

巻頭言	防災地盤学と技術者	九州大学大学院工学研究院教授	落合英俊	1
小特集	2004年の地盤災害			
	総論	2004年に発生した地盤災害	小野日出男	2
	平成16年台風18号による札幌市内の倒木被害		佐々木知子 八木美穂子 川井正彦	4
	新潟県中越地震による地盤災害(会津地方の例)		佐藤 史 貝羽哲郎	8
	浅間山2004年噴火		鈴木雄介 千葉達朗 田中倫久	12
	平成16年7月新潟豪雨災害の概要とその教訓		鴨井幸彦 平野吉彦 岡野 靖	16
	新潟県中越大震災の被害の特徴と復興への課題	(社)新潟県地質調査業協会技術委員会		21
	平成16年台風23号による岐阜県内の豪雨災害について		安江勝夫 村田芳信 細田 宏 下山奈緒	30
	平成16年7月福井豪雨による地盤災害		山本博文 服部 勇	34
	奈良県大塔村国道168号線における地すべり災害事例		辰巳洋治郎 中村孝幸	38
	平成16年台風23号による地盤災害一兵庫県豊岡市の円山川の事例一		坂上敏彦	42
	平成16年台風10号による斜面災害～徳島県那賀郡那賀町(旧木沢村)坂州大用知を例として～		田村俊之 橋本昌夫	46
	平成16年台風16号による宮崎県の地盤災害		仁田脇一秋 田代和紀	50

防災地盤学と技術者

九州大学大学院工学研究院 教授 落合 英俊

鹿児島県東桜島小学校の校庭の小高い丘に、大正3年1月の桜島噴火の記念碑「桜島爆発記念碑」が建っている。そこには、「……住民ハ理論ニ信頼セズ、異変ヲ認知スル時ハ、未然ニ避難ノ用意尤モ肝要トシ、平素勤儉産ヲ治メ、何時変災ニ遭モ路途ニ迷ハザル覚悟ナカルベカラズ。……」と刻み込まれている。桜島の人々が科学技術の頼りなさを糾弾した怨念と不信の石碑であり、自然災害に関わる研究者・技術者がその存在と内容を肝に銘じておかねばならない遺産である。

雨、風、地震、火山噴火などの自然の力を制御することは、現代の科学技術をもってしても不可能である。また、多数の人命を奪う斜面崩壊、地すべり、土石流のような土塊の移動は、基本的には重力と自然力の作用によって引き起こされる自然現象の一つである。地震による砂地盤の液化現象とそれに伴う地盤の流動も基本的には同じである。このような自然現象が人命、財産、あるいは社会活動を脅かし、損失を与えたときにはじめて「災害」となる。したがって、災害を防止・軽減するためには、自然現象と人間社会との関わりを統合的、総合的 (synthetic) に検討することが重要となる。然るに、自然災害に対するこれまでのアプローチは、対象とする自然現象と人間社会を部分的に区分し、その中で主として分析的、解析的 (analytical) に研究を行うものが多かった。そのために、たとえ個々の研究が完全であっても、災害というトータルな立場から見れば、不完全であったといえる。

自然災害が自然現象と人間社会の接点で起こることからすれば、災害発生の可能性は開発が活発に行われ、人口の集中が著しい地域で大きくなるのは必然である。それを防止・軽減するには、社会全体が災害に対する抵抗力 (防災力) を向上させる必要があり、自然科学と人文社会科学、要素技術と総合技術の相互理解と評価を基本とした統合的、総合的な観点が求められる。そのためには、分化・専門化した学問体系を見直し、総合科学技術としての学問領域の構築が必要であり、それが人々に信頼される科学技術を確立することになるであろう。

地盤は、人間の生活と生産の場であるために、地盤の振動、変状、移動といった現象はただちに人間社会に影響を及ぼし、災害につながる。したがって、地盤災害を防止・

軽減するためには、地盤に関わる現象に対する技術的成果と人間社会に対する人文社会科学的施策の相互理解に基づく統合的、総合的な方策が必須となる。地盤工学は伝統的に、地盤材料に関わる力学を柱とし、学際的領域分野の成果を活かしながら、地盤にかかわる災害現象の予知と起こり得る極値に関する分野を主たる守備範囲としてきたが、時代とともに変化する災害に対処するためには、自然科学分野と人文社会科学分野の関連学問を融合した総合的・学際的学問としての「防災地盤学」の構築が望まれる。

防災地盤学は、たとえば、「地盤と社会」、「要素技術と総合技術」の二つの軸によって体系付けることが考えられる。これらの二つの軸によってできる4つの象限には、次のような学問分野あるいはキーワードが含まれるであろう。

第一象限 (地盤と要素技術の領域) : 地盤力学、地盤動力学、岩盤力学、基礎工学、地下水工学、耐震工学、構造工学、砂防工学、河川工学、土壌学、地盤改良など。第二象限 (地盤と総合技術の領域) : 地質学、地形学、地理学、堆積学、水文学、気象学、地震学、火山学、地盤調査技術、地盤の抵抗特性の評価技術、地盤特性の変動予測技術、地盤防災力の変遷予測技術、地盤災害現象の予測技術など。第三象限 (社会と総合技術の領域) : 土地利用、社会組織の防災力、避難・誘導、災害文化など。第四象限 (社会と要素技術の領域) : 災害地盤図、防災地盤図、防災レベル、被災リスク、被災のメカニズムなど。

わが国の多種多様な自然災害は、災害の誘因として、自然の力の発現がダイナミックであること、および、素因として、地盤条件 (土質、地質、およびその特性に強く支配される地形) が自然の力に対してはなはだ脆弱であることに起因している。そして、過去の多くの災害は、自然災害の規模と程度が地盤条件と深いかかわりを持っていることを示している。すなわち、地盤技術者は、自然災害の防止・軽減のために不可欠な存在であり、俯瞰的な立場からの役割が求められているといえる。そのためには、地盤技術者は災害現象を「解明」することに止まらず、それを地域や社会が求めている問題の「解決」にまで発展させることが必要である。その成果の蓄積によって、人々に信頼され、社会に役立つ「防災地盤学」が構築されることになるであろう。

総論 2004年に発生した地盤災害

おのひでお
小野日出男*

1. はじめに

昨年(2003年)の7月から10月にかけて、記録的な豪雨や台風が日本列島を次々と襲い、各地で堤防の決壊や、土石流、地すべり、斜面崩壊などの土砂災害が多発した。9月には21年ぶりに浅間山が噴火したほか、10月には新潟県中越地震が起こるなど、2004年は改めて自然災害の脅威を感じさせる年であった。また、夏には記録的な猛暑が続き、農作物に多大な被害が出たほか、餌を求めて人里に熊が頻繁に現れるなど、相次いで天災に見舞われた。

毎年、財団法人日本漢字能力検定協会は、その年の世相を表す漢字を「漢字の日(12月12日)」に発表している。

昨年は自然災害が多発したことを受け、「災」が世相漢字の第1位に選ばれた(写真1参照)。



写真1 2004年世相漢字の揮毫
(出典：財団法人 日本漢字能力検定協会のHP)

2. 自然災害の多発する日本

我が国は山紫水明で緑豊かな豊饒の島国である。しかし、国土の約73%を「山地」と「丘陵地」で占める急峻な地形で、急勾配で短い河川を多く有している。また、世界有数の地震国で、火山活動も盛んであるほか、大規模な断層や破砕帯が発達する複雑な地質構造になっているため、脆弱な地盤で構成されている。

このような我が国に、年中行事のように、梅雨や台風、集中豪雨、地震、火山噴火などが発生し、これらが外的要因となって自然災害を引き起こす可能性を常に抱えている。

2004年は1983年(昭和58年)以来の大災害の年ともいわれている。1983年は、5月に日本海中部地震が起こり、津波によって多数の死者を出したほか、多くの構造物が損壊した。また、7月に、中国地方や九州地方が梅雨前線による集中豪雨に襲われ、島根県を中心に土砂災害、家屋の損壊・流失、農林水産物の被害などが発生した年であった。

3. 2004年の自然災害

国土交通省砂防部によると、平成16年の土砂災害(土石流、地すべりや斜面崩壊)の発生件数は、土石流565件、地すべり461件、斜面崩壊1511件の計2537件である。発生件数の多い県の1位から10位までをみると、上位から新潟県、愛媛県、香川県、神奈川県、長野県、大分県、福井県、兵庫県、徳島県、静岡県の順になっている。なお、沖縄県では1件も土砂災害が発生していない。

表1は2004年に発生した主な自然災害をまとめたものである。このうち、いくつかの災害は、本小特集の中でも論じられている。

2004年に発生した自然災害の特徴は、勢力の強い台風が連続して多数上陸したこと、中小河川で越水・破堤が多く生じたこと、土砂災害・高潮・異常潮位が多く発生したことなどである。また、近年多発傾向にある局地的な集中豪雨も特徴の一つである。

以下に、地盤に関わる自然災害を「地盤災害」と総称し、地盤災害を「地震災害」「風水害」「火山災害」に区分して、その概略を述べる。

3.1 地震災害

地震災害とは、地震を外的要因とする斜面崩壊・地すべり、液状化、断層の露出、地割れ、構造物の破損・倒壊、ライフラインの破損、津波などの事象をいう。

地震は毎日のように全国各地で発生している。特に10月に発生した新潟県中越地震はマグニチュードM6.8、最大震度7を記録する大規模なものであったため、自然斜面や道路盛土が崩壊し、崩壊土砂による河川閉塞が生じたほか、走行中の上越新幹線の車両が脱線して、復旧に多大な時間を費やすなど、阪神・淡路大震災以来の甚大な地盤災害に

* (社)全国地質調査業協会連合会 編集委員会委員長

表1 2004年に発生した主な自然災害

発生月	主な災害事象	地域
1月	一般国道336号えりも町斜面崩壊	北海道
3月	栃尾市北荷頃地すべり	新潟県
4月	村田町菅生地区「平地区」地すべり	宮城県
5月	白峰村別当谷土石流	石川県
7月	平成16年7月新潟・福島豪雨による破堤、土石流・地すべり・斜面崩壊	福島県・新潟県
7月	集中豪雨（福井豪雨）による破堤（足羽川）、土石流・地すべり・斜面崩壊	福井県
8月	国道168号奈良県吉野郡大塔村宇井地先における地すべり	奈良県
8月～9月	平成16年10・11・15号台風による破堤、土石流・地すべり・斜面崩壊	徳島県・愛媛県・高知県
9月	浅間山噴火による降灰	群馬県・長野県
9月	平成16年15号台風による破堤	青森県
9月	平成16年16号台風による破堤、土石流・地すべり・斜面崩壊	大分県
9月	平成16年18号台風による倒木	北海道
9月	平成16年18号台風による堤防法面崩壊	福岡県
9月	平成16年21号台風による宮川村の地すべり	三重県
10月	平成16年23号台風による破堤、土石流・地すべり・斜面崩壊	長野県
10月	平成16年23号台風による堤防決壊（豊岡市円山川）、土石流・地すべり・斜面崩壊	兵庫県
10月	平成16年23号台風による土石流（玉野市）・斜面崩壊（倉敷市）	岡山県
10月	平成16年23号台風による土石流・地すべり・斜面崩壊	香川県・徳島県・愛媛県
10月	平成16年23号台風による海岸堤防の倒壊（高知県室戸市菜生海岸）	高知県
10月	新潟県中越地震による土石流・地すべり・斜面崩壊、河道閉塞	新潟県・福島県

なっている。震央に近い旧山古志村では交通路の遮断により集落が孤立したため、全村避難を余儀なくされている。

3.2 風水害

風水害とは、低気圧・台風・竜巻の突風・暴風による倒木や、低気圧や台風、前線の発達による集中豪雨を外的要因とする土砂災害や洪水、構造物の破損・倒壊、高潮や高波による堤防の破壊などが事象である。

7月には新潟県・福島県地方や福井県地方において、活発化した梅雨前線による集中豪雨によって、大規模な風水害が発生した（平成16年7月新潟・福島豪雨、平成16年7月福井豪雨）。さらに7月から10月にかけて、観測史上最多となる10個の台風（4号、6号、10号、11号、15号、16号、18号、21号、22号、23号）が日本列島に上陸し、日本各地に風水害を引き起こした。このうち、台風18号は北海道にも上陸し、北海道大学のポプラ並木が倒される風害が発生している。また、台風21号によって、三重県宮川水系で水害が発生したほか、台風23号では、兵庫県円山川・出水川で破堤したほか、京都府の由良川が氾濫した。

3.3 火山災害

火山災害とは、噴火による溶岩流や火砕流、降下火山灰による泥石流、爆発による山体崩壊、山体崩落などが事象である。9月には21年ぶりに浅間山が噴火したが、現在は小康を保っている。なお、有珠山、岩手山、三原山、阿蘇山などの活火山は、観測体制が整備され、監視が続けられている。

3.4 その他の災害

表1の中にある国道336号えりも町斜面崩壊、栃尾市北

荷頃地すべり、村田町菅生地区「平地区」地すべり、白峰村別当谷土石流および国道168号大塔村宇井地先地すべりなどは、地形・地質構造の内的要因と地震力や降雪・降雨などの外的要因が複合して生じた地盤災害である。

特に、国道168号大塔村宇井地先地すべりは、監視体制が整っていたため、地すべりの瞬間がビデオ撮影されている。

4. おわりに

2004年の地盤災害の特徴は、中小河川での氾濫、高潮・異常潮位による破堤や土砂災害が多く発生したことである。また、新潟県中越地震では崩壊土砂による河道閉塞もみられた。これらの地盤災害の原因調査や災害に至るメカニズムの解明が急務である。

我が国は、梅雨や台風、地震および火山の噴火などが絶えず発生する環境にあり、これらが外的要因となって常に地盤災害を引き起こしている。

「天災は忘れたころにやってくる」といわれるが、これは「常に災害が発生することを念頭におき、災害対策を怠るな」という警句である。

2004年の地盤災害で得られた教訓を、今後の国土保全、防災・減災に向けたソフト・ハード両面の整備に活かすことが、我々の課題である。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所
16年風水害検討チーム：平成16年風水害の特徴と今後の課題
- 2) 国土交通省砂防部：平成16年に発生した土砂災害
- 3) 社団法人全国地質調査業協会連合会：社会に貢献する地質調査業

平成16年台風18号による札幌市内の倒木被害

さ さ き とも こ や ぎ み ほ こ
 佐々木 知子*・八木 美穂子*
 かわ い ま き ひ こ
 川井 正彦*

1. はじめに

平成16年9月に北海道地方を襲った台風18号は、道内各地で観測史上最大の強風を観測するなど、防災上の盲点でもあった風害への認識を新たにするものであった。

この台風により、札幌市内においても強風が吹き荒れ、多くの建物の損壊や倒木被害が発生し、緑豊かな市街地の景観は一変した。

本稿では、この強風による札幌市南部に位置する真駒内公園の倒木の被害状況について報告する。

2. 台風18号の概要

平成16年8月28日マーシャル諸島付近で発生した台風18号は、大型で強い勢力を保持したまま、沖縄本島を通過した。その後、日本海を北東に進み、暴風域を伴ったまま9月8日朝から昼にかけて北海道西岸を北上し、同日15時に宗谷海峡で温帯低気圧となった(図1)。

この台風により道内各地では、観測開始以来最大となる

強風を記録し、札幌では最大風速21.7m/s、最大瞬間風速50.2m/sを観測した。特に、最大瞬間風速は、それまでの最高値34.4m/s(平成13年12月30日)を大きく上回る猛烈な風を記録することとなった。

この台風18号による倒木被害は、特定の地域に集中することなく全道に及び、その面積は約37,000ha、被害額119億円(うち、国有林面積13,907ha、被害額79億3490万円(10月7日現在北海道森林管理局発表)、私有林面積23,049ha、被害額39億7612万円(10月6日現在北海道発表))と、北海道における森林被害額としては、昭和56年の台風15号に次ぐ規模のものであった(北海道平成16年10月公表資料より)。

3. 真駒内公園の倒木被害の概要

著者らは、風害の実態把握を目的として、台風通過後一週間を経過した9月15日、札幌市南部の真駒内公園において、倒木被害状況の調査を行った。

調査にあたっては、倒木およびその周辺の写真撮影を行

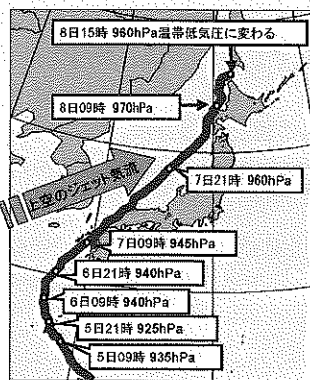


図1 台風18号経路図
 (札幌管区気象台報道説明資料
 平成16年10月7日)

表1 札幌における過去の最大瞬間風速
 (気象庁気象統計情報)

順位	風速 (m/s)	風向	観測年月日
1	50.2	南西	平成16年09月08日
2	34.4	北西	平成13年12月30日
3	32.2	南西	平成14年10月02日
4	32.1	西	平成15年11月22日
5	31.4	北西	平成16年01月14日
6	31.4	北西	平成15年09月14日
7	31.3	北西	平成16年12月17日
8	30.7	西	平成16年11月27日
9	30.3	北西	平成15年12月26日
10	30.1	南	平成16年05月03日

(統計期間：2001年9月～2005年3月)

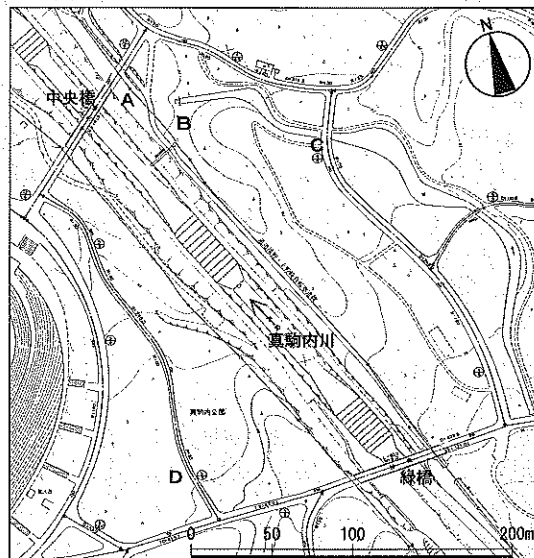


図2 真駒内公園内調査地点

* 応用地質(株)札幌支社 技術部

うとともに、倒木の樹種や大きさ、根の張り具合、方向についても観察した。

A 地点：中央橋上流右岸サイクリングロード西側

A 地点は、中央橋直上流の真駒内川と川沿いに設けられたサイクリングロードに挟まれた範囲であり、河岸にヤナギの低木が見られる程度で、開けた状況にある。

この地点では、写真1、図3および表2に示すように、胸高直径25 cm 程度のシラカンバが折り重なって倒れていた。被害の状況は、根部から倒れる『根返り』であった。

倒木の根部で確認された土壌は、直径5~10 cm の礫を混入する礫混り砂が主体であった。



写真1 A地点のシラカンバ倒木群

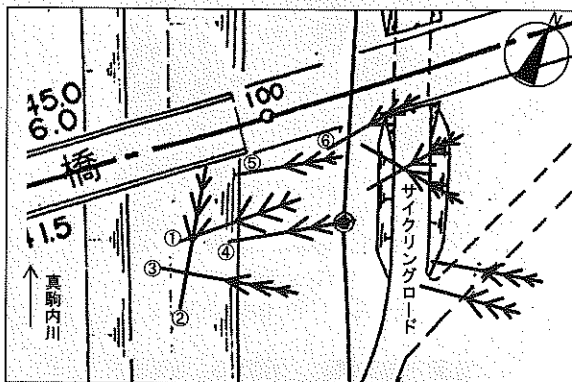


図3 真駒内公園内 A地点 倒木状況模式図

表2 真駒内公園内 A地点 倒木の状況

番号	樹種	目視高さ (m)	根張り (m) 縦×横×深さ	倒木方向
		胸高直径 (cm)		
①	シラカンバ	10	1.2×3.0×0.8	北東
		24		
②	シラカンバ	9	1.3×2.5×0.8	北北西
		23		
③	シラカンバ	10	2.3×1.7×0.8	東北東
		27		
④	シラカンバ	10, 9 (分幹)	1.5×2.3×0.7	北東
		25, 23		
⑤	シラカンバ	11	2.0×2.5×0.9	北東
		27		
⑥	シラカンバ	— (上部切断)	—	北北東
		約40 (目視)		

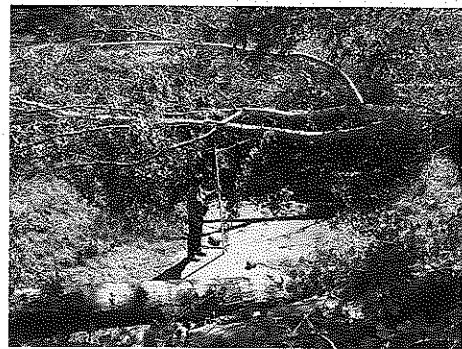


写真2 サイクリングロードをふさぐ倒木
手前：図3中、⑥の倒木 奥：⑥の南方の倒木



写真3 倒木⑤ 根張り2.0×2.5m, 深さ0.9m

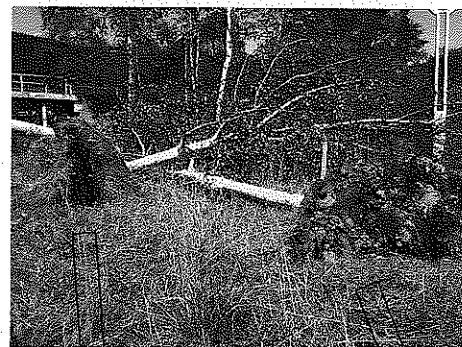
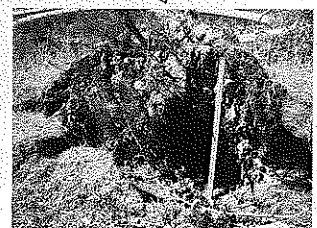


写真4 倒木②③



倒木③の根部：
根張り2.3×1.7m, 深さ0.8m



倒木②の根部：
根張り1.3×2.5m, 深さ0.8m

B 地点：中央橋上流右岸サイクリングロード東側

B 地点は、A 地点からサイクリングロードを挟んで南東側の地点である。この地点は真駒内川からの風通しがよく、密生した河畔林など風を遮るものは見られない。この地点では、図4および表3に示すように、北西から東方向に胸高直径20~30 cm 以上のニセアカシア、ヤチダモが『根返り』し、倒伏していた。

根部の土壌は、巨礫を含む黒褐色の土砂が主体であった。

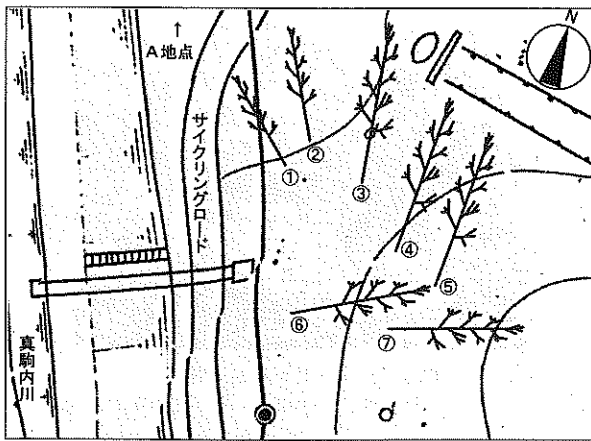


図4 真駒内公園内 B地点 倒木状況模式図

表3 真駒内公園内 B地点 倒木の状況

番号	樹種	目視高さ (m)	根張り (m) 縦×横×深さ	倒木 方向
		胸高直径 (cm)		
①	ニセアカシア	9	2.0×1.5×0.6	北西
		34		
②	ニセアカシア	10	1.6×1.4×0.6	北北西
		30		
③	ヤチグモ	7	1.2×1.3×0.6	北
		23		
④	ヤチグモ	7	0.8×0.7×0.5	北
		22		
⑤	ハルニレ (枯死)	13	2.1×2.8×1.0	北
		49		
⑥	ヤチグモ	7	0.9×0.9×0.6	北東
		17		
⑦	ヤチグモ	9	0.6×1.0×0.6	東北東
		22		



写真5 ニセアカシア倒木
手前：図4中、①の倒木 奥：②の倒木



写真6 ヤチグモの根部：玉石を巻き込んでいる

C地点：芝生広場

C地点周辺は芝生の広場となっており、開放的な空間を形成している。この地点では、図5、表4および写真7に示すように、真駒内川旧河道沿いのシダレヤナギが同一方向に倒れているのが確認できた。

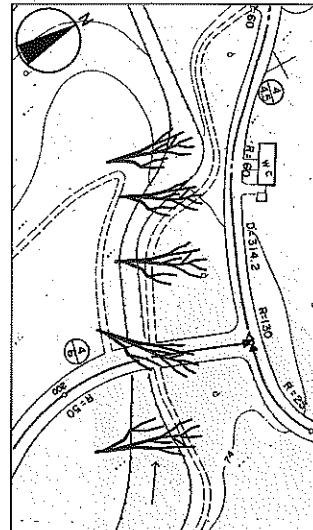


図5 真駒内公園
C地点 倒木状況模式図

表4 真駒内公園内 C地点
倒木の状況

樹種	シダレヤナギ (5本以上確認)
高さ	8~12 m
胸高直径	35~50 cm
根張り	縦1.5 m× 横2.0 m× 深さ1.3 m
倒木方向	北北東



写真7 シダレヤナギの倒木状況
全て同一方向に倒れている



写真8 シダレヤナギの倒木
根の幅は、約1.7 m

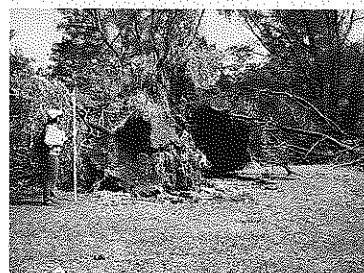


写真9 シダレヤナギの倒木
根部の表土をめくるように倒れている

D 地点：緑橋西側

D 地点では、札幌市の代表的な街路樹のひとつであるナナカマドの被害が多く見られた。

表 5 および写真 10 に D 地点での倒木の状況を示す。

表 5 真駒内公園内 D 地点
倒木の状況

樹種	ナナカマド
高さ	8 m
胸高直径	13~15 cm (分枝)
根張り	縦 1.5 m ×
	横 1.8 m ×
	深さ 0.4 m
倒木方向	東

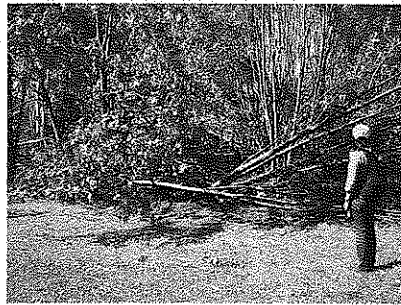


写真 10 ナナカマドの倒木状況

4. 被害状況の整理

調査によって確認した被害を倒木の方向、根の深さ、樹木の枝の張り方の点から整理する。

① 倒木の方向について

確認された倒木の方向は、図 6 に示すように北北東を中心に北西から東であった。これは、最大風速を記録した南西風によるものと考えられ、併せて、D 地点を除く 3 調査地点では周辺に風をさえぎるものがなく、南西風を受けやすい環境にあったためと考える。

つまり、台風による強風は、真駒内川を通り道として公園内部に及び、川から開けた A~C 地点へと流れ込んだことにより、倒木の方向が同一となったものと考えられる。

② 倒木の根の深さについて

倒木の根の深さは、図 7 に示すように樹種によって異なり、最も根の深かったのは、シダレヤナギで約 1.3 m であった。次いで、シラカンバ(0.7~0.9 m)、ニセアカシア(0.6 m)、ヤチダモ(0.5~0.6 m)であり、最も浅かったのはナナカマド(0.4 m)であった(ハルニレについては枯死していたため対象外とした)。

これは、植生ごとに根の生育が異なることを表しているだけでなく、根部と地上部の比率による耐力の差異を現しているものと考えられる。つまり、シダレヤナギの場合、根の生育も他の植生に比べ深部にまで及んでいるが、それ以上に地上部の枝や葉の広がりも顕著で、風を受けやすい構造となっているため、深部に及んでいる根部ごと倒伏する結果となったものと考えられる。

③ 倒木の根の広がりについて

一方、倒木の根の広がりについてみると、図 8 に示すように、シラカンバが最も広く(平均 3.84 m²)、次いでシダレヤナギ(平均 3.0 m²)、ナナカマド(平均 2.7 m²)、ニセアカシア(平均 2.62 m²)、ヤチダモ(平均 0.88 m²)の順に大きかった。

すなわち、シラカンバの根は他の樹種に比べ広がりをもって生育するが、その深さ方向への生育は上述したように 0.4~0.9 m とやや浅いため、地上部の枝葉の構造とあいまって、強風に対する耐力がやや低くなっているものと推測することができる。ヤチダモでは根の広がり小さく、か

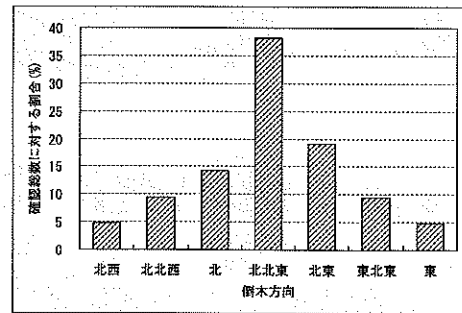


図 6 調査樹木の倒木方向の整理

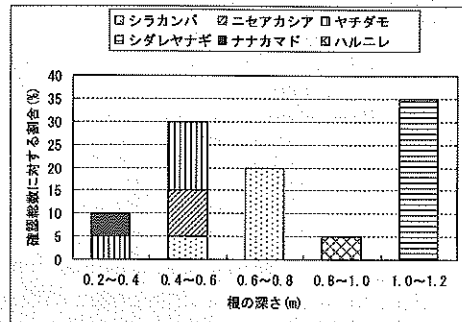


図 7 調査樹木の根の深さの整理

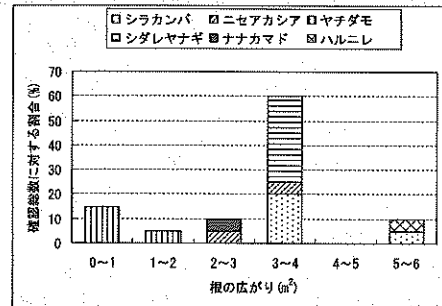


図 8 調査樹木の根の広がり整理

つ、根が浅いものが倒伏していた。

5. まとめ

これらのことから、次のように考えることができる。

- ① 倒木の方向は、主として強風の風向に支配されるが、併せて風の通り道となる河川や道路など(市街地においてはビルなどの構造物も影響するものと考えられる)との位置関係によっても影響を受けるものと考えられる。
- ② 樹種ごとの根の生育や地上部(枝・葉)の生育が風に対する耐力を左右するが、調査した樹種の中では、シラカンバ、シダレヤナギは、相対的に風に対する耐力が低いものと考えられる。

おわりに

今回の被害を受け、森林管理局と北海道は、森林の植栽についての基本的な考え方をまとめ、復旧対策を検討しており、「多様な樹種・樹冠層により形成される森林」を目指し、森林の蘇生が進められている(「支笏湖周辺風倒木被害復旧対策検討委員会」検討結果 平成 17 年 2 月 28 日発表)。また、札幌市では、街路樹の樹種選定に関して調査・検討が進められている。

新潟県中越地震による地盤災害（会津地方の例）

さとう おさむ
佐藤 史*
かい わ つ ちゅう
貝羽 哲郎*

1. はじめに

平成16年10月23日に発生した新潟県中越地震により、福島県大沼郡金山町中心部においても震度4の揺れが観測され、一般国道252号および町道3路線の計5カ所で、道路法面の崩壊、擁壁や路肩の沈下ならびに路面の陥没等の変状が発生した。

国道252号では、通行の安全確保のうえで片側交互通行の規制、また、町道の3路線4カ所では、一時、全面通行止めの規制がとられた。なお、平成17年4月現在においては、町道の3路線3カ所について、応急対策の実施により、全面通行止めが解除されており、一部、変状の激しい1路線1カ所では、なお全面通行止めの状態が続いている。

被災箇所は、只見川沿いの国道252号と、それにつながる町道に集中した。調査の結果、被災箇所の地盤はいずれも固結度の低いシラスからなることが判明した。

2. 地形・地質概要

被災箇所は、福島県大沼郡金山町中心部から北西約4~6kmに位置する金山町水沼地区から高倉地区にかけての区間である。当地区では沼沢湖を中心にほぼ円形の範囲に分布する火砕流堆積物の北側縁辺部に沿って只見川が大きく

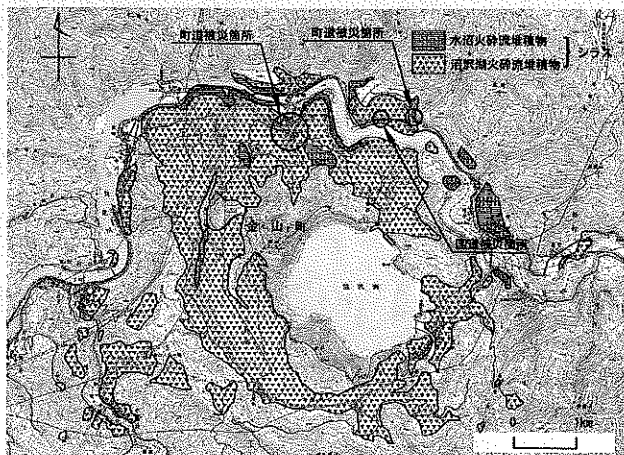


図1 被災箇所分布図

* 応用地質(株)東北支社

蛇行し、これに沿って国道252号が通っている。

只見川を挟んで北側は新第三紀火成岩類の分布する急峻な山地、南側は火砕流堆積物の分布するなだらかな丘陵性の山地となり、非対称な地形となっている。

沼沢湖周辺の火砕流堆積物は、堆積時代の古いものから新しいものまでいくつかの地層に分類されているが、第四紀の堆積物に限ると堆積時代の異なる2つの火砕流堆積物(水沼火砕流堆積物、沼沢湖火砕流堆積物)に大別される。このうち、地表に最も広く分布する沼沢湖火砕流堆積物は約5000年前の噴出物とされている。

これらの地層は只見川に面した急崖で観察でき、沼沢湖火砕流堆積物は、軽石凝灰岩・火山礫凝灰岩からなる低固結で割れ目の少ない火砕流堆積物で、いわゆるシラスに相当する地層である。一方、水沼火砕流堆積物は溶結凝灰岩からなる硬質な地層を主体とする。

地震により被災した箇所は、国道252号が只見川の浸食壁直上を通過している箇所と、町道水沼沼沢線、福沢線ならびに高倉線がつつら折りになりながら急斜面を上っていく箇所にあたり、いずれもシラスが厚く分布している。

すなわち、被災箇所の条件は、シラスの分布する箇所+只見川沿いの急傾斜の地域に特定されることが明らかとなった。只見川沿いは、河川の浸食によって急斜面が形成されていることと、シラスは風化速度が早く、浸食による緩み→風化→不安定化しやすい条件にあったと推定される。

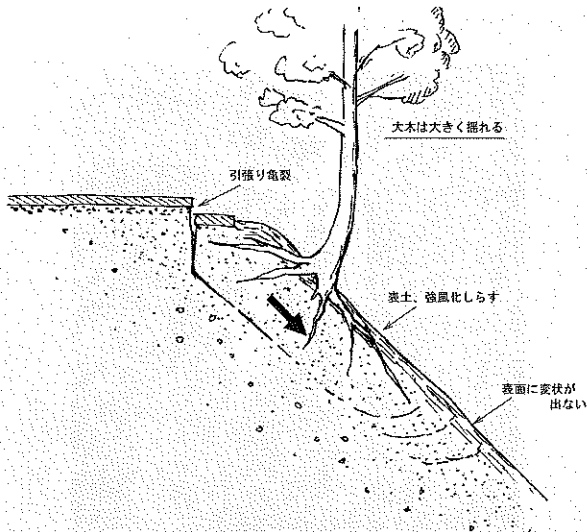
3. 被災状況

被災が顕在化したのは、斜面表層に広く連続する緩み範囲に建設された切土法面の上部付近、切土により建設した道路の路肩付近、切盛境界付近等である。また、このような箇所に擁壁が位置するため、それぞれの構造、基礎地盤状況に応じた被災を受けている。

これらの状況は、斜面表層の比較的浅い範囲が地震動により移動・変形し、その中にある構造物や法面が被災したと考えるのが妥当で、地震動により移動・変形した深さは、ボーリング調査結果から、シラス表層部の緩み範囲に表土の厚さを加えたおおむね3m前後と推定した。

被災形態は次の5つのタイプに分類できる。

(1) タイプ1 (盛土・路肩の沈下)

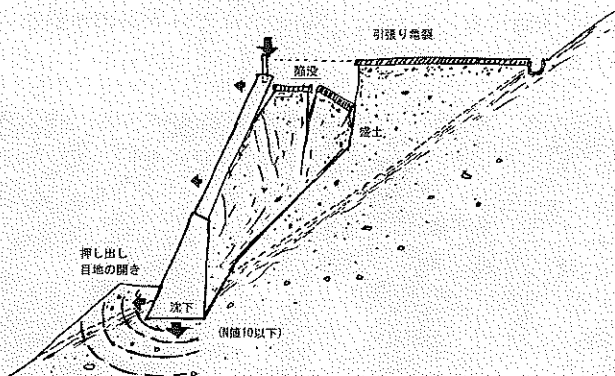


地震動により路肩の表土およびゆるんだ地盤が沈下し、路面に段差と開口亀裂が生じた。開口亀裂に連続する変状が形成されたと考えられるが、下方斜面でその連続性は確認できない。



写真1 タイプ1現地状況

(2) タイプ2 (擁壁沈下)



地震動による慣性力により擁壁から基礎地盤に圧縮力が作用し、地盤が変形したために擁壁が沈下している。擁壁の規模により変状の程度は異なるが、基礎地盤は局部的に破壊していることが予想される。

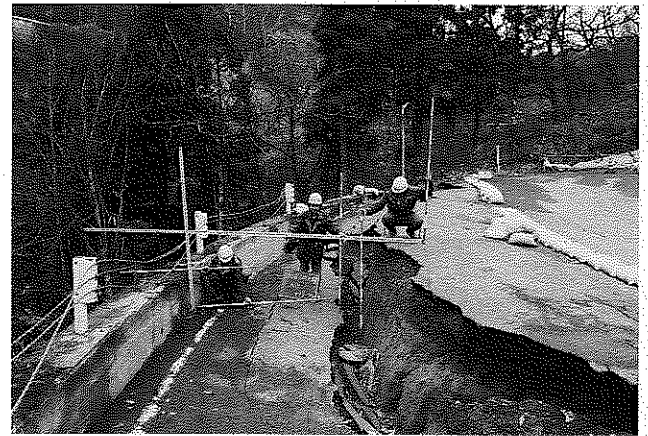
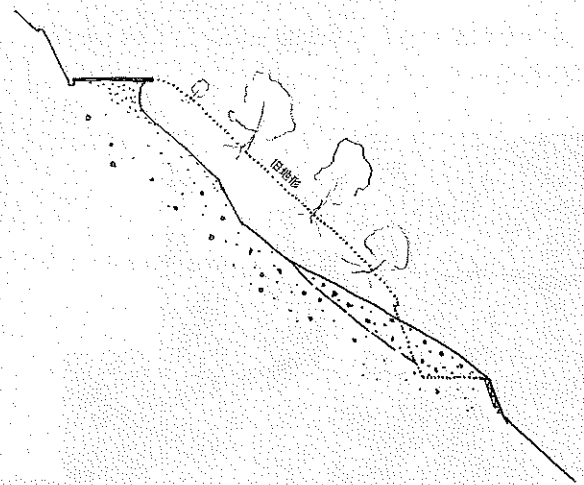


写真2 タイプ2現地状況

(3) タイプ3 (急斜面における風化部の崩落)



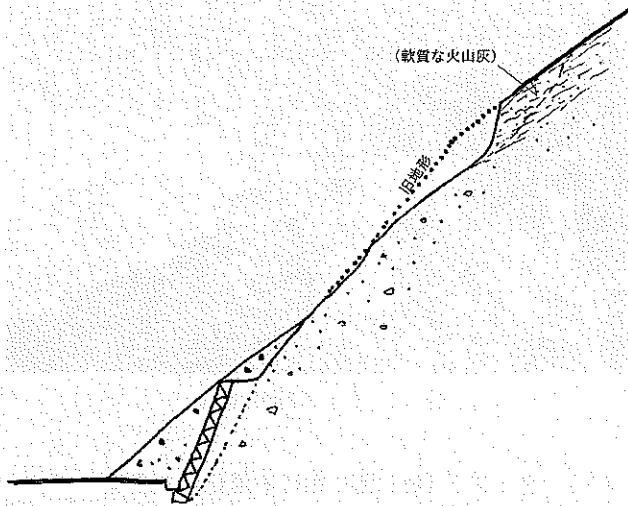
道路や法面によって自然斜面の連続がとぎれている箇所において、表層土砂およびシラスの風化部が地震動により緩んで崩落している。

一部、崩落まで至らないものの、斜面上下に亀裂が発生し、不安定な状況となっている区間もある。



写真3 タイプ3現地状況

(4) タイプ4 (斜面上部の風化部の崩落)



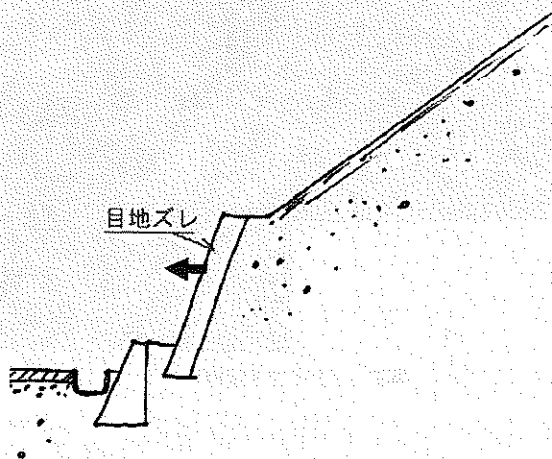
斜面上部の風化により軟質化したシラスが、地震動により緩み崩落している。



写真4 タイプ4現地状況

(5) タイプ5 (構造物自体の変形)

タイプ5-① 擁壁の変形



地震動による慣性力で擁壁が前傾したために、目地にずれが生じている。背後斜面表層の緩みにより、擁壁に一時的に大きな土圧が作用した可能性もある。

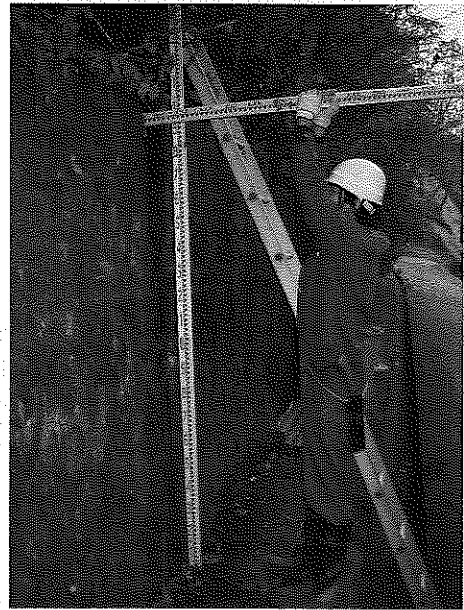
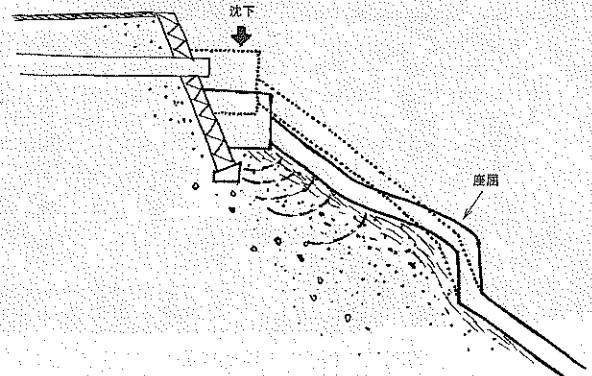


写真5 タイプ5-①現地状況

タイプ5-② 水路の変形



軟質な地盤上にあったコンクリート集水升が地震動による慣性力で沈下したため、連結してあるヒューム管との接合部が破断するとともに、下方のコルゲート製の水路が圧縮され坐屈変形している。



写真6 タイプ5-②現地状況

4. 対策工法の選定例

被災タイプ1あるいは2に分類される箇所では、ボーリング調査の結果、 N 値10以下の地盤が厚く分布する箇所が多く、対策工法としてコンクリート擁壁の再構築や新築は適さないと判断した。このため、これらの箇所については山留め式擁壁工（自立式あるいはアンカー付）または軽量材による土圧低減工、補強土盛土工等を現地条件に応じて採用した。

被災タイプ3あるいは4に分類される箇所では、安定地盤（不動地盤）の深さに応じて法面保護工の抑止力を選択した。採用した工法は吹付法砕工（+鉄筋挿入工）を主とした。

被災タイプ5に分類される箇所では、構造物の復旧を基本とするが、擁壁に土圧が作用したと考えられる箇所についてはアンカー工による補強も採用した。

以下に選定した工法の代表例の標準断面図を示す。

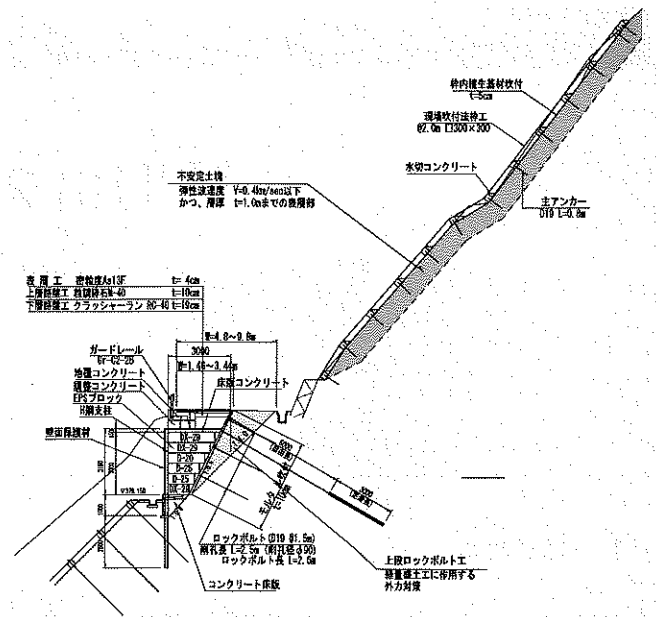


図4 軽量盛土工、法砕工
(緩み範囲が薄い場合)

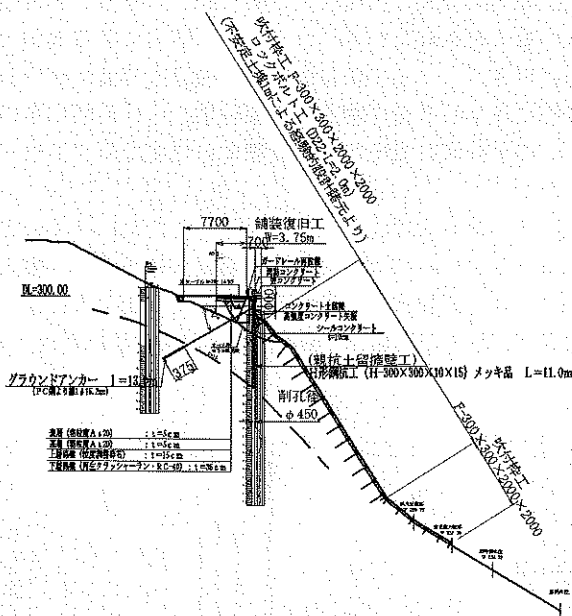


図2 山留め式擁壁工（アンカー付）+法砕工

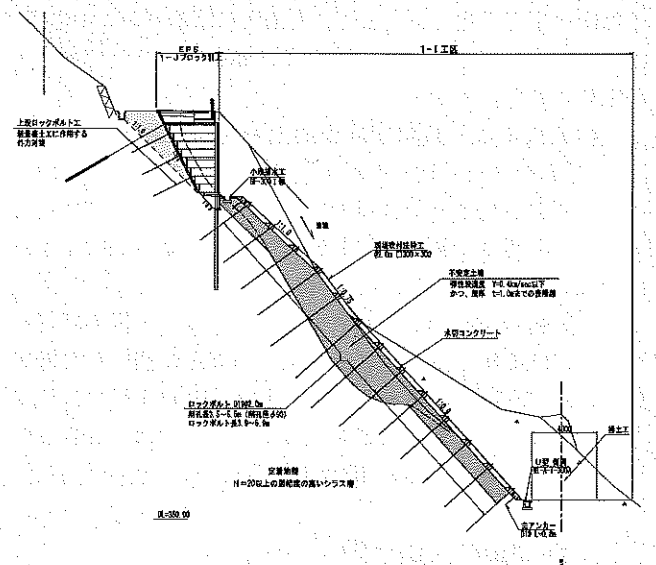


図5 軽量盛土工、法砕工+ロックボルト工
(緩み範囲が厚い場合)

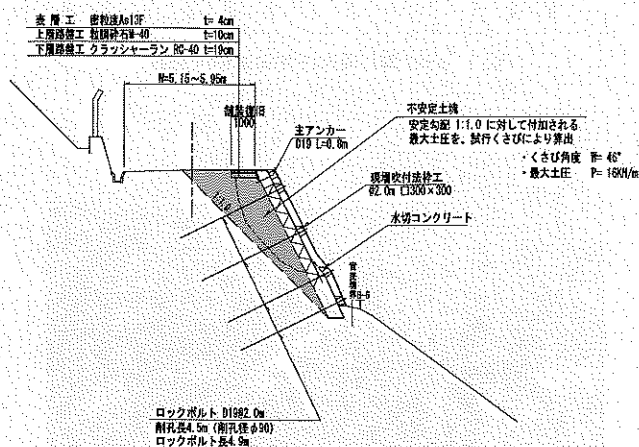


図3 ロックボルトによる擁壁補強工

5. おわりに

新潟県中越地震は震源域から離れた福島県会津地方にも被害を及ぼしたが、被災箇所はシラス分布域に限定されたもので、当該地区のシラスが地震力に対してきわめて弱い地質であることが浮き彫りとなった。今後、融雪期を迎え、対策工事に着手することになるが、地震により緩んだシラスの融雪期における挙動を確認し、提案した対策工法の妥当性を再評価したうえで、安全な施工と確実な復旧のために必要な助言を行いたいと考えている。

浅間山 2004年噴火

鈴木 雄介*・千葉 達朗**
田中 倫久***

1. はじめに

2004年9月1日午後8時2分、浅間山(標高2568m)の山頂火口において爆発的な噴火が発生した。この噴火により、火口から約2kmの範囲に高温の火山弾が飛散し、一部では山火事も発生した。また、火山灰は北軽井沢、中之条、沼田、郡山などをはじめ、遠方では福島県相馬市でも降灰が確認された。

この噴火により気象庁は浅間山の火山活動度レベルを「やや活発な火山活動」を示すレベル2から、「山頂火口で小～中噴火が発生または可能性」を示すレベル3に変更した。この規模の大きさの噴火が発生したのは、1983年4月に発生した噴火以来21年ぶりのことである。

アジア航測(株)ではこの噴火発生をうけ、天候の回復を待って、2004年9月3日に浅間山火口周辺の空中写真撮影(垂直および斜め写真)を行った。また、10月7日にはデジタル航空カメラによる撮影を行った。ここでは、これらの空中写真と2004年浅間山噴火の概要について紹介する。

2. 浅間山の火山活動

2.1 浅間山の概要

浅間山は群馬県と長野県の県境に位置し、火山噴火予知連絡会による火山活動度による分類は、最も活動度の高いランクAに分類される安山岩質の活発な活火山である。黒斑火山・仏岩火山および前掛火山の総称であり、有史以降の噴火はすべて前掛火山山頂部(釜山)で生じている。前掛火山の活動は約1万年前から始まり、現在まで継続している。浅間山周辺の山麓部には、活発な火山活動により高原が作られ、軽井沢を代表とする避暑地として開発が進められている。

2.2 過去の噴火活動

浅間山は有史以降にも多くの噴火を記録しているが、これらのうち天仁元年(1108年)と天明3年(1783年)に記録されている2回の噴火が有名である。

天仁元年の噴火は前掛火山の噴火のうちもっとも規模の大きい噴火とされている。プリニー式噴火による火山灰の噴出に続き、スコリア質の火砕流(追分火砕流)が南北の山麓部に流下し北麓の嬬恋村や南麓部の広い範囲に堆積した。この火砕流の噴出後には北麓にむけて上舞台溶岩が流出した。

天明3年の噴火は江戸末期に発生したため、多くの古記録が残されている噴火である。天明噴火は天仁元年噴火と同様プリニー式噴火から始まり、火砕流(吾妻火砕流、鎌原火砕流)および溶岩流(鬼押出溶岩流)の流出が起きた。

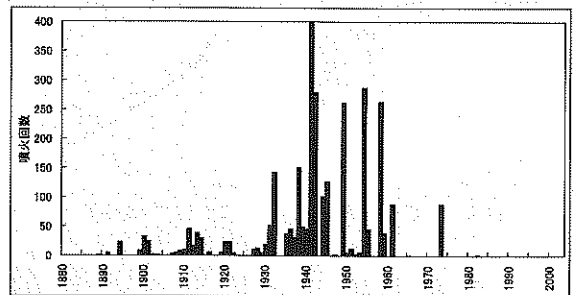


図1 1980年以降の浅間山の噴火回数



写真1 2003年4月28日撮影

* アジア航測(株)事業推進本部コアテクノロジー事業部防災グループ

** アジア航測(株)事業推進本部コアテクノロジー事業部技術開発推進グループ

*** アジア航測(株)関東防災地質部防災地質課

北麓方面へ流下した鎌原火砕流の一部は岩屑流となり吾妻川から利根川に流れ込み下流域に大きな被害をもたらした。

天明3年の噴火以降、現在に至るまでにも多くの噴火が記録されている。図1に長野県地域防災計画資料編、資料4の表から作成した1980年以降の噴火回数を示す。1960年頃まではほぼ毎年のように噴火が発生しており、20世紀以降、山頂付近では噴石による死者が約20名確認されている。一方1960年台からは噴火の回数は減少し、2002年までは1973年、1983年の噴火を除き顕著な噴火は発生していない。

その後、2000年頃からは山頂直下付近の地震活動の増加や噴煙活動の活発化が確認され、2003年2~4月には小規模な噴火が発生し山頂付近に降灰が確認されていた。

3. 浅間山2004年噴火の概要

2004年9月1日から始まった噴火活動は、2005年4月現在も継続中である。ここでは噴火活動が活発であった2004年9月の噴火を中心に、空中写真を交えながら噴火推移を追う。

3.1 2004年9月1日噴火

2004年9月1日午後8時2分、山頂火口で噴火が発生した。噴火の直前には、2004年8月31日からの地震発生回数の増加による火山観測情報（気象庁）や、火映現象の増加が確認されていたが、明瞭な地殻変動などは観測されていなかった。

前述したとおり、この噴火により火山弾や噴石が放出され、広範囲で降灰が確認された。このため、空中写真撮影を決定し、撮影準備にとりかかった。噴火の翌日（9月2日）は降雨が続いたため、噴火から2日経過した9月3日に浅

表1 撮影した空中写真の諸元

撮影日	撮影縮尺	撮影機材
2005年9月3日	1/12,500	RC 30
2005年10月7日	1/20,000	DMC (デジタル航空カメラ)

間山火口周辺の空中写真（垂直・斜め、垂直写真の撮影縮尺1/12,500）を撮影した。撮影に用いたカメラはRC-30、高度は標高約4000m、山頂での対地高度は約1500mである（表1）。

空中写真撮影後の9月4日、撮影された空中写真および、緊急判読結果をアジア航測(株)のWebページ (<http://www.ajiko.co.jp/topics/ct/asama/asama.htm>) に掲載した。また、噴火後の状況把握および各種観察結果との比較のための基礎資料として、国土交通省関東地方整備局利根川水系砂防事務所が2003年に実施した航空レーザー計測結果および計測データから作成された「赤色立体地図」をもとに、山頂火口周辺の地形図を作製し、ヘリなどによる火口内部の観察を行うための基礎資料とした（図2）。

9月4日段階での空中写真判読結果を以下に記す。

釜山火口付近：火口縁の形状はほとんど変化しておらず火口西側に設置されていた火口監視カメラの構造物も残存している。

クレーター：釜山火口の周辺1kmの範囲には今回の噴火前から多数の噴石やクレーターが分布している。新しい噴石の認定は、噴火前の写真などの情報を参照しながら慎重に行った。その結果、土砂の飛散を伴う新しいクレーターが多数確認されたが、既存の噴石の分布傾向と比較する

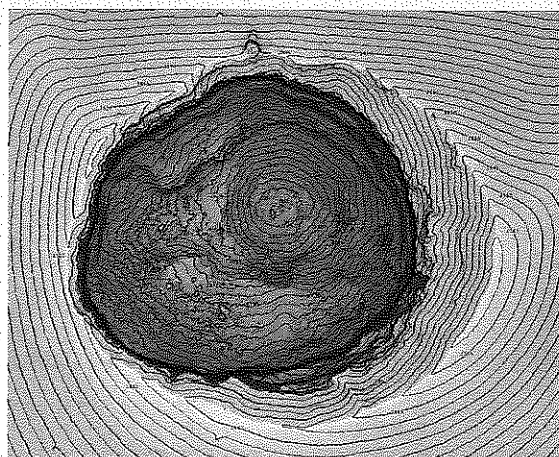


図2 山頂火口の赤色立体地図（等高線との重ね合わせ）
（提供：利根川水系砂防事務所）

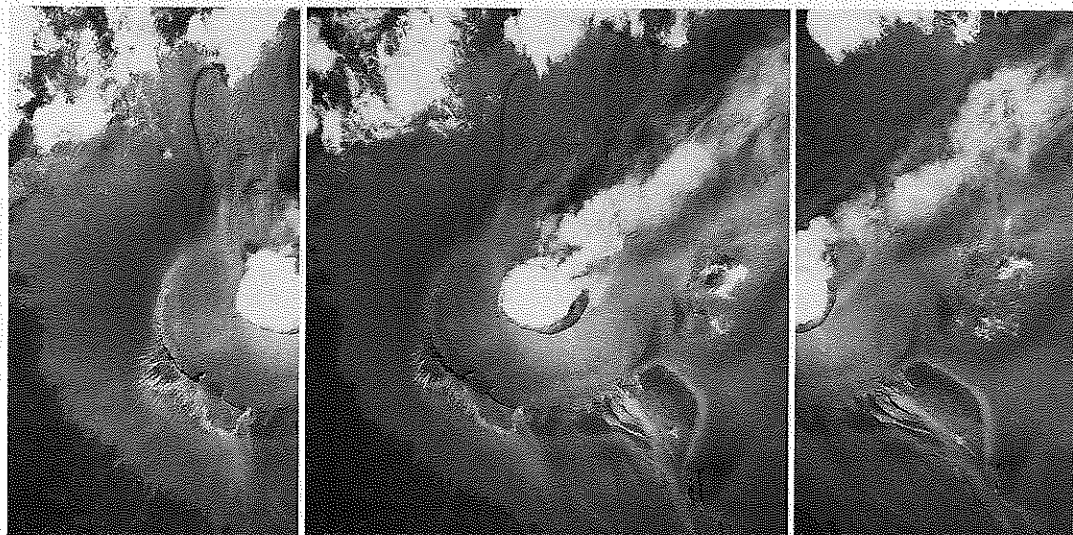


写真2 9月3日撮影の垂直写真（実体視用）

と、西方向の前掛山西斜面と東南東方向の尾根沿いにおける斜め衝突を示唆する楕円形のクレーターの分布が特徴的であった(写真2)。9月9日に実施した現地調査により確

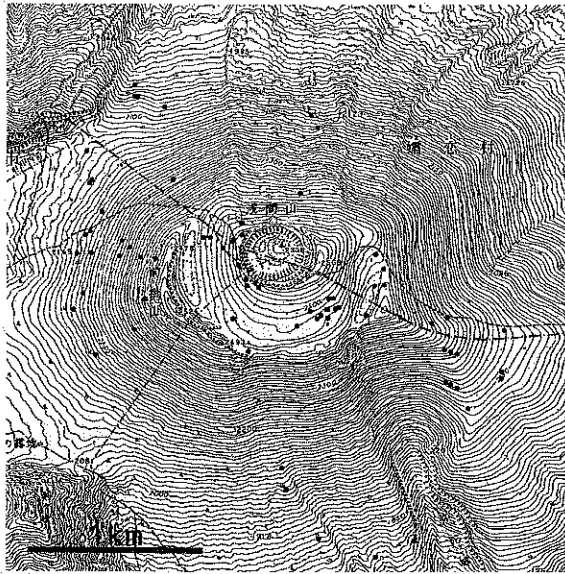


図3 9月1日噴火のクレーター分布

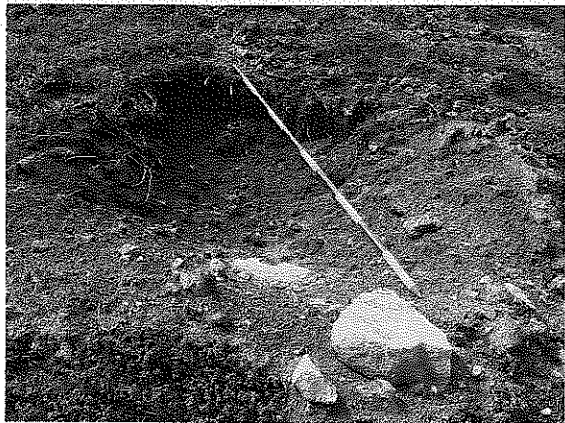


写真3 9月1日噴火により形成されたクレーター
(スケールは2m)
(提供: 利根川水系砂防事務所)

認したクレーターの例を写真3に示す。火口の北東約2.7 km (標高 1590 m) 付近で確認された幅約2 m, 深さ約40 cmのクレーターで、写真奥が山頂方向である(写真奥から手前に向かって落下したと考えられる)。

山火事: 森林限界付近の樹木と、それより高度の高い一部の草地で茶褐色ないし黒色に変色した地点が認められた。火口付近に近い範囲に限られていることと、噴火当日の映像記録との比較からこれらのうち一部は、山火事である可能性が高い。

降下火山灰: 堆積状況は不明瞭であるが、北東方向の沢筋に白っぽく変化している部分が認められ、噴火当日に斜面を広く覆うように堆積した火山灰が、翌日(9月2日)の降雨によって沢筋に移動したものと考えられる。

3.2 2004年9月14~18日噴火

9月1日の噴火以降、9月14日の噴火までは噴煙の高さも低くなり、火山活動が低調な期間であった。9月14日から18日までは、小規模な噴火が多く発生し、連続的な灰噴火となり関東地方南部の広い範囲で降灰が確認された。9月16日にはNASAの地球観測衛星により、浅間山から甲

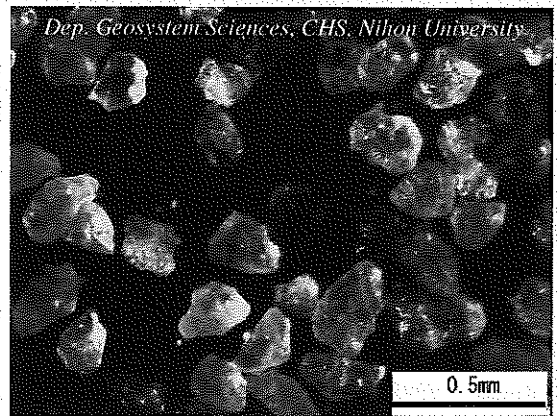


写真5 9月16~17日火山灰に含まれる軽石および結晶片
(日本大学地球システム科学科による)

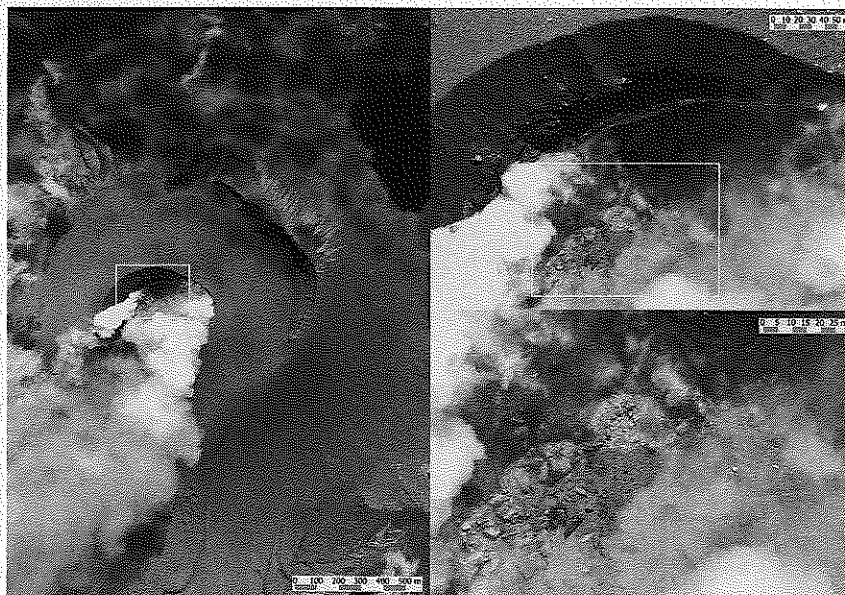


写真4 デジタル航空カメラによる火口底の観察

府市方面にのびる噴煙が捉えられた。また、9月16日には国土地理院によるSAR(合成開口レーダ)を用いた火口底の観察が実施され、火口底に溶岩が出現していることが確認された。

16日から17日の連続微噴火による降下火山灰は、各研究機関により採取された。この火山灰中には発泡した白色軽石が多く含まれており、マグマ起源の本質物質が噴出したものと考えられた(写真5)。

3.3 2004年9月23日・29日噴火

23日・29日には9月1日と同程度の噴火が発生し、火口周辺に噴石を放出し、浅間山の北～北東方向で降灰が確認された。

この噴火の後、10月7日にデジタル航空カメラにより山頂火口付近の空中写真撮影を行った。撮影に用いたデジタル航空カメラはレンジ幅が12 Bitであり、色彩の再現性が高く、噴火中の火口など、白色の噴煙と火口の影のコントラストが高い箇所においても自然な色調を保持することが可能である。対地高度は約2400 m、地上分解能は約24 cm、撮影縮尺は1/20,000である。通常空中写真では影になり判読できない火口底の岩塊を識別できる(写真4)。

3.4 2004年10月以降の活動

2004年の噴火はその後12月まで断続的に継続し、翌2005年1月以降は、火山性地震は観測されているものの噴

火は観測されていない。ただし、現在も気象庁による火山活動度レベルはレベル3の状態であり、特に山頂火口周辺では引き続き注意が必要と思われる。

4. まとめ

自然災害の中でも火山災害は、火山周辺に限って発生する災害で、発生確率が低いために、影響範囲予測に基づくハザードマップの作成が有効な手段とされている。しかしながら、近代的な観測網が構築されてからの火山噴火の記憶は限られており、火山噴火予知や影響範囲の推定のための基礎資料が不足しているという感否めない。

その意味で実際に発生した火山噴火について、迅速かつ正確に状況把握することは、今後の火山防災対策を検討するうえで非常に重要である。噴火直後は危険なため火口周辺への立ち入りが制限されることが多く、降雨などの影響を受けない早い段階での空中写真撮影は、現状把握の非常に有効な手段である。

また、本噴火に先立って国土交通省関東地方整備局利根川水系砂防事務所が実施した航空レーザー計測による地形データは、観測や火口内部の地形変動のための基礎資料として、非常に有用であった。火山噴火に限らないが、災害発生後の地形変化把握や事前の危険箇所把握のためにも、詳細な地形データが整備されることが望まれる。

平成16年7月新潟豪雨災害の概要とその教訓

かも い ゆき ひこ ひら の よし ひこ
 鴨 井 幸 彦 ●* ・ 平 野 吉 彦 ●***
 岡 野 やすし 靖 ●***

1. 7・13新潟豪雨災害の概要

平成16年7月13日、早朝から激しさを増した雨は、新潟県見附市や栃尾市を含むほぼ東西方向の狭い範囲に集中し、栃尾市では時間30mm以上の激しい降雨が6時間も継続し、24時間雨量で421mmを記録した¹⁾。この24時間雨量の再現期間は530年と計算され²⁾、たいへんな量であった。このため、流域の中小河川は急激に増水し、11カ所(うち1カ所は阿賀野川水系の能代川^{のうだいがわ})で破堤、濁流が堤内地に流れ込んだ。特に同日13時前後に相次いで破堤した中之島町(現長岡市)中之島の刈谷田川左岸と三条市諏訪(曲瀨^{いからしがわ})の五十嵐川左岸における破堤現場の映像は、マスコミによって繰り返し報道された。一方、周辺の丘陵地では、表層崩壊が多発し、冠水と相まって、いたるところで道路が寸断された(国・県道合わせて117カ所で通行止め³⁾)。

この豪雨による新潟県の被害は、死者15名(うち土砂災害によるもの2名)、全壊家屋70棟、半壊家屋5,354棟、浸水家屋8,295棟(床上2,178棟、床下6,117棟)に上った⁴⁾。また、土砂災害の発生は341件(地すべり83、がけ崩れ246、土石流12)、公共土木施設の被害は、県市町村合わせて1,984カ所、被害推定額は約570億円に上った⁵⁾。さらに、冠水などによる農作物や農業施設など農林水産関連の被害も約366億円に達したと見積もられている⁶⁾。また、浸水面積は6,338ha、市街地の土砂堆積43,000m³と推定されている⁷⁾。

今回の新潟豪雨の大きな特徴のひとつとして、数分から十数分という非常に短い時間で破堤し、一気に衝撃力の強い流水が人家を襲ったことが挙げられている⁸⁾。急激な破堤が避難する時間的余裕を奪い、人的被害を拡大させた主要原因と見られている。

なお、被災河川の復旧・改修にあたっては災害復旧助成事業・災害関連事業などが適用され、その執行機関として平成17年4月1日に新潟県土木部に五十嵐川改修事務所、長岡地域振興局に災害復旧部がそれぞれ新設された。また、上流側の整備により負荷が増大する信濃川下流に対して

は、国土交通省北陸地方整備局により、河川災害復旧等関連緊急事業として、堤防の嵩上げや盛土による強化などが計画されている。

新潟県では、平成7年7月11日、平成10年8月4日、平成12年7月15日、平成16年7月13日と、この10年間に大きな水害が4回も発生している。これらに共通した特徴は、降水量が狭い地域に集中している点であり、これからも起きる可能性がある。ここでは、平成16年7・13新潟豪雨災害について、その被害の実態を報告し、特に、水害に関して、越後平野の生い立ちとの関係について触れ、今後の防災上の課題について述べる。(鴨井幸彦)

2. 土砂災害の発生状況

2.1 土砂災害発生地域

土砂災害は、村上市から糸魚川市まで新潟県のほぼ全域で発生したが、特に集中豪雨の範囲にある西山丘陵(寺泊町・出雲崎町・三島町・和島村・与板町)と東山丘陵(栃尾市・長岡市・見附市・三条市・栄町(現三条市)・下田村(現三条市))で土砂災害が多発し、土砂災害箇所的大部分を占めた(表1、図1)。これらの多発地域は、新第三系の



写真1 栃尾市街地周辺の丘陵部(丘陵部には多数の崩壊が発生し、渓床沿いに土砂が流下した箇所も見られる。市街地周辺を南側から撮影。)

●(社)新潟県地質調査業協会技術委員

* (株)興和, ** (株)キタック, *** 応用地質(株)

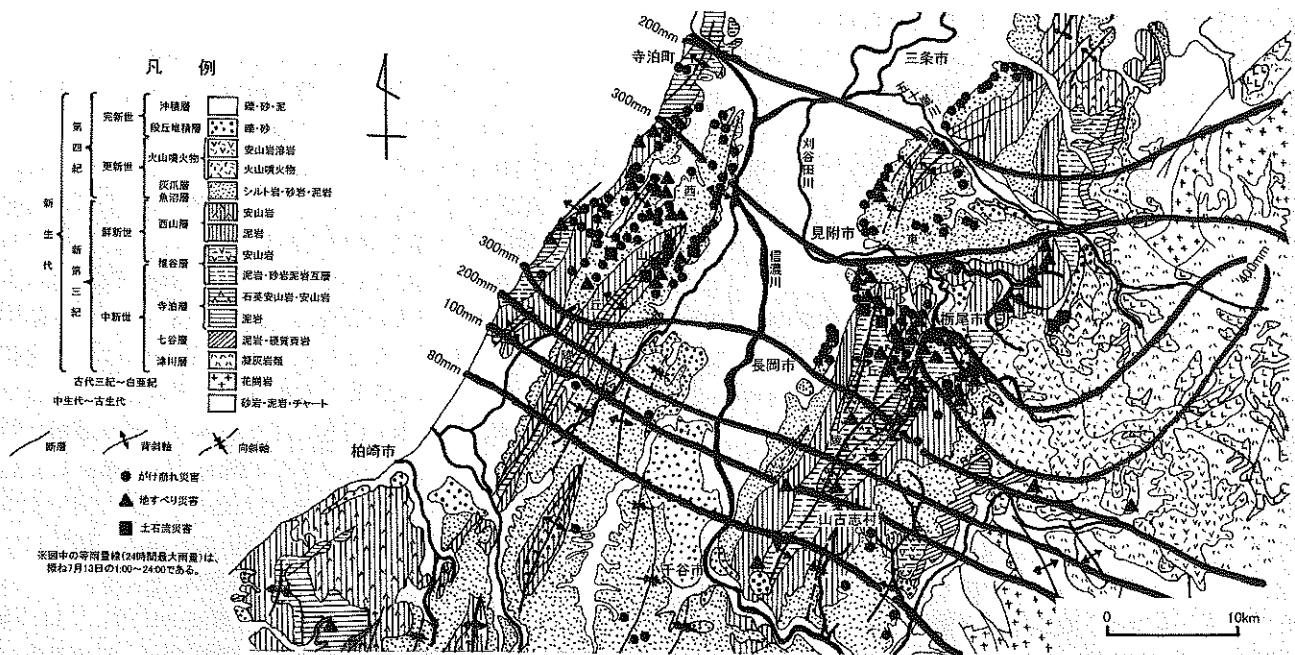


図1 中越地域の土砂災害発生箇所分布 (図中の災害箇所・等雨量線は、「平成16年7.13新潟豪雨土砂災害の記録」をもとに作成)

表1 西山丘陵と東山丘陵での土砂災害発生状況

	がけ崩れ	地すべり	土石流	合計
西山丘陵	115カ所	20カ所	5カ所	140カ所
東山丘陵	101カ所	45カ所	6カ所	152カ所

(新潟県土木部砂防課資料から集計)

泥質岩・砂質岩を主体とする地域であり、土砂災害のうち、表層の土壌や強風化帯に発生した表層崩壊(がけ崩れ)が圧倒的に多かった。

地すべりは、東山丘陵の栃尾市がもっとも多く31カ所発生している。西山丘陵・東山丘陵とも新第三紀層の地すべり地帯であるが、東山丘陵では、東山背斜と呼ばれる背斜軸に沿った椎谷層・寺泊層に地すべり地帯が密集して分布する特徴がある。この地質的な差が地すべり災害箇所数の差になったものと考えられる。

2.2 土砂災害の発生事例

以下に崩壊・地すべりの被災事例を示す。

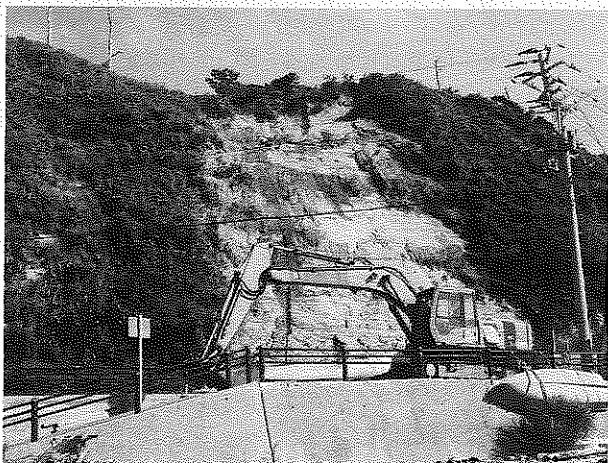


写真2 表層崩壊の例(寺泊町山田地内の海岸沿い)

急斜面上の表土・強風化帯が剝がれ落ち、比較的新鮮な泥岩(西山層)が露出している。

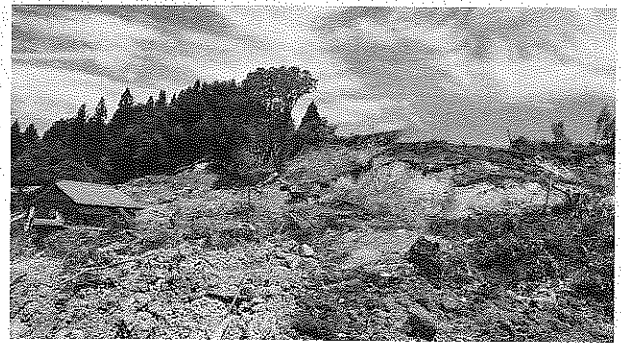


写真3 地すべりの例(栃尾市平地内)

約120m、斜面長約100mの範囲で地すべりが発生し、民家・市道が被災した。この地すべりは、泥岩中(西山層)に形成された古い地すべりの再滑動である。正面に見える滑落崖には、背後に広く分布する段丘堆積層が露出しており、豪雨時に多量の地下水が地すべり地へ流入したものと考えられる。

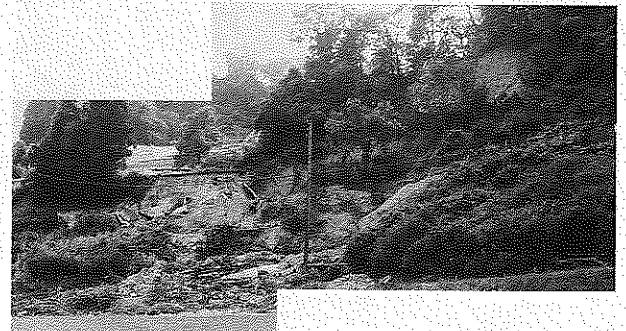


写真4 地すべりの例(栃尾市一之貝地内)

砂岩・泥岩互層(椎谷層)中に発生した崩壊型地すべりである。地層の傾斜は地すべりに対して流れ盤であり、斜面上方から道路盛土ごとすべり落ちている。

(平野吉彦)

3. 河川災害の状況

河川堤防では、一級河川五十嵐川、刈谷田川などで11カ所の破堤、148カ所の堤防決壊、123カ所の越水や漏水など

甚大な被害が生じた⁹⁾。ここでは、特に被害の大きかった五十嵐川左岸（諏訪地区）と刈谷田川左岸（中之島地区）の破堤箇所を例にとり、「7.13新潟豪雨洪水災害調査委員会資料」^{8)~10)}（以下「資料」と称する）を参考に、破堤の状況、堤体および基礎地盤の土質構成、破堤原因についてその概要を紹介する。

3.1 五十嵐川左岸

五十嵐川破堤箇所周辺の状況写真を写真5に示す。破堤箇所は河川湾曲部の内側で、堤内地には水田が広がっている。破堤幅は約120mに達し、堤体部から堤内地にかけて大きな盆状の洗掘（落堀）が見られ、洗掘深は最大約4mであった。また、堤内地には多量の砂礫の散乱が見られるとともに、一部でボイリングの形跡が確認されている。

破堤箇所下流部の地質断面図を図2に示す。堤体は旧堤（明治10年頃施工）と新堤（昭和8年～12年頃施工）からなり、両者ともシルト質細砂～砂質シルトで構成されている。堤内地の基礎地盤の表層は、1～5mの層厚で粘性土が分布し、川から離れるに従い層厚が厚くなる傾向を示している。その下位には、砂礫層が広く分布するが、破堤区間中央部から上流部の堤内地においては、砂礫層が薄くなり、欠如する箇所も存在している。

堤防は高さ約4m、天端幅約4mで表層はアスファルト舗装が施されている。また、法勾配は約2割で表法面、裏法面ともに植生で覆われている状況にあった。

「資料」では、これらの堤防形状や土質構成、降雨や河川水位の状況、破堤後の踏査結果、住民の日撃情報などから、侵食、越流、浸透に関する安全性の検討を行い、次のようにまとめられている。



写真5 五十嵐川破堤箇所周辺状況 (H.16.7.14撮影)

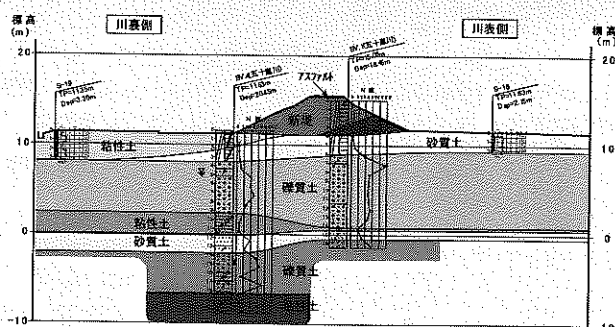


図2 地質断面図 (五十嵐川左岸破堤箇所下流部)

- ① 表法面の侵食に対しては、周辺の法面に侵食の形跡が認められないこと、また、洪水時の流速によるせん断力が、表法面を覆う植生の侵食耐力を下回ることから、侵食が破堤を引き起こした可能性は低い。
- ② 越流による裏法面や法肩、法尻の洗掘に対しては、目撃証言によれば、破堤箇所の堤防高が前後に比べて少し低く、裏法の植生が乏しかったこと、2回にわたり越水が生じていたことに加え、解析では、越流水のせん断力が法面表層のせん断抵抗力を上回る結果が得られたことなどから、破堤部の堤防は、周辺堤防と比較して越流により洗掘されやすい状況にあった。
- ③ 雨水、河川水の浸透に伴う堤体のすべり破壊に対しては、天端がアスファルト舗装により覆われていること、事前降雨が少なかったことに加え、河川水位の上昇が短時間に発生していることから、堤体にすべり破壊を発生させるような湿潤状態にならなかったものと推定される。また、基盤浸透に対しては、河川水位がある程度高くなると堤内地の一部で湧水（透明な水）が見られるとの住民の証言があることや、現地調査の結果から堤内地の一部に噴砂跡が確認されたこと、部分的に行き止まり型の地盤を形成している箇所があることなどより、浸透流解析結果でも得られたようなボイリング（噴水、噴砂）は生じていた可能性はある。ただし、進行性破壊であるパイピングが生じた跡は認められず、堤防の基盤を破壊するような浸透現象は生じなかったものと考えられる。

以上より、五十嵐川の破堤原因は、越流による裏法面、法尻の洗掘が主要因であったと考えられる。

3.2 刈谷田川左岸

刈谷田川破堤箇所周辺の状況写真を写真6に示す。破堤箇所は河川湾曲部の外側で、堤内地は市街地となっている。破堤幅は約50mであり、堤体部から堤内地にかけて大きな盆状の洗掘が見られ、最大で深さ約2mとなっていた。目撃証言によれば、破堤前の越流深は最大30～40cm程度であり、堤防は橋との取り付けの関係で裏法勾配が急であった箇所から欠け始め、下流側へ向かって進行していったとのことである。

破堤箇所上流部の地質断面図を図3に示す。堤体および基礎地盤の表層約6～9mは粘性土が分布し、その下位には砂質土が分布する土質構成となっている。

堤防は高さ約5m、天端幅約3mであり、表法面は堤防天端まで護岸が施工され、裏法面は植生で覆われている状況にあった。また、表法勾配は約2割であるが、裏法は石積み擁壁との擦り付け部にあたり、勾配が急であったようである。「資料」では、侵食、越流、浸透に関する安全性に対して次のようにまとめられている。

- ① 表法面の侵食に対しては、周辺の護岸ブロックが侵食により破損していないこと、洪水時の流速による外力が、表法面を覆う張ブロックの滑動耐力を下回ることから、侵食が破堤を引き起こした可能性は低い。



写真6 刈谷田川破堤箇所周辺状況 (H 16.7.14 撮影)

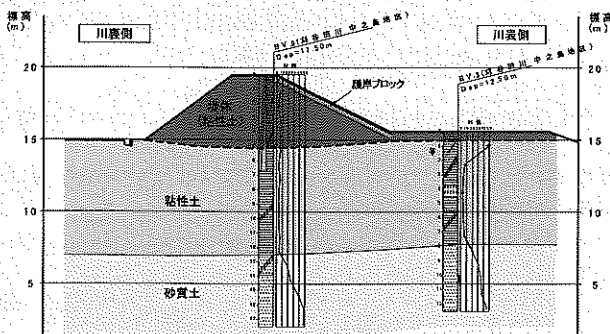


図3 地質断面図 (刈谷田川左岸破堤箇所上流部)

- ② 越流による裏法面や法肩、法尻の洗掘に対しては、破堤箇所が最大で30cm～40cmに及ぶ越流水深となったこと、裏法勾配が変化している途中であり他に比べて法勾配が急であったことに加え、解析では、越流水のせん断力が法面表層のせん断抵抗力を上回る結果が得られたことなどから、越流により洗掘されやすい状況にあった。
- ③ 雨水、河川水の浸透に伴う堤体のすべり破壊に対しては、堤体材料が雨水や河川水が浸透しにくい粘性土主体であること、河川水位の上昇が短時間に発生していることから、堤体にすべり破壊を発生させるような浸潤線の発達はなかったものと考えられる。また、基礎地盤浸透に対しては、層厚約6m～9mに及ぶ粘性土主体の地盤により構成されていることから、パイピングを起こすような浸透破壊が生じたとは考え難い。

以上より、刈谷田川の破堤は、五十嵐川と同様、越流による裏法面、法尻の洗掘が主要因であったと考えられる。
(岡野 靖)

4. 湛水域によって示された越後平野の特徴

最近の沖積層の研究により、越後平野の形成過程がこれまで以上に詳しく論じられるようになってきた¹¹⁾。越後平野は、① 有史以前から一貫して続いている沈降地帯に位置し、さらに ② 砂丘により前面をふさがれて排水条件がいちじるしく不良である、といった宿命ともいえる構造上の理由^{12),13)}により、その大半が低湿地のまま近世を迎え

た。特に、古墳時代から平安時代にかけて新砂丘Ⅲが大きく成長したため、阿賀野川の流路がふさがれ、信濃川と合流するようになって排水条件が一層悪化し、沼沢地が大きく拡大した(図4)。

江戸時代になると、全国的に新田開発が盛んになり、越後平野でも水抜き工事(放水路の建設)による干拓が一部で始められた。江戸時代には3年に1度の割で洪水に見舞われるという状態であった¹⁵⁾が、明治期以降、洪水対策を主目的にした放水路や堤防の建設がつつぎに実施され、やがて“放水路の展示会場”¹⁶⁾とも形容される多くの放水路群が作られていった。そのもっとも顕著な成功例は、東洋のパナマ運河といわれる大河津分水路(大正11年通水)である。

しかし、自然排水にはおのずと限界があり、当時の水田の多くは湛水田や湿田であった。越後平野における水害の特徴は、洪水流による破壊よりもむしろ“こもる水”と呼ばれる長期間にわたる湛水であり、これによる凶作や伝染病の流行であった¹⁷⁾のはこうした事情による。

こうした状況が一変するのは、戦後大型の排水機場がつつぎに設置され、排水ポンプによる常時排水がなされるようになってからである。新川河口、新井郷川、親松、白根の主要な4施設の排水量は合わせて約450m³/sにも達し、利根川の約2倍、信濃川河口近くの平均流量に匹敵している¹⁸⁾。こうして、現在は乾田が大半を占めるようになり、米の収穫量も飛躍的に増加した。なお、7・13水害では、多数の排水ポンプ車とともに既設の農業用排水施設がフル稼働し、浸水区域の拡がりを押さえ、湛水期間を早期に解消するにあたって力を発揮した。

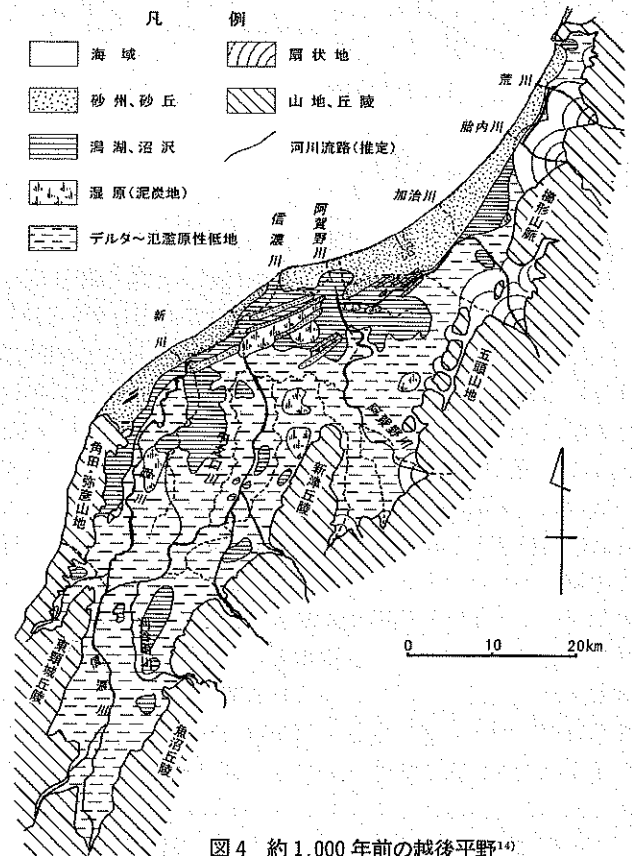


図4 約1,000年前の越後平野¹⁴⁾

7・13水害で現れた湛水域は、奇しくも、越後平野の形成過程の中で最後まで残っていたこうした沼沢地・低湿地帯にほぼ一致し、その光景はかつての越後平野の姿を髣髴とさせるものであった(図5)。そして、それらは、かつては遊水地としての機能を果たしてきたところでもあった。そのような遊水地が乾田化された今日、過去の経緯が忘れられ、住宅地などに変わっていたことも被害を大きくした一因と考えられる。

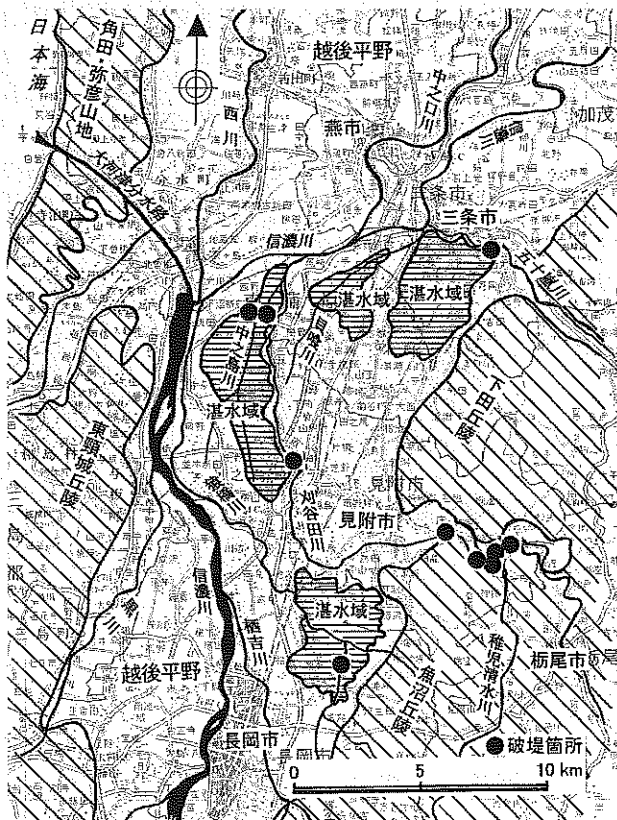


図5 平成16年7月14日時点(破堤の翌日)での湛水域

5. 豪雨災害の教訓

越後平野にかぎらず、日本の都市の多くは沖積平野上に立地している。そもそも、沖積平野は洪水氾濫の繰り返しによって形成されたもので、洪水は宿命であるともいえる。明治以来の近代文明は、水害に遭いやすい地域を集中的に開発して形成過程され、とくに50年代から70年代にかけての都市化の過程で、宅地化は水田や低湿地に展開されたという指摘もある¹⁹⁾。

近代以前の越後平野は、地盤の沈降量と河川による搬入土砂の堆積量とが均衡し、約5,000年の長きにわたって湿原環境が保たれてきた^{11),13)}。しかし、近年は大小多数のダムの建設によって流出土砂量が減少し、また河川堤防の整備や放水路群の建設により、洪水という形での土砂の堆積が制限され、このバランスが崩れ始めている。先にあげた越後平野の特性から考えると、将来はゼロメートル地帯がますます拡大し、人工排水への依存が高まっていくものと考えられる。これは大きなジレンマである。

この点に関する妙案は今のところないが、いずれにせよ、

将来の土地利用のあり方(都市計画)を論じる際に、地盤形成史の視点は欠かせないものと考えられる。

その土地には、その土地の地盤形成史を反映した、その土地固有の地盤特性がある。そうした土地条件に合致した土地利用を図ることが、災害を未然に防ぐ近道と考えられる。そのためには、その土地の地盤特性を明らかにし、それを一般に公開していく必要がある。7・13新潟水害は、洪水ハザードマップの作成などの防災行政に際し、その土地の地盤特性あるいは地盤形成史といった項目が欠かせないことを改めて示したものだといえる。(鴨井幸彦)

文献

- 1) 気象庁のホームページ(気象統計情報)
<http://www.data.kishou.go.jp/etrn/index.html>
- 2) 土木学会・平成16年7月北陸豪雨災害緊急調査団：2004年北陸豪雨災害について—土木学会調査団報告, 1-14, 土木学会ホームページ, 2004.
<http://jsce.nagaokaut.ac.jp/~kumakura/kasen-saigai-sympo.pdf>
- 3) 新潟県土木部：「7.13新潟豪雨」による被害と対応状況, 1-11, 新潟県のホームページ, 2005.
http://www.pref.niigata.jp/doboku/engawa/7_13/7_13info.pdf
- 4) 平成16年7月13日からの梅雨前線豪雨による農林水産関係被害状況(確定値), 新潟県のホームページ, 2004.
http://www.pref.niigata.jp/norin/syokutomidori/gyosei/7_13gouu/higaijyokyo_1.pdf
- 5) 国土交通省北陸地方整備局・新潟県：平成16年7月 新潟・福島豪雨(第2報), 1-41, 2004.
- 6) 大熊 孝：【対論】2004(平成16)年7月13日新潟豪雨災害から今後の治水のあり方を考える, 土木学会誌, vol. 89, no. 12, 34-35, 2004.
- 7) 新潟県土木部砂防課：平成16年7.13新潟豪雨 土砂災害の記録, 1-41, 2005.
- 8) 7.13新潟豪雨洪水災害調査委員会第1回委員会資料(平成16年9月), 新潟県河川管理課ホームページ, 2004.
http://www.pref.niigata.jp/doboku/engawa/sosiki/honcho/kak/kak_r/kak_r_67.html
- 9) 7.13新潟豪雨洪水災害調査委員会第2回委員会資料(平成16年11月), 新潟県河川管理課ホームページ, 2004.
- 10) 7.13新潟豪雨洪水災害調査委員会第3回委員会資料(平成17年2月), 新潟県河川管理課ホームページ, 2005.
- 11) 鴨井幸彦・安井 賢：古地理図でたどる越後平野の生いたち, 土と基礎, vol. 52, no. 11, 8-10, 2004.
- 12) 大熊 孝：洪水と治水の河川史—水害の制圧から受容へ, 平凡社, 261 p., 1988.
- 13) 鴨井幸彦：越後平野の七不思議, 地質と調査, no. 99, 50-54, 2004.
- 14) 鴨井幸彦・安井 賢：越後平野の古地理図の変遷, 日本第四紀学会講演要旨集, no. 34, 45-46, 2004.
- 15) 榎根 勇：越後平野の1,000年, 新潟日報事業社, 223 p., 1985.
- 16) 大熊 孝：35新潟平野の放水路, 195-200, 高橋 裕編, 水のはなしI, 技報堂出版, 235 p., 1982.
- 17) 五百川 清：横田切れ, 大津津分水双書資料編第一巻, (社)北陸建設弘済会, 76 p., 2001.
- 18) (社)農業農村整備情報総合センター編：“新潟”であるために・十章, 農林水産省北陸農政局・新潟県農地部・新潟県土地改良事業団体連合会, 22 p., 1997.
- 19) 高橋 裕：日本の水害—2004年の実例から考える, UP, 東大出版会, no. 389, 32-36, 2005.

新潟県中越大震災の被害の特徴と復興への課題

(社)新潟県地質調査業協会技術委員会*

1. はじめに

平成16年10月23日17時56分ころに発生した「平成16年新潟県中越地震(以下中越地震と略記)」は、死者46名、住宅の全・半壊15,689棟、道路の損壊6,064カ所¹⁾、公共土木施設被害3,539カ所²⁾、斜面崩壊発生箇所数3,791カ所³⁾という甚大な被害をもたらした。その被害額が3兆円に上ると見積られることから、この震災は、新潟県より「新潟県中越大震災」と名づけられたり。

地震発生の直後から、その被災状況は刻々メディアによって報じられ、全国の耳目を集めた。とくに、寸断された道路や山肌がむき出しになった斜面の映像、毎日のようにつづく大きな余震、孤立した集落、ピーク時で10万人を超えた避難者のようす、車中泊の問題、山古志村の全村避難、地すべりダムによる湛水域の拡大と水没する集落のようすなどが連日報道された。

(社)新潟県地質調査業協会の会員各社では、技術者たちが地震直後から新潟県や被災市町村の担当者とともに、現況の把握、災害査定資料の作成などの作業にとりかかった。それ以降、根雪を迎えて作業が一段落するまでの約2カ月間は、まったく気の休まるどころがなかった。

さらに、地震に追い討ちをかけるように、12月22日以降降り続いた雪は19年ぶりの大雪となって被災地に重くのしかかり、魚沼市の旧小出町では最深積雪が317cm(2月12日)に達した。したがって、融雪後はさらに被害が拡大している可能性が高く、再調査が避けられないところでもある。その意味で、被災地においては、震災はまだ進行中であり、現時点で報告することは時期尚早とも思えるが、ここでは混乱した状況下での作業を振り返り、今後の取り組みに生かす上で意義があると考え、中間報告をすることとした。

* 平野吉彦((株)キタック)、鴨井幸彦((株)興和)、堀口寿彦((株)村尾技建)、岡野 靖(応用地質(株))、佐藤博文(明治コンサルタント(株))、佐藤壽則((株)日さく)、田村伸夫(サンコーコンサルタント(株))、土本浩二((株)ダイヤコンサルタント)、ABC 順

2. 中越地震の特徴

中越地震の最大の特徴は次の3点であった。

① 震源の浅い直下型地震であったため、揺れが非常に大きかった

マグニチュードこそ6.8と中規模であったものの、震源の深さが13kmと浅かったため揺れが大きく、計測では国内初という最大震度7を記録した。地震による揺れの激しさを示す最大加速度(PGA)は、川口町で1722gal、小千谷市で1500galといずれも国内最大級を記録した⁴⁾。ちなみに、1995年兵庫県南部地震および2003年宮城県沖地震では、それぞれ891gal、1304.5galであった⁵⁾。

② 中山間地を直撃し、しかもそこが日本でもっともよく知られた地すべり多発地帯でもあったため、斜面災害が多発した

活褶曲地帯に位置し、上昇を続ける丘陵の内部で発生したため、被害が中山間地に集中し、住宅や道路、棚田などの生活の基盤が多く破壊された。また、新潟県中越地方は名だたる豪雪地帯でもあるため、今後、融雪災との複合災害の発生が懸念されることとなっている。

③ 余震活動が非常に活発であったため災害が長引き、被害が拡大した

12月28日までの約2カ月間に震度5以上の余震が18回も発生し、そのうち4回は震度6以上であった。また、震度1以上の有感地震は、12月28日までに877回の多数を記録した⁶⁾。そのため、全避難所の閉鎖は発生後約2カ月たった12月20日までずれ込んだ。

3. 中越地震における地盤災害の特徴

自然地盤においては、①尾根や段丘崖など地形の急遷部分から発生する表層崩壊(写真1, 図1)、②ケスタ地形や同斜山稜の成因にかかわって過去にも発生してきたと見られる層すべり(写真2, 図1)、③既存の地すべりそのものの再移動や移動体内部で発生した二次すべり、④崩壊土砂が沢を泥流状に流れ下った土石流タイプ、などが見られた。このうち表層崩壊はいたるところで見られた。

一方、人工地盤では、⑤道路盛土の変形や崩壊(写真3、



写真1 表層崩壊の例（尾根部分から剥がれ落ちている，魚沼市（旧堀之内町）明神地内）



写真2 層すべりの例（約37度傾斜した砂岩泥岩互層の層理面に沿って尾根ごとそっくり抜けている。正面の崖が側方崖，空の見える窪んだ部分が尾根のあった部分。十日町市（旧川西町）小脇地内。）

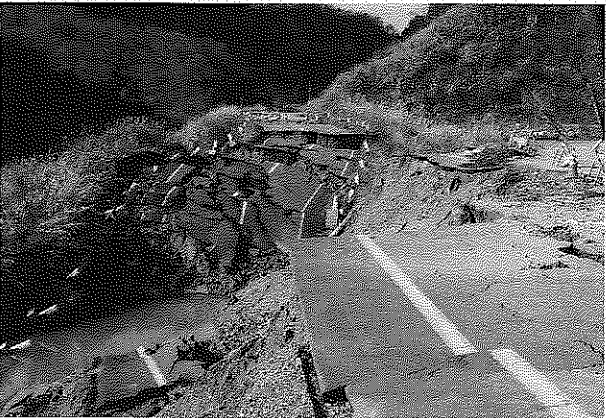


写真3 盛土崩壊の例（沢の横断部分がそっくり崩れている，長岡市（旧小国町）法末（ほうすえ）地内。）

図1)，⑥ 平地盛土地盤の変形や埋め戻し土の締め固め効果による沈下，⑦ 液化化にともなう変状，などが見られた。これらのうちもっとも顕著であったのは盛土そのもの，あるいはそれに起因した被害であり，盛土区間はことごとく，大なり小なり変形をこうむっているといっても良いくらいの状況であった。

次章では，これらのタイプの中から具体的な事例をいく



図1 地盤災害事例位置図（×：本震の震央）

つか紹介する（図1）。

（鴨井幸彦）

4. 地盤災害事例

4.1 岩盤崩壊と表層崩壊の事例

信濃川と魚野川の合流点より1.5 kmほど上流の川口町西倉地内の信濃川左岸斜面が崩壊（岩盤崩壊）し，県道が被災した。被災箇所は本震の南西方3.5 km付近で，最初の震度6強の余震（10/23 18：11）の北東方1.9 km付近に位置する（図1）。魚野川との合流点付近の信濃川左岸部は台地状地形を呈し，標高110 m付近に平坦面を有する。この平坦面は第四紀更新世の段丘面で，信濃川現河床からの比高は約50 mである。また，被災地付近の斜面は信濃川の水衝部（攻撃斜面）に相当し，斜面の傾斜は40°～50°を呈する。被災地付近の県道は，段丘面上から川口町市街に向かって下り勾配となっているが，この下り区間は主に段丘崖斜面を切土で施工されたものである。

台地部を構成する地質は，表層に層厚5～6 m前後の段丘堆積物（上半部は粘性土，下半部は玉石混じり砂礫）が分布するが，大部分は新第三系鮮新統の川口層（西山層相当層）から成る。川口層は泥岩優勢砂岩泥岩互層から成り，砂岩と泥岩の比率は1：2.5程度である。また，当該地は東山背斜の西翼に位置し，川口層はNNW-SSEの走向で西側へ（上流側へ）10°～15°で傾斜しており，当該斜面に対して緩い流れ盤構造を呈している。

川口層は新鮮部でも低強度の軟岩地山に区分され，砂岩層は泥岩層に比べ固結度が低く，岩石物性値は砂岩が密度2.05 g/cm³，P波伝播速度1.89 km/s，一軸圧縮強度0.65 MN/m²程度，泥岩が2.10 g/cm³，2.12 km/s，4.8 MN/m²程度を示す⁷⁾。P波伝播速度（コア試料）から推定すると，川口層新鮮部の地山弾性波速度は2 km/s程度の値が想定され，新潟県内の新第三紀堆積岩類（特に砂岩泥岩互層）としては一般的な値であり，被災地周辺の川口層が特異な

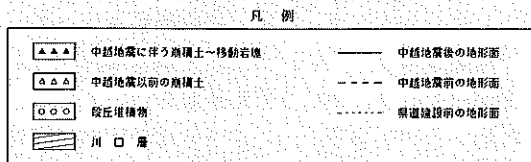
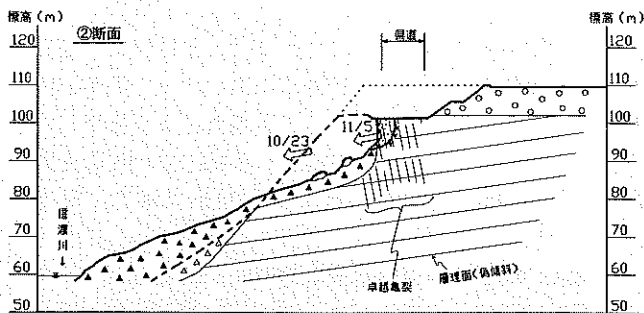
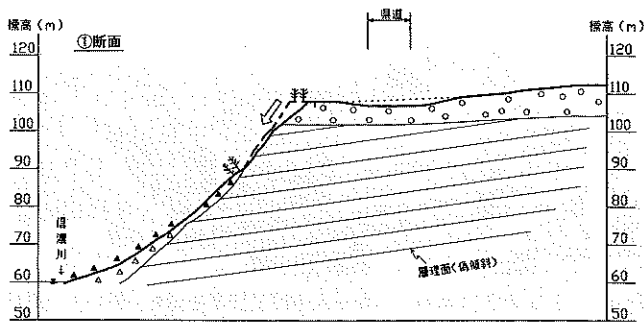


図2 表層崩壊・岩盤崩壊箇所の地質断面図



写真4 全景(信濃川右岸より撮影)



写真5 滑落崖に露出する川口層

地層ということではない。

信濃川の水衝部に相当する傾斜45°前後の段丘崖斜面の延長は約200mで、この斜面は信濃川による脚部侵食および斜面表層の風化の進行に伴い、中越地震発生以前も断続的に段丘礫の崩落や川口層の表層崩壊を繰り返していた(図2, ①断面)。中越地震で岩盤崩壊を生じたのは下流側の70~80m間の斜面であり、この区間は県道建設時の切土により段丘堆積物が掘削除去されている。岩盤崩壊の概要は下記のとおりである(図2, ②断面)。

- ・斜面中段(標高80m以上)の川口層が崩壊したもので、滑落崖が県道路面に達している。
- ・崩壊規模は、幅60m、長さ30m、最大深さ15~20m程度で、崩壊土量は2万m³以上と推定される。
- ・崩壊による移動ブロックの規模は、幅60~85m、長さ90mで、層厚は標高80m以下で厚く、ブロック内には最大φ10mの岩塊も見られる。
- ・崩壊したブロックの移動方向は上流側に向いており、川口層の地質構造と調和的である(写真4, 岩盤すべり・層すべり)。
- ・滑落崖付近には、滑落崖に概略平行し山側に急傾斜(80°前後)する亀裂が発達している(写真5)。
- ・段丘堆積物に覆われていないため、雨水・融雪水が浸透しやすい状況にあり、段丘堆積物分布域の川口層に比べ風化や地山の緩みが進行していたものと推定される。

当該地の場合、一連の段丘崖斜面で岩盤崩壊を生じた箇所と表層崩壊に留まった箇所の大きな差異は段丘堆積物の有無である。台地地表部に水平に分布する粘性土層と砂礫層(層厚5~6m前後)の存在が、そのメカニズムは不明であるが、中越地震の地震動に対して段丘崖斜面周辺の基盤層(川口層)の不安定化を抑制する効果があったものと考えられる。(田村伸夫)

4.2 長岡市古志(旧山古志村)芋川の地すべり事例

震源地の東側に位置する長岡市古志地区(旧山古志村)は、地震により崩壊や地すべりが多発した地域である。この地域は、「7・13新潟豪雨災害」を受けた地域でもあり、豪雨の影響が残った状態での地震発生のため、斜面災害が発生しやすい条件下にあったといえる。また、旧山古志村は、新第三紀層の地すべり地帯として有数の地域でもある。従来、緩傾斜の地すべり地は地震時には再滑動しにくいものと考えられてきたが、今回の地震では多くの地すべり地が再滑動した。このうち、芋川沿いでは大規模な地すべりが短時間で滑動し、寺野、東竹沢、南平の3地区で河道閉塞にまで至った。

図3は、地震発生5日後に撮影された空中写真を判読した芋川上流域の崩壊・地すべり発生状況である。筆者はかつてこの付近の地質調査を実施した経緯があり、地震発生以前に得た地形・地質データをもとに、河道閉塞に至った地すべりのうち、南平地区(図1)の特徴を考察する。

図3に示した範囲の地質は、新第三紀鮮新世の川口層と呼ばれる砂岩・シルト岩互層を主体とした地域である。芋

川の右岸側には向斜軸があり、地層の傾斜は、大局的には兩岸とも斜め下流に10°前後で傾斜している。周辺の地すべり地形はこの構造に規制されて形成されており、兩岸とも斜め下流側に移動方向を示す地すべり地形が多い。

河道閉塞に至った大規模な地すべりのうち、寺野と東竹沢の2地区は左岸側に分布する流れ盤地すべりの再滑動であると考えられる。右岸側に発生した南平地区の地すべりは、本地震により発生した地すべりと考えられ、他の2地区とは異なった地質構造・変位地形を示している(図4)。

図4に示したように、地すべり発生前の河床部兩岸には、砂岩・泥岩が露出しており、連続性の良いS2・S3砂岩層が確認されていた。このうちS2砂岩層(細粒~中粒)は、かつての地質調査で左岸地すべりブロック形成の素因とな

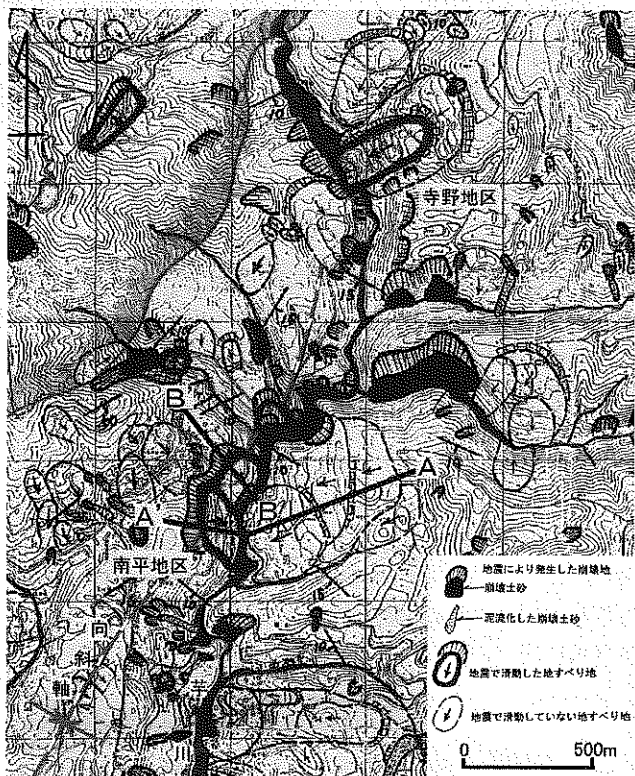


図3 芋川上流域の崩壊・地すべり発生状況

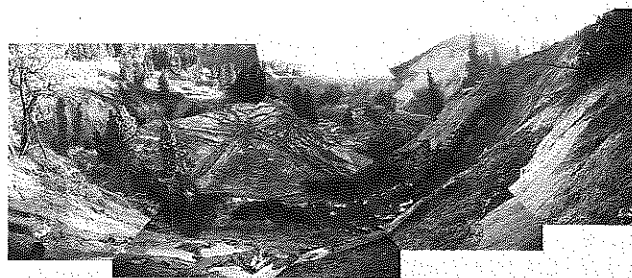


写真6 B-B'断面滑落崖上方から河道閉塞箇所を望む。地すべり頭部が大きく沈下している。

った地層であることがわかっており、この砂岩層は被圧した地下水流動層である上、砂岩層下面にすべり面が形成されていることが確認されている。本地震により発生した右岸側の地すべりは、幅約400m、斜面長約200mの範囲であり、芋川対岸まで滑動し河床を約20mの厚さで埋塞した。

地震前の地形と河道閉塞後の地形を比較すると、地すべりの運動形態は、上流側ブロック(B-B'断面)で頭部が著しく沈下しており円弧すべり状に回転運動を伴っている。また、下流側ブロック(A-A'断面)では末端部付近が大きく盛り上がり、やはり回転運動を伴っている。このような地形から判断すると、地すべりは河床部に抜け上がったものと想定され、S2・S3砂岩層がすべり発生の大きな素因になったことが考えられる。

阪神大震災をはじめ過去の地震により滑動した地すべりは、砂質層が液状化に近い状態を起こし高速で移動した事例が数例報告されている。芋川沿いの河道閉塞に至った2地区の左岸側地すべりは、この機構に近いものと推定されるが、本地震で発生した南平地区の右岸側地すべりは、砂岩層の存在のほか、地すべり頭部を規制し砂岩層に達するような弱線の存在が想定される。この弱線の存在については今後の調査を待って検討したい。

芋川の河道閉塞の事例は、新第三紀系の砂岩・泥岩互層地域の地震時斜面安定の考え方に大きな課題を残したといえる。(平野吉彦)

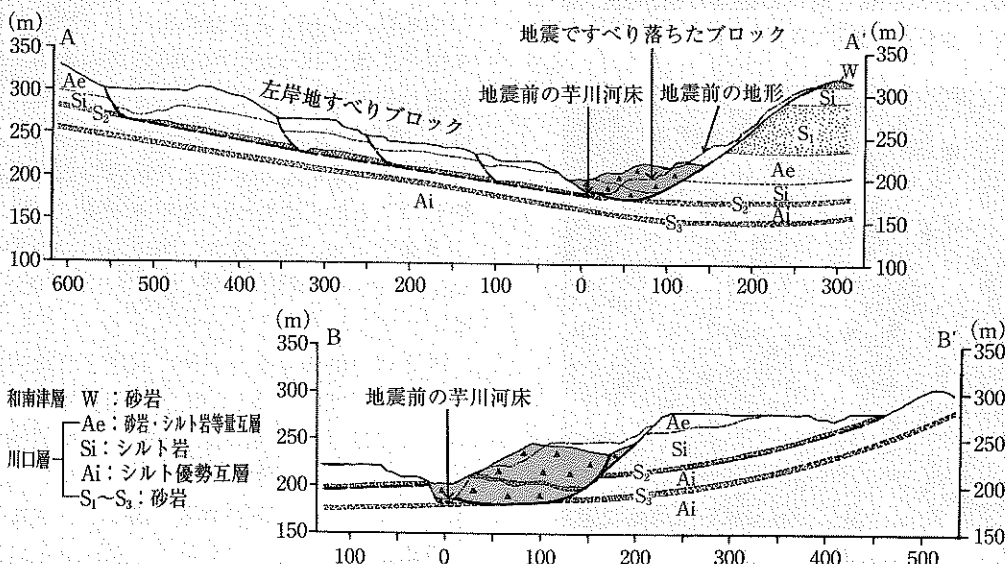


図4 南平地区の模式断面図

4.3 相川川流域における地すべり災害の発生形態

(1) 相川川の概要

中越地震の中心域にあたる小千谷・川口地区は主要河川として信濃川、魚野川が流れている(図1)。信濃川は、十日町盆地から小千谷台地にかけて蛇行しながら北に向かい、魚野川は六日町盆地から小千谷台地に向かって丘陵部を横断するように流れ信濃川に合流している。ここで述べる相川川は魚野川の左岸側支流で信濃川との合流点から約2 km 上流部に位置する(図5)。

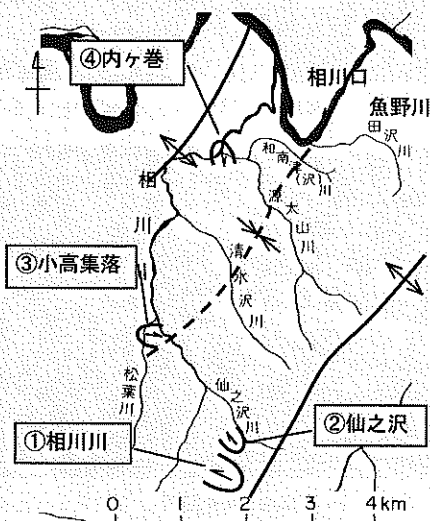


図5 相川川流域の地すべり分布

相川川は魚沼丘陵を源流とし、ほぼ北に向かって流れるが、内ヶ巻付近から北東側へ転じ、相川口へと続いている。特徴的なのは相川川の支流がほとんど右岸側に集中している点で、これは南東側をほぼ並行して流れる田河川と共通している。

周辺部の地質は鮮新世後期から更新世初期のもので、下部より白岩層、和南津層、魚沼層が分布している。地質構造は北北東-南南西の方向が卓越し、近隣では主なものとして田麦山背斜、小高向斜、東山背斜が通っている。

(2) 地盤災害の発生形態

相川川流域における地盤災害は盛土の崩壊、がけ崩れ、地すべりがみられている。この中で主な地すべり災害は4地点であり、上流部より仮に①相川川地すべり、②仙之沢川地すべり、③小高集落地すべり、④内ヶ巻地すべりと称し、図5

に示した。

4カ所の主だった地すべりのうち①②④と③は明らかに発生形態に違いがみられた。これらについての状況を述べるが、①②④のうち、相川川地すべりが著しく規模が大きくこれを代表とした。

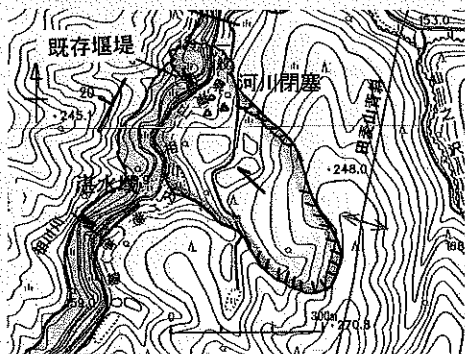


図6 相川川地すべり、流盤方向へ移動

①相川川地すべり

北西側斜面に発生したもので、幅 250 m、長さ 450 m と大規模で移動方向は西北西であった。地すべり頭部には滑

落崖が発生し、中段部以上では明瞭な引張り域となっており、大きな開口亀裂や著しい段差が発生した。

末端部は押し出される形で斜面の樹木は谷に向かって倒壊し、土砂は相川川へ押し出し完全に閉塞した。その結果相川川には天然ダムが形成され、水位の著しい上昇に伴いダム湖が形成されたため土石流の警戒態勢が敷かれた。

③小高集落地すべり

相川川左岸の斜面中に発生したもので、幅 80 m、長さ 60 m 程度、移動方向はほぼ東向きであった。頭部には段差・亀裂が著しいが土砂の水平移動距離は少なく、河川には達していない。頭部段差は最大 1.0 m ほどであるが、人家に隣接している



写真7 天然ダムによる湛水

ことから被害を生じている。河川左岸には砂岩・泥岩からなる露頭がみられるが、それ自体に異常は認められず、比較的浅い位置での移動と推測される。

(3) 地質構造からみた地盤災害の特徴

相川川流域の地すべりの分布をみると小高集落より下流部は左岸側、上流部は右岸側に多くなっている。これは小高集落付近を向斜軸が通っており、地層の傾斜が上流側で北西から西向傾斜、下流側が南東から東向き傾斜となっているため、その構造が反映されたものである。

まず、①相川川地すべりをみると、地層の傾斜が約 20 度、西北西方向で地すべりの移動方向と一致している。地すべりの直接原因は、地震の慣性力でバランスが崩れ砂岩・泥岩層の境界が剝離し、層面に沿って移動したものである。

③小高地すべりは移動量が少なく、基盤の上部に堆積した粘性土および旧崩土の再移動と推定される。

このような災害形態の違いは、地質構造に大きく影響されている。これは、鮮新世から更新世にかけての泥岩・砂岩という比較的剝離しやすい岩質や地層の傾斜と斜面方向の関連により影響されたものである。

①および②④の地すべりは、頭部に背斜軸が通り斜面方向も一致したため、地層のほぼ最大傾斜方向に土塊が高速で長距離を移動するという形態で生じたものである。

小高地区の集落付近では向斜軸の近隣に位置するため、地層の傾斜が緩く、基岩にはほとんど影響が生じなかった。このような地域で発生する災害は、主に人工盛土と急斜面の一部に生じる崩壊である。小高地区でもこの例に漏れず、各家の盛土部分が被災している。この地域の地すべりは、上部の軟弱化した崩土が再移動したために生じたもので、地層の方向には影響されていない。

相川川流域は狭い範囲に向斜・背斜軸が集中する褶曲地帯の特徴がよく現れており、災害の発生位置による形態の違いが際立ったものである。(堀口寿彦)

4.4 地すべり地内の液状化・流動化にともなう変状

中越地震では、地すべり地内で液状化・流動化が発生した箇所が多く認められた。ここでは西中野俣地すべりでの事例を紹介する。

西中野俣地すべりは、本震の震央から約15 km北東側にあたる、栃尾市西中野俣地内に位置する(図1, 7)。規模は幅約1 km, 長さ約2 kmで、傾斜角5°以下の緩斜面が北東方向に標高を減じながら広がっている。斜面の傾斜方向に直交する方向に複数列の小丘が並んでおり、その間の低地に池が存在するなど、大規模な地すべり地形を示している(図8)。

文献^{(8),(9)}によると、宝暦元年(1751)の高田大地震にともなって大地すべりが発生し、明治以降に5回の大きな活動

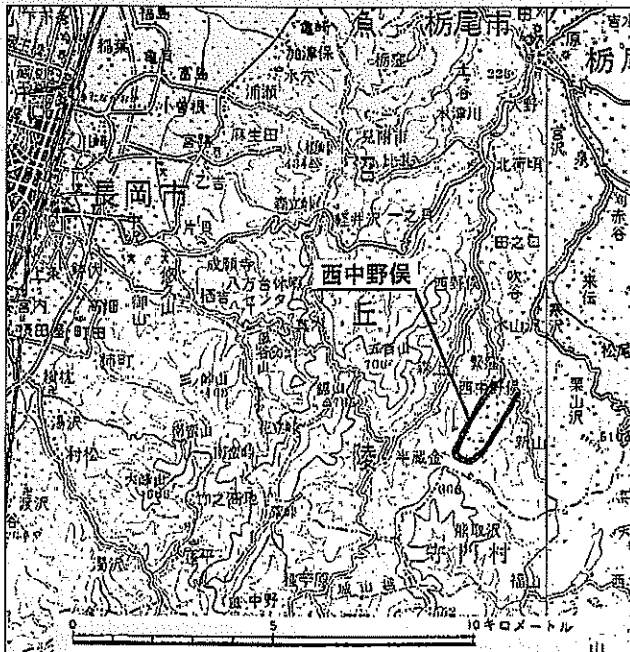


図7 位置図(国土地理院発行1/20万地勢図「新潟」[長岡]に加筆)

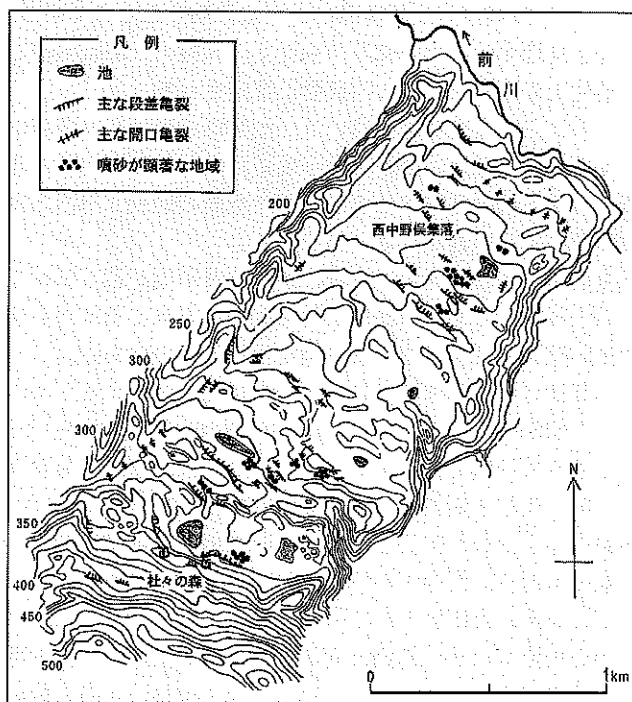


図8 西中野俣地すべり平面図(文献⁽⁹⁾に加筆・修正)



写真8 北西-南東方向に連続する段差・亀裂

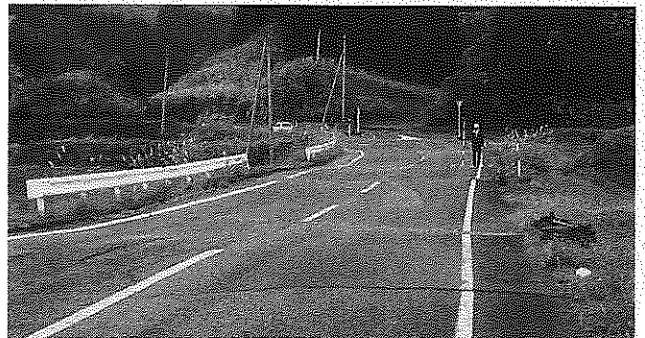


写真9 所々陥没して波をうったような道路

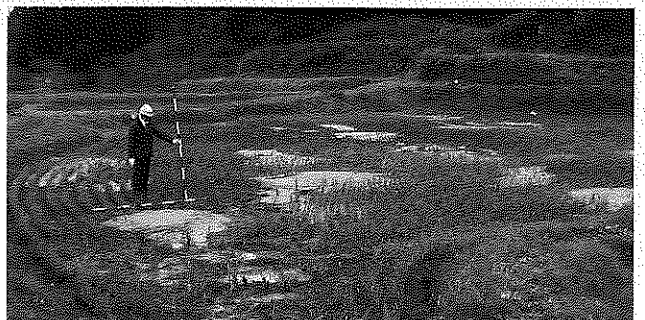


写真10 噴砂がいたるところで認められる

があったとされている。

中越地震により、とくに上部の「杜々の森湧水公園」付近と下部の集落内では、北西-南東方向に連続する段差・亀裂や開口亀裂が何重にも配列し、一部は陥没した(写真8, 9)。このため、道路が波をうち、住宅の土台が沈下し、水道管が切れて断水するなど、構造物にも大きな被害を与えた。

地面の亀裂は緩斜面のほぼ全域で見られ、従来から想定された大規模地すべりの境界と一致したところもあった。このため、大規模地すべりが活動したのではないかと危惧された。しかし、被害はほとんどが引張性の現象によるもので、隆起や押し出し等の圧縮性の現象は認められなかった。また、いたるところで噴砂跡が見られ(写真10)、池を囲むような方向に伸びる亀裂も多く見られた。これらのことは、変状が地すべり活動によるものではなく、液状化・流動化によるものであると考えられる。

このような、大規模地すべりが活動したようにみえる液状化・流動化による変状は、隣接する新山地すべりでも認められるほか、旧小国町法末地区をはじめとした真人背斜沿いの地すべり地でも認められる。いずれも砂質シルト～シルト岩の分布域であり、それらの2次堆積物が液状化・流動化していると考えられる。(佐藤壽則)

4.5 小千谷市東山地区の大規模斜面崩壊事例

小千谷市東山地区は、中越地震の震源地から北北西に約5 km 程の距離に位置する(図1)。本地震によって多数の箇所において発生した、地すべり・斜面崩壊、およびこれらに伴った土石流は、国道291号を含めた沿線路線および近隣居住区に甚大な被害を与えた。

ここでは、国道291号および県道千足呼坂線沿いに発生した大規模斜面崩壊の状況と対策事例の概要を紹介する。

(1) 被災状況

斜面崩壊の状況を写真11に示す。被災斜面は本震の震源から約5 km 北北西側に位置し、斜面下方には朝日川、国道291号および県道千足呼坂線が近接して併行している。

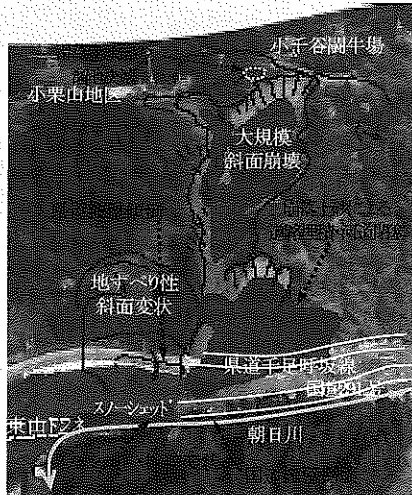


写真11 東山地区 大規模斜面崩壊状況

斜面崩壊は、本震および連続して発生した余震により、比高差約100 m、幅約40 m×長さ約80 m、平均崩壊深約6 mの規模で発生し、さらに崩壊地頭部に位置する溜池の決壊により崩落土砂が泥流化し、県道および国道の擁壁の傾倒・損壊・倒壊および路面閉塞を生じた。また、崩落土砂の一部は朝日川へ流入し、一時的な河道閉塞を生じ、路面上に流出した土砂は東山トンネル内を流下し、小千谷側坑口周辺迄土砂が堆積した。

(2) 斜面崩壊機構

図9に被災箇所周辺の地形判読および現地踏査結果を示す。調査結果から、大規模斜面崩壊は以下の様な機構により発生したものと考えられる。

- ・崩壊斜面は、古い地すべり地形の南西縁～頭部に位置

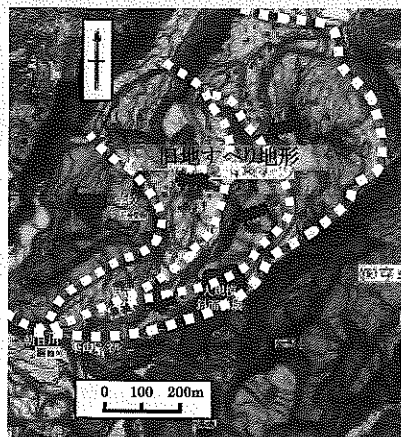


図9 東山地区周辺、地形判読・地質踏査結果図

しており、基盤をなす泥岩優勢砂岩泥岩互層の表層を覆う厚さ6 m 程度の風化岩盤および地表部の崩積土は、外的営力によって崩壊しやすい不安定な状態であった。

- ・地震動により古い地すべり地形の頭部および縁辺部に開口クラック等の変状が発生し、当該斜面に分布する風化岩や崩積土が崩壊するとともに、地すべり地形の頭部に作られた溜池が決壊し、崩壊の拡大・崩壊土砂の土石流化が生じ県道、国道、河川を閉塞した。

(3) 応急対策および監視体制

応急対策としては、路面に流出した土砂撤去、土砂流出防止として県道脇への大型土のう敷設、国道の変状拡大防止として川側路肩部への土留め杭等の応急対策がなされ、比較的早期に緊急および復旧対策車輛の通行が確保された。しかし、大規模崩壊地の現況としては、頭部滑落崖の背面への拡大、崩壊地内部に堆積した不安定土砂の移動等、依然として斜面は不安定な状態にあり、その活動性の評価・監視および県道・国道の安全確保を目的とした動態観測の実施、監視システムの設置・運用および斜面安定化対策の検討が必要な状況にある。現在、一時帰宅や復旧対策工事車両の安全確保を目的として、NTT携帯電話通信を利用した遠隔監視システムを用いて、崩壊地頭部滑落崖の動態観測・監視を新潟県により実施されている。図10に斜面監視システムの概要を示す。

なお、崩壊斜面の抜本的な対策は、平成17年度より林野庁地すべり対策事業として着手されることになっている。

(岡野 靖)

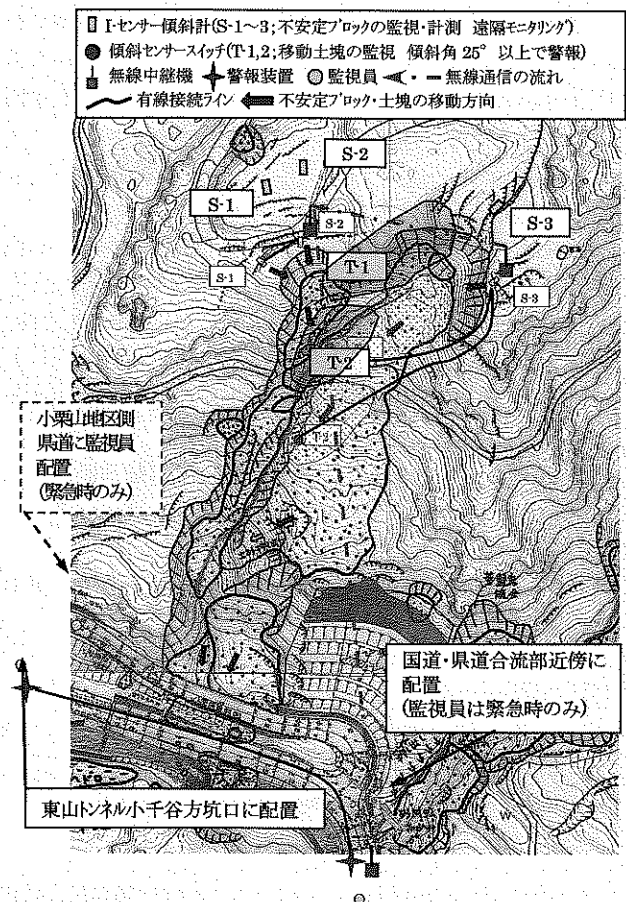


図10 東山地区大規模崩壊地監視システム配置の概要

4.6 地震で発生した住宅地の地すべり

本節では地震特有の現象と考えられる、すべり面勾配の非常に緩い地すべりを紹介する。

(1) 住宅地の概要

この住宅地は、昭和の中ごろに造成されたもので、そのうちの一部にはルーズな崩積土が分布する。これは、付近の地形状況からもともと幅30~50m程度の傾斜の緩い谷地であった箇所を埋積した堆積物と考えられ、ボーリング調査の結果、厚さ4~5mの礫混じり粘性土からなり、その下位の地山は砂礫層や泥岩層からなることがわかった。また、崩積土直下には、旧表土と考えられる厚さ数10cmの腐植土が2~3度の勾配で連続して分布する。

地すべりブロックは、崩積土全体とその下位の厚さ1~3mの部分が一体となって変動したものである。

(2) 地すべり地形の特徴

当地すべりは、長さ150m、幅50m、厚さ6~8mの規模で、特徴は以下に示す4点である。

- ① すべり面は地表とほぼ平行で、その勾配は1~2度と非常に緩い。
- ② 地すべりによる変動量は、頭部の開口亀裂、側部のせん断亀裂より約2mとなる。
- ③ 末端部では住宅地の先端にあった土留が約20m押し出されている。
- ④ 地すべりブロックは、中段での顕著な隆起部と亀裂の分布状況より3つの小ブロックに区分される。

(3) 地すべりによる被災状況

地すべりの発生によりブロック内の人家が被災し全壊あるいは地すべりブロックと共に平行移動している。特に被害が大きいのは地すべり末端部付近で、数戸の人家が大きく傾き全壊となっている。また、地すべりブロックを横断する道路は、側部の亀裂でせん断され、大きく横にずれている。

(4) 変動状況と応急対策工

地すべり発生の直接の誘因は、本震と余震を含めて短時間に大きな地震が連続したことによるが、直前の台風23号により地下水位が高くなっていたことも挙げられる。実際、本震直後の被災地では側溝の破壊により流下しなくなった水が付近の枺から噴出したという。また、開口亀裂内の水位はGL-0.5m程度と高い状態であった。

応急対策工は、地すべり末端部における崩壊が顕著で拡大が懸念されたため、大型土のうによる仮設押え盛土工と

横ボーリング工を行った。また、地すべり頭部の開口亀裂については、そこからすべり面への水の浸入を抑えるため暗渠工を施工した。

地すべりの変動状況は、抜き板や地表伸縮計、ボーリング調査孔に設置した孔内傾斜計、パイプ歪計により観測している。それによると、地すべり末端部では仮設押え盛土工終了とともに変動が止まることが観測された。また、震度3以上の余震により地表伸縮計に数ミリの変動が認められた。現在、融雪期を迎え地すべりブロック内の地下水位も地震発生時を上回っているが、各種観測によると目立った地すべり変動は認められず、現段階では地すべりブロックは動いていない。

ただし、高い地下水位と明瞭なすべり面が残ったままとなっているため、恒久対策工を施し地すべりの安定度を向上させる計画である。

(5) まとめ

今回発生した地すべりは、ルーズな堆積物、高い地下水位、地震による強い揺れの3つが揃ったことにより、いわゆる「高速地すべり」に近い現象が起こったと考えられる。国内には、今回のように谷部がルーズな堆積物により埋積された箇所は多数あると考えられるが、当地すべりは、たとえすべり面勾配が緩いとしても条件さえ揃えば、地すべり現象が発生することを示す例である。

今後、危険箇所の抽出等を行う際には、このような現象にも留意する必要がある。(土本浩二)

4.7 堤防の被害

(1) 河川堤防の被害概要

今回の地震では、河川にも大きな被害が及んだ。国土交通省のまとめ¹⁰⁾によれば、堤防亀裂、法面崩壊・沈下、堰・水門施設の損傷など直轄河川で185カ所、県管理の補助河川で425カ所の被害が確認された。

(2) 堤防被害の特徴

地震に伴う堤防の被害は、地震の慣性力によるものあるいは地盤の液状化によるもの等があった。地震動に伴う慣性力による変状では、堤体のすべり破壊や坂路の変状などが挙げられる。また、地震動による地盤の液状化に起因するものとしては、堤体の沈下、側方流動およびすべり破壊などが挙げられる。

さらに、今回の地震の特徴の一つとして、10月20日から21日にかけて新潟県にもっとも接近した台風第23号の影

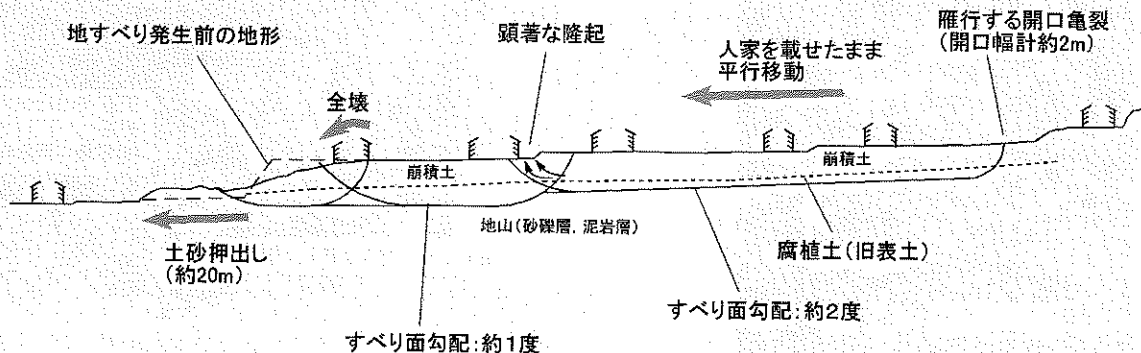


図11 地すべり概略断面図

響で、所によっては100 mm以上の降雨があり、流域の広い河川では水位の高い状態で今回の地震に遭ったことが挙げられる。

(3) 事例紹介

震源地に比較的近い河川の被災状況は、報道機関等によって多く紹介されており、読者諸氏も多く見聞きしていることと思われる。ここでは、柏崎市の鯖石川で発生したすべり破壊による堤防変状の例を紹介する(図1;写真12, 13)。



写真12 堤防変状状況の例(新潟県柏崎地域振興局提供)



写真13 矢板(軽量矢板)護岸の傾倒状況(新潟県柏崎地域振興局提供)

堤防の変状は、堤高が下流から上流に向かって次第に高くなり、隣接する橋台へのすり付け箇所付近で発生した。変状は、堤防天端の連続する亀裂(落差1m)、護岸ののり中間～末端部のはらみ出し・折れ曲がり、軽量矢板による護岸頭部の川側への傾倒が特徴的であり、堤防頂部から、矢板にぬけるすべり破壊が想定された。被災区間の延長は約70mであった。

地質調査の結果、礫質土・やや締まった粘性土を主体とする基礎地盤上に構築された、柔らかい粘性土からなる堤体が、地震動に伴う慣性力によってすべり破壊を起こしたと判断された。周辺と比較して堤高が高くなる区間で特に地震動の影響が大きく現れ、すべり破壊が発生したと考えられた。統計的な確認はしていないが、堤防断面の変化点(当該箇所のようなすり付け部や坂路等)で、このような変状が多く発生しているようであり、興味深い。

復旧は、すべり破壊により劣化した堤体材料の盛り替え、十分な長さを有する矢板護岸の設置を主体として施工された。(佐藤博文)

5. おわりに一復興にむけての課題

中越地震の調査を通じてとくに印象深かったことは、盛土地盤のもろさと、地盤条件への配慮を欠いた土地利用が目立ったことである。盛土に関していえば、計画時に、多少の不便さは伴っても、無理のない形状にすること、また、復旧時には原型復旧にこだわらない柔軟性が必要であるように思われた。

これまで、住宅地の選定や道路建設などの住基盤の整備に際しては、どちらかといえば利便性や地元のニーズが最優先にされ、地盤条件は脇役であったように思われる。従来の公共土木工事では、まず初めに計画があり、地質調査の目的は、その計画の実行を前提とした資料集めになり勝ちな面があった。その意味で、今回の中越地震で現れた地盤被害は、地盤調査の重要性を改めて示すものであったといえよう。

また、今回紹介した被災事例は、いずれも地質条件の重要性を示唆するものである。一般に、地質条件は地域性が強く、その土地の生い立ちを反映して多様であり、マニュアルどおりに進められないことが多い。そのため、その地域の地質に精通した地質技術者の判断やアドバイスがしばしば求められることになる。“地域に精通した”あるいは“地域に根ざした”とは、単にそこにいるだけではなく、真にその地域の地質に精通しているということが前提であることは言うまでもない。地質調査会社の生き残りのカギは、どうもこの辺にあるように思われる。(鴨井幸彦)

文 献

- 1) 新潟県中越地震災害対策本部:平成16年新潟県中越地震による被害状況について(第156報),2005,新潟県のホームページ。
<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/05/050113.html>
- 2) 新潟県土木部:「新潟県中越地震」による被害と復旧状況,1-19,2005,新潟県のホームページ。
http://www.pref.niigata.jp/doboku/engawa/10_23/10_23dobokubu.pdf
- 3) 国土交通省河川局砂防部保全課:平成16年新潟県中越地震に伴う斜面崩壊の発生状況について(続報),2005,国土交通省のホームページ。
<http://bosai.pref.niigata.jp/content/jishin/koshou.html>
- 4) 新潟県:「新潟県中越地震」の呼称について,2005,新潟県のホームページ。
<http://bosai.pref.niigata.jp/content/jishin/koshou.html>
- 5) 青井 真・森川信之・本多 亮・関口春子・功刀 卓・藤原広行:2004年新潟県中越地震の地震動,新潟県中越地震災害調査報告会講演資料集,地盤工学関東支部・北陸支部,10-17,2005。
- 6) 気象庁のホームページ(平成16年(2004)新潟県中越地震の被災地及び周辺地域に関する地震・気象情報)。
http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/niigata.html
- 7) 新潟県地質図改定委員会編:新潟県地質図説明書(2000年版),新潟県商工労働部商工振興課,200p.,2000。
- 8) 新潟の地すべり'98編集委員会編:新潟の地すべり'98,地すべり学会新潟支部,262p.,1998。
- 9) 小林巖雄・立石雅昭・吉岡敏和・島津光夫:5万分の1地質図幅説明書「長岡地域の地質」,132p.,地質調査所,1991。
- 10) 国土交通省北陸地方整備局:「平成16年新潟県中越地震」による被害と復旧状況<第2報>~復旧から復興へ~,1-14,2005。

平成16年台風23号による岐阜県内の豪雨災害について

やす え かつ お ひら た よし のぼ
 安 江 勝 夫* 村 田 芳 信*
 ほそ だ ひろし しも やま な お
 細 田 宏* 下 山 奈 緒*

1. はじめに

平成16年は、中部地方においても多くの自然災害が発生した。中でも、9月～10月にかけて立て続けに来襲した台風21号、22号、23号は、三重・静岡・岐阜の各県に大きな被害をもたらした。

台風21号は、9月28日～29日にかけて中部地方北部を縦断し、三重県の尾鷲市から宮川村に渡る地域で、過去最大級の降雨を記録し、宮川村などの市町村で死者9名・行方不明者1名を含む人的被害、全半壊69戸・床上浸水2532戸・床下浸水3316戸の被害をもたらした¹⁾。

台風22号は、10月9日に中部地方の太平洋岸を通過し、伊豆半島に上陸した。これに伴い、伊豆市など静岡県東部の市町村で、死者5名・行方不明者1名を含む人的被害、全半壊407棟、床上浸水310棟・床下浸水1041棟の被害が発生した²⁾。また伊東市では大きな風害も発生した。

台風23号(図1)は、10月20日に中部地方の中央付近を東西に縦断し、岐阜県飛騨市を中心に、死者5名・行方不明者2名を含む人的被害、全半壊8棟・床上浸水955棟・床下浸水2115棟の被害をもたらした³⁾。さらにJR高山本線の橋梁流失等、交通機関の被害も甚大であった。

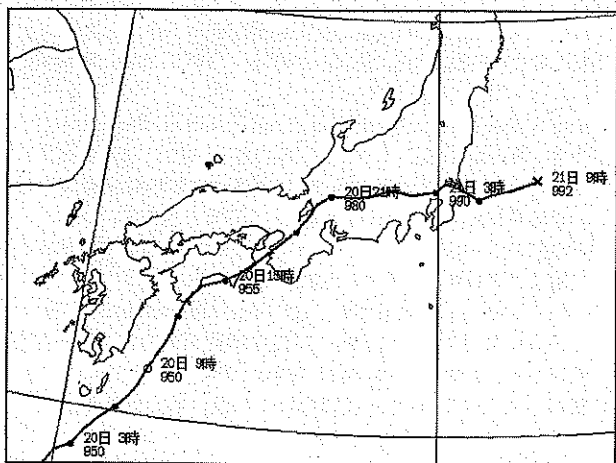


図1 台風23号の経路(日時, 気圧 hPa)(東京管区気象台速報より引用⁴⁾)

このうち、三重県宮川村を中心とする土砂災害については、報道でも大きく取り上げられ、砂防学会・地盤工学会も調査団を派遣している。

一方、岐阜県の災害については、甚大な被害が発生しているにもかかわらず、被災直後の10月23日に発生した新潟県中越地震が大きく報道されたためか、被害の実態についての報告は少ない。

そこで本報告では、台風23号によって発生した岐阜県内の豪雨災害について、現地調査やこれまで関係機関により公表された資料をとりまとめ、その特徴について考察した。

2. 被害の概要

国土交通省中部地方整備局⁵⁾、岐阜県⁶⁾、東海旅客鉄道株式会社⁷⁾が公表した災害情報をまとめて、図2に示した。図中には、河川関係の被害箇所(越水・溢水/護岸決壊・漏水)、国道および県道の通行止め箇所、土砂災害箇所(国土交通省・岐阜県)、鉄道の被災区間を示した。なお、土砂災害箇所

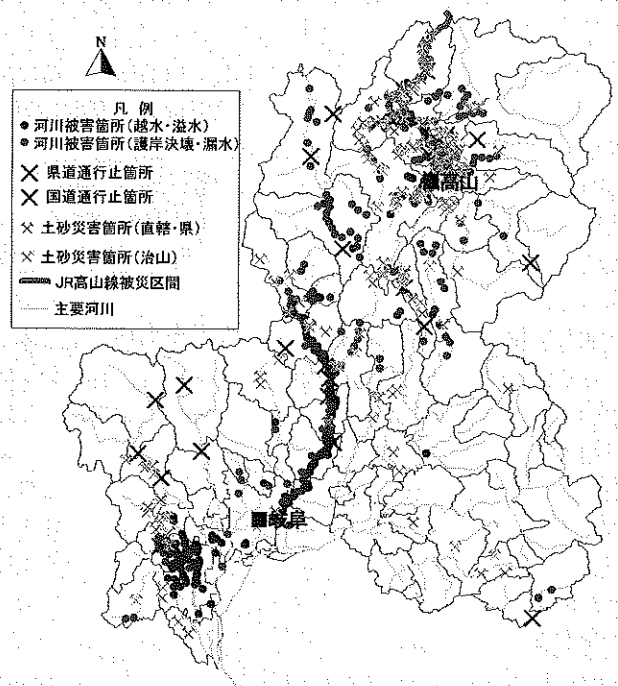


図2 岐阜県内の被害状況総括図

* 応用地質(株)中部支社

所には、後述する岐阜県治山防災地理情報システムによる森林での災害発生箇所も含めた。

災害は、河川被害・土砂災害ともに、岐阜県の西濃・中濃・飛騨地方で多く発生している。東濃地方は、平成12年9月の東海豪雨(恵那豪雨)では大きな被害を受けたが、今回の台風による被害は少ない。

3. 降雨状況

気象庁の観測によると、台風23号による降雨は、気象官署：高山における最大24時間降水量・最大1時間降水量が、統計開始以来の極値を更新している(表1、2参照)。また、アメダス地点の白川・清見・丹生川・六厩・八幡・大垣の各地で、日降水量の極値を更新している。

図3は、図2に岐阜県河川部作成の等雨量線図⁹⁾を重ねたものである。10月19日から21日にかけての連続累加雨量で300mm以上の分布は、西濃・揖斐・飛騨の各地方と重複し、被害の集中域と一致している。

表1 最大24時間降水量(高山)

	更新値(mm)	従来値(mm)
最大24時間降水量	256.5	220.0
観測年月日	2004/10/20	1971/9/6

表2 最大1時間降水量(高山)

	更新値(mm)	従来値(mm)
最大1時間降水量	57.0	52.0
観測年月日	2004/10/20	1940/8/4

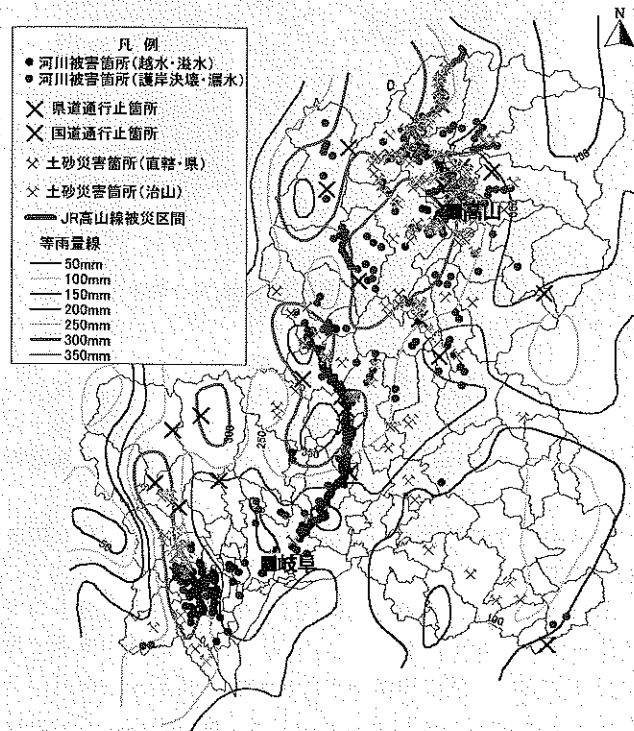


図3 等雨量線図(10月19日~21日)(岐阜県河川部資料を引用)

4. 災害状況

4.1 河川関係

図4に、岐阜県資料⁹⁾による河川被害を抽出して、等雨量線とともに示した。西濃地方では、大谷川の洗堰で越流が発生するなど揖斐川の右岸支流の多くの箇所でも浸水被害が発生した。この流域では、平成14年7月の台風6号でもほぼ同じ領域で浸水被害が発生している。

長良川流域では、郡上市~岐阜市の流域の各所で浸水被害が発生した。特に、岐阜市の忠節観測所では、過去最高レベルの河川水位を観測した。

飛騨地方では、宮川水系で被害が集中し、川上川・瓜菓川・宮川本川で河岸決壊を生じた。

等雨量線との関係を見ると、これら災害の発生した河川の上流域~中流域に、連続累加雨量300mm以上の降雨が見られた。

4.2 土砂災害

土砂災害は、土石流・崖崩れが高山市・国府町で発生し、人的被害が発生している。

岐阜県は、県面積の82%を森林が占めるが、近年地球温暖化問題などの環境面から、森林の持つ多面的機能に大きな期待が寄せられており、その保全も重要な課題となってきた。岐阜県森林保全室では、岐阜県所管の森林の保全を目的として、『岐阜県治山防災地理情報システム』を整備し、平成16年10月より運用されている⁹⁾。このシステムの機能には、山地災害情報管理機能があり、山地災害発生情報の情報収集、集計・印刷・データの新規入力・修正、検索抽出、並び替え・定型形式での印刷が可能となっている。

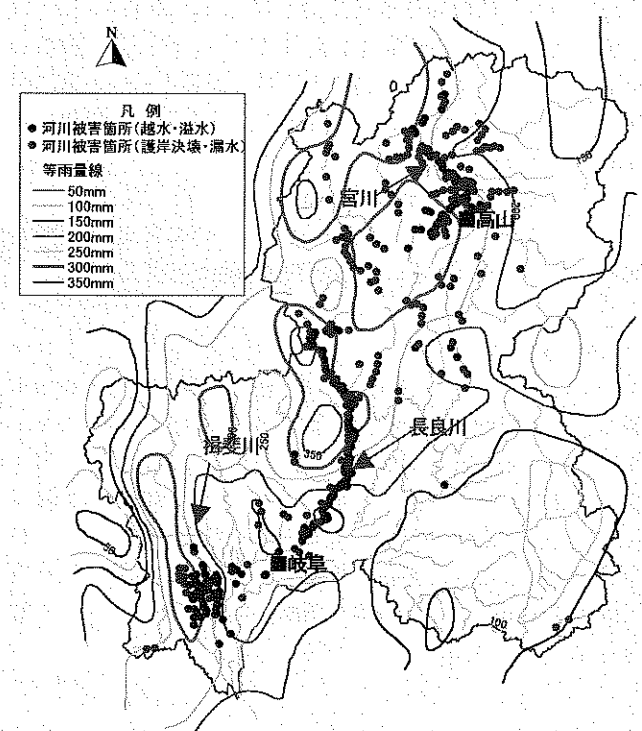


図4 河川関係の被害

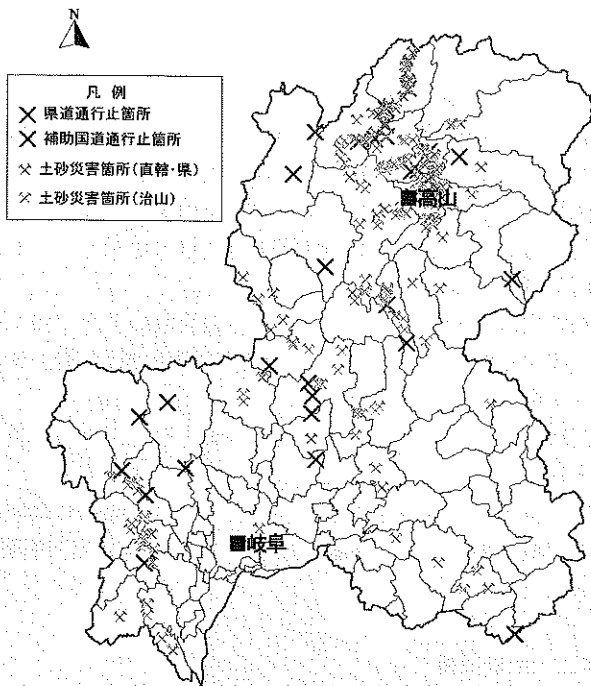


図5 土砂災害発生箇所

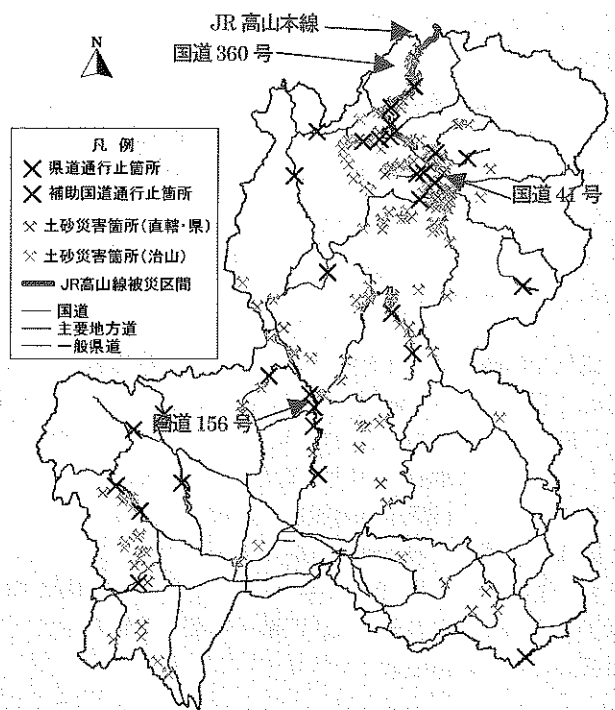


図6 道路・鉄道関係の被災状況

今回の台風23号による災害についても、この機能が活用され、森林関係の被害状況が迅速に集約された。

図5に、公表された資料⁹⁾に加えて、同システムにより集約された森林における土砂災害の発生状況を示す。

森林の災害発生箇所は、西濃・中濃・飛驒(高山市周辺)で多く発生しており、降雨の多い地域に集中する傾向が認められる。

4.3 道路

(1) 直轄国道

道路関係では、国土交通省所管の国道41号で飛驒川や宮川沿いの水衝部の護岸崩壊や冠水により、10月20~21日に全交通止めの通行規制が行われている。法面等が崩壊したほか、郡上市美並町の国道156号で長良川沿いの護岸が崩壊している。いずれも、道路と並走する河川の増水に伴うものである⁹⁾(図6参照)。

(2) 岐阜県所管国道・県道

最も被害が大きかったのは、宮川沿いに並走する国道360号で、多数の道路の決壊や法面崩壊が発生した⁹⁾。

4.4 鉄道

鉄道は、JR高山本線が大きな被害を受けた。JR高山本線は、岐阜駅から高山駅を経て富山駅に至る路線であり、岐阜駅から久々野までは木曾川・飛驒川に沿い、久々野から富山までは宮川に沿って建設された。今回の台風で被災したのは宮川沿いの高山~飛驒細江・猪谷間であり、JR東海の発表によると、桑谷川橋梁・第5宮川橋梁・第6宮川橋梁・第9宮川橋梁で橋脚が倒壊流失する大きな被害となった⁷⁾(図6)。

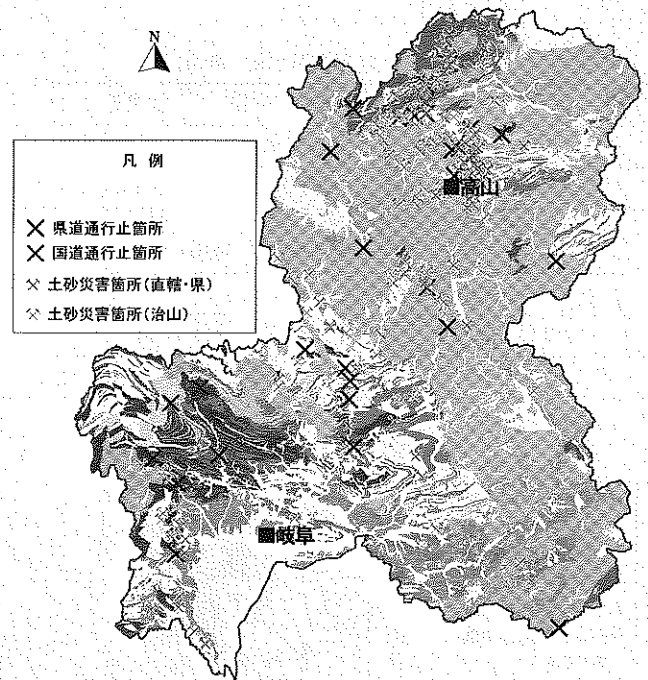


図7 土砂災害発生箇所と基盤地質の関係
(中部地方土木地質図¹⁰⁾に加筆)

5. 土砂災害と地質

図7は、今回の災害発生箇所のうち、土砂災害と基盤地質の関係を示したものである。

土砂災害発生箇所の基盤地質は、図8に示すような構成となっている。

最も多いのは、飛驒地方に広く分布する濃飛流紋岩の安山岩・流紋岩類で、30%を占める。次いで西濃~揖斐地方に分布する中生代の美濃帯の砂岩および頁岩・粘板岩が合わせて27%となっている。花崗岩・花崗斑岩は、濃飛流紋岩および飛驒帯および領家帯に属するもので、13%となっ

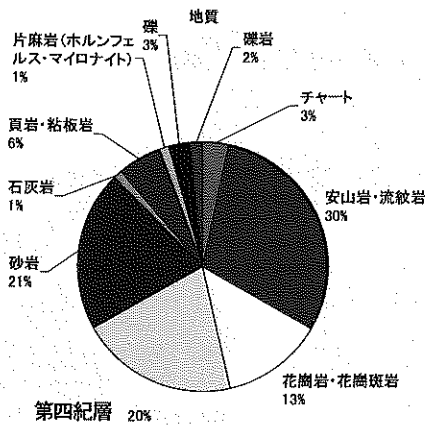


図8 土砂災害発生地点の地質

ている。これらは、岐阜県の地質の分布面積にほぼ比例している。

図3の等雨量線図と比較してみると、土砂災害の発生が、特定の地質分布域に偏在するような傾向は認め難く、むしろ降雨量に依存する傾向が認められる。

6. 災害の特徴

今回の災害の特徴として、河川被害が揖斐川・長良川・宮川の各水系で多数発生し、これらの河川と並走する交通網（道路・鉄道）も被害を受けている。この原因の一つとして、岐阜県の西濃～飛騨地方は、県内でも特に険しい山岳地であり、道路や鉄道が狭隘な谷間に敷設せざるを得ない地形的な制約条件がある。

特に、宮川沿いの国道360号はJR高山本線と並走しており、宮川の水衝部や川幅の狭隘部でともに大きな被害を受けている。

今回の災害の降雨特性について、長良川中上流域水害対策検討委員会の中間報告¹¹⁾は、『短時間に集中した降雨域が長良川上流域を覆ったため、上流各支流からの流出量がほぼ同時期かつ急激に増加した結果、長良川本川の洪水量が速い速度で増大し、ピーク時の水位も高くなった』としている。

森林の土砂災害についても、基盤の地質よりも、連続累加雨量の大きい地域に依存する傾向があり、短時間の強い雨が誘因となっているものと考えられる。

7. おわりに

平成16年台風23号による岐阜県内の災害について、概括した。近年、大型の台風や停滞する梅雨前線に起因する、短時間の強雨による災害が多発し、従来少雨地域と言われていた地域が豪雨にみまわれることも多くなってきている。

今後も災害事例について収集し、防災に役立てたい。

謝辞

本論文を取りまとめるにあたり、岐阜県森林保全室より岐阜県治山防災地理情報システムによって集約された災害情報の提供を頂いた。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内閣府：平成16年台風21号による被害状況について（第12報），平成16年10月19日。
http://www.bousai.go.jp/kinkyu/040929taifu21gou/taifu21_12.pdf
- 2) 内閣府：平成16年台風22号による被害状況について（第9報），平成17年2月25日。
http://www.bousai.go.jp/kinkyu/041009taifu22gou/taifu22_09.pdf
- 3) 国土交通省：台風23号について（第5報：最週報），平成16年10月22日。
http://www.mlit.go.jp/bosai/disaster/saigaijyouhou/h16/typhoon23_25.pdf
- 4) 東京管区气象台：平成16年10月台風23号に関する気象速報，平成16年10月21日。
http://www.tokyo-jma.go.jp/sub_index/bosai/disaster/ty0423/ty042301.pdf
- 5) 国土交通省中部地方整備局：台風23号による中部地方の被災状況，速報版，平成16年10月26日。
http://www.saigai.cbr.mlit.go.jp/saigai/kisya_bacup/20041020_t23.htm
- 6) 岐阜県河川課：平成16年10月20, 21日の台風23号による出水速報。
<http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11652/project/h16t23/index.htm>
- 7) 東海旅客鉄道株式会社，高山本線復旧工事概要。
[http://www.jr-central.co.jp/news.nsf/news/2005420-10448/\\$FILE/takayama.pdf](http://www.jr-central.co.jp/news.nsf/news/2005420-10448/$FILE/takayama.pdf)
- 8) 藤下定幸：GISを活用した岐阜県の治山業務，治山研究会中部支部報，No. 43, 2005. 3.
- 9) 藤下定幸：県民にわかる治山計画を，治山，Vol. 48, No. 4, 2003. 7.
- 10) 中部地方土地地質図，中部地方土地地質図編纂委員会，1992.
- 11) 岐阜県河川課：平成16年台風23号水害報告，平成17年3月。

平成16年7月福井豪雨による地盤災害

やまもと ひろふみ
山本博文*
はつ 部 いきむ
服 勇**

1. はじめに

平成16年7月に入り、福井県嶺北地域では9日～11日に日降水量14～30mmのややまとまった降雨があったものの、17日までは雨が少ない日が続いていた。しかし梅雨末期の7月18日、未明から降り始めた雨は次第に激しさを増し、アメダスのデータでは美山町で午前6時からの1時間降水量が87mm、福井市でも午前8時からの1時間降水量が75mmに達した。この最大時間降水量は福井（統計期間：1940/01～2004/09）、美山（統計期間：1979/01～2004/08）とも観測史上1番目の記録であった。また18日の日降水量は、福井で197.5mm、美山で283mmであり、美山（統計期間：1979/01～2004/09）では観測史上1番目、福井（統計期間：1897/01～2004/09）でも2番目の記録であった。しかもその大半は18日朝の数時間に集中していた。福井における7月の平均降水量は213.8mm、美山は236.7mmであり、1週間近くほとんど降雨のなかった嶺北地域に、数時間という短時間で1カ月分の雨が降ったことになる。

この福井市から足羽川中・上流部の池田町・美山町を中心とする地域（図1）で降った豪雨により、各地で土砂災害が発生するとともに、足羽川の水位は急激に上昇し、山間部では濁流が谷底平野一面に広がって流下し、福井市中心部では堤防が決壊した。今回の豪雨によって発生した災害は福井市などの平野部で発生した災害、および池田町・美山町などの山間部で発生した災害の2つのタイプに分けることができる。

平野部では、非常に激しい雨に伴い内水氾濫が各所で発生した。さらに福井市中心部では12時頃から足羽川左岸を中心に越流が発生し、13時34分頃破堤した。流入した濁流は道路が主な流路となって西～南へと広がり、深いところでは1.5mを超える浸水となった。

山間部では、足羽川に直接流れ込む沢や谷で土石流が多発し、足羽川の攻撃斜面側では側壁浸食による堤防破壊や側壁上に存在した道路の崩壊、家屋の倒壊流出が頻発した。また特徴的な被害の一つにJR鉄橋の落下がある（図2-1）。JR越美北線は一乗谷駅から美山駅までの間で蛇行する足羽川を7回横断する。7つの鉄道橋のうち5つで橋桁の落下、橋脚の転倒が発生した。橋脚は途中で折れているものも見られたが、多くは基礎部分から倒れていた。

山間部では鉄道橋だけでなく、道路橋も流されている。いずれの橋も建設時期が古いものであり、新しい橋は落下していない。豪雨直後には落橋した橋ばかりでなく、すべての橋に多量の流木が引掛かっていた。山間部でも山岳域の被害はあまり目立たず、大規模な地すべりや崩落は発生していない。航空写真による判読では「爪のひっかけ傷」程度の流出痕が見られるだけである。崩落部の厚さは1m程度であり、表層部の風化帯のみが崩れている。岩盤が崩壊している例はほとんど見あたらなかった。

この豪雨による被害は死者・行方

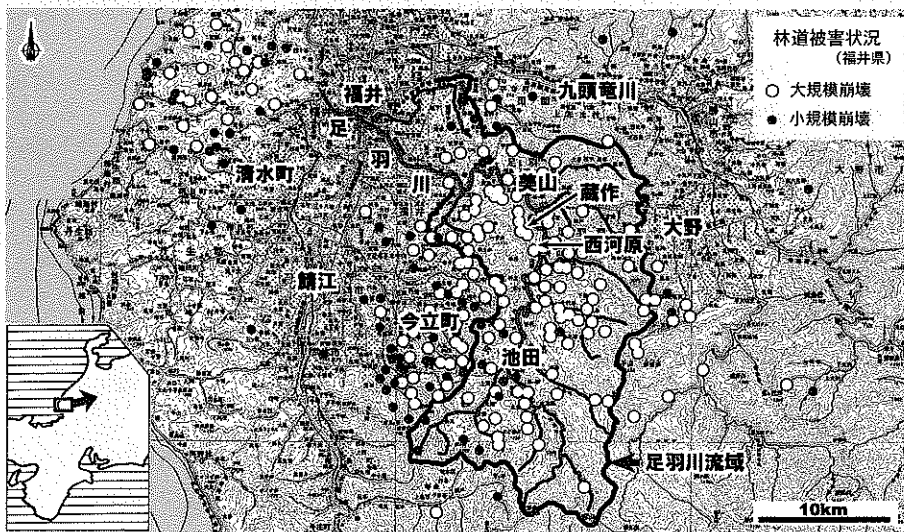


図1 足羽川位置図。林道被害状況は福井県による。

* 福井大学教育地域科学部助教授

** 福井大学教育地域科学部教授

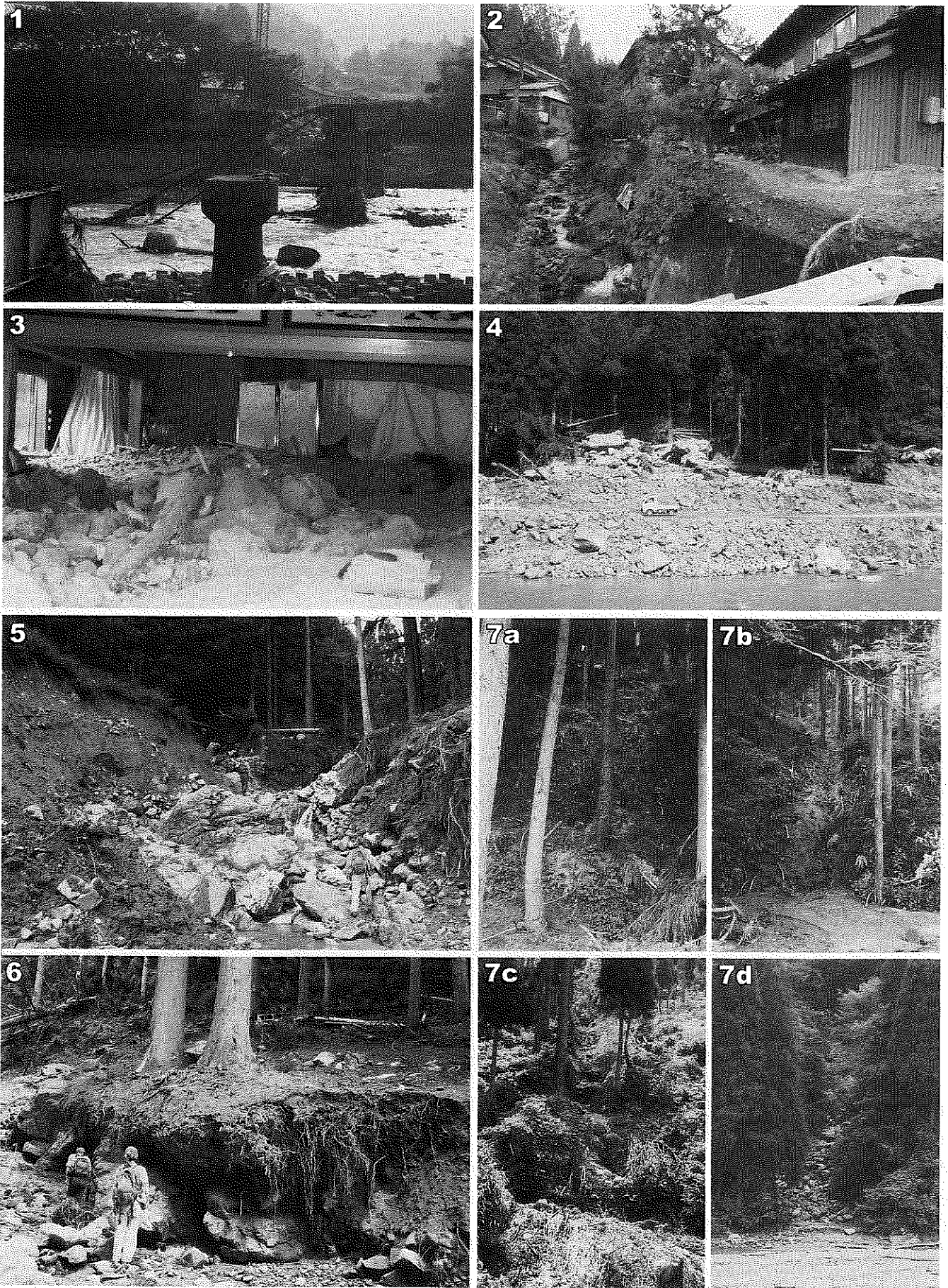


図2 福井豪雨の被害状況。1：一乗谷駅付近の流出した鉄道橋，2：蔵作集落内の小谷川の周りに堆積した土砂，3：土石が流入した蔵作の民家，4：西河原の足羽川に注ぎ込んだ土石流，5：西河原の土石流を発生させた谷川，6：下刻された西河原の谷沿いの杉，7：谷沿いの土砂の流出順序，7a：水流によってなぎ倒された下草，7b：削られた表土，7c：小礫の流出，7d：巨礫の流出。

不明5名、負傷者19名、住宅被害では全壊66世帯、半壊135世帯、床上浸水4,052世帯、床下浸水9,675世帯であった(福井県による2004年9月1日現在の集計データ)。本報告ではこのような大きな被害となった福井豪雨災害のうち、山間部で発生した土石流災害を中心に紹介する。

2. 福井豪雨における土石流災害の例

短時間に集中して降った豪雨により、山間部では多数の土石流災害が発生した。図1にはその一例として、福井県がまとめた林道被害状況図を示す。林道被害は日本海から南東方向に帯状に延びる幅約20km、長さ約50kmの地域に集中しており、梅雨前線に沿って強い雨雲が次々と入り込み、狭い範囲に多くの雨を落していったことを示している。この豪雨によって発生した土石流災害を見てみると、大規模な地すべりの発生はほとんどなく、大半が中・小規模の土石流であった。そこで今回の豪雨災害で発生した土石流の一例として、美山町蔵作地区、および美山町西河原地区について紹介する。

2.1 蔵作での土石流

美山町蔵作集落南部には、まっすぐ南西方向に延びる長さ1.8km、平均傾斜角17度、集水面積0.8km²の普段わずかに水が流れる程度の小さな谷川が流れ出てきている(図2-2)。7月18日、この沢から大量の土砂が溢れ出した。空中写真を見ると、標高450m付近から200m付近の谷筋に沿って細長く植生が剥がされており、数箇所の小規模崩壊跡も見出すことができる。しかし標高200m付近から民家のある標高100m付近までは土砂流出の痕跡は空中写真では読み取ることができなかった。この谷川沿いに位置していた民家では、厚いところで2m近い土砂に埋もれた(図2-3)。家の中には最大で直径70cmもの巨礫がいくつも入り込んでいたが、家屋は倒壊を免れている。民家の前の県道を覆った厚さ1mを越える土砂は早々に取り除かれたが、多量の土砂が流入した民家はそのまま町によって保存された。民家の周囲に残された土砂の断面を見ると、多くの礫を含む粗粒部と主に砂からなる細粒部との明瞭な層理が認められた。もし仮に2mもの厚さの土砂が民家に一気に押し寄せたとすると、建物は倒壊した可能性が高い。しかし土砂中に明瞭な層理が認められたこと、沢の上流には複数の崩落跡が認められることからすると、土砂は一気にもたらされたものではなく、複数回にわたって供給され、民家は徐々に埋もれていったと推定される。このため建物は埋もれることにより強くなり、結果として倒壊を免れたと思われる。この家に住んでいた方に当日の様子を伺ったが、その日は出かけていたためわからないとのことであった。

2.2 西河原での土石流

美山町西河原で発生した土石流は、今回の豪雨

災害の中では最大級のものであり、流出した岩塊は、最も大きなもので直径が5mに達していた(図2-4)。

土石流を流出させた谷は、前述の蔵作に土砂を流出させた谷の南東側に位置している。標高120mの足羽川への合流点付近から西へ100m入ったところからまっすぐ北西に延び、標高230m付近で北方向と南西方向に延びる谷に分かれている。谷の長さは1.4km、平均の傾斜角は18度、集水面積は0.7km²である。空中写真では標高450m付近から谷の出口まで、谷筋に沿って細長く植生が剥がされており、小規模な崩壊跡も数箇所で見取することができる。

この谷において、谷の入り口から標高330m付近まで踏査を行った(図3)。谷の出口付近では、谷から排出された直径数mにおよぶ巨大な石灰岩の岩塊が点々としており、直径50cm、長さ10mを超える根の付いた杉と思われる流木も多数流れ出てきていた。また谷から排出、足羽川に注ぎ込んだ巨礫は対岸まで達しており、足羽川が一時的にせき止められた可能性がある。谷に入ると、谷底には基盤岩が、その両側には崖錐が露出しており、谷底が2~3mも削り込まれたと推定される(図2-5)。このため、谷沿いの立ち木は根元が洗い流され、転倒したものや根があらわになったものが多数観察された(図2-6)。倒木は大半が杉であり、その根は貧弱で周囲の土砂を保持する力は低いと思われる。

谷は標高230m付近までほぼまっすぐに北西方向に延びているが、この区間では谷底の基盤岩中に広いところでは幅3m以上の断層破碎帯が認められた。また小規模な斜面崩壊も谷に沿っていくつか発生していた。

標高230m付近からは南西方向に延びる谷に沿って調査を行ったが、この付近でも所によっては3m以上谷底が削られ、基盤岩が露出していた。また標高300m付近には巨大な石灰岩の岩塊が集積しており、谷出口の巨大な岩塊はこの付近から流下した可能性がある。

谷沿いの調査は谷が林道と交差する標高330m付近までであったが、さらに上流からも大量の土砂が流れ出てきていた。このため林道が谷を横切る地点では、谷を流下

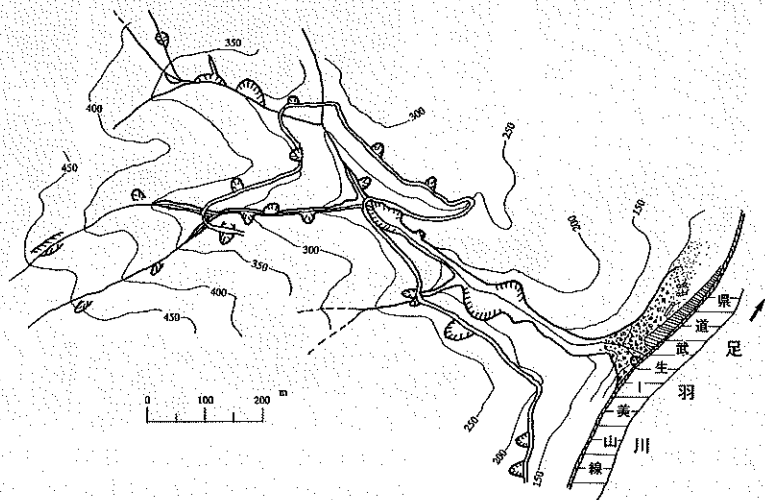


図3 西河原における谷沿いの被害状況。削剝された谷幅は実際の2.5倍に強調して記してある。

してきた土砂が林道上に大量に溢れ出していた。林道はアスファルト舗装されていたが、舗装面は所々剝がされ、また水流によって路盤材が流されアスファルト路面が凸凹になっていた。林道沿いの被害では、小規模な斜面崩壊が100mあたり1カ所程度の割合で発生していた。また調査を行った主要な谷ばかりでなく、普段はほとんど水の流れていないような小さな谷においても土砂を流出させ、倒木が運ばれてきていた。

3. 福井豪雨における土砂災害の特徴

今回の福井豪雨災害では、5カ所もの鉄道橋の落下、足羽川の堤防決壊、1万戸を超える浸水被害等に特徴付けられるように、土木構築物の損壊および浸水被害が目ざされ、土砂災害に関する報道は少なかった。これは土砂災害が発生した場所が人の少ない山地域が主であったこと、注目されるような大規模崩壊はほとんどなく、大半が規模の小さなものであったためである。しかし林道被害状況(図1)に見られるように、降雨が集中した地区では非常に多くの土砂災害が発生しており、その多くがいまだ手付かずのままである。

福井豪雨で発生した土砂災害を種類別に見てみると、図4に示されるように他の豪雨災害に比べ、土石流発生割合が72%と非常に高く、崖崩れや地すべりは少ない。福井豪雨時に中・小規模の土石流が多発した原因としては、さまざまな要因が推定されるが、その一つとして短時間に集中した降雨が考えられる。福井や美山では7月に入り、少雨傾向が続いており、12日から前日の17日までの6日間の降水量は福井で2mm、美山で4mmである。ここに数時間という短時間にこの地域の1カ月分近い降水量が一気に降ったのである。多くの雨が一気に降ったために、その一部は地中に染み込むことなく、山地斜面を流れ下った可能性が高い。西河原の調査時にも斜面を水が流れたと推定される地点が何箇所も見られた。斜面を流れ下る水流は、その量が少なれば下草をなぎ倒すだけであるが(図2-7a)、流量が増すに従い、表土を削り(図2-7b)、小礫を流出させ(図2-7c)、さらに流量が増すと谷底を深く削り、倒木を発生させ、巨礫を流出させる(図2-7d)。これに加え、谷の下刻および大量に降った雨により谷沿いに小崩壊

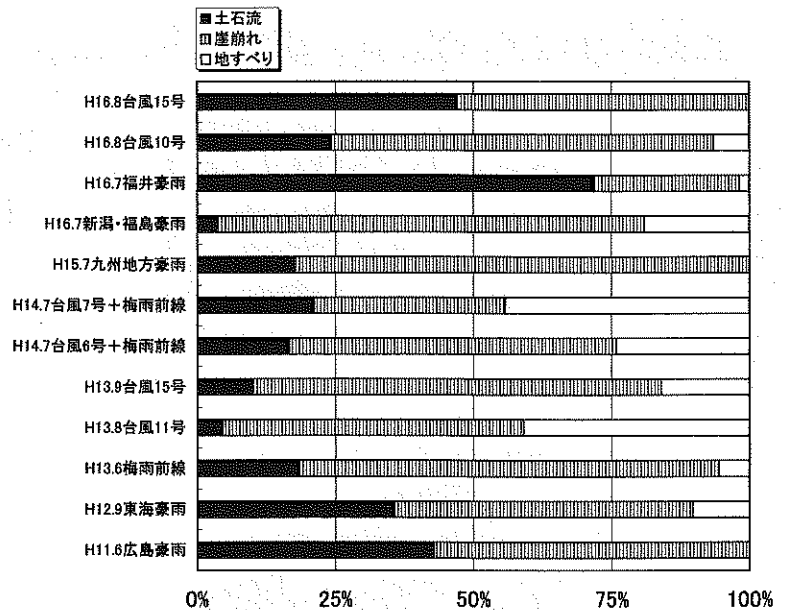


図4 最近の土砂災害の傾向(国土交通省のデータを基に野澤氏が作成)

が発生し、土石流となって流下したと推定される。豪雨前にはほとんど雨が降っていないこと、また降雨は数時間という短時間に終わったことから、雨水はあまり深くまでは染み込まず、大規模な崩壊はほとんど発生しなかったのではないと思われる。

4. おわりに

今回の局地的集中豪雨は、足羽川流域ばかりでなく鯖江市河和田地区や今立町にも大きな被害を残した。また、福井市西部の清水町でも中小河川の護岸が破壊された。全壊住宅が66世帯、半壊住宅が135世帯と見積もられているが、半壊住宅の多くは、結局は撤去される場合が多い。6万人を超えるボランティアや自衛隊による復旧活動への支援などにより、地区によっては、短期間で外見的に災害の痛手はほとんど消えたように見える。しかしながら、土砂が流入した田畑の復旧はあまり進んでおらず、普段の生活に直結しない山間部ではほとんど手付かずの所も多い。足羽川ダムの建設問題も話題に上っている。被災地域では被災をきっかけとした人口の流出が起こっており、過疎化に一層拍車が掛かるのではないかと憂慮される。

奈良県大塔村国道168号線における 地すべり災害事例

たつみ ようじろう*
辰巳 洋治郎*
なかむら たかゆき**
中村 孝幸**

1. はじめに

昨年7月「紀伊山地の霊場と参詣道」が世界遺産に登録され、奈良県十津川村や大塔村では夏季の観光客増加が期待されていた。特に十津川温泉郷では源泉かけ流し宣言を実現し、温泉ファンの注目を集めていた矢先、8月10日未明に大塔村宇井地区の国道168号で大規模な地すべりが発生し、十津川方面への通行が不能となった。なお、この地すべりは事前に警戒監視が行われていたため人的被害は無く、対岸にある県道高野辻堂線を使つての迂回が可能であったため致命的な打撃は避けられた。

我社は奈良県五條土木事務所および日本工営(株)の管理のもとに他2社とともに事前地質調査を行い、地すべりに遭遇することになったので、以下にその概要を紹介する。

2. 地すべり発生までの経緯

① 平成16年1月に五條土木工務第3課のパトロール

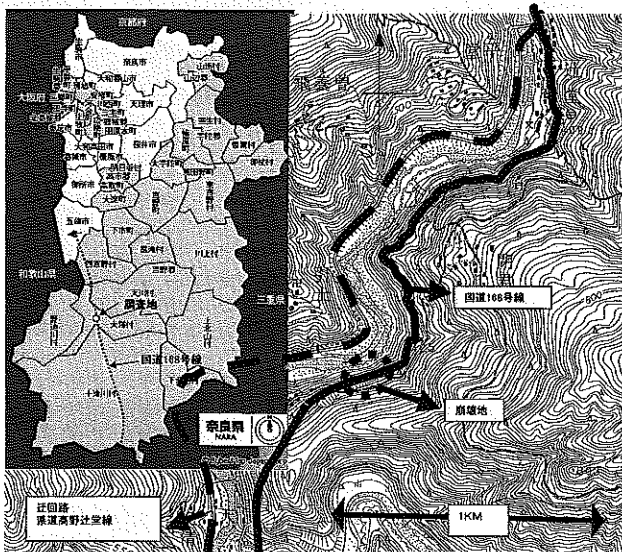


図1 調査地案内図

で国道路面および擁壁部にクラックが発見され、2月10日に地盤伸縮計4基とクラックゲージを用いたの計測が開始された。

- ② 同年5月3日に国道脇北側法面で小規模な表層崩壊が発生するとともに法面上部の新たな亀裂や谷側擁壁の打ち継ぎ目の段差等が見つかった。そのため、崩土除去とモルタル吹付工が施工されるとともに地盤伸縮計が追加され、警報機も設置された。また、6月からは測量、調査ボーリング9本とパイプひずみ計8基、孔内傾斜計1基および伸縮計8基からなる計器観測業務が発注された。
- ③ 同年6月初旬には緊急時連絡体制マニュアルが作成され、警報装置作動時の現地確認方法、危険度が少ない場合の監視通行の方法、地すべり滑動が確認された場合の通行止めと迂回路への切り替え、役場・ダム管理者・警察・バス会社など関係機関への連絡体制等に関して緊急度に応じた対応が準備された。
- ④ 7月13日からは、観測結果はNTT回線により事務所へ伝達されるようになり、連続2時間2mm/hになれば警報機が作動し、関係者の携帯電話に知らせるようになった。
- ⑤ 7月初旬には第1回目のボーリング作業が終了し、コア観察やパイプひずみ計測定結果から国道より山側のすべり面深度が想定された。その後、地権者の了解が得られたため、8月9日から我社で国道より下方でのボーリング調査に着手することになった。
- ⑥ 7月30日から8月5日にかけての台風10号、11号による約400mmの降雨が引き金となり擁壁のクラックや法面上部段差が拡大し、8月8日には地盤伸縮計が2時間連続2mmを記録したため、通行止めの措置がとられるとともにボーリング作業の中止命令も出された。なお、この時点ではクリープ予測式により最短1.5日で滑落することが予測されていた。
- ⑦ 8月9日にはクリープ予測式から求めた崩壊前60分の指標となる基準変動速度10mm/10分を超過し、23時30分対岸迂回路にも通行止めの措置がと

* (株)インテコ 調査部長

** 同 調査部技術員

られた。

- ⑧ 8月10日通行止め区域内の車両・人を退去させるためのパトロール中、午前0時10分に末端部2カ所で小規模な崩壊が発生し、0時15分に延長約120m、高さ約120m、滑落土量約20万 m^3 の本格的な地すべりが生じた。なお、この瞬間は各テレビ局のニュース番組で放映されたとおりである。
- ⑨ その後、8月17日に至るまで断続的に頭部滑落崖での二次的な崩壊が発生した。崩壊前後における地すべり地の状況を写真1に比較して示す。
- ⑩ このように人的被害が防げたのは日頃の地道な道路パトロールによる早期発見や事前の緊急時連絡体制マニュアルに基づく迅速な対応によるものであった。おかげで我々調査会社も事前に搬入していたコア箱8箱の実損だけで済ませることができた。

3. 調査結果

ボーリングと伸縮計設置位置および崩壊範囲を図2に示す。

3.1 地形・地質概要

調査地は熊野川沿いの40°程度の急傾斜を成す北向き斜面にあり、調査地案内図に示すように熊野川が曲流する攻撃斜面にあたる。

調査地付近には白亜紀四万十帯日高川層群美山層のMy1ユニットが分布している。My1ユニットはチャートおよび緑色岩を伴う砂岩・頁岩互層からなることが知られている。

地表踏査の結果では地層の走向は平均的にEW（東西）方向であり、図2調査地点位置図に示す斜面上の尾根の方向とほぼ同じである。また、国道168号や熊野川流路の方向にも近い。地層の傾斜は北側に40°前後である。

3.2 地盤伸縮計測定結果

地盤伸縮計の変動状況を図3に示す。5月の数回の降雨によって伸縮計の変動量が増加し始め、0.5~0.9mm/day程度の一定速度で7月下旬まで推移していた。その後、7月下旬から8月にかけての台風10、11号に伴う約400mmの降雨によって変位速度が急激に増している。その後、わずか10日間ほどで崩壊に至っている。

3.3 ボーリング調査結果

崩壊地中央測線の地質断面図を図4に示す。現状では崩壊土砂が堆積しているためすべり面の深度は明確ではない。したがって、図5に示す想定すべり面はパイプひずみ計測定結果やコア観察から推定したものである。地質断面図に示す各地層の分布状況には以下のような特徴がある。

- ① 各ボーリング孔の下端には連続性が良くCM~CH級を主体とする塊状砂岩（My硬）が分布しており、斜面に対して流れ盤となっている。塊状砂岩の上位にはCL級を主体とする頁岩、砂岩頁岩互層（My

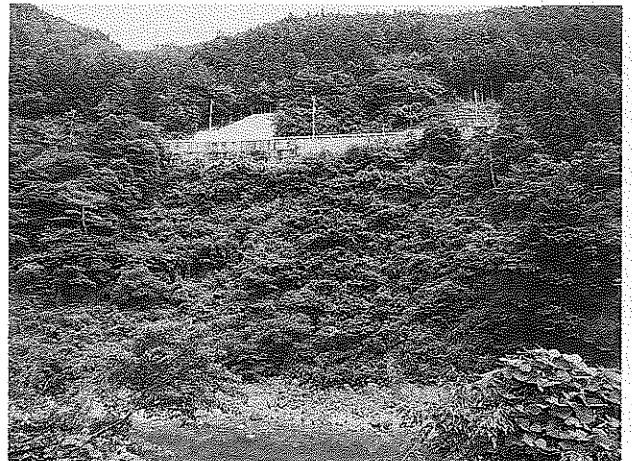


写真1 崩壊前後の全景比較

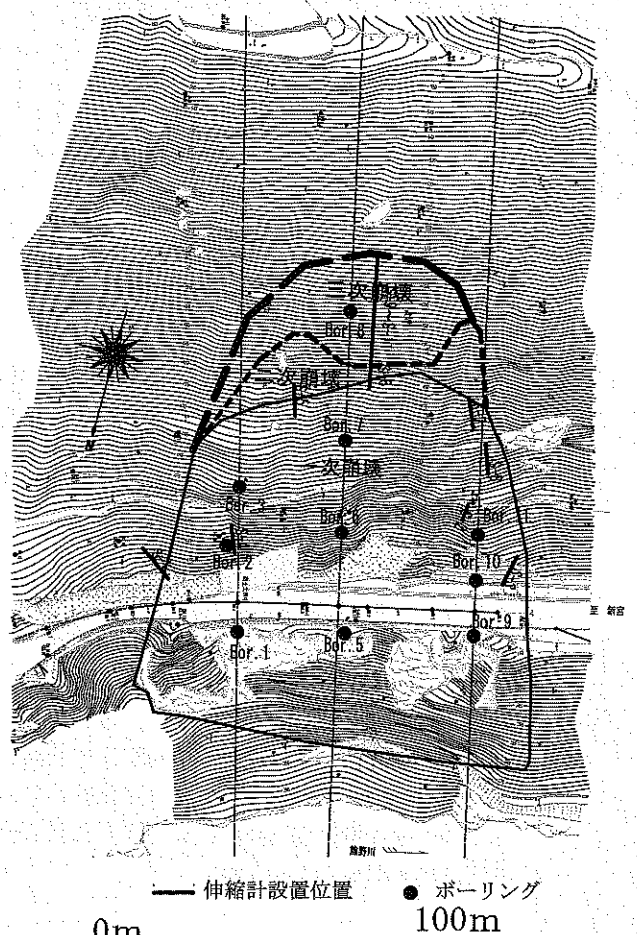


図2 調査地点位置および崩壊範囲図

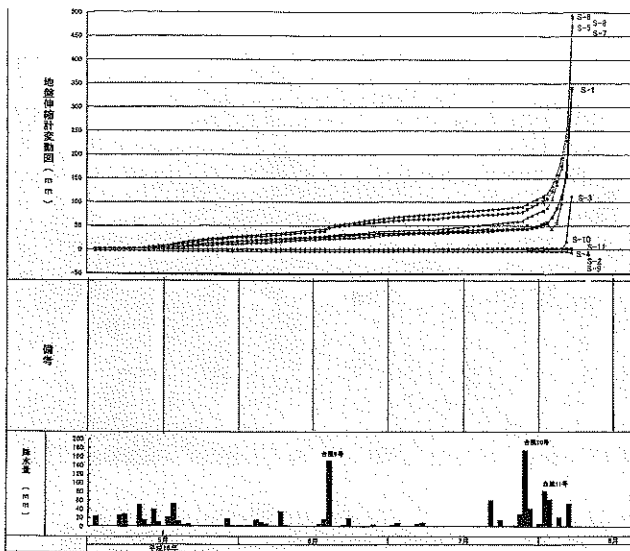


図3 地盤伸縮計観測結果

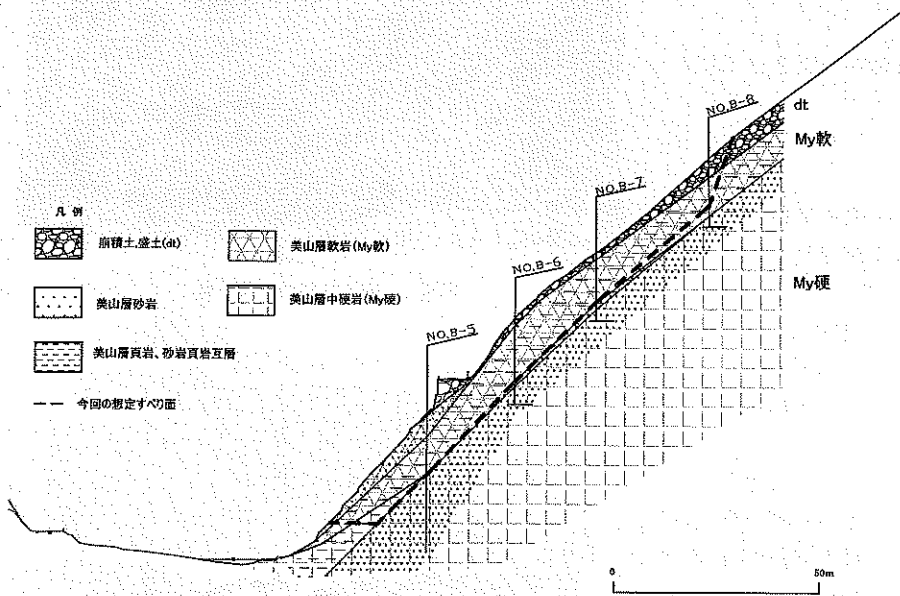


図4 地質断面図



写真2 B-7孔 GL -19.5 ~ -19.7 m

軟) が分布している。

- ② B-5孔では下位の塊状砂岩以外に上位の塊状砂岩が存在しており、道路擁壁の基礎地盤となっている。
- ③ ほとんどのボーリング孔において頁岩、砂岩頁岩互層部分に十～数十 cm 厚の破砕帯 (写真2) や空洞が何層か認められた。想定すべり面はほぼ直線状であり、最下部の破砕帯付近 (頁岩、砂岩頁岩互層部分の下端付近) を通ることになる。

4. 地すべり機構

崩壊発生後の五條側方崖上部の状況を写真3に、五條側下部の状況を写真4に示す。上部では地層の傾斜角は地表面の傾斜角に近い30°程度となっているが、下部では傾斜角は緩くなり、斜面と逆方向に傾斜している部分もある。

崩壊地より五條側の未崩壊隣接地における露頭写真を写真5に示す。本露頭では約8mの層厚を有する塊状砂岩下に約20cm厚の角礫混じりの粘土質砂が挟まれており、ボーリングコアで何層か確認された破砕帯 (写真2) と同様のものと考えられる。

このような状況から地すべり機構を想定し、図5に示す。調査地の崩壊は物理的風化や河川による斜面下方の浸食によって長年にわたって徐々に引き起こされた重力性のクリープによる崩壊である可能性が高い。すなわち重力によって徐々に地山がゆるみ、塑性的な変形が進行し、これに伴って割目から地下水が浸透し、さらに強度が低下するという現象が繰り返され、写真2や写真5に示すような破砕帯や流入土砂が形成されたと考えられる。なお、クリープによる変形がある深さで相対的に大きくなると、そこに破壊面が形成され、降雨による間隙水圧の増加、斜面下方の浸食や切土等をきっかけとして斜面崩壊が生じる。

図2調査地点位置図に示す崩壊前の地形では斜面下方に崩壊地形らしい跡が認められること、国道より約30m上方にある古道沿いに認められる樹齢数百年の杉の切り株が崩壊地ではなくなっていたこと、地質断面図に示す上位の砂岩が斜面上方では欠如していたこと等を考慮すると、数百年前以降に

上位の砂岩を含む大規模な崩壊があったものと想定できる。今回はその時にすべり残った上位の砂岩と頁岩、砂岩頁岩互層部分が崩壊したものである。

5. 復旧工法

崩壊区間は道路改築事業 (辻堂工区) に隣接するため、道路改築事業との整合を図り、復旧工法が検討された。その結果、表1の復旧工法が決まったが、完全復旧には3年ほどかかるようである。



写真3 地すべり左側側方崖上部の状況

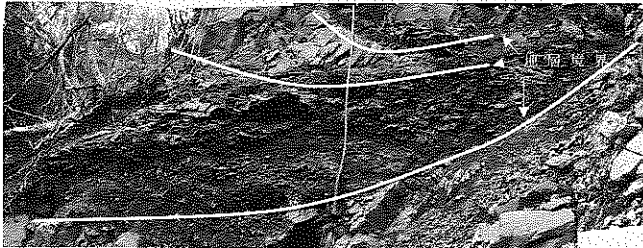


写真4 地すべり左側側方崖下部の状況

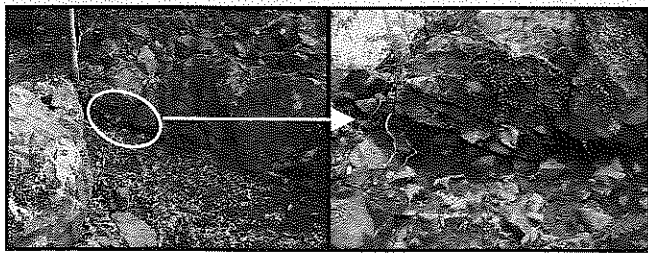


写真5 五條側の未崩壊隣接地における破碎帯

6. おわりに

紀伊半島中央部の四万十帯では河川が屈曲する攻撃斜面の流れ盤で大規模崩壊や地すべりが発生している例が多い。その直接的な外力は年に1~2回規模の大量の降雨であるが、斜面下方で頑張っていた塊状砂岩が工事によって切り取られることが誘引となっているケースも多いようである。当調査地以外に最近我が社が関連した川上村伯母谷、十津川村高津も上の条件に当てはまる。したがって、今後そのような条件にある場所は過去の被災記録を参考にしつつ

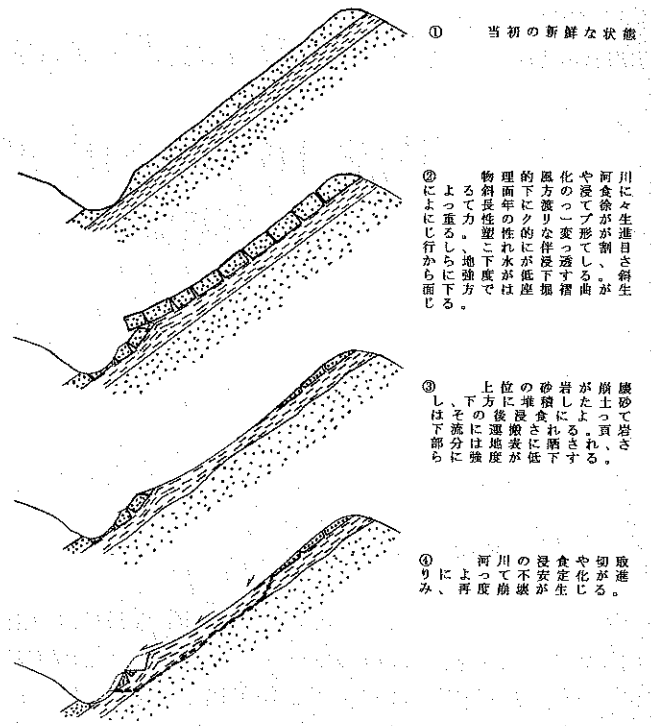


図5 地すべり機構想定図

表1 復旧工法の概要

対象	目的	対策工
上部斜面	上部土塊抑止	法枠+アンカー工
		法枠+鉄筋挿入工
国道部	国道復旧	橋梁
下部斜面	河道確保	アンカー付き鋼管杭工
		法枠+鉄筋挿入工

重点的に点検する必要がある。また、道路防災点検では河床部を縦走し、川側から斜面を見上げて地すべり末端部を点検する調査も必要ではないかと考える。

参考文献

- 1) 辻井伸治：一般国道168号(大塔村字井)の地すべりに起因する道路災害について、建設なら、Vol. 7, 2005.
- 2) 藤澤和範他：奈良県大塔村で発生した地すべり災害(続報)、土木技術資料、Vol. 46, No. 10, pp. 4~9, 2004.
- 3) 奈良県五條土木事務所パンフレット、写真類。
- 4) 藤田崇：地すべりと地質学、古今書院、2002.

平成16年台風23号による地盤災害

—兵庫県豊岡市の円山川の事例—

さがみ としひこ
坂上 敏彦*

1. はじめに

平成16年10月20日大阪に上陸した台風23号は、円山川流域で2日雨量278mmの降雨をもたらした。この豪雨により円山川下流域の旧豊岡市、城崎町、日高町、出石町では、死者5人、負傷者15人、全壊22戸、半壊一部損壊1,520戸、浸水家屋10,332戸、浸水面積4,083haに達する甚大な被害が発生した。また、この豪雨により立野水位観測所では観測開始以降、最高水位を記録し、円山川、出石川等の国土交通省管理区間において25カ所の越水が発生、円山川、出石川のそれぞれで1カ所が破堤し甚大な被害と

なった。図1に堤防で確認された主な被災位置図を示し、写真1には最も被災が大きかった円山川右岸13.2kの被災状況写真を示す。

このような甚大な被害に鑑み、近畿地方整備局豊岡河川国道事務所では、破堤原因の究明と対策工法を検討するに当たり、5名の学識経験者からなる「円山川堤防調査委員会」を設立した。

本事例では、「円山川堤防調査委員会」で行なわれた被災後の土質調査と破堤のメカニズム特定について報告する。

2. 出水状況

2.1 降雨量

円山川立野上流域の計画降雨量が2日雨量327mm(100年に一度の確率雨量)であるのに対して、今回の23号台風時には2日間で278mm(約40年に一度の確率雨量)、24時間で242mm(約60年に一度の確率雨量)、12時間で206mm(約80年に一度の確率雨量)の降雨量であった。

2.2 流下能力

円山川の立野水位観測所では流下能力が3,900m³/sであるのに対して、実績流量が4,200m³/sと推定された。また、出石川の引原水位観測所では流下能力が800m³/sであるのに対して、実績流量が1,000m³/sと推定された。

表1に示すように被災時には円山川、出石川において流下能力を超える流量があった事が推定された。

2.3 越水区間

痕跡調査による越水区間を以下に示す。越水管所の延長および箇所数は有堤区間の堤防に対して次のようであった。

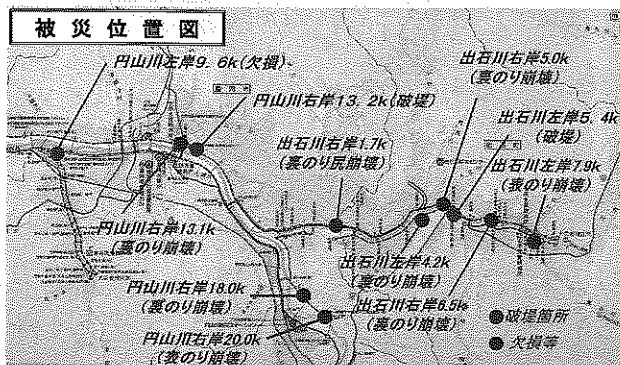


図1 主な被災位置図



写真1 円山川右岸13.2kの破堤状況

* 川崎地質(株)

表1 地点の流下能力と実績流量

地点	流下能力 (m ³ /s)	H-Q式換算実績流量 (m ³ /s)	氾濫戻し流量 (m ³ /s)
立野 (円山川13.0k)	3900	4200	4900
引原 (出石川7.6k)	800	1000	1000

- ・円山川堤防では、左岸9区間(1,480 m, 全体の約5%), 右岸5区間(1,550 m, 同約6%)の計14区間
- ・出石川堤防では、左岸5区間(830 m, 同約10%), 右岸6区間(3,510 m, 同約35%)の計11区間

なお、これだけの越水がみられたのに対し、破堤は2カ所であったことは、越水に対する円山川堤防の耐越水能力がかなり保持されていたことを示すと考えられ、天端や裏のり面の張り芝工の抵抗力が寄与したものと考えられる。

破堤箇所は痕跡水位から越水現象が発生していたことが確認された。

3. 詳細調査

詳細調査としては堤防の1断面において天端、川表、川裏の3カ所にてボーリング調査を行い堤防の安全性評価を行う「詳細調査」と、天端ボーリングのみとする「縦断調査」を実施した。詳細調査：延べ29断面、縦断調査：延べ15カ所となる。調査位置図を図2に示す。調査位置は①台風23号出水による被災状況の規模、②地形地質、③住家立地状況、を考慮し選定した。

図3に具体的な調査内容を示す。「詳細調査断面」では調査結果を用いて、図4に示すフローに沿った浸透流および安定解析を実施し、浸透に対する堤防の安全性を評価した。

4. 円山川右岸13.2kの破堤原因特定

4.1 土質調査

ボーリング調査は、破堤箇所を挟むように上流と下流に

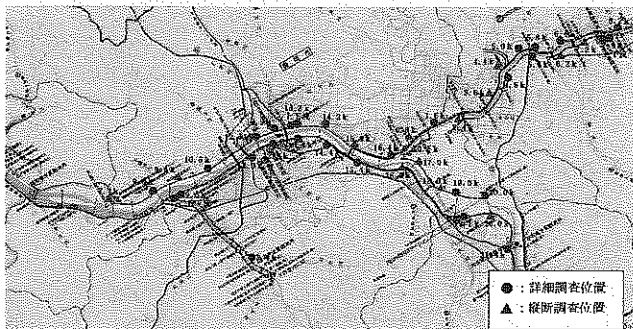


図2 調査位置

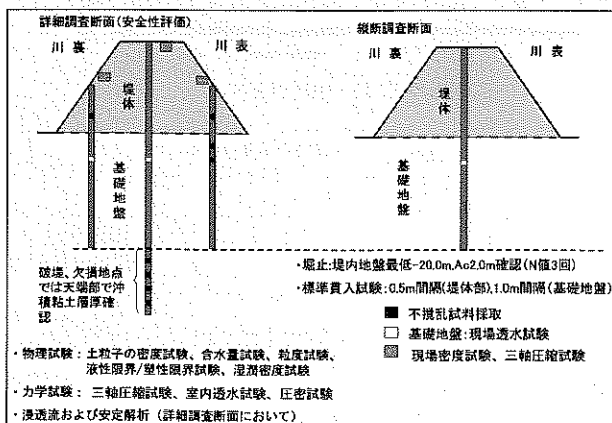


図3 調査内容

分けて実施した(図5)。ボーリング調査の結果、破堤箇所付近の地層構成は図6, 7のように推定される。ここで、地層境界線の推定は、堤防施工履歴を考慮に入れて実施した。

上下流ともに裏法面側は拡幅されBg層が分布する。下流のBg層は上流と比べて細粒分が多く透水性が低い特徴が確認された。

4.2 浸透流解析とのり面安定解析

ボーリング調査・室内試験結果をもとに設定した土質定数を表2, 3に示す。

設定外力条件は以下のとおりである(図8)。

- ・内水位は、現況ポンプ運転を行った場合の水位
- ・外水位は、現況河道に氾濫もどし流量を流した水位
- ・降雨量は、立野上流域平均降雨量

解析結果を表4に示す。表法・裏法のすべりおよびパイ

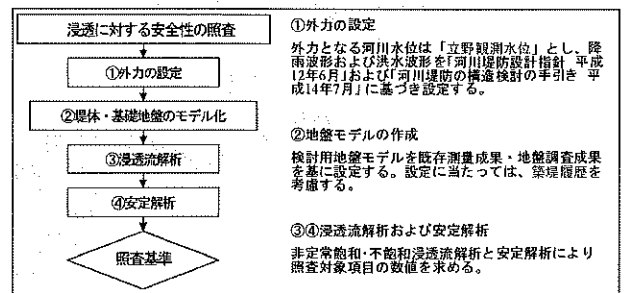


図4 シミュレーションフロー図

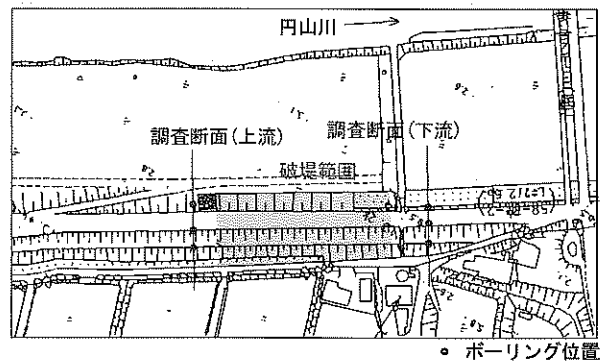


図5 調査位置平面図

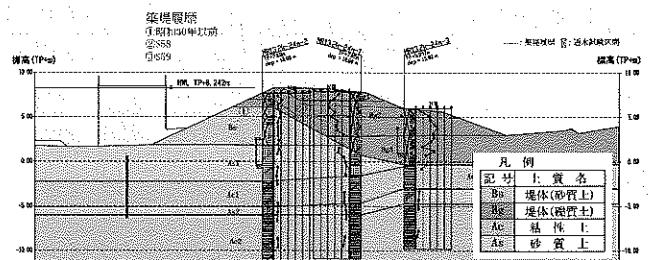


図6 下流側の地質断面図

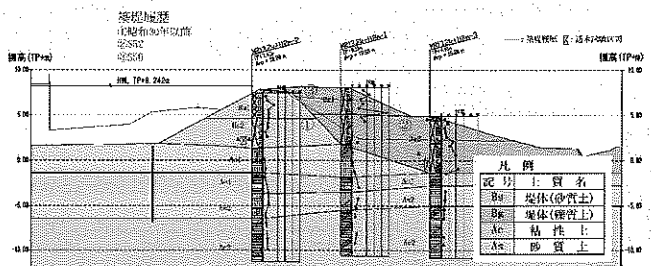


図7 上流側の地質断面図

ピング破壊に対する安全率はいずれも確保されている結果が得られた。

4.3 裏法崩壊モデルによる検討

越水により堤体裏法部が洗掘崩壊した場合、斜面安定解析の安全率がどう変化するかを検討した。

- ・検討断面：上下流断面と堤防施工履歴より 13.2k+30m 付近の断面を推定した(図9)。裏法の基礎地盤に、旧水路があった記録があったため、ボーリング調査を実施し旧水路を確認しモデルに反映させた。
- ・検討水位：斜面安定解析時の水位は浸透流解析により求めた最大水位とした。
- ・土質定数：上流断面と同様、旧水路部の調査結果を考慮
- ・検討方法：堤体の形状は、表法天端から 1m の位置で固定し、その位置から裏法側の法尻の位置を変化させて繰返し計算した(図10)。

図11に示すように、堤体幅の減少に伴って安全率が徐々に

表2 下流の土質定数

地質分類	土質	記号	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	飽和透水係数 (cm/sec)
堤体	砂質土	Bs	19	0	31	6.6 E-04
	礫質土	Bg 1	21	0	37	7.1 E-04
	礫質土	Bg 2	18	0	36	1.5 E-03
	礫質土	Bg 3	20	47	30	5.7 E-03
基礎地盤	粘性土	Ac 1	18	68	0	1.0 E-06
	粘性土	Ac 2	16	69	0	1.0 E-06
	砂質土	As 1	18	22	24	1.6 E-03
	砂質土	As 2	17	0	28	1.2 E-05

表3 上流の土質定数

地質分類	土質	記号	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	飽和透水係数 (cm/sec)
堤体	砂質土	Bs 1	19	0	33	4.0 E-05
	砂質土	Bs 2	17	34	26	2.9 E-03
	礫質土	Bg 1	18	0	35	1.0 E-02
	礫質土	Bg 2	20	14	36	1.6 E-05
基礎地盤	粘性土	Ac 1	17	59	0	1.0 E-06
	粘性土	Ac 2	17	70	0	1.0 E-06
	砂質土	As 1	18	0	23	1.0 E-04
	砂質土	As 2	17	0	29	3.3 E-05

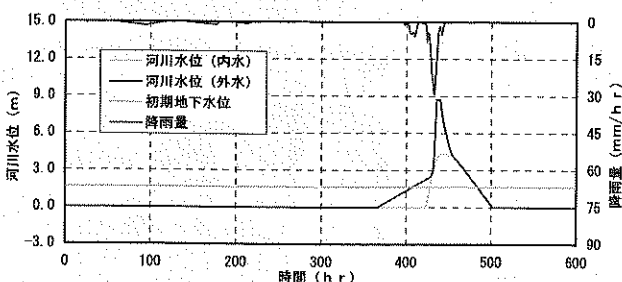


図8 外力波形(河川水位・降雨)

に低下した。堤体幅比率 0.85 の状態で局所安全率は 1.5 以下となる。

- ・堤体幅：表法と裏法の法尻の距離
- ・堤体幅比率 = 残存堤体幅/崩壊前の堤体

4.4 越流による堤防裏法面崩壊の評価

破堤地点を挟んだ上下流断面における越流水深と裏法面せん断力の関係を図12に示す。

ヒアリング結果による越流水深(0.4m)から、裏法面に作用するせん断力 τ_0 は、芝の許容せん断力 τ_a を大きく上回る。越流水により堤防裏のり面において侵食・洗掘破壊が生じた可能性が高い。

表4 浸透に対する安全度照査結果

照査項目		照査基準値	破堤直後の照査結果	判定	追加調査の照査結果	判定	
下流	すべり破壊に対する安全性	表法	1.0 以上	1.27	○	1.13	○
		裏法	1.5 以上	2.82	○	3.12	○
	パイピング破壊に対する安全性(局所動水勾配)	鉛直方向	0.5 未満	-1.12	○	-0.02	○
		水平方向	0.5 未満	0.06	○	-0.01	○
上流	すべり破壊に対する安全性	表法	1.0 以上	1.50	○	1.29	○
		裏法	1.5 以上	1.90	○	2.21	○
パイピング破壊に対する安全性(盤ぶくれ)		1.0 以上	1.75	○	2.26	○	

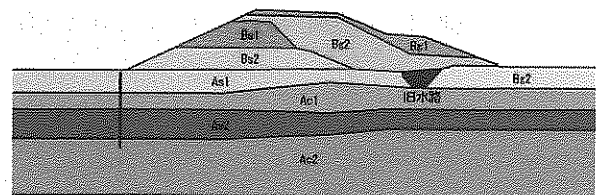


図9 検討断面図

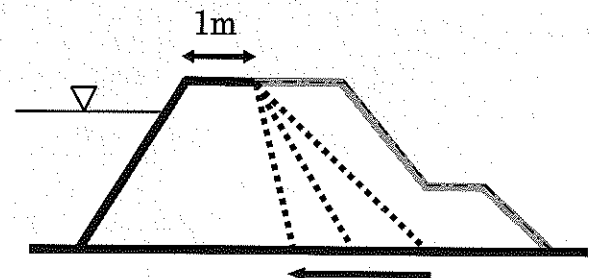


図10 検討概要図

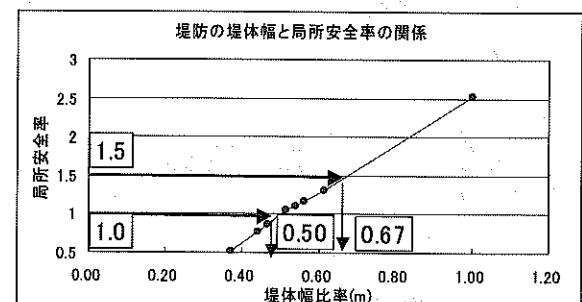


図11 局所安全率と堤体幅の関係

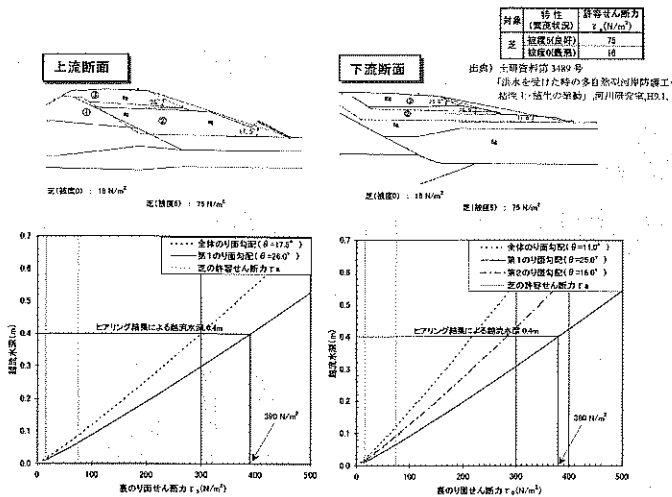


図12 越流水深と裏法面せん断力の関係

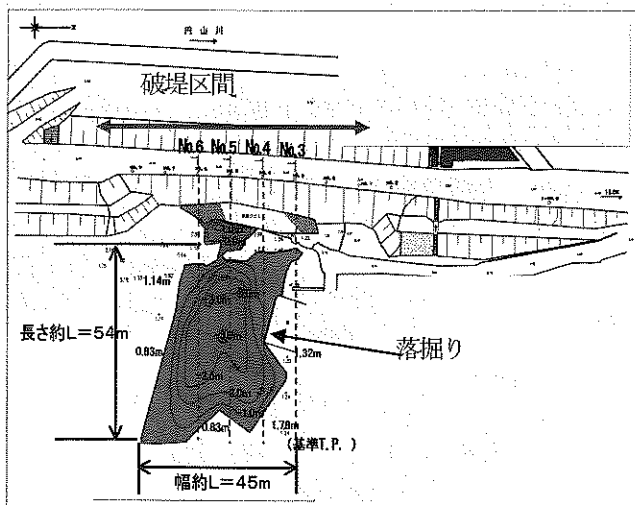


図13 落掘の平面図

4.5 破堤箇所の測量「落掘」

越水区間で破堤した後に形成された落掘について、その大きさと深さを測量した。

- 破堤後に形成された落掘は、幅約45m、長さ約54m、最大深さは4.3mであった。(深さ=堤内地盤高-洗掘深)
- 最深部を含む横断では、比高(天端高-地盤高)6.9mに対して、落掘の深さは4.3m。
- 堤内地盤高は、落掘周辺の任意の13点から算出した平均値TP+1.16m。

4.6 破堤のイメージ

各種調査結果、ヒアリング結果から破堤のイメージを推察した。イメージ図は下記の点に注目し作成した。

- 痕跡水位による越水が確認された。
- 破堤前の断面では浸透に対する安全性は確保されていた。
- 堤体幅が減少すると浸透に対する安全性も低下する。
- 越流水により堤防裏法面において侵食・洗掘破壊が発生した可能性が高い。
- 破堤後に形成された落掘は、幅約45m、長さ約54m、最大深さは4.3mであった。

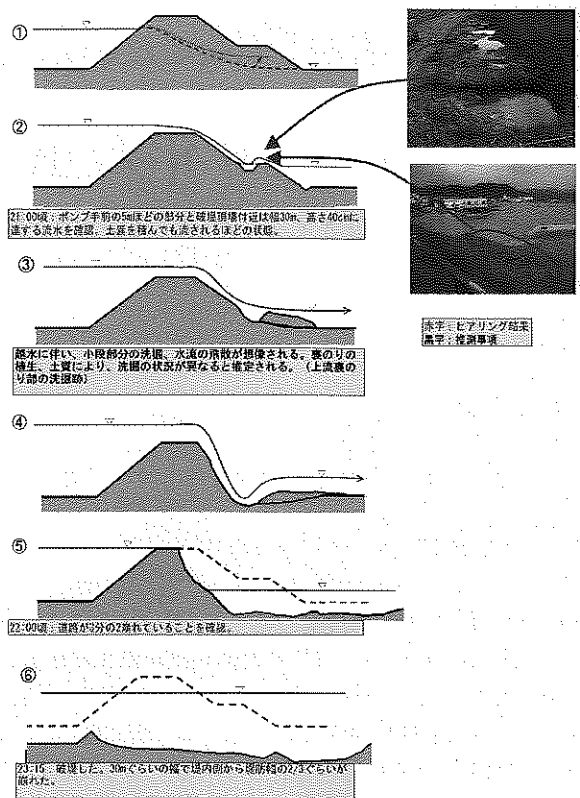


図14 破堤のイメージ

4.7 破堤原因の特定(円山川右岸13.2k堤防)

円山川右岸13.2k堤防が破堤した原因は「越流による裏法面侵食」後に「浸透」が加わる複合的要因により破堤したものと推定される。この地点の堤防法線は直線形状であるが、堤防・河道等が完成していないため、計画高水流量以下の洪水で越流して裏法面(小段も含む)が侵食し、これに浸透が加わり破堤したものと推測される。

5. おわりに

本調査により円山川で発生した破堤メカニズムを特定できた。地盤のモデル化では、堤体の連続貫入試験による土質区分と築堤履歴を考慮したことにより、精度の高い解析ができたと考える。今回の破堤は越流もその一因であり、豊岡盆地の広域的な沈下の影響から完成堤にすることが困難な円山川堤防では、裏法の対策も必要と考える。近年頻発している局所的な集中豪雨を考慮するとその重要性は非常に高い。

なお、本報告は、「円山川堤防調査委員会」における成果の一部であり、快く掲載を許可していただいた近畿地方整備局豊岡河川国道事務所深謝の意を示す。

参考文献

- 「円山川堤防調査委員会 報告書」, 豊岡河川国道事務所, 平成17年3月24日。
- 「洪水を受けた時の多自然型河岸防護工粘性土植生の挙動」, 河川研究室, 土研資料第3489号, H9.1.

平成16年台風10号による斜面災害

～徳島県那賀郡那賀町(旧木沢村)坂州大用知を例として～

たむらとしゆき
田村俊之
はしもとまさ
橋本昌夫*

1. はじめに

2004年7月31日～8月1日にかけて四国・中国地方を縦断した台風10号は、日本海で熱帯低気圧に衰えた後も四国南東部で南から湿った風が流入し強い降雨が継続、日雨量1,000mm、総雨量2,000mmを超える記録的豪雨をもたらした。国土交通省の雨量観測所データによれば、7月30日～8月2日までの総雨量は、大用知地区近傍の那賀町(旧木沢村)沢谷で1,538mmを記録している。この豪雨は、旧上那賀町・旧木沢村を中心とした南北50km、東西20km程度の楕円形の範囲に総雨量1,500mm(平成16年7月30日～8月2日)を超える記録的雨量が明らかにされている。この豪雨により、旧木沢村では大用知、加州、阿津江、および嫁ヶ谷の4地区で大規模崩壊、土石流が発生した。これらの各地区は、いずれも前述した総雨量1,500mmを超える範囲の北部に位置する(図1)。

これらの崩壊の内、最も大規模で、人的被害をもたらした大用知地区(写真1)を例として、村道復旧の調査から得られた、崩壊・土石流の発生特性等について述べる。

2. 地形

大用知地区は、六郎山(1287.3m)より北東から東北東に延びる主尾根(標高約1,000m程度)の南側斜面で、北東から東へ大きく湾曲して流下する大用知谷川の左岸側斜面である。大規模崩壊は、東西性の小谷の左岸上方斜面で発生している。

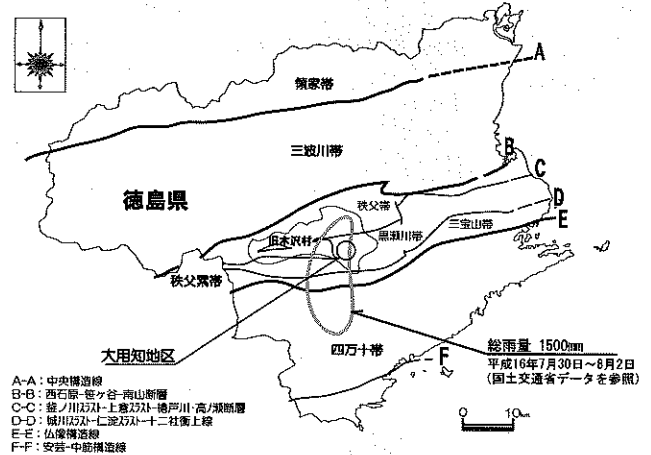


写真1 大用知崩壊地全景(土石流発生源)

* ニタコンサルタント(株)調査部

当地の地形特性は、尾根部と大用知谷川との比高差が約500 mあり、山腹斜面の平均傾斜も約40°の急傾斜となっている。崩壊発生斜面では、大用知谷川の屈曲部に東西性の小谷が合流している。当小谷により崩壊発生斜面の下部は開析が進み、傾斜45°以上の急斜面が形成され、広葉樹林のまま残存していた。これに対して、崩壊発生斜面は、傾斜37°程度と周囲に比べて緩傾斜で凹凸に富み、ほぼ全域が杉植林地として利用されていた。

3. 地質

秩父累帯は、東西性の2つの断層(北側より高ノ瀬断層、十二社衝上断層)により、北より秩父帯・黒瀬川帯・三宝山帯の3帯に区分されている²⁾。

大用知地区付近は、黒瀬川帯に属し、ペルム紀の大規模な付加体メランジュ相のうち、沢谷を中心として分布する玄武岩質海底火山噴出物(緑色岩)、石灰岩、チャート、砂泥質千枚岩、ならびに蛇紋岩とジュラ紀の砂岩泥岩互層が分布する地点に属している(図1)。

崩壊地は、おおむね玄武岩質海底火山噴出物(緑色岩)からなり、一部で数十cm~数m程度の石灰岩、チャート、砂岩泥岩互層の分布が見られる程度である。

地層の走向・傾斜は、基本的にほぼ東西走向で北または南に70~80°の高角度傾斜を呈する構造が一般的である。ただし、付加体メランジュ内の構造は非常に複雑であり、周辺部の泥質岩の構造は東西から北東-南西走向で南東に傾斜している。被災地の斜面を構成する基盤岩は、緑色から暗赤紫色を呈する塊状の玄武岩質海底火山噴出物(緑色岩)であり、層理面等の構造は認められない。

節理面等の割れ目は東西から北東-南西走向で南または北に45~65°の傾斜を示す他、西北西-東南東から北西-南東走向で北に65~90°前後の急角度傾斜となっている箇所もみられる。

4. 大用知地区斜面災害の形態

当地区の崩壊は、標高約1,000 m、尾根部直下の平均傾斜約37°程度の凸状斜面で、ほぼ尾根部を頭部として、標高830~850 m付近の遷急線付近を末端部とする崩壊幅250 m、長さ250 mの規模で発生している(図2)(写真1, 2)。

最上部における明瞭な滑落崖は2つ認められるが、最も西側では幅50 m程度の半馬蹄形の滑落崖が残存している。東側の滑落崖は高角の節理、小断層に沿ったくさび状崩壊、西側の滑落崖は玄武岩質枕状溶岩の風化破碎され角礫化した部分が流れ盤となる高角な割れ目より剝落したものと考えられる。崩壊斜面の中腹部には緩斜面が認められ、崩壊堆積物や倒木の一部がその緩斜面に数m程度の層厚で残存している(写真3)。これらの崩壊堆積物はφ1~5 mにも及ぶ巨礫を主体としており、粒径の小さなものはほとんどが土石流となって下方へ流下している。

崩壊土砂の大半は、東へ流下する小谷を流下しているが、一部は崩壊直下の尾根部末端を乗り越えて大用知谷川に流



図2 被災状況平面図

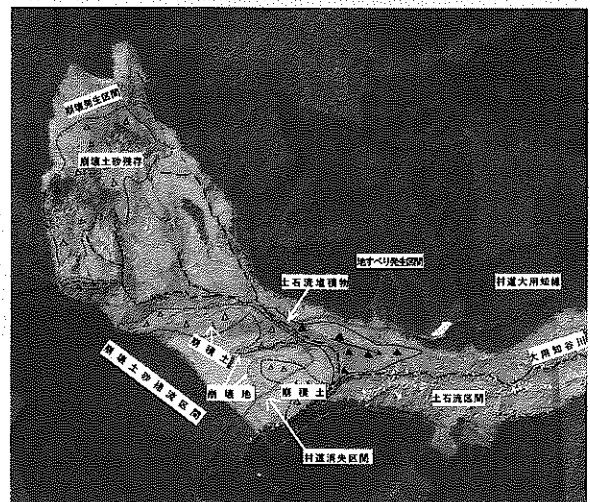


写真2 村道被災区間空中写真



写真3 大用知崩壊頭部全景(倒木と崩壊土砂が下方に残存する)

下している。この際、尾根部の植生ならびに表土層を剥ぎ取って、大用知谷川を越えて対岸にまで達している。土石流は、50~100 m程度の幅を有しながら約1 km程度大用知谷川を流下・堆積した。一部は対岸(右岸)斜面を這い登り、家屋・道路・畑を破壊した後も流下を続け、坂州木頭川まで達している。

5. 村道区間における被災状況

この崩壊により、村道大用知線約350 m間が破損または

崩壊土砂に埋積された他、起点下流側斜面では表層崩壊に加えて幅 47 m、長さ 105 m にもおよぶ地すべりが発生している (図 2、写真 2)。

大用知地区村道区間の斜面災害による被災状況は、崩壊の発生形態等より、

- ① 起点側地すべり・崩壊発生区間
 - ② 中央部土石流通過 (埋積) 区間
 - ③ 終点側土石流掃流区間
- の 3 区間に大きく区分される。

5.1 起点側地すべり・崩壊発生区間

当区間で発生している地すべり・崩壊は、上流側で発生した大規模崩壊と直接的な関係はなく、土石流による末端部の浸食も受けておらず単独で発生しているものである。当地すべり・崩壊の発生は、発生標高が 600~670 m と低標高部であること、幅 47 m、長さ 105 m とやや細長い地すべりであることを除けば、大規模崩壊発生地点の地形・地質特性とは非常に類似しているものと判断される。

当斜面における地質構成は上位より、次の 3 層に大きく区分される (図 3)。

- ・風化破碎質綠色岩 (深度 13.2~20.0 m 付近まで)
全体に風化破碎された綠色岩で $\phi 5\sim 30$ mm 程度までの角礫状~土砂状コアとなる。所々に層厚 1.5~2.5 m 程度の未破碎部を含む。D 級 (標準貫入試験実施可能)。
- ・破碎質綠色岩 (層厚 2.4~5.2 m)
部分的に破碎された綠色岩で、硬軟の差が著しく、短棒状~片状~砂礫状コアが繰り返す。D~CL 級岩主体。
- ・未風化綠色岩 (深度 15.6~24.8 m 以深に分布)
新鮮で硬質な玄武岩質海底火山噴出物で赤紫から灰

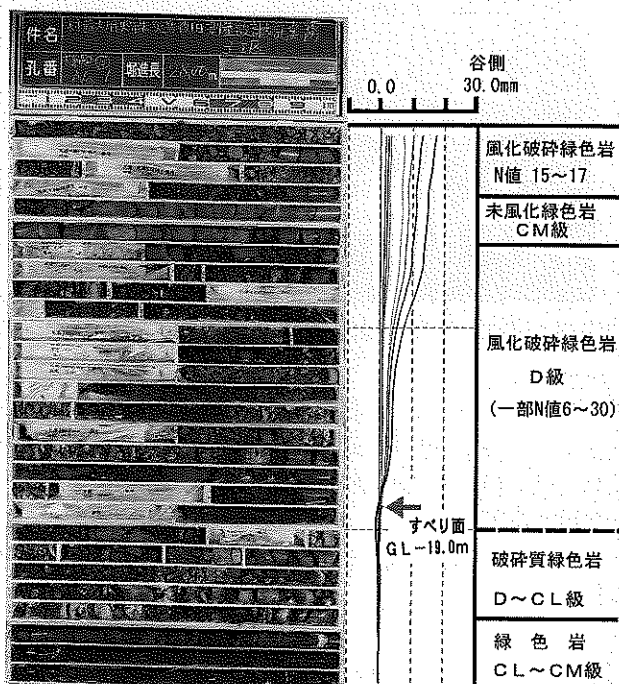


図 3 地すべり区間における代表的な地質性状と No. 1 孔内傾斜計果積変位図 (H 16.10~H 17.3)

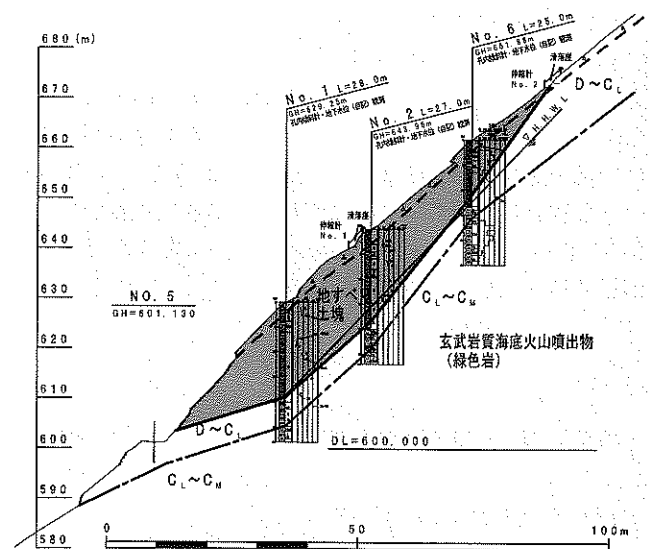


図 4 起点側地すべり断面図

綠色を呈し、おおむね棒状コアとなる。CM 級岩主体。地すべりは、孔内傾斜計の計測結果より、次の深度で明瞭な屈曲点および変位の累積が認められている (図 4)。

- ・No. 1 孔
GL-19 m 付近より上部 (風化破碎綠色岩内)
- ・No. 2 孔
GL-18.5 m 付近より上部 (破碎質綠色岩内)
- ・No. 6 孔
GL-11.0 m 付近より上部 (風化破碎綠色岩内)
各ボーリング内の常時孔内水位については、全体に深く、いずれもすべり面深度以深となっている。ただし、No. 6 孔を除く下部の 2 孔では 200 mm 程度の降雨量に対して敏感に反応を示し、1.3~3.0 m 程度の急激な水位上昇が見られる。特に 10 月 20 日の台風 23 号による降雨 (378 mm) に際しては、中央の No. 2 孔で GL-18.5 m 付近 (最大 8.5 m 程度上昇) にまで上昇している。

5.2 中央部土石流通過 (埋積) 区間

当区間は、東へ流下する小谷の最下流部にあたり、村道から大用知谷川までの間は土石流により約 30 m 程度埋積されている (写真 4)。

中央の谷部には、下流部を中心に土石流堆積物が厚く分

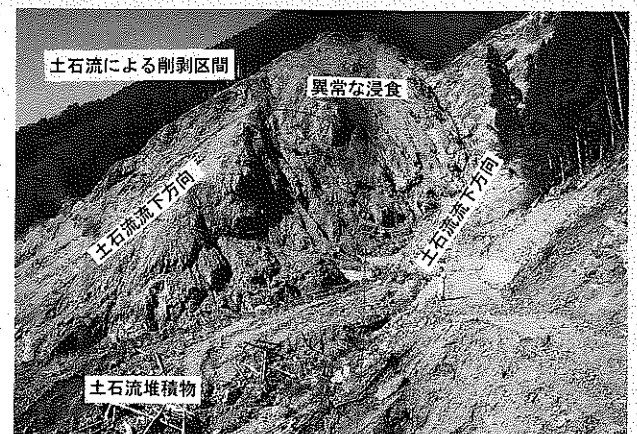


写真 4 中央の土石流通過小谷 (小谷出口には約 30 m に達する土石流堆積物が分布する。)

布する。土石流堆積物は $\phi 10\sim 50$ mm 程度の風化緑色岩角礫を主体とするが、谷部には径 0.5 m \sim 2 m 程度の巨礫を主体とし、一部に 3 \sim 4 m におよぶものも多数分布している。

左岸側斜面は、土石流堆積物等に厚く覆われているが、ボーリング調査結果および切土法面における岩盤性状より、CM 級以上の新鮮・硬質な基盤岩（緑色岩）が約 50° 程度の急傾斜を呈して分布していることが判明している。

右岸側では、植生および表土層の剝剝により標高 700 m 付近より幅 20 \sim 50 m に及ぶ崩壊地が出現し、その後の降雨により堆積する崩積土の再崩壊が顕著となっている。基盤岩（緑色岩）が露出または地下浅所から分布するものの全体に弛みが見られるなど、脆弱な岩盤性状を呈している。このため、降雨時には谷部から村道部分にかけて崩積土の再崩壊が頻繁に発生している。また、脆弱部の流失により浮き石化の著しい岩盤が出現しており、降雨の度に不安定化を増している。

災害復旧の基本は原状回復であるが、当区間の場合、現道を回復するためには、新たな土石流に対する砂防ダムの構築、さらに尾根部北東側斜面での斜面安定工等の対策工が必要である。これらを考慮し、当区間では L=47.0 m の橋梁を計画している。

5.3 終点側土石流掃流区間

当被災区間は、写真 5 に示すように尾根を乗り越えた土石流の掃流により表土を含めた植生が全て剥ぎ取られた尾根の南側斜面にあたる。村道は尾根部中心より終点側に約 140 m 間で川側部分を中心に損壊が著しく、一部の区間で山側擁壁および山側の路面が残存している程度である。

当区間は植生が剥ぎ取られたことにより、崩壊地形、崩積土等の分布が非常に明瞭になっている。また、植生による斜面保護機能が全く存在しないことから、その後の降雨により崩積土の再崩壊、風化土の小崩壊・浸食が著しく進行し、全区間が非常に荒廃した斜面となっている。現状のままでは山側斜面全体で表層崩落の発生、斜面上部からの落石の恐れがあること、川側斜面での著しい地形変化が継続する可能性が高いと考えられる。

当区間の対策工については、植生および表土が全て剝剝され、著しく不安定な斜面が尾根部にまで達しているため、斜面全体の安定をすべての範囲で確保するためには非常に広範囲での斜面对策が必要となる。現在、種子の空中散布

が実施されており、その効果に期待が寄せられている。

6. おわりに

今回、徳島県那賀郡那賀町（旧木沢村）において台風 10 号により発生した大規模な地盤災害の内、大用知地区（特に村道の被災）の調査を実施した。

本調査は、当崩壊の発生原因追求のための調査でなく、あくまで村道の復旧を図るためのものであり、崩壊発生のプロセス等についての言及はできないが、起点側で発生した地すべりの基盤岩は水中で形成された玄武岩質溶岩で、自破碎溶岩のような性状を呈する非常に割れ目の多い脆弱岩であり、随所で標準貫入試験が実施可能な程土砂化している。

今回発生した土石流は、その堆積物の粒径が小さいことが当初から言われていたが、地すべり発生区間でのボーリングコア状況と土石流堆積物の性状が非常に似ていることから、崩壊発生斜面も同様の地質性状であったと思われる。また、崩壊時の地下水の状態も不明であるが、地すべり発生区間での地下水位は、200 mm 程度以上の降雨に敏感に反応し、急上昇する傾向が見られた。ほぼ同様の地形・地質特性を有すると考えられる大規模崩壊地でも同様に、1,500 mm を越える台風 10 号の豪雨時には異常な地下水位の上昇が生じたものと推定される。

また、土石流堆積物より、表土を含めた植生が全て剥ぎ取られた尾根部は、その後約 3 カ月間に、台風 11 号 (102 mm)、台風 16 号 (376 mm)、台風 18 号 (568 mm)、台風 21 号 (268 mm)、台風 23 号 (378 mm) と 5 つもの豪雨を経験した。当山体においては、今まで経験したことのない不安定な状態が継続し、山体全体で表層崩壊、浸食等が著しく進行した。植生等による斜面保護の重要性を再確認させられた。

謝 辞

本調査に際して、那賀町（旧木沢村）、徳島県の関係機関・各位には、航空写真、現地調査に関するさまざまな情報、ならびに調査結果を公表する機会を与えて頂きました。また、徳島大学総合科学部村田明弘教授には、有益なご助言とご指導をいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省四国地方整備局那賀川河川事務所ホームページ (<http://www.skr.mlit.go.jp/nakagawa/>)
- 2) 四国地方土木地質図編纂委員会：四国地方土木地質図解説書、財団法人国土開発技術センター

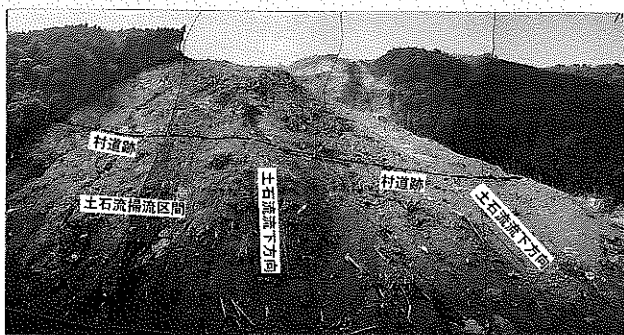


写真 5 終点尾根部南側の斜面状況

平成16年台風16号による宮崎県の地盤災害

仁田 脇 秋*
 田代 和紀**

1. はじめに

平成16年は台風発生件数こそ平年並みであったが、16号、18号、21号、23号の4つの台風が九州に上陸または接近した。これらの台風接近により宮崎県北部地域を中心に豪雨をもたらした、多大な被害を受けた。本論では台風16号に伴う災害のうち、比較的規模が大きい3カ所の被災箇所の状況、その対策工の考え方および対策工事例を紹介する。

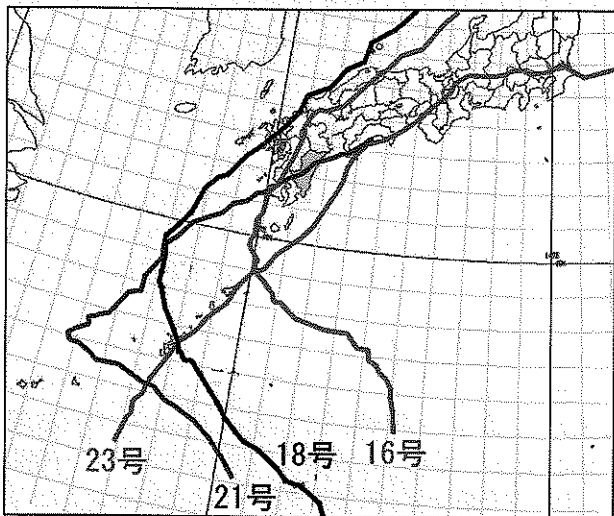


図1 平成16年九州地方に接近した台風経路図（宮崎地方気象台資料より）

2. 平成16年の宮崎県における台風被害の概要

図2、図3に平成16年の宮崎県における台風被害の概要を示したが、宮崎県全体で2,400カ所余、280億円以上の災害が発生している。施設別に見ると道路施設が全体の67%を占め、河川関係施設が30%を占めている。被災額は道路と河川で全体の84%を占めており、発生件数は少ないが海岸施設も14%弱を占めている。

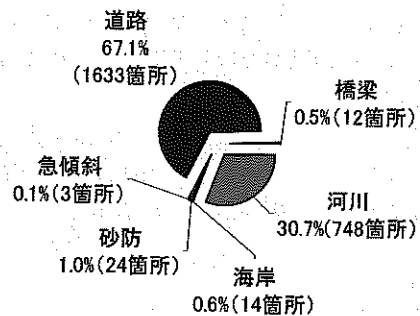


図2 平成16年施設別災害箇所数（宮崎県土木部報告資料より）

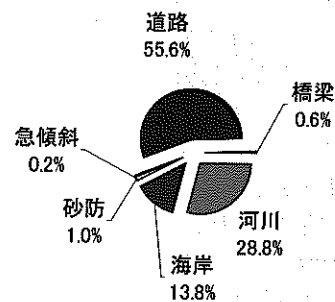


図3 平成16年施設別被害額（宮崎県土木部報告資料より）

3. 最大被害をもたらした台風16号被害の紹介

平成16年8月28日から30日にかけて九州地方を縦断した台風16号による豪雨で宮崎県内各地において土砂災害が発生した。宮崎県北部地域を中心に地すべり、路肩崩壊などの斜面崩壊をはじめとする多数の被害を受けた。図4に台風16号による宮崎県北部地域の被災地点を示した。ほとんどの道路で被災を受け、被災箇所は全体で75カ所にも及ぶ。そのうち約30%が斜面災害で、残りの約70%が路肩崩壊であった。中でも小丸川上流部では路肩崩壊や地すべりにより国道が寸断し、南郷村中山地区では31世帯62名が数日間孤立する事態となった。

3.1 台風16号の降雨状況

図5に台風16号接近時の雨量分布を示す。8月30日0時から降雨が強くなり、30日7時から30日10時までが降雨のピークで、この間に30mm/hrを超える時間雨量を11

* 応用地質(株) 九州支社宮崎支店

** 応用地質(株) 九州支社技術部土木設計担当グループ

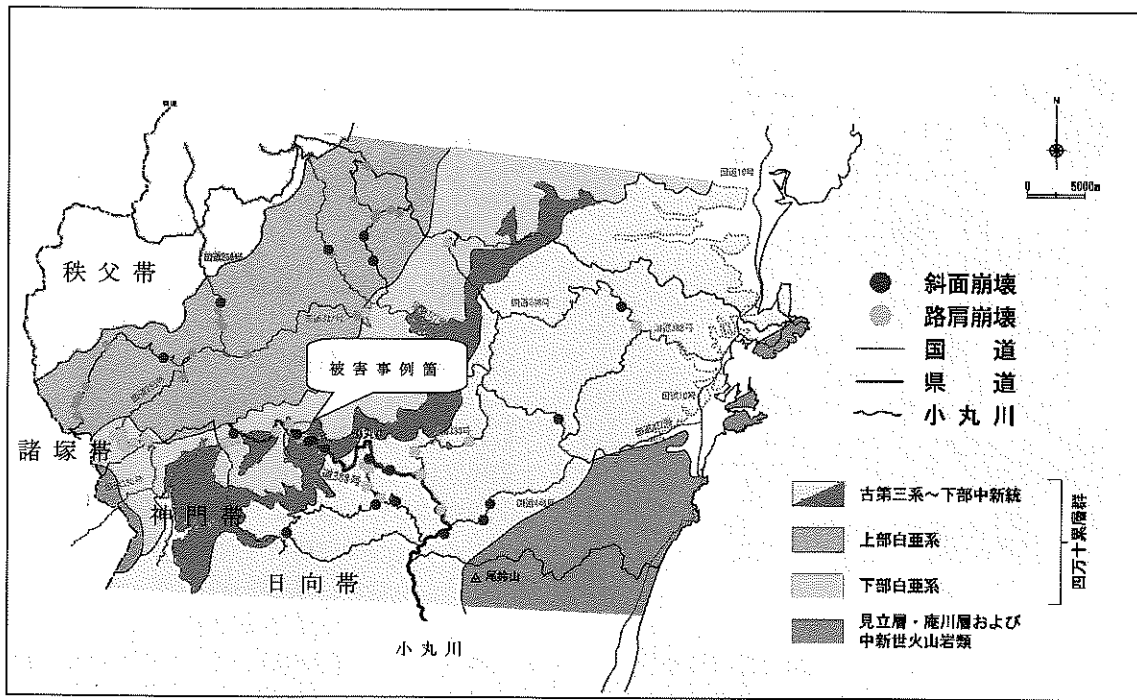


図4 台風16号災害発生地点と地質概略図

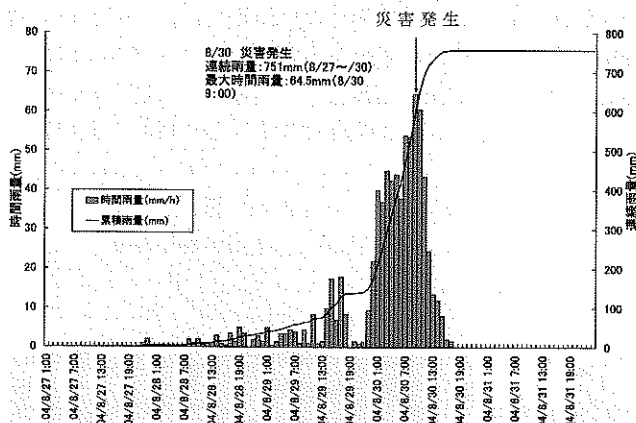


図5 台風16号接近時の総降水量 (平成16年8月28日~30日)

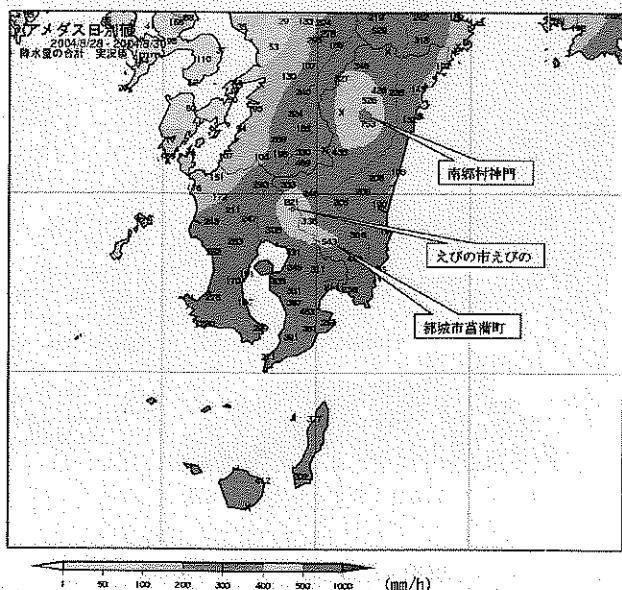


図6 宮崎県神門観測所における降雨状況

時間連続して記録し、30日9時には時間雨量64.5 mm/hrを記録、降雨の始まりから降り止りまでの連続雨量は751 mmに達した(図6)。

4. 被災事例箇所の地形・地質と被災状況

被災した箇所は、全般に急峻な斜面である。被災地の地質は、四万十帯に属し、新生代古第三紀に堆積した「神門(みかど)層」と呼称されている地層からなる。少量の砂岩層を挟む頁岩を主体とする地層であり、玄武岩質の溶岩および火砕岩や赤色頁岩を挟む。全体に後生的な構造運動によるせん断変形を受けており、頁岩中には剥離面が数cm~数mmオーダーで発達する。一般に、地層の走向は、北東-南西であり、北西側へ傾斜する。

小丸川上流部では国道388が河川と併走しており、豪雨に伴う河川の増水により道路施設が被災している事例が多く見られる。これら被災箇所は、小丸川の攻撃斜面にあたり、洪水時の脚部の洗掘もしくは盛土部の降雨浸透崩壊が主原因となり、被災に至ったものと考えられる。

5. 道路崩壊事例

5.1 災害の概要

当該箇所は、西北西-東南東方向に流下する小丸川の攻撃斜面にあたり、延長65m区間の道路が路面の全幅ないし河川側の1/3程度が崩壊している。崩壊は河床から道面まで、路面の上方の切土斜面までは及んでいない。

5.2 崩壊機構

当該箇所は、河川の攻撃斜面に位置し、岩盤斜面であったが、河川流量増加により斜面下部が洗掘され、それに伴い道路面までの斜面が不安定化し崩壊に至ったものと判断



写真1 路肩崩壊状況

される。国道より下の地山を構成する地質は砂岩層を挟む泥質岩で、傾斜の緩い流れ盤構造を成す。道路面の下部斜面は道路建設前から存在していた斜面であり、風化が進行したために今回の洪水時の流水による浸食に抵抗できなかったこと、および斜面脚部が浸食により流失した際に、斜面上部が自重を支えだけの強度を有していなかったために道路面までの崩壊に至ったものと考えられる。

5.3 対策工の考え方

被災後、崩壊による斜面の後退は生じておらず、ほぼ安

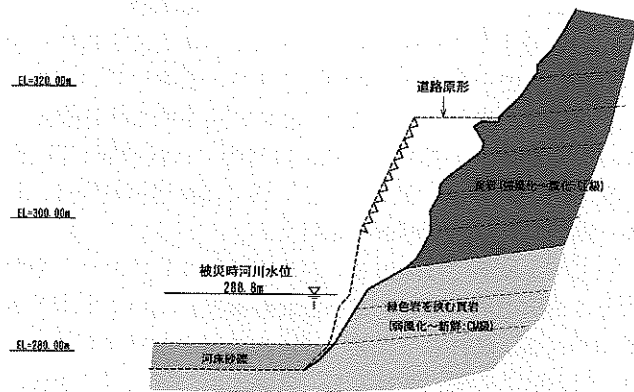


図7 路肩崩壊箇所の地質概略図

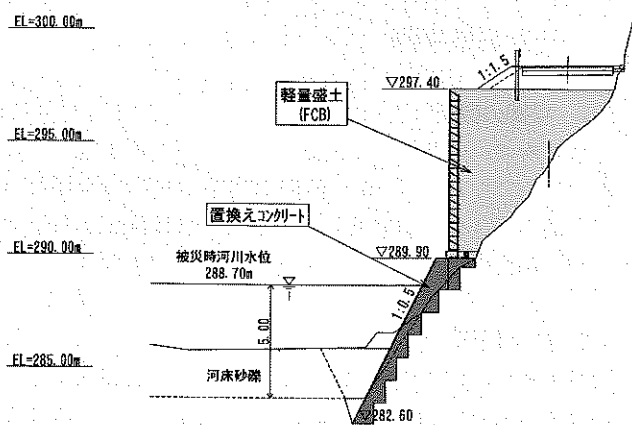


図8 路肩崩壊対策工の概要

定している。また、路面より上部の山側の斜面も変状は確認されておらず、安定しており、山側からの地すべり等の危険性はないものと判断された。

路側崩壊の復旧工法としては「もたれ式擁壁」、「大型ブロック積み擁壁」、「アンカー付き土留め杭」、「軽量盛土 (FCB 工法)」が挙げられるが、施工性、経済性により洗掘防止の置換コンクリートと「軽量盛土 (FCB)」工法を採用した。図8に対策工の概要を示す。

6. 地すべり事例

6.1 災害の概要

道路を含む斜面が、小丸川河床より比高約20m付近まで2箇所において崩壊した。崩壊地周辺の地形・地質条件から、この2カ所の崩壊は大きな地すべりの末端である可能性が考えられた。現地踏査により、崩壊地の斜面上部に高さ0.5m程度の滑落崖が連続していることが確認された(写真2中の黄色破線)。その後の度重なる台風(18号, 21号, 23号)による降雨により地すべり活動が顕在化し、崩壊範囲が拡大し山側の滑落崖はより明瞭になった。滑落崖に設置した地表面伸縮計では、降雨の際に約2mm/hrの変位が生じており、降雨のない時期でも、7~10mm/日程度の大きな変位がみられた。調査ボーリング孔に設置した孔内傾斜計の観測で明瞭なせん断変位が確認され、ボーリングコアでもこれらの深度に対応する土砂状の破砕部が認められた。

地すべりの規模は、幅：約140m、延長：約120m、深さ：最大で約19mで対象面積約11,300m²、移動岩塊量約10万m³と推定した。

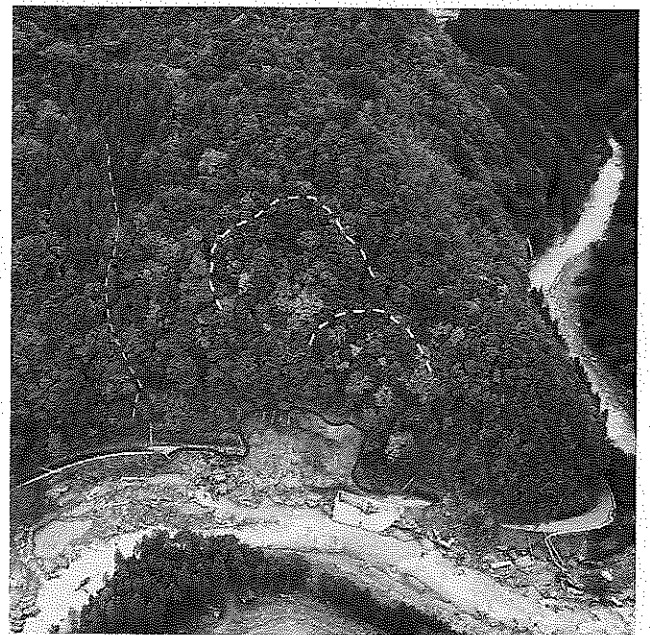


写真2 地すべり地航空写真

6.2 地すべり機構

(1) 地質的な素因

- ① 斜面は河川の攻撃斜面に位置し、不安定化しやすい

状態であった。

- ② 地山内部の地層の層理面は「流れ盤構造」で、かつ頁岩であるため層理面にほぼ平行な剝離面が発達している。
- ③ 剝離面が弱線として作用するために、応力解放による緩み、風化による力学的強度の低下が生じやすい。

(2) 誘因

- ① 河川の流量増加による、攻撃斜面の下部が洗掘とそれによる斜面下部の不安定化。
- ② 多量の降水による地下水位、間隙水圧の上昇。

当該斜面上には複数の滑落崖様の段差が存在し、地山内の層理面沿いの分離面の一部が破砕されて土砂状になっていることから、今回の崩壊のかなり前から繰り返し地すべり変動が生じていたと推定される。このような素因を有する地山に生じたものであり、いったん地すべりとして活動した後は、一時的に安定していても、なんらかの誘引が加わると地すべり変動を生じやすい斜面であると考えられる。

6.3 対策工の考え方

当該地すべりの必要抑止力 P_r は約 3700 kN/m と大きい。抑制工を併用するものとした。検討条件として、① 押え盛土は施工範囲が河川部に及ぶため、恒久的な対策としては困難である。② 地すべり変動が継続している状況では、斜面下部での大規模な抑止工の施工に対しては工事の安全確保の面で懸念が生じる。③ 地すべり地内の地下水は通常はすべり面より低い位置にあり、地下水低下工法による変動の抑制は望めない。

以上より、頭部排土と川側の仮設押え盛土により本工事の安全を確保した後に、必要抑止力 1600 kN/m をアンカー工で施工するものとした。なお、地下水低下工法による変動の抑制は望めないが、異常降雨などにより一時的に地下水位が上昇した場合、安全率の低下が予想されるため、予防対策として横ボーリング工を行うこととした。

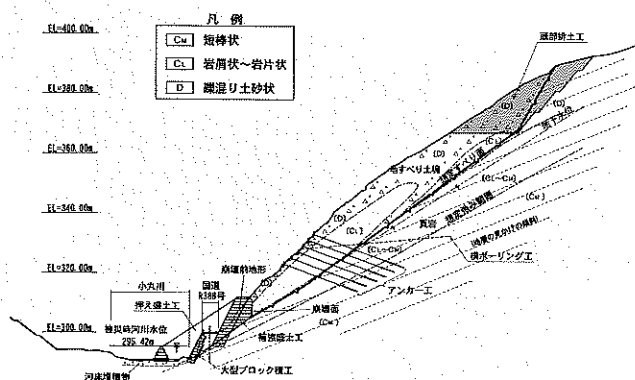


図9 地すべり対策工断面図

7. 斜面崩壊事例

7.1 災害の概要

当該被災地は、小丸川が大きく逆S字状に蛇行する部分の攻撃斜面に位置し、ほぼ東西に延びる斜面の一部である。



写真3 斜面崩壊地航空写真

台風16号接近の際の豪雨で、道路を含む斜面が、幅約100m、長さ約100mの範囲で崩壊した(写真3)。災害後の地形断面から推定される崩壊の深さは、最大約7mである。その後、台風18号の降雨で崩壊地頭部の上流側へ崩壊が拡大した。崩壊地内には浮石上に岩塊が存在する他、上流方上部斜面には幅約30m、深さ約7mの不安定土塊が存在する。

7.2 崩壊の機構

(1) 地質的な素因

- ① 小丸川の攻撃斜面に位置し、浸食によって傾斜が急になっており、不安定化しやすい状況であった。
- ② 地層の層理面は、基本的に受け盤構造を成しているが、岩盤中の剝離面は潜在的な弱線として作用するために、応力解放による緩み、風化による力学的強度の低下が生じやすい。
- ③ 緑色岩を挟む頁岩は、砂岩を挟む頁岩より堅硬であり、浸食に対する抵抗力が大きい。

(2) 誘因

- ① 台風時の降雨による洪水の際に攻撃斜面の下部は流水による浸食で土砂が流失した可能性が高い。
- ② 多量の降水によって斜面上方からの表流水が増水して浸食力が増すことにより、斜面での差別浸食が進み、斜面上部の不安定化が進んだ可能性がある。
- ③ 多量の降水により、地山内部の地下水位、間隙水圧が上昇した可能性も否定できない。

以上より、潜在的に不安定な斜面が、河川による斜面脚部の急激な浸食、および沢水の流下による斜面上部の浸食が主要な引き金となって、崩壊に至ったものと推定される。

7.3 対策工の考え方

当該地区では、現在落ち残っている冠頭部付近以外はほぼ安定しているものと考えられる。しかしながら、風化しやすい基盤の岩質や考慮すると、放置しておいた場合には、今後さらに風化が進行し表層部の緩みを生じさせ、崩壊の素因が醸成されることが懸念された。

このような状況を踏まえ、対策工としては、将来発生する可能性のある崩壊への対応を主目的とし、対象となる地山の状況に応じて、次の3つを用いることとした。

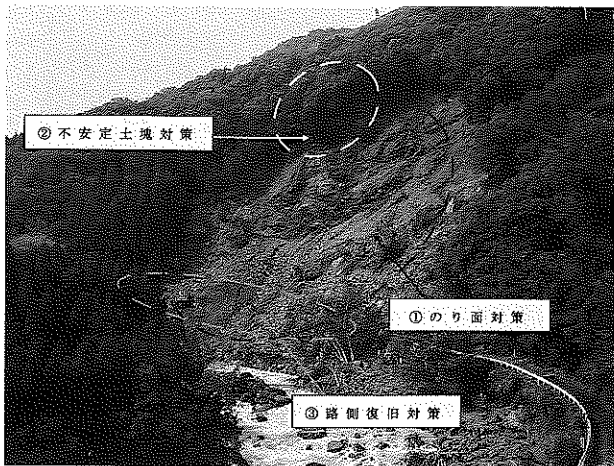


図10 斜面崩壊対策工概要

- ① 法面对策：現在の崩壊土砂は今後降雨によって流出する恐れがあるため、基本的にはすべて除去する。
- ② 不安定土塊対策：今後放置した場合には、崩落し直下の国道が被災することが考えられるため、不安定土塊を除去し、上方の斜面を安定化させるためにロックボルト工を併用する。
- ③ 路側復旧対策：①，②対策により、斜面上部からの

崩落が抑止できると考えられるので、大型ブロック積み擁壁により復旧する。

8. まとめ

被災箇所における主な地質的特徴および崩壊原因は以下のとおりである。

- ① 事例箇所は、古第三紀に堆積した四万十累層群「神門（みかど）層」のせん断泥質岩が分布する地域であり、構造運動によるせん断変形を受け、剝離面が発達する。
- ② 河川の攻撃斜面に位置し、かつ、斜面の風化やクリープ変形が生じていた場所である。
- ③ 河川の増水により斜面下部が洗掘され、それにより斜面が不安定化し崩壊に至った。

本論で紹介した3事例は、災害形態の代表的事例である。この災害復旧事例が今後の資料として参考になれば幸いである。

謝辞：本論を作成するにあたってご協力いただいた宮崎県土木部河川課ならびに日向土木事務所の関係各位に感謝の意を表します。