

苫小牧工業高等専門学校 正 員 嵯 峨 浩
北海道大学・工学部 正 員 藤 田 睦 博

降雨流出系はゼロ初期条件。線形性・不変性等の一連の仮定を満足していると常に(1)式が成立する。(2)式は、(1)式を周波数帯で表現したものである。実測資料を用いてゲイン・位相を計算すると同一流域であっても洪水毎に乱れが生じ、これらは降雨、流出量に含まれるノイズや非線形成分によるものと考えられている。一方、日野らは、図-1に示す流出過程において $r_i(t)$ 、 $q_i(t)$ の関係は非線形であるが有効雨量 $r_e(t)$ を $r_i(t)$ に分離する過程が非線形であることを指摘している。この場合入力 $r(t)$ と出力 $q(t)$ の関係は(3)式で与えられる。(3)式はシステムのインパルス応答関数が $(t-\tau)$ の関数のみならず τ の関数にもなっている。いま2つの流出成分よりなるモデルを考える。 $r(t)$ と $q(t)$ 間の周波数応答関数は(4)式で与えられる。 $r_i(t)$ が卓越するならば $H(\omega)$ は $H_1(\omega)$ の近傍の値をとり、逆の場合には $H_2(\omega)$ に近づき $H(\omega)$ は $H_1(\omega)$ と $H_2(\omega)$ の中間の値をとることが予想される。図-4はシミュレーションの計算例を示したものである。計算は r_1, r_2 (図3a)および単位図 U_1, U_2 (図3b)を仮定すると各流出成分 q_1, q_2 は r_1, U_1 と r_2, U_2 から求まる(図3c)。図中の実線は $r(t) = r_1(t) + r_2(t)$ と $q(t) = q_1(t) + q_2(t)$ から求めた(4)式の $H(\omega)$ のゲインと位相を示している。(Case1)。一点鎖線は図-3aの r_1 と r_2 を交換して q_1, q_2 を計算し(q_1 は $r_2 U_1$ 、 q_2 は $r_1 U_2$ から計算・図中'記号を付す)同様に $r(t)$ と $q(t)$ より求めたゲインと位相を示している(Case2)。ゲインと位相は予想通り $H_1(\omega)$ と $H_2(\omega)$ の中間の値をとっている。図-4を詳細に検討するとCase1では低周波数領域でより $H_2(\omega)$ に近い値をとり、高周波数領域になるにつれて $H_1(\omega)$ に近い値をとっている。Case2ではその傾向が逆になっている。このことから実際の流出系では出水毎に $r_1(t)$ 、 $r_2(t)$ の特性が変化するものと考えられ、従って多くの出水例についてゲインと位相を求めると二流出成分の単位図が推定できる。

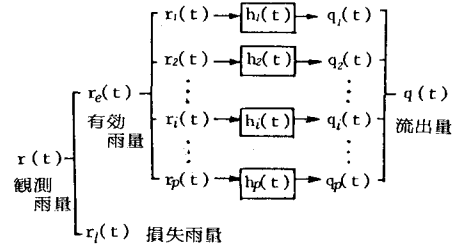


図-1

実測資料による計算例を天塩川上流域の名越橋地点(面積612.4Km²)における4出水例について示す。有効降雨は藤田がエントロピー法によって推定した値を用い、直接流出量はハイドログラフの立上り時刻と減水部第二折曲点を直線で結ぶ分離法を採用した。4出水例の1つのハイト・ハイドログラフを図-5に示す。また、4出水例についてのゲインと位相を図-6・7に示す(実線)。なお数値計算は次の様な方法を採用した。降雨量 $r(t)$ は図-2に示される様に Δt ごとの平均値の矩形パルスとして与えられるので $R(\omega)$ は(5)式となる。一方、流出量 $q(t)$ も Δt ごとの平均値ではあるが $r(t)$ に比較して非常

$$q(t) = \int r(t) h(t-\tau) d\tau \quad \text{--- (1)}$$

$$Q(\omega) = R(\omega) H(\omega) \quad \text{--- (2)}$$

$$q(t) = \int \sum_i r_i(\tau) h_i(t-\tau) d\tau = \int r(\tau) \sum_i g_i(\tau) h_i(t-\tau) d\tau \quad \text{--- (3)}$$

$$g_i(\tau) = r_i(\tau) / r(\tau), \sum_i g_i(\tau) = 1$$

$$H(\omega) = \frac{Q(\omega)}{R(\omega)} = \frac{R_1(\omega)}{R(\omega)} H_1(\omega) + \frac{R_2(\omega)}{R(\omega)} H_2(\omega) \quad \text{--- (4)}$$

$$R(\omega) \approx \frac{1}{j\omega} \sum_i K_i \exp(-j\omega t) \quad \text{--- (5)}$$

$$Q(\omega) \approx -\frac{1}{\omega^2} \sum_i K'_i \exp(-j\omega t) \quad \text{--- (6)}$$

$$h(t) = -\frac{2}{\pi} \int \text{Re}\{H(\omega)\} \cos \omega t d\omega \quad \text{--- (7)}$$

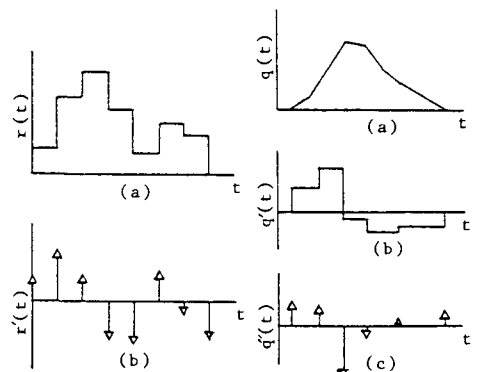


図-2

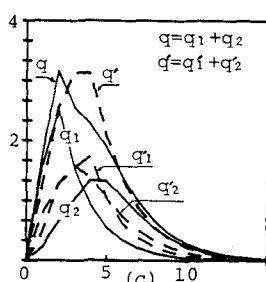
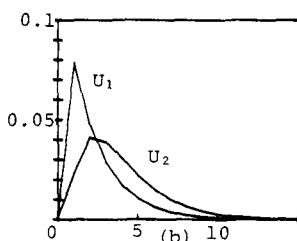
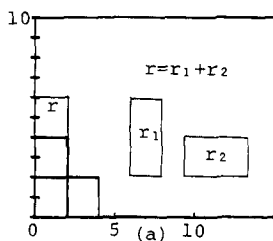


図-3

になめらかなので折線近似法をとった。従って $Q(\omega)$ は (6) 式となる。図中の破線は 4 出水例のゲインを片対数紙上に、位相は両対数紙上にプロットして推定した各出水例のゲイン・位相の上限と下限である。ゲインの上限と位相の下限から求めた単位図が図-8 の実線であり、ゲインの下限と位相の上限から求めた単位図が図-9 の実線である。

$H(\omega)$ から $h(t)$ への変換は $h(t)$ の物理的条件 $h(t)=0$ ($t<0$) を考慮すると (7) 式でなされ、計算はこの積分を有限和に置換えて数値積分を行った。図-8・9 の破線はエントロピー法により求めた 4 出水例の単位図であり、図-8 は降雨開始時の単位図を、図-9 は降雨終了時の単位図を示している。両者とも良く類似しており、複数の出水例のゲイン・位相の上限下限の周波数応答関数から求めた単位図が、降雨開始時および終了時の単位図と符合す結果を得た。

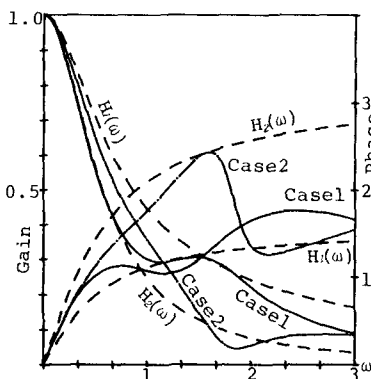


図-4

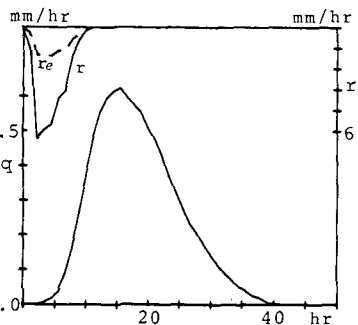


図-5

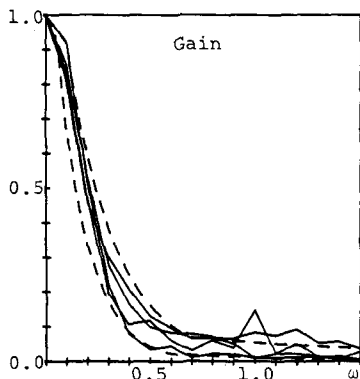


図-6

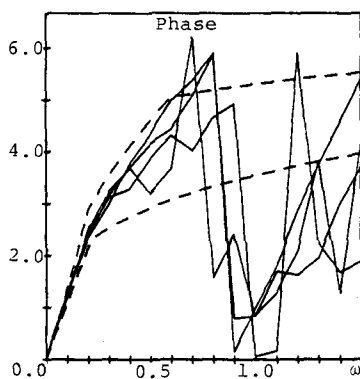


図-7

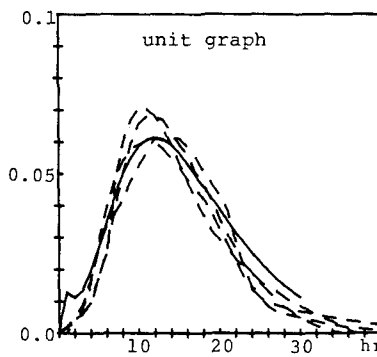


図-8

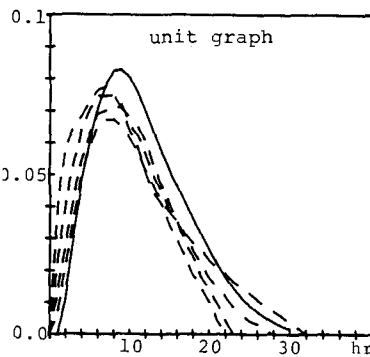


図-9

参考文献

- 1) 日野 幹雄・長谷部 正彦：流量時系列のみによる流出解析 土木学会論文報告集、第300号、1981
- 2) 藤田 睦博・道口 敏幸：エントロピー法を用いた流出解析 北海道支部論文報告集第40号、1984
- 3) 藤田 睦博：降雨流出系のシステム関係の解析について 第15回水理講演会論文集、1971