

数値モデルによる濁度流出の解析

名古屋大学 工学部学生員 古田 宝

本報告は、降雨流出過程における濁度の発生機構をモデル化しようとする試みである。

1 第1モデル：表面流だけを考慮するモデルであり、基礎方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial g}{\partial x} = r \quad (1) \quad g = \frac{1}{n} h^{5/3} i^{1/2} \quad (2) \quad \frac{\partial m}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{m g}{h} \right) = P \quad (3)$$

ここに、 h ：水深、 g ：斜面単位幅当りの流量、 r ：降雨強度、 m ：濁質量（濁度を C とおけば $m = Ch$ である）、 n ：マンニングの粗度係数、 i ：斜面勾配、 P ：斜面単位幅当り、単位時間当りの濁質生産量であり、 P をどのような形式であらわすべきかを求めるのが本研究の課題である。

まず最初の試みとして

$$(i) P = \alpha h \quad (ii) P = \beta r \quad (4)$$

の仮定を検討した。これらの仮定は、濁質生産量がそれぞれ表面流の掃流力および降雨強度に比例するという仮定である。

数値解を統合するために、降雨強度 a 、降雨継続時間 t_1 、および斜面長 l を基準量にとって基礎方程式を無次元化すれば式(1)～(3)はそれぞれ

$$\frac{\partial h'}{\partial t'} + \frac{\partial g'}{\partial x'} = r' \quad (5) \quad g' = K h'^{5/3} \quad (6) \quad \frac{\partial m'}{\partial t'} + \frac{\partial}{\partial x'} \left(\frac{m' g'}{h'} \right) = P' \quad (7)$$

となる。ここに、 $t' = t/t_1$ 、 $x' = x/l$ 、 $h' = h/at_1$ 、 $r' = r/a$ 、 $g' = g/at_1$ 、 $K = \frac{1}{n^2} a^{-5/3} t_1^{5/3} l^{-1}$ 、 $m' = at_1^2$ (i) の場合、 $a^2 t_1$ (ii) の場合) である。

初期条件： $h'(x', 0) = 0$ 、 $m'(x', 0) = 0$

境界条件： $h'(0, t') = 0$ 、 $m'(0, t') = 0$

に対する式(5)～(7)の解の一例は、Fig-2 のようである。同図は斜面下流端 $x' = 1$ における流量 g' (実線)、 m' (破線)、 C (点線) を示したものであり、(i) および (ii) の場合の濁度 C は時間の経過とともに増大している。これらのことは明らかに現実の濁度流出とは相違する。そこで、降雨終了後は新たな濁度生産が行われまいという条件を (i) の場合に付加すると Fig-3 のようである。この場合も最大濁度の出現が、かなり遅れるという点に問題が残るが、これらの結果は、濁度発生機構のモデル化に当たって、降雨終了後の濁質生産が著減して行くような何らか

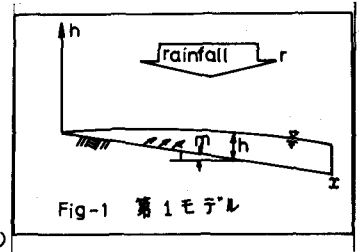


Fig-1 第1モデル

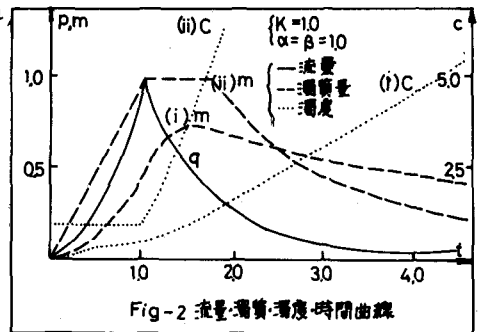


Fig-2 流量・濁質・濁度・時間曲線

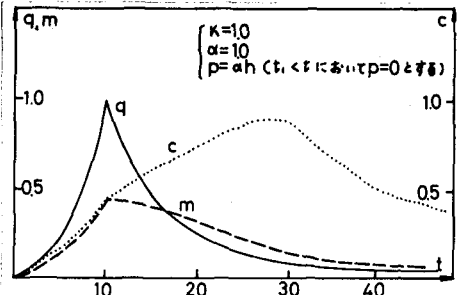


Fig-3 濁度流出グラフ(2)

の機構を考慮する必要があることを示唆している。

2 第2モデル： 第1モデルの欠点を補うために、表面流による濁度流出が中間流出水による希釈される機構を付加するモデルである。一般に、斜面勾配が大きく、拡散項を無視できる場合の中間流出の基礎方程式は、

$$\gamma \frac{\partial H}{\partial t} + k i \frac{\partial H}{\partial x} = r_e \quad (8) \quad q_a = H k i \quad (9)$$

ここに、 γ ：中間流出層の間引き率、 H ：中間層内の水深、 k ：中間層の透水係数、 i ：斜面勾配、 r_e ：受量能、 q_a ：単位幅当りの中間流出流量である。

前と同様に無次元表示すれば、

$$\frac{\partial H'}{\partial t'} + \xi \frac{\partial H'}{\partial x'} = r_e' \quad (10) \quad q_a' = \xi H' \quad (11)$$

ここに、 $H' = H / (a t_0 / \gamma)$ 、 $\xi = k i t_0 \gamma^2 l^{-1}$ 、 $r_e' = r_e / r$ 、 $q_a' = q_a / a l$ である。

ただし、最終受量能を r_i 、その無次元量を $r_i' = r_i / r$ とおけば、降雨終了後に対して、式(5)の右辺 r は $-r_i'$ に式(10)の右辺 r_e' は r_i' におきかえられる。また H に対する初期条件および境界条件はそれぞれ、 $H'(x', 0) = 0$ 、 $H'(0, t') = 0$ であるが、この場合の表面流は、 H が中間層厚 D に達した時点で発生することになる。

濁度生産量 P に対してさきの(11)の仮定を適用した場合の解を示せば、Fig-5のようなのである。同図に示されるように、第2モデルでは表面流出の終了とともに濁度流出も終ることになり、濁度が時間の経過とともに増大し続ける第1モデルの欠陥は修正される。しかしながら、濁度最高の時点が流量最高の時点と大きくずれる点で、なお現実の濁度流出と相違しており、第1モデルと同様に、降雨終了後に濁度生産が消滅してゆくような機構を導入する必要があるものと判断される。そうした機構に対する想定の一つとして

$$P = \zeta (dh/dt) \quad (13)$$

のような形式が考えられる。この想定は、現実の表面流が斜面上一様に流下するのではなく、網状流路を形成して流下すると思われることから、濁度生産が斜面表面の浸食によるよりもむしろ、網状流路形成過程の側方浸食に起因するものとするのである。

式(13)の想定に対する数値解については、なお検討中であるが、以上第1および第2モデルの考察から濁度流出機構のモデル化に際して、降雨終了後の濁度生産機構が重要な検討課題であると指摘できる。

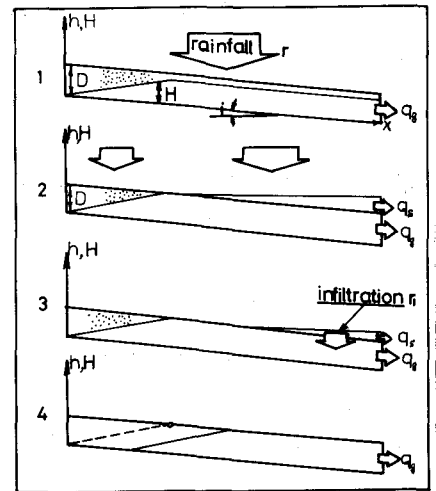


Fig-4 第2モデル流出パターン

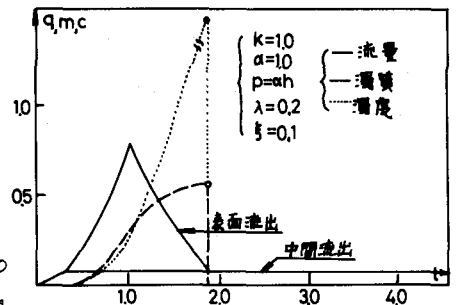


Fig-5 第2モデルによる濁度流出モデル