

名古屋大学工学部 正員 ○松林 幸一郎
名古屋大学工学部 正員 高木 不折

1. まえがき 山地流域における中間流出現象に対して著者はこれまで山腹斜面での飽和浸透流としての解析を行ってきた。一方Hewlett and Hibbert¹⁾らは不飽和現象の重要性を指摘しており、本研究では傾斜砂槽を用い不飽和流出現象を生じさせ、不飽和水の挙動及び流出特性を検討した。

2. 実験の概要

実験装置は巾20、深さ30、長さ564cmの水路に $D_{50}=1.4$ mmの粗砂を充填した傾斜砂槽と、ノズルより噴霧状の雨を発生させる降雨発生部とから成っている。また本研究の目的を達成するためには砂の含水率分布の測定が必要であり、そのために抵抗線式のプルーフを試作した。(その特長については文献を参照されたい)²⁾このプルーフ21個を図-5の○印の所に埋め込み含水率を5分間隔で測定した。なお実験条件としては水路勾配を0.08とし、強度1.78mm/分の降雨を15分間降らせた。

3. 測定結果の解析

測定結果は図-2のハイドログラフと図-5の含水率分布として整理されるが、まずその精度を検討するため砂槽全体および図-5のST.2断面より上部についての水収支を計算したものが図-1である。砂槽全体③については流量の測定精度は非常によく、降雨も比較的正確であるから誤差は含水率測定に起因すると推定される。ST.2より上部⑥については流量を後述する不飽和透水係数と水分拡散係数より求めており、誤差はさらに小さい。以上のように水収支誤差は降雨流量の20%~30%もあり決して十分な精度とはいえず以下に示す結果は定量的に示されているが幾分は定性的なものとして解釈する必要がある。

さて、ハイドログラフについては図-2の●印が水路下流端で測定したものである。ここで特徴的な点は降雨終了後のピークのあとにさらに大きなゆるやかなピークが認められることである。この現象をもう少し詳しく見るために、ST.1、ST.2、ST.3断面を横切る流量を次式によって計算した。

$$Q = \int_0^H (K_u \sin S_0 - D \frac{d\theta}{dx}) w dh \quad \dots (1)$$

ここにH:砂層厚、 K_u :不飽和透水係数、 S_0 :水路勾配、 D :水分拡散係数、 θ :体積含水率、 w :水路巾である。図-3、図-4はこの計算のため別途求めた $K_u-\theta$ 、 $D-\theta$ 関係である。図-2の○、●、○-がそれぞれST.1、ST.2、ST.3各断面を横切るfluxである。○印の上又は下に延した線分の端の値は(1)式右1項の積分であり、したがって線分の長さが拡散によるfluxを示すが全体的に拡散による流れは小さいことがわかる。又、先に述べた降雨直後のピークはST.1で

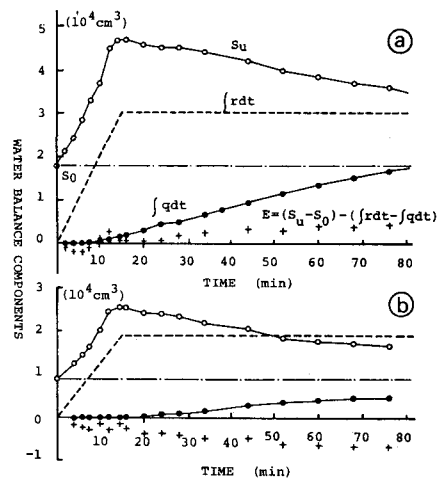


図-1 水収支の検討

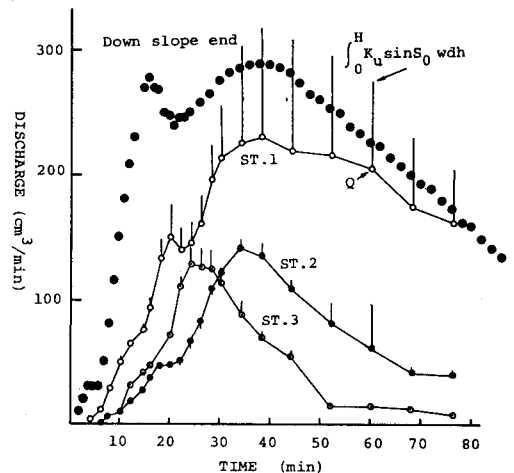


図-2 ハイドログラフ

でしか認められず、これが下流端近傍からの早い流出であることを示唆している。

最後に砂中の含水率分布の時間変化を示した図が図-5である。これは上から3つの段階に分けて示してあるが、その第1段階はほぼ一様な初期含水状態の砂

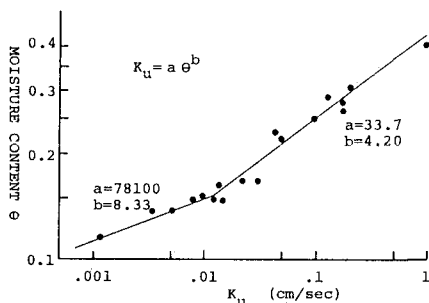


図-3 不飽和透水係数

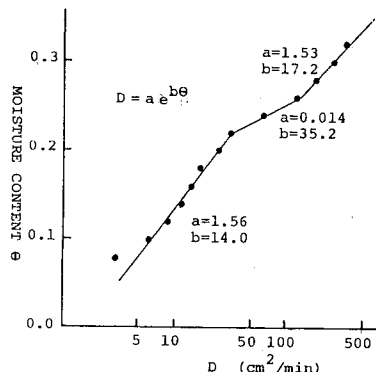


図-4 水分拡散係数

槽に上部から雨水が浸透してゆく過程であり、 $t=12$ 分をすぎると再び一様な含水率分布となっている。この状態では $d\theta/dz=0$ であり $r=K_u(\theta)$ となっている事から図-3で遂に 1.78mm/分 ($=0.03\text{cm/sec}$) を読むと $\theta=0.13$ であり実際とほぼ合っている。

次に、第2段階は、降雨終了後表層近くの不飽和水が降下して水路床近くに含水率の高い部分が発生する過程であり、とくに、ST.1, ST.2... の順に顕著である。これは斜面方向流れによっても水が集まるからであると考えられる。また、この段階はハイドログラフが第2のピークへ向って増加する過程でもあり、 $K_u-\theta$ 図で見たように θ が大きくなると K_u が急増することから考えて、第2のピークはこの段階で形成される水路床付近の高含水部を通して流下する flux によるものと考えられる。

最後の第3段階は水路床近傍の不飽和水も減少する過程でありこれに伴ってハイドログラフもてい減してゆく。

4. まとめ

本研究で得た不飽和流出についての知見は以下のとおりである。

- ハイドログラフは降雨終了時のピークの後もう一つのピークがあり、これが流出の大部分を占める。
- 含水率分布での特徴的な点は降雨後含水率の鉛直方向の再配分が行なわれ、この時水路床近傍に生ずる高含水部の流れが流出の主要因となることである。
- したがって、不飽和現象の解明にはこの含水率分布の特性を明らかにすることと、 $K_u-\theta$ 、 $D-\theta$ 関係におけるとくに θ の大きな領域での K_u 、 D の正確な推定が重要となる。

以上のように、本報告は今回の不飽和流出実験の現象の説明に

止まっており、流出モデルとの関連においてこれらをどの様に位置づけ、整理してゆくかは今後の課題としたい。

参考文献

1. Hewlett, J.D. and Hibbert, A.R., Moisture and energy conditions within a sloping soil mass during drainage. J. Geophys. Res., 64, 1963, pp.1081-1087.
2. 松林亨一郎, 砂層モデルにおける不飽和水について, 土木学会中部支部研究発表会概要集, 1982.

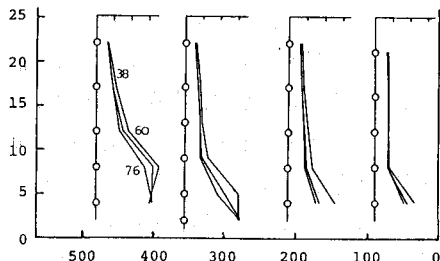
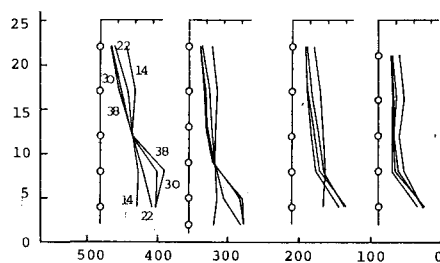
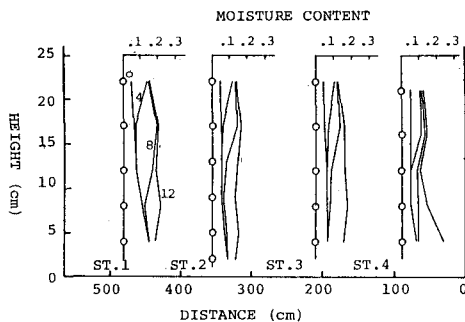


図-5 含水率分布の時間変化