# 2014年の広島豪雨による鳥越川の土石流の洪水位と流下幅

横山俊治<sup>1,2</sup>·岸本 剛<sup>2</sup>·藤井美南<sup>2</sup>·田島詩織<sup>2</sup>

# <sup>1</sup>深田地質研究所 <sup>2</sup>株式会社荒谷建設コンサルタント

# Flood peak level and running-down width of debris flow along Torikoshi River, induced by the Hiroshima heavy rainfall in 2014

YOKOYAMA Shunji<sup>1, 2</sup>, KISHIMOTO Tsuyoshi<sup>2</sup>, FUJII Minami<sup>2</sup> and TASHIMA Shiori<sup>2</sup>

# <sup>1</sup>Fukada Geological Institute <sup>2</sup>Aratani Civil Engineering Consultants Co., Ltd.

要旨:2014年広島豪雨によって,鳥越川で発生した土石流の洪水位と流下幅を,樹木に残された 流下痕跡を指標にして推定した.河谷を流下する時の土石流は上に凸型の横断面形をもち,沖積 錐の中でも,土石流の主要な流れはこの上に凸型の形態を維持している.鳥越川の左支谷では, 流下幅 10~16m の範囲で 3.52~12.00m の高さの洪水位がもち,地中水に由来する水を取り込ん だことによって,見積もった土石流の体積は下流に向かって増加している.低角度でミリメータ ー間隔のラミネーションシーティングによって割れた風化花崗岩が鳥越川流域のほとんどすべて に広く分布している.豪雨時には,ラミネーションシーティングに雨水が蓄えられ,短時間で地 表に流出する.かくして風化花崗岩地域では,ラミネーションシーティングに規制された多量の 地中水の水平の流れが,多くの崩壊と高い洪水位をもつ土石流を引き起こす.

キーワード:2014 年広島豪雨,鳥越川,沖積錐,土石流,土石流堆積物,石礫堆積物,砂質堆積 物,樹木センサー,土石流の流下痕跡,流下幅,洪水位,風化花崗岩,水文地質構造,ラミネー ションシーティング

Abstract: Flood peak level and running-down width of debris flow along Torikoshi River, induced by the Hiroshima heavy rainfall in 2014 were estimated using the impression of debris flow left on tree. The running-down debris flow forms concave upward traverse section in valley, and on alluvial fan, the main flow maintains the concave form. In the left branch of Torikoshi River, the flood peak level of debris flow shows 3.52 -12.00m in height in a range of 10-16m of running-down width, and the estimated volume of debris flow increases toward the downstream due to taking in water derived from underground water. Disintegrated granite which is fractured by lamination sheeting with low angled attitude and millimeter order in space is widely distributed in almost all the Torikoshi River area. During heavy rainfall, rain water is stored in fractures of lamination sheeting, and at a short period of time, outflows from the surface of slope. Thus in the disintegrated granite area, the horizontal flow of abundant underground water controlled by the attitude of lamination sheeting causes many slope failures and debris flows with high flood peak level.

Keywords: the Hiroshima heavy rainfall in 2014, Torikoshi River, alluvial fan, debris flow, debris flow deposit, debris deposit, sandy deposit, tree sensor, impression of debris flow, running-down width, flood peak level, disintegrated granite, hydro-geological structure, lamination sheeting

## 1. はじめに

土石流堆積物から,土石流が流れ下っている ときの姿を復元することはできない.それは,土 石流堆積物が土石流の抜け殻であるからである. 豪雨が引き金となって発生する日本の土石流では, 土石流堆積物の主体をなす石礫堆積物が停止・堆 積した後も,流木や土砂を含む大量の洪水流がそ の先を流れ下っている.

土石流の流下特性を把握する上で,洪水位や 流下幅,流量といった水理量は重要である.砂防 堰堤などの対策工の設計・計画に必要なパラメー タを設定する上で重要なファクターである水理量 の実測値の蓄積が望まれてきた(水野ほか, 2003).しかし,これらの水理量を土石流が流下 している最中に計測することはきわめて困難であ ることから,水理量の実測は進んでいない.そこ で,村井ほか(2006)や中屋ほか(2006),横山 ほか(2006)では,主として渓流に自生している 樹木に残された流下痕跡から土石流の水理量を推 定することを試み,樹木がセンサーとして有効で あることを実証した.

本論文では、2014 年広島豪雨で緑井八丁目に 被害をもたらした鳥越川の土石流について、樹木 センサーを用いて推定した洪水位と流下幅を基に して、流下時の土石流のイメージや、土石流中の 水の由来、基岩の花崗岩の水文地質構造について 考察した.

## 2. 流下痕跡の種類

村井ほか(2006)や中屋ほか(2006),横山ほ か(2006)が調査した四国山地(付加体山地)で は、樹木に刻まれた流下痕跡として、①樹幹への 泥の付着、②樹皮の剥げ落ち、③礫の突き刺さり、 ④捕捉物の立木根元への巻き付き、⑤樹幹の切断、 ⑥樹幹切断部のささくれの傾動のほか、⑦渓岸斜 面に巻き上げられた渓床礫が記載されている.い ずれの流下痕跡も、それが記録されている高さま で土石流が達していたことを示しているが、土石 流の洪水位の最高位を推定する流下痕跡としては ①が有効であった.また、①、②、③、④、⑥は 流下痕跡の向きから土石流の流れの方向を推定す るのに有効であった.

基岩が中粒〜粗粒花崗岩の鳥越川で観察され た流下痕跡は①の樹幹への泥の付着が大部分であ った. 洪水位の最高位の推定にはこのタイプの流 下痕跡を用いた. ただ, 泥が付着する樹幹の面が 四国の付加体山地の場合は下流側(土石流が流れ てくる側とは真反対側の面)であった. それに対 して、鳥越川では、上流側の面に付着していた. 付加体山地では、ほとんどの場合、下流側に泥が 付着している樹木の上流側の面には樹皮の剥げ落 ち現象がみられ、しばしば樹皮の剥げ落ちたとこ ろに礫が刺さっている. 土石流が直接当たる上流 側の面は泥が付いたとしても洗い流され、陰にな って流れの影響を受けにくい下流側の面に泥が付 着したのであろう.しかし、2014年の広島土砂 災害では、鳥越川以外の渓流でも、樹幹への泥の 付着は上流側の面で、しかも樹皮の剥げ落ちや礫 の突き刺さりは非常に稀であった.

#### 3. 鳥越川の河系地形

標高 313m の鳥越峠に源頭をもつ河谷を鳥越川 の本流と呼ぶことにする. 鳥越川の本流を源頭か ら下っていくと、上流部に当たる標高 175m 付近 から過去の土石流堆積物の堆積場となり、標高 50m 付近の谷口から下流では、同心円的等高線 が発達する沖積錐 (土石流扇状地)の中に入り、



図1 鳥越川周辺の地形図(国土地理院の電子地形図 25000 『衹園』に加筆).

標高 10m で扇端に達する(図 1).緑井八丁目の 住宅はこの沖積錐を雛壇に造成して建設されてい る.また,扇端に沿って八木用水が流れている.

鳥越川の複数の右支谷でも、谷の上流まで過 去の土石流堆積物の堆積が進んでいる. それに対 して、左支谷は侵食域にあり、標高 125m で本流 に合流する左支谷では、標高 312m, 338m, 324m の 3 箇所の源頭部で、今回、土石流の発生 源となった崩壊が発生した.

朝日航洋株式会社が被災直後の2014年8月27 日~28 日に航空レーザー測量によって作成した 縮尺1/2500(等高線間隔1m)地形図を用いて, 標高 360m で発生した崩壊地 (M2-L1-2) の 冠頂から標高 10m の扇端までの河谷の河床 勾配をみると、崩壊地を含む標高 278m まで の河床勾配は 30°,本流と合流する標高 127m までは 15~20°,本流に入ってから堰 堤が建設されている標高 102m までは 7°, 堰堤の直下から住宅が現れる標高 77 m まで は 14~10°, そこから標高 50m 付近の扇頂 を含む標高 10m の扇端までは 7~5° である. なお,崩壊地の勾配は M2-L1-1 の崩壊が 28.5°, M2-L1-2の崩壊が34.5°, M2-L1-3の 崩壊が 45.0° である (大八木, 2017). 左支 谷と、合流点より下流の本流とでは、河床勾 配が大きく異なっている. 左支谷の流れは、 鳥越川の本流に入ると、過去の十石流堆積物 を抉り、溝を形成している. 溝の発達は堰堤 建設以前である. この溝は沖積錐上にも延び ているようにみえるが,現在,標高 55m 付 近から下流では不明瞭になっている. 不明瞭 な部分は,緑井八丁目の宅地造成に際して, この溝を潰して道路を建設したところで、そ の両側を雛壇に造成して住宅が建設されてい る. 今回の土石流はこの道路に沿って流れた.

# 4. 鳥越川の左支谷で発生した土石流の洪水位・ 流下幅と被災状況

## 4.1 左支谷から鳥越川本流にかけて

M2-L1-2 の崩壊が発生した谷(左支谷の本流に 当たる)に, M2-L1-3 の崩壊が発生した谷が標高 263m 付近で合流し, さらに M2-L1-1 の崩壊が発 生した谷が標高 240m 付近で合流している.流下 痕跡から推定された土石流の洪水位と流下幅は, 標高 244m から標高 140m の左支谷内の 5 か所と, 鳥越川の本流に建設された堰堤を挟んで上流と下 流の2か所で得られた.また,沖積錐内では2か 所で洪水位が得られた.なお,M2-L1-1の崩壊が 発生した谷の標高285m付近で流下痕跡から見積 もられた土石流の流速は時速30kmであった(大 八木ほか, 2017).

左支谷内の 5 か所で得られた流下痕跡の測定 地点を図2と図3に、そのデータを表1に示す. この区間の土石流の洪水位と流下幅について、地



図2 鳥越川左支谷内の流下痕跡の測定地点(測定 No. 1~5)(朝日航洋株式会社作成の1/2500 地形図に加筆).



図 3 河床断面図に表示した流下痕跡の測定地点(測定 No. 1~5)(河床断面図は朝日航洋株式会社作成の 1/2500 地形図 をもとに作成).

質・地形状況も合わせて,上流から見ていくと, 測定 No.1 の標高は 244m で,流下幅 11.27m,洪 水位 3.65m (左岸)・3.52m (右岸) である.この 測定地点では,巨礫が下位に分布する過去の土石 流堆積物がつくる平坦面とその直下に分布するラ ミネーションシーティグの発達した中~粗粒花崗 岩のマサを抉った溝に沿って土石流は流れている. 過去の土石流堆積物からなる平坦面は,左支谷の 本流の中をさらに上流に向かって延びている.今 回の土石流でも,細粒花崗岩の角礫を多く含む土 石流堆積物が過去の土石流堆積物の平坦面を被っ て堆積している.細粒花崗岩は M2-L1-2 および M2-L1-3 の崩壊地に分布している.

測定 No.2 の標高は 234m で,流下幅 10.00m, 洪水位 6.00m (左岸・右岸) である. 左岸側のス ギの樹幹に付着した泥は高さ 5m に達している. 泥の付着は谷側に限られている. また,被災した スギよりも山側の斜面では地表面にも流下痕跡は 認められない.

測定 No.1 と No.2 の間では,巨礫が谷を広く埋めているが,谷底には新鮮な花崗岩が広く分布しているようである.一方,両岸の斜面にはマサ土

が厚く堆積しているところがあり、土石流はそれ を抉って流れている.マサ土の断面にはしばしば パイプ孔が現れている.また、斜面にコアストー ンが見られ、巨礫はコアストーンの地震時落石の 可能性がある.

測定 No.2 地点から比高 20m 下った標高 214m 地点は,N35°E 方向から延びてきた谷が合流し ているところで,土石流が流下してきた谷も,南 から S35°W 方向に曲がっている.このため, 北から流れてきた土石流は S35°W 方向の谷の 左岸側斜面に衝突し,斜面堆積物を大きく抉って いる.

測定 No.3 の標高は 179m で,流下幅 13.76m, 洪水位 8.70m(左岸・右岸)である.

そのすぐ下流の測定 No.4 の標高は 173m で, 流下幅 14.80m, 洪水位 10.60m (左岸・右岸) で ある. 測定 No.4 の左岸には, 過去の土石流堆積 物からなる平坦面が発達している. 測定 No.4 の 流下痕跡はこの平坦面に自生するスギの幹に記録 されたもので, 幹の上流側には泥の付着と共に樹 皮の剥げ落ちが観察され, さらに樹皮の剥げた幹 には, 径数ミリメートルの礫が突き刺さり, 削痕

地点名	標高[m]	流下幅 [m]	洪水位	
			左岸 [m]	右岸 [m]
測定No.1	244	11.27	3.65	3.52
測定No.2	234	10.00	6.00	6.00
測定No.3	179	13.76	8.70	8.70
測定No.4	173	14.80	10.60	10.60
測定No.5	139	16.00	12.00	12.00
測定No.6	103	32.70	4.20	4.20
測定No.7	96	52.00	6.70	6.70
測定No.8	35	-	2.20	-
測定No.9	14	-	1.66	-

表1 土石流の洪水位と流下幅(鳥越川左支谷~沖積錐内).

は土石流がほぼ水平に移動したことを示している (図 4). 泥の付着は幹の下流側にも観察された が,その高さは幹の上流側の付着位置よりも低い. この平坦面上には今回の土石流による流木や礫が 点在しているが,平坦面の山際には見られない. 過去の土石流堆積物は対岸斜面にもほんの一部残 っていて,その地表面上には今回の土石流による 流木や巨礫が堆積し,立木も地面の近くは樹皮が 剥げ落ちている.

N35°E 方向から延びてきた谷が合流している 地点から標高 153m 地点まで,S35°W 方向の谷 底には谷にほぼ平行に断層ガウジを伴う断層が連 続して発達し,断層に沿って河床の岩盤は侵食さ れ,溝をつくっている.したがって,この方向の 谷は断層線谷である.また,谷沿いにはカタクレ ーサイトの細脈が発達している.カタクレーサイ ト脈の走向は谷に平行ないし準平行なものが多い. 河床には 30~40cm 間隔でシーティングの発達し た中~粗粒花崗岩の硬質な岩盤が分布しているが, 斜面にはマサを挟んでコアストーンも分布してい る.

標高 153m 地点から下流は谷の方向が再び S 方 向を向く. 測定 No.5 の標高は 139m で,流下幅 16.00m,洪水位 12.00m (右岸・左岸) である. 左支谷の谷口には粗粒の花崗斑岩岩脈が谷を横切 って中〜粗粒花崗岩に貫入している. 花崗斑岩岩 脈は非常に新鮮で硬質な岩盤を形成している. 土 石流はこの岩盤の表面を至る所で欠きながら流下 している.

鳥越川本流に入ると、過去の土石流堆積物を 抉った溝の中を土石流が流下したことが、溝の側 壁を削っていることから分かる.流下幅は 10~ 12m 程であるが、洪水位は不明である.河床勾 配が急激に小さくなったために、石礫は堆積した と推察されるが、河床の石礫が今回のものか過去 ものか分かりにくい. 堰堤のポケットには今回の 土石流起源と思われる巨礫や流木が堆積している. 標高 103m の堰堤のポケット内で計った測定 No.6 では,流下幅 32.70m,洪水位 4.20m (左 岸・右岸)である(測定地点は図 1 参照).流下 幅はほぼ溝の幅に等しい. 左岸側の流下痕跡は樹 幹の切断で,切断された樹幹は細かく裂け,その ささくれはやや谷の内側に向かう流れを示してい る(図 5). これを見ると土石流の勢いが落ちた ようにはみえない.

堰堤の直下で計った測定 No.7 の標高は 96m で, 流下幅 52.00m, 洪水位 6.70m (左岸・右岸) で ある (測定地点は図 1 参照). 右岸側には, 2m を越える巨礫や多数の流木が立木に捕捉されてい る. 堰堤でせき止められた土石流が一気に決壊し た可能性がある. なお, 谷底に分布している巨礫 群が今回か過去のものか判断が難しい.

## 4.2 沖積錐内において

最上流部の住宅は,谷口よりも上流の標高 77m に位置する.谷口に近い標高 64~57m 区間 では,西から張り出した尾根と住宅の間の幅約 12.5m の溝を土石流が流れ,擁壁や住宅の溝側が 破壊され,室内に多量の巨礫が流れ込んでいる住 宅もある(図 6).被災は河床から約 5m 高さま で及んでいる.一方,尾根側では河床付近のみが 被災し,尾根の斜面に自生している樹木には流下 痕跡はみられない.

谷口を出て完全に沖積錐に入った土石流の本 体は、溝の跡に建設された道路の標高が両側の宅 地よりも低いこともあって、道路に沿って流下し ている.このため、住宅の被災は道路沿いに限ら れている.しかし、道路と雛壇の段差が小さいと ころであったり、宅地が湾曲した道路の外側に位 置していたりすると、雛壇の上流側から宅地に土



図4 流下痕跡(測定No.4地点). 樹皮の剥げたところに細礫が突き刺さり, ほぼ水平の削痕が付いている.



図 5 流下痕跡(測定 No.6 地点). 切断された樹幹は細かく裂け, ささくれはやや谷の内側に向かう流れを示している. 写真の土石流防止ネットは今回の土石流災害後に設置された.

横山俊治ほか



図 6 谷口に近い標高 64~57 m 区間の被災状況. 左岸側の住宅の一階は土石流によって溝側が抉り取られているが, 右岸側の流下痕跡は河床付近に限られる.



図7 流木および巨礫により破壊された住宅(標高55m).流木が先行し,その後巨礫が押し寄せている.

石流が流入し、平地に石礫や砂を堆積させている.

以下では、2014 年 9 月 17 日、2017 年 6 月 13 日と 6 月 14 日に実施した現地調査の場所を、朝 日航洋株式会社作成の縮尺 1/2500 (等高線間隔 lm)地形図と国際航業株式会社・株式会社パス コが 2014 年 8 月 20 日に撮影した斜め空中写真 (国際航業株式会社、2014)の上で特定し、扇頂 から扇端に向けて被災状況を記述した.

谷口から出た直後の標高 55~51m の範囲には, 道路の両側の平地に石礫と流木が堆積している. 道路の左側の平地では,まず流木が住宅に押し寄 せ,続いてその背後に石礫が押し寄せている(図 7).押し寄せた流木と石礫で住宅は著しく壊され ているが,住宅を完全に押しつぶして流下するほ どの威力は土石流にはない.

図8は標高38m付近から下流の住宅の被災状

況を見たものである.写真の左手前に写っている 道路の左側の被災住宅では,住宅にもたれかかる 電柱に巻き付いたトタンなどの方向から,室内に 入った土石流が再び道路側から抜け出ていること が分かる.土石流で抉られた石積み擁壁から流れ 出た石材は室内に入ることなく,住宅の手前で止 まっている.ここより下流の宅地でも,ブロック 積み擁壁の道路に面した部分だけが削り取られて いる(ブルーシートで覆われているところ).道 路の右側の住宅でも,道路に面したところが破壊 されている.

標高 35m の道路の左側で,住宅に記録された 流下痕跡から見積もられた洪水位は約 2.2m であ る(測定 No.8).流下痕跡である泥の付着は住宅 の道路側の半分に限られている.

標高 20~18m に位置する道路の左側の平地に



図 8 標高 38 m から下流の住宅被災状況. 住宅もブロック積み擁壁(ブルーシートのところ)も道路に面した部分が 被災している. 道路の左側手前の民家は室内に入った土石流が再び道路側から抜け出ている. 土石流の方向は住宅に もたれかかった電柱に巻き付いたトタンなどから分かる. この住宅の上流では石積み擁壁も抉られている.

横山俊治ほか



図 9 標高 20~18 m 区間の平坦地に堆積した砂質堆積物. 写真手前では、堆積物の厚さは 1m 以上あるが, 車はそこ まで埋まっていない. 一旦車は流水に浮いたかも知れない.



図 10 土石流で削り取られた石積み擁壁の背後に隠れていた過去の砂質堆積物(標高 20~18 m).下流に向かって傾 斜する層構造が顕著である.



図11 流水で浮き上がった乗用車の下に流れ込んだ流木および石礫(標高15 m).



図 12 層構造の発達した砂質堆積物(標高 14~13 m). 過去の砂質堆積物の上位に今回の砂質堆積物が層厚 50~60cm で被っている.

は砂が堆積している(図 9). 掘削された砂質堆 積物の断面を見ると,層厚は lm 近くあるように みえるが,砂に埋もれている乗用車のタイヤは 20~30cm 程である. 乗用車は土石流で浮き上が った可能性がある.同じ標高に位置する道路の左 側では,土石流で削り取られた石積み擁壁の背後 に,過去の土石流による層構造の発達した砂質堆 積物の断面が現れている(図 10).この付近から, 土石流堆積物の主体が石礫堆積物から砂質堆積物 に移り変わり,流動様式も乱流から層流に変わっ ている.

標高 15m 付近の道路の右側では、石礫が混じ った流木の上に乗用車が乗っている(図 11).地 元の方の証言によると、この乗用車は元々その場 所に駐車していたもので、乗用車が浮き上がった ところに流木と石礫が流れ込んだという.

標高 14~13m では,過去の砂質堆積物を被っ て,層厚 50~60cm の砂質堆積物が今回堆積して いる.ともに層構造の発達しているのが特徴であ る(図 12).

扇端に近い標高 14m (測定 No.9) では, 立木 に記録された泥の付着から, 洪水位は 1.66m と 見積もられた.

#### 5. 考察

#### 5.1 流下時の土石流のイメージ

土石流を構成する堆積物・流木・水の量比が 明らかになっている事例はない.また,流下時の 土石流の実相もよく分かっていない.

測定 No.2 や No.4 の樹木に記録された流下痕跡 から推定される流下時の土石流は,地形と無関係 に,両側部で洪水位が急激に低下している.谷口 に近い標高 64~57m 区間の住宅被災や,沖積錐 に入って,標高 38m から下流の住宅被災や標高 35m の住宅に付いた流下痕跡からも、土石流の 側部で洪水位が急激に低下していることを示して いる.横山(2015)が別の渓流で記載した事例と 同様に、流下時の土石流の横断面形は中央部が高 く側部で急激に低くなる、ちょうどかまぼこを輪 切りにしたような形をしていると思われる.

流下する土石流の内部で堆積物・流木・水は どのような分布をしているのであろうか. 土石流 の全体を想像すると,堆積物より水の方が速く流 れるはずであるので,河床を這う堆積物の前面と 上面を水が包んで流下しているものと思われる. 標高 55~51m の範囲で観察された流木の背後に 石礫が堆積している現象や土石流堆積物に含まれ る流木が少ないことから,流木の多くは前面を流 れる水に含まれていた可能性が高い.

樹木に付着した泥が示す流下痕跡は水の記録 である.鳥越川左支谷流れた土石流の場合,泥が 付着していても樹木に傷がないことから,石礫を 主体とする堆積物は河床付近を流れていたものと 思われる.付着した泥の高さから,泥水の厚さは 4m以上になったと推察される.

一方,2004 年台風 15 号豪雨によって高知県嶺 北地方で発生した土石流では、樹皮の剥げ落ちが 多く観察された.樹皮の剥げ落ちおよびその場所 への礫の突き刺さりは石礫の流れの記録であると 推察されるが、同時に記録された付着した泥の高 さは樹皮の剥げ落ちの高さよりもかなり高い(村 井ほか,2006)ので、石礫の流れの上を泥水が流 れていたと思われる.

河床勾配が緩くなると、土石流全体の流下速 度が減少するが、水よりも堆積物、堆積物の中で も石礫の速度が低下する.そして石礫の速度がゼ ロになると、石礫堆積物の堆積が始まる.そうな ると、土石流から水や細粒の堆積物、そして流木 が抜け出していくと考えられる.その結果、土石 流本体である石礫堆積物の大部分は標高 55~ 51m の範囲に堆積し、そこより下流では砂質堆 積物が堆積した.

#### 5.2 土石流中の水の由来

測定 No.1~No.5 の流下幅と洪水位の関係を図 13 に示す.また比較のために,2004年台風15号 豪雨によって高知県嶺北地方で発生した土石流に ついても,洪水位と谷幅(流下幅に相当する)の 関係を図14に示す.図14には,鈴ヶ谷だけで測 定したデータと,複数の別個の渓流において,主 に下流域で測定したデータが掲載されている.

鳥越川左支谷では、下流に向かって流下幅が 広くなると共に洪水位も高くなっている.それぞ れの測定地点で地形が異なっているので、正確で はないが、流下幅と洪水位の関係は、土石流の体 積が下流に向かって増加する傾向があることを示 している.一方、高知県嶺北地方の土石流の記録 では、谷幅が流下幅に当たるとみてよい.鈴ヶ谷 の土石流では、谷幅が広くなるに連れて洪水位は 下がっている.この関係は、土石流の流れが谷幅 に規制されていることを示している.

ではなぜ,鳥越川左支谷の土石流は下流に向 かって体積が増大したのであろうか.土石流は渓 岸を削りながら流下しているので,下流に向かっ て土石流の体積が増大する.土石流の体積の増大 に最も貢献していると思われるのは,斜面堆積物 や河床堆積物に由来した土石流堆積物よりも,渓 岸の削剥時に取り込まれた流木である.しかし, 流木は土石流の前面を流れ,洪水位の増加には貢 献していないように思われる.この状況は,鳥越 川と高知県嶺北地方とで大きな差はないと思われ る.鳥越川の場合は,土石流が流下過程で取り込 んだ水の量が洪水位の増加に影響していると予想 している.



図 13 測定 No. 1~No. 5 の流下幅と洪水位の関係(鳥越 川左支谷). 下流に向かって流下幅が広くなると共に洪 水位が高くなる.



図 14 土石流の谷幅と洪水位の関係(高知県嶺北地域) (村井ほか, 2006). 鳥越川の左支谷と同様の谷幅(10~ 16 m)では、洪水位は約4 m 弱から7 m 強程度である.

鳥越川左支谷の土石流の測定 No.1~No.5 で得られた流下幅 10.00~16.00m の範囲の洪水位について,高知県嶺北地方のそれと比較すると,鳥越川左支谷の洪水位が 3.52~12.00m であるのに対して,高知県嶺北地方のそれは約4メートル弱か

ら7メートル強である.全体の傾向として,鳥越 川左支谷の土石流の洪水位の方が高知県嶺北地方 のそれより高い.

両地域の土石流発生時の降雨量をみると、高 知県嶺北地方は累積降雨量が 620mm, 最大時間 降雨量が 104mm/時間である (村井ほか, 2006). それに対して、三入東で観測された広島豪雨の累 積降雨量は 242mm で,最大時間降雨量は 121mm/時間である(中井, 2015). 鳥越川で発生 した土石流の速度は M2-L1-1 の崩壊直後の標高 285m 付近で時速 30km が得られている. また, 鳥越川とは異なる別の渓流では、時速 60km 程度 の土石流の速度が得られている(大八木ほか、 2017). M2-L1-1 崩壊地の冠頂から測定 No.5 地点 までの実距離は約570mであるので、土石流が測 定 No.5 地点を通過するのに要する時間は、長く 見積もっても数分以内である. したがって, この 間に、土石流に直接加わった雨水は微々たるもの であろう. これは高知県嶺北地域の土石流の場合 も変わらないと思われる.こうなると、土石流の 洪水位を支配しているのは地盤に含まれていた地 中水に由来する可能性が高くなる. ところが, 高 知県嶺北地方の累積降雨量は鳥越川のそれの 2.6 倍に達しているのに、土石流の洪水位は逆に鳥越 川の方が高い.

鳥越川の土石流は崩壊発生域のみならず流下 域でも、河床から離れて尾根に近づくほど、風化 花崗岩(マサ)が広く分布している.一方、高知 県嶺北地方の土石流は三波川コンプレックスの硬 質な苦鉄質片岩が広く分布している.このような 両地域の地質(水文地質構造)の違いが地中水の 挙動にも現れたかも知れない.

広島豪雨で発生したマサの崩壊では,崩壊面 に出現したパイプ孔から吹き出た地中水で,崩壊 面には侵食溝が形成されている.崩壊発生源だけ でなく、土石流で削られた渓岸侵食の跡にも多く のパイプ孔が観察されている.パイプ孔は斜面堆 積物だけでなくマサにも形成されている.中井

(2015)は、移送域で地山の一部が水圧で抉られ た事例を報告している.このように、風化花崗岩 地域では、多量の地中水が地表に吹き出している. また、ボーリング孔を用いた地下水観測では、風 化花崗岩の地下水位が降雨に敏感であることをし ばしば経験している.

一方,硬質な結晶片岩からなる鈴ヶ谷ではパ イプ孔が観察されたのは崩壊発生源の斜面堆積物 だけである.

恩田(1996)は、花崗岩山地と中古生層山地 の水文調査結果を比較し、中古生層山地では、出 水イベントは降雨強度が大きい場合に限られるの に対して、花崗岩地域は出水イベントが多く、一 般にピーク流量は高いという結果を得ている.こ の結果を踏まえ、中古生層地域では、地中水が基 盤深部まで浸透していくのに対し、花崗岩地域で は、浅い地中水となって素早く流出すると推察し ている.

#### 5.3 花崗岩の水文地質構造

花崗岩地域では,降雨と同時に浸透した雨水 を浅所に貯留し,その水圧が高くなると地表に流 出している.それをより可能する水文地質構造は 低角度のクラック群である.それにはラミネーシ ョンシーティングとシーティングがあるが,とく に前者が重要である.

鳥越川の河床に露出している CM 級以上の岩 盤には、しばしば低角度節理であるシーティング が間隔 20~40cm で発達している. その節理面に 沿って蓄えられた地中水はほぼ水平方向の流れを もって地表に出てくる.

マサ (D 級岩盤) のみならず, CL~CM 級岩

盤にも、緩傾斜のラミネーションシーティングが 数ミリメートル間隔で発達している(藤田, 2003 ; Fujita, 2009). ラミネーションシーティン グは応力解放で生じた引張りクラックで、化学的 風化に先行して形成される. そのため、 クラック 内を充填する粘土鉱物が少なく、水の通りがよい. 開口したクラック内に微細結晶破片が詰まってい るのがラミネーションシーティングの特徴である が、クラック内を流れた地中水によって、微細結 晶破片の拡散と集積が起きている(藤田・横山, 2009). 地表付近の岩盤ほどラミネーションシー ティングが発達するために、 地表部に厚いマサが 分布することになる. ラミネーションシーティン グが発達したマサは雨水を貯留する能力が高く, そこに貯留された地中水は水平方向の流れが強く、 山腹斜面から容易に湧出する. この湧出した地中 水は、表層崩壊を多発させるだけでなく、流下中 の土石流に取り込まれて、土石流の流動性を上昇 させる.

# 6. まとめ

- 樹木に残っている流下痕跡を指標にして、 2014 年広島豪雨によって、鳥越川で発生した 土石流の洪水位と流下幅を推定することがで きた。
- ② 渓谷を流下する時の土石流の横断面形は上に 凸型の形態をもち、沖積錐の中でも、土石流 の主要な流れはこの形態を維持している。
- ③ 鳥越川の左支谷では、流下幅 10~16m の範囲 で 3.52~12.00m の高さの洪水位をもち、流下 幅、洪水位が共に下流ほど大きくなっている ので、見積もられた土石流の体積も下流に向 かって増加しているものと考えられる。体積 増加の主な原因は土石流が地中水を取り込ん

だことによる.

- ④ 鳥越川流域のほとんどで、低角度のラミネーションシーティングがミリメーター間隔で割れた風化花崗岩が広く分布している.豪雨時には、ラミネーションシーティングに雨水が蓄えられ、短時間の間に地表に流出する.
- ⑤豪雨時に風化花崗岩地域では、ラミネーションシーティングに規制された多量の地中水の水平方向の流れが崩壊を多発させ、土石流の流下過程でも流出した地中水が取り込まれることで、高い洪水位をもつ流動性の高い土石流を生じさせる.

#### 謝辞

今回の現地調査および解析では,朝日航洋株 式会社作成の縮尺 1/2500 地形図を使用させて頂 きました.深田地質研究所の大八木規夫博士,藤 井幸泰博士,金子 誠氏とは,現地調査を共に行 い,有益なご意見を頂きました.さらに3氏の方 には論文を本誌にまとめることを勧めていただき ました.ここに記して心より感謝の意を表します.

# 文献

- 藤田勝代(2003):香川県小豆島の花崗岩類に発 達するラミネーションシーティングのロック コントロールと構造規制,深田地質研究所年 報,4,155-174.
- Fujita, M. (2009): Control Factors of Lamination Sheeting in Granites, Kochi University, Doctor Thesis, 151p.
- 藤田勝代・横山俊治(2009):香川県小豆島の花 崗岩のラミネーションシーティングと小豆島 石を訪ねて,日本地質学会第116年学術大会

見学旅行案内書, 地質雑, 115, 補遺, 89-107.

国際航業株式会社 (2014):【速報】平成 26 年 8 月 広島市豪雨災害. http://www.kkc.co.jp/servic e/bousai/csr/disaster/201408 hiroshima/.

- 水野秀明・杉浦信男・寺田秀樹・内田太郎・原槇 利幸・曽我部匡敏・櫻井 亘・西本晴男・小山 内信智・武澤永純・土居康弘(2003):2003 年7月の梅雨前線豪雨によって発生した九州 地方の土石流災害(速報).新砂防,56,3, 36-43.
- 村井政徳・横山俊治・中屋志郎・佐々浩司・日浦 啓全(2006):流下痕跡による土石流の洪水位 の推定:2004 年台風 15 号豪雨によって発生 した高知県苓北地方の土石流災害の例.日本 地すべり学会誌,42,6,31-36.
- 中井真司(2015):雨の降り方と土砂災害の発生 との関係について.平成26年広島大規模土砂 災害調査報告書「土地の成り立ちを知り土砂 災害から身を守る」,日本応用地質学会(広島 大規模土砂災害調査団,中国四国支部,災害 地質研究部会),47-54.
- 中屋志郎・佐々浩司・横山俊治・村井政徳 (2006):樹木に残された流下痕跡による阿津 江土石流の流下方向の推定.日本地すべり学 会誌,42,6,43-49.
- 大八木規夫・金子 誠・藤井幸泰・横山俊治・内 山庄一郎・鈴木比奈子・岸本 剛・藤井美南・ 田島詩織(2017):2014 年の広島土砂災害か ら学ぶこと,深田地質研究所年報,18,59-95. 恩田裕一(1996):地中水の挙動と崩壊の発生.
- 恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴編 「水文地形学-山地の水循環と地形変化の相 互作用」,古今書院,東京,92-101.
- 横山俊治・村井政徳・中屋志郎・西山賢一・大岡 和俊・中野 浩 (2006): 2004 年台風 15 号豪

雨によって発生した徳島県那賀町阿津江の破 砕帯地すべりと山津波.地質雑,112,補遺, 137-151.

横山俊治(2015):山津波(土石流)の実像に迫る-発生から停止までの挙動を知る-.平成26年広島大規模土砂災害調査報告書「土地の成り立ちを知り土砂災害から身を守る」,日本応用地質学会(広島大規模土砂災害調査団,中国四国支部,災害地質研究部会),9-12.