

委員会報告

多摩ニュータウンにおける流出変化に関する研究報告

REPORT ON THE RUNOFF CHANGES DUE TO LARGE-SCALE URBAN DEVELOPMENT IN TAMA NEW TOWN

都市水文学研究会*

By Committee on Urban Hydrology

1. ま え が き

多摩ニュータウン流出試験地調査は、都市化による流出変化の解明を目的として1969年にその観測をスタートした。観測は必ずしも順調なものではなく、工事等のため中止せざるを得ないものや、観測地点をやむなく移動したものもあったが、流域の都市化に関する資料とその間の降雨・流量データはほぼ当初の目的どおり得ることができた。観測が開始されてから15年たった1984年3月22日、都市水文学研究会が組織され、今後の多摩ニュータウン流出試験地のあり方について討議し、次のように申し合わせた。

- 多摩ニュータウン流出試験地としての総合的な観測は終了させ、とりまとめ作業を行う。
 - 降雨・流量データを自記紙から照査して再整理し、土木研究所が資料として印刷する。
 - 当初の構想どおりの方針に従い、データを所有している機関が解析を行い、これらの結果をもとに多摩ニュータウン流出試験地全体の総合モデルを作成する。
 - これらの解析結果を「多摩ニュータウン流出試験地調査報告書」としてまとめる。
- 降雨・流量データは、自記紙を収集することから始まり、照査の末、「多摩ニュータウン試験地水文観測資料その1～3」（土木研究所資料第2225号）として、1985年3月に刊行した。

各機関による解析結果は、「多摩ニュータウン流出試験地調査報告書（都市水文学研究会）」として1986年3

月に刊行した。本稿はこの報告書を、調査開始に至るまでの経緯・考え方に重点をおいてまとめたものである。

都市水文学研究会の現メンバーは下記のとおりである。

木下武雄*（国立防災科学技術センター）
 吉野文雄，吉谷純一，堀内輝亮（建設省土木研究所）
 細見 寛，福留 勉，木村慎二（建設省関東地方建設局京浜工
 事事務所）
 和泉 清，守田 優（東京都土木技術研究所）
 松下 潤，安村吉春（住宅・都市整備公団）
 柳原和憲 （同 南多摩開発局）
 虫明功臣（東京大学）
 安藤義久（東京都立大学）

*は代表者

2. 調査の構想から実現まで

わが国の高度経済成長が成功しつつある中で、人口の都市域への集中が顕著に認められるようになったのは昭和30年代の後半からである。この時期にはまた伊勢湾台風・第2室戸台風等により大都市圏の新しい市街地が風水害を受け、多くの死傷者等の大被害を出した。

都市を作ると風水害がふえるのではないかと疑われ出したのもその頃からである。それまでは戦争中の森林の乱伐などが洪水の原因だ等と何となく思われていた。都市化と洪水との関係をはっきりさせるためには、そのための調査、特にその目的のための水文観測をしなくてはならない。建設省は数多くの水文観測所をもっているが、多くは治水・利水の基準点であって、地点選定には、むしろ流域の諸条件が人為的には変わらないような所を選

* 事務局：建設省土木研究所河川部水文研究室（〒305 茨城県筑波郡豊里町大字旭1番地）

Keywords: Tama new town, urban hydrology, runoff changes, experimental basins, scale factor

んでいる。都市による流出、特に洪水流出、変化の場合のような特定の調査研究には、その特定の目的に沿った観測網と解析手法をもたねばならない。このような特定の目的の下に流出を試験する場所（流域）を流出試験地とか試験流域・実験流域とかよぶ。特定の目的をもつ場合、開始する前に流出試験地の目的に対する適合性および立地条件を考慮しなければならない。単純に言えば、どこでその調査研究を行うかということである。

1963（昭和38）年頃より土木研究所では東京都内にあって都市化しつつある石神井川（荒川の右支川で東京都武蔵野台地北部を西から東へ流れる）・神田川（石神井川の南側を同様に西から東へ、都心を流れる）における洪水を調べた結果、都市化による流出の変化は今後重大な問題を提起するであろうと予測した。そこで石神井川において水文観測所を設置して継続的にデータを収集し、解析して流出が変化した事実とその機構を明らかにし、かつ今後の都市化の場合の洪水の激化を単純な仮定で予測するという研究を発表した（Kinosita, T. and Sonda, T. : Change of Runoff due to Urbanization, Internat. Symp. on Flood and their Computation, August 1967, Leningrad, UNESCO）。都市化による流出変化についての、世界的にみても初期の論文である。しかし、確定的な結論として河川の計画や管理に用いるにはまだ調査不十分であったので、多摩ニュータウンで流出試験地を設けて都市化による流出の変化を調査研究することにした。

試験流域自体は古くから、水文学の中では重要な調査研究の一手法と考えられていた。特に森林水文学では森林の理水機能という面で、①複数の類似流域を選び、1つを自然のまま残し、他を皆伐等変化させて、観測結果から皆伐等の影響を検出する方法、②1つの流域で、自然のまま10年というオーダーで流出を観測し、次に皆伐等で流域を変化させて、さらに10年というオーダーで流出を観測して、皆伐等の影響を検出する方法、の2つが基本的な方法である。石神井川の研究は②の方法に近いが、都市化による流出の変化というような急を要する研究には①の方がよいように思われた。土木研究所でそれまでに実施された流出試験地の考え方においては、大河川の流出を測ることは困難が多いので、比較的測りやすい小流域で基準とか、指標とかになるような流出を観測して、基礎データを得、大河川の洪水・渇水対策に役立てようとした例が多かったが、大規模で計画的な都市化における流出の変化を早期に結論づけるためには多摩ニュータウンで複数の比較流域を並行的に観測を続けるのがよいと判断した。

しかし、多摩ニュータウンでわかる事実は多摩ニュータウンでの都市化であって、石神井川でいうような都市

化とは違うという疑問もある。たとえばここは分流式下水道であるため、雨水は雨水渠を伝わってきわめて早く最寄の河川へ排水される。また下流部の改修が進捗しない間は防災調整池によって雨水を一時調整する。大規模で計画的な都市化では分流式下水道および下流改修前の防災調整池は一般的とみられるから、実情をチェックしながら多摩ニュータウンで実施すれば水文学的に代表性があると判断した。

次に立地条件について考察した。流出試験地の立地条件には次の7項が挙げられる。

- (1) 都市化が速く進行する所。
- (2) 類似の複数の流域があって1つは自然状態で他方が都市化するといった明瞭な差異があること。
- (3) 目的とする精度で観測が可能なこと。流域が小さくなると観測器械の時刻の精度が高くなければならない。流域面積が確実に決められるか。流量観測の精度は十分か。一般的に言えば、10 km²以上が望ましい。
- (4) ある程度の傾斜地が望ましい。平坦地では下流側の影響が上流へ波及すると観測条件を悪くすることがある。
- (5) 近いこと：点検・流量観測に便がよいこと。
- (6) 地質条件など、水文現象に関係深い自然条件がよくわかっていないこと。
- (7) 土地所有者等の協力が得られること。

日本住宅公団（当時）と東京都とが計画していた多摩ニュータウンはこの立地条件を満足するものであった。

この計画をどのような形でスタートさせるかについては、関係する機関になるべく多く参加してもらうことを原則とした。なぜなら都市化による流出の変化については、今後の国の住みよい環境づくりの根幹にかかわる大問題であるため、その解決には国の強力な施策が必要であり、多くの土木技術者の協力を得なければならないし、それには decision maker も含めて土木技術者によく知ってもらわなければならないからである。さらにこの調査研究の規模が大きくなるので関係機関の協力をあおいだ方がよいと判断された。

分担は、関係機関が業務目的と整合する範囲で協力しあうという考え方から、日本住宅公団（当時）は宅地開発の事業者であるために第1の関係者として参加し、東京都はこの流域の中の河川改修の事業者という立場で参加し、建設省関東地方建設局京浜工事事務所は本川である一級河川多摩川への影響を調査するという立場で参加し、建設省（河川局治水課）はこの問題の重要性に鑑みて全国的な視野からこの種の調査研究を推進するというので、建設省土木研究所（河川部水文研究室）は全体の世話役となるということで上記の諸機関の共同の調査

研究でスタートした。

石神井川の実験を踏まえ、一般的な都市化と洪水との関係に発展できるように、流域面積により流出機構を分類し、マイクロスケール、メソスケール、マクロスケールと各スケールで作用する要素を総合的に観測調査しようとする試みは画期的であった。観測は上記機関がそれぞれの行政目的に合致してやりやすいように分担して行い、結果は持ち寄って討論するという方針で進み、本調査は著しい発展がみられた。

建設省としては、この調査の重要性を認識し、河川事業調査の一環として取り上げ、上記の方法を参考として全国的な流出試験地調査に発展させた。

なお、この後、小区域における雨水の挙動特に浸透を詳細に研究するため東京大学生産技術研究所が新たに加わったのはまことに幸いであった。

3. 観測ネットワーク

多くの機関が参加することになったわけを述べたが、この場合には特に、どのようなスケールの現象を対象として、どのような観測網を共同で組むかを考えておかないと、ばらばらな研究になってしまう。それで、まずこの地質・地形から発生するであろう流出現象と都市化とを想定しなければならない。

この多摩ニュータウンは多摩川の右支川大栗川・三沢川の流域で、大栗川は多摩丘陵を16号国道が越える御殿峠付近の標高200m程度の山から発して東へ流れ、河口距離33.5km地点で多摩川に合流する。三沢川は大栗川の下流側に位置する。本プロジェクトでは三沢川流域は多摩ニュータウンに含まれる面積が相対的に小さいので、一応対象外とする。大栗川には乞田川・太田川という支川があり、乞田川流域が最も早く開発されることになっていた。

多摩丘陵は西に高く東に低く、ゆるく傾斜している。尾根の上部は関東ローム層が数m堆積し、その下に厚い稲城砂層があり、その下に連光寺互層とよばれる礫層・泥岩層の互層がある。稲城砂層は多摩ニュータウン内の切り土面で一般的にみられる砂層で、連光寺互層は大栗川・乞田川の下流部でみられる。これらは走向は北20°~25°東、傾斜は南東へ4°~6°であるため、西の高い尾根に、より古い地層がみられる結果となっている。

大栗川・乞田川の流域はさらに小さい甘藷状の谷戸(やと)に分かれていて、それは約1km²の面積である。多摩ニュータウンの計画では1街区(2小学校・1中学校を中心とした開発の単位)は約1km²である。この中に公園・住宅の区画・学校等が分布し、約1万人の人口を収容することになる。

このことから次のように対象の規模に応じてミクロス

ケール、メソスケール、マクロスケールに分けて観測網を計画した。

(1) ミクロスケール

面積：0.05 km² ぐらい

目的：流出率の変化・表面粗度の変化

試験流域7種：独立住宅・集合住宅・校庭・公園
緑地・山林・畑・田

(2) メソスケール

面積：1km² ぐらい

目的：流域からの流達時間の変化

試験流域3種：開発の早い地区、開発の遅い地区、
自然が残る地区

(3) マクロスケール

面積：20 km² ぐらい

目的：都市化の総合された効果(特に河道改修も
含めて)

観測所：大栗川上・中・下流部、乞田川、大栗川
が多摩川へ合流する直前。

それぞれのスケールの流出現象における意義を次に述べる。

(1) ミクロスケール：流出の単位としての斜面またはその一部を取り上げている。地表条件(下水道という工種)としては一様性のある部分を指す。したがって流出としては単純で、多分に表面流出発生を観測するような意味をもつ。このことは都市化によって表面流出が増加すると考えられていることに対するきわめて直接的な解答である。

(2) メソスケール：自然条件としては長さ500mほどの斜面から谷川(川幅0.5~1m程度)へ流れ込んだ流出水が1~2km流れて、斜面下部からの地下水流出、あるいは中間流出まで含めて流れてくる。都市化条件下では屋根の樋、間地から下水溝へ入った雨水が一街区にわたり集合し、直径2m程度の雨水渠を流下する。都市化によって中間流出が顕著に変化すると考えられるので重要なスケールである。

(3) マクロスケール：河川としての形態における流出で、現象は総合的であり、年間を通してみれば、蒸発散を除けばおそらくすべての流出成分を含んでいるような流出である。流出の時間分布が問題になるスケールである。河道改修の効果も含んでいる。

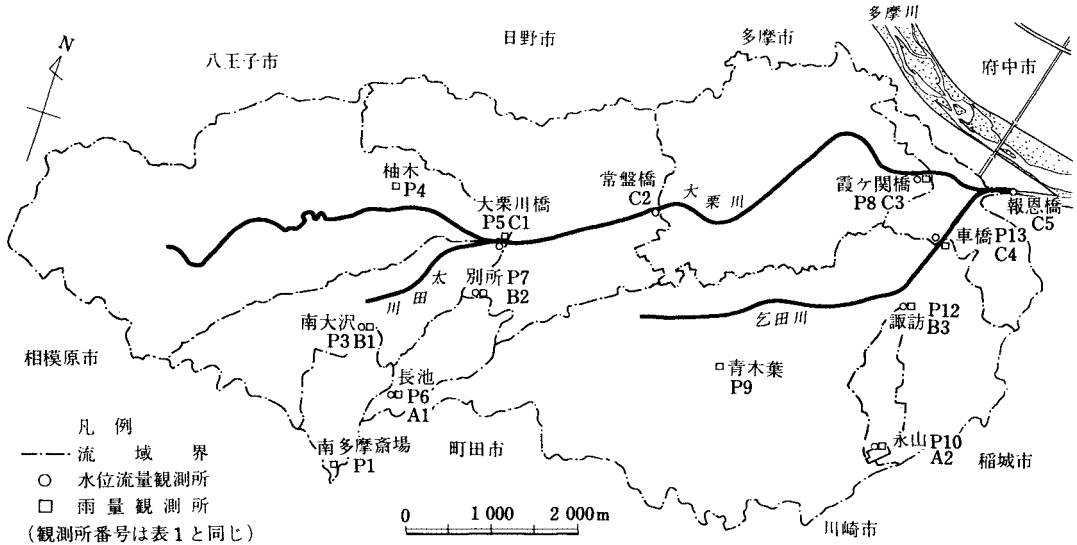
河道改修の効果についてここで再考する。乞田川はあまり長くないし、当時すでに部分的に河道改修は始まっていた。大栗川は谷底平野を蛇行し、長さもかなりあり、改修はこれからという段階であった。このような川がショートカットされて短縮化し、河道整正で粗度が低下したときには、マクロにみた流出の変化のみならず、河道内の洪水伝播という見地から、この現象を明らかにで

表-1 観測期間一覧表

観測所	記号	管轄	西暦 (昭和)												観測器機			
			1969 (44)	1970 (45)	1971 (46)	1972 (47)	1973 (48)	1974 (49)	1975 (50)	1976 (51)	1977 (52)	1978 (53)	1979 (54)	1980 (55)		1981 (56)	1982 (57)	1983 (58)
雨量観測所	南多摩斎場	P 1	東京都建設局															自記雨量計
	清水入谷戸	P 2	建設省土木研究所															水研62型自記水位雨量計
	南大	P 3	"															"
	柚木	P 4	建設省京浜工事事務所															自記雨量計
	大栗川橋	P 5	東京都建設局															水研62型自記水位雨量計
	長池	P 6	住宅・都市整備公団															自記水位雨量計
	別所	P 7	東大生産技術研究所															"
	明神橋	P 8	東京都建設局															水研62型自記水位雨量計
	霞ヶ関橋	P 9	"															"
	青木	P 10	住宅・都市整備公団															自記雨量計
	永山	P 11	住宅・都市整備公団															自記水位雨量計
	瓜生	P 12	住宅・都市整備公団															自記雨量計
	諏訪橋	P 13	建設省土木研究所															"
水位観測所	大栗川橋	C 1	東京都建設局															水研62型自記水位雨量計
	常盤橋	C 2	"															"
	明神橋	C 3	"															"
	霞ヶ関橋	C 4	住宅・都市整備公団															気泡式自記水位計
	車橋	C 5	東京都建設局															水研62型自記水位雨量計
	車橋	B 1	建設省京浜工事事務所															水研62型自記水位計(1979年まで)、 デジタル水位計(現在まで)
	報恩橋	B 2	建設省土木研究所															自記水位雨量計
	南大	B 3	住宅・都市整備公団															自記水位雨量計
	別所	A 1	"															水研62型フローレス自記水位計
	諏訪池	A 2	住宅・都市整備公団															自記水位雨量計
	永山	A 2	東大生産技術研究所															"

A：ミクロ流域 B：メソ流域 C：マクロ流域 P：雨量観測所

(破線で示した観測資料は未公表)



図一 多摩ニュータウン流出試験地流域図 (1980年当時)

きないかという議論があった。時刻、水位の観測精度からみて、よほどの河道短縮または粗度の低下でないと変化を検出できないと思われた。しかし河道改修の前後の比較が容易である例はまれであるので、河道改修の効果を明らかにするための観測網を大栗川におくことにした。

多摩ニュータウン流出試験地はこのようなスケールに分けた観測体制をとった流出試験地で、その配置および観測所は図一、表一に示すとおりである。

4. 宅地開発と河川改修

(1) 宅地開発

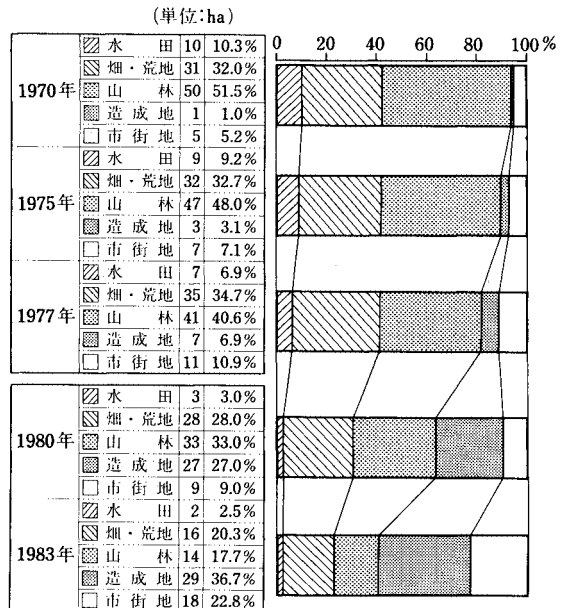
河川改修は一般に下流から着手するのに対し、宅地開発は上流で行われることもあるので、宅地開発による流量の増加を調整池の設置により対処することが多い。また河川改修を行う場合であっても、宅地開発と並行して進めることもあるため暫定的な防災調整池の築造をする場合が多い。

したがって、各谷筋には調整池を設け、さらに開発地区境界には仮排水路等を設けることによって地区外への洪水流出を抑えている。このほか、造成中の大規模な法面あるいは、ひな段造成等に対しては、各宅地盤の法肩での防災小堤の設置、仮設側溝による導水等によって、洪水の場所的、時間的集中を極力抑えている。

概略の計画地盤高に仕上げる切盛土工、運土工事を一次造成工事といい、その後の路形築造および主要な擁壁等の施工による宅地盤の整形を二次造成とよんでいる。以降、工事は下水管渠の布設、街築舗装工事と進められる。

なお、集合住宅用地内および公園等の管渠は住宅建設と同時に施工される。

多摩ニュータウンでは、まず谷戸上流部で新住宅市街地開発事業により防災調整池を設置し、その後上流部を大規模で短期間に造成する。その後下流部を土地区画整理事業により造成する。工事は乞田川中流右岸の永山地区から始められ1967年より逐次竣工していき、全体として乞田川上流に向けて展開された。大栗川流域の開発は乞田川流域よりも遅く1978年から本格的に工事が開

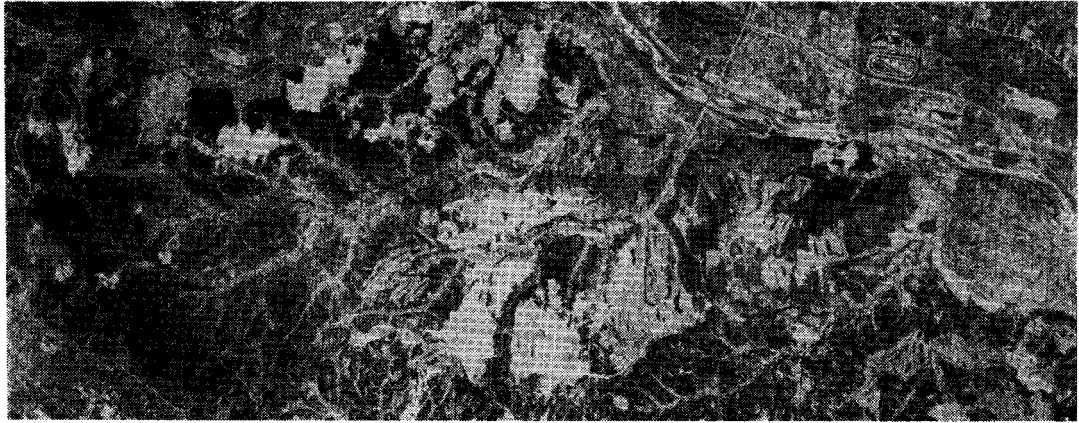


図二 南大沢流域の土地利用経年変化図

始された。写真—1、写真—2は1972年と1985年に撮影された多摩ニュータウンの航空写真であり、前者では永山地区はすでに宅地化されその西側の2つの地区が造

成中の状態、後者では乞田川流域はほとんど宅地化され大栗川流域でもかなり宅地化されている状態である。

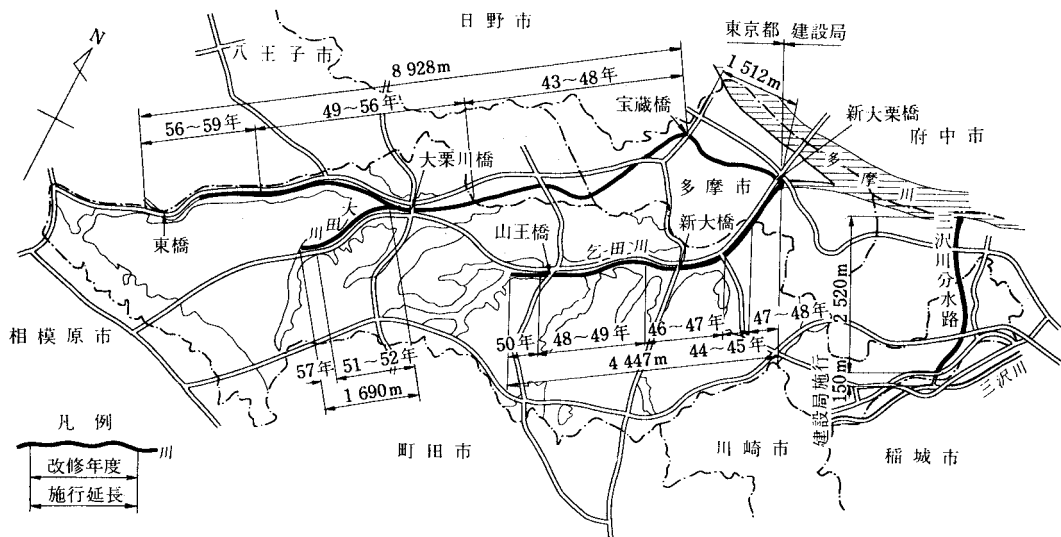
各試験流域での土地利用経年変化は航空写真より整理



写真—1 多摩ニュータウン航空写真1972年（昭和47年）



写真—2 多摩ニュータウン航空写真1985年（昭和60年）



図—3 多摩ニュータウン関係河川改修着手年度

されており、例として南大沢流域の土地利用変化を図一2に挙げる。

(2) 河川改修

多摩ニュータウン内の大栗川、乞田川、太田川の改修計画は暫定改修計画および総体計画からなり、現在までの改修は暫定改修計画に基づく事業である。この暫定改修は以下の方針により計画された。

- i) 素掘断面 (法勾配 1:2)。
- ii) 河幅は総体計画と同じとする。
- iii) 計画流量は超過確率 1/5 程度の流下能力をもつ断面とする。
- iv) 縦断勾配は総体計画と同じとする。河道の深さも同様である。したがって、床固は総体計画のものを設置する。
- v) 横断形は原則として、複断面とする。
- vi) 床固の上下流には護岸を設ける。
- vii) 粗度係数は $n=0.035$ とする (総体計画では $n=0.030$)。

改修事業は 1969 年から始められ、土地区画整理事業と共同して土地取得を計り、蛇行を短縮し、緩くカーブする法線形状の河道に変えられた。大栗川ではこの結果旧河道の 20% が短縮された (図一11 参照)。河道は全般に掘り込み河道で地盤高より少し高い堤防があり、川幅も十分に広くなった。河床勾配は旧河道の河床勾配に近づけるようにしたため、河道短縮による落差を落差工で受け持った。したがって改修河道は旧河道とほぼ同程度の勾配となっている。改修着手年度は図一3 に示すとおりである。

5. 洪水流出の変化

洪水流出の変化について、石神井川での調査等から次の事項を明らかにすることが重要であると予想された。

- ① 流出率：都市化によって洪水流出率は増えるであろう。その量的見積りを明らかにする。
- ② 流出係数：合理式において用いられる流出係数は実用上、土地利用別に記述されているが、その再検討を

する。

- ③ ピーク発生が早まること：洪水のピークが都市化によって早まる事実を明らかにする。
- ④ 各流出モデルに応じたパラメーターを改善する。また、都市化とパラメーターとの関係を明らかにする。

この方針に沿って、得られた洪水データすべてについて解析された。これらの結果は、流域のスケールや土地利用のほかにも降雨規模等の流域以外の条件が影響すること、特に流出率の場合総雨量と相関があることは周知のとおりである。ある程度大きい出水を対象として、それぞれの流域で平均的にどのような値となるか、またどのように変化したかを概念的に把握しよう。表一2 に①, ②, ③の検討結果を、表一3 に④として貯留関数法、等価粗度法による検討結果を示す。

永山流域は、1978 年から駐車場を舗装し不浸透面積率が増えたため、その時を境にして流出率、流出係数が増加しているのがわかる。

また、都市化の指標として道路面積と屋根面積をもって表わす不浸透面積率、公共下水道の普及率 (供用済)、河道の整備率 (計画河道に対する現況河道の疎通能力)

表一2 流出率、洪水到達時間、流出係数一覧

		f	t_c	f_p
マイクロ流域 長池 永山		0.1 程度	10~50分	0.1 程度
	1970~1977年(昭和45~52年)	0.4 ~0.6	2.5~10分	0.25~0.6
	1978~1983年(昭和53~58年)	0.4 ~0.8	2.5~7.5分	0.5 ~1.0
メソ流域 別所 諏訪 南大沢		0.2 ~0.6	50~130分	0.1~0.45
		0.2 ~0.4	10~50分	0.4以下
	1969~1976年(昭和44~51年)	0.15~0.65	30~130分	0.02~0.43
	1981~1983年(昭和56~58年)	0.30~0.64	30~90分	0.17~0.45
マクロ流域 車橋		0.3 ~0.7	30~50分	0.1~0.3
	1972~1974年(昭和47~49年) 1975~1979年(昭和50~54年)			0.4~0.65

表一3 モデル定数一覧

		貯留関数法 K 値 ($p=0.6$ のとき) (平均)	等価粗度 N (平均)
別所		22.6	16.0
永山	1970~1977年(昭和45~52年)	1.38	0.016
	1978~1983年(昭和53~58年)	0.98	0.025
車橋	1972~1974年(昭和47~49年)	14.3	0.98
	1975~1979年(昭和50~54年)	13.1	0.35
南大沢	1969~1976年(昭和44~51年)	4.5	0.50
	1981~1983年(昭和56~58年)	2.2	0.16

の3要因で表わす都市化数をとり、流出率、流出係数、洪水到達時間を表わすパラメーターとの関係も検討された。

南大沢流域は図-2に示したように経年的に都市化が進行した流域で、①1969～1976年(山林が約50%、田が約10%、畑が約30%)、②1981～1983年(山林・畑ともに20%弱、造成地・市街地が約50%)の2期間に分けて比較する。市街地面積率(造成地を含む)の増大とともに両モデルのパラメーターは小さくなり、貯留関数法 K ($p=0.6$ のとき)は図-4のとおり平均的には約1/2になり、等価粗度 N は図-5のとおり平均的には約1/3に小さくなるのがわかる。

このように平均値で比較すると、降雨タイプによりモデル定数が異なることやモデルの適用が不適切である場合もあるので、南大沢流域のデータでいくつかの降雨パターンに分けた流出特性の分析も行った。

その他に、準線形貯留型モデルについても検討され、適合度のよいものもあれば悪いものもあり、都市化が進行するほど適合度がよくなる傾向がみられた。このモデルについてはさらに研究が必要である。

また、土地利用別の実測による浸透能を用いた有効降

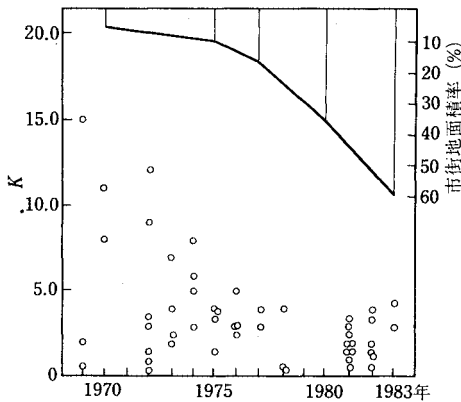


図-4 南大沢流域の K の経年変化

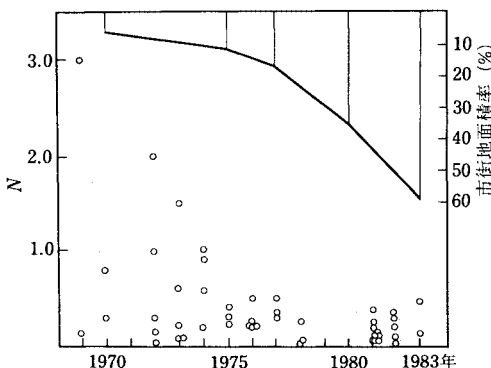


図-5 南大沢流域の等価粗度 N の経年変化

雨モデルとRRL法による計算法が車橋流域で良好な再現性を示したこと、自然地での散水流出実験により浸透能の変化がHorton式により見積りが可能であること、ローム層とその上の落葉腐蝕層の浸透能が非常に大きく、表面流出の発生は斜面下端等の限定されたところに生じること等を明らかにした。

6. マクロ流域への適用結果

本流出試験地がマイクロ、メソ、マクロスケールで構成されていることは前に述べた。水文学では相似率が確立されマイクロスケールの現象をマクロスケールに拡張させることが容易にできるが、水文学ではこのようなことは現在のところ不可能である。この原因としてスケールが違えば流出成分の構成も違うことが挙げられ、この問題に取り組むため3スケールの観測体制にしたのである。したがって、これらのデータを基に、マイクロスケールとメソスケールの関係、メソスケールとマクロスケールの関係を調べ、小流域での流出を大流域に拡張する研究が必要である。

しかし、マイクロスケールでの流出は水収支の研究で必要な遅い流出成分の観測はできたが、数分の単位で変化する洪水流出現象の観測はわれわれのもつ観測施設でとらえることはできなかったこと、たとえとらえられたとしてもマイクロ流域での流出成分は表面流と非常に早い中間流出で構成されメソ流域での流出成分と大きく違うと考えられることから、マイクロスケールとメソスケールの関係については検討しなかった。メソスケールとマクロスケールの関係については、メソスケールの洪水流出は、ある程度遅い成分も含み、多摩丘陵は谷戸とよばれるメソスケール(約 1 km^2)の谷を形成し、よって末端での洪水流出はこの谷戸からの流出がいくつか組み合わせられたものと考えられるため、マクロ流域の洪水流出をメソ流域からの洪水流出をつなぎ合わせて再現できるという仮説を検証する形で進めた。

流域分割は谷戸を1単位とするよう心掛け、右斜面や左斜面との対応や河道との対応を考慮して、37流域に分割した。報恩橋流域のモデルを図-6に示す。

有効降雨については、メソ流域での検討結果を踏まえて、土地利用ごとに一次流出率(f_1)、飽和雨量(R_{sa})、それ以後の飽和流出率(f_{sa})を設定した。定数は表-4に示す。

流出モデルは、建設省の全国流出試験地での解析、全国の河川計画に使用されている、あるいはされ得るモデルということを考慮し、貯留関数法、等価粗度法、準線形貯留型モデルの3モデルについて、それぞれ検討した。表-5にそれらに用いられる定数を示す。これを決定するについては、建設省全国流出試験地調査、その他の調

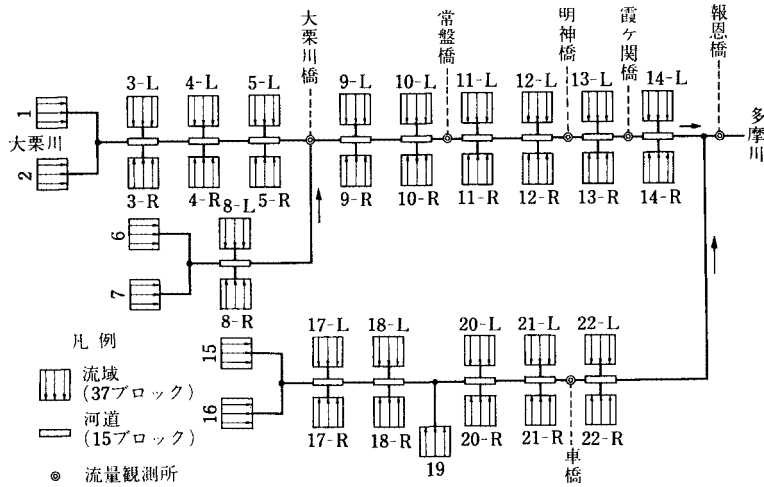


図-6 多摩ニュータウン流域モデル図

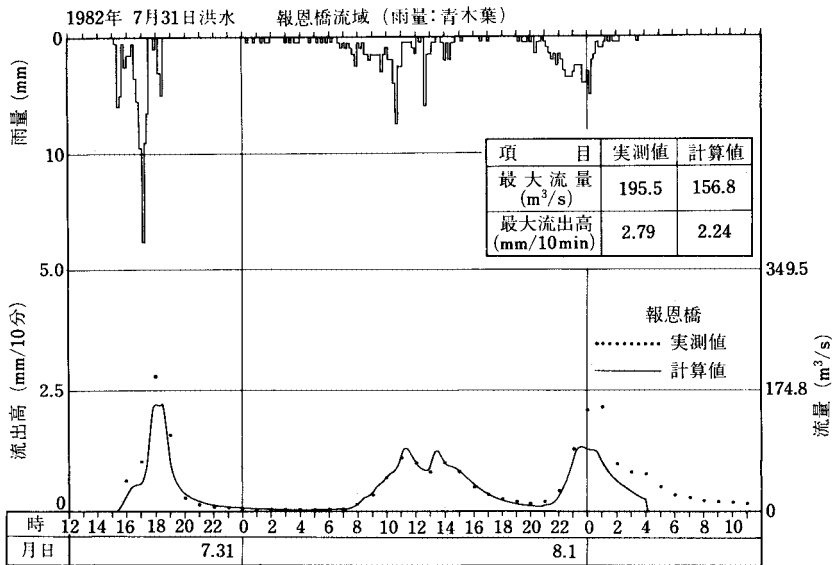


図-7 報恩橋流域での貯留関数法による計算結果

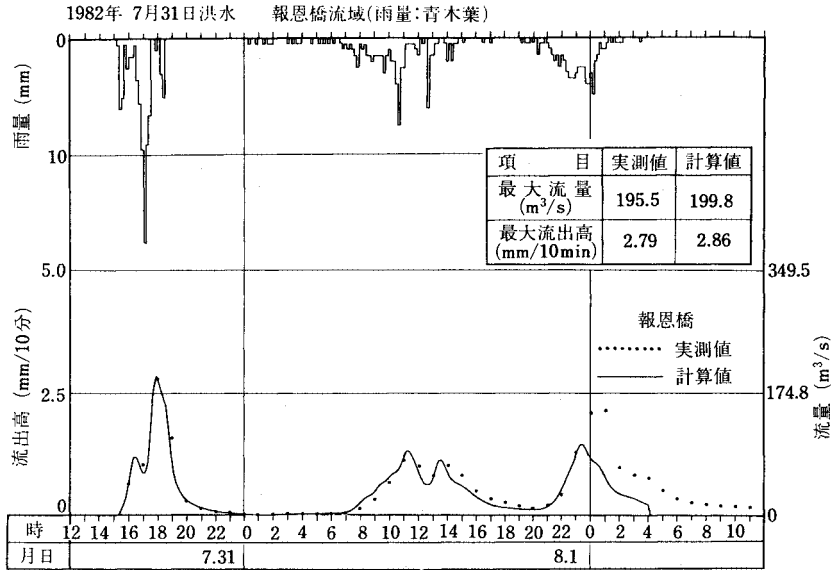
表-4 有効降雨モデル定数

地目	f_1	R_{sa}	f_{sa}
山地	0.1	100 ^{mm}	0.4
畑	0.1	100	0.4
市街地(浸透域)	0.2	80	0.7
市街地(不浸透域)	1.0	0	1.0
造成地			
不浸透域(40%)	1.0	0	1.0
浸透域(60%)	0.2	80	0.7

表-5 流出モデル定数

地目	準線形貯留型モデル C	等価粗度法 N
山地	200	1.00
畑	2000	3.00
市街地(浸透域)	200	0.50
市街地(不浸透域)	70	0.01
造成地		
浸透域(60%)	70	0.01
不浸透域(40%)	70	0.01

貯留関数法 $K=8.6A^{0.1}10^{-0.04U}$ (mm, hr の単位)
 $P=0.6$
 (A: 流域面積 (km²))
 (U: 市街地面積率)



図—8 報恩橋流域での等価粗度法による計算結果

査結果も用いている。

河道流下モデルは、それぞれの分割ブロックについて改修の有無、粗度の変化、氾濫条件の変化を反映できることを考慮に入れて河道の貯留関数により計算した。

貯留関数法および等価粗度法の適用結果をみると、図—7、図—8に示すように報恩橋流域での計算値は良好な再現性を示している。

しかし、準線形貯留型モデルでは計算手法上等の問題から適合度があまりよくなく、今後検討が必要である。

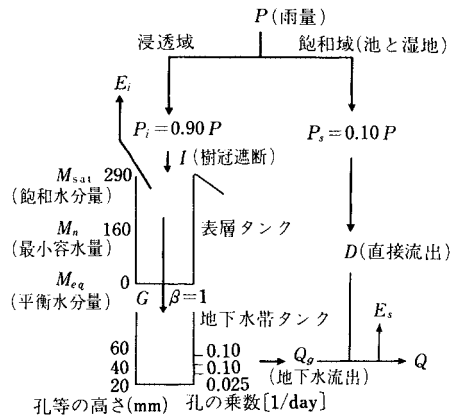
7. ミクロ流域における水収支特性の変化

ミクロ流域における流出の素過程を明らかにして、洪水流出をも含めた水循環に対する都市化の影響を調べるために、長池（山林・池）と永山（集合住宅）のミクロ流域において、降雨・流量はもとより、蒸発量、深度ごとの不飽和帯水分量および地下水位変化等一環した水循環過程に沿って一貫した観測を1977年より始めた。

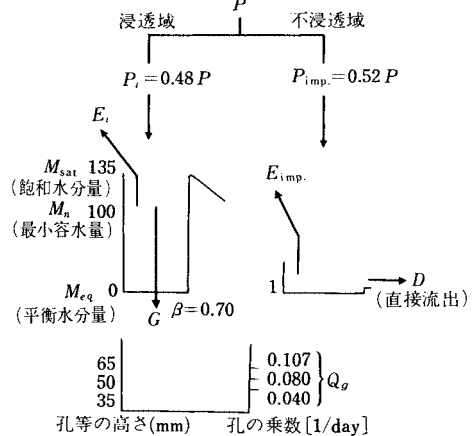
それらの観測結果をもとに、水収支解析により蒸発散量、直接流出機構、不飽和帯水分保留ならびに地下水涵養機構および地下水流出機構をモデル化し、図—9のような日単位の水循環モデルを提案した。このモデルでは流域の都市化を地被条件と表層土の水分保持特性の変化という物理量で表現しているところに特徴がある。計算結果は図—10に示すとおり計算値と実測値はよく対応し、この水循環モデルは妥当なものだと判断される。両モデルのパラメーターの比較から以下のことがいえる。

(1) 直接流出機構

直接流出の主な生起領域は自然流域(長池：山林・池)

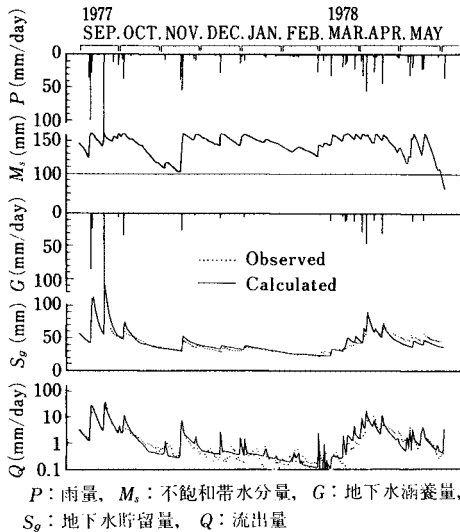


(1) 長池流域

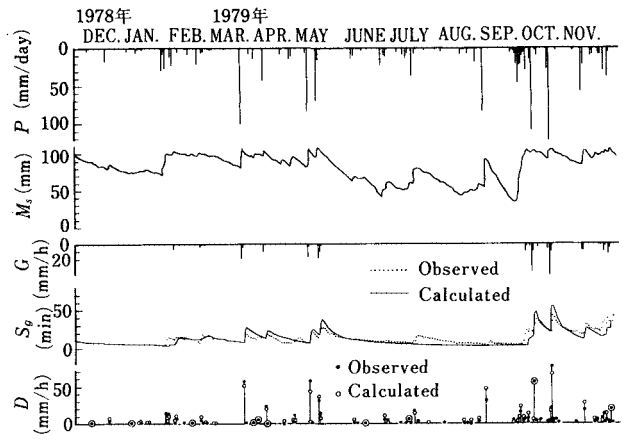


(2) 永山流域

図—9 長池・永山流域の日単位の水循環モデル



図一10(1) 長池試験流域の水循環モデルによる流出量と地下水貯留量の計算値と実測値の比較



図一10(2) 永山試験流域の日単位の水循環モデルによる計算値と実測値

の場合には、湿地や池などの飽和域であるのに対して、都市流域（永山：集合住宅）の場合には、建物や道路などの不浸透域である。すなわち、直接流出率は自然流域の場合に飽和域面積率 I_s （長池流域では $I_s=0.10$ ）にほぼ等しいのに対して、都市流域の場合には不浸透面積率 I_{imp} （永山流域では $I_{imp}=0.52$ ）にほぼ等しい。

(2) 地下水流出機構

地下水貯留量 S_g を地下水位変化×有効間隙率で求め、地下水流出量 Q_g を地下水貯留の減少分に等しいとして求め、両者を比較した結果、自然流域も都市流域も不圧地下水流出の貯留関数である。

$$Q_g = CS_g^2$$

で表わされる。定数 C は両流域とも 0.003 程度の類似の値を示し、表層付近が改変されても地下水流出機構はあまり変化しないものと判断される。

(3) 地下水涵養機構

長池流域では 90% の浸透域があるのに対して、都市流域の永山流域では 42% と半分以下になるため、地下水涵養域が減少し地下水涵養量 G も半分以下に減少する。

不飽和帯の水収支解析から都市流域では自然流域に比べて、地下水涵養に要する時間が長びく傾向が認められ、当モデルでは地下水涵養の比例定数 β の差で表現された。また、飽和水分量 M_{sat} と最小容水量 M_n の差は自然流域では浸透域換算で 140 mm 程度 $[(290-160) \div 0.9]$ であるのに対して、都市流域では 70 mm 程度 $[(135-100) \div 0.48]$ と約半分であり、重力水として移動できかつ一時保留する空隙の都市化に伴う減少が表現されている。

(4) 蒸発散機構

都市域の不浸透域では一雨ごとに約 1 mm（不浸透域

換算では約 2 mm）の少ない蒸発量 E しかない。すなわち、流域単位で見ると、都市化による不浸透域の増大が蒸発散量の減少と直接結びついている。

8. 洪水伝播特性の変化

河道改修の実態は一般に、①河道の直線化（短縮）、②拡幅、③護岸・河床の整備による粗度の減少、④勾配が急になること、⑤ポンプによる強制排水等がある。

洪水伝播の変化の可能性としては、①河道長の短縮により下流で早くピークが現われる、②勾配が急になり流速が速くなる、③粗度が減少し流速が速くなる、④水深が増加し流速が速くなる、⑤斜面流出が同時発生し見掛け上、洪水伝播が速くなる、⑥下流側から都市開発がなされる、⑦流出が増加するため伝播が速くなる、⑧単断面化される、等があり、洪水伝播が速くなる可能性と河道改修の効果とは整合しない面もある。たとえば②と④である。現実の多摩ニュータウンでの都市化は①②③で、改修河道には落差工を多く入れてあるので、④はあまり効かない。⑤もない。したがって、①③⑥⑦がみられるであろう。このほかにも大洪水と小洪水の違い、降雨空間時間分布による変化等が考えられるが、全く自然的要素はランダムに発生すると仮定して、この考察には加えてない。

大栗川の旧河道・改修河道の縦断は図一11のとおりであり、水位に連続性があり洪水波形を追跡できる大栗川橋～報恩橋の4観測所における水位観測記録から、大栗川橋を始点として、そこから下流各3観測所までの水位ピークの発現の時間差を算出した。この結果を図一12に示す。なおこの図は、河川改修による河川長の短縮を

考慮できるように、各改修年次の改修延長を加味して作成されている。図からは、1969年（昭和44年）から最近の年代にかけての伝播時間の短縮と伝播速度の増加と

の傾向が明確に把握される。

考えられる原因のうち河床勾配は改修前後で大きな変更がないし、マンニングの公式によれば、 \sqrt{i} (i は河床

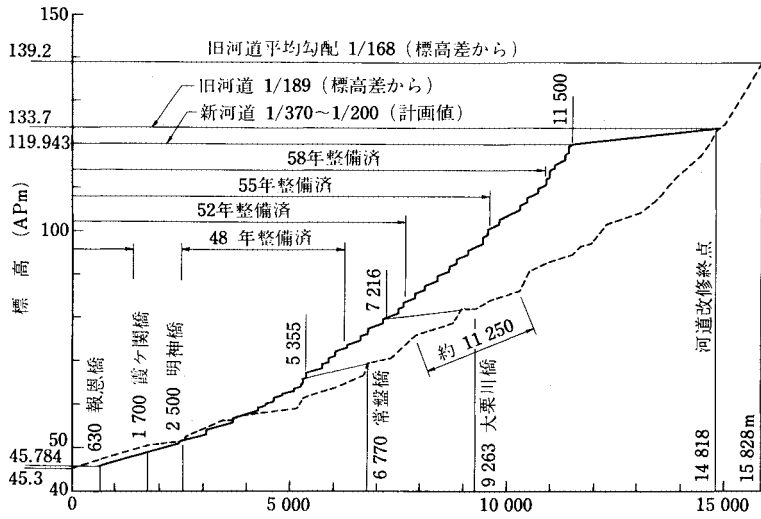


図-11 大栗川旧道・改修河道比較縦断面

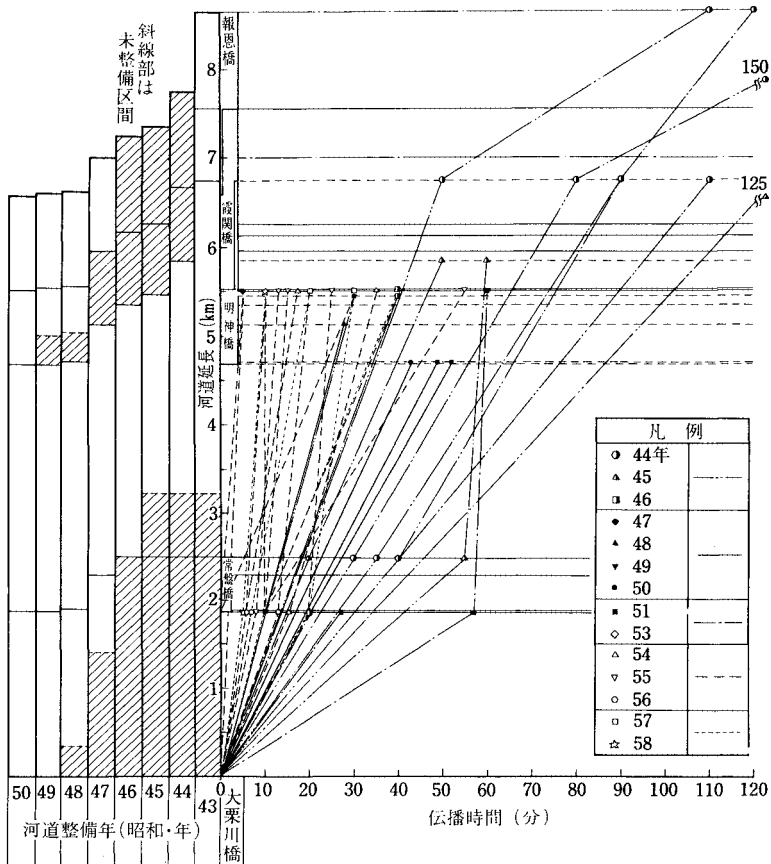


図-12 洪水の河道伝播時間

勾配)で流速に効くためにあまり大きな影響はないと思われる。改修河道は掘込方式であるから、新河道が旧河道より流域の降水を集めやすい状態になっているので、径深を増すことになり、流速を速めていることが考えられる。改修延長の短縮については、すでにグラフ上で考慮してある。粗度は、河道改修整備により、蛇行河道がスムーズな河道になったこと、天然河岸がコンクリートブロック護岸になったこと等による粗度の減少が流速を速めていることが考えられる。

以上のことから、この伝播時間の短縮の要因としては、改修延長の短縮はもとより、径深の増大および粗度の減少を取り上げることができよう。

この伝播時間の短縮が実際にどの程度到達時間を早めているか知るためにピーク水位の伝播時間差から各区間の伝播速度を計算するといろいろのばらつきはあるが、伝播速度が約3倍程度になっていることが判断される。これは1979年(昭和54年)頃より顕著に変化している。

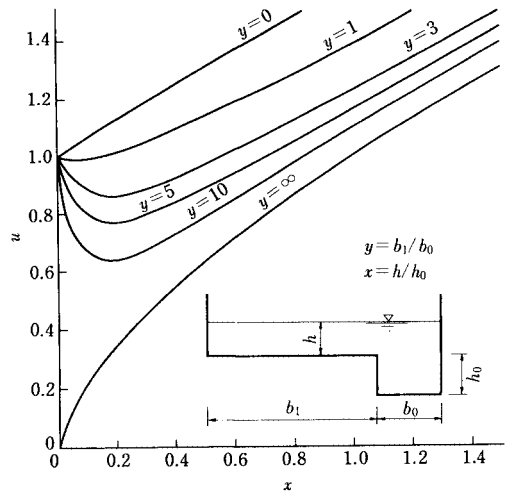
データにはかなりのばらつきがある。この原因についての速断はできないが、差をとるために時刻の観測に高い精度が要求されること等の困難によるもので、場合によっては下流観測所の方にピークが早く現われることもある。雨の降り方等によるわけで、それが不当であるとはいえないが、一応そのようなデータは除いた。例外なくいえることは、ピークが2つ以上あった場合に、後のピークが速く伝播することである。このためにもデータにばらつきがでた。異なる洪水では、水位が高いほど伝播速度が速いという傾向はあるが、必ずしも明快には結論づけられない。

ここでいえることは、大きな傾向として伝播速度が図一12のように速くなったということである。

ここで、Kleiz-Seddonの法則によりピーク伝播速度は流速の1.3倍と仮定すると1969~1971年(昭和44~46年)のマニングの粗度係数は0.080, 1979~1981年(昭和54~56年)では0.039となる。これらの値は大きめと判断されるが、両者の比較としては河状からみて妥当と思われる。

単断面化については、かつて氾濫等で実質的に氾濫原(高水敷に相当)をもっていた河川が、大栗川のような改修で単断面化した場合に、他の条件は同じでも平均流速が速くなるという可能性がある。ここで氾濫原と低水路からなる複断面水路で平均流速を計算すると図一13のように表わされる(縦軸 u : 平均流速/低水路のみで流れる流速, 横軸 x : 氾濫原上の水深/低水路のみの深さ, y : 氾濫原の幅/低水路幅)。

図中で縦軸の1より下ということは、示された x, y の値では氾濫原へ水がのると洪水の平均流速、したがってピーク伝播速度も減少する可能性を示している。大栗



図一13 氾濫原による平均流速減少効果

川の改修前にどのように氾濫していたかの記録はないが、周辺の低湿地に水が広がっていた可能性は考えられ、そうすれば、流速が遅かったことの説明になるであろう。

9. おわりに

本調査研究では、まず第一に各流域において流出率・洪水到達時間・流出係数がどのような値であるかの事実の解明に重点をおいた。これらの結果と都市化の程度を照らし合わせることにより、流出がどれだけ変化するかが推察される。このようにして推察された変化量が、地形・地質や開発の方法が違うような全く別の流域にあてはまるとはいえないが、都市化の進む流域あるいはデータの無い河川の流量計画を立てる際等に、貴重な情報を提供すると確信している。

都市化による流出の変化は、古くから懸念されてきた問題であるが、多摩ニュータウン流出試験地のように大規模に開発される地域で系統的な観測網で長期間にわたり観測されたことは世界にも例がなく、ここでの成果が都市域での水害防止にかかわる行政・研究の両面に貢献できれば幸いである。

謝 辞：このように大規模に多摩ニュータウン流出試験地調査が実施できて、有意義な結果が得られたことは、これに関係したすべての人の努力に負うものである。各機関は人が入れ替わるので、貢献された方々の数は多く、個人名を出すことはしないが、建設省河川局、関東地方建設局、京浜工事事務所、土木研究所、住宅・都市整備公団、南多摩開発局、東京都建設局河川部、土木技術研究所、多摩市、その他地元の方々に厚く御礼を申し上げる次第である。