

土石流発生形態の推定手法に関する基礎的研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：火山・土石流チーム

研究担当者：石塚忠範，山越隆雄

【要旨】

平成20年7月28日には、神戸市の六甲山地に源を発する急流河川である都賀川で、局地的集中豪雨に伴う鉄砲水により、死者・行方不明者5人という災害が発生した。また、同様に山地の急流河川において上流域に降った局地的な集中豪雨に伴う急な出水により、釣り人や川遊びをしていた子供が流される等、溪流内での人的被害が発生する事例が近年後を絶たない。本研究では、これまでの土砂災害対策では十分な対応がなされてこなかった山地の溪流で発生するフラッシュフラッド災害について定義し、既往の災害情報データ（既往災害調査資料等）の分析及び実際に発生した災害の調査を行った。また、フラッシュフラッド災害の発生しやすい条件を検討し、特に溪流利用者を対象に人的被害軽減の観点から、その特性を踏まえた警戒避難対策について考察・提案した。

キーワード：土石流，鉄砲水，局地的集中豪雨

1 はじめに

近年、地球温暖化の影響もあり、日本国内において、局所的に極めて強い降雨が発生する等の現象が見られ始めている。このような降雨の激甚化に伴い、想定を超える規模の土石流や、流木を大量に含む土石流、また、土砂濃度の低い鉄砲水等、既往の土石流対策では想定されていない形態の土石流が発生し、時として甚大な被害をもたらしている。これまで大きな注目を集めてこなかったこれらの災害形態に対しても今後は対応してゆく必要があり、土砂災害対策懇談会（国土交通省河川局長の諮問委員会）の提言においても、「土砂災害調査法の見直しや既存データの新たな視点からの分析、災害形態の分類の見直し、近年被害が顕著な深層崩壊、流木、フラッシュフラッドなど、災害形態毎の発生特性の分析とメカニズムの解明を進める必要がある」と、今後研究を進めてゆくべき重要課題のひとつとして取り上げられているところである。

一方、平成20年7月28日には、神戸市の六甲山地に源を発する急流河川である都賀川で、局地的集中豪雨に伴う鉄砲水により、死者・行方不明者5人という災害が発生した。また、同様に山地の急流河川において上流域に降った局地的な集中豪雨に伴う急な出水により、釣り人や川遊びをしていた子供が流される等、溪流内での人的被害が発生する事例が近年後を絶たない。

山地の溪流は一般的に勾配が急で、川幅が狭く、兩岸の傾斜が急であるため、出水の立ち上がりが高く、土砂や流木を含む急な出水がしばしば発生する（以下、これをフラッシュフラッドと呼ぶ）。溪流内の人的被害は地

形的な要因もあるが、溪流利用者が不意な豪雨に遭遇した場合に発生するものであり、その死亡率は高い。

さらに、こうした溪流では、谷が深いため上流の降雨の状況が分かりにくいだけでなく、無線や携帯の電波が通じない（不感地帯）など、フラッシュフラッドに関する情報を入手しにくいほか、周辺に人家も少なく、救助に必要な人員の確保が困難なことも多い。

また、溪流は都市生活者等にとって非日常的な環境にあり、利用者は置かれている危険性を理解できていない可能性がある。このような特徴から、溪流においては、局地的豪雨に対して、平地部を流下する河川とは異なった「溪流利用者に対する危険回避対策」を検討する必要がある。

そこで、本研究では、これまでの土砂災害対策では十分な対応がなされてこなかったフラッシュフラッド災害について定義し、既往の災害情報データ（既往災害調査資料等）の分析及び実際に発生した災害の調査結果により、その発生実態を明らかにする。

また、フラッシュフラッド災害の発生しやすい条件を検討し、特に溪流利用者を対象に人的被害軽減の観点から、その特性を踏まえた警戒避難対策について考察・提案する。

2 フラッシュフラッド災害の実態把握

2.1 フラッシュフラッドの定義

フラッシュフラッドとは、山地や中山間地の河川などにおいて発生する非常に急激な出水・増水のことであり、日本では、鉄砲水とも呼ばれる。フラッシュフラッドと

される事例では、極めて短時間のうちに災害現象が発生していることが特徴であり、多くは、洪水と土石流の遷移領域にあるような現象として捉えられる。このため、フラッシュフラッドとは、図-1に示すように、土石流から低濃度の突発的な流れまでを含む領域での現象として考えられている。

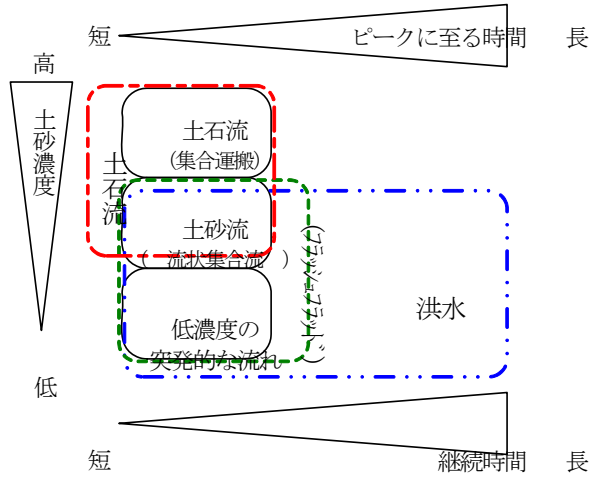


図-1 フラッシュフラッドと洪水・土石流との関係模式図

2.2 フラッシュフラッド災害の概況

ここでは、現象の把握が比較的容易であると考えられる近年の事例(直近4カ年を中心に過去10年程度の間)に「フラッシュフラッド」または「鉄砲水」として報道された事例, 図-2)を対象とした。事例の抽出には、G-searchによる新聞記事横断検索²⁾を活用し、降雨データや水位データ等の検証をふまえ、対象とすべき事例を抽出した。

また、直近4カ年の事例では、現地調査と関係者への聞き取りを実施した。

本節では、これらの調査結果を基に、人的被害が発生しているフラッシュフラッド災害の特徴を整理し、災害特性の分析を試みる。

(1) 発災要因

フラッシュフラッドの発災要因は、源流部の豪雨など直接的な流出現象と河道閉塞の形成・決壊など降雨の貯留を伴った流出現象に大別される¹⁾。事例の多くは、源流部の豪雨など直接的な流出現象と考えられるものであり、短時間豪雨による急激な増水によりフラッシュフラッド災害が発生している。

また、河道閉塞の形成・決壊など貯留を伴う流出現象と考えられる事例(白土川, 芝原川など)も、少なからず発生しており、河岸崩壊などに伴う河道閉塞の形成・決壊のみならず、豪雨に伴うため池などの貯留施設の決壊による鉄砲水災害(奥畑川, 鉄山川など)も発生している。なお、河道狭窄部の閉塞など流下断面の阻害により氾濫した事例(湯の坪川, 岳本川など)についても、フラッシュフラッドとして報道される場合がある。このような事例は扇状地形での発生事例が多い。橋梁などの狭窄部の閉塞などを契機として、氾濫流が背後地の道路などを流路として流下し、河道から離れた場所に、突然、氾濫流が押し寄せてくる場合などである。

(2) フラッシュフラッドによる人的被害

人的被害の発災場所を、河道内と河道外に大別すると、

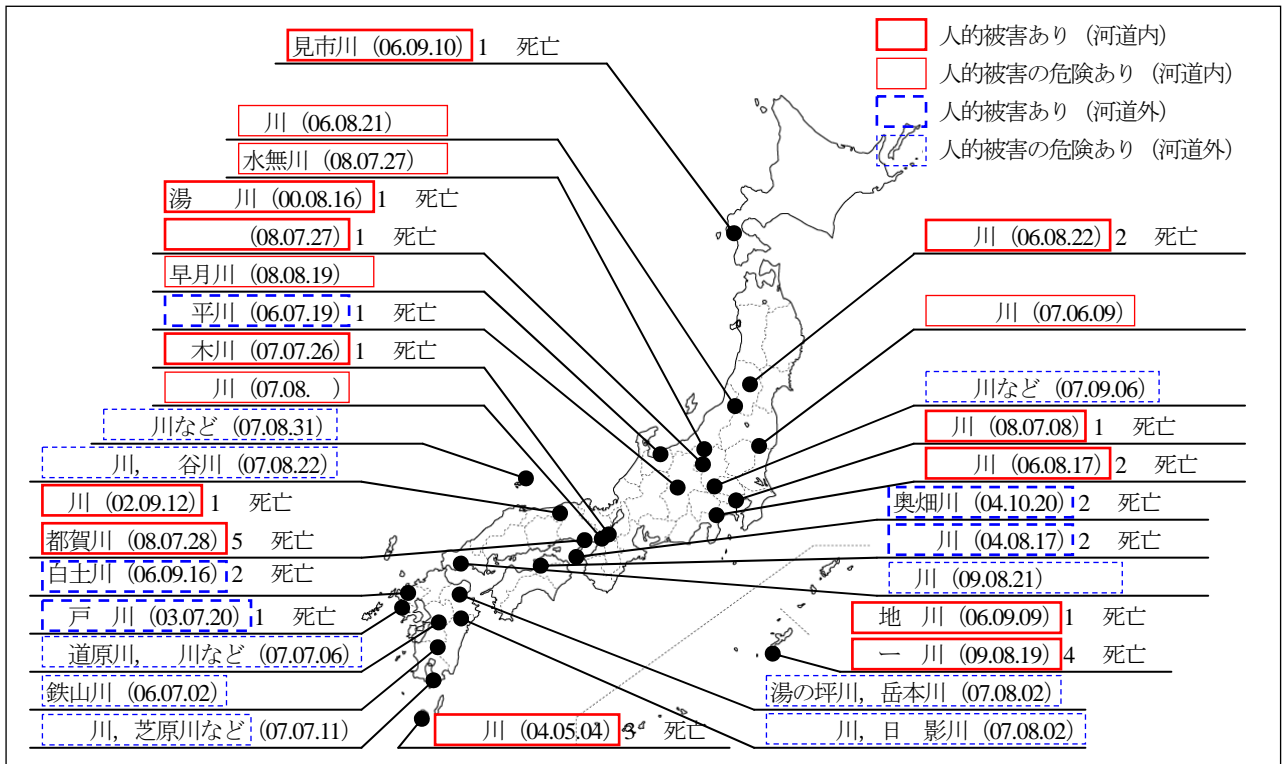


図-2 近年発生したフラッシュフラッド災害（本研究における抽出事例のみ）

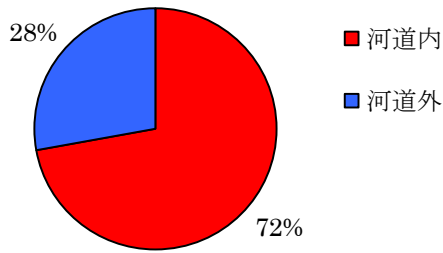


図-3 フラッシュフラッド災害の発災場所

7 以上が河道内での発災である(図-3)。河道内での発災事例では、河道内の利用者や事関係者などが主となっているものが多く、突然の急激な増水に流されることにより、人的被害に及んでいる。これらの事例では、洪水規模は必ずしも大きくはないものの、しかし、急流河川では増水時の流が大きいこともあり、いったん流されると、流れから出することは難しい。また、土砂災害などが引き付けられたり、流されてきた土砂が突いたりするなど、人的被害を伴うことも少なくない。このため、人的被害の事例には生存者が重傷となっているものも含まれている。なお、河道外での発災事例では、土砂災害と氾濫災害が同時発生するなど、人的被害の発生に及んでいる。

(3) フラッシュフラッドを発生させた降雨

流域に対する雨域の割合という観点から、鉄砲水を発生させた降雨について整理すると、強い雨域が局所的な豪雨と、強い雨域が長い豪雨に大別される。

前者は、雨性豪雨など、降雨域での短時間降雨強度が大きい局所的なものも多く、発災地点では降雨が無いことが多い。このため、急激な増水の危険を予想し難く、河道内の利用者や事関係者などが、結果として、被害者となる例が多いものと考えられる。

後者は、線性豪雨など、ある程度まとまった雨域によるもので、発災地点でも強い降雨があり、土砂災害や氾濫災害が同時発生するものである。

ここで、強い雨域とは、象徴が用いている降雨(表-1)に準じ、1時間雨量20~30mm以上の雨域とした。ただし、降雨継続時間が1時間の事例については、降雨強度(mm/h)として扱った。

それらの分類毎のフラッシュフラッドを発生させた降雨を、表-2に示すように降雨特性(降雨分、継続時間など)の観点から分類するとともに、図-4に発災割合を整理した。

なお、図-2による降雨分は、象徴資料³⁾に準じると、局所的短時間豪雨および短時間豪雨が局地的大雨

に、局所的豪雨、豪雨、長時間豪雨が集中豪雨に対応する。

表-1 降雨階級

降雨状況	1時間雨量(mm)
降雨なし	0
雨	0~10
やや強い雨	10~20
強い雨	20~30
激しい雨	30~50
非常に激しい雨	50~80
な雨	80~

表-2 フラッシュフラッドを発生させた降雨

局所的短時間豪雨	源流域など局所的に強い雨域があり、強い降雨の継続時間が1~2時間以下のもの
短時間豪雨	流域に1~2時間以下の強い雨域があるもの
局所的豪雨	源流域など局所的に強い雨域があり、強い降雨の継続時間が3時間以上のもの
豪雨	流域に強い雨域があり、強い降雨の継続時間が3時間以上のもの
長時間豪雨	短時間の強い降雨がなく、流域に長時間にわたって降雨が継続したものの

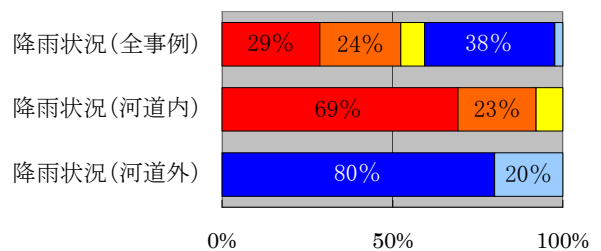
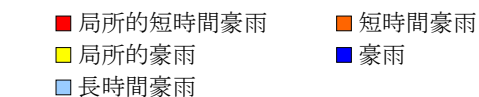


図-4 降雨状況と発災場所(河道内・河道外)

図-4に示すように、事例の5以上が、強い降雨の継続時間が1~2時間以下の短時間豪雨が主である結果となった。ここで、発災場所(河道内・河道外)に注目すると、河道内での人的被害の発生事例を対象とした場合には、局所的短時間豪雨(69%)、短時間豪雨(23%)、局所的豪雨(8%)となった。これに対して、河道外での人的被害の発生事例を対象とした場合には、豪雨(80%)、長時間豪雨(20%)となった。

このことは、降雨状況によって、災害形態が大きく異なることを示すものであると考えられる。このため、災害特性の観点からは、河道内と河道外を分けて対策を検討すべきであると考えられる。

以下、本稿では、河道内での発災事例を対象として、人的被害の軽減に向けた分析を試みる。

表-3 河道内で人的被害が発生した事例, または人的被害の発生のおそれがあった17事例 (抽出事例のみ)

河川	発災地点の降雨状況 発災地点の水位状況 (観 所水位状況)	発災の 況	人的 被害
湯檜曾川 (00.08.06)	降雨なし 70~100cm/15min (なし)	下山のため、 を 河。雨は無かった。水が、り、一という が後から聞こえてきた、一という が聞こえてきた、一 一と水の がす くなり、一 で の高さまで水位が上がった 31 が遭遇 9 は 岸の斜面に取り された。5 が流され、うち1 死亡1 重。 8 5)	
夙川 (02.09.12)	降雨なし 50~100cm/10min (108cm/10min : 夙川:兵庫県)	河道内で釣りをしていた。雨は無かった。急に増水した。げようとしたが水の いが強かった、急に川の水が増えた 2 が流される。うち1 死亡。	
鯛之川 (04.05.04)	強い雨 不明 (なし)	強い雨のため、川 行在中。河する際、1 が を らせ意を った。意 を回 した後、び 河している際、鉄砲水が発生し、急激に水位が 上、2 が流された。場に取り された2 も急激な増水のため流された 5 が遭遇、4 が流され、うち3 死亡1 重。	
酒匂川 (06.08.17)	小雨 50~70cm/10~30min (64cm/30min : 平山:神奈川県)	河道内で釣りをしていた。雨はほとんど無かった。水がだ だ ってきた。一 に増水した(道橋付近)、下までしかなかった水位が まで一 に 増えた(大 付近) 24 が流され、うち2 死亡。中 に取り された者は 救助された。	
玉川 (06.08.21)	降雨なし 250~350cm/5~10min (218cm/20min : 玉川:国)	河道内で 事中。降雨は無かった。16:10、水位警報 置が。水位の 化もなく、 を った。16:25、上流より 一という が聞こえ、波 のように 流が押し寄せてきた 4 が事 避難、人的被害無し。	無
富並川 (06.08.22)	降雨なし 70~80cm/10min (72cm/10min : 深沢:山形県)	釣りをしていた。雨は無かった。突然、波のような 流が押し寄せた。水 位は20cm 程度だったが、2:30、突然 波のような 一という がして水か さが増した 4 が遭遇し、3 が流される。うち2 死亡。	
宇地泊川 (06.09.09)	やや強い雨 80~100cm/5min (なし)	川遊びをしていた。雨が降ってきたので橋の下で雨 りをしていた。上流を見 ていた1 が「石につかまれ、流されるなよ」と だ。直後に急激な増水が 発生した 3 が遭遇、うち1 が流され死亡。	
見市川 (06.09.10)	やや強い雨 30~40cm/10min (30cm/10min : 見市川:北海道)	下山のため 一 を って 河していた。から断続的に雨が降っていた。方から雨だったがそれほど増水していなかった。急に増水した 8 が遭遇 うち1 が流され死亡。	
阿武隈川 (07.06.09)	小雨 50~60cm/10min ? (53cm/10min : 白川:国)	溪流釣りのため、2:30、河原に した。雨だった。 をとっていた が、3:00、急激に増水していることにな がついた。水 で のド が かず、 から 出した 3 が遭遇、両2 水。	無
藤木川 (07.07.26)	やや強い雨 180~200cm/5min ? (なし)	強い雨が降ってきたため河道内の を中断し、岸に避難した。分後に 降りになったため、河道内の機 を回 しようと河道に入ったところ、高さ 2m の鉄砲水が押し寄せてきた 2 が流される。うち1 死亡。	
天野川 (07.08.-)	降雨なし 60~70cm/5min (不明)	川遊びをしていた。雨は無かった。20cm 程度の水深だったが、 がつく と くらいまでの水位になった 10 以上が遭遇、3 が対岸に取り され救助。 川では、2006年8月にも急激な増水による取り されがあった。	無
呑川 (08.07.08)	小雨 70~100cm/15min (167cm/30min : 池上:東京都)	河道内で 事をしていた。上流で強い雨が降ったという情報により、 を中 断し避難している 中だった。雨だった。避難している 中に急激に水が押 し寄せてきて流された 3 が遭遇うち1 が流され死亡。	
東黒沢 (08.07.27)	強い雨 不明 (89cm/10min : 湯檜曾:群馬県)	キ ニ ニ をしていたが、雨が強くなったので中断して川岸にいた。突 然、鉄砲水に れた 8人が遭遇、2 が流される。うち1 死亡1 重。	
水無川 (08.07.27)	小雨 100~150cm/10min (122cm/10min : 大倉:国)	強い雨が 降りになった。水無橋の下では を つ子供が雨 りをしていた。 が た 15分後に 一という を立てて押し寄せてきた。鉄砲水の 通過した後は急に しくなった。人的被害無し。橋梁一部流。	無
都賀川 (08.07.28)	激しい雨 50~100cm/2min (137cm/10min : 甲橋:兵庫県)	水遊びをしていた。急に激しい雨になった。橋の下に子供たちを。雨 り をしていたが、流が しかかった、200m 上流で白い波 が見えた。波のようだった、大人の背 より高い水の が突然 波のように押し寄せて った 57 が遭遇、10 が流される。うち5 死亡	
早月川 (08.08.19)	降雨なし 50~100cm/5min (83cm/10min : 月形橋:富山県)	河道内で 釣りをしていた。降雨は無かった。きれいだっ水が急に って 分のうちに一 に増水した、5分ほどで急に増水した 4 が遭遇、1 が中 に取り され救助された。	無
ガーブ川 (09.08.19)	降雨なし 60~80cm/5min (なし)	河道内で調査 をしていた。13:30 に強い雨が あったが、発災時は降雨は 無かった。水が ってきたと ったら、急に くらいまでの水位になった 5 が流される。うち4 が死亡。	

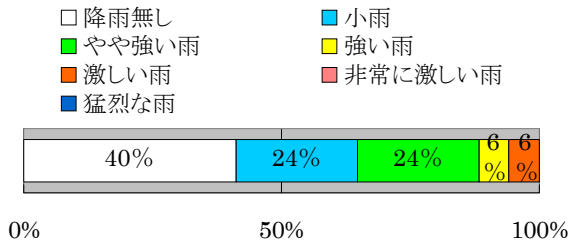


図-5 発災時の降雨状況

2.3 河道内での人的被害の発生要因

本研究で把握できた事例のうち、河道内で人的被害が発生した事例、および人的被害の発生のおそれがあった事例は17事例である。ここで、人的被害の発生のおそれがあった事例とは、フラッシュフラッドの流下直まで河道内にいたことが確認されている事例や、鉄砲水に遭遇したが、避難できた事例とした。なお、抽出した17事例における人的被害の発生、非発生は、前者が7、後者が3である(表-3)。

(1) 発災時の降雨状況

降雨状況の分類は、象が用する降雨(表-1)にした。抽出事例のうち、発災地点で降雨がなかったものが4である。これに雨であったものを考えると6となる(図-5)。なお、強い雨や激しい雨など、降雨が強かった事例は、いずれも突然の強い雨によるもので、発災直まで降雨がなかったものが多い(地川、木川、都賀川)。また、突然の雨のため、橋の下などで雨りをしていたところ、急激な増水にれたものがある(地川、都賀川)。

(2) 発災地点の河道状況

図-6に示すように、発災地点の河道断面形状に目すると、抽出事例の8が断面に近い河道形状となっている。

人的被害があったものは、河岸勾配の急な断面河道が6以上をめる。一方、人的被害がなかったものでは、河岸勾配のい断面河道や断面河道がめる合が多くなっている傾がえる。

このことは、急な増水が発生した場合に、河道からの避難の可が人的被害の無に大きく影響しているものと捉えられる。

(3) 洪水波形

抽出事例のうち、洪水部の記等が存す

る事例はほとんど無い。ここでは、遭遇者らの証言等より、洪水部が波あるいは波状に流下したと考えられるもの(上流で白い波が見えた、上流から波のような流が押し寄せてきたなど)と、部が不明で波としての流下がなかったもの(がつくと、いつの間にか増水していたなど)に分して、フラッシュフラッドにきまれた場合の者と生存者の合を比較した。

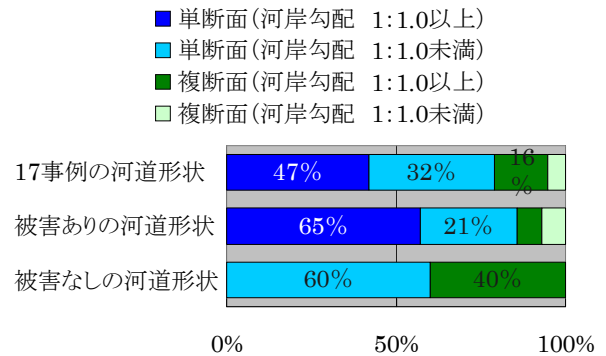


図-6 抽出事例における河道断面形状

図-7に示すように、部が波状に流下したと考えられる事例では、流された者の6が死亡している。これに対して、部が不明であったと考えられる事例では、流された者のうち死亡者は3にとどまる。

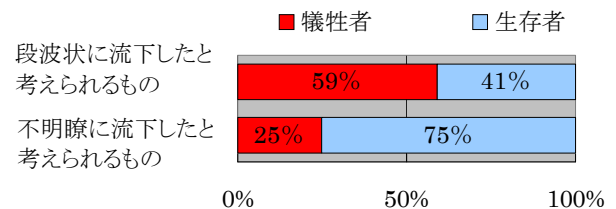


図-7 洪水先頭部の違いによる犠牲者と生存者の割合

このことから、平水位からの水位上、すなち、期の洪水波形勾配が大きいほど、人的被害の危険性が高くなる傾がえる。

(4) 危険の予測と認識

発災の河川水のりなどの現象があったと考えられる事例(湯川、川、川、早月川)や、上流の流水などの異があったと考えられる事例(湯川、川、波川、水無川)があるが、避難の契機となる危険のは、発災地点の上流または発災地点の水位流量の化をした時点である(図-8)。

3 人的被害の軽減に向けての考察

(1) 危険回避の可能性

降雨があれば増水するという因果関係は、一般に理解されているとされるが、抽出事例にみる生存者の証言からの増水に対する危険の予測は、断時点の水位に基いたものであると言える。

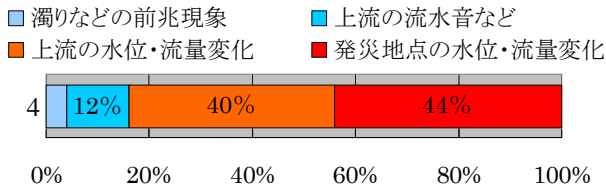


図-8 抽出事例における危険認識のタイミング

人的被害が発生した河道形状は、河道幅の狭い断面形状のものが多く、このような河道では、上流の視界が短く、上流の水位や流量の変化を捉えることができる危険性が高い。また、河岸勾配が急であるなど、河道からの避難も難しい。

危険回避の可能性の観点からは、上流の急激な増水を早期に確認する方策や、急時の避難路など、避難環境の実を確かめることが重要であると考えられる。

(2) 河道内での水位上昇に伴う外力特性

人的被害の発生事例において、例えば、河道が急勾配である例や河道底の粗さ例等、ある程度水位が上昇すると急激に流速（水深×流速²）が大きくなる河道特性をしていると考えられるものが確認された。

フラッシュフラッドによる人的被害は、人が流されることにより発生する。このため、水位や流量の増に伴う流速の増が大きいほど、人的被害の危険は高くなるものと考えられる。したがって、水位上昇に伴って流速の増が大きい河道ほど、危険性の高い河道特性とすることができる。

考として、図-9に、河道底の粗さが異なる同一形状の河道での流速の比較を示す。この場合、同一水深であれば、AよりBの方が、流速が大きくなるため、河道内の利用者が流される危険が高くなると考えられる。

図-10は、高水時の粗度が異なる同一形状の河道での流速の比較である。急流河川における水整間では、水利用を目的とした水深の確保や流速の低減のため、低水路に石等を配し、多量にすることで低水路勾配をやかにするなどの例がしばしば見られ

る。また、水性を高めるため、断面形状とみなせるような河道断面をしているものも少なくない。このような河道では、低水路以外の底粗度が大きいことも多く、流路としての河床勾配が急であるため、高水を水させる規模の増水では急激に流速が大きくなりやすい。

このため、水利用のある河道では、増水に伴い河道内で生ずる外力特性にも配慮する必要があると考えられる。

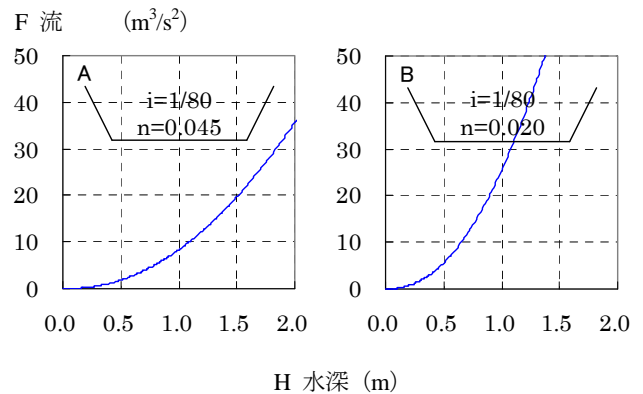


図-9 粗度の異なる同一形状河道の流体力の例

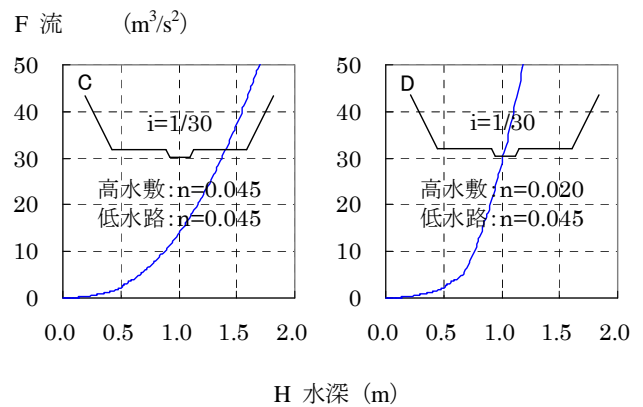


図-10 高水数の粗度の違いによる流体力の例

(3) 人的被害の軽減に向けて

事象や災害は環境要因と人的要因が重なりあうときに発生する。本稿で抽出した事例は、不気味にも事象や災害に繋がった事例であるが、実際には報道されない事例が多く発生していると考えられる。

水整間では、環境要因である危険回避の可能性や増水に伴う河道内での水位上昇に伴う外力特性を分析し、図-11のようなリスク分析に基づき多様な観点から対策を実施することが重要である。なお、被害を生じさせる人的要因を減らす上で、

- ・ 発生はも基本的な対策であると考えられる。

以上の検討結果は、「人の利用がある砂 設 における 水利用の 用性 の一考察」⁵⁾として土木研究所資料に取りまとめられ、国土交通省砂 部から 国の砂 事 所に され利用されている。

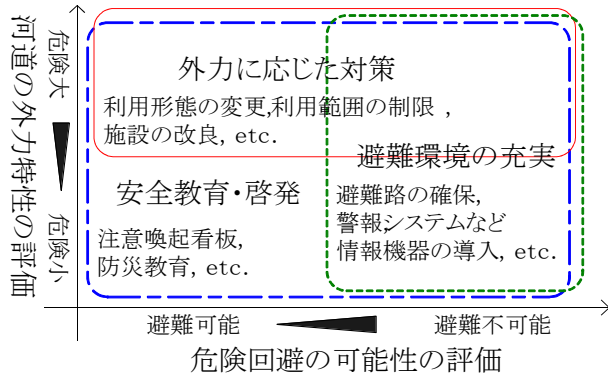


図-11 親水利用のリスク分析と対策案

4 まとめ

フラッシュフラッドによる人的被害は、河道内での発生事例が多く、強い降雨の継続時間が1~2時間程度以下の局地的大雨により発生しているものが多いことが かった。また、発災地点では降雨が無い、 さい、あるいは降雨継続時間が短いため、急激な増水を予 することが困難であり、河道内の利用者や事関係者などが となりやすい。

急激な増水による危険の や避難行 は、水位や流量の 化に基 く傾 が える。水利用 間などでのフラッシュフラッドによる人的被害の軽減のためには、河道内で生ずる外 の特性を考 することや、避難環境の , , 発等の多様な観点から対策を行うことが であると考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、 , 示をいた 都大 水山高 にく 上げます。災害調査では、日本大 ,) 設 研究所の , 長谷川 に を きました。また、災害関 資料の提供については、関係 の方 に を きました。く 上げます。

参考文献

- 1) 水山高 , 鉄砲水の発生, 流下機 に関する研究, 研 究費 助金(基 研究(B) 課題 06452362) 研究成 果報 , 1997.
- 2) G-Search, (<http://db.g-search.or.jp/>)
- 3) 象 , 局地的大雨から を るために - 災 象情報の

活用の手 き-, 2009.

- 4) , 山越隆雄・原 ・長 義 ・ 人・ 岳 ・池谷 ・木 一, 2000年8月6日に谷川岳・湯川で発生した出水について(報), 砂 会 53 5 (通 232) 2001.
- 5) 土木研究所土砂 理研究 一 火山・土石流チーム, 人の利用がある砂 設 における 水利用の 用性 の一考察, 土木研究所資料 4147

BASIC RESEARCH ON TYPES OF FLASH FLOOD DISASTER

Budget: Grants for operating expenses,
General account

Research Period: FY2008-2010

Research Team: Volcano and Debris Flow Team

Authors: Tadanori ISHIDUKA, Takao
YAMAKOSHI

Abstract: Flash floods are very rapid flood and rise of water generated in the river of mountainous land etc.

The death accidents by flash floods have occurred almost every year. The purpose of the studies is mitigation of the death accidents by flash floods. We extracted the flash flood disasters in recent years, and arranged the disaster characteristic. As a result, it was found that many of death accidents have occurred in river channel. Moreover, it we clarified that those examples are the flash floods caused by the short-time local heavy rainfall etc. Next, we analyzed the reason why death accidents occurred in the river channel. As a result, it turned out that many of form of the river channel which death accidents generated is the form similar to a rectangle. Moreover, even when there was a certain precursor, it was clarified that there is a tendency not to recognize danger until change of the water level etc. was caught visually.

Key words: debris flow, flash flood, short-time local heavy rainfall