

公益社団法人 日本地すべり学会関西支部
現 地 討 論 会

深層崩壊と河道閉塞 論 文 集



主 催 (公社)日本地すべり学会関西支部
後 援 国土交通省近畿地方整備局
(社)砂防学会・(公社)地盤工学会関西支部・中国支部

現地討論会プログラム

10月14日：現地見学会 12:00～

見学場所：宇井・赤谷地区の深層崩壊と河道閉塞

12:00 集合：近鉄 福神

(昼食は各自用意してください)

13:00～17:00 現地見学

18:30～ 技術交流会 一乃湯ホテル

(奈良県吉野郡十津川村大字小原 223-1 TEL : 0746-62-0101)

10月15日：話題提供および討論会 8:30～15:00

話題提供および討論会場： 一乃湯ホテル

8:30～12:00 話題提供・特別講演

1. 台風12号で発生した深層崩壊・河道閉塞および対策

(桜井亘/紀伊山地砂防事務所・所長)

2. 台風12号で発生した深層崩壊・河道閉塞の調査 (徳永博/ (株)日本工営)

3. 紀伊山地および西南日本外帯の深層崩壊 (千木良雅弘/京都大学防災研究所・教授)

4. 平成23年台風12号の災害を受けて(特別講演) (更谷慈禧/十津川村・村長)

12:00～13:00 昼食

13:00～15:00 パネルディスカッション

司 会：松浦純生 (京都大学防災研究所)

パネラー：話題提供者ほか

15:20 バスで近鉄福神へ移動

17:00 解散：近鉄 福神

(公社)日本地すべり学会関西支部長

松浦純生 (京都大学防災研究所)

現地討論会実行委員

委員長 千木良雅弘 (京都大学防災研究所)

委 員 王 功輝 (京都大学防災研究所)

福岡 浩 (京都大学防災研究所・支部事務局)

末峯 章 (京都大学防災研究所・支部事務局)

川田晴由 (十津川村役場 総括参事)

表紙写真：左上：被災直後の清水（宇井）地区、右上：赤谷地区、左下：那智川流域、右下：平成24年台風17号襲来直前の栗平の河道閉塞。

紀伊山地および西南日本外帯の深層崩壊

京都大学防災研究所 千木良雅弘

西南日本外帯には、広く秩父帯と四万十帯が広がり、付加体に特有の構造を持つ地質体が分布している。また、南アルプスから、紀伊山地、四国山地、九州山地と、いずれも太平洋側に面した山岳地となっており、梅雨や秋の台風のもたらす降雨によって崩壊を繰り返してきた。近年では、2011年の台風12号によって紀伊山地で多発した深層崩壊群、2006年の台風14号によって九州山地で発生した複数の深層崩壊があげられる。この両方の台風とともに、深層崩壊を多発させたものの、同時に発生した表層崩壊は極めて少なかった。これは、西南日本の外帯に広がる付加体の岩石に固有の性質のように考えられる。ここでは、まず、付加体の地質について紹介した後、2011年の台風12号による深層崩壊について述べ、次に2006年台風14号による深層崩壊を概観し、西南日本外帯の深層崩壊について考える。紙面の都合で図や写真には限りがあるが、詳細と関連する学術論文は「深層崩壊」(千木良雅弘、2013年、近未来社)に記したので、参照していただきたい。

2. 付加体に固有の地質

付加体は、海洋プレートの沈み込みに伴って海洋底に堆積した堆積物や海山の一部が陸側へ押し付けられて形成されたプリズム状の断面形態をもつ複合体であり、内部には陸側に傾斜するスラストが発達している。付加体以外の、例えば中央構造線の北側に分布する白亜系和泉層群では第一位の不連続面は層理面であるが、付加体の場合にはそれ以外の不連続面特にスラストが数多く存在しうることが大きな特徴である。

泥質岩基質の中に様々な大きさのブロックが含まれる、いわゆる block in matrix 組織を呈する層相を混在相と呼び、通常の地層の層相を整然相、また、地層の連続性が至る所で絶たれている地層を破断層と呼ぶことある。そして、混在相の岩石を混在岩とよび、これが地質図に図示できる程度になると、メランジュと呼ぶ。メランジュは付加体やプレート境界をなす地帯に特徴的に発達する地質体である。混在相の特徴は、様々な大きさの岩塊が泥質基質に含まれているもので、地層としての連続性は著しく悪くなっているのが一般的である。さらに、岩石には鱗片状の劈開が発達し、地表に露出して風化すると容易に重力によって変形・破碎しやすい。

紀伊山地では、秩父帯と四万十帯の岩石を貫いて中新世の大峰花崗岩が南北に延びて分布しており、近傍の岩石をホルンフェルス化している。北山川沿いでは、地表に花崗岩は露出していないものの、岩石が十津川流域のものに比べて硬質であり、より強く熱の影響を受けているように見受けられる。出水時に北山川の水が澄んでいて十津川の水が濁っていることは良く見受けられ、これも岩石の風化の程度に差があることを示唆している。

3. 2011年台風12号による深層崩壊

(1) 深層崩壊の地質構造

台風12号によって多数の深層崩壊が発生し、建設省によれば、面積1万平方メートル以上の崩壊は72個所とされている。発生した崩壊は、私たちの調査した14か所(表-1)では、地質構造的には次の3タイプに分けられる。それらは、くさび状の分離面に沿うすべり、曲げトップリング、流れ盤の地層の座屈である。代表的なタイプについて、以下に簡単に述べる。

表-1 深層崩壊の性質一覧

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
崩壊	赤谷	赤谷東	清水 (字井)	長殿	坪ノ内			北俣	宇宮原	西谷橋	熊野	野尻	栗平	伏見野
	A	B	C											
面積(m ²)	423,700	221,400	132,300	220,700	35,800	41,000	112,900	89,900	246,800	104,300	336,900	266,100	548,500	51,700
崩壊深面積(m ²)	297,900	191,200	50,500	177,500	23,900	35,000	76,000	46,500	122,600	62,500	173,700	134,300	373,600	20,100
スケール														
平均深さ(m)	28	11	18	23	10	10	16	19	13	10	30	12	37	12
体積(m ³)	8.2E+06	2.1E+06	9.3E+05	4.1E+06	2.4E+05	3.4E+05	1.2E+06	8.8E+05	1.6E+06	6.5E+05	5.2E+06	1.6E+06	1.4E+07	2.4E+05
天然ダム	○	決壊	決壊	○	決壊	決壊	○	決壊	○	決壊	○	決壊	○	×
小崖の傾斜角(°) (斜面傾斜方向の水平長さ, m)	35 (35) 36 (7)	36 (14) 39 (7)	43° (57m) データ不十分	45 (12) 45 (17) 39 (20) 38 (54)	39 (62) 38 (2)	不鮮明 39 (45)	33 (13) 34 (31)	小崖はある が、データの質 が悪い	小崖はある が、あるいは詳 細DEMなし	小崖はある が、あるいは詳 細DEMなし	小崖はある が、あるいは詳 細DEMなし	小崖はある が、あるいは詳 細DEMなし	小崖はある が、あるいは詳 細DEMなし	小崖はある が、あるいは詳 細DEMなし
傾斜地	x	x	x	x	x	x	x	(傾斜32°)	x	x	x	x	x	x
斜面の水平長さ(m)	902	820	380	600	195	306	255	312	606	481	610	290	680	200
L.d.(%)	5	—	16	17	13	21	18	14	—	6	—	—	—	—
発生前の地形														
斜面傾斜(冠頂と脚部を結んだ線の傾斜)(°)	34	29	36	34	32	31	30	32	34	31	27	28	31	32
斜面の高さ(m)	610	450	280	400	120	180	150	190	410	290	310	150	410	120
下部崩壊の有無	○	○	○	○	○	○	○	なし	○	○(急斜面)	○	○(急斜面)	○	×
大規模な重力変形領域の一剖の崩壊	x	x	x	x	○	○	○	x	x	x	○	x	x	x
みかけの摩擦角(°)	23	23	19	25	23	29	20	20	20	24	19	19	24	17
Equivalent coefficient of friction	0.42	0.42	0.34	0.47	0.42	0.53	0.36	0.36	0.36	0.45	0.34	0.45	0.45	0.31
地層														
四万十帯日高 四万十帯日高川 四万十帯日高	層群	層群	層群	層群	層群	層群	層群	層群	層群	層群	層群	層群	層群	層群
岩石														
岩	破断層と混在	破断層と混在	岩	破断層と混在	破断層と混在	岩	破断層と混在	岩	破断層と混在	砂岩	砂岩	泥	破断層と混在	岩
地質														
模様不連続面	○	○?	○	○	○	○	○	No?	○	○	No	○?	○	○
底屈	○(局所的)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	○	○(局所的)	○?	x
曲げトップリング	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
詳細DEM														
発生前 1-m DEM	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局	近畿地方整備局
発生後 1-m DEM	奈良県五条 土木事務所	近畿地方整備局	奈良県五条 土木事務所	奈良県五条 土木事務所	近畿地方整備局	奈良県五条 土木事務所	奈良県五条 土木事務所	近畿地方整備局	奈良県五条 土木事務所	奈良県五条 土木事務所	近畿地方整備局	奈良県五条 土木事務所	近畿地方整備局	奈良県五条 土木事務所
	2011年9月7日	2011年9月23日	2011年9月7日	2011年9月7日	2011年9月7日	2011年9月7日	2011年9月7日	2011年9月7日	2011年9月7日	2011年9月7日	2011年9月7日	2011年9月7日	2011年9月7日	—
								23 Sept. 2011				2011年9月7日	2011年9月7日	—

(a) くさび状分離面に沿うすべり

このタイプの分離面を持つ重力斜面変形は最も多くの崩壊に見られたものであり(表-1), 頗著に認められたのは, 赤谷と長殿の崩壊である。表-1に示すように、合計12の崩壊でおそらく同様の地質構造であったと推定される。栗平の崩壊の場合、くさび状をなす不連続面が複数存在し、すべての層は複数の楔を形成していたと考えられる。すべり面は、付加作用の時に形成されたと考えられるスラストに沿うものが圧倒的に多く、湾曲したスラスト面を連ねた面、あるいはそれと後生的な断層や変形時に形成された面構造、層理面が楔形の不連続面を形成して発生した崩壊である。崩壊地に露出した光沢をもつ面のほとんどはスラストである。

(b) 流れ盤の地層の座屈

このタイプの重力斜面変形は、大規模なものは熊野(いや)で認められた。崩壊した地層は砂岩および泥岩主体の泥岩砂岩互層からなり、崩壊斜面下部の右側方(崩壊の上から下に向いて右側)でこの互層の逆転構造が認められた。観察できた逆転層には開口割れ目

は発達していなかったため、重力変形の前にすでに造構運動に伴った褶曲があった可能性もあるが、それが重力によってさらに進行していたと考えられる。

(c) 曲げトップリング(北俣)

曲げトップリングは、急傾斜する地層が斜面下方に向けて折れ曲がるような重力斜面変形であり、一般的には深層崩壊になりにくい。しかしながら、斜面上部に高角度の断層などの不連続面がある場合には、崩壊することがある。そのような例が北俣の崩壊である。北俣の崩壊の前には、上部の尾根に線状凹地があり、これは曲げトップリングの地形的表現であると考えられる。

(2) 崩壊前の前兆的地形

国土交通省近畿地方整備局によって平成 21 年度に実施された熊野川上流部の流域の詳細 DEM データを画像化して観察した結果、合計 39 個の深層崩壊の発生前の地形を把握することができた。その結果、いずれも重力変形した斜面に発生しており、最も多く認められた地形は小規模な崖—小崖—である。これらは、赤谷の崩壊の例のように、斜面上方に凸を向けた U 字形あるいは V 字形で、少なくともそれよりも下方斜面の上限を区切るような程度に連続的なものである。39 個の深層崩壊のうち 26 個 (66%) がこのタイプであった。図-1 に示すように、比高 5m 以下のものが多い。また、斜面傾斜方向の線に沿って、小崖の長さと斜面全体の長さを計測し、その両者の比を計算した結果を表したのが図-2 である。小崖比が 4% 以下の崩壊が 38% と多かった。

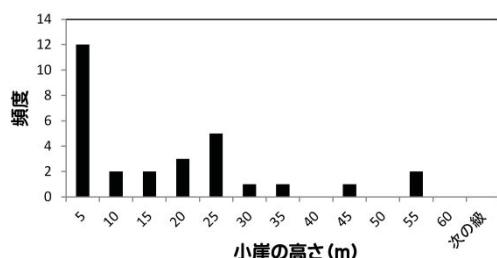


図 - 1 深層崩壊に先立って認められた小崖高さの分布

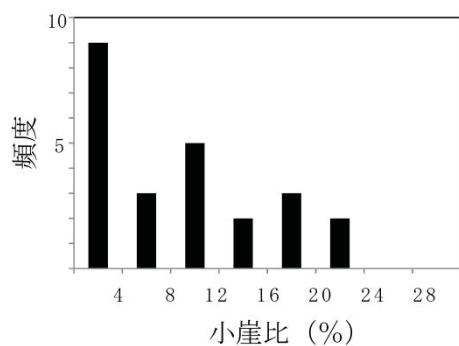


図 - 2 小崖比の分布

2番目に多かったのは、重力変形した斜面の内部の崩壊あるいは変形した斜面への崩壊の拡大として起こっているもの11個であった。その内6個は、崩壊地の内部で再度崩壊が起こっているもの(崩壊内)。残り5つは、重力変形した“ぽってり山”的下部に崩壊があり、この崩壊が上方に拡大するような形で崩れたものである。これらは、その上部に小崖が見えるように思えるものもあるし、ほとんどわからないものもある。北俣の崩壊の1か所だけは、前述したように、山頂に線状凹地が形成されていた。

最後に、1つだけ、崩壊の前兆的な地形が読み取れないものがあった。檜俣の崩壊である。崩壊した斜面は、不自然に湾曲した尾根や膨らんだ斜面なので、からうじて重力変形斜面であるとわかるが、小崖は明瞭ではないし、斜面下部に急崖もみあたらない。ここはまだ現地調査を行っていないところであるが、何か特殊な構造があるのかもしれない。

(3) 広域的に見た深層崩壊発生個所

紀伊山地には、高標高部に古地形面が広がっており、それを新たに熊野川などの河川が侵食していること、そして、この侵食によって斜面が不安定化して重力変形していることが明らかになってきている(平石、千木良、2011、平石、千木良、松四、2013)。古地形面、詳細DEMから判読した重力変形斜面、2011年台風12号による深層崩壊、および1889年十津川災害時の深層崩壊の分布を図-3に示す。これから読み取れるように、重力斜面変形が古地形面の縁に集中していること、そして、深層崩壊が重力変形斜面に生じていることがわかる。

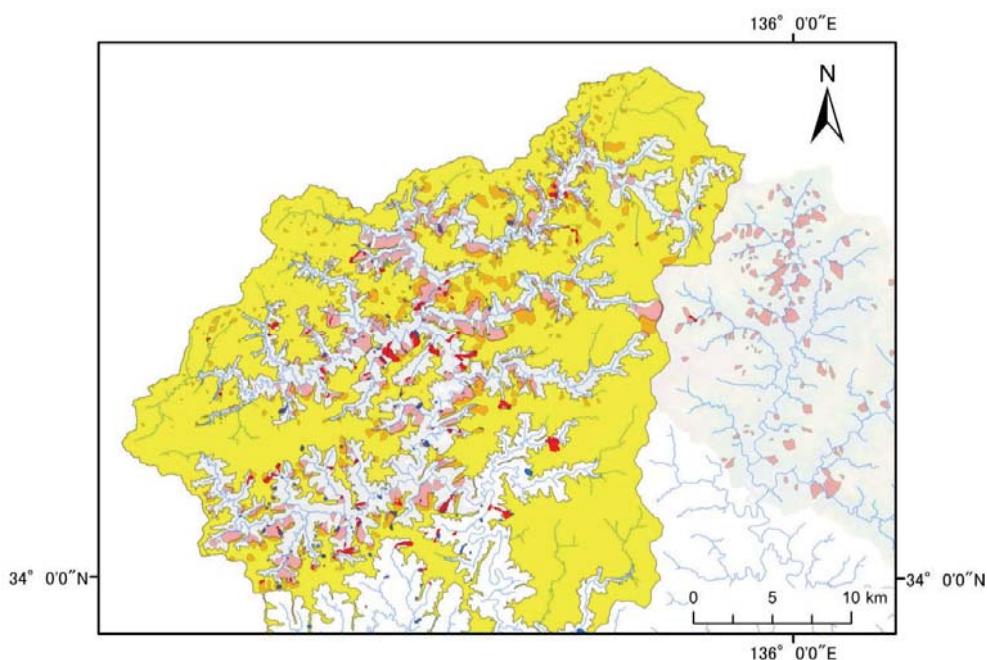


図-3 熊野川上流部の古地形面(黄)、重力変形斜面(桃)、深層崩壊(赤:台風12号時、青:十津川災害時)の分布。十津川災害時の崩壊は、明治44年測量の5万分の1地形図の崩土地形による。北山川沿いは地形区分を行っていない。千木良(2013)

4. その他の西南日本外帯の深層崩壊

2006 年の台風 14 号によって九州で発生した深層崩壊の内、少なくとも耳川流域のものは、古い地形面の縁で重力変形した斜面に発生したこと、そして、事前に小崖が形成されていた個所で発生したことが明らかになっている（千木良、2007）。つまり、紀伊山地で起こったような地形の発達と深層崩壊の発生が、同様に成り立つことが示唆される。このことは、同様に、四国や南アルプスの西南日本外帯でも成り立つように思う。

5. 終わりに

紀伊山地の 2011 年台風 12 号による深層崩壊を中心に、その発生場について述べた。特に、高標高部に古い地形面が広がり、その縁が重力によって変形し、その中に深層崩壊が発生しているということは、広域的に見た深層崩壊発生危険度の評価に重要である。また、深層崩壊の約 7 割が事前にその上部を小崖によって縁どられていたことと、その他は変形斜面内の崩壊内部あるいは崩壊の変形斜面への拡大によって生じていたことは、深層崩壊の発生場所の特定にとって、大きな知見である。

引用文献

- 千木良雅弘、2007. 崩壊の場所－大規模崩壊の発生場所予測－. 近未来社, 名古屋.
- 千木良雅弘、2013. 深層崩壊－どこが崩壊するのか－. 近未来社.
- 平石成美, 千木良雅弘, 2011. 紀伊山地中央部における谷中谷の形成と山体重力変形の発生. 地形, 32, 389–409.
- 平石成美・千木良雅弘・松四雄騎, 2013. 紀伊山地北部天川地域に分布する遷急線. 京都大学防災研究所年報, 印刷中.

《話題提供》

平成23年9月台風12号により発生した 大規模土砂災害の対策について

国土交通省近畿地方整備局
紀伊山地砂防事務所

桜井 亘

1. はじめに

平成23年9月、台風12号に伴う豪雨により、紀伊半島の奈良・和歌山両県を中心に、深層崩壊等の大規模な土砂災害が多数発生し、甚大な被害を被った。

そこで被災地の土砂災害対策を推進するため、昨年4月6日、奈良県五條市に紀伊山地砂防事務所が設置され、奈良・和歌山両県の9地区において、事業を実施している（図-1）。このうち、河道閉塞や深層崩壊箇所では、仮排水路工や仮設護岸の設置等、緊急工事が終了し、現在、砂防堰堤や護岸の設置など本格的な対策を実施中である。和歌山県の那智川流域で実施している土石流対策は、砂防堰堤の工事を継続中である。

緊急工事に続く本格的な対策の検討に際して、河道閉塞箇所等については、これまで対策の実績が無い大規模な現象であったことから、「河道閉塞等対策検討委員会」（委員長；京都大学大学院農学研究科 水山高久教授）を設置し、委員会の指導、助言を頂きながら対策方針を策定した。那智川流域で実施している土砂災害対策については、「那智川土砂災害対策検討委員会」（委員長；三重大学大学院生物資源学研究科 山田孝教授）を設置し、委員会の指導、助言を頂きながら、砂防と景観等の観点も含めた対策方針を策定した。



図-1 紀伊山地砂防事務所事業箇所図

このような事業経過や対策の方針は、今後、他地域において同様の規模の土砂災害が発生した際にも参考となると考えられることから、今回、紙面をお借りして紹介することとしたい。

2. 緊急工事の実施

近畿地方整備局では平成 23 年台風 12 号による河道閉塞箇所の対応として、平成 23 年 9 月 6 日から土砂災害防止法に基づく緊急調査に着手し、その後、各種の調査・観測の実施、監視や警戒体制の整備を行ってきた。その中、各河道閉塞箇所について、その規模の大きさ、対策工事に要される技術力等の観点から、奈良・和歌山両県から要請を受け、平成 23 年 9 月 16 日に奈良県五條市赤谷地区（写真-1）、和歌山県田辺市熊野地区の河道閉塞箇所が直轄砂防事業で緊急工事を実施することとなった。また、同年 9 月 30 日には奈良県野迫川村北股地区、同年 10 月 8 日には奈良県十津川村長殿地区および栗平地区でも同様の対応を行うこととなり、その結果、緊急調査を行った全ての箇所において、直轄砂防事業により緊急工事を実施することとなった。

また、甚大な土石流災害が発生した和歌山県那智勝浦町の那智川流域（写真-2）が平成 23 年 10 月 31 日に、河道閉塞は残存しないが、大規模な深層崩壊斜面が残っている奈良県五條市の清水（宇井）地区（写真-3）、奈良県天川村の坪内地区、和歌山県田辺市の三越地区が同年 12 月 15 日に直轄砂防事業で緊急工事を実施することとなった。



写真-1 被災直後の赤谷地区



写真-2 被災直後の那智川流域



写真-3 被災直後の清水（宇井）地区

工事の実施にあたっては、砂防担当職員を擁する大和川河川事務所、六甲砂防事務所が中心となって設計、工事発注を行い、このうち、大規模な河道閉塞対策箇所や那智川の金山谷川では、日本建設業連合会との災害協定に基づき、工事業者を選定し請負契約（緊急随意契約）を締結、工事監督は近畿地方整備局管内各事務所から職員を派遣するなど、近畿地方整備局をあげて緊急工事を実施した。その後、平成24年4月6日には、紀伊山地砂防事務所が設置され、これらの地区における緊急工事を引き継ぎ、平成25年3月末までに緊急工事を終了させた。現在、緊急工事に続く本格的な対策工事を9地区で実施中である。

ここでは、近畿地方整備局や紀伊山地砂防事務所がこれまで実施した緊急工事の内容について紹介する。

5箇所の河道閉塞箇所（赤谷、長殿、栗平、北股、熊野の各地区）では、湛水池（熊野、北股地区では湛水池は埋め立てを行い残存しない）や上部の渓流からの流水による河道閉塞部の越流侵食を防止するため、仮排水路工の整備を行った。仮排水路工は2年超過確率規模の降雨により生じる洪水を対象に、また熊野地区では流域面積が小規模なため、当初から100年超過確率規模により本格的な対策として、鋼製枠による排水路の整備を行った（写真-4）。各地区の仮排水路工の構造は、次期出水期までに完成可能という前提のもと、玉石など現地で入手できる材料や工事用道路の状態に制約を受ける搬入可能な資機材の状況など、各地区的現場条件により異なることから、赤谷地区はカゴマット構造、長殿地区は布製型枠を用いた構造（写真-5）、栗平地区はソイルセメントで改良した上にモルタル吹き付け構造、北股地区では大型土嚢構造となっている。河道閉塞箇所の緊急工事は、出水期までに完成することを目標に各箇所で整備を進めた結果、平成24年6月中旬には全箇所でほぼ対策が完了した。



写真-4 鋼製枠を用いた構造（熊野地区）



写真-5 布製型枠を用いた構造（長殿地区）

深層崩壊斜面対策箇所〔清水（宇井），坪内，三越の各地区〕においては，不安定土塊の排土を行うとともに，5年超過確率規模の洪水が流下できるよう，河道堆積土砂の掘削による河道拡幅や斜面脚部の応急護岸の設置を行った。応急護岸は，大型土嚢や強化繊維ネットを用いて施工し，坪内や三越は平成24年6月中旬，最大の斜面規模を有する清水（宇井）地区においては，平成24年10月末に応急護岸の設置が完了した（写真



写真-6 応急護岸が完成した清水（宇井）地区

-6）。特に清水（宇井）地区においては，330mの応急護岸が完成したことを受け，崩土堆積部の再移動の観測結果による斜面の安定性も確認した上で，平成24年11月1日に五條市が，平成23年台風12号の災害発生後から同地区に発令していた避難勧告を解除した。排土工も含めた緊急工事は，3箇所ともに平成25年3月末には全て終了した。

那智川においては，土石流の再発の危険性が高い7溪流において，各溪流ともに最下流の砂防堰堤（特に大規模な土石流が発生した金山谷では2基の砂防堰堤）から整備を進める方針のもと，合計8基の砂防堰堤の工事に着手した。平成25年3月末までに各溪流ともに砂防堰堤の本堤（一部は副堤，垂直壁まで）をほぼ完成させることができた（写真-7）。



写真-7 砂防堰堤の状況（平野川）

3. 緊急工事で整備した対策施設の出水期間中の被災状況

3. 1 平成24年台風4号，5号による被災状況

平成24年6月19日の台風4号やそれに続く台風5号の降雨により，各地区で緊急工事により整備を行った対策施設の被災が相次いだ。

赤谷地区では、平成 24 年 6 月 19 日、仮排水路工に隣接する深層崩壊斜面の上部が再度崩壊した結果、約 10 万 m^3 と推測される大量の土砂が仮排水路工に流入し、ほぼ完成していた仮排水路工の全区間にわたり堆積した（写真－8）。その後の降雨でも崩壊斜面から土砂が流出し続け、現在も仮排水路工には大量の土砂が堆積している状況である。また、北股地区においても崩壊斜面から新たに侵食された土砂が仮排水路工に堆積し、仮排水路工を溢流した流水により、閉塞部が侵食され仮排水路工が被災する被害が生じた。これらの被災事例から、河道閉塞部に隣接する崩壊斜面の安定性を判断した上で対策施設の計画を行う必要があり、このような斜面の直下に対策施設を整備しても、施設の維持が困難になる恐れがあると言える。特に赤谷地区は普段から湧水量が多く、出水期前から小規模な降雨により土石流が頻発し、現場の保全には苦慮していた現場であった。

また、栗平地区においても、緊急工事により完成した全長 576m の仮排水路工（図－2）末端の減勢部が約 9m の深さで洗掘され、減勢部が延長 18m にわたり被災した（写真－9）。仮排水路工末端にはカゴ構造の床固工を設置

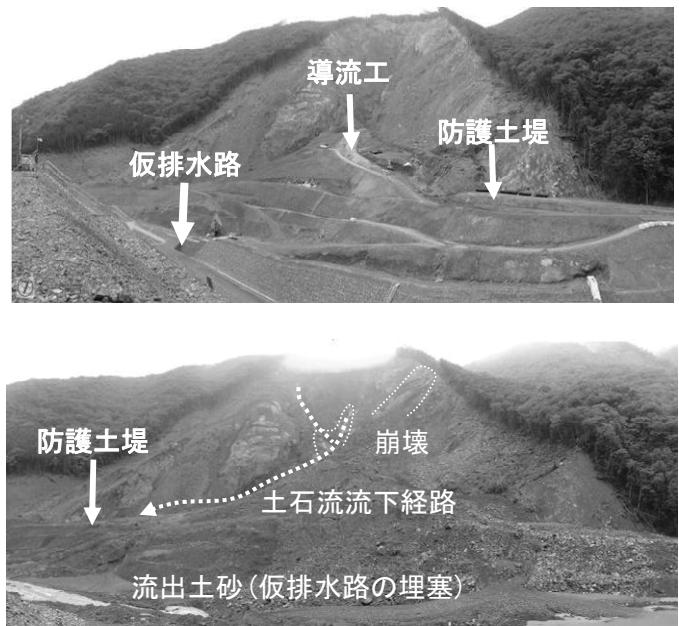


写真-8 台風4, 5号による崩壊前後の山腹状況
(上：平成24年5月31日, 下：6月22日)

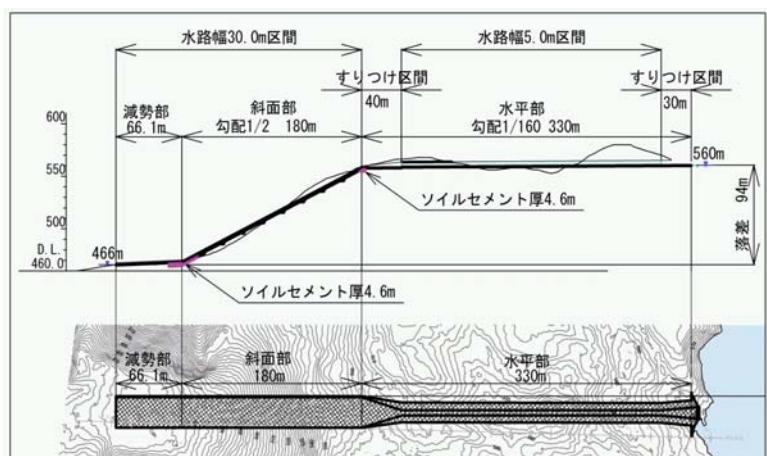


図-2 栗平仮排水路工完成図（台風4号被災前）

して河道に接続していたが、河床が洗掘された影響で被災したものと思われる。この後、

被災した部分から下流の 65m の区間で、洗掘防止として河床にコンクリートブロックや玉石を詰めたネットを敷設したほか、側岸部には大型土嚢やモルタル吹き付けを行い復旧した（写真－12 左上）。

深層崩壊斜面対策箇所でも施設の被災が生じた。斜面脚部は水衝部となっている箇所が多いいため、護岸基礎が洗掘され、設置

した護岸が被災

を受けるなどの

被害が相次いだ

（写真－10）。被

災後、根固工の

補強や、場所に

よっては矢板を

背後に打設するなど緊急に復旧を行った（写真－10）。

3. 2 平成 24 年 9 月台風 17 号による被災状況

河道閉塞高が約 100m と対策箇所の中で最大の規模を有する栗平地区において、平成 24 年 9 月 30 日、近畿地方に接近した台風 17 号時に、湛水池から仮排水路工へ流出した流水による洗掘が要因と考えられる大規模な侵食が発生し、仮排水路工（図－2）が被災した（写真－11・12）。

現地は、仮排水路工の高低差が 90m 以上と大きい上に、山間奥地であり工事用道路が設置できず、資機材の搬入に大きな制約を受けるという条件の下、特に斜面部脚部付近は最大 4.6m の厚さのソイルセメントにより仮排水路工の底面を補強するなど（図－2），限られた期間内で考え得る限りの対策を実施したが、仮排水路工の大半が流失し、閉塞部の大規模な侵食が発生するという事態となった。



写真-9 台風4号による栗平地区の被災



写真-10 台風4号による坪内地区の被災状況および矢板打設による復旧



写真-11 台風17号前後の栗平の状況（左；平成24年9月20日 右；平成24年10月1日）

しかし、仮排水路工は被災したものので、仮排水路工の整備によって河道閉塞部の侵食の速度は抑制され、全長の1/3程度の185mが現地に残った（写真-13）ことから、湛水池まで侵食が進行し大量の土砂や水が短時間に流出するという最悪の事態を避けることができ、対策施設の効果が得られたと言える。

以上の栗平地区の被災事例から、河道閉塞部において、高低差の大きな排水路工を設置する場合、排水路工単独の構造だと閉塞部脚部の洗掘が生じ、閉塞部の維持が困難となることが予想されることから、閉塞部の脚部洗掘防止を目的とした砂防堰堤を、排水路工と合わせて早期に設置することが重要であると言える。



写真-12 栗平地区の被災状況（上；斜面部 下；水平部）



写真-13 残存した仮排水路工

3. 3 平成 25 年 9 月台風 18 号による被災状況

平成 25 年 9 月 16 日台風 18 号時に、緊急工事で整備した清水（宇井）地区の応急護岸が被災した。計画を超過した洪水により、応急護岸のほぼ天端まで水位が達し、全長 330m の区間のうち、水衝部に当たる 170m 区間の護岸が被災した。しかし、崩壊斜面内に堆積している崩土脚部はほとんど洗掘されておらず、斜面の安定には影響が無いと思われる。

9 月 20 日現在、大型土嚢設置による応急復旧を実施中である。今後、更に応急護岸を補強するため背後に矢板を打設する予定である。



写真-14 清水（宇井）地区応急護岸被災状況

また、赤谷地区においては、仮排水路工末端が洗掘された他、ヤードや工事用道路が流出した。その他の地区においても工事用道路の浸水や流出が相次いだ。

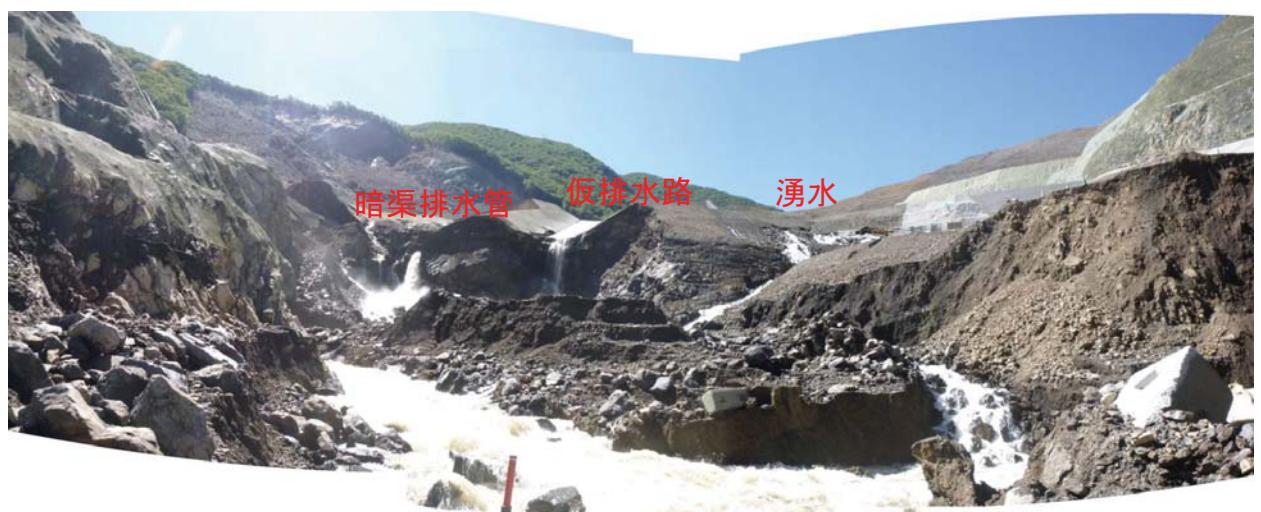


写真-15 赤谷地区の被災状況

4. 河道閉塞箇所等の本格的な対策に向けて～対策方針の策定

4. 1 委員会における討議の経緯

河道閉塞や深層崩壊対策箇所では、緊急工事に引き続き、本格的な対策に着手することとなつたが、これまで対策の実績が無い規模の現象であることから、「河道閉塞等対策検討委員会」（委員長；京都大学大学院農学研究科 水山高久教授、以下、この章では委員会と略す）を設置し、委員会の指導と助言を頂きながら対策方針を策定した。委員は、砂防、地質、河川の各分野の学識者 6 名から構成され、平成 24 年 5 月から平成 25 年 2 月まで合計四回開催し、最終の第四回委員会にて対策方針に関する提言を頂いた。委員会設置期間中の平成 24 年 6 月、台風 4 号、5 号の影響による降雨により、緊急対策の各箇所において、深層崩壊斜面の再崩落や侵食が発生したことを受け、対策の見直しを行った。また平成 24 年 9 月、台風 17 号の降雨により、栗平地区の河道閉塞部において大規模な侵食が発生したことから、侵食のメカニズム解明と対策見直しを行った。このように昨年の出水期間中は、再崩壊や侵食、それに伴う緊急対策施設の被災などが相次いだが、その都度、迅速に対策の再検討を行い、対策方針が策定できたのは委員会の指導、助言に負うところが大きい。

4. 2 対策の方針について

河道閉塞対策箇所と河道閉塞が残存せず大規模な深層崩壊斜面のみの対策を実施している箇所では対策の方針が異なるため、委員会の提言に基づき、それぞれの対策方針を説明する。

4. 2. 1 河道閉塞箇所の対策方針について

(1) 対策の目標

河道閉塞箇所の対策の目標は、河道閉塞部における浸透や越流による破壊、河道堆積土砂の侵食、崩壊地の新たな崩壊や侵食等による土砂の流出を抑制し、下流部における土砂・洪水氾濫を防止することである。この目標を達成するため、対策で対象とする計画規模を定め、的確な施設配置を行う。

(2) 計画の規模

河道閉塞箇所における対策の計画規模は、100年超過確率規模の降雨による流量とし、閉塞部に設置する排水路工や砂防堰堤等の砂防施設は、この流量を対象とする。さらに、河道閉塞部に接した崩壊斜面や上流部からの土砂流出を想定し、現地の荒廃状況に応じて、20~30%の土砂混入率を見込むこととした。

(3) 施設配置方針

対策の基本方針として、隣接する崩壊地や崩土堆積地の安定を損なわない範囲で、可能な限り湛水池の越流標高の切り下げや、掘削土砂による湛水池の埋め戻しを行うこととした。これは平成24年の出水期間中に、湛水池から越流した流水により緊急対策施設が被災した事例を踏まえて、湛水池の水位を低く保つほか、湛水池の容量を減らすなど、湛水池からの流水の影響を軽減することが重要と判断したためである。

次に対策施設の構造は、砂防ソイルセメントを積極的に活用することとした。これは、山間地のため残土処分場の確保が困難な一方、膨大な量の堆積土砂から砂防施設に活用可能な強度を有する砂防ソイルセメントが得られ、施工性やコストの点から有利なためである。この方針に基づき、各箇所に設置する砂防堰堤は全て砂防ソイルセメントを活用する計画である。

三点目は、計画規模の流量を安全に流下できる排水路工を閉塞部に整備することである。但し、赤谷地区のように、崩壊斜面からの土砂が排水路工に頻繁に流入し機能の維持が困難な箇所は、排水路工の代わりに砂防堰堤を設置し、砂防堰堤の堆砂域とする（図-3）。

排水路工の構造は、河道閉塞部の下流面の勾配が緩い場合や

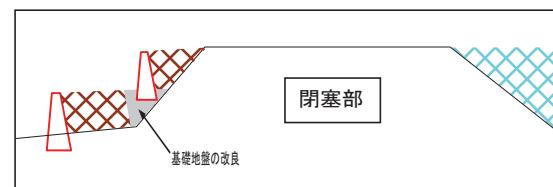


図-3 排水路工を用いない対策事例

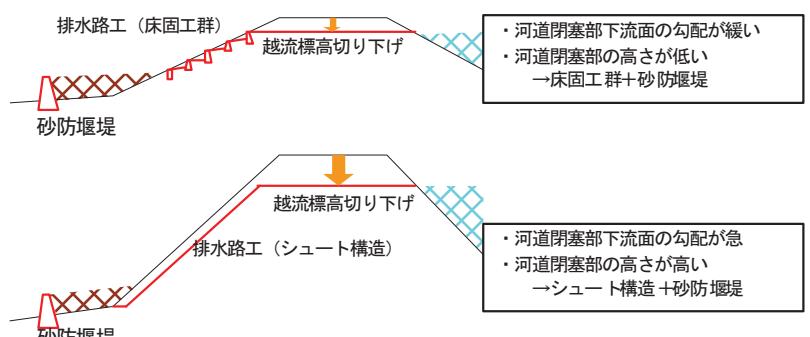


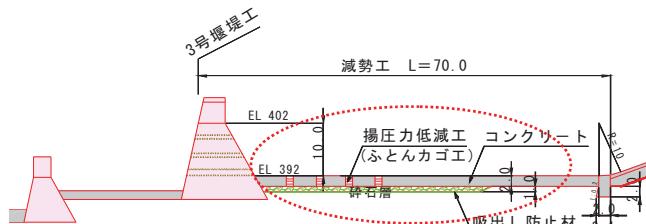
図-4 排水路工の構造

閉塞高が低い場合は、床固工群を設置する一方、河道閉塞部の下流面の勾配が急で閉塞高

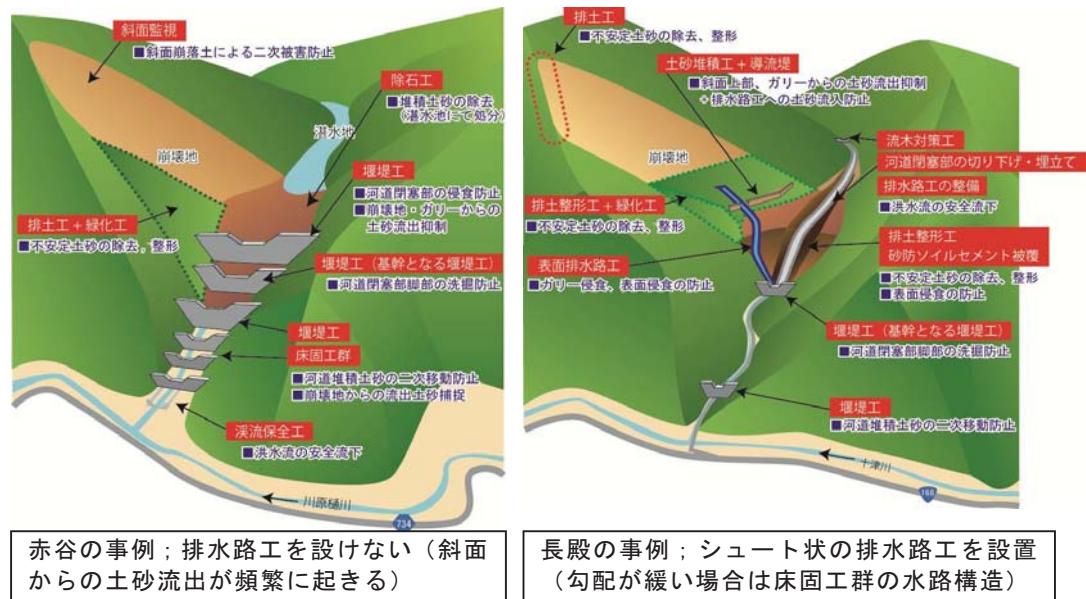
が高い場合は、掘削が困難な上、掘削土量も多くなるため、シート構造の排水路工とした（図－4）。また崩壊斜面からの流出土砂により排水路工が影響を受けることが無いよう、崩壊斜面と排水路工の間に堆積工や導流堤を設ける予定である。なお、計画を超過する流量により排水路工から流水が溢れた場合でも、閉塞部の越流侵食など最悪の事態を防止するため、排水路工周辺を砂防ソイルセメントで強化する予定である。

四点目は、河道閉塞部の下流側斜面末端に、河道閉塞部の安定を図るため、対策の基幹となる砂防堰堤を早急に設置することである。特に高低差が大きな閉塞部に排水路工を設置する場合、排水路工末端の洗掘が閉塞部の広範囲に及ぶ侵食を引き起こす危険性が高いため、砂防堰堤の設置により、排水路工末端の洗掘防止や排水路工を流下する流水の減勢を確実に行う必要がある。これは、平成24年9月30日の台風17号に伴う豪雨により、栗平地区において94m

の落差がある仮排水路工が短時間のうちに侵食され、閉塞部の大規模な侵食に至ったことから、特に



図－5 ドレーン工の構造



図－6 河道閉塞箇所の対策事例

重要である。

緊急対策の初期の段階から仮排水路工と堰堤を同時に施工することが重要と言える。

五点目として、河道閉塞部の脚部からの浸透水が多い場合は、ドレーン工を設置するなど、砂防堰堤の排水対策を十分に行うことである（図－5）。

以上の方針に基づく対策の事例を図-6に示す。

4. 2. 2 深層崩壊斜面の対策方針について

(1) 対策の目標

深層崩壊斜面における対策の目標は、崩壊斜面を安定させて崩壊地の新たな崩壊や侵食等による土砂の流出を抑制し、崩壊斜面下部や本川河道の上下流における土砂・洪水氾濫被害を防止することである。

(2) 計画の規模

崩壊斜面に接する本川河道においては、100年超過確率規模や既往最大洪水を計画の規模として定める。この計画規模に基づき、河道堆積土砂の除去による河道拡幅や護岸の設置を行う。

(3) 対策施設の方針

対策施設の方針として、崩壊斜面における新たな崩壊や侵食、不安定土砂の二次移動等の土砂移動現象が発生する危険性が高い範囲を抽出し、現状で残存するリスクを想定し、その現象に対して効果的な対策工法を選定する。抽出に際しては、家屋、道路等の保全対象への直接的な影響のほか、本川河道の計画流量に対する流下断面の阻害などの影響を考慮する。以下に各箇所の具体的な対策施設の配置方針を述べる。

① 崩壊斜面や崩土堆積部が本川河道に接する範囲は、流水による斜面脚部の侵食を防止するため、護岸を設置する。特に崩壊斜

面脚部が水衝部となる場合が多いため、洗掘に対して十分な根入れを確保する。

② 不安定土砂の排土と斜面整形により斜面の安定を確保することを基本として、その上に表面侵食防止を行う。また、維持管理の負担ができるだけ少ない施設構造、配置とする。

③ 対策工には砂防ソイルセメントや間伐



図-7 深層崩壊斜面对策の事例（坪内）

材の積極的な活用を図る。土留めや待ち受け式の施設はソイルセメントを活用した土堤構造とする等の検討を行っている。

- ④ 地域の利活用に関する要望に対しては、維持管理スペースの活用などを図る。ヤードや管理用道路などは地域の利活用に用いることを考えており、今後、ヒアリングを通して、利活用に対する地域の要望を把握する予定である。

以上の対策の事例を図－7に示す。

4. 2. 3 警戒避難体制の考え方

対策完了までの間における地域の安全確保は重要な課題である。また対策完了後も計画規模以上の降雨・流量によって土砂生産・流出が発生する危険性も考えられる。そこで、警戒避難体制の整備に関する基本方針も委員会で討議された。

河道閉塞や深層崩壊斜面からの土砂・洪水流出に対する警戒避難体制の目的については、奈良・和歌山両県、市町村等の関係機関における警戒避難体制の確立を支援することである。このため、対策の進捗に伴う各段階で想定されるリスクを評価した上で、各機関が必要とする情報を分かりやすく迅速に提供すること、また各段階の対策の進捗に合わせて発信する情報の内容や監視機器を見直すこと、直轄事業で設置した監視・観測機器は関係機関に引き継げる仕様とすることなどが基本方針として定められた。この方針に基づき、湛水池の水位観測結果から水位予測を行い、仮排水路工への流出開始時間や溢流の恐れなどを市町村へ情報提供するとともに、CCTVを設置し、異常が確認された場合は関係機関へ情報提供を行う。また、ワイヤーセンサーで土砂の異常な流出を検知した場合は、集落に設置した警報器が作動する体制も整備されている。更に、CCTVの一部の画像は、市町村ヘリアルタイムで提供しているほか、インターネットでも広く情報提供を行っている。今後は対策の進展に伴い、降雨量や湛水池水位、河道水位、監視カメラによる監視を重点的に実施する予定である。

4. 2. 4 その他

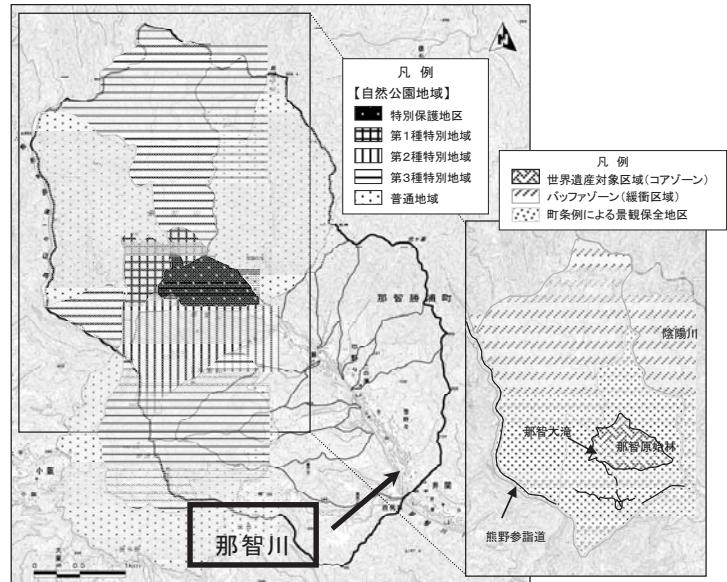
以上の対策基本方針については、各地区の土砂移動実態・特性や事業進捗の状況に基づいたものであるが、斜面や河道閉塞部の状況変化、事業進捗状況に応じて、見直すことと

している。また平成 23 年の台風 12 号災害や、それ以降の降雨により発生した現象は、既往の対策実績や知見が適用出来ないような過去に例の無い現象であったことから、今後も監視・観測データに基づいて、水・土砂移動現象のメカニズムの更なる解明、新しい対策手法の検討を続ける予定である。

5. 那智川流域の本格的な対策に向けて～対策方針の策定

5. 1 委員会における討議の経緯

那智川における今後の本格的な対策の検討に際して、土石流が発生した支川から本川への土砂・流木流出による影響も踏まえて、流域の広範囲にわたる対策を検討すること、また流域が国立公園の指定や世界遺産にも登録されている（図－8）ことも踏まえた対策の検討が必要となった。そこで、学識者からなる「那智川土砂災害対策検討委員会」（委員長；三重大学大学院生物資源学研究科 山田孝教授、以下、この章では委員会と略す）を設置し、委員会から意見を頂きながら、砂防や景観等の観点から対策についてとりまとめることとした。委員は、砂防、河川、景観の各分野の学識者 6 名から構成され、平成 24 年 5 月から 10 月まで合計 3 回開催し、最終の第 3 回委員会において、対策方針に関する提言を頂いた。以下に那智川の対策方針を紹介する。



図－8 那智川流域の国立公園、世界遺産の状況

5. 2 土砂災害の発生要因を踏まえた対策の基本方針

台風 12 号災害時の土砂氾濫実績や被害の発生状況から、支川内および支川谷出口付近では、主に支川からの土石流の流下・氾濫により人的被害や家屋等の被害が生じている。また、那智川本川では、支川から那智川本川に流入した土砂・流木による本川河道の河積阻害や河道の閉塞により、本川沿いの広範囲に土砂氾濫による被害が拡大したと考えられ

る。したがって、土砂処理の基本方針は、支川谷出口に存在する保全対象の直接的な土砂災害防止と、那智川本川沿いの氾濫被害防止を目的として、平成23年台風12号災害規模の土砂・流木量を、支川内で100%捕捉する効果的な砂防事業を迅速に実施することを対策の基本方針とした。

5. 3 計画土砂量

再度災害防止のため、緊急に砂防施設の整備を進めるという特定緊急砂防事業の目的を考慮し、平成23年台風12号災害時と同規模程度の流出土砂量に対して安全を確保することを整備目標とした。その土砂量は各渓流の不安定土砂量調査等も踏まえて、約47万m³と定めた。計画対象土砂量の大半は、土石流が発生した支川から流出する土砂量である。

5. 4 土砂処理対策の基本方針

支川から土石流として流出した土砂・流木により支川から本川まで広範囲に及ぶ被害が発生し、また、依然として支川内には大量の不安定土砂が残存し、再度の豪雨により土石流として流出する危険性が高いことから、支川（台風12号で土石流が発生した8渓流）からの土砂・流木流出の抑制を最優先として実施する方針である。そこで、各支川に2基の砂防堰堤（陰陽川は砂防堰堤+堆積工）を早急に整備し、堰堤の構造は、最下流堰堤は中小洪水による土砂移動も考慮して不透過型、2基目の堰堤は透過型として土砂・流木の捕捉効果を高める方針である。

また、最下流、上流堰堤とともに除石管理を適切に実施し、砂防施設の空容量を確保する方針である。本川では、残留域からの土砂・流木流出による狭窄部や橋梁等の河積阻害がもたらす広域的な土砂・洪水氾濫被害を防止するため、土砂・流木の捕捉を行

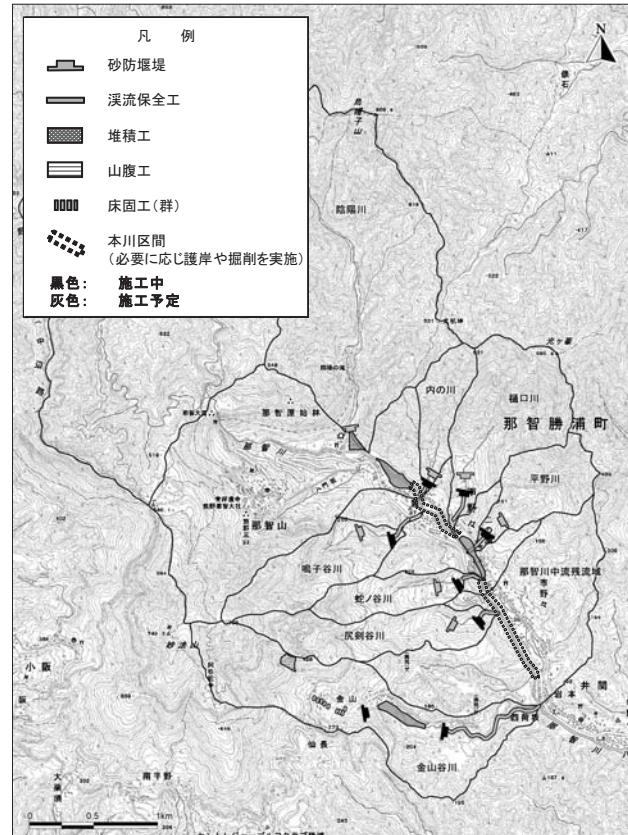


図-9 那智川砂防施設配置計画図

う堆積工を整備するほか、護岸等の整備を行う方針である（図－9）。

これらの施設の整備優先度としては、第一段階は、土石流が発生した8支川の最下流に1基目の砂防堰堤を整備（土石流の規模が大きかった金山谷川は2基を整備）、第二段階は、支川上流側の砂防堰堤の整備及び本川堆積工の整備、第三段階は、本川沿いの護岸や掘削等の整備を実施する予定である。現在、第一段階の各支川最下流堰堤の本堤がほぼ完成し、引き続き前庭保護工を施工中であり、平成25年度から上流側堰堤に着手する予定である。

5. 5 景観に対する方針

那智川における砂防施設の整備にあたっては、世界遺産登録地という地域性を考慮し、周辺景観と調和させることを基本方針とした。具体的な景観対策は、観光客や地域住民の目に触れる機会の多い那智川本川沿いの主要地方道と熊野古道・遊歩道を主要動線と考え、主要動線からの事業箇所の見え方に基づき定めた景観対策ランクの考え方従って実施する計画である（表－1）。

表－1 景観対策ランクの考え方

ランク	事業箇所の見え方	整備目標
Aランク	事業箇所が見通せ、遮蔽等の対策ができない場合	地域の代表的な景観を積極的に創出する対策を行う（例えば、自然石を用いた修景）。
Bランク	部分的に対象箇所が見通せ、遮蔽等の対策ができない場合	周囲の景観と違和感のない修景を行う（石積みを再現した製品による修景など）。
Cランク	部分的に対策箇所が見通せ、遮蔽等の対策が可能な場合、対策箇所が見通せない場合	従来から実施されている修景対策を行う（化粧型枠等を用いた修景など）。

特に、主要動線から対策施設の全体が見通せる場合は、積極的に周囲と調和した景観を創出することとし、修景の方法は、この流域の代表的な景観として、棚田や古道等に石積みや敷石が多く活用されている景観との調和を図るため、地元の石を用いた石積みを施すことを基本とした（図－10）。また、



図－10 景観対策のイメージ

景観対策の実施に際しては、設計時・施工時・管理時の各段階において、地域の代表的な景観に馴染むよう学識経験者の助言をいただきながら進める予定である。

5. 6 今後の事業推進に当たっての提言

委員会を経て作成した対策方針は、平成23年台風12号災害と同規模の土砂流出に対して安全を確保するための方針であるが、今後、この規模を超える現象については、施設効果を超えることもあり得る。そのため、引き続き、警戒避難等のソフト対策が必要となることから、関係機関が連携を図り、安全な避難路・避難所の確保や情報伝達方法について検討が必要である。これを踏まえて、今後、那智川流域における土砂・水流出の監視体制整備等の検討を行っていく予定である。

6. 斜面対策の事例

次に、深層崩壊斜面対策の方針に基づいた斜面対策の事例を紹介する。

6. 1 清水（宇井）地区の対策事例

6. 1. 1 清水（宇井）地区の崩壊

清水（宇井）地区は、奈良県五條市大塔町清水地区の熊野川右岸に位置する。崩壊した斜面は東向き斜面で、水衝部となっている（図-11）。崩壊前は全体として尾根地形であるが、今回崩壊した滑落崖付近と斜面下方には凹地形があり、尾根全体が地すべり地形と判読される。

地質（図-12）は白亜系四万十帯日高川層群美山層の砂岩頁

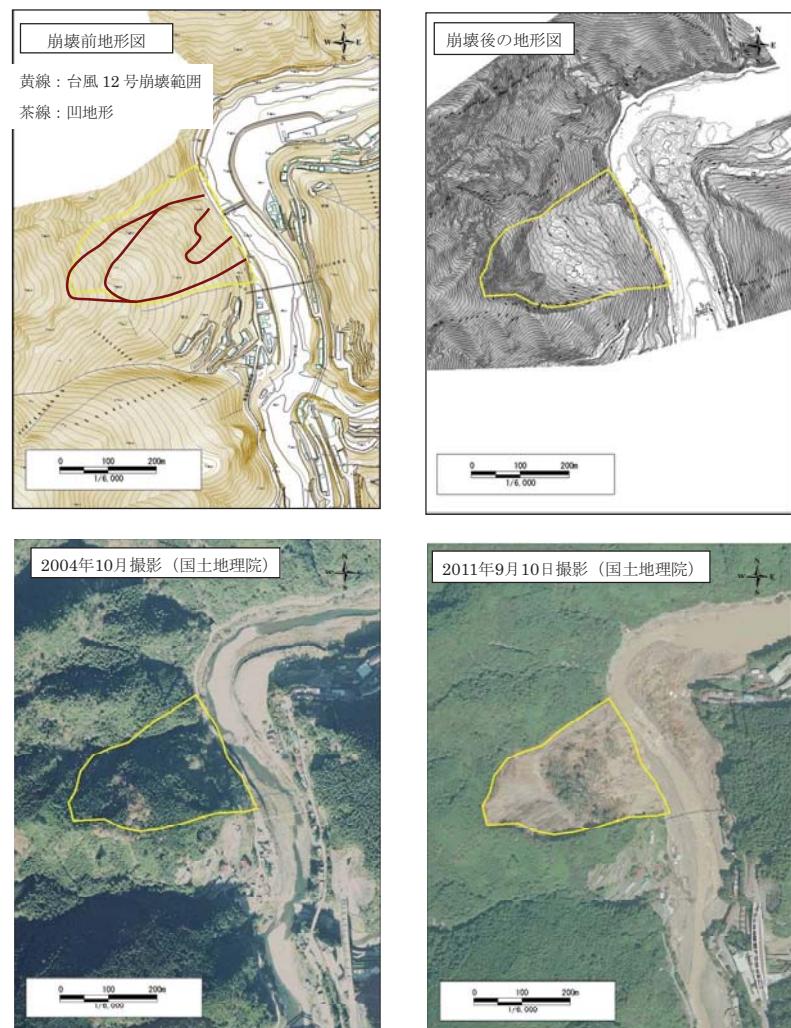


図-11 清水（宇井）地区崩壊前後地形比較

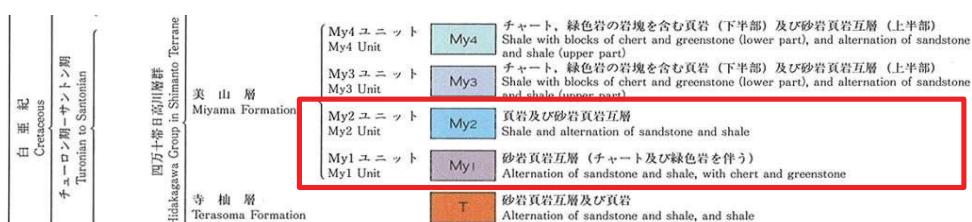
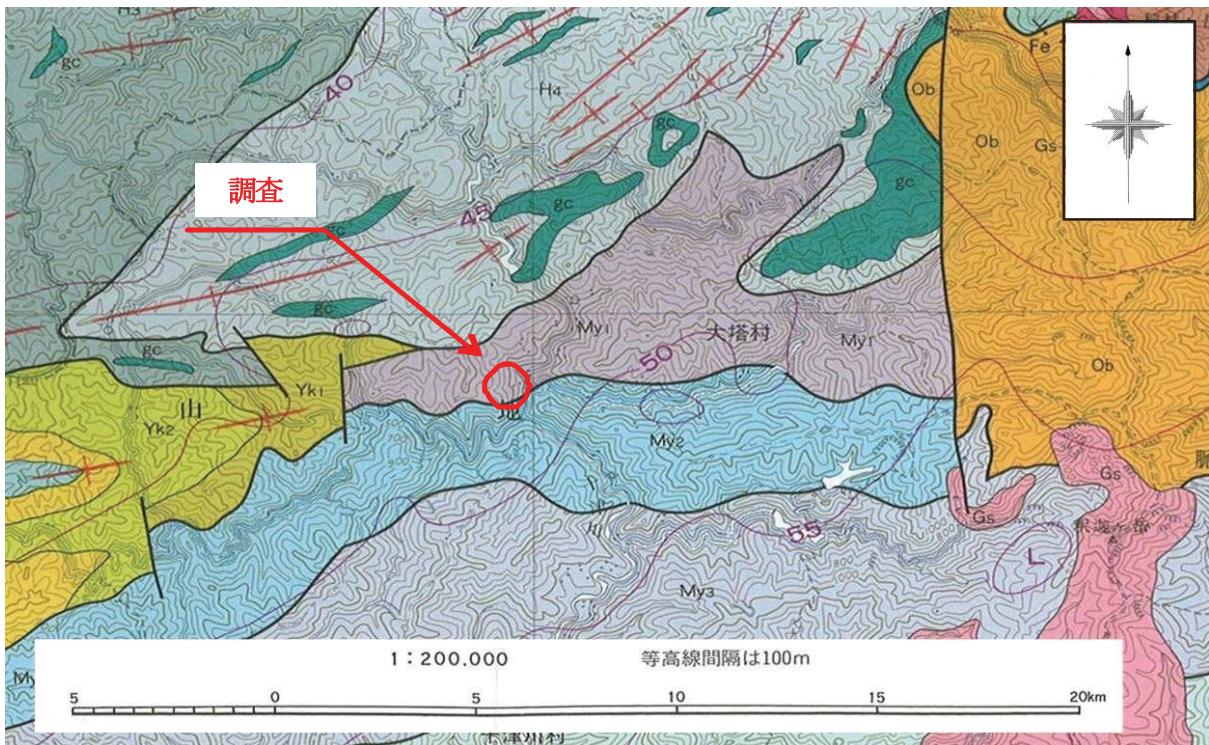


図-12 清水（宇井）地区地質図

岩互層 (my2, my3 チャートおよび緑色岩を伴う) からなる。地層の方向は北東－南西方向および東西方向が多く、北へ 30～50° 傾斜が卓越している。全体に微褶曲やスランプ構造、破断面が発達しており、風化すると角礫状となり、脆い地質と言える。

崩壊（写真-16）は平成 23 年 9 月 4 日午前 7 時頃（奈良県調査による）であり、崩壊



写真-16 清水（宇井）地区崩壊斜面

後河道閉塞を形成したが8時20分頃決壊した。崩壊の規模は、幅200m、斜面長450m、崩壊深50～70m、崩壊土砂量140万m³程度（崩壊前後の地形を用いて差分法から推測）でこのうち現存している土砂量は70～80万m³程度と推測（推定崩壊面と平均断面法から推測）される。この崩壊により、7名が犠牲となり、4名が行方不明となる甚大な被害が生じた。

6. 1. 2 清水（宇井）地区の対策

清水（宇井）地区の斜面は、50°程度の急勾配で砂岩や頁岩の露頭が確認される滑落斜面と、その脚部から30°～35°の勾配で崩壊土砂が堆積している崩壊中腹部、また崩壊土砂が45°の急勾配で本川河道に接している崩壊地末端部の3つに分類される。以下にそれぞれの対策を説明する。

（1）滑落斜面の対策

滑落斜面（写真-17）には、砂岩層や頁岩層が広く露頭しているが、亀裂が発達しており、風化が著しい砂岩も見られる。一方でパイプ歪計の観測結果からは明瞭な歪累積の傾向は確認されないため、崩壊地背面部の後退性の地すべりや崩壊は生じないと考えられる。そこで不安定な表層部分の侵食と浅層崩壊防止が主要な対策であるが、切土による斜面安定は膨大な土工量が必要となることから、抑止工を採用することとした。

現地のガリ侵食深は最大でも2m程度であり、亀裂の発達による崩落面の深さも1m程度であることから崩壊深度は、地表面より2m程度と想定し、土質試験によって得られた土質定数（C=9～15kN/m²、φ=31～36°、単位体積重量14～18kN/m³）。を元に繰り返し円弧による現状安全率（緊急対策による不安定土塊除去後 F_s=1.09）を求め、目標安全率F_s=1.20に不足する安全率を抑止工で補うこととした。



写真-17 滑落斜面の状況

工法については高強度ネット斜面安定工+鉄筋挿入工と法枠工+鉄筋挿入工の各工法について、足場架設と無足場施工の両方で経済性、斜面安定性、施工中の安全性を考慮して比較検討を行った結果、高強度ネット斜面安定工+鉄筋挿入工の無足場施工が最適と判断され、採用することとした。

(2) 崩壊地中腹部の対策

崩壊地中腹部の斜面勾配は30~35°程度となっており、盛土における標準的な勾配と同等となっている。またパイプ歪計による観測結果から変動の累積傾向は見られないことから、崩土全体は安定を保っていると考えられる。従って対策の方針としては、表流水の処理と表面侵食防止を目的とした山腹工を主体とし、排水路工や筋工、柵工を導入する方針である。

(3) 崩壊地末端部の対策

崩壊地末端部は、崩土が被災前河道幅の1/3~1/4程度まで堆積しており、依然として河道断面は被災前より小さい状態となっている。更に上流部には猿谷ダムがあるため、ダムの最大計画放水量を流下させる河道断面の確保が必要となる。河道断面確保のためには、崩土末端を掘削する必要があるが、斜面の安定を損なうことが無い範囲で掘削を実施する必要がある。そこで、最大可能な掘削範囲を検討することとした。

土質試験結果から得られた土質定数($C=28\text{kN/m}^2$, $\phi=36^\circ$)を元に現状地形による最小安全率を計算すると、崩土全体では $F_s=1.35$ 、崩土末端部では $F_s=1.34$ という結果となった。一方、災害前の河道断面を確保するため掘削を実施すると、崩土全体では $F_s=1.00$ 、崩土末端部では $F_s=0.99$ という結果となり、被災前の河道断面確保は困難な結果が得られた。アンカー等の抑止工を使用することも考えられるが、今後の維持管理や流量が多い本川河道の水衝部であることを考えると、崩土堆積地の安定を敢えて損なう方向で対策することは懸念でないと判断した。そこで、安全率 $F_s=1.20$ を満たす範囲内で最大限の切土により河道を拡幅する検討を行った結果、現在の河道断面より最大で10m程度拡幅(被災前河道より3.5m程度狭い)した上で護岸を施工する計画に決定した(図-13)。護岸は本川水衝部であることを考慮して自立式鋼管矢板護岸とした(図-14)。

最終的な斜面全体の対策工配置を図-15に示す。

現在、今秋からの本格的な対策の着手に先立ち、モノレール架設等、準備工を進めていく。

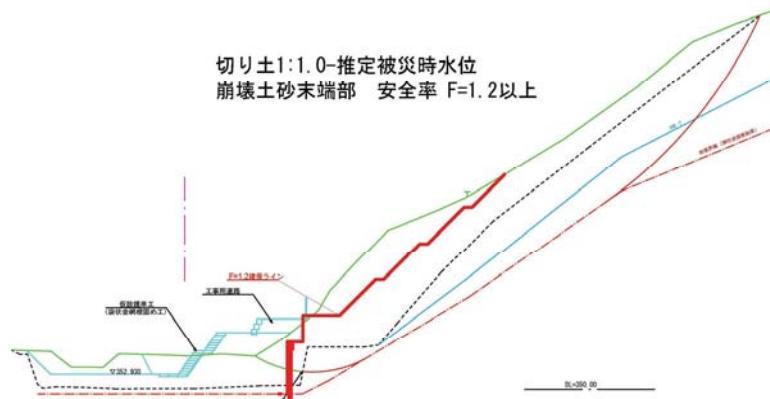


図-13 崩壊土砂末端部が安定する概略切土計画

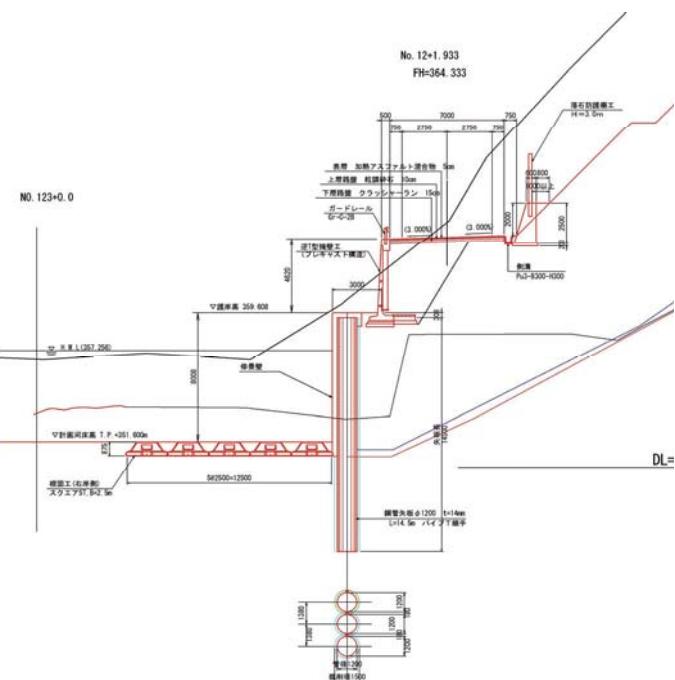


図-14 護岸工標準構造図

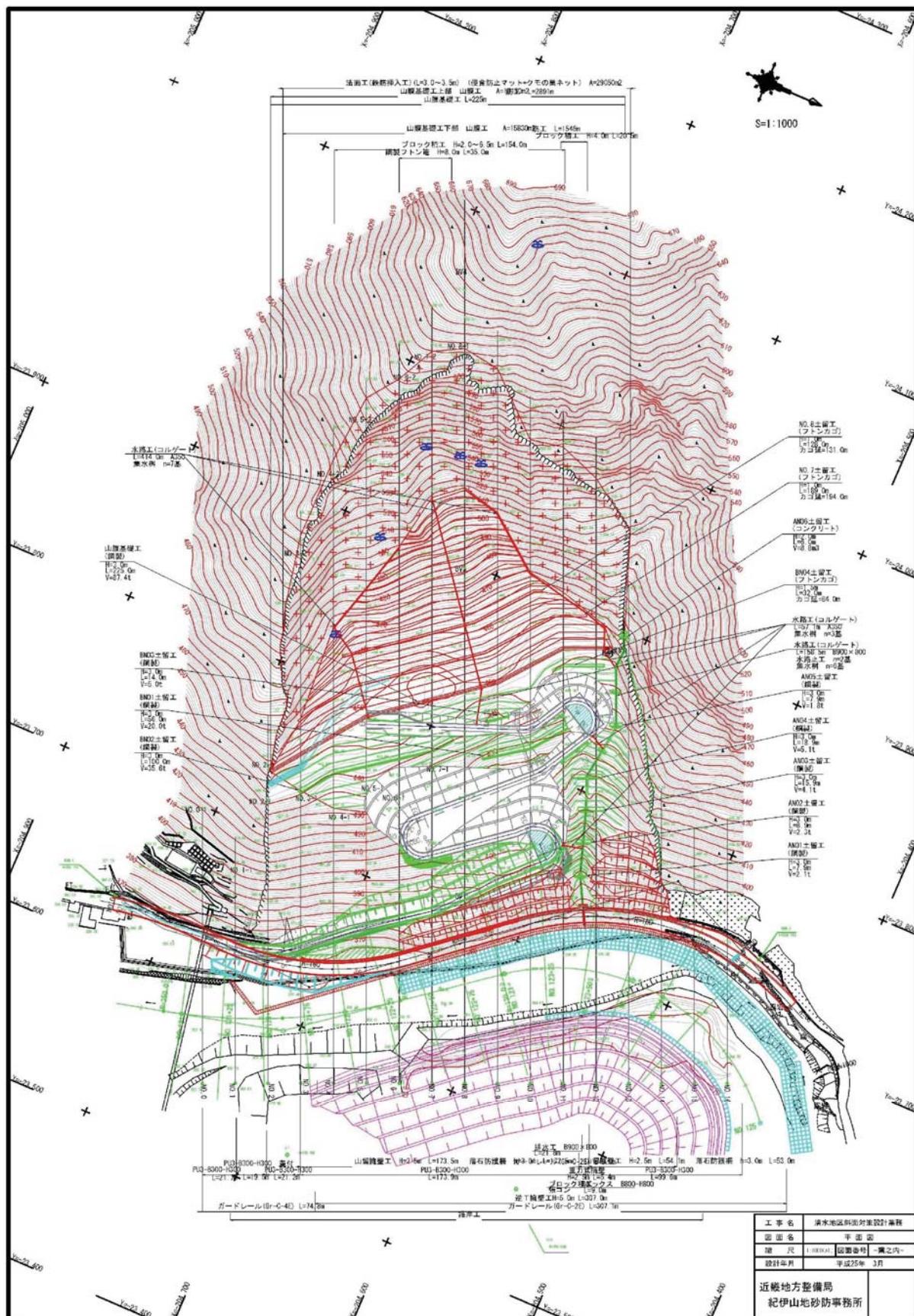


図-15 清水（宇井）地区対策工配置図

6. 2 赤谷地区的対策事例

6. 2. 1 赤谷地区的崩壊

赤谷地区は、奈良県五條市大塔町の熊野川右支川河原樋川の右支川赤谷川右岸に位置する。平成 23 年 9 月台風 12 号による崩壊前の航空レーザー測量結果を見ると、崩壊する前の斜面上部尾根には、二重稜線や谷向きの小崖が見られ、地すべり地形を呈している（図-16）。

地質は白亜系四 万十帶日高川層群

美山層 (my2, my3)

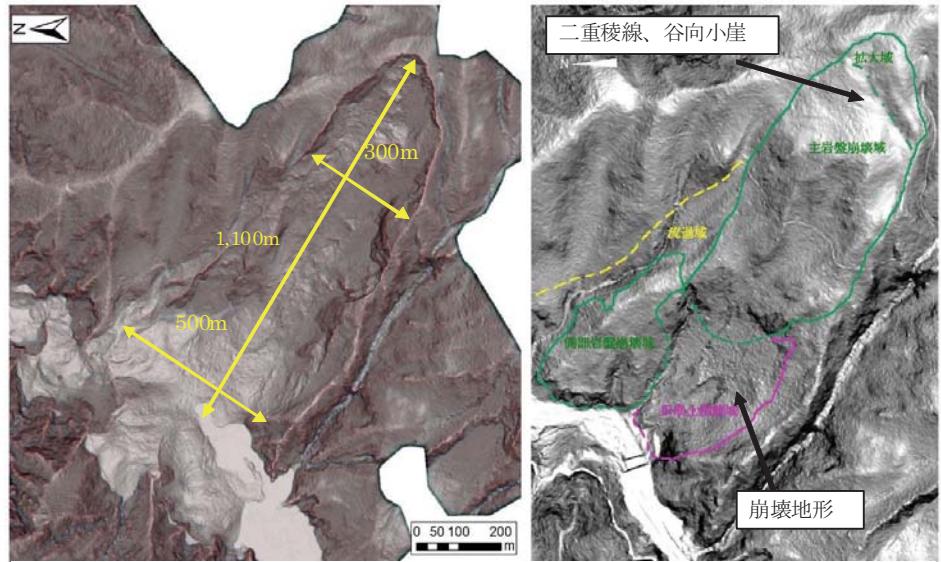


図-16 赤谷地区崩壊発生前後の地形変化

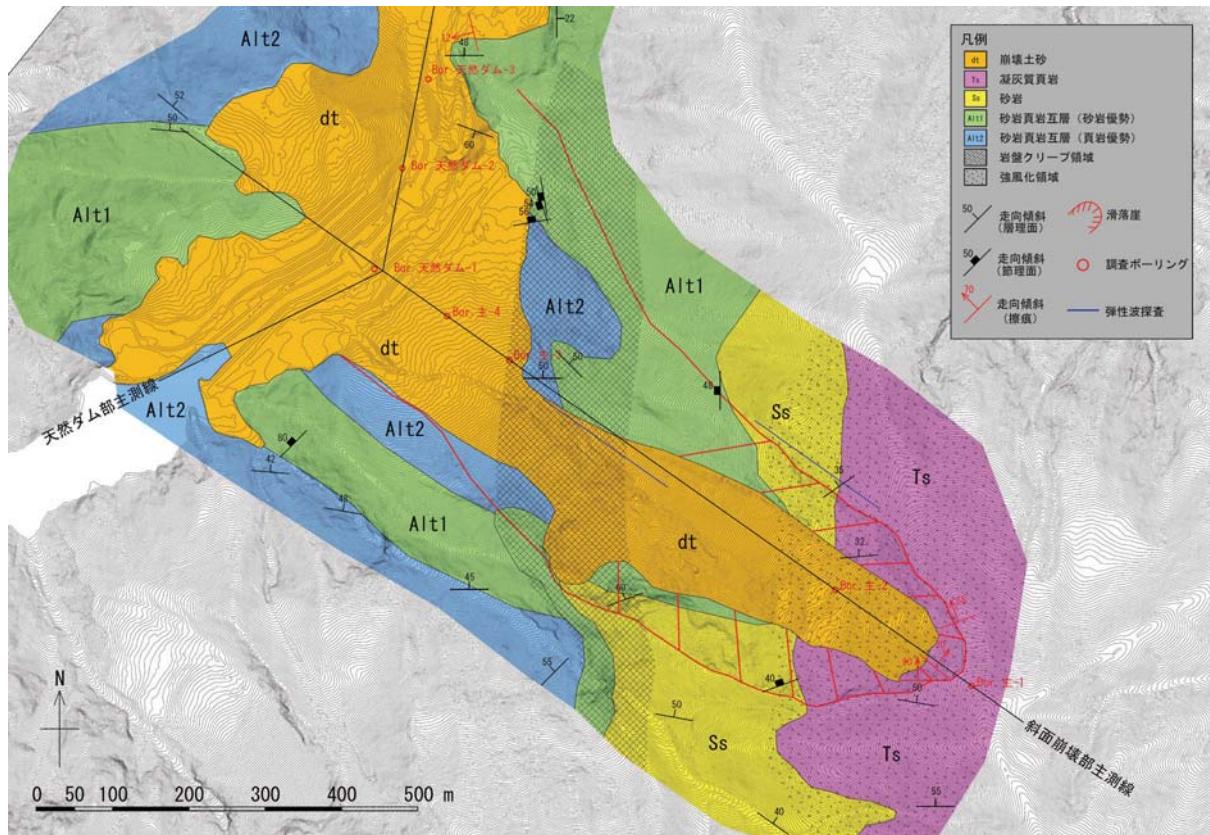


図-17 赤谷地区地質図

が分布する。my2 ユニットは頁岩および砂岩頁岩互層から成り、my3 ユニットはチャート及び緑色岩を含む頁岩と砂岩頁岩互層から成る。地層の走向は北東－南西方向および東西方向が多く、30～50° 北傾斜で斜面に対して流盤となっている（図-17）。崩壊地内の地質（図-18）は、下位から砂岩や凝灰岩を狭在する頁岩優勢層、その上位に砂岩頁岩互層、砂岩優勢層が分布する。冠頭部付近では、凝灰質頁岩とチャートが分布する。地層の走向は、左側壁と渓岸部では、東西方向～西北西－東南東方向の走向で 40～60° 北傾斜が多いが、冠頭部では北東－南西方向で北傾斜が多い。

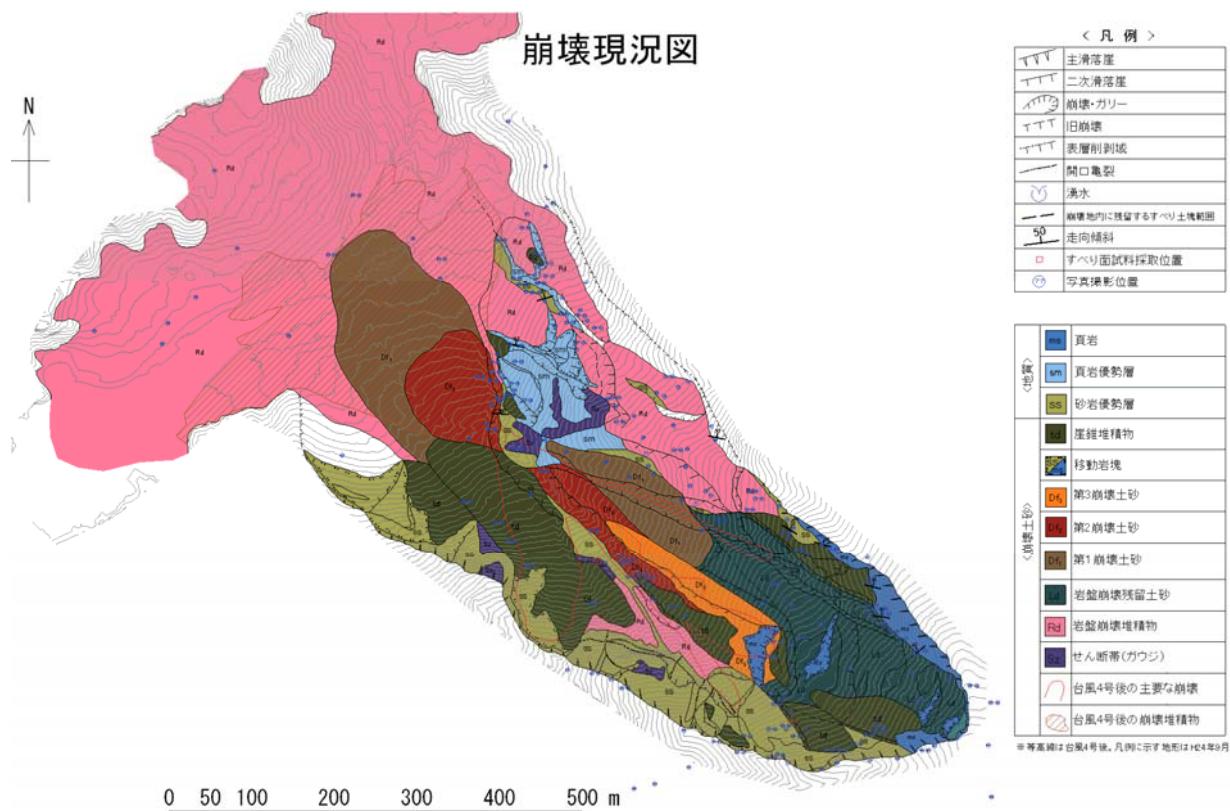


図-18 崩壊現況図

赤谷地区の崩壊（図-16）は、斜面上部の稜線付近から発生しており、崩壊規模は、幅460m、斜面長 1,100m、標高差 600m、崩壊土量は約 940 万 m³程度と推測される。崩壊土砂は対岸に乗り上げた後、高さ 67m、横断方向の延長 250m、縦断方向の延長 610m の河道閉塞を形成した。

崩壊斜面からは、崩壊後も土砂流出が活発に継続している。平成 23 年 9 月台風 12 号後の 9 月 10 日から平成 24 年 6 月 23 日の台風 4 号後の間における 4 時期の航空レーザー測

量の結果から、この間に約 58 万 m^3 の土砂量が斜面から流出したと考えられる（図-19）。このように平成 23 年 9 月台風 12 号後も大量の土砂流出が継続している斜面は他の対策箇所では見られず、赤谷特有の現象である。この要因はこれまでの調査結果から以下のように考えられる。

- ① 崩土下位の岩盤上面の形状は、ガリ左支渓を底部とする V 字形状になっているため、地表水や地下水が崩壊地内のガリに集まりやすい（写真-18）。
 - ② 崩壊斜面内には常時湧水しているため、ガリ内にも常時流水があるなど湧水が豊富である（写真-18）。
 - ③ 崩壊斜面上部の崩土下部層は、少しの含水比でも流動化しやすい特徴があるため、ガリ渓岸の脚部が最も侵食されやすく渓岸崩壊も発生しやすい。
- 以上より、赤谷地区斜面上部の崩土は、岩盤面の形状や水文状況から、ガリに水が集中しやすく、含水比が低くても崩土下部層が流動化しやすい特徴があり、ガリ内の流水に崩土脚部が容易に洗掘され土砂生産が活発になっていると考えられる。図-19 に示すようにガリ沿いの侵食量が卓越していることからもこのことが伺える。崩壊斜面内には依然として 100 万 m^3 近い土砂量が残存していると推定され、このような土砂流出はしばらくの間

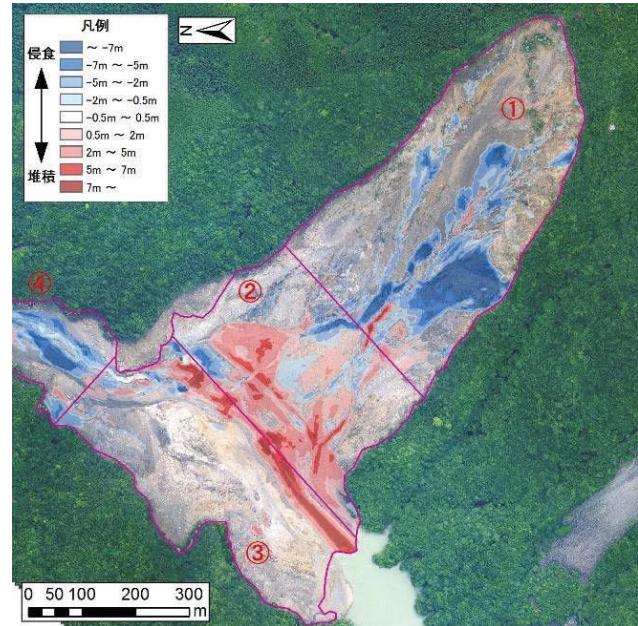


図-19 平成 24 年 2 月～平成 24 年 6 月台風 4 号後の地形変化



写真-18 崩壊地の状況（崩壊地内地形、湧水の状況）

は継続すると考えられる。

6. 2. 2 赤谷地区の斜面対策

赤谷地区の崩壊斜面からは、前述したように大量の土砂が流出し続けている。これに対して砂防施設で短期間に抜本的な対策を実施することは、技術的にも、また費用の面からも厳しいと言わざるを得ない。

そこで、今後の対策としては、河道閉塞の対策工事が継続中は、作業中の安全確保のため、施工箇所直上に設置した防護土堤により流出土砂の捕捉と撤去を中心に実施し、河道閉塞対策終了後は、斜面監視を継続し、斜面からの流出土砂により河道閉塞高が高くなり、湛水池からの排水が阻害されるような場合は、土砂掘削を実施する予定である。

7. おわりに

河道閉塞や深層崩壊の対策は、対策着手当初は前例の無い規模の現象である上に、出水期間中に相次いで大規模な侵食や崩落、対策施設の被災が発生し、対策の検討には多大な苦労が伴った。また、那智川の土石流対策の事業は、支川から本川まで広範囲に及んだ被害を踏まえた対策の検討が必要であり、また国立公園や世界遺産登録地に近接する流域特性を踏まえる必要があった。このように何れの現場も技術的な困難を伴う現場条件であったが、河道閉塞等対策検討委員会や那智川土砂災害対策検討委員会の指導、助言を頂き、それぞれの対策方針を確定できたことは、対策実施上、大きな前進であった。現在、この方針に基づき、現地では対策工事や詳細設計を進めており、今後、一刻でも早く被災地に平穏な生活が訪れるよう、事務所の全力を挙げて対策を進めてまいり所存である。

《話題提供》

平成23年台風12号で発生した深層崩壊・河道閉塞の調査

国土交通省近畿地方整備局
紀伊山地砂防事務所

桜井 亘

日本工営株式会社

徳永 博・網野功輔
加藤暁之・鈴木聰樹

1 はじめに

平成23年台風12号により紀伊半島南部地域で多くの地すべり、崩壊、土石流が発生した。また、深層崩壊の発生と、それに伴う河道閉塞も多数形成された。一部の河道閉塞は降雨中に満水となって越流・決壊したため、上下流域の集落に多大な被害が生じた。国土交通省では、改正土砂災害防止法に基づき、大規模な河道閉塞が確認された5箇所（赤谷、長殿、栗平、北股、熊野）について、緊急調査が実施された。その後、河道閉塞箇所5地区、奈良県・和歌山県で大規模斜面崩壊が発生した3地区（清水[宇井]、坪内、三越）、土石流被害が発生した那智川において、国土交通省による緊急対策工事が開始された。

今回の話題提供では、平成23年台風12号で発生した深層崩壊・河道閉塞の調査として、避難判断監視機器設置システム構築と、平成24年度に実施した長殿地区・栗平地区における地質調査結果について発表する。

2 調査のながれ

今回話題提供する、平成23年台風12号で発生した深層崩壊・河道閉塞箇所の調査のながれを以下に示す。河道閉塞箇所の緊急調査は、現状把握・対策検討のための調査、避難判断監視機器設置・システム構築のための調査、ヘリによる上空からの監視が並行して実施された。大規模な河道閉塞箇所は5箇所あったため、5箇所それぞれについて、同時平行して緊急調査が実施された。なお、地質調査は、現在も順次実施されている。

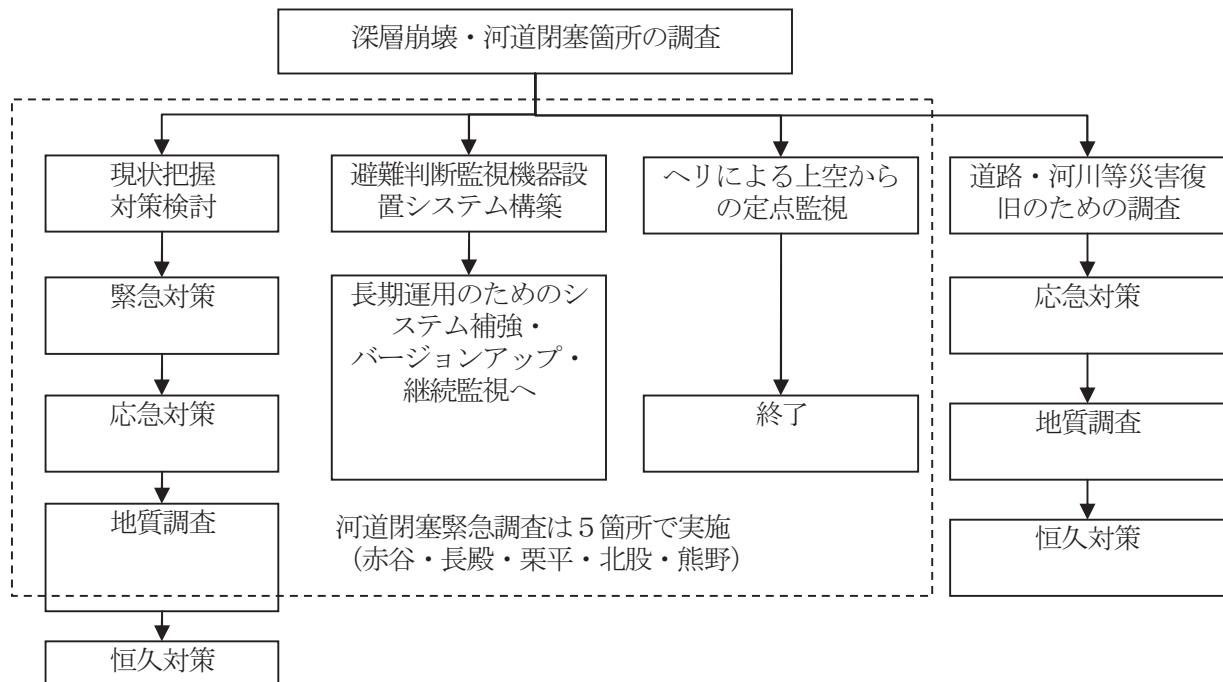


図2.1.1 深層崩壊調査のながれ

3 緊急調査

3.1 避難判断監視機器設置・システム構築

3.1.1 概要

テックフォースによる調査、ヘリによる上空からの監視調査、緊急応急対策検討と並行して、河道閉塞箇所における避難判断監視機器設置が順次行われた。監視機器については、少しでも早く設置し作動させるために、設置が容易な土石流センサと回転灯の簡易なシステムに始まり、商用電源を利用したサイレン作動、猿谷ダム管理所のダム放流警報システムへの接点信号送信による広域警報へと順次システムを拡張した。また、通信は、人力による有線敷設から、省電力無線、NTT 固定回線・携帯回線、KDDI (au) 回線の併用・切り替えと順次性能と安定性の向上を図った。

表 3.1.1 河道閉塞箇所の監視機器設置構築の時系列

日時	記事	備考
9月4日	大規模崩壊、河道閉塞が多数発生	
9月9日	近畿地方整備局建設コンサルタンツ協会近畿支部災害協定に基づく協力要請を受ける。	
9月10日	現地調査に着手、ヘリによる上空監視を開始。	
9月11日	現地調査で通信電波状況確認。	
9月12日	赤谷、長殿、栗平、熊野地区河道閉塞箇所下流に、土石流センサ、回転灯設置に着手。	
9月13日	4地区について、土石流センサ、回転等設置完了	北股地区が緊急調査箇所に追加指定
9月14日	14日以降に、サイレン、猿谷ダム管理所へのシステム接続、NTT配線工事、天然ダム水位計、振動センサ、崩壊検知装置、ITVからの水位確認用標尺設置等に順次着手。	商用電源(100V)使用契約、NTT回線利用手配、
9月15日	NTT回線利用申込書提出。NTT工事予定日は16日午前中に回答とのこと。	
9月16日	猿谷ダム管理所内で既往システムへの接点送信テスト。	地元への配慮、車両所有者を明示。
9月29日	猿谷ダム既往システムを活用した警報発令システム運用開始。	

3.1.2 現状把握

赤谷地区は、赤谷川を幅約400m、高さ約65mにわたって閉塞しており、上流側で湛水域が発生していた。収集資料、現地調査の結果、以下の状況にあることが確認された。

(1) 現地へのアプローチ方法

現地へのアクセスは、県道734号高野辻堂線のうち、大塔町清水地内（赤谷集落）より車両の進入が不可能である。この地点より河道閉塞部までの2.7km区間は、河原樋川の出水による路肩決壊ならびに赤谷地区の北東側で発生した別の大規模崩壊（1889年十津川水害時に崩壊した「ヒノセ山」の再崩壊）により道路が土砂で埋まるなどしており、徒歩によってしかアプローチ不能である。現地手前の国道168号は、五條市大塔町辻堂地先の鍛冶屋谷・柳谷で土石流が発生しており、さらに二次災害への恐れがあるため、昼間に限定して斜面監視を行いながら

らインフラ関連を含む緊急車両を通過させている。なお、夜間（午後 5 時 30 分～翌朝 7 時）は、緊急車両も含め、全面通行止めとなっている。

(2) 電力・通信インフラ

関西電力の送電網ならびにNTT西日本の電話線網は、赤谷地先より上流側は崩壊土砂等により、電柱が倒壊しているため途絶している。また、国道 168 号沿いでも複数箇所で断線による途絶が発生しており、順次復旧作業中である。

携帯電話通信網のうち、NTT ドコモについては、赤谷地区閉塞箇所より下流約 0.6km の奈良教育大学演習林近傍に基地局が設置されているが、上記商用電源が途絶しているため、稼働しておらず、現場近傍はサービス不能の状態であり、通信圏内となるのは十津川本川沿いままでとなっている。

また、KDDI (au) についてはNTT ドコモよりも河原樋川上流側まで通信圏内となっているが、河道閉塞近傍は通信圏外となっている（のちに赤谷大橋下流 1km 付近まで改善している）。

(3) 住民の避難状況

平成 23 年 9 月 9 日の時点で、赤谷地区河道閉塞の決壊の可能性があることから、五條市が大塔町宇井および大塔町清水地内に避難指示を出しており、流域の住民は避難している。

また、同様の理由により、下流の十津川村でも、村内北部の集落に対して避難指示を出しており、流域の住民は避難している。

なお、当該地区では、のちの平成 23 年 9 月 16 日～平成 24 年 2 月 7 日までの間、災害対策基本法第 63 条に基づく「警戒区域設定」がなされた。



図 3.1.1 赤谷地区 河道閉塞発生直後の状況

(H23. 9. 7 撮影、国土交通省 国土地理院／中部地方整備局／近畿地方整備局)

http://saigai.gsi.go.jp/h23-taihu12/airphoto/20110907nara/C04/C04_8312.jpg

3.1.3 緊急段階におけるシステム構築

現状把握結果を踏まえ、緊急対応として河道閉塞部の決壊等に関連する現象について把握し、地域住民および関係者に通報できるよう、土石流センサ、斜面崩壊検知センサ、振動センサ等の検知器の配置を検討した。設計に際しての要求事項ならびに設計方針は表 3.1.2 のとおりである。

[第2段階におけるダム放流警報装置の活用]

第2段階については、土石流氾濫シミュレーションの結果、通報が必要な範囲が十津川・河原樋川合流点の下流約 5km と広範囲にわたった。この区間の集落や国道沿いの主要箇所すべてに

サイレン等の警報装置を新設するには多大な時間を要するため、合流点の上流約 5km に位置する、近畿地方整備局紀の川ダム統合管理事務所が管理する猿谷ダムの放流警報装置が十津川沿いに分布していることから、これらの施設を活用し、下流住民への通報を行うこととした。

また、放流警報装置の制御端末がある猿谷ダム管理支所への接点信号の伝送は、公衆回線（固定または携帯回線）を活用する方針とし、固定回線にあっては無人監視制御装置を、携帯回線にあっては接点信号伝送装置および遠隔制御ユニットを利用することにより自動化する方針とした。

検討の結果、携帯回線は赤谷地区にある携帯基地局の復旧目途が立っていないかったのに対し、固定回線は、当時平成 23 年 9 月 17 日頃復旧の見込みであった。このため、固定回線による伝送システムを採用した。

表 3.1.2 緊急対応段階におけるシステム要求事項および具体的方法

段階	要求事項	設計方針
第 1 段階	土石流センサおよび警報器を現地に設置し、土石流センサの破断を警報器（回転灯およびサイレン）により周辺に通報すること。	<ul style="list-style-type: none"> 接点信号を有線ケーブルにより伝達し、集落近傍に設置した警報器を作動させることにより、住民・関係者に危険を周知する。 第 2 段階で使用する下流域へのさらなる信号伝達のため、警報器にて接点信号を分岐させる。
第 2 段階	土石流センサ・斜面崩壊検知センサ・振動センサによる情報を、下流住民に即時通報できるシステムを構築する。	<ul style="list-style-type: none"> 通報は広域にわたるため、既設の猿谷ダム放流警報装置を活用する。 現地から猿谷ダム管理支所までの信号伝送は、公衆回線（固定／携帯）を利用する。

前述の方針に基づき決定した、計器の種別・目的・設置場所は、表 3.1.3 のとおりである。

表 3.1.3 赤谷地区緊急段階における配置計器一覧表

計器種別・数量	目的	設置場所
土石流センサ (2 基)	河道閉塞部の越流等により発生する土石流を、センサが破断することにより検知する。	河道閉塞土砂先端部に相当する、赤谷と河原樋川との合流点の直上流
斜面崩壊検知センサ (9 基)	堆積している河道閉塞部の土砂が不安定化した場合、センサが一定以上の傾動を検知する。	堆積している河道閉塞部の下流側斜面
振動センサ (1 基)	近傍を土石流が流下した場合、一定以上の振動を検知する。	河道閉塞土砂先端部に相当する、赤谷と河原樋川との合流点の直上流（土石流センサ設置場所近傍）

3.1.4 応急段階におけるシステム構築

応急段階におけるシステム構築は、河道閉塞部の安定性に関する情報を取得し、避難判断等に関する情報を管理者が把握すること、インターネット等を利用して広く公衆に周知できること、河道閉塞部近傍における雨量ならびに湛水池、河原樋川の水位変動を検知できることを目的として、計器の設置を行った。

この段階では、現地状況データの取得、関係機関等への情報提供、周知を目的としており、設置する計器は、河道閉塞の越流等に関連する雨量、水位に関する計器となる。

表 3.1.4 赤谷地区応急段階における配置計器一覧表

計器種別・数量	目的	設置場所
雨量計 (1基)	河道閉塞部の流域内における雨量を把握し、越流の可能性の有無や猶予時間の把握に資する。	上空視界の開けた、河道閉塞部頂部付近の安定した箇所に1基設置する。
湛水池水位計 (2基)	河道閉塞により発生したダムの水位を測定し、越流までの猶予時間の把握や、越流発生の有無の判断に資する。	安定した湖岸部斜面から、水中に向けてケーブルを伸ばして設置する。バックアップのため、近接した箇所に合計2基設置する。
河川水位計 (2基)	赤谷地区では、土石流の発生により閉塞箇所が河原樋川に拡大する可能性が考えられることから、河原樋川の上下流での水位を把握することにより、河川閉塞の有無の判断に資する。	赤谷ー河原樋川合流点の上流側および下流側に各1箇所設置する。

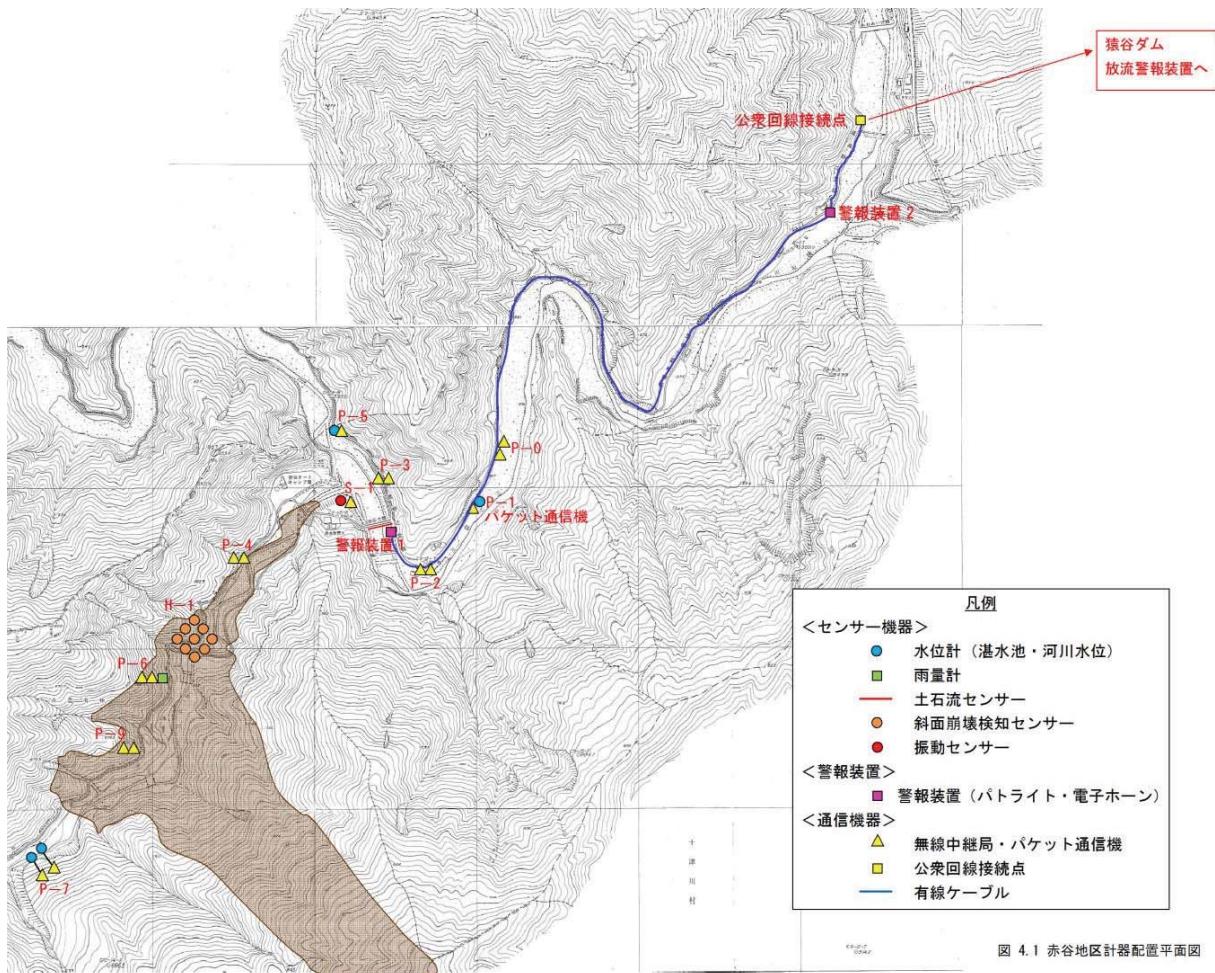


図 4.1 赤谷地区計器配置平面図

図 3.1.2 赤谷地区応急段階における監視機器設置位置図

3.1.5 長期観測対応システム構築

長期観測対応を念頭に置いたシステム構築は、緊急・応急工事の進捗に伴い、湛水部の変動幅が大きくなることに対応するほか、翌年度以降の出水期における水位の上昇まで視野に入れ、長期間にわたりて安定的な水位観測ができるよう、計器の仕様、数量、配置等について設計検討を行い、システムを構築した。

(1) 応急対応段階における課題

応急対応段階で構築した方法により水位を継続して測定してきたが、緊急工事の進捗により天然ダム水位が低下し、水圧式センサの設置標高を下回ったため、水位の測定ができない状況が発生した。

排水ポンプの稼働や応急工事の進捗によりダム水位が低下し、センサ設置標高よりも低くなった場合、センサに水圧が作用しなくなるため、その都度、応急措置として、水面の低下に合わせてセンサの設置位置を低くするなどの対応を行ってきた。長期観測対応に向けて、以下の問題点が生じている。

- ① 設置箇所（水面から下方）の斜面傾斜が緩い場合は、水深が深い位置までセンサを設置することができず再設置の頻度が増える（下写真参照）。
- ② 現在設置しているケーブル長が30mであり、水面の低下に追随させると、データロガーおよび通信機も移設が必要となる場合が生じてくる。通信機を移設すると、電波通信状態が不良となり、データの収集そのものが困難になる恐れがある。
- ③ データロガーおよび通信機を移設すると、次期出水の際に水没し、計測が不能となる恐れがある。



写真 3.1.1 水位計移設を行っても十分な水深確保が困難な例（栗平地区）

(2) 将来のダム水位上昇への対応

ダム水位の観測は、当面継続する計画であるが、再度出水が生じた場合には、最大で想定越流標高までダム水位が上昇する可能性がある。したがって、想定越流標高までダム水位が上昇した場合でも、継続して水位測定ができるよう、施設配置を調整する必要がある。

表 3.1.5 各河道閉塞の想定越流標高（設計検討段階（H24.1.7）時点）

地区	赤谷	長殿	栗平
想定越流標高	499.5～500.5	499.0～500.0	571.0～572.0
現在の水位（工事業者測定）	494.6	461.3	559.25
満水になるまでの概ねの高さ	4.9～5.9	37.7～38.7	11.75～12.75

水位は1月7日16時現在の値、単位：メートル

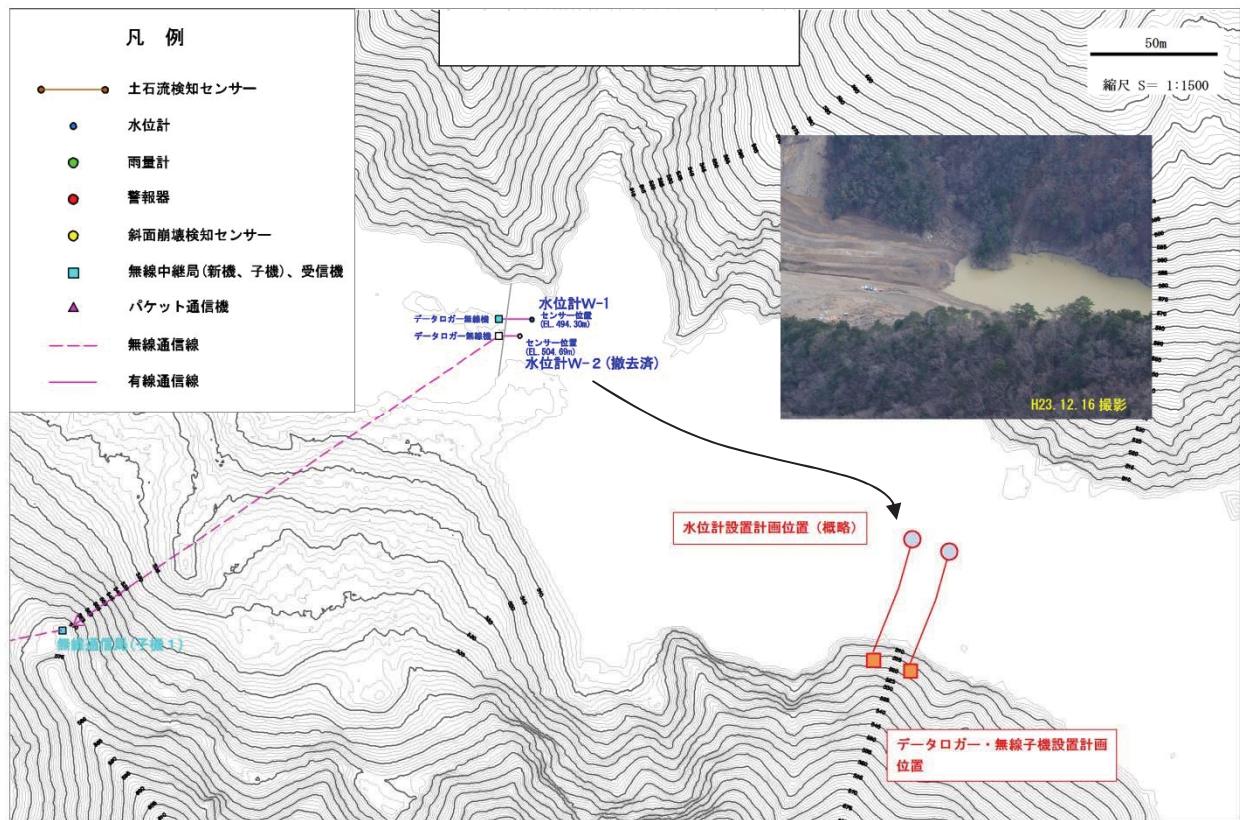


図 3.1.3 水位計の移設箇所平面図

(3) 水位計の仕様変更および移設

上記の問題点を解決し、将来にわたって安定的な水位観測ができるよう、ケーブル延長および測定範囲の大きい水位計に交換するとともに、水深の確保できる位置に水位計を水没させて設置することを計画した。長期観測対応水位計は、以下の方法で設置した。

- ① 資材は、車両にて、ダム上駐車場まで運搬し、そこから、運搬車にて、排水路入口まで運搬する。その後は、人力で運搬を行う。
- ② 穴あきのステンレス製保護箱にセンサを収納する。
- ③ ステンレス保護箱からデータロガーまでの間は、FEP管（Φ20mm）にてセンサケーブルの外周を保護し、さらに湖底に着床させるため、5m程度の間隔で保護管に鉄筋（D16,L=1m程度）を接合させる（図 3.1.4 参照）。
- ④ ゴムボートにて、水位計を格納した保護箱を、天然ダム湖中央または、ケーブルが伸びるまで運び、保護箱を沈める。
- ⑤ 想定越流高さより高い位置に設置したデータロガーにケーブルを接続する。

設置参考図
(赤谷・長殿)

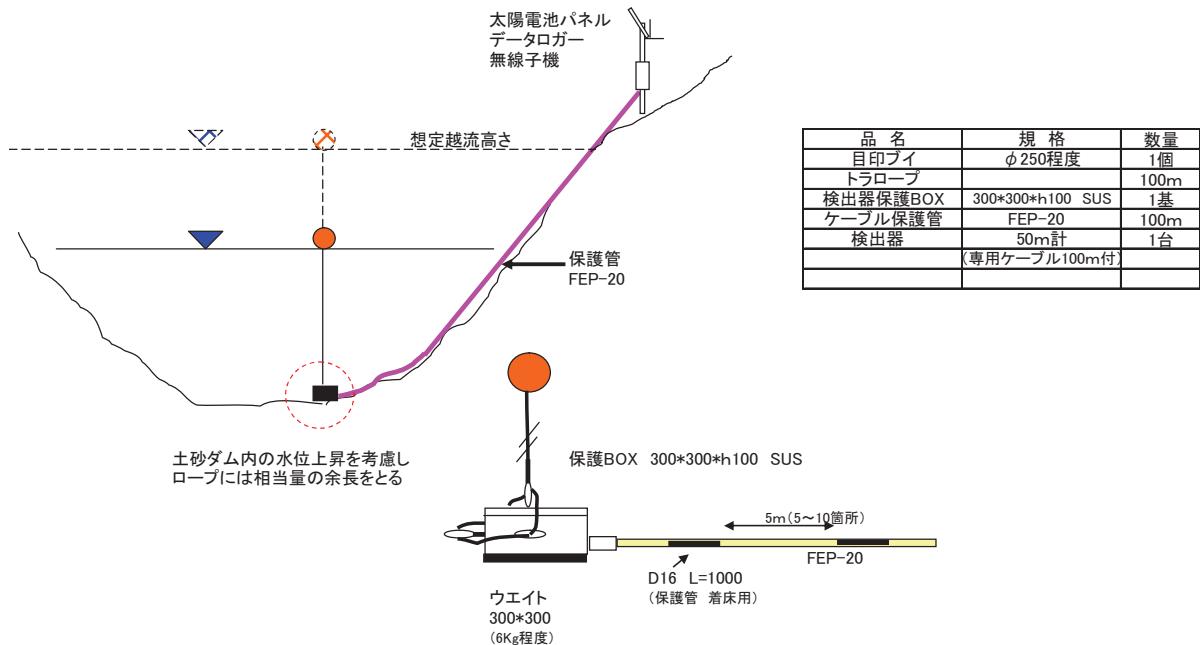


図 3.1.4 長期観測対応水位計設置模式図

3.1.6 避難判断監視機器設置・システム構築における課題

(1) 現地へのアプローチ方法

アプローチ方法現地調査と平行して、地域の道路事情に精通した土木事務所、自治体、森林組合等にヒアリングすることが必要である。

(2) 電力・通信インフラの復旧と避難判断監視機器設置

大規模かつ同時多発的な災害の場合、電力・通信インフラの復旧に1～2週間を要することも考えられる。電力・通信インフラが利用出来ない緊急・応急対応段階において自律型の電源・通信機能を備えた、土石流センサ、水位計、警報システムの開発が望まれる。

現在、自律型の電源・通信機能を備えた機器として、投下型水位計[土研式水位観測ブイ (投下型)]が実用化されており、台風12号河道閉塞箇所の水位観測で大きな効果を発揮した。

(3) 人海戦術からICT技術を活用した避難判断監視機器の開発

赤谷地区では、数キロの区間に人海戦術によるケーブル敷設、緊急避難判断監視機器の設置を短期間で行った。今後は、ICT技術を活用した緊急避難判断監視機器の開発が望まれる。

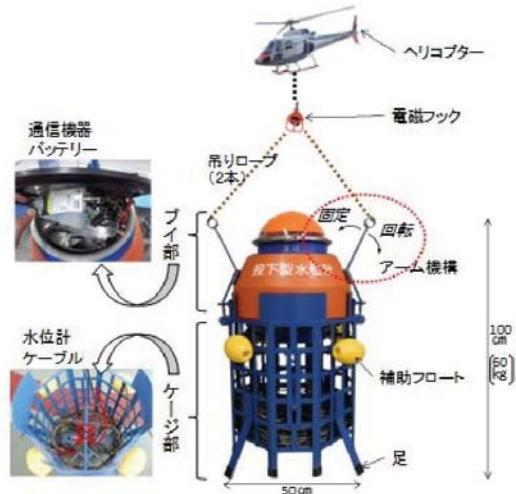


図 3.1.5 投下型水位計

4 長殿地区・栗平地区の調査

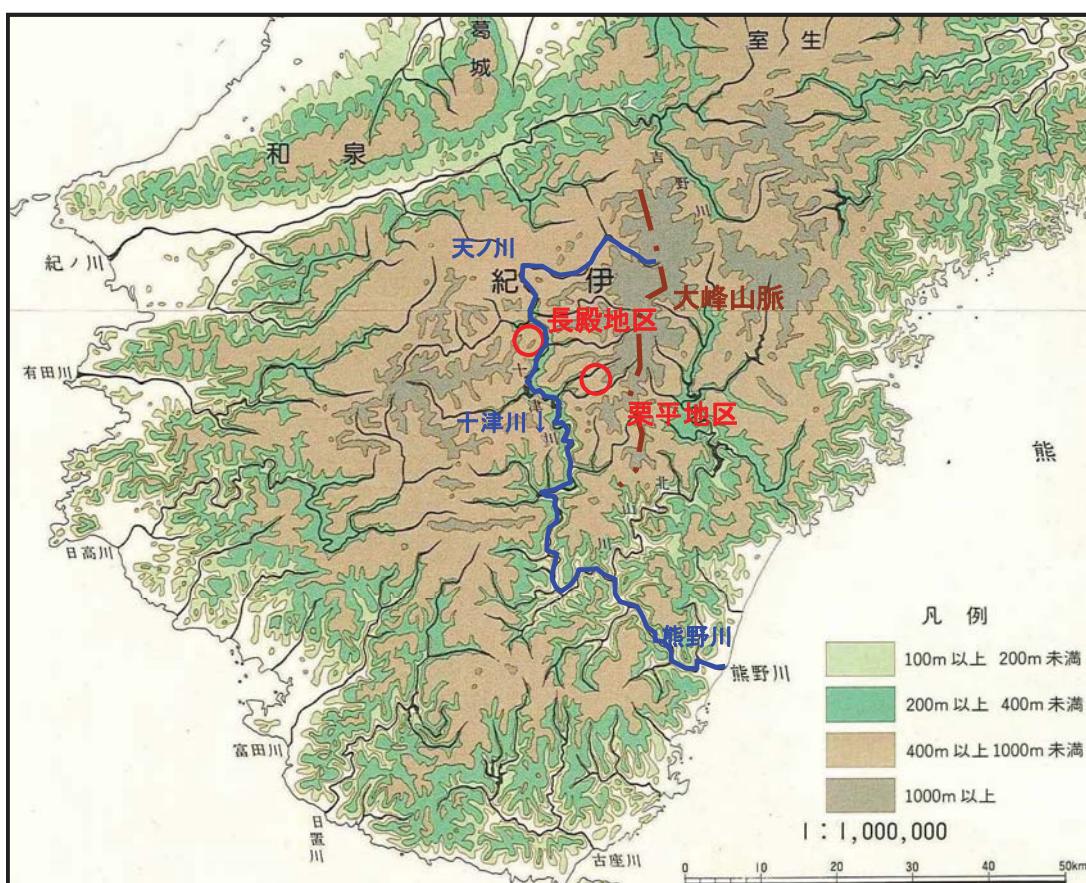
4.1 調査地周辺の地形地質概要

4.1.1 調査地周辺の地形概要

長殿地区は、奈良県吉野郡十津川村北端部に位置する。十津川村を縦断して流下する十津川（熊野川）の右支流である長殿谷の右岸、本流との合流点から上流約1km右岸斜面で崩壊が発生した。周辺の地形は、標高700～1000m程度の急峻な山地である（図4.1.1）。熊野川の谷はV字形を呈し、谷幅は狭いが、長殿地区より下流では熊野川は谷が埋積され、現河床は比較的広くなる。長殿谷合流点での河床標高は340m、崩壊発生地直下の河床標高は410mである。

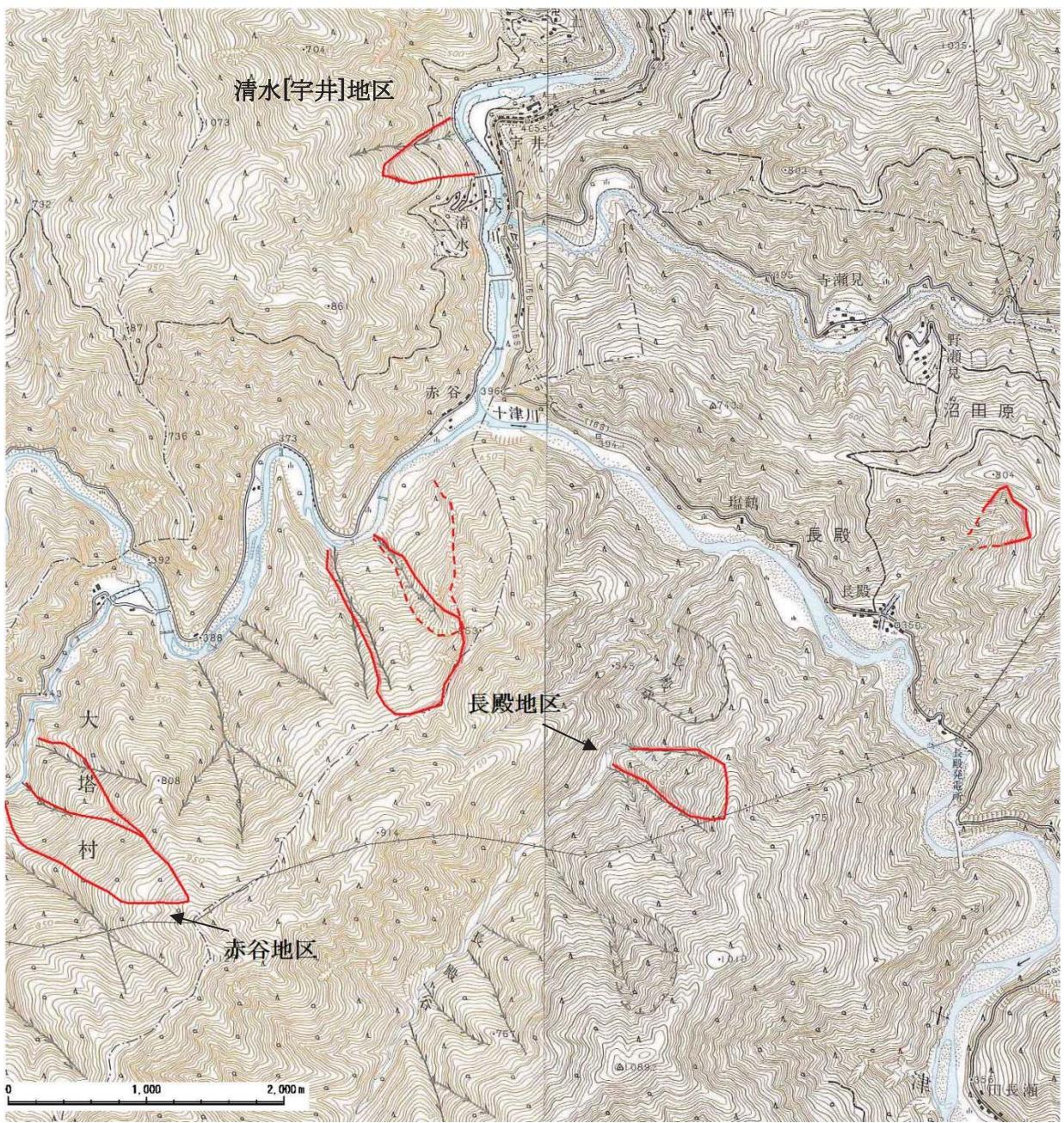
平成23年の豪雨では、長殿谷のほか、近傍の赤谷、川原樋川右岸（樋ノ瀬山）、長殿濁谷などでも深層崩壊が発生し、この付近は深層崩壊発生の集中域のひとつとなっている。

栗平地区は、奈良県吉野郡十津川村の東端部に位置する。十津川村を縦断して流下する十津川（熊野川）の左支流である滝川のまた左支流の栗平川の左岸に位置する。支流の谷の方向は、概ねENE-WSW方向で地質の配列と調和している。周辺の地形は、標高700～1000m程度の急峻な山地である（図4.1.1）。栗平川の谷の断面形はV字形、平面的には穿入蛇行の形態を示し谷幅は狭いが、滝川との合流点より下流では、現河床幅は50～100mを示し風屋ダム下流で十津川と合流する。



近畿地方土木地質図解説書：近畿地方土木地質図編纂委員会（昭和56年3月）

図4.1.1 紀伊半島の標高区分図



(2万5千分の一地形図「辻堂」、「上垣内」(両図幅とも平成11年修正測量) . 国土地理院)
赤実線は平成23年豪雨による深層崩壊発生箇所、点線は明治十津川水害時の深層崩壊箇所

図 4.1.2 長門との地区周辺の深層崩壊発生箇所平面図

4.1.2 調査地周辺の地質概要

長殿地区、栗平地区は中央構造線以南の西南日本外帯に位置する。中央構造線以南における紀伊半島の地質を大分類すると、北より三波川帯、秩父帯、四万十帯に区分される。これらは主に古生代～中生代の海底堆積物（泥・砂・火山噴出物等）を起源とした付加体で、広域変成作用を受けた変成岩類若しくは堆積岩類からなる。このうち、長殿地区、栗平地区周辺は紀伊半島中央部～南部に分布す

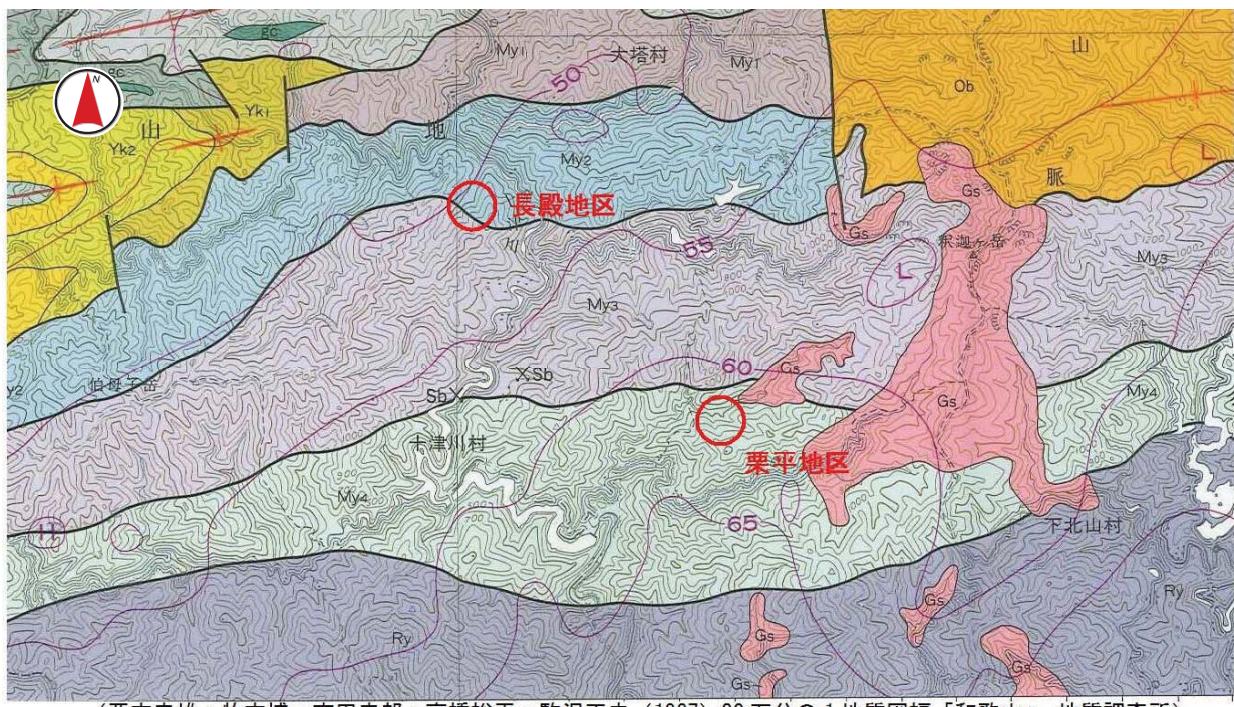
る白亜紀～古第三紀付加体である四万十帯に属する。

長殿地区は、20万分の1地質図幅「和歌山」によると、四万十帯日高川層群の美山層のMy2ユニット（頁岩及び砂岩頁岩互層）の分布域である。層序的に下位となるMy3ユニットとの境界に近い。

長殿地区周辺地域の美山層の主要地質構造は、走向EW～NE、傾斜N～NWである。調査箇所の地質構造は、広域的な地質構造と一致し、走向N70～80°W、傾斜35～45°を示す。このような構造は、大局的な地質構造で区切られたユニット内の局所的な褶曲あるいは断層と推定される。調査箇所付近の層理面は、走向N15～30°E、傾斜30～40°を示し、斜面に対し概ね流れ盤構造を呈する。

栗平地区は、調査箇所は、四万十帯日高川層群の美山層のMy4ユニット（頁岩及び砂岩頁岩互層）の分布域である。層序的に下位となるMy3ユニットとの境界に近い。調査箇所周辺地域の美山層の主要な地質構造は、走向E-W、ないしNE-SW、傾斜N～NWである。調査箇所の地質構造は、広域的な地質構造と一致し、走向E-W、ないしENE-WSW、傾斜25～45°を示す。このため調査箇所付近の地層は、調査地の深層崩壊斜面に対し概ね流れ盤を示す。

長殿地区、栗平地区周辺を構成する頁岩・砂岩頁岩互層は、付加体形成時の変形が顕著で、層理面に平行、あるいは斜交する劈開（岩石が鱗片状に細かく割れること）や小断層がよく発達する。また褶曲構造も普通に見られ、地層のうねりが激しい。上記のような地質構造を大局的には示すが、局的には相当の変化を示す場合もある。



(栗本史雄・牧本博・吉田史郎・高橋裕平・駒沢正夫 (1997) 20万分の1地質図幅「和歌山」. 地質調査所)

図 4.1.3 調査地周辺の広域地質図

4.2 長殿地区における調査結果

4.2.1 発生前斜面の地形的特徴

長殿谷周辺を対象に、深層崩壊発生前の地形図および空中写真を用いて、地形判読を実施した。図4.2.1、図4.2.2に地形判読結果を示す。深層崩壊発生前斜面の地形的特徴は、以下のとおりである。

- 両側を沢地形で挟まれ、斜面末端が先細りとなる凸状地形を呈する。

- ・斜面末端および側部には崩壊地形が分布する。
 - ・凸状斜面に遷緩線が複数存在するとともに、不明瞭な谷地形が複数分布する。
 - ・斜面上部に緩斜面が分布するとともに、斜面山腹には崩壊跡地形が複数分布する。
- 微地形の分布をみると、典型的地すべり地形とは異なる。深層崩壊発生前の微地形分布から深層崩壊範囲を明確に判読することは困難であるといえる。

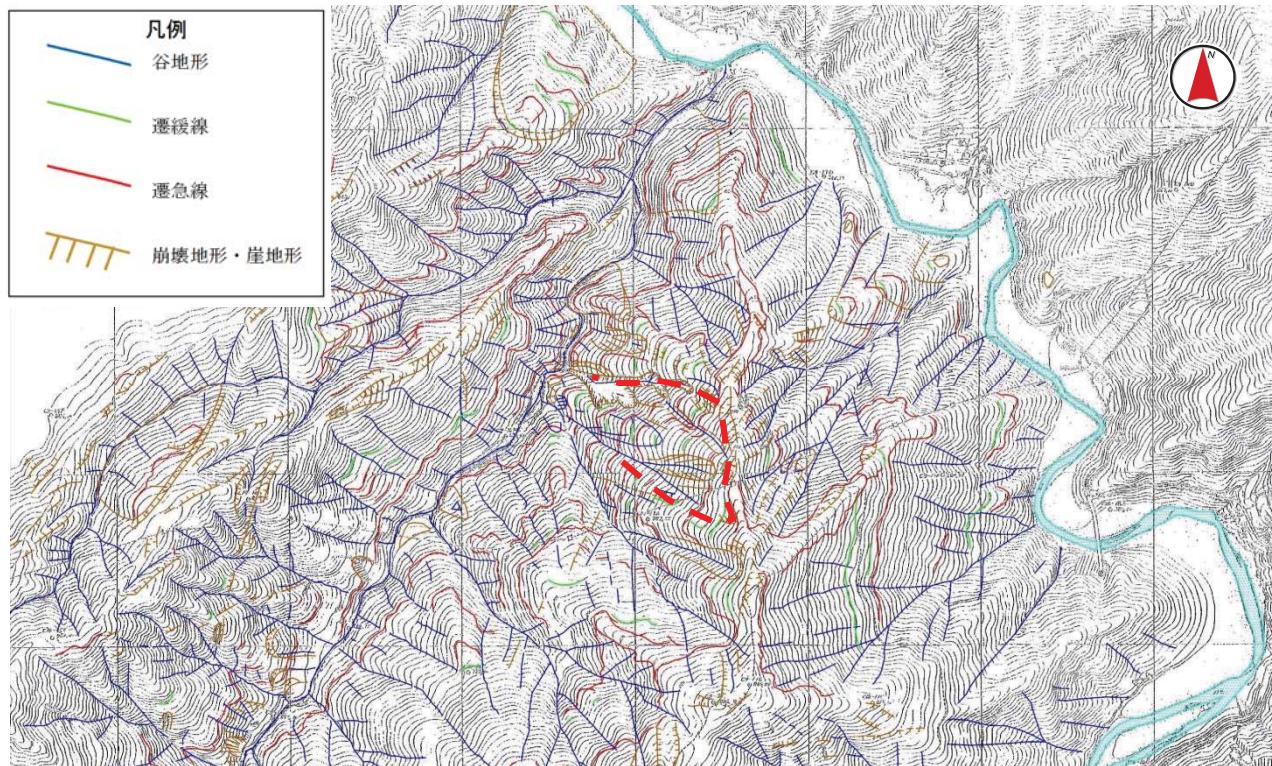


図 4.2.1 長殿地区周辺地形判読図（基図：森林基本図）

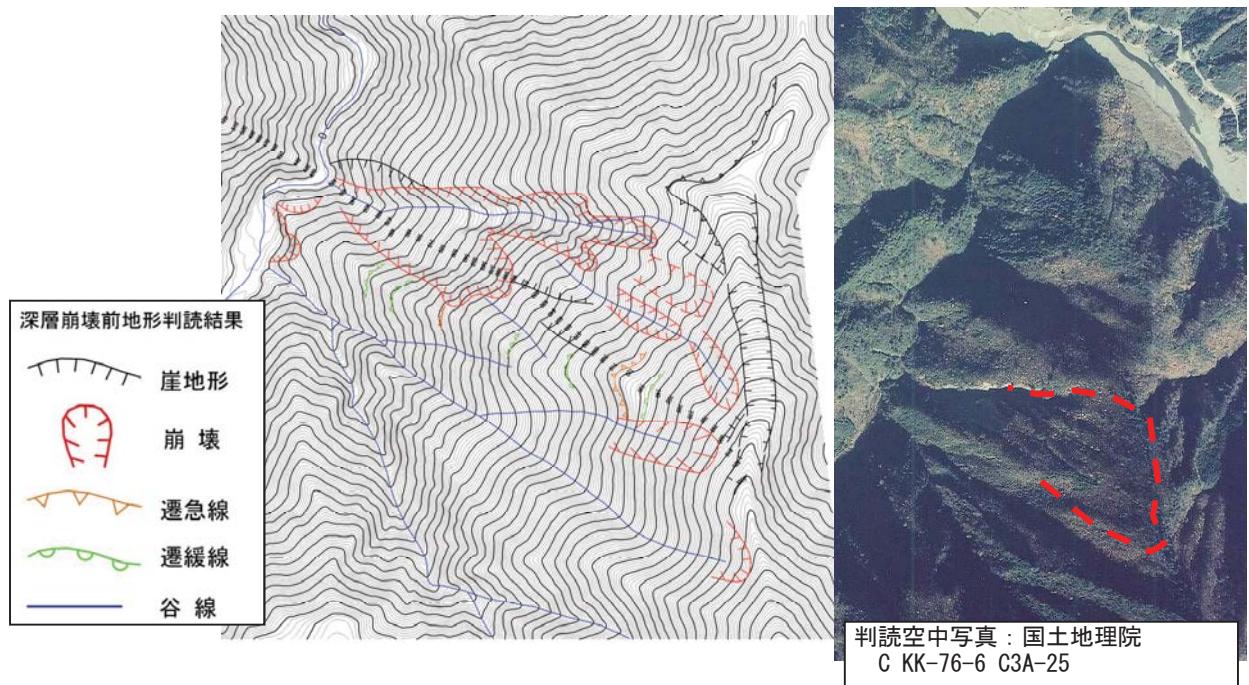


図 4.2.2 長殿地区における深層崩壊発生前地形判読図（基図：平成 21 年撮影 LP 図）

4.2.2 深層崩壊発生後の地質調査結果

(1) 深層崩壊範囲と崩壊規模

現地状況写真を下図に示す。現地踏査結果、深層崩壊発生前後のLPデータを元にした標高差分図、後述する調査ボーリング結果から、深層崩壊範囲と規模を推定した。図4.2.4に深層崩壊発生前後の標高差分平面図を、図4.2.5に深層崩壊発生範囲平面図を、表4.2.1に深層崩壊規模を示す。

- ・主要な深層崩壊発生範囲は、深層崩壊発生範囲の中央付近の範囲で、逆三角形を呈する。
- ・主要な崩壊範囲の下流側部に、隣接して二次崩壊が分布する。
- ・滑落崖上流側には、崩壊範囲が拡大した二次崩壊が分布する。
- ・平成23年台風崩壊体積は、約500～600万m³と推定される。

表 4.2.1 長殿地区の崩壊規模

長殿地区 崩壊		幅 W (m)	奥行 L (m)	深さ D (m)	推定体積 V (m ³)	崩壊深さ根拠	体積算出方法
主要崩壊		250	500	60	5000000	滑落崖の崩壊深 調査ボーリング	$V=W*L*D*2/3$
二次崩壊	下流側 二次崩壊	100	50	10	30000	滑落崖の崩壊深	$V=W*L*D*2/3$
	上流側 二次崩壊	120	100	30	240000	滑落崖の崩壊深	$V=W*L*D*2/3$
		崩壊体積 合計		5270000			

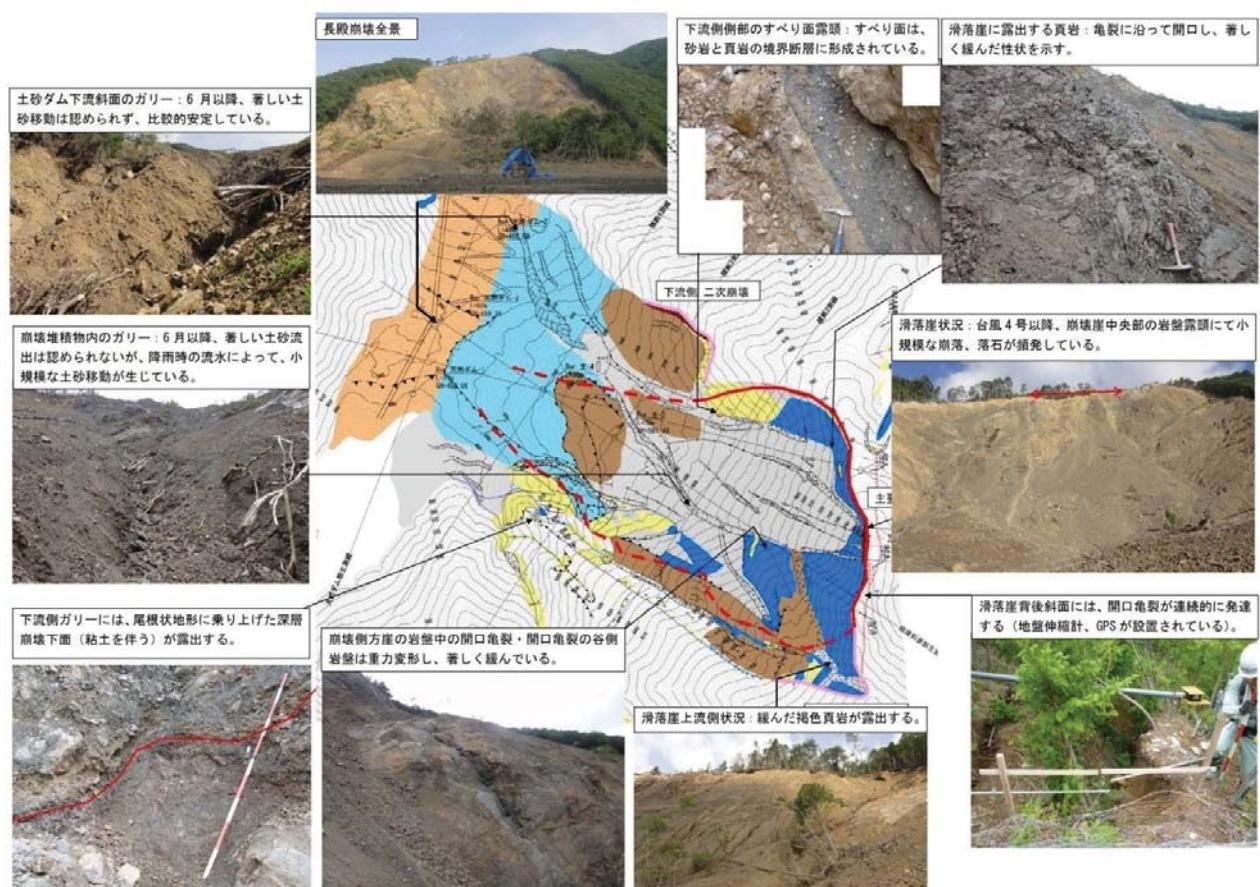


図 4.2.3 長殿地区の現地状況写真

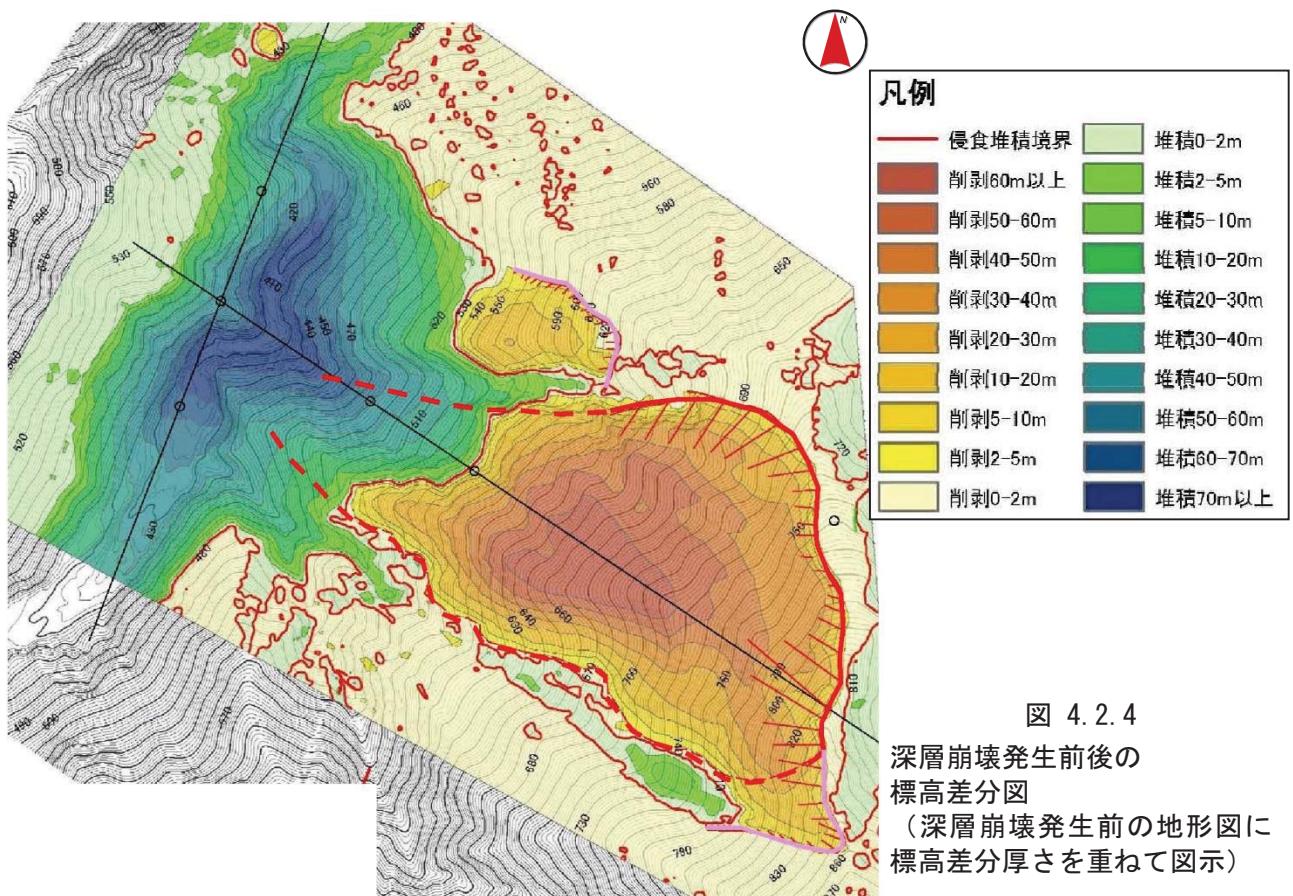


図 4.2.4

深層崩壊発生前後の
標高差分図

(深層崩壊発生前の地形図に
標高差分厚さを重ねて図示)

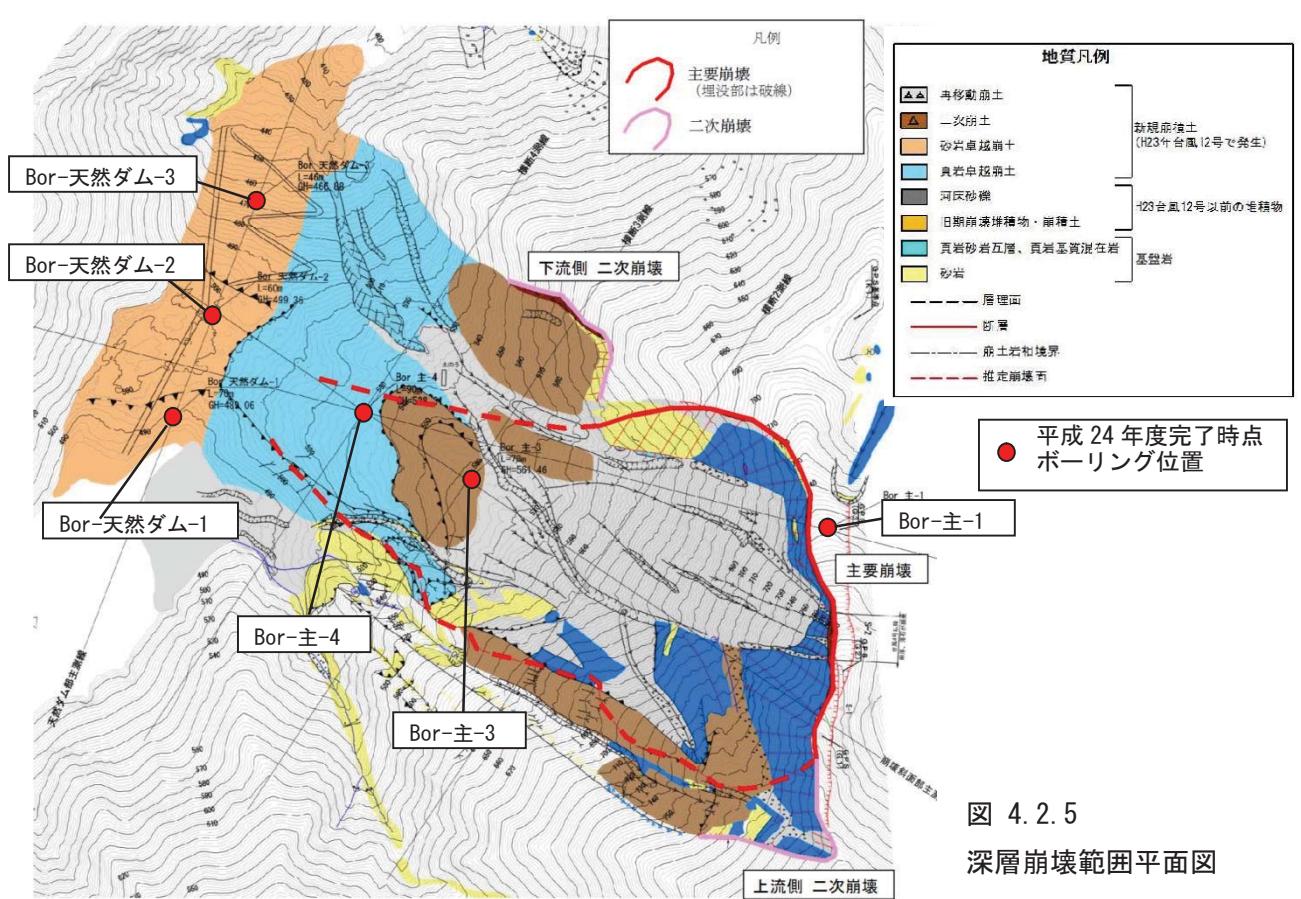


図 4.2.5

深層崩壊範囲平面図

(2) 地質状況

平成 24 年度完了時点で、天然ダム部で 3 孔、深層崩壊発生斜面で 3 孔の計 6 孔の機械ボーリングが実施されている。図 4.2.5 にボーリング位置を示す。地質調査結果をもとに作成した、深層崩壊主測線における地質断面図、地質横断図、天然ダム部における地質断面図を図 4.2.6、図 4.2.7 に示す。表 4.2.2 に移動土塊下面付近の地質性状を示す。

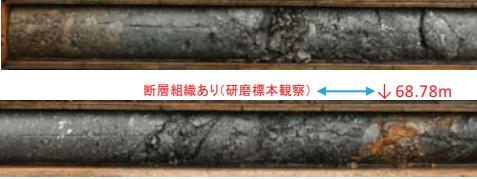
① 地質構造

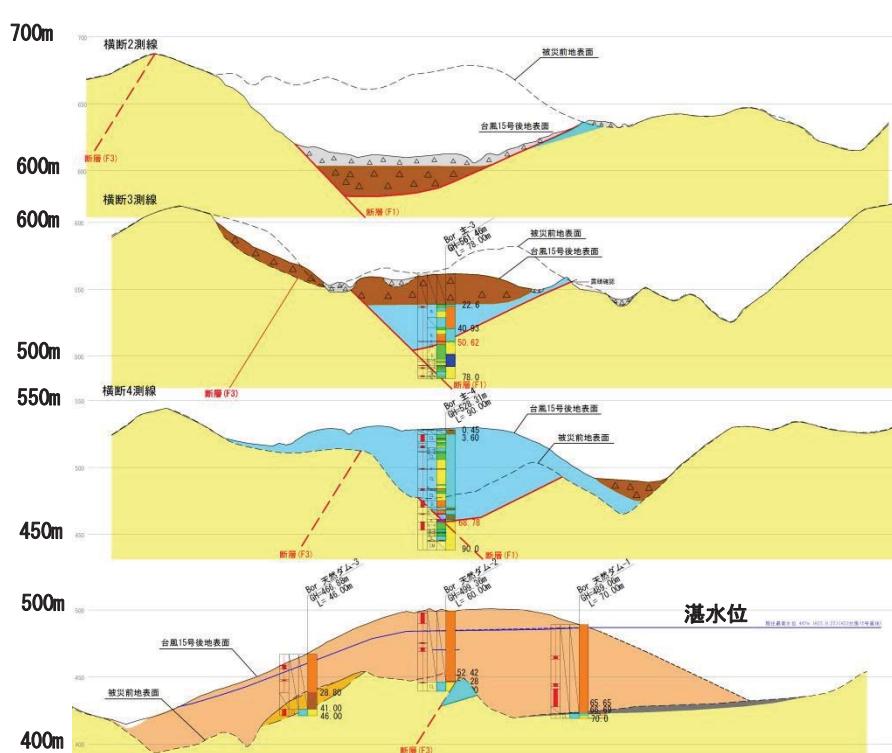
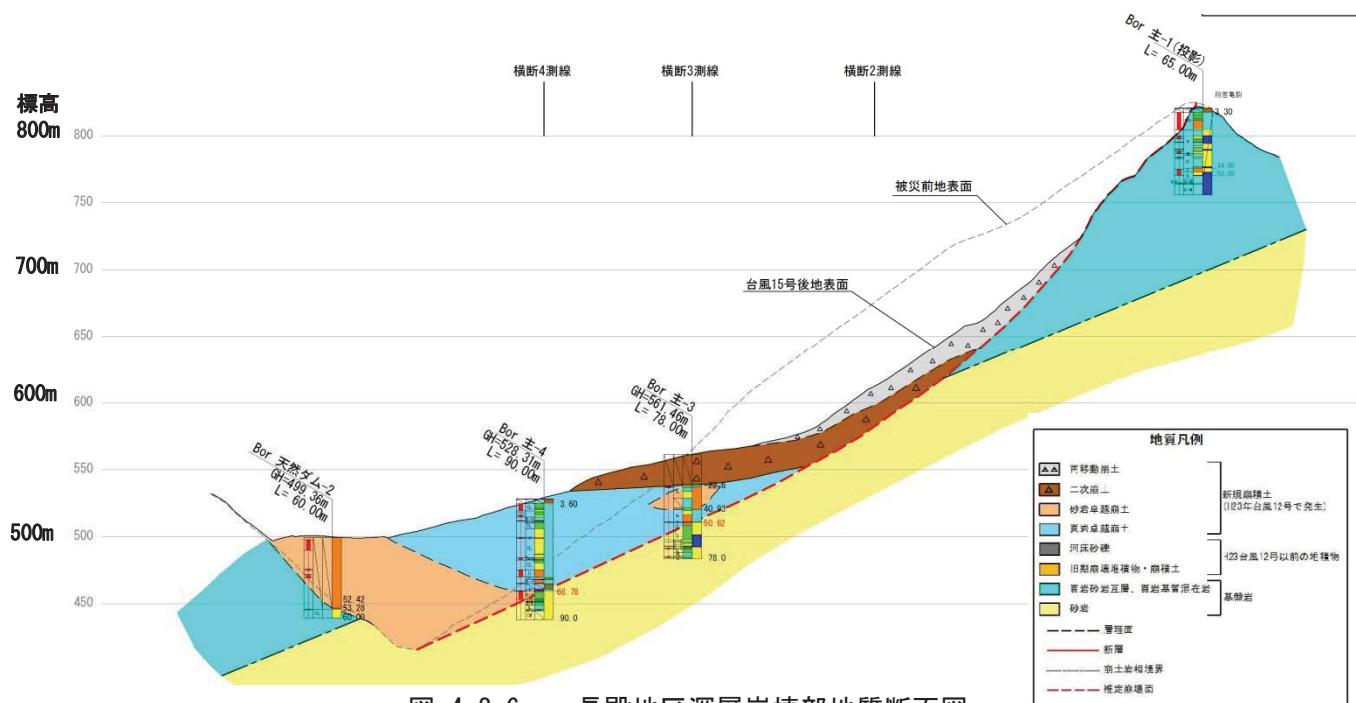
深層崩壊斜面の地質は白亜紀付加体の四万十帯美山層に属する。砂岩層（一部頁岩層挟む）の上位に頁岩優勢層が重なり、層理面は斜面に対し斜交した流れ盤構造を示す。深層崩壊の下流側部に断層が分布し、深層崩壊側部は断層で規制される。

② 深層崩壊移動土塊の性状

深層崩壊土砂は、主要崩積土、二次崩積土、崖錐堆積物に区分される。主要崩積土には複数回の堆積を示す構造は認められない。主要崩積土の谷側（河道閉塞部側）表層は、砂岩角礫に覆われ地表性状は失われるが、山側表層は樹木が立ち地表性状が残る。主要崩積土の谷側（河道閉塞部側）は砂岩優勢、山側は頁岩優勢となり、地山の層序を保存するが、境界面は逆傾斜を呈する。岩相境界面（層理面）の変位から、深層崩壊の移動量は約 350m と見積もられる。崩壊面の形状は、層理面にほぼ平行な面と、下流側の断層によるクサビ状の形状が推定される。崩壊面上の擦痕から推定される移動方向は、層理面と下流側断層面の交線方向に近い。

表 4.2.2 深層崩壊移動土塊下面付近の性状

孔番	孔口標高 -旧地表 面標高 (m)	移動土塊下面 推定深度 (GL-m)	性状	コア写真	推定根拠
Bor-天然 ダム-1	65	65.78	木片を多量に含む礫混じり粘土。	↓65.78m 	深度65.78～66.66mの砂礫は、円磨度、淘汰が良好であり、66.66m以深は岩盤が分布することから河床砂礫と推定され、深度65.78mが新期崩積土下面と推定される。
Bor-天然 ダム-2	46	52.42	砂岩優勢の岩片～礫状。	↓52.42m 	52.42～53.28mは、締まり具合の良好的な礫混じり粘土であり、53.28m以深は岩盤が分布することから古期崩積土と推定され、深度52.42mが新期崩積土下面と推定される。
Bor-天然 ダム-3	27	28.85	砂岩優勢の岩片～礫状。	↓28.85m 	53.28～53.85mは、締まり具合の良好的な礫混じり粘土であり、53.85m以深は岩盤が分布することから古期崩積土と推定され、深度28.85mが新規崩積土下面と推定される。
Bor-主-3	-3	50.62	頁岩～砂岩起源の礫混じり粘土 (Cr-3: 深度50.25～50.62m)。	無構造(研磨標本観察) ↓50.62m 	深度50.62m以浅は破碎されたコアを主体として、深度50.25～50.62mは無構造の角礫混じり粘土コアであり、深度50.62m以深は、破碎されているものの岩組織は認められる。したがって、深度50.62mが崩壊下面と推定される。
Bor-主-4	50	67.13～ 68.78付近	礫混じり粘土状から角礫状コア(礫支持～基質支持、礫計2～10mm、平均4mm)。礫は砂岩～頁岩の角礫。基質は頁岩期限の軟質で粘性の高い粘性土。	↓67.13m 無構造(研磨標本観察) ↓68.78m 	深度67.13～68.78mには一部で断層の構造が認められる。下面深度68.78m付近は断層の組織が明瞭である。一方、この区間には、無構造の区間も認められる。このため、断層破碎帶を起源とした区間に崩壊下面が形成されたと推定される。



③ 岩盤の破碎構造

岩盤の破碎状況を把握することを目的として、コア観察および露頭観察結果を基に、脇坂ほか(2012)に基づく破碎度区分を行った。表 4.2.3 に破碎度区分を、図 4.2.8 に深層崩壊部破碎度区分断面図を示す。

- ・主要崩積土: 主要崩土の山側表層は破碎度が低いが(Cr1~2)、崩壊面に向かって破碎度が増大し、崩壊面付近はCr3~4が分布する。崩壊面直上の崩土は基質支持の無構造な礫混じり粘土から構成される(写真4.2.1)。崩積土末端Bor-主-4の崩壊面上のCr3~4区間は深度53.1~68.8m(崩壊面深度)に分布し、厚さ15mに達する。河道閉塞部の対岸地山に近い部分の崩土は、岩塊状～角礫状を呈し空隙に富み、搅乱された性状を示す。
- ・崩壊面より下位の岩盤: 崩土末端Bor-主-4では崩壊面深度から下位14mまで、崩積土上部Bor-主-3では崩壊面深度から下位27m以上にわたって、崩壊面より下位の岩盤に破碎構造(Cr1~2)が認められた。
- ・背後尾根部: 尾根部Bor-主-1では深度50.7mまで破碎構造(Cr1~2)が認められた。深度44.9~48.0mにはCr2~3の区間が含まれるが、この区間は岩片～角礫を主体としており、岩組織が残存する(写真4.2.2,写真4.2.3)

表 4.2.3 破碎度区分

破碎度区分	Cr-1a/Cr-1b	Cr-2	Cr-3	Cr-4
破碎の状況	Cr-1a:開口割れ目 Cr-1b:割れ目を細粒物が充填	角礫岩		
基質の量			礫支持	礫支持～基質支持
礫径			20～100mm	10～20mm
コア状況	 	 	 	

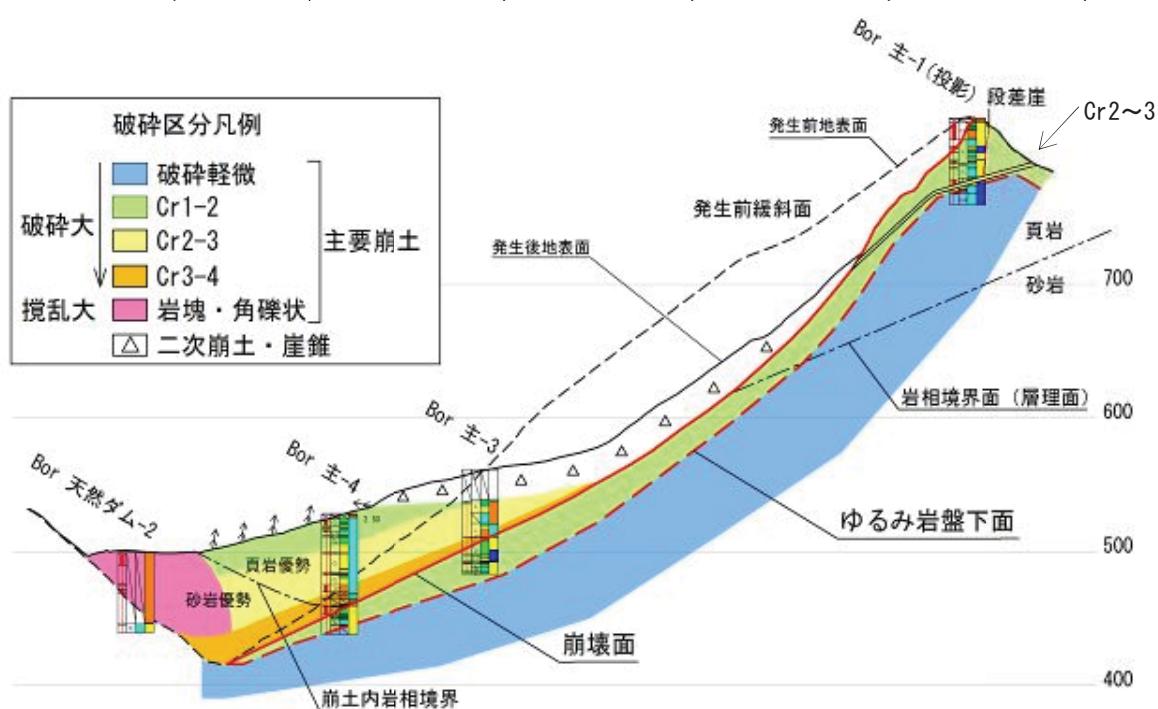


図 4.2.8 長殿地区深層崩壊部破碎度区分断面図

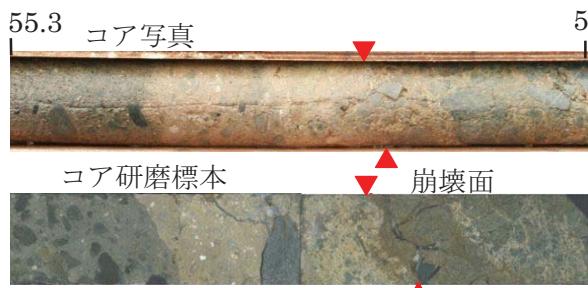


写真 4.2.1 崩土上部 Bor-主-3 崩壊面付近の破碎構造 (Cr3~4)



写真 4.2.2 背後尾根部 Bor-主-1 ゆるみ下付近の破碎構造 (Cr2~3)

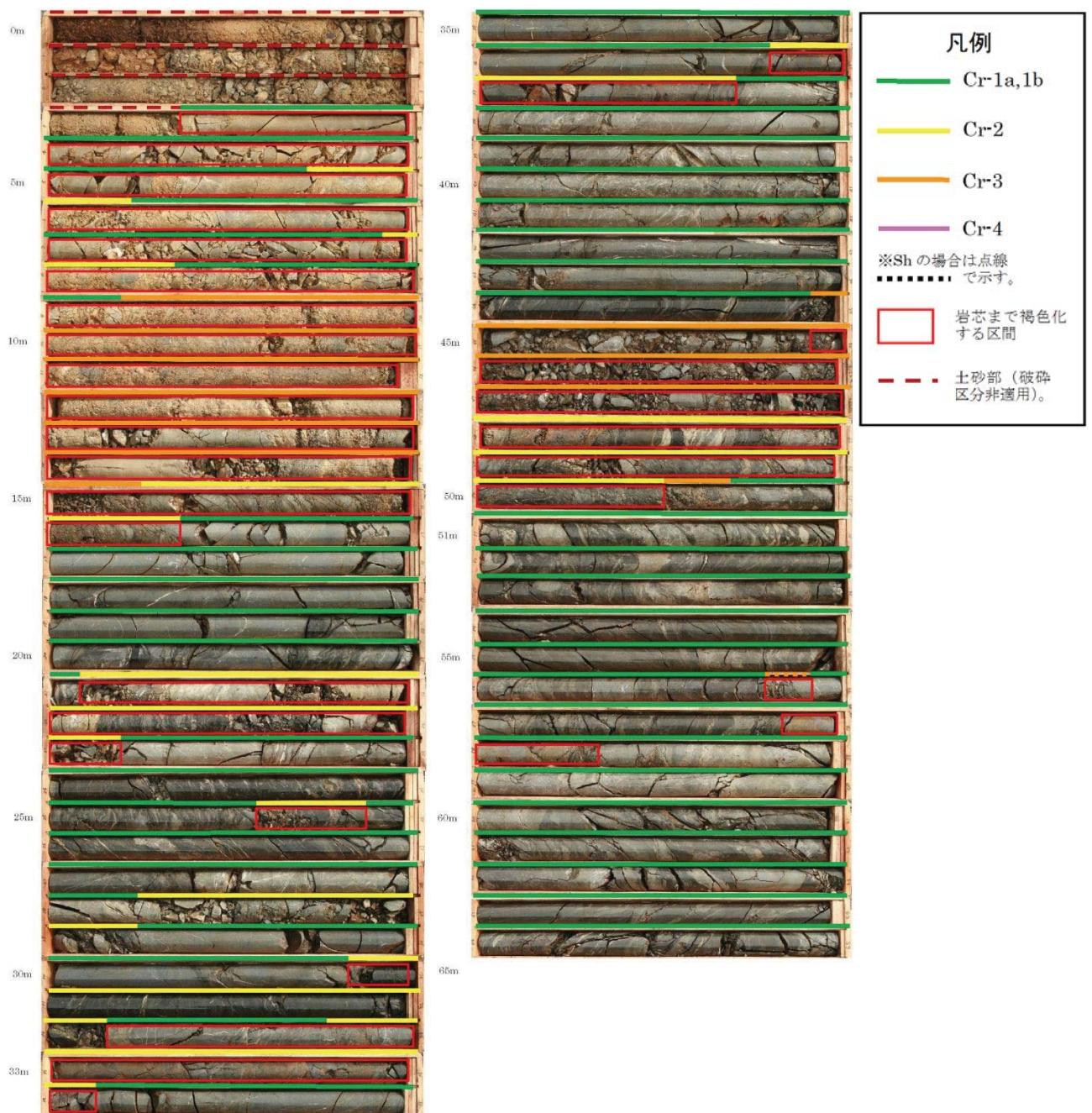


写真 4.2.3 背後尾根部 Bor-主-1 コア写真

4.2.3 考察

(1) 深層崩壊発生前斜面の岩盤ゆるみ状況

深層崩壊範囲より上方の尾根部でのボーリング結果、深層崩壊面より下位深度でのボーリングコア観察結果から、深層崩壊発生前斜面には厚さ 40～90m と厚い破碎岩盤が分布していたことが推測される。深層崩壊発生前斜面に山頂緩斜面、段差崖で画された溝状地形、末端崩壊が認められたことから、厚い破碎岩盤は、重力性変形に伴う岩盤のゆるみに起因して形成されたものと推察される。ただし、深層崩壊発生前の微地形分布の特徴からは地すべり地形は認定できないとともに、深層崩壊発生範囲を明確に判読することは困難である。

背後尾根部のコアには、地すべり粘土の様な無構造の細粒区間が発達せず、微地形分布から変動範囲を明確に判断できないことから、発生前斜面では連続したいわゆるすべり面は形成されていなかつた可能性が示唆される。

深層崩壊発生前斜面にはすべり面としては未発達であったものの、重力性変形に伴い基盤岩と破碎された岩盤との境界付近は不連続部が徐々に形成されており、台風 12 号豪雨時にはそれらに過大な間隙水圧が作用することにより、せん断強度が低下し、深層崩壊に至った可能性が考えられる。

また、深層崩壊発生斜面の形状を見ると、平面形状は逆三角形型を呈しているとともに、断面形状は相対的に末端付近の層厚が薄い、くさび状を呈している。これらの斜面形状は、斜面末端付近に応力が集中しやすい形状といえる。このため、斜面末端付近の崩壊の進行が、斜面全体の緩みの進行を助長した可能性が推察される。

(2) 深層崩壊発生の素因・誘因

現段階では、水理地質特性と深層崩壊発生メカニズムとの詳細な関連性は不明であるが、以下の複数の要因によって深層崩壊は発生したものと推定される。

1) 素因

① 流れ盤の地質構造分布

頁岩中のへき開・層理、砂岩中に挟まれる頁岩層も流れ盤の方位を示す。

② 高角亀裂系の分布

西北西走向の亀裂（剪断面、節理）が複数認められる。

③ 下流側部を規制する断層の分布

下流側部は、断層が認められ、断層沿いには粘土分を含む破碎帶が分布する。

④ 緩み岩盤の分布

・背後斜面の Bor-主-1 孔で緩んだ岩盤が深部（厚さ 50m）まで分布することから、深層崩壊発生前から重力変形が生じていたことが推定される。

・ただし、深層崩壊発生前の微地形分布から重力変形範囲を明確に判読することは困難であることから、深層崩壊範囲を岩盤緩み範囲の全域にわたる変状の連續は不明瞭であり、Bor-主-1 孔の緩み岩盤下面の破碎部は、粘土分が少なく、剪断による細粒化がそれほど進行していないことから、深層崩壊発生前斜面に連続したすべり面は形成されていなかつたと考えられる。

・①、②、③の組み合わせによるクサビ状の崩壊面が形成されやすい地質構造であった。

⑤ 地質構造に規制された地下水理特性

流れ盤の地質構造、下流側部の断層（破碎帯に粘土を挟む）によって、対象斜面下流側は地下水が集まりやすく、断層沿いで遮水される可能性がある。

岩盤クリープ範囲は開口亀裂が多数発達し、範囲外および以深の岩盤と比較して透水性が高いと推定される。このため、今回の台風12号の降雨パターンのように長時間に地下水が供給される環境下において、地下水は緩み岩盤に貯留されやすいことが予想される。

2) 誘因

- ① 深層崩壊発生前斜面には、重力性変形に伴い基盤岩と破碎された岩盤との境界付近は不連続部が形成されており、台風 12 号豪雨時にはそれらに過大な間隙水圧が作用することにより、せん断強度が低下し、深層崩壊に至った可能性が考えられる。
 - ② また、深層崩壊発生斜面の形状を見ると、平面形状は逆三角形型を呈しているとともに、断面形状は相対的に末端付近の層厚が薄い、くさび状を呈している。これらの斜面形状は、斜面末端付近に応力が集中しやすい形状といえる。このため、増水した長殿谷の溪岸侵食や、斜面末端崩壊の拡大の進行が、斜面全体の不安定化を助長した可能性が推察される。

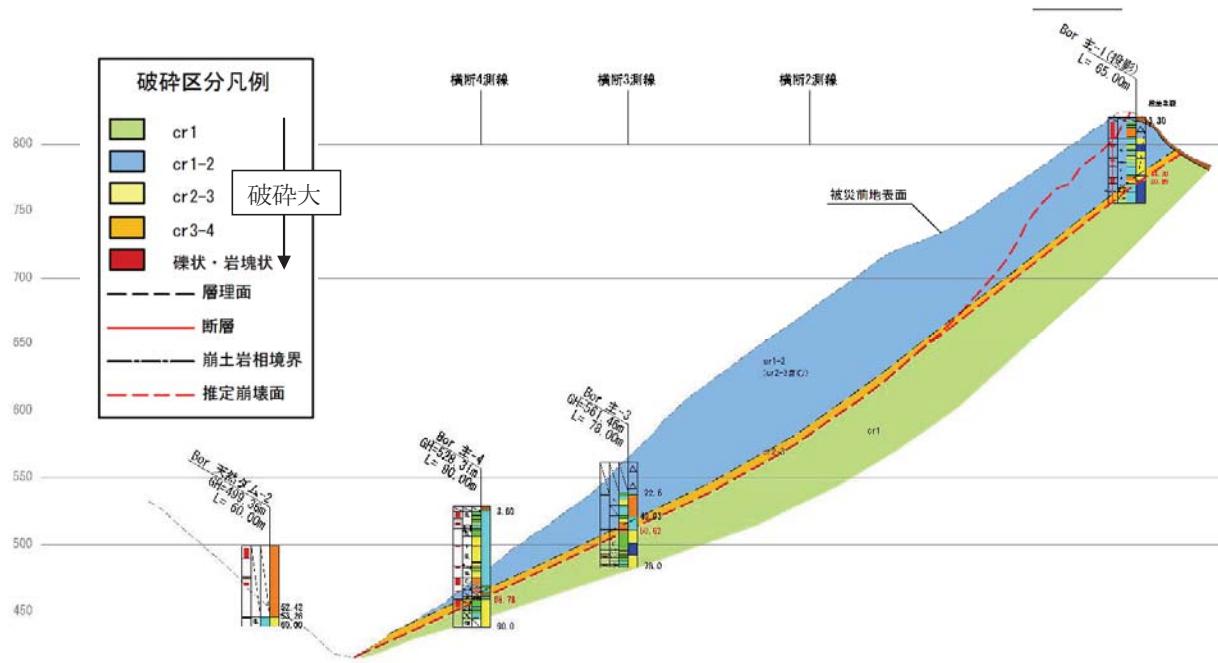
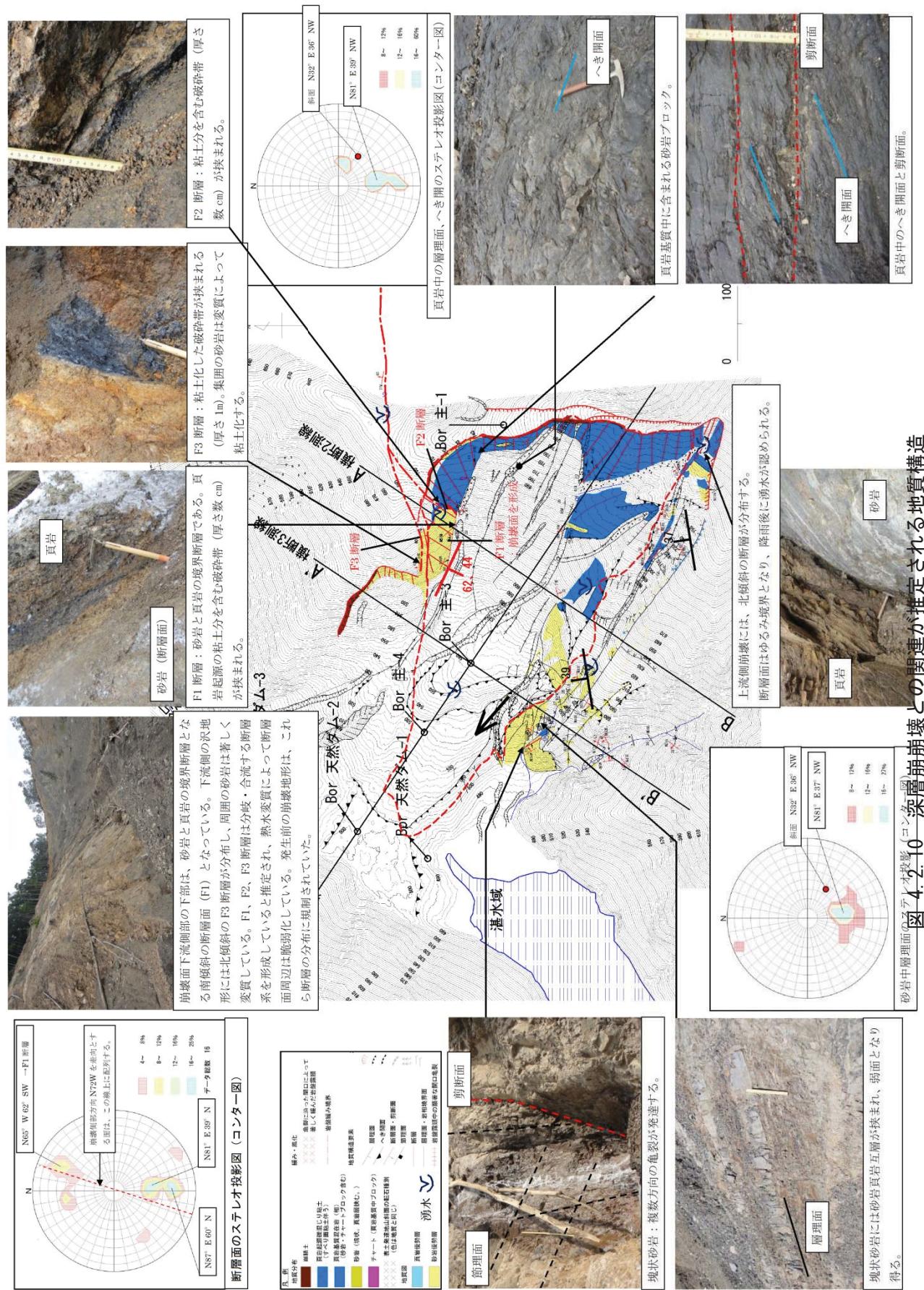


図 4.2.9 深層崩壊発生前の推定緩み岩盤分布断面図



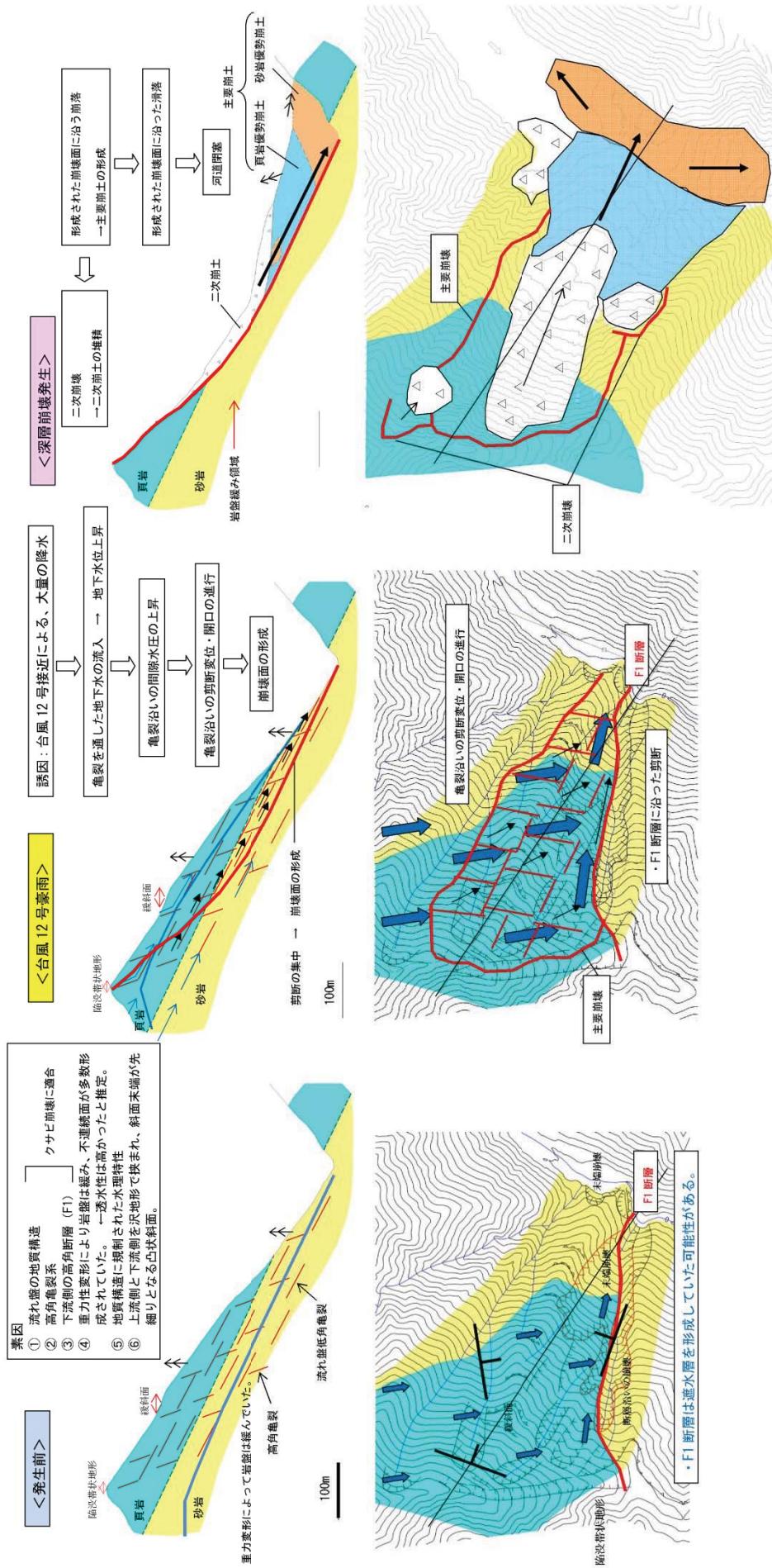


図 4.2.11 深層崩壊発生メカニズム推定模式図

4.3 栗平地区における調査結果

4.3.1 発生前斜面の地形的特徴

栗平地区周辺を対象に、深層崩壊発生前の地形図および空中写真を用いて、地形判読を実施した。図4.3.1に地形判読結果を示す。深層崩壊発生前斜面の地形的特徴は、以下のとおりである。

斜面傾斜は非対称で、相対的に南向き斜面が急傾斜で、北向き斜面が緩傾斜になっている。斜面長は700mと長く、比高も490m（高標高980m、低標高部490m）と大きい。逆向き小崖列、地溝・地壘状地形、多重山稜が認められる。背後に谷地形が深層崩壊発生斜面を囲むように分布する。斜面には、遷急線・遷緩線が複数分布する。他の流域より谷密度が少ない。斜面末端に崩壊地が分布する。上流側斜面には馬蹄形の滑落崖を持つ明瞭な地すべり地形が認められる。

以上の地形的特徴から、栗平地区は重力変形が進行した斜面であったといえる。

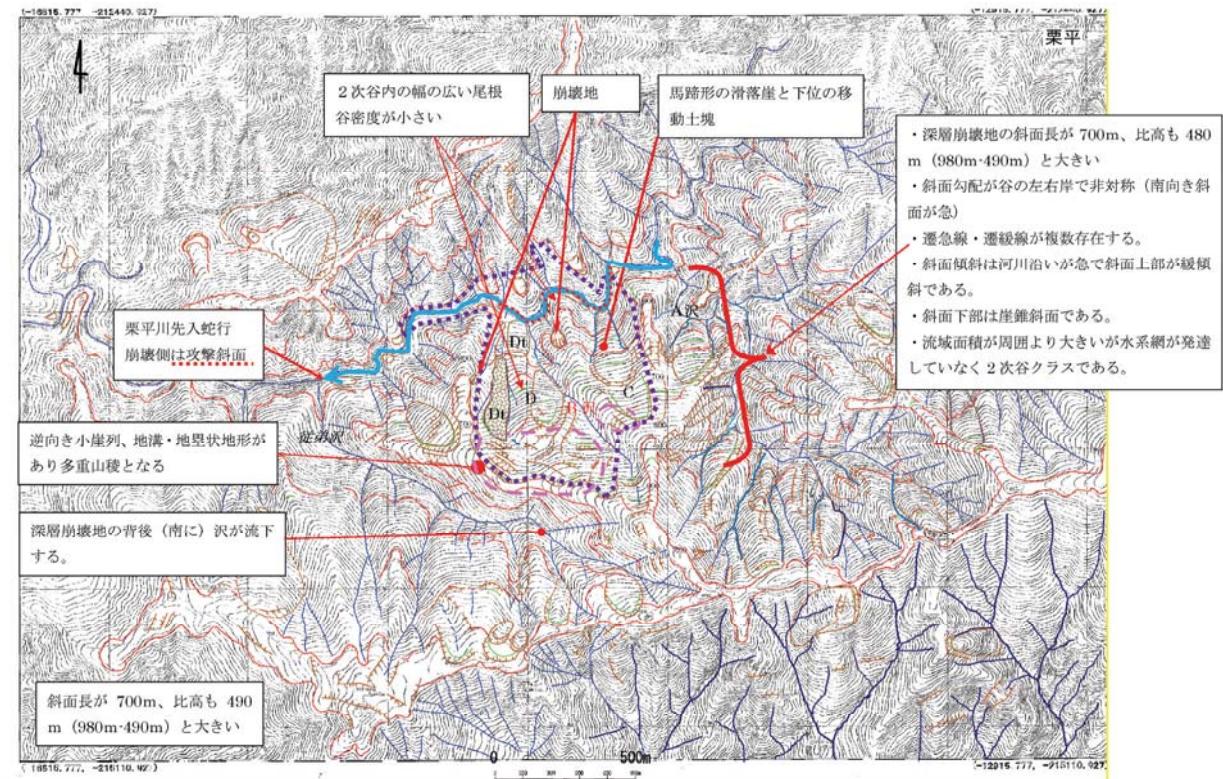


図 4.3.1 栗平地区周辺地形判読図（基図：森林基本図）

4.3.2 深層崩壊発生後の地質調査結果

(1) 深層崩壊の主たる範囲

平成23年9月における深層崩壊発生からその後の土砂移動形態を、堆積物の地形的不整合、土砂の構成により斜面を9ステージに区分した。表4.3.1に斜面区分一覧を、図4.3.2に斜面区分図を示す。また、斜面区分図には、深層崩壊移動土塊みられる圧縮凹地の長軸、圧縮隆起の長軸方向を示す。圧縮凹地の長軸分布、圧縮隆起の長軸分布は、移動土塊が対岸に衝突し、形成されたものと考えられるから、主たる移動土塊の移動方向が分かる。斜面区分、深層崩壊移動土塊の圧縮凹地の長軸分布、圧

縮隆起の長軸分布の状況から、深層崩壊の主要範囲は西側の斜面で、東側の斜面は二次的に発生したものと推定される。

表 4.3.1 斜面区分凡例一覧

凡例	状 態
1	圧縮による隆起・と凹地が顕著。中央にもとの地山形態が残る。深層崩壊の主たる堆積物
2	北側の急斜面は地表はほとんど裸地で崖錐状、上部は地溝と地壘が顕著
3	2 の東側が 2 次的に崩落したもの。表面は崖錐状だが一部旧地表を残し立木がある
4	2 の崩壊土砂の遷急線付近が 2 次的に崩壊したもの。一部、土石流ロープ（1 b 1）あり
5	滑落崖の 2 次的崩壊により形成。崖錐の形態を示す。
6	滑落崖の 2 次的崩壊により形成。崖錐の形態を示す。
7	滑落崖の 2 次的崩壊により形成。崖錐の形態だが一部、土石流ロープ（1 b 2）あり
8	崩壊後に発生した土石流堆積物。7 を覆う
9	最新の土石流堆積物。

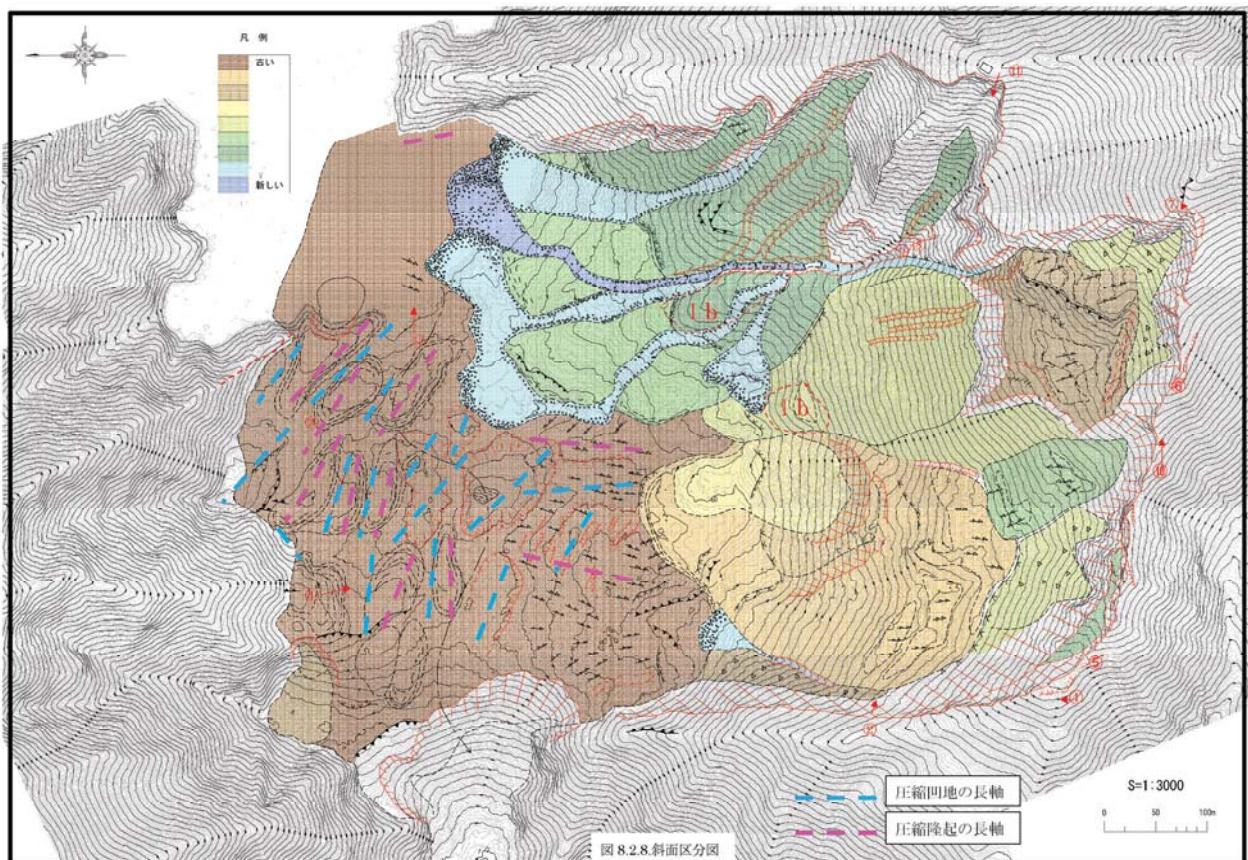


図 4.3.2 斜面区分図



写真 4.3.1 深層崩壊後の空中写真（資料：国土地理院 Hp より）



写真 4.3.2 栗平地区全景写真

(2) 地質狀況

平成 24 年度完了時点で、天然ダム部で 3 孔、深層崩壊発生斜面で 1 孔の計 4 孔の機械ボーリングが実施されている。図 4.3.3 栗平地区地質平面図を、図 4.3.4 に深層崩壊部主測線地質断面図を、図 4.3.5 に深層崩壊部地質横断図を、図 4.3.6 に天然ダム部地質断面図を示す。深層崩壊移動土塊は、頁岩から砂岩優勢頁岩・砂岩互層で、頁岩を主体とする。地質構造は流れ盤構造を呈している。

深層崩壊移動土塊下面深度検討結果を表 4.3.2 に示す。崩壊面は地層境界付近と推定される。

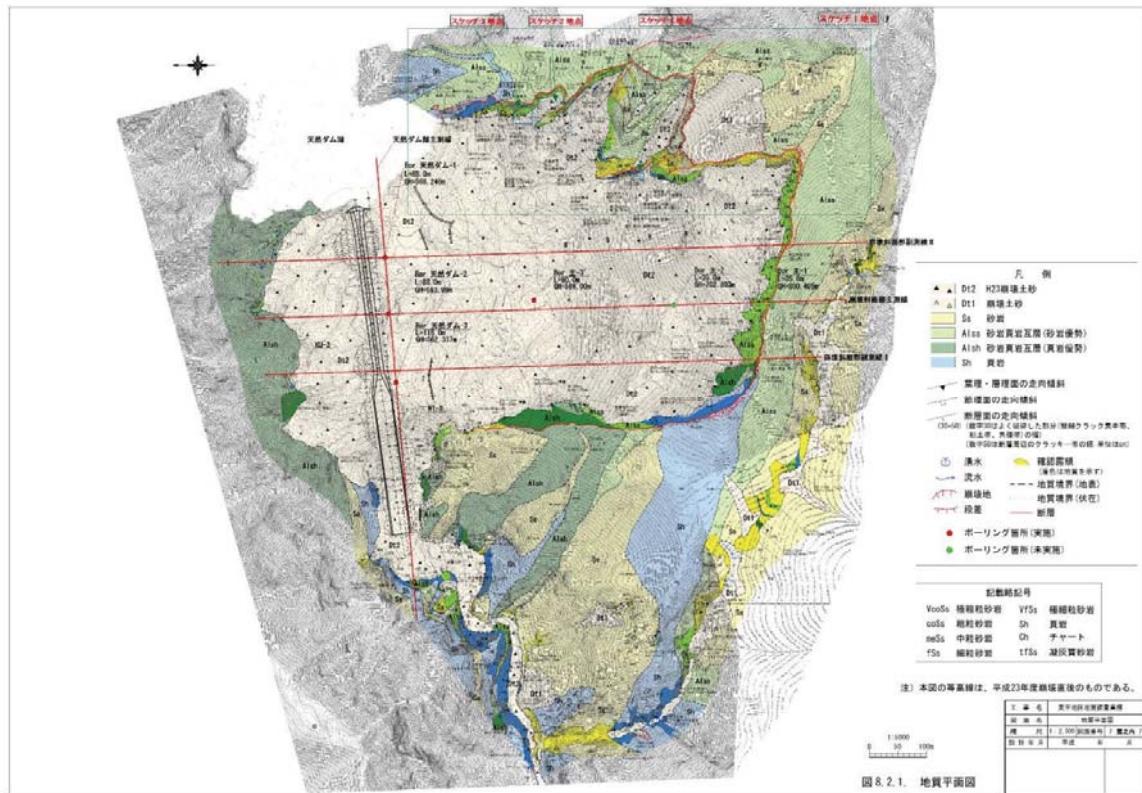


図 4.3.3 栗平地区地質平面図

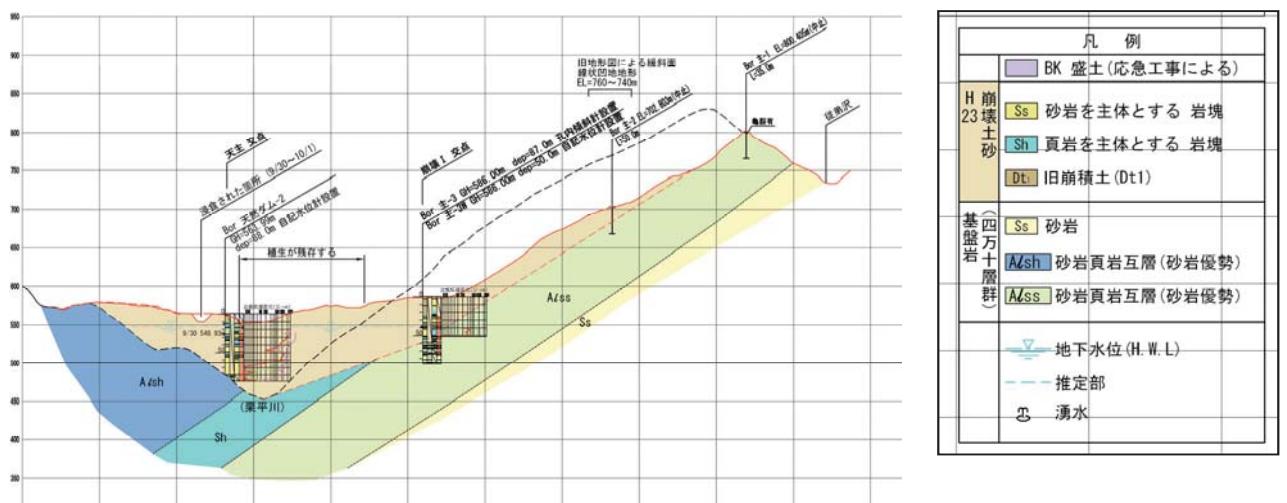


図 4.3.4 栗平地区深層崩壊部主測線地質断面図

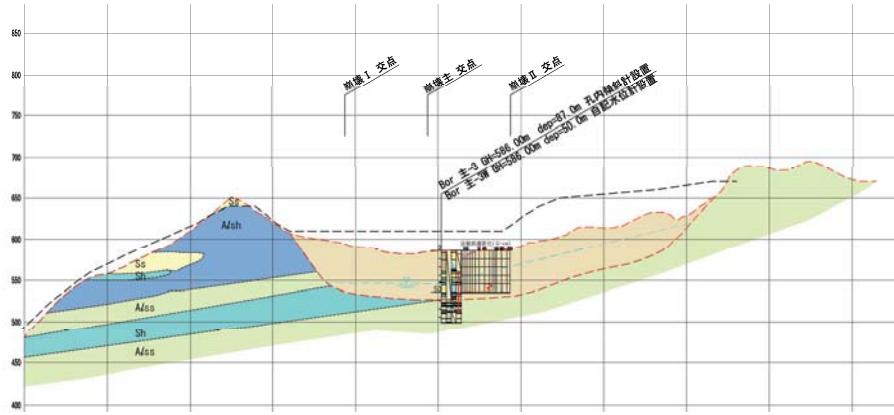


図 4.3.5 栗平地区深層崩壊部地質横断図

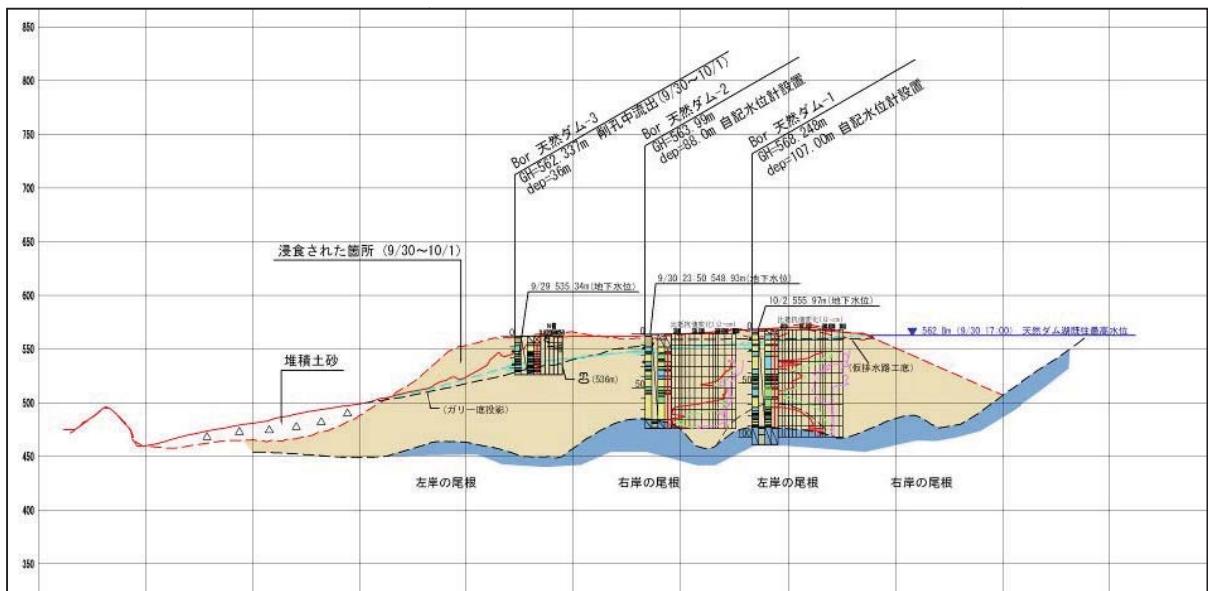


図 4.3.6 栗平地区天然ダム部地質断面図

表 4.3.2 深層崩壊移動土塊下面深度検討結果

ボーリング孔	崩壊面深度(m) 標高(m)	性状	コア写真
Bor-天然ダム-1	83.05 479.287	Cr 2の最下面 砂岩、頁岩礫多く含む土砂 直下は砂岩の短棒状コアで亀裂間は黄褐色の砂質シルトが充填する。83.05m以深の黄褐色シルトで充填される砂岩は旧地表部とみられる。	
	90.65 471.687	当該深度より下位はコア棒状コアが占め乱れがなく良好である。土砂状コア(Cr2)を呈する。	
Bor-天然ダム-2	79.75 484.24	頁岩からなる土砂状コア(Cr2)の下面。当該深度より下位はコア砂岩、砂岩・頁岩互層の棒状コアが占め乱れがなく良好である。	
Bor-主-3	56.9 529.1	灰色のシルト質砂をマトリクスと頁岩礫からなるCr 3と頁岩(右手側)が約25度の片理面で接する。	
	57.21 528.8	灰色のシルト質砂をマトリクスと砂質な頁岩礫からなるCr 2と頁岩(右側)が約5度の片理面で接する。	
	58.75 509.25	頁岩からなる細礫状コア(Cr2)の最下面。傾斜は35~40°を示す。当該深度より下位はコア砂岩、砂岩・頁岩互層の棒状コアが占め乱れがなく良好である。	

最終的に崩壊下面と推定した深度。

4.3.3 考察

(1) 地質特性

(2) 地質構成

表 8.2.1 に崩壊斜面周辺に分布する地質を地質構成表として取り纏めて示す。

砂岩頁岩互層部の砂岩、頁岩の比率は多様で、その形態も砂岩はレンズ状から層状まで大きく変化し、層状の砂岩も膨縮が著しい。今回の調査では、砂岩と頁岩の割合に着目して、砂岩優勢の砂岩頁岩互層を砂岩頁岩互層(砂岩優勢)と頁岩優勢の砂岩頁岩互層(頁岩優勢)に大別した。

また、極く少量の白色の酸性凝灰岩～凝灰岩質砂岩がH23崩壊土砂中に見出され、含礫頁岩が頁岩中に挟在するのが確認できる。これらは大体同じ層準付近にあるものと推定される。崩壊土砂の主体は砂岩泥岩互層起源であり、流れ盤の同斜構造をなす砂岩泥岩互層部が崩壊したものと考えられる。

地質構成表

地質時代			地質名		地質記号	層相・岩相		
新生代 第四紀	完新世	H23崩壊土砂			Dt2	調査地対象の崩壊斜面に広く分布する崩積土。平成23年の斜面崩壊時に発生したもの。 Φ 100cm以下の礫及び砂等からなる。未固結・軟質でルーズ。		
		崩壊土砂			Dt1	谷筋、緩斜面等の地表に薄く分布する土砂。上方斜面からの崩積土。 Φ 100cm以下の礫及び砂等からなる。未固結・軟質でルーズ。植物片やその他の有機物を少量伴う。		
中生代 白亜紀	古世～新世	日高川帶 美山層	砂岩	Ss	中粒砂岩が主体だが、粗粒～細粒の砂岩も存在。層厚1～数10mと変化に富む。灰～淡灰色を呈する。わずかに頁岩の薄層を含む場合が多い。			
				Alss	砂岩頁岩互層の砂岩、頁岩の比率は多様であるが、頁岩に比べ砂岩の割合が多いもの。砂岩はレンズ状から層状まで大きく変化する(膨縮が著しい)。			
			砂岩頁岩互層(頁岩優勢)	Alsh	砂岩頁岩互層のうち、砂岩に比べ頁岩の割合が多いもの。互層状のもののほかに、頁岩の基質の中にレンズ状の砂岩が分布する層相もこれに含まれる。			
			頁岩	Sh	弱い片理を有する泥質岩。層厚1～数10mと変化に富む。暗灰～黒灰色を呈する。わずかに砂岩の薄層を含む場合が多い。			
※上記の地質のほか、酸性凝灰岩の薄層が認められる。H23崩壊土砂中に白色細粒の酸性凝灰岩～凝灰質砂岩が少量含まれており、一方、崩壊地背後の従兄谷において、厚い頁岩層Shの下位の砂岩頁岩互層(砂岩優勢)Alssの露頭で酸性凝灰岩の薄層を確認した。								

(3) 地質構造

① 基本構造

地層は、走向はほぼ東一西、ないし東北東一西南西で、北へ 25° ～ 45° で傾斜する同斜構造をなす。ただし南北方向(主に北落とし)の緩やかで不連続な短い褶曲によって、地層(片理も)はNEあるいはNW走向を示すことがある。

北向きの崩壊斜面において、北に傾斜するこのような同斜構造は、斜面に対して流れ盤となり、斜面が不安定化する素因となっている。この地質構造は崩壊地の東西両側壁、とくに東側側壁において明白に確認することができる。図8.2.1-3のスケッチ図に崩壊地東側側壁でみられる流れ盤構造の状況を示す。

② 断層

断層の方向は次の2方向のものに区別できる。

- ・ENE～WSW 方向：崩壊頭部の縁と概ね同一方向を示す。高角度のものから低角度のものまで存在する。崩壊地の頭部を画する方向。
- ・NNW～SSW 方向：崩壊地の両側壁と同じ方向。

以上のことから、崩壊地の頭部及び両側壁の形状及び位置は、断層分布に関連している可能性がある。

断層は、幅10～150cmの破碎幅をもち、片理に平行あるいは亜平行に発達する。破碎帶には、断層ガウジ(断層粘土帶)が1～20cm幅で伴うことがある。地質平面図には、破碎幅が100cm以上のものを表示した。個々の断層の連續性は数10m以内が多いようである。

③ 節理の分布

明瞭な節理は主に砂岩層中に発達する。頁岩にみられるものは片理に平行なものが多い。とくに緩みゾーンにおいては砂岩層中の節理が顕在化し、開口亀裂となることが多い。

(4) 岩盤状況

崩壊地壁に残る岩盤は、風化が進んだCL級岩盤が主体をなし、各所で緩んでいる。CL級岩盤の厚さは5～15m程度と推定される。

(5) 表流水・流水状況

崩壊地頭部の南側背後に位置する従兄沢では、標高750mにおいて沢水の流量30ℓ/分(目測)を確認している。一方、崩壊地内中央付近の標高690mでは、崩壊土砂の基底から10ℓ/分(目測)の湧水が夏季に認められる。

(6) 崩壊地の状況

崩壊地内で認められる重力変形構造等の崩壊に係る現象を観察し、スケッチとして記録した。スケッチの結果は次項に示した。

また、崩壊地頭部等には段差等の垂直変位を有する新しい亀裂が分布している。これらの亀裂分布については、地質平面図に示した。

崩壊地周辺の基盤岩の地質は、砂岩、頁岩及びその互層からなる。崩壊部の地質構造は北落ちで流れ盤構造を示している。崩壊東の側壁において詳細な露頭観察を実施した結果、岩盤の変形構造(トップリング、キンクバンド、亀裂の開口と緩み)が確認され、その破碎部を地表へ追跡すると地形の遷緩線とほぼ一致している。

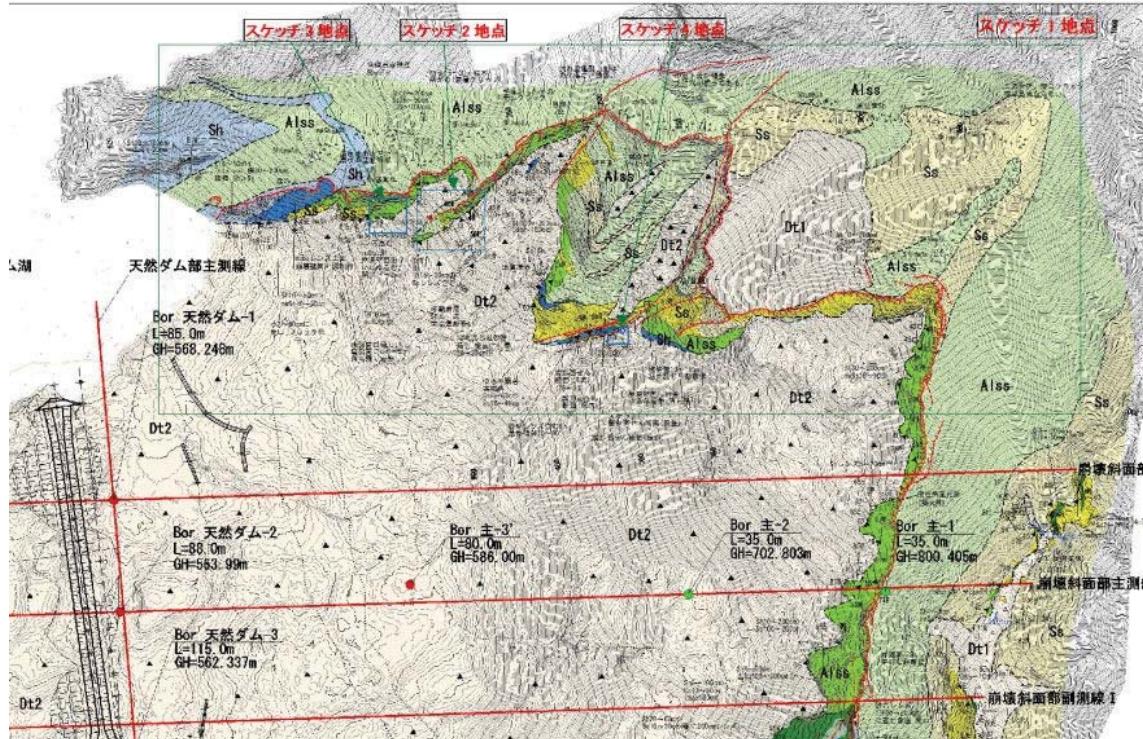


図 4.3.7 岩盤構造スケッチ位置平面図

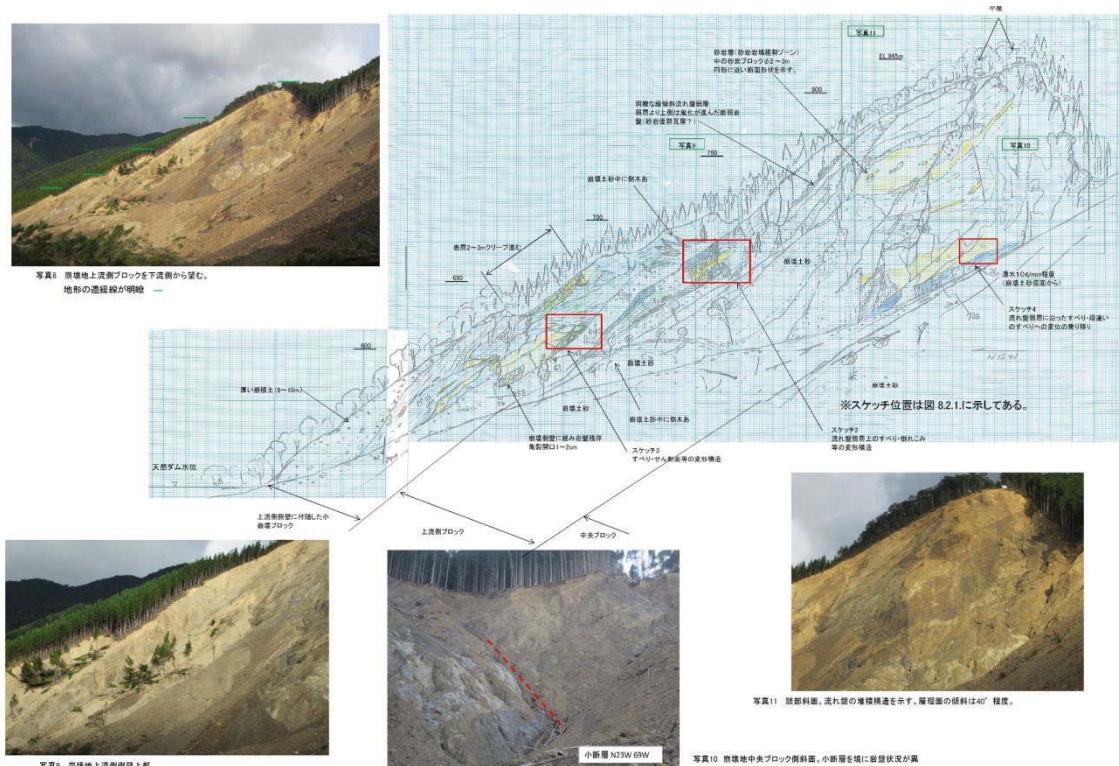


図 4.3.8 スケッチ1地点

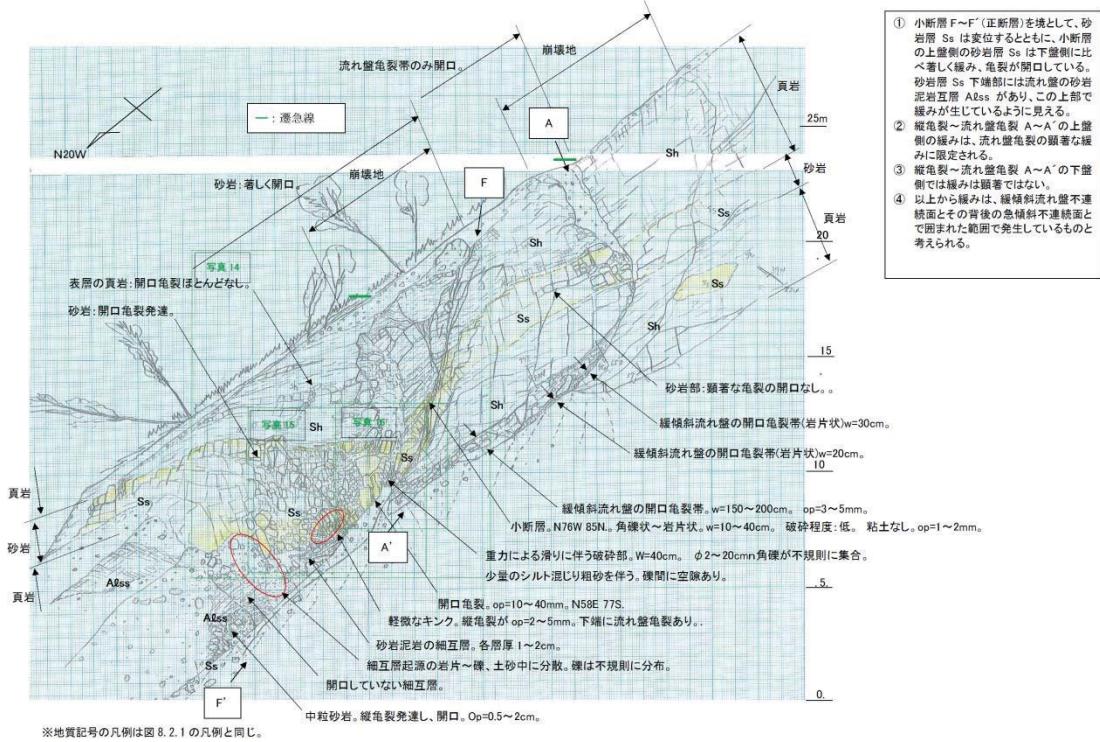


図 8.2.4. 崩壊地状況 (スケッチ 2)



図 8.2.5. 崩壊地状況 (スケッチ 2)

図 4.3.9 スケッチ 2 地点

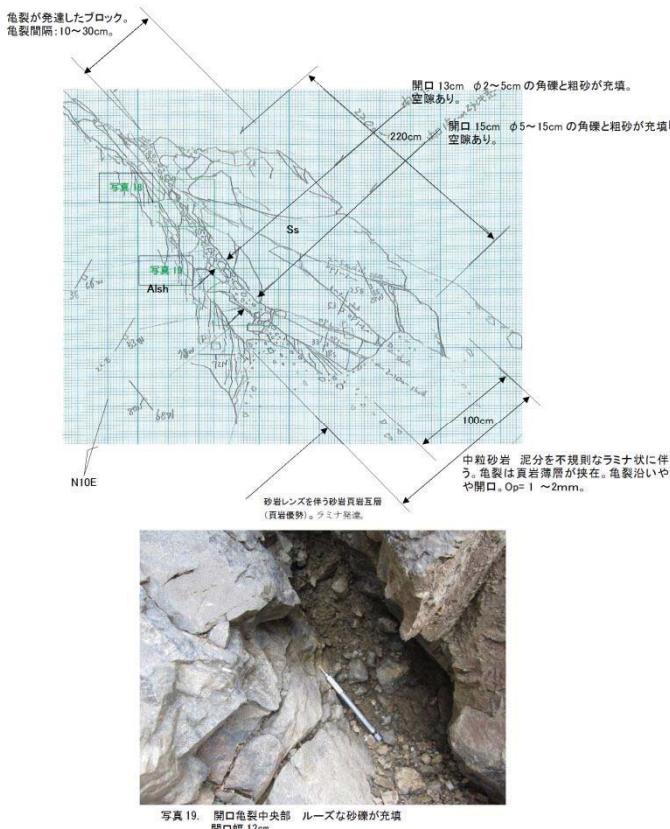


図 4.3.10 スケッチ 3 地点



写真17. スケッチ箇所3全景

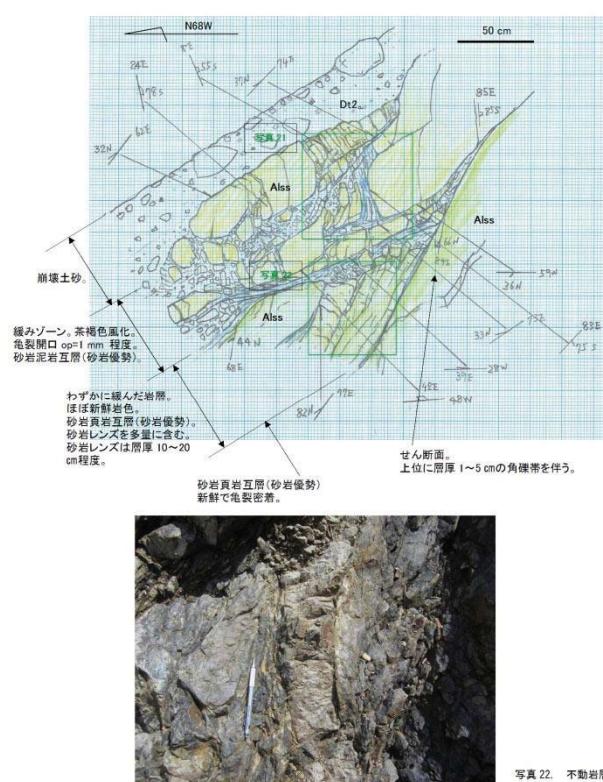


写真 18. 開口亀裂上部 1~2mm開口 開口亀裂沿いに頁岩薄層が挟在。

*地質記号の凡例は図 8.2.1 の凡例と同じ。

*スケッチ位置は図 8.2.1 及び図 8.2.3 に示してある。

図 4.3.10 スケッチ 3 地点



2-11 3-7-1 4-8-1



写真 20. スケッチ箇所 4 全景



写真 21. 流れ盤せん断面とその上位の高角度亀裂。
高角度亀裂は流れ盤せん断面の下位には連続し
る。

上述記号の用例は図 8.2.1 の用例と同じ

※地質記号の凡例は図 8.2.1 の凡例と同じ。

图 2-2-3 当地性状况 (二) - 重合

図 4.3.11 スケッチ 4 地点

(7) 対岸に乗り上げた河床礫

崩壊土砂の北側の末端付近の地山に接する箇所では、円礫が確認されたほか、紀州造林(株)の標識も発見された。発見箇所は重機の施工跡はないため円礫等は元々そこにあったと判断した。円礫の表面は新鮮であり、礫種は花崗岩、砂岩からなり、崩壊前は栗平川旧河床に存在したと推定される。標識は、紀州造林(株)によると栗平左岸の尾根末端（標高約460m）にあったという。いずれも旧河床から標高差で120m程度移動した。看板は水平距離で約143m、移動方向への仰角は40°であった。

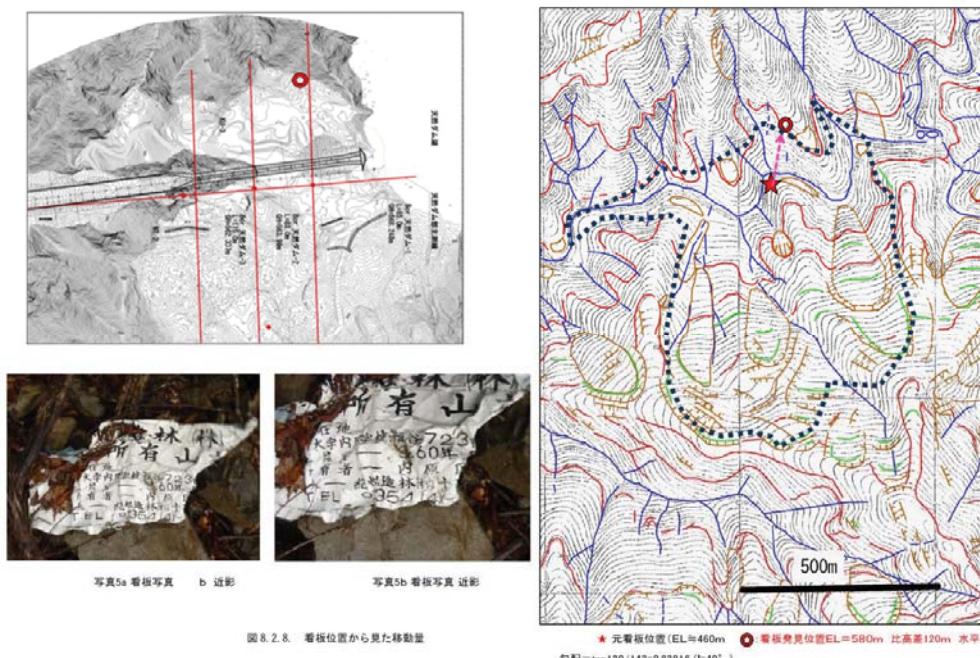


写真 4.3.3 河床から対岸へ乗り上げた河床礫・標識

(2) 地下水特性

深層崩壊土砂内の地下水の分布を把握するため、地下水等高線を作成した。観測日は 2013 年 12 月 5 日で、データはボーリング孔 3 孔、湧水点である。天然ダム湛水地から下流に向かい水位が低下している。尾根 A を構成する基盤岩は地下水をブロックし、深層崩壊移動土塊内部に地下水包蔵域が形成されていると推定される。地下水の流下方向はガリー方向に集中する形態を示す。地下水は、天然ダム湛水地を供給源とする経路と、深層崩壊移動土塊背後の基盤岩の地下水を供給源とする経路の大きく二つの経路から供給されていると推定される。

地下水、湧水について水質試験結果から、ヘキサダイヤグラム、トリリニアダイヤグラムを作成した。これらより栗平の地下水の水質特性は以下のようにまとめられる。作成したトリリニアダイヤグラムを比較すると、3 パターンに分けられる。沢水・河川水の水質 (Ca-HCO₃ 型) は概ね類似しているが、井戸水 (地下水) の水質は 2 パターン【Na-SO₄、中間型】に分けられる。ヘキサダイヤグラムから沢水、天然ダム湖水、天然ダムの上流側の Bor-天然ダム-1 は、イオン濃度 (面積が狭い) が相対的に低く、表流水の水質的特徴を示す。一方、天然ダムの中下流部 (Bor-天然ダム-2 など) は、イオン濃度が相対的に高く (面積が広い)、地下水の水質的特徴の菱形のイオンバランスを示す。Bor-主-3 や Site8 の組成から、表流水ではなく地下水からの賦存が示唆される。

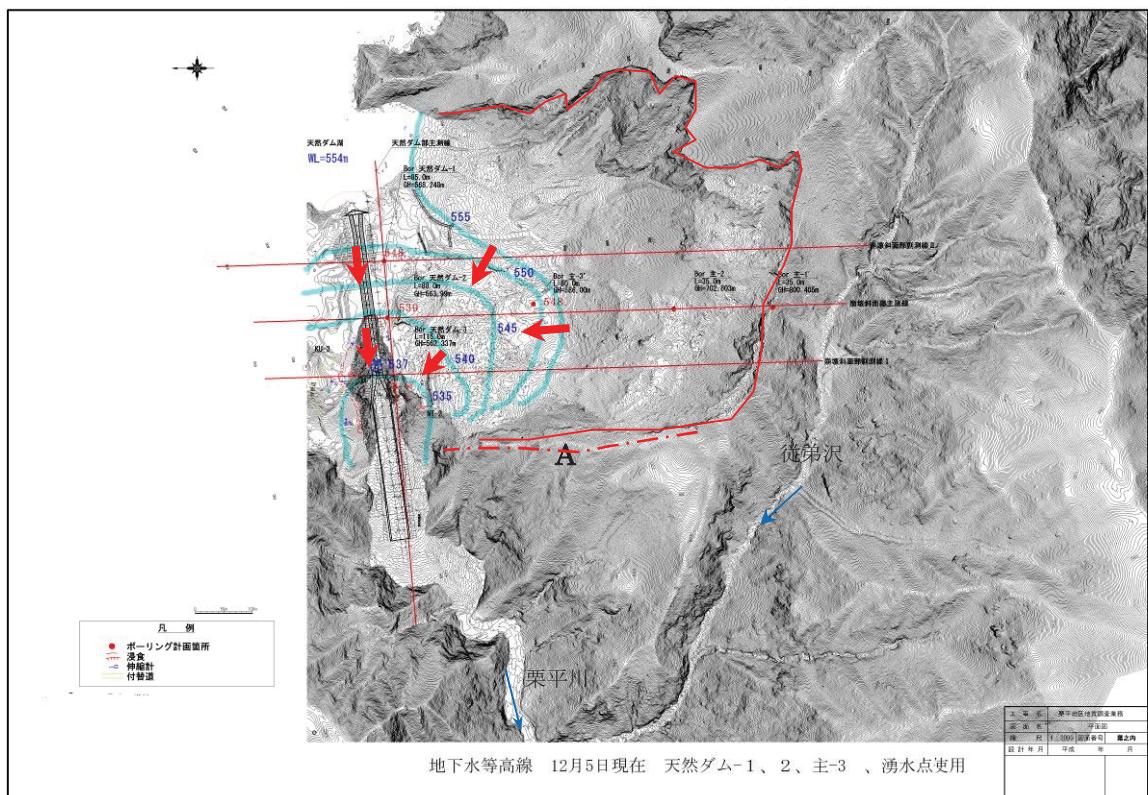


図 4.3.12 地下水等高線図 (等高線間隔は 5m)

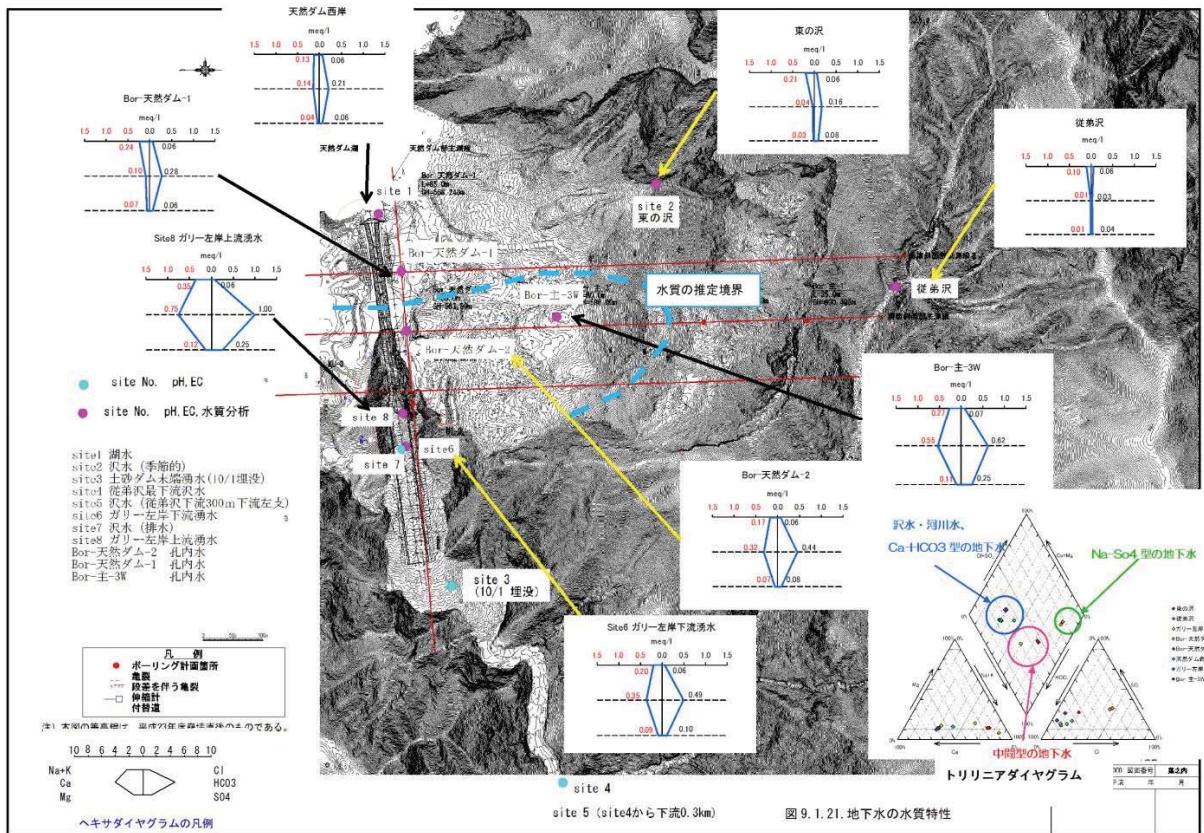


図 4.3.13 水質試験結果

(3) 深層崩壊発生機構

現段階では、推理地質特性と深層崩壊の関連性、深層崩壊発生メカニズムには不明な点があるが、深層崩壊は複数の要因によって発生したものと推定される。栗平地区における深層崩壊発生機構について図 4.3.14 に模式図を示す。

参考文献

- 脇坂安彦ほか, 2012, 地すべり土塊を特徴付ける角礫岩, 応用地質, 56巻-6号, p.231-247.
狩野謙一, 1998, 構造地質学, p.114, 朝倉書店

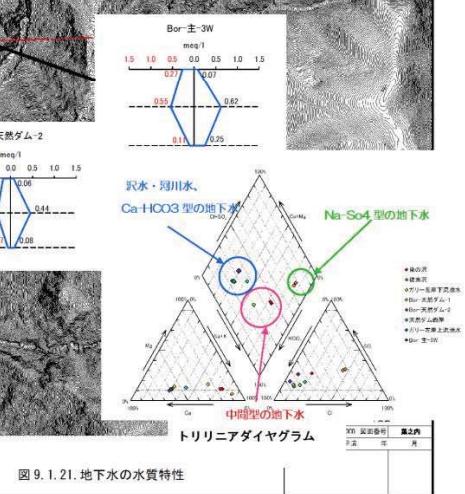


図 4.3.21. 地下水の水質特性

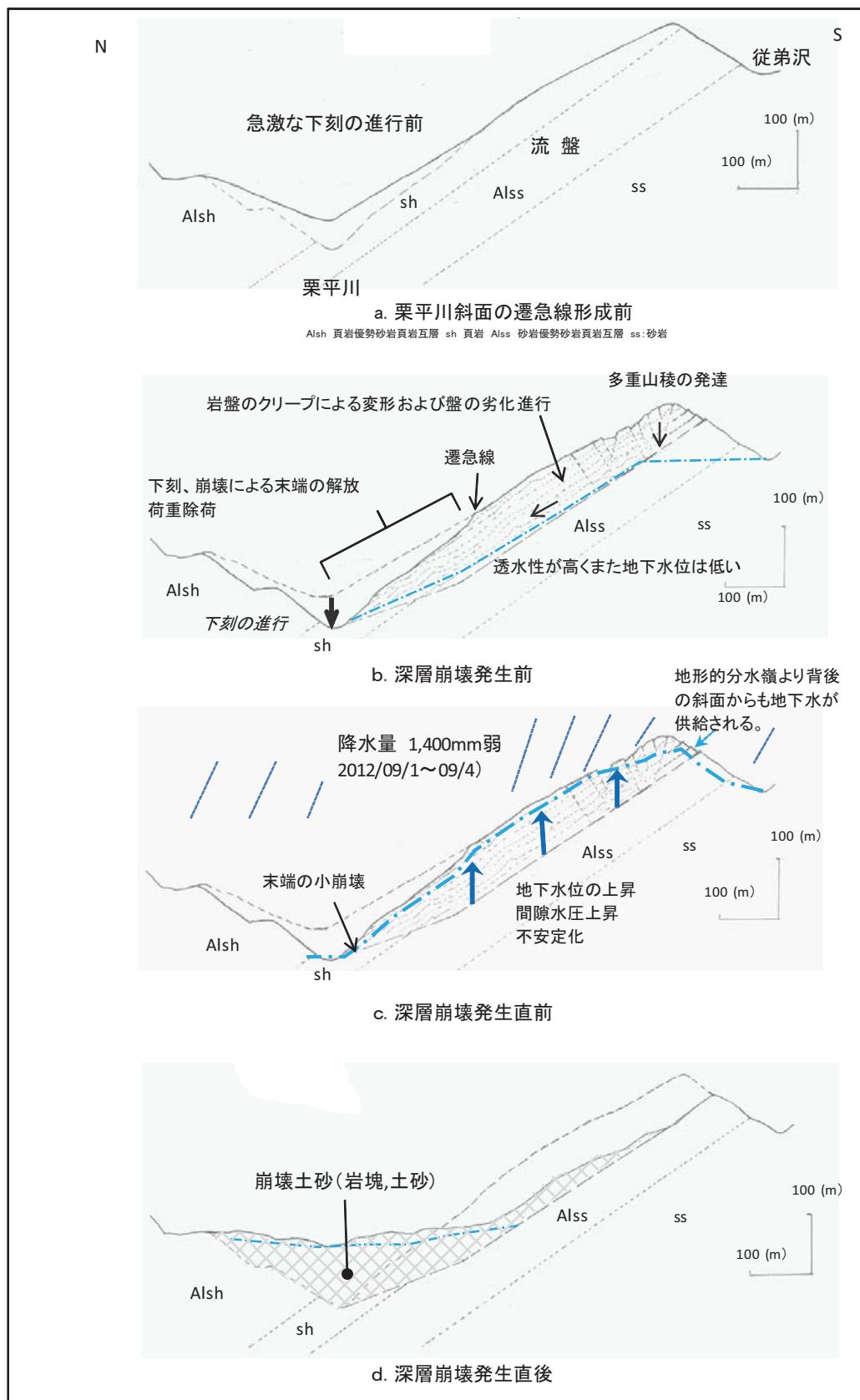


図 4.3.14 栗平地区 深層崩壊発生機構模式図

表 3

(公社)日本地すべり学会関西支部協賛会員名簿

平成25年10月1日現在 26社

(五十音・口数順)

(会社名)	(電話番号)	(口数)
有限会社 太田ジオリサーチ	078-907-3120.....	3
中央復建コンサルタント株式会社 情報マネジメント室 ...	06-6160-1121.....	3
日本工営株式会社 大阪支店	06-7177-9500	3
アジア航測株式会社 西日本コンサルタント部.....	06-4801-2250.....	2
株式会社 荒谷建設コンサルタント 総合技術部	082-292-5481.....	2
株式会社 宇部建設コンサルタント	0836-72-0392.....	2
株式会社 エイト日本技術開発	086-252-8917.....	2
応用地質株式会社 四国支社.....	089-925-9516.....	2
河井建設工業株式会社	0868-26-3787.....	2
川崎地質株式会社 西日本支社	06-6768-1166.....	2
株式会社 クボタ	06-6648-2322.....	2
国土防災技術株式会社 大阪支店	06-6136-9911.....	2
国土防災技術株式会社 高知営業所	088-882-7110.....	2
株式会社 コスモ建設コンサルタント	0853-72-1171.....	2
株式会社 四国トライ	088-883-5908.....	2
株式会社 エス・ビー・シー.....	0883-52-1621.....	2
島建コンサルタント株式会社	0853-53-3251.....	2
株式会社 相愛	088-846-6700.....	2
株式会社 ダイヤコンサルタント 関西支社.....	06-6339-9141.....	2
株式会社 地圏総合コンサルタント 四国支店.....	0897-33-3123.....	2
中央開発株式会社 関西支社	06-6386-3691.....	2
株式会社 東建ジオテック	089-945-3328.....	2
株式会社 ナイバ	0878-62-5121.....	2
日本工営株式会社 四国支店	087-811-2660.....	2
明治コンサルタント株式会社 大阪支店.....	072-751-1659.....	2
株式会社 四電技術コンサルタント	087-845-8881.....	2

深層崩壊と河道閉塞

(公社)日本地すべり学会関西支部

平成二十五年十月