

降雨による流路網の形成過程に関する確率的シミュレーション

京都大学防災研究所 正員 澤井健二 山口県 正員 長井治明

1. まえがき 裸地斜面から流出する土砂量を水理学的に算定するには、斜面に発生する流路網の形成過程を明らかにすることが重要である

表-1 諸関係式

$Q=b \cdot h \cdot v$	(1)
$f=0.5$	(2)
$B/h=5$	(3)
$U_*=\sqrt{g \cdot h \cdot I}$	(4)
$U_*e/U_*=\sqrt{8/f}/(6.0+5.75 \cdot \log h/d)$	(5)
$E/U_*e=0.75 \times 10^{-4}$	(6)
$\Delta Y_{\max}=\alpha \cdot \{E/(h/b)\} \cdot \Delta T$	(7)
$\Delta Y_{\max}=\beta \cdot b$	(8)
$\Delta Z=E \cdot b \cdot \Delta T/(b+\Delta Y)$	(9)
$Q(Z,4)=Q(Z-1,4)+Q(Z-1,5)+Aa \cdot r$	(10)
$Q(Z+1,5)=Q(Z,5)+Ab \cdot r$	(11)
$Q(Z+1,4)=Ac \cdot r$	(12)

る。しかし、この流路網の形成過程には不確定な要素が多く、決定論的に取扱えるとは限らない。芦田、田中¹⁾は、斜面上端からの給水による流路網の形成過程を確率的シミュレーションによって模擬している。本報告は、より実際現象に近づけるため、それを、降雨条件下に適用できるように変形・拡張し、実験結果と比較・検討したものである。

2. シミュレーションの方法 芦田、田中の用いたモデルでは、個々の流路の、水理量に対応した変動に着目し、ある時間間隔内にとり合う2本の流路の中心線が交錯すれば、河床値の低い流路へ吸収されるという合流判定法を用いている。侵食現象は土砂の性質に大きく依存するが、ベントナイトを含有する砂れき床では、侵食速度は、有効摩擦速度に比例する。流路網が与えられれば、各流路の流量が決まるので、抵抗係数と平衡断面形状を仮定することにより表-1の式(1)~(6)より水理量を算出する。また、流路の横変動量 ΔY は、図-1のように式(7),(8)によって決定される変動範囲の中から無作為に選取する。22に、 $\Delta Y_{\max}$ は ΔT の間に可能な最大横変位量、 $\Delta Y_{\max}$ は流下区間 ΔX における流路偏倚量の概略の上限値、 α および β はそれらと侵食能力および流路幅との比率を表わす係数である。また、縦侵食量 ΔZ は、式(9)によって横変動量 ΔY と関連づける。さらに、降雨条件下の各流路の流量は、次のようにして決定する。各流路の配列状況には、図-2に示すように、a) 2本の流路が合流して1本になる($Y(Z,4)$)、b) 合流せず(そのまま進む($Y(Z+1,5)$)) c) 合流(瀾濁したものが、降雨によって再び復流する($Y(Z+1,4)$))の3つの場合がある。それぞれの場合の流路の流量は、式(10),(11),(12)によって決定する。22に、 Aa 、 Ab 、 Ac は、図中に斜線で示す集水面積、 r は降雨強度である。ただし流量が極端に小さい場合は、それを流路であると識別できないと考えられるので、限界値 $Q_c(2.0 \text{ cm}^3/\text{s})$ を設け、それ以下の流量の

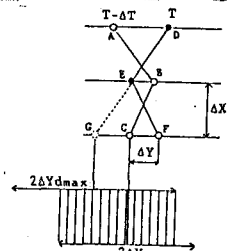


図-1 横変動量の説明図

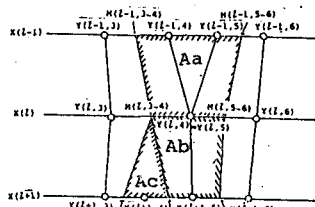


図-2 集水面積の説明図

図-3 10時間後の流路本数 (計算条件: $B=1\text{m}$, $L=3\text{m}$, $r=120\text{mm/hr}$, $d=1.0\text{mm}$, $P=2.65$)

流路は、流路本数の計算に加えていない。

3. シミュレーションの結果 図-3は、 α, β を系統的に変化させ、10時間後の各測線上の流路本数を比較したものである。 α, β を大きくすると、流路の横変動量が大きくなり合流が起こりやすくなるが、いちがいには流路本数は、減少していない。以下、 $\alpha=0.6$ $\beta=2.5$ の条件でのシミュレーション結果を実験値と比較する。図-4は、斜面下流端からの流出土砂量を示したものである。シミュレーションでは、流出土砂量の粒度構成を、斜面材料のそれと等しいものとしている。これによると、粘土分は良く一致しているが、砂分については計算値は実測値よりもかなり多めに出ている。図-5は、流路本数の場所的・時間的变化を示したものである。流路本数が時間の経過とともに減少し、流下方向にあまり変化しない点は一致しているが、本数自体は、計算値は実測値に比べてかなり多めに出ている。これは、実験では降雨開始後5時間ぐらいいまでに急激に合流が進み、その後はある値に収束し、ほとんど変化しないのに対し、計算では、徐々に合流が進み流路本数が減少する割合が小さいからである。また、計算によると10時間以降も合流は徐々に進行している。図-6は、流路幅密度(斜面全幅のうちで流路部分の占める割合)の場所的・時間的变化を示したものであり、初期には計算値と実測値は大きな隔りを見せているが、時間が経過するにつれて、徐々に一致してくる。しかし、全般的に計算値は、実測値に比べて若干小さい。図-7は、侵食深の場所的・時間的变化を示したものであり、初期には計算値は実測値よりも若干大きい。時間が経過するにつれて実測値の増加割合が計算値よりも大きくなり、10時間後では大小が逆転している。

4. あとがき 以上のように確率的シミュレーションによってある程度は現象が模擬できることがわかったが、細部にわたっては、定量的に十分な適合を見るには至らなかった。これは、流路以外の侵食や、流路の横変動量の評価が充分でなかったこと、平衡断面に移行する以前の断面形状を考慮してないことなどによると思われる。なお数値計算にあたっては、京都大学大型計算機センターを利用した。

参考文献 1) 夢田・田中：裸地斜面における流路の形成過程に関する研究(1), 京大防災研年報, 1975.

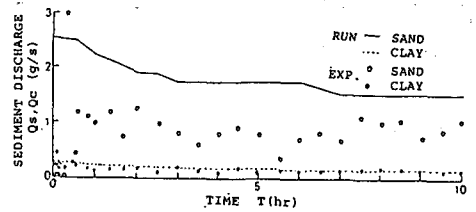


図-4 流出土砂量の時間的变化

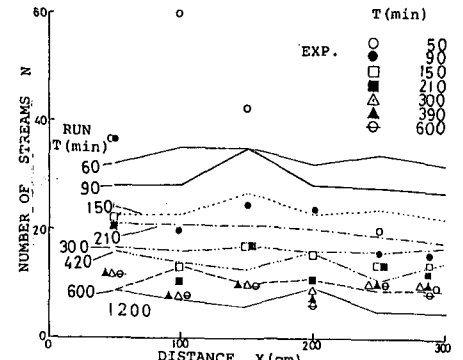


図-5 流路本数の場所的・時間的变化

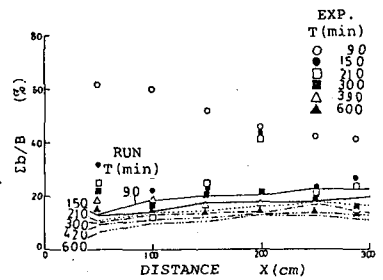


図-6 流路幅密度の時間的变化

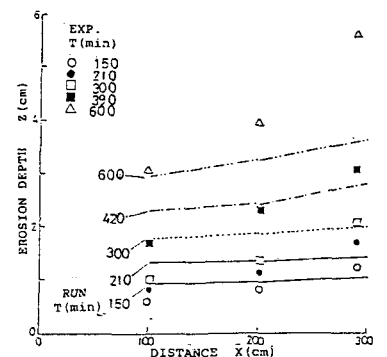


図-7 侵食深の場所的・時間的变化