

土石流に対する垂直避難行動の実態と課題

三重大学生物資源学部 ○大山久美・山田孝

愛知県新城設楽農林水産事務所(元三重大学生物資源学部) 菊谷幸加

1. 研究目的

近年、津波や水害などの分野では、従来の「水平避難」以外にも、高層階への「垂直避難」も避難活動の選択肢の一つとすべきといった提言がなされるようになった¹⁾。土砂災害の分野では、警戒避難のガイドラインは既に発表されているが²⁾、まだこのような提言は公式的にはなされていない。一方で、豪雨時に住宅外への避難が難しい場合は、2階の山側と反対のできるだけ離れた部屋へ避難したほうが良いとのアナウンスがメディアから発信されるようになってきた。土砂災害についても、これまでの家屋被災事例をもとに、経験的には、2階は1階よりも安全と考えられるが、家屋が流失したり、流失は免れても2階まで全壊する場合は、垂直避難の効果は期待できないと想定される。また、1階のみが被災する場合は、2階への垂直避難は効果的である場合が多いと想定される。土砂災害研究の分野では、そのような垂直避難活動の効果と限界について報告された事例は少ない。そこで、本研究では、2014年8月20日に広島県広島市安佐南区で発生した土石流災害を事例に、家屋の被災形態と人的被害との関係、家屋の被災形態と土石流の流体力との関係、垂直避難した住民の警戒避難活動実態を整理し、垂直避難行動の課題を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

主要な調査対象地は、広島市安佐南区八木三丁目上山川の土石流氾濫・堆積区域である。発災直後に行政機関や中国新聞社等が撮影した斜め写真、垂直写真、google earth の画像をもとに、土石流の本体部、後続流の範囲を判読した。そして、現地調査によって土砂堆積構造や石礫の粒径等の情報をもとにそれらを部分的に補正した。さらに、様々な地点において、流下痕跡から流動深(発災前の地盤高を基準)を計測し、35軒の家屋(木造家屋32軒、軽量鉄骨造1軒、鉄筋コンクリート造2軒)の被災形態を調べた。行方不明者の救出や土砂・流木の撤去作業などのため、被災家屋内部の詳細な調査は実施できなかった。そこで、被災形態は家屋外部からの目視によって判定した。被災形態の区分は、「流失」、「水平移動」、「全壊(1階、2階)」、「全壊(1階)」、「1階損壊」、「1階開口部破壊」、「軽微な土砂堆積」とした。土石流の後続流の範囲には、耐力壁が破壊されるなどの被害はない(開口部の破壊はある)と判断し、本研究では、前述の全ての被災形態が認められた土石流本体部の範囲のみを対象とした。次いで、土石流本体部の氾濫・堆積区域の流下中心線を設定し、縦断方向は谷出口から土石流本体部到達地点までの範囲(L/L : 谷出口から家屋までの流下中心線沿いの距離、 L : 谷出口から土石流本体部到達地点までの距離)、横断方向は、流下中心線から氾濫・堆積縁辺部までの範囲(b/B : b : 流下中心線から横断方向の家屋までの距離、 B : 流下中心線から横断方向の氾濫・堆積縁辺部までの距離)において、被災形態別に家屋の位置を座標値として求めた。地形勾配は、流下中心線沿いの複数区間で計測した。以上から、被災形態区分ごとに、土石流の流体力を試算した。そのために必要となる土石流の平均流速は、マニング抵抗則を準用できると仮定して、マニング式で求めた。マニングの粗度係数は、発災前の土地被覆状態や既往研究などを参考にして、0.03とした。ただし、映像資料等の解析に基づく実際の土石流の流速データは得られていないため、流速の計算値の妥当性は議論できない。土石流の流体力(単位は kN/m^2)は、高橋の平衡土砂濃度式から土砂濃度を求めて土石流の流れの密度(ton/m^3)を計算し、先に求めた平均流速の二乗値を掛け合わせて算出した。

一方、発災直後から約3週間分の各社新聞記事やテレビニュース、報道写真集、ゼンリン住宅地図等から、全死亡者の住宅の位置、垂直避難した住民とその概要を整理した。発災直前に、自宅の1階、2階にいた住民の数などの詳細情報は得ることができなかった。また、死亡者の発見場所(1階あるいは2階)の情報は、一部のマスメディアの情報や現地での住民からのヒアリングによったが、得られた情報は少ない。垂直避難したことが明らかとなった住民A~Cの3名(C氏は、八木四丁目山手川流域内の住民)に面会し、1人約30分~1時間程度のヒアリングを行い、彼らの警戒避難行動の実態を時系列で整理した。さらに、2015年3月に発行された住民の体験談集⁴⁾を参照した。

以上の情報をもとに、土石流本体部に対する垂直避難の効果と問題点について考察した。

表-1 家屋の被災形態別軒数、死者数等

家屋の被災形態	軒数	死者数	土石流の流体力 $F(kN/m^2)$	
			最少値	最大値
流失	9	18	470.8	718.7
全壊(1階、2階)	4	2	399.7	470.8
水平移動	2	0	134.6	134.6
全壊(1階)	12	0	78.2	431.4
1階損壊	1	0	164.9	146.9
1階開口部破壊(鉄筋コンクリート建物)	2	2	435.9	470.8
軽微な土砂堆積	3	0	13.4	13.4
計	33	22		



図-1 調査対象区域(広島県広島市安佐南区上山川)

3. 結果と考察

図-1に、調査対象とした土石流本体部と後続流の影響範囲と流下中心線を示す。土石流本体部の一部は、二

つに分波して急勾配(約 8°)の道路沿にも流下したとみなせるが、そこでの大きな被害は、道路沿いの家屋のみに限定されていること(道路の低い粗度が一つの要因と考えられる)から、本研究では調査の対象外とした。

表-1に、家屋の被災形態別の軒数、死者数、土石流の流体力(最少値と最大値)の試算結果を示す。総被災軒数33軒のうち、垂直避難が期待できないと想定される「流失」が9軒、「全壊(1階、2階)」が4件、計13軒であり、この二つの区分で全死者22名中、20名を占めている。「流失」、「全壊(1階、2階)」が想定される家屋は、2階への垂直避難は有効ではないと考えられる。ちなみに、八木四丁目山手川流域では、階段状(1段の高さは約2m)の宅地造成区域に土石流本体部が氾濫・堆積し、上段の家屋が流失して下段の家屋の2階を直撃した事例が認められた。下段の家屋は流失していないが、死者がでている。そのような場合にも、2階への垂直避難は有効ではないと考えられる。全死者22名のうち、残り2名は、「1階開口部破壊」の被災区分に該当し、県営住宅(鉄筋コンクリート造)1階開口部の破壊(建物の耐力壁は破壊されていない)によって室内に土砂が流入したために被災したと推察される。家屋が鉄筋コンクリート造の場合は、耐力壁の破壊は免れても、窓ガラスなどの開口部は容易に破壊される³⁾。その場合は、土砂や流木が1階に侵入するため、2階への垂直避難は効果的と考えられる。このことは、土石流本体部のみならず後続流の氾濫範囲においてもあてはまる。「流失」、「全壊(1階、2階)」、「1階開口部破壊」以外の被災形態区分の家屋18軒も、1階での避難は人命損傷の危険は高いが、2階への垂直避難は効果的と考えられる。

図-2に、土石流本体部の氾濫・堆積範囲において、被災形態別の家屋の分布とそれぞれの家屋近傍で試算した土石流の流体力の値を示す。「流失」、「全壊(1階、2階)」の区分の範囲について、 b/B との明瞭な関係は認められないが、 l/L の値が約0.4以下の領域となっている。垂直避難は有効ではないと考えられる「流失」と「全壊(1階、2階)」の流体力下限値は、各々、約 470kN/m^2 、約 400kN/m^2 である。

垂直避難した3名の警戒避難行動の時系列を図-3に示す。A氏は、これまでの慣習から2階で寝ており、2:00頃に自宅前水路の濁流音によって目が覚めたが、水路から溢れてもこれまでの経験から深刻な事態には至らないだろうと特に警戒をせずそのまま2階で待機していた。3:30頃1階の玄関に土石流が流れ込んだが幸いにもそこで停止した。B氏は1階で寝ていたが、豪雨により1階床下の排水溝が詰まり、1階室内に浸水してきたことを契機に2階に避難した。15:30頃には、1階屋根まで浸水した。C氏は、1階にいたが、土砂が1階に流入したために2階に避難した。3人に共通する点は、土石流に対しての警戒はほとんどなかったと考えられ、今までに聞いたことがない激しい音や、床上浸水、土砂流入のために2階に避難したことである。今回、ヒアリングさせていただいた住民以外の方々の体験談⁴⁾からも、自宅の横の水路や小川が溢れそうになり、水が家の中に入ってくることを危惧して2階に避難した等の警戒避難の実態を知ることができた。

4. 結論

- ①「流失」と「全壊(1階、2階)」を呈する被災形態の木造家屋(l/L の値が約0.4以下の領域)において、全死者数のほとんどを占め、垂直避難は有効ではないと考えられる。それらの流体力下限値は、各々、約 470kN/m^2 、約 400kN/m^2 である。
- ②「流失」と「全壊(1階、2階)」以外は、1階での避難は人命損傷の危険は高いが、2階への垂直避難は効果的と考えられる。
- ③ヒアリングの結果、垂直避難した住民は、土石流に対してほとんど警戒はせず、今までに聞いたことがない激しい音や、床上浸水、土砂流入のために2階に避難したことが明らかとなった。
- ④垂直避難の効果的な実施のためには、「流失」、「全壊(1階、2階)」区域の高精度予測、住民の土砂災害警戒意識の向上、自宅の想定被災形態に応じた警戒避難行動の認識向上とその手法の訓練が必要であると考えられる。

参考文献

- 1)中央防災会議(2012):災害時の避難に関する専門調査会報告資料 <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/saigaijihinan/index.html>
- 2)国土交通省砂防部(2007):土砂災害警戒避難ガイドライン
- 3)半田理恵・山田孝(2011):土石流後続流における家屋の被災特性,平成23年度砂防学会研究発表会概要集, p.558-559
- 4)海堀正博・柳迫長三(2015):平成26年8月20日広島豪雨災害体験談集,(公社)砂防学会2014年8月広島大規模土砂災害緊急調査団 広島市防災士ネットワーク

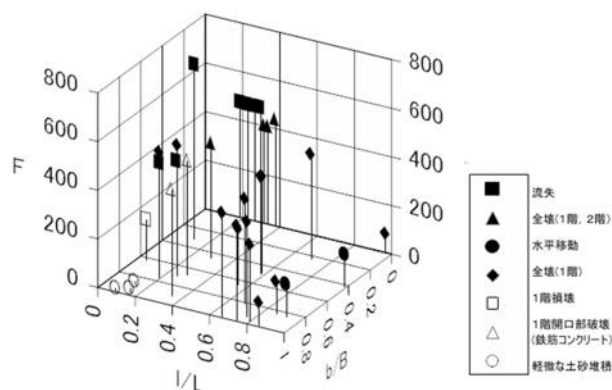


図-2 被災形態別の家屋の分布(l/L , b/B)と土石流流体力(F kN/m^2)

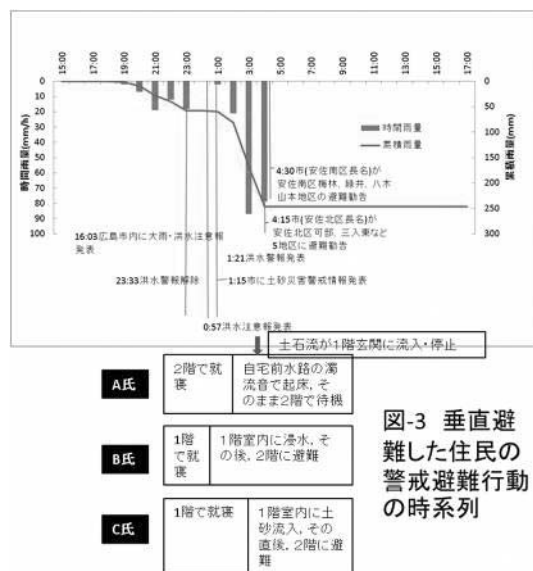


図-3 垂直避難した住民の警戒避難行動の時系列