

東京の山地河川でのMTMモデルによる洪水流出解析

Flood Runoff Analysis for Mountain basins Rivr in Tokyo Using
a M.T.M model

東京都土木技術研究所 正員○土屋 十罔
新潟大学 工学部 正員 岡本 芳美
東京都土木技術研究所 正員 和泉 清

1. はじめに

東京の西多摩地域は多摩川本川上流域、秋川、平井川、及び日原川等の山地河川があり、昭和57年8月の台風10号による豪雨で、近年にない規模の河川災害が発生した。現在、これらの河川の改修計画は低地部を比較的多くもつ平井川を除いて準備されていない。しかし、近年、この水系では東京のリクリエーション地域としてつり人口の増大、多摩地域への開発に伴う市街地のスプロール化等によって、適格な河川情報の伝達、洪水予測の必要性が重要な課題となっている。東京都としては、従来、河道計画のための洪水流出解析は合理式によって立案して来た。しかし、西多摩地域のような山地河川においては、洪水流出現象は二次流出分が卓越しているため合理式では減水部での同定化が難しいことが予想される。したがって、本報では、流域の特性値を知るだけで、流域毎の定数パラメータが設定でき、降雨流出現象のような非線形現象でも、流域での適格な分割によって、現象は線形現象とみなせるようになるなど、流域の分割が基本となっているMTMモデル(Muluti-Tark Matrix-Model)を使って、洪水流出解析を試み、評価を行ったものである。

2. 流域の概要と流域解析

本報の対象河川である流域の概況は表-1、及

表-1 流域の諸元

河川名	流域面積 (km ²)	河川延長 (km)	最大標高 (E.L.m)	最小標高 (E.L.m)	平均勾配 (%)
多摩川 (小河内ダム上流域)	262.9	55.1	2024	600	2.58
多摩川 (万年橋～小河内ダム内)	112.15	29.2	1070	140	3.18
秋川	166.3	38.2	940	98	2.20
平井川	38.1	18.5	370	110	1.40
日原川	93.8	21.1	1370	340	4.88

び図-1に示すとおりである。多摩川(小河内ダム～万年橋)は奥多摩湖にその源を発し、流域面積112.2km²で、流域内に小河内、奥多摩の2ヶ所の雨量観測所を有し、地形は上流の大起伏山地から下流の万年橋付近の丘陵地(市街地)に大きく変化し、地質も古性層、中性層から第4紀層(推積岩)まで変化している。以下、地形、地質についての分類図は、図-2～3に示す、日原川は東京都西多摩郡の埼玉県境にその源を発し、流域面積93.8km²流域内に天祖山、日原の2ヶ所の雨量観測所を有し地形は大起伏山地で、地質は主に古生層である。栃久保地点で多摩川と合流する。秋川は奥多摩湖付近と山梨県境にその源を発し、流域面積166.3km²で、地形は多摩川流域

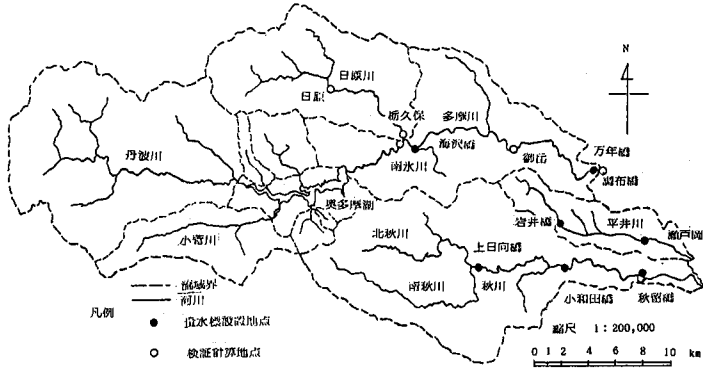


図-1 調査対象流域と量水標設置地点

とはほぼ同様である。地質は主に、中生層の推積岩である。平井川は多摩川、秋川に挟まれ西多摩郡の日の出山付近にその源を発し、流域面積は38.1km²であり、地形は上流部の小起伏山地から下流の水田、市街地まで変化し、山地面積率は4河川のうち最も小さい。地質は古生層から下流の變成岩へと変化し、土地利用は下流部で畑地、水田、市街地が広がる。

本研究ではMTM法に用いる多

摩川流域等の定数パラメーターの値を求めるために1/50,000と1/200,000地形図と土地分類図の中の地形分類図、表層地質図、土壤図、土地利用現況図を基礎資料として、地形分類、土壤、地域分類、土地利用現況図を作成した。

流出計算を行うにあたり1/50,000の地形図にもとづき4河川について副流域と残流域に分割し、河道を含むモデルを各河川毎に作成した。図-4には日原川における流出計算モデルを示す。分割された副流域、残流域について計算に必要な山地の流域面積、山地面積率、地質、傾斜土地利用現況等の諸元を計測した。

3. 雨量解析

雨量資料については、昭和47年から同57年までの11年間のデータから19雨量観測所毎の一連雨量(24時間以上無降雨の場合は

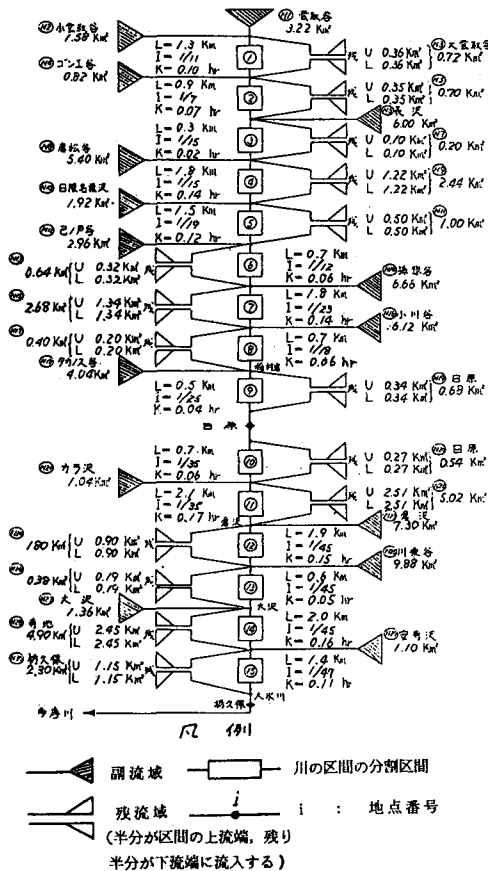


図-4 日原川流出計算モデル

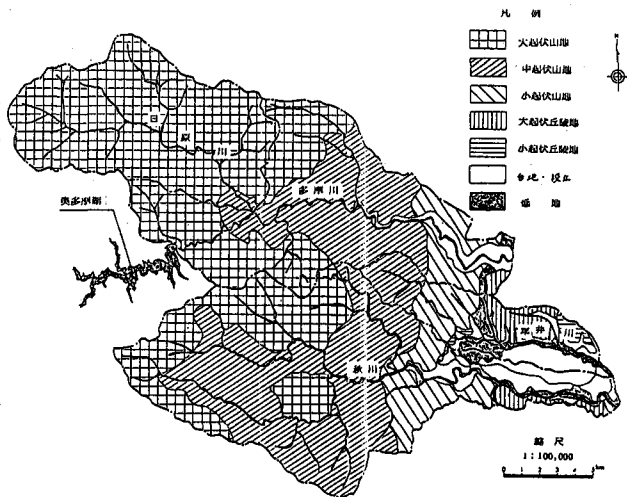


図-2 地形分類図

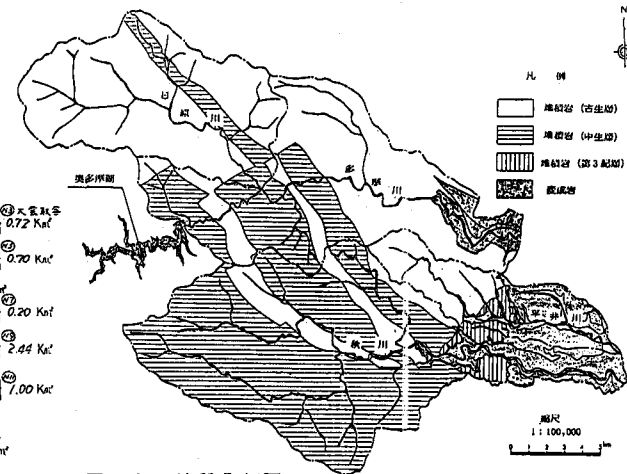


図-3 地質分類図

一連雨とはしない)を上位5まで抽出し、その降雨量と発生時をまとめ、一連降雨のハイトグラフを作成した。流出計算の入力となる流域平均雨量を各流域分割毎にティンセン法により求めた。

検証対象洪水の昭和57年7月23日～8月3日と昭和47年9月8日から9月17日の各雨量観測所の時間最大降雨量、3時間最大降雨量及び24時間最大降雨量については表-2～3に示す。又、図-5には流域界と雨量観測所を示す。

4. M T Mモデルの概要

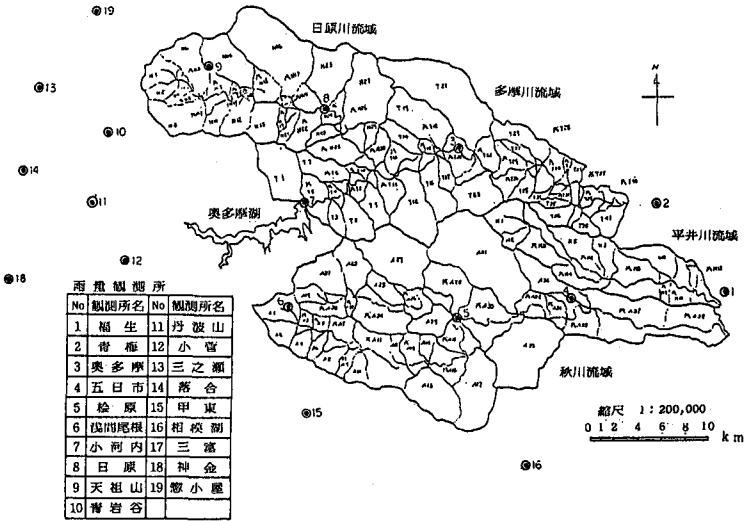
山地流域で起っている降雨の流出現象は高度の非線形現象であると考えられる。このモデルの基本的な考え方はこの様な非線形現象でもそれを適格に分割してゆけば各分割部分で起っている現象は線形現象とみなすことができるようになる。図-6は本報での流出解析に用いた全体流域のM T Mモデルである。全体流域は山地の部分、市街地の部分、

発生時間		地点名	陽	青	黄	五	橙	緑	小河	日	大	青	内	小	二	合	甲	日	上	計	延小
昭和57年	8月20日0時～8月20日1時	1時間	0.0	0.0	67.0	0.0	0.0	0.0	37.0	39.0	19.0	33.0	31.0	35.0	26.0	49.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0
	8月22日1時～8月22日3時	3時間	55.0	49.0	139.0	79.0	145.0	114.0	118.0	144.0	57.0	86.0	96.0	93.0	78.0	126.0	29.0	15.0	51.0	130.0	112.0
	7月31日3時～8月1日3時	24時間	202.0	88.5	370.0	271.5	374.5	453.0	340.0	365.0	236.0	292.0	320.0	288.0	276.0	368.0	133.0	136.0	155.0	299.0	420.0
昭和47年	9月11日18時～9月11日19時	1時間	11.0	5.0	4.0	55.0	3.5	欠	7.0	0.0	1.0	2.0	1.0	15.0	3.0	3.0	0.0	0.0	欠	欠	3.0
	9月16日21時～9月17日0時	3時間	15.5	12.0	106.0	27.0	56.0	欠	74.0	38.0	59.0	36.0	51.0	46.0	41.0	33.0	12.0	49.0	欠	欠	欠
	9月16日12時～9月17日12時	24時間	51.0	29.0	222.5	83.0	175.0	欠	203.0	169.0	167.0	110.0	134.0	127.0	144.0	143.0	143.0	268.0	欠	欠	欠

表－2、3 昭和57年、昭和47年洪水時等雨量（単位：mm）

水田地の部分から構成されている。ここでは、山地の部分
が流出解析を強く支配するため、市街地及び水田地の部分
の説明は割愛し、山地の部分
を中心に以下述べることにす
る。

山地の部分は山林地帯、無
林地帯、河道地帯に分けられ
る。まず、最上段にあるのが
樹冠層の遮断作用とそこから
蒸発をあらわす部分モデルで
タンクに雨水が貯まることが
遮断作用、流出孔からの流出
が雨水の大気中への蒸発をあら
わし、溢流が地表面をおお
う落葉層への雨水の落下をあら



図－5 雨量観測所と流域界

らわしている。第2段にあるのが落葉層の遮断作用とそこからの蒸発をあらわす部分モデルで、樹冠層の部分モデルと全く同じである。第3段目にあるのが山林地の土壌が土の湿りとして雨水を保留し、また樹木の成長によって、発散作用等で戻って行くことをあらわす部分モデルで、タンクの深さが最大保水量、流出孔からの流出量が発散量、溢流頂からの流出量が山林地帯で発生する有効雨量となる。第4段目のタンクが土壌水帯の部分である。基本的には三段構造をしていて、一番上には立て坑と流出孔のついたタンク、真中には篩い目と流出孔のついたタンク、一番下には溢流頂と流出孔のついたタンクが重なっている。一番上のタンクは土壌水帯が雨水を土の湿りとして保留することを表わし、中段のタンクは雨水が土壌水帯から中間帯に向け浸透するのが妨げられ、地表面に現われることを表わしている。下段のタンクは雨水が土壌水帯を通過して次の過程に移る間に土壌水帯で限定的な抑留作用を受けることを表わしている。上段のタンクの深さは土壌水帯で起こる土の湿りの不足の最大量を表わし、溜った雨水の流出孔からの流出は土壌水帯が土の湿りとして保持していた水分が発散作用により吸い上げられ土の湿りの不足が発生することを表わしている。上段のタンクの深さは土壌水帯で起こる土の湿りの不足の最大量を表わし、溜った雨水の流出孔からの流出は土壌水帯が土の湿りとして保持していた水分が発散作用により吸い上げられ土の湿りの不足が発生することを表わしている。流出孔から流出する雨水の量、すなわち発散量は蒸発散能の一定割合とする。立て坑に流れ込んだ雨水が有効雨量となる。

中段のタンクの篩い目を抜けなかった分が地表面を流れる雨水、篩い目を通り抜けて流出孔より流れ出た

分が土
壤水帯
の中を
流れる
雨水と
なる。
中段の
タンク
の流出
量の調
節作用
を持た
ない。
下段の
タンク
は、貯水
が溢流
頂に到達
するま
では流入
量が即流
出量にな
るタンク
である。
第5段目
のタンク
は河道地
帯、無林地
帯における
地表面の部
分と山林地
帯の中間帯
の部分で
は溢流頂と
流出孔を持
ったタンク
で表わして
いる。これ
は雨水が地
表面を流
れて行く時
に受ける限
定のな抑留
作用を表わ
している。タン
クは、溢流
を開始する
と流入量と
流出量は等
しくなる。雨
水が地表面
を流れて川
に到達するに
要する時間
はそう長い
ものではない
と考えられ
、無視されて
いる。これは
土壌水帯か
ら中間帯に
入った雨水
はここを一
定速度で抑
留作用を受け
ることなく
帯水層へ向
け移動して
行くことを
意味してい
る。

第6段目は帯水層の部分である。この部分は基本的には、パイプで連結されている4段のタンクが3列に並列したタンク群で表わされている。この連結タンクの最上段が地下水を非常に早く放出する帯水層、上から2段目が地下水を早く放出する帯水層、上から3段目が地下水をゆっくり放出する帯水層、最下段が地下水を一定強度で放出する帯水層に相当する。基本構造の最下段と最上段のタンクではその性質が違ってくる。即ち、最下段のタンクは貯水位に關係なく一定量を流出孔から放出するもの、中段のタンクは天井に貯水位が着くまでは線形タンクで、そのあとは流入量が等しくなるタンクであり、最上段のタンクは線形タンクである。

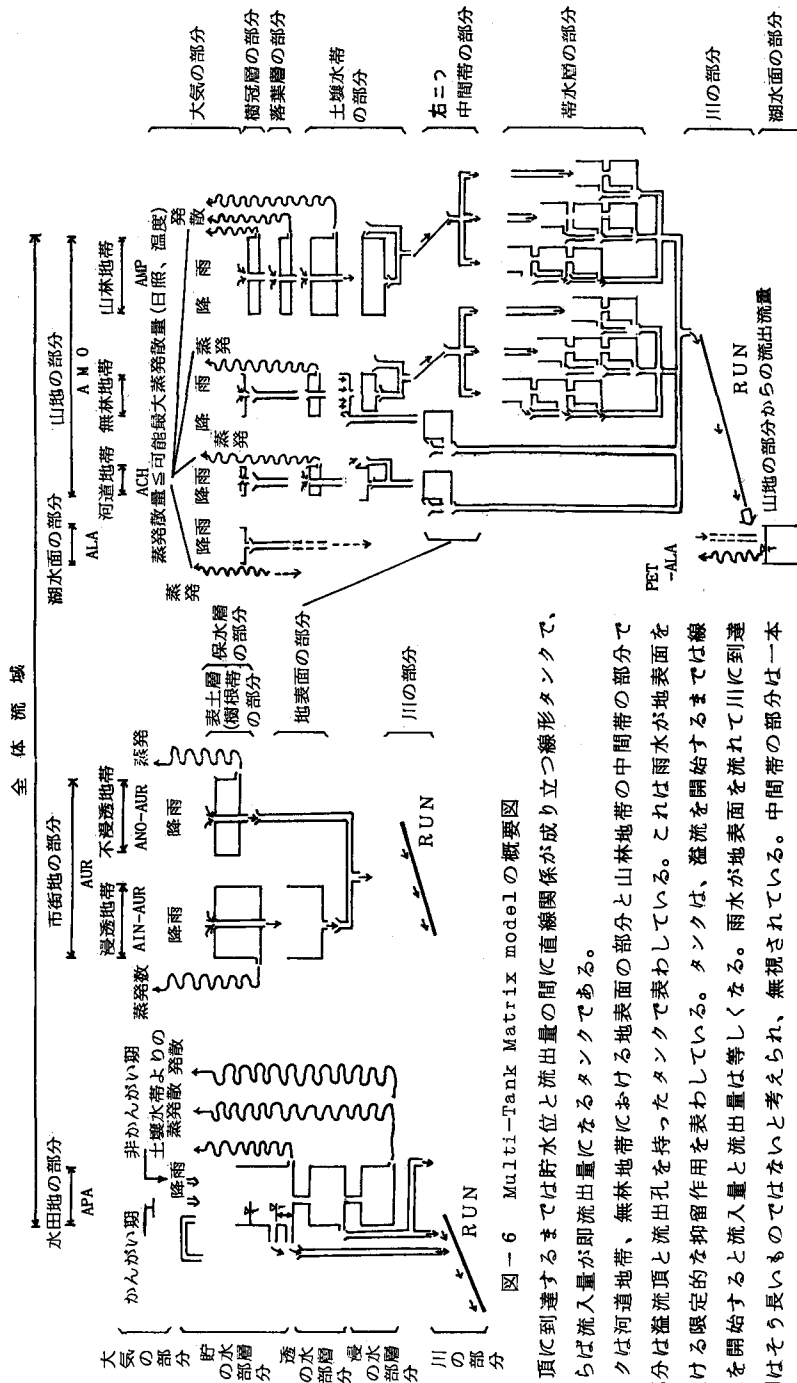


図-6 Multi-Tank Matrix modelの概要図

中間帯から移って来た雨水は、連結したタンクの上のタンクが空の時にはそこを通過して下のタンクに入る。下のタンクが満杯状態においてその流出孔から流出した部分は、ただちに上のタンクの貯水と中間帯から移って来た雨水のいずれか、または両方によって補給されるものとする。下のタンクの流出孔からの流出量はその上にあるタンクにその貯水から雨水の補給を受けるという点を除いては全然影響を受けない。この部分の連結タンクは左から第1列は早い地下水流出地帯、第2列は普通の地下水流出地帯、第3列は安定した地下水流出地帯に各々相当する。

最後に川の部分である。この川の部分は一本の斜線で表わされている。これは斜面の部分から川の部分へ流れ出た雨水が流域の出口へ向け流れ下って行く状況を表わしている。雨水は川の部分を、河床勾配に応じた速度で流れ下って行くものと考ええる。

5. 検証計算結果

(1) パラメーターの設定

流域面積 (ARE)、山林地帯面積率 (AMF) など地形、土地の状況に関するパラメータは地形図、土地分類図を計測することによって決められる。ここでは設定規定に従ってきめられているパラメータ値を表-4に示す。主要なパラメーターとして、DSS

表-4 検証計算で用いたパラメーター一覧表

は土壌水地帯標準厚さ、PET-CORは樹冠層蒸発発散係数、KSO-AMFは山林地帯の土壌水帯抑留係数20hr程度をとる。次に、山地の地下の帯水層の部分をあらわすパラメーターとしては、LSL-AFAは早い地下水流出地帯の地下水を早く放出する帯水層の厚さ、LSL-AMDは地下水をゆっくり放出する帯水層の厚さであり、LSL-AMDは普通の地下水流出地帯の地下水をゆっくり放出する帯水層の厚さである。

(2) 川の区間の流れの計算

川の区間の流れの計算は流出計算に対して独立なものである。図4に示した流域の河川網図を

パラメーター名	パラメーター値	パラメーター名	パラメーター値
DSS	1000 mm	RDS-AMF	1
RDS-AOP	5	RDS-ACH	50
LIC-CRO	1 mm	LIC-LIT	2
PSM-AMF	30 %	PSM-AOP	300 %
PSM-ACH	30 %	PET-COR	500 %
PET-LIT	10 %	PET-MFS	500 %
PET-AOP	50 %	PET-ACH	500 %
PET-ALA	100 %	LSD-ACH	100 %
LSD-AOP	10 mm	KSD-AOP	2.5 hr
KSO-ACH	2.5 hr	PSD-AOP	50 %
PSD-AMF	5 %	PSO-ACH	50 %
KSO-AMF	20 hr	KSO-ACH	200 hr
KSO-AOP	200 hr	LSL-AFA	500 mm
LFA-AFA	25 mm	LSL-AMD	500 mm
DSS-APA	300 mm	PSD-LPE-ADA	500 %
PSD-LRE-APA	30 mm	PET-PON-APA	500 %
PET-LRE-APA	50 mm	PHI-APA	200 mm
KPA	2 hr	LRE-AVR	200 mm
DSS-AVR	1000 mm	PSM-AVR	300 %
PET-ANO-AVR	50 %	PET-AIN-AVR	50 %
KVR	2 hr		

作成する。副流域と残流域に分割されて、副流域の場合は普通の支川をもつ流域であるからMTM法の適用では問題はない。しかし、残流域は、雨水が川の区間に沿う斜面から川を経ないで川の区間に直接的に流れ込み、空間不等流 (spatially varied flow) を形成するものと考えられる。このため、いま、地点 $i-1$ と i の間の分割区間の残流域の流域面積を A (km²)、区間距離を L (km) とすると、川から残流域までの平均距離 B (km) は、 $B = A/2L$ で表わされる。そこで、この残流域の流域面積が A で最長河道距離が B の普通の流域と見なして、MTM法で流出計算を行った。計算された流出流量の半分が地点 $i-1$ に残り半分が地点 i に集中して流れ込むものとした。この際、この仮想の流域の単位集中流量図の作成に当っては B という長さの一本の川沿いに流域面積が等分布しているものと仮定した。

山地を流れる川は急勾配なため、係数法を用いた。河道貯流量 S は流出量 O に対して直接比列すると仮定し、 $S = K \cdot O$ (K は係数でhr) -(1) 又、川のある区間を考えると、上流端への流入量を I 、下流端からの流出量を O 、とすると、区間内の河道貯留量 S は、時間 T とすると、任意の時刻 t については、 $I - O = ds/dt$ -(2) となる。この二式により $O_2 = O_1 + C(I_1 - O_1) + C(I_2 - I_1)/2$ 、ここで、 C の値は、 $C = \Delta T / (K + 0.5 \Delta T)$ で、係数 K は、区間に流れ込んだ流れが、そこを通過するに要する時間と考えられる。そこで、区間距離を L (km)、区間平均河床勾配を $1/I$ として、河床勾配と流下速度の関係はルジハの値より通過速度 V (km/hr) を求めて、 $K = L/V$ 式により K の値を算出した。

(3) 計算開始条件と検証流量

計算開始時流量は、計算開始時の比流量を求め、副流域、残流域の流域面積に乗じて求められるべきであるが、本報では、検証のための水位記録を基にして決定した。蒸発散量は対象とした洪水が短期流であるため無視して計算を行った。計算開始時流量は多摩川が昭和57年で $59 \text{ m}^3/\text{s}$ 、同47年で $53 \text{ m}^3/\text{s}$ 。秋川、平井川は各年とも $45 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $11 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。また、土の湿り不足量は7月23日以前の1週間に降雨があったため、各河川とも 0.0 mm とした。検証計算流量は、実測値が望ましいが、当河川では、水位記録だけであることから、現地の実測から、マニング式により流量を推算し、検証流量（実測値）とした。昭和57年の洪水では小河内ダムの放流があり、検証計算では放流量を1時間平均値とした。以上の計算結果と実測値を図-7-10に示した。各年とも、計算値はピーク流量及びその時刻で実測値とほぼ一致している。例えば、多摩川の調布では47年が実測値 $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ 、計算値 $1170 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、57年では各々 $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $1490 \text{ m}^3/\text{s}$ である。又、47年の日原川では、実測値 $216 \text{ m}^3/\text{s}$ 、計算値 $220 \text{ m}^3/\text{s}$ となった。しかし、通減部では計算値の方が早めに落ちている点は、今後、の課題として残る。

6. おわりに

本報での検証結果から今後の問題点として、流域分割の検討、斜面モデルの出力である雨量から流量への変換方法の検討等によって改良することが必要と考えられる。更に、観測にもとづく実測流量で検討する予定である。本報を発表するに当たって、資料を提供していただきました西多摩建設事務所の東野氏には謝意を表します。

（参考文献）岡本芳美、山地における流出計算を行うためのモデル開発研究、第29回水理講演会論文集、1985・2月。

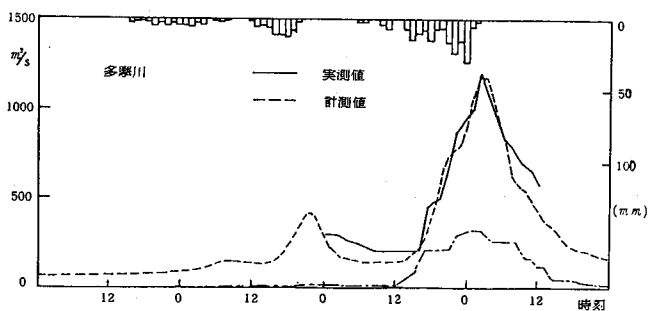


図-7 多摩川調布橋地点流出波形（昭和47年9月洪水）

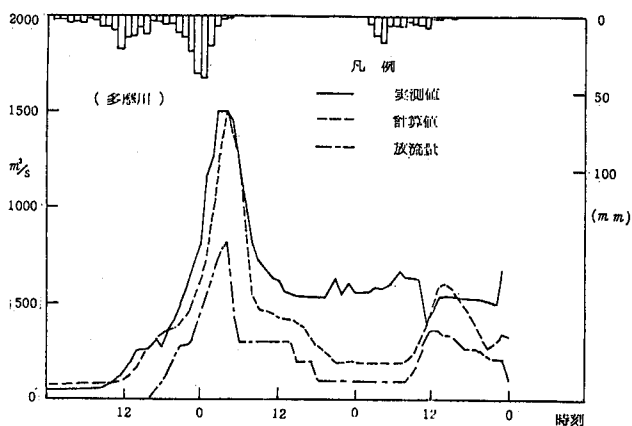


図-8 多摩川調布橋地点流出波形（昭和57年8月洪水）

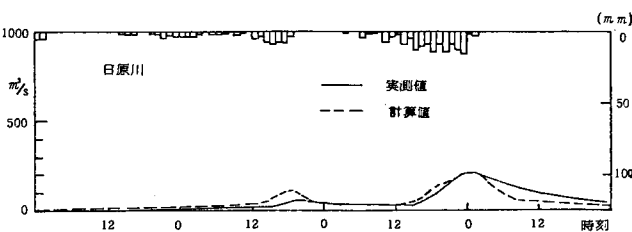


図-9 日原川日原地点流出波形（昭和47年9月洪水）

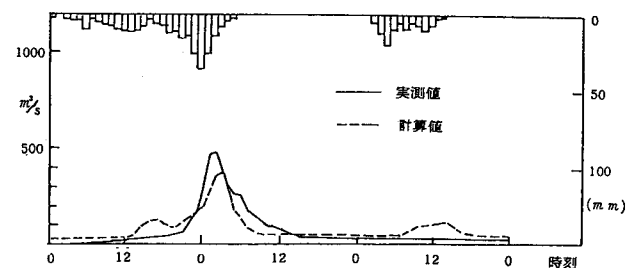


図-10 日原川栃久保地点流出波形（昭和57年8月洪水）