

## 8. 番匠川流域での地下水解析

### 8.1. 資料収集

解析範囲は以下を考慮して決定する。

- ・ 観測水位または堰を境界条件とする
- ・ 番匠橋付近までは、浅層と深層帯水層は一つの不圧帯水層と考えられるが、番匠橋より下流で不圧帯水層と被圧帯水層に分かれる。
- ・ 佐伯市の上岡揚水井により地下水が塩水化しており、下流域の地下水流動は複雑となる。
- ・ 同時流量観測によると山梨子橋付近で伏流し、番匠橋下流付近で流出している。

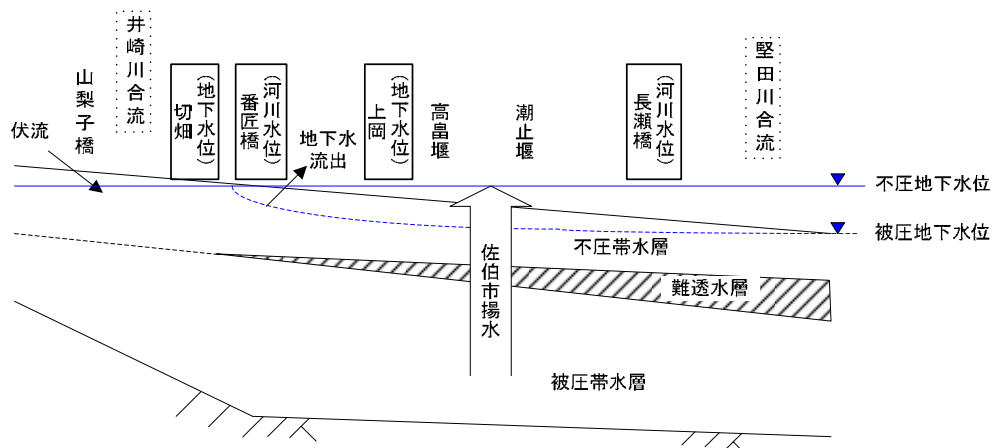


図 8-1 番匠川中流～下流模式図

これらから、地下水解析範囲を図 8-2 のように設定する。なお、下流端境界条件としては、塩水の浸入が見られるため、上流からの淡水の流れは塩水でせき止められるとして、流出入なしとする。

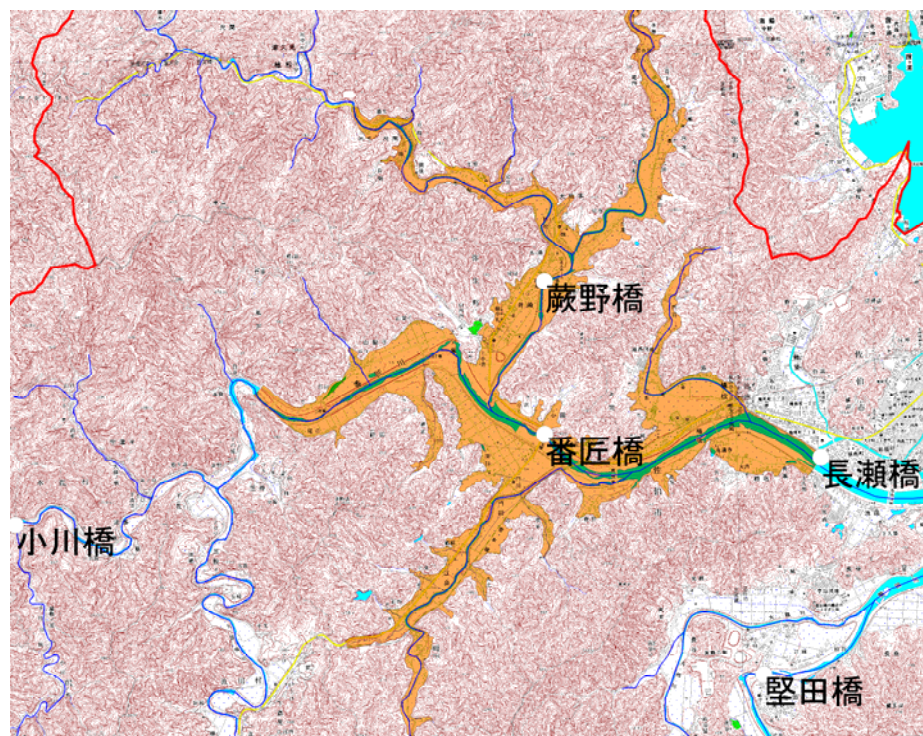


図 8-2 地下水解析範囲(オレンジ部分)

1) 収集資料概要

収集した資料の概要を表 8-1 に示す。

表 8-1 収集資料(その1)

分類	データ	出所	地点, 期間等
時系列 データ	雨量(日)	佐伯河川国道事務所	因尾・・・S52～H16 佐伯・・・S52～H16 宇藤木・・・S52～H16 直川・・・S52～H16 青山・・・S52～H16
	雨量(時)	アメダス(気象庁)	佐伯・・・S52～H16
	気温	アメダス(気象庁)	佐伯・・・S52.3～H16
	河川水位(日)	佐伯河川国道事務所	小川橋・・・S53～H16 白山・・・S52～S57, S63～H16 番匠橋・・・S52～H16 長瀬橋・・・S52～S54, H3～H16 灘・・・S52～S54, S56～H16 間庭橋・・・S52～H16 蕨野橋・・・S52～H16 堅田橋・・・S52～H16
	河川流量(日)	佐伯河川国道事務所	小川橋・・・S57～H15 番匠橋・・・S52～H15(ただし S62 除) 間庭橋・・・S57～H15 蕨野橋・・・H6～H15 堅田橋・・・S55～H15
	地下水位(日)	佐伯河川国道事務所	切畑(浅, 深)・・・S53～H16 上岡(浅, 深)・・・S56～H16
	地下水位(月)	番匠川水資源保全及び活用計画 検討業務報告書 H10.3 (佐伯河川国道事務所)	佐伯市上岡取水井戸(第1～第9) ・・・S56～H8

	地下水揚水量	佐伯河川国道事務所	佐伯市上岡浄水場・・・S61～H8 およびH13～H16
	ダム流入・放流量・貯水位	佐伯河川国道事務所	床木ダム・・・S63～H16

表 8-2 収集資料(その2)

分類	データ	出所	地点, 期間等
流域 データ	行政界	数値地図 25000(行政界・海岸線) (国土地理院)	佐伯市(佐伯市および周辺 8 町 村は H17.3 合併)
	標高	50m メッシュ標高(国土地理院)	番匠川流域内
	土地利用	国土数値情報 土地利用メッシュ (国土交通省)	番匠川流域内
	不浸透域 (道路・鉄道)	数値地図 25000 (空間データ基盤)	番匠川流域内
河川 データ	河川縦・横断図	佐伯河川国道事務所	-1k～19k (0.2k ピッチ)・・・H14 S57, S62, H5, H9, H14 重ね合わせ 図
	河川平面図	佐伯河川国道事務所	
	河川構造物	佐伯河川国道事務所	固定堰・床止台帳(直轄区間)
	取水量	正常流量検討資料 (佐伯河川国道事務所)	直轄区間および指定区間
	還元量(排水量)	佐伯河川国道事務所	
	同時流量観測	佐伯河川国道事務所	山梨子橋～榎野・・・S52～H4
	旧河道状況	九州地方の古地理に関する調査(九 州地方整備局)	番匠川水系
水理 地質 データ	帯水層構造	番匠川水資源保全及び活用計画検 討業務報告書 H10.3 (佐伯河川国道事務所)	

## 2) 時系列データ

### (1)雨量

雨量データについては、アメダス佐伯の時間データおよび国土交通省観測地点での日データを収集・整理した。各観測所の年雨量を表 8-3 および図 8-3 に示す。また、各観測所間の日雨量の相関関係について表 8-4 に示した。表より、国土交通省の観測所間の相関は高いことがわかる。アメダス観測所との相関については、全年で見ると低くなっているが、各年の相関を見ると 1996 年を境に相関が良くなっている(表 8-5)。これは、1996 年から日雨量算出の日界が 0 時になったため、それ以前は 9 時であったためと考えられる(アメダス日雨量の算出は、全年、0 時)。

解析では、国土交通省観測の 5 地点で流域をテーゼン分割し、それぞれの観測地点の時間雨量として次式で変換した値を用いることとする。

$$(\text{国土交通省各観測地点の時間雨量データ}) = a \times (\text{アメダス時間雨量データ}) + b$$

ただし、係数 a と b は、1996 年～2004 年の日雨量関係から得られた平均値



図 8-3 雨量観測地点

表 8-3 各観測所の年雨量

地点 年	因尾	佐伯	宇藤木	直川	青山	アメダス佐伯
1977	1851.4	1902	2097.4	1876	2252.6	1865
1978	1544.4	1577.4	1657.2	1803.2	1874.4	1494
1979	2458.3	2581.9	2761.8	2989.4	3078.6	2311
1980	2241.9	2994.6	3263.1	3023.5	3009.8	2782
1981	1596	1741	1512.6	1612.8	1748.9	1570
1982	2582.7	2613.9	2751.4	2621.1	3307.6	2454
1983	1611.9	2070.5	1871.3	1806.1	2227.1	1875
1984	1706.3	2018.8	1788.6	1940.7	2382.7	1718
1985	2042.9	1981.5	1971.2	1999.4	2437.723	1810
1986	1529.4	1800.7	1463.2	1583.2	1872	1565
1987	2296	2184	2405.2	2300.5	2741.2	2136
1988	1719.9	1706	1782.2	1743.7	2159.8	1622
1989	2153.4	2407	2176.6	2414	2713.1	2305
1990	2247.4	2526	2311	2672.1	2798.8	2424
1991	2269.2	2126	2529.8	2362.7	2532.6	2126
1992	1925.4	1897	2148.7	2276.7	2668.3	1848
1993	3146.5	3184	2998.5	3344	3420.5	3068
1994	1244.5	1252	1300.5	1324	1512.5	1221
1995	1681	1726	1675.5	1562	1847.5	1626
1996	1585	1488	1702	1509	1622	1412
1997	2124	1822	2199	2001	2037	1755
1998	2486	2419	2472	2453	2771	2400
1999	3269	3020	3255	3199	3604	2548
2000	1840	1906	2212	2051	2215	1872
2001	1776	2032	1888	2003	2193	2108
2002	1933	1519	2078	1856	1691	1595
2003	2551	3051	2699	2934	3293	2777
2004	3202	2816	3231	3292	3229	2747

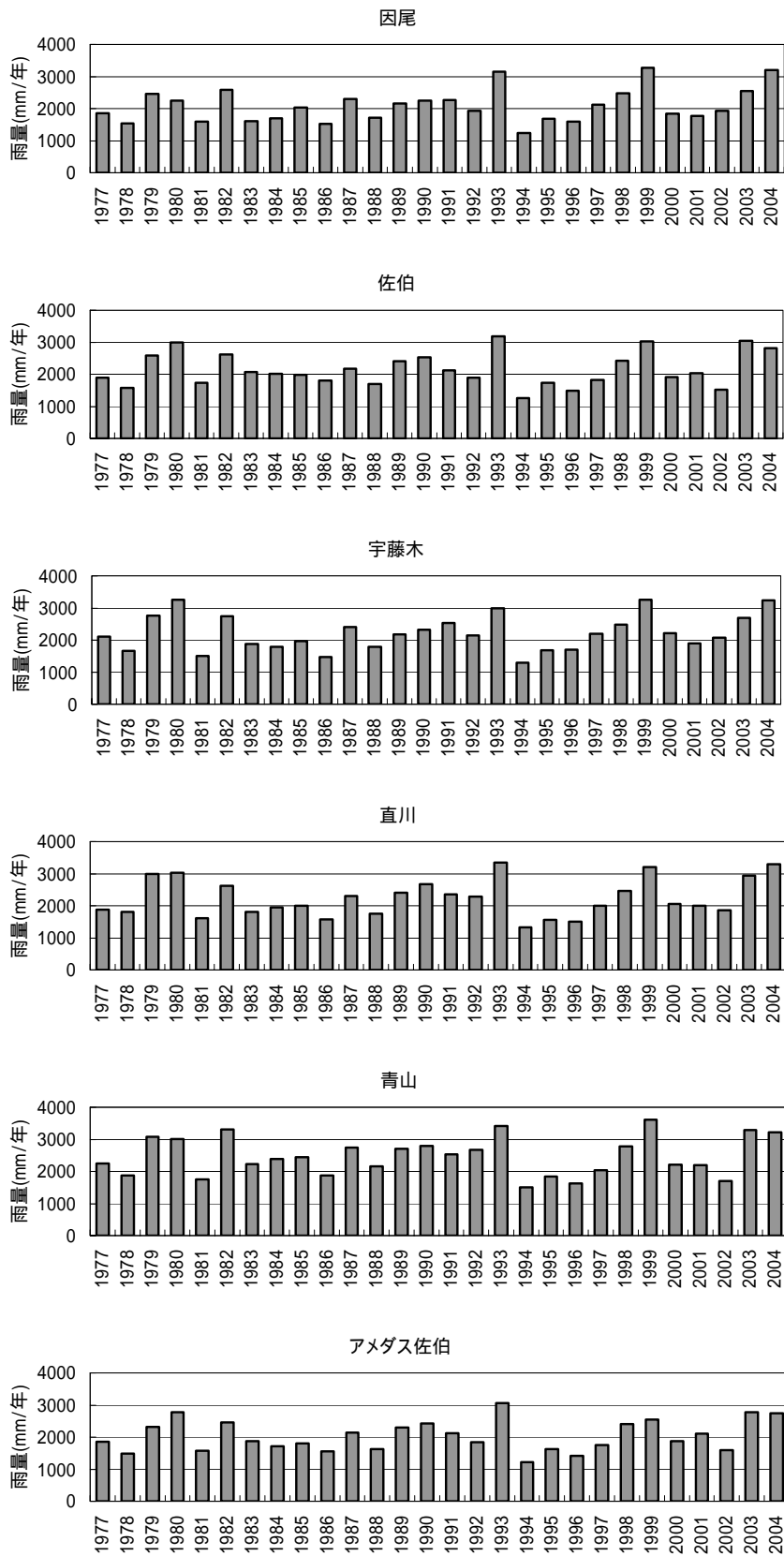


図 8-4 年雨量

表 8-4 各観測所間の相関係数(1977～2004)

	因尾	佐伯	宇藤木	直川	青山	アメダス佐伯
因尾	1.00					
佐伯	0.86	1.00				
宇藤木	0.93	0.88	1.00			
直川	0.93	0.92	0.92	1.00		
青山	0.85	0.94	0.87	0.91	1.00	
アメダス佐伯	0.75	0.81	0.76	0.78	0.78	1.00

表 8-5 アメダス佐伯と各観測所の年別相関係数

年	因尾	佐伯	宇藤木	直川	青山
1977	0.60	0.67	0.61	0.57	0.64
1978	0.71	0.77	0.73	0.74	0.72
1979	0.77	0.80	0.75	0.81	0.83
1980	0.58	0.65	0.62	0.62	0.64
1981	0.60	0.47	0.73	0.52	0.48
1982	0.60	0.75	0.71	0.68	0.72
1983	0.66	0.76	0.68	0.75	0.79
1984	0.53	0.66	0.53	0.58	0.61
1985	0.73	0.81	0.65	0.78	0.77
1986	0.56	0.62	0.55	0.52	0.54
1987	0.68	0.78	0.79	0.77	0.79
1988	0.83	0.88	0.83	0.77	0.83
1989	0.64	0.71	0.63	0.72	0.65
1990	0.72	0.76	0.76	0.73	0.63
1991	0.74	0.78	0.73	0.78	0.72
1992	0.72	0.76	0.73	0.68	0.67
1993	0.81	0.76	0.75	0.77	0.81
1994	0.62	0.67	0.65	0.56	0.57
1995	0.70	0.74	0.71	0.71	0.73
1996	0.90	0.99	0.92	0.93	0.94
1997	0.96	1.00	0.94	0.97	0.97
1998	0.91	0.99	0.89	0.92	0.97
1999	0.80	0.85	0.81	0.83	0.89
2000	0.85	0.99	0.78	0.90	0.93
2001	0.93	0.99	0.95	0.93	0.96
2002	0.75	1.00	0.78	0.81	0.91
2003	0.84	0.90	0.85	0.85	0.87
2004	0.94	1.00	0.96	0.97	0.97

表 8-6 変換係数

係数	因尾	佐伯	宇藤木	直川	青山
a	1.047	1.024	0.975	1.033	1.087
b	0.569	0.122	0.657	0.433	0.515

(2) 気温

気温は、アメダス佐伯の日気温データを用いる。

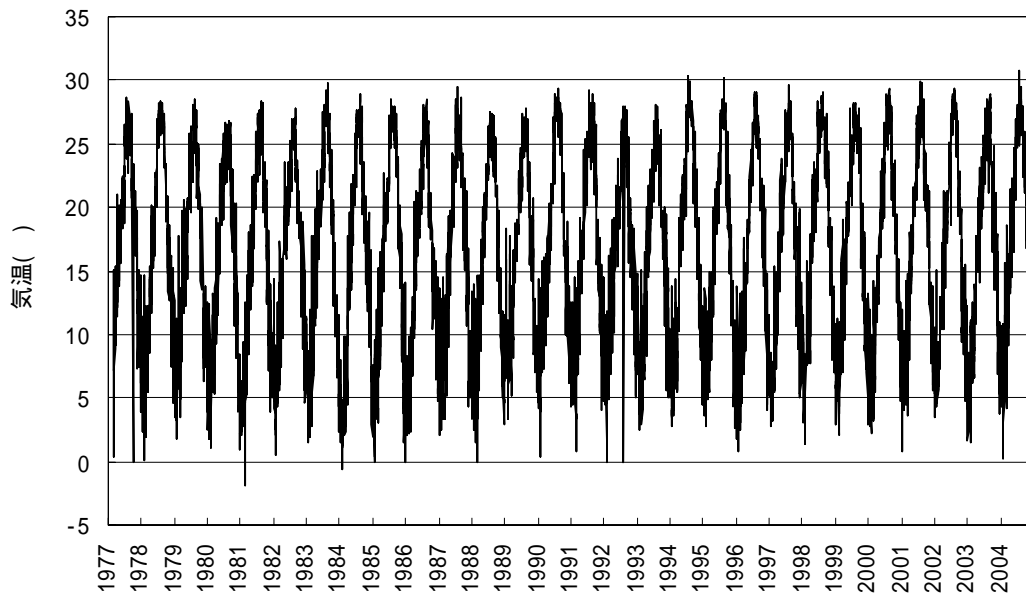


図 8-5 日平均気温 (アメダス佐伯)

(3) 河川水位

流域内の水位観測所 8 箇所について、日水位データを整理した。



図 8-6 水位観測所



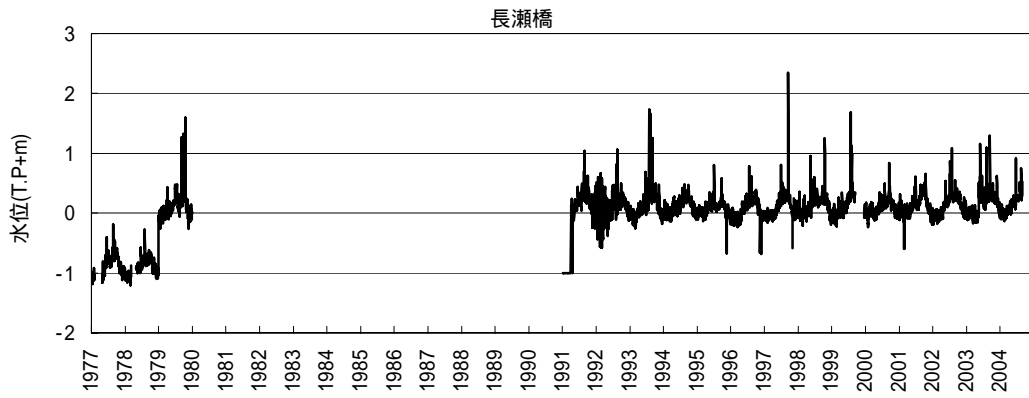
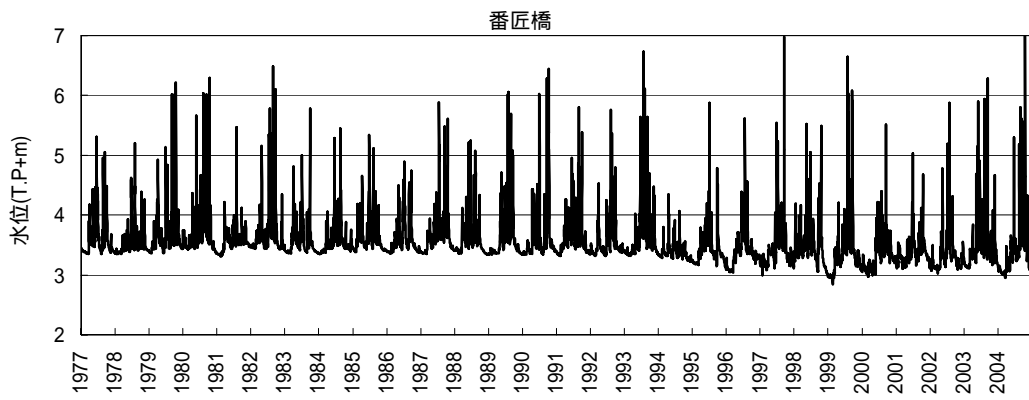
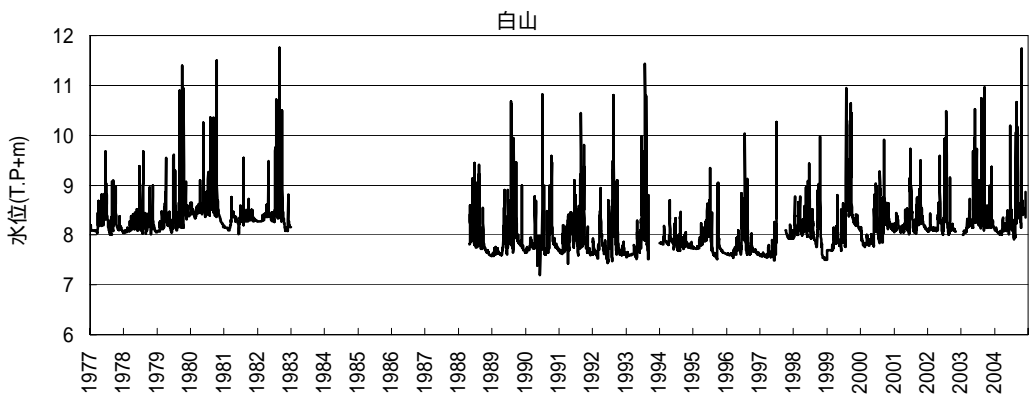
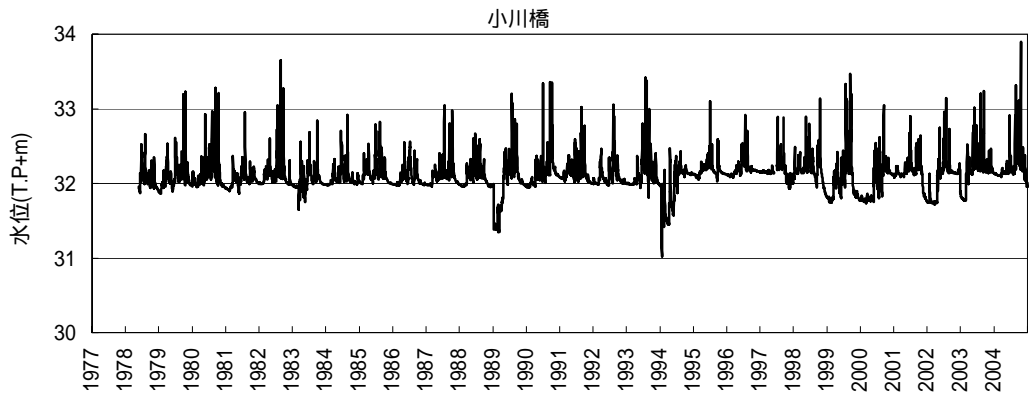


図 8-7 河川水位(その1)

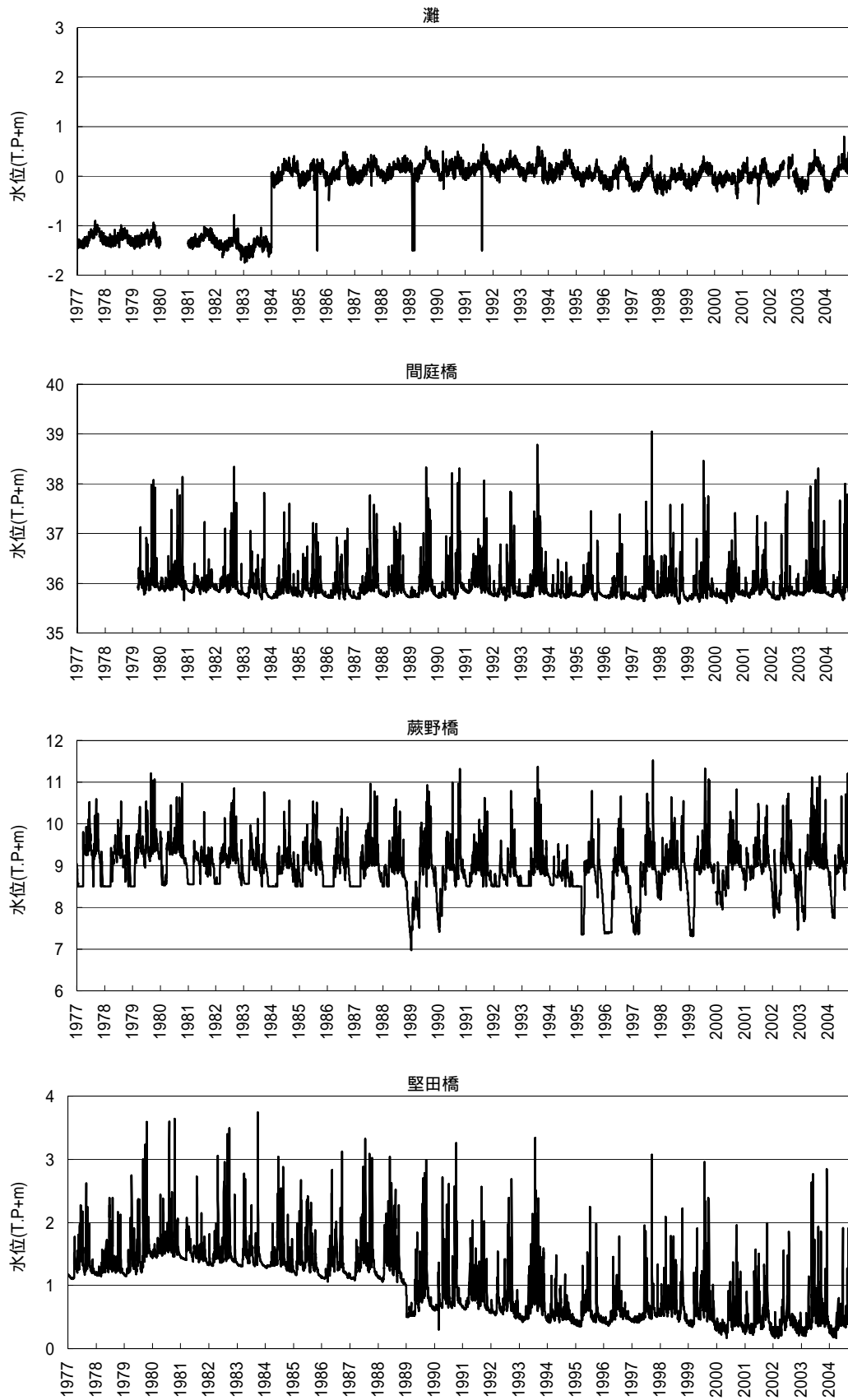


図 8-8 河川水位(その2)

#### (4)河川流量

河川流量は、流域内の5箇所の日流量を収集整理した。

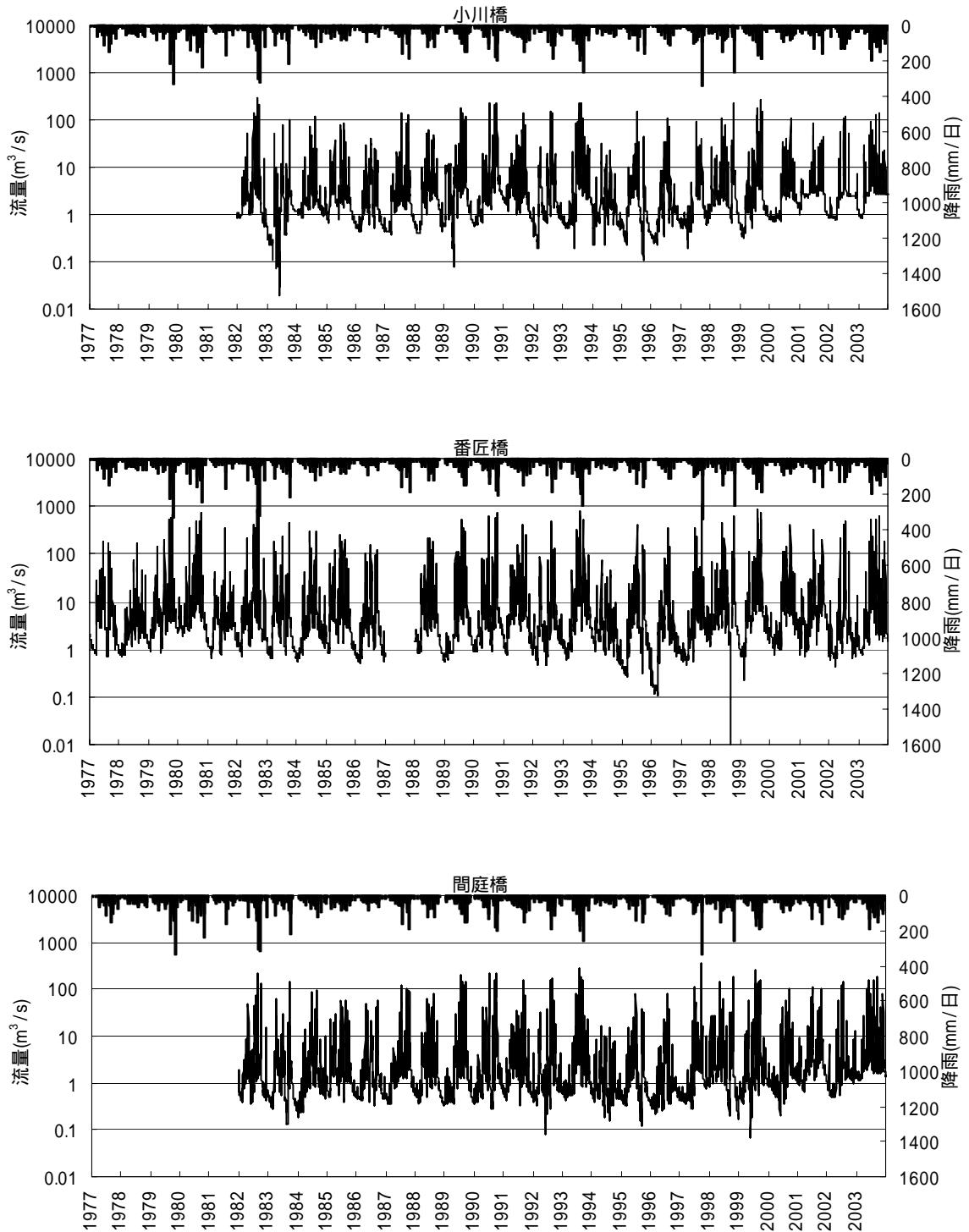


図 8-9 日流量ハイドロ(その1)

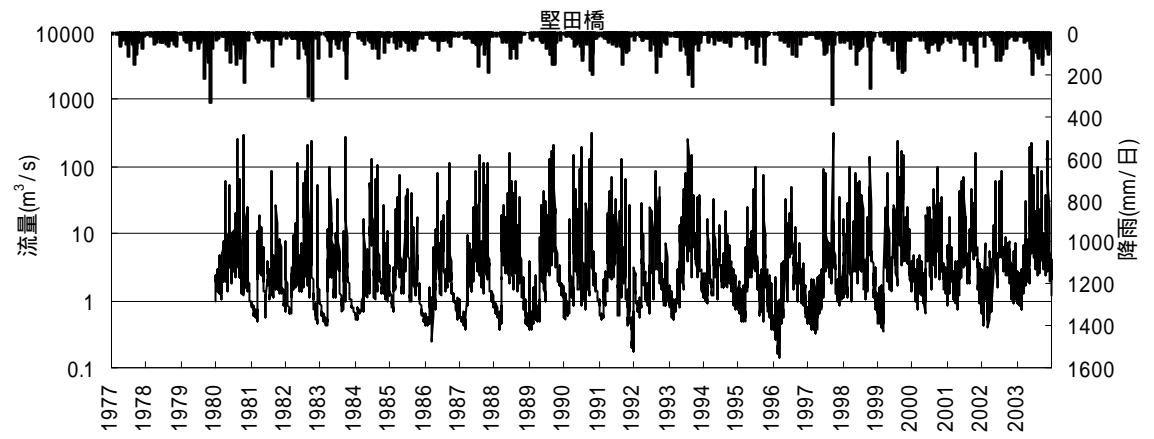
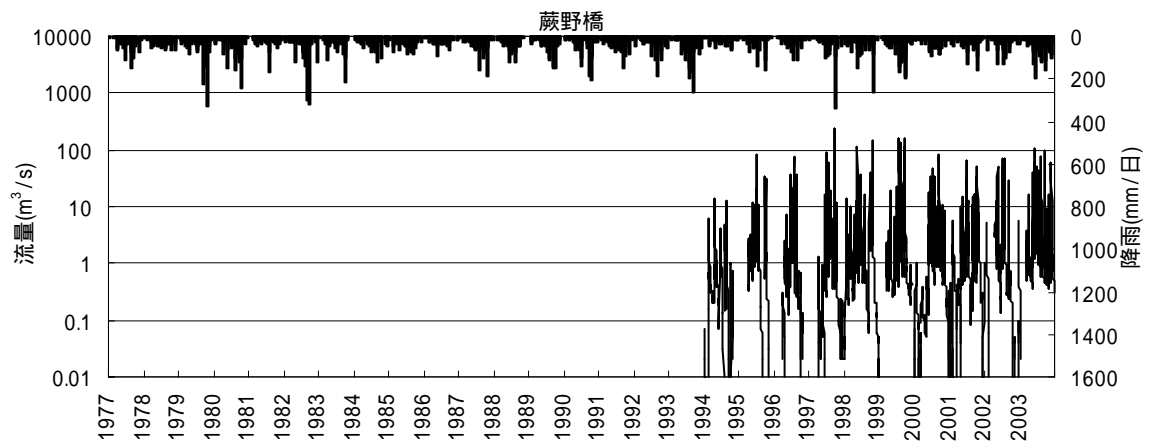


図 8-10 日流量ハイドロ(その2)

(5)地下水位

国土交通省の地下水観測所 2 箇所の日地下水位および佐伯市上岡揚水井の地下水位（ポンプ運転水位，自然水位）のデータを収集，整理した．上岡揚水井の地下水位(運転水位)は，月 1～2 回程度計測されているものであり，月平均値ではない．



図 8-11 地下水観測位置(国土交通省)

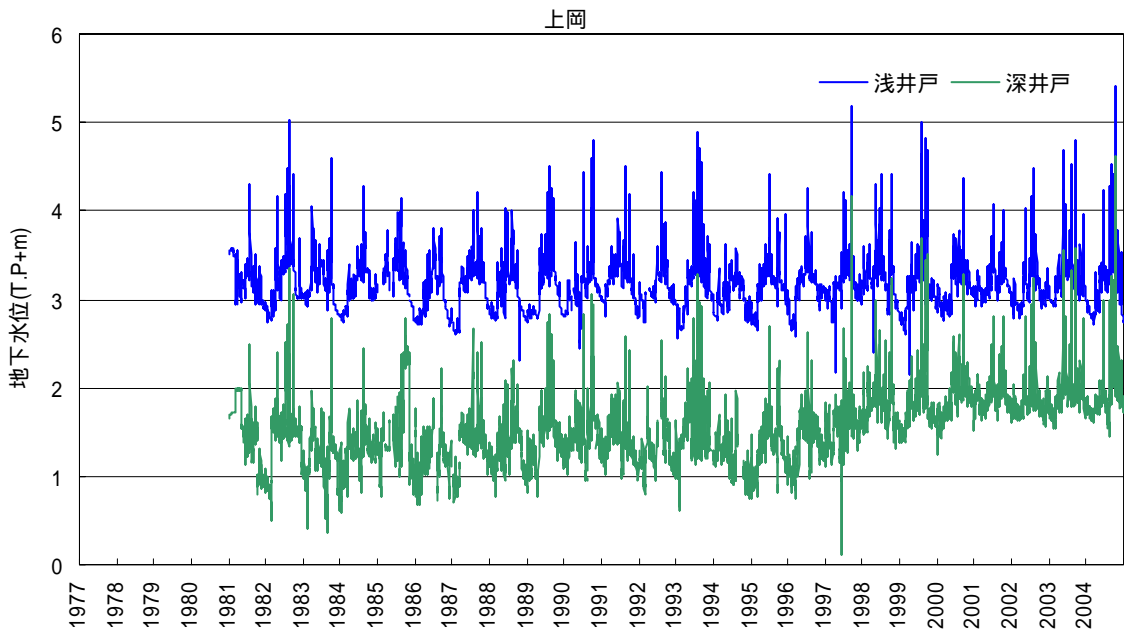
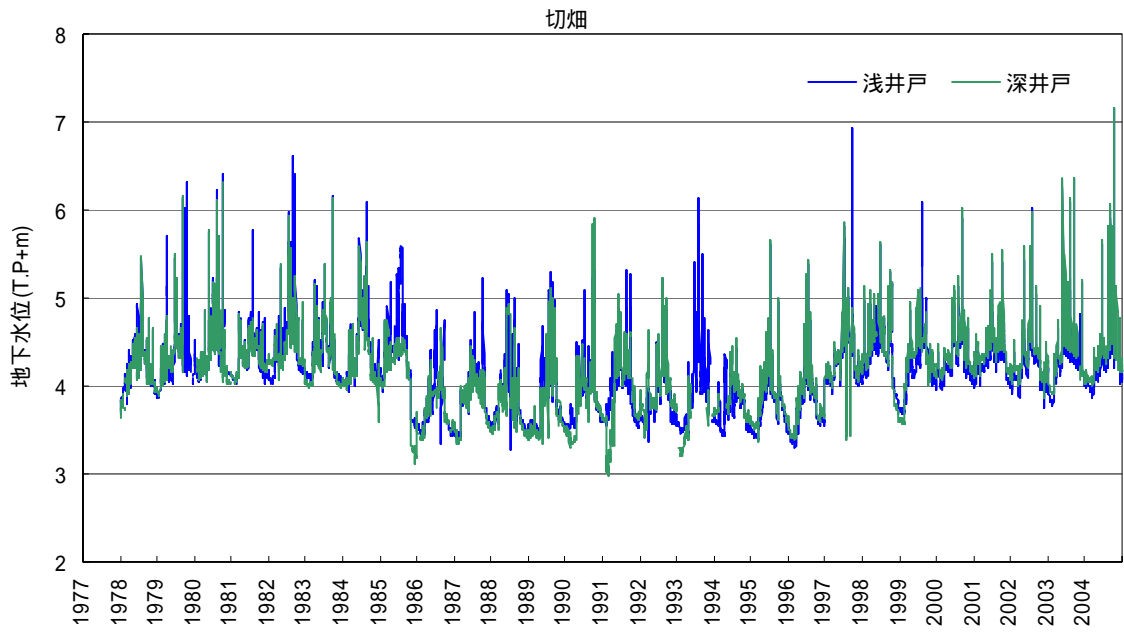


图 8-12 地下水水位 (国土交通省)

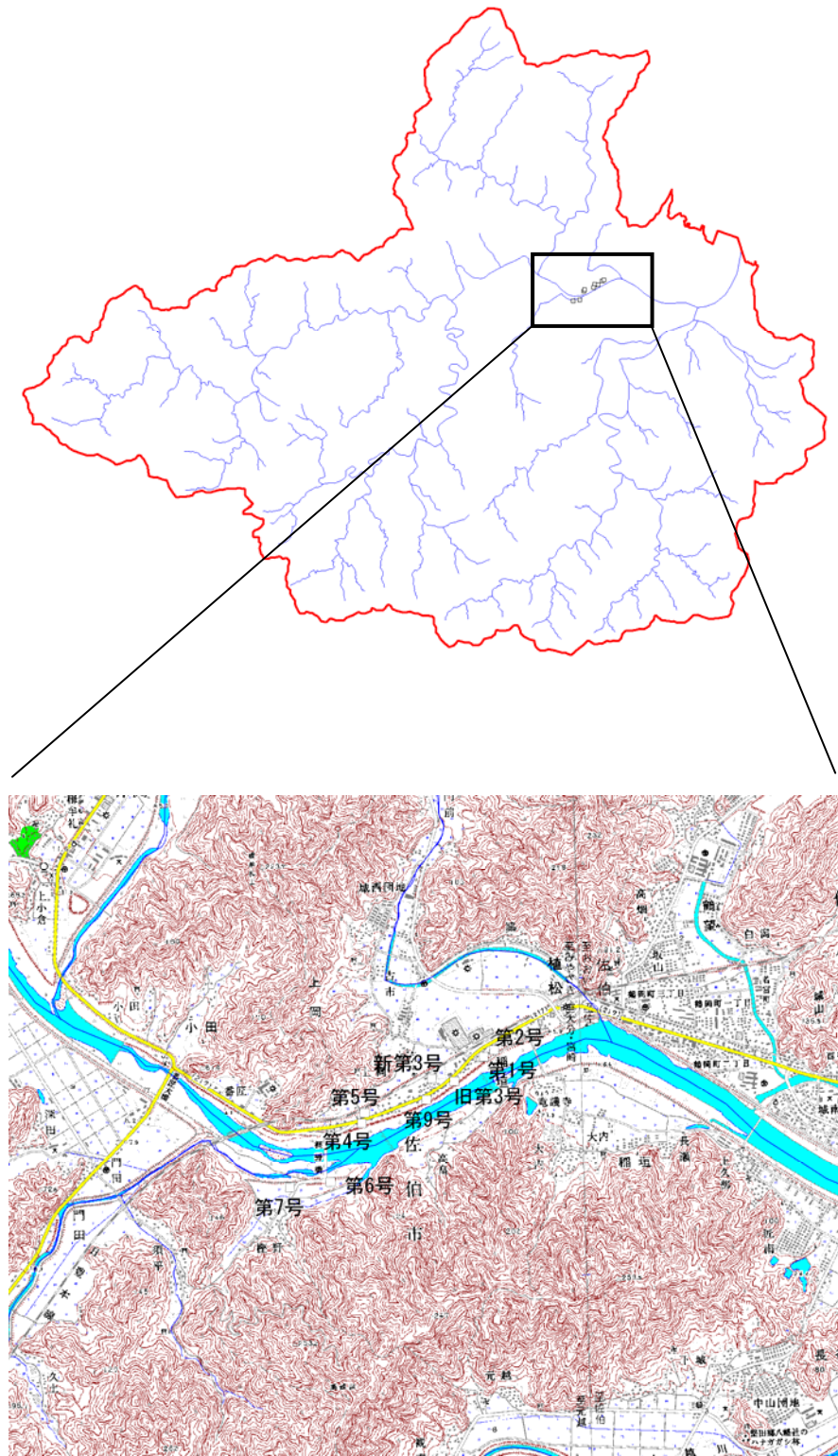


图 8-13 佐伯市上岡揚水井位置

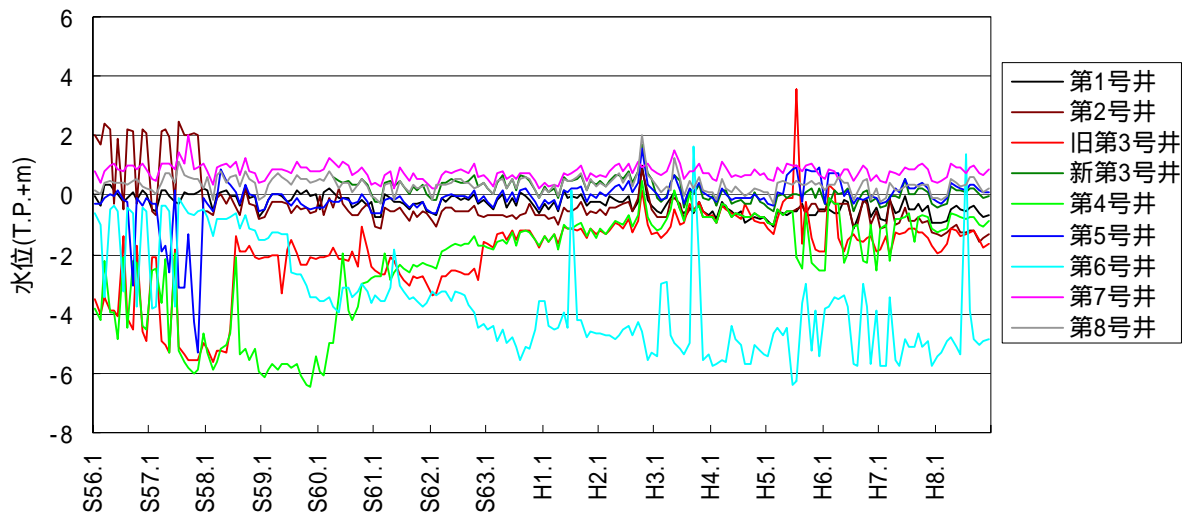


図 8-14 上岡揚水井の地下水位

(6)地下水揚水量

S61～H8 までは、佐伯市揚水井ごとの揚水量データはなく、各揚水井が接続されている第1～第3 浄水池への送水量データのみである。各浄水池への揚水井の接続状況は以下の通りである。図 8-15 に浄水場ごとの揚水量を示す。

- 第1浄水場 …… 1, 2, 新3, 旧3 号
- 第2浄水場 …… 6, 7, 9 号
- 第3浄水場 …… 4, 5 号

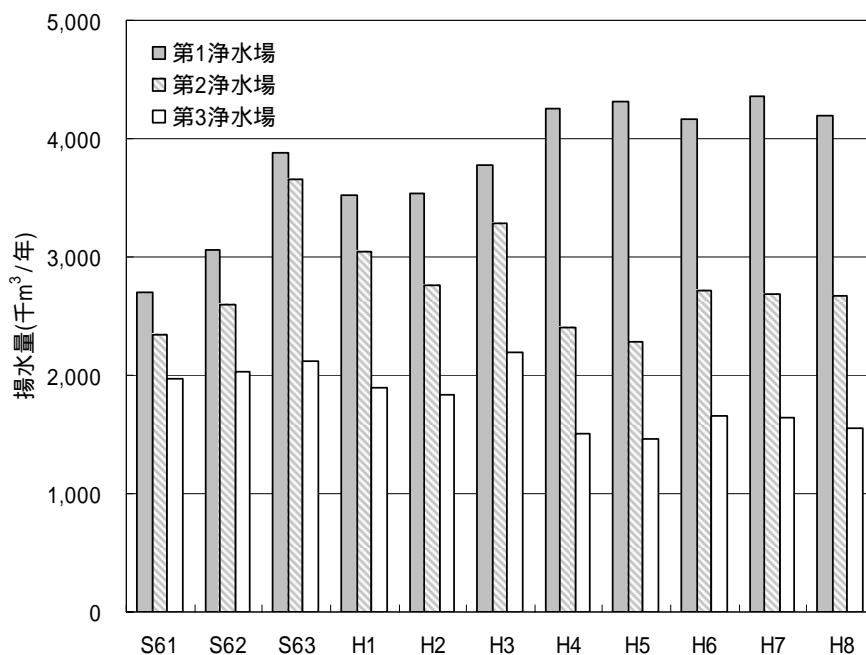


図 8-15 浄水場ごとの揚水量(S61～H8)



また、揚水量データが入手できた S61～H8 および H13～H16 の揚水量の合計を図 8-16 に示す。図より、経年的にはほぼ一定の揚水量と見られる。

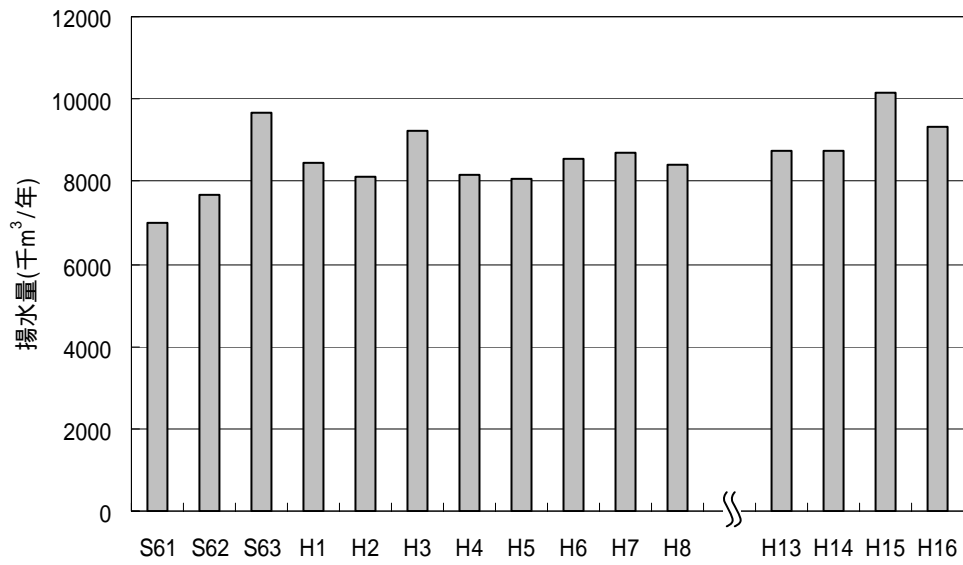


図 8-16 佐伯市の揚水量合計

(7)ダム貯水位・流入量・放流量

床木ダムについて、貯水位、流入量、放流を収集・整理した。

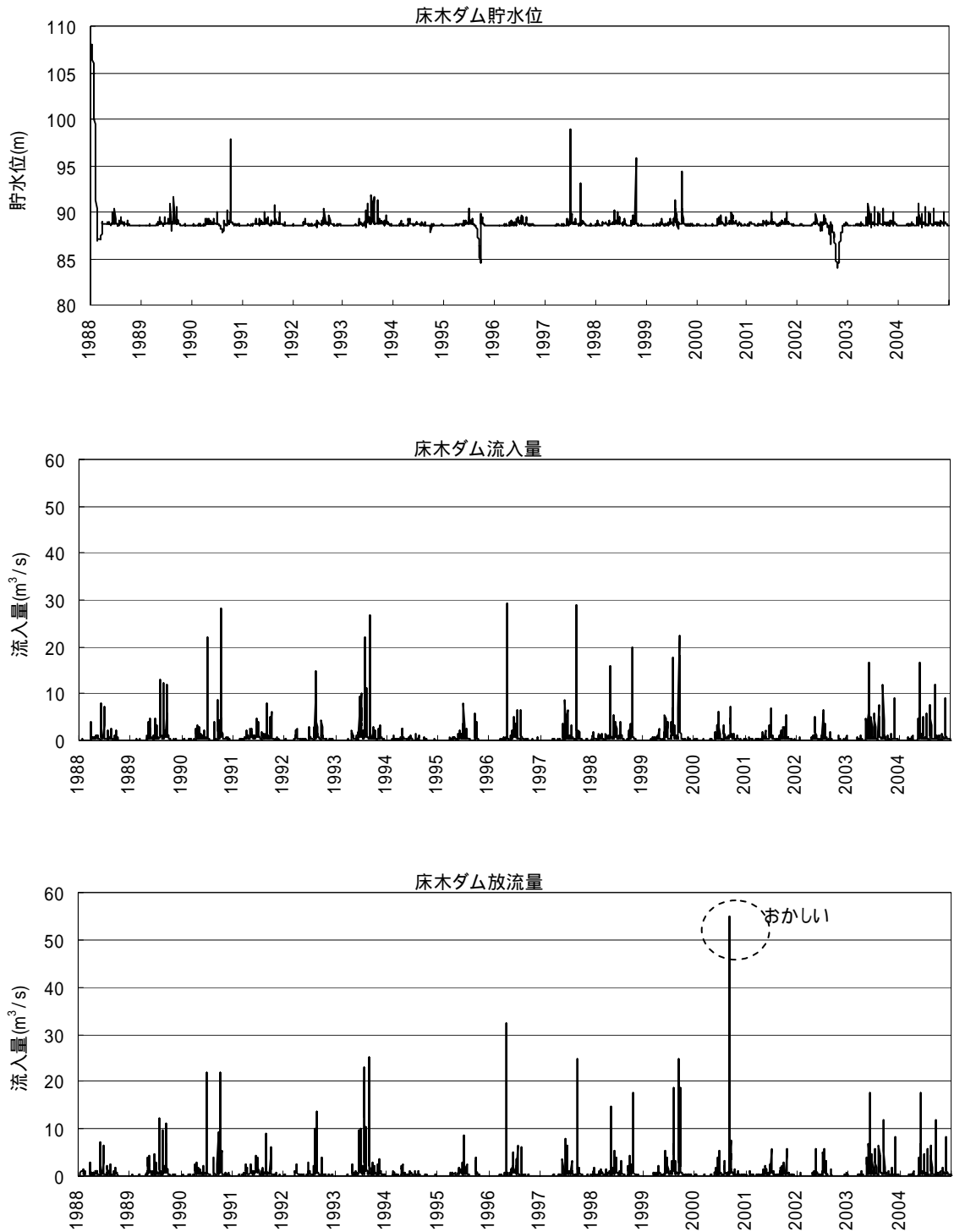


図 8-17 床木ダム貯水位・流入量・放流量



(2)標高

標高は、50mメッシュ標高(1メッシュ 約50m四方)を用いた。

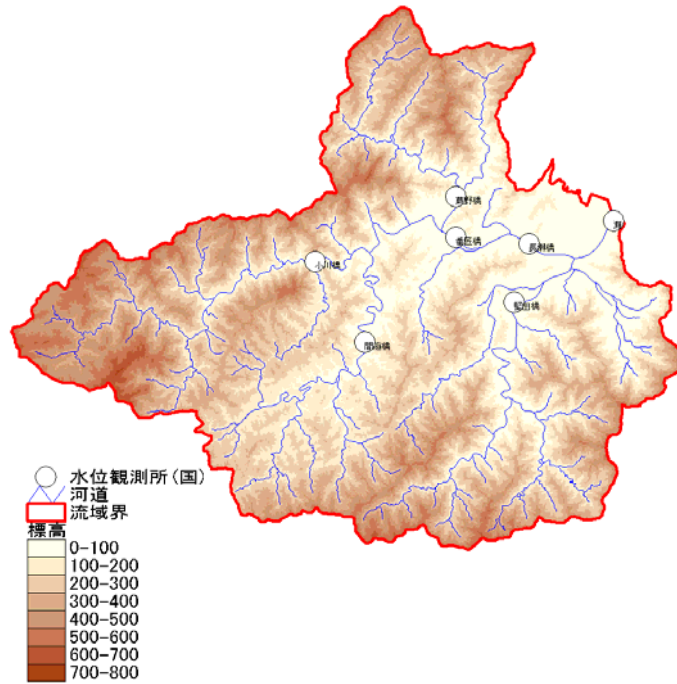


図 8-19 標高

(3)土地利用

土地利用は、国土数値情報の平成9年土地利用メッシュ(1メッシュ 約100m四方)を用いた。

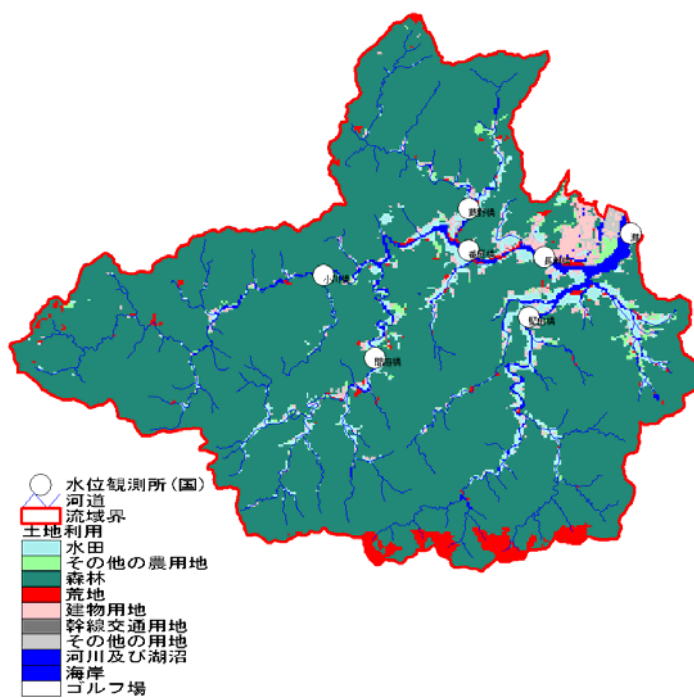


図 8-20 土地利用(平成9年)

#### (4)不浸透域

不浸透域のうち，道路・鉄道については，空間データ基盤の情報を用いる．

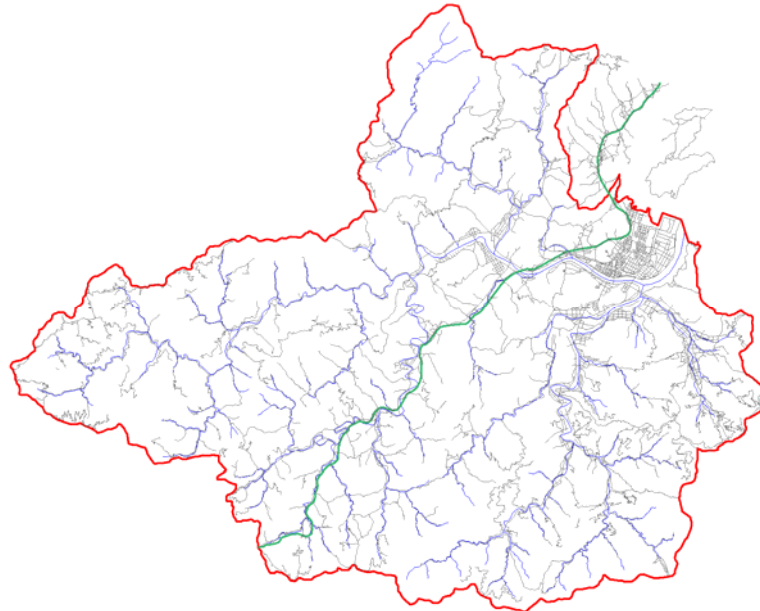


図 8-21 流域内の道路・鉄道

#### 4) 河川データ

##### (1)河道縦・横断

河道横断図については，本川は0.2k ピッチで-1k から 19k までの数値データがある．5k より上流について，1k ごとの横断図を示すと，**図 8-23**～**図 8-25** のようである．

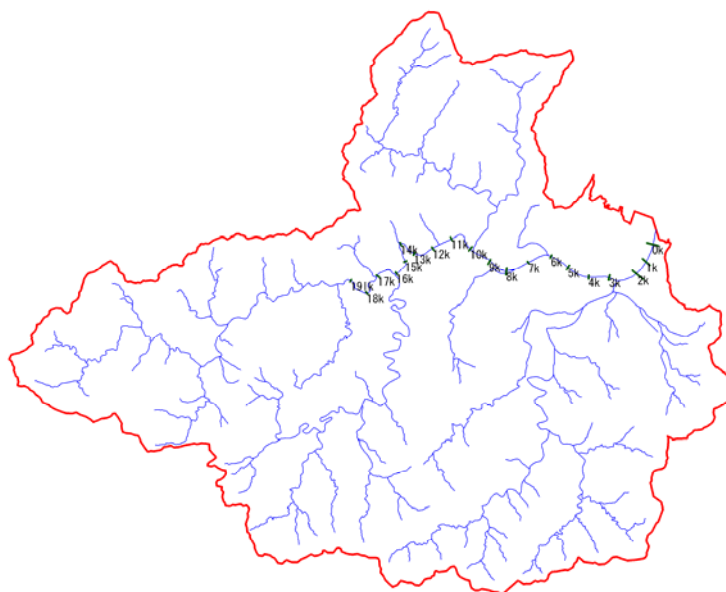


図 8-22 距離標

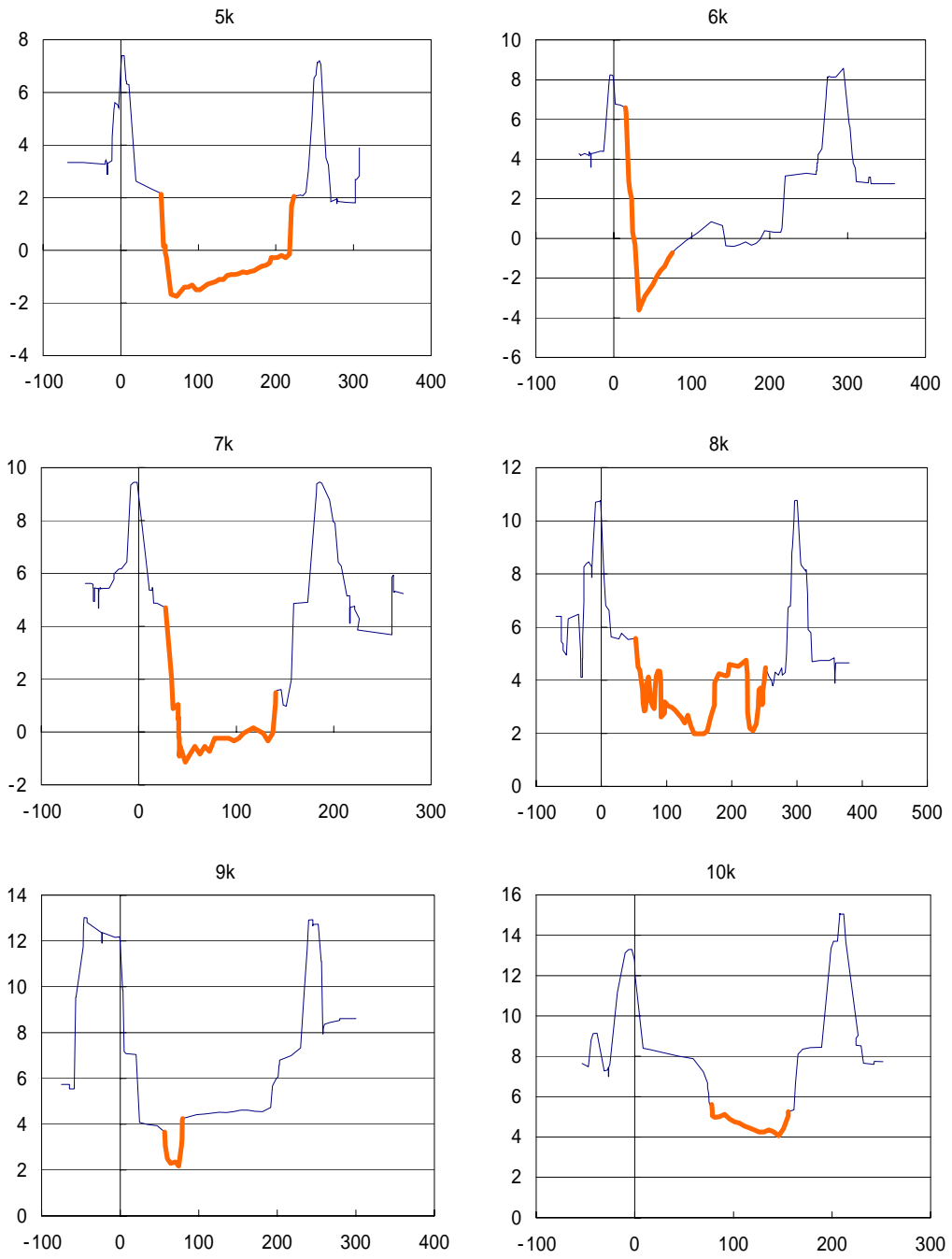


図 8-23 河道横断(その1)

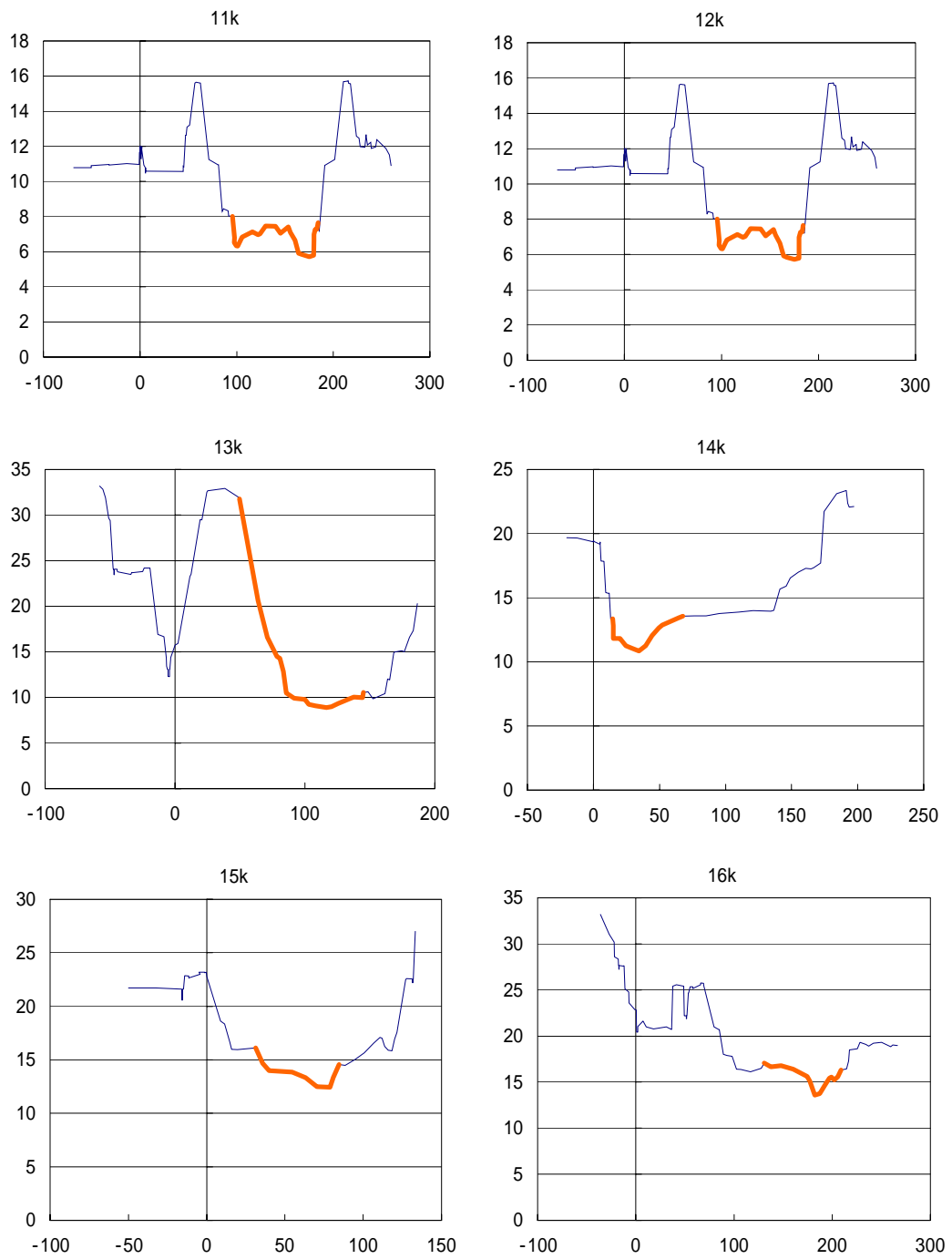


図 8-24 河道横断(その2)

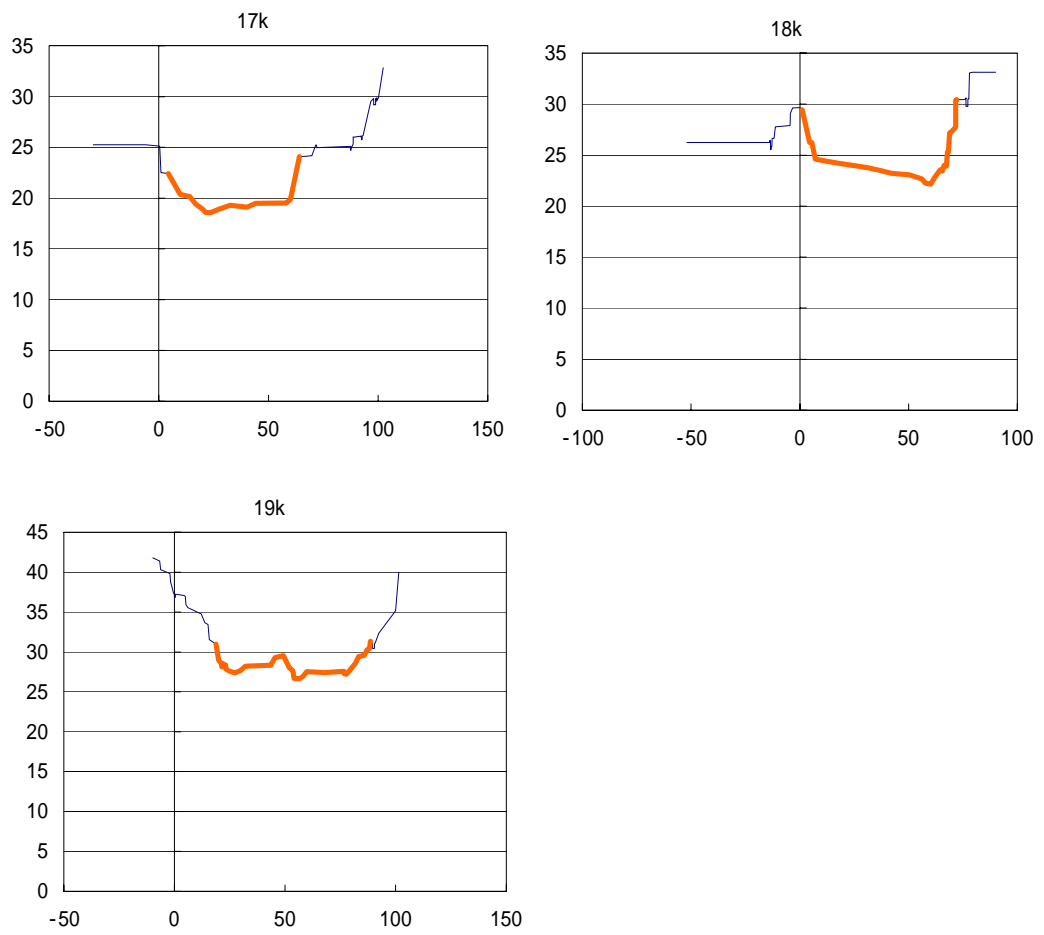
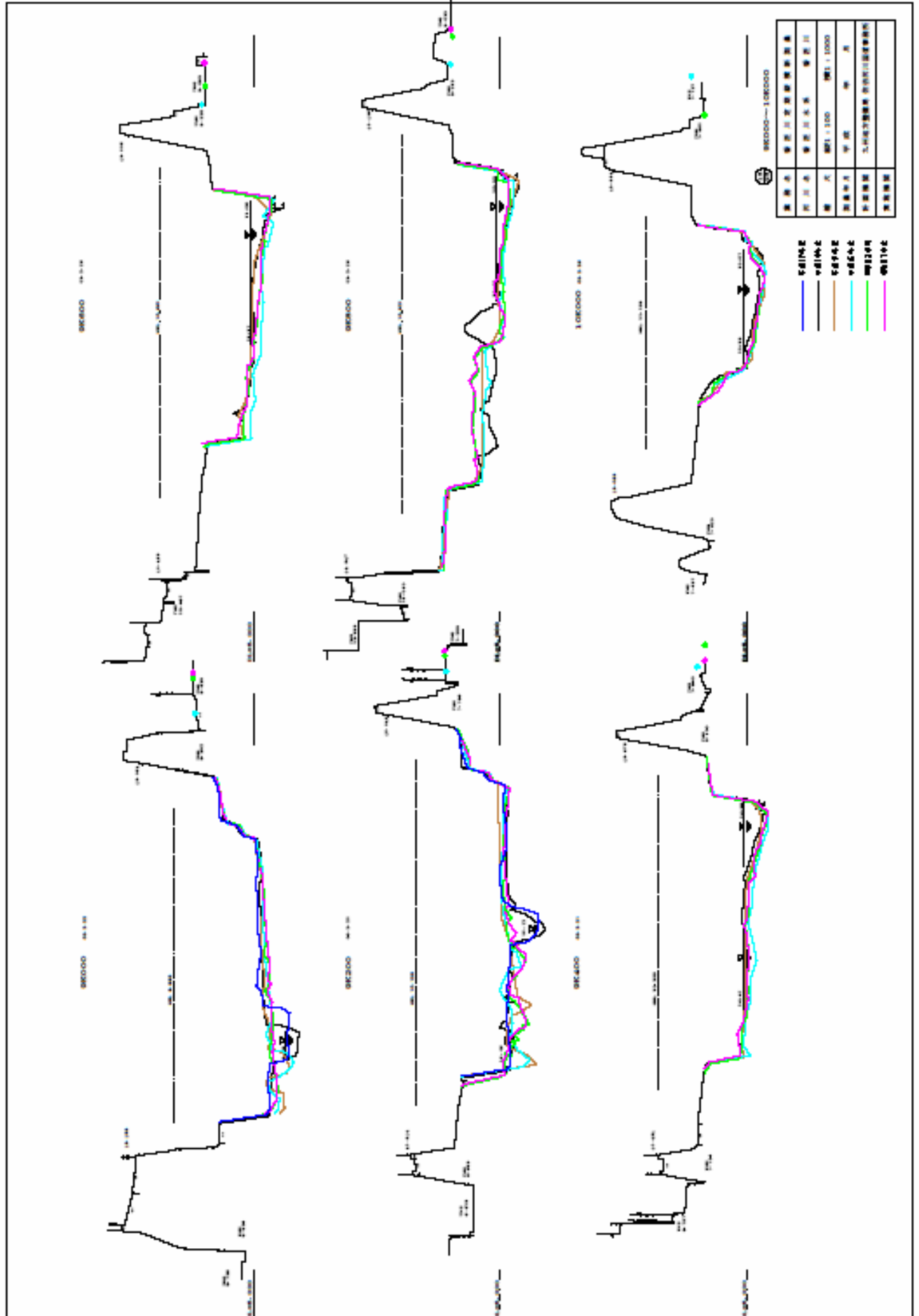


図 8-25 河道横断(その3)

また，過去の横断図を重ね合わせた次頁のように整理されている．





082000-083000

083000-084000

083000-084000

084000-085000

108000-109000

085000-086000

圖號	082000-109000
圖名	嘉嘉士里溪橋樑工程
比例	圖示比例 1:100
日期	2011.10.10
繪圖	謝文
校核	謝文
審核	謝文
備註	本圖為初步設計圖，僅供參考。

- 081902
- 081903
- 081904
- 081905
- 081906
- 081907

## (2)河川構造物

流域内の堰・頭首工および樋門・樋管の位置を図 8-26 に示した。



図 8-26 堰，樋門・樋管

## (3)取水水量

直轄区間については、取水場所と代かき期，かんがい期，非かんがい期別の許可水利権量データがある。しかし、指定区間については、慣行水利権があり、取水場所が特定できず、期別の実測と思われる取水水量データがある。

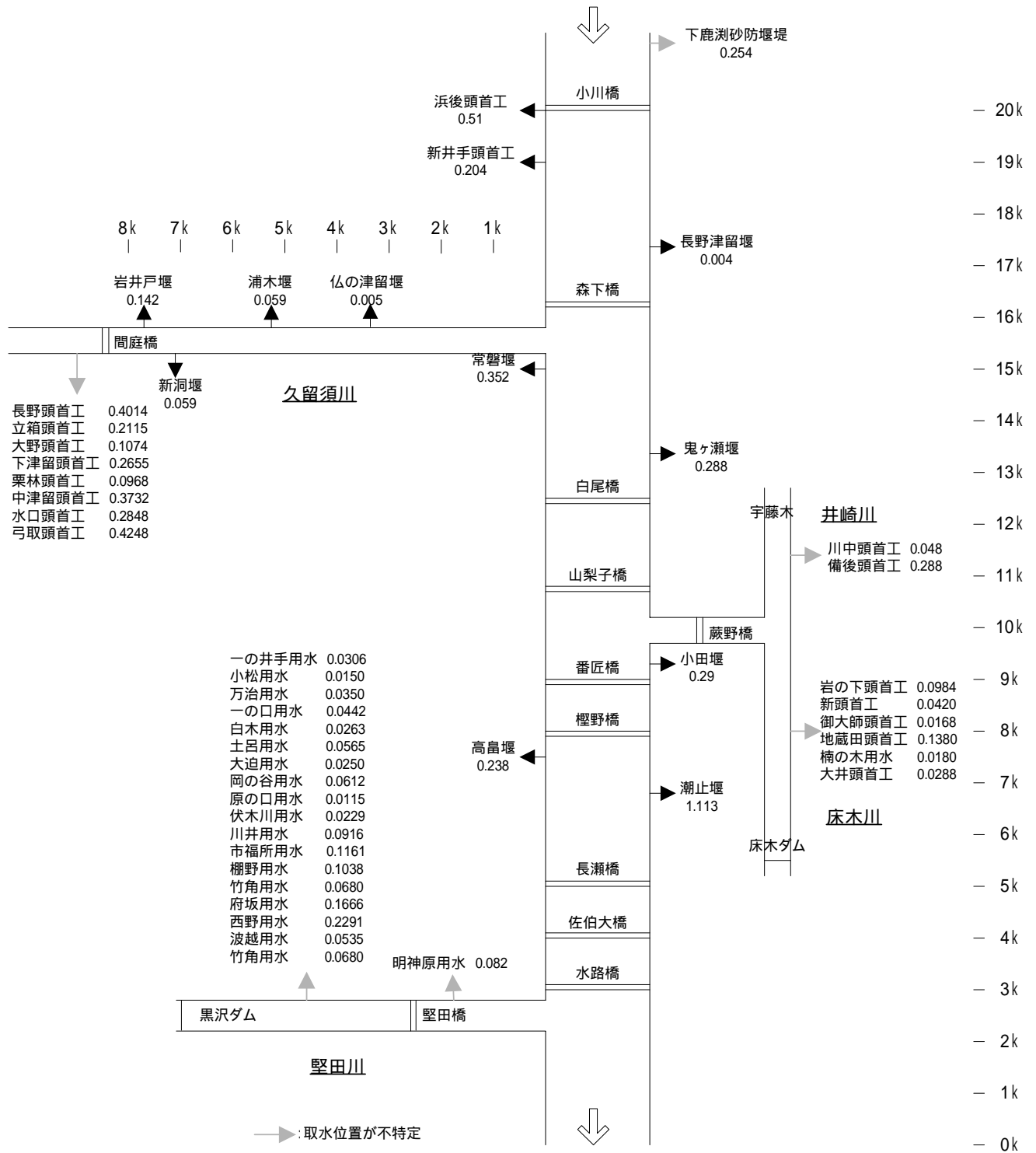


図 8-27 取水量 (代かき期)

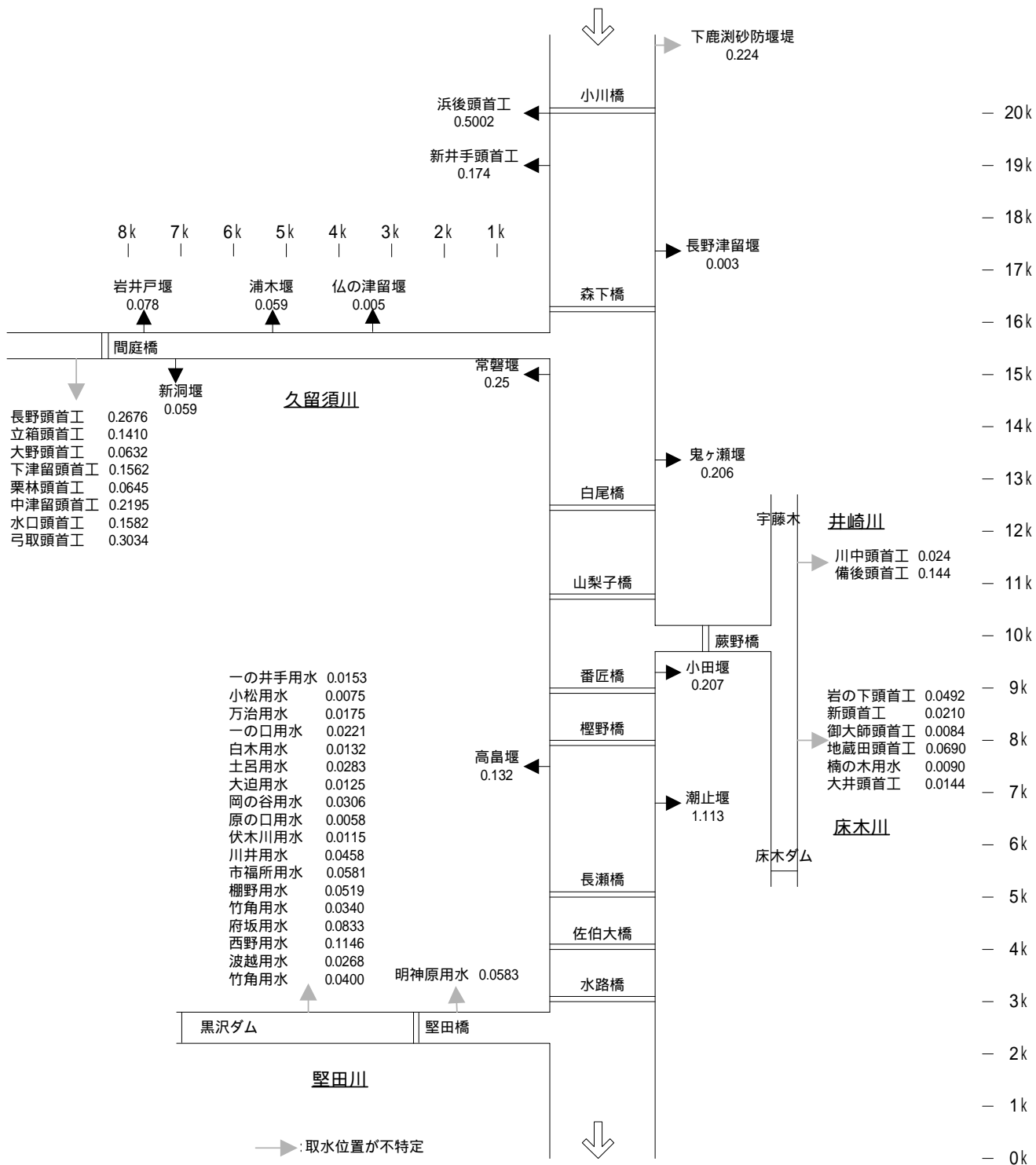


図 8-28 取水量 (かんがい期)

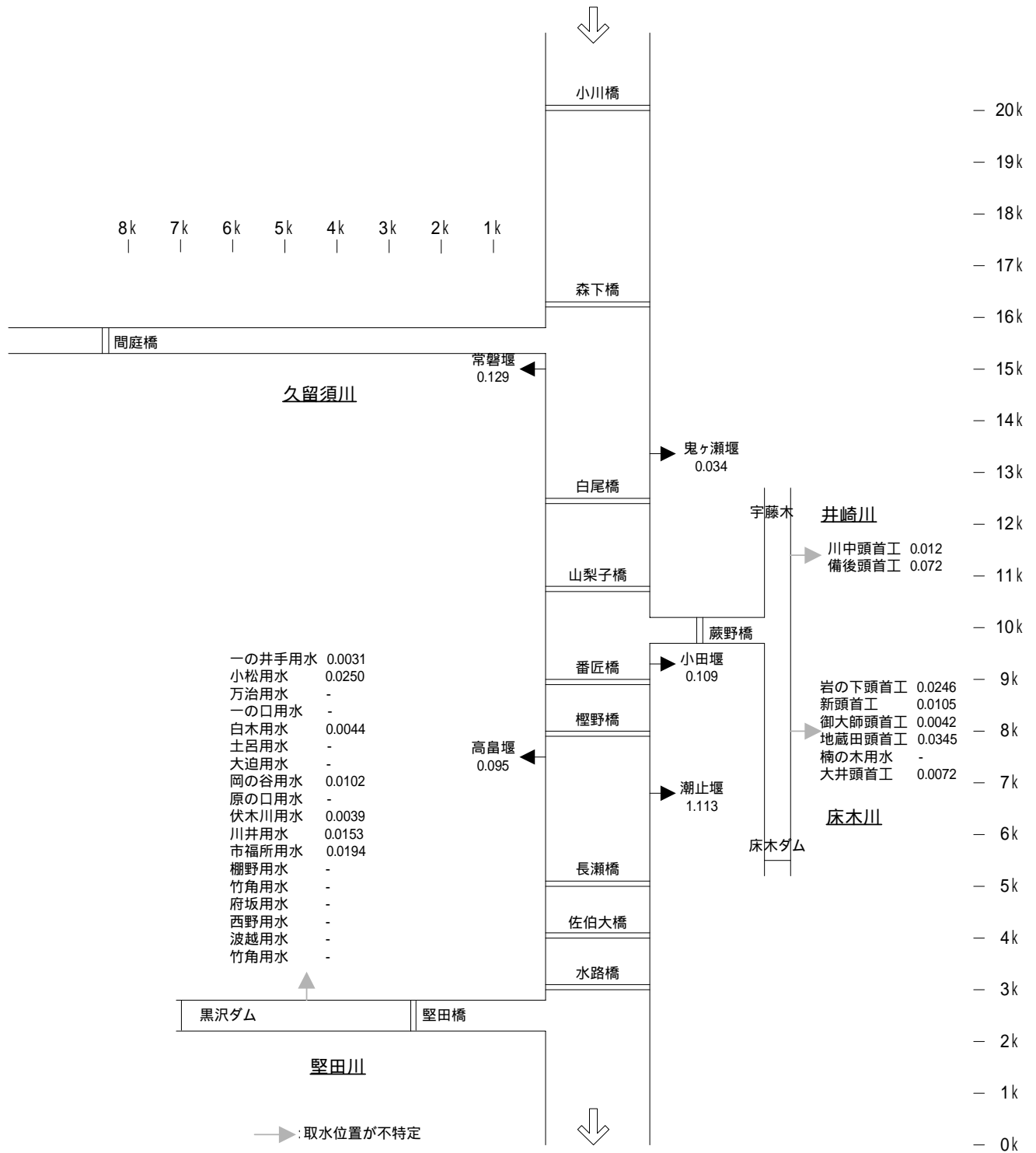


図 8-29 取水量 (非かんがい期)

(4)還元量

農水還元量については、平成7年に鬼ヶ瀬水路、常磐水路において、かんがい期、非かんがい期別に調査が行われている。調査結果によれば、還元率は、かんがい期45%、非かんがい期95%となっている。ただし、鬼ヶ瀬井堰および常磐井堰からの取水については、還元場所が複数存在するため、**図 8-30**、**図 8-31**のように還元率を割り振る。

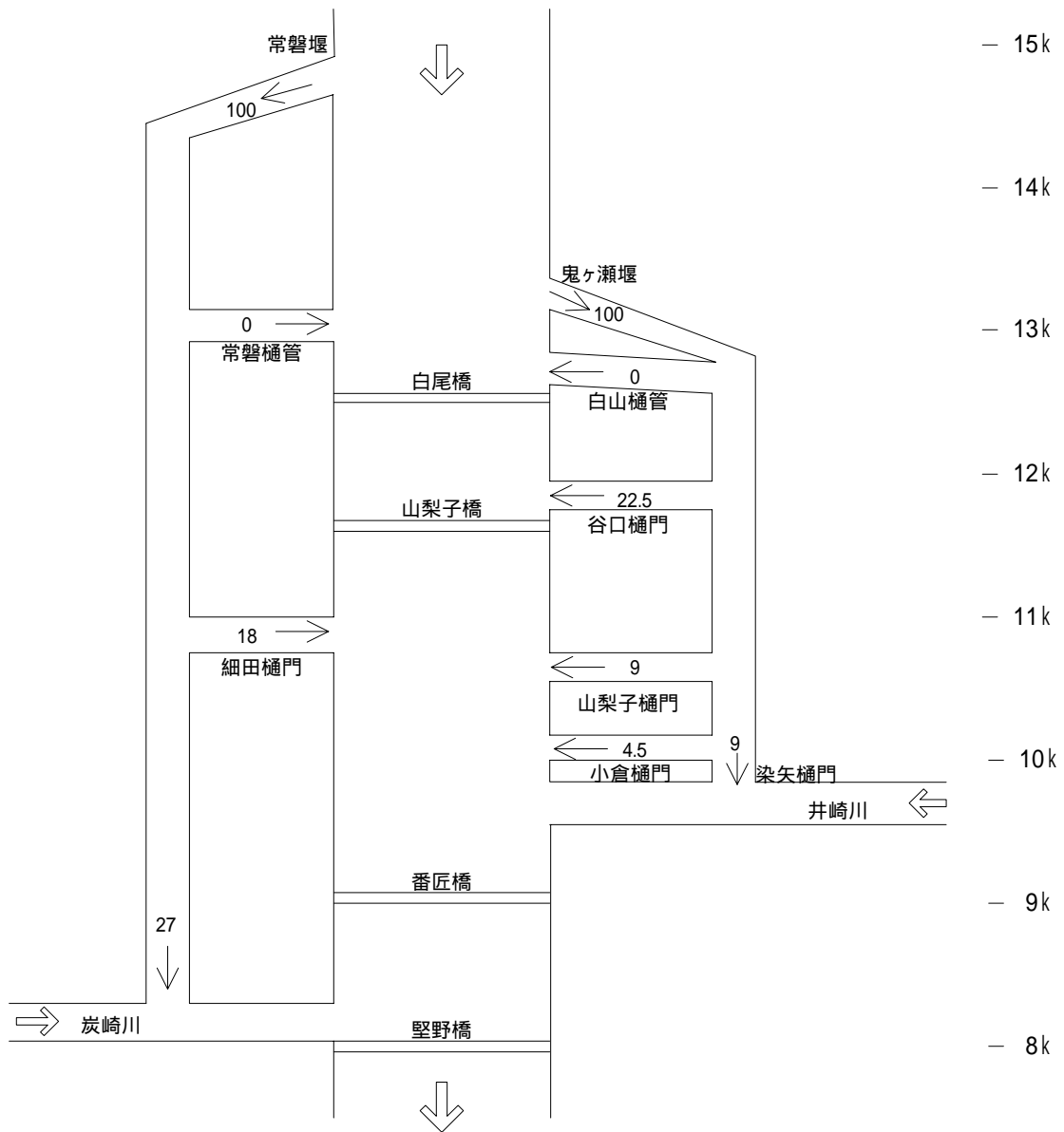


図 8-30 還元場所と還元率（かんがい期）

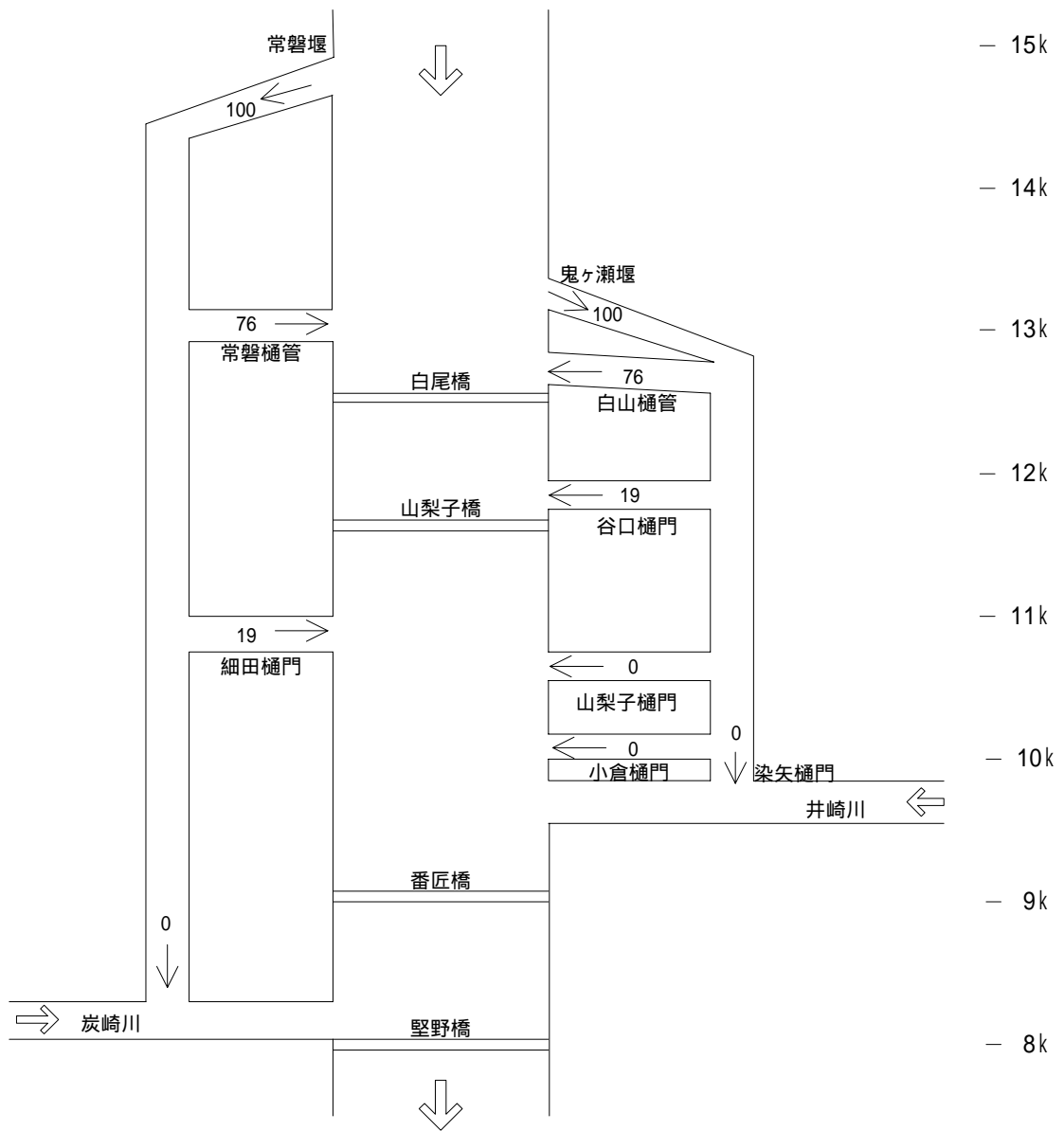


図 8-31 還元場所と還元率（非かんがい期）

(5)同時流量観測

昭和52年から平成4年にかけて、同時流量観測が表8-7、表8-8のように行われている。

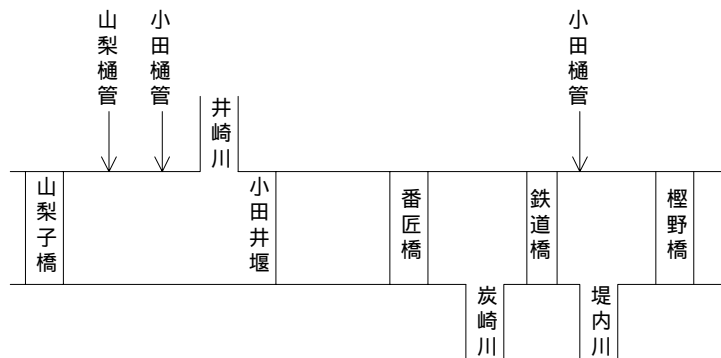
表8-7 同時流量観測概要

年度	かんがい期	非かんがい期	観測区間
昭和52年		3	番匠橋～潮止堰
昭和53年	2	3	〃
昭和56年	1	1	〃
昭和57年	1		〃
昭和58年	1	5	〃
昭和59年		7	〃
昭和60年	2	5	〃
昭和61年		10	〃
平成2年	1	1	山梨子～潮止堰
平成3年		1	〃
平成4年		1	〃
計	8	37	〃



表 8-8 同時流量観測結果

期別	番号	年度	月	日	山梨子	山梨子樋門	小田樋門	井崎川	小田井堰上流	小田井堰取水	小田井堰下流	番匠橋	炭崎川	鉄道橋	小田樋門	堤内川	櫻野
灌漑期	1	53	7	11								1.95				0.21	-
	2	53	8	28								1.87				0.12	-
	3	56	8	25								1.27				0.14	-
	4	57	6	9								1.69				0.12	-
	5	58	8	8								1.04				0.12	-
	6	60	8	2								1.40			0.02	0.09	-
	7	60	8	6								1.52			0.02	0.11	-
	8	2	8	16	0.55	0.03	0.01	0.28	3.32	-0.44	0.63	1.52	0.04	1.97	0.00	0.03	2.43
非灌漑期	1	52	11	9								1.52				0.04	-
	2	52	12	13								1.37				0.03	-
	3	52	12	26								0.91				0.03	-
	4	53	1	20								0.89				0.01	-
	5	53	2	18								1.15				0.03	-
	6	53	5	30								1.76				0.09	-
	7	56	5	25								1.89				0.09	-
	8	58	10	31								2.24				0.28	-
	9	58	11	8								1.55				0.02	2.35
	10	58	11	29								0.99				0.02	-
	11	58	12	13								0.87				0.02	1.73
	12	58	12	28								0.72				0.01	1.21
	13	59	1	6								0.72				0.00	1.26
	14	59	1	30								0.71				0.01	1.49
	15	59	2	3								1.00				0.04	1.92
	16	59	2	18								0.92				0.04	1.64
	17	59	2	27								1.79				0.06	2.94
	18	59	3	8								0.86				0.03	1.16
	19	59	11	27								1.47				0.16	2.47
	20	60	1	5								1.98				0.15	3.68
	21	60	1	16								1.24				0.05	1.24
	22	60	11	12								1.55	0.02		0.00	0.07	2.28
	23	60	12	2								0.96	0.02		0.00	0.03	1.63
	24	60	12	13								1.38	0.02		0.00	0.03	1.47
	25	61	1	6								0.71	0.02		0.01	0.03	1.75
	26	61	1	10								0.96	0.01		0.00	0.03	1.44
	27	61	1	22								0.91	0.02		0.00	0.03	1.38
	28	61	1	30								0.55	0.01		0.00	0.03	0.79
	29	61	2	5								0.54	0.01		0.00	0.02	0.53
	30	61	2	19								2.82	0.03		0.12	0.08	3.36
	31	61	2	20								1.88	0.01		0.08	0.06	2.38
	32	61	2	21								1.44	0.00		0.07	0.06	2.20
	33	61	2	22								1.40	0.00		0.02	0.06	1.86
	34	61	2	25								0.89	0.00		0.02	0.06	1.12
35	2	12	26	1.12	0.00	0.00	0.61	1.34	-0.05	1.66	1.85	0.03	2.44	0.00	0.00	0.04	3.28
36	3	12	19	0.21	0.00	0.00	0.05	0.31	0.00	0.98	1.06	0.01	1.06	0.00	0.00	0.02	1.00
37	4	1	20	0.65	0.00	0.00	0.31	0.75	0.01	1.46	1.56	0.03	1.63	0.00	0.00	0.04	1.72



(6)旧河道

「九州地方の古地理に関する調査 古の文化と豊かな自然」(平成 14 年 九州地方整備局)によれば、流域内の旧河道および地形状況は図 8-32 のようである。

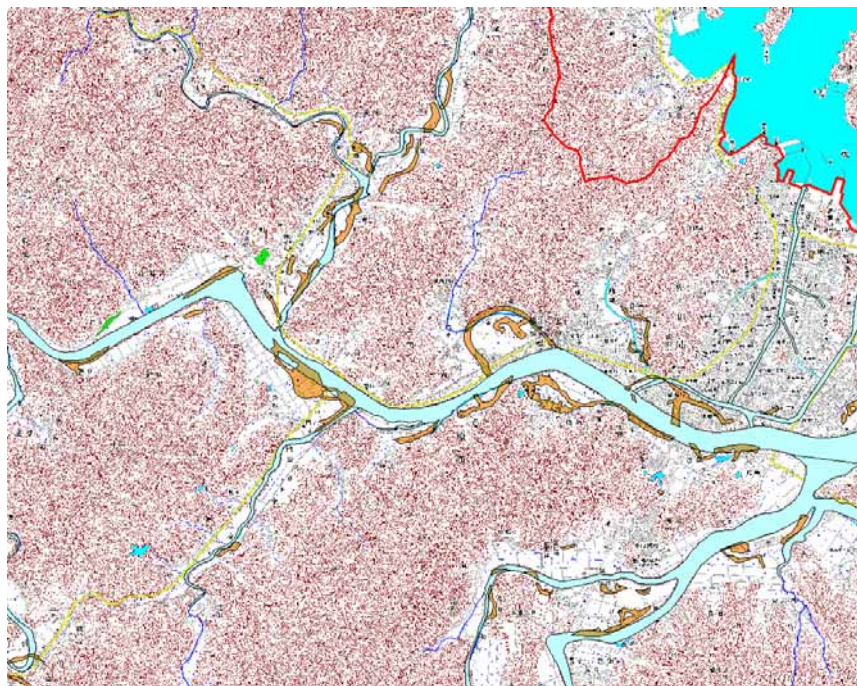
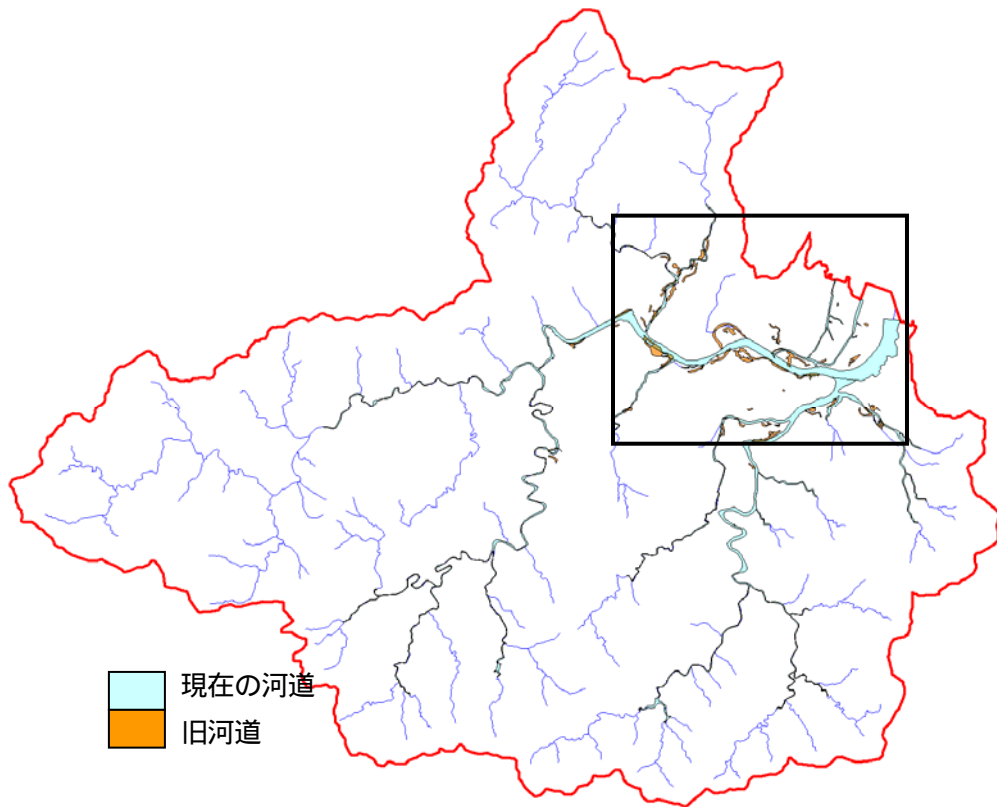


図 8-32 旧河道（上：流域全体，下：四角部分を拡大）

## 旧河道について

「平坦な平野において旧河道を発見するには空中写真，古地図，文献，表層地質図等を利用するわけであるが，空中写真の利用が最も便利であり，これによってまず旧河道の位置を明示し，その後資料で時代を確定する方法が最もよい．いずれの場合も現地調査による最終点検は必要である．

空中写真ではとくに米極東空軍地図局(USAMSF)が戦後(1946～50年)撮影したものが便利である．

旧河道の状態は，浸食作用の卓越している河川と堆積作用の卓越している河川とは異なる．浸食作用卓越河川では旧河道は周辺平野より低く，数メートルから数十センチメートル掘り込んでおり，帯状に続く．

また河道が変遷して，表流水がなくなっても，地下水は数十年あるいは数百年にわたって流れ続けるので，地下水位が浅く，空中写真では黒ずんでみえる．

一方，堆積作用が卓越している河川の旧河道は，河道に沿って自然堤防が発達しているので，空中写真ではこの自然堤防が白く移る．さらに自然堤防中に澁が認められるのが普通である．澁がない場合でも自然堤防の分布だけから旧河道を見つけることが可能である．

日本の平野の地形は縄文海進以降に形成されたものであるため，最も古い河道でも4,000～6,000年前のものであるが，現在地表に明瞭に認められる旧河道は中世以降のものが多い．

旧河道の認定は前述の地形学的方法に地図学的方法や歴史学的方法を加える．地図では明治23～24年頃作成された迅速図から，その時代の旧河道を正確に復元できる．

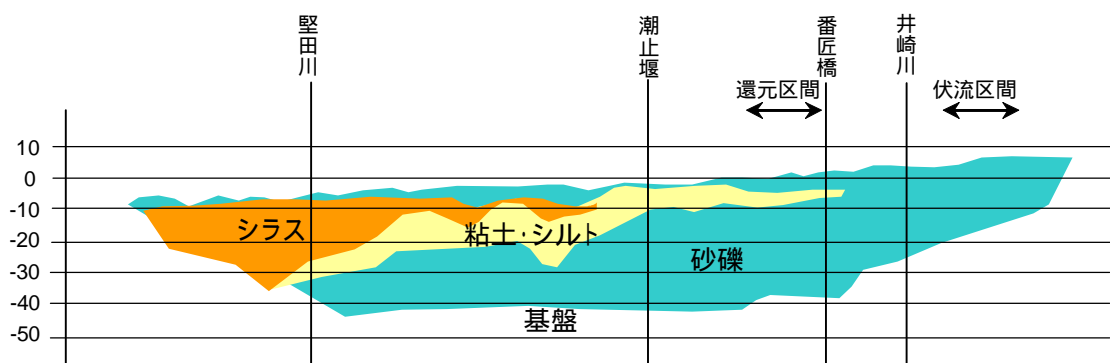
それ以前の旧河道については，まず地形学的方法で旧河道の分布を確認しておき，文献，絵図等を利用して，それぞれの旧河道の存在した時代を推定する．」

(河道変遷特性に関する研究 (財)河川環境管理財団 平成10年)

## 5) 水理地質データ

### (1) 帯水層構造

四万十層群の基盤上に，番匠橋より上流の沖積低地には砂礫(洪積層)，下流は細粒砂～シルト(沖積層)が分布している．帯水層の厚さは，上流で30～40m，下流で10～20mである．



### (2) 透水係数

深層(被圧)の透水係数は概ね  $10^{-1} \sim 100 \text{ cm/s}$  である．

## 8.2. データベース化

収集した資料については、昨年度作成した小石原川・佐田川流域データベースと同様にデータベース化を行った。データベースに登録した項目およびファイル名を表 8-9 に示す。次ページ以降には、データベースの画面(Excel)を示した。

表 8-9 データベースに登録したファイル

データ項目	ファイル名
ダム	床木ダム貯水位.xls 床木ダム放流量.xls 床木ダム流入量.xls
雨量	アメダス佐伯.xls 因尾.xls 宇藤木.xls 佐伯.xls 青山.xls 直川.xls
気温	アメダス佐伯.xls
横断	横断.xls
堰	堰台帳調書.xls 構造図.bmp, 平面図.bmp 01 興人潮止堰 02 高畠堰 03 小田堰 04 鬼ヶ瀬堰 05 常磐堰 06 長野津留堰 07 仏の津留堰 08 浦木堰 09 新洞堰 10 新洞堰 11 岩井戸堰
地下水位	上岡(深井戸).xls 上岡(浅井戸).xls 切畑(深井戸).xls 切畑(浅井戸).xls

<p>水位</p>	<p>間庭橋.xls  堅田橋.xls  小川橋.xls  長瀬橋.xls  灘.xls  白山.xls  番匠橋.xls  蕨野橋.xls</p>
<p>流量</p>	<p>間庭橋.xls  堅田橋.xls  小川橋.xls  番匠橋.xls  蕨野橋.xls</p>

### 8.3. 定性的把握

#### 1) 観測結果

番匠橋での河川水位と切畑の地下水位を比較すると図 8-33 のようになる。

全年にわたり、河川水位と地下水位は同様の変動を示している。S60 年(1985 年)までは、地下水位が約 1m 高い状態となっているが、その後 H8 年(1996 年)までは両者は同等の水位となっている。H8 年以降は、地下水位の上昇が見られるが、逆に河川水位は低下傾向となっている。

これらのことから、河川水と地下水は一体となっているが、直上流の堰の影響で河川水位のほうが低くなっているのではないかと考えられる。

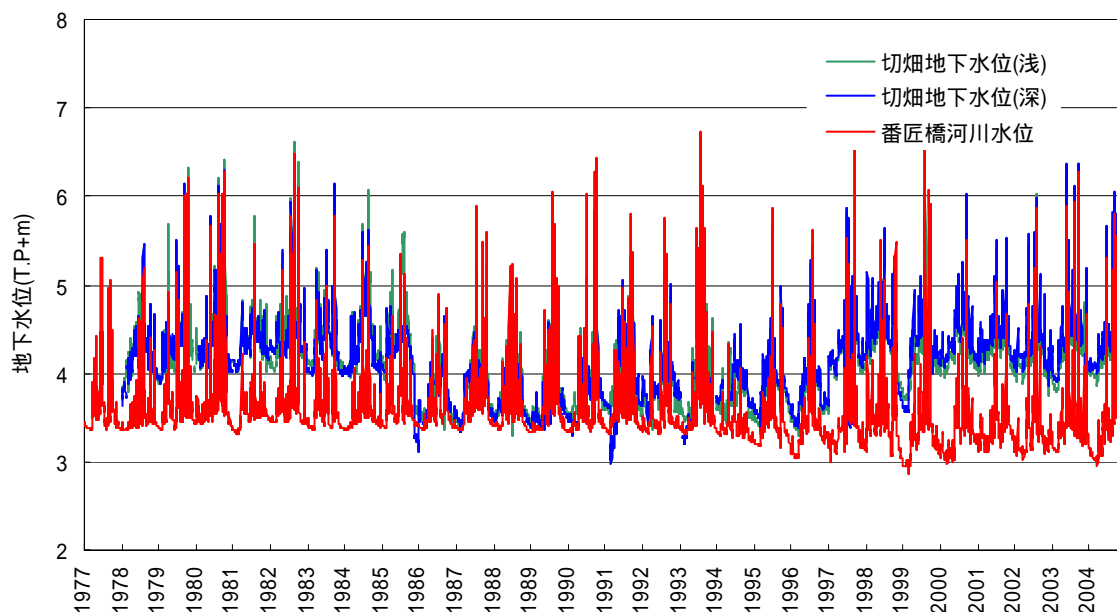


図 8-33 河川水位と地下水位の関係

#### 2) 過去の地下水解析

番匠川流域では、過去表 8-10 のように地下水検討委員会が設置され、その中で、地下水塩水化シミュレーションが行われている。シミュレーションモデルは、平成 3 年度から作成され、最終の平成 9 年度には、表 8-11、図 8-34 のようなモデルとなっている。

概略のシミュレーション結果は次のようである。

- ・ 塩水化には特に下流側の上岡揚水井からの揚水の影響が大きい
- ・ 塩水化防止には堅田川での涵養の役割が大きい
- ・ 塩水化を進行させないためには揚水量は現況の約 6 割程度にする必要がある

表 8-10 番匠川における過去の調査経緯

時期	地下水検討委員会	目的	内容
平成元年度～5年度	第1回～第5回	総合水管理計画の策定	河川水の伏流機構の調査・解明 河川表流水と地下水の適正な統合管理
平成7年度～9年度	第6回～第13回	番匠川地下水管理計画の策定	地下水塩水化の防止及び水資源の合理的な利用方法の検討

表 8-11 塩水化モデルの概要

項目		内容
解析手法		平面2次元地下密度流解析
解析対象		被圧地下水帯水層
解析範囲		番匠橋～河口部
メッシュ間隔		20m
境界条件	上流端	番匠橋月平均水位
	下流端	灘平均水位 (TP.+0.6m)
	左・右岸	堅田川合流点は固定水位 (TP.+0.7m) その他は不透水境界
パラメータ	透水係数	$5.0 \times 10^{-1}$ cm/s
	比貯留量	$10^{-4}$ 1/m
	空隙率	0.3

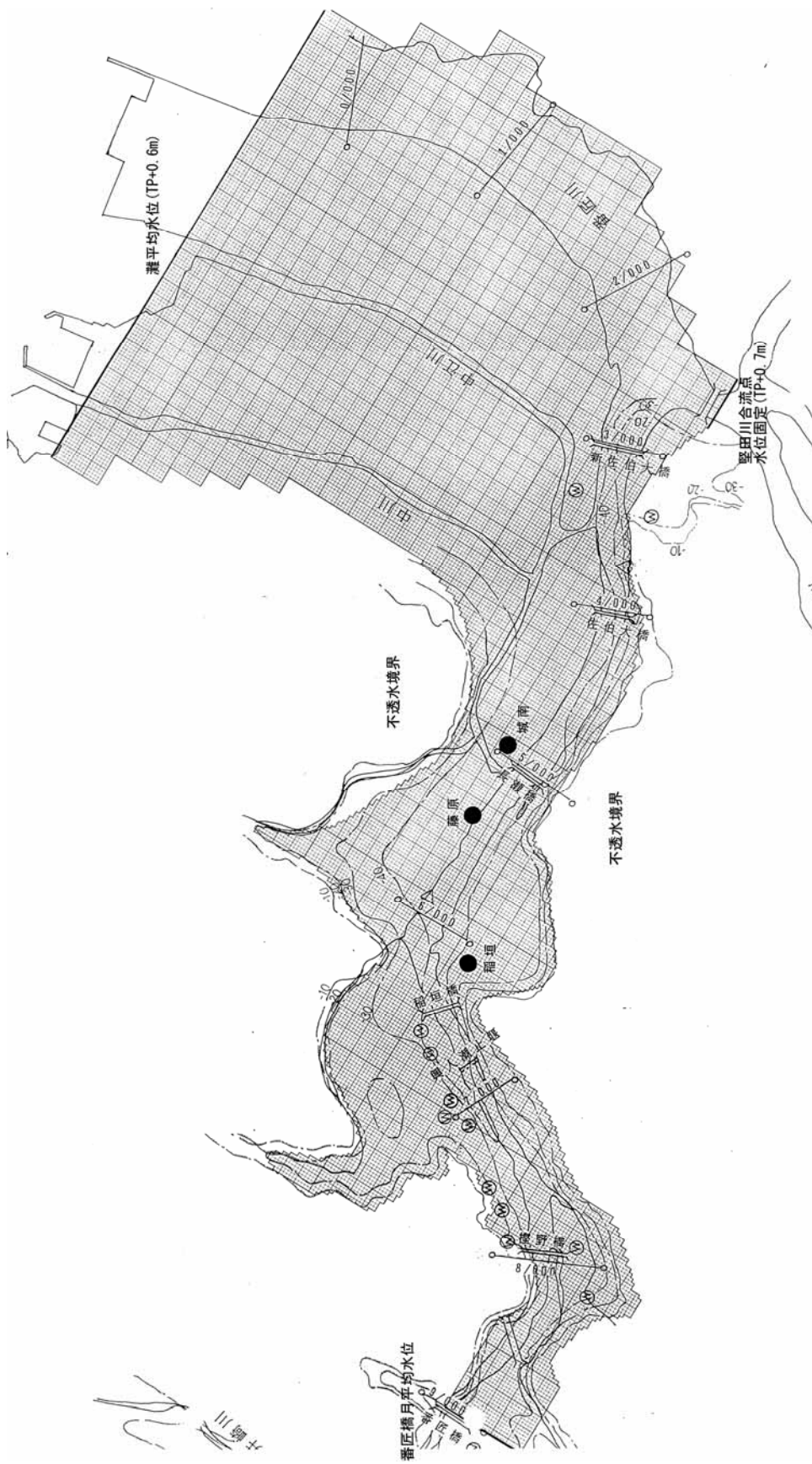


図 8-34 塩水化解析モデル (平成 9 年度)



### 3) 現地踏査

流域の水循環系把握のため、平成 17 年 10 月 4 日に現地踏査を行った。当日は、若干の降雨があったこともあり、本川上流を除いて伏没の様子はわからなかった。現地踏査からは、次のように考察される。

#### <本川中流(番匠橋付近)>

河道が周辺地盤よりやや高い天井川のように感じられ、右岸側の水田は旧河道と思われた。堤防すぐ横には旧弥生町の簡易水道施設が存在した。これらのことから、周辺の揚水等による地下水位変化状況に応じて河川水位も変化するものと考えられた。

#### <本川上流>

当日の降雨にもかかわらず、河道内に水流が見られなかった。本川上流域は、石灰岩が多く、河道内にも巨石が見られたことから、透水性の良い石灰質の岩盤内を水が流れているものと考えられた。



図 8-35 現地踏査概要

ア) 長瀬橋



イ) 潮止堰



ウ) 番匠橋



(番匠橋やや上流)

(番匠橋上流右岸側 旧弥生町簡易水道)

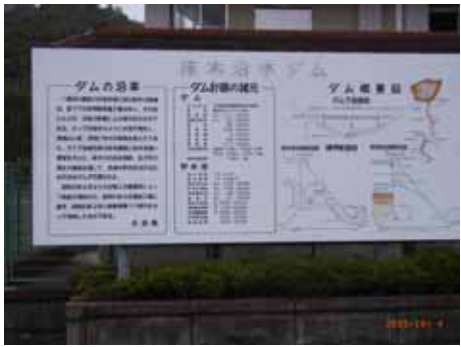
工) 本川上流



オ) 蕨野橋



カ) 床木ダム



キ) 堅田橋



ク) 黒沢ダム



ケ) 間庭橋



## 8.4. モデル作成

### 1) 流域分割

地下水解析範囲外は、地表流-表層土壌モデルによって、流出量を計算する。流出量の計算にあたっては、流域を一様とみなせる範囲で分割する。分割した流域を図 8-36 に示す。分割流域は、さらに河川沿いの流出寄与域と山林の涵養域に分けるものとする。

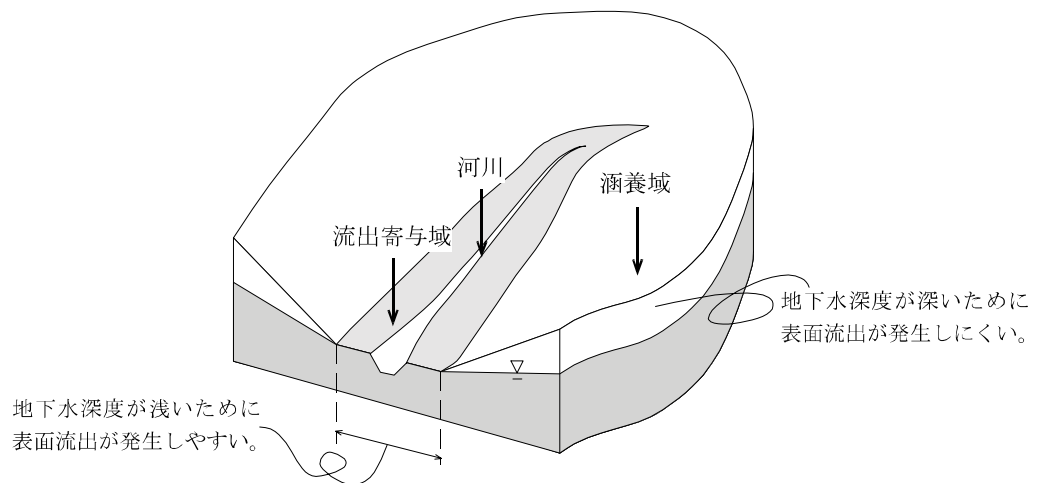
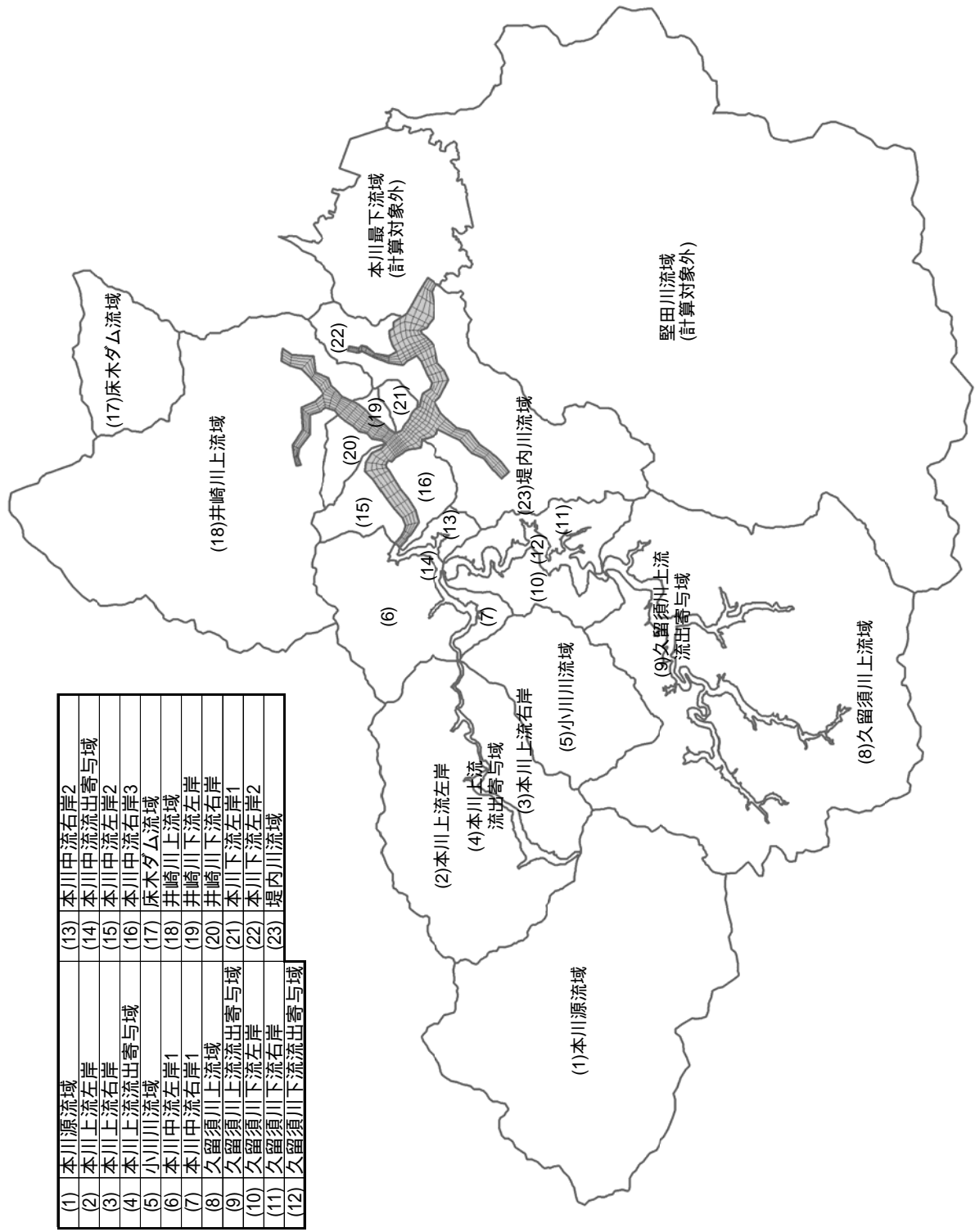


図 8-36 涵養域と流出寄与域



(1)	本川源流域	(13)	本川中流右岸2
(2)	本川上流左岸	(14)	本川中流流出寄与域
(3)	本川上流右岸	(15)	本川中流左岸2
(4)	本川上流流出寄与域	(16)	本川中流右岸3
(5)	小川川流域	(17)	床木ダム流域
(6)	本川中流左岸1	(18)	井崎川上流域
(7)	本川中流右岸1	(19)	井崎川下流左岸
(8)	久留須川上流域	(20)	井崎川下流右岸
(9)	久留須川上流流出寄与域	(21)	本川下流左岸1
(10)	久留須川下流左岸	(22)	本川下流左岸2
(11)	久留須川下流右岸	(23)	堤内川流域
(12)	久留須川下流流出寄与域		

図 8-37 地下水解析範囲外の流域分割

## 2) 地下水メッシュ分割

地下水解析範囲内のメッシュ分割は、河川中心線、河川堤防、旧河道、河川横断位置、地下水流動方向を総合的に判断して作成した。

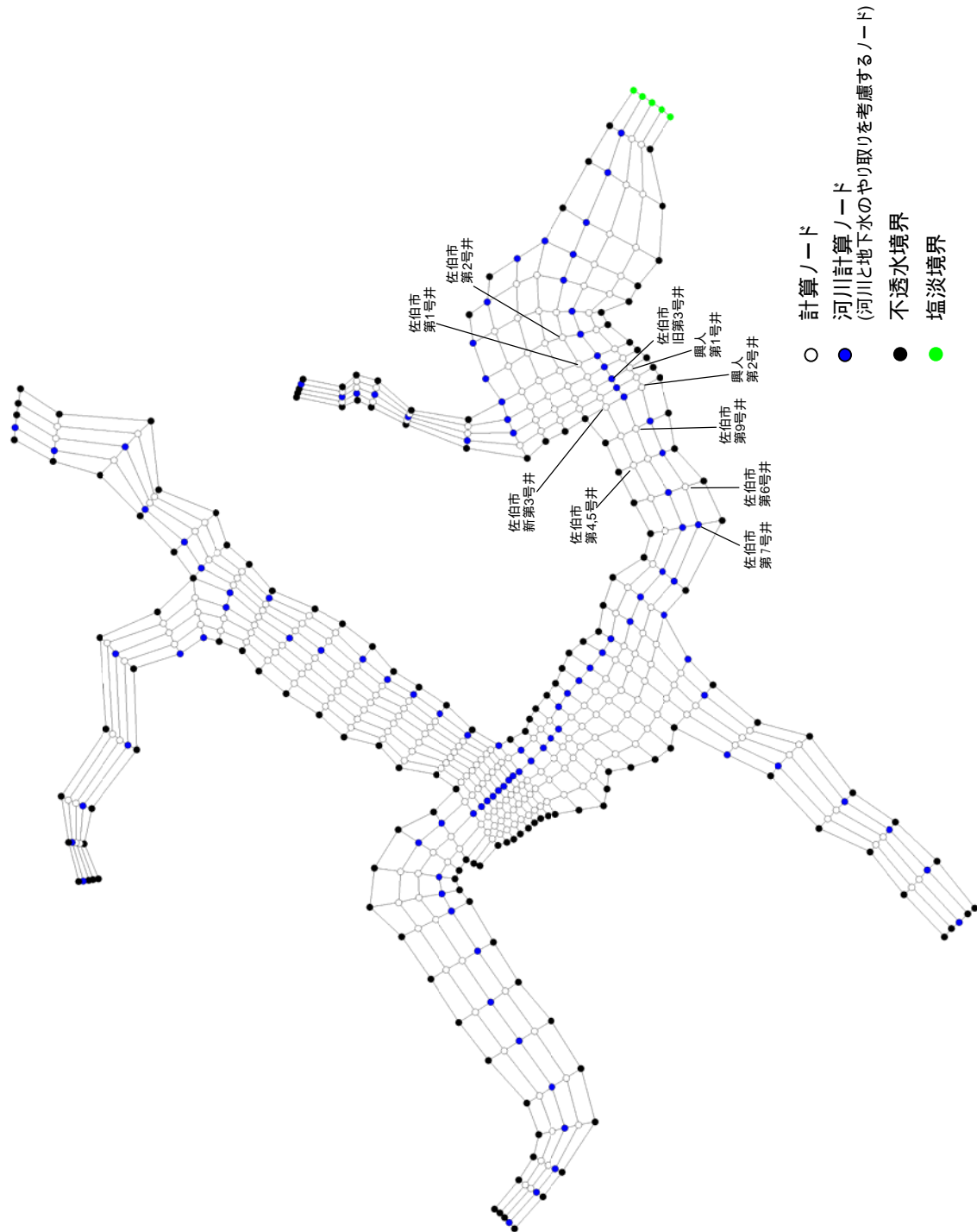


図 8-38 メッシュ分割図

### 3) 河川計算断面

河川の計算断面は、前述の地下水メッシュにおける河川ノード点である。

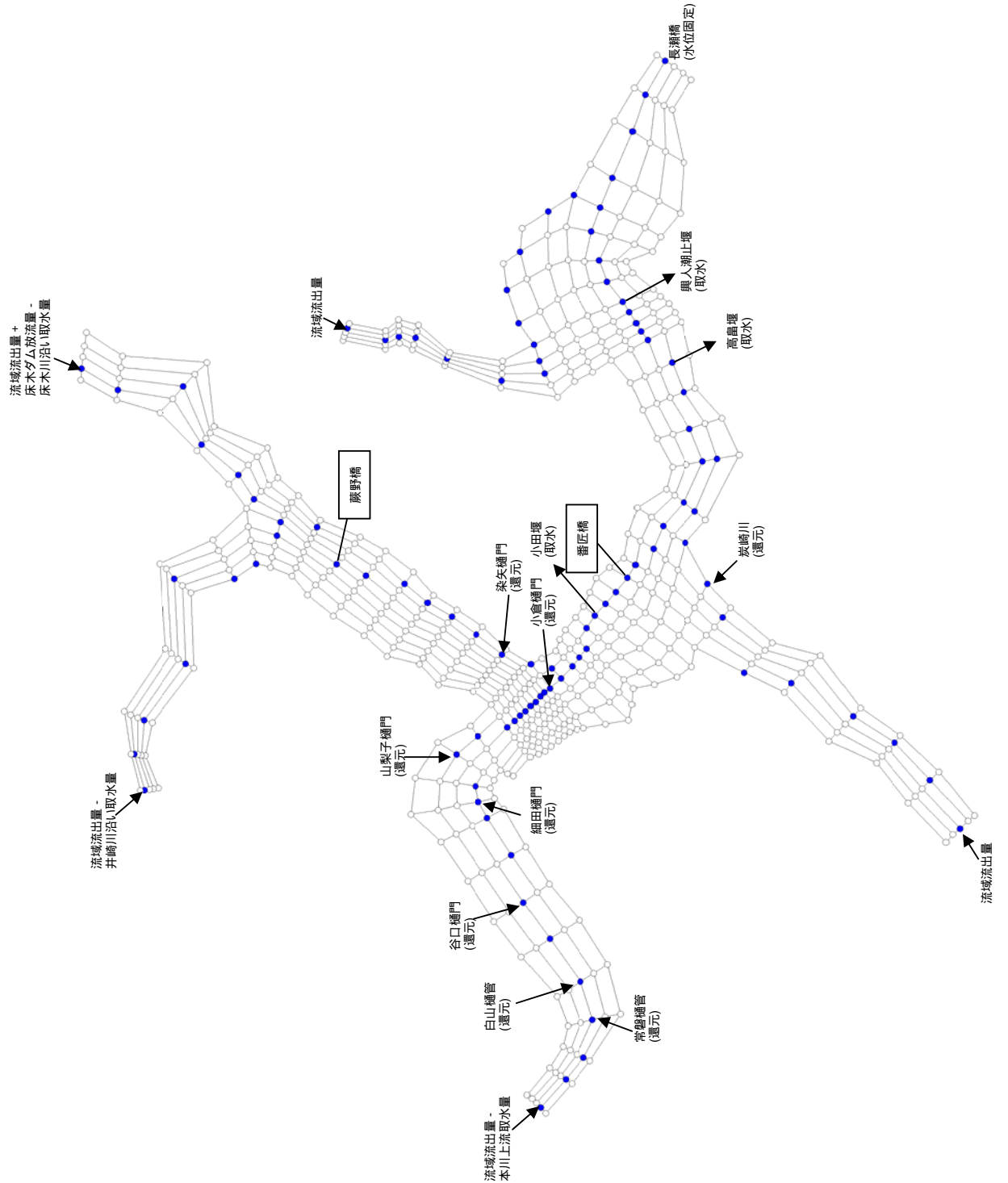


図 8-39 河川計算断面



#### 4) 地表面-表層土壌

##### (2) 蒸発散量

蒸発散量は、日平均気温から、次式のハーモン式により可能蒸発散量を設定することにより、モデル内部で計算される。

$$E_p = 0.14D_0^2 P_t$$

ここに、

$E_p$  : 日平均蒸発散能[mm/日]

$D_0$  : 可照時間[12hr/日]

$P_t$  : 日平均気温に対する飽和絶対湿度[gm/m<sup>3</sup>]

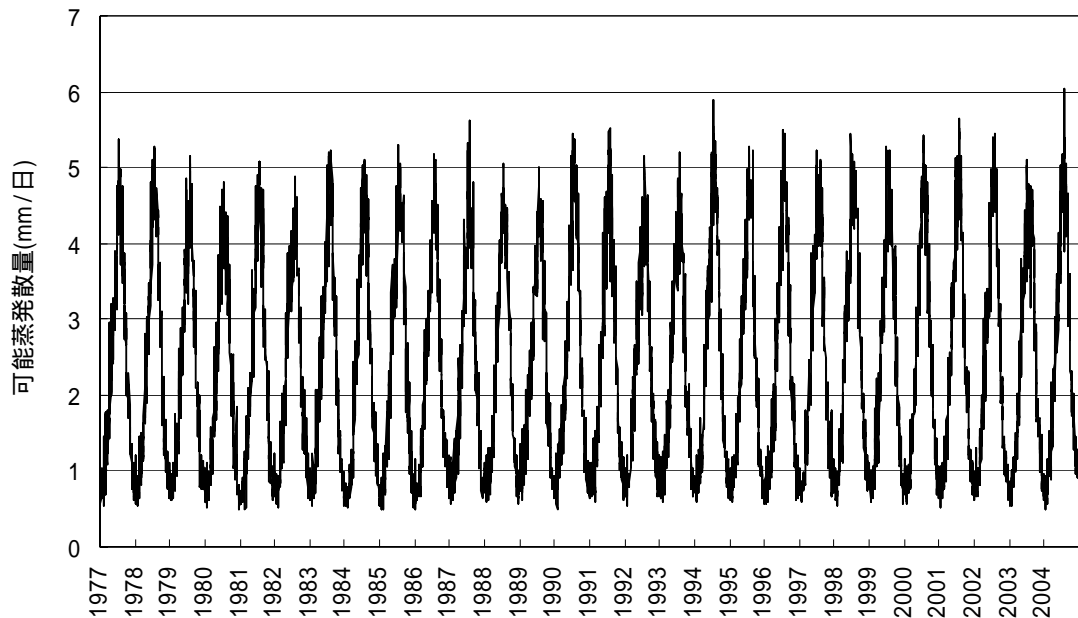


図 8-40 可能蒸発散量

##### (3) 土地利用データ

土地利用データは、水田、裸地、固い裸地、不浸透域の4種類に分類して、モデルに与える。各分割流域のそれぞれの割合は、**図 8-41** のようである。

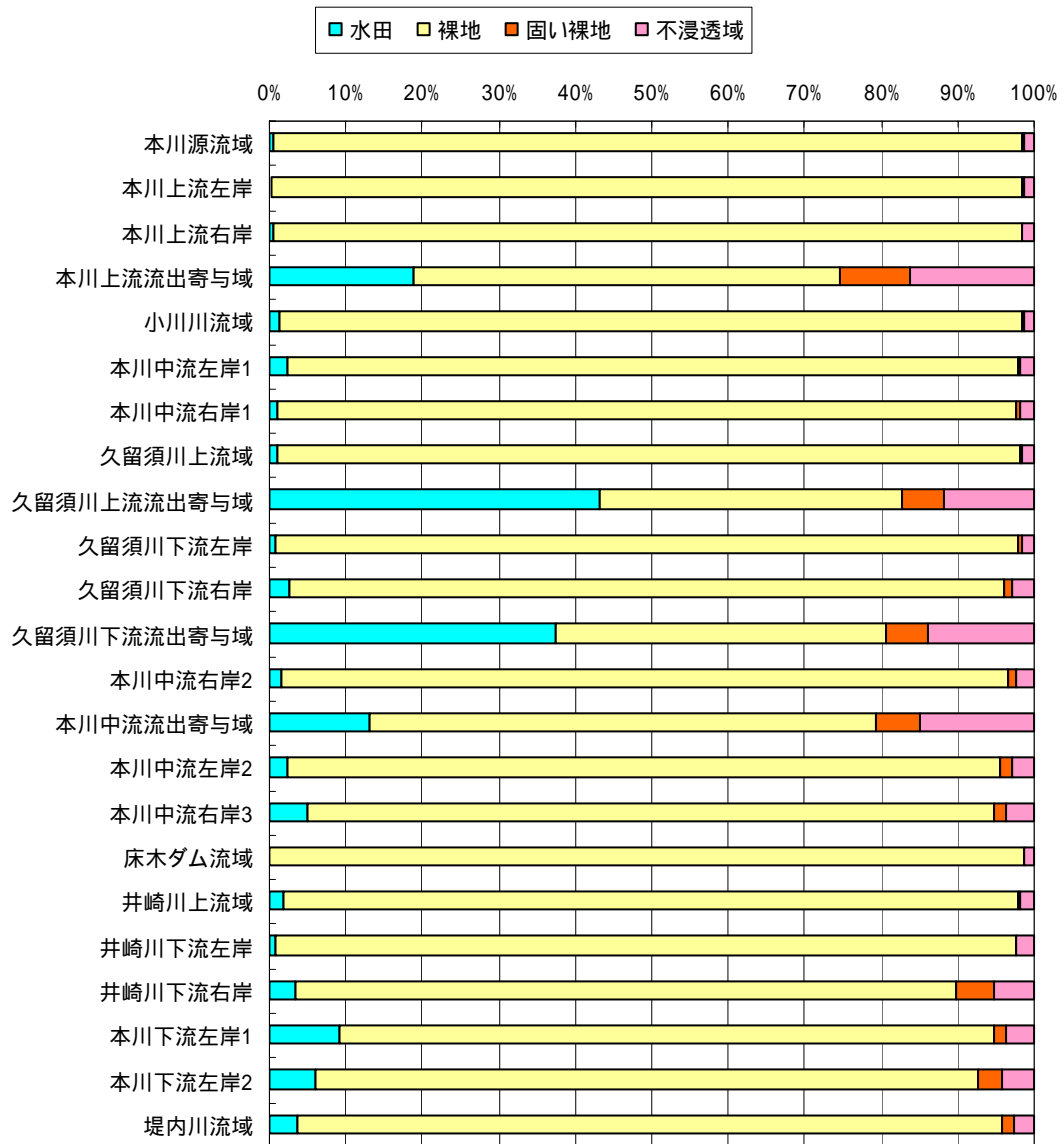


図 8-41 分割流域ごとの土地利用割合

### 5) 帯水層構造

帯水層は、上流は1層だが、本川約9.5km付近から下流で、難透水層を挟んだ2層構造となっている。今回の計算では、不圧帯水層1層を対象とするため、帯水層構造を次のようにモデル化する。

- ・ 2層となる箇所においては2層目(深層)へは流れない
- ・ 2層目に流れる地下水は、下流の井戸揚水量とつりあうと仮定し、2層となる箇所に揚水量として与える。

モデル化の模式図を図 8-42 に示す。このようにモデル化した場合、2層となる箇所の不圧帯水層の厚さは10mとした。また、1層部分については、井崎川合流部において、厚さを20mと30mに区分した。各メッシュに与えた層厚を図 8-43 に示す。図には、透水係数設定に必要なと思われる旧河道に対応するメッシュについてもあわせて示した。

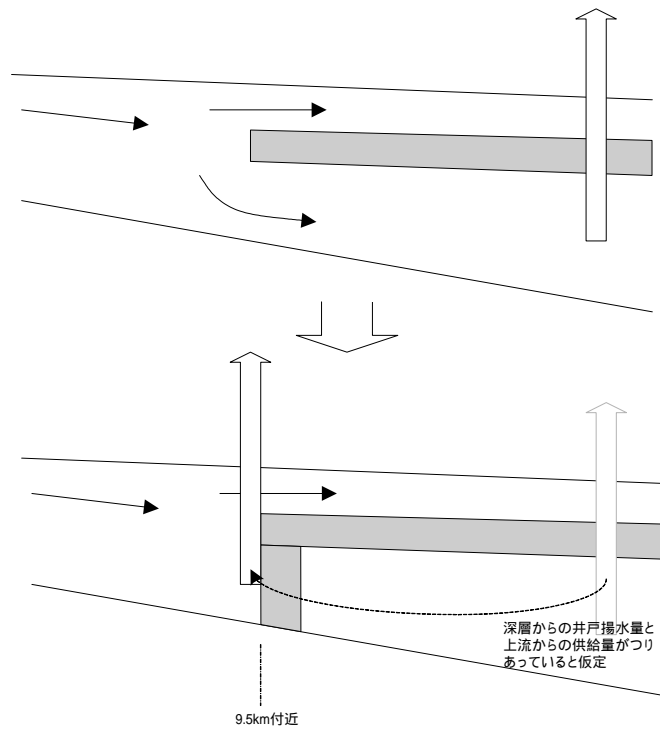


図 8-42 帯水層構造のモデル化

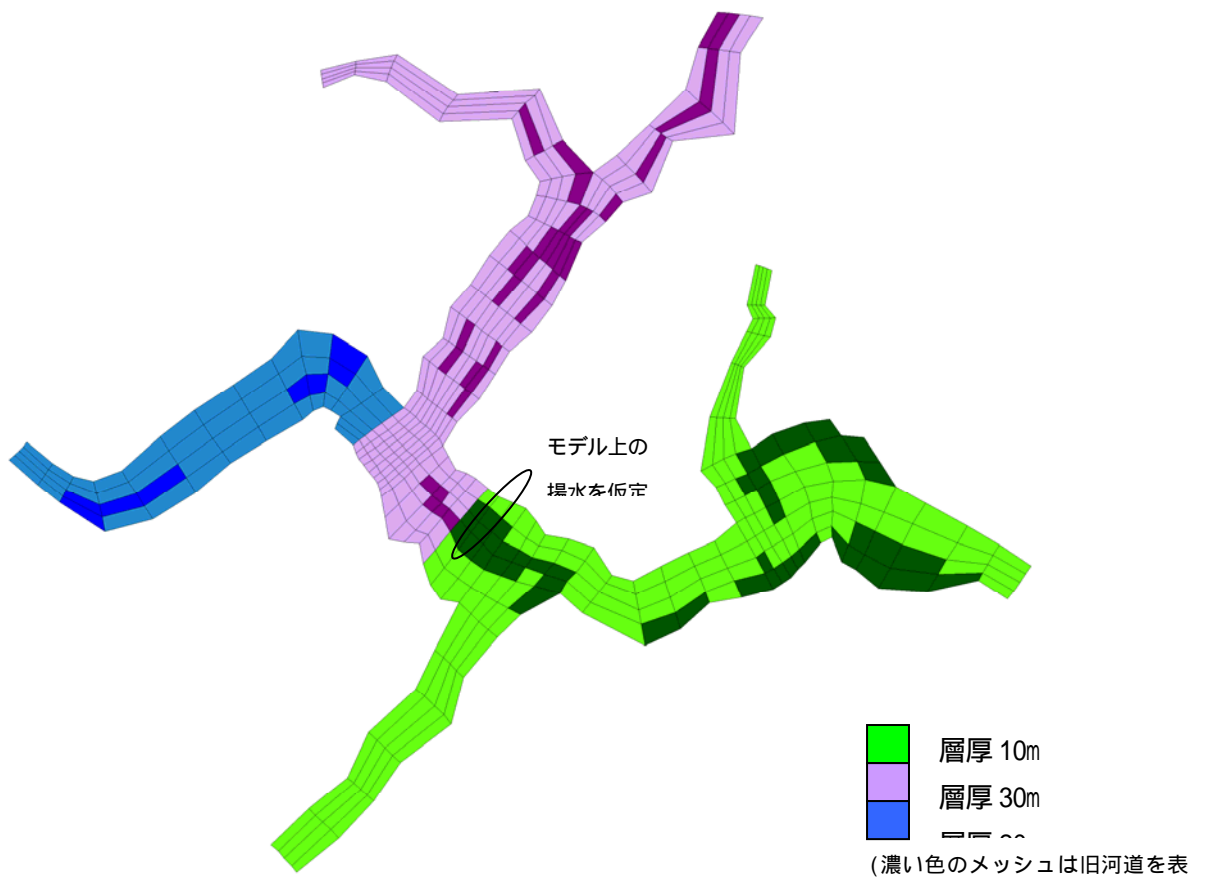


図 8-43 帯水層の設定

## 6) 揚水量

佐伯市の揚水量は、S61～H8、H13～H16 は月別のデータがあるため、これをそのまま用いる。H9～H12については、H8の値を用いる。

工業用の揚水としては、興人の揚水がある。ただし、揚水量のデータはなく、既往の報告書(H9 塩水化シミュレーション)では、最大で 9,600m<sup>3</sup>/日の揚水をしていたとして、この値を与えている。また、工業統計によるとH13～H15の佐伯市の工業用の井戸揚水量は、平均で約 8,400m<sup>3</sup>/日となっている。これらより、工業用の揚水量として 8,400m<sup>3</sup>/日を設定する。

両者を合計した月別の揚水量を図 8-44 に示す。

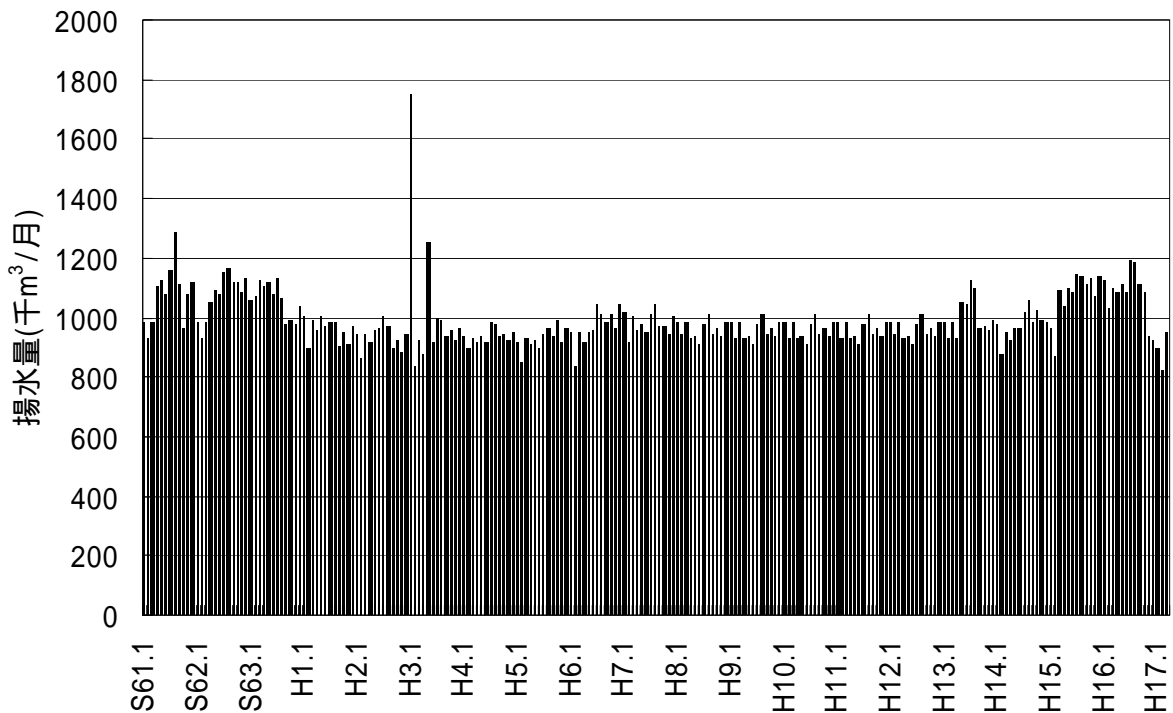


図 8-44 月別揚水量

## 7) 河道断面の設定

本川および井崎川は、一番近い 200m ピッチの横断測量断面形状を用いることとし、最深河床高を別に設定して、断面形状が平行移動するようにした。その他は矩形断面を仮定し、標高データ、平面図等から河床高、河川幅を設定した。

## 8) 取水・還元の設定

取水量は、鬼ヶ瀬堰および常磐堰以外は、近傍で還元するものとして、 $(1 - \text{還元率}) \times \text{取水量}$  を与えた。鬼ヶ瀬堰および常磐堰については、還元場所において還元率にしたがって還元するとした。

### 8.5. モデル精度検証

モデルのパラメタは、比較的雨の少ない H8 年の河川流量および地下水位で同定し、渇水年と豊水年である H14 年および H15 年の河川流量および地下水位で検証を行った。結果を図 8-46～図 8-51 に示す。

流量は、各地点とも計算値と観測値(低水流観測値)は、比較的良好であると思われる。しかしながら、番匠橋の低水部分(特に1～3月)で乖離が見られる。これは、上流の小川橋の観測精度に問題があると思われる。図 8-45 は、欠測がない年のみ抽出し、年間総雨量と年間総流出量(観測流量の合計)を比較したものであるが、小川橋と間庭橋については、総流出量は、総雨量と同じかそれより大きくなっている。つまり、観測流量は過大であると考えられる。このため、小川橋も含めた各地点で河川流量を合わせようとした場合、番匠橋の流量が過大な計算値となっている。

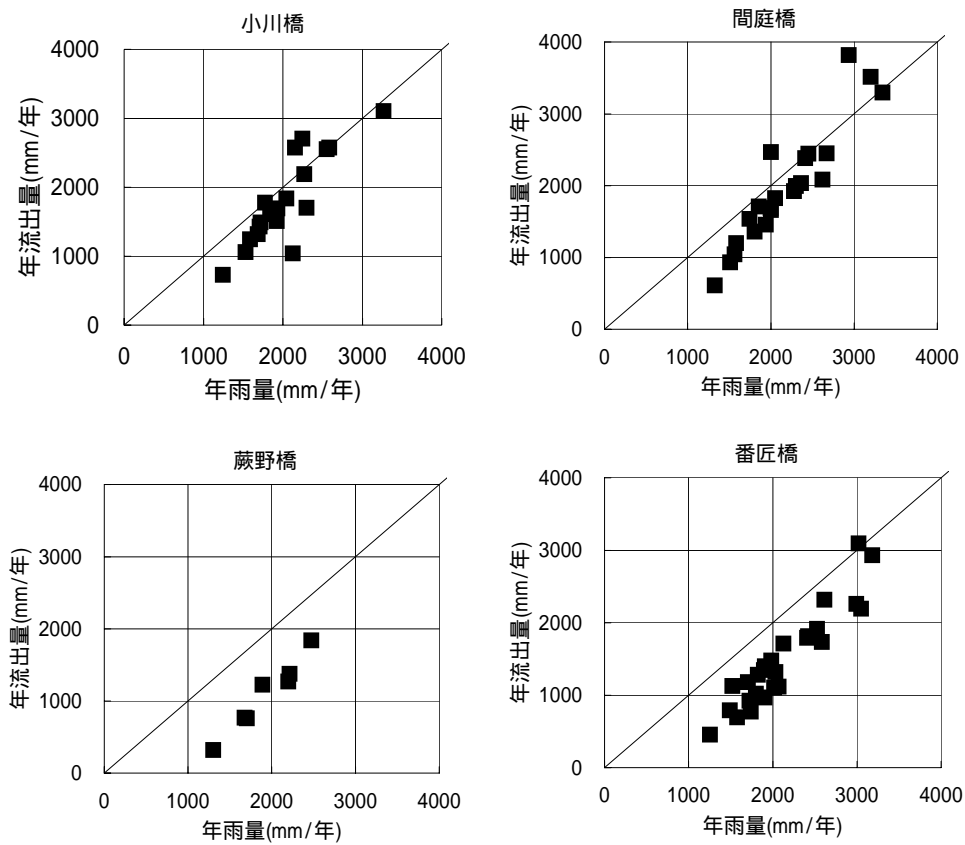


図 8-45 年間の総雨量と総流出量の比較

地下水位に関しては、降雨による反応がよく再現されている。しかしながら、切畑の夏場の水位上昇が表されていない。これは、水田からの涵養効果が大きいと思われるため、水田の用水量を見直していく必要がある。

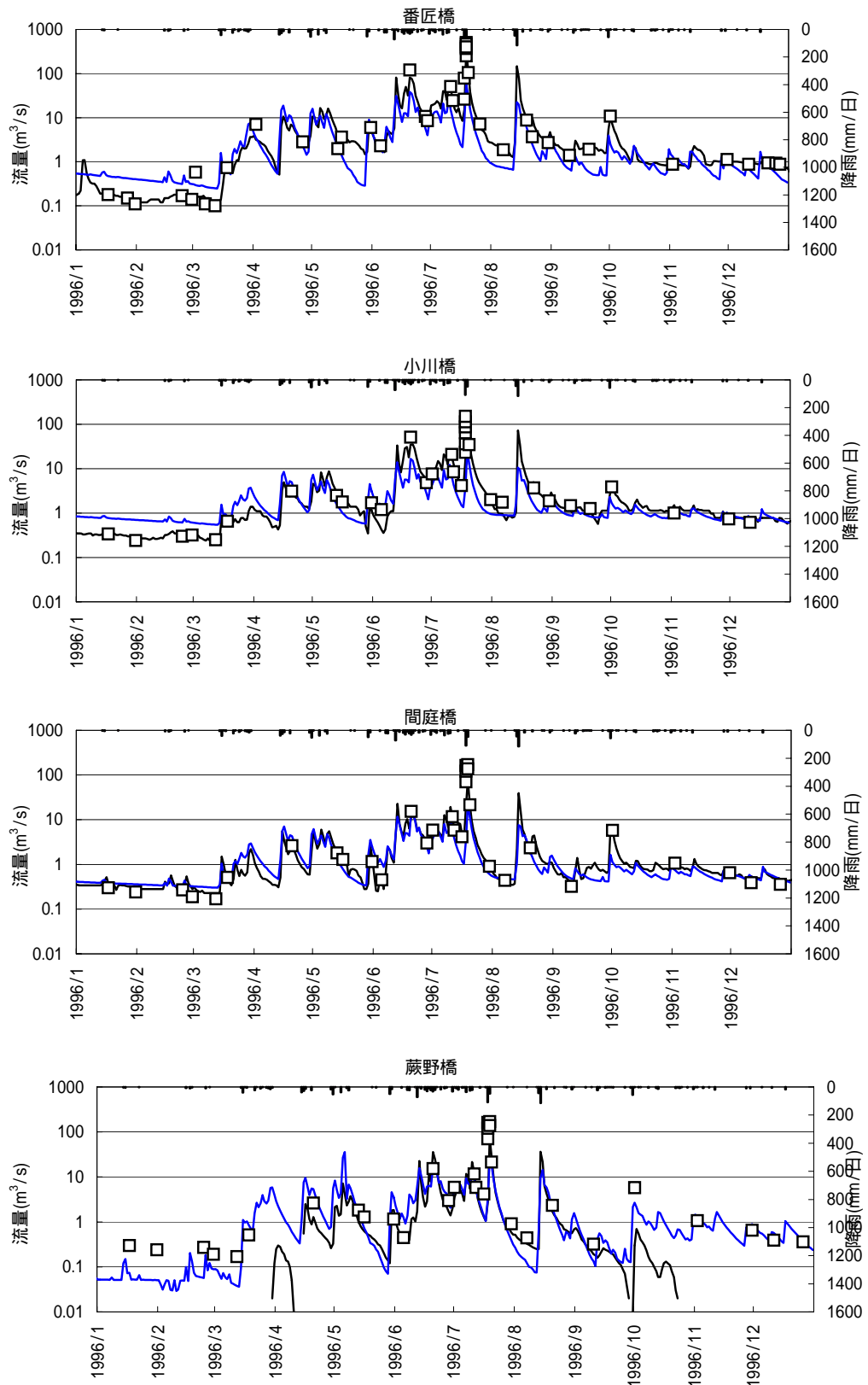


図 8-46 計算結果と観測値のハイドロ比較  
(H8, 黒: 観測値, プロット: 低水観測値, 青: 計算値)

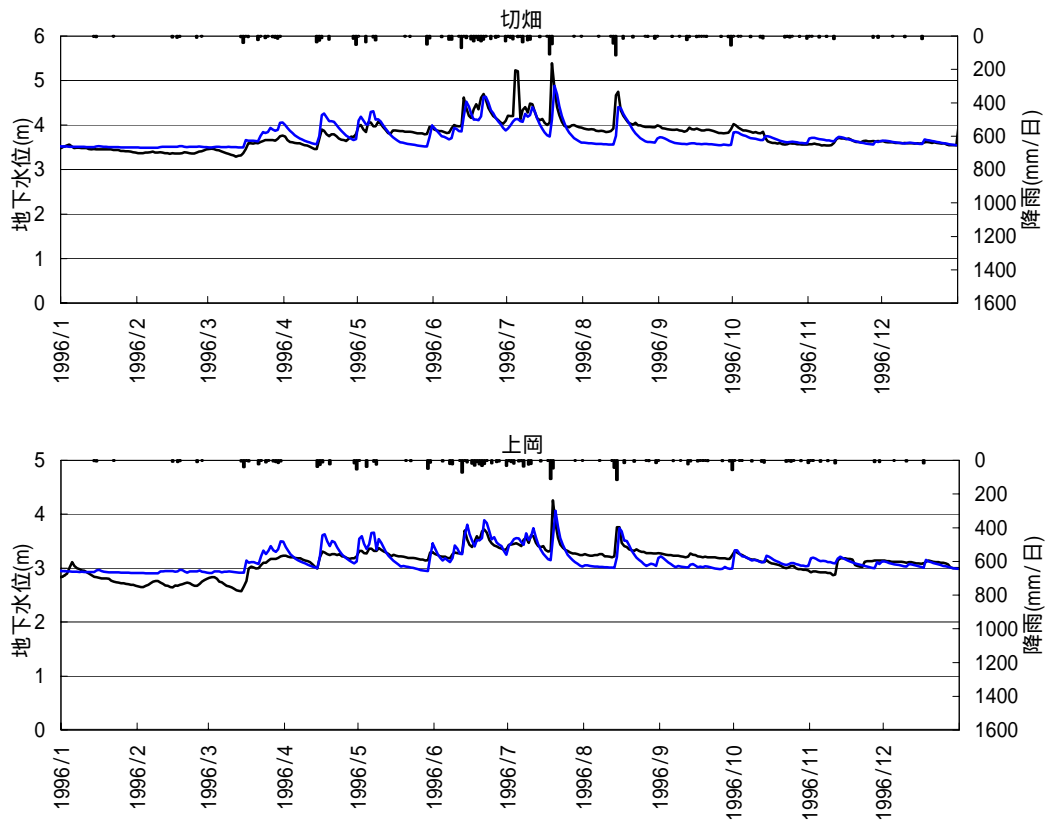


図 8-47 計算結果と観測値の地下水位比較(H8, 黒：観測値, 青：計算値)

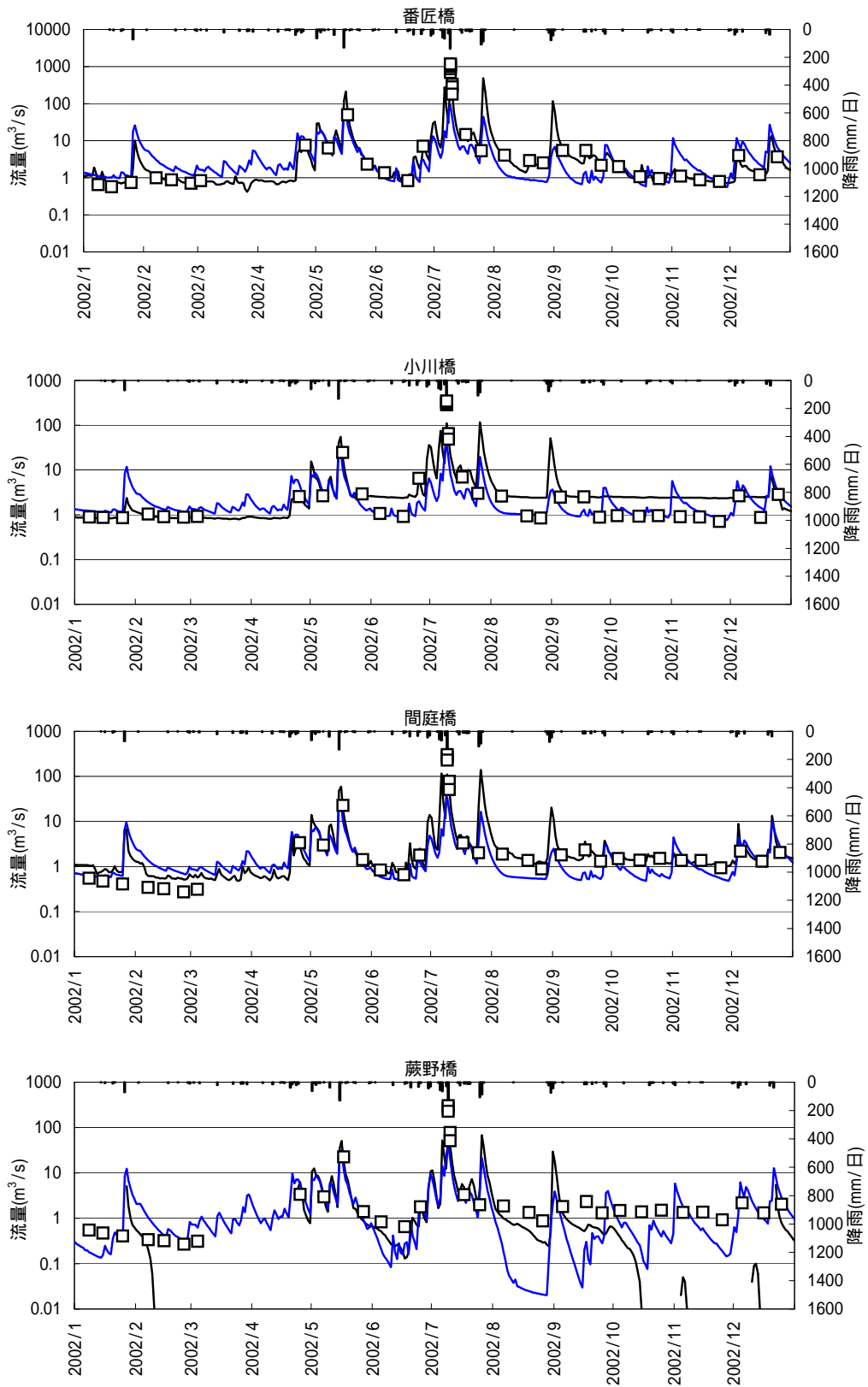


図 8-48 計算結果と観測値のハイドロ比較  
(H14, 黒: 観測値, プロット: 低水観測値, 青: 計算値)



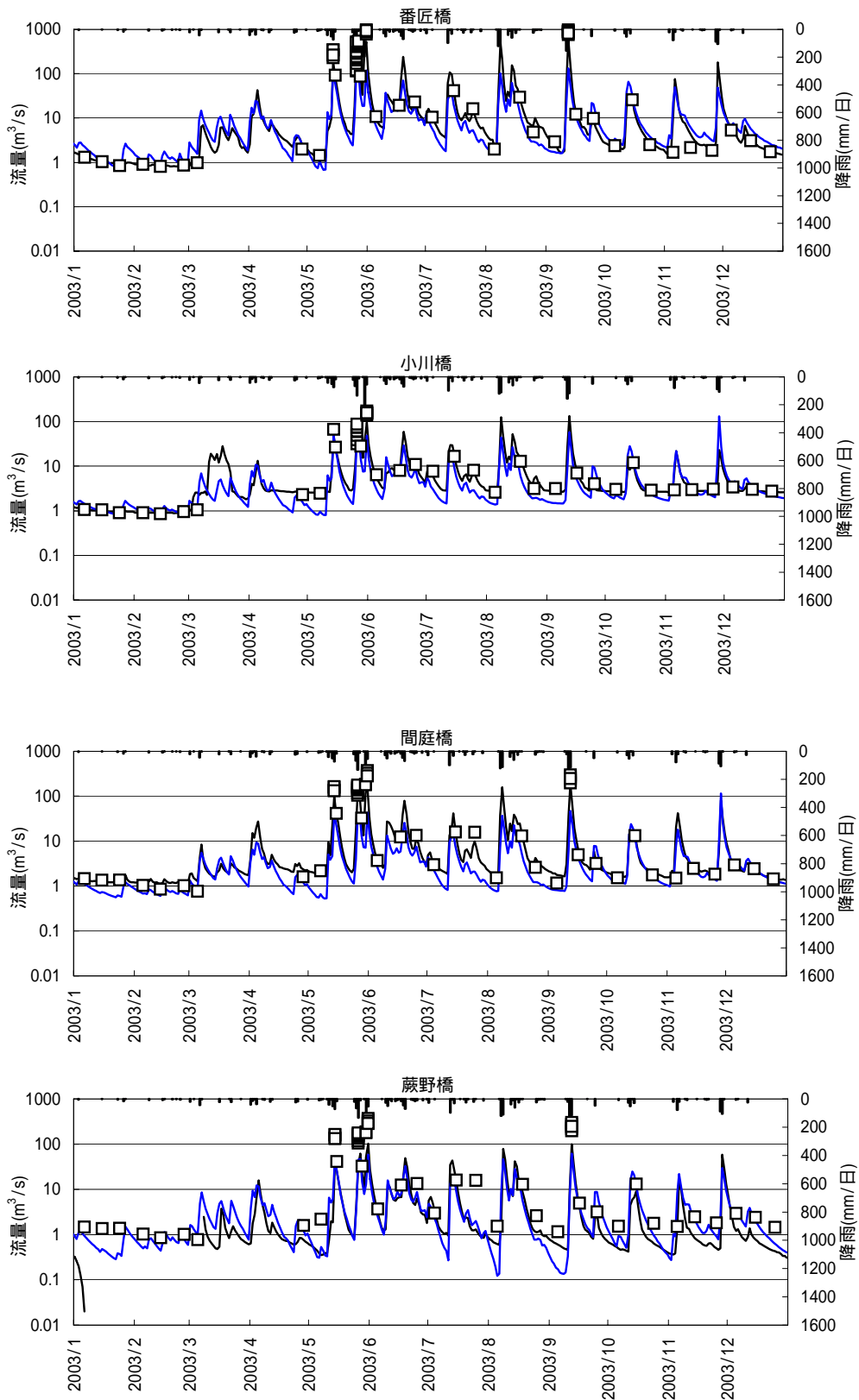


図 8-49 計算結果と観測値のハイドロ比較  
(H15, 黒: 観測値, プロット: 低水観測値, 青: 計算値)

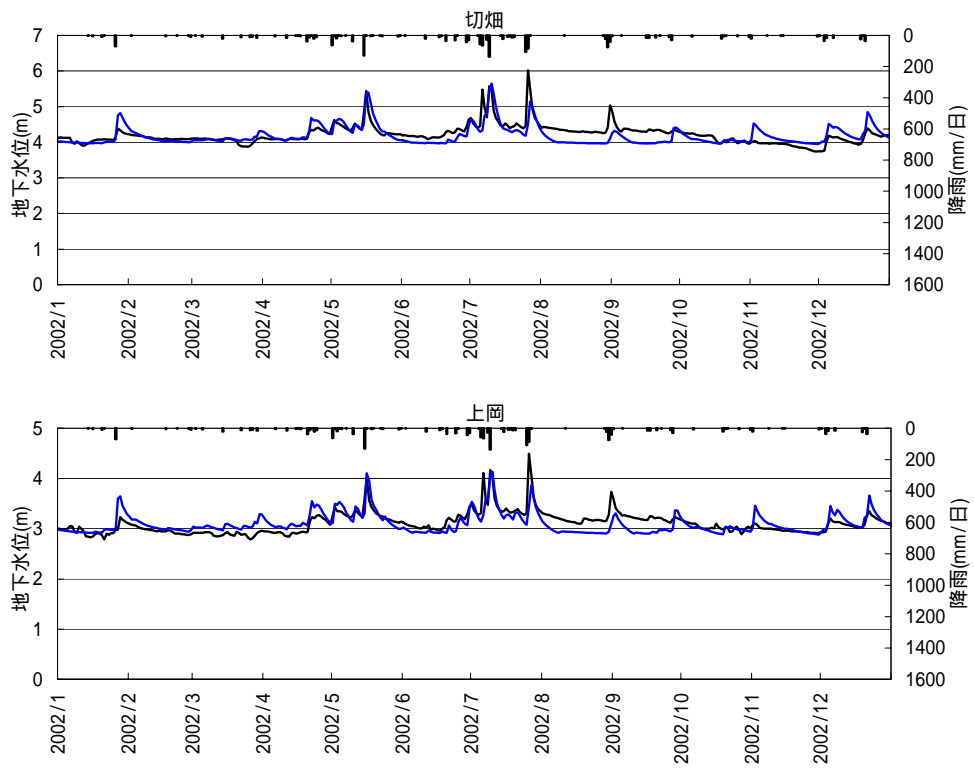


図 8-50 計算結果と観測値の地下水位比較(H14, 黒：観測値, 青：計算値)

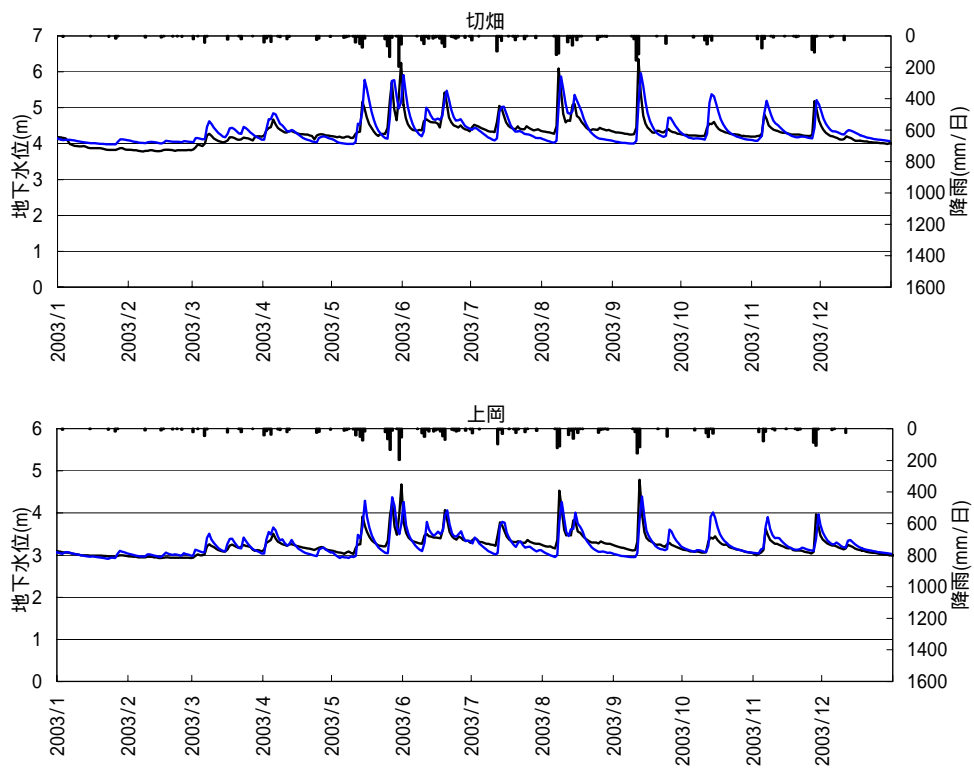


図 8-51 計算結果と観測値の地下水位比較(H15, 黒：観測値, 青：計算値)

### 8.6. モデルを用いた番匠川流況に関する考察

同時流量観測では、番匠橋下流の榎野橋地点で、 $0.52\text{m}^3/\text{s}$ (非灌漑期平均)の伏流水の還元がある結果となっている。そのときの番匠橋の平均流量は  $1.22\text{ m}^3/\text{s}$ である。また、番匠橋と榎野橋での湧水流量の比較(間庭橋での比流量を残流域分として考慮している)からは、 $0.26\text{ m}^3/\text{s}$ の還元が推定されている。

正常流量検討資料によると 過去48年間(昭和29年～平成13年)の番匠橋の1/10湧水流量が $0.3\text{m}^3/\text{s}$ であることから、それに計算流量が近い日(平成8年2月7日)の水収支(伏流・還元量)を示すと、**図 8-52** のようになる。上流側で伏流(河川 地下水)し、下流で還元(地下水 河川)している様子が再現されている。これは、河道断面の最深河床高(**図 8-53**)の高低にほぼ一致し、山梨子橋上流ではやや河床高が高いため伏流しており、潮止堰上流側では、深掘れしているため還元が発生している。潮止堰下流は感潮区間であり、河床が低く勾配も緩いことから還元が多く発生している。なお、番匠橋付近の伏流は、モデルで仮定した地下水揚水によるものであると思われる。計算の還元・伏流量は $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 程度であり、上記の同時流観結果および潮止堰での常時約  $1\text{m}^3/\text{s}$ の取水よりは小さめとなっている。これは、解析モデルからは、モデルが日単位の現象を扱っていること、河川・地下水・河川と地下水のやり取りの計算を別々にしていることなどが原因と考えられる。

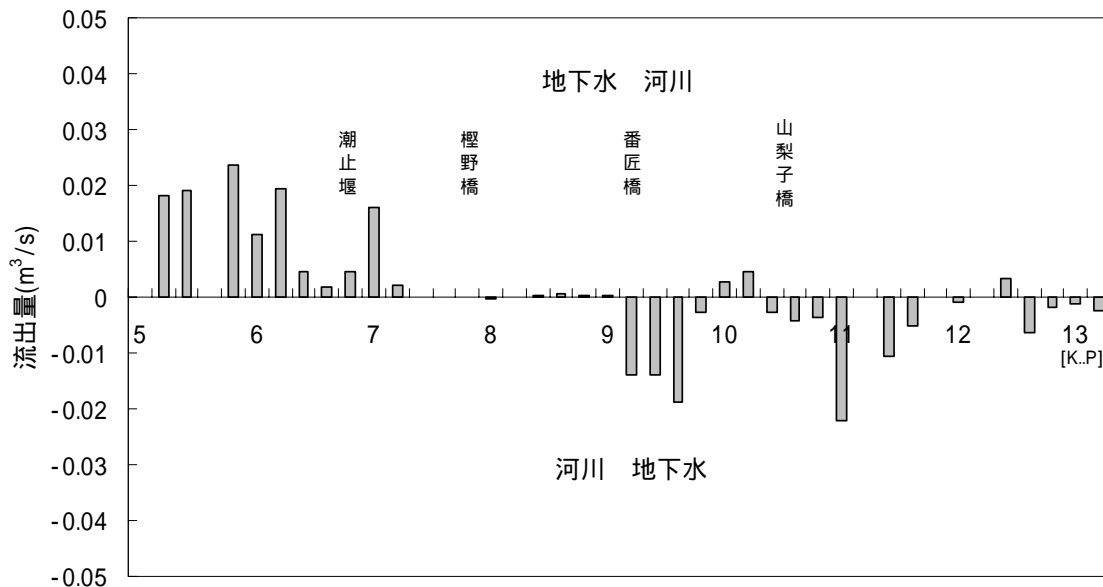


図 8-52 本川の水収支(H8.2.7)

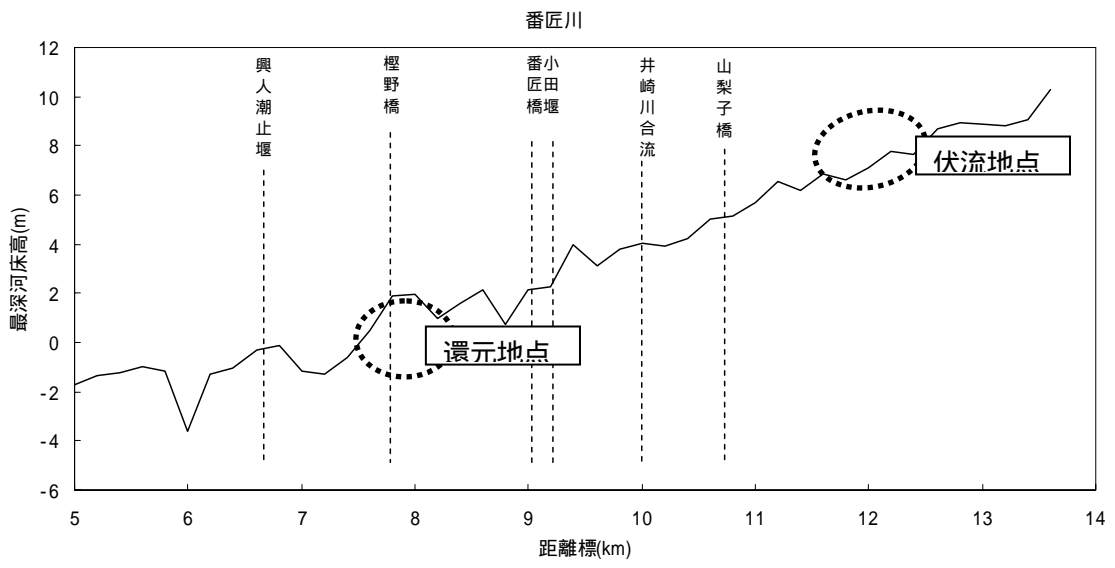


図 8-53 最深河床高

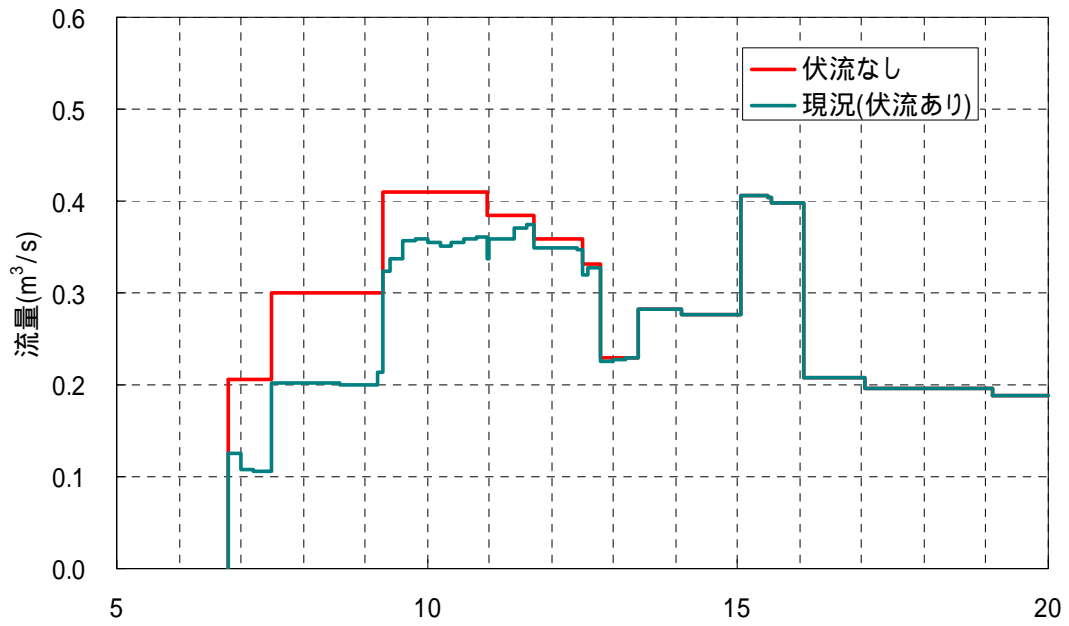


図 8-54 水収支縦断図

また、地下水の流速ベクトル、地下水涵養量の平面図を示すと、**図 8-55**、**図 8-56** のようである。

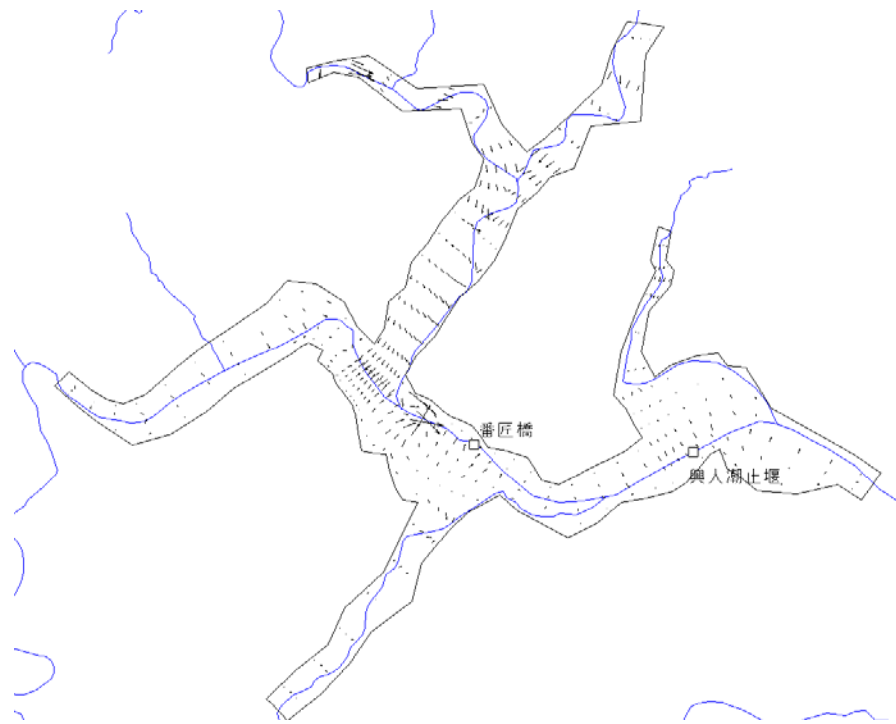


図 8-55 流速ベクトル

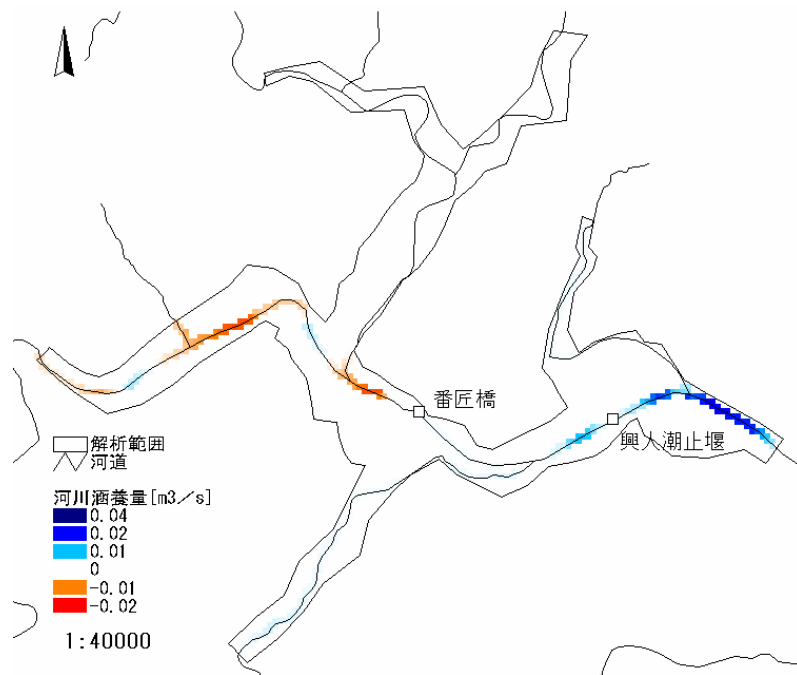


図 8-56 地下水涵養量

番匠橋および蕨野橋における流況曲線を図 8-57，図 8-58 に，流況表を表 8-12 に示す。

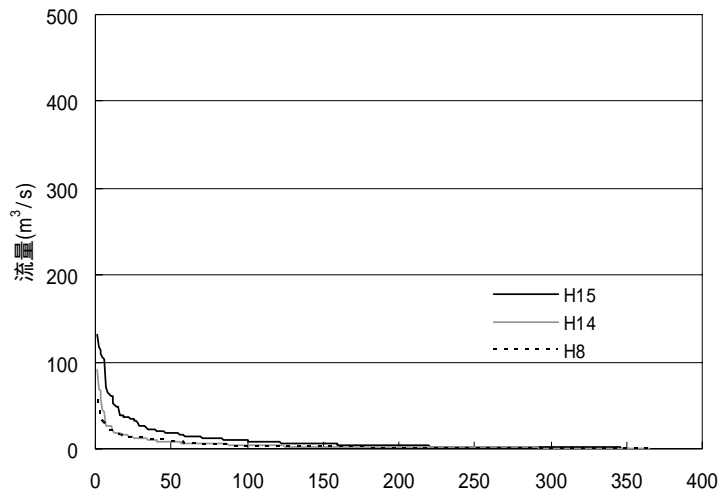


図 8-57 流況曲線(番匠橋)

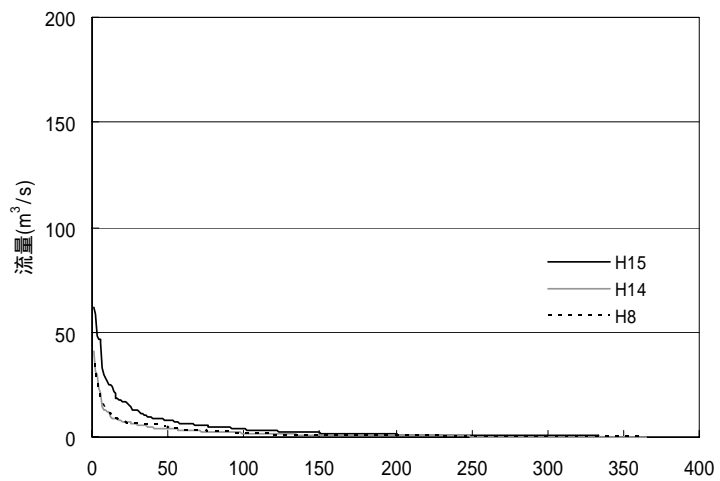


図 8-58 流況曲線(蕨野橋)

表 8-12 流況表(左：番匠橋，右：蕨野橋)

	H8	H14	H15
豊水流量	2.83	4.50	9.57
平水流量	0.96	1.82	4.02
低水流量	0.51	1.10	2.11
渇水流量	0.29	0.72	0.87

	H8	H14	H15
豊水流量	1.66	2.07	4.11
平水流量	0.64	0.77	1.42
低水流量	0.15	0.30	0.74
渇水流量	0.04	0.03	0.26

また、平成 14 年について、伏流を考慮しなかった場合の計算を行い、現況との比較を行うと図 8-59 のようになる。図には、現況との差を伏流量としてプロットしてある。図より、伏流量は河川流量の対数値と同様な変化をしており、伏流量変化は河川流量変化よりも小さいことが分かる。

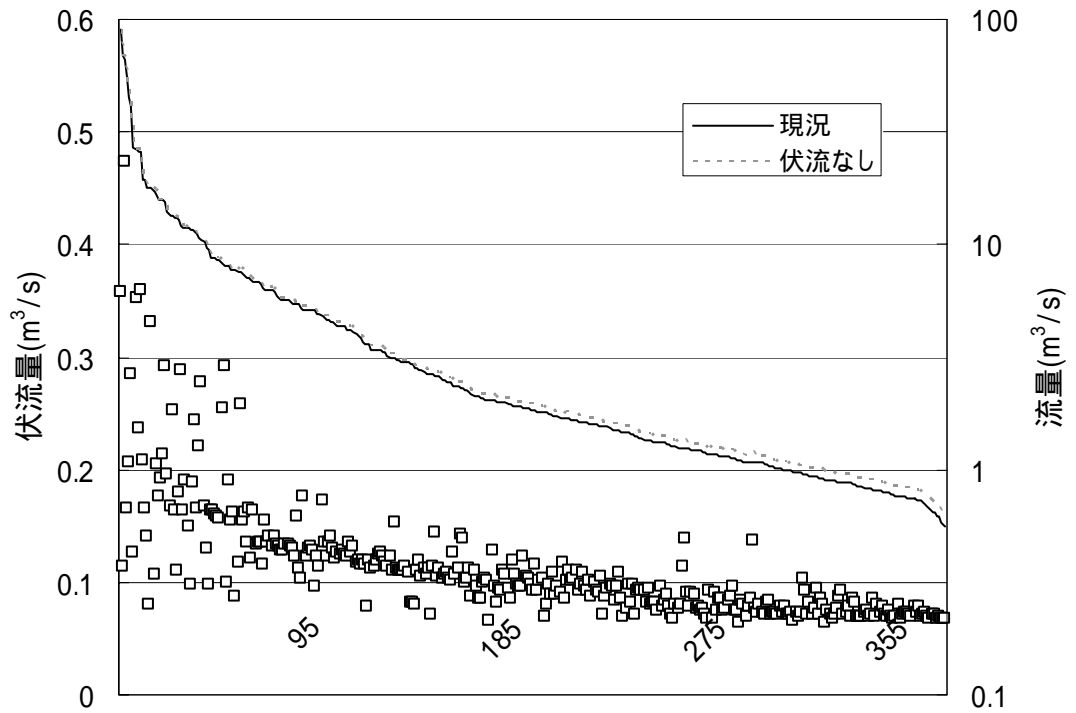


図 8-59 伏流を考慮しない場合の流況表(番匠橋)