

都市中小河川の流出抑制施設による治水対策

Flood Control Plan of Urban Medium and Small Rivers with Strage Facilities

東京都土木技術研究所 小 川 進 Susumu Ogawa

和 泉 清 Kiyosi Izumi

We have examined the stochastic analysis of the precipitation in Tokyo for the flood control plan, considering the two different heavy rains. The results are as follows. (1) Probability distribution; the stochastic analysis of precipitation in Tokyo supports 'the square root exponential-type distribution' more than the Gumbel's and the logarithm normal one. (2) Separation of rainfall types; the Cleveland-type rainfall intensity formula agrees with the local heavy rains data better than the typhoon's and the total ones. (3) Two hyetograph models; 'the equi-risk line' agrees with the typhoon-type rainfalls very well, also the traditional 'central peak shaped' rainfall model does with the local heavy rains as the same. (4) Applications; the equi-risk line model has been applied to convert the amount of infiltration into the equivalent storage one.

Keywords: urban hydrology, urban river, flood control, stochastic analysis, infiltration

1. はじめに

東京都では、区部中小河川の治水水準の向上をめざし、流域においては貯留浸透施設、河川下水道においては防災調節池、遊水池および地下河川等による、いわゆる総合治水対策を計画、実施している。ところで、こうしたタイプの異なる治水対策に対し、従来より一般的に採用されている中央集中型降雨波形による水文計画が実施されているが、その妥当性に疑問の声もある。江藤ら¹⁾は、標準等危険度線により実降雨に近い水文計画を提唱し、さらに降雨強度式の根拠となるGumbel分布よりも整合性のよい平方根指数型最大値分布による確率年の修正を論じている²⁾。そこで本論ではまず、降雨強度式の検討として、分布ならびに母集団に注目し、整合性を確認した。ついで標準等危険度線を作成し、従来の中央集中型降雨波形との比較、観測された既往最大降雨の評価を行なった。最後に総合治水対策を計画実施するにあたって、これらの結果を踏まえ、浸透施設の評価とオリフィス放流量の設定の簡便な手法を提案した。

2. 降雨強度式の検討

2-1 年最大雨量の分布形

降雨量の毎年の最大値は、一般には対数正規かGumbel分布にのるが、ここでは平方根指数型分布もあわせて検討した。対象降雨としては東京気象台の1926年から1985年までの観測記録の単位時間ごとの読取り値を使用した。なお、平方根指数型最大値分布の確率分布関数は次式で示される。

$$F(x) = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ \exp [-\lambda (1 + \sqrt{\beta x}) \exp(-\sqrt{\beta x})] & (x \geq 0) \end{cases} \quad \text{.....(1)}$$

降雨継続時間は、5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 180, 360, 720, 1080, 1440分の14通りである。3種類の分布をThomasプロットで確率紙上に記載したものをFig. 1~3に示す。これらの標準偏差は、単位時間に関係なく対数正規、Gumbel、平方根指数型最大値分布の順に小さくなった。平方根指数型最大値分布は、本来の総雨量の評価のみならず、短時間雨量の最大値分布にも適用できることが示唆される。なお、狩野川台風の6時間雨量の確率年は、Gumbelの2500年に対し、平方根指数型最大値分布では1300年に評価され、おなじく24時間雨量の確率年は、3300年と2000年であった。

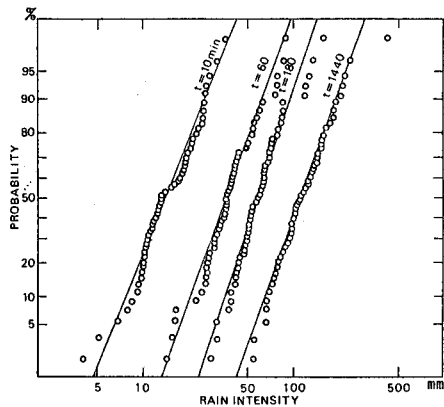


Fig.1 The logarithm normal distribution of the rainfall in unit time at Tokyo.

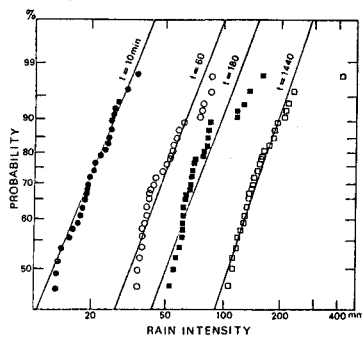


Fig.2 The Gumbel distribution of the rainfall in unit time at Tokyo.

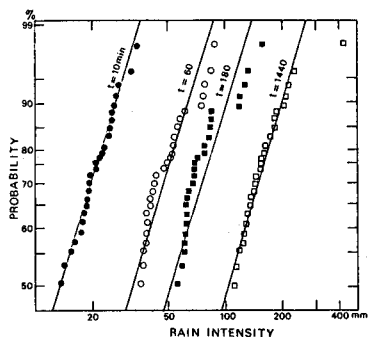


Fig.3 The square root exponential-type distribution of the rainfall in unit time at Tokyo.

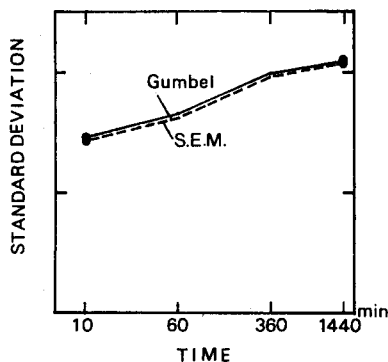


Fig.4 The standard deviation of the Gumbel and the square root exponential-type distribution in duration time.

2-2 母集団の分離

降雨には、その発生過程に依存して時間的、空間的分布形状に違いが生じる。最も大きな要因は、台風と前線性の集中豪雨のように、発生帯域に依存する雨雲の規模と形態が全く異なるためである。そこで、単位時間ごとの毎年最大雨量のなかで、台風の割合を示したのがFig.5である。降雨の単位継続時間の増加とともに台風の割合も増えている。継続時間ごとの最大順位にも同様の傾向が見られ、180分を越えると上位はほぼ台風が独占する。そこで、台風およびその影響を受けたと考えられる豪雨を分離し、時間的分布ならびに降雨強度式を再度算定した。降雨強度式はCleveland型と言われる次式とした。

$$R = a / (t^n + b) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、R；降雨強度、t；降雨継続時間、a, b, n；定数である。

計算の都合上、ここではGumbel分布のみ示すが、標準偏差と降雨強度式に明瞭な差が見られた。便宜上、台風およびその影響を受けた降雨を'台風 typhoon' とし、それ以外の前線性の集中豪雨を主体とする降雨を'集中豪雨 local heavy rain'と呼ぶことにする。Fig.6に示すように、標準偏差は'台風'が概ね増加したのに対し、'集中豪雨'の方は逆に減少している。また、降雨強度式のパラメータnは、全体が0.67~0.75

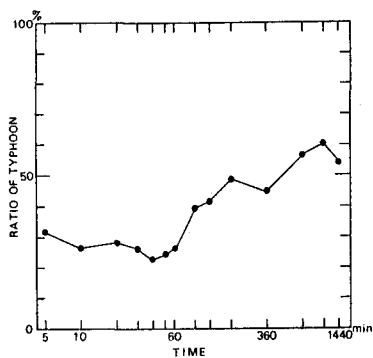


Fig.5 The ratio of typhoons to the total rainfall set .

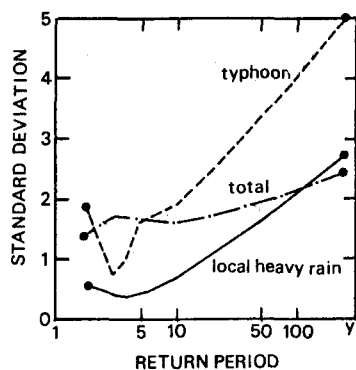


Fig.6 The standard deviation of each rainfall set.

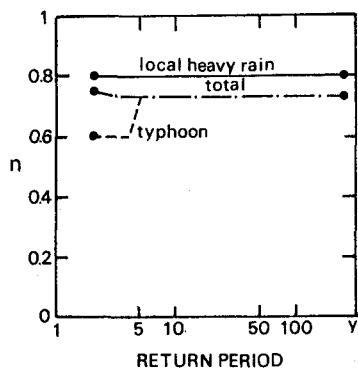


Fig.7 The variation of the parameter n in the Cleveland-type rainfall intensity formula.

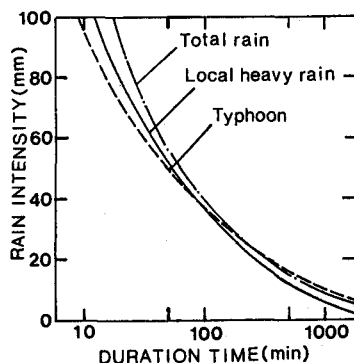


Fig.8 The shape of the Cleveland-type rainfall intensity formula of each set.

であるが、'台風'が0.6~0.67で'集中豪雨'が0.8である。このことは、降雨強度式にも反映され、'集中豪雨'は、降雨継続時間とともに急速に減少するのに対し、'台風'はそれよりも緩やかに減少し、両者の降雨特性を表現している。いずれにしても標準偏差が示すとおり、従来より一般に使用されているCleveland型降雨強度式は、'集中豪雨'型降雨に対し一致がよく、逆に'台風'型降雨に適用するには問題がある。

3. 標準等危険度線の検討

3-1 標準等危険度線と中央集中型降雨波形

標準等危険度線は、流出抑制のための対策量を簡便に算定する手法であると同時に、従来の中央集中型降雨波形が現実の降雨にそぐわない点を改善した新しい降雨モデルという位置付けなされるであろう。標準等危険度線は次式で表される。

$$z/z_0 = (1 - y/y_0)^s \quad (3)$$

ただし、 z ；調節容量、 z_0 ；総雨量、 y ；放流量、 y_0 ；ピーク雨量、 s ；定数である。

ここでは、標準等危険度線を作成し、従来の中央集中型降雨波形との相違点、適用範囲ならびに既往最大降雨との適合性について検討する。通常、降雨波形は横軸に時間を取り、縦軸に雨量を取る、ハイレトグラ

フで表現するが、標準等危険度線は横軸に降雨強度（ないしは放流量）、縦軸に総雨量（ないしは調節容量）を取る。そこで、このような線図を'Etoh diagram'と呼び、以下使用する。'Etoh diagram'の特徴は、時間を含まない点にあり、それが一般に複雑な降雨波形を3個のパラメータだけで表現することが出来る。この

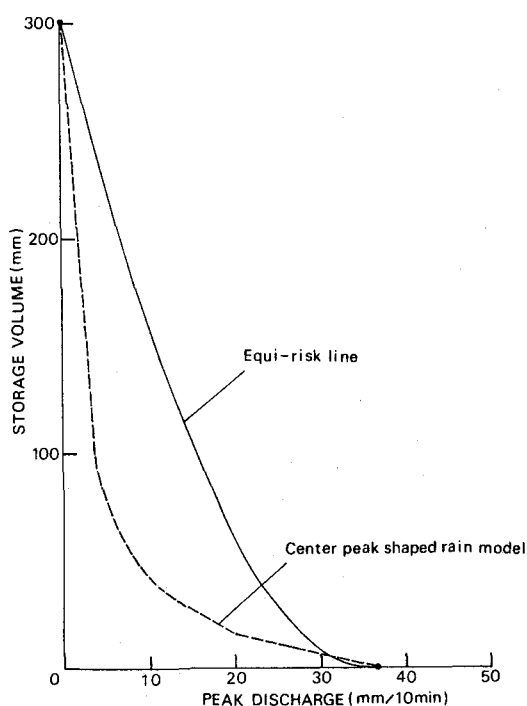


Fig.9 The equi-risk line and 'Etoh diagram'.

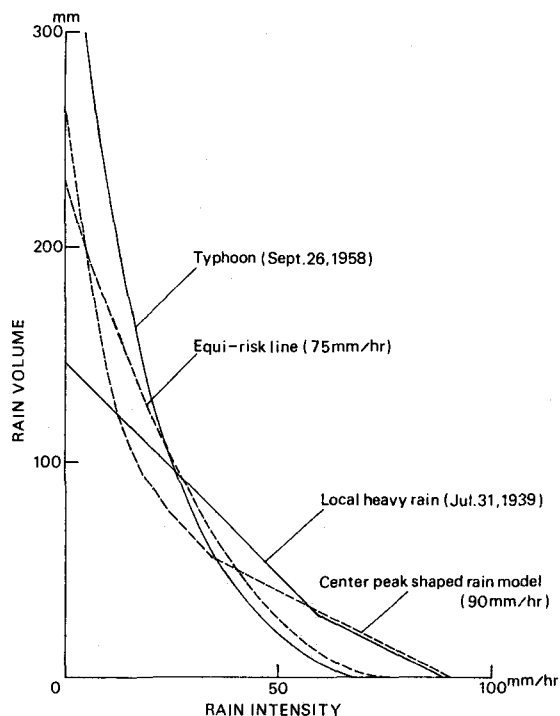


Fig.10 The greatest rainfalls and the probability evaluation on 'Etoh diagram'

ことが、降雨相互の比較をきわめて容易にし、しかも流出抑制対策を計画実施していくには十分である。Fig.9 にはその一例を示すが、パラメータ $s = 2$ の放物線が描かれている。また同図には降雨強度式より求めた中央集中型降雨波形が描かれているが、両者の形状の差は同一の降雨データから導かれたとは考えられないほどである。この理由は後述するが、ここで注目すべきことは横軸に接する近傍では、中央集中型の方が標準等危険度線より上側に位置し、それ以外では上下が入替わっている点である。さて、標準等危険度線より流域対策量を算定するには、排水施設の許容放流量を横軸に落とし、同曲線の縦軸の読み値から求めることができる。したがって、曲線が上に位置するほど対策量は増加し、治水安全度が向上することになる。すなわち、概ね標準等危険度線は中央集中型降雨波形で算定した対策量より過大となり、安全側に評価することになる。ところが、横軸近傍では位置が逆転し、過小評価することになる。東京都の基本計画のように、全体を100mm/hr、流域対策で10mm/hrという高い治水水準が求められる場合、実は両曲線の位置が逆転した点に相当し、標準等危険度線では過小評価になる。

3-2 台風と集中豪雨

次に、既往最大降雨を'Etoh diagram'に描いた結果をFig.10に示す。既往最大降雨として、1939年の集中豪雨と1958年の狩野川台風を選んだ。前者はほぼ直線的であるのに対し、後者は放物線状である。さらに、両者に見あう標準等危険度線と中央集中型降雨波形を破線で描いた。図からわかるように、ピーク付近、すなわち横軸の近傍では集中豪雨は中央集中型降雨波形に一致し、一方の台風は標準等危険度線にほぼ一致している。

同一の降雨データを用いたにもかかわらず、統計処理の手法の違いにより中央集中型降雨波形と標準等危険度線という似ても似つかぬ2種類の計画降雨モデルができた。過去の水害を見ると、台風に起因するものが全体の2/3を越える。したがって、台風をモデルとする水文計画が優越するのが妥当であろう。しかし、Fig.5に示すように、平均的には集中豪雨のデータが過半数を占め、しかも都市河川の洪水到達時間付近では統計的に集中豪雨が卓越するため、結果的に過半の水害をもたらした台風の統計上での寄与が低められている。この結果はきわめて重要であり、河川の基本計画を降雨強度式によっている現状では、台風の降雨データを何等かの形で取込む必要があるだろう。その意味では、標準等危険度線による評価は十分意義のあることである。

4. 標準等危険度線の応用

4-1 浸透施設の貯留換算

流域対策では、浸透施設の評価が問題になる。貯留施設の場合、貯留量がはっきりした数字で評価できるのに対して、浸透施設では単位となる浸透量の評価がバラつくうえ、排水施設に対する効果をどこまで考慮するかが定まらないためである。しかし、東京都では貯留施設を設置する空間が少ない上、降雨後、安全を確保するためにも、浸透施設の設置は必要である。対象とする用地は、すべての公共施設と大規模民間施設である。こうした土地利用から、当研究所が実施した都内の野外実験の結果をもとに、平均値に安全率をかけたものを施設ごとの単位処理量とした。ところで、排水施設への効果は一般には種々の流出解析手法によるが、流域に広く分布する浸透施設に対しては、なじまないと考え、簡便な標準等危険度線を応用することにした。³⁾しかしながら、この曲線は2次式であり、確率年ごとに異なるため、東京都のように3段階の水文計画がある場合、都合が悪い。そこで、先に触れたようにピークにおいては、むしろ中央集中型降雨の方が安全側に評価し、かつ1次式であるので取扱いやすいので、これを採用した。水文学的厳密さより簡便さを優先させることにした。Fig.11には、神田川、目黒川で実際に用いた浸透施設の貯留換算式がえがかれている。ここでの時間は、河川の洪水到達時間と考え、両河川の氾濫地点がいずれも1時間程度かそれ以上であるので簡便のため1時間とした。

4-2 オリフィス放流量の算定

貯留施設は、一般にオリフィスのような放流口をもつが、その算定は、下流の排水施設の流下能力に整合させる。しかし、東京都の場合、流出抑制施設を流域の1/3に集約するために、個別の施設に対して流域平均の3倍以上の貯留量を負担しなければならない。それに伴い、オリフィスの放流量も算定される必要がある。貯留量と放流量の関係は、まさに標準等危険度線そのものであるから、同曲線より算定することとした。流域ごとの対策量と対をなして、放流量が単位面積当たりで定められた。

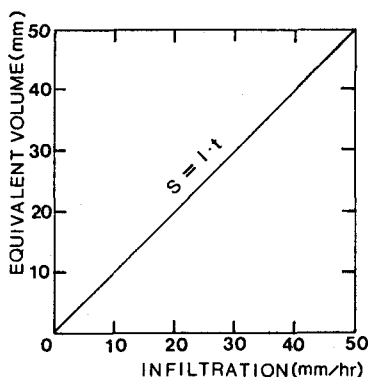


Fig.11 The conversion of the infiltration amount to the equivalent storage one.

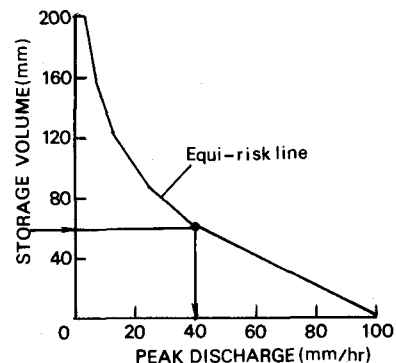


Fig.12 The calculation of the peak discharge by the equi-risk line.

5. まとめ

以上より本論は次のようにまとめられる。

- (1)降雨強度式の算定に当り、分布について検討したが、従来使用されてきたGumbel分布よりも平方根指数型最大値分布の方が実降雨との一致がよいことが確認された。
- (2)降雨データの母集団を分離し、降雨強度式を算定したところ、集中豪雨型の方が台風型よりも標準偏差が低く、かつ両者の線形が明らかに異なることが確認された。
- (3)標準等危険度線と従来の中央集中型降雨とを比較したところ、前者の方が概ね安全側に評価するが、ピークにおいては逆転する。
- (4)既往最大降雨について、狩野川台風は75mm/hr標準等危険度線に、1939年集中豪雨は90mm/hr中央集中型降雨波形にほぼ一致した。
- (5)現在使われている中央集中型降雨波形は、統計上、集中豪雨型の降雨データに多く依存し、水害の過半を占める台風型の降雨データが相対的に低く処理されているので、標準等危険度線等を考慮する必要がある。
- (6)標準等危険度線の応用により、浸透施設の貯留換算とオリフィスの放流量の算定を簡便に行なうことができた。

流域の総合治水対策を計画・実施するに当り、従来の河川の水文計画と標準等危険度線に見られる新しい考え方との整合をとりつつ、種々の課題を解決することに努めてきた。ここでは、従来の中央集中型降雨波形に孕む問題点を明らかにした。問題の真の解決は各河川計画に携わる職員諸氏の努力に掛っている。本論がその一助になれば幸いである。

参考文献

- 1)江藤剛治，室田明：単一貯留施設による治水安全度に関する理論的研究，土木学会論文報告集，No.351，163-171,1984.
- 2)江藤剛治，室田明他：大雨の頻度，土木学会論文集，No.369,165-174,1986.
- 3)小川進，柳沢満，和泉清：東京都における雨水流出抑制対策量の算定法，土木学会第42回年次学術講演会，1987.