

広島大学 工学部 正員 金丸昭治

" " 三島隆明

広島大学 大学院 学生員 〇 村田 明

1. はしがき

有効な渇水対策あるいは治水対策を確立するための基礎的な研究として、著者らは数年来山腹表層斜面を用いた屋内流出実験解析ならびに平均値的取り扱いによる理論解析を行なって現象の定性的な把握をしてきたが、定量化を進めるためには現象をさらに詳細に解明することが必要である。そこで、現象把握の比較的容易な一様砂層斜面をモデル斜面として取り上げ、表面流出を伴わない範囲を対象とした流出について詳細な実験的検討を行ない、さらに差分解析を行なって両者を比較するとともに、差分解析上の問題点についても究明中であるが、ここではその一部について述べる。

2. 雨水流動の基礎方程式ならびに差分式

3. で述べるような一様砂斜面における雨水の非定常流動がDarcy則にしたがい、しかも砂層上部の不飽和帯から下部の飽和帯への雨水の供給が流量の減衰期においても存在するものと考えれば、この期間をも含めた雨水流動の基礎方程式は(1)式のように表わされる。

$$\frac{\partial H}{\partial T} + A \frac{\partial H}{\partial X} = B \frac{\partial^2 H}{\partial X^2} + R \quad (1)$$

ただし、各無次元量はそれぞれ(2)式のような量であり、A、Bはそれぞれ代表の動水こう配および代表の水深を表わすものとするのが妥当であろう。

$$X = x/l, T = (t \pm \cos \theta)/(ml), H = h/l, R = r/l \quad (2)$$

また、x、lは斜面上流端に原点を取った斜面方向の距離および斜面長、tは時間、θは斜面傾斜角、mは代表透水係数、nは代表空隙率、hは斜面に垂直方向に測った水深、rは降雨強度あるいは砂層上部不飽和帯から下部飽和帯への浸透強度である。

したがって、差分解析を求める場合の基本的中央差分式ならびにこの式が安定になるための付加条件式は、A、Bが定数扱いできる範囲においては、それぞれ(3)式および(5)式のように表わされることになる。

$$H_j^{n+1} = H_j^n + \frac{A}{2} \left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right) \{ H_{j+1}^n - H_j^n \} + B \left\{ \frac{\Delta T}{(\Delta X)^2} \right\} \{ H_{j+1}^n - 2H_j^n + H_{j-1}^n \} + (\Delta T) R_j^n \quad (3)$$

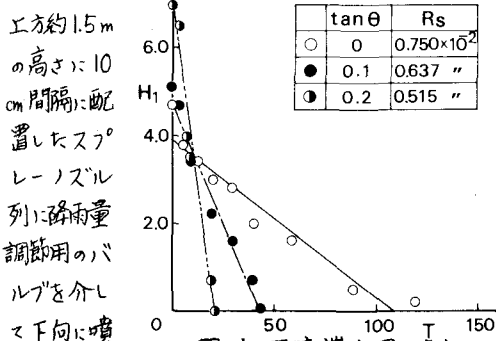
$$\Delta T = \min(\Delta T_1, \Delta T_2, \epsilon) \quad (4)$$

$$\Delta T_1 \leq \frac{(\Delta X)^2}{2B}, \quad \Delta T_2 \leq \frac{2B}{A^2} \quad (5)$$

ただし、ΔXおよびΔT、ΔT₁はそれぞれ距離および時間のきざみ幅、εは主に計算の道みを実制するための任意のΔT値であるが、ΔTは(4)式に示すように3つの値の最小値である。また、H、Rの添字jはX = jΔXの場所を表わし、nおよびn+1は任意時刻tおよび(t+ΔT)を表わす。実際に具体的な解を得るためにはさらに下流端条件および水深分布形の一端条件を規定しなければならないが、これらの規定条件を理論的に決定することは現在のところ困難なので、ひとまず実験によって決定せざるを得ない。

3. 実験装置および実験方法

モデル斜面は長さ188cm、幅20cm、高さ25cmの合成樹脂製こう配可変の水路に均導係数D₆₀/D₁₀ = 1.8 D₆₀ = 2.0mmの川砂をセットしたものであり、その平均透水係数は1.16 cm/sec、平均空隙率は18%である。また、水路底面中央線に沿って水深変化測定用のマノメータが下流端より10cmまでは2cm間隔、10cmより上流側は10cm間隔で取り付けられている。一方降雨装置は斜面



図・1 下流端水深の変化

出させるようにしたものである。実験はこのような装置を用いて一定降雨を供給して定常化した後の流量減衰期の流出変化を測定する。

4. 実験結果およびその考察

4・1 下流端水深 H_1 の変化 H_1 の測定は誤差を伴いやすく精度については多少問題もあるが、図・1に示す代表的な例でもわかるように H_1 の時間変化はほぼ直線的に減衰するものとみなしてよいようである。ただし、図中の R_s は定常降雨強度の無次元量を表わす。

4・2 水深分布形上端近傍の水面形 $X=0$ における水深 H_0 が存在する場合の $\partial H/\partial X (=I)$ は理論的には $\tan \theta$ であり、実験的にもほぼ $\tan \theta$ に近い値となるが、減衰が進行して $H=0$ の点が水路底に沿って移動する状態における上端近傍の $\partial H/\partial X (=I_{i+1})$ とこの点から ΔX 下流点の $\partial H/\partial X (=I_i)$ との関係を示した例が図・2である。この図に示すように両者の関係は直線的傾向が強いことがわかるが、上流端近傍の水深測定値の精度と ΔX の程度を考慮すると、一般に $I_{i+1}=I_i$ と考えるのが妥当であると考えられる。

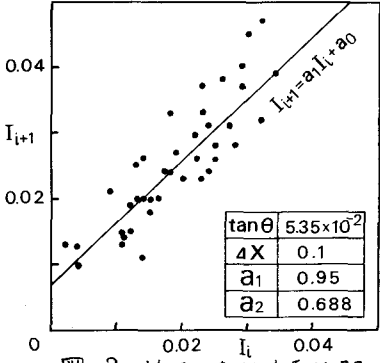
4・3 水深分布形の時間的变化 図3および図4はそれぞれ $\tan \theta=0$ および0.1の各場合について4・1および4・2で述べた結果を規定条件として、 $\Delta X=0.1$ 、 $\varepsilon=10^{-2}$ 、 $R_s^0=0$ として、(3)式および(4)、(5)式を用いて差分計算した結果と実験水深変化を比較した例であるが、case 1とはA、Bとして各時間の平均値を用いて差分計算した場合であり、case 2とはAとして各時間の最小値、Bとして同じく最大値を用いて計算した場合である。これらの図からわかるように減衰直後には実験と計算水深分布形との差は大きいが、ある程度時間の経過した後の現象に関しては斜面こう配が極く小さい場合にはcase 1、こう配が0.1のようにある程度以上になると、case 2の場合の適合度が高くなるようである。

4・4 流量変化 図・5は4・3で述べた各場合に対応する流量変化を両対数表示したものであるが、図からわかるように差分計算流量の変化は一般に有理函数式で近似できるようである。また流量変化の適合度に関しては、4・3に述べた水深の場合と同様な傾向を示しており、このような差分計算の有効性を裏付けるものであると考えられる。

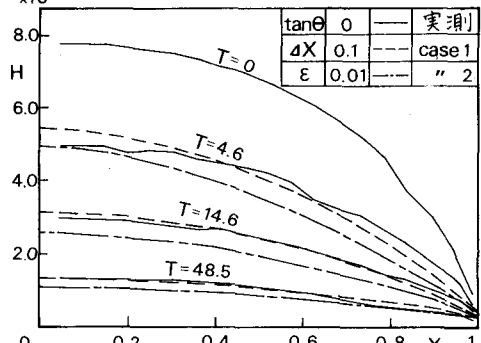
5. あとがき

今後、さらに下流端条件ならびに R の影響度についても明らかにしていくとともに、斜面こう配および降雨量の異なる状態についても検討していく予定である。

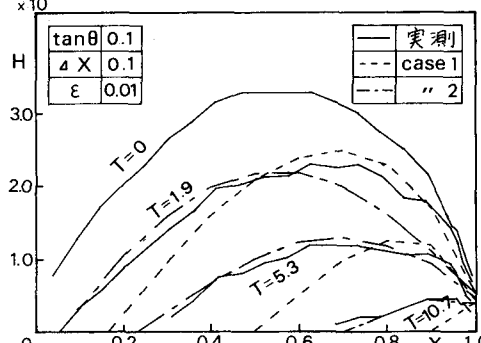
参考文献 1) 金丸三島: 雨水流出の減衰特性に関する一考察, 昭和49年度年報など 2) 土木学会編: 土工学における数値解析, カエス社



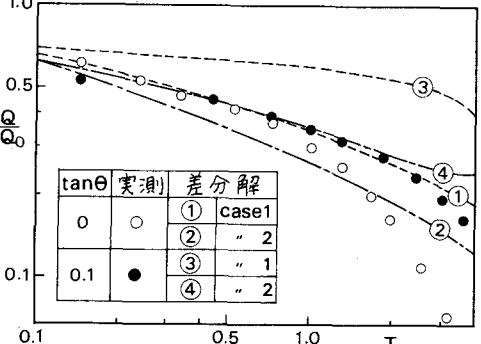
図・2 $H=0$ における水面こう配



図・3 水深変化 ($\tan \theta=0$)



図・4 水深変化 ($\tan \theta=0.1$)



図・5 流量変化