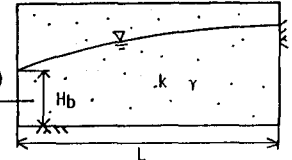


流出低減特性の平均化について

名古屋大学工学部 正 高木不折 名古屋大学工学部 正 松林宇一郎
名古屋大学大学院 学○河村賢二

1. 序論 降雨終了後の流出低減部分は、指数関数的な減少過程をたどると言われており、これまでの研究により低減特性の物理的意義については明らかにされた。しかしながら低減係数は、流域内の地形・地質特性量で構成されており、実際にこれらのデータは得られにくい。一方観測流量から低減係数を同定すると、一般にその値は流域・出水毎にばらつき、決定論的な諸要素との対応を困難にしている。本研究では低減特性の物理的意義と、観測流量から同定した低減係数とを平均化の概念を用いて結び付け、低減係数を物理的な側面を考慮した方法によって同定する。

2. 低減係数の物理的意義¹⁾ 不圧地下水の流出について、高木は、地下水位の変動が微小であるとして、線形化することにより低減部分が指数関数で表せるとし、低減係数に物理的意義を与えた。



$$q(t) = q_0 \exp(-\lambda t), \quad \lambda = \frac{k}{\gamma} - \frac{\pi^2}{4L^2} H_b \quad (1)$$

図1 不圧地下水帯流出モデル

3. 平均化について 「平均化」について、ここでは次のように定義しておく。平均化された流域とは、「多くの流出場で構成された流域を、1つの等価な流出場で置き換えたとき、その諸要素が流域内の各流出場の諸要素の平均値で代表できる流域」である。つまり平均化がなされていない流域においては、その流域内で卓越した流出場の性質が現れるが、平均化が進むに従い卓越量は平均化された次第に流域内の流出場の平均値に近づくことを意味する。また、平均化がなされていない流域では、1つの流出場で表現した場合、特性量を実現値のそれと適合させると連続式が成立しないといったような矛盾が生じる。そこで、平均化の程度を表す指標として α を考え、(実現量) = (代表値で置換した流出場において相当する量) $^\alpha$ とする。 α は平均化が進んだ流域ほど1に近づく。ここでは、地下水流出について流出場を河道もしくは水みちに接する不圧地下水帯とし、河道による遅れが無視できる流域を考えると、流域末端での流出流量は、 $Q(t) = \sum q_i(t) dB$ と与えられる。 q_i は幅 dB 当りの流量で、式(1)で表されるものとする。平均化の定義より、この流出を1つの等価な流出場で表すと、次式のようになる。ただし、等価な流出場における代表値には、 $\hat{\cdot}$ をつけて表す。

$$Q(t) = Q_0 \exp(-\hat{\lambda} t), \quad \hat{\lambda} = \frac{\hat{k}}{\gamma} - \frac{\pi^2}{4\hat{L}^2} \hat{H}_b \quad (2)$$

ここで、降雨前の流出端水深 H_b について、ハイドログラフ立ち上がり前の流量 Q_b との関係を検討する。ハイドログラフ立ち上がり前の低水状態にはサフィックス b をつけて表し、 H_b 、 v_b の平均値および場所による平均値からの変動量をそれぞれ $\bar{H}_b$ 、 $\bar{v}_b$ 、 δH_b 、 δv_b (δH_b 、 δv_b は微小)とすると、

$$Q_b = \sum q_b dB = \sum H_b v_b dB = \sum (\bar{H}_b + \delta H_b)(\bar{v}_b + \delta v_b) dB \cong \bar{H}_b \bar{v}_b 2L \quad (3)$$

ここで L は河道長である。ハイドログラフ立ち上がり前の流量と、流出場の長さ L について平均化指標を用いて表すと、

$$Q_b = \bar{H}_b \bar{v}_b 2L = (\hat{H}_b \hat{v}_b 2L)^{\alpha_1}, \quad F = \hat{F}^{\alpha_2} = (2L \hat{L})^{\alpha_2} \quad (4)$$

ただし、 F は流域面積である。式(4)を用いて式(2)で表した低減係数を次式のように表す。

$$\hat{\lambda} = \frac{\hat{k}}{\gamma} - \frac{\pi^2}{4\hat{L}^2} \frac{1}{2L\hat{v}_b} Q_b^{1/\alpha_1} = \frac{\hat{k}}{\gamma} - \frac{\pi^2}{4\hat{L}\hat{v}_b} \hat{F}^{-1/\alpha_2} Q_b^{1/\alpha_1} = \frac{\hat{k}}{\gamma} - \frac{\pi^2}{4\hat{L}\hat{v}_b} F^{-1/\alpha_2} Q_b^{1/\alpha_1} \quad (5)$$

式(5)の両辺の対数をとると、次式のように表される。

$$\log \hat{\lambda} = \log \left\{ \frac{\hat{k}}{\gamma} - \frac{\pi^2}{4\hat{L}\hat{v}_b} \right\} + \left\{ -\frac{1}{\alpha_2} \right\} \log F + \frac{1}{\alpha_1} \log Q_b \quad (6)$$

ここで、第1項を $\log M_2$ 、第1項と第2項をあわせて $\log M_1$ とすると、次式のようになる。

$$\log \hat{\lambda} = \log \hat{M}_1 + \frac{1}{\alpha_1} \log Q_b \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \log \hat{M}_1 &= \log \left(\frac{\hat{K}'}{\gamma} - \frac{\pi^2}{4L\hat{V}_b} \right) + \left\{ -\frac{1}{\alpha_2} \right\} \log F \\ &= \log \hat{M}_2 - \frac{1}{\alpha_2} \log F \end{aligned} \quad (8)$$

表1 地形・地質特性量、平均化指標 その1

	高鷲	剣	内ヶ谷	下津原	杉原	洞戸	上山
$\hat{M}_1$	0.0096	0.0059	0.0318	0.0063	0.0091	0.0015	0.0014
α_1	1.18	1.25	5.88	0.94	1.43	0.74	1.06
$\hat{M}_2$	0.783						
α_2	1.007						

表2 地形・地質特性量、平均化指標 その2

	高鷲	剣	内ヶ谷	下津原	杉原	洞戸	上山
M_1	0.0142	0.0036	0.0247	0.0069	0.0079	0.0026	0.0012
α_1	2.42	0.96	10.8	0.98	1.27	0.90	1.00
M_2	0.809						
α_2	1.000						

4. 実流域における考察 長良川上・中流域の内ヶ谷(32.4km²)、高鷲(56.8km²)、杉原(102km²)、下津原(118km²)、剣(223km²)、洞戸(311km²)、上山流域(713km²)を対象に

(1/day)
 $\log \lambda$
流域・流出毎の低減係数と立ち上がり前流量を求めた。その結果を用い、式(7)の関係について流域毎に回帰直線を求めたものを図2に、各流域

で得られた $\log M_1$ に対し式(8)で表される回帰直線を求めたものを図3に、それぞれ破線で示す。また、得られた値を表1に示す。図3によると、 $\log F$ と $\log M_1$ の回帰の程度は良好で、しかもその傾きは-1.0に近いことがわかる。つまり、 M_2 がどの流域でもほぼ一定値を取り、平均化指標 α_2 がほぼ1.0であることが推定できる。

そこで、平均化指標 α_2 を1.0に固定して M_2 を推定したものを図3に、この値を用いて各流域毎に M_1 、 α_1 を推定しなおしたものを図2に、それぞれ実線で示す。また表2に得られた値を示す。この結果による各流域毎の平均化指標 α_1 を流域面積に対してプロットしたものが図4であるが、この図より流域面積が100km²付近で α_1 が1.0になっていることがうかがえる。以上の結果より、ハイドログラフの立ち上がり流量から流域末端の地下水低減係数が推定できる。

$$\lambda = M_2 F^{-1} Q_b^{1/\alpha_1}, \quad M_2 = 0.809 \quad (9)$$

5. まとめ

- 1) 平均化とその程度を表す指標を定義し、地下水流出低減係数を物理特性量と平均化指標を用いて表した。
- 2) 低減係数の構成要素のうち M_2 を固定したとき、流出場の大きさ L については今回調べたの流域規模では平均化がなされているが、流出端水深については流域面積が100km²前後で平均化がなされることがわかった。
- 3) 長良川上・中流域については、地下水流出低減係数が式(9)のように与えられることを示した。

参考文献 1) 高木、地下水流出のモデル化について、水工学シリーズ77-A-6、土木学会水理委員会、1977

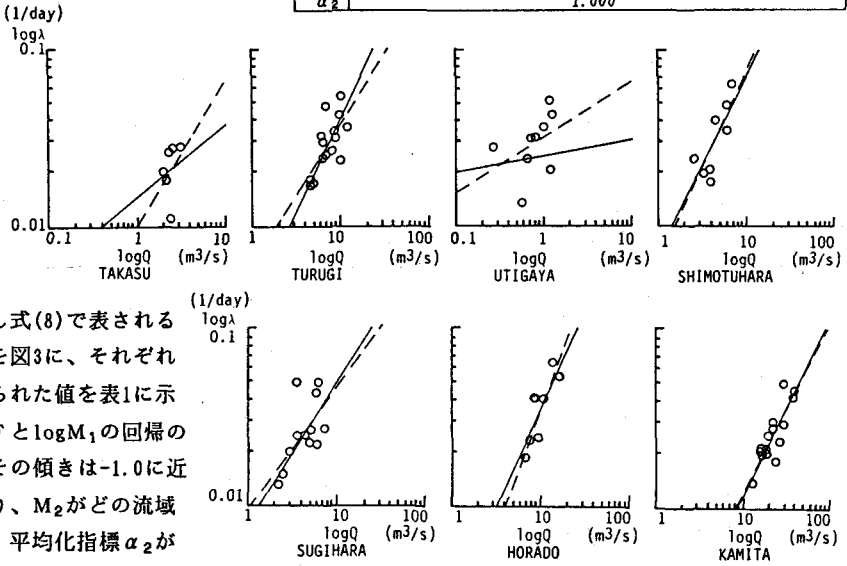


図2 立ち上がり前流量と低減係数の関係

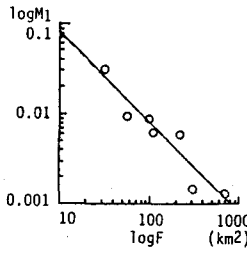


図3 M_1 と流域面積の関係

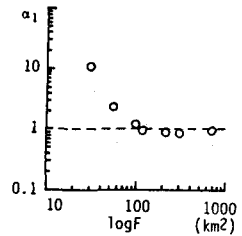


図4 α_1 と流域面積の関係