

名古屋大学 ○学生員 佐々木 和実

正員 松林 宇一郎

正員 高太 不折

1. はじめに

図1に示す砂層斜面に降雨があった場合に用いられる、砂層内の飽和水面に関する基礎方程式は次式で与えられる。

$$\gamma \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k h \frac{\partial (h+z)}{\partial x} \right\} = r$$

ここに、 γ :有効間隙率、 h :飽和水深、 k :透水係数

z :透水基盤の高さ、 r :降雨強度

この方程式では、降った雨が飽和水深に達するまでの不飽和浸透や、不飽和域内の貯留が考慮されていない。しかし、実斜面では、不飽和域が貯留、流出の時間遅れなどに果す役割は大きいと考えられる。そこで、本研究では、砂層モデルを用いた実験を行ない、先の基礎方程式を解いた理論解との比較を行なうことにより、不飽和域が斜面流出にどのような役割を果しているか考察する。

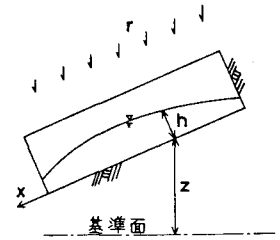


図-1 砂層斜面概念図

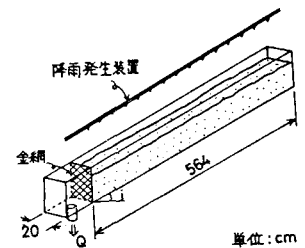


図-2 実験装置概略図

2. 実験装置と実験

実験に用いた装置は、図2に示す降雨発生装置を備えた砂層水路である。実験は降雨強度、斜面勾配、砂層厚をそれぞれ変えて行なったが、その設定条件を表1に記す。なお、実験に使用した砂は、透水係数 $k = 1.0 \text{ cm/sec}$ 、50%粒径 $D_{50} = 1.4 \text{ mm}$ のものである。

表-1 実験条件

Run	降雨強度 mm/hr	勾配	砂層厚 cm	Q_0 ml/min	S_0
1	193	0.12	26.3	870	48.3
2	95	0.12	26.3	630	37.4
3	191	0.12	17.5	780	33.5
4	200	0.06	17.5	650	36.6

3. 実験値と理論解との比較

実験 Run1 の結果を例に上げ考察する。まず、ハイドログラフを図3に示す。実験では、理論解のように流量はすぐには増加せず、しばらくしてから増加が始まる。流出の時間遅れを考慮して、理論解のハイドログラフを右へずらせると、図3の破線が示すようにある流量以上において、ほぼ実験値と一致することがわかった。この流量を Q_0 とすると、 Q_0 は降雨前の砂層の湿り具合に因らず、いつも一定であっ

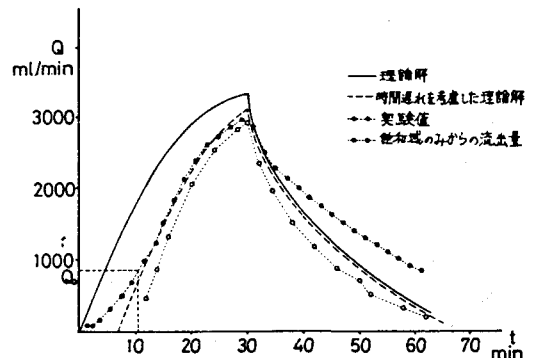


図-3 ハイドログラフ

た。また、流量 Q_0 のときの砂層内の貯留量もある定まった値 S_0 をとる。今回の実験の各Runの Q_0 、 S_0 の値を表1に併記しておく。いずれの実験の場合でも、流量が Q_0 、貯留量が S_0 となる時刻は、ちょうど砂層底面に飽和水面が形成され始める時刻と一致している。このことから、流量 Q_0 、貯留量 S_0 となる時刻は、それ以前では不飽和域で降雨の貯留による消費があるのに対して、それ以後では大略降雨強度そのままの水供給が飽和水面になされる遷移状態であるといえる。表1で示すように、 S_0 は降雨強度が大きい程、砂層厚が厚い程大きく、 Q_0 は降雨強度が大きい程、砂層厚が厚い程、また砂層勾配が大きい程大きくなることがわかった。

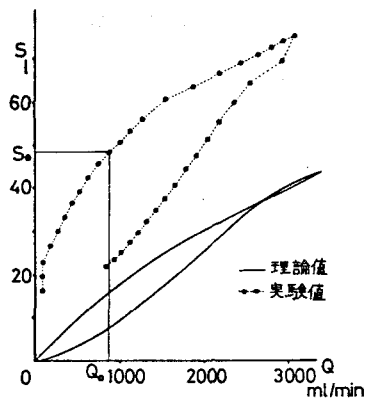


図-4 Q-S関係

図4に、各時刻でのQ-S関係を示す。上昇時、低減時とも、実験値は理論値に比べ同じ流量 Q に対し、貯留量 S がかなり大きくなっている。これは、不飽和域に貯留がなされているためで、したがって砂層厚が大きくなる程、不飽和域が増大するので実験値と理論解との貯留量の差は大きくなる。低減時において、貯留量の減少の仕方が実験値の方が理論値より大きい、これは不飽和域からも直接下流端へ流出する水があるからであろう。

次に、不飽和域が低減に及ぼす影響について考察する。図3に白丸で飽和域のみからの流出量のハイドログラフを併記する。この流出量の値は、マンメータで測定した各時刻での下流端近傍の水面形より、Darcy則を用いて算出した。図3より、不飽和域からの流出量は、降雨期では比較的小さいが、低減時にはかなり大きな比重を占めている。実際、飽和域からの流出のハイドログラフは理論解に近い値をとっているが、不飽和域からの流出があるために、低減時には、実験値のハイドログラフは理論値より大きくなっている。また、70分以降の流出は完全に不飽和域からの流出になっている。

4. 結論

これらの考察から、不飽和域が流出に果たす役割を列挙すると以下ようになる。

- 1) 降雨期の初期において、降雨は不飽和域を湿らすのに消費されるが、砂層内貯留量がある定まった値 S_0 に達すると、砂層内に飽和水面が現われ、このとき下流端流量も大体同じ値 Q_0 となる。さらにこの時刻で不飽和域での降雨の消費は終り、降雨強度とほぼ等しい強度で水供給が飽和水面になされるようになる。したがって、流量が Q_0 に達した以降、実験値の上昇時のハイドログラフは、理論解の流量 Q_0 以降のハイドログラフとほぼ一致する。なお、 Q_0 、 S_0 の値は、降雨強度、砂層勾配、砂層厚の違いにより異なる。
- 2) 不飽和域は、低減時には降雨時初期に蓄えた貯留からの流出により、理論値より流出を増大させ、かつ長期化させている。

以上述べたことは、あくまで砂層モデルでの実験結果であって、実斜面の流出をそのまま表わしているとはいえない。しかし、斜面流出に果たす不飽和域の役割を示唆するものとなるであろうし、また飽和帯に関する方程式を用いる場合の定性的な補正の仕方を示す根拠となるであろう。

参考文献：1) 鈴木新太郎・中野一彦：透い中間流出、地下水流出の非線型について、土木学会論文報告集，第293号，1979.3，pp.45~55

2) 藤野達夫・地底流：流域貯留特性に対する降雨条件の影響に関する実験的研究，第18回水理講演会講演集，pp.49.2