

都市化と水害

角屋 睦

1. 都市化の進展

近年、大大都市近郊の丘陵林地が削られ、低平農地が埋めたてられて宅地・商工業地域化していく、いわゆる都市化と呼ばれる現象のテンポは激しい。都市化, urbanization という言葉は古い辞書にもあるから、古くからある現象ではあろうが、わが国では昭和20年代以前はあまり使われておらず、昭和30年代とくに経済の高度成長期に入った頃から日常語として頻繁に用いられてきたように思われ、いわゆるベットタウンと呼ばれる地域の人口の推移や農地山林面積の減少傾向がそれを裏付けている。Fig. 1 は、東大阪地域10市の人口及び農地面積の推移¹⁾を示すが、昭和33年頃から農地の減少速度が目立ち始め、約15年の間にその面積は半分、また人口は3倍に膨れあがっている。またFig. 2 は、多摩川を隔てて東京都に接する川崎市を中心とした鶴見川流域(235 km²)の昭和41年、50年時点の市街化状況²⁾を示す。この流域内の市街地は、昭和33年頃10%以下、41年20%程度であった

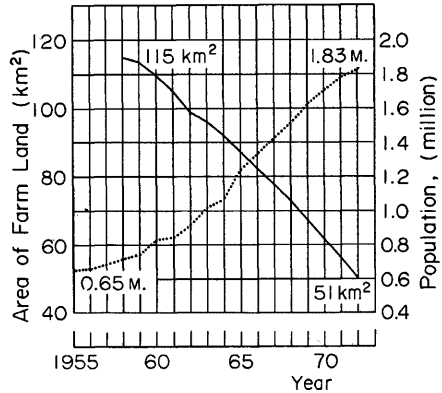


Fig. 1 Changes of population and farm lands in the East-Osaka district.

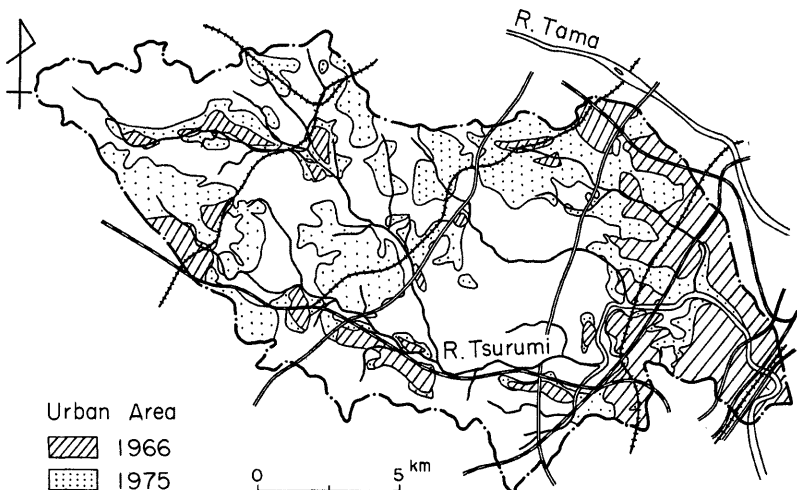


Fig. 2. Progress of urbanization in the basin of River Tsurumi adjacent to Tokyo.

のが、50年には工事中を含めて60%、さらに将来は80%以上にもなるものと予想されており、下流部が横浜市の密集市街地を通していただけに、治水技術者にきわめて難しい問題を投げかけている。

Fig. 3は同様のことを、京都市南部・宇治市・城陽市など古川流域(53km²)について調べたもので、宅地商工業地域は昭和30年11%、40年でも13%に過ぎなかったのに、10年後の50年には35%と3倍に拡大している。

さて、いうまでもなくわれわれが居住する国土は単なる自然風物ではない。それは災害に対する苦い経験と失敗を繰り返しつつ、徐々にそれを克服する防災技術の進歩に支えられながら、祖先伝来の血と汗によって築かれ、時代とともに変容してきたものである。したがって開発そのものは必ずしも批難されるべきものではないが、ただ近年のそれはあまりにも急激に過ぎ、それに対処すべき防災対策・環境整備が追いつき得ないところに問題がある。

生活の便利な所、あるいは地価の安い所に住むということと、災害問題とはトレードオフの関係になっている場合が少なくない。水害の危険のある地域に古くから居住する人々は、伝統的にそれなりの対策を講じてきたが、そこに開けた新興住宅地に住む人々はほとんど無防備であって、ひとたび水害に遭遇するや一方的に行政の無策を批難し、賠償を求めようとし、しかもそれを是認する風潮さえみられるのが、今日の世相の一面でもある。しかしながら、ここでわれわれは、開発都市化とは自然界にどのような働きかけをすることなのか、自然の力がいかに大きく、出水現象を支配する自然法則がいかに峻烈なものであるかを真剣に考えてみるとともに、それに対して住民の一人一人がどのような自衛努力をしてきたかを率直に反省する必要がある。

都市化に伴って社会的に問題化してきたのは、ただ単に水害だけではなく、環境条件に係る多くの問題があるが、それらのなかには根源をたどると水害の別の側面となっているものも少なくない。しかしここでは水害問題の絞って若干の考察を進める。

2. 都市化と水害危険度

都市化に伴い環境条件は微妙に変化するが、「何がどのように変わるのか、それを定量的に説明せよ」との質問に対し、今日でも100点満点の解答のできる人はまずいないであろう。気温・雨・風・蒸発など多くの現象が変化するというのも事実であろうが、それらのすべてを定量的に表現することは容易ではない。ここでは都市化とは洪水流出に関与する流域地文条件の改変であるとの立場から、工学的・防災技術の精度で洪水特性に及ぼす影響を考えると、次のような諸点が大きな要素として指摘されよう。

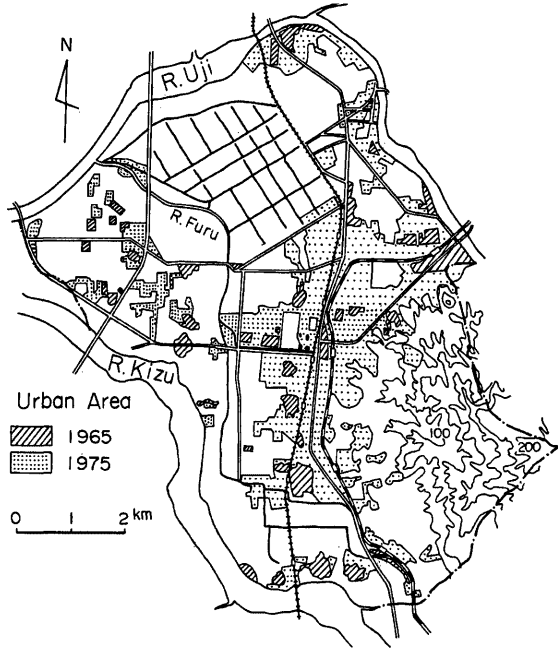


Fig. 3. Progress of urbanization in the basin of River Furu situated in South-Kyoto.

2.1 雨水保留能の変化

丘陵地の林草地帯には樹冠樹葉があり、枯葉堆積層・凹地が数多く形成されている。畑地にはよく耕起された良透水性の表層土が存在し、また水田地帯は浅いが広い面積を持った貯水池群とみることができる。これらの地域でどの程度の雨水が保留されるかは、季節や豪雨前の干天日数によっても異なるが、出水解析上しばしば用いられる初期損失は20~40mmともいわれ、またその後の雨に対してもかなりの量を一時貯留し出水を緩和する能力を持っている。このような地域の都市化はこれらの機能を著しく減少し、初期損失は0~5mm程度、その後の保留能力もきわめて小さくなる。このような保留能の差を端的に表現することはきわめてむづかしいが、われわれが直接流出に対する有効降雨の推定の簡便法としてよく利用している累加雨量~累加損失雨量曲線の標準値の形で示すとFig. 4 のようである。

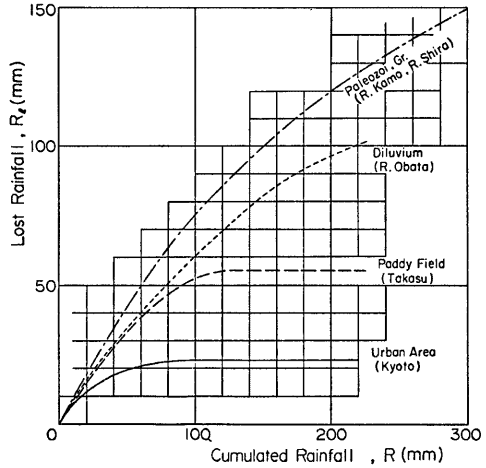


Fig. 4. Rainfall loss curves for direct runoff.

自然斜面は凹凸が激しいのに加えて至るところに草木根が存在するため、雨水は曲折して流れ、河道に到着するのにかかる時間が、このような地域が都市化されると、道路・水路が整備され、舗装面も多くなるから流水抵抗は極端に小さくなり、河道に到達するまでの時間は著しく短縮される。これを地表面の平滑度を表わす指標として、kinematic runoff モデルで使用される等価粗度の形で表現すると、流域モデルの構成法によっても多少異なるが同程度のモデルを用いるものとして、自然斜面の等価粗度 $N = 0.8 \sim 2 (m^{-1/3} sec)$ の程度の値が都市化後は $N = 0.01$ 前後の値に変化する^{3) 4)}、すなわち流水速度はほとんど 100倍程度のおーダに変化することになる。しかし丘陵地の開発では土の切盛によって斜面の傾斜を緩にせざるを得ないから、これは流れを遅くする方向に作用することになる。

2.2 雨水流下時間の変化

自然斜面は凹凸が激しいのに加えて至るところに草木根が存在するため、雨水は曲折して流れ、河道に到着するのにかかる時間が、このような地域が都市化されると、道路・水路が整備され、舗装面も多くなるから流水抵抗は極端に小さくなり、河道に到達するまでの時間は著しく短縮される。これを地表面の平滑度を表わす指標として、kinematic runoff モデルで使用される等価粗度の形で表現すると、流域モデルの構成法によっても多少異なるが同程度のモデルを用いるものとして、自然斜面の等価粗度 $N = 0.8 \sim 2 (m^{-1/3} sec)$ の程度の値が都市化後は $N = 0.01$ 前後の値に変化する^{3) 4)}、すなわち流水速度はほとんど 100倍程度のおーダに変化することになる。しかし丘陵地の開発では土の切盛によって斜面の傾斜を緩にせざるを得ないから、これは流れを遅くする方向に作用することになる。

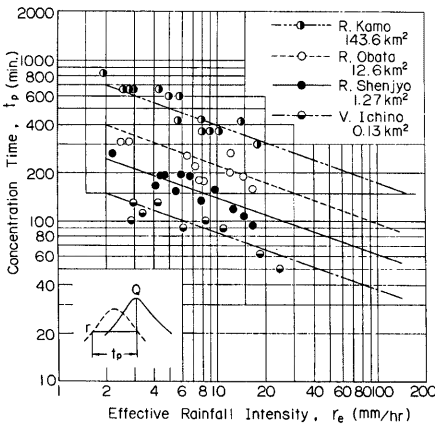


Fig. 5. The concentration times in hilly and mountain river basins.

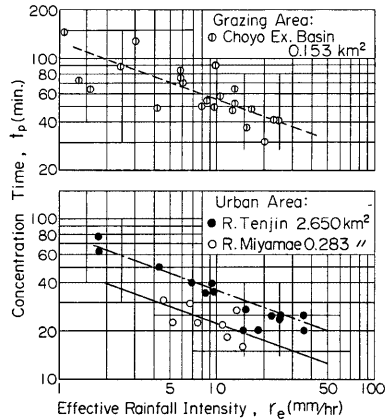


Fig. 6. The concentration times in (a) a grazing and (b) urban areas.

こうしたことを総合的に考慮して、われわれ⁵⁾は河川流域の洪水ピーク流量に関するいわゆる洪水到達時間の実用推定式として次式を提案した(角屋・福島公式)。

$$t_p = CA^{0.22}r_e^{-0.35} \tag{1}$$

- 丘陵林地・山地： C = 290
- 放牧地： C = 190~210
- 市街地： C = 60~90

ここに t_p :洪水到達時間 (min.), A :流域面積 (km²), r_e :有効降雨強度 (mm/hr)。

上式は、都市化に伴い洪水到達時間は $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 程度に短縮されることを意味している。Fig. 5は丘陵林地・山地

河川の例、Fig. 6 (a)は下津⁶⁾の研究による放牧地の例 (C=190), (b)は豊国⁷⁾(宮前川)及び角屋・岡⁴⁾(天神川)による市街地河川の例 (C=65), またFig. 7は建設省土木研究所による市街地河川の例 (C=65)であり、いずれも(1)式の実証例である。

2.3 流量波形とピーク流量の変化

都市化に伴い洪水到達時間が激減するということは、流域の雨水保留能の減少とあいまって、洪水流量波形に短時間強雨の影響を受けやすくなる。Fig. 8にその一例として、われわれが観測研究を続けている下符川丘陵林地流域(1.3km²)の下流側⁸⁾、及び全流域が開発され住宅地になったと想定したときの流量ハイドログラフの予測解析例⁸⁾を示す。

中小河川計画では、30~50年確率ピーク流量を断面決定

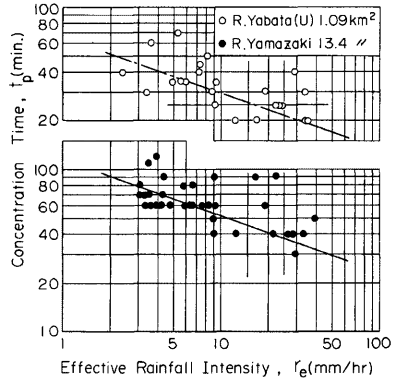


Fig. 7. The concentration times in urban areas.

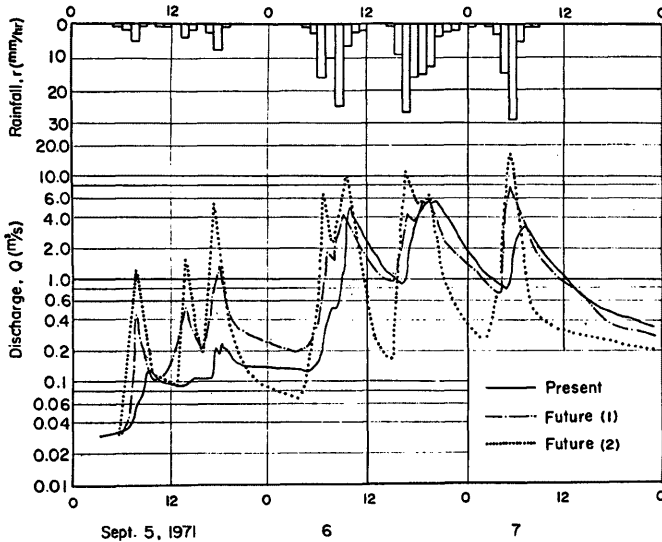


Fig. 8. Changes of flood runoff hydrograph caused by urbanization of a hilly area.

の基礎とすることが多く、その推定には次式の形で合理式を用いるのがほとんど通例となっている。

$$r_e = f r \quad (2)$$

$$Q_p = \frac{1}{3.6} r_e A \quad (3)$$

したがって都市化の影響はピーク流出係数 f の変化の形で表現される。Fig. 9 は、上述下狩川流域と、天神川市街地流域の同一降雨時におけるピーク流出係数の対比例⁹⁾を示している。丘陵林地では一降雨時の流量ピークが1個の場合でも、市街地では降雨波形を反映して何個も現われやすいことは前述したが、Fig. 9 の黒丸はそれを意味している。

さて洪水到達時間及びピーク流出係数の変化が、具体的にピーク流量にどのように関与するかを考えてみる。Fig. 10 に、上述下狩川流域が全面的に宅地域になったと想定したときの洪水到達時間の変化(実線 H_b, H_a)と、ピーク流出係数を開発前 $f=0.6$ 及び開発後 $f=0.9$ としたときの50年確率有効降雨強度曲線(破線)を併示してある。両線の交点(白丸)が(3)式に用いられるべき r_e の値を与えることになるから、開発前後で同一確率年のピーク流量は約4倍になることを同図は示している。

上例は丘陵林地流域の全面開発の場合である。通常みられる部分開発に対する評価は流出解析の方法によらざるを得ないが、単純な流域モデル及び降雨条件を想定してわれわれが得た結果の一例⁹⁾を Fig. 11 に示す。同図において、 ε はピーク流出係数比、 ν は開発面積比、 δ は流域を開発域及び自然域に2分割した流域モデルを想定したときの斜面長比、また ϕ は次式で定義される地表条件の変化指数を意味する。

$$\left. \begin{aligned} \phi &= (k_{II}/k_I)^{1/p} \\ k &= \left(\frac{N}{\sqrt{\sin\theta}} \right)^p (1 + \beta_C) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに N : 等価粗度, $\sin\theta$: 斜面勾配, β_C : 雨水の河道流下時間の斜面のそれに対する比率, p : 斜面流動数で Manning 則を想定して $p \approx 3/5$ とした。添字 I, II はそれぞれ開発前後を意味する。なお多くの場合 $\delta/\phi = 10 \sim 20 \approx 15$ とみてよい。

2.4 洪水調節遊水機能の変化

低平水田地帯では、本来若干の氾濫湛水が許容されるに加えて、小径土管を排水路の連結に用いたり、排水路

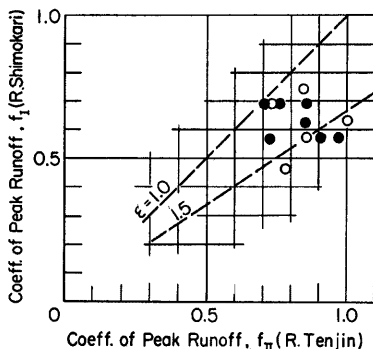


Fig. 9. A comparison of the peak runoff coefficients in hilly and urban areas.

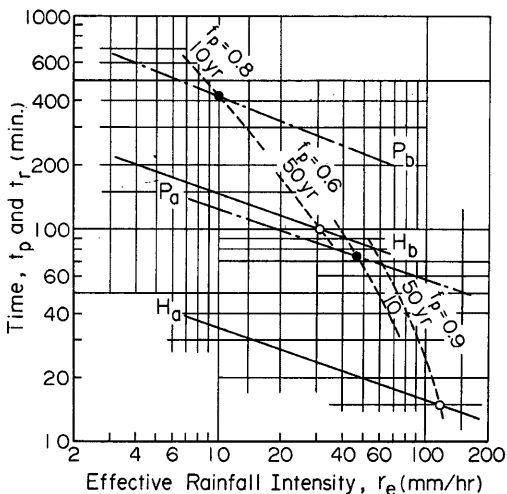


Fig. 10. Changes of the concentration time and the effective rainfall intensity caused by urbanization. In this figure, H and P mean hilly and paddy areas, respectively, and subscripts b and a mean before and after states, respectively.

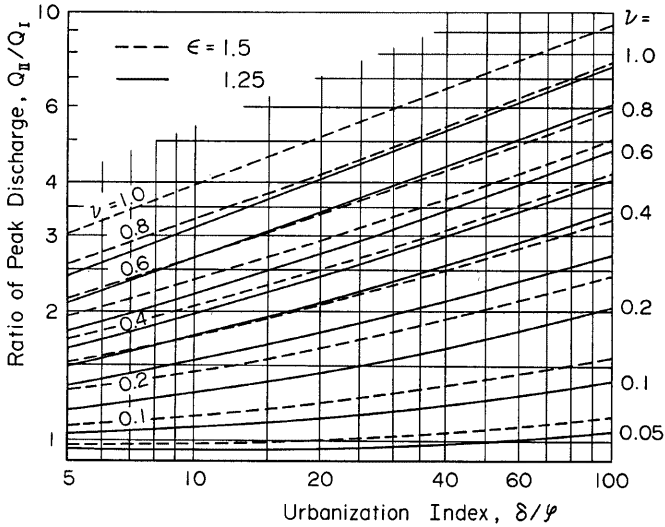


Fig. 11. Changes of the peak runoff discharge caused by the partial urbanization of a hilly area. ϵ means the ratio of the peak runoff coefficient, ν the urbanized area ratio, δ the ratio of the slope length in urbanized and rural blocks and ϕ is defined by Eq. 4.

内にゲートを設置したりして、下流側最低部の氾濫を軽減するような出水抑制の工夫が各所でなされている。このような地域の都市化は、盛土によって遊水容量を減じて氾濫域を拡大したり、上述のような出水制御機能を破壊して下流側低位部の氾濫増水を激化させることになりやすい。

遊水機能の重要性を示す一例⁹⁾をあげてみよう。Fig. 10に、低平水田地帯の出水解析の結果得られた一地区(1.4km²)の都市化に伴う洪水到達時間の変化、及び10年確率有効降雨強度の変化例を併示してある。前項同様、合理式に用いられるべき re の変化をみると、ピーク流量は4倍以上になっている。ところでポンプ排水を考えると、水田地帯ならばピーク流出量の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{4}$ 、ほぼ3mm/hrのポンプ容量があれば、一般に排水良好地帯と目されている。しかし都市化後において浸水が許容できないとすると、ポンプ容量は同一確率年でも10~15倍にしなければならないことをこの図は示唆している。

2.5 地盤沈下

低平地帯のほとんどは沖積平野とみてよいが、このような地域が商業地域化すると多量の地下水利用をすることが多い。しかしこれは必然的に地盤沈下を招き、水害危険度を高めることになりかねない。その一例として、Fig. 12に東大阪地域の昭和39~47年の間の地盤沈下状況¹⁾を示すが、低平地帯で1m前後の地盤沈下を生じている地区があ

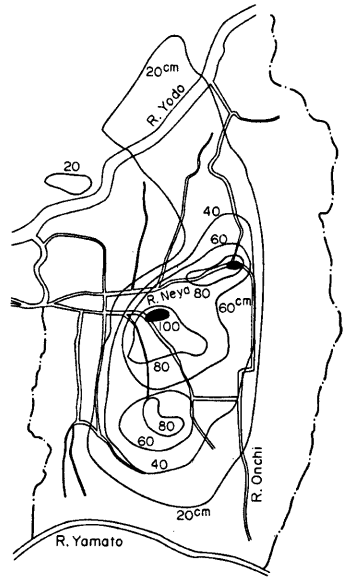


Fig. 12. The contour map of ground subsidence in the East-Osaka district, 1964-1972.

るといふ事実は脅威である。東大阪地域は古くから水害常襲地帯といわれ、これまでも何回も浸水被害を生じていたが、昭和47年には2度も大きな水害を被っている。そのうち7月豪雨の際には、寝屋川恩智川合流点付近の1m沈下地区に大量の越水氾濫を生じ最低部浸水深は1.50mにも達した。Fig. 13はその解析例¹⁰⁾であり、30~50m³/secの水が18時間の間流れ込み、氾濫水量のピークは180万m³にも達していることを示している。この災害に地盤沈下が無関係といえる人はまずいのであろう。

3. 都市化と防災施設

流域の都市化現象は、それが丘陵地であれ低平地であれ、結果としてその地域や下流側地域の水害危険度を著しく高めることは前述の考察より明らかである。これに対処すべき防災対策としてはいろいろな案が考えられ、河川の断面拡大あるいは適地があれば洪水調節ダムの構築、また下流低平地であれば排水ポンプの増強、などは当然の考え方であろう。不幸にして近年の都市化現象は防災対策に先行し過ぎ、いざ河川改修をという段階にはすでに河川の両岸には民家が密集し、対策をますます困難にしているのが現実の姿である。このような場合をも含めて、以下では被害の集中しやすい低平地を主対象として、対策上考えておきたい二、三の問題を述べてみたい。

3.1 高位部の水処理

低地部の氾濫湛水は高位部からの雨水の集中に起因することが多い。したがって氾濫災害を軽減させるためには、まず高位部の雨水を低地部へ導入することなく、高水位を保持しながら開水路またはトンネル放水路によって、排水河川・湖海へ排除できるような承水路の開削を考える必要がある。むろん承水路断面には限界があるから、計画対象外の大出水時にも破堤させないよう、各所に余水吐を設け、超過流量のみ低地部に導くことにすればよい。

内水地帯といわれる地域ではこのような対策によって被害の軽減できる所が少くない。東大阪寝屋川流域も本来このような対策の可能な地形条件になっていることはFig. 14より明察できる。この流域面積268km²のうち68km²が山地であって、山麓付近を縫って承水路を廻らしておけば、これまでに起きた氾濫災害のかなりのものを防止できたはずである。すでに高度に都市化の進行している今日ではかなりむずかしい問題になりそうであるが、いまなお検討の余地は皆無とはいえない。昭和50、51年と連続して大水害を被った高知県宇治川流域は低地部を中心として高知市の外縁市街地を形成しつつある。ここは流域面積14.4km²のうち、山地部が12.0km²も占め、内水の70%以上は山地部からの雨水集中によってもたらされている。いまのうちに前述のような処理方式を検討し、用地確保の方策を講じておかなければ、将来に禍根を残すことは必定である。

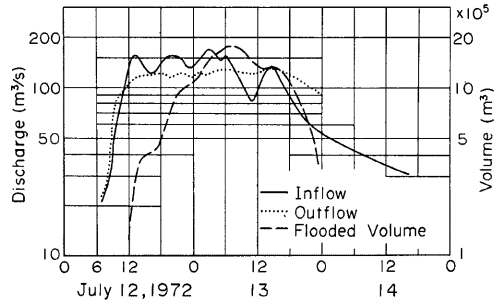


Fig. 13. Inflow, outflow, and flooded water volume hydrographs at the confluence of the Rivers Neya and Onchi, caused by heavy rainfall in July, 1972.

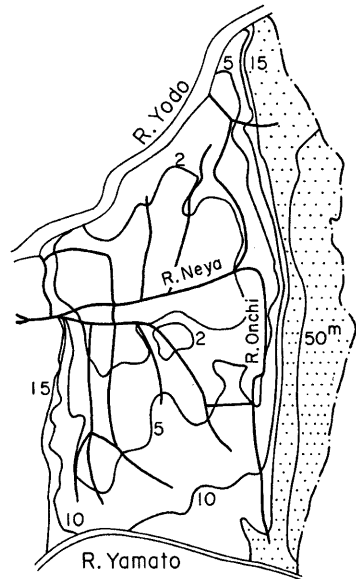


Fig. 14. Topography of the basin of River Neya, East-Osaka.

自然の理にかなった前述の水処理方式が無視されている例が意外に多いのは、工費に巨費と長年月を要することよりも、都市化の影響についての認識の甘さに起因しているとみるのは過言であろうか。

3.2 遊水池公園・防災保健水槽

低地部水田地帯の都市化は、30～50mm程度の雨量に相当する保水能、都市化後のピーク流量を基準にして80%以上のピーク流量調節機能を失うことになる。この損失を吸収しうる程度の河川改修が可能であれば問題はないが、これには相当の困難を伴うのが現実である。これに対処する策として、東大阪寝屋川流域では135haの優良農地を遊水池兼緑地とする案が有力視されている。これは本来水田地帯が持っていた遊水機能の一部を再現させようとする価値ある一案であるが、優良農地として兼用しないのも惜しいし、またこれで十分であるかどうかも問題である。

こうした治水緑地案も結構であるが、さらにわれわれは遊水池公園・防災保健水槽の分散配置案の検討を主張したい。この考え方は、以前からわれわれによって提唱されてきたものであって、平時は公園、池、運動場、防火水槽あるいは游泳プールなどとして利用し、豪雨時には洪水調節用遊水池として活用できる施設を、各ブロック低位部に分散配置する案である。その必要面積は、少くとも流域平均50mmの雨量相当の容積が確保できる程度を考え、確保できる水深によっても異なるが、ほぼ流域面積の2～5%程度とすることが望まれる。またこれらは平時は道路、豪雨時は排水路に利用できる緩勾配水路で連結するとともに、事前排水が可能ないように、必要に応じて放水路、ゲートないしポンプを設置しておく。

一般に公園は浸水しないような高位部に設けるのが通念のようであるが、それはそれとして、さらに上述のような掘込み型公園を各所に分散配置することは、緑の確保、環境整備上決して悪くないはずであり、そして何よりも防災上有効な手段として検討されるべき段階に来ていると考える。

3.3 流域下水道の再検討

ここで流域下水道の考え方の是非を議論する気はないが、各地の計画には合流式のものが意外と多い。これまでの災害地で流域下水道の整備区域には浸水がなかったという話を聞かないではないが、それは局部的完成地域であって、全計画どおり完成していたならば、果してそれで十分であったとはいいきれない気がする。今後起こりうべき水害の対策のためには、分流式でなければ根本的対策の考えにくいことに留意する必要がある。

4. 都市化と行政指導

4.1 ピロティ家屋

低平地帯の都市化に伴う地盤盛土が水害危険度の助長になりかねないことはすでに述べた。家屋建築に際して基礎地盤整備の必要ことは当然としても、盛土競争にならないよう最低限に抑えるとともに、ピロティ家屋形式の採用を考えたい。このためには、事前に水害危険度の級別認定を行って望まれるピロティ高を公示するとともに、開発ないし建築行為の許認可に際し十分行政指導を行う必要がある。古くから浸水の危険性のある農村地帯では、各戸に舟を常備して非常時に対処するという、自然に逆わない形の自衛手段を講じていた故事は、今日においても一考の価値があるように思われる。

4.2 市街化及び調整区域の再検討

近年の都市化現象に対応して、多くの自治体では市街化区域・市街化調整区域の設定が行われているが、その線引に際して防災的配慮が十分払われたかどうかの疑問のある地区が少くない。さらに調整区域は減少の方向にある。地域の発展、日常生活の便利と災害との接点をどこに押えるかはきわめて微妙ではあるが、住民の自己権利意識のみが異常に強くなってきている今日であるだけに、やはり線引きの再点検を行う必要があり、とくに排水河川あるいはその予定地に沿う一定幅の区域や雨水の集中しやすい低地部は調整区域として設定し直す英断が強く望まれる。

4.3 水害保険・水害税

水害対策上各種の施設の整備強化の必要のあることはいうまでもないが、それには限度があり、常に計画規模を上回る自然外力による被災危険度の残ることに留意しなければならない。これに対して被災者救済のための水

害保険制度の検討が望まれる。水害危険度の高い住民のみを対象とすると、保険料はかなり高額になる可能性があるが、これには高位部住民から水害税を徴収して補うことも考えなければならない。こうした考え方には色々な問題があろうが、低平地都市化域の被災者は純然たる被災者ではなく、また高位部市街化域居住者は水害危険度を大きく助長した加害者であることに思いを致す必要がある。

5. む す び

都市化現象は、洪水流出特性・水害危険度にどのような影響を与えるかを定量的に考察するとともに、考えられる対策としていくつかの私案を述べた。最近都市化の著しい鶴見川流域を管下に持つ建設省京浜工事事務所では、雨水の一部の各戸貯留方式を真剣に検討していると仄聞している。開発面積率が将来80%以上と予想され河川改修方式で対処し切れなくなりつつあるこの地域の例は、都市化の極限状態がもたらす結果を示唆するものとして真剣に受けとめる必要がある。

ここで述べた対策の考え方については色々とも問題もあろうが、われわれは決して自然の力の甘くないことを、そして自己権利の主張だけが自衛手段でないことを率直に反省する必要がある。

なお本報告では、文部省科学研究費（自然災害）の援助を得て、過去10年余り営々として進めてきたわれわれの研究成果を主として引用しつつ、都市化と水害の係りをごく概括的に述べた。この研究推進に際し、豊國永次現愛媛大学教授、長尾正志現名古屋工業大学教授、福島晟現島根大学講師、浅井喜代治現東京農工大学助教授、岡太郎助教授、早瀬吉雄助手、永井明博助手、角田吉弘技官、永田敏治技官、当時の多くの学生諸子の真敢な協力を得たことを付記して謝意を表す。また複雑な自然現象を対象としているため、さらに攻究されるべき問題が少からず残されており、今後も多くの研究努力を続けなければならないと考えている。

参 考 文 献

- 1) 大阪府都市河川課：大阪の都市河川（パンフレット），1974.
- 2) 建設省京浜工事事務所：鶴見川の概要（パンフレット），1970.
- 3) 角屋睦・岡太郎：市街地域の雨水流出特性，京都大学防災研究所年報，第14号B，1971，pp. 143—155.
- 4) 角屋睦・岡太郎・早瀬吉雄：丘陵地の宅地開発に伴う流出量変化の予測，第8回自然災害科学総合シンポジウム講演集，1971，pp. 107—110.
- 5) 角屋睦・福島晟：中小河川の洪水到達時間，京都大学防災研究所年報，第19号B 2，1976，pp. 143—152.
- 6) 下津昌司：火山灰層斜面域における雨水流出について，土木学会年講集2，1976，pp. 186—187.
- 7) 豊國永次・渡辺政広：市街地域の流域モデルに関する考察，土木学会年講集2，1970，pp. 205—206.
- 8) 角屋睦・岡太郎・早瀬吉雄・水山高久・宮崎利博：丘陵地の宅地開発に伴う流出量変化の予測（2），第9回自然災害科学総合シンポジウム講演集，1972，pp. 167—170.
- 9) 角屋睦：都市化と流出，土木学会水理委員会水工学シリーズ，74—A—2，1974.
- 10) 岡太郎・角屋睦：昭和47年7月豪雨による東大阪水害とその考察，京都大学防災研究所年報，第16号B，1973，pp. 385—400.

URBANIZATION AND FLOOD PROBLEMS

By *Mutsumi* KADOYA**Synopsis**

The urbanization of forest and agricultural areas near big cities is being accelerated with the advance of the overpopulation from the cities in modern Japan. The urbanization of a watershed, however, is apt to promote the flood potential in the watershed or its down stream areas.

This paper discusses the effect of urbanization on the flood potential generally but quantitatively from the view point of engineering practice. The discussion is carried out through the following items: Changes in the detention and storage capacity of rain water on the ground surface and in the surface soil layer; changes in roughness and gradient of the slope surface; changes in the concentration time, the peak runoff coefficient and the peak discharge of flood runoff; and the ground subsidence in an alluvial fan.

Moreover, several counter-plans to prevent or mitigate flood disasters due to urbanizations are proposed from the view points of engineering practices and social policies.