

流域の都市化に伴う内水の変化について

山科川下流部の内水 (3)

豊 国 永 次・角 屋 睦

INUNDATION CHARACTERISTICS IN THE BASIN ASSOCIATED WITH URBANIZATION

Study on Exclusion from Flooding Trouble in Low-lying
Basin of Lower Reaches of Yamashina River (3)

By Eiji TOYOKUNI and Mutsumi KADOYA

Synopsis

The collection of accurate data on the low-lying basin of lower reaches of Yamashina River since 1963 has made it possible to examine the changes in runoff and inundation characteristics associated with urbanization.

It has been examined by using data observed for research basin in this district that the urbanization of drainage basin causes the decrease in rainfall loss and the rapidity in runoff. As the result, a method of estimation of rainfall loss for the developed hill has been derived by taking account of the decrease in the area of pervious ground surface. And the rapidity in runoff has been considered by the method of runoff analysis by the characteristics.

By using the results of the above-mentioned analysis, the changes of inundation associated with urbanization have been considered under the flood condition on Typhoon No. 13 in 1953. As the result, it has been disclosed that the inundation troubles in this district have become gradually in bad by the urbanization.

1. ま え が き

近時社会経済の進展に伴い都市周辺の丘陵域とともに低地帯の開発、都市化が急速に進行しつつあるが、こうした都市化の進展は、いうまでもなく流域の水文、地文条件を改変するため、その内水性状に変化をもたらすと同時に、一方低地帯の財価の高昇とあいまって、内水対策の再検討を必要とする場合が少なくな

い。
一般に平地における都市化の進展は、従来農地として、あるいは土地条件がわるいとして放置されていた都市周辺の低地帯に多く、例えば淀川水系をとってみても、山科川下流部、古川流域、大谷川流域、桂川下流部、鴨川下流部の低地帯など、これまでに内水の問題化した地域が多い。

われわれは昭和38年度より、山科川下流部の内水地帯についてその実態観測と解析を進め、これまでに山科川流域全般の流出特性ならびに下流部における内水の要因を明らかにするとともに、あわせて山科川下流部の内水に対する築堤効果、ならびに将来予想される堤内地開発後の内水についても若干の予察を行ってきた。

本報は、その後の観測調査資料をもとに、このような都市化の進行に起因する流出性状、内水特性の変動を解析し、それらの結果について考察を加えようとするものである。

2. 山科川下流域における都市化の進展

(1) 都市化の概況

山科川下流部の堤内地は、昭和35年頃までは Fig. 1 に示すように、木幡池、六地藏池周辺ならびに本川沿いの低地帯には農地、その周縁より丘陵地にかけて村落が散在し、郊外農村的景観が強かった。ところが、昭和36年山科川改修工事着工の前後より、堤内地の開発、都市化が始まった。その規模の大きいものをあげると、i) 山科川合流点左岸低地帯(伏見区向島大島)の埋立による宅地造成、ii) 左岸堤内地の丘陵部(御蔵山)における宅地造成、iii) 右岸堤内地(桃山町日向)の宅地造成などがある。これらの開発状況を昭和38年6月撮影の航空写真の結果よりみると、Fig. 2 に示すようで、全開発面積は、111.0 ha におよび、堤内地の約16%が宅地ないし工場用地化したことになる。なおこうした開発は低地帯の多い左岸堤内地に顕著で、左岸側だけについてみると、22%にもおよんでいる。これらの開発は年々進行し、昭和41年度山科川本川の築堤完成、堤内地を縦断する外環状線の開通ならびにこれに接続する支線道路網の整備に伴い、開発が一層促進され、とくに桃山町丹後、和泉、養斉、石田西ノ坪などにみられるように低地帯への進展の傾向がうかがえる。

さらに昭和42年4月撮影の航空写真の結果よりその開発進展状況をみると、Fig. 2 に併示するようで、全開発面積は 144 ha にのぼり、堤内地の21%を占める。こうした開発によって、現象面よりも都市的性格¹⁾を帯びるとともに、道路網の整備、発達による交通利便の増大、また非農業人口の急激な増加などいろいろな面において急速に都市化が進んでいる。

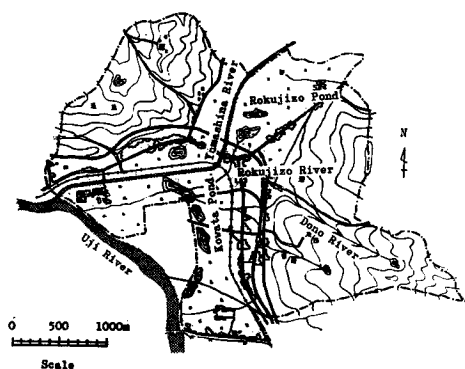


Fig. 1 Condition in the basin of lower reaches of Yamashina River in 1960.

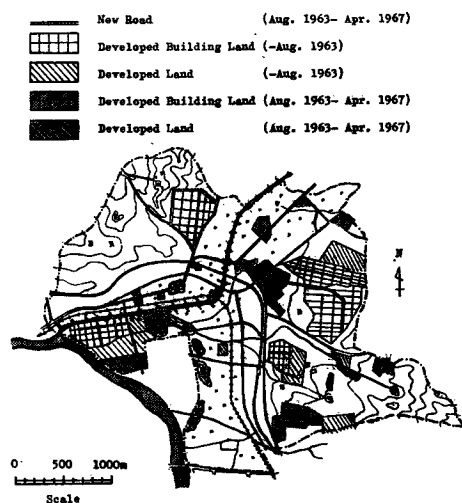


Fig. 2 Condition in the basin of lower reaches of Yamashina River in Aug. 1963- Apr. 1967.

(2) 都市化に伴う内水諸要素の変動

内水を規定する主要素は、いうまでもなく、1) 堤内流域の降雨流出量、2) 堤内たん水域、3) 外水条件、4) 排水施設の規模、からなるが、流域の開発、都市化に伴う内水の変化に直接関係する要素としては、1), 2), 3) が、とくに開発が堤内地に限られる場合は 1), 2) が問題となろう。

1) 流出特性の変動；これに関与する主要素としては、大きく分けて、流域の雨水損失特性ならびに雨水流特性の変化とからなる。いうまでもなく、前者は地表における降雨の遮断量、くぼ地貯留量、雨水の地中浸入条件の相異によりもたらされるもので、都市化に伴い、遮断量の減少、舗装道路、家屋など不浸透面の増大などより推して雨水損失量が総体的に減少することが予測される。

後者については、とくに地表面のこう配、粗度、排水路組織がvari、雨水流出の急激化が予測される。

2) 堤内たん水域の変動；低地帯の埋立による宅地、工場用地化の進展に伴い、Fig. 3 に示すように、水位一たん水量曲線が減少する。このため、たん水深を増加させ、浸水域における被害の増大が推測される。

3) 外水；本川上・中流域の開発、都市化、本川改修工事の進展によって、本川自体の出水性状は急激化し、こう水到達時間の短縮、こう水波形の尖鋭化などが予測される。しかし、前報^{2),3)}で明らかにしたように、この地域の外水を支配する主要素は淀川本川の背水位にあるので、山科川自体の流出性状の変化による外水条件の変動は、下流部の内水に対して直接大きな影響を与えないものと考えられる。

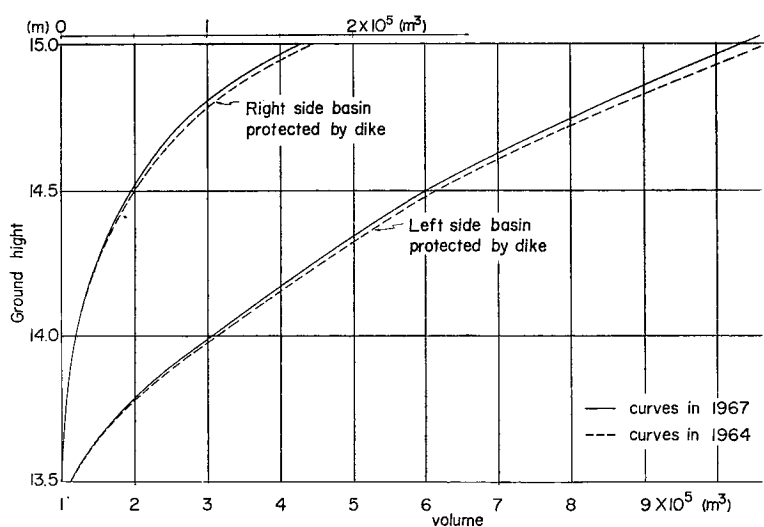


Fig. 3 H-V curves.

3. 都市化の進展に伴う流出特性の変化

都市化による流出特性の変動といった問題に関する研究は、近年始められたばかりで、Johns Hopkins Univ. グループの都市域における流出の詳細な実態観測⁴⁾、Savini, Kammerer らの都市化による土地、水利用の変化が水文条件におよぼす効果の定性的な考察⁵⁾、Willeke の都市化に伴う雨水損失の減少、Lag の変動に着目した研究⁶⁾、Tholin らの流出過程を詳細に追跡しようとする試み⁷⁾など着実な進展の方向がうかがえる。しかし、こういった流域諸条件の変動を伴う流出システムを適確に把握し、これを統一した形で表現するには、なお多くの問題が残されているように思われる。

われわれは、前報^{2),3)}において、流出特性を表現する主要素として等価相度に着目して検討考察を加えてきたが、ここでは、その後都市化の進展により流出特性がどのように変動したかを観測調査資料をもとに考察する。

(1) 調査地域

山科川流域の水文観測網は、すでに前報²⁾に詳細に記したように、下流部堤内地に重点をおいて、自記雨量計5点、自記水位計10点が配置されている。



Photo. 1 Urbanization on the Ōkura Hill
in Aug. 1963.



Photo. 2 Urbanization on the Ōkura Hill
in Apr. 1967.

ここでは、Photo. 1, 2 に示すように、とくに都市化の進展が顕著で、かつこの流域における都市化の典型的なパターンとみなされる御蔵山宅地造成地域を考察の対象に選んだ。Fig. 4 は本調査地区の詳細を示したものである。なお、この調査地域は Savini らの都市化の分類⁹⁾にしたがうと、われわれが観測調査を始めた昭和38年にすでに初期都市化の段階 (Early Urban Stage) に達し、昭和42年には、ほぼ中期にいたる段階 (Middle Urban Stage) に入っているものと考えられる。

(2) 雨水損失特性

一般に都市域は、家屋、建築物、舗装道路などの不浸透面と緑地、裸地などの浸透面とが混在した Heterogeneous な雨水損失場である点にその特長が見られる。このため、流域の地表物をおおまかに⁸⁾、あるいは詳細に^{7), 9)} 分類してそれぞれについて損失特性を別個に評価しようとする方法がとられてきている。

本調査地域は、Photo. 1 に示すように、昭和38年6月において、家屋はまだ27戸が点在している状態で、不浸透面の総和も5.4%程度であるが、昭和42年4月においては、Photo. 2 に示すように、家屋は162戸に増加するとともに道路網も若干舗装されて不浸透面の総和は、17.5%に増加している。しかしなお無建築の宅地、宅地内の庭園・空地 (平均建蔽率65%)、緑地など浸透面が本地域の主要部分を占めており、こうした浸透面上の雨水損失特性がこの地域のそれに支配的に働くものと推測される。

むろん微視的には浸透面、不浸透面を構成する各地目、地物さらに土壌構造、地被状態などによりそれぞれ損失特性に相違がみられるであろうが、ここでは、本地域における都市化の進展過程、雨水追跡に特性曲線法を用いることを念頭において、まず雨水損失を流域平均的に扱う巨視的な立場から検討を進める。

1) 損失雨量の変動; 昭和38, 39年および昭和42年の降雨、流出資料をもとに、前期無降雨日数 T をパラメーターとして、損失雨量 F と降雨継続時間 t の関係を求めると、Fig. 5 において、それぞれ実線、一点鎖線で示す曲線群が得られる。これよりみて明らかに都市化の進展による降雨損失の減少が表われている。

さて本地域における昭和38年6月から42年4月にわたる流域条件の変化は、こまかくみれば、年々の植生、土壌構造の変化なども考えられるが、その主要なものとしては、家屋の増築と道路舗装の増加など不浸透面の漸増があげられる。

不浸透面における雨水損失は、一般にくぼ地貯留あるいは不浸透面上の付着水などがあげられる。こうした損失量は一般にさして大きいものではなく、Tholin⁷⁾ らは舗装面において3mm程度までとしているが、むろんその値は不浸透面の平均こう配によって異なり、G.E. Willeke⁶⁾ は不浸透域に対する実測資料

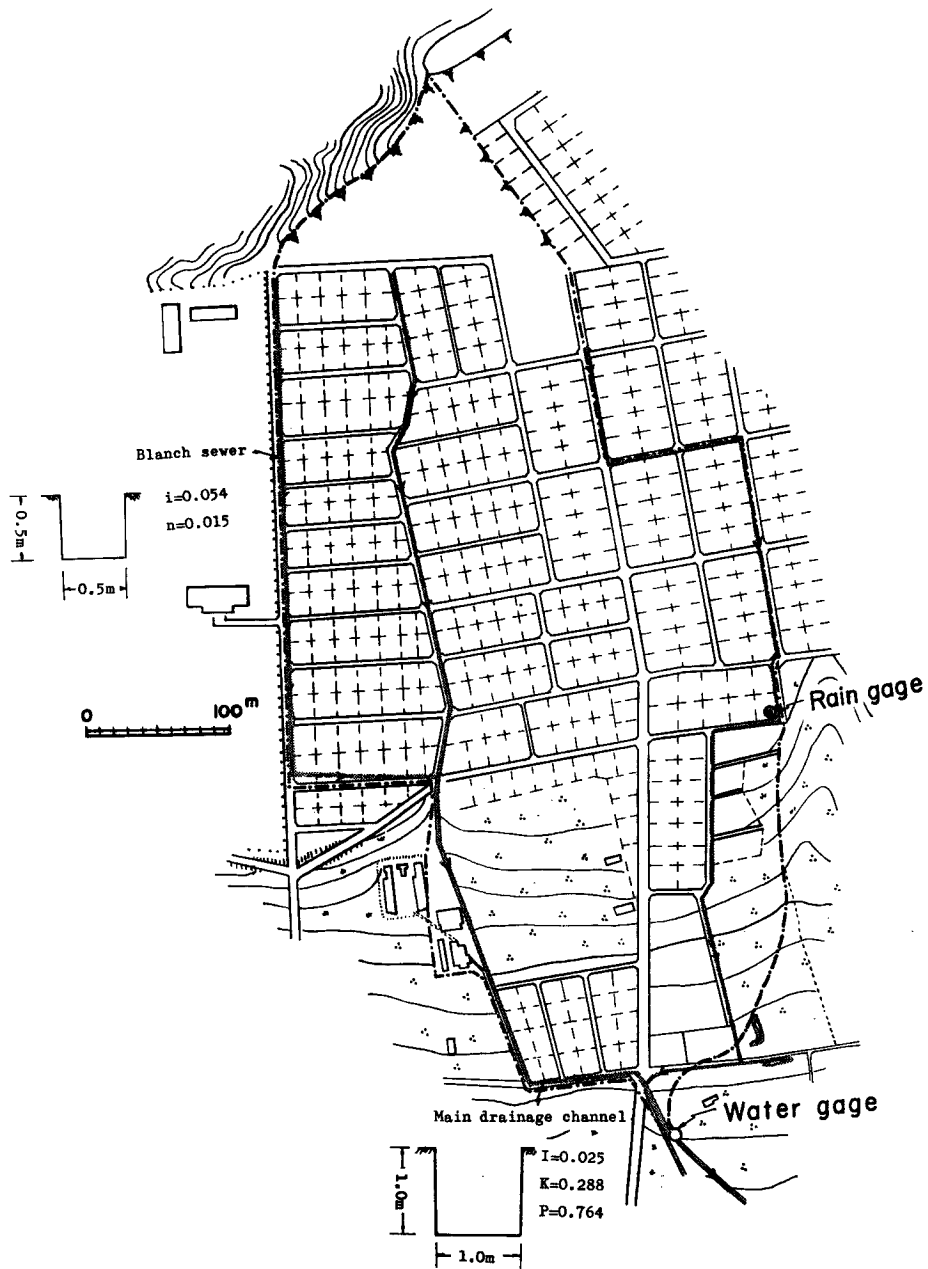


Fig. 4 Detail of research basin ($A=0.166 \text{ km}^2$).

を整理して、流域の平均損失雨量は、ほぼその流域の平均こう配に逆比例し、こう配1%で損失雨量3mm, 4%程度に達すると、0に近似するという結果をだしている。

こうした結果より推して、かなり急こう配の不浸透面をもつ本地域では、不浸透面上の降雨は100%流出

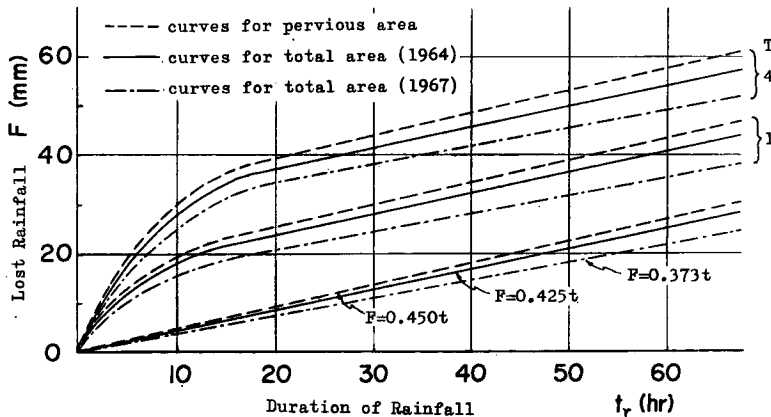


Fig. 5 Relation between lost rainfall and duration of rainfall.

するものと仮定しても大きな誤差は現われないものと考えられる。そこで前記 $F \sim t_r$ Curve を各調査年の浸透面においてのみ雨水損失が起るとして修正すると、Fig. 5 の点線で示されるように、地域全体の浸透面の損失特性を平均的に表示する一群の曲線が、実用上十分の精度で得られる。

さてこのような浸透域の雨水損失特性を、流域における雨水補給能の概念にしたがい、次の関係式¹⁰⁾を用いて解析すると、

$$\left. \begin{aligned}
 i > f; \quad & f = f_c + (f_u - f_c)e^{-bt} \\
 & b = (f_u - f_c)/V_I \\
 & V_I = W(w_s - w_h) \\
 i \leq f; \quad & f > f_* \quad \Delta f = b \Delta R \\
 & f \leq f_* \quad \Delta f = b[\Delta R - f_c(t_2 - t_1)]
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 i ; 降雨強度、 f ; 時刻 t における補給能、 f_u ; 上限補給能、 f_c ; 下限補給能、 f_* ; 土壌含水比が圃場容水量のときの補給能、 W , V_I ; それぞれ補給能に関する土層の単位面積柱体重量、空隙量、 w_s ; 飽和含水比、 w_h ; しおれ係数、 ΔR ; $i < f$ なる時間 ($t_1 \sim t_2$) の雨量、 Δf ; $t_1 \sim t_2$ 間の f の減少量。
補給能回復曲線

$$\left. \begin{aligned}
 w \geq w_c; \quad & f_0 = \frac{f_u - f_c}{W(w_s - w_h)}(E_P + f_c)t + f_c \\
 w < w_c; \quad & f_0 = f_u - (f_u - f_*)e^{-cT} \\
 & c = E_P/V_E \\
 & V_E = W(w_c - w_h)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 w_c ; 圃場容水量、 f_0 ; 初期補給能、 E_P ; 蒸発散能、 V_E ; 蒸発、補給能に関する土層の $w_c \sim w_h$ 間の空隙量、 t ; 降雨終了時刻よりの時間、 T ; $w = w_c$ 以後の時間

Fig. 6, Fig. 7 に示すような標準補給能曲線および補給能回復曲線が得られた。これらの結果は、前報においてほぼ類同の方法により得た山科川上流域の結果²⁾と比較して若干小さい値となっている。

2) 損失雨量の算定; 以上の考察結果より、都市化の進展によって変化する損失雨量の評価は流域における不浸透面積の増加として、不浸透面に対しては損失0、浸透面に対しては、Fig. 6, Fig. 7 の関係を用いて算定することができよう。むろんこうした取り扱いができるのは、流域が雨水損失特性の近似する浸透面で構成され、かつ不浸透面がかなりのこう配をもっている場合であるが、一般に丘陵地の都市化が進展する場合、流域の地目を考慮に入れてその分割、モデル化を行えば、上述の条件はほぼ満足されるものと考え

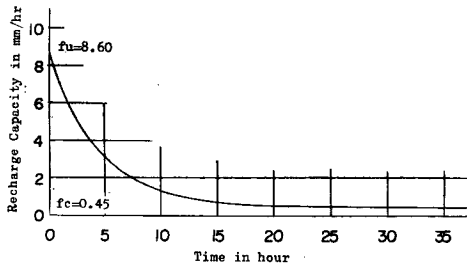


Fig. 6 Standard curve of recharge capacity.

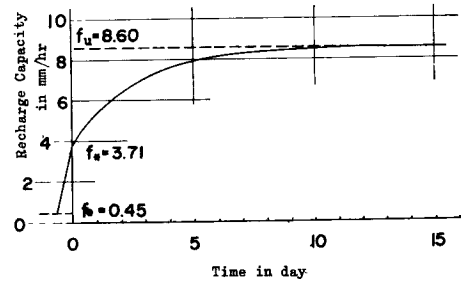


Fig. 7 Standard curve of recharge recovery.

られる。

山科川下流部の堤内丘陵域は、Fig. 2 に示したように、都市化が進み、宅地造成地域がほとんどその主体を占めるので、さきに求めた調査地域に対する解析結果を用い、不透透面積を考慮して損失雨量の変化を求めることにする。

(3) 雨水流特性

特性曲線法を用いて、雨水流を追跡しようとする立場からは、流域諸条件の変化による雨水流特性の変動は等価粗度係数の変化として表現されるはずである。

さて前述のように、本調査地域では昭和38年4月においてすでに排水路網は完備され、その後、昭和42年までに家屋の増築、道路舗装などによって地表面が12%程度変わったが、Photo. 2 でも明らかなようにこうした家屋はなお離散的な状態であり、雨水流特性の変動はさして大きなものとならないことが予測される。

1) 流出特性の変化；前報²⁾において、昭和38、39年の観測資料をもとにして、本調査地区に対する等価粗度 N を評価し、 $N=0.005$ ($m^{-1/3} \text{ sec}$) なる値を得ている。いま、昭和42年の観測資料をもとに、等価粗度を検討し、その典型例として、Fig. 8 に示すような結果を得た。この hydrograph は昭和42年34号台風時のもので、初期では流出強度の変動が比較的緩慢であるが、終期にはかなり急激な変動がみられ、 N 値の検

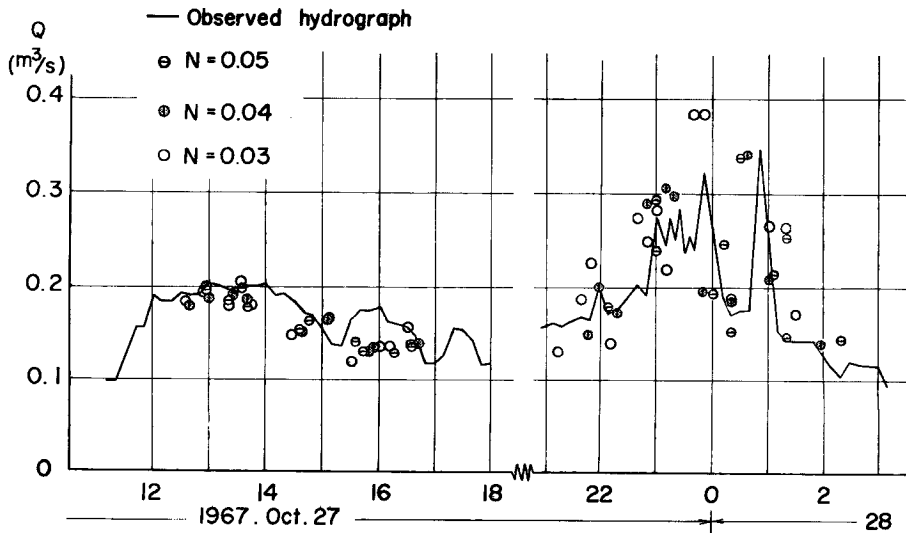


Fig. 8 Observed hydrograph and calculated values.

討を行なうに好都合である。

初期の hydrograph に対しては、 N 値を 0.03~0.05 の範囲で変えてみてもどれが最もよく適合しているかを判定することはむずかしいであろう。しかし、後期の hydrograph をみると、0.03 は若干過大な値を与え、およそ 0.04~0.05 の範囲にあることがわかる。さらにこれ以上細かい数値の検討は、解析法ならびに観測値の精度が関係してくるので論議できない。

以上の結果より推して、こうした程度の宅地面の変化では、雨水流特性はあまり変化しない。あるいは若干の変化を認めるとしても解析精度の範囲内に入るほど僅少なものでしかないことがわかる。なお、昭和40年の24号台風時の観測資料による検討結果も $N=0.05$ であったことを付記しておく。

2) 流域モデルと等価粗度；等価粗度係数は、ある特定の流域のモデルに対して定義されるものであるから、これを詳細に議論しようとする場合、流域モデルが変ればもちろん係数は変るはずで、とくに流域条件の類似する他流域への適用に際して問題となる。このような欠陥を改良するには、Fig. 9⁽¹⁾⁽²⁾ に示すように、

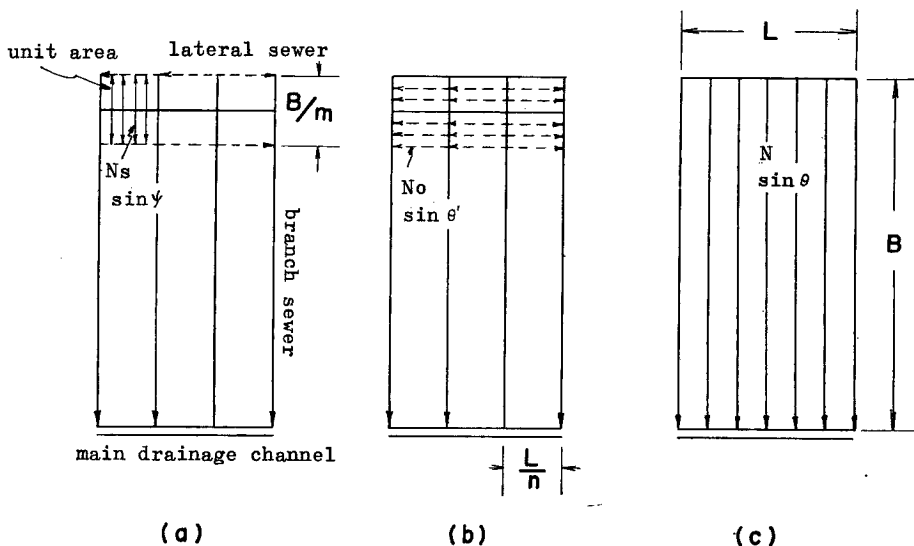


Fig. 9 Equivalent drainage area.

i) 雨水流が側溝に流入するまでの地表流出面に対する等価粗度 Ns (単一の面からなるときは、その粗度 ns)、ii) 支線排水路に対する等価粗度 N_0 、iii) 幹線排水路に対する等価粗度 N 、をもつ各等価流域モデルについて考えると、 N と Ns との関係は、 N_0 を媒介として次式によって表示される。

$$N = \left[\left(\frac{\sin \theta}{\sin \psi} \right)^{3/10} \left(\frac{Ns}{2m} \right)^{3/5} + \frac{K_0 r_e (5P_0 - 3)/5 (L/n) P_0 (\sin \theta)^{3/10}}{(2m) P_0 - 1B(2 - 5P_0)/5} + \frac{K(r_e B)(5P - 3)/5 (\sin \theta)^{3/10}}{(L/N) 1 - P} \right]^{5/3} \dots (3)$$

ここに、 K_0, P_0 および K, P ；それぞれ側溝、支線排水路の特性を表わす定数、 r_e ；有効降雨強度。

こうした関係を用いれば、ある調査流域について求めた N からその流域の流出面に対する Ns 値が算定でき、また逆に Ns 値を他流域に適用するとき、排水路網を考慮して N を算定することもできる。このような取り扱いをするために Ns の値を、流出面の種別あるいはそれらの構成密度別に求めておけば、本解析法の適用精度ならびに実用性を一層向上させることができるものと考えられる。

4. 山科川下流域における内水の変化

上述の結果に基づいて、昭和39年の開発状態から本年に至る都市化の進展によって、山科川下流域における内水の性状がどの程度変化したであろうかといった問題について若干の検討を加えてみたい。

(1) 検討の条件

内水の検討にあたっては、既往の内水災害時の水文条件を吟味し、これらいくつかのケースについて比較検討する必要があるが、ここではとりあえず、淀川水系改修基本計画の対象出水である昭和28年13号台風時について比較検討する。

堤内地の地目を考慮してこの流域をモデル化すると、昭和39年、42年に対してそれぞれ Fig. 10, Fig. 11 を得る。なお外水条件としては、山科川下流部の築堤は完成しているものとして求めた。これは昭和39年に対しては実際の条件に必ずしも一致してないが、この地域の外水はほとんど淀川の背水位に支配される³⁾ので、実質的には大した影響はないと考えたからである。

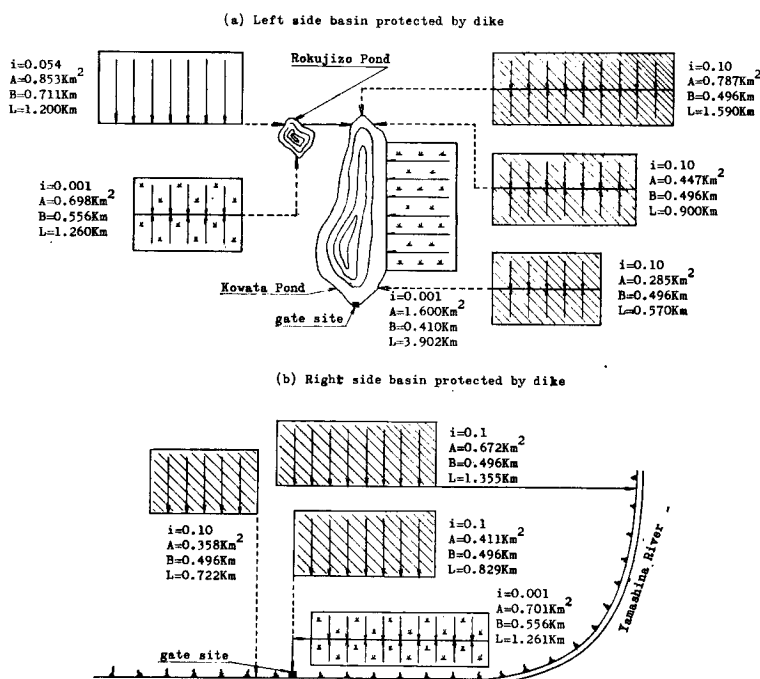


Fig. 10 Model of the basin protected by dike (basin condition 1964).

(2) 内水解析

内水の検討に際しては、まず i) 堤内自己流域の流出 hydrograph, ii) 排水樋門地点における外水位 hydrograph, iii) 樋門の通水能力を求め、これらの解析結果を用いて堤内はらん水の出入計算を行ない、内水諸量を評価する手順となる。ii), iii) ならびに出入計算については、前報³⁾で用いた解析方法と同様であるので、説明を省略し、ここでは i) について簡単に述べておく。

まず流域を宅地造成地域、丘陵地域、水田地域に分け、地目別等価粗度係数として、昭和39年に対してはそれぞれ 0.05, 0.3, 1.0 ($\text{m}^{-1/3}\text{sec}$) を与え、昭和42年に対しては宅地造成地域のみ一応 0.04 を採用した。また有効雨量の推定に際しては、宅地造成地、丘陵地域に対しては、前節で詳述したように、とくに不透水面積の増加を考慮して求めた。これらの諸値をもとに、特性曲線法によって雨水追跡を行ない、流出 hy-

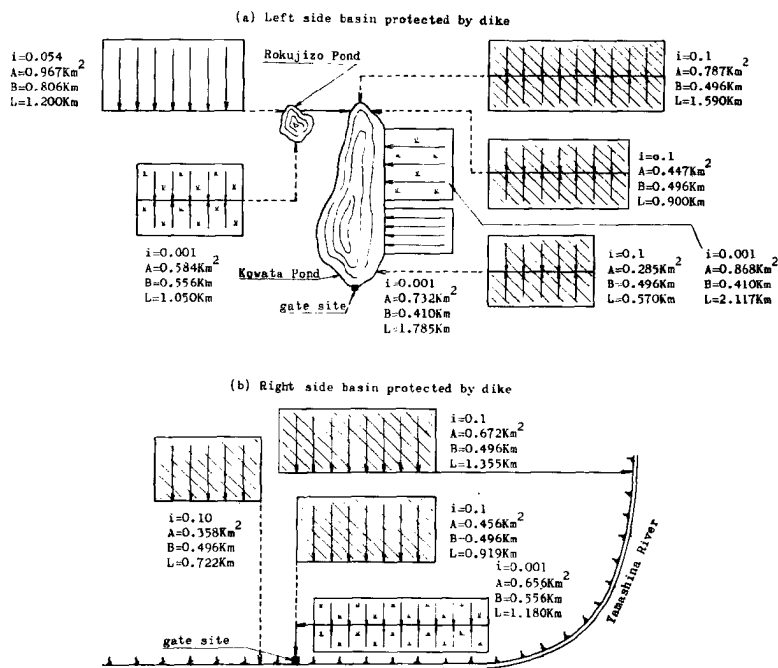


Fig. 11 Model of the basin protected by dike (basin condition 1967).

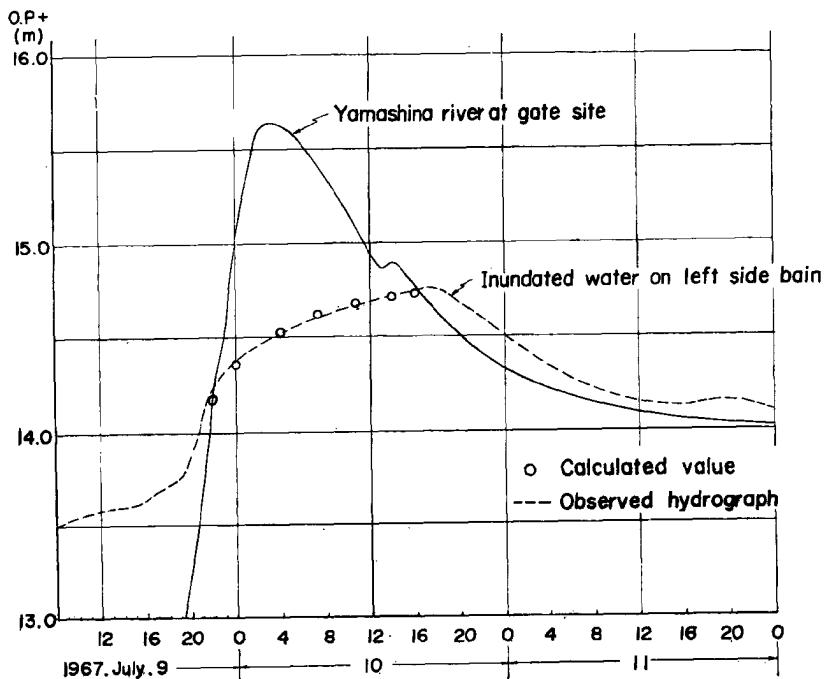


Fig. 12 Hydrographs for inundated water in July, 1967.

drograph を求める。

さて、本年7月にたまたま内水はんらんが発生する豪雨があり、上述の解析法を検討する機会をえた。このときの最大10分間雨量は 12.2 mm にも達し、丘陵部の各所で局所的越水はんらんが起り、各地区別の正確な流出資料は得られなかったが、堤内地左岸の内水位は正確に得られている。

そこで、Fig. 11 の流域モデルを用いて上述の方法にしたがって内水解析を行ない、Fig. 12 に示す結果を得た。これを見ると、計算値はかなりよい適合性を示していることがわかる。

(3) 内水諸量の変化とその特性

上述の検討条件のもとに内水解析を行ない、Fig. 13 に示す結果を得た。これらの内水諸量を Table 1 に対比して表示し、この地域の都市化の進展による内水特性の変化について考察した結果を要約して述べる。

1) 都市化の進展により、堤内自己流域からの出水性状がさらに急激化し、ピーク流量は左岸堤内地で $47.5 \text{ m}^3/\text{s}$ と約40%の増加を示し、右岸堤内地では2倍にもなっている。こうした結果はとくに丘陵域において排水路の狭押部などにおいてしばしば越水はんらんをもたらし原因となる。

2) 堤内地における流出総量は左岸において、 $40,000 \text{ m}^3$ 、右岸において $20,000 \text{ m}^3$ 程度増加し、湖沼、低湿の地理立てによる遊水機能の削減とあいまって、最高たん水深を左岸において 6 cm 程度、右岸において 8 cm 程度増大させ、浸水面積も右岸において若干拡大させる。このように堤内浸水位としてはわずかな上昇にすぎないが、低地帯に一層被害を集中させるといった点に注意する必要がある。

3) 浸水時間については、本地域の場合は、高水位継続時間が長期にわたり、全く外水位そのものに支配されるので、両者の差はほとんどみられない。

4) 内水災害の防止と都市環境衛生の面より全くたん水を許さないと考えた場合、本地域は外水位条件がわるく機械排水に依存せざるを得ないが、上述したように堤内地における流出性状の急激化は直接ポンプの能力を増大さす結果を与える。

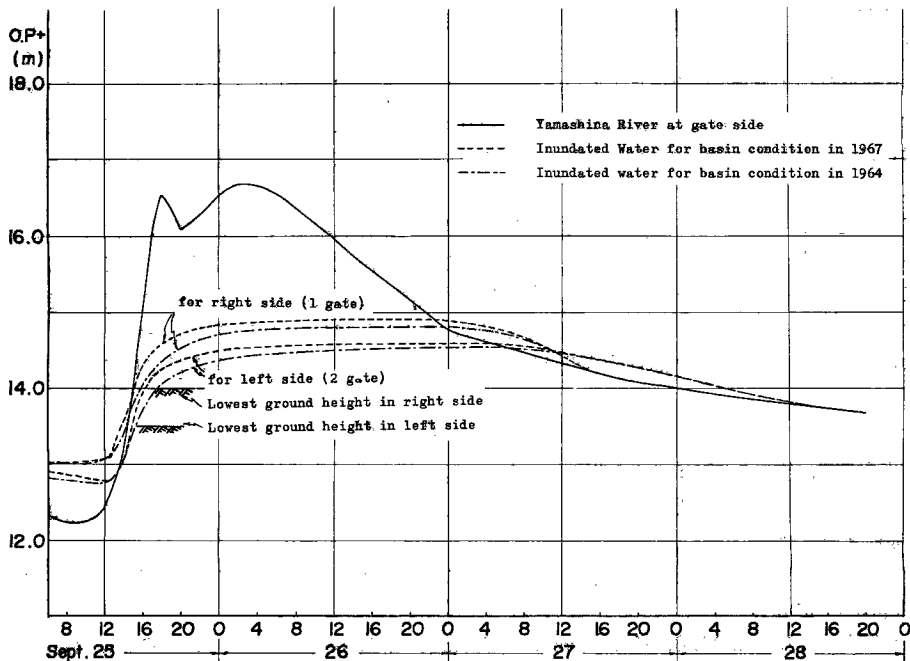


Fig. 13 Hydrographs for inundated water in the basin protected by the dike on Typhoon No. 13 in 1953.

Table 1 Scale of the inundation in the basin associated with urbanization

Basin Condition	1964			1967
Max water level in basin protected by dike (m)	left	op.	14.54	14.60
	right	op.	14.84	14.92
Max water depth of inundation area	left		1.04	1.10
	right		0.84	0.92
Duration time of inundation (hrs)	left		91	91
	right		56	57
Inundation area (ha)	left		63	63
	right		19	23
Max run-off in the basin protected by dike (m ³ /sec)	left		34.2	47.5
	right		3.3	6.7
Total run-off (m ³)	left		665, 500	705, 500
	right		128, 000	148, 500

5. 結 び

以上本報においては、山科川下流域を対象として、まず都市化の進展状況について調べ、こうした流域条件の変化に伴って、流出特性がどのように変化するかを実測資料をもとに検討した。その結果、とくに丘陵部の住宅造成地域における損失雨量の変化は不透透面の効果が支配要素となることを指摘し、その解析法を示した。雨水流特性については等価粗度の変化といった観点から検討したが、本調査期間における程度の変化では、ほとんど有異な変化はみられなかった。この点については、さらに今後、都市化の進展した段階において再検討したいと考える。

次に、上述の結果を用いて、都市化の進行（1964～1967）に伴う本地域の内水の変化を検討した。その結果、本地域の内水事情が徐々に悪化しつつあること、とくに丘陵地の流出性状が急激化して、水路の狭搾部などで越流はらんのあること、また内水対策として機械排水を考える場合、排水能力の規模がきわめて大きくなることを指摘した。今後さらに実態観測を続け、こうした問題を詳細に究明してゆきたい。

なお、本研究は昭和42年度文部省科学研究費による研究成果の一部であることを付記しておく。

参 考 文 献

- 1) 木内信蔵, 他 3 名共編: 日本の都市化, 古今書院, 昭和41年.
- 2) 豊国永次, 角屋 陸, 大橋行三: 山科川流域の流出特性について, 京大防災研究所年報第 8 号, 昭 40. 3, pp.297—306.
- 3) 豊国永次, 角屋 陸: 山科川下流部の内水の実態について, 京大防災研究所年報第 9 号, 昭41. 3, pp.601—614.
- 4) Stifel, W. J. and M. B. Mcpherson; Hydrology of Urban Area, (V. T. Chow, Handbook of Applied Hydrology. 1964), pp.20—1~20—45.
- 5) Savini, J. and J. C. Kammerer; Urban growth and the water regimen, U. S. Geol. Surv.

Water-Supply Paper 1591-A, 1961.

- 6) Willeke, G. E.; Time in Urban Hydrology, Proc. A.S.C.E Vol. 92, HY1 January, 1966.
- 7) Tholin, A. L. and C. T. Keifer; The Hydrology of Urban Runoff, Proc. A.S.C.E. Vol. 127, SA2, 1959. pp. 47—106.
- 8) 水越三郎, 尊田継明：都市域からの洪水流出計算（第1報）土木技術資料 Vol. 8. 9号, 昭和41年.
- 9) 合田建, 末石富太郎, 寺西靖治：基礎流出率を用いた市街地雨水流出量算定に関する実験的研究, 土木学会年次学術講演会講演概要, 昭41. 5, pp. 143-1—143-2.
- 10) 角屋睦, 豊国永次, 丈達俊夫：山地小流域河川の低水解析(2), 京大防災研究所年報第10号B, 昭42. 3, pp. 147—154.
- 11) Sueishi, T: Run-off Estimation in Storm Sewer System Using Equivalent Roughness, Trans. of JSCE No. 91. March, 1963, pp. 41—54.