

平成26年8月 広島豪雨災害調査報告書

2015 年 5 月

目次

1. 災害の概要と調査団	1
1. 1 災害の概要	1
1. 2 水工学委員会災害調査団	2
1. 3 本報告書の位置づけ	3
1. 4 災害軽減に関する行政の動き	3
2. 豪雨および気象場の特徴	5
2. 1 降雨状況	5
2. 2 豪雨をもたらした気象場の特徴	11
2. 3 まとめ	15
3. 河川災害の特徴	17
3. 1 河川災害の概要と現地調査	17
3. 2 水位ハイドログラフ	17
3. 3 太田川本川	19
3. 4 三篠川	20
3. 5 根谷川	23
3. 6 山本川	30
3. 7 八木用水	33
3. 8 まとめ	35
4. 土砂災害の特徴	36
4. 1 全体の概要	36
4. 2 現地調査結果	39
4. 3 室内試験	57
4. 4 まとめ	61
5. 土石流の特徴と数値解析	63
5. 1 はじめに	63
5. 2 広島市安佐南区八木三丁目	63
5. 3 数値シミュレーションの概要	65
5. 4 結果と考察	66
5. 5 おわりに	68
6. おわりに	69

1. 災害の概要と調査団

1. 1 災害の概要

2014年8月19日夜から20日明け方に広島市安佐南区から安佐北区にかけて集中豪雨が発生した。線状降水帯が形成され、3時間降水量が200 mmを超える局地的豪雨をもたらし、同時多発的に大規模な土石流が発生した。その土石流は急傾斜地に立地する住宅地を襲い、土石流災害としては過去30年間の日本で最多となる死者74名を含む甚大な災害が発生させた。広島市は1999年6月29日に6.29豪雨災害と呼ばれる大規模な土砂災害を経験したが、今回の被害はそれを上回った。また、河川災害としては、8月20日4時20分頃に太田川の支川である根谷川が可部三丁目付近で溢水氾濫した。

広島市災害対策本部のまとめによれば、図1-1に示すように、土砂災害が166箇所（土石流107箇所、崖崩れ59箇所）で発生した。また、道路・橋梁、河川堤防等の公共土木施設の被害も1,333件にのぼった。

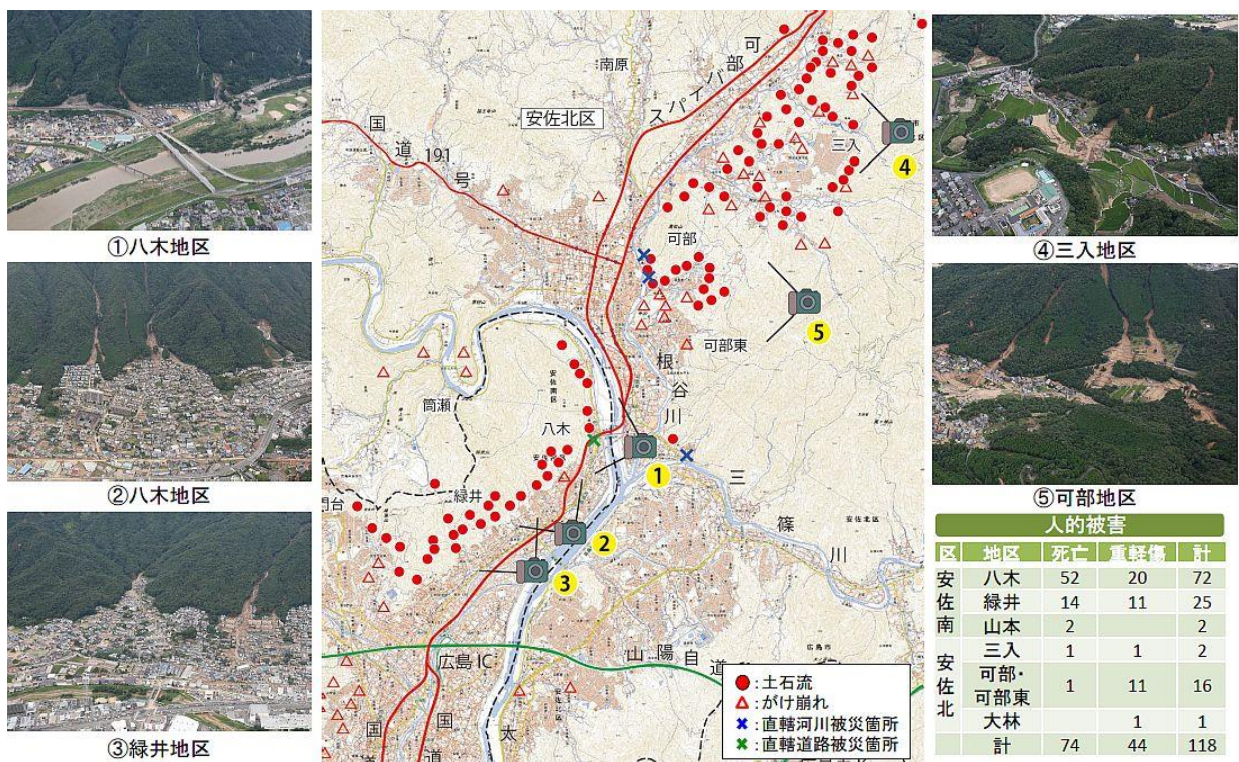


図1-1 土砂災害発生箇所の位置¹⁾

この土砂災害による行方不明者の捜索は約1か月間に及び、安佐南区と安佐北区での死者は74人、重軽傷者は44人に上った（表1-1参照）。国土交通省によると、今回の土砂災害による人的被害としては、1983年7月に島根県西部で87人が死亡・行方不明となった豪雨（昭和58年7月豪雨）による土砂災害以来の大きな人的被害であった。また、表1-2に示すように、広島市における住家被害も大きく、4,100棟以上が浸水被害を受けた。さらに、電気、ガス、電話、上下水道、交通機

関（JR，路線バス，高速道路）などのライフラインも大きな被害を受けた（表1-3参照）²⁾。

この土砂災害では，避難勧告の対象範囲が広く（ピーク時に 68,813 世帯，164,108 人），実際に避難所に避難した人はピーク時に 904 世帯，2,354 人であり，避難も長期に及んだ。

表1-1 人的被害

区	地区	死亡	重軽傷	計
安佐南区	八木	52	20	72
	緑井	14	11	25
	山本	2	0	2
安佐北区	三入	1	1	2
	可部・可部東	5	11	16
	大林	0	1	1
	計	74	44	118

表1-2 住家被害（広島市）

区	全壊	半壊	損壊	床上浸水	床下浸水	計
安佐南区	100	84	92	846	2,278	3,279
安佐北区	32	38	72	318	784	1,230
西区	1	0	7	2	18	28
中区，安芸区，佐伯区	0	0	3	0	0	3
計	133	122	174	1,166	3,080	4,540

表1-3 ライフライン被害

区分	発生箇所	被害状況
電気	安佐南区，安佐北区	6,900戸停電（ピーク時）
水道	安佐南区，安佐北区，西区	2,662戸断水（ピーク時）
下水道	安佐南区，安佐北区，西区	48箇所被災
JR可部線	可部駅～横川駅	8/20～9/31 運転見合わせ
JR芸備線	三次駅～広島駅	8/20～8/21 運転見合わせ

1. 2 水工学委員会災害調査団

今回の豪雨災害発災直後に，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た。調査中に，水工学委員会から連絡をいただき，調査団員を拡充し，表1-4に示す調査団員で活動を行った。その後さらに，土木学会本部から地盤工学会との合同調査団に加わって調査を進めるようにとの指示を受け，合同調査団として調査報告等を行った。

水工学委員会災害調査団の活動として，8月27日広島YMCAでの合同緊急調査団発足と緊急

調査結果の記者会見，9月15日広島市安佐北区民ホールでの水工学委員会災害調査団の打合せ，10月8日広島国際会議場での調査報告会の開催と記者会見，2015年3月10日早稲田大学での河川災害シンポジウムでの調査報告を行った。

表1-4 水工学委員会災害調査団

役割	名前	所属（調査当時）	執筆担当
団長	河原 能久	広島大学大学院工学研究院・教授	第1, 3, 6章
団員・幹事	赤松 良久	山口大学大学院理工学研究科・准教授	
団員	田中 健路	広島工業大学環境学部地球環境学科・准教授	第2章
団員	竹林 洋史	京都大学防災研究所・准教授	第5章
団員	黒川 岳司	呉工業高等専門学校環境都市工学分野・准教授	
団員	吉田 圭介	岡山大学大学院環境生命科学研究科・准教授	
団員	永野 博之	八千代エンジニアリング(株)・主任	
団員	椿 涼太	広島大学大学院工学研究院・助教	

1. 3 本報告書の位置づけ

水工学委員会災害調査団は，平成26年広島豪雨災害合同緊急調査団としての活動成果を調査報告書²⁾としてとりまとめた後，土石流の実態をより正確に理解し，減災に役立てることを目的として土石流の数値解析を行った。そこで，調査報告書²⁾後の新しい情報を追加して水工学委員会災害調査報告書としてまとめることとした。ただし，土砂災害が今回の災害の主たる部分を成すため，加納誠二教授（呉工業高等専門学校）にはお忙しい中で土砂災害の特徴（第4章）を執筆していただいた。

1. 4 災害軽減に関する行政の動き

平成26年広島豪雨災害合同緊急調査団報告書の作成後，国・県・市において今後の防災・減災に取り組みがなされた。主なものを以下に記載する。

(1) 8.20 豪雨災害における避難対策等検証部会

この災害における避難に関して，気象庁からの大雨警報（土砂災害，浸水），洪水警報，土砂災害警報情報が発表され，市民からの発災の通報があったにもかかわらず，広島市からの避難勧告の発令は4時30分になったことが指摘された。それを受けて，広島市は「8.20 豪雨災害における避難対策等検証部会」を設置し危機管理体制の検証を行い，「今回と同様な急激な気象の変化，深夜の災害発生に対応するためには，どのような避難対策を行うべきか」という観点からの提言をまとめた³⁾。

(2) 土砂災害防止法の改正

土砂災害防止法は、1999年に広島市等で31人が死亡した土砂災害をきっかけに、2001年に施行された。この法律は、都道府県が基礎調査をし、警戒区域や特別警戒区域を指定すること、警戒区域では避難体制づくりを義務づけ、特別警戒区域では宅地開発を規制するものであった。しかし、広島市安佐北区や安佐南区では危険箇所の大半が警戒区域等に指定されていなかった。

今回の土砂災害を受けて、国は土砂災害防止法の改正を行った（平成26年11月19日付けで公布、平成27年1月18日施行）。そこでは、土砂災害の恐れがある警戒区域を指定する前に実施する基礎調査について、都道府県に結果の公表を義務づけるとともに、基礎調査が進んでいない都道府県に対し、国土交通相が是正を求めることも明記している。また、都道府県が気象庁と共同で出す土砂災害警戒情報を市町村長と住民に伝えることを義務づけ、避難勧告の解除などで国が自治体に助言すること、市町村地域防災計画に避難場所や避難経路を明示することを盛り込んでいる。

(3) 「復興まちづくりビジョン」

広島市は平成26年度末に復興ビジョン⁴⁾をとりまとめ、公表した。そこでは、中長期的な視点に立って、防災・減災のための施設整備など被災地域のまちづくりの骨格とその実現に向けた実施方針を説明している。

参考文献

- 1) 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所：平成26年8月20日豪雨広島土砂災害，21p., 2014.
- 2) (公社)土木学会・土木学会中国支部，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.
- 3) 8.20豪雨災害における避難対策等検証部会：平成26年8月20日の豪雨災害避難対策等に係る検証結果，72p., <http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1420607688252/index.html>.
- 4) 広島市：「復興まちづくりビジョン」の策定について，<http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1417435125869/index.html>.

2. 豪雨および気象場の特徴

2. 1 降雨状況

(1) 地上雨量に基づく降雨状況

広島県内 410 地点の雨量観測データを基に作成した、1 時間雨量の分布を図 2-1、図 2-2 に示す。一連の降水系は、8 月 19 日 19 時頃から 8 月 20 日 00 時頃までの前半と 8 月 20 日 00 時以降の後半に大別される。前半の降雨（図 2-1）では、廿日市市・大竹市を中心とした広島県南西部の沿岸域で発達し、線状降水系の発達とともに降雨域が広島市内へと延びていった。前半の降雨では、廿日市市役所で 46mm(19:20~20:20)、広島地方气象台で 45.5mm(21:20~22:20)で、50mm を超える 1 時間雨量を記録した地点はなかった。土石流等の被害が集中した広島市安佐北区・安佐南区では、8 月 19 日の降り始めから 20 日 00 時までの積算雨量は、安佐南区祇園山本で 66mm を記録したほか 30mm~60mm 程度であった。広島県南西部沿岸で発達した降雨は 23 時頃から弱まり、20 日 00 時には、広島市北西部から廿日市市の北部の山間部にかけて 1 時間雨量 20mm 以下の降雨がされたほかは、広島市中心部から安佐北区・安佐南区の範囲ではほとんど降雨が観測されなかった。

上述の山間部で発生した降水系が東進しながら急速に発達し、20 日 1 時~4 時に広島市安佐北区・安佐南区を中心とする領域に停滞した（図 2-2）。線状降水帯は短軸幅 10~15km、長軸幅は最大約 100km に及んだ。降水系の中心となった広島市安佐南区・安佐北区では、時間の経過とともに

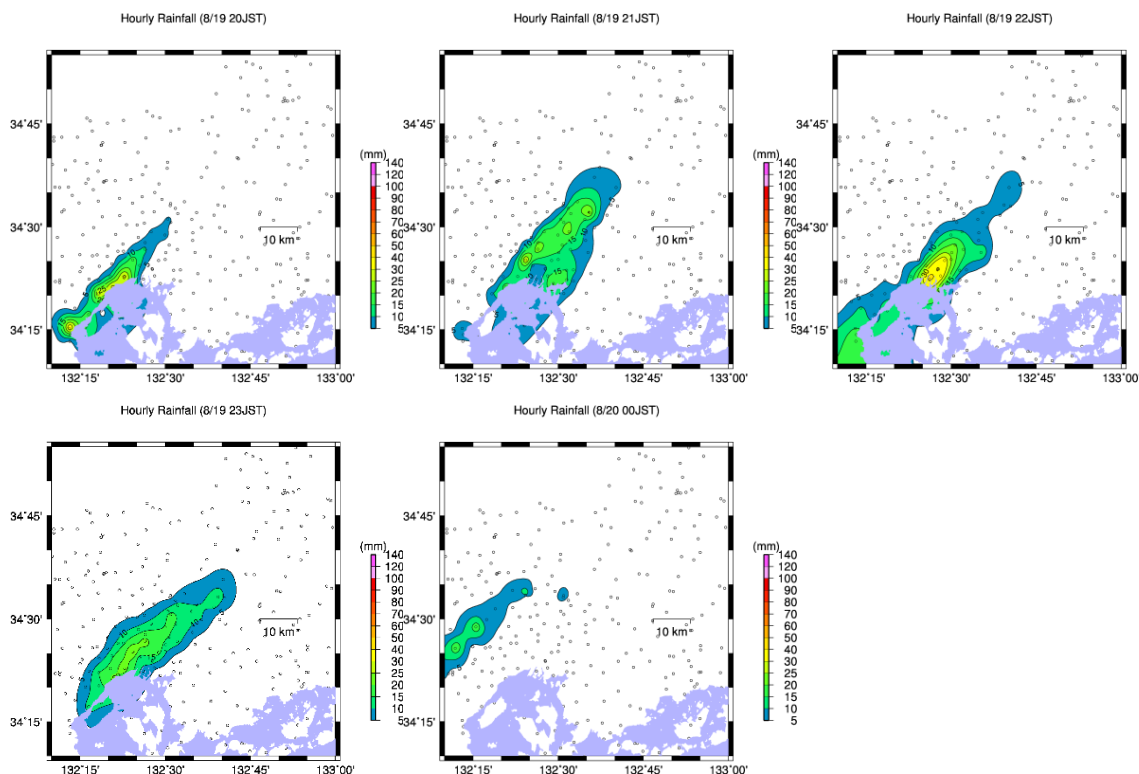


図 2-1 広島県内の毎時雨量分布の変化(8/19 19:00~8/20 0:00)

に降雨が激しくなり、20日3時～4時の時間帯で、安佐南区高瀬、安佐北区役所、上原、三入、三入東の5地点で1時間雨量100mmを超える猛烈な雨を観測した。

地上雨量観測より求めた20日1:30～4:30の3時間雨量および19日0:00～20日24:00の48時間雨量の分布を図2-3に示す。3時間雨量は安佐北区役所、三入、三入東、上原の4地点で200mmを超えたほか、3時間雨量150mm以上の範囲は上記4地点を含む約8km×約15kmの局地的な範囲に集中していた。3時間雨量150mm以上の範囲と48時間雨量200mm以上の範囲はほ

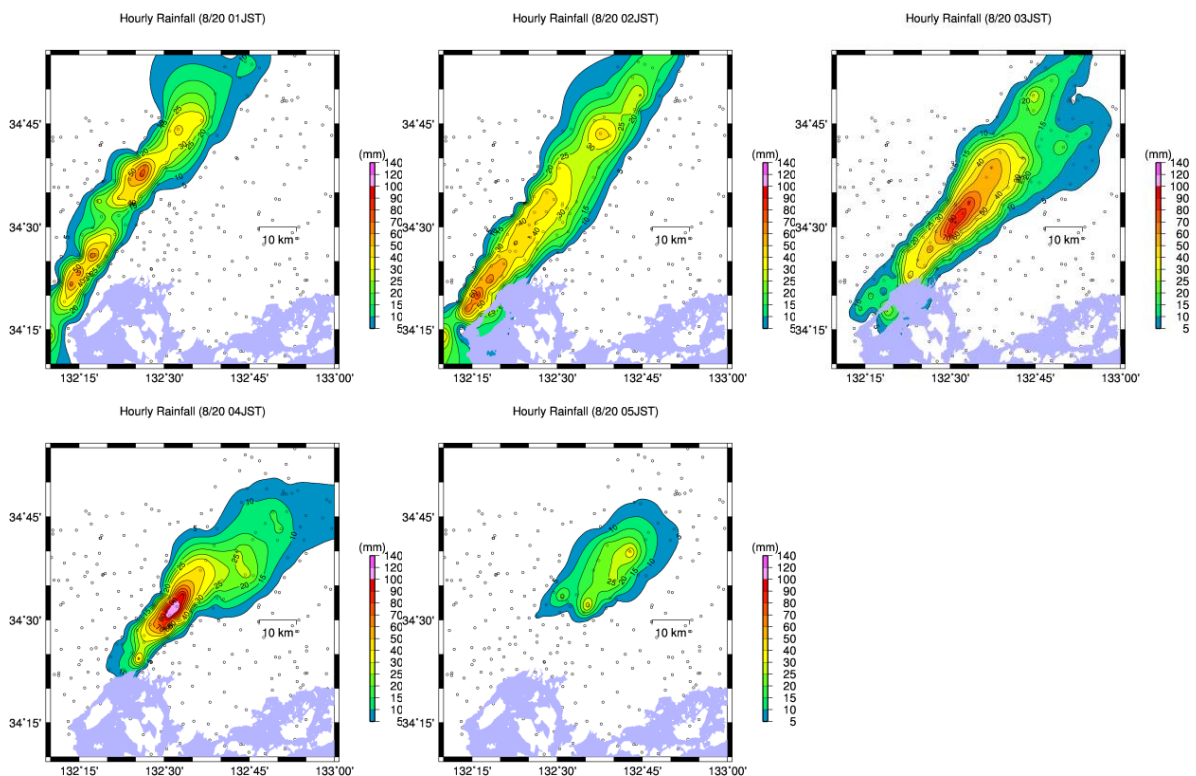


図 2-2 広島県内の毎時雨量分布の変化 (8/20 0:00～8/20 5:00)

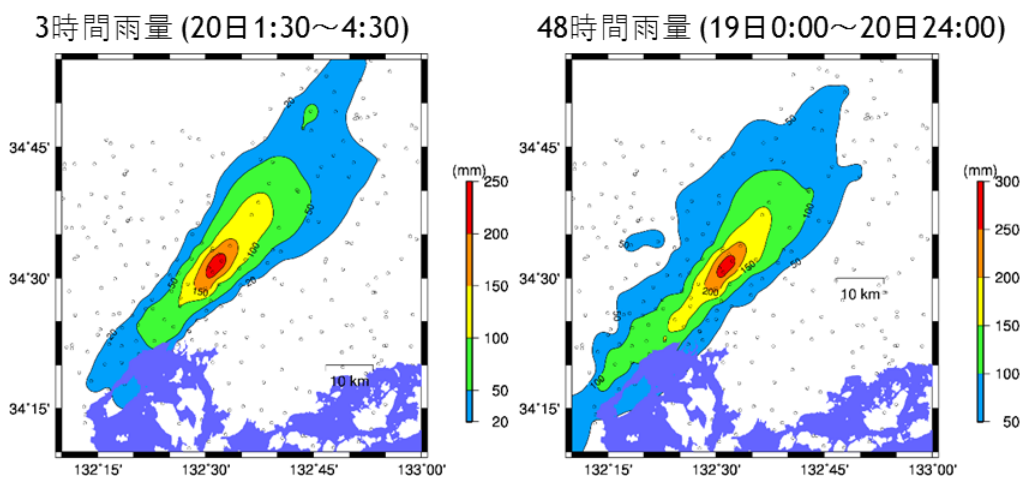


図 2-3 8月20日1:30～4:30の3時間雨量および8月19日～20日の48時間雨量の分布

ぼ同じ位置にあり，土砂災害が集中した範囲とほぼ一致する．被害が集中した安佐南区山本から安佐北区三入までの地域の雨量観測点と代表的な地点の降雨量の時系列を図 2-4 に示す．

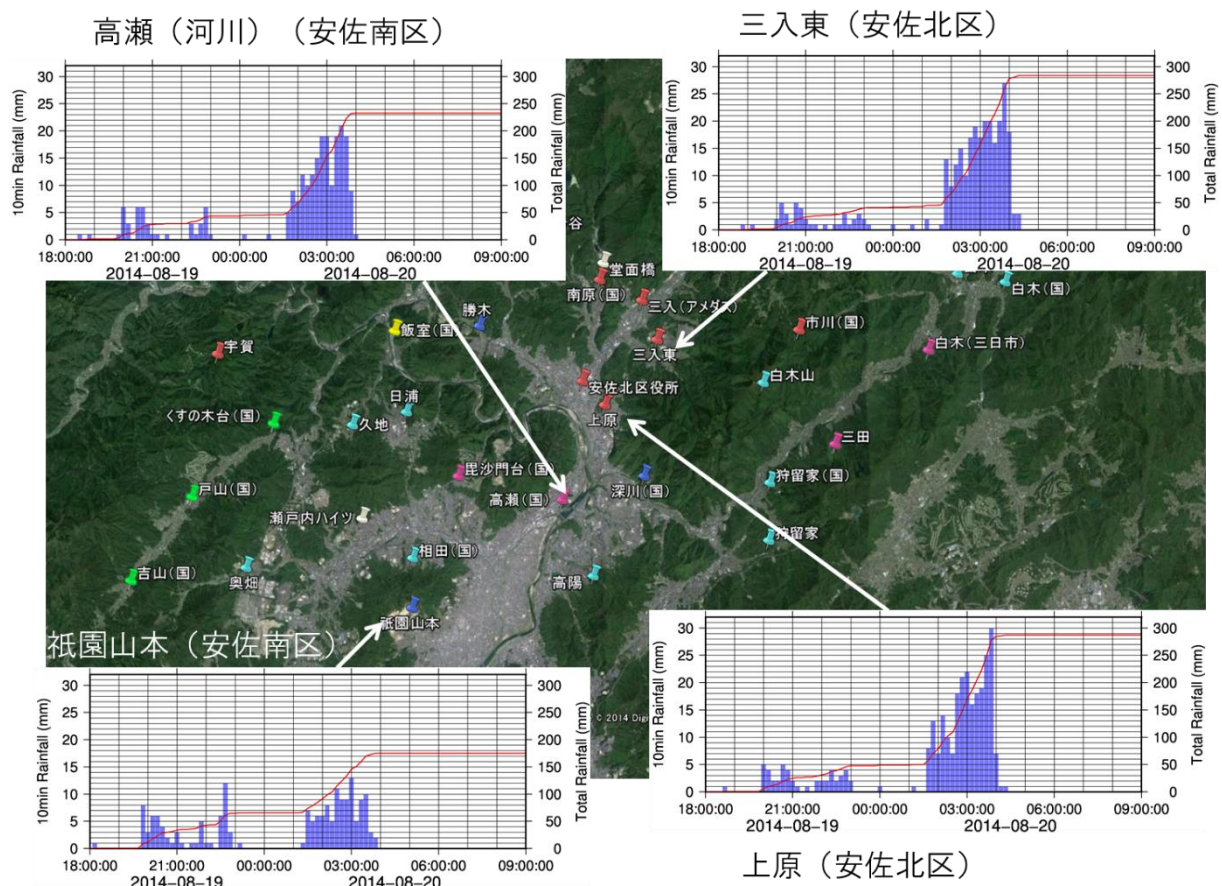


図 2-4 広島市安佐北区・安佐南区の雨量観測局の位置および線状降水系上の観測局の雨量時系列（棒グラフ：前 10 分雨量(縦軸右目盛り)，折れ線：降り始めからの積算雨量(縦軸左目盛り)）

(2) 積乱雲群の発達

気象庁レーダー全国合成 GPV データ（気象庁提供）を用いて，広島県南西部を中心とした降雨強度分布を示したものを図 2-5 に示す．8 月 19 日 19 時頃に山口県南東部の玖珂上空に発生した降水セルが，一連の線状降水帯の発達の発生点となった．最初に形成された降水帯を Line A とすると，Line A の 10km 南側の柳井市上空に降水セルが 8 月 19 日 19 時過ぎに発生し，Line A に南側に並行して線状降水帯 Line B が徐々に発達した．同日 20 時までは，先行して発達した Line A の方が Line B よりも降雨が強かった．その後，Line B の発達に伴い Line A において降水帯南側からの下層水蒸気の供給が減少したため，Line A は南西側での子雲の形成が抑えられ，線状の構造が崩れ，残された降水セルが Line B の北西側で合流し，最終的には 1 本の線状降水帯 Line B' として 19 日 23 時過ぎまで持続したと考えられる．

19 日 23 時 30 分頃には，Line B' の衰退とともに，Line B' の南西側に新たな線状降水帯 (Line C)

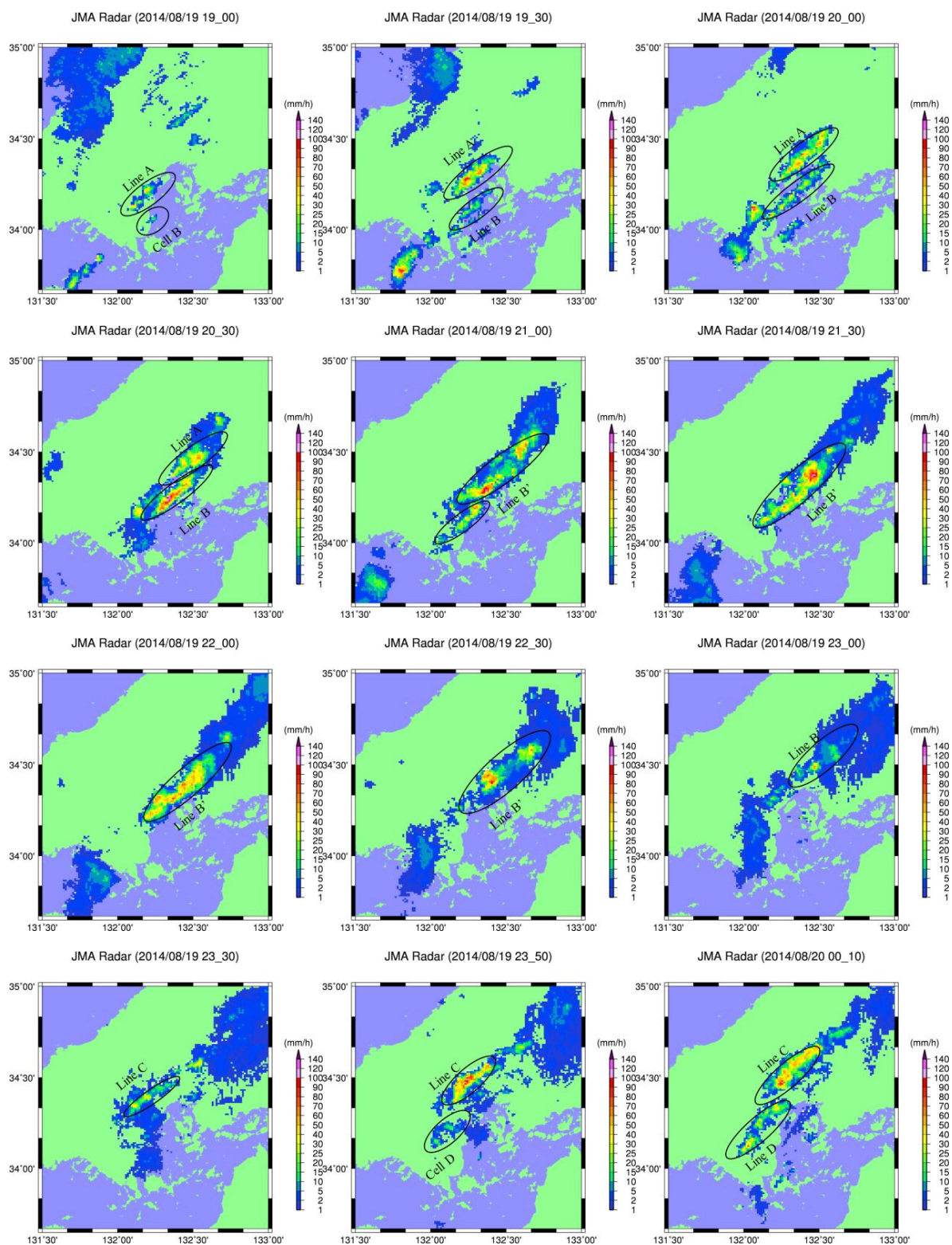


図 2-5 気象庁 C-BAND レーダーで観測された降水系の時間変化

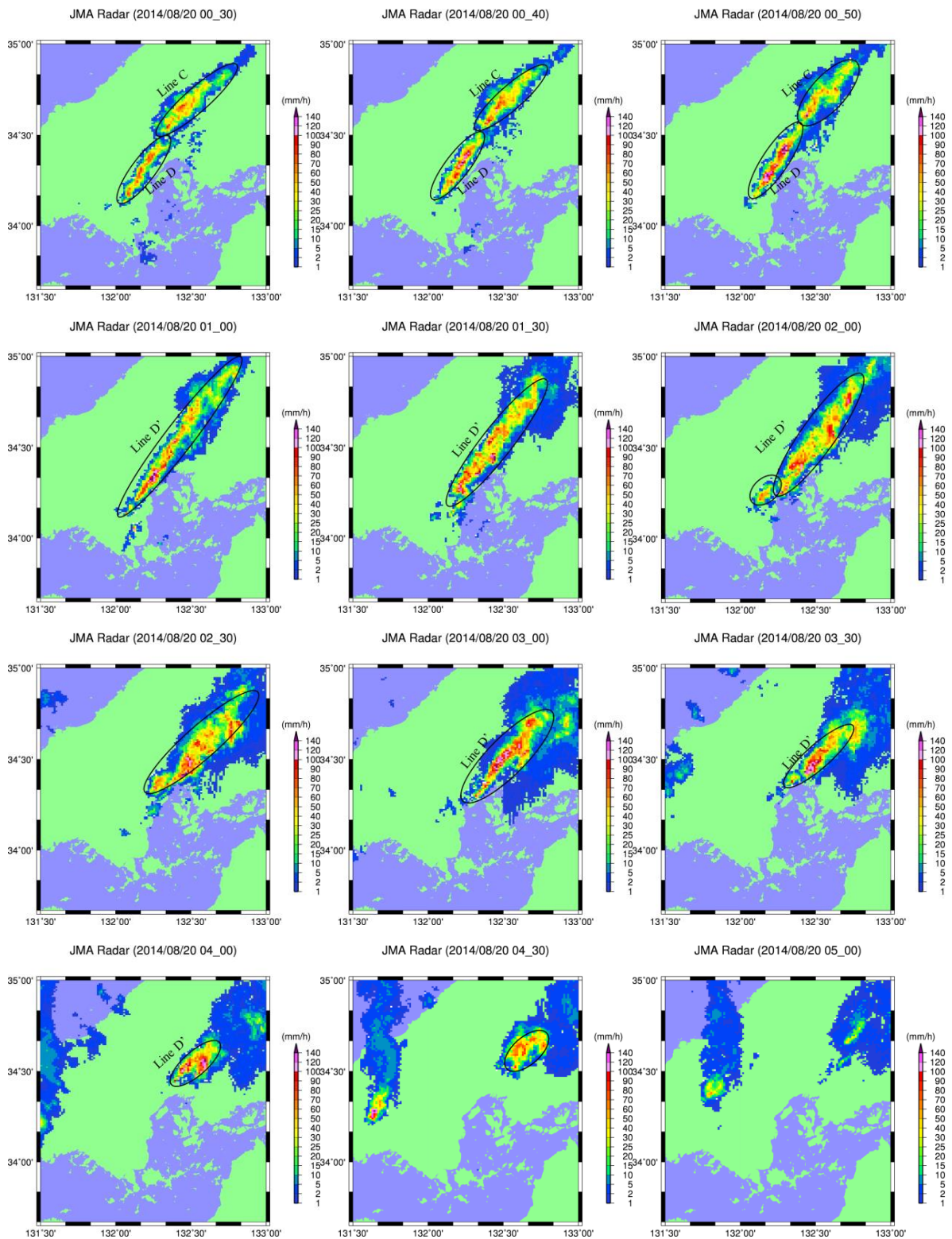


図 2-5 気象庁C-BANDレーダーで観測された降水系の時間変化(つづき)

が形成し、発達しはじめた。その後に、Line C の約 15km 南側に降水セル(Cell D)の発生とともに、降水帯 Line D が形成・発達しはじめる。Line C は降水帯全体が北東方向に移動しながら発達し、Line C の南西端と発達中の Line D が接近・合流し、最終的には長軸方向の長さが 100km を超える 1 本の長い線状降水系となった(Line D')。Line D'は風上側の南西端側から徐々に縮退したが、降水帯中心部に位置する広島市安佐南区から安佐北区にかけての区域では、降雨強度が 100～160mm の雨域が 20 日 4 時過ぎまで断続的に発生した。20 日 4 時を過ぎると、Line D'の線状構造が崩れ始めるが、Line D'の南東側で発達した雨雲と共に団塊状の降水セルを形成し、その後に北東進しながら徐々に衰退していった。

以上より、8月19日～20日の間に少なくとも4本の線状の積乱雲群が発達・合流しながら広島市上空を通過した。特に19日23:30過ぎに始まった積乱雲群の発達・合流によって、3時間降水量 200mmを超える記録的大雨が生じた。1つの線状降水帯に対して、そのすぐ南側(10～15km)で新たな線状降水帯が作られ、1対の降水帯ができる。このうち、北側の降水帯の風上側からの水蒸気供給が南側の降水帯によって阻まれ、北側の降水帯では風上側での子雲の形成が困難となり、風下側に移動しながら発達する降水セルとその南側にある降水帯の風下側の先端部とが合流し、統合された1本の降水帯として発達し、その後徐々に減衰していく。Line A, B では Line Aが衰退しながら合流し1本の降水帯 Line B'が出来上がったが、Line C, Dでは両者が同程度に発達しながら、Line CがLine Dの風下側に移動するような形で合流した。

(3) 確率雨量解析と過去の同規模の大雨

アメダス三入観測所の1976年～2013年の期間の毎時雨量観測データを基に、年超過確率規模を算定した。算定には財)国土技術開発センター開発の水文統計ユーティリティ(ver. 1.5)¹⁾を使用し、毎年分布13種類の確率モデル関数から、SLSC(50%)値が0.04以下となる関数のうち、Jackknife推定値が最小となるものを選定した。また、SLSC値が0.04以下となる関数が存在しない場合、SLSC値が最小となる関数を選定した²⁾。表2-1は三入観測所の1時間雨量、3時間雨量、6時間雨量、24時間雨量の算出結果を示す。継続時間6時間以内の雨量に限ると、三入観測所での年超過確率規模は400年を大きく上回る結果となった。

同様に、広島地方気象台の雨量観測データを基に算定した結果を表2-2に示す。広島地方気象台は、観測開始以降現在の広島市中区(～1935年)から広島市南区江波(1935～1987年)、広島市中区八丁堀(現在地)(1987年～)と所在地が移転していることに注意を要する。しかしながら、広島地方気象台は線状降水系の中心部が停滞した時間帯が8月19日の21時～23時の間に限ら

表 2-1 三入(気象庁・アメダス)における確率雨量

地点名 (対象期間)	継続 時間	確率分布	年超過確率雨量(mm)							観測値 (mm)	年超過確 率
			30年	50年	80年	100年	150年	200年	400年		
三入 (気象庁) (1976年～ 2013年)	1時間	岩井法 ^{※1}	56.7	60.6	64.2	65.9	68.9	71.1	76.4	101.5	400年以上
	3時間	Gumbel	89.0	94.3	99.2	101.6	105.8	108.8	116.0	217.5	400年以上
	6時間	GEV ^{※2}	125.2	132.8	139.6	142.8	148.6	152.7	162.2	227.5	400年以上
	24時間	GEV	221.0	232.3	241.9	246.1	253.4	258.3	269.2	257.0	150～200年

※1 SLSC=0.45, ※2 SLSC=0.067

表 2-2 広島地方気象台における確率雨量

地点名 (対象期間)	継続 時間	確率分布	年超過確率雨量(mm)							観測値 (mm)	年超過確 率
			5年	10年	30年	50年	100年	200年	400年		
広島 (気象庁) (1889年～ 2013年) ^{※1}	1時間	Gumbel	44.4	51.7	62.8	67.9	74.7	81.6	88.4	46.5	5～10年
	3時間	LN3Q ^{※2}	69.0	82.2	104.2	115.1	130.6	146.9	164.3	66.5	5年未満
	6時間	GEV ^{※3}	91.2	108.0	136.9	151.7	173.3	196.9	222.8	67.0	5年未満
	24時間	LN3Q ^{※2}	153.5	179.6	220.4	239.6	266.1	293.3	321.3	78.5	5年未満

※1 3時間, 6時間, 24時間雨量は 1939～1944年, 1961年～1975年を除く。

※2 対数正規分布 3 母数クォンタイル法 (3時間雨量のSLSC=0.068, 24時間雨量のSLSC=0.052) ※SLSC=0.119

れ, 1時間雨量での年超過確率は5年～10年の間と推算されたほかは, 3時間以上の継続雨量は5年未満となった。広島地方気象台の過去の観測で 1926年9月11日の豪雨により, 3時間雨量225mm, 6時間雨量336mmを記録しており, 安佐南区山本地区で土石流が発生し24名が犠牲となった。1926年の極端事例が含まれる分, 最適と判断された確率分布関数のSLSC値が全般的に大きい結果となっている。今回の降水系が10数kmの範囲で移動して, 広島地方気象台で三入と同程度の雨量を観測したと仮定した場合にも, 表2-2の年超過確率雨量の値より, 継続時間6時間以内の年超過確率は少なくとも400年以上と評価できる。

2. 2 豪雨をもたらした気象場の特徴

(1) 広域的な気象場の特徴

今回の豪雨をもたらした気象場について, 大規模な場の特徴に触れながら述べる。図 2-6 は 8月 19 日 21 時(いずれも日本時間)の地上天気図(気象庁提供)を示す。海面付近では, 太平洋高気圧の外縁に沿うように, 日本の南の太平洋上から暖かい湿った空気(暖湿空気)が流れ込む場となっていた。太平洋側からの暖湿空気は, 西日本に接近する際に, 日本海上空から中国大陸南岸に延びる停滞前線に対してほぼ平行に流れ込み, 前線の南側に南北幅 200～300km 程度の湿った空気の帯が作られた。以上の2つの点については, 梅雨前線帯で集中豪雨が発生する場合と同様の構造である。それに加えて, 停滞前線の南西端の中国南東岸では, 南シナ海から北上した熱帯低気圧が前線に合流して温帯低気圧化した。この低気圧の東側では, 南シナ海側からの湿った空気が前線に向かって流れ込むような場となっている。

上空の気象場(図 2-7)では, 特に上空 5km 以上の対流圏中～上層で, 太平洋上の高気圧とチベット上空の高気圧の間に南北に深い気圧の谷が生じ, 偏西風が大きく南北に蛇行していたことが大きな特徴として挙げられる。地上天気図でみられる停滞前線は, 上空の気圧の谷の南東側に前線の走向にほぼ平行に延びている。停滞前線の南側では海面付近の下層から高度 10km 以上の対流圏上層まで湿潤空気が流れ込んでいたとみられる。広島上空は, 対流圏上層まで延びた湿潤空気の帯の南縁付近に位置し, 積乱雲の活動が特に活発になりやすい範囲に位置していた。

今回の広島豪雨が発生する前の先行的なイベントとして, 7月下旬から8月上旬にかけて台風 11 号, 12 号が西日本に上陸および接近し, 高知・徳島両県を中心に総雨量 2000mm を超える大雨が起こったほか, 台風通過後の 8月 16 日～17 日にかけて, 京都府福知山市, 兵庫県北部, 岐阜県

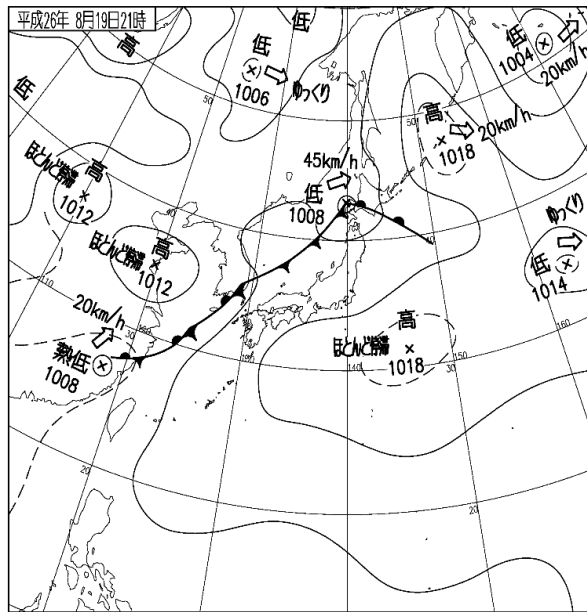


図 2-6 2014 年 8 月 19 日 21 時の地上天気図 (気象庁提供)

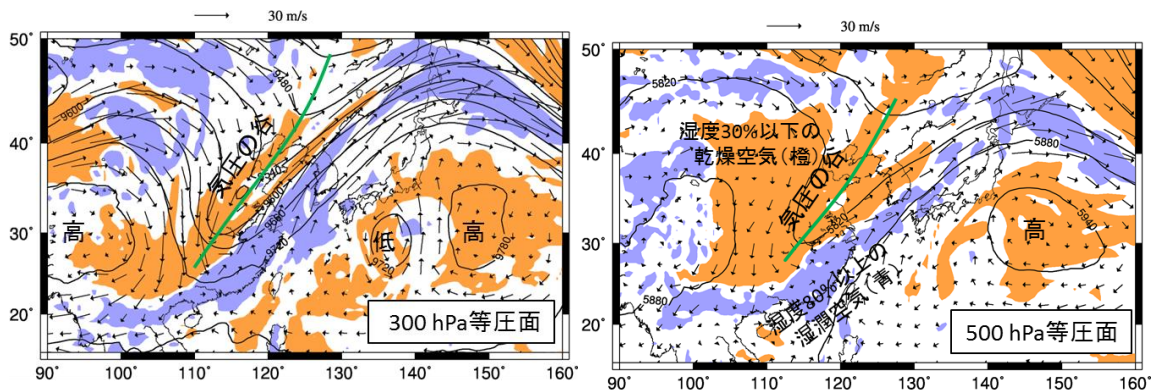


図 2-7 広島豪雨発生初期 (2014/8/19, 21:00JST) の上空の大気場。左 : 300hPa 等圧面 (上空 9500~9700 m 付近)、右 : 500hPa 等圧面 (上空 5500~5800m 付近)。

北部での集中豪雨が発生した。この点を踏まえ、台風通過後の 8 月 16 日~17 日の下層の等圧面高度および風の分布と広島豪雨時のそれとを比較する。図 2-8 は気象庁 GSM 初期値による 925hPa 面(上空 800m 付近)の等圧面高度、水平風および相対湿度 80%以上の湿潤空気の分布を示す。8 月 16 日時点では、停滞前線が中国地方上空にあり、前線の南側の四国太平洋沖から東海地方の沿岸部に向かって流れており、一部の湿った空気が中国地方上空の低気圧の反時計回りの回転に沿うように、紀伊水道から北側に分岐して兵庫県から岐阜県の北部へと流入していたと見られる。兵庫県から京都府北部にかけて風の収束線が東西に延びており、この収束線付近で降水系が急速に発達した。一方、8 月 16 日から 19 日にかけて、太平洋高気圧が再び西に勢力を拡げ、台湾東部から東シナ海を北上し、西日本に到達する風速 10m/s 以上の強風域が作られた。太平洋高気圧の南側からの湿潤空気と中国南岸側からの湿潤空気が合流した下層の湿った空気が、東シナ海を東西の狭い範囲で北上し、前線に向かって大量の湿った空気を供給する過程の重要性は、これまで

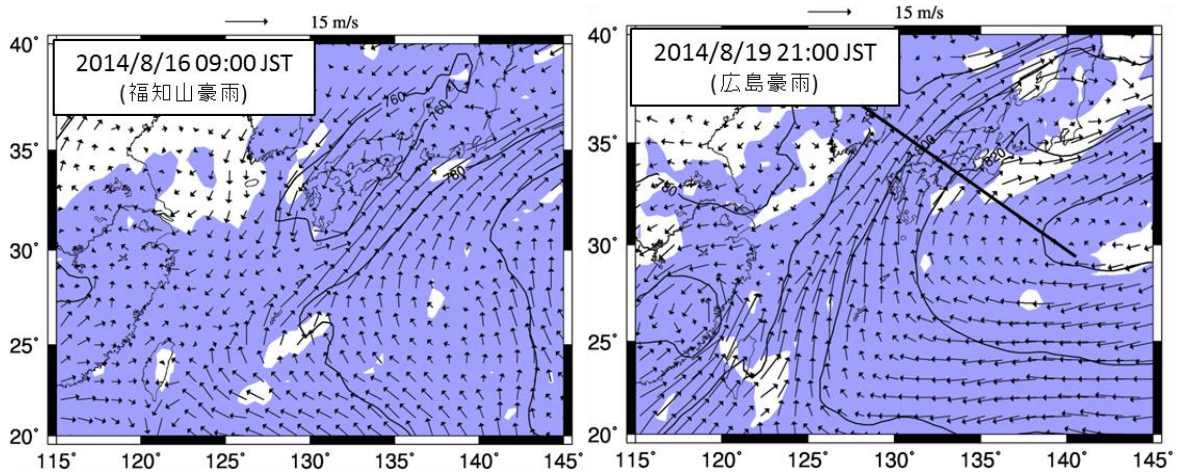


図 2-8 925hPa 等圧面の等圧面高度と水平風の分布. 湿度 80%以上の領域を青色で表示.

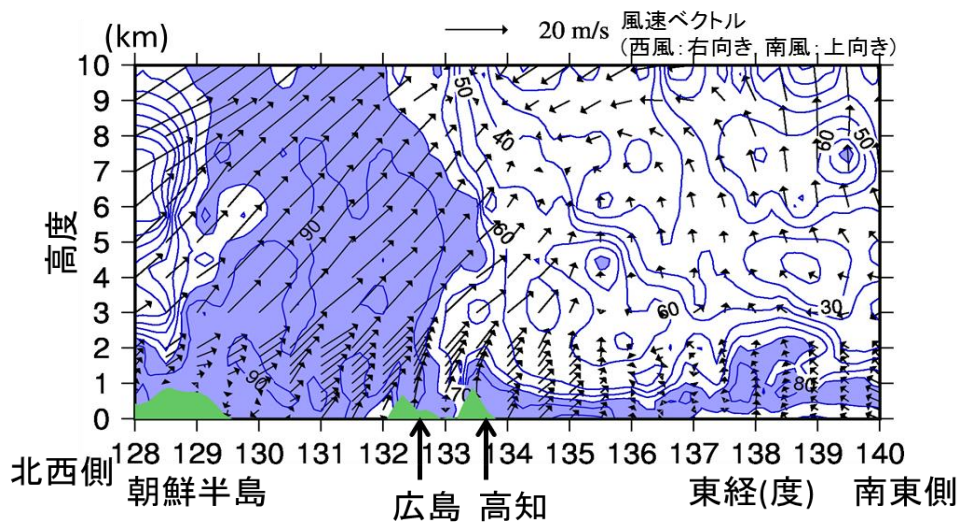


図 2-9 停滞前線南側および太平洋高気圧上空の風と湿度の鉛直断面 (8月20日00時)

の研究でも指摘されてきている通りである³⁾。図 2-8 右側に朝鮮半島から広島上空を通過し太平洋上に達する太実線を付している。この太実線上の水平風および相対湿度の鉛直断面を図 2-9 に示す。地上の停滞前線は、朝鮮半島南岸付近にあり、その南側の対馬海峡・日本海沿岸から広島上空付近にかけて、活発な対流活動により対流圏上層まで相対湿度 80%以上の湿潤空気が分布しており、その南東側では、太平洋高気圧上空での乾燥空気の沈降により、湿度 80%以上の湿った空気の大半が 1km 以下の下層に抑えられている。広島上空は、前線帯上の湿った空気の南縁に位置しており、暖湿気と乾燥空気の境界付近で対流活動が活発になりやすく、集中豪雨が発生しやすい⁴⁾位置であったと考えられる。

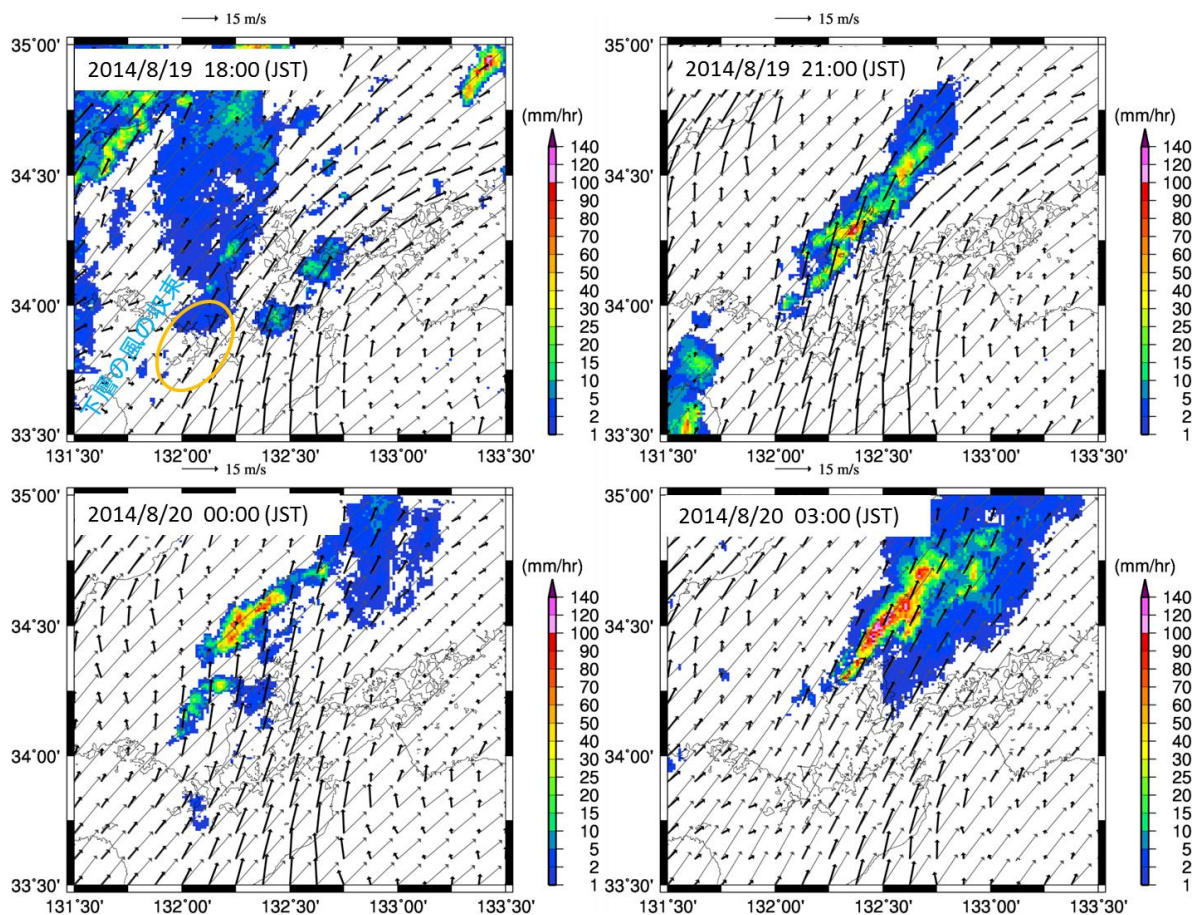


図 2-10 気象庁レーダーの降雨強度と気象庁数値予報データ (MSM) 初期値による上空約 500m 付近(太矢印)と 3000m 付近(細矢印)の風の分布

(2) 局地的な風の間とバックビルディング形成

線状降水系の発達維持に関わる風の間について、気象庁数値予報GPVメソ領域モデル(MSM)の初期値とその時刻に対応する気象庁C-BANDレーダーの降雨強度分布を合成したものを図2-10に示す。降雨初期の8/19 18:00(JST)では、周防灘東部の海上で、豊後水道をからの下層の湿った空気と九州の西側を迂回し、福岡県側から周防灘に流入する湿った空気が合流し、風の水平収束が起こった。周防灘東部を起点とした水平収束線は北東に延びており、収束線に沿って海側から陸地側へ湿った空気が持ち上がり、積乱雲が発達し始めた。上空の風速15~20m/s程度の北東風によって、個々の積乱雲は風下側(北東側)に流されて行った。その際、積乱雲の内部からの冷気外出流が地表付近で発散し、風上側からの下層の湿った空気と衝突することで風上側に子雲が新たにでき、自己交替を繰り返しながら線状降水系が発達していった。19日21:00から20日0:00にかけて、瀬戸内海側からの南風が強まり、線状降水系の起点が北側に移動し、線状降水系の起点が山口・広島両県境付近に北上した。20日0時~3時にかけて、豊後水道からの湿った空気の風向きがやや東寄りに向きを変え、上空の風も降水系付近で北東方向の風の収束が現われ、これが、降水系全体の一時的な停滞と関わっていると考えられる。瀬戸内海からの湿った空気の流入による線状降水系の発達に関しては、今回の事例以外にも2003年7月18日に発生した事例(バックアンドサイドビルディング型)なども報告されている⁵⁾。

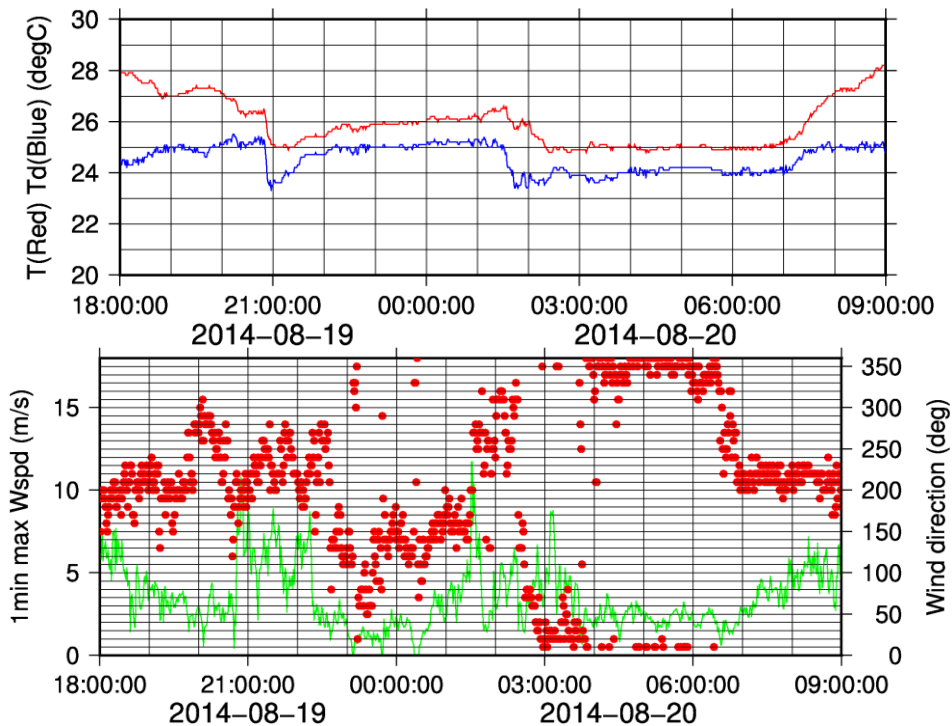


図2-11 広島地方気象台で観測された気温と露点温度(上段), 風向風速(下段)の時系列(広島地方気象台提供)

地上風との対応について、広島地方気象台で観測された気象要素の1分間隔の時系列変化を調べると(図2-11)、19日20時50分ごろや20日1時30分～2時00分間に積乱雲からの冷氣外出流に伴うと見られる温度低下が起こっていた。19日の降雨では南西風が主であったのに対し、20日1時30分からの変化の特徴として、温度低下が起こっている最中は、南西風から北西風が支配的であったのに対し、その後は6時30分まで北風が卓越していた。個々の積乱雲の進行を司る中層の南～南西風に対して、冷氣外出流によって地上付近で卓越風に対して風上側に向かう風が起こること、風上側の南西側での新たな雨雲の発達を促したとされる⁹⁾。

2. 3 まとめ

2014年8月19日～20日にかけて発生した広島市安佐北区・安佐南区を中心とした大雨と気象場の特徴について簡潔にまとめると以下の通りになる。

- ・ 8月上旬の台風通過後の太平洋高気圧の再発達と中国東部沿岸部の気圧の谷の発達により、停滞前線に向かう湿った空気が強化され、西日本で梅雨前線帯と類似した構造となった。
- ・ 豊後水道から広島に向かって流れる下層の南風と九州西部を迂回して周防灘に流れ込んだ湿った空気が周防灘東部で収束し、線状降水系の発生のかきかけとなった。その後、豊後水道側からの南風の強化により、線状降水系の発生点が北東側に移動した。更に、上空の南西風の水平収束により、降水系全体が広島市安佐南区・安佐北区付近に移動して停滞した。
- ・ 複数の積乱雲群からなる降水系がお互いに10～40km離れた位置で発生した。発生点がお互い

に近い積乱雲群は、風上側の積乱雲群が発達して風下側の積乱雲群が勢力を失いながら合流。お互いにやや離れていると、双方が降水系の長軸方向に対して一直線上に並び、長さ100kmにおよぶ線状降水系として一体化した。

- ・ 年超過確率規模の解析を行ったところ、継続時間6時間以内と与えた場合、安佐北区三入での再現年数は400年以上という結果となった。降水系が移動して広島地方気象台上空で停滞し、三入と同じ雨量を観測したと仮定した場合でも、再現年数は400年を超えた。

参考文献

- 1) 一財) 国土技術研究センター：水文統計ユーティリティ，
<http://www.jice.or.jp/sim/t1/200608150.html> (2015. 5.22確認)
- 2) 気象庁：異常気象リスクマップ，確率降水量の推定方法，
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/cal_qt.html (2015.5.22確認)
- 3) 富田惇，谷口健司，小池俊雄：気象庁長期再解析データを用いた夏季前線性豪雨時の広域的大気構造の研究，水工学論文集，第52巻，pp.319-325, 2008年.
- 4) 吉崎正憲，加藤輝之：豪雨・豪雪の気象学，朝倉書店，187p., 2007年.
- 5) 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.
- 6) 荒木健太郎：雲の中では何が起きているのか—雲をつかもうとしている話—，ベレ出版，344p., 2014年.

3. 河川災害の特徴

3. 1 河川災害の概要と現地調査

第2章で述べたように、太田川の一部の流域が記録的な豪雨に見舞われた。そのため、太田川本川で観測された洪水の規模は小さかったが、豪雨の直撃を受けた根谷川やその周辺の支川では護岸の浸食や溢水による氾濫が多発した。特に、根谷川では整備計画を超えるような洪水が発生した。ただし、集中豪雨に先行する降雨量が少なく河川の水位が低い状況で豪雨を迎えたことや、集中豪雨の継続時間が短く洪水の継続時間が短かったことは、不幸中の幸いであり、甚大な被害を免れることに繋がった。一方、左右岸の斜面で発生した土石流が河川に流れ込み、堤防を破壊し河道を部分的に閉塞させるなどの被害を多発させた。

現地調査は豪雨の発生した太田川水系の下流部を中心に行った。図3-1に示すように、平成26年8月22日に太田川の国管理区間における被害を、9月9日に太田川の県管理区間での被害を調査した。なお、河川ではないが、土石流災害の発生地区を流れる八木用水の被災状況も調査した。



図3-1 調査した河川と位置 ¹⁾に加筆

3. 2 水位ハイドログラフ

集中豪雨は太田川本川の下流部と支川の根谷川、支川の三篠川を襲った。豪雨に対応して河川の水位も上昇した。図3-2に根谷川の下流部に位置する上原橋と新川橋、および太田川本川の玖

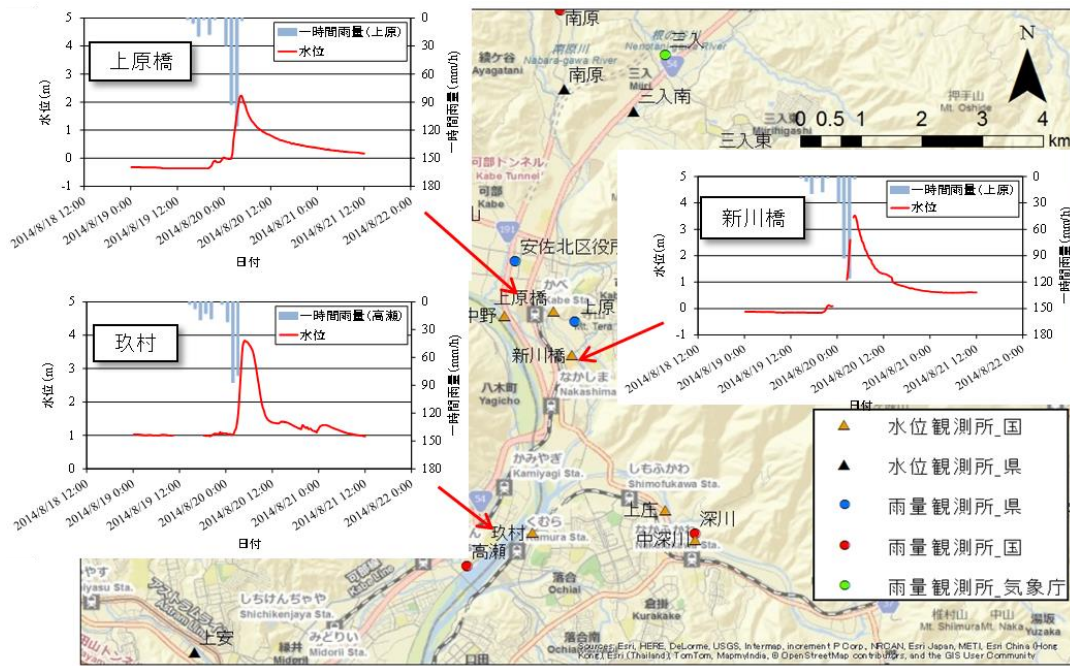


図 3-2 根谷川下流部と太田川本川での降雨と水位の変化

村地点での水位ハイドログラフを示す（なお、見やすくするために水位の原点をずらしてある）。水位の上昇は急激である。上原橋と新川橋でのピークの発生時刻はほぼ同じ（4:10～4:20）であるが、玖村でのピークは30分程度遅れている。新川橋地点で水位データが連続していないのは、落雷によりデータの欠測が生じたためである。

図 3-3 に玖村（太田川本川，三篠川，根谷川の合流直下の地点）と中野（図 3-2 参照，太田川本川），上庄（図 3-2 参照，三篠川），新川橋（根谷川）での水位ハイドログラフを示す。この図より，太田川本川の水位上昇は大きくないこと，中野と新川橋での水位のピークの時刻がほぼ重なること，三篠川での水位のピークは新川橋でのピークより遅れること，玖村での水位の高い時間は三篠川の影響を受けて他の地点より長くなっていることがわかる。

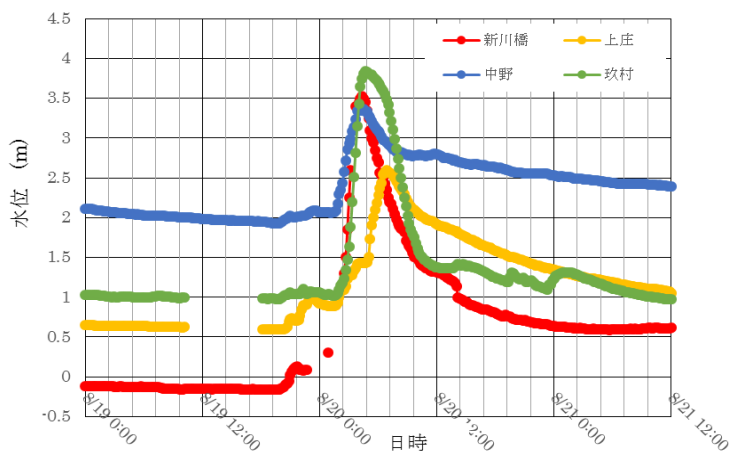


図 3-3 根谷川，三篠川，太田川本川での水位の変化

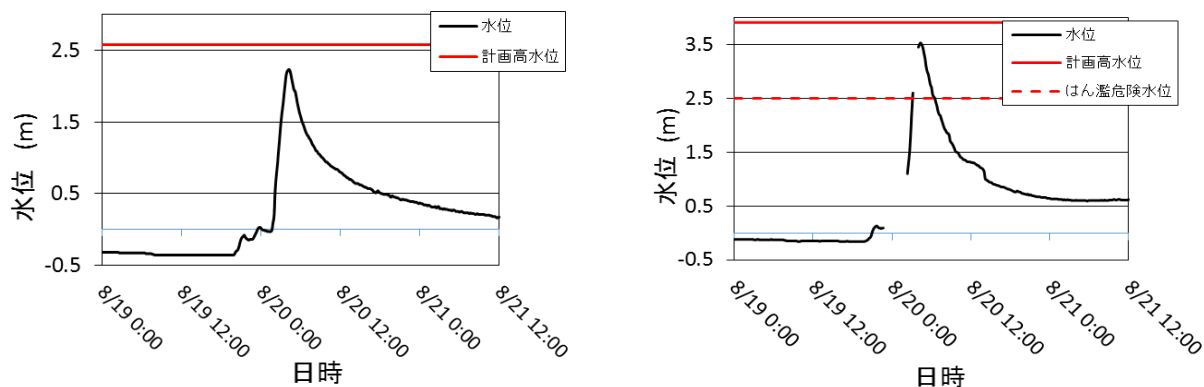


図 3-4 上原橋 (左) と新川橋(右)での水位ハイドログラフと計画高水位との関係

図 3-4 に根谷川の上原橋と新川橋における水位ハイドログラフを示す。どちらの地点においても水位のピークは計画高水位まであと 30-40 cm まで迫った。なお、後述するように、上原橋のさらに上流部の一部の区間においては溢水が発生し、降雨の継続時間が短いものの規模の大きな洪水が発生した。

3. 3 太田川本川

図 3-5 は土石流災害が多発した阿武山とその周囲を流れる太田川本川を示している。山の斜面に見える筋状の赤色は土石流の発生箇所を表している。また、図中の①，②は以降で説明する河川災害の調査地点である。

阿武山の北側の地点①では、人家こそなかったが、阿武さんの頂上付近から大規模な土石流が発生した。図 3-6 は、土石流が堰を乗り越え、自動車を斜面に移動させ、太田川に流入した状況を示している。河道内に堆積した土砂量は限られているが、土石流が流下する谷筋が集まっており、河道の確保のために土石流対策が必要である。



図 3-5 太田川本川での調査箇所



図 3-6 地点①での土石流の河道内への流入

図 3-5 の地点②においても土石流が堤防を破壊して高水敷に流入した。図 3-7 に示すように、土石流は右岸の太田川発電所を襲った後、太田川に大量の土砂を流入させた。



図 3-7 地点②での土石流の河道内への流入²⁾

3. 4 三篠川

三篠川右岸 1 K100 付近（図 3-8）では、右岸斜面で発生した土石流が樋管を詰まらせた。そのため、斜面を下った流速の大きな流れが堤防に向かい、堤防前面部（堤内地側）で局所洗掘を発生させた。土地の所有者に対するヒアリングによると 2m 程度の深さとなった。堤防前面には水が溜まり、やがてコンクリートに割れ目が入るとともに、堤防の上部半分が河川側に押し出されるように変形した。

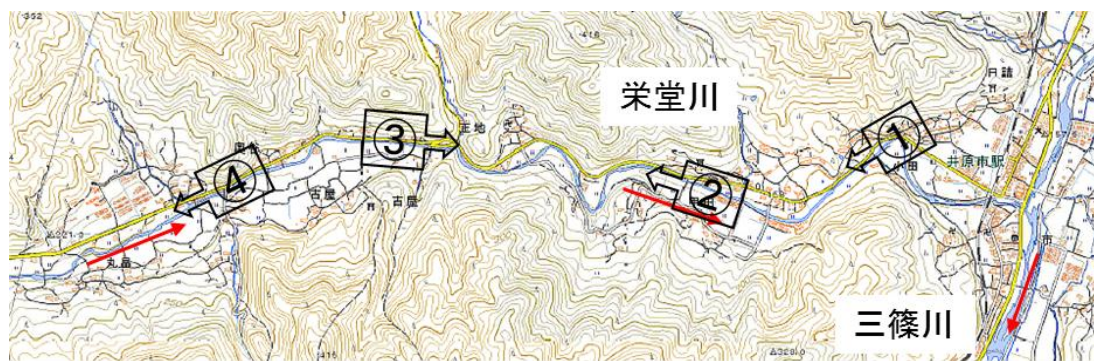


図 3-8 三篠川右岸 1K100 付近での堤防の破損

図 3-9 は三篠川の支川である栄堂川下流部での調査地点と被害を示している。地点①，③，④では洪水が溢水し，道路上にも氾濫した痕跡が残っていた。また，護岸の破壊も多数認められた。

栄堂川中流部での被害状況を図 3-10 (b)～(e) に示す。護岸の破壊，特に，空石積みの護岸から石が抜けるような被害が目立った。河川沿いには水田が広がっているが，水田がやや高い箇所に位置するためか，稲が倒伏するような被害は認められなかった。

豪雨によって河道の疎通能力を超えるような洪水が発生し，水田や道路上に溢れた。ある地元住民は道路を超えて畑地まで冠水した経験ははじめてであったと話されていた。



(a) 調査地点の位置



(b) 地点①での溢水の痕跡

(c) 地点②での護岸の破壊

図 3-9 栄堂川下流部での調査地点

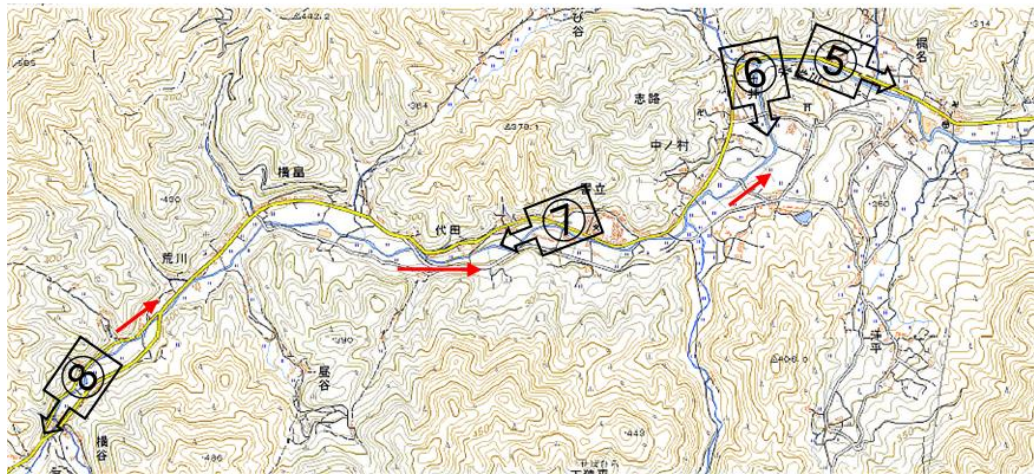


(d) 地点③での護岸の破壊と溢水



(e) 地点④での護岸の破壊と溢水

図 3-9 栄堂川下流部での調査地点 (続き)



(a) 調査地点の位置



(b) 地点⑤での護岸の破壊と溢水



(c) 地点⑥での護岸の破壊

図 3-10 栄堂川中流部での調査地点



(e) 地点⑧での護岸の破壊



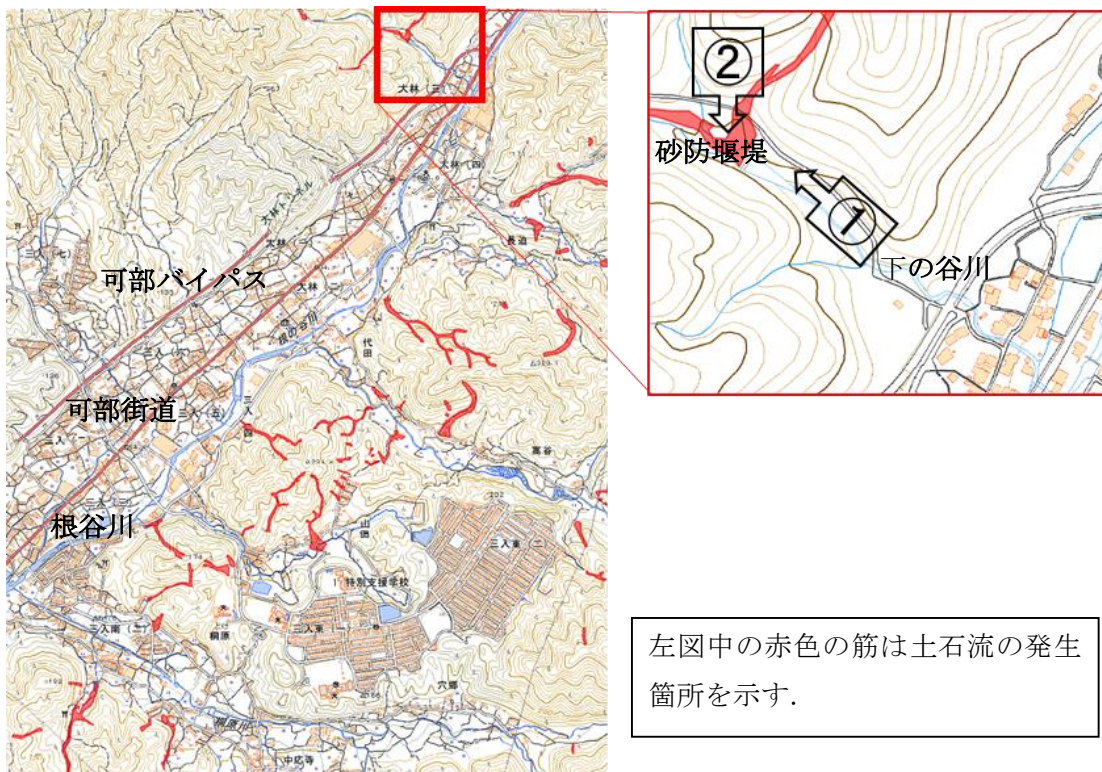
(d) 地点⑦での護岸の破壊

図 3-10 栄堂川中流部での調査地点(続き)

3. 5 根谷川

根谷川流域は今回の豪雨が集中した地域であり，その支川には土石流が発生したものが多く，河川の河床勾配が急であるとともに，その両側に広がる急な傾斜地に人家が連担している．そのため，右岸の谷筋から流れ出した流水や泥流は住宅地を貫いて根谷川に向かって流れ込む．

図 3-11 に示す，安佐北区大林三丁目の下の谷川には砂防堰堤が整備されている．昭和 63 年に建設されたこの砂防堰堤には既に 2/3 程度土砂が堆積していた．地元の住民によると，過去の経



(a) 下の谷川の位置

図 3-11 下の谷川（可部バイパスより上流部）での調査地点



(b) 地点①での状況



(c) 地点②の砂防堰堤での除石作業

図 3-11 下の谷川（可部バイパスより上流部）での調査地点（続き）

験に基づいて土石流の発生を懸念して広島県に除石を依頼した。しかし、まだ容量に余裕があるとの回答であり、除石には至らなかったとのことであった。今回の豪雨によって発生した土石流は砂防堰堤を埋め、流れと土砂、流木を下流の住宅地に運んだ。図 3-11 (b) は砂防堰堤へ向かう途中の川の状況であるが、沢には倒木が目立ち、容易に流木化する状況にあった。図 3-11 (c) は砂防堰堤から土砂を運び出している状況を示している。この砂防堰堤の上流には砂防堰堤が建設されているが、その堰堤はすでに土砂で満杯になっているとのことであった。

可部バイパスを横切ると、下の谷川は住宅地の中を流れる。図 3-12 は住宅地での被災状況を示している。図 (b) は 8 月 20 日朝に撮影された写真である。ほぼ同一の地点で我々の調査時に撮影した写真が図 (c) である。両者を見比べると、流木が河川に詰まって流れをせき止めたこと、道路上を川の瀬のように流水や土砂が流れたことがわかる。また、土砂を含んだ高速な流れは直線的に進み、左岸からも溢水して家屋を貫通した。さらに、その流れは下流側の家に順次流れ込み、周辺一帯に甚大な被害を与えた(図(d))。氾濫した泥流はさらに流下し、可部街道に拡がった(図(e))。なお、最前方の家(図(b))の住民は異常な音に目覚め、隣人に避難を促したため、この地区の人的被害をゼロにすることができたとのことであった。



(a) 調査地点の位置



(b) 地点③の状況（撮影：NHK 金沢隆大氏）



(c) 地点③の状況



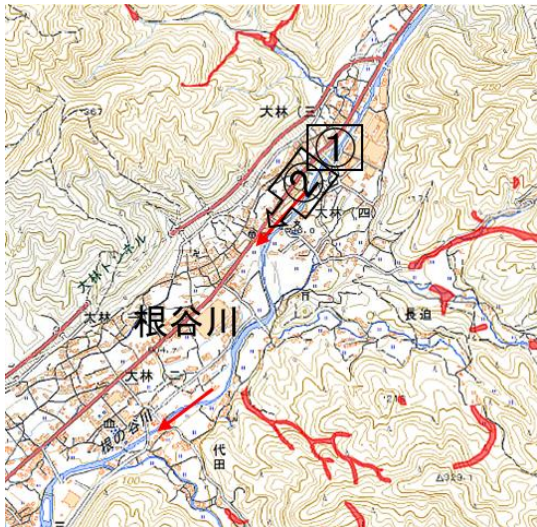
(d) 地点④の状況



(e) 可部街道の状況（撮影：NHK 金沢隆大氏）

図 3-12 下の谷川（可部バイパスより下流部）での被災状況

大林四丁目の大杉橋と中河原橋の周辺では、図 3-13 に示すように、堰の上下流で護岸が破壊された。8 月 20 日に国土地理院が撮影した空中写真（図 (e)）を見ると、堰の下流の左岸に沿って被災している状況や、写真の右端の広島市立大林小学校の前面の側岸が大きく浸食されていることが確認される。急流な河川であり、この堰の上下流において大規模な側岸浸食が発生した機構についてはさらに検討が必要である。



(a) 調査地点（赤色の筋は土石流の発生箇所）



(b) 堰の上流部：護岸の破壊と側岸浸食



(c) 堰の下流部：護岸の破壊と側岸浸食



(d) 堰の下流部：護岸の破壊と側岸浸食



(e) 堰周辺の流れ（8月20日撮影）²⁾

図 3-13 根谷川の大杉橋（地点①）周辺での被災状況

桐原川は根谷川に左岸から合流する支川である。その沿川には住宅地が形成されているが、中流部から上流部にかけては水田が広がっている。図3-14に示すように、護岸の破壊や溢水による氾濫の発生(地点②, ④, ⑤), 堰周辺での護岸の被災(地点①, ③)が確認された。しかし、ここでも栄堂川と同様に、水田がやや高い土地で行われているためか、稲の倒伏のような被害は認められなかった。



(a) 調査地点 (赤色の筋は土石流の発生箇所)



(b) 地点①での護岸の破壊



(c) 地点②での護岸の破壊と溢水



(d) 地点③での護岸の破壊



(e) 地点④での護岸の破壊

図3-14 桐原川の被災状況



(f) 地点⑤での護岸の破壊

図 3-14 桐原川の被災状況（続き）

根谷川は可部三丁目の上市井堰周辺（図 3-15）でも大きく被災した。すなわち、右岸（外岸側）の護岸の破壊、側岸浸食、その周辺からの濁水の堤内地への氾濫、および左岸側からの土石流の河道への流入が発生した。図 (b) の空中写真は堰の上流側右岸から濁水が浸入し、道路に沿って下流部に広がったことを示唆している。一方、写真の右上では、拡幅の工事を進めている区間に土石流が流入したことが鮮明に捉えられている。図 (c) は護岸が 100m 程度の区間に渡って破壊され、側岸が浸食された状況を示している。図 (d) は橋梁部に残された洪水痕跡を示すが、この橋梁部に草本類が引掛かかるほどに水位が上昇したことが確認された。

太田川河川事務所は、堰の上流部の右岸から 4 時頃溢水を開始したと伝えている⁴⁾。この時刻は、下流の上原橋での水位のピーク時刻（4:10-4:20）と比較すると、堰地点でのピーク時にほぼ対応する。そのため、今回の豪雨により、堤防高さを決める際に想定した流量よりも大きな洪水が発生し、洪水のピークの期間に溢水が発生したと推測される。



(a) 調査地点（赤色：護岸の破壊）

図 3-15 根谷川の被災状況



(b) 空中写真（上市井堰周辺と土石流の河道内への流入）²⁾



(c) 地点①での護岸の破壊



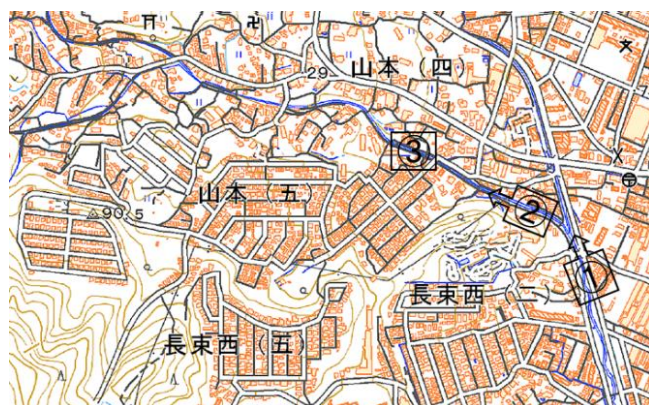
(d) 下流の橋梁に残る洪水痕跡

図 3-15 根谷川の被災状況（続き）

3. 6 山本川

山本川は広島市安佐南区の南部を西から東に流れた後、南下して太田川放水路に注ぐ県管理の河川である。山本川では、大正15年9月11日の豪雨により発生した土石流によって24名の死者が出たという記録がある。また、この流域では多数の住宅地が建設されている。

図3-16に山本川下流部の被災状況の概要を示す。図(b)の空中写真(8月20日撮影)より、写真の右下に見える直線的な河道(山本川)に大量の土砂が堆積したことを確認することができる。広島県に依れば、地点①では、土砂の堆積が進み、溢水が発生したとのことであった。9月9日には図(c)のように土砂の撤去が進められていた。上流に向かって進むと、地点②の先においても重機による土砂の撤去が行われていた。今回の洪水では上流部で相当の土砂が生産され、下流に運搬されたことがわかる。地点③では護岸の上部において浸食が認められた。継続時間こそ限られていたが、護岸の上方にまで水位が到達するような出水が発生したことが確認された。



(a) 調査地点



(b) 空中写真²⁾

図3-16 山本川下流部の被災状況



(d) 地点②での土砂堆積



(c) 地点①での土砂堆積

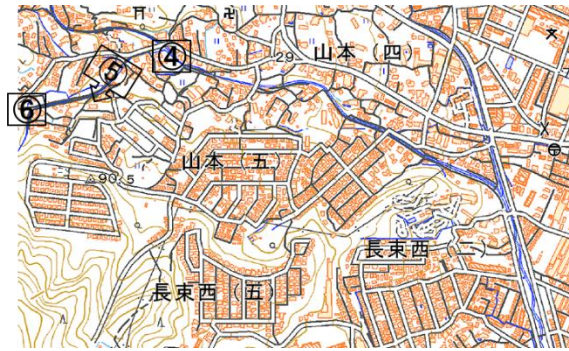


(e) 地点③での護岸の損傷

図 3-16 山本川下流部の被災状況

図 3-17 は、さらに上流に進み、中流部の被災状況を調べた結果の一部である。地点④は 2 つの水路の合流点に位置する。図 (b) の左の写真で、手前から流れて右に曲がる流路の流量が今回は特に多かった。合流点には水路に降りる狭い階段があったが、そのスペースから護岸の背面に水が入り、土砂が流されて護岸が滑り落ちた。さらに上流の地点⑤付近では破壊された護岸が点在していた。地点⑥では左の写真の左側からの流路に大量の水と土砂が流れたが、その一部が直進するように、公園の山本川の中流部には小さい水路のような区間が続いているが、河床勾配は大きい。短時間の集中豪一部に乗り上げた。乗り上げた流れに有していた土砂は公園やその下流の畑などに堆積した。一方、水は公園を通り抜け、高低差にしたがって堤内地を流下した。図 3-17 (e) は地点⑥の下流部での被災状況を示しているが、畑を通過した流れが落下し、護岸の背面が浸食を受けた。

このように、山本川では短時間の集中豪雨がピーク流量の大きな洪水を発生させ、射流状態で流下したことを推測させた。溢水した水は急傾斜の堤内地を流れ、護岸を背面から浸食させた。



(a) 調査地点



(b) 地点④での護岸の被災



(c) 地点⑤での護岸の破壊



(d) 地点⑥での護岸の破損



(e) 護岸の背面での洗掘

図 3-17 山本川中流部の被災状況

3. 7 八木用水

今回土石流により甚大な被害を被った広島市安佐南区の八木地区や緑井地区には、江戸時代に開削された八木用水が流れている。この用水路は幅が2m程度で、元来太田川の水を運ぶ農業用水路であるが、現在は地域の雨水の排水路ともなっている。図3-18に今回の土石流の発生箇所と八木用水で多量の土砂が堆積した区間を重ねて示している。なお、航空写真から判読すると、泥流は、JR可部線を越えて少なくとも図中の青線で示す範囲まで広がったと考えられる。



図3-18 八木用水で多量の土砂堆積が確認された区間

図3-19は八木用水が土砂によって閉塞している状況を示している。最後の写真は八木用水を越えて、土砂が水田やビニールハウス周辺に堆積した状況を示している。これらの図より明らかなように、八木用水は土石流がもたらした土砂を捕捉する機能を果たし、泥流の拡大を抑える機能を果たした。この土砂は国交省により一旦撤去されたが、その後、被災地から供給された細粒分が再度堆積した。

図3-20の空中写真から推測できるように、雨水の排水路は土石流により破壊、閉塞されており、雨水は地表面を流れている。台風等による豪雨が発生すれば再び災害が発生することが危惧された。土嚢により住宅を守る作業は発災直後から行われたが、雨水を安全に流下させる対策、排水路の確保には日数を要した。



図 3-19 八木用水での土砂堆積状況（8月23日撮影）



図 3-20 土石流発生後の降雨の流出経路⁵⁾

3. 8 まとめ

今回の短時間の集中豪雨に対する降雨流出や河川災害の特徴は次のようにまとめられる。

- 1) 太田川本川や三篠川のように流域面積が比較的大きな河川では、降雨域が流域の一部に限られるため、今回の集中豪雨が水位変化に及ぼす影響は限定的であった。さらに、先行降雨が少なかったため、水位の上昇は抑えられた。
- 2) 一方、流域面積の小さい支川では、河道の洪水疎通能力が小さいため、水位や流速は急激に増加した。河床勾配も大きく、護岸の損傷・流失や溢水が多数の地点で発生した。根谷川では整備計画を超える流量が発生した。
- 3) 被災した中小河川の多くは堀込河道であり、水位の高く溢水の発生する時間が限られていた。また、流域内に水田等のような湛水した地域が存在した。これらは被害が甚大化する事態を避けることを可能とした。
- 4) 開発された堤内地が急な地形勾配を有する場合には、斜面での氾濫水の挙動を予め検討しておく必要がある。排水路が閉塞したり、中小河川が溢水したりした場合には、地表流が傾斜地を高速で流下するため、大きな被害を生む可能性を有している。
- 5) 土石流や流木が市街地を襲った地区では、甚大な被害を発生させた。八木用水は地区の排水機能を担っていたが、土砂の堆積により閉塞し、機能不全の状態が長らく続いた。
- 6) 土石流が堤防を破壊して河道内流入し、流水断面積を減ずる事態が発生した。また、土石流が樋門・樋管の機能を失わせ、氾濫を引き起こし事例が発生した。土砂災害の危険性がある地域に位置する河川構造物に対しては、被害の軽減対策を検討することが必要である。

参考文献

- 1) 広島市：<http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/0000000000000/1309509857965/index.html>.
- 2) 国土地理院：平成 26 年(2014 年)8 月豪雨による被害状況に関する情報，
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h26-0816heavyrain-index.html>.
- 3) 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所：
http://www.cgr.mlit.go.jp/oitagawa/topics/news/pdf/20140820press_hisai-joho_1.pdf.
- 4) 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所：
http://www.cgr.mlit.go.jp/oitagawa/topics/news/pdf/20140820press_hanran-joho_1.pdf.
- 5) パスコ：http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/disaster/201408_hiroshima/.

4. 土砂災害の特徴

4. 1 全体の概要

本災害が発生した場所は広島市安佐南区および安佐北区の一部である。図 4-1 に国土交通省が航空写真から判読した土砂の流出範囲を示す。この図より災害発生場所は東北から南西にかけての細長く狭い範囲であることが読み取れる。特に安佐南区八木地区・緑井地区では阿武山において土石流が幾筋も発生し、市街地領域まで到達していることが分かる。

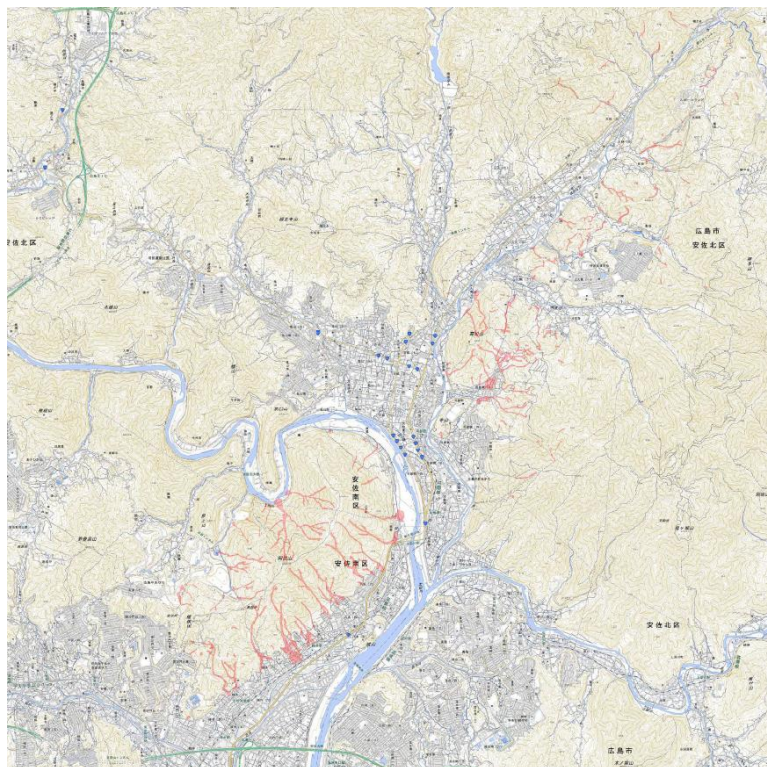


図 4-1 土砂災害発生箇所（安佐南区山本地区を除く，国土交通省作図）

広島県発表による資料（平成 26 年 9 月 3 日現在）によればがけ崩れ 59 か所（36%）、土石流 75 か所（64%）、合計 166 か所で土砂災害が発生している。広島地域では平成 11 年 6 月 29 日に豪雨災害が発生しているが、この時はがけ崩れ 186 か所（57%）、土石流 139 か所（43%）であった。総数では平成 11 年 6 月 29 日の災害の方が多いが、土砂災害における土石流の割合は今回の災害の方が多く、今回の災害が激しい豪雨による大量の雨水によってもたらされたことが伺える。

広島県が発表した今回の災害による人的被害及び建物被害を表 4-1 および表 4-2 に示す²⁾。人的被害は安佐南区緑井地区、八木地区で主に発生しており、特に安佐南区八木地区では全死者数 74 名中 52 名と 70%にも及ぶ。これは図 4-2 に示したように八木地区の住宅密集地近傍で土石流が発生し、多くの家屋被害をもたらしたためである。建物被害は全壊 133 棟、半壊 122 棟、床上浸水 1301 棟と多くの被害が出ていることが分かる。

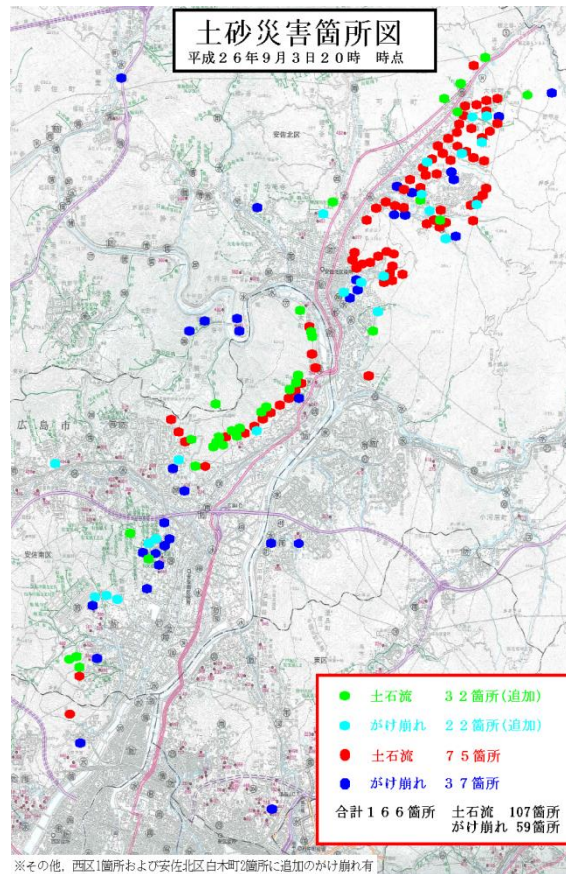


図 4-2 土砂災害の形態別発生箇所分布（提供：広島県）

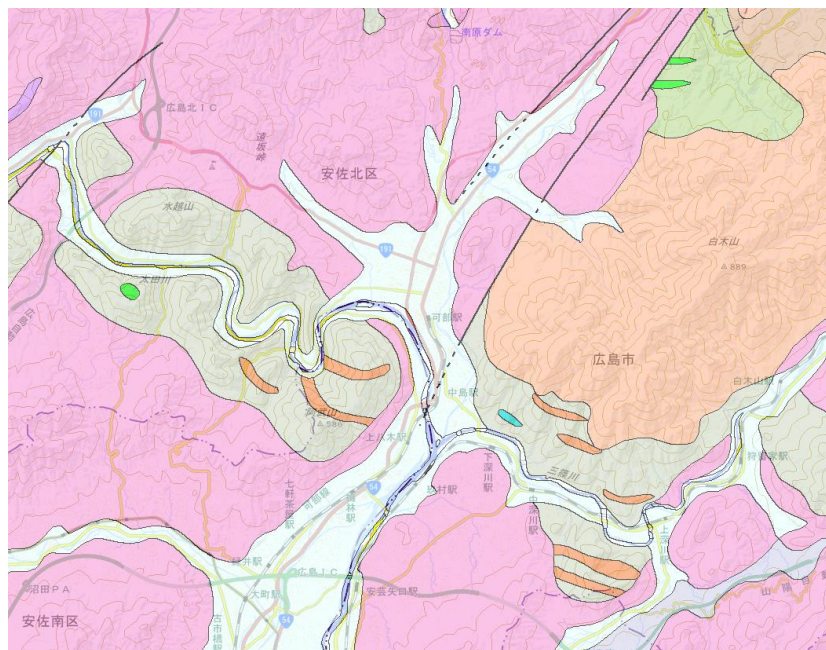
表 4-1 広島県発表による人的被害状況（平成 26 年 9 月 19 日現在，提供：広島県）

市町名	死亡	行方不明	重傷	軽傷	計	備考
広島市安佐南区山本八丁目	2				2	土砂崩れ
広島市安佐南区緑井七丁目	10		1	3	14	土砂崩れ
広島市安佐南区緑井八丁目	4		3	4	11	土砂崩れ
広島市安佐南区八木三丁目	41		1	10	52	土砂崩れ
広島市安佐南区八木四丁目	9			4	13	土砂崩れ
広島市安佐南区八木六丁目				1	1	土砂崩れ
広島市安佐南区八木八丁目	2			4	6	土砂崩れ
広島市安佐北区三入四丁目				1	1	土砂崩れ
広島市安佐北区三入南二丁目	1				1	土砂崩れ
広島市安佐北区可部三丁目				1	1	土砂崩れ
広島市安佐北区可部東二丁目	1		1	1	3	土砂崩れ
広島市安佐北区可部東六丁目	3		1	6	10	土砂崩れ
広島市安佐北区可部町大字桐原	1			1	2	土砂崩れ
広島市安佐北区大林三丁目			1		1	土砂崩れ
計	74	0	8	36	118	

表 4-2 広島県発表による住家被害（平成 26 年 9 月 19 日現在，提供：広島県）

市町名	全壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水	計
広島市安佐南区	100	84	92	968	2,035	3,279
広島市安佐北区	32	38	72	330	758	1,230
広島市西区	1		7	2	18	28
広島市中区			1			1
広島市安芸区			1			1
広島市佐伯区			1			1
安芸高田市				1	14	15
三次市			1			1
福山市					3	3
計	133	122	175	1,301	2,828	4,559

図 4-3 に被災地周辺の地質図を示す。被災地一帯には主に花崗岩が分布しているが、阿武山周辺はジュラ紀の付加コンプレックスやホルンフェルスなどの変質岩なども分布しており、安佐北区白木山では非アルカリ珪長質火山岩類（デイサイト・流紋岩類）などが分布する上、断層帯も見られるなど複雑な地形をしていることが分かる。



- 花崗岩 ■ デイサイト・流紋岩類 ■ 中-後期ジュラ紀の付加コンプレックスの基質
- 中-後期ジュラ紀の付加コンプレックスのチャートブロック ■ ベルム紀の付加コンプレックスの基質
- 中-後期ジュラ紀 (J2-3) の付加コンプレックスの玄武岩ブロック

図 4-3 被災地周辺の地質図（提供：産業技術総合研究所地質図 Navi）

本報告では、上記の災害箇所のうち、特に被害の大きかった安佐南区八木地区の土石流現場で行った現地調査結果及び室内調査結果について報告する。

4. 2 現地調査結果

(1) 八木ヶ丘団地の被害

安佐南区八木四丁目八木ヶ丘団地では死者 9 名，負傷者 4 名が生じている。

調査は，団地直上付近から源頭部（流下水平距離は約 800m，高低差約 400m）まで踏査し（図 4-4 参照），途中数か所で斜面の断面等について巻尺とポールを用いた簡易測量を行った。

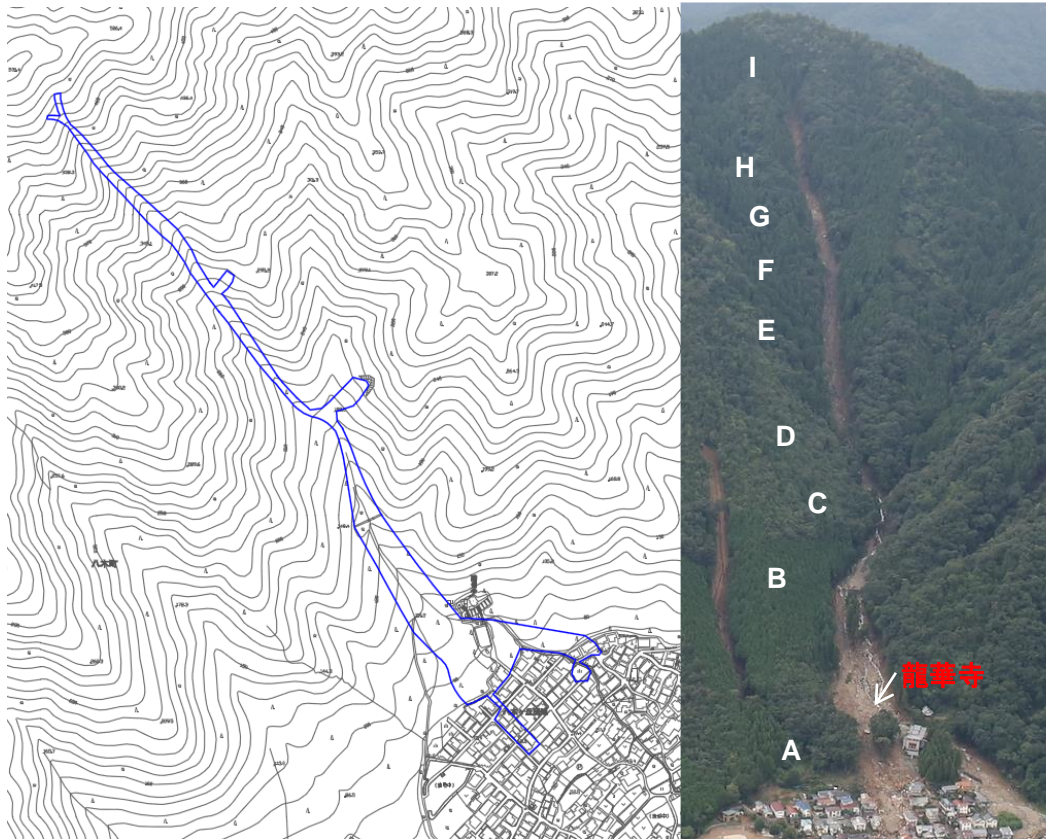


図 4-4 調査した溪流（国土地理院 8 月 20 日撮影写真を参考に作図及び加筆）

< 団地流入部付近（地点 A） >

団地最上部は幅約 100m 程度の土石流が広がっている（図 4-5）。また上部にあった龍華寺近くで土石流が二方向に分かれて流下している（図 4-6）。この土石流により，上部付近にあったと思われる住宅は著しく破壊されている。

龍華寺上流側には数十 cm から 1m 程度の大きさの岩石が堆積しており，勾配は 15 度程度である（図 4-7）。中には直径が 1m を超す岩石も見られたがまれであった。また，土砂が堆積したと思われる部分も，その後の降雨や地下水により大きく削られた跡が見られており（図 4-8），削られた部分の側面では，過去の土石流堆積物と思われる層も認められ，これまでも土石流が発生したことが伺われる。



図 4-5 団地最上部から下流を臨む



図 4-6 土石流が直撃した龍華寺



図 4-7 華寺付近から上流を臨む



図 4-8 削れられた溪流側面

< 治山堰堤付近(地点 B) >

団地最上部から約 200m 程度上流側（標高約 140m 付近）に高さ約 9m、幅約 44m の治山堰堤（図 4-9 参照）が設置されていたが、図にハッチングして示す部分が（本体と袖部）が大きく破壊されていた（図 4-10）。広島県森林保全課提供の資料によれば、この治山堰堤は昭和 47 年に築造された谷止工であった。正確な測量結果でなく、あくまで推定値であるが、破壊された部分は幅 35m、高さ 2.6m 程度であった。このことから大きなエネルギーを持った土石流が流下したことがわかる。破損したコンクリート片が住宅地まで運ばれているとのことであった。

ダム上流側は数十 cm～1m 程度の礫で埋め尽くされている状況で（図 4-11）、堆積している礫の傾斜勾配は約 15 度ぐらいであった。

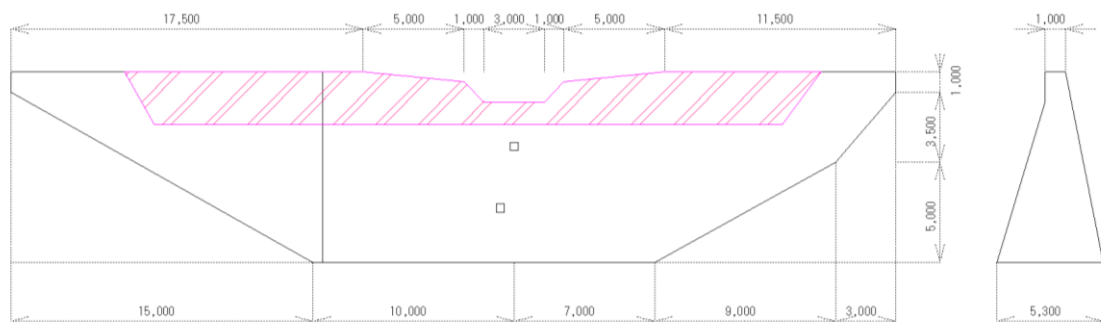


図 4-9 治山堰堤の形状（広島県森林保全課の資料を基に作図，ハッチング部が破損）



図 4-10 被災した治山堰堤の様子



図 4-11 治山堰堤に堆積した礫

< 溪流分岐地点付近(地点 C) >

合流部から約 20m 程度下流側で，溪流の幅は約 9m，深さ 2.2m 程度であった（図 4-12）．合流部では基岩が露出しており，約 4m の深さがあり，2m 程度の岩石も見られた（図 4-13）．

左岸側から合流している土石流の様子は図 4-14 のようであった．この付近はチャートや砂岩などの堆積岩と火成岩（花崗岩など）の境界付近となっており，堆積岩と火成岩が接触している箇所も見られた（図 4-15）．また接触部付近では一部は熱変成を受けてホルンフェルス化し，また強い圧力を受けた不連続面も多く見られた（図 4-16）．

合流部上流側の本流は，幅 10m ぐらい，深さ 2.5m～4m ぐらいで削られており，側面には過去の土石流をと思われる岩石と砂礫が混じった層が見られ，過去にも土石流が発生していたと思われる（図 4-17）．この付近では花崗岩（CH 級と思われる）が露出していた（図 4-18）．

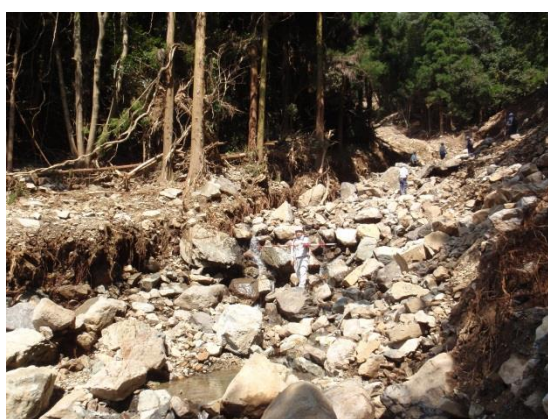


図 4-12 溪流合流部より約 20m 程度下流付近



図 4-13 溪流合流部付近



図 4-14 左岸側の土石流の様子



図 4-15 堆積岩と火成岩が接触している



図 4-16 力学作用を受けて不連続になった岩盤



図 4-17 合流部上流側の様子



図 4-18 露出している花崗岩

< 溪流中間部 (地点 D~H 付近) >

地点Dでは基岩の上に土砂が堆積しているかたちであり、崩壊部は幅8m、深さは4m程度であった(図4-19)。地点Eでは左岸側に幅10m、高さ10程度の小規模な崩壊が生じており、基岩が露出している(図4-20)。溪流部は幅18m、深さ3.2m程度、勾配は約31度であった。地点D~E間付近の左岸側方斜面内には、樹木の下に多くの岩石が点在し、もともとこの辺りの地盤に多くの岩石が存在しており、それが土石流となって下流に流下したことが伺われる(図4-21)。また側方斜面内の地表面では、地表面が洗われて土が露出し、流された落ち葉が澱み点にたまっているような地表流の痕跡が見られ(図4-22)、今回の災害では降雨強度が非常に強かったため、斜面内に浸透する前に地表面を溪流に向けて流れ落ちた雨水が多く、多くの降雨が溪流部に流れ込んだために、土石流が発生したと考えられる。

地点Fは地点Eより50m程度上流側で、崩壊部は幅15m、高さ1.9m程度であった。斜面勾配は約31度程度であった(図4-23)。地点Gでは岩盤が露出しており、崩壊部は幅約17m、深さ3.2m程度、斜面勾配は約36°であった(図4-24)。

地点H(図4-25)では、図の背後の岩盤は露出部分で高さが3m以上あり、全体に図4-26のように流れ盤になっていた。またこの付近では崩落した土砂と岩盤の境目付近には直径3cm程度のパイプフロー跡と思われる穴が開いていた(図4-27、中央の赤丸の中)。



図4-19 地点D付近の様子



図4-20 左岸側に見られて小規模崩壊

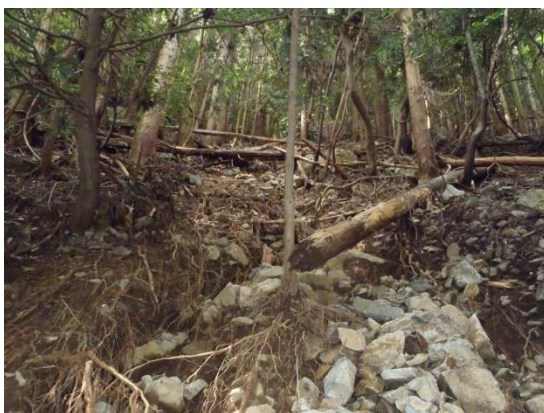


図4-21 側方斜面内の様子



図4-22 側方斜面を高速に地表水が流下したと思われる



図 4-23 地点 F 付近の様子



図 4-24 地点 G 付近の様子



図 4-25 地点 H 付近の様子



図 4-26 地点 H 付近の岩盤の様子



図 4-27 地点 H でみられたパイプフロー跡

<源頭部付近（地点 I）>

源頭部より 20～30m 程度下流の右岸側に小規模な土石流が見られた（図 4-28）。

源頭部は幅約 4m 程度で、深さ 1.8m 程度で、斜面勾配約 37° であった（図 4-29）。崩壊側面の地表面から数十 cm～1m 付近に直径 3cm 程度のパイプフロー跡と思われる穴が多く見られ、地下

水の流出により地表面が押されたものと思われる（図 4-30）。



図 4-28 源頭部付近から下流を臨む



図 4-29 源頭部の様子



図 4-30 源頭部で見られたパイプフロー跡

（2）阿武の里団地の被害

八木三丁目郵政阿武の里団地（以下、阿武の里団地と記す）では、土石流は主なもので3つの溪流から発生し、団地の上流約150mの地点で2つに分岐し、第一波は東側に流下し、第二波以後は西側へ流下していた（図 4-31）。第一波が団地東側の住宅に流入するとともに、団地東側下部の住宅に大きな被害を及ぼした（図 4-32）。幸い死者は出ていない。一方、第二波は団地中央上部の住宅に甚大な被害を及ぼし（図 4-33）、中央の坂道を流下して坂道の両側の住宅に大きな損傷を与えるとともに、横方向の路地を流れ、西側の住宅へも被害を及ぼし（図 4-34）、西側の坂道を流下していた（図 4-35）。



図 4-31 阿武の里団地被害状況（提供：森脇武夫博士⁴⁾）



図 4-32 団地東側の流下状況



図 4-33 団地中央上部の被災状況



図 4-34 団地中央西側の状況



図 4-35 団地西側の堆積状況

団地中央上部のJ地点で撮影した土石流溪流の様子を図 4-36 及び図 4-37 に示す。この付近は八木ヶ丘団地と同じように直径 1m 未満の岩石が多く見られる。また図 4-37 に示すように、土石流溪流の断面を見ると、下層にも土石流堆積物が見られるなど、過去にも土石流が発生していた可能性が高いことが伺える。

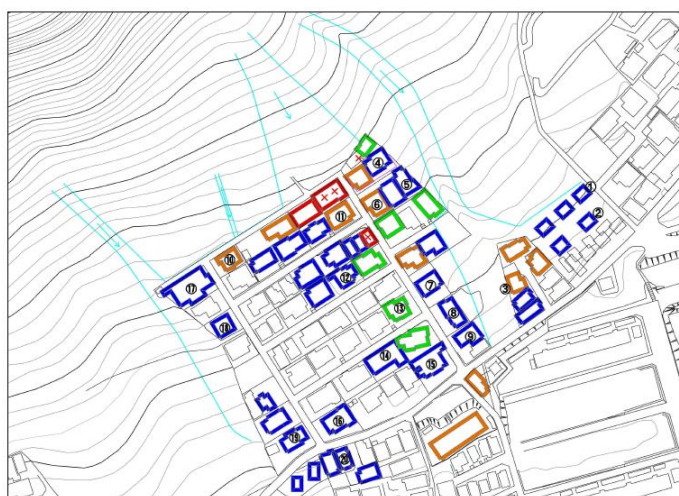


図 4-36 団地直上付近から上流を臨む

図 4-37 団地直上付近の土石流溪流の断面

この団地では災害後から 8 月 22 日～30 日かけて土石流によって被害を受けた家屋の被害状況と土砂の堆積状況について調査した。ただし、救急活動や災害復旧のための一部土砂が移動されたり、家屋が破壊されたりしている可能性や、一部では訪問調査でなく、外部から観察した家屋も含むため、被害状況が一部一致しない場合もあると思われる。

土石流による家屋の被害状況を図 4-38 に示す。この図では、全壊家屋を赤、土砂が 1 階部分に大量に流入した家屋を黄色、家屋の半分が破損した家屋を緑色、庭先など土砂が流入した家屋を青色で示している。また人的被害があった家屋（1 名は屋外にて被災）を×印で示す。



マーク	被害状況
赤	全壊した家屋
黄	1 階部分に土砂が大量に流入した家屋
緑	家屋の半分が損壊した家屋
青	土砂が流入した家屋

図 4-38 家屋の被害状況

図より被害の大きかった家屋は団地最上段の家屋で、土石流が直撃したためであると推察される。また土石流が団地内の道路を流下しているため、道路両側の家屋、および道路下方にあり土石流が直撃した家屋の被害が大きい。一方、道路両側の家屋でも、駐車場や庭などで少し道路から離れると土砂の流入はあったが、家屋の被害はあまり見られないことが分かる。

それ以外の場所では、土石流が流下した道路から離れるほど急激に被害が少なくなることが分かる。

図 4-39 に現地で計測、および撮影した写真から読み取った土砂の堆積状況を示す。この図では堆積土砂の高さが 1m 以上を赤色、0.5m 以上 1.0m 未満を黄色、0.1m 以上 0.5m 未満を緑色、0.1m 未満を青色で示している。

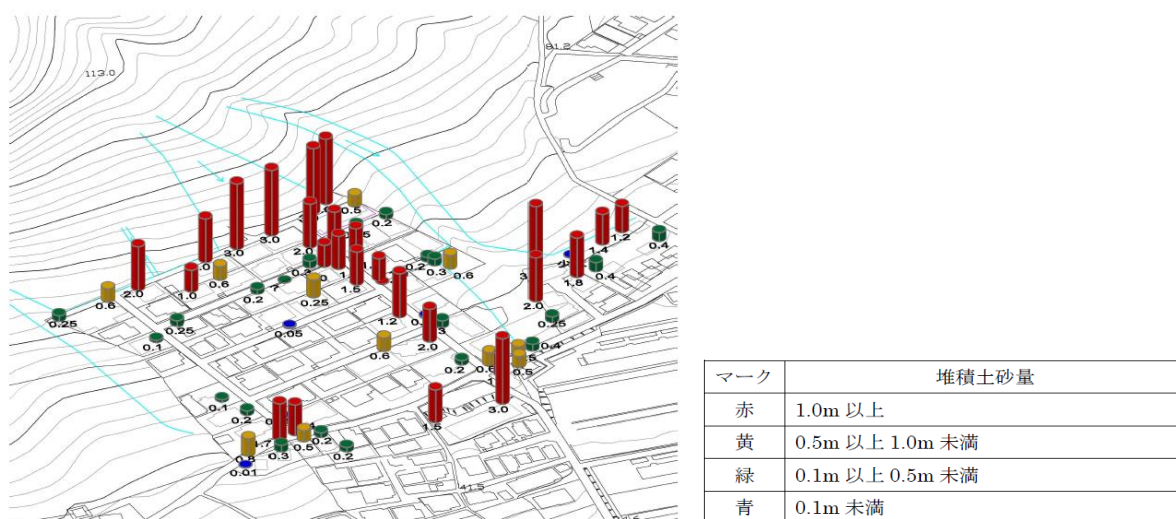


図 4-39 土砂の堆積状況

家屋被害と同様に、団地最上部の住宅と最上段の道路、最上段に延びる道路両側の住宅、道路下流の住宅と道路に大量の土砂が堆積している。西側の土石流が直撃した団地最上部の住宅には 3m 程度の土砂が流入するとともに、西側に向かって流れ、2~3m の土砂と流木が堆積していた。

西側に向かう土石流は途中で団地西側にある道路を流下して下部の住宅へ流入している。さらに北西端からは別の土石流が流れ込み、最上段の住宅および上流側にある横方向の道路に土砂が 0.25~0.6m 程度流入・堆積するとともに、団地西側の道路に合流して流下した。なお、最上段の下側の住宅は上側の住宅を通して土砂が 0.6~1m 程度流入していた。

(3) 光廣神社周辺の被害

光廣神社背後の土石流はでは、2 か所から土砂が流出している。図 4-40 は梅林小学校付近から撮影した土石流の遠景である。

図 4-40 の東側の土石流では、谷出口付近にあった 3 軒の家屋を完全に破壊しながら(図 4-41)、土砂は神社参道まで達している(図 4-42)。流失土砂は、風化花崗岩であると思われるが、巨礫を多く含んでおり、流動性が高く、量も多く、かなりの破壊力を伴う流体であったと推察される。



図 4-40 光廣神社背後の土石流遠景



図 4-41 土石流により家屋が流失



図 4-42 光廣神社に到達した土砂



図 4-43 西側の土石流

一方、西側の土石流は、比較的規模が小さく、少しだけ凹んだ斜面が表層崩壊を起こし、流下したものと考えられ、斜面下方にあった庭園部に堆積して停止していた（図 4-43）。

（4）県営緑丘住宅の被害

今回の災害で、もっと被害が大きかったのが県営緑丘住宅周辺を襲った土石流である。この現場では実に 41 名の死者が確認されている。図 4-44 はルーチェサーチ株式会社が撮影した災害地の航空写真である。

中井らによると県営緑丘住宅周辺を襲った土石流は 3 回以上にわたって流下している⁹⁾。中井らが示した流下状況を図 4-45 に示す。図に示す通り、第一波は団地最上段部程度で停止しているが、その後第一波で堆積した土砂をよけるように第二波、第三波がそばを通り過ぎ、勾配の緩い地域まで流下している。



図 4-44 県営緑丘住宅付近の被災状況の様子（提供：ルーチェサー子株）

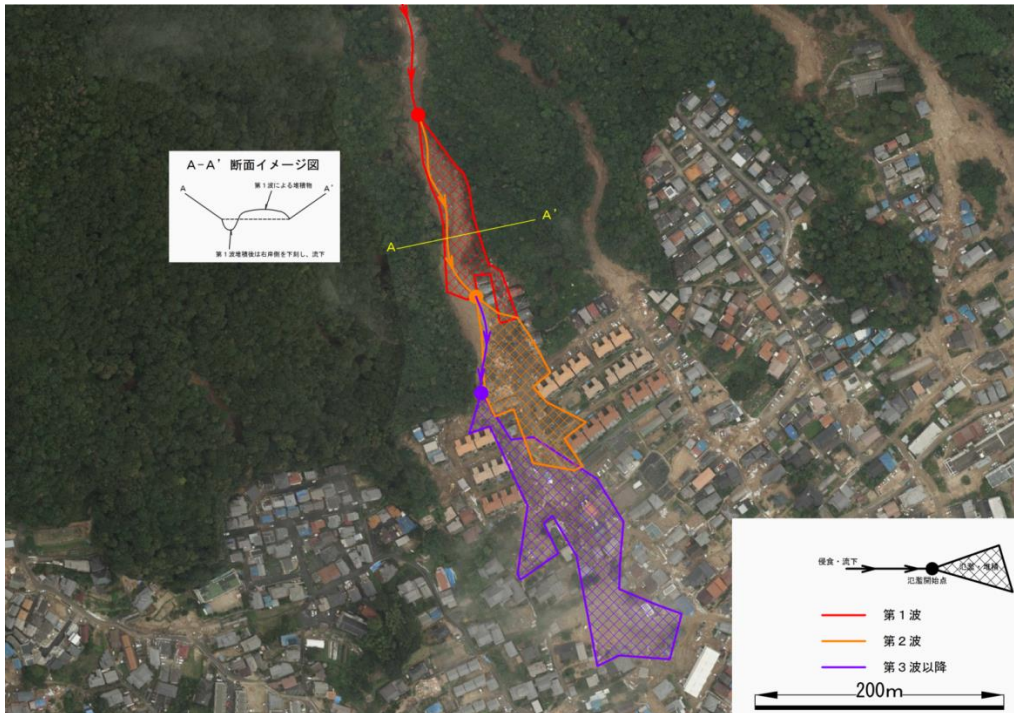


図 4-45 土石流流下状況（提供：中井真司博士）

図 4-46～48 は第三波が到達したエリアの様子である。4m ほどの巨岩を含む土石流が襲来している。流下した土砂の粒度は、まさ土地帯の土石流で良く見られる細粒土から砂、礫、巨岩まで幅広く見られ、数 m の巨岩なども多く見られ、土石流の破壊エネルギーがすさまじかったことが伺える。

図 4-49 は第二波が襲来したエリアから上の様子である。流側を撮影した写真である。これからわかるように土石流が狭いエリアを流下して、その間にあった家屋を完全に破壊している。また流路沿いの家屋は溪流に面した部分が大きく被災している。



図 4-46 被災エリアの写真



図 4-47 被災エリアの写真



図 4-48 多くの巨岩も見られた



図 4-49 県営緑丘住宅付近から上流を撮影

図 4-50 は土石流の氾濫開始点付近から下流を望んだ様子を示す。左岸側に第一波が堆積し、それを迂回するように第二波、第三波が右岸側を流下している。図 4-51 は第 1 波が堆積している付近の右岸側の溪流の様子を示す。災害後の降雨による影響もあるが、かなり深く削られていることが分かる。



図 4-50 氾濫開始点付近から下流を望む



図 4-51 右岸側の様子

図 4-52～53 は上流側に少し上った所にある石切り場付近の様子である。完全に基岩が露出している。



図 4-52 石切り場



図 4-53 完全に基岩が露出している

図 4-54 は溪流途中に見られたパイプフローにできたと思われる穴である。このようなあとは溪流に沿って多く見られ、また他の土石流現場でも多く確認されている。



図 4-54 溪流途中に見られたパイプフロー跡

図 4-55～57 は本流と支流の合流部付近の様子である。左岸側が支流で、右岸側が本流である。図 4-57 に示すように、この付近では基岩が完全に露出しており、多くの土砂が流下したことが分かる。

図 4-58 は支流と支流の合流地点付近である。左からの支流の出口には右からの支流によって運ばれた流木が残されている。



図 4-55 本流と支流の合流付近（左岸側）



図 4-56 本流と支流の合流付近（右岸側）



図 4-57 本流と支流の合流地点付近



図 4-58 支流と支流の合流付近（左岸側）

図 4-59 は右岸側の支流を上った様子である．地山の一部分が大きく削られ手いることが分かる．これから今回は被圧された地下水により土砂が押し出されるような形で土石流が発生した可能性が伺える．図 4-60 は右岸側支流の源頭部付近の様子を示す．幅約 20m、深さ 4～5m 程度とかなり深い．また図 4-61～7 に示すように崩壊部にはパイプフロー跡と思われる穴や空洞が多く見られた．



図 4-59 右岸側支流の様子



図 4-60 右岸側支流の源頭部の様子



図 4-61 基岩との境界見られたパイプフロー跡



図 4-62 マトリックの間に見られた空洞

図 4-63 は左岸側支流の源頭部付近の様子である．源頭部は幅約 8.5m、深さ約 1.8m 程度であっ

た。この源頭部付近でも図 4-64 に示すようなパイプフロー跡が多く見られた。図 4-65～66 は左岸側支流の様子を示す。



図 4-63 左岸側支流の源頭部の様子



図 4-64 パイプフロー跡と思われる穴



図 4-65 左岸側支流の様子①



図 4-66 左岸側支流の様子②

図 4-67 は本流の途中の様子である。まさ土のみならず、軟岩の一部も切り取られており、相当な土砂が流下したものと考えられる。図 4-68 に示すようにまさ土部分の側面にはパイプフローの跡が多く見られた。

図 4-67 の上流には断層に沿って深く V 字に削られた谷地形も見られた (図 4-69)。



図 4-67 本流の流路の様子



図 4-68 側面にはパイプフロー跡が見られた



図 4-69 断層に沿って削られた谷地形

本流の源頭部は複数（大小合わせ 5 個程度）ある（図 4-70～71）。図 4-71 に示す源頭部では図 4-72 に示すように一部が大きく削られているものもあり，後ろから押されて土砂が流下した可能性がある。本流の源頭部でもこれまで同様パイプフロー跡と思われる穴が多く見つかった（図 4-73）。



図 4-70 本流の源頭部①



図 4-71 本流の源頭部②



図 4-72 源頭部に見られた大きなくぼみ



図 4-73 パイプフロー跡と思われる穴

また，本流の源頭部近くでは図 4-74 に示すように常時地下水位面下にあったと思われる灰色の砂質土が見つかるなど，常に地下水が供給されるような状況であったことが分かる．



図 4-74 灰色をした砂質土

なお，図 4-50 から図 4-74 は一緒に調査を行った復建調査設計(株)中井真司博士に提供いただいた．

4. 3 室内試験

安佐南区八木地区の土石流3溪流から試料を採取し、室内試験を行った。

(1) 物理試験結果

崩壊が発生した八木三丁目（阿武の里山地）、八木四丁目（八木ヶ丘団地）の2溪流の源頭部および氾濫域から攪乱試料を採取し、密度試験、粒度試験を実施した。

表4-3に密度試験の結果を示す。密度は2.67～2.75と少し大きめの値であった。

表4-3 密度試験結果

地点名	阿武の里（団地内）	阿武の里（源頭部）	八木ヶ丘団地（源頭部）
$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.673	2.719	2.748

粒度試験より求めた粒径加積曲線を図4-75に示す。粒径が約0.001mmから10mm以上と幅広く分布している。これは風化土によく見られる傾向であり、粒度分布に局所的な変化も見られる。また平成11年6.29災害のまさ土の粒径加積曲線⁵⁾と比べると、細粒分が多く含まれることがわかる。今回の災害の試料は、細粒分が50%以上であり、細粒土に分類される。これより本現場は風化がかなり進行しており、危険な状態であったといえる。

なお、阿武の里団地のコンシステンシー限界試験結果を表4-4に示す。

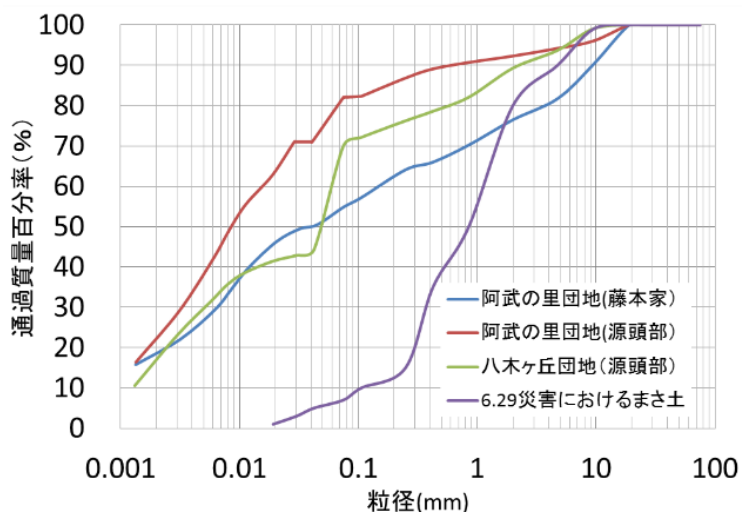


図4-75 粒径加積曲線

表4-4 液性限界・塑性限界試験結果

試料名	液性限界	塑性限界	塑性指数
阿武の里団地（藤本家）	54.3%	26.0%	28.3%
阿武の里団地（源頭部）	65.2%	37.1%	28.1%

(2) 一面せん断試験

次に八木三丁目県営緑丘住宅裏の土石流の源頭部においてチューブサンプリングにより不攪乱試料を採取し、室内にて一面せん断試験を実施した。今回は安定解析を行うため、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した。

試験結果を図 4-76 および図 4-77 に示す。破壊曲線を得た。不飽和試料では $c=15.5\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=39.8^\circ$ ，飽和試料では $c=14.8\text{kN/m}^2$ ， $\phi=30.3^\circ$ の結果が得られた。6.29 災害における試料の強度定数は $c=0\sim 7\text{ kN/m}^2$ 、 $\phi=30^\circ$ 前後であり⁶⁾、内部摩擦角に大きな差はないが、粘着力においては今回災害現場の試料が大きく上回っている。特に飽和状態においては 6.29 災害における試料の場合 c は 0 付近まで著しく減少するが、本災害の試料では c がほとんど減少していない。したがって、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ったとわかる。

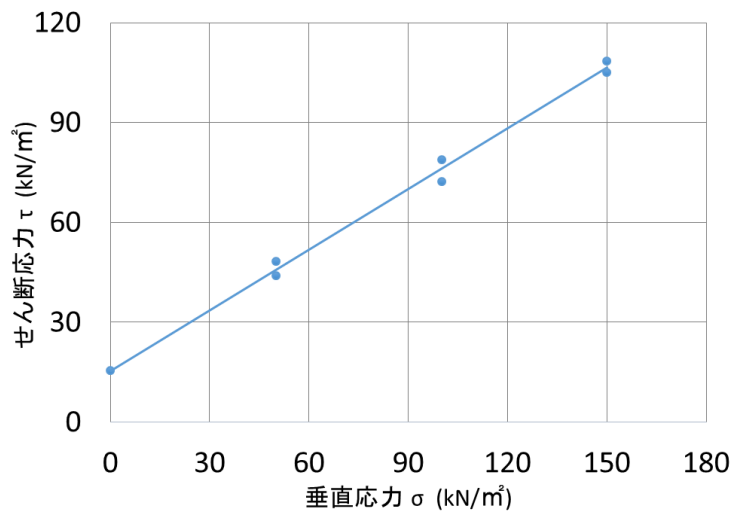


図 4-76 不飽和一面せん断試験結果（破壊規準線）

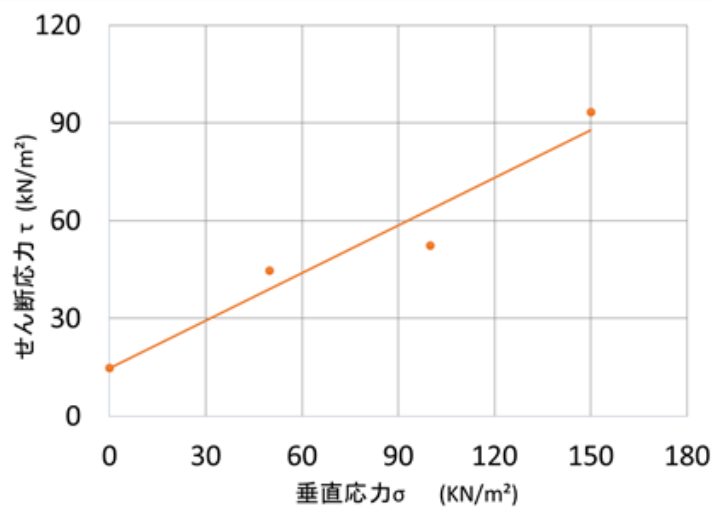


図 4-77 飽和一面せん断試験結果（破壊基準線）

現地調査及び試験結果より $c=15\text{kN/m}^2$, $\phi=35^\circ$, $\gamma_{\text{sat}}=1.78\text{g/cm}^3$, $\gamma_t=1.24\text{g/cm}^3$, $\beta=35^\circ$ とし、次に示す長大斜面の安定計算式に代入し、安全率を求めた。

$$F_s = \frac{C}{W \tan \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta} - \frac{U \tan \phi}{W \sin \beta} \dots \dots (1)$$

ここに W : 土塊重量 = $\{\gamma_t(H - H_w) + \gamma_{\text{sat}} \times H_w\} \cos \beta$

U : 水圧の合計 = $\gamma_w \times H_w \cos^2$

c : 粘着力 (kN/m^2) , ϕ : 内部摩擦角 ($^\circ$) , H : 風化層厚 (m) , H_w : 地下水位高さ (m) ,

β : 斜面勾配 ($^\circ$) , γ_t : 湿潤密度 (g/cm^3) , γ_{sat} : 飽和単位体積重量 (g/cm^3)

仮に層厚 2m、地表面まで飽和したとして安全率を求めると、 $F_s=1.06$ となり、 $F_s>1$ より安全となり、もっとも危険な飽和状態であっても、崩壊する危険性が小さいことから、今回の現場では降雨の浸透に伴う重量の増加や、せん断抵抗力の低下だけでは崩壊に至らない可能性がたかいことがわかる。

ここで今回の広島県豪雨災害での崩壊現場での地下水位の解析を一次元の飽和・不飽和浸透流解析によって行った。解析には Richards の非定常流れの方程式を用い、有限差分法により数値解析を行った。なお、県営緑丘住宅裏の土石流現場の粒度試験は行えてないが、阿武の里団地および八木ヶ丘団地源頭部の粒度試験結果から砂質シルトであると思われることから、ここでは既往の参考文献⁸⁾から Loamy Sand の VG モデルのパラメータを用い飽和・不飽和一次元浸透流解析を行った。

解析に用いたパラメータは $\theta_r(\%)$: 0.057、 $\theta_s(\%)$: 0.41、 α : 0.124、 n : 2.28、 m : 0.63 $K_{\text{sat}}(\text{cm/s})$: 0.0003、 $Q_{\text{out}}(\text{cm/s})$: -5.0×10^{-6} である。また、現場調査の結果をもとに、表層は 1.5m とし、降雨は三入東の実降雨記録を用い、崩壊発生時刻の 9 時間前の雨量から解析を行った。

図 4-78 に崩壊発生時刻を過ぎた午前 4 時頃の解析結果を示す。このように解析では、層全体が飽和しないため、崩壊が発生しないことが分かった。当然、VG モデルに用いるパラメータが正確でないなどの問題もあるいが、上述した安定解析の結果を合わせて考えると、今回の災害では降雨の地表面からの浸透による表層崩壊では説明しにくいことがわかる。

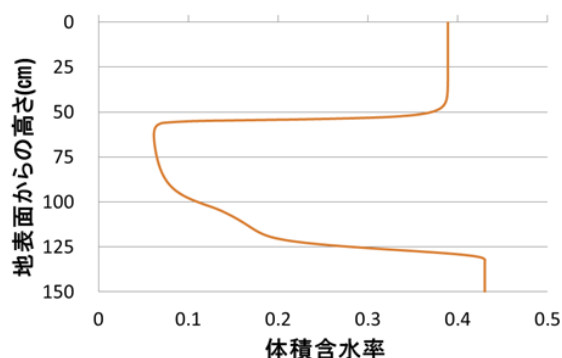


図 4-78 浸透流解析の結果

そこで、崩壊原因には別の要因が考えられる。森脇ら⁹⁾によると今回の崩壊は谷部での崩壊が多く見られており、被圧地下水によって押し出されたような形状をしている。また、現場調査結果で示したようにパイプフローの痕跡も見られることから、災害前の2か月間に降った降雨により、すでに山に多量の地下水が存在し、周りからの伏流水などの影響も考えられる。

図4-79はその概念図を示す。図に示すように地盤内の節理や不連続面に水が入り込み、その水が伏流水として流れており、災害があった8・20日未明の降雨により被圧された地下水が地表面に流出させ、その際、地面を斜面下方に押し出すことによって発生したと思われる。

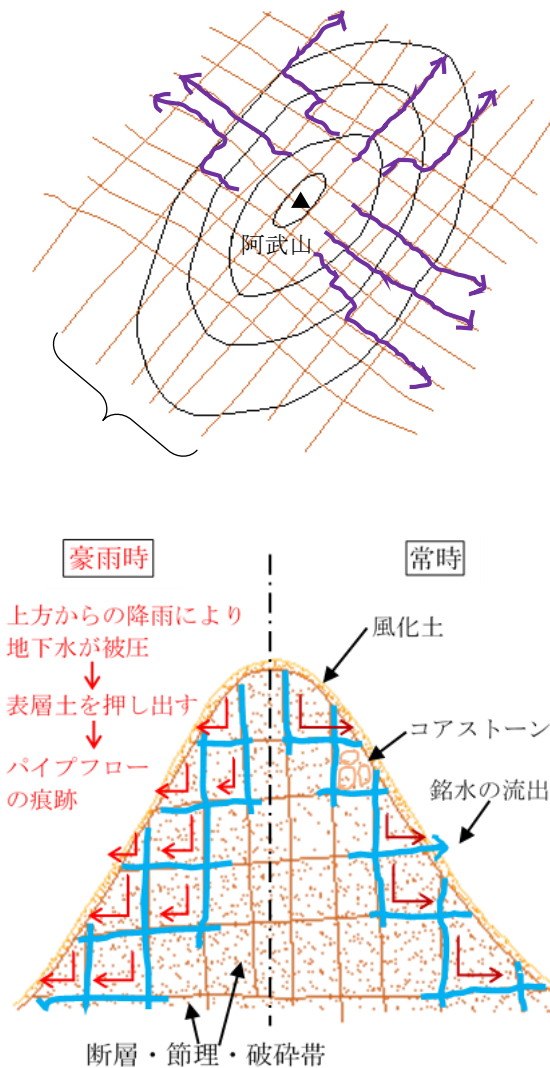


図4-79 地盤中の水の流れの概念図（提供：森脇武夫博士）

4. 4 まとめ

第4章では発生した土石流について被害が大きかった安佐南区八木地区の災害現場について報告した。以下に明らかになったことを示す。

- 1) 今回の災害では6.29災害と比較して、土石流の割合が高く、激しい降雨による土砂災害であったことが伺える。
- 2) 地質的には安佐南区の災害現場では、風化花崗岩であるまさ土地帯と、ジュラ紀の付加体やそれが熱変成を受けたホルンヘルスや力学変成岩からなる地帯とからなり、複雑な地質となっている。ただし、源頭部付近はまさ土と思われる。
- 3) 八木ヶ丘団地を襲った土石流では、途中にあった治山堰堤が一部破壊されていた。治山堰堤上流側では勾配が15度程度と緩くなっていた。
- 4) 八木ヶ丘団地を襲った土石流の中流域側方斜面にはまだ数十cmの礫が多く見られ、もともとこのあたりの多くの岩石が存在し、それが土石流となって流れた可能性があることが分かった。
- 5) 阿武の里団地を襲った土石流は少なくとも2回以上流下しており、第一波が団地東側に流れ、氾濫原に堆積したために、第二波はそれを避けるように西側を流下し、団地を襲っている。
- 6) 阿武の里団地を襲った土石流も氾濫域には土砂に交じって数十cm～1m程度までの礫や岩石が多数みられた。また土石流堆積物の下にも土石流堆積物と思われる層があり、過去にも繰返し土石流が発生していたことがわかった。
- 7) 阿武の里団地の被害状況や土砂の堆積状況を調査すると、被害があった家屋は団地最上段に位置する住宅や土石流が流下した道路沿いの住宅に集中していることがわかった。
- 8) 光廣神社裏の土石流は比較的小規模であったが、住宅を3軒程度破壊し、神社まで到達しており、規模の割には多量の土砂が流下したと思われる。
- 9) 八木三丁目県営緑丘住宅を襲った土石流は、まさ土が流下したものと思われ、数mの巨石も含むなど非常に破壊力が大きかったことがわかる。
- 10) 土石流は本流と2本の支流で発生しており、中下流では軟岩が削れたり、基岩が完全に露出してU字谷のような形状になったりなど多量の土砂が流下した可能性があることが分かった。
- 11) 溪流のあちこちで断層など不連続面や、基岩との境界付近でパイプフローの跡と思われる穴が見られた。また源頭部近くでは灰色の砂質土が見つかるなど常に地下水が供給されるような状態であったことが推察される。
- 12) 本流の源頭部や支流の源頭部付近で、地盤が大きく削られたような窪地がみられ、通常の表層崩壊ではなく、被圧された地下水により地盤が前に押され、土石流となって流下した可能性があることがわかった。
- 13) 本流の源頭部は大小5つぐらいあるが、一つには深さ4～5mと深いものもあった。
- 14) 八木ヶ丘団地と阿武の里団地の土石流から採取した土砂の粒度分布を調べたところ、細粒分

が50%以上もあり、細粒土に分類される。

- 15) 県営緑丘住宅を襲った土石流の源頭部から不攪乱試料を採取し、一面せん断試験を実施したところ、飽和状態と不飽和状態では粘着力にそれほど差がなく、内部摩擦角が39.8度から30.3度に低下した。
- 16) 一面せん断試験の結果を用い、現場と同じ2mの層厚として安定計算をしたところ、一番不安定な地表面まで飽和したと仮定しても、安全率は1以上であり、崩壊に至らないことが分かった。これより、雨水の浸透による重量の増加とせん断強度の低下だけでは説明ができないことがわかる。
- 17) 今回の現場では数多くのパイプフローの跡が確認され、また地盤が後ろから押されたような窪地が見つかるなどしていることから、今回の崩壊では被圧された地下水により地盤が前方に押され流下したと考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：平成26年(2014年)8月豪雨による被害状況に関する情報，
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h26-0816heavyrain-index.html>.
- 2) 広島県発表：8月19日(火)からの大雨による被害等について(第68報)，
http://www.bousai.pref.hiroshima.jp/hdis/info/1649/notice_1649_1.pdf
- 3) 産業技術総合研究所：地質図Navi，<https://gbank.gsj.jp/geonavi/#top>.
- 4) 土木学会・地盤工学会緊急合同調査団：平成26年広島豪雨災害合同緊急調査団調査報告書，pp.106-137，2014.
- 5) 土木学会・地盤工学会緊急合同調査団，平成26年広島豪雨災害合同緊急調査団調査報告書，pp.146-149，2014.
- 6) 地盤工学会平成11年広島県豪雨災害緊急調査委員会：平成11年の広島県豪雨災害調査報告書，pp.62-65，2000.
- 7) Richards, L. A.: Modulus of rupture as an index of crusting of soils, Soil Science Society of America, Proceedings, Vol. 17, pp.321-323,1953.
- 8) van Genuchten, M.TH: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Science Society of America, Journal Vol. 44, pp.892-898, 1980.
- 9) 土木学会・地盤工学会緊急合同調査団：平成26年広島豪雨災害合同緊急調査団調査報告書，pp. 248-261, 2014.

5. 土石流の特徴と数値解析

5. 1 はじめに

2014年8月19日から20日早朝にかけて、広島市上空に線状降雨帯が形成され、局所的な短時間豪雨が発生した。豪雨が発生した地域の地質の多くは、風化しやすい花崗岩で構成されている。また、地盤勾配が非常に急であるとともに、斜面下部に多くの宅地が存在している。そのため、斜面崩壊に起因した土石流が発生し、宅地が土石流によって被災して多くの人命が失われた。

本研究では、広島市安佐南区八木三丁目が発生した土石流について、現地調査を実施するとともに、平面二次元数値シミュレーションを実施することによって土石流の流動特性を検討した。

5. 2 広島市安佐南区八木三丁目

図5-1に被災後の広島市安佐南区八木三丁目の様子を示す¹⁾。図に示すように、少なくとも本川で3箇所、支川は途中で2つに分岐して、各支川で1箇所ずつ斜面崩壊が発生したものと推察される。また、河道内には岩が露出し、河床勾配が非常に急な領域があり、これらの領域からも斜面崩壊や表面浸食に起因した土石流が発生した可能性も考えられる。対象斜面の下の方には、広島花崗岩と呼ばれる風化しやすい岩と花崗岩が風化した真砂土が分布している²⁾。斜面の上の方には、変成作用を受けて堅くなった岩も分布

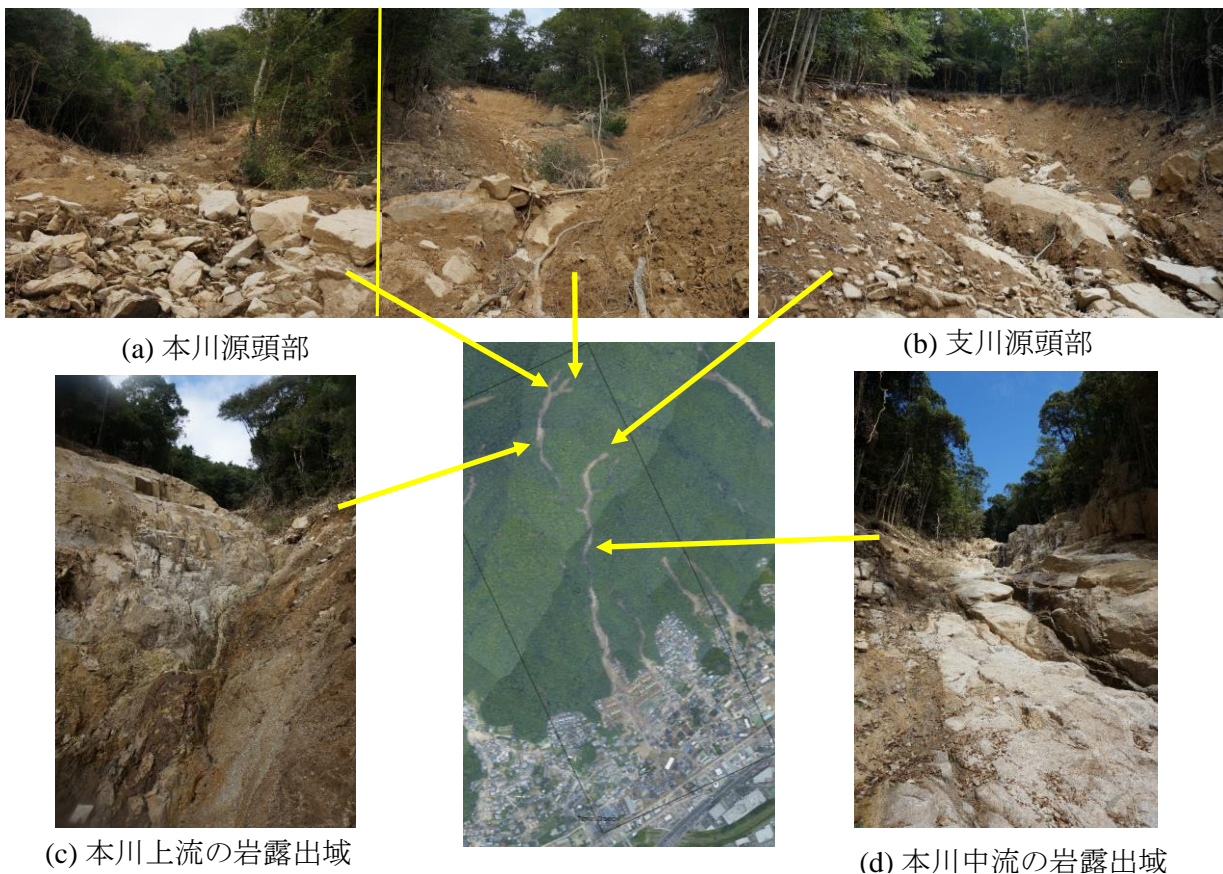


図5-1 広島市安佐南区八木三丁目の斜面崩壊跡と岩露出域

している²⁾とされているが、現地を見る限り、斜面の上の方にも多くの真砂土が存在していた。広島花崗岩は風化しやすいため、土石流の流動によって浸食されやすく、節理も多く入っており、岩の中では比較的透水性が高い。そのため、不安定土砂に加えて、土石流の通過によって花崗岩や変成岩が破壊されて土石流に取り込まれ、土石流の規模をさらに大きくしたと考えられる。



図 5-2 本川と支川の合流部

図 5-2 に本川と支川の合流部の被災後の様子を示す。合流点直下流の右岸（西側）は基岩が露出しており、支川からの土石流によって河岸が浸食されたことがわかる。一方、合流点直下流の左岸（東側）は、本川からの土石移流の浸食を受けたと思われるが、斜面の表面に土砂が堆積していることがわかる。河道湾曲部では外岸が浸食され、内岸には土砂が堆積することを考えると、最後の土石流は支川から流出してきたと考えられる。

図 5-3 に二つの支川の合流部の被災後の様子を示す。西側の支川の土石流の規模の方が、東側の支川の土石流の規模よりもかなり大きかった。また、西側の支川の土石流の堆積物が東側の支川の流れによって浸食されているため、西側の土石流が先に発生し、その後に東側の土石流が発生したものと考えられる。



図 5-3 支川の合流部



図 5-4 住宅地の様子（ルーチェサーチ撮影）³⁾

図 5-4 に 8 月 25 日に撮影された被災後の住宅地の様子を示す³⁾。溪流の出口付近の住宅地には、鉄筋コンクリート製の県営住宅と多くの木造家屋が存在していたが、溪流に沿った領域の木造家屋の多くが流出していた。一方、県営住宅の一部には土石流が衝突しているが、建物の形状が変形するような損傷は受けていなかった。しかし、土石流は窓ガラスを割って室内にも流れ込んだため、県営住宅の居住者も被災した。土石流は横断的にはあまり広がらず、道路や建物と建物の間に沿って斜面下方に比較的直線的に流下したようである。

5. 3 数値シミュレーションの概要

八木三丁目で発生した土石流の流動特性を明らかにするために、土石流の平面二次元解析を行った。解析に用いた基礎方程式を以下に示す。

水及び土砂の混合物の質量保存則⁴⁾は以下のものである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = \frac{E}{c_*} \quad (1)$$

ここに、 t は時間、 h は泥流の流動深である。 u と v は x と y 方向における速度成分、 c_* は静止堆積層の砂礫の堆積濃度、 E は河床の浸食速度であり、以下の江頭らの式⁴⁾を用いる。

$$\frac{E}{\sqrt{u^2 + v^2}} = c_* \tan(\theta - \theta_e) \quad (2)$$

ここに、 θ は流動方向の河床勾配であり、以下の関係がある。

$$\sin \theta = \frac{u \sin \theta_x + v \sin \theta_y}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (3)$$

ここに、 θ_x は x 方向の河床勾配、 θ_y は y 方向の河床勾配である。 θ_e は水及び土砂の混合物中の鉛直平均土砂濃度 \bar{c} に関する流動方向の平衡河床勾配であり、図5-5のように、水と土砂の混合物に対して河床近傍に層流域、その上に乱流域を有する二層流を考え、 \bar{c} を一定とすると、以下の関係が得られる。

$$\tan \theta_e = \frac{(\sigma/\rho - 1)\bar{c}}{(\sigma/\rho - 1)\bar{c} + 1} \frac{h_s}{h} \tan \phi_s \quad (4)$$

ここに、 ϕ_s は土砂の内部摩擦角である。流体中の土砂の質量保存則⁴⁾は以下のものである。

$$\frac{\partial \bar{c}h}{\partial t} + \frac{\partial \bar{c}hu}{\partial x} + \frac{\partial \bar{c}hv}{\partial y} = E \quad (5)$$

運動量保存則⁴⁾は以下のものである。

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \quad (6)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m} \quad (7)$$

ここに、 g は重力、 z_b は河床位である。 P は圧力であり、静水圧近似を用いる。

ρ_m は以下の関係がある。

$$\rho_m = (\sigma - \rho)\bar{c} + \rho \quad (8)$$

ここに、 ρ は流体の密度、 σ は固体の密度である。 τ_{bx} と τ_{by} は x と y 方向における掃流成分であり、以下のものである。

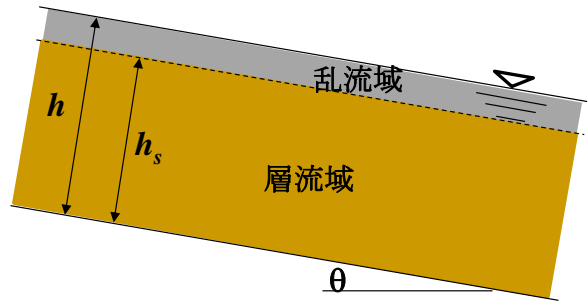


図5-5 二層モデル

$$\tau_{bx} = (\tau_y + \rho f_b (u^2 + v^2)) \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (9)$$

$$\tau_{by} = (\tau_y + \rho f_b (u^2 + v^2)) \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (10)$$

τ_y は降伏応力であり、本解析では以下の関係を用いる。

$$\tau_y = \left(\frac{\bar{c}}{c_*} \right)^{\frac{1}{n}} (\sigma - \rho) \bar{c} g h_s \cos \theta \tan \phi_s \quad (11)$$

f_b は抵抗係数であり、本解析では以下の関係を用いる。

$$f_b = \frac{4}{25} \left\{ k_f \frac{(1 - \bar{c})^{\frac{5}{3}}}{\bar{c}^{\frac{2}{3}}} + k_d \frac{\sigma}{\rho} (1 - e^2) \bar{c}^{-\frac{1}{3}} \right\} \left(\frac{h_s}{d} \right)^{-2} + 9\alpha^2 \left(1 - \frac{h_s}{h} \right) \quad \alpha = \sqrt{\frac{1}{16}} \quad (11)$$

河床位方程式⁵⁾は以下のものである。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{E}{c_*} \quad (12)$$

土石流は、斜面崩壊及び表面浸食を発端として発生するものとした。斜面崩壊・表面浸食の場所は、本川中流部、本川源頭部、支川源頭部の3箇所を想定し、各1回ずつ崩壊が発生するものとした。崩壊の発生時刻は不明であるが、現地調査の結果から支川からの土石流が本川の土石流よりも後に発生している可能性が高い。そのため、本川中流部と本川源頭部で斜面崩壊は同時刻に発生するものとし、本川上流からの土石流が本川と支川の合流点を通じた時刻に支川上流端の崩壊が発生するものとした。崩壊の大きさは、現地の調査の結果を参考に数種類を検討したが、宅地に流入する土石流の特性にはほとんど影響を与えなかった。これは、斜面崩壊による流出土砂量よりも流下しながら河床や河岸から土石流に取り込まれる土砂量の方がかなり多いためである。また、家屋を考慮した解析と家屋を無視した解析を行った。家屋は被災後に残存したもののみを考慮し、全壊したものは考慮していない。家屋は、不透過で非越流の構造物として扱った。

5. 4 結果と考察

図5-6に解析後の地盤高さの変化量の平面分布と被災後の写真や映像から得られた粒径の大きい岩石の平面分布を示す。図に示すように、解析結果は、粒径の大きい岩石の平面分布とほぼ一致していることがわかる。これは、本解析が土石流の発生・流動・堆積過程に関する数値シミュレーションであり、土石流による土砂が堆積した後に降り続いた豪雨による粒径の細かい土砂の浸食を対象としていないためである。本結果より、土石流発生から土石流が宅地に堆積した直

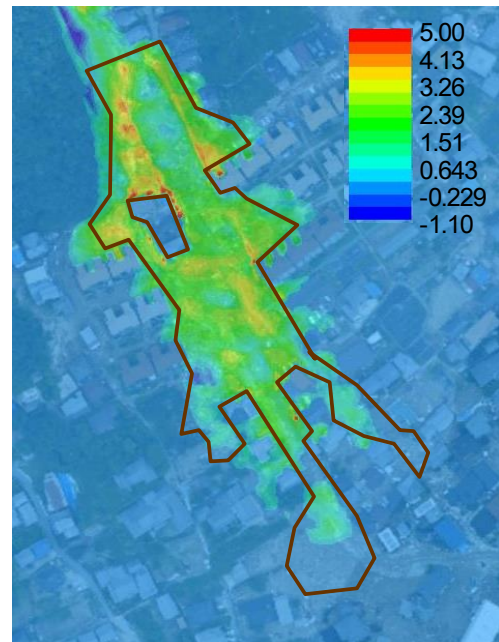


図5-6 数値解析による地盤の変化の平面分布（コンター）と現地での粒径の大きい岩石の平面分布（茶色枠）

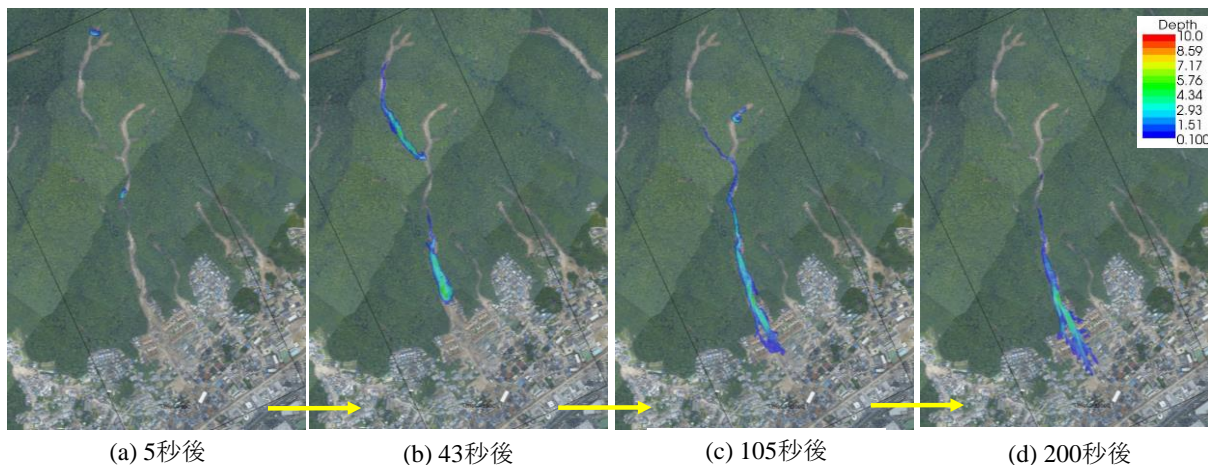


図 5-7 流域全体の土石流の深さの時空間的な変化

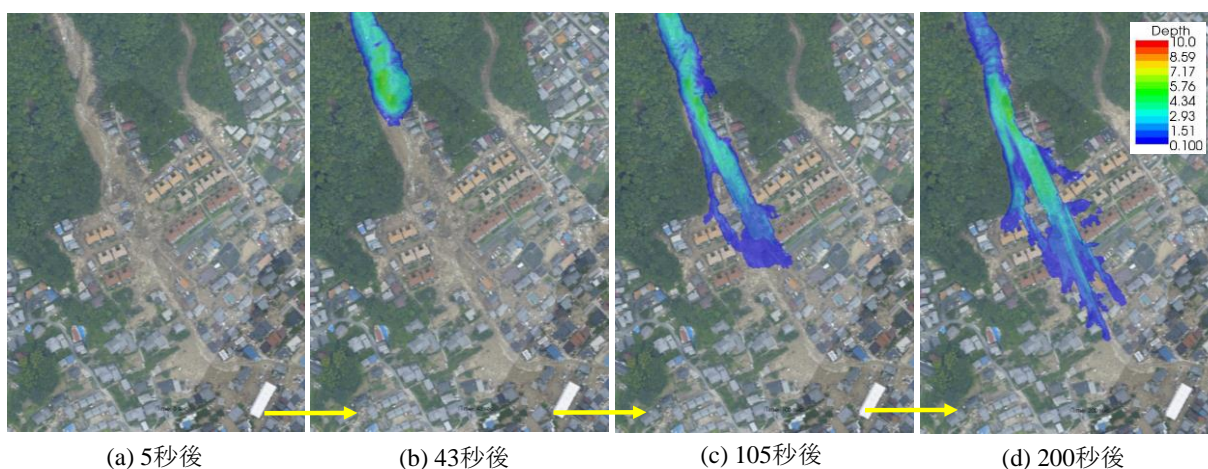


図 5-8 住宅地の土石流の深さの時空間的な変化

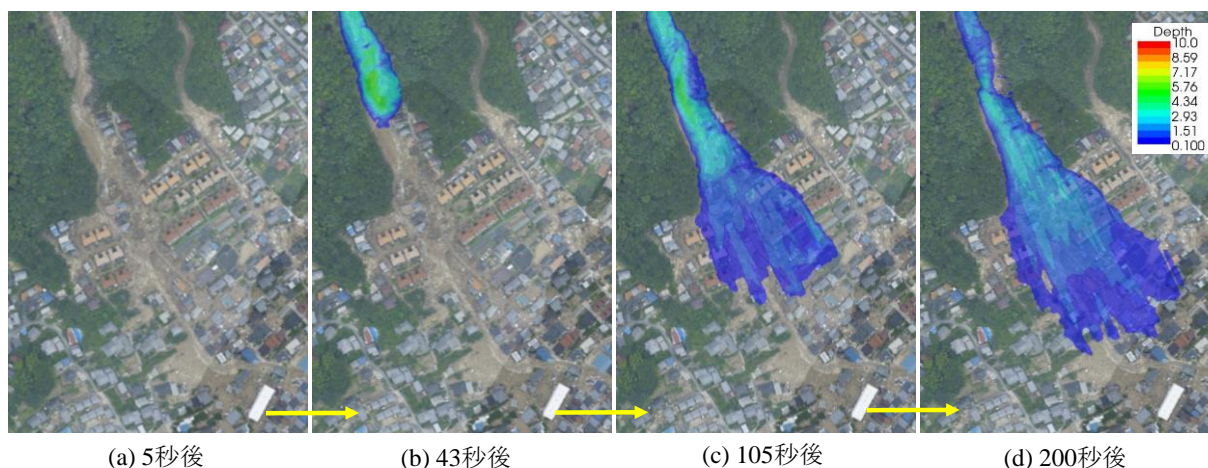


図 5-9 家屋を考慮していない場合の住宅地の土石流の深さの時空間的な変化

後までの現象に対しては、本解析モデルによってある一定レベルで評価が可能である。

図 5-7 に流域全体の土石流の深さの時空間的な変化を示す。土石流発生直後は土石流の規模は非常に小さいが、時間とともに大きくなり、宅地に流れ込んだ時点では非常に大きくなっていることがわかる。中流域で発生した土石流は、43 秒で宅地に到達しており、本川源頭部で発生した土石流でも 96 秒で宅地に到達

している。土石流の発生した時刻が午前3時～4時であり、就寝時刻であることと、屋外で高強度の雨が降っていたことを考え合わせると、土石流発生時点で土石流発生との連絡があったとしても避難所などへの避難は困難であることがわかる。土石流の平均速度は約9m/sであり、宅地に流れ込んだ時点では約8m/sであった。

図5-8に住宅地での土石流の深さの時空間的な変化を示す。土石流は家屋の上流域に土砂を堆積させるため、家屋に土石流が衝突しても横に大きく広がることはなく、斜面下方に伸びている道路や家屋と家屋の間を比較的直線的に下流に流下していることがわかる。これは、今回の土石流はマサ土地域としては比較的大きな粒径の岩石が含まれているとともに、地盤の勾配が非常に急な地域に宅地が建設されているためと考えられる。

図5-9に家屋を考慮していない場合の住宅地での土石流の深さの時空間的な変化を示す。家屋を考慮しないことにより、土石流は扇形に広く薄く流れていることがわかる。つまり、家屋の存在により土石流から守られた場所もある一方で、土石流の流下経路に周辺は、土石流の深さは深くなり被害も大きくなったと考えられる。

5.5 おわりに

広島市安佐南区八木三丁目で発生した土石流について、現地調査を実施するとともに、平面二次元数値シミュレーションを実施することによって土石流の流動特性を検討した。本報告は速報版であり、ここに記載されたものの一部は、現時点では十分に検討できていない。これらについては、今後詳しく検討が行われる予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省中国地方整備局太田川事務所より提供。
- 2) 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター：20万分の1日本シームレス地質図。
- 3) ルーチェサーチより提供。
- 4) 江頭進治・伊藤隆郭：土石流の数値シミュレーション，日本流体力学会数値流体力学部門 Web 会誌，第12巻，第2号，pp.33-43，2004。

6. おわりに

2014年8月19日夜から20日明け方に広島市安佐南区から安佐北区を襲った局地的豪雨は、同時多発的に大規模な土石流を発生させ、死者74名を含む甚大な災害を発生させた。この災害は今後の土砂災害を軽減するために必要な多くの教訓を残した。

急傾斜地に展開した住宅街を襲った今回の土石流による災害は、これまでの土石流災害と一線を画すものと考えられる。もはや、砂防関係者が中心となって検討し対策を立てるというレベルではなく、都市計画・地域計画のレベルで問題点を検討しなければ解決しない問題である。住宅地としての適地が少ない広島市では、古代から丘陵地の麓に用心深く住み続けてきた歴史がある。被災した地域では太田川の氾濫を避けて丘陵地の麓を選んできた。しかし、高度成長の時代から、土砂災害の危険性の高い地域に足を踏み入れ、やがては危険であることを意識しない生活を送るようになった。今後、高齢化や少子化が進展し、豪雨や激化すると予測される状況において、土砂災害のリスクを最小限にするためには、安全にも配慮した都市計画の立案と土地利用の規制が不可欠である。

広島市において線状降水帯による集中豪雨が発生したことは、今回がはじめてではない。過去にも発生しており、今後もいつ何時発生するとも限らない。また、梅雨の末期には日本各地で発生する可能性がある。砂防堰堤の整備などのハード対策には年数がかかる。被災した地区の住民が豪雨の度に不安におびえながら暮らしていることを考えると、気象情報の精度向上や避難情報の発信の見直しは不可欠である。また、これまでの行政から住民に向けたプッシュ型の情報発信だけでなく、住民が自分の地区の情報を的確に入手できるように、プル型の情報を整備することが必要であると思われる。

地元では、梅雨期を迎えるにあたり、自主防災会連合会が合同避難訓練を行い、1,500名以上が参加したと聞いている。また、住民が中心になって地区版の防災マップを作成している。住民に技術的な情報を提供することを通して、住民の自主的な活動を支援することも必要である。

災害から9ヶ月を経て、今なお、水工学分野において検討すべき課題が多く残っていることを実感する。XRRAINデータの有効活用、集中豪雨の予測性能の向上、短時間の局所的な大雨に対する中小河川の応答解析、急な傾斜地に広がる住宅地において排水路が閉塞した場合の表面流出解析、急流河川での側岸浸食の解析等が挙げられる。一方、土石流の発生予測・流動解析については水工学分野から貢献できることも多いのではないと思われる。

今回の豪雨災害は、災害軽減技術をさらに進展させるだけでなく、水工学分野と都市計画分野や地盤工学分野との連携の必要性を提示したと理解したい。今後の豪雨災害の軽減に少しでも役立てば幸いである。