

Ⅱ-21 降雨土壌侵食(WESP)モデルの重信川流域への適用

愛媛大学工学部 正会員 鈴木幸一・渡辺政広・C. サントス
愛媛大学大学院 学生員 ○八木孝志・弘田雄嗣

1. はじめに

一雨の降雨による土砂流出を実用的にシミュレートし得る WESP (Watershed Erosion Simulation Program) モデルとその適用性について、小流域(ブラジル・スメ試験地流域・0.5 ha)を対象に検討を進めてきた。

ここでは、本モデルをより規模の大きい流域へ適用する際の問題点(地下水流の取り扱い)について検討した結果を述べる。

2. 解析対象流域

解析対象流域として、重信川の支川流域である石手川流域を選んだ。石手川は、図-1に示すように、流域面積約 73 km²、主河道長約 11 km の松山市の代表的な河川である。流域内は植生に覆われており、裸地部分は少ない。地下水も豊富で、松山市の重要な水源の一つを担っている。

3. WESP モデル

WESP モデルは、雨水流出モデルと土砂流出モデルからなるが、ここでは、雨水流出モデルについてのみ述べる。

雨水流出モデルは、これまで、有効降雨モデル(雨水損失モデル)、地表面流モデル、河道流モデルから構成されていたが、ここでは、WESP モデルを規模の大きい流域へ適用するため、さらに、地下水流モデルを組み入れることとした。

3.1 地表面流: 地表面流を kinematic wave 流れとして取り扱うと、連続式および運動方程式は次のように表される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_p}{\partial x} = r_e \quad (1), \quad h = k q_p^P \quad (2)$$

ここに、 h : 水深、 q_p : 単位幅流量、 r_e : 有効降雨強度、 k , P : 斜面定数、 t : 時間、 x : 距離、である。

3.2 河道流: 河道流を kinematic wave 流れとして取り扱うと、連続式および運動方程式は次のように表される。

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_c \quad (3), \quad A = K Q^P \quad (4)$$

ここに、 F : 流水断面積、 Q : 流量、 q_c : 単位距離当りの横流入流量、 K , P : 水路定数、である。

3.3 雨水損失(有効降雨): ここでは、Horton の式を用いる。

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-bt} \quad (5)$$

ここに、 f : 浸透能、 f_0 : 初期浸透能、 f_c : 最終浸透能、 b : 低減係数、である。

3.4 地下水流: 地下水流は、次の補給能モデル¹⁾を用いる。

$$q = f_G (1 - e^{-M(t-t_0)}) + q_0 e^{-Mt} \quad (6)$$

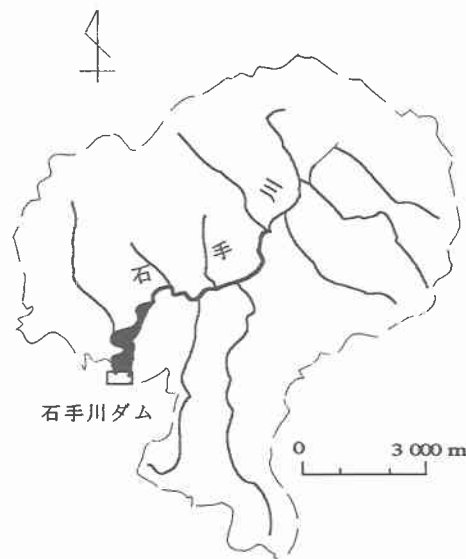


図-1 石手川流域

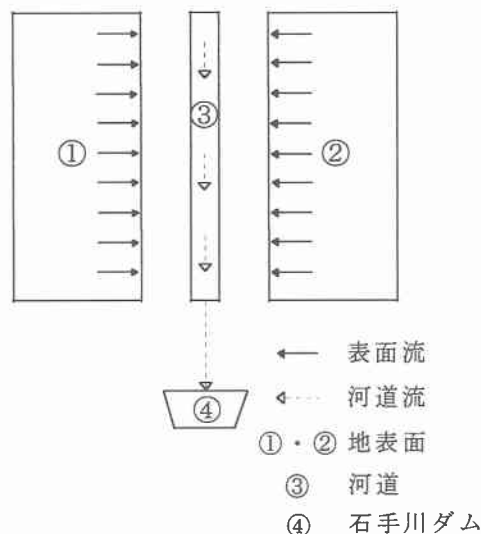


図-2 流域モデル

表-1 モデル・パラメータ(地表面流)

Element No.	Area (km ²)	Length (km)	Width (km)	Slope (%)
①	36.6	3.36	10.9	9.8
②	36.6	3.36	10.9	12.2

$f_G = f_c A$ ($\omega \geq \omega_*$ のもと), $f_G = 0$ ($\omega < \omega_*$ のとき)

ここに、 q : 地下水流量, q_0 : 降雨開始時点 $t=0$ における地下水流量, M : 逓減係数, A : 流域断面積, t : 降雨開始後の時間, t_0 : $\omega = \omega_*$ になるまでの時間, ω_* : ホ場容水量, である.

4. 適用性

4.1 流域モデリング

石手川流域における雨水流出解析の際に用いた流域モデルを、図-2 に示す. また、本流域モデルの物理特性を、表-1 および表-2 に示す.

4.2 モデル・パラメータ

1973～1997 年の 25 年間の雨量および流量資料, ならびに既往の研究結果をもとに、雨水損失、地下水流のモデル・パラメータを、表-3 および表-4 のように決定した. なお、等価斜面の粗度係数は $1.0 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ であり、補給能回復曲線は図-3 に示すようである.

4.3 適用性と考察

はじめに、雨水流出モデルの適用性について検討した. 検討結果の一例を、図-4 に示す. これらより、上述した雨水流出モデルにより、実測結果を精度良く再現し得るシミュレーション結果の得られていることが分かる.

次に、地下水流出による土砂流送について検討した. 検討結果の一例を、図-5 に示す. これは、河道下流端における流量ハイドログラフをもとに、地下水流による土砂流送量ハイドログラ (Underground) と地表面流によるそれ (Plane) とを対比したもの

である. これより、地下水流による土砂の流送は、地表面流のそれに匹敵するオーダーで、かつ降雨終了後 1～2 ヶ月間も継続することは明らかであり、WESP モデルを規模の大きい流域へ適用する場合、地下水流を組み入れる必要があることが分かる.

参考文献

1) 角屋 陸: 補給能モデルによる地下水流出解析, 農業土木学会誌, 第 48 巻, 第 9 号, pp. 53～59, 1980 年.

表-2 モデル・パラメータ (河道流)

Element No.	Length (km)	Slope (%)	Width (m)
③	10.9	3.1	30

表-3 モデル・パラメータ (雨水損失)

E_p (mm/day)	f_u (mm/hr)	f_* (mm/hr)	f_c (mm/hr)	b (hr^{-1})	c (day^{-1})
6.00	8.00	4.00	1.73	0.12	0.22

表-4 モデル・パラメータ (地下水流)

M (hr^{-1})	q (m^3/sec)
0.001	$q < 1.0$
0.003	$1.0 \leq q < 1.8$
0.006	$1.8 \leq q$

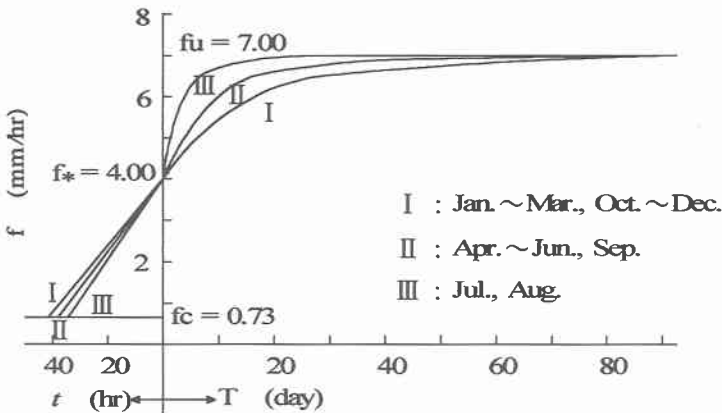


図-3 補給能回復曲線

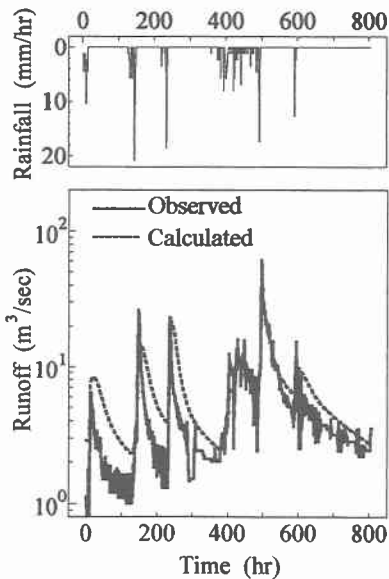


図-4 計算値と実測値の比較

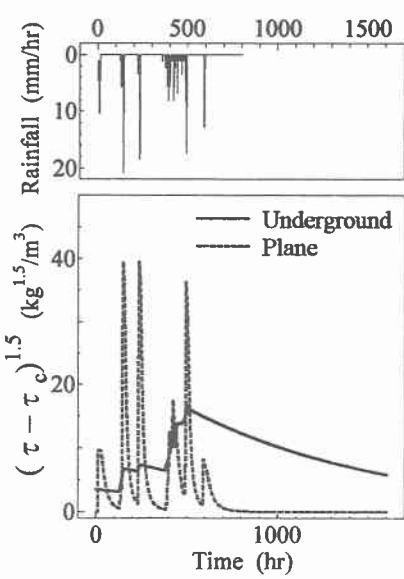


図-5 雨水流出と有効掃流力の関係