

有効降雨の成分分離と浸透現象

Separation into Components and Infiltration of Effective Rainfall

東京工業大学 正会員 日 野 幹 雄
東京工業大学 正会員 長谷部 正 彦

要 旨

降雨・流出現象の最も著しい特性は、その非線型性にある。こうした非線型性の原因は、従来は表面流出系の非線型性によるものとみなされていることが多かったが、それよりも、むしろ降雨の各流出系（表面流出、中間流出、地下水流出）への配分の仕方、すなわち降雨の成分分離則の非線型性にあると考えてよいのではないかというのが著者らのフィルター分離AR法（逆探法）による流出解析からの結論である。

さて、この手法で解析された推定有効降雨と実測有効降雨時系列（観測降雨時系列に実測の降雨および流出量から求まる流出率 f を乗じたもの）とは、比較的良好一致を示した。従って、推定した有効降雨の各成分（地下水、表面、中間流出成分）時系列が信頼できるので、本研究では、この推定有効降雨成分時系列と観測降雨時系列とから、有効降雨の成分分離則の推定と時間とともに変化する流出寄与域、すなわち、partial source area 概念を実データによる本解析法から検討する。

1. 降雨の成分分離則の検討

先の論文⁽¹⁾（日野・長谷部、1982）で述べたフィルター分離AR法により実測流量時系列から有効降雨成分時系列（地下水流出、中間流出、表面流出に寄与する地下水流出降雨、中間流出降雨、表面流出降雨）が求められる。多くの場合、表面流出は中間流出と一緒にして表面・中間流出成分として取扱って良く、本論文では地下水流出降雨 $\hat{x}^{(1)} (= \hat{x}_G)$ 、表面・中間流出降雨 $\hat{x}^{(2)} (= \hat{x}_s)$ 、および、これらの降雨の和を有効降雨 $\hat{x} (= \hat{x}^{(1)} + \hat{x}^{(2)})$ として論じる。

(1) 有効降雨・流出率

降雨は、初期損失、蒸発散等の損失降雨と有効降雨に分けられる。全降雨 R に対する有効降雨 Q の比率、すなわち、流出率 $f (= Q/R)$ を知ることが、まず實際上必要となるが、これについて著者らは実測水文資料の解析と浸透能理論から次式を提案した⁽²⁾。

$$f = 1 - \frac{A}{\bar{r}_p} \cdot \exp(-Bq_A) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 q_A ；初期洪水流量、 $\bar{r}_p$ ；平均降雨強度、 A 、 B ；定数。

有効降雨は、さらに地層内で表面・中間および地下水の各流出成分への入力降雨に分けられる（表-1）
本論文では、まず、地下水流出降雨と有効降雨の関係により降雨の分離則を検討する。

(2) 浸透量変化と成分分離則

さて、最近の浸透過程の研究から、地層の浸透量は、降雨の始めて高く時間とともに減少し、やがて飽和状態（最終浸透能）に達する（Kirkby, 1978）。

図-1に、時間と地下水流出降雨の関係を示す。
この図によると降雨初期には地下水流出降雨は異なるが、やがて一定値に落ちついている。地下への浸透成

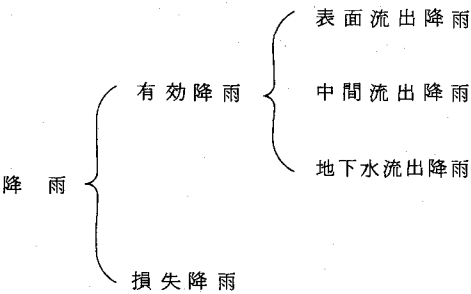


表-1

分は、そのまま全部が地下流出となるのではなく、一部は地下水帯貯留や深部地下水流、他流域への流出等となる。いづれにしても、これらの成分は、降雨の初期に多く補給されその後は、ほぼ一定の比率で有効地下水成分 (Q_G) と損失降雨 (L) とに分離される。このことは、先の流出率の論文⁽²⁾で検討したように、 Q_G/T_e と L/T_e (T_e : 降雨継続時間) が土壌湿潤度の示標である洪水直前流量 (初期流量) q_A のみに依存し一定比になっていることから理解できる。

(3) 最終浸透能

時間単位でみた場合、降雨の地下水系への浸透能は、概略一定と考えられる (図-2)。最終浸透能に達した時の飽和一定値 (x_G)_f と初期流量 (q_A) との関係を図-3に示す。

この図から、飽和一定値は、土壌の湿潤度を示す洪水の始まる前の初期流量 q_A の関数であることが示された。

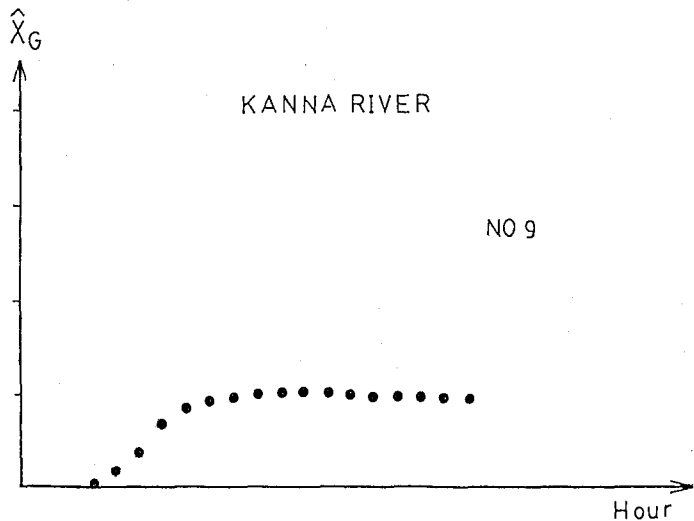


図-1

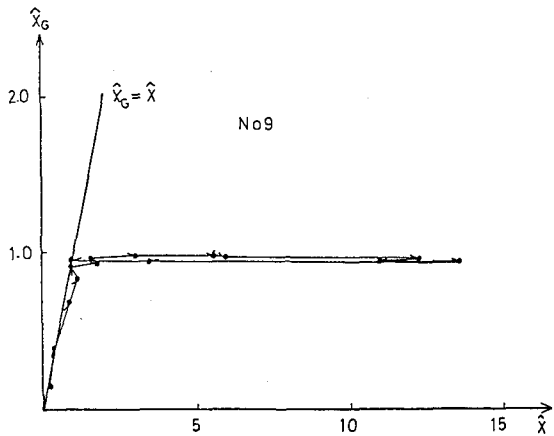


図-2

2. Partial source area概念の水文実資料からの裏付け

降雨は、浸透系に入り、最終浸透能に達すると一定量の割り合いで供給された。残余の降雨は、中間・表面流成分と損失となるが、中間・表面流成分は、時間とともに増大する流出寄与域から発生することが考えられる。すなわち、partial source area 概念である。

ここでは、フィルター分離 AR 法により推定された表面・中間流出降雨と有効降雨との関係から、partial source area 概念を論じる。

(1) partial source area

降雨 (X_i) があり、地下水系へ浸透する地下水流出降雨 ($\hat{x}_G$) を除いた降雨が、降雨余剰 (この論文では、損失を含む) となり、この降雨余剰に時間とともに変化する流域面積 (a) を乗じると、中間・表面流分として流出する分の容量 (V_s) が求まる。

$$V_s = a \cdot (X_i - \hat{x}_G) \dots\dots\dots (2)$$

また、中間・表面流分は、中間・表面流出降雨 ($\hat{x}_s$) と流域面積 (A) の積である。

$$V_s = A \cdot \hat{x}_s \dots\dots\dots (3)$$

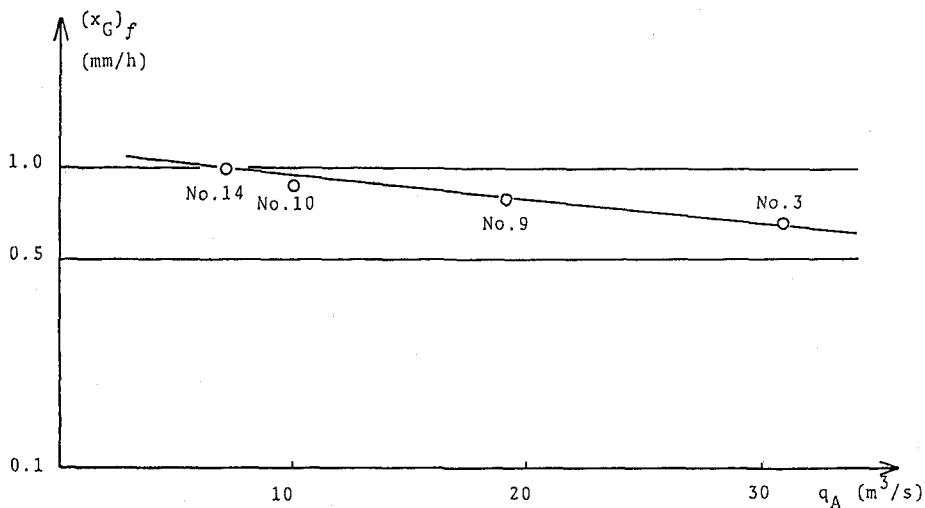


図 - 3

(2) 式と (3) 式とにより、時間とともに変化する流出寄与率は次式である。

$$\frac{a}{A} = \frac{\hat{x}_s}{(X_i - \hat{x}_G)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 a : 流出寄与率、 A : 流域面積、 $\hat{x}_s$; 中間・表面流出降雨、 $\hat{x}_G$; 地下水流出降雨、 X_i ; 観測降雨

(2) 実データの適用

神流川の水文資料をフィルター分離 AB 法により流出解析し、地下水流出降雨、中間・表面流出降雨を求めた。次に (4) 式により、partial source area を求め、図 - 4 に示す。

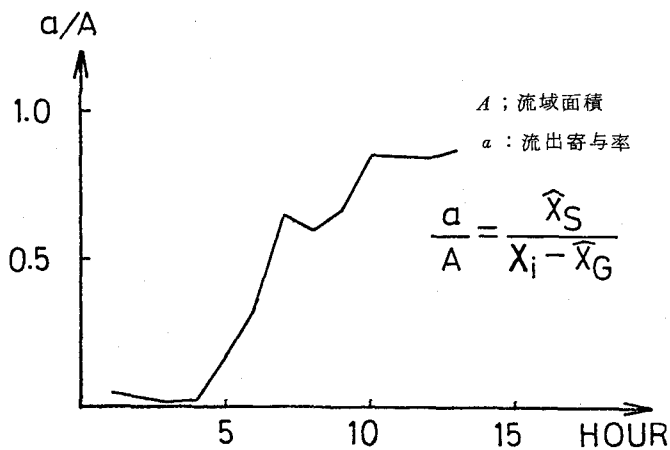


図 - 4

3. 結 論

- (1) 降雨は浸透系へは、図-1 に示すように最終浸透能に達すると一定量の割り合いで供給される。最終浸透能は、土壌湿潤度に依存し、これも初期流量と強い相関がある。
- (2) 残余の降雨は、中間・地表流成分（損失はこの中に含まれている）は、図-4 に示すように、時間と共に増大する流出寄与域から発生することが示された。
- (3) Partial source area は、80 %位までになったが、表面流のみでは、まだ少なくなると予想される。

参 考 文 献

- (1) 日野幹雄・長谷部正彦：フィルター分離 AR 法による非線形流出系の同定と予測、土木学会論文報告集、第 324 号、1982、8 月
- (2) 日野幹雄・長谷部正彦：流出率と湿潤指標としての洪水直前流量、土木学会論文報告集、第 328 号、1982、12 月
- (3) Kirkby, M, J.: Hillslope Hydrology, John Wiley & Sons.
- (4) 日野幹雄：最近の流出解析モデルについての二、三の批判、第 25 回水理講演会論文集、1981 年、2 月
- (5) 日野幹雄：洪水予測の理論、第 19 回自然災害科学総合シンポジウム、1982 年、11 月
- (6) 日野幹雄・長谷部正彦：有効降雨の成分分離による浸透特性の解析、第 37 回年次学術講演会概要集、1982 年、10 月