

平成 23 年台風 12 号土砂災害第 2 回調査報告書

土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会現地調査団

1. はじめに

平成 23 年台風 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、8 月 30 日 17 時から 9 月 6 日までの期間降水量は奈良県上北山において 1814.5 ミリ、同風屋において 1360.0 ミリを記録した¹⁾。この大雨によって、紀伊半島を中心に各地で甚大な土砂・河川災害が発生した。全国で人的被害が死者 82 人、行方不明者 16 人、物的被害が全壊 379 棟、半壊 3,159 棟、一部破損 469 棟、床上浸水 5,500 棟、床下浸水 16,594 棟等にのぼり¹⁾、これらの被害は和歌山、奈良、三重の三県に集中した。本台風災害は近年では最大級の被害となり、「深層崩壊」や「土砂ダム」が社会の高い関心を集めた。

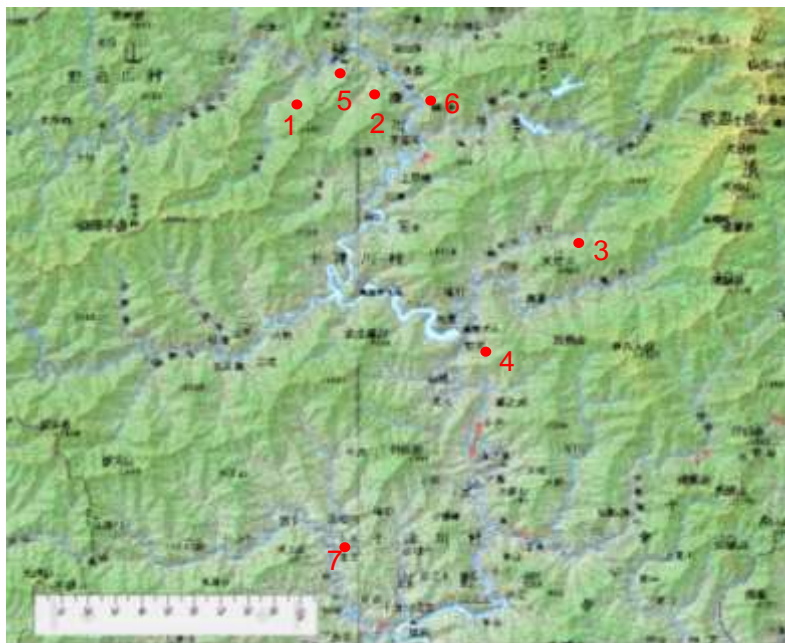
斜面工学研究小委員会は、土木学会関西支部と合同で、平成 23 年 10 月 7 日～9 日の 3 日間、奈良県十津川村を中心とした現地調査を実施し、砂岩頁岩互層からなる流れ盤構造の北西落ち斜面で崩壊が発生していたこと等を明らかにした²⁾。しかしながら、崩壊規模の大きさや崩壊箇所数の多さから、崩壊や土石流を概略把握する程度であった。これまでの報告によると、本台風災害では 3,000 箇所以上の崩壊と 1 億 m³以上の崩壊土砂が生じたと推定され³⁾、この影響は被災地域では長期的に続くとみられる。そこで、大規模崩壊の実態をより詳細に解明することを目的として、平成 24 年 5 月 26、27 日の 2 日間、現地の再調査を行った。

本報告では、これまでの二回の調査結果をもとに、災害発生地の地質および地形状況、崩壊の概要と地質・地形的要因、過去の崩壊との関連性について検討した結果について述べる。なお、今回の調査団団員および報告書執筆箇所を表 1-1 に記す。また、調査箇所を図 1-1 に示す。

表 1-1 現地調査団員および報告書執筆箇所

氏名	所属	主な執筆箇所*
鈴木 素之	山口大学	1
稲垣 秀輝	環境地質	7.3
上野 将司	応用地質	3, 7.4
宇次原 雅之	日特建設	7.2
大野 博之	東京農業大学, 財団法人日本環境衛生センター	8
小川 紀一郎	アジア航測	7.1
後藤 聡	山梨大学	6
中村 洋介	福島大学	2
原 重守	淞南ダイア	4
美馬 健二	太田ジオリサーチ	5

※ 9：全員による執筆



凡例	
1 赤谷	2 長殿
3 栗平	4 野尻
5 清水	6 宇宮原
7 重里	

図 1-1 崩壊箇所調査位置 (20 万分の 1 地勢図を使用)

2. 十津川村周辺の斜面災害の歴史

十津川村は長年にわたって斜面災害に悩まされてきた地域である。中でも十津川村に最も被害を及ぼしたのが明治 22 年の十津川大水害であり、土砂災害の規模は十津川大水害のほうが今回の「紀伊半島大水害」(以下、台風 12 号による災害名として表記) よりも大きい。十津川大水害では旧十津川村内で 1,080 箇所の大規模崩壊が発生し、37 箇所において土砂ダムが形成された。村民 12,862 人のうち死者 168 人、全壊・流出家屋 426 戸の被害が生じた。農地の被害も甚大で、生活の基盤を失った人は約 3,000 人にのぼった。被災者 2,691 人が明治 22 年 10 月に北海道に移住し、新十津川村が結成された⁴⁾。

表 2-1 台風 12 号と明治十津川台風の土砂災害、雨量、台風要素の概要⁵⁾

		台風12号	明治十津川台風
土砂災害	土砂崩壊量	紀伊半島で約1億 m ³	奈良県南部で約2億 m ³ 以上
	天然ダムの数	紀伊半島で17か所	奈良県南部で53か所
雨量 (和歌山県)	雨量計の数	和歌山県内に約160 (解析雨量に使用する数)	和歌山県内に5
	16時間雨量 (最大)	新宮市高田 (自治体) 909mm	田辺 901.7mm
	72時間雨量	新宮市高田 (自治体) 1,390mm	田辺 1,295.4mm
(奈良県)	72時間雨量 (十津川)	十津川村風屋 (アメダス) 1,294mm	
台風	台風上陸地域	高知県東部	高知県東部
	日本海へ抜けた時の 台風中心の位置	鳥取県	鳥取県
	台風上陸直前の 中心気圧	980hPa (2011年9月3日9時)	970hPa (1889年8月19日6時)
	台風上陸直前の 1,000hPa 範囲の大きさ	約800km	約600km
	上陸後1日間の速さ	約10km/h	約14km/h

十津川大水害と紀伊半島大水害には類似性が認められる。1つ目の類似性は、2つの水害ともに台風による豪雨災害で、強い台風が紀伊半島を通過した点である。それぞれの水害における台風の経路や位置、1,000hPaの等圧線の大きさ、いずれも極めて類似していることが指摘されている⁵⁾。2つ目の類似点は台風通過時における雨量である。紀伊半島大水害において、十津川村や和歌山県の東部では十津川大水害時に観測された田辺の16時間雨量、3日雨量とほぼ同じ雨量が観測された（文献5）：表2-1）。

そのほかにも、十津川村では1953年紀州大水害、伊勢湾台風、2004年集中豪雨等においても斜面災害が発生している。ここ近年に限っては豪雨に伴う斜面災害が顕著である。しかしながら、過去の事例を見ると海溝型大地震に伴う斜面災害が紀伊半島でも散見されるので⁶⁾、今後も南海地震等の大地震に伴う斜面災害の発生は想定される。

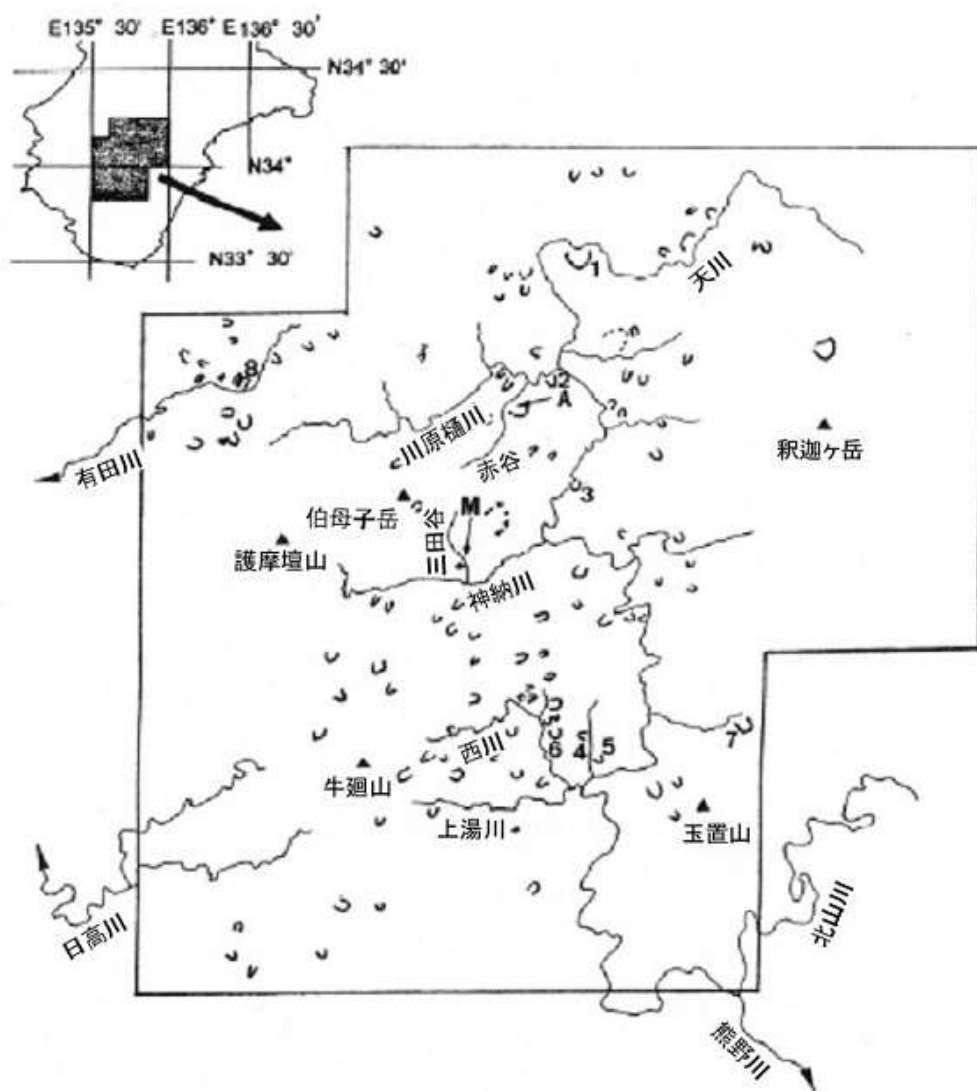


図 2-1 残留崩壊物質をのせると推定される崩壊地の分布（文献 7）を一部改変）

図 2-1 は石井・諏訪⁷⁾によって示された十津川流域・有田川上流域における崩壊物質を残留させていると推定される崩壊地の分布である。この図が作成されたのは 2005 年であり、2011 年紀伊半島大水害よりも以前である。これら崩壊地には 1889 年十津川大水害、1953 年紀州大水害によるものほか、時代不明なものも含まれているとのことであり、十津川村周辺で斜面災害が頻繁に発生してきた様子がうかがえる。

十津川村周辺で将来もっとも発生が危惧されている地震は南海地震であるが、南海地震が発生した場合の十津川村周辺の想定震度は南海地震が単体で発生した場合には震度 5 弱～5 強、南海地震が東南海地震と連動した場合には震度 5 強であると推定されている⁸⁾。過去の南海地震においては崩壊が震度 4 から発生し、震度 5 以上で多発している傾向が認められることから⁹⁾、豪雨と地震の双方への対策が必要である。また、奈良県内には奈良盆地東縁断層、中央構造線、生駒断層、木津川断層などの活断層が分布する。これらの活断層は、南海地震よりは地震発生頻度は低いものの、仮に M7 クラスの直下型地震が発生した場合には十津川村の震度は震度 5 弱以上になると想定されている¹⁰⁾。

3. 調査地域の地形・地質概要

3. 1 地形

調査地域は、紀伊山地を東西に分断するように北から南に流れる十津川流域で、東側には標高 1,000～1,900m の大峰山脈、西側には標高 1,000～1,300m の高野山から南に延びる山地が位置する(図 3-1-1)。十津川は山地内を蛇行する先行谷であり、河谷は急斜面で谷底平野は現河床の氾濫原が主体であって可住地は少ない。十津川の各支流は東西～北東・南西方向の流路をとり、北向き斜面が南向き斜面に比べて相対的に緩い傾斜を示す。これは大局的に東西に延びて北に傾斜する地質構造を反映したものである。調査した崩壊箇所は前掲の図 1-1 に示したとおりで、河床標高 250～450m、背後の尾根までの比高差は 300～500m 程度ある大きな斜面であり、河川の攻撃斜面側が目立つ。

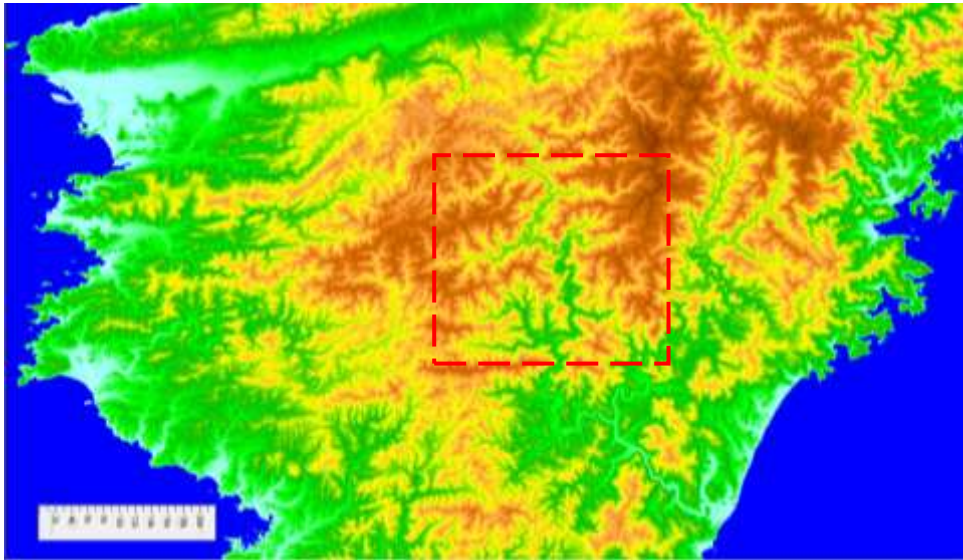


図 3-1-1 熊野川流域の地形（カシミールによる作成画像で破線枠は図 1-1 の範囲）

3. 2 地質

熊野川流域は、紀ノ川北岸を東西に延びる中央構造線の南側にあたり、三波川帯、秩父帯、四万十帯の地質が東西方向に帯状に配列する（図 3-2-1）。このうち、調査地域に分布する地質は、四万十帯に属する砂岩、頁岩を主体として、チャートや凝灰岩を一部挟在する白亜紀から新第三紀の堆積物である。いわゆる付加体堆積物で、地層はたたみ込まれて断層や褶曲が発達し、頁岩部分は大半が著しく破碎されている。

崩壊箇所を観察した地質は頁岩優勢で、層理面の走向は北東～北西を呈し、狭い範囲で変化が大きく、主として 50 度前後で北に傾斜する。これに対して、傾斜 20 度程度の小断層の分布がいくつか認められ、斜面の安定に関しては急傾斜の層理面に加えて、この低角度の小断層も不連続面として注意すべき対象と考えられる。

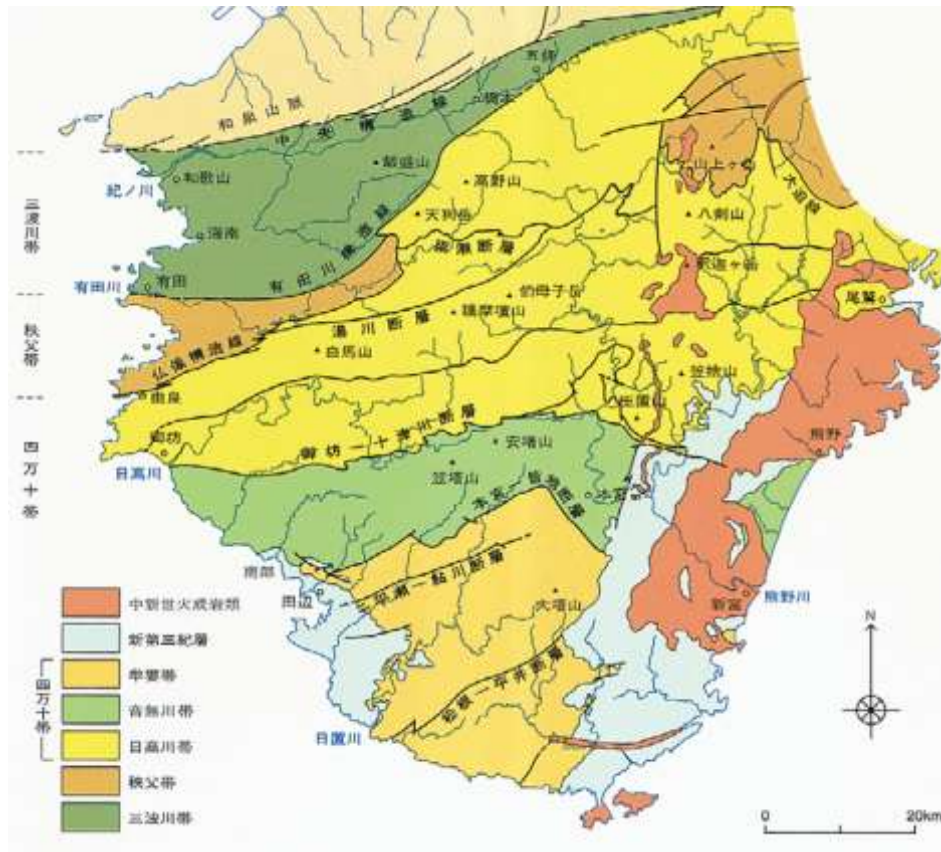


図 3-2-1 紀伊半島の地質概要図¹¹⁾

4. 赤谷地区

4. 1 崩壊概要

奈良県吉野郡十津川村北部から、それに隣接している五條市大塔町南部の清水にかけて、平成23年に発生した台風12号により大規模な深層崩壊が多数発生している(写真4-1-1)。ここでは、そのうち五條市大塔町清水の赤谷オートキャンプ場のやや上流右岸において発生した赤谷地区について述べる。



写真 4-1-1 崩壊発生前後 (Google earth に加筆, 撮影日: 写真左 2010. 5. 5, 右 2011. 9. 8)

赤谷地区の崩壊は、比高 650mの斜面が全体的に崩壊しており、その崩積土は対岸にまでせり上がっている。また、河道に沿って約 500m程度が崩積土に覆われ、河床部での埋積高さは約 85 mに及ぶ²⁾。この河床部の埋積により河道が閉塞し、上流部には堰止湖が形成されている（写真 4-1-2）。



写真 4-1-2 赤谷地区崩壊全景（Google earth, 撮影日：2011.9.8）

4. 2 地形・地質状況

今回行った現地調査および空中写真判読の結果を基に、崩壊箇所の地形・地質をまとめる。

1976年に撮影された空中写真の判読により、今回深層崩壊が発生した赤谷、清水には崩壊地形が確認できる（図 4-2-1）。また、赤谷と清水の崩壊地の間にも崩壊地形が認められ、尾根部からはらみ出した不安定斜面が分布している。

赤谷地区は、尾根部に認められる滑落崖から変位した不安定斜面が分布し、斜面末端の南側には崩壊跡も認められる。

なお、いずれの崩壊地形も、崩壊末端部は河川の攻撃斜面となっている。

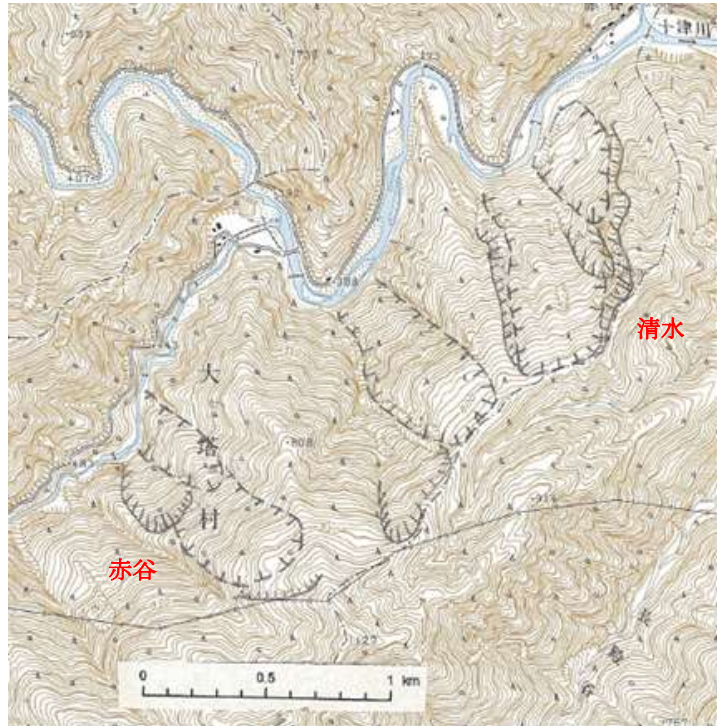


図 4-2-1 空中写真判読結果図（国土地理院発行の地形図(1/25,000)を利用）

崩壊箇所およびその周辺において確認できる地質は、砂岩および頁岩のメランジであった（写真 4-2-1, 4-2-2）。頁岩部分は、全般にやや軟質であり部分的に褐色を帯び、スレーキングが顕著で細片化が進行している。砂岩部分は層理面の発達が乏しく硬質塊状であり、亀裂も少ない。

これらの地質構造を含めて平面図（図 4-2-2）および断面図（図 4-2-3）にまとめる。崩壊面は、半お椀型～くさび型の形状を呈するが、この面は層理面と考えられ、この構造が斜面の安定度に影響を与える潜在的因子の可能性がある（写真 4-2-3）。



写真 4-2-1 頁岩優勢メランジ（崩壊面露頭） 写真 4-2-2 砂岩優勢メランジ（河川沿い露頭）

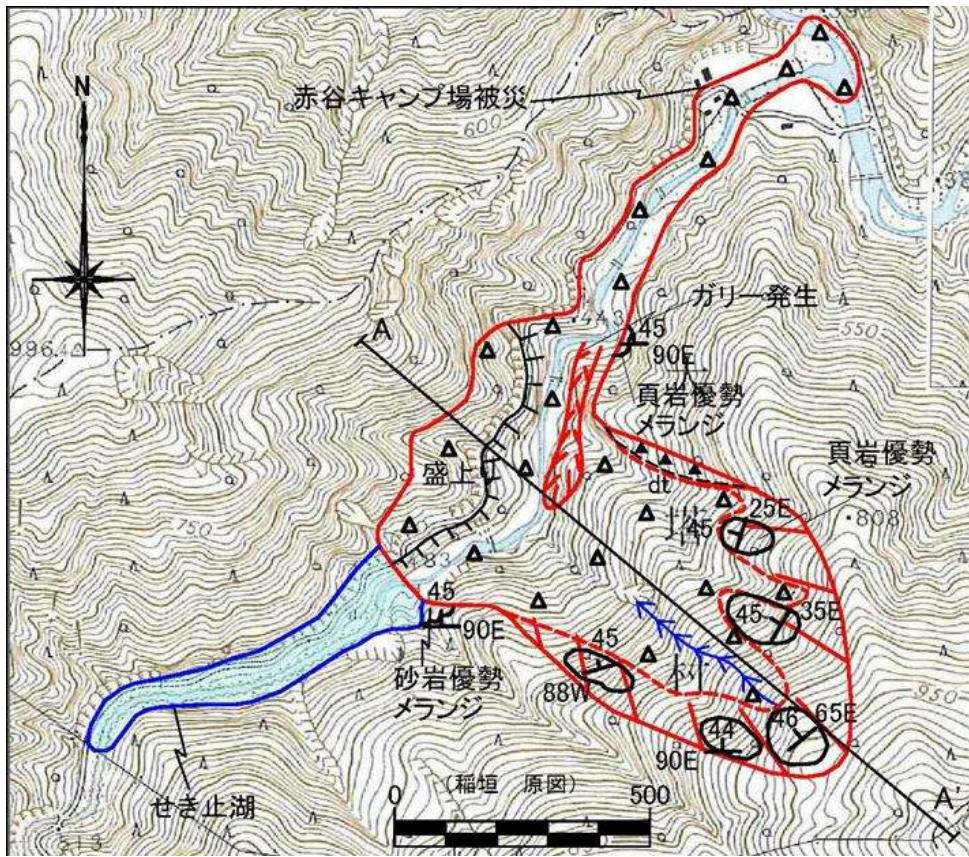


図 4-2-2 平面図 (国土地理院発行の地形図(1/25,000)を利用)

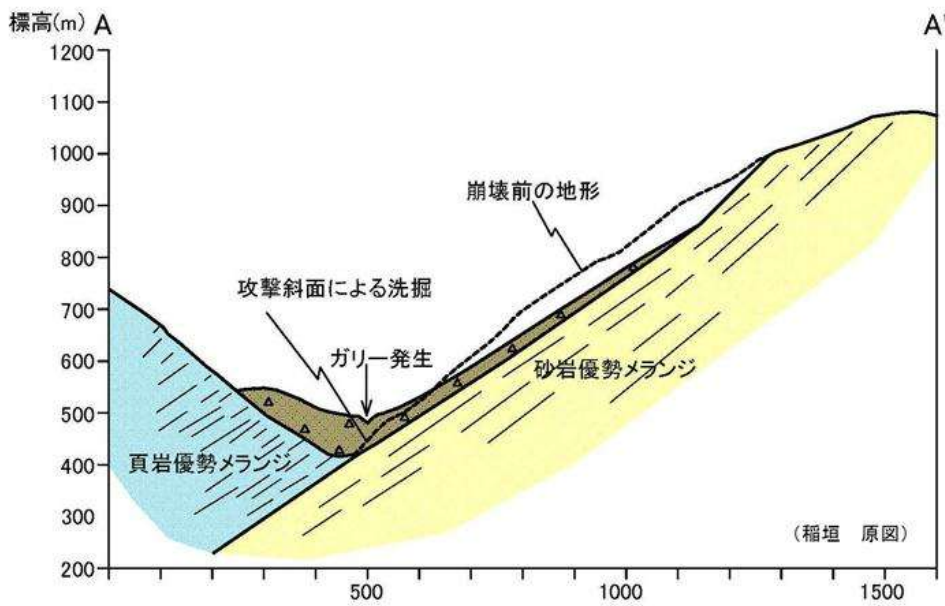


図 4-2-3 断面図 (稲垣秀輝氏作成)



写真 4-2-3 崩壊面遠景

4. 3 現地状況

現地調査時（2012年5月26日）における現地の斜面・対策工事状況¹²⁾は以下であった（写真4-3-1, 4-3-2, 4-3-3）。堰止湖（写真4-3-3）は依然存在するものの、仮排水路等の緊急対策工事が進んでおり、6月下旬には完成予定となる。



写真 4-3-1 崩壊地遠景



写真 4-3-2 崩壊地对岸遠景



写真 4-3-3 堰止湖

赤谷地区（河道閉塞）緊急対策工事概要

- ・ 仮排水路 （写真 4-3-2）
- ・ 防護土堤 （写真 4-3-1）
- ・ 右岸法面对策 （写真 4-3-1）
- ・ 右岸泥土対策 （写真 4-3-2）
- ・ 仮排水路土留工（砂防ソイルセメント）

5. 長殿地区

5. 1 崩壊概要

長殿地区の斜面崩壊は、長殿谷の下流、右岸斜面で発生し、北西方向に崩落している（図 5-1-1、写真 5-1-1、写真 5-1-2）。崩壊は斜面下部から尾根まで至っており、規模は幅約 320m、斜面長約 600m、深さ約 70m と推測される¹³⁾。約 680 万 m³の崩積土（高さ約 80m の土砂ダム）が河道を閉塞しており、上流は約 4km²の集水域を有する。調査時（平成 24 年 5 月 26 日）の土砂ダム上流の湛水状況は、写真 5-1-3 に示す。なお、土砂ダムの表面には（仮）排水路が施工されていた（写真 5-1-5、写真 5-1-6）。

写真 5-1-4 は、崩壊に巻き込まれた鉄塔の残骸を示す。鉄塔は、崩壊頭部の尾根に設置されていたものであり、崩壊とともに倒壊した（詳細な位置は後述の図 5-3-1 参照）。



図 5-1-1 長殿地区斜面崩壊箇所の周辺状況（崩壊前の地形図，国土地理院発行の地形図（1/25,000）を利用）



写真 5-1-1 滑落崖全景



写真 5-1-2 土砂ダム天端



写真 5-1-3 土砂ダム上流の湛水状況



写真 5-1-4 大規模崩壊に巻き込まれた鉄塔の残骸



写真 5-1-5 土砂ダム(仮)排水路の上流側



写真 5-1-6 土砂ダム(仮)排水路の下流側

5. 2 地形

地形図 (1/25,000) および空中写真判読 (崩壊前の 1976 年撮影) による所見を下記に示す.

①空中写真判読によると, 図 5-2-1 のとおり, 斜面末端には崩壊跡, 尾根部に不明瞭ながら二

重山稜が存在し、斜面が不安定化している。

②崩壊斜面は、長殿谷の河道に接している。長殿谷は概ね直線状を呈しているが、崩壊箇所付近の河道は、蛇行しているのが特徴である（図 5-1-1）。

③長殿地区付近には赤谷および清水地区の崩壊もあり（計 3 箇所の大規模崩壊）、この周辺は相対的に大規模な崩壊が多い（図 5-1-1）。いずれの崩壊も北西向きの斜面で発生している。



図 5-2-1 空中写真（今回崩壊前）判読結果（上野将司氏判読，国土地理院発行の地形図（1/25,000）を利用）

5. 3 地質

周辺の地質は、砂岩・頁岩の互層よりなり、流れ盤構造である。現地の崩積土を見ると、頁岩の礫～人頭大の岩塊が主体である。岩塊は、亀裂が多く、軽いハンマーの打撃で粉砕するほど強風化しており、スレーキングしたものも見られる（写真 5-3-1）。これに対し、滑落崖（不動層）の露岩は、亀裂が少なく比較的新鮮な岩盤であるように見受けられる（写真 5-3-2）。斜面下方からの目視観察による推定であるが、崩壊状況および地質構造の概要を図 5-3-1 および図 5-3-2 にまとめた。



写真 5-3-1 崩積土

(亀裂が多く、スレーキングが見られる)



写真 5-3-2 滑落崖に見られる露岩

(亀裂の少ない岩盤)

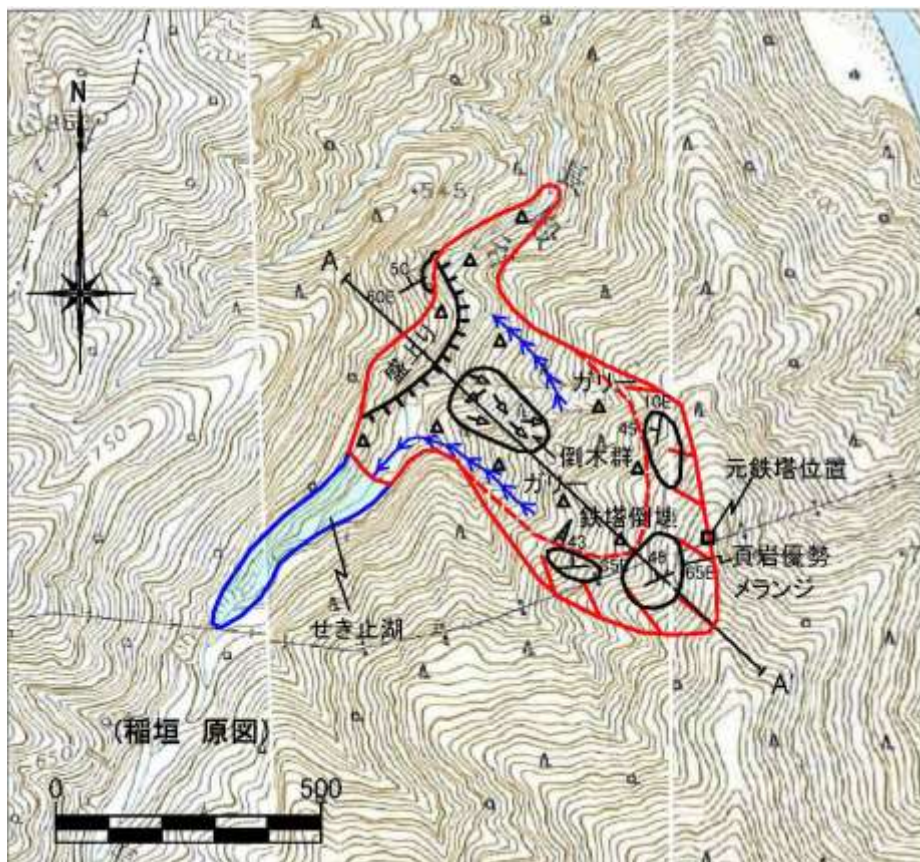


図 5-3-1 崩壊状況平面図 (稲垣秀輝氏作成, 国土地理院発行の地形図(1/25,000)を利用)

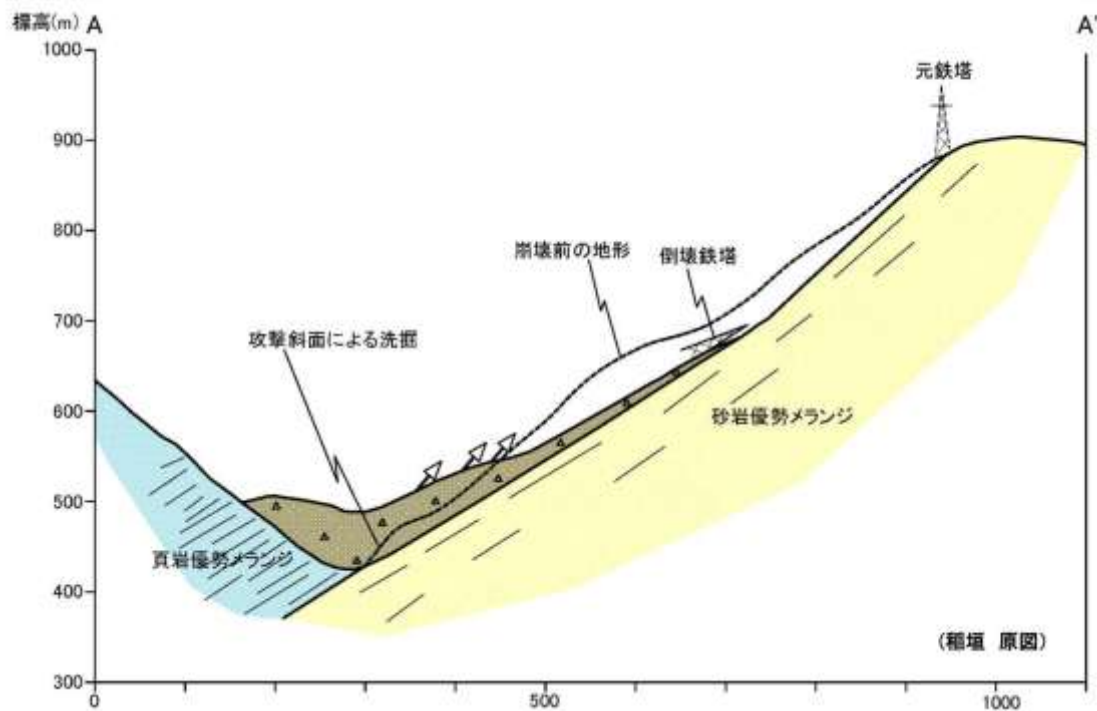


図 5-3-2 地質構造断面図 (稲垣秀輝氏作成)

5. 4 まとめ

現地調査で得られた崩壊の特徴は、下記の3点である。

①頁岩優勢メランジ層の流れ盤であり、層理面がすべり面となっているものと考えられる。崩壊は尾根まで達している。走向は、ややうねっており、半お椀状の水を集めやすい構造となっている。

②崩壊部は、強風化した岩盤であるのに対し、滑落崖に見られる露岩（層理面）は、亀裂が少なく光沢のある比較的新鮮な岩盤である。

③河道が蛇行しており、水衝部の影響（斜面末端の侵食）も誘因となっている。

6. 栗平地区

6. 1 崩壊の概要

平成 23 年 9 月 3 日台風 12 号により、十津川村栗平地区で斜面崩壊により大規模な河道閉塞が発生した。この栗平地区の崩壊は、水無谷および栗瀬谷下流の左岸斜面で発生し、ほぼ北西方向に崩落している（写真 6-1-1～6-1-3, 図 6-1-1～6-1-2）。崩壊は斜面下部から尾根まで至っており、崩壊した土砂により堰止湖ができ、満水時湛水容量は約 750 万 m^3 であり、今回の災害で最大規模の河道閉塞である^{12), 13)}。崩壊した土砂の規模は、図 6-1-1～6-1-2 や文献 12), 13) から幅約 600m, 斜面長約 700m, 深さ約 100m と推測される。約 1390 万 m^3 の崩壊土砂量が河道（栗平川）を閉塞した^{12), 13)}。

表 6-1-1 に示すように、平成 23 年 9 月 21 日の台風 15 号の影響で堰止湖の水位は約 3m 上昇したが、空中写真による観察では、土砂の流入以外の目立った地形の変化は確認されなかった¹²⁾。

写真 6-1-1～6-1-2 の撮影日は 9 月 23 日であり、台風 15 号直後の様子を示している。

平成 23 年 10 月 7 日時点での湛水池水面標高は約 562.4m であったが、平成 24 年 6 月 15 日時点の湛水池水面標高は約 552.8m であり、約 10m 水位が下がっている。しかし、満水になるまでの概ねの高さは平成 23 年 10 月 7 日時点で約 8.6～9.6m であったが、平成 24 年 6 月 15 日時点では約 10.7～11.7m であり、約 2.1m 上昇している。このように満水になるまでの概ねの高さは約 2.1m 上昇している。

表 6-1-1 栗平地区で発生した土砂ダムの水位情報¹²⁾

日時	湛水池水面標高 (m)	想定越流開始点標高 (m)	満水になるまでの 概ねの高さ(m)
平成 23 年 9 月 19 日 ^{a)}	約 550	-	-
平成 23 年 9 月 22 日 ^{a)}	約 553	-	-
平成 23 年 10 月 7 日 ^{b)}	約 562.4	約 571.0～572.0	約 8.6～9.6
平成 24 年 6 月 15 日 ^{b)}	約 552.8	約 563.5～564.5	約 10.7～11.7

a) 文献 12) に示すグラフを読み取ったため有効数字は 1 桁まで。想定越流開始点標高は不明。

b) 文献 12) に示す表の数値を使用したため有効数字は小数第 1 位まで。



写真 6-1-1 栗平地区崩壊状況（土木研究所土砂管理グループ¹³⁾ より、平成 23 年 9 月 23 日撮影)



写真 6-1-2 栗平地区崩壊状況（国土交通省近畿地方整備局¹²⁾より，平成 23 年 9 月 23 日撮影，左：上流，右：下流）



写真 6-1-3 栗平地区崩壊状況と復旧（国土交通省近畿地方整備局¹²⁾より）

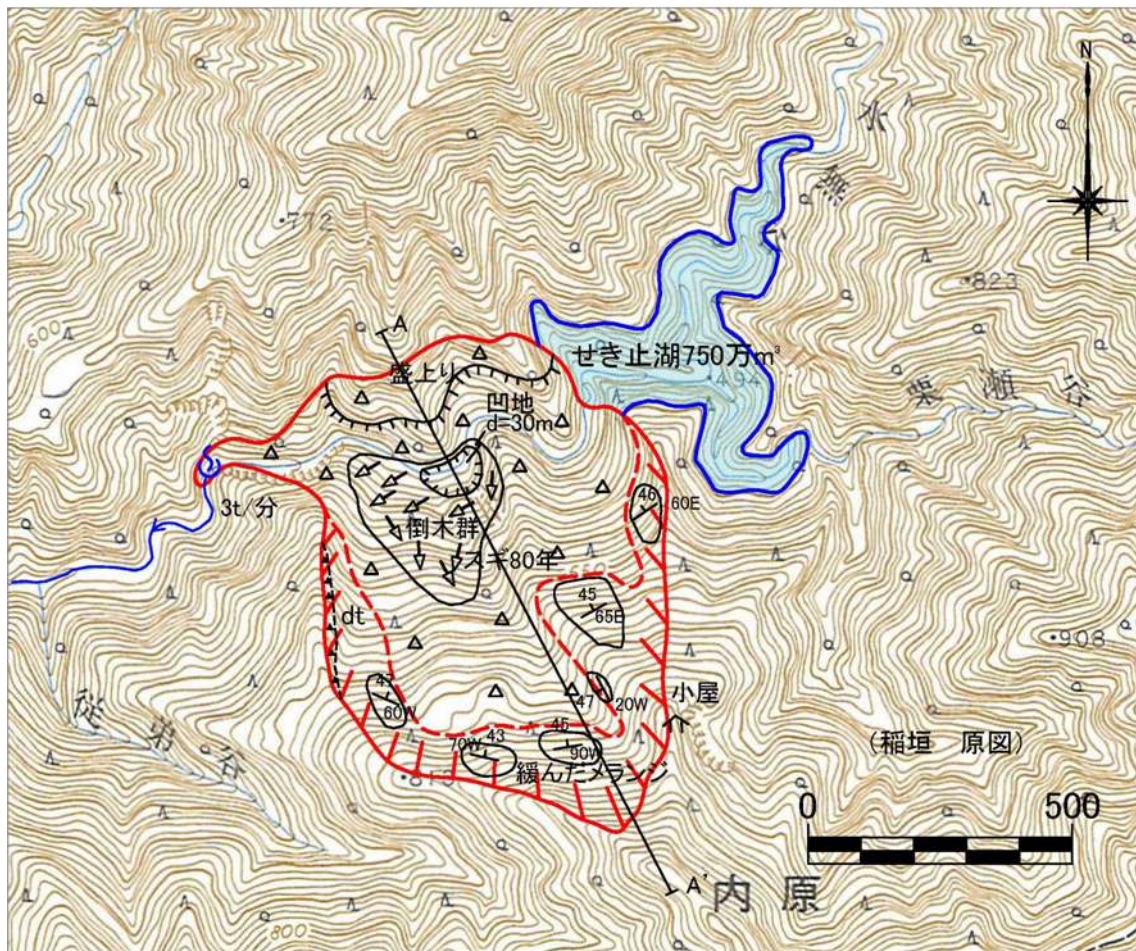


図 6-1-1 栗平地区崩壊状況平面図（稲垣秀輝氏作成，国土地理院発行の地形図(1/25,000)を使用）

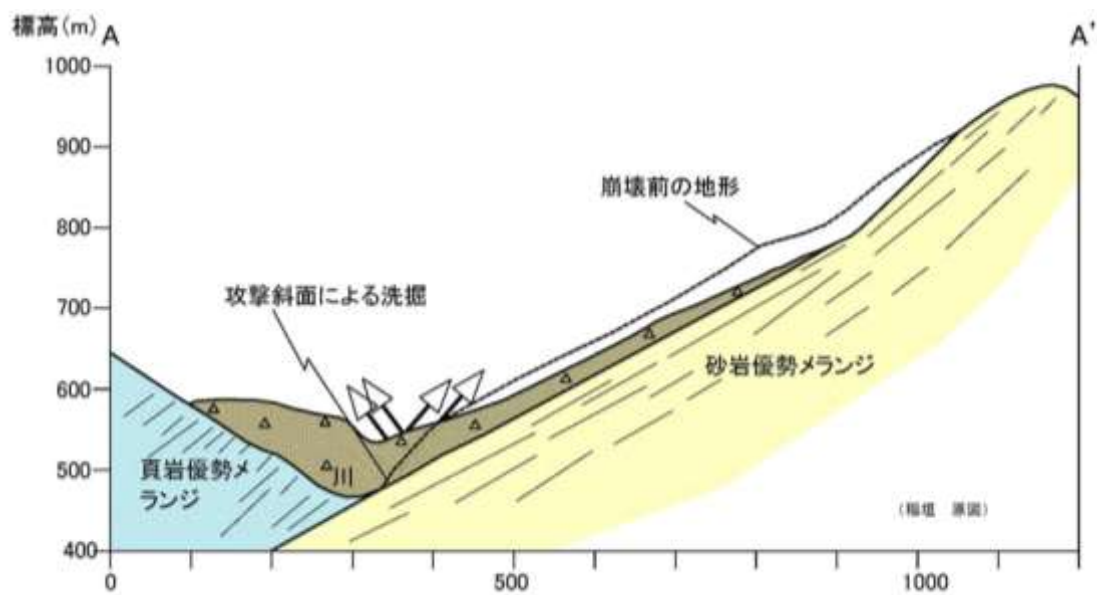


図 6-1-2 地質構造断面図（稲垣秀輝氏作成）

6. 2 崩壊地の地質的特徴

崩壊地周辺の地質は、白亜系四万十層群のうち砂岩・頁岩が互層状に堆積する美山層に相当する地域である。図 6-1-1 および図 6-1-2 に、崩壊状況平面図および地質構造断面図（稲垣秀輝氏作成）をそれぞれ示している。さらに、写真 6-2-1 に滑落崖の状況を示す。崩壊面は、砂岩と頁岩の混在岩であるが、砂岩優勢のメランジ層であり、層理面は流れ盤構造である。崩積土を見ると、岩質は砂岩の礫～人頭大の岩塊が主体である（写真 6-2-2）。一方、滑落崖の露岩は、光沢を帯びており、亀裂が少ない岩盤であるように見受けられる（写真 6-2-1）。

河道が蛇行しており、図 6-1-2 に示したように水衝部の影響（斜面末端の侵食）も崩壊の誘因と考えられる。



写真 6-2-1 滑落崖の状況（左：正面，右：向かって右側，平成 24 年 5 月 27 日撮影）



写真 6-2-2 左：崩積土と倒木群右：崩積土

6. 3 地形図および空中写真（崩壊前）判読による地形的特徴

地形図（1/25,000）および空中写真（写真6-3-1，崩壊前の1976年撮影）による判読結果を，**図6-3-1**（上野将司氏作成）に示す．上野将司氏による判読結果の所見は以下のとおりである．

- ① 尾根部に明瞭な二重山稜を示す．
- ② 滑落崖とずり落ちた移動土塊が存在する．
- ③ 東側の河床に至る尾根もずり落ちた可能性が高い．
- ④ 西側に隣接して北西に向いた斜面では崩壊跡の上部斜面に不安定斜面が残る．

以上より，空中写真判読や航空レーザ地形図を用いれば，今回の場合，崩壊の発生危険箇所は抽出できる可能性がある．

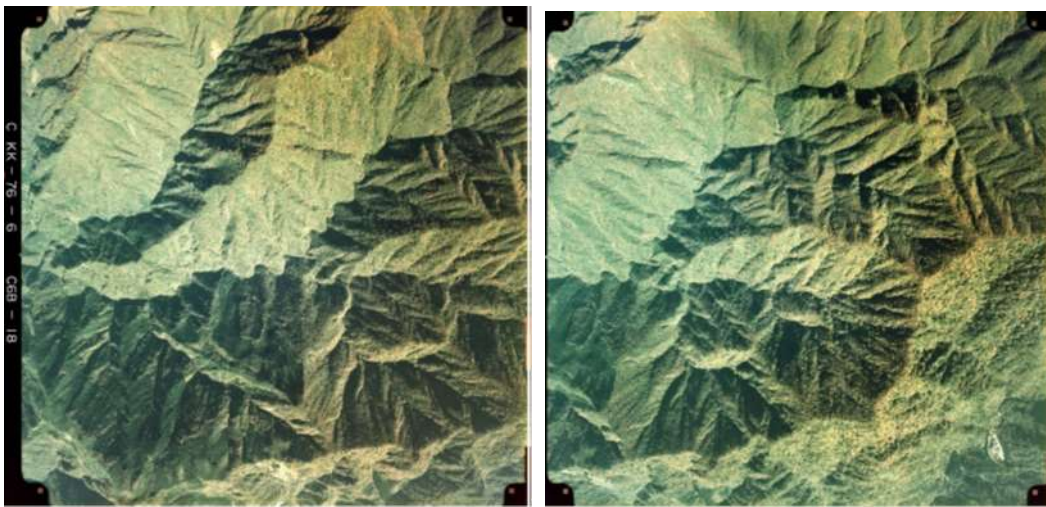


写真6-3-1 空中写真判読（崩壊前の1976年撮影，国土交通省国土政策局 web より）

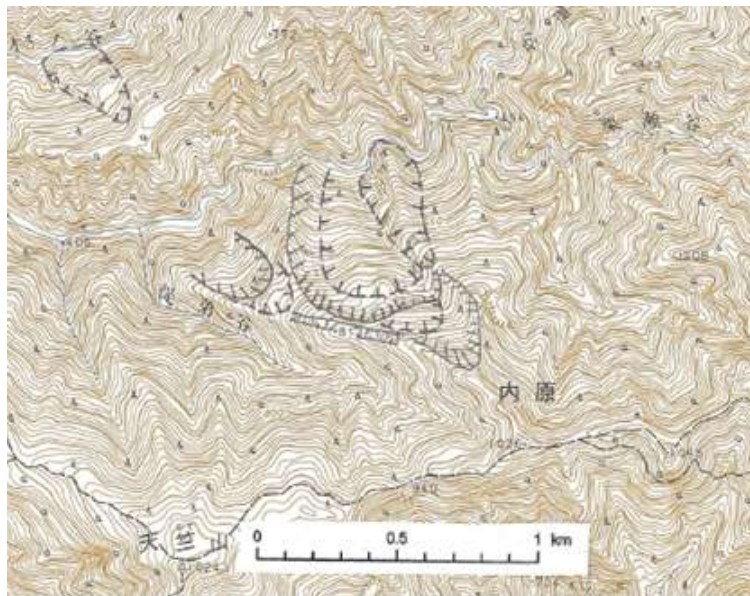


図6-3-1 空中写真（今回崩壊前）判読結果（上野将司氏作成，国土地理院発行の地形図（1/25,000）を利用）

6. 4 対策工の概要

出水期の前に応急対策工を完成させる必要があるため、現地調査時（平成 24 年 5 月 27 日）において、急ピッチで対策工事が進められていた。図 6-4-1 および図 6-4-2 に、対策工の平面図および対策工の断面図をそれぞれ示す¹²⁾。仮排水路の斜面部および一般部の様子を写真 6-4-1～6-4-4 に示す。

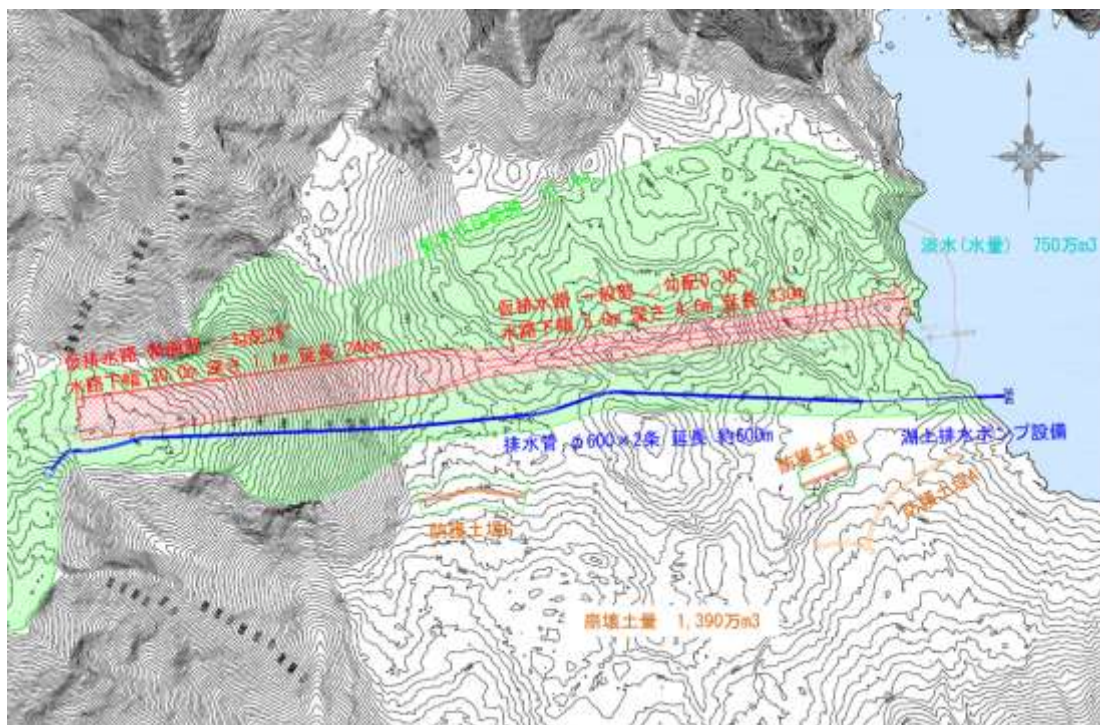
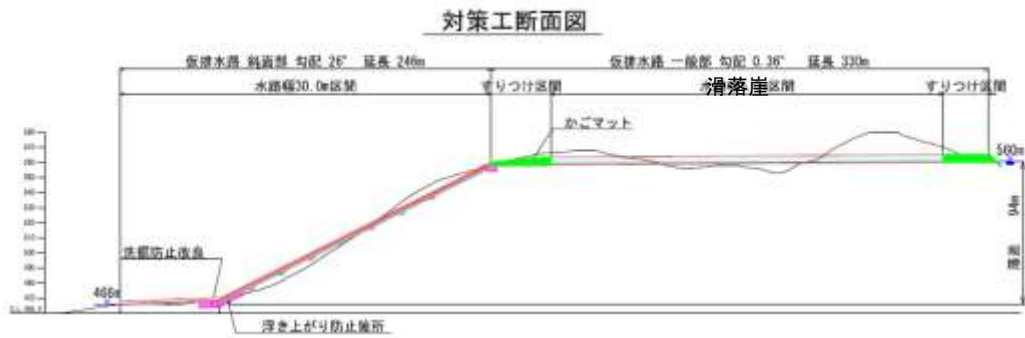


図 6-4-1 対策工の平面図（国土交通省近畿地方整備局¹²⁾より）



土砂ダム天端

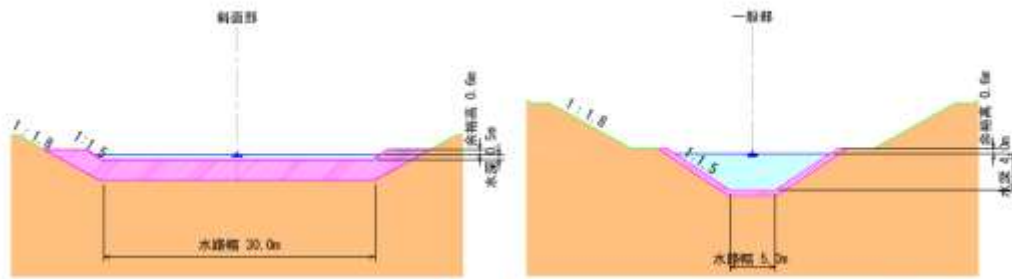


図 6-4-2 対策工の断面図 (国土交通省近畿地方整備局¹²⁾ より)



写真 6-4-1 仮排水路 (斜面部, 下方より)



写真 6-4-2 仮排水路 (斜面部, 上方より)



写真 6-4-3 仮排水路 (一般部)



写真 6-4-4 仮排水路 (一般部)

6. 5 まとめ

現地調査で得られた知見について以下にまとめる。

- ① 今回の災害で最大規模の河道閉塞であり，満水時湛水容量は約 750 万 m³である。
- ② 砂岩優勢メランジ層の流れ盤であり，層理面がすべり面となっている。崩壊は尾根まで達している。
- ③ 崩壊部は，風化した岩盤であるのに対し，滑落崖に見られる露岩（層理面）は，亀裂が少なく光沢のある岩盤である。
- ④ 河道が蛇行しており，水衝部の影響（斜面末端の侵食）も崩壊の誘因となっている。

崩壊した土砂により大規模な堰止湖が形成されたが，土砂ダムの堆積特性や物理・力学特性は土砂ダムの豪雨時や地震時の安定性を検討する上でとても重要である。しかし，このような土砂ダムの堆積特性や物理・力学特性に関する情報はほとんど得られていない。復旧や対策工を施工する時に，このような情報を取得するような現地調査（物理探査試験，標準貫入試験，崩積土の物理・力学特性試験，現場透水試験等）が今後必要であり，重要であると考ええる。

7. その他の崩壊

7. 1 野尻

奈良県十津川村野尻地区では，平成 23 年 9 月 3 日 18 時 38 分頃，十津川の左支川である小原沢で発生した深層崩壊が土石流に移行し，その土石流が十津川本川へ流入した影響により対岸の村営住宅 2 棟が被災し，死者 2 名，行方不明者 6 名の甚大な被害が発生した¹⁴⁾。

本地区では，1889（明治 22）年の明治十津川災害においても小原沢上流において大規模な崩壊が発生し，十津川本川が閉塞されている^{15), 16)}。図 7-1-1 に，上野将司氏による災害前の写真判読結果を示す。これによれば，小原沢の左岸斜面にはらみのある不安定斜面と崩壊跡が見られている。このうち，崩壊跡は 1889 年崩壊のものと考えられる。また，谷奥には不安定な崩壊堆積物が分布するとともに，周辺にも不安定斜面が分布している。今回の深層崩壊は小原沢左岸に位置する不安定斜面が崩壊した。以上のように，空中写真判読による深層崩壊の危険斜面抽出は非常に有効な手段である。



図 7-1-1 崩壊前の空中写真による崩壊跡地地形（上野将司氏判読・提供，国土地理院発行の地形図（1/25,000）を利用）

さて、小原沢上流部で発生した深層崩壊による崩壊土砂は、その直下の溪流部で流動化し、溪床堆積物を侵食しながら流下して、十津川合流部で拡散・堆積し、扇状の土石流堆積地を形成している。調査時における現地の様子を写真 7-1-1 に示す。これによれば、扇状の堆積物は 2 段階に分かれていて、最初の大量の土砂流出時の黒色から暗灰色の堆積物が大規模に土石流堆積地を形成していて、その流動物の影響により小原沢出口の小原沢左岸では数 10m とも思われる高さまで同色の土砂が乗り上げていて、土砂流出時の激しさを物語っている（写真 7-1-2）。この土砂は、小原沢流域における基盤岩付近の地層を示しており、泥岩、砂岩の互層から構成されている¹⁷⁾。一方、写真 7-1-1 に示されている暗褐色の土砂で構成されている小規模な扇状地は、災害 1 ヶ月後の 10 月上旬の調査時における写真には存在しない²⁾ことから、その後の土砂流出による堆積物と考えられ、小原沢上流部斜面に存在する不安定堆積物の二次移動が引き続き懸念される。



写真 7-1-1 小原沢からの土石流による土砂流出状況



写真 7-1-2 小原沢左岸に乗り上げて堆積している土石流堆積物



写真 7-1-3 国道 168 号の山側斜面にある洪水の流下痕跡

大規模な扇状の土石流堆積地を構成している黒色から暗灰色の流出土砂は、十津川本川の右岸側の道路直下にまで到達しており、合わせて小原沢から流出してきたと思われるアカマツの大木も流木として堆積していた。すなわち、小原沢からは深層崩壊によって流下してきた大規模な土石流は、小原沢出口からまっすぐに十津川本川を突入し、十津川対岸まで達して跳ね返った後に十津川へ戻るような形で流下したと考えられる。土石流発生当時の十津川の水位も高かったもの

と考えられ、左岸側から突入してきた土石流の影響を受けて洪水流は右岸側を流れ、国道 168 号のさらに上部 10 数 m まで乗り上げたと同時に、野尻地区の 2 棟の住宅を襲ったと考えられる。

写真 7-1-3 には国道 168 号の山側における洪水の流下痕跡を示す。

災害が発生して 8 カ月が経過した現在では、十津川本川を跨ぐ工用架設橋が完成され、小原沢流域の対策工事が始まっている。**図 7-1-1** によれば小原沢以外にもこの付近には多くの不安定斜面が存在しており、過去に災害が発生した支川や斜面の近隣は今後も同様の土砂移動の起こる確率が高いため、対策工事が完成したからと言って安易に同じ場所に居住地を造成することは危険だと考えられる。よって、災害に強い地域づくりを勘案した復興計画を立案する際には、土地の持つ潜在的危険性を十分に加味した上で進めていく必要がある。

7. 2 清水

1) 崩壊の概要

当該斜面は大塔町清水地内の十津川支流河原樋川右岸攻撃斜面に当たる (**図 7-2-1**)。崩壊は、標高約 853m の尾根から、長さ 700m、幅 600m、深さ 10~30m 程度の規模で発生した。崩壊発生時には深さ 5m 程度の河道閉塞が生じており、非常に短期間で決壊したものと推定される²⁾。

斜面は北北西向きで、傾斜は 45° 程度である。本斜面では明治 22 年の十津川災害時にも大規模な崩壊が発生しており、今回の崩壊は古い崩壊地の再滑動である¹⁸⁾。周辺の地質は頁岩、砂岩の互層を主体とする美山層からなる¹⁹⁾。地層は全体的に東-西~北東東-南西西走向、北傾斜を示し、流れ盤をなしている (**図 7-2-2**、**写真 7-2-1**)。

滑落崖は稜線に沿ってほぼ 500m にわたって形成され、褐色を帯びた岩盤が露出している (**写真 7-2-2**)。頭部滑落崖から下流側側壁部にかけても岩盤が露出し、概ね北-南方向で 50~60° 西傾斜の急崖を形成している。この下流側側壁の下方には、層理面であると推定される北東東-南西西走向、約 45° 北傾斜の平滑な面が露出している。

崩壊斜面の上流側には、層理面であると推定される東-西走向、約 45° 北傾斜の平滑な面が現われている。崩壊面は、上記の下流側側壁およびその下方の層理面と、上流側の層理面が斜面の中央部付近で交叉した半円筒~くさび状を呈している。崩壊面には、頁岩、砂岩が混在する比較的硬質な岩盤が現われている。末端付近には、緑色岩が伴われているのが確認される (**写真 7-2-3**)。全体的に成層した堆積物ではなく、頁岩、砂岩を主体とした混在岩 (メランジ) であると推定される。崩壊面の中央部から湧水が生じているのが確認される。

下流側の斜面末端には、明治 22 年の崩壊時に崩積したと推定される土砂層が分布する (**写真 7-2-4**)。また、対岸には、そのときに堆積し土砂ダム (河原樋新湖) を形成させたと推定される土砂層が存在する (**写真 7-2-5**)。



写真 7-2-1 崩壊斜面全景（対岸から）



写真 7-2-2 頭部滑落崖



写真 7-2-3 崩壊斜面末端部の露岩



写真 7-2-4 下流側末端部の崩積土



写真 7-2-5 対岸側の崩積土



図 7-2-1 崩壊状況平面（稲垣秀輝氏原図，国土地理院発行の地形図（1/25,000）を使用）

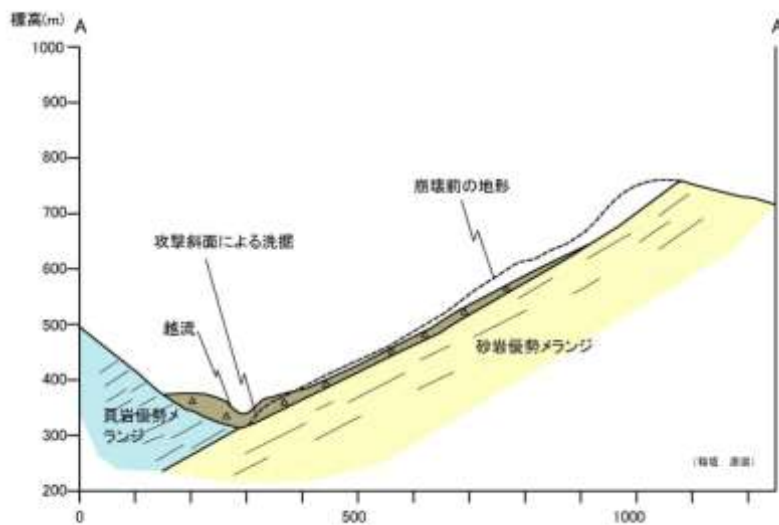


図 7-2-2 崩壊状況断面（稲垣秀輝氏作成）

2) 明治 22 年の崩壊との比較

明治 22 年の崩壊に関して行われた調査資料¹⁸⁾を図 7-2-3 に、地形図および空中写真判読から読み取られた今回の崩壊前の崩壊地形を図 7-2-4 に示す。図 7-2-4 には、今回の崩壊の範囲を合わせて示した。

明治 22 年の崩壊時には、崩壊頭部はすでに稜線まで達し、下流側の滑落崖～側壁にも急崖が形成されていた。今回の崩壊では頭部滑落崖はさらに稜線の下流側へ拡大し、下流側側壁も前面

が崩落し、側壁が後退（拡大）している。下流側側壁部は、前回、今回といずれの崩壊時にも急崖を形成しており、全体的に崩壊斜面から突出したような形態をなすことから、もともと周囲に比べ硬質、塊状の地質体が存在している可能性がある（既往文献ではチャート層が分布するとされている）。

明治22年の崩壊斜面のうち上流側斜面には、「わずかに変位したと思われる流れ山状の地形が滑落崖付近に見られ」、不安定な物質が崩壊面上に残留していたとされる¹⁸⁾（図7-2-3の判例3）。今回の崩壊では、この移動ブロックの大部分が滑落し崩壊範囲が大きく広がっている。

崩壊前の航空写真等を見ると、今回の崩壊によって生じた半円状の崩壊面の中央付近の最深部には、谷状に削られた地形が存在しており、前回の崩壊においてもこの部分が崩壊の最深部であったことが推定される。

以上より、今回の崩壊は、明治22年に発生した崩壊とほぼ同様の機構により、一部崩壊範囲を拡大させながら、斜面上に残っていた不安定土塊や崩壊物、岩塊などが崩壊したものであると考えられる。

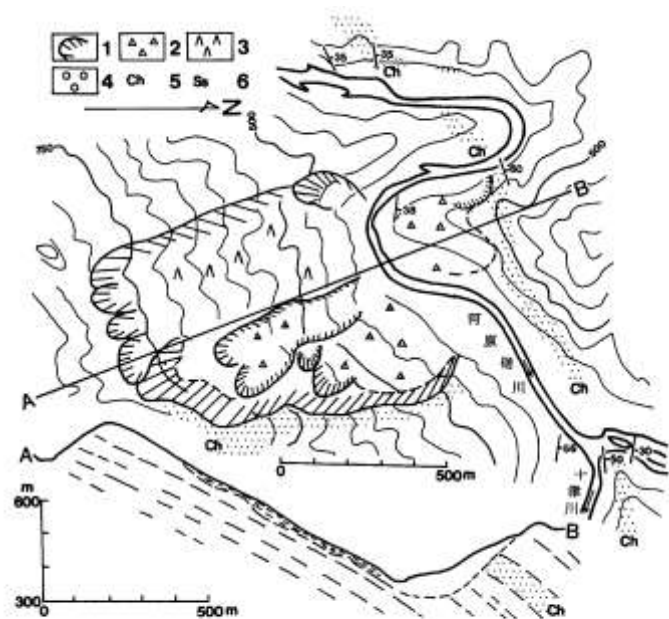


Fig. 7 Topography, geology and schematic cross-section of the landslide at Hinose-yama facing the Kawarabi river, Nara Prefecture.
1; Main scarp 2; Slide debris 3; Head or slide block 4; Debris deposits after landslide 5; Chert 6; Sandstone

図 7-2-3 明治22年災害時の崩壊記録¹⁸⁾

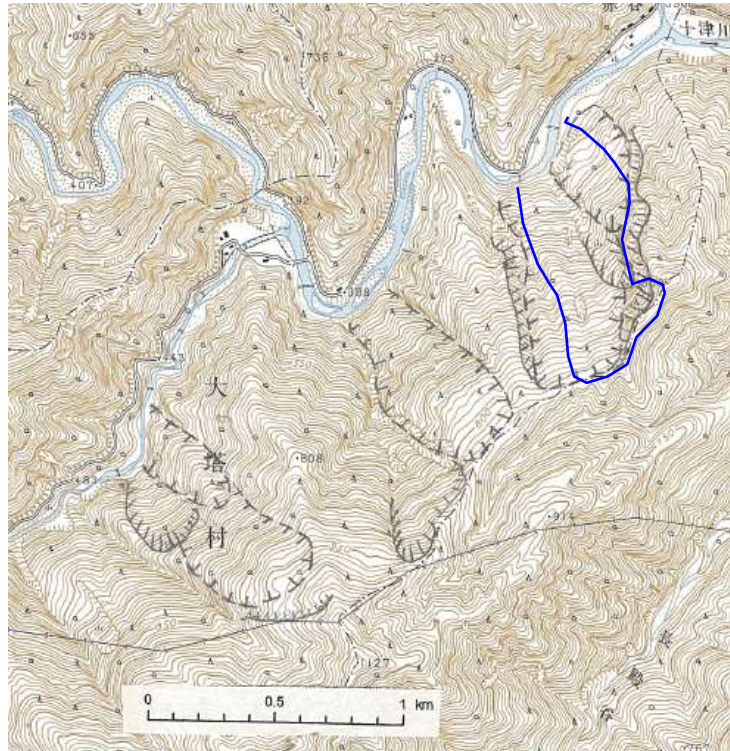


図 7-2-4 清水周辺の地形判読結果

青線は今回の清水斜面の崩壊範囲(上野将司氏原図に加筆, 国土地理院発行の地形図(1/25, 000)を使用)

3) まとめ

今回の調査において、以下の点が確認された。

- ・崩壊は明治 22 年の崩壊斜面で発生している。今回の崩壊では、崩壊斜面上に残留していた不安定土塊、崩積土が崩壊したと推定される。
- ・崩壊斜面は、頁岩、砂岩を主体とした混在岩（メランジ）からなっている。層理面は流れ盤をなしており、これをすべり面として崩壊したものと推定される。
- ・層理面は斜面に対して平行な面ではなく、全体としては崩壊斜面中央部が深くなる半円筒～くさび型をなしている。
- ・下流側頭部～側壁には岩盤が急崖をなして露出しており、もともと周囲にくらべ硬質で塊状な地質が分布している可能性がある。
- ・斜面中腹から湧水が生じている。

対岸からの遠望による調査結果であるため、未解明な部分が多く残る。崩壊には、地質の分布（物性の違い）、構造（流れ盤）、地下水などが影響していると考えられることから、詳細な調査によりこれらの情報を収集したうえでの崩壊の機構の解明が必要である。

7. 3 長殿発電所被害と下流側の崩壊（田長瀬）

1) 長殿発電所被害

長殿発電所が豪雨時被災したことは、先の報告書でまとめている²⁾。今回その被災状況の確認を行った。写真 7-3-1 は、復旧が進む発電所である。山間の発電施設の修復には多くの労力が必要で、その努力に頭が下がる。長殿発電所の北東側には国道が通過しており、この国道切土の裏面に法面対策工としてロックネットとストーンガードが設置されていた。これらの対策工が流水によって上流側に流された跡がある（写真 7-3-2）。また、同じ法面やその上方斜面の植生も上流側に流された跡がある（写真 7-3-3）。このほか、第 1 回の調査時には国道沿いの電柱が上流側に倒れているのも確認している。このとき、道路斜面には崩壊跡はなく、斜面に設置されている導水管にも異常は無かった。



写真 7-3-1 復旧が進む長殿発電所



写真 7-3-2 発電所上方法面の対策工が上流側に流された跡がある（左側が上流側）



写真 7-3-3 発電所上方斜面の植生は上流側に流された跡がある（左側が上流側）

2) 下流側の崩壊（田長瀬(宇宮原)）

長殿発電所の下流 1km 付近の左岸側には田長瀬(宇宮原)の深層崩壊があることは、先の報告書でも記載した²⁾。この深層崩壊は崩壊前の 1976 年撮影の空中写真判読によると、**図 7-3-1** のとおり大規模な崩壊跡で、その古い滑落崖は崩壊が認められ侵食されている。その下の緩斜面には古崩壊堆積物がボトルネック状に分布している。この崩壊跡が今回深層崩壊し、多量の土砂が十津川本川に下流側から流入したことがわかっている（**写真 7-3-4**, **写真 7-3-5**）。さらに、田長瀬の崩壊土砂による段波が上流河岸を洗掘した可能性を**写真 7-3-6** に示した。また、**写真 7-3-7** は崩壊による段波が発電所に到達する経路を上流の発電所付近から撮影したものである。

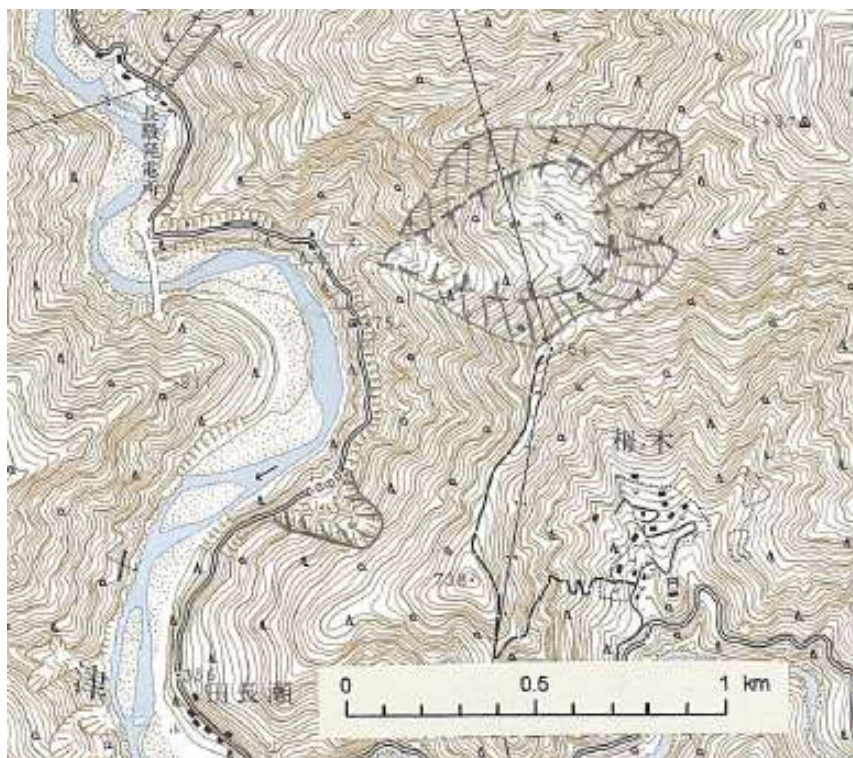


図 7-3-1 崩壊前の空中写真による田長瀬崩壊跡地形（上野将司氏判読）



写真 7-3-4 田長瀬の崩壊（手前が上流で、崩土は本川を逆流する） 写真 7-3-5 田長瀬崩壊近景



写真 7-3-6 田長瀬崩壊による段波の上流河岸洗掘 写真 7-3-7 崩壊による段波が発電所に到達

この田長瀬の崩壊土砂が本川を逆流して、本川内で段波を発生させた可能性を指摘する報告がある（平成 23 年 12 月 4 日読売新聞）。今回の田長瀬の深層崩壊とその経路の確認および、先に述べた長殿発電所周辺の被害状況はその説を支持する結果となった。

3) 長殿発電所被害と下流側の崩壊（田長瀬）の関係

田長瀬の崩壊土砂が本川を逆流して、本川内で段波を発生させた可能性を確認するために、図 7-3-2 に平面図，図 7-3-3 に断面図を作成した。これによると、流れ盤の頁岩優勢のメランジ層で深層崩壊した多量の土砂が、本川にちょうど下流から突入し、増水した本川で段波を発生させる。これについてはその可能性は非常に高い。この段波が水の動きを伴って、上流に移動できるのか、あるいは、エネルギーだけが段波の形態で上流に伝わったのかよくわからない。

これらの水理解析については、今後の課題であるといえるが、少なくとも田長瀬の深層崩壊が、その 1km 上流にある長殿発電所に被害を与えたと考えられる。

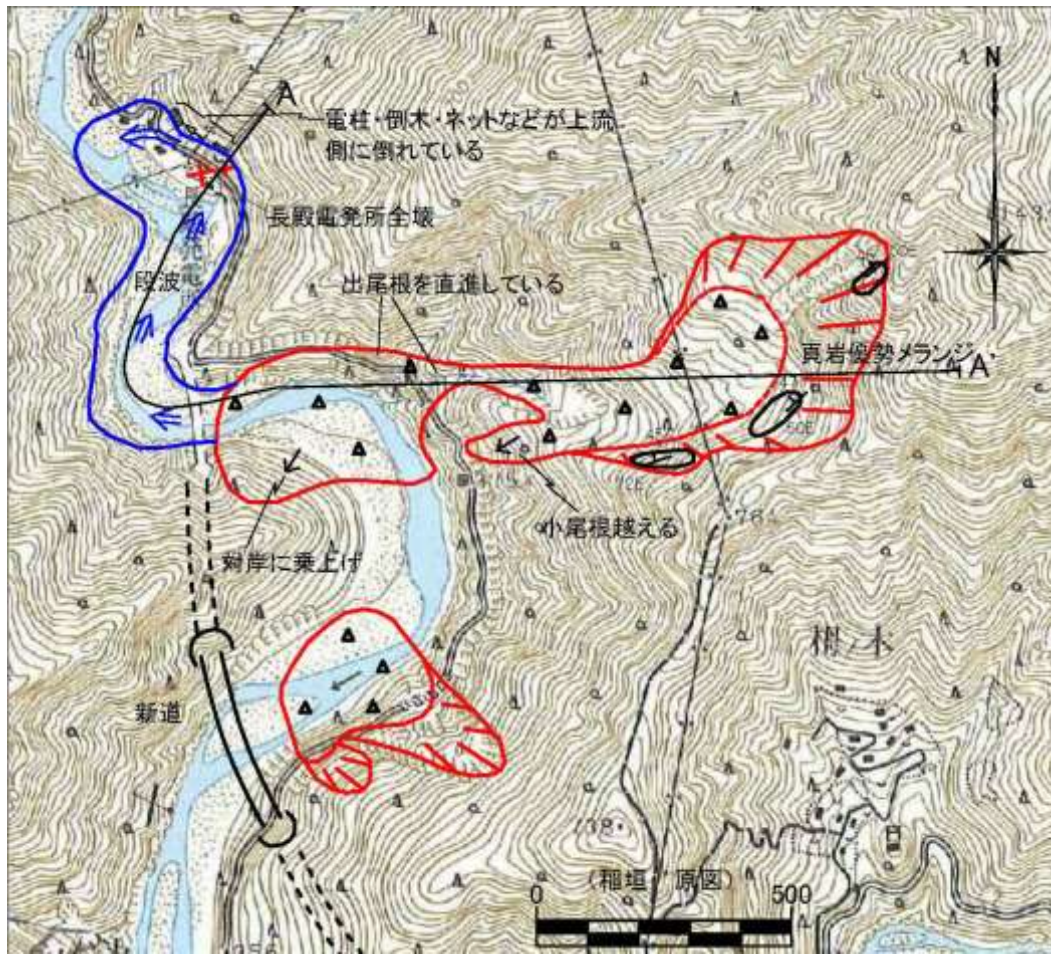


図 7-3-2 平面図（国土地理院発行の地形図（1/25,000）を使用）

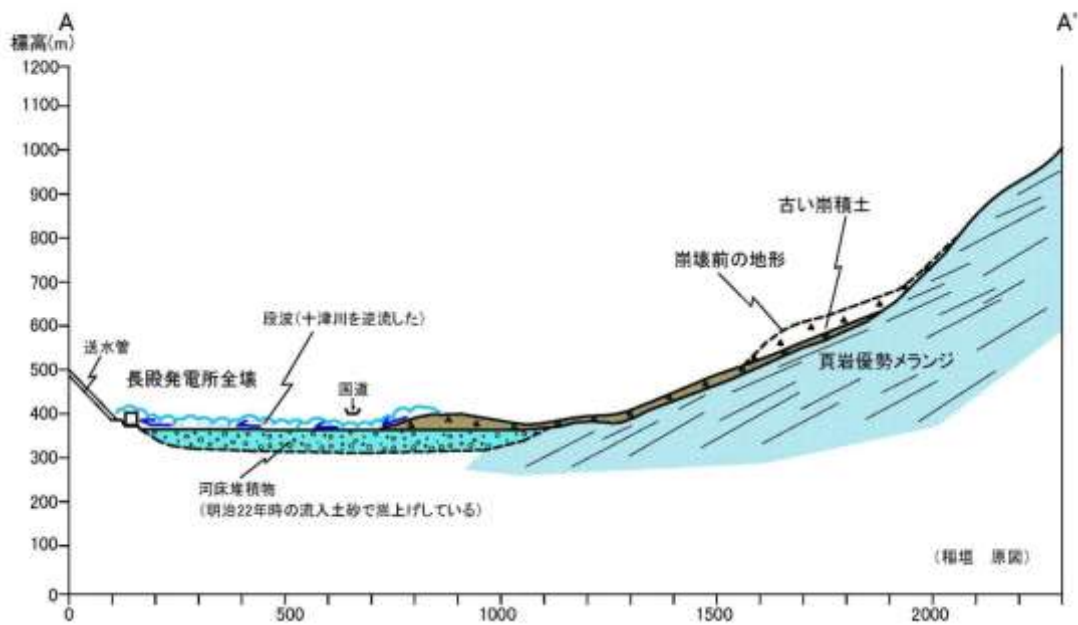


図 7-3-3 断面図

7. 4 重里新湖

重里新湖は、1889年8月の豪雨による十津川災害の際に形成され、現在まで決壊せずに残った天然ダム湖である。図7-4-1に示すように、当時の崩壊は地形図から北向き斜面が崩壊して溪流をせき止めたことが明瞭に読図でき、現地では大畑瀨と呼ばれている。

今回の降雨で貯水池の水位がせき止め部からオーバーフローし、せき止め部の下流側を表層崩壊させて土石流として流下して国道を横断して河川まで流出したものである。せき止め堆積物の地質は頁岩主体であり、過去の崩壊箇所は頁岩分布域と思われる。せき止め部が決壊したものではないため、今後の対策として洪水吐けや流路工等の整備が望まれる。



図7-4-1 重里新湖を形成した崩壊堆積物と今回の崩壊および土石流範囲（斜線部）



写真 7-4-1 せき止め箇所からの重里新湖



写真7-4-2 湖側からのせき止め部分で破堤していない



写真 7-4-3 せき止め部下流の崩壊状況

8. 災害対応と災害発生土

8. 1 十津川村周辺の発生土

今回の災害では、斜面の崩壊や土石流などにより多量の土砂が発生している。その量は数百万 m^3 以上であり、膨大な量に達する。これらの災害発生土には、場合によっては、重金属を含むこともあり、その処理が問題となることもある。しかし、今回の被災地の十津川村周辺は、奈良県北部と異なり、鉱山も少なく、自然由来の重金属等もそれほど多い場所ではない。すなわち、十津川村周辺で発生した土砂において、特段の生活環境保全が必要となるものではないことがわかる。

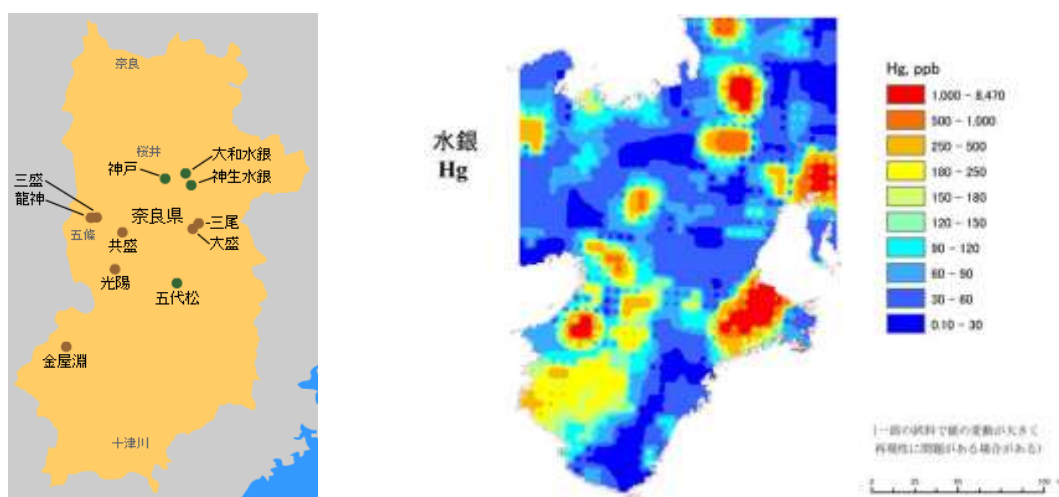


図 8-1-1 奈良県の主な鉱山と自然由来の水銀(Hg)

(左は <http://www6.airnet.ne.jp/~mura/mine/info/list/05kinki/04nara.html> より, 右は地球化学図より引用した)

災害発生土は、通常、廃棄物処理法上の廃棄物には相当しない。有害な物質を含む土であることが判明したとしても、浄化対策を行える可能性が残るので未だ「土」(汚染土壌)であり、廃

棄物最終処分場に埋立処分をすることになっても、法律上は廃棄物ではない。

「建設発生土」とは、建設工事から搬出される土砂であり、廃棄物処理法に規定する廃棄物には該当しない。建設発生土には(1)土砂及び専ら土地造成の目的となる土砂に準ずるもの、(2)港湾、河川等の浚渫に伴って生ずる土砂（浚渫土）、その他これに類するものがある。一方、建設工事において発生する建設汚泥は、廃棄物処理法上の産業廃棄物に該当するので、建設発生土とは異なる。

災害発生土は、この建設発生土に類似したものと考えることもできるが、**写真 8-1-1**に見られるように、倒木等の有機物を含み、純粋な建設発生土とは異なる。しかし、そもそも、建設発生土である土地造成等に伴う土砂、浚渫土にも有機物は含まれており、その利用や処理は単純ではない。建設発生土においても、その土質区分基準では、第4種建設発生土あるいは泥土の有機質土として、土質改良を行い利用されることが多い。このように建設発生土は、土質改良をしないで直接利用される第1種および第2種建設発生土と、土質改良を行い利用する第3種および第4種建設発生土、泥土がある。このように考えれば、いわゆる表層土壌であるA0層に多くの有機物が含まれ、浚渫土にも有機物は多く含まれているものの、これら建設発生土も土質改良を行い利用されていると考えられる。



写真 8-1-1 倒木を含んだ災害発生土(左：長殿地区、右：赤谷地区)

表 8-1-1 建設発生土の土質区分基準²⁰⁾

区分 (土質改良材料)	細粒分 ^{※1)} (%)	ゴロ 割合 ^{※2)} (%)	土質材料の工学的分類 ^{※3)}		備考 ^{※4)}	
			大分類	中分類 土質 (記号)	含水比 (%)	期待 用途
第1種建設発生土 (砂、構及びこれらに準ずるもの)	第1種	-	砂質土	細粒分全量 (SF)	-	
			砂質土	細粒分全量 (SF)	-	
第2種建設発生土 (砂質土、礫質土、砂礫改良土)	第2種	60	砂質土	細粒分全量 (SF)	-	* 砂土に考慮するが、礫土、埋立土等に より含水比が低いと して考慮する 土質改良材 の区分とする。
			砂質土	細粒分全量 (SF)	-	
第3種建設発生土 (適量の施工時に 確保される新性 土及びこれに準 ずるもの)	第3種	40	砂質土	細粒分全量 (SF)	-	* 含水比等 による構造 等は、30% 以下の区分 とする。
			砂質土	細粒分全量 (SF)	-	
第4種建設発生土 (粘性土及びこれ に準ずるもの (第3種建設 発生土を除く))	第4種	20	粘性土	粘性土 (M)、粘土 (H)	40~60程度	* 含水比等 による構造 等は、30% 以下の区分 とする。
			粘性土	粘性土 (M)、粘土 (H)	40~60程度	
埋立土 ^{※5)}	埋立土	20	砂質土	細粒分全量 (SF)	-	* 含水比等 による構造 等は、30% 以下の区分 とする。
			砂質土	細粒分全量 (SF)	-	

このように考えた場合、災害発生土も建設発生土と性状は類似しており、安易に廃棄物と捉えることには問題がある。循環型社会とは、循環型社会形成推進基本法（平成12年6月2日法律第110号）によれば、「製品等が廃棄物等となることが抑制され、並びに製品等が循環資源となった場合においてはこれについて適正に循環的な利用が行われることが促進され、および循環的な利用が行われない循環資源については適正な処分（廃棄物（廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和四十五年法律第三十七号）第二条第一項に規定する廃棄物をいう）としての処分をいう）が確保され、もって天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される社会をいう。」²¹⁾ であり、これを推進することが目的となっていることからすると、その膨大な災害発生土は、最終処分場などに埋立処分せず、土質改良などにより土木材料として有効に利用されることが望ましい。

8. 2 過去の災害における災害発生土の利用

過去の福岡県西方沖地震においては、災害発生土の多くが、ふくおかアイランドシティ内に抛入され、埋立土砂としての有効利用、または、「建設発生土情報交換システム」に入力し、通常のリサイクルシステムで運用された。また、志賀島や河川護岸にて発生した転石については、河床材料などへの有効利用が図られた²¹⁾。

この他にも、新潟県中越地震でも、災害復旧に工事に発生土が利用されており、比較的一般的に利用されているとも考えられる。



写真 8-2-1 発生土砂をフレコンバックに詰めて応急的押えにした例（新潟県中越地震）

8. 3 本災害における災害発生土の利用

前述したように、基本的に災害発生土は、建設発生土と同等に扱い復旧や復興工事に利用されることが望ましい。本災害においても、写真 8-3-1 に見られるように、実際に復旧工事に利用されている例が多かった。



（長殿地区：フレコンバックでの流路確保）



（野尻地区：仮設道路の法面の押えへの利用）



（栗平地区：排水部のシートの押えとしての利用）



（長殿地区：斜面の防護）

写真 8-3-1 災害発生土を復旧材料として利用している例

しかし、災害発生土の中には、倒木なども含まれ、そのままでは利用しにくい発生土も多い。そのため、写真 8-3-2 および写真 8-3-3 に見られるように、復旧工事現場内に仮置き場を設け、除去した倒木などを仮置きしている状況も見られた。また、復旧工事時に発生したプラスチック類の保管場所の確保もなされるなど、災害時でもその対応が行われている現場もあった。倒木以外の建設木材は、倒木とは別にフレコンパックにまとめられている状況であった。建設材の場合には、場合によっては CCA 溶剤などの添加がなされ、鉛や砒素の溶出があり得ることから、倒木とは異なる取り扱いがされたものと推察される。

一方で、災害発生土でも粒径数十 cm 以上の大きなものは、分別されて仮置きされていた。これらは、写真 8-3-4 に見られるように、蛇籠の充填材としても利用できるものであり、こうした斜面災害では有効に利用できる材料といえる。現場で確認したわけではないが、実際に使われているのではないかと考えられる。

以上のような状況から、こうした斜面災害でも、災害発生土の有効利用を図ろうとする試みがいくつもなされているものと推察される。



写真 8-3-2 復旧工事現場内の木材等の仮置きの様子 (赤谷地区)



写真 8-3-3 復旧工事現場内の産業廃棄物保管場所 (赤谷地区)



写真 8-3-4 数十 cm 以上の礫を分別仮置きしている状況(左)と数十 cm 以上の礫による蛇籠(右)
(赤谷地区)

8. 4 まとめ

災害発生土は、可能な限り埋立処分などせずに有効な利用を行うことが望ましい。しかし、その発生量は膨大であり、通常のリサイクルシステムでは適切に循環しないことが多い。想定外の発生土量であるため、リサイクル計画に支障をきたす。また、混在物が多いことや、ストックヤード、数量、搬出に要する時間などの問題も生じ、災害時には災害発生土を埋立処分せざるを得ない場合もある。

このようなことから、事前の斜面災害による被害範囲の予想と共に、その発生土量を予測し、その仮置きとリサイクルの方法についても、検討しておくことが望まれる。

9. まとめおよび提言

今回の調査により、次のことが明らかになった。

- (1) 過去に崩壊があった場所やそれに近接する場所で再び崩壊を起こしていた。崩壊はいずれも大規模であったため、大量の土砂移動が生じ、その一部が河川に流入した結果、河川水位の急上昇と洪水によって沿線に大きな被害を与えたといえる。
- (2) 崩壊は頁岩もしくは砂岩優勢の混在岩（メランジ）層において発生していた。崩壊部は強風化した岩盤、非崩壊部は亀裂の少ない比較的新鮮な岩盤であった。
- (3) 崩壊面はおおむね北西傾斜の流れ盤の層理面であった。層理面の形状は一様な平面というよりも褶曲した曲面（くさび状、お椀状）になっていた。その部分は水を集めやすい構造であったと推定される。
- (4) いくつかの崩壊においては、崩壊斜面の末端が河川の水衝部に位置することから、その侵食が崩壊の誘因であった可能性が考えられる。

今回の調査結果に基づいて、深層崩壊の発生とその対策について以下のように提言する。

- (1) 空中写真判読，レーザープロファイラー地形図解析等により，同地域において崩壊危険箇所抽出が可能であることが判明した．今後とも，深層崩壊の潜在的なリスクのある地域において崩壊危険箇所抽出を進めていくことが重要である．また，崩壊危険箇所抽出と同時に，実際に崩壊が発生した時の範囲，規模（土量）など，崩壊の発生形態をなるべく推定しておくことが，発生後の適切な対処の一助となる．そのためには，発生形態とメカニズムの詳細な把握が重要である
- (2) 河道閉塞した土砂の堆積特性および物理・力学特性に関する情報はほとんど得られていないので，その安定性を検討するには地盤調査・土質試験（物理探査試験，標準貫入試験，崩積土の物理・力学特性試験，現場透水試験等）が必要である．また，原位置での物理探査（比抵抗探査，表面波探査など）を実施することも重要であり，含水状態と物理・力学特性の関係を明らかにしていくような取り組みが求められる．

謝辞：現地調査の実施では，国土交通省近畿地方整備局・大西 博 技術調整管理官，岡山公雄 地域河川調整官をはじめ同局関係者各位，土木学会関西支部・建山和由 立命館大学教授にお世話になった．ここに記して謝意を表す次第である．

参考文献

- 1) 総務省消防庁：平成 23 年台風第 12 号による被害状況及び消防機関の活動状況等について（第 19 報），平成 24 年 7 月 6 日（金）19 時 00 分，[http://www.fdma.go.jp/bn/data/台風第 12 号による被害状況について（第 19 報）.pdf](http://www.fdma.go.jp/bn/data/台風第12号による被害状況について（第19報）.pdf)
- 2) 土木学会平成 23 年台風 12 号土砂災害現地調査団：平成 23 年台風 12 号土砂災害調査報告書，<http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/h23taifoon12.pdf>
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：台風 12 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>
- 4) 新十津川町ホームページ：新十津川開拓史 1，
http://www.town.shintotsukawa.lg.jp/00_soumu/kichou/kouhou/rekisi/kaitakusil.jsp
- 5) 牧原康隆：2011 年の台風被害と明治の十津川災害，予防時報，249 号，pp.12-17，2012.
- 6) 井上公夫：四国・紀伊半島における海溝型地震による土砂災害の事例の収集・整理，砂防ボランティア整備推進機構平成 24 年度研究発表論文，2012.
- 7) 石井孝行，諏訪 浩：十津川流域・有田川上流域における崩壊斜面と不安定物質の分布，京都大学防災研究所共同研究，1889 年十津川崩壊災害の防災科学的総合研究，pp.38-46，2005.
- 8) 地震調査研究推進本部ホームページ：想定南海地震の想定震源域，http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/kaiko/k25_nankai.htm

- 9) 長谷川修一, 菅原大介, 山中稔, 小嶋俊博, 齊藤章彦; 四国における過去の南海地震による斜面崩壊, (社)土木学会四国支部, 四国の自然災害と防災, 第3巻, pp. 138-143, 2004.
<http://www.sff.or.jp/H24Gakkai02.pdf>
- 10) 奈良県ホームページ, 第2次奈良県地震被害想定調査, ⑥-1 内陸型地震① (奈良盆地東縁・中央構造線・生駒・木津川断層帯),
http://www.pref.nara.jp/bosai/tokatsu/bosail/higaisotei/pdf/06-1_shizen.pdf
- 11) 吉松敏隆, 中屋志津男, 児玉敏孝, 寺井一夫, 原田哲朗: アーバンクボタ No38 特集「紀伊半島の地質と温泉」, (株)クボタ, 1999.
- 12) 国土交通省近畿地方整備局: 台風12号被災地関連情報,
<http://www.kkr.mlit.go.jp/typhoon12/index.php>
- 13) (独) 土木研究所土砂管理研究グループ: 奈良県十津川村で発生した土砂災害の調査結果,
<http://www.pwri.go.jp/team/volcano/jindex.htm>
- 14) 酒井敦章ほか: 奈良県十津川村野尻地区における土砂災害の実態について, 平成24年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 412-413, 2012.
- 15) 瀬尾克美: 十津川災害について, 砂防学会誌, Vol. 30, No. 2, pp. 11-15, 1977.
- 16) 井上公夫: 1889年と2011年に紀伊半島で発生した土砂災害の比較, 台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害中間報告 (砂防学会紀伊半島土砂災害調査委員会), 2012.
- 17) 平成23年台風12号による地盤災害合同調査団: 平成23年台風12号による紀伊半島における地盤災害調査報告書, II-47-48, 2011.
- 18) 平野昌繁, 諏訪浩, 石井孝行, 藤田崇, 後町幸男: 1889年8月豪雨による十津川災害の再検討—とくに大規模崩壊の地質構造規制について—, 京大防災研究所年報, 第27号 B-1, pp. 369-386, 1984.
- 19) 波田重, 藤田崇: 西南日本外帯の地質と十津川流域の地質特性, 京都大学防災研究所共同研究(一般) 1889年十津川崩壊災害の防災科学的総合研究, pp. 2-18, 2005.
- 20) (独) 土木研究所編著: 建設発生土利用技術マニュアル, 第3版, 丸善, 2004.
- 21) 地盤工学会九州支部: 地盤環境および防災における地域資源の活用—副産物・廃棄物の新たな利用技術, CD-ROM, 2010.