

釧路湿原における流出解析の基礎的研究

北海道大学大学院工学研究科	学生会員	○岩井 聖
北海道大学大学院工学研究科	正会員	清水 康行
北海道大学大学院工学研究科	学生会員	Sanit Wongsas

1. 目的

釧路湿原では、近年、流域の経済活動の拡大に伴い湿原面積が著しく減少してきている。自然は推移するものであり、湿原が長期的には陸化するのとは避けられないが、近年見られるような変化は野生生物のみならず人間にとっても好ましいものではない。流出した土砂成分が湿原に堆積し、湿原の陸地化や乾燥化と植生変化を引き起こし、結果として湿原面積の減少に至っている。本研究では降雨時における流域から湿原への土砂流入を検討するための基礎的研究段階として釧路湿原内久著呂川流域の降雨流出解析を行う。

2. 基礎式

流出モデルには集中型モデルと分布型モデルがある。分布型モデルは降雨や流れの空間的分布や変化を考慮しており、その代表例として一定勾配の急斜面上の流れを表している kinematic wave 法がある。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \quad (1) \quad q = \alpha h^m \quad (2)$$

ただし、 h は水深、 q は斜面単位幅流量、 t は時間、 x は斜面上流端からの距離、 r_e は有効降雨、 α 、 m は流れの形態によって決まる定数で、Manning の抵抗則に従う場合、 $\alpha = \sqrt{i}/n$ 、 i は斜面勾配、 n は Manning の粗度係数、 $m = 5/3$ 、 f は流出率、 r は雨量である。

中間流が表面流と混合して流れる状態の流出解析方法としては、市川らの研究が挙げられる。そこで用いられている表面流・中間流統合型 kinematic wave 方程式を次に示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \quad (3) \quad q = \begin{cases} ah & (0 < h < d) \\ \alpha(h-d)^m + ah & (h \geq d) \end{cases} \quad (4)$$

ただし、 h は表層内の水深、 q は表層単位幅当たりの流量、 x は表層に沿った下流向きの距離、 $a(= ki/\gamma)$ は地中水実質速度、 k は表層の透水係数、 i は表層斜面勾配、 γ は表層の空隙率、 $d(= \gamma D)$ は表層空隙部分の深さ、 D は表層厚である。

また星らは斜面流出における kinematic wave 法を貯留関数法に変換することで、kinematic wave パラメータと貯留関数パラメータ間の近似式を決定し、実流域での適用例を示している。

$$\frac{ds}{dt} = r - q - b + q_0 \quad (5) \quad s = k_1 q^{p_1} + k_2 \frac{d}{dt}(q^{p_2}) \quad (6) \quad b = \alpha q \quad (7)$$

$$q_0 = q_B \exp(-\lambda t) \quad (8) \quad k_1 = c_1 A^{0.24} \quad (9) \quad k_2 = c_2 k_1^2 \left(\frac{r}{r}\right)^{-0.2648} \quad (10) \quad c_3 = 1 + \alpha \quad (11)$$

ただし、 s は貯留高、 r は観測雨量、 q は観測流出高、 b は損失高、 q_0 は基底流出高、 q_B は初期流出高、 k_1 、 k_2 は留係数、 α は失係数、 p_1 、 p_2 は貯留指数、 λ は減衰係数、 A は流域面積、 $\bar{r}$ ：平均雨量強度、 c_1 、 c_2 、 c_3 ：未知定数である。

また、横流入のある 1 次元非定常流れの連続式および運動方程式を以下で表す。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_x \quad (11) \quad \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial (Au^2)}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + I_f = 0 \quad (12)$$

ただし、 t は時間、 x は流下方向距離、 A は断面積、 Q は流量、 g は重力加速度、 u は断面平均流速、 H は水

キーワード 流出解析, kinematic wave, 貯留関数法, 中間流

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL 011-706-6198

位, q_x は単位流路延長当たりの斜面からの横流入流量, I_f はエネルギー勾配である.

3. 結果

洪水資料は 1998 年 9 月 16 日～19 日に観測されたデータを用いた. 計算結果を図-2 から図-4 に示す. 図-2 は表面流の kinematic wave 方程式を, 図-3 は星らによる方法を, 図-4 は市川らによる方法を用いて計算したハイドログラフと観測流量との比較を示している. kinematic wave 式による流出解析の計算モデル図を図-1 に示す. 図-2 では計算流量と観測流量はほとんど一致せず, ハイドログラフの再現性は低い. 図-3 ではグラフの立ち上がり部および減衰部の再現性が良好である一方、ピーク流量近辺で計算値が観測値を下回っている. これらは星らの報告にも表れていることであり, 妥当な計算結果が得られたといえる. しかし他の例の中には, ハイドログラフが著しく異なった例もあった. 図-3 ではグラフの立ち上がりや遅れて流出する部分の適合度がよく, ピーク流量もほぼ一致し, これまでの計算結果より良いグラフを得ることができた. また他の例の結果もこれと同様の傾向を示した.

4. 結論

kinematic wave 法では先行降雨や直接流出が終了しないうちに始まる降雨の影響で流出率が正しく算定できていなかったということ, また釧路湿原は土壌を透水性の高い火山灰土で覆われているため地下水として浸透する雨量成分が多く, 中には側飽和浸透流として中間流出するものもあるということが考えられる.

また, 星らによる一般化貯留関数法と比較して中間流・表面流統合型 kinematic wave 法は, 表面流によって土砂が生産されるという構造が明確に示されていることや, 中間流を含めた流出解析方法が, 他の二つの方法より再現性の高いハイドログラフを得られることがわかる.

今後の研究課題として実際に土砂流出計算を行い, 観測量と比較する必要がある.

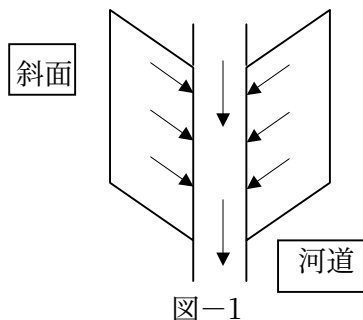


図-1

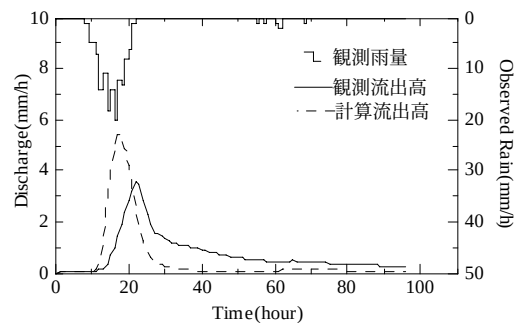


図-2

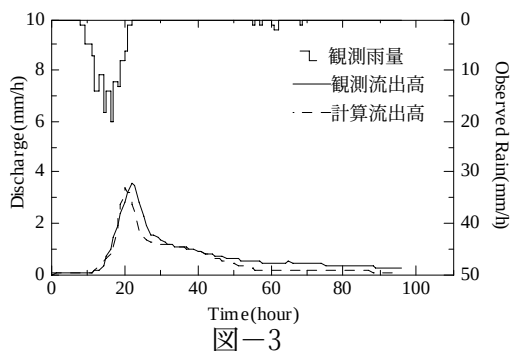


図-3

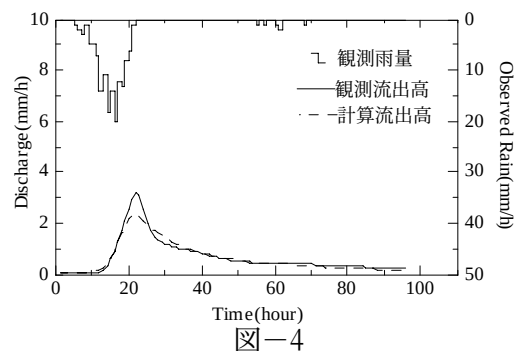


図-4

参考文献

- ・(財) 北海道河川防災研究センター, 一般貯留関数法による流域流出解析・河道洪水追跡実用計算法, 国土交通省・北海道開発局建設部河川計画課, pp1-152, 2001.
- ・市川温・小椋俊博・立川康人・椎葉充晴・宝馨, 山腹斜面流出系における一般的な流量流積関係式の集中化, 水工学論文集, 第 44 巻, pp145-150, 2000.