3-1-17)、ここ でも同様に水路が土砂で埋まっていた形跡が見られた.このようにカルバートなど地下に設置した水路 は土石流の発生により閉塞しやすく、土砂や水が道路上へとあふれる「土砂洪水氾濫」が発生しやすいと 考えられる.山あいで中小河川と道路が並行している区域では同様のリスクを抱えていると考えられ、 今後の河川管理、土砂災害対策において留意すべきポイントであると言える.



図 3-3-1-16 昭和入口交差点周辺の被災メカニズム



図 3-3-1-16 昭和入口交差点周辺の被災メカニズム

引用文献

- 1)毎日新聞:「あきらめない」水没車中で息継ぎし脱出 広島,2018年7月9日.
- 2) 中国新聞:「無事で」連日息子を探す,2018年7月10日.
- 3) 中国新聞:不明の呉署員捜索 父懸命 同僚と避難誘導中土砂が直撃,2018年7月15日.

3.3.2 広島市安芸区矢野東七丁目(梅河ハイツ)

(1)調査対象

調査対象は7月6日の夜に土石流が発生した県道34号線沿いの梅河(うめごう)ハイツ(図3-3-2-1) 背後の渓流である.当該地域では基礎調査の結果,二渓流が指定前の特別警戒区域,警戒区域として公開 されていた(図3-3-2-2).このうち北東の渓流については2018年2月に治山ダムが完成していた.本報 告では7月14日に実施した現地調査結果を示す.



Googleマップ



図 3-3-2-2 土砂災害警戒区域図(梅河ハイツ)

(2) 被害状況と調査順路

国土地理院が公開している災害後の航空写真(図 3-3-2-3)によれば、本サイトでは上図のように2箇 所から土石流が流出して団地内で甚大な被害が出た.調査は図 3-3-2-4に経路で実施した.県道34号線 と団地をつなぐ唯一の道を通って団地北東の渓流を調査した後、南東側の渓流へ向かった.



図 3-3-2-3 土砂災害警戒区域図(梅河ハイツ)



図 3-3-2-4 調査経路(梅河ハイツ)

(3) 調査結果

まず,梅河ハイツに接続する県道34号線の様子を図3-3-2-5に示す.渓流から離れた県道にも土砂が 堆積しており,土砂が非常に広い範囲にまで流出したことがわかる.県道から団地内につながる道路沿 いにも土砂が堆積していた(図3-3-2-6).押し流されたと思われる車も見られ(図3-3-2-7),この位置 でも土砂がある程度の勢いで流動していたと予想される.団地内には巨礫を含む大量の土砂が流出して 住宅が流失し,甚大な被害が生じていた.



図 3-3-2-5 県道 34 号線での土砂の堆積痕



図 3-3-2-6 道路沿いの土砂の堆積



図 3-3-2-7 押し流された車両



図 3-3-2-8 団地内に流出した土石と流失した家屋

図 3-3-2-9 は団地北東に 2018 年 2 月に完成した治山ダムである.発災前はほとんど土砂が堆積してい なかったと予想されるが,満砂状態となっており(図 3-3-2-10),堤体を越えて土砂が流出しているのが わかる.ダムの幅は約 25.2m,堆砂部の奥行きは約 20.3m であり(図 3-3-2-11),堤体高さ 8m.平均的 な堆砂深さを 4m と仮定すると 2,000m³程度の土砂が捕捉されたと見積もられるが,今回はそれを超える 量の土砂が発生したと推察された.



図 3-3-2-9 治山ダム



図 3-3-2-10 治山ダムの堆砂状況



図 3-3-2-11 治山ダムの寸法

治山ダムの背後からは二つの渓流で土石流が発生していた(図 3-3-2-12). なお, 警戒区域の設定時に 考慮されていたのは左の渓流であると思われる(図 3-3-2-13). 一方の土石流によって治山ダムが満たさ れたあとにもう一方がその上を流下した可能性が高いが, 調査時点では堆積した土砂が水で一部侵食さ れており, 前後関係はわからなかった.

図 3-3-2-14 は図 3-3-2-12 の右側の渓流の写真である.流出後の渓流は基岩(花崗岩)が露出しており,氾濫開始点と思われる谷出口付近では勾配が比較的ゆるい.



図 3-3-2-12 治山ダム背後の渓流からの流出状況



図 3-3-2-13 治山ダム背後の渓流からの流出状況



図 3-3-2-14 流出後の渓流の状況①

谷出口から 100m 程度進むと急な崖となっており、上方から大量の水が流れ出ていた(図 3-3-2-15). 不安定な巨石も見られた.航空写真によれば崖より上からも土砂の流出があるようである.

図 3-3-2-16 は図 3-3-2-12 の左側の渓流の様子である.こちらも岩が露出しているが、もう一方の渓流とは異なり、谷出口からすぐに急勾配となっていたため、これ以上の立入りは断念した.

その後,団地南東の渓流へと向かったところ,住宅の間から石,ならびに流木が堆積しているのが確認 されたが(図 3-3-2-17),通行できず立入りは断念した.



図 3-3-2-15 渓流の奥の様子



図 3-3-2-15 流出後の渓流の状況②



図 3-3-2-17 流団地南東の渓流からの流出状況

最後に,調査の結果確認された被害状況を図 3-3-2-18 にまとめる.目視による判定なのであくまでも 暫定的ではあるが左図に示した範囲で住宅被害,土砂の流出が確認された.図 3-3-2-2 に示した土砂災 害警戒区域図と比べると住宅被害が確認された区域は広くなっている.この原因としては団地北東部に おいて二つの渓流にて土石流が発生したことが挙げられるが,その詳細なメカニズムについては流出土 砂量の推定を含め検討が必要となる.



図 3-3-2-18 団地南東の渓流からの流出状況

3. 3. 3 広島市安佐北区口田南地区

(1)調査対象

平成26年広島土砂災害で甚大な被害があった安佐南区と太田川を挟んで向かいに位置する本地区では 7月6日午後7時頃に口田南五丁目で,7月7日午前4時頃口田南三丁目で土石流が発生した.



図 3-3-3-1 調査対象地区の位置(口田南三丁目および五丁目)

(2) 口田南五丁目

まず当該地域の地形的概況と広島県が公開している土砂災害警戒区域図との対応関係をそれぞれ図 3-3-3-2,図3-3-3-3に示す.当該地域は二ヶ城山と松笠山に挟まれた地域に位置し、太田川に注ぐ矢口川 が縦断している.花崗岩からなる周囲の山には複数の危険渓流が認められ、ほぼ全域が特別警戒区域ま たは警戒区域に指定されている.7月6日午後7時頃に土石流が発生し家屋の損壊や土砂の流出が起こっ た.本調査では少なくとも図3-3-3-3の矢印の向きに流れたと思われる土砂・流木の堆積が確認された.



図 3-3-3-2 周辺地域のち警笛概況

図 3-3-3-3 調土砂災害警戒区域図

図 3-3-3-4 に調査経路を示す. 矢口川に沿って中流域から上流へと進み,土砂の堆積状況や構造物の 被害を確認した(図中の赤矢印).また,土石流が起こった渓流の一つに立入って調査を行った(図中の 青色部)以下,図中の地点①~⑦ごとに当時の状況を記す.



図 3-3-3-4 調査経路(口田南五丁目)

比較的下流に位置する地点①では川を横断する橋が損壊していた(図 3-3-3-5 左図).また,護岸も石積, コンクリート造を問わず破損していた(図 3-3-5 右図).



図 3-3-3-5 地点①の橋および護岸の破損

その後も途中,地点②(図 3-3-3-6)や地点③(図 3-3-3-7)では石積を中心に護岸の崩落が複数確認 された.これが川の水位の増大,土石流,降雨による裏込め土の崩壊のいずれによるものかは現在のとこ ろ不明.また,地点④では川沿いの水田の法面の崩落も見られた(図 3-3-3-8).



図 3-3-3-6 護岸の崩落(地点2)



図 3-3-3-7 護岸の崩落(地点③)



図 3-3-3-8 水田の法面の崩落(地点④)

地点⑤では、松笠山から土石流が発生し、家屋1棟が流失していた他、駐車場や建設会社の資材置場が 被害を受けた(図 3-3-3-9). 土石流は事前に想定されていた危険渓流(図 3-3-3-10)から発生しており、 周辺住民の方の話によれば土砂は家屋を押し流した後、川へと続く下り道を流下したという(図 3-3-3-11 中の青矢印). また、図 3-3-3-11 右図に見られるように橋の欄干が破損していることからここから下 流に土石流が下ったと考えられる.



図 3-3-3-9 土石流による家屋等の流失(地点⑤)



図 3-3-3-10 土石流による家屋等の流失(地点⑤)



図 3-3-3-11 推定される土石流の流下経路

本土石流が発生した渓流に立ち入り,侵食深,侵食幅を計測した.谷出口付近では勾配は緩く,土砂が 広く体積している(図3-3-3-12).侵食深は約1.6m,侵食幅は約14.8mであった(図3-3-3-13).少し上 流に移動すると,堆積物に比較的大きめの石の割合が増え,また渓流の侵食状況もV字に変化.侵食深 は約2.6m,侵食幅は約8.2mであった(図3-3-3-14).



図 3-3-3-12 谷出口付近の堆積状況



図 3-3-3-13 谷出口付近での侵食深と侵食幅の計測



図 3-3-3-14 渓流中部での侵食深と侵食幅の計測

矢ロ川沿いに戻り上流に進むと、地点⑥にて土砂や流木の堆積、川の溢流が見られた. 道路の下を通し て流れていた川が流木や土砂でせき止められ、道路に溢れながら流下していた(図 3-3-3-15). また、川 の左岸側の家屋の背後には大量の土砂、流木が堆積していた(図 3-3-3-16). 当該箇所は川の屈曲部にあ たるため川に沿って流れた土砂が曲がりきれず流路を逸脱したと考えられる(図 3-3-3-17).



図 3-3-3-15 河道の閉塞による溢流



図 3-3-3-16 川の左岸側の家屋の裏の土砂・流木の堆積



図 3-3-3-17 川の屈曲による土砂の逸脱
さらに上流に向かって道を進むと(地点⑦),道路上に土砂が流下した跡が見られた(図 3-3-3-18). この付近は緩やかな坂となっており土砂が流下しやすかったと考えられる.土石流の氾濫開始点はさら に上流だが,調査時点では土砂で道路がふさがっており(図 3-3-3-19)これ以上の立ち入りは断念した.





図 3-3-3-18 道路上の土砂の跡

図 3-3-3-19 道路を塞ぐ土砂

最後に口田南五丁目での被害の全体像を図 3-3-3-20 に示す.全体として矢口川の上流域では土石流に よる建物の被害や道路の閉塞が,中下流域では河道内での護岸等の崩落が目立った



図 3-3-3-20 口田南五丁目での調査結果の全体

(3) 口田南三丁目

っづいて口田南三丁目について地形的概況と広島県が公開している土砂災害警戒区域図との対応関係 をそれぞれ図 3-3-3-21,図 3-3-3-22 に示す.当該地域は五丁目とは松笠山をはさんで反対側に位置し, 松笠山からの複数の渓流で土石流の特別警戒区域,警戒区域が指定されている.7月7日午前4時頃に最 も大きな特別警戒区域を有する渓流で土石流が発生した.土石流が発生した渓流は図 3-3-3-21 中の赤線 である(※国土地理院による航空写真を参照した概略のもの).



図 3-3-3-21 周辺地域の概況

図 3-3-3-22 土砂災害警戒区域図(口田南三丁目)

図 3-3-3-23 に調査経路を示す. 土石流が発生した渓流に沿って麓の住宅地から水平距離にして約 500m 渓流を登った. また,途中土石流が生じていた支渓流の一つにも立入った. 以下,図中の地点①~⑥ごと に当時の状況を記す.



図 3-3-3-23 調査経路(口田南三丁目)

渓流出口直下の地点①(図 3-3-3-24)では、渓流から溢れて土砂が押寄せ、家屋が流失している.この付近での侵食幅は約 14.2m、侵食深は約 2.2m であった.



図 3-3-3-24 地点①での土砂の堆積状況



図 3-3-3-25 地点①での侵食深,侵食幅の計測

渓流出口から約170m登った地点②では、大量の流木、土砂が堆積していた(図3-3-3-26). ここには 支渓流からも土砂が流出しているが、調査時には堆積した本渓流の流木が支渓流の土石流の出口を閉塞 していた(右図).



図 3-3-3-26 地点②での土砂, 流木の堆積状況

引き続き、支渓流の様子を記す.支渓流出口の流木の裏には2m超の石を含む土石が堆積しており、小 規模な土砂ダムとなっている(図3-3-3-27).流木から水は流れ出ているため差し迫った危険性は無いが 留意しておく必要がある.また、この支渓流には多段の谷止工(石造)が設置されているが最下段のもの は幅6.2m、深さ2.3mに渡って崩落していた(図3-3-3-28). 二段目の谷止工(幅15.2m、高さ3.0m、厚 さ1.7m)は崩落には至っていなかったが背後は満砂状態であった(図3-3-3-29).



図 3-3-3-27 支渓流で見られた小規模な土砂ダム





図 3-3-3-28 流失した石造の谷止工



図 3-3-3-29 満砂状態の二段目の谷止工

渓流出口から約230mの地点③で計測した侵食幅は約16.7m,侵食深は約2.1mであった(図3-3-3-30).
しかし、付近には河床がさらに2m以上侵食されている箇所もあり、侵食断面が非常に大きい(図3-3-3-3-31).
渓流出口から約400mの地点④あたりから堆積物は少なく基岩が露出するようになった.
侵食幅は少し狭くなり約8.1m,侵食深は約2.6mであった(図3-3-3-32).



図 3-3-3-30 侵食深と侵食幅(地点③)



図 3-3-3-31 土砂の侵食状況



図 3-3-3-32 侵食深と侵食幅(地点④)

渓流出口から約450mの地点⑤では、左岸には侵食により典型的なサイコロ状の節理が入った花崗岩が 観察された(図3-3-3-33).また、右岸には土石流を生じたもう一つの支渓流がここで接続している.こ こでも出口は流木で閉塞していた(図3-3-3-34).そして、渓流出口から約500mの地点⑥では、土石流 の流路が大きく向きを変えており(図3-3-3-35)、屈曲部の左岸側では非常に深い侵食が起こっている (図3-3-3-36).渓流はまだ上流へつづいていたが、時間の都合上調査はここで終了した.



図 3-3-3-33 節理が入った花崗岩



図 3-3-3-34 支渓流からの流木(地点⑤)



図 3-3-3-35 土石流の屈曲部

図 3-3-3-36 左岸側での侵食

口田南三丁目における調査結果をまとめると図 3-3-3-37 となる.全体として勾配は比較的ゆるやかだが、支渓流も含め流路長、侵食断面が大きく流出土砂量が非常に多かったことで甚大な被害がもたらされたと考えられる.



3.3.4 安芸郡坂町(水尻·小屋浦地区)

(1) 概要

安芸郡坂町では7月6日の夜から7月7日の朝にかけて、図3-3-4-1に示すように総頭川,水尻川, 天地川などの河川やその支流の上流で多数の土石流が発生した.広島県災害対策本部の8月13日現在の 集計によれば,死者16名,行方不明者1名,重傷8名,軽傷8名,計29名の人的被害が出た.このう ち,土砂災害による死者は15名にのぼった.また,住宅被害は,全壊220戸,半壊804戸,一部損壊179 戸,計1,203戸であった.



図 3-3-4-1 安芸郡坂町における土砂災害発生箇所(国土地理院地図電子国土 Web に加筆)

(2) 降雨状況

この被害をもたらした降雨状況を図 3-3-4-2 に示す. 坂町の雨量観測所はこの災害によって7月6日 20時以降のデータが欠測となっているため,近傍の安芸区役所のデータを合わせて示す. 両観測所の7 月7日19時までの降雨状況はよく一致しており,坂観測所でも7月7日20時以降も安芸区役所と同様 な降雨があったと考えられる.

坂観測所では、7月5日10時から雨が強くなり、7月6日18時までの累積雨量は202mmに達し、その後、19時の時間雨量は67mmとなった。20時以降のデータはないので、安芸区役所のデータを見ると、19時から7月7日0時までの累積雨量は100mmを超えると考えられる。また、7月7日1時以降に再び雨が強まり、時間雨量20mm前後の降雨が7月7日5時まで続き、7月5日から7月7日までの3日間の 累積雨量は413mmとなっていた。



図 3-3-4-2 安芸郡坂町の降雨状況

(3) 水尻地区の被害状況

水尻地区では7月6日の夜から水尻川やその支流の上流で土石流が多数発生した.土石流の源頭部は 写真3-3-4-1に示すように、いずれも山頂や尾根付近にあり、急峻な渓流を流れ下り、写真3-3-4-2に 示すように広島呉道路の高架橋付近で合流し、JR 呉線水尻駅の西側から広島湾に流れ込んだ.また、写 真3-3-4-2 でみられるように、河川の暗渠部や狭隘部で流木や巨石の流下が阻害され、それから下流に は土砂だけが流下していることがわかる.写真3-3-4-3 は、水尻川が広島湾に流れ込む河口の状況を写 したもので、広島呉道路の高架橋の下を通過した土砂が、JR 呉線と国道31号、および国道31号と海と の間にあるベイサイドビーチ坂に堆積していることがわかる.写真3-3-4-4 は JR 水尻駅付近の堆砂状況 を示したもので、JR 坂駅ではホームの高さ以上に土砂が堆積しており、国道31号では軽乗用車の屋根以 上に堆積しており、極めて大量の土砂が流下・堆積してことがわかる.また、通行中の車が道路で停車し た位置で動くことなく、周囲を土砂で完全に土砂で埋められていたことから、土砂の流速はそれほど大 きなものではなく、流動性が高い状態であったことが推測される.





写真 3-3-4-1 水尻川流域における土石流発生状 況

写真 3-3-4-2 水尻川における広島呉道路高架 橋付近の土石流流下状況



写真 3-3-4-3 水尻駅付近の土石流流下状況



写真 3-3-4-4 水尻駅付近の土砂堆積状況

(4) 広島呉道路の崩壊状況

図 3-3-4-3 と写真 3-3-4-5 示すように,安芸郡坂町水尻駅南側の広島呉道路において,道路盛土が崩壊し,崩壊した土砂が下方の JR 呉線と国道 31 号に流入するともに,ベイサイドビーチ坂およびその駐車場に流入した.この盛土崩壊に伴って国道 31 号は7月11日に,JR 呉線は9月9日に,広島呉道路は9月27日に解除されまで通行止めとなった.

崩壊が発生したのは7月8日の朝であり,多くの人的被害を出した7月6日の夜から7月7日の朝に かけての豪雨が治まってからほぼ1日経過した後であった.この時の降雨状況を図3-3-4-4に示す.な お,前述したように坂町の雨量観測所は7月6日20時以降欠測となっているため,被害地近傍の呉市焼 山のデータを示す.この図で分かるように,7月7日8時まで降雨があり,7月1日からの累積雨量は 426mmに達していた.その後,7月7日19時までは無降雨であったが,7月7日20時から再び雨が降り 始め,盛土の崩壊が起こった7月8日の朝は時間雨量8mm程度の雨が3時間続いていた.



図 3-3-4-3 盛土崩壊発生位置図(国土 地理院,電子国土 Web に加筆)



写真 3-3-4-5 広島呉道路の崩壊状況



時刻(時)

図 3-3-4-4 広島呉道路近傍の降雨状況



写真 3-3-4-6 盛土の崩壊状況



写真 3-3-4-7 広島呉道路の路面状況



写真 3-3-4-8 道路上方における滞水状況



写真 3-3-4-9 道路法面の侵食状況

写真 3-3-4-6 は、道路の崩壊状況を示したものであり、道路に向かって土石流が流入し、谷埋めの盛土 部分が長さ約 30m にわたって崩壊している. なお、一連の写真は崩壊が発生した 7 月 8 日の午後に撮影 されたものである. 写真 3-3-4-7 は、崩壊部分から約 50m 広島側の路面状況を写したもので、道路を横 断して土砂が流れた様子がわかる. 写真 3-3-4-8 は、写真 3-3-4-7 の左側(山側)の道路法面を数 m 上 がったところの写真であり、谷から土石流が流下し、平坦部に雨水が多量に滞水している. 写真 3-3-4-9 は、道路下方の法面の写真であり、流水によって法面が侵食されていることがわかる. これらと同じ状 況が崩壊した部分でも起こっていたと考えられるため、盛土が崩壊した原因としては、道路区域外で発 生した土石流が道路区域内(盛土ポケット) に流入し、この土石流による大量の流木と土砂が道路盛土 内の横断排水管 (コルゲートパイプ)呑口を閉塞して、盛土ポケットの排水機能が絶たれた結果、路面 及び盛土内に雨水が流入・浸透・滞水し続け、結果、盛土法面が浸食されるとともに、盛土内水位が上昇 し、不安定となり崩壊に至ったと考えられる.

写真 3-3-4-10 と写真 3-3-4-13 は、崩壊した盛土部分と、崩壊した土砂が JR 呉線と国道 31 号へ流出 した状況を示したものである。崩壊した土砂には多量の水分が含まれており、流動性が高く、JR 呉線の 水尻駅のホームまで達していたことがわかる。



写真 3-3-4-10 崩落した盛土部分



写真 3-3-4-11 JR 呉線,国道 31 号,ベイサイド ビーチ坂に流出した土砂



写真 3-3-4-12 土砂が堆積した JR 呉線,国道 31 号,ベイサイドビーチ坂の駐車場



写真 3-3-4-13 土砂が流入した JR 呉線の水尻駅

(5) 小屋浦地区の被害状況

小屋浦地区では7月6日19時25分頃から天地川やその支流で土石流が多数発生し、住宅地や道路に 流入し、この地区だけで死者 15 名の被害がでた. 土石流の源頭部は図 3-3-4-4 と写真 3-3-4-14 に示す ように、いずれも山頂や尾根付近にある.

写真 3-3-4-15 と写真 3-3-4-16 は、土石流が流下した小屋浦地区の被災状況であり、土石流が直撃し た住宅が被害に遭うとともに、多くの渓流から流入した土石や流木が橋梁部で閉塞し、側方の道路や住 宅地に流入し、被害を拡大させた様子がわかる.

また,図 3-3-4-4 と写真 3-3-4-17 に示すように,天地川の中流には砂防ダムがあったが,土石流によ って破壊されている. この砂防ダムは、1950年に築造された高さ 11m,幅 50m,厚さ 2mの石積み堰堤 で,破壊前は未満砂の状態であった(写真 3-3-4-18 参照). 写真 3-3-4-17 に示すように堰堤上部で河川 はやや湾曲しており、土石流の衝撃力が大きくなる外側に当たる左岸側から順次破壊されたと考えられ、 写真 3-3-4-18 に示すように河床部分まで破壊されている.



図 3-3-4-5 小屋浦地区の土石流発生箇所(国土 写真 3-3-4-14 天地川の土石流源頭部 地理院, 電子国土 Web に加筆)





写真 3-3-4-15 広島呉道路より山側の被災状況



写真 3-3-4-16 広島呉道路より海側の被災状況



写真 3-3-4-17 決壊した砂防ダムの位置

石造で決壊した、広島県坂町小屋滝の砂防ダムの跡(中央)=12日(広島県提供)

写真 3-3-4-18 決壊した砂防ダムの被災前後 (広島県提供)

また、図 3-3-4-6 に示すように JR 呉線小屋浦トンネルの北側でも土石流が発生し、JR 呉線と国道 31 号に流出した.この土石流の渓流には写真 3-3-4-19 に示す 2 か所で巨大なコアストーンが残っているこ とがわかった.巨石 A は、写真 3-3-4-20 と写真 3-3-4-21 に示すように土石流のあった渓流左岸側面に あり、11m×5m×5m 程度の花崗岩のコアストーンであった.写真 3-3-4-22 に示すように巨石の下には まさ土があり、一部は土石流によって流出していた.また、写真 3-3-4-23 に示すように巨石の下を水が 流れた痕跡が残り、巨石下方の地盤ではパイピング跡も確認できた.写真 3-3-4-24 の巨石 B は巨石 A の 上方にあり、写真 3-3-4-25 に示すように 4m×3m×2m 程度のコアストーンであり、巨石下部の地盤の一 部が土石流によって流出している.これらの巨石は、いずれも現状では安定しているが、今後の風化の進 行や土石流、あるいは地震によって不安定になる恐れがあり、恒久的な対策が望まれる.



写真 3-3-4-19 巨石 A と B の位置



図 3-3-4-6 小屋浦トンネル北側の巨石位置(国 土地理院,電子国土 Web に加筆)



写真 3-3-4-20 巨石 A の位置



写真 3-3-4-21 左岸側面に存在する 巨石 A



写真 3-3-4-22 巨石 A を上方から撮影



写真 3-3-4-23 巨石 A を下方から撮影



写真 3-3-4-24 巨石 B の位置

写真 3-3-4-25 巨石 B を上方から撮 影

(6) 被災場所と土砂災害警戒区域・特別警戒区域との関係

水尻地区と小屋浦地区で土石流によって被災した場所と土砂災害警戒区域・特別警戒区域との関係を 検証したものを図3-3-4-7~図3-3-4-10に示す.なお,小屋浦地区は土砂災害警戒区域・特別警戒区域 の指定前であったため,土砂災害危険箇所と比較する.水尻地区においては,土石流による被災状況と 土砂災害警戒区域・特別警戒区域は,図3-3-4-7~図3-3-4-10に示すように概ね一致している.小屋浦 地区においては,天地川など土石流の発生した渓流は土砂災害危険箇所に指定されていたが,大きな被 害の出た天地川の下流域は土砂災害危険箇所に指定されていない.また,天地川の上流も土石流の発生 する渓流は1つだけ示されているが,実際は多くの渓流で土石流が発生しており,土砂災害警戒区域・ 特別警戒区域を指定する際には注意が必要であることが示唆される.



図 3-3-4-7 水尻地区における土石流発生渓流 (国土地理院地図・電子国土 Web より)



(国土地理院地図・電子国土 Web より)



図 3-3-4-8 水尻地区における土砂災害警戒区 域・特別警戒区域(広島県防災 Web より)



図 3-3-4-10 小屋浦地区における土砂災害危険 箇所(広島県防災 Web より)

3.3.5 安芸郡熊野町川角五丁目(大原ハイツ)

(1) 概要

安芸郡熊野町では7月6日の夜から7月7日の朝にかけて、図3-3-5-1に示すように熊野町を取り囲 む安芸郡海田町,広島市安芸区,呉市焼山との境界付近で多数の土石流が発生した.広島県災害対策本部 の8月13日現在の集計によれば,死者12名,重傷3名,軽傷1名,計16名の人的被害が出た.このう ち,死者12名はすべて土砂災害によるもので,土砂災害がもたらす被害の重大性を物語るものであった. また,住宅被害は,全壊21戸,半壊19戸,一部損壊18戸,床上浸水18戸,床下浸水38戸,計114戸 であった.



図 3-3-5-1 安芸郡熊野町における土砂災害発生箇所(国土地理院地図電子国土 Web に加筆)

(2) 降雨状況

この被害をもたらした降雨状況を図 3-3-5-2 に示す. 熊野町の雨量観測所はこの災害によって 7 月 6 日 20 時以降のデータが欠測となっているため,近傍の呉市焼山のデータを合わせて示す. 両観測所の 7 月 7 日 19 時までの降雨状況はよく一致しており,熊野観測所でも 7 月 7 日 20 時以降も焼山観測所と同様な降雨があったと考えられる.

熊野町の観測所では、7月5日10時から雨が強くなり、7月6日18時までの累積雨量は193mmに達 し、その後、19時の時間雨量は44mmとなった。20時以降のデータはないので、呉市焼山のデータを見 ると、19時から20時までの時間雨量は60mm程度あり、19時から7月7日0時までの累積雨量は120mm 程度あったと考えられる.また、7月7日1時以降に再び雨が強まり、時間雨量20mm前後の降雨が7月 7日5時まで続き、7月5日から7月7日までの3日間の累積雨量は400mmを超えていたと推定される.



図 3-3-5-2 安芸郡熊野町の降雨状況

(3) 川角五丁目大原ハイツの被害状況

安芸郡熊野町の南東に位置する三石山(標高 449m)の山頂付近から7月日20時頃から土石流が複数 発生し、そのうちの2つが西側の谷間に昭和40年代から開発された大原ハイツに流入して、死者12名 の被害が出た.図3-3-5-3は、被災地の位置と地質概要を示したもので、土石流が発生した地点は中生代 後期白亜紀セノマニアン期〜サントニアン期に形成された花崗岩分布域であった。



図 3-3-5-3 被災地の位置と地質

写真 3-3-5-1 は,被災前後を比較したもので,被災前の写真は平成 21 年 4 月に撮影されたものであり, 被災後の写真は 7 月 11 日に撮影されたものである.被災前の写真の右上の町民グランドに向かう渓流に 砂防堰堤が複数見られるが,これは 1999 年の 6.29 広島災害で土石流が発生し,その対策工として建設さ れたものである.今回,この渓流でも三石山の山頂付近から土石流が発生しているが,渓流途中で止まっ ている.一方,三石山の西側で発生した 2 つの土石流は川角五丁目の大原ハイツに流入している.土石流 の流下状況を模式的に描いたものが図 3-3-5-4 であり,まず南側の渓流からの土石流が住宅地の南側に 流れ込み,その後,あまり時間をおくことなく北側の土石流が住宅地の中央に流入した.住宅地に流入し た土石流は住宅地の出入り口となっている唯一の道路に流入・堆積したため,土石流が発生した直後か ら数時間は住宅地から車での避難が不可能になっていた.

土石流の流下した三石山の断面図を図 3-3-5-5 に示す.土石流はほぼ山頂から発生して渓流を流下しているが,渓流の勾配は 30°前後であり,花崗岩地帯で起こる土石流としては比較的緩やかであった.この土石流が平均的な勾配が 8°程度の住宅地に流入した.



写真 3-3-5-1 大原ハイツにおける被災前後の比較(国土地理院地図電子国土 Web に加筆)



図 3-3-5-4 土石流の流下状況



図 3-3-5-5 土石流が流下した山腹の断面図

写真 3-3-5-2 は、土石流が流入した住宅地上部の被災状況を、被災の前後で比較して示したものであり、多くの住宅が倒壊し、犠牲者の出た住宅は住宅地の上部に集中していることがわかる. 写真 3-3-5-3 は、土石流が直撃した最上部の住宅の写真であり、3.5m×35m×1.5m 程度の巨石が流入し、住宅が全壊している. この他にも 1m 前後の巨石が多数住宅に流入し、被害の拡大につながっていた.

写真 3-3-5-4 と写真 3-3-5-5 は、住宅地の直上の渓流の様子を撮影したものであり、3~4°の勾配で 土砂が堆積するとともに、1~2mの巨石も点在していた. 写真 3-3-5-6 は、土石流が流下した渓流の側 方斜面であり、斜面勾配は約 37°で、斜面には 1~3m 程度の巨石が多数存在している. 写真 3-3-5-7 は、 渓流の中間部であり、やや緩勾配になっている渓床には 5m を超える巨石が多数残っていた. 巨石の下に は過去の堆積物があり、土石流が繰り返し発生していたことを物語っている.

写真 3-3-5-8 は、北側の渓流の上部を撮影したもので、渓流の勾配は 27~28°であり、1m 前後の表 土が流出し、渓床には多数の巨石が残っていた.写真 3-3-5-9 は、南側の渓流の上部を撮影したもの で、渓流の勾配は約 30°で、北側に比べて規模は小さく、流出物は河床に堆積していた土砂が主体とな っていたと思われる.



(https://www3.nhk.or.jp/news/html/20180708/k10011523631000. html) より

😫 犠牲者の方の住宅





写真 3-3-5-3 最上部の住宅の被災状況



写真 3-3-5-4 住宅地直上の北側渓流(下方から)



写真 3-3-5-5 住宅地直上の北側渓流 (上方から)



写真 3-3-5-6 渓流の側方斜面



写真 3-3-5-7 北側渓流の中間部





写真 3-3-5-8 北側渓流の上部

写真 3-3-5-9 南側渓流の上部

写真 3-3-5-10は、北側の土石流と南側の土石流が合流している標高 300m 付近の様子を示したもので、北側の土石流は上部でやや湾曲しているため、土石流の一部は湾曲に沿って小さな尾根を乗り越えて南側の渓流に流入している.北側の渓流からの土石流が南側の渓流の土石流の堆積物の上に堆積していることから、南側の渓流の土石流が早く発生したと推定される.



写真 3-3-5-10 土石流の合流部

写真 3-3-5-11は、南側渓流における土石流の流下状況を示したもので、南側の住宅地の上部に約 10[°]の勾配で土砂が堆積している.**写真 3-3-5-3~写真 3-3-5-5**に示した北側の渓流と比較すると、南側渓流の土石流はあまり大きな巨石が少なく、土砂と流木が主体であった.**写真 3-3-5-12**は、南側の最上部に位置する住宅の被災状況であり、住宅地の上部に駐車してあった大型トラックが土石流によって流され、車体の半分程度が住宅に侵入しており、土石流の流下速度が大きかったことを物語っている.





写真 3-3-5-11 南側渓流の土石流の流下状況

写真 3-3-5-12 南側の住宅の被災状況

写真 3-3-5-13 は,住宅地中央の坂道の直下にある住宅の被災状況であり,北側渓流の土石流は住宅 地に流入した後,この坂道を流下し,坂道直下にある住宅を直撃している.その際,住宅前にあった電 柱が倒れて電線がスパークして出火し,住宅および駐車場にあった車が火災で焼失した.豪雨時におい ても火災に注意する必要のあることを示す例である.また,2014 年 8 月 20 日の広島豪雨災害において も,広島市安佐南区八木三丁目の阿武の里団地で坂道直下の住宅に土石流が流入して大きな被害が出て おり,このような立地条件にある住宅は注意が必要であることがわかる.



写真 3-3-5-13 住宅地出入り口の被災状況

図 3-3-5-6 は、土砂災害警戒区域・特別警戒区域と実際に被害が発生した場所とを比較したものである. 広島県によって指定されている土砂災害警戒区域・特別警戒区域図では、大原ハイツに被害を及ぼすと想定されて渓流は二河川支川 21 (区域番号:I-2-3-61)で、特別警戒区域は土石流によって全壊した最上部の住宅から約 60m 上流で標高 250m 付近までとなっており、この区域で想定される力の最大値は36.24kN/m²で、土石流の高さは 0.70m と推定されていた.実際の土石流は想定された特別警戒区域より約 100m 以上下流の住宅を倒壊させ、大きな被害を出している.一方、土石流の流下範囲と警戒区域は比較的一致しており、警戒区域では土砂災害の危険性が高いことが裏付けられた.また、大原ハイツに被害を及ぼす渓流としては二河川支川 21 しか記載されていないが、実際には住宅地の北側でも小さな土石流が起こり、人的被害は出ていないが住宅に流入している. 南側渓流で発生した土石流も区域図には記載されておらず、想定外の土石流が住宅地に流入していた.なお、区域指定のための基礎調査で想定していた土砂発生量は 4,868m³であったが、実際に発生した土砂量は 12,100m³と推定され、想定の約 2.5 倍の土砂が住宅地に流出し、大きな被害の出る原因の一つになった.



図 3-3-5-6 土砂災害警戒区域・特別警戒区域と土石流発生場所の比較

3.3.6 尾道松江道

(1) 概要

広島県のほぼ中央を南北に縦断する尾道松江自動車道(やまなみ街道)においても7月5日からの豪 雨で法面崩壊などの変状が発生した.表3-3-6-1は、変状が発生した箇所の位置、被災内容、被災日時等 を国土交通省中国整備局三次河川国道事務所によってまとめられたものである.松江道で3箇所、尾道 道で11箇所、計14箇所で変状が発生した.被災位置を図3-3-6-1に示す.変状は、7月6日17時00分 に尾道道の吉舎40k590で始まり、7月8日10時20分の松江道の水越橋3k700まで3日間にわたって発 生した.主な被災内容は法面崩落で、14箇所中7箇所で発生した.

	四次公古			*****	被災(確認)日時		て見知知ざ
	路線	固所名	距 離標	被災闪容	日付	時刻	雨重観測所
1	松江道	高野 IC	25k100	アンカーフレーム変状	7月7日	PM	高野 IC 観測所
2	松江道	水越橋	3k700	法面崩落	7月8日	10:20	三次東 JCT 観測所
3	松江道	三次東	0k800	法面クラック	7月7日	15:45	三次東 JCT 観測所
4	尾道道	向江田	47k800	盛土法面変状	7月7日	PM	三次東 JCT 観測所
5	尾道道	馬洗川橋	44k600	法枠裏土砂流出	7月7日	PM	三次東 JCT 観測所
6	尾道道	吉舎	40k590	法面崩落	7月6日	17:00	吉舎 IC 観測所
7	尾道道	吉舎 IC	38k300	法面崩落	7月7日	6:00	吉舎 IC 観測所
8	尾道道	甲奴 IC	30k420	法面崩落	7月6日	PM	甲奴 IC 観測所
9	尾道道	世羅	20k960	法面崩落	7月7日	16:08	世羅 IC 観測所
10	尾道道	世羅	19K000	法面崩落	7月7日	10:49	世羅 IC 観測所
1	尾道道	世羅川尻	17k530	法面変状	7月7日	15:45	世羅 IC 観測所
12	尾道道	下仮屋橋	13k470	橋台取付部盛土崩落	7月7日	AM	世羅 IC 観測所
13	尾道道	御調	10k260	法面崩落	7月7日	5:00	尾道北観測所
(14)	尾道道	貝ヶ原	9k050	土砂崩落	7月6日	23:00	尾道北観測所

表 3-3-6-1 尾道松江道における被災箇所一覧(北から南の順)



図 3-3-6-1 尾道松江道における被災位置図(国交省三次河川国道事務所提供)

(3) 降雨状況

図 3-3-6-2~図 3-3-6-7 は,尾道松江道沿線の雨量観測所で観測された降雨状況を示したものである. また,表 3-3-6-2 はこれらの時点の最大時間雨量,最大 24 時間雨量,7月5日から7月8日までの累積 雨量をまとめたものである.表 3-3-6-2 の最大時間雨量の発生時刻から,強い雨域は広島県北部から広 島県南部へと南下していたことが分かる.また,広島県県最北部の高野 IC 雨量観測所を除き,最大 24 時 間雨量は 200mm を超え,3日間の累積雨量は 400mm 近くに達している.

広島県県北部の高野 IC 雨量観測所,三次東 JCT 雨量観測所,吉舎 IC 雨量観測所,甲奴 IC 雨量観測所 はほぼ同じ降雨傾向を示し、7月5日の朝から時間雨量10~20mmの降雨が断続的に夕方まで降り続き、 7月5日の日雨量は100mm 程度に達した.その後、いったん治まっていた雨が7月6日の朝から再び降 り始め、7月6日の夕方からは時間雨量20~30mmの強い降雨が深夜まで続き、7月6日の日雨量は132 ~196mm に達した.日付が変わった7月7日も10mm 前後の雨が9時頃まで降り続き、7月7日12時ま での累積雨量は285~390mm に達した.広島県南部の世羅 IC 雨量観測所と尾道北雨量観測所も前述の雨 量観測所とほぼ同様な傾向であるが、7月6日21時の時間雨量が世羅 IC 雨量観測所で41mm、尾道北雨 量観測所で39mm とかなり強くなっていた.また、7月7日の昼間に雨はいったん上がっていたが、7月 7日の深夜から再度降り始め、広島県南部では時間雨量10mmを超える時間帯もあった.図3-3-6-2~図 3-3-6-7の図中には被災発生時間を矢印で示してあり、多くの変状は雨の強い時間帯に発生しているが、 雨が止んでしばらく経ってから変状が発生している箇所も少なからず見られる.

	最大時間雨量(mm) (発生時刻)	最大 24 時間雨量(mm)	累積雨量(mm)
高野 IC 観測所	25 (7 月 6 日 15 時)	168	299
三次東 JCT 観測所	36 (7 月 6 日 19 時)	284	411
吉舎 IC 観測所	30 (7 月 6 日 20 時)	250	338
甲奴 IC 観測所	32 (7 月 6 日 20 時)	243	372
世羅 IC 観測所	41 (7 月 6 日 21 時)	279	436
尾道北観測所	39 (7 月 6 日 21 時)	237	370

表 3-3-6-2 尾道松江道における降雨特性



図 3-3-6-2 高野 IC 観測所の降雨状況



図 3-3-6-3 三次東 JCT 観測所の降雨状況



図 3-3-6-4 吉舎 IC 観測所の降雨状況







図 3-3-6-6 世羅 IC 観測所の降雨状況



図 3-3-6-7 尾道北観測所の降雨状況

(2) 被害状況

尾道松江道においては**表 3-3-6-1** に示すように 14 箇所で土砂災害によって被害がでたが,ここでは① 松江道 25k100 高野 IC 下線オフランプ, ⑦尾道道 38km300 吉舎 IC 下線オフランプ, ⑬尾道道 10k260 御 調の 3 箇所について被災状況を報告する.

①松江道 25k100 高野 IC 下線オフランプのアンカーフレーム切土法面とその上位斜面で,7月7日午後 に変状が確認された.変状としては,切土法面の南側(広島側)のグランドアンカー(全88本)のアン カー体のうち,数本が破断し,防護キャップから飛び出している現象が確認された.7月9日には法面の 押し出し,法面中段の管理用道路の舗装面の亀裂.ガードレールの屈曲,側溝のずれ,およびランプ舗装 面の盤膨れが確認されるとともに,グランドアンカーは88本中30本の破断が確認された(写真3-3-6-1~写真3-3-6-4).その後,上位斜面で頭部滑落崖,数条の亀裂や窪地が確認され,さらにグランドアン カーの異常はないものの北側(松江側)の上位斜面でも亀裂が観察されたことから,高さ約 60m,幅約 150mの規模で地すべりが発生していると推定された.当地は,新第三紀中新統泥岩の基盤岩の上に第四 紀完新世の火山灰層(三瓶ほか)が厚く堆積しており,ランプの横断方向に対して流れ盤構造となってい る.そこに図3-3-6-2に示すように7月5日から7月8日12時までに累積雨量が296mmとなる大量の 降雨があった.その結果,当該地は明瞭な集水地形とはなっていないのの,基盤岩上部の火山灰層の地下 水位が想定以上に上昇することによって間隙水圧が上昇してすべり抵抗が大きく減少し,グランドアン カーに想定以上の力が作用し,一部が破断して地すべりが発生したものと推定されている.



写真 3-3-6-1 高野 IC 下線オフランプアンカーフレーム切土法面の変状(広島側から)



写真 3-3-6-2 高野 IC 下線オフランプアンカーフレーム切土法面の変状(島根側から)



写真 3-3-6-3 高野 IC 下線オフランプアンカーフレーム切土法面の変状 (道路縦断方向へ 1.0m、横断方向へ 0.5m程度移動)



写真 3-3-6-4 高野 IC 下線オフランプアンカーフレーム切土法面の変状 (すべり末端部では 0. 2m 程度路面が隆起)

⑦尾道道 38km300 吉舎 IC 下線オフランプの西側の切土斜面で7月7日早朝に幅約20m にわたる法面 崩壊が発生した.崩壊斜面は、2段切土法面(上段は法勾配1:1.0の植生工,下段は法勾配1:0.5の法 枠工(□300-2000×2000)+鉄筋挿入工(L=3.5m))となっており、その上位斜面は平坦〜緩傾斜地(勾 配約20°)である.変状は、7月7日6時頃から2段切土法面の上段切土法面の法肩を頂部とした土砂 崩落が起こり(写真3-3-6-5),下段法枠工が屈曲・破断されて道路面に押し出されるとともに、水を含 んだ土砂が流出した(写真3-3-6-6~写真3-3-6-9).当地は、新第三紀中新統の礫岩と砂岩とが平坦〜ご く緩い流れ盤構造で互層をなしており、法面末端部に位置する砂層によって地下水の流れが阻害される 構造になっていた.そこに図3-3-6-4に示すように7月5日から7月6日6時までに累積雨量が302mm となる大量の降雨があった.その結果、法面内には水抜き工があったものの(写真3-3-6-10)、排水能力 以上の地下水が流入したこと、および法面保護工として開放型の植生基材吹付工が施工されていたもの の、難透水性の植生基材のために背面土が飽和したことによって地下水位が上昇し、間隙水圧が上昇し てすべり抵抗が大きく減少し、法面の変状が起こったと推定されている.



写真 3-3-6-5 吉舎 IC 下線オフランプ切土法面の変状 (7月7日撮影,上段切土法面の法肩)


写真 3-3-6-6 吉舎 IC 下線オフランプ切土法面の変状 (7月7日撮影,三次側から)



写真 3-3-6-7 吉舎 IC 下線オフランプ切土法面の変状 (7月7日撮影,尾道側から)



写真 3-3-6-8 吉舎 IC 下線オフランプ切土法面の変状 (7月7日撮影,屈曲・破断した法枠工)



写真 3-3-6-9 吉舎 IC 下線オフランプ切土法面の変状 (7月7日撮影,破壊した鉄筋挿入工と法枠工の接合部)



写真 3-3-6-10 吉舎 IC 下線オフランプ切土法面の変状 (7月7日撮影,水抜きボーリングパイプからの地下水の流出) ③尾道道 10k260 御調において、7月7日5時頃に西側の切土斜面の上部で土砂崩壊が起こり、流動化した土砂が土石流となって路面に流下した(写真 3-3-6-11,写真 3-3-6-12). 土砂崩壊は図 3-3-6-13 に示すように切り拓かれた農園の東側で発生し、谷止め工の前方に堆積していた土砂が谷筋に流れ込んだ大量の流水と地下水で押し出され(写真 3-3-6-14),谷筋を流下し(写真 3-3-6-15,写真 3-3-6-16),尾道道に流入した(写真 3-3-6-17). なお、写真 3-3-6-13 に示すように農園の南東側でも土石流が発生し、2 基設置してあった砂防堰堤を乗り越え、尾道道の高架橋の下を流下していた. 最寄りの雨量観測所である尾道北観測所のデータによれば、図 3-3-6-7 に示すように7月7日5時までの累積雨量は 300m に達し、崩壊の起こった5時前後は降雨の2回目のピークと一致している。



写真 3-3-6-11 尾道道 10k260 御調における被災状況 (7月7日撮影,尾道側から)



写真 3-3-6-12 尾道道 10k260 御調における被災状況 (7月7日撮影,三次側から)



写真 3-3-6-13 尾道道 10k260 御調における土石流の発生状況 (Google マップに加筆)



写真 3-3-6-14 尾道道 10k260 御調における土砂崩壊の発生源(7月7日撮影)



写真 3-3-6-15 尾道道 10k260 御調における土砂流出状況(7月7日撮影,下方から)



写真 3-3-6-16 尾道道 10k260 御調における土砂流出状況(7月7日撮影,下方から)



写真 3-3-6-17 尾道道 10k260 御調における土砂流出状況(7月7日撮影,法枠工の上方から)

3.3.7 呉市天応・吉浦・焼山地区



災害当日の雨量









各地点のスネーク曲線(6/13~7/13)







3

危険雨量指標R'(mm)の変化



呉市周辺の地質





呉市の被害分布



天応地区(調査日7/8, 10, 12-14, 24) 調查者: 呉高専加納誠二、山岡俊一、三村陽一、鹿瀬敏希、山本直希、井村南都



天応西条(背戸ノ川支川上流)



①上流にあるため池のそばを土石流が通過(7/13撮影)



③ため池横の砂防堰堤を超えて流下している(7/13撮影)
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 ⑦
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0





④下流を臨む。住宅地に流木や巨礫が流下してい る(7/14撮影)

天応西条(背戸ノ川支川)



⑤上流を臨む。ほぼ直線的で幅は約15~20m(7/12撮影)





⑤土石流の出口は約10~15m(7/12撮影)



⑥ほぼ直線的な土石流が左岸側で発生し、家屋を押し流した(7/12撮影) 9

天応西条(大屋大川上流天応中学校入口より上流)





 ⑨道路が削られ、下水管が破断した(7/24撮影)

 ●

 ●

 ●



⑧左岸から土石流が流下し道路を押し流した(7/3撮影)



⑩工場にかかる橋が落橋し、河川を堰き止めている(7/24撮影)

天応西条(大屋大川天応中学校入口より下流)



⑪河川に土砂が堆積し道路を流下している(7/8撮影)



⑫広島呉道路高架付近では1階がほぼ水没している(7/8撮影)





⑪天応中学校入口の橋が土砂で埋まっている(7/8撮影)



⑩広島呉道路高架付近から上流を撮影(7/8撮影)

天応東久保二丁目(天応中学校に流入した土石流)



⑬渓流中間点あたりから上流を撮影(7/10撮影)





③ヘリより撮影。 L 字型の建物が天応中学校。右側にも 土石流が見られる(7/13撮影)

天応東久保二丁目(天応中学校右側に流下した土石流)



⑭渓流出口付近から現頭部を臨む。幅約8m(7/14撮影)







⑭ヘリより撮影。画面中央の土石流。(7/13撮影)

天応地区②(天応町・深山の滝付近、調査日8/5) 調査者: 呉高専加納誠二、三村陽一





国土地理院地図(電子国土Web)に加筆

天応地区②(深山の滝入口から焼山側で発生した土石流・がけ崩れ)



①深山の滝入口から約200m焼山側で発生した土石流



②深山の滝入口から約150m天応側で呉環状線を再度横断





①土石流が県道66号呉環状線を横断して流下



③深山の滝入口から約70m焼山側のがけ崩れ。 8/5撮影



天応地区② (大屋大川左支川)



④深山の滝入口より焼山側の土石流



⑤この地点で2本の土石流が合流している



8/5撮影

天応地区② (大屋大川左支川)



⑥堰堤により上流の渓流幅は5m程度







⑦堰堤はほぼ満砂状態である。



⑤合流点付近の渓流幅は4m程度、深さ1m程度 8/5撮影

17

天応地区② (大屋大川左支川)



⑧上流左岸側で小規模な崩壊が起きている







⑨堰堤上流の渓流幅は8m程度



⑤分岐点付近の渓流幅は約8m、深さは1.5~2m 8/5撮影 18

天応地区②(大屋大川・深山の滝付近)



⑩深山の滝の様子。



⑩左岸側から流入している渓流。土砂はほとんど見られない





⑪滝から90m程度下流。河床から約1.2~1.5m堆砂



 2段の砂防堰堤下流側。満砂状態 8/5撮影

19

天応地区②(大屋大川・紅橋上流)



⑭左岸が流下した土石流の影響もあり、道路陥没



⑩紅橋直上の左岸から流下した土石流。河床に岩盤が見える



⑮右岸が削られ、大きく崩落している



⑮落下したした紅橋。 8/5撮影

吉浦地区①(調査日7/8,13,15,16) 調査者:吳高專加納誠二、河村進一、三村陽一、松本一希



長谷町(梅木川)



①尾根線付近から土石流が流下している(7/13撮影)









①団地内の道路を土砂が流下している(7/8撮影)

大山町(梅木川支川)



②流木が橋につまり、川を堰き止めた(7/15撮







③団地内の道路を河川水が流下した(7/8撮



③側道に流下した土石流はボックスカルバートを 通って下流の住宅街に流れ込んだ(7/8撮影)



吉浦上城町(宮川第2支川)





⑤橋部で流木で閉塞して、道路を流下した。(8/4撮影) ISCE V



④上流で左岸側から土石流が流入している。 (7/13撮影) ④ドローンで撮影。土石流が砂防堰堤で捕捉されている (7/16撮影)



⑤右岸から来たがけ崩れの土砂で堰き止められ、左折。 ⑤石戸から米にかり期4100エレクションクライン、ユンバ それによりのり面が削られ、道路が陥没。(8/4撮影) 24

吉浦地区②(調査日7/11,13, 8/4, 5) 調査者:吳高專加納誠二、三村陽一、谷川大輔



吉浦新出町(宇根川・笠岩川)



⑥尾根付近から発生した土石流が住宅地まで流下した(7/13撮影)



吉浦新出町(宇根川・笠岩川)



⑥上流に砂防堰堤らしきものが見られる





⑥下流を撮影。右岸にある家屋が破壊されている。



⑦巨石がある付近の2件が完全に破壊されている。

8/5撮影 27

吉浦新出町(宇根川・笠岩川)



⑦土砂は道路を隔てた下流の家屋も破壊した。









⑨下流では河川内に多量の土砂が堆積していたと思われる。(国道31号付近)
 8/5撮影 28

古迫町



⑩墓所に小規模な土石流が流下。









⑩渓流出渕付近から下流を撮影

8/5撮影

29





⑪砂防堰堤が土石流を捕捉したが、一部土砂が流下している(7/11撮影) ⑪流下した土砂が下流の家屋に流下した(7/11撮影)





⑫右岸で小規模ながけ崩れが発生している(7/11撮影) R ISCE



③左岸で発生した小規模な土石流が家屋を破壊した (7/11撮影)

焼山地区(苗代町・原垣内川右支渓、調査日7/27) 調査者:呉高専加納誠二、三村陽





焼山地区(苗代町・原垣内川右支渓)



①渓流途中より上流を撮影。勾配は緩い









④土石流が橋を40cm程度押している。 7月27日撮影

焼山地区(焼山東四丁目・梅ノ木、調査日7/27) _{調査者 : 呉高専加納誠二、三村陽一}



焼山地区(焼山東四丁目・梅ノ木)









33



④団地直上の様子。住宅の左側に渓流があったと思われる。
 7月27日撮影
 34

焼山地区(焼山東四丁目・梅ノ木)



⑤元の流路は幅1.5m。水路が埋まったため左側を流



⑦住宅にぶつかり堰き止められた土石流。





⑥奥に見える住宅を直撃している。



⑧住宅にぶつかり左折し、畑に流下した 7月27日撮影

3.3.8呉市安浦地区



災害当日の雨量











各地点のスネーク曲線(6/13~7/13)







3

危険雨量指標R'(mm)の変化



呉市周辺の地質





安浦地区(安浦町三津口・水尻川、調査日7/24,25) 調査者:呉高専加納誠二、河村進一、三村陽一、吉川祐樹、松本一希





安浦地区(安浦町三津口・水尻川)



①源頭部付近をドローンで撮影





②湾曲部分の様子。大量の水を含む土砂が流下したと思われ



④住宅地直上に氾濫原。幅約30m 7月24日撮影

7

8









⑥道路下の水路が閉塞し、氾濫。団地内に土石流が流入



⑧下流にある橋の下にあった巨礫 7月24日撮影

安浦地区(安浦町市原・野呂川、調査日7/25) 調査者: 呉高専加納誠二、河村進一、三村陽一、吉川祐樹、松本一希



安浦地区(安浦町市原・野呂川)



野呂川ダム上流の様子。野呂川両岸の谷筋で土石流が発生している。



7月25日撮影

3.3.9呉市音戸・倉橋・蒲刈地区



災害当日の雨量









各地点のスネーク曲線(6/13~7/13)







3

危険雨量指標R'(mm)の変化



呉市周辺の地質





音戸地区(音戸町先奥三丁目・岡棟川、調査日7/12,16) 調査者:呉高専加納誠二、河村進一、三村陽一、下岡優希、松本一希





国土地理院地図(電子国土Web)に加筆

音戸地区(音戸町先奥三丁目・岡棟川)



①ドローンを用いて撮影した上流の様子(7/16撮影)





②住宅地上端付近から上流を撮影。勾配は緩い



④下流にある住宅に土石流が直撃している 7月12日撮影



音戸地区(音戸町波多見十丁目、調査日7/22) 調査者:吳高専加納誠二、三村陽一、吉川祐樹、鹿瀨敏希





国土地理院地図(電子国土Web)に加筆

音戸地区(音戸町波多見十丁目)



幅10m、長さ30m程度のがけ崩れが発生





①源頭部付近の様子



②団地道路から撮影 7月22日撮影

9

倉橋地区(倉橋町宇和木、調査日7/22) 調査者:吳高専加納誠二、三村陽一、吉川祐樹、鹿瀬敏希



倉橋地区(倉橋町宇和木)





現頭部付近の様子



7月22日撮影 11

蒲刈地区(蒲刈町田戸・田戸トンネル坑口、調査日7/21) 調査者: 呉高専加納誠二、三村陽一


蒲刈地区(蒲刈町田戸・田戸トンネル坑口)



田戸トンネル坑口上部付近で発生したがけ崩れ



付近では小規模ながけ崩れが複数見られた



7月21日撮影 13

蒲刈地区(蒲刈町大浦・大浦トンネル坑口、調査日7/21) 調査者: 呉高専加納誠二、三村陽一



蒲刈地区(蒲刈町大浦・大浦トンネル坑口)



豊橋大橋側トンネル坑口で土砂が流出。



7月21日撮影

15

蒲刈地区(下蒲刈町大地蔵・田ノ尻、調査日7/21) 調査者: 呉高専加納誠二、三村陽一



蒲刈地区(下蒲刈町大地蔵・田ノ尻)



土石流が2本合流して流下している。幸い道路を流下している そばに民家が見られる。7/21撮影



黄色矢印が同じ民家を示す。Googlemapより



17

蒲刈地区(下蒲刈町大地蔵、調査日7/21) 調查者: 吳高專加納誠二、三村陽一



蒲刈地区(下蒲刈町大地蔵・県道288号線)



①土石流が道路に流下している







②岩盤崩落によりオーバーハングしている



②直径2m程度の巨礫が落下している 7月21日撮影

19

3.3.10呉市阿賀・広・郷原地区



災害当日の雨量





1





各地点のスネーク曲線(6/13~7/13)











危険雨量指標R'(mm)の変化





呉市周辺の地質





阿賀地区(阿賀南九丁目・冠崎川、調査日7/9) 調査者: 吳高専加納誠二、三村陽一





国土地理院地図(電子国土Web)に加筆

阿賀地区(阿賀南九丁目・冠崎川)



①渓流出口から上流を撮影。砂防堰堤あり



②渓流出口の様子



③住宅地上端付近から下流を撮影





④流下した土石流が家屋を破壊した7月9日撮影

広地区(広町石内・段原川、調査日7/10、23) 調査者: 呉高専加納誠二、三村陽一、井村南都





7

広地区(広町石内・段原川)



①国道375号線の橋が落橋。水道管も被害を受けた



②水源地施設内にあった砂防堰堤とも思われるコンクリート塊。





①砂防堰堤も崩壊されている。(7/10撮影)



②水源地管理施設も被害を受けている 7月23日撮影



広地区(広町石内・黒瀬川護岸浸食、7/10,23) 調査者: 吳高専加納誠二、三村陽一、井村南都





国土地理院地図(電子国土Web)に加筆

広地区(広町石内・黒瀬川護岸浸食)



①黒瀬川左岸の護岸が大きく浸食されている



③右岸側にあった水道橋の橋台部分で浸食されていた







②少し下流側の左岸も浸食されていた。



木製の真光寺橋が流された(7/10撮影) 7月23日撮影



11

郷原町山田(山田川)







①渓流幅は10~15m程度、層厚は50cm~1m程度(7/10撮 K



①渓流途中から現頭部付近を撮影(7/10撮影)



①勾配は25~30度(7/10撮影)



郷原町山田(柿の木谷川)

ISCE



②柿の木谷川左岸で発生したがけ崩れ。上部は緩勾配(7/10撮影)



②渓流途中から現頭部付近を撮影(7/10撮影)



②渓流幅は10~15m程度、層厚は50cm~1m程度と思われる(7/10撮影)



5.3 ため池の被災状況

(1)山田古池·山田上池(福山市神辺町)

四つのため池が連なる連続池で、上流から一つ目および二つ目が破堤してため池には土砂が堆積して おり(**写真-1**, **写真-2**, **写真-3**, **写真-4**),貯水量の低下と越流による破堤であると考えられる.**写真-5** は災害前後のため池周辺の航空写真を比較したもので、災害後の写真では水がほとんど確認できず、ま た斜面崩落の形跡もわかる.池が小規模であったため、下流域に被害は広まらなかった.



写真-1 破堤箇所

写真-2 ため池内の堆砂



写真-3 破堤状況





写真-5 災害前(左)と災害後(右)の比較

図-1 山田古池・山田上池の位置

(2) 勝負迫上池·勝負迫下池(福山市駅家町)

勝負迫上池は貯水量 800m³,勝負迫下池は総貯水量 3,200m³ のため池である.勝負迫上池の上流側に駐 車場,グラウンドがあり,グラウンドの法面の崩壊が発生していた(**写真-6**).この崩壊した土砂が勝負 迫上池,勝負迫下池に順次流入し(**写真-7**),越流による堤体の破壊(**写真-8**)が生じたものと思われる. ため池堤体の土質はまさ土であり,また,周囲には法面に設置されていたと思われるコンクリートブロ ックが散乱していた(**写真-9**). **写真-10** は災害前後の航空写真であり,グラウンドから土砂が流下して いる状況を確認することができる.



写真-6 崩壊したグラウンド



写真-8 破堤状況(勝負迫下池より望む)



写真-7 グラウンドを勝負迫上池から望む



写真-9 散乱しているコンクリートブロック



写真-10 災害前(左)と災害後(右)の比較

図-2 勝負迫上池・勝負迫下池の位置

(3) 乙池·大池·横池(東広島市黒瀬町)

上流側から順に横池、大池、乙池と位置する重ね池であり、天端幅はそれぞれ 1.6m、2.1m、2.2m、堤 高は 4.5m, 4.6m, 2.5m, 堤長は 47.0m, 98.0m, 46.0m, 総貯水量は 3,440m³, 5,300m³, 1,730m³ である. 横池に流入した土砂により堤体が越流破壊し(写真-11), 越流した水が順次大池, 乙池へと流れ込んでい る.大池でも越流破壊が発生し(写真-12),下流にある乙池では越流の後が確認できたが(写真-13),破 堤には至っていなかった.なお大池では,護岸の破損も認められた(写真-14).災害前後の航空写真を写 真-15 に示す. ため池に土石流が流入し, これが原因で越流破堤したのが特色であるが, 土砂堆積の様子 を写真から確認することができる.



写真-11 横池の破堤状況

写真-12 大池の破堤状況



写真-13 乙池の越流のあと



写真-14 護岸の破損(大池)



写真-15 災害前(左)と災害後(右)の比較

図-3 乙池・大池・横池の位置

(4)神田池(東広島市東高屋町)

天端幅 2.5m, 堤高 3.8m, 堤長 49.0m, 総貯水量 4,200m³のため池で, 堤体一部(長さ 13m, 幅 3m)が 損壊している(**写真-16**, **写真-17**). 被災後, ブルーシートで堤体を覆い, 雨水の侵入を防いでいる. す べり破壊または浸透破壊が生じたものと考えられる.



写真-17 堤体の損傷状況(下流側より望む)



(5) 寺田池(東広島市豊栄町)

天端幅 2.7m, 堤高 3.2m, 堤長 53.0m, 総貯水量 17,000m3のため池である. 幅 5m に渡り堤体が決壊し ている(写真-18).土砂の流入(写真-19)により越水が生じ破壊に至ったものと思われる.



写真-18 破堤状況(下流側より望む)



写真-19 土砂流入(ため池奥より)



(6) 向迫田ため池(山県郡北広島町)

堤高 6.9m, 堤長 49.0m,総貯水量 6,300m³のため池でまさ土で施工されている. 越流により決壊したものと思われる(写真-20,写真-21). 堤体土の下には黒い有機質土の堆積層が見られ,もともと脆弱な地盤の上に構築された池と推測される. ここのため池の下流では,6 戸の住宅で床下浸水の被害があった. 洪水吐は堤体左側に設置してあり,中央部の斜樋は破壊されていた(写真-22,写真-23). 洪水吐は,深さが 20cm,幅が 30cm 程度であり,洪水の流下能力は低かったものと考えられる.



写真-20 破堤状況(左岸側より望む)



写真-22 洪水吐



写真-21 堤体の破壊(右岸側より望む)



写真-23 損傷を受けた斜樋



図-6 向迫田ため池の位置

(7) 友数西池(安芸郡熊野町)

堤高 4.4m, 堤長 19.0m,総貯水量 540m³のため池で,左岸側が全て崩壊している(写真-24,写真-25). また,堤体土質はまさ土である. 圃場にまで土砂が流出し,一部は民家に到達している. 堤体の左岸側の 下流部にも山側からの越流の跡を確認することができた(写真-26). 写真-27 は堤体より下流側を示す写 真で,土砂の流出が確認できる. 越流破堤の原因は,洪水吐の大きさが,幅 50cm 程度,深さ 30cm 程度 と非常に小さく,流下能力が低かったことが挙げられる.



写真-24 破堤状況(上流側より望む)



写真-25 堤体の破壊(上流側より望む)



写真-26 越流の跡

写真-27 下流の状況(堤体より望む)



図-7 友数西池の位置

(8) 堂ノ奥池(福山市草戸町)

天端幅 3.0m, 堤高 6.7m, 堤長 38.0m, 総貯水量 6,000m³の均一型の谷池で,堤体中央部が決壊している. 写真-28,写真-29 に示すように堤体中で木の根が成長しており,大風で木が揺れることにより根の周辺で水みちができた可能性もある.堤体土質はまさ土を使用している.



写真-29 堤体上の木

図-8 堂ノ奥池,近江谷中池の位置

(9) 近江谷中池(福山市赤坂町)

天端幅 3.9m, 堤高 9.3m, 堤長 55.0m, 総貯水量 6,000m³の親子池で,堤体土質はまさ土である.ため 池の位置を図-8 に示す.すべり破壊により堤体が損壊しており(写真-30,写真-31),洪水吐からは越流 した可能性もある.堤体中央にグラウト工が施工されている.また,被災後,ブルーシートで堤体の一 部を被覆し,雨水の侵入を防いでいる



写真-30 下流側から近江谷中池を望む

写真-31 損傷状況

(10) 十四池(福山市新市町)

堤体幅 6.0m, 堤高 8.2m, 堤長 121.0m, 総貯水量 28,000 m³の均一型ため池で, ゴルフ練習場が併設さ れている. 堤体法面で円弧滑りが生じており(**写真-32**, **写真-33**),練習場の屋根からの流水が滑りに影 響した可能性もある.



写真-33 下流側を望む

(11) 粟井大池(福山市神辺町)

堤体幅 4.2m, 堤高 7.6m, 堤長 73.0m, 総貯水量 12,000 m³の均一型の谷池(図-9 に場所を示す)で, 上流法面勾配は 1:2, 下流法面勾配は 1:1.9 である. 堤体法面で円弧滑りが発生していることが確認できた(写真-34, 写真-35).



写真-34 損傷状況

写真-35 粟井大池全景

3.3.12. 砂防ダム等の被災状況(広島大土田)

(執筆中)



・緑井・八木地区の16の渓流のうち12の渓流で調査時の予測を上まわる量の土砂が流下した。 ・特に被害が大きかった八木3丁目の渓流は、予測量の3~5倍発生した。





ただし、土量がほぼ一致しても被害状況は一致しない!





3.3.14 広島県の過去の土砂災害との比較

(1) 広島県の過去の土砂災害 1)~4)

広島県では豪雨による大規模な土砂災害が繰り返し発生している. 表 3-3-14-1 は広島県内で戦後に発 生した豪雨による主な土砂災害の一覧である. 1945 年 9 月には枕崎台風に伴う豪雨によって呉市・江田 島町(現在の江田島市)・大野町・宮島町(現在の廿日市市大野町・宮島町)を中心に死者・行方不明者 2,012 名に上る甚大な被害が出た. その後, 1951 年 10 月にルース台風に伴う豪雨によって大竹市・佐伯 郡(現在の廿日市市)を中心に死者・行方不明者 166 名, 1967 年 7 月に梅雨前線豪雨によって呉市を中 心に死者・行方不明者 159 名と,犠牲者が 100 名以上の大規模土砂災害が発生している. 最近では, 1999 年 6 月 29 日に梅雨前線豪雨によって広島市西部・呉市・東広島市を中心に死者・行方不明者 32 名の犠 牲者を出す土砂災害(以下は 6.29 広島災害と記す)が発生し, 2010 年 7 月に局所的な集中豪雨によって 庄原市を中心に死者 4 名の犠牲者を出す土砂災害が発生している(以下は 2010 年庄原災害と記す). 2014 年 8 月 19 日の夜から 20 日の明け方にかけて,広島県広島市安佐北区の南側と安佐南区の北側の地域に おいて,この地域で 1 時間降水量,3 時間降水量,24 時間降水量が観測史上 1 位の値となる猛烈な雨が 降り,同時多発的に大規模な土石流が発生し,死者 77 名(災害関連死 3 名を含む)に上る甚大な被害を もたらした(以下は 8.20 広島災害と記す).

災害	被害	降雨条件
1945 年	呉市,江田島町,大野町,宮島町を中心に,	連続雨量 218.7mm (広島), 250.7mm (呉),
9月災害	死者·行方不明者 2,012 名,損壊家屋 6,832	時間最大雨量 57.1mm (広島)
(枕崎台風)	戸	4時間雨量113.3mm(呉)
1951 年	大竹市、佐伯郡を中心に、死者・行方不明	連続雨量 189.8mm(広島),283.4mm(加計)
10 月災害	者 166 名,損壊家屋 2,333 戸	時間最大雨量 26.2mm(広島)
(ルース台風)		
1967 年	呉市を中心に,死者・行方不明者 159 名,	連続雨量 317mm(呉)
7月災害	損壊家屋 1,119 戸	時間最大雨量 74.7mm(呉)
(豪雨)		
1972 年	三次市、庄原市、加計町を中心に、死者・	連続雨量 622mm(三次)
7月災害	行方不明者名 39 名,損壊家屋 3,008 戸	時間最大雨量 40mm(呉市)
(豪雨)		
1985 年	福山市,呉市,広島市を中心に,死者・行方	連続雨量 471mm (呉)
6月災害	不明者 2 名,損壊家屋	時間最大雨量 35mm(呉)
(蒙雨)		
1988 年	加計町を中心に,死者・行方不明者名14名,	連続雨量 264mm (加計)
	損壊家屋 /3 P	時間最大雨量 5/mm (加計)
(蒙雨)		
1993 年	県北西部(戸河内町、筒賀村)を中心に、	連続雨量 228mm (加計)
	死者・行万个明者名3名, 損壊家屋819 戸	時間最大雨量 33mm (加計)
(台風 5 号)		
	仏島巾, 呉巾を中心に, 死者・行万不明者名	建続雨重 232.5mm (仏島), 184mm (呉), 吐眼見士王昱 01 (亡身), 70 (呉)
0.29 広島災吉 (宣王)	32 名, 損 環 家 座 582 尸	時间最大雨重 81㎜(仏島), /3㎜(呉)
(家附)	上 	 法结束号 174mm (十百)
	上原巾, 東広島巾, 世維可 じ 化 4 4 7, 頁 塩 4 5 夕 - 堤 徳 宇 6 1 三	建枕附重 /4000(人尸), 2 吐明玉号 172mm (十百)
(真面)	協有 3 石, 摂塚豕座 91 尸	3 时间附重 / 3000 (人尸), 吐明县十亩县 70mm (十百)
(家附)		时间取入附里 /2000 (入尸) 油結素具 994mm (二】 声)
2014 平 0.20 庁自巛宝	仏局叩じ兆白 / / 石, 貝陽白 09 石, 摂壌系 戻 505 古	建枕附里 204000(二八果) 2 時間両号 225mm (二】声)
0.20 仏局火舌 (高雨)		5 時間時里 230000 (二八米) 時間是大雨景 191mm (二入市)
(家時)		町旧取八府里 41000 (二八米) 油結両号 171mm (空世区犯所)
2010 平	仏岡示主域で元日 100 石,1] ノイ明日 0 石, 	ほがいりま 4/1000(タムビアの/) 3 時間雨畳 126mm(安苎区役所)
	只ത111/10, 頂弦豕座 0,010 戸(2010 平 9 日 15 口珀左)	5 時间時里 120000 (タムビ液の) 時間是大雨島 70mm (安世区205)
(家时)		时间取入附里 /0000 (女女ど12月)

表 3-3-14-1 広島県内での戦後の豪雨による主な土砂災害

(2) 各災害の概要¹⁾⁻⁵⁾

図 3-3-14-1 は, 1999 年 6.29 広島災害, 2014 年庄原災害および 2014 年 8.20 広島災害において土石流 とがけ崩れが発生した地域を示したものである.この図から, 1999 年 6.29 広島災害における被災地は広 島市西部・呉市・東広島市と広島県西部の広い地域で広がっているが, 2014 年庄原災害と 2014 年 8.20 広 島災害は非常に狭い地域で発生していることがわかる.また,図 3-3-14-2 と図 3-3-14-3 は今回の災害 で斜面崩壊が起こった地点を示したもので,広島大学の調査によれば広島県内で 8,478 箇所が確認され た.斜面災害の内訳は,土石流が 7,728 箇所,がけ崩れが 769 箇所であった⁵⁾.



図 3-3-14-1 広島県における過去の土砂災害の発生地域 4)



平成30年7月豪雨に伴う崩壊地等分布図(広島)

図 3-3-14-2 平成 30 年 7 月豪雨に伴う崩壊地等分布図(国土地理院)



図 3-3-14-3 平成 30 年 7 月豪雨による広島県の斜面崩壊分布図⁵⁾ (広島大学平成 30 年 7 月豪雨災害調査団(地理学グループ), 2018 年 8 月 2 日)

1) 1999 年 6.29 広島災害の概要^{1),4)}

1999年6月29日未明から降り始めた梅雨前線の豪雨によって広島県西部ではまさ土斜面を中心に,多 くのがけ崩れ(139か所)と土砂流を含む土石流(186か所)等が発生し(写真3-3-14-1),死者31名, 行方不明者1名,合計32名の人的被害が出た.その内訳は,4箇所のがけ崩れで死者11名,5渓流の土 石流等で死者13名,氾濫等で死者7名,行方不明1名であった.また,家屋被害は,全壊154棟,半壊 101棟,一部損壊327棟,床上浸水1,363棟,床下浸水2,840棟,合計4,785棟であり,広島県下の被害 総額は約670億円余に上った.被害の発生箇所は廿日市市,広島市佐伯区,安佐南区,安佐北区を中心と する広島市西部地域と呉市周辺に集中していた.特に,都市近郊の新興住宅地での被害が多く(写真3-3-14-1 (b)),都市型の土砂災害と位置付けられ,「土砂災害防止法」が制定される契機になった.



(a) 広島市安佐北区亀山九丁目
(b) 広島市安佐南区伴東一丁目
写真 3-3-14-1 1999 年 6.29 広島災害における土石流発生状況
(広島県提供)

2) 2010 年庄原災害の概要^{2),4)}

2010年7月11日から16日に掛けて広島県呉市,東広島市,世羅町,庄原市において梅雨前線の豪雨 が断続的に降り,死者4名,負傷者5名の人的被害が発生した.家屋被害は,全壊7棟,半壊20棟,一 部損壊64棟,床上浸水250棟,床下浸水1,361棟,合計1,611棟であり,広島県内の被害総額は約57億 円余に上った.この内,庄原市では7月16日の午後3時から午後6時にかけて時間最大雨量72mm, 3時間累積雨量173mm(広島県の大戸雨量計)の集中豪雨が発生した.この集中豪雨により,約4km×4km の狭い範囲において200箇所以上の同時多発的な斜面崩壊と崩壊土砂による土石流が発生し,それらが 木々を巻き込みながら渓流から流出して山間地の集落を押しつぶし,道路や農地にあふれ出すという被 害が生じた.写真3-3-14-2に示すように県道445号中迫川北線に平行して西側に大津恵川,篠堂川,東 側に大戸川が流れているが,445号線の両側の山地で山腹崩壊と崩壊土砂の土石流化が集中的に発生し, 洪水被害と複合して沿道の住宅,道路,農地に壊滅的な被害を与えた.土石流災害の発生箇所は37箇所, がけ崩れ災害の発生箇所は5箇所とされているが,特に篠堂川,大戸川の両側ではほとんどの渓流にお いて土石流が発生している.



写真 3-3-14-2 2010 年庄原災害における篠堂地域の斜面崩壊の状況(アジア航測㈱提供)

3) 2014 年 8.20 広島災害の概要^{3),4)}

2014年8月19日の夕方から20日の明け方にかけて降った猛烈な降雨によって広島県広島市安佐北区の南側と安佐南区の北側の地域において午前3時半前後に土石流(107か所)とがけ崩れ(59か所)が比較的狭い地域に集中して起こり,発生した土石流が勢いを持って渓流出口直下にあった住宅密集地に流入した(写真3-3-14-3).この災害における人的被害は死者77名(災害関連死3名を含む),負傷者69名,家屋被害は全壊179棟,半壊217棟,一部損壊189棟,床上浸水1,084棟,床下浸水3,080棟であった.また,土砂災害が発生した時間帯が,6.29広島災害のときは午後2時~5時,2010年庄原災害のときは午後3時~6時で昼間の時間帯であったが,8.20広島災害は深夜の午前2~4時で多くの人が住宅で就寝中であり,なおかつ避難が困難な時間帯であったことが人的被害を大きくした要因のひとつと考えられる.



(国土地理院撮影斜め写真(8月20日)より)

写真 3-3-14-3 2014 年 8.20 広島災害における緑井・八木地区の被災状況

(3) 降雨特性の比較¹⁾⁻⁴⁾

図 3-3-14-4~図 3-3-14-8 は, 1999 年 6.29 広島災害, 2010 年庄原災害, 2014 年 8.20 広島災害, 2018 年 7 月豪雨災害の降雨状況を比較したものである.

図 3-3-14-4 の 1999 年 6.29 広島災害は、人的被害の多く出た広島市佐伯区の日本道路公団八幡川橋観 測所の降雨データであり、6月 23 日 9 時から 29 日 0 時までの先行累積雨量 157.5mm、6月 29 日の日雨 量 231.5mm、総雨量 389mm で、6月 29 日午 14 時から 15 時までに 81mm の雨が観測された. この地域 では 6月 29 日 13 時から 14 時に時間雨量 40mm を越える雨域が宮島を含む直径約 4~5km の円形の地域 と広島市の西端をほぼ北にのびる地域に現れ、その後、14 時から 15 時に広島市佐伯区、安佐南区、安佐 北区の西側を覆う東西約 10km、南北約 30km の北北東にのびる長円形の雨域に広がり、その中に時間雨 量 50mm を越える雨域が現れた.

図 3-3-14-5 の 2010 年庄原災害は,多数の土石流が発生した地域の近傍にある庄原市大戸のデータで あり,7月9日から7月15日までの先行累積雨量は267mm,7月16日の日雨量は174mm,総雨量は 441mmであった.特に,7月16日16時から17時の時間雨量70mm,17時から18時の時間雨量63mm, 3時間雨量173mmの集中豪雨が多数の土石流を引き起こした.広島地方気象台のアメダス雨量計は大戸 雨量観測所から約9km 離れた庄原市中心部に設定されているが,15時~18時の3時間累積雨量は 65mm であり,そのほとんどが17時から17時40分の間に集中した.庄原で観測された最大時間雨量 64mm はこの地点で観測史上最大であったが,大戸の県の雨量計ではその値の約1.5倍の最大60分間雨 量91mm を観測しており,この雨がこの地域にとってこれまでの経験をはるかに上回る豪雨であったこ とを示している.また,大戸雨量観測所は最も被害が大きかった篠堂川と大戸川の流域からやや離れて いるため,これらの流域の雨量は大戸の雨量計で観測された雨量よりも大きかった可能性が高い.

図 3-3-14-6 の 2014 年 8.20 広島災害は,安佐北区三入東のデータであり,8月13日から8月19日ま での先行累積雨量は39mm と少なかったものの,8月19日の夜から20日の明け方にかけて猛烈な雨が 降り,1時間雨量121mm,3時間雨量235mm,24時間雨量283mm とこの地点で観測史上1位を記録し た.特に,3時間雨量235mm はこれまでに当地域で経験した104mmの2倍以上であった.

図 3-3-14-7 と図 3-3-14-8 の 2018 年 7 月豪雨災害は、今回の災害で大きな被害のでた広島市安芸区役 所と呉のデータであり、7 月 4 日までの先行累積雨量は安芸区役所で 46mm、呉で 54mm と少なかったも のの、7 月 5 日の朝から 10mm 程度の雨が 7 月 6 日の夕方まで断続的に降り続き、その後 7 月 7 日の朝ま でに時間雨量が安芸区役所で 70mm、呉で 61mm、3 時間雨量が安芸区役所で 126mm、呉で 116mm、24 時間雨量が安芸区役所で 327mm、呉で 374mm の非常に強い降雨があった. 特に、48 時間雨量は安芸区 役所で 412mm、呉で 497mm、総雨量が安芸区役所で 517mm、呉で 612mm と観測史上 1 位となる記録的 な豪雨であった.





図 3-3-14-4 1999 年 6.29 広島災害における降雨状況



図 3-3-14-5 2010 年庄原災害における降雨状況



広島市安佐北区 三入東

図 3-3-14-6 2014 年 8.20 広島災害における降雨状況



図 3-3-14-7 2018 年 7 月豪雨災害における降雨状況(広島市安芸区安芸区区役所)



図 3-3-14-8 2018 年 7 月豪雨災害における降雨状況(呉市呉)

(4) 被害状況の比較¹⁾⁻⁴⁾

1999 年 6.29 広島災害における崩壊箇所を航空写真などから判読すると、1,616 地点にのぼり、その大 部分は図 3-3-14-9 に示すように概ね広島市西境から広島市安佐南区祇園までの東西約 7km, 廿日市市か ら広島市安佐北区可部までの南北約 30km の細長い長円形の地域, 呉市を中心とする直径約 10km の円形 の地域,および東広島市の直径約15kmの地域に集中していた.また,斜面崩壊の発生時刻は,住民から の聞き込み調査によれば、廿日市市周辺および佐伯区屋代川で6月29日午後2時頃、佐伯区下小深川周 辺で午後3時頃,安佐北区亀山周辺で午後4時頃,呉市吉浦および安芸郡音戸町周辺で午後5時頃であ った.この崩壊発生地点とその発生時刻は、前述した強い雨域が現れる空間的な位置およびその時間的 な移動とよく一致していた. 6.29 広島災害では、がけ崩れが 186 箇所、土石流(土砂流)等が 139 箇所、 合計 325 箇所で土砂災害が発生した. 186 箇所のがけ崩れのうち,広島県が行った 51 箇所の詳細な調査 結果のから,崩壊斜面の勾配は30~55°のものが約80%を占め,崩壊斜面下方の平坦地における崩壊土 砂到達距離は、がけの高さ(H)の2倍(2H)を上回る箇所は2箇所、50mを上回る箇所は4箇所で、残 り 45 箇所は 2H もしくは 50m 以下の範囲にあった.また,崩壊源頭部から尾根までの水平距離は 90%以 上が 70~80m 以下で比較的短かった.また,土石流(土砂流)が発生した流域内の崩壊斜面の勾配は 35 ~40°を中心に 30~45°が約 70%, 崩壊面積は 300m²以下のものが約 80%, 崩壊深は 1.0m 以下が約 70%を占めていた.土石流の発生源の大部分は渓流源頭部付近で発生した表層崩壊であり, 渓床・渓岸の 不安定土石や立木を巻き込んで流下した.土石流に多量の流木が含まれていたことも 6.29 広島災害の特 徴のひとつである.

2010年庄原災害では、図 3-3-14-10に示すように篠堂川および平行する県道 445 号線の両側の斜面に おいて多数の山腹崩壊が発生し、崩壊土砂が土石流となって道路、河川、道路沿いの家屋、農地の上に流 下した. 土石流は、雨が降り始めから約 2 時間半でほぼ同時に発生した. 土石流の源頭部の崩壊の規模 は、幅が 5~15m で渓流まで崩壊が連続している場合と、長さ 20m 程度の規模で崩壊し、その下部は崩 壊していない場合もあった. 表層部の厚さは 0.5~1.5m であり、土石流に含まれる巨礫は少なかった.

2014年8.20広島災害の発生地域は、図 3-3-14-11 に示すように6.29広島災害において広島市西部周辺 で起こった地域の東側に隣接し、東西約3km、南北約15kmの非常に狭い地域に集中している.この災害 では、がけ崩れが59箇所、土石流が107箇所、合計166箇所で土砂災害が発生した.この災害での発生 個所は6.29広島災害の約半分であるが、土砂災害の発生した地域の広さを考慮して比較すると、非常に 狭い地域に集中して多数の土砂災害が発生した.また、6.29広島災害では土石流よりがけ崩れの発生個 所が大きく上回っていたが、この災害ではがけ崩れの方が土石流の約半数と少なかったことも特徴のひ とつである.また、この土石流の源頭部の破壊形式は薄い平面的な表層崩壊だけでなく、被圧地下水によ って谷部がV字形やU字形に押し出されたような形状となり、崩壊深が数m以上の箇所も多数見られた こと、および流木の量が6.29広島災害に比べてやや少なく、渓流によって大小の違いはあるものの岩石 が主体の土石流であったことが特徴として挙げられる.

2018 年 7 月豪雨においては図 3-3-14-2 と図 3-3-14-3 に示すように広島県のほぼ全域で土石流とがけ 崩れが発生した.土砂災害は,7月6日18時頃から広島市南区や安佐北区で起こり始め,広島市東区, 安芸区,安芸郡,呉市,東広島市,竹原市,三原市,尾道市,福山市など東部へと拡大し,7月7日の朝 まで続いた.前述したように,広島大学の調査によれば,広島県内では土石流7,728 箇所,がけ崩れ769 箇所,計8,478 箇所の斜面崩壊が確認された⁵⁾.このように広島県全域で非常の多くのがけ崩れと土石流

389

が発生し続けたことがこの災害の特徴の一つである.また,図 3-3-14-8 で示すように降雨のピークが7 月6日夜と7月7日の朝の2回あり,土砂災害が多数発生した時間帯も7月6日19時から21時と7月 7日4時~6時の2回あったことがこの災害の特徴でもある.



図 3-3-14-9 6.29 広島災害の斜面崩壊地点¹⁾



図 3-3-14-10 2010 年庄原災害の被災状況(広島県提供)



図 3-3-14-11 2014 年 8.20 広島災害における土石流発生地点 (国土地理院の写真判読図に加筆)
(5) 地質と地盤工学的特性の比較 1)~4)

図 3-3-14-12 に過去の土砂災害による被災地域と地質特性の関係を示す.



図 3-3-14-12 被災地域と地質特性(産総研,地質図 Naviのシームレス地質図に加筆)

1) 1999年 6.29 広島災害の地盤工学的特徴^{1),4)}

6.29 広島災害において被害の大きかった広島市西部および呉市には、広島型花崗岩と呼ばれる粗粒黒 雲母花崗岩が分布しており、崩壊箇所の大部分はこれが強風化したまさ土によって覆われていた. 崩壊 地点周辺の風化土層厚を、簡易動的コーン貫入試験の N_d = 50 以下の地層として判定すると⁶⁰、集水地形 を呈する箇所においては、広島地区で崩壊下部と中部から上部にかけて 1.0~2.2m と上方になるほど深く なる傾向にあり、呉地区ではほぼ 1.6~1.7mの範囲にあった. 一方、集水地形を呈さない箇所においては、 広島地区で崩壊下部と上部で 2.8~2.9m、崩壊中央部で約 1.9m と崩壊中央部で浅い傾向にあったが、呉 地区では崩壊下部と上部で 1.7~2.1m、崩壊中央部で 2.6m と逆の傾向があった. そして、集水地形を呈 さない箇所の風化土層厚が集水地形を呈する箇所に比べて大きい傾向にあった.

6.29 広島災害における崩壊地点周辺の風化土の土質工学的特性として、三軸試験において正規圧密状態と考えられる範囲の粘着力は c'=0~8.8kN/m²の範囲にあるが、 c'=0の場合が最も多く全体の約75%を占めていた.一方、同様な範囲の内部摩擦角は $\phi'=28.8~38.2^\circ$ の範囲にあり、平均値は32.9°であった.また、乾燥密度は $\rho_d=1.37~1.73$ g/cm³、間隙比は e=0.53~0.92の範囲にあった.透水係数は、広島地区で $k=9.4\times10^4~7.2\times10^2$ cm/s、呉地区で $k=7.6\times10^5~5.7\times10^3$ cm/s の範囲にあり、広島地区の透水係数が少し大きい傾向にあった.

2) 2010 年庄原災害の地盤工学的特徴^{2),4)}

被災地の基盤地質は流紋岩類(高田流紋岩類,中生代後期白亜紀)であり,一部は吉舎安山岩類(中生 代後期白亜紀)となっている.さらに,これらの層の上に備北層群(第三期中新世中期)が覆っている箇 所や,火山灰質土である黒ぼくが覆っている箇所もあった.広島県で大きな土砂災害が発生してきたの は県西部や呉市などを中心とした風化花崗岩(まさ土)層が分布している地域であったが,庄原災害は風 化流紋岩や黒ぼく層によって表土が覆われている地域においても,集中豪雨によって斜面崩壊と土石流 災害が同時多発的に発生することを示した.

斜面の崩壊形態は 2 つに大別される. 1 つは谷地形において斜面が崩壊しているケースであり,その ほとんどは尾根より 20~40m 下部が源頭部となって崩壊し,土石流が発生した.源頭部の崩壊の規模は 幅が 5~15m であり,渓流まで崩壊が連続している場合と,長さ 20m 程度の規模で崩壊し,その下部は 崩壊していない場合もあった.表層部の厚さは 0.5~1.5m であり,源頭部では地盤内の孔を通じて崩壊 部の底部に水が流入していた痕跡が見られた. もう 1 つの崩壊形態として,谷地形ではない平行斜面の 中腹のみが崩壊するといったケースである.このような平行斜面中腹のみが崩壊するといったケースは, 風化花崗岩地帯ではあまり見られない崩壊形態であり,2014 年 8.20 広島災害でもみられなかった.花岡 ら⁷はこのような崩壊のメカニズムとして,斜面上部の風化流紋岩層と斜面下部の黒ボク層の境界付近に おいて 2 つの土層の透水係数の違いによって地下水が滞留し,浅い円弧すべりが発生したと推定してい る.

3) 2014 年 8.20 広島災害の地盤工学的特徴^{3),4),8)}

2014 年 8.20 広島災害で被害の大きかった広島市安佐南区八木地区と安佐北区可部地区の地質は,広島 花崗岩,高田流紋岩,玄武岩,接触変成を受けたジュラ紀付加体が入り組む複雑な構造となっていた⁹. そのため,同じ八木三丁目で数百メートルしか離れていない県営緑丘住宅と阿武の里団地での土石流流 下物は全く異なり,県営緑丘住宅では広島でよく見られる花崗岩が主体となっていたが,阿武の里団地 やさらに隣接する八木四丁目八木ヶ丘団地では泥質や珪質の片岩などの変成岩が主体となっていた.阿 武の里団地の源頭部は幅約 3.6~5.5m,崩壊深さ 1.0m 前後,斜面勾配約 40°で,八木ヶ丘団地の源頭部は 幅約 4m,崩壊深さ 1.8m前後,斜面勾配約 37°で,ともに基岩上にあった風化表層土が崩壊していた. また,これらの崩壊部の底面や側面には地下水が噴出したと思える孔がいくつか認められた.

土石流による被害の大きかった安佐南区八木地域の土石流源頭部の土は、いずれもシルト分を主体と する細粒土 Fm に分類された.また、6.29 広島災害におけるまさ土は、細粒分混じり礫質砂(SG-F)と分 類されている.八木三丁目県営緑丘住宅上の土石流源頭部においてチューブサンプリング法で不撹乱試 料を採取し、室内で不飽和状態及び飽和状態の試料での一面せん断試験を実施された結果、不飽和状態 の試料では $c_d=15.5$ kN/m2、 $\phi_d=39.8^\circ$ 、飽和状態の試料では $c_d=14.8$ kN/m²、 $\phi_d=30.3^\circ$ の結果が得ら れた. 6.29 広島災害における試料の強度定数は $c'=0\sim9$ kN/m²、 $\phi'=30^\circ$ 前後であり¹⁾、内部摩擦角に大 きな差はないが、粘着力においてはこの現場の試料が大きく上回っていたことが報告されている¹⁰⁾.ま た、飽和状態においては粘着力がほとんど減少しておらず、飽和度の増加に対する強度の低下は小さく、 降雨に対して比較的強度のある地盤であると評価できる.変水位透水試験を行ったところ、透水係数は 2.7×10⁴ cm/s で、6.29 広島災害における試料よりかなり小さい値であった.

4) 2018年7月豪雨災害の地盤工学的特徴

2018年7月豪雨は広島県の全域で土砂災害が起こっており、特定の地質の地域に偏っている訳ではな

い. 表 3-3-14-2 は、広島大学平成 30 年 7 月豪雨災害調査団(地理学グループ) うによってまとめられた 平成 30 年 7 月豪雨による広島県の斜面崩壊箇所の地質別内訳である.なお、崩壊密度の表の比は、その 他の地質での崩壊密度を1としたときの比である.この表から、土石流の発生件数は花崗岩が約60%、 流紋岩が 30%と花崗岩の方が数は多いが、崩壊密度は流紋岩の方が高いことがわかる.一方、がけ崩れ は花崗岩が約70%, 流紋岩が12%と花崗岩の方が多く, 崩壊密度も花崗岩の方が高く, 流紋岩の崩壊密 度は低いことがわかる、これは流紋岩が広く分布する野呂山周辺で非常に強い豪雨が長時間継続したこ とが原因となっていると考えられる.

また、写真 3-3-14-4 と写真 3-3-14-5 は、東広島市における土石流の発生状況を示したものである. これ以外にも斜面勾配が 20°程度の緩斜面で土石流が多発しており、これも非常に強い豪雨が長時間継 続したためと考えられる.

	崩壊件数				崩壊密度(個/km²)			
	土石流		がけ崩れ		土石流		がけ崩れ	
	件数	比率(%)	件数	比率(%)	密度	比	密度	比
花崗岩	4, 523	58.5	522	67.9	3. 70	1.8	0. 43	1.7
流紋岩	2, 301	29.8	93	12. 1	5. 77	2.8	0. 23	0. 9
第四系	163	2. 1	64	8.3	0. 28	0. 1	0. 11	0.4
その他	741	9.6	90	11.7	2. 08	1(基準)	0. 25	1(基準)
合計	7, 728	100	769	100	3. 01		0. 30	

表 3-3-14-2 地質別の斜面崩壊発生件数 5)







国際大学背後)での土砂流発生状況

(6)雨量指標 R'による斜面災害危険度の比較^{3),11)}

1)雨量指標 R'の定義と適用性

降雨による土砂災害の危険度評価は、横軸に長期的な雨量、縦軸に短期的な雨量を取り、このグラフ上に、過去に土砂災害が発生した事例と発生しなかった事例をプロットすることによって、土砂災害の発生を示す限界基準線(CL)を設定し、現在あるいは将来の降雨がこの CL を超えるかどうかで土砂災害の発生危険度を判定している.この方法では、土砂災害が発生するか否かの二者択一の判定を行うことは可能であるが、2 つの物理量の組み合わせによって危険度を判定しているため、どの程度危険であるかをすことができない.そのため、現在あるいは1時間後、2 時間後の降雨状況がどの程度危険であるかを数値によって表すことや、連続的に変化する危険度の空間的分布やその時間的な移動を地図上で表すことができない.そこで、中井ら^{12,13,14}は長期実効雨量と短期実効雨量から次式によって土砂災害の危険度を総合的に評価できる雨量指標 *R* 'を提案している.

$$R' = R_{fw0} - R_{fw}$$
(1)
$$R_{fw} = \sqrt{(R_1 - R_w)^2 + a^2 (r_1 - r_w)^2}$$
(2)

ここに, *R*_wは半減期を72時間とする長期実効雨量(mm), *r*_wは半減期を1.5時間とする短期実効雨量(mm), *R*₁は座標上の横軸基準点 (*R*₁=600mm), *r*₁は座標上の縦軸基準点 (*r*₁=200mm), *a*は重み係数 (*a*=3), *R*_{fw0} は *R*_w=0, *r*_w=0 のときの *R*_{fw}の値 (*R*_{fw0}=848.5mm) である. 図 3-3-14-13 は *R*'の定義を図示したものであ る.



図 3-3-14-13 雨量指標 R'の定義¹⁵⁾

1999 年 6.29 広島豪雨災害における災害発生降雨と非発生降雨の *R*'の値を 25mm 毎に階級分けし,その 発生度数と累積頻度を整理した結果,住宅地などでのがけ崩れは *R*'=125mm 程度の小さな降雨でも起こ り,土石流の発生源とも考えられる山地崩壊については *R*'=175mm 程度で発生し始め,*R*'=250mm 程度以 上になるとこれが流動化し,土石流に発展することが明らかにされている¹²⁾. 2) R'分布図の経時変化

図 3-3-14-14 は 6.29 広島災害における雨量指標 R'の等値線図を示したものであり,図中には発生時間 帯が分かる土石流やがけ崩れ災害箇所を時間帯別に記載してある¹¹⁾.この図から,時間とともに危険度 の高い(R'が大きい)エリアが推移する様子がよく分かる.また,このエリアと災害発生地点がよく一致 しており, R'によって危険度を適切に評価することが可能であるといえる.特に,発生時間が特定できた ものに関しては,土石流災害は全て R'=250mm 以上のところで発生している¹²⁾.

6.29 広島災害以外にも,1988 年 7 月 21 日に広島県北西部の加計町,戸河内町,筒賀村一帯で土石流災 害が発生した事例,1999 年 9 月 15 日の台風 16 号に伴う豪雨で広島県東広島市内の 10 渓流程度で土石流 災害が発生した事例,2004 年 10 月 20 日の台風 23 号に伴う豪雨によって岡山県玉野市で土石流を伴う土 砂災害が発生した事例,2005 年 9 月 6 日の台風 14 号に伴う豪雨によって広島県西部の広島市佐伯区,廿 日市市および宮島町などの 10 渓流以上で土石流が発生した事例等において *R*'の適用性を検証した結果, いずれの事例でも *R*'=250mm 以上のエリアと土石流災害発生領域とがよく対応しており,*R*'=250mm を

「まさ土地帯」における土石流発生の限界基準指標として使用可能であることが分かっている^{13),14)}.

図 3-3-14-15 は、2010 年庄原災害における *R* '分布図の経時変化を示したものである. 2010 年 7 月 16 日 16 時まではどの地域も *R* '<200mm であったが、17 時になると *R* >250mm となる領域が現れ、18 時に は中心部で *R* >400mm の領域が現れた. この時、*R* >250mm となる領域はそれほど拡大してはおらず、直 径約 4km の非常に狭い範囲であった. その後、19 時には *R* >250mm の領域が残っていたが、20 時には *R* '<200mm となり、土石流の危険度の高い時間は 3 時間程度で終息した.

図 3-3-14-16 は、2014 年 8.20 広島災害における R'分布図の経時変化を示したものである¹¹). この図か ら、8月20日の1時と2時の時点で大竹市と北広島町の一部に R'=200mm 程度の地域が現れるものの、 この地域ではこれ以上 R'が大きくなることはなく、3 時にそれより東方の広島市安佐北区と安佐南区の 境界付近で土石流発生の限界基準値 R'=250mm を超える地域が現れていることが分かる. その後、4 時か ら5時に掛けて R>250mm となっていた領域の位置と範囲はほとんど変化することなく、R'の大きさが 急激に増加し、R>400mm となる地域が一挙に現れ、6 時頃まで続いている. この R'分布の推移状況は、 前述した今回の土砂災害における被害の発生状況と非常によく一致している.

図 3-3-14-17 は、2018 年 7 月豪雨災害における R'分布図の経時変化を示したものである.7月6日17時に広島県西部と広島県北部で R>250mm となる領域が現れ始め、18時には広島市と安芸高田市に拡大している.19時から広島市南部の一部に R>400mm となる領域が出現し、20時には大きな被害の出た広島市安佐北区口田地区周辺が R>400mm となった。21時になると R>400mm となる地域は東に移動し、呉市安浦町周辺で R>400mm となった。21時から7月7日4時までは R>400mm となる領域は無くなったが、広島県の多くの地域で R>250mm となる状態が続いた。7月7日5時から再び R>400mm となる 領域が呉市南東部と東広島市南部で現れ、7時まで続いた。また、7月7日4時から7時の間は、広島県の大部分で R>250mm となり、どこでも土石流が発生してもおかしくない状態となっていた。

396



図 3-3-14-14 1999 年 6.29 広島豪雨災害における R'分布図 ⁹⁾





図 3-3-14-16 2014 年 8.20 災害における R'分布図 9)



図 3-3-14-17 2018 年 7 月豪雨災害における R'分布図(その1)



図 3-3-14-17 2018 年 7 月豪雨災害における R'分布図 (その 2)



図 3-3-14-17 2018 年 7 月豪雨災害における R'分布図 (その 3)

3) R'の経時変化 3),9)

図 3-3-14-17 は、2014 年 8.20 広島災害において、安佐南区八木地区にある高瀬(国) 観測所における *R*'の経時変化を示したものである.高瀬(国) 観測所は、太田川河岸(右岸)の低平地にあり、土石流が 発生した斜面部の降雨状態とは違う可能性もあるが、2 時までは*R*'<125mm であったものが、3 時には一 挙に *R*'=323mm に上昇して土石流が発生する危険度となり、更に4 時には *R*'=451mm となり大規模災害 が発生する危険度となって6 時まで続いている.八木地区で土石流が発生した時刻は3 時~5 時頃であ り、*R*'による斜面災害の危険度の推移とよく対応している.

図 3-3-14-18 は、2018 年 7 月豪雨災害における R'の経時変化を示したものである. 同図(a)の広島市エ リアでは、7 月 6 日 18 時から 19 時の間にすべての観測所で R > 250mm となり、安芸区役所と立石(JR 山陽線の瀬野駅北側)では 19 時に R > 400mm となった. その後、温品(国)、高揚、安芸区役所の 3 つ の観測所では 7 月 6 日の深夜に R'<250mm となったが、7 月 7 日 1 時から再びが増加して R > 250mm と なった. 立石観測所では R > 250mm の状態が 8 時まで続いた. 4 つの観測所で R'<250mm となったのは 7 月 7 日 9 時であり、長期間にわたって土石流が発生してもおかしくない状態が続いた. 同図(b)の呉市・ 東広島市エリアでは、呉市の 3 つの観測所では 7 月 6 日 18 時~19 時に R > 250mm となり、20 時~21 時 に R > 400mm となった. その後、7 月 6 日の深夜に R'<400mm になるが、7 月 7 日 4 時~5 時に警固屋と 野呂川ダムは再び R > 400mm となった. 東広島市の下三永では、7 月 6 日 20 時に R > 250mm となり、深 夜に 250mm 以下になるが、7 月 7 日 5 時に再び R > 250mm となり、6 時には 400mm 近くまで上昇し、当 地で起きた土石流災害状況とよく一致していた. なお、呉市の警固屋と野呂川ダムでは 7 月 6 日 18 時以 降、R > 250mm の状態が 7 月 8 日 12 時まで続き、この間に R > 400mm となる状態が 2 回発生した. 警固 屋では 7 月 7 日のピークの方が大きく、R'=525.5mm となり、この一連の降雨での最大値であった.

また,2010 年庄原災害と2014 年 8.20 広島災害において *R* >250mm となっていたのは3~4 時間程度で、土石流の起こる危険性のある期間は比較的短かったが、2018 年 7 月豪雨災害においては概ね *R* >250mm となっている期間は呉市周辺では7月6日18時から7月8日12 時頃までの約42 時間であり、非常に長期間にわたって土石流の起こる危険性のある状態が続いていた.









4) R'の最大値の比較^{4),9)}

表 3-3-14-3 は、これまでに発生した大規模災害のときの R'の最大値を比較したものである. 1967 年 の呉豪雨災害から 2010 年庄原災害までの R'の最大値は 410~470mm 程度であるが、2014 年 8.20 広島災 害と今回の災害は 500mm を超えており、最近の豪雨による土砂災害の危険度は極めて高いことが分かる. また、図 3-3-14-6~図 3-3-14-8 および表 3-3-14-3 に示したように、2014 年 8.20 広島災害と今回の災害 の降雨特性は大きく異なり、2014 年 8.20 広島災害では短期間実効量が 187.6mm と最大であったが、今回 の災害では長期実効雨量が 502.3mm と最大で、2014 年 8.20 広島災害の約 1.6 倍であった. このように 2014 年 8.20 広島災害と今回の災害の降雨特性は大きく異なっていたが、土砂災害を引き起こす危険度は ほぼ同程度であった.

また,2014 年 8.20 広島災害で R'が 400mm を超えた雨量観測地点は 4 か所であったが,今回の災害で R'が 400mm を超えた雨量観測地点は 29 か所あり,今回の災害では 8.20 広島災害規模の豪雨が広島県の 広いエリアに降ったことが分かる.

(()中方	雨量指標	長期実効雨量	短期実効雨量
	R'	<i>R</i> _w (T=72h)	<i>r</i> ₩ (T=1.5h)
1967年 呉豪雨災害 [呉観測所(気象庁)]	421.1 mm	295.5 mm	100.0 mm
1988年 広島北西部災害 [アメダス加計]	430.1 mm	262.4 mm	117.6 mm
1999 年 6.29 広島災害 [アメダス呉]	415.7 mm	248.9 mm	115.6 mm
1999 年 6.29 広島災害 [魚切ダム(広島県)]	437.2 mm	303.4 mm	105.0 mm
2009 年 防府豪雨災害 [アメダス防府]	408.5 mm	291.1 mm	95.6 mm
2009年 防府豪雨災害 [アメダス山口]	440.1 mm	288.5 mm	112.0 mm
2010年 庄原災害 [大戸(広島県)]	470.9 mm	300.3 mm	123.4 mm
2014 年 8.20 広島災害[安佐北区上原]	550.8 mm	304.7 mm	187.6 mm
2018年7月豪雨災害[警固屋(広島県)]	525.5 mm	502.3 mm	99.4 mm

表 3-3-14-3 R'最大値の過去の大規模災害と比較

引用文献

- 1) 地盤工学会:平成 11 年の広島県豪雨災害調査報告書, 98p., 2000.
- 2) 土木学会:平成22年7月広島県庄原市土砂災害現地調査報告会報告資料,土木学会ホームページ, http://committees.jsce.or.jp/report/node/28, 2014.
- 3) 土木学会, 地盤工学会: 平成 26 年広島豪雨災害合同緊急調査団調査報告書, 296p., 2014.
- 4) 森脇武夫,土田孝,中井真司,加納誠二:広島県内の既往災害との比較の観点からみた 2014 年広島
 土砂災害の特徴,地盤と建設, Vol.33, No.1, pp.201-212, 2015.
- 5) 広島大学平成 30 年 7 月豪雨災害調査団(地理学グループ):平成 30 年 7 月豪雨による広島県の斜面 崩壊分布図, 2018 年 8 月 2 日.
- 6) 広島県: 6.29 広島県土砂災害対策検討委員会討議資料,第1回~第4回, 1999.
- 7) 花岡尚,川口将季,土田孝,中川翔太,加納誠二:2010年庄原土砂災害における平行斜面の崩壊事例 に関する調査と考察,地盤と建設, pp.71-80, Vol.29, No.1, 2012.
- 8) 土田孝,森脇武夫,熊本直樹,一井康二,加納誠二,中井真司:2014年広島豪雨災害において土石流 が発生した渓流の状況と被害に関する調査,地盤工学ジャーナル, Vol.11, No.1, pp.33-52, 2016.
- 9) 産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ: https://www.gsj.jp/hazards/landslide/20140820- hiroshima.html, 2014.
- 10) 岩井鉄平,森脇武夫,加納誠二,鹿瀬一希:平成26年8月広島土砂災害における斜面崩壊メカニズムの考察,土木学会中国支部第67回研究発表会発表概要集, pp.247-248, 2015.
- 土田孝,森脇武夫,田中健路,中井真司:2014年8月20日の広島豪雨災害における雨量を用いた土 砂災害危険度評価に関する考察,地盤工学ジャーナル, Vol.11, No.1, pp.53-68, 2016.
- 12) 中井真司,佐々木康,海堀正博,森脇武夫: 警戒・避難のための雨量指標の改良(危険雨量指標 Rf の再 吟味とR'の提案),広島大学工学研究科研究報告,第53巻,第1号, pp.53-62, 2004.
- 13) 森脇武夫,中井真司:降雨による斜面災害の危険度評価のための雨量指標,地盤と建設,第23巻,第
 1号, pp.19-30, 2005.
- 14) 中井真司,海堀正博,佐々木康,森脇武夫:近年の土砂災害と雨量指標 R'を用いた降雨特性,土と基礎,第55巻,第6号,pp.21-23,2007.

今後の課題1:インフラ施設の土石流対策・土砂洪水氾濫対策

- 土石流によって道路・水道・ため池など様々なインフラにおける被害が同時多発的に発生した。
- 2. 道路上を土砂・濁流が流れた要因としては、土石流の道路へ の流出、河道が道路と交差するカルバート部での閉塞による 溢流および洪水氾濫があった。中小河川と並行し土石流の流 出の可能性がある道路は同様のリスクを抱えていると考えら れる.
- 同様のリスクを抱える地点の抽出、道路利用者への危険の周知、早期の通行規制を検討する必要がある(たとえば落石のように)。
- 4. 土石流の後に、大量の細砂粒径の土砂を含む水が氾濫する土 砂洪水氾濫が発生した。地盤工学の観点からも、土砂洪水氾 濫の発生メカニズム、その対策について研究する必要がある。

今後の課題2:危険渓流の基礎調査の問題と限界

- 1.2014年の広島災害後に危険渓流から流出する土砂の計算法を改定した。この改定により、基礎調査で予測した土砂流出量と発生量の差は縮小したと考えられる。
- 2. 改定前の予測土砂流出量が過小であることが確認できた。2014 年以前の基礎調査の数字については、緊急の見直しが必要。
- 3. 矢野東7丁目の梅河団地の渓流では、土量の差は小さいが、甚大 な被害を与える範囲は拡大した。この原因は、横の渓流からの土 砂流入、氾濫開始点の予測と実際の差が考えられる。先行する土 石流が治山ダムを埋め、後続の土石流がダムを通過して落下後に 氾濫を開始した可能性がある。
- 4. 土石流の氾濫開始点のずれ、さらに熊野町川角団地のように、 複数の渓流の土砂の合流で予測を大きく超える土砂が発生するな ど、基礎調査の問題と限界にどう対処するかを今後検討する。

今後の課題3:河川周辺の大規模な地盤陥没による交通途絶

1. 増水した河川周辺において大規模な地盤陥没が発生し、河川と 並行している交通路が途絶した。

2. 瀬野川沿いの国道2号線は2か所において陥没が発生して途絶した。幹線道路の途絶によって被災後の復旧・復興における大きな支障となった。本道路の下には重要な光通信ケーブルが埋設されており、陥没によって断線の危険があったが、かろうじて断線は免れた。断線した場合には、情報ネットワークサービスに重大な支障が発生していた可能性があった。

3. JR山陽本線も沼田川沿いで発生した浸食と陥没によって線路 が流出し、復旧・運転再開に85日を要した。

4. 増水した河川における地盤陥没のメカニズムを明らかにする 必要がある。重要な交通・通信施設を支える地盤については、河 川増水時の陥没に対する強靭化方策を検討する必要がある。



都市内河川の河岸・道路の大規模な陥没の多発



国道2号線 瀬野川河岸の陥没により15日間の通行止め (写真:中国地方整備局)

県道34号線の陥没

沼田川沿いの県道33号線、山陽本線の崩壊



河岸の大規模な崩壊により主要な 道路・鉄道の途絶 孤立する地域の発生 被害の長期化 土木学会中国支部平成 30 年西日本豪雨緊急災害調查

合同調查実施日:平成30年8月7日(火)

調査エリア: 広島県安佐北区 上深川駅周辺・安芸高田市向原町, 三篠川エリアの橋梁群

構成メンバー(敬称略、順不同):有尾一郎(広島大学)・柴田俊文(岡山大学)・ 渡辺学歩(山口大学)・海田辰将(徳山高専)・河村進一(呉高専) 調査協力者(敬称略、順不同):小野秀一(一般社団法人施工技術総合研究所), 近広雄希(信州大学),有井賢次(株式会社長大)

概要:

3.11 の東日本大震災の津波やゲリラ豪雨など、近年自然災害による構造物の損壊、橋梁の流 出・損傷等の事例が後を絶たない.これらの被害がひと度発生すれば,人々の生命や財産を脅 かし,物流の寸断,集落の孤立や経済活動の停滞等,我が国の危機管理上重大な影響を与える. 平成30年7月上旬に発生した西日本豪雨は、気象庁が西日本の複数の県に特別警報を発令し、 広域に甚大な被害をもたらした.この集中豪雨によって,道路・鉄道の橋梁などの多くのイン フラ施設が損壊し、各地で交通や物流が断絶した、広島県内で鉄道・道路施設の橋梁が損壊 し、地区の孤立が多数発生した.広島県災害対策本部の公表では県管理の橋梁が2橋、市 町村の橋梁 70 橋が損傷したとの報告がある. 特に, 被災地の生活に大きく関わる河川をま たぐ橋梁の被災は地域にとっては深刻である.一般に,橋梁構造物の被災の大きさや損傷原因 を解明することは、現実的で必要な橋梁の設計要素と施工において、洪水時の橋梁の流失等を 防ぐことにつながる.本合同調査は、被災した地域の近隣大学と高専の土木系橋梁・構造工学 研究者らの学識経験者と調査協力者の有志らで,多くの橋梁が損壊していた三篠川流域の橋梁 を中心に被災調査を実施した.その他の流域でも,個別に被災調査を実施した.本調査が,災 害が多発する我が国では災害に備える意味からも、今後の災害を可能な限り減らす方策や 防災技術の向上、災害後の復旧対策等に役立ち、発災後のボトルネックとなる橋インフラ の広域的な備えと復旧技術の向上など具体的な施策・対策が必要であろう.

目次

- 1. 橋梁調査流域
- 1.1 調査日と調査員
- 1.2 三篠川流域の橋梁調査
- 1.3 対象流域の治水に関する現状と課題(広島県 HP 公表より抜粋)
- 1.4 三篠川沿いの調査橋梁群
- 2. 三篠川の橋調査(8月7日)

2.1 鳥声橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.2 迫田橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.3 寺山橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(岡山大学)
2.4 スラブ橋(床版桁橋) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.5 実重橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(広島大学)
2.6 市明橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.7 高瀬橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(徳山高専)
2.8 安駄橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.9 JR 第一三篠川橋梁・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(山口大学・広島大学)
2.10 鋼吊橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(徳山高専)
2. A1 轟橋 (8 月 26 日調査)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(広島大学)
2. A2 大寺橋 (8 月 26 日調査)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(広島大学)
3. 東広島市の橋調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(広島大学)
3.1 中原橋(RC 歩道橋)
3.2 塚地橋
3.3 一貫田橋
3.4 川原橋
4. 安浦町の橋の被災事例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(広島大学)
4.1 呉市安浦町の頓原橋の被災
4.2 女垣内の集落の橋
5. 竹原市・三原市の被災橋調査大学)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
5.1 竹原市の上成井橋
5.2 水ノロ橋

- 5.3 三原市の下畑橋
- 6. 橋梁の損傷について

- 7. 洪水時の流体力による橋設計の盲点
 - -橋桁部や橋脚の安定性の検討の必要性-
- 7.1 洪水時の重力式橋脚の転倒安定性について
- 7.2 橋桁部のみ転倒流出について
- 7.3 被災事例にみる橋桁の流出安定性について
- 8. まとめ

おことわり:本調査報告書の資料作りのために, Google の地図や被災前の写真等を利用させて頂いたので, 謝意を表す.

1. 橋梁調査流域

1.1 調査日と調査員(敬称略)

7月29日・・・有尾一郎(広島大学)

8月7日・・・合同調査:柴田俊文(岡山大学)・渡辺学歩(山口大学)・海田辰将(徳山高専)・ 河村進一(呉高専)・有尾一郎・濱・横谷・安藤・山下(広島大学) 小野秀一(一般社団法人施工技術総合研究所),近広雄希(信州大学), 有井賢次(株式会社長大)

8月26日···有尾一郎(広島大学)

10月9日・・・海田辰将(徳山高専)

1.2 三篠川流域の橋梁調査

合同調査エリアは、図-1 に位置する広島県の中心を流れる三篠川沿いに架かる橋梁群を調査した.三 篠川流域は、太田川流域のうち下流東部に位置し、広島市、東広島市、高田郡向原町、高田郡甲田町、 賀茂郡豊栄町、賀茂郡福富町、双三郡三和町の2市5町にまたがり、総流域面積は 274km²、幹川流路 延長は 42km である.





図-1 三篠川の橋調査(Google 引用)

1.3 対象流域の治水に関する現状と課題(広島県 HP 公表より抜粋)

この流域の治水に関する現状と課題は、広島県が公表している「一級河川太田川水系三篠川ブロック 河川整備計画」[1]に次のように記述されている.「三篠川ブロックにおいて、過去に昭和40年6月洪水、 昭和47年7月洪水による大規模な被害が発生しております.このため、洪水被害の解消を目指して長 年にわたって治水安全度の向上を図り、被害の大きかった河川を中心に河川改修が進められています. しかしながら、近年においても、平成9年5月の豪雨による床上浸水20戸の被害や平成11年6月の豪 雨による床下浸水5戸の浸水被害等が発生しています.このため、上・下流のバランス、本・支川の整 合など水系一貫の観点に立ち、適切な安全度を有する新たな治水計画の策定と洪水防御対策の早期実施 が課題となっています.過去の主な洪水とその被害状況を**表-1.2.1**に示します.(以下、割愛)」.

被害発生年	降雨の原因	24 時間 雨量(mm)	市町村	被害状况 系三篠川
昭和40年6月20日	梅雨前線豪雨	265	高陽町	床上浸水 420 戸 農地浸水 300ha
昭和47年7月11日	梅雨前線豪雨	199	白木町	家屋全線3戸,家屋半線2戸 家屋一部損線2戸 床上浸水49戸,床下浸水236戸
昭和58年9月26日	台風 10 号	146	広島市	床上浸水1戸
昭和60年6月21日	梅雨前線豪雨	178	広島市	農地浸水 0.5ha
平成9年5月14日	前線	86	東広島市	床下浸水 20 戸
平成11年6月29日	梅雨前線豪雨	161	向原町	床下浸水 5 戸

表-1.2.1 過去の災害発生状況

広島県「一級河川太田川水

系三篠川ブロック河川整備計

被害状況:昭和40年6月洪水 「中国新聞(昭和40年6月21日付)」より 昭和47年7月洪水「昭和四七年七月豪雨災害誌(建設省中国地方建設局)」及び聞き取り調査より 昭和58年〜平成11年「河川浸水被害履歴調査(平成12年実施)」及び聞き取り調査より 24時間雨量:昭和40年〜昭和47年 流域平均雨量(三田橋地点)

昭和58年~平成11年 東広島市気象台

1.4 三篠川沿いの調査橋梁群

三篠川沿いの調査対象の橋梁群を図-2 に示す. 図中の番号①~⑩は,8月7日の合同調査における調査順 に従っている.



図-2 三篠川沿い調査対象の橋梁 ①鳥声橋に調査 G 集合, ②迫 田橋, ③寺山橋, ④吉野橋, ⑤実重橋, ⑥市明橋, ⑦高瀬橋, ⑧ 安駄橋, ⑨第一三篠川橋梁, ⑩鋼吊橋, A1:轟橋※, A2:大寺橋※, ※A1,A2 は 8/26 に調査

2.1鳥声橋・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・渡辺学歩(山口大学) 図-2.1aには、豪雨災害で被災した鳥声橋を含む、三篠川に架橋されたJR白木山駅~下新川駅区間の 橋梁群の位置を示す. 鬼ヶ城山、中山、木ノ宗山に囲まれた狭隘な急傾斜地の中央を三篠川が流れており、これに平行して県道37号線(白木線)およびJR 芸備線が走っている.

また, 図-2.1b には当該架橋地点の拡大図を示すが,鳥声橋は旧県道に架かる橋梁で,芸備線上深川駅から 300m 西側(下流側)に位置している.また,その下流に,芸備線の三篠川第2橋梁および県道 37 号線の新鳥声橋が架けられている.なお,三篠川は鳥声橋上流側で左側に大きく蛇行しており,旧県道, 県道 37 号線,JR 芸備線に対して直交する形で流れている.



図-2.1a 三篠川橋梁に架かる橋梁群と鳥声橋の架橋地点(Google を引用)



図-2.1b 鳥声橋の架橋地点の拡大図(Googleを引用)

図-2.1cには発災約1ヶ月後の鳥声橋の状況を示す.本橋は橋長93m,幅員5mの8径間単純桁RC橋である.左岸側(上流側から見て)から数えて第7径間の橋桁は大きく傾き,第5径間および第6径間の橋桁は落下し,40m程下流に流されている.同橋に敷設された水道管も併せて流失してしまったために,災害当時,周辺の一部地域に断水が生じた.



(a) 上流側から撮影



(b) 下流側から撮影 図-2.1c 発災後の鳥声橋(8月7日撮影)



(a) 損傷状況のイメージ



(b) 右岸側護岸の浸食および P6 橋脚沈下状況



(c) P6 橋脚の沈下



(d) 第5径間および第6径間橋桁流失状況
 図−2.1d 鳥声橋の被害状況

(e) P5 橋脚水没状況

図-2.1d(a)には、鳥声橋右岸側(下流側からみて左手側)の詳細な被害状況を示す. P5, P6 および P7 橋 橋脚がいずれも、洪水時の河床が洗掘され沈下している. P6 橋脚は隣の P7 橋脚よりも 1m 以上沈下し、こ れにより下流側に大きく傾いている(同図(b)および(c)参照). 第6径間の桁は相対的に上流側に跳ね上が るようにしてねじれている. 第5径間および第6径間の上部構造が下流側に流失(同図(d)参照)しているが, これは P5 橋脚(同図(a)および(e)参照)が転倒したためと推察される. P5 橋脚の転倒の原因としては、 P6 橋脚と同様に河床の洗掘によって基礎が不安定となったためだと推察される. 図-2.1eには、下流に位置する第2三篠川橋梁の発災時洪水状況を示すが、同橋梁の上下流間には河床 レベルに段差がないにも関わらず、橋脚を挟んで上下流間で水位に1m近い高低差が生じている.橋梁 形式が異なるが、本橋(鳥声橋)でも同種の状況が発生していたと考えられる.このような流れが生じ ると、橋脚の背面(下流側)で複雑な流れが生じ、河床の洗掘が顕著となる可能性が高い.



図-2.1e 下流に位置する第2三篠川橋梁の発災時洪水状況(以下の URL を引用)

https://wind.ap.teacup.com/dieseltrain/img/1531235388.jpg

迫田橋は,主要道路である県道 37 号線と三篠川対岸の迫田地区を結ぶ,橋長約 40m の 2 径間連続ポニー ワーレントラス橋であり,4tの荷重制限下で供用されていた.図-2.2a~図-2.2d より,本橋は河川の平面形 状が上流から下流に向かって大きく左に蛇行する際の変曲点に位置していることから,本橋の左岸側には砂 洲が形成されている.このことから,本橋の右岸側にはコンクリートブロックや擁壁による護岸が形成され ていたが,今回の増水によって図-2.2b に破線で示す範囲の堤体が大きく洗掘・破壊されており,大型土嚢に よる応急措置が施されていた(図-2.2d).





図-2.2a 迫田橋の位置

図-2.2b 航空写真



図-2.2c 被災前の迫田橋(右岸側より)



(a)上流側

(b)下流側

図−2.2d 右岸側護岸の損傷状況

図-2.2e に本橋の被災状況を示す.図(a)のように、本橋は2径間のうち右岸側径間が中間橋脚上で完全に 分離・流失している.流失した径間の上部工はすでに撤去されたと思われ、調査当日には確認できなかった.

残存している本橋の中間橋脚は基部が完全に露出しており、その上流側において多少の洗掘跡が確認され、 上流側に若干傾いているように見えるものの、橋脚としての機能は保持していたと考えられる.一方、右岸 側の護岸が大きく洗掘・損壊しており、図-2.2e(a)の右下に破壊された堤体の一部と思われるコンクリート 塊が確認されることから、蛇行流による右岸側の水面高さの増大および2次流れ等の洗掘作用によって本橋 の右岸側の堤体が崩壊し、それによって本橋の右岸側橋台・支承部が沈下したため上部工が冠水したと推察 される.図-2.2e(b)は中間橋脚上の断面である.図中、破断部において露出した RC 床版の配力鉄筋(橋軸 方向の鉄筋)の方向に着目すると、上流側では下向きに破断しており、下流側では上向きに破断している. さらに、上流側のトラス主構は鉛直方向に座屈し、下流側の下弦材が上向きに破断していることが確認でき る.これらの事実から、本橋が中間橋脚上で分離・落橋した時点では、この断面に反時計周りの回転作用が 生じていたことがわかる.

以上のことを総合すると、本橋はまず右岸側護岸の崩壊によって支点が沈下することで、右岸側上部工も 上流側に傾きながら大きく沈下・冠水し、大きな抗力を受けた結果、中間橋脚部で反時計周りにねじ切られ るような形で独立に破壊・分離したと考えられる.



(a) 流失した右岸側径間

(b) 橋梁破断部の詳細 図-2.2e 被災状況

[引用] **図-2.2a, 図-2.2b, 図-2.2c**: Google Map (https://www.google.com/maps/)

2.3 寺山橋

・・・・・・・・柴田俊文(岡山大学)



図-2.3a 寺山橋の位置



図-2.3b 航空写真



(a) 南側(左岸)から見た様子

図-2.3c 沈下した橋脚

寺山橋は広島県安芸高田市向原町坂に 位置する(図-2.3a). 図-2.3b は災害前の 航空写真で,右側が上流である.寺山橋の 手前で川幅が若干大きくなっていること がわかる. 図-2.3c(a), (b) は変状を呈した 橋梁の様子を示している. 中央の橋脚の沈 下に伴い床版も鉛直下向きに変形して「く の字」 状になっており、この沈下は橋脚基 礎部の洗堀が原因と思われる.



図-2.3d 寺山橋右岸(災害前,上流側)





図-2.3e 寺山橋右岸(災害後,上流側)

次に,図-2.3bの破線部について,災害前の様 子を図-2.3d, 災害後の状況を図-2.3e に示す. 図-2.3d 中央にある墓石(矢印の先端に位置す る) が図-2.3e の破線部内に存在するはずだが確 認することができず,流出あるいは損傷のため一 時的に撤去した可能性がある. 図-2.3f は災害後 の寺山橋の様子であり, 仮設水道管が設置されて いる.ここで、右側の高欄(上流側)の一部が流 失して流木等が滞留し,橋の手前の舗装が損傷を 受けていることが確認できる. 図-2.3e および図 -2.3f より, 寺山橋に流木等が溜まることで越流 が発生し,橋の近傍にある墓石や路面にダメージ を与えたことが推察される.参考までに,図-2.3g に災害前の寺山橋の状態を示す. 高欄に損傷はな く,路面も平坦で中央(橋脚の上部)で変形がな いことが確認できる.また,写真の右端に図-2.3d で示した墓石 (矢印で示す)を視認することがで きる.

図-2.3h は寺山橋から右岸下流の復旧作業の 様子を撮影したものである.図-2.3eの左岸でも 土嚢が確認されることから,寺山橋を含む一帯で, 広い範囲で被害が生じていることがわかる.

図-2.3f 寺山橋の損傷



図-2.3g 災害前の寺山橋



図-2.3h 復旧作業の様子(右岸・下流)

※ 図-2.3a, 図-2.3b, 図-2.3d および図-2.3g は google map (https://www.google.co.jp/maps/) より引用 した.



図-2.4a 橋梁全景(被災前)



図-2.4b 被災後の橋梁



図−2.4c PC 桁断面形状



図-2.4d 橋脚の RC 柱(橋の直下)



図-2.4e 橋脚の RC 柱(下流側)



図-2.5a 実重橋の被災前後の状況(左図は Google から引用)



図-2.5b 水道管の損傷

これら被災図から実重橋周辺の三篠川左岸には多くの土嚢袋が設置され、堤防が破堤していたことが分かる.実重橋の南橋詰めの道路部も深く掘られており,流路が発生していたことが推察される. 図-2.5c はそれらを多角的にみた図の構成である.このことから,破堤をオーバーフローした流れは,橋の端部に沿って道路部を越水し,盛土部が掘られ流道ができたものと思われる.その結果,直接的な橋の損傷は免れた.破堤は洪水時の河道の線形状態も影響したものと考えられる.



図-2.5c 実重橋周辺の被害



図-2.6a 市明橋の位置



図-2.6b 被災前の市明橋(右岸側より)

図-2.6cに本橋の被災状況を示す.図(a)から、左岸側から2つ目の中間橋脚が沈下しており、橋梁全体と して「くの字」に折れ曲がっている様子が確認できる.また、図(b)では、橋脚の沈下だけでなく単純桁が水 平方向(下流方向)にズレを生じており,橋脚自体も若干傾いていることもわかる.これは、この橋脚が河 川断面の中央部(最深部)付近に位置しており流速が速いことに加え、流木などの流出物が橋脚に巻きつく ことによって橋脚基部での河床洗掘の範囲や深さも増すことに起因すると考えられる.図-2.6dは右岸側から 1 番目に位置する高水敷上の中間橋脚の様子を示す. この橋脚は側壁に最も近い位置にあるにも関わらず, 橋脚の下流側にて深さ約 1m を超える洗掘跡が確認され、フーチングも露出していた.橋脚基部の上流側に は、写真の通り草木が巻きついていたことから、これらの付着物が橋脚周辺の流況を大きく乱したと考えら れる.



中間橋脚の沈下による橋全体の変形 (a)





図-2.6d 高水敷上の洗掘状況



高瀬橋は,市明橋の下流に350mに位置する,橋長約70mの7径間単純RC桁橋である(図-2.7a, 図-2.7b). 6 基の橋脚はいずれも門形ラーメンとなっている.

図-2.7c に本橋の被災状況を示す.本橋も市明橋と同じく中間橋脚の1つが河床洗掘によって沈下し,その影響により上部工が大きく変形したため通行禁止となった(図-2.7c(a)).沈下した橋脚は右岸側から2番目に位置する低水敷の中間橋脚である.本橋は,桁が橋脚頂部の橋座に掛け違い状に設置されているとみられ,上部工が大きく「くの字」に折れ曲がったことにより,橋座付近に大きな水平ひび割れが生じている(図-2.7c(b)).また,同図より橋面上の地覆コンリートのかぶりが曲げ圧縮によって剥離している様子も確認できる.橋軸方向に路面をみると,図-2.7c(c)のように,沈下した橋脚上で大きく下がっており,ガードレールも橋軸方向に座屈していた.目視ではあるが,右岸側から2~4番目の橋脚付近が河川の最深部とみられ, 図-2.7c(d)に示したように,全ての橋脚に大量の流木や草木などの流出物が付着している状況を鑑みると,市明橋と同じく橋脚基部で発生した河床洗掘が主原因と考えられる.ガードレールや支承部に付着物や流木などの衝突跡が確認できないことから,最大水位は上部工までは達していなかったと考えられる.



図-2.7a 高瀬橋の位置



図-2.7b 被災前の高瀬橋(右岸側より)





(c) 橋面の状況(右岸側より)

(d) 上流側の橋脚群



[引用] **図-2.7a**, **図-2.7b**: Google Map (https://www.google.com/maps/)

2.8 安駄橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・渡辺学歩(山口大学)・海田辰将(徳山高専) 安駄橋は,県道 37 号線(白木街道)から白木町大字三田地区を結ぶ,橋長約 65m の道路橋である(図-2.8a, 図-2.8b).本橋は,右岸側からの4径間が単純 RC2 主桁橋,残りの左岸側2径間が単純鋼プレートガーダー となっている.5 基の中間橋脚はいずれも RC 壁式橋脚であり,被災前は4tの荷重制限下で供用されていた.
図-2.8a に示すように,本橋の上下流で河川がS字にカーブしており,ほぼ中間点に本橋が架橋されている.


図-2.8a 安駄橋の位置

図-2.8b 被災前の安駄橋(左岸側より)

本橋の右岸側に設置されている護岸ブロックは比較的新しいものの,本橋の右岸側で越流が生じ,下流側の護岸の背後から洗掘や背面土の吸出しが発生したことから,右岸側の護岸が下流方向約 100m にわたって崩壊していた(図-2.8c(a)~(c)).また,右岸側の接続道において,支点から約 20m 離れた路面の舗装が図-2.8c(d)のように剥離していた.



(a) 被災前(左岸より)



(b) 被災後(左岸より10/9撮影)



(c) 被災後(右岸側護岸の崩壊と RC 桁)

(d) 被災後(越流による右岸側接続道路の破壊)

図-2.8c 護岸・堤体の被災状況(右岸側より)

図-2.8c(b)および図-2.8dは、本橋の流失部における中間橋脚の様子である.本橋は、鋼プレートガーダー (左岸側)の1径間を残して全て流失しており、これらを支えていた壁式の中間橋脚は図(a)、(b)のようにフ ーチング部分から転倒していた.橋脚のフーチング部端部を点線で繋ぐと、右岸側の橋脚ほど橋軸直角方向 に近い角度で転倒していることがわかる.このことから、本橋流失の起点は水深の深い右岸側にあるものと 推測される.また、これらのフーチングの底部は、図(c)にように、大きな石を間詰めコンクリートとともに 敷き並べた造りになっており、地中杭は確認できなかった.右岸側では越流が発生しており、左岸側の残存 径間においても支承部に流木や草木が付着していたことから、この地点での最高水位は上部工まで達するほ どであったことが予想される.







水没していた橋脚

(b)



(c) フーチングの裏面(左岸側より10/9撮影)

図-2.8d 中間橋脚の転倒状況(右岸側より)

左岸から 2 径間目において発生したプレートガーダーの流失状況を図-2.8e に示す. 流失した桁は, ほ ぼ原形を保ったまま, 下流側 30m 地点に上下ひっくり返った状態で確認された. 本橋は単純形式であること から, RC 床版も各径間で元々分離された構造であったことから, 図(c)のように, 左岸の1径間はそのまま 残存していた. 流失したプレートガーダーの支承部には, ベースプレートとともにアンカー(丸鋼)が残存 しており, 図(c)に示すように, アンカーがほぼ水平に折れ曲がった状態で引き抜かれていた. アンカー先端 のフックの前で破断したものと推測される.



(c) プレートガーダー残存部(左岸より10/9撮影)
 (d) 支承部のアンカー
 図-2.8e 上部工の流失状況(プレートガーダー)

図-2.8f は右岸側4径間における RC 桁の流失状況である.RC 桁は床版とともに右岸側の下流約100mの 範囲に,ほぼ直列した配置で横たわっており,その中には図(b)のように RC 床版と桁が完全に分離している ものも確認された.この桁橋は、図(c)のような2本の矩形断面を持つ RC 桁の上に、フーチングを有する RC 床版を組み合わせた断面となっており,桁の上に一定間隔で突き出している丸鋼以外,ずれ止めの役割を 果たすものは確認できなかった.本橋の右岸側の橋台支点部の様子を図-2.8f(d)に示す.図から,本橋の端 横桁は橋台のパラペットと一体化されていたと思われる.この断面から橋軸方向に突き出た鉄筋の多くは、 下流方向を向いていたことから、上部工に作用した過大な水平力によって桁が流下方向に引っ張られて破断 したと推察される.

以上のことから、本橋は右岸側に近い橋脚基部の洗掘または上部工に作用した抗力によって、橋脚が転倒 し、橋梁全体が流失したと考えられる.







(b) 床版と桁の分離(10/9撮影)



(c) 床版と桁の分離(10/9撮影)



(d) 橋台支点部(右岸側)

図-2.8f 上部工の流失状況 (RC 桁)

[引用] **図-2.8a, 図-2.8b, 図-2.8c**(a): Google Map (https://www.google.com/maps/)

2.9 第一三篠川橋梁(JR 芸備線)・・・・・・・・・・・・・・・・・渡辺学歩(山口大学)・有尾一郎(広島大学) 図-2.9a には、豪雨災害で被災した JR 芸備線の第一三篠川橋梁を含む、三篠川に架橋された JR 白木 山駅~下新川駅区間の橋梁群の位置を示す。第一三篠川橋梁は、三篠川に架かる鉄道橋で白木山駅から 600m 程下流に位置しており、白木山駅~下新川駅区間の橋梁の中で最も上流側に位置している. なお、

三篠川は同橋を通過後,大きく左手に蛇行している.



図-2.9a 三篠川橋梁に架かる橋梁群と三篠川第1橋梁の架橋地点(Google を引用)

図-2.9b には発災1ヶ月後の架橋地点の様子を示す. 同橋はコンクリート橋脚3基(RC橋脚かどうかは 不明)と重力式石積み橋脚2基および橋台2基からなる下部構造が,2主鋼I桁で構成される6径間単純 桁の上部構造を支持する橋長83mの構造からなる. 左岸側のコンクリート橋脚は2つとも目立った外観 上の損傷は見られなかったが,石積み式の橋脚が下流側に押し倒され,上部構造である2主鋼I桁が流 失し,さらに下流側に流下している. また,橋脚の上に流木等が残っていることと,桁部に付随する検 査路の柵に草木が残っている様子から,洪水時の水位はこれらを乗り越えたと推察される.



(a) 右岸側から撮影
 (b) 倒壊しなかった P2 橋脚
 図-2.9b 発災後の三篠川第一橋梁(8月7日撮影 有尾一郎(広島大学)提供)

左岸側の P1 橋脚から P3 橋脚はコンクリートで作られた橋脚であるが,右岸側の P4 および P5 橋脚 は石積み橋脚となっている. P4, P5 の石積み橋脚は,川の流れを阻害しないよう,橋脚断面が上流側 に尖角を持つ五角形で,最大 30cm 程度の石が密に敷き詰められた隙間にモルタルで固め,その外側を 50cm~60cm 程の大型岩石で固めた構造となっている.左岸側と右岸側で下部構造形式が異なる理由に ついては,橋脚の構造形式が著しく異なることから,過去の災害等で倒壊したものと推察される. 転倒を免れたコンクリート橋脚と倒壊した石積み式橋脚の間で、構造形式や材料強度が大きく異なる ことから、転倒の原因が下部構造の形式や材料に起因するのではという推測も成立する.しかし、右岸 側の橋脚が川の外側に位置しており、図-2.9c に示す様に流速の差が影響したとも考えられるために、明 確な原因の特定は難しい.



図-2.9d には、災害発生前の三篠川第1橋梁の様子を以下に示す. 左岸側(下流側)より4径間目が他の区間に比べてスパンが長くなっており、これにより桁高が高くなっている. 周辺の浸水状況から災害当日は本橋梁が水没していたと推定され、橋桁が川の流れを阻害していたとすると、受圧面積の違いからこの区間の桁(第4径間)が最も大きな流体力を受けていたと考えられる.



図-2.9d 発災前の三篠川第1橋梁(Googleより)

図-2.9e には発災後の三篠川第1橋梁上部構造の流失状況を示す.また,図-2.9f には上部構造の流失 状況から推定される橋梁の破壊過程を示す.洪水時,水位が桁高まで達し,P2橋脚~A2橋台間の上部 構造側面に大きな流体力が作用するようになった.さらに流速の増加に伴い,その流体力が大きくなり, 上部構造を支持する下部構造ごと押し倒したと考えられる.さらに,洪水の流れとともに,上部構造が 下流側に流されたと考えられる.



(a) 上空から撮影

(b) 左岸斜め上空から撮影

図-2.9e 発災後の三篠川第1橋梁上部構造流失状況



図-2.9f 上部構造流失状況から推定される橋梁の破壊過程



図-2.9g 発災後の三篠川第1橋梁の損傷状況

図-2.9gには発災後の三篠川第1橋梁の損傷状況を示すが,倒壊した石積み橋脚は転倒後も元位置から 1メートル以上下流側に流されている他,上部構造も10m以上下流側に流されていることからも,相当 な流体力**でこれらを押し流したことが示唆される.

※本橋梁を崩壊に至らしめた洪水時の流体力算定については、継続して調査分析中である.

本橋は, 無名の鋼吊橋(中央径間約 40m)であり, 県道 37 号線の側道から対岸を結ぶ人道橋である(図 -2.10a, 図-2.10b). 図-2.10a に示すように,本橋の約 400m 上流側には JR 芸備線の第一三篠川橋梁が位置 しており,この橋梁にも鋼桁の流失など甚大な被害が発生している(本稿 2.9 を参照).本吊橋は,河川の平 面形状として急激に左側へ湾曲する位置に架設されていることから,右岸側の洗掘による護岸崩壊が著しい.



図-2.10a 鋼吊橋の位置

図-2.10b 被災前の鋼吊橋(左岸側より)

図-2.10c に左岸側の被災状況を示す.本橋の主径間は,橋床をポニー形式のワーレントラスで支え,この 補剛トラスをハンガーロープ(丸鋼)で吊っている.右岸側の主塔を支える橋脚が崩壊したことによって右 岸側の主径間も崩落・冠水し,抗力によってハンガーロープが破断したと考えられる.その結果,図(a)のよ うに下流方向に主径間が横たわり,左岸下流側のアンカーボルトで吊り下がっている状況となった.図(a)中 に〇印を付した上流側のアンカーボルトは橋台に埋め込まれていたが,図(b)のようにベースプレートが付い たまま引き抜かれた状況である.一方,流失した補剛トラス先端に位置する右岸側の支承部は,図(c)のよう に長孔のアンカーボルト孔が大きく拡大変形していたが,アンカーボルトは確認できなかった.

本橋のハンガーロープは直径約 20mm の丸鋼である.これらのハンガーロープの先端を輪状に溶接し,メ インケーブルと補剛トラス格点部の U 字フックに取り付けて定着させている.図(d)は破断したハンガーロ ープの例を示す.このハンガーロープは過大な引張力によって丸鋼自体が破断しているが,ロープ先端の溶 接部で破断しているものも多数確認された.



(a) 左岸の下流方向に現存する橋床と補剛トラス



(c) 脱落した右岸側の支承(10/9 撮影)



(b) 脱落した左岸側の支承(10/9撮影)



(d) ハンガーロープの定着部

図-2.10c 被災状況(左岸側)

右岸側では,護岸の著しい崩落とともに主塔を支えていた橋脚(図-2.10d)が完全に崩壊しており,主塔 が水没している様子が図-2.10e(a)から確認できる.図-2.10bのように,本来堤体の天端よりも高い位置に上 部工が位置していたはずであり,主塔の崩落が右岸側の上部工の冠水を引き起こしたことが推測できる.ま た,側径間の上流側には巨岩が露出している.図-2.10e(b)は右岸側の橋台から撮影した側径間と主塔の様子 である.図から,主塔を支える橋脚のフーチング部分が下流側に確認できるが,橋脚の躯体は水没している とみられ,視認できなかった.

図-2.10e(c)~(d)は右岸橋台の上流側(巨岩の背面)の様子である.主塔を支えていた橋脚は,蛇行流による洗掘作用を前面から受けていたと思われるが,巨岩の背面に回り込んだ水流が橋台の側方において,狭く深い洗掘を生じていることから,橋脚の背後からも強い水流を受けて基部の洗掘が助長された可能性も考えられる.



図-2.10d 右岸側の壁式橋脚(被災前)



(a) 右岸の崩落状況



(b) 主塔と側径間の崩壊(10/9撮影)



(c) 巨岩背面の状況(10/9 撮影)



(d) 橋台側方の状況



[引用] **図-2.10a, 図-2.10b, 図-2.10d**: Google Map (https://www.google.com/maps/)

2.A1 轟橋・・・・ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・有尾一郎(広島大学)

2本 RC 柱橋脚と合成桁からなる橋幅が 2m 弱の轟橋の被災前と被災後を図-2. A1a に示す. 左図は同じ 視点での橋の被災前と被災後を比較したものである.手前の橋脚から対岸までの橋桁部が流下し、対岸の橋 脚も倒壊している.右図は,元の位置から100mほど下流に流された橋桁(プレートガーター)であり,橋桁部 のガードレールがなくなっていることから、流れが激しかったことがうかがえる.ちょうど橋の前に半階ほ ど高くなっている家があり,住民の話では,玄関口まで水位が上がってきたと話していた.



図-2. Ala 轟橋の被災前と被災後の状況(左上図は google を引用)

図-2. A1b は、倒壊した柱式の橋脚の形態である.幾何学的に RC 橋脚がサンドイッチのように崩れている ことが分かる.特に、中央の横梁の両端接続部が回転変形を伴いながら裂けて鉄筋でつながっている様相で 重なった. 河川勾配はほとんどないと思うが、相当の流速があり、河川の流れに沿った流体力の方向に根元 のモーメントが大きい部位から折れて倒れていることが推察される.





図-2. A1b 2 本柱式 RC 橋脚の倒壊



After disaster



図-2. A2 大寺橋の崩壊(上図は Google を引用)

3. 東広島市の橋調査・・・・

東広島市の被災現場には図-3 のようなタグが立っており,現場の認識番号,確認日,確認者,連絡者が記載されていた.被災現場を一つ一つ確認していることが調べていることが分かる.このタグは,復旧工事をする際にも目印となり,認識しやすい.

.





図-3 被災現場のタグ

図-3.1a 中原橋の現場(Google引用)

3.1 中原橋(RC 歩道橋)

中原橋は、広島県広島市安芸区上瀬野一町目に位置する、瀬野川にかかる PC 製歩道橋(中原橋)である. 図-3.1aの地図に示すように、国道2号線バイパスに入る箇所で、瀬野川に架かる歩道橋である.橋の 全長は約45mあり、3径間コンクリート桁から構成されていた.図-3.1bは、中間部に位置する橋脚と左 岸側2径間単純桁が下流に裏返って流された.右図の手前の橋桁をよく観察すると、手すり部に枯れ草が留 まっていることから、その位置まで水位が到達し、橋桁等に直接流体力が作用し、橋脚と共に流出したもの と推察される.中間橋脚の姿形もなく、橋桁部は観音開き状態で広がっていることから、橋脚が存在した位 置は水流の勢いが激しかったことが推察できる.見かけ上、比較的新しい RC 橋であるが、流出した.



図-3.1b 中原橋の被災

3.2 塚地橋



広島県広島市安芸区瀬野一町目のJR 瀬野駅近くの塚地橋が,図-3.2aの左図に示すように橋桁と橋脚が大きく損傷し,原型をとどめていない.残った橋部に多くの草木が留まり,橋の中央が残りその両側が流失した.図-3.2bの矢印のとおり橋の下流側にコンクリート桁ブロックがいくつかに分かれて流された.



図-3.2b 塚地橋の流橋

3.3 一貫田橋

図-3.3a に示す熊野川と瀬野川が合流する上瀬野地区の一貫田橋が図-3.3b のように落橋した.右岸 側2径間および橋脚1基が流失した.平行する歩道橋は大きな被害はなく,車両用の橋が損傷している. 歩道橋の方が1径間のスパンが長く,車両用の橋の方が短かった. 倒壊した橋脚に土砂(一部流木)が大 量に残されていた. 護岸には桁が擦った跡が残されていた. 橋脚が崩壊して,橋桁が落ちたものと推察 される.



図-3.3a - 貫田橋の被災位置(Google 引用)





図-3.3b - 貫田橋の被災状況

3.4 川原橋

東広島市瀬野から八本松へ向かう途中の国道2号線の脇に瀬野川に架かる川原橋も橋本体が流されていた (図-3.4).流出した橋は軽トラが通行できる程度の幅で,その脇の護岸部も削られ,家の石垣の色も土砂で 変色しており,その辺りまで水位が到達したことが推察される.この場所では,川の勾配もあり,大きな石 も残っていることから,当時の水の勢いは激しかったものと推察される.



図-3.4 川原橋の被災と橋の場所(右図 Google 引用)

4. 安浦町の橋の被災事例

4.1 呉市安浦町の頓原橋の被災

被災場所は図-4.1a に示す中畑川に架かる頓原橋である.現場周辺の中畑川の右岸側が削られ,頓原橋が河川閉塞を起こし,河川の水が橋端の橋台背面上から舗装(アスファルト)や土を大きく削り,マンホール全体がむき出しとなっていた(図-4.1b(a)). その後,削れた部分を土で埋め戻し,仮復旧を終えていた(図-4.1b(b)). このように,橋台背面の土が削れるほど流量が大量に入り込んだことが分かる.



図-4.1a 頓原橋の被災と橋の場所



(a) 被災後(7月11日撮影)橋対岸が一時孤立

(b) 埋め戻し復旧後(7月21日撮影)

図-4.1b 頓原橋の被災と復旧状況

4.2 女垣内の集落の橋

呉市安浦町女垣内地区のスパン 10m ほどの橋が流れ,4世帯の集落が孤立した.この地区へ向かうには, 県道 353 号線から脇道に私道 6m の位置にコンクリート製の橋を渡る必要があり,迂回路は存在しないため, 橋を復旧しなければ通行できない.そのため,7月6日の豪雨発生から7月28日までの21日間(3週間)は車 両が入れない状態で孤立していた. 図-4.2a は被災直後のコンクリートの橋が流された状態で,橋部と橋台 部が崩れていた.表-1の広島県災害対策本部の報告[2]の「孤立状態にある地区の状態」に関して,発生原因 が「崩土」と記載されていたが,実際は「落橋」による通行不可能な状態であった.過去の広島土砂災害を 教訓に仮橋の備えがあれば,すぐ対応できた事例であろう.



図-3.6a 女垣内の橋の被災と橋の場所

表-1 孤立状態にある地区の状態

※平成 30 年 7 月豪雨災害による被害等について(第 30-38 報)広島県災害対策本部の公表より引用

(9) 孤立状態にある地区の状況				↓崩土ではなく崩橋				
市町名	地区名	世帯数	人数	発生原因	車の通行	- 徒歩の 通行	支援物資 の搬送等	連絡状況 確認済み
呉市	安浦町 女垣内地区	4	10	崩土	×	0	0	0

1) 孤立状態にある地区の状況:発生原因が「崩土」とあるが、実際は「流橋」で車両が通行不可.

2)7月21日時点の被災状況では、以下の文章で報告されており、「橋の崩落のため、車両が通行できず、安浦町女垣内地区が孤立している.住民とは連絡ができている状況.7月28日頃には仮橋が整備され、地区の孤立解消予定.」

最終的に, 7/29-31の第47,49,50報では,

(10) 孤立状態にある地区の状況

「 呉市安浦町女垣内地区の孤立については、仮橋の整備により、車の通行が可能と

なったため、7月 28 日から解消」と明記されている.「崩土」の対処法とは異なる「仮橋の整備により」と記載されていることから、これが正しい表記である.

8月1日の第51報では、「(10) 孤立状態にある地区の状況 なし」と記載されていた.

図-4.2b(a)は、7月21日時点では測量と建機で河川内のがれきの撤去作業中であった。この復旧作業期間内に大雨が降らなくてよかったが、最終的に7月28日に暫定的な仮橋が架けられた.



図-4.2b 女垣内の橋の測量状況(7月21日撮影)

5.1 竹原市の上成井橋

竹原市成井地区の賀茂川に架かる 2 径間単純合成桁からなる上成井橋の中間橋脚が上流側に傾いて沈下していた(図-5.1).7月15日の調査時には同橋は通行止めになっていた.右図は,橋の中央が左下に傾いており,洪水時の水流によって橋脚の底部に洗掘が生じたものと推察される.



図-5.1 上成井橋の被災と橋の場所

5.2 水ノロ橋

上成井橋の北 1.2 キロあたりに竹原市東野地区の賀茂川に架かる合成桁の橋が通行止めになっていた.現 場を観察すると、図-5.2 のとおり、橋脚のスパン割がおかしく、桁部の縦補剛材が橋脚の支承に位置してい なければならない部分に橋脚が存在しない.桁の断面も見た目、他の区間と特に変化はない.存在していた であろう橋脚の位置は河道の中心部にあたる.桁に影響を与えずに流されたことになるが、下流部に橋脚ら しいものは見つからなかった.



図-5.2 水ノロ橋の被災

5.3 三原市下畑橋

広島空港近くの沼田川をまたぐ三原市下畑地区の下畑橋が流された(図-5.3). 石積みの橋脚も倒壊や傾斜 し、上部構造のポニートラス部も半分ほど流された.残ったポニートラスの上部に草木が引っかかっている ので、これ以上の水位に達したことがうかがえる.



図−5.3 下畑橋の被災状況

6. 橋梁の損傷について

過去の自然災害による橋梁の被災調査をしてきた経験から,豪雨被害独特のいくつかの共通する事象があ り、中小河川で生じたそれらの特徴的な橋の被災事象と原因を照合しながら考察する.

今回の豪雨災害による橋の部位(橋台・橋脚,橋桁,洗掘部)の損傷箇所に注目すると,図-6.1 に示すよう な桁橋の損傷パターンに分類することができる.橋台ならびに橋脚に異常があるとその上部の橋桁部に影響 を与え,連鎖的に損傷している.橋桁部に異常があれば,橋台・橋脚に影響を与える場合もあれば,桁部単 体で流されている場合も存在した.しかしながら,三篠川に架かる調査した橋梁には,直接的に土石流の流 による損傷した橋は見つからなかった.中小規模の橋梁において,河川の計画高水位より低い位置にある既 存の橋の設計時には,桁部にかかる流体荷重は想定していないので,その流体力に抵抗できない橋脚や橋桁 は下流に流される恐れがある.今回の被害調査では,単純支持された橋桁部が下流に裏返った状態で流され ていたケースが多かった.すなわち,既設の橋設計において,洪水における桁部に浸かる流体荷重を想定し ておらず,その桁部が流出するかどうかの抵抗安定性を橋の設計に考慮されていない問題と考えられる.



図-6.1 桁橋の損傷部と原因

図-6.2 に 2 径間以上の単純支持された桁橋の典型的な損傷箇所を図-6.1 に基づいて提示する. この場合, 中間橋脚に沈下や転倒などの異常があると,その上の両側の橋桁にも深刻な影響をもたらすことは明らかで ある.したがって,1径間桁橋の損傷よりも2径間以上の橋桁部が下流へ流出することになったり,桁が傾斜 するなどの影響を受けたりする.復旧作業の範囲も広範囲となる.



図-6.3 は桁橋の損傷した部位に対する応急的な復旧方法と水工障害にならないように橋脚や桁の撤 去やその後の新設を模式的に描いたものである.部分的に原状に復旧できるものと,致命的に橋がほぼ 壊滅している場合には造り替える必要がある.今回調査した橋梁に対してそれらの損傷を図-6.4のよう に分類した.橋脚・橋台部の崩壊による橋桁部の流出が多く見受けられた.図-6.5 は参考までに今回被 災調査した橋の構造形式毎に分類し,RC橋梁の損壊が多かった.



プレートガーター 該当橋:第一三篠川橋梁

図-6.5 今回被災調査した橋の構造形式による分類

該当橋:鋼吊橋、民家用の吊橋(2橋)

床版橋

該当橋:川原橋、女垣内の橋



7. 洪水時の流体力による橋桁部や橋脚の安定性の検討の必要性

今回の洪水事象から、橋梁が河川の最大計画高水位や想定される洪水高さよりも低く、河川勾配により流 速が速い場合、新しい橋であっても、洪水の流体力が橋桁部に作用することを前提に設計されていなければ、 橋が崩壊する可能性はある.現状の橋設計においては、橋桁部に流体力の荷重を想定していないので、同様 の豪雨が発生すれば、各地の橋梁は崩壊や橋桁の一部が流出する恐れがある.

以下に,流体力が桁部に作用する際の橋の安定性を,モーメントの釣合いから考えることとする. 桁の流出や橋脚の安定性を説明するために,**図-7.1**に示す単純な桁橋モデルの仮説として,

1) 洪水時の深さ方向の流速分布を等分布 w(y)=一定と考える,

2) この報告書では,橋脚の転倒モーメント,桁部の支持点における転倒モーメントの釣合いにより,橋の安定性を示唆することとする.

3) 橋桁部の流体力は、単純支持支点と仮定し、そのスパン分×桁浸水高さの投影面積相当に作用する ものとし、その作用力の半分が片側の桁上部の支持反力として担うものと考えた.

4) 次の2つの検証箇所について、モーメントの釣合いを想定した.

7.1洪水時の重力式橋脚の転倒安定性について

[作用モーメント]

重力式無筋コンクリート橋脚根元の作用曲げモーメントについて,各部位に負荷が掛かるモーメ ントは

を仮定する.ここに、wは単位面積あたりの流体力、bは橋脚の幅、Lは桁橋のスパン長さ、h₁は桁下までの高さ、yは水位とする.例えば、想定する橋の与値 L=20m、w=1t/m²、h₁=5m、b=2m,h₂=8mとして、水

位y上昇に伴う橋脚根元に掛かる作用モーメントの変化を,図-7.2に示す.水位が橋桁部のh₁に浸かり出 すと、増加するモーメントの勾配が全く異なり、加速度的に負荷が大きく増加していることが分かる. 「抵抗モーメント〕

橋脚転倒の被害写真から,橋脚の表面は石ブロックとその内部は栗石で固められた無筋の重力式橋脚の重量のみで抵抗するものと仮定する.したがって,各部の重量R₁, R₂は,

= 50tf(仮定)

ここに、W1 は橋脚の単位体積重量とする.これらが、橋脚のほぼ中心にあるものとすると、転倒モ ーメントのアームを橋脚の奥行きの幅 a の半分と想定すると、

 $M_R = (R_1 + R_2) * a/2$

で表され、これらを転倒の安定性より

転倒安全率=(抵抗モーメント)/(作用モーメント)=M_R/(M₁+M₂)>1

であれば、橋脚の転倒は免れることになるが、1以下の値では転倒することを表す.このことは、今回 被災した第一三篠川橋梁の重力式橋脚の転倒時の崩壊に至らしめた、流体力を推定することが可能とな る.また、これはこれだけに留まらず、地方の中小河川に架かる既存の橋梁の橋桁部に浸水する危険性 がある場合には過去の洪水流速から、このタイプの橋脚が崩壊するか否かの簡易的な評価が可能となる.



全国の既存の重力式橋脚の転倒安定性や計画高水位以下に中小橋梁を新規に設計する場合には,橋桁部に浸水しても流出しないように,想定される橋梁(桁部)に掛かる流体力も考慮に入れた設計荷重・設計法を見直し,再検討する必要があることを意味する.

7.2 橋桁部のみ転倒流出について

橋桁部の流出被害において,ほとんどの橋桁部は,元の位置から下流に裏返った状態で流出していた 事実から,桁のローリングを伴った流失と予測される.このことから,橋脚の安定性の他に,橋桁部の 流出に抵抗しなければならない.この場合,橋桁部の支承部のボルト等の固定で十分かどうかの検討が 必要になる.すなわち,支承位置からの転倒モーメントあるいはせん断力による安定性の検討が必要で ある.

7.3 被災事例にみる橋桁の流出安定性について

今回の被災橋の事例において、この流出事象に関連する対象橋梁を図-7.3に示す.図(a)は鳥声橋の橋脚の 転倒,図(b)は裏返った橋桁部の流出状況を示す.図(c)は安駄橋の被災状況であり、この橋の橋脚は向きが回 転し、根元からなくなっている状況を、橋桁も裏返っていることが確認できる.図(d)の平原橋は比較的新し い PC 桁から構成されていたが、やはり、橋脚と橋桁部が流出し、流体力に抵抗できなかったことを暗示す る.図(e)はJR 芸備線の第一三篠川橋梁であるが、重力式橋脚も流体力に抵抗できず2つの橋脚とも下流側 に 90 度転倒している.このことから、それぞれの橋桁部に流体力が作用すると、その作用モーメントに抵抗 できなかった可能性が大きい.このことは、全国の中小河川に掛かる、新旧の既存の橋梁でも氾濫時危険水 位が橋桁に架かるような橋梁は流出する可能性を暗示しており、流出に対する橋の点検と防止対策が必要と 考えられる.





(a) 鳥声橋の被災部

(b) 鳥声橋の橋桁



(c) 安駄橋の被災



(d) 平原橋のコンクリート桁の流出



(e)第一三篠川橋梁の橋脚と橋桁の流出 図-7.3 橋脚あるいは橋桁の流出被害

8. まとめ

毎年のように、大きな自然災害が発生し、その規模や多様な形で我々の生活基盤を脅かすようになってい る.特に、鉄道、道路や橋インフラは生活を営む上で欠かせない社会基盤であり、それらが寸断することに よって、これまでの施設サービスの利便性が損なわれ、地域によっては復旧の遅れが著しい.今回の橋梁の 被災調査を、土木系構造工学の学識経験者と技術者らと橋の被災現場を視察し、この事象を共有できたこと は、貴重な機会であると共に、この橋構造物の損傷事象を科学的に分析し、現行設計法の不十分な設計対応・ 対策を講じていかなければならない.従来の橋梁復旧業務(橋梁被害査定(橋梁の原状復旧)から現行橋梁設 計・施工仕様)に関して、今回の被災調査から、中小河川における被害を最小にするような各地の既往の中小 橋梁の流出被害対策、流出しにくい橋の設計,流出する恐れのある対策,流出したときの対策などの検討が必要 であろう.すなわち、橋梁・構造技術者が橋の流域環境にも配慮し、現行設計と現実的な被害事象のギャップ を埋めることが肝要である.そのためには、流橋被害が単に耐震設計的な視点で同等と見なすことではなく、 流域計画流量・計画高水位以上の設計時には想定していなかった橋桁部に氾濫時の流体力が作用する場合も 考慮した対策や設計項目の必要性が浮き彫りになった.以下のことも記しておく.

1) 中小橋梁の被災後の状況については,橋の被災が限定的な寺山橋や実重橋は,盛土等のリペアと共に,生活に関わる水道管の復旧工事を優先していた.

橋梁は,車両や人の通行だけでなく,水道管や各種ケーブルなどの付属物として懸架されており,一 旦橋が崩壊すると,単に人が渡橋するだけの問題ではなく,現代生活に欠かせない水や電気,通信などの ライフラインも使用できなり,迅速な復旧が重要である.

2) 短時間雨量強度が 50→80mm/h 以上の線状降雨帯が長く続くようになり,中小河川では許容できる 最大流量や氾濫危険水位を越えて,橋桁部が浸かり,氾濫時の流速によっては,橋梁が崩壊するケースが 増加してきた.これは,橋の設計時には,橋桁部の高さが計画高水位以上を想定,あるいは考慮しておら ず,実際の被災では橋桁部に流水を受けていた.

3) 今回の洪水時の高さが,橋梁の橋桁下の高さが計画高水位近くあるいはその高さを越えて,橋桁部 に流木や流水が浸かり,橋桁が流出する可能性があると共に,橋台あるいは橋脚の倒壊等によって,それ に支持されていた単純橋桁部が落橋する被害ケースが多かった.橋台あるいは橋脚の倒壊は,その上部の 橋桁部に損傷を与えることになるので,その倒壊対策や,現実の洪水時水位に対する橋の高さと,流体力 に対する橋桁部の抵抗力を算定しておく必要がある.

おわりに

被災した橋の規模にもよるが,橋を新たに新設する場合には,大きな予算と建設日数が必要である. これは,橋の厳格な原状回復の査定をうたいながら,壊れた橋の多くは市町村が管理する橋で,大半は 国の補助金を期待することから,橋の損傷に関する科学的な原因と分析に基づいた橋の再建ではなく, 被災した橋の地域性や等級にかかわらず,現行の活荷重のかさ上げに伴う橋の高規格化の更新傾向にあ る.昭和の時代には,資源の少ない日本は橋梁が不足していたので,古くなった鉄道用鋼橋を設計荷重 に見合う「転用」ということによって,新設の建設コストを抑え,橋の新たな活用法と不足分を補って いた.橋を流失した集落や地域では,そのような「転用」可能な橋の再生と復旧法の手段として考えて もよいのではないだろうか.役割を終えた橋梁の転用によって被災地域のニーズやもたらされる効果は 大きいものと思われる.古橋が公園や歩道橋等で再生され,橋梁の長寿命化対策と活用法として両立す るかもしれない.最後に、被災地の早期の復旧・復興を願っている.

謝辞

最後に、今回の豪雨による三篠川流域の橋梁群の被災調査に対して、校務の忙しい日々の合間をぬっ て遠くから、快く同行していただいた近隣の先生方に敬意を表すると共に、調査時間の短い中で、詳細 に数多くの被災橋の執筆をしていただいた徳山高専海田辰将准教授ならびに山口大学渡邊学歩准教授に 厚くお礼を申し上げます.遠くから駆けつけていただいた岡山大学柴田俊文講師、校務後に駆けつけて いただいた呉高専河村進一准教授ならびに調査協力者も遠くから駆けつけて頂き謝意を表したい.この 記録が構造研究者や技術者だけでなく、その普遍的な災害記録としての教訓を地域の人々や若い人達に、 防災技術教育等に役立つことを切望する.

参考文献

[1] 一級河川太田川水系三篠川ブロック河川整備計画,広島県土木建築局河川課(2011.12)

[2] 広島県災害対策本部平成 30 年 7 月豪雨災害報告, 広島県危機管理課 (2018.7)

[3] 防災工学, 石井一郎・丸山暉彦・元田良孝・姫野賢治・亀野辰三, 森北出版(1999)

[4] 豪雨による河川橋梁災害-その原因と対策-,玉井信行・石野和男・楳田真也・前野詩朗・渡邊康玄, 技報堂出版(2015)

[5] Y. Hama, I. Ario and K. Adachi, Design method for scissors-type bridges, the proc. of 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON BRIDGE MAINTENANCE, SAFETY AND MANAGEMENT (IABMAS2018), Melbourne (2018.7) Australia.

[6] K. Adachi, I. Ario, Y. Chikahiro, S. Matsumoto, Scissoring Origami Inspired Deployable Bridge for a Disaster, Footbridge 2017 Berlin (2017.9) Germany, 10.24904/footbridge2017.09339.

[7] I. Ario, Y. Hama, Y. Chikahiro, K. Adachi, A. Watson, Origami inspired deployable & movable bridge for disaster relief, Proc. of Foot Bridge (2017), 10.24904/footbridge2017.09340, Berlin.

[8] Y. Chikahiro, I. Ario, K. Adachi, S. Shimizu, S. Zenzai, P. Pawlowski, C. Graczykowski, J. Holnicki-Szulc, FUNDAMENTAL STUDY ON DYNAMIC PROPERTY OF SCISSORING BRIDGE FOR DISASTER RELIEF, the 9th European Nonlinear Dynamics Conference (ENOC 2017) in Budapest, Hungary.

[9] I. Ario and Y. Chikahiro, A New Type of Bridge, Mobilebridge to Super-Quickly Recover a Bridge,
World Journal of Engineering and Technology, No. 3, Vol. 3c, pp. 170-176. doi: 10.4236/wjet.2015.33C025.
(2015.10).

[10] P. Pawlowski, C. Graczykowski, J. Holnicki-Szulc, I. Ario, DEPLOYABLE SKELETAL STRUCTURES FOR SAFETY ENGINEERING, SMART, 6th ECCOMAS Conference on Smart Structures and Materials SMART2013, Trino, (2013).

[11] 有尾一郎・近広雄希・谷倉泉・小野秀一 ・中沢正利・中谷伸・山田公一・中村繁央 ・田中義和・椿 涼太・松本慎也・安達光太郎,モバイルブリッジによるライフライン復旧法,第7回インフラ・ライフライ ン減災対策シンポジウム講演集, CD-no10(2016.11) [12] 安達光太郎・有尾一郎・近広雄希,モバイルブリッジの架橋後の補剛・補強化手法,第7回インフラ・ ライフライン減災対策シンポジウム講演集, CD-no11 (2016.11)

土木学会中国支部緊急調査報告会 2018.12.10@広島国際会議場ひまわり





気象の概要

出所 広島大学河原能久教授

223.0

at the

Bittel

高梁

333. 身吉

開倉

上要曲

437.0

421.0) 382

下咎部 旭西,

353.0)

吉備中央

272.5

100.0

1



西日本から東日本にかけて停滞していた活発な梅雨前線に向 けて,沖縄付近で発生した非常に発達した雨雲の塊から大量 の水蒸気が西日本付近に流入。

AMeDAS局降水量(7月3日0時~8日12時)。瀬戸内側の広域に400mm以上の降雨を記録。









平成30年7月豪雨災害の特徴 広島・呉・東広島トライアングル



交通インフラの被害状況


交通ネットワークの被害



道路の被災状況

国土交通省中国地方整備局











465



災害後の交通量/交通容量の変化



緊急対応策

道路の復旧経緯

78	与色情和	高速道路 (事前通行規制) (被災による通行止め)		直轄国道	この(約	各交通機関との連携
//	24 AL 26 AC			(被災による通行止め)	その他	
5日 (木)		🚫 名神高速道路等	○ 山陽自動車道 中国自動車道等			
6日 (金)	<大雨特別警報の発令>		○ 岡山自動車道 九州自動車道等	⊗ 国道2号 国道31号等		
7日 (土)				🚫 国道56号等	・国道31号	
8日 (日)			東海北陸自動車道 東広島呉道路 尾道自動車道		・岡山県、倉敷市 🖌 災害法に基づく指定	
9日 (月)		第 全路線	中国自動車道 岡山自動車道		 ・広島県、広島市 ・県道呉平谷線 平谷交差点<信号秒数調整・滞留車対応・信号機改良> 	
10日 (火)		V	●東広島呉道路		 広島市・呉市周辺通れるマップの作成・公表開始 通行止めになっている山陽道(河内IC~広島IC)で物資輸送車を通行 可とする措置 ・中国道。回山道の料金調整による山陽道からの広域迂回の誘導 	
11日 (水)				▲国道31号	・国道185号 休山トンネル〜JR広駅 <信号秒数調整>	
12日 (木)	県県				 ・広島熊野道路<原付バイク通行制限解除> ・第1回広島県災害時渋滞対策協議会 	
13日 (金)			東海北陸自動車道 高知自動車道		- 広島呉道路の一部(仁保IC~坂北IC)の通行止めを解除 ・交通量抑制の呼びかけ実施 - 国道31号 JR坂駅~JR呉駅 <信号秒数調整>	
14日 (土)			10000000000000000000000000000000000000			
15日 (日)						
16日 (月)				国道56号	・第2回広島県災害時渋滞対策協議会	
17日 (火)			九州自動車道	B	1回帰道・米仏病汚進間の村主向陸による広島汚道超かつの仏魂以直的 527 ・通行したなっている広島只道路の一部(天応西〜呉、坂北〜坂南) で臨時輸送バスを通行可とする措置 「国道31号(広島段(~)現呉駅)広島残道路の一部をバス通行可能 新幹線(東広島駅)利用による広島〜員間の交通確保 主要渋滞箇所・4箇所業意文差点改良 第3回広島県2番防洗満均構協議会	 ・災害時緊急輸送パス、災害時緊急輸送船の運航開始 ・クレアライン線の増便
18日 (水)					 ・国道31号 坂IC入口交差点ほか5箇所<右折滞留車・バス優先対応> ・第4回広島県災害時渋滞対策協議会 	 広島呉道路のバス運行を 終日双方向に拡充
19日 (木)					・主要渋滞箇所 追加2箇所 緊急交差点改良	
20日 (金)			🖾 尾道自動車道		 第5回広島県災害時渋滞対策協議会 	
21日 (土)				▶ 国道2号	 ・直轄国道の通行止めはすべて解除 	 ・呉線沿線で代行バスの運行を開始
22日 (日)						
23日 (月)						 ・芸備線及び福塩線沿線で 代行バスの運行を開始
24日 (火)					 第6回広島県災害時渋滞対策協議会 	
25日 (水)						 ・呉線沿線で代行バスの運行を拡充
26日 (木)					・坂北IC料金所にバス専用レーンを設置	
27日 (金)						
28日 (土)					・東広島呉道路 阿賀IC出口 緊急交差点改良	
29日 (日)					・国道185号 先小倉交差点 <右折滞留車・バス優先対応>	
30日 (月)					・国道185号 先小倉交差点~JR広駅 <迂回路誘導看板設置>	・災害時緊急輸送船を
31日 (火)	1	1	\checkmark			

467

道路の復旧経緯

8月	気象情報	高速道路		直轄国道	2.0.00	タカ海機関しの法権
		(事前通行規制)	(被災による通行止め)	(被災による通行止め)	その他	各交通機関との連携
日 (水)					 第7回広島県災害時渋滞対策協議会 	
2日 (木)						 坂駅~海田市駅間運転再開。呉線沿線の代行バスの運行見直し
3日 (金)					・広島呉道路(坂北IC〜坂南IC) 企業の通勤バスを通行可とする措置	
4日 (土)						
5日 (日)						
6日 (月)						 ・福塩線(上下駅~府中間)で代行バスの 運行を開始 ・災害時緊急輸送船の運行を開始
7日(火)						 災害時緊急輸送船の運航を開始
8日 (水)			東九州自動車道			
9日(木)			 (残り広島呉道路) 11月中の復旧目途 		・国道31号坂町区間で平日朝の時間帯でバス・災害関係車両専用レー ン設置	
10日(金)						
11日 (土)						 ・呉線(三原~広間)で代行バスの運行開始
12日 (日)						
13日 (月)					・国道31号(坂IC北交差点〜坂町植田1丁目) バス専用レーンの指定 ・国道185号(休山トンネル) 都市間バス並行区間通行	
14日(火)						
15日 (水)						
16日(木)						
17日(金)						
18日(土)					・国道375号二級峡トンネル下 上段原橋13時30分通行止め解除	 瀬野駅~海田市駅間運転開始
19日(日)						
20日 (月)					 ・JR呉線代行バス(呉・坂間の各駅停車便)において「災害時バス位置 情報提供システム」の試行運転開始 	・広駅〜呉駅間運転開始 ・呉線(呉〜坂)の代行バスの運行変更
21日 (火)						 ・白市駅〜八本松駅間運転開始 ・山陽線(三原〜白市間)で代行バス運行 開始
22日 (水)						
23日 (木)						
24日(金)						
25日(土)						
26日(日)						
7日 (月)						
8日(火)						
9日 (水)						
60日 (木)						

フェリー・鉄道・バス輸送との連携

	交通モード						
実施日	フェ リー	鉄道	バス	事業主体	内容	備考	
7月17日	0		0	JR西日本	災害時緊急輸送バス、災害時緊急輸送船の運航開始 ※JR定期・回数券所持者	通行止めとなっている広島呉道路の一部区間を利用 ※広島呉道路の使用は、午前:呉→広島、午後:広阜→呉	
			0	広島電鉄	クレアライン線の増便	※広島宍道昭の使用16、「前・宍・広島、「夜・広島・宍	
7月18日 (水)			0		広島呉道路のバス運行を終日双方向に拡充		
7月21日 (土)			0	JR西日本	呉線沿線で代行バスの運行を開始 災害時緊急輸送バスは代行バスの運行開始に伴い運行終了	広~広島駅(直行)、呉~広島駅(直行)、呉~水尻駅~広島駅、 矢野駅~坂駅~広島駅	
7月23日 (月)			0	JR西日本	芸備線及び福塩線沿線で代行バスの運行を開始	芸備線:下深川駅〜三次駅、三次駅〜備後落合駅、備後落合駅〜 新見駅 福塩線:三次駅〜上下駅	
7月25日 (水)			0	JR西日本	呉線沿線で代行バスの運行を拡充	広島駅~呉駅	
7月30日 (月)	0			バンカー サプライ	災害時緊急輸送船「キャットクルーズ」を運航 ※あわせて連絡バスも運行	安浦駅 ~ 安登駅 ~ 川尻西港桟橋~(航路)~ 呉中央桟橋	
8月1日 (水)	0		0	JR西日本	災害時緊急輸送バス運行終了 呉線災害時緊急輸送船の運航終了		
8月2日 (水)		0		JR西日本	坂駅〜海田市駅間運転再開 呉線沿線の代行バスの運行見直し	代行バス(広駅⇔坂駅(直行)※、呉駅⇔坂駅(直行)、広駅⇔呉駅(各 駅)※、呉駅⇔坂駅(各駅)) ※広〜呉駅間での部分運転が開始される8/20までの運行	
8868			0	JR西日本	福塩線(上下駅~府中間)で代行バスの運行を開始		
(月)	0			さくら海 運	災害時緊急輸送船「さくら直行便」の運行を開始	天応浅橋~広島港浅橋	
8月7日 (火)	0			バンカー サプライ	災害時緊急輸送船「キャットクルーズ2」の運航を開始	仁方浅橋~(航路)~ 呉中央桟橋	
8月11日 (土)			0	JR西日本	呉線で代行バスの運行開始	三原駅~広駅	
8月18日 (土)		0		JR西日本	瀨野駅~海田市駅間運転開始		
8月19日 (日)			0	JR西日本	広駅~坂駅、広駅~呉駅の代行バス運行終了		
8月20日 (月)		0		JR西日本	広駅〜呉駅間運転開始 呉線沿線の代行バスの運行見直し	代行バス(広駅〜坂駅 → 呉駅〜坂駅)	
8月21日 (火)		0	0	JR西日本	白市駅~八本松駅間運転開始 山陽線で代行バス運行開始	代行バス(三原駅〜白市駅)	
8月22日 (水)	0			バンカー サプライ	災害時緊急輸送船「キャットクルーズ」、「キャットクルー ズ2」運行終了		
						資料)国土交通省調べ 18	



○平成30年7月豪雨災害<u>直後</u>、整備局や県、市、警察などで構成される「広島県災害時渋滞対策協議会」を設置し、道路の通行止め状況や渋滞状況、迂回路状況を共有し、渋滞緩和や交通量抑制のためのソフト・ハードの渋滞対策を検討・実施。

■開催状況 ^{第1回(7/12)~第7回(8/1)}





災害時BRT(Bus Rapid Transit)

呉高専 神田佑亮教授





道路ネットワークの復旧方針の検討

吉野 (広大)



470

まとめと今後の課題

主な調査結果

1.幹線交通ネットワークのリダンダンシー

<道路>

- 主要幹線道路(高速道路等)の迅速な復旧
- 広域迂回路の確保(山陽自動車道→中国縦貫自動車→山陰自動車道)
- く鉄道>
- 新幹線による山陽本線乗客の代替輸送

2.災害時交通マネジメント体制

- ・ 特例措置(緊急物資輸送車両,災害時BRTなど)の判断
- SNSなどを活用した、地域と時宜に沿った適応策
- 部門・機関を超えた方針の共有と連携・協力体制

3. 観測データ収集のための環境整備(オープンデータ)

- 常時交通量・速度観測:トラカンデータ, ETC2.0データ等に基づく迅速な検討
- 航空写真・降雨データ vs 交通関連ビッグデータの解像度の統一
- 平常時交通実態データ(都市圏PTデータ等)の必要性









第亚編 山口県

1. はじめに:災害の概要

平成 30 年 6 月 28 日以降の台風第 7 号や梅雨前線の影響により,西日本を中心とした全国的に広い範囲で記録な豪雨が発生した.6月 28 日から 7 月 8 日にかけての総雨量は,四国地方で 1,800 mm,東海地方で 1,200mm を超え,7月の月降水雨量平年値の 2~4 倍となるところがあった.さらに,48 時間雨量,72 時間雨量などが中国地方,近畿地方などの多くの地点で観測史上1位となった¹⁾.

政府の非常災害対策本部のとりまとめ(2018年10月9日17時現在)²⁰によると、この大雨による河川 氾濫、土砂災害により、山口県岩国市で死者2名.周南市で死者1名の被害が出た(表1-1).

その報告の中では、今回の豪雨によって山口県で発生したがけ崩れは 173 件で、そのうち最も多く発生したのは岩国市の 86 件、次いで周南市の 26 件であった. 土石流等に関しては 11 件で、岩国市が最も多く 6 件、次いで周南市が 3 件であった.

また,河川管理施設では島田川の河川堤防が周南市において決壊し,床上浸水が22戸,床下浸水が19 戸,135ha が浸水した.そのほかにも島田川流域では,本川・支川の越水や溢水により被害が出ている. また,土砂災害では土石流が山口県全体で11件発生し,死者3名,負傷者5名が出ている.がけ崩れは 山口県全体で173件発生し,負傷者が5名発生した.

さらに、山口県土木建築部の調べ(平成30年8月6日時点)によると、この豪雨による山口県全体での土構造物に対する被害は962箇所であり、その多くは河川・道路・砂防施設であった.また、これらの被害は岩国市で380箇所、周南市で148箇所であり、両市を合わせると県全体の被害箇所数の約6割を占めていた.

表 1-2 に山口県内のライフライン被害をまとめた.道路については山口県内の多数の区間で被災によ る通行止めが発生した(現在は解除).また,鉄道についても西日本旅客鉄道の山陽本線,岩徳線,錦 川鉄道錦川清流線が,被災によって運転休止が発生した(現在は運転再開).

以上のことから、平成 30 年 7 月豪雨によって、山口県南東部に位置する岩国市・周南市で被害が多発 していたといえる.

この災害に対して,山口大学工学部社会建設工学科教員を主として編成した調査団によって,山口県内 で発生した河川および土砂災害の現地調査ならびに災害発生メカニズムの解析が実施された.また,災 害をもたらした降雨量に関する解析が実施された.以下に,各員による現地調査の結果をもとに,河川災 害と土砂災害の概況を示すとともに,崩壊と降雨,地質との関係について検討した結果を述べる.なお, 本報告書は,速報としてまとめたものであり,数値等は今後の変わることがある.

	人的	被害		物的被害				
死者	行方不明者	負傷者 (重傷)	負傷者 (軽傷)	全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水
3	0	3	10	21	448	95	135	653

表 1-1 山口県の人的・物的被害(人)

区分	発生箇所	被害状況
電気	山口県内	約 3,100 戸停電(ピーク時)
水道	光市,周南市,岩国市,周防大島町	243 戸断水(ピーク時)
下水道	周南市	浸水によるマンホールポンプの
		機能停止3箇所
主要道路	中国自動車道,山陽自動車道宇部下関線,国道2	通行止め(現在は解除)
	号, 9号, 187号, 434号, 437号	
鉄道	JR 山陽本線:岩国~徳山, JR 岩徳線:岩国~櫛	運転休止(現在は再開)
	ヶ浜, 錦川鉄道錦川清流線 : 川西〜錦町	

表 1-2 山口県のライフライン被害

引用文献

 総務省消防庁応急対策室:平成 30 年 7 月豪雨及び台風第 12 号による被害状況消防機関等の対応状況 (第 58 報), http://www.fdma.go.jp/bn/e53c0e191d5cc01960e336b73c502b0d1f33dacd.pdf, (2018. 11 確認)

 非常災害対策本部:平成30年7月豪雨による被害状況等について(平成30年10月9日17:00現在), http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/301009_1700_h30typhoon7_01.pdf(2018.11 確認)

2. 調査団の概要

今回の豪雨災害発災害直後に、山口県を調査対象とした調査団を表 2-1 のように編成し、調査活動を 災害発生直後から開始した.初動の調査結果は、平成 30 年 7 月 27 日に開催した講演会「平成 30 年西日 本豪雨災害調査速報会~平成 25 年山口・島根豪雨災害から学ぶ~」(<u>http://ds.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~yakamats/Glocal/img/file6.pdf</u>)にて発表された.また、山口大学応用衛星リモートセンシング研究 センターにて被災地の衛星画像解析が実施され、土砂流出、浸水の状況がいち早く公開された (<u>http://yucars.eng.yamaguchi-u.ac.jp/news.html</u>).

			,
役割	名前	所属 (調査当時)	担当
団長	鈴木 素之	山口大学大学院創成科学研究科・教授	土砂災害
団員	清水 則一	山口大学大学院創成科学研究科・教授	土砂災害
団員	朝位 孝二	山口大学大学院創成科学研究科・教授	河川災害
団員	中田 幸男	山口大学大学院創成科学研究科・教授	土砂災害
団員	榊原 弘之	山口大学大学院創成科学研究科・教授	防災計画
団員・幹事	森 啓年	山口大学大学院創成科学研究科・准教授	河川災害
団員	赤松 良久	山口大学大学院創成科学研究科・准教授	河川災害
研究協力者	吉本 憲正	山口大学大学院創成科学研究科・准教授	河川災害
研究協力者	梶山 慎太郎	山口大学大学院創成科学研究科・助教	土砂災害
研究協力者	白水 元	山口大学大学院創成科学研究科・助教	土砂災害
研究協力者	川本 康司	山口大学大学院創成科学研究科・助教(特命)	土砂災害
研究協力者	大和田正明	山口大学大学院創成科学研究科・教授	土砂災害
研究協力者	太田 岳洋	山口大学大学院創成科学研究科・准教授	土砂災害
研究協力者	楮原 京子	山口大学大学院創成科学研究科・准教授	土砂災害
研究協力者	河内 義文	(株)ケイズラブ・代表取締役,山口大学非常	土砂災害
		勤講師	

表 2-1 土木学会中国支部災害調査団(山口グループ)

3. 調査報告

3. 1 気象状況

(1) 概要

台風7号が7月3日から4日にかけて東シナ海から対馬海峡を通過し日本海に進んでいった.台風7 号の影響で暖かく湿った空気が九州・山口地方に流れ込んでいた.図3-1-1(a)および(b)に示すように梅 雨前線は3日では北上していたが,4日午後には台風は温帯低気圧となり前線を伴うようになった.図3-1-1(c)に示すように5日未明には大陸から前線が伸びてきて,同日の午前には日本海上の低気圧からの 前線と一緒になり,長い梅雨前線となった.図3-1-1(d)および(e)に示すように6日の早朝では梅雨前線 は北部九州に位置し,北九州や山口県西部に豪雨をもたらした.その後,前線による豪雨は東へと移動し 6日夕方から7日未明にかけて山口県東部,広島県に豪雨が発生した(図3-1-1(c)参照).



図 3-1-1 7月4日~7月6日の地上天気図 1)

(2) 地上雨量計による降雨状況

山口県内の降雨状況として県西部の下関市と県東部の岩国市を代表として時間雨量の時系列を示す. 図 3-1-2 に観測所の位置を示す.図 3-1-3 は下関市(観測所は下関土木)における7月4~7日の降雨時 系列であり,図 3-1-4 は岩国市(観測所は玖珂)における7月4~7日の降雨時系列である.

下関市では台風7号が通過した3日から4日未明までに降雨があったが、大きな降水ではなかった.5 日の午後に梅雨前線による10mmを超える雨量があった.5日の日雨量は71mmであった.6日の明け方 から降雨が強まり午前 8 時の時間雨量は 56mm で あった.この時刻をピークに降雨は収まっていく. 4~7日の累積雨量は 271mm であった.

一方, 岩国市では下関市と同様5日から降雨が始まっているが,18時ころから雨は収まり始めた.5日の累積雨量は91mmであった.6日の明け方から再び降雨が始まったが10mm以下の降雨であった. 17~18時40mmを超える降雨があったが,一旦収まった.日付が変わり7日0時から3時まで再び強い降雨があった.3時の時間売り料は61.5mmであった.6日から7日にかけて降雨のピークが二回発生した.4~7日の累積雨量は483.5mmであった.



図 3-1-2 雨量観測所の位置





図 3-1-3 下関市(下関土木)の時間雨量時系列

図 3-1-4 岩国市(玖珂)の時間雨量時系列



図 3-1-6 7月6日の日雨量分布 (mm)



図 3-1-8 7月 5~7日の累積雨量分布 (mm)

7月5日日雨量の平面分布,6日の日雨量の平面分布,7日の日雨量の平面分布,5~6日の累積雨量の 平面分布をそれぞれ図 3-1-5,図 3-1-6,図 3-1-7,図 3-1-8に示す.

5日は瀬戸内海側で累積雨量が多く宇部市,防府市などで80mm以上となっている.また岩国市,下松市など県東で累積雨量が多くなっている. 6日では県西の下関市180mm以上となっているが県央では 累積雨量は少し小さくなっている.県東で再び累積雨量が多くなっている.図3-1-3,3-1-4で示したように県西は明け方から午前中にかけて豪雨がり,県東では夕方から豪雨となっている,

7日は県東において未明まで豪雨があったが午前中には降雨は収まっていた.平面分布図においても周南市以東で降雨があったが,それ以外の地域では降雨はほとんど無かった. 5~7日の累積雨量では県西

(特に下関市彦島)と県東で 300mm 以上の値となっている. 岩国市周東付近で 500mm の雨量となっており,山口県においても大きな豪雨であったことが分かる.

図 3-1-9 に 7 日午前 1 時 00 分のレーダーエコーを示す.線状降水帯が九州中部から北東方向に延びていることが分かる.強いエコーが山口県東部,広島県,岡山県にかけて見られる.図 3-1-7,図 3-1-8 において周南市,下松市の市境から岩国市にかけて降雨の等値線が直線的に延びている.これは降雨が線状降水帯に起因していたことが理由である.



山口県は平成17年(2005年)9月台風14号によって甚大な豪雨災害が発生した.ここでは比較のため2005年9月5~7日の累積雨量分布を図3-1-10に示す.この時も岩国市を中心に最大で500mmを超える累積雨量があった.両者とも県東部で大きな豪雨であったことが分かる.なお,2005年の降雨は台風性であったため直線的な降雨の等値線はあらわれていない.

今回の豪雨では岩国市獺越地区,岩国市上須通地区,周南市樋口地区で斜面崩壊が発生し,3名の犠牲 者が発生した. 5~7日の累積雨量分布図にそれら三か所を重ねたものを図 3-1-11に示す. 被災箇所は いじれも花崗岩地質でなおかつ累積雨量が480mmを超えていることが分かる.



図 3-1-10 2005 年 9 月 5~7 日の累積雨量分布 (mm)



図 3-1-11 7月 5~7日の累積雨量分布(mm)と斜面崩壊箇所

3. 2 河川災害

(1) 島田川の河川氾濫

1) 氾濫状況

島田川は山口県東部を流れる二級河川である. 岩国市周東町に源があり, 周南市熊毛地区を通し光市を 抜けて瀬戸内海に流れ込む.本川の全長は 34.5km, 流域面積は 269.5km² である.

今回の豪雨災害では堤防の決壊が一か所,崩壊が二か所発生した.それに加えて溢水・越水により氾濫 が発生した.浸水戸数は約480戸,浸水面積は約370ha (3.7km²)であった.図 3-2-1-1 に堤防および護 岸の被災箇所の位置を示す.被災箇所①は堤防の崩壊(堤防法面が崩れている状態)箇所で下流端からお よそ15kmの位置,②は堤防の決壊(崩壊が進み堤防が切れた状態)箇所で下流端からおよそ14.5kmの 位置,③は堤防の崩壊箇所で下流端からおよそ9.5kmの位置,④は護岸の崩壊で下流端からおよそ4km の位置である.それぞれの被災箇所の状況を写真3-2-1-1 に示す.



(a) 被災箇所①(15K000)②(14k500)



(b)被災箇所③(9K500)



(c) 被災箇所④(4K000)図 3-2-1-1 島田川堤防・護岸被災箇所³⁾





(a)被災箇所①







(c)被災箇所③

(d)被災箇所④

写真 3-2-1-1 被災箇所の状況(7月9日撮影)4)

2) 島田川の水位



図 3-2-1-2 島田水位観測所と勝間雨量局の位置



図 3-2-1-3 島田川の水位時系列

島田川の代表的な水位の時系列変化として,図 3-2-1-2 に示す島田水位観測所の水位と勝間雨量観測 所の雨量を図 3-2-1-3 に示す.

7月5日0時より10mm程度の降雨があり5日は断続的にほぼ一日中降雨があり日雨量は116mmであったが,水位は水防団待機水位2.4mを下回っていた.6日の早朝より再び降雨が始まり16時までは10mm前後の降雨であった.午前11時頃に水防団待機水位を超えた.15時までに氾濫注意水位3.0mを超え17時頃までに避難判断水位3.4mを超えた.17時の時間雨量は48mmとなり18時には氾濫危険水位を超えた.7日午前2時の時間雨量は59mmであり、5~7日で最大の時間雨量を記録した.その後降雨は収まっていき午前6時に時間雨量が0mmとなった.水位は午前7時でピークとなり5.91mを記録した.その後水位も下がっていき23時には水防団待機水位を下回った.他の水位観測所も概ねこれと同様の傾向を示した.

引用文献

- 1) 気象庁ホームページ: <u>http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/wxchart/quickmonthly.html</u>
- 2) デジタル台風:動画アーカイブ: <u>http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/archive/radar/intensity/</u>
- 3) 山口県河川課資料(私信)をもとに作図
- 4) 山口県河川課資料(私信)

(2) 獺越地区の土石流および河川氾濫

1)調査地および水害の概要

山口県岩国市周東町獺越地区では土石流と河川氾濫による複合災害が発生した.図 3-2-2-1 に示すように被災地区は島田川の支流の東川の上流に位置している.島田川は山口県東部を流れる流域面積269.5km²,延長34.5kmの二級河川である.島田川の支流の東川については図3-2-2-2 に示すように浸水 想定区域図(100年に1回程度起こる大雨が降ったことにより東川がはん濫した場合に想定される浸水の 状況を、シミュレーションにより求めたもの)が山口県によって作成・公開されている¹⁾.今回被災した 獺越地区はこの想定区域外に位置している.



図 3-2-2-1 島田川流域と東川流域



図 3-2-2-2 東川の浸水想定区域図 1)



図 3-2-2-3 に獺越地区に最も近い三瀬川の雨量観測所の 2018 年 7 月 3 日~9 日にかけての雨量の時系 列変化を示す.7月5日4時および7月7日に時間雨量 4mm を超える雨が降っていることがわかる.土 石流や河川氾濫は7月6日~7日のまとまった降雨によって,7月7日の午前中に発生したと考えられる.

2) 現地調査内容

現地調査は災害発生直後の7月9日および7月11日に図3.2.2-4に示す調査範囲で実施した.調査で は踏査による被災状況の記録を行うとともに、UAVを用いて対象域の撮影を実施した.UAVはDJI社製 Phantom 4 Pro および Mavic Pro を使用した.また、GNSS(Global Navigation Satellite System/全球測位衛 星システム)を用いて、不動点(大きな岩や、陸上の構造物、道路上の白線など)において測量を行った. 測量結果はUAVにより撮影された静止画を使用してSfM-MVSにてDSM(Digital Surface Model)とオル ソ画像を作成する時にGCP(Ground Control Point)として反映させた.



図 3-2-2-4 調査対象域

3) 現地調査結果

図 3-2-2-5 に獺越地区で発生した土石流の UAV 空撮画像を示す.また,図 3-2-2-6 に土石流と河川の 合流部の UAV 空撮画像から作成したオルソ画像を示す.土石流は標高 505m の源頭部から約 950m とい長 い距離を流れ下り,東川に流入している.また,図 3.2.2-6 からわかるようにこの土石流の流入によって 河道内が土砂に覆われ,土砂と流木は対岸まで達している.



図 3-2-2-5 土石流の UAV 空撮画像



図 3-2-2-6 土石流と河川の合流部のオルソ画像

また、大量の流木が河道内に供給され、これらの流木は下流の橋脚に挟まり(図 3-2-2-7)、流木がダ ムとなり道路部に迂回流が発生した.なお、この橋脚には上流部の崩壊した橋梁の橋桁も挟まることに より(図 3-2-2-7)、さらに流水が阻害されたと考えられる.この流れは、周北小学校の校庭を削り(図 3-2-2-7)、その下流で再び河川に流入した.このことから、獺越地区では土石流によって運ばれた土砂・ 流木が河川に流入したことによって、河川の氾濫が発生したと考えられる.



図 3-2-2-7 獺越地区の調査対象域のオルソ画像および被災状況

4) 獺越地区の土石流解析

獺越地区の土石流解析には、iRIC²⁾の Morpho2DH ソルバーを用い、地形データには、国土地理院の数 値標高モデルの 10m メッシュデータを用いた.図3-2-2-8 に計算対象領域と崩壊場所を示す.赤枠で囲 った解析対象範囲において、5m×5mの計算格子を生成した.河床材料は 1cm の一様粒径とした.崩壊の 源頭部は、被災状況調査でおこなった UAV による空撮画像を参考に決定した.

図 3-2-2-9 に土石流が発生してから 10 秒後,50 秒後,100 秒後,150 秒後の流速分布を示す.また, 図 3-2-2-10 に土石流の静止直後の地盤の変動量を示す.再現計算の結果,土石流が崩壊箇所から谷に沿 って規模を拡大しながら流下し、東川に流れ込んでいることが分かる.土石流の流下距離はおよそ950m であり、崩壊開始から140 秒後に獺越地区の集落に到達し、145 秒後に東川に土砂が流入し始めた.土石 流は東川に到達するまでの平均で 6.55m/s の速度で流下しており、山地の木々を巻き込みながら一気に河 川に流入したと考えられる.



図 3-2-2-8 計算対象領域と崩壊箇所



(a) 10秒後

(b) 50秒後



図 3-2-2-9 土石流が発生してから(a) 10 秒後, (b) 50 秒後, (c) 100 秒後, (d) 150 秒後の流速分布



図 3-2-2-10 土石流の静止直後の地盤の変動量

5) 東川の流出解析

獺越地区の氾濫計算に必要となる獺越地区に流入した流量を推定するために、東川の流出解析を実施した.本解析には、降雨流出氾濫解析モデルである RRI(Rainfall-Runoff-Inundation)モデル³⁾を用いた.解析対象は東川流域(図 3-2-2-1)であり、雨量は5ヶ所(玖珂,玖珂土木,寺山,三瀬川および菅野ダム)の雨量観測所のデータを用いた.計算対象期間は2018/6/28 0:00~2018/7/9 0:00 である.地形データは国土地理院の数値標高モデルの5mメッシュデータ、5mメッシュデータがない部分については、10mメッシュデータを用いて作成した.計算格子は30m×30mとし、マニングの粗度係数は0.035とした.



図 3-2-2-11 川上観測所の水位と流量の時系列



図 3-2-2-11 に川上観測所の水位と流量の時系列を示す. RRI モデルは平水時を対象としていないため 平水時や雨量の少ない時間については過小評価であるが,対象の降雨に対する水位,流量の変動は実測 と概ね一致していることが分かる. ピーク時に着目すると,実測値のピークは7月7日3時で水位は 2.240m,流量は225.68m³/s であるのに対して,計算値のピークは7月7日4時で水位は2.077m,流量は 208.61m³/s であり,十分な精度であることがわかる. この結果より得られた獺越地区に流入した流量を図 3-2-2-12 に示す. なお, 獺越地区には東川本川と土石流が発生した谷の2ヶ所からの流入があり,それ ぞれの流量を推定している.

6) 獺越地区の氾濫流の再現計算

獺越地区の氾濫解析には、iRIC²⁾の Nays2DH_Flood ソルバーを用いた.図 3-2-2-13 に獺越地区のオル ソ画像と解析対象範囲、東川と支流の流入位置を示す.地形データは調査対象域の DMS から標高値を抽 出して作成した.上流端流量および横流入量には、東川の流出解析により算出した、獺越地区に流入した 流量の時系列を用いた(図 3-2-2-12).解析対象範囲において 1m×1mの計算格子を生成し、粗度係数は 道路が 0.01、それ以外を 0.03 とした.橋脚に集積した流木を考慮するために、橋脚の部分に水を通さな い障害物を設定した.



図 3-2-2-13 獺越地区のオルソ画像と解析対象範囲



(a) 7月5日 18時

(b)7月6日18時

(c)7月7日 4時

図 3-2-2-14 (a)7月5日18時,(b)7月6日18時および(c)ピーク時7月7日4時の水深分布



(a) 7月5日 18時

(b)7月6日 18時

(c)7月7日 4時

図 3-2-2-15 (a)7月5日18時,(b)7月6日18時および(c)ピーク時7月7日4時の流速分布

図 3-2-2-14 と図 3-2-2-15 に 7 月 5 日 18 時, 7 月 6 日 18 時およびピーク時の 7 月 7 日 4 時の水深と流速の分布を示す.7月5日 18 時の時点で既に流木の影響で道路部に迂回流が発生し周北小学校まで浸水しており,流木が集積している橋のすぐ横で流速が速くなっていることがわかる.7月6日 18 時の時点で周北小学校の校庭に水が流れてはじめている.ピーク時の7月7日4時の時点で大きく流路幅が広がっており,オルソ画像の水が流れた痕跡に概ね一致している.流速については流木が集積している橋の

右岸側が特に速くなっており、大規模な浸食が発生した場所と一致している.

7) まとめ

獺越地区では土石流によって運ばれた土砂・流木が河川に流入し、橋脚に流木等が挟まり流水を阻害 することによって、河川の氾濫が発生したと考えられる.土石流の発生箇所は土石流特別警戒区域に位 置しており、今回のように土石流が直接河川に流入することが想定される河川区間では大量の土砂・流 木が流入することを想定した河川管理が必要であることが示唆された.

引用文献

- 1) http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18600/bousai/soutei_higashi.html
- 2) 河川シミュレーションソフト iRIC, <u>http://i-ric.org/ja/</u>.
- 3) 佐山敬洋, 岩見洋一: 降雨流出氾濫(RRI)モデルの開発と応用, 土木技術資料 56-6, pp1-4, 2014.

3.3 土砂災害

(1) 岩国市玖珂町国道2号の被災状況

岩国市玖珂町の国道2号(距離標 398K850~398K950 付近)では,図3-3-1-1 に示す3箇所でがけ崩れおよび土石流が発生し崩土が国道を覆った.このため国道は7月7日6:00~7月17日17:00の間,全面通行止めとなった.



図 3-3-1-1 土砂災害発生箇所の位置

図 3-3-1-2 に被災地周辺の地質図を示す. 被災地にはジュラ紀の玖珂層群・泥岩が分布し, その下位に は広島花崗岩類が広く分布する. また周辺には複数の断層が見られ, 被災地は特に岩国断層と近接した 箇所となっている.



図 3-3-1-2 被災地周辺の地質図(提供:地質調査所 1:50,000 地質図)

①距離程 398K850 付近の被災状況

距離程 398K850 付近では,幅約 50m,斜面長約 20m,比高差約 10m の規模で地すべりおよび表層崩壊 が発生した.被災地の起点側は、切土勾配1:0.8程度の切土法面で、法面保護工としてモルタル吹付工が 施工され、擁壁工の嵩上げおよびストンガードの更新がなされていたが、表層崩壊が発生したため崩土 が国道の上下線とも塞いだ(図 3-3-1-3~4).一方,終点側は切土勾配 1:1.2 程度の切土法面で,起点側 より低い擁壁工とストンガードが施工されていた. この終点側では地すべりが発生したもののストンガ ードで停止し、道路面は被災を免れている(図 3-3-1-5).

なお、地すべり頭部には高さ 5~6m 程度の滑落崖が認められるが、その終点側ではコケやシダ類の成 長が見られることから、かつて滑動した地すべりが豪雨に伴い再滑動したものと考えられる(図 3-3-1-6).



図 3-3-1-3 被災地起点側の様子



図 3-3-1-4 起点側表層崩壊面の様子



図 3-3-1-5 被災地終点側の様子



図 3-3-1-6 終点側頭部滑落崖の様子

②距離程 398K900 付近の被災状況

距離程 398K900 付近では,幅約 10m,斜面長約 20m,比高差約 10mの規模で表層崩壊が発生した(図 3-3-1-7~8). 被災箇所は、勾配が 30°程度の斜面で、わずかに凹状地形を呈し雑木林に覆われていた. 現地調査を行った時点で、国道上の崩土や倒木は既に撤去されていたが、その痕跡から崩壊した崩土は 国道を超えて下方斜面へまで達したものと思われる.





図 3-3-1-7 被災地の様子

図 3-3-1-8 表層崩壊面頭部の様子

③距離程 398K950 付近の被災状況

距離程 398K950 付近では,幅約 10~20m,斜面長約 100m,比高差約 50m の規模で土石流が発生した (図 3-3-1-9~10).被災箇所は,勾配が 25°程度の斜面で,明瞭な谷地形を呈し雑木林に覆われていた. 崩壊面の頭部には,多くのパイピングホールが認められたことから,過剰な地下水が斜面上方から供給 されたものと思われる(図 3-3-1-11).現地調査を行った時点で,国道上の崩土や倒木は既に撤去されて いたが,流下した土砂は 398K900 付近と同様に国道下方斜面へまで達したものと思われる.



図 3-3-1-9 被災地の様子(提供:国土交通省山口河川国道事務所)



図 3-3-1-10 土石流中腹部の様子

図 3-3-1-11 土石流頭部の様子

(2) 笠戸島崩壊、岩国土石流発生渓流の被災状況

山口県内の雨量の状況を、図 3-3-2-1 に示す。図(a)は笠戸、図(b)は周東町三瀬川の結果である。なお, 比較のため,同日の広島および呉で観測した降雨記録、また、2009年の防府の結果,2014年の高瀬の結 果を示す.両観測所の結果も、7月5日の未明から降り始め、7月7日朝までの連続した雨量が記録され た。笠戸島雨量観測所では、7月6日17時に最大時間雨量64mmに達し、その時点での累積雨量は295mm であった。災害発生は7月6日の夕方ごろとみられる.三瀬川(観測点)では、7月5日4時に時間雨量 42mm、7月7日2時にも時間雨量41mmを記録した.新聞報道などから、2回目の最大時間雨量を記録し た時に、災害が発生したものとみられる。






(g) 雨量観測箇所 図 3-3-2-1 高瀬と 2009 年の防府で観測された時間雨量及び累積雨量

図 3-3-2-2 に有効雨量と有効雨量強度の関係を示す. 図中には, 瀬尾・船崎によって示された領域 I ~ III も合わせて示す. なお, 降雨データとしては, 先に示した高瀬の結果と 2009 年の防府と真尾の結果を示す. 2018 年の結果は、2009 年および 2014 年の記録と異なり、比較的に低い有効雨量強度の雨が長時間降ったことによることがうかがえる.



図 3-3-2-2 有効雨量と有効雨量強度の関係

①一般県道 173 号笠戸島線の被害

笠戸島での被害の位置図を図 3-3-2-3 に示す。県道 173 号線上で4箇所の被害が発生している。県道に ライフラインも埋設されているために、路面全体の崩壊が発生すると、東南部の日常生活に大きな影響 を及ぼすため、復旧には十分な対策を講じる必要がある.被害状況を図 3-3-2-4~図 3-3-2-6 に示す。深渕 地区の被災は、左側の車線部が左斜め下方に数十センチ移動し、クラックが発生。斜面崩壊の様相を呈し ていた。写真でもわかるように、伸縮計を山側に設置し、変状の観測が行われていた。亀裂が、すべりの 上部に相当することが懸念されていることと考えられ、復旧に特に注意すべき箇所である。



図 3-3-2-3 笠戸島での被害の位置図(山口県道路整備課より情報提供)



図 3-3-2-4 一般県道 173 号笠戸島線の被害の全景:左側が法面の崩壊(鋼矢板による土留め)箇所 (①)、中央と右側が道路基礎の斜面崩壊(②)



図 3-3-2-5 一般県道 173 号笠戸島線尾郷地区①の被災状況(山口県道路整備課より情報提供)



図 3-3-2-6 一般県道 173 号笠戸島線尾郷地区②の被災状況(山口県道路整備課より情報提供)



図 3-3-2-7 県道 173 号笠戸島線深渕地区の被害

②岩国市獺越地区の被害

被害は、久杉川(土石流発生渓流)に沿って発生している。図 3-3-2-8 は位置図を、図 3-3-2-9 はシーム レス地質図から当該地区を取り出したものである。花崗岩地質およびチャートであることが見て取れる。



図 3-3-2.8 久杉川の全景(北緯 34°07′37.64″、東経 132°00′16.99″~北緯 34°07′50.04″、 東経 132°00′35.43″、Google Earthに踏査経路を表示)



図 3-3-2-9 発生場所の地質(10 万分の1日本シームレス地質図 HP から切取り、加筆)

土石流が発生した渓流の出口が、河道に直交している。流出した土砂は、河川に流れ込み、川の流れに 沿って下流に向かった。下流 200m 地点にあった橋に土砂や流木が堰き止められ、流れが閉塞されること で、浸水したと考えられる。この影響で渓流の出口の川向の酒造会社も被害をうけた。

土石流の出口から 300m は、植林地域であった(図 3-3-2-10)



図 3-3-2-10 植林地域を土石流が通過(前方にみえるのは酒造会社の建物)

図 3-3-2-11 および図 3-3-2-12 にしめすように、渓流は、途中で二手にわかれているが、左岸側からのみ 土石流が発生している。左岸側の渓流の傾斜は見通しで 33°、振幅幅は 8m 程度であった。



図 3-3-2-11 右岸側の支流の状況:これからの土砂流出は確認できない



図 3-3-2-12 左岸側の渓流の様子:見通しで、33°程度の傾斜。



図 3-3-2-13 左岸側の渓流の侵食幅を確認:8m 程度と推察

図 3-3-2-14 は、2014 年の広島豪雨災害で発生した土石流の発生個所を調査した結果について示している^{1,2)}。源頭まで調査できてはいないが、調査した範囲での最大傾斜は 33 度程度であり、土石流発生源頭 に近い結果となっていた。また、図 3-3-2-15 は花崗岩地域の危険渓流の推定侵食幅³⁾を示している。こ



図 3-3-2.14 土石流発生源頭の傾斜角と集水域の関係 1),2)



図 3-3-2.15 花崗岩地域の危険渓流の推定侵食幅 3)

引用文献

- 1) 猪俣陽平:土石流源頭部の地形解析と崩壊メカニズムの解明,修士論文,2018.
- Yohei Inomata1 and Yukio Nakata, Topographical characteristics and model test behaviour for occurrence region of debris flow at Hiroshima in August 2014, 16th Asian regional conference on ISSMEGE, Taiwan, 2019.
- 3) 村上豊和ほか、渓流現地調査による地質毎の侵食深および侵食幅の統計的評価, 平成 30 年度土木学 会年次学術講演会講演集

(3) 下松市と光市の境および熊毛郡田布施町の被災状況

山口県南東部では、下松市で48時間雨量394mm(7月5~6日)を記録し、これに伴って多くの斜面崩壊、土石流、地すべりが発生した。斜面崩壊等が発生した地域の地質は、図3-2-3-1に示すように領家 変成岩の片麻岩および花崗閃緑岩が分布する。以下に、代表的な事例を示す。

①JR 山陽本線に沿った斜面崩壊(下松市,光市境界)

崩壊が発生した斜面は海岸に沿った場所に位置する.現在は海側が埋め立てられているが,古くは海 食崖で,長く波浪・風雨に曝され,また地形勾配も平均40°と非常に急であることから,緩みが顕著で植 生も乏しい状況で,小規模崩壊が繰り返されていた.崩壊斜面の西側には沢部が隣接している.また,当 該斜面の近傍では今回の豪雨で小規模崩壊が発生している.

近年,県を主体とする治山対策工事が進んでおり,法枠,グラウンドアンカー工など対策工の設置が進 んでいるところであった.これに対し,比較的堅硬な岩盤が露頭していた被災斜面は,対策の優先順位が 低いものとされていたが,この豪雨によって片麻状花崗閃緑岩の流れ盤傾斜の節理に沿った岩盤崩壊が 発生した(写真 3-2-3-1).写真より,崩土には電柱が巻き込まれていることがわかる.また,崩土の一部 は国道 188 号線に達していた.崩壊の規模は高さ 70m,長さ 80m,最大幅 15mと見込まれ,流出した土 砂・岩塊がJR山陽本線を閉塞し,上部斜面の不安定化が解消されるまで長期間に渡って山陽本線は不通 となった(写真 3-2-3-2).この崩壊の後に,7月 30 日に台風 12 号による降雨によって斜面崩壊が再発し た.また,9月の降雨により小規模な崩壊が数回発生した.



図 3-2-3-1 下松市と光市および田布施町の調査箇所と周辺の地質 (基図は国土地理院地図,産業技術総合研究所地質図を使用した)



写真 3-2-3-1 JR 山陽本線の斜面崩壊の崩壊斜面(上)と西側に隣接する沢(下)



写真 3-2-3-2 JR 山陽本線の斜面崩壊による線路および側道の土砂閉塞

②農道のり面に発生した地すべり(田布施町西山潤田)

地すべりが工事中の農道の切土斜面内で発生した.切土斜面の構造は法尻にブロック積工(高さ 4m) が設置され,法面は1:1.2勾配で切土されていた.地すべりは図 3-2-3-2の断面図に示すように,道路面 から高さ15m,幅70m,厚さ4m程度と非常に幅広の形状で発生している.これは,写真 3-2-3-3 でみる と,初期は向かって左側から発生し,その後,右側に側方波及したためである.斜面を構成する地質は領 家変成帯中の花崗閃緑岩およびミグマタイトであり,ボーリング調査を実施した結果,図 3-2-3-2 に示す ように最大N値20程度と深層風化しており,軟岩を示すものは確認できなかった.地すべり発生時は初 動した右側部分に多くの湧水が観察された.降雨の乏しい11月に斜面右側で実施したボーリング孔にお いても,湧水が観察されたので,降雨に伴う地下水の供給が地すべり発生の誘因の一つになったものと 推定される.



図 3-2-3-2 地すべりの断面図





写真 3-2-3-3 農道のり面で発生した地すべりの遠景(上)と下部の近景(下)

(4) 岩国市周東町の被災状況

岩国市周東町川上から獺越に向かう県道5号線において,写真3-2-4-1に示すように,斜面崩壊と護岸 崩壊が発生し,道路が寸断された.崩壊した斜面はやせ尾根地形を呈しており,崩壊面がくさび状になっ ていることから,地質構造的な弱面を有していたとみられる.周辺の植生はスギである.崩壊面にはガリ ー侵食痕が見られたので,湧水点が斜面内にあったと推察される.また,この崩壊斜面の道路を挟んだ河 川護岸が崩落していた.斜面崩壊による土砂は道路に堆積したが,路面には崩壊による変状が出ていな かった.この箇所以外にも河川屈曲部の護岸が崩落していたので,この護岸崩落は河川増水の影響によ るものと考えられる.斜面崩壊と護岸崩落は偶然同じ箇所で発生したといえる.



写真 3-2-4-1 県道 5 号における斜面崩壊(上)と護岸崩落(下)

次に、崩壞箇所と地質の関係について整理する.山口県南東部にはジュラ紀付加体の玖珂層群,領家変 成岩および白亜紀花崗岩類が主に分布する.玖珂層群はチャートブロックを含む砂泥質岩で、領家変成 岩は玖珂層群が高温型変成作用を受けた白亜紀の変成岩で、主に珪質片麻岩と泥質片麻岩から構成され る.白亜紀花崗岩は、領家帯花崗岩と広島花崗岩(山陽帯花崗岩)に区分され、領家帯花崗岩が南に、広 島花崗岩が北に分布する.領家帯花崗岩はしばしば片麻岩と同方向に連続する面構造をもち、上記の農 道のり面の地すべりでみられたようなミグマタイトを形成することもある.岩質は花崗閃緑岩質~花崗 岩質まで変化する.広島花崗岩は一般に塊状で、黒雲母花崗岩が卓越する.しばしばカリ長石の大きな結 晶を含む.このような地質状況において、崩壊箇所の8割以上は花崗岩で、上述の領家帯花崗岩と広島花 崗岩の両地質体で崩壊箇所の頻度に差は認められない(図3-2-4-1,図3-2-4-2).領家帯花崗岩の場合、全 体にマサ化が進行し、片麻岩と一緒に崩れる場合もある.一方、広島花崗岩の分布域では、沢筋に露出す る花崗岩にマサ土化した部分がほとんどなく、河床には崩落または流下した花崗岩塊が堆積していた. 獺越で発生した土石流で見られたように、斜面の岩塊が崩れ、それが流下して土石流化したとみられる. この地域の土石流の状況は広島県呉市で見られたような細粒分を含む大量の土砂が発生した状況とは異 なる.



図 3-2-4-1 岩国市における崩壊箇所(崩壊箇所は国土地理院空中写真より判読したもの, 基図は産業技術総合研究所地質図を使用した)



図 3-2-4-2 岩国市の各地質における崩壊箇所数

4. まとめ

山口県内の被害状況等に関する調査研究結果を以下のように要約する.

- 1) 平成 30 年 6 月 28 日以降の台風第 7 号や梅雨前線の影響により,西日本を中心とした全国的に広 い範囲で記録な豪雨が発生した.
- 2) 島田川においては,堤防の決壊が一か所,崩壊が二か所発生した.それに加えて溢水・越水により 氾濫が発生した.
- 3) 獺越地区では久杉川(土石流発生渓流)に沿って発生している.土石流によって運ばれた土砂・流 木が河川に流入し,橋脚に流木等が挟まり流水を阻害することによって,河川の氾濫が発生したと 考えられる.土石流の発生箇所は土石流特別警戒区域に位置しており,今回のように土石流が直接 河川に流入することが想定される河川区間では大量の土砂・流木が流入することを想定した河川 管理が必要であることが示唆された.
- 4) 山口県南東部の岩国市,周南市において,がけ崩れ,土石流が多発し,特に岩国市周東町,周南市 においては土砂災害により人的・物的被害が発生した.
- 5) 岩国市玖珂町の国道2号(距離標 398K850~398K950 付近)では、に示す3箇所でがけ崩れおよび土石流が発生し崩土が国道を覆った.
- 6) 笠戸島での被害は、県道 173 号線上で4箇所の被害が発生した.
- 7) 下松市と光市の境ではJR山陽本線の斜面が崩壊し、山陽本線が不通になった.また、その周辺で 崩壊が発生した.田布施町においては地すべりが発生するなど、県南部では散発的に土砂災害が発 生した.
- 8) 県道 5 号線沿いでは河川護岸が崩落し,同じ箇所で斜面崩壊が発生するなどして,山間部では道路の寸断が発生した.
- 9) 山口県南東部には、ジュラ紀付加体の玖珂層群、領家変成岩および白亜紀花崗岩類が主に分布する.岩国市では起こった崩壊箇所の8割以上は花崗岩であった.また、白亜紀花崗岩類は、領家帯花崗岩と広島花崗岩に区分されるが、両地質帯で崩壊箇所の頻度に差は見られなかった.

謝辞:本調査結果には地盤工学会,土木学会地盤工学委員会,日本応用地質学会,砂防学会などの各学会 と連携して遂行したものが含まれている.現地調査に関する情報は国土交通省中国地方整備局山口河川 国道事務所,被害データは山口県土木建築部砂防課から取得した.ここに記して,関係各位に謝意を申し 上げる.

2018年7月西日本豪雨災害調査報告書

平成30年12月10日

編集者	公益社団法人 土木学会中国支部 緊急災害調査対応委員会 委員長 清水 則一
発行所	公益社団法人 土木学会中国支部 〒730-0011 広島市中区基町10番3号 広島県自治会館 TEL(082)222-2376 FAX(082)222-2496
ご注意	当該資料内容を複写もしくは、他の出版物に 転載する場合は、必ず土木学会中国支部 あるいは著者の許可を得てください。