

京大防災研究所 正員。豊國永次 正員 角屋 睦

近年、都市周辺における丘陵地、低地帯の開発、都市化が急速に進行しつつあるが、こうした流域の開発に伴い、水文条件が改変するため流出性状、内水特性に変化ともたらし内水対策の再検討を必要とする場合が少なくない。本報告ではこうした流域の一典型例とみられる淀川水系山科川下流部の内水地帯を対象として、流域の開発、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、これらの結果について考察したものである。

1. 堤内地における開発の進展状況 山科川下流部の堤内地は、昭和35年頃までは地帯周辺の低地帯には農地、その周縁より丘陵地にかけて村落が散在し、郊外農村的景観が盛だったが、昭和36年山科川改修工事着工の前夜より堤内地の開発、都市化が始まった。こうした開発の進展状況を、昭和38年6月、昭和42年4月撮影の航空写真の結果をもとに示すと、Fig. 1のようで、昭和38年6月までに堤内地の約16%が、昭和42年4月までには22%が宅地・工場用地化したことに付する。その他、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道路の開通に伴い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てきている。

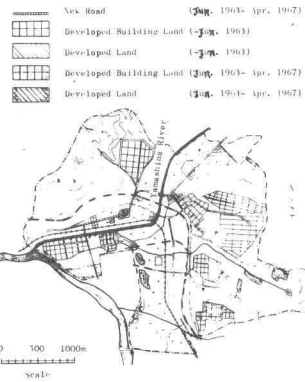
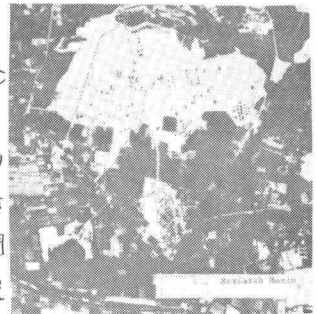
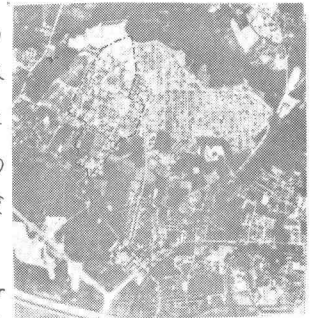


Fig. 1 堤内地における開発の進展状況

2. 流出特性の変化 われわれはこれまで、流域斜面における雨水流出特性を表現する主要素として算価相度と雨水損失を解析する方法として補給能の概念を用い、その有用性を明らかにしてきたが、本報告においてもこうした観点から流出特性の変化について考察を進める。ここではまず本流域のほかでも開発の進展が顕著で、とくにこの流域における開発の典型的なパターンとみられる御蔵山宅地造成地帯 (Fig. 2) を選んで、これまでの観測調査資料をもとに検討する。



(a) 昭和38年6月



(b) 昭和42年4月

Fig. 2 調査地域

(1) 雨水損失特性 一般に都市域は、家屋、建築物、舗装道路などの不透水面と緑地、裸地などの透水面とが混在した heterogeneous な雨水損失場で、微視的には透水面、不透水面を構成する各地目、地物さらに地被状態、土壌構造などによりそれぞれ損失特性に相異がみられるであろうが、ここではまず雨水損失と流域平均的に扱う巨視的立場から検討を進める。昭和38年、39年と昭和42年の降雨、流出資料とともに、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 の関係を取ると、Fig. 3においてそれぞれ実線、一点鎖線で示す関係群が得られる。これより明らかに開発の進展による降雨損失の減少が表れている。本地区の昭和38年から42年にわたる流域条件の変化は家屋、道路舗装の増加等不透水面

の増大が主である。不透水面の雨水損失は一般に土壌貯留、不透水面上の付着水などがあられるが、一般に大きいものではなく、Tholinらは舗装面に於いて3 mm程度までとしているが、むしろその値は不透水面の平均的な配によって異なり、E. Willekeは実測資料を整理して、流域の平均損失雨量は、ほぼその流域の平均的な配に逆比例し、この配1%で損失雨量3 mm、4%程度で0に近似する結果としている。こうした結果より推して、やはりこの配の不透水面をもつ地域では、不透水面上の損失は無視しても大きな誤差は現われまいものと考えられる。そこでこのF-h curveと各調査年の不透水面に於いてのみ雨水損失が起るとして修正すると、Fig. 3の点線で示されるように、地域全体の不透水面の損失特性を平均的に表示する一組の曲線が得られる。このような不透水面の雨水損失特性も、流域における雨水補給能の概念に於いて、次の関係式を用いて解析すると、

$$\begin{aligned} i > f; \quad f &= f_c + (f_u - f_c)e^{-bt} \\ b &= (f_u - f_c)/V_E \\ V_E &= W(W_s - W_h) \\ i \leq f; \quad f &> f_x \quad \Delta f = b \Delta R \\ f &\leq f_x \quad \Delta f = b[\Delta R - f_c(t_2 - t_1)] \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 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_x : 土壌含水比が圃場容水量のときの補給能、 W 、 V_E : それぞれ補給能に關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 : 土壌係数、 ΔR : $t_1 < t$ なる時間 ($t_1 \sim t_2$) の雨量、 Δf : $t_1 \sim t_2$ 時間 Δt の減少量。

補給能回復曲線

$$\begin{aligned} W \geq W_c; \quad f_0 &= \frac{f_u - f_c}{W(W_s - W_h)} (E_p + f_c)t + f_c \\ W < W_c; \quad f_0 &= f_u - (f_u - f_x)e^{-Ct} \\ C &= E_p/V_E \\ V_E &= W(W_c - W_h) \end{aligned} \quad (2)$$

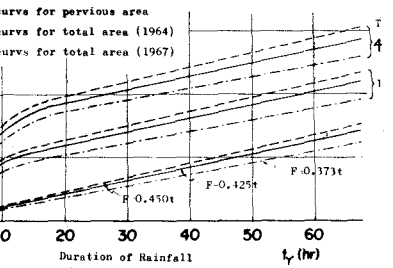
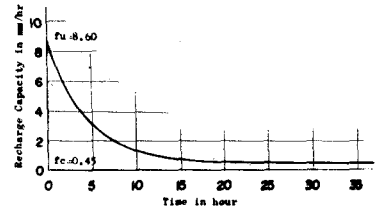
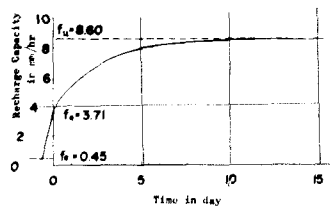


Fig. 3 F-h curve



(a)



(b)

Fig. 4 (a) 標準補給能曲線、
(b) 標準回復曲線

ここに、 W_c : 圃場容水量、 f_0 : 初期補給能、 E_p : 蒸発散能、 V_E : 蒸発補給能に關する土層の $W_c \sim W_h$ 間の空隙量、 t : 降雨終了時刻からの時間、 T : $W = W_c$ 以後の時間

Fig. 4(a), (b)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る。これより流域の開発、都市化の進展に伴い変化する損失雨量の評価は不透水面積の増加と関連付けて算定することになる。ただしこうした取扱いができるのは、流域が雨水損失特性の近似する不透水面で構成され、かつ不透水面が均一の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

の地目も考慮に入れてその分割，モデル化を行なえば，
上述の条件はほぼ満足されるものと考えられる。

(2) 雨水流特性 雨水流と特性曲線法を用いて追跡し
ようとする立場からは，流域諸条件の変化による雨水流
特性の変化は算価相度係数の変化として表示されるはず
である。本調査地区では昭和39年4月にありてすでに排
水路網は設備され(Fig. 5)，その後昭和42年までに家屋の
増築，道路舗装などにより，地表面が12%程度変ったが，
家屋はほぼ散在的な状態であり，雨水流特性の変動は
さして大したものとばかりいってしまいがちである。

1). 流出特性の変化；昭和39，42年の観測資料をもと
にして本地区の算価相度を評価し， $N=0.05$ を得たが，
次に，昭和42年の観測資料をもとに算価相度を検討し，
その典型例として Fig. 6に示す結果が得られ，およそ
 $0.04 \sim 0.05$ の範囲にあることがわかる。以上の結果よ
り，この程度の土地利用の変化では雨水流特性はあまり変
化しない。かりに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と看做する。昭和42年の
24号台風時の検討結果も $N=0.05$ であった。

2) 流域モデルと算価相度；算価相度係数がある特定
の流域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，流域モデルが変わればそ
の値も変わるはずで，このことはよく流域条件の類似可
る他流域への適用に際して問題となる。このよう欠陥を改良
するには，Fig. 7に示す算価流域モデルにおいて， N と N_s
との関係は，すでに明らかにするに，次式

$$N = \left\{ \left(\frac{\sin \theta}{\sin \theta'} \right)^{5/3} \left(\frac{N_s}{2m} \right)^{5/3} + \frac{K_0 (S_0 - 2)^{1/5} (L/n)^{5/3} (\sin \theta)^{5/3}}{(2m)^{5/3} B^{(2-5P)/5}} \right. \\ \left. + \frac{K (Y_0 B)^{(5P-2)/5} (\sin \theta)^{5/3}}{(L/n)^{1-P}} \right\}^{5/3} \quad (3)$$

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， Y_0 ；有効溝
雨強度。

で表示されるから，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 N_s 値が算定でき，また逆に N_s 値と流域
に適用するとき，排水路網を考慮して N 値も算定することもある。こうして取扱いをするために

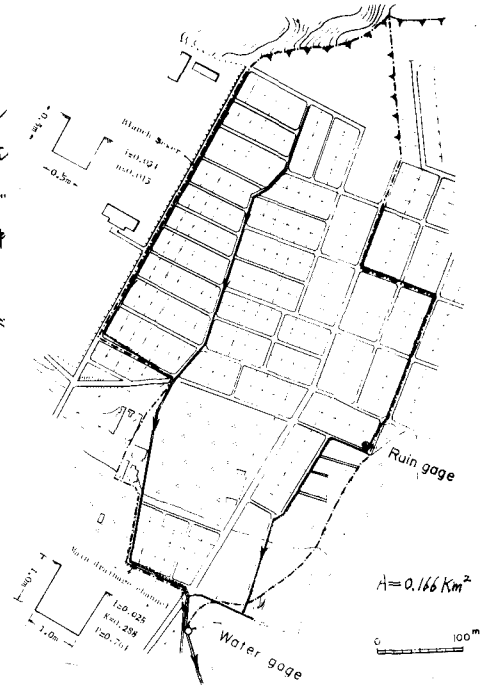


Fig. 5. 調査地域の排水路網

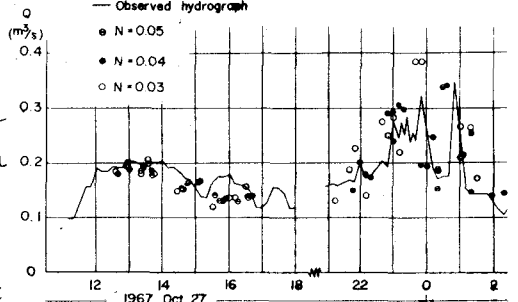


Fig. 6. 実測ハイドログラフと計算値

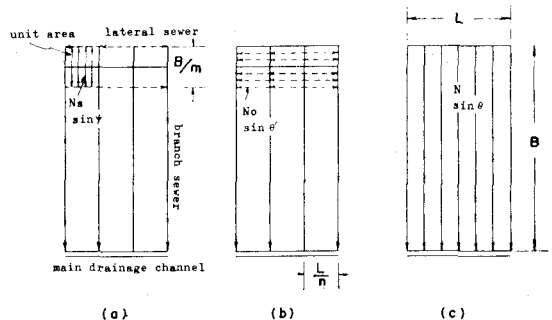


Fig. 7. 算価流域モデル

NS値と、流出箇の種別あるいはそれらの構成要素別に求めておけば、こうした解析法の適用精度ならびに実用性と一層向上するこゝでできよう。

3. 内水性状の変化 上述の結果をもとにして昭和39年の開発状態から昭和42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のかという問題について若干検討を加えた。

(1) 検討 解析の条件 昭和28年13号台風時の水文条件、堤内地の地目と宅地造成地域、丘陵地域、水田地域に大別し、昭和39年、42年に対してそれぞれ Fig. 8(a), (b)に示すような流域のモデル化を行なった。また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 (m^2/sec) と与え、42年に対しては宅地造成地域のみ一応 0.05 を採用した。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、前述のよう、とくに不透透面積の増加を考慮して求めた。

(2) 内水性状の変化とその特性 上述の検討条件の下に内水解析を行ない、Fig. 9に示す結果を得た。以下に考察した結果を要約して述べる。

1) 開発の進展により、堤内自己流域からの出水性状がさらに悪化し、ピーク流量は左岸堤内地で $47.5 m^3/s$ 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ける排水路狭小部においてしばしば越水はんらんともたらす原因となる。

2) 堤内地における流出流量は左岸側 4万 m^3 、右岸側 2万 m^3 程度増加し、湖沼、低湿地の埋没による遊水機能の削減とあり、また、最高はん水深を左右両岸とも約 10 cm 程度増大させる。このように堤内浸水水位の増加は決して小さくはないが、低地帯に一層被害を集中させる点に注目と要する。

3) 浸水時間については、宅地域は高水位継続時間が長期にわたる、外水はものものに支配されるので、両者の差は殆んどみられない。

4) 内水災害の防止と都市環境衛生の面より全くはん水と許さずはいと居る場合、宅地域は外水浸条件がわるく機械排水に依存せざるを得ないが、上述のごとく堤内地における流出性状の悪化は直接ポンプの能力を増大する結果となる。

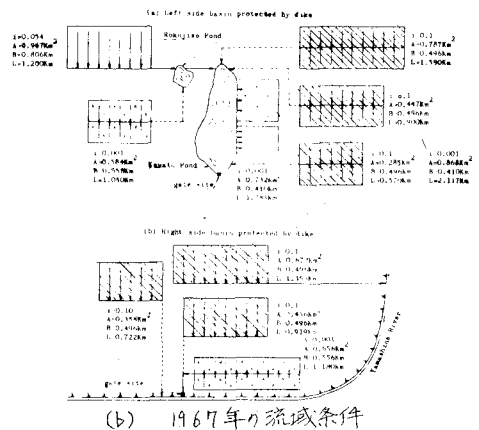
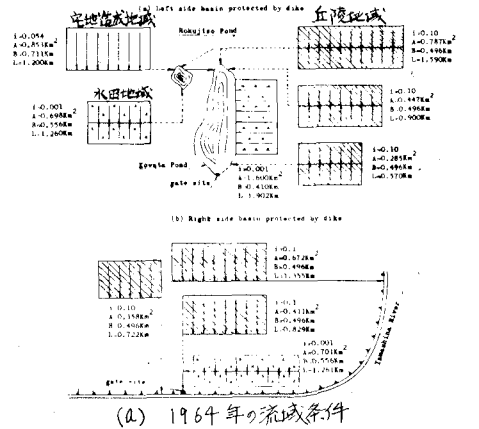


Fig. 8 堤内地の流域モデル

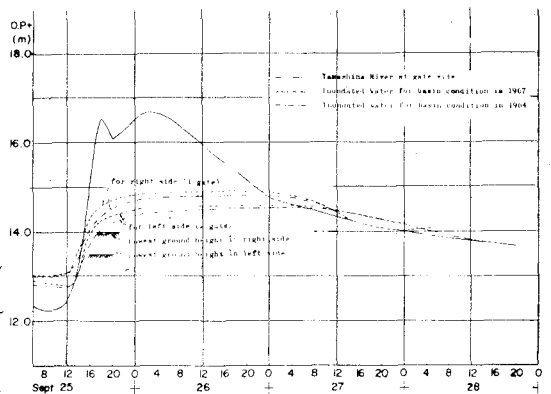


Fig. 9 内水ハイドログラフ (Typhoon No.13, 1953)