

2010年7月豪雨による広島県庄原市で発生した土砂災害の調査

Report of Investigation Team on sediment disasters in Shobara City, Hiroshima Prefecture caused by concentrated heavy rain in July 2010

土田 孝	Takashi TSUCHIDA	(広島大学大学院工学研究院)
一井 康二	Koji ICHII	(広島大学大学院工学研究院)
伊達 裕樹	Yuki DATE	((株) ウエスコ)
武田 吉充	Yoshimitsu TAKEDA	(広島県)
花岡 尚	Takashi HANAOKA	(広島大学大学院工学研究科)

2010年7月16日に広島県庄原市北部の川北町、西城町を結ぶ県道445号線を中心とする地域に3時間にわたる集中豪雨があり、洪水と斜面崩壊、土石流などの土砂災害によって死者1名、全壊家屋12棟、半壊家屋11棟という大きな被害が発生した。地盤工学会は、中国支部のメンバーを中心として本災害の調査団を組織し、現地調査、原位置試験、崩壊斜面の地形解析等を行った。本報告はそれらの結果より今後の災害研究のために有用と考えられる知見をまとめている。

キーワード：斜面崩壊，土石流，集中豪雨，災害調査，現地試験（IGC：C-7，B-9）

1. 被害の概要

2010年7月16日の15時から18時にかけて、広島県庄原市において、突然、最大時間雨量72mm、3時間累積雨量173mm（広島県の大戸雨量計による）の集中豪雨が発生し、甚大な土砂災害が発生した。地盤工学会では中国支部の会員が中心となって「2010年7月豪雨による広島県庄原市土砂災害調査団」を結成し、現地調査を中心とした調査を行った。表-1に調査団の構成を示す。調査団は計17名で構成され、8月7日、19日、27日の3日間にわたり調査を行った。

災害が発生した2010年は日本列島を横断する梅雨前線が6月下旬から7月中旬まで停滞し各地に豪雨をもたらした。とりわけ7月11日から14日まで、広島県と山口県を中心とする中国地方西部において断続的に時間雨量25～50mmの豪雨があり、各地で洪水や土砂災害が発生した。

図-1は庄原で災害が発生した16日9時の天気図である。梅雨前線は北東に移動し中国地方における一連の降雨はほぼ終了したかと思われた。しかし、7月16日広島県庄原市において、この集中豪雨が発生したのは庄原市川北町および西城町の一部の狭い範囲であり、広島県が防災Webで公開している全県294箇所（庄原市内で28箇所）の雨量計のうち、同じ3時間で累積60mm以上の雨量を記録したのは被災地周辺の3箇所のみであった。本災害の特徴は、山間部で突発的に発生した集中豪雨によって、約4km×4kmの狭い範囲において200箇所以上の斜面崩壊と崩壊土砂による土石流が同時多発的に発生したことであり、それらが立木を巻き込みながら溪流から流出して山間地の集落を押しつぶし、道路や

表-1 地盤工学会2010年7月豪雨による広島県庄原市土砂災害調査団の構成

調査団の構成	
広島大学大学院工学研究院	土田孝(団長)
広島大学大学院総合科学研究科	海堀 正博
広島大学大学院工学研究院	一井 康二
広島大学大学院工学研究院	加納 誠二
呉工業高等専門学校環境都市工学分野	森脇 武夫
広島県土木局土木整備部砂防課	武田 吉充
復建調査設計(株)保全防災部	中井 真司
(株)ダイヤコンサルタント関西支社	田中 敏行
(株)ウエスコ 広島支社技術部	伊達 裕樹
中電技術コンサルタント(株)	北出 圭介
荒谷建設コンサルタント(株)	山下 祐一
応用地質(株)中国事業部	新長 修二
基礎地盤コンサルタンツ(株)中国支社	久賀 真一
広島大学大学院工学研究科学生	川口 将季
広島大学大学院工学研究科学生	花岡 尚
広島大学大学院工学研究科学生	中川 翔太
広島大学大学院工学研究科学生	原 弘

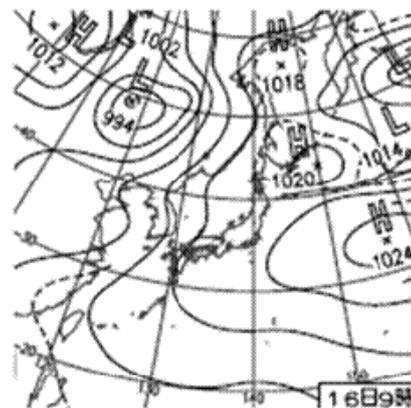


図-1 7月16日9時の天気図

農地にもあふれ出した。本災害は17時前後～18時頃に発生し洪水と土石流で道路が寸断されたため、住民43名（行方不明者1名を含まない）が翌朝まで被災地に孤立した状態になった。また、大戸川下流の川西町庄原ダム建設現場では、土石流のため県職員と作業員13名が取り残され、建設中の橋脚の上に避難したが、翌朝ヘリコプターで救助された。政府は、8月20日の閣議で、本災害を含む本年6月11日から7月19日までに広島、岐阜、山口で発生した豪雨災害を激甚災害に指定することを決定した。

被害の概要を図-2に示す。図中の薄赤色の範囲は、被災した溪流の集水域を表している。図のように被災した地域は、県道445号中迫川北線の両側を中心とした東西約4km、南北約4kmの範囲である。県道445号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。県道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県道445号線沿いの住宅、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、崖崩れの発生箇所は5箇所であった。

広島県のまとめによると本災害による被害は以下の通りである¹⁾。

- 死者1名、負傷者1名
- 住宅：全壊家屋12棟、半壊11棟ほか
- 農地および農業用施設：502箇所（14億85百万円）
- 林業（山地・溪流崩壊、林道）：65箇所（13億51百万円）
- 公共土木施設：河川51箇所（13億54百万円）、砂防2

箇所（30百万円）、道路21箇所（9億8百万円）

被災1ヶ月後においても19世帯61人が自宅を離れ、市営住宅や県公舎などでの生活を余儀なくされている。また、県道445号線は被災直後から通行できなくなり、一般車両の通行の規制は継続している。この県道445号線は、国土交通省より2010年10月8日付けで道路災害関連事業の採択を受けた。

2. 降雨の状況

すでに述べたように本災害が発生した7月16日より20日以上前の6月下旬から梅雨前線が停滞し、広島県を含む全国各地で豪雨災害が発生した。本災害をもたらした集中豪雨は、梅雨前線が北東に移動した後に、被災地の付近に突然発生した雨雲によって発生した。

広島県は1999年6月29日に発生した土砂災害²⁾をきっかけに全域域に294箇所の雨量計（1時間雨量）を設置した。被災地にもっとも近い雨量計は図-2に示す位置に設置された大戸と川北の雨量計である。

図-3は大戸、川北における7月1日からの累積雨量と1時間雨量の推移である。図-4には7月16日における時間雨量を示している。図のように、梅雨前線による断続的な降雨によって、7月の累積雨量は7月16日の段階で大戸、川北でそれぞれ262mm、259mmに達し、土壤雨量指数も

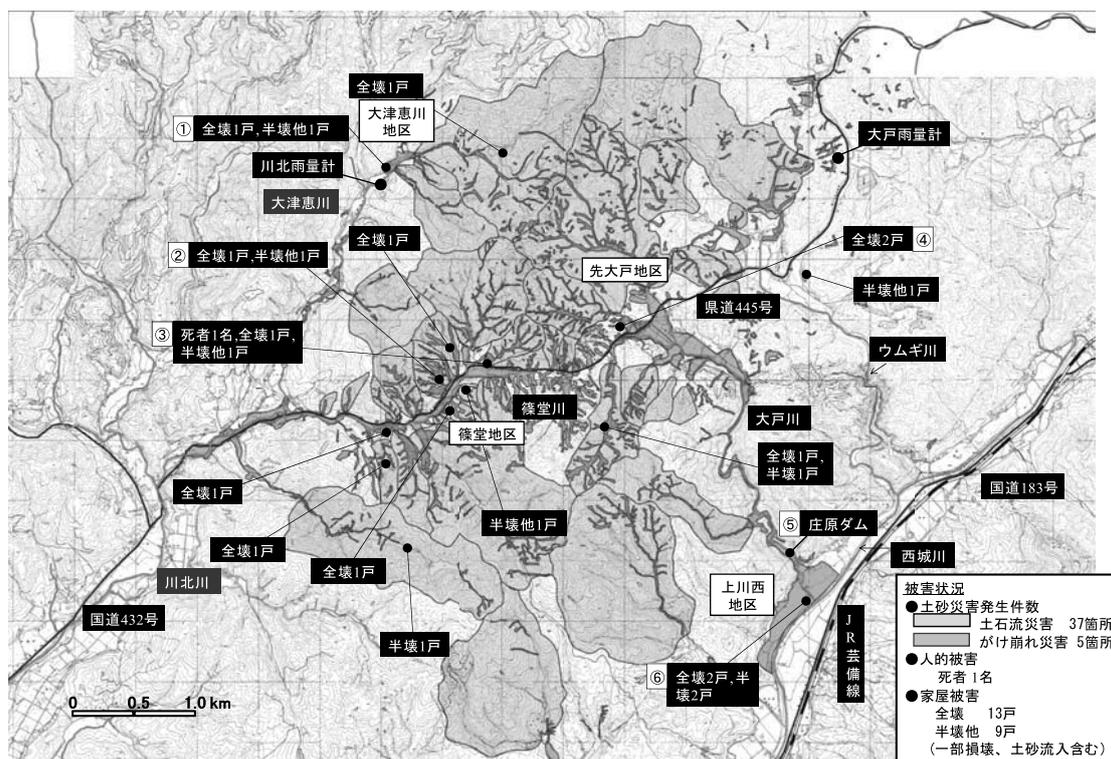


図-2 庄原市における土砂災害の概要（広島県砂防課提供）

2010年7月豪雨による広島県庄原市で発生した土砂災害の調査

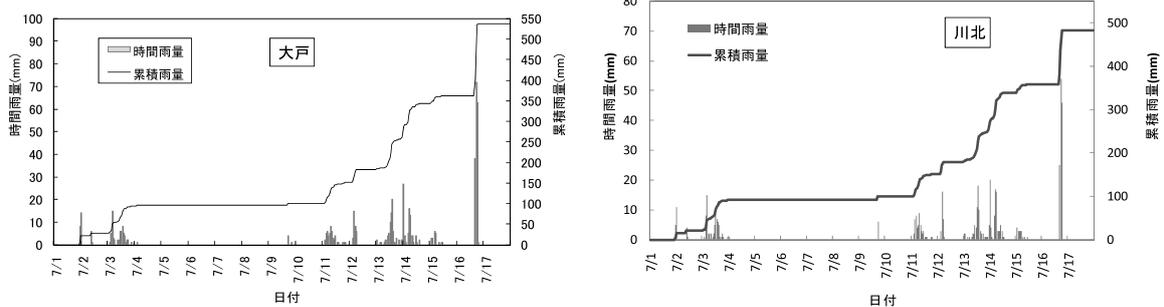


図-3 大戸、川北の7月の時間雨量と累積雨量

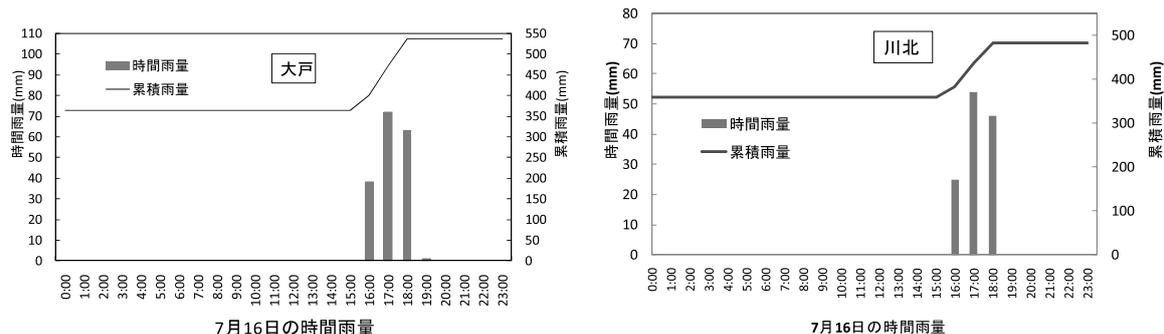


図-4 大戸、川北の7月16日における時間雨量

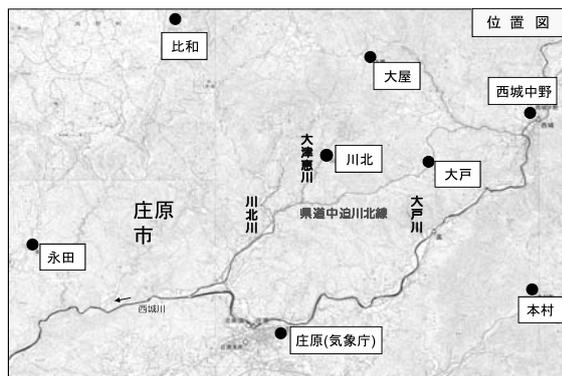


図-5 被災地周辺の雨量計

指数は大戸で462mm、川北で364mmとなっている。

図-5 は被災地周辺において広島県と気象庁が設置した雨量計の位置図である³⁾。広島地方気象台の AMeDAS 雨量計は大戸雨量計から約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時間合計雨量は65mmであり、そのほとんどが17時から17時40分間に集中した。観測された17時から18時の時間雨量64mmは広島地方気象台の観測史上最大値であるが、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、これまでの履歴をはるかに上回る雨量強度であったことを示している。周辺の雨量計における午後3時から6時までの降雨量は、大戸72mm、西城中野52mm、比和8mm、本村3mm、永田3mmであり、100mm以上の降雨は川北と大戸の周辺だけに限定され、豪雨域も非常に狭い範囲であったことも推測される。

被災者の証言によると、この雨による土石流の発生は、午後5時前後であったとされており、雨が午後3時に降り始めてから約2時間前後には、被災地全域で斜面崩壊と土石流がほぼ同時に発生したと推定される。

表-2 被災地の地形・地質特性の一覧表

流域名	面積 (km ²)	1次谷の本数 (本)	谷線の総延長 (km)	谷密度		水系模様	地質
				1次水流頻度 (本/km ²)	水流密度 (km/km ²)		
篠堂	4.08	116	37.20	28.4	9.1	樹枝状直角状	高田流紋岩
先大戸	4.33	158	30.00	36.5	6.9	樹枝状	北側:吉舎安山岩 中央:備北層群 南側:高田流紋岩
大津恵	6.59	196	56.10	29.7	8.5	樹枝状平行状	高田流紋岩(北東側の一部に吉舎安山岩)

80mmを超える状態が継続していた。このような状態で16日の15時～18時の3時間に大戸雨量計で173mm、川北雨量計で125mmの降雨を記録した。この間、大戸雨量計では15時40分から16時40分の60分間に最大60分間雨量91mmを記録している。この3時間の降雨の後、土壌雨量

3. 被災地の地形・地質特性

3.1 概要

土石災害が発生した地域を篠堂、篠堂、先大戸、大津恵

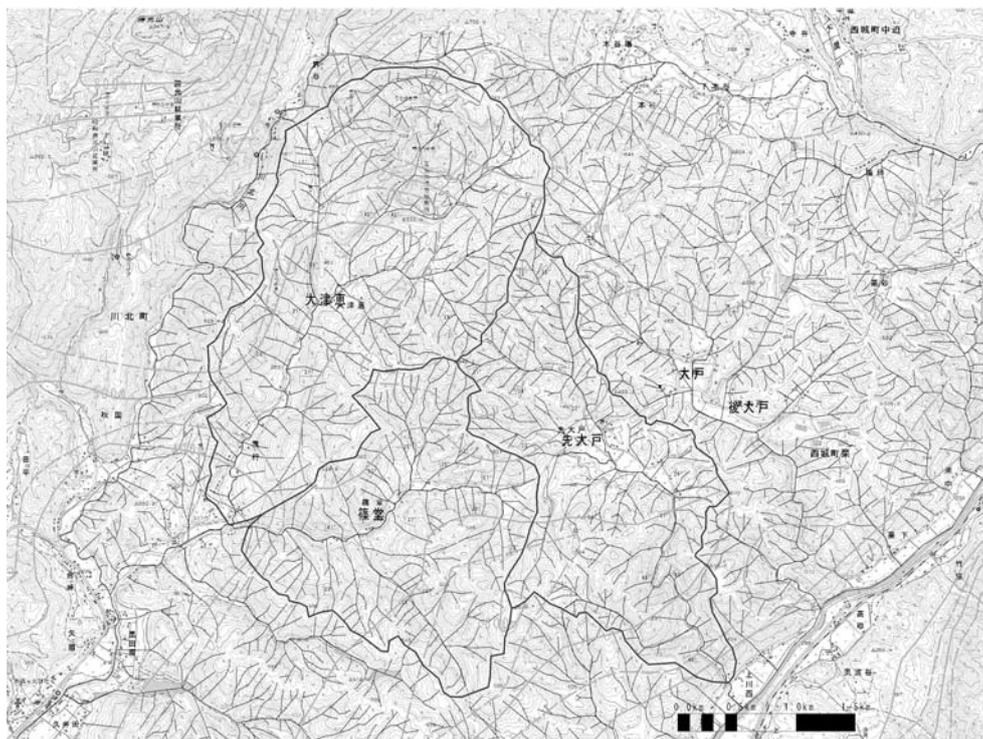


図-6 地形解析結果図（赤線：流域，緑線：接峰面の等高線，青線：水系模様）

の3流域に分け、地形・地質特性を分類した⁴⁾。表-2に篠堂、先大戸、大津恵の地形・地質特性（谷密度、水系模様、地質）を示す。ここでの谷密度とは、一次水流頻度と水流密度のことを示す。一次水流頻度は一次谷の本数を面積で割ったものである。水流密度は谷の総延長を面積で割ったものである。水系模様とは、水が集まって線状に流れる谷線を図上に記載したものであり、地質構造や河川流出特性を反映したものである。

図-6に地形解析の結果を示す。被災地のうち篠堂流域の地形特性は、大津恵、先大戸流域より高い水流密度であること、直角状の水系模様が発達していることである。3流域で共通の地形特性は、標高450m以上の斜面で樹枝状の水系模様を有することである。

被災地の地質特性は、図-7からわかるように、基盤岩に広く被覆する黒ボク主体の表土が分布することである。基盤岩は、中生界白亜系の流紋岩類・安山岩類、新生界第三系の堆積岩類である。堆積岩類は、図-8で示された範囲外にも広く分布している。

3.2 地形特性

篠堂地区の地形区分は丘陵地、谷底低地であり、谷底低地の幅は約100m、起伏量は160~270m、斜面勾配は27~41°である。代表的な河川は篠堂川であり、流向が東西である点は、他の2流域と異なる。接峰面の特徴は南西方向に浅く開けた谷地形であること、150~200mの比高差を有

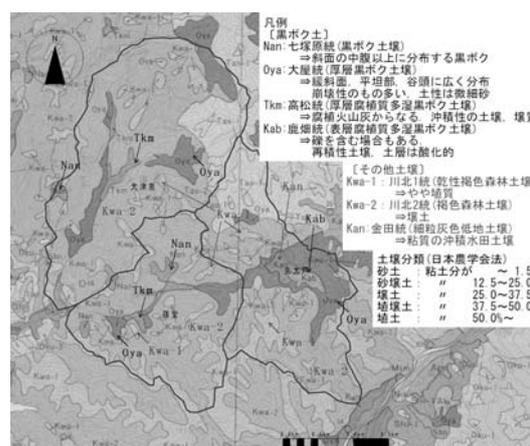


図-7 調査地周辺の土壌図⁵⁾



図-8 調査地周辺の地質図⁶⁾

することである。谷密度の特徴は、中谷密度⁴⁾(透水係数 $k \approx 10^{-3} \text{cm/sec}$ のオーダー)、水流密度 9.1km^2 である。

これは3流域で最も高く、他の流域に比べて地山の透水性が低い可能性を示す。水系模様は主に直角状(主たる沢に直角に交わる支沢が多い)であり、標高450m以上の斜面では樹枝状、篠堂川下流では平行状である。このことから、直交方向の断層・節理系の構造を有する可能性がある。

大津恵地区の地形区分は丘陵地、谷底低地であり、谷底低地の幅は約50~100m、起伏量は160~240m、斜面勾配は17~41°である。代表的な河川は大津恵川であり、流向は北東から南西および北西から南東である。接峰面の特徴は南西方向に浅く開けた谷地形であること、3溪流のうち最も大きい約300mの比高差を有することと、谷頭部に南向きの急斜面を有することである。谷密度の特徴は、中谷密度と3流域で中間的である。水系模様は主に直角状、標高450m以上の斜面では樹枝状である。

先大戸地区の地形区分は丘陵地、谷底低地であり、谷底低地の幅は約400m、起伏量は100~180m、斜面勾配は17~46°である。この流域の特徴は、小起伏の丘陵地、広い谷底低地、延長の短い沢が多いことである。代表的な河川は大戸川であり、流向は北東から南西および北西から南東である。接峰面の特徴は、東方向に浅く開けた谷地形であり、小起伏な約100mの比高差を有することである。谷密度の特徴は、中谷密度であること、1次水流頻度が3流域中で最も高いこと、水流密度が3流域で最も低く、1本あたりの谷線長がもっとも短いことである。水系模様は標高450m以上の斜面では樹枝状、支沢では平行状であり、南流する大戸川が接峰面を横断している。

3.3 地質特性

図-7に示すように、被災地の基盤岩は中生代白亜系の高田流紋岩および吉舎安山岩、新生代第三系の堆積岩からなる備北層群である⁵⁾。地表面には、黒ボクが広く覆っている。さらに、露頭部においては流紋岩類に破碎・変質部および断層が確認された。

高田流紋岩は、篠堂地区を中心として3流域に広く分布する。篠堂地区の流域は本層の分布域にはほぼすべて含まれている。大津恵・先大戸地区においては、接峰面の等高線の比較的緩い部分、すなわち北部の急峻部を除く範囲に分布している。一方、北部の急峻部には、吉舎安山岩が分布する。備北層群は、先大戸地区の谷底低地から小起伏にかけて狭小な範囲に分布する⁵⁾。なお、現地調査では、篠堂川兩岸の斜面において、備北層群の分布を確認した。

図-8に示すように、黒ボクは、3流域に4つの種類で分布する。黒ボクの種類は、七塚原統、大屋統、高松統、鹿



写真-1 流紋岩の礫状風化帯



写真-2 谷筋を横断する破砕帯

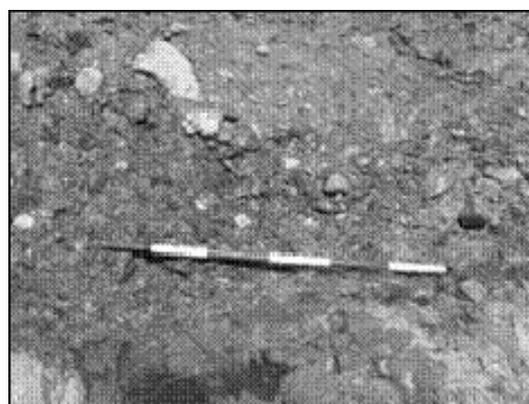


写真-3 備北層群と流紋岩の地層境界



写真-4 篠堂地域の斜面崩壊1 (アジア航測(株)提供)

畑統である。七塚原統は、斜面中腹以高に分布する黒ボク土壌である。篠堂および大津恵地区の一部に分布する。大屋統は、緩斜面、平坦部、谷頭に広く分布しており、崖錐性のものが多い。3流域に分布する高松統は腐植火山灰からなる二次堆積物であり、粘土分を多く含む。篠堂および大津恵地区の谷部に分布する。鹿畑統は礫を含む二次堆積物の黒ボクである。先大戸の低地部に分布する⁵⁾。

篠堂地区の谷筋にある露頭では、流紋岩の風化帯、破碎帯、備北層群と高田流紋岩の地層境界を確認した。写真-1に示すように、流紋岩の風化帯は、礫～土砂状を呈しており、締まった状態で低い含水状態である。破碎帯を伴う露頭では、写真-2 ように谷筋を横断する走向で破碎帯が確認された。備北層群と高田流紋岩の地層境界は、谷筋に沿う走向で確認される。備北層群は、写真-3 に示すように、 $\phi 10\sim 30\text{cm}$ 程度の礫からなる礫岩であり、ロウ石礫を混入する。

4. 災害の状況

4.1 同時多発的な斜面崩壊と土石流の発生

本災害のもっとも大きな特徴は 3 時間の集中豪雨により、狭い山間地において、山腹の崩壊と崩壊土砂の土石流化が短時間に同時多発的に発生したことである。広島工業大学の菅雄三教授は災害発生直後に衛星写真によって土砂災害発生箇所を分析し 200 箇所以上で崩壊が起こったことを報告している⁷⁾。

写真-4、写真-5 は山腹崩壊が集中的に発生した篠堂川流域の航空写真である。写真のように、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、農地の上に流下している。

写真-6 は大津恵川の上流において土石流が 2 箇所が発生し、全半壊各一戸の被害が出た現場の航空写真である(図-2 の①)。図-2 に示すようにこの現場は川北の雨量計設置位置の近傍にあるが、土石流の源頭部は大戸よりの位置になる

写真-7、写真-8 は、図-2 の②に示す篠堂川右岸における山腹の崩壊と土石流の発生および家屋の被害の状況である。

写真-9 は、篠堂川右岸において発生した土石流である(位置は図-2 の③)。土石流は、県道 445 号線に面した溪流の出口付近に流下し、2 軒の家を巻き込んだ。全壊した一戸に住んでいた 87 才の女性が家とともに川に流され、1 週間後下流の西城川で遺体で発見された。

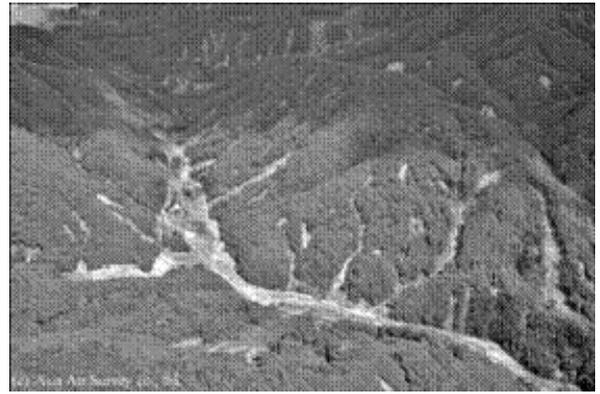


写真-5 篠堂地域の斜面崩壊 2 (アジア航測(株)提供)

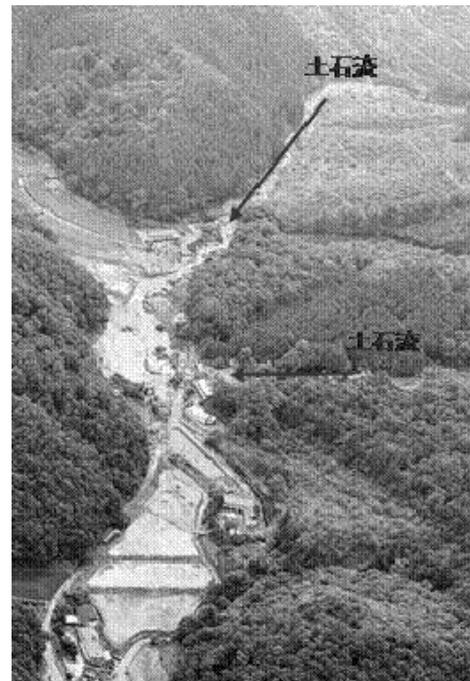


写真-6 大津恵川における土石流の発生と家屋の被害 (図-2 の①)

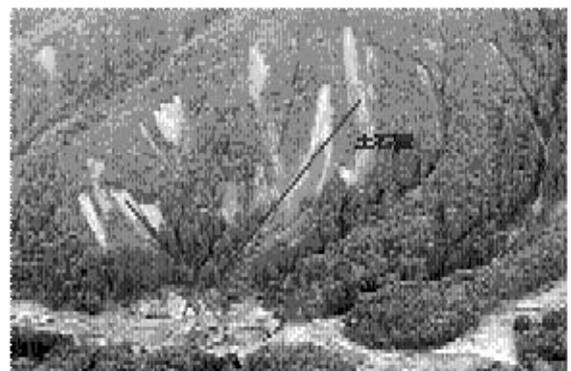


写真-7 篠堂川右岸における山腹の崩壊 (位置は図-2 の②)

写真-10、写真-11 は上大戸地区の土石流と流木による家屋の被害である(位置は図-2 の④)。写真のように、土石流とともに大量の流木が流下し、家屋を破壊して道路、



写真-8 篠堂川右岸で発生した土石流による家屋の被害（位置は図-2の②）



写真-9 篠堂川右岸で発生した土石流の状況



写真-10 先大戸地区における土石流と家屋の被害



写真-11 先大戸地区における土石流、流木と家屋の被害（位置は図-2の④）

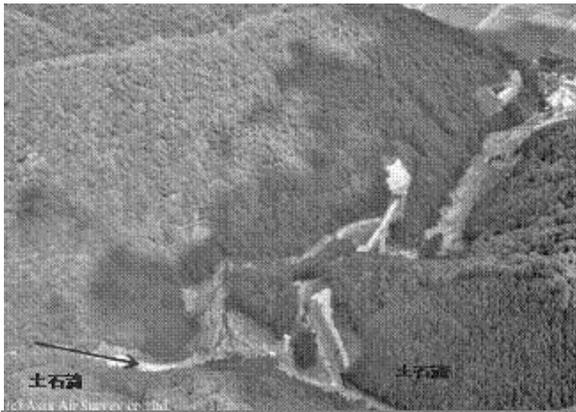


写真-12 上川西地区庄原ダム建設現場における土石流の状況（位置は図-2の⑤、アジア航測(株)提供）



写真-13 上川西地区における土石流の発生と住宅の被害（位置は図-2の⑦）

河川、農地に多大な被害を与えた。後に述べるように、本地域では岩盤の上に堆積した表土の厚さが 50~150cm と薄いため、崩落した斜面の表土層から根が付いた状態で木が抜けだし、流木として土石流とともに流下した。

写真-12は上川西地区に建設中であつた庄原ダムの建設

現場の状況である（位置は図-2の⑤）。上流の渓流で土石流が発生して流入し、写真中央部にある橋梁工事に従事していた県職員と作業員 13 名が孤立し、建設中の橋梁上に一夜避難して翌朝救出された。土石流はこの現場を通過してさらに流下し、写真-13 に示すように全壊 2 戸、半壊 2

戸の被害が発生した（図-2の⑥）。

4.2 崩壊の特徴

今回の斜面崩壊では、谷が形成されていない平行な斜面（いわゆる0次谷）における地すべりの発生が目立った。

図-9はヘリコプターからのレーザー測量によって作成したもっとも被害が大きかった先大戸地区と篠堂地区の

赤色立体地図である（アジア航測(株)による）。図のように、多くの斜面において、尾根から20～40m下部が源頭部となって多数の崩壊が発生している。崩壊の規模は幅が5～15mであり、溪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る。

現地調査は、崩壊地点の観察と計測、試料採取を中心に

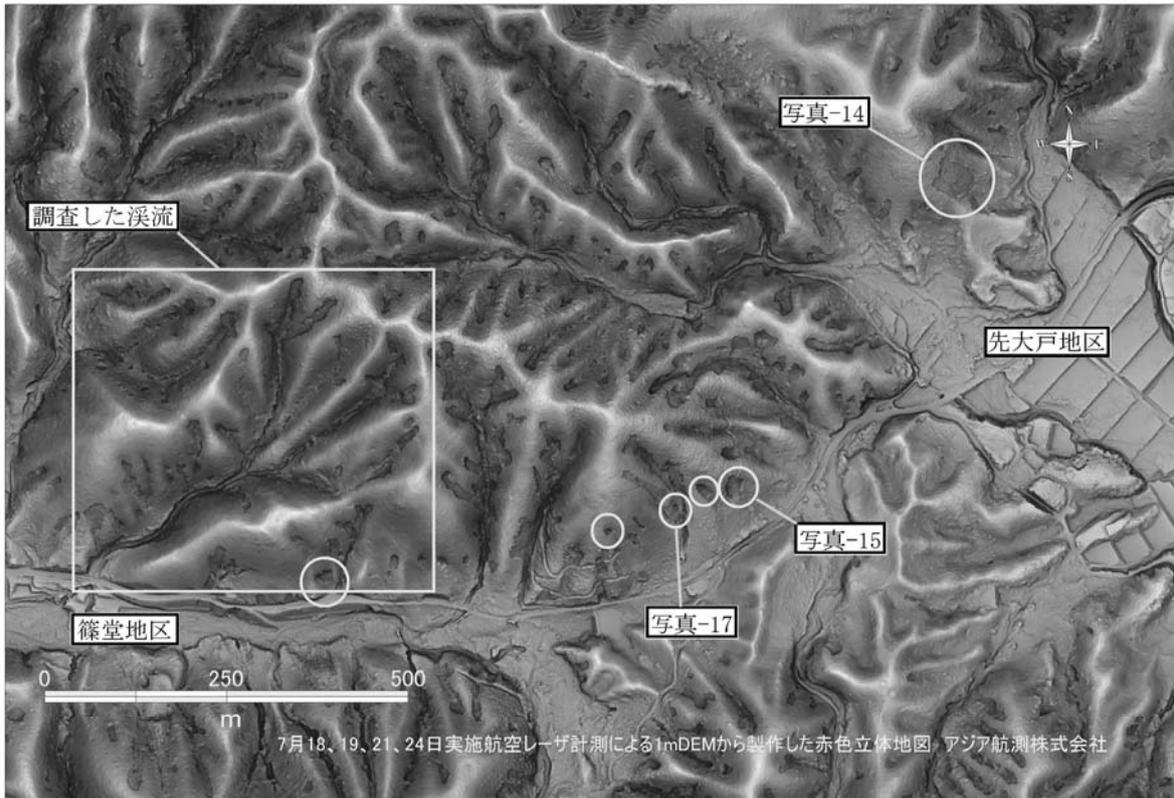


図-9 ヘリコプターからのレーザー測量による被災後の地形（アジア航測(株)提供）

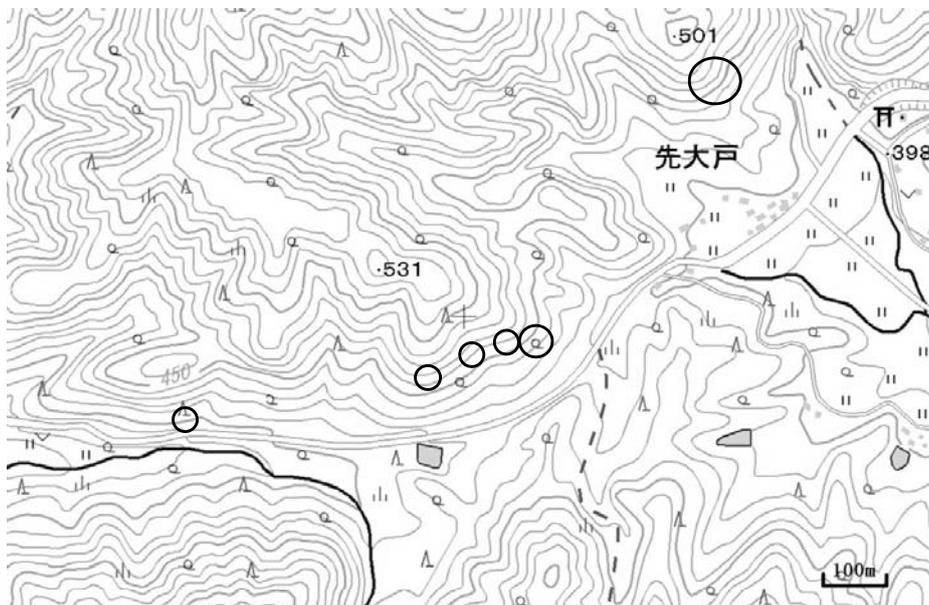


図-10 図-9に示す範囲の崩壊前の地形図（国土地理院電子国土基本図）

もともと被害が集中した先大戸地区と篠堂地区において行った。

写真-14 は先大戸地区の斜面崩壊の状況である。図のように、崩壊した斜面の上部と下部で色が異なっており、上の部分が崩壊部分で、崩壊した土砂が下部の斜面の植生を倒しながら流下したが、下部の斜面は表面が擦られているものの表土は巻き込まれず残っていた。



写真-14 先大戸地区の斜面崩壊

写真-15 は先大戸地区から篠堂地区の中間地点にある斜面の崩壊の状況である。**写真-14**と同様に斜面の上部と下部で色が異なっている。上部の斜面は表土が崩壊し、下を通る県道445号線にすべり落ちているが、その下部には表土は残っており、その上の木々は崩壊によって引き抜かれて落下している。**写真-16**は崩壊斜面の頭部であるが、厚さ約50cmの表土と下部の基盤層との境界ですべりが発生



写真-15 先大戸、篠堂の中間にある県道445号線沿いの斜面における崩壊（位置は図-9に示す）



写真-16 崩壊斜面の頭部



写真-17 平行斜面中腹の崩壊（位置は図-9に示す）



写真-18 篠堂川左岸より篠堂川に流下した土石流



写真-19 世羅町川北におけるまさ土層の崩壊渓流

している。崩壊頭部では、地下水が流れ地面が洗堀されたような跡や直径 5mm から 20mm 程度の孔が多数観察された。崩壊頭部においてパイピングが起こった可能性を示している。

写真-17 も同様に平行斜面の中腹のみが崩壊している事例である。本災害では、このような平行斜面の中腹のみが崩壊しているケースが多くみられる。図-9 中に示す黄色の丸は、現地調査によって確認した平行斜面中腹の崩壊個



写真-20 溪流出口付近の斜面崩壊状況



写真-21 溪流出口付近の状況（手前は県道 445 号線）



写真-22 県道 445 号線から篠堂川の状況（左は半壊の家屋。右の家屋は全壊して篠堂川に流された）



写真-23 溪流の出口付近（幅は 10m。溪流の側面にはレキを含む厚さ約 3m の堆積層）



写真-24 溪流の側面の斜面からの表層崩壊による土砂と流木の流入



写真-25 溪流の底面は岩盤が露出

所であるが、**図-9**中にはこの他にも複数の同様の崩壊が確認できる。**図-10**は、**図-9**に示す地区の崩壊前の地形図（国土地理院電子国土基本図）であるが、赤色の丸で囲った個所は、谷が全く形成されていない平行斜面であることがわかる。

篠堂川の両岸は溪流から土石流が流下している箇所が多数あったが、**写真-18**はその一例である。写真のように崩壊の源頭部付近では表層崩壊がみられるが、下部に流下する過程でV字の谷を刻んでいた。比較のため**写真-19**に本災害の2日前の7月14日に世羅町川北で土石流が発生した溪流の状況を示した。この溪流はまさ土（風化花崗岩）層で形成されているが、写真のようにV字谷の形成はみられない。このような差は、庄原地域の土質が風化流紋岩層であることと関係している可能性がある。

4.3 土石流が発生した溪流の調査

本災害における代表的な溪流として、**写真-9**に示す土石流が発生した篠堂川左岸上の溪流の踏査を行った。本溪流は篠堂川に流入する土石流が発生した中でもっとも長い溪流であり、土石流によって死者1名、全壊1戸、半壊1戸の大きな被害が生じている。

写真-20は溪流出口付近における周囲の斜面の状況である。図のように、ほとんどすべての斜面の山腹において表層崩壊が発生しており、本溪流が災害がもっとも激しい箇所位置していることを示している。

写真-21は県道445号線に面した溪流出口の調査時（8月7日）の状況である。災害復旧のため道路上の土砂は除去されているが、県道に流下した土石流は道路の反対側にある住宅2戸を巻き込み、そのまま篠堂川まで流下した。

写真-22は被災家屋を示すが、写真の左側にみえる家屋は土石流の流下の方向からずれていたため、破壊を免れている。写真の右側にあった家は土石流によって押しつぶされ、そのまま篠堂川に運ばれた。この家において逃げ遅れた女性が本災害の犠牲者である。

写真-23は溪流の出口付近の状況である。写真のように、本溪流の幅は本災害の中では比較的大きく約10mであった。また、写真では谷部分の両側に、レキが混じった土石流堆積層と思われるレキ地盤が約3mの厚さで存在することがわかった。これらの堆積層は過去の土石流災害による堆積物と考えられる。

写真-24は溪流の側面において表層崩壊が発生し、表層部から根が抜けて流木となった木とともに溪流に落下し

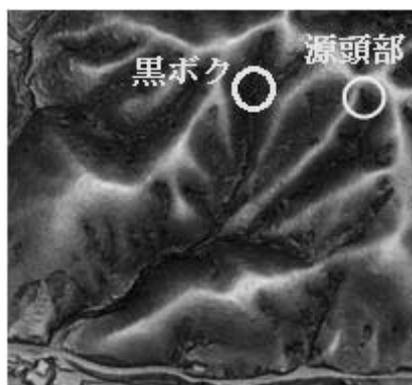


図-11 調査した源頭部の位置



写真-26 源頭部付近の状況



写真-27 源頭部の状況。表土と下部の岩盤層の間ですべりが生じている



写真-28 源頭部付近における地盤内の孔



写真-29 源頭部における貫入試験とサンプリング実地位置

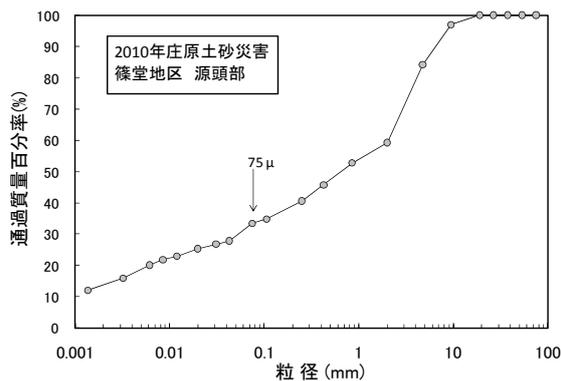


図-12 源頭部の風化流紋岩の粒度分布

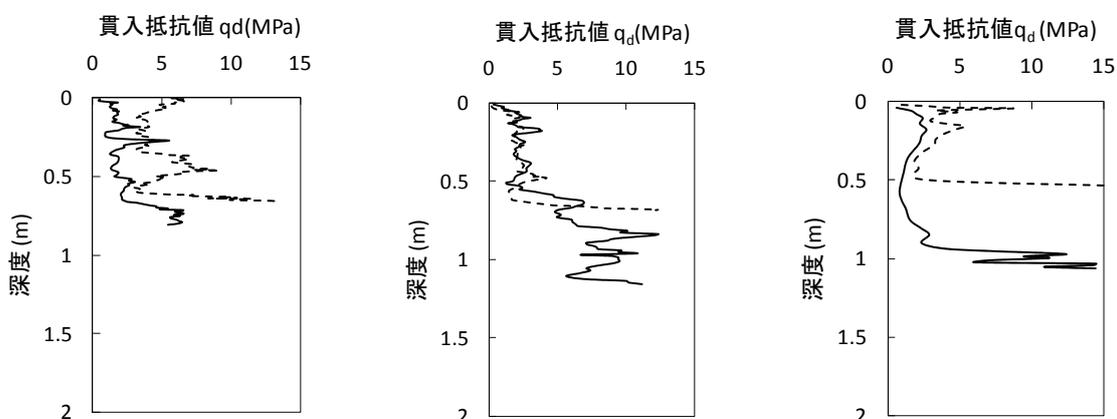


図-13 源頭部における軽量動的コーン試験結果



写真-30 黒ボク層 (位置は図-11 に示す)

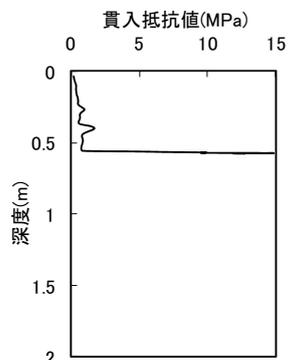


図-14 黒ボクの貫入抵抗値

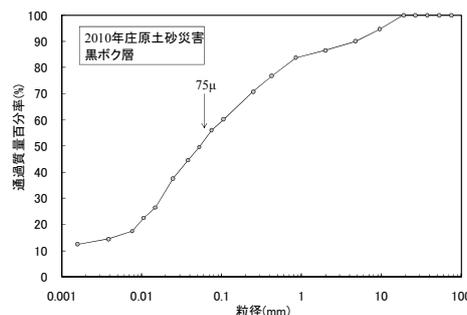


図-15 黒ボク土の粒度分布

たとえられる跡である。この写真でも溪流の両側に厚さ3m程度の礫混じり土砂状の崖錐堆積物が分布することがわかる。

写真-25は中流部の溪流の状況である。中流部では斜面勾配は25°程度であるが、溪流の底部には流紋岩などの岩盤が露出していた。土石流はこの岩盤上を高速で流下したと考えられる。

写真-26、写真-27は本溪流のもっとも西側の溪流の源頭部(図-11に位置を示す)である。写真のように、源頭

部では他の斜面崩壊と同様に、厚さ50~100cmの表土とその下の基盤との間がすべり面となっている。源頭部付近では地盤内から水が流出していた痕跡がみられた。また写真-28のように源頭部付近の表層土には、流紋岩風化土や黒ボク層が観察された。表土内には団粒状で堆積した土の中に、写真のように直径2mm~20mm程度の孔の存在が観測された。近年、自然斜面が豪雨時に崩壊する要因として、山腹斜面内にパイプと呼ばれる小動物の活動や植物根の腐朽、地下水による浸食などにより形成された空洞(パイ

ピングホール)を通じた水の流れの重要性が指摘されている^{8),9)}。すなわち、パイピングホールでは、周辺のダルシー則による浸透流や側方集積流などにより、速い地下水流が発生し、豪雨時において斜面崩壊の原因になった可能性があるというものである。今後崩壊メカニズムを考える上で、源頭部付近で観測された孔がパイプを形成している可能性を考慮する必要がある。

源頭部の写真-29に示す位置において、軽量動的コーン貫入試験の実施とサンプリングを実地した。図-12は採取した風化流紋岩試料の粒度試験結果である。図のように、細粒分は約30%あり、広島県内で多くの災害事例のあるまさ土に比べ細粒分が多い土質であることがわかった。まさ土地盤では、平行斜面の崩壊事例は少なく、細粒分が多い土質のために、本災害では多くの平行斜面中腹の崩壊が発生した可能性が考えられる。図-13は軽量動的コーン貫入試験の結果である。10MPa以上の貫入抵抗値を示す箇所が一般に基盤層と考えられている^{10),11)}。各地点で貫入試験を2回ずつ行った。図のように、貫入不能となる基盤層より上の表層土厚は約60~100cm程度であり、表層土の貫入抵抗値はおおよそ2~5MPaの範囲であった。なお、以下に述べるように、溪流内では風化流紋岩層のほかに黒ボク層もあったが、源頭部ではまとまった厚さの黒ボク層は認められなかった。

写真-30は、この溪流の図-11に示す位置でみられた黒ボク層である。黒ボクの土壌上での軽量動的コーン貫入試験の結果を図-14に示す。貫入抵抗値が0~2MPaの黒ボク層が約60cmの厚さで堆積し、その下は貫入抵抗値10MPaを超える基盤層であった。図-15は黒ボク土の粒度分布である。図のように、細粒分含有率が約55%と非常に高く、粒度からは粘性土と分類される。黒ボク層は今回の斜面崩壊があった地域全体でみられ、調査内の範囲では源頭部付近よりもやや低い位置に堆積している。写真-14、写真-15、写真-17では崩壊した斜面の下部にやや黒みがかかった色の黒ボク層が観察される。特に、図-14の崩壊斜面では崩壊した位置が黒ボク層が出現する高さに近い位置であった。黒ボク層の存在が本災害に及ぼした影響については今後、さらに検討する必要があると考える。

5. 崩壊箇所の地形特性分析

図-16に示すように、レーザー測量より得られた篠堂地区の1/2,000地形図を基図として、崩壊箇所の地形情報を読み取り、地形特性の分析を行った。基図が切れているのはデータの都合上の問題のためである。それぞれの流域で

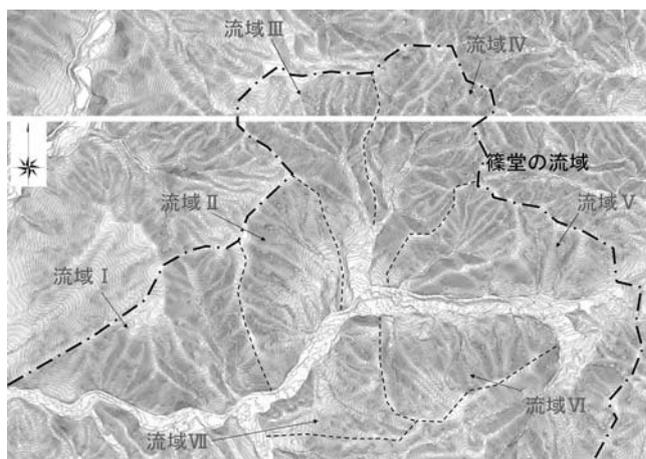


図-16 篠堂地区を7つの流域に分割

表-3 各流域の崩壊数、谷密度、崩壊密度

流域名	I	II	III	IV	V	VI	VII
①面積 [km ²]	0.36	0.23	0.31	0.32	0.29	0.21	0.14
②1/2.5万地形図上の沢の本数 [本]	7	6	10	10	8	8	1
③崩壊数 [箇所]	32	27	33	47	47	32	30
谷密度(1次水流頻度) ②/① [本/km ²]	19.4	26.1	32.3	31.3	27.6	38.1	7.1
崩壊密度 ③/① [箇所/km ²]	88.9	117.4	106.5	146.9	162.1	152.4	214.3

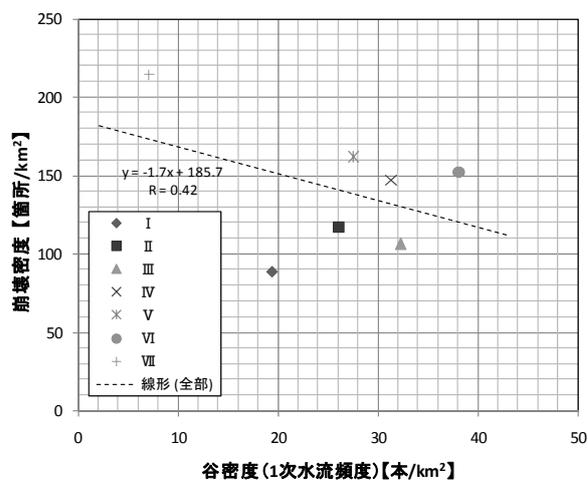


図-17 谷密度と崩壊密度の相関

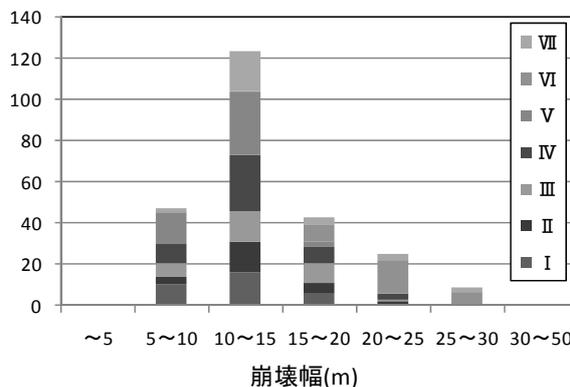


図-18 ヒストグラム (崩壊幅)

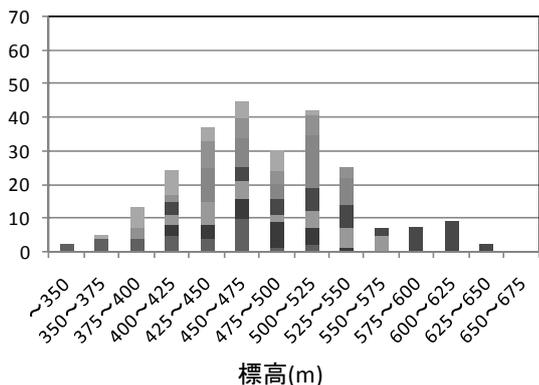


図-19 ヒストグラム (崩壊箇所の標高)

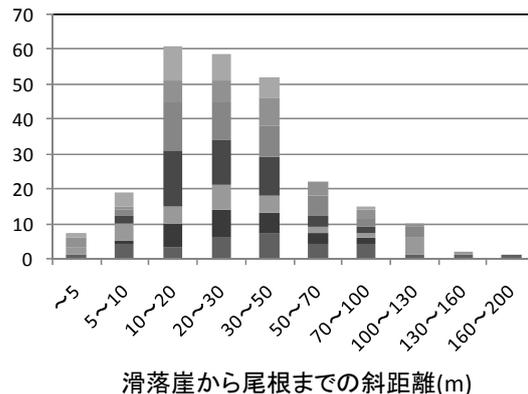


図-20 ヒストグラム (滑落崖から尾根までの斜距離)

崩壊密度と谷密度を算出し、崩壊箇所の崩壊幅・標高・滑落崖～尾根までの距離についての度数分布を整理した。

表-3 に崩壊密度と谷密度を示し、それぞれ 88～214 箇所/ km^2 、7～38 本/ km^2 を得た。図-17 に谷密度と崩壊密度の相関を示す。谷密度が低い流域で高い崩壊密度を示している。このことは、今回の豪雨による崩壊現象が、谷の未発達な流域に多く発生したことを示唆していると考えられる。

図-18 に崩壊幅のヒストグラムを示す。崩壊幅は 10～15m に集中している傾向にある。崩壊幅が 20m以上の崩壊は流域VIに集中しており、他の流域ではほとんど見られない。

図-19 に崩壊箇所の標高のヒストグラムを示す。崩壊箇所の標高は、425～525m の 100m 区間にデータの 6 割が集中している。流域別にみると、流域 I, VIIは標高 500m 以下が多い。流域IVは 500m 以上が多く、その他の流域は 500m 前後に分布している。

図-20 に滑落崖から尾根までの距離を示す。滑落崖から尾根までの距離は、10～50m の 40m 区間でデータの 7 割が集中している。この 40m 区間にある 3 つのカテゴリに着目すると、10～20m と 20～30m のカテゴリにてほぼ同数の 60 個程度のデータがある。このことから、崩壊のうちほぼ半数が尾根より 10～30m で発生していることがわかる。つまり、今回の崩壊は、遷急線のすぐ下方周辺で発生したものが多かったといえる。

6. まとめ

2010 年 7 月 16 日に広島県庄原市北部の川北町、西城町を結ぶ県道 445 号線を中心とする地域に 3 時間にわたる集中豪雨があり、洪水と斜面崩壊、土石流などの土砂災害によって死者 1 名、全壊家屋 12 棟、半壊家屋 11 棟という大

きな被害が発生した。地盤工学会は、中国支部のメンバーを中心として本災害の調査団を組織し、現地調査、原位置試験、崩壊斜面の地形解析等を行った。本報告はそれらの結果より今後の災害研究のために有用と考えられる知見をまとめている。本災害の特徴をまとめると以下のようになる。

- 1)本災害をもたらした降雨は午後 3 時から 6 時までの間に集中的に発生し、被災地内にある大戸、川北の雨量計では 3 時間でそれぞれ 173mm, 125mm を記録した。周辺の降雨計で観測した雨量はこれらの雨量よりもはるかに小さく、降雨は約 4km×4km の狭い範囲に集中的に降ったことがわかった。
- 2)被災者の証言によると土砂災害が発生したのは午後 5 時頃であり、降雨が降り始めてから約 2 時間前後であった。被災地ではこのときにほぼ同時に斜面崩壊と土石流 (37 箇所)、がけ崩れ (5 箇所) が発生したと考えられる。2 時間の集中豪雨によって多数の箇所に同時に土砂災害が発生したことが本災害の大きな特徴である。
- 3)被災地の基盤地質は高田流紋岩類であり、一部が吉舎安山岩類となっている。表層は風化流紋岩層が多く、斜面の下部には黒ボク層の堆積が確認された。風化流紋岩層は細粒分が約 30%であり、黒ボク層は細粒分が 50%以上であった。一般に細粒分が 20%以下で広島県内のまさ土層と比べて多くの細粒分を含んでおり、これが原因で本災害において多くの平行斜面中腹の崩壊が発生した可能性が考えられる。これまで広島県内の土砂災害が多くは花崗岩が風化して土となったまさ土層であったが、本災害は表層がまさ土層以外の場合でも、強い集中豪雨を受けることによりまさ土層と同様に土砂災害が多発することを示している。
- 4)今回土石流が発生した溪流では V 字谷が刻まれている場合がみられた。この点はまさ土層の崩壊溪流と異なっ

ていた。このような相違は風化流紋岩層とまさ土層との土質特性の差と考えられる。

- 5) 崩壊斜面を踏査した結果、表層部の厚さは50~150cmであった。また、崩壊箇所としては平行斜面(0次谷)の地形の崩壊が多かった。
- 6) 多くの斜面において、崩壊全体のうち約半数が尾根より10~30m下部の地点が源頭部となっている。崩壊幅は10~15mがもっとも大きく、溪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があった。
- 7) 源頭部においてすべり落ちた斜面の上部に残った表土内には団粒状で堆積した土の中に、直径2mm~20mm程度の孔の存在が観測された。これは小動物の活動や植物根の腐朽、地下水による浸食などにより形成されたパイプ(連続した空洞)の可能性があり、斜面崩壊メカニズムを考える上では、いわゆるパイプ流の影響を考慮する必要があると考えられる。

謝 辞

本報告は地盤工学会による「2010年7月豪雨による広島県庄原市土砂災害調査団」が8月7日、19日、27日の3日間にわたり現地調査を行った結果をもとに、その後試験と若干の考察を加えて著者らがまとめたものである。現地調査、試験とその間の討議に参加いただいた調査団員各位に感謝の意を表す。また、本災害の調査は広島県土木整備部砂防課(蒲原潤一課長)の協力をいただき、地盤工学会、日本地すべり学会、砂防学会と合同で行った。合同調査に参加したアジア航測(株)小川紀一朗氏からは、災害直後の航空測量データを提供いただいた。5章で述べた地形解析結果は、提供いただいたデータを地盤工学会中国支部広島地域斜面グループのメンバー(復建調査設計(株)中井真司氏、基礎地盤コンサルタンツ(株)長谷川勝喜氏、(株)ウエスコ西原剛氏、ダイヤコンサルタンツ(株)竹内次郎氏、広島大学中川翔太氏)の共同作業によるものである。ここに記して、ご協力いただいた方々に、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 広島県災害対策本部資料: 7月12日(月)からの大雨による被害等について(7月16日7時00分現在)(最終報修正), http://ns1.pref.hiroshima.jp/www/contents/1279051366356/files/siryouteikyoku0716_1000.pdf, 2010.8.31.
- 2) (社)地盤工学会中国支部: まさ土斜面の風化および降雨浸透特性と斜面災害に関する研究報告書, 2003年3月.

- 3) 広島県危機管理監 危機管理課: 広島県防災 Web, <http://www.bousai.pref.hiroshima.jp/hdis/index.jsp?>, 2010.8.31.
- 4) 鈴木隆介: 建設技術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘陵・山地, pp.725-727, 2000.
- 5) 国土交通省土地・水資源局国道調査課ホームページ, 5万分の1都道府県土地分類基本調査(庄原). http://tochi.mlit.go.jp/tockok/inspect/landclassification/land/l_national_map_5-1.html, 2011.10.20.
- 6) 広島県: 広島県地質図(20万分の1), 1964.
- 7) 菅 雄三: 広島県庄原市豪雨被害を衛星データから分析, http://suga.ges.t-hiroshima.ac.jp/houdou/hit_suga_20100721mini.pdf, 2010.8.31
- 8) 北原曜・三森利昭・寺嶋智巳・中井裕一郎: 側方浸透流量に占めるパイプ流量の割合, 日林誌, Vol.76, pp. 10-17.
- 9) 内田太郎・小杉賢一朗・大手信人・水山高久: パイプ流が斜面安定に与える影響, 水文・水資源学会誌, Vol.9, No.4, 1996, pp.330-339.
- 10) Athapaththu AMRG, 土田孝, 菅和暁: 軽量動的コーン貫入試験によるまさ土斜面地盤の強度評価と自然斜面の危険度評価への適用, 地盤工学会誌, 第55巻, 第6号, pp. 27-29, 2007.
- 11) Athapaththu A.M.R.G., Tsuchida, T., Suga, K., Nakai, S and Takeuchi J, Evaluation of in-situ strength of Masado slopes, 土木学会論文集 C, Vol.63, No.3, pp. 848-861, 2007.

(2011年6月27日 受付)

