

## 近自然水路工法における水収支の変化

広瀬 慎一・岡田 晋\*

(短期大学部環境システム工学科)

富山県西部に位置する玄手川は、湧水の見られる農業用排水路であり、水生動植物が豊富である。江ザライ時の足場の安定化や水生動植物の保全のために水路底を平ブロックと枠ブロックとを交互に並べた近自然工法で施工し、川底のコンクリート率は約 80% となった。しかし、玄手川の水は下流域において農業用水として使用されているため施工後も湧水が安定していることが望ましい。そこで、1995～2002 年にかけて路線水収支調査を 100 回行い、施工前、施工後の湧水の実態から、この近自然工法が湧水に影響を与えなかったことを明らかにした。

キーワード：近自然水路工法、水収支、流出浸漏、枠ブロック、不圧地下水

### 1. はじめに

富山県の西部に位置する玄手川(図-1)は湧水の見られる農業用排水路であり、貴重な水草のナガエミクリや、主にその茎に営巣する、富山県版レッドデータブック<sup>1)</sup>で危急種に指定されている小魚のトミヨをはじめ水生動植物が豊富である。これら水草の過剰繁茂による排水機能の低下を避けるため、毎年夏季に水草刈りを主とした江ザライが行われているが、水路底が土のため作業効率が悪い。そこで、江ザライなどの維持管理作業がし易いことと水生動植物の生息環境を損なわない

ことを目的として、水路底を平ブロックと枠ブロックを交互に並べた近自然工法で施工した。玄手川の水は下流域において農業用水として使用されており、近自然工法施工後も湧水が安定していることが農業にとっても生態系にとっても望ましい。そこで、施工前から施工後の 1995～2002 年にかけて路線水収支調査を 100 回行い、その水収支結果からこの近自然工法が湧水に影響を与えない優れた工法であることを確認した。

### 2. 玄手川の近自然工法

玄手川は1級河川小矢部川の支流千保川へ流入する農業用排水路で、準用河川に指定されている。地域の農業用水は庄川合口頭首工から取水され、左岸幹線水路、庄西幹線水路、舟戸口用水路、戸出口用水路、五十玉用水路を順次流下する。玄手川は五十玉用水路とともに戸出口用水路末端を始点とするが、戸出口用水路に設けられたゲートの開操作により降雨時の余水を流下される場合以外は常に始点流量は 0 である。しかしながら、この川は庄川扇状地扇端部に位置しているため、湧水と沿線の水田排水により、中・下流部では夏の湯

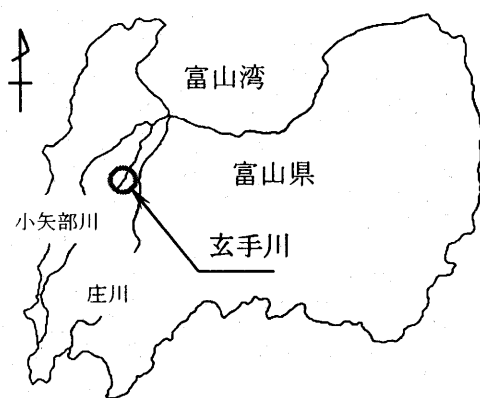


図-1 調査位置

\*株式会社 建技

水期にも枯れることはなく、下流域に分布する水田の貴重な水源でもある。玄手川の概要を表-1 に示す。

表-1 玄手川の概要<sup>2)</sup>

全長	3,000m
計画排水量	6.04~18.25m <sup>3</sup> /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	湧水によって動植物等の自然生態系豊か

玄手川は1970年から1972年にかけて護岸がコンクリートブロックの空積みで改修されている。今回1995年から2000年にかけて水環境整備事業で土の水路底を、維持管理の便のためライニングするにあたり、自然生態系の保全にも配慮して平ブロックと枠ブロックを用いて施工する近自然工法が採用された(図-2)。施工手順は、水路底の泥土を30cmまで掘削した後、厚さ18cmに砕石を敷き詰め、振動コンパクタ、タンパ、ローラなどで締め固める。その上に厚さ12cmのコンクリートブロックを布設し、スペースに栗石を詰める。これにより水路底でコンクリートの占める割合はほぼ80%、残り20%は詰石(栗石)となった(表-2)。

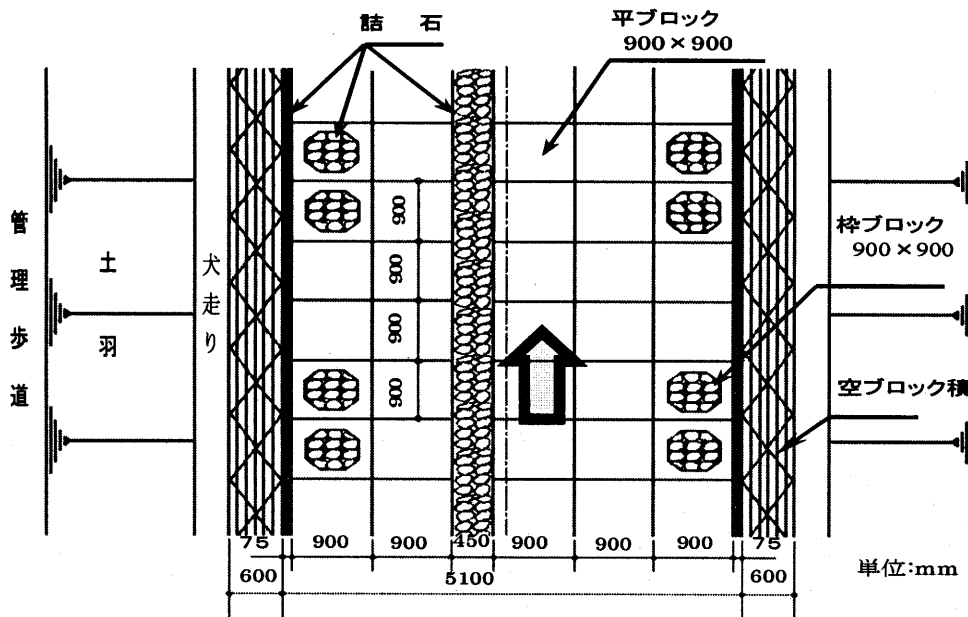


図-2 近自然工法による水路底

表-2 水路底の材料内訳

水路底の種類	コンクリート部分 Cm <sup>2</sup>	土部分 Em <sup>2</sup>	合計 Tm <sup>2</sup>	コンクリート率 (C/T)×100%
平ブロック中心の断面	4.025	0.565	4.59	87.7
枠ブロック中心の断面	3.395	1.195	4.59	74.0
平均	3.710	0.880	4.59	80.8

### 3. 玄手川の地下水の状況

庄川扇状地の扇頂部近辺で降り注いだ降雨は次第に土の中に浸透し地下水となる。この地下水は扇中央部から扇端部にかけて不透水層により上下に

分けられ、一方は不圧地下水として第一帯水層を透過し、他方は被圧地下水として第二帯水層を透過する。玄手川の延長 3,000m の地下には、このような 2 種類の地下水流動が存在する(図-3)。

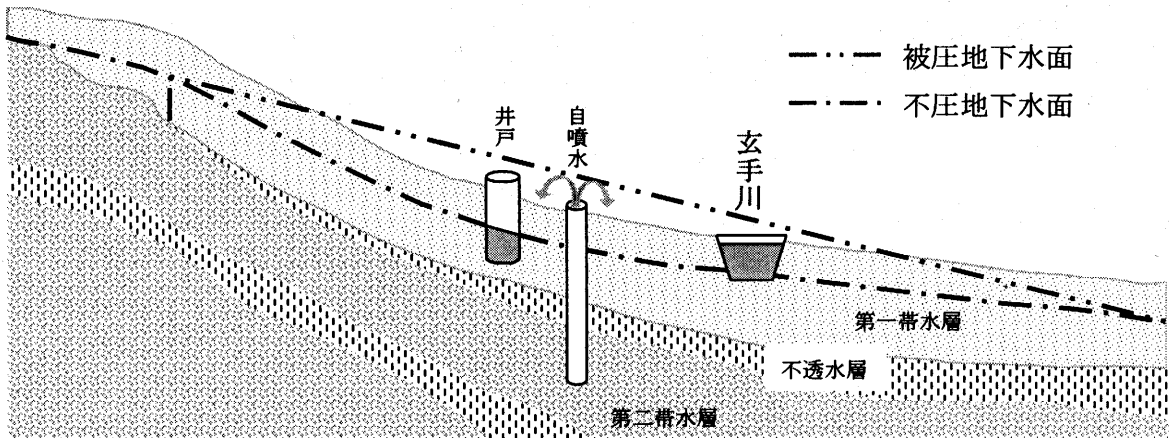


図-3 庄川扇状地の地下水理<sup>3)</sup>  
(原図を一部修正した)

これら 2 種類の地下水のうち不圧地下水は地表近くを流れるため、玄手川の水収支に微妙に影響を与えていると思われる。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。<sup>4)</sup> 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。

### 4. 水収支調査の方法

#### 4.1 路線水収支

玄手川延長 3,000m のうち中流部の直線区間 M1～M3 の 624m で路線水収支調査を行った。この区間の近自然工法による水路底の改修工事は 1997 年か

ら 1998 年にかけて行われた(図-4)。M1、M2、M3 は幅 3.5m の農道橋で、橋上から流量観測が可能である。このうち上流区間(M1～M2)は延長 271m、下流区間(M2～M3)は延長 353m である。現場における流量観測の際の測定誤差は避けられないが、調査区間を M2 で 2 分し、それぞれの区間で水収支結果をチェックすることにより、全体に影響を及ぼす大きな誤差を避けるように努めた。M1～M3 間に分水はなく、流入する 16 本の支線はすべて農業排水と生活排水である。また、M1 と M3 下流の木津用水堰にデータロガーを設置し、水位・水温・水質・気温・雨量を測定した。水収支調査は定常状態を考慮し、原則として連続無降雨日が 2 日以上になる日に行った。測水ヶ所は本川観測 3 ヶ所と支線観測 16 ヶ所であるが、これらの観測を 2 時間以内で行った。観測結果を整理し、下記の水収支式(1)により M1～M2 間の浸漏量  $S1m^3/s$  を、水収支式(2)により M2～M3 間の浸漏量  $S2m^3/s$  を推定した。

$$S_1 = M_2 - M_1 - (R_1 + L_1 + L_2 + R_2 + L_3) \quad (1)$$

ここで  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  : 本川流量 ( $m^3/s$ )

$L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  : 左岸支線流入量 ( $m^3/s$ )

$$S_2 = M_3 - M_2 - (R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_{13}) \quad (2)$$

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$ 、 $R_8$ 、 $R_9$ 、 $R_{10}$ 、

$R_{11}$ 、 $R_{12}$ 、 $R_{13}$  : 右岸支線流入量 ( $m^3/s$ )

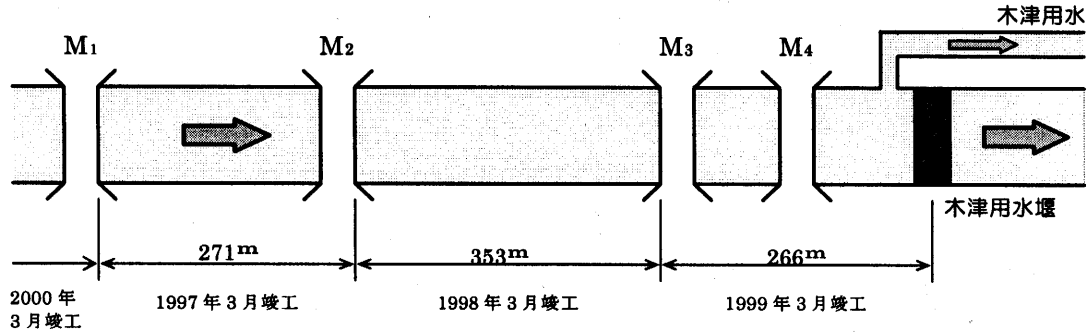
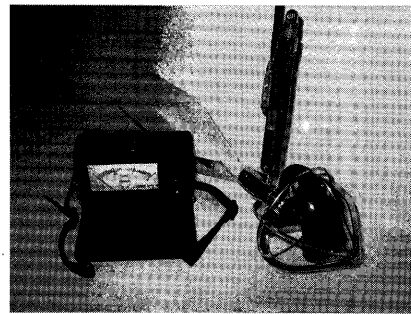


図-4 調査区間

#### 4.2 本川流量観測

本川流量は3ヶ所( $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ )で観測を行った。図-5は、玄手川の本川( $M_1$ )の流量観測断面図である。①は水面から80%の深さの点、②は水面から20%の深さの点である。観測点①、②の流速を平均することによりA~G各断面の平均流速を求め、断面積との積によって流量を求めた。使用した流速計は株式会社東邦電探の広井式電気流速計CM-1BN型で、直接計器上にアナログ方式で表示される構造をもったもので、その測定範囲は0.03~3.0m/sである。



本川で用いた流速計

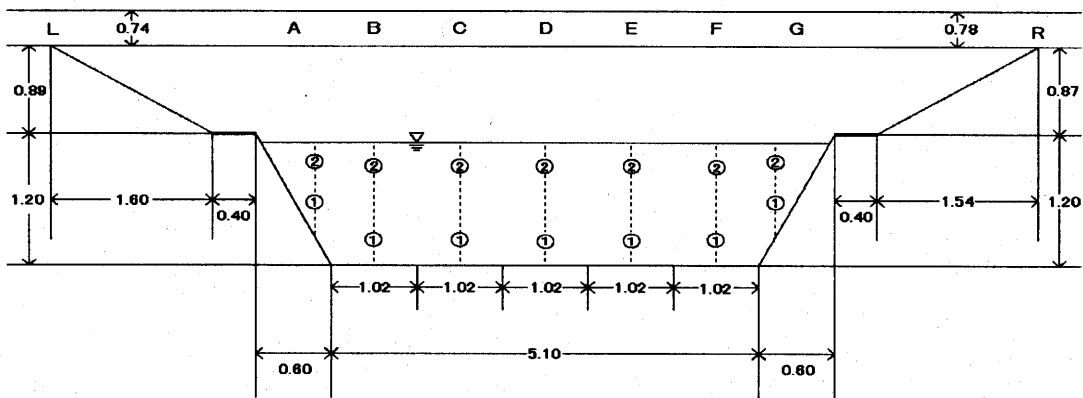


図-5 玄手川本川( $M_1$ )流量観測点

### 4.3 支線流量観測

#### ① 流速計による方法

支川流量観測は本川流量観測よりも流量規模が小さいので、広井式流速計による1点法で行った。

水面から60%の深さの点で流速を観測して、断面積との積によって流量を求めた。観測の際に使用する機器は三映測量器株式会社の広井式電気流速計を使用した。スクリーンの毎秒の回転数  $n$  と流速  $V$  との間に

$$V = 0.131n + 0.014 \quad (3)$$

が成り立つものとし、0.131及び0.014は実験により求められた本器機の固有の定数である。なお、 $n$ の値は一般に  $m$ 回転に要する秒数  $t$  をストップウォッチで測ることによって  $n = m/t$  より計算さ

れる。玄手川では通常10回目のブザー音を聞くのに要する時間  $t$  を求め

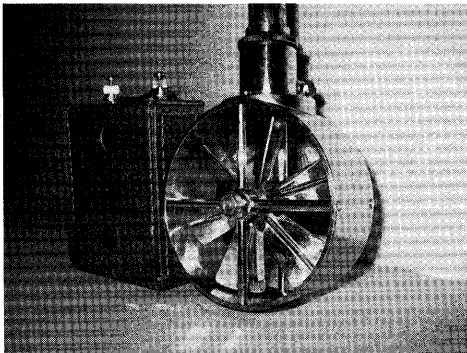
$$n = 100/t \quad (4)$$

として流速  $V$  を求めた。

#### ② バケツによる方法

流速計で観測困難なパイプによる流入箇所については、バケツで流量観測を行なった。バケツへの流入量  $W$  と流入に要する秒数  $t$  を測定して流入量  $Q \text{ m}^3/\text{s}$  を求めた。

$$Q = W/1000/t \quad (5)$$



支川で用いた流速計

### 5. 水収支結果

玄手川の水収支調査は1995～2002年にかけて月に1～2回の頻度で計100回行った。

#### 5.1 本川(M1)流量分布

100回行った本川(M1)流量観測結果を流量規模別に分けて度数分布をみたものが図-6である。本川(M1)流量は主に  $0.8 \sim 1.8 \text{ m}^3/\text{s}$  に分布している。

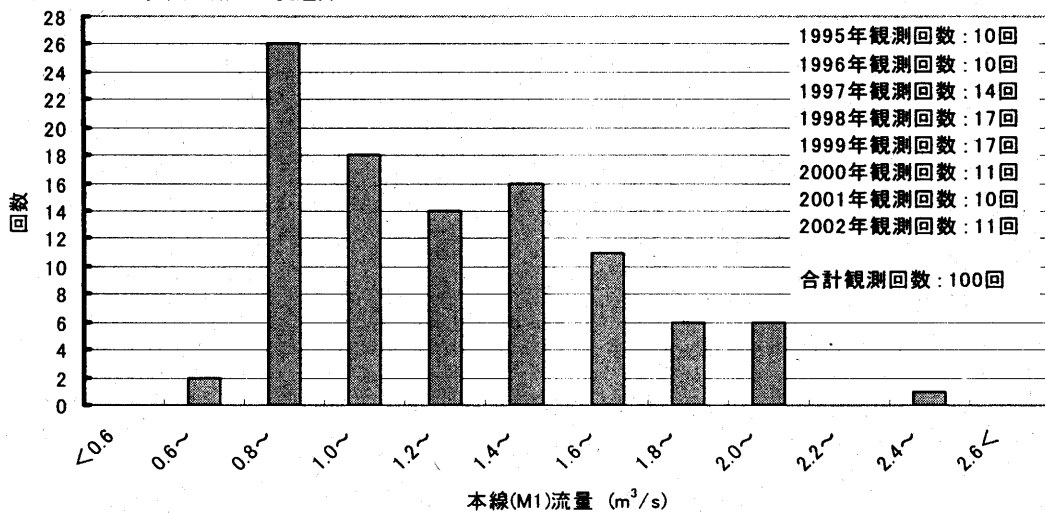


図-6 本川(M1)流量分布

100回の平均流量は1.323m<sup>3</sup>/sであった。

として整理した。さらに水収支の経年変化を検討しやすくするため、同一年の観測値を平均してその年の代表値として整理したものを表-3に示す。

5.2 水収支結果

調査区間全体(M1~M3)の浸漏量は  $S = S1 + S2$

表-3 水収支の結果

M1~M3=624m 単位：m<sup>3</sup>/s

年	観測回数	本線流量 (M1)	全体流入量 (B)	浸漏量 (S)	本線流量 (M3)
1995	10	1.442	0.100	0.153	1.695
1996	10	1.263	0.132	0.060	1.455
1997	14	1.549	0.116	-0.018	1.648
1998	17	1.528	0.101	-0.051	1.577
1999	17	1.006	0.116	0.003	1.125
2000	11	1.121	0.141	0.116	1.379
2001	10	1.355	0.114	0.074	1.544
2002	11	1.328	0.093	0.092	1.513
合計/平均	100	1.323	0.113	0.041	1.477

数値は各年の観測平均値である

つぎに各年の水収支結果と工事施工の関係を図7として経年変化をみたのが図-7である。浸漏量Sは施工前後にわたり2次関数的な変化を見せている。すなわち、施工前の1995,1996年は湧水、施

工中の1997,1998年は漏水傾向、施工後の2000年以降は再び湧水に戻り、その後は施工前と同様な安定した湧水が見られることがわかる。

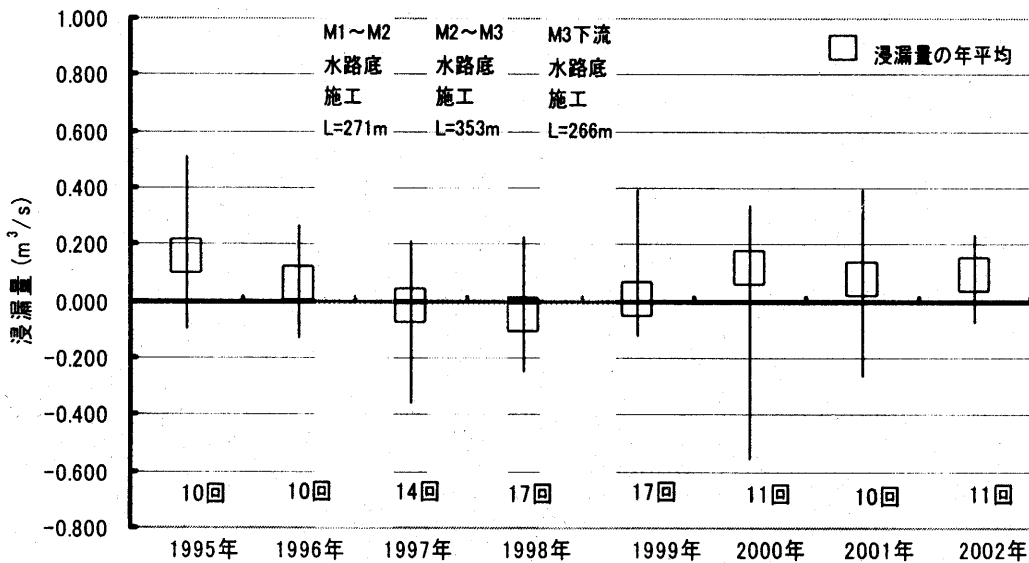


図-7 水収支の変化

水収支区間 M1~M3=624m

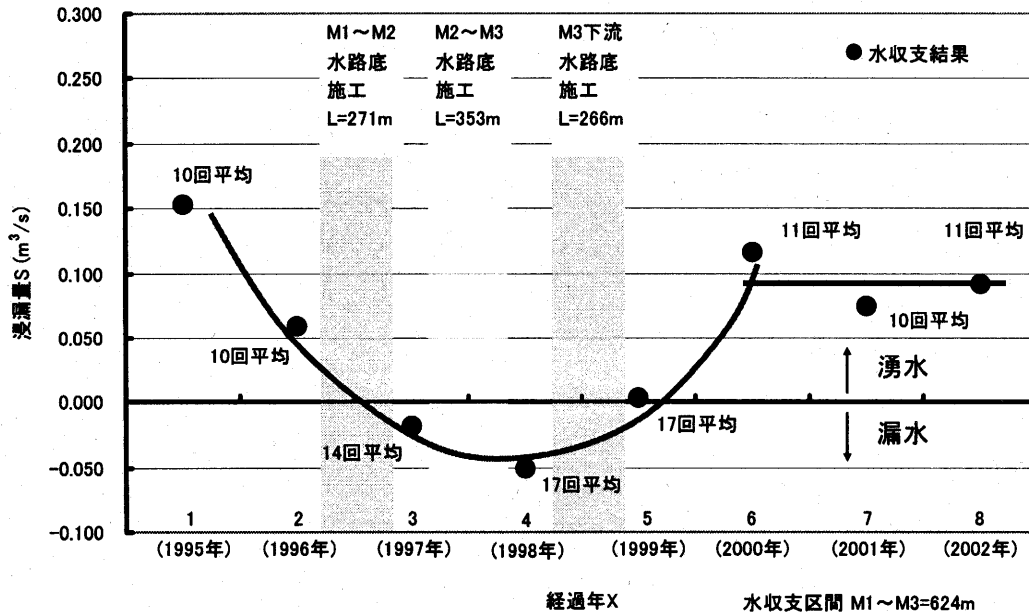


図-8 浸漏量の変化

図-8において曲線は、1995～2000年の水収支結果の一連の変化を近似曲線(6)で示したものであり、直線(7)は、2000～2002年における水収支結果の平均を示したものである。

1995～2000年まで

$$\text{近似曲線} : S = 0.0279x^2 - 0.206x + 0.343 \quad (6)$$

ここで、S : M1～M3間の浸漏量(m³/s)

x : 経過年 1(1995年), 2(1996年),

3(1997年), …

決定係数 :  $R^2 = 0.97$

2000～2002年まで

$$\text{近似直線} : S = 0.094 \quad (7)$$

## 6. 分析と考察

### 6.1 水収支の特徴

計 100 回行った水収支調査の結果、浸漏量の平均が  $0.041\text{m}^3/\text{s}$  であることから、この水路自体は流出浸漏のみられる得水河川<sup>5)</sup>であるといえる。

水収支の経年変化を見ると、施工前の 1995, 1996 年は湧水の傾向を示すが、施工中の 1997, 1998 年は漏水傾向、2000 年以降は安定して湧水が発生していることがわかり、この間の変化を  $S = f(x)$  の型の精度の高い近似曲線で表すことができた。さらに、2000 年以降の安定した湧水の発生量は、延長 624m で  $S = 0.095\text{m}^3/\text{s}$  であることより、1km あたり  $0.15\text{m}^3/\text{s}$  と推定できる。

### 6.2 水収支の経年変化と要因

このような得水河川としての水収支の経年変化を近自然水路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密されたことによる透水係数の減少のため、施工前にみられた湧水量が施工中は大きく減少する。施工後は通水による水路底の基盤の膨潤化と、施工前は土であった部分が、コンクリートブロックを布設するための敷均し土砂や、枠ブロックの中の詰石への置換効果の発現による

透水係数の増大により、一時減少した湧水量が施工前の状態に戻ったと考えられる。

### 6.3 結論

玄手川の近自然工法は、排水を容易にするための維持管理作業の効率化と自然生態系の保全を目指したものである。しかし、その施工により従来からの湧水が影響を受けないか危惧されたが、調査の結果、施工後は湧水が復旧し、結果としてほとんど従前の流出浸漏が影響を受けなかったといえる。したがってこの近自然工法は、湧水のみられる扇端部において、湧水を妨げることなく十分

利用可能な工法であるといえる。

### 引用文献

- 1) 富山県生活環境部: 富山県の絶滅のおそれのある野生生物, p.87(2002)
- 2) 北陸農政局: 環境変化追跡調査総合報告書—富山県高岡地区一, pp.8~22 (1999)
- 3) 庄川下流域地下水利用対策協議会: 庄川扇状地の地下水について, p.1(1979)
- 4) 高橋裕: 河川工学, p.66(1990)
- 5) 建設省水文グループ: 改訂新版最新地下水学, p.5(1978)

## Effect of an Eco-friendly Rehabilitation of a Channel on the Water Balance

Shin-ichi HIROSE, Susumu OKADA \*

Department of Environmental Systems Engineering, College of Technology

\*Kengi Inc.,

### Summary

The Gente river, 3km in length and with a 5.1m-wide bottom, is a drainage channel for the farming area on either side of it. For rehabilitation of its weeds-rampant soil riverbed, an eco-friendly construction design was adopted for the dual benefit of facilitating waterweeds control and minimizing damage to aquatic life. Specifically, in constructions sectionally implemented over several consecutive years, 80% of its soil bottom was lined alternately with flat blocks and cobble-filled blocks. The water flow of the Gente river is used for the irrigation at the paddies along the lower part of the river. Therefore even after the completion of the rehabilitation the effluent seepage into the channel should be kept just as before the rehabilitation.

This study was aimed at tracking how the water balances fared after the rehabilitation of the channel. We conducted a seven-year survey of the water balances in a 624m-long middle reach M1~M3 of the channel. The hundred times observation showed that this construction design did not give bad mischief on the water balances.

**Key words:** eco-friendly channel design, water balance, effluent seepage, cobble-filled frame block, free water.