

雨水流出機構のモデルの単純化について

広島大学工学部 正員 金丸 昭治
 広島大学工学部 正員 三島 隆明
 (株) 熊谷組 正員 ○松尾 新治
 東亜建設(株) 一野 武史

1. はじめに 既に発表したように¹⁾、実際の山腹斜面内における空隙分布は一般には不均一であり、雨水の流動ルートは極めて複雑であるが、流動水の力の釣合いを考えると、表層斜面内の水は、毛管吸引力の影響を受けて、比較的小さい部分から大きい空隙部分へと順次充足しながら浸透し、水筋を通過して水路へ流出する。

本研究では、空隙部分にフラクタル的な概念を導入することにより、斜面表層部を水平床上に連続的に分布する空隙体と、水筋によって構成されると仮定した解析モデルを提案し、その特性について検討した結果を述べる。

2. 流動場のモデル化 上述のように仮定すると、流域表層内の雨水流動は図1のようにモデル化される。このような浸透場の空隙分布 ($b(y_i)/b(y_m)$) をフラクタル的度数 δ を用いて (1) 式のように表わされるものとし、流動がDarcy則に従う毛管水流動とすれば、流動を支配する透水係数分布 ($k(y_i)/k(y_m)$) は、Kozeny式²⁾を準用して (2) 式のように表わされ、毛管水上昇高 ($h_c(y_i)$) は毛管力と重力の釣合いより (3) 式のように表わされる。

ただし、 y は流動方向に測った距離、 σ は表面張力、 ρ は密度、 g は重力加速度、添字の i はブロックの任意点、 m は分布終端、 a は単位ブロック終端を表わす。

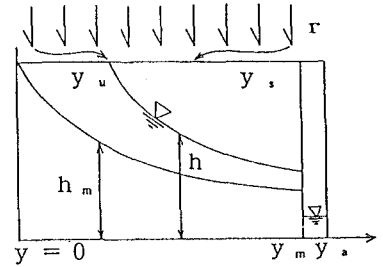
$$\frac{b(y_i)}{b(y_m)} = \left(\frac{y_i}{y_m} \right)^{\frac{1-\delta}{2}} \quad (1)$$

$$\frac{k(y_i)}{k(y_m)} = \left(\frac{y_i}{y_m} \right)^{\frac{3-\delta}{2}} \quad (2)$$

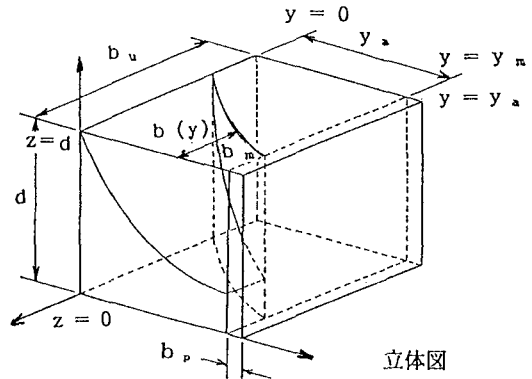
$$h_c(y_i) = \frac{\sigma}{\rho} \left(\frac{2 C k}{g \nu} \right)^{1/2} \left[(3 - \delta) \left\{ (\gamma - 1) \frac{y a}{y_m} + 1 \right\} \right]^{1/2} \quad (3)$$

3. 流動の基礎方程式 水筋に達するまでの流動については、 $y=0 \sim y_a$ までに降った雨水が、 $y=y_u \sim y_s$ までの部分を鉛直浸透した後に側方浸透すると考えれば、流動式は (4) 式のようになり、(5) 式のような境界条件のもとにその解を求めることが出来る。また、層内流動分を超えた (6) 式のような余剰分は直接表面流となって水路に流出する。

一方、側方浸透して水筋に到達した流れによって形成される水筋における流動は、水筋方向に x 軸を取り流量 q 、水筋の勾配を θ とすると、(7) 式のように表わされることになる。



側面図



立体図

図1 モデル概略図

$$\left. \begin{aligned}
 r y a &= \int_{y_u}^{y_s} k(y) dy \\
 b(y) \frac{\partial h}{\partial t} + b u \frac{\partial q}{\partial y} \\
 &= b u k(y) \quad (y_u \leq y \leq y_s), \\
 \text{or } 0 &\quad (y_s \leq y \leq y_m) \\
 q &= k(y) h \frac{\partial}{\partial y} (h - h_c)
 \end{aligned} \right\} (4)$$

$$\left. \begin{aligned}
 y &= y_u, \quad h = d, \\
 \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right)_{y=y_u} &= \left(\frac{\partial h_c}{\partial y} \right)_{y=y_u}
 \end{aligned} \right\} (5)$$

$$r y a = \int_{y_u}^{y_m} k(y) dy \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \gamma p \frac{\partial h p}{\partial x} + \frac{\partial q p}{\partial x} &= \frac{q}{b p} \\
 q p &= k p h p \left(\sin \theta - \cos \theta \frac{\partial h p}{\partial x} \right)
 \end{aligned} \right\} (7)$$

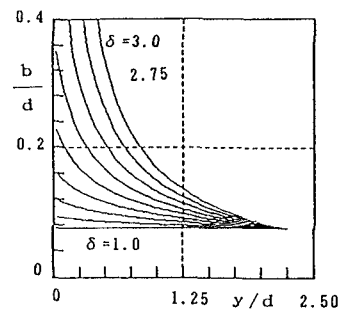
ただし、 r は降雨強度、 h は水深、 d は層厚、 $b u$ は単位幅、 γp 、 $k p$ 、 $b p$ はそれぞれ、水筋の空隙率、透水係数、水筋の幅、その他の量は図1中の各量である。

3. モデルの特性の検討 図2(a)～(c)は、フラクタル的度数 δ の変化に対する空隙分布等の影響度をについて検討したものであり、図3は、代表的な流出状態($r=40\text{mm/hr}$ 、 $tr=3\text{hr}$)における δ の影響度を検討した結果である。

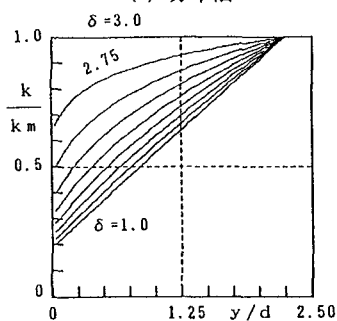
これらを見ると、 δ が小さくなるほど流出開始時間が遅れ、変化も緩慢になり、逆に大きくなれば、急激な変化になる。一部の実測と比較したところでは、 $\delta=1.5$ 程度で良い適合を示すようであり、このモデルは中期程度の一般的流出特性を十分に表現出来るものと期待できる。

4. あとがき 雨水流出機構のモデルの単純化を目標にしてフラクタル的に分布する空隙体と仮定したこのモデルは、一般的な流出性状を表現出来ることが判った。今後、実験・実測に基づく検討を行なっていく予定である。

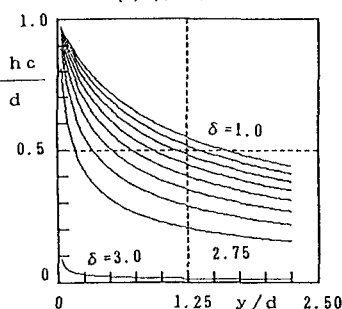
- 参考文献 1) 三島・金丸・常松：雨水流出現象のモデル化、
 広大工学部報、第39巻 pp.39-51, 1990.
 2) Kozney, J.: Über Grund wasserbewegung,
 Wasserkr. u. Wasserwirts. 22, pp. 67-86, 1927.



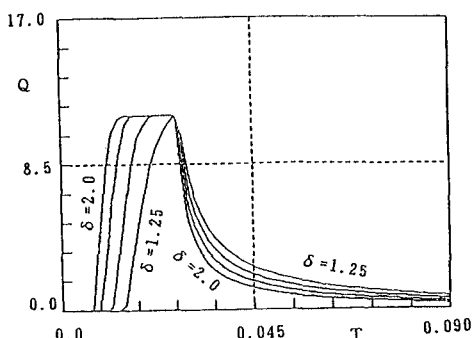
(a) 分布幅



(b) 透水係数



(c) 毛管水上昇高

図2 δ に対する各量の変化特性図3 δ に対する流出の変化特性