

I S S N 0386—5878
土 研 資 料 第 1593 号

土 木 研 究 所 資 料

重信川水管理計画に関する調査

昭 和 55 年 3 月

建設省 土木研究所
河川部 水文研究室

Copyright © 54年度 by P.W.R.I.

All rights reserved.No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted,nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

河川の水利用率は、水需要の増加に伴い、年々高まってきている。このため、異常渇水に対する安全性も低下しつつあり、今後は下水処理水や地下水など他の水源にも頼ることや、農水合理化など水の再配分の検討などの必要性が議論されている。これらのうち、地下水は水量的にも水質的にも、もっとも有望なものであろう。

特に伏流水などの浅層地下水は降雨などからの涵養も多く、障害を起こす恐れも少ないため、この特性を定量的に把握した上で、適切な管理に基づいた利用を行えば、現在以上の利用が可能となる。中でも、河川水や地下水（伏流水を含む）の特性を生かし、これらを組み合わせた利用方式が特に有効であると考えられる。

本調査は四国地方北西部に位置する重信川流域を対象に上記に関連する調査を行ったものである。調査内容として今回下記の項目をとりあげた。

1. 伏流水挙動の定量化
2. 伏流水を含めた水開発方式と開発量の検討
3. 伏流水低下による影響概略評価

これらの調査の結果、伏流水を単独で開発した場合に比較して、河川水と組み合わせて利用することにより、2倍以上の開発（ $1.75\text{ m}^3/\text{s}$ ）が可能であることがわかった。

以上の調査は四国地方建設局の依頼により、昭和53年度～54年度にかけて実施したものであり、調査においては同局企画課、及び松山工事々務所の御援助を頂いた。また実作業においては、(株)建設技術研究所、国際航業(株)、市川慧氏などの協力を得た。ここに感謝の意を表わす。

土木研究所 水文研究室長 石 崎 勝 義
研 究 員 佐 合 純 造

重信川水利用に関する調査報告書

目 次

1. 重信川の流域特性	1
1-1 地 形	1
1-2 水 文 気 象	2
1-3 土地利用及び土壌特性	3
1-4 地 質	3
2. 流域の水利用状況	11
2-1 用途別・水源別水利用量の経年変化	12
2-2 昭和50年度水利用の現況	12
2-3 利用施設の現況	14
2-4 新規に可能な水利用量の概算	19
3. 水循環状況の把握	22
3-1 水収支式の設定	23
3-2 流域・平地部の水収支の検討	23
3-3 流域・平地部水収支についてのまとめ	46
3-4 河道の水収支	49
3-5 水循環モデルによる水収支状況	56
4. 帯水層（地下水）の特性	83
4-1 帯水層の分類及び分布	83
4-2 地下水、伏流水の流動および分布	86
4-3 河川との関係、降雨の涵養	86
4-4 地下水の利用形式とその影響	87
5. 流域の水利用の可能性	89
5-1 地下帯水層の水利用方式の概念	89
5-2 表流水、地下水の利用可能量の検討条件の整理	92
5-3 表流水の利用可能量	100
5-4 地下水の利用可能量	103

5-5	表流水と地下水の連結利用による可能量	104
5-6	既得地下水の運用を考えた表流水と地下水の連結利用による可能量	106
5-7	地下水の涵養を考えた表流水と地下水の連結利用による可能量	108
5-8	流域水利用の可能性	110
5-9	表流水の取水懸案地点の特性	113
6.	予想される影響と今後の課題	121
6-1	概 要	121
6-2	地下水位低下について	122
6-3	河川水、湧水への影響	124
6-4	地盤沈下	126
6-5	塩水浸入	126
6-6	そ の 他	127
	参考資料	129
7.	まとめ及び今後の方針	133
7-1	ま と め	133
7-2	今後の調査方針	133

1. 重信川の流域特性

1-1 地 形

重信川は、三方ヶ森に源を発して瀬戸内海の伊予灘に流入する流路延長約35.8km、流路面積445.3 km²を有する1級河川である。支川は、右岸に石手川、小野川、内川、左岸に砥部川、御坂川、拝志川、表川の各河川を合わせている。図-1に示すように重信川流域は、全体として放射状の水系パターンを示している。

流域は、北三方ヶ森(977m)、東三方ヶ森(1233m)、陣ヶ森(1210m)障子山(854m)、黒森山(1154m)などの峰々とこれらの峰を結ぶ尾根を分水嶺として他水系と接している。

これらの山地に囲まれた重信川流域内では、中央に重信川に沿う平野部が、その周辺に段丘地形が発達し、上流の川内町および重信町付近で扇状地域が広く形成されている。これらの平坦面より低い面が重信川沿いに分布している。この平坦面は、いわゆる沖積面で、森松町付近から下流側で特に広く分布するようになる。

この沖積面には、重信川の旧流路と思われる幅広い細長い低地が分布しており(図-3)松山市森松町から重信川上流域では、右岸側で現流路沿いに発達し、左岸側では山脚近くに分布している。森松町と松前町徳丸の間では、これらの旧流路跡はある幅をもちながら比較するが、下流で再び三条に分かれる。最も北側のものは現河道沿いであり、中央部は松前町を縦断し、南側のものは松前町と伊予市の境界付近を伊予灘に向っている。これらの低地部に湧泉および取水井戸(農業用水、上水道用水、工業用水として利用)が集中しており、豊富な地下水を賦存する重信川旧流路と考えられる。

玉田・渡辺は「重信川の歴史」で重信川の流路変遷を研究し、図-2に示すように過去において大きく分けて3回の流路と地形上から求めた低地形(旧流路)とは良く一致している。

また、後述するように、図-4に示す地表面下5.0m付近の比抵抗分布図における高比抵抗域(300Ω-m以上)と旧河道とがよく一致しており、このことから、旧河道にあたる低地部が地下水を豊富に賦存する砂礫層からなることを示している。

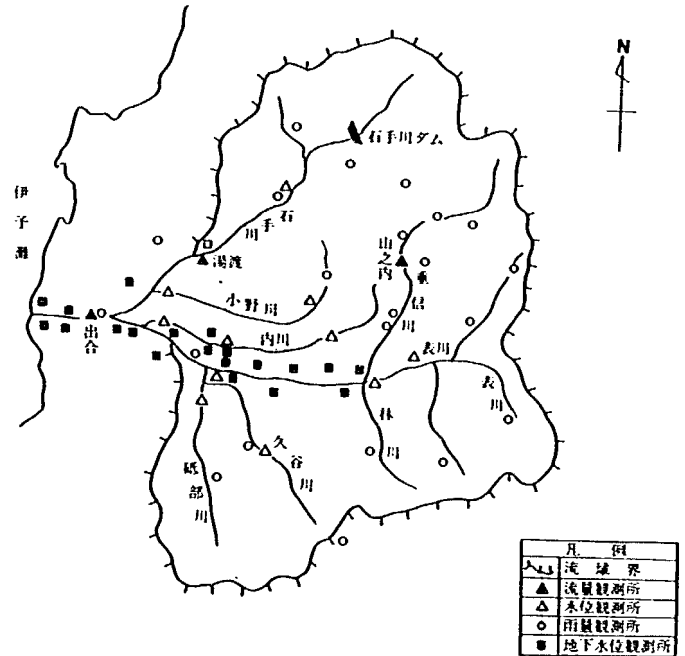
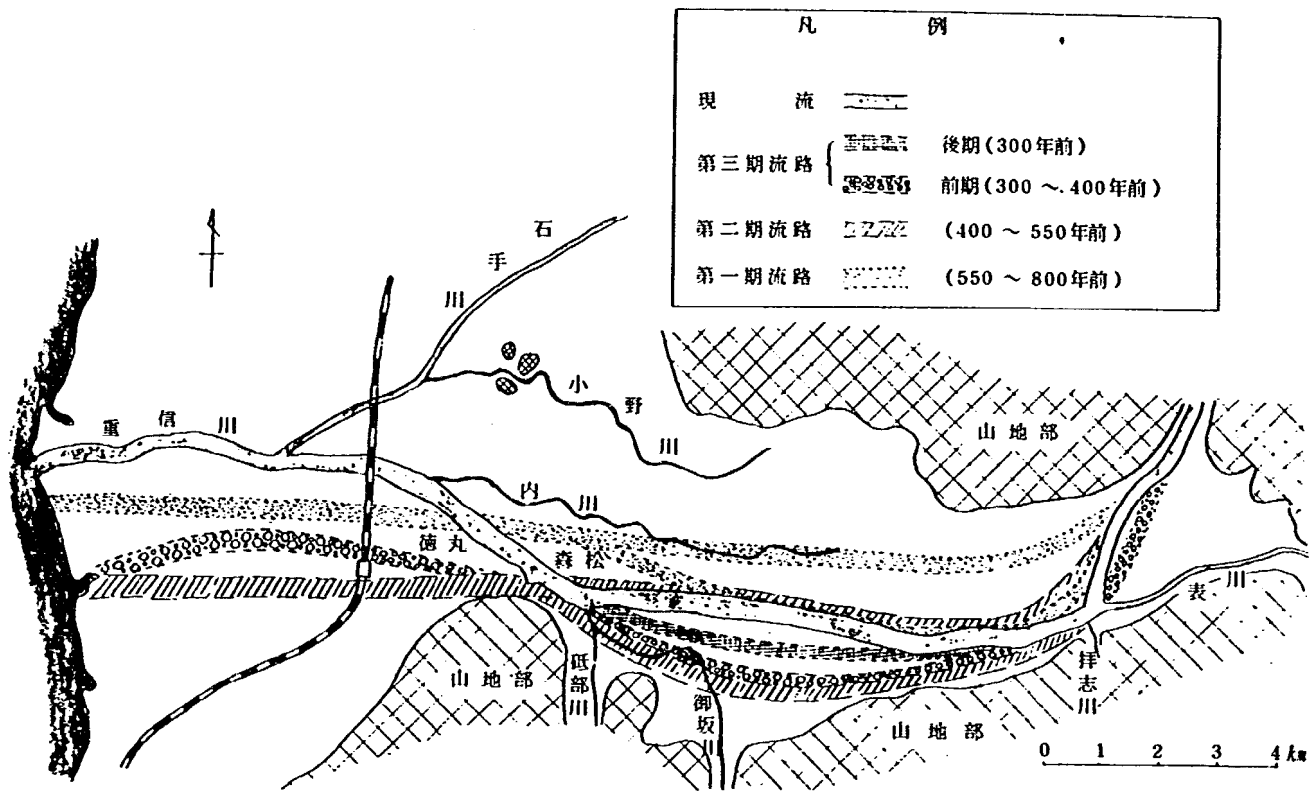


図-1 重信川流域平面図



(玉田博一、渡部儀著「重信川の歴史」巻17号参照)

図-2 重信川の流路変遷

1-2 水文気象

重信川流域はいわゆる瀬戸内型の気候帯に属し、雨量は少なく、年間雨量は松山で1100mm~1600mm程度である。季節的には5月~7月の梅雨前線による雨と8月~10月の台風による雨が多く、11月~2月の冬期には少ない。

地域的には梅雨前線による降雨は流域全般に降るが、台風などによる気流性降雨は山地に多く平野部に少ない傾向があり、台風が流域の西部、伊予灘を通過する場合に強雨が起りやすい。

表-1 主要河川の年間流出率
(昭和36~50年平均)と重信川流況

河川名	年間流出率(%)
石狩川	82.7
最上川	90.2
信濃川	54.7
利根川	70.3
木曾川	76.2
淀川	73.0
芦田川	62.8
重信川	45.3
筑後川	77.0

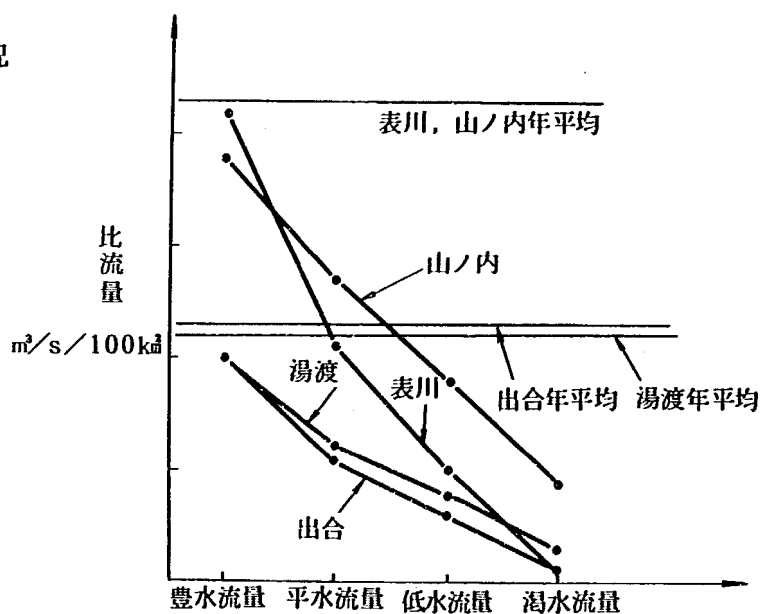


図3 重信川流況図

重信川流域における雨量観測所は現在約20カ所あり、その位置等については図-1に示す。

流域内の蒸発量については、昭和33年から山間部の5カ所において、蒸発計による測定を行っており、このほか松山市内における気象台の観測資料がある。各観測点の蒸発量の経年変化を示すものである。しかしながら植物および大地を通じて行なわれる蒸発散量は、植生、土地利用、土質または地質等によって異なった値を示すと考えられ、これらの点については後に水収支解打の項で詳細に述べる。

また、河川は降雨量が少ないこと、河床こう配が極めて大きいこと、平野部の透水性が良好なことなどにより、流況は他の河川にくらべて悪い。(表-1 参照)流域内の支川ごとに流況を比較すると支川によって、また、上、中、下流によって流況に差異がみられる。(表-1 参照)特に、本川上では上流部の観測点では流況は比較的安定しているが、下流に行くにしたがい流況は悪化し、渇水流量が $0 \text{ m}^3/\text{s}$ となる年もみうけられる。この原因としては河川水が流下するにしたがい伏没していることが考えられる。

1-3 土地利用及び土壌特性*

この地域は県内最大の都市松山市を中心とする沖積平野で同時に県内最大の穀倉地帯でもある。沖積地は主要河川とその支流を中心に粗粒、細粒、灰色低地土壌の分布が広く、その大部分が水田であるが市街化の急速な発展によって、住宅の増加が甚だしい。周縁部は丘陵台地が多く、果樹園ならびに林地として利用されている。水田の地帯は本県で最も生産力が高い。また丘陵台地の一部はレクリエーション・エリアとしての利用も増加しつつある。平野の周辺山地の土壌(黄褐系)、褐色森林土壌、乾性、湿性褐色森林土壌が分布し、針葉樹の人工林として利用されるほか広葉樹の人工、天然林もあるが、生産性はやや高い程度である。

1-4 地 質

重信川沿いの平野部では、これまで、サク泉あるいは構造物基礎調査のためにボーリングが多く実施されており、また地下水調査のための垂直電気探査も数多く実施されている。これらの既存資料を基に地質平面図を図-2に比抵抗分布図(地表面下5.0 m付近)を図-4に示した。

これらの結果から基盤岩等高線を推定すると図-5のようになる。また、ボーリング柱状図および電気比抵抗柱状図を参考にし平野部の地下構造を考察すると図-6および7に示す地質断面図のようになる。

重信川周辺の地質概要を表-2をもとにして以下に述べる。

① 和泉層群

山地部を構成する地層で、平野部の基盤岩をなす。この基盤岩は、松山市森松町から松前町徳丸の間で、極めて接近した状態で分布し、標高0 mの等高線の距離が約1.8 kmと推定される。この地点の上流および下流側では広がっており、地下水を賦存する砂レキ層は、この付近でしぼられた状態となっている。これはD-D'断面で特徴的な形状を呈する。

電気比抵抗値は一般に $100 \Omega\text{-m}$ 以下となっており、一般に不透水層として取り扱う。

*国土庁 土地分類基本図より

表-2 重信川の地質概要

地質時代			地層名	地質記号		地質	電気比抵抗
				平面図	断面図		
新 生 代	第 四 紀	沖 積 世	現河床積層		r	レキ・砂	300Ω-m以上
			沖積層	A		粘性土	100Ω-m以下
						砂質土	100~300Ω-m (但し、旧流路の砂レキ層は300Ω-m以上)
						砂レキを主とする	
		洪 積 世	扇状地堆積層	Fd		砂レキを主とする	300Ω-m以上
			新期段丘堆積層	Ntr		粘性土	100Ω-m以上 (但し、一部に100~200Ω-m)
			旧期段丘堆積層	Otr		砂質土	
			八倉層	欠	欠	砂・レキ・粘性土	不明
中生代	白亜紀		和泉層群	Iz		砂岩・頁岩互層	100Ω-m以下

② 八倉層

砂レキ層が主体で、砂岩レキ、チャートレキ、頁岩レキ、および結晶片岩レキなどで構成されている。レキ径は、1~3cm、5~10cmのものが多く、最大でも径15cm程度良く円磨されている。全体にかなり締っており、かつ風化が進行していることから難透水層と考えられる。

③ 旧期段丘堆積層

山裾沿いの最も高い緩斜面を形成し、平野部の未固結な堆積層の大部分を占める地層である。砂レキ層(粘性土を多く含む)を主とし、砂質土および粘性土を所々に介在するが、その連続性は明らかでない。

電気比抵抗は大部分100Ω-m以下を呈しており、ごく一部100~200Ω-mの比抵抗も認められる。一般に難透水性の地層と考えられる。

④ 新期段丘堆積層

旧期段丘堆積層よりは新しい時代に堆積した地層で、その堆積面は、ほぼ平坦であり、旧期の段丘面より低位に分布する。

地層の性状は、旧期段丘堆積層とほぼ同様である。また電気比抵抗値も大部分100Ω-m以下を呈しており、一般に難透水層と考えられる。

⑤ 扇状地堆積層

重信町および川内町に広く分布する地層で、その上面は扇状地形を呈する。他に2ヶ所ほど認められ

る。

砂レキ層を主とする地層で、電気比抵抗が $300\Omega\text{-m}$ 以上と高く透水性は良いものと考えられる。

⑥ 沖積層

沖積層は、重信川沿いの沖積面を構成する地層で、河川の氾濫原性の堆積物が主体で上流部では砂レキ層が多い。森松町から徳丸にかけて重信川の両岸に基盤台が接近しており、このため、この付近の沖積層は特にレキ径も大きいことが知られている。徳丸から下流部では急激に平地部が開け、レキ径も小さくなり細粒部が多く、粘性土も多く介在するようになる。

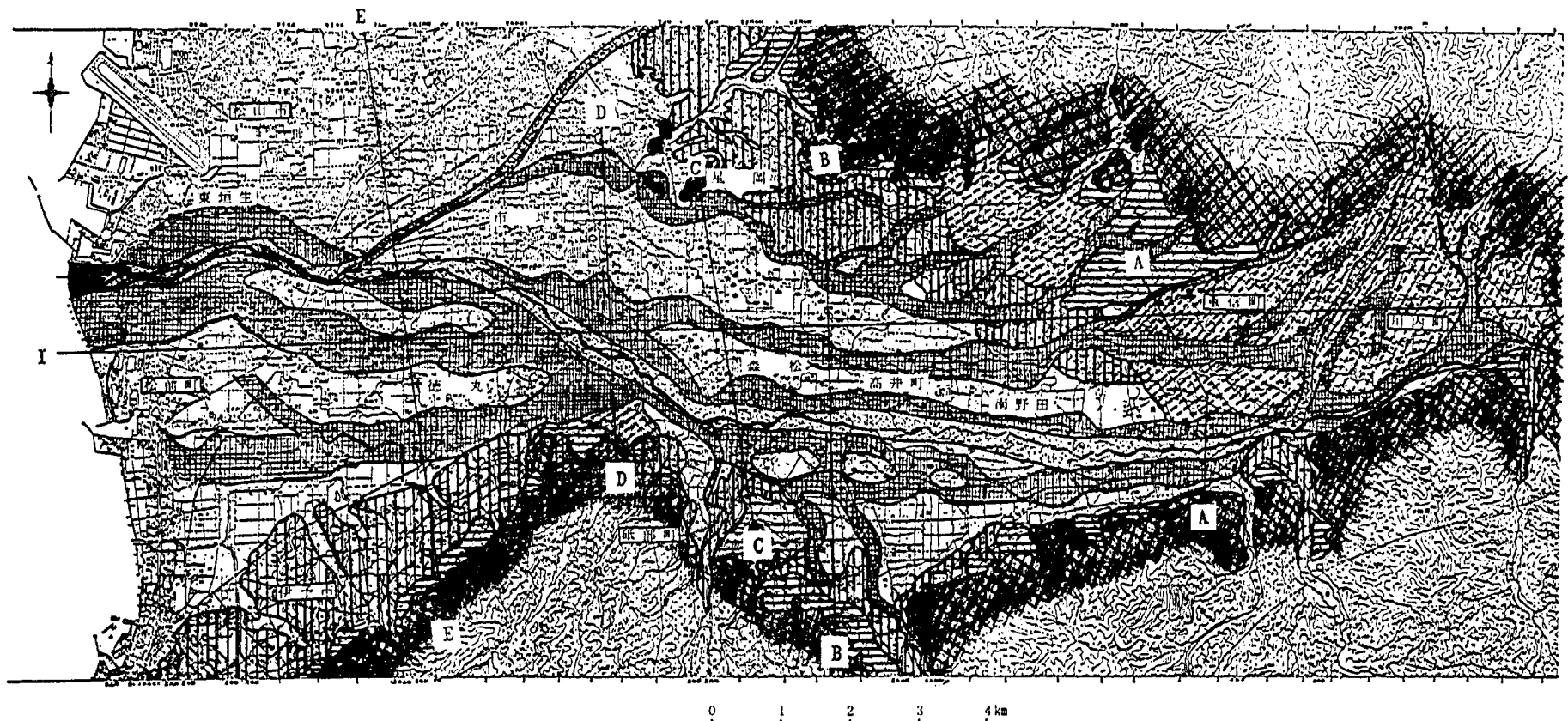
電気比抵抗値も、上記の地質状況を示すように、レキが多く細粒分の少ない部分では比抵抗値も高く $300\Omega\text{-m}$ 以上を呈する。細粒分を多く含むようになると、比抵抗値も低くなり、沖積層の周縁部および徳丸から下流部では、粘性土も多く含むようになり、 $100\Omega\text{-m}$ 以下の分布も認められる。 $300\Omega\text{-m}$ 以上の部分は重信川旧流路にあたり、良好な透水層である。 $100\Omega\text{-m}$ 以下の部分は難透水層となっている。その他は、細粒分を多く含んだ砂レキ層で $100\sim 300\Omega\text{-m}$ の間で変化しており、透水性にも幅がある。なお、海岸付近で比抵抗値が高くなっているのは、塩水化の影響とも考えられるが、詳細は不明である。

⑦ 現河床堆積層

現河床堆積層は、重信川河川敷に堆積した地層で、レキ、砂を主とする。一部シルトを含むこともあるが、その量は僅かである。現河床で測定した電気比抵抗値はないが、その地質構成から $300\Omega\text{-m}$ 以上と推察される。良好な透水層である。

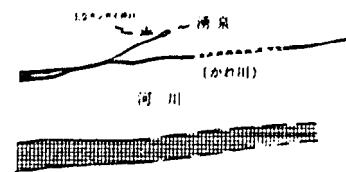
⑧ その他の地層

山裾部には、崖錘堆積層が分布し、海岸では砂丘堆積層が認められるが、その分布範囲は極めて限定されているため、地質平面図および地質断面図には示していない。また、水理解析上特に問題となる地層でもない。



凡 例

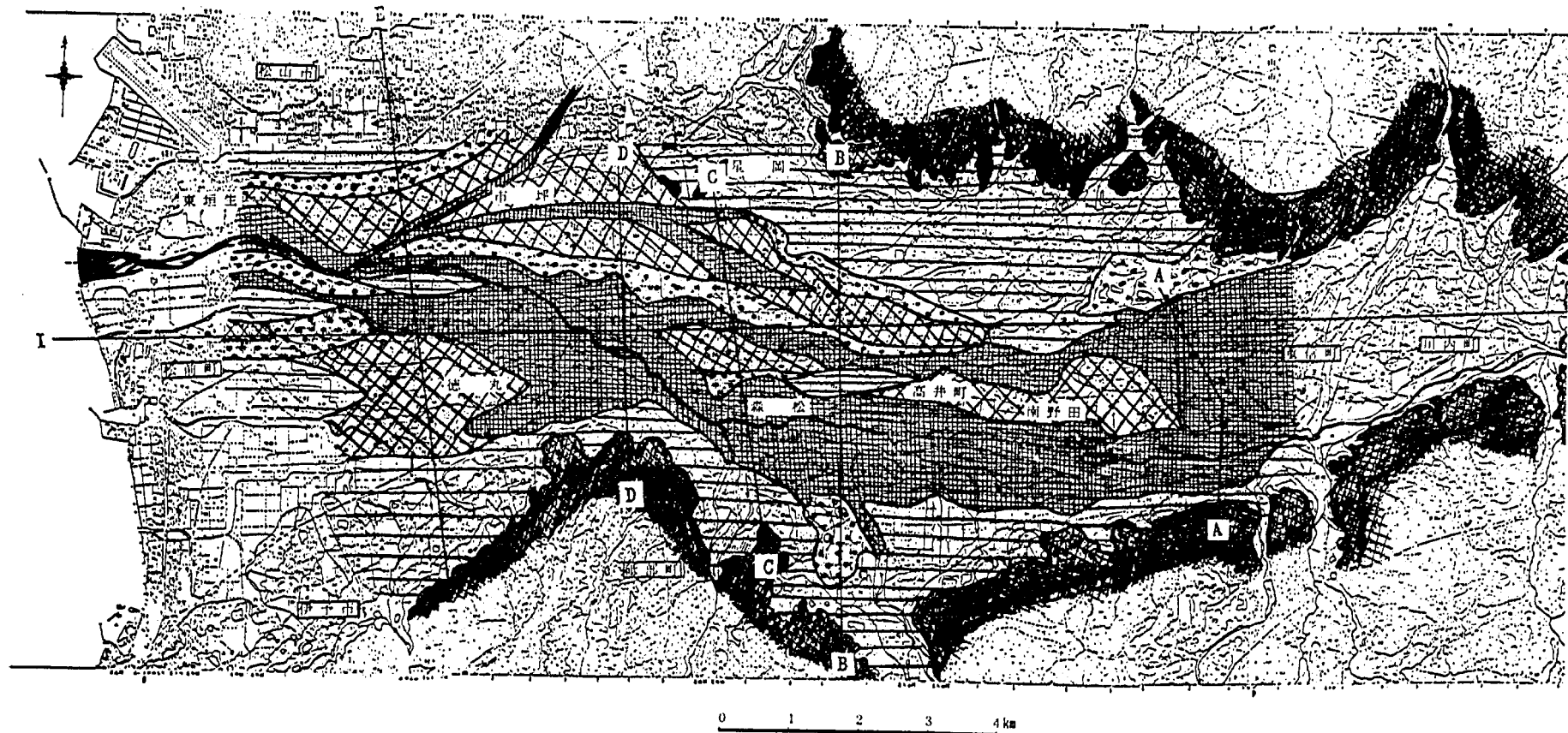
地質時代	地層名	記号	地 質
新 生 代	沖積世	現河床堆積層	レキ、砂、シルト
	沖積世	沖 積 層	砂レキ、粘性土
	第四紀	扇状地堆積層	砂レキ、粘性土
	洪積世	新期段丘堆積層	砂質土
	洪積世	新期段丘堆積層	砂レキ、粘性土
	洪積世	旧期段丘堆積層	砂質土
	洪積世	旧期段丘堆積層	砂レキ、粘性土
中 生 代	白堊紀	八 倉 層	砂レキ、粘性土
	白堊紀	和 泉 層 群	砂岩、頁岩互層



推定される旧重信川および支川の流路

A-A' 地質断面線

図 - 3 重信川周辺の地質平面図



凡 例

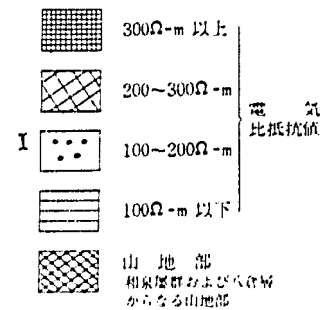


図-4 地表面下 5.0 m 付近の電気比抵抗分布図

A — A' 地質断面線

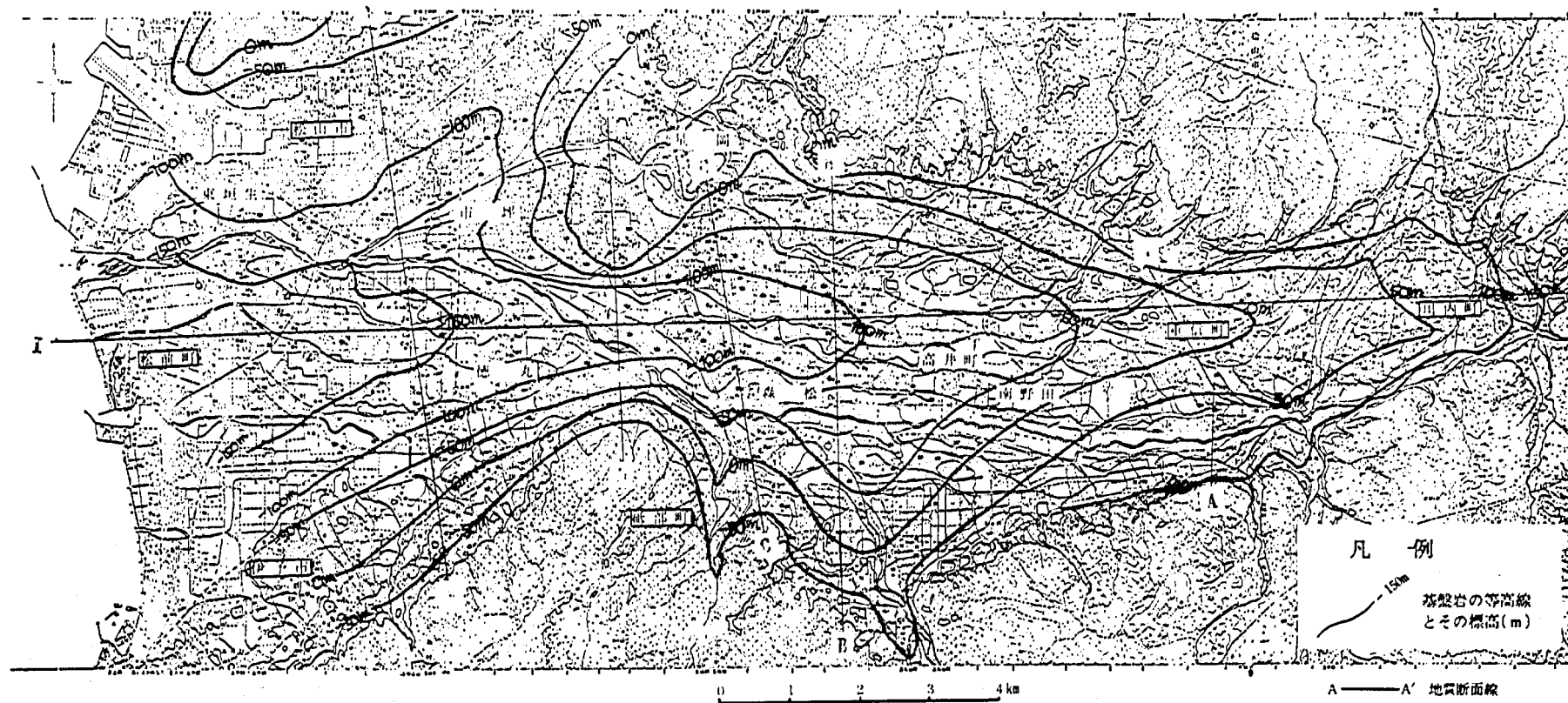


図-5 重信川周辺基礎岩等高線図

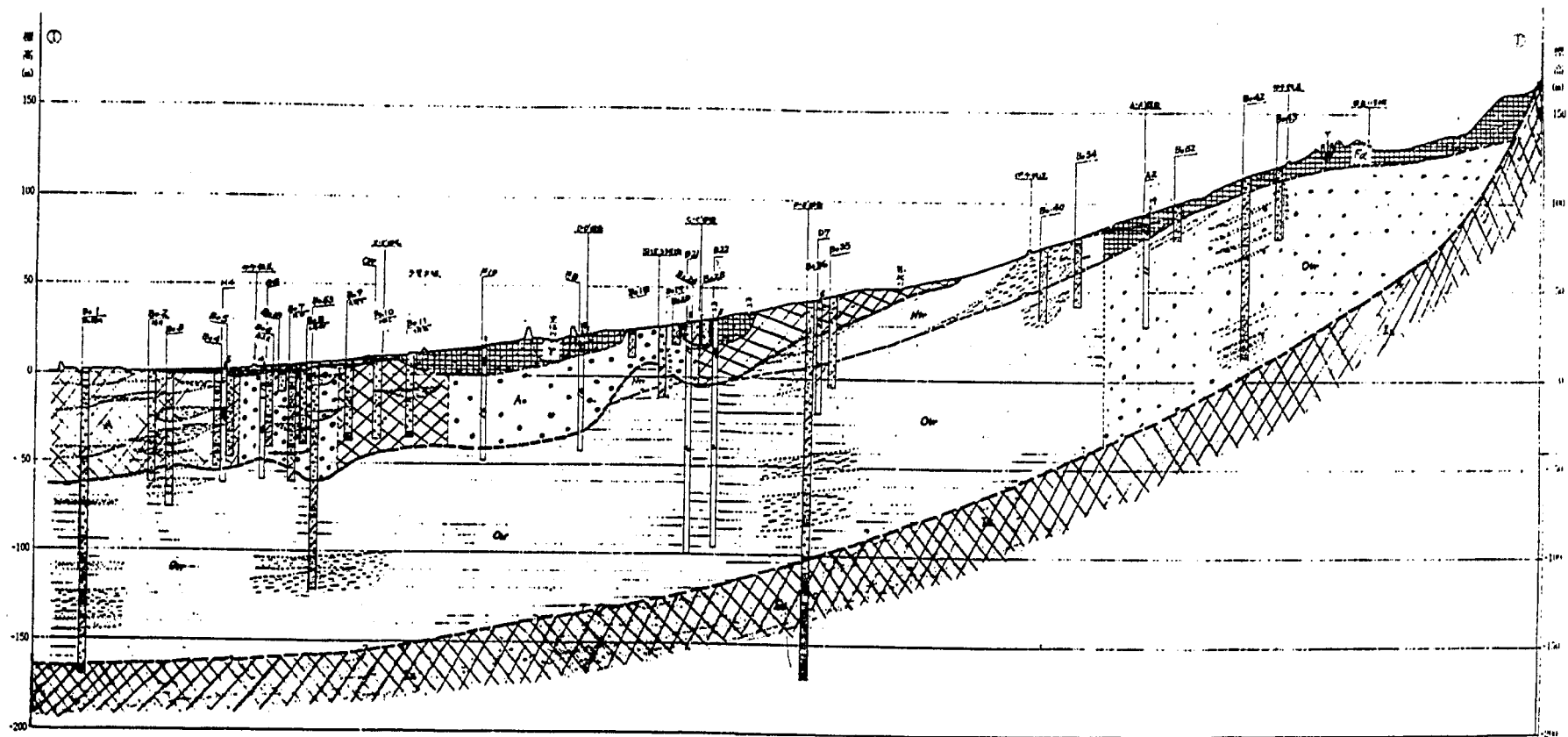
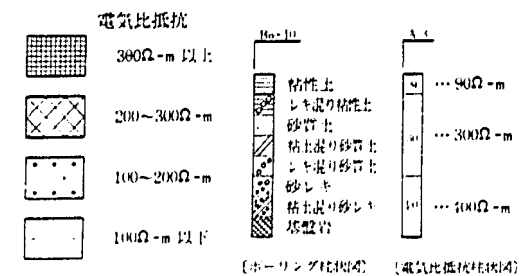


図-6 地質断面図 (I - I')

縮尺 よこ:たて=1:25

注) 断面の位置については図4を参照のこと



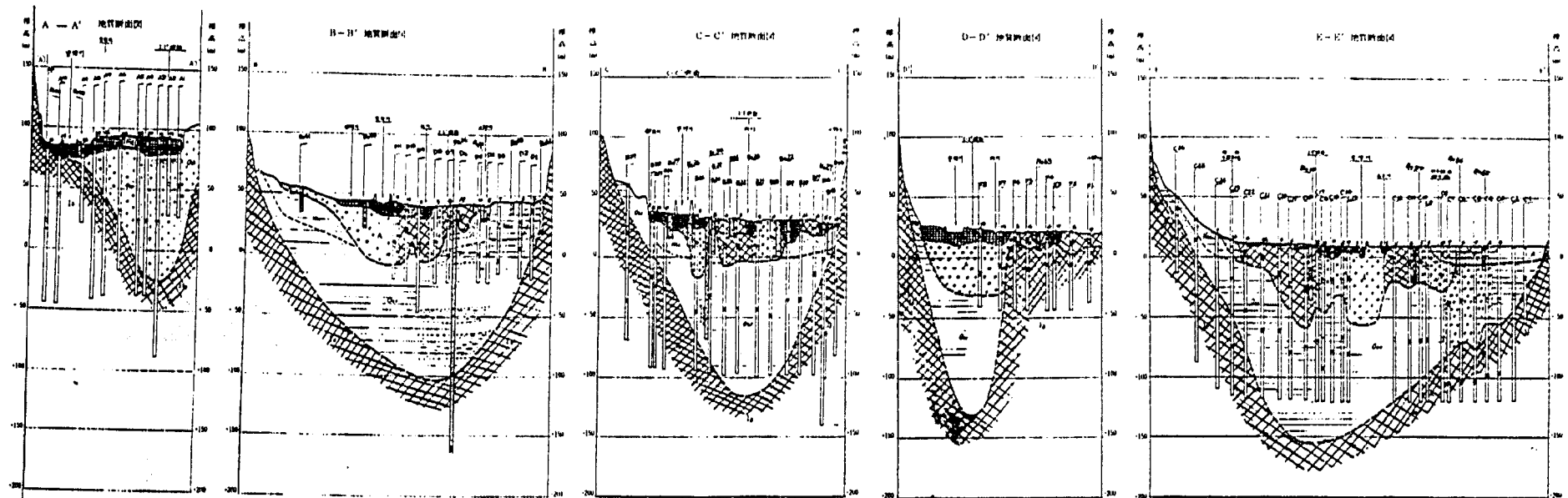
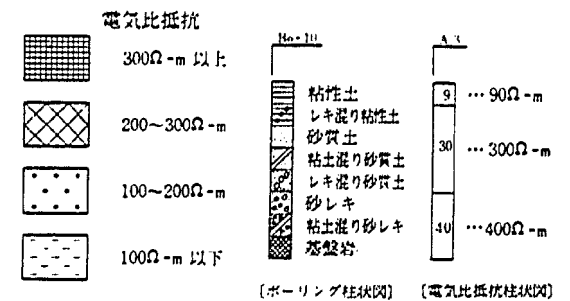


図-7 地質断面図 縮尺 よこ：たて=1：25
(A-A', B-B', C-C', D-D', E-E')

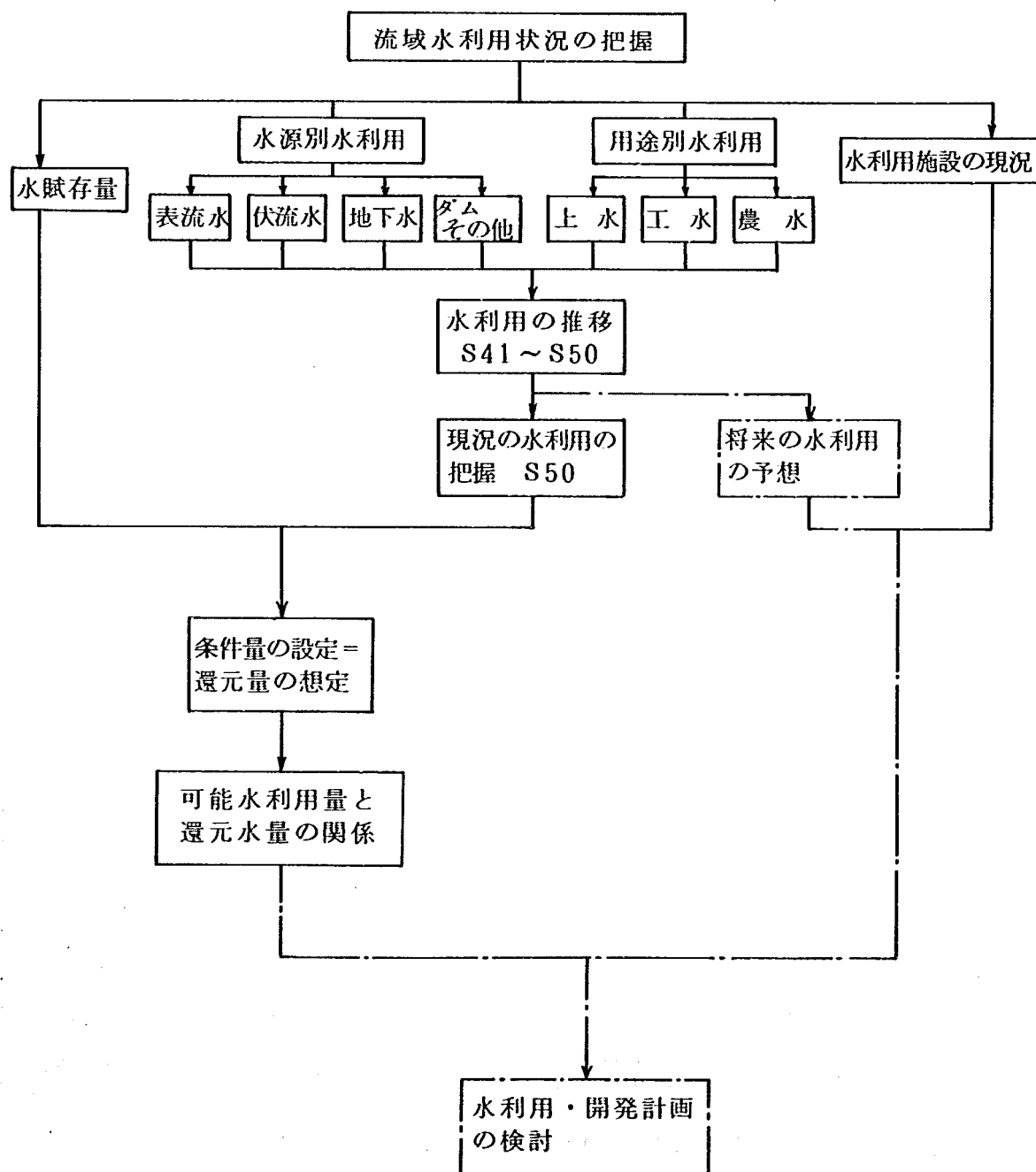
注) 断面の位置については図4を参照のこと



2. 流域の水利用状況

流域に含まれる行政区域は、松山市、伊予市、北条市、松前市、砥部町、重信町、川内町の3市4町^{*}である（図1参照）。特に、松山は県都として社会・経済の中心的役割を果たしており、水需要も増大する傾向にある。当流域の水利用増加量の大半は都市用水によって占められている。

本章では当流域を主な水源とする2市4町の水利用を用途（上水道、工水、農水）別、水源（表流水、伏流水、地下水、ダム等）別に分類し、その経年変化及び、水利用実態を図8のフローに従って調査し、現況の水利用などで動向を把握し、とりまとめることとする。



図－8 水利用把握調査フロー

^{*}ただし北条市はごく一部のため以下の統計では北条市を除いた2市4町を扱うこととする。

2-1 用途別、水源別水利用量の経年変化

用途別に、水利用量の水源別経年変化をまとめれば次のようである。

(1) 上 水

図-9は上水道用水水源別取水量の経年変化を示す。昭和47年、石手川ダムの完成により表流水の取水が急増しているが、なお地下水や伏流水に頼る割合も高い。特に松山市では昭和57年度を目標に68000t/日の新規地下水取水計画(第3次拡張計画)を決定し、現在このための事業を推進中である。

(2) 工 水

工業水源別取水量の経年変化を図-10に示す。工業用水源は地下水、伏流水の占める割合が高い。工業用水には、市営工業用水と県営工業用水があり、県営工業用水道は流域外導水を水源としている。

(3) 農 水

農業用水取水量は、昭和50年度に実態が調査されているが、経年変化は流域外導水以外は不明である。昭和50年度の水源地別取水量を図-11に示す。

2-2 昭和50年度水利用の現況

昭和50年度に於ける水源別、用途別水利用の実態は表-3、図-12に示す値である。水源別では表流水が最も高く、地下水、伏流水に頼る割合も26%を占めている。用途別では農水がもっとも多く、利用量の60%を占めている。地下水・伏流水の利用量を用途別に見れば次の様に、

上水道用水	$14.152 \times 10^6 \text{ m}^3$	(16%)
工業用水	$58.296 \times 10^6 \text{ m}^3$	(66%)
農業用水	$16.09 \times 10^6 \text{ m}^3$	(18%)

利用量の66%が工業用水で占められている。

表-3 重信川流域(2市4町)水源別、用途別取水量表(昭和50年度)

$\times 10^6 \text{ m}^3$

水 源 用 途	表 流 水 (河水ダム)	伏 流 水 (湧水)	地 下 水 (井戸揚水)	そ の 他 (受水・ため池等)	用途別取水量
上下道用水	29.991	6.337	7.815	1.629	(13.1%) 45.772
工業用水 ^①	0.164	43.722	14.574	39.576	(28.0%) 98.036
農業用水 ^②	128.081	5.930	10.160	62.172	(58.9%) 206.343
水源別取水量	(45.2%) 158.236	(16.0%) 55.989	(9.3%) 32.549	(29.5%) 103.377	350.151

① 工業用水道は市営工業用水量と直接取水とし県営工業用水はその他にまとめた。

② 農業用のかんがい期は約6/10~10/10日内でこの内110日として試算、常時取水量を用いている。

資料1) (昭和52年度重信川水利用実態調査; 松山工事々務所)

資料2) (昭和53年度松山地区適正水利用計画調査業務報告書; 松山工事々務所)

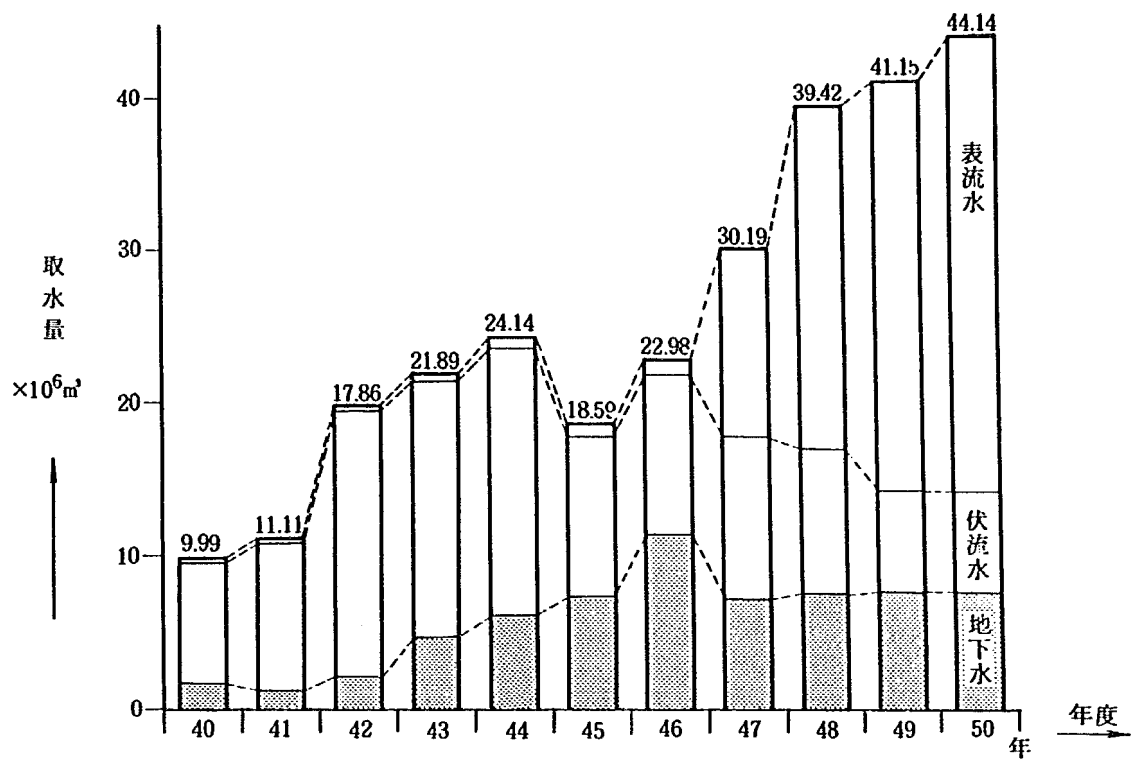


図-9 上水道用水水源別取水量の経年変化図

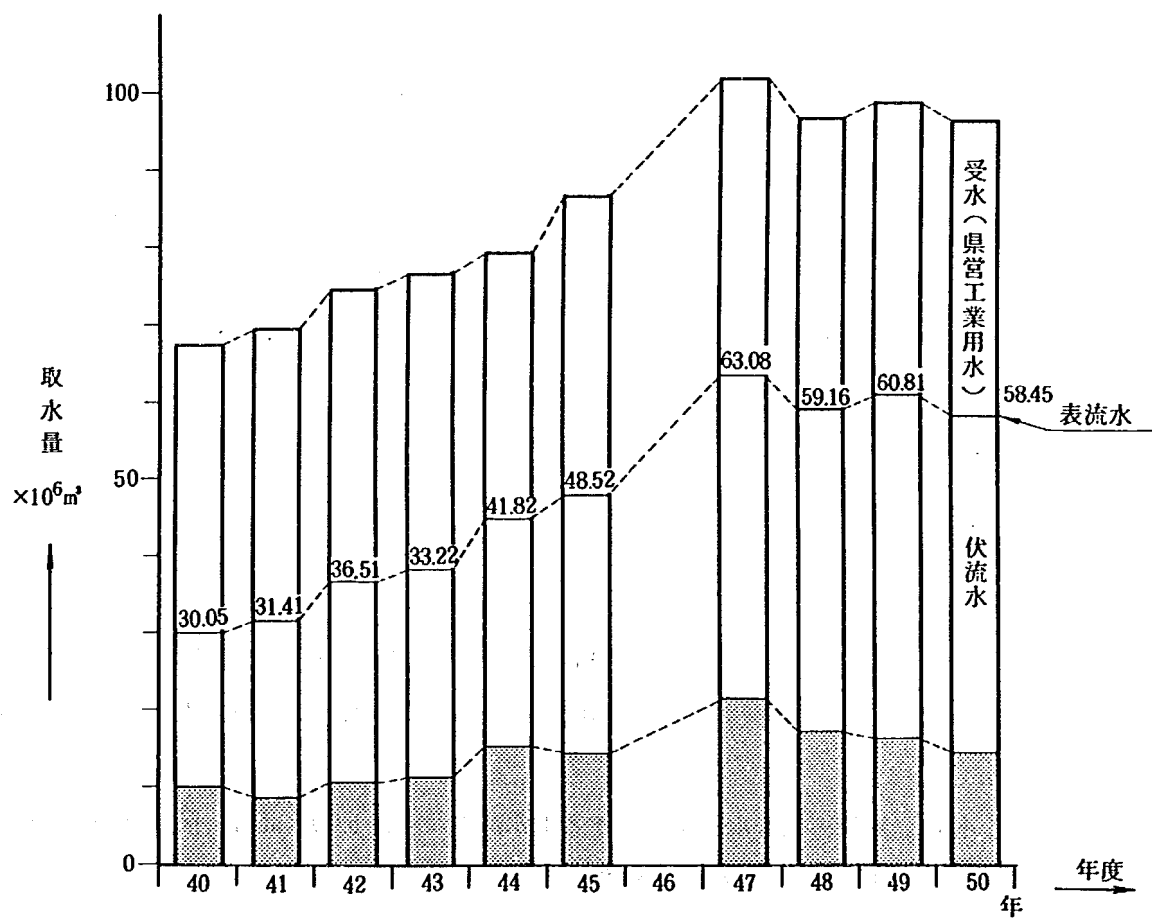
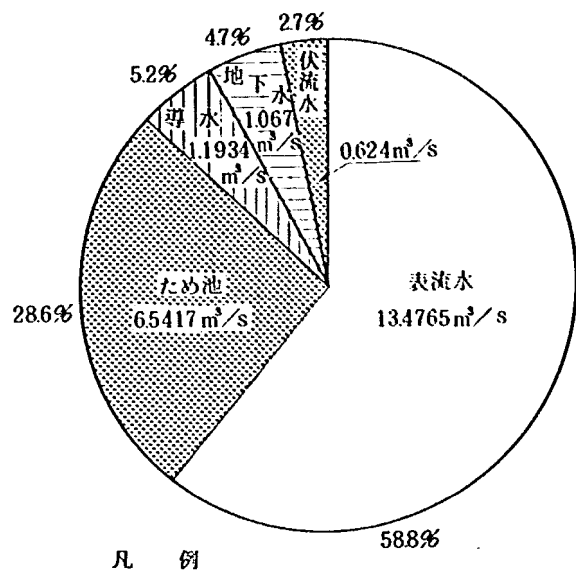


図-10 工業用水水源別取水量の経年変化図



凡 例

常時取水 (m³/s)
〔取水期間 110 日〕

□ ; 表 流 水

■ ; た め 池

▨ ; 導 水

▩ ; 地 下 水

▪ ; 伏 流 水

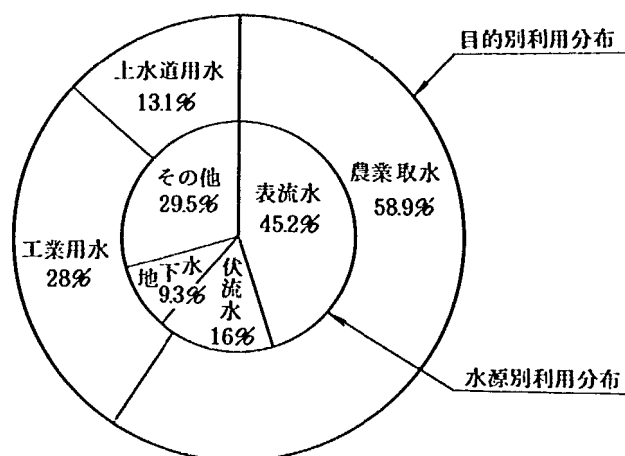


図-12 昭和50年水利用現況

図-11 農業用水水源別利用 (既得権) 形態図

2-3 利用施設の現況

重信川流域の地下水、伏流水、取水施設は、ほとんど平地部にあり、表流水については、平地部外の施設が多いが、ここでは地下水管理計画検討を目的とするため、平地部内の施設の現況を中心に整理してゆく。

(1) 上水道用水

上水道、簡易水道の取水量は、昭和50年度で約164,000 m³/日最大であり、これに対して松山市への供給量は約130,000 m³/日最大で流域全体の79%を含めている。松山市の上水道の利用施設は昭和28年垣生に集水管 (伏流水取水) を設置したのを初めとし、昭和47年石手川ダムが完成するまでは、地下水・伏流水による拡張が行なわれてきたが、第2次拡張計画が完成した51年以後では石手川ダム97,000 m³/日、垣生 (集水管) 20,000 m³/日、竹原 (深井戸) 1,500 m³/日、久枝 (域外地下水) 3,500 m³/日の取水が行なわれている。簡易水道は17ヶ所であるが、島及び上水道普及地区より上流に点在し計画給水量は10,000 m³/日である。取水位置は調査していない。

伊予市の水道は上水道1ヶ所 (位置不明) 6,700 m³/日、簡易水道5ヶ所 (域内=八倉、宮下、域外=三秋、唐川、上野) で3,300 m³/日で水源はすべて浅井戸、伏流水となっている。

松前町の水道は、上水道1ヶ所4,800 m³/日、簡易水道7ヶ所 (徳丸、神崎、大溝、上高柳、西高柳、東古泉、西古泉) で26,100 m³/日、東洋レーヨンの専用水道8,970 m³/日があり、水源はすべて伏流水に依存している。

砥部町の水道は、拾町、森松の伏流水を水源とする上水道1ヶ所、5,073 m³/日、簡易水道3ヶ所 (扇伏地外=万年川、中川下、川上地区) 2,770 m³/日がある。

重信町は、上水道はなく、浅井戸を水源とする簡易水道が5ヶ所 (南吉井、牛淵上樋、田窪外分、拝志、北吉井) 5,031 m³/日がある。

川内町も上水道はなく、浅井戸を水源とする簡易水道が川上、東谷地区に5ヶ所2,225m³/日がある。

これらの上水道の扇伏地内の取水位置を図-13に示す。各ブロック区間の取水量は、各施設の計画取水量と昭和50年度上水道用水取水量では差が有る所から、井戸の位置から若干の矛盾はあるが、扇伏地から取水しているものとし、総量を表-4に示す様に分割を行っていった。この結果を模式的に図-14に示す。

表-4 上水道用水の扇伏地内への分割表

単位 m³/s

市町村			表流水				伏流水		井戸		取水量計	計画給水量
			自流		ダム放流							
松山市	取水量	分割地域	0035	不明なので ブロックⅠ 0.035	0915	石手川 ダム	0.129	ブロックⅠ 0.129	0.136	ブロックⅠ 0.063 ブロックⅡ 0.063	1.215	(取水量のみ) 1.528
伊予市	取水量	分割地域					0.029	ブロックⅡ 0.029	0.004	ブロックⅡ 0.004	0.033	0.116
松前町	取水量	分割地域							0.069	ブロックⅠ 0.039 ブロックⅡ 0.030	0.069	0.086
砥部町	取水量	分割地域	0.001	砥部川で 外			0.043	ブロックⅢ 0.043			0.044	0.061
重信町	取水量	分割地域							0.019	ブロックⅣ 0.019	0.019	0.058
川内町	取水量	分割地域							0.020	ブロックⅣ 0.020	0.020	0.026

* 取水量は、昭和50年上水道取水量；昭和52年度重信川水利用実態調査（松山工事事務所）によった。

(2) 工業用水

工業用水には、県営工業用水、市営工業用水、直接取水があり、県営工業用水は流域外の面河ダムを水源とし、河口にある2工場に給水している。市営工業用水の取水施設はすべて平地部内にあり、伏流水取水施設3ヶ所、地下水取水井戸18ヶ所である。その位置は図-13であり、供給能力は表-5である。直接取水については各工場等で行なわれ、位置は不明である。

営工業用水の取水量は、昭和50年度市営工業用水取水量1.203m³/s（伏流水1.167m³/s、地下水0.036m³/s）に対し、供給能力は、予備井を除いても1.511m³/s有り、約80%の使用率であり、位置もほとんどがブロックIIに有る。昭和50年度の直接取水量は、表流水（0.05m³/s）、伏流水（0.220m³/s）、地下水（0.426m³/s）の取水がなされているが取水位置が解らず、小工場等で直接取水されている所から扇伏地の面積配分でブロック毎の取水量を推算した。この結果を模式的に図-14に示す。

(3) 農業用水

農業用水取水施設は、権利量施設等不明な点が多く取水実態を調査することは、甚だ困難とされている。

さらに調査によって実態もまちまちであるが、昭和52年度重信川水利用実態調査（松山工事々務所）によれば、農水取水施設は、堰154ヶ所、ため池43ヶ所、伏流水取水施設（集水管）4ヶ所、地下水取水井戸19ヶ所がある。この他、受益地区が重複している予備施設も、堰46ヶ所、ため池118ヶ所、伏流水取水施設35ヶ所、地下水取水井戸127ヶ所ある。施設の分布は、取水堰は山間部に多く、溜池は、山地部あるいは扇状地と山地の境界付近に多い。本川中流部の川添および旧河道に添って伏流水取水が見られ、中・下流部の扇状地には農業用井戸が多い。

扇状地内には、堰55ヶ所、ため池4ヶ所、伏流水取水施設4ヶ所、井戸18ヶ所あり、この位置及び既得権量を図-12に示す。これらの権利量を河川毎、ブロック分割毎に集計し、模式的に図-14に示す。

また、この他に、仁淀川水系の面河川の支流に設けられた三面ダムから、道前、道後平野（当流域）に農業用水として導水する道後分水がある。

表-5 市営工業用水の水源井

No	名 称	揚水開始年	揚水能力 m^3/s	揚水能力 m^3/s	井戸深 m	備 考
1	垣 生 集 水 管	S27	26,000	0.301	—	伏 流 水
2	かきつばた集水管	S36	27,000	0.312	—	伏 流 水
3	長 泉 集 水 管	S37	12,000	0.139	—	伏 流 水
4	え ん こ 淵	S37	6,000	0.069	8.0	
5	宮 西	S47	2,000	0.023	80.0	深 井 戸
6	宮 亦	S47	4,000	0.046	—	
7	木 屋 本	S47	5,000	0.058	11.0	
8	表 門	S47	2,000	0.023	70.0	深 井 戸
9	市 坪	S47	4,500	0.052	11.5	
10	国 中	S47	4,000	0.046	10.0	
11	早 刈	S47	3,000	0.035	11.0	
12	貝 殻	S47	4,000	0.046	10.6	
13	長 新 田	S47	4,000	0.046	10.6	
14	お 茶 屋	S47	5,000	0.058	10.0	
15	森 松 第 一	S47	4,000	0.046	9.0	
16	森 松 第 二	S47	4,000	0.046	8.0	
17	と ん こ 泉	S47	5,000	0.058	—	
18	垣 生 深 井 戸	S36	9,000	0.104	平均45.0	深 井 戸
19	外 新 田	S47	2,000	0.023	—	予 備 井
20	高 畑	S47	1,500	0.017	—	予 備 井
21	昭 九	S47	2,000	0.023	—	予 備 井
計			136,000	1.574		

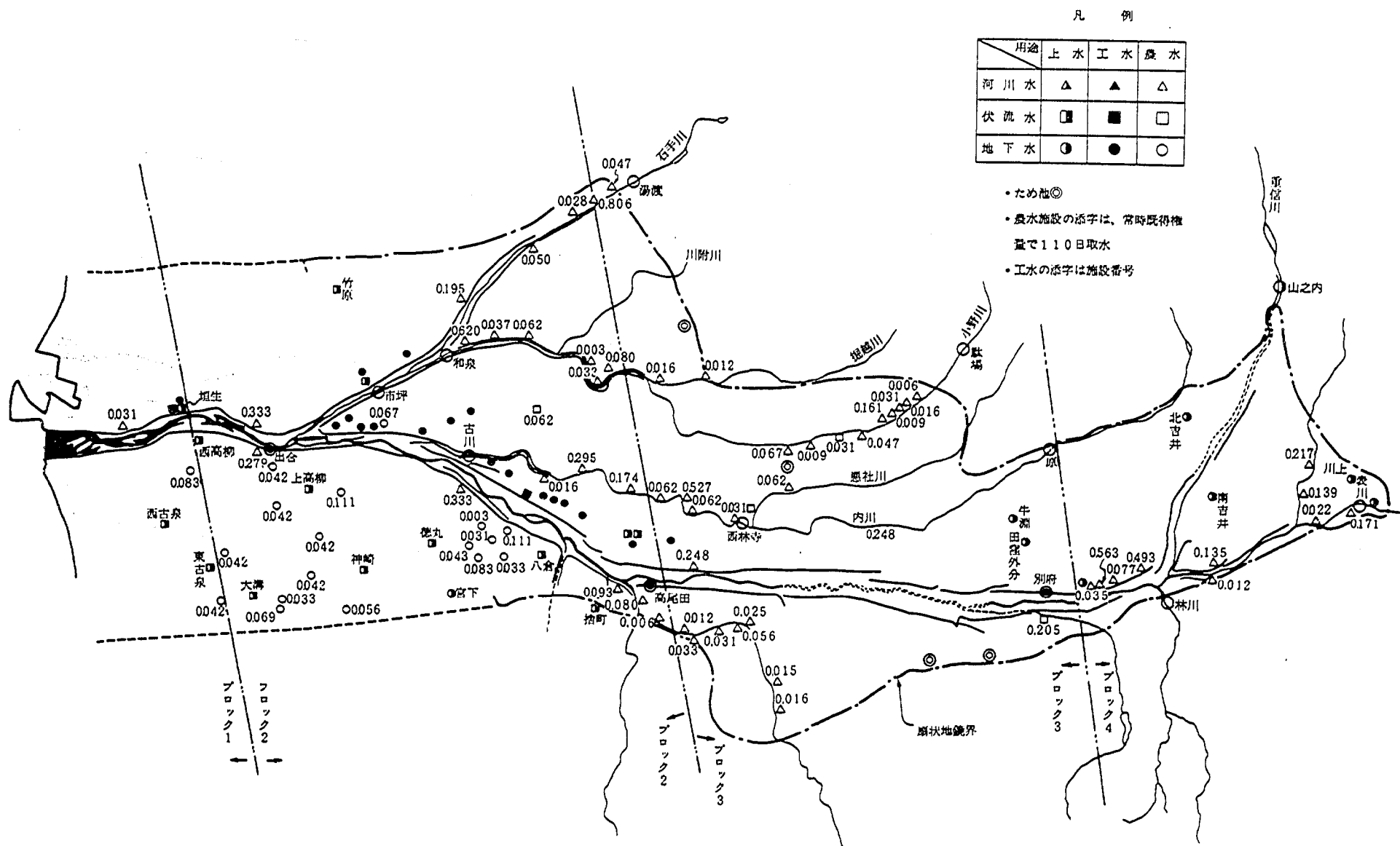


図-13 重信川扇状地の利水施設位置現況図

(昭和50年実態)

区域	水源用途	表流水	伏流水	地下水	タメ池
ブロック1	上水	0.035	0.129	0.102	-
	工水	0.005	-	-	-
	農水	0.031	-	0.125	-
ブロック2	上水	-	0.072	0.106	-
	工水	-	1.387	0.171	-
	農水	26506	0.062	0.865	-
ブロック3	上水	-	-	-	-
	工水	-	-	0.204	-
	農水	2711	0.484	-	0.239
ブロック4	上水	-	-	0.039	-
	工水	-	-	0.087	-
	農水	1.8616	-	-	-

農水取水期間は111日

上・工水は通年

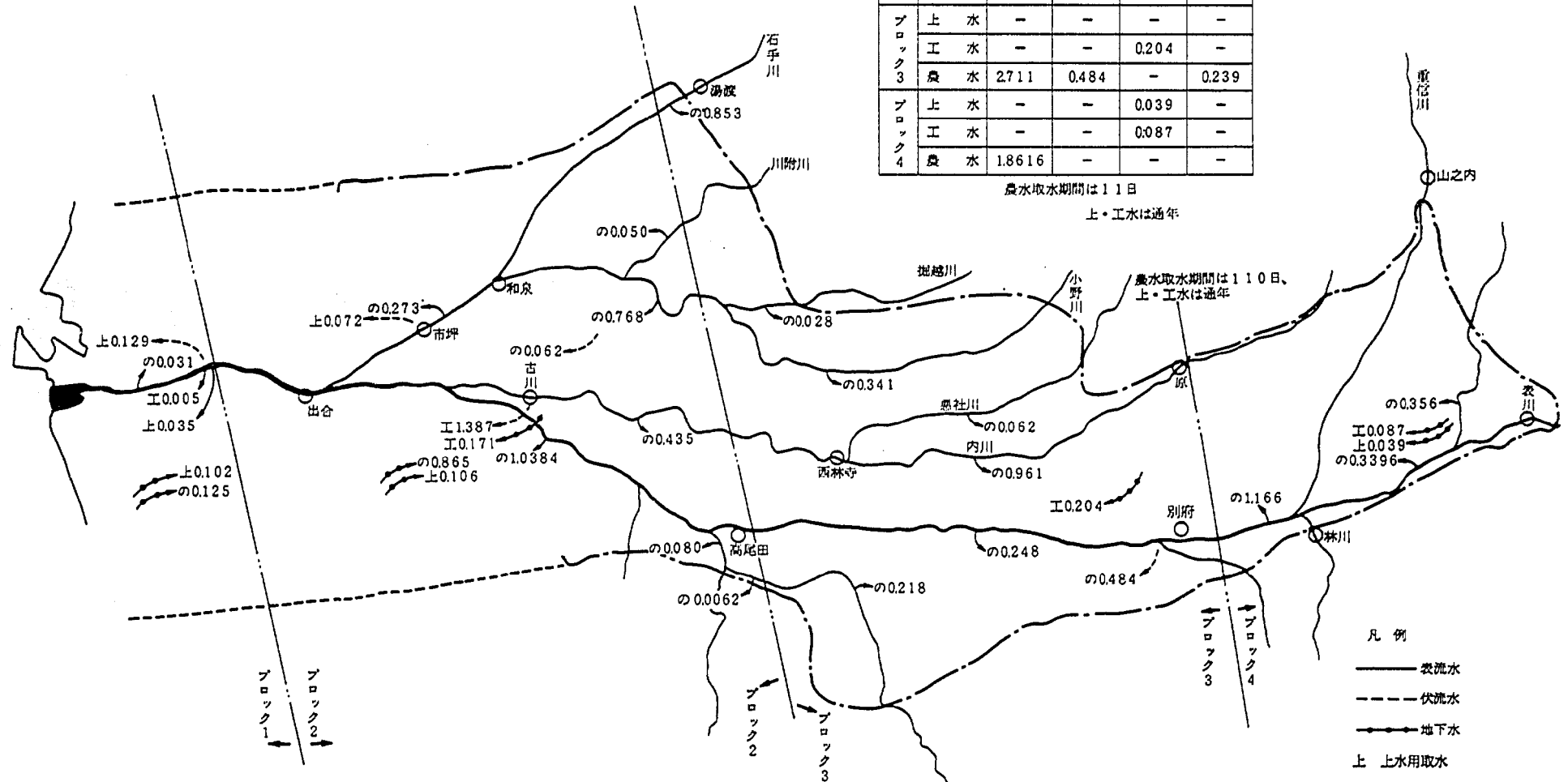


図-14 扇状地内の地域別取水概要図

2-4 新規に可能な水利用量の概算

当流域の昭和50年度の雨量は1689mm(=752.1×10⁶m³/年)、出合地点の流出量は、743mm(=330.9×10⁶m³/年)であり、これに対し、水利用量は、表流水・伏流水・地下水を合せて、246.77×10⁶m³/年が利用されており、利用率75%に達している。水開発計画検討に先立って、流域における水の供給限界(≒新規可能利用量)を水収支から概略把握してみることにする。

ここでは水賦存量及び昭和50年の利用量から次の水収支式によって、新規可能利用量を推定してゆく。

$$R - (E + \text{上水} + \text{工水} + \text{農水}) + \text{還元利用} = \text{新規可能利用量} \quad \text{..... (1)}$$

R(降雨量) ; 年降雨量(S41年～S50年)mm

E(蒸発散量) ; 年700mmとする

上・工・農水 ; 域内取水量

ただし、取水量のうち上水道用水、工業用水については、松山市等で消費されるものが多いので還元利用量は考えないものとするが、農業用水は域内での還元利用あるいは地下浸透による還元利用等が不明であるところから、還元利用を考えないものとした場合および還元利用率を40%、50%、60%、70%、100%とした仮定の下での新規可能量を昭和41年～昭和51年の各年毎に求めた。

表-6、図-15は、農業用水の還元利用が無いものとしたケースの新規開発可能量で、10年間のうち2年がほぼ0mmになっている。図-16は農水の還元利用率を40%、50%、70%、100%に仮定したケースの新規開発可能量である。この結果、10年間の平均値では農水還元利用無し、239mm(≒3.37m³/s)、50%還元利用473mm(≒6.68m³/s)、100%還元利用707mm(≒9.98m³/s)であり、新規開発可能量には、洪水時の流出量、地下帯水層からの流出量も含まれており、大胆な仮定であるが、これらも利用する

表-6 重信川流域新規可能利用量(出合地点上流域445.3km²)

[還元利用が無い場合]

単位 ; mm

年	項 目	出合地点上流域年平均雨量	蒸発散量	下水・上水 取 水 量	農 水 取水量	農 水 還 元利用量	新 開 発 可 能 量
S.41		1859	700	230	447	△	482
42		1376	700	230	447	△	0
43		1483	700	230	447	△	106
44		1364	700	230	447	△	0
45		1748	700	230	447	△	371
46		1474	700	230	447	△	97
47		2010	700	230	447	△	633
48		1500	700	230	447	△	123
49		1654	700	230	447	△	277
50		1689	700	230	447	△	312
10 年 平 均 (関発流量m ³ /s)		1616	700	230	447	△	239 (3.37)

として $3 \text{ m}^3/\text{s} \sim 9 \text{ m}^3/\text{s}$ である。

一方農水反復利用無しの結果を、経年的に見れば昭和42年、昭和44年が新規開発可能量 $0 \text{ m}^3/\text{s}$ となっている様に、単年運用の利水施設による開発は出来ず、経年貯留ダム、あるいは地下帯水層の経年的貯留を考えた開発方法が必要となる。

(参考) 計算の仮定条件について

(1) 降 雨

松山気象台年降雨から推定した渇水 $7/70 \rightarrow 1/10$ に当る昭和41年から昭和50年を用いる。

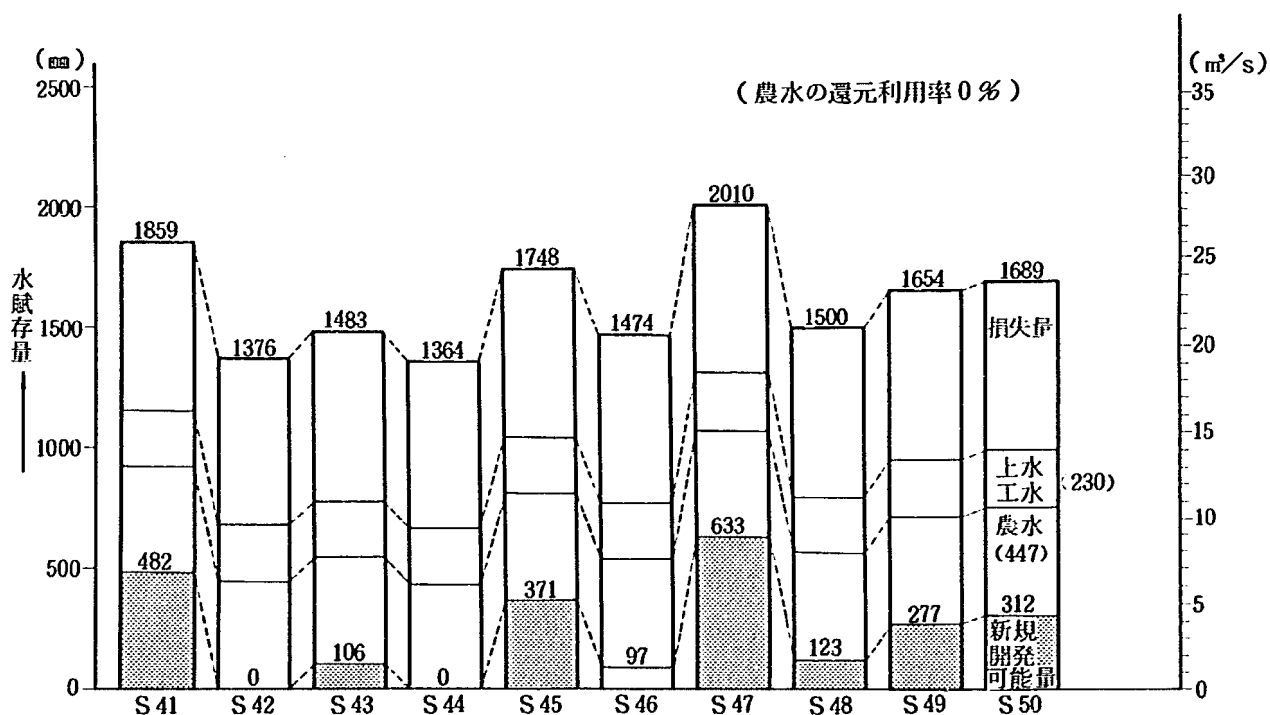
(2) 蒸 発 散 量

蒸発散量は、山地 (361.84 km^2) 670 mm 、平地 (83.46 km^2) 830 mm 域内平均 700 mm とする。

(3) 取 水 量

上水道用水	$44,143 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$	99 mm
工業用水	58,460 "	131 "
農業用水*	199,012 "	447 "
合 計	301,615 "	667 "

* 農業用水には、他流域からの導水(道後分水)があるが、これを含まない域内の取水量である。また反復利用量0とすることで導水量の反復利用も0としている。



図一 15 水賦存量及び利水量から見た新規可能利用量

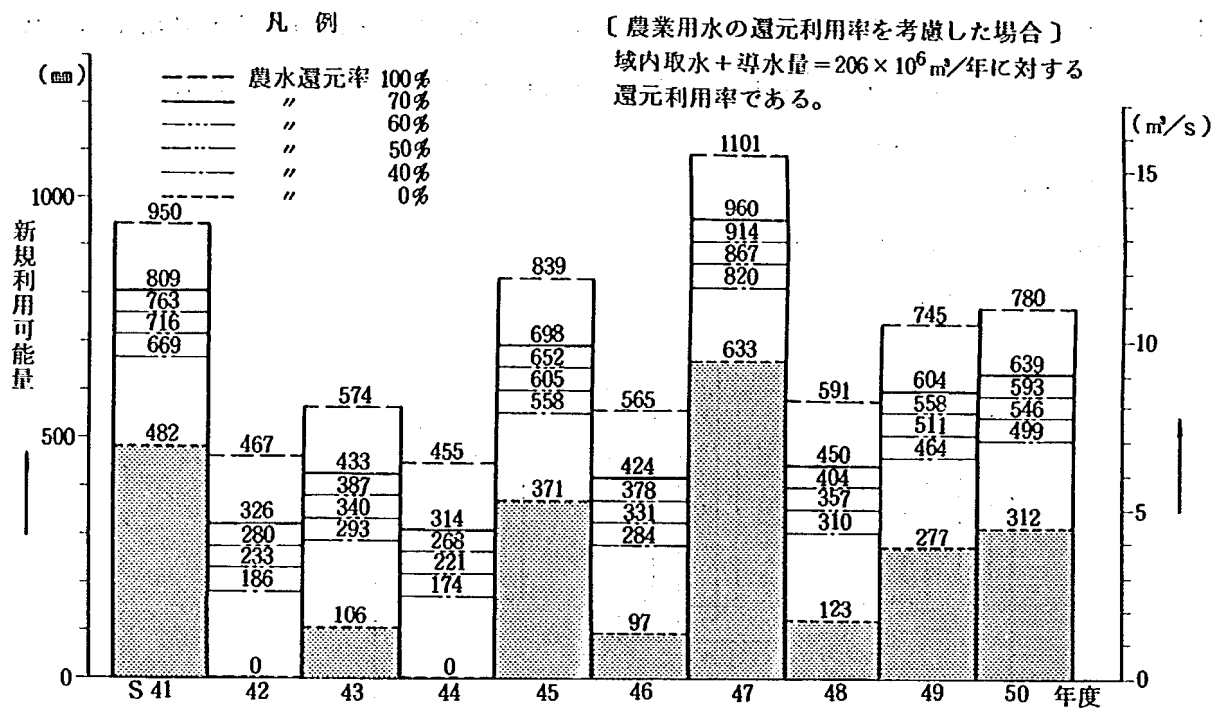


図-16 水賦存量及び利水量から見た新規可能利用量

3. 水循環状況の把握

当流域の水循環状況、特に地表水から地下水への涵養（浸透）について前節の水利用の現況調査・基礎資料（降雨・蒸発量）調査等により以下の項目にしたがって定量的に水循環状況を把握する。

- (1) 流域・平地部の水収支
- (2) 河道の水収支
- (3) 水循環モデル（タンクモデル）

各調査のフローを図-17に示す。

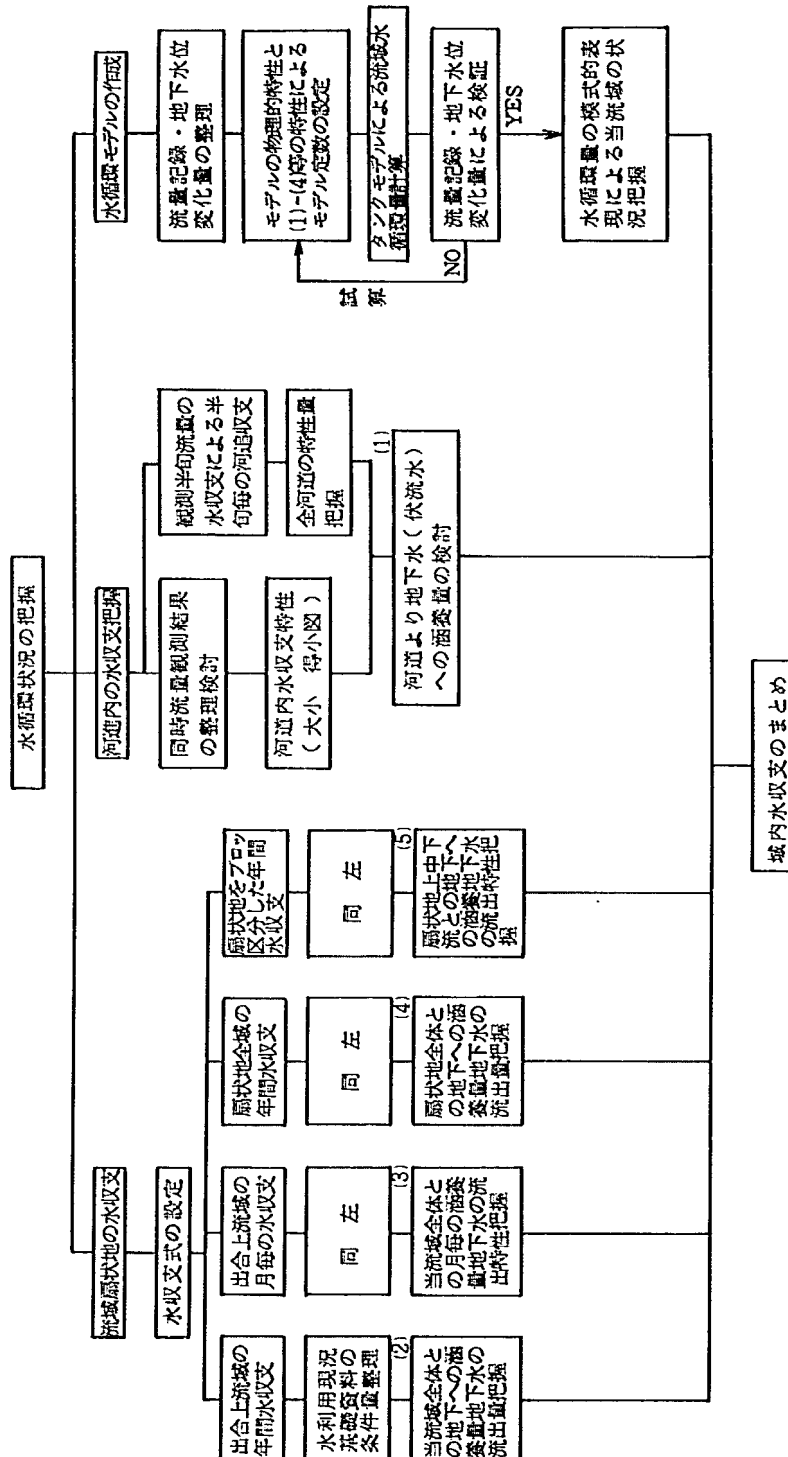


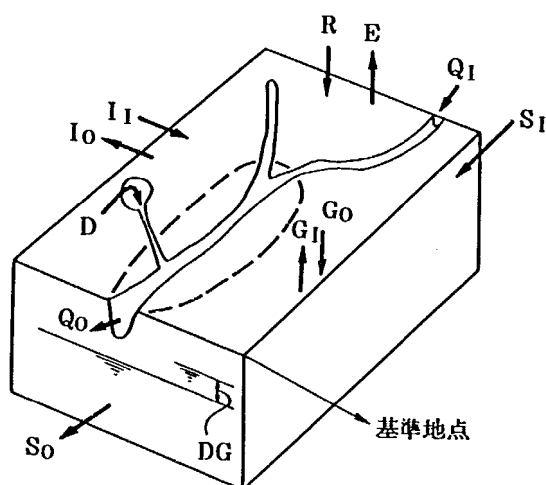
図-17 水循環状況調査フロー

3-1 水収支式の設定

流域、平地部における水収支は、表流水、地下水に分けて次式で表わす。(図18参照)

$$R - E + (Q_1 - Q_0) + (I_1 - I_0) + (G_1 - G_0) - D = 0 \quad \dots\dots\dots (2) \text{ (表流水)}$$

$$(G_0 - G_1) + (S_1 - S_0) - DG = 0 \quad \dots\dots\dots (3) \text{ (地下水)}$$



R ; 降水量
Q ; 表面流量
E ; 蒸発散量
S ; 地下水流下量
I ; 他流域への移動量
G ; 地下への移動量
D ; 流域内貯留量 (ダム, ため池)
DG ; 地下 "
添字 I ; in を表わす。
0 ; out を表わす。

図-18 モデル図

この基本式を用い、以下の水収支検討を行なう。

3-2 流域、平地部の水収支の検討

(1) 出合上流域年間の水収支

1) 水収支検討上の仮定

重信川流域では、他流域からの導水量及び流域外への移動量として、次のようなものがとりあげられる。

○ 他流域からの導水量

① 農業用水の道後分水量

昭和50年の道後分水量 $11.541 \times 10^3 \text{ m}^3$ であり、この内、域外で $1.212 \times 10^3 \text{ m}^3$ が使用されている。(詳細資料によるため値が若干異なる) 各年度の分水量もこの割合(89%)が域内へ導水されているものとして算定した。

② 地下水の取水量

前項で整理した、目的別、水源別取水量の経年変化から、伏流水、地下水の取水量を取水量とした。

○ 流域外への移動

① 上水道

昭和50年度の上水道用水 $45,772 \times 10^3 \text{ m}^3$ の内84%が松山市の上水道で、残りが簡易水道であるが、

全量(100%)域外へ移動するものとした。

② 工 水

工業用水の表-3の内、松山市営工業用水は域外使用とし、直接取水は域内へ還元するものとした。

。 年 降 雨 量

重信川流域内の21降雨観測所の降雨量より、テイセン法で出合上流流域平均雨量を算定した。

。 蒸 発 散 量

昭和41年～51年の各流域の流出高と降雨高の関係を求め表-7に示す。山地流域の降雨と流出高の関係から損失量は図-19に示す様に(672mm $\approx$ 670mm)となる。ここに

$R-Q=E$ (E損失量) E = 蒸発散量 + 地下浸透損失量 + 域外取水量とすれば、地下損失、域外取水量が無いと見なせる山地流域では、損失量が蒸発散量といえる。

平地部に於ける蒸発損失は、山地より一般に大きいが、当資料からは、蒸発散量と地下損失に分離することは出来ない。平地蒸発散量は全国水賦存調査報告書〔国土庁水資源局；昭和51年3月〕で得られており、松山地区では(山地 $\times$ 1.24倍)と推定されている。これを用い830mmと推定した。

重信川流域の蒸発散量は、出合上流域の山地(361.84km²)平地(83.46km²)面積の加重平均で700mmと推定した。

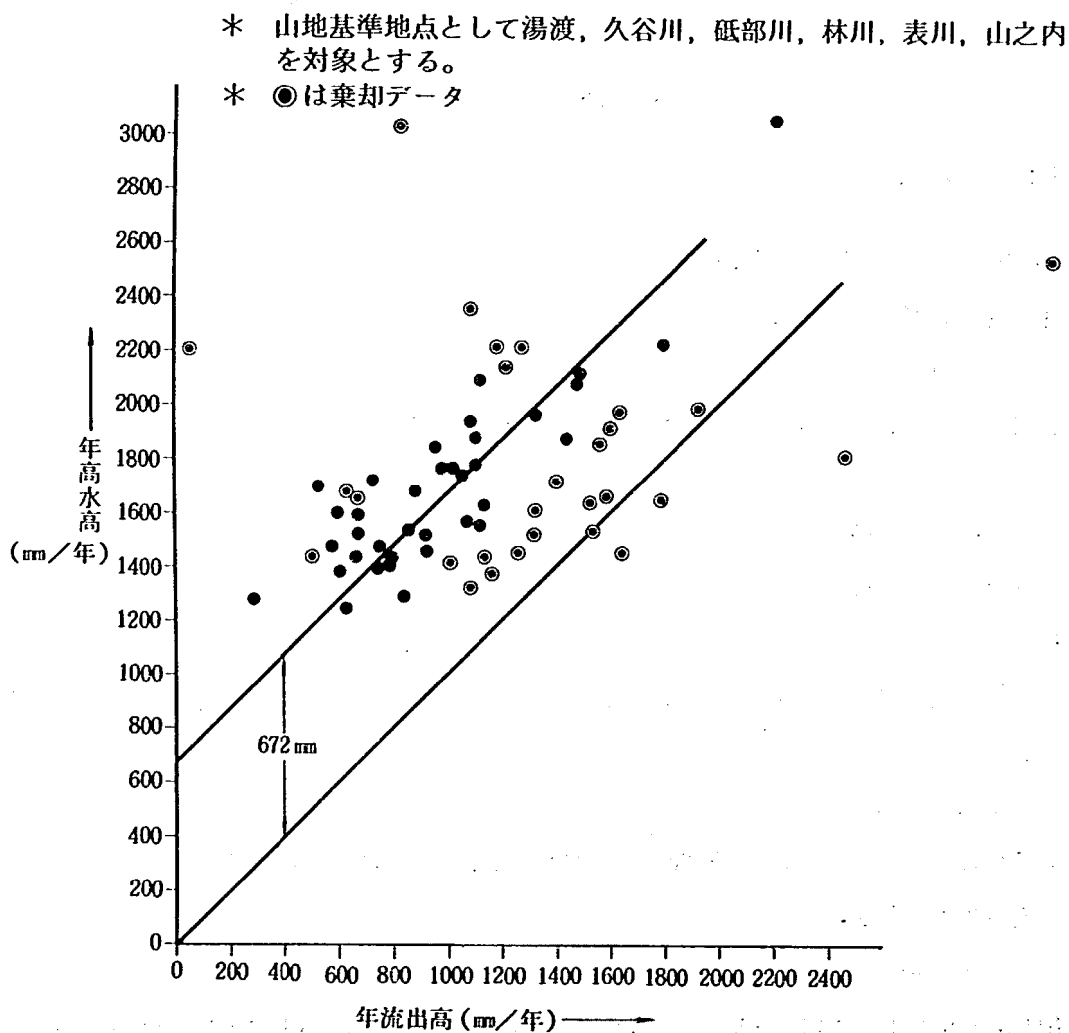


図-19 年降水高～年流出高関係図(1)

表 - 7 各流量観測所の年消失高 (mm)

	山之内			表川			林川			砥部川			久谷川		
	降水高	流出高	消失高	降水高	流出高	消失高	降水高	流出高	消失高	降水高	流出高	消失高	降水高	流出高	消失高
S.37~41平均	1,954	1,317	637	1,796	2,449	★△ 653	1,626	1,524	★ 102	1,720	1,064	656	1,662	668	★ 994
S.42	1,523	857	666	1,521	682	839	1,282	291	★ 991	1,393	607	786	1,331	1,097	★ 234
S.43	1,739	1,118	621	1,761	1,027	734	1,448	940	508	1,435	509	★ 926	1,412	793	619
S.44	1,519	1,323	★ 196	1,476	764	712	1,245	625	620	1,422	804	618	1,292	854	438
S.45	1,945	1,078	867	1,874	1,100	774	1,684	892	792	1,756	992	764	1,652	1,791	★△ 6
S.46	1,559	1,075	484	—	—	—	1,454	1,262	★ 192	1,503	1,404	★ 99	1,411	1,153	★ 258
S.47	2,197	1,174	★ 1,023	2,213	1,059	★ 1,154	1,843	1,560	★ 283	1,957	1,629	★ 328	1,909	1,601	★ 308
S.48	1,547	1,123	424	1,518	865	653	1,517	931	586	1,414	1,016	★ 398	1,404	1,157	★ 247
S.49	2,119	1,198	★ 921	1,881	1,429	452	1,451	1,656	★ 205	1,483	—	—	1,530	1,536	★△ 6
S.50	2,110	1,473	637	1,971	1,921	★ 50	1,606	1,319	★ 287	1,612	1,138	474	1,653	1,588	★ 65
S.51	3,054	2,195	859	2,509	3,057	★△ 548	2,071	1,468	603	2,203	50	★ 2,153	2,217	1,791	425
平均値	(A=57.9Kd)			649	(A=78.5Kd)			694	(A=20.3Kd)	622	(A=53.0Kd)			660	(A=39.0Kd) 494

	古川			和泉			湯渡			市坪			出合		
	降水高	流出高	消失高	降水高	流出高	消失高	降水高	流出高	消失高	降水高	流出高	消失高	降水高	流出高	消失高
S.37~41平均	1,450	1,850	△ 400	1,414	1,284	★ 130	1,696	721	975	1,619	781	838	1,656	791	862
S.42	1,236	881	355	1,187	959	228	1,375	606	769	1,320	369	951	1,376	548	828
S.43	1,245	846	399	1,140	1,071	★ 69	1,461	582	879	1,370	293	★ 1,077	1,483	623	860
S.44	—	—	—	1,175	1,316	★△ 141	1,393	740	653	1,331	369	962	1,364	665	699
S.45	—	—	—	1,454	1,915	★△ 461	1,830	946	884	1,724	917	807	1,748	717	★ 1,031
S.46	1,261	1,050	★ 211	1,201	1,054	★ 147	1,430	664	766	1,361	809	552	1,474	606	868
S.47	1,784	1,384	400	1,728	1,444	284	2,095	(1,214) 1,097	(881) 998	1,981	(1,366) 1,278	(615) 705	2,010	(1,081) 1,063	(926) 957
S.48	1,420	923	497	1,624	1,025	599	1,596	(834) 621	(762) 975	1,601	(851) 687	(750) 914	1,500	(697) 647	(803) 853
S.49	1,420	1,201	★ 219	1,323	921	402	1,755	(724) 469	★(1,030) 1,286	1,629	(872) 676	(757) 953	1,654	(784) 724	(870) 930
S.50	1,490	1,361	★ 129	1,363	1,292	★ 71	1,683	(868) 583	(815) 1,100	1,587	(885) 666	(702) 921	1,689	(810) 743	(879) 946
S.51	2,097	1,981	★ 116	1,975	1,514	461	2,359	(1,360) 1,075	(999) 1,284	2,239	(1,600) 1,381	(639) 858	2,324	(1,370) 1,303	★(954) 1,021
平均値	(A=26.4Kd)			413	(A=31.6Kd)			407	(A=105.3Kd) (820)	(A=137.0Kd) (757)			(A=445.3Kd) (844)		

★は地点の位置，データの傾向より異常値として，平均値算定より除外した。
 凡例 { ()書きは石手川ダムの取水量，S.47年以後，12,377，22,464，26,893，
 29,991，29,991 × 10⁶ m³を補正した値

2) 水収支計算結果

まず、年間を考えた場合、(2)式に於けるDの変化量は、無視することが出来、未知数となるのは G_0 のみで(2)式を求めることができる。

地下水(3)式に於ける S_1 は無く、 G_1 、 G_0 は決まっているから、未知数は D_0 と S_0 である。 D_0 については、中流観測所地下水位記録から変化量は他項目に比較し非常に小さく、無視することもあるが、この観測所の変化量×帯水層の面積(76.2km²)を D_0 とすれば、 S_0 が求まる。水収支計算結果を表-8に示す。

水収支結果、地下水流下量の昭和45年(239.4mm $\div$ 338m³/s)、昭和48年(11.5mm $\div$ 0.16m³/s)、昭和44年(-79.1mm $\div$ -1.12m³/s)、昭和51年(143.1mm $\div$ 2.06m³/s)は、中流地下水位が10年間ほとんど同じ変化をしている事、及び表-9に示す実測値の損失量から、水収支の仮定(蒸発散量、流出量を真値と考える)の誤差が、地下浸透量及び地下水流下量に表われたと判断される。

表-9 出合実測値による損失高

	降 雨 高	流 出 高	損 失 高	備 考
昭和44年	1,364	665	699	取水量は0となる
昭和45年	1,748	717	1,031	実績の損失が多すぎる
昭和48年	1,500	(697) 647	(803) 853	若干損失が多い
昭和51年	2,324	(1370) 1303	(954) 1,021	実績の損失が多すぎる

()内は石手川ダムの取水による補正值

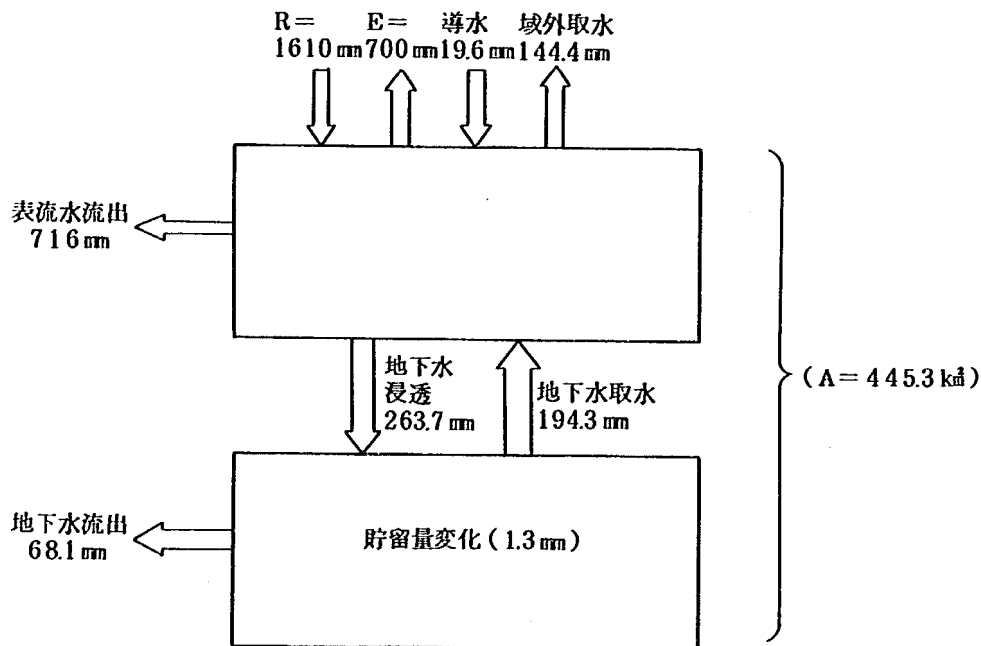


図-20 出合上流年間水収支模式図

(昭和42,43,46,47,49,50年平均)

表-8 重信川出合上流域の水収支計算結果

単位: mm

項目 年度	降 雨 (R)	蒸 発 数 量 (E)	出合流出量 (Q)	流域外からの 取水量 (I ₁)	流域外への 取水量 (I ₀)	地下水取 水量 (G ₁)	地下浸透量 (G ₀)	
S 42	○1376	700	○ 548	○18.3	○100.8	○161.7	○207.2	
43	○1483	700	○ 623	○18.3	○111.1	○169.9	○237.1	
44	1364	700	665	33.0	115.5	189.5	106.0	
45	1748	700	717	23.5	112.3	183.7	425.9	
46	○1474	700	○ 606	○17.5	○133.0	○210.5	○263.0	
47	○2010	700	○1053	○16.4	○160.1	○219.1	○332.4	
48	1500	700	647	23.4	172.9	206.7	210.2	
49	○1615	700	○ 724	○26.7	○177.2	○205.0	○245.5	
50	○1704	700	○ 743	○20.6	○184.3	○199.8	○297.1	
51	2316	700	1303	21.0	191.4	(194.6)	337.4	
○印の平均	1610	700	716	19.6	144.4	194.3	263.7	

地下水水収支

地下帯水層の貯留量変化

単位: mm

項目 年度	地下浸透量 (G ₀)	地下取水量 (G ₁)	地下貯留量 D ₀	地下水流出 量 (S ₀)
42	207.2	161.7	○ 0.5	○ 45.0
43	237.1	169.9	○ 2.3	○ 64.9
44	106.0	189.5	-4.4	-79.1
45	425.9	183.7	2.8	239.4
46	263.0	210.5	○-0.5	○ 53.0
47	332.4	219.1	○ 2.3	○111.0
48	210.2	206.7	-8.0	11.5
49	245.5	205.0	○ 3.6	○ 36.9
50	297.1	199.8	○-0.3	○ 97.6
51	337.4	194.6	-0.5	143.1
○印の平均			○ 1.3	68.1**

年度	中流地下 水位 (1月1日)	水位差 (H)	D ₀
42	* 1.56 ^m	0.02 ^m	0.5 ^{mm}
43	* 1.58	0.09	2.3
44	* 1.67	-0.17	-4.4
45	* 1.54	0.11	2.8
46	* 1.61	-0.02	-0.5
47	* 1.59	0.09	2.3
48	* 1.68	-0.31	-8.0
49	1.37	0.14	3.6
50	1.51	-0.01	-0.3
51	1.50	-0.02	-0.5
52	1.78		

** は 0.96 m³/S に当る

(1) *は金光(中流)の記録

(2) 水位は、零点高T. P 26 mで算定

(3) $D_0 = \Delta H \times 76.2 \text{ K} \times 0.15 / 445.3 \text{ K}$

この年度を除いた6年間の平均値は、地下浸透量 263.7 mm、地下流下量 $68.1 \text{ mm} \approx 0.96 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。地下水流下量は、帯水層の水理特性から森松～星ヶ丘断面で推定している。 $0.834 \text{ m}^3/\text{s}$ (重信川低水流量調査報告書；昭和50年3月)ともほぼ同じ値となっている。

水収支結果を平均値で模式化すれば図-20となる。

この水収支検討結果、さらに地下浸透量と総雨量の間には図-21に示す様に高い相関関係が得られる。

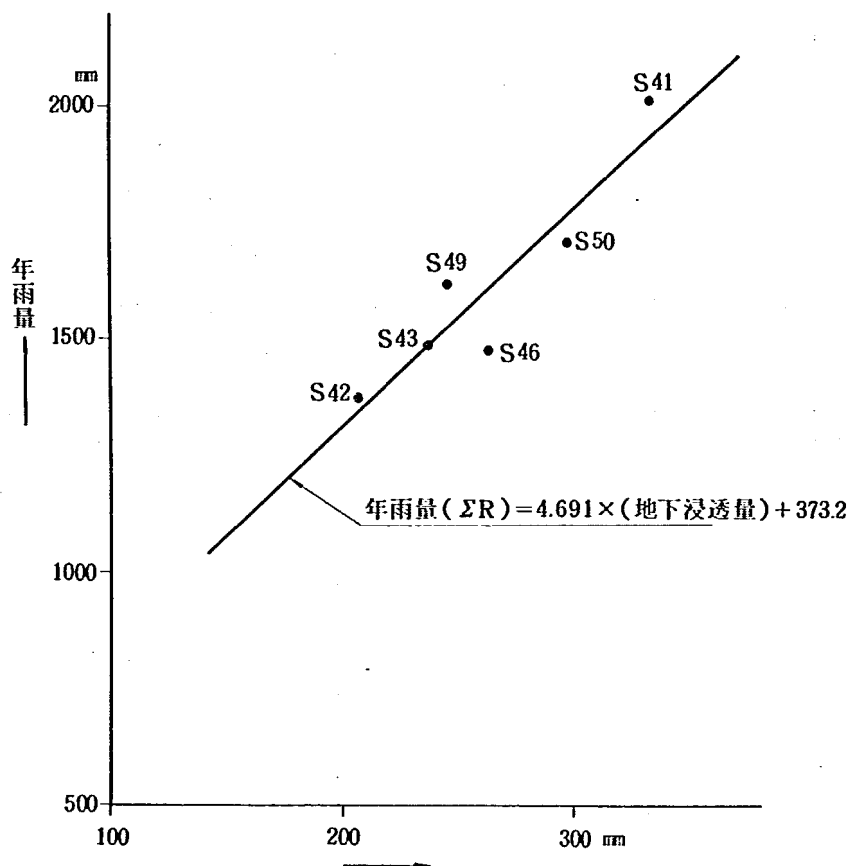


図-21 地下浸透量 (G_0) と年雨量 (ΣR) の関係図

(2) 出合上流域月単位の水収支

月毎の水収支検討は資料のそろっている昭和50年で行う。水収支の条件量も(2)の出合上流域年間の水収支と同じであるが月単位の資料が必要である。

① 水収支の検討上の仮定

○ 他流域からの導水量

(a) 農業用水の道後分水量

3.(1)1) で求められた昭和50年の道後分水量のうち域内使用量が6月10日～9月30日の110日間 で取水されるものとして、各月に割振った。

② 地下水取水量

3.(1)1) で求められた昭和50年度、地下水取水量より、上水道用工業用水は年間一定量取水、農業

用水については、6月10日～9月30日の110日間で取水されるものとして各月に割振った。

○ 流域外への移動量

流域外への移動量は、(1)1)で求められた上水道、工業用水を年間一定量として各月に割振った。

○ 月降雨量

年間と同様、ティーセン法で月降雨量を算定した。

○ 蒸発散量

蒸発散量は、金子良氏が推定した月毎の蒸発計蒸発量と蒸発散量との比率の係数を用い、出合観測所の昭和50年蒸発計月蒸発量から月蒸発散量を図-22に示す様に推定し、これを用いた。

○ 地下水の貯留量変化 (D_G)

扇伏地内に位置する16ヶ所の地下水位観測所、昭和50年地下水位記録の水位変化から地下帯水層の貯留量変化を求めた。

2) 水収支計算結果

月単位の水収支計算では、月単位の地下浸透量を推定することを主目的に行うが、(1)式における地下浸透量 (G_0) と地表貯留量 D (2)式における G_0 と地下水流下量 (S_0) が未知数となる。地下水貯留変化量は、地下水の変化から算定している。一方、地下水流下量は年間ほぼ一定であると考えられる所から、年間の水収支で得られた年間流下量から均等配分し、月の地下水流下量を仮定した。これより(2)式を用い、地下水浸透量を推定した。また地表における水収支では地表貯留量を未知数とし(1)式によって推定した。

この結果を表-10に示した。この結果より各月の地下水浸透状況をまとめれば表-9となる。

表-9 月単位の地下水浸透状況 (昭和50年水収支)

項目 月	浸透量 m^3/s	扇伏地の浸透高 mm/day	浸透量の月別割合%
1	3.39	3.51	6.9
2	4.68	4.84	8.6
3	3.37	3.49	6.8
4	4.96	5.14	9.7
5	1.40	1.45	2.8
6	11.15	11.54	21.9
7	1.78	1.84	3.6
8	7.70	7.97	15.6
9	3.42	3.54	6.7
10	3.23	3.34	6.5
11	2.71	2.81	5.3
12	2.78	2.87	5.6
備考	$\frac{\Sigma mm \times 4453 km}{\text{月の日数} \times 86.4 sec}$	$\frac{\Sigma mm}{\text{月}} \times \frac{4453}{83.46}$	$\frac{\text{月} G_0 mm}{297.1 mm}$

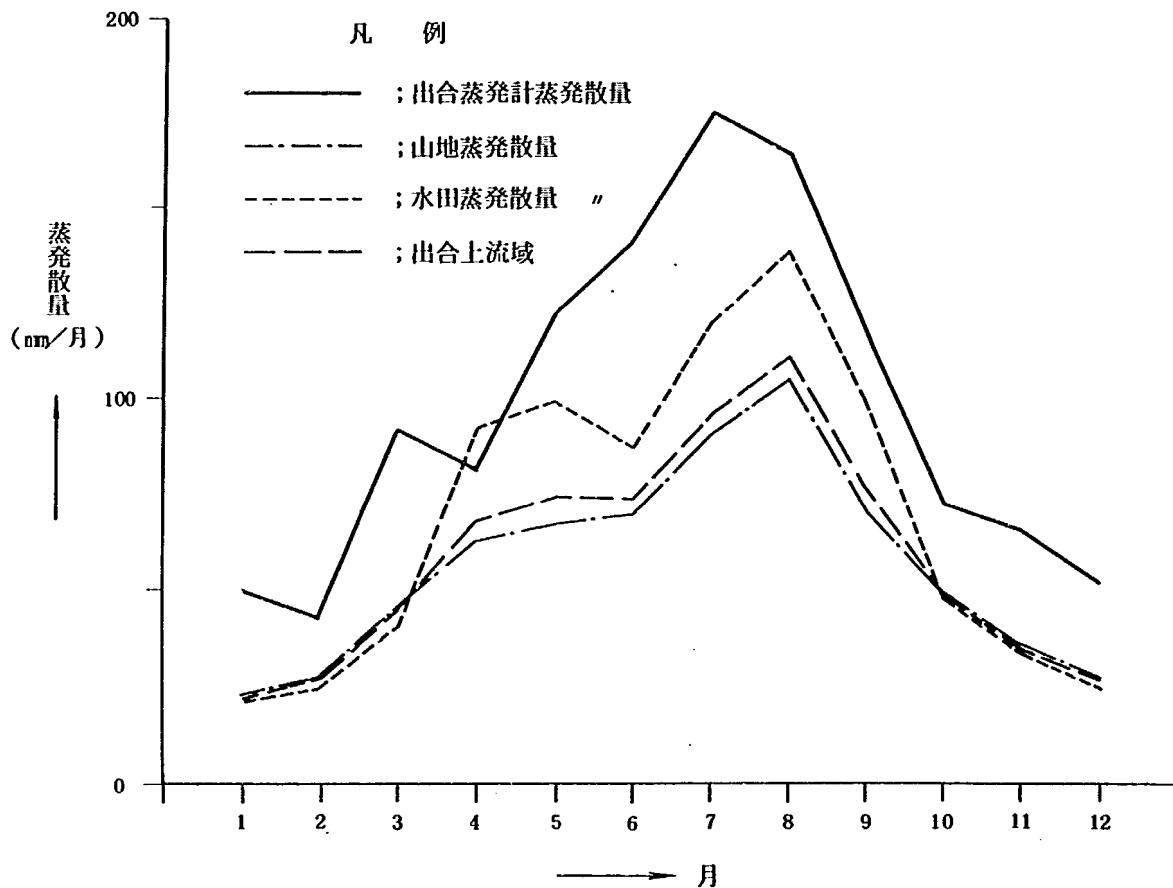


図-22 出合蒸発計蒸発散量より山地・平地蒸発散量の推定図

月 蒸 発 散 量 の 推 定

(単位; mm/月)

月	出合蒸発散量		金子氏による※換算値		蒸 発 散 量		
	月蒸発散量	年間の割合(%)	水 田 以 外	平地(水田)	山 地	平地(水田)	出合上流*
1	48.70	4.17	0.4~0.5	0.4~0.5	23.45	20.75	22.9
2	42.64	3.65	0.4~0.5	0.4~0.5	27.47	24.07	26.8
3	91.29	7.82	0.5~0.6	0.5~0.6	45.56	40.67	44.6
4	80.42	6.89	0.6	1.0	62.31	92.13	67.9
5	121.80	10.43	0.6~0.7	1.0	67.67	99.60	73.7
6	140.18	12.01	0.7	1.0~1.1	69.68	87.98	73.1
7	174.59	14.94	0.8	1.2~1.3	90.45	119.52	95.9
8	164.70	14.11	0.8	1.2~1.3	105.19	138.61	111.5
9	114.86	9.84	0.8	1.3	69.01	98.77	74.6
10	71.46	6.12	0.7~0.8	0.8	47.57	48.14	47.7
11	65.83	5.64	0.6~0.9	0.7	34.84	35.69	35.0
12	51.15	4.38	0.5~0.6	0.5~0.6	26.80	24.07	26.3
年	1167.62	100.00			670.00	830.00	700.0

※ 月蒸発散量×換算値を求め、さらにΣEが、山地・平地のΣEになる様推定

* 山地・平地面積の加重平均

表－10 出合上流域月単位の水収支計算結果

単位 (mm/月/445.3Kd)

項目 月	降 雨 (R)	蒸 発 散 量 (E)	出合流出量 (Q)	流域外から の取水量 (Ii)	流域外への 取水量 (Io)	地下水取 水量 (Gi)	地下浸透量 (Go)*	地表貯留高 D	地下浸透 流量 (m ³ /S)
1	66.9	22.9	23.0	0.	15.7	13.9	20.4	- 1.2	3.39
2	97.0	26.8	31.8	0.	14.1	12.6	25.4	11.5	4.68
3	39.3	44.6	22.6	0.	15.7	13.9	20.3	-50.0	3.37
4	133.1	67.9	38.7	0.	15.0	13.5	28.9	- 3.9	4.96
5	53.1	73.7	14.9	0.	15.7	13.9	8.4	-45.7	1.40
6	374.4	73.1	175.1	3.7	15.0	20.1	64.9	70.1	11.15
7	151.1	95.9	87.1	5.6	15.7	23.7	10.7	-29.0	1.78
8	299.7	111.5	152.8	5.6	15.7	23.7	46.3	2.7	7.70
9	143.3	74.6	43.2	5.6	15.0	23.3	19.9	19.5	3.42
10	197.3	47.7	87.4	0.	15.7	13.9	19.4	41.0	3.23
11	83.3	35.0	38.7	0.	15.0	13.5	15.8	- 7.7	2.71
12	65.3	26.3	28.0	0.	15.7	13.9	16.7	- 7.5	2.78
年間	1703.8	700.0	743.3	20.5	184.0	199.9	297.1	0	4.20

項目 月	地下浸透量 (Go)	地下取水量 (Gi)	地下水流下 量(仮定)	地下貯留量 Da(計算 値)**
1	20.4	13.9	8.2	- 1.7
2	25.4	12.6	7.5	5.3
3	20.3	13.9	8.2	- 1.8
4	28.9	13.5	8.0	7.4
5	8.4	13.9	8.3	-13.8
6	64.9	20.1	8.0	36.8
7	10.7	23.7	8.3	-21.3
8	46.3	23.7	8.3	14.3
9	19.9	23.3	8.0	-11.4
10	19.4	13.9	8.2	- 2.7
11	15.8	13.5	8.0	- 5.7
12	16.7	13.9	8.2	- 5.4
年間	297.1	199.9	97.2	0.0

注) * 下表で求めたGo

** 表－15の地下貯留量変化
(＋が貯留、－が流出)

(3) 平地部年間の水収支

当流域の平地部における水循環を把握するため、平地部全域及び平地部を上・中・下の3ブロックに区分した地域で水収支検討を行う。(図-23参照)

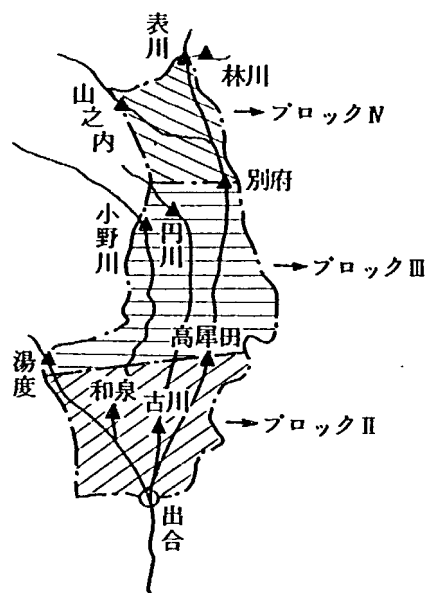


図-23 平地部水収支モデル図

1) 水収支の検討上の仮定

平地部への流域外からの導水量及び流域外への移動量として次の量がある。

- 他流域からの導水量

① 農業用水の道後分水量

昭和50年の道後分水量の内、平地部に導水されている量は、表-11の割合となり、各年の導水量はこの比に従った。

表-11 平地部への導水割合(昭和50年資料)

平地部区分	導水量	全導水量に対する割合
IV	$710 \times 10^3 \text{ m}^3$	6.2 %
III	3,272	28.4
II	2,189	19.0
II ~ IV (平地部)	6,171	53.5
全導水量	11,541	—

② 地下水の取水量

当流域の地下水取水量は平地部で取水され、昭和50年では図-14に示す量及び地域で取水されてい

る。これを割合で表わせば表－12 となる。これを用いて全流域地下水取水量を各地域に割り振ることができる。

表－12 地下水取水量の用途別取水分布

地 域	上 水	工 水 *	農 水	備 考
ブロックⅡ	91.3 %	84.3 %	68.5 %	ブロック(Ⅱ)も含む
Ⅲ	0	11.0	31.5	
Ⅳ	8.7	4.7	0	
ブロック(Ⅱ～Ⅳ)	100.0	100.0	100.0	

* 市営工水と直接取水を加えた量の割合

○ 流域外への移動量

① 上 水 道

上水道取水量は100 %流域外へ移動するものとした。各地域の地下水取水量はそのまま域外へ行き、Ⅱブロックはさらに表流水取水を加えた。

② 工 業 用 水

地下水取水＋直接取水の内、市営工業用水のみ、域外使用で直接取水は域内へ還元するものとするが、市営工業用水の割り振りは表－12 の地下水取水割合により求めた。

○ 年 降 雨 量

扇伏地の面積降雨量は、ティーセン法を用いて計算した。

○ 蒸 発 散 量

蒸発散量は対象地区が平地であるため、830 mmを用いる。

○ 平地部への流入量、流出量

平地部への流入量は、支川の流量観測記録に基づいて、これを面積比で補正して平地部への流入点流量を求めた。この中には損失量から見て資料に不整合な年度も多いが、そのまま用いた。さらに高尾田地点の昭和42年～45年は出合地点流量値より欠測の補填を行っている。

○ 地下貯留量 (D_0)

全流域年間と同様な方法で中流観測所の地下水位観測記録より、各単位ブロックの貯留量を求めた。

2) 水収支計算結果

平地部年間水収支状況の把握は、

① 平地部を1つのブロックとした場合

② 平地部を上・中・下地域の3ブロックに分割した場合

のケースで行なった。

① 平地部を1つのブロックとした場合

前述の水収支式と前項の条件量で水収支計算を行い、結果を表－13に示す。この結果、各年度の値が異なり収支結果に問題点が多いが、10年間の単純な平均値で見れば地下への浸透量 (G_0) は175.20

$\times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ ($\approx 55.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $393.4 \text{ mm}/445.3 \text{ km}^2$) 地下水流下量 (S_0) は $89.02 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ ($\approx 2.62 \text{ m}^3/\text{s}$) となり、全流域で推定した $G_0 = 3.72 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $S_0 = 0.96 \text{ m}^3/\text{s}$ より大きく推定された。これは全流域の場合、山地流域を降雨で取扱ったが、平地部の場合支川流出量 (Q_I) で行なったことによる違いである。さらに支川流出量は観測値であるが、表-7に示す様に損失量が年度によって大きく異なり、一般に山地流域での損失は一定に近いといわれている所から、流量資料の精度に問題があると判断される。水収支の概略図を図-24に示す。

② 平地部を上・中・下地域の3ブロックに分割した場合

水収支を行う場合、流入・流出量が把握されていなければならないが、本川の別府の流量資料がないため本来は行なえない。ここでは、IVブロックについては①で推定した G_0 を面積比で推定し、逆に別府地点流量を推算し、IIIブロックの水収支を行っていった。

各地域の水収支計算結果を表-14 15 16に示す。この結果、水収支の条件量は①と同様に取扱い、同様の問題が出ているが、地下浸透量は、IVブロック $24.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 、IIIブロック $103.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 、IIブロック $37.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ となり、その比率は15% 63% 22%となっている。

水収支の概略図を平地部を1つで行なった場合と比較し、図-24に示す。

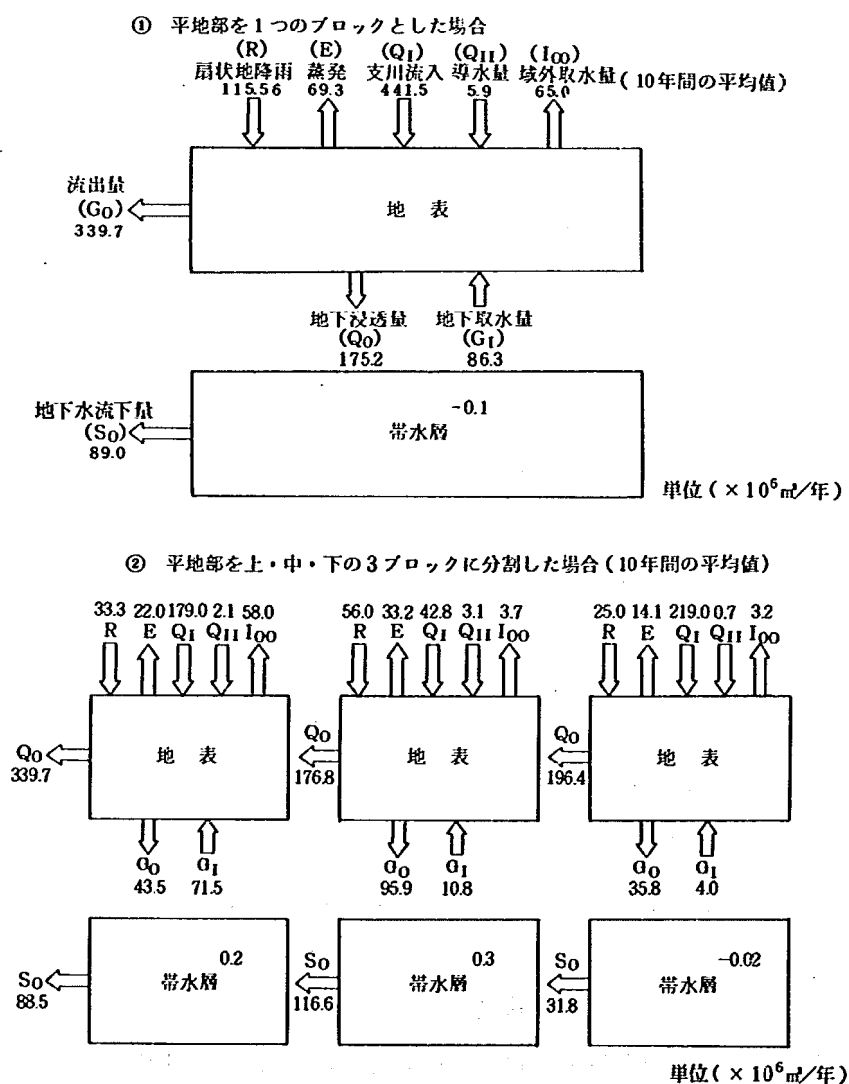


図-24 平地部水収支図 (単位 $\times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$)

表－ 1 3 平地部域の年間水収支計算結果〔扇状地全域；A＝8 3.4 6 km²〕

単位×10⁶ m³

年度	降 雨	蒸 発 散 量	流 入 量	流 出 量	域外からの 導 水 量	域 外 へ の 取 水 量	地 下 水 量 取 水 量	地下浸透量
4 2	98.57	69.27	274.47	244.02	4.90	44.87	72.03	91.81
4 3	97.90	69.27	335.61	277.42	4.90	49.46	75.67	117.93
4 4	97.06	69.27	360.15	296.12	8.83	51.42	84.42	133.65
4 5	122.94	69.27	466.73	319.28	6.30	50.00	81.78	239.20
4 6	99.99	69.27	419.34	269.85	4.69	59.23	93.71	219.38
4 7	144.30	69.27	516.31	468.90	4.39	71.28	97.58	153.13
4 8	107.66	69.27	366.72	288.11	6.26	77.00	92.04	138.30
4 9	116.68	69.27	436.14	322.40	7.15	78.93	91.32	180.69
5 0	112.84	69.27	522.95	330.96	5.52	82.07	88.53	247.54
5 1	157.66	69.27	716.10	580.23	5.63	(85.21)	(85.74)	230.42
年平均	115.56	69.27	441.45	339.73	5.86	64.95	86.28	175.20

地 下 水 水 収 支

単位×10⁶ m³

年度	上 流 の 流 下 量	地下浸透量	地下取水量	貯留変化量	下 流 へ の 流 下 量	流 下 流 量 (m ³ /s)
4 2	0	91.81	72.03	0.22	19.56	0.62
4 3	0	117.93	75.67	1.02	41.24	1.31
4 4	0	133.65	84.42	－1.96	51.19	1.62
4 5	0	239.20	81.78	1.25	156.17	4.95
4 6	0	219.38	93.71	－0.22	125.89	3.99
4 7	0	153.13	97.58	1.02	54.53	1.73
4 8	0	138.30	92.04	－3.56	49.82	1.58
4 9	0	180.69	91.32	1.60	87.77	2.78
5 0	0	247.54	88.53	－0.13	159.14	5.05
5 1	0	230.42	(85.74)	－0.22	144.90	4.59
年平均	0	175.20	86.28	－0.10	89.02	2.82

表-14 平地地域の年間水収支計算結果 (Nブロック; A = 17.03K $\bar{m}$)

単位 $\times 10^6 m^3$

年度	降 雨	蒸発散量	流入量	流出量	域外からの 導水量	域外への 取 水 量	地下水取 水 量	地 下 浸 透 量
42	22.28	14.13	104.57	95.1	0.57	2.87	3.41	18.73
43	23.01	14.13	183.87	169.76	0.57	3.15	3.65	24.06
44	20.91	14.13	166.37	147.72	1.02	3.33	4.15	27.27
45	27.55	14.13	186.70	152.82	0.73	3.01	3.79	48.81
46	23.24	14.13	194.73	160.54	0.54	3.60	4.52	44.76
47	32.65	14.13	204.49	193.33	0.51	3.48	4.54	31.25
48	22.43	14.13	169.61	151.42	0.72	3.24	4.25	28.22
49	25.41	14.13	240.78	217.11	0.83	3.02	4.11	36.87
50	24.66	14.13	294.47	256.09	0.64	3.01	3.97	50.51
51	34.70	14.13	444.64	419.67	0.65	(3.01)	(3.84)	47.02
年平均	25.68	14.13	219.02	196.35	0.68	3.17	4.02	35.75

地 下 水 水 収 支

単位 $\times 10^6 m^3$

年度	上 流 の 流 下 量	地 下 浸 透 量	地 下 取 水 量	貯 留 変 化 量	下流への 流 下 量	流下流量 (m^3/s)
42	0	18.73	3.41	0.05	15.27	0.48
43	0	24.06	3.65	0.21	20.20	0.64
44	0	27.27	4.15	-0.40	23.52	0.75
45	0	48.81	3.79	0.25	44.77	1.42
46	0	44.76	4.52	-0.04	40.28	1.28
47	0	31.25	4.54	0.21	26.50	0.84
48	0	28.22	4.25	-0.73	24.70	0.78
49	0	36.87	4.11	0.33	32.43	1.03
50	0	50.51	3.97	-0.03	46.57	1.48
51	0	47.02	(3.84)	-0.05	43.23	1.37
年平均	0	35.75	4.02	-0.02	31.75	1.01

表 - 15 平地部域の年間水収支計算結果 (Ⅲブロック; A = 39.97 Km²)

単位 × 10⁶ m³

年 度	降 雨	蒸発散量	流 入 量	流 出 量	域外からの 導水量	域外への 導 水 量	地 下 水 取 水 量	地 下 沈 埋 量
42	47.21	33.18	126.98	102.29	2.60	2.75	9.08	47.65
43	47.02	33.18	202.89	125.58	2.60	3.03	9.27	99.99
44	46.74	33.18	188.42	150.01	4.69	3.00	10.00	63.66
45	59.48	33.18	212.04	195.75	3.35	3.45	10.35	52.84
46	48.25	33.18	197.04	117.52	2.49	3.99	11.21	104.30
47	68.95	33.18	242.36	235.26	2.33	4.52	12.07	52.75
48	54.14	33.18	185.16	141.17	3.32	4.13	11.56	75.70
49	58.64	33.18	254.09	143.90	3.80	4.16	11.78	147.07
50	56.61	33.18	302.16	196.33	2.92	4.17	11.48	139.50
51	78.94	33.18	480.39	360.44	2.99	4.19	(11.19)	175.70
年平均	56.60	33.18	239.15	176.83	3.11	3.74	10.80	95.91

地 下 水 水 収 支

単位 × 10⁶ m³

年 度	上 流 の 流 下 量	地 下 浸 透 量	地 下 取 水 量	貯 留 変 化 量	下流への 流 下 量	流下流量 (m ³ /s)
42	15.27	47.65	9.08	0.11	53.73	1.70
43	20.20	99.99	9.27	0.49	110.43	3.50
44	23.52	63.66	10.00	-0.94	78.12	2.48
45	44.77	52.84	10.35	0.60	86.66	2.75
46	40.28	104.30	11.21	-0.11	133.48	4.23
47	26.50	52.75	12.07	0.49	66.69	2.12
48	24.70	75.70	11.56	1.71	87.13	2.76
49	32.43	147.07	11.78	0.77	166.95	5.29
50	46.57	139.50	11.46	-0.06	174.65	5.54
51	43.23	175.70	(11.19)	-0.11	207.85	6.59
年平均	31.75	95.91	10.80	0.30	116.56	3.70

表-16 平地地域の年間水収支計算結果(Ⅱブロック; A=26.46 km²)単位×10⁶ m³

年 度	降 雨	蒸発散量	流 入 量	流 出 量	域外からの 導 水 量	域外への 取 水 量	地 下 水 取 水 量	地下浸透量
42	2906	2196	24031	24402	174	3925	5954	2542
43	2784	2196	24419	27742	174	4328	6274	-615
44	2943	2196	30309	29612	314	4510	7027	4275
45	3588	2196	41656	31928	226	4353	6763	13754
46	2848	2196	30563	26985	167	5164	7798	7031
47	4270	2196	49805	46890	156	6328	8097	6914
48	3108	2196	30454	28811	222	6962	7624	3439
49	3264	2196	30228	32240	254	7176	7544	-322
50	3156	2196	37878	33096	196	7489	7308	5757
51	4400	2196	57117	58023	200	(7801)	(7072)	770
年平均	3327	2196	35646	33973	208	5804	7146	4354

地 下 水 水 収 支

単位×10⁶ m³

年 度	上 流 の 流 下 量	地下浸透量	地下取水量	貯留変化量	下流への 流 下 量	流下流量 (m ³ /s)
42	5373	2542	5954	007	1954	062
43	11043	-615	6274	032	4122	131
44	7812	4275	7027	-062	5122	162
45	8666	13754	6763	040	15617	495
46	13348	7031	7798	-007	12588	399
47	6669	6914	8097	032	5454	173
48	8713	3439	7624	113	4415	140
49	16695	-322	7544	051	8778	278
50	17465	5757	7308	-004	15918	505
51	20785	770	(7072)	-007	14490	459
年平均	11656	4354	7146	020	8844	280

(4) 平地部の月単位の水収支計算

月単位の水収支計算では、未知数が多く信頼できる水収支は行なえないが、昭和50年度は実測データが比較的多いので全流域月単位の水収支と同様の手法により、さらに

- ① 平地部を1つのブロックとした場合
- ② 平地部を上・中・下の3ブロックに分割した場合

について検討を行うことにする。

1) 水収支の検討上の仮定

- 他流域からの導水量

① 農業用水の道後分水量

昭和50年の道後分水量の内、域内使用量が6月10日～9月30日の110日間で取水されるものとして、各月に割振った。

② 地下水取水量

昭和50年度、地下水取水量より、上水道用水、工業用水は年間一定量取水、農業用水については、6月10日～9月30日の110日間で取水されるものとして各月に割振った。

- 流域外への移動量

流域外への移動量は、そのほとんどが上水道・工業用水であるので年間一定量として各月に割振った。

- 月降雨量

年間と同様、ティーセン法で月降雨量を算定した。

- 蒸発散量

蒸発散量は、平地の蒸発量830mmを用いた。

- 支川の流入、流出量

支川の流入、流出量は、流量資料より整理した。

- 地下貯留量(D_0)

平地部の各地域の地下水貯留量は、地下水観測所の記録から全流域月単位と同様に求めた。

2) 水収支計算結果

① 平地部を1つのブロックとした場合

月単位の水収支計算では、(2)式における地下浸透(G_0)と、地下流下量(S_0)、(1)式における地表貯留量(D)が未知数となる。出合上流域月単位の水収支と同様以下の手順で水収支を行なう。

- (a) 年間の地下流下量が一定で流下するものとして月単位の S_0 を仮定
- (b) (2)式から G_0 を求める
- (c) (1)式から D を推定

この結果を表-17に示す。地下浸透量を全流域で算定した値と比較すれば若干多いがこれは、年間の水収支と同様支川流入量を降雨と流量で取扱ったことによる誤差である。

表-17 平地部を1つのブロックにした場合の水収支計算

(単位×10⁶ m³)

項目 月	降 雨 (R)	蒸発散量 (E)	流入量 (Q _I)	流出量 (Q _O)	域外から の導水量 (I _I)	域外への 取 水 量 (I _O)	地下水 取水量 (G _I)	地下水 浸透量 (G _O)	地 表 貯留量 (D)	地下水 浸透量 (m/s)
1	366	227	2582	1023	0	697	6.15	1895	-279	7.08
2	603	265	2995	1416	0	630	5.56	2016	-173	8.33
3	246	442	2843	1008	0	697	6.15	1885	-328	7.04
4	976	672	5035	1724	0	674	5.96	2226	13.11	8.59
5	322	729	1780	664	0	698	6.15	1345	-7.19	5.02
6	2712	724	10136	7795	0.98	674	8.83	3823	8.13	14.75
7	995	949	5139	3877	1.53	698	10.60	1460	3.63	5.45
8	1770	1103	9024	6802	1.53	697	10.60	3050	3.55	11.39
9	910	738	2955	1922	1.48	674	10.27	1827	-1.21	7.05
10	1394	472	5296	3894	0	697	6.15	1845	3.97	6.89
11	584	346	2416	1722	0	674	5.96	1656	-8.02	6.39
12	405	260	2094	1249	0	697	6.15	1725	-8.17	6.44
年 間	11283	6927	52295	33096	5.52	8207	88.53	247.53	0	7.85

項目 月	地下水 浸透量 (G _O)	地下水 取水量 (G _I)	上流から の流下量 (S _I)	下流への 流 下 量 (S _O)	地下水貯 留 量 (D ₀)
1	1895	6.15	0	135	-0.7
2	2016	5.56	0	122	2.4
3	1885	6.15	0	135	-0.8
4	2226	5.96	0	130	3.3
5	1345	6.15	0	135	-6.2
6	3823	8.83	0	131	16.3
7	1460	10.60	0	135	-9.5
8	3050	10.60	0	135	6.4
9	1827	10.27	0	131	-5.1
10	1845	6.15	0	135	-1.2
11	1656	5.96	0	131	-2.5
12	1725	6.15	0	135	-2.4
年 間	247.53	88.53	0	159.0	0.0

① S₀ は年間総量 1590 を均等に
配分

② 下表で G₀ を推定

③ ①式で D を推定

$$* G_0 \times \frac{1}{\text{月の日数} \times 0.0864} = \text{m/s}$$

② 平地部を上・中・下の3ブロックに分割した場合

月毎の水収支計算上の未知数の他に別府地点の流量資料がないため、水収支計算方法が問題になるが、以下の手順で行った。

○ 別府上流(Ⅳ)ブロック

(a) 下流への地下水流下量を年間で得られた量($159.0 \times 10^6 \text{ m}^3$)が一定量で流下するものとして各月均等に配分する。

(b) 水収支式(2)で G_0 を推定する。(D_0 は地下水位の変化から求めている)

(c) 平地部を1つのブロックとした場合の面積比でⅣブロックのDを仮定し水収支式(1)で別府の流出量を算定する。

○ 別府～高尾田間(Ⅲ)ブロック

(d) 別府の流出量(推定)を加え、流入量を求める。

(e) 下流への地下水流下量を年間で得られた量が一定量で流下するものとして各月均等に配分する。

(f) 水収支式(2)で G_0 を求める。(D_0 は地下水の変化から求めている)

(g) 水収支式(1)でDを求める。

○ 高尾田～出合間(Ⅱ)ブロック

(h) 下流への地下水流下量を年間で得られた量($159.22 \times 10^6 \text{ m}^3$)が一定量で流下するものとして各月均等に配分する。

(i) 水収支式(2)で G_0 を求める。(D_0 は地下水の変化から求めている)

(j) 水収支式(1)でDを求める

この様にして行った水収支計算結果を表-19、20、21に示す。この水収支より得られた月単位の地下水への浸透量を表-18に示すとともに図-25に図示する。さらに表-18では各月における地域的

表-18 地下浸透量の地域的分布率表

月	地下浸透量 (m^3/s)				地域的分布率			
	扇伏地 (Ⅳ～Ⅱ)ブロック	Ⅳブロック	Ⅲブロック	Ⅱブロック	Ⅰ～Ⅳブロック	Ⅳブロック	Ⅲブロック	Ⅱブロック
1	7.08	1.41	4.14	1.52	100	20	58	21
2	8.33	1.96	4.83	1.53	100	24	58	18
3	7.04	1.49	4.31	1.24	100	21	61	18
4	8.59	2.07	4.81	1.74	100	24	56	20
5	5.02	0.83	2.95	1.26	100	17	59	25
6	14.75	3.49	8.07	3.24	100	24	55	22
7	5.45	-0.35	3.22	2.59	100	-6	59	48
8	11.39	3.06	5.68	2.64	100	27	50	24
9	7.05	0.58	3.93	2.55	100	8	56	36
10	6.89	2.08	3.76	1.05	100	30	55	15
11	6.39	1.29	3.74	1.34	100	20	59	21
12	6.44	1.38	3.79	1.27	100	21	59	20
年間	7.85	1.60	4.42	1.83	100	20	56	23

分布率についてはまるめ誤差あり。

表-19 平地部を3ブロックに分割した場合の水収支計算(IVブロック)

(単位×10⁶ m³)

項目 月	降 雨 (R)	蒸発散量 (E)	流入量 (Q _I)	流出量 (Q _O)	域外から の導水量 (I _I)	域外への 取 水 量 (I _O)	地下水 取水量 (G _I)	地下水 浸透量 (G _O)	地 表 貯留量 (D)	地下水 浸透量 (m ³ /s)
1	0.63	0.46	15.85	12.90	0	0.25	0.34	3.78	-0.57	1.41
2	1.07	0.54	17.83	14.04	0	0.23	0.30	4.74	-0.35	1.96
3	0.45	0.90	18.06	14.35	0	0.26	0.33	4.00	-0.67	1.49
4	2.18	1.37	32.39	25.24	0	0.25	0.33	5.36	2.68	2.07
5	0.60	1.49	9.02	7.47	0	0.25	0.34	2.22	-1.47	0.83
6	5.78	1.48	51.53	45.32	0.11	0.25	0.33	9.04	1.66	3.49
7	1.80	1.93	19.45	19.78	0.18	0.26	0.33	-0.95	0.74	-0.35
8	4.56	2.25	63.40	57.06	0.18	0.25	0.34	8.20	0.72	3.06
9	2.45	1.51	15.69	15.63	0.17	0.25	0.33	1.50	-0.25	0.58
10	3.00	0.96	29.77	25.49	0	0.26	0.33	5.58	0.81	2.08
11	1.08	0.71	11.46	10.21	0	0.25	0.33	3.34	-1.64	1.29
12	1.05	0.53	10.02	8.59	0	0.25	0.34	3.70	-1.66	1.38
年 間	24.65	14.13	294.47	256.08	0.64	3.01	3.97	50.51	0	1.60

項目 月	地下水 浸透量 (G _O)	地下水 取水量 (G _I)	上流から の流下量 (S _I)	下流への 流 下 量 (S _O)	地 下 貯留量 (D _G)
1	3.78	0.34	0	3.95	-0.51
2	4.74	0.30	0	3.57	0.87
3	4.00	0.33	0	3.95	-0.28
4	5.36	0.33	0	3.83	1.20
5	2.22	0.34	0	3.95	-2.07
6	9.04	0.33	0	3.83	4.88
7	-0.95	0.33	0	3.95	-5.23
8	8.20	0.34	0	3.95	3.91
9	1.50	0.33	0	3.83	-2.66
10	5.58	0.33	0	3.95	1.30
11	3.34	0.33	0	3.83	-0.82
12	3.70	0.34	0	3.95	-0.59
年 間	50.51	3.97		46.54	0

① 表-32のDを $\frac{17.03}{83.46}$ で

求める。

② 下表で下流への流下量を一定と仮定し、G_Oを推定③ Q_Oを未知数とし、

$$R - E + Q_I + I_I - I_O + G_I - G_O - D = Q_O$$

表-20 平地部を3ブロックに分割した場合の水収支計算(Ⅲブロック)

(単位×10⁶ m³)

項目 月	降 雨 (R)	蒸発散量 (E)	流入量 (Q ₁)	流出量 (Q ₀)	域外からの 導水量 (I ₁)	域外への 取 水 量 (I ₀)	地下水 取水量 (G ₁)	地下水 浸透量 (G ₀)	地 表 貯留量 (D)	地下水 浸透量 (m ³ /s)
1	186	1.09	15.35	6.14		0.35	0.54	11.08	-0.91	4.14
2	3.14	1.27	17.44	8.41		0.32	0.49	11.69	-0.62	4.83
3	1.31	2.12	17.45	7.78		0.36	0.54	11.54	-2.50	4.31
4	4.90	3.22	27.47	10.27		0.34	0.53	12.46	6.61	4.81
5	1.68	3.44	9.25	5.23		0.35	0.54	7.90	-5.45	2.95
6	13.32	3.47	53.06	49.13	0.53	0.34	1.44	20.92	-5.51	8.07
7	5.14	4.54	23.76	21.17	0.81	0.36	1.94	8.63	-3.05	3.22
8	8.75	5.27	60.55	35.38	0.81	0.35	1.94	15.21	15.84	5.68
9	4.47	3.54	19.41	10.68	0.78	0.34	1.89	10.19	1.80	3.93
10	7.06	2.26	30.81	18.70		0.36	0.55	10.06	7.04	3.76
11	2.83	1.66	13.97	11.63		0.34	0.53	9.70	-6.00	3.74
12	2.11	1.25	13.63	11.78		0.36	0.55	10.15	-7.25	3.79
年 間	56.62	33.18	302.15	196.30	2.93	4.17	11.48	139.53	0	4.42

項目 月	地下水 浸透量 (G ₀)	地下水 取水量 (G ₁)	上流から の流下量 (S ₁)	下流への 流 下 量 (S ₀)	地下水 貯留量 (D ₀)
1	11.08	0.54	3.95	14.83	-0.34
2	11.69	0.49	3.57	13.38	1.39
3	11.54	0.54	3.95	14.83	0.12
4	12.46	0.53	3.83	14.35	1.41
5	7.90	0.54	3.95	14.83	-3.52
6	20.92	1.44	3.83	14.35	8.96
7	8.63	1.94	3.95	14.83	-4.19
8	15.21	1.94	3.95	14.83	2.39
9	10.19	1.89	3.83	14.35	-2.22
10	10.06	0.55	3.95	14.83	-1.37
11	9.70	0.53	3.83	14.35	-1.35
12	10.15	0.55	3.95	14.83	-1.28
年 間	139.53	11.48	46.54	174.59	0

- ① 下表で下流への流下量を一定と仮定し、G₀を推定
② 上表でDを未知数として求める。

表- 21 平地部を3ブロックに分割した場合の水収支計算(Ⅱブロック)

(単位: $\times 10^6 \text{ m}^3$)

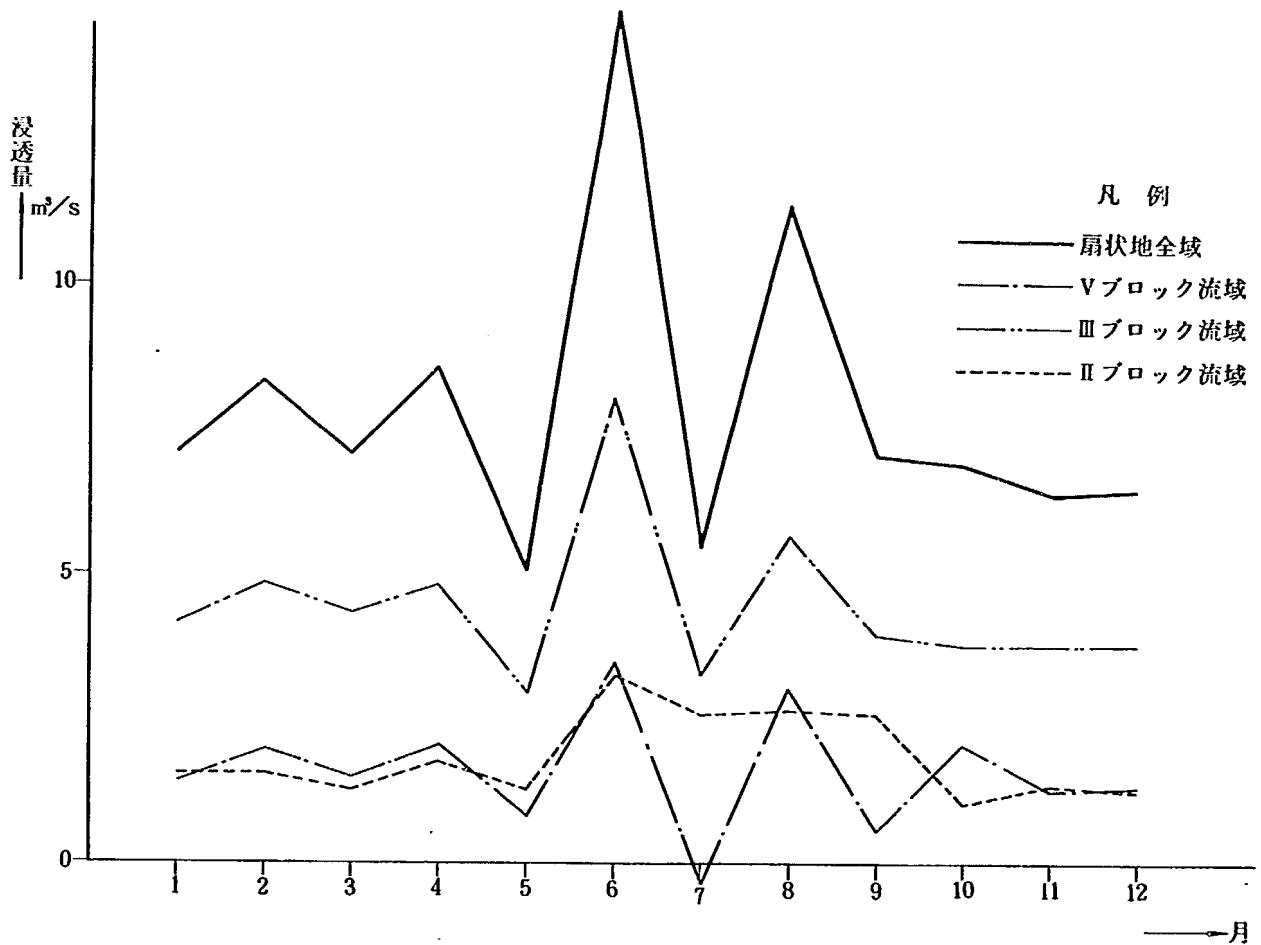
項目 月	降 雨 (R)	蒸発散量 (E)	流入量 (Q _I)	流出量 (Q _O)	域外から の導水量 (I _I)	域外への 取 水 量 (I _O)	地下水 取水量 (G _I)	地下水 浸透量 (G _O)	地 表 貯留量 (D)	地下水 浸透量 (m ³ /s)
1	1.18	0.72	13.66	10.23		6.36	5.27	4.07	-1.27	1.52
2	1.76	0.84	17.13	14.16		5.75	4.76	3.71	-0.81	1.53
3	0.71	1.40	15.05	10.08		6.36	5.27	3.33	-0.14	1.24
4	2.69	2.13	26.00	17.04		6.15	5.10	4.51	3.96	1.74
5	0.94	2.31	12.23	6.64		6.36	5.27	3.38	-0.25	1.26
6	8.02	2.30	91.22	77.95	0.35	6.16	7.07	8.39	11.86	3.24
7	3.01	3.01	49.13	38.77	0.54	6.36	8.32	6.93	5.93	2.59
8	4.39	3.49	58.73	68.02	0.54	6.36	8.32	7.07	-12.96	2.64
9	2.17	2.34	20.76	19.22	0.53	6.15	8.05	6.60	-2.80	2.55
10	3.89	1.50	36.57	38.94		6.36	5.27	2.82	-3.89	1.05
11	1.92	1.10	20.57	17.22		6.16	5.10	3.48	-0.37	1.34
12	0.89	0.82	17.66	12.49		6.36	5.27	3.41	0.74	1.27
年 間	31.57	21.96	378.71	330.76	1.96	74.89	73.07	57.70	0	1.83

項目 月	地下水 浸透量 (G _O)	地下水 取水量 (G _I)	上流から の流下量 (S _I)	下流への 流 下 量 (S _O)	地下水 貯留量 (D _O)
1	4.07	5.27	14.83	13.52	0.11
2	3.71	4.76	13.38	12.22	0.11
3	3.33	5.27	14.83	13.52	-0.63
4	4.51	5.10	14.35	13.09	0.67
5	3.38	5.27	14.83	13.52	-0.58
6	8.39	7.07	14.35	13.09	2.58
7	6.93	8.32	14.83	13.52	-0.08
8	7.07	8.32	14.83	13.52	0.06
9	6.60	8.05	14.35	13.09	-0.19
10	2.82	5.27	14.83	13.52	-1.14
11	3.48	5.10	14.35	13.09	-0.36
12	3.41	5.27	14.83	13.52	-0.55
年 間	57.70	73.07	174.59	159.22	0

- ① 下表で下流への流下量を一定と仮定し、G_Oを推定
- ② 上表でDを未知数として求める。

な浸透量の分布を求めている。

いずれにしても定性的傾向は得られるが、全流域の水収支（支川からの流入量を用いず降雨データだけで水収支を行う方法）と比較すれば、その量が多い。これは前述しているように支川流量資料の誤差に起因していると判断される。



図一 25 地下浸透量比較図(昭和50年度)

3-3 流域・平地部水収支についてのまとめ

水収支の検討は、次の6ケースで行なった。

- ① 重信川流域(445.3 km²) 年間(S41~S51年)の水収支
- ② 重信川流域(445.3 km²) 昭和50年度月単位の水収支
- ③ 平地部(83.46 km²) 年間(S41~S51年)の水収支
- ④ 平地部(83.46 km²) 昭和50年度月単位の水収支
- ⑤ 平地部を3ブロック分割し、年間(S41~51年)の水収支
- ⑥ 平地部を3ブロック分割し、昭和50年度月単位の水収支

水収支式は表流水収支、地下水収支に分け、それぞれ次式で行う。

$$R - E + (Q_1 - Q_0) + (I_1 - I_0) + (G_1 - G_0) - D = 0 \quad \dots\dots\dots (1) \text{表流水}$$

$$(G_0 - G_1) + (S_1 - S_0) - D_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (2) \text{地下水}$$

ここに R ; 降雨量 Q ; 表面流量 E ; 蒸発散量 S ; 地下水流量 I ; 他流域への移動量
G ; 地下への移動量 D ; 流域内貯留量(ダム、ため池) D₀ ; 地下貯留量 添字 1 ;
流入を表わす 添字 0 ; 流出を表わす

年間収支の場合は表流水の貯留量(D)は0と仮定出来ることから、未知数は地下浸透量(G₀)のみ、地下水も年間では地下水位の変化量(D₀)から推定出来、未知数は地下水の流出量(S₀)となり、水収支計算により算定していった。月単位の水収支は主に月単位の地下浸透量を推定することを主眼に進める。この場合、未知数が多くなり、本来水収支検討が行なえないが当検討では地下水の水収支2)式における地下水の下流への流下量(S₀)が、年間ほぼ一定量で流下しているものと仮定し、地下への浸透量を求めた。(1)式においては、地表貯留量(D)を水収支から推定していった。

この結果、年間の水収支検討の当流域の地下水流下量及び地下浸透量は、全流域、平地部で表-21の様に、平地部の方が若干多い量で推定されている。この原因として考えられるものは、水収支の条件量として、全流域では支川等の流出も降雨と損失量で取扱い平地部では、支川観測所の流出量で行っていることがあげられるが、表-7の流出量と損失量の関係から、山地に於ける損失がほぼ一定と考えられるなら、流出量に問題が多く、全流域で行なった、出合地点地下流下量0.96 m³/s、浸透流量3.72 m³/sが妥当と判断される。平地部では前記の水収支条件の問題もあるが平地部を分割した地域別の単位面積当りの浸透量(河川からの浸透があり、正確な表現でない可能性がある)で見れば、中流の浸透が多く、上流、下流の順に浸透量が変わっている。

一方、昭和50年の月単位の水収支で得られた地下水流下量、地下浸透量は表-22に示す様に全流域と平地部では、年間の水収支と同じ原因による誤差がある。昭和50年の総浸透量は、全流域(4.2 m³/s)、平地部(7.9 m³/s)と約1.9倍になっている。月単位の浸透量分布形態は全流域・平地部とも同様の形態をしており6月、8月の浸透量が多いが、この月は降雨量も多く、一般に述べられている水田に水を張った時期の水田から浸透量の増大という顕著な特性は得られなかった。

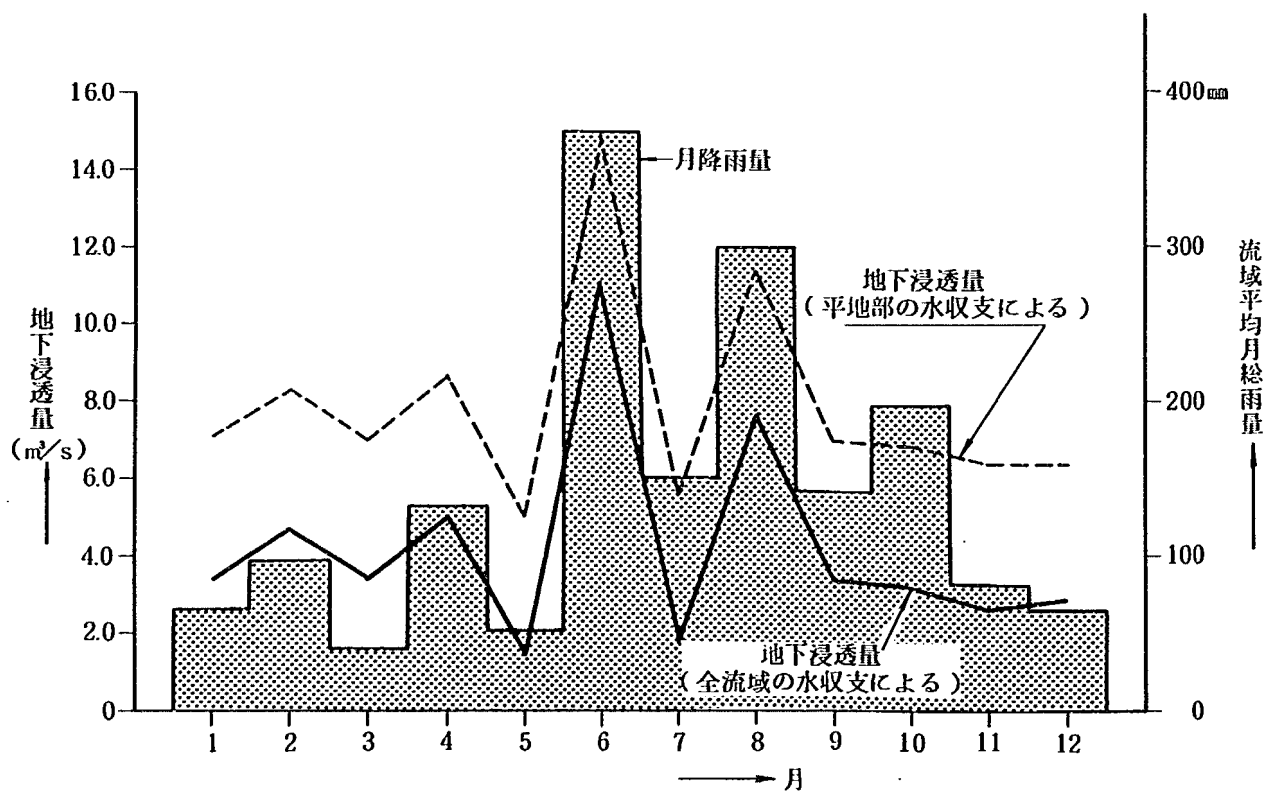
表－22 年間の水収支の比較（昭和42年～51年）

項 目		全流域出合上流 (445.3km ³)	平 地 部 (83.46km ³)	平 地 部 の 分 割		
				Ⅱブロック (26.46km ³)	Ⅲブロック (39.97km ³)	Ⅳブロック (17.03km ³)
地下水流下量	流下容量(×10 ⁶ m ³ /年)	30.325	89.02	88.44	116.56	31.75
	平均流下流量(m ³ /s)	0.96	2.82	2.80	3.70	1.01
	流出高(mm/445.3km ³ /年)	68.1	—	—	—	—
地下浸透量	浸透容量(×10 ⁶ m ³ /年)	117.43	175.20	43.54	95.91	35.75
	平均浸透流量(m ³ /s)	3.72	比率(1.00) 5.56	(0.25) 1.38	(0.55) 3.04	(0.20) 1.13
	浸透量(mm/445.3km ³ /年)	263.7	—	—	—	—
	単位浸透面積当り浸透流量 m ³ /s/km ²	(0.045)*	0.067	0.052	0.076	0.066
備 考		資料の誤差が少ないS42、43、46、47、49年の平均値	資料誤差が各年度で考えられるため10年間の単純平均	同 左	同 左	同 左

* 全流域の浸透が平地部で起こるものとして換算

表-23 月単位の水収支による地下浸透量の月変化(昭和50年)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備 考
地下水 下流量 (m^3/s)	全流域 (出合)	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	表-15 から 流量換算
	扇 伏 地 (出合)	504	504	504	504	504	504	504	504	504	504	504	504	
	Ⅱブロック (出合)	504	504	504	504	504	504	504	504	504	504	504	504	
	Ⅲブロック (高尾田)	554	554	554	554	554	554	554	554	554	554	554	554	
	Ⅳブロック (別府)	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	
地下水 浸透量 (m^3/s)	全流域 (出合)	339	468	337	496	140	11.15	1.78	7.70	3.42	3.23	2.71	2.78	表-15から流 量換算
	扇 伏 地 (出合)	7.08	8.33	7.04	8.59	5.02	14.75	5.45	11.39	7.05	6.89	6.39	6.44	
	Ⅱブロック (出合)	1.52	1.53	1.24	1.74	1.26	3.24	2.59	2.64	2.55	1.05	1.34	1.27	
	Ⅲブロック (高尾田)	4.14	4.83	4.31	4.81	2.95	8.07	3.22	5.68	3.93	3.76	3.74	3.79	
	Ⅳブロック (別府)	1.41	1.96	1.49	2.07	0.83	3.49	-0.35	3.06	0.58	2.08	1.29	1.37	
全流域(出合) 月総雨量(mm)		66.9	97.0	39.3	133.1	53.1	374.4	151.1	299.7	143.3	197.3	83.3	65.3	



3-4 河道の水収支

重信川本・支川河道の扇状地に於ける水収支状況を、同時流量観測資料及び勾流量資料から推定する。

(1) 同時流量観測資料による水収支

同時流量観測は、昭和41年7月、昭和48年12月の2回行なわれている。同時流量観測による水収支概念図を図-27に示し同図より河道の特性として河川水が浸透（欠水、失水）、湧出（得水）する区間の分類を行い図-28に示す。

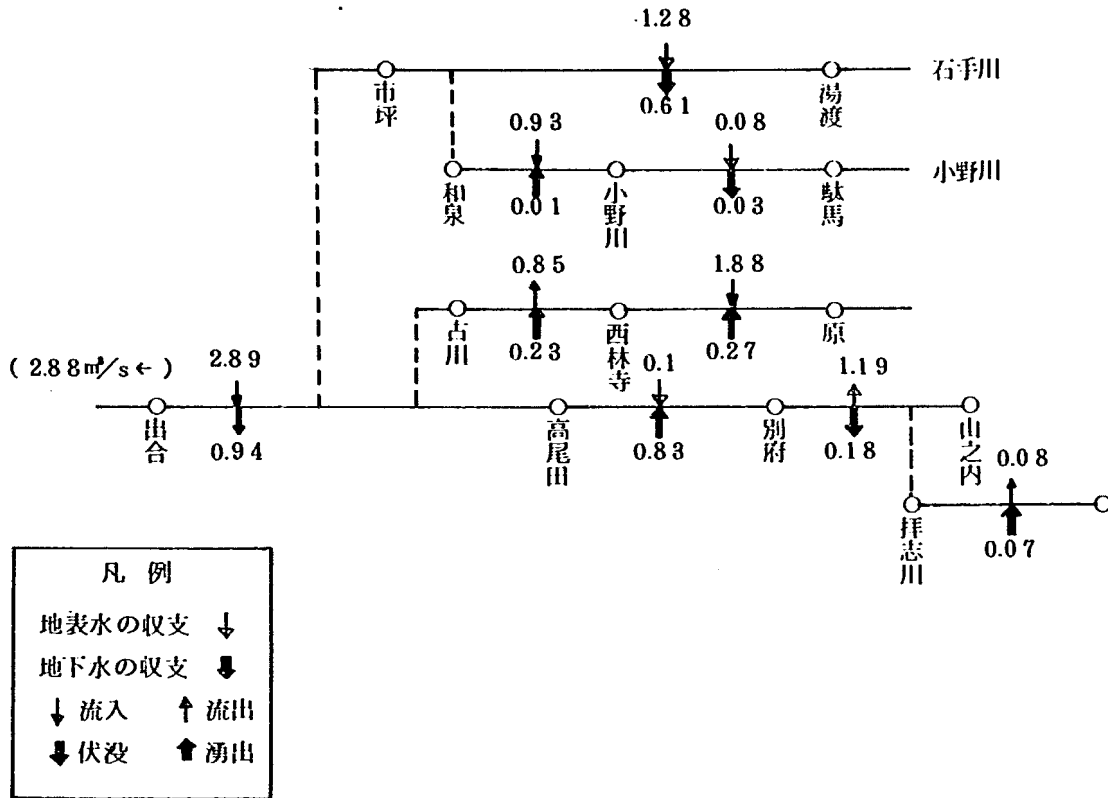
同時流量観測結果より、基準観測所間の浸透量、湧出量等の特性をまとめれば表-24となる。図-26は河道の基準観測所間の収支概要を示した。この結果、全域での浸透量は豊水期2.45 m^3/s 、渇水期3.35 m^3/s で湧出量は豊水期2.10 m^3/s 、渇水期0.06 m^3/s で、収支で見れば豊水期より渇水期の方が地下水への浸透量が多い。

表-24 同時流量観測から見た河道の収支特性

区 間	昭和41年7月（豊水期）				昭和48年12月（渇水期）			
	表流水収支	浸 出	湧 出	地下水収 支	表流水収支	浸 透	湧 出	地下水収 支
石手川 湯 渡～市坪間	1.28 m^3/s	0.61	0	▲0.61	0.16	0.38	0	▲0.38
小野川 駄 馬～小野川間	0.08	0.13	0.10	▲0.03	0.45	0.08	0	▲0.08
小野川 小野川～和泉間	0.93	0	0.01	0.01	0.03	0.14	0	▲0.14
内 川 原 ～西林寺間	1.88	0.15	0.42	0.27	0.51	0	0.09	0.09
内 川 西林寺～古川間	▲0.85	0.05	0.28	0.23	0.11	0.12	0	▲0.12
本 川 別 府～山之内間	▲1.19	0.18	0	▲0.18	1.11	1.49	0	▲1.49
本 川 高尾田～別府間	0.10	0.10	0.93	0.83	0.05	0	0.14	0.14
本 川 出 合～高尾田間	2.89	1.23	0.29	▲0.94	1.74	1.14	0.33	▲0.81
林 川	▲0.08	0	0.07	0.07	0.0	0	0.10	0.10
計	5.04	2.45	2.10	▲0.35	4.16	3.35	0.66	▲2.69

水収支で▲は、流出、浸透を示す。

昭和41年7月22日～29日（豊水期）



昭和48年12月12日（渇水期）

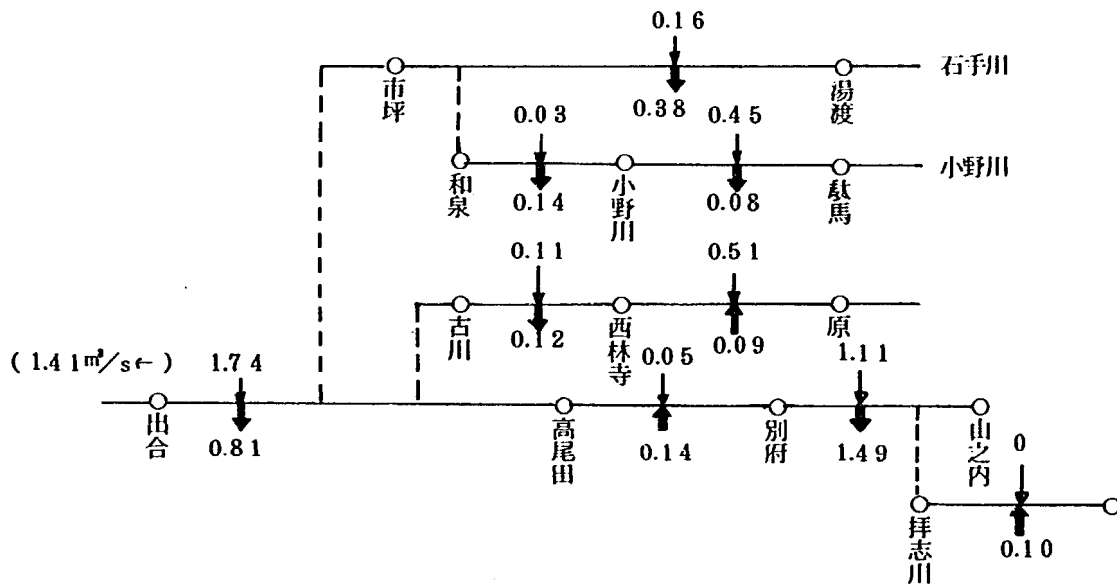


図-26 同時流量観測の収支概要

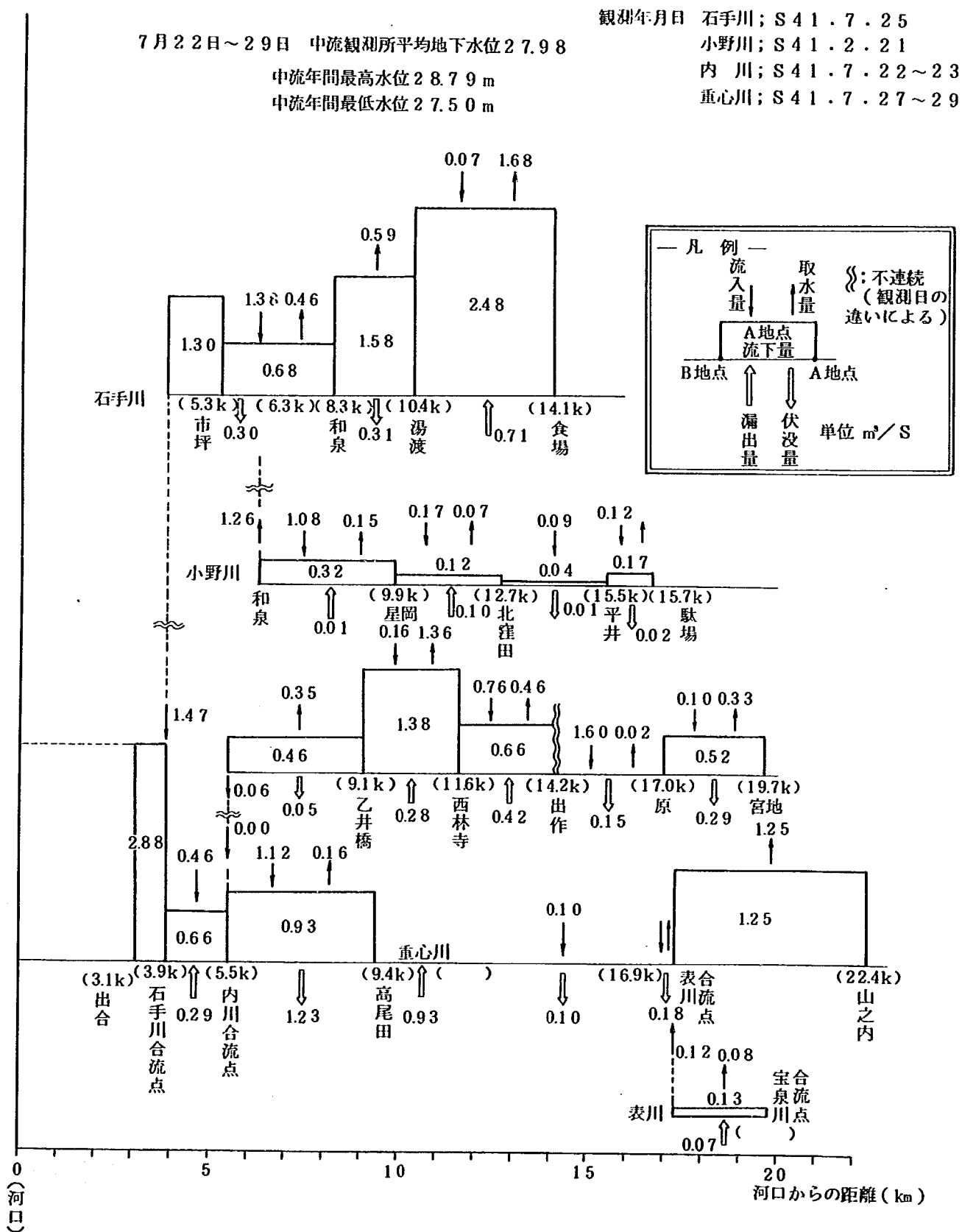


図-27(1) 同時流観による重信川水系の水収支概念図

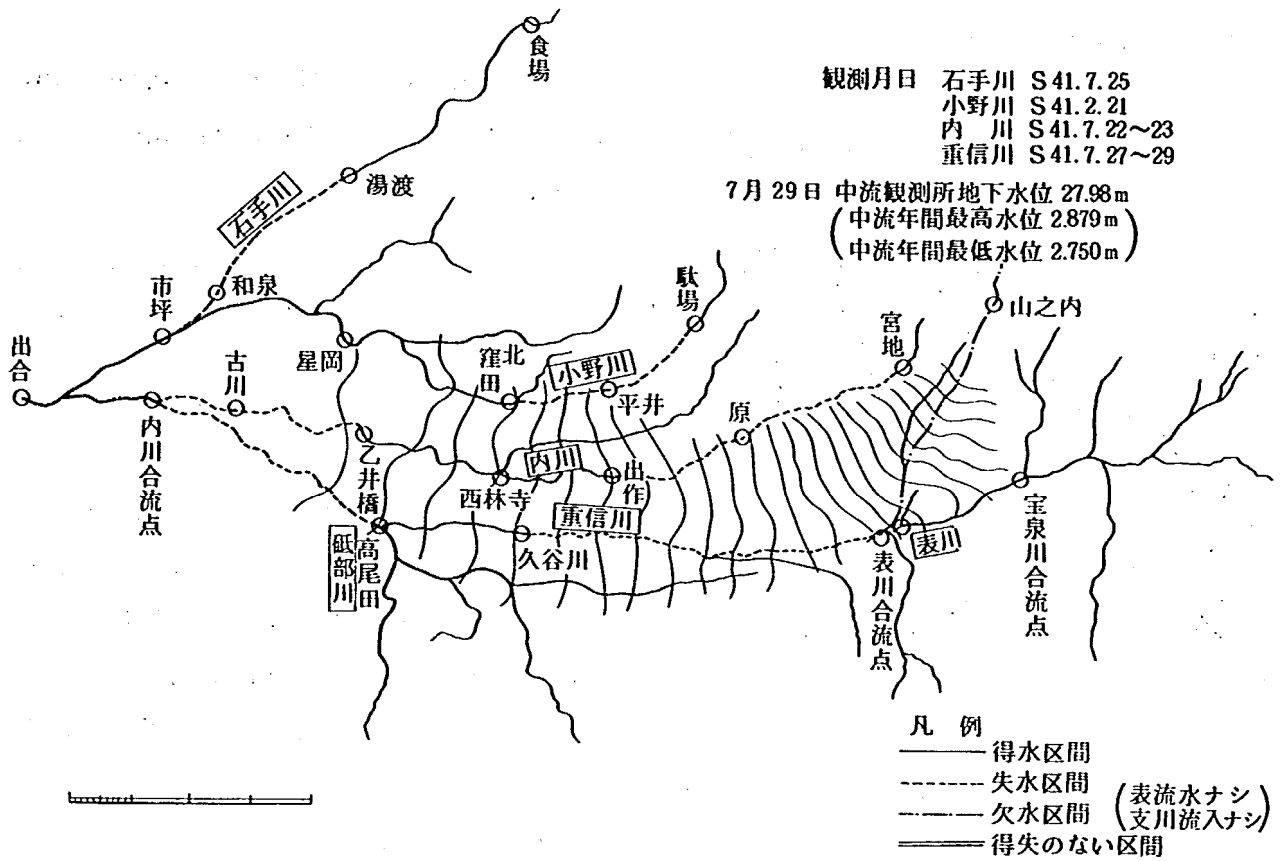


図-28(1) 同時流量観測による重信川の水収支

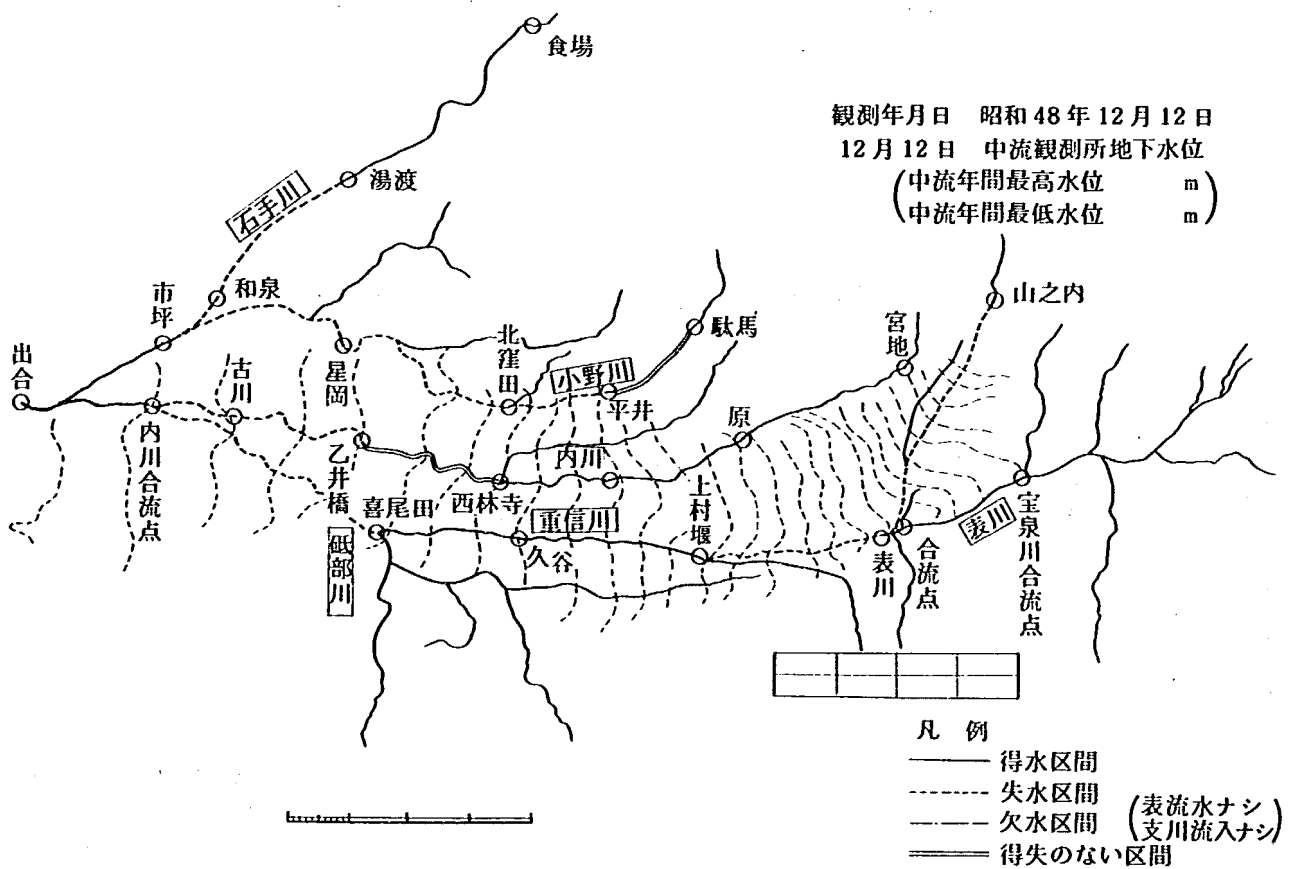
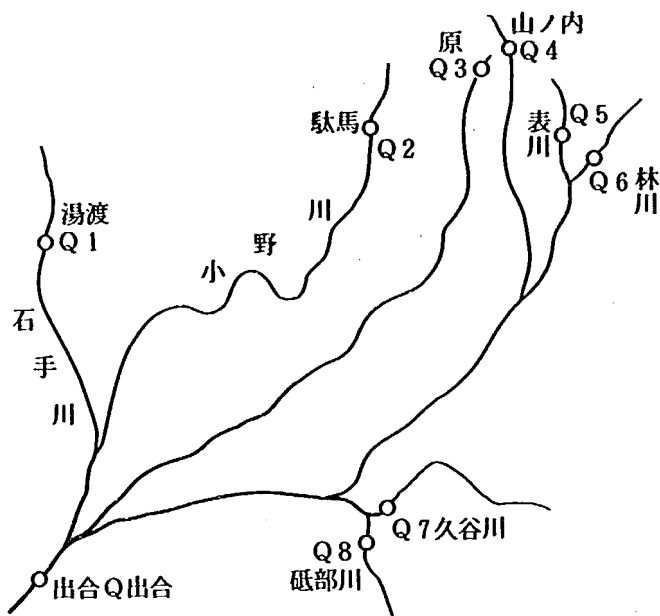


図-28(2) 同時流量観測による重信川の水収支

(2) 半旬流量資料による水収支



左図に示す様に、山地流域から扇伏地への出口に有る流量観測所の半旬流量資料を用い、次の水収支式

$$Q_{\text{出合}} - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_7 + Q_8) \leq 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

によって、損失量 (< 0)、得水量 (> 0) を求めた。

検討は表-7の流量観測所の年消失高表より、比較的全体の精度的バランスが取れている昭和48年で行った。但し、出合の消失高が若干多いが、そのまま用い久谷川、砥部川の資料については、他の年度から見た平均流出率 (久谷川 $f = 0.648$

砥部川 $f = 0.533$) になる様に流量を修正して用いた。

この結果を図-29に示す。同図より6割が損失であり、4割が得水となった。

流量資料の精度的な問題も多いと考えられるが、同時流量観測と異なって、夏期と冬期の損失流量を比較すればむしろ夏期の方が多様である。さらに出合流量との関係は、夏 $5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 、冬 $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度で平

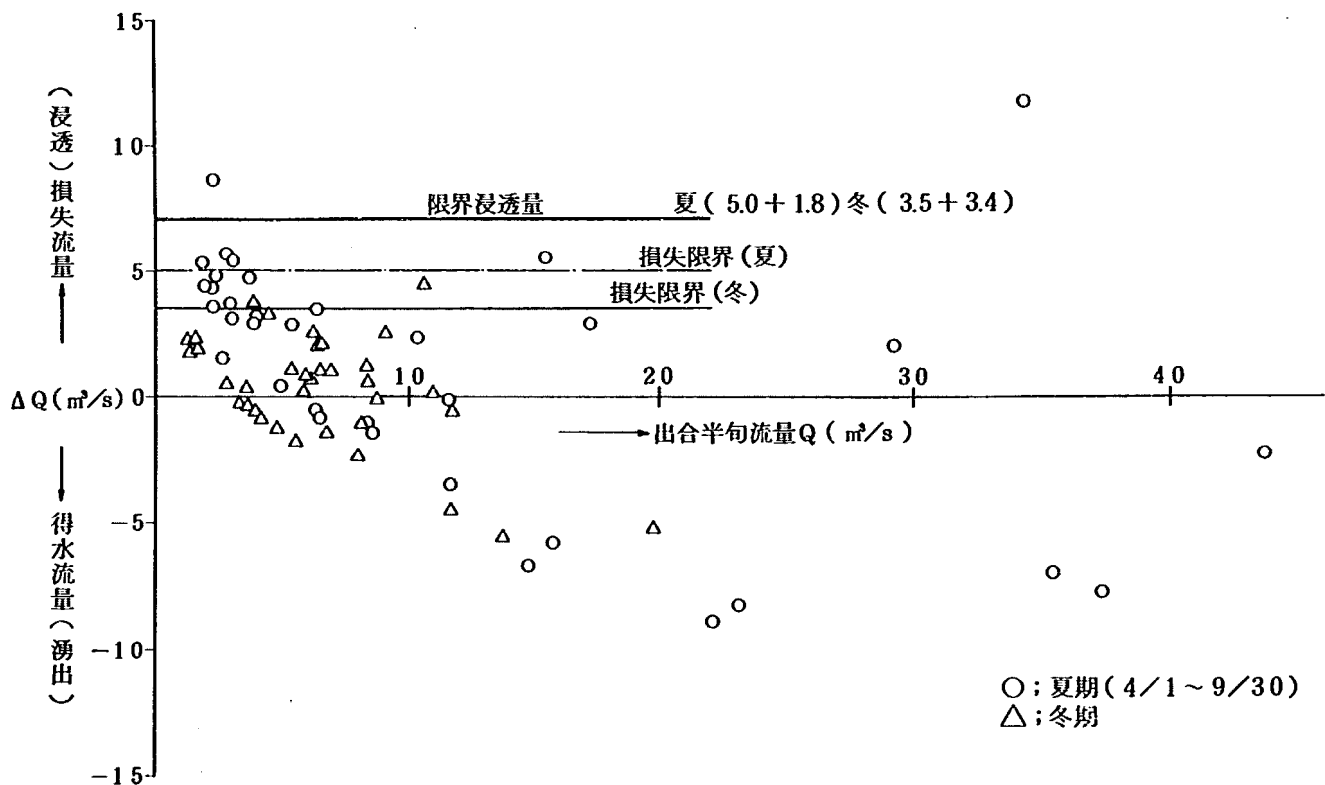


図-29 出合地点流量～平地部内損失流量関係図

行な関係で、これが当河道における損失の限界量と見ることが出来る。これより、浸透量は、

$$\text{浸透量} = \text{損失量} + (\text{小水路流入量} - \text{農業取水})$$

となり、同時流観から(小水路流入量-農業取水)を概算すればS41年夏 $1.81 \text{ m}^3/\text{s}$ 、S48年冬 $3.43 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、浸透量は夏、冬とも $7.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度と考えられる。

3-5 水循環モデルによる水収支状況

(1) 計算モデルの構成

流域の水循環機構を、貯留形態より大きく山地、平地、河道、地下帯水層に分け、一体とした図-30に示す多重並列タンクモデルを構成した。

(2) 計算上の仮定

1) 山地、平地、河道、地下帯水層のモデルに於ける水循環量は図-31~図-34の様に取り扱う。

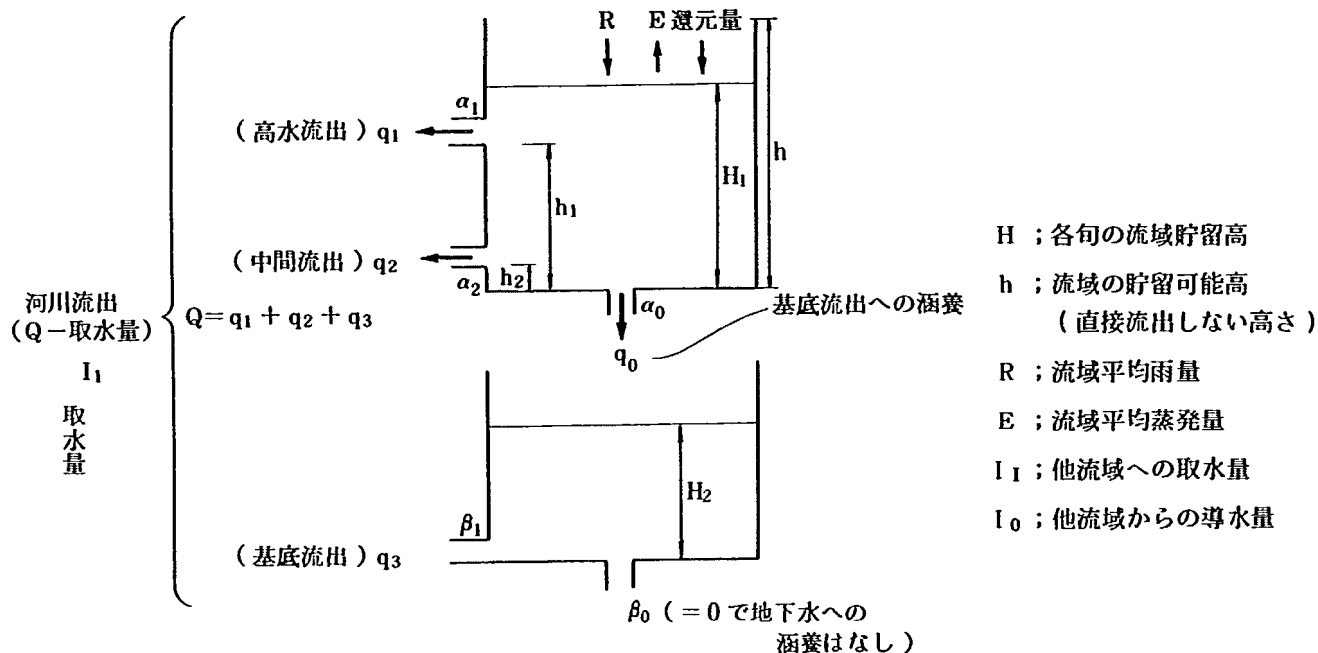


図-31 山地流域モデル

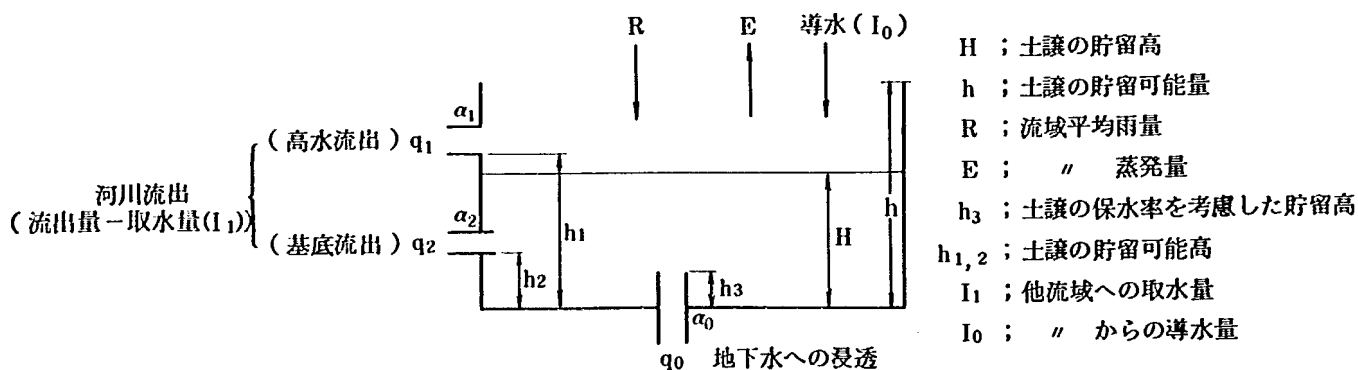


図-32 平地部表面貯留タンクモデル

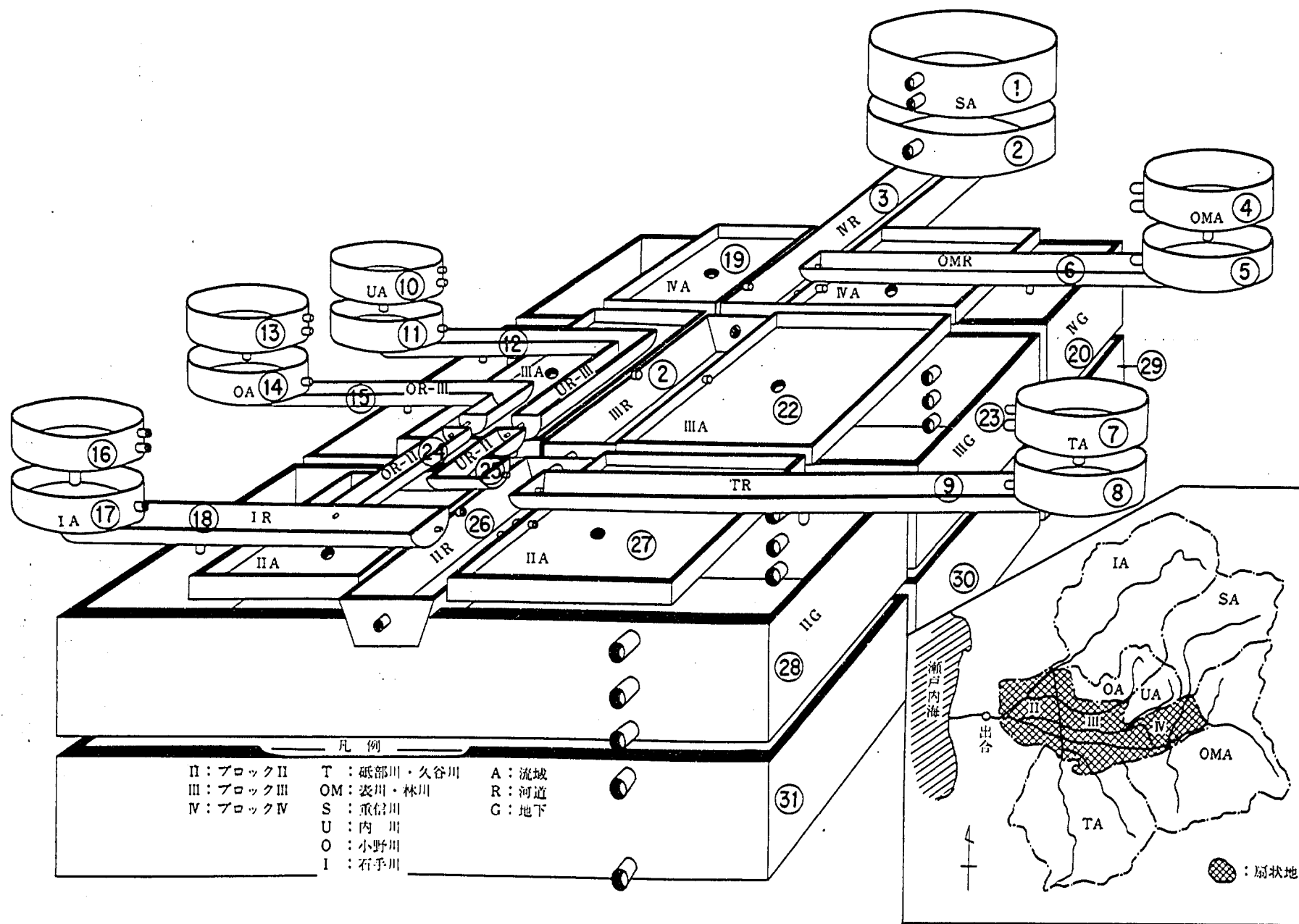


図-30 重信川流域流出モデル概念図

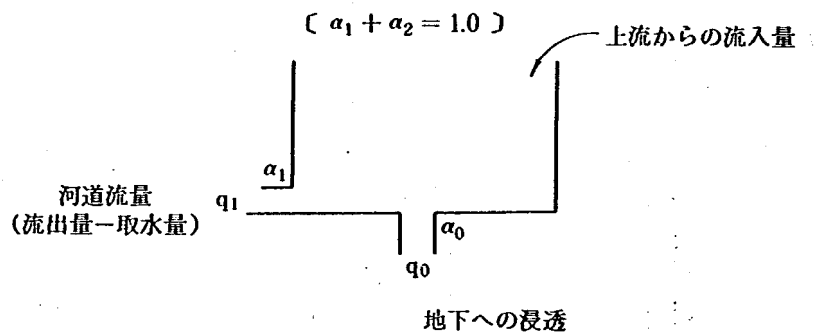


図-33 河道タンクモデル

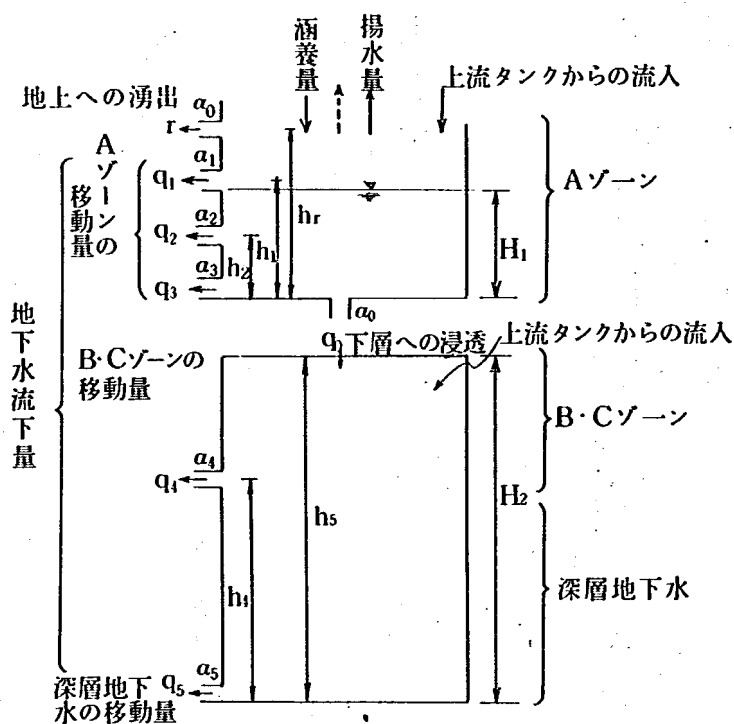


図-34 地下帯水層タンクモデル

2) 地下水盆については、地下水理特性図-35からA、B、Cゾーンに区分し地下を下图に示す二段モデルで表わす。即ちこれは扇状地の表層貯留タンクの下に連なるものとなる。

これは次の点を考えたものである。

- ① Aゾーンの透水係数と他の透水係数が異なること。
- ② 貯留量タンク内の水位の検証を地下水位の変化とタンク内の貯留高 (H_1) の変化で行なう。
- ③ 地下水の揚水による低下を予測する。

3) 各モデル間の水循環

流域、扇状地、河道モデル間に於ける上水・工水・農業取水量水循環は、前節の調査より求め表-33に示す。

4) 検証流量及び地下水位

表流水は各モデルの流出口に有る流量観測地点の実測日流量より半旬流量に換算した実測値で検証を行った。出合地点の検証結果は図-37に示す。

地下帯水層の水位は、分割ブロック内の地下水位より、年平均水位との変化量を次の様に求め、

$$\text{ブロック帯水層の水位変化} = [(H_1 \text{ 観測値} - H_1 \text{ 年平均値}) + (H_2 \text{ 観測値} - H_2 \text{ 年平均値}) + \dots + (H_n \text{ 観測値} - H_n \text{ 年平均値})] \times \frac{1}{n}$$

水位の変化量でモデルの検証を行った。図-38には、この様にして求めた各ブロックの地下水位変化量と検証結果を示す。

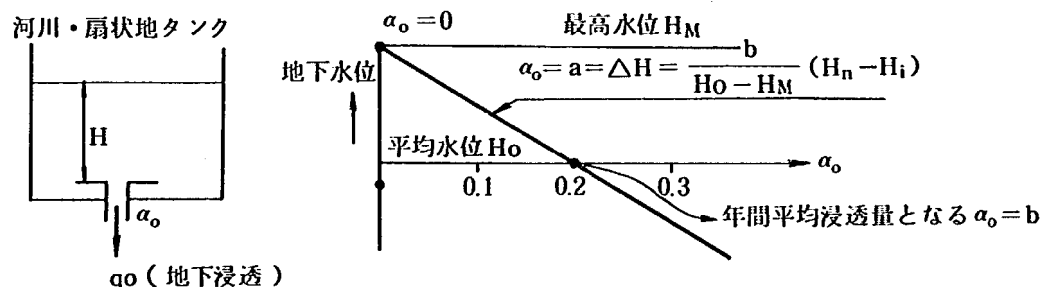
5) 帯水層の水位変化に伴う流下量の変化

当流域の帯水層の水位縦断を、地下水位等高線、水位勾配、観測所位置図*より図-36の様に模式化し、タンクモデルの基準水位と基準勾配を与え、基準勾配からの勾配の変化率で流下量の補正を行う。

$$Q = \alpha_i \times \frac{\text{現在の勾配}}{\text{基準勾配}} \times H$$

6) 浸透量の地下水位による変化

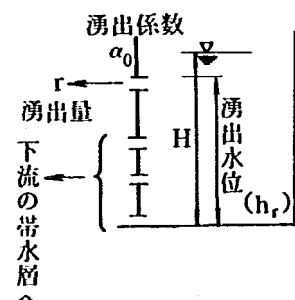
現在、地下水位の変化と河川・扇状地からの浸透量の変化の関係は、十分な調査が進んでいないため詳細な関係は今後の検討を待ったが、今回は平均地下水位、既往最高水位の変化に着目し次図の様に設定する。

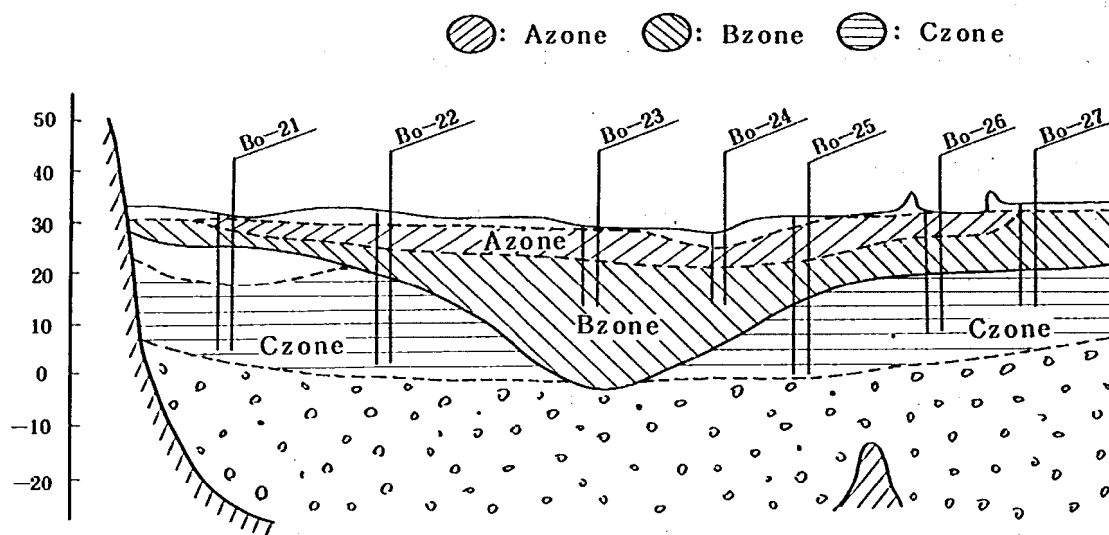


* 重信川低水流量調査（昭和50年3月 松山工事々務所）

7) 地下水の地上への湧出

地下水の地上への湧出は地下水位によって変化するものとし、下図の関係から次式 $(H_i - h_r) \times \alpha_0 = r$ によって湧出するものとする。但し量的な検証は同時流観等で見えるものとする。





（昭和48年度麻生地区地質調査より）

図-35 森松～星岡山間の断面における水理地質区分

- A zone : 沖積砂礫層で玉石を多く混入する。また透水係数は $2 \times 10^{-1} \text{ cm/sec} \sim 2.10^{-2} \text{ cm/sec}$ と良好であり流動性に富む。
- B zone : 沖積層礫層で透水係数は $1.10^{-1} \text{ cm/sec} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ と A zone よりやや小さいが良好である。また流動性は極めて小さい。
- C zone : 洪積砂礫層で粘性土を多く混入するため透水係数は $1 \times 10^{-3} \text{ cm/sec} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$ と透水性は悪く、地下水の流動は殆んどない。

等を考慮し、各流出孔の物理的意味、モデル化について次の様に想定する。

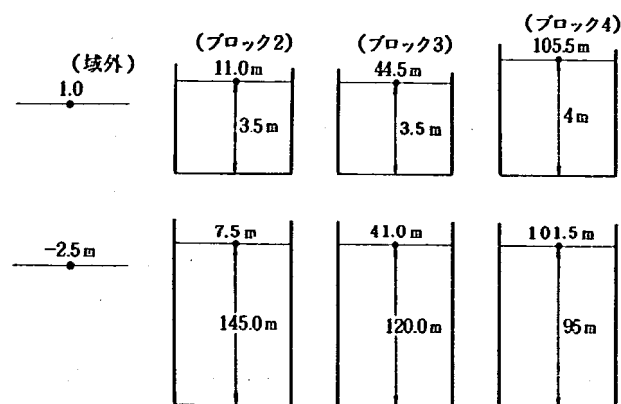
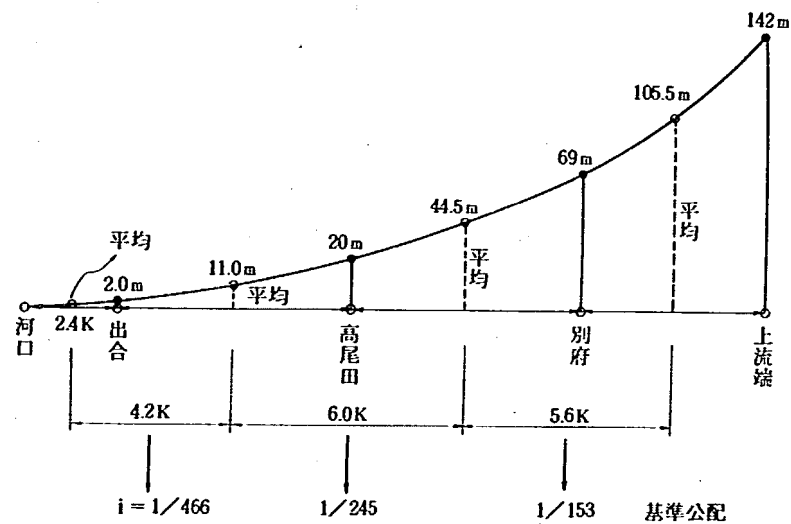
- ① h_1, h_2 は等間隔にし、 h_2 が平均地下水位となる様に設定し予測水位の変化がモデルに影響されない様配慮
- ② H_1, H_2 及び h_3, h_4 については地質断面から貯留高を決める。
- ③ Aゾーン流出 $q_1 + q_2 + q_3$ と B・Cゾーン流出 q_4 、深層地下水流出 q_5 は透水係数、地質断面積から流出比率を算定
- ④ $q_1 \sim q_5$ の地下水流動量は、出合全流域で水収支を検討した値に各年で近似する。
- ⑤ d_1, d_2, d_3 については、地下水位の半減期の比率より、実測地下水位の適応性より孔の大きさを設定する。
- ⑥ Eについては、扇状地タンクが0となると地下タンクから蒸発する。
- ⑦ 流入量の貯留高への換算は、地中の有効空けき率を0.15として算定する。
- ⑧ 揚水量は地下貯留量から揚水する。
- ⑨ 浸透量は、河道、平地からの浸透量の合計、但し、地下水位が低下すれば増加し、上昇すれば減少する様な関数を設定する。
- ⑩ 地下水の地上への湧出は地下水位がある水位以上になれば発生するものとし、地下水位の関数 $(H - h_r) \times \alpha_0 = r$ とする。

8) 水収支上の条件

山地流域の実測降雨、流量による水収支は表-25の様になり損失量が本解析で与えた625mmより多い。あるいは少ない場合があり、この差は実測流量による誤差とした。

地下への浸透量及び帯水層からの域外流出量は出合地点の水収支、表-26より得られる下表の値を用いた。

	地下への浸透量	流下量
昭和50年	291.36 mm	99.1 mm (1.399 m ³ /s)
51年	342.96 mm	150.7 mm (2.122 m ³ /s)
52年	218.86 mm	26.6 mm (0.376 m ³ /s)
3年間平均	284.39 mm	92.13 mm (1.300 m ³ /s)



$$q = \alpha_i \times H \times \frac{I_i}{I_{\text{基準}}} \text{ で計算 (} I_i \text{ は前時間の水位差による水面勾配)}$$

図-36 帯水層水位縦断模式図

表-25 流域の実測降雨・流量による水収支表

() 内平均流量 m^3/s R ; 降雨 mm Q ; 流出量 mm E ; 損失 $(R-Q)$ mm

地 域 (観測所)		昭和50年	昭和51年	昭和52年	昭和50年~ 52年の平均
(A=52.8 km^2) 山之内上流	R	2121.5	2840.7	1772.2	2244.8
	Q	(259)1546.9	(384)2299.8	(157) 937.7	1594.8
	E	574.6	540.9	834.5	650.0
(A=97.1 km^2) 森川・林川	R	1845.9	2350.6	1447.5	1881.3
	Q	(458)1487.5	(686)2234.1	(214) 659.0	1460.2
	E	358.4	116.5	752.5	421.1
(A=85.0 km^2) 砥部川・久谷川	R	1659.8	2218.1	1376.0	1751.3
	Q	(392)1454.4	(438)1629.5	(216) 801.4	1295.1
	E	205.4	588.6	574.6	456.2
(A=9.8 km^2) 小野川(駄場)	R	1420.9	2084.1	1339.3	1614.8
	Q	(022) 708.0	(036)1161.6	(011) 354.0	741.2
	E	712.9	922.5	985.3	873.6
(A=17.7 km^2) 内 川(原)	R	1403.6	2072.1	1259.4	1578.4
	Q	(016) 285.1	(015) 268.0	(006) 106.9	220.0
	E	1118.5	1804.1	1152.5	1358.4
(A=99.5 km^2) 石手川(湯渡)	R	1619.8	2177.3	1302.7	1699.9
	Q	(1.96) 621.2	(361)1147.3	(1.39) 440.6	736.4
	E	(653.1)* 998.6	(684.5)* 1030.0	(516.6)* 862.1	(618.0)* 963.5
(A=445.3 km^2) 重信川(出合)	R	1703.8	2315.6	1418.1	1812.5
	Q	(1049)742.9	(1835)1303.1	(748) 529.7	858.6
	E	—	—	—	—

* 石手川ダムの上水の取水1.09 m^3/s を除いた損失** 水収支計算では山地の蒸発散量625 mm とする。

表-26 全流域(出合地点)の水収支表

〔定数解析期間;昭和50年~52年〕

	降 雨 (R)	蒸発量 (E)	流出量 (Q)	域外から導水 (I ₁)	域外への取水 (I ₀)	地下から取水 (G ₁)	地下への浸透 (G ₀)	備 考 f
昭和50年	1703.8	700.0	742.9	20.7	-182.5	192.26	291.36	0.436
昭和51年	2315.6	700.0	1303.1	20.7*	182.5*	192.26*	342.96	0.563
昭和52年	1418.1	700.0	529.1	20.7*	182.5*	192.26*	218.86	0.373
平 均	1812.5	700.0	858.4	20.7	182.5	192.26	284.39	0.474

表-27 流出定数一覧表 (タンクモデル)

タンク No	タンク名	種類	面積 (km^2)	初期水位 (mm)	孔の高さ (mm)				孔の定数 (α)			
					1	2	3	浸透	1	2	3	浸透
1	山之内	流域	528	0	75	15	-	0	0.700	0.350	-	0.200
2	山之内	流域	528	200	0	0	-	0	0.043	0	-	0
3	本川 (4ブロック)	河道	-	0	0	0	-	0	0.800	0	-	0.200
4	表川・林川	流域	97.1	0	75	15	-	0	0.700	0.400	-	0.200
5	表川・林川	流域	97.1	200	0	0	-	0	0.040	0	-	0
6	表川・林川	河道	-	0	0	0	-	0	1.000	0	-	0
7	砥部川	流域	850	0	75	15	-	0	0.800	0.350	-	0.300
8	砥部川	流域	850	200	0	0	-	0	0.042	0	-	0
9	砥部川	河道	-	0	0	0	-	0	1.000	0	-	0
10	内川	流域	17.7	0	75	15	-	0	0.700	0.100	-	0.400
11	内川	流域	17.7	200	0	0	-	0	0.010	0	-	0.040
12	内川 (3ブロック)	河道	-	0	0	0	-	0	0.900	0	-	0.100
13	小野川	流域	98	0	75	15	-	0	0.700	0.350	-	0.200
14	小野川	流域	98	200	0	0	-	0	0.010	0	-	0.010
15	小野川 (3ブロック)	河道	-	0	0	0	-	0	0.900	0	-	0.100
16	石手川	流域	99.5	0	75	25	-	0	0.700	0.400	-	0.150
17	石手川	流域	99.5	200	0	0	-	0	0.024	0	-	0
18	石手川	河道	-	0	0	0	-	0	0.900	0	-	0.100
19	4ブロック	扇伏地	17.0	15	125	25	-	15	0.500	0.200	-	0.150
20	4ブロック上	帯水層	13.5	(3,650)	4,000	2,000	0	0	0.035	0.0086	0.0022	0.0022
21	本川 (3ブロック)	河道	-	0	0	0	-	0	1.000	0	-	0
22	3ブロック	扇伏地	27.8	15	125	25	-	15	0.500	0.200	-	0.150
23	3ブロック上	帯水層	24.7	(3,200)	3,500	1,750	0	0	0.046	0.006	0.00139	0
24	小野川 (2ブロック)	河道	-	0	0	0	-	0	0.900	0	-	0.100
25	内川 (2ブロック)	河道	-	0	0	0	-	0	0.900	0	-	0.100
26	本川 (2ブロック)	河道	-	0	0	0	-	0	0.850	0	-	0.150
27	2ブロック	扇伏地	38.7	15	125	50	-	15	0.500	0.200	-	0.150
28	2ブロック上	帯水層	34.4	3,400	3,500	1,750	0	0	0.030	0.005	0.001	0
29	4ブロック下	帯水層	13.5	95,000	90,000	0	-	0	0.000847	0.000044	-	0
30	3ブロック下	帯水層	24.7	120,000	100,000	0	-	0	0.000116	0.000019	-	0
31	2ブロック下	帯水層	34.4	145,000	100,000	0	-	0	0.000037	0.0000114	-	0

表-28 タンクモデルに於ける地下浸透量一覧表

単位: m^3/s

	名称 (タンク No.)	昭和50年	昭和51年	昭和52年	昭和50年~ 52年の平均	昭和41年 同時流観	昭和48年 同時流観	平均
4 ブロック km^2 (A=1.70)	(3) 本川 (4ブロック) 河道	0.93	1.12	0.85	0.96	Δ 0.18	Δ 1.49	Δ 0.84
	(6) 森川・林川 河道	0	0	0	0	+ 0.07	+ 0.10	+ 0.09
	(19) 平地 部	0.32	0.40	0.32	0.35	—	—	
	(小計)	(1.25)	(1.52)	(1.17)	(1.31)			
3 ブロック km^2 (A=27.8)	(12) 内川 (3ブロック) 河道	0.09	0.12	0.08	0.10	+ 0.27	+ 0.09	+ 0.18
	(15) 小野川 (3ブロック) 河道	0.02	0.03	0.02	0.02	Δ 0.03	Δ 0.08	Δ 0.06
	(21) 本川 (3ブロック) 河道	0.0	0.0	0.0	0	+ 0.83	+ 0.14	+ 0.49
	(22) 平地 部	0.52	0.64	0.52	0.56	—	—	
	(小計)	(0.63)	(0.79)	(0.62)	(0.68)			
2 ブロック km^2 (A=38.7)	(9) 砥部川・久谷川 河道	0	0.0	0.0	0	—		
	(18) 石手川 河道	0.31	0.40	0.29	0.33	Δ 0.61	Δ 0.38	Δ 0.50
	(24) 小野川 (2ブロック) 河道	0.09	0.11	0.08	0.09	+ 0.01	Δ 0.14	Δ 0.07
	(25) 内川 (2ブロック) 河道	0.05	0.07	0.05	0.06	+ 0.23	Δ 0.21	+ 0.06
	(26) 本川 (2ブロック) 河道	1.07	1.34	1.02	1.14	Δ 0.94	Δ 0.81	Δ 0.88
	(27) 平地 部	0.81	0.99	0.80	0.87	—	—	
	(小計)	2.23	(2.91)	(2.24)	(2.49)			
合計		298.2* 4.21	369.7* 5.22	285.4* 4.03	317.3* 4.48			

*は地下浸透高 $\text{mm}/445.3 \text{ km}^2$ ($\frac{\text{m}^3/\text{s} \times 365 \times 86.4}{445.3}$)

同時流観の Δ は浸透、+は湧出

(3) タンクモデルの検証結果

各モデルの定数を試算により、観測流量・地下水位の変化量、その他の水収支上の条件によって検証を行った結果、表-27に示す定数が同定された。

1) 実測流量・地下水位の変化による検証

各モデルの流出地点の実測流量とモデルによる計算結果を比較した。とくに出合地点の結果を図-37に示す。実測流量との検証については実測流量の損失と異なる所も多く全体としては適応度は高いと判断される。また地下帯水層の変化も同様に比較し図-38に示す。ブロックⅣ、ブロックⅢについては非常に適応度が高いがブロックⅡは、適応度が悪いが、これはⅠ、Ⅱブロックの取水量の総量を当ブロックに割当てたことによると考えられる。

2) 地下浸透量

地下への浸透は河道及び扇状地から浸透するものとしているが、各モデルの月平均浸透量を年間で整理すれば表-28となる。各モデルの浸透量のバランスはS41年、S48年同時流量観測の特性から配分を行い、この場合も、内川、小野川については浸透の特性を重視した。タンクモデルによる全モデルの浸透量を水収支結果と比較すれば表-29となるが前節の10年間(S41年~50年)の水収支結果の地下浸透量263.7mmと近似している事から妥当とした。

表-29 水収支とタンクモデル計算の浸透量比較表

	水収支 mm	計算値 mm	誤差 mm	誤差率(%)
S50	29136	2982	+6.84	+2
51	34296	3697	+26.74	+8
52	21886	285.4	+66.54	+30
3年間平均	28439	317.30	-32.91	+12

3) 地下水流下量

タンクモデルによる出合(2ブロック)からの地下水流下量は表-30に示す流量となる。全流域の水収支表-25から得られた流下量も同表に比較し示しておく。

表-30 出合帯水層の地下水流下量比較

	水収支による流出量	タンクモデルによる流出量
昭和50年	99.1mm(1.399m ³ /s)	113.3mm(1.60m ³ /s)
昭和51年	150.7(2.122 ")	184.8(2.61 ")
昭和52年	26.6(0.376 ")	118.3(1.67 ")
昭和50~52年平均	92.13(1.300 ")	138.8(1.96 ")

この結果、水収支計算において実績の損失(f)と水収支計算上与えた損失(蒸発散量)との差が、流下量に誤差として反映していると考えられるが、定性的には計算結果も妥当と判断される。

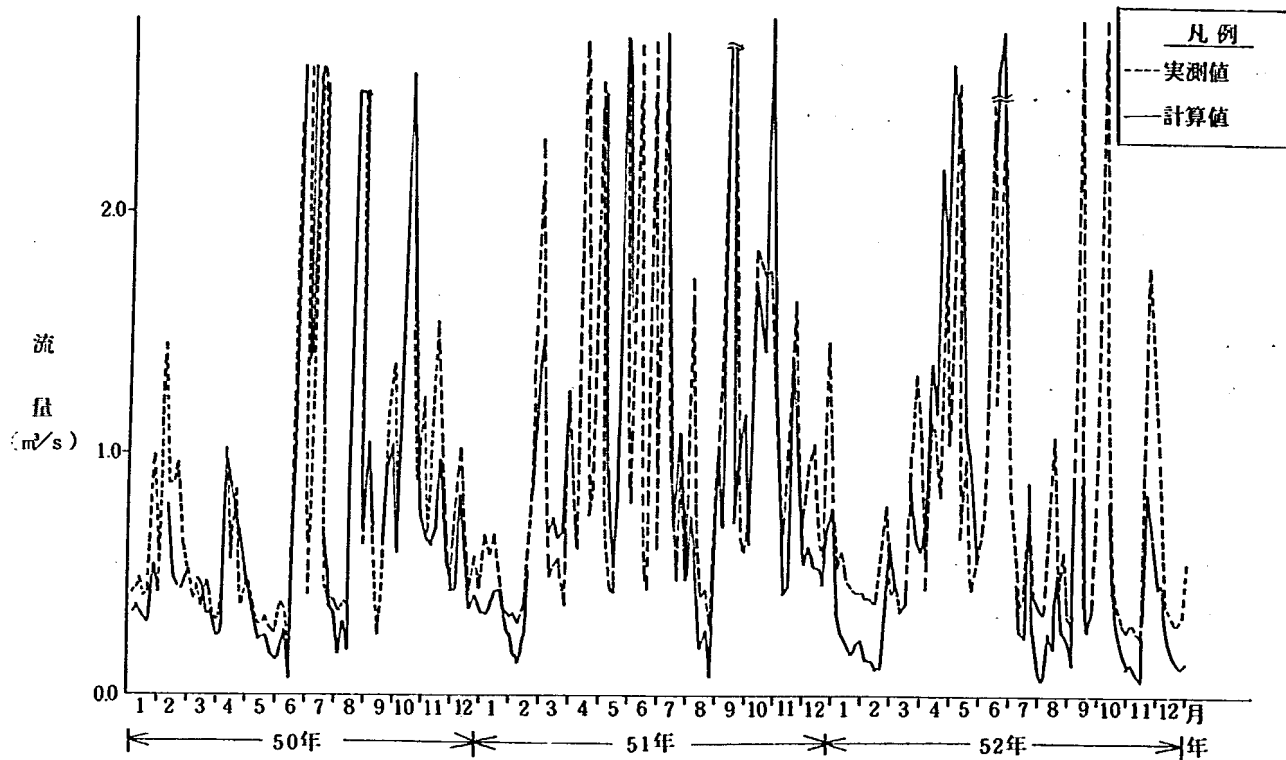


図-37 出合地点半旬流況図

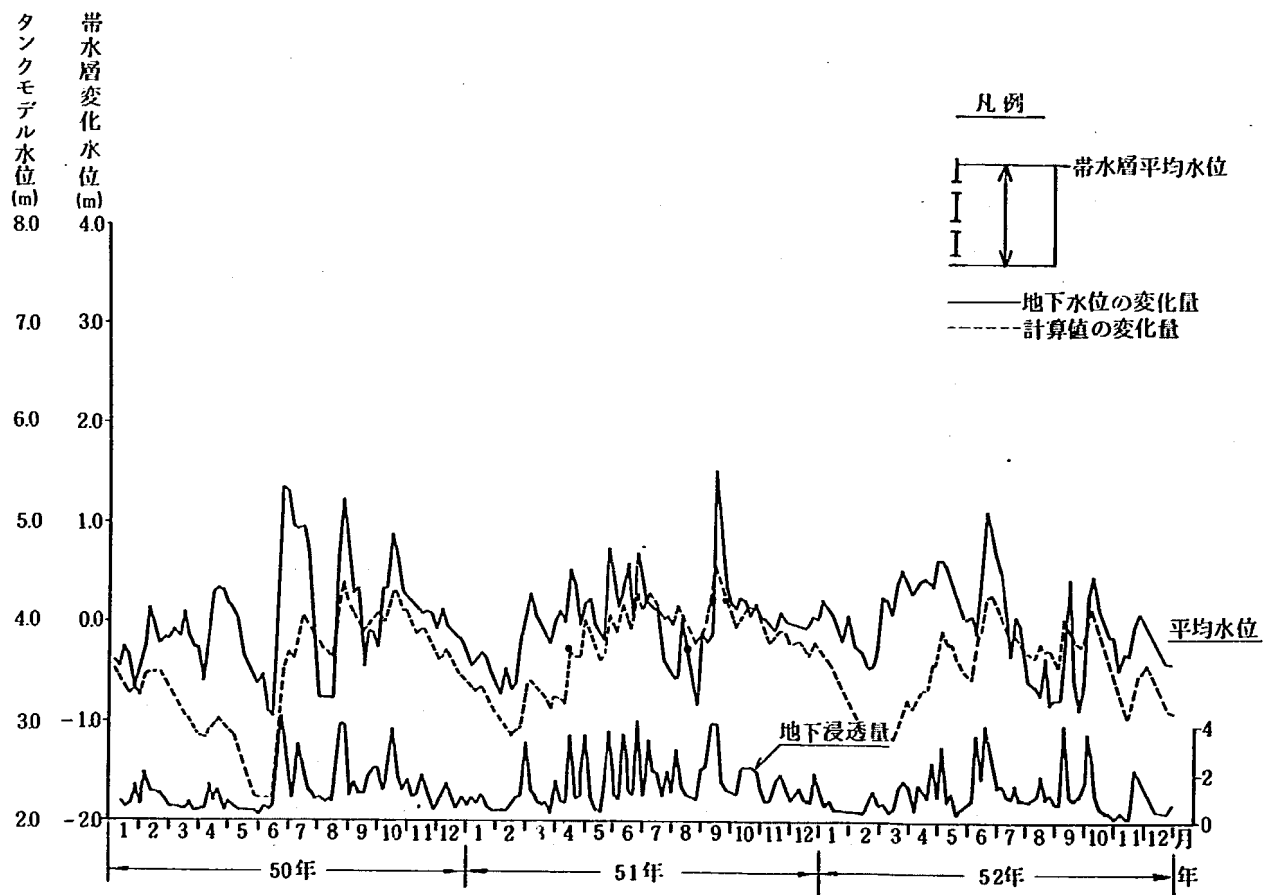


図-38 別府上流帯水層水位変化図(1)

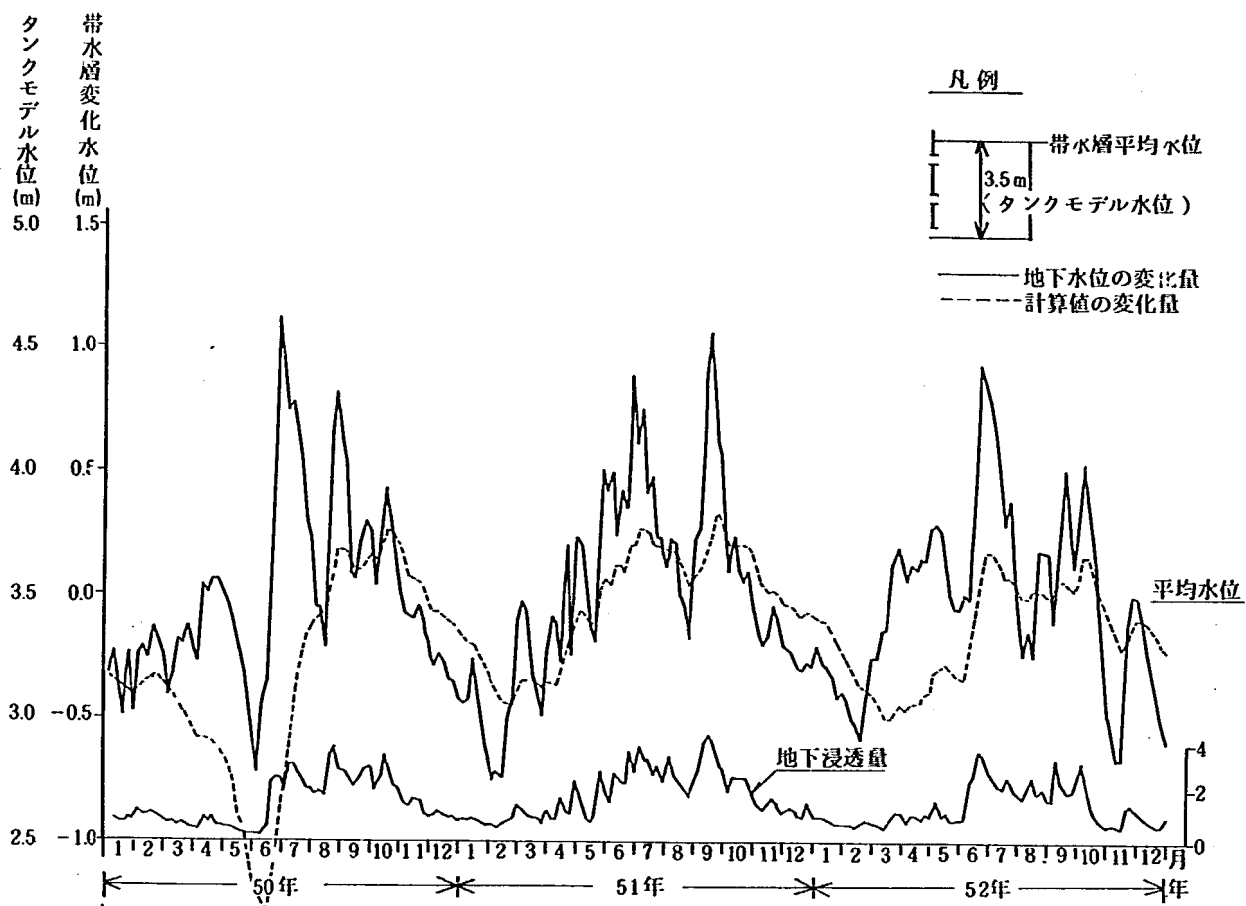


図-38 高尾田～別府間の帯水層水位変化図(2)

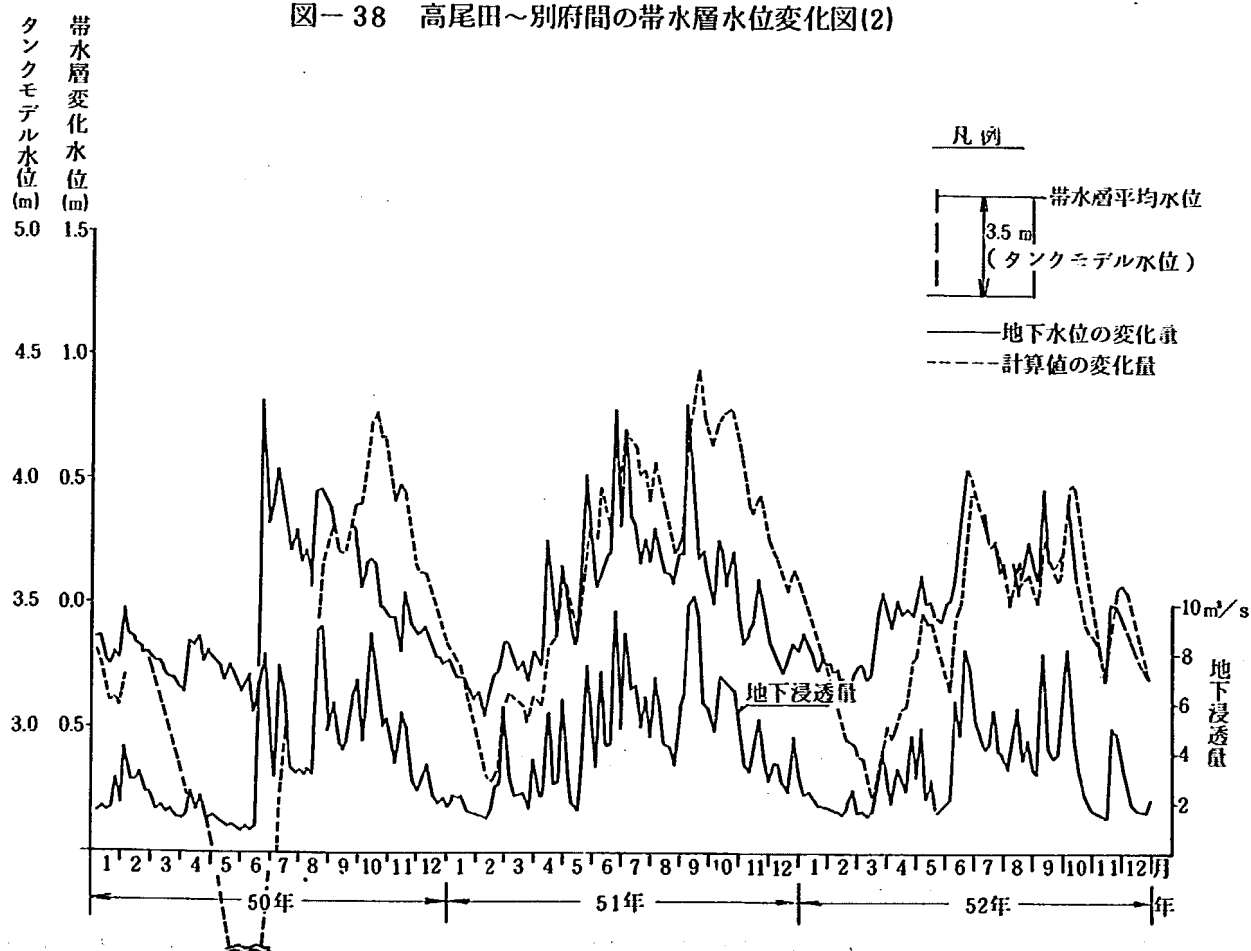


図-38 出合～高尾田間の帯水層水位変化図(3)

4) 帯水層の水位～流下量関係

タンクモデルで同定された定数を用い、水位～流下量関係を求めれば表-31、図-39となる。これは透水係数等から見れば変化が大きすぎるが、地下水位の変化に対応させるためには、この程度の変化が必要である。

表-31 帯水層の水位～流量関係表

	別府(Ⅳブロック)				高尾田(Ⅲブロック)				出合(Ⅱブロック)			
	モデルH m	平均水位 との差m (ΔH)	Q m ³ /s	(上+下) Q m ³ /s	モデルH m	平均水位 との差m (ΔH)	Q m ³ /s	(上+下) Q m ³ /s	モデルH m	平均水位 との差m (ΔH)	Q m ³ /s	(上+下) Q m ³ /s
上層の流出	6.0	2.0	3.67	3.93	5.0	1.5	5.46	5.72	5.0	1.5	5.27	5.53
	4.0	0.0	0.81	1.07	3.5	0.0	0.88	1.14	3.5	0.0	0.98	1.24
	2.0	-2.0	0.14	0.40	17.5	-1.75	0.14	0.40	17.5	-1.75	0.14	0.40
	0.0	-4.0	0.	0.26	0.	-3.5	0.	0.26	0.	-3.5	0.	0.26
下の流出	95.0	-4.0	0.26	—	120.0	-3.5	0.26	—	145.0	-3.5	0.26	—
	90.0	-9.0	0.12	—	100.0	-23.5	0.11	—	100.0	-48.5	0.09	—
	0.0	-99.0	0.	—	0.0	-123.5	0.	—	0.0	0.	0.	—

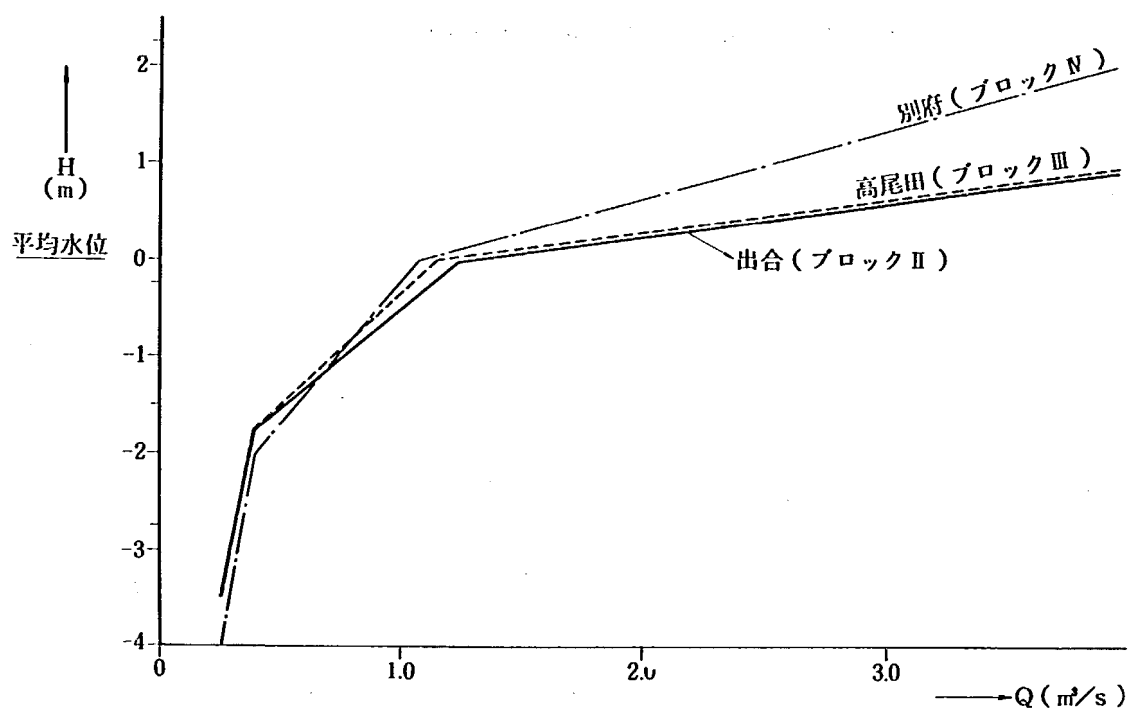


図-39 帯水層水位～流下量関係

5) タンクモデルの計算誤差

初期値と計算終了時の各タンク内の水位は表-32となり、出合上流、3年間の降雨5437.5mm(入力量)に対し、多きい所で3%程度であり計算上の誤差は少ないと考えられる。

6) タンクモデルによる昭和42年～48年の再現計算

同定されたモデルにより、水循環の条件量は定数解析で誤定されたものを用い、降雨量を昭和42年～48年の観測値で再現計算を行った。この結果地下水位はほぼ周期的に変化しているが、昭和43、45、49年の低下が大きい。

(4) タンクモデルによる水循環のまとめ

タンクモデルによる水循環の計算結果より、各年度の年平均、夏期、冬期の水循環量をモデル毎にまとめたものを表-33、図-40に示す。また昭和50年～昭和52年の平均水循環量を年間、夏期、冬期で整理し、表-34、図-41に示す。

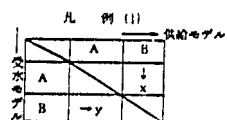
表-32 タンクモデルに於ける水収支誤差一覧表

(mm/day)

タンクNo	タンク名称	初期値	50年末	51年末	52年末	タンクの 収支誤差	
1	山之内上流域	0	7.9	176	213	+213	
2	山之内上流域	200	166.0	211.3	126.6	-73.4	(-52.1)
3	本川(4ブロック)河道	0	0	0	0	0	-
4	表川・林川流域	0	13.5	15.4	16.4	+16.4	
5	表川・林川流域	200	156.5	186.7	107.5	-92.5	(-108.9)
6	表川・林川河道	0	0	0	0	0	
7	砥部川・久谷川流域	0	6.2	11.1	12.6	+12.6	
8	砥部川・久谷川流域	200	180.5	222.7	129.3	-70.7	(-58.1)
9	砥部川・久谷川河道	0	0	0	0	0	
10	内川流域	0	2.6	21.1	10.2	+10.2	
11	内川流域	200	159.8	237.2	127.8	-72.2	(-62.0)
12	内川(3ブロック)河道	0	0	0	0	0	
13	小野川流域	0	6.5	15.4	15.2	+15.2	
14	小野川流域	200	216.9	333.1	249.4	+49.4	(+64.6)
15	小野川(3ブロック)河道	0	0	0	0	0	
16	石手川流域	0	10.5	28.0	23.2	+23.2	
17	石手川流域	200	195.7	258.3	171.8	-28.2	(-5.0)
18	石手川河道	0	0	0	0	0	
19	扇伏地(4ブロック)	15	26.3	38.5	32.9	+17.9	
20	帯水層(4ブロック上)	3,650	3,392	3,766	3,120	-79.5 (-53.0)	
21	本川(3ブロック)河道	0	0	0	0	0	
22	扇伏地(3ブロック)	15	24.9	35.8	33.4	+18.4	
23	帯水層(3ブロック上)	3,200	3,353	3,431	3,282	+12.3 (82.0)	
24	小野川(3ブロック)河道	0	0	0	0	0	
25	内川(3ブロック)河道	0	0	0	0	0	
26	本川(2ブロック)河道	0	0	0	0	0	
27	扇伏地(2ブロック)	15	26.8	45.5	31.7	+16.7	
28	帯水層(2ブロック上)	3,400	3,353.0	3,610.0	3,194.0	-30.9 (-20.6)	
29	帯水層(4ブロック下)	95,000	94,921.0	95,160.0	95,045.0	+68 (+4.5)	
30	帯水層(3ブロック下)	120,000	119,967.0	119,967.0	119,992.0	-12 (-8)	
31	帯水層(2ブロック下)	145,000	144,995.0	144,989.0	144,986.0	-2.1 (-1.4)	

表 33-1) 重信川流域の各モデル間水移動量関係表〔昭和 50 年 年平均〕

供給	降雨	域外	山之内流域	表川・林川流域	碓氷川流域	内川流域	小野川流域	石手川流域	扇状地Ⅰブロック	扇状地Ⅱブロック	扇状地Ⅲブロック	本川河道Ⅰブロック	表川河道	内川Ⅱブロック河道	小野川Ⅱブロック河道	本川河道Ⅱブロック	碓氷川河道	石手川河道Ⅱブロック	小野川河道Ⅱブロック	内川河道Ⅱブロック	本川河道Ⅲブロック	帯水層Ⅰブロック	帯水層Ⅱブロック	帯水層Ⅲブロック	合計
受水			1.12	2.06	1.80	0.37	0.21	2.11	0.45	0.73	1.02														
域外							△△ 0.91														**9.95	△ 0.09 △△0.04	△ 0.20	○○ 0.61 △ 0.17	23.04
山之内流域	3.59	*0																						*	3.59
表川・林川流域	5.71	*0.01																							5.72
碓氷川流域	4.49	*0.06																							4.55
内川流域	0.80	*0.01																							0.81
小野川流域	0.45	*0.01																							0.46
石手川流域	5.17	*0																							5.17
扇状地Ⅰブロック	0.75	*0.02										*0.34	*0.35												1.46
扇状地Ⅱブロック	1.26	*0.11												0.30	0.05	0.15	0.07						*0.15		2.09
扇状地Ⅲブロック	3.29	*0.08															0.03	1.12	0.24	0.07	0.31			0.28	5.42
本川河道Ⅰブロック			**2.52										**3.40												5.92
表川河道				**3.75																					3.75
内川Ⅱブロック河道						**0.19 ○○0.28			**0.60																1.05
小野川Ⅱブロック河道							**0.20 ○○0.65																		0.25
本川河道Ⅱブロック												**4.78													4.78
碓氷川河道					**2.79																				2.79
石手川河道Ⅱブロック								**3.04											**0.74						3.78
小野川河道Ⅱブロック									**0.90						**0.17										1.07
内川河道Ⅱブロック														**0.66											0.66
本川河道Ⅲブロック										**1.10						**4.63	**2.70	**2.36		**0.54					11.33
帯水層Ⅰブロック								0.32				0.93													1.25
帯水層Ⅱブロック									0.52					0.09	0.02							0.12			1.75
帯水層Ⅲブロック										0.81								0.31	0.09	0.05	0.07		0.34		3.67
合計	25.81		3.64	5.81	4.59	0.82	0.46	6.06	1.37	2.15	2.93	6.05	3.75	1.05	0.24	4.78	2.8	3.79	1.07	0.66	11.33	1.25	1.69	2.26	94.36



x: BからAへの取水量
y: AからBへの受水量

凡 例 (2)

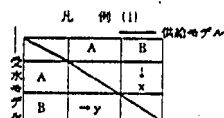
* : 農業用水量 ○○ : 地下水流量
** : 処理水流量 △ : 工業用水量
○ : 治水量 △△ : 上水道用水量

降山暴発量の上段はmm

表 3 3 - (2) 重信川流域の各モデル間水移動量関係表〔昭和 5 1 年 年平均〕

単位: m³/S

受 水 供給	降雨	域外	山之内流域	表川・林川流域	低部川流域	内川流域	小野川流域	石手川流域	扇状地Ⅰブロック	扇状地Ⅱブロック	扇状地Ⅲブロック	本川河道Ⅰブロック	表川河道	内川河道Ⅰブロック	小野川河道Ⅰブロック	本川河道Ⅱブロック	低部川河道	石手川河道Ⅱブロック	小野川河道Ⅱブロック	内川河道Ⅱブロック	本川河道Ⅲブロック	帯水層Ⅰブロック	帯水層Ⅱブロック	帯水層Ⅲブロック	合計
基 礎			1.12	2.06	1.80	0.37	0.21	2.11	0.45	0.73	1.02														29.98
域 外							△△0.91														**1.588	△0.009 △△0.04	△0.20	○○0.011 △△0.021	
山之内流域	4.79	* 0																							
表川・林川流域	7.28	* 0.01																							4.79
低部川流域	6.01	* 0.06																							7.29
内川流域	1.17	* 0.01																							6.07
小野川流域	0.65	* 0.01																							1.18
石手川流域	6.91	* 0																							0.66
扇状地Ⅰブロック	1.10	* 0.02										* 0.36	* 0.21												6.91
扇状地Ⅱブロック	1.76	* 0.11												* 0.32	* 0.06	* 0.19	* 0.06								1.69
扇状地Ⅲブロック	4.58	* 0.08														* 0.02	* 1.18	* 0.25	* 0.10	* 0.31		* 0.15			2.65
本川河道Ⅰブロック			**3.57										**4.92										* 0.28		6.8
表川河道				**5.14																					8.49
内川河道Ⅰブロック						○○0.29 ○○0.38		**0.84																	5.14
小野川河道Ⅰブロック							○○0.35 ○○0.06																		1.51
本川河道Ⅱブロック												**7.03													0.41
低部川河道					**4.15																				7.03
石手川河道Ⅱブロック								**4.56											**1.22						4.15
小野川河道Ⅱブロック									**1.25						**0.33										5.78
内川河道Ⅱブロック													**1.16												1.16
本川河道Ⅲブロック										**1.45						**6.84	**4.06	**4.20		**0.99					17.54
帯水層Ⅰブロック								○○0.40			○○1.12														1.52
帯水層Ⅱブロック									○○0.64				○○0.12	○○0.03								○○1.35			2.14
帯水層Ⅲブロック										○○0.99								○○0.40	○○0.11	○○0.07	○○1.34		○○1.77		4.68
合 計	34.55		4.69	7.20	5.95	1.04	0.62	7.58	1.69	2.62	3.46	8.51	5.13	1.6	0.42	7.03	4.14	5.78	1.58	1.16	17.53	1.48	2.12	3.27	129.15



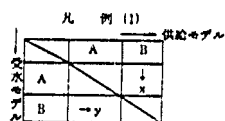
x: BからAへの取水量
y: AからBへの取水量

凡 例 (2)

- : 農業用水量
 - : 地下水流量
 - : 表流水流量
 - △ : 工業用水量
 - : 浸透量
 - △△ : 上水道用水量
- 降雨蒸発量の上段はmm

表 33 - (3) 重信川流域の各モデル間水移動量関係表〔昭和 52 年 年平均〕

供給		単位：㎡／s																														
受水	降	雨	域	外	山之内流域	表川・林川流域	磯部川流域	内川流域	小野川流域	石手川流域	小川流域	Nブロック	Ⅱブロック	Ⅲブロック	Ⅳブロック	表河川道	内川道	内川道Ⅱブロック	小野川道Ⅱブロック	本川道Ⅱブロック	磯部川道Ⅱブロック	石手川道Ⅱブロック	小野川道Ⅱブロック	内川道Ⅱブロック	本川道Ⅱブロック	帯水層Ⅱブロック	帯水層Ⅲブロック	帯水層Ⅳブロック	合計			
富良野					112	206	180	037	021	211	045	073	102																	1985		
域外										△△091																**669	△ 009 △△004	△ 020	〇〇167 △ 017 △△021			
山之内流域	297	" 0																												297		
表川・林川流域	446	" 001																												447		
碓氷川流域	372	* 006																												378		
内川流域	068	" 001																												069		
小野川流域	042	* 001																												043		
石手川流域	413	" 0																												413		
扇状地Ⅱブロック	063	* 002														* 033	* 021														119	
扇状地Ⅲブロック	110	" 011																* 031	* 006	* 011	* 007							" 015		191		
扇状地Ⅱブロック	290	* 008																			* 003	* 113	* 025	* 006	* 031				* 028	504		
本川河道Ⅱブロック			**199														**245														444	
表川河道				**266																											266	
内川Ⅲブロック河道						**013 ○028					**046																				087	
小野川Ⅲブロック河道							**018 ○007																								025	
本川河道Ⅳブロック															**326																326	
碓氷川河道				**223																											223	
石手川河道Ⅱブロック								**231																							285	
小野川河道Ⅱブロック										**072																					088	
内川河道Ⅱブロック																															047	
本川河道Ⅱブロック																															802	
帯水層Ⅴブロック										○ 032			○ 085																			117
帯水層Ⅵブロック											○ 052							○ 008	○ 002								○○110				172	
帯水層Ⅶブロック											○ 080											○ 029	○ 008	○ 005	○ 102			○○138			362	
合計	2131		311	472	403	078	046	533	123	197	274	444	266	086	024	326	224	286	087	048	802	123	173	233	762							



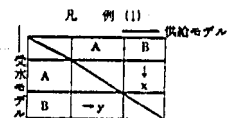
	凡 例 (2)	
	* : 農薬用水量	○○ : 地下水流量
x : BからAへの取水量	** : 農水流量	△ : 工業用水量
y : AからBへの取水量	○ : 浸透量	△△ : 上水道用水量

登山蒸気量の上段はmm

表 3 4 - (1) 重心川流域の各モデル間水移動量関係表〔昭和 5 0 年～5 2 年、年平均〕(1)

単位: m^3/s

	降 雨	域 外	山之内流域	表川・林川流域	砥部川流域	内川流域	小野川流域	石手川流域	扇状地Ⅰブロック	扇状地Ⅱブロック	扇状地Ⅲブロック	本川河道Ⅰブロック	表川河道	内川河道Ⅰブロック	小野川河道Ⅰブロック	本川河道Ⅱブロック	砥部川河道	石手川河道Ⅱブロック	小野川河道Ⅱブロック	内川河道Ⅱブロック	本川河道Ⅲブロック	帯水層Ⅰブロック	帯水層Ⅱブロック	帯水層Ⅲブロック	合 計	
基 元			1.12	2.06	1.80	0.37	0.21	2.11	0.45	0.73	1.02										**1084					
域 外								△△0.91															△0.09 △△0.04	△0.20	△△0.19 △△0.21	24.29
山之内流域	3.78	* 0																							3.78	
表川・林川流域	5.82	*0.01																							5.83	
砥部川流域	4.74	*0.06																							4.80	
内川流域	0.88	*0.01																							0.89	
小野川流域	0.91	*0.01																							0.92	
石手川流域	5.40	* 0																							5.40	
扇状地Ⅰブロック	0.83	*0.02											*0.34	*0.26											1.45	
扇状地Ⅱブロック	1.37	*0.11												*0.31	*0.06	*0.15	*0.06						*0.15		2.21	
扇状地Ⅲブロック	3.59	*0.08																							5.76	
本川河道Ⅰブロック			**2.69														*0.03	*1.14	*0.25	*0.08	*0.31			*0.28	6.28	
表 川 河 道				**3.85									**3.59												3.85	
内川Ⅲブロック河道						**0.20 △0.31			**0.63																1.14	
小野川Ⅲブロック河道							**0.24 △0.06																		0.30	
本川河道Ⅲブロック												**5.02													5.02	
砥 部 川 河 道					**3.06																				3.06	
石手川河道Ⅱブロック								**3.30											**0.83						4.13	
小野川河道Ⅱブロック									**0.96						**0.22										1.18	
内川河道Ⅱブロック														**0.76											0.76	
本川河道Ⅱブロック										**1.16						**4.87	**2.96	**2.67		**0.63					1.229	
帯水層Ⅰブロック									△0.35			△0.96													1.31	
帯水層Ⅱブロック										△0.56				△0.10	△0.02								△△1.19		1.87	
帯水層Ⅲブロック											△0.87														3.99	
合 計	27.62		3.81	5.91	4.86	0.88	0.51	6.32	1.43	2.25	3.05	6.32	3.85	1.17	0.30	5.02	3.05	4.14	1.17	0.77	1.229	1.32	1.85	2.62	100.51	



x: BからAへの取水量
y: AからBへの受水量

凡 例 (2)

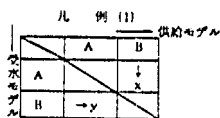
* : 農業用水量
: :
** : 表流水流量
○ : 透過量
○○ : 地下水流量
△ : 工業用水量
△△ : 上水道用水量

降雨量の上段はmm

表 3 4 - (2) 重信川流域の各モデル間水移動量関係表〔昭和 5 0 年～ 5 2 年, 夏期平均〕(2)

単位: m³/s

受 水 地	降 雨	域 外	山之内流域	表川・林川流域	低部川流域	内川流域	小野川流域	石手川流域	扇状地Ⅰブロック	扇状地Ⅱブロック	扇状地Ⅲブロック	本川河道Ⅰブロック	表川河道	内川河道Ⅰブロック	小野川河道Ⅰブロック	本川河道Ⅱブロック	低部川河道	石手川河道Ⅰブロック	小野川河道Ⅱブロック	内川河道Ⅱブロック	本川河道Ⅲブロック	帯水層Ⅰブロック	帯水層Ⅱブロック	帯水層Ⅲブロック	合 計
基 地			1.55	2.85	2.50	0.52	0.29	2.92	0.68	1.12	1.55														3252
域 外								△△ 0.91													14.90	△0.09 △△0.04	△0.20	○○ 0.10 △0.11 △0.12	
山之内流域	5.37	*0																							5.37
表川・林川流域	7.99	*0.02																							8.01
低部川流域	6.50	*0.13																							6.63
内川流域	1.25	*0.01																							1.26
小野川流域	1.28	*0.03																							1.31
石手川流域	7.45	*0.01																							7.46
扇状地Ⅰブロック	1.16	*0.05										*0.69	*0.52												2.42
扇状地Ⅱブロック	1.91	*0.23												*0.61	*0.12	*0.30	*0.14						*0.57		3.88
扇状地Ⅲブロック	4.97	*0.15																						*0.30	8.13
本川河道Ⅰブロック			***3.64										***4.51				*0.05	*1.38	*0.49	*0.16	*0.63				8.15
表川河道				***5.03																					5.03
内川河道Ⅰブロック						***0.35 △0.06				***1.09															1.74
小野川河道Ⅰブロック							***0.35 △0.06																		0.41
本川河道Ⅱブロック												***6.50													6.50
低部川河道					***3.88																				3.88
石手川河道Ⅱブロック								***4.41											***1.25						5.66
小野川河道Ⅱブロック										***1.62					***0.26										1.88
内川河道Ⅱブロック													***1.00												1.00
本川河道Ⅲブロック											***2.13					***6.21	***3.70	***3.88		***0.78					16.70
帯水層Ⅰブロック									○0.52			○1.05													1.57
帯水層Ⅱブロック										○0.82				○0.14	○0.03								○0.131		2.30
帯水層Ⅲブロック											○1.28							○0.40	○0.14	○0.06	○1.18		○0.162		4.68
合 計	38.51		5.19	7.88	6.38	1.17	0.70	8.24	2.29	3.56	4.96	8.24	5.03	1.75	0.41	6.51	3.89	5.66	1.88	1.00	16.71	1.44	2.39	27	136.49



x: BからAへの取水量
y: AからBへの受水量

凡 例 (2)
*: 農業用水量
***: 工業用水量
○: 浸透量

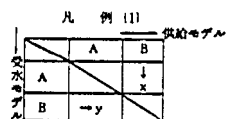
○○: 地下水流量
△: 工業用水量
△△: 上水道用水量

降雨蒸発量の上段は**

表 34 - (3) 重信川流域の各モデル間水移動量関係表〔昭和50年～52年 冬期平均〕(3)

単位: m^3/s

受水	供給	降 雨	域 外	山之内 流域	表川・林川 流域	低部川 流域	内川 流域	小野川 流域	石手川 流域	扇状地 Nブロック	扇状地 IIブロック	扇状地 IIIブロック	本川河道 Nブロック	表川 河 道	内川II ブロック河 道	小野川II ブロック河 道	本川河道 IIブロック	低部川 河 道	石手川II ブロック	小野川II ブロック	内川河道 IIブロック	本川河道 IIブロック	帯水層 Nブロック	帯水層 IIブロック	帯水層 IIIブロック	合 計	
域 外	免			0.69	1.27	1.11	0.23	0.13	1.30	0.21	0.34	0.47														10.29	
山之内流域	2.49	$\overset{\circ}{0}$							$\Delta\Delta$ 0.91														$\overset{\circ\circ}{5.77}$	Δ 0.09 $\Delta\Delta$ 0.04	Δ 0.20	∞ 1.90 Δ 0.10 $\Delta\Delta$ 0.21	
表川・林川流域	3.64	$\overset{\circ}{0}$																									3.64
低部川流域	2.98	$\overset{\circ}{0}$																									2.98
内川流域	0.51	$\overset{\circ}{0}$																									0.51
小野川流域	0.55	$\overset{\circ}{0}$																									0.55
石手川流域	3.35	$\overset{\circ}{0}$																									3.35
扇状地Nブロック	0.56	$\overset{\circ}{0}$											$\overset{\circ}{0}$	$\overset{\circ}{0}$													0.56
扇状地IIブロック	0.95	$\overset{\circ}{0}$													$\overset{\circ}{0}$	$\overset{\circ}{0}$	$\overset{\circ}{0}$	$\overset{\circ}{0}$						$\overset{\circ}{0}$		0.85	
扇状地IIIブロック	2.21	$\overset{\circ}{0}$																$\overset{\circ}{0}$	$\overset{\circ\circ}{0.91}$	$\overset{\circ}{0}$	$\overset{\circ}{0}$	$\overset{\circ}{0}$			$\overset{\circ}{0}$	3.12	
本川河道Nブロック				$\overset{\circ\circ}{1.74}$										$\overset{\circ\circ}{2.67}$													4.41
表 川 河 道					$\overset{\circ\circ}{2.67}$																						2.67
内川IIブロック河道							$\overset{\circ\circ}{0.10}$ $\overset{\circ}{0.31}$			$\overset{\circ\circ}{0.17}$																	0.58
小野川IIブロック河道								$\overset{\circ\circ}{0.14}$ $\overset{\circ}{0.06}$																			0.20
本川河道IIブロック													$\overset{\circ\circ}{3.54}$														3.54
低部川河道						$\overset{\circ\circ}{2.24}$																					2.24
石手川河道IIブロック									$\overset{\circ\circ}{2.20}$												$\overset{\circ\circ}{0.42}$						2.62
小野川河道IIブロック										$\overset{\circ\circ}{0.29}$						$\overset{\circ\circ}{0.18}$											0.47
内川河道IIブロック															$\overset{\circ\circ}{0.53}$												0.53
本川河道IIブロック											$\overset{\circ\circ}{0.19}$						$\overset{\circ\circ}{3.54}$	$\overset{\circ\circ}{2.23}$	$\overset{\circ\circ}{1.45}$		$\overset{\circ\circ}{0.48}$					7.89	
帯水層Nブロック									$\overset{\circ}{0.17}$			$\overset{\circ}{0.87}$								$\overset{\circ}{0.26}$	$\overset{\circ}{0.05}$	$\overset{\circ}{0.05}$					1.04
帯水層IIブロック										$\overset{\circ}{0.30}$					$\overset{\circ}{0.06}$	$\overset{\circ}{0.02}$				$\overset{\circ}{0.26}$	$\overset{\circ}{0.05}$	$\overset{\circ}{0.05}$		∞ 1.07			1.45
帯水層IIIブロック												$\overset{\circ}{0.46}$										$\overset{\circ}{1.11}$		∞ 1.38		3.31	
合 計		16.84		2.43	3.94	3.35	0.64	0.33	4.41	0.55	0.93	0.12	4.41	2.67	0.59	0.20	3.54	2.23	2.62	0.47	0.53	7.88	1.20	1.58	2.28	58.99	



x : BからAへの取水量
y : AからBへの取水量

● : 農業用水量 ○○ : 地下水量
●● : 表流水流量 △ : 工業用水量
○ : 浸透量 △△ : 上水道用水量

降雨量の上段は■

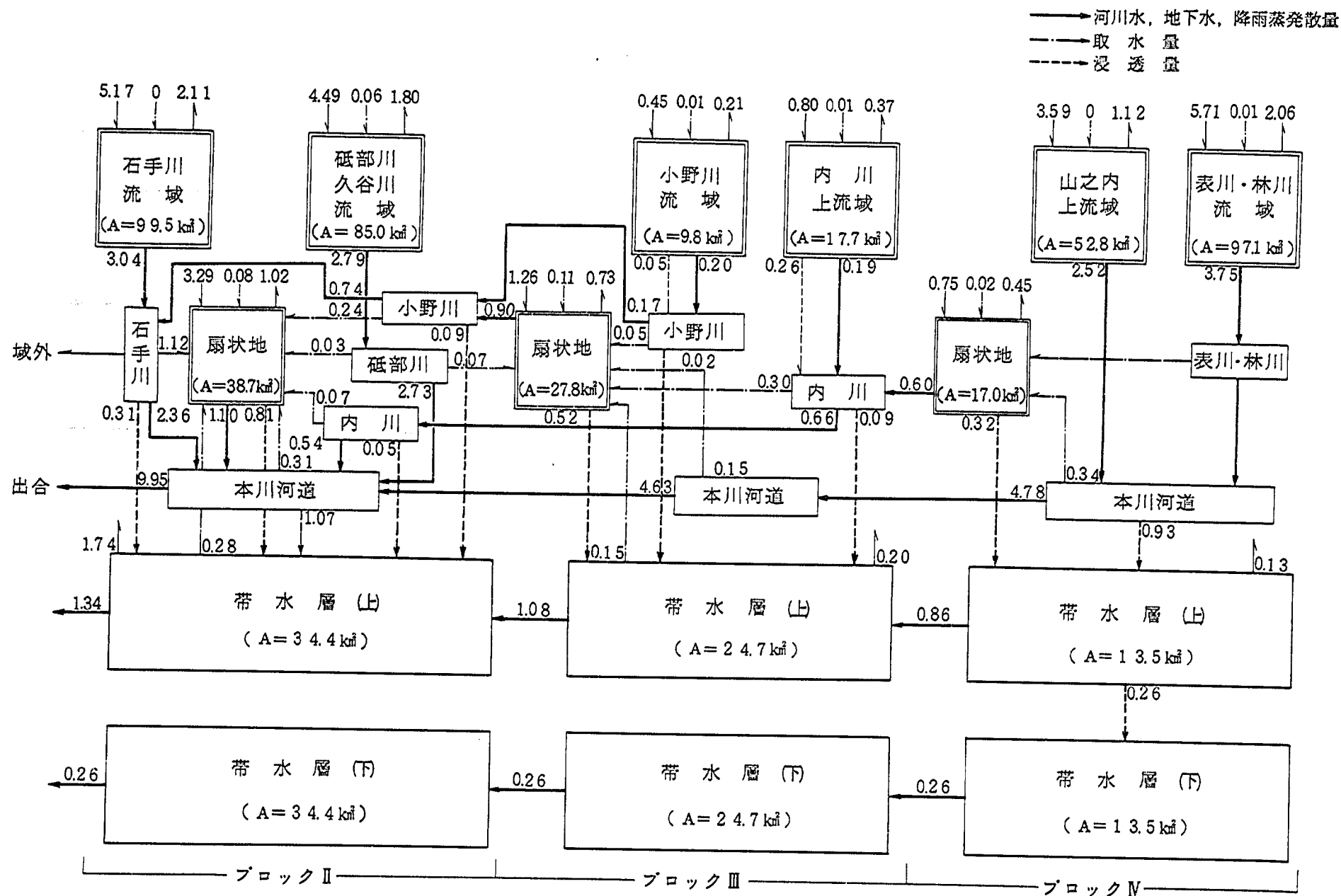


図40-(1) 重信川流域水循環図 [昭和50年 年平均]

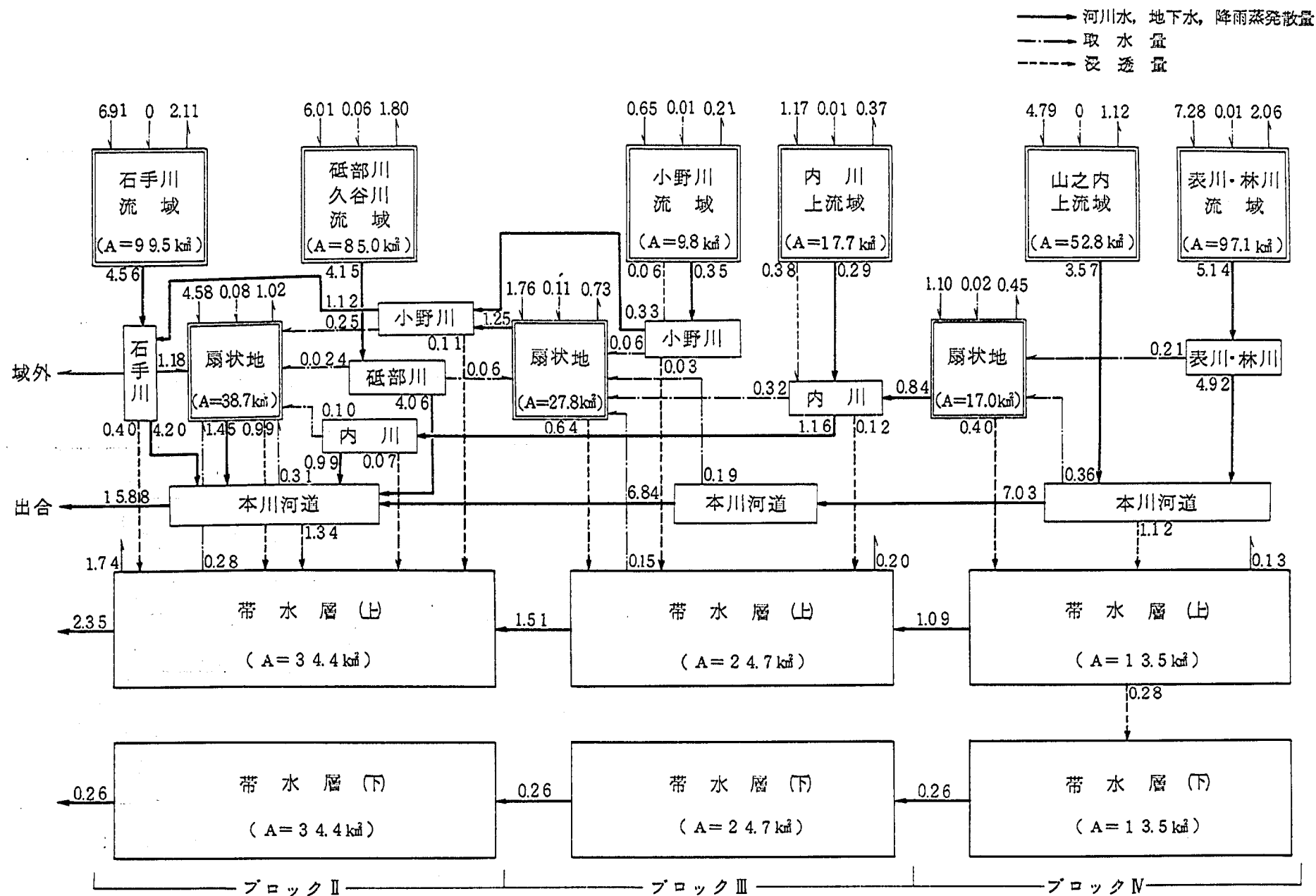


図 40 - (2) 重信川流域水循環図 [昭和 51 年 年平均]

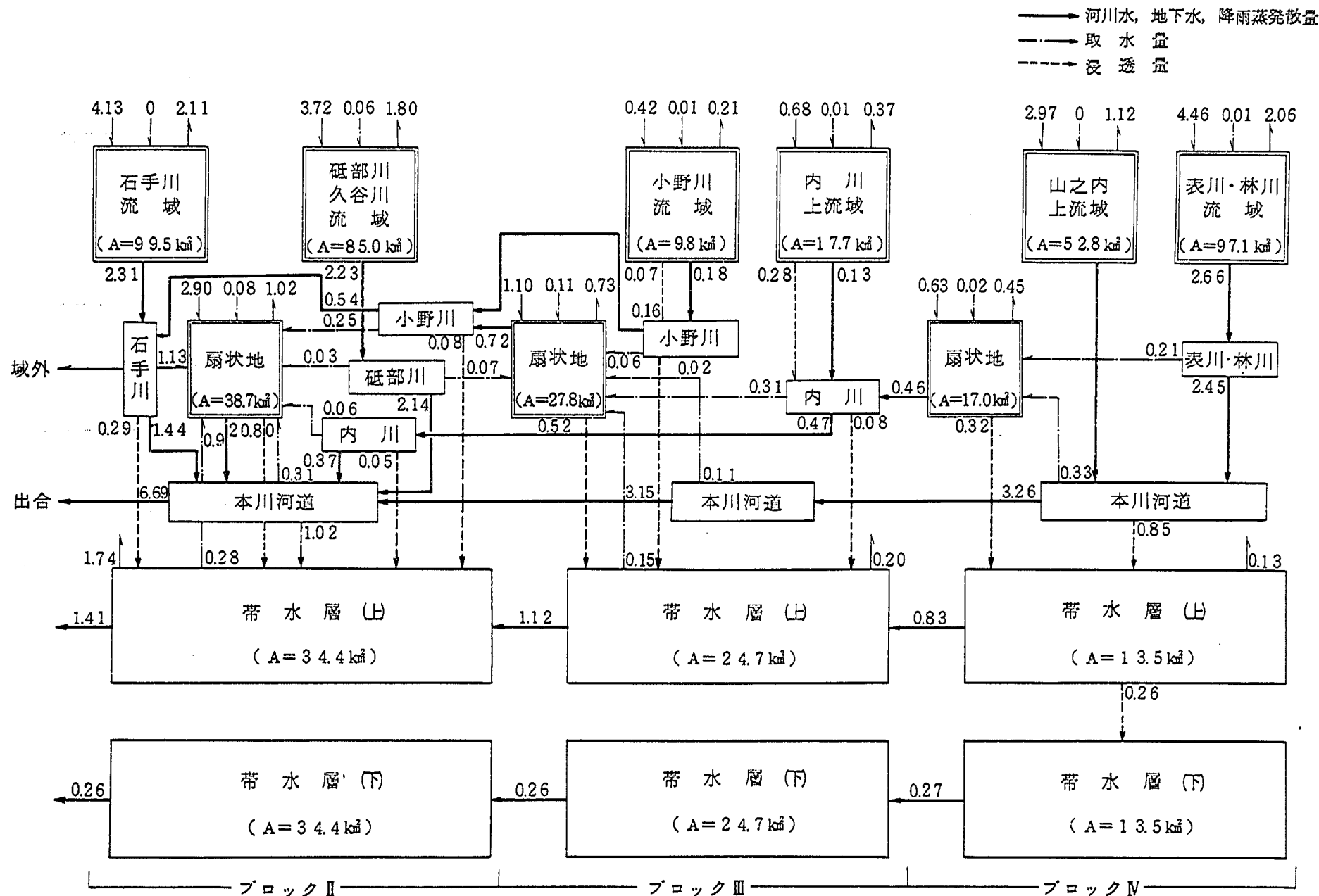


図40-(3) 重信川流域水循環図 [昭和52年 年平均]

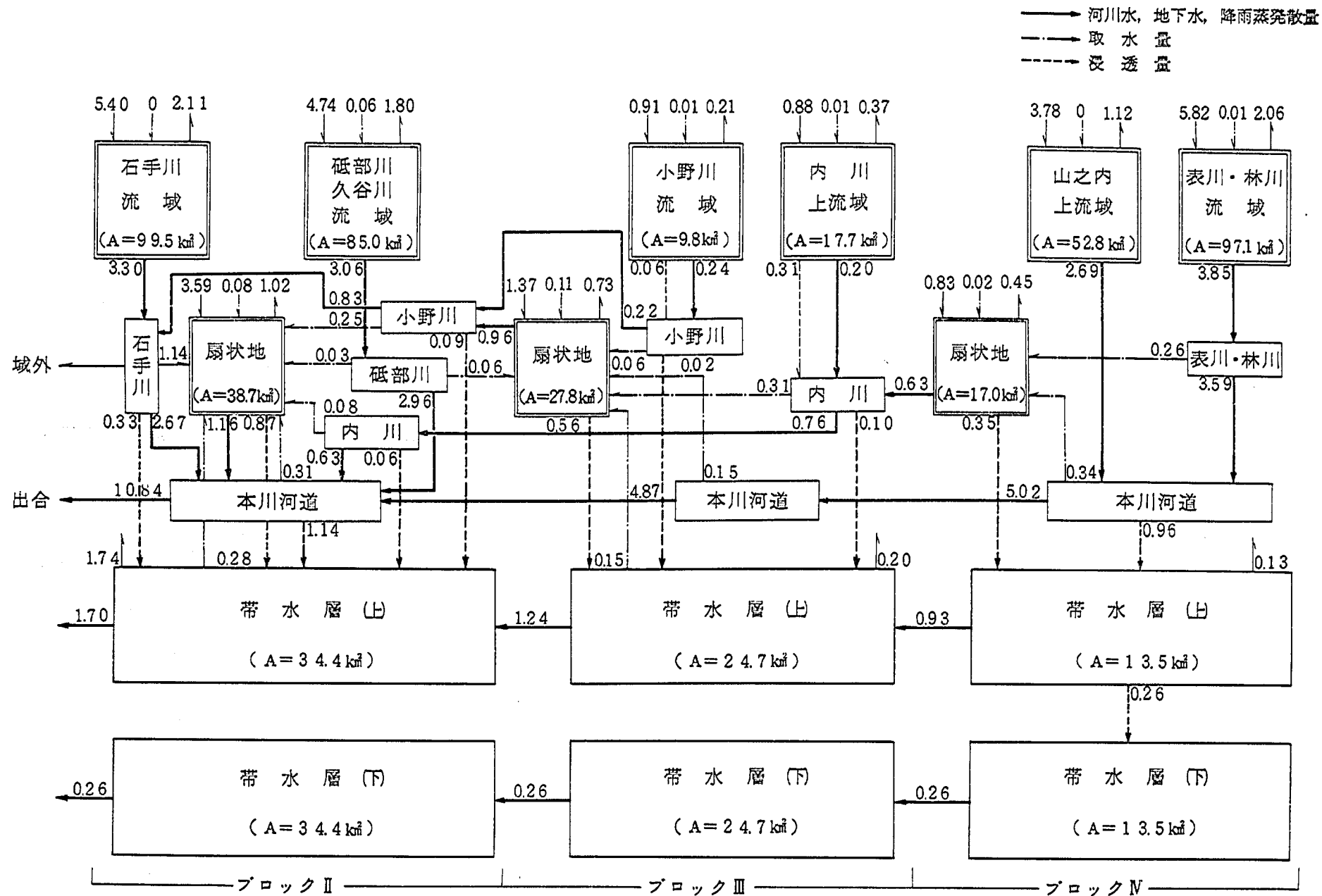


図41-(1) 重信川流域水循環図 [昭和50年~52年 年平均](1)

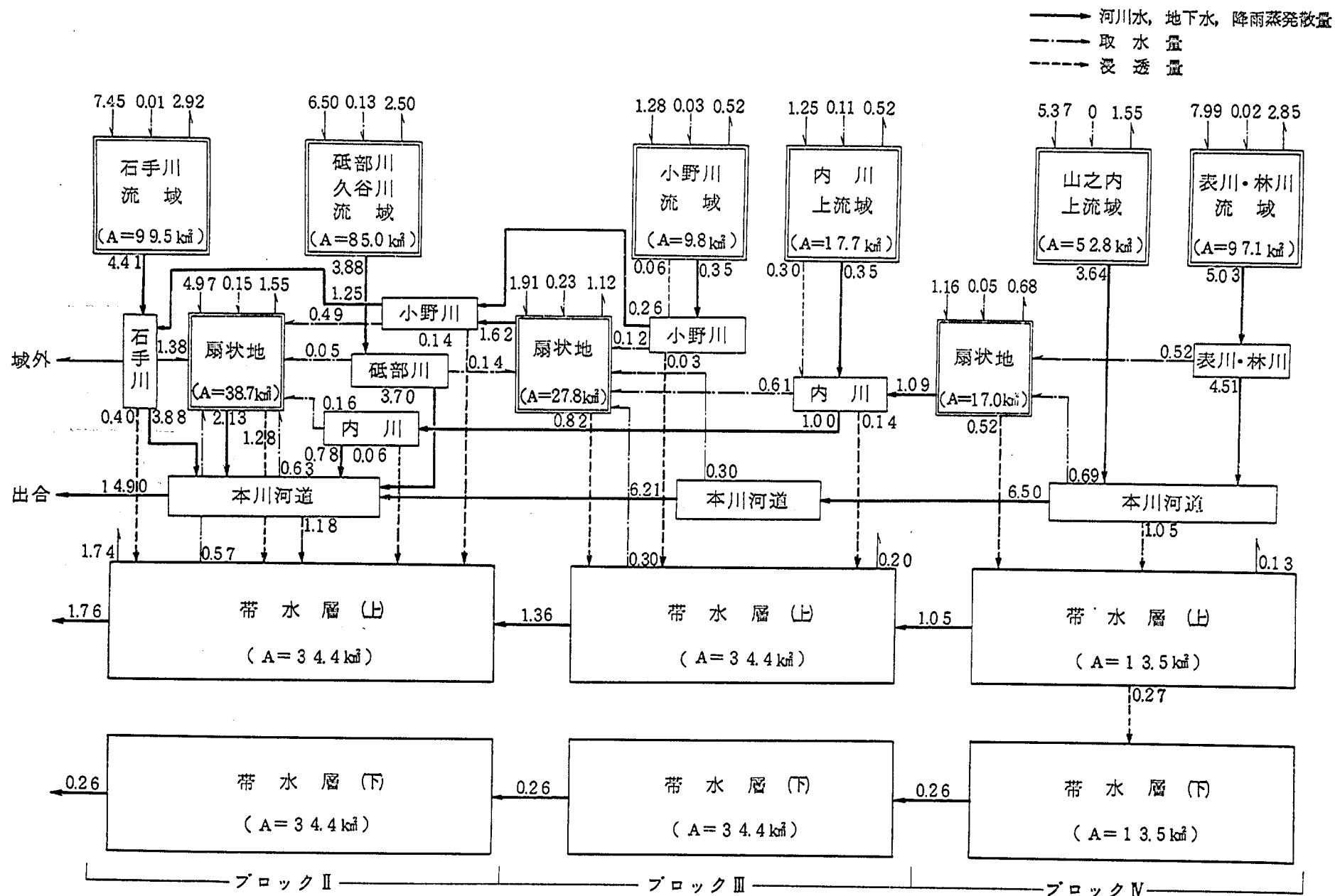


図 41-(2) 重信川流域水循環図 [昭和50年~52年 夏期平均](2)

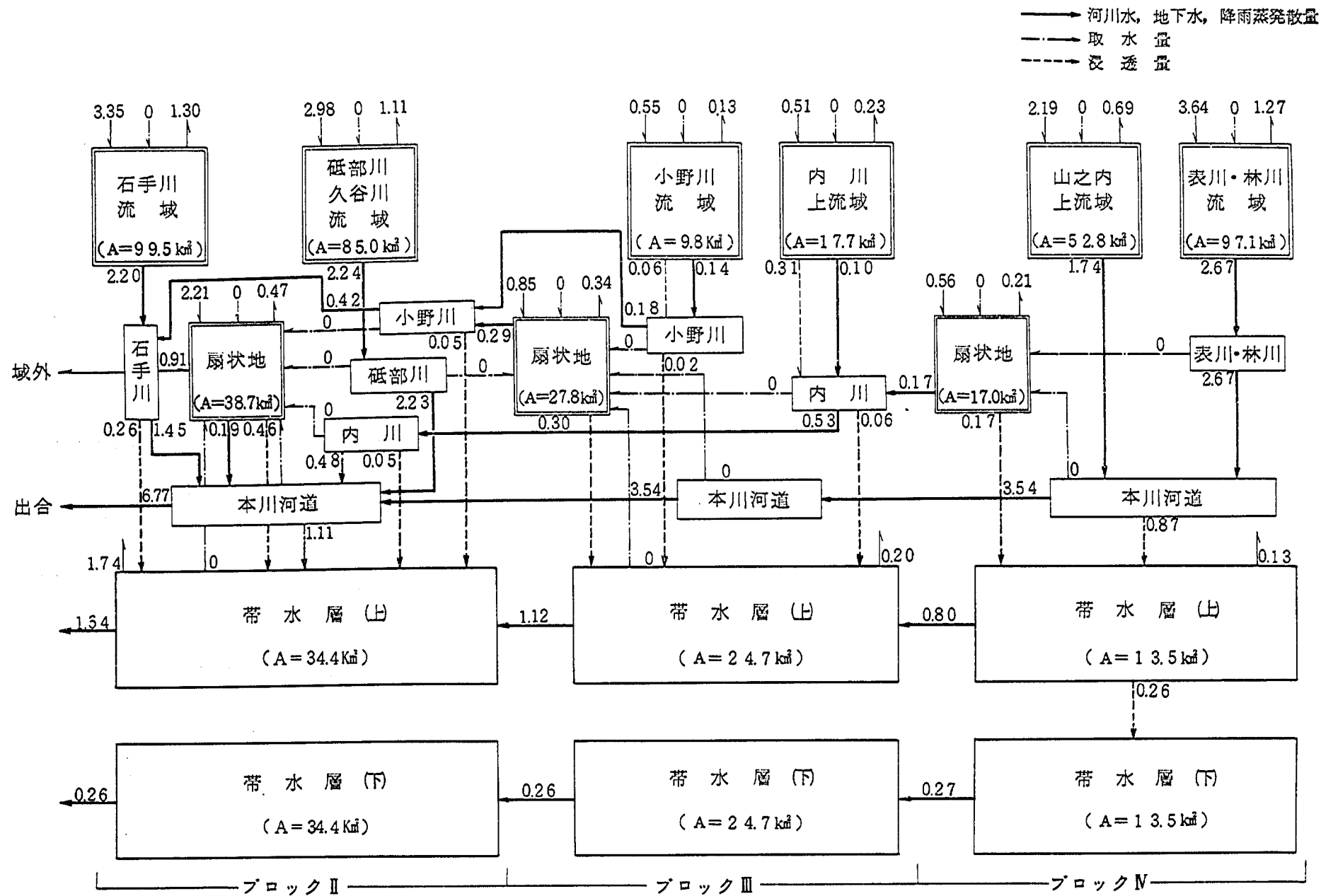


図41-(3) 重信川流域水循環図 [昭和50年~52年 冬期平均](3)

4. 帯水層（地下水）の特性

4-1 帯水層の分類および分布

地質構成と電気比抵抗の関係を 1. で述べたが、この関係を要約すると以下のようになる。

- ① 和泉層群 …… 比抵抗 $100\ \Omega\text{-m}$ 以下 → 不透水層
- ② 八倉層 …… 比抵抗 不明 → 難透水層
- ③ 旧期此丘堆積層 …… 比抵抗 $100\ \Omega\text{-m}$ 以下 → 難透水層
- ④ 旧期段丘堆積層 …… 比抵抗 $100\ \Omega\text{-m}$ 以下 → 難透水層
- ⑤ 扇状地堆積層 …… 比抵抗 $300\ \Omega\text{-m}$ 以下 → 良好な透水層
- ⑥ 沖積層 …… 電気比抵抗 $100\ \Omega\text{-m}$ 以下 → 難透水層
 電気比抵抗 $100\sim200\ \Omega\text{-m}$ → やや悪い透水層
 電気比抵抗 $200\sim300\ \Omega\text{-m}$ → 普通の透水層
 電気比抵抗 $300\ \Omega\text{-m}$ 以上 → 良好な透水層
- ⑦ 現河床堆積層 …… 比抵抗 $300\ \Omega\text{-m}$ 以上と堆定 → 良好な透水層

次に、重信川旧流路および現河床部の井戸を揚水して求めた透水係数は表-35 から平均 $5.3 \times 10^{-1}\text{cm/sec}$ と算定された。この旧流路および現河床を構成する砂レキ層は電気比抵抗が $300\ \Omega\text{-m}$ 以上を呈することから、逆に電気比抵抗 $300\ \Omega\text{-m}$ 以上の地層は約 $5 \times 10^{-1}\text{cm/sec}$ と言えよう。

また、ボーリング孔で求めた揚水試験および単孔透水試験結果と電気比抵抗値との関連性を求めるため表-36 を作成した。この結果、透水係数と電気比抵抗値との間に既略の関連性が認められる。ただし、電気比抵抗値 $300\ \Omega\text{-m}$ 以上の地層における透水係数は表-35 に比較して 1 オーダー低い値を示しているが、単孔透水試験区間が旧流路および現河床に位置していることから、表-35 の透水係数を採用した方が妥当と考える。したがって、電気比抵抗と透水係数の関係は、次のようになる。（表 37 参照）

表-37 電気比抵抗と透水係数の関係

電 気 比 抵 抗	透 水 係 数	分 布
$300\ \Omega\text{-m}$ 以上	$5 \times 10^{-1}\text{ cm/sec}$	図-4 図-6 } を参照 図-7
$200\sim300\ \Omega\text{-m}$	$3 \times 10^{-2}\text{ cm/sec}$	
$100\sim200\ \Omega\text{-m}$	$3 \times 10^{-2}\text{ cm/sec}$	
$100\ \Omega\text{-m}$ 以下	$6 \times 10^{-5} \sim 4 \times 10^{-4}\text{ cm/sec}$	

表-35 重信川現河床部および旧流路部における透水係数

番号	透水係数 k (cm/sec)	井戸の形状		井戸名	位置	備考
		径 (m)	深度 (m)			
	8.0×10^{-1}			カンガイ井戸		「地下水の利用」 西岡 栄 昭和52年
	2.8×10^{-1}			民家の井戸	松山市浮穴	
	8.1×10^{-2}					
	3.5×10^{-1}			重信川河床	松山市垣生	
	6.6×10^{-1}			堀井戸		
	5.1×10^{-1}			堀井戸	重信町見奈良	「重信川沿岸地下水調査資料第巻」 愛媛県土木部河川課 愛媛県水政研究会 昭和31年
	5.9×10^{-1}	2.2			松前町北河原	
	3.9×10^{-1}	1.2		重信川河川敷井戸	松前町外側	
	1.9×10^{-1}	0.9			松山市東垣生	
	1.2×10^0	2.0			松山市市坪	
	4.5×10^{-1}	0.9	4.80	筋替 1	松山市南高井	
	1.6×10^0	0.9	4.50	筋替 2	松山市南高井	
	1.0×10^0	0.9	4.50	バラクロ	松山市南高井	
	4.0×10^{-1}	0.9	4.90	宮前 1	松山市須崎	
	6.2×10^{-1}	0.9	4.70	宮前 2	松山市須崎	
	7.8×10^{-1}	0.9	4.00	一丁地	松山市下沖	
	2.1×10^{-1}	4.5×1.7	6.00	第3泉	松山市北土居	
	1.0×10^{-1}	0.9	5.00	稲葉	松山市北沖	
	2.8×10^{-1}	4.0	8.45	大関	松山市井門	
	6.1×10^{-1}	5.0	6.70	どんこ泉	松山市井門	
	6.2×10^{-1}	4.0	8.30	お茶屋	松山市井門	
	4.9×10^{-1}	4.0	7.55	昭九	松山市井門	
	2.5×10^{-1}	4.0	8.60	宮地	松山市新田	
	4.6×10^{-1}	4.0	10.25	表新田	松山市新田	
	5.1×10^{-1}	4.0	9.60	はぜの木	松山市新田	
	2.6×10^{-1}	4.0	6.73	道添	松山市古川	
	8.7×10^{-1}	4.0	8.80	松本	松山市松本	
	2.9×10^{-1}	4.0	8.64	外新田 A	松山市市坪	
	2.0×10^{-1}	3.0	6.85	法光	松山市市坪	
	4.3×10^{-1}	3.0	6.22	昭和泉	松山市保免	
	9.3×10^{-1}	5.0	8.50	石清水	松山市保免	
平均	5.3×10^{-1}					

表-36 電気比抵抗値と透水係数の関係

比抵抗値 100Ω-m以下			比抵抗値 100~200Ω-m			比抵抗値 200~300Ω-m			比抵抗値 300Ω-m以上		
ボ-リ グ No	深 度 m	透水係数 cm/sec	ボ-リ グ No	深 度 m	透水係数 cm/sec	ボ-リ グ No	深 度 m	透水係数 cm/sec	ボ-リ グ No	深 度 m	透水係数 cm/sec
21	5.0	2.2×10^{-3}	13	3.0	1.7×10^{-3}	13	6.0	2.0×10^{-2}	26	5.0	4.7×10^{-2}
25	15.0	1.3×10^{-4}	19	8.0 ~38.0	6.7×10^{-3}	13	9.0	2.6×10^{-2}	27	5.0	1.7×10^{-2}
25	20.0	7.5×10^{-5}	21	10.0	2.5×10^{-3}	13	12.0	3.4×10^{-2}			
25	25.0	7.4×10^{-5}	21	15.0	2.1×10^{-3}	13	15.0	4.6×10^{-2}			
25	30.0	6.3×10^{-5}	21	20.0	2.7×10^{-2}	14	5.0 ~8.0	1.7×10^{-2}			
26	25.0	5.2×10^{-4}	21	25.0	5.2×10^{-5}	22	5.0	6.1×10^{-2}			
27	10.0	2.8×10^{-4}	22	10.0	1.6×10^{-3}	23	5.0	2.3×10^{-2}			
27	15.0	3.6×10^{-4}	22	15.0	5.1×10^{-3}	23	10.0	3.8×10^{-2}			
27	20.0	3.3×10^{-4}	22	20.0	2.7×10^{-5}	23	15.0	1.5×10^{-3}			
64	74.0 ~89.9	2.4×10^{-5}	22	30.0	4.8×10^{-3}	24	5.0	1.6×10^{-1}			
66	31.0 ~42.0	4.8×10^{-4}	26	10.0	2.5×10^{-3}	24	10.0	1.1×10^{-1}			
68	48.0 ~59.0	3.8×10^{-4}	26	15.0	2.4×10^{-3}	24	15.0	3.0×10^{-2}			
			26	20.0	1.3×10^{-3}	25	6.0	3.9×10^{-2}			
			41	10.0	5.4×10^{-3}	25	10.0	5.5×10^{-2}			
			41	15.0	6.0×10^{-4}	41	5.0	1.3×10^{-2}			
			41	20.0	1.8×10^{-3}						
			62	19.0 ~24.0	3.8×10^{-3}						
			67	45.0 ~56.0	6.1×10^{-4}						
① 5.9×10^{-5} ~ 3.6×10^{-4}			② 3.4×10^{-3}			③ 3.4×10^{-2}			④ 3.2×10^{-2}		

註) ① 10^{-5} cm/secのグループと 10^{-4} cm/secのグループを各々平均したもの

② 10^{-3} cm/secのグループの平均

③ 10^{-2} cm/secのグループの平均

④ 300Ω-m以上の比抵抗値を有する地層はほぼ旧河道に位置しており、平均値 3.2×10^{-2} cm/secは採用しがたい。

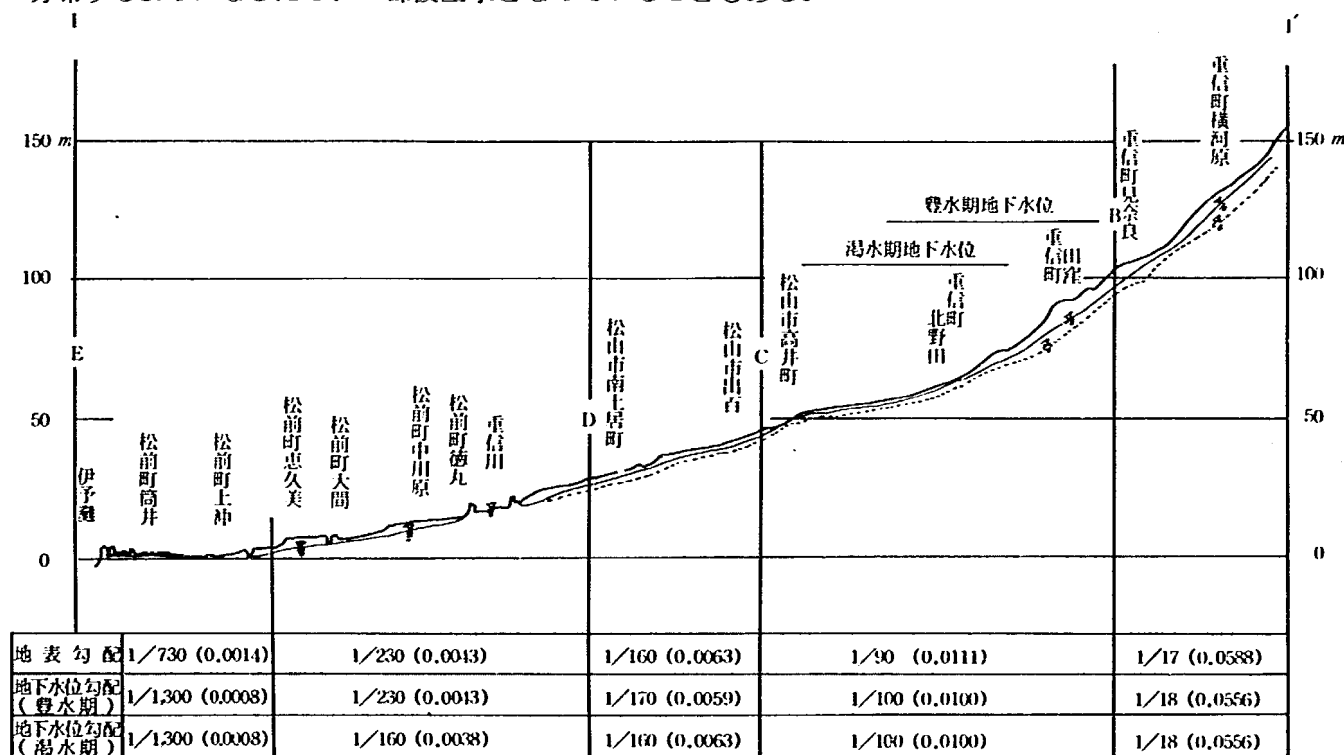
4-2 地下水、伏流水の流動および分布

重信川周辺の地下水について、松山工事事務所によって地下水位観測が実施されており、これらの測定結果をもとに地下水位等高線を描くことができる。これらから明らかにされたことは、森松前から上流部では豊水期と渇水期との間に地下水位の差が明らかに生じている。しかし、森松から下流については、渇水期のデータのみで、豊水期のデータが得られていない。しかし、豊水期と渇水期の差は下流側でも生じているものと考えられる。

また、地下水の縦断形状は図-42 のようになり、その動水勾配は、重信川上流の田窪は付近で約 $1/100$ 、南土尾付近で約 $1/150$ 、中流部の徳丸付近で約 $1/300$ 、下流部の出合付近で約 $1/500$ となり、海岸付近では約 $1/1,200$ と緩くなる。

以上は、重信川周辺の地下水の動きであるが、地下水の流動についても、旧流路とその周辺では差異が生じ、透水係数の大きい旧流路の部分では、地下水は伏流水として地下水が涵養されているものと考えられる。

重信川沿いの沖積層に帯水されている地下水は不圧地下水であるが、徳丸から下流においては、粘性土が分布するようになるため、一部被圧水となっていることもある。



四国地方建設局松山工事事務所「重信川低水流量調査報告書」(昭和50年)参照

図-42 地下水の縦断形状図

4-3 河川との関係、降雨の涵養

重信川の河川水位と堤内地の地下水位について詳細に検討した調査は少ないが、森松で観測した資料によると図-43に示すように、明らかに重信川の河川水位が高く、堤内に向かって伏流していることがうかがえる。また同図において北方に内川が流れており、この内川からも伏流している模様である。

このように、重信川は一般に河床が堤内の地表面より幾分高くなっており、このため、重信川の河川水は堤内の旧流路に向って伏流しているものと推察される。したがってこの傾向が激しい久谷大橋の上流部では

重信川の河床には河川水がほとんど見あらず、また、重信川の両岸には旧流路の低地形が発達することから、これらの旧流路に向って河川水が伏流し現河床には河川水が残らないものと考えられる。

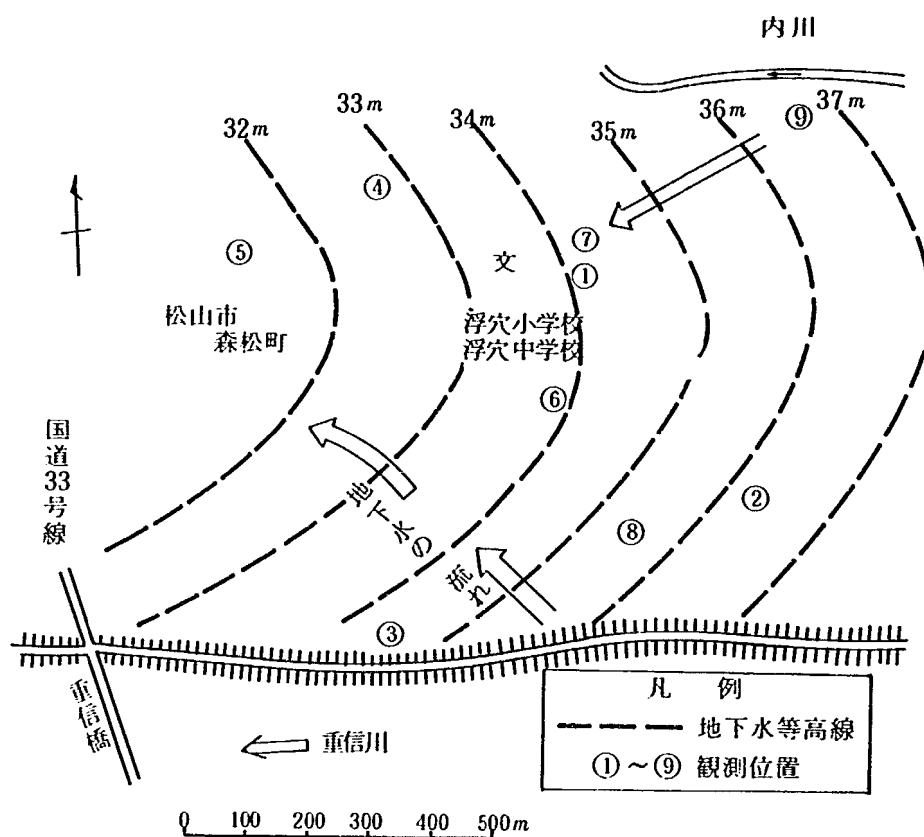
この傾向は、徳丸付近の堤内地下水位が河川水位よりも低いことから同じようなことが徳丸付近でも言えるが、ただ、森松から徳丸付近にかけては砥部川および御坂川の各支川から河川水が常時供給されており、また、重信川南側に分布する旧流路が重信川と合流していることなどの理由から、森松および徳丸付近から下流では比較的多くの河川水が認められるようになる。また、下流側では、内川および石手川が合流するようになり、河川水の量も多くなる。

4-4 地下水の利用形式とその影響

重信川の地下水利用としては、大部分が沖積層内の地下水を取水している。その取水位置の大部分は、旧流路の分布域内にあり、重信川の伏流水を取水していることになる。これらの取水位置は、大部分は松山市、伊予市、松前町、重信町などの水源地であり、農業用水井戸であり、また、泉である。これらは、井戸の深さが最大10 m程度であることから、重信川旧流路に堆積した砂レキ層内の地下水を優先的に採取しているものと推察される。

また、深い井戸においても、沖積内の地下水を抜きには考えられない状況にある。

これら、取水された地下水は飲料水、工業用水、および農業用水として利用されている。農業用水の何%かを除いて取水された地下水は地中に涵養されず、直接海へ流出している。このため、取水による地下水位低下はさけられないものとするが、これまで具体的にその影響を長期に渡って観測したデータがなく、詳細な影響状況は把握されていない。(具体的には6.でもう少し詳細に扱うことにする。)



図一43 松山市森松町付近の地下水等高線図

観測位置	地下水位標高
1	34,375 m
2	36,626
3	34,645
4	32,686
5	31,274
6	33,938
7	34,885
8	35,413
9	36,645

地下水等高線観測地点

地下水位標高は右表のとおり。

昭和51年度 地下水観測所設置業務」 昭和51年
9月

四国地方建設局松山工事々務所を参照した。

5. 流域の水利用の可能性

重信川流域では、松山市を中心とした水需要が増大する傾向にある。一方、現況における当流域の水収支からの、表流水・伏流水・地下水を含めて、水の利用率は75%に達し、高度に水の利用がはかられている。

本章では、前章までの水利用の実態、水賦存量、地下帯水層の水理的特性などを踏まえ、当流域における水供給の方策について検討してみることとする。

5-1 地下帯水層の水利用方式の概念

重信川流域における水利用率が高度に達成されている現状を考えると、今後の水需要増に対し、表流水の開発に頼ることは経済的にも、技術的にも得策でない。

一方、現状では水利用が、表流水、地下水（伏流水も含む）と個別に利用されており、水循環の一過程としての地下水の水理的特性を把握するならば、表流水と地下水を一体とした水資源として開発し、より水開発の効果を高めうるものと考えられる。

表流水を対象とした水開発では、主として渇水期の流況によって、開発施設の規模と開発水量が決定されるが、それ以外の期間では利水余力が残されている。従って、渇水期における流況調整を地下水によって、はかるとすれば表流水の流況改善がはかれることと等しい効果を上げることになり、これに伴って水開発の効果は一段と高まる。

地下水表流水一体利用の場合の水開発効果は、図-44 のようになり、具体的な検討としては図-45のフローにしたがって行ってみることとする。

これらは、地下帯水層の水理的特性とも深い関わりをもっている。この章では、重信川流域の水文・水理利水・地下帯水層等、検討結果に基づいて、表流水と地下水を一体として水資源として利用した時の水開発効果の検討を行い、後章で地下水利用への影響についてふれることとする。

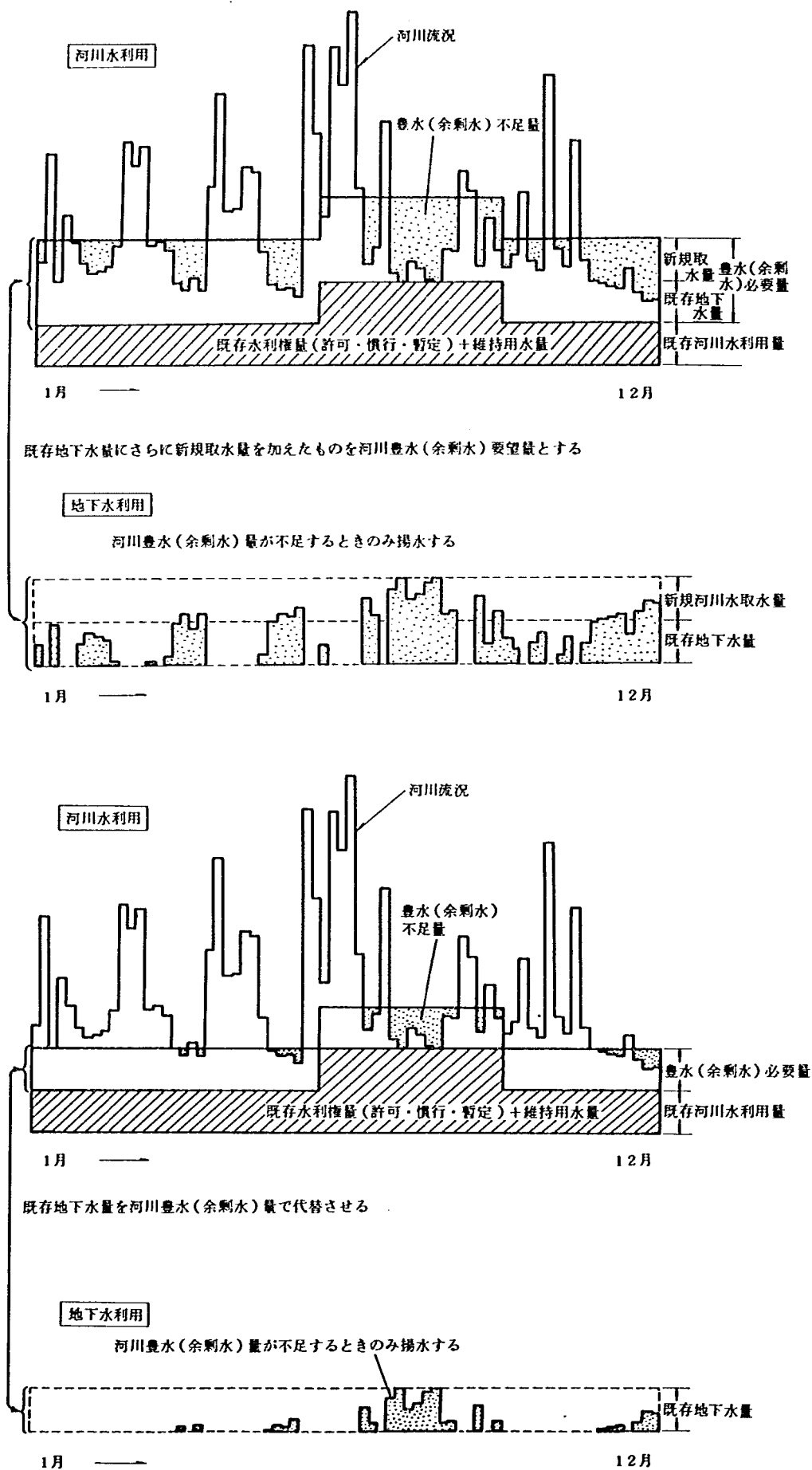
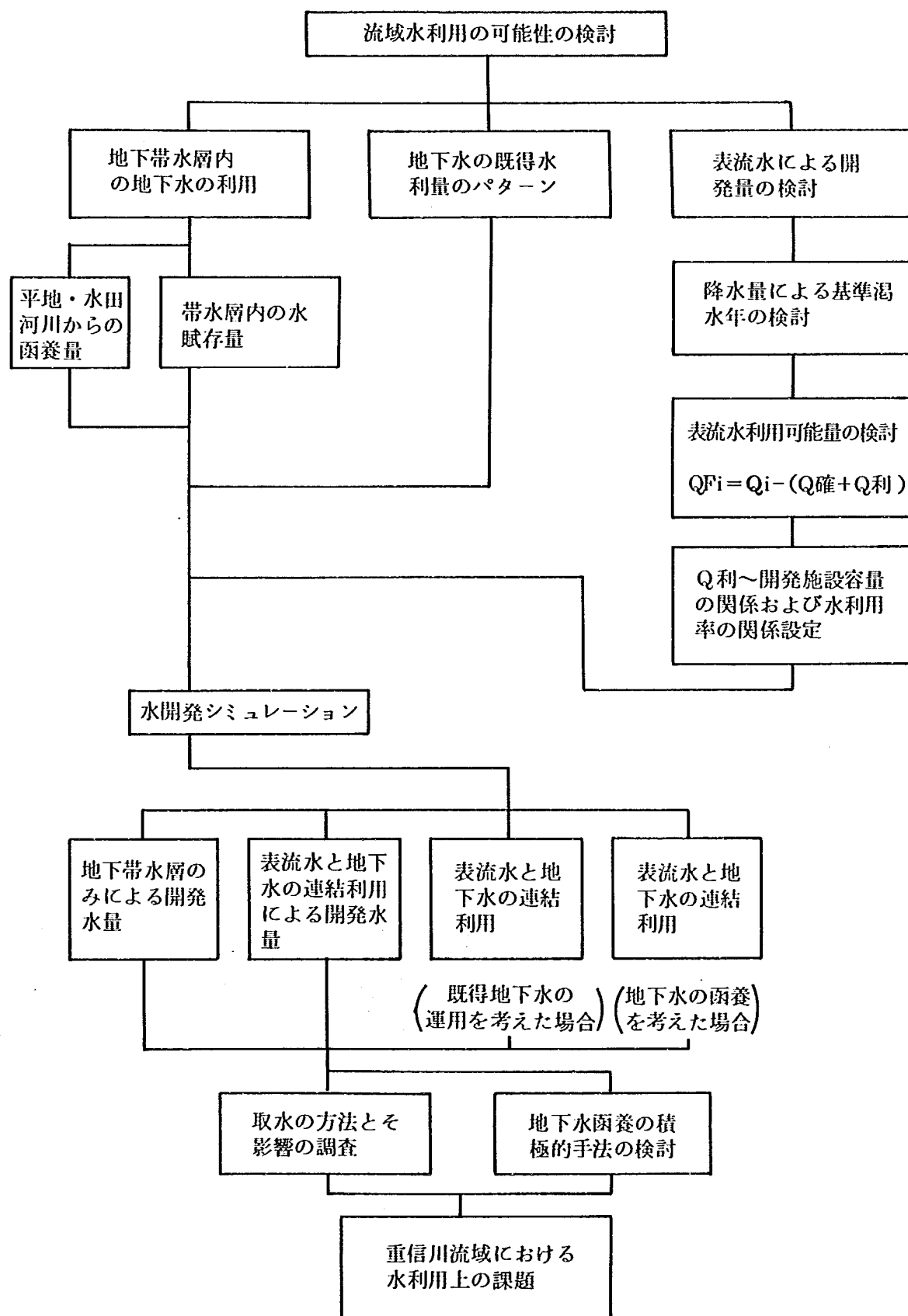


図-44 地下水・表流水一体利用の効果図



図－45 流域水利用の可能性の検討フロー

5-2 表流水、地下水の利用可能量の検討条件の整理

(1) 検討期間

開発水量の検討は、渇水1/10年程度を基準に行なわれている。重信川流域の降雨量を松山気象台の降雨で代表することとし、明治23年～昭和51年の76年間雨量を整理する。帯水層の利用サイクルを10年とし、10年間の移動平均で渇水順位を求めれば、昭和41年～50年の期間が渇水7位で、ほぼ1/10年の渇水に相当する。この移動平均結果を図-46に示す。一方、利用サイクルを単年とし、単年の渇水順位を見れば、43年5/76、44年10/76、46年11/76、と渇水規模は大きい。

(2) 表流水の利用のための条件量

③ 出合地点流況

出合地点流況は、昭和41年～昭和50年の観測流量を用いる。

④ 出合地点利水権量

出合地点下流には、松山市上水、工水及び農水（大新田）の利水権があり、利水権量、取水期間は図-47に示す値である。

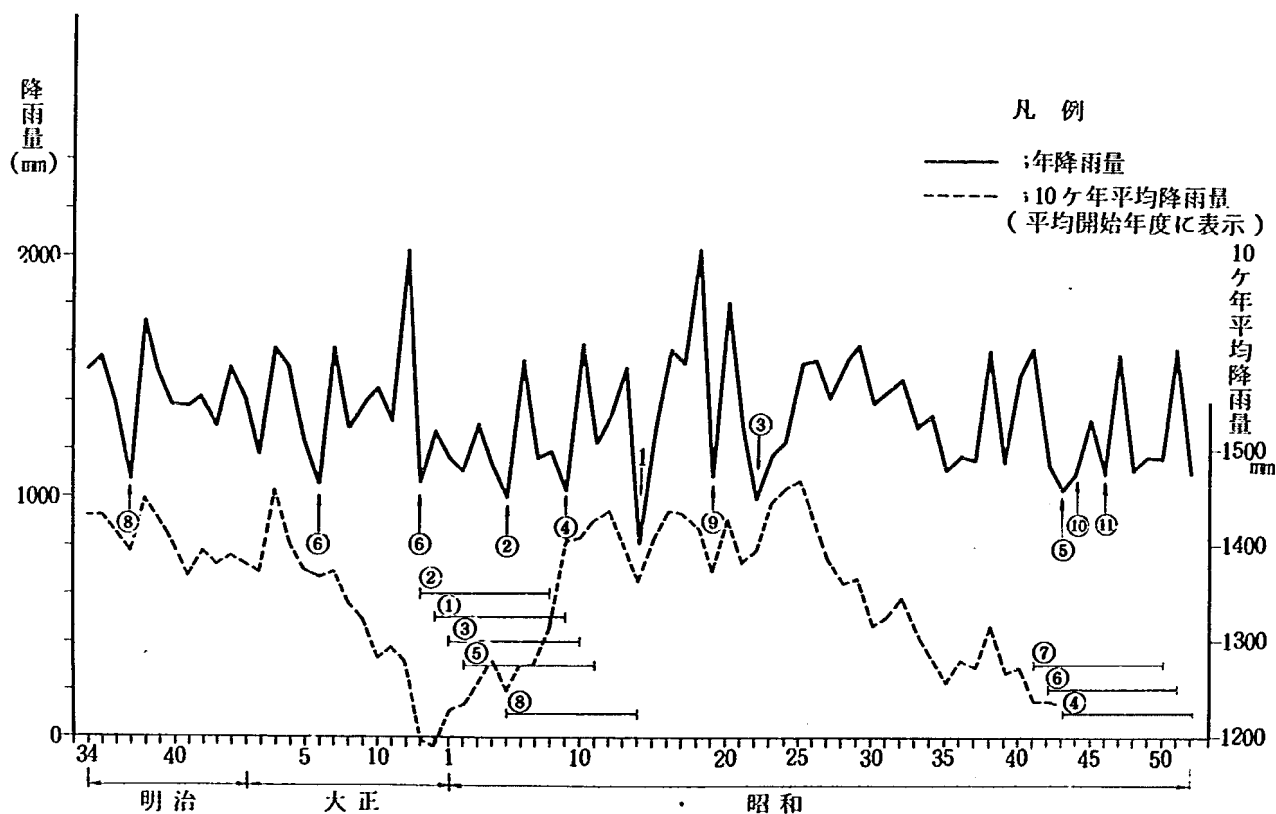


図-46 松山気象台年総雨量の経年変化図

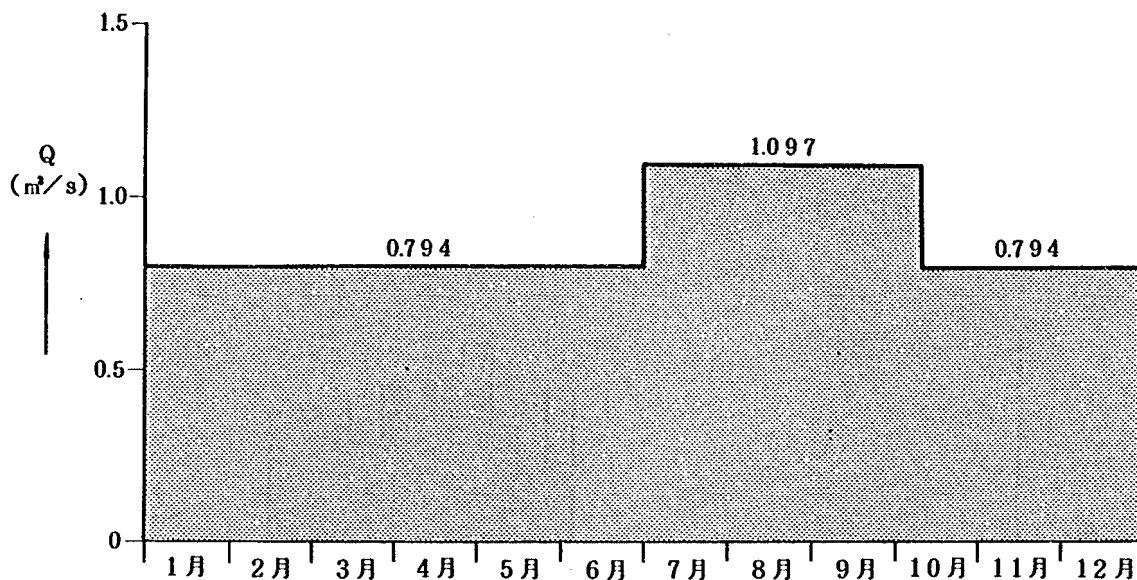


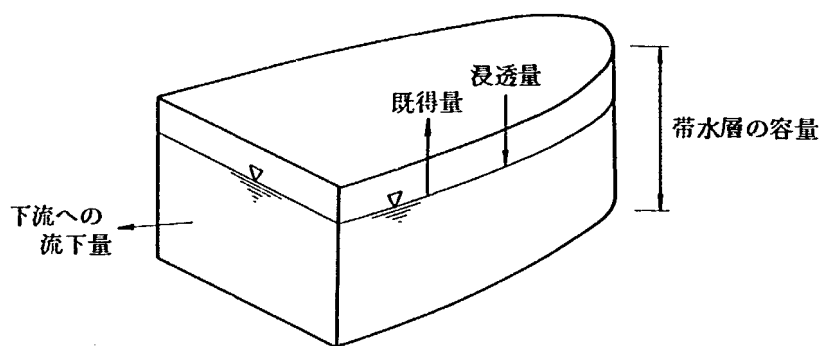
図-47 出合地点水利権量

松山市上水 0.237m³/s (1月1日～12月31日)
 水利権 { 松山市工水 0.557m³/s (" ~ ")
 大田新田 0.303m³/s 最大値
 (7月1日～9月30日)

期 間	上水・工水	農 水	合 計
1/1～ 6/30	0.794	0.	0.794
7/1～ 9/30	0.794	0.303	1.097
10/1～12/31	0.794	0.	0.794

(3) 地下水の利用のための仮定

地下帯水層を利用する場合、水循環からの条件量、帯水層の特性として、地下水の既得取水権、帯水層の容量、下流への流下量、地下への浸透量が必要であり、次の様な仮定を行った。



㊤ 地下水の既得取水量

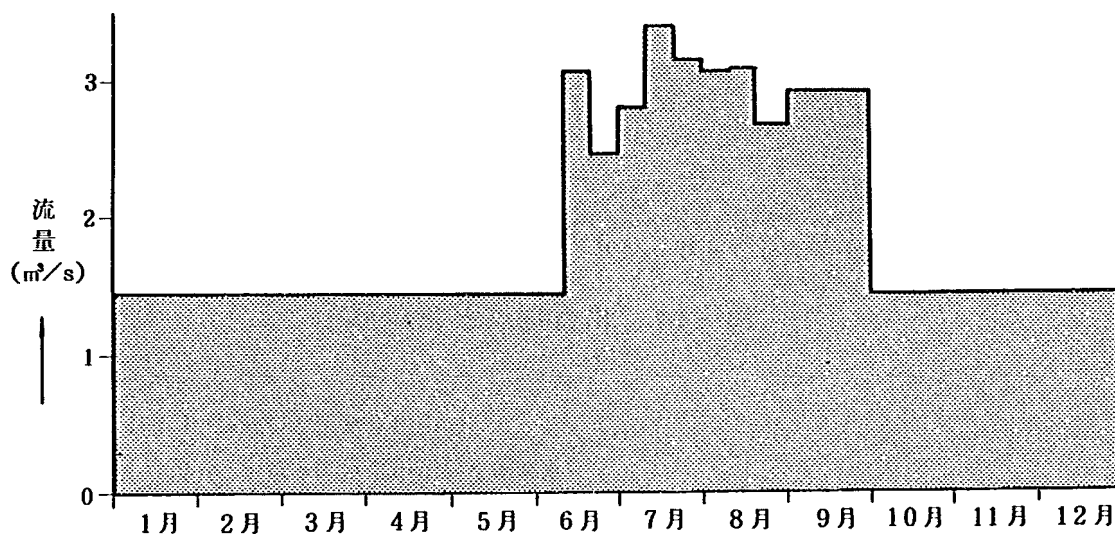
(単位 m³/s)

地下水、伏流水の扇状地内の既得取水量は、右表に示すとおりである。

	取 水 量	期 間
上 水	0.158	1月 1日～12月31日
工 水	1.292	1月 1日～12月31日
農 水	1.536	6月10日～ 9月30日

ただし、出合取水量の松山市上水・工水は、取水記録では、伏流水に分類されているが、上水 $0.237\text{ m}^3/\text{s}$ 、工水 $0.557\text{ m}^3/\text{s}$ 、計 $0.794\text{ m}^3/\text{s}$ は表流水で確保するものとしている。農水については、 $1.536\text{ m}^3/\text{s}$ を農水の取水パターン（四国農試；農業土木ハンドブック）で総量を取水した。

既得取水量を図-48に示す。



期 間	上 水	工 水	農 水	既得権量
1/ 1~ 6/10	0.158	1.292	0	1.450
6/11~ 6/20			1.622	3.072
6/21~ 6/30			0.997	2.447
7/ 1~ 7/10			1.369	2.819
7/11~ 7/20			1.943	3.393
7/21~ 7/31			1.705	3.155
8/ 1~ 8/10			1.622	3.072
8/11~ 8/20			1.639	3.089
8/21~ 8/31			1.244	2.694
9/ 1~ 9/30			1.487	2.937
10/ 1~12/31	0.158	1.292	0	1.450

図-48 地下水既得権量

⑥ 地下帯水層の容量

扇伏地の地質平面図より、帯水層の平面積を透水係数の大きい、扇伏地堆積層、沖積層の面積 76.2 km^2 とした。

帯水層の層厚も、扇伏地堆積層、沖積層を取る。帯水層の縦断図では約 15 m ~ 20 m 有るが横断図では平均 10 m 程度で有る所から 10 m と仮定する。（図-6参照）

地下帯水層の全容量は、 $76.2\text{km} \times 10\text{m} \times 0.15 = 114.3 \times 10^6 \text{m}^3$ となる。

㊦ 下流への地下水流下量

地下水の流下量は、 $Q = K \cdot I \cdot A$ で表われ、地下水取水が行なわれれば、地下水水面勾配の変化によって、流量も変わるが、ここでは帯水層全面で均等に取水されるものとして、出合付近の平均勾配 $1/400$ を用いる

重信川の年間流下量の平均値は、前節の水収支結果より、 $68.1\text{mm}/\text{年} \Rightarrow 0.96\text{m}^3/\text{s}$ である。

地質水理から見た地下帯水層、沖積層、旧期洪積層での流下流量は、表-39のように、沖積層で75%流量が流下する。これより、出合地点の帯水層断面を、次図のように帯水層幅5500m、層厚10mと仮定し、地下水位と帯水層容量、地下水位と地下水流下量の関係から、帯水層容量と地下水流下量の関係を表-38のように推定した。

最高地下水と地盤高の間には
表-40に示すように約1mの
差がある所から、地盤より-1
mで満水すると設定した。

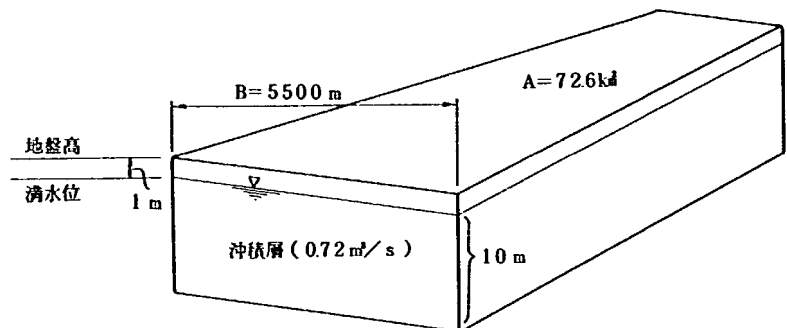


表-38 地下水位と下流流下量の関係図

帯層 水厚	帯 水 層 容 量		流 下 量	
	区 間 容 量	空 容 量	ΔQ	流下量 m^3/s
m	$\times 10^6 \text{m}^3$	$\times 10^6 \text{m}^3$		
0	0	-	0	1.032
1	11.43	0	0.072	0.960
2	11.43	11.43	0.072	0.888
3	11.43	22.86	0.072	0.816
4	11.43	34.29	0.072	0.744
5	11.43	45.72	0.072	0.672
6	11.43	57.15	0.072	0.600
7	11.43	68.58	0.072	0.528
8	11.43	80.01	0.072	0.456
9	11.43	91.44	0.072	0.384
10	11.43	102.87	0.072	0.312
11	11.43	114.30	0.072	0.240

㊦ **0.960**は水収支より設定

$$\text{帯水断面積} = 5500\text{m} \times 10\text{m} = 55000 \text{m}^2$$

$$0.72 = K \times 1/400 \times 55000$$

$$K = 5,236 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$$

表-39 地質水理から見た帯水層の流下量

帯水層	透 水 係 数	出 合 $1 = 1/400$			高尾田 $1 = 1/200$		
		断 面 積	流 量	割 合	断 面 積	流 量	割 合
沖 積 層 現河床堆積物	$2 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$	m^2 184,000	m^3/s 0.920	0.75	m^2 60,300	m^3/s 0.603	0.73
新 期 洪 積 層	$1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$	7,000	—	—	55,000	0.003	0.
旧 期 洪 積 層	$2 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$	616,500	0.308	0.25	228,000	0.228	0.27

表-40 観測所地盤高と最高水位の関係

単位：T.P m

観 測 所	地 盤 高	月平均最高地下水位	地盤と地下水位の差
塩 谷	1.722	0.64	1.082
北 川 原	2.842	2.00	0.842
垣 生	0.800	0.06	0.740
土 手	4.127	3.50	0.627
大 間	9.582	8.70	0.882
中 川 原	13.476	12.60	0.876
徳 丸	18.176	16.92	1.256
井 門	20.400	18.96	1.440
森 松 (2)	24.350	23.18	1.170
中 流	31.00	28.62	2.380
石 手 下 流	19.471	18.06	1.411
石 手 上 流	38.151	35.75	2.401
広 瀬	40.369	38.55	1.819
中 野	54.631	52.28	2.351
拝 志	89.029	86.12	2.909
高 井	45.611	44.69	0.921
須 先	37.126	35.02	2.106

(4) 地下水の自然涵養量

流域における地下水の自然涵養源は、水田、河川及び小水路、平地の降雨による直接涵養等である。

各々の涵養量については資料が得られないが、年間の水収支より地下浸透量として、涵養量が求められ、
 平均値として $263.7 \text{ mm} \Rightarrow 3.723 \text{ m}^3/\text{s}$ が得られている。しかし全年度得られているわけではなく、資料的問

題を含んでいる年度もある。

そこで、自然涵養量を、次の2つに分けて推定した。

- (1) 水田からの涵養
- (2) 河川、降雨による平地等の涵養
- (a) 水田からの涵養量

当流域の平地部で減水深、浸透量の観測が表-41の様に行なわれている。^{*} この結果得られた浸透量を用いることとする。

表-41 減水深・浸透量の観測表

地 点	観 測 期 間	減 水 深	浸 透 量	備 考
南 高 井	S.53.6.28~S.53.8.28	$\frac{\text{mm}}{\text{day}}$ 207	$\frac{\text{mm}}{\text{day}}$ 6.1	
土 居	〃	320~230	6.4	
久 谷	〃	250	7.1	
平 均 値	〃	25.0	6.5	

S.53年度地下水涵養実態他一件調査業務報告書(S.53.11 松山工事々事所)

今回設定した帯水層上の水田面積が45.7 km^2 であるので、浸透量6.5 $\frac{\text{mm}}{\text{day}}$ を流量に換算すれば

$$\frac{6.5 \text{ mm} \times 45.7 \text{ km}^2}{86,400} = 3.44 \text{ m}^3/\text{s}$$
 になる。これを年総量に直せば、 $33 \times 10^6 \text{ m}^3$ で年総自然涵養量($114 \times 10^6 \text{ m}^3$)に対して29%に当る。

当流域の農業用水取水は、 $206.343 \times 10^6 \text{ m}^3$ であることから流量全面積6.7 $\frac{\text{mm}}{\text{day}}$ を用いてこれを減水深に換算すれば、27.7 $\frac{\text{mm}}{\text{day}}$ となる。更にこれより水田蒸発散量(5.2 $\frac{\text{mm}}{\text{day}}$)及び地下浸透量(6.5 $\frac{\text{mm}}{\text{day}}$)をさし引けば農業用水のうち58%が河川に直接還元していることがわかる。

一方、涵養源となる農業取水量は、常時使用水量のみで期別取水パターンの実測がない所から、四国農試1956年~59年の4年間の平均(農業土木ハンドブック)のパターン、及び常時使用水量から表-42に示す農業用水の取水パターンを作成した。さらに、このパターンに準じて涵養が行なわれるものとし、同様に涵養量パターンを示した。

* 松山工事事務所 地下水涵養実態調査報告書(昭和53年11月)

表-42 取水パターン及び水田涵養パターン

期 間	減 水 深	蒸発散及び還元量	涵 養 量	
6/11~6/20	mm/day 19.3	mm/day 123.2	mm/day 6.98	m^3/s 3.69
6/21~6/30	11.9	7.60	4.30	2.27
7/ 1~7/10	16.3	10.41	5.89	3.12
7/11~7/20	23.2	14.81	8.39	4.44
7/21~7/31	20.4	13.02	7.38	3.90
8/ 1~8/10	19.3	12.32	6.98	3.69
8/11~8/20	19.5	12.45	7.05	3.73
8/21~8/31	14.8	9.45	5.35	2.83
9/ 1~9/10	17.7	11.30	6.40	3.39
9/11~9/20	17.7	11.30	6.40	3.39
9/21~9/30	17.7	11.30	6.40	3.39
平 均 値	mm/day 18.3	mm/day 11.8	mm/day 6.5	m^3/s 3.44

$$\text{涵養量} = 728 \text{ mm} / 45.7 \text{ km}$$

(b) 河川、降雨による平地等の涵養

河川、降雨による平地等の涵養は、平地部の水収支より、(山地流出量-河川水からの涵養)+(平地降雨-降雨涵養)-消費水量=出合流量と表わすことが出来る。河川流量、平地降雨量と涵養量の間に一定の関係があるとすれば、各々の関係で推定を行ってゆくべきであろうが、詳細な資料が不足しているため、涵養量 = a (定数) × 出合流量で表わすこととする。(図-49)

ただし、水田からの浸透量は、水収支から得られた浸透量から先取りするものとする。また河川水及び降雨からの浸透量の上限を図-23の半旬流量の同時流量から $7.0 \text{ m}^3/\text{s}$ と設定した。上記式の a を 0.34 と仮定し出合流量約 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の総流出量に涵養量が比例するものとし、 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の場合は一率 $7 \text{ m}^3/\text{s}$ が涵養するものとした。

(5) 帯水層の利用可能容量の設定

当検討の流域水利用可能性の結論として水開発量と必要地下帯水層容量の関係を求めている。しかし、この結果はあくまでも平均的な議論であって、実際上はさらに詳細な検討が必要である。特に、現実には全帯水層容量を均一に水位を低下させ利用できるわけではなく、全容量 ($114 \times 10^6 \text{ m}^3$) の一部が利用できるにすぎない。ここでは、全容量に対するこの量の比率を帯水層利用効率というものとする。このため、この限界を知れば、それぞれの地下水利用方式による、開発水量の上限を求めることができる。この効率は帯水層特性以外に、井戸の本数、配置、構造などによっても左右され、これを含めた解析が必要である。ここでは詳細な検討は行わず、定常井戸理論による概略試算を行った。

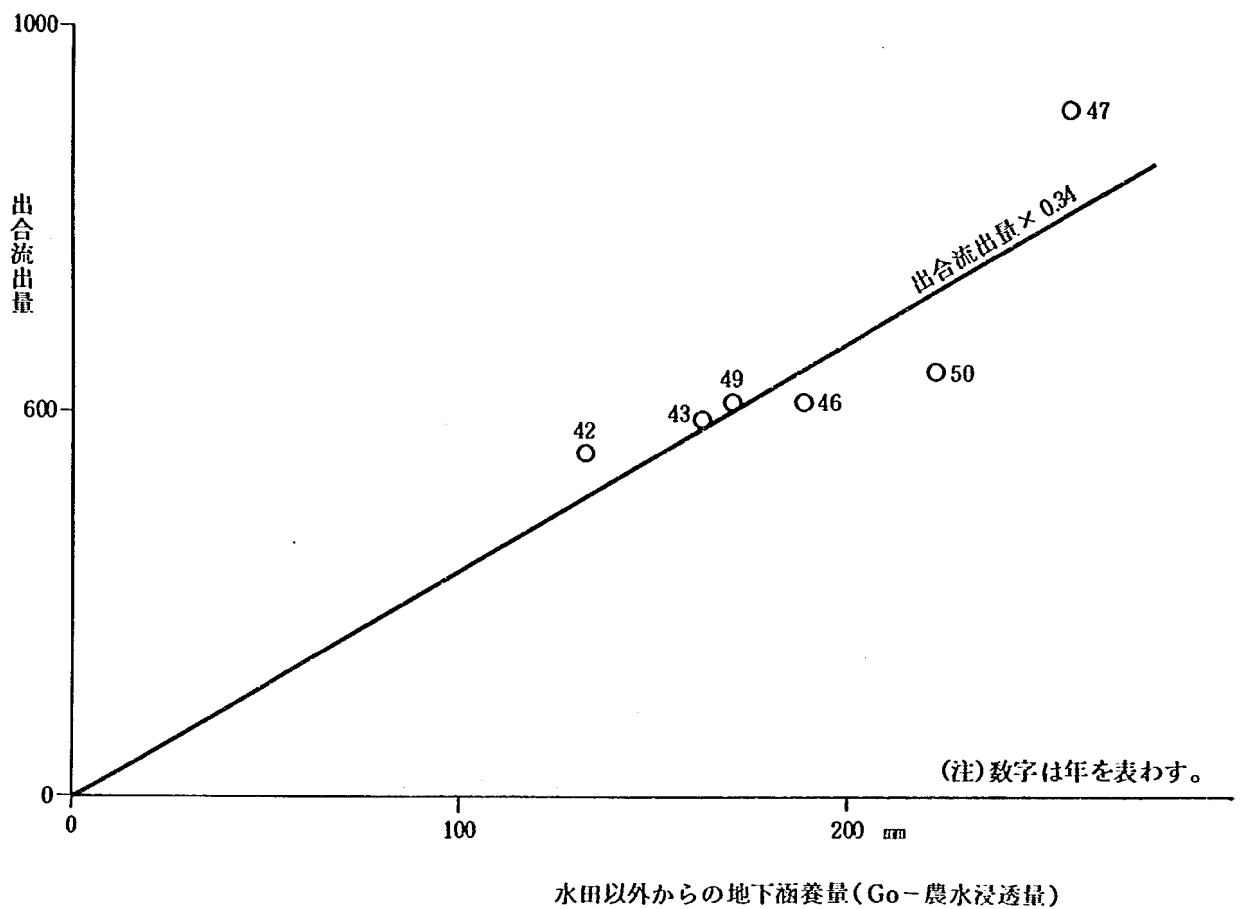


図-49 出合流出量と水田以外からの浸透量

1) 設 定 条 件

帯水層透水係数(K) 5×10^{-1} cm/s

帯水層厚(H) 10 m (自然水位変動により 1 ~ 2 m 低下する)

井戸構造 深さ 15 m、半径(r) 0.5 m (深さは余裕を含む)

影響半径(R) 2800 m

2) 可能揚水量

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{\pi K H^2}{\ell_n (P/r)} \\
 &= \frac{3.14 \times 5 \times 10^{-3} \times 15^2}{\ell_n (2800/0.5)} \\
 &= 0.43 \text{ (m}^3/\text{s)}
 \end{aligned}$$

帯水層利用効率(w)

$$W = \frac{Q}{4 \pi K H^2}$$

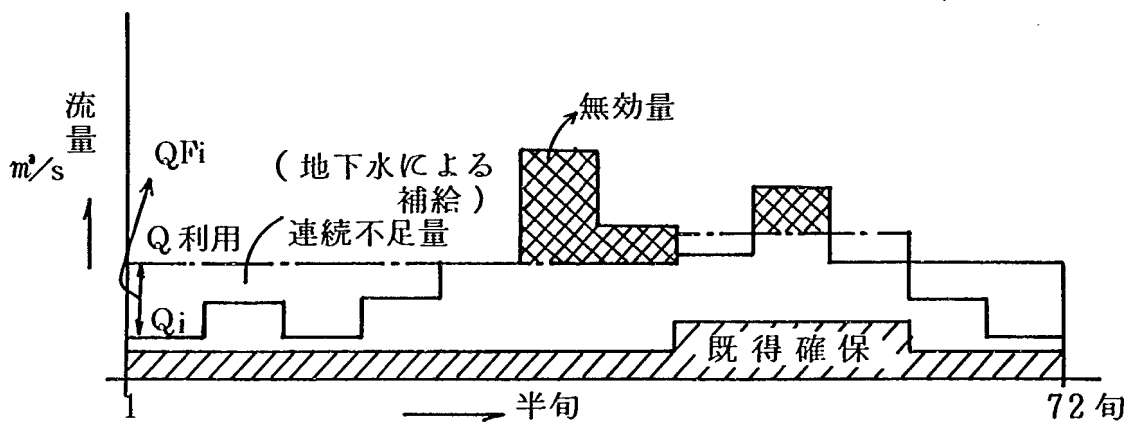
$$= \frac{0.43}{4 \times 3.14 \times 5 \times 10^{-3} \times (8^2 \sim 9^2)}$$

$$= 0.11 \sim 0.09$$

上記結果より帯水層効率は、ほぼ 0.1 程度と考えてよく $11 \times 10^6 \text{ m}^3$ が有効な帯水層容量と考えてよい。
(既存の利用量に加えての容量と考える。)残りの 9 割は井戸の配置を密にしたり、構造を工夫することにより利用可能な量に組み入れることは可能であるが限界はある。

5-3 表流水の利用可能量

表流水の利用可能量は、出合の流況から、次図のように概算した。



半旬に於ける不足量 (QF_i) とし、次式で不足量を求め、

$$QF_i = Q_i - (Q_{\text{確保}} + Q_{\text{利用}})$$

この連続不足量、あるいは年間総不足量を求め、これが開発施設の必要容量と仮定し、 Q 利用量と必要容量の関係を求めた。

さらに、無効流出率(d)=
$$\frac{\text{年総量} - \text{既得量} - \text{新規開発量} + \text{年総不足量}}{\text{年総流出量}}$$

とし、その無効率を算定し、表-43に結果を示す。

昭和41年～昭和50年の各年度で計算し、この内最大不足量が生起する昭和42年を対象に図-50に利用量～不足量～無効流出率の関係を図示した。同図には年総不足量が無効流出量から補給出来たとした場合の無効流出率も示す。

表 43(1) 出合地点表流水の豊水利用による不足量算定表

**は年総流出量 $\Sigma \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{日}$

単位 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)

農水利 年度 項目	0.5 m^3/s			1.0 m^3/s			1.5 m^3/s			2.0 m^3/s			3.0 m^3/s		
	不足日数 年総不足量	無効流出量 α	連 続 最大不足量	不足日数 年総不足量	無効流出量 α	連 続 最大不足量	不足日数 年総不足量	無効流出量 α	連 続 最大不足量	不足日数 年総不足量	無効流出量 α	連 続 最大不足量	不足日数 年総不足量	無効流出量 α	連 続 最大不足量
41** (4714.72)	15 0.38	0.89	0.23	15 1.03	0.86	0.66	20 1.71	0.82	1.09	31 2.66	0.78	1.58	74 6.59	0.70	2.96
42 (2897.38)	55 2.60	(0.691)* 0.83	2.60	91 5.63	(0.616) 0.76	5.61	111 9.96	(0.535) 0.70	9.33	140 15.31	(0.451) 0.64	13.05	227 30.87	(0.26) 0.51	20.86
43 (3256.68)	10 0.03	0.85	0.02	26 0.76	0.79	0.53	51 2.27	0.73	1.64	56 4.68	0.68	4.41	137 13.18	0.57	8.99
44 (3410.68)	41 0.75	0.85	0.52	101 4.00	0.80	2.81	22 8.85	0.75	8.85	133 14.40	0.69	14.12	154 26.92	0.59	24.66
45 (3296.67)	20 0.28	0.85	0.26	61 1.96	0.79	1.87	61 4.59	0.74	4.07	66 7.34	0.68	6.27	113 15.17	0.57	11.09
46 (3172.14)	5 0.12	0.84	0.12	20 0.61	0.78	0.47	61 2.32	0.73	1.41	81 5.35	0.67	3.36	158 16.14	0.75	8.79
47 (5406.58)	5 0.18	0.91	0.18	15 0.56	0.87	0.46	15 1.20	0.84	0.89	21 1.94	0.81	1.33	36 4.34	0.74	2.19
48 (3332.94)	0 0	0.85	0	15 0.30	0.80	0.27	40 1.58	0.74	1.15	55 3.70	0.69	2.02	101 10.19	0.58	4.18
49 (3730.13)	51 2.12	0.87	0.84	71 4.81	0.82	2.06	103 8.57	0.77	3.18	123 13.37	0.72	4.43	161 25.55	0.62	7.91
50 (3830.64)	5 0.29	0.87	0.29	26 1.15	0.82	0.50	31 2.48	0.77	0.93	62 4.34	0.73	2.89	124 12.38	0.63	6.22
S41~50年 平均	20.7 0.68	0.86	0.51	44.1 2.08	0.81	1.52	43.5 4.35	0.76	3.25	76.8 7.31	0.71	5.35	128.5 16.13	0.61	9.79
S41~50年 最大	55 2.60	0.83	2.60	101 5.56	0.76	5.61	9.96	0.70	9.33	140 15.31	0.64	14.12	227 30.87	0.61	24.66

* () 書きの無効流出率 = $\frac{\text{年総量} - \text{既得量} - \text{新規開発量}}{\text{年 総 量}}$

無効流出率(α) = $\frac{\text{年総量} - \text{既得量} - \text{新規開発量} + \text{年総不足量}}{\text{年 総 量}}$

表 43(2) 出合地点表流水の豊水利用による不足量算定表

単位 (× 10⁶ m³)

** は年総流出量 Σ m³/s・日

農 水 利用量 年 項 目 度	4.0 m ³ /s			5.0 m ³ /s			m ³ /s			m ³ /s			m ³ /s		
	不足日数	無効流出量	連 続	不足日数	無効流出量	連 続	不足日数	無効流出量	連 続	不足日数	無効流出量	連 続	不足日数	無効流出量	連 続
	年総不足量	α	最大不足量	年総不足量	α	最大不足量	年総不足量	α	最大不足量	年総不足量	α	最大不足量	年総不足量	α	最大不足量
41** (4714.72)	105 14.15	0.62	4.48	171 25.52	0.55	6.92									
42 (2897.38)	258 52.15	(0.052) 0.39	29.41	268 75.0	(-) 0.26	38.23									
43 (3256.50)	218 29.09	0.45	14.72	234 48.32	0.34	23.29									
44 (3410.68)	195 41.99	0.48	35.20	230 60.97	0.37	46.84									
45 (3296.67)	152 26.85	0.46	15.94	187 41.44	0.35	23.30									
46 (3172.14)	204 32.34	0.44	15.22	239 50.98	0.32	21.88									
47 (5406.58)	66 8.34	0.67	3.13	86 14.71	0.60	4.84									
48 (3332.94)	138 20.75	0.47	8.43	158 33.49	0.36	13.34									
49 (3730.13)	213 41.63	0.52	12.31	238 61.00	0.43	17.26									
50 (3830.64)	175 25.34	0.54	10.17	208 42.35	0.44	14.55									
S41~50年 平 均	172.4 29.26	0.50	14.90	201.9 45.38	0.40	21.05									
S41~50年 最 大	258 52.15	0.39	35.20	268 75.0	0.26	46.84									

* () 書きの無効流出率 = $\frac{\text{年総量} - \text{既得量} - \text{新規開発量}}{\text{年総量}}$

無効流出率 (α) = $\frac{\text{年総量} - \text{既得量} - \text{新規開発量} + \text{年不足量}}{\text{年総量}}$

〔昭和42年度〕

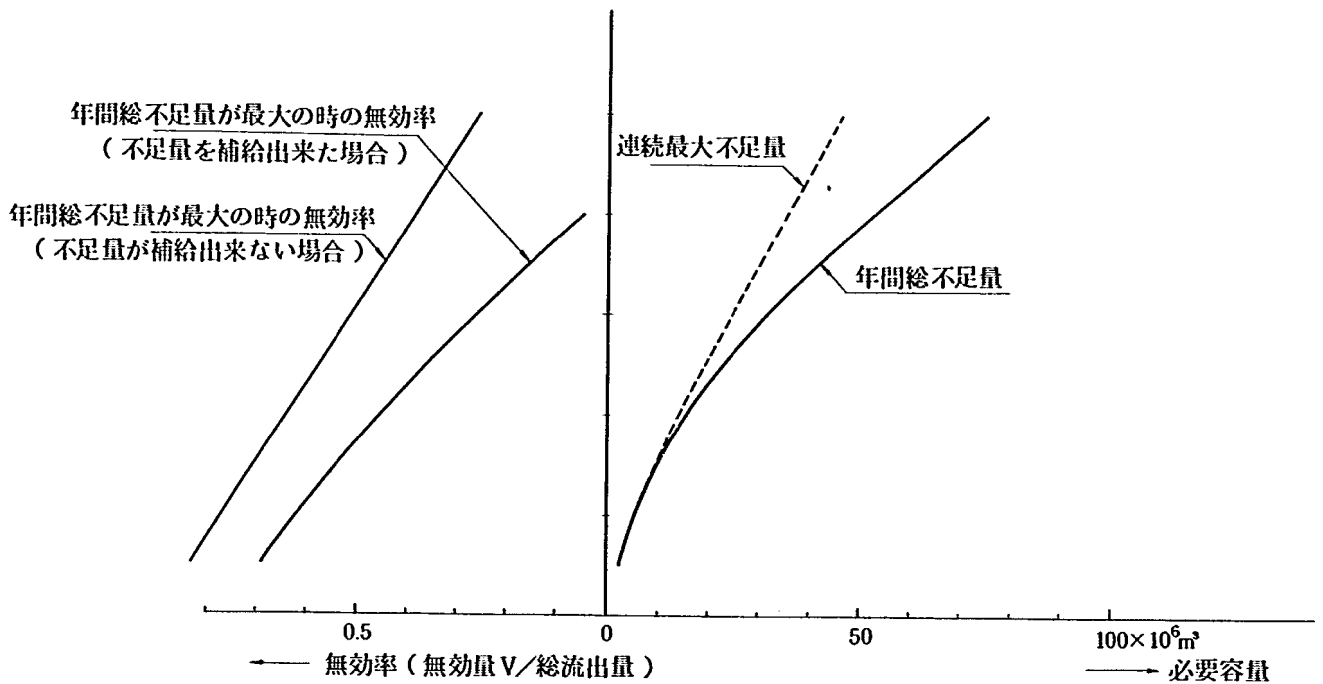
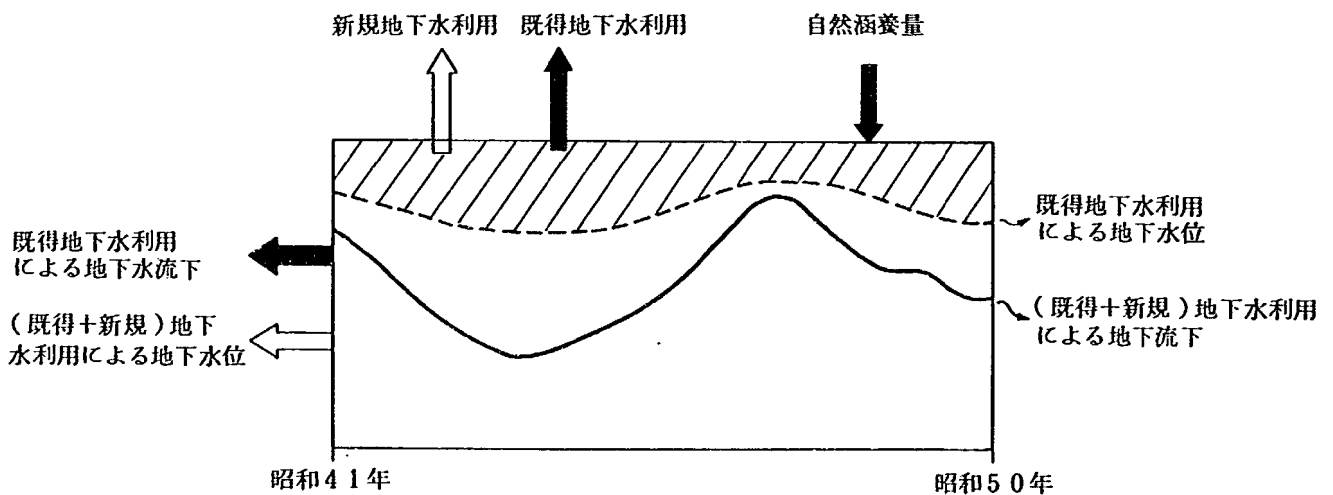


図-50 出合流量～施設容量～無効流量の関係図
(昭和41年～昭和50年間の最大値)

5-4 地下水のみの利用可能量

出合上流の帯水層を現状の地下水利用形態にしたがって表流水とは関係なく取水する。すなわち地下帯水層の容量のみで次図の概念図のように利用を行った場合の既得地下水利用に加えて新規可能量を検討する。



(1) 検討を行う場合の仮定

地下帯水層の利用上の仮定は前項(2)で整理した以下の

- ㊤ 既得地下水は、5-2(3)㊤を用いる。
- ㊦ 帯水層の容量は、5-2(3)㊦を用いる。
- ㊧ 地下水流下流量は、5-2(3)㊧に示す地下水位と流下量の関係を用いる。

④ 自然涵養量は、52(4)による方法で求める。条件により、新規地下水利用量を変えて開発計算を行う。開発計算方法は地上ダムと同様の手法とした。

(2) 利用可能量の検討

地下水の新規利用量を表-44に示す利用量で検討を行い帯水層の10年間の最大空容量を同表に示す。

(計算数値表は別冊資料に示す) 地下帯水層の運用結果を図-51に図示する。

一方、帯水層の利用可能容量は、利用条件の設定5-2(5)項で概算を行い、新規利用容量 $11.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ を設定している。これより新規開発量は $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度となる。

表-44 地下水のみの利用可能量検討表

ケースNo	新規開発量	最大空容量	適用
1	(m^3/s) 0	($\times 10^6 \text{ m}^3$) 2 3 5 4 0	
2	0.5	3 1 3 7 8	
3	1.0	3 9 2 6 4	
4	1.5	4 9 2 2 3	

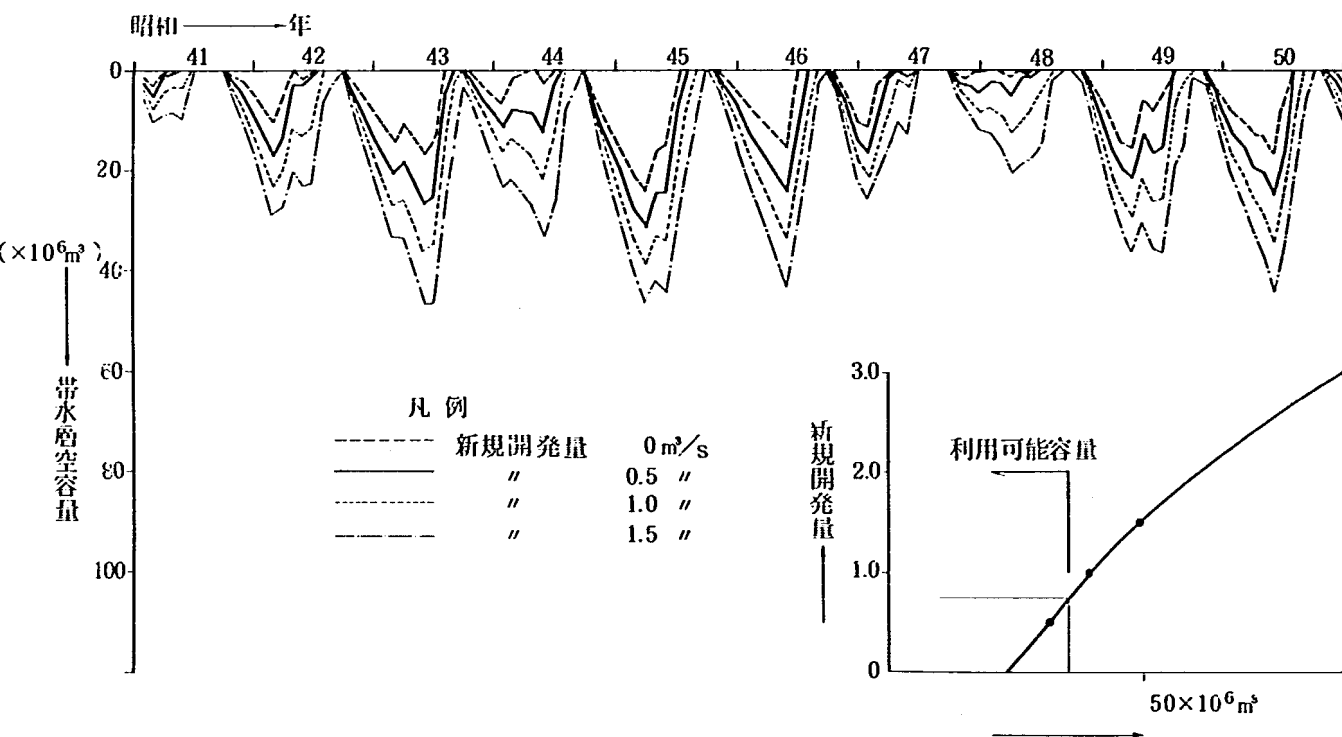
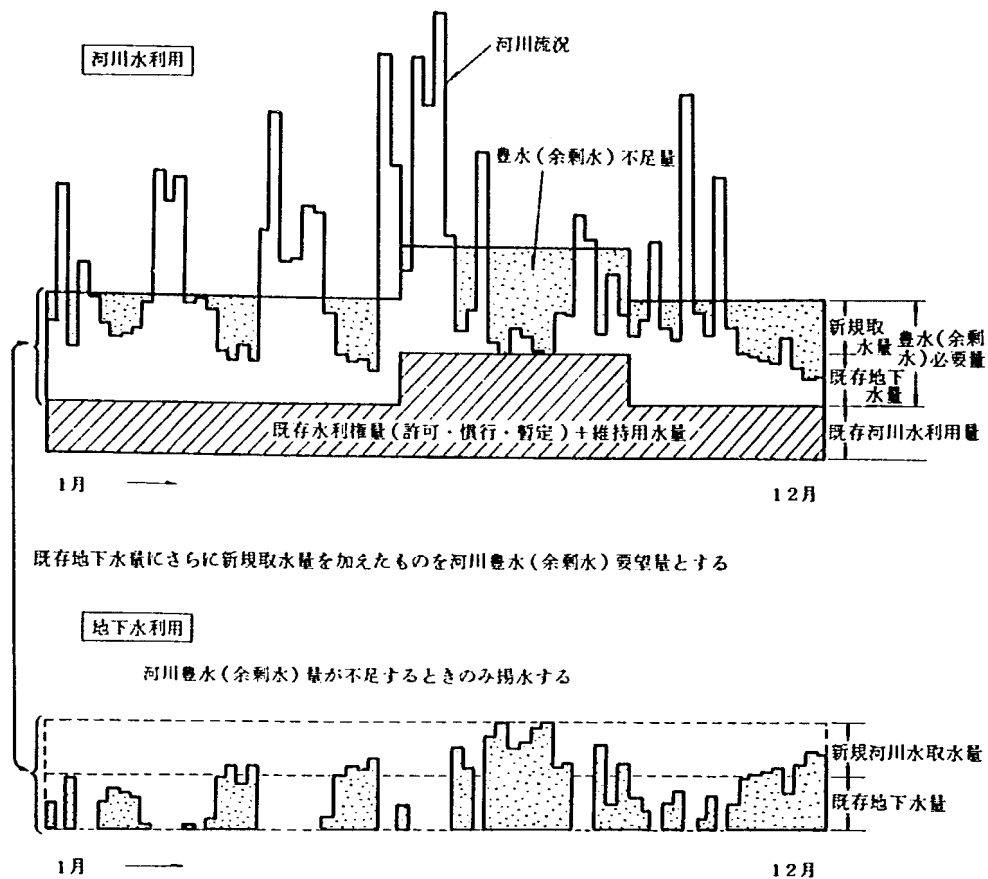


図-51 帯水層のみ利用した場合の運用図

5-5 表流水と地下水の連結利用による可能量

表流水の豊水量を利用し、表流水が少なく不足する時、その不足量のみ地下の帯水層から取水する方式で新規開発量の検討を行う。



(1) この検討を行う場合の仮定と検討結果

地下帯水層の利用上の仮定は、5-4(1)と同様とする。ただし、地下水の新規利用量は以下のように設定する。

㊦ 地下水の新規利用量は

$0 \geq (\text{表流水} - \text{新規開発量})$ のとき その不足量

$0 \leq (\text{表流水} - \text{新規開発量})$ のとき 0

このような仮定の上で、新規開発量を表-45に示す利用量で検討を行った。この結果、地下帯水層の運用結果を図-52に図示し、帯水層の10年間の最終空容量を表-45に示す。

帯水層の利用可能容量を5-2(5)で述べたように新規利用容量として $11.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ とすれば、新規開発量は約 $1.75 \text{ m}^3/\text{s}$ である。

表-45 表流水と地下水の連結利用の利用可能量検討表

ケースNo	新規開発量 (m^3/s)	最大空容量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	適用
1	0.0	23,540	表44より
5	0.5	24,289	
6	1.0	27,927	
7	1.5	32,592	
8	2.0	37,554	
9	3.0	48,229	

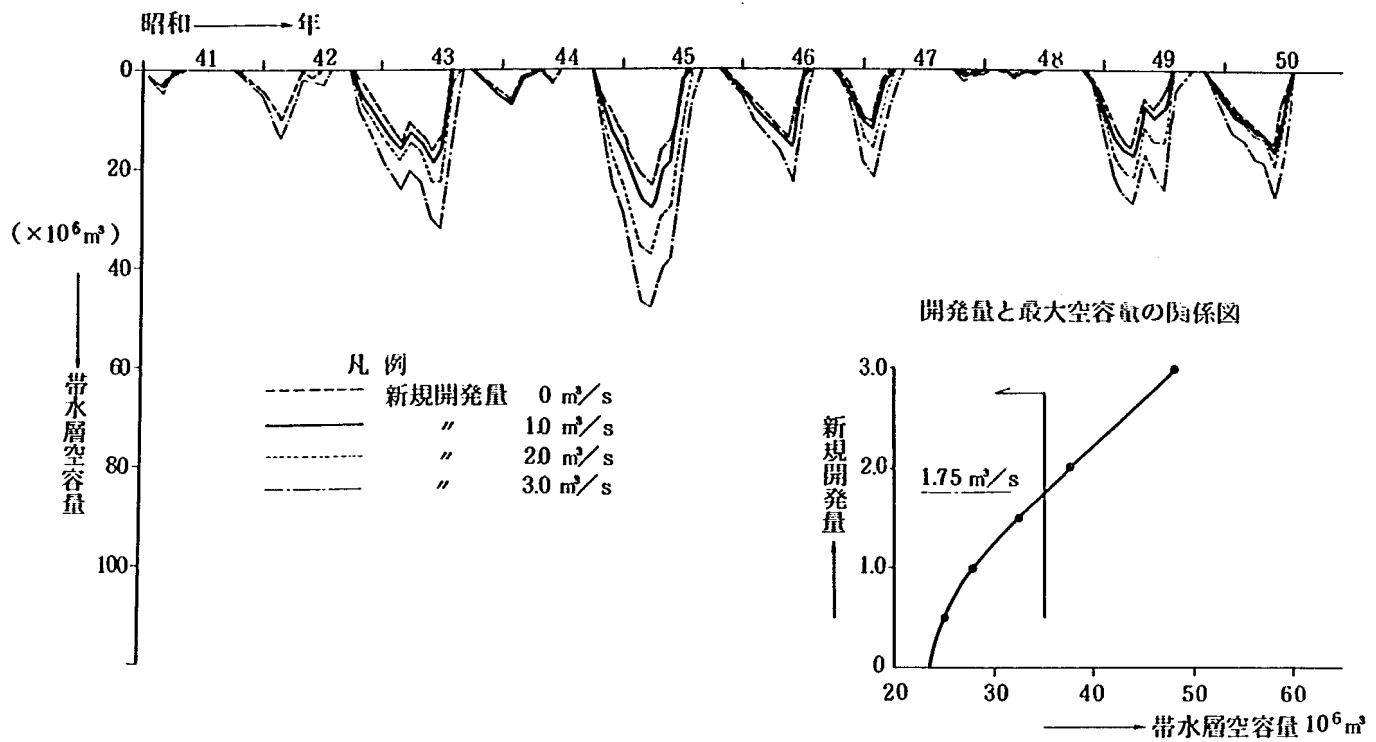
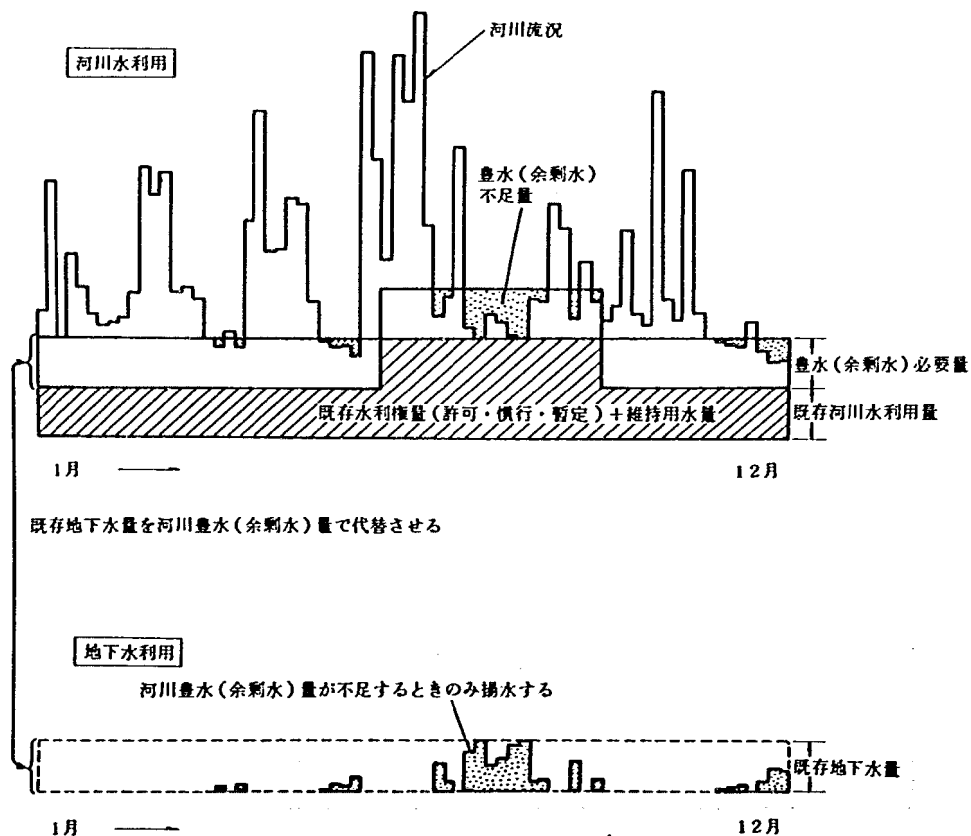


図-52 表流水と地下水の連結利用をした場合の運用図

5-6 既得地下水の運用を考慮した表流水と地下水の連結利用による可能性

現在、地下帯水層から上水道用水、工業用水道用水、農業用水の既得権があり取水されている。この取水も河川水が豊水の場合は、河川水から取水し不足時のみ地下帯水層から取水する方式で行い、さらに新規開発量も同様の方法で行った時の利用可能量の検討を行う。



(1) この検討を行う場合の仮定と検討結果

地下帯水層、表流水利用上の仮定は、5-2(3)で整理した仮定と合せ次のように行う。

- (a) 既得地下水は表流水の豊水を利用し不足量のみ地下帯水層から利用
- (b) 帯水層の容量は5-2(3)㊦を用いる。
- (c) 地下水流下流量は、5-2(3)㊧に示す、地下水位と流下量の関係を用いる。
- (d) 自然涵養量は5-2(4)による方法で求める。
- (e) 地下水の新規既得を合せた利用量は、(a)項と合せ

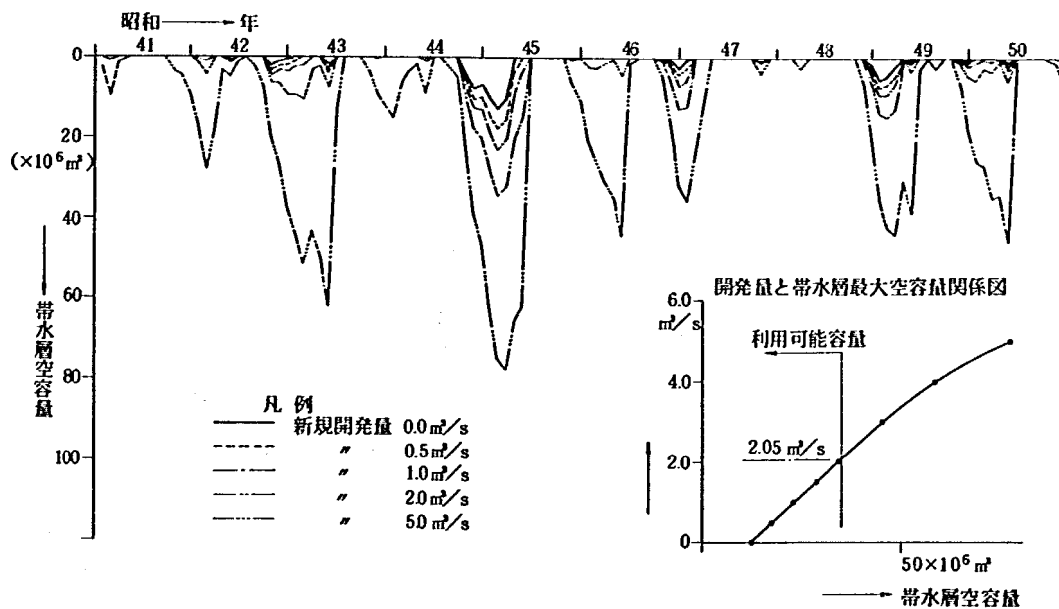
$0 > (\text{表流水} - (\text{地下水既得量} + \text{新規開発量}))$ のとき その不足量

$0 < (\text{表流水} - (\text{地下水既得量} + \text{新規開発量}))$ のとき 0

この様な仮定の上で、新規開発量を表-46に示す利用量で検討を行った。この結果、地下帯水層の運用結果を図-53に示す。帯水層の10年間の最大空容量を表-46に示す。帯水層の新規利用可能量を(2)-cで述べたように $11.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ とすれば新規開発量は約 $2.05 \text{ m}^3/\text{s}$ である。

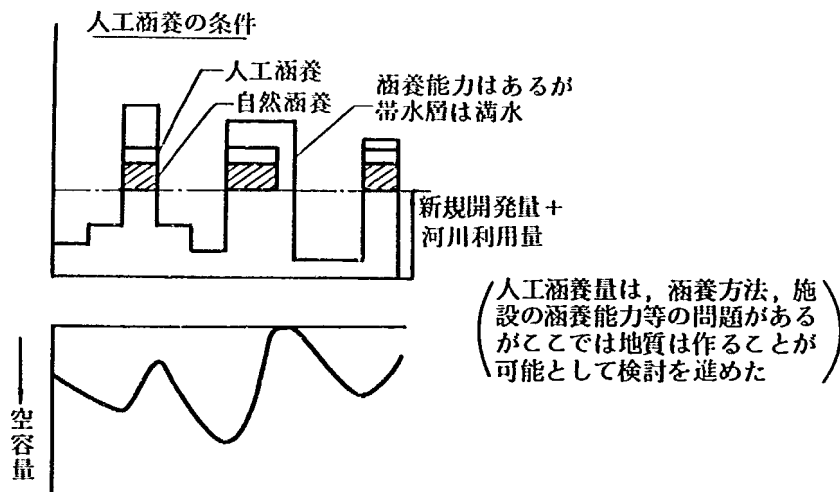
表-46 既得地下水の運用を考慮した表流水と地下水の連結利用方式による

ケースNo	新規開発量 (m^3/s)	最大空容量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	適 用
10	0 (+地下水既得)	12.728	
11	0.5 (+地下水既得)	17.781	
12	1.0 (+地下水既得)	23.033	
13	1.5 (+地下水既得)	28.561	
14	2.0 (+地下水既得)	34.261	
15	3.0 (+地下水既得)	45.734	
16	4.0 (+地下水既得)	58.438	
17	5.0 (+地下水既得)	77.693	



5-7 地下水の人工涵養を考えた表流水・地下水の連結利用

ここでは、表流水と地下水の連結利用の方式として、5-4、5-5、5-6に述べた方法があるが、5-6の状態ですらに人工的涵養を河川の豊水が残っている時に人工涵養を行うものと仮定して検討を進める。



(1) この検討を行う場合の仮定と検討結果

人工涵養と表流水、地下水の連結利用の組合せは

- ① 5-6で行った検討に $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ の人工涵養
- ② 5-6で行った検討に $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ の人工涵養

とし、新規開発量を表-47に示す利用量で検討を行った。この結果、地下帯水層の運用結果を図-54、55に示す。また帯水層の10年間の最大空容量を表-47に示す。

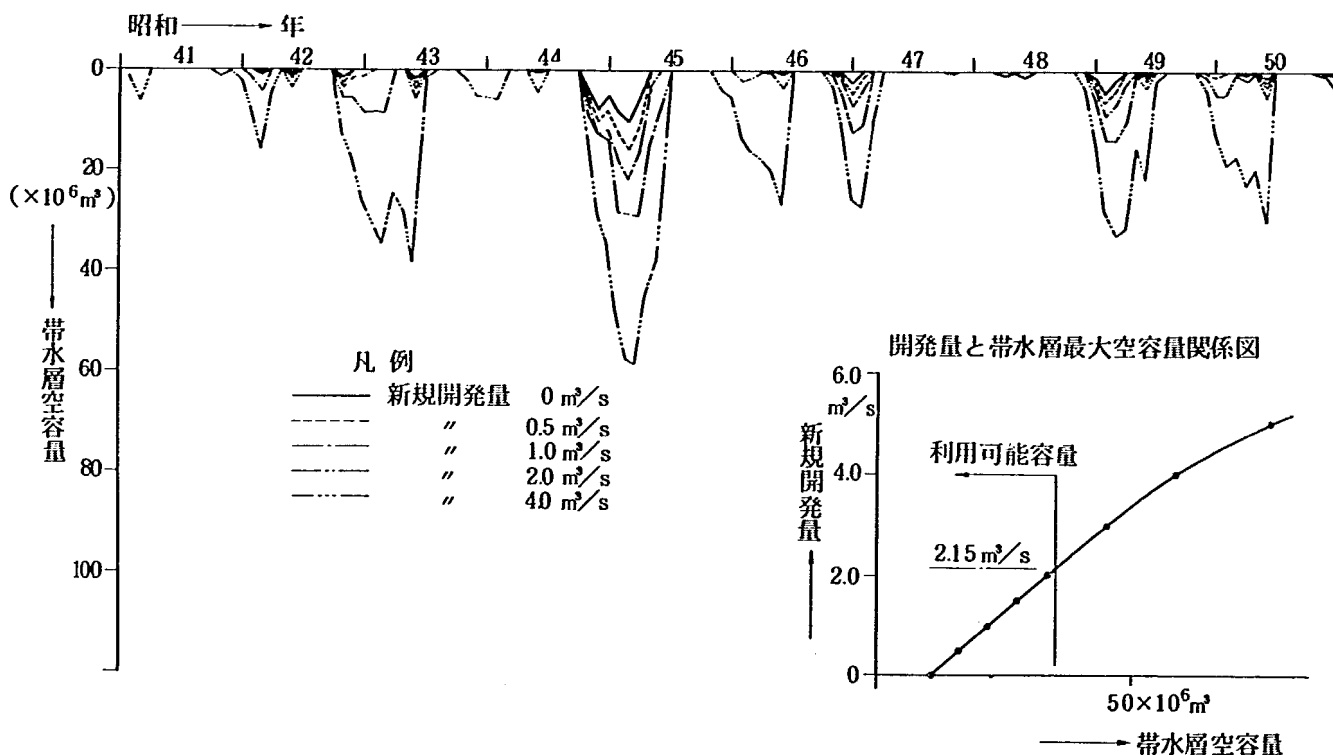


図-54 地下水の涵養を考え既得地下水の運用を考えた表流水地下水の連結利用した場合の運用図

表-47 地下水の人工涵養を考えた表流水・地下水の連結利用方式による

ケースNo	新規開発量 (m^3/s)	最大空容量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	人工涵養量	適 用
18	0.0	11.025	1.0	(6)の連結方式 ・既得地下水も表流水から取水し、不足量のみ地下水
19	0.5	16.352	1.0	
20	1.0	21.959	1.0	
21	1.5	27.695	1.0	
22	2.0	33.432	1.0	
23	3.0	45.312	1.0	
24	4.0	58.381	1.0	
25	5.0	77.693	1.0	(6)の連結方式 ・既得地下水は地下水から取水
26	0.0	9.948	2.0	
27	0.5	15.484	2.0	
28	1.0	21.129	2.0	
29	1.5	27.066	2.0	
30	2.0	33.010	2.0	
31	3.0	45.254	2.0	
32	4.0	58.381	2.0	
33	5.0	77.693	2.0	

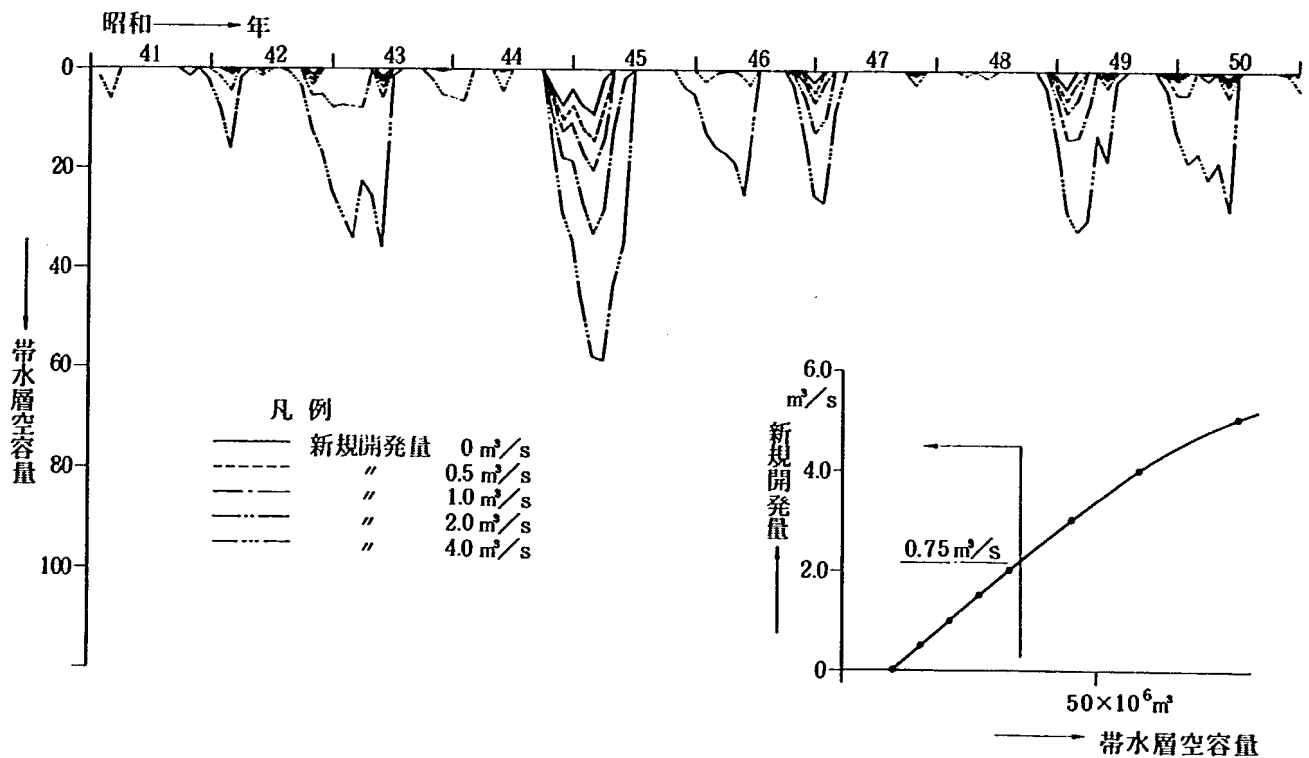


図-55 地下水の涵養を考え、表流水と地下水の連結利用した場合の運用図

帯水層の新規利用可能量を5-2(5)で述べたように $11.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ とすれば新規開発量はいずれも約 $2.15 \text{ m}^3/\text{s}$ である。

5-8 流域水利用の可能性

当流域の現況における水の利用率は、表流水、伏流水、地下水を含めた水収支から75%に達しており、すでに高度な水の利用がなされている。

さらに、当流域の水利用計画として、松山市では昭和57年度を目標に $68000 \text{ m}^3/\text{日}$ の新規地下水取水計画（第3次拡張計画）を決定し、現在このための事業を推進中である。ここでは、前節までの水利用現況、地下水の利用方式等の結果を合せ、事業計画を推進中である $68000 \text{ t}/\text{日}$ に対し、より地下水位等への影響が少ないと判断される利用計画を提案するものである。

地下帯水層内の地下水の利用方式として

- (A) 地下帯水層のみによる開発
- (B) 新規開発量を表流水の豊水から取水し、不足量を地下帯水層から取水する表流水と地下水の連結利用による開発
- (C) 既得地下水・新規開発量も表流水の豊水から取水し、不足量を地下帯水層から取水する地下水の運用を考えた表流水と地下水の連結利用による開発
- (D) (C)の方法で地下水への涵養を考えた場合
- (E) Bの方法で地下水への涵養を考えた場合

の方式で、新規開発水量と地下帯水層の空容量の関係を検討したが、これを取りまとめれば、表-48、図-56となる。

1日最大能力 $68000 \text{ m}^3/\text{日}$ ($= 0.787 \text{ m}^3/\text{s}$) より、1日平均取水量は松山市の実積取水量で（最大給水量 $= 1.25 \times 1$ 日平均給水量）となっている所から、 $54400 \text{ m}^3/\text{s}$ ($= 0.63 \text{ m}^3/\text{s}$) として地下水位、水位変化量を見れば表-48の様に利用方式を高度にする程、地下帯水層の空容量は少なくなる。今後の地下水開発はともかくとして、現況の地下水取水で顕著な取水の悪影響が発生していない所から、松山市の新期勧発に対して(C)の対策までは考慮しなくても良いと判断される。しかし、(A)と(B)と比較した場合、空容量の変化による地下水及び周地への悪影響は今後十分の調査を待つ必要があるが、当解析の変化水位は地下水が平均的に下がると仮定しての変化量であり(B)の対策によって出来るだけ現況を変えない方が良いと判断される。

図-57には、今後の利用検討の資料とし地下帯水層の利用可能量と利用方式と新規開発量との関係を図示した。

表-48 流域水利用の可能性の検討〔計算ケース、条件〕表

ケース No	地下水の利用方法	表流水 既 得	地下水 既 得	自然涵養	人工涵養	新規開 発 量	豊水の上 限 取 水 量	最大空容量
1	(A) 地下帯水層のみ利 用	現 況	現 況	現 況	行なわず	0.0	0.0	$\times 10^6 \text{ m}^3$ 23.540
2		現 況	現 況	現 況	行なわず	0.5	0.0	31.378
3		現 況	現 況	現 況	行なわず	1.0	0.0	39.264
4		現 況	現 況	現 況	行なわず	1.5	0.0	49.223
5	(B) 表流水と地下水の 連結利用	現 況	現 況	現 況	行なわず	0.5	0.5	24.289
6		現 況	現 況	現 況	行なわず	1.0	1.0	27.927
7		現 況	現 況	現 況	行なわず	1.5	1.5	32.593
8		現 況	現 況	現 況	行なわず	2.0	2.0	37.554
9		現 況	現 況	現 況	行なわず	3.0	3.0	48.229
10	(C) 既得地下水の運用 を考えた表流水、 地下水の連結利用	現 況	豊水へ移行	現 況	行なわず	0.0	地下既得 +0.0	12.728
11		現 況	豊水へ移行	現 況	行なわず	0.5	0.5	17.781
12		現 況	豊水へ移行	現 況	行なわず	1.0	1.0	23.033
13		現 況	豊水へ移行	現 況	行なわず	1.5	1.5	28.561
14		現 況	豊水へ移行	現 況	行なわず	2.0	2.0	34.261
15		現 況	豊水へ移行	現 況	行なわず	3.0	3.0	45.734
16		現 況	豊水へ移行	現 況	行なわず	4.0	4.0	58.438
17		現 況	豊水へ移行	現 況	行なわず	5.0	5.0	77.693
18	(D) 地下水の涵養	現 況	豊水へ移行	現 況	1.0 m ³ /s	0.0	地下既得 +0.0	11.025
19		現 況	豊水へ移行	現 況	1.0 m ³ /s	0.5	0.5	16.352
20	既得地下水の運用 を考えた表流水・ 地下水の連結利用	現 況	豊水へ移行	現 況	1.0 m ³ /s	1.0	1.0	21.959
21		現 況	豊水へ移行	現 況	1.0 m ³ /s	1.5	1.5	27.695
22		現 況	豊水へ移行	現 況	1.0 m ³ /s	2.0	2.0	33.432
23		現 況	豊水へ移行	現 況	1.0 m ³ /s	3.0	3.0	45.312
24	〔(C)+涵養〕	現 況	豊水へ移行	現 況	1.0 m ³ /s	4.0	4.0	58.381
25		現 況	豊水へ移行	現 況	1.0 m ³ /s	5.0	5.0	77.693
26	(E) 地下水の涵養を考 えた表流水・地下 水の連結利用	現 況	現 況	現 況	2.0 m ³ /s	△	△	9.948
27		現 況	現 況	現 況	2.0 m ³ /s	0.5	0.5	15.484
28		現 況	現 況	現 況	2.0 m ³ /s	1.0	1.0	21.129
29		現 況	現 況	現 況	2.0 m ³ /s	1.5	1.5	27.066
30		現 況	現 況	現 況	2.0 m ³ /s	2.0	2.0	33.010
31		現 況	現 況	現 況	2.0 m ³ /s	3.0	3.0	45.254
32		現 況	現 況	現 況	2.0 m ³ /s	4.0	4.0	58.381
33		現 況	現 況	現 況	2.0 m ³ /s	5.0	5.0	77.693

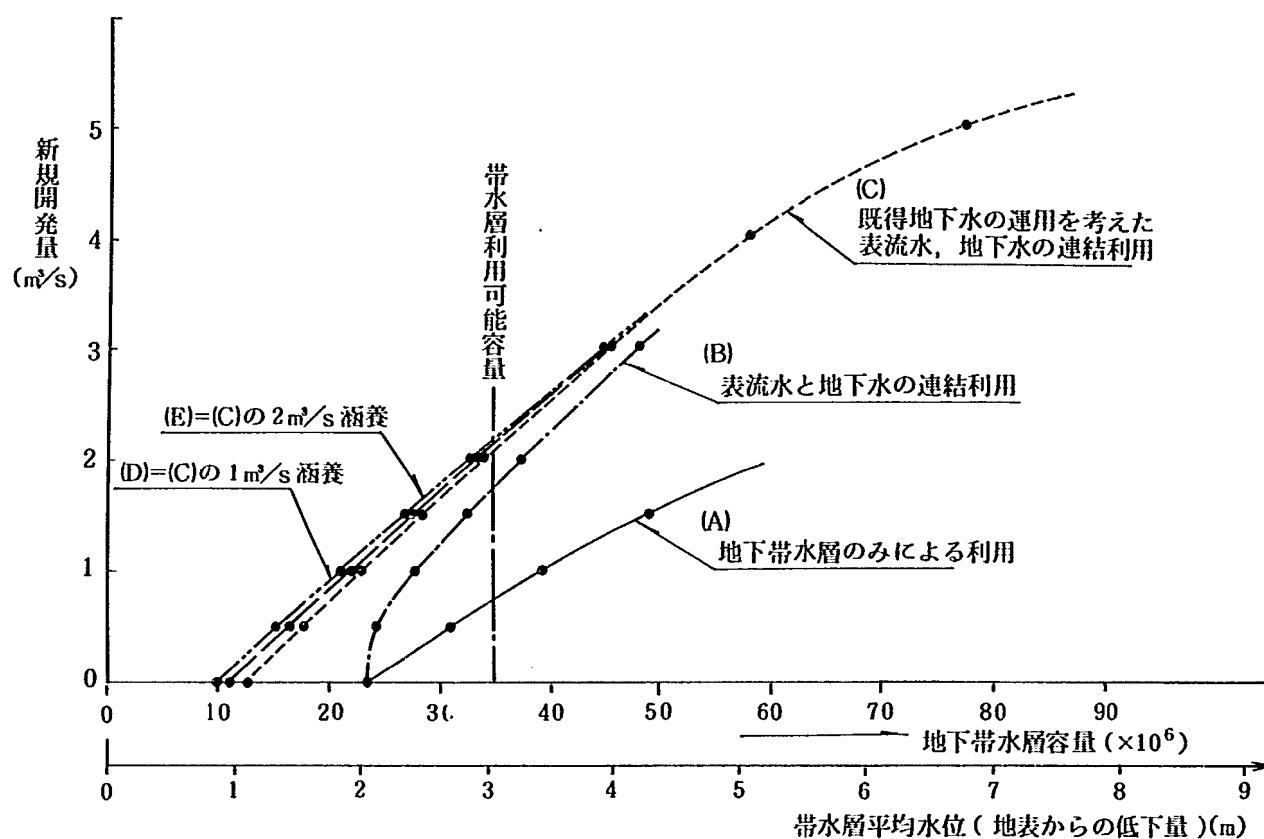


図-56 流域水利用の可能性の検討結果図

表-49 新規開発量 $0.63 \text{ m}^3/\text{s}$ の利用方式と地下水低下の関係

利用方式	最大空容量 $\times 10^6 \text{ m}^3$	地下水位 化量 m	現況との差	
			最大空容量 $\times 10^6 \text{ m}^3$	変化水位 m
現況	23.5	2.06	—	—
(A) 地下帯水層のみによる利用	33.0	2.89	-9.5	-0.83
(B) 表流水と地下水の連結利用	25.0	2.19	-1.5	-0.13
(C) 地下水の運用を考えた表流水 地下水の連結利用	19.0	1.67	+4.5	+0.39
(D) 涵養を考えた(C)の利用	17.5	1.54	+6.0	+0.52
(E) 涵養を考えた(B)の利用	16.5	1.45	+7.0	+0.61

注) 変化水位で-は水位低下, +は水位上昇を表わす。

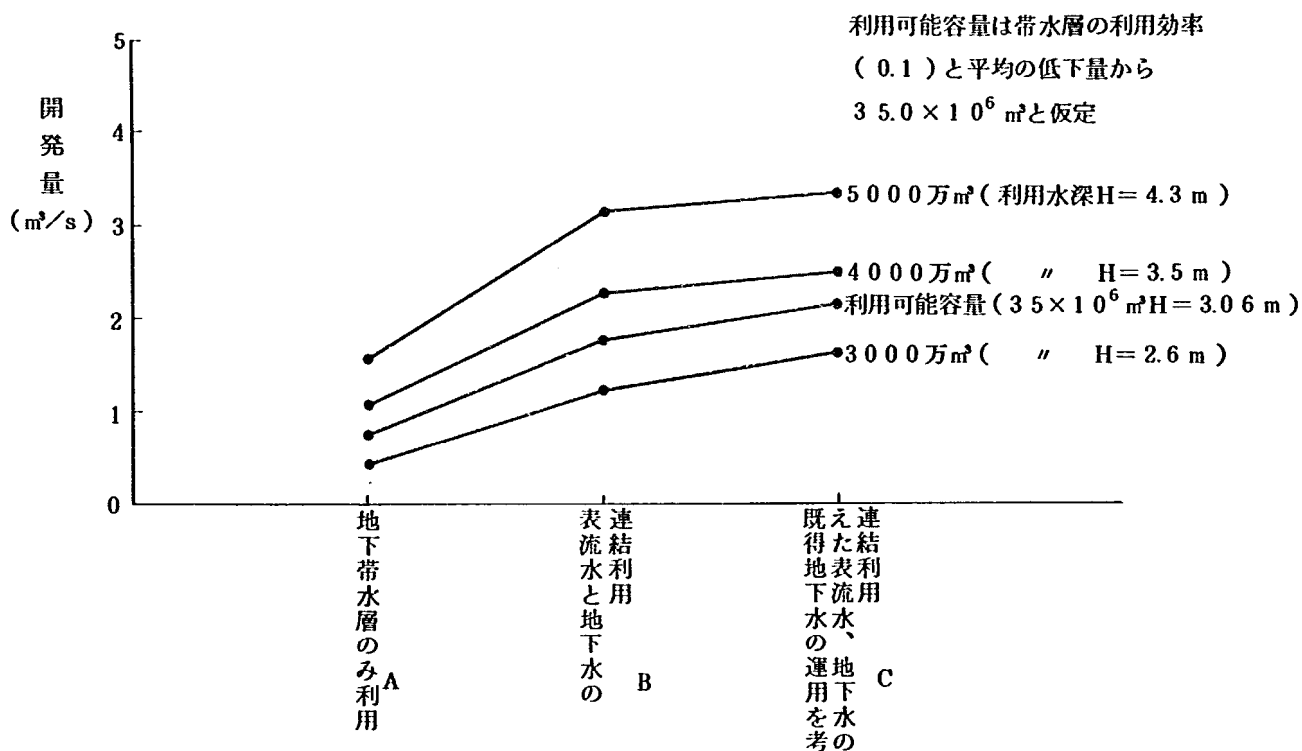


図-57 帯水層利用可能容量に於ける利用形態の比較

5-9 表流水の取水懸案地点の特性

表流水と地下水の連結利用方式を進める場合、表流水の取水地点は、どこが適切であるか問題となる。ここでは大きく

(i) 流況の特性

(ii) 水質の特性

から、表流水の取水位置の検討を行う。

① 流況の特性

表流水の取水懸案地点として、流域の中・下流部を考える。流量観測が行なわれているのは、湯渡、西林寺、和泉、久谷、砥部川、高尾田、出合地点であり、この観測所の昭和41年～昭和50年の流

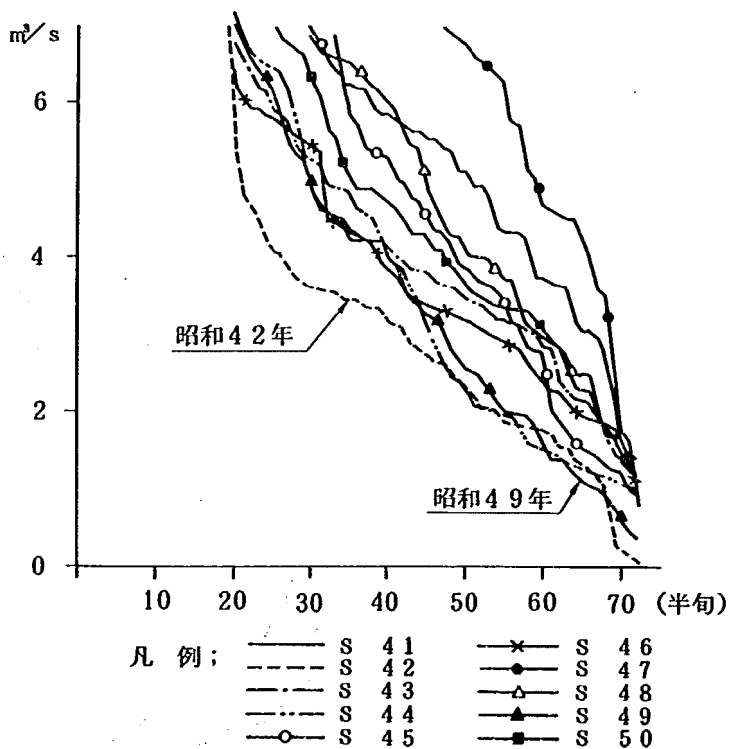


図-58 重信川出合地点流況比較図

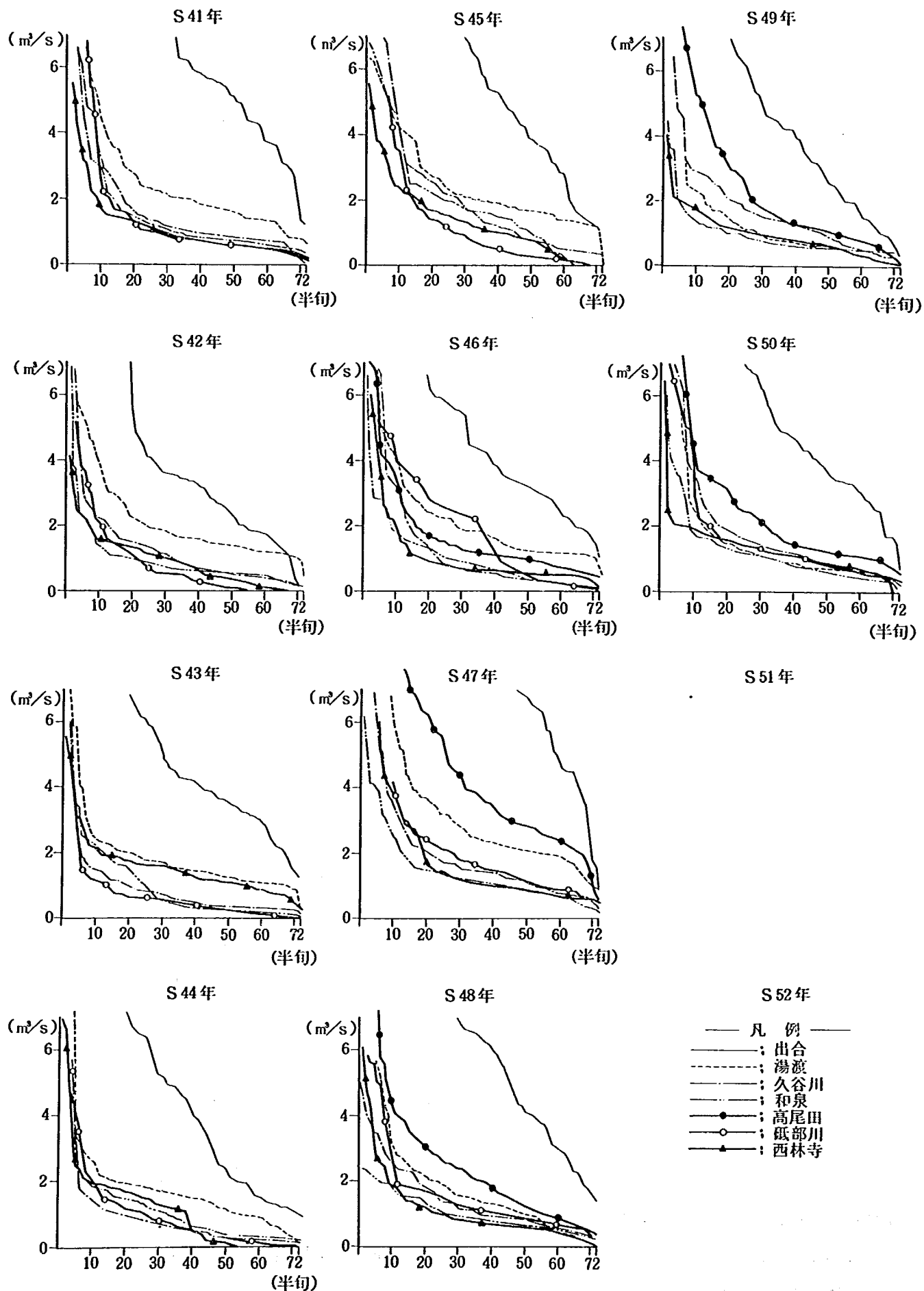


図-59 重信川各年度流況比較図(支川別)

量資料で特性の検討を行う。

とくに出合地点の各年度の流況を図-58に示し比較した。これより、表流水の豊水利用（貯留施設を持たない取水）を行う時、取水の不足量が出ると考えられる低水、渇水流量の比較で見れば、昭和42年、49年の流況が悪い。よって影響が出る地点は、ダム完成後の流況に修正を行った。また図-59は年別に各支川の流況を整理したものである。これより、量の比較として低水流量を昭和42年、昭和49年で比較すれば表-50の様に量の多い順で見れば、(1)出合、(2)高尾田、(3)湯渡、(4)久谷川、(5)和泉、(6)西林寺と砥部川を除きほぼ集水面積の順位である。

表-50 低水流量の比較表

地 点	観測所面積 km ²	昭和42年度		昭和49年度		昭和42・49年の平均値	
		低水流量	順 位	低水流量	順 位	低水流量	順 位
出 合	445.3	1.89	1	2.05	1	1.97	1
高 尾 田	—	(0.90)*	3	0.98	2	0.94	2
湯 渡	105.3	1.29	2	0.55	5	0.92	3
砥 部 川	53.0	0.02	7	(0.03)** 欠 測	7	0.03	7
久 谷 川	39.0	0.52	4	0.68	3	0.60	4
和 泉	31.6	0.48	5	0.58	4	0.53	5
西 林 寺	14.4	0.20	6	0.48	6	0.34	6

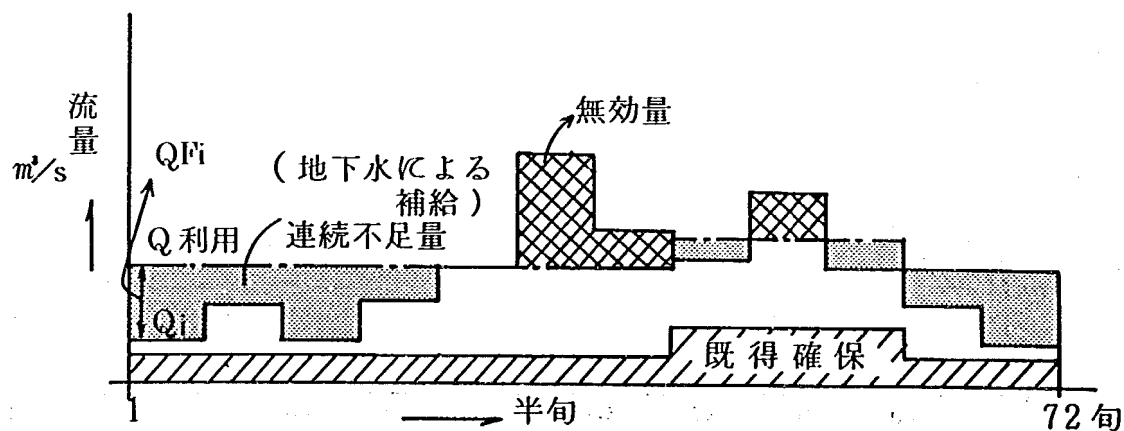
* 出合との49年の比で補填

** 久谷川との42年の比で補填

(i) 表流水の豊水利用による不足量

前節の(3)の表流水利用可能量と同様に、表流水の豊水量から取水を行った時の不足量を各地点求め比較することとする。但し、各地点を比較するためここでは既得確保量は無いのと仮定して行っている。

年総不足量を昭和41年～昭和50年の平均値で各地点の比較すれば、図-60となり、不足量の少な



い順位は、(1)出合、(2)高尾田、(3)湯渡、(4)久谷川、(5)西林寺、(6)和泉、(7)砥部川となる。しかし松山市の上水新規開発量 = $0.63 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度で比較すれば(4)~(6)は同じ程度である。

昭和41年~50年の間で年総不足量が最も大きい年度(ほぼ昭和42年)で比較すれば図-61となり傾向は同じ様である。

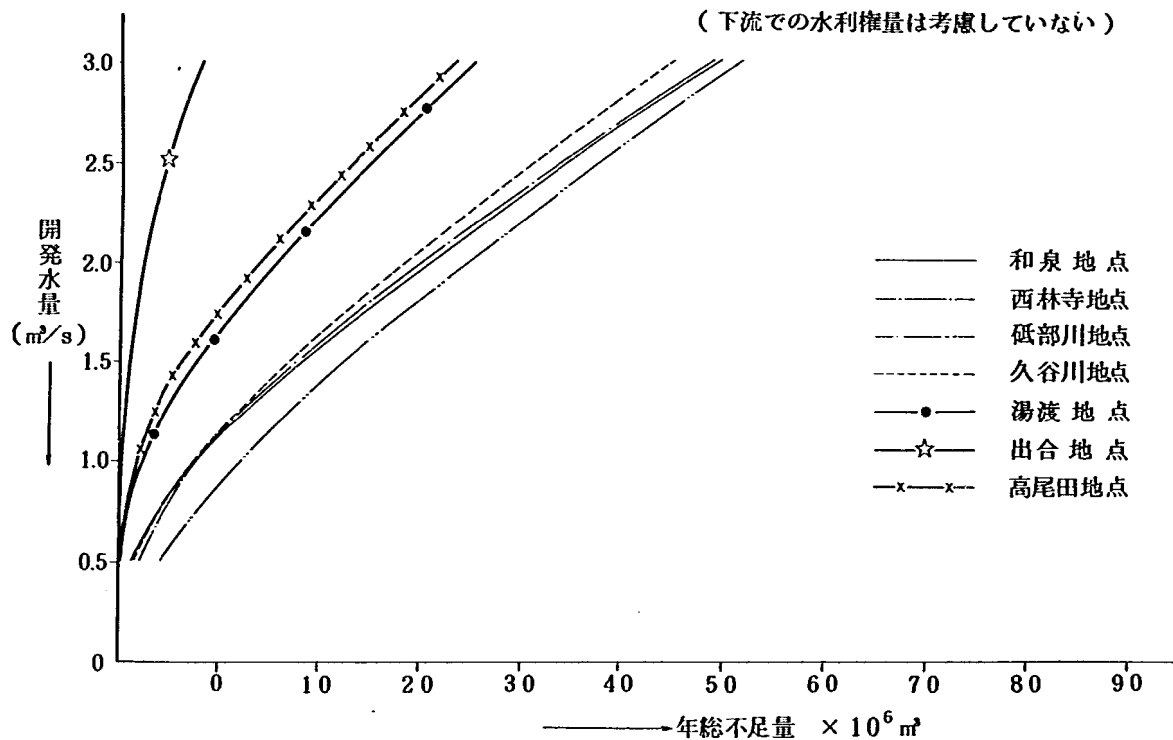


図-60 表流水利用による開発水量~不足量 (S41~50年平均)

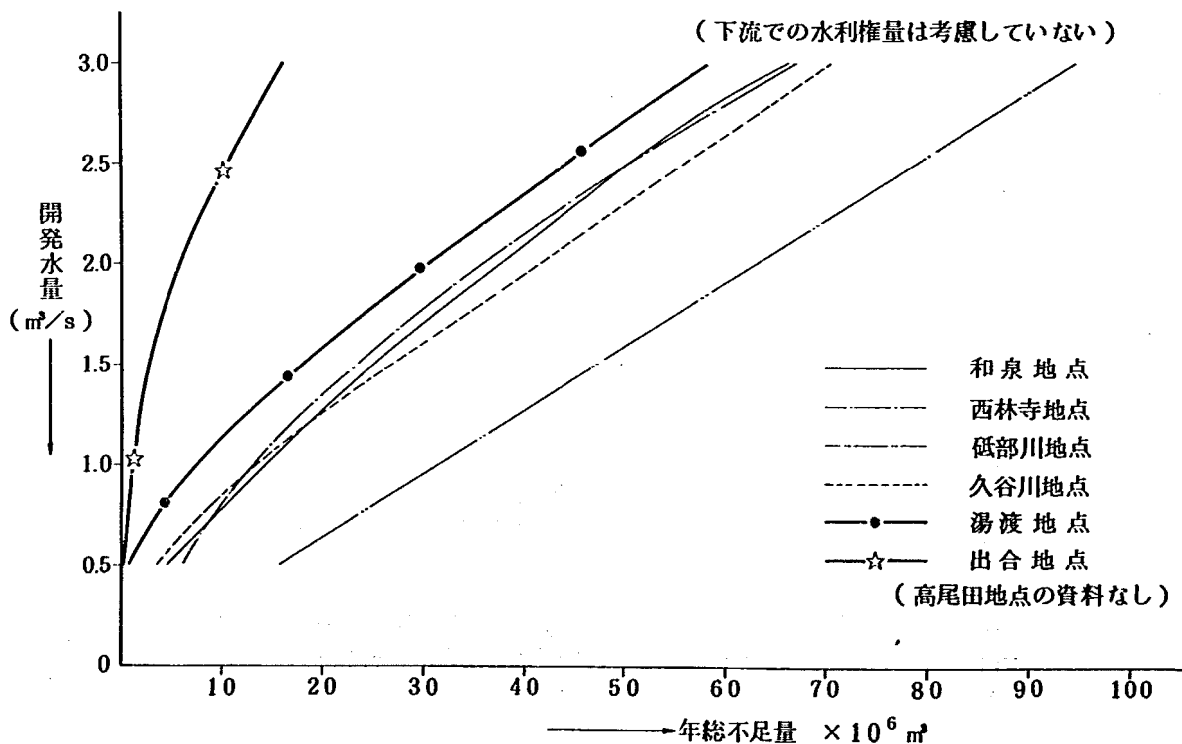


図-61 表流水利用による開発水量~不足量 (S41~50年の最大値の年度=昭和42年)

② 水質の特性

(a) 現況の水質

当河川の水質は、建設省松山工事々務所、愛媛県、松山市で図-62示す位置で測定されている。測定結果は「公共用水域の水質測定結果」(愛媛県)にまとめられており、同報告書より当河川の昭和50年～昭和52年の水質(B.O.D)観測結果より図-63には、この水質の河川縦断方向の変化の分布を示す。同図を見れば、当然の事ながら下流部に行く程水質は悪化する。

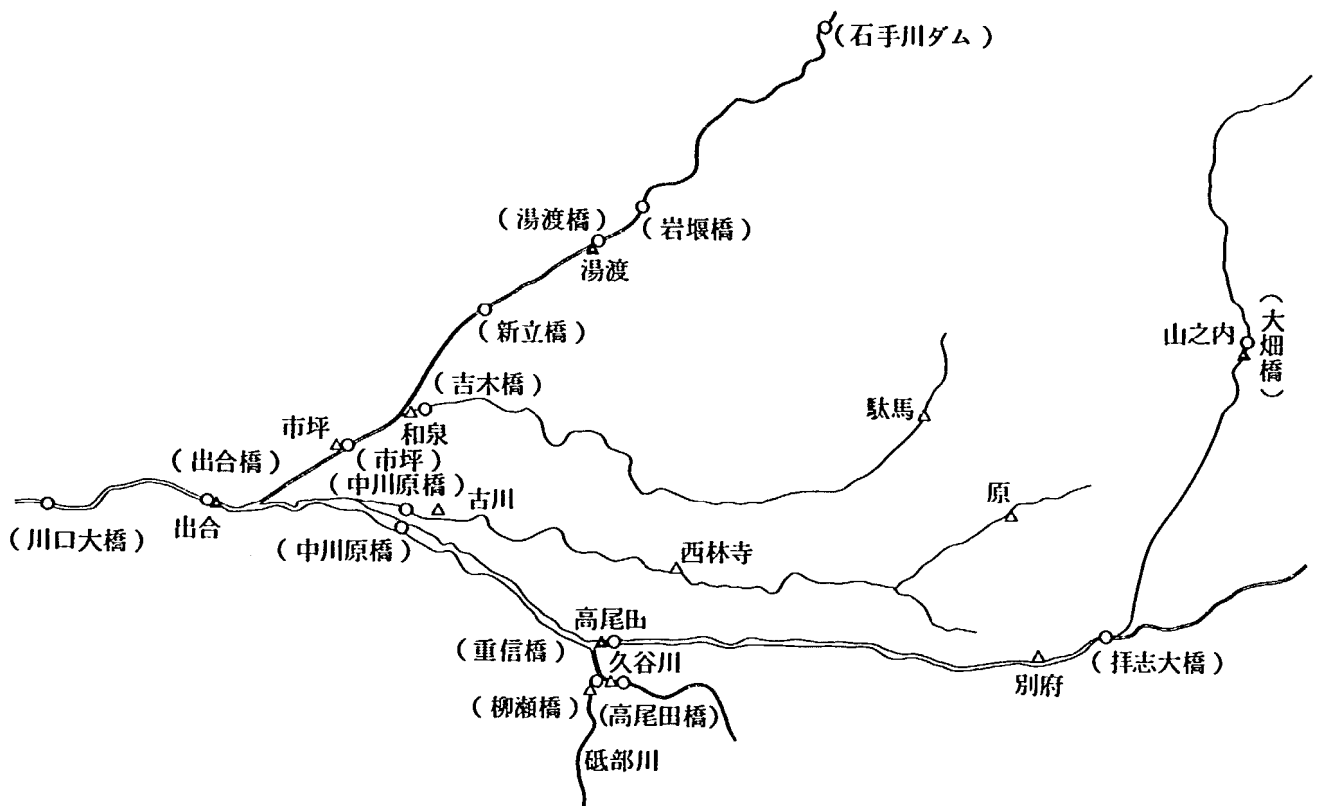


図-62 重信川水質測定位置図

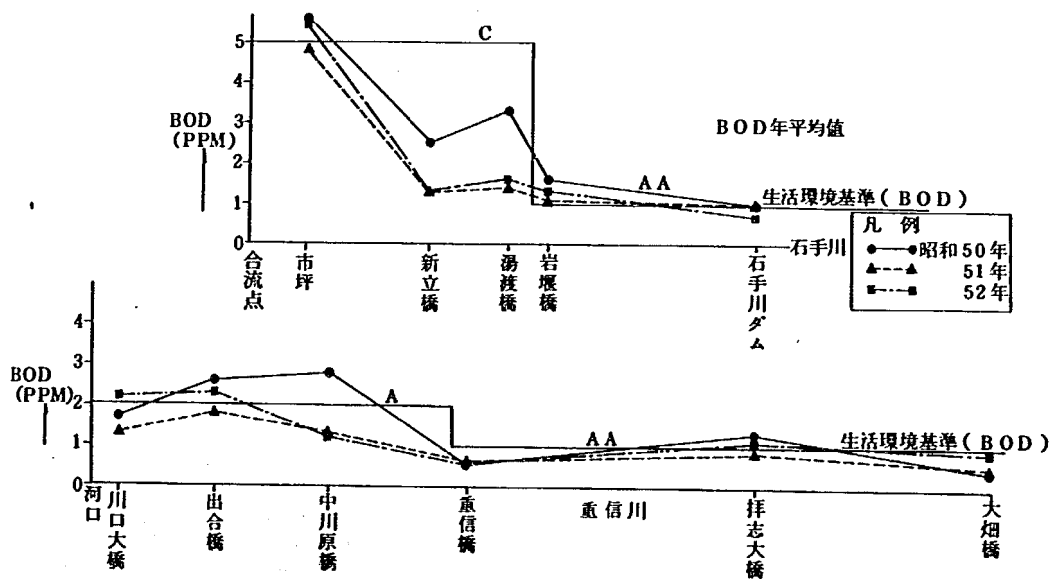


図-63 重信川水質縦断図 (BOD年平均值)

(b) 取水による水質の変化

ここでは、表流水の水質の変化を、単純に地点流量の混合率として推算する。

$$\text{混合率} = \frac{Q_1 \times \text{BOD}_1 + (Q_2 - \text{取水}) \times \text{BOD}_2}{(Q_1 + Q_2 - \text{取水})}$$

ただし Q_1 、 Q_2 はそれぞれ支川流量、 BOD_1 、 BOD_2 は支川BOD値である。

(i) 地点流量の設定

モデル的地点流量として昭和50年度の低水流量を用いる。各地点（湯渡、小野川、高尾田、久谷川、砥部川、内川）の総和は、 $4.45 \text{ m}^3/\text{s}$ になり出合の $3.37 \text{ m}^3/\text{s}$ と差が有る。出合地点を基準とし、流量に連続性を持たせるため、各地点の値を表-51の様に修正した。

表-51 昭和50年地点別低水流量表

地 点	低 水 流 量	補正後低水流量
高 尾 田	$1.11 \text{ m}^3/\text{s}$	$0.84 \text{ m}^3/\text{s}$
久 谷 川	0.69	0.52
砥 部 川	0.67	0.51
内 川	0.79	0.60
湯 渡	0.69	0.52
小 野 川	0.50	0.38
出 合	3.37	3.37

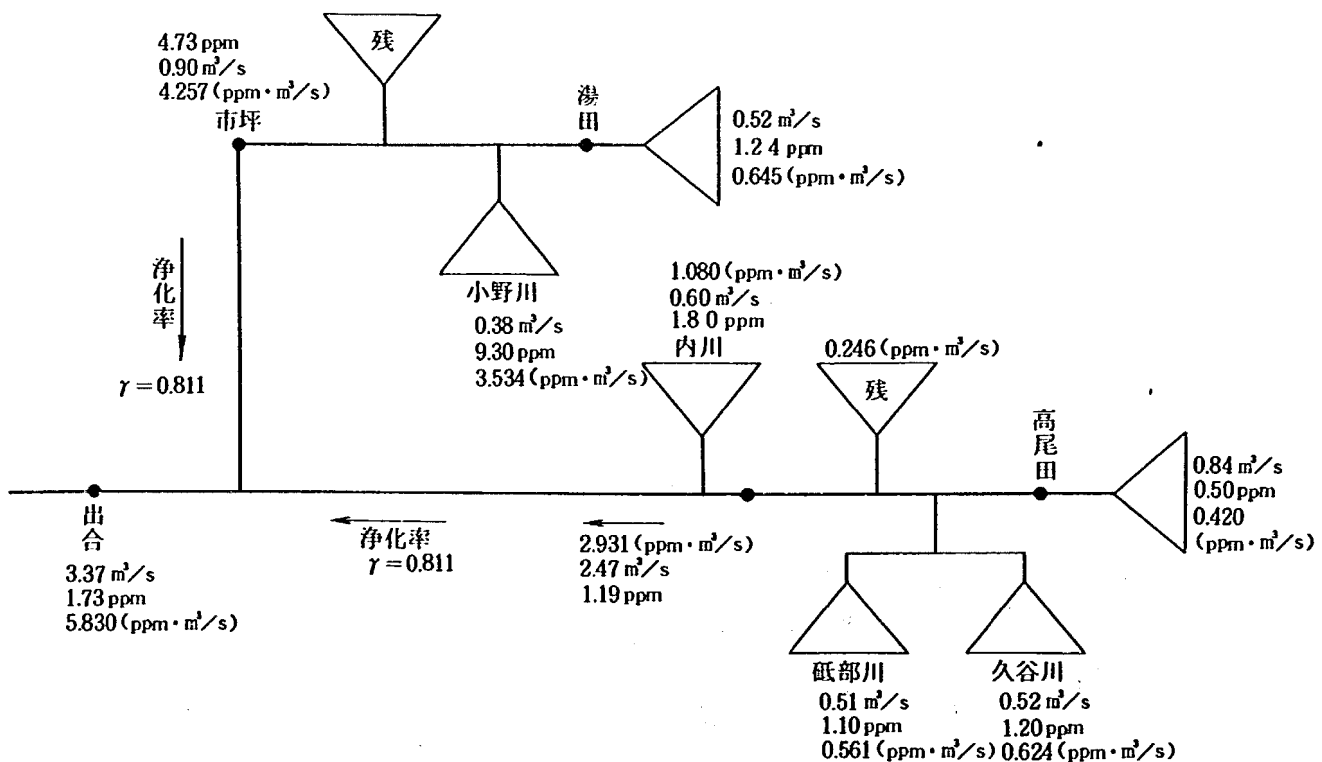


図-64 $Q \times \text{BOD}$ (負荷量) の模式図 (現況)

(ii) 取水に伴う変化

各地点の水質は、昭和52年度の測定結果の流量による加重平均値として求めた。また各地点の低水流量は(i)で求めた値とし、各地点のこれらの関係を模式的に図-64に示す。ここに、流量で連続性を持たせたが、 $Q \times \text{BOD} = (\text{負荷量})$ では連続性が無くなるので、地点の差を残流域により発生させている。

一方、取水量として、 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ を仮定し、水質の変化を求め表-52に示す。この結果、当然のことながら、良い水質の水を取水すれば、出合地点の水質が悪化し、悪い水質の水を取水すれば出合地点の水質は良くなる。

表-52 取水地点・取水量による出合地点の水質変化表

取水地点	取水量 (m^3/s)	取水の水質	出合地点水質
高尾田	0.5	0.50 (ppm)	1.96 (ppm)
	0.8	0.50	2.14
久谷川	0.5	1.20	1.86
砥部川	0.5	1.10	1.88
中河原橋	0.5	0.99	1.89
	1.0	0.99	2.12
	1.5	0.99	3.05
内川	0.5	1.80	1.78
内川合流後	0.5	1.19	1.86
	1.0	1.19	2.05
	1.5	1.19	2.34
湯渡	0.5	1.24	1.86
小野川	0.3	9.30	1.16
市坪	0.5	4.73	1.36
	0.9	4.73	0.96
出合	—	1.76	1.76

③ 取水地点の総合検討

表流水取水地点選定に関する種々の懸案事項として、

- ① 表流水の豊水利用量が多いこと
- ② 取水水質、取水後の河川水質の問題
- ③ 既設取水施設との関係及び施設計画上の問題
(地下水の取水地点と豊水の取水地点及び水利用地域の関係)
- ④ 将来の流域下水道計画との関係
- ⑤ 豊水取水による地下水への影響
- ⑥ 経 済 性

が上げられる。これらの具体的計画時には、各方向からの十分な比較検討が必要と考えられる。

本節で検討した水質の問題については、当然のことながら取水水質が良ければ出合の水質が悪くなる。このため、水質に関しては取水する場合、下流部の浄化対策等について今後配慮する必要がある。

地下水の低下に対して最も影響が多いのは豊水利用量が多いことであり、不足量の観点（下流の水利権は考慮していない）から、少ない順に設定すれば、出合、高尾田、湯渡、久谷川、西林寺、和泉、砥部川、地点となる。

取水位置への選定は、2～3地点の組合せによる表流水取水とか、前述のように多方面からの検討を用いるが、豊水流量が多く、水質問題の地下水の低下の波及範囲が比較的少ない供給地に近いことを合せて出合地点から取水するのが望ましいと判断される。

6. 予想される影響

6-1 概 要

地下水の利用は一般に井戸による取水によって行われる。この際、帯水層の規模に比較して井戸の密度が小さい場合、たとえば厚さと広がりがともに大きい帯水層から、限られた井戸で取水するときには取水を停止すれば井内水位は初期の状態まで回復するのは早い。

しかし、井戸が密集し、かつ長期間取水を継続する場合には、井内水位の低下は、著しいものとなり取水が完全に停止しても水位は初期の状態に回復するには、極めて時間がかかる。このような、水位低下に伴い、地下環境だけでなく地上環境にも影響をおよぼすものと考えられる。このため、地下水利用計画をたてるに当たっては、事前に対象地域に生じると予想される影響について検討を行い、この結果を計画に組み入れるとともに、十分な対策をたてておく必要がある。地下水利用調査のフロー例を図-65に示す。また影響調査

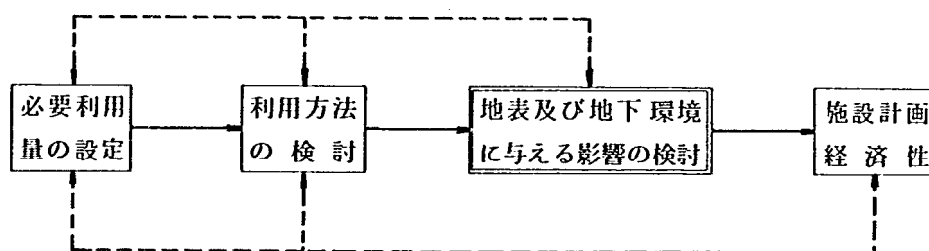


図-65 地下水利用調査のフロー例

として必要な主要調査項目をあげた例を表-53に示す。この他、遊水壁を伴う地下ダムや人工涵養を行う場合には、地下水位の上昇や地下水質などの調査が必要となる。これらとは別に、地上取水、浄水、導水施設に伴う影響については一般の環境アセスメントが考慮されることは言うまでもない。以下ここでは、表-53に示した項目に従って重信川での事例と対応させながら、影響の可能性の概略検討を行う。本調査にあつては、さらに詳細な検討が必要であり、十分な現地調査と計画との対応をはかるべきである。

表一 53 地下垂開発に伴う影響調査項目例

調査検討目的	調査事項
特定の開発量による影響量	(1) 開発量による開発地域の地下水位の変化 (2) 影響範囲（地域） (3) 地下水の低下に伴う影響事象の想定 (a) 地下水位低下と地盤沈下の関係 (b) 地下水位低下に伴う湧出量の変化 (c) 周辺井戸の井戸がれ (d) 河口部地下水の塩水化 (e) 地下水の流向の変化 (f) 植生等への影響 (4) 地下水低下による自然涵養量の変化に伴う影響の想定 (a) 地下水位と表流水の関係 (b) 表流水の変化と水質の関係
開発量と影響量の関係	(1)～(4)の事項と開発量の関係
開発可能量	(1) 地下水位の回復及び影響の度合による開発限界の検討 (2) 開発コスト

6-2 地下水位低下について

広域範囲で複数の井戸を用いて地下水取水を行う場合を考えよう。この場合、同量の取水を井戸の本数を少なくし、1本の井戸から多量の取水を行う場合には、それぞれの井戸周辺の水位低下は著しいが、取水地区外への影響は小さい。しかし、配列よく多数の井戸で少量ずつ取水する場合には、井戸周辺の地下水位低下は比較的小さいが、地区外への影響は遠くおよぶ。またまた、総量が同じ取水を行う場合でも、短期間で集中取水と、長期をかけての取水について同様なことがいえる。

以上の地下水取水の水位変化特性は、重信川流域でも同様であり、取水量を少なくすることはもちろん、断続的な取水が帯水層の効率的な利用につながり、影響も少ないと考えられる。すなわち有効な地下水利用を行う場合、取水施設及び運用に関して次の事項が重要な要素になる。

- ① 取水井の本数及び配置
- ② 連続取水期間

なお、地下水位低下予測を行なう際に、これらに加えて地下帯水層特性やかん養特性から総合的に検討されるべきである。

(1) 影響範囲

地表からの涵養が少なく、帯水層特性が均一な場合、地下水取水による水位低下は四方に広がる。この影響範囲の大きさは、帯水層の透水係数、有効間隙率、帯水層厚、取水期間などに左右される。（取水量はあまり大きく影響しないことが知られている。後述）ここで、影響範囲とは、取水により地下水位低下がほとんど及ばなくなるまでの取水地点からの距離を言い、ここでの検討ではWeberの式を主として用いた。

図-67は、重信川流域の帯水層特性をモデル的に設定し、取水井1本につき、取水維持時間と影響範囲の拡大を示したものである。（地下水の自然流動方向による影響範囲の方向差は無視した）複数の井戸による取水による水位低下範囲の推定は上記に加えて群井理論で求めることができる。特に、取水地区周辺への影響範囲は一番外側の井戸の条件によってほとんど決まるため、図-67がそのまま利用できる。

たとえば、本流域で既存井戸配置である河川に沿った線状井戸配置の場合、影響範囲は带状に広がり、（図66参照）、この巾は、同様に取水維持期間に応じて図-67より求まる。（ただし井戸列を線水源と考えると $\frac{2}{3} \sim \frac{24}{3}$ となるが、ここでは安全側を見る）この範囲に河川等があり、地下水と河川水の間に不透水層がなければ、地下水位低下により河川水量の減少を招く。市営取水井群の影響範囲は重信川本川まで達していると考えてよい。

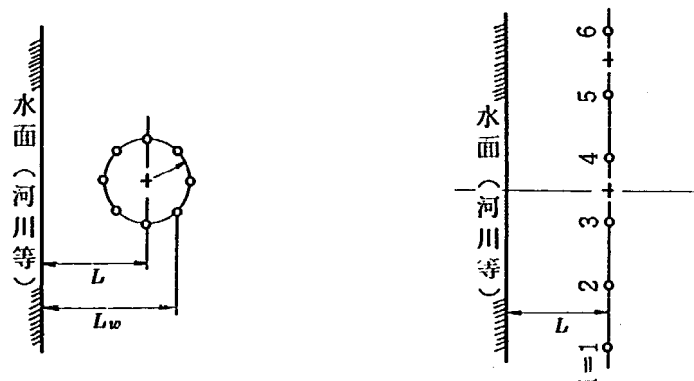


図-66 群井の取水形態

(2) 地下水位低下の分布

次に、地下水取水地点から影響範囲までの地下水位低下の分布形をやはり定常理論より求めたものを図-68に示す。図-68は取水開始30日後（1ヶ月後）のものである。たとえば20 cm以上の地下水位低下の及ぶ範囲は $Q = 1000 \text{ t/日/本}$ では100 m以下、 $Q = 5000 \text{ t/日/本}$ で1000 m、 10000 t/日/本 で1700 mまで及ぶことがわかる。（なお、ここでは取水量の違いによる影響範囲の変化は $(\frac{Q_1}{Q_2})^{\frac{1}{4}} \propto (\frac{R_1}{R_2})$ 程度のため無視した。 Q_1, Q_2, R_1, R_2 はそれぞれ取水量、影響範囲を示す*）

* たとえば、取水量が2倍になると影響範囲は1割増程度である。

$$\text{weber の式 } R = 3\sqrt{H \cdot K \cdot \frac{t}{n}} = 509\sqrt{t}$$

R ; 影響半径 (m), n ; 有効間隔率

K ; 透水係数 (m/sec), t ; 時間 (sec)

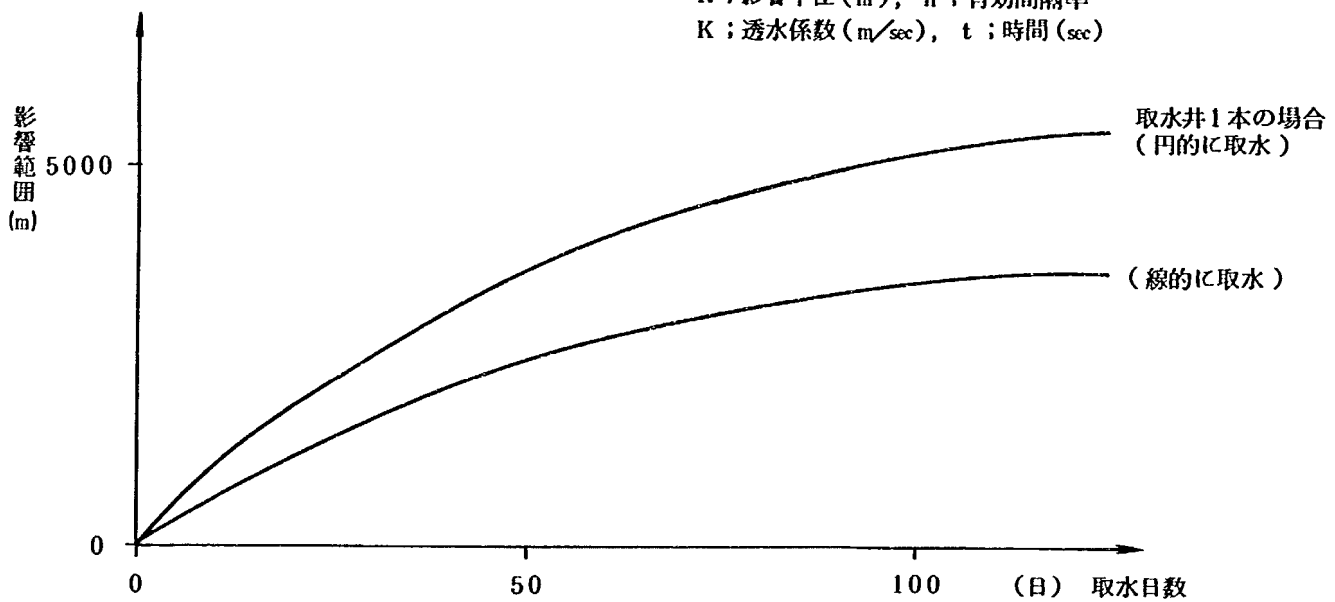


図-67 取水維持時間と影響範囲

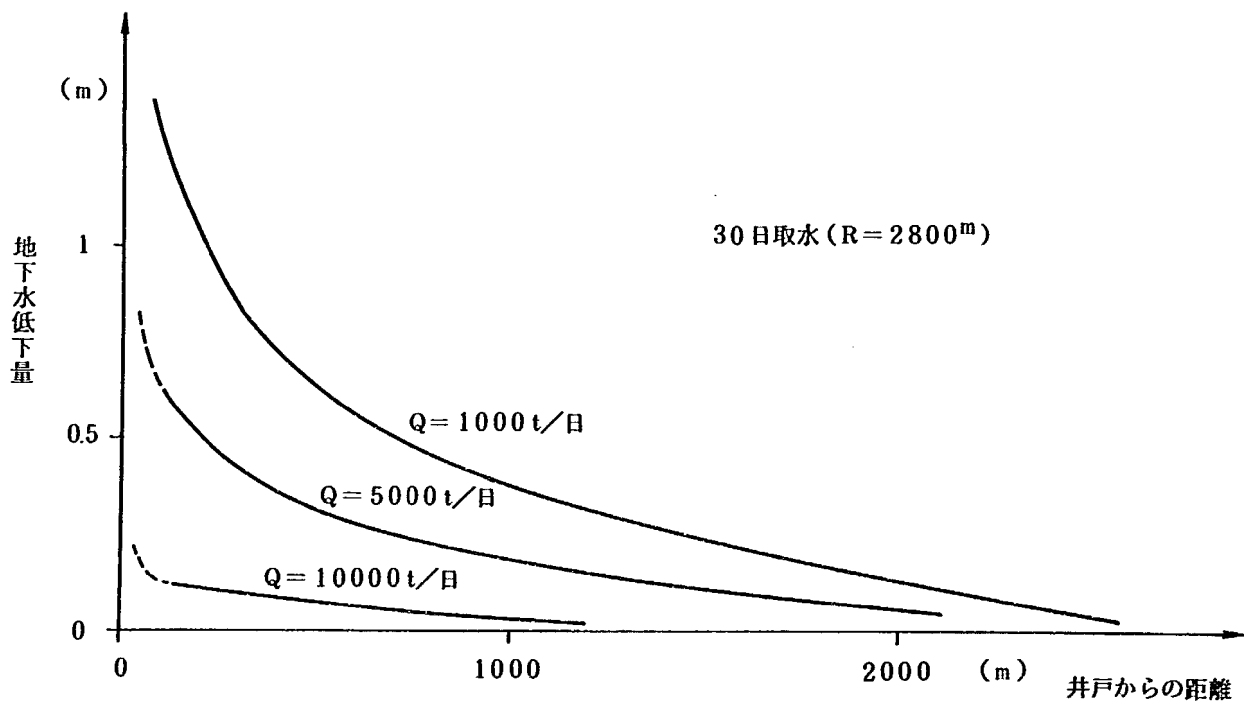


図-68 地下水位低下量と取水地点からの距離の関係

6-3 河川水、湧水への影響

河川より 100m 離れた地点の地下水位低下量と河川伏没増加量の関係を図-70 に示す。(帯水層諸元は(2)と同様、重信川流域の特性に合せた。) また、河川から取水井までの距離と上述 100m 地点での水位低下量

の関係を一本当りの取水量ごとに示したものを図-69に示す。これらによれば、たとえば河川から300 m離れた取水井で5000 t/日/本の取水を行った場合、100 m地点で15 cm水位低下を発生させ、これより0.075 t/s/kmの河川の伏没水量を増加させることになる。これが、河川に沿って5 kmにわたって生じたとすると0.375 t/sの河川水の減少となり、渇水時にはこの影響は大きい。なお、年間総量では単純計算では 12×10^6 m³程度であるが、河川増水時には地下水流水の動水勾配が大きくなるためこれより大きくなりうる。湧水量の減少についても図-70を併用して同様な検討が可能である。

以上のような地下水監視については、現地での観測が必要となることは言うまでもない。

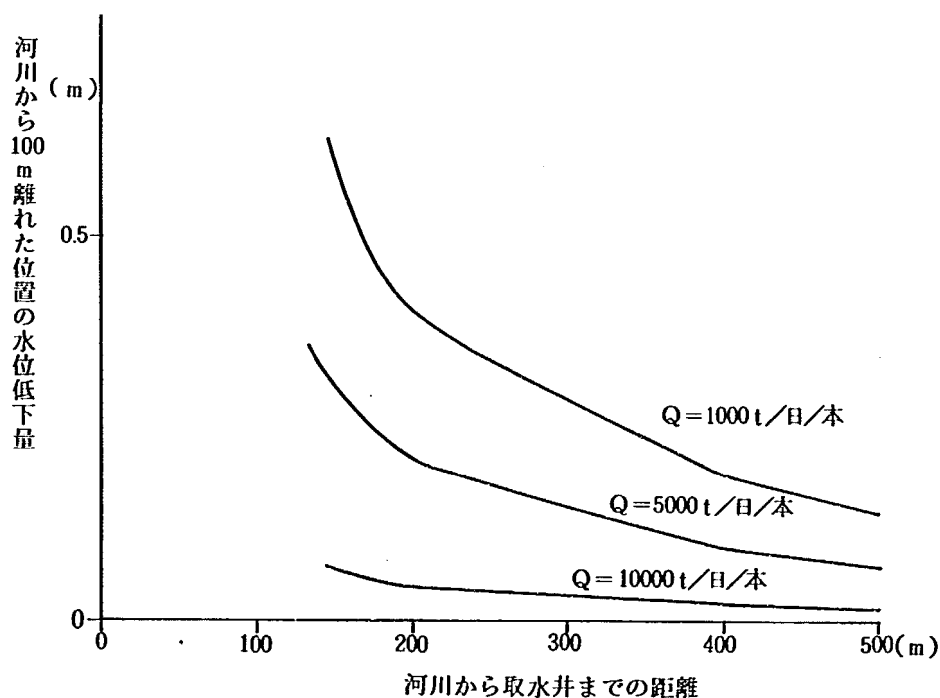


図-69 河川から取水井までの距離と河川から100 m離れた位置の水位低下量の関係

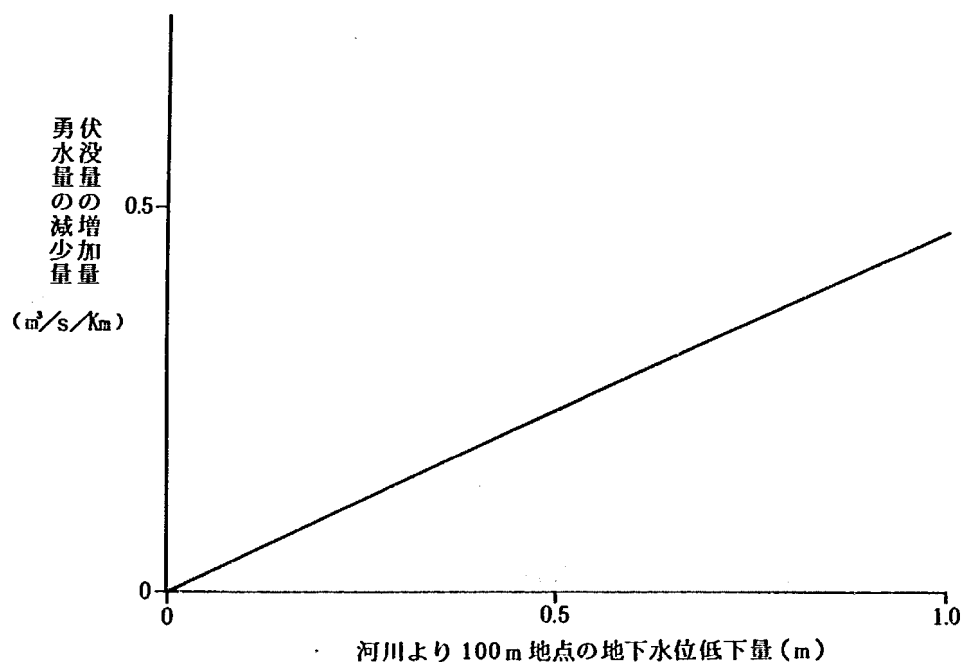


図-70 河川より100 m離れた地点における地下水位低下量と伏没量の増加量の関係

6-4 地盤沈下

地盤沈下は地下水位低下による地層中の有効応力の増加により土粒子に圧縮がおこることが原因で発生する。砂礫層や砂層などでは、これに抵抗する力が大きく、ほとんど沈下は生じないが、粘土層などが砂礫層中に含まれていると、この部分で圧密沈下が生じる。地質断面図から、本地域、上中流部では帯水層中にはほとんど粘土層は含まれていず、下流に一部含む部分が存在するのみで、地下水位が低下しても地盤沈下をおこす可能性は小さいと考えられる。ここでは、粘土層等についての詳細なデータがないため手法の紹介のみにとどめる。

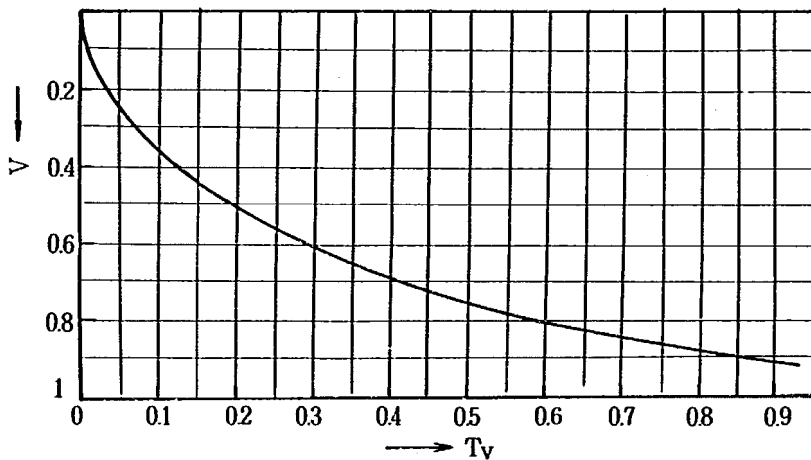
$$\text{地盤沈下量} \quad \Delta S = \frac{av}{1+e_1} \Delta \sigma_z B = \left(\frac{e_1 - e_2}{1+e_1} \right) B$$

沈下進行速度

テルツアギの式より求まる

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_u \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

時間係数 $\left(T_r = \frac{4 C_u t}{B} \right)$ と圧密度 $\left(V = \frac{e_1 - e}{e_1 - e_2} \right)$ の関係は図-71のとおりである。



ただし

ΔS ; 圧密沈下量

B ; 粘土層の厚さ

e_1 ; 粘土層の初期間隙比

e_2 ; 粘土層の圧密後間隙比

C_u ; 圧密係数 (cm/sec)

図-71 時間係数と圧密度の関係図

6-5 塩水浸入

海岸付近の地下水は水位低下や上流からの地下水流下量の減少により海水が地下水に浸入する可能性がある。

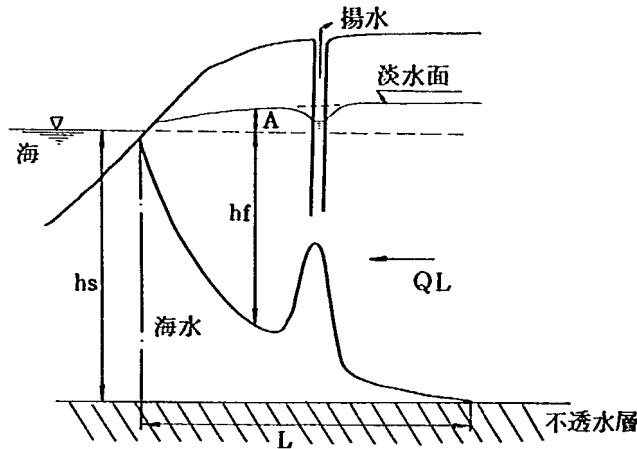
一般にカイゼン・ヘルツバークの式によれば、安定状態で

$$hf = \frac{1}{\epsilon} h \quad (1)$$

が成立することが知られる。また塩水クサビの浸入長は、

$$L = \frac{k \epsilon (1 + \epsilon) h s}{Z \{ Q L \}} \quad (2)$$

である。地下水位が低下し、地下水流下量が減少すれば、 Q_L が減少し、 L （浸入長）が増加することになる。重信川流域においても同式の適用は可能であるが、現地での地質は必ずしも一様ではなく、塩水クサビも理論どおり生じるとは限らないが、塩水化の一つの指標とはなりうる。たとえば、式(2)から Q_L （地下水流下量が $\frac{1}{2}$ となれば、 L （浸入長）は2倍となり、塩水化の可能性は高まると考えてよい。正確な把握は、現地の地質状況や付近の既応取水位置、取水量や水質など詳細な調査が必要である。



$$\epsilon = \frac{P_2 - P_1}{P_1}$$

P_1 : 淡水の密度

P_2 : 塩水の密度

図-72

6-6 その他

地下水位が低下すれば、土壌が乾燥しやすくなり、これに関連して、たとえば、水田の減水深の増加が（農業用水必要量の増加）や農作物の育成、収量など植物におよぼす影響を検討する必要がある。

減水深の増加については、琵琶湖周辺で観測された例を図-73に示す。当地域では現在、水面からの地下浸透量は約6.5 mm/日であるが、図-73から当地域でも1 m前後低下したとすれば若干増加することが考えられる。また増加分だけ地下水の供給が増え、水の循環が早まったことになるだけで、実際的な影響は、取水ポンプの増設や取水経費の増加にとどまる。

また、土壌の乾燥化は土壌水分の減少、P F 値の増加により根からの水分吸収が減少し、植物の生育へ影響を及ぼす。（図-74参照）また、これと植物との対応を表-53に示す。なお、実際には元の土壌状態によっては、土壌の乾燥により収量が多くなることもある。また、地表付近の土壌水分は地下水位より、降雨の多少によって影響を受け、また地下水位のみによる植物への影響を分離して求めることは困難であるため、この影響は考慮しなくてもよい場合が多い。

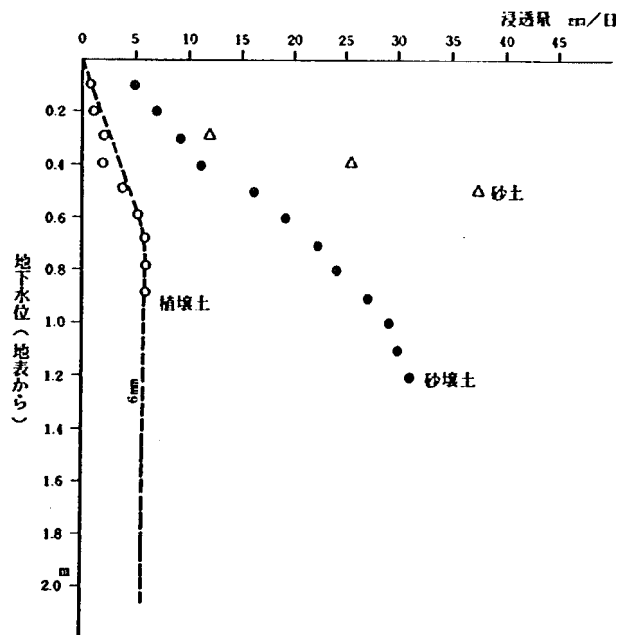
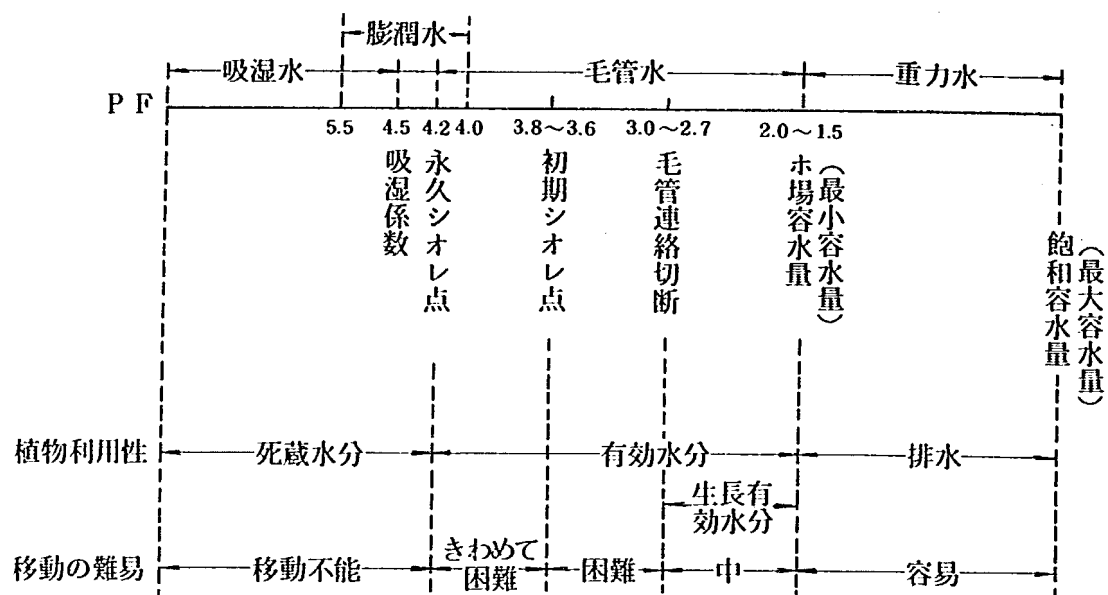


図-73 地下水位と浸透量の関係（ビワ湖の例）



注) PF とは、土壤水が粒子に吸着されている強さを表わすために、吸着力に相当する水柱の高さ (cm) の対数をとったものである。

図-74 土 壌 水 の 分 類

表-54 各種作物の生育障害水分点 (長野県農試 1970~74)

作 物	生 育 時 期	生育障害水分点 PF
レ タ ス	発 芽 時	2.7
	生 育 期	3.0
ピーマン (ポリマルチ)	全 期 間	2.5
ニ ソ ジ ソ	発 芽 時	2.7
	生 育 期	3.2
ダ イ コ ソ	発 芽 時	2.7
	生 育 期	3.2
セルリー { (10月どり、ワラマルチ)	定植後60日まで	3.0
	定植後60日以後	2.4
	定植後60日まで	2.5
	定植後60日以後	2.4
トマト (無支柱、加工用、ポリマルチ)	全 期 間	2.5

資料: 農林水産技術会議 畑地かんがいのかん水基準 (1974)

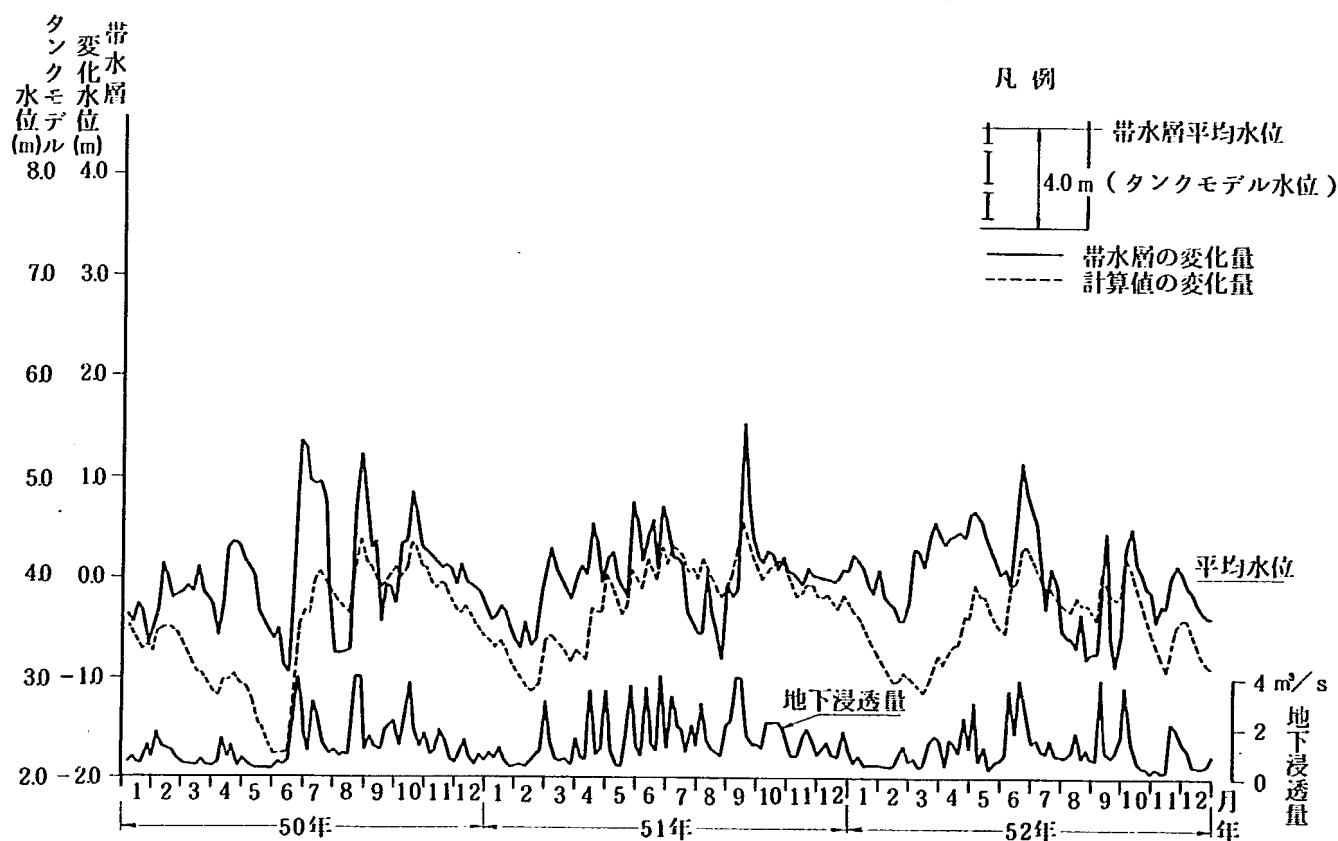
参 考 資 料

1. タンクモデルによる松山市上水取水の影響量の推定

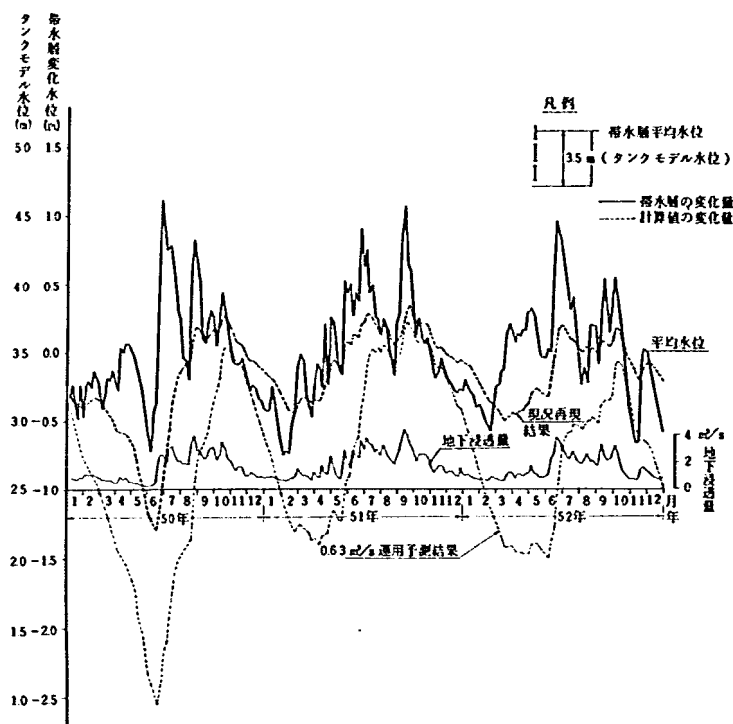
現在、松山市では昭和51年度を目標に、 $68,000 \text{ m}^3/\text{日}$ （日最大取水量）の新規地下水取水計画（第3次拡張計画）を決定し、このための事業を推定している。当計画の $68,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を日平均取水量に、松山市の現況の運用状況から推定すれば、 $57,000 \text{ m}^3/\text{日}$ （ $= 0.63 \text{ m}^3/\text{s}$ ）になる。

なお、計画は表流水等との連結利用を考えず、地下水単独の開発計画であり、共に同程した水循環モデル（タンクモデル）で取水量の予測運用を行い、地下水位の低下状況を昭和50年～昭和52年の3年間で行ってみた。しかし、水循環モデルとして、マクロ的観点から作成したモデルで有り、地下水流動特性を十分に表現しているとは言えず、あくまでも参考資料である。

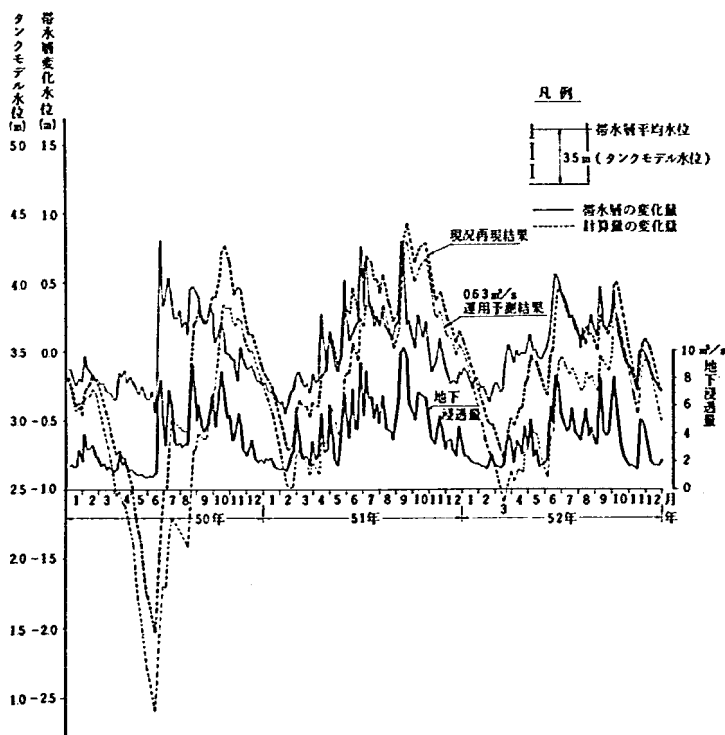
結果は参考図1～3に示す様に、上水道用水取水位置（ブロック3）より上流のブロック4では、ほとんどが影響がない。しかしブロック3・2では現況再現に対して約 1.0 m ～ 1.2 m の平均的低下がありブロックでは、現況再現に対し $0.3 \sim 0.6 \text{ m}$ の平均的低下がある。いずれも平均的な低下であり、経年的な低下傾向は少ない様である。



参考図-1 別府上流（ブロック4）帯水層水位変化図1)



参考図-2 高尾田～別府間（ブロック3）の帯水層水位変化図(2)



参考図-3 出合～高尾田間（ブロック2）の帯水層水位変化図(3)

2. 水開発に伴う地下水位低下予測（地下水シミュレーションによる。）

(1) 基礎式

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial H}{\partial y} \right) = P_a \frac{\partial H}{\partial t} + W$$

ただし H ; 地下水位、 x, y ; 空間変数、 P_a ; 有効間隔率、 W ; 涵養量または揚水量、 T ; 透水量係数 ($T = (H - H_o)k$)、 H_o ; 基盤高、 k ; 透水係数

(2) 設定パラメータ・条件

境界に条件及び透水係数、有効間隔率、揚水量については4章、5章に準じた。

(3) 計算ケース

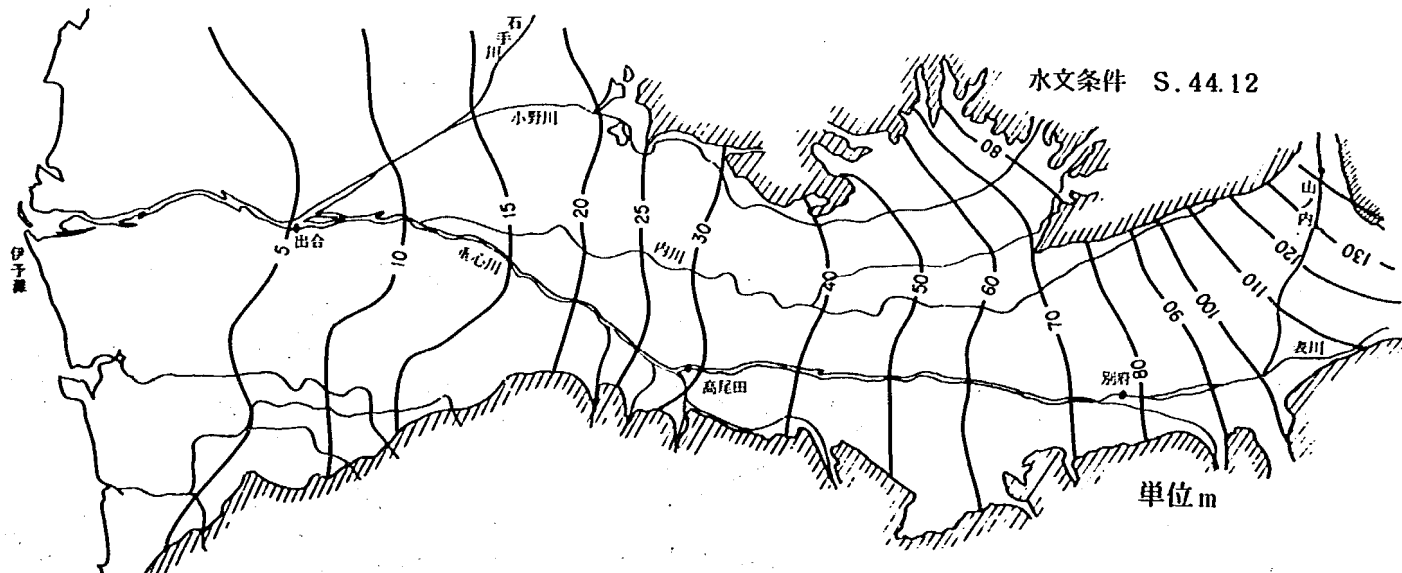
・昭和43年1月～昭和45年12月（水文条件のみ）

ケース	内 容
ケース(A)	地下帯水層のみにより $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 開発
ケース(B)	表流水と地下水の連結により $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 開発
ケース(C)	既得地下水利用も含めた連結により $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 開発

(4) 計算結果

現況地下水利用による再現及びケース(A)(B)(C)の現況からの低下量分布。

(参考 4, 5, 6, 7)



参考図-4 計算地下水位分布

7. まとめ及び今後の調査方針

7-1 ま と め

(1) 流域水収支及び河道水収支より、出合地点での地下水流量は $0.96 \text{ m}^3/\text{s}$ 、また、地下水涵養量は $263.7 \text{ mm}/\text{年}$ と推定された。これらは河川、降雨、農業用水からそれぞれ、ほぼ均等地下水涵養している。

(2) 流域平野部における、特に良質な帯水層は地表面から平均約 10 m 程度で、帯水層容量は有効間隙率 0.15 とすると $114 \times 10^6 \text{ m}^3$ となる。また透水係数は $5.3 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ またはこれ以上で、地下水位変動状況からも、地下水としては極めて速い流動をしている。

(3) 河川水と地下水の関連は著しく、地下水位等高線図にその傾向が表われている。また一次元地下シミュレーションを行った結果では、河川から 500 m 離れた観測地点で、全地下水変化量の $1/2 \sim 1/3$ 関与していることがわかった。

(4) 地下水と河川を一体とした流域水循環モデルを作成し、適合度のよい結果を得た。

(5) 現状の河川水単独開発、地下水単独開発だけでなく、河川水と地下水を組み合わせた方式による水開発の可能性を検討した。その結果、表流水のみの水開発はほとんど不可能であるが、河川水と地下水を組み合わせた方式によれば、地下水のみ水開発に比較して $2 \sim 3$ 倍の開発水量が得られることがわかった。

7-2 今後の調査方針

(1) 農業用水に関する調査の必要性

農業用水量は全取水量の約 60% を占め、流域全体の水循環に大きな影響を与えている。このため、利用量を正確に知るとともに、この挙動、特に河川還元量、地下水涵養など地域、地質ごとの測定を行い、これより将来農業用水の合理化・取水地点の変更による地下水開発、表流水開発に与える影響を評価しておく必要がある。

以下は現在あるデータをもとに農業用水に関する特性の試算してみたものである。

○計算例

一般に農水の還元率は

$$\text{還元率}^* = \frac{\text{河川流出量}}{\text{用水流入量}}$$

で表わすが本流域ではこの実測は行われていない。

しかし、3地点において水田浸透量は次表のように実測されているので、還元率の概算値は求めることができる。

地 点	南高井	久 谷	土 居	平 均
日平均浸透量	6.1mm/日	7.1mm/日	6.4mm/日	6.5mm/日

農水の還元率

年間用水量 $206.343 \times 10^6 \text{ m}^3$

$$\frac{206.343 \times 10^6 (\text{m}^3)}{67.7 (\text{km}^2)} = 3050 \text{ mm/年}$$

日 用 水 高 $3050 \text{ mm} / 110 \text{ 日} = 27.7 \text{ mm/日}$

無効流出高 日用水高 - 日浸透高 - 日蒸発量 = 無効流出高
 $27.7 \text{ mm} - 6.5 \text{ mm} - 5.2 \text{ mm} = 16.0 \text{ mm/日}$

還 元 率 無効流出高 / 日用水高 = $16.0 / 27.7 = 0.58$

この他、水田からの地下涵養量も概算することができる。

水田からの涵養量 *

$$6.5 \text{ mm/日} \times 45.7 \text{ km}^2 \times 110 \text{ 日} = 3,270 \text{ 万 m}^3$$

流域全体からの涵養量

$$263.7 \text{ mm/年} \times 445.3 \text{ km}^2 = 11,740 \text{ 万 m}^3$$

全 体 比

$$\frac{\text{水田涵養量 } 3,270 \text{ 万}}{\text{全体涵養量 } 11,740 \text{ 万}} = 0.29$$

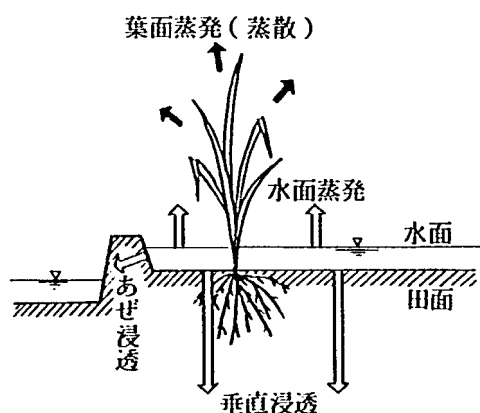


図-75 水田の水挙動模式図

図-76 は蒸発散量の設定値による推定還元率の変化を示す。また図-77 は農業用水量の増減による還元率の変化を示す。(浸透水量や蒸発散量は変化しないものと仮定する。)

* ただし水田からの浸透はすべて地下水へ到達するとはかぎらず、あぜ浸透などすぐ排水路へ出るものも多少あるが量的には不明であるので今回は無視した。(図75 参照)

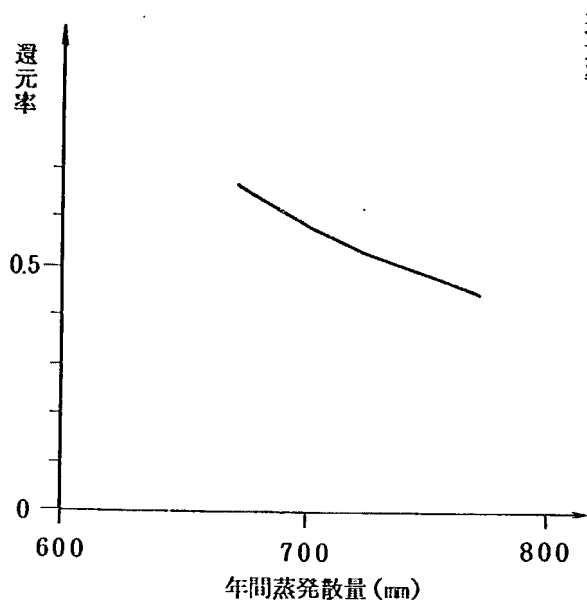


図-76 設定年間蒸発散量と推定還元率

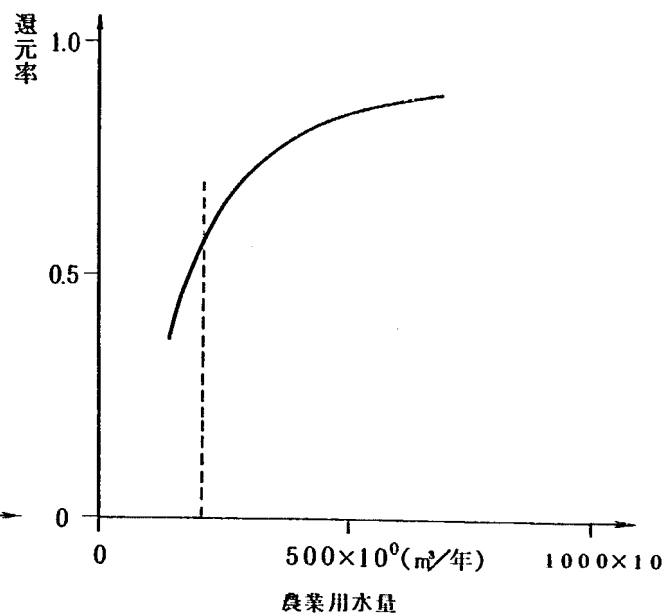


図-77 農業用水量と推定還元率

(2) 河川と地下水の関係の定量化

地下水利用に伴う河川から地下水への引きこみ（伏没量）の増加を予測する必要がある。このためには、3.2.3で示した解析をさらに詳細に検討する必要がある。この際河川付近の横断的帯水層特性、河川水位と地下水位の高さ関係等について明確にしておく必要がある。

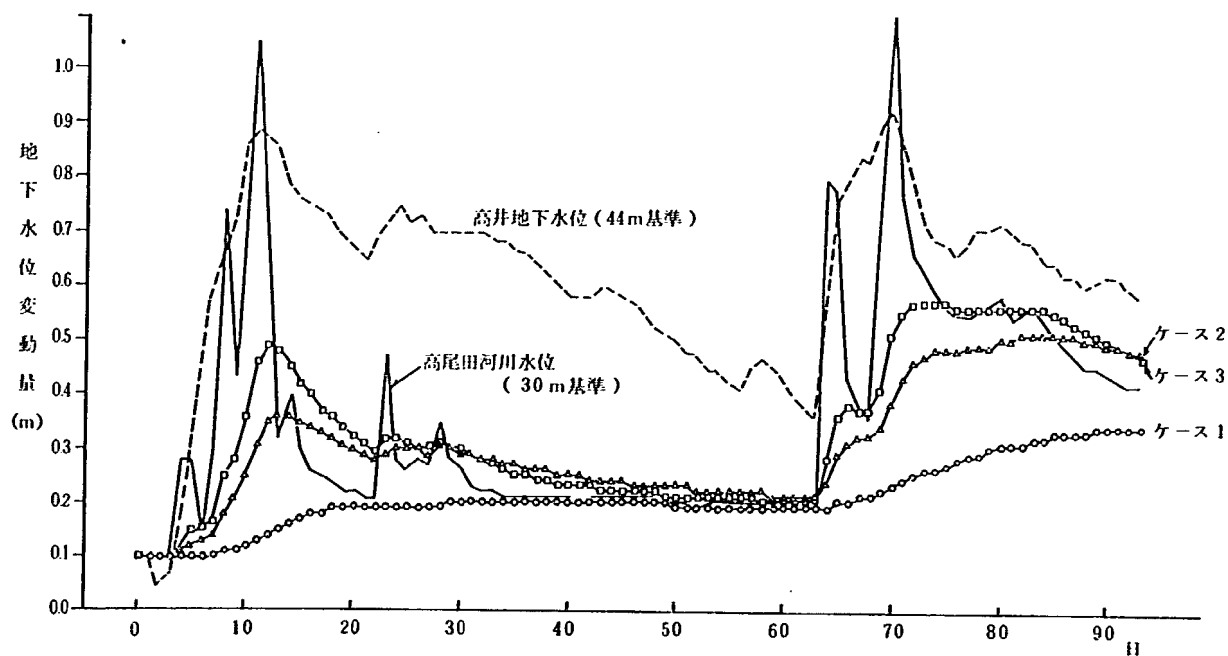


図-78 河川水位による地下水位変化解析例

図-78 は計算結果例で、初期水位として河川水位と地下水位を等しくさせておき高尾田河川水位実測値をインプットしたとき、高井（河道より約500 m離れた観測井）の地下水位変化の計算値及び実測値を示している。透水係数を $1 \times 10^0 \text{ cm/s}$ と非常に大きく仮定した場合でも計算値は実測値に比較して変動はゆるやかである。しかしながら、河道から500 m以内では透水係数が 10^{-1} cm/s 程度以上であれば、河川水と地下水との関係は十分あると考えられる。たとえば、透水係数が $5 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ （ケース2）の場合、河川水と地下水間の流動量は $14 \text{ m}^3/\text{日}/\text{m}$ （伏没量）～ $5 \text{ m}^3/\text{日}/\text{m}$ （湧出量）のばで変化する。以上のことから逆に、河道付近で地下水位低下が河川水量に影響の定量的な把握も可能である。

(3) 地下水の限界揚水量に関する調査の必要性

地下水取水を行う際、限界揚水量的なものを把握しておく必要がある。このためには、帯水層容量、現伏地下水涵養量、地下水流下量などの他、地下水取水にともなう地下水涵養量の増加傾向を知り、流域全体と水循環の変化を考慮した水利用計画も検討する必要がある。図-79 は本流域での年間地下水取水量と年間地下水涵養量を示したものである。地下水取水量の増加に伴って、地下水涵養量は増加しているが、増加量は限りがあり、当然破線のようになる。この勾配が垂直に近いほど地下水低下は著しい。これより、最低限必要維持量的な地下水流下量が設定できれば地下水利用限度が推定可能となる。（この地下水流下量は下流の地盤沈下や塩水化などの障害発生条件より定まる。）

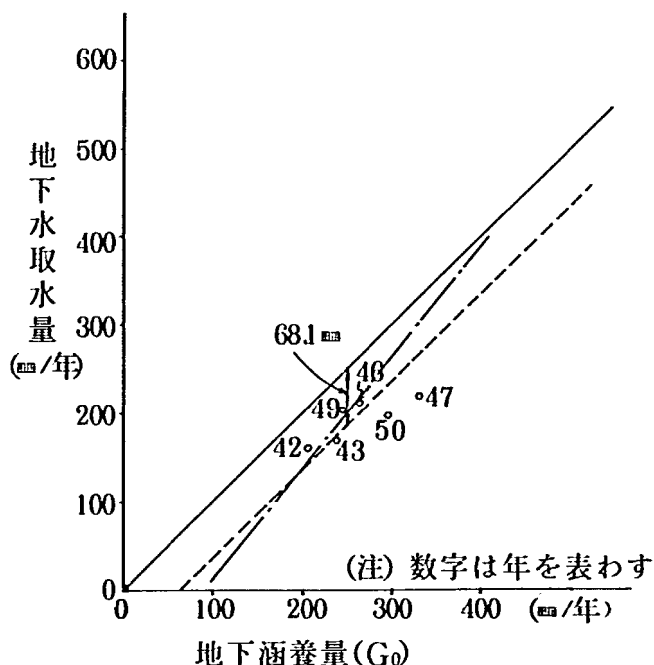


図-79 地下水利用量と地下水涵養量の関係

(4) 他水源の有効利用の検討

本流域の水利用方式を考える場合、今回は地下水を主体とした連結利用の可能性について検討した。

しかし他水源との組み合わせによる有効な利用も考えられる。特に流域外導水や将来計画されている流域下水道など、とり込むべき要素は多い。たとえば、流域下水道の場合、この建設により上流支川からの流入水質は向上することが予想されるが、同時に水量の減少、さらに地下水涵養量の減少などの影響も考えられる。このため、これを補う手段として、本川等の河川敷の土壤中に孔空き埋管施設を設けるなどして、この処理水を浸透させ、これにより、浄化を期待するとともに伏流水量や河川流況の安定化に役立てることができる。

また、河川水と同様、流域外導水と地下水と組み合わせた方法や、経年貯留ダム建設と地下水を組み合わせる方式などがある。

重信川水管理計画に関する調査

ISSN 0386-5878
土研資料第1593号
昭和55年 3月

キーワード 地下水, 水資源

要 旨

重心川流域において、流域水循環解析及び伏流水の有効利用について検討を行っている。



郵便はがき

20円切手
をはいて
下さい

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
河川部水文研究室宛

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第 1593号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

