

都市化に伴う洪水流出特性変化の タンクモデルによる解析

佐藤 照子*・植原 茂次**

国立防災科学技術センター

Study on the Characteristic Changes of Flood Runoff due to Urbanization Using Tank Model

By

Teruko Sato and Shigetsugu Uehara

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

The relation between characteristic changes of flood runoff and the urbanization in the Shakujii drainage basin in recent 20 years, from 1958 to 1977, was examined by applying the Tank Model.

As a result, the characteristic changes of flood runoff due to urbanization can be expressed by slightly modifying the structure of the Tank Model. The discharge coefficient of the top tank varies as the residential area expands.

The calculated hydrographs show good fit with the observed ones.

1. はじめに

都市化、それは人口の増加に伴い土地利用が、農林業的利用から住宅・商工業・公共施設・交通等の利用に変換され、高密度になっていく過程である。都市化は社会・経済的な利便をもたらす一方、人々の生活にとってマイナスの要因の成長も同時に起こる。その一つが、都市化による中小河川の洪水の激化である。洪水の流出に係わる流域の水文学的な要素が、土地利用形態が変わることによって洪水流出を加速化し、そのピーク流量を著しく増加させる方向に変容する。

この報告では、都市化の洪水流出に影響を与えたと考えられる個々の要素の変化には着目せず、都市化をマクロにとらえた。都市化のマクロな指標の一つである宅地面積率を用い、洪水流出特性の変化をタンクモデルの構造の変化として把らえ、都市化の指標との対比を試みた。タンクモデルによる洪水流出解析は、二十余年にわたって水文観測資料の得られてい

* 第3研究部降雨実験室

** 第3研究部

る、東京都の西北部を流れる石神井川について行なった。都市化の経年的変化を年代を追って五つのタンクモデルによって表現した。さらにそれらのタンクモデルを用いて降雨パターンの変化による流出率の相違、洪水ピーク流量の経年的変化についてシミュレーションをし、次のような結果を得た。

1. 都市化によるタンクモデルの変化は、一段目のタンクの流出孔及びその係数の増加によって表現できた。その係数の増加の傾向は、都市化のマクロな指標の一つとして考えられる宅地面積率の増加の傾向と良く対応した。

2. 流域の都市化の影響は、短時間雨量の大きい雨ほど強く現われ、ピーク流量・流出率を増大させる。

本研究は、国立防災科学技術センター第3研究部の行なった「土地利用形態の変化が洪水流出特性に及ぼす影響について」というテーマの中で行なわれた。この報告に使った水文資料は、建設省土木研究所水文研究室の長年にわたる観測の成果である「石神井川水文観測資料集」を使わせていただいた。

2. 流 域

2.1 流域概要

石神井川は荒川水系の1級河川である。武蔵野台地の東部の海拔50m位の所、南北線上には地下水の湧水による池が多い。この池付近を源流とし台地を開析して流れる川が幾つかある。その中の一つが石神井川である。小平市の小金井ゴルフ場付近にその始点を持ち、板橋区西部で田柄川と合流し、板橋区王子付近で隅田川に流入する。その流路延長は30kmである。流域面積は板橋区根村橋で47.98km²である。平坦な地形でしかも都市域を含む石神井川の流域界の判定について水越・尊田(1966)は、「下水道網計画図・写真地図・市町村管内図等を利用して、石神井川および隣接する河川に流入する排水路・排水管を克明に追跡して大略の流域界とし、つぎに主として道路によって最終的に流域界を確定した。」と述べて

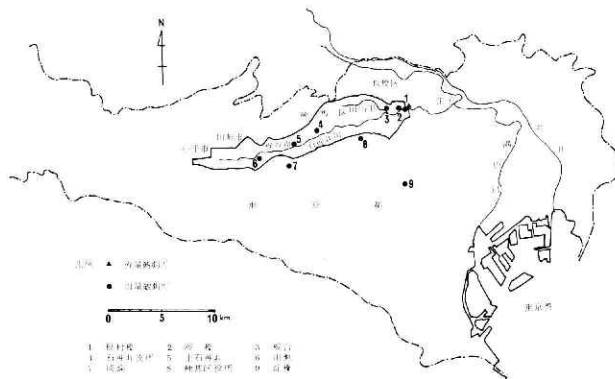


図1 石神井川流域位置図

いる。流域幅は広い所で4 km、東西に細長い形をしている。

この流域は、雨水の浸透性が非常に良い。表層5～10mが関東ローム層、その下には砂礫層が5～10 m、さらにその下は東京層と呼ばれる砂利・粘土・砂の互層が10～20 m 続いている。つまり水を透過しやすい層が地表下に厚く堆積していることになる。

2.2 石神井川流域の都市化*

航空写真により流域を概観すると、密集した住宅地が流域全体に広がっている。下流の板橋付近は、空地等もほとんど見られず、マッチ箱のような住宅がぎっしりと詰まっている。しかし練馬付近から上流部にかけては、畑がまだ住宅地の間に点在している。この流域の都市化はいつ頃から始まったのだろうか。

石神井川流域を含む武蔵野台地は、関東大震災が起るまでは、東京市の近郊農村地帯だった。大震災の被災者の移住により市街地形成が進んだ。昭和7年には山手線西側の隣接82町村が東京市に編入された。その後、病院・療養所・各種公共施設が建設されるようになり、昭和10年代に入ると戦争の進展と共に、陸軍の各種学校・研究所・軍事施設・軍需工場などが、開拓からとり残された雑木林を中心とする耕作不適地に建設され、それと共に人口が増加した。戦後は、区部の戦災者・復員・引揚者の流入で人口は増加、遊休化した軍の施設は応急住宅に転用された。さらに都営住宅が19,000戸も建てられた。しかしまだ近郊農村の面影が残っていたが、昭和30年代に入ると、経済の高度成長に伴う東京の膨張により、公共住宅団地の建設が行なわれるようになり、これは農村部の民間開発を誘発し、武蔵野台地は市街地化されていった。

ここで使用した水文資料は、流域の都市化が急速に進みはじめた頃、つまり昭和33年から始まり、昭和52年まで20年間にわたっている。

2.3 都市化による洪水流出変化とタンクモデル

都市化による洪水流出特性の変化。その原因となる要素は幾つか考えられる。木下(1972)は都市化する流域の水循環過程の中での流出に関する要素として次の八つの要素をあげている。(1)浸透能の減少 (2)浸透域の減少 (3)表面貯留の減少 (4)表面粗度の減少 (5)地下水の減少 (6)河道貯留の減少 (7)河道粗度の減少 (8)エネルギーの付加。各要素の定量的評価は、まだでき上がっていない。各要素を変化させ、それぞれを複雑にからませ、全体として流出特性を変化させていくとおおもとは、人口の増加と流域の都市化の仕方である。人の増加と共に、土地は高密度に利用される。人々は水溜りや泥んこを嫌い、地表面を舗装し、排水路を作り、河川を改修し人の住む所から雨水を排除しようと努力する。

しかし、都市化によってほとんど変わっていないと考えてよいもの、それは河川の基本的な流出特性を決定する、その流域の気候条件・面積・地形・地質・支川の配置等である。流

* この項の記述は井内昇(1978)による所が大きい。

域の都市化はその流域のもつ特性が、おおもとから変わってしまうのではなく、流域の基本的な特性に都市化による雨水を早く流そうとする要素が加わって、徐々に流出特性を変化させてゆくものと考えられる。

井内(1978)は、武蔵野台地の都市化について、民間の活発な開発エネルギーを秩序づけるはずの計画行政が非力なこと、公的施策が乱開発を促進する方向に働いてしまったことで、農村部が無秩序に市街地化されてしまったと論じている。乱開発型の都市化流域とでもいおうか、一方これとは全く異なる都市化流域がある。ニュータウン型のもので、計画的に街が作られてゆくものである。

乱開発型とニュータウン型を水文的な面からみると大きな相違がみられる。ニュータウン型では、最初に人の住みやすい環境を作ってから、人口の増加がはじまるが、乱開発型では人の移入が先に始まり、環境作りは後から追いかけるように、人の住む所から順にされていく。人の住みやすい環境つまり雨水を排除し泥んこ道をなくし、水たまりをなくす努力である。よく「下水管はつながってはじめて意味をもつ」といわれるが、ニュータウン型では、雨水の排水の機能は最初から面的な広がりをもってつながっている。乱開発型では、ばらまかれた点が少しずつ結び合わされていく。

石神井川流域は、乱開発型の流域で、木下(1972)による洪水の原因域と結果域は混在型である。

このような石神井川流域の都市化によって流出はどう変ってきただろうか。人口の増加に伴い、複雑に流出に関する要素が変化しているはずであるが、今回は都市化をマクロにとらえるものを指標とし、例えば不浸透面積率、宅地面積率、人口の増加などが考えられるが、これらの変化に対応して、どのように流出特性が変化してきたかを調べたいと考え、タンクモデルにより解析することとした。タンクモデルにより解析することは、各要素とその占める割合には注目せず、各要素の複雑なからみあいをもたらす結果が、都市化の進展といかなる関連をもって変化し、流出特性を変化させていくのかを探ることである。

3. 流出解析

3.1 資 料

石神井川水文観測資料集には、昭和33年から昭和52年にいたる120個の洪水が記載されている。その中で根村橋の資料が欠測のもの、水位だけのものは除き、次のような方法で資料を取扱い、解析に使用した。

- ① 洪水は前後6時間の無降雨期間があれば一雨とし、一連の洪水として記載されているものでも幾つかに分けた。
- ② 流域時間雨量については、使用した観測地点の時間雨量の平均値を用いた。同じモデルを適用した期間では使用する観測所が同じになるよう、資料集から2～3カ所を選定

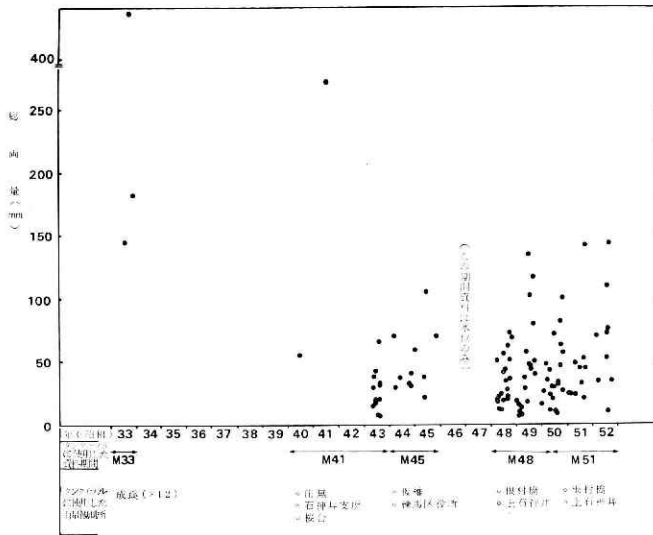


図 2 観測された洪水とモデルの資料期間

した。ただし昭和33年については、成蹊の時間雨量データを1.2倍した値を用いた。

- ③ 昭和46年以降については10分間雨量・流量が計測されているが、モデルを同じ条件で作るため一時間雨量を全期間使った。
- ④ 基底流量については、洪水解析上からは量的に少ないので、洪水ハイドログラフの立ち上がり直前の流量を使い一定値とした。

図2に解析とシミュレーションに使用した全洪水について総雨量（前述のように処理したもの）と観測年を示した。洪水の総雨量について各モデル期間毎の分布をみると、150 mm 以上については数例しかない。ただし昭和33年については、3例が観測されているが、いずれも100 mm を越す大雨である。各モデルは観測値の大小によって検証できる範囲が異なっている。この点については後で述べる。

3.2 都市化とタンクモデルの変化

図2に示したように、資料を5時期に分け、経年的に解析したところ図3のような一連のモデルができた。なお、モデルの上にかかれたM 33等の英数字はモデルの名称であるが、数字はそのモデルが適用された時期の昭和の年数を示している。図4に、M 33～M 51 までの各モデル期間の洪水例をとりあげ、観測された流出高は実線で、計算値は点線で表わし、両者の比較をした。雨量は計算に使用したものを表示している。この流出シミュレーション

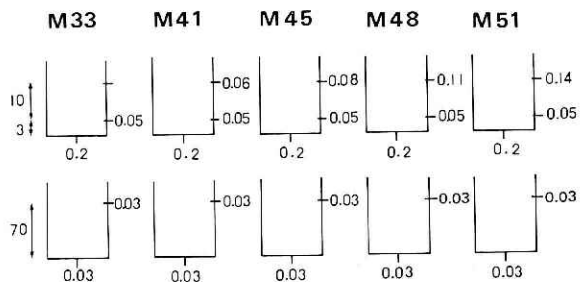


図 3 都市化の進展とタンクモデルの変化

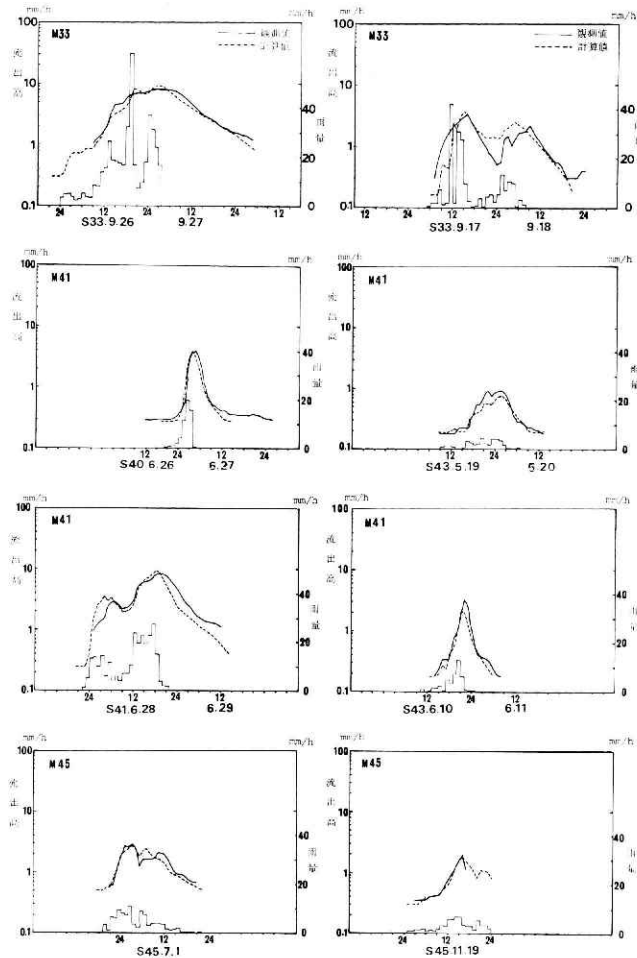


図 4.1 洪水例 (M33~M45)

の結果から、各モデルの適合性を評価できるが、ほぼ良好といえよう。

観測資料の所で、雨量資料の分布の偏りの問題があったが、経年モデルが共通な部分をもちつつ変化しているのを見ると、総雨量が435 mmの狩野川台風クラスから10 mm位のものまで適用できると考えてよい。

M33・M41・M45・M48・M51の五つの経年タンクモデルは、少しずつその構造が変化している。このことは、洪水流出特性が都市化と共に変化していることを語っている。そしてその変化は次のようにいえる。

- ① 一段目のタンクの2つある流出孔の上のもの係数が0.→0.06→0.08→0.11→0.14と増加している。
- ② ①以外の流出孔・浸透孔の係数は変化しない。

以上のことから、都市化による洪水流出特性の定性的な変化の仕方が分かる。タンクモデル

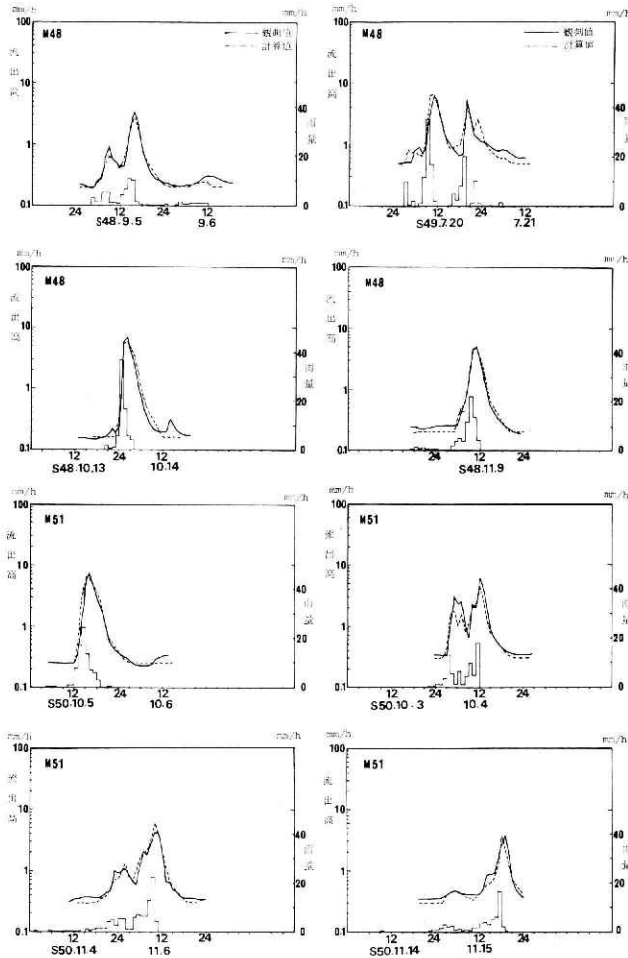


図 4.2 洪水例 (M48~M51)

では、下の段にいくほど流出の遅い成分を表現する。一段目の流出孔の係数の増加は、流出の早い成分の流出が増加し、雨水は早く流出するようになることを意味する。また第一段タンクの浸透孔の係数が変化せず、流出孔の係数が増加することは、流出量が増えることを意味する。さらにタンクの貯留量が13ミリ以下を保つような雨については、モデルの変化の影響が及ばないことから、都市化の影響が現われないことがわかる。

第一段タンクの流出孔の係数の変化の傾向について調べると、経年的には、直線的に増加していることが分かる。その増加は1年で0.008位ずつである。この期間の都市化の進展の様子を調べるために、都市化のマクロな指標の一つである宅地面積率* (岸井, 1979) をと

* 宅地面積率 (岸井, 1979) : 各市の固定資産台帳に記載されている課税対象地と非課税対象の学校等の公共用建物の敷地との合計値を宅地面積と定義し、各市が流域に占める割合で比例配分して宅地面積をもとめ、流域面積に占める宅地面積の割合をもとめたもの。

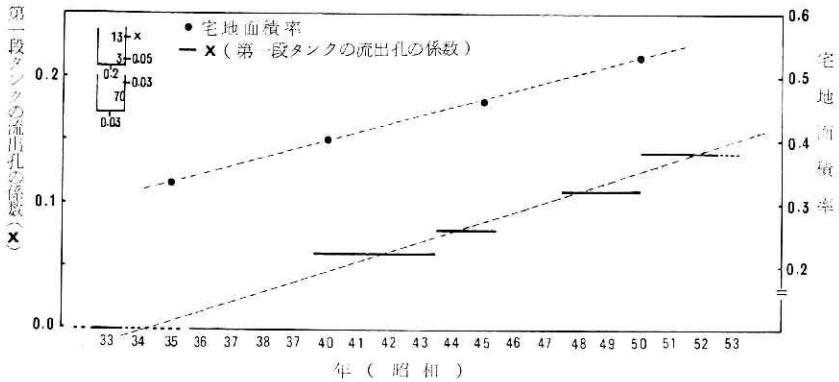


図5 第一段タンクの流出孔の変化する係数と宅地面積率

りあげてみると、昭和33年～昭和52年の間では、1年に1.32%づつ直線的に増加している。図5は年とともに増加する宅地面積率とタンクモデルの第一段タンクの変化する係数を図示したものである。なお、タンクの係数を幅をもたせて直線で表示しているのは、モデルを作成した資料期間が一年以上にわたるからであり、またこのことはタンクモデルのもつ、少しの変化のみこんでしまうという側面を表わすともいえる。両者はいずれも直線で近似できる。つまり第一段タンクの流出孔の係数は、乱開発型の石神井川流域において、都市化の進展と密接に関係をもちつつ変化し、都市化によって変化してゆく洪水流出特性を表現している。以上の結果から、都市化による洪水流出特性の変化はタンクモデルによれば、(ある時期における流域の洪水流出特性を表わす基本的なタンクモデル) + (それ以後における都市化の指標に比例した第一段タンクの流出孔の係数(短期流出成分)の増加) といった比較的簡単なモデル構造の変化によって表現できたことになる。

3.3 モデルによるピーク流量及び流出率の増大に関するシミュレーション

都市化に伴う洪水流出の変化を表わす5時期のモデルにより、ピーク流量及び流出率の増大に関するシミュレーションを行なった。入力としての雨は、20年間にわたって石神井川流域で観測されたもので、前述のような方法で流域雨量に直したものを全部を使った。この数値実験により、第一段タンクの流出孔の係数の増加が、ピーク流量と流出率に及ぼす具体的な意味を調べた。

3.3.1 ピーク流量

都市化の影響によってピーク流量はどの位増加するのだろうか。経年のモデルによって、短期流出成分の増加が確認できた。またモデルの構造から、都市化の影響は短時間雨量の大きいものに強く現われることがわかる。そこで表1に示すように、昭和33年のピーク流量を1とした時、同じパターンをもつ雨のピーク流量はどの位増加するかを最大時間雨量ごとに幾つかに分けて調べた。これによると最大時間雨量が5 mm/h以下であると、増加は認められない。最大時間雨量が大きくなると、増加率が大きくなるが、20 mm/h以上になるとだい

表 1 最大時間雨量とピーク流量の増加

最大時間雨量 (mm/h) ()データの数	以上未滿 0-5 (18)	5-10 (45)	10-15 (15)	15-20 (12)	20-25 (8)	25-30 (3)	30-35 (2)	35-40 (2)	40- (2)
M 33	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
M 41	1.0倍	1.1倍	1.4倍	1.6倍	1.7倍	1.7倍	1.8倍	1.8倍	1.7倍
M 45	1.0	1.1	1.5	1.7	1.9	1.8	2.1	2.1	1.9
M 48	1.0	1.3	1.7	2.0	2.2	2.2	2.5	2.4	2.2
M 51	1.0	1.4	1.9	2.3	2.6	2.4	2.9	2.8	2.5

(M33を1とする)

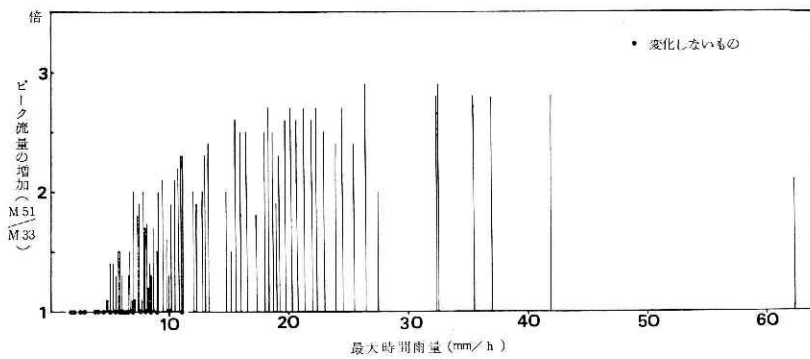


図 6 ピーク流量増加と最大時間雨量

たい一定の増加率を示す。そしてその値はM41で1.6~1.8倍、M45で1.7~2.1倍、M48で2.0~2.5倍、M51で2.3~2.9倍である。

図6にM51の個別の増加率を示した。最大時間雨量とかなり良く相関があるが、同じ最大時間雨量をもつ雨でも影響の出方が異なるのは、その前に降った雨量によるためであると思われる。

そこで最大時間雨量を含む1~7時間前の先行降雨の累加雨量とピーク流出高との関係をグラフにとって、両者の相関を調べた。(例えば最大時間雨量を含む3時間の先行降雨の累加量をここでは3時間先行雨量と呼んでおく。)図7には相関がすべてのモデルにわたって良かった3時間先行雨量とピーク流出高の関係を各モデル毎に図示してある。ピーク流出高と時間先行雨量との相関はM33では各時間先行雨量ともに良いが、M51になると3時間先行雨量を頂点とし後は悪くなっていく。図7の関係を直線にて近似し、各モデルによるものを一つの図にしたものが図8である。同じ3時間先行雨量をもつものでも、都市化の進展に伴って、しだいに大きい流出高を示すようになるのがわかる。また同じモデルにおいても、その関係は三つの直線で近似され、3時間先行雨量の大きい程その傾きが大きい。

つまり、都市化のピーク流量への影響の大きさは、短時間雨量の大きさに関係し、その大きいもの程都市化の影響が強くなり現われ、最大時間雨量で20 mm/h、3時間先行降雨量で30

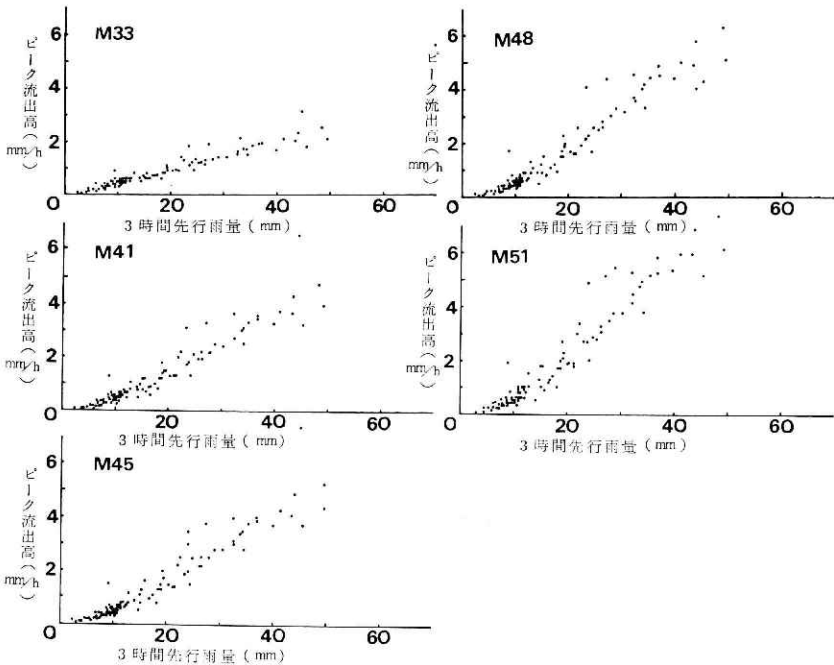


図7 ピーク流出高と3時間先行雨量-1

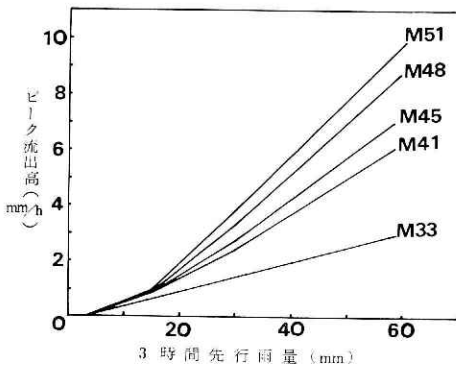


図8 ピーク流出高と3時間先行雨量-2

mm/hになるとほぼ一定の増加率を示めす。

3.3.2 流出率

今回作成したタンクモデルでは、洪水の主要な部分だけに注目し、基底流量は一定値として扱っている。一連のモデルは一段目と二段目のタンクで洪水の主要な部分を表現している。ここでは、一段目と二段目のタンクからの流出量が総雨量に占める割合について調べ、これを流出率と呼んでおく、表2に総雨量と最大時間雨量別の流出率を掲げてある。

数字は上から順にM33, M41, M45, M48, M51の流出率を表わし、()の中の数字はM33を1とした時の各モデルの変化の倍率である。これにより、明らかなように流出率は総雨量・最大時間雨量の相違によって、つまり降雨パターンの相違によってその都市化による増加の仕方が異なる。総雨量の多いものほど変化は大きく、同じ総雨量をもつものについては、最大時間雨量が大きい程増加の仕方が大きい。

例えば (M52/M33) についてみると、総雨量が50-70mmの時、最大時間雨量の増加に伴い増加率が1.1から1.9倍まで変化している。また、同じ最大時間雨量の範囲、15~20 mm/h、では総雨量の増加に伴ない増加率が1.3~1.7倍のはんいで増加していく。

表 2 総雨量・最大時間雨量別流出率

総雨量		最大時間雨量					
		0以上～ 10mm未満	10以上～ 15mm未満	15以上～ 20mm未満	20以上～ 25mm未満	25以上～ 30mm未満	30以上～
0 以上 ～ 30 mm 未満	M33	0.09 (1.0)	0.11 (1.0)	0.12 (1.0)			
	M41	0.09 (1.0)	0.11 (1.0)	0.13 (1.1)			
	M45	0.09 (1.0)	0.12 (1.1)	0.14 (1.2)			
	M48	0.09 (1.0)	0.12 (1.1)	0.15 (1.3)			
	M51	0.09 (1.0)	0.15 (1.5)	0.15 (1.3)			
30 以上 ～ 50 mm 未満	M33	0.12 (1.0)	0.16 (1.0)	0.14 (1.0)	0.16 (1.0)	0.15 (1.0)	
	M41	0.12 (1.0)	0.17 (1.1)	0.16 (1.1)	0.22 (1.4)	0.21 (1.4)	
	M45	0.13 (1.1)	0.18 (1.1)	0.17 (1.1)	0.23 (1.4)	0.23 (1.5)	
	M48	0.13 (1.1)	0.20 (1.3)	0.19 (1.4)	0.26 (1.7)	0.25 (1.7)	
	M51	0.13 (1.1)	0.21 (1.3)	0.19 (1.4)	0.27 (1.7)	0.28 (1.9)	
50 以上 ～ 70 mm 未満	M33	0.12 (1.0)	0.15 (1.0)	0.15 (1.0)	0.15 (1.0)	0.16 (1.0)	0.16 (1.0)
	M41	0.12 (1.0)	0.19 (1.3)	0.19 (1.3)	0.22 (1.5)	0.22 (1.4)	0.24 (1.5)
	M45	0.12 (1.0)	0.20 (1.3)	0.21 (1.4)	0.23 (1.5)	0.23 (1.4)	0.26 (1.7)
	M48	0.12 (1.0)	0.21 (1.4)	0.22 (1.5)	0.26 (1.7)	0.26 (1.7)	0.28 (1.8)
	M51	0.13 (1.1)	0.23 (1.5)	0.24 (1.6)	0.28 (1.9)	0.27 (1.8)	0.31 (1.9)
70 mm 以上	M33	0.14 (1.0)	0.16 (1.0)	0.16 (1.0)	0.16 (1.0)	0.32 (1.0)	0.22 (1.0)
	M41	0.16 (1.1)	0.22 (1.4)	0.22 (1.4)	0.22 (1.4)	0.38 (1.2)	0.29 (1.3)
	M45	0.17 (1.1)	0.23 (1.4)	0.23 (1.4)	0.23 (1.4)	0.40 (1.3)	0.31 (1.5)
	M48	0.18 (1.3)	0.25 (1.6)	0.25 (1.6)	0.26 (1.7)	0.42 (1.3)	0.33 (1.5)
	M51	0.19 (1.4)	0.27 (1.7)	0.27 (1.7)	0.27 (1.8)	0.44 (1.4)	0.35 (1.6)

注 () の中はM33を1とした時の倍率

つまり流出率に関しても、都市化の影響がみられ、その影響の大小は、総雨量及び最大時間雨量の大小と関係がある。特に同じ総雨量をもつ雨でも最大時間雨量の大きい雨程都市化の影響が著しく現われる。このことは、ピーク流量においても確認され、都市化に伴って影響をうける降雨パターンは、短時間雨量の大きいものであることがわかった。

3.3.3 洪水流出変化のシミュレーションによる評価と予測

都市化による洪水流出特性の変化について述べてきたが、ここでは石神井川流域で観測された総雨量の大きい2ケース、すなわち①狩野川台風(昭和33年)②台風4号(昭和41年)について、それらの時点より都市化が進んだ昭和51年時点では洪水流出がどのように変化したかを比較するため、M51(宅地面積率は0.55)のモデルにより計算し、その変化を評価する。次に昭和60年頃の洪水流量の予測をするために、昭和60年つまり今から5年後のモデルを作り、上記と同じケースについて洪水流量を計算する。この予測は、宅地面積率が、昭和33年から昭和52年の間の増加率0.0132/年を今後も維持するという仮定にたって行なった。

宅地面積率の増加と年との関係は、宅地面積率 $=0.0132 \times \text{年(昭和)} - 0.131$ で表わすことができるので、昭和60年には0.66の宅地面積率の都市化状態になる。一方タンクモデルの第一段タンクの流出孔の変化する係数は、流出孔の係数 $=0.008 \times \text{年(昭和)} - 0.272$ 又は流出孔

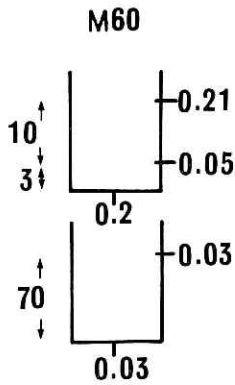


図9 M60のタンクモデル

の係数 $=0.606 \times \text{宅地面積率} - 0.193$ の関係で昭和60年には0.21の係数をもつようになり、図9のようなモデルができる。これをM60と呼んでおく。①と②の降雨をその洪水が起きた年のモデル、M51、M60の各モデルに入力した結果を図10に示す。流量曲線は都市化が進むにつれて急峻になり、ピーク流量は増加していく。①では $120 \text{ m}^3/\text{sec} \rightarrow 253 \text{ m}^3/\text{sec} \rightarrow 312 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、②では $113 \text{ m}^3/\text{sec} \rightarrow 151 \text{ m}^3/\text{sec} \rightarrow 176 \text{ m}^3/\text{sec}$ のようなピーク流量が計算で得られる。①の雨についてみるとM33のピーク流量は、最大時間雨量から大分遅れて(7時間)現われているのに対して、M51・M60のモデルでは、雨の降り方に流出が早い対応をしている。

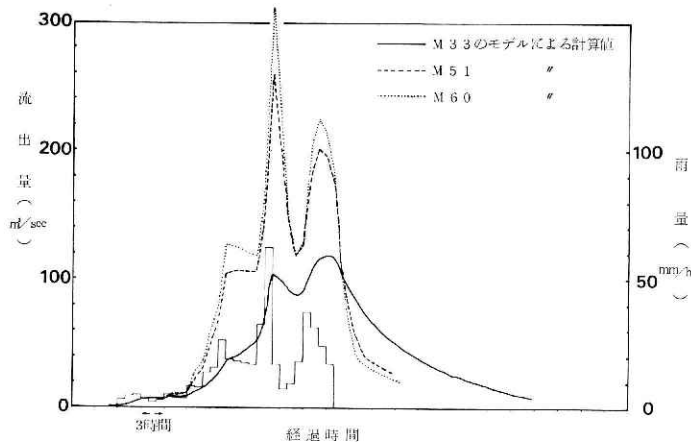


図10.1 洪水例(昭和33年狩野川台風)

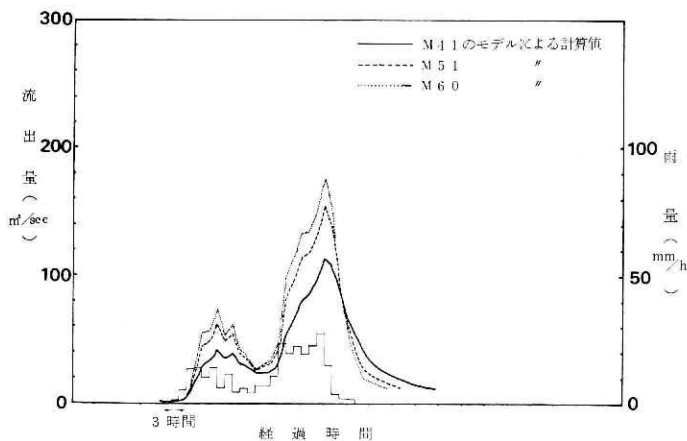
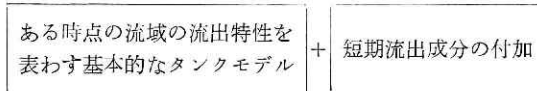


図10.2 洪水例(昭和41年台風4号)

4. ま と め

東京都の西北部を流れる石神井川を例をとり、流域の都市化に伴う洪水流出特性の変化をタンクモデルを使い調査した。

石神井川流域の都市化による洪水流出の変化が、タンクモデルによって次のように表現できた。



短期流出成分の付加は、一段日のタンクの流出孔の係数の増加を意味し、その係数の変化は都市化の進展の目安となる宅地面積率の増加とよく対応していた。今回は一つの流域についての報告であるが、さらに他の流域についても同様な関係が確認できれば、長期間にわたる観測資料のない都市化域でも、現在の水文観測資料により、流域の洪水流出特性を表わす基本的なモデルを作り、一段日の流出孔の係数を都市化の指標としての宅地面積率を想定することにより決定し、将来の洪水流量の変化を降雨パターンを定めて予測するということも可能と思われる。

流域の都市化による、短期流出成分の増加はピーク流量、流出率の増加をもたらし、その影響は短時間雨量の大きいものほど大きく現われることが確認できた。このことは、中小河川の氾らん災害は短時間雨量と関係する（青木、1978）と述べられていることと一致する。

今回の報告では、観測された水文現象のみに目を向け、実際の災害の様子は考慮されていないが、都市化による中小河川の水害は、都市化によって増大する洪水流量に対して、どの様な対応策がなされてきたかによってもその様相は異なってくる。都市化流域の水害を軽減するためには、起りうる洪水を予測して先行的な諸対策を講じて行くことが大切である。そのための予測手法をより確実なものとしていくために、今後も実際の都市化流域の解析研究を進める一方、流域モデルによる実験的研究等により、流域の都市化による水文要素の変化とその流出に及ぼす影響を追求して行く研究が必要と思われる。

5. 謝 辞

この研究をすすめるに当たり、国立防災科学技術センター元風水害防災研究室長青木佑久氏（現在建設省東北地方建設局北上川ダム統合管理事務所長）同研究室入沢実氏には、種々の御助力をいただいた。

そして、長期にわたる水文観測を忍耐強く続けられ、貴重な資料集を作りあげ、またその成果を我々の研究のために割愛された建設省土木研究所水文研究室の皆様にご心より感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 青木佑久(1978):著しい洪水災害をもたらした降雨の特徴, 国立防災科学技術センター研究報告, 第20号, 1-16.
- 2) 井内昇(1978):武蔵野の開発史, 地理, 1978年11月号, 45-56.
- 3) 貝塚爽平(1979):東京の自然史, 第二版, 紀伊国屋書店, 239 pp.
- 4) 建設省土木研究所(1972):石神井川流域水文観測資料(昭和33年~昭和46年).
- 5) 建設省土木研究所(1979):石神井川流域水文観測資料(昭和46年~昭和52年).
- 6) 木下武雄(1972):都市開発に伴う流出変化に関する研究, 防災科学技術総合研究報告, 第29号, 3-14.
- 7) 岸井徳雄(1979):都市化による洪水流出の変化——石神井川流域の例(第1報)——, 国立防災科学技術センター研究報告, 第22号, 27-38.
- 8) 水越・尊田(1966):都市域からの洪水流計算(第1報), 土木技術資料, Vol. 8-9, 11-18.
- 9) 菅原正巳(1972):流出解析法, 初版, 共立出版, 257 pp.

(1980年6月24日 原稿受理)