

都市浸透域における表面流出量の計算

宮崎大学工学部 学生員 ○ 山川 裕二 アグス スハリャント

宮崎大学工学部 正会員 杉尾 哲

1. はじめに

宮崎市内を流れる都市小河川を対象として、流出モデルを構築して種々の検討を行なっているが、この数値モデルにおいては、斜面上の流出解析に用いる有効降雨を不飽和浸透解析により求めている。この解析では、1時間単位の降雨強度を用いてきたが、河川延長が3.5kmと短いため、10分単位の降雨強度を用いることが必要であった。そこで不飽和浸透解析サブモデルを修正することとし、これに伴って、いくつかの検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 基礎方程式

不飽和浸透解析サブモデルには、Richardsの方程式を用いた。式-1にその基礎式を記す。

$$B(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial Z} - 1 \right) \right] \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 h :マトリック・ポテンシャル、 $B(h)$:比水分容量、 $K(h)$:不飽和透水係数

また、体積含水率、比水分容量、不飽和透水係数には、マトリックポテンシャルの関数として表わした Van Genuchtenの式を用いた。

表-1 計算に用いた諸定数

$$\begin{aligned} \theta(h) &= \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / \{1 + (a|h|)^b\}^m \\ B(h) &= -mab(\theta_s - \theta_r)(a|h|)^{b-1} / \{1 + (a|h|)^b\}^{m+1} \quad \dots (2) \\ K(h) &= K_s \left\{ 1 - (a|h|)^{b-1} \left[1 + (a|h|)^b \right]^{-m} \right\}^2 / \{1 + (a|h|)^b\}^{m/2} \end{aligned}$$

θ_r	= 0.07
θ_s	= 0.32
a	= 0.024944
b	= 1.74468
m	= 0.42683

θ_r は残留土壌水分、 θ_s は飽和含水率、 a, b, m はVan Genuchtenの係数であり、表-1の値を適用した。

3. 解析方法

式-1を差分近似式で表現し、陰解法により計算を行った。表面流出は、地表面の第一層目の土層が飽和に達した時点で始まるものとし、 R を降雨強度、 S を単位面積当りの表面流出量とすると、計算上の境界条件は以下のように設定した。

(a) 境界条件

- (i) $\theta(h) = \theta_s, i > R \Rightarrow i = R : S = 0$
- (ii) $\theta(h) = \theta_s, i > R \Rightarrow i = R : S = 0$
- (iii) $\theta(h) = \theta_s, i \leq R : S = R - i$

(b) 差分近似式

$$B_i^j \frac{h_i^{j+1} - h_i^j}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta Z} \left[K_{i+1/2}^j \left(\frac{h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}}{\Delta Z} - 1 \right) - K_{i-1/2}^j \left(\frac{h_i^{j+1} - h_{i-1}^{j+1}}{\Delta Z} - 1 \right) \right]$$

ここに

$$K_{i+1/2}^j = (K_{i+1}^j + K_i^j) / 2$$

$$K_{i-1/2}^j = (K_i^j + K_{i-1}^j) / 2$$

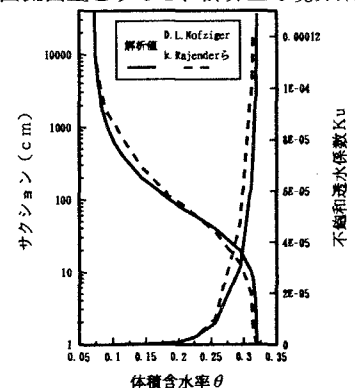


図-1 不飽和水分特性曲線

4. 浸透解析とモデル検証

まず、D.L.Nofzigerらの行った数値解析結果と比較することにした。解析に用いた不飽和浸透特性曲線を図-1の実線で示す。この実線は、D.L.Nofzigerらの用いた破線の値を式-2のVan Genuchten式で表現したものである。土中の初期体積含水率は一定としたが、図-1のD.L.Nofzigerらの解析と同様に両曲線に差異がみられるため、設定値を変えざるをえなかった。

10mm/hrの定常降雨が発生した時の土中の体積含水率の時間変化を図-2に示している。図中の実線で示す

解析結果は破線で示すD. L. Nofzigerらの解析結果と多少相違するが、この差は図- 1 の相違によるものと考えられ、これによって本解析の妥当性が検証されたものとする。

5. 表面流出の検討・解析結果

10mm/hrの定常降雨の場合、土中の初期含水率の差異による表面流出量の発生の違いを求めたものが図- 3である。これにより土中が湿っている状態ほどすなわち土中のサクションが小さいほど、早く表面流出が始まり、表面流出量の時間的増加も早く短時間で定常状態に達していることが分かる。

次に非定常降雨を1時間単位の降雨強度で与えた場合と、10分単位で与えた場合の表面流出量を比較した。その結果を図- 4と図- 5に示している。1時間毎の降雨量は同じであるものの、表面流出の発生傾向は大きく異なる結果となっている。

10分降雨を使用した計算では、わずかではあるが、表面流出の開始時間が早くなっているまた、降雨期間中に60mm/hrの降雨が度々発生しているが、この降雨による表面流出量はそれぞれ変化しており、図- 3で明らかになったように、前時間の降雨による影響が現われたものと考えられる。以上によって、1時間降雨強度では表現できなかった部部の表面流出が10分降雨強度を用いることにより詳細に再現できることが分かった。

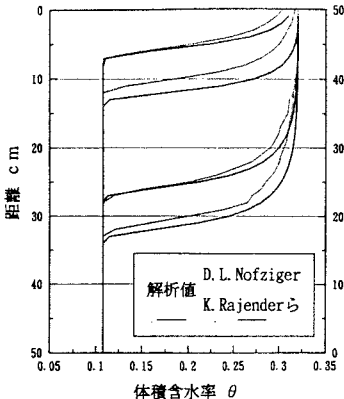


図- 2 体積含水率の時間変化

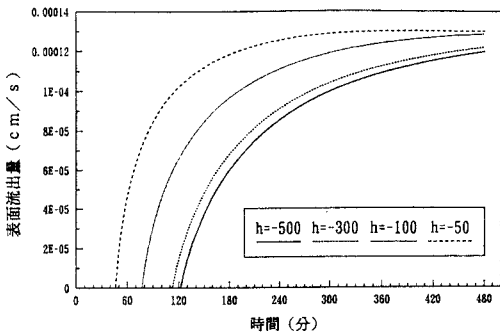


図- 3 各サクションによる表面流出発生変化

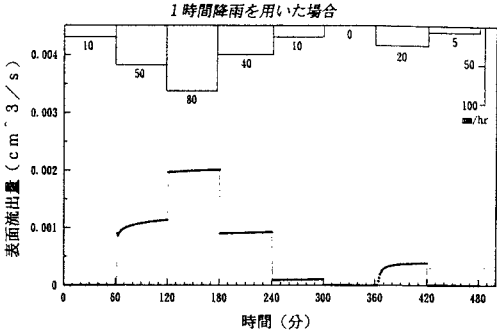


図- 4 1時間降雨

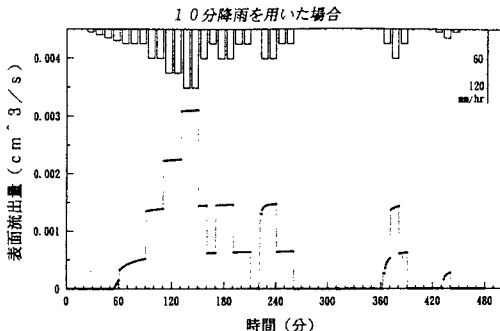


図- 5 10分降雨

[参考文献]

1). 杉尾 哲・出口 近士:Hydrological Changes Caused by Urban Development in Komatsu Drainage Basin,Miyazaki Uni.No23, pp27-47, 1994.
2). R.Haverkamp,M.Vauclin:A comparison of Numerical Simulation Models for One-Dimentional Infiltration,Soil sci. soc. AM. J, pp285-294, 1977.
3). 日野幹雄・太田猛夫・砂田憲吾・渡辺邦夫:洪水の数値予報, 1989.