

地質による損失曲線の総合化

Synthetic Loss Curves Based on Basin Geologies

群馬大学 工学部	小葉竹 重機	Shigeki KOBATAKE
群馬大学 工学部	江 崎 一博	Kazuhiro EZAKI
NTTデータ通信	高 木 栄	Sakae TAKAGI

The estimation of effective rainfall is the most important part in the runoff calculation. It is very useful to show the loss curve being used in the calculation, if there is no information on the effective rainfall of that basin. This paper gives the standard loss curves for 4 geological features, that are obtained by using the synthetic Tank Model whose parameters are identified for geological features. These curves are compared to the results of runoff separation by filtering method, and used in the actual calculations with the object of verification. The results show good accordance.

Keywords : loss curve, geological features, effective rainfall, runoff analysis

1. まえがき

流出計算を行なうにあたって一番大事なのは、有効降雨の算定に関する部分であろう。しかし、有効降雨の概念ないし定義は比較的明確であるにもかかわらず、その算定法となると流出モデルをどのように考えるかによって異なり、また、ある洪水例を与えられてその有効降雨がどうであったかを推定するいわゆる成分分離の方法についてさえも定説がない。しかし、物理現象はどうであれ、実用的にはユニットグラフ法、kinematic wave法、貯留関数法などに適用可能な累加雨量・累加損失曲線（以下、損失曲線）で有効降雨が考えられることが多い。損失曲線は一般に、過去の流量資料を用いて、指数低減の勾配変化の点と流量の立ち上がり点とを結んで定義する成分分離法から求められることが多い。しかし、こうした解析を行なうに十分な資料がない場合には、損失曲線は仮定せざるを得ない。このような場合まず考えられることは同じ地質で類似した流域の損失曲線を用いることであろう。本研究はこうした観点から、地質によって損失曲線を総合化しようとするものである。

2. 損失曲線の求め方

損失曲線は前述のように、過去の流量資料から、指数低減の勾配変化の点と流量の立ち上がり点とを結んで求められることが多い。この方法で損失曲線の総合化を行なうには、各地質ごとに整備された多くの流量資料が必要である。また損失は同じ降雨量でも降雨波形によって異なり、その他流域平均雨量の問題とか様々な要因があることを考えれば、このように実測の雨量・流量資料を用いた解析方法で地質の差を浮かびあがらせることは現実には不可能であるといえる。そこで、本研究では地質によって総合化されているタンクモデルと、仮想降雨を用いて損失曲線を求め、のちにこれを実測資料を用いて検証するという方法をとることにした。

2-1. 仮想降雨

仮想降雨で考えられるべき要素としては、波形と基底時間と総量である。まず、波形について現実にどのような波形のものが多くのか調べてみた。図-1は草木ダム流域の最近12年間の洪水時の降雨について、時間・累加雨量の関係をプロットしたものである。降雨波形を、前方集中型、中央集中型、後方集中型の3種類に大別するならば、図-1からは後方集中型がほとんどで、前方集中型は見られないことが分かる。さらに分かり易くするために、全時間と総雨量で無次元化したものが図-2である。ただしこの図

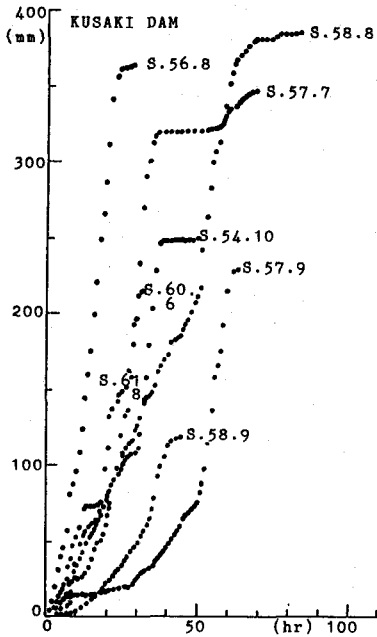


図-1 時間・累加雨量関係
には他の流域のものも含めて示してある。中央集中型はわずか2例しか見られなかった。この無次元図をさらに平均し滑らかな曲線として表現したものが、図-3である。中央集中型は左右対象型という意味ではない。
次に、基底時間については、同じ総量のものが12時間で降るものと、24時間で降るものを考え、12時間で降るものを強い降雨、24時間で降るものを弱い降雨と考えた。

以上の関係を図に表したものが図-4である。図中左の列が強い降雨、右が弱い降雨を表し、それぞれ(a)が中央集中型、(b)が後方集中型である。総量は50mmから450mmまでを、50mmステップで与え、図-4の4種類の比率で配分し、仮想降雨とした。ちなみに、最大雨量450mmを後方集中型の強い降雨波形で配分すると、その最大時間雨量は115mm/hとなる。

2-2. タンクモデルから得られる損失曲線

図-5及び表-1は総合化されたタンクモデルの構造と地質によって異なる定数を示したものである。

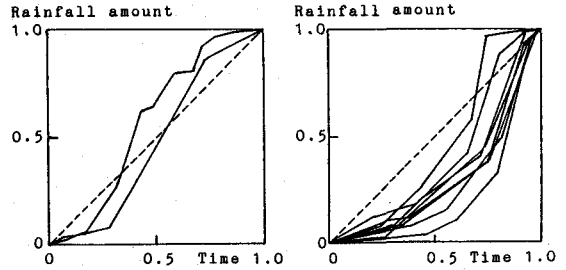


図-2 無次元化した時間・累加雨量関係

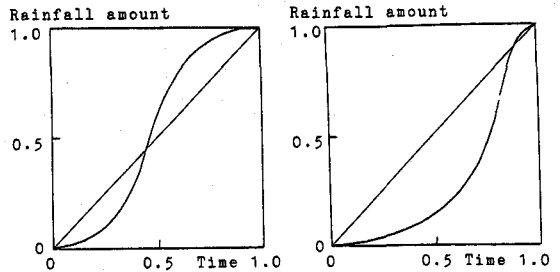


図-3 平均化された時間・累加雨量関係

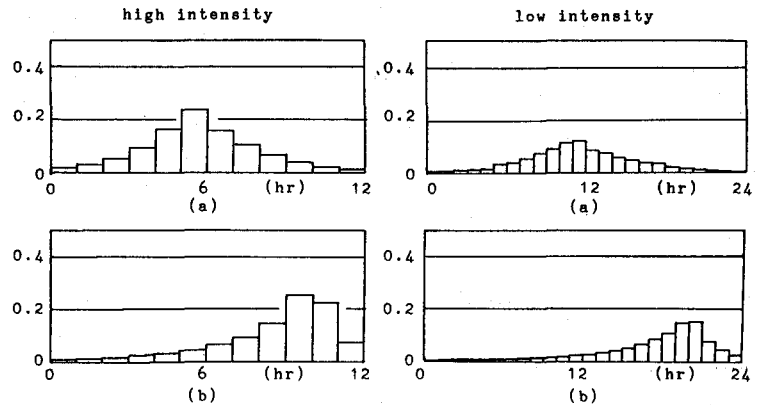


図-4 仮想降雨の4パターン

表-1 タンクモデル定数表

Geological features	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	F_2 (h^{-1})	TL (h)
Volcanic rock	30-40	60-75	15	0.08	1
Granite	15	60	15	0.05	1
Palaeozoic	30	75	5	0.04	1
Tertiary	15	40	5	0.04	1

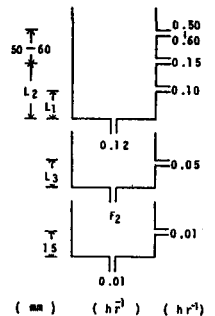


図-5 総合化されたタンクモデル

このタンクモデルに前述の仮想降雨を入れて損失量を計算し、地質ごとに損失曲線として表したものが図-6である。図の上から順番に、火山岩、花崗岩、古生層、第三紀層である。また、各図において上側の曲線が弱い降雨に、下の曲線が強い降雨に相当し、さらに、実線が後方集中型、破線が中央集中型に相当する。この図より降雨波形が中央集中か後方集中かによる相違は、図-4に示す程度の波形の違いでは影響が小さいことが分かる。

地質による違いを見るために、各図より強い降雨の後方集中型のものを抜き出して、重ねたものが、図-7である。火山岩と第三紀層とでは450mmの降雨で70mm程度の差が出てくることが分かる。また花崗岩と古生層は同程度であり、弱い降雨になるとほとんど同じ損失となる。

2-2. 実測流量の成分分離から得られる損失との比較

まえがきでも述べたように、流出の成分分離の方法についても定説はない。これに対して、日野・長谷部は新しい成分分離の方法として、フィルター分離AR法を提唱した。

ここではこの方法を用いて、実測流量の成分分離を行ない、図-6の損失曲線と比較することにする。検討の対象流域は関東地域のダム流域の中から、火山岩流域として五十里ダム、花崗岩流域として草木ダム、古生層流域として下久保ダム、第三紀層流域として相俣ダムを選んだ。これらの流域の面積と対象洪水の諸元を示したものが、表-2である。分離の時定数は、五十里ダム流域 70hr、草木ダム流域 100hr、下久保ダム流域 70hr、相俣ダム流域100hr、とした。得られた結果を図-6の損失曲線の上に落したものが、図-8である。図中の曲線は図

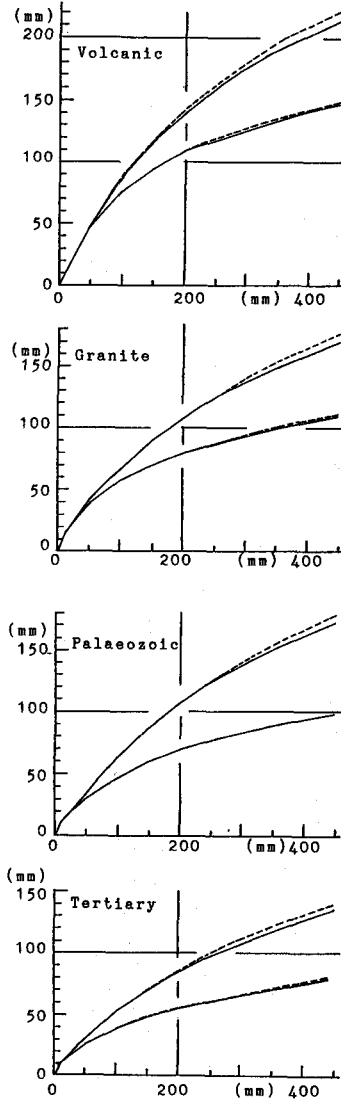


図-6 総合化されたタンクモデルから得られる損失曲線

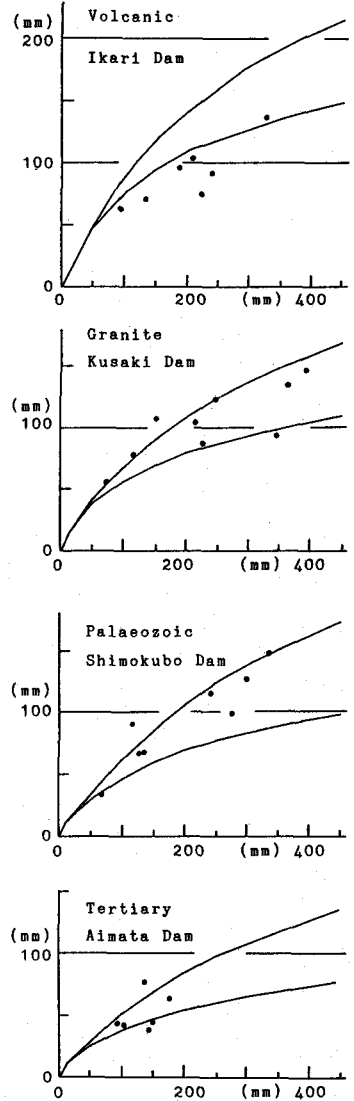


図-8 フィルター分離法を用いて実測流量より得られる損失雨量との比較

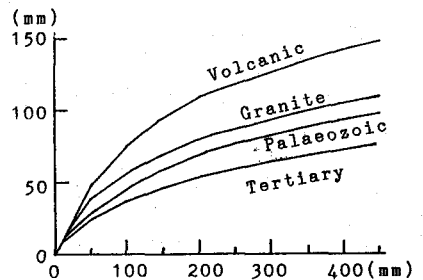


図-7 地質による損失曲線の比較

表-2 実測資料による検討に用いた流域と対象洪水諸元

流域名	五十里ダム流域				草木ダム流域				下久保ダム流域				相模ダム流域			
流域面積	271 km ²				254 km ²				323 km ²				111 km ²			
地質	火山岩				花崗岩				古生層				第三紀層			
対象洪水	生月	起日	総雨量 (mm)	ピーク流量 (m ³ /sec)	生月	起日	総雨量 (mm)	ピーク流量 (m ³ /sec)	生月	起日	総雨量 (mm)	ピーク流量 (m ³ /sec)	生月	起日	総雨量 (mm)	ピーク流量 (m ³ /sec)
	S.52.	9.19	94.9	150	S.52.	9.19	74.9	110	S.52.	9.19	124.0	351	S.54.10.18	90.5		77
	S.54.	10.18	210.3	895	S.54.	10.18	249.4	1117	S.54.	10.18	66.6	211	S.56.	8.21	178.5	229
	S.56.	8.22	328.9	1125	S.56.	8.22	362.7	1282	S.56.	8.22	241.0	682	S.57.	7.31	142.5	201
	S.57.	7.31	224.9	1027	S.57.	7.31	347.6	1585	S.57.	7.31	275.9	1318	S.57.	9.11	148.3	293
	S.57.	9.10	239.7	858	S.57.	9.10	228.0	825	S.57.	9.10	299.6	865	S.58.	9.27	137.5	104
	S.60.	6.30	137.7	470	S.58.	8.15	386.0	713	S.58.	8.15	334.1	494	S.60.	6.29	103.0	168
	S.61.	8.4	187.9	659	S.58.	9.27	118.1	206	S.58.	9.27	134.4	366				
					S.60.	6.30	215.7	973	S.61.	8.4	112.9	126				
					S.61.	8.4	150.6	322								

一6のうち後方集中型の強い雨と弱い雨のものである。火山岩流域のものが曲線の下側にくることを除けば、他の地質については実測値は二つの曲線の間にほぼおさまっている。この2本の曲線は何らリミットを示すものでもなんでもないが、いわゆる洪水とよばれるレベルの降雨現象であれば、平均的に損失曲線はこのあたりになる、ということであろう。ただ、五十里ダム流域の損失は平均的な火山岩流域の損失よりも少ないと考えられる。この事については後の流出計算による検証のところで触れる。

ところで、損失曲線を用いて有効降雨を求めるには、損失曲線に時系列的な概念を持ち込む必要がある。フィルター分離AR法では、直接流出成分の分離→AR係数の決定→単位図の決定→有効降雨時系列の逆推定、という手順で直接流出成分の有効降雨時系列を求めることができる。ただし、このようにして得られる有効降雨時系列はたとえ直接流出であっても、いわゆる日野・長谷部のいう“伸長効果”があって、これから直接どの時刻にどれだけの損失があったのかを実測降雨からの引算で求めることはできない。しかし、比較的短期間の降雨を対象にして、有効降雨の逆推定期間もほぼ同じ期間として求めた上で、得られた有効降雨に大きな負値が現われなければ、これから得られる損失降雨の時系列はほぼ妥当なものであると考えられる。図-9はこのようにして求めた損失降雨の時系列を損失曲線の上にプロットしたものの

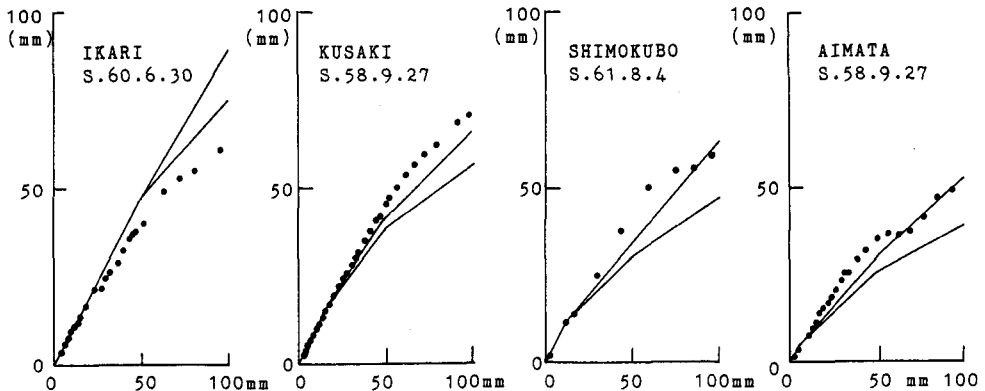


図-9 損失曲線の時系列的見方の検証

である。単独の降雨でしかも降雨初期であるために、ヒステリシスが問題になるようなケースではないた

めに当然の結果といえるが、損失曲線の時系列的見方が十分成立していることが分かる。

3. 得られた損失曲線の検証

損失曲線は単位図法、Kinematic wave法、貯留関数法などに適用できるが、ここではKinematic wave法に適用して、得られた損失曲線の妥当性を検証する。検証流域は火山岩流域として南畑ダム流域（福岡県那珂川）、花崗岩流域として荒木地先（淀川水系木津川）、古生層流域として鏡ダム流域（高知県）、第三紀層流域として多摩ニュータウン試験地明神橋地先、をとりあげた。このうち南畑ダムと鏡ダムについては参考文献3）より読み取り、荒木と明神橋はそれぞれ参考文献4）、5）の資料を用いた。これらの流域の面積と対象洪水の諸元を示したものが、表－3である。Kinematic wave法では流域を単純化して表現するが、ここでは最も簡単に1個の矩形流域で表した。また、有効降雨さえ正確に見積もってあれば、モデルパラメータの算定にはそれほど気を使わなくてもよいという考えから、モデルパラメータの同定は一切行わず、しかも斜面勾配とか河道勾配についても地形図は一切用いないで、斜面は20°、河道は1/20と勝手に定めた。ただ、多摩試験地については丘陵地でありしかも少し都市化された地域を含むため、他の自然流域とは若干異なる値を仮定した。これらの定数を表にまとめたものが表－4である。

表－3 検証対象流域と対象洪水

流域名	地質	流域面積 (km^2)	対象洪水	総降雨量 (mm)	ピーク比流量 ($\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$)
南畑 (福岡県)	火山岩	27.2	S. 46. 8. 30	177	2.4
荒木 (木津川)	花崗岩	94	S. 34. 9. 25	385. 9	7. 5
鏡ダム (高知県)	古生層	78. 3	S. 46. 8. 30	407	6. 1
明神橋 (多摩試験地)	第三紀層	27. 1	S. 46. 8. 30	173. 6	4. 2

表－4 モデル定数表

項目	南畑	荒木	鏡ダム	明神橋
面積(km^2)	27	94	78	27
流路長(km)	10	20	18	10
片側斜面長(km)	1. 36	2. 35	2. 18	1. 36
斜面勾配	0. 36	0. 36	0. 36	0. 17
斜面等価粗度	0. 7	0. 7	0. 7	0. 7
河道勾配	0. 05	0. 05	0. 05	0. 016
河道等価粗度	0. 2	0. 2	0. 2	0. 1
河道 K	0. 7	0. 7	0. 7	0. 7

以上のモデルパラメータと、後方集中型の弱い雨に相当する損失曲線を用いて計算した結果を示したものが図－10から図－13である。図中の降雨波形中、黒く塗りつぶしてある部分が有効降雨であり、また実線が実測流量、破線が計算流量である。ただし、図－10の火山岩流域（南畑ダム流域）のものは損失曲線として強い雨に相当するものを用いた結果も示してある。図－10の火山岩流域のものを除けば、第一近似としては良い結果であると思う。図－12の鏡ダム流域の流量波形が3時間程度シフトしている原因は分からない。火山岩流域については、実測値は2本の計算値の間に入っていることから、図－6の損失曲線で平均的なものを与えていると考えて良いと思われる。

以上の結果から、図－6で示した損失曲線はほぼ妥当なものであり、さらに言うならば、第一近似としては弱い雨に相当する損失曲線を用いればよさそうである。表－5は図－6の損失曲線の値を示したものである。なお、中央集中と後方集中はほとんど変わらないことから、後方集中のもので代表させている。

また、極めて単純なモデル化とおおざっぱな表－4の値でほぼ妥当な形状が得られることから、有効降雨の算定さえ妥当であれば、パラメータ値の総合化も可能であることを示唆していると考えられる。

4. あとがき

総合化されたタンクモデルを用いて地質別の損失曲線を求め、その妥当性を検証した。また、有効降雨の算定さえ妥当であれば、運動のパラメータ値の選択にはあまり気を使わなくてもよいことが分かった。

「参考文献」

- 1) 小栗竹、石原 : タンクモデルおよび集中面積図を利用した洪水流出モデルの総合化、土木学会論文報告集、第337号、1983年
- 2) 日野、長谷部 : 水流出解析、森北出版、1985年

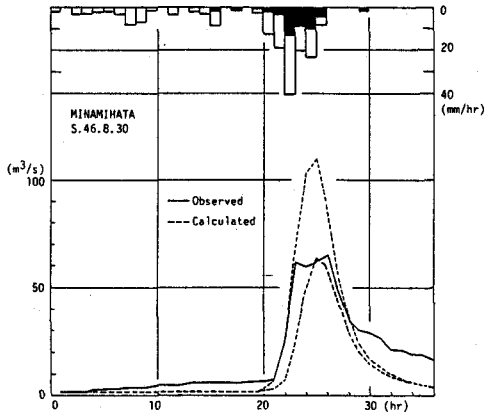


図-10 火山岩流域の検証

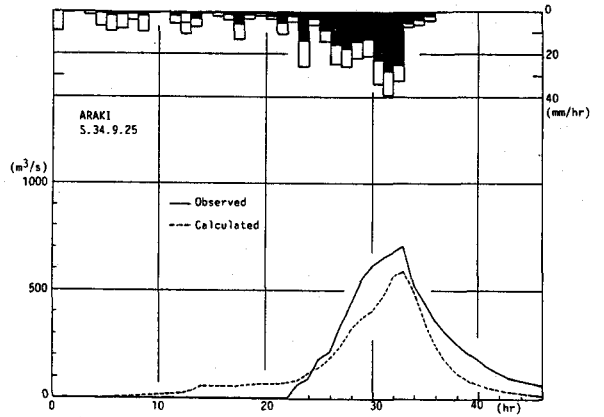


図-11 花崗岩流域の検証

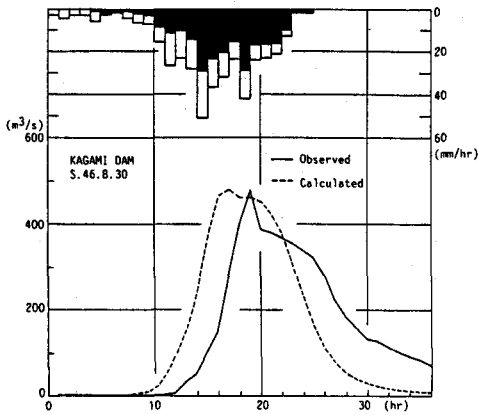


図-12 古生層流域の検証

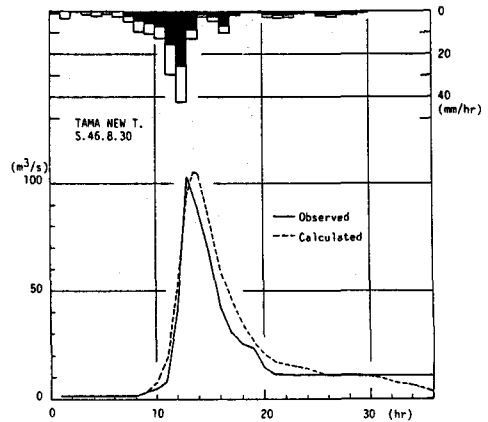


図-13 第三紀層流域の検証

表-5 地質別に総合化した損失曲線の値

総降雨量	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	350mm	400mm	450mm
火山岩	48	87	117	140	160	177	191	204	215
	47	75	94	109	118	126	134	142	148
花崗岩	41	67	90	107	124	137	149	159	169
	38	57	70	80	87	93	100	106	111
古生層	34	63	87	107	124	138	151	161	172
	30	47	60	70	77	83	89	94	99
第三紀層	30	52	69	85	98	108	118	127	135
	27	39	49	56	61	67	71	76	80

「参考文献」つづき

- 3) 高峰、椎葉 : Kinematic wave法に基づく流出計算法の総合化について、京都大学防災研究所年報、第22号B、1979年
- 4) 近畿地方建設局 : 伊勢湾台風による高水速報、昭和34年10月
- 5) 建設省土木研究所 : 多摩ニュータウン試験地水文観測資料(昭和44年～昭和46年)、昭和47年3月