鋼製透過型砂防堰堤の捕捉実態に関する一考察

森　隆彰

関東地方整備局　日光砂防事務所　（〒321-1411 栃木県日光市萩垣面2390）

2015年9月に発生した関東・東北豪雨では，土砂および流木流出の発生した田茂沢流域において，施工後2年の田茂沢第1砂防堰堤（鋼製透過型砂防堰堤）が土砂・流木を捕捉してその機能を発揮し，人家等への被害を防いだ．今回，堰堤の捕捉土砂の除石に合わせ，土砂，流木の堆積分布状況および捕捉量を調査した．本発表は，鋼製透過型砂防堰堤の「①捕捉状況調査の方法」「②土砂の移動形態」「③土砂及び流木の捕捉形態」「④流木容積率の試算」について報告する．

キーワード　鋼製透過型砂防堰堤，捕捉形態，流木容積量

1.　芹沢の災害概要

(1)「平成27年9月関東・東北豪雨」

「平成27年9月関東・東北豪雨」では台風第17号及び台風第18号から変わった低気圧の影響により，関東地方から東北地方にかけて記録的な大雨となった．

特に利根川水系の鬼怒川流域では，下流域の茨城県において広域にわたる氾濫被害が発生したほか，上流域の栃木県では浸水や土砂災害により死傷者や多数の家屋被害が生じるなど大きな被害となった．

(2) 芹沢地区の概要

土砂災害が発生した芹沢地区は，日光市でも北部の福島県境に近い集落であり，日光市中心部の今市地区や世界遺産で有名な日光地区より約30~40kmほど離れた山間部に位置している．

地区住民は33世帯71名で比較的若年層の住民も居住しているものの，高齢化および過疎化は進行している．

また，気候としては関東地方よりも福島県会津地域の気象状況に近く，冬季は豪雪となる地区である．

(3) 降雨状況

芹沢地区から約1kmの距離に位置する国土交通省中三依雨量観測所における災害発生前後の雨量推移を図-2に示す．総雨量は603mm，最大時間雨量は57mm/hとなっており，いずれも観測史上最大を記録した．9月9日午後より10日未明まで10時間以上にわたり最大50mm超の強雨が継続しており，累積雨量も急激に上昇した．

図-1　栃木県日光市芹沢地区位置図

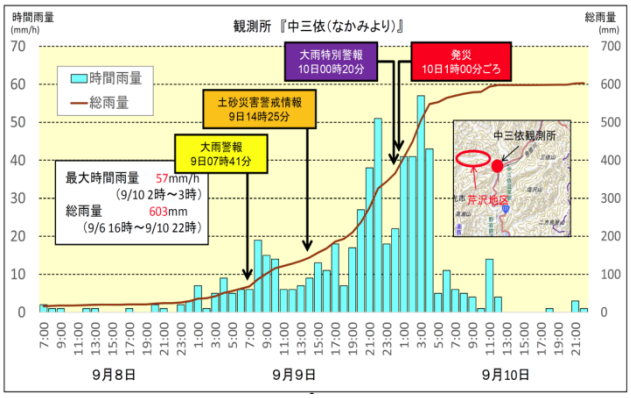


図-2　降雨状況（中三依雨量観測所）

(4)土石流災害

9月10日午前1時前から5時頃に芹沢地区の人家や道路に面する渓流から土石流が複数発生し，住民2名が負傷し，人家全壊5棟，半壊1棟の被害が発生した．後日実施した住民へのヒアリングにより，全壊家屋では流出や倒壊寸前に家屋から脱出して難を逃れた住民も多くいたことが明らかとなった．

また，市道芹沢線は寸断され，住民14戸25人が一時孤立したほか，電力，通信，水道，放送などライフラインも寸断された．

2. 田茂沢流域での被災状況

先述した降雨の発生により，芹沢地区では土石流が多発して甚大な被害が発生したが，地区内の田茂沢では2基の砂防堰堤が整備されており，土石流に伴う土砂や流木を完全に捕捉，下流集落（人家12戸）への被害を未然に防止した．（写真-3・写真-4参照）

田茂沢流域の砂防堰堤と下流集落の位置関係を写真-5に示す．

写真-1　芹沢地区被災状況（滝向沢~中坪下沢）

写真-2　被災状況（滝向沢出口付近）

写真-3　田茂沢第1砂防堰堤(左：土石流発生前　右：土石流発生後)

写真-4　田茂沢第2砂防堰堤（左：土石流発生前　右：土石流発生後）

写真-5　田茂沢流域と下流集落の斜め写真

3.　田茂沢第1砂防堰堤の計画概要

田茂沢第1砂防堰堤の施設諸元および計画概要等は表-1の通り．正面図・断面図を図-3に示す．

表-1　田茂沢第1砂防堰堤の施設諸元及び計画概要

流域面積	0.30km2
渓床勾配	1/6.5
計画流出土砂量	11,861m3
計画流出流木量	140m3
流木容積率	1.16%
鋼製透過型タイプ	格子形
堤高（有効高）	12.5（10.5m）
堤長	43.0m
水通し幅（開口幅）	6.0m

最大礫径（D_{95}）	0.5m
土石流ピーク流量	20.1m3/s
土石流の水深	0.76m
土石流の流速	3.25m/s
土石流流体力	13kN/m
計画捕捉量	12,087m3
部材間隔	縦横約0.5m

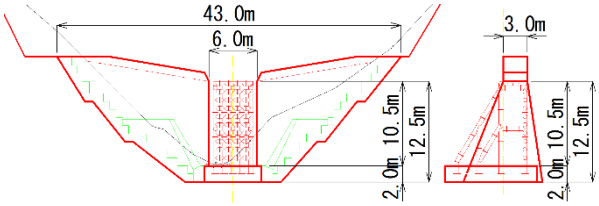


図-3　田茂沢第1砂防堰堤 正面図・断面図

4.　流域の土砂・流木の生産・流出状況の調査

田茂沢第1砂防堰堤の上流側における土砂生産量，流木生産量の算出を目的として実施した．

(1) 崩壊地調査

崩壊規模の把握のため，崩壊高さ，崩壊幅，崩壊深について調査を行った．また，崩壊地近傍で生産流木量の把握のため流木調査を実施した．

a) 流域分割

田茂沢の流域を，主要支渓合流位置で流域分割を行った．また，田茂沢第1砂防堰堤への土砂流入・堆積状況を確認するため，堰堤堆砂域上流端でも区分した．上記の検討より8つに流域を分割した．

b) 崩壊地の分布

崩壊地の抽出は2015年日光市芹沢地区土石流災害発生後に計測されたによるレーザープロファイラ計測結果（H27LPデータと呼ぶ）およびオルソ画像から，差分解析により崩壊地を抽出した．

c) 植生分布

生産・流出流木量を推定するに当たり，植生区分は材積量を試算するために重要である．田茂沢流域の植生分布を把握するため，環境省自然環境局植物多様性センターが公開している自然環境調査Web-GISの「植生調査(1/2.5万)」shapeデータより植生分布を確認した．流域の上流部は「フクオウソウーミズナラ群集」であり下流左岸側の一部が「スギ・ヒノキ・サワラ植林」となっている．

(2) 渓床堆積土砂量調査

流出土砂量の把握のため，主要な地点において不安定土砂の堆積状況の断面調査を行った．

(3) 流下痕跡調査

上流側から堰堤配置位置までの流下痕跡（崩壊生産箇所，崩壊残土箇所，渓岸侵食箇所，露岩箇所）についてルートマップを作成した．

(4) 推定生産土砂量・推定生産流木量

現地踏査で確認した，崩壊地の位置や崩壊深，渓岸侵食箇所については，後述する調査結果から、H24LP-H27LPの差分解析により得られた，崩壊位置，渓岸侵食箇所，崩壊深の値は，概ね解析結果と同等であると判断できることから，生産土砂量の推定は，LP計測結果の解析結果を用いるものとした．

また，生産流木量の推定は，抽出した崩壊地に対して，流木調査を実施した樹種別，箇所別の単位面積当たりの幹材積と，調査箇所近傍に該当しない場合は平均値等，崩壊地近傍の立木状況に近い単位面積当たりの幹材積を使用して算出した．

5.　除石工事の実施

田茂沢第1砂防堰堤については，次なる土石流を捕捉するために除石工事を実施した．除石工事に伴い，捕捉土砂，流木の堆積分布状況および捕捉量を調査した．

(1) 堆積分布状況調査

堆積分布状況は，トレンチ掘削により掘削面の確認を行った．工夫としては堆積高が10m程度と高いため，1段でトレンチ面を出すと，施工上の危険性や，トレンチ面が崩れる等の調査における不都合が生じる可能性が高いため，小段を1段設けて，上段・下段に分けて調査を行った．

(2) 捕捉流木量調査

捕捉流木量調査は，掘削した土砂と流木を分別して仮置きし，重なりがない状態に並べ，流木の平均直径，流木長をメジャーにて683 本計測した．

写真-6　田茂沢第1砂防堰堤の除石状況

6.　調査結果

(1) 流域の土砂・流木の生産・流出状況の調査

a) 崩壊地調査

崩壊地は最も大きいものでも崩壊深3.0m程度であり，大きい崩壊地は崩壊地下端に残土が多く残っており，残土率が高いものと考えられる．ほかの崩壊地の多くは0.5m~2.0m程度の表層崩壊であり，規模も大きくない．なお，H24LP-H27LPの差分解析による崩壊深と，現地踏査の崩壊地調査により得られた崩壊深はほぼ同等と考えられるため，今回の調査における土砂量は「H24LP-H27LP」の差分から得られた土砂量を生産土砂量推定値として扱うものとした．

b) 立木調査

立木調査結果は，田茂沢第1砂防堰堤上流側で卓越する「フクオウソウーミズナラ群集」のみの場合は，

最大立木高さ：25m（平均立木高さ：14.7m）

最大胸高直径：0.543m（平均胸高直径：0.209m）

「スギ・サワラ植林」も含めた結果は，

最大立木高さ：30m（平均立木高さ：16.5m）

最大胸高直径：0.543m（平均胸高直径：0.244mとなった．

c) 渓床堆積土砂量調査

渓床は概ね基盤岩が露岩しており，渓岸の侵食（斜面脚部の渓岸崩壊）が確認できた．2015年日光市芹沢地区土石流災害発生前の現地調査結果によると，田茂沢左支川の2次谷に該当する本川区間は，当時から渓床は基盤岩が露岩しており，2015年日光芹沢地区土石流災害時の土砂移動では渓床の洗掘による土砂生産はほとんどなかったものと考えられる．

渓岸は側方侵食により渓岸に侵食痕跡があるが，特に侵食が多い状況とまでは言えない．また，土石流堆積帯のような堆積痕跡もほとんどなく，大規模な土砂流出（石礫を多く含む土石流等）は無かったものと考えられる．

現状で土砂の堆積区間はほとんど無いものと考えられるため，崩壊地調査と同様に，「H24LP-H27LP」の差分から得られた土砂量を生産土砂量推定値として扱うものとした．

d)　流下痕跡調査

崩壊地は，流下痕跡が見られないか，崩壊深が小さく表土が薄いか，規模が大きく崩壊深も3m程度と深いものの，大部分が残土として残っているものに分けられた．一方で，渓岸侵食は大きく，堰堤で捕捉された土砂の大部分は渓岸からの生産土砂と考えられる結果となった．

e) 推定生産土砂量・推定生産流木量

推定生産土砂量の結果は表-2の通りとなった．なお，NO7の堆積箇所の大部分が山腹のため，堆積の数値は計上しておらず，NO8の堆積は堰堤の下流側のため計上していない．

表-2　H24LP-H27LPの差分解析から求めた推定侵食量・推定堆積量の流域区分毎の数値

流域NO	土砂量（m3）
1	-922.4
侵食	-1,323.8
堆積	401.4
2	-852.7
侵食	-2,067.3
堆積	1,214.6
3	-461.5
侵食	-513.7
堆積	52.2
4	-269.7
侵食	-413.0
堆積	143.3
5	-137.9
侵食	-218.4
堆積	80.5
6	-103.1
侵食	-219.6
堆積	116.5
7	338.5
侵食	-184.1
堆積	522.6
8	2,979.9
侵食	-664.8
堆積	3,644.7
侵食量合計（1~7まで）（m3）	
	-4,939.9
流出量合計（1~7まで）（m3）	
	-2,931.3

表-3 推定生産流木量

	生産流木量（m3）
①生産流木量合計	75.37
流出率85%として（①×0.85=）	64.06
捕捉流木量③	35.57
③／①＝	0.472
流出していないと考えられる崩壊地を除いた生産流木量④	41.31
③／④＝	0.861

推定生産流木量の結果は表-3の通りとなった．

(2) 透過部捕捉面の閉塞状況確認結果

図-4の通り，透過部はほぼ流木のみで閉塞しており，長尺の流木も確認できるが，大部分は1~2m 程度の長さである．透過部は全10 段ある横部材のうち，横材の下から8 段目までは完全に閉塞し，9段目は部分的に閉塞しているが，9段目全体（横断方向）は閉塞していない．上流面では，非越流部の隣の縦部材は横部材6 段目までがほぼ全面，塗装部に摩耗が確認できるが，中3本の縦部材および横部材6段目より下段には所々塗装が残っている箇所が確認できる．

(3) トレンチ掘削面における堆砂縦断面の確認結果

流木は概ね堰堤から上流10m 付近まで多く混入しており（図-5緑破線範囲②③⑦・⑧⑨⑩），特に堰堤より上流5mが非常に多い（②・⑨）．

上段・下段調査範囲ともに下層は礫分が多く（⑦④・⑬）その上はほぼ砂の層となる（⑤・⑪）．この層が上下2段で確認できた．なお，堆砂域中に堆積できた石礫は4個で礫径は55cm~120cmであった（丸破線部）．

堆砂面に堆積しているのは砂である（①）．透過部付近に流木と共に閉塞している礫は最大20cm程度であり平均は10cm以下である（⑧）．

今回の調査では上段・下段に分けて調査を実施したが，上下の連続性は確保できた．土石流危険渓流のような地形狭隘地ではトレンチ掘削面の調査を行う場合に、高さ方向を掘削可能高に分割して掘削することが有効であると考えられる。

(4) 捕捉流木量の調査結果

計測した流木から流木長×（直径/2）2×πより，流木1本当たりの材積を算出した．これを集計すると幹材積合計は35.6m3となった．計測した流木の長さ・直径の最大値・平均値・最小値は表-4 の通り．

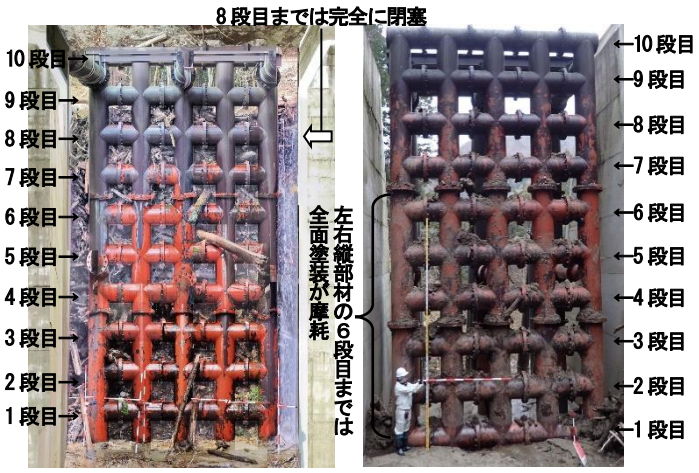
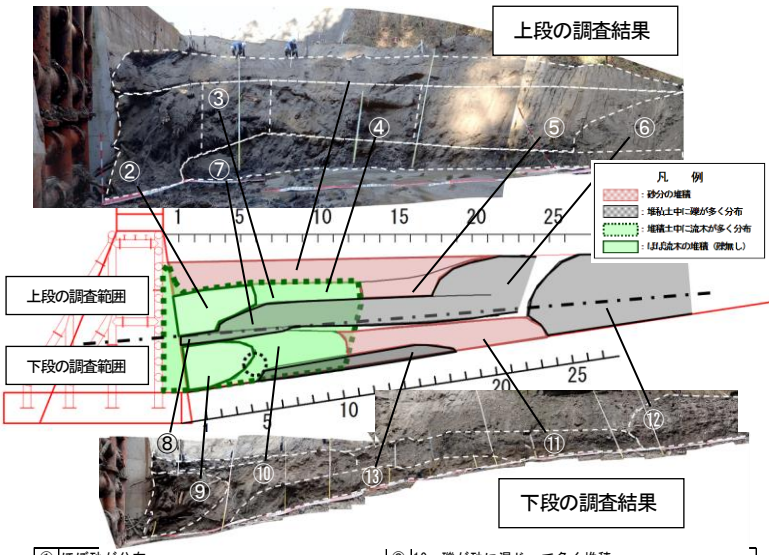


図-4　透過部の状況（左:下流捕捉面，右:除石後上流面）



①	ほぼ砂が分布。	⑧	10cm礫が砂に混じって多く堆積。
②	流木が折り重なるように堆積。礫はほぼない。	⑨	流木が大量に堆積。礫はほぼない。
③	土砂に混じり流木が多く堆積。	⑩	流木が多く堆積している。
④	10cm礫が砂に混じって多く堆積。	⑪	ほぼ土砂が分布。
⑤	ほぼ砂が分布。	⑫	5～10cmの角礫の堆積が多くなる。
⑥	土砂堆積に10cm程度の角礫が混ざる。	⑬	20～30cmの角礫が含まれるがほとんど土砂の堆積。
⑦	10cm礫が砂に混じって多く堆積。		

図-5 トレンチ掘削面連続写真(上下)と合成したスケッチ

表-4　計測した流木の最大値・平均値・最小値（m）

	捕捉流木長さ	捕捉流木直径
最大値	8.70	0.90
平均値	1.24	0.19
最小値	0.10	0.02

表-5　推定生産・流出量

	推定生産量（m3）	推定流出量（m3）	捕　捉　量（m3）
土砂量	4,939.9	2,931.3	2,900
流木量	75.37	41.31	35.57

7.　考察・まとめ

(1) 今回事例からの考察・結果

a) 土砂の移動形態

現地踏査の結果から，

・流域内に特に大きい崩壊地もなく，崩壊地は薄い表層が流出している程度

・渓床の露岩状態は，堰堤設計時の現地調査の状況と同じ

・渓岸侵食の痕跡は確認できる

ことから，土砂生産箇所のほとんどは渓岸侵食によるものと考えられる．

また，流木の発生箇所も渓岸侵食に伴う立木の倒壊が原因と考えられる．

崩壊地からの流木化も想定されるが，大きな崩壊地の下部には崩壊残土とともに立木も残存していることから崩壊地から発生した流木が本川河道に流入して流下した量はさほど多くないと考えられる．

これらを総じて，2015年日光芹沢地区土石流災害時の田茂沢第1砂防堰堤の上流側の土砂移動形態は石礫型の土石流ではなく土砂流であったと想定できる．

b) 鋼製透過型砂防堰堤の捕捉形態

透過部捕捉面の閉塞状況とトレンチ掘削面における堆砂縦断面の確認を総合すると次の通り．

・透過部はほぼ流木で閉塞している

・堆積物のうち流木の捕捉は堰堤に近い側のみで，堰堤から離れた箇所にはほとんど堆積していない．

・今回の土砂流出は2回のタイミングに分かれており，流木が先行して捕捉され角礫を含む土砂が堆積し，その上面にほぼ砂状の土砂が堆積している層が2層に分かれている．

・捕捉している堆積物は，巨礫が数個（4個）しか含まれておらず，5~10cm程度の礫が混じった土砂がほとんどである．

・捕捉している堆積物の状況から，堰堤に到達した流出土砂の移動形態は，石礫型の土石流ではなく土砂流であったと想定できる．

c) 流木容積率の試算

捕捉・堆積している礫は，アーチアクションにより鋼製透過部の開口部が閉塞するには礫径が小さいが，流下する材料に流木が含まれることで，透過部が閉塞状態となり，土砂・小礫も捕捉することが可能となっている．

d) 流木容積率

砂防基本計画策定指針によると流木容積率（Kw0）は次式で表されている．

Kw0＝Vw/V

Vw：計画流出流木量（m3），V：計画流出量（m3）

となるため，Vw を捕捉流木量（35.6m3），V を田茂沢第1 砂防堰堤に流入した土砂量（2,931.3m3）＋35.6m3 ＝ 2,966.9m3とすると，

Kw0＝ Vw / V ＝ 35.6 / 2,966.9 = 0.01199 = 1.199%

堰堤に流入したと想定される土砂量と捕捉流木量から求めた流木容積率は1.19%であり，堰堤設計時の計画流出土砂量・計画流出流木量から求めた流木容積率は1.16%となり，今回の実績値と計画値はほぼ同等である．

(2) 今後の方針

a) 土石流・流木捕捉実態調査システムの構築

土石流および流木対策としてこれまでに多くの鋼製透過型砂防堰堤が整備され，捕捉事例も増えてきているが，その実態報告は非常に少ない．捕捉実態調査を行うことによって，設計時の計画と実態の差異がわかり，鋼製透過型砂防堰堤の機能を確認することができる．よって，今回の捕捉実態調査を基に，土石流・流木捕捉実態調査システムの構築を行っていきたい．

b) 基準反映のための告知

今回の事例から，狭隘地のトレンチ掘削面の調査を行う場合には，高さ方向を掘削可能高に分割して掘削することが有効であると考えられ，また，田茂沢第1堰堤の流木容積率では，実績値と計画値がほぼ同等であり，計画が正しかったことがわかった．これらのような，事例からわかったことを全国の基準に反映することが重要であり，各学会やセミナーなどで発表・告知していくよう努めたい．