大規模土砂災害における地盤の地質学的評価の重要性

三備工業 (株) 村橋吉晴

1.はじめに

近年、記録的な集中豪雨による大規模斜面災害~河川災害や過去の被害地震歴には見あたらない「想像を超える」規模の地震による、広域での大規模な構造物被害~地盤災害の頻発が目立つ。これまでの防災問題に対しては直接に地盤破壊への抑止と安定化を実現し、人的被害や公共構造物被害防止を実現することが主たる目的とされてきた。しかし今回話題とする深層崩壊に始まる大規模崩壊現象においては、崩壊土量がとてつもなく大量でかつ移動速度が高速であることなどから、直接災害を抑止することは非常に困難で、「減災」という視点での対処を検討することが合理的であるという考えが増えてきている。今回は、近年に発生した大規模土砂災害の中から、筆者が調査に参加した、主として奈良県域での「紀伊半島大規模土砂災害(2011.9)」を例に、深層崩壊のような大規模土砂災害の原因と対策を理解するためには、地質エンジニアの参加が重要であり、崩壊地盤の地質学的視点からの評価がより合理的な検討結果をもたらすということについて以下に報告する。

2.奈良県内での大規模土砂災害(2011.9)-深層崩壊の特徴について

1)地形-地質上の特徴

奈良県南部に発生した深層崩壊と呼ばれる大規模土砂災害の特徴は以下のようにまとめられる 1).2)。

- a)発生ヶ所はほぼ北~北西斜面(流れ盤斜面)に集中する(図-1)
- b)発生ヶ所の斜面の傾斜角は概ね 20~30° で比較的緩斜面である(図-2)
- c)深層崩壊の多くは四万十付加体・日高川帯・美山層に集中する(図-3)

(各図中の番号は表-1の左端の地点番号を示す)

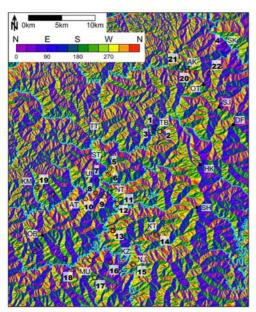


図-1 大規模崩壊斜面の傾斜方向分布図 1)

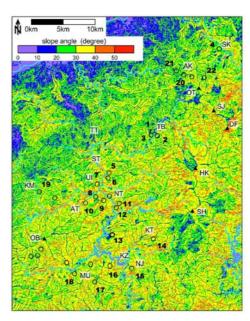


図-2 大規模崩壊斜面の傾斜角分布図 1)

- 印:台風 12 号の降雨に伴い発生した斜面変動の主要個所(表-1 の地点番号参照)
- ▲ 印:山頂,OT:大天井ケ岳,SJ:山上ケ岳,HK:八経ケ岳,SH:釈迦ケ岳,OB:伯母子岳,SK:迫,AK:赤滝,TB:坪内,TT:天辻 ST:猿谷ダム,UI:宇井,NT:長殿,AT:赤谷,KM:北股,KT:栗谷,KZ:風屋ダム,NJ:野尻,MU:三浦,国土地理院 50m メッシュ標高 DEM 使用

表-1 大規模崩壊斜面の地形・地質の概要 リ

大学科画 地震 当時 当時 動機線 前機目 動機線 動機線 動場線 動場 <t< th=""><th>施田人</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th>_</th></t<>	施田人																							_
19 19 19 19 19 19 19 19	古 石 石 石 石	210	250		380	470	440							820	1040				390	340				
1985年 19	摇	09	20		150	150	160							09	200				130	09				
1985年 1985年 25 25 25 25 25 25 25		100,000	380	460	490	260	230	630	1100	780	1250	066	450	270	810	0101	620	1050	470	450	230	340	370	
10.0 1.5 1		-	29	19	18	28	34	27	22	28	23	8	31	31	28	<u>ee</u>	59	24	98	81	26	12	27	
以発発 (2.45年)			58	34 4	32	52	89	52	14	52	ξ.	59	59	61	53	33	26	44	74	33	49	40	52	
次集時面	直接域 配置か 300秒 300秒 41億(m) 4	001	190	150	150	120	130	290	420	360	200	200	230	140	380	320	300	420	280	140	001	130	170	
10 10 10 10 10 10 10 10	壊度り	24	29	27	23	37	38	41	32	37	8	37	36	38	99	27	34	33	38	25	31	33	36	
		52	99	52	43	77	77	88	19	75	67	74	71	79	59	51	67	65	77	47	19	09	71	
10 10 10 10 10 10 10 1	動到高)土蓮	650	009	290	400	570	520	360	400	490	550	450	370	360	400	220	450	650	370	840	260	009	740	
10mm	₩ ME	110	190	160	200	115	100	280	460	400	009	400	200	150	300	400	300	330	200	160	110	150	150	
攻撃斜面 古崩積土 大面層 表質に在当 13,000億 130 240 150 240 150 240 150 240 150 240 150 240 150 240 150 240	通 記 意 課 意	640	009	580	350	575	550	370	360	450	450	550	400	350	480	470	450	740	450	820	550	280	760	Š
攻撃斜面 古崩積土 大面層 表質に在当 13,000億 130 240 150 240 150 240 150 240 150 240 150 240 150 240 150 240	無配職 動國 動動 動動	750	790	740	550	069	650	650	820	850	1050	950	909	200	780	870	750	1070	650	980	720	730	910	層が相当する
		Г.	4.6		7.9	2.1	1.3	9.2				15.7	4.9	2.3	21.2	48.		14.0			4.0	4.1		ᄪ
		240	350	350	510	190	160	420	880	099	1080	670	340	240	590	880	540	610	330	380	210	290	260	卓越砂岩頁岩
	崩壊域 幅(m)	130	130	240	155	110	80	220	290	280	360	235	145	94	360	550	230	230	175	195	190	140	120	Ηlα
	ш	Ш		4日 13:00頃	4日 17:20	日明け方	明け方	4B7:07	4日末明頃	5日11:52 役場把權	4日末明頃	4日9:05役場 に第一報	4日9:05役場 に第一報	不明	3H18:38	国交省6日 調査で確認	不明	不明	不明		4日8:00頃 第土確認	5月12:00頃	5日12:00頃	泥質混在岩,泥
11 1 1 1 1 1 1 1 1	活 構 通	質混在	質混在	質混在		泥質混在岩	岩/混在 境界	泥岩	泥質混在岩	岩卓越瓦	岩卓越互	ç.		\$m;	泥質混在岩	知	黄混在	岩·泥岩 互層	缸	岩頁岩互	玄武岩質凝灰 岩/赤色泥岩	色泥岩/砂 泥岩互層	武岩質凝灰 岩·石灰岩	質岩、泥岩
111と位置	岩	HOH	100	HCH.	秩父帯 山葵谷層	美山居	門屋	311	美山層	上層	一届	Juli/	美山屠	美山居	美山層	美山層	-Initial	田田	業山層	2000	/ # / 5	/ 四便	公帯山谷屋の	说
III	流れ盤	0	0	0		0	⊲	٥	0	0	0	×	0	0	0	0	0	×	0	0	×	×	×	
III	崩壊物	古崩積土	古崩積土	古崩積土	岩盤+ 古崩積土	古崩積土	岩盤十 古崩積土	古崩積土	光盤十 古崩積土	岩盤?+ 古崩積土	指觀十 古頭積土	岩 田 田 田 瀬 井	古崩積土?	古崩積土?	岩盤+ 古崩積土	岩盤?+ 古崩積土	岩盤十 古崩積土	ø.	岩盤十 古崩積土	岩盤+ 古崩積土	岩盤十 断層破砕帯	岩盤十 断層破砕帯	岩盤十 斯屠破砕帯?	
	位置	攻擊斜面		攻撃斜面	攻擊斜面			重持奉卒	攻撃斜面		攻擊斜面	攻擊斜面	攻擊斜面				西特華坎		攻擊斜面	攻擊斜面	攻擊斜面			
	河川尔	天八川	天/川支流	天川	丹生川	十津川支谷	十津川支谷	川丰十	川原桶川	長殿谷	赤谷	十津川	本十	高属谷	三十	栗瀬谷	(本十	釜中谷	神約川	北股川	黒滝川	黒滝川	高原川	
行政 天川村 天川村 天川村 大川村 川上村 五條市大塔町 工條市大塔町 十澤川村 十澤川村 十澤川村 十澤川村 十澤川村 十澤川村 十澤川村 十澤川村 十澤川村 中澤川村 日澤村村 川上村 川上村 川上村 川上村 川上村 川上村	行政																							
地すべり地名	地すべり地名																						1000100	
	型 相 点 中	_	2	m	4	5	9	7	80	6	10	=	12	13	4	15	16	17	18	19	20	21	22	

泥質岩:泥岩, 泥質混在岩, 泥岩卓越砂岩頁岩瓦層が相当す 赤滝層, 伯母谷川曆:花園層相当

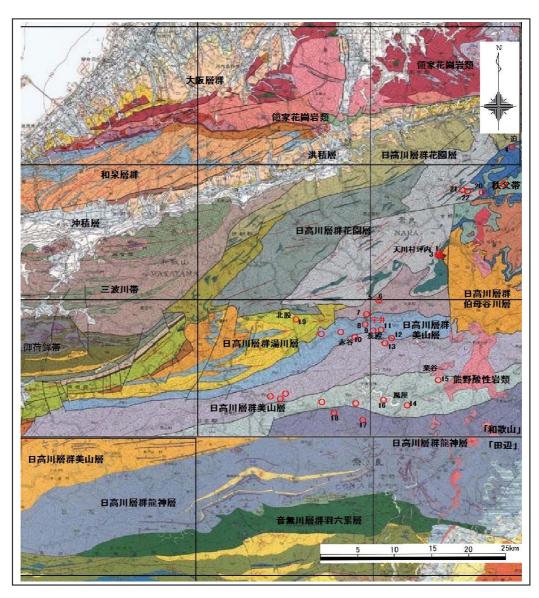


図-3 大規模崩壊ヶ所の位置と地質分布(文献3)に表-1 の地点番号を記載)

大規模崩壊が集中する四万十付加体・日高川帯は最も典型的な付加体とされ、下位から主に緑色岩(玄武岩質岩)~チャート・赤色頁岩~珪質泥岩~砂岩泥岩互層で構成される付加コンプレックスで、海洋プレート層序と称される。これらのコンプレックスは海溝で陸地側に付加される過程で、北傾斜する覆瓦状構造を形成し、同時に微細な断層による破砕構造が発達する。この中の泥質岩層は一般には混在岩と呼ばれ、メランジュ構造が認められる ²。同帯は調査区域では北から各々断層を介して湯川コンプレックス(湯川スラスト)一美山コンプレックス(下田原スラスト)一龍神コンプレックスに区分される。さらに北側には断層(梁瀬断層)を介して高野山帯・花園コンプレックスが分布する。また南側では御坊ー十津川スラストを介して日置川帯・音無川層群に接する。日高川帯の中で美山コンプレックスは最も強い変形作用を受け、微細な破砕構造が発達している 4。その結果、深部まで割れ目が発達し、降雨が浸透しやすい構造となっている。大規模崩壊斜面での露頭調査では、最下位の緑色岩(同上)は均質且つ硬質で割れ目が少なく透水係数が非常に低い岩盤と評価される。それに比べてその上位の赤色頁岩層や珪質泥岩層には微細な破砕構造がよく発達していて細かな割れ目が多くもろい状態で、割れ目からの地下水の湧出が多くの個所で認められた。さら

に、崩壊区域の頭部滑落崖付近には崩壊面にほぼ平行に傾斜する断層面が、また同側方部には崩壊軸方向 (斜面方向)に延びる急傾斜の断層が分布し前者の崩壊面に平行な断層を遮断することが多い。また崩壊前後 のレーザー測量図を比較すると、崩壊前の斜面の滑落崖付近に不規則な等高線で示される歪地形が認められている。この歪地形は大半が尾根付近に分布する 50。奈良県地域での深層崩壊はほぼ尾根付近から発生している。これらの結果から、最下位の玄武岩層が不透水層を形成し、その上位の割れ目が発達した頁岩 ~ 泥岩層中に大量の降雨が短期間に浸透し、同岩盤層中に急激な水圧の上昇をもたらし、斜面崩壊に至ったと考えられる。各崩壊斜面にはこうした頁岩質 ~ 泥岩質の崩壊巨礫が堆積している。ほとんどの崩壊斜面において崩壊土砂は、通常の末端を超えて末端河床に天然ダムを形成したり、対岸に遡上しそこの民家や河川構造物などを破壊しているのが認められた。

2)崩壊現象の特徴(降雨量と移動形態)

奈良県の記録のによれば、深層崩壊個所(奈良県は崩壊面積 10,000m²以上、崩壊深さ 10m以上のものを深層崩壊とした)は54箇所で、その内、河道閉塞が生じた箇所は16ヶ所に及ぶ。河床に形成された天然ダムの高さが70~80mに達するものも見られるの。現地での聞き込み調査等によればほぼ全ての箇所で、大量の土砂は分散して土石流化して高速で斜面を落下し、数10秒の内に、対岸まで遡上して民家に被害を及ぼしたとのことである。天然ダムが形成されたところでは、ダム形成による河川水位の急激な上昇後の急速な土石流の流入により、河川水が津波化して上流に遡上し、被害が拡大したところも見られる10,20,100(表-1の地点番号3,11,12など)。

降雨との関係をみると、台風 12 号による降雨は 8 月 31 日末明から降り出し、翌 9 月 1 日の午後以降強くなり、 $2\sim3$ 日には大豪雨となって 9 月 4 日の昼頃におさまっている。雨は $4\sim5$ 日間雨が降り続いた。 奈良県の記録 60.7によると深層崩壊は累積雨量が 600mm を超えたところから発生し始めている。表-1 に記載した大規模崩壊は累積雨量がおよそ 1000mm 超えて発生し始め、一部は雨がおさまりかけたころか降り止んでから崩壊している(表-1 の 6.7.9.11.12.19 など、下の図-4 参照)。

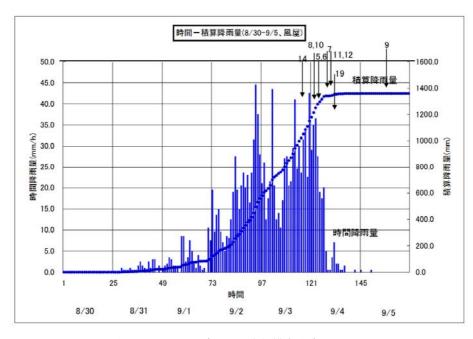


図-4 台風 12 号による降雨量と大規模崩壊時期

奈良県吉野郡十津川村では、明治 22 年(1889)の 8 月 18-20 日に今回と同様の深層崩壊による大規模土砂 災害が発生しその後当時の人口の半数以上の方が北海道に移住され、新十津川村を新設されている 7,8,9,9。

その 122 年後に今回の大災害が発生した。明治 22 年の時の主要な大規模崩壊の発生時期は今回と同様、雨が最も激しかった 18-19 日から一両日遅れた 20 日~21 日と記録されている 9。深層崩壊の発生時期は降雨の最盛時期より遅れる、或いは終了した後であるらしい。明治の大災害と今回の災害で、複数の箇所で位置が重なり、深層崩壊に再現性を有することを示唆している 9。これまで紀伊半島に上陸した台風は複数記録されているが、今回の台風 12 号と十津川災害時の台風が、その通過経路および通過時間がほぼ同じであることが示されている 10。

これらのことから、今回の調査地域での深層崩壊の特徴は以下のようにまとめられる。

- a)崩壊の範囲が幅数 100m、長さ数 100m~1km、深さ数 10m に達し、土砂量が数 100 万 m^3 に及ぶ 大規模崩壊である。
- b)崩壊土砂はばらばらに分散し、土石流化して流下する。
- b)高速で流下し(数 100m~1km をわずか 30~100 秒程度で末端まで流下する(時速換算で 80~ 100km/h)が、通常の崩壊域を超えて対岸に遡上する事が多い。また、末端河床に天然ダムを形成し、河道閉塞を生じ津波を発生させ上流に遡上して被害を拡大することがある。
- c)深層崩壊による崩壊斜面は北〜北西向きの流れ盤斜面に集中している。また日高川帯には複数のコンプレックスが区分されているが、その内の美山コンプレックスに崩壊が集中しており、美山コンプレックスの泥質岩(混在岩)に発達した微細な破砕構造に起因する割れ目との強い関係が伺われる。
- d)深層崩壊は降雨が最盛期を過ぎ、収まりかける頃か降り止んだ後に発生する傾向が強い。また降雨量との関係については時間~日降雨量などの降雨強度よりも積算降雨量との関係が強く、台風 12 号では600mm 程度を越えて崩壊が発生し始めている。

なお上記の 1)~2)は国土交通省・国土技術政策総合研究所などが示す深層崩壊の定義と同様である 110。

3.深層崩壊による大規模土砂災害への取り組み方について

これまで述べてきたように、深層崩壊はまず地形・地質上の特徴として a)崩壊前の斜面の尾根付近に歪地形を認められることが多い、b)これまでの記録より深層崩壊は概ね付加体地質の分布地域に集中する n、他方崩壊の形状として c)崩壊土砂量が数 100万 m³にも及ぶ大規模な崩壊である、d)移動速度が高速で、崩壊が始まってからの安全な避難が困難である、e)崩壊土砂がバラケて土石流化し対岸を遡上して対岸の民家や河川構造物に被害を及ぼす、f)崩壊発生後短時間で末端河床に天然ダムを形成して河道閉塞を生じ、上流側への被害を拡大すると同時に、その後の河川水によるダムの破壊により下流側への被害を併発する恐れが高い、さらには降雨量と降雨履歴との関係から g)降雨時間強度よりも継続雨量との関係が深い(奈良県南部の付加体地域では積算雨量がおよそ 600mm が分岐点であることを示している)などを考慮して、深層崩壊による大規模土砂災害への取り組み方については以下のようにまとめられる

- 1)深層崩壊のような大規模崩壊を直接抑止することは、安全性~経済性の点から非常に困難且つ非現実的 と考えられ、当面は減災という視点からの検討が合理的と思われる。
- 2)移動速度が高速であることから、崩壊が発生してからの安全な避難は困難である。
- 3)広域にわたって複数の箇所で発生する。

などを考慮し

1)過去の深層崩壊の履歴をできるだけ数多く収集し分析して、a)地形、b)地質、c)降雨量等についての関係性を追求し、この関係性が日本全国で普遍性を有するものか、地域ごとに特徴が異なるか等を早急に整理した上で、発生の危険度の高い箇所をより詳細に特定するとともに、そこに住民が生活する場合には移転を検討する 7。

- 2)河道閉塞などにより、周辺道路の通行止めが発生するなどして関連集落が孤立化しないよう、事前に避難体制を十分に検討しておく。深層崩壊は今回の紀伊半島大規模災害のように、広域に発生することが確認されており、発生箇所の特定に時間を要して孤立化が長引くことがある。深層崩壊は大量の土砂が移動することから、移動による振動が地盤に伝わるので、地震計による観測が可能であり、これらの振動はこれまで何度か観測されている。したがって、崩壊個所の瞬時の特定による関連集落の孤立化防止のために、複数の地震計などによる観測体制と記録の短時間での詳細な分析体制の確立についても併せて検討する。。
- 3)深層崩壊発生後の河道閉塞による、河川に並行して通る道路の水没被害も念頭におく必要がある(例えば 五條市大塔町一野迫川村間の県道が表・1 の No8 による天然ダムにより一時期水没している)。深層崩壊 の可能性があると評価された地域の住民や水没する恐れのある道路を通過する住民や車輌への避難指示 の規準としては、現時点では積算降雨量が最も有力と考えられる。したがって上記 1)とも併せ、規準降 雨量について早急に検討すると共に、対象地区での実効性に富む降雨量観測体制の構築をも併せて検討 する 7。

参考文献

- 1)(公社)地盤工学会関西支部、(一社)日本応用地質学会関西支部、関西地質調査業協会他編(2011.11):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、pp. II -3~6.
- 2)(公社)地盤工学会関西支部,(一社)日本応用地質学会関西支部,関西地質調査業協会他編(2015.4):「想定外」 豪雨による地盤災害への対応を考える調査研究委員会報告書,pp.33-35
- 3)産業総合研究所編:20 万分の地質図幅(田辺(1982),和歌山(1998))
- 4)鈴木博之他:平成23年台風12号災害における紀伊半島の斜面災害と地形・地質(概要),紀州四万十帯団体研究グループ編著,紀伊半島における四万十付加体研究の新展開(2012.8),pp.265-266
- 5)千木良雅弘著(2013.10):深層崩壊,近未来社,口絵④,pp.37-74
- 6)奈良県土木部砂防課編(2012.3):平成23年紀伊半島大水害・大規模土砂災害の記録
- 7)奈良県深層崩壊研究会編(2013.6):平成 23 年紀伊半島大水害・深層崩壊のメカニズム解明に関する現状報告,pp.13-33
- 8)小林芳正・蒲田文雄著(2006.1):シリーズ日本の歴史災害・十津川水害と北海道移住、古今書院
- 9)平野昌繁他(1984.4):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 Vol.27,B-1,pp369-386
- 10)中吉野広域消防組合編(2012.3):台風 12 号災害の教訓(深層崩壊、記録的豪雨),pp.6-21
- 11)後藤宏二(2012.12):深層崩壊~その実態と対応~、平成24年度国土技術政策総合研究所講演会資料,p3