

1. はしがき 河川洪水流量の算定や各種災害対策などの基本となる計画降雨としては、一般に確率計算によつて日雨量から推定する降雨強度や当該地方での降雨記録の縮小、拡大法などによつて連続降雨型が決められている。この問題に対し本文では特性係数法を用いて降雨の降り始めからピーク部を過ぎて降り終りまでを数式的に表現するハイレトグラフ(降雨曲線)算定法を示し、特に近年わが国で発生した豪雨災害時の降雨記録を同法で解析し、その結果として同一日雨量であればハイレトグラフにてピーク部が後方にあるものを送ぶのが適切であることを提示する。また題目に特に長時間の場合と併記したのは下水道計画などで短時間降雨を取り扱う場合と区別し、日、24時間雨量またはその前後の任意降雨継続時間を中心とした場合をさすからである。

2. 降雨強度曲線とハイレトグラフ 降雨強度式: I (mm/hr) としてタルボット型をとると図-1よりハイレトグラフ i (mm/hr) は次式となる、¹⁾²⁾

$$I = a/(t + \ell) \quad \text{----- (1)}, \quad i = a\ell/(t + \ell)^2 \quad \text{----- (2)}.$$

いま図-2のように降雨のピーク部が任意時刻にある場合を考え、ピーク前のハイレトグラフを i_b 、ピーク後を i_a とすれば次式を得る、³⁾

$$i_b = a\ell/[(t_b/r) + \ell]^2 \quad \text{----- (3)}, \quad i_a = a\ell/[(t_a/(1-r)) + \ell]^2 \quad \text{----- (4)}.$$

式(3)~(4)で a, ℓ は降雨によつて決まる常数、 t (min) は降雨継続時間、 t_b はピーク前の t (min)、 t_a はピーク後の t (min)、 r は全降雨継続時間 t (min) に対する全 t_b の比でピーク部発生位置を示す数値である。

3. 日雨量単位のハイレトグラフ 日雨量のみ与えられた場合の任意時間中の降雨強度推定式として物部式³⁾³⁾、伊藤式⁵⁾、川上式⁶⁾がある、

$$Y_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^3 = Y_0 \left(\frac{24}{t} \right)^3 \quad \text{----- (5)}, \quad Y_t = \frac{R_{24}}{24} \left\{ \frac{34}{t} \left(\frac{30}{t+1.5} \right) \right\} \quad \text{----- (6)}, \quad Y_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{30}{t+6} \right) \quad \text{----- (7)}$$

ここで Y_t は t 時間中の平均降雨強度 (mm/hr)、 t は降雨継続時間 (hr)、 R_{24} は24時間雨量 (mm)、 Y_0 は日雨量の平均1時間強度である。これらの式でオ1項を Y_0 、オ2項を C とおけば3式とも $Y_t = Y_0 C$ ----- (8) となり、 Y_0 に強度係数 C を乗じたもので図-3のように示し得る。これらの関係は筆者の特性係数法で日雨量単位強度とすれば次式と対応する $I^{24} = R_{24} \cdot \beta$ ----- (9) いま式(9)が式(7)の川上式タルボット型をとるとすれば $I^{24} = R_{24} \cdot \beta = I_{24} \left(\frac{a'}{t + \ell} \right) = \frac{a}{t + \ell}$ ----- (10) となる。ここで I^{24} は降雨強度 (mm/24hr)、 R_{24} は日雨量 (mm)、 β は日雨量単位の特性係数、 a', ℓ は R_{24} と R_1 (1時間雨量) の2倍の降雨記録のみで次式で求まる³⁾³⁾ $a' = \ell + 24$ 、 $\ell = (24 - \beta t)/(\beta - 1)$ 、 $\beta' = I/I_{24}$ ----- (11) ただし $I_1 = R_1/24$ 、 $I_{24} = R_{24}$ 、 $t = 1$ である、かくして得られた係数と実測の Y 値を式(3)(4)に代入すると t (hr) のハイレトグラフ i (mm/day) が求まる。

4. ハイレトグラフによる任意時間中の降雨強度 上述の手順で実測値から i_b, i_a を算定し、これ

図-1

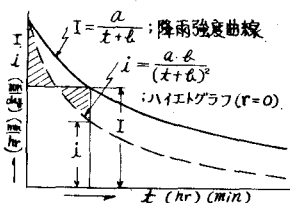


図-2

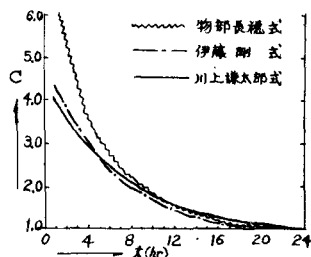
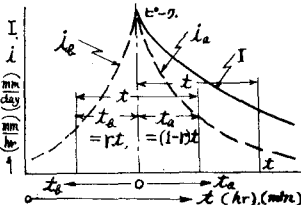


図-3. 強度係数 C の比較曲線

より任意時間中の降雨強度は

次式の積分で求められる

$$\begin{aligned} i_{t_{b1}}^{t_{b2}} &= \int_{t_{b1}}^{t_{b2}} i_b dt \equiv \left[\frac{-a \cdot r}{\frac{t_b}{r} + b} \right]_{t_{b1}}^{t_{b2}} \dots (12) \\ i_{t_{a1}}^{t_{a2}} &= \int_{t_{a1}}^{t_{a2}} i_a dt \equiv \left[\frac{-a \cdot b(1-r)}{\frac{t_a}{1-r} + b} \right]_{t_{a1}}^{t_{a2}} \dots (13) \end{aligned}$$

ただし、 $I = \text{mm}/24 \text{ hr}$ 、 $t_{b2} > t_{b1}$ 、 $t_{a2} > t_{a1} (\text{hr})$ である。

5. 実測豪雨と算定ハイレ

トグラフ 前述の計算手順で近年の著名災害時のものを計算すると図4~9を得る。図中の棒グラフが実測1時間雨量で太実線が R_{24} 、 R_1 、 r で算定されたハイレトグラフである。

6. 考察とむすび

5の実例で明らかなように著名災害豪雨のハイレトグラフはすべてピーク部が後部($r=0.8\sim0.9$)にある。これは河川流出量としての降雨損失過程と関連づけられる、特に計画降雨としてのハイレトグラフから有効降雨の算出に浸透損失としてHortonの浸透能方程式を用いれば同一日雨量の場合にピークが前部にあるものよりも、後部にあるものがピーク有効降雨は大となり、ピーク流出量も当然大きくなる。単位図法、総合単位図法、特性曲線法などでハイドログラフを算定するには単位時間ごとの連続降雨が必要であるが、計画降雨としては本文のようにハイレトグラフで数式化して客観性を持たせ $r=0.8\sim0.9$ をとるのが安全と考える。また既往好適の実測降雨がない場合は本法は次の手順でハイレトグラフが算定できる、すなわち日雨量と1時間雨量との確率降雨量を過去の水文資料から計算し、計画確率年が決めれば両者の同一確率年降雨量で β 、 a 、 b の係数を求め、 $r=0.8\sim0.9$ をとれば直ちに上述の i_b 、 i_a が算出され、降り始めからの各単位時間雨量は式(12)、(13)から積分値として求められ、ハイレトグラフにより計画降雨決定法としての合理性を高めることができる。

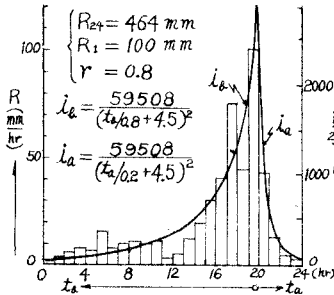


図4. 1966.8.15 台風13号、大分県浅海井(国鉄)

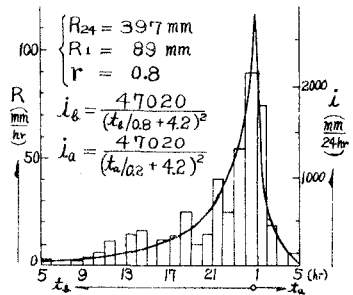


図7. 1966.10.13 八甲田山系北部集雨(青森県大和山)

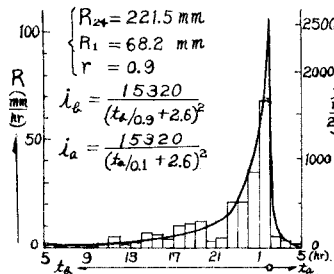


図5. 1966.9.24 台風26号、山梨県足和田村災害(船津)

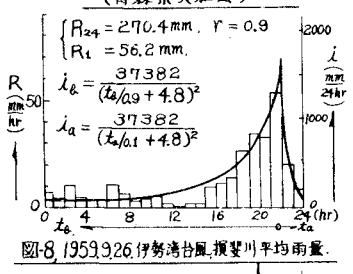


図8. 1959.9.26 伊勢湾台風、茨城県平均雨量

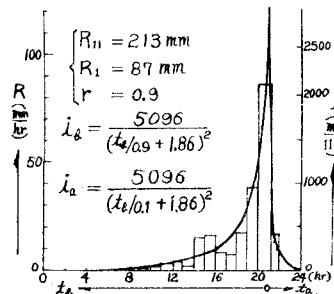


図6. 1966.10.12 東三河地方集中豪雨(豊橋)

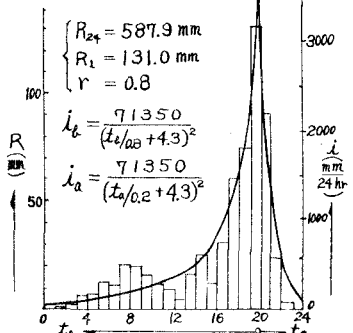


図9. 1933.10.16 台風、宮崎県佐賀市最大降雨

参考文献 1) 石黒政儀：総合降雨曲線とその数値について、土木学会第18回年次講演会誌38.5、2) 石黒政儀：ハイレトグラフに関する三つの考察、土木学会第19回年次講演会誌38.39.5、3) 物部長徳：物部水理学、4) 水理公式集：土木学会、5) 土木工学ハンドブック：技報堂、6) 川上謙太郎：河川洪水のピーク流量に関する研究、土木学会論文集第79号、第373、7) 石黒政儀：特性係数法による確率降雨強度式算定法、土木学会論文集第74号、第36.5、8) 石黒政儀：南九州地方41年7月災害の降雨特性について、第3回災害科学総合シンポジウム論文集第41.11、9) 台風は迅速報：大分県、10) 台風26号報告：船津測候所、11) 東三河豪雨報告：伊良湖測候所、12) 八甲田山系北部豪雨報告：青森地方気象台、13) 伊勢湾台風復旧工事誌上：建設省