

## 近年の豪雨で起きた特徴的な土砂移動現象についての二、三の考察

広島大学大学院総合科学研究科 海堀正博  
元大学院生 久保佳秀

**1. はじめに** 平成 24 年 7 月、熊本県阿蘇市周辺において、豪雨による土砂災害が集中発生した。その前年の平成 23 年 9 月には紀伊山地の奈良県南部や和歌山県東部・南部と三重県西部において各地で 1,500~2,000mm 前後の大雨が降り、深層崩壊が多発した。さらにその前年の平成 22 年 7 月の広島県庄原市周辺での豪雨による土砂災害も、当該地域においては特筆すべき集中的な豪雨であって、多数の表層崩壊が発生している。これらについてはいずれも、砂防学会の調査団による速報を始め、すでにいくつかの報告がなされているが、それぞれのケースで特徴的な崩壊や土砂移動の形式を認めることができる。良くわからない点も多いのだが今回はそれらを考察したい。

**2. 特徴的な崩壊(その 1)** 阿蘇市三久保地区における東西 2 箇所の崩壊については、砂防学会緊急調査団によって写真とともに学会誌に報告がなされている。このあたりはカルデラ壁の裾部に分布する比較的緩やかな丘陵地で、火山灰などの降下火砕物が厚く堆積している。崩壊箇所では黒ボク層が斜面の上部からずり落ちてきたように見えることが記されている<sup>1)</sup>。現地を確認したが、黒ボク層はもともと斜面表層に近い部分にあったと思われ、きわめて激しい強雨にさらされ、大量の地中水の流れが生じたことによりその水圧で持ち上げられ移動したものであろう。付近の居住者からの聞き取りにより、7 月 12 日 6 時頃に起きていたことがわかっている。このすぐ近くにあった気象庁のアメダス阿蘇乙姫の観測データを表 1 に示す。非常に強い雨が継続して降っていたことがよくわかる。仮に、崩壊の発生した 6 時の時点で最大となるような指標を考えるならば、たとえば、1.5 時間の半減期で算出した実効雨量値が 6 時に最大値 227.1mm、あるいは、中井による降雨指標  $R$  値が 6 時の時点で最大値 822.3mm( $R_1=900$ ,  $r_1=300$ ,  $a=3$  とした場合)をとる。

同様な崩壊は、平成 22 年 7 月に起きた広島県庄原市の土砂災害現地でも見られた<sup>2)</sup>。このときは、ほぼすべての崩壊が深さ 3m までの所で発生しており、多くのものが深さ 1m 前後までで起きていた。また、黒ボクなどの黒色土壌層がやはり浮き上がって移動したと思われるところや土層自体にしたから上向きに水が抜け出たと思われるような穴がいくつも見られるところもあった。源頭部の崩壊地が薄く剥がれるように崩壊して土塊を押し出したものの、斜面を下る途中においては斜面上を滑るようにあまり大きくは侵食せずに移動したのも多かった。また、斜面の中腹以下の比較的傾斜の緩やかなところに黒色土壌層が露出した状態になっているところも目立った。このときの豪雨も、短時間の間のきわめて強い降り方であった(表 1)。ただし、一連の降雨の少し前の 7 月 11 日~15 日の間に約 270mm の降雨があり、これにも考慮した上で実効雨量を求めると、半減期 1.5 時間の場合には 16 日 17 時に 95.9mm、18 時に最大値 123.4mm となり、また、半減期 72 時間の場合には 244.6mm、18 時に最大値 305.3mm となる。さらに、中井による降雨指標  $R$  値は 17 時の時点で 294.7mm、18 時の時点で最大値 368.4mm( $R_1=600$ ,  $r_1=200$ ,  $a=3$  とした場合)をとる。

これらに共通しているのは、表層の土壌層の中に皮(crust)状の層があり、きわめて大きな短時間強雨がもたらされたことによって、表層の土壌層が下からの水圧によって持ち上げられて斜面下方に移動し、まれにシート状の塊のまま再堆積するような場合があったという点である。また、庄原の災害では下方からの水圧を受けても移動せず、その水圧がパイピングによって上向きに抜け出るような状況が斜面の至るところで生じている場合には、その表

面上をさらに上方から来た崩壊土砂等が摩擦抵抗のより少ない状態でも通過できることにはなるのではないか、その結果として、あまり深く侵食を受けずに崩壊土砂が通過できたのではないか、ということが考えられる。

表 1 3つの災害の代表的な雨量記録

	一連の雨の降り始め記録	最大72時間雨量	最大24時間雨量	最大18時間雨量	最大3時間雨量	最大4時間雨量	最大6時間雨量	災害発生時刻前後の最大実効雨量(1.5時間半減期)	災害発生時刻前後の中井の $R$ 値の最大	災害発生時刻
アメダス阿蘇乙姫	2012年7月11日 14時の0.5mm	812.5mm (14日17時まで)	507.5mm (12日13時まで)	106.0mm (12日3時まで)	288.5mm (12日5時まで)	384.5mm (12日6時まで)	459.5mm (12日7時まで)	227.1mm (12日6時)	822.3mm (12日6時)	2012年7月12日 6時頃
広島県大戸	2010年7月16日 16時の38mm	288mm (16日19時まで)	174mm (16日19時まで)	91mm (16日17時40分まで)	173mm (16日18時まで)	174mm (16日19時まで)	174mm (16日19時まで)	123.4mm (18時)	368.4mm (18時)	2010年7月16日 17時前頃
アメダス上北山	2011年8月30日 24時の0.5mm	1,850.5mm (9月4日9時まで)	697.5mm (9月3日9時まで)	46mm (9月3日1時)	121.5mm (9月3日2時まで)	152.5mm (9月3日2時まで)	214.0mm (9月3日3時まで)	104.8mm (2時)	735.2mm (2時) 780.5mm (4日5時)	2011年9月4日 3時頃

**3. 特徴的な崩壊(その 2)** 平成 23 年 9 月に紀伊地方で台風 12 号豪雨により発生した土砂災害は深層崩壊が多発するきわめて特徴的なものであった<sup>3)</sup>。すでに多くの調査・研究報告があるが、ここでは奈良県十津川沿いの長殿(宇宮原)で起きたものに注目する。災害発生後の Web 上での調査速報により、ここで発生した土砂移動の礫の一部が数百 m 離れた川面から 40m 程度上部に架けられている橋(小休場橋)の欄干部分に当たった痕跡を残していることや、崩壊土砂が十津川に流入した衝撃による段波が遡上して上流の長殿発電所を全壊させた可能性があることなどが紹介されていた。後に砂防学会調査団の一員として

現地調査(平成 23 年 11 月 10-11 日)によりこれらを確認した。その後、この現象について位置関係等の詳細を確かめ、橋の欄干に痕跡を残すために必要な小石の飛散を引き起こした崩壊土砂(土石流)の流速はどのくらいのものであったかを推測するために、再調査(平成 24 年 10 月 23-25 日)を行った。しかし、崩壊地周辺は崩壊土砂(巨礫等)が不安定な状態でたまっており非常に危険なことから立ち入りも規制されていて、崩壊土砂の流路となった部分については全く調査できず、結局、合流部付近の状況調査のみにとどまった。以下の記述においては、崩壊地の名称などは奈良県砂防課の資料<sup>4)</sup>にならって、上流側の大きな崩壊(土石流)を「濁谷の崩壊」、下流側の崩壊を「大崩れ」と呼ぶことにする。

まず、再調査時点での川面(水面)は橋の欄干より 40~43m 下の位置にあったが、崩壊発生時は当該地域の十津川(濁谷の合流部周辺)は湛水して水位の高い状態であったと思われる。濁谷の崩壊発生より前の時点で、ここより下流 500m 付近の十津川左岸側で大崩れが発生し、川の流れを一時的に堰き止める状況が起きていたと考えられるからである。周辺の植生の色合い・樹勢等の痕跡を見ると、橋のすぐ下流部の十津川の左岸側では橋の位置より約 12m 低い位置まで水位の上昇等(段波による可能性も含む)による影響のあったことが推測される。この位置は調査時点の川面から約 30m 上にあたる。濁谷の合流部付近に堆積している大量の土砂の川側の断面や右岸側斜面には縞状の部分がいくつか認められるが、その最も明瞭なものの高さは調査時の川面より約 15m 上にあたる。また、左岸側のその縞の少し上には流されてきたと思われる流木が水平に埋まっていた。さらに、小休場橋の橋脚を見ると、下流側からでは川面から 15m の高さより上側の白くはげた状況が目立つことや、上流側からでは川面から 15m 高さ付近より下はやや黒ずんでいるのに対し上側は白くはげて見えた。これらのことから仮に、当時の川面が調査時より 15m 高かったとすると、段波の高さは 15m 程度であったといえるかもしれない。

大崩れ周辺の調査から、田長瀬橋付近より下流においては、調査時の川面より約 6m までは岸の岩盤が露出しており、ふだんの増水時の水位をあらわしているものと思われた。また、大崩れの土砂が十津川の流れを一時的に閉塞したと思われるが、崩壊土砂が至ったと思われる対岸やその周辺の木々には、押されたり、なぎ倒された様子は見られず、また、田長瀬橋の欄干に小石等の飛散による傷などが認められなかったことから、大崩れの崩れ方は上述した濁谷の崩壊に比べて激しくはなかったと思われる。ただし、大崩れの対岸の崩壊跡については斜面の脚部が先に崩壊したことにより斜面下部方向に引きずられるように落ちたものと思われ、崩壊上縁位置が比較的高くなっていた。その下流の橋より上流の右岸側には色合いの異なる露岩が見られ、その高さは川面から 8~9m であった。十津川左岸側の大崩れの堆積物上流側には、ふだんの十津川の流れによると思われる縞模様が付いていたが、その位置は調査時の川面から約 7m 高さである。一方、対岸には水の跡であろう模様が認められ、その位置は川面より約 15m の高さであった。また、大崩れより上流左岸側にも露岩部に色の違いが認められ、その高さは川面から約 15m であった。大崩れの堆積物は調査の時点で川面より約 23m の高さで残っていたが、少なくとも崩壊発生当時はより大きな土塊として十津川を一時的に堰き止め、その上流側に調査時の川面より約 15m 高い湛水位を形成していたのであろう。

#### 4. 小休場橋への小石の飛散についての考察

小石がどこから来たのか明らかではないが、ここでは、濁谷を流下中の崩壊土砂(土石流)がたまたま橋と同じ高さで上向き $\theta(^{\circ})$ の方向に小石をはじき飛ばすようなことが発生したものと仮定し、空気抵抗も無視して橋まで小石が到達するのに必要な初速 $v_0$  (m/s)を求めてみた。結果は、 $\theta = 45^{\circ}$  のときに、必要な初速は $v_0 = 62.6$  (m/s)、到達時間は $t_1 = 9.04$  (s)と求められた。実際には空気抵抗もあり、通常の土石流の流速に比べてはるかに大きな初速が必要となっていたことがわかる。

石の跳ね上げが土石流体の質量 $M$ の大きなものから質量 $m$ の小さな小石に運動量が伝えられて発生したとして、二物体の衝突を考える。このときの運動量保存則

$$MV + mv = MV_0 + mv_0 \dots \dots \dots (1)$$

と反発係数の式

$$V - v = -e(V_0 - v_0) \dots \dots \dots (2)$$

から、小石の初速を $v_0 = 0$ として $V_0$ について解くと、

$$V_0 = (1 + m/M)v / (e + 1) \dots \dots \dots (3)$$

が得られる。

仮に、 $m \ll M$ 、 $e = 1$ であったとしても、小石の速度は崩壊土砂(土石流)の速度の2倍が限界であり、さらに実際には反発係数 $e$ が 0.3 程度だとすると、せいぜい 1.3 倍にしかならないことになる。

以上のことから、小石の初速 $v_0 = 62.6$  (m/s)以上を確保するための崩壊土砂(土石流)の速度は少なくとも 50m/s 程度以上という火砕流なみの速度であったことになる。

**参考文献** 1) 久保田ほか(2012):砂防学会誌、65(4)、50-61. 2) 海堀ほか(2010):砂防学会誌、63(4)、30-37. 3) 松村ほか(2012):砂防学会誌、64(5)、43-53. 4) 奈良県土木部砂防課(2012):平成 23 年紀伊半島大水害大規模土砂災害の記録、パンフレット。



写真 1 濁谷上流を眺めて