

京大防災研 正員 石原安雄, 西松建設KK 正員 奥村忠敬

わが国においては、洪水調節池の操作問題の場合のように、小流域からの出水を予知することが重要であるが、小流域では降雨ピークと出水ピークの時差が小さいために、有効な出水予知が困難な場合が多い。本文は、洪水時の主要な流出成分が表面流出と中間流出であり、しかも両者の流出形態がかなり違っているので、各成分ごとに予知すれば予知精度が向上し、予知期間が長くなると考えて流出成分の分離とその結果に基づいて予知の問題を考究したものである。

1. 流出成分の分離について

最近の研究によると、小さい流域からの中間流出がほぼ貯溜型の特性を示すことが明らかにされている。すなわち、流域を分割し、下流側から番号のものに対する有効降雨強度を r_{2i} 、中間流出強度を g_{2i} (流出高の単位)、流域内貯溜量を Δ_{2i} (単位面積当り)とすると、次式が成立する。

$$d\Delta_{2i}/dt = r_{2i} - g_{2i}, \quad g_{2i} = \lambda_{2i} \Delta_{2i}, \quad \text{ここに、}\lambda_{2i}\text{は比例定数。} \quad (1)$$

この解は、 $t=0$ で $g_{2i}=0$ とすると、次式で与えられる。

$$g_{2i} = \int_0^t r_{2i}(t-\tau) \cdot k_i(\tau) \cdot d\tau \equiv L_i \cdot r_{2i}(t), \quad \text{ここに、} k_i(\tau) = \lambda_{2i} e^{-\lambda_{2i}\tau}, \quad L_i \text{はオペレータ} \quad (2)$$

つぎに、中間流出領域では流量があまり大きくならないから、近似的な取扱ひとして河道では流量と流水断面積が比例すると仮定すると、河道ではおくれの現象のみを考慮すればよいことになる。もし $(i-1)$ 番目(下流側から番号をつける)の間の河道におけるおくれ時間を ν_i とすると、 g_{2i} がこの区間を流下して g_{2i}' になるとすると、

$$g_{2i}'(t) = g_{2i}(t - \nu_i) \equiv T_i^{\nu_i} \cdot g_{2i}(t), \quad \text{ここに } T_i^{\nu_i} \text{はおくれ}\nu_i\text{を与えるオペレーター。} \quad (3)$$

実際の流域では、上述の分割された小さな流域が主河道に沿って存在する。分割数を n とすると、全流域からの中間流出量 g_2 は次式によって求められる。

$$g_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i^{\nu_i} \cdot T_{i-1}^{\nu_{i-1}} \cdots T_2^{\nu_2} \cdot L_i \cdot r_{2i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \cdot r_{2i}(t - \nu_2 - \nu_3 \cdots - \nu_i) \quad (4)$$

さらに、 $L_1 = L_2 = \cdots = L_n \equiv L_0$, $\nu_2 = \nu_3 = \cdots = \nu_n \equiv \nu_0$ となるように流域を分割したとすると、

$$g_2 = L_0 \cdot \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{2i}(t - (i-1)\nu_0) \right\} = \int_0^t \bar{r}_2(t-\tau) \cdot k_0(\tau) \cdot d\tau \quad (5)$$

となる。(5)式中、 $\bar{r}_2$ は $t-(i-1)\nu_0$ と t との間の平均降雨強度である。ところで、(5)式は(2)式と全く同形であるから、流域全体に対する入力を $\bar{r}_2$ と考えると、(1)式と同じ貯溜型の関係が成立することになる。すなわち、仮想的な貯溜量を Δ_2 、比例定数を λ_2 とすると、次式から中間流出量 g_2 が求まる。

$$d\Delta_2/dt = \bar{r}_2 - g_2, \quad g_2 = \lambda_2 \Delta_2 \quad (6)$$

この場合 n の値は、中間流出のみと考えられる小出水を対象としていろいろの n に対して平均雨量 $\bar{r}_2$ を計算し、 $\bar{r}_2(t) = (g_2)_{\max}$ の関係が成立するよう試算的に決定する。つぎに、大出水の場合、降雨のうちどれだけが中間流出に対して有効であるかが問題となる。これに対しては、ハイドログラフの立上り部とてい減部は中間流出成分によって占められていること、および短時間で強い強度の降雨に対しては表面流出が現われるという事実から、中間流出への供給には一定の上限があると仮定したが、その値は上述の前者の条件を満足するよう試算的に定めた。

図-1, 2, 3は、計算例で、上述の分離法の妥当性を示している。なお、(b)図は、中間流出を分離した後の表面流出分を示したものである。表面流出は非線型であるので中間流出のような取扱いができない。図中の計算値は、実用的出水予知の観点から、通常の貯溜法によるものである。また、美知ダムと七川ダムの例では、表面流出の総量がかかなり違っているが、これは1点観測の降雨を使っているためであろう。

2. 出水予知について

表面流出と中間流出とが分離できたわけであるが、図からわかるように、中間流出は緩慢であるが、表面流出はかなり急激な変化を示している。こうした特性を応用することによって、分離を考えないときには出水予知が困難であった流域に対しても、比較的有効な予知が可能となるように思われる。すなわち、降雨の将来予測の精度が悪くても、中間流出の予知はかなりの精度で可能であるので、成分ごとに予知することによって、出水予知の可能性が生れる。

また、洪水調節を対象とする出水予知では、流量の大きさそのものより、ハイドログラフの形と流出水量が問題となる。また、(a)図をみると、洪水調節の場合の放流量が中間流出に、貯水池に貯溜される水量が表面流出に対応している。したがって、一つの方法として、中間流出を予知してそれと同じ流量を放流し、表面流出分を全部貯溜するようにすれば、いつも安全な洪水調節をすることができさう。また利水ダムが洪水に見舞われた場合は、予知精度の確実な中間流出分を貯溜し、表面流出分を放流するようにすれば、下流に異常な出水を生ずることがなく、しかも貯溜される水量の予測が正確になるので、非常に有効なように思われる。

最後に、七川ダムの例のように流域面積が小さくなると、現象のおくれが少ないので、降雨レーダー等を併用する必要のあることを強調したい。

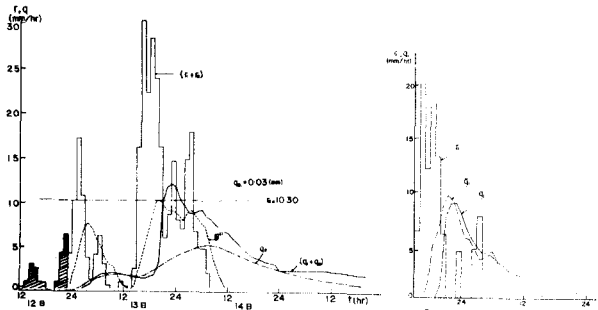


図-1 (a) 由良川大野ダム (354 km²), $n=5$ (b) $t_d=1.5$ hr

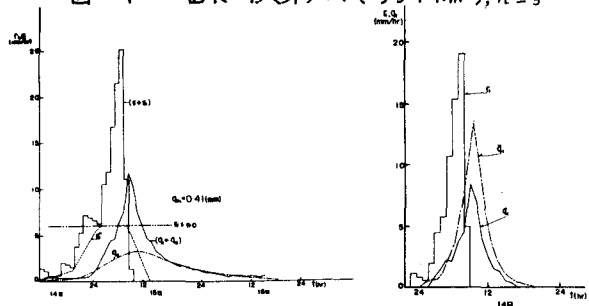


図-2 (a) 天竜川美和ダム (311 km²), $n=5$ (b) $t_d=1.5$ hr

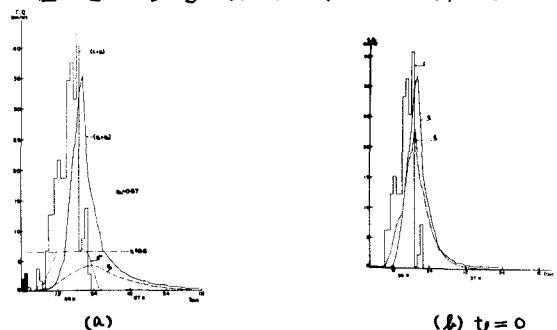


図-3 古座川七川ダム (102 km²), $n=4$

(図中、表面流出を下付1, 中間流出を2, 地下水流出を3で表わし、 $\bar{V}_2^{(5)}$ は $\bar{V}_2$ の5時間平均を示し、また、実線は実測値、鎖線は計算値を示す。