

六甲山系における土石流危険溪流の 土砂流出特性

百瀬 広淳¹

¹近畿地方整備局 国営明石海峡公園事務所工務課

(〒650-0024兵庫県神戸市中央区海岸通29番地神戸地方合同庁舎7階)

砂防堰堤を計画するうえで、土砂・流木整備効果を向上させるため、定期的に除石を行い堰堤の背面に十分な空き容量を確保しておくことが望まれる。除石管理計画に必要な管理頻度を検討するためには、溪流特性を踏まえた土砂の流出状況を把握する必要がある。本論文は、六甲砂防事務所が管理する砂防堰堤において、1992年～2015年の23か年に計測された水通し天端からの空高さにより、背面の堆積土砂量を算出し、その経年変化から流域における土砂の流出特性を評価したものである。532基に及ぶ砂防堰堤と流域に対し、降雨特性、流域面積などとの関係性を取りまとめ、土砂流出特性について考察した。

キーワード 土砂流出, 砂防堰堤, 堆積土砂, 土石流危険溪流, 六甲山系

1. はじめに

六甲山系では、昭和13年阪神大水害以降、直轄で500基以上を超える砂防堰堤が整備(図-1,表-1)され、土石流が発生した際には整備効果を発揮してきている。なお、これらの整備済み砂防堰堤は、不透過型が多数を占めており、堰堤背面には土砂の堆積が進んでいる。

既設砂防堰堤の有効利用として、堰堤背面に堆積した土砂を除石しポケットを確保することで、土石流に対する整備率の向上を図るケースが多数認められる。また、新設堰堤では、定期的な除石により堰堤背面に空間を確保する除石管理型堰堤を計画することが多くなってきている。これらの除石計画を行う上で最も重要な検討事項として、堰堤背面に堆積する上流域からの土砂の流出特性が挙げられるが、詳細に検討された事例は少ない。また、各溪流によって特性が異なり、一様に適用できるものではない。

そこで、このような背景のもと本論文では、六甲山系の23水系における500基以上の既設砂防堰堤に対して、1992(平成4)年から2015(平成27)年まで各年で計測された堰堤背面の空高さを用いて堰堤の堆積土砂量を算出し、その経年変化から流域における土砂の流出特性を評価した結果について報告する。

経年変化は、一定に増加するものばかりではなく、増減を繰り返すなどバラツキが認められるものや、豪雨時等の降雨イベントで土砂の堆積が急激に進んだと考えら

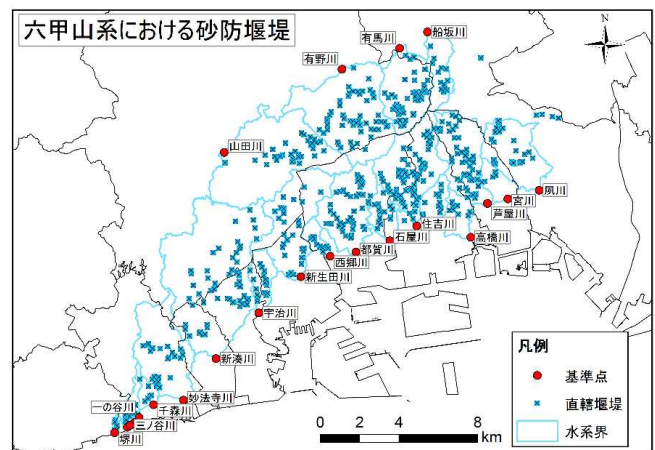


図-1 六甲山系における砂防堰堤位置図

れる特徴が認められた。これらの砂防堰堤の堆積土砂量の変動特性について、検討の方法や結果の概要を取りまとめた。

2. 調査方法

(1) 観測データの利用

1992(平成4)年から2015(平成27)年まで砂防施設の点検時に計測された水通し天端から背面の堆積土砂表面までの空高さ値(図-2)を利用して、堰堤背面に堆積した土砂量を算出した。湛水している堰堤では、湛水位を計測している場合もあるため、評価から除外している。

表-1 六甲山系の堰堤基数 (計測分)

水系名	流域面積 (km ²)	直轄砂防堰堤(基)	水系名	流域面積 (km ²)	直轄砂防堰堤(基)
堺川	0.25	8	石屋川	2.90	16
敦盛塚川	0.04	1	住吉川	11.15	73
三の谷川	0.11	2	天上川	2.60	13
二の谷川	0.25	4	高橋川	2.67	8
一の谷川	0.93	4	芦屋川	8.68	48
千森川	1.38	6	宮川	2.42	5
妙法寺川	10.79	15	夙川	8.07	29
新湊川	29.47	57	山田川	19.96	31
宇治川	3.05	17	有野川	17.35	53
新生田川	11.72	28	有馬川	8.33	45
西郷川	1.48	11	船坂川	3.98	13
都賀川	9.00	47			

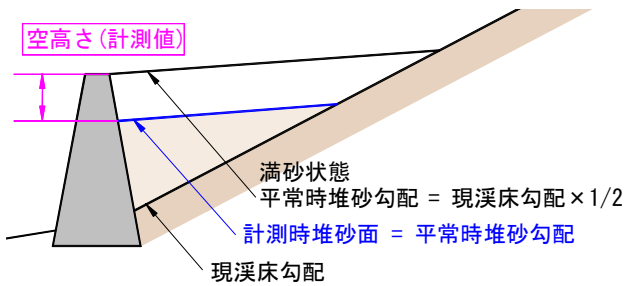


図-2 計測値概念図

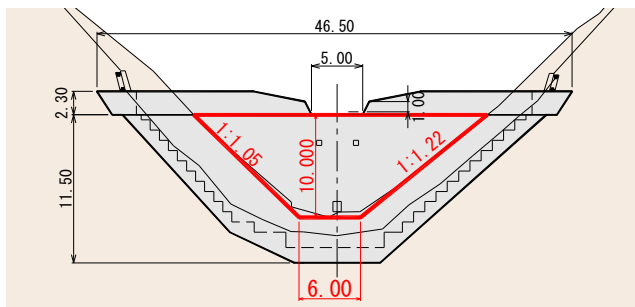


図-3 既設堰堤竣工図の利用例

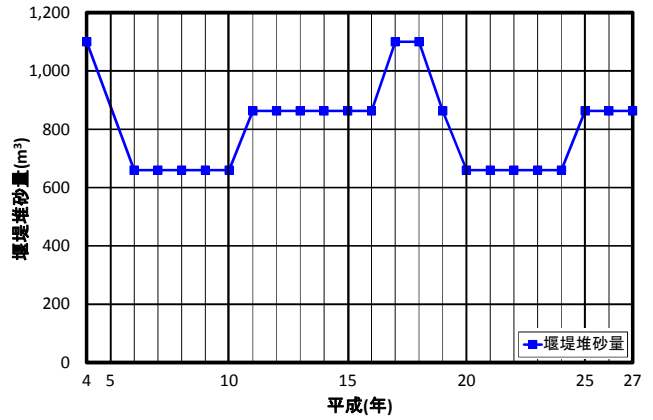


図-4 堰堤堆砂量の経年変化特性①

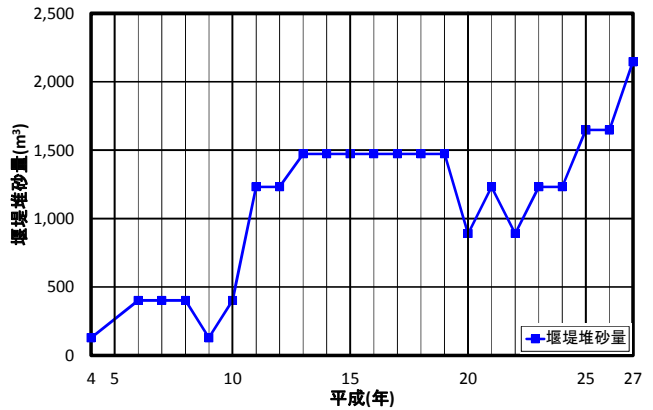


図-5 堰堤堆砂量の経年変化特性②

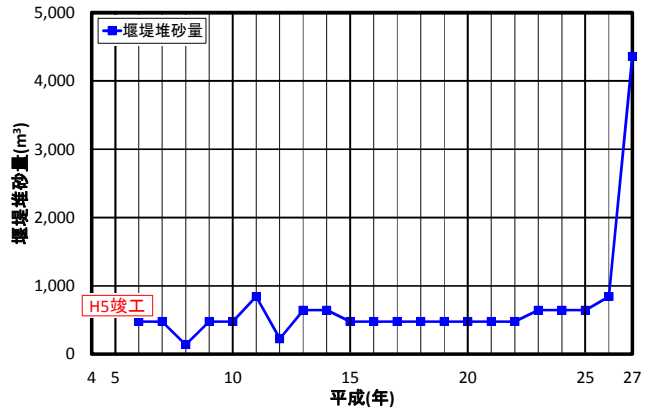


図-6 堰堤堆砂量の経年変化特性③

(2) 堰堤堆積土砂量の算出方法

堰堤背面の堆積土砂量の算出方法として、砂防堰堤の捕捉量を算出する際に利用される簡便式（パラメーター：堰堤背面部の正面積（堰堤竣工図を利用）、堆砂勾配、現溪床勾配）を用いるものとした。堆砂勾配は、平常時堆砂勾配を用いるものとし、現溪床勾配×1/2で設定した。現溪床勾配は、現況では堆積が進んでいるため、既設堰堤の竣工図を参考に堰堤施工前の旧溪床勾配を用いた。（図-2,3）

3. 解析結果

(1) 堰堤堆積土砂の経年変化量の特徴例

a) 土砂量の増減がほとんど無い、もしくはバラツキにより増減を繰り返しているケース①

堰堤背面の空高さの計測値が50cm単位であることや、堆積面も大きな不陸を呈する影響を受けている。図-4のように、増減を繰り返しているケースがあるが、これらは小溪流や谷次数の小さい上流域の堰堤で多くみられ、

土砂の供給量が少ないことと、堆積した少量の細粒土砂が水通しからの越流水や水抜き暗渠からの流水とともに土砂調節¹⁾として流下していることを繰り返して生じているものと考えられる。

b) H7兵庫県南部地震後に土砂の堆積が顕著なケース②

1997（平成9）年～1999（平成11）年にかけて、土砂の堆積量が急激に上昇する現象が認められ、1995（平成7）年兵庫県南部地震による斜面崩壊による土砂流出もしくは不安定化した残積土が、その後の降雨により、下流部に流出した²⁾ものと考えられる。その後は、一定を保っていることから、地震により不安定化した土砂が2～3年かけて豪雨で流出してしまい、残存する不安定土砂がほとんど無くなったものと推定される。（図-5）

c) 豪雨時に急激に土砂堆積が増加するケース③

常時は堆積量の増加傾向が認められないが、2014（平成26）年台風11号などの豪雨イベントで急激に増加した可能性が考えられるケースが認められた（図-6）。高さ10m以上の空容量があった堰堤で、ほぼ満砂状態まで急激に堆積が生じ、約10,000m³の土砂を捕捉した事例も複数認められた。土砂堆積の急増と推定される豪雨イベントでは、その他、2004（平成16）年台風23号、2011（平成23）年台風12号、2015（平成27）年台風11号等である。

(2) 堆積土砂の経年変化量と流域面積との相関検討

図-7に相関図を示す。

流域面積1.0km²以下（約76%）、土砂量300m³/year以下（約90%）に集中していることが確認できた。六甲山系では、急峻な地形を呈しており、狭隘な山間部に土石流危険渓流が多数流下している特徴があり、全体的に流域面積が小さい。また、流路長も短く溪流規模も小さいことから、土砂量そのものも少ない特性によるものと考えられる。全体的にバラツキが生じているが、正の相関関係が認められた。一定の期間の平均を取って経年変化量を算出しており、対数軸での相関性を利用することで、豪雨時での突出した値についても、正の相関性を整理することができた。

(3) 堆積土砂の比経年変化量と流域面積との相関検討

図-8に示す比経年変化量と流域面積との相関性は、やや右肩下がり（負の相関）の傾向にあった。全体として比経年変化量は0～500m³/km²/yearに集中している（約80%）。

4. 砂防堰堤による土砂堆積と設置位置の関係

(1) 土砂堆積の状況と経年変化

前章で示したように、堆砂量の経年変化は砂防堰堤それぞれで独自の変化を示し、複雑なものが多い。

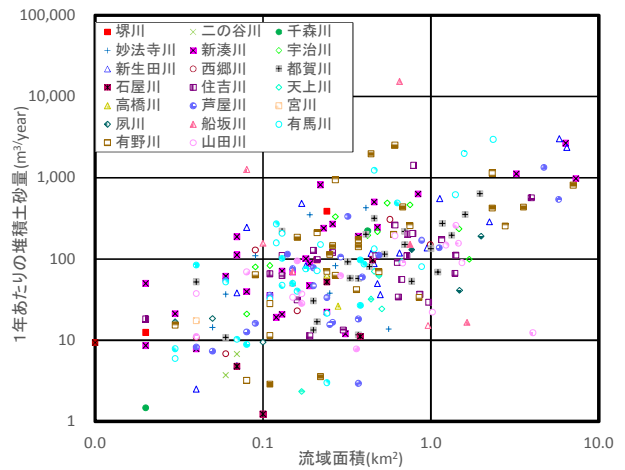


図-7 流域面積と1年あたりの堆砂量

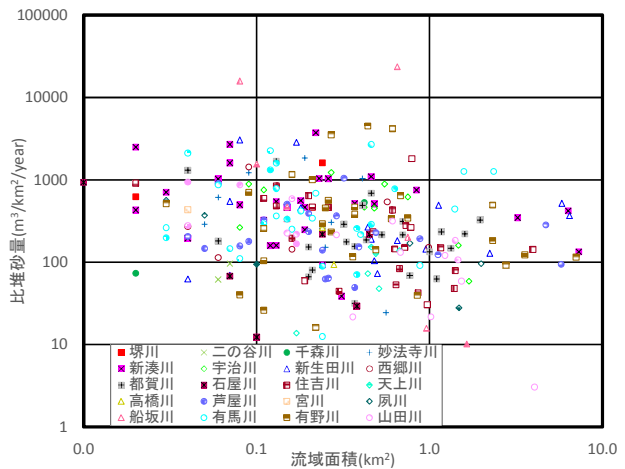


図-8 流域面積と1年あたりの比堆砂量

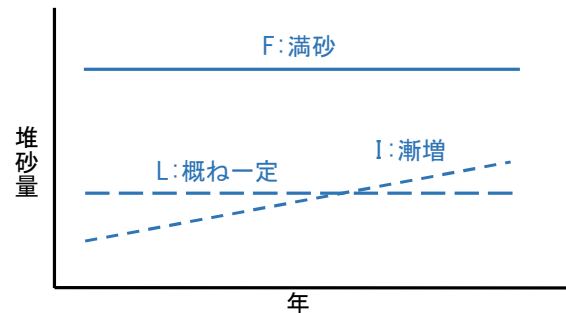


図-9 流域面積と1年あたりの比堆砂量

そこで、六甲山系で流域面積が最も大きい新湊川流域を抽出し、その傾向を把握するために大きく3つのパターンに区分した。図-9は、堆砂量の経年変化を示すパターンを模式的に示したものである。表-2は、これら3つのパターンの概要である。

1つは測定期間を通じて満砂状態のものや、多少の土砂流出により背面に空きが生じたが、満砂傾向にあるものである（記号：F）。また、堆砂の状態あるいは量の変化から堆砂面の上下移動が生じているものが多いが、

表-2 土砂堆積の状況と経年変化のパターン

パターン	砂防堰堤背面の土砂堆積の状況
F (full)	満砂, あるいは多少の変動は認められるが満砂の傾向にある
L (level)	堆砂面の上下移動が認められるが, 概ね一定の範囲にあり, 未満砂である
I (increase)	堆砂面の上下移動が認められるが, 漸増の傾向にあり, 未満砂である

測定期間を通じて概ね一定の堆砂量で推移していると考えられるものは, これを記号:Lで表記し, 区分した。さらに, Lと同様に堆砂面の上下移動が認められるが, 測定期間で堆砂量が増加していると考えられるものを, パターンIに区分した。

図-10はそれぞれの砂防堰堤のパターン区分を流域図に示したものである。表-2に設置場所等の諸元とパターン区分を一覧で示し, 流水と湛水池の有無や暗渠工の通水状況を併記した。

(2) 土砂堆積の状況と設置場所などの関係

新湊川流域では砂防堰堤がいずれの場所に設置されているかで, 背面の土砂堆積の状況が概ね区分できる。最下流や下流域に設置されているものはパターンFで満砂傾向にある。この傾向は支川でも確認できる。

土石流危険渓流 (以下, 土危と記載) に設置された砂防堰堤のほとんどは未満砂である。測定期間中に堆砂面の上下移動を生じながらも, 概ね一定の堆砂量で推移するパターンLが多い (13/24基)。満砂傾向にあるものもあるが, 設-217などは土砂整備率4.2%と施設容量そのものが小さい。

計画流出量100,000m³を超えるものは概ね満砂傾向にある。また, 常時の流水が多い場合についても, 概ね満砂傾向にある。

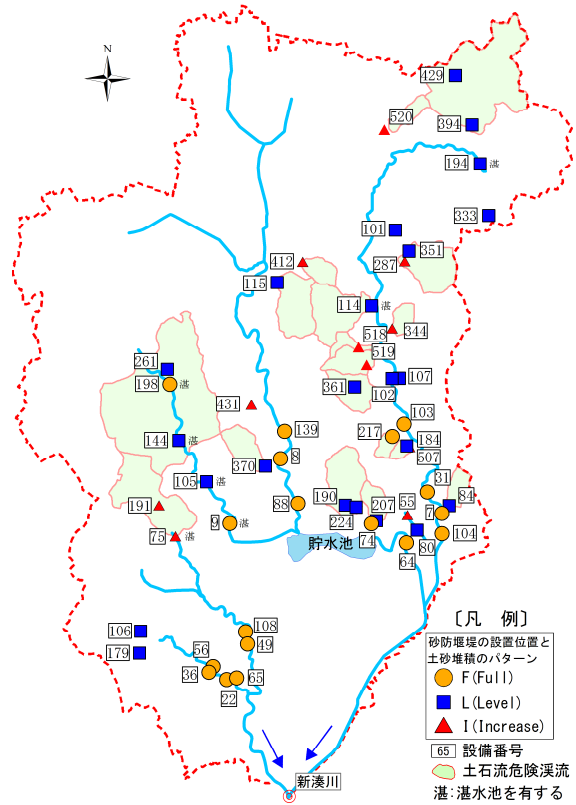


図-10 流域における砂防堰堤の堆砂状況

なお, 流水があっても未満砂の施設が7基 (設備番号-75,102,105,114,144,191,194。以下, 設-番号で記載) あるが, これらの内, 5基 (設-75,102,105,144,191) は暗渠工からの通水量が多い (測定時の写真で判別。以下, 同様)。

また, 流水があっても貯水池を有し, その規模が大きい場合 (設-194) は, パターンLで未満砂である。湛水池を有する設-9,198はパターンFで満砂傾向であるが, 近年のデータでは, 水通しからの越流によって, 洗掘等に

表-3 砂防堰堤の設置場所と土砂堆積の状況一覧

設備番号	竣工年月	流域面積 (km ²)	計画流出土砂量 (m ³)	設置場所 (※1)	背面の土砂堆積の状況	流水 (※2)	湛水池 (※2)	暗渠工の通水量	設備番号	竣工年月	流域面積 (km ²)	計画流出土砂量 (m ³)	設置場所 (※1)	背面の土砂堆積の状況	流水 (※2)	湛水池 (※2)	暗渠工の通水量
65	昭和17年3月	1.41	68,106	最下流	F	○			333	昭和59年5月	0.06		支川・上流域	L			
64	昭和17年4月	13.45	424,478	最下流	F	○			75	昭和17年12月	0.37	26,466	土危	I	○	○	多い
104	昭和25年10月	7.3	226,344	最下流	F	○		多い	207	昭和48年9月	0.08	5,436	土危	L			
9	昭和14年10月	3.54	204,927	最下流	F	○	○		191	昭和46年3月	0.22	14,790	土危	I	○		多い
8	昭和14年10月	8.19	86,251	最下流	F	○			224	昭和50年6月	0.07	5,485	土危	L			
80	昭和19年3月	0.22	17,766	支川・最下流	L				84	昭和26年3月	0.07	5,618	土危	L			
22	昭和14年11月	1.38	66,145	下流域	F	○			370	昭和61年11月	0.13	8,981	土危	L			
56	昭和16年11月	0.14	48,565	下流域	F	○			507	平成13年9月	0.02	1,726	土危	L			
49	昭和16年3月	3.18	167,546	下流域	F	○			184	昭和45年3月	0.02	1,945	土危	I			
108	昭和25年12月	3.16	165,448	下流域	F	○			144	昭和34年7月	0.84	84,835	土危	L	○	○	多い
7	昭和14年10月	7.23	221,696	下流域	F	○			217	昭和49年2月	0.03	2,425	土危	F			
31	昭和16年3月	7.06	208,944	下流域	F	○		多い	198	昭和47年7月	0.46	45,791	土危	F	○	○	
36	昭和15年12月	0.14	11,128	支川・下流域	F	○			361	昭和61年6月	0.04	2,920	土危	L			
74	昭和17年10月	0.28	24,223	支川・下流域	F	○			261	昭和53年3月	0.19	20,703	土危	L			
55	昭和17年3月	0.19	14,998	支川・下流域	I				519	平成20年7月	0.04	3,574	土危	I			
88	昭和35年3月	7.62	42,338	中流域	F	○			518	平成20年10月	0.11	8,415	土危	I			
105	昭和26年3月	3.23	178,529	中流域	L	○	○	多い	344	昭和60年3月	0.06	4,656	土危	I			
139	昭和30年2月	7.21	5,951	中流域	F	○			114	昭和27年3月	0.26	10,045	土危	L	○	○	
103	昭和26年2月	6.35	146,399	中流域	F	○			115	昭和27年3月	0.23	19,400	土危	L			
102	昭和26年3月	5.42	64,818	中流域	L	○		多い	412	平成4年3月	0.08	7,598	土危	I			
190	昭和46年11月	0.15	12,710	支川・中流域	L				287	昭和55年3月	0.13	11,562	土危	I			
107	昭和26年3月	0.48	38,136	支川・中流域	L				351	昭和60年10月	0.09	8,898	土危	L			
106	昭和26年3月	0.33	16,319	上流	L				194	昭和47年3月	0.88		上流	L	○	○	
179	昭和44年1月	0.18	8,104	支川・上流域	L				394	平成1年3月	0.24	24,551	土危	L			
431	平成6年7月	0.12		支川・上流域	I				520	平成22年4月	0.07	5,515	土危	I			
101	昭和26年3月	0.11		支川・上流域	L				429	平成6年3月	0.31	29,420	土危	L			

※1: 「土危」は土石流危険渓流を示している。 ※2: ○は有を示している。

よる堆砂面の低下と土砂の流出が確認される。

1939（昭和14）～1942（昭和17）年築造の古い施設は満砂傾向にある。一方、設-55（1942年竣工）は未満砂で、常時の流水がない。

(3) 堆砂量の変化の傾向

これらのことから、常時の流水が認められる砂防堰堤は満砂傾向にあり、流水があっても満砂傾向にならない要因として、暗渠工からの通水量が多いことと、湛水池の形成が挙げられる。暗渠工には施工時の排水や背面の水圧減少の目的があるが、土砂調整の機能を有することが知られており³⁾、その効果と見られる。また、背面に湛水池を有する砂防堰堤では、洪水により土砂が混入し、水通しから流出している可能性が考えられる。

例えば設-75はすでに築造から60年以上が経過しているが、背面に湛水池を有し、暗渠工からの通水量が多く、未満砂である。

また、常時の流水がない場合、砂防堰堤背面への土砂の堆積は顕著でない。本流域の土石流危険溪流は常時の流水がない場合が多く、平常時の土砂供給は少なく、また、現在のところ、流水があっても満砂傾向にないケースがほとんどである。まとまった土砂の堆積は、台風などの降雨イベントによると推定され、比較的大きな堆砂面の変動が認められるものがいくつかあるが、継続的な観察から、暗渠工レベルで堆砂面が維持されているものがいくつか確認できた。

5. 除石管理型堰堤を計画する場合の留意点

本流域では常時の流水により土砂が運ばれ堆砂が進行する。そのため常時流水がほとんどない土石流危険溪流などでは土砂の堆積が顕著でない。まとまった土砂の流出は台風などのイベント時に限られ、土砂堆積の経年変化は、中期的に、概ね一定の堆砂量で推移する傾向にある砂防堰堤が多い。一方、H7兵庫県南部地震後に、あるいは台風に伴う豪雨によると思われる堆砂面の上下移動が見られるものが複数あり、イベントに応じて、砂防堰堤への堆砂によって下流への土砂の流出が調整された可能性がある。

本流域で除石管理型を採用する場合、常時の流水がなく平常時の土砂供給が少ない土石流危険溪流において有効である。イベントに伴う土砂流出が調整でき、これまでの観測から、中小出水時には暗渠工からの土砂の流下が一定程度期待され、管理頻度は決して高くはないことが推察され得る。

これらの結果を踏まえ、今回、図-11に示す型式「除石管理型+流木捕捉工」の砂防堰堤を計画した。ここでは隣接の既設砂防堰堤の堆砂量の変化から除石頻度を算

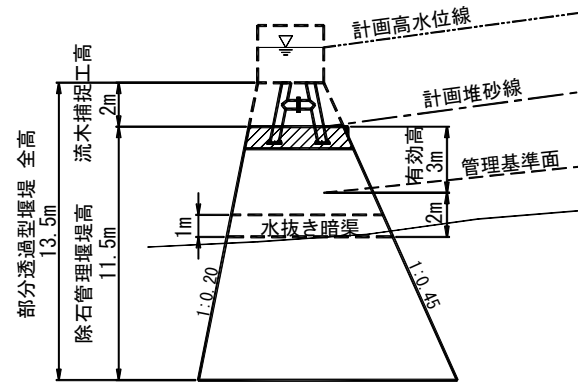


図-11 流域における砂防堰堤の堆砂状況

定したところ、約1回/40年と推定された。近年の土砂流出の傾向⁴⁾や、礫が少なく、巨礫による透過部の閉塞に課題があることから、除石管理型が有効と判断し採用している。

6. おわりに

本論文では、堆積土砂量の解析方法や経年変化の特徴的な例、流域面積と堆積土砂量との相関についての検討結果を示した。

経年変化では、ほとんど堆積土砂量に変化が生じないケースや、豪雨や地震時の影響と考えられる土砂量が急増するケースなどが確認された。堆積土砂量と流域面積の相関は、正の相関が認められた。なお、比堆積土砂量と流域面積の相関は、わずかながらであるが負の相関が認められた。

これらの検討成果を用いて、除石管理計画への適用性を検討した結果、それぞれの相関性を用いて推定した堆積土砂量が概ね同様の値であり、除石管理頻度を検証する一定の目安となりうる事が確認できた。

今後、地形地質特性や降雨量との相関性など、六甲山系における堰堤の堆砂特性を明らかにしていくことにより、より効率的な除石管理計画を策定し得る可能性があり、今後の検証が望まれます。

参考文献

- 1) 建設省河川局（1997）：建設省河川砂防技術基準（案）解説，18pp.
- 2) 富田陽子・桜井亘・中庸充（1996）：六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について，砂防学会誌（新砂防），Vol.48，No.6，p.15-21
- 3) 瀬尾克美（1972）：砂防ダムの水抜き穴についての一考察，新砂防，Vol.24，No.4，p.20-22
- 4) 田村圭司・内田太郎・森東哲郎・日野健・小菅尉多・木下篤彦（2014）：六甲山系における水文・流砂観測，砂防学会誌，Vol.66，No.6，p.82-86