

特集 記事

平成 16 年豪雨による土砂災害

編集委員会

企画・総括 北村 良介*

編集担当 今村 文彦**・清野 純史***・橋本 晴行****・牧 紀男*****

はじめに

北村 良介*

地球温暖化の影響と考えられる異常気象（豪雨、干ばつ等）が世界各地で発生している。日本でもここ数年、日本各地で集中豪雨による災害が発生している。これらの災害では、限られた地域（雨域は数キロから 10 キロ程度）に長時間にわたって豪雨が降り続く現象、死者・負傷者に高齢者が多い等の特徴が挙げられる。これらの災害を防止・軽減するためには、気象学、地質学、土木工学、災害医療等の自然科学、心理学、法学、経営学等の社会科学の立場から災害事例の詳細な調査を行い、災害発生メカニズムを総合的に明らかにする必要がある。明らかにされた災害発生メカニズムを検討することによって、適切なソフト・ハード対策が確立されることになる。

平成 16 年は梅雨末期の豪雨、さらには過去最多となる 10 個の台風が本土に上陸し、豪雨・洪水による土砂災害が各地で発生した（新潟・福島豪雨災害、福井豪雨災害、四国台風災害（10 号、15 号、21 号）、紀伊半島台風災害（21 号）、静岡県伊豆地方台風災害（22 号）、近畿地方台風災害（23 号災害））。これらの災害の中から新潟豪雨災害、福井豪雨災害、四国台風災害、近

畿地方台風災害を取り上げる。これらの豪雨災害・台風災害では、斜面崩壊、土石流、破堤等による土砂災害が発生した。新潟豪雨災害では五十嵐川、刈谷田川の破堤、中越地域の斜面崩壊を取り上げる。福井豪雨災害では足羽川の破堤、上流域における河川構造物の被害、斜面崩壊、土石流による土砂災害を取り上げる。四国台風災害では台風 10 号による徳島県での土砂災害、台風 15 号による愛媛県、香川県、高知県での土砂災害、台風 21 号による愛媛県の土砂災害、台風 23 号による香川県の土砂災害を取り上げる。近畿地方台風災害では台風 23 号による淡路島のため池災害と丹後地方の洪水災害を取り上げる。

本特集記事では、これらの災害発生時の気象状況を踏まえ、地盤工学・地形学の立場から災害調査に精力的に取り組んだ研究者に執筆をお願いした。本特集記事が今後の防災対策（人的災害者数を最少にする方策）に生かされることを期待している。

1. 7.13 新潟豪雨災害における河川被害と土砂災害

大塚 悟*****

平成 16 年 7 月 13 日に新潟県から福島県にかけて豪雨災害が発生した。特に新潟県の被害は

* 鹿児島大学工学部
** 東北大学大学院工学研究科
*** 京都大学大学院工学研究科

**** 九州大学大学院工学研究院
***** 京都大学防災研究所
***** 長岡技術科学大学

甚大であり、「7.13 新潟豪雨災害」と名称された。この災害により、死者15人、重傷2人、家屋の全壊70戸、半壊・一部損壊5,448戸、床上・床下浸水8,295戸の被害が記録されている。死者の多数は河川堤防の決壊による洪水に伴うものであり、堤防の破堤11箇所、欠壊148箇所、越水・溢水・漏水は123箇所であった¹⁾。

1.1 降雨の概要

新潟県中越地区から福島県にかけて停滞した梅雨前線に暖かく湿った空気が流れ込み、12日の夜から13日夕方にかけて激しい雨が降り、長岡・三条地域を中心に日降水量が観測史上最大となる豪雨となった。図1-1に12日18時から14日12時までの総降水量の分布図を示し、図1-2に気象庁のレーダー・アメダスで観測された栃尾市の時間降水量の変化を示す。栃尾市では時間最大降水量62mm/h、日降水量421mmが観測され、日降水量の記録が200mm以上も更新された²⁾。今回の豪雨は総降水量に対して、短期間に降水が生じた。

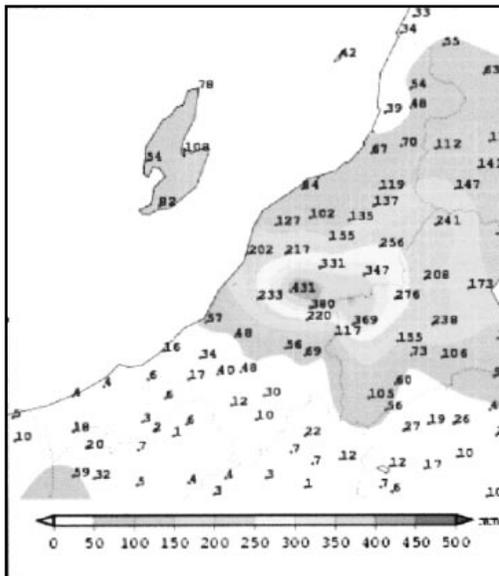


図1-1 総降水量の分布図²⁾

1.2 河川被害の概要

7.13 豪雨災害では、信濃川支流の五十嵐川および刈谷田川をはじめとする多くの中小河川にて溢水や破堤が生じて、新潟平野の南西部の広い地域で浸水被害が生じた。河川の被害状況^{3), 4)}は破堤11箇所(表1-1)、堤防欠壊148箇所、越水・溢水・漏水123箇所である。五十嵐川および刈谷田川の浸水被害の概要を表1-2および図1-3に示す。

1.3 五十嵐川および刈谷田川の破堤被害

1.3.1 五十嵐川諏訪新田の破堤事例

五十嵐川は南蒲原郡下田村に源を発し、三条市内を貫流して信濃川に注ぐ、流域面積310km²、延長39kmの一級河川である。大正15年7月の豪雨で諏訪曲渕西本成寺地内にて生じた6箇所の破堤を契機に河川改修工事が行われ、昭和12年にはほぼ現在の河状となった。昭和36年

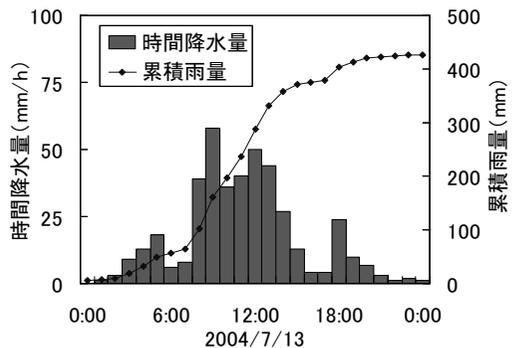


図1-2 栃尾市の時間降水量の変化²⁾

表1-1 河川堤防の破堤箇所一覧⁴⁾

河川名	左右岸	市町村	大字	破堤延長
能代川	左岸	村松町	下大蒲原	40m
五十嵐川	左岸	三条市	諏訪	117m
刈谷田川	左岸	中之島町	中之島	50m
	右岸	見附市	明晶町	42m
	左岸	見附市	河野町	70m
	左岸	見附市	宮之原町	30m
稚児清水川	左岸	見附市	池之島町	102m
	右岸	見附市	池之島町	50m
猿橋川	左岸	長岡市	富島町	14m
中之島川	左岸	中之島町	下沼新田	6m

表 1-2 五十嵐川・刈谷田川の被害状況⁴⁾

五十嵐川被害状況 (三条市, 栄町)							
浸水面積 (ha)		住家 (戸)		事業所等 (棟)		公共施設 (棟)	
宅地	農地	床上	床下	床上	床下	床上	床下
490	830	6151	689	609	28	79	25
刈谷田川被害状況 (見附市, 中之島町)							
浸水面積 (ha)		住家 (戸)		事業所等 (棟)		公共施設 (棟)	
宅地	農地	床上	床下	宅地	農地	床上	床下
250	903	54	307	986	1211	—	—



写真 1-1 五十嵐川諏訪新田の破堤状況⁵⁾

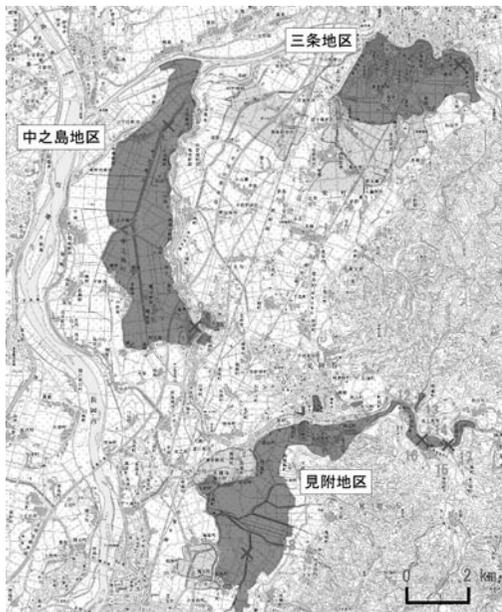


図 1-3 五十嵐川・刈谷田川の浸水被害状況⁴⁾



写真 1-2 破堤による落掘の形成

8月の水害により笠掘ダム(昭和39年度竣工)が建設, 昭和44年8月の水害により大谷ダム(平成5年度竣工)が建設されている⁴⁾。

五十嵐川は三条市大字諏訪にて左岸側堤防が約120mにわたって破堤した(写真1-1)。水衝部は右岸側に当たるために右岸側では活発な水防活動が行われていたが, 左岸側では水防活動がやや手薄であった。新潟県による調査では, 7月13日7:30に警戒水位20.7mを超過している。9:00過ぎに急速に水位が上がり, 9:30頃-10:00頃にかけて越水した。その後やや水位が下がったが, 12:40頃には再び越水が始まり, 12:50頃

から堤防の裏のり肩が崩壊し始めた。破堤は下流側から始まり上流側へ進展した。写真には破堤箇所にて高水敷に緊急対策による鋼矢板が打設され, 土嚢によって保護されている様子が確認される。写真1-2は上流側から撮影した破堤点の落掘と堤体断面である。図1-4に示すように, 落掘は高水敷の上流側(図右側)から堤内地の下流側へ斜めに形成され, 最大で堤体基礎地盤が深さ4mほど侵食された。堤内地には一部墳砂の痕跡が確認されたが, 洪水による土砂が厚く堆積しているために詳細は確認できない^{6), 7)}。しかし, 河川水位の計測から大きな水圧が地盤に作用したのは比較的短時間であり, 噴砂・噴水による土砂の流出は限定的であると思われる⁸⁾。図1-5は破堤地点における地質断面図であるが, 図左側の堤内地では上部に粘土

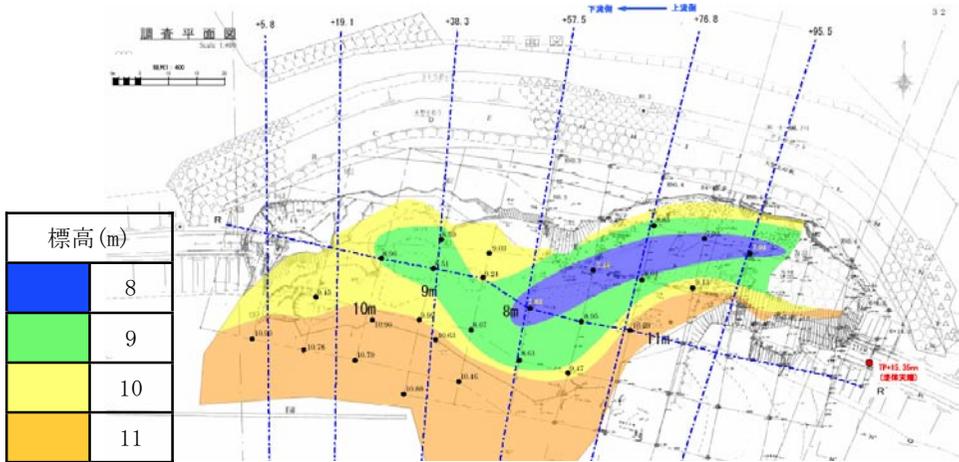


図 1-4 破堤地点の平面図⁴⁾

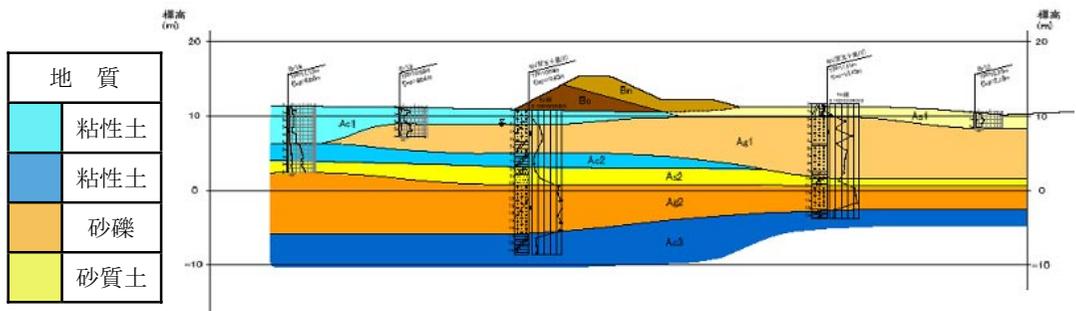


図 1-5 破堤地点の地質断面図⁴⁾

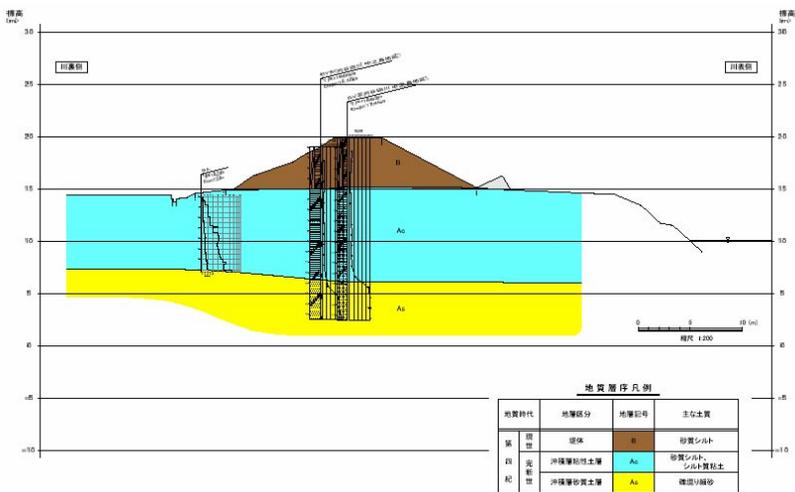


図 1-6 破堤地点の地質断面図⁴⁾

写真 1-3 刈谷田川中ノ島の破堤状況⁵⁾写真 1-4 破堤点の平面写真⁴⁾

層が薄く堆積しており、下層に図右側の堤外地から延びる砂層が存在している。当該地点では砂層が堤内地にて薄くなる行き止まり層を形成しており、河川水位の上昇によって堤内地基礎地盤の水圧は上昇し易い状況にあった。しかし、同様の地質構成は破堤しない地点にも多数存在しており、基礎地盤の水圧や浸透力によって破堤が生じたと直ちに判断できない。目撃によると破堤は落掘より下流側から発生しており、下流側地点の砂層は落掘地点ほど行き止まり層を形成していないと想定されることから水圧や浸透力に対して堤体はより安定側であり、堤体の崩壊を説明できない。

新潟県では、河川水に対する堤体表のり面の侵食耐力、越流水に対する裏のり面の侵食耐力、河川水や降水の流入による堤体のせん断強度低下を考慮した堤体のり面の安定性、河川水の上昇による浸透破壊に関する定量的検討を踏まえて、越水による裏のり面の侵食を直接の破堤原因と判断した⁴⁾。破堤地点は裏のり面の植生が薄く、僅かな越流水でも侵食され易い状況にあった。また、破堤点は周囲と比較するとやや天端が低かった可能性も指摘されている。

1.3.2 刈谷田川中ノ島の破堤事例

刈谷田川は守門岳に源を発し、栃尾市、見附市を貫流して信濃川に注ぐ流域面積 240 km²、流路延長 50 km の一級河川である。昭和 19 年 7

月の水害を契機に昭和 27 年より改修工事が行われた。昭和 36 年 8 月の水害により、河道掘削や堤防嵩上げが行われた。昭和 39 年 7 月の水害を契機に河川改修および刈谷田ダム（昭和 55 年度竣工）の建設が行われた⁴⁾。

刈谷田川では中之島町中之島にて左岸側堤防が約 50 m にわたって破堤した（写真 1-3）。市街地に当たり、活発な水防活動が行われていた。新潟県による調査では、7 月 13 日 9:50 頃に警戒水位 16.3 m を超過している。その後急速に水位が上がり、12:00 頃には越水が始まり、12:30 頃より堤防の裏のり肩が崩壊し始めて 13:00 頃には完全に破堤した。破堤は上流側から欠壊が始まり、下流側へ進展した。

写真 1-4 に示すように、落掘は堤体に直交するように形成され、最大深さは約 2 m であった。破堤に伴う濁流は周辺の家屋を破壊して、広範囲に浸水被害を引き起こした。図 1-6 に破堤地点における地質断面図を示すが、図左の堤内地には表層に比較的厚い粘性土層があり、基本的に河川水位の上昇による下部砂層の水圧や浸透力による堤体や基礎地盤の破壊は生じないと考えられる。新潟県は堤体の破堤原因に関する定量的検討を踏まえて、越水による裏のり面の侵食を直接の破堤原因と判断した⁴⁾。破堤地点は裏のり面がやや急勾配のために、越水によりのり面が侵食され易い状況にあった。写真 1-5 は破堤点の堤体裏のり面である。写真手前が上流

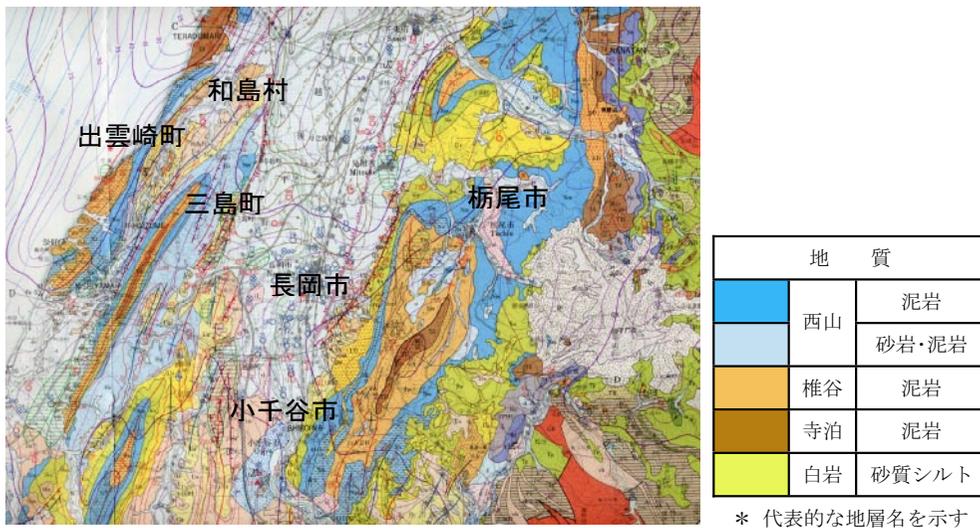


図 1-8 中越地域の地質¹⁰⁾

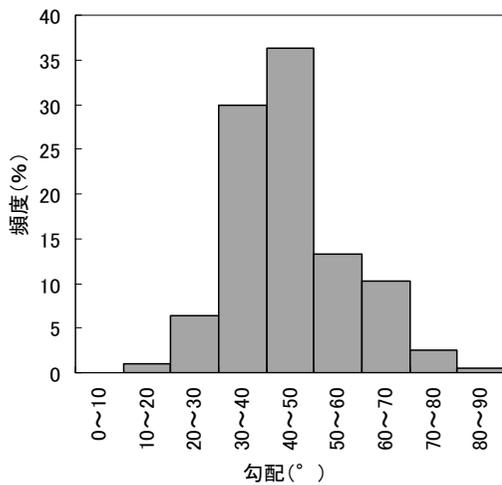


図 1-9 崩壊斜面の傾斜角度

る出雲崎町、三島町、与板町、和島村、寺泊町で、もう1つは東山丘陵内の栃尾市を中心とする内陸の山地である。栃尾市では地すべり性の大規模崩壊が見られる一方、出雲崎町では海岸に面した斜面の表層崩壊が数多く発生した。出雲崎町は昭和36年に死者13人を出す土砂災害が発生しているが、その後の砂防事業等によって斜面对策工が施されていたことにより被害が軽減された⁷⁾。

1.5.2 中越地域の地質

図 1-8 に中越地域の地質図を示す。新潟県の中越地域は長岡市の位置する平野部を挟んで東側に下田丘陵・東山丘陵があり、西側に西山丘陵が位置する。丘陵部は主に新第三紀の泥質岩で構成されており、砂岩・泥岩の互層地盤を含む。その上に鮮新世～更新世の魚沼層が位置している。新第三紀の地層は下部より、中新世中期の「七谷層」、中期から後期の「寺泊層」、鮮新世前期の「椎谷層」、後期の「西山層」、「白岩層」から構成される。第四期になると、「灰爪層」、「魚沼層」および段丘堆積物が見られる。地質の巨視的な構造は褶曲活動の影響を受けて北東から南西の方向に連続した地層が見られて、向斜および背斜の地形・地質を構成している。したがってこれらの連続した地質に直交する北西から南東方向の傾斜斜面は流れ盤の構造を有する。

1.5.3 土砂災害の特徴

7.13 新潟豪雨災害における災害事例⁹⁾の統計を示す。図 1-9 に崩壊斜面の傾斜角度の度数分布を、図 1-10 に崩壊深さの度数分布を示す。崩壊の多くは勾配が30～50°であり、全体の約65%を占めている。地すべりは5～20°の緩傾

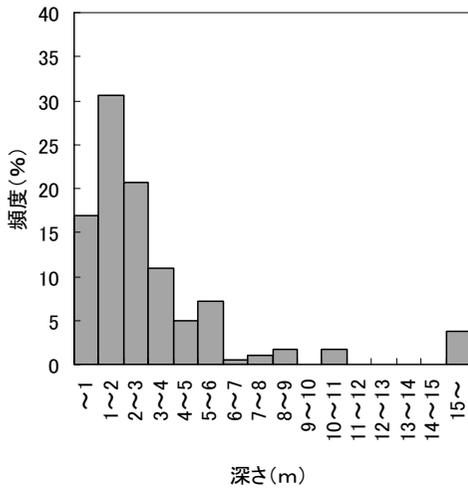


図 1-10 崩壊斜面の崩壊深さ

写真 1-7 三島町逆谷の斜面崩壊⁹⁾

斜地に多く発生することから、7.13 新潟豪雨災害における土砂災害は斜面勾配が 30° 以上の急傾斜地に発生した。また斜面の崩壊深さは 3 m 未満の崩壊が全体の約 65% を占めており、表層崩壊が多い。しかし、数は少ないが深層崩壊を起こす事例も見られた。

市町村単位で統計を取ると、栃尾市と出雲崎町では 50 度以上の急傾斜地にて崩壊が多く発生している。他方、和島村では傾斜角 $20 \sim 30$ 度の崩壊が多く、栃尾市や三島町では斜面の崩壊深さの大きい事例が多い。逆に寺泊町では表層

写真 1-6 出雲崎町の国道 402 号の表層崩壊⁹⁾写真 1-8 のり面中央部の水の浸出⁹⁾

崩壊が多く、最大でも崩壊深さが 2.5 m であった。これらは各地域の地質や地形を反映している。

1.6 斜面崩壊事例

出雲崎・三島町地区の西山丘陵地域では大きく分けて 2 通りの崩壊形態が見られる。1 つは写真 1-6 に示す出雲崎町の海岸線に沿う国道 402 号線の斜面の表層破壊である。砂岩泥岩の互層から成る西山層における薄い未固結堆積物が広範囲に崩落した。崩壊土砂は一部国道まで到達しており、交通障害を起こした。この辺りは比較的厳しい雨量通行止め規制（時間雨量 25 mm，連続雨量 100 mm）が行われていた。

もう 1 つは斜面上位に厚く堆積した風化土砂が下層との境界に沿って崩壊する事例である。



写真 1-9 浸出点における泥岩の粘土化



写真 1-10 三島町逆谷の斜面崩壊



写真 1-11 出雲崎町中山の斜面崩壊⁹⁾



写真 1-12 斜面上部のすべり面

写真 1-7 は三島町大字逆谷地内の斜面崩壊事例である。写真中央の斜面は幅約 40 m、長さ 100 m にわたって崩壊し、土砂が一般道まで到達している。一部宅地にまで土砂が到達したが、幸いに大きな被害はなかった。写真 1-8 は崩壊 4 週間後ほどに撮影したのり面の状況である。のり面中央付近に水平方向に水のしみ出しが確認される。写真 1-9 に崩壊地側面における水のしみ出し点の地山状況を示すが、写真中央付近に薄い粘土化した層が確認される。この層の上位はき裂を有する風化泥岩であり、下位は比較的健全な泥岩層である。下位の地盤は不透水であることから、降水時にはこの地点で地下水位が大きく上昇したと考えられ、薄い粘土層の存在

は崩壊の素因と考えられる。崩壊地の滑落崖の背面には過去に斜面上部が繰り返すべり破壊を生じた痕跡が残されている⁷⁾。

写真 1-10 は写真 1-7 中央上の斜面崩壊の正面写真である。下位に流れ盤を形成する基盤が明瞭に確認され、上位の風化した土砂が流れ盤に沿って崩壊した。斜面の下部に位置することから、周りからの地下水の補給があり、降水時には地下水位が上昇していたと考えられる。

写真 1-11 は出雲崎町大字中山地内における斜面崩壊である。斜面上部の尾根近くで崩壊が生じて、崩壊土砂はやや進路を変えて流下して下流側の家屋を倒壊した。写真 1-12 に斜面上部の斜面崩壊の側面写真を示すが、上流側から見て右側のすべり面に固結した泥岩が露出している。泥岩層は不透水層のために上位の砂質シルト層



写真 1-13 栃尾市北荷頃地区の斜面崩壊



写真 1-14 表面水による道路埋め戻し土の流出



写真 1-15 栃尾市平地区の地すべり崩壊⁴⁾



写真 1-16 栃尾市大町地区の土石流被害⁴⁾

の地下水位が上昇したと考えられるが、尾根筋に当たるために周辺からの地下水の回り込みは考え難い。しかし、斜面下部では泥岩層の傾斜方向がのり面の傾斜に対してやや受け盤になるために地下水のダムアップにより地下水位が上昇し、斜面下部地盤が不安定になって崩壊したと考えられる。

東山丘陵地区では栃尾市にて斜面の表層崩壊により 1 名が死亡した。写真 1-13 は栃尾市北荷頃における崩壊斜面である。斜面勾配は 40 度であり、幅 20 m、長さ 20 m ほどにわたり表層斜面が崩壊した。基岩は新第三紀の椎谷砂岩層であり、崩壊土砂の厚さは 1 m ほどであった。隣接斜面が地すべり地形を形成しており、むしろ土砂崩壊の可能性が高いと判断された⁷⁾。小規模斜面の表層崩壊は極めて事前予測が難しい。

写真 1-14 は同地点における取り付け道路の状況である。道路の表面水により埋設管の埋め戻し土が流出しており、降水量の多さが分かる。

栃尾市の平地区では国道 351 号の河岸段丘にて地すべり性の崩壊が発生した。写真 1-15 では上部が河岸段丘を形成しており、段丘から谷筋に向かって大規模な斜面崩壊が生じた。崩壊は 3 つのブロックから形成され、図の右側に位置する橋台を取り囲むブロック（幅 20 m、長さ 20 m）、中央部分のやや植生が剥落したブロック（幅 30 m、長さ 40 m）、左側の宅地上部に位置するブロック（幅 30 m、長さ 50 m）、から成る。橋台基礎地盤の流出により、国道 351 号線はこの

区間が長期間通行止めとなった。

栃尾市市街地の大明地区では斜面頭部で崩壊した土砂(斜面勾配36度,幅40m,長さ60m)が溪流に沿って土石流化して下流にある宝光院に到達した(写真1-16)。土石流は中流域の河岸段丘上にて1次堆積を起こし,細粒分のみが流下して宝光院に押し寄せた。宝光院の裏手には多量の土砂が堆積し,一部院内に土砂が侵入したが幸いに倒壊は免れた。土石流は宝光院に塞き止められて下流の市街地には流下しなかった。

1.7 土砂災害防止の地盤工学的課題

7.13 豪雨災害では中山間地にて多数の斜面が崩壊した。道路の遮断により孤立する集落が生じる問題のほか,水害と同様に災害弱者への対応が問題となった。

土砂災害の防止では危険斜面の場所と危険度評価が重要である。これまでもハザードマップの作成や降水量を用いた斜面の危険度評価が試みられているが,未だ警戒・避難体制を含むシステムまで完備されていない。人的被害の軽減を目的に土砂災害防止法が制定されているが,その効果が出るには未だかなり時間がかかるように思われる。

技術的には危険斜面の絞込みが依然として難しい。豪雨時の斜面崩壊は多数が表層崩壊であり,地すべりのように地形判読から危険箇所を特定することは難しい。地形的な要因は重要なインデックスであるが,表層風化土の状態や地質の影響が大きい。しかし,一般に活用できる情報は限られており,危険度評価にばらつきが存在する。降水のモニタリングによる危険度評価もオンサイトの情報でないことから自ずと限界がある。斜面の危険度評価の精度を上げるためには,オンサイトに近い斜面情報データベースの構築が必要である。現在,地形データは航空測量やレーザープロファイラにより簡易に精度良く測量されるようになり,降水量もよりオンサイトに近い情報が提供されるようになってきている。地理情報システムを使用したデータの管

理・分析も可能となっており,斜面情報データベースの効率的な活用が期待される。

謝 辞

本報告を取りまとめるにあたり,新潟県や国土交通省北陸地方整備局,気象庁のデータを使用した。また,(社)土木学会および(社)地盤工学会の7.13新潟水害調査団において諸先生より貴重なご意見を頂いた。ここに感謝の意を表します。また,被災された住民の方には心よりお見舞い申し上げますとともに早期の復旧をお祈り申し上げます。

参考文献

- 1) 新潟県砂防課:平成16年7.13新潟豪雨,土砂災害の記録,2005.
- 2) 気象庁:災害時自然現象報告書2004年第1号 災害時気象速報 平成16年7月新潟・福島豪雨及び平成16年7月福井豪雨,2004.
- 3) 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),2004.
- 4) 新潟県:7.13新潟豪雨災害調査委員会報告書,2005.
- 5) アジア航測:2004年7月新潟豪雨災害, <http://www.ajiko.co.jp/bousai/niigata/niigata.htm>., 2004.
- 6) 土木学会:平成16年7月北陸豪雨災害調査報告書,2005.
- 7) 地盤工学会:7・13新潟県中越豪雨災害調査報告,2005.
- 8) 中島秀雄:河川堤防,技報堂,2004.
- 9) 新潟県砂防課:7.13新潟県中越豪雨災害土砂災害資料,2004.
- 10) 新潟県:新潟県地質図説明書(2000年版),2000.

2. 平成16年7月福井豪雨による地盤災害 地盤工学会*

2.1 まえがき

平成16年7月18日,福井県嶺北部を中心に明け方から昼にかけて集中豪雨があり,九頭竜川の支川である足羽川流域に大きな被害をもた

* 平成16年7月福井豪雨による地盤災害の緊急調査団

らした。死者 4 名，行方不明 1 名，負傷者 19 名，住家全壊 57 棟・半壊 138 棟・一部破損 211 棟，床上・床下浸水 13,635 棟，非住家（全壊・半壊）183 棟（福井県，平成 17 年 1 月 17 日）である。この災害について標記の調査団を設置して調査を行い，結果を報告書にまとめた¹⁾。本稿は，この報告書の概要をまとめたものである。足羽川流域を図 2-1 に示す。足羽川は流域面積：416 km²，法河川延長：61.7 km の一級河川である。気象台観測所における時間雨量と累加雨量を図 2-2 に示す。等総雨量線図を図 2-3 に示す。これらの資料から，図 2-1 の足羽川流域に集中豪雨が起きたことが分かる。地盤工学に関連する被害の概要は次のとおりである。①足羽川堤

防の破壊：福井市春日地区（木田橋上流）左岸で堤防が破壊した。越水が始まってから約 90 分後に破壊が生じている。破壊しなかった堤防でも越流の痕跡が多数認められている。この箇所でも破壊した理由について詳細な調査を行った。②河川上流部の被害：足羽川上流部や足羽川支流では，極めて多数の護岸の破壊が見られ，流木や土砂堆積などによる氾濫が被害を大きくした。土砂が堆積して，本来の河道が埋まった箇所もある。洗掘によると見られる護岸上部での斜面崩壊も多数発生している。③道路での斜面崩壊：河川から離れた場所での斜面崩壊も多数発生している。比較的浅い崩壊が多い。④土石流被害：小河川や溪谷などで多数の土砂流・土石流が発生し，多量の土砂や流木を供給した。⑤鉄道・道路の基礎の破壊：JR 越美北線の 5 鋼橋で，橋桁の流失，橋脚の転倒・破壊が生じた。道路橋や鉄道・道路の盛土部分でも多数の被害が生じている。標記調査団は，主に上記の 5 つの項目について，実態の把握と今後の課題に関する調査を行った。調査団の構成を以下に示す（50 音順）。荒井克彦（福井大学），東順一（(株)田中地質コンサルタント），池田善考（応用地質(株)），魚住誠司（(株)ダイヤコンサルタント），岡二三生（京都大学），岡島尚司（(株)サンワコン），小嶋啓介（福井大学），小高猛司（京都



図 2-1 足羽川流域図

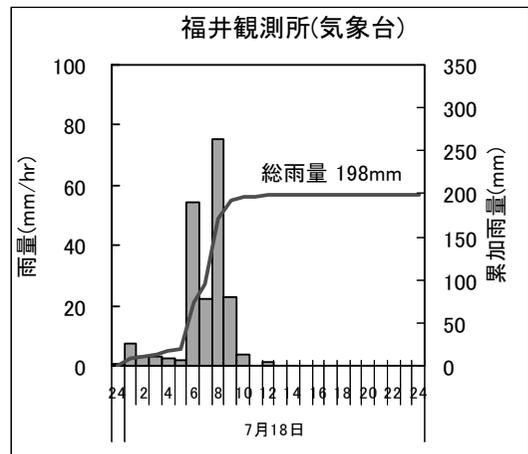
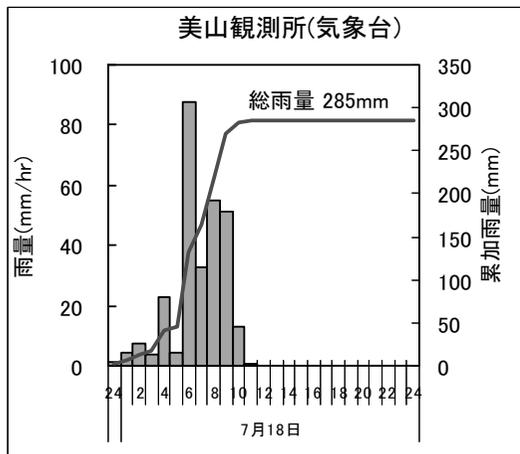


図 2-2 気象台雨量観測所の時間雨量と累加雨量

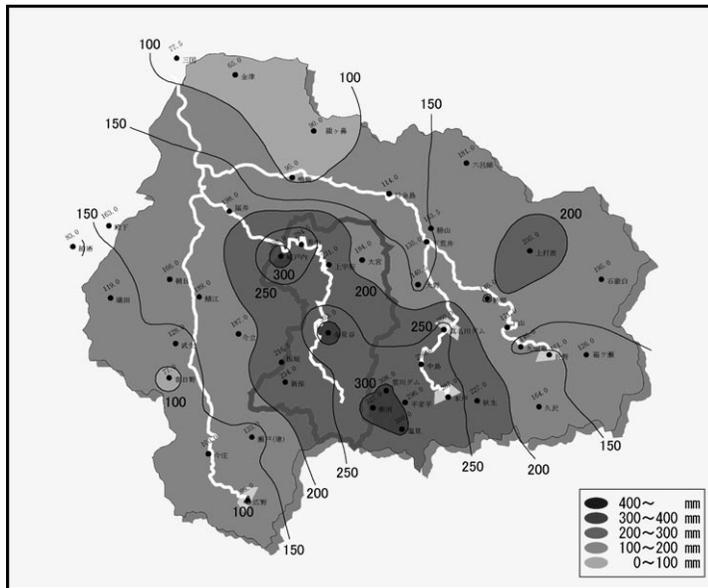


図 2-3 等雨量線図 出典：第 23 回九頭竜川流域委員会資料（平成 16 年 8 月 31 日）

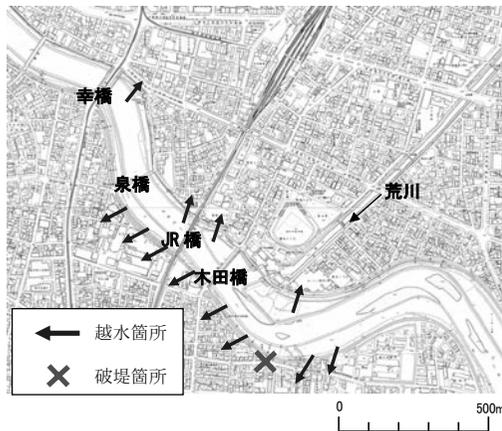


図 2-4 羽川下流部の越水・破堤箇所

ント), 森川和典 ((株) サンワコン), 横田善弘 (前田工織 (株)), 吉田雅穂 (福井工業高等専門学校), 與田敏昭 ((株) ニュージェック), 李圭太 ((株) 建設技術研究所)。

2.2 足羽川堤防の破壊

2.2.1 河川水位の推定

下流部 (市街地) の越水と破堤箇所を図 2-4 に示す。足羽川下流部左岸側では、破堤箇所の上流から泉橋までの約 900 m の範囲で越水が発生した。また、右岸側では、幸橋上流で 1 箇所、JR 上下流で 1 箇所ずつ、荒川合流点上流で 1 箇所の合計 4 箇所で越水が発生した。破堤箇所は、足羽川 4.6 km と 4.8 km の間であった (距離は足羽川と日野川の合流点から上流への距離を表す)。破堤は木田橋上流約 350 m (足羽川と日野川の合流点から上流へ 4.6 km 付近) の左岸側で発生し、破堤幅は約 54 m であった。この越水・破堤による浸水区域は、約 260 ha である。足羽川下流部における破堤要因の検討に関係するので、福井県「平成 16 年 7 月福井豪雨足羽川洪水災害調査対策検討会 (委員長 中川一京都大学教

大学), 古根川竜夫 ((株) SC 土質工学研究所), 澤崎雅之 (福井工業大学), 杉本賢一 ((株) 帝国コンサルタント), 角南進 ((株) 日建設計), 竹島康人 (応用地質 (株)), 竜田尚希 (前田工織 (株)), 寺崎勉 ((株) ナチュラルコンサルタント), 中島勲雄 (応用地質 (株)), 西垣誠 (岡山大学), 細田尚 (京都大学), 松井保 (福井工業大学), 松下卓 ((株) ナチュラルコンサルタ

授)」による検討結果を以下に引用しておく²⁾。上記検討会では、一次元非定常解析により、堤防からの破堤を含む越流現象の再現を行い、それをもとに河道の流量変化を把握し、その後、一次元定常解析により河道の痕跡水位の再現(橋梁・ポンプ排水量等の影響)を行っている。さらに、一次元非定常解析結果の各地点での越流量、破堤後の越流量を境界条件として与え、最高水位から破堤、破堤後の河道の平面流況(水位・流向・流速)の時間変化を平面2次元非定常解析により求めている。平面2次元非定常解析の結果から、以下のことが推定される。①木田橋付近で急激に水位が堰上げられており、橋梁箇所の上流で0.3 m程度の水位上昇量と推定される。破堤点付近では破堤した左岸側の水位が右岸側より0.3 m程度高くなっている。②日野川合流点上流5.0 km地点では、主流部が右岸側に寄っており、さらにわん曲の影響により流速が大きく、3.0 m/s程度の流速が生じている。破堤地点である4.6 km左岸直上流地点は、洪水ピーク時には水衝部にはなっておらず、逆に水流が停滞している。これは、4.4 km～5.4 km付近の堤防及び低水路の法線形の影響により、右岸側に主流が到達しているためである。このため、4.8 km付近右岸では、高水敷でも3.0 m/s程度の流速が生じている。③一連のわん曲断面で最もわん曲が大きい区間は5.0～5.4 km区間であるが、流速は外岸側で1.5～2.5 m/s程度と大きくなく、水衝部となっていない。

2.2.2 堤防および地盤の状況

破堤の要因を明らかにするためには、堤防の強度や透水性などの大規模な調査が必要である。これらの調査は多大の労力と費用を必要とするため、個人的なレベルでは実施が困難である。福井県による上記検討会に標記調査団の多くも委員や事務局として参加した。この検討会による調査結果と破堤要因の検討結果を抜粋して引用する。調査検討対象区間は破堤部を含む左岸越水区間(4.0 km付近～5.0 km付近)とした。破堤要因に対する検討は、この越水区間にお

ける地盤調査結果を用い、河川堤防の破壊要因として考えられる越水による侵食・洗掘、降雨・洪水(河道内水位)・越水による堤体内浸透に着目し、調査・検討を実施した。なお、河道内流水による侵食は、本豪雨において被災が生じていないことと、水理検討(平面二次元非定常解析)における川表近傍の流速は2.0 m/sec以下となる結果を得ていることから、この侵食破壊の可能性は低いと判断した。

堤防構造、豪雨後の堤防状況を現地調査した結果を図2-5に整理した。図中に示したゾーニングは地盤調査結果から堤体地盤特性に着目して大別したものである。ボーリング調査は、堤外、堤体、堤内で実施した。なお、地盤調査結果の概要として図2-6に想定地層縦断面図、浸透破壊に対する検討を実施した想定地層横断面図、本復旧前堤防開削調査図を示す。この調査結果の特徴を次に示す。i) 堤防構造：堤防天端は、破堤箇所の下流4.6 km付近までアスファルト舗装が施されているが、この上流は未舗装で土・草となっている。川表側護岸は、4.6 kmの上下流付近でコンクリート張り法棹工がある。川裏側の尻は、擁壁、石積み、土羽などがあり各所で異なる。破堤箇所付近の堤内地側には坂路が設置されている。ii) 堤防状況：豪雨後の目視調査で川表裏ともにのり面にモグラ穴の点在を確認した。4.4 km付近から下流には堤防天端付近に桜の木がある。なお、図中に本豪雨における応急対策のため伐採した桜の木も記載している。iii) 堤防管理状況：河川堤防の浸透に対する安全性の概略評価で指標となる要注意地形は、「旧河道」、「落堀・旧落堀」である。越水区間(足羽川左岸4.0 km付近～5.0 km付近)における地形・地質は治水地形分類図より、主に三角州となっていることから、この概略評価の要注意地形ではない。検討会では、この区間における地盤の堆積状況の把握を目的として、この区間の下流部4.1 km地点、上流部破堤箇所近傍の4.7 km地点において堤防横断方向に複数のボーリング調査を実施した。さらに、堤防天端付近、破堤箇所において数カ所ボーリング調査を行っ

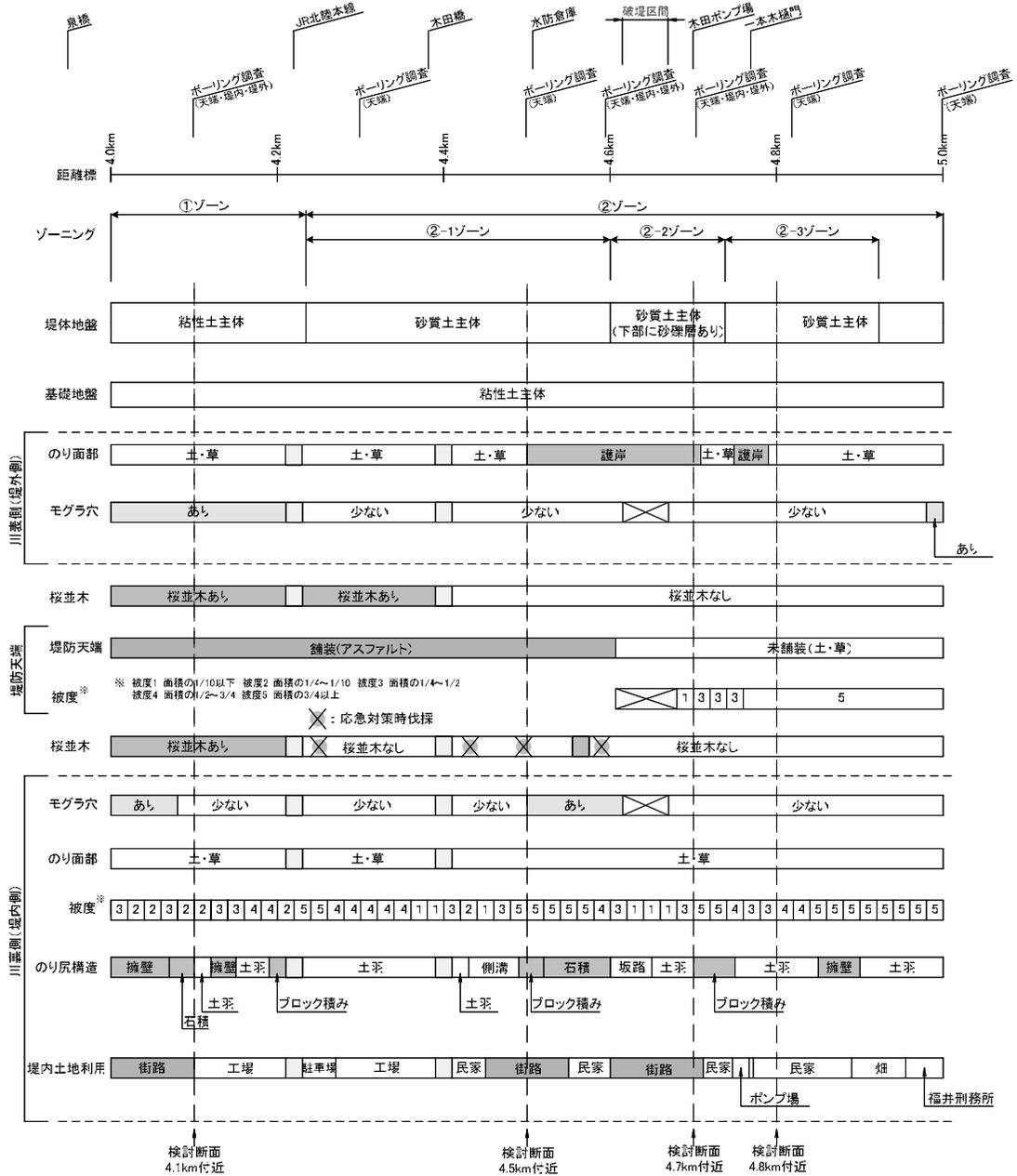


図 2-5 堤防特性 (足羽川左岸：4.0 km 付近～5.0 km 付近)

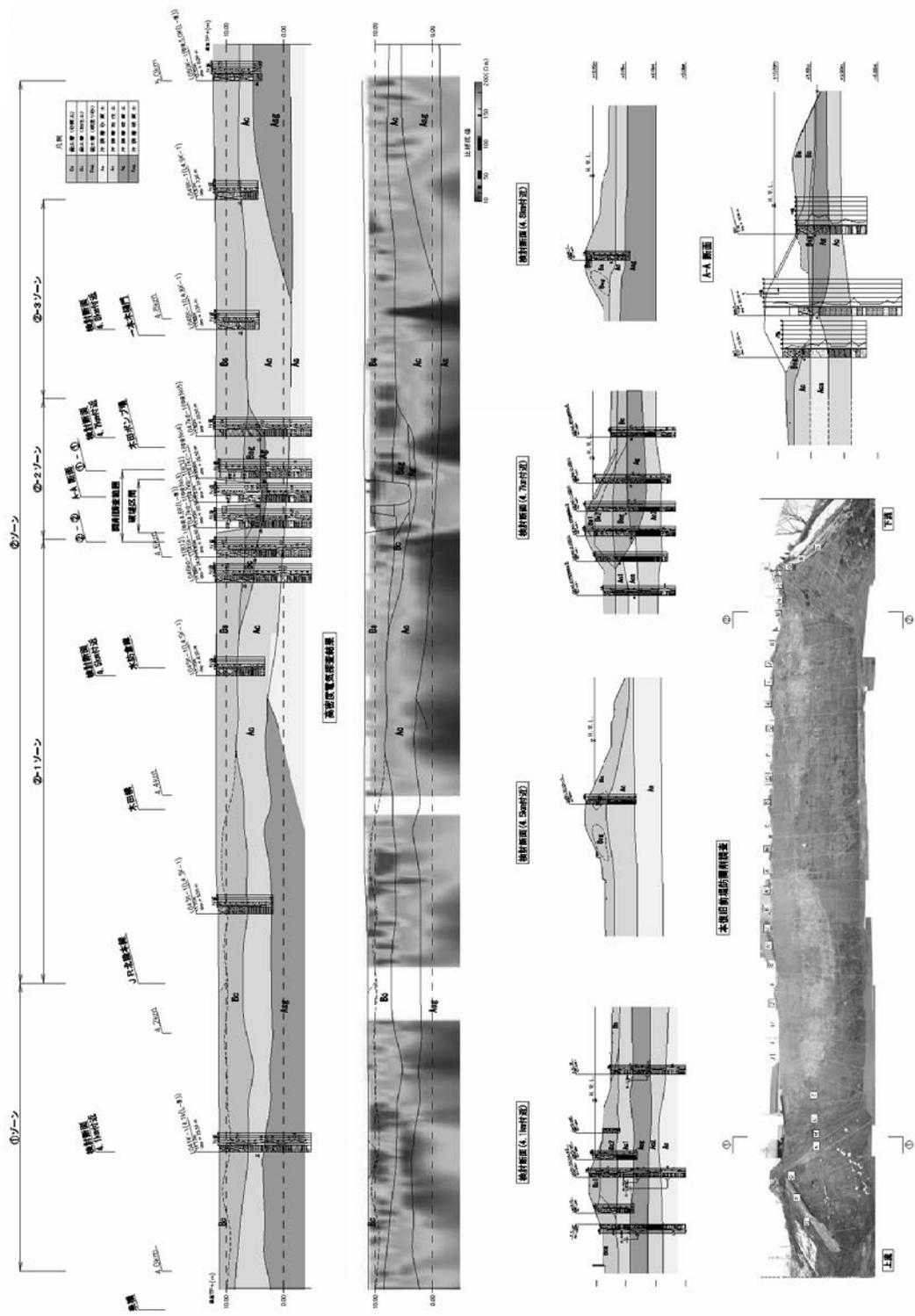


図 2-6 想定地層図 (足羽川左岸：4.0 km 付近～5.0 km 付近)

た。あわせて、これらボーリング調査結果から得られた地盤情報を基礎資料として、物理探査（高密度電気探査，弾性波探査）を実施し，区間全体の地盤を想定した。想定地層図を図 2-6 に示す。この越水区間の地層特性を次に示す。iv) 堤体土質：堤体土質は 4.0 km ~ 4.2 km 付近間は粘性土主体，4.4 km ~ 5.0 km 付近間は砂質土主体である。堤体直下の基礎地盤は概ね沖積粘性土層 (Ac1) であるが，5.0 km 付近は沖積砂礫層 (Ag1) が分布する。破堤箇所付近の川表には旧河床礫と思われる礫層が分布する。v) 浸透破壊に対する検討対象断面：これら堤防構造，堤防状況，堤体土質の特性から次に示す 4 断面を対象として，後述する破堤要因の推定における浸透破壊に対する検討を実施した。①ゾーンは堤体地盤が粘性土主体であり，②ゾーンは堤体地盤が砂質土主体となる。②ゾーンのうち，盛土下部に砂礫層が卓越している範囲を②-2 ゾーンとし，その上，下流部を②-1，②-3 ゾーンとして区別した。以下に示す検討断面は，それぞれのゾーンから，天端舗装，護岸の有無，裏のり先舗装の有無を考慮し，代表的な断面を選定した。なお，4.1 km，4.7 km 付近における検討対象モデルの設定は，ボーリング調査，開削調査結果を主体とした。4.5 km，4.8 km 付近での検討対象モデルは，ボーリング調査は天端付近のみであることから，物理探査結果を併用して設定した。① 4.1 km 付近：(堤体地盤：粘性土主体，天端舗装：有，護岸：無，裏のり先舗装：有)，② 4.5 km 付近：(堤体地盤：砂質土主体，天端舗装：有，護岸：無，裏のり先舗装：有)，③ 4.7 km 付近：(堤体地盤：砂質土主体，天端舗装：無，護岸：有，裏のり先舗装：有)，④ 4.8 km 付近：(堤体地盤：砂質土主体，天端舗装：無，護岸：無，裏のり先舗装：無)

2.2.3 破堤要因の推定

(1) 情報・調査による破堤要因の考察

河道内流水による侵食現象は，表のりや高水敷などには変状が見られないことから，この侵食現象が堤体の変状や破堤の要因であった可能

性は低いと判断できる。越水区間において部分的に生じている川裏のり面の表面侵食から，越流水の掃流力により堤体を構成する土粒子が移動したことが推察され，この越水侵食が破堤要因と考えられる。豪雨後の痕跡水位調査から，破堤部付近における越流水深が 32 cm と一番大きい。なお，越水継続時間は水理解析から破堤地点で約 90 分と推定している。堤防の被災誘因に挙げられるモグラ穴は存在するものの，この穴からの漏水，周辺部の侵食は聞き取り，現地調査で確認されなかったことから，破堤要因の可能性は低い。JR 北陸本線から上流では局所的に裏のり肩から鉛直にえぐられた崩壊が生じており，この被災形状から越水侵食とこれに伴うすべり破壊，崩壊が発生したと思われ，破堤要因の可能性がある。JR 北陸本線から上流は，堤体地盤が砂質土主体であることが特徴であり，粘性土と比較してこの被災の可能性が高いと考えられる。破堤部より下流は堤防天端にアスファルト舗装が施されており，未舗装部と比較すると，未舗装部における被災の方が大きい。

(2) 越水洗掘破壊に対する検討

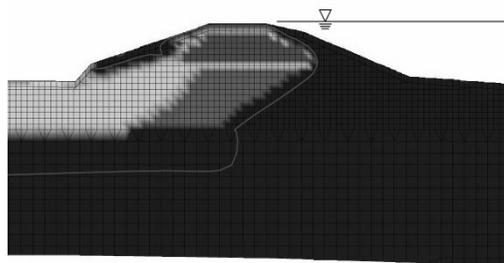
「河川堤防設計指針（第 3 稿），平成 12 年 6 月」および「越水に対する堤防強化設計に手引き（案），平成 10 年 10 月」に準じて，越水洗掘による変状の可能性について検討を行った。本検討は，痕跡水位が確認された 4.0 km，4.2 km，4.6 km，4.8 km 地点における越水深を外力条件として，越流区間における堤防状況（表面材料：アスファルト，張り芝，裸地），堤防構造（のり面の傾斜角）を踏まえ，生じるせん断力 τ とその部位のせん断耐力 τ_a とを比較することで照査した。照査にあたっては，天端，裏のり面，裏のり先の各部位で行った。なお，裏のり先における照査は，越流水による衝撃力は考慮していない。検討結果は省略するが，天端部ではアスファルト舗装の有無に関わらず許容せん断力を満足することから，越水洗掘は発生しないと判断できる。しかしながら，上流部では被度が低い箇所もあることから，許容値に近いせん断力となっている。一方，裏のり面部は，一部被度

が大きい箇所では許容値を満足するが、せん断力は許容値を大きく上回り越水深に関わらず越水洗掘が生じた可能性が高いと考えられる。裏のり先は、越水深が 30 cm を超える区間において未舗装部分は大きく許容せん断力を超え、アスファルト舗装部は若干ではあるが許容値を上回る結果となった。これら照査結果から、裏のり面、裏のり尻部においては越水洗掘の可能性があると思われる。

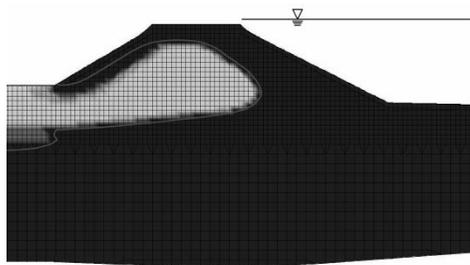
(3) 浸透破壊に対する検討

①飽和・不飽和浸透流解析による堤体内浸潤面の把握

堤体内浸透水を飽和・不飽和浸透流解析を用い想定し、この浸透水によるすべり破壊、浸食(パイピング)破壊に対する安定性を検討した。浸透流解析は、検討対象断面を鉛直 2 次元にモデル化し降雨・洪水の経時変化毎に非定常解析を実施した。越水時の解析結果のみを図 2-7 に示



a) 4.1 km (粘性土, 天端舗装あり)



b) 4.7 km (砂質土, 天端舗装なし)

図 2-7 飽和・不飽和浸透流解析結果 (越水時)

す。なお、越水時における解析は、越水による浸透のみを外力として作用させたもので、越水による洗掘は考慮していない。堤体土質の違いに着目すると、4.1 km は粘性土が主体となっていることから、初期の飽和度は高いものの、越水により浸潤面は裏のり面にごくわずか現れているだけである。一方、他の断面では堤防構造による違いはあるものの、裏のり面に浸潤面が形成されている。この浸潤面の形成による裏のり部の飽和域の増大により堤体が強度低下すると考えられる。砂質土主体の断面(4.7 km)において堤防天端条件の違いに着目すると、4.7 km はアスファルト舗装が施されていないことから、降雨・越水による天端付近の飽和域は広がり、河道内水位からの浸透域を助長し、裏のり表層部に浸潤域が及んでいる。この裏のりの浸潤域は、のり尻から上昇するものでなく、表層部から形成されており堤体裏のり尻から堤体中央に不飽和域が残るような状態となっていることが特徴的である。裏のり部の浸潤域では、局所的な崩壊が各所にあったように、この浸潤域の強度低下による堤防破壊が推察できる。

②円弧すべり計算によるすべり破壊に対する検討

現地被災調査において、越水による浸食と局所的なすべり破壊と考えられる堤防崩壊が木田橋(4.4 km 付近)から上流で数カ所確認された。浸透流解析で得られた堤体内浸潤面を簡便分割法による円弧すべり計算に適用し、堤内側での最小すべり安全率を算出した。堤内のり面に着目し、もっとも最小すべり安全率が低い時の結果を図 2-8 に示す。河川水位が堤防天端到達時(越水前)では、堤体内浸透水が堤内側に達していないことから、現状における堤防の最小すべり安全率となる。各検討断面で堤防形状、地盤特性は異なるものの最小すべり安全率は 1.0 以上となり、堤内側のり面においてすべり破壊が発生した可能性は低いと考えられる。一方、越水深最大時頃では、堤体土質が砂質土主体で天端にアスファルト舗装が施されていない 4.7 km, 4.8 km 断面は、前述したように浸潤域が堤防裏のり表層部に浸透していることから、最小

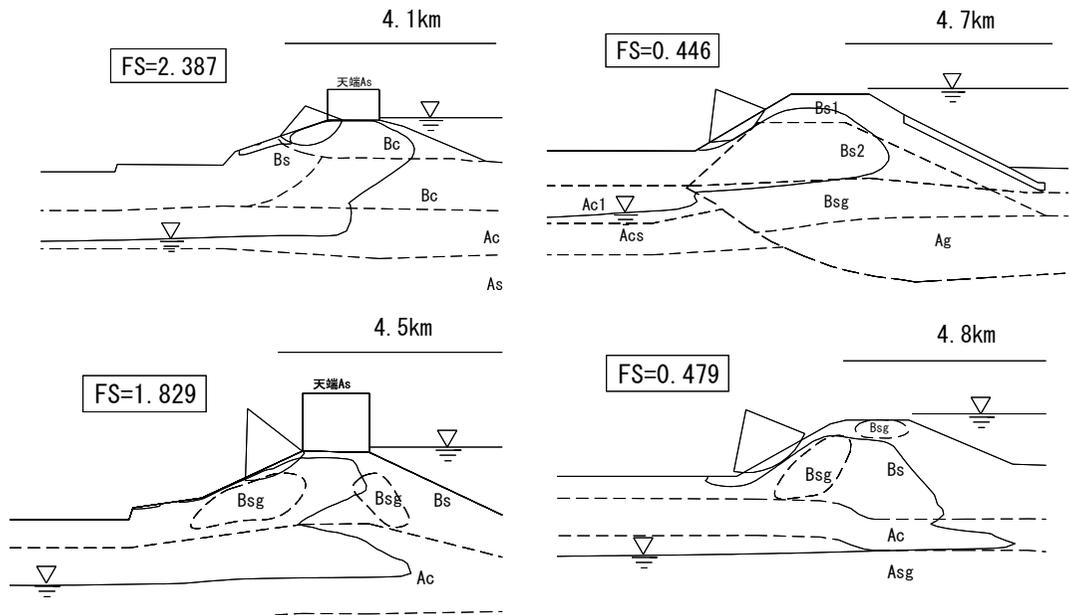


図 2-8 円弧すべり計算結果図 (越流水深最大時：裏のり安全率最小時)

すべり安全率は 1.0 を下回る結果となっており、本豪雨で堤防裏のりにおいてすべり破壊の発生した可能性は高いと推察できる。現地調査において、のり尻付近の崩壊が生じたことが確認されている。

③限界動水勾配によるパイピング破壊に対する検討

パイピングは浸透水 (浸透力) により土粒子が流失し、地盤内にパイプ状の孔や水みちができる現象であり、一部でパイピングが発生すると、その部分での動水勾配が大きくなり、それによって浸透力が増大し、さらにパイピングが助長、進行するような進行性破壊の形態となる。浸透流解析から得られる動水勾配と各地盤における限界動水勾配との比で安全性を検討した。この結果、各断面とも限界動水勾配/動水勾配は 1 以上となり、パイピングの発生の可能性は低いと考えられる。

④土 - 水連成地盤解析による堤体崩壊に対する検討

前述の飽和・不飽和浸透流解析における水圧

と地盤の応力解析における間隙水圧とを連成させる土 - 水連成地盤解析を行った。降雨・洪水による堤体内の間隙水圧の変動に対する地盤の有効応力の挙動を詳細に把握するものである。解析で得られたせん断応力と Mohr-Coulomb 破壊基準により各要素における安全率 (せん断強度/せん断応力) を算出した。この安全率が 1.0 を下回る部位を脆弱域とする。越水による浸透のみを外力として作用させたもので、越水による洗掘は考慮していない。この結果より、粘性土主体である 4.1 km では、天端付近の表層部で安全率が 1.0 をやや下回る脆弱な部位があるものの、木田橋上流で確認された崩壊に至るような脆弱域は現れなかった。砂質土主体である 4.5 km, 4.7 km, 4.8 km では、裏のり面で浸潤域が広がっており、安全率が 1.0 を下回るせん断破壊の発生の可能性が高い脆弱域がある。4.7 km は越水による天端付近と裏のり面に 1.0 以下の脆弱な部位が広く現れており、この脆弱域が広がっている。被災状況と解析結果が概ね一致している。

(4) まとめ

天端アスファルト舗装の有無は、浸透破壊に対し大きく作用する要因であることが分かった。また、堤体土質が砂層主体である場合、降雨・洪水の継続時間によっては堤体内浸潤域が増大し、破堤にいたる可能性も考えられる。検討結果から浸透による脆弱域は想定されたものの、この脆弱域の範囲を考えた場合、天端が崩壊するほどではないことから、浸透破壊だけで破堤に至ったとは考えにくい。破堤部は、天端にアスファルト舗装が施されていないことから、降雨、越水による天端からの浸透は川表のり面からの浸透水を助長し、浸潤域を広げ脆弱な部位が拡大されたと推察できる。この浸潤状態におけるすべり破壊を考えると、表層で薄層となるもののすべり破壊を生じる可能性がある。脆弱域も裏のり付近に生じることから、局所的な崩壊の可能性もある。これら検討結果から、越水による洗掘と浸透による堤体の脆弱性等が堤体表層部を脆弱化させ洗掘と同時にすべり破壊、崩落が発生し、これらが複合的に進行することにより破堤に至った可能性があると考えられる。

2.3 河川上流部の被害

上流部の河川構造物被害について、被害箇所、降雨強度や累積降雨量、表層地質などとの関係について詳細な検討を行っているが、護岸損壊についてのみ示す。ここでは、護岸の損壊位置、形態ならびに原因について整理する。上流部においては、ほとんどの河川の河道が蛇行しており、そこを水が流下している。一般に、護岸の損壊箇所は河川の湾曲部で多く見られる。図2-9は、今回の豪雨による護岸・堤防の損壊場所、損壊の位置、外岸あるいは内岸の損壊位置における損壊原因について、それぞれの割合をまとめたものである。元データは、福井県の応急復旧工事の事前資料である。今回の調査で分類した護岸、堤防の被災原因については、被災河川の断面図からの推測であり、実際とは異なる場合もあることをあらかじめ注意されたい。事前資料の河川断面図により、洪水時の水位が護岸

の天端高さを上回っていたと記録されている箇所については、天端破壊が主因になると判断している。しかし、天端破壊をきっかけにして側岸侵食を受けて被災したと思われる事例も数多くあり、その一方で、河床洗掘をきっかけとして側岸侵食を受けたと考えられる被災事例も多い。このように複合的な被災要因が考えられる事例については、2つ以上の要因を重複してカウントしているため、述べ被災要因数は、被災事例数よりもかなり多く、側岸侵食が占める割合は特に多くなっていることに注意する。平面図上の河川の損壊箇所については、図2-10のように区分しているが、入口部Aから湾曲部B、湾曲部Bから出口部Cというように、損壊位置が広く跨っている場合には、やはり重複してカウントしている。図2-9から以下の事項がわかる。被災した護岸・堤防の50%は湾曲部の外岸であり、内岸の被害は33%、直線部は17%となっており、外岸、内岸をあわせた湾曲部の被害が8割以上となっている。湾曲部の外岸の被害の62%が、出口部Cの被害であり、入口部Aの被害は15%に留まる。湾曲部の内岸の被害においては、入口部Aが44%、湾曲部Bが40%であり、出口部Cの被害は16%に留まる。外岸・内岸の被害原因を位置別にまとめた6つの図を見ると、全般的に見て、側岸侵食による破壊が5割~7割を占める。側岸侵食以外の被害原因を見ると、外岸では河床洗掘の割合が高く、内岸では天端破壊の割合が大きい。入口部Aの被害原因において、外岸・内岸に共通して天端破壊の割合が大きくなる。湾曲部Bの被害原因は、外岸・内岸に共通して側岸侵食が7割を占め、入口部、出口部と比べて最も大きい。さらに詳しく見ると、外岸では河床洗掘→側岸侵食、内岸では天端破壊→側岸侵食、となってケースが多いと考えられる。直線部の被害原因は、天端破壊が占める割合が比較的多い。

福井豪雨で被害を受けた上流域の河川は、谷底平野を流れる河川であり、ほとんどの河道が掘り込みとなっている。そのため今回の集中豪雨により急激に河川水位が上昇し、流下しきれ

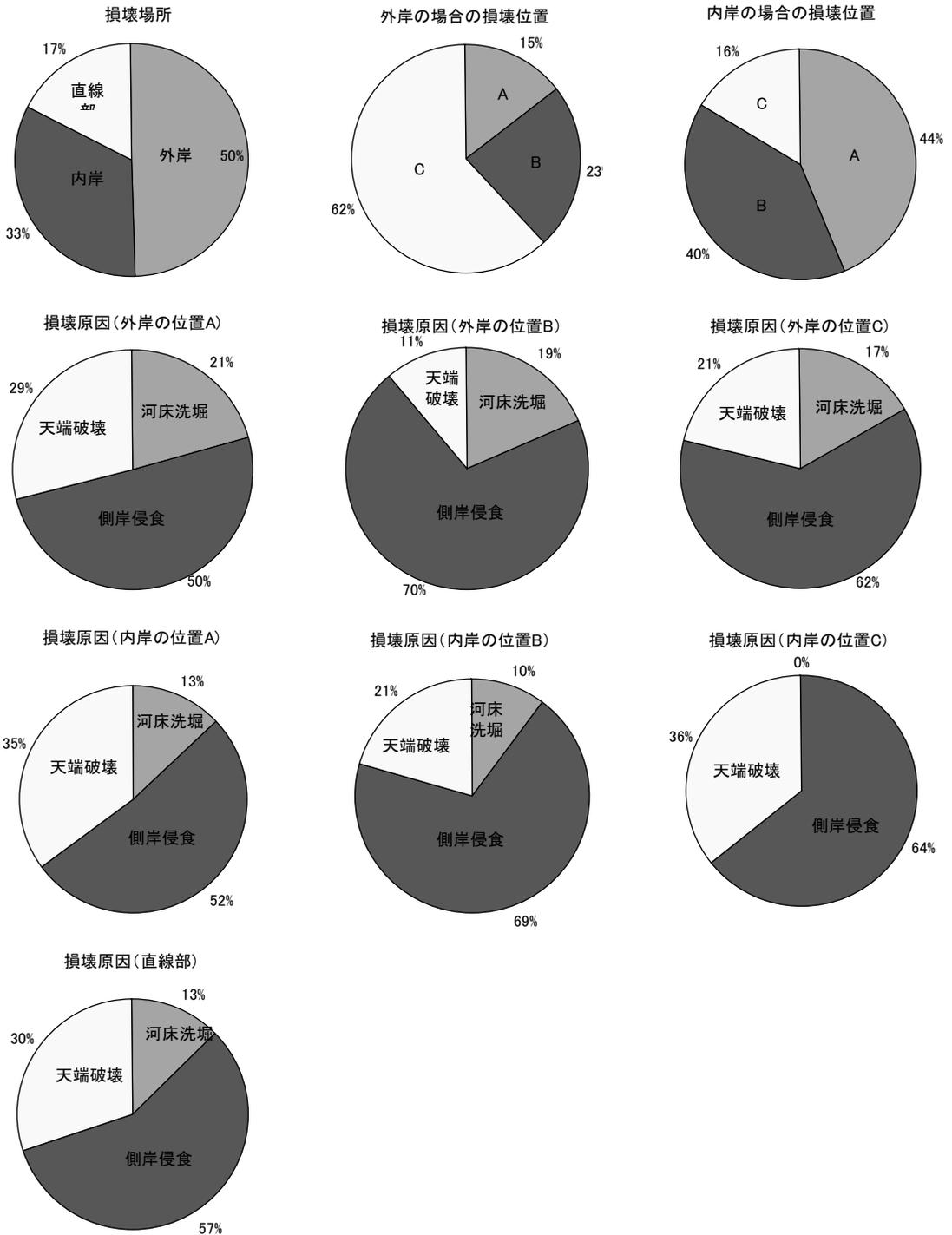


図 2-9 護岸・堤防の被災状況の調査結果

なくなった洪水が広い範囲であふれ出した⁴⁾。護岸の破壊原因の分類において、天端破壊としているものは、事前資料の断面図から判断し、溢水により天端が破壊され、背面土砂が抜け出した形式で護岸が損壊を受けているものである。天端破壊と判断したほとんどの事例において、側岸侵食との複合作用により破壊したと判断している。今回のように、河川流域のほとんどの箇所まで溢水している場合には、このように天端破壊の割合が高くなると考えられる。特に、美山地区のように河川が大きく蛇行しているところにおいては、河道外にも濁流が流れているために、特に湾曲部の内岸においては、護岸が天端から引きはがされるような破壊形態となり、天端破壊の割合が高くなったと考えられる。一般に、湾曲部の外岸では、2次流の効果により

深堀れが生じ河床洗堀が発生することが多い⁶⁾。今回の被災原因を見ても、外岸部のどの位置においても河床洗堀による被災の割合が2割ほどあり、内岸に比べるとその割合は大きい。一方、湾曲部の流速分布は、蛇行の程度によって2次流効果のため外岸側の流速が大きくなる場合や、湾曲部の出口の外岸側で不連続に流速が増大する場合がある。逆に内岸側では、湾曲の入口から中央までの流速が外岸より大きく、また湾曲に沿った流速勾配も大きくなる場合が多い。今回の被災事例では、外岸では出口付近の被災数が6割を占め、内岸では逆に入口から中央までの被災が8割を占めている結果となっており、この事例を鑑みれば、河川の氾濫流の大きな流速または流速勾配が護岸損壊に強い影響を及ぼしていたと考えられる。図2-11に個々の湾曲部の角度と被災の割合を示す。湾曲角度の測定は、図に示すように流線方向に沿って、湾曲部を挟んで流線がほぼ直線になる部分を延長した2本の直線の角度とした。10度以下には直線部での被災箇所も入れてある。湾曲角度50度までは、角度が大きくなるほど被災事例の割合が大きくなっていく。それ以上になると、被災の有無に関係なく、それほど大きく湾曲している箇所自体が減少するために、割合も減少していきとされる。本来、湾曲角度毎の被災した部分と被災していない部分の割合を調査すべきであるが、今回対象としている中小河川数は非常に多

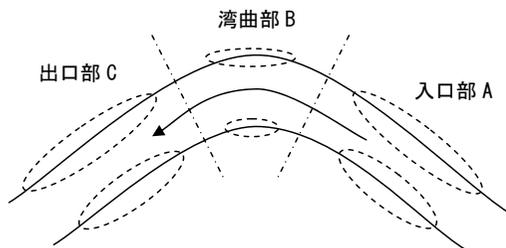


図2-10 湾曲部の分類

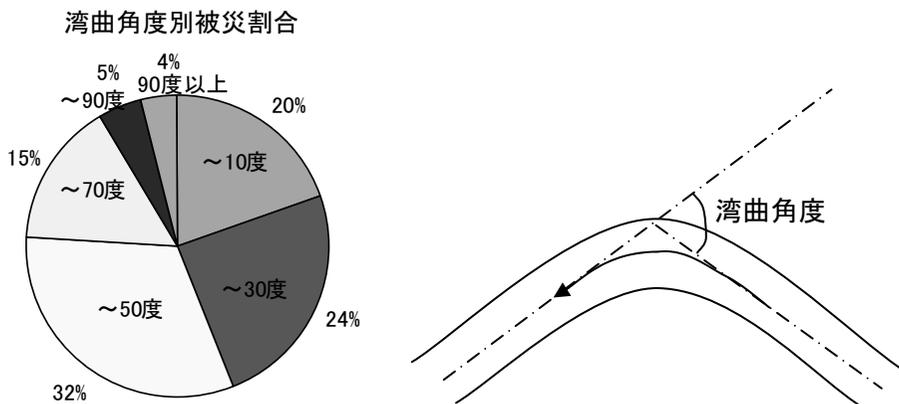


図2-11 湾曲角度別被災割合

く、被災していない部分の湾曲角度まで把握することは不可能に近いため実施していない。しかし、1974年7月の台風8号および梅雨前線による東瀬戸地区の豪雨災害の際に、京都大学の調査グループが淡路島の新川ならびに宝珠川の全河道を対象に湾曲角度と被災率について詳細に調査している⁵⁾。それによると、平均の湾曲角度がそれほど大きくない新川においては、湾曲角度が大きくなるほど被災率が高く、特に外岸部で被災率が高かったことが確かめられている。一方、平均湾曲角度が新川より大きな宝珠川においては、湾曲角度と被災率との明確な相関は見ることができなかったものの、被災率自体は新川に比べて明らかに高く、急な湾曲が多い河川ほど被災率が高まることが示されている。今回の福井豪雨で被災した上流部の河川は湾曲部も多く、そのことが被災数の増加につながっているとも考えられる。

2.4 道路での斜面崩壊

2.4.1 地形・地質特性の概要^{3),4)}

越前中央山地周辺で発生した崩壊を対象とした。図2-12に越前中央山地を中心とした地域の地質図を示す。越前中央山地には、先第三系として、船津花崗岩（古期花崗岩）、手取層群、足羽層群の礫・砂・泥岩が分布し、その上部を新第三紀の糸生累層の安山岩類が広く覆っている。平野と山地の境界には洪積世の段丘堆積物、洪積世および沖積世の崖錐堆積物も分布している。今回の崩壊の大部分は糸生累層の分布地域で発生している。糸生累層はいわゆるグリーンタフであり、熱水変質の影響で、脆弱化しやすくなっている場合がある。厚い風化帯を形成することが多く、風化帯の厚みが10mを超える場合も稀ではない。また、越前中央山地にはリニアメントが多数認められる。リニアメント周辺の緩傾斜面を急勾配で切土した場所では、一般的な豪雨でも、崩壊が発生している。

2.4.2 斜面崩壊調査結果

なお、斜面、地層、地形の各区分、斜面形状、

崩壊前の勾配、植生の種類、崩壊深さ、崩壊幅の合計8項目について、図2-13のような頻度分布図を作成した。各パターン毎の分布図とともに、左端には、全体の分布図を示す。表中の斜面区分の人工は切土、盛土、構造物などを意味しており、植生状況の密/疎は滑落崖周辺の状態である。また、斜面勾配や崩壊規模は概略の値であり、湧水状況は斜面調査時のものである。さらに、斜面形状は、調査時の目視観測から判断している。地形区分の丘陵のうち、崖錐性堆積物が厚く分布している場合は「丘陵（崖錐）」とし、それ以外の丘陵地では「丘陵（風化土）」とした。崩壊パターンとしては、図2-14のようにパターン1（風化土の崩壊）、パターン2（崖錐の崩壊）、パターン3（段丘堆積物の崩壊）、パターン4（吹付け工の剥落）の4種類の形式が考えられる。植生の種類については、杉、松、桧などを針葉樹として統一した。さらに、竹と杉が分布する箇所は「竹・針」、竹のみが分布するところは「竹」として整理した。調査結果の要約は以下の通りである。1) 斜面の区分について：今回調査対象とした斜面崩壊は、ほとんどが自然斜面で発生していた。人工斜面では構造物や地質に応じた安定勾配が確保されており、なおかつ不安定な表層土塊の除去や地表水についての対策が既に行われているため被災事例が少なかったものと考えられる。2) 地層・地形の区分について：風化土の崩壊と、崖錐の崩壊がほとんどであった。風化土の崩壊の中では、安山岩質の地域が殆んどであった。当該地域には、花崗岩分布地域もあるが、所謂、真砂土の表層崩壊と考えられる事例は認められなかった。美山地域の花崗岩は足羽川の兩岸の限られた地区に分布している。簡単に言えば、足羽川兩岸で標高は低い、傾斜はきつい所に分布し、一方安山岩は標高が高い、傾斜は緩いところに分布している。そのため、風化した花崗岩等は常日頃浸食運搬されており、今回の水害で吐き出す物がなかったことが原因かも知れない。安山岩は、溜まりに溜まったものが今回一気に排出されたと考えられる⁶⁾。3) 斜面形



図 2-12 調査箇所と周辺の地質図

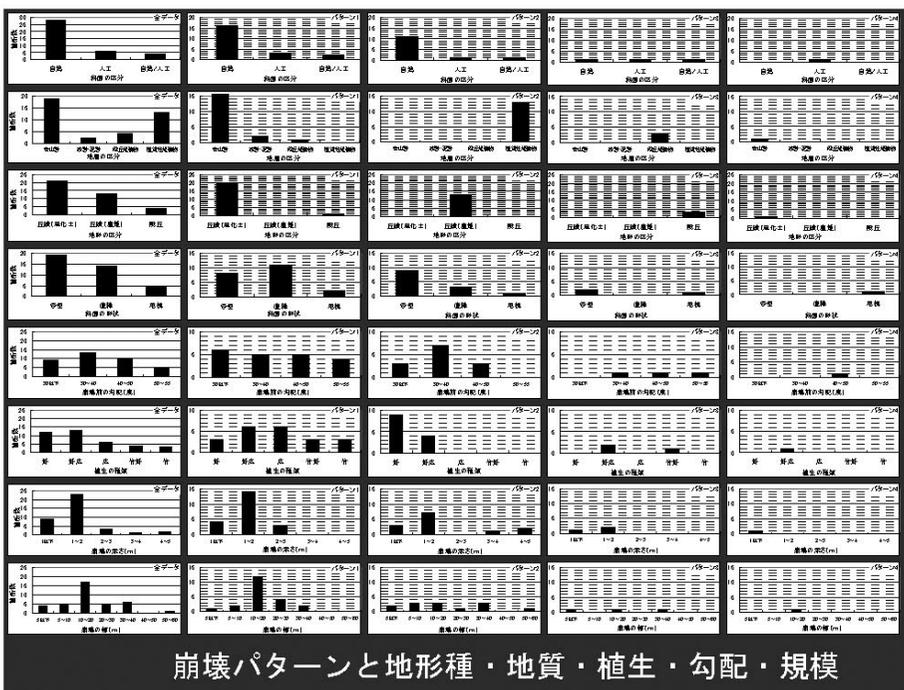


図 2-13 崩壊パターンと要因

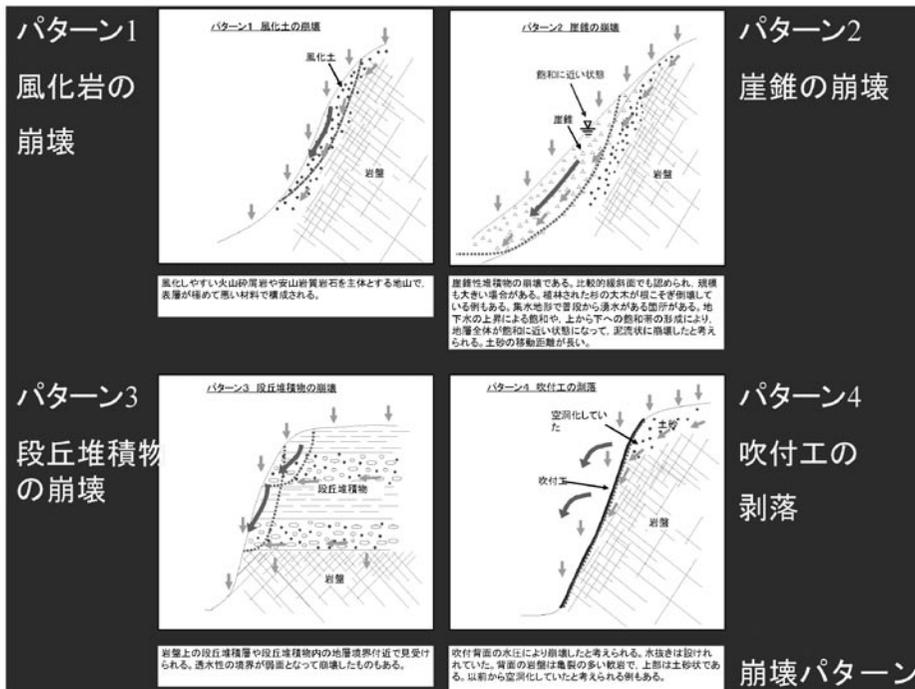


図 2-14 崩壊パターン

状について：崩壊斜面の形状としては谷型斜面での崩壊が最も多く、直線型、尾根型の順になっている。一般に、豪雨が誘因の斜面災害は、集水地形で発生しやすいと考えられているため、その傾向を反映した結果だと考えられる。崩壊パターン別で比較すると、風化土の崩壊は斜面形状が谷型、直線型に拘らず発生しているが、崖錐の崩壊は谷型地形に多く生じている。4) 斜面勾配について：風化土の崩壊は、斜面勾配に関係なく発生しているのに対して、崖錐の崩壊は、相対的にやや緩勾配でも発生している傾向がある。崖錐は風化土と比較して、堆積勾配が緩い場合が多いためと考えられる。5) 崩壊幅・崩壊深さについて：風化土の崩壊は崩壊幅が10～20m、崩壊深さが2m以下に集中しているのに対して、崖錐の崩壊は、崩壊幅・崩壊深さにバラツキがあるとともに、崩壊深さ3m以上の比較的深い崩壊も発生している。本来、岩盤の透水性は低いですが、地表面下2m付近までは根系

などにより空隙が多く、比較的透水性が良い状況であることから、地表水が浸透しやすく豪雨により飽和帯が形成された結果として崩壊深さは2m以下に集中しているのに対して、崖錐が分布する箇所では透水性が良かったために、崖錐の層厚に対応して崩壊層厚も大きくなったと考えられる。6) 植生について：風化土の崩壊は樹種とは関係なく発生しているのに対して、崖錐の崩壊は針葉樹、あるいは、針葉樹と広葉樹の混交林で発生している。植生との明確な因果関係は認められなかった。

上記の38箇所の斜面崩壊調査箇所の中で崩壊時間の特定を行った。調査箇所の大部分が、近隣に人家が存在しない場所であるため、発生時刻の特定について具体的に話が聞ける地点6箇所を選定して、聞き取り調査を行った。図 2-15は6箇所の調査地点の比較的近傍に位置している、福井市城戸内町の雨量データに各々の崩壊時間をプロットしたものである。今回の豪雨に

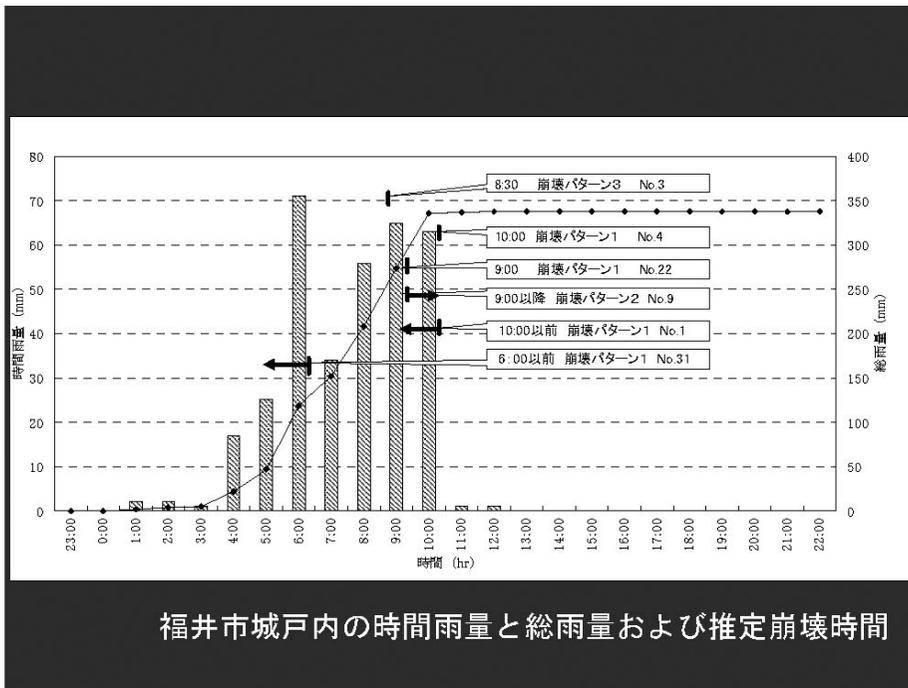


図 2-15 崩壊時間

よる斜面崩壊では、先行雨量による影響は殆んど考えられず、短時間の集中豪雨による地表面からの浸透水に起因した崩壊と考えられる。また、崩壊時間の調査から、6箇所中1箇所を除き、総降雨量が250 mmを越えた頃以降に崩壊が発生したと推察される。

2.5 土石流被害

2.5.1 土石流発生地点の地形、地質、植生

福井県は、土石流危険渓流カルテを作成している。カルテの対象となる土石流危険渓流は、保全対象の種類と数により、1) 土石流危険渓流Ⅰ：保全人家5戸以上、または官公署、学校、病院、駅、発電所などのある場所に流入する渓流、2) 土石流危険渓流Ⅱ：保全人家が1戸以上5戸未満の場所に流入する渓流、3) 土石流危険渓流Ⅲ：現在のところ保全人家はないが、今後住宅などの新築の可能性のある渓流（原則として都市計画区域内）に分類されている。福井県の場合、土石流危険渓流Ⅰが2002箇所、Ⅱが629箇所、Ⅲが404箇所、全体で約3000箇所が指定されている。これらの渓流に関するカルテには、1) 流域面積及び河床勾配などの渓流概要、2) 氾濫区域の面積、勾配、保全対象などの危険区域の情報、3) 渓床と周辺山腹の性状、4) 砂防施設、5) 避難などに関するデータが掲載されている。福井県の土石流カルテと土石流被害報告書のデータを基に、土石流発生地点に地形、地質や植生から特定の条件で土石流が発生したかどうかの検討を行った。図2-16～20の棒グラフは福井県嶺北地域の土石流危険渓流のデータに対応しており、折れ線グラフは土石流発生地点の対応するデータである。図2-16の土石流危険渓流の河床平均勾配を見ると、10～25度の範囲に存在し、15度付近にピークを持つ正規分布的な分布を持つが、土石流発生渓流ではピーク勾配が20度付近にあり、やや大きい。両者に大きな隔たりは認められない。図2-17は、氾

合、土石流危険渓流Ⅰが2002箇所、Ⅱが629箇所、Ⅲが404箇所、全体で約3000箇所が指定されている。これらの渓流に関するカルテには、1) 流域面積及び河床勾配などの渓流概要、2) 氾濫区域の面積、勾配、保全対象などの危険区域の情報、3) 渓床と周辺山腹の性状、4) 砂防施設、5) 避難などに関するデータが掲載されている。福井県の土石流カルテと土石流被害報告書のデータを基に、土石流発生地点に地形、地質や植生から特定の条件で土石流が発生したかどうかの検討を行った。図2-16～20の棒グラフは福井県嶺北地域の土石流危険渓流のデータに対応しており、折れ線グラフは土石流発生地点の対応するデータである。図2-16の土石流危険渓流の河床平均勾配を見ると、10～25度の範囲に存在し、15度付近にピークを持つ正規分布的な分布を持つが、土石流発生渓流ではピーク勾配が20度付近にあり、やや大きい。両者に大きな隔たりは認められない。図2-17は、氾

濫域の氾濫開始勾配と、終息域の勾配を示している。危険渓流の氾濫開始点の勾配は、4～16度と比較的広い範囲にあり、16度付近と10度付近に2つのピークがある一方、収束点の勾配は、0～4度の狭い範囲で、特に4度付近に集中した分布であることが読み取れる。氾濫域の開始-収束点の勾配についても、土石流発生地点と危険渓流で大きな相違は認められない。図 2-18 は溪床の形状と堆積土の種類を、図 2-19 は流域の主な地質を示している。両者ともに、土石流発生地点と危険渓流の分布傾向は同様であり、特定の地形や土質での土石流の発生の多少は見出せない。次に、土石流と周辺の植生に関して検討を行う。図 2-20 は、溪床周辺の植生である。棒グラフの土石流危険渓流全体の分布を見ると、高木、草本、植生なしの順であるが、土石流発生地点では、植生なしが有意に多いことがわかる。溪床周辺の植生がないところで、土石流発生数が多いということは、その溪流堆積物の不安定性を示すものであり、過去にも溪床の移動があったところで、今回の土石流が多く発生していると推論できる。図 2-21 は、横軸を土石流発生地点の計画流出土砂量、縦軸を実際の流出土砂量としたものであり、溪流周辺の植生ごとにプロットしている。この植生区分は、福井県の植生分布図から、土石流発生地点

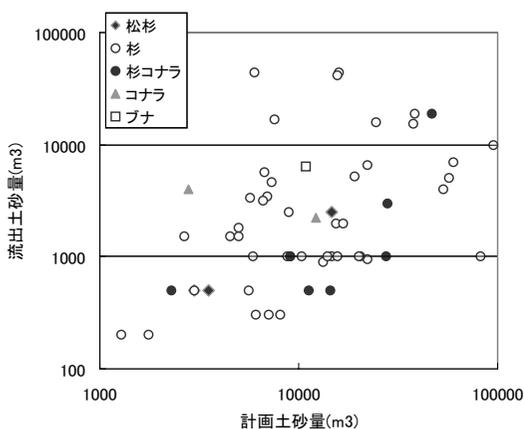


図 2-21 流域の植生と流出土砂量

の溪流周辺に対応する植生を読み取ったものであり、その大半は人工林である杉であることがわかる。同図より、松・杉と杉・コナラについては、計画土砂に対する流出土砂の割合は少なめであり、データ数が少ないもののコナラやブナの流出割合は大きめである。しかしながら、これらのデータから、特定の植生で土砂流出量の大小を結論付けることは困難である。以上、嶺北地域の土石流危険渓流の地形、地質および植生などの分布と、土石流発生地点の分布の比較からは、溪床周辺の植生を除いて特定の傾向は認められなかった。流域面積と河床勾配、氾濫区域面積などの相関も検討したが、ここでは省略する。最後に土石流の発生時刻と雨量の関係を検討する。図 2-22～24 は、福井市、美山町および鯖江市の土石流発生地点の累積雨量と雨量強度の関係、いわゆるスネーク曲線である。アンケートにおいて、土石流発生時刻の回答を地域ごとの平均を、各溪流の土石流発生時刻とし、その時刻の雨量を図中の矢印で示す。図より、福井市と美山町では、60 mm/hr 前後の強い降雨の後で、40 mm/hr 前後の雨が継続し、累積雨量が 100 mm 前後を越えたところで土石流が発生している。一方、鯖江市においては、やや雨量強度が小さく、単調に累積雨量が増加し、やはり 100 mm を超えたときに土石流の発生をみていることがわかる。図 2-25 のプロットは、図 2-22～24 の矢印、すなわち土石流発生時刻の累積雨量と雨量強度をまとめて示したものである。なお、図中の○は、アンケートの平均として算出した土石流発生時刻に最も近い、正時雨量を、●は発生時刻に相当する雨量を、前後の正時雨量の線形近似で推定した雨量に対応している。この図から、今回の豪雨による土石流は、累積雨量が 100 mm を超え、かつ 30 mm/hr 以上の降雨強度があった時に発生していたことが明らかである。図中の縦横の直線は、消防庁による土石流警戒および避難基準値を示している。この基準によれば、前日までに降雨がなかった場合には、日雨量が 100 mm を越えた時が第一警戒態勢（警戒巡視および住民への広報実施）、

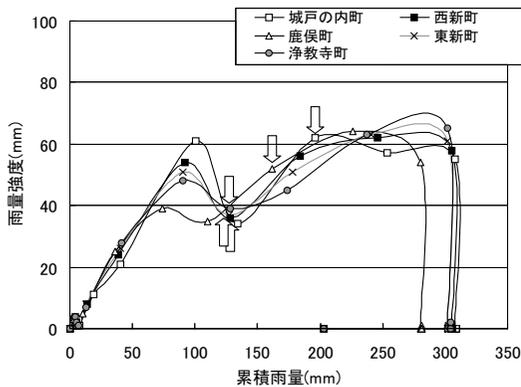


図 2-22 累積雨量 - 強度関係 (福井)

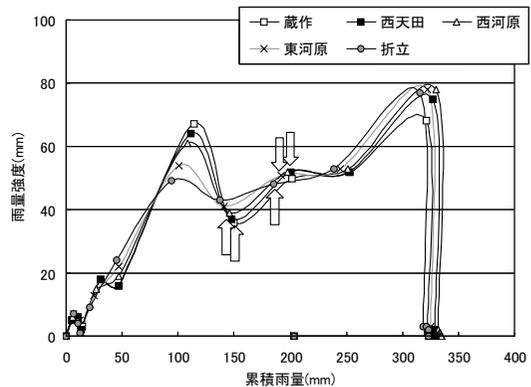


図 2-23 累積雨量 - 強度関係 (美山)

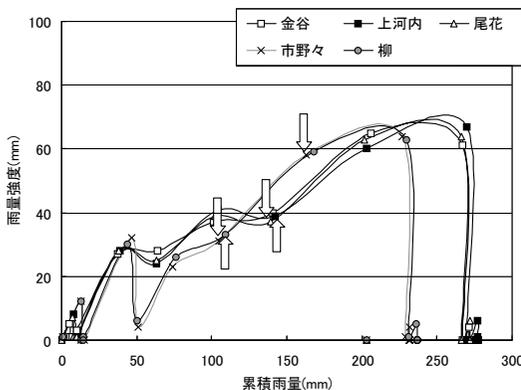


図 2-24 累積雨量 - 強度関係 (鯖江)

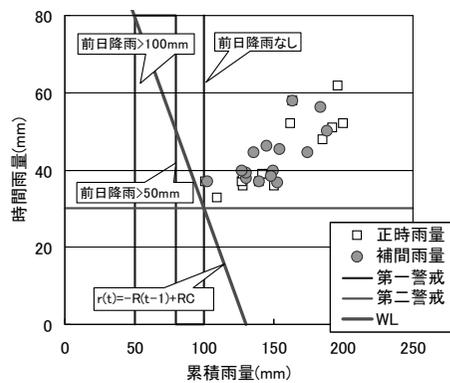


図 2-25 避難・警戒雨量基準

日雨量が 100 mm を越え、かつ時間雨量 30 mm 程度の強雨が降り始めた時が第 2 警戒態勢（避難準備の広報および避難指示の実施）をとる事となっている。また、図中の $r(t)$ と示した直線は、建設省指針の土石流発生危険基準線 (CL) を、累積雨量 100 mm, 降雨強度 30 mm/hr を通るように設定したものである。今回の土石流は、以上二つのいずれの基準によっても警戒が必要とされる範囲に収まっており、少なくとも降雨条件から見て、最初の土石流の発生は例外的なものでなかったといえる。ただし、図 2-22 ~ 24 に示したように、最初の土石流が発生した後も、それ以前より強い豪雨が継続し、基準の 2 倍程度の雨量強度が数時間続き、累積雨量に

ついても基準の 3 倍程度の 300 mm 前後に達しており、土石流が継続的、波状的に発生し、多量の土砂と洪水を供給し、大きな被害を招いた可能性がある。

2.6 道路・鉄道の基礎の被害

基礎の被害は次のようにまとめられる。

i) 道路被害の特徴：地形・地質の特徴や機能被害の概要の検討結果は省略し、項目ごとの特徴を示す。河川近傍では、河川曲線部の外岸側に被害が集中しており、流水により道路護岸の崩壊や護岸背後地盤の洗掘などが発生し、それに伴い、路肩や舗装面が流失したと考えられる(例：写真 2-1)。山間部では、谷地形に位置する盛土

した道路に被害が集中しており、谷沿いに発生した流水により、道路基礎地盤が崩壊したと考えられる（例：写真2-2）。

ii) 道路橋の被害の特徴：道路橋と人道橋で、落橋に至る橋梁被害が多数発生したが、主要幹線道路における落橋は発生しなかったため、道路交通への影響は重大ではなかった。橋梁の被害形態を、被災後に有する橋の性能を基に、次の4つに分類した。①上部構造への流出物の衝突および付着、②下部構造の基礎地盤の洗掘、③下部構造の崩壊による上部構造の落下、上部構

造の流失（例：写真2-3）。これらの被害形態の差は、洪水流の水深や流速によると思われるが、橋台取付け位置や支川合流位置などの流れの不連続箇所、河川形状に起因する水衝部において、被災程度が顕著になることが分かった。

iii) 鉄道基礎：被害形態としては、レールの移動、バラストの流失などの軌道の被害と、それを支持する盛土および擁壁の崩壊に分類される。特徴的な点は、踏切箇所において、レール周辺への土砂の堆積や、周囲にあるバラストの流失および盛土擁壁の崩壊などが多数発生していたこ

道路被害(通行止め箇所)

国道157号（大野中島）

被災位置：河川曲線部の外岸側

被災形態：護岸が破壊され盛土道路が完全に流出。



(写真提供：福井県河川課)

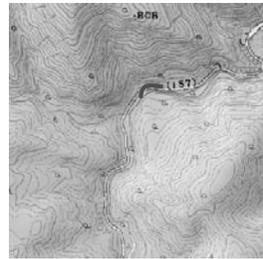


写真 2-1 道路被害の例（その1）

道路被害(山間部)

松ヶ谷宝慶寺大野線（池田町稗田）

被災位置：谷筋斜面の盛土道路
被災形態：異常な流水が排水路に集中



被災位置：河川上流の山間部
被災形態：転石などの衝撃による破壊。



写真 2-2 道路被害の例（その2）

④上部構造の流失



コンクリート製桁の流出
(河原橋)

コンクリート製桁の流出
(田尻新橋)



写真 2-3 道路橋梁の被害例

レールの移動(品ヶ瀬)



写真 2-4 鉄道の被害例

とである。同様の被害は、盛土下部に設置されたトンネルや排水路などのカルバート周囲でも発生していた。洪水時に踏切やカルバートが水の通り道となり、激しい水流を引き起こしたことによると推測される。この他、大きなレール移動が数箇所の平地で発生しており、激しい水流とともに、木製枕木への浮力の影響も考えられる(例:写真2-4)。

iv) 鉄道橋の被害: 対象地域にある JR 越美北線の 7 橋梁のうち, 5 橋が落橋した。落橋状況は, 基礎ごとの転倒と橋脚の破断からなる(例:写真2-5)。想定される支持地盤の相違による破壊形状の違いは確認されず, 橋長や径間数による被災程度の違いも認められなかった。落橋した橋梁は橋桁または桁上部まで河川水位が到達したと推定されるが, 落橋しなかった橋梁は, 河

第5足羽川橋梁



P2橋脚の転倒状況
(基礎底面に
河床堆積物の礫が付着)

P3橋脚破断状況
(基礎との境界部で破断したと推定)



写真 2-5 鉄道橋梁の被害例

川や谷幅が広がりを見せる所に位置しており、河川水位は最高でも橋桁下面までであったと推定される。被災要因の検討方法として、橋桁上面まで水位が到達して流水圧が作用するとして、転倒に関する安定計算と、道路橋示方書に基づく部材断面応力計算を行った。この検討結果から、常時では安定しているが、今回の豪雨のように、桁上部まで増水した場合は、土被り（根入れ）が薄い場合は転倒し、土被りが厚い場合は破断するという結果が得られた。

2.7 あとがき

福井豪雨災害は基本的には河川災害であり、護岸や堤防の被災は河川の線形や河道条件に密接に関連しており、河川工学の見地から被災の原因を十分に検討する必要があることは言うまでもないが、河川構造物の被災事例には道路盛土や擁壁などの人工の土構造物が密接に絡んでいる場合も多く、豪雨災害の減災対策に、地盤工学もまた積極的にかかわってゆくべきであろう。調査団の活動にあたり、地盤工学会本部、地盤工学会関西支部、同福井地域地盤研究会の支援を得た。また、現地調査や資料提供などで多大の御支援と御助力をいただいた国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所、同足羽川

ダム工事事務所、福井県土木部、福井地方気象台、西日本旅客鉄道（株）金沢支社、福井県建設技術公社、福井県平成 16 年 7 月福井豪雨足羽川洪水災害調査対策検討会、九頭竜川流域委員会の方々に感謝の意を表する。調査団の活動を行うにあたり、（財）河川環境管理財団の河川整備基金の助成をいただいたことを記し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 平成 16 年 7 月福井豪雨による地盤災害の緊急調査団：平成 16 年 7 月福井豪雨による地盤災害調査報告書，地盤工学会，2005。
- 2) 平成 16 年 7 月福井豪雨足羽川洪水災害調査対策検討会：足羽川洪水災害調査対策検討報告書，2005。
- 3) 国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所：第 23 回九頭竜川流域委員会資料，2004。
- 4) 細田尚：都市社会工学専攻ニューズレター，No. 1，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻，2005。
- 5) 京都大学・東瀬戸内地区洪水災害研究グループ：東瀬戸内地区の洪水災害，昭和 49 年 7 月集中豪雨災害の調査研究総合報告書，pp.72-92，1975。
- 6) 藤田裕一郎・木下晴由：超過洪水による中小河川の河道災害，京都大学防災研究所年報，第 32 号，B-2，571-593，1989。

- 7) 福井県砂防海岸課:平成 16 年福井豪雨災害報告書, 2004.
- 8) 福井県砂防海岸課:福井県土石流カルテ, 2004.
- 9) 水山高久他:講座(土石流), 土と基礎, 48-5 ~ 49-2, 2001.
- 10) 高橋保:土石流の機構と対策, 近未来社, 2004.

3. 平成 16 年の四国の台風災害の概要と特性

矢田部 龍一*・長谷川 修一**
 ネトラ バンダリー*・岡村 未対*

3.1 まえがき

平成 16 年に四国は甚大な台風被害を被った。徳島県の間接地では日本の日雨量記録を更新した異常豪雨により、極めて規模の大きい斜面崩壊が発生した。また、瀬戸内の寡雨地域を 3 回連続して集中豪雨が襲い、おびただしい数の斜面崩壊と土石流が発生するとともに、中小河川が氾らんした。台風 16 号では高松市などで広範囲に高潮災害が発生した。

被害は、四国全体で死者・行方不明者 61 名、床上・床下浸水延べ 5 万 8 千戸、避難勧告対象延べ 31 万 3 千所帯などである。

今回の台風災害の特徴としては、瀬戸内の寡雨地域を襲った連続台風、大量の流木による中小河川の氾らん助長、中山間地の孤立、主要幹線の寸断、高松市などの瀬戸内地域の高潮災害、異常豪雨による大規模崩壊などがあげられる。

本報告では、四国の台風災害の概要、四国の地形と地質の特性、各台風による主に土砂災害の特性について述べる。

3.2 四国の台風災害の概要

平成 16 年は 6 つの台風が四国に被害をもたらした。以下に台風の概要と被害概要ならびに特徴を示す。

図 3-1 に四国に被害をもたらした台風の進路図を示す。

台風 10 号 (7/30 ~ 8/4)

最低気圧 945 hPa, 暴風域 (最大) 半径 200 km, 強風域 (最大) 半径東 480 km, 西 410 km

徳島県上那賀町, 木沢村に集中豪雨, 那賀川坂州木頭川坂谷で最大時間雨量 97 mm, 累積雨量 1575 mm を記録, 大規模な土石流や大規模崩壊により落橋, 道路損壊
 死者・行方不明者 3 名, 床上浸水 147 戸, 床下浸水 695 戸, 避難勧告 481 所帯

台風 15 号 (8/17 ~ 8/19)

最低気圧 970 hPa, 暴風域 (最大) 半径 130 km, 強風域 (最大) 半径南東 600 km, 北西 370 km

愛媛県新居浜市, 香川県大野原町, 高知県大川村などで土石流災害
 死者・行方不明者 9 名, 床上浸水 661 戸, 床下浸水 1801 戸, 避難勧告 2362 所帯

台風 16 号 (8/27 ~ 8/31)

最低気圧 910 hPa, 暴風域 (最大) 半径 280 km, 強風域 (最大) 半径南 800 km, 北 560 km

香川県高松市などで高潮災害 (高松港で潮位 2.46 m), 愛媛県大洲市で肱川が氾らん
 死者・行方不明者 7 名, 床上浸水 8842 戸, 床下浸水 15108 戸, 避難勧告 31521 所帯

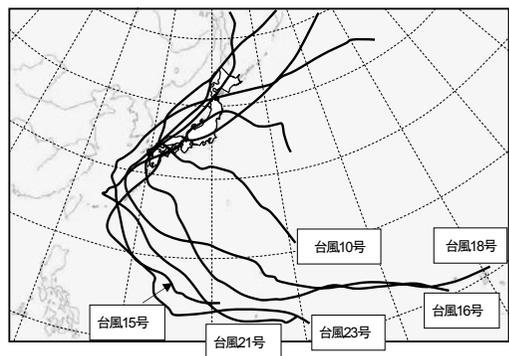


図 3-1 四国に影響した台風の経路

* 愛媛大学工学部
 ** 香川大学工学部

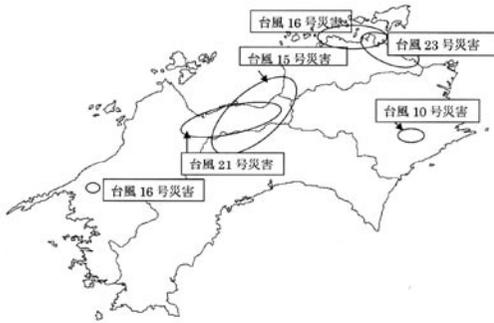


図 3-2 四国の主な台風災害発生地域

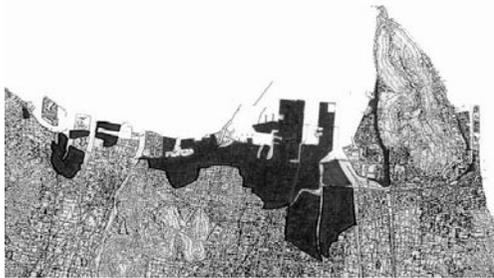


図 3-3 台風 16 号による高松市の高潮浸水地域



図 3-4 四国の地質概略図（長谷川ほか，1989）

台風 18 号 (9/5 ~ 9/7)

最低気圧 925 hPa, 暴風域 (最大) 半径 240 km, 強風域 (最大) 半径東 650 km, 西 560 km

死者・行方不明者 1 名, 床上浸水 110 戸, 床下浸水 766 戸, 避難勧告 71598 所帯

台風 21 号 (9/29 ~ 9/30)

最低気圧 940 hPa, 暴風域 (最大) 半径 170 km, 強風域 (最大) 半径 480 km

愛媛県の西条市から四国中央市にかけて JR 予讃線と幹線道路が寸断, 物流がマヒ
愛媛県西条市で土砂災害により山間地の住民が孤立

死者・行方不明者 14 名, 床上浸水 1819 戸, 床下浸水 4185 戸, 避難勧告 4795 所帯

台風 23 号 (10/20)

最低気圧 940 hPa, 暴風域 (最大) 半径 260 km, 強風域 (最大) 半径東 800 km

室戸市沖で有義波高 13.55 m, 海岸堤防が破壊

香川県東讃地域で土砂災害多発
死者・行方不明者 26 名, 床上浸水 5592 戸, 床下浸水 14963 戸, 避難勧告 202367 所帯

これらの台風による主立った被災地点を図 3-2 に示す。また, 高松市の高潮浸水地域を図 3-3 に示す。

3.3 四国の地形・地質

3.3.1 地形概要

(1) 概要

四国は, 四国山地の脊梁山脈によって南北に分断されているため, 北側の瀬戸内と南側の太平洋岸とで気象条件が大きく異なる。例えば, 年間降水量は, 瀬戸内海側の香川県および愛媛県北部では, 1,100 ~ 1,300 mm であるのに対して, 太平洋側の高知県の平野部では, 2,500 mm 前後, 山間部では 3,500 mm を超えるところがある。また, 中央構造線を境にして, 北側の瀬戸内海側と南側の四国山地側とでは, 地形と山地を構成する岩盤が全く異なっている。このため, 四国の斜面災害は, 瀬戸内海側と四国山地とでは, 大きく様相が異なる。

中央構造線は, 讃岐山脈と徳島平野 (吉野川低地) との境界および四国山地と松山平野 - 伊予灘との境界にほぼ一致し, 東西性の地形境界

を形成している (図 3-4)。中央構造線の南側には佐田岬半島 - 石鎚山脈 - 剣山にかけての四国山地が脊梁山脈を構成している。四国山地は大地起伏山地で、斜面傾斜も $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ と急傾斜が形成されている。

中央構造線の北側には、東から讃岐山脈、新居浜市付近丘陵、高縄山地が形成されている。徳島県と香川県の県境にある讃岐山脈は、最大標高約 1,000 m の定高性のある山地で、傾斜 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の斜面を主体としている。これに対して、新居浜市付近にある丘陵は、200 ~ 250 m 程度の標高で、傾斜 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ の斜面を主体としている。一方、高縄山地は、最大標高 1,200 m 程度の大起伏山地で、傾斜 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の斜面を主体としている。

四国の主な平野としては、道後 (松山) 平野、道前平野 (新居浜、西条平野など)、讃岐平野、徳島平野、高知平野がある。高知平野は物部川の扇状地性の低位段丘を除くと、扇状地は発達していない。これに対して、前三者は瀬戸内海へ流入する河川によって形成された扇状地を主体とする平野である。また徳島平野も讃岐山脈から流下する支流によって形成された扇状地が発達している。このような扇状地の形成は、山地と平野との境界にある活断層と密接に関係している。すなわち、讃岐山地南麓、四国山地の地震では、山地と平野の境界にある中央構造線の第四紀断層運動によって、隆起した山地側から大量の土砂が供給されている。特に、四国中央部にある愛媛県東部は標高約 1,500 m の四国山地から流出した土石流が、一気に瀬戸内海に達する。ここでは山麓の狭い (最小幅 2 km) 平野に鉄道、高速道路、国道、県道が並走しているため、ひとたび災害が発生すると致命的な交通遮断となる。

3.3.2 地質の概要

四国の地質は中央構造線によって、その北側の内帯と南側の外帯とに区分される (図 3-4)。

四国の内帯は領家帯から構成されている。領家帯には、中生代白亜紀後期の花崗岩類が広く

分布している。花崗岩類は風化を受け、地表付近では所によりマサを含む厚さ数 10 m の風化殻を形成している。また、花崗岩の風化土 (マサ土) は一般に砂質系で、粘着力は小さく受食的であり、表層崩壊、節理型崩壊などの頻発する地質である。また、領家帯の南縁には、白亜紀最後期の和泉層が東西方向に細長く分布している。和泉層群は、讃岐山脈、新居浜付近の丘陵、高縄半島南部の山地を構成し、主として、砂岩・頁岩互層からなる。和泉層群の砂岩・頁岩互層は、強度が大きい砂岩と強度が小さくスレーキングしやすい頁岩からなる異方性の著しい岩盤である。和泉層群砂岩頁岩互層の風化土は、細粒分を多く含む砂質土であることが多い。

一方、外帯では、北から後期ジュラ紀 - 前期白亜紀の付加コンプレックスを原岩とし白亜紀に変成した高圧変成帯 (三波川帯)、ジュラ紀 - 前期白亜紀の付加コンプレックス (秩父帯)、白亜紀 - 新第三紀初頭の付加コンプレックス (四万十帯) が東西方向配列している。三波川帯を構成する三波川変成岩類は、徳島市から愛媛県の佐田岬半島にかけて、中央構造線の南側に分布し、四国の脊梁山脈を形成している。本岩類は、片理面が発達した異方性岩盤で、主として泥質片岩からなり、砂質片岩、緑色片岩、珪質片岩を伴っている。秩父帯には、緑色岩、チャート、砂岩、泥岩およびそれらの混在層が分布している。四万十帯は、砂岩、泥岩およびそれらの混在岩を主体としている。

中央構造線は、山地と平野とを境する地形境界を形成すると共に、地下では領家帯と三波川帯との境界断層となっている。四国では北側の和泉層群と南側の三波川変成岩類を境する断層が中央構造線として取り扱われている。また、四国にかけての中央構造線に沿っては、右横ずれ活断層が分布している。中央構造線に係わる地盤工学上の問題点は、(1) 活断層が形成する地形上の制約、(2) 直下型大地震の発生、(3) 断層破碎および熱水変質による地山の岩盤劣化、(4) 地すべり性岩盤、堆積物の存在などがある。実際の建設工事のトラブルや斜面災害は、これ

らが単独ではなく複合して発生することが多い。

3.4 台風による四国の土砂災害の事例^{1), 2), 3), 4), 5)}

3.4.1 台風10号による徳島県の山間地における土砂災害の概要

(1) 台風ならびに豪雨の概要

7月25日に南鳥島の沖で発生した台風10号は31日の午後4時頃に高知県西部に上陸し、毎時20kmのゆっくりとした速度で北西に進み、松山市、広島市を通過し、深夜0時頃に日本海に抜けた。その後、8月1日の午後9時頃に朝鮮半島東海上で弱い熱帯低気圧に変わり停滞した。この熱帯低気圧に南風が吹き込み、四国の南東部では記録的な豪雨に見舞われた。7/30～8/2の4日間降雨量は図3-5に示すようである。

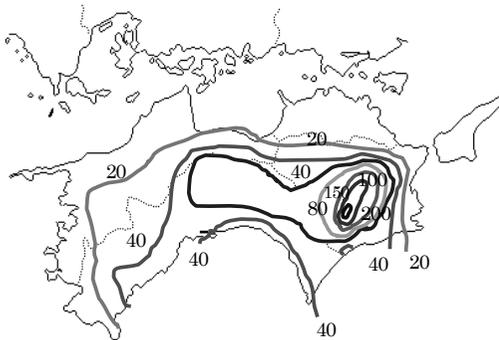


図3-5 7/30～8/2の4日間降雨量のコンター



写真3-1 白石地区で発生した大規模な土石流による被災状況。谷の出口に広がる民家6棟が全半壊した

(国土交通省四国地方整備局那賀川河川事務所HP <http://www.skr.mlit.go.jp/nakagawa/>の原図を参照)

この豪雨により徳島県南東部を始めとして四国全域で多くの被害が発生した。特に、徳島県南東部には記録的な集中豪雨があり、図3-5に示す4日間降雨量が2000mmを越える地点を含んだ東西6km、南北15kmの狭い範囲で、橋やトンネルなどの損壊が11ヶ所、大規模山腹崩壊が7ヶ所、全壊家屋が7棟、行方不明2名と被害が集中した。ここでは、これらの被害のうち、大規模土石流について報告する。

(2) 地形・地質の概要

被災地区は、四国東部の最高峰剣山(1955m)の南東側に位置し、1000mを越える山地を、那賀川とその支流の坂州木頭川が下刻し、急峻な斜面を形成している。このため、主な集落は、地すべり・崩壊によって形成された緩斜面や狭い河岸段丘上に立地している。

当地区の基盤は、主に秩父帯(秩父累帯北帯)の緑色岩類等から構成され、一部黒瀬川帯の蛇紋岩等が分布する。緑色岩類は、河床部では新鮮かつ堅硬であるが、斜面では風化を受け、緩んだ岩盤となっている。これに対して、蛇紋岩は鱗片上の破断面が発達し、変質作用によって粘土化が進行している部分がある。

(3) 崩壊地の概要

1) 白石地区

上那賀町白石地区の集落は、かつての崩壊・土石流堆積物が形成する緩斜面に立地している。今回集落を襲った土石流は、谷頭部にあたる標高530m付近の林道下から発生し、溪流沿いに比高差250m、水平距離で約600m流下している。写真3-1に土石流の概要を示す。土石流の発生源の崩壊地には、蛇紋岩が露出し、東西に幅数mにわたり変質作用を受け、粘土化している。湧水はこの粘土帯の上流部に数箇所認められる。この粘土層が遮水帯になり間隙水圧を上昇させた可能性が高い。

この崩壊により住宅6棟が倒壊した。中には十数mも押し流され、横倒しになった家や長さ

す。全ての沢や溪流から土石流が発生し、総計 20 を超える土石流が住宅地域に流れ込んでいる。中小河川を流れ下った土石流は、橋脚やボックスカルバートなどの狭窄部で流木がせき止めることにより、民家に流れ込み甚大な浸水災害を引き起こした。民家には厚さ 20 cm ~ 40 cm 程度の泥が所かまわず堆積し、復旧には膨大な人数のボランティアが活躍した。

図 3-6 に土石流発生前の愛媛県の各地域別の流出土砂量（不安定堆積土砂量）と流域面積の関係を示す。東予地域の和泉層群分布地域や三波川帯の分布地域に大量の不安定土砂が溪流に堆積していることが分かる。今回の土石流で、この不安定土砂が流れ出て、被害を大きくした一因である。

(2) 香川県大野原町五郷有木における土石流災害の概要

香川県西部では台風 15 号による 8 月 17 日午後の豪雨により、死者 5 名のほか、道路、ため池堰堤などに被害が発生した。大野原町曼陀では、最大時間雨量 54 mm、24 時間雨量 246 mm を記録した。香川県西部の大野原町と豊浜町を中心に土砂災害が発生した。

大野原町五郷有木では、落合川から土石流が発生した後、近くの橋に土石流による流木が引っかけたり土石流が前田川をせき止め、増水し、川岸にある落合自治会館に避難していた 4 人を押し流した。そのうち女性 2 人が濁流に押し流さ



写真 3-3 土砂で埋まった大野原町五郷小学校

れ、死亡した。土石流が発生した溪流は、和泉層群の砂岩頁岩互層からなり、溪床には砂岩の転石を含む土砂が 1 m 以上堆積していた。溪流頭部で発生した崩壊土砂は、土石流となって溪床堆積物を押し流し、この土石と流木が川をせき止めた。なお、土石流が発生した溪流は、土石流危険溪流の指定を受けている。谷の出口付近に砂防堰堤が設置されていれば、あるいは谷の出口の対岸川際の自治会館ではなく、自治会館の隣の一段高い民家に避難しておれば助かったのではないだろうか？ハード対策と共に適切な避難体制の整備が必要であろう。

なお、9 月 29 日の台風 21 号の通過に伴い、香川県では県西部を中心に再び土砂災害と浸水に見舞われた。大野原町五郷では、累計雨量が 249 mm、18 時から 20 時の 2 時間雨量は 128 mm に達した。この豪雨によって、台風 15 号によって被災した大野原町と豊浜町を中心に、再び土砂災害と浸水被害が発生した。大規模な土石流の一つは、広域避難所のある五郷小学校の運動場を土石と流木で埋め尽くした。写真 3-3 に概要を示す。安全な避難所と避難ルートの確保も課題である。

(3) 高知県大川村における三波川帯での土石流災害の概要

大川村は台風 15 号の豪雨により土石流や路肩崩壊により道路が寸断され、村全体が孤立した。夏合宿していた塾の生徒がヘリで救出される姿はニュースとして全国に放映された。降雨量は 100 mm 前後の時間雨量が 3 時間、8 月 17 日から 19 日の 3 日間雨量で 1000 mm 前後である。地質的には三波川帯並びに御荷鉾帯の分布域であり、地すべりの多発地域でもある。四国山間地における土砂災害は高齢者などの災害弱者を孤立させる。今後、検討が必要であろう。

3.4.3 台風 21 号による瀬戸内側における土砂災害

(1) 台風 21 号の降雨特性と土砂災害の概要

台風 21 号は四国の瀬戸内側に豪雨をもたらした。台風 15 号と比べて時間雨量並びに連続雨量

も多く、時間雨量で 100 mm 前後が 2 時間、連続雨量で 390 mm といった豪雨が記録されている。この豪雨により台風 15 号を越える大規模な土砂災害が発生した。JH 松山自動車道が 10 数カ所の土砂流出により通行不能となったのを始めとして、国道 11 号線、JR 予讃線など主要幹線が土砂災害により全て寸断され、数日間に渡って交通がマヒし、経済に多大な影響を与えた。また、和泉層群分布域だけでなく、中央構造線の南側に分布する三波川帯でも山腹に 100 箇所を越える土石流や崩壊が発生したことにより、道路が寸断され、山間地の集落がいくつも孤立した。

(2) 新居浜市大生院における大規模斜面崩壊

新居浜市大生院では長さ 50 m、幅 30 m、深さ 5 m 程度の比較的大規模な斜面崩壊が発生した。崩壊した土砂は高速道路の作業道路 10 m と本線 25 m の平坦部に流れ落ち、一部は遮音壁を破壊して盛土下部の民家に流れ込んだ。この崩土により 4 名の方が犠牲となった。

写真 3-4 に崩壊地の全景を示す。地質的には中央構造線の直上に位置している。崩壊は大部分が三波川黒色片岩の崩積土であるが、一部は

風化岩の部分も崩壊している。すべり面の多くは黒色片岩の亀裂に貫入した安山岩の熱水変質粘土部を通っている。なお、崩壊した土塊は自然斜面であり、JH による高速道路の建設工事とは何の関係もない。崩壊した土砂の多くは高速道路上に捕捉され（崩壊土量 6500 m³ の内、5000 m³ 程度が高速道路上に捕捉されたと見積もられている）、民家への被害を防いでいる。

表 3-1 に和泉層群や三波川帯で発生した土石流の土砂の物性や粒度分布を示しておく。



写真 3-4 松山自動車道横の斜面で発生した大規模斜面崩壊（新居浜市大生院）

表 3-1 和泉層群ならびに三波川帯の土石流発生地点の土砂の物性ならびに粒度

試料名	密度試験 (g/cm ³)	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	間隙比	粒度試験					含水比 (%)
					礫 (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	細粒分	
タイウ谷川	2.65	1.65	1.34	0.95	18.50	55.40	21.10	5.00	26.10	24.33
又野川	2.61	1.55	1.25	1.08	12.50	40.30	41.20	6.00	47.20	24.23
又野川東川	2.63	-	-	-	16.38	45.37	30.25	8.00	38.25	21.20
臼池ダム	2.63	-	-	-	19.50	54.60	19.70	6.20	25.90	19.96
楠崎川	2.46	-	-	-	4.30	65.70	23.90	6.10	30.00	36.18
東楠崎川	2.64	1.67	1.54	0.99	6.79	46.80	27.41	19.00	46.41	25.87
西白浜川西川	2.67	-	-	-	0.76	55.08	27.65	16.50	44.15	20.86
白浜川	2.61	-	-	-	11.20	56.30	21.30	11.20	32.50	21.87
13-2	2.67	-	-	-	4.60	46.50	34.50	14.40	48.90	17.80
14	2.58	-	-	-	34.90	35.60	22.50	7.00	29.50	22.23
三杭川	2.66	1.84	1.54	1.05	24.80	16.64	31.56	27.00	58.56	23.84
福辺川	2.68	-	-	-	18.56	47.81	18.84	14.80	33.64	24.03
お茶屋谷川	2.67	-	-	-	16.40	38.90	25.70	19.00	44.70	19.27
孝孝谷川	2.72	-	-	-	45.55	36.03	14.52	3.90	18.42	29.90
大谷川	2.68	-	-	-	37.62	34.03	14.44	13.90	28.34	16.59

3.4.4 台風 23 号による香川県東讃のまさ土 地域での土砂災害の特性⁷⁾

(1) 概要

台風 23 号では、香川県東部に記録的に集中豪雨をもたらした。東かがわ市日下峠の県の雨量観測局では、10 月 19 日・20 日の累計雨量が 674 mm に達し、20 日 14～15 時の時間雨量は 116 mm を記録した。また同地点の 20 日 11～13 時の 4 時間降雨量は 390 mm に達した。香川県東部山間部における雨量観測局も、軒並み 400 mm を超える累計雨量を記録し、県内の多くの地域で膨大な数の崩壊、土石流と流木の流

出が発生し、住宅、農地、道路、ため池、河川構造物などに甚大な被害が発生した。斜面上の盛土が流出した箇所では、6 月末現在も通行止めのところもある。また、大量の土砂の流出によって下河床が上昇し、氾濫の危険性が增大している。

さぬき市大川町森行では、大崩壊によって大規模な土石流が発生し、人命を奪うと共に、与田川に大量の土砂を堆積させた。この土石流は約 14 時に発生している。また、東かがわ市日下では、崩壊の発生を示唆する断水が 12:30 頃から始まり、13:30 ごろに大きな土石流が発生している。いずれも、雨量強度が大きい時期と一致している (図 3-7)。

さぬき市門入では、左岸斜面から発生した大崩壊の土砂が梅檀川をせき止め、決壊した土砂が土石流となって一気に下流を襲い、民家を押し流し、2 名の命を奪った。この大規模な崩壊は、豪雨のピークが過ぎた 15 時過ぎの発生している (図 3-8)。累積降雨量が大きい場合には、雨量強度の大きい時期が過ぎてから、大規模な崩壊が発生することを示している。

(2) さぬき市大川町森行地区の崩壊と土石流

当地域は、香川県東部に位置し、讃岐山脈東端に当たる。当地域は、讃岐山脈北側の領家帯花崗岩に属する花崗岩類を基盤とし、標高 559.7 m の笠ヶ峰の北側にある標高 300 m 前後の丘陵性の山地からなる。沢沿いの斜面には、1 m 程度のマサ土が堆積している。森行地区は、与田川水系の笠松川沿いにあり、過去の土石流堆積物により形成された緩斜面が集落や棚田として利用されている。

航空写真判読により崩壊箇所を抽出し、植生別に選定した造林地、ヒノキの人工林 (樹齢の違いにより 2 地区)、混合林の 4 地区 68 箇所を対象に現地調査を実施した。4 地区の植生分類

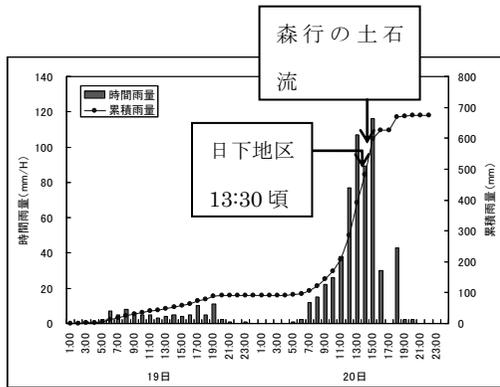


図 3-7 台風 23 号による降雨状況 (さぬき市, 東かがわ市境の日下峠)

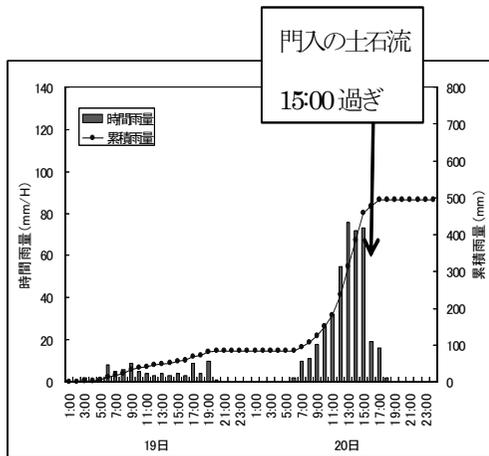


図 3-8 台風 23 号による降雨状況 (さぬき市門入)

表 3-2 各地区の植生分類

	大分類	中分類
A地区	伐採林	皆伐後の疎なヒノキ林
B地区	人工林	ヒノキ林(樹齢10年程度)
C地区	人工林	ヒノキ林(樹齢20～30年程度)
D地区	混合林	広葉樹林(主として常緑、落葉混合)、ヒノキ林

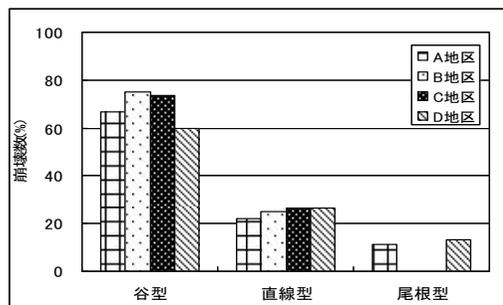


図 3-9 地形分類による崩壊発生率

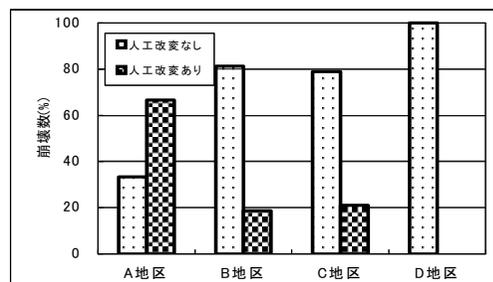


図 3-10 崩壊箇所における人工改変の有無

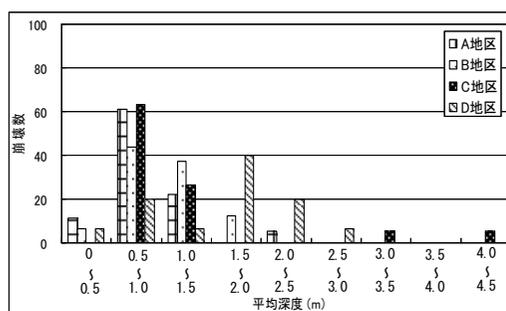


図 3-11 崩壊の平均深度

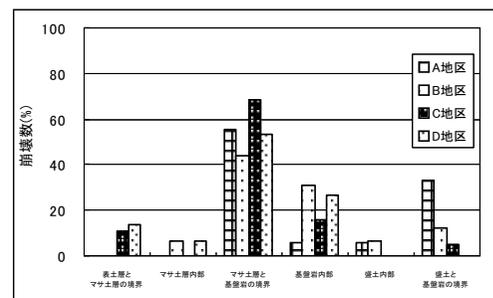


図 3-12 崩壊の発生位置

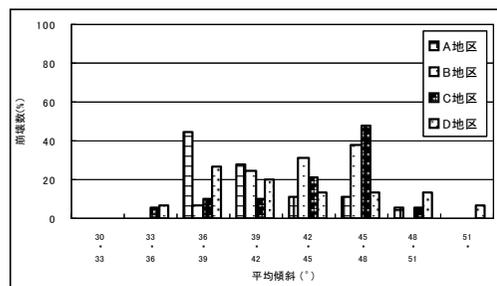


図 3-13 斜面勾配と崩壊の関係

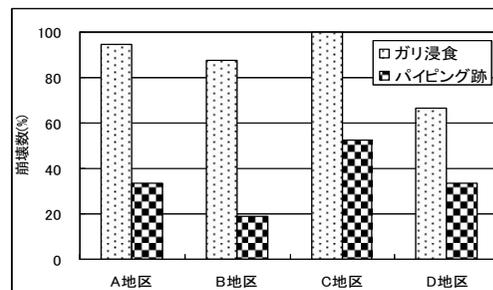


図 3-14 崩壊斜面の出水状況

を表 3-2 に示す。現地調査は、崩壊調査と植生調査を並行して行った。崩壊調査では、踏査や測量によって崩壊の規模や地盤構造を調べると共に、地形や地下水の状況について調べた。また、現地で林床植生についても調査し、得られたデータを総合して崩壊との関係を検討した。

(3) 調査結果

図 3-9 ~ 14 に調査結果を示す。これから以下のことがわかる。

- 崩壊の分布密度は、A, B, C, D 地区の順に高い。すなわち、皆伐後の植杉緑過の浅い A, B 地区で崩壊が多発し、樹齢 20 ~ 30 年のヒノキ林になると崩壊密度は小さくなっている。また、広葉樹とヒノキの混合林では崩壊密度が最も小さいが、ここでも崩壊は発生している。
- 森行地区における土石流は、全体的として集水域となる谷地形において崩壊が多く発生し

ている。また、森行地区の特徴として、人工改変による小段や法面の造成地が崩れるケースが多く見られる。

- ③崩壊の約 80% は、平均深度 0.5 ～ 1.0 m の表層崩壊が多く、すべり面の大部分は基盤岩（花崗岩）と風化土（マサ土）との境界と一致している。
- ④山腹崩壊によるせき止め決壊型の土石流もあるが、大半の土石流は谷地形で発生した谷頭崩壊型の土石流である。
- ⑤植生の違いによって、崩壊深度に違いが見られた。B, C 地区では斜面傾斜が大きくなるにつれて崩壊数が増加しているが、A, D 地区においては 40° 前後の崩壊数が最も多く、それ以降は減少する傾向が見られた。
- ⑥大部分の崩壊は岩盤と斜面堆積物（風化土）との境界から発生している。
- ⑦崩壊跡の湧水跡・ガリ浸食から、崩壊発生時には大量の湧水があったと推察される。

（4）被災要因

①要因 1：台風 23 号による記録的な集中豪雨

台風 23 号では、森行地区の近くにある香川県の日下峠雨量（さぬき市）観測所では、20 日 11 時～15 時まで、11 時～12 時に 77 mm、12 時～13 時に 107 mm、13 時～14 時に 89 mm、14 時～15 時に 116 mm と 4 時間で 289 mm の雨量を記録した。崩壊・土石流は、日下峠の北では 12 時 30 分頃から発生し、東かがわ市日下では 13 時 30 分頃に人家に達する土石流が、さぬき市森行地区では 14 時頃に人家を直撃する土石流が発生している。このことから、崩壊・土石流は時間雨量 100 mm 前後の雨量強度の大きい時間内に発生している。すなわち、崩壊・土石流の発生は記録的な集中豪雨が最大の要因である。

②要因 2：集水地形

森行地区における土石流は、全体的として集水域となる谷地形において崩壊が多く発生している。また、森行地区の特徴として、人工改変による小段や法面の造成地が崩れるケースが多く見られ、特に A 地区の裸地斜面においては小

段肩部の崩壊が多くを占めている。作業道や小段には降雨や表流水が集中することから、人工改変が崩壊の引き金となった可能性が高い。

③要因 3：斜面の地質構造

岩盤と風化土の境界がすべり面となって発生している。これは、風化土・崖錐堆積物と基盤岩との強度及び透水性が大きく異なっているためと考えられる。すなわち、斜面を浸透した地中水は、基盤岩との境界が難透水層となって、風化土中の地下水位が上昇し、崩壊の引き金となったと推定される。崩壊地における湧水やパイピングなどの湧水跡及びガリ浸食は、風化土と岩盤との境界付近で大量の湧水があったことを示している。

④要因 4：植生・土地利用

A 地区のような裸地斜面では、皆伐後の高木層、中木層のない林分で表面侵食が多発しており、高・中木層の樹冠による降雨の遮断がなく、地表面が雨滴の衝撃を直接受けることで、表面侵食が多発したものと思われる。また、要因 2 で述べたように、作業道や小段が地表水を集中させたことも、大きな崩壊要因となっている。B, C 地区は、間伐遅れ、林床植生のない手入れが悪い人工林で土壌侵食や崩壊が発生し、管理された人工林では被害があまり発生していない。なお、植林等による影響のない D 地点においても、崩壊・土石流が谷部に発生していることから、崩壊・土石流の最大要因は、記録的な豪雨と考えられる。

3.5 あとがき

平成 16 年の四国の台風災害の特徴は、今まで豪雨による土砂災害をあまり受けたことがない瀬戸内側に集中的に被害が出たことが特徴的である。災害履歴が乏しく、人口稠密な瀬戸内側は土砂災害のポテンシャルが高い。今後、詳細な調査・研究とともに的確な対策が必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省四国地方整備局編：平成 16 年台風 10 号による四国地方の被害状況，pp.1-10，2004.8

(http://www.skr.mlit.go.jp/bosai/sikoku/kiroku_link/higai/taihu10.pdf 参照)

- 2) 国土交通省四国地方整備局編：平成 16 年台風 16 号による四国地方の被害状況, pp.1-12, 2004.9
(http://www.skr.mlit.go.jp/bosai/sikoku/kiroku_link/higai/taihu16gou.pdf 参照)
- 3) 国土交通省四国地方整備局編：平成 16 年台風災害を振り返って—四国地方整備局の取り組みと今後の対応—, pp.1-16, 2005.3
(http://www.skr.mlit.go.jp/bosai/sikoku/kiroku_link/higai/taihu16nendo.pdf 参照)
- 4) 長谷川修一, 松島学他：香川県における平成 16 年台風災害の概要, pp.17-24, 平成 17 年自然災害フォーラム論文集, 土木学会四国支部, 2005.3
- 5) 矢田部龍一, 渡邊政広他：平成 16 年愛媛県下の台風災害の概要と特性, pp.40-61, 平成 17 年自然災害フォーラム論文集, 土木学会四国支部, 2005.3
- 6) 矢田部龍一, 岡村未対他：平成 16 年台風による愛媛県内の土砂災害, pp.55-68, 2004 年四国地域連続台風による土砂災害, 地盤工学会, 2005.3
- 7) 長谷川修一, 山中稔他：平成 16 年台風 15, 21, 23 号による香川県内の土砂災害, pp.41-54, 2004 年四国地域連続台風による土砂災害, 地盤工学会, 2005.3

4. 淡路島におけるため池関連の土砂災害 内田 一徳*

4.1 はじめに

淡路島には、兵庫県下 44,000 個弱の約半数以上、23,000 個あまりのため池が存在する。このうち、台風 23 号による豪雨によって 1,299 箇所のため池が被災し、181 箇所のため池が決壊した。この数は、平成 7 年 1 月の阪神淡路大震災での決壊ため池数 1 個ときわめて対照的である。洲本市では、ため池決壊に伴う河川増水によって 2 名の犠牲者も出ている。本来、洪水防止機能をもつべきため池が災害要因になった事実は、大きく受け止めなければならない。地球温暖化が進行する現在、こうした豪雨災害が今後も繰り返される危険性が大いに懸念される。したがって、被災箇所の復旧だけでなく、過去の被災状況や上下流の周辺環境を勘案して緊急的整備を要するため池の選定や適切な豪雨対策、適切なため池の管理方法などについても検討すること

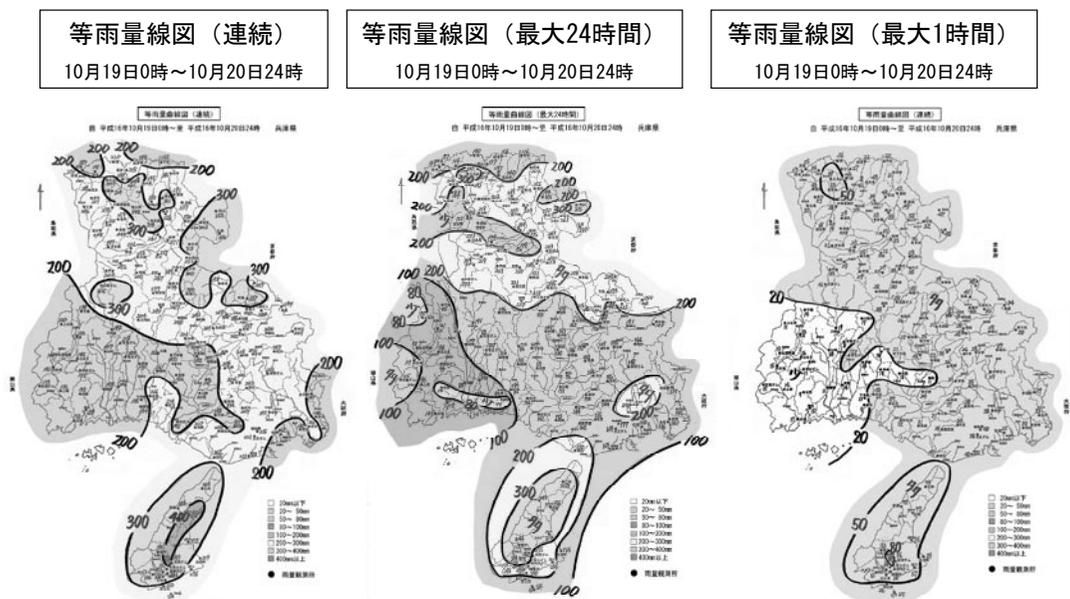


図 4-1 台風 23 号の降雨概況

* 神戸大学農学部

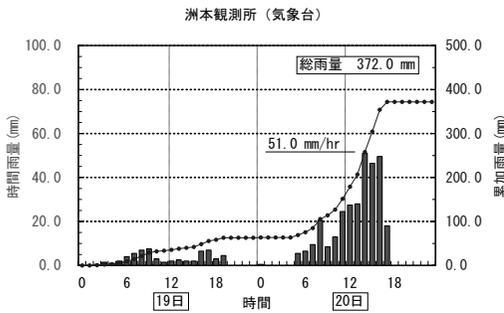


図 4-2 台風 23 号の洲本市における雨量状況 (2004.10.19 ~ 20)

が必要である。本文では、被災箇所の被災状況や原因究明などについて検討した結果をまとめるとともに、今回の災害で得た教訓をふまえた今後の豪雨対策などについて提言している。

4.2 淡路島の降雨状況¹⁾

台風 23 号は、平成 16 年 10 月 20 日 13 時頃に高知県土佐清水市に上陸し、その後淡路島の南を通り、紀伊水道を経て 18 時前に大阪府泉佐野市付近に再上陸した。この間の兵庫県の気象条件は、図 4-1 に示すとおりであり、淡路島が連続降雨量は中心部で 400 mm 以上、24 時間最大雨量は 300 mm 以上、最大時間雨量も 50 mm 以上と、他地域よりもかなり大きな差があることがわかる。図 4-2 は洲本気象台が発表した 19 ~ 20 日にかけての降雨状況である。その詳細は、24 時間最大雨量が 317 mm (確率年 1/30)、最大時間雨量 72 mm (確率年 1/10)、3 時間最大雨量は 147 mm (確率年 1/40) であった。前日の 19 日にも 56 mm の降雨があり、2 日間の総雨量は 372 mm に達している。淡路市 (旧津名郡津名町) 志筑では、24 時間最大雨量が 351 mm (確率年 1/50)、最大時間雨量 82 mm (確率年 1/40) を記録している。また、育波川上流の淡路市 (旧津名郡一宮町) 郡家では、24 時間最大雨量が 347 mm (確率年 1/40)、最大時間雨量 72 mm (確率年 1/20) となっており、洲本市よりもかなり大きな降雨量を記録していることわかる。また五色町の 19、20 日の連続雨量は



写真 4-1(a) 決壊寸前の由谷上池 (淡路市)



写真 4-1(b) 決壊しなかった新池 (淡路市)

368 mm、一宮町、三原町、北淡町でも 300 mm 以上の降雨を記録している。最大雨量強度は各地とも 15 時から 16 時頃がピークに達している。

写真 4-1(a) は、最大雨量強度が記録された 15 時頃の淡路市 (旧津名郡津名町) にある決壊 1 時間前の由谷上池であり、写真 4-1(b) は同時刻・同地区にある決壊しなかった新池の状況を示す写真である。写真に写る大きな水滴からも強い降雨強度を感じるリアルな写真である。

このように台風 23 号による豪雨は、確率的に概ね 20 年 ~ 50 年に 1 回程度の非常に大きなものであった。2004 年に日本に上陸した台風は 23 号で 10 個目であり、これまでに上陸した台風 21 号による豪雨などの連続した降雨や前日までの降雨により、堤体や地盤はかなり湿潤な状態にあり、島内のため池はそれぞれほぼ満水状態であったものと思われ、こうした状況が今回の

多数のため池決壊に関する大きな要因となったものと思われる。

4.3 ため池の被害状況

台風 23 号による豪雨によって決壊した 181 箇所のため池の分布状況は、旧市町区分で北淡町(多数)と一宮町(30 箇所)が多く、ついで淡路町、津名町、五色町、東浦町、緑町、西淡町、三原町、南淡町に及んでいる。

その被災原因は、概ね次の 5 種類に分類できる。

- 1) 洪水吐通水断面不足に伴う溢水により堤体や洪水吐下流部付近を洗掘して決壊
- 2) 上流側集水区域の崩壊(土石流の流入や流木・竹の流入による洪水吐通水障害)による二次災害として堤頂部越流により決壊
- 3) 上流ため池の決壊

4) 高水位によるパイピングなどの漏水の発生による決壊

5) 道路排水による洗掘により決壊

今回の豪雨により極めて多くのため池が決壊した理由の一つは、谷池形態の重ね池の最上流にあるため池が決壊し、下流のため池が連鎖的に決壊したためであると考えられる。以下に、それぞれの被災原因を有する被災ため池事例とその被災状況を紹介する。

4.3.1 津名郡五色町鮎原三野畑地区(夫婦池・新池・瀬戸池)

写真 4-2(a),(b),(c) は、本地区で決壊した 3 つのため池、夫婦池・新池・瀬戸池の被災状況を示す写真である。最上流にある夫婦池(堤高 6 m、均一アスファルトシート表面遮水型)が 1) と 2) の土石流による原因が重なって決壊し、下流側の重ね池である新池・瀬戸池が 3) の原因で連鎖的に決壊した例である。夫婦池上流の深い沢に沿った山腹斜面が削られ、土石流が発生し、密度流となって最上流の夫婦池に押し寄せ、堤頂を越流して一気に堤体を崩壊させたと考えられる。崩壊ため池堤体の土砂は瀬戸池下流の数 km にも達し、多くの民家の倉庫などを破壊した。新池と瀬戸池の間には、過去に崩壊したと考えられる堤体が残されており、今回の豪雨によるため池災害がこの流域で少なくとも 2 回目であることを物語っている。すなわち、夫婦



写真 4-2(a) 決壊した夫婦池 (五色町鮎原)



写真 4-2(b) 決壊した新池 (下流中央部に旧堤体跡)



写真 4-2(c) 決壊した瀬戸池と下流側農地の埋没



図4-3 2つの沢にある重ねため池と砂防ダムの配置図



図4-4 淡路市(旧津名郡一宮町)深草地区のため池の配置図

池を原形復旧した場合には、また同じ災害が起こりうると考えられる。適切な堤体復旧対策に関する有益な情報はすぐ隣の沢の重ね池から得られた。図4-3に示すとおり、すぐ隣の沢は砂防河川に指定されており、2基のコンクリート製砂防堰堤が設置されている。この2基とも今回の豪雨による山腹斜面崩壊の土砂流を阻止して満杯状態であった。この堰堤を流下した水はその下流にある2個のため池(上池、大池)を

越流しているが、2つのため池堤体は崩壊していない。すなわち、夫婦池の堤体復旧には、密度流となった土石流のエネルギーを阻止できる工夫、例えば粗石を入れた大型蛇籠を上流側に積むなどの工夫が必要であるということがわかる。淡路島内には適切なコア用土材料に乏しいことを考えると、夫婦池を砂防堰堤兼用のコンクリートダムとして、夫婦池の築堤材料を新池に回すことも大いに検討すべき代替案であろう。



写真 4-3 決壊した深谷池左岸部 (淡路市深草)



写真 4-4(a) 決壊した井出口池 (手前がもとの洪水吐取付部)



写真 4-4(b) 滑落した井出口池の洪水吐



写真 4-5 川池右岸下流部の一部補修部分

この地区と同様な原因で決壊した他の地区としては、以下のようなものがある。

- 1) 淡路市 (旧津名郡北淡町) 黒谷地区 (新池・下川池)
- 2) 淡路市 (旧津名郡一宮町) 遠田地区 (新池・小谷池)

4.3.2 淡路市 (旧津名郡一宮町) 深草地区 (井出口池・ワラビコ池・深谷池・川池・白池)²⁾

図 4-4 は本地区のため池の配置図を示したもので、白池を除くすべてのため池は同一水利組合「鳴池田主 (たず)」が管理している。上流側の鳴池・皿池を除く 5 つの重ね池ため池が連鎖的に決壊した本災害で典型的な決壊例である。鳴池田主管理者の話では、①本地区の最大雨量強度が記録された時刻に近い 14 時過ぎにまず別

流域をもつ深谷池が越流決壊し、②白池、川池の順に決壊、③ 15 時頃に井出口池が決壊し、④下流のワラビコ池が連鎖的に決壊した。深谷池と川池の天端は道路として利用されており、コンクリート舗装されている。写真 4-3 に被災状況を示す深谷池の決壊原因は、上記原因 5) の道路排水による左岸下流側斜面の洗掘と、上記原因 4) の漏水 (平成 16 年 6 号台風で下流側斜面崩壊と漏水がみられた) による浸透崩壊が原因と考えられる。一方、写真 4-4(a),(b) に示す井出口池の決壊は、上記原因 4) のパイピングが原因と考えられる。井出口池 (堤高 10.5 m, 堤頂長 56 m, 貯水量 26,300 m³) は震災で被災したため、洪水吐を改修し、併せてゴムシートを地元施工した。写真 4-4(b) に示すフィレットのない鉛直壁をもつ洪水吐構造と、堤頂から 3 m 下

までのブロック張り下の締固め不足により、パイピングが発生して決壊に至ったものと考えられる。

本被災事例でも今後の改修について、川池から良い教訓を得ている。川池は、決壊した深谷池の貯水が天端を 30 cm 以上の水深で越流しても約 20 分間耐えており、激しい越流浸食による下流側斜面のすべり崩壊によって、みお筋の左岸部堤体が決壊した。川池の堤頂コンクリート舗装は越流浸食に抵抗する効果をもっていたと考えられる。しかも井出口池・ワラビコ池の決壊後、流水が川池堤頂を約 1 m の水深で約 30 分間も越流したにもかかわらず、右岸側堤体は決壊を免れている。写真 4-5 に示す右岸側下流法面は近年に一部補修が行われ、締固め層が判別できるくらい十分な転圧が行われた効果を物語っている。さらに下流側法先に腰ブロックが設置されており、これも下流側斜面の越流浸食に対して大きく抵抗したものと思われる。

4.3.3 洲本市上内膳地区（大財上池・大財池）

本災害による奥畑川の増水で下流にあった家屋が流出して 2 名の尊い命が奪われた。ため池が災害要因となった一例である。図 4-5 は 2 つのため池および県道の位置関係を示している。県道は、大財上池左岸部の下流側斜面を掘削除去して建設され、大財池の堤頂を通過していた。道路施工により掘削除去された下流側斜面はブロック張りされているが、写真 4-6(a) に示すように、ブロックに付着したコケが部分的にはぎ取られており、この部分から漏水したことを物語っている。右岸側堤体は、写真 4-6(b) に示すようにトレンチ状の溝が掘削された岩盤上に河川堆積物等で盛土した構造となっており、パイピングによる漏水（上記原因 4）が起りやすい構造を有していたため、この部分からの漏水が原因となって決壊したものと考えられる。さらに、写真 4-6(c) に示すように、大財上池の決壊には上記原因 5）の道路排水による左岸下流斜面の洗掘も一因となっていると考えられる。県道は、すでに大財上池左岸取り付け部手前か

ら迂回するルートに変更されている。大財池はすでに廃止する方向で検討が進んでいる。大財上池の復旧に関しては、右岸岩盤部をコンクリートタイプとし、貯水池は埋め尽くしている堆砂の残土処理を兼ねて左岸側をフィルタイプの複合型とするのが適当と考えられる。

4.4 災害要因とならないため池緊急整備対策の提言

今回の豪雨災害では、いくつかのため池が災害要因となった。一方で、写真 4-1(b) に示す淡路市（旧津名郡津名町）の新池や、上流側で 2 つのため池が決壊した淡路市（旧津名郡一宮町）遠田地区下流の新池（写真 4-7）のように、堤頂を越流しても決壊しなかったため池もあった。これらのため池は洪水吐や堤体の管理が十分なされているとともに、十分な遮水材をもち、下流側斜面に強度をもつ礫材をもった構造となっている点が注目される。こうした点は、上記の 4.3.2 で述べた川池の教訓も含めて、今後のため池改修に関する重要な示唆である。今回の災害で得た教訓をふまえて、緊急な整備を要するため池の豪雨対策として、①洪水吐の断面拡幅、②流入部の土砂止対策、③堤体構造の強化（腰石積・嵩上げ・天端被覆など）、④緊急放流対策、などがあげられる。以下のような対策を講じることが適当と考える。また、ため池の管理対策としては、管理団体の支援や地域を含めた多様な参画による管理を推進し、本来、洪水防止機能をもつべきため池が災害要因とならないような管理を行うことを強く望みたい。

参考文献

- 1) 淡路県民局：淡路地域水害対策検討委員会中間とりまとめ、pp.1-9, 2004.12.
- 2) 毛利栄征：3.3 ため池の被害事例：平成 16 年台風 23 号による関西圏地盤被害調査報告書、地盤工学会、pp.63-72, 2005.5.

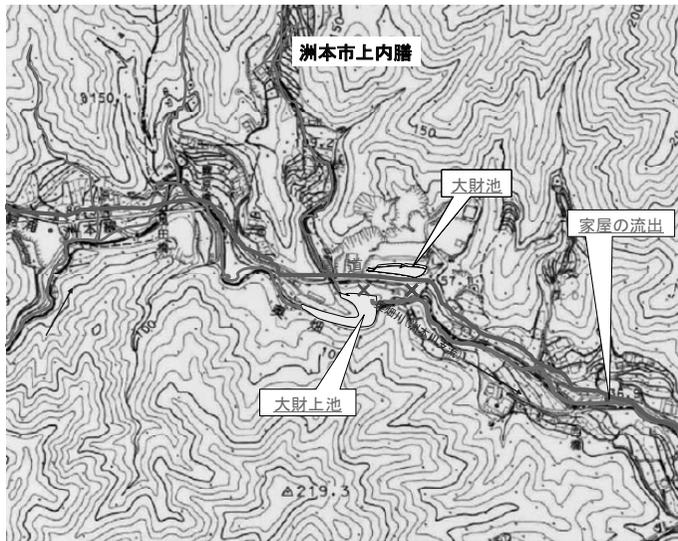


図 4-5 大財上池と大財池および県道の位置関係（洲本市上内膳）



写真 4-6(a) 大財上池左岸下流ブロックからの漏水跡



写真 4-6(b) 決壊した大財上池右岸部（右端が洪水吐）



写真 4-6(c) 県道の排水による洗掘部



写真 4-7 越流しても決壊しなかった新池下流斜面部（淡路市遠田）

5. 2004 年台風 23 号による丹後、野田川・大手川の洪水災害

植村 善博*

5.1 はじめに

2004 年 10 月 20 日、台風 23 号による大規模な災害が西日本を中心に関東以西の広い範囲で発生した。これによる被害は死者・不明者 92 名、負傷者 326 名でこの年の総数の 23%と 22%を占める。被害家屋の全壊 893 戸は総数の 63%を占め、床上浸水の 25368 戸、床下浸水の 25368 戸は本年の 34%と 31%を占めた。

本論の目的は 1) 昭和 28 年災害以来最大規模の台風災害が発生した京都府丹後地方の本災害の特徴を地形学的視点から記述すること、2) 野田川および大手川の隣接する両流域での洪水災害の実態と発生要因を比較・考察すること、3) 災害の特徴や発生要因を分析するに当たり、流域の地形地質、水理的条件や地域社会の特質、河川や治水に対する社会の対応や歴史性をも包含した総合的な水害環境の概念を導入し、流域ごとにその特徴を考察することの重要性を示すこと、である。

5.2 京都府の災害と気象・水理状況

5.2.1 京都府の被害状況

丹後地方は台風の北側に位置し、広い範囲

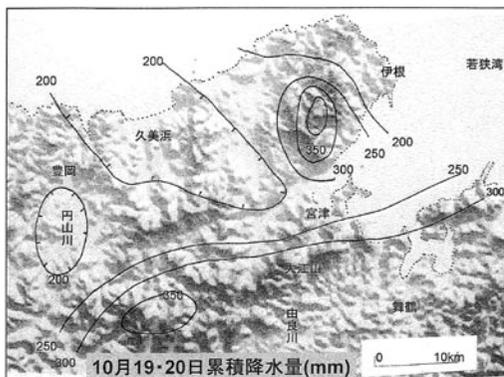


図 5-1 2004 年 10 月 19・20 日の累積降水量 (京都府他の資料より作成)

で 200 mm 以上の降水量があった (図 5-1)。半島中央部の山間地、南部の大江山山地周辺では 300 mm 以上の豪雨となった。20 日の 14 時～20 時の 6 時間に降雨の大部分が集中したため、土石流の発生、堤防破壊と農地への砂礫流入、家屋の浸水や田畑の冠水などの災害が発生した。また、猛烈な北～北東の強風が吹き荒れ、舞鶴で 52 m/s、岩滝で 46 m/s の瞬間最大風速を観測した。

京都府下では死者 15 名、負傷者 202 名、全半壊 354 戸、床上浸水 2726 戸などの甚大な被害が発生した。被災住宅の分布では綾部市、福知山市、大江町、舞鶴市など由良川中下流部および丹後地方に集中した。23 号による風水害被害は 1950～60 年の災害激発期を除く 1961 年以降の府下では死者数で第 1 位、被害家屋数では 1965 年の台風 24 号、67 年の台風 20 号に次ぐ第 3 位に位置づけられる。死者 15 名のうち 10 名は屋外で洪水の中の溺死、他の 5 名は土砂災害による生き埋めである。負傷者 43 名中重傷は 14 名で、屋外歩行中の転倒や転落が多い。住宅被害の全半壊では舞鶴市 26 戸、宮津市 17 戸が多く、半壊のみでは伊根町の 68 戸が最多である。浸水被害では宮津市の 2400 戸、舞鶴市の 1904 戸が圧倒的に多く、ついで久美浜町 511 戸、大江町 472 戸、加悦町 267 戸と続く。浸水被害は由良川、大手川、野田川の洪水氾濫によるものが深刻であった (図 5-2)。

5.2.2 野田川・大手川の降水量と水位変化

野田川・大手川の降水量と水位の時間的変化を図 5-3 により検討する。10 月 19 日・20 日の累積雨量は奥滝で 312 mm、岩戸では 334 mm に達した 20 日 8 時より雨が降り 13 時頃より風雨が強まった。奥滝では 16 時から 18 時の間に毎時 30 mm 以上が降り、18 時に 54 mm の時間最大雨量を記録した。20 日 13 時から 19 時までの 5 時間雨量は 209 mm で 20 日の降水の 77% を占める。20 時頃から風雨は弱まり、23 時以降雨は止んでいる。次に、堂谷観測点における野田川水位の変化をみると、20 日 13 時 20 分に警戒水位の 2.36 m を突破、その後ぐんぐん上昇し

* 佛教大学

て17時に4.5m、20時には4.7mの最高水位に達した。23時以後は低下に転じたが、21日2時に4mまで低下、約10時間にわたって2m以上の高水位を継続している。さらに21日9時に3m、14時に2.54mと非常にゆるやかな速度で低下、警戒水位にもどったのは17時であった。ピーク時洪水流量は河口で512m³/sに達したと推定される(京都府資料)。

一方、大手川の岩戸では20日13時頃より豪雨となり、15時と16時に48mmおよび49mmの最大時間降水量を記録している。14時から17時の間は毎時40mm以上の雨が連続し、4時間で20日雨量の60%にあたる179mmを占める。21時以降に雨足は急速に弱まった。つぎに、水

位変化を京口観測点の記録から検討すると、13時10分に警戒水位1.5mを越えてから上昇速度は早くなり、17時30分には3.87mの最高水位に達した。この間、毎時0.5mの速度で水位が急上昇した。しかし、18時以降は低下に転じ、22時20分に堤高まで低下、約7時間にわたって堤高以上の水位が続き越流したことを示す。21日1時30分には警戒水位までもどった。大手川水位の上昇速度は早く一気に最高水位に達し、1時間程の高水位が継続した後、再び急速に低下する特色をもつ。ピーク時洪水流量は喜多付近で125m³/s、河口部で261m³/sと推定され、計画高水量を上回っている(京都府資料)。

5.3 丹後、野田川・大手川流域の水害環境

5.3.1 地質と地形

両流域の地質・地形条件は酷似している。地質は舞鶴帯に属する大江山岩体(カンラン岩や蛇紋岩を主体とする)と丹後・但馬帯に属する宮津花崗岩類から構成される。一方、低地を構成する第四紀層は段丘層と沖積層とに区分される。段丘は高位、中位、低位の3群に区分され、大部分が砂礫を中心とする河成層から構成されている。野田川・大手川両河川は大江山山地に源流域をもち、北流して若狭湾西縁の宮津湾にそそぐ(図5-2)。山地の稜線は高度600~700mの定高性をもつ。高度約500m以下の地域は主に花崗岩から構成され、樹枝状谷の発達する侵食の進んだ山地や丘陵が広く分布する。地表から数m~10m程度の深層風化を受けており、河川の流送土砂量は大きい。野田川と大手川の沖積平野は断層線に支配された構造谷をなし、小規模で細長い低地が下流まで続いている。上流では急傾斜の土石流や扇状地の性質をもつ谷底平野、下流では低平な後背湿地との組み合わせが特徴的で、野田川は河口に小規模な三角州を発達させる。

5.3.2 水理条件

両流域の水理条件と災害指標値を表5-1に示した。流域面積は野田川と大手川の比は3:1、流路延長で2:1、計画高水流量でも2.6:1と野



図5-2 野田川・大手川流域の概観と23号災害による浸水域(点部)

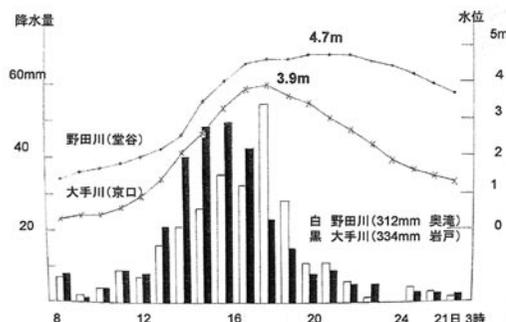


図5-3 野田川・大手川の降水量と水位の変化 棒グラフ:降水量 折れ線グラフ:水位(京都府の資料より作成)

表 5-1 野田川および大手川の水害環境の比較

	野田川	大手川
流域面積 km ²	98	29
流域人口 人	25,334	22,745
計画高水流量 m ³ /s	710	270
洪水比流量 m/s	9.3	7.2
ピーク時出水流量 m ³ /s	512	261
浸水面積 ha	299	228
低地浸水率 %	34	68
浸水戸数 戸	475	2,400
床上浸水率 %	31	62

田川が大きい。しかし、平均起伏比では 0.6 : 1、洪水比流量でも 0.8 : 1 と逆に大手川が大きくなる。大手川は野田川より急傾斜の小河川で洪水比流量が大きく、出水時間と水位上昇速度の早さ、洪水ピーク流量の大きい点に特徴がある。さらに流域人口密度は野田川の 3 倍、戸数密度で 3.5 倍にも達し、大手川の洪水災害危険度が極めて大きいことを意味する。

5.4 野田川流域の災害

5.4.1 水害の歴史

野田川は水害を頻発してきた。岩滝町石田の記録によると宝暦より明治 20 年頃までの約 130 年間に 14 回の洪水記録がある¹⁾。およそ 10 年に 1 回程度の頻度で洪水を発生してきた。野田川町石川・下山田地区では昭和 36 年から 47 年までの



図 5-4 岩滝町の浸水域 斜線部：床下浸水 暗色部：床上浸水 P：排水ポンプ場（岩滝町の資料より編集）

間、毎年 1～2 回の田面冠水が発生し、稲の白葉枯病や黄化萎縮病が発生して年間 20～60 トンの米の減収が生じた。治水と河川改修事業は農民にとって切なる懸案となっていた。過去約 20 年間の水害では、野田川町が最も大きな被害を受けたが、被害は徐々に軽減されてきた。しかし、加悦町は明治 40 年以来の大規模被害を受けた。また、岩滝町では床下浸水の戸数は増加傾向にあったが、今回は最大数となった。主な被害は 475 戸に達する家屋浸水で、うち 150 戸約 32% が床上浸水となった。また、農地の浸水や破堤による土砂堆積、河岸侵食による被害も著しかった。浸水地区は 299 ha、岩滝町の三角州、野田川町の後背湿地、加悦町の谷底平野と 3 地形区ごとに独立して生じている点が注目される（図 5-2）。

5.4.2 岩滝町の被害、原因と対策

本町での顕著な被害は 279 戸に達する家屋損壊である。これは強烈な北～北東からの暴風により屋根や壁が破損した風害で、全域に点在する。床上浸水は 24 戸、床下浸水は 153 戸、計 177 戸で、床上浸水率は 14% である。海岸と国道 178 号とにはさまれた沿岸地区に被害が集中発生し、立町、浜町、東町などの中心市街地の約 5 ha が浸水した（図 5-4）。浜町では 16 時頃から家屋に浸水が始まった。立町で 18 時～19 時の間に最高水位に達し、22 時～23 時頃に水位が低下し始めた。水深は 20～50 cm に達し、盛土の低い家屋では床上浸水になった。浜町での浸水痕跡から、最高水位は TP 140 cm と測定された。

原因と対策：今回の浸水域は地盤高 1.5 m 以下の沿岸低地帯と一致する。近年、国道 178 号バイパスが海岸より最大 200 m 沖側の海中に計画され、それに伴う埋立工事が終了し市街地の排水は 3ヶ所に新設されたポンプ（図 5-4 の P）により阿蘇海へ放出する排水システムに変更された。ポンプ排水は阿蘇海の水位が TP 100 cm 以下の範囲まで可能だが、水位がそれを越すと排水不能となる設定である。図 5-5 は岩滝町須津における風速・風向の変化を示す。20 日 17

時に 46 m/s, 19 時には 46.8 m/s の最大瞬間風速を記録した。13 時以降の風向は北北東が卓越した。阿蘇海の潮位記録がないため舞鶴海洋気象台の記録を示す。20 日 16 時～19 時の間は 29 mm から 37 mm へ潮位は高まってきた。この時間帯は瞬間最大風速 40 m/s 以上が継続していた時期である。阿蘇海の平均潮位は一般に TP 20～40 cm の範囲にあるが、最高水位は TP 140 cm まで達した。この原因は北東からの暴風により海水が沿岸に吹き寄せられて高潮が発生したことに求められる。ポンプ排水上限の TP 100 cm はかつての最高潮位 97.5 cm を基準に設定されたと思われるが、余裕が極めて少ない。せめて TP 150 cm まで引き上げるべきだろう。また、ポンプ場の潮位計は役場等で常時監視、観測できるテレメータ化が早急に望まれる。

5.4.3 野田川町の被害、原因と対策

被害は家屋損壊 26 棟、浸水家屋 32 棟（床上は 1 戸）で他町にくらべて軽微である。浸水面積は後背湿地を中心に約 140 ha と 3 町中最大である。浸水域は図 5-6 に示すように堂谷狭窄部より上流の石川、下山田両地区に生じたが、被害は軽微であった。野田川と亀山川との合流部付近では 15 時頃から亀山樋門の越流堤から野田川の水が逆流して低地に流れ込むのが観察されている。その後、水位はぐんぐん上昇して 19 時に 160 cm, 21 時には 190 cm まで上昇した。翌

日 2 時以降に水位は低下したという。兵右衛門橋左岸でも、16 時 30 分より不連続堤からの逆流により浸水が始まり、20 時頃には上流からの氾濫水も混じって最高水位の 120 cm を記録した。翌日 3 時 30 分頃に水位は低下していった。

原因と対策：野田川の水位は最高 4.7 m に達したが、破堤も越流もしなかった。改修工事により堤高が 5.75 m の新堤防によって守られたためである。今回の浸水は新川、亀山川、香河川、水戸川などの支流河川の越流による内水災害によるものが中心だ。支流河川は排水能力を超える流水を受け越流した。また、下山田や石川下地地区では越流堤や約 60 m の無堤部から野田川が逆流して流れ込んだ。浸水被害が僅少だったのは地域住民が低地の遊水地的性質を熟知しており、居住地として利用しないからである。しかし、国道 176 号国道沿いに商業・サービス系店舗や住宅が増加してきた。一般に、十分な盛土をおこなっているため大きな被害には至らなかった。しかし、今後の被害を抑制するために土地利用の規制、浸水実績図や浸水深度、避難経路などを表示して危険度を周知させる取り組みが必要である。

5.4.4 加悦町の被害、原因と対策

本町は浸水面積 131 ha, 浸水家屋 276 戸、そのうち 47% の 125 戸が床上浸水という流域最大の深刻な被害を受けた（図 5-6）。また、河川沿いの農地への土砂堆積や農業施設の破壊、河岸侵食による農地の流出などの被害が広域的に発生している。加悦市街地付近の野田川堤防が 6 地点で破壊された。破堤は出合橋から順気橋付近までの約 1 km の区間に集中、破堤部から堤内地に氾濫水が流入し加悦市街地の大半が浸水した。破堤部の総延長は約 560 m に達する。このうち、順気橋左岸以外の 5 地点は新期改修が未着工の旧堤防での破堤である。また、滝川は左岸から堤防の一部を破壊して越流し、野田川の氾濫水と合流して市街地へ流下していった。

図 5-7 には氾濫水の流向と浸水深度を示す。野田川は 15 時頃から越流が始まり、破堤は 17

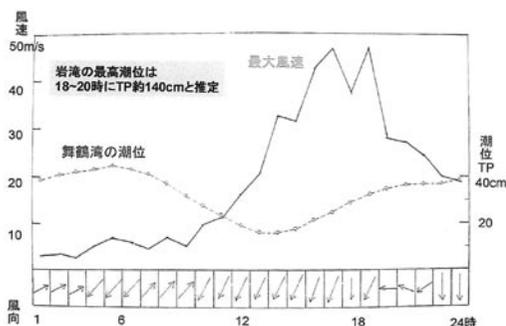


図 5-5 岩滝町の最大瞬間風速・風向および舞鶴の潮位変化（岩滝町および舞鶴海洋気象台の資料より作成）

図 5-7 には氾濫水の流向と浸水深度を示す。



図5-6 野田川町・加悦町の浸水域と水深 点部：浸水域 数値は浸水深度，×は破堤地点

時30分～40分の間に集中的に発生したと推定される。市街地や町役場付近では18時直前に浸水が始まり一気に最高水位まで上昇した。水深は80cm～150cmが測定され、加悦奥川右岸堤防付近では180cmの最高水位が測定された。水位は22時30分頃から急に低下したが、これは加悦奥川の右岸堤が内側より破壊され排水が一気に進んだためだ。一方、氾濫水が地表傾斜に従って北へ流下していく際、圃場整備による顕著な段差ができた水田では畦畔や農道が侵食によって著しく破壊された。段差部で水流が滝となって落下したため激しい侵食力がはたらいて侵食溝がえぐられ、その直下に落堀を形成する。段差直下に設置された東西兩岸域を結ぶアスファルト道路や排水溝は大きく破損し、一時は東西道路の多くが通行不能になった。これは緊急対応時における大きな問題だ。

原因と対策：被害は野田川堤防の破堤と滝川の越流により大量の氾濫水が堤内地へ流入したことによる。破堤が発生した区間は第1期改修工事(昭和6年に完工)による古い堤防部にあたり、



図5-7 加悦町市街地付近の被害分布 暗色部：床上浸水 数値：浸水深度 ×：破堤地点

堤高は約3.2m、流路幅約7.5mであった。これは旧堤防の排水能力と強度を越える流水量に達したことを示す。上流部の新期改修事業を早急に取り組むことが緊急の課題である。さらに、滝川と温江川の合流点より下流500m以内ですべての破堤が発生した。これは両河川からの流入量増加が深く関与したことを示す。新堤防が破堤した順気橋左岸では内水のもどりによる堤内側からの浸透や侵食によるものであった。新堤防の構造的弱点を示すものである。市街地付近の深刻な浸水の原因は氾濫水が加悦奥川右岸堤防によってトラップされ、約4時間にわたって最大180cmの高水位が継続した。22時30分頃に堤防が内水により決壊、一気に排水されて水位が低下した。この部分は堤高を低くして越流堤にするか、水位調整用の樋門設置が必要だろう。一方、農地を削平、盛土して河床との比高を低めた圃場整備事業は河川管理や防災面を全く無視、放置してきた点に問題がある。また、加悦町役場は2002年に河岸低地に移転し、床上約20cmの浸水被害を受けた。公的機関の水害危険地区への移転が被害拡大の背景をなした例である。

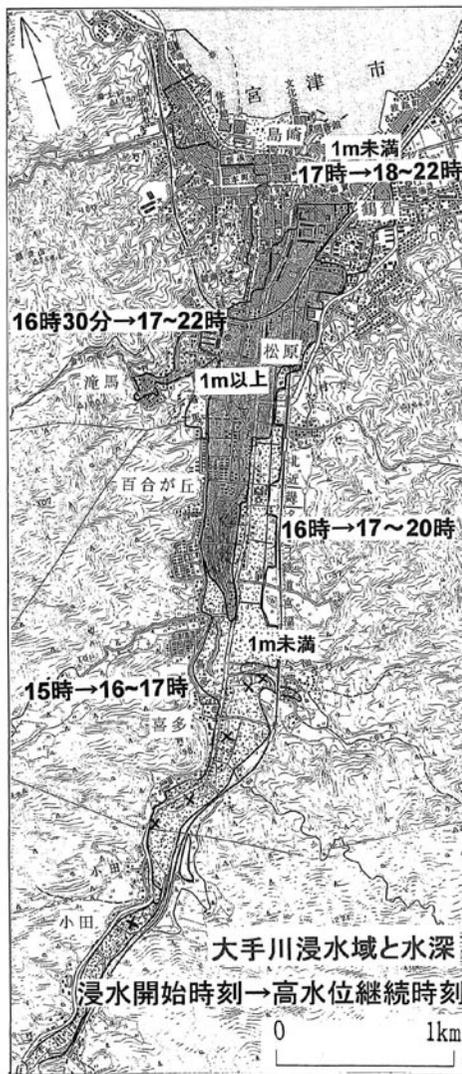


図 5-8 大手川流域の浸水域と水深，浸水開始時刻および高水位の継続時刻 点部：浸水深度 1m 未満 暗色部：浸水深度 1m 以上

5.5 大手川流域の災害

5.5.1 水害の歴史

大手川は大雨のたびに水害を発生させ，昭和 28 年から今回までに 17 回を記録している。1000 戸以上の浸水被害として昭和 28 年 9 月台風 13 号による 1628 戸（うち床上 659 戸），昭和 34 年伊勢湾台風の 1247 戸（うち床上 684 戸），今回の 2400 戸（うち床上 1491 戸）の 3 例がある²⁾。

注目すべきは，平成 2 年以前は約 150 mm 以上の降水で浸水被害が発生していたが，平成 10 年以後は 80～90 mm の降雨でも被害が生じるようになった。これは流域の流出率増加と出水時間の早期化により大量の流水が一気に大手川に集中するようになった結果と考えられる。今災害では大手川をはじめ今福川，滝馬川，如願寺川などで土石流，越流と氾濫により大規模な被害が発生した。約 2400 戸が浸水，その 62% にあたる 1491 戸が床上浸水であった。

5.5.2 宮津市街地付近の被害，原因と対策

大手川流域の浸水域と水深の分布を図 5-8 に示す。宮津市街地の位置する後背湿地は完全に浸水した。大手川は破堤しておらず，河道全域から越流，氾濫した。浸水深が 1 m 以上に達したのは，善光橋より下流の河道沿いの地区で，百合が丘団地で水深 130～150 cm，宮村や松原の河岸地区では 140～170 cm に達しており，水深が最も大きい。東岸の辻町でも水深 130～150 cm，柳馬場の宮津小学校周辺や鶴賀の宮津駅前付近で水深 100～110 cm の地域が広く分布する。本町通周辺や市役所付近では 30～50 cm と軽微である。島崎や新浜の埋立地では 50 cm～80 cm と大きく，平成期の新埋立地では 40 cm 程度と再び浅くなる。聞き取りによる浸水開始時刻および高水位継続時刻を図 5-8 に示す。喜多では 15 時頃から越流が始まり農地に浸水していった。松原地区では 16 時頃，島崎や新浜では 17 時頃から浸水が開始された。喜多から河口の島崎まで約 2 時間，時速約 1.5 km で氾濫水が波及していった。この洪水伝播速度は昭和 10 年京都大水害の高野川筋のもの³⁾に近い。

原因と対策：大手川水位は 15 時頃から喜多付近や上流域で越流ははじめ，約 7 時間後の 22 時頃まで堤高を越える水位が継続した。これは排水能力の不足する河道に過大な流水が集中して全域から越流したことが原因である。大手川低地の全域が水没したが，下流の本町通を中心とする地区では砂州の微高地に位置するため，浸水は軽微だった。沿岸の新时期立地では水深が

小さい。浸水被害発生の原因を豪雨と大手川の越流のみに求めることは適当でない。明治期以来今日まで、大手川では改修工事は行われず放置されてきた。さらに、300 mm 程度の豪雨は昭和 47 年 (342 mm) や平成 2 年 (284 mm) にも発生しており、予想可能な範囲であった。大手川流域では昭和 40 年以降の都市化により河道沿いの百合が丘団地など多くの住宅地開発が進行し、昭和 50 年以降は府道綾部・大江宮津線沿いに商業・工業施設も進出して無秩序な都市的土地利用が拡大し続けた。大型開発事業として、昭和 63 年には KKR 宮福線が開業、平成 2～15 年に京都縦貫道建設と宮津インターチェンジの工事が行われ、流域の水文環境は激変した。大規模な山地斜面の切取りや谷埋めが実施され、コンクリート壁やアスファルト面が急増した。これらが出水率の増加や出水時間の短期化を大きく促進し、洪水ピーク時に過大な流量となって堤高を 1 m 以上上回り、大水害の背景をつくった。今回のピーク流量は 261 m³/s であり、激特指定による改修事業では計画降水量 270 m³/s とし、今後の洪水流量増加の予想からみて極めて余裕が少ない。また、改修事業のみに依存せず、水害防備林、水除け堤による住宅地の囲い、遊水地や沈砂池など柔軟な治水対策をとる必要がある。そして、たびたびの水害を被りながら、改修事業を実現し得なかった市民の災害への意識、河川や治水・水防の軽視、行政のあり方などについて分析し、防災意識の向上や河川と社会との接点を考えなおす必要がある。

5.6 要約

- 1) 豪雨 23 号台風による山地地域の総降水量約 300 mm は過去 1953, 1990 年にも記録されており、想定外の大雨とはいえない。災害の素因として重要だが、主原因と考えることはできない。
- 2) 河川管理 河川改修の有無とその性質は災害を大きく支配している。野田川での 2 回の改修事業の効果は見事に表れている。しかし、野田川上流の旧堤防や大手

川の未改修河川において大規模な破堤や越流が発生して被害を深刻なものとした。

- 3) 地域社会 河川や治水に対する意識が被害様相に大きく関与する。水害常習地域をかかえる野田川の農村地域が水害軽減や改修事業要求のために共同体的意識と水管理への強い関心をもち続けたのに対し、第 3 次産業を主体とし多様な意識と要望をもつ都市的住民の多い宮津市大手川では水害が頻繁に発生したにもかかわらず、河川改修や災害意識が共通課題として共有され運動として高揚したことはなかった。水害や防災への意識や認識度が被害発生の際を支配した。
- 4) 流域開発 流域の開発は河川の水文環境を変える。より多量のより早期の出水が河川負担を大きくする。災害危険性を無視した土地開発、居住や生産施設の増加は被害主体を増大させ、河川改修など管理事業実施の速度を上回る。こうした状況の中で、今災害、特に宮津市および加悦町における大規模災害が発生している。

謝 辞

京都府防災対策室、土木建築部、丹後土木事務所および岩滝、野田川、加悦、宮津の各自自治体の災害および建設、教育委員会等から多数の基礎資料を提供していただいた。野田川町、宮津市の多くの方が聞き取りに協力してくださった。以上の関係諸機関と担当者および地域の皆様に心より感謝申し上げます。本災害については『台風 23 号災害と水害環境』海青社 (2005 年 9 月刊行) において詳細に記述している。

参考文献

- 1) 岩滝町: 岩滝町史, 956 p, 1970.
- 2) 宮津市防災会議: 宮津市地域防災計画, 576 p, 1997.
- 3) 野満隆治: 昭和十年六月二十九日の京都大水害, 第六回土木工学研究会, 41 p, 1935.