水生生物の多様性を目指した
近自然工法の試みとその効果の検証

～ 施工後 10 年目の評価から ～



平成 21 年3月

長野県建設部砂防課

本書を作成するにあたり

平成７年７月豪雨で大きな被害を受けた鳥居川において、翌年度から砂防えん堤工や渓流保全工の本格的な工事にとりかかりました。

しかし、鳥居川の周辺に住んでおられるC. W. ニコル氏からこの事業に対し意見が出され、これを踏まえて抜本的な見直しを行い、自然環境に配慮した近自然工法を取り入れることとなりました。

当時、C. W. ニコル氏の論評はマスコミにも様々取り上げられ、長野県の砂防は大きな転換を迫られました。本レポートにもあるとおり、検討は次の３点を柱に進めていくことになりました。

（１）河川生態系に係る構成種全般を対象として、鳥居川が従前から有していた豊かな生態系を復元する。

（２）河道だけでなく、その周辺の河（渓）畔林・土地利用を含めた生物の関わりについて検討する。

（３）平常時の低水流によって形成される河道形態について特に配慮・検討する。

当時、このような取り組みは画期的なものであり社会の注目を集めましたが、それだけに職員はプレッシャーを感じながら既存のマニュアルにない新たな工法を検討していったものと思います。

それから 10 年が経ち、当時の取り組みを風化させないこと、また整備された施設が計画通りに機能しているか評価が必要だという声があがり、このたび改めて現地調査を行いその結果をまとめることにしました。作業は施工当時現場に携わり、平成 19 年度砂防課に在職されていた小山栄樹さんが中心になって行いました。

少ない予算ということもあり、今回の調査は十分ではなかったところは否めませんが、過去に施工された施設をチェックし、これからの事業展開に役立てることはとても重要だと思います。改善すべき点があれば、若い職員がどしどし提案していただきたいと思っています。

このレポートを読んで、是非皆さんも鳥居川に足を運んでいただければ有り難いです。鳥居川の施設は今後も機能を発揮することと思いますが、近年構築された新たな技術、考え方が付加されて再整備されることも視野に入れた方がよいと考えており、皆さんの忌憚のないご意見を賜れば幸甚です。

平成 21 年３月

長野県建設部参事兼砂防課長

栗 原 淳 一

1　はじめに

鳥居川は、その源流を戸隠高原の越水ヶ原に発し、信濃町、牟礼・三水村（現飯綱町）、豊野町（現長野市）を貫流して千曲川に注ぐ、流路延長約35㎞、流域面積162.4㎢の河川である。

これまで、鳥居川は災害の発生が多い長野県にあって、比較的災害発生の少ない河川でしたが、平成７年７月の梅雨前線豪雨では、過去に例を見ない大災害をもたらした（表－１）。このような被害状況から、河岸及び河床の侵食防止を目的としたえん堤工、床固工群及び渓流保全工からなる砂防事業による復旧を、平成８年～平成12年まで施工した。



図－１　位置図

この工事においては、当初から自然環境への配慮として、

○　現地産の巨石を用いた護岸及び護床工
○　スロープ及び階段式を併用した床固工
○　床固工水通し部での澪筋の設置

（水深は30㎝、澪筋幅を河床巾の20%に相当する６ｍとした。※正常流量の手引き（案）を引用）

に取り組んでいた。

しかし、工事が開始されて間もなく、鳥居川のほとりに住まいを構えている作家のC．W．ニコル氏から、「今回の砂防事業は災害復旧に名を借りた自然環境の破壊であり、河岸の樹林伐採は更なる災害の種を蒔くだけである」などの意見が出された。

表－１　被害の状況

氾濫面積：130,000㎡	一般被害額：３億4,100万円
人的被害：なし	公共土木施設等被害額：39億5,700万円 （河川及び道路等：25億6,200万円） （農地等：13億9,500万円）
床上・床下浸水：21戸	
護岸欠壊延長：1.0㎞	


氾濫状況


流木及び土石の異常堆積


土石による河道閉塞


土石の堆積状況


緊急的な河道確保

写真－１　被害の状況

2　新たな自然環境への配慮の検討

こうした背景の中、鳥居川の川づくりについて新たな自然環境への配慮を検討することとした。

基本事項は以下のとおりである。

(a) 河川生態系に係る構成種全般を対象として、鳥居川が従前から有していた豊かな生態系を復元する。
(b) 河道だけでなく、その周辺の河（渓）畔林・土地利用を含めた生物の関わりについて検討する。
(c) 平常時の低水流によって形成される河道形態について特に配慮、検討する。

なお、調査・検討の手順は図－２に示すとおりである。

“鳥居川の生態環境に関する検討会”

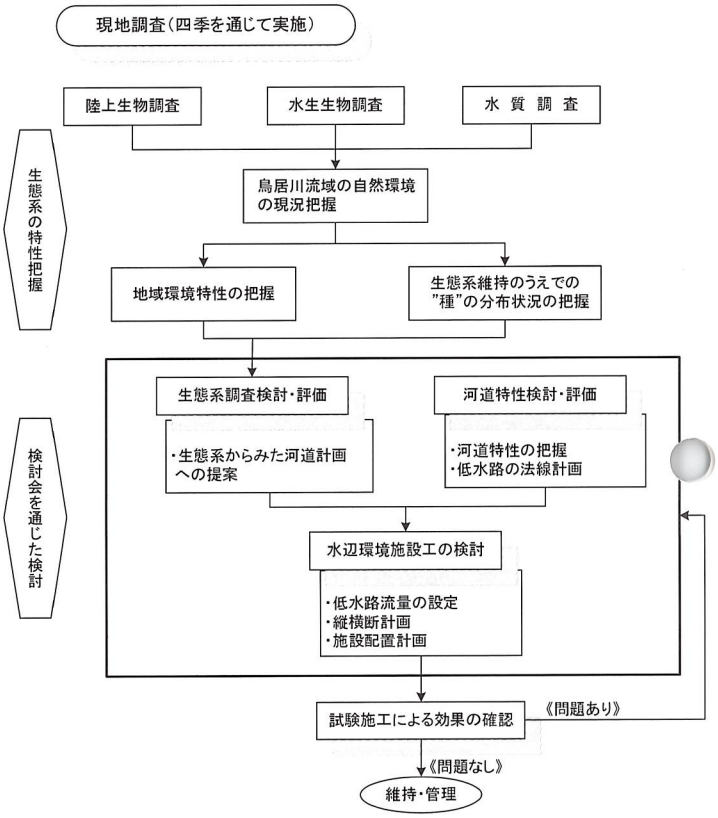
構　　成：住民代表、環境対策の専門家（C. W. ニコル氏、福留脩文氏）、信濃町、漁業組合、長野県

進め方等：県がまとめた環境調査結果等から、「かつての鳥居川の姿」を想像しながら、不明な点は現場で確認するなどした。
また、事業の方向性を決定するなどの、重要な事項については、全会一致を原則に議論を深めた。

○検討準備会・・・平成８年12月
◇検討会（通算10回）
平成９年１月～平成13年３月

ポイントとなるコメント（大切なもの）

◆健康⇒全てのものの健康　◆治安⇒安全　◆美⇒美しさ



図－２　調査・検討の手順

２－１　生態系の把握

検討にあたり、環境調査を実施した。

(1) 環境調査の留意点

環境調査の実施にあたっては、以下の３点に留意した。

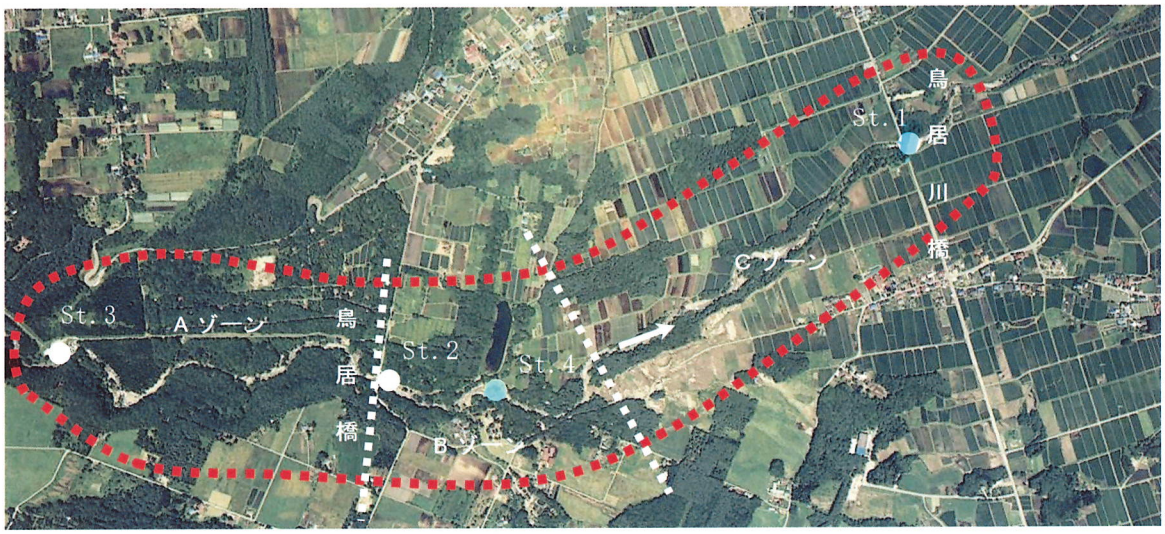
○ 水生生物の陸上生態系との関係
○ 瀬や淵などの多様な流れの実態
○ 生態系としてのまとまり（特定種に限定せず、生態系を構成している種全体の把握に努める。）

(2) 環境調査項目

陸上生物調査：植物相、植生、哺乳類、鳥類、両生・爬虫類、昆虫類
水生生物調査：魚類、底生動物、付着藻類
水 質 調 査：水質（ＰＨ，ＢＯＤ，ＳＳ，ＤＯ，大腸菌群数）、流量

(3) 調査範囲

調査は、鳥居川及びその周辺の延長3.5㎞において行った。（写真－２）

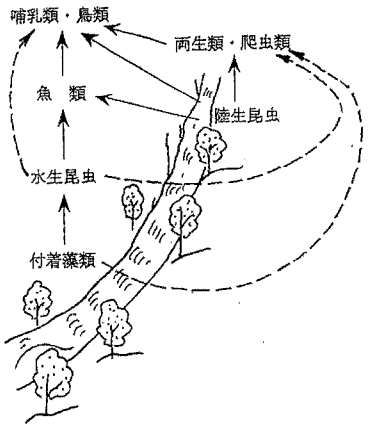


写真－２　環境調査の範囲

２－２　生態系保全の考え方

(1) 生態特性からみた流域の区分

調査の結果、生態特性の観点から、流域を次のＡ～Ｃに区分した。



図－３　生物相互のつながり

Ａゾーン：鳥居橋より上流の範囲で、森林が広がり斜面部は夏緑広葉樹の高木林及び河（渓）畔林がみられる。動植物は、山地性または渓谷性の種が多く、ツキノワグマやモリアオガエル等のまとまった森林を必要とする“種”の生息が確認された。

一方、水生生物は山地渓流に生息する“種”が主体で、特に魚類はイワナのみが確認された。

Ｂゾーン：鳥居橋から標高約700mの河道が右岸方向に蛇行するまでの範囲で、河道沿いにはまとまった樹林地が残存しているものの、河（渓）畔林の連続性が失われている部分がある。動植物は、山地性とともに里山にみられる“種”が多いものの、カワネズミ、カワセミ等も観られた。なお、水生生物はＡゾーンと同様に山地渓流に生息する“種”が主体で、魚類はイワナとともにニジマスも確認された。

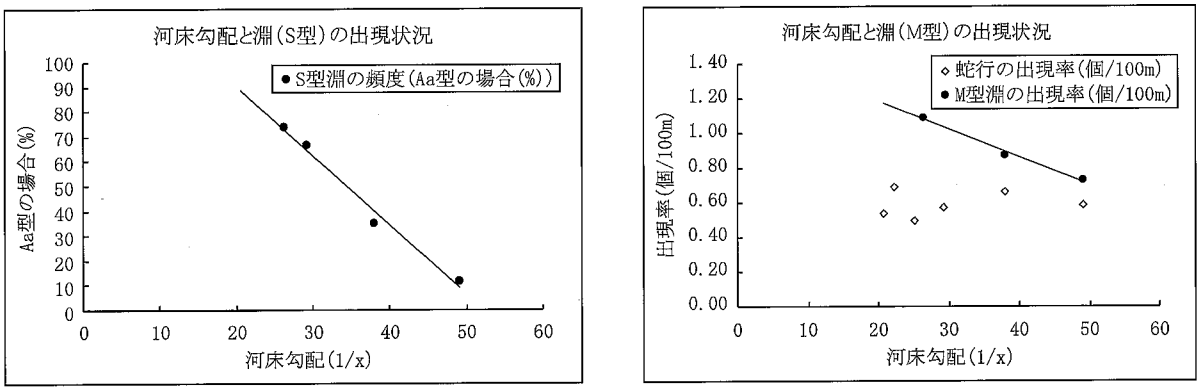
Ｃゾーン：Ｂゾーンの下流に位置しているが、河道沿いには小規模な樹林地が残存するのみである。動植物は、山地性、里山にみられる“種”が多いものの、純粋な森林性の種はほぼ観られなくなる。また、オオタカ等の猛禽類が採餌場所として利用していることが確認された。

水生生物は山地渓流に生息する種が主体で、魚類はイワナ、ニジマス、アブラハヤのほか、カジカの生息が確認された。

(2) 河道の特性

水生生物の生息環境にどのような影響を与えているかを把握するため、河道内の物理特性（河床勾配、蛇行頻度、瀬と淵の分布状況）について、調査を行った。

河床勾配については、被災前の地形図及び空中写真を用いるなどして、７つのセグメントに分割し、各セグメント毎に水生生物の生息環境を整理・分析し、その結果は図－４に示すとおりであるが、淵の出現頻度は河床の平均勾配との関係が明瞭であり、Ｓ型（用語の解説①）、Ｍ型（用語の解説②）の場合とも河床が急勾配になるに従って、淵の出現頻度が増大する傾向が見られた。



図－４　河床勾配と淵（S型及びM型）の出現状況

(3) 河道特性と生物の分布

河道内の物理特性と底生動物の生息状況との関係を把握するため、調査地点間における類似度指数（用語の解説③）を求めた。

その結果は、表－２に示すとおりであり、上記(1)では、生態特性から区分を行ったが、この類似度指数を見るとゾーン毎の

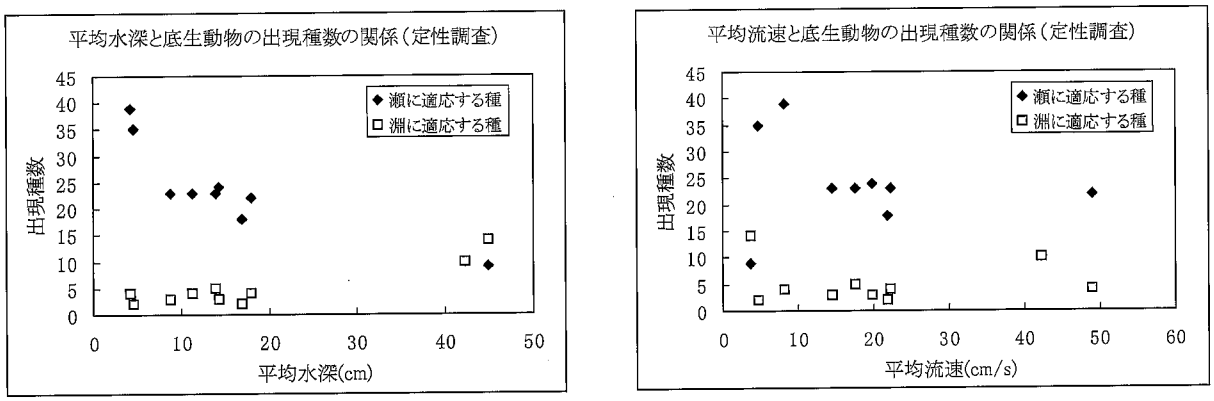
表－２　調査地点間の類似度指数（平成8年～平成10年）

	St. 1	St. 2	St. 3
冬　季	0. 69	0. 69	0. 75
春　季	0. 68	0. 68	0. 67
夏　季	0. 62	0. 63	0. 51

大きな差異は認められなかった。（各調査地点は写真－２に示す。）

底生動物の生息状況と瀬、淵の出現状況との関係を把握するため、水深及び流速との関係を瀬や淵に適応する種に分けて、その関係を整理した。

各調査地点（St.1～St.３）における底生動物の出現種数と平均水深及び平均流速との関係は図－５に示すとおりである。これらより、水深が深くなるほど出現種数が減少しているほか、平均流速が 20 cm/s 以下に多く出現し、平均流速が 50 cm/s 以上になると数が減少することが分かった。



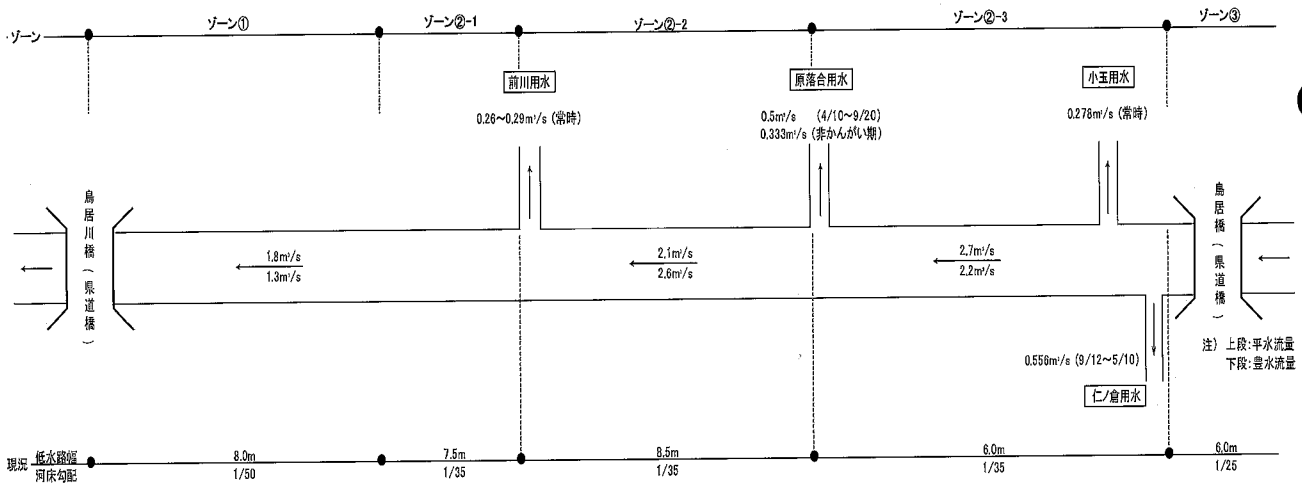
図－５ 平均水深及び平均流速と底生動物の出現種数（平成9年から平成10年）

この実態を踏まえ、後述する低水路の設計に反映させることとした。

(4) 河道特性によるゾーニング

鳥居川は古くから河川の流水利用が盛んに行われており、２－２(1)で示した“Aゾーン”で水力発電施設が稼働している。そこから下流では右岸側に３用水、左岸側に１用水の取水口があり、ほぼ年間を通じて取水がされている。

なお、BゾーンからCゾーンにおける現況の低水路幅、河床勾配及び河水利用の状況は、図－６に示すとおりであり、以下のとおりゾーンを細分化した。



図－６ 河道の状況と取水位置

災害対策として河道を拡げた部分では、結果的に水深が浅くなり水生生物の生息環境が悪化するとともに、流れがある程度固定されない河道では植生復元が遅れてしまうことが懸念された。

このようなことから、鳥居川が本来の姿を早期に取り戻す手段として、河（渓）畔林の連続性の確保と低水路の設置が有効であると判断した。

２－３　低水路の設計及び施工

(1) 基本方針

低水路の目的及び基本方針は以下のとおりである。

○ 水深の確保（水生生物の生息環境（ハビタット）の確保）

鳥居川の計画断面は、河床幅 30m、法勾配 1:1.0 の台形断面であったが、過去 10 年間の平水流量の平均は鳥居川橋付近で約 1.3 ㎥/s であり、この流量が計画断面内を流下すると、水深は５㎝以下となるため、低水路を設けることで水生生物の生息可能な水深を確保し、良好なハビタットの創出を図ることとした。

○ 流れの多様化（河川景観の保持及び水生生物のハビタットの創出）

本来の河川は平瀬→早瀬→淵といった形態を持ち、多様な流れを見せているが、単純化した河道は河川景観からも好ましくなく、また、単調な流れは水生生物にも負の影響をもたらすことから、流れの多様化を図ることとした。

○ 護岸の洗掘防止

河床勾配が急であり、小出水時においても掃流力は大きいことから、平常時の澪筋を固定するとともに、既設護岸の基礎部の保護（洗掘防止）を目的として低水路を設置することとした。

(2) 低水路流量の設定

災害前の河川環境を復元・創出するためには、平常時（平水量が相当）において適切な河川流況を創出することが重要となる。

その場合、低水路の流下断面が小さく、直ぐに溢れてしまうようでは低水路の安全性に問題が生じると考えた。従って、低水路の設計対象流量としては、平水量（185 日流量）及び豊水量（95 日流量）相当とした。。

(3) 低水路の法線計画

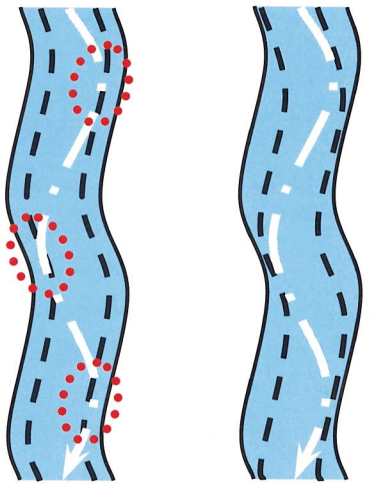
低水路は洪水時には流れに対して大きな抵抗となるため、むやみに蛇行させずに現況の河道周期に調和するように計画した。

具体的には、次の２項目に着目した。

1)　計画規模の様な洪水時の主流線に対応できる法線形状（洪水流のスムースな流下）

2)　砂州の形態や移動特性を考慮して、河岸侵食工の設置費用及び維持管理費用をできるだけ要しない法線形状

図－７は低水路を設置した河道において、計画規模の出水があった場合の流水のイメージを示したものである。図に示すとおり、低水路の設置によって「河道中央方式」と「洪水主流方式」の二つが考えられる。



（黒の点線部は、低水路を示す。）

図－7　低水路の法線形状

鳥居川の場合、河道中央方式では、洪水の主流線は低水路と位相が異なるため、流れが高水敷へ乗り上げてから低水路に落ち込む際に、河道の横断面に対して二次流が発達して河岸及び高水敷上の破壊等が懸念され（赤点線部分）、低水路（破線部分）が機能しなくなる恐れが大きい。

これに対して洪水主流方式では、洪水時の水衝部と低水路の水衝部の位相を同調させ、低水路の安定を図ることが可能となるため、「河道中央方式」で生じる欠点が解消されることから、洪水主流方式を用いて低水路法線を設定した。

(4) 縦断計画

a) 低水路のスケール

安定的な低水路断面を設定するため、前記及び掃流力を考慮して、「２－２(2) 河道特性の整理」で示した河道特性諸数値を基に低水路幅を設定した。

なお、平水時の粗度係数は、Kutter の公式により 0.055 と設定した。また被災前と整備後の河道特性諸数値は表－３のとおりである。

表－3 設計に用いる河道特性諸数値

		ゾーン①	ゾーン②			ゾーン③
			②-1	②-2	②-3	
河道	河床勾配 (1/s)	50	35	35	35	25
		60	45	45	45	30
	河床幅 (m)	8.0	7.5	8.5	6.0	6.0
		9.0	8.0	9.0	7.0	7.0
平水流量	流量 (m^3/s)	1.3	1.3	1.6	2.2	2.2
		1.3	1.3	1.6	2.2	2.2
	水深 (m)	0.19	0.18	0.19	0.28	0.28
		0.19	0.19	0.20	0.28	0.24
	流速 (m^2/s)	0.83	0.95	0.98	1.25	1.25
		0.75	0.86	0.89	1.10	1.25
	摩擦速度 (m/s)	0.11	0.12	0.13	0.17	0.17
		0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
	無次元掃流力	0.04	0.05	0.05	0.09	0.09
		0.03	0.04	0.04	0.07	0.09
	川幅水深比	42.1	41.7	44.7	21.4	21.4
		47.4	42.1	45.0	25.0	29.2
	移動限界粒径 (cm)	4.4	5.9	6.1	8.8	8.8
		3.6	4.7	5.0	6.8	9.2

注) 上段は被災前の数値、下段は計画の数値を示す。

b) 低水路の河岸高

平水量及び豊水量を対象に水深を求めても、低水路高としては非常に低いものとなることや以下の理由及び現地で安定的に採取可能な巨石の規格を考慮して、低水路の高さは豊水量の水深の３倍程度とした。

① 低水路の高さが低すぎては、淵の創出が困難となる。

② 瀬の部分については州の堆積などにより、河積が小さくなることが懸念される。

以上のことから、低水路の河岸高は表－３から 70～90 cmとした。

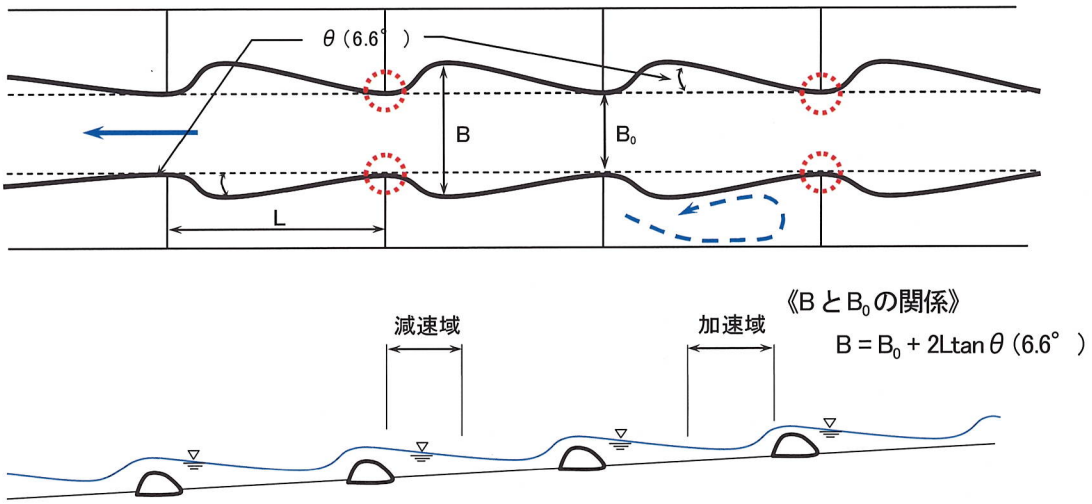
c) 使用する巨石の規格

低水路を構成する巨石の大きさは、２～３年に一度発生する洪水流量に対して移動しない規格とした。ただし、低水路幅を制御する部分に配置するものについては、計画規模と同じ 30 年確率規模の洪水に対して安定な構造とした。

(5) 施設設計

a) 近自然型根固水制工の設置

水制工の設置間隔は、水制工の横断方向の長さの 1.5～2.0 倍程度が良いとされている文献が多いが、今回の検討にあたっては平水流量時においても低水路の中で最低でも 15 cm程度の水深が確保されるように設定した。具体には、図－８の“B”の断面においても水深が 15 cm確保されるように水制工間隔“L”を調整・設定した。



図－8　水制工の配置間隔と水理特性

b)　水制工の構成材料の検討

水制工に用いる巨石類は鳥居川の現地産を予定しているが、施設を維持するために、想定する流水（洪水流）に対して移動しないだけの重さ（大きさ）が必要である。

しかし、試験区間のように曲線部については、湾曲部の流速補正を行ったうえで、移動限界粒径を決定した。

表－4　区間別の移動限界粒径

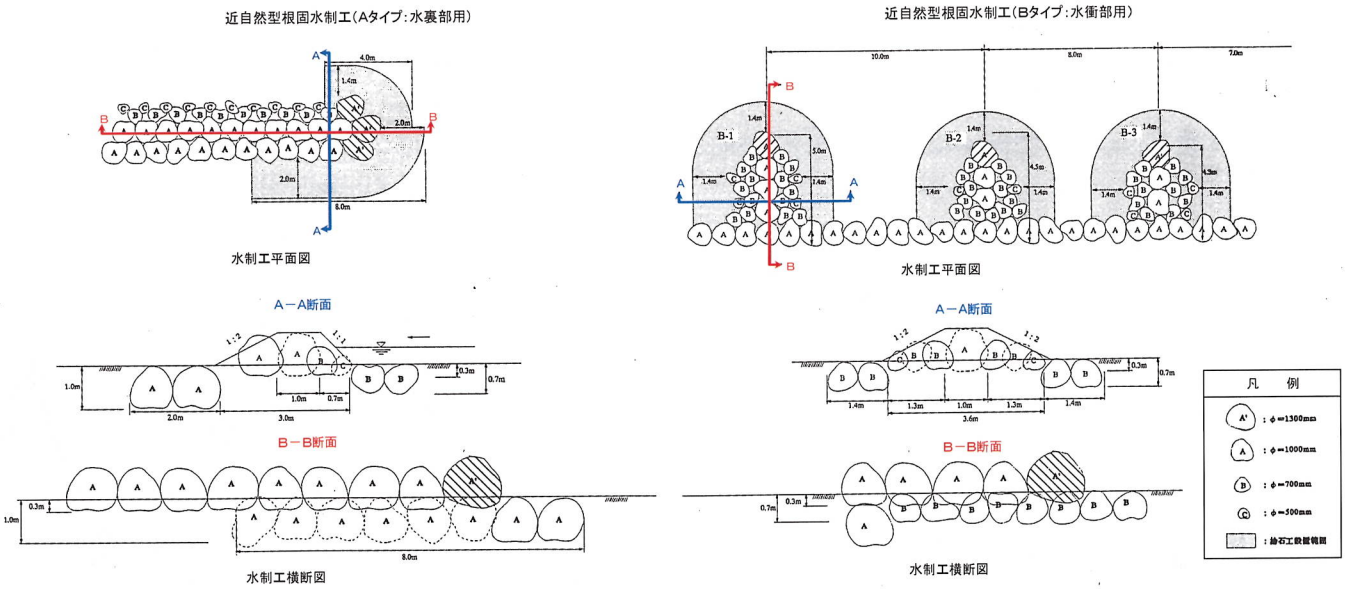
		代表流速(cm／s)		移動限界粒径(cm)	
		3年確率	30年確率	3年確率	30年確率
試験区間	第1区間	7.19	8.06	70.7	83.5
	第2区間	7.19	8.06	70.7	83.5
	第3区間	7.66	8.59	80.2	94.8
	第4区間	7.66	8.59	80.2	94.8
	第5区間	5.75	6.44	45.2	53.3

表－4に示すように、移動限界粒径は3年確率洪水規模で45～80 cm、計画規模である30年確率洪水規模で50～100 cmとなった。

☆ 構成材料の大きさ
水制工に用いる現地算の巨石の大きさ(粒径)は"岩垣の式"により算出した。
$d=1211 \cdot n^2 \cdot V^2 \cdot h^{-1/3}$
なお、低水路部に面する巨石については、経年的な洗掘を勘案して、その粒径を30%増しとした。

しかし、現地産の巨石を水制工に用いる場合、河床部に接する巨石の面が必ずしも水平でないこと、また、水制工前方（低水路中心部に向かって）は加速域であること等を踏まえて、移動限界粒径よりも大きめの巨石を用いる必要があると判断した。

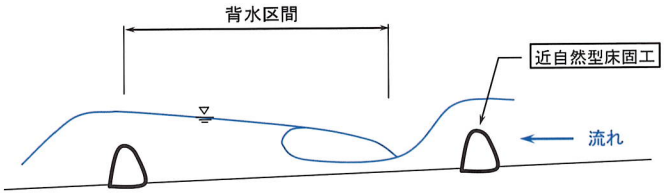
特に図－8に赤点線で表示した部分は、低水路の骨格をなす部分である粒径130 cm以上の巨石を使用し低水路の機能を維持させることとした。構造図を図－9に示す。



図－9　近自然型根固水制工の構造

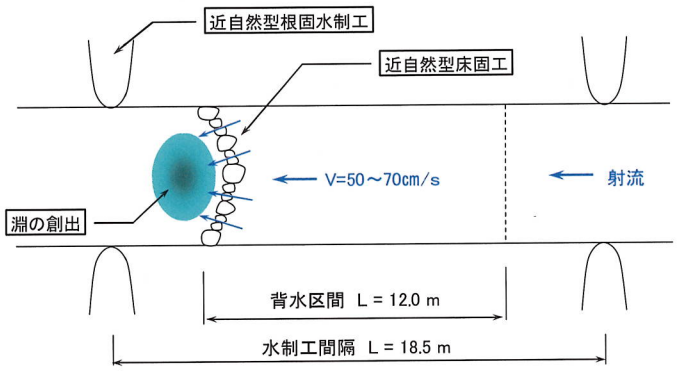
c)　近自然型床固工の設置

近自然型床固工の設計にあたって、低水路内に巨石を配置することにより流れの多様化を図ることで、水生生物の生息環境の多様化も同時に実現させることを目的とした。図－10 に示すように、床固工の上流側に背水区間が創出され縦断的な流速分布に変化が与えられる。



図－10　水面形のイメージ

平面的には図－11 に示すように、上流側に凸の半円状に設置し、計算上で 75～125 cm/s である流速を背水区間で 50～70 cm/s に抑えられるとともに、流水が低水路の中心に誘導されることで、近自然型床固工の直下流に淵を創出させることとした。



図－11　近自然型床固工の配置イメージ

2－4　効果の検証（モニタリング結果）

～ 試験施工を含む事業実施中の状況 ～

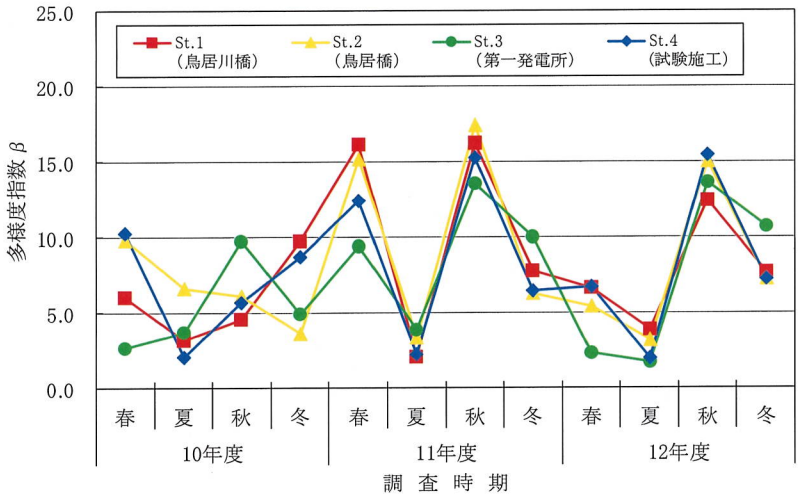
従前から有していた自然環境を復元するため、生物相互のつながり（生態ピラミット）が維持でき、特定の種（イワナ、ホタル等）の復元に固執せず生態系全般を見据えた新しい概念による“川づくり”を評価・検証することとした。

評価・検証にあたっては、試験施工を行い四季を通じた環境調査により、施設の影響を確認した。具体的には、特に水生生物の出現種数から求められる“種”の多様度指数（用語解説③）により試験施工箇所（St.4：ゾーンB）、人的攪乱のない箇所St.3：ゾーンA）、緊急的な河道掘削等を行った箇所（St.1：ゾーンC及びSt.2：ゾーンA）の定量的な評価を試み、比較を行った。

a） 水生生物の出現状況

前述した“種”多様度指数の推移を図－12に示すが、いずれのデータでも夏季に低下していること、試験施工後（９年度末完了）しばらくの間は多少数の値のバラツキはあるものの、11年度夏季から各地点の数値も非常に類似した推移をしていることが分かる。

季節による差異については、鳥居川が持つ潜在的なものであり、特段、施設の影響によるものではないと判断できる。



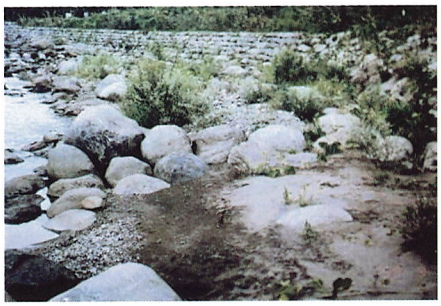
図－12 “種”の多様度指数の変化

また、試験施工から１年経過後は、試験施工区間と未施工部分との差異もほとんどないことから、近自然型根固水制工等による低水路の設置を拡大することとした。

b） 河道内の植生

表－５に示すように試験施工区間の水制工周辺には、何度かの出水（小規模）により様々な粒径の礫や土砂が堆積し、季節の変化とともに植生が回復してきていることが分かった。特に平成10年の秋季から平成11年の春季にかけては、出現種数の増加に比べて植被率の増が顕著になっている。

これは水制工により水理的な状況が変化し、流下してきた種子が土砂とともにフラッシュされることが極端に低下し、植物の生育を急速に進行させたためと考えられる。



写真－３ 堆積部分での植生回復
（主に草本類）

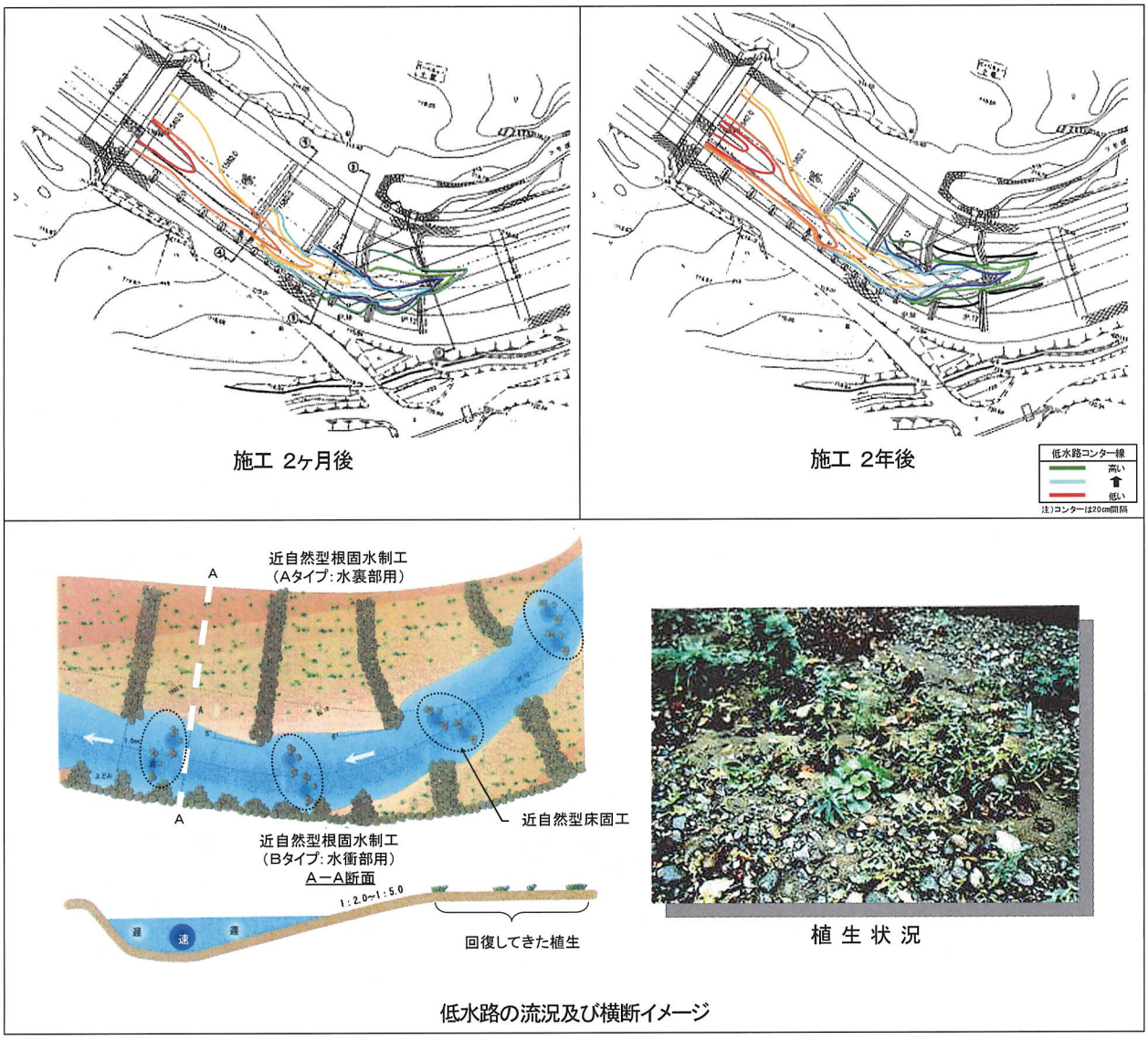
表－５ 試験施工区間における植生変遷

	平成10年春季	平成10年夏季	平成10年秋季	平成11年春季
全体植被率	0.0%	2.0%	2.5%	10.0%
平均植生高	－	10 cm	20 cm	50 cm
出現種数	－	26種	57種	64種
主な植生	植生の進入は観られない。	シロヤナギ、ネコヤナギ、タニソバ、ハルザキヤマガラシ、シロザ、イヌガラシ、ミゾソバ、ミゾホオズキなど	イヌコリヤナギ、オノエヤナギ、カワヤナギ、サワグルミ、ヒメヘビイチゴ、シロザ、エゾノギシギシ、アカソなど	ハルザキヤマガラシ、オノエヤナギ、シロヤナギ、ヨモギ、イヌコリヤナギ、サワグルミ、エゾノギシギシなど

c） 低水路の変化

低水路内の土砂の堆積状況は、図－13のとおりである。水制工の影響により設計段階から流向に対してある程度の角度で流水は拡幅すると想定していたが、低水路内の巨石に影響されない部分での実測値は６° と設計値と整合していた。

また、流速の横断分布も0～1.2m/sと表－3に示した計画値と概ね整合していることが確認され、前述した水生生物の“種”の多様度指数の変化でも証明されたように、生息環境（ハビタット）の多様化も図られていた。右岸側の水裏部では、水制工により形成された横断勾配は1：2.0～1：5.0と緩やかな傾斜をなし、水辺に生活を依存する生物全般に適した地形となってきている。



図－13 河道内の植生及び低水路の変化

図－13に示すように、水制工の施工により、僅かな時間の間に低水路の河床が形成されたほか、水制工による水裏側の堆砂域と水衝側の河床の洗掘等により、低水路内には多様な流れが創造されたことが証明されている。（写真－4）



写真－4 平成13年の河道及び低水路の状況

～ 試験施工後 10 年を経過しての状況 ～

平成 19 年度の冬季に整備後の効果検証として、改めて現地調査を行った。また、現地で発生する巨石を用いて水制工や低水路を施工したが、前述したように巨石単体においても、一定の洪水に対して安定する規格（大きさ）を選定しており、効果の検証にあたっては施工後の出水状況を併せて確認することとした。

表－6 効果に影響する主な出水状況

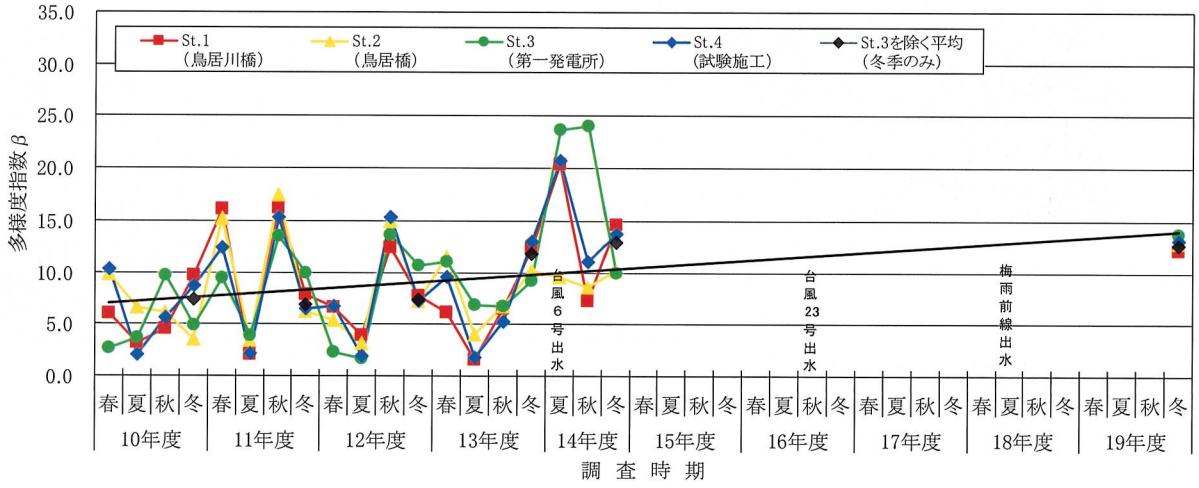
発生年月	気象名	想定流量 (m^3/s)	最大時間雨量 (mm/h)	総雨量 (mm)
平成 8年 6月	梅雨前線豪雨	50.0	8.5	162.0
平成11年 9月	台風16号	90.0	15.8	123.0
平成14年 7月	台風6号	50.0	12.0	95.6
平成16年10月	台風23号	90.0	11.8	121.0
平成18年 7月	梅雨前線豪雨	70.0	9.9	194.1

なお、想定流量とは現位置において洪水時の流量観測は直接行っていないので、近傍の裾花ダム地点（ＣＡ=250 ㎢）の流量から比流量で算出したものである。

a) 自然環境からの評価

これまでと同様に各地点における底生動物の“種”の多様度指数により評価を行った。その結果は図－14 に示すとおり、特段、低下している傾向は認められない。

しかしながら、平成 14 年度～平成 18 年度については、未調査であることから施設の効果について、確定できたものではないと考えている。



図－14 種の多様度指数の変化

今回の環境調査により確認された代表的な底生動物は写真－５に示すとおりである。

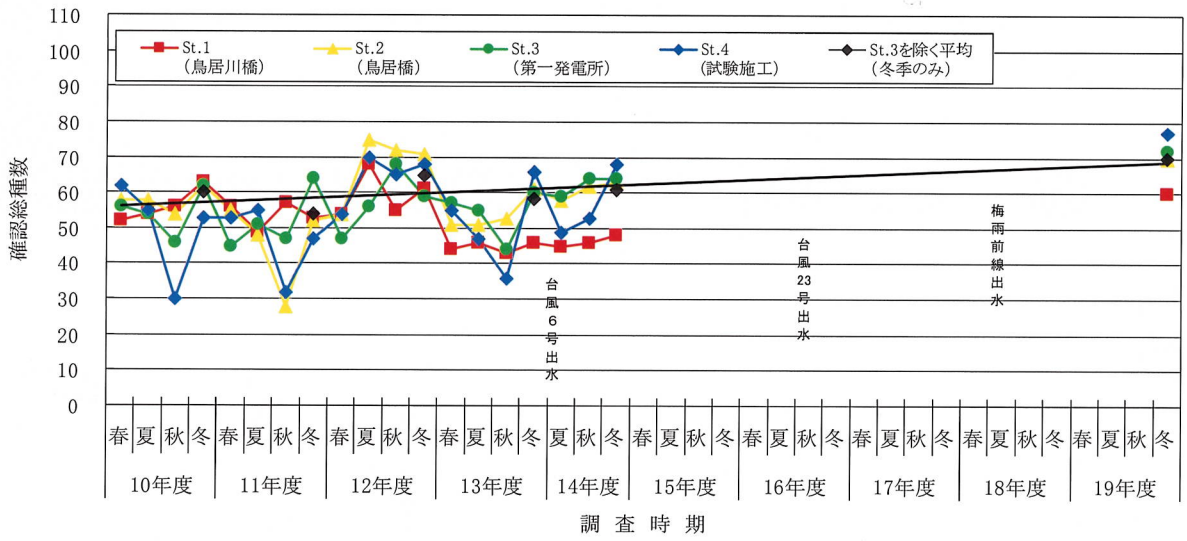


写真－５ 確認できた底生動物

鳥居川の場合、アウトカム指標的に“種”の多様度指数を用いて、施設の整備効果を検証することとしてきたが、おおよそ10年が経過した今日、工学的な知見と生物学的な知見がより連携・発達し、評価指標についても大いに議論が必要になってきていると考える。

次に、底生動物の総種数について、推移を図－15 に示す。前述した種の多様度指数と同様に、平成 14 年度までの観測データと平成19年度冬季のデータを単純プロットしてみたものではあるが、平均で１割ほど上昇していることが分かる。

ただし、この期間、計画規模の洪水（1/30：260 ㎥/s ）に近い出水がなく、４割程度の出水に留まっており、引き続き調査と評価が必要だと考えている。

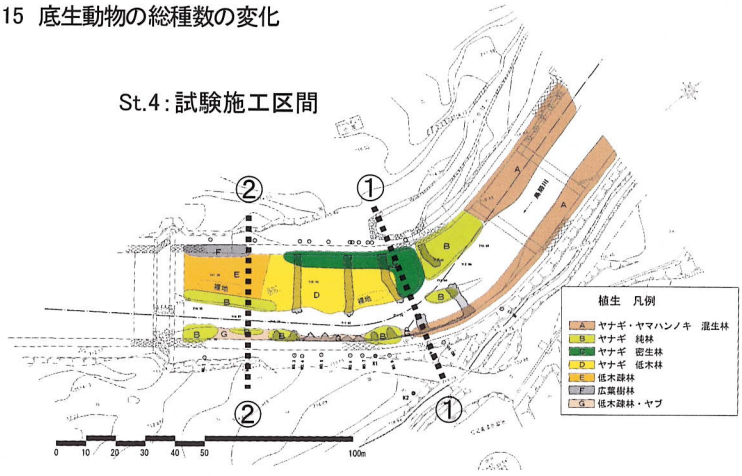


図－15 底生動物の総種数の変化

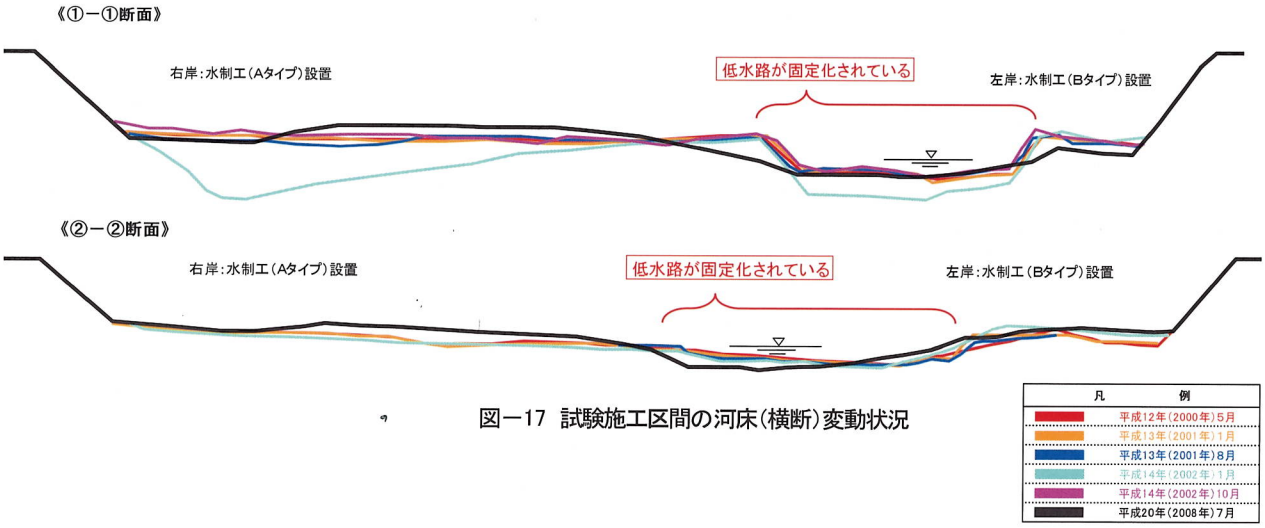
b） 河道変化の状況

低水路が固定されたことで、河道内の植生も何回かの比較的大きな出水（主要３出水：計画規模に対する４程度）によるフラッシュは受けたもの、安定したものとなってきている。(図－16)

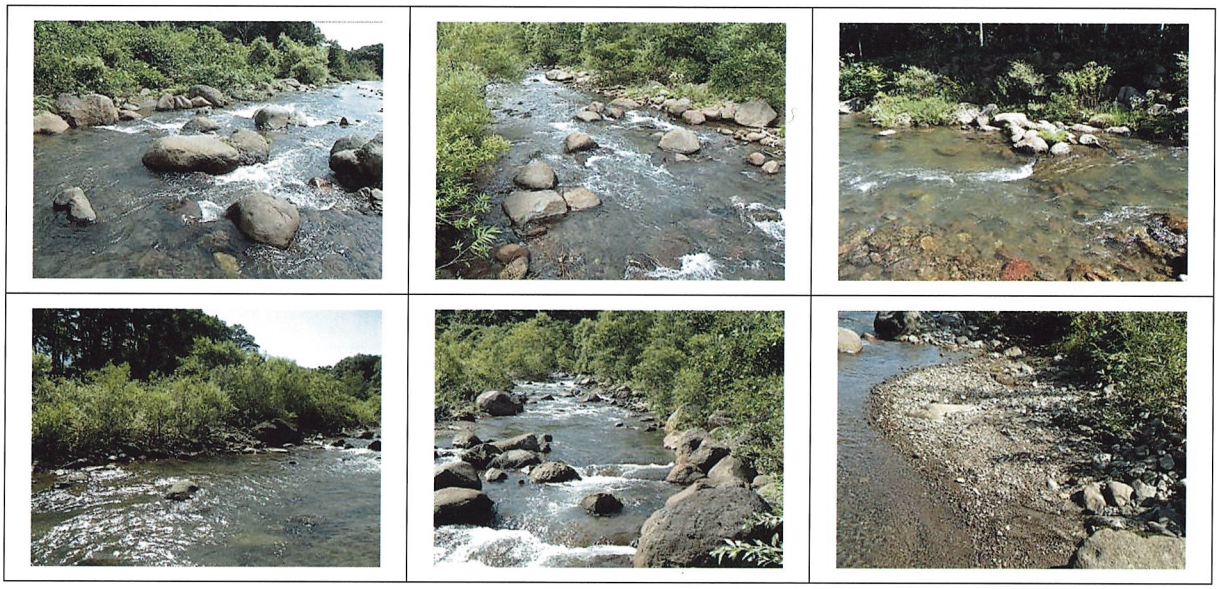
また、図－17 の横断図からも、一定の水深の確保する低水路が洪水主流線に沿って、固定化されてきていることが分かる。



図－16 河道内植生状況（平成20年６月）



図－17 試験施工区間の河床（横断）変動状況



写真－6　現在の河道状況(20 年9月)

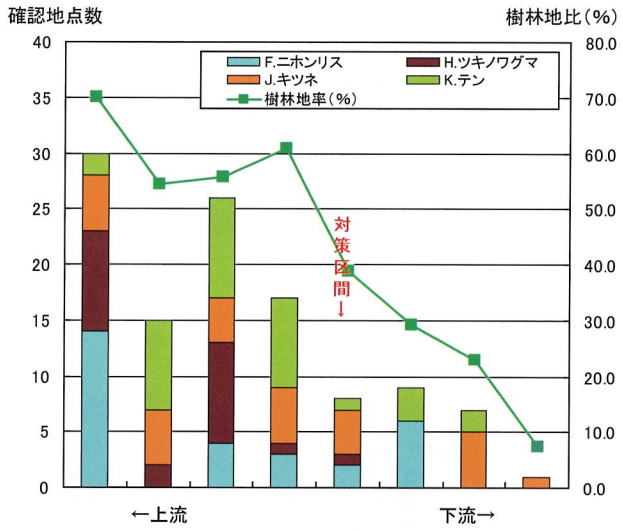
2－5　その他の環境的配慮

(1) 渓畔林の活用

◇ その１：ミティゲーション（代償）

河川を取り巻く渓畔林（樹林地域）が陸生生物はもとより、水生生物にとっても重要な意味を持っていることは広く知られている。鳥居川の取り組みでは樹林地率と森林及び水辺の環境に生活を依存する小型哺乳類（テン、キツネ類）の分布状況（フィールドサインによる確認地点数）を解析している。

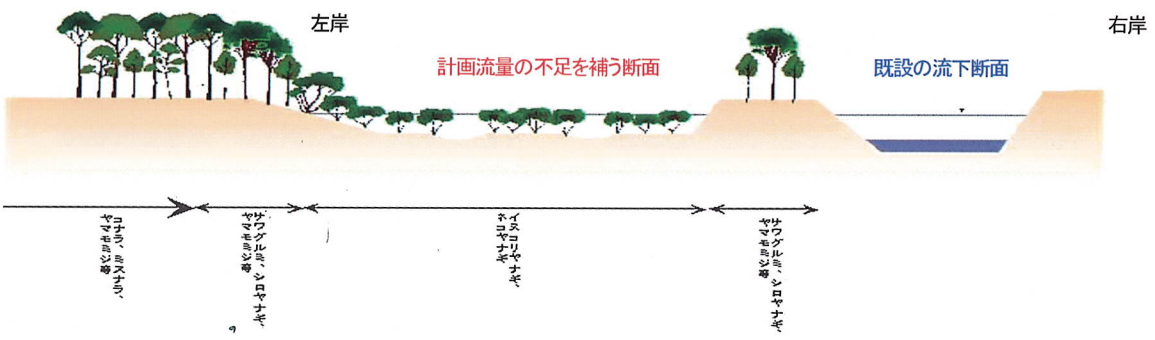
その結果は図－18 のように渓畔林が減少するにしたがって、哺乳類の確認地点数も減少していることが分かる。これは渓畔林が河川生態系に深く関わり、自然環境のビオトープネットワークとして機能していることを示す。



図－18　樹林地比率と小型哺乳類の出現状況

このような場所での対策として、ミティゲーション（回避、縮小、代償）による取り組みを実施することとした。具体的には計画流量（260 ㎥/s）の流下を可能にするため、唐松を主体としたやや単調な樹林の一部を一旦伐採して流下断面とし、残りの繁茂している部分を渓畔林として活用することとした。

また、この範囲は河川と森林・山地等を結ぶ環境移行帯（エコトーン）としての機能も期待し、図－19 のような断面計画を策定した。



図－19　ミティゲーションによる植栽イメージ



対策前の状況



対策後の状況（平成 12 年春季）



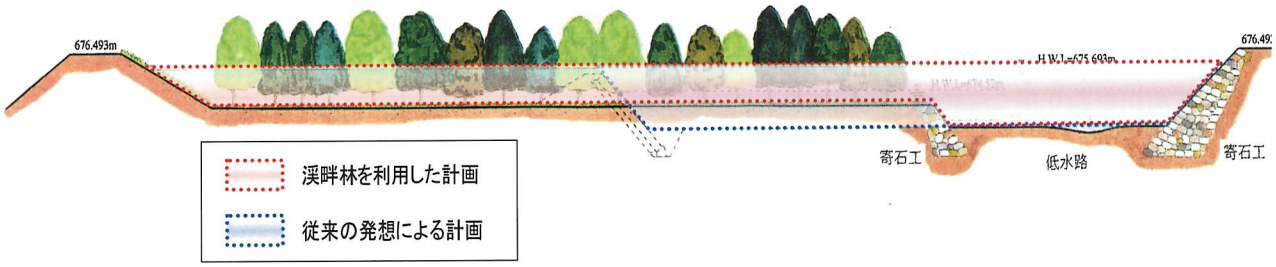
対策後の状況（平成 20 年秋季）

写真－7　ミティゲーションによる植栽

◇ その２：ミティゲーション（回避）

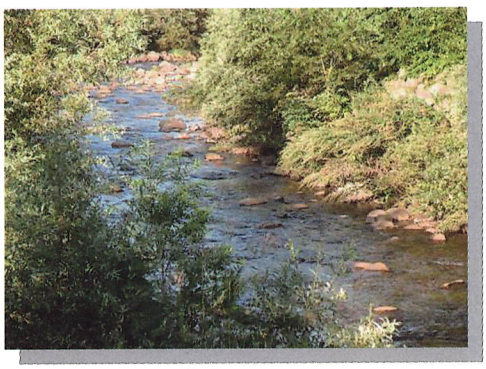
災害対策を実施する以前から渓畔林の連続性が途切れている箇所が数カ所あったが、この区間では計画流量に整合した河積拡大による樹木の伐採を回避し、渓畔林を氾濫源として位置付ける断面計画とした。

特に、図－20 に示す範囲は、繁茂している渓畔林をまったく伐採せずに、洪水時には流水が樹林地内に流れ込む計画とした。





施工前（平成7年）



施工後（平成 20 年9月）

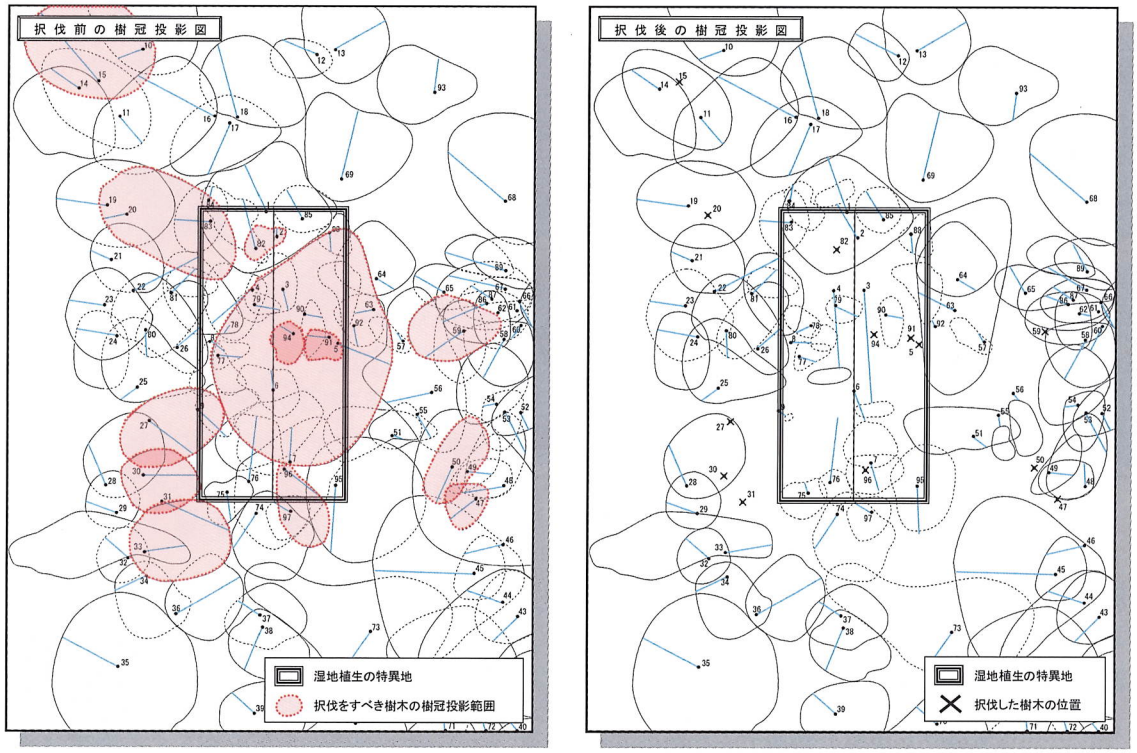
図－20　渓畔林を利用した河道部の状況

◇ その３：特異地（湿性）の保護

鳥居川の特筆すべき自然環境として環境調査の結果から、各所で水の浸み出しがあり、土壌は湿～過湿の状態を呈した範囲が確認された。

また、植生調査においても湿性を好むリュウキンカ、ミズバショウが確認されたが、高木類にシロヤナギ、ミズナラが占有種として繁茂していた。前述したリュウキンカ、ミズバショウの生育には、適当な照度が必要であり、高木類の繁茂が鬱閉した林地へと変遷した場合、低照度状態が続き植生の衰退が予測された。

そこで択伐にあたっては高木類のうちでも、湿性を好むシロヤナギは除外し、ミズナラ、コナラ等のかつて頻繁に人間に利用されてきた樹種を伐採することとした。択抜は、高木層の樹冠の相対照度（用語の解説⑤）で50%程度明るくなることを目安として、図－21に示すように樹木を選定、伐採した。



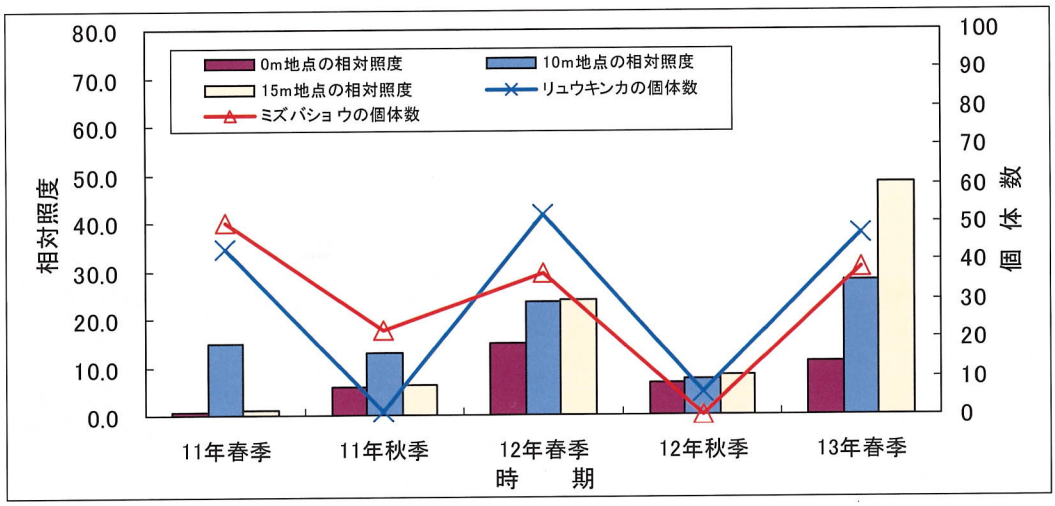
図－21　樹冠投影図（択伐前後）

想定した択伐による効果については、図－21に示すように平成13年春季には高木層（15m地点）において、約50%の相対照度まで改善され、鬱閉によるミズバショウ及びリュウキンカの衰退に歯止めを掛けることができた。

なお、植生の変化は択伐による光環境の変化のみではなく、季節変動によるものも少なからずあり、相乗的な効果として、湿性を好む植物の回復に繋がったと考えられる。（図－22）



写真－８　択伐の状況（左：前、右：後）



図－22 湿性地の相対照度と植生の変化

(2) 伝統工法の採用

鳥居川で取り組んだ近自然工法には、“ビオトープネットワーク”という語句に代表される地域景観を含めた生態系を対象にした広義のものと、対策工に石、木等を用いて動植物の生息環境（ハビタット）を復元・創造する具体的な施工技術に関する狭義のものも含めて総称している。

なお、狭義の施工技術に関して、水制工、護岸工及び落差工に今回採用した石積みの施工には古くから日本で育まれた伝統工法に幾つかの工夫が加えながら利用されている。

(施工の具体については、長野県長野建設事務所発刊（平成13年1月）の近自然河川工法ハンドブックを参照されたい。)

特にコンクリートを使用しない護岸で、アメリカ工兵隊の基準にある捨石径の算定式により必要粒径を求め、その条件を満たす巨石により空石護岸を施工しているが、多孔質な構造であることから水辺の生物の生息環境（ハビタット）を創出する他、護岸背後の樹林地（山林）への環境移行帯（エコトーン）としても十分機能している。

しかしながら、砂防事業における護岸の施工では、原則、空石積み（張）を用いないこととなっている。

このことに関して、鳥居川での経過を踏まえて考察すると、

・使用材料（巨石等）単体の規格が計画洪水規模に対応できること。
（基幹えん堤等の整備で土砂整備率が高いことが条件、渓流保全工を施工する渓流は可。）
・巨石同士の組合せ効果の発現が必須であること。
・現場作業員及び担当技術者の石積み技術の習得と探求が不可欠である。

等の条件が満足できれば、空石積みの安全性は担保され環境に配慮できる工法としての普及性が高まっていくだろうと考える。



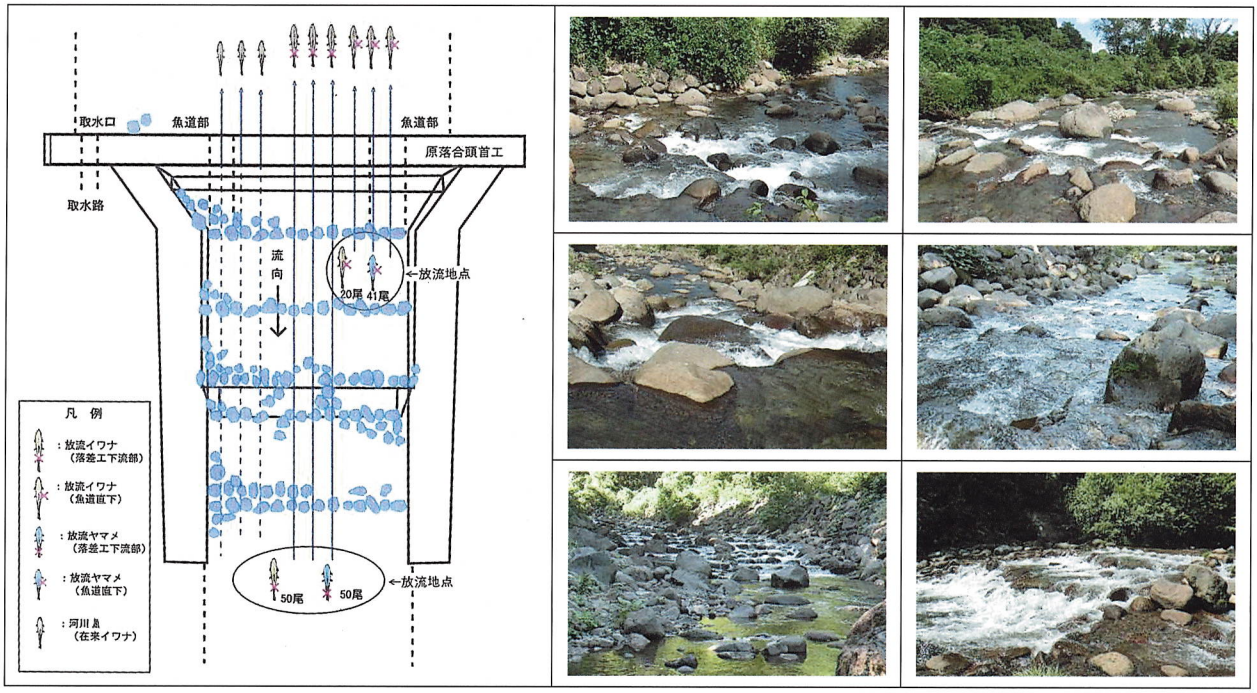
写真－9 空石積みの状況(平成20年9月現在)

一方、流速の低減を実現させる落差工において、上下流の分断が魚類等の水生生物の悪影響を与えてしまうため、斜路式の水叩構造を持った“分散型落差工”を配置することとした。

特徴としては、水生生物の上下流方向の移動を可能にする他、アーチ効果を生かした石組みにより流れの

多様化を図り、瀬と淵（ステップ&プール）を創出させた。

施設の効果を検証するため、写真－10 に示すとおり、ヤマメとイワナを用いた遡上調査（平成 11 年 11 月）を行っているが、放流が養殖魚であったことを考慮すれば、比較的良い結果が得られたと考えている。また、その右に幾つかの分散型落差工の現在（平成 20 年９月）の状況を写真で示しているが、巨石の破損もなくその機能（効果）を発揮していることが確認された。



写真－10 斜路工の状況（平成 20 年9月現在）

3 おわりに

今日においては、“生態系に配慮する土木構造物の構築”が一般的なものとなり、技術者であれば躊躇なく対応できるようになってきているが、当時、渓流の自然環境を復元・創造するための手法として生態学的な知見と工学的な知見を満足する取り組みは、手探りで試行錯誤の連続の状態ではあったが非常に先進性も高く、環境に配慮する工事例の先駆けでもあった。

施工後 10 年を経過し、その効果について改めて検証を行ってみたが、評価指標として選定した底生動物の“種の多様度指数”においても、また、関連する総種数でも緩やかながら向上していることが確認できた。

鳥居川の災害対策において、水域のみならず沿川陸域の生態系に配慮する取り組みも行ったが、施工後数年のデータによれば特異地（湿性）の保護において想定した効果も得られている。

ここで改めて鳥居川でのアプローチのポイントを整理すると、

○河川を取り巻く生態系（水域及び陸域）の復元、創造を目的とする施設は、単にコンクリートが石、木、土に置き換えられただけのものではない。

○敵うわけのない自然の力を抑え込むことでもなく、自然と上手くつきあいその力を弱めたり、上手に利用する。

この２点になると考えている。

特に現場作業（施工）にあたっては、適切な施工時期や優先順位の決定も経済性のみではなく、自然環境を適切に把握・理解しておく必要がある。更に、現代よりも自然との関わりが深かった日本古来の伝統工法や地域に眠ったままの技術を活用することで、それぞれの地域特性に応じた「減勢治水」が可能になってくる。

また、一連の作業を担当した職員からは、以下の感想が寄せられている。

(1) 現場を知ろうとする意欲と知っているという自信を持つこと。

(2) 環境に配慮するあまり、本来の事業目的から逸脱するような、やり過ぎ、し過ぎは回避しなくてはならない。

(3) 同じ現場でも色々な角度からの視点を持って注視すると、違った姿が見えてくる。

(4) お金がなくても、ちょっとした工夫で自然環境の創造は可能である。

(5) 工事完了が担当者の責任の終焉ではなく、新たな自然環境の創造に向けたスタートである認識を持つ。

最後に、C．W．ニコルさん、福留脩文さんをはじめ「鳥居川の生態環境に関する検討会」に参加いただいた皆様、また、事業の促進に格段のご配慮を頂いた国土交通省の皆様に対し改めて感謝申し上げます。C．W．ニコルさんからは、長野建設事務所が当時作成した「砂防河川 鳥居川 水辺環境施設設計の手引き」、福留脩文さんからは「砂防河川 鳥居川 近自然河川工法ハンドブック」の巻頭言に以下のようなコメントを頂いております。一部でありますが、抜粋させて頂きます。

C．W．ニコルさん

今回の計画に関われたことを、私は誇らしく思う。何よりうれしいのは、公の場で意見や希望を述べるという国民の権利を活かせたことだ。国や県が我々の声に応えようという姿勢を見せてくれたこと、この日本で民主主義が立派に機能していることも、国民の一人として大いに胸を張りたい。鳥居川は、日本の河川工事の範となることであろう。ありがとう、どうかこれからも「いい仕事」を続けて頂きたい！

福留脩文さん

今回の鳥居川で得られた成果は、国土交通省や他県土木事務所から理論面及び試験施工で多大なご指導やご協力を頂いた結果である。そして構造上の力学的な強度や生態学的な成果を検討することは、今後の研究課題として残されている。ここで開発した工法は、今後さらに理論と現場での研鑽を重ねて、確かなものにしていかなければならない。

繰り返しになりますが、大変お世話になりました皆様に対しお礼を申し上げるとともに、今後とも、鳥居川のことを気に掛けて頂ければと思います。

ご覧のように鳥居川の災害対策として設けた施設は、どんどん自然に馴染んできています。よろしければ、黒姫山の懐にあるこの鳥居川の現地を実際にご覧になり、ご感想等をお寄せ頂けますと幸いです。



平成 10 年春季



平成 13 年夏季



平成 18 年春季



平成 20 年夏季

用語の解説

① S型の淵

岩盤、堰、床固等の下流が深掘れしたもの（淵的なもの）。

【出典】建設省河川環境課編　1997　平成9年度版河川水辺の国勢調査マニュアル〔河川版〕生物調査編

② M型の淵

河川の蛇行の水衝部が深掘れした淵。

【出典】建設省河川環境課編　1997　平成9年度版河川水辺の国勢調査マニュアル〔河川版〕生物調査編

③ 種の多様度指数

正式には「種の多様度指数β」と表現され、鳥居川では森下の多様度指数βを用いている。
この指数は生物群集内の多様性を示す数値尺度で、種数と各種の個体数の配分の状況を数値化するには有用な指数であり、現在でもよく使われている。

しかし、多様度指数の算出ではいかなる種が出現したかは無関係で、種構成の情報を切り捨てているため、類似度や各種の出現傾向も含めて、多面的に評価するのが望ましいとの指摘もある。

【出典】森下正明　1967　京都附近における蝶の季節分布.「自然・生態学的研究」. 95－132

④ 類似度指数

生物群集間の類似度を示す数値尺度である。鳥居川ではSφrensenの類似度を用い、工事が行われていない箇所（豊かな自然を保持していると思われる範囲）と試験施工箇所との底生動物群集の類似性を確認している。自然環境の評価指標として、現在もよく使われている。

【出典】小林四郎　1995　生物群集の多変量解析

⑤ 相対照度

林冠上部の照度を100%とした林内の照度を相対的に示したもので、現在でもよく使われている。

【出典】(社)全国林業改良普及協会　1998　林業技術ハンドブック