

浸透流による土壌中の水みちの発達過程の解析

京都大学大学院農学研究科 ○伊藤元英 小杉賢一朗 水山高久
 京都大学防災研究所 堤大三

1. 背景と目的

土壌中には、地中流による地下侵食や生物（地中小動物や植物根系）の活動によって形成される粗大孔隙（マクロポア）あるいは土壌パイプと呼ばれる連続した流路が存在する場合があります。こうした流路を流れる地中流は、マクロポア流あるいはパイプ流と呼ばれる。これらの地中流はダルシー則に基づくマトリクス流とは異なり、かなり速い流速を有していることが特徴である。これまでの研究で、マクロポア流やパイプ流が降雨の浸透・流出、汚染物の運搬や水質形成、表層崩壊に対し、強い影響を及ぼしていることが明らかにされているが、マクロポアやパイプの発達過程は十分には解明されていない。そこで本研究では、浸透水による土壌内での透水係数の変化を実験で明らかにし、マクロポアやパイプが発達する可能性について考察した。

2. 方法

実験装置として、防水加工した木材を高さ 60 cm・横幅 110 cm の 2 枚の亚克力板と水漏れ防止用のゴムで挟み、幅 2 cm の水路を作った。水路の両端 10 cm の位置に、実験土砂の崩壊を防止するための網を設け、網に挟まれた横 90 cm×縦 40 cm の部分に土砂を充填した。テンシオメーターを水路底面からの高さ 10 cm・20 cm・30 cm の位置に 10 cm 間隔で 8 列ずつ、計 24 ヶ設置した（図 1）。水路の上下流端では、底面に垂直な方向に 20 cm のところで定常水位を維持し、下流端からの流出強度を自記計測した。実験に用いた土砂は、京大農学部上賀茂試験地で採取した細粒砂を乾燥・粉碎し、粒径 2 mm 以下に揃えた後、直径 4 mm の透明なガラスビーズと体積比 1 : 1 で混合したものである。その水分特性曲線を（図 2）に示した。また、飽和透水係数は約 0.027 cm/s であった。装置を幅 2 cm と薄めに設定し、土砂の骨格として透明なガラスビーズを用いることで、細かな土粒子が流水と共に抜け、水みちが発達する様子が観察できることを期待した。充填した土砂を一度水締めした後、1 回目の給水実験を約 3 週間（0 h~526 h）かけて行い、流量、テンシオメーターの値、流出土砂量を計測した。

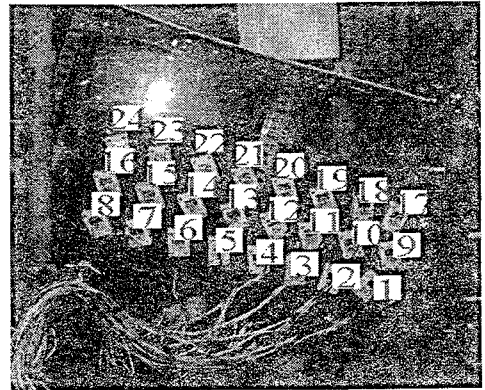


図-1 実験装置. 図中 1~24 の数字はテンシオメーター T1~T24 に対応.

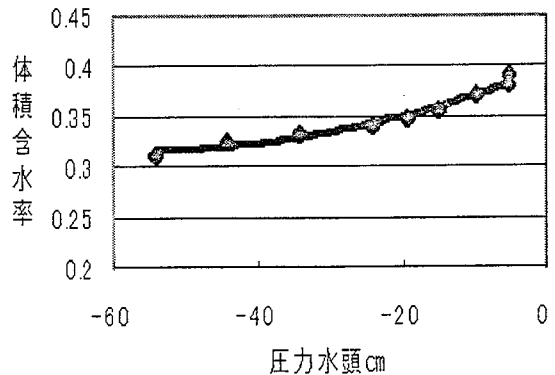


図-2 土砂の水分特性曲線.

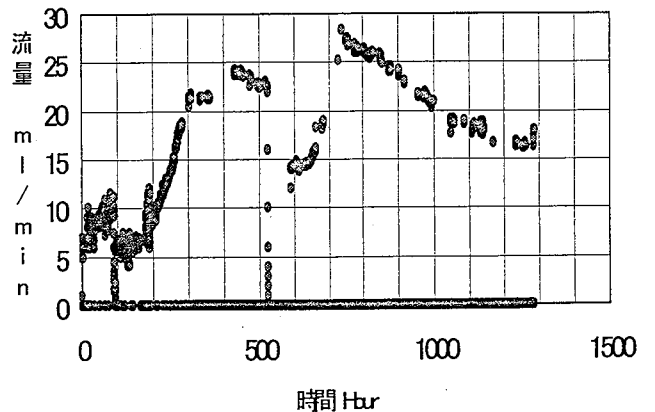


図-3 実験中の流量の変化.

1 回目: 0 h~525 h, 2 回目: 597 h~1289 h

3. 結果と考察

流水実験の結果、給水開始後流量は 5ml/min 前後から徐々に増加した。97h で給水機のトラブルにより水の供給が短時間停止し一旦流量が少なくなったが、その後 190h 前後から急激な増加があり 420h でピーク流量 (23.9ml) となった。その後、流量は安定していた。72h の給水中断後に行った 2 回目の実験では開始時から 15ml の流量があり、1 回目を大きく上回っていたが、さらに急激な増加が起り、742h でピーク流量 (28.4ml) となった。その後は実験終了まで直線的に減少していった (図 3)。このような急激な流量の増加あるいは、長期的な減少は、水路に充填した土砂の透水係数が一定ではなく、時間と共に変化したことを意味している。給水開始直後~400h、600h~700h の、流量が増加する前後で、下流側の水頭の上昇が見られた (図 4 中の T2,T4)。図 5 (a) (時刻 126h・流量 5.6ml/min) と (b) (526h・23.2ml/min) は地下水面と圧力水頭の分布を示している。流量の増加する前後で全水頭の等値線が上流~中流部にかけて疎になっていることから、この部分で、透水性が良くなり水路全体の流量が増加したことが推察される。一方下流側では、増加した流量を流すために動水勾配が大きくなる必要が生じ、地下水面が上昇した (図 5) のものと考えられる。同様の傾向は 2 回目の実験でも見られた。水路全体を傾斜方向に 9 つの区画に分け、地下水位と流量の観測値からそれぞれ区画について透水係数を求めた (図 6)。流量増加と同時に上流の区画の透水係数が大きくなっており、図 5 に基づく推測を裏付ける結果となっている。下流端から流出する土砂は 1 回目の実験の流量上昇時に多く観察され、上流側で土粒子が流出することにより透水性が向上したと考えられる。ただし 2 回目の実験では、土砂の流出はほとんど観察されなかった。染色実験による着色部位は、圧力水頭の値から得られる地下水面の分布とほぼ一致していたことから、土層内の流れは飽和帯に集中していたことが分かる。また、地下水面付近で染色の進み方が速かったことから地下水面の近くで卓越した水の流れが発生していたものと推察された。しかし、明瞭なマクロポアやパイプの発達は認められなかった。

4. まとめと今後の課題

長期に渡る流水実験の結果、実験土砂の透水係数の変化による顕著な流量変化が認められたが、染色実験では、はっきりした水みちの存在を確認できなかった。マクロポアやパイプの発達にはより長期の通水が必要であることが考えられ、今後、実験を継続する予定である。さらに、ポテンシャル分布のより精密な計測と解析による透水性変化機構の解明が今後の課題である。

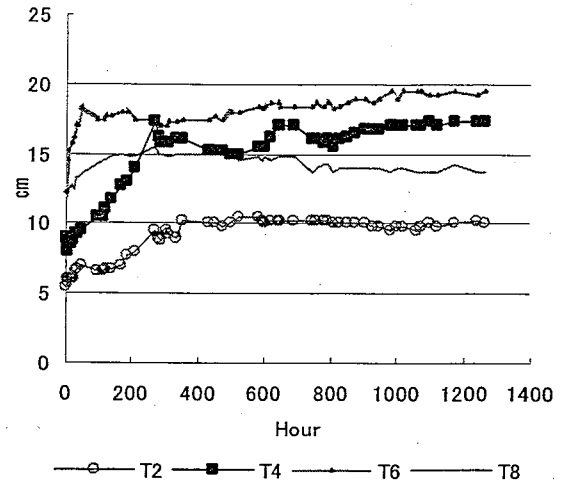


図-4 圧力水頭の変化。

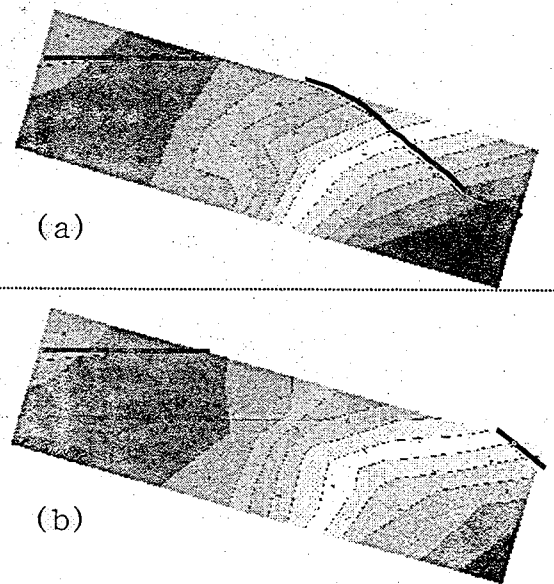


図-5 全水頭のコンター図。図中太線は地下水面を表す。(a)126h(b)526h

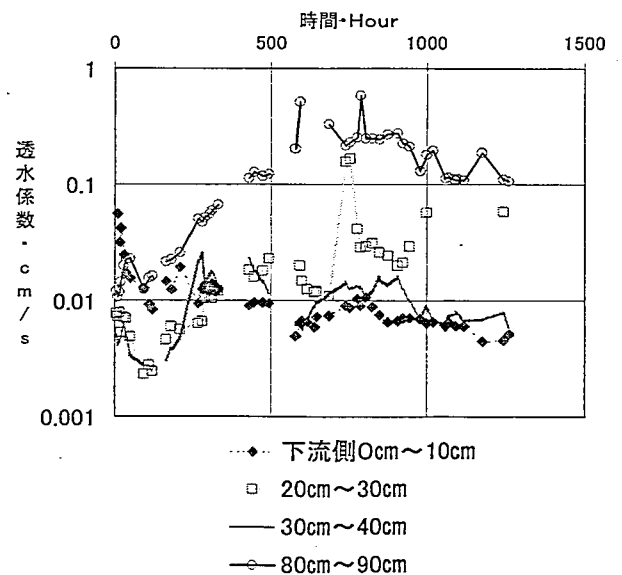


図-6 透水係数の変化。