

水理模型による雨水流出シミュレーションを行う際には、運動系内で生起する現象と支配する法則の相似律から、物理量の相似比が決定される。しかし、その操作過程において独立な物理量の比と決める際に、誤差とともなう場合が考えられ、また、仮にそのような場合でも、従属物理量の比に誤差が入って来ることもある。それゆえ、ある誤差を含んで決められた物理量が、如何なる精度(信頼性)で評価されているかを知ることは重要である。本文では、洪水流出において支配的な流れを対象とし、抵抗なる卓越項と抽出した運動方程式を基礎として、相似律の誤差を検討する。

§1. 時間及び運動場の定数に関する誤差

14ヶの物理量を含む流出系は、自由度4の系である(表1に参照)。仮に、長さの比(α)、有効降雨強度比(β)、透水係数比(k)、空隙率比(ϕ)と独立量にとると、時間比は $t = \alpha \phi / k$ となる。この時間比を用いて、降雨パターンの時間スケールを決める。ところが、 $k_p, \phi_p, \alpha_p, k_m, \phi_m, \alpha_m$ の評価及び選定の際に誤差が生じ、模型内では、流出系内の生起現象の時間スケールと降雨の時間スケールとは等しくならない。一方、独立量の有効降雨強度比についても、prototypeの降雨推定の誤差や、modelの降雨発生装置の給水の不正確さのため、一般には、決めた相似比とは同じにならない。相似律を満足する物理量の比には、suff'ix "0" を添加すると、以上の独立量の評価誤差が、つぎのようなプロセスで、従属量の粗度の決定に影響を与えることになる。すなわち、表層表面の粗度係数比(n)と河道粗度係数(N)と、真の物理量の比 $R_0, \phi_0, \alpha_0, \beta_0$ より

	$\sin \theta \gg \frac{\partial h}{\partial s} \cos \theta$
中間流	$v = k$ $t = \phi \alpha / k$ $h = \frac{1}{2} \alpha^2 / k$
表層流	$h' = \frac{1}{2} \alpha^2$ $v' = \alpha / t$ $n' = \frac{1}{2} \alpha^2 / x$
河道流	$v_* = \alpha / t$ $\alpha_* = \frac{1}{2} \alpha t$ $r_* = G(\frac{1}{2} \alpha t)$ $n_* = G(\frac{1}{2} \alpha t) t / \alpha$

表-1 相似律(必ずおきの模型)

$$n_0' = \alpha_0^{2/3} \beta_0^{1/3} R_0^{1/3} \phi_0^{1/3}, \quad N_{*0} = \alpha_0^{4/3} \beta_0^{2/3} R_0^{-(1+2/3)} \phi_0^{-(1+2/3)} \quad \text{但し, } R_{*0} = \alpha_*^2$$
なる相似比を媒介として決められるはずであり、そして、prototypeの粗度の推定より、modelの粗度係数も決まるはず。しかし、prototypeの推定誤差とmodelの粗度評価に関する誤差($\varepsilon(n), \varepsilon(N_*)$)を考慮するため、結局

$$n_m' = n_p' \alpha^{2/3} \beta^{1/3} R^{1/3} \phi^{1/3} + \varepsilon(n), \quad N_{*m} = N_{*p} \alpha^{4/3} \beta^{2/3} R^{-(1+2/3)} \phi^{-(1+2/3)} + \varepsilon(N_*)$$
という、粗度係数を用いることになる。

§2. "真の水理量の比と"みかけ"の水理量の比

運動系の相似とは、両系の対応する時空間において、現象を構成する物理量が不変の比例定数をもつことを考えられる。しかし、§1で述べた時間スケールの相違や、他の誤差の混入のため、一般には、不変的な相似律は存在しなくなる。以下で、"真"と"みかけ"との物理量の比の関係を列挙するが、その際、prototypeの時刻 t_p 、位置 α_p に対し、"真"の系では、時刻 $t_m = t_p t_0$ 、位置 $\alpha_m = \alpha_p \alpha_0$ 、"みかけ"の系では、時刻 $t_m = t_p t$ 、位置 $\alpha_m = \alpha_p \alpha$ に対応させて、物理量の比を考えたことにする。

$$\frac{h}{h_0} = \frac{r_0}{r_0} \frac{x}{x_0} \frac{R_0}{R} \{1 + W_{sb}\}, \quad \frac{V}{V_0} = \frac{R}{R_0}, \quad \frac{t}{t_0} = \frac{x}{x_0} \frac{\sigma}{\sigma_0} \frac{R_0}{R}$$

$$\frac{h'}{h_0} = \left(\frac{r_0}{r_0} \frac{x}{x_0} \frac{N'}{N_0} \right)^{3/5} \{1 + W_s\}^{3/5}, \quad \frac{V'}{V_0} = \left(\frac{r_0}{r_0} \frac{x}{x_0} \right)^{3/5} \left(\frac{N'}{N_0} \right)^{3/5} \{1 + W_s\}^{3/5}$$

$$\frac{Q_*}{Q_{*0}} = \left\{ \frac{r_0}{r_0} \frac{N_*}{N_{*0}} \left(\frac{x}{x_0} \right)^2 \right\}^{3/22+3} \{1 + W_{c,j}\}^{3/22+3}, \quad \frac{V_*}{V_{*0}} = \left(\frac{N_{*0}}{N_*} \right)^{3/22+3} \left\{ \frac{r_0}{r_0} \left(\frac{x}{x_0} \right)^2 \right\}^{22/22+3} \{1 + W_{c,j}\}^{22/22+3}$$

$$\frac{r_*}{r_{*0}} = \left\{ \frac{r_0}{r_0} \frac{N_*}{N_{*0}} \left(\frac{x}{x_0} \right)^2 \right\}^{32/22+3} \{1 + W_{c,j}\}^{32/22+3} \quad \text{但し, } j = sb, s, \quad \begin{matrix} "sb, \text{ 中間流, } "s, \text{ 表面流} \\ "c, \text{ 河道流} \end{matrix} \text{ を意味}$$

上式中の評価項(W)は、 $t, x, N, N', t_0, x_0, N_{*0}, N'_0$ と降雨 110° - $\angle$ と 110° $\times$ - γ にまつ時間と位置の関数である。

§3. 相似律の誤差 : model の物理量の設定に誤差 ε 伴う場合の相似律は、

$$V R^{-1} = 1 + \eta_1, \quad V R t^{-1} R_0^{-1} = 1 + \eta_2, \quad V t x^{-1} \sigma^{-1} = 1 + \eta_3$$

$$V' h'^{-3/5} N' = 1 + \eta_4, \quad V' x'^{-1} t = 1 + \eta_5, \quad h' t^{-1} R_0^{-1} = 1 + \eta_6$$

$$V_* r_*^{-3/5} N_* = 1 + \eta_7, \quad V_* t x^{-1} = 1 + \eta_8, \quad Q_* R_0^{-1} x^{-1} t^{-1} = 1 + \eta_9, \quad r_* Q_{*0}^{-2/5} = 1 + \eta_{10}$$

のような誤差 $\eta_i (i=1, \dots, 10)$ を含む形式によって表わせられ、必ずしも $\eta_i = 0$ は成立しない。一方、"真"の系の物理量の比は $\eta_i \equiv 0$ を満たすから、 η_i は以下のように表わされり。

$$\eta_1 = 0, \quad \eta_2 = W_{sb}, \quad \eta_3 = 0, \quad \eta_4 = 0$$

$$\eta_5 = -1 + \frac{\sigma}{\sigma_0} \frac{R_0}{R} \left(\frac{r_0}{r_0} \frac{x}{x_0} \right)^{3/5} \left(\frac{N'_0}{N'} \right)^{3/5} \{1 + W_{sb}\}^{3/5}, \quad \eta_6 = -1 + \frac{k}{R_0} \frac{\sigma_0}{\sigma} \left(\frac{r_0}{r_0} \frac{x_0}{x} \right)^{3/5} \left(\frac{N'}{N_0} \right)^{3/5} \{1 + W_s\}^{3/5}$$

$$\eta_7 = 0, \quad \eta_8 = -1 + \frac{\sigma}{\sigma_0} \frac{R_0}{R} \left(\frac{N_{*0}}{N_*} \right)^{3/22+3} \left\{ \frac{r_0}{r_0} \left(\frac{x}{x_0} \right)^2 \right\}^{22/22+3} \{1 + W_{c,j}\}^{22/22+3}$$

$$\eta_9 = -1 + \frac{\sigma_0}{\sigma} \frac{k}{R_0} \left(\frac{N_*}{N_{*0}} \right)^{3/22+3} \left\{ \frac{r_0}{r_0} \left(\frac{x_0}{x} \right)^2 \right\}^{22/22+3} \{1 + W_{c,j}\}^{3/22+3}, \quad \eta_{10} = 0$$

かくして、相似律の誤差の物理的な意味が明らかになったと思う。評価項(W)の具体的な議論は、ここで行なわねば、上述のような議論を行うことはより、どの程度の誤差を含むと、評価された物理量が、どの程度の信頼性をもっているかを知ることは出来ない。よって、模型部において観測された河道部の水深と h_{*m} とすると、それに対応する時空間において、prototype の水深(h_{*p})は、 $h_{*p} = h_{*m} (h_{*0}/h_*) h_{*0}$ より求めることが出来る。

本研究に際し、指導を賜った、京大防災研究所、石原安雄、村本嘉雄両教授に対し、謝意を表します。

(三) 相似比(f)と次の様に定義する。

f_p : prototype の物理量,

f_m : model の物理量

$$f_m = f \cdot f_p$$

参考文献

石原、下島：雨水流出シミュレーションの基礎に基く実験的研究，
第26回年次講演会講演集，S46, P335~P338

高村：流出機構，水工学シリーズ，1967