

## 土壌侵食に伴うダム流入濁度の数値シミュレーション

鳥取大学 工学部 正員 道上正規

鳥取大学 工学部 正員 檜谷治

(株)大豊建設 正員○土屋伸生

**1. はじめに** 近年、ダム貯水池は、冷水問題、濁水の長期滞留、富栄養化、堆砂等の問題が生じているが、その中で堆砂の問題は、直接ダムの寿命につながるため早急の対策が必要である。鳥取県日野郡江府町俣野川ダムにおいても、俣野川本川上流の黒ぼく土の圃場における雨水侵食のため、ダムへの土砂堆積が問題となっており、この雨水侵食を防止するための対策が検討されている。本研究では、俣野川本川流域の降雨時における雨水流出と土壌侵食に伴う濁度の数値シミュレーションを行い、ダム流入濁度の算定を試みるものである。

**2. 基礎方程式** 本研究では、降雨の流出計算に浸透流、表面流および河道流を分離した雨水流法を適用し、降雨による土壌侵食量の計算、河川の土砂濃度の時間的変化の計算は、従来の研究<sup>1) 2)</sup> から得られた式を差分化して用いる。表面流および浸透流の計算は、俣野川流域を図-1に示すように25個の小流域に分割し、さらに各流域斜面を長方形斜面と仮定し、斜面方向に20分割して、図-2に示す各層の水深を求めることによって算定する。また、降雨による土砂流出量は、河村の提案式<sup>2)</sup> に従って算定する。以下、数値シミュレーションに用いた基礎式をまとめて式(1)から(6)に示す。

各層の水深の時間的変化；

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{\lambda (S_r - S_o)} \left( r - \frac{\partial q_x}{\partial x} \right) \quad (1)$$

単位幅当たりの横方向の浸透流量；

$$q_x = K_H \cdot H \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (2)$$

降雨による侵食土砂量；

$$q_{E1} = 2.56 \times 10^{-2} r \cdot \frac{1.5}{8} B \frac{8}{8} i^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

$$\text{河道流の連続式；} \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q'' \sin \alpha \quad (4)$$

土砂濃度の連続式；

$$\frac{\partial CF}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} = q_s \sin \alpha \quad (5)$$

$$\text{流水断面積；} F = K Q^P \quad (6)$$

ここで、 $S_r$ ：1.0、 $S_o$ ：初期飽和度、 $r$ ：対象としている層への鉛直方向の流入浸透量、 $q_x$ ：単位幅当たりの横方向浸透流量、 $K_H$ ：側方透水係数、 $\theta$ ：斜面勾配、 $r$ ：有効降雨強度、 $F$ ：流水断面積、 $C$ ：土砂濃度、 $q''$ ：河川流入量、 $q_s$ ：土砂流入量、 $\alpha$ ：流入角度、 $K=1.0$ 、 $P=0.7$ である。

**3. 計算条件** 流域の地層構造は、現地調査によって、表層が黒ぼく層、下層がローム層であることがわっている。しかし、流域全体の土質定数については未測定であり、流出計算のためには、まずこの土質定数を評価しなければならない。そこで、流域末端で観測された洪水時の流量から、流域全体の透水係数あるいは層厚などの値を評価することを考えた。まず、図-3に示すように洪水時の流量の減水曲線を描いた結果、減水曲線が3本の直線で表現できることがわかった。ここで、流域全体を1つの斜面と仮定し、地層の異なった透水性を有する複数の層で構成されていると考えると、この直線の勾配は地層特性の変化を意味しており、流域の表層

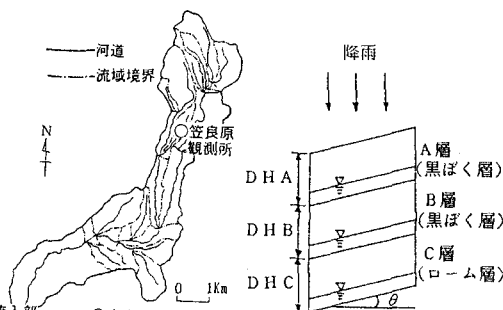


図-1 流域分割図

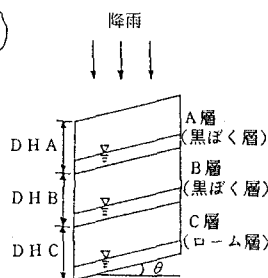


図-2 地層構造図

表-1 各層の土質定数

|                         | A層                 | B層                 | C層                    |
|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| 鉛直方向<br>透水係数<br>(m/sec) | $2 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-5}$ | $1.39 \times 10^{-6}$ |
| 横方向透水係数<br>(m/sec)      | 0.004              | 0.002              | 0.0004                |
| 層厚(m)                   | 0.05               | 0.10               | 0.50                  |
| 初期飽和度(%)                | 80                 | 80                 | 80                    |
| 空隙率                     | 0.4                | 0.4                | 0.4                   |

付近の地層が3層で構成されていることが推定できる。すなわち、流量減水期では、地層中の最上層から順番に水位が低下していくと考え、各直線の勾配から、ダルシーの式を利用して透水係数、層厚を求めることにした。まず、図-4に示すように流域が1つの斜面で表現できるとすると、ある時間の層内の水深（ピエゾ水頭） $h$ の単位時間 $\Delta t$ あたりの水位低下量 $\Delta h$ は次式で表される。

$$-\frac{\Delta h}{h} = \frac{K i L}{A \lambda \alpha} \Delta t \quad (7)$$

ここに、 $\alpha = 1 - S_0$ である。つぎに、この式(7)を積分し、流量の時間的変化を求めると

$$Q = K i L C e^{-\frac{K i L}{A \lambda \alpha} t} \quad (8)$$

となる。ここで、初期飽和度は $S_0 = 0.8$ 、空隙率は各層一定と仮定して $\lambda = 0.4$ とし、流域面積 $A$ 、平均斜面勾配 $i$ 、保野川の河道長 $L$ を代入すると、図-3の勾配等より透水係数 $K$ および各層厚を決定することができる。以上の計算方法によって、透水係数、層厚を求めると表-1のようになる。ここで求めた透水係数は、全流域の平均的な横方向の透水係数であり、実験等で得られた鉛直方向の透水係数の200倍程度となっている。計算に用いる降雨量については、この流域の標高差が700mと大きく、標高ごとの降雨量が異なるため、降雨が標高に比例すると考え、ダム（標高300m）、笠良原（標高750m）の降雨から各流域の平均標高に対する降雨量を算定した。また、雨水流出計算においては、通常、実際の降雨ではなく有効降雨を用いる。従来では、この有効降雨量を算定するために流出係数を用いる場合が多いが、保野川のように流域が小さい場合は、この流出係数が降雨条件によって大きく異なることがある。そこで、総降雨量と総流出量との差を全て損失降雨（損失高）であるとし、計算対象としている3層の最下層C層からそれ以下の層に浸透していくものとする。ここで、C層からの浸透量（損失降雨量）は、降雨に関係なく、C層に水がある場合一定の量が浸透すると考え、損失高 $R'$ と降雨の継続時間 $T_a$ の関係（ $R' / T_a$ ）より求めた平均値 $1.5 \text{ mm/hr}$ を損失降雨量として計算を行った。

**4. 計算結果** 図-5は平成2年9月の比較的大きな出水時に対する計算結果である。まず、流出流量に関しては観測結果をうまく再現できており、本研究で評価した透水係数および層厚の値および計算手法の妥当性が認められた。一方、土砂濃度に関しては、濃度減少時刻が一致しており、ある程度の精度で計算できているものと思われるが、実測値が約2000ppm以上で測定不能であるため（図中の点線期間）十分な検討ができておらず、今後の課題である。

**参考文献**；1)村本嘉雄，道上正規，下島栄一，京都大学防災研究所年報第16号B，pp. 1-15，昭和48年。

2)Komura, S, Proc. of ASCE, Vol. 102, HY10, pp. 1573-1586, 1976.

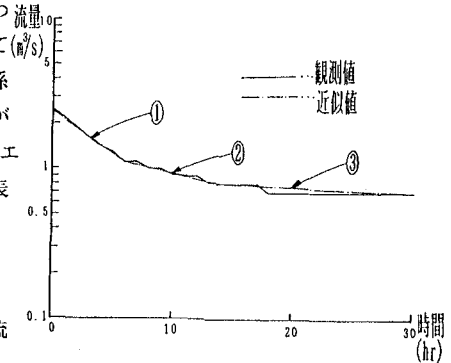


図-3 減水曲線（保野川ダム流入地点）

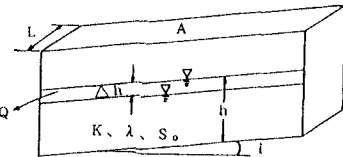


図-4 地層構造

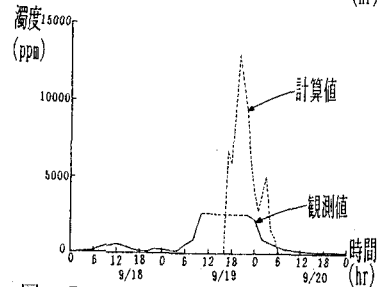
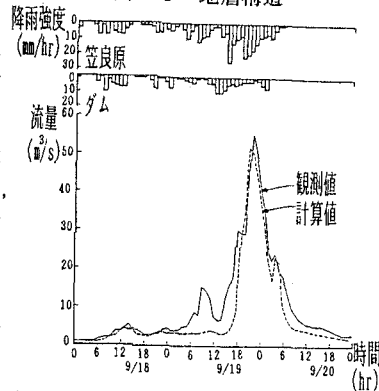


図-5 損失降雨 $1.5 \text{ mm/hr}$ に対する計算結果（標高別降雨）