

災害発生の原因とメカニズム

福井県が実施した調査結果を参考に、検討委員会として山腹崩壊および流木発生
の原因等について分析、検討を行った。

1 土砂災害の発生原因とメカニズム

1) 山地荒廃の概況

今回の豪雨により被害の激しかった福井市など4市3町に亘る被災区域*1
においては、短時間に月間の降水量を上回るような異常な降雨があったことから、
山腹崩壊や溪岸崩壊等が約7,800箇所にも及び、これらに起因して、ほとん
どの溪流で土石流等が発生し、縦横侵食により大量の土砂等が下流へ流出または
溪流内に堆積している状況にある。

特に、荒廃が著しい溪流は、福井市一乗谷流域、美山町から池田町にかけての
足羽川流域・部子川流域、鯖江市の河和田川流域に認められ、その周辺部の美山
町上味見流域、今立町・武生市鞍谷川流域、大野市真名川上流域でも荒廃が著し
い溪流が認められた。

また、荒廃の著しい範囲は概ね北西から南東方向を軸として分布しており、今
回の豪雨の雨量とほぼ同様の傾向を示している。これらのことから、今回の災害
は第一義的には異常な降雨に起因したものと考えられる。



図 -1-1 被災区域図

被災区域の概況

区域面積	58,000 ha
うち森林面積	49,844 ha

*1) 以下被災区域とは、今回特に被害の
激しかった 福井市東部、美山町、鯖
江市東部、今立町、池田町、大野市南
部、武生市東部の区域で概ね左図に示
した区域を指す。

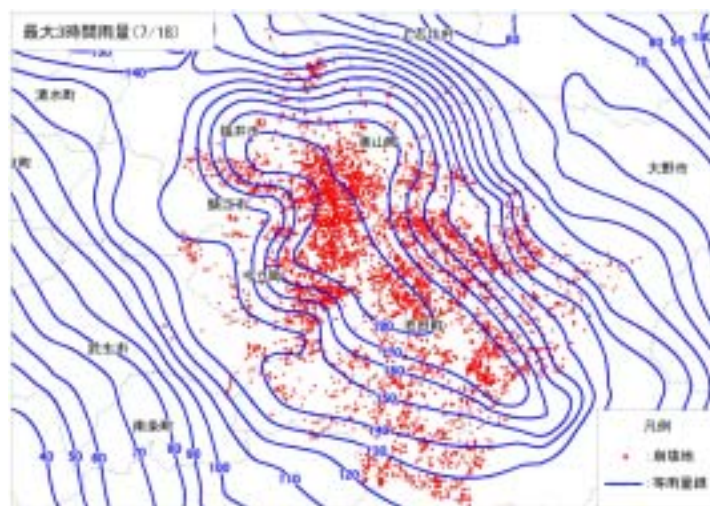


図 -1-2 最大3時間雨量と崩壊地の分布状況

2) 山腹崩壊の状況

(1) 山腹崩壊の発生状況

災害直後に撮影された空中写真（平成16年7月23,24日撮影）の判読結果によれば、被災区域における山腹崩壊（源頭部含む）は箇所数で6,270、面積で110haとなっており被災区域の森林面積（49,844ha）に対する崩壊発生割合は0.2%となっている。

崩壊の規模は最大で0.3ha、平均が0.02haで、0.05ha未満の崩壊地が全体の9割以上を占めており、比較的小規模な崩壊が多数発生したことが伺える。

なお、被災区域内の森林の現況は、森林面積49,844ha、針葉樹26,354ha、広葉樹22,317ha、草地等未立木地1,173haで、針葉樹の97%がスギ人工林である。

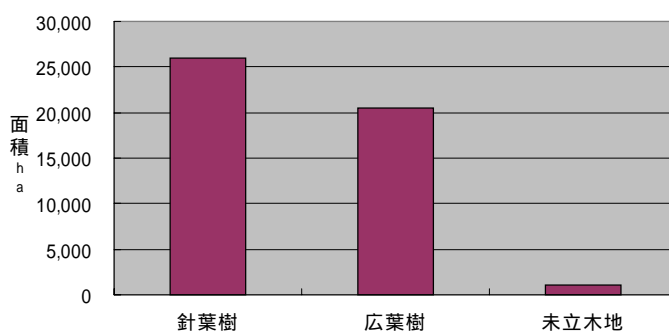


図 -1-3 被災区域内の森林面積（樹種別）

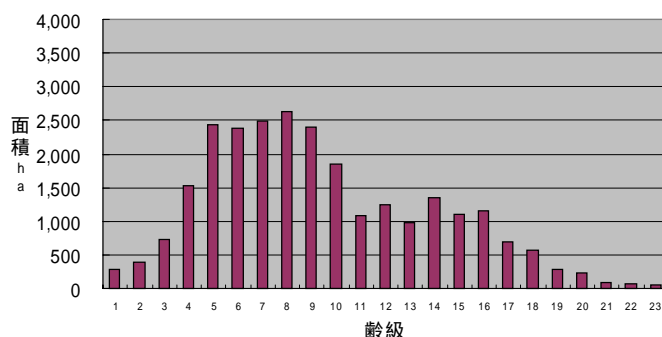


図 -1-4 被災区域内の針葉樹の年齢別面積

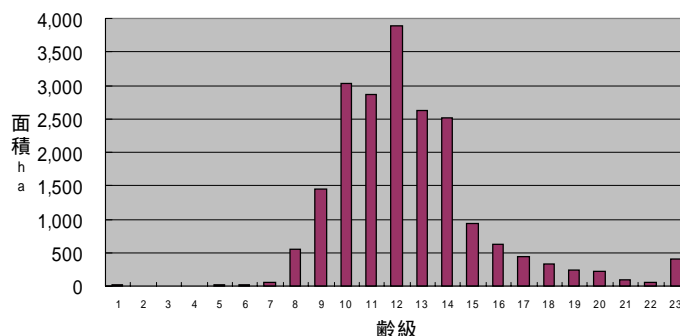


図 -1-5 被災区域内の広葉樹の年齢別面積

* 年齢とは林齢を5年ごとに区切ったものである
 (例 年齢：林齢1～5年生)

表 -1-1 被災区域の森林内の崩壊箇所数および面積

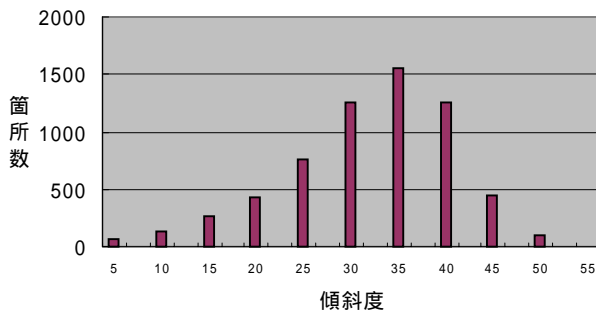
項目	箇所数	崩壊地面積 (m ²)	平均崩壊 面積(m ²)	最大崩壊 面積(m ²)	対象面積(ha)		
					民有林	国有林	計
全体	6,270	1,101,604	176	3,440	47,585	2,259	49,844
針葉樹	2,360	457,449	194	3,440	26,043	311	26,354
広葉樹	2,596	433,008	167	2,802	20,453	1,864	22,317
草地等未立木地	1,314	211,147	161	1,966	1,089	84	1,173

(2) 山腹崩壊の特徴

山腹崩壊の特徴を把握するため、被災区域全体の空中写真判読による崩壊発生状況等についての調査およびスギ人工林を中心とした現地調査を実施し、両調査の結果について分析、考察を行った。

被災区域全体の崩壊地調査（空中写真判読）

ア 傾斜および植生別の崩壊発生状況



崩壊地は傾斜角30度から40度に多く分布し、35度が最も多い状況にあり、また、植生別にみても同様の傾向が認められる。

図 -1-6-1 傾斜別の崩壊発生箇所数

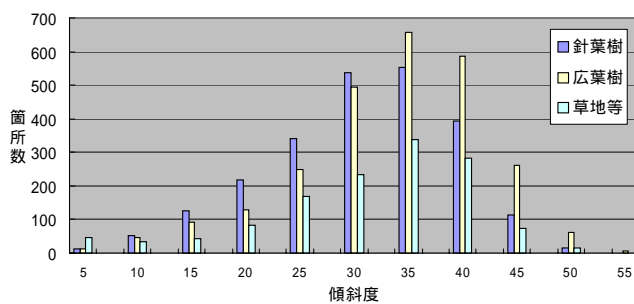


図 -1-6-2 傾斜別、植生別の崩壊発生箇所数

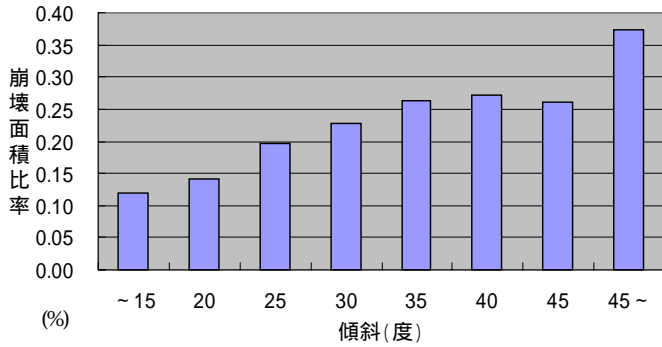


図 -1-6-3 傾斜別崩壊面積比率 (崩壊地面積 / 傾斜別面積)

各傾斜の分布面積に対する崩壊発生面積の割合は、傾斜が急になるに従い、崩壊発生割合が高い傾向となっており、45度以上の急傾斜において崩壊が発生しやすい傾向が認められ、それ以下であってもある程度の崩壊が発生している。

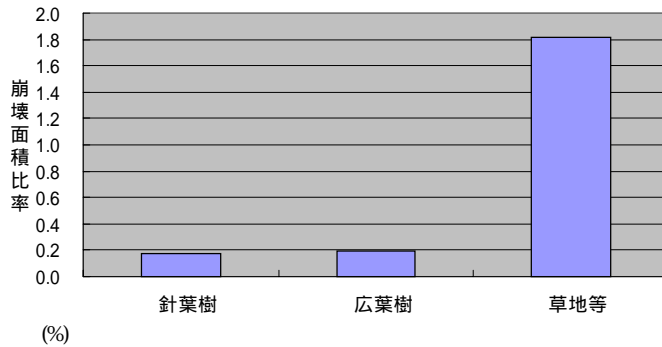


図 -1-6-4 植生別崩壊面積比率 (崩壊地面積 / 植生別面積)

各植生ごとの分布面積に対する崩壊発生面積の割合 (崩壊面積比率) をみると、針葉樹と広葉樹における崩壊発生比率の違いは認められなかったものの、草地等未立木地における崩壊発生比率が非常に高い状況にあり、立木生育地に比べ草地等未立木地で崩壊が発生しやすい傾向が認められる。

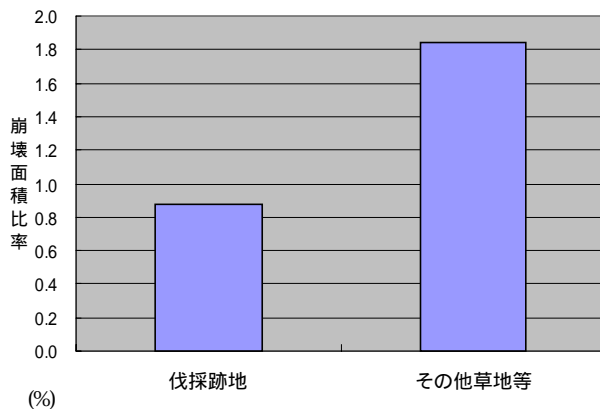
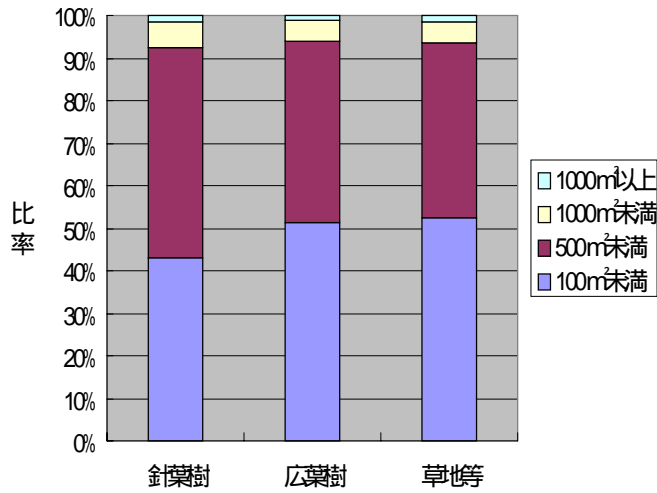


図 -1-6-5 草地等未立木地内識別崩壊面積比率

上記の草地等未立木地を伐採跡地とその他草地等に区分し(注)比較した場合、伐採跡地に比べその他草地等で崩壊が発生しやすい傾向が認められる。

- 注) ・ここでの「伐採跡地」とは伐採後に人工植栽や天然による更新がされていない箇所をさす
 ・「その他草地等」とは崩壊やなだれ等により草地化した箇所等をさす

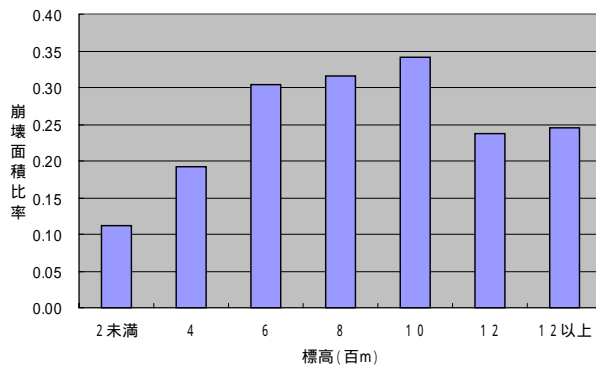
イ 植生別の崩壊規模



針葉樹、広葉樹、草地等未立木地とも、500㎡未満の崩壊が9割を占めており、今回の災害では植生による崩壊規模（面積）の違いは認められない。

図 -1-7 植生別崩壊規模

ウ 標高別の崩壊発生状況



標高別の崩壊発生面積の割合では、標高が高くなるに従い崩壊が発生しやすく、今回の災害では、特に標高600mから1,000mで崩壊が発生しやすい傾向が認められる。

図 -1-8 標高別崩壊面積比率 (崩壊地面積 / 標高別面積)

エ 地質と崩壊発生状況

地質については被災区域の大半がKp（新生代変朽安山岩）であることから崩壊地箇所数でもKpが多いが、崩壊面積比率（崩壊地面積 / 地質別面積）では地質別の差はほとんど認められない。

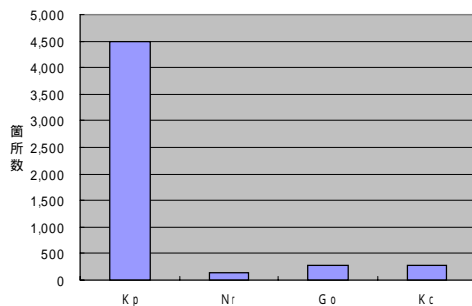


図 -1-9-1 地質別崩壊箇所数

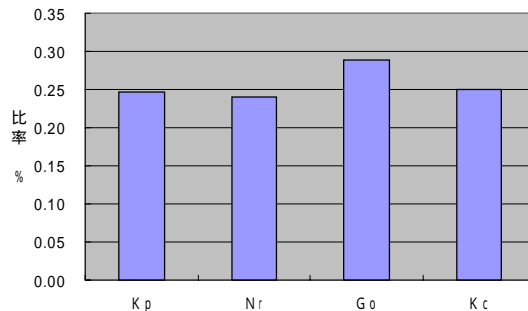


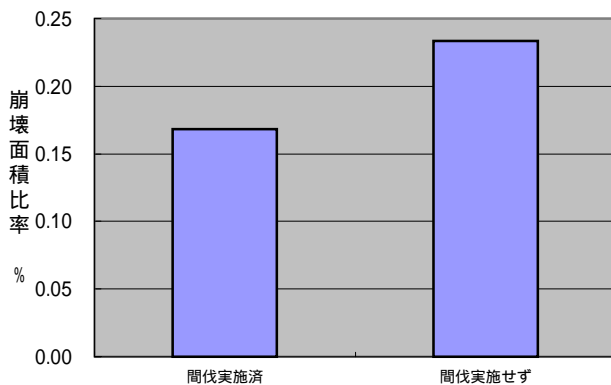
図 -1-9-2 崩壊面積比率 (崩壊地面積 / 地質別面積)

K p : 新生代新第三紀中新世変朽安山岩
 N r : 新生代新第三紀中新世流紋岩
 G o : 中世代三疊紀花崗岩
 K c : 中生代ジュラ紀礫岩・砂岩および頁岩

オ スギ人工林における間伐実施の有無と崩壊発生状況

表 -1-2 スギ人工林における間伐実施の有無と崩壊発生状況

項目	間伐実施済	間伐未実施	全体
全体区域(m ²)	3,970,200	38,289,300	42,259,500
崩壊地(m ²)	6,688	89,479	96,166
崩壊面積比率(%)	0.17	0.23	0.23
崩壊地箇所数	33	392	425
崩壊箇所比率 100ha 当り	8.31	10.24	10.10
平均崩壊面積(m ²)	203	228	226
最大崩壊面積(m ²)	541	3,051	3,051



美山町におけるスギ人工林においては、間伐が実施されている林分は、間伐が実施されていない林分に比べ崩壊が起こりにくい傾向が認められる。

図 -1-10 間伐実施の有無別崩壊面積比率

- 注 1 間伐実施林分とは過去10年間に除伐ないし間伐を実施した林分である
 2 対象地域は、施業履歴の整備されている美山町を選定し、間伐適期の～年齢について調査した
 3 「間伐実施済」林分と「間伐実施せず」林分の平均の年齢はそれぞれ～年齢と～年齢である
 4 「間伐実施済」林分と「間伐実施せず」林分のそれぞれの傾斜および標高の分布状況に有意な差は認められなかった

スギ人工林を中心とした崩壊地調査（現地調査）

ア 調査対象地

現地調査は、福井市、美山町、鯖江市、今立町、池田町および大野市においてスギ林地を中心に87箇所の崩壊地について実施されたものである。

なお、本調査においてはスギの主根長を考慮し、崩壊深2.0m以下を表層崩壊、2.0mを超えるものを深層崩壊として区分している。

表 -1-3 調査した崩壊箇所の概況

項目	箇所数	崩壊面積 (㎡)	平均崩壊面積 (㎡)	最大崩壊面積 (㎡)	平均崩壊深 (m)	平均傾斜 (度)
全体分	87	27,790	319	2,400	2.6	32
表層崩壊地	55	12,570	228	1,600	1.3	33
深層崩壊地	32	15,220	475	2,400	4.9	29

表 -1-4 植生別崩壊箇所数および崩壊面積

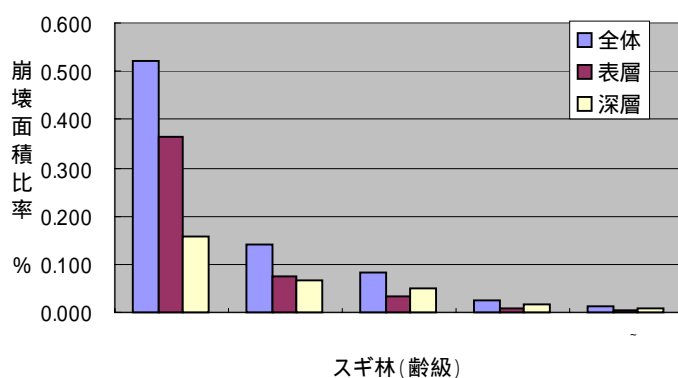
項目	針葉樹		広葉樹		草地等		計	
	箇所数	崩壊面積 (㎡)	箇所数	崩壊面積 (㎡)	箇所数	崩壊面積 (㎡)	箇所数	崩壊面積 (㎡)
全体分	74	22,270	4	3,190	9	2,330	87	27,790
表層崩壊地	45	10,450	3	790	7	1,330	55	12,570
深層崩壊地	29	11,820	1	2,400	2	1,000	32	15,220

イ スギ齢級別崩壊状況

表 -1-5 スギ齢級別崩壊箇所数および崩壊面積 単位：ha

齢級	対象面積	崩壊箇所数			崩壊面積		
		全体	表層崩壊	深層崩壊	全体	表層崩壊	深層崩壊
	107.00	16	12	4	0.56	0.39	0.17
	383.01	14	7	7	0.55	0.29	0.26
	644.68	19	12	7	0.54	0.22	0.32
	729.01	10	7	3	0.17	0.05	0.12
~	1,813.23	12	7	5	0.21	0.09	0.12
計	3,676.93	71	45	26	2.03	1.05	0.98

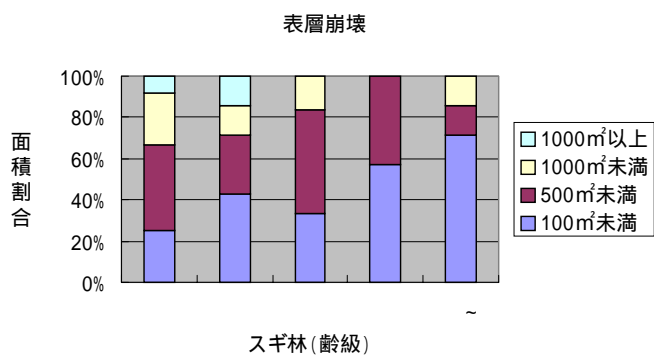
注) スギ林内の崩壊地 71 箇所について分析したものである。
対象面積とは調査を実施した区域の面積である。



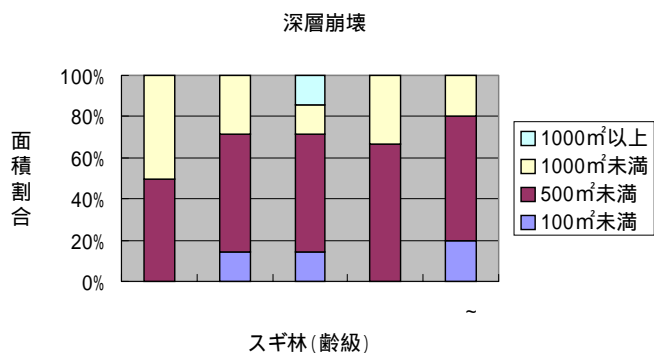
各齢級別の崩壊面積比率を見ると、齢級が上がるに従い崩壊面積比率が減少する傾向にあり、若齢な林分ほど崩壊が発生しやすい傾向が認められる。

図 -1-11-1 齢級別崩壊面積比率

- 注 1) とは および 齢級のものを示す
以下、順次 まで同様
- 2) ~とは 齢級以上のものを示す



表層崩壊については、年齢が高くなるに従い1箇所当たり100㎡未満の小規模な崩壊地の割合が増加する傾向にあり、傾向として林齢が高いほど崩壊規模(面積)が小さくなること認められる。



深層崩壊については、年齢と崩壊面積割合との関係が特には認められない。

図 -1-11-2 年齢別崩壊面積割合

ウ 斜面形状と崩壊状況

斜面形状別の崩壊発生面積の割合では、表層崩壊においては山腹凹斜面での崩壊が発生しやすい傾向が認められる。

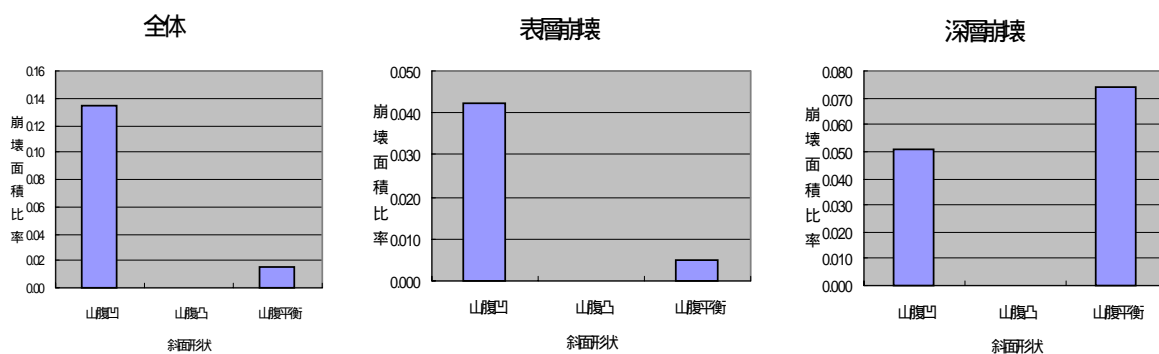


図 -1-12 斜面形状別表層・深層別の崩壊面積比率

注)美山町蔵作および三万谷地区のうち計27箇所について分析したものである。

エ その他

深層崩壊の平均崩壊面積は475㎡、表層崩壊の平均崩壊面積は228㎡であり、深層崩壊は表層崩壊に比べ、崩壊規模が大きい傾向が認められる。

(3) 山腹崩壊の発生形態と発生原因

今回の豪雨により100㎡以下の小規模な崩壊も含め、約6,300箇所に及ぶ山腹崩壊が発生した。

崩壊の規模、崩壊の形状等はさまざまであるが、発生形態を区分すれば、草地等における比較的薄い土壌層での表層崩壊、スギ等立木生育地における比較的小規模な表層崩壊、谷頭部や尾根部付近等で発生する比較的規模の大きな深層崩壊のおおむね3つに分類されると考えられる。

草地等における比較的薄い土壌層での表層崩壊

今回の豪雨では、過去に崩壊や雪食等により表層土が流亡し、さらに、なだ



れの発生等により木本類の侵入が困難となっている草地での崩壊が多く発生している。

写真の福井市浄教寺地区では、尾根付近の比較的急な斜面においてスジ状に多数発生している。この斜面の土壌層は0.8mから1.0mと薄く、崩壊の原因としては、集中的な降雨により土壌層の水分量が急増したために、土壌層が安定性を失い崩壊したものと推察される。

福井市浄教寺地区



浸透能: 村井宏・岩崎勇「林地の水および土壌保全機能に関する研究」1975

スギ等立木生育地における比較的小規模な浅い崩壊

スギ等立木生育地内においては、比較的急な凹部斜面での小規模な崩壊が多く発生している。

滑落面には基岩および粘性土が露出している箇所などがみられるが、いずれも崩壊深は主根の長さ程度であることが多く、立木の根系の及ばない基岩や土壌層の上端部から崩壊したものと推察される。



美山町蔵作地区（針葉樹）



池田町谷口地区（広葉樹）

谷頭部や尾根部付近等で発生する比較的規模の大きな深い崩壊

谷頭部分や尾根部下部付近では、植生に拘わらず比較的規模の大きい深い層での崩壊が発生しており、滑落面には透水性の低い粘土質の土壌や基岩層が確認された。

写真の今立町相木地区ではスギ30年生の林分において、幅40m、長さ70m、崩壊深は2mから20mと比較的規模の大きな崩壊が発生している。

崩壊発生地点では風化安山岩と見られる土層が厚く堆積しており、大量の降雨が土層中に浸透して土層の重量が急増したことや、土層中における飽和帯の形成が土の粘着力低下を招いたこと等が崩壊の原因であると推察される。

尾根部付近や山腹斜面に風化した安山岩層が多く分布する本地域では、このような規模の大きい崩壊が発生する可能性があると考えられる。



今立町相木地区（針葉樹）



福井市浄教寺町地区（広葉樹）

(4) 山腹崩壊と樹種について

山腹崩壊と樹種の関係については、広葉樹は針葉樹に比べ崩壊が発生しにくいと言われることが多いが、今回の災害においては、P 23で記述したとおり針葉樹と広葉樹における崩壊発生比率の違いは認められなかった。

また、過去の事例調査に基づく報告をみても、地質や傾斜、土層深等の様々な因子が土砂崩壊防止機能に関与しているため、広葉樹と針葉樹の崩壊の起こりやすさを一概に比較することは難しいとされている。

なお、樹種との関係については洪水緩和機能（雨水を一時的に貯留し直接流出量を軽減する作用）等についても多くに因子が関与しているため一概に言えないところであり、今回の災害においても比較することはできなかった。

3) 土石等流下、堆積（土砂移動現象）の状況

(1) 土石流流下、堆積の状況

このたびの福井豪雨災害における山間集落の被害の特徴として、以下の点が推測される。

比較的流域面積の小さい溪流におけるレキ分を多く含む典型的な土石流災害が発生するとともに、比較的流域面積の大きい溪流における細粒分を多く含む土石流災害等が発生している。

土石流災害では、単独の溪流からの土石流による被害を受けた箇所と複数の溪流からの被害を受けた箇所が見受けられる。

比較的流域面積が大きい溪流での土石流災害では、被害が広域に及んでいる。

以上を踏まえ、土石流の発生から流下、堆積に至る現象について、土砂移動現象と降雨の関係、溪流の荒廃状況、土砂移動状況とその規模に関する調査を実施するため、家屋等の被災の程度が大きかった地区から以下の溪流を選定した。

福井市浄教寺地区（一乗川、一乗滝川、新町川）	}	比較的流域面積の大きい個別の溪流における土石流による災害
鯖江市河和田地区（三ツ俣川）		
今立町水間地区（岩窟谷川、小平谷川、平谷川、水間川）	}	比較的流域面積の小さい個別の溪流における土石流による災害
池田町下池田地区（宮の谷川）		
美山町蔵作地区（蔵作川、稗苗川、上良川）	...	比較的流域面積の小さい複数の溪流が合流し発生した土石流による災害

図 1 13 土砂移動現象調査対象箇所位置図

土砂移動現象と降雨の関係

災害発生時の降雨と土砂移動現象の時系列的变化を把握するため、河川・渓流水の濁り、水や土砂の氾濫、土石流の流下の発生時刻等に関する聞き取り調査を実施した。(表 16)

この結果、5 渓流中下池田地区を除く 4 渓流では、最初の土石流が 18 日午前 7 時から 8 時半頃の間が発生している。

各調査地区の最寄りの雨量観測所で観測された雨量から、水間地区岩窟谷川を除き、時間雨量 70mm 以上連続雨量 150mm 以上で災害が発生しており、水間地区岩窟谷川は、時間雨量 50mm 以上、連続雨量 100mm 程度で災害が発生している。

雨量のピーク付近から 1 時間半後の間に土石流が発生している。

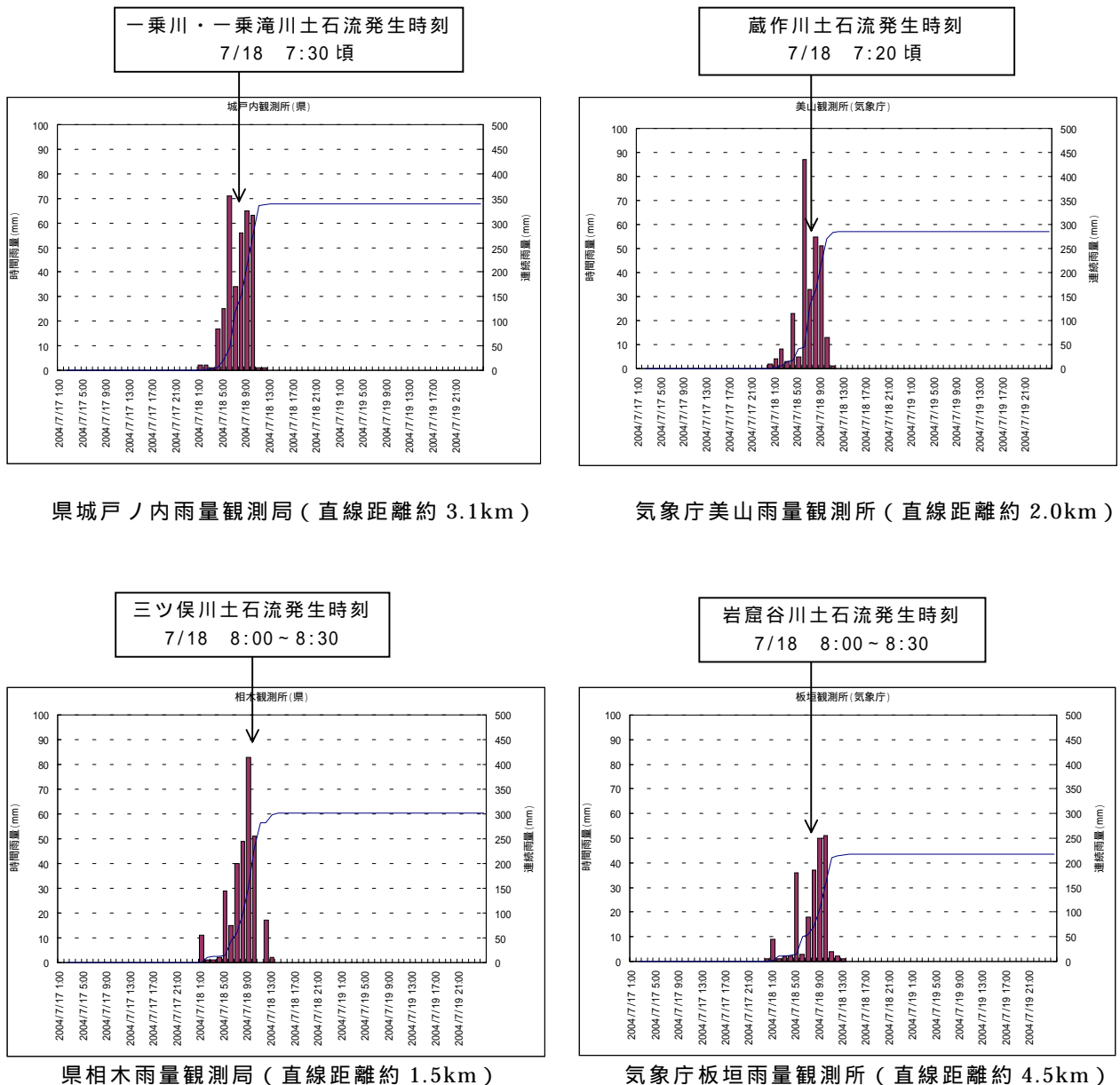


図 1 14 降雨状況と土石流発生時刻の関係

表 1 6 土砂移動実態（聞き取り調査）

時刻	浄教寺地区 一乗川・一乗谷川	蔵作地区 蔵作川	河和田地区 三ツ俣川	下池田地区 宮の谷川	水間地区 岩窟谷川
4:00			ふつうに雨が降り始めた。		
5:00		異常な雨の降り方が気になり2階の窓からしばらく外を眺める。			
5:30		川からごろごろと岩が流れる音がした。			
5:40		蔵作川は、氾濫寸前だった。午前6時半頃には道にも水があふれ大木が流れてきた。少し水が引いた感じがした。			
6:00		橋では水が氾濫し、足元がすくわれるかと不安になった。水位が流路を越えていたが、道路等の破損は無かった。	雨の降り方が激しくなった。		ふつうの雨よりもきつかった。河幅は3m位、水位は流路の半分くらいの深さ。水は茶色に濁っていた。
6:30		道にも水があふれ大木が流れてきた。			
7:00	川の中を流れる石がぶつかり合う鈍い音がしていた。	家の表(流路側)は水浸しになり、大木が流れてきた。水は茶色く濁っていた。	水路いっぱいの幅で流れていた。水は黒っぽい色をしていて、水位が30cmくらい下がった。水の流れて道路が壊れた。水位は高いときに道路の上50cmくらいまで上がった。川の中からはがらりと石の流れる音がした。流木は無かった。		
7:20		異常な雨が降り続いていて、家財道具を運び出していったら家の中にも水が浸入してきた。数分後玄関を破り土石流が入ってきた。河幅は10m位、水位は道路から高さ2m位で茶色に濁っていた。			
7:30	外に出ると、傘が役にたたないぐらいに激しく雨が降っており、カッパを着用した。川の中を石が流れてぶつかる鈍い音がした。流路の水面いっぱい(幅5mくらい、高さ1.5~1.6mくらい)に流れていた。茶色に濁っていた。脇の谷から流れた水は県道鯖江美山線を流れ、滝のようになって、水田に流れ込んでいた。災害が発生し始めた。水、土砂、流木が一緒になって流れた。7時半から10時ごろまでずっと続いた。				
8:00		自宅の車庫が流れた。	大きな雨粒が落ちてくる感じで、傘は役にたたなかった。流木や土砂が多くて(8:30)。水の量が多かった。土砂流かどうかははっきり分からない。石がぶつかりながら流れる音、腐葉土のようなにおい。道路の上も川になり、集落の谷間の幅いっぱいに流れていた。水位は高いときに道路から高さ1m位。水の色が赤土色だった。地区の公民館に水の流れがぶつかり、土地がえぐられた。		流木や土砂が連続して次々に流れしてきた(午前8時半)。川からごろごろと音がしていた。流路いっぱいに流れていて、いったん水位が下がった。2年くらい前にも同じようなことがあり、そのまま雨が止むと思っていた。30分くらい後に橋に流木が引っかかり、床上浸水した。床上浸水した後、いったん水位が下がり、また床上まで上がった。河幅は10m位。そのままの状態が2時頃まで続いた。水は茶色に濁っていた。

時刻	浄教寺地区 一乗川・一乗谷川	蔵作地区 蔵作川	河和田地区 三ツ俣川	下池田地区 宮の谷川	水間地区 岩窟谷川
9:00				普通の雨で、止むかと思っていた。宮の谷川は普通に水路の幅(1m)、水路の深さ(0.5m)で流れていた。	
9:15	一乗谷川の様子を見に行く。すでに濁流はオーバーフローし、中路宅を直撃していた。				
10:00			雨は小降りになった。流れは水路の幅に戻った。流路は土砂で埋め尽くされていた。大きい石で直径50cm程度。水深は30~50cmくらい。水はグレーっぽい色をしていた。道路や護岸はすでに壊れていた。地区の公民館の土地がさらにえぐられ、川岸の木が倒れ、屋根にぶつかった。最後は公民館の土地が流され、建物が傾いた。	部子川は10時ごろ川いっばいに水が流れていた。部子川にかかる家の前の橋が傾いた。部子川からは石の流れる音がしていた。	
10:30				バケツをひっくり返したような雨の降り方になった。部子川は10時半ごろまでにあっと言う間に水位があがり、溢れ出した。宮の谷川の水があふれ始めた。土砂は出ていなかった。	
11:00		激しい流れが続いていた。			
11:30				11時半ごろ宮の谷川から土石流が出た。それから12時くらいまでたくさんの水と一緒に土砂が出た。宮の谷川は土砂で埋まって回り全体に土砂と水が氾濫していた。水位は土地の高さからひざ下(50cm)くらい。部子川は泥で濁り、大きな石(1mくらい)も流れていた。宮の谷川は、泥混じりの茶色で、こぶし大の石が多く流れていた。宮の谷川の上流側にある家が壊れた。	
12:30	雨が止んでいた。河幅は2.5m程度、水位は道路から高さ40cmくらいで茶色に濁っていた。家が流され、直径50cmくらいの石がごろごろしていた。元の川は、土砂で埋まって、高いところで1.5mくらい直径50cmくらいの石が積もっていた。				
14:00		雨は止んでいた。流路は土砂で埋まり、その上を幅2.0~3.0mで流れていた。水は茶色に濁っていた。次の日には白くなっていた。蔵作川と稗苗川の合流点は、1m弱、家の周りは、土砂と30cm位の石が堆積していた。高いところで家の1Fが埋まりそうな位(2.5m程度)たまっていた。		土砂が混じった水は午後2時ごろまで出続いた。	雨は小雨になった。流路が土砂で埋まり、道路が川になり、幅10m、くらいで流れていた。水位は2m位、流れは速く渡れなかった。こぶし大の石がたくさん流されていた。水の色は茶色で次の日は水になった。流路は土砂で埋まっていた。ひどいところは、1.5m程度の石が家の1階くらいの高さに重なり合ってたまっていた。低いところも30~50cm位土砂がたまっていた。

時刻	浄教寺地区 一乗川・一乗谷川	蔵作地区 蔵作川	河和田地区 三ツ俣川	下池田地区 宮の谷川	水間地区 岩窟谷川
17:00				雨は降り始めの9時ごろの状態に戻った。宮の谷川は埋まり、あたり一面に水があふれていた。水は茶色くなっていた。宮の谷川から出た土砂は家の敷地にたまった。土砂とこぶし大の石がたまっていた。部子川では、1mくらい大きな石が川の横の道路の上のっていた。宮の谷川から出て敷地にたまった土砂は深さ20cmくらい。	

荒廃状況および土砂移動状況（別添、各地区荒廃現況図・縦断図参照）

土砂移動現象の実態を把握するため、災害直後（7月23・24日）に撮影された空中写真（撮影縮尺：1/10,000相当）を用いて、斜面崩壊の発生位置、土石流の流下範囲、土砂の氾濫堆積範囲、砂防堰堤等の堆砂敷への堆積、洪水の氾濫範囲等を判読し、図化した結果を基に、現地調査により土砂生産源（土石流発生源；崩壊地、溪岸崩壊地等）から土砂の氾濫範囲の実態について調査した。（表 1 7）

表 1 7 荒廃状況現地調査

地区名 溪流名	地形分類	崩壊の発生場所	崩壊地の特徴	崩壊の深さ （鉛直方向）	単位溪流長さ 当の侵食土砂量
浄教寺地区 一乗川	谷底平野	溪流の源頭部に位置するものが多い。溪流沿いの溪岸崩壊も散見される。	基盤岩の露出したものが多い、その基盤岩の一部は強く風化作用を受けているものがある。比較的崩壊の規模が大きい。	最も深い箇所 で 5.0m ~ 3.0 m。崩壊地全 体の平均的な 深さは、2.0 ~ 1.0m	2.4 ~ 12.7 / m
河和田地区 三ツ俣川	谷底平野	溪流の源頭部に位置するもの多く、溪流沿いに位置するものは少ない。	基盤岩の露出したものが多い、その基盤岩の一部は強く風化作用を受けているものがある	最も深い箇所 で 4.0m ~ 1.5 m。崩壊地全 体の平均的な 深さは、2.0 ~ 1.0m	3.2 ~ 7.2 / m
蔵作地区 稗苗川	谷底平野	溪流の源頭部に位置するもの多く、溪流沿いに位置するものは少ない。	斜面表層の風化残積土層の崩壊が顕著である。	最も深い箇所 で 4.0m ~ 1.0 m。崩壊地全 体の平均的な 深さは、3.0 ~ 0.8m	1.6 ~ 6.7 / m
水間地区 岩窟谷川	谷底平野	他の地区に比較して、崩壊が少ない。	斜面表層の風化残積土層の崩壊が顕著である。	最も深い箇所 で 1.5m ~ 0.5 m。崩壊地全 体の平均的な 深さは、1.5 ~ 0.3m	1.5 ~ 5.1 / m

下池田地区 宮の谷川	扇状地	溪流の源頭部 および溪流沿 いの溪岸崩壊 が見られる。	斜面表層の風 化残積土層の 崩壊が顕著で ある。	最も深い箇所 で 2.0m ~ 3.0 m。崩壊地全 体の平均的な 深さは、1.5 ~ 2.0m	2.2 ~ 10.2 / m
---------------	-----	--------------------------------------	-----------------------------------	---	-------------------

* 溪流の断面を計測し、土石流発生前の地形を推定して単位溪流長さあたりの侵食土砂量を推定した。



図 1 15 災害発生前後の空中写真の比較（美山町蔵作地区）



崩壊地状況（浄教寺地区、地点 1）



崩壊地状況（下池田地区、地点 2）



崩壊地状況（河和田地区）



崩壊地状況（蔵作地区、地点 2）



溪岸侵食状況（浄教寺地区、横断 No.1）



溪岸侵食状況（蔵作地区、横断 No.5）



土砂堆積状況（浄教寺地区、地点 3）



土砂堆積状況（蔵作地区、地点 6）



土砂氾濫状況（蔵作地区、
蔵作川・稗苗川合流点付近）



土砂氾濫状況（河和田地区、上河内公民館付近）

災害前後の空中写真（図 1-15）を比較すると、福井豪雨前（H13）に撮影された写真では、ほとんど崩壊が認められないが、福井豪雨後に撮影された写真では、新たな多くの崩壊や土石流の痕跡が確認された。

崩壊の深さ（平均）は、概ね 1.0～3.0m 程度であり、崩壊によって基盤岩の露出した事例や、崩壊の発生位置が溪流の源頭部にある事例が多い。

斜面で発生した崩壊は、多くの場合そのまま土石流となって、溪流を流下している。（崩壊は、土石流の痕跡につづいている。）

土石流の流下に伴い、溪岸ならびに溪床が激しく侵食され、これらの侵食により土砂や流木が生産されている。

礫分を多く含む土砂の多くは、一般的に土石流の到達範囲とされる溪床勾配 2° 程度の区間までで停止しているが、大量の流水は、溪床勾配 2° よりも緩い下流に細粒土砂を流下させるとともに、流路内を細粒土砂で埋塞した事例が確認された。

浄教寺地区の一乗川、一乗滝川、河和田地区の三ツ俣川の流域は、氾濫開始点から集落までの勾配や距離の関係から土石流危険溪流として抽出されていなかったが、流出土砂や流木による家屋等の被害が発生している。

土砂氾濫域・浸水範囲は、土石流による氾濫、洪水に伴う流送土砂の河道堆積や埋塞、河道の流下断面をこえる出水、橋梁部での流木等による河道埋塞など様々な要因が組み合わさって発生している。

土砂収支の状況

調査した5地区12渓流について、空中写真判読結果、現地調査結果等に基づき、土砂移動形態と概略の移動量を土砂収支として整理した。(表 1 8)

表 1 8 土砂収支

地区名	渓流名	流域面積 (km ²) A	崩壊地面積 (m ²) B	崩壊地面積率 (%) C=B/A	生産土砂量 (t)			流域内堆積土砂量 (t) G	施設効果量 (t) H	流出土砂量 (t) I=D-G-H	単位流域面積当たり生産土砂量 (t/km ²) J=D/A	単位流域面積当たり流出土砂量 (t/km ²) K=I/A
					合計 D=E+F	崩壊 E	渓床・溪岸侵食 F					
浄教寺地区	一乗川	4.22	75,187	1.8%	297,229	187,967	109,262	159,017	750	137,461	70,433	32,751
	一乗滝川	2.11	25,072	1.2%	103,697	62,680	41,017	2,241	0	101,456	49,146	48,084
	新町川	1.34	6,619	0.5%	33,841	16,548	17,293	999	0	32,842	25,254	24,509
河和田地区	三ツ俣川	3.58	61,605	1.7%	172,329	104,729	67,600	4,403	15,737	152,189	48,136	46,907
蔵作地区	稗苗川	1.11	16,714	1.5%	45,353	26,742	18,611	4,546	9,079	31,728	40,859	36,763
	蔵作川	3.40	24,064	0.7%	73,947	38,502	35,445	8,497	49,101	16,349	21,749	19,250
	上良川	0.54	7,534	1.4%	24,624	12,054	12,570	417	3,489	20,718	45,600	44,829
水間地区	岩窟谷川	1.32	4,916	0.4%	15,967	4,425	11,542	1,309	5,368	9,289	12,096	11,104
	小平谷川	0.14	78	0.1%	3,055	70	2,985	491	0	2,564	21,823	18,313
	平谷川	0.15	242	0.2%	1,620	218	1,402	62	0	1,558	10,800	10,389
	水間川	1.28	9,418	0.7%	24,433	8,476	15,957	2,442	583	21,409	19,089	17,181
下池田地区	宮の谷川	0.18	510	0.3%	6,283	955	5,328	371	0	5,912	34,904	32,843
合計	-	19.37	231,959	-	802,378	463,366	339,012	184,795	84,107	533,475	-	-
平均	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41,424	27,541

- * 単位流域面積当たりの生産土砂量 = 生産土砂量/流域面積
- * 単位流域面積当たりの流出土砂量 = (施設効果量 + 流出土砂量) / 流域面積
- * 生産土砂: 降雨が誘因となって崩壊した山腹の土砂や流水によって浸食された溪床や溪岸の土砂など、移動した土砂
- * 堆積土砂: 生産土砂が流水と一体となり、渓流を流下する過程の中で、渓流の縦断勾配が緩くなった地点や砂防堰堤等で移動を停止した土砂
- * 流出土砂: 生産土砂が流水と一体となり、渓流を流下し、民家の直上流などある基準となる地点まで到達した土砂

調査の結果、以下のことが推定される。

- ・崩壊地面積率は、0.1～1.8%。
- ・各渓流の流出土砂量は、約 1.5 千 m³ ～ 152 千 m³。
- ・その中で流出土砂量が多い渓流は、三ツ俣川の約 152 千 m³ を始めとし、一乗川 (約 137 千 m³)、一乗滝川 (約 101 千 m³)。
- ・5地区12渓流の総流出土砂量約 533 千 m³。
- ・総流域面積 19.37km² に対する平均流出土砂量は約 28 千 m³ / km²。
- ・崩壊と溪床・溪岸侵食によって流域面積当たりの生産土砂量は 10 千 m³ から 70 千 m³。
- ・総生産土砂量約 802 千 m³、総流域面積 19.37km² に対する平均生産土砂量は約 41 千 m³ / km²。

4) 土石流災害と地形条件

(1) 地形条件と被害規模

今回の福井豪雨では、土石流発生地域内で 90 箇所^{注1}の土石流が発生し、そのうち家屋の全壊・半壊の被害が発生したのは 29 箇所であった。全壊・半壊の場合、人命に危害が及ぶ可能性が極めて高いため、全壊・半壊等被害の程度と地形との関係について調査を行った。

等雨量線分布図と全壊・半壊の発生箇所、崩壊地の分布を比較すると、最大時間雨量 70mm 以上の範囲で全壊・半壊の被害が発生した箇所が 27 箇所となり、比較的相関が得られるため、この範囲で検証を行った。

最大時間雨量 70mm 以上の範囲内には、土石流危険渓流等が 245 箇所存在する。その内、土石流が発生し、集落等まで氾濫・堆積したのは 51 箇所であり、さらにその被害が全壊・半壊に至った箇所は 27 箇所であった。土石流発生地域と比較した場合、土石流危険渓流箇所数に対する土石流の発生割合は同程度であるのに対し、全壊・半壊の被害が最大時間雨量 70mm 以上の範囲に集中していることが認められる。

表 -1-9 福井豪雨による土石流被害内訳

	土石流危険渓流等	土石流発生箇所	全壊・半壊被害
最大時間雨量 70mm 以上の範囲	245 (8 箇所)	51 (8 箇所)	27
土石流発生地域	428 (16 箇所)	90 (16 箇所)	29

単位：箇所

注1：土石流発生地域とは土石流が発生した福井市、武生市、大野市、勝山市、鯖江市、美山町、今立町、池田町のうち、勝山市（土石流発生1箇所）を除いた地域である。

注2：表中の（ ）は、土石流危険渓流以外で土石流が発生した箇所である。

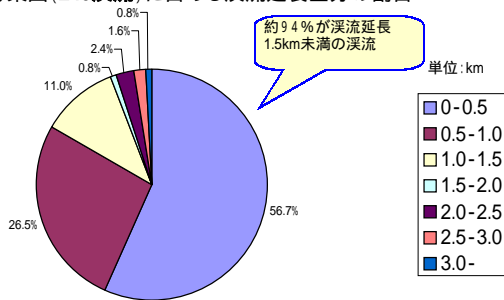
注3：土石流発生箇所とは、土石流が集落まで到達した箇所をいう。

図 -1-16 に示すように、渓流長 1.5km 以上の渓流や流域面積 2.0k m²以上の渓流で土石流が発生した場合、その下流の集落の住宅が全壊・半壊に至る可能性が高く、また、発生流域面積 1.0k m²以上の渓流においても、集落まで到達する可能性が高い傾向が認められた。

一方、土石流の発生と渓流長や流域面積等との相関はほとんど認められなかったことから、短時間に今回のような降雨が発生した場合には、上記に示す地形条件を呈する箇所については、土石流災害の危険性が高いと考えられる。

3) における個別事例の調査の際も、渓流長が長く、流域面積が比較的大きい一乗谷川や三ツ俣川などの渓流において、大量の土砂が生産、流下、堆積した結果が得られたが、この全体的な検証でも同様の傾向が認められる。

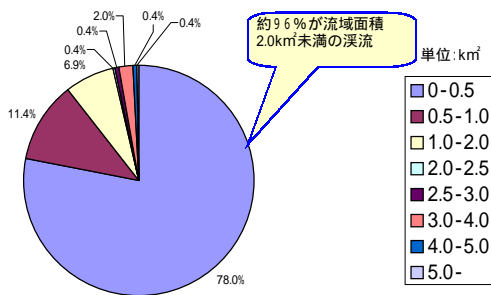
母集団 (245溪流) に占める溪流延長区分の割合



溪流長1.5km未満の溪流における全壊・半壊の発生率	6.5%	(15溪流 / 231溪流中)
溪流長1.5km以上の溪流における土石流の発生率	100.0%	(14溪流 / 14溪流中)
溪流長1.5km以上の溪流における全壊・半壊の発生率	85.7%	(12溪流 / 14溪流中)

溪流長1.5km以上の溪流で土石流が発生した場合、全壊・半壊に至る可能性が高い

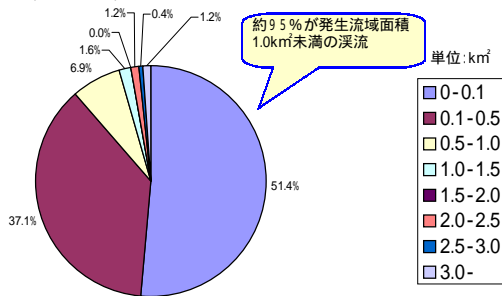
母集団 (245溪流) に占める流域面積区分の割合



流域面積2km²未満の溪流における全壊・半壊の発生率	8.9%	(21溪流 / 236溪流中)
流域面積2km²以上の溪流における土石流の発生率	88.9%	(8溪流 / 9溪流中)
流域面積2km²以上の溪流における全壊・半壊の発生率	66.7%	(6溪流 / 9溪流中)

流域面積2.0km²以上の溪流で土石流が発生した場合、全壊・半壊に至る可能性が高い

母集団 (245溪流) に占める発生流域面積区分の割合



発生流域面積1.0km²未満の溪流における全壊・半壊の発生率	9.4%	(22溪流 / 234溪流中)
発生流域面積1.0km²以上の溪流における土石流の発生率	81.8%	(9溪流 / 11溪流中)
発生流域面積1.0km²以上の溪流における全壊・半壊の発生率	45.5%	(5溪流 / 11溪流中)

発生流域面積1.0km²以上の溪流で土石流が発生した場合、集落まで到達する可能性が高い

発生流域面積... 溪床勾配 15° 以上の流域面積。一般的に 15° 以上が土石流の発生区間とされている。(土石流発生要因の一つである水量を指す指標)

図 -1-16 土石流災害と地形条件

2 流木発生状況とメカニズム

1) 流木発生状況

流木発生状況について、今回、流木が多く発生した足羽川流域等において実施された現地調査の結果に基づいて分析、考察を行った。

なお、ここでは、流木発生形態等を踏まえ、便宜上、河川を、足羽川本流や部子川、一乗谷川などの河川法に基づき国および県が管理している河川(以下「河川」という。)とそれ以外の河川(以下「溪流」という。)に区分し調査を行っている。

(1) 調査方法等

流木の発生量や堆積量を直接的に把握することは非常に困難であることから、河川の河畔林や溪流の溪畔林において発生した林地被害の発生面積を調査し、当該箇所の立木が流木になったものとみなし、その材積の推定を行った。

また、流域における流木の堆積量については毎木調査を行った。

調査流域は、流木の発生が多く見られた足羽川本流(池田町持越から福井市明里町まで)、一乗谷川、蔵作川、上味見川、赤谷川、部子川流域(稗田川、金見谷川、部子川本流)、三ッ俣川の各流域であり、調査箇所数は156箇所である。

なお、「流木」とは、河岸・溪岸の侵食等により立木状態のものが倒伏し、生立箇所より下流側へ流されているものを指すこととし、堆積量については直径5cm、長さ1.0m以上のものについて測定している。



(2) 流木発生状況

今回の豪雨により各河川や溪流において発生した流木のうち、調査で確認したものは材積で 3,157 あり、このうち足羽川流域では、発生した流木 3,099 のうち堆積したものが約 4 割の 1,107 、日本海へ流出したものが約 6 割の 1,992 と見積もられている。

また、各河川や溪流からの流木発生量は最小 49 から最大 1,657 で、河川・溪流別の発生割合は、河川からの流木が 85% (2,682)、溪流からが 15% (475)となっている。

流域外に流出している割合は河川部で平均 73%、溪流部では 9%となっており、発生した流木のうち流出したものの大半は河川部から流出したものと推察される。

表 -2-1 流域毎の流木調査結果

調査流域	調査箇所数	流域森林面積 (ha) (A)	河岸・溪岸部の被害面積 (ha) (B)	流域面積に対する被害率 (%) $B/A \times 100$ (C)	流木発生推定材積 () (D)	流域内堆積量 () (E)	流域外流出量 () (D)-(E) (F)	流域外流出率 (%) $F/D \times 100$ (G)
足羽川本流	39	31,324	2.33	0.01	1,657	538	1,119	68
一乗谷川	21	804	0.55	0.07	195	140	54	29
蔵作川	6	301	0.31	0.10	68	65	4	5
上味見川	10	2,646	0.19	0.01	162	19	144	89
赤谷川	18	744	0.56	0.07	132	119	13	10
部子川流域	52	3,271	2.11	0.06	885	226	659	75
稗田川	12	809	0.19	0.02	49	41	8	(1)
金見谷川	20	592	0.71	0.12	167	152	15	(2)
部子川本流	20	1,870	1.21	0.06	668	32	636	(97)
小計(足羽川流域)	146	39,090	6.05	0.02	3,099	1,107	1,992	64
三ッ俣川	10	339	0.15	0.04	58	55	3	6
合計	156	39,429	6.20	0.02	3,157	1,161	1,996	63
河川部	90	36,644	4.28	0.01	2,682	729	1,953	73
溪流部	66	2,785	1.92	0.07	475	432	43	9

(四捨五入のため計が一致しない場合がある。)

- ・ は一級河川
- ・ 立木発生推定材積とは、河畔林や溪畔林において発生した林地被害の箇所から流木が発生したものとみなし、その被害面積に残存林分等から推定した単位面積当たりの材積を乗じ、流木発生材積を推定したものである。

(注) 調査期間は 8 月 3 日～10 月 7 日。災害発生(7 月 18 日)直後に集落周辺や道路等の流木は処理されてしまっており、一部の河川の流域内堆積量にはこれらが含まれていない。

また、この調査は流木発生メカニズム等の分析に主眼を置き、代表流域を選定したものであり、数量等については調査流域の範囲内の全ての収支等を把握したものではない。



溪流内流木堆積状況(美山町蔵作)



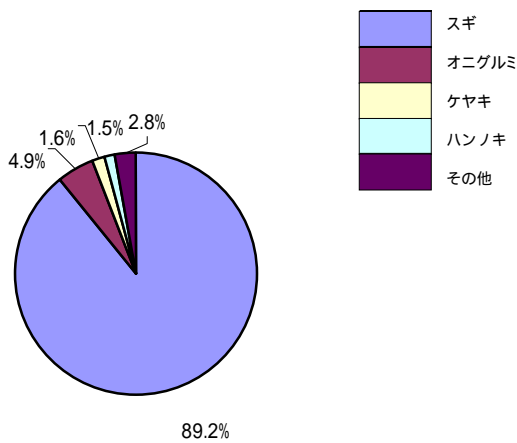
流木発生状況（足羽川本流 池田町白粟）



流木堆積状況（池田町金見谷川）

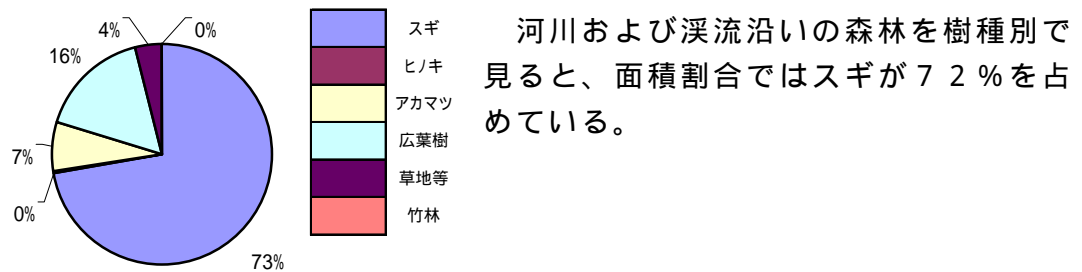
流木堆積状況（福井市板垣橋）

堆積した流木の樹種別内訳等



流木として堆積した樹種別堆積量の割合は、スギが89%、オニグルミやケヤキなどの広葉樹は11%となっており、流木の多くはスギである。

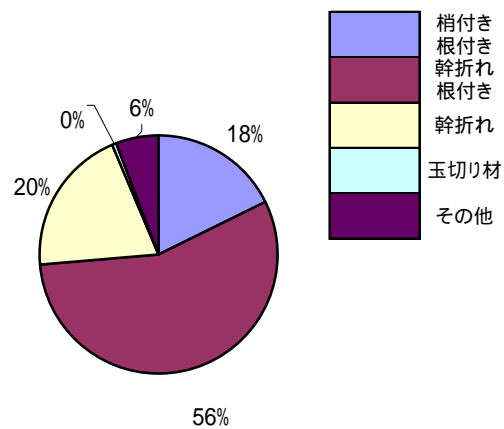
図 -2-1 樹種別の流木堆積量割合



河川および溪流沿いの森林を樹種別で見ると、面積割合ではスギが72%を占めている。

図 -2-2 河川および溪流沿いにおける樹種別森林面積割合

* 河川および溪流の両岸25mの範囲に所在する森林についてとりまとめたものである。



堆積した流木の形態別材積割合では根付きの流木が全体の74%を占めている。(梢付き根付き18%、幹折れ根付き56%)

なお、間伐材や林地残材と見なしている木材(左図の に相当)の堆積はごくわずかであった。

図 -2-3 堆積した流木の形態別材積割合

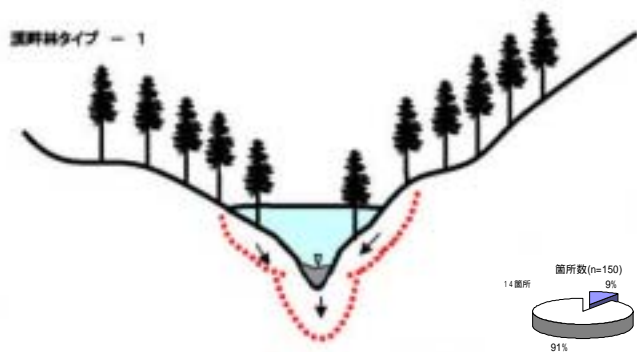
2) 流木発生形態および原因

(1) 流木発生形態

今回の豪雨による流木発生形態を分類すれば、おおむね 溪流の縦侵食に伴う溪岸崩壊、 溪流の横侵食に伴う溪岸崩壊、 河岸の横侵食等、 山腹斜面の崩壊の4つに分類できる。

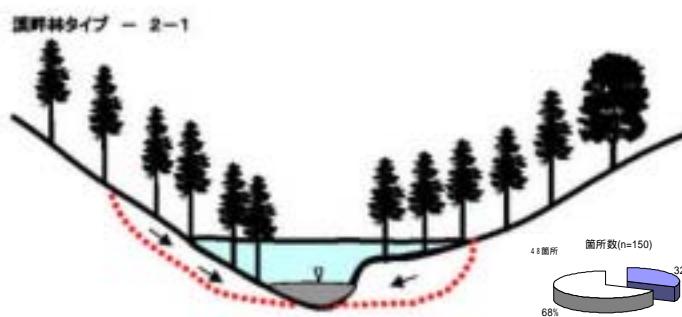
溪流の縦侵食に伴う溪岸崩壊

縦侵食による溪床の低下に伴う溪岸崩壊により立木が流出したものであり、箇所数の割合では全体の9%を占めている。



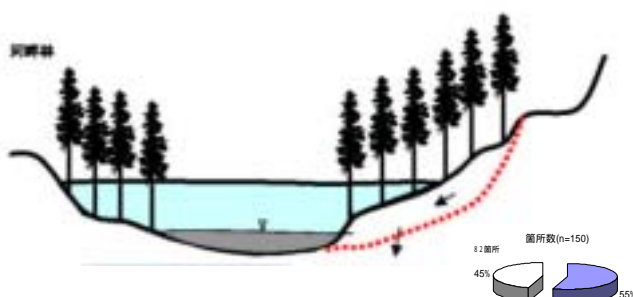
溪流の横侵食に伴う溪岸崩壊

溪岸部が侵食され、横侵食に伴う溪岸崩壊により立木が流出したものであり、全体の32%を占めている。



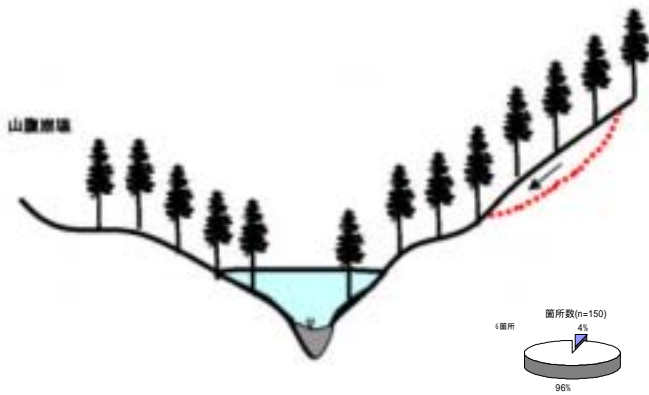
河岸部の横侵食等

河川の河岸部および河床が洪水により侵食され、河岸崩壊等に伴い立木が流出したものであり、全体の55%を占めている。



山腹崩壊

河川または溪流の上部斜面（壁斜面）が崩壊、立木が流水部まで倒伏、落下し、流出したものであり、全体の4%を占めている。



(2) 流木発生の原因等

溪流部においては、そのほとんどが溪岸崩壊によるものであり、また、河川部においては洪水に伴う河岸、河床の侵食によるものが大半を占めていた。

また、流木流出の特徴として溪流部においては、流木のほとんどが土石等とともに当該溪流に堆積しているが、土石等の流下により荒廃が著しい溪流においては当該溪流外への流出も見られる。

一方、河川部においては、大半が流域外へ流出している状況にある。

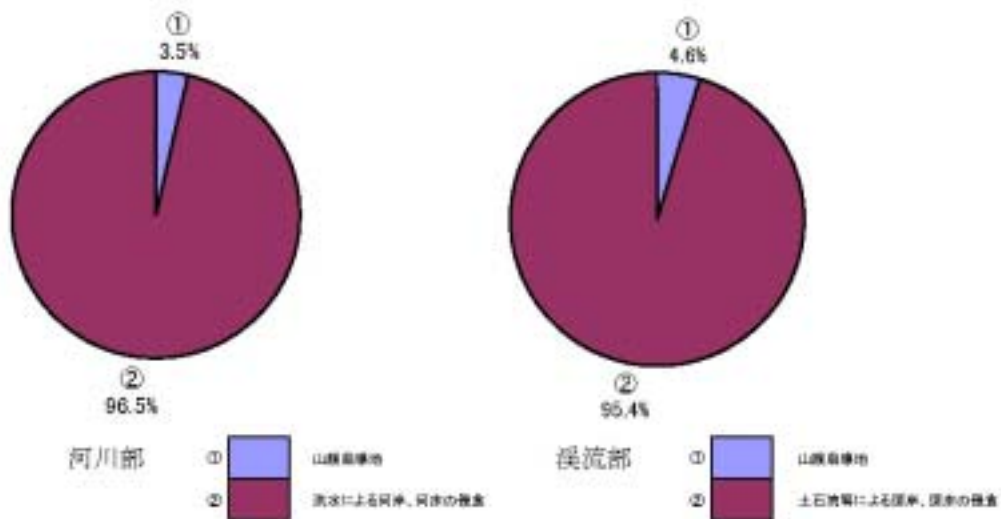


図 -2-4 流木発生の原因別割合

(3) その他

緩勾配の溪流では、スギ等の立木の中に土砂や流木等が堆積し、これらの流出を抑止していると見られる箇所が見受けられる。



池田町土合皿尾

(参考) 流木収支の例

1 溪流部における事例 (金見谷川流域)

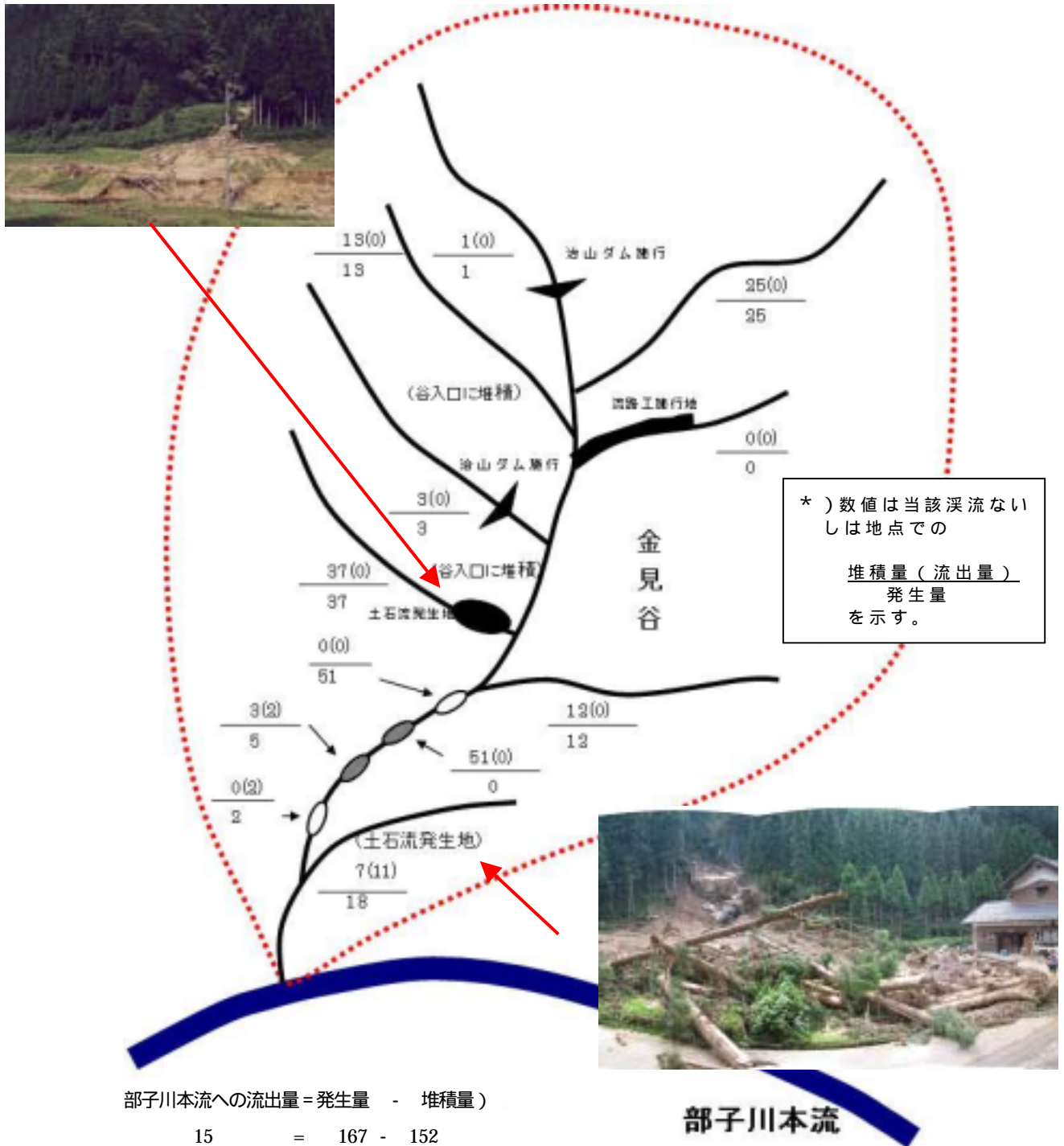


図 -2-5 流木収支図 (金見谷川流域)

金見谷川流域全体で確認できた流木発生量は 167 で、このうち 152 は溪流内に堆積しており、残り 15 が部子川本流へ流出している。

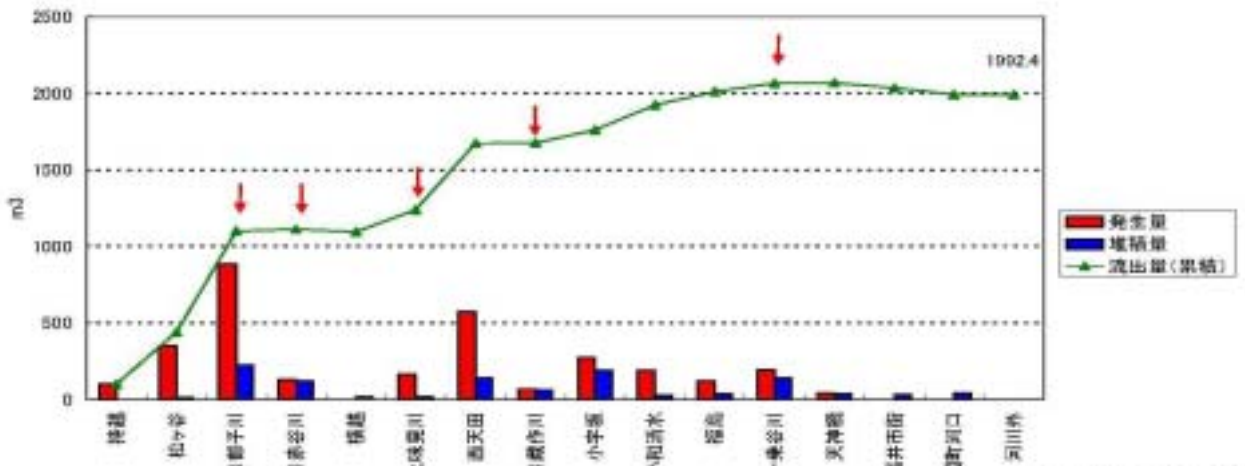
2 河川部における事例（足羽川流域）



調査箇所のうち三ツ俣川を除いた足羽川流域だけで見た場合、流域全体で確認できた流木流出量は1,992 で、このうち足羽川本流からの流木流出量は1,119、支流からの流出量は873であった。

支流の流出量のうち河川部から834、渓流部から39であり、足羽川流域における河川部からの流出した割合は98%を占めている。

流木収支図（足羽川本流）



流木収支グラフ（足羽川本流）

(注) 河 … 河川部に基づき国および県が管理している河川
 渓 … 上記以外の一般的な渓流

区分	流木流出量	流出率
本流	1,119m³	60%
支河川	804m³	42%
渓流域	32m³	2%
計	1,992m³	100%

図 -2-6 流木収支図（足羽川本流）

* 印は支流との合流地点を示す