

連続する砂防えん堤によって捕捉された 土石流の堆積特性

CHARACTERISTICS OF DEBRIS FLOW DEPOSITION BY TWO SUCCESSIONAL CHECK DAMS

三好 朋宏¹・橋本 晴行²・Farouk MARICAR¹・池松 伸也¹・黒田 佳祥¹
Tomohiro MIYOSHI, Haruyuki HASHIMOTO, Farouk MARICAR, Shinya IKEMATSU, Yoshiaki KURODA

¹九州大学大学院工学府 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-mail: river43.miyoshi@gmail.com

²九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-mail: hasimoto@civil.kyushu-u.ac.jp

Key Words: debris flow, check dam, continuous check dams, open-slit-type, closed-type

1. はじめに

2009年7月21日、山口県防府市を中心に17名の死者を出す大規模な土石流災害が発生した。土石流が発生した地域は、従来から土砂災害の発生が懸念され、砂防えん堤などのハード対策が一部の溪流において実施されていた。特に、剣川と八幡谷川にはそれぞれ二基の砂防えん堤が連続的に設置されており、災害時には土石流を捕捉し、下流への土砂流出を軽減させていたと言われている¹⁾。剣川の砂防えん堤は不透過型、八幡谷川の砂防えん堤は透過型である。今後の対策立案に際して、それらの土石流制御効果を解明しておくことは重要なことである。

砂防えん堤の土石流制御効果を表わす指標としては、土砂堆砂量(≒土砂捕捉量)、堆砂勾配など堆積特性が指標として用いられる。連続する砂防えん堤の土石流制御効果についてはいくつかの研究^{2), 3)}がある。大久保・水山・蒲²⁾はスリットダムを連続的に配置しても土砂調節効果は高くないことを示した。藤田・水山・武蔵³⁾は不透過型砂防ダム群において貯留量は下流ほど少なく、単独の砂防ダムの貯留量の和でもってダム群の貯留量は表せないことを示した。

しかしながら、砂防えん堤による土石流の堆砂量や堆砂勾配といった観点で調査しているものは少な

い。本研究は、連続する砂防えん堤の配置法やその効果の評価に関する研究の一環として、2009年7月の防府市土石流災害を事例として、連続する砂防えん堤における土石流の堆積特性を明らかにしたものである。

2. 2009年7月山口県防府市の土石流災害の概要

2009年7月19日～21日にかけて山陰沖から近畿地方を経て東海地方にのびる梅雨前線の活動が活発化した。梅雨前線に近い山口県では、21日の明け方から昼過ぎにかけて激しい豪雨となり、防府市(気象庁)の21日総雨量は観測史上1位となる275mmを記録した⁴⁾。それに伴い防府市を中心に多数の土石流が発生した。図-1に主な災害発生場所(×印)を示す。中でも真尾地区で発生した土石流は特別養護老人ホームを直撃し、入居者7名の犠牲者を出した。土石流が多発した地域の地質は崩壊の発生しやすい性質を持つ花崗岩および花崗岩が風化したマサ土からなっていた⁵⁾。

図-2は、防府市(気象庁)における降雨状況と市内の中小河川のひとつである馬刀川(流域面積 2.8 km², 流路延長 2.1km(県管理区間))の水位変化を示す。強い雨は21日午前5時頃から始まり、二度のピ

ークを経て午後1時には終了した。午前8時から9時までの間に最大時間雨量63.5mm, 11時から12時までの間に49.5mmを観測した。多くの土石流は2回目のピーク直後に発生したとされている⁵⁾。これに対応して河川水位も変化している。同市内の溪流においても同様な水位変化を示していたと考えられ、土石流発生前に先行的に洪水が発生していたと推測される。

3. 剣川・八幡谷川の概要

図-3に剣川土石流流下河道を、図-4に剣川土石流流下河道の縦断面図を示す。剣川の流域面積は約2km², 流路延長は約2.7kmであり,砂防えん堤の堤体間隔は約200mである。本川に設置されていた砂防えん堤は土石流をせき止めていたが,砂防えん堤より下流側において土石流の流入があり,被害を拡大した。下流の国道付近(図-3のA点)において,106,500m³の土砂が流出しており(アジア航測株),国道沿いの土砂氾濫の要因として,決定的に効いている⁵⁾。

図-5に八幡谷川土石流流下河道を、図-6に八幡谷川土石流流下河道の縦断面図を示す。八幡谷川の流域面積は約1.7km², 流路延長は約2.5kmであり,砂防えん堤の堤体間隔は約400mである。



図-3 剣川土石流流下河道

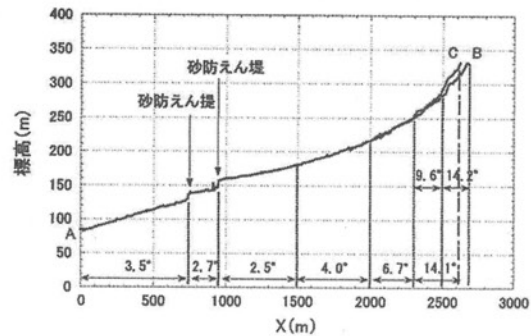


図-4 剣川土石流流下河道の縦断面図



図-1 防府市災害位置図

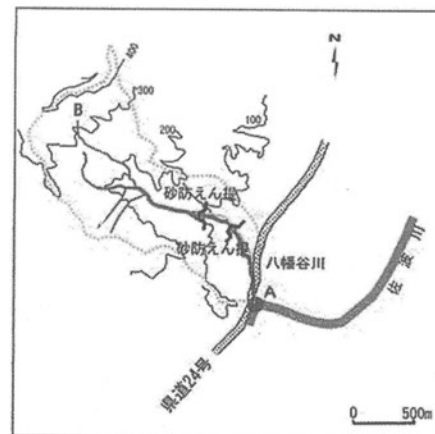


図-5 八幡谷川土石流流下河道

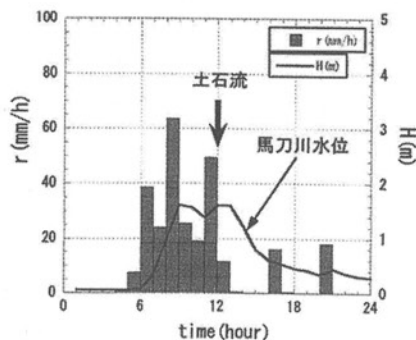


図-2 気象庁防府観測所の降雨と防府市馬刀川の水

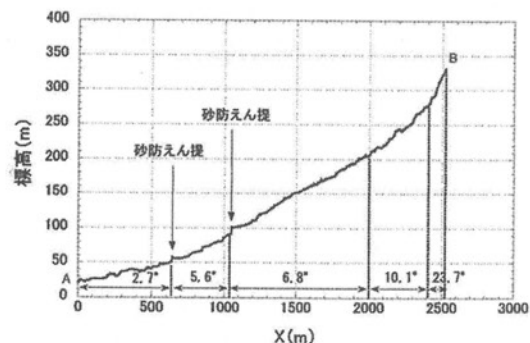


図-6 八幡谷川土石流流下河道の縦断面図

4. 災害後における砂防えん堤堆砂状況の調査

(1) 調査方法

2009年11月25～27日、12月7～8日にかけて、八幡谷川と剣川の砂防えん堤において、堆砂地形の測量、堆積土砂のサンプリング、堆砂状況の写真撮影を行った。測量結果より堆砂地形の平面図（等高線を含む）と縦断図を、堆積土砂のサンプリングより粒度分布と比重をそれぞれ求めた。サンプルを採取した場所は等高線図に記載している。土砂の採取に際しては、表層2cm程を取り除き、一様に堆積した場所をサンプリングすることで局所的な要素を含まないように配慮した。

(2) 剣川の上流側砂防えん堤における堆砂状況

写真-1は剣川に設置された2基の連続砂防えん堤のうち、上流側砂防えん堤における堆砂状況を示している。図-7は、写真-1の砂防えん堤における堆砂状況の等高線図である。図-8はその堆砂域の縦断図と堆砂幅を示している。

まず、図-7から、湾曲部外岸側の地形が高く、内岸側は低くなっていることがわかる。これは土石流の直進性によるものと考えられる。また、流木は、堤体にまで到達しておらず、湾曲部の中央に集積していた。これは、堆積に伴う土石流本体からの水と流木の分離を示唆している。

河道の中央に沿った縦断方向測線に直交する横断線において河道横断図を求めると低流路が右岸側（湾曲部内岸側）に形成されていることが確認された。この図より断面内の河床高の最大値・最小値、堆砂幅を求めた。さらに、国土交通省のレーザー測量（2005年4月14日～16日と2009年8月17～19日測定）から、砂防えん堤における災害前後の河床高も求めた。それらの結果を図-8に示す。ここに、黒い太線の上端は水通し部の位置を表している。また、災害後のレーザー測量（2009年8月17～19日測定）と著者らの現地測量（2009年11月25～27日、12月7,8日測定）結果はほぼ同じ結果であった。従って、同図には災害後のレーザー測量結果は省略されている。

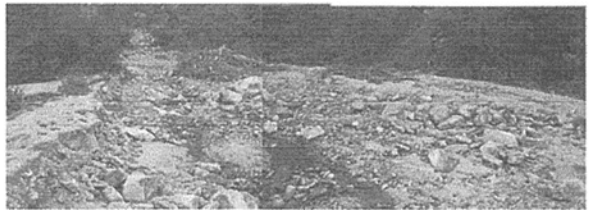
砂防えん堤の堆砂域の平均縦断勾配は 1.89° である。災害前の溪床勾配は 3.32° である。ここに、平均縦断勾配は現地測量によって得られた河床高（最大値）から算出した。堆砂幅は15～35m、低流路の幅は3～7.5m、深さは1.5～2mである。

堆砂幅の測定値と、2005年と2009年レーザー測量の河床高の差から土砂捕捉量の概算を行うと、0

$<x < 90\text{m}$ の区間において $5,750\text{m}^3 \sim 11,500\text{m}^3$ となった。



(a) 上流から下流方向の堤体を望む(2009.11.27撮影)



(b) 下流から上流方向を望む(2009.11.27撮影)

写真-1 剣川の上流側砂防えん堤における堆砂状況

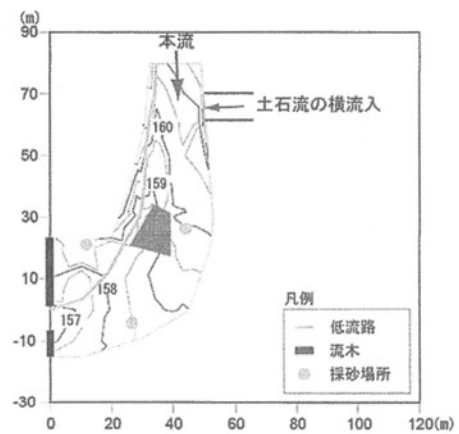


図-7 剣川上流側砂防えん堤堆砂域の等高線
(黒い太線は堤体を示している)

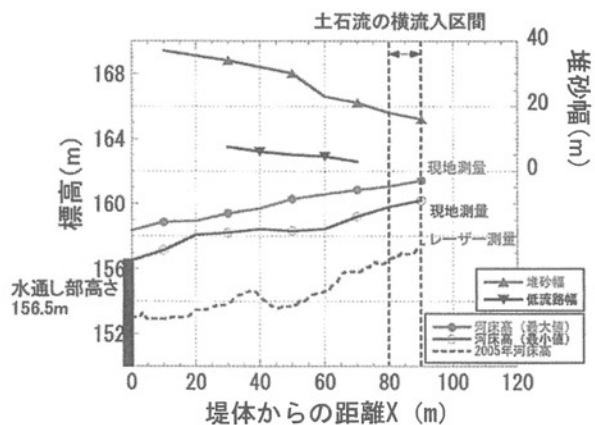


図-8 剣川上流側砂防えん堤堆砂域の縦断図・堆砂幅

(3) 剣川の下流側砂防えん堤における堆砂状況

写真-2 は剣川の下流側砂防えん堤における堆砂状況を示している。

図-9 は写真-2 の砂防えん堤における堆砂状況の等高線図である。堤体のすぐ上流において左岸側から直角方向に土石流が流入しており、その近傍の河道において、堆砂の盛り上がりと流木の集積が見られた(写真-2 (b))。

図-10 はその堆砂域の縦断面図と堆砂幅を示している。合流直前の $X=50\text{m}$ より上流で堆砂域の平均縦断勾配は 1.41° である。 $X=60\text{m}$ より上流の2005年河床高が河床の高さを表しているとして、算出した災害前の溪床勾配は 4.45° である。 $X=50\text{m}$ から下流は、より急な勾配になっている。堆砂幅は $15\sim 35\text{m}$ 、低流路幅は $2\sim 6.5\text{m}$ 、深さは 1m である。

2005年の時点で下流側砂防えん堤は満砂状態であったことが図-10 から推測できる。土砂捕捉量の概算値は $1,700\text{m}^3\sim 3,400\text{m}^3$ であった。

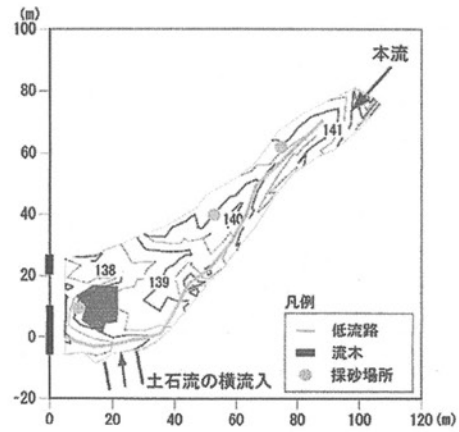


図-9 剣川下流側砂防えん堤堆砂域の等高線図

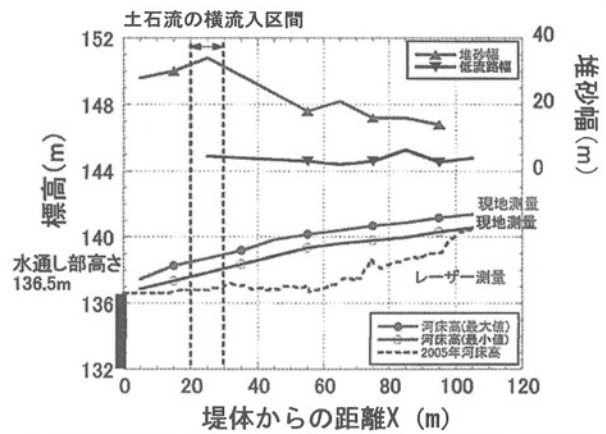


図-10 剣川下流側砂防えん堤堆砂域の縦断面図・堆砂幅

(4) 八幡谷川の上流側砂防えん堤における堆砂状況

写真-3 は八幡谷川の上流側砂防えん堤における堆砂状況を示している。写真-4 はその砂防えん堤のスリット部の状況を示している。スリット幅は 1.8m である。

図-11 は写真-3 の砂防えん堤における堆砂状況の等高線図である。流木は堆砂地には見られなかったが、スリット部分に集積し、土砂の通過をせき止めていた。

図-12 はその堆砂域の縦断面図と堆砂幅を示している。堆砂域の平均縦断勾配は 2.02° である。災害前の溪床勾配は 6.28° である。堆砂幅は $15\sim 45\text{m}$ 、低流路幅は $1.5\sim 4\text{m}$ 、深さは $0.5\sim 1.5\text{m}$ である。土砂捕捉量の概算値は $6,300\text{m}^3\sim 12,600\text{m}^3$ であった。



(a) 上流から下流方向の堤体を望む(2009.11.25撮影)



(a) 上流から下流方向の堤体を望む(2009.11.25撮影)

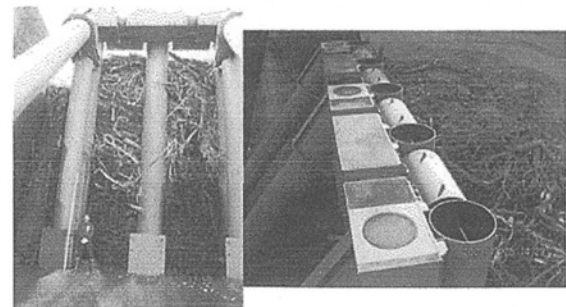


(b) 下流から上流方向を望む(2009.12.8撮影)

写真-3 八幡谷川の上流側砂防えん堤における堆砂状況



(a) 下流から上流方向を望む(2009.12.7撮影)



(a) スリット正面

(b) スリット上部

写真-4 八幡谷川の上流側砂防えん堤スリット部(2009.11.25撮影)

写真-2 剣川の下流側砂防えん堤における堆砂状況

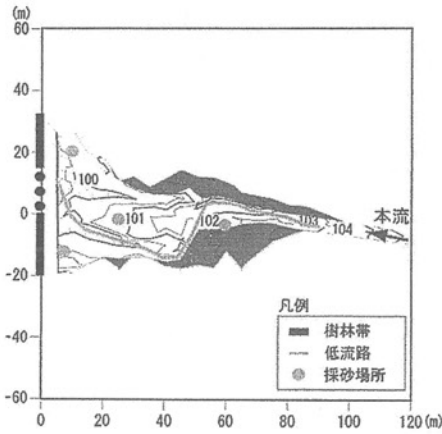


図-11 八幡谷川上流側砂防えん堤堆砂域の等高線図
(黒い太線は堤体を、黒丸はスリット部を表している)

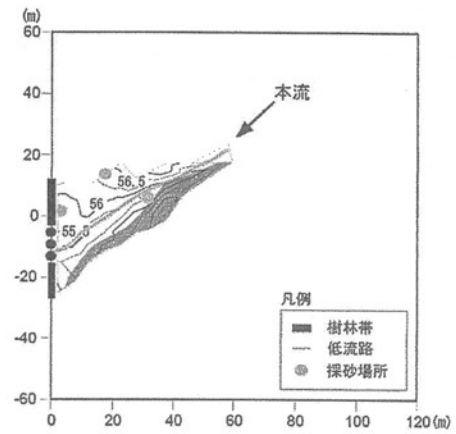


図-13 八幡谷川下流側砂防えん堤堆砂域の等高線図

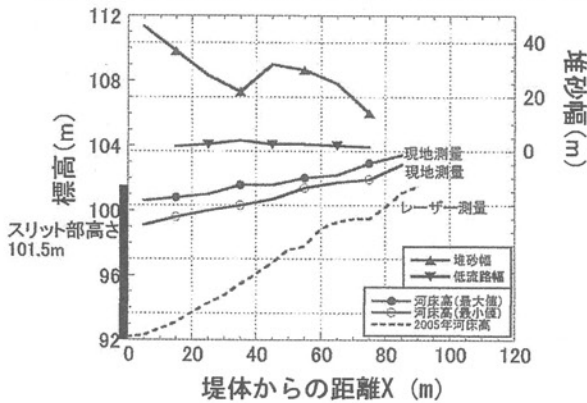


図-12 八幡谷川上流側砂防えん堤堆砂域の縦断面図・堆砂幅

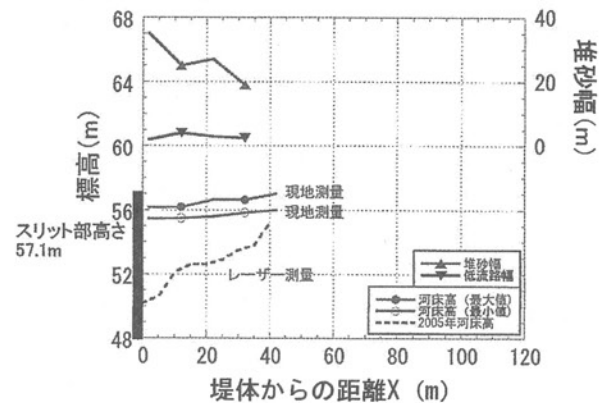


図-14 八幡谷川下流側砂防えん堤堆砂域の縦断面図・堆砂幅

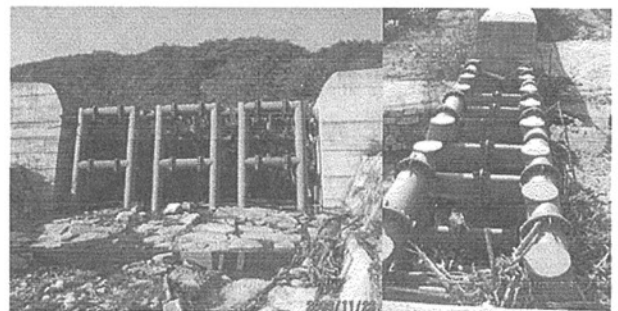


(a) 上流から下流方向の堤体を望む (2009. 11. 25 撮影)



(b) 下流から上流方向を望む (2009. 12. 8 撮影)

写真-5 八幡谷川の下流側砂防えん堤における堆砂状況



(a) スリット正面

(b) スリット上部

写真-6 八幡谷川の下流側砂防えん堤スリット部

(2009. 11. 26 撮影)

(5) 八幡谷川の下流側砂防えん堤における堆砂状況

写真-5 は八幡谷川の下流側の砂防えん堤における堆砂状況を示している。写真-6 はその砂防えん堤のスリット部の状況を示している。スリット部は独立した構造物が3つ並んだ構造をしている。スリット幅は約1mである。

図-13 は写真-5 の砂防えん堤における堆砂状況の等高線図である。上流側の砂防えん堤と同様、流木は

堆砂地には見られなかったが、スリット部分に集積し、土砂の通過をせき止めていた。

図-14 はその堆砂域の縦断面図と堆砂幅を示している。堆砂域の平均縦断面勾配は1.25°と、下流側の勾配のほうが小さい。災害前の溪床勾配は7.12°である。堆砂幅は20~35m、低流路幅は2~4m、深さは0.5~1mである。土砂捕捉量の概算値は2,000 m³~4,000 m³となった。

(6) 考察

表-1 に調査結果の概要を示す。

砂防えん堤設置の河道の湾曲状態、側方からの土石流の流入の有無、河道内の植生などは、砂防えん堤における堆砂地形の形成に対する大きな変動要因となっていた。

剣川では、上流砂防えん堤において河道の湾曲が湾曲部外岸側に河床高の増大を引き起こした。下流砂防えん堤の直上流では、左岸からの土石流の横流入があり、上に凸の盛り上がった堆砂地形が形成されていた。一方、八幡谷川では、樹林帯のエリアでは堆砂地形は平坦化していた。砂防えん堤の土砂堆積区間には、両岸からの土石流の横流入も河道の湾曲もないため、剣川のような堆砂地形の変化はない。

砂防えん堤設置の河道区間において、災害前の河床勾配は、剣川と八幡谷川でそれぞれ大きく異なるが、災害後の堆砂勾配は上流側、下流側それぞれの砂防えん堤において河川に関係なくほぼ同じ値であった。上流側砂防えん堤での堆砂勾配は約 2° 、下流側砂防えん堤での堆砂勾配は約 1.3° であった。

流木は、剣川では湾曲部や横流入付近の堆砂表面に集積していたが、八幡谷川では砂防えん堤スリット部に集中していた。しかしながら巨礫はスリット部には見られなかった。流木のスリット部における集積は、下流への土砂流出を完全に止めていた。

土石流の堆積土砂には通常、巨礫が多く混在する。剣川では特に上流側の砂防えん堤においてそれが顕著であったが、八幡谷川では巨礫はほとんど観察されなかった。採取した資料の粒度分析によると、いずれの河川も上流側砂防えん堤において $d_{50} \approx 1.4\text{mm}$ 、下流側砂防えん堤において $d_{50} \approx 1\text{mm}$ であった。これは八幡谷川では堆積土砂の‘質’を概ね代表しているものとみなされる。

剣川と八幡谷川それぞれの上流砂防えん堤に捕捉された土量はほぼ同じであった。同様にそれぞれの下流側砂防えん堤に捕捉された土量もほぼ同じ量であった。上流側砂防えん堤の土砂捕捉量は下流側砂

表-1 調査結果の概要

	剣川		八幡谷川	
	上流砂防えん堤	下流砂防えん堤	上流砂防えん堤	下流砂防えん堤
災害前の河床勾配 (2005L-ゼー測量)	3.32°	4.45°	6.28°	7.12°
災害後の堆砂勾配 (直接測量)	1.89°	3.43° (0.5X≤50) 1.42° (X≥50)	2.02°	1.25°
堆砂地形	湾曲部外岸側に 多く堆積	合流付近に 盛り上がり	堆砂地中央部に 盛り上がり	起伏が少ない
低水路	幅3~7.5m 深さ1.5~2m	幅2~6.5m 深さ1m	幅1.5~4m 深さ0.5~1.5m	幅2~4m 深さ0.5~1m
流木集積位置	湾曲部中央	合流付近	スリット部	スリット部
巨礫の有無	合流付近を 中心に多数存在	合流付近を 中心に点在	見られない	見られない
採取堆積土砂 の50%粒径	1.42mm	0.96mm	1.38mm	0.99mm
堆砂幅	15~35m	15~35m	15~45m	20~35m
土砂捕捉量の概算値	5750~11500m ³	1700~3400m ³	6300~12800m ³	2000~4000m ³

防えん堤のそれより3倍~4倍多かった。連続する二つの砂防えん堤によって捕捉された全土量は両溪流とも $8000\text{m}^3 \sim 16000\text{m}^3$ 程度であった。これは、山間部から住宅地域への土砂流出を減少させ、より甚大な被害の発生を防いだと考えられる。

5. 結論

本研究によって得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 流木は、剣川では堤体まで到達せず、河道湾曲部中央、土石流の横流入部に集積していた。一方で、八幡谷川では、スリット部に集積し、下流への土砂流出を完全に止めていた。
- (2) 剣川と八幡谷川の災害前の河床勾配は大きく異なるが、災害後の堆砂勾配は上流側・下流側の砂防えん堤において両溪流ともほぼ同じ値であった。
- (3) 巨礫は、八幡谷川では砂防えん堤の堆砂地にはあまり観察されなかった。従って、八幡谷川では、採取資料の粒度分析結果が堆積土砂の質を代表していると考えられる。すなわち、上流側砂防えん堤において $d_{50} \approx 1.4\text{mm}$ 、下流側砂防えん堤において $d_{50} \approx 1\text{mm}$ であった。
- (4) 連続する二つの砂防えん堤によって捕捉された全土量はどちらの溪流においても $8000\text{m}^3 \sim 16000\text{m}^3$ 程度であった。

謝辞：本研究を行うに当たり、国土交通省山口河川国道事務所には災害地域の地形情報を、山口県防府土木建築事務所には砂防えん堤の資料を提供いただいた。また、アジア航測(株)の小川紀一郎氏には貴重な航空測量の解析資料を提供いただいた。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：砂防施設の効果事例、
<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/0907doshasaigai.html>
- 2) 大久保駿・水山高久・蒲正之・井戸清雄：連続するスリット砂防ダムの土砂調節効果、砂防学会誌、Vol.50, No.2, pp.14-19, 1997.
- 3) 藤田正治・水山高久・武蔵由育：砂防ダム群の土砂流出調節効果、水工学論文集、第45巻、pp.697-702, 2001.
- 4) 内閣府：平成21年7月中国・九州北部豪雨による被害状況等について
- 5) 羽田野袈裟義・朝位孝二・種浦圭輔・兵藤正幸・山本晴彦・鈴木素之：2009年7月中国・九州北部の豪雨による土砂災害発生報告、平成21年度河川災害に関するシンポジウム、pp.1-11, 2010.

(2010. 5. 14 受付)