

モデル排水区における化学物質の流出挙動

岐阜大学工学部 学生員○有我 清隆
正会員 東海 明宏
正会員 松井 佳彦

1 はじめに

地表面に堆積した化学物質の降雨による河川への流出を、Kinematic Wave 法を用いて検討する。特にモデル排水区における化学物質の流出濃度の推定、これらのモデルの有効性、初期堆積濃度 C_s の推定について実測値との比較をしながら検討する。

2 使用モデルの説明

地表面に堆積している化学物質が降雨によって河川へ流出する過程を地表から河川への流出、河川へ流入してから観測地点までの移動という2つの過程に分けて考える。

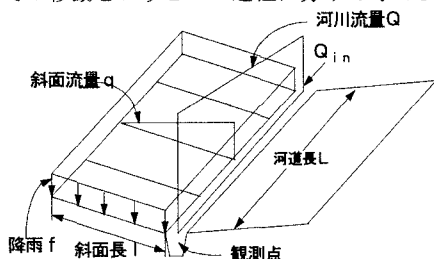


図1 流域のモデル化

2.1 地表から河川への流出

地表に堆積する化学物質が降雨によって発生する地表流で河川へ流出する過程をモデル化するのに際し、まず最初に次の事項を仮定する。

- ・流出方向を1次元として、対象流域を長方形とする。
- ・流域での降雨強度 f 、浸透速度 i 、物質移動係数 k_L 、初期堆積濃度 C_s を一定とする。

次に、この過程は2つの段階で構成される。最初の段階は降雨が始まり、雨水が地表にたまりだして流出が起りだした時から、降雨がやむまでである。

第1段階での地表流、化学物質の保存式はそれぞれ式(1)、(2)である。

$$h \frac{\partial h}{\partial t} + q m h^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = f - i \quad (1)$$

$$h \frac{\partial c}{\partial t} + q \frac{\partial c}{\partial x} = k_L c_s - c(k_L + f - i) \quad (2)$$

q は単位幅当たりの流出流量、 C は流出水中の化学物質濃度である。同様に、第2段階での地表流、化学物質の保存式はそれぞれ式(1)、(2)で $f=0$ で得られる。 t - x 平面においてこれらの式の特性曲線によるゾーン分割を行い、それぞれのゾーンで特性方程式を解く¹⁾。

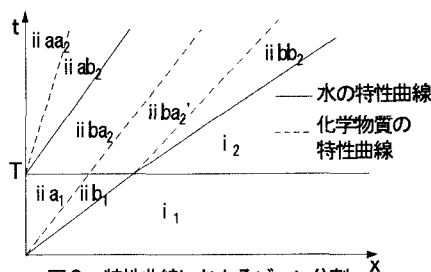


図2 特性曲線によるゾーン分割

2.2 河川に流入してから観測地点への移流

前段階で求まる $q(t, l)$ 、 $c(t, l)$ を河道への流入として保存式を立て、斜面での流出と同じ様に特性曲線によるゾーン分割に基づいた解析を行って、観測点での流量、濃度の分布を求める。

2.2 物質移動係数 k_L の決定

化学物質の流出解析を行う上で、物質移動係数 k_L を求める必要がある。 k_L は化学物質の特性、対象流域の粗度、勾配、降雨強度等に依存するが、地表流の流れの性質によっても大きく左右されるので、ここでは地表流の流れの性質を最も良く表せるレイノルズ数 Re を計算し、その値によって次の2つの場合に分けて推定する。

地表流が乱流である場合は、地表近くに薄い層流のフィルムが存在するとした Wallach らによる物質移動モデルを使用する²⁾。

$$k_L = D_w \cdot n \cdot R^{\frac{1}{3}} i^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\mu}{\rho g} \quad (3)$$

D_w は水中での分子拡散係数、 μ は水の粘性係数、 ρ は水の密度である。

地表面が層流で場合は、土中から地表面へ分子拡散で移動するとした、Bennet らによる分子拡散移動モデルを使用する³⁾。

$$k_L = 0.664 \left(\frac{D_w}{l} \right) Re^{\frac{1}{2}} Sc^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

Sc は Schmidt 数で、 $Sc = \nu / D_w$ であらわされる。 ν は水の動粘性係数である。

1 回の降雨の解析において、地表面の流量が変化すると、それとともに地表面の性質も変化するので、物質移動係数が時間的に変化すると考え、降雨強度の変化ごとに Re を計算し、その値に応じたモデルで k_L を計算する。

3. 事例適用

3.1 等価粗度の検討

面積が 1.9656 km^2 のある流域を、 $L=1800 \text{ m}$, $2l=1100 \text{ m}$ のモデル排水区として、1 降雨による流量、クロルデンの濃度の測定を行なった⁴⁾。結果を図 3 に示す。

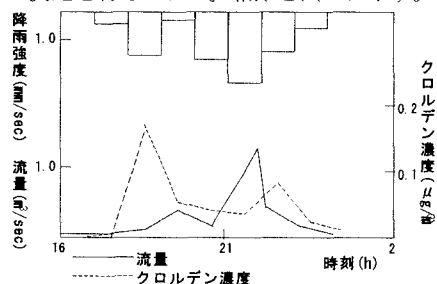


図 3 モデル排水区での実測データ

次に図 3 の降雨強度のデータを使用して、流域の等価粗度を計算するが、ここでは n の値を変化させて最もデータと一致するも

のを等価粗度とした。

3.2 初期体積濃度 C_s の検討

等価粗度の決定後、 Re の計算を行い、それぞれの降雨強度ごとの物質移動係数を求める。クロルデンの水中での分子拡散係数は式(7)より⁵⁾、 $D_w=8.257 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$ となる。

$$D_w = \frac{13.26 \times 10^{-5}}{\mu^{1.14} \cdot \bar{v}^{-0.589}} \quad (5)$$

$\bar{v}$ は化学物質のモル容積である。モル容積は、Fuller の方法に従って求めた⁶⁾。

ついで相対濃度 C_k/C_s の計算を行い、その結果に濃度の実測値を代入して C_s の推定を行う。詳細は講演時に述べる。

【参考文献】

- 1) J. Rivlin, R. Wallach: An analysis for the lateral transport of dissolved chemicals in overland flow, Water Resources Research, Vol.31, No.4, pp. 1031-1040, 1995.
- 2) R. Wallach, A. Jury, W. F. Spencer: The concept of convective mass transfer for prediction of surface-runoff pollution by soil surface applied chemicals, Trans. ASAE, 32(3), pp. 906-912, 1989.
- 3) R. Wallach, A. Jury, W. F. Spencer: Transfer of chemicals from soil solution to surface runoff: A diffusion-based model, Soil. Sci. Soc. Am. J., 2(3), p. 612-618, 1988b.
- 4) 盛岡、東海、化学物質の降雨流出特性、土木学会第 47 回年次学術講演会、II-145、1992.
- 5) R. P. Schwarzenbach, et al. Environmental Organic Chemistry, pp. 199, John Wiley & Sons Inc, 1993.
- 6) Fuller, E. N. A new method for prediction of gas-phase diffusion coefficient, Ind. Eng. chem., 58, pp.19-27, 1966.