

河道配列理論による出水ピークの解析例

京都大学工学部 正 員 高橋琢馬
 京都大学大学院 学生員 瀬能邦雄
 京都大学大学院 学生員 〇入江洋樹

1. まえがき

出水過程は河域地形の特性に大いに支配されることはいふまでもない。われわれは、河域地形の特性を量的に把握、表現し Hortonらの計量地形学⁽¹⁾の成果と、河道細分布状況に関する統計的、確率論的な解析により得た河道分布則⁽²⁾を基礎として、流域の体系的なモデル化を行ない、群ピークの伝達過程を力学的、確率論的に取扱うことにより、懸案地点のピーク流量の期待値の算定式を提案した⁽³⁾。ここにこの理論の概略を述べ由良川大野ダム上流部への適用と解析の例を示すことにする。

2. 流域のモデル化

a) 集水面積のモデル化；位教 U_{in} (以下 O_{in} と表わす)の河道には O_u の河道のみが流入するとし、残留域、および骨格を形成しない流域をそれらに配分し等しく $\bar{A}_u = O_u \bar{A}_{in}$ とする。ここに、 $\bar{A}_u$ は O_u の集水面積の平均値であり、 O_u は $\bar{A}_u$ に残留域等を均等に配分するための面積補正係数と称するものである。b) 合流点間隔のモデル化； O_{in} の河道に O_u の河道がつく合流点間隔をすべて等しく $\bar{L}_{in}$ とする。このとき O_u の河道長の平均値 $\bar{L}_u$ と $\bar{L}_{in}$ との関係は河道分布の考察より、 $\bar{L}_u = \frac{1}{2} \alpha \bar{L}_{in}$ (1) となる。ここに、 α は河道配列の状況を示す係数である。c) 河道こう配のモデル化； O_u の河道としてこの平均値 $\bar{S}_u$ を等しく与える。

3. 群ピーク合致確率の導入とピーク流量の期待値

以上のモデルをもとにして、 O_{in} の河道内での O_u からのピーク流量 $\bar{Q}_{pu}$ の加算機構を表現するために相隣り合った流入ピーク間の合致確率 P_u を導入する。この P_u を力学的要素と結びつけるために

$$P_u = e^{-\alpha \bar{L}_u} \quad (\alpha > 0) \quad \text{..... (2)} \quad \text{とおこう。ここに、} \bar{L}_u \text{は} O_{in} \text{の河道内合流点間隔} \bar{L}_{in} \text{の洪水波伝達時間、} \alpha \text{はハイトグラフの形状等によって支配される係数であつて、この場合、位教には無関係とする。ところで、} O_u \text{の河道内の洪水波伝達速度の平均的な値を} \bar{v}_u \text{とすると、}$$

$$\bar{v}_u = \bar{Q}_{pu} / P_u (\bar{v}_{in} / \sqrt{S_u})^P \quad (P=0.6) \quad \text{..... (4)} \quad \text{であることが知られている。ここに、}$$

$\bar{v}_{in}$ は O_u の河道内の平均的な粗度係数である。したがって、(1)式、(3)式、(4)式より

$$\bar{L}_u = \alpha \bar{L}_{in} \cdot P_u (\bar{v}_{in} / \sqrt{S_u})^P / 2 \bar{Q}_{pu}^P \quad (P=0.6) \quad \text{..... (5)}$$

ここで、 $\bar{v}_{in}$ を U に無関係に一定、 $\bar{Q}_{pu} / \bar{Q}_{pu-1} = \bar{A}_u / \bar{A}_{u-1}$ と仮定すると、 $\bar{L}_u / \bar{L}_{in}$ が地形特性のみで表わされ、各 U について数値として得られる。さて、この合致確率によって O_u の河道から発生するピーク流量の期待値を表現すると、誘導は省略するが、つぎのようになる。

$$E(\bar{Q}_{ps}) = \sum_{u=1}^n \bar{Q}_{pu} O_u (2 + \beta_u P_u) \quad \text{..... (6)} \quad \text{ここに、} \bar{Q}_{pu} \text{は単位セル(面積} A_u \text{)}$$

からのピーク流量であり、 β_u は河道配列の状態を示す係数である。

4. 適用と解析例

(6)式を由良川大野ダム上流($A=320 \text{ km}^2$)に適用すると、大野ダム地点は位教 $U=5$ であるので

$$E(\bar{Q}_{PS}) = \bar{Q}_{P1} \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 (2 + \beta_1 P_1) (2 + \beta_2 P_2) (2 + \beta_3 P_3) (2 + \beta_4 P_4) \dots \dots \dots (7) \quad \text{となる。}$$

ところで、 $\bar{Q}_{P1}$ は単位セルにおけるピークの到達時間 $\bar{t}_{P1}$ 内の置換有効降雨 I_{ef}^* の平均強度を $\bar{I}_{mp}$ とすると、 $\bar{Q}_{P1} = \bar{A}_1 \bar{I}_{mp} \dots \dots (8)$ と表わされる。また、 $P_u = P_1 \bar{t}_{P1}^p$ で与えられ、 $a_u, \bar{A}_u$ は各uについて地形解析で数値化される(表-1)ので(7)式は $\bar{I}_{mp}$ に P_1 のみの関数を集めた形になる。すなわち、 $E(\bar{Q}_{PS}) = \bar{I}_{mp} f(P_1) \dots \dots (9)$ となる。表-1より、

$f(P_1) = 0.653X(2 + 0.843P_1)(2 + P_1^{2.08})(2 + 3.33P_1^{3.80})(2 + 4.13P_1^{4.13})$ であり、これをグラフに示したものが図-1である。この図における $f(P_1)$ の単位は $\bar{I}_{mp}$ の単位を $\%$ としたとき、 $E(\bar{Q}_{PS})$ の単位が $\%$ になるようにしてある。ところで(2)式より、 $P_1 = e^{-C \bar{t}_{P1}^{0.4}}$ であり、(5)式より $\bar{t}_{P1} = \alpha \bar{L}_1 (m/365)^{1/2} \bar{I}_{mp}^{-1/p}$ ($p=0.6$)かつ(8)式より $\bar{Q}_{P1} = \bar{A}_1 \bar{I}_{mp}$ であるから、 $P_1 = e^{-C \bar{I}_{mp}^{0.4}}$ と表わされる。ここに、 $C = \alpha \bar{L}_1 \cdot p (m/365)^{p/2} \bar{A}_1^{-p}$ ($p=0.6$)であり、 α 以外は地形特性によって定まる定数である。したがって $\bar{I}_{mp}$ と P_1 とは C (または α)をパラメーターとする(10)式のような関数関係があることになる。このことを実証的に検討するために、下野上流のハイレートグラフから置換有効降雨 I_{ef}^* を計算し、単位セルのピーク到達時間 $\bar{t}_{P1}$ を約5時間と仮定し、 I_{ef}^* のピーク付近5時間の平均値 $\bar{I}_{mp}$ を $\bar{I}_{mp}$ の代用として、 $\bar{Q}_{P1} = f(P_1)$ を求め図-1より P_1 を求めた。図-2は各出水に対する $\bar{I}_{mp}$ と P_1 の関係をプロットしたものであり、曲線は(10)式の関係を C をパラメーターとして示したものである。ほぼ理論どおりであることがわかるであろう。しかし C の変動範囲がかなり下きいため、たとえ正確な $\bar{I}_{mp}$ がわかっていても、いまのところ P_1 を知ることはできない。 C の変化、すなわち α の変化は主にハイレートグラフの形状に支配されると考えられるが、先の具体的な表現方法および α との結びつけについては目下検討中である。

$a_1 = 1.39$	$\beta_1 = 0.84$	$\bar{t}_{P1}/\bar{t}_1 = 2.08$
$a_2 = 1.63$	$\beta_2 = 1.00$	$\bar{t}_{P2}/\bar{t}_1 = 2.10$
$a_3 = 1.35$	$\beta_3 = 3.33$	$\bar{t}_{P3}/\bar{t}_1 = 4.13$
$a_4 = 1.13$	$\beta_4 = 1.00$	$\bar{A}_1 = 0.68 (\text{km}^2)$

表-1

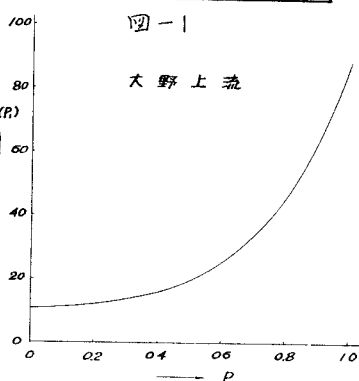


図-1

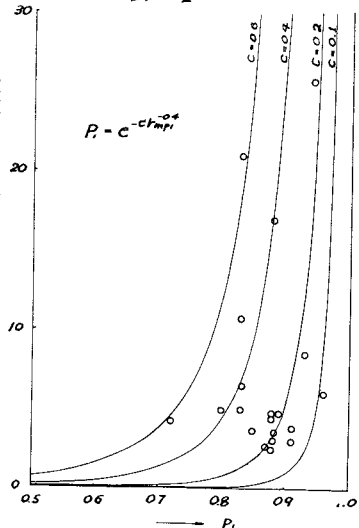


図-2

5. あとがき

われわれが提案したピーク流量の算定式(6)式は地形解析のデータによって(9)式のように表わせる。したがって単位セルのピーク到達時間 $\bar{t}_{P1}$ が正しく評価できるなら、ロボット雨量計の完備によって $\bar{I}_{mp}$ が求まり、(9)式の関係から P_1 が決定され、したがって図-1より $f(P_1)$ が求まるので懸案地点のピーク流量の期待値が P_1 に計算され、洪水予知等にきわめて有効となるであろう。今後、 $\bar{t}_{P1}$ および C (または α)の正しい評価方法について検討を進めていくつもりである。

参考文献

- (1) Ven Te Chow; Handbook of Applied Hydrology, Mc Graw-Hill Book Company, Section 4-II, 1964
- (2) 高橋琢也, 津野和雄, 河成地形の設計, 土木学会22回年次講演会講演要録, 昭42.5
- (3) 石原藤次郎, 高橋琢也, 最大流量に及ぼす河道配分の効果, 土木学会22回年次講演会講演要録, 昭42.5