

研究種目：基礎研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19580287

研究課題名 (和文) 近自然水路工法と生態系保護区を組み合わせた新ミチゲーション手法の開発

研究課題名 (英文) Development of a mitigation system combining an ecologically designed canal with an eco-conservation area and its effects on aquatic life

研究代表者 広瀬 慎一 (HIROSE SHINICHI)
 富山県立大学短期大学部環境システム工学科 教授
 研究者番号 80181204

研究成果の概要：富山県高岡市の玄手川 (延長 3 km) は農業用排水路で、効率的な排水処理と、小魚のトミヨや水草のナガエミクリを中心とした生態系の保全の両立を目的として、水路底の 80% をコンクリートとする近自然工法で改修された。また、中流部 100m には水路底を砂利舗装とした生態系保護区が設けられた。施工前後約 10 年間にわたるモニタリングの結果、近自然工法については、湧水は元に戻り、堆砂は適度で、トミヨやナガエミクリなどの生態系は回復した。排水処理のための水草刈りは、やり易くなったとの農家の評価であった。

生態系保護区 (ワンド) については、植生は近自然工法の本川よりす早く回復し、トミヨは施工前より倍以上の密度となった。また、水路断面の詳細流速分布調査から、水草内領域における流速は、水草外領域の流速の約 3 割であり、トミヨが長時間遊泳できる流速 (巡航速度) が水草内領域で実現されていることがわかった。

以上から、近自然工法と生態系保護区 (ワンド) を組み合わせたミチゲーション (影響緩和) 手法」が排水処理と生態系保全の双方に効果的であることがわかった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学、農業土木学、農村計画学

キーワード：近自然工法、トミヨ、水草、流速、湧水

1. 研究開始当初の背景

わが国は 1992 年に生物多様性条約を批准し、それ以来条約の主旨に沿って国内法も整備されてきた。水路や河川の改修においても、生態系に配慮した工法、すなわち近自然工法が採用されるようになった。生態系は地域によりその内容に特徴があるので、近自然工法の開発も、地域毎の経験の積み重ねが必要である。そのため、近自然工法を採用した場合

は長期にわたるモニタリングを実施して、データの蓄積を継続し、採用工法の適切な評価を行うことが望まれる。

2. 研究の目的

富山県の農業水路の改修においても、近自然工法が試みられることが多くなってきた。当研究では、水路底の改修に近自然工法が採用したシンプルな事例を対象として、総合的

継続的な施工前後のモニタリングを実施し、採用工法が地域の生態系に及ぼす影響と回復度合いを明らかにし、より適切な近自然水路工法の開発に資するものである。

3. 研究の方法

(1) 玄手川の近自然工法と生態系保護区

玄手川は庄川扇状地の扇端部を北流する、延長3kmの水田地帯の排水路である(表-1)。湧水が豊富で、準絶滅危惧種(国)の水草ナガエミクリや危急種(県)の淡水魚トミヨが生息し、生態系が豊かである。維持管理の合理化と生態系の保全を目的として、1995～2001年にかけて、土の水路底がコンクリート製の平ブロックと枠ブロックで舗装された(図-1)。この近自然工法でコンクリートの部分が水路底の80%を占めることとなった。施工後の生態系の回復に関して、堆砂量・湧水量・水生植物・トミヨ・流速の調査を行うため、中流部の農道橋M₁～M₄間延長800m、底幅5.10m(1997～1999年施工)を調査区域とした(図-2)。

(2) 生態系保護区(ワンド)

トミヨの繁殖を目的として、玄手川の中流部にワンド状の生態系保護区が設けられた(2000年施工)。生態系保護区は延長100mを右岸側に3.3m拡幅して流速を緩和し、砂利舗装したものである。ここで水生植物・トミヨの詳細調査を実施した。

4. 研究成果

(1) 維持管理調査

玄手川延長3kmは、沿線の6集落によって維持管理されている。1999、2000、2001年の江ざらい(毎年7月下旬に行われる水草刈り)の直後に、管理地区の責任者にアンケート調査を行った結果、次のことがわかった。①江ざらい作業時間は水路底改修前で水路延長100m、水路底幅5.1m、作業人員20人当たりで約76分かかっていたが、改修後複数年の調査では約60分と、20%短縮されている。また、各管理区間の時間短縮率をみると、改修後の経過年数が大きくなると植生の回復に従って、作業時間短縮率が減少し、改修後4年平均ではほぼ元へ戻った地区もあることがわかった。

②6管理地区の代表者へのアンケート調査の結果を集約し、3段階評価を行った。水路底改修後、年を経るとともに水草が再び増加して維持管理に影響を及ぼしてきたが、一方で江ざらい作業の足元が安定したことなどから、経年変化とは関係なく維持管理について肯定的評価が多く得られた。また、生態系の保全について、改修前は肯定的評価と否定的評価が相半していたが、改修後も水路内の植生が回復してきたことなどにより、改修前と

同じ傾向がみられた。

以上より、玄手川の近自然工法により江ざらいなどの維持管理作業の所要時間を短縮させるとともに、水位の低下がみられたことから、この川の維持管理は一時的に改善方向へ向かったが、それらも年が経つとともに改修前の状況に戻りつつある。しかし、沿線住民から維持管理に関して肯定的な評価が数多く得られたこと及び生態系の保全については改修前とほぼ変わらないことから、玄手川における近自然工法は効率的な維持管理と生態系の保全という双方の目的をある程度達成したといえる。

(2) 堆砂量調査

堆砂量の調査は、調査区域施工直後の7年間にわたり、江ざらいで水草が根まわりを残して刈り取られた直後の8月上旬に実施した。調査区域800mを流下方向10m毎に、底幅を5等分した5ヶ所で、折尺を用いて堆砂深を読み取った。調査結果を表-2に示す。初期には上流域の工事残土の流入によるものと思われる堆砂量が多かったが、その後は平均堆砂深1～2cm、堆砂量40～80m³の範囲で増減する安定期に入り、掃流砂と浮遊砂による底質流砂の状態が増減していると思われる。この程度の土砂は、維持管理上は問題なく、かえって生態系への寄与が期待される。

(3) 水収支調査

一般に地下水と地表の水源との相互の水の移動を浸漏といい、そのうち河床や不飽和帯から地下水帯への浸漏を伏没浸漏、逆に地下水帯から河道や地表面への浸漏を流出浸漏という。玄手川ではこの浸漏現象が起こっており、周辺の地下水位が玄手川の水位より上にある場合は流出浸漏として湧水が、逆に下にある場合は伏没浸漏として漏水が発生するものと思われる。

M₁～M₃間624mで路線水収支調査を行った。観測は、連続無降雨日が2日以上になる日に行った。測水箇所は本川2ヶ所(2点法)、支線16ヶ所(1点法)。流速計は広井式流速計を用いた。観測結果より、次の水収支式(1)によりM₁～M₃間の浸漏量S m³/sを推定した。

$$S = M3 - M1 - (L + R) \dots\dots\dots(1)$$

ここでM₁、M₃: 本川流量 (m³/s)

$$L = \sum_{n=1}^3 Ln : \text{左岸支線流入量 (m}^3\text{/s)}$$

$$R = \sum_{n=1}^{13} Rn : \text{右岸支線流入量 (m}^3\text{/s)}$$

観測は施工前から施工後の1995～2002年にかけて、月に1～2回の頻度で計100回行っ

た。浸漏量 S の経年変化を見やすくするため、同一年の値を平均して整理したものを図 - 3 に示す。

浸漏量 S については、施工前の 95、96 年の平均が $0.106\text{m}^3/\text{s}$ 、施工中および施工直後の 97、98、99 年の平均が $-0.022\text{m}^3/\text{s}$ 、施工後の 00、01、02 年の平均が $0.094\text{m}^3/\text{s}$ であった。これを近自然工法による水路底のライニングとの関係でみる。まずコンクリートブロックの布設により、透水面積が約 80% 少なくなったことと、施工により水路底の基盤が圧縮されたことによる透水係数の減少のために、施工前にみられた湧水が施工中は大きく減少する。施工後は、土からコンクリートブロックを布設するための敷均し土砂への置換効果の発現、および通水による水路底基盤の膨潤化による透水係数の増大により、湧水が施工前の状態へ戻ったと考えられる。

すなわち、施工前の流出浸漏が、近自然工法の施工中は一時的に減少したが、施工後は以前の状態に復旧し、近自然工法による影響はみられなかった。この調査により、条件の類似した流出浸漏が優勢な河川の 1km 当りの湧水量の目安として約 $0.16\text{m}^3/\text{s}$ が得られた。

(4) 水生植物の調査

玄手川では、17 種の水生植物が確認されている。そのうち主なものはナガエミクリ、バイカモ、コカナダモ、ヤナギタデ、エビモ、ヤナギモの 6 種であり、準絶滅危惧種であるナガエミクリや清水指標であるバイカモが優占種となっている。玄手川を特徴づける魚のトミヨは、産卵のため水草の茎に営巣するので、水草の存在は必須条件である。したがって玄手川の近自然工法の成果を考えると、まず工事施工に伴う水生植物の回復状況を明らかにすることが重要である。

水生植物の調査は、3 人の調査員の目視により、水路底が全水草で覆われている割合すなわち植被率と、水路底がナガエミクリで覆われている割合すなわちナガエミクリ率を調べた。調査のためのコドラート（方形枠）は、横断方向 5.1m × 流下方向 10m の方形とし、コドラートの数は $M_1 \sim M_2$ 間 26 個 260m 、 $M_2 \sim M_3$ 間 34 個 340m 、 $M_3 \sim M_4$ 間 20 個 200m である。同一区間のデータを平均してその区間の代表値とした。調査は 2000～2007 年にかけて行ったが、調査区間ごとに施工年が異なるので、例えば 2002 年に行った調査では、 $M_1 \sim M_2$ は施工後 6 年目、 $M_2 \sim M_3$ は 5 年目、 $M_3 \sim M_4$ は 4 年目のデータとなる。

調査の結果を図 - 4 に示す。施工前の植被率 67% は 1994～1996 年に M_1 近くに設けられた $5.5\text{m} \times 5.5\text{m}$ の方形のコドラートで、北陸農政局により調査されたものである。施工後 6 年目で植被率は 72% となり、その後極相状態を保って 11 年目を迎えている。ナガエミ

クリ率も 6 年目で元の植生の状態 46% を越えたが、その後一時勢いを失い、11 年目は再び回復状態にある。その間、他の水草がナガエミクリの減少分を補償し、水草全体の極相状態を維持していると考えられる。

(5) トミヨの調査

玄手川では、12 種の魚類が確認されている。中でもトミヨが優占種で、群として生息している日本の西端ともいわれている。トミヨは表層水の流速が $50\text{cm}/\text{s}$ より速くなると生息密度が急に減少することがわかっている。また、玄手川のトミヨの平均体長（9 月 5cm 、2 月 6cm ）から算定式で求めた、一定時間泳ぎを継続できる流速いわゆる巡航速度は $15 \sim 18\text{cm}/\text{s}$ である。これらのことより、通常トミヨは、流速の緩和される水草の中にすんでいる。したがって、トミヨの生息密度は、水草 1m^2 当りの生息数（以下生息密度）として求めることとした。

水草は護岸沿いに多く分布しているので、 $M_1 \sim M_4$ 間の右岸沿いの 10m ごとに、流下方向 2m × 横断方向 1m の方形の単位コドラートを設定した。単位コドラートの数は、水生植物調査で設定したコドラートと同じく $M_1 \sim M_2$ 間 26 個、 $M_2 \sim M_3$ 間 34 個、 $M_3 \sim M_4$ 間 20 個、計 80 個である。単位コドラートにおけるトミヨの捕獲には、網口下辺長 1.2m × 高さ 1.5m × 奥行き 0.5m のもじ網製三角網を用いた。単位コドラートの下流側境界の水路底に網口の下辺をあてがい、上流側から 3 人で水草陰のトミヨを追い出し、捕獲する。水草面積は目視により算定した。80 個の単位コドラートの平均をその年の代表値とした。調査の結果を図 - 5 に示す。

施工前の生息密度 $2.3\text{匹}/\text{m}^2$ は、1997 年に全川の 5 ヶ所、合計面積 42.6m^2 で北陸農政局により調査されたものである。施工後は 8 年間で $0.2 \sim 3.0\text{匹}/\text{m}^2$ とかなり変動している。その原因としては観測毎にかなり異なる流速および植被率が微妙に影響していると思われる。しかし、施工後 8 年目 2007 年の観測時の流速と植被率は、施工前 1997 年の観測時と似通っており、その生息密度 $1.7\text{匹}/\text{m}^2$ も施工前 $2.2\text{匹}/\text{m}^2$ に近づいている。

(6) 生態系保護区の水生植物とトミヨ

近自然工法施工後 2000～2002 年の水収支調査の結果からも、玄手川の平均速度は $0.16 \sim 0.61\text{cm}/\text{s}$ と、トミヨの生息にとって必ずしも快適な流水環境とは言いがたい。そこで、トミヨを中心とした生態系を保全し観察するため、玄手川の中流部に横断方向 3.3m × 流下方向 100m の生態系保護区が設けられた。

この中に横断方向 3.3m × 流下方向 27m のコドラートを設け、写真観察の結果、施工後 2 年 4 ヶ月後には植被率 78% と、ナガエミクリ

を優占種とする極相にほぼ達したと判断された。これを近自然工法で施工された本川と比較すると、水草の回復の速さは生態系保護区の方が2倍以上速いことがわかった。生態系保護区は、流速環境からみれば本川に対しては生理的には閉鎖区間であるが、物理的には開放区間であることから、ここでまとまりを有するトミヨの個体群の推定を、開放個体群の母集団推定に広く用いられている Jolly-Seber によるマーキング法により求めた。基本的な考え方は、次の通りである。

ある集団から n_1 匹の魚を捕えてマークを付けて放し、元の集団全体と交ざり合ったところを見計り、再度 n_2 匹の魚を捕えたとき、そのうちの m_2 匹にマークが付いていたとする。交ざり合った集団全体の個体数を N_2 (未知) とし、 N_2 中のマーク数を M_2 とすれば、 $M_2/N_2 = m_2/n_2$ という比例関係が成立すると考えられる。Jolly-Seber 法では、最低3日間のサンプリングで個体群の推定を行う。1日目と2日目はマーキングと計測、3日目は計測だけを行う。これらの計測結果が得られれば、2日目について個体群のサイズの推定が可能になる。調査の結果を図-6に示す。

生態系保護区完成の翌年2001~2004年まで行った6回の調査の結果、植被率は60~80%で、推定生息密度は2.6~5.9匹/㎡の間で増減していた。施工後8年目の2007年は8.2匹/㎡であり、平均4.3匹/㎡と、施工前の平均2.2匹/㎡の約2倍である。これは近自然工法施工後8年目の平均1.7匹/㎡と比べてもはるかに大きい。

以上より、ワンドでは水生植物及びトミヨの生育の観点から、良好な環境を形成しつつあり、玄手川におけるトミヨの再生産の場として機能していると思われる。

(7) 水草内領域の流速調査

水路底が近自然工法によって改修された玄手川において、全断面の流速分布を12回観測した。その結果、つぎのことがわかった。

①水草外の平均流速 V_w (cm/s) と水草内の平均流速 V_g (cm/s) の関係 (図-7)

$$V_g = 0.29V_w + 0.57$$

②水草外の平均流速 :

$$\text{水草内の平均流速} \approx 3.3 : 1$$

このようなことから、水草があることにより、トミヨなどの小魚でも流速の速い水中(水草外領域)から流速の遅い水草の中(水草内領域)へ避難することによって、成魚が流されないで遊泳できる可能性が示された。

(8) まとめ

近自然工法施工前後、延長800mで約10年間モニタリングを実施し、総合評価を行った。1km当り約0.16m³/sの湧水が、施工中は一時的に減少したが、施工後2・3年の通水で復旧した。全水草の植被率は施工前67%であったが、施工後6年目で72%にまで到達し、その後極相状態を維持している。トミヨの水草当りの生息密度は、施工前2.2匹/㎡であったが、施工後8年間の観測で0.2~3.0匹/㎡と、観測時の流速・植被率に応じ変動巾は大きいが見直しつつあると思われる。一方生態系保護区のトミヨの生息密度は、施工後8年間の観測で2.6~8.2匹/㎡と平均で4.3匹/㎡で、施工前2.2匹/㎡の約2倍である。

以上より、近自然工法施工後、湧水は復旧し、水草も回復し、トミヨの生息も回復しつつある。また生態系保護区ではトミヨの再生産が行われており、近自然工法と生態系保護区による玄手川のみチゲーションは効果的であるといえる。

図表

表-1 玄手川の概要

全長	3,000m
計画排水量	6.04~18.25m ³ /s
水路底幅	3.3~5.1m
護岸高	1.0~1.2m
勾配	1/500
護岸	コンクリートブロックの空積み
環境	動植物等の自然生態系豊か

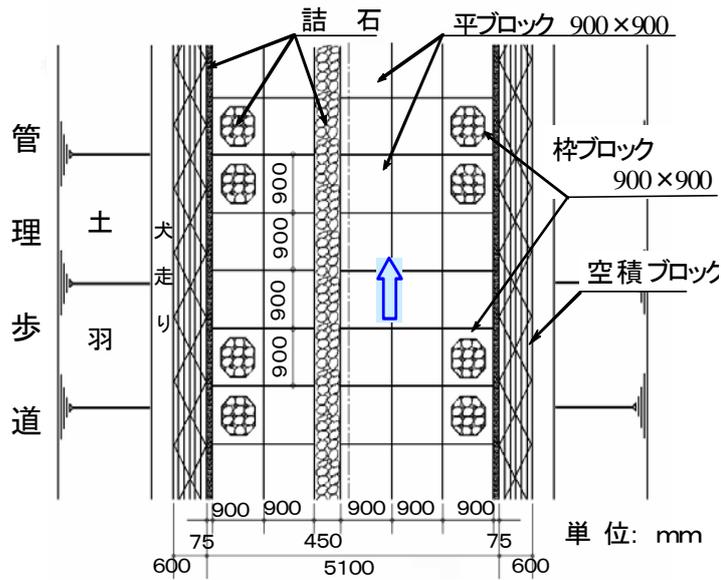


図-1 近自然工法による水路底

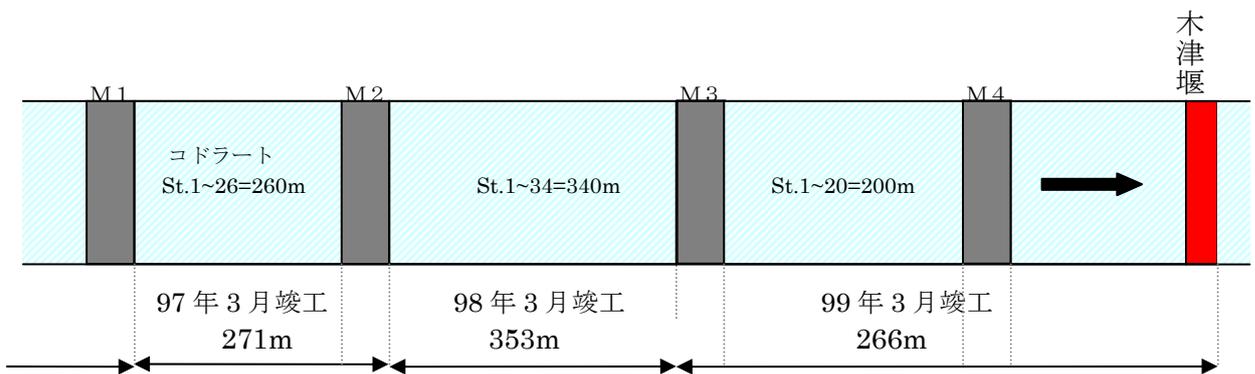


図-2 近自然工法の調査区域

表-2 玄手川の堆砂の推移

調査区間		M1-M2	M2-M3	M3-M4	平均(合計)
水路延長(m)		260	340	200	800
施工年月		1997年3月	1998年3月	1999年3月	
平均堆砂深 cm (堆砂量 m^3)	2001年	7.42(91.0)	1.06(18.3)	0.18(1.7)	2.70(111.0)
	2002年	5.00(65.9)	0.92(15.1)	0.34(3.5)	2.10(84.5)
	2003年	4.32(57.3)	0.87(11.5)	0.16(1.6)	1.70(70.4)
	2004年	2.71(35.9)	0.53(9.2)	0.13(1.3)	1.10(46.4)
	2005年	1.80(23.3)	0.60(10.3)	0.30(3.1)	0.90(36.7)
	2006年	4.10(54.0)	1.20(20.1)	0.80(7.6)	2.00(81.7)
	2007年	3.20(42.7)	1.00(13.5)	0.70(7.0)	1.50(63.2)

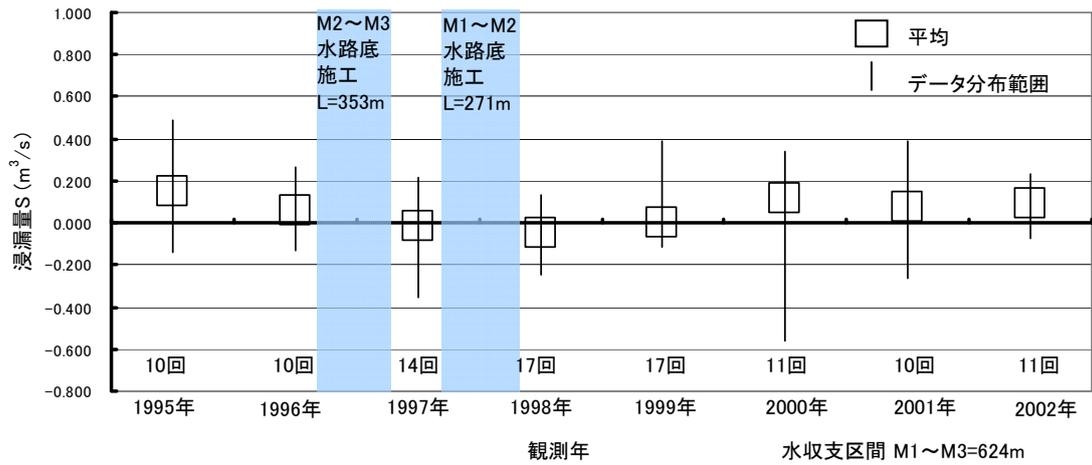


図-3 玄手川の水収支の推移

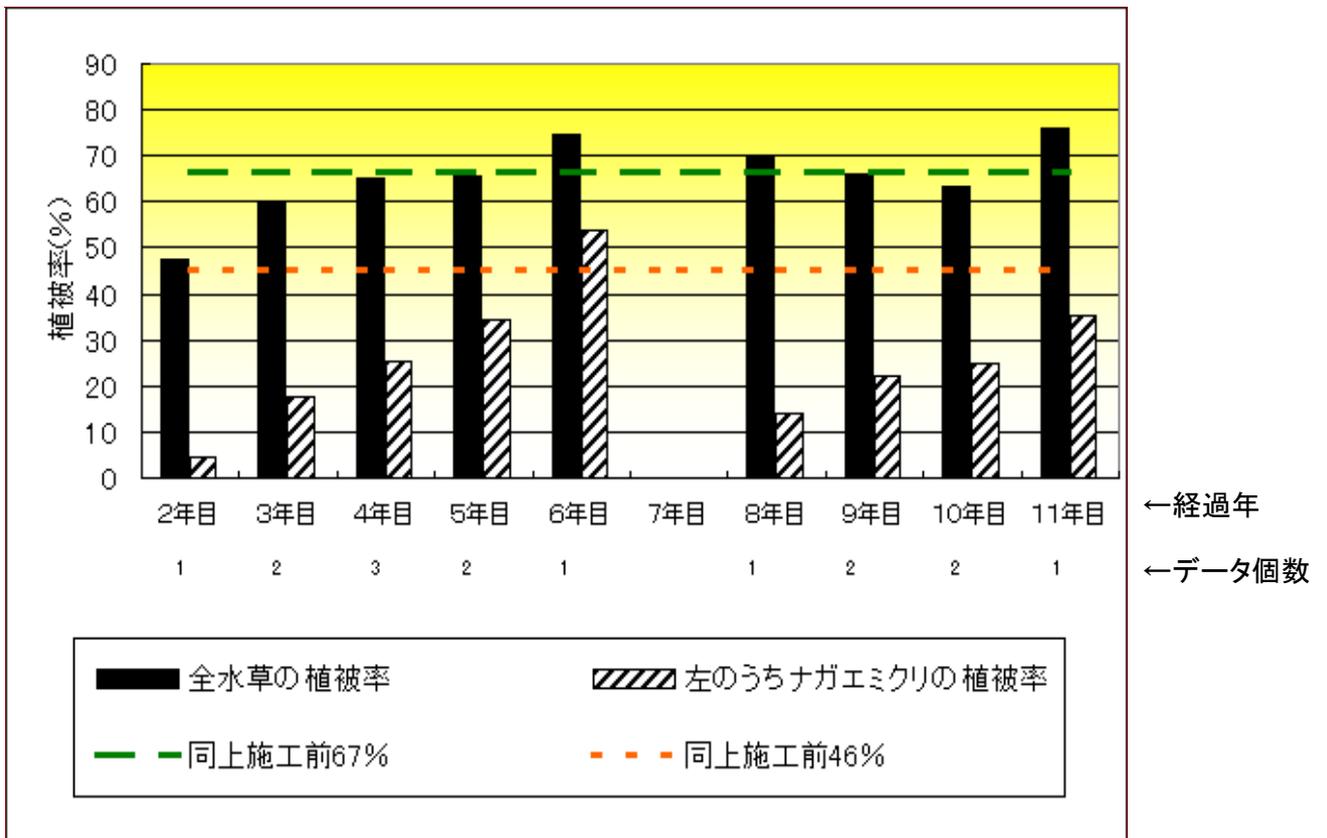


図-4 植被率の推移

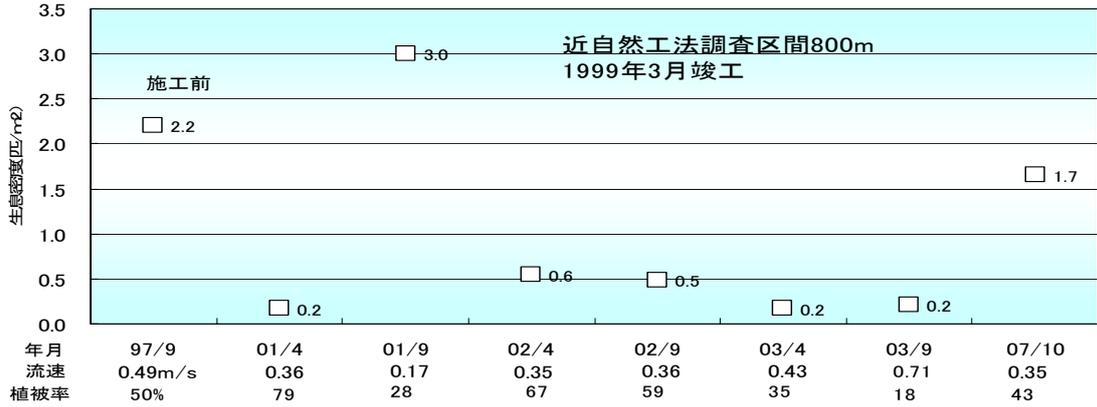


図-5 玄手川のトミヨの生息密度の推移(平均値)

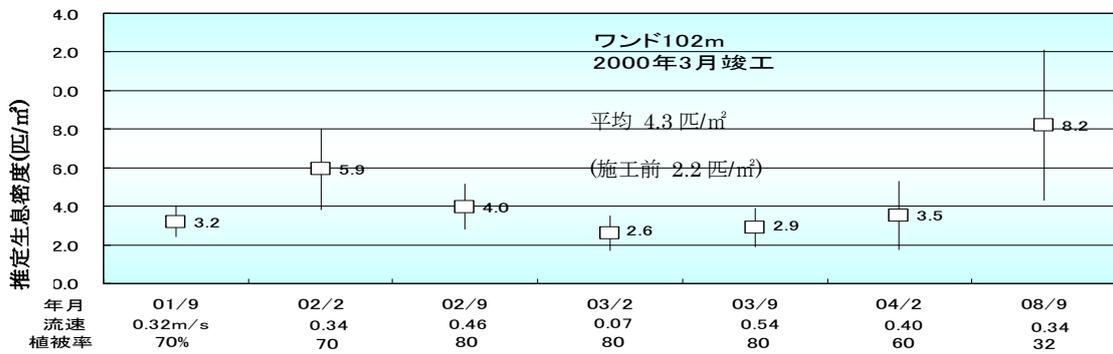


図-6 トミヨの水草面積当たりの推定生息密度
(縦線は標準偏差を示す)

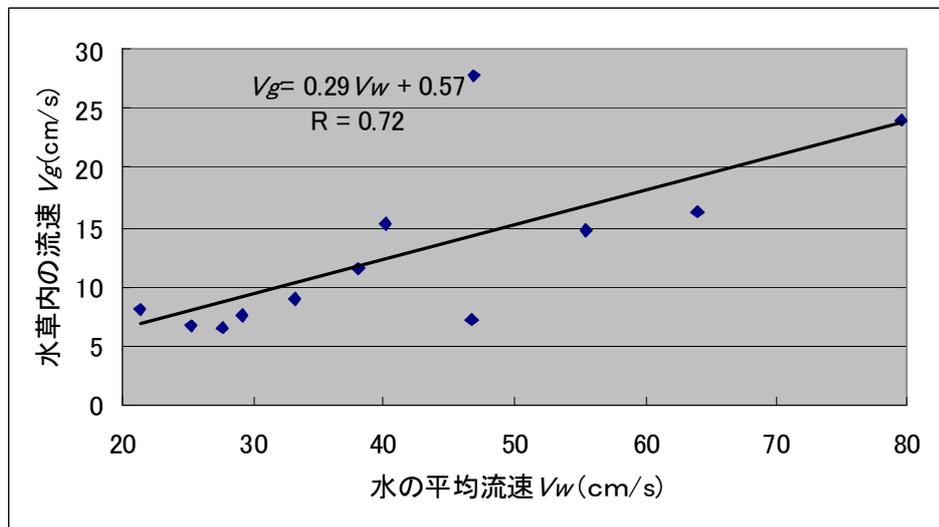


図-7 水の平均流速 V_w と全水草内の平均流速 V_g の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

- ① 広瀬慎一、瀧本裕士、農業排水路に設けられたワンドが、生態系の回復にはたす効果、農業農村工学会誌、第 77 巻第 6 号、30-33、2009、査読有
- ② 広瀬慎一、瀧本裕士、水路の水草内の流速測定、農業農村工学会誌、第 76 巻第 11 号、31-35、2008、査読有
- ③ 広瀬慎一、瀧本裕士、玄手川の近自然工法の総合評価、農業農村工学会誌、第 76 巻第 8 号、23-26、2008、査読有
- ④ 広瀬慎一、瀧本裕士、渡辺直美、樋口昌隆、玄手川の生態系保護区におけるトミヨの生息状況、農業土木学会誌、第 74 巻第 9 号、23-27、2006、査読有
- ⑤ 広瀬慎一、瀧本裕士、岡田晋、玄手川で実施された近自然水路工法における水収支の変化、農業土木学会誌、第 74 巻第 5 号、33-36、2006、査読有
- ⑥ 広瀬慎一、近自然水路工法と維持管理の改善、農業土木学会誌、第 71 巻第 11 号、51-55、2003、査読有
- ⑦ 広瀬慎一、佐藤久三、竹中妙子、水路底改修に伴う水生植物群落の遷移、農業土木学会誌、第 69 巻第 9 号、45-48、2001、査読有

〔学会発表(プロシーディング)〕(計 10 件)

- ① HIROSE SHINICHI、Measuring the effect of aquatic vegetation on water flow velocity in canals, 5th ARC of ICID, 2009. 12, New Delhi, 査読有
- ② HIROSE SHINICHI、A mitigation system combining on ecologically designed canal with on eco-conservation area and its effects on aquatic life, 20th Congress of ICID, 2008. 10, Lahore, 査読有

③ HIROSE SHINICHI、Restoration of pungius sinensis, locally called Tomiyo, in the eco-conservation area of the Gente River, 4th USCID of ICID, 2007. 10, Sacramento, 査読有

④ HIROSE SHINICHI、Effect of an eco-friendly rehabilitation of a canal on its water balance, 3th ARC of ICID, 2006. 9, Kuala Lumpur, 査読有

⑤ HIROSE SHINICHI、Effect of an eco-friendly rehabilitation of a canal on pungius sinensis, 19th Congress of ICID, 2005. 9, Beijing, 査読有

⑥ HIROSE SHINICHI、Semi-natural canal renovation and its effects on O&M, 56th IEC of ICID, 2004. 9, Moscow, 査読有

⑦ HIROSE SHINICHI、Semi-natural canal renovation and its effects on O&M, Workshop on Irrigation System of 3rd WWF, 2003. 3, Kyoto

⑧ HIROSE SHINICHI、Semi-natural canal renovation and impacts on O&M and the aquatic ecosystem, 18th Congress of ICID, 2002. 7, Montreal, 査読有

⑨ HIROSE SHINICHI、Effect of a rehabilitated nature friendly channel on the ecosystem and O&M, 1st ASEM Workshop on Water Management, 2002. 6, Changsha

⑩ HIROSE SHINICHI、Restoration of waterweeds in a remodeled channel, 1st ARC of ICID, 2001. 9, Seoul, 査読有

6. 研究組織

(1) 研究代表者

広瀬慎一 (HIROSE SHINICHI)
富山県立大学短期大学部
環境システム工学科 教授
研究者番号 80181204