

砂防堰堤の形式が河床の礫径及び 植物種に与える影響について

INFLUENCE OF SABO DAM TYPES ON BED MATERIAL STRUCTURE AND VARIETY OF PLANTS ON A DRY RIVERBED

澤康雄¹・田屋祐樹²・三納圭之輔²・玉井信行³
Yasuo Sawa, Yuki Taya, Keinosuke Sannoh and Nobuyuki Tamai

¹正会員 国土開発センター環境事業部 (〒924-0838石川県白山市八束穂3-7)

²国土開発センター環境事業部環境調査部 (〒924-0838石川県白山市八束穂3-7)

³フェロー会員 工博 金沢学院大学大学院教授 (〒920-1392石川県金沢市末町10)

This paper summarizes field survey on physical features of and vegetation on a dry riverbed around Sabo dams (check dams) in Ozo river. The investigated zones are 120m long in upstream and downstream of a concrete slit Sabo dam and two concrete closed-type Sabo dams. Unit size of a survey mesh is 10m and 5m in longitudinal and transverse directions, respectively.

Frequency distributions of cobble diameter and number of plant species for a slit Sabo dam are clarified to be similar by a significant difference analysis on samples in upstream and downstream zones. It is also confirmed that continuity of sediment transport is sufficiently high for a slit Sabo dam by the distribution of *Boehmeria sylvestris* which is typical species in deposit by slope failure.

Key Words: Concrete slit Sabo dam, Concrete closed-type Sabo dam, Impacts of Sabo dams, Structure of a dry riverbed

1. はじめに

近年、河床の安定化が進み下流域では河道内の樹林化が進行し、河川管理、環境面での問題となっている。このため砂防堰堤には環境面への配慮として、河床の連続性の確保が求められているとともに、平常時には河川・海岸環境を保全するために下流へ土砂を流しつつも、洪水時には一時的に土石流を溜めることができる構造・機能が求められている。このような流域砂防の観点から、近年では堰堤上下流の連続性を期待してスリット型タイプの砂防堰堤の整備が進められている。当該研究で調査を実施した手取川流域では平成20年に同水系尾添川にこのタイプの堰堤が設置されている。

砂防施設の設置に伴う変化は、まず物理的な変化が発現し、これに追従して生物的な変化が見られると考えられる。このため本論文はスリット型とクローズド型の両タイプの砂防堰堤について調査を実施し、砂防堰堤の形式の違いが物理環境、自然環境に及ぼす影響の差を確認することを目的としている。

2. 環境変化を把握するための方法

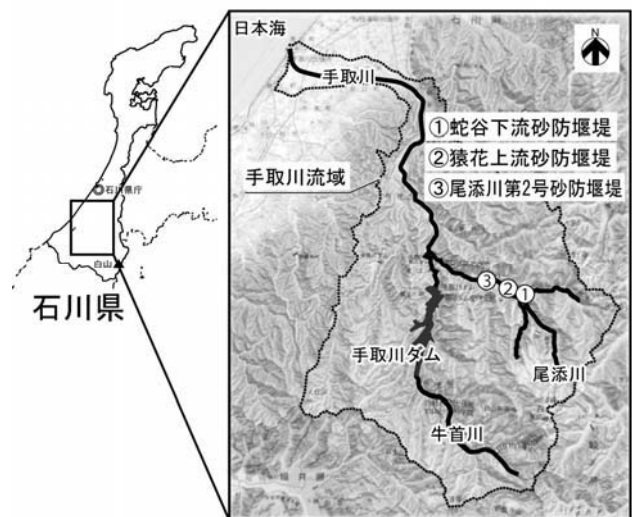


図-1 調査対象流域(一級水系手取川)

(1) 調査対象堰堤

調査は図-1に示すように同一水系の河川に存在するスリット型堰堤とクローズド型堰堤について同じ内容の調査を実施し、その結果を統計的に比較・評価して、砂防堰堤の形式による環境への影響を考察した。調査対象は表-1などに示す3堰堤である。

表-1 調査対象堰堤一覧

名 称	形状寸法			天端幅 (m)	流域面積 (k m ²)	貯砂量 (m ³)	着 手 年月日	完 成 年月日	河床勾配		河川幅 (m)
	高(m)	長(m)	立積(m ³)						堰堤上流	堰堤下流	
蛇 谷	14.0	60.0	5,758	2.5	49.6	96,900	1986/7/31	1991/10/18	1/74.1	1/689	42.5
猿 花	12.0	88.0	7,142	3.0	100.9	126,000	1979/7/8	1981/11/12	1/29		58.8
尾 添	14.5	78.5	4,680	3.5	131.0	0	2004/7/15	2008/1/11	1/40		37.3



写真-1 クローズド型堰堤 1 (蛇谷)



写真-2 クローズド型堰堤 2 (猿花)

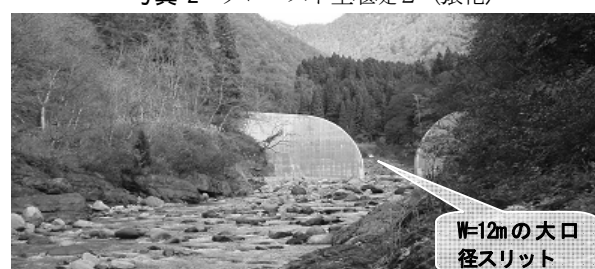


写真-3 スリット型堰堤 (尾添)

a) クローズド型堰堤 1

写真-1に示す蛇谷下流砂防堰堤 (以下「蛇谷」という) は、一般的で最も設置数が多いクローズド型タイプの堰堤で既に満砂状態にある。

b) クローズド型堰堤 2

写真-2に示す猿花上流砂防堰堤 (以下「猿花」という) は、蛇谷と同じ堰堤タイプであるが、天端に自然にできた切り欠け (W=14.5m, H=0.5m) がある。

c) スリット型堰堤

写真-3に示す尾添川第2号砂防堰堤 (以下「尾添」という) は、平成19年度に完成したW=12mの大口径スリット堰堤である。

(2) 調査時期, 調査範囲, 調査単位

a) 調査時期

調査時期は流量が安定する秋季の出水後とした。なお、調査地近傍では流量観測が行われていないため、最寄りの中島観測所 (23km下流) における流量を表-2に示す。

表-2 手取川流域の流量 (中島観測所, 1993 年~2007 年)

	年最大流量	年平均流量	年最小流量
流量(m ³)	2,212.85	83.03	4.68

本調査における浮石は、A、B、Cとする。

下図中 A: 他の石に乗り、完全に浮いた状態で石下方に空隙がある。
B: 砂に接した状態だが石下方に空隙がある。
C: 一部が砂にもぐり沈み石であるが、他の石に乗りなど下方の一部に空隙がある。
D: 沈み石であり空隙はほとんどない。

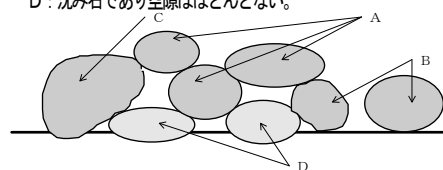


図-2 浮石沈石の区分

b) 調査範囲

河川横断方向、縦断方向の調査範囲は以下の考えに基づき実施した。

河川横断方向の調査範囲は不安定帯 (≡河原) と半安定帯 (≡草原) とし、安定帯については出水時による一時的な湛水はあるが、堆砂などの大規模な影響は少ないと考えられたことから調査対象から除外した。河川縦断方向の調査範囲は、猿花上流が本堤から120mで河道が大きく湾曲し環境が大きく変化していることから堰堤上下流各120mずつの計240mとした。なお、結果整理は0m~40m, 0m~80m, 0m~120mに区分して行ったが、蛇谷下流80m~120m範囲が本川の尾口第一堰堤の背水の影響を受けているため当堰堤の80~120mは整理対象から除外した。

c) 調査単位

調査単位は各項目の比較、評価を統一的行うために対象範囲全域を縦断方向10m×横断方向5mのメッシュに区分して実施した。

(3) 調査項目

砂防事業に伴う物理的变化と生物的变化は密接な関係にあると考えられるため、物理環境項目は生物の生息と関係が強いと考えた礫径、比高、浮石沈石とし、生物環境項目は、河川への依存性、環境変化へのレスポンスの強さを勘案して植物を対象とした。なお、陸上植物を対象としているため物理環境調査も陸上のみを対象とした。

a) 礫径

砂は生育基盤として植物との直接的な関連が非常に強いいため調査対象とした。調査はメッシュ交点の砂礫の状況について、2mm以下を砂、礫は短軸・長軸を測定して

表-3 砂, 礫, 岩盤のメッシュ数

	施工前		施工後					
	尾添		尾添		猿花		蛇谷	
	上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流
砂	1	3	3	2	24	12	11	5
礫	46	23	28	10	84	56	26	33
岩盤	0	2	2	9	18	14	9	12

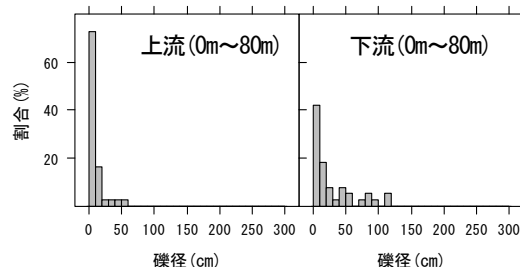


図-3 蛇谷の礫径頻度分布

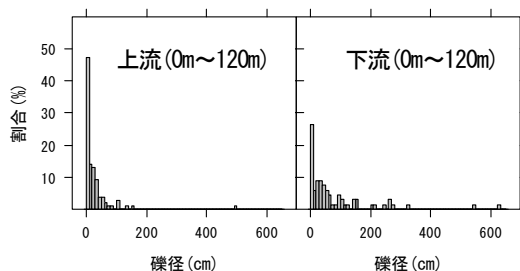


図-4 猿花の礫径頻度分布

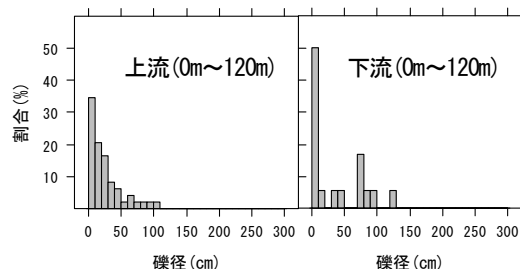


図-5 尾添の礫径頻度分布

平均値を礫径とし、その結果を、0~2mm, 2mm~10cm, それ以上を10cm区分で整理した。

b) 比高

比高は植物への水分供給、攪乱などの間接的な影響が強いと考え調査対象とした。各横断の水際標高とメッシュ交点の標高を計測し、その標高差を比高とした。結果は「比高の分布」と「水際からの距離と比高」について整理した。なお、調査当日の流量、水深は観測されていないが、中島観測所における水位は低水位流量時の水位に相当する。

c) 浮石沈石

浮石沈石も礫径と同様に植物の生育基盤としての関係が強いと考え調査の対象とした。区分は図-2に示すとおりで、メッシュ交点の砂礫の状態を調査した。また、調査地点が砂の場合は沈石とした。

d) 植物

各調査メッシュに生育している全植物種の種名を記録した。

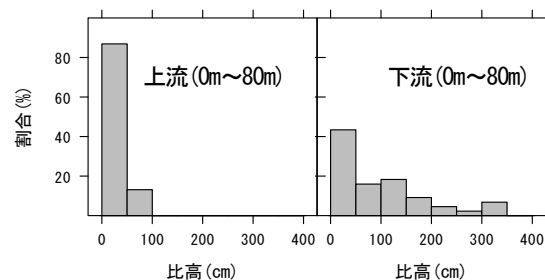


図-6 蛇谷の比高頻度分布

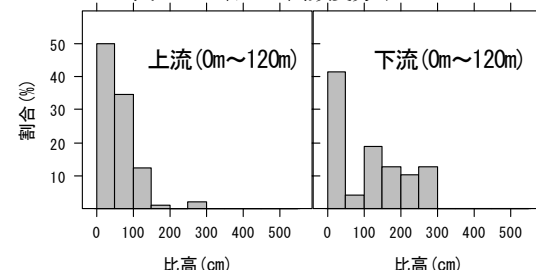


図-7 猿花の比高頻度分布

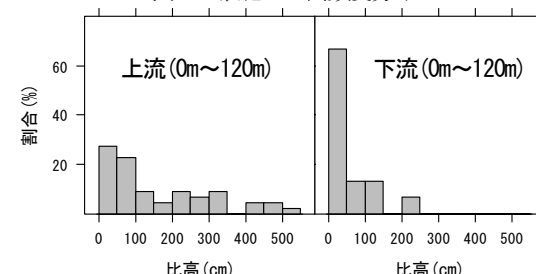


図-8 尾添の比高頻度分布

3. 調査結果

(1) 礫径頻度分布

尾添と比べると蛇谷、猿花の礫の比率が低かった(表-3参照)。

a) 蛇谷

蛇谷の礫径頻度分布は図-3に示すとおりで、堰堤上流は60cm以下、礫径0~10cmの出現率が約75%と下流と比べると礫径は小さく、堰堤上下流では異なった結果を示している (Kolmogorov-Smirnov検定, $P < 0.05$)。

b) 猿花

猿花の礫径頻度分布は図-4に示すとおりで、堰堤上流は160cm以下、礫径0~10cmの出現率が約45%と下流と比べると礫径は小さく、堰堤上下流では異なった結果を示している (Kolmogorov-Smirnov検定, $P < 0.001$)。

c) 尾添

尾添の礫径頻度分布は図-5に示すとおりで、礫径毎の出現率に多少バラつきがあるものの、堰堤上下流の礫径は異なっているとは言えなかった (Kolmogorov-Smirnov検定, $P > 0.05$)。

(2) 比高頻度分布

a) 蛇谷

蛇谷の比高頻度分布は図-6に示すとおりで、堰堤上流の比高分布は100m以下で、0~50cmが約85%を占め高低

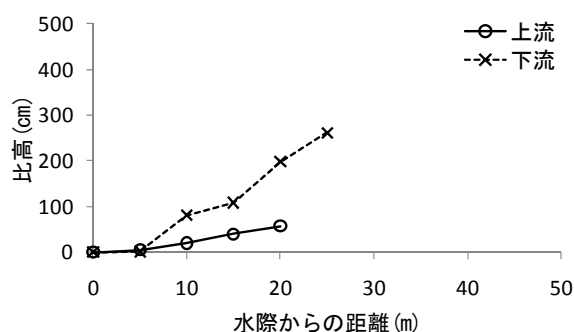


図-9 水際からの距離と比高 (蛇谷)

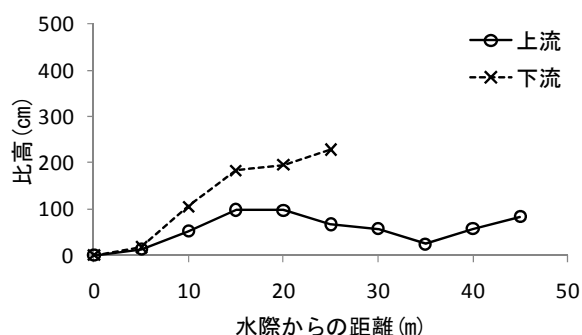


図-10 水際からの距離と比高 (猿花)

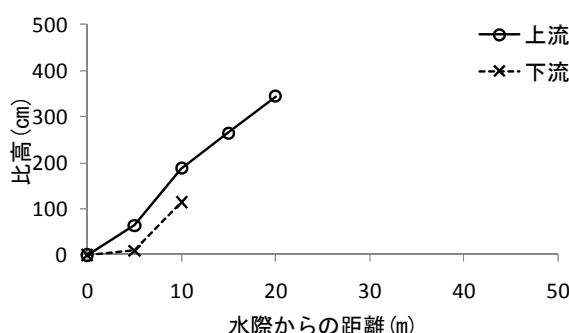


図-11 水際からの距離と比高 (尾添)

差が小さく（水面との差がない）単調であるが、下流は0～350cmまで満遍なく確認されており、堰堤上下流で異なる結果を示していた（Kolmogorov-Smirnov検定, $P<0.01$ ）。

b) 猿花

猿花の比高頻度分布は図-7に示すとおりで、堰堤上流は0～100cmで約85%が出現しているが、下流は300cmまで出現し、分布も比較的均等で、堰堤上下流で異なる結果を示していた（Kolmogorov-Smirnov検定, $P<0.01$ ）。

c) 尾添

尾添の比高頻度分布は図-8に示すとおりで、堰堤上流は50cm～550cmまでが満遍なく出現し非常に変化に富んだ状況にあるが、下流は0～50cm以内が65%を占め、全般的に比高が小さく、堰堤上下流で異なる結果を示していた（Kolmogorov-Smirnov検定, $P<0.05$ ）。

(3) 水際からの距離と比高

水際からの距離と比高の平均値を平均横断線として

表-4 浮石沈石のメッシュ数の比較

	施工前		施工後					
	尾添		尾添		猿花		蛇谷	
	上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流
浮石	39	10	16	10	42	26	12	26
沈石	8	18	17	13	84	56	34	24
有意水準	***	ns	ns	ns	***	**	**	ns

***: $P<0.001$ ** $P<0.01$ * $P<0.05$ ns 有意差なし 二項検定

表-5 植物出現種数

	施工前		施工後					
	尾添		尾添		猿花		蛇谷	
	上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流
種数	130	77	91	61	95	57	109	94

図-9～11に示す。

a) 蛇谷

堰堤上流部は下流部と比べて比高が小さく平坦な地形であった(図-9参照)。

b) 猿花

上流部は堰堤の天端の切り欠けにより滞筋が左岸に偏っているため右岸側の河道幅は非常に広い。また、堰堤上流部は下流部と比べて比高の変動が小さいが、河道の偏りにより、副断面化している(図-10参照)。

c) 尾添

上流部は堰堤のスリットによる河道の固定による堆砂と洗掘場所の制限から、横断方向への比高の差が大きい。下流部は河道の全断面が流下断面となっており陸域は狭く(写真-3参照)、また、比高の小さい場所が大部分を占めており、上流部と比べて平坦な地形となっている(図-11参照)。

(4) 浮石沈石の比率

a) 施工前

施工前の尾添（以下「コントロール」）、施工後の尾添、猿花、蛇谷における浮石沈石の比率は表-4に示すとおりである。施工前の尾添の浮石と沈石の関係は、上流は浮石が多く、下流は沈石が多い結果であった。

b) 施工後

蛇谷の上流は沈石が多く、下流は浮石と沈石の割合に有意差があるとは言えなかった。また、猿花は上下流ともに浮石より沈石が多い結果を示していたが、尾添では浮石と沈石の割合に有意差はなかった。下流では沈石が多かった。

(5) 植生出現種数の状況

堰堤の上流と下流における平均植生出現種数の比較を行った結果は表-5に示すとおりで、堰堤の上下流では上流の方が多く確認されている。

表-6 蛇谷におけるメッシュ当たりの出現種数(平均±標準偏差)

区間	上流	下流	有意水準
0~40m	8.8±9.4	5.3±9.1	ns
0~80m	7.4±8.9	5.2±9.6	*

***: P<0.001 ** P<0.01 * P<0.05 ns 有意差なし(Wilcoxonの順位検定)

表-7 猿花におけるメッシュ当たりの出現種数(平均±標準偏差)

区間	上流	下流	有意水準
0~40m	5.2±6.2	3.1±5.7	*
0~80m	5.4±6.3	3.0±5.1	**
0~120m	4.5±6.1	3.1±5.0	*

***: P<0.001 ** P<0.01 * P<0.05 ns 有意差なし(Wilcoxonの順位検定)

表-8 尾添におけるメッシュ当たりの出現種数(平均±標準偏差)

区間	上流	下流	有意水準
0~40m	2.0±4.1	0.6±1.7	ns
0~80m	2.1±3.7	1.7±3.7	ns
0~120m	3.8±6.0	2.4±4.5	ns

***: P<0.001 ** P<0.01 * P<0.05 ns 有意差なし(Wilcoxonの順位検定)

表-9 ヤナギ科とアカソの出現メッシュの比率

区分	尾 添			猿 花			蛇 谷		
	上流	下流	有意水準	上流	下流	有意水準	上流	下流	有意水準
アカソ	14	9	ns	34	12	**	23	13	ns
ヤナギ科	8	22	*	33	41	ns	8	6	ns

***: P<0.001 ** P<0.01 * P<0.05 ns 有意差なし 二項検定

a) 蛇谷

蛇谷上下流間におけるメッシュあたりの平均出現種数の関係は表-6に示すとおりで、堰堤から近い0~40m区間では有意差がない結果であったが、0~80m区間では堰堤上下流では異なる結果を示していた。

b) 猿花

猿花上下流間におけるメッシュあたりの平均出現種数の関係は表-7に示すとおりで、全ての区間において上流と下流のメッシュあたりの出現種数に有意差があり、堰堤上下流は異なっている結果であった。

c) 尾添

尾添上下流間におけるメッシュあたりの平均出現種数の関係は表-8に示すとおりで、全ての区間において上流と下流のメッシュあたりの出現種数に有意差がなく、堰堤上下流は異なっているとは言えない結果であった。

d) 植物最多確認種(アカソとヤナギ科の比較)

全調査地点の中で最も多く確認できたのは崩壊土砂堆積地を好むアカソであった。これと渓流性の種であるヤナギ科について、堰堤上下流の出現メッシュ数の比較を行った結果は表-9に示すとおりである。

尾添では堰堤上下流ではアカソの出現メッシュ数に有意差はなかったが、下流はヤナギ科が多かった。

猿花、蛇谷では、アカソは下流より上流で多く出現する傾向にあり、当該種が崩壊土砂堆積地を好む種であることに適合している。一方、渓流性のヤナギ科は上流に

表-10 堰堤上下間における類似性

	礫径	比高	浮石沈石	植物種
蛇谷	×	×	×	○
猿花	×	○	○	×
尾添	○	×	×	○

○: 類似している, ×: 類似していない



写真-4 猿花下流の巨石



写真-5 尾添における架設橋工事

多く出現しているとは言い難く、崩壊地を好むアカソとは異なった傾向を示していた。

4. 考察とまとめ

(1) 考察

礫径、比高、浮石沈石分、植生種についての堰堤上下間における有意検定の結果は表-10に示すとおりである。

a) 礫径の分布

蛇谷、猿花の礫径分布は堰堤上流が細かく、下流が粗く、上下流で異なった結果を示した。これは堰堤上流への堆砂によるものと考えられる。堰堤下流の砂メッシュの割合は、コントロールに比べて減少してはいない(表-3参照)。尾添の堰堤上下流の礫径分布は類似しており、堰堤の影響をあまり受けていないものと推測される。以上のことは、礫径区分が上流域の地質の影響を強く受ける項目であることから、同一流域にある当該堰堤では調査範囲のスケール的には一様の結果が得られるものと考えられ、その結果がスリット型堰堤の特性で確認できたものと考えられる。

b) 比高の分布

猿花と蛇谷は下流が比較的变化に富んでいるのに対し、堰堤上流の変化が乏しいのは堰堤が満砂となり、堰堤上流の堆砂域がほぼ平坦化したことにより、変化

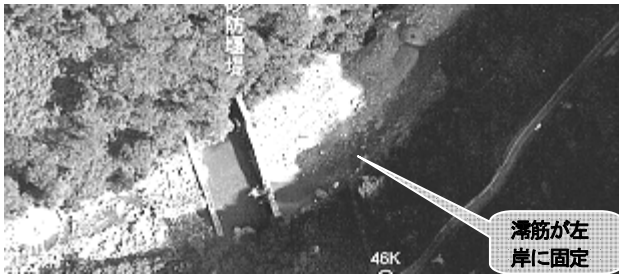


写真-6 固定している蛇谷の滞筋

の少ない単調な環境になっていると考えられる。しかし、猿花上流は堰堤の切欠けによって滞筋が固定し、堆砂に偏りが出ていることから、同じクローズド型堰堤でも猿花と蛇谷の比高分布に違いがあることが確認できた。尾添上流は比較的变化に富んでいるが、下流は単調化しており、これは堰堤下流の川幅が上流の1/2～1/3 倍であり元々の地形が大きく影響していると考えられる。

c) 浮石沈石の比率

蛇谷、猿花上流が下流より沈石の比率が高いのは、堰堤への堆砂の影響と考えられる。蛇谷下流で浮石の比率が高いのは、堰堤によって下流への土砂の供給が抑制されていることと粗流化の影響と考えられる。猿花下流で沈石の比率が高いのは、写真-4に示すように巨石が多いことから土砂が堆積しやすい状況にあるためと考えられる。

コントロールと比べると尾添上流の沈石の比率が高くなっているのは、架設橋設置に伴う埋立工事による影響が残っているためと考えられる（写真-5参照）。

d) 植生出現種数

蛇谷は堰堤から0～40m区間では有意差がない結果であったが、0～80m区間では異なった結果を示しており、本川の背水の影響を受けていることが考えられる。猿花は堰堤上下流の出現種数が異なり、これは堰堤への堆砂が植生の状況に反映しているものと考えられ、これに対して尾添は上下流に有意差がなかった。

e) 植物最多確認種（アカソとヤナギ科の比較）

猿花、蛇谷ともにアカソは下流より上流の方で出現メッシュ数が多いことから、猿花、蛇谷の上流にはアカソが選好する崩壊土砂が堆砂した環境にあると推測されたが、ヤナギ科は上下流で大きな差はなかった。尾添では堰堤上下流ではアカソの確認メッシュ数には有意差はなかったが、ヤナギ科は下流で多く出現しており、ヤナギ科が崩壊土砂の堆積した環境より渓流性の環境を選好していると考えられる。

(2) まとめ

蛇谷上下流では礫径、比高、浮石沈石は異なった傾向を示している。これは堰堤による影響であると考えられるとともに、本川の水位上昇の影響を受けていることが考えられる。

猿花上下流の比高、浮石沈石は類似した傾向にあるが、これは猿花の上流は堰堤の切欠けによって滞筋が固定し、堆砂が右岸側に偏っていることが影響しているものと考えられる（写真-6参照）。礫径区分、植物出現種数は上下流で異なっており、これは堰堤による影響であると考えられる。

尾添の上下流では、礫径、植物出現種数が類似しており、これより尾添では上流から下流への土砂移動が確保され、上下流間の河床の連続性が維持されていると推測される。一方、比高、浮石沈石では、堰堤上下流間の類似性はなく、これは堰堤下流には未だ瀬替工事の影響が残っていることが理由と考えられる。堰堤設置場所が河川の狭窄部であることは珍しいことではないため、尾添のように堰堤上下流で川幅が大きく異なれば、比高、浮石沈石のように元々の川幅や工事の影響を受けやすい項目は、堰堤の上下流で異なった結果が現われやすいと考えられる。

礫径分布からは、蛇谷、猿花では堰堤への堆砂に伴い上流の細粒化、下流の粗粒化が確認され、尾添では堰堤上流から下流への土砂が移動しており、上下流間の連続性はある程度維持されているものと推測できた。

植物確認種数も堰堤上下流間で類似していることが確認でき、このことから植物と礫径区分との関係性が強いことが確認できた。

以上の結果より、スリット型堰堤では工事完了後1年であるため未だに工事の影響が残っていると推測されたものの、一部の物理環境項目では堰堤上下流間の連続性が維持されていることが推測でき、また、生物環境項目との関連性も確認できた。

今回は巨視的な分析を中心としたが、今後は調査を継続すると共に、微視的な観点の分析を進めて行きたい。

なお、切欠けによって滞筋が固定している猿花については、クローズド型堰堤の特徴を有しつつも、スリット型堰堤に類似した特徴も有していることが確認できたことから、今後の調査・研究が有効と考えられる。

参考文献

- 1) 玉井信行, 河川計画論, 東京大学出版会, 2004.
- 2) 辻本哲郎・村上陽子・安井辰弥: 出水による破壊機会の減少による河道内樹林化, 水工学論文集, Vol. 45, pp. 117-122, 2001.
- 3) 辻本哲郎・辻倉裕喜, 植生周辺の掃流過程と中州の発達, 水工学論文集, Vol. 42, pp. 457-462, 1998.
- 4) 平成13年度 水と緑の溪流づくり調査(鳥類)業務 自然環境モニタリング調査, 国土交通省金沢河川国道事務所, 2002.

(2010. 4. 8受付)