

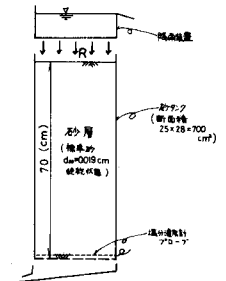
建設省 正会員 田所 正
 東京工業大学工学部 正会員 日野 幹雄
 同 正会員 山田 正

1. はじめに

降雨流出過程において、流域斜面内での雨水の鉛直浸透の解明は、単に有効降雨の推定にとりて重要であるのみならず physical hydrology として、それ自身の解明が待たれるものの一つであると考へらるる(最近の、吉川・山田の研究や Dunne & Black の partial source area の考へ方や Kirkby の Hillslope Hydrology に見られる水文学の方向を、筆者らは一応 physical hydrology と名付けている)。本研究は、従来の浸透流の概念では捕えられていない浸透場中の木の挙動を明らかにすることを目的として、乾燥状態の砂層内での降雨の鉛直浸透を種々の面から観測・考察したものである。

2. 実験方法

図-1に示す様に、断面積 $25 \times 28 = 700 \text{ cm}^2$ の砂タンク(底部は布地と金網のフィルターにより通水性を与えている)の中に飽和状態のの豊満純導砂をつめて高さ 70 cm の砂層を作り、その上部の降雨装置(貯水槽から注射針を通して水滴を落下させる方式)から水を与えた時の、砂層内の水の動き、砂層底面への水の到達時刻、底面からの水の流出量を観測した。降雨装置を調節することにより、 $R = 66 \cdot 93 \cdot 152 \cdot 180 \cdot 238 \text{ cm}^3/\text{min}$ の5通りの降雨強度(CASE I~V)について実験を行なった。また、砂タンク底部に範囲に塩分濃度計検出部を置き、これにより浸透木の底面到達時刻を測定した。尚、砂層の透水係数は $k = 2.3 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ であり、5通りの降雨強度はすべて砂層の最大浸透率より小さく、砂層上部に浸水深を作らない。



3. 実験結果

降雨強度 R の異なる5つの実験による諸結果を図-2~5に示す。図-2は各ケースによる浸透木底面到達時刻(t_1)、流出開始時刻(t_2)、平均浸透速度(v)を示すものである。 v は砂層高さ 70 cm をとって割ったものである。図-3は、砂タンクの一側面(アクリル板)から観察される浸透木の動きの図である。また図-4は、底面からの流出量の曲線、つまりハイドログラフである。図-5は、別実験ではあるが、時刻 t_1 に降雨を停止させた直後の砂層内の表面からの水深とにおける浸透断面面積(浸透水が通った浸透した断面積)のグラフである。

図-1 実験装置

4. 考察

上部からの砂層表面への水の供給が砂の浸透能を満たすものであるならば、鉛直下方への浸透面の移動速度は砂粒子による下向きのサクションの影響により、砂層の透水係数 k より大きいものとなり、この時の浸透面はほとんど水平になることは実験により容易に見ることができる。ところが本研究の実験では、上部からの水の供給量が少ないため、図-2に見られる様に浸透面の流下速度は透水係数 $(2.3 \times$

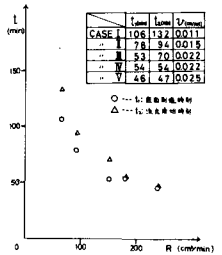
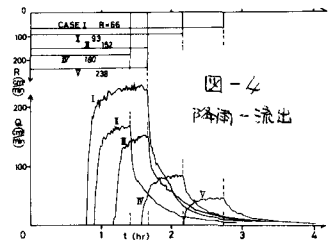
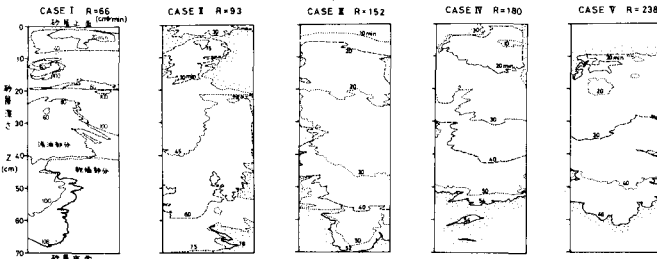


図-2 t_1, t_2, v

図-3 浸透面流下図



10^2 cm/sec) とほぼ等しいか或いはより小さい値となっている。また、これらの流下の形態は図-3の様に、浸透面があまり平面とはなっておらず、 R が小さくなると *fingering* が発生していることが顕著に見られる。

ここで、G. I. Taylor の二層浸透流境界面の安定・不安定問題としての理論解析をこの実験に適用すると、以下の結果が得られる。

$\nu > k \dots$ 安定 (浸透面は水平) $\nu < k \dots$ 不安定 (*fingering* 発生)

すなわち、浸透速度 ν が透水係数 k より大きいかが小さいかで、*fingering* が発生しなかがするかが決まるのである。(G. I. Taylor による安定不安定の判定式: $[(\rho_2/\rho_1 - \mu_1/k_1) \cdot V - (\rho_2 - \rho_1)g] > 0 (< 0) \dots$ 安定 (不安定); 詳しくは参考文献を参照) これを

図-3と照合してみると、確かに $\nu < k$ である CASE I・II では *fingering* が発生している。 $\nu > k$ である CASE V では浸透面がかなり平面に近くなっている様に見られる。 $\nu \approx k$ である CASE III・IV については、*fingering* が生じているともいえないともいえる形となっているが、図-5を見ると IV では浸透面積がほぼ100%、IIIでは約30%となっていることから、IIIでは *fingering* (不安定) の傾向が強くなり、IVでは平面的浸透(安定)の傾向が強いと考える。また、ここで不安定浸透により *finger* が底面に達した後の水の動きについて次の様に表現されると考えられる(図-6参照)。

「底面に達した時の *finger* の底部付近の水には、まず砂粒子による横方向のサクションにより *finger* の外に広がることをする力が働く(1)。この力により外向きに流れた水は徐々に砂層底部に一定の高さを持った飽和層を形成して来る。サクションは上向きに力を及ぼす様になる(2)。この飽和層の先端がサクションを上回ると、底面からの流出が開始される。』したがって、不安定浸透の場合には、底面に *finger* が到達した後流出開始までには、サクション高だけの飽和層を形成するための時間が必要とされることになり、一方安定浸透の場合には、底面到達後横に広がる必要がないため、ほとんど遅れを待たず流出が開始されると考えられる。図-2を見ると、CASE I・IIIでは t_1 と t_2 に約15~25minの差があるが、CASE IV・Vではその差がほとんどないことわかり、このことから I・IIIでは *fingering* が生じている。IV・Vでは浸透面がほぼ平面となっていることが推測され、上記の G. I. Taylor の理論或いは浸透断面積による分類と同じ結果が得られる。

この様に、底面に到達し流出が開始されるまでの水の動きに関しては、種々の面から各行の解釈ができた。また、その後の流出量は図-4に見られる様に、最初の数十分間は徐々に流量が増加し、その後降雨量とほぼ等しい流量で定常状態となり、降雨終了後は指数曲線の様な減衰を行なっていることがわかる。流出開始後すぐに定常状態となるのは、サクションを超える飽和水深を得た後に、一定水量を流出させるための流速を確保するために水深(水頭)の増加が必要となり、そのための降雨の供給に一定の時間がかかるためと考えられる。降雨終了後ゆるやかに流出が減衰しているのも、これと同様の理由(先に水深が減少しているため)であると考える。

5. おわりに 本研究において、雨水の浸透速度が降雨強度によって変化することを見出された。さらに、その浸透過程が安定不安定問題としてとらえられる。ある条件下では *fingering* 現象が発生することわかった。今後は上記の浸透過程を考慮した降雨浸透の理論的研究を行なう予定である。

[参考文献]

*1: 山田・吉川, 東京工業大学研究報告, No.25, June, 1979
 *2: Durne, T., & R. D. Black, Water Resour. Res., 6(5), 1296-1311, 1970
 *3: Kirkby, M. J. (Ed.), Hillslope Hydrology, John Wiley & Sons, 1978
 *4: Taylor, G. I., Proc. Roy. Soc. A., vol. CCI, pp 192~6, 1950

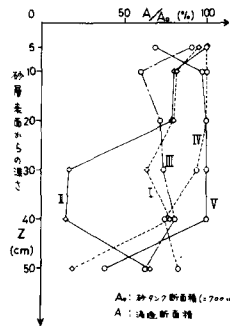


図-5 浸透断面積

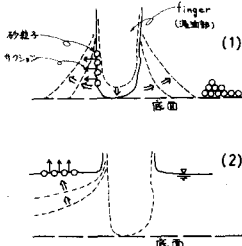


図-6 浸透水の動き