

土木学会平成 23 年台風 12 号土砂災害調査報告書

土木学会平成 23 年台風 12 号土砂災害現地調査団

1. はじめに

平成 23 年台風第 12 号（以下、台風 12 号と略記）は、8 月末から 9 月初めにかけて、広い範囲に大雨をもたらし、紀伊半島を中心に各地で大規模な土砂災害、河川氾濫等が発生し、甚大な人的・物的損害が生じた。全国で死者 78 名、行方不明者 16 名にのぼり¹⁾、和歌山、奈良、三重の 3 県に人的被害の約 9 割が集中した。近年では、台風による最大級の被害となった。

土砂災害については、全国で土石流等が 92 件、地すべりが 28 件、崖崩れが 82 件の発生が確認された¹⁾。そのうち、奈良、和歌山、三重の 3 県で土石流等 58 件、地すべり 13 件、地すべり 50 件となり、紀伊半島において人的被害をもたらした土砂災害が多発した。

今回の災害の第一の特徴として、土砂災害、河川氾濫が多数発生し、家屋が崩壊土砂に巻き込まれ、また河川の増水によって流出するなどして、多くの尊い人命が失われたこと、また、大規模崩壊に伴う河道閉塞が 17 箇所が発生したことがあげられる。

第二の特徴として、その後の降雨に対して、河道閉塞による堰き止め湖の越流・決壊が懸念され、住民避難や安全監視など、周辺地域への影響が長期化する事態となったことである。

第三の特徴として、奈良、和歌山、三重の 3 県での崩壊土砂量は約 1 億 m³にのぼるものと推定されたことである²⁾。これより、土砂量の面からも最大級の土砂災害であった。

降雨については、台風 12 号は大型で動きが遅く、台風周辺の湿った空気が紀伊半島にたえず流れ込んだ。その結果、同じ地域で長時間にわたる記録的な大雨になった。紀伊半島では降り始めの 8 月 30 日 17 時からの総降水量が 1,800 ミリを超える箇所があった。大台ヶ原のような、雨が多い気候を有す地域において、記録的な大雨となったことは驚愕する事実である。

これを受けて、土木学会地盤工学委員会において、表 1-1 に示す調査団を組織し、行方不明者の搜索活動、被災者の救援活動、道路・橋梁等の復旧工事など現地の諸事情を考慮し、災害発生から約 1 か月経過した 10 月 7 日～9 日の 3 日間、奈良県十津川村を中心に現地調査を実施した。調査範囲および調査箇所はそれぞれ図 1-1 および表 1-2 に示している。本調査では、土砂災害の発生状況や特徴について、地盤工学、応用地質学などの見地から調査した。調査結果の概要としては、砂岩頁岩の互層の地質からなる流れ盤の地質構造を有す、北西落ちの斜面において崩壊が発生していた。このことから、記録的な大雨とともに、この地域特有の地質および地質構造が崩壊の発生要因として考えられる。

本報告では、今回の調査結果をもとに、被害の概要、災害発生時の降雨特性、被災地の地形・地質、崩壊・土石流・地すべりなど各崩壊事例について速報として取りまとめた。

表 1-1 現地調査団の構成

氏名	所属	執筆範囲	氏名	所属	執筆範囲
鈴木素之	山口大学	1, 3	建山和由	立命館大学	7
稲垣秀輝	環境地質	6-1-2 6-1-6	三村 衛	京都大学	6-1-4
太田英将	太田ジオリサーチ	6-4	山本 剛	国土交通省	2
河内義文	ケイズラブ	6-1-5 6-3	三上 章	国土交通省	2
後藤 聡	山梨大学	6-2	北田奈緒子	地域地盤環境研究所	5 6-1-3
阪口和之	アジア航測	4	井上直人	地域地盤環境研究所	5
櫻井正明	山地防災研究所	6-1-1			

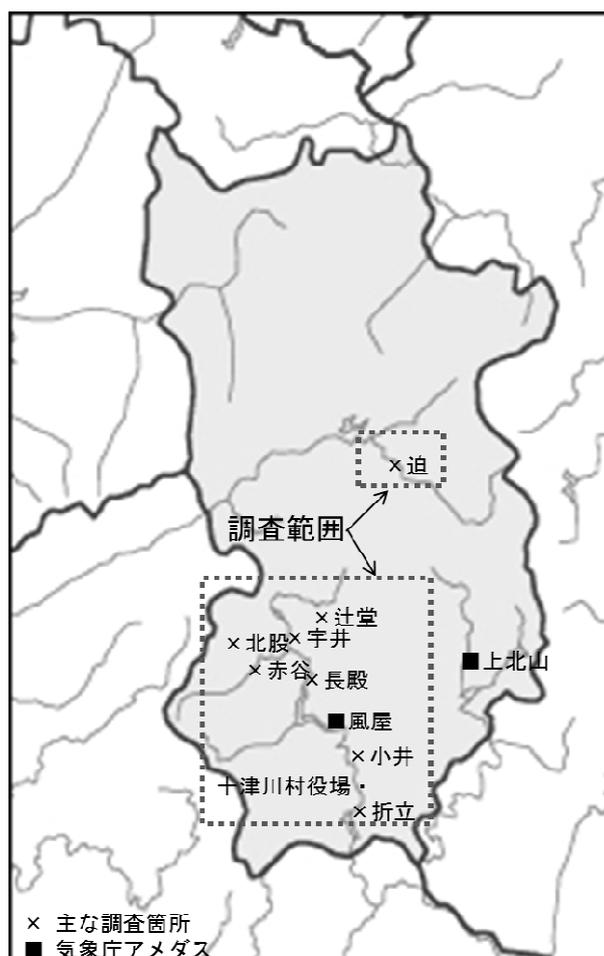


図 1-1 調査の範囲

表 1-2 調査箇所の一覧

整理番号	都道府県	市町村	箇所	流域	現象	河道閉塞	物的被害	人的被害	調査日	調査内容
1	奈良県	川上村	マコ 道	吉野川	崩壊	有(小規模)	道路被災		10月7日	道路から頭部まで踏査
2	奈良県	野迫川村	マコ 北段	十津川(北段川左岸支沢)	崩壊・土石流	有(対策)	人家被災		10月8日	集落から崩壊地末端まで踏査
3	奈良県	十津川村	イ 字井	十津川	崩壊・洪水	有	人家流出	死者4名・行方不明6名	10月8日	対岸から観察
4	奈良県	五条市大塔町	イ 赤谷	十津川(河原樋川赤谷)	崩壊・土石流	有(対策)	キャンプ場被災		10月8日	河道閉塞箇所から観察
5	奈良県	五条市大塔町	イ 溝水	十津川(河原樋川)	崩壊	有(小規模)		*明治22年の崩壊地(堰き止め湖を形成)	10月8日	対岸から観察
6	奈良県	十津川村	オ 折立橋	十津川	洪水	—	落橋		10月8日	観察
7	奈良県	十津川村	エ 平谷	十津川	—	—	(石碑)		10月9日	観察(旅館前)
8	奈良県	十津川村	オ 折立	十津川	崩壊	—			10月9日	対岸から観察
9	奈良県	十津川村	イ 小井	十津川	地すべり	なし			10月9日	末端道路から頭部まで踏査
10	奈良県	十津川村	ノ 野尻	十津川(小原谷)	崩壊・土石流・洪水	一部	人家流出(3世帯)	死者2名・行方不明6名・重傷	10月9日	対岸から観察
11	奈良県	十津川村	イ 田長瀬	十津川	崩壊	一部	道路被災		10月9日	対岸から観察
12	奈良県	十津川村	イ 田長瀬	十津川	崩壊・土石流	—			10月9日	対岸から観察
13	奈良県	十津川村	長殿発電所	十津川	洪水	—	発電所被災	?	10月9日	上流側より観察
	奈良県	十津川村	イ 長殿	十津川	土石流	—	人家流出(2世帯)	死者2名・行方不明1名?	10月9日	車中より
14	奈良県	十津川村	イ 長殿	十津川(長殿谷)	崩壊	有(対策)			10月9日	対岸より谷入口を見る
15	奈良県	五条市大塔町	イ 辻堂	十津川	崩壊・土石流	—	道路・人家被災		10月9日	道路付近を観察
	奈良県	十津川村	栗平	十津川(栗平川)	崩壊	有(対策)				未調査
	奈良県	十津川村	上湯川	十津川(上湯川)	崩壊			死者1名		未調査
	奈良県	天川村	坪内?	十津川(天ノ川)	洪水		人家流出	死者1名		未調査
	和歌山県									未調査

2. 被害概要

2-1 人的被害と住家被害

台風12号の三重・奈良・和歌山の3県での被害は表2-1-1と図2-1-1に示すように2011年11月2日現在で、死者・行方不明合わせて84名となっており、住家の被害は表2-1-2に示すように全壊・半壊を合わせて、3,229棟となり、大きな被害となった。

表 2-1-1 2011年台風12号の人的被害

都道府県名	人的被害			
	死者	行方不明者	負傷者	
			重傷	軽傷
人	人	人	人	
三重県	2	1	5	10
奈良県	14	10	3	1
和歌山県	52	5	3	4
三県合計	68	16	11	15
その他	10	0	17	62
全国総計	78	16	28	77

消防庁(第16報, 11月2日17:00現在)を基に近畿地方整備局作成



図 2-1-1 人的被害の状況

表 2-1-2 2011 年台風 12 号の住家被害

都道府県名	住家被害				
	全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水
	棟	棟	棟	棟	棟
三重県	84	1,087	69	677	834
奈良県	47	37	5	38	25
和歌山県	235	1,739	89	2,666	3,138
三県合計	366	2,863	163	3,381	3,997
その他	5	44	79	2,276	15,155
全国総計	371	2,907	242	5,657	19,152

消防庁（第 16 報，11 月 2 日 17:00 現在）を基に近畿地方整備局作成

2-2 土砂災害・河川災害・道路災害の概要

紀伊半島の記録的豪雨により，各地で土砂災害や河川・道路に大きな被害が生じた。崩壊した土砂は図 2-2-2 に示すように三重県・奈良県・和歌山県で 3,077 箇所，崩壊面積は約 950 万 m²，崩壊土砂量は約 1 億 m³ に達し，崩壊面積率は約 0.20% となった。

大規模な崩壊が各地で発生し，河川や溪流を埋没させて河道を閉塞した。河道閉塞箇所に湛水した水により崩壊すると下流に大規模な土石流が発生する可能性があり，特に厳重な警戒を必要とする大規模な箇所だけでも表 2-2-3 に示す 5 箇所に上っている。

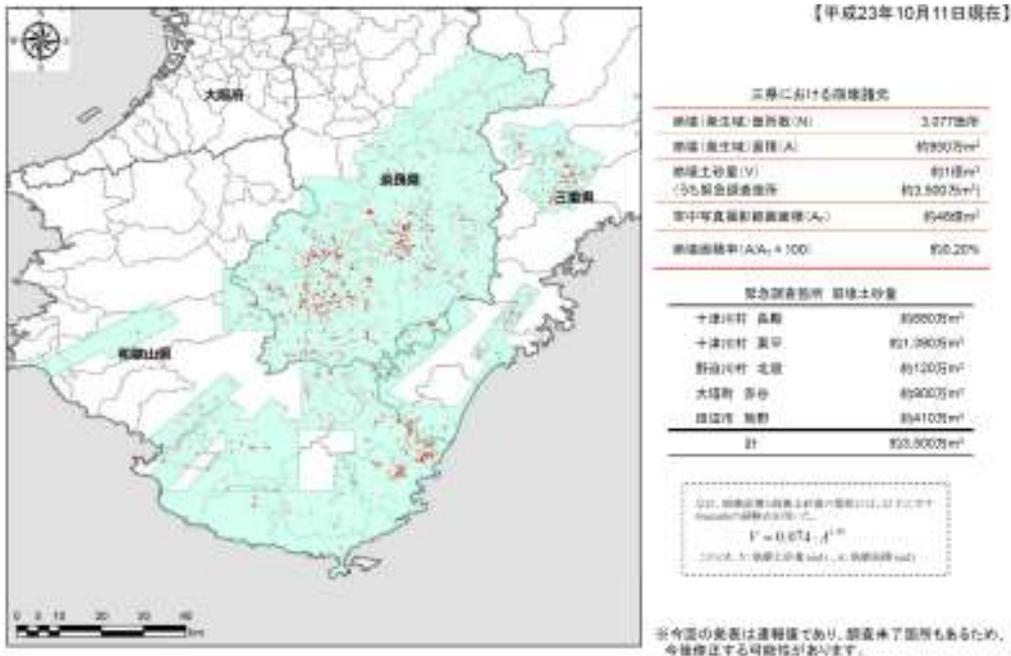


図 2-2-2 紀伊半島における崩壊箇所

表 2-2-3 主な崩壊土砂による河道閉塞箇所 (2011年9月時点)

河道閉塞の場所	高さ	満水湛水量	崩壊土砂量	土砂災害範囲	氾濫範囲の家屋数
五條市大塔町赤谷	85m	550万 m ³	900万 m ³	距離：約 20km 幅：300m	約 60 戸
十津川村長殿	80m	270万 m ³	680万 m ³	距離：約 7km 幅：250m	約 40 戸
十津川村栗平	100m	750万 m ³	1,390万 m ³	距離：約 3km 幅：250m	0 戸
野迫川村北股	25m	4万 m ³	120万 m ³	距離：約 0.8km 幅：200m	約 30 戸
田辺市熊野	60m	110万 m ³	410万 m ³	距離：約 4km 幅：150m	約 40 戸

注) 調査の進展により変わる可能性がある。

河川災害は、図 2-2-3 に示すように、熊野川水系である十津川・熊野川・相野谷川や那智川や日高川で大きな被害が発生した。



図 2-2-3 主な河川・土砂災害箇所

河川被害は表 2-2-4 に示すように奈良県・和歌山県の両県で 1,100 箇所を超え被害額は 400 億円を上回っている。

表 2-2-4 奈良県・和歌山県の公共施設の被害

	奈良県		和歌山県	
	箇所数	金額 (千円)	箇所数	金額 (千円)
河川	115	4,125,140	1,029	36,843,960
海岸			1	40,000
砂防施設	2	810,000	38	2,276,900
急傾斜地崩壊防止施設			1	100,000
道路	288	29,884,000	681	23,607,250
橋梁	4	82,000	40	3,926,000
港湾			4	310,000
下水道			1	86,000
公園	2	93,282	6	1,083,000
合計	411	34,994,422	1,801	68,273,110

出典：和歌山県被害報告表 11 月 2 日現在 奈良県被害報告表 10 月 4 日現在

道路被害は、奈良県域・和歌山県域の直轄国道で土砂崩れ 1 箇所、路面冠水 2 箇所による通行止めが生じたが、9 月 4 日に通行が可能となった。また、越波・雨量規制による一時的な通行止めは 8 箇所発生した。奈良県では写真 2-2-1 に示す国道 168 号の折立橋が落橋するなど県管理の国道 19 箇所、県道 35 箇所が通行止めとなり、市町村道を含めた道路・橋梁の被害は表 2-2-4 に示すように奈良県で 292 箇所約 300 億円の被害額となっている。和歌山県では県管理の国道 34 箇所、県道 106 箇所が通行止めとなり、市町村道を含めた道路・橋梁の被害は 721 箇所、270 億円を超えている。

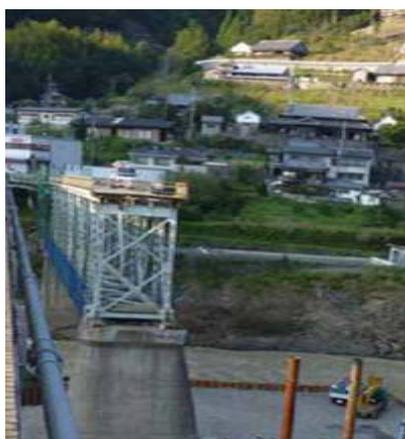


写真 2-2-1 落橋した国道 168 号の折立橋

3. 災害発生時の降雨特性

台風 12 号（アジア名：タラス）は、2011 年 8 月 25 日マリアナ諸島付近で発生した後、しばし小笠原諸島付近で停滞した。その後、8 月 29 日に大型の強い台風となり、図 3-1³⁾に示すような経路をとって、9 月 3 日に高知県東部に上陸した。その後は、北に進路を取って、四国・中国地方を縦断し、4 日に日本海に抜けた。5 日に台風から温帯低気圧に変わった。

台風が大型で動きが遅かったため、台風周辺の湿った空気が流れ込んで、紀伊半島では、長時間にわたる大雨となった。8 月 30 日 17 時からの総降水量は、紀伊半島を中心に広い範囲で 1,000mm を超え、奈良県上北山村上北山では総降水量は 1808.5mm となった。また、上北山で 9 月 3 日に記録した日降水量 661.0 mm は統計期間（1976 年 4 月～現在）において第一位であった。8 月 30 日 17 時～9 月 6 日 24 時の解析雨量による総降水量分布図（気象庁推定）によると、紀伊半島の一部の地域で解析雨量が 2,000mm を超えた³⁾。以上のように、台風 12 号による降雨は記録的な大雨であったといえる。



図 3-1 平成 23 年台風第 12 号の経路図³⁾

図 3-1 の引用元:気象庁, 台風第 12 号による大雨, 平成 23 年(2011 年)8 月 30 日～9 月 6 日,
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/new/jyun_sokuji20110830-0906.pdf

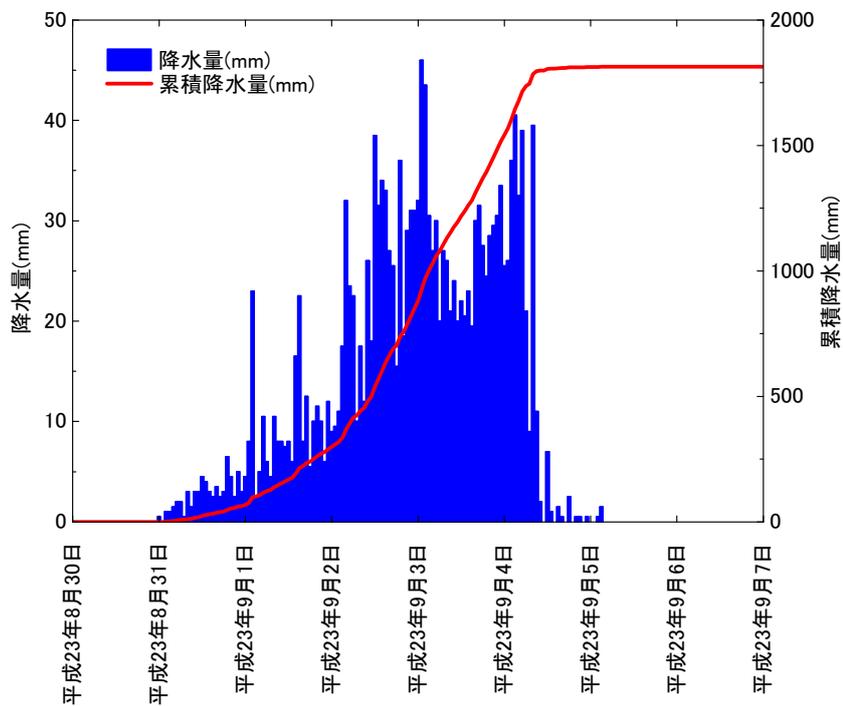


図 3-2 奈良県吉野郡上北山村上北山における時間雨量および累積雨量(8 月 30 日～9 月 6 日)
 (データ: 気象庁アメダス観測点)

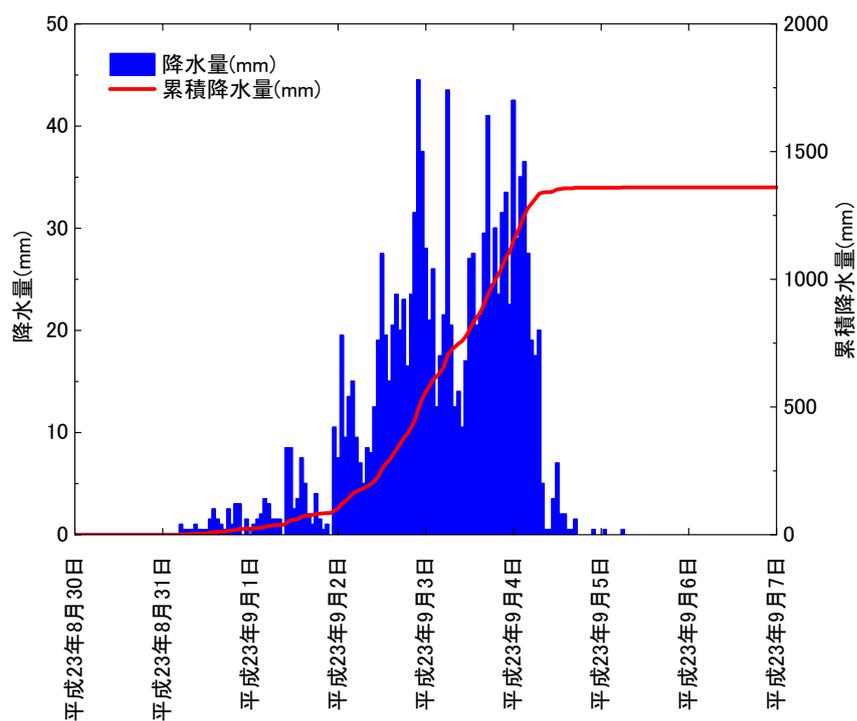


図 3-3 奈良県吉野郡十津川村風屋における時間雨量および累積雨量（8 月 30 日～9 月 6 日）
（データ：気象庁アメダス観測点）

4. 被災地の地形

4-1 災害状況

本災害では五條市から十津川村にかけての地域で多くの崩壊・地すべり・土石流が発生した。

写真 4-1-1 に調査域内で発生した主だった崩壊・土石流の垂直空中写真(2011 年 9 月 7 日アジア航測(株)撮影)を示すが、いずれも河川や溪床に面しており、幅・長さともに数百 m に達する。



写真 4-1-1 空中写真から見た災害状況（アジア航測撮影）

前掲写真位置を図 4-1-1 に示した。本図は被災前データである国土地理院公表の 50mDEM から作成した赤色立体図であり。赤色立体図は、尾根・谷状況や傾斜度を赤色ベースで区分した図であり、尾根は白く、谷は灰色で示されて上方開度が大きければより白く、小さければより黒く表される。斜面は急勾配であるほど強い赤色で示される。この情報のもとで本図を見れば、調査を

行った大規模な崩壊のいずれもが濃い赤である急勾配斜面からではなく、比較的淡い赤色である緩斜面を含む箇所が発生したことを読み取ることができる。



図 4-1-1 調査地域の高度段彩図

4-2 被災地域の地形

4-2-1 標高区分

赤色立体図と同データから作成した調査地域の高度段彩図を図 4-2-1-1 に示す。対象地域はほ

ぼ東西に流れる吉野川より南にあり、近畿の屋根と呼ばれる大峰山系西縁にあたる。大峰山系は標高 1914m の仏経ヶ岳を主峰とする南北に伸張する山体であり、主要山体標高は同図で赤色を示す 1700m を超える。地域中央を南北に流れる熊野川は、この大峰山系を源とし、地域内では標高 700m から 200m にかけて下りながら、多くの支流と合流しつつ南に流下する。熊野川縁辺部は概ね標高 500m である黄緑色を呈するが、それらの山稜のほとんどが標高 1000m を越える。本図に今回の調査地を地名で記載(九尾と栗平を除く)しており、崩壊のいずれもが黄色から黄緑色境界で発生していることがわかる。

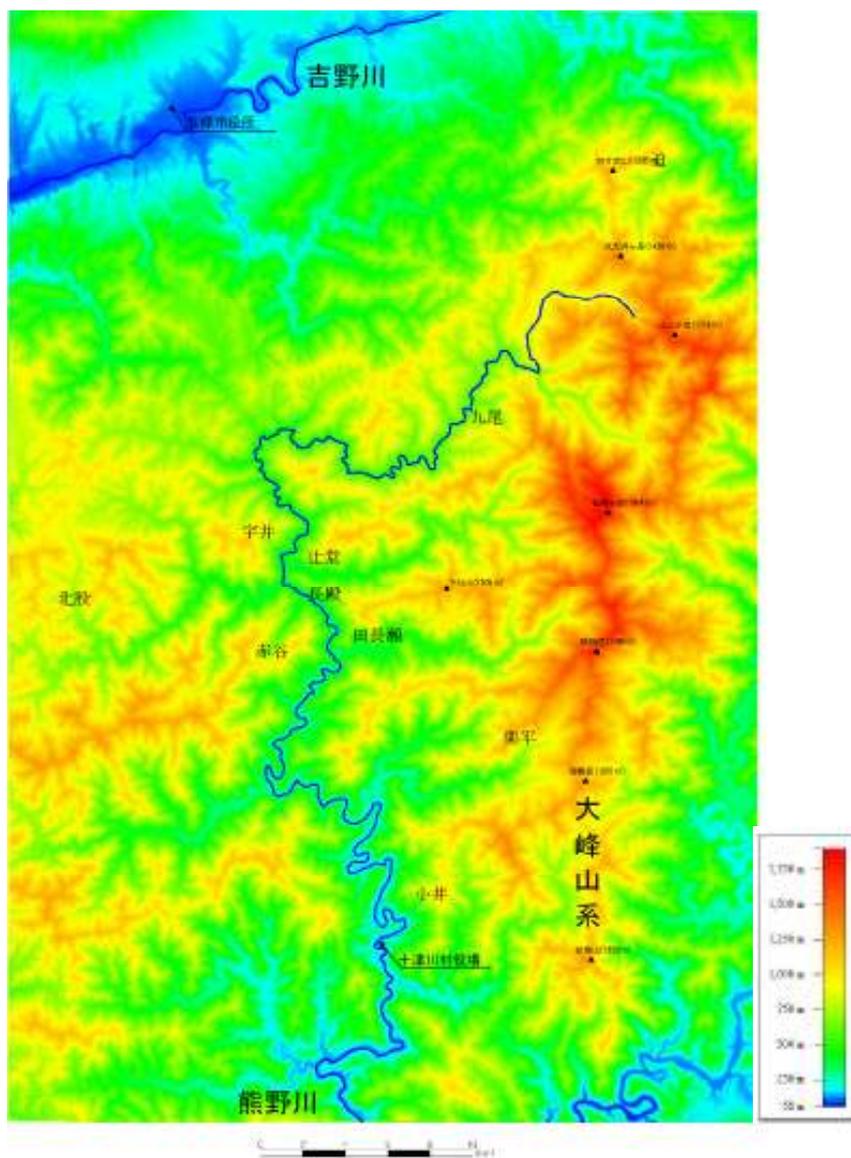


図 4-2-1-1 調査地域の高度段彩図

4-2-2 傾斜区分

高度段彩図と同様に国土地理院の 50mDEM から作成した傾斜区分図を図 4-2-2-1 に示す。

熊野川は大峰山系の山体を下刻しつつ南下するが、その浸食崖は黄色で示される 60 度以上であり、所によっては 75 度を越える。山体上部は水色から黄緑の 15 度から 45 度の比較的緩斜面であり、明確な遷急線をもって河川の浸食崖と区分できる。調査を行った五條市宇井から十津川村小井にかけては 30 度前後の緩斜面がパッチ状に山稜付近に広がる特徴が見られる。

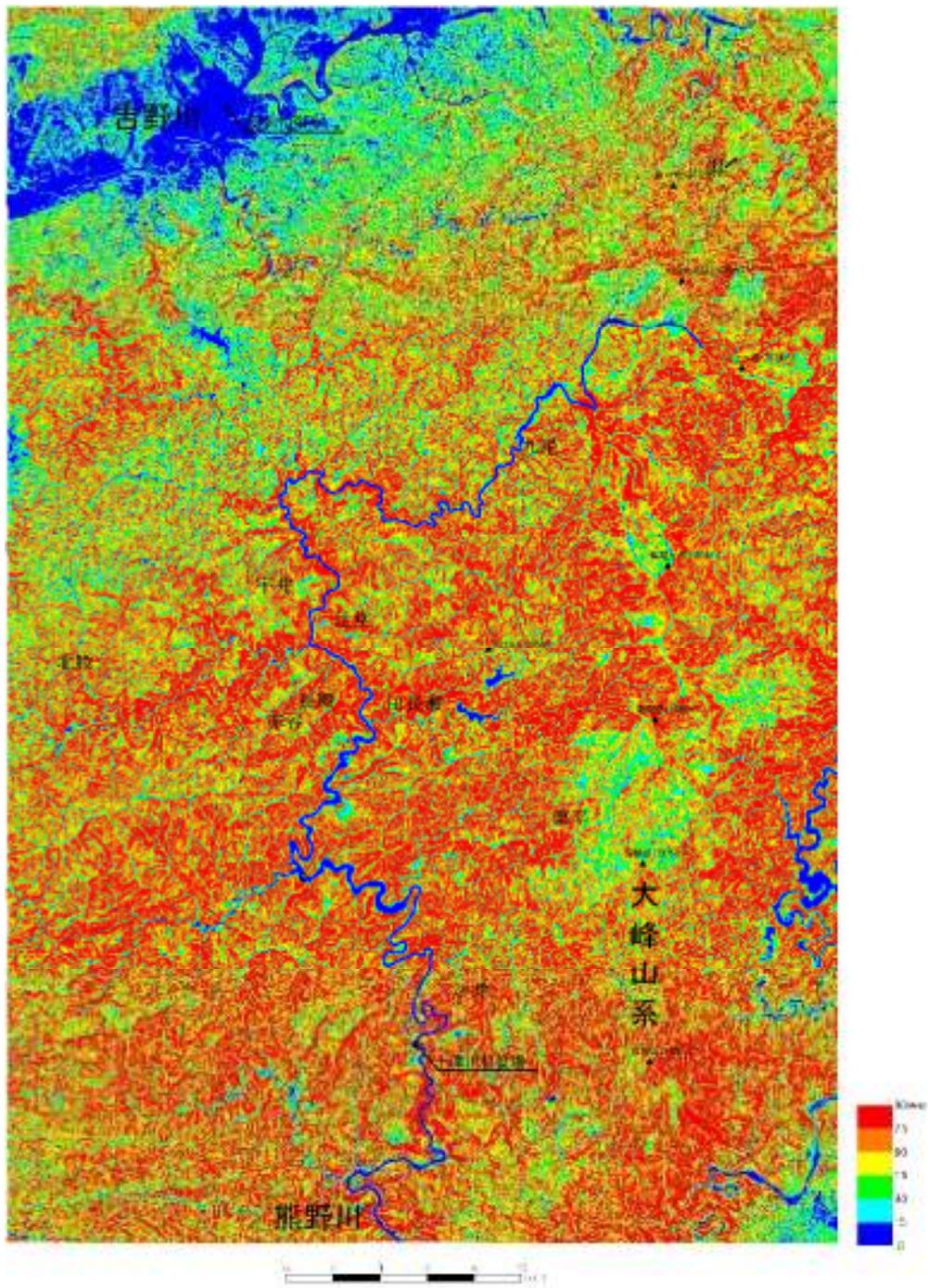


図 4-2-2-1 調査地域の傾斜区分図

4-3 調査区域内の崩壊跡地

前記の赤色立体図から判読した、以前に生じた平面積が10haを越える大規模な崩壊跡地形と本災害で発生した大規模な崩壊(黒色)を図4-3-1に重ね示す。本図において、黄色と黄緑色が判読した崩壊跡地形であるが、黄色は10haから20haまでの規模を、黄緑は20ha以上の規模を表している。崩壊跡地形は大峰山系を取り囲むように散在し、特に黒円で囲んだ、宇井や辻堂を中心とした範囲内に特に多くの崩壊跡地形が認められる。今回発生した大規模崩壊は過去の崩壊跡の一部や崩壊跡境界付近で生じたものであり、宇井を除いて稜線付近にある緩斜面付近から発生している。本災害では大規模な崩壊が発生した。しかし、各々の崩壊の時系列が明らかではない状況ではあるが、過去には本災害規模以上の崩壊が生じていたことを伺うことができる。



図4-3-1 過去に生じた崩壊跡地形と今回の崩壊

4-4 五條市長殿の状況

河道閉塞が生じた長殿地区のオルソ写真(写真 4-4-1)と航空レーザ測量から作成した赤色立体図+等高線図(図 4-4-1) (2011年9月8日アジア航測(株)撮影・取得)を示す。



写真 4-4-1 長殿地区のオルソ写真 (アジア航測(株)撮影)

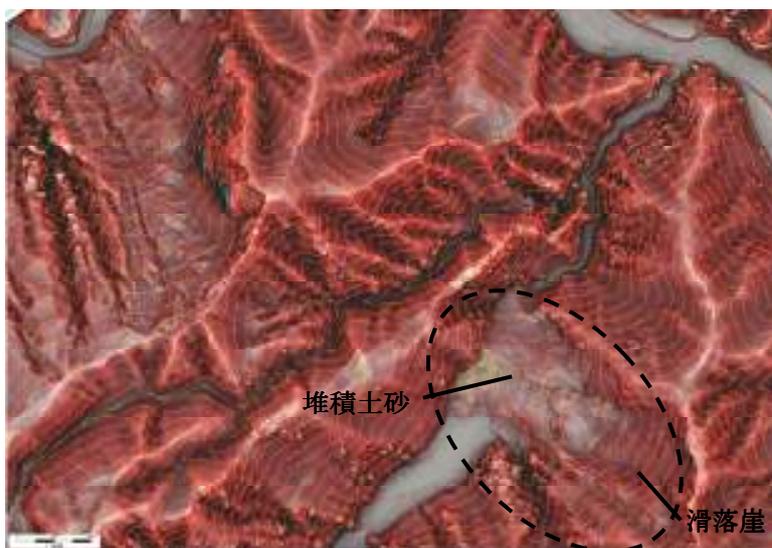


図 4-4-1 長殿地区の赤色立体図+等高線図 (アジア航測(株)取得)

写真 4-4-1 から崩壊土砂が河道を閉塞し、閉塞土砂上流には濁った水が広域に貯まっている状況が確認できる。ちなみに、長殿地区左上にある崩壊は赤谷近傍の大崩壊である。

図 4-4-1 からは長殿地区の崩壊滑落崖と堆積部を明確に区分することができる。また、崩壊頭部の右上の滑落崖から下位に向かって土砂が崩落して河道を埋積した後に、時間を経ず再度崩落した土砂が閉塞土砂上に至って河川下流側に流れ落ちて行った状況を読み取ることができる。

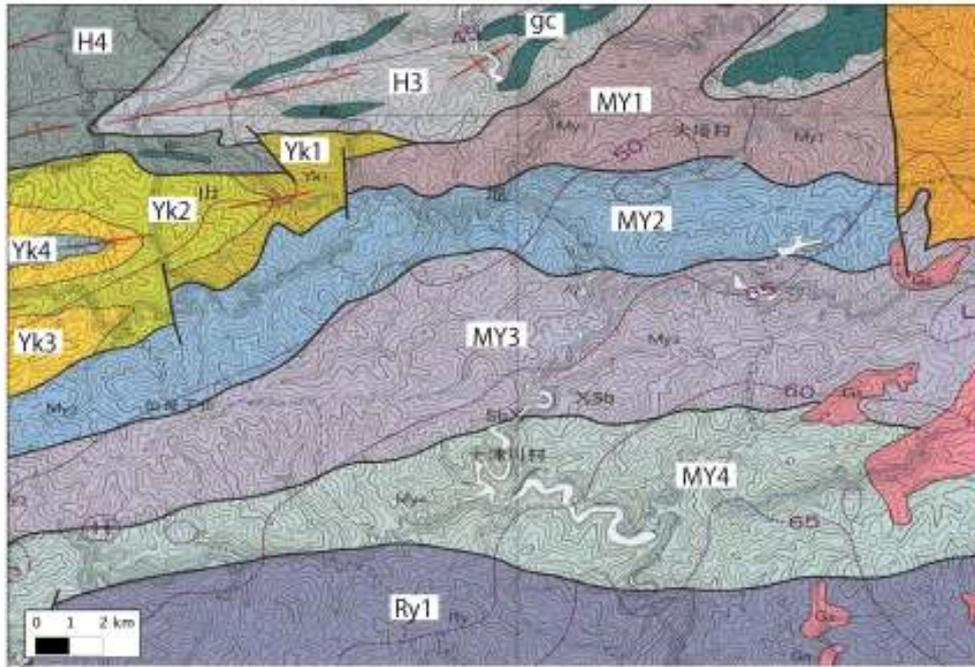


図 5-1-2-1 調査地域の地質図（地質調査所 20 万分の 1 地質図「和歌山」（1998）を使用，産総研承認番号（60635500-A-20111222-002））（MY1～4：美山層，Yk1～4：湯川層，H3～4・gc：花園層・緑色岩，チャート，Ry1：竜神層）

らば水平に堆積している地層が概ね北西方向に下がる方向で傾き，走向方向は東北－西南方向になる．図 5-1-1-1 に紀伊半島の地質分布図を示す．紀伊半島の大部分が四万十層からなり，本調査地域も四万十層が分布する地域である．

5-1-2 調査地域の地質概況

調査地域の地質は四万十帯が主たる構成岩であるが，これらの構成岩石の優劣を分けて，細分されている．今回の調査地域では，主に四万十帯を細分類した美山層，湯川層，竜神層などが主に分布する地域である．主な災害発生箇所の該当地質は北股地区では湯川層（砂岩優勢の砂岩頁岩層）が分布し，辻堂，宇井，赤谷，長殿地域は四万十帯美山層と呼ばれる頁岩優勢な砂岩頁岩互層からなる．これに対して，十津川村小井以南の調査地域では，珩長質凝灰岩を含む竜神層が分布する．調査地域の地質図を図 5-1-2-1 に示す．堆積構造は堆積後に地層が概ね北西方向に傾斜しており，谷地形と地質との関係によっては，流れ盤や受け盤を形成している（図 5-1-2-2）．



図 5-1-2-2 流れ盤と受け盤の図と特徴

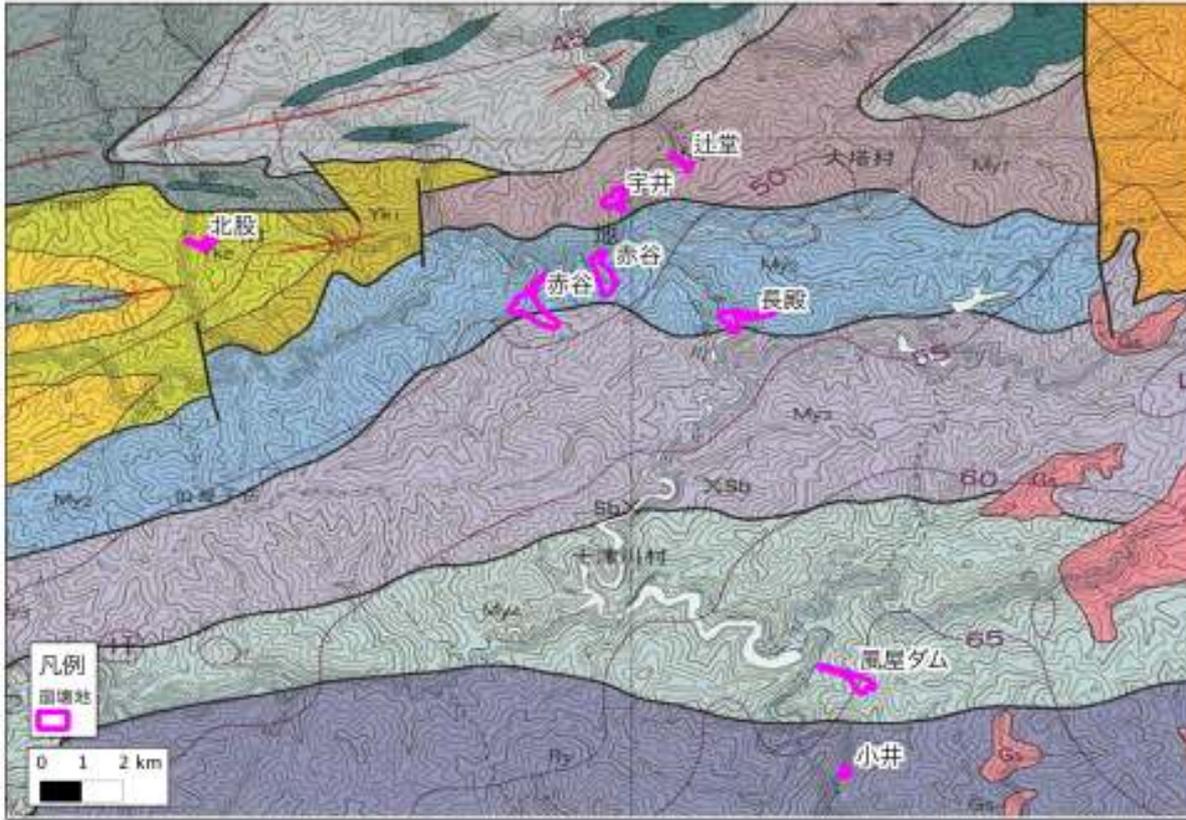


図 5-1-3-1 調査地域の地質図（地質調査所 20 万分の 1 地質図「和歌山」（1998）を使用，産総研承認番号（60635500-A-20111222-002））凡例は図 5-1-2-1 と同じ

ただし，四万十帯の地質構造は基本的に北東－南西方向の走向で北西傾斜であるが，局所的には褶曲などが起こっており，傾斜方向が異なる場合がある．

5-1-3 今回の災害と地質構造との関係について

災害発生箇所の分布を地質図と合わせて図 5-1-3-1 に示す．災害発生斜面の多くは北西斜面に集中しており，地質の傾斜方向に調和的な流れ盤を形成する斜面において発生していることがわかる．また，蛇行状の河川による蛇行部の攻撃斜面に発生している場合が多く見られる．河川は一般に蛇行を始めるとより外側に蛇行するように力が働く性質があり，蛇行するカーブの出口の外側側面には大きな力が加えられ，侵食が促される傾向がある．図 5-1-3-2 に河川の蛇行についてのモデル図を示す．



図 5-1-3-2 河川の蛇行と攻撃斜面

6. 各被害事例報告

6-1 崩壊・河道閉塞

6-1-1 迫^{きこ}

吉野川上流域に位置する奈良県吉野郡川上村では、新聞報道によると、9月4日午後5時半ころ、村の中心部である迫地区の西端に大規模な崩壊が発生して、幹線道路の国道169号線を寸断した。そのために、迫地区の住民及び川上村役場は、上流の「やまぶきホール」へ避難を余儀なくされた。

迫地区で発生した崩壊地は、吉野川左岸部に位置しており、急な谷壁を侵食する支流（西谷）の右岸側斜面が崩落したものである（写真 6-1-1-2）。崩壊地の規模は、長さ350m、幅150m、深さ50m（最大）にもおよぶ大規模なものである。崩壊土砂は、直下の吉野川本流まで長さ400mにわたって崩落し、途中を横断していた国道169号線を長さ90mに渡って埋没させたほか、支流にかかっていた橋を本流まで押し流した。崩壊土砂は、本流付近に小規模ながら河道閉塞を発生させたとみられ、調査時点4m程度の落差が生じていた。なお、本流付近は、直下流の大滝ダムの湛水池にあたるが、現時点では湛水は行っていない。

崩壊地周辺の地質は、ジュラ紀～三畳紀に堆積した川上層群に属する砂岩・頁岩・粘板岩及び緑色岩類の分布地であり、崩壊地は流れ盤斜面に位置する⁴⁾。また、斜面上方の稜線部にはチャートからなる露岩地がみられる。

崩壊地内は、大径の転石を含む崩壊土砂が堆積しているが、崩壊地の左方から頭部にかけて顕著な滑落崖があり、高いところで40～50mの高さがある。滑落崖の露岩地には、著しく破碎された風化岩層が張り付いているところが見られ（写真 6-1-1-7）、断層にそって滑落崖が形成された可能性がある。

崩壊地のある川上村は吉野杉で有名な林業地帯であり、崩壊地周辺も、斜面表層の礫質堆積物を生育基盤としたスギ・ヒノキの造林地となっているが、崩壊とともに表層の立木が崩落したために、崩壊面に多量の倒木が発生している。また、9月7日に国土地理院が撮影した空中写真（写真 6-1-1-1）によると、直下流の大滝ダム（平成14年完成）に多量の流木が漂着している。

崩壊地内には、崩落した立木に交じって古い切り株がみられるが、年輪から見ると約60年程度で伐採したものとみられ、成立していた立木の林齢と合わせると、すくなくとも100年近く斜面は安定していたといえる。なお、川上村は、昭和34(1959)年9月26日、伊勢湾台風による洪水・土砂災害により、死者・行方不明者72名を出しているが、今回の崩壊地が発生した迫地区では、本流・支流の氾濫により人家が被災しているものの土砂災害は発生していない⁵⁾。



写真 6-1-1-1 迫地区周辺の空中写真
(平成 23 年 9 月 7 日, 国土地理院撮影)



写真 6-1-1-2 崩壊地の全景



写真 6-1-1-3 国道横断点の状況



写真 6-1-1-4 本流付近の状況



写真 6-1-1-5 崩壊地内の状況



写真 6-1-1-6 滑落崖の状況



写真 6-1-1-7 破砕された風化岩層（滑落崖） 写真 6-1-1-8 頭部からみた崩壊地

6-1-2 北股

北股崩壊は、**図 6-1-2-1** および**図 6-1-2-2** に示したように奈良県野迫川村北股地先に位置し、蛇行しながら南流する北股川左岸支沢北側斜面で発生した。崩壊規模は、試算であるが 200 万 m^3 (長さ 400m, 幅 100m, 深さ 50m) の規模の大きな深層崩壊である。

崩壊発生は、地元の方の証言では 9 月 4 日朝 10 時ごろで、北股集落の土石流の発生した沢出口の駐車場にいたが、沢のほうからドーンという大きな音がしたので車をそのままにして走って逃げた。すぐに土石流がやってきて駐車場の倉庫などを土砂と共に北股川に押し流した。近くの土砂に埋まりかけた人家から高齢者を連れ出したとのことである。一部北股川は土砂の流入で嵩上げしたが、河川水は河道内にとどまったため、大きな被害にはならず、人的被害はなかった。

崩壊の形態は、**図 6-1-2-3** に示したように斜面上部で発生し、古い崩積土を巻き込みながら流れ盤の頁岩・砂岩の層理面に沿って崩壊している。崩壊の全景を**写真 6-1-2-1** に示した。ここでは手前の小尾根を崩壊土砂が乗り越えている様子がわかるが、崩壊上部斜面の滑落崖は見えていない。50 年生のスギ植林が崩土と共に移動しているのがわかる。**写真 6-1-2-2** には先ほど見えなかった崩壊上方斜面を示した。支沢内を埋没した土砂斜面は比較的緩傾斜になっているのがわかる。滑落崖の高さは 50m 程度あり、崖面には、明灰色の砂岩の 1 枚岩が認められる。また、滑落崖の古い崩積土基底からは湧水が多く、崩壊時地盤内に大量の地下水があった可能性が高い (**写真 6-1-2-3** 参照)。

写真 6-1-2-4 には、沢に堆積した崩壊土砂と堰止湖を示した。崩壊土砂内には流木も多く混じり、仮排水流路の構築は容易ではない。堰止湖の大きさは比較的小規模ではあるが、直下流に北股集落が位置しているので慎重な対応を要する。**写真 6-1-2-5** は、堰止め土砂上から見た下流の北股集落である。直下流に北股集落があるのがわかる。また、土石流堆積物内に流木が多いのも特徴と言え、その処理は容易ではない。**写真 6-1-2-6** は土石流末端の北股川との合流地点である。沢出口にあった駐車場倉庫が川内に流下している。住民は逃げ幸い人的被害はなかった。

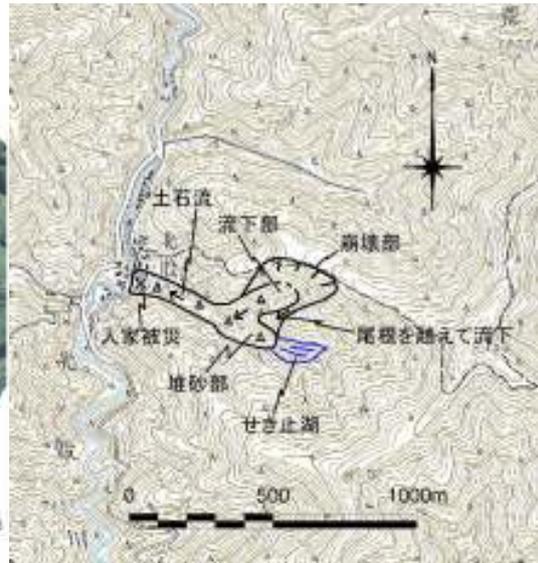


図 6-1-2-1 北股崩壊の航空オルソ図（近畿地方整備局による） 図 6-1-2-2 北股崩壊の平面図
 図 6-1-2-2：国土地理院発行の地形図をもとに作成

北 股

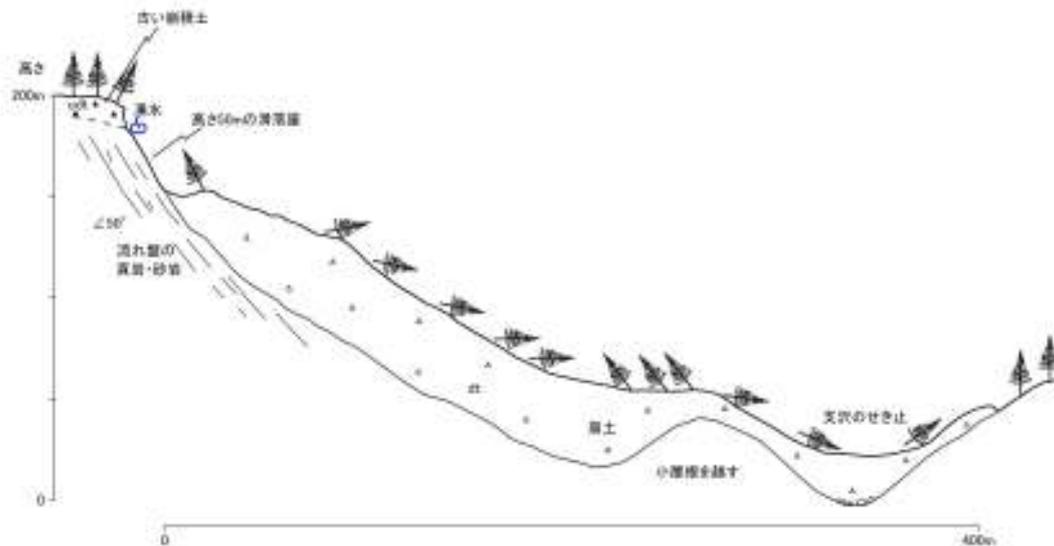


図 6-1-2-3 北股崩壊の断面図



写真 6-1-2-1 北股崩壊全景



写真 6-1-2-2 北股崩壊上方斜面



写真 6-1-2-3 北股崩壊の滑落崖内の湧水と流れ盤構造



写真 6-1-2-4 崩土と堰止湖



写真 6-1-2-5 北股崩壊土石流流下区間



写真 6-1-2-6 土石流による沢出口の家屋被害

6-1-3 宇井

十津川の上流にあたる天川流域である。十津川村と天川村の村境界から北に12km程度上流部、宇井地区にて崩壊が発生している。天川の西側斜面が東に向かって崩壊している。崩壊により、対岸側まで土砂が到達し対岸部の民家に被害が発生している。崩壊範囲は山地尾根の中腹より河床までの斜面で、比高350mの斜面が崩壊し、河床部での崩壊の幅は約200m程度である。



図 6-1-3-1 宇井付近の崩壊状況（9月7日撮影写真を利用（中部地方整備局・近畿地方整備局・国土地理院の連携により撮影された空中写真を利用，<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23-taihu12-index.html>）



図 6-1-3-2 宇井付近の地形と崩壊状況

（赤線で示したものが今回の崩壊地，青枠は走向傾斜の概ねの方向が確認された場所）
 （地形図は国土地理院発行の2万5千分の1「辻堂，上垣内」を使用）

図 6-1-3-1 に空中写真による現地の状況を示す。これにあわせて，図 6-1-3-2 に現地の地形図を示す。現地写真を写真 6-1-3-1 に示す。

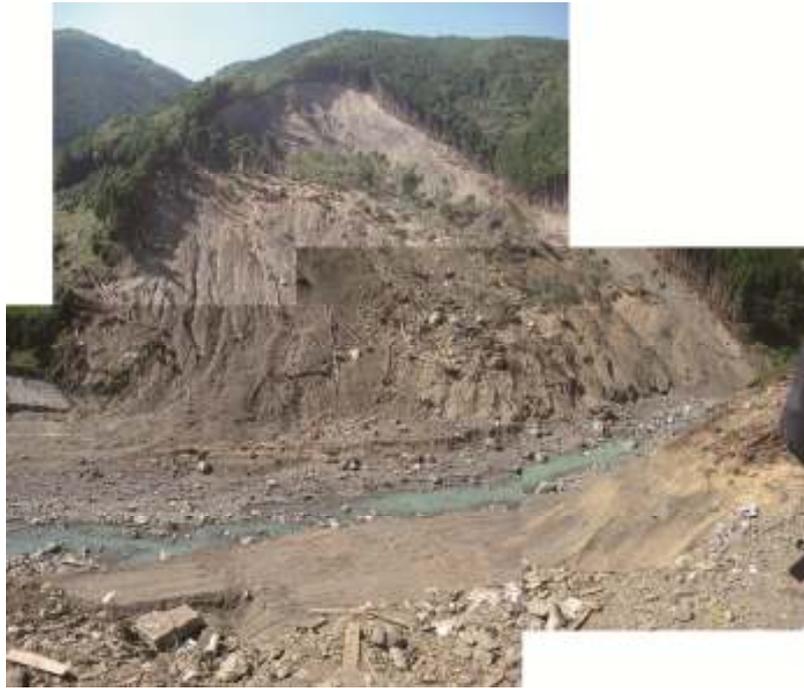


写真 6-1-3-1 宇井の崩壊地写真（対岸側より撮影）

四万十帯のうち、砂岩頁岩が互層状に分布する美山層に相当する地域である。全体的に東北-南西方向の走向に北西傾斜地層が分布する地域であるが、宇井の地域ではやや様相が異なる。現地の崩壊地で見られる層理面は対岸から見ればほぼ水平に分布し（東から見れば南北方向に水平に見られる）、北側の河床部（東西方向）に見られる露岩部の状況からは、東側に傾斜していることが確認された（写真 6-1-3-1, 6-1-3-2）。よって、この地域は南北走向で東に傾斜する地質の可能性もある。地質は頁岩が優勢であり、頁岩あるいは砂岩頁岩互層が見られ、互層の境界部で剥離しやすい傾向を現地の岩石で確認した。走向と傾斜方向と崩壊地の斜面の方向から崩壊地では流れ盤を形成すると考えられる。（図 6-1-3-3）。

崩壊地の上流部で東から西に流れる天川は崩壊地のすぐ北でほぼ 90 度流路を変えて南に下る。河川の流路が大きく変わることが地形的な特徴の一つである。また、崩壊した右岸側（西側）では、河床付近で流速が早く、削剥されやすい地形を示し（攻撃斜面と呼ぶ）、反対の左岸側（東側）は流れが緩やかで堆積物がたまりやすい地形を示している。

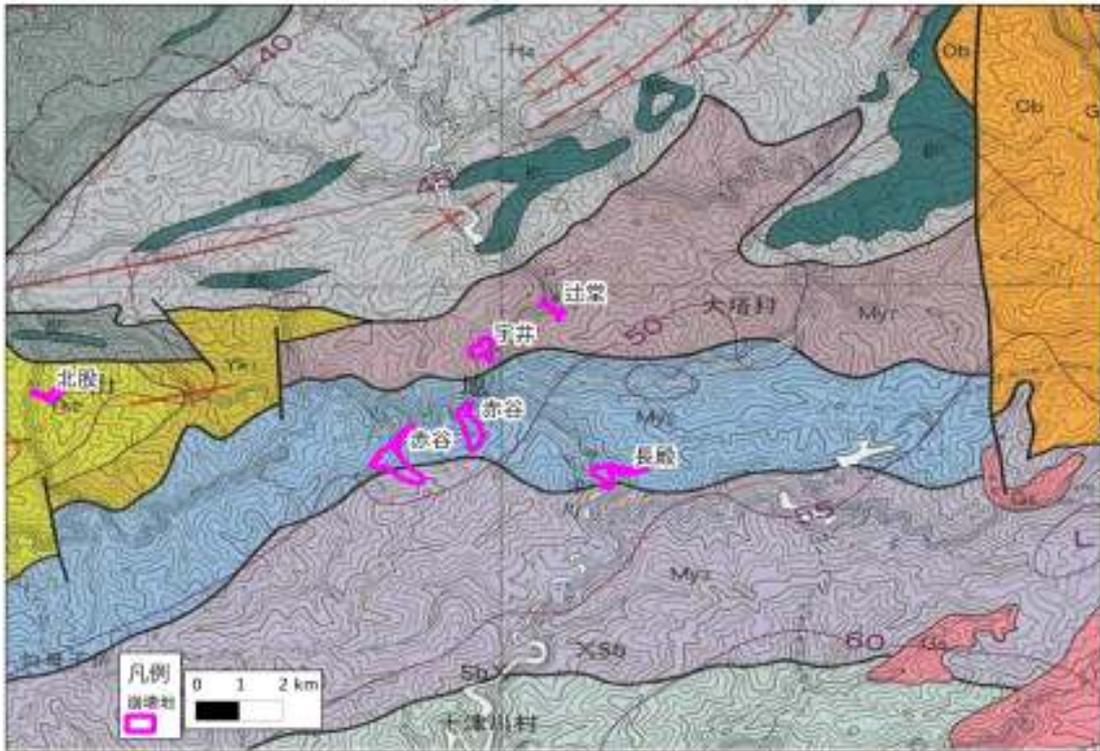


図 6-1-3-3 宇井および周辺の地質図と今回の崩壊地
 (地質調査所 20 万分の 1 地質図「和歌山」(1998) を使用, 産総研承認番号
 (60635500-A-20111222-002))



写真 6-1-3-2 崩壊地上流部の東西方向の河川右岸に見られる地層の層理面
 (東側に傾斜する層理面が確認される)

6-1-4 赤谷

五條市大塔町赤谷における崩壊は、同町清水地区赤谷オートキャンプ場のやや上流部右岸において発生した。これに伴い、崩壊土砂によって河道が閉塞し、堰き止め湖が発生した。図 6-1-4-1 に示すように、当該地区一帯は、四万十帯のうち、砂岩頁岩が互層状に分布する美山層に相当する地域である。岩質としては、シルト質～泥質の頁岩が主体であり、全体的に東北-南西方向の走向に北西傾斜地層である。走向と傾斜方向から崩壊地では流れ盤を形成する。図 6-1-4-2 に示すように、地質の走向傾斜の影響を受けて、山地の尾根線と谷線は北東南西方向に卓越する。また、北西側斜面は南東側斜面に較べて比較的緩傾斜である。赤谷および周辺部においては、崩壊地形が多数見られる。今回の崩壊箇所は十津川の合流点より赤谷の上流に向かって、約 1km 上流地点 (A) と約 3km 上流のポイント (B) である。(A) と (B) の周辺にも同様の崩壊地形が見られ、既存の崩壊地を含めて北西側斜面に崩壊箇所が集中する傾向にある。

空中写真による崩壊状況を図 6-1-4-3 に示す。北西傾斜の山地斜面が北東-南西方向に流れる河川に向かって、北西方向に斜面が崩壊している。2 箇所の大規模崩壊のうち、上流側の崩壊地 (B) において河川閉塞が発生しており、その上流側にあたる西側に河道閉塞による河川水の停滞が見られる (写真 6-1-4-1)。崩壊は共に山地尾根付近より河床までの斜面全体で発生しており (写真 6-1-4-2)、(A) では比高 400m、(B) では比高 650m の斜面が全体に崩壊している。特に (B) では、河道に沿って約 500m 程度が崩壊土に覆われており、河床部で高さ約 85m 程度の土

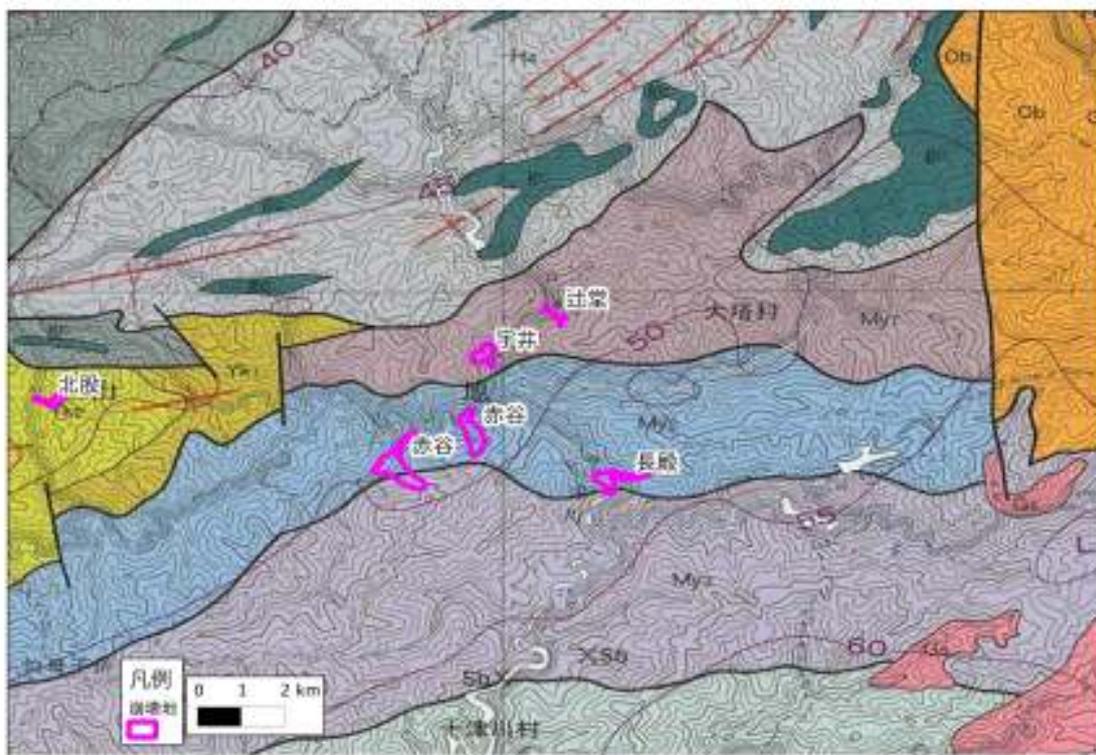


図 6-1-4-1 赤谷および周辺の地質図と今回の崩壊地 (地質調査所 20 万分の 1 地質図「和歌山」(1998) を使用、産総研承認番号 (60635500-A-20111222-002))

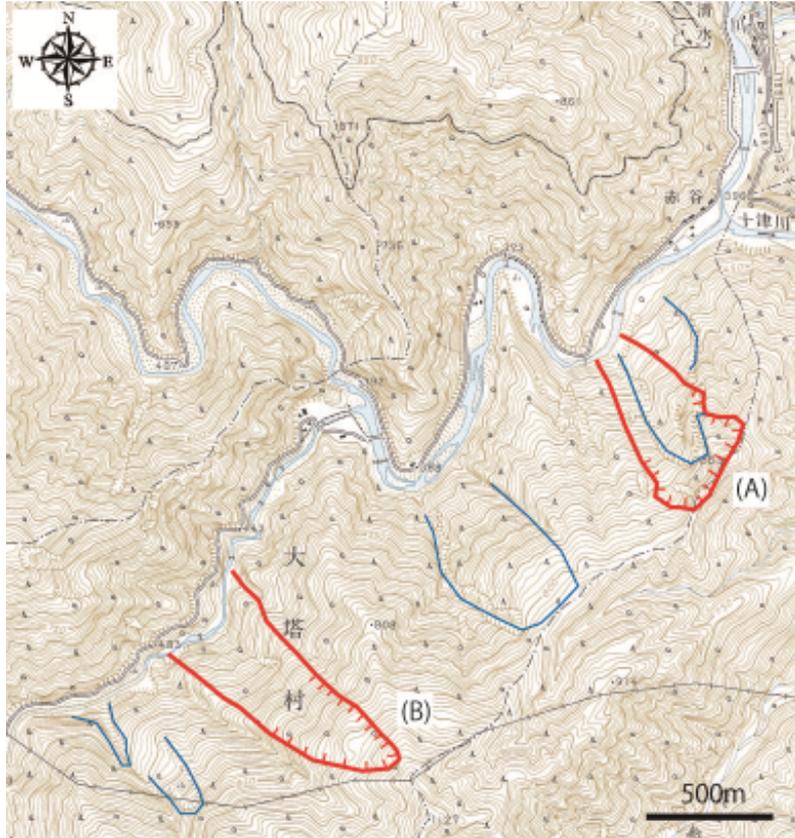


図 6-1-4-2 赤谷付近の地形と崩壊状況

(赤線で示したものが今回の崩壊地，青線は主な過去の崩壊地形)

図 6-1-4-2：国土地理院発行の地形図をもとに作成



図 6-1-4-3 赤谷付近の崩壊状況 (9月7日撮影写真を利用 (中部地方整備局・近畿地方整備局・国土地理院の連携により撮影された空中写真を利用, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23-taihu12-index.html>))

砂が埋積している（写真 6-1-4-3）。また、(B) の下流部，河道内にある赤谷オートキャンプ場のロッジが土石流によって破壊されている（写真 6-1-4-4）。



写真 6-1-4-1 崩壊土砂による河道閉塞と堰き止め湖



写真 6-1-4-2 赤谷における山体崩壊



写真 6-1-4-3 河道に堆積した崩壊土砂



写真 6-1-4-4 土石流によって破壊された赤谷オートキャンプ場のロッジ

6-1-5 清水

清水では、河原樋川のいわゆる河川攻撃斜面において、写真 6-1-5-1 に示すように長さ 700m，幅 600m，深さ 10～30m 程度の崩壊が発生し河道を閉塞した。河道の閉塞は写真 6-1-5-2 に示す上流側の河川周辺状況にその痕跡が確認されるが、深さ 5 m 程度であり非常に短期間で決壊したものと推定される。閉塞によって滞留した貯留水量によって増水した河川は下流の生コンクリートプラントを壊滅的に破壊するなど洪水を起こしたと推定される。

この崩壊は、図 6-1-5-1 に示されるように 1889 年の十津川災害時に発生した崩壊が報告されている古い崩壊跡の再滑動である⁶⁾。崩壊斜面は図に示されるように四万十層群の地層面が流れ盤斜面を示している。



写真-6-1-5-1

清水の崩壊を対岸からのぞむ



写真-6-1-5-2

河原樋川に沿って残る湛水の痕跡

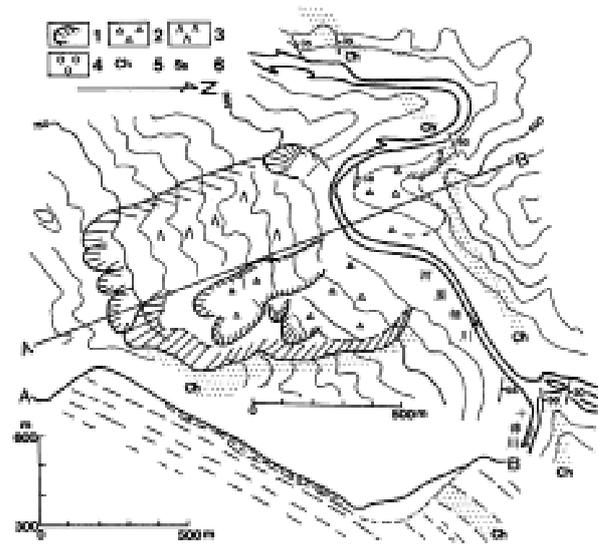


Fig. 7 Topography, geology and schematic cross-section of the landslide at Hisoe-yama facing the Kawasibi river, Nara Prefecture.
 1: Main scarp 2: Slide debris 3: Head or slide block 4: Debris deposits after landslide 5: Chert 6: Sandstone

図 6-1-5-1 1889 年災害時の崩壊記録⁶⁾

図 6-1-5-1 の引用元：平野昌繁・諏訪浩・石井孝行・藤田崇・後町幸雄：1889 年豪雨による十津川災害の再検討，京大防災研究所年報，第 27 号 B-1，1984.

6-1-6 野尻

野尻崩壊は、野尻集落の十津川本川の対岸の尾根頂部で発生した。図 6-1-6-1 に示したように、崩壊部から流下した土砂は、沢内をほぼ直進し、洪水で渦巻く十津川本川に突入し、本川の河川水を巻き上げながら対岸の野尻集落を飲み込んだと予想される。野尻集落は壊滅し、そこに住む3世帯の住民において、死者2名・行方不明者6名・重症者3名の大きな被害となった。集落の上を走っている国道のフェンスもゆがんでいるが、土砂による倒壊はなく、河川水が乗り上げ流下したような感じを受ける。土石流の土砂が本川を押すが、本川の流量も膨大で、その土砂はすぐに本川沿いに流されたように思われる。上澄みだけが国道に達したのではないかと考えている。本川を越える土石流の流下形態の実態をどう捉えるか今後の課題といえる。



図 6-1-6-1 野尻崩壊の平面図

図 6-1-6-1：国土地理院が発行している2万5千分1地形図をもとに作成

図 6-1-6-2 に崩壊から土石流の断面図を示した。写真 6-1-6-1 には、崩壊から土石流の全景を示した。崩壊部が尾根下の高標高部で発生していることがわかる。沢内の土砂は、ほとんど流出しており、沢出口に土石流堆積物が堆積している。写真 6-1-6-2 には、崩壊部の状況を示した。

流れ盤の頁岩・砂岩が分布しているように見える。植林と自然林からなる斜面である。沢内に流木も見える。写真 6-1-6-3 には、沢出口の土石流堆積物を示したが、沢からの後続流による侵食でできたガリーや本川の侵食による本川に平行な崖が認められ、本川の流量の多さを物語っている。写真 6-1-6-4 は本川下流からみた写真で、本川に流入した土石流堆積物は残っておらず、堆積と同時に本川を流れ下ったものと考えられる。本川には瀬と淵ができているが、堰止湖には至っていない。写真 6-1-6-5 は、崩壊対岸の野尻集落跡の平地で、家屋の面影はない。写真 6-1-6-6 は、少し残った家屋跡である。土石流と洪水流の混合流の大きさがわかる。

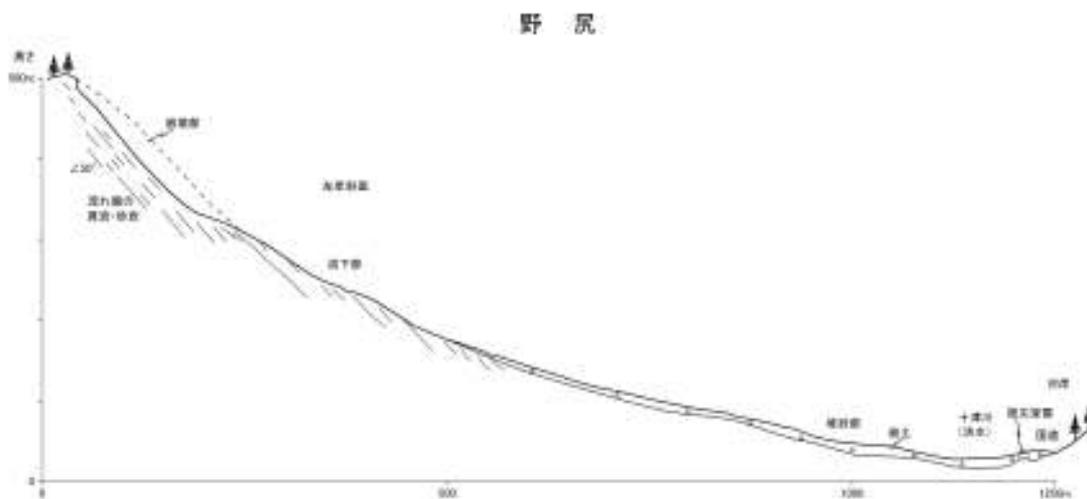


図 6-1-6-2 野尻崩壊の断面図



写真 6-1-6-1 野尻崩壊全景

写真 6-1-6-2 野尻崩壊の滑落崖内の流れ盤構造



写真 6-1-6-3 野尻崩壊沢出口の堆砂部



写真 6-1-6-4 野尻崩壊による本川の浅瀬



写真 6-1-6-5 野尻崩壊対岸の家屋流失の平地



写真 6-1-6-6 野尻の流失家屋跡

6-2 土石流

6-2-1 辻堂

十津川の上流にあたる天ノ川流域の五條市大塔町辻堂地区で、**図6-2-1-1**、**図6-2-1-2**および**写真 6-2-1-1**～**6-2-1-3**に示すように山腹崩壊により柳谷および鍛冶屋谷において、土石流が発生した。辻堂の地質は、四万十帯美山層と呼ばれ、砂岩頁岩が互層に分布している。宇井での累積降雨量は、870mmであった。

鍛冶屋谷の土石流では、国道168号、市道が被災し、全壊7戸、半壊2戸で、人的被害無と報告されている（10月7日現在）。

柳谷では、崩壊により土石流が発生したが、土砂の大部分は溪流内に残存している。堰堤等に捕捉され、現時点で道路等に被害はない⁷⁾。

鍛冶屋谷での山腹崩壊の状況は現地を確認できなかったが、土石流末端より数百m上流までの土砂の堆積状況を**写真 6-2-1-3**～**6-2-1-8**に示す。



図 6-2-1-1 土石流発生場所⁷⁾



図 6-2-1-2 土石流発生場所の航空写真⁷⁾



写真 6-2-1-1 辻堂 (柳谷) での土石流



写真 6-2-1-2 辻堂 (鍛冶屋谷) での土石流



写真 6-2-1-3 辻堂 (鍛冶屋谷) での土石流



写真 6-2-1-4 道路より見た土石流



写真 6-2-1-5 崩壊土で覆われた堰堤



写真 6-2-1-6 ホーリング箇所における土石流



写真 6-2-1-7 土石流による家屋の被災



写真 6-1-2-8 土石流末端と道路

6-2-2 長殿

五條市長殿地区で発生した斜面崩壊による河道閉塞および土石流については、**写真 6-2-2-1** および**写真 6-2-2-2** に示すような遠望による調査のみ行った。長殿地区で発生した河道閉塞および土石流の状況については、「4-4 五條市長殿の状況」を参照のこと。



写真 6-2-2-1 土石流を下流より遠望



写真 6-2-2-2 国土交通省による監視カメラ

6-3 地すべり

小井では、地すべりが発生していることが報告されている（図 6-3-1）。小井の地すべりは、地表部の滑動は、豪雨後に中腹の民家付近の道路の舗装に生じた亀裂が中心である。滑動の程度はあまり大きくなくかつ緩慢であると予測されるが、付近で行っているボーリングコアの深度 33.3m にすべり面と推定される粘土が分布すること、写真 6-3-1 に示すように、頭部に古い滑落崖が地形的に確認されること、北側の側方境界に写真 6-3-2、写真 6-3-3 などに見られる亀裂や立木の傾きなど明瞭な地すべり現象が観察されることなどから、今回の豪雨に伴う再滑動であると推定される。

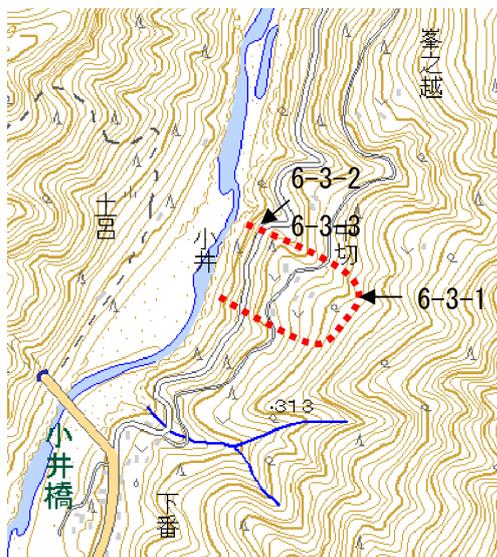


図 6-3-1 地すべり周辺の地形図

写真 6-3-1 滑落崖付近の斜面

(国土地理院発行の 2 万 5 千分 1 地形図をもとに作成)

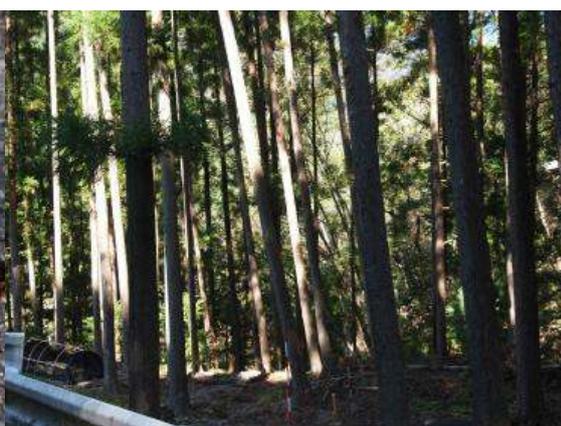


写真 6-3-2 側方境界と思われる亀裂

写真 6-3-3 側方境界付近の立木の傾き

6-4 洪水による施設・構造物の被害

6-4-1 長殿発電所

関西電力長殿発電所（出力 15,300KW，最大使用水量 9.46m³/秒，有効落差 196m）は，昭和 12 年（1937）12 月から運用が開始された水力発電所である（写真 6-4-1-1）．十津川村内で最も古く，かつ最も規模が小さい．昭和 57 年（1982）から無人発電所となり，奥吉野発電所から遠隔操作されていた．このため，長殿発電所が破壊された状況（写真 6-4-1-2）は目撃証言等がなく，現時点では明確ではない．

想定される原因としては，倒壊した発電所位置に土砂の痕跡が少ないことから，十津川（熊野川）沿いで発生した崩壊と，それに伴う土石流が増水した河川内に流入した際に発生した段波による衝撃力が考えられる．直接影響を与えた崩壊・土石流の候補地としては，長殿発電所の上流側約 650m 地点の土石流，下流側約 1km の規模の大きな宇宮原土石流の 2 箇所がある（写真 6-4-1-3）．宇宮原の崩壊・土石流は規模が大きく，国道の橋梁上部工（谷出口から約 500m で，河床からの比高数十 m）にまでその痕跡を残している．しかし，発電所施設に衝撃を与えるためには，増水した河川を下流側から約 1km もの間，エネルギーを維持して遡上しなければならない．上流側の土石流は，宇宮原と比較すると小規模であるが，流下方向に対してはエネルギーの減衰は少なく済むため発電所施設への衝撃を与えることができた可能性があるものと考えられる．



写真 6-4-1-1 被災前の長殿発電所 写真 6-4-1-2 破壊された長殿水力発電所(10月9日撮影)

写真 6-4-1-1 の引用元：水力発電所ギャラリー

<http://www.suiryoku.com/gallery/nara/nagatono/nagatono.html>



写真 6-4-1-3 長殿発電所の上流及び下流に位置する土石流痕跡（GoogleEarth 画像に加筆）

6-4-2 折立橋

折立橋は、橋長約 177m、幅 5.5m、上路平行弦ワーレントラス 2 連構造の国道 168 号に架かる橋梁である（写真 6-4-2-1）。9 月 4 日 2:00 ごろにトラス部分に流木等が引っ掛かり落橋したとのことである⁸⁾。崩落したトラスは下流に流されていた（写真 6-4-2-2）。落橋区間は右岸側 65m である。上流側に平行して設置されている歩道橋は被害を受けていない。

折立橋は、五條市と新宮市を結ぶ主要幹線の一部であると同時に、十津川村の住民にとって欠かすことのできない生活道路でもあるため、流出・損壊した部分について仮栈橋をかける工事（写真 6-4-2-3）が 24 時間体制で実施され、10 月 30 日午前 7 時に開通した。地元住民に対しては、開通までの残り日数をカウントダウンする看板を立てて勇気づけていた（写真 6-4-2-4）。



写真 6-4-2-1 折立橋のトラスに迫る濁流（十津川村役場入口に掲載されていた写真を複写）



写真 6-4-2-2 倒壊し下流側に流された折立橋のトラス



写真 6-4-2-3 仮設栈橋工事中の状況（10月8日現在）



図 6-4-2-4 折立橋復旧までのカウントダウン看板

7. おわりに

以前、海外の友人から「防災・Prevention of Disaster」という用語はおかしいという指摘を受けたことがある。地震や豪雨などの自然災害の発生は、人間には防ぐことができないからという理由からであった。確かに地震や豪雨は、自然のなせる業であり、人間がその発生を防ぐことは現段階では不可能といえるが、それにより人や社会が被る不利益は減ずることができる。災害を、地震や豪雨それ自体と考えるか、それに起因して生じる被害と捉えるのかの違いからくる相違といえる。日本で使われている「防災」という言葉では当然、災害を後者と捉えている。

地震、津波、豪雨等、自然の脅威は年々厳しさを増していく感がある。これ自体は、自然のなせる業であり、どうすることもできないが、それに対応して社会と人が受ける不利益を減らす努力は当然、必要になる。

大きな災害が起こる度に、土木学会を中心にこれまで培ってきた安全を保証し得る設計の指針や基準も見直しの議論がなされている。大きな地震の度に耐震基準が見直されるのは、典型的な事例である。土木構造物の設計では、外力の大きさを設定しなければならないが、将来起こり得る地震や豪雨の外力の大きさを確度と根拠を持って予測することは事実上不可能で、結果として記録として残っている過去に起こった災害時の外力の大きさに基づいて設定外力が決められることが多い。大きな災害が起こると後追的に基準の見直しを繰り返すのは、この意味からやむを得ないことといえる。しかしながら、過去の記録を超える外力を有する災害が起こることは、これまでの経験から自明のことといえ、この意味から設計基準は、間違いなく完全な安全を保証し得るものではないことを改めて認識しなければならない。

このため、「設定値を超える外力が生じたら」を想定して、その場合でも被害を最小限に抑えるハード、ソフト両面からの議論が必要となる。このうち、ハード面からは、外力が設定値を超えて、構造物に被害が出ても、人命や社会活動に与える被害を最小限に抑える仕組みを組み込む工夫といえる。設定を超えるような大きな地震や豪雨が起こった場合、被害が生じる可能性のある場所に住居や施設を作らないことは典型的な事例といえる。これに対し、ソフト面の対応は、災害時の避難や人の判断、行動により被害を最小限に抑える取り組みである。災害を最小限に抑えるには、両方の取り組みが必要となる。

今回の調査では、奈良県における地滑りを中心に現地調査を行った。大きな理解では、**第5章**の報告にあったように紀伊半島の地質構成は、北西方向に落ち込む流れ盤構造が卓越しているために、南東に面する谷筋で多くの被害が発生している。このため、集落や構造物を作るのであれば、こういった場所を避けて作る方が被害に遭う可能性は低いといえる。また、個々の被害を詳細にみていくと、**第6章**の報告にあるように、個々の地形・地質に応じて多様な被害が起こっていることもわかる。それらは、一つとして完全に同じ条件はないため、将来の被害の発生を正確に予測することはできないが、様々な視点から近い条件の事例を知ることができれば、被害を抑えるのに大いに参考になる。過去の災害時に何が起こったのか、それによりどんな被害がもたらされたか、その際の人の判断で被害を抑えられたこと、逆に被害を拡大したこと等に関する事例は、将来の被害抑制に大いに参考になる。ソフト面での対応では、できるだけ多くの事例を収

集し、参考事例を増やすことが重要となる。

今回の調査では、上記の両者の視点からみて、将来起こる可能性のある設定値を超えた災害時の被害を極力抑えることのできる貴重な情報が数多く含まれている。今回の災害に先立つ形で、東北地方では、地震と津波により大きな被害がもたらされた。土木学会では、学会だけではなく、地域の多くの方々と連携して災害に強い社会作りを議論するプラットフォームの構築に動き出した。ここでは、地域毎にこれまでの災害の情報を共有すると共に、将来起こりえるさらなる災害の予測とその軽減について多様な視点から議論がなされることになる。今回の調査結果もここで議論に大いに役立てられることになる。

最後になったが、今回の災害で被災された方々に土木学会としてお見舞いを申し上げますとともに、一日も早い復旧、ならびに災害により強い復興を果たされることを祈念する。

謝辞：本調査の遂行では十津川村、奈良県をはじめ関係諸機関のご配慮・ご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す次第である。

引用・参考文献

- 1) 内閣府：平成 23 年台風第 12 号による被害状況等について，平成 23 年 11 月 2 日 21 時 00 分現在，<http://www.bousai.go.jp/h230903taihu12/110903taihu27.pdf>
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：台風 1 2 号に伴う豪雨による奈良県・和歌山県・三重県での崩壊土砂量について（速報値），<http://www.mlit.go.jp/common/000168726.pdf>
- 3) 気象庁：台風第 12 号による大雨，平成 23 年（2011 年）8 月 30 日～9 月 6 日，http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/new/jyun_sokuji20110830-0906.pdf
- 4) 地質調査所：5 万分の 1 地質図「山上ヶ岳」，1989.
- 5) 辻井英夫：吉野・川上の源流史－伊勢湾台風が直撃した村－，p175-179, 2011.
- 6) 平野昌繁・諏訪浩・石井孝行・藤田崇・後町幸雄：1889 年豪雨による十津川災害の再検討，京大防災研究所年報，第 27 号 B-1，1984.
- 7) 小山内信智：台風 12 号による土砂災害とその対応について，平成 23 年台風 12 号による土砂災害に関する速報会，地すべり学会，2011 年 10 月 14 日.
- 8) 奈良県：報道資料，台風 12 号に関する被害状況等について（第 16 報 9 月 5 日 15:15 発表），<http://www.pref.nara.jp/secure/30786/higai2011-10-21.pdf>

なお、図・表・写真については、出現箇所において引用元もしくは出典を明記した。