

4. 地域開発に伴う流出形態の変化

富 所 五 郎 (信州大学・工学部)

1. まえがき

地域開発がその流域の洪水を増大させることは、昔は直感的かつ定性的に推論されていたにすぎない。しかし最近では、地域開発、特に流域の都市化に伴う雨水流出形態や水害の変化についての勢力的な研究が行われ¹⁾、その実態が論理的かつ定量的に明らかにされるとともに、その防災対策についても検討されるようになってきている。

長野県内の河川については、一部の小河川を除くと流域面積に占める山林面積の割合が大きく、また流域の人口や地目別面積の変化もさほど大きくない。しかし、都市化の著しい大都市の中小河川ほど劇的でないが、かなりの雨水流出形態の変化が見られる²⁾。また、長野市や松本市などの中核都市近郊の小河川においては、著しい雨水流出形態の変化が起こっている。

本項は、流域の都市化に伴う雨水流出形態や水害の変化について述べ、更に千曲川流域を対象にして流域の変遷に伴う雨水流出形態の変化を示す。最後に、地域開発を行うに当たっての洪水対策について言及する。

2. 流域の都市化に伴う雨水流出形態の変化と洪水の変遷³⁾

本章では、先ず流域の都市化に伴う雨水流出過程の変化と土壌の浸透能の変化について述べ、この結果雨水が短期間に最大流量を増大させて流下し、更に低湿地の高度利用とも相まって内水災害が増大していることについて解説する。

2-1. 雨水流出過程の変化

自然丘陵地の林草地に降る雨水の一部は樹木や草に遮断され、一時的に貯留される。それらは雨が止むと蒸発する。一方、地面に到達した雨水は窪地に貯留されたりしながら、枯葉堆積層や良透水性の表層土をとおりその下の土壌層に浸透する。雨が強くこの土壌の浸透能力を上回る場合には、浸透しきれないためこの層を横方向に流下する。この流れを中間流と呼んでいる。更に雨が強くなると、雨水は表層土上を表面流となって流下するが、枯葉堆積層上で表面流がみられることは希であり、これは枯葉堆積層の存在しない裸地斜面や畑などで良くみられる。以上の表面流出と中間流出を合わせて直接流出という。土壌中に浸透した雨水は、一部土壌中

に貯留されるものの大部分は浸透降下して、岩盤などの不透水層もしくは地下水面に到達する。これらの雨水は横方向に流れを変え、地下水流出として河川に出る。

以上に対して、自然丘陵地が都市化されると30~60%の地表面は屋根・舗装道路等の不浸透層で覆われる。このような不浸透域では雨水は、ほとんど浸透しないため、その全量が表面流となって流出する。都市化域にも庭・児童公園・校庭などがあるが、このような浸透域では雨水は地中に浸透し、浸透しきれない雨水のみが表面流として流出する。従って、都市域の雨水流出過程は、不浸透域と浸透域の表面流出と浸透域よりの雨水浸透に基づく地下水流出により成り立っていると言える。但し、都市域では地中になかなか浸透しないので、地下水流出はごくわずかである。都市域では枯葉層すなわち中間流出が発生する場が消滅するが、これは流域内の雨水の貯留能力を著しく減少させ、流出を速めることになる。

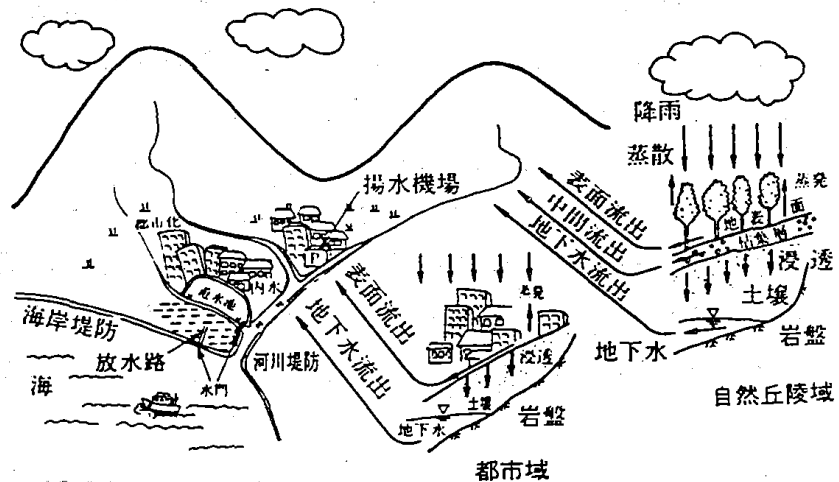


図1 雨水の流出過程

2-2 浸透能の減少

一旦地中に浸透した雨水はなかなか河川へ流出してこない。つまり、雨が良く浸透する流域では洪水は発生しにくく、浸透性の悪いところでは洪水が発生しやすいことになる。このように洪水流量には、地中への浸透量が深く関係しているが、流域の浸透性の優劣は、浸透能試験によって測定される。

図2は、自然丘陵地と市街地に残された浸透域での浸透能の測定例である。開発前の浸

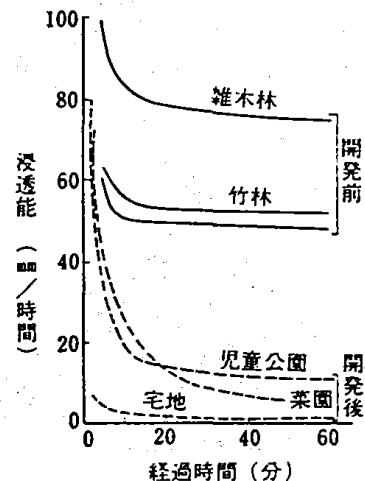


図2 浸透能の比較

透能は、80~50mm/時間と大きい。この理由は、土壌中に、亀裂・小動物・根腐れなどによって造られる大間隙が多数分布しており、その中に雨水が多量に流入するためであると言われている。一方、開発後は10mm/時間以下となりかなり減少している。これは、開発途中に大間隙は破壊され、地面が締め固められるためである。都市化による浸透能の減少は、不浸透域の増大とともに洪水の流出速度や流量を増大させる直接原因となる。

2-3 都市化に伴う洪水流出速度と洪水流量の増大

図3は新河岸川（隅田川上流）流域の昭和36年~昭和53年の都市化進捗状況、図4は各年の雨水流出波形の変化である⁴⁾。図によると、都市化の進捗に伴い雨水流出時間が早まり、最大流量が増大している。この理由を以下に述べる。

開発前が山林であれば枯葉層が堆積しており、その中の雨水の流れは大きな抵抗を受け。また河川は曲がりくねっているうえ、水草が繁茂するなど、流れに対する抵抗は大きい。このように自然流域では雨水はゆっくり斜面を下り、時間をかけて河川に流れ込む。しかも、流れ込んだ雨水が氾濫しても、雨水は被害のほとんどないミニ洪水となり、周囲の低地に流れ込み、下流の最大流量を下げることになる。

都市化が進むと、大部分の地表面は不浸透層で覆われるとともに、道路側溝・排水路などが住宅地の隅々まで設置される。そのうえ、河川は、氾濫を避けるべく断面の拡張、流路の直線化など、雨水をできるだけ速やかに排除するように設計される。従って、都市化されると、雨水は短時間に流下し、最大流量も増大するようになる。

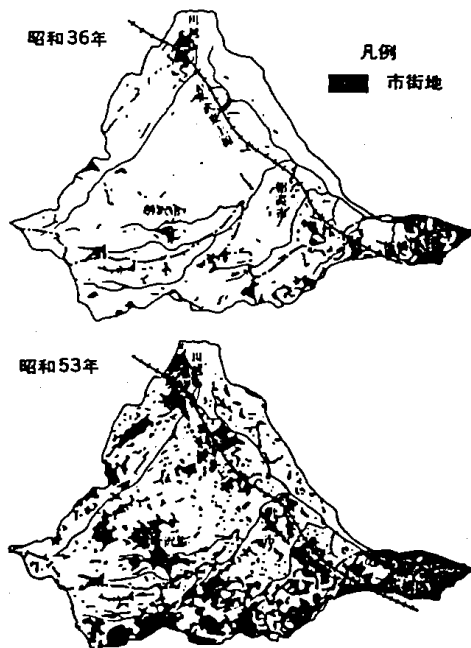


図3 新河岸川流域の都市化進捗状況

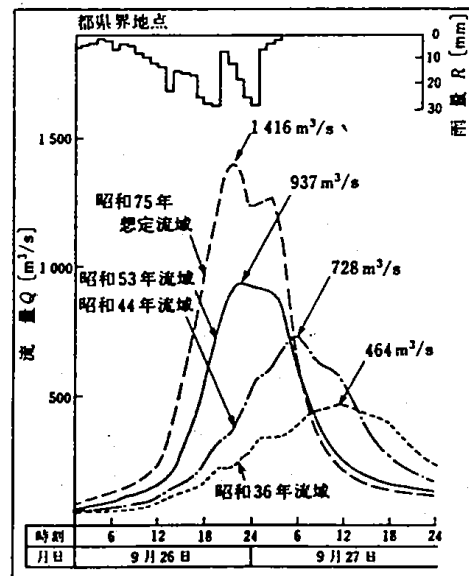


図4 流出波形の変化

2-4 都市化に伴う水害の変遷

これまで住宅地などとして余り利用されず、洪水時には氾濫水を受け入れる一種の遊水機能を有していた大河川の氾濫原や旧河道などの水田主体の低湿地にも宅地化の波が押し寄せ始めた。また、宅地開発は丘陵地でも急激に進み、かなり急峻な斜面にも住宅が建てられるようになってきた。このような急激な都市化は新しい形の洪水を招来するようになる。

その代表的なものが内水災害である。これは、水田地帯では古くから問題となっていたが、都市周辺の開発に伴って雨水流出が増大するとともに、下流域では水田域が宅地化されることにより貯留能力が減少して、1965年頃より頻発するようになり、新しい形の水害として注目され始めた。

図5は1962年以後の洪水被害の原因別割合を示したものであるが、最近河川堤防の決壊による洪水被害は徐々に減少してほとんどみられなくなったのに対し、内水氾濫による被害が急増し、1980～82年には全被害額の50%以上にも達している。

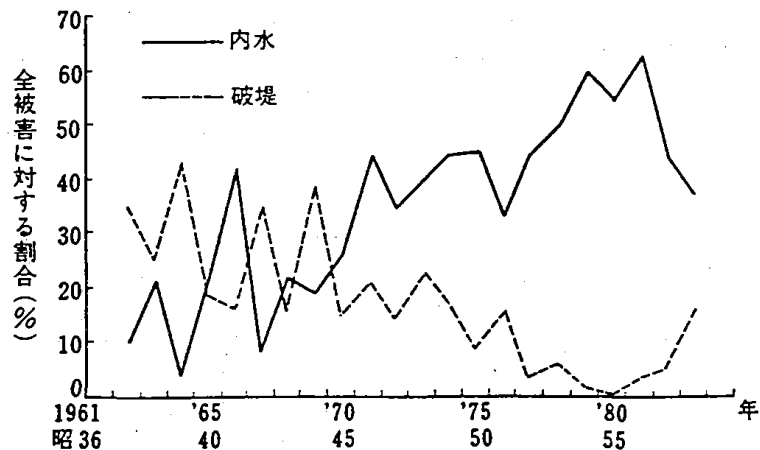


図5 洪水被害額の原因別割合

3. 千曲川流域の変遷に伴う雨水流出形態の変化

2. 意で流域が都市化されると、雨水が短期間に最大流量を増大させて流下し、低湿地の高度利用とも相まって内水災害が増大していることについて説明した。千曲川流域全体では、流域面積に占める山林面積の割合が大きく、流域の人口や地目別面積の変化も大都市近郊ほど大きくない。しかし、都市化の著しい大都市の中小河川ほど劇的でないものの、かなりの雨水流出形態の変化が見られるので、以下にこれを示す。尚、最近浅川下流、松代温泉団地、須坂市相之島団地に起こった水害は典型的な都市化に伴う内水災害である。最後に、地域開発を行うに当たっての洪

水対策について言及する。

3-1 計画高水量の変遷⁵⁾

図6は建設省の信濃川上流計画高水流量変遷図である。図に於て、昭和43年までの計画高水は原則として既往最大洪水量をもって定められているが、昭和49年のそれは超過確率年100年の洪水量である。この計画高水は、堤防の高さなど河川構造物を設計する際に基準となる流量であるが、図において経年変化に伴い一貫して増加しており、全国の多くの河川にも同様にみられる傾向である。この原因は、過去に於いては流域の開発による雨水流出形態の変化と併に、3-4節の説明と同様に河道改修の進捗による上流域の氾濫水の遊水効果が減少したことが大きく作用しているものと思われる。河道改修の進んでいる近年どうなっているのか、次に昭和30年代以降を対象にして示す。

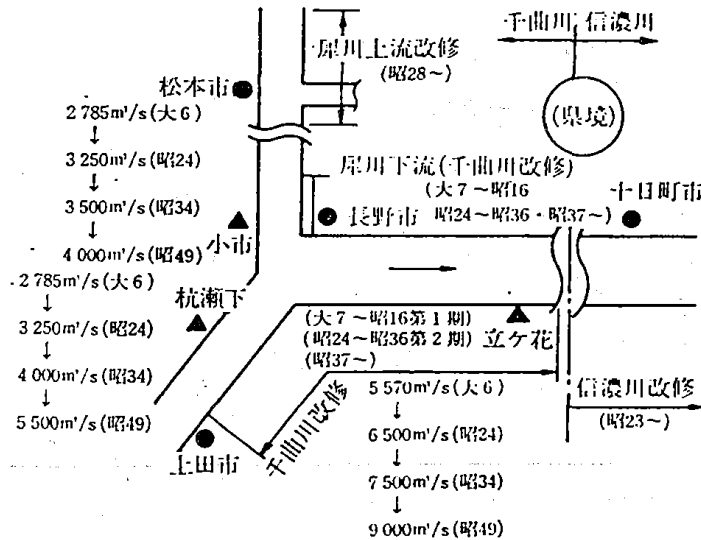


図6 信濃川上流計画高水流量変遷図

3-2 流出率の経年変化²⁾

図7は、昭和30年代以降の立ヶ花地点での最大流量約 $2500m^3/s$ 以上の16出水を対象にして、対象洪水の全降雨量に対する直接流出量の流出率の経年変化を示したものである。図より、中規模の洪水では洪水時の初期状態や降雨の空間的パターン等の他の要因の影響が大きいため経年的な特徴は判定し難いが、最大流量 $4000m^3/s$ 以上の洪水では増加傾向がうかがわれ、最小二乗推定直線も年次に応じた線形的な増加傾向が見られる。小市、杭瀬下流域でも同様な結果が得られている。直線の傾きから流出率の年間増加率をみると、小市流域で0.67%、杭瀬下流域で0.80%、立ヶ花流域で0.67%となっている。

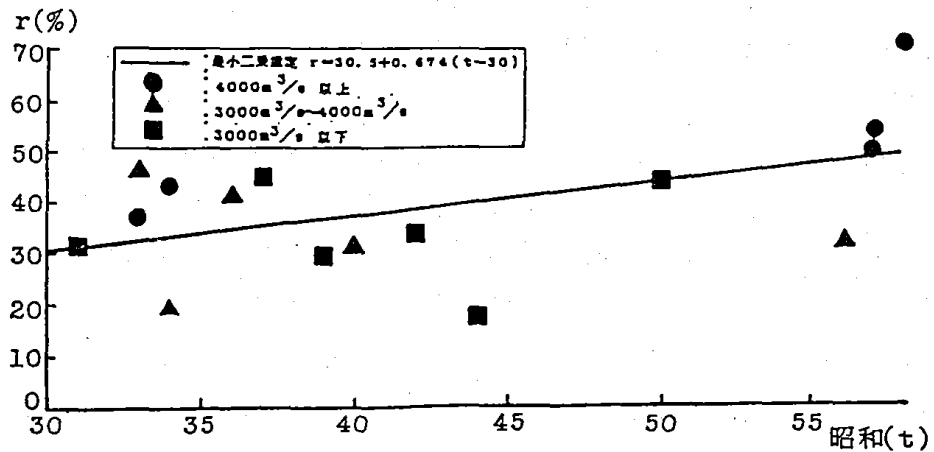
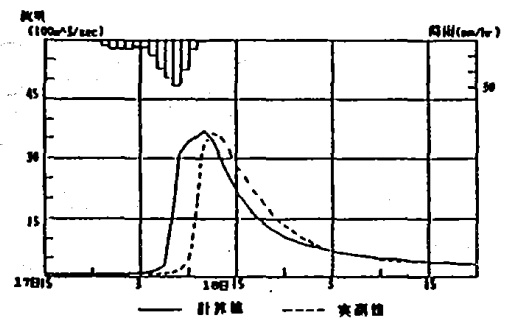


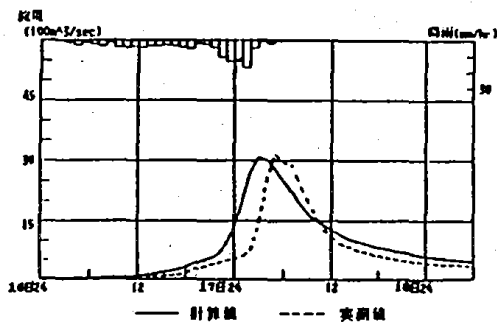
図7 立ヶ花流域の流出率の経年変化

3-3 流量波形の変化²⁾

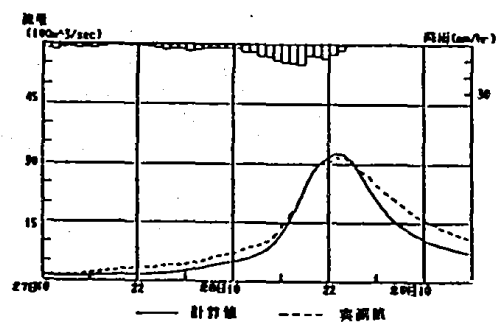
貯留関数法で追跡計算を行って得られた各洪水に対する杭瀬下の流量波形図の一部を実測のそれと共に図8に示す。これらの図で、計算流量波形曲線は、そのピークと立ち上がり部の形状が実測のそれに最も近いものとしている。このため図8(c)では実測と計算流量波形曲線の総流量が合わなくなっている。これらの図より、年代を経るに伴い実測流量波形曲線が計算流量波形曲線に近づいている。つまり、流出が早まっていることがわかる。



(a) 昭和33年9月16日洪水



(b) 昭和40年9月18日洪水



(c) 昭和58年9月29日洪水

図8 杭瀬下の流量波形図

3-4 家屋の浸水から見た洪水の変遷²⁾

戦後の主要洪水のうち、昭和30年代のもの2例と、昭和50年代のもの2例について、家屋の浸水被害に着目し、図9に示す。円の面積が浸水戸数に対応しており、凡例として100戸分を示してある。この他にも出水例は有るが、大規模な出水を対象とし、先に述べた時代区分の代表的な例についてのみ示すことにした。

以上に代表される調査結果から、千曲川流域における浸水被害には、次の傾向があることが明らかになった。1) 昭和30年代半ばまでは上流域で顕著であった浸水被害が、近年では中・下流域に移ってきた。2) 中・下流域では本川の水位が先に上昇し、その結果としての内水氾濫というケースが増えている。これらは、いわば一種の遊水効果を持っていた上流の氾濫がなくなり、中・下流域の流量を増大させたものと言える。

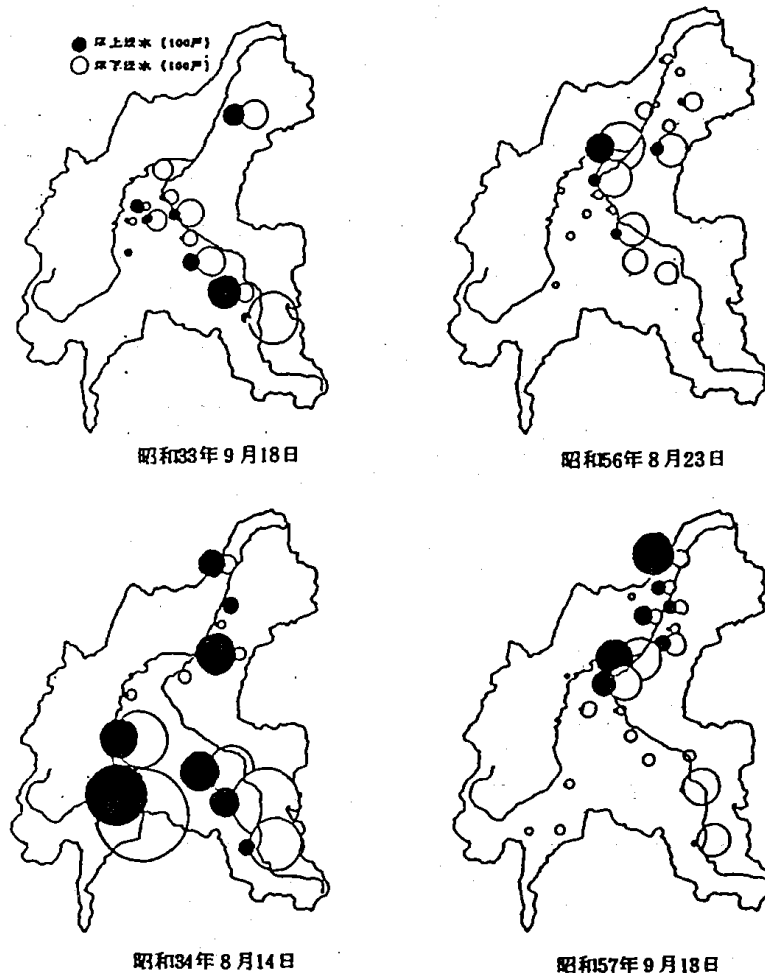


図9 千曲川流域の家屋の浸水被害

3-5 地域開発に対する洪水対策

流域の開発にあたり、治水のために今後とるべき対策としては、本川・支川の改修を一層促進することが重要であるのはもちろん、上流域の各種開発や河川改修進捗が下流の洪水量増大をもたらすことを考慮するとき、従来流域が持っていた雨水貯留機能を保持するよう、積極的な対策をとることが重要である。すなわち、土地の大規模開発、用排水路の改修設備などの設置にあたっては、少なくとも自己の区域に降った雨水は一時貯留するような調整地などの施設を、計画当初から考慮しておくようにすべきであろう。

4. あとがき

以上のように流域の開発は、雨水流出形態を大幅に変化させ流域直下に大きな影響を与えるばかりでなく、開発箇所が多ければ千曲川ほどの大河川にも影響がおよび、大洪水を起こすことになる。

従って、流域の開発に対しては、本来流域が持っていた雨水貯留機能を維持すると共に、対策のとれないミニ開発をも考慮して総合治水の立場から流域全体の洪水対策を一層押し進めることが必要である。

参考文献

- 1) 角屋睦他：流域の都市化に伴う洪水流出形態の変化予測に関する研究，文部省科学研究費・自然災害特別研究研究報告，pp.1-112,1977.
- 2) 荒木正夫他：千曲川水系の変遷に伴う流出形態の変化に関する研究，文部省科学研究費・一般研究（C）研究報告，pp.1-90,1985.
- 3) 岡太郎：都市化と水害，NHK市民大学1月－3月期・災害の科学，pp.105-117,1987.
- 4) 土木学会編：山と川と海，グラフィックス・くらしと土木2，オーム社，PP.24,1985.
- 5) 建設省北陸地方建設局編：千曲川屋川三十年のあゆみ，建設省千曲川工事事務所，pp.258-271,1980.