

浸透流による土層内の局所的な透水性変化に関する水路実験

京都大学大学院農学研究科
京都大学大学院防災研究所

○小杉賢一朗・伊藤元英・水山高久
堤 大三

1. 背景と目的

土層内には、地中流による地下侵食や生物(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ックス内の流れとは異なり、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、昨年度に報告した実験(伊藤ら, 2005)を継続して行い、浸透水により土層の透水系数が変化する過程を詳細に観測することで、マクロポアやパイプが発達する可能性について検討した。

2. 方法

防水加工した木材と2枚の亚克力板を用いて、長さ100 cm、高さ60 cm、幅2 cmの水路を作った(図-1)。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30 cmの部分に土砂を充填した。実験に用いた土砂は、京大フィールドセンター上賀茂試験地で採取した細粒砂(粒径0.14 mm以下)を乾燥・粉碎し、川砂5号(粒径0.14~2 mm)と質量比1:9で混合したものである。水路全体を16°に傾斜させ、上・下流端において底面に垂直な方向に10 cmの位置で定常水位を維持し、下流端からの流出強度を連続計測した。また、流出水を濾過して土砂を分離し、その重量を計測した。さらに図-1の土層内の白丸の位置にテンシオメーターを計32個設置し、圧力水頭を連続計測した。実験は3885時間(162日間)に渡って行った。

3. 結果と考察

図-2に示した流出強度の計測結果から、全実験期間は4つの期間に分類することができた。第I期(0~1080 h)には流出強度が徐々に増加した。続く第II期(1080~1944 h)には、流出強度の増加率が第I期に比べて約3倍に増加した。第III期(1944~3020 h)になると一転して流出強度は減少し、続く第IV期(3020~3885 h)にはほぼ定常に達した。積算土砂流出量をみると、第I期にはほとんど土砂流出が見られなかったのに対し、第II期に入ると顕著な流出が見られた。第III期~第IV期にかけて、土砂の流出強度は弱くなった。

それぞれの期間の始めと終わりに対応する時刻に関して、実験土層内の全水頭分布と地下水面を表したものが図-3である。実験開始後48時間には、土層内の全ての位置の地下水面が上・下流端と同じ位置にあり、

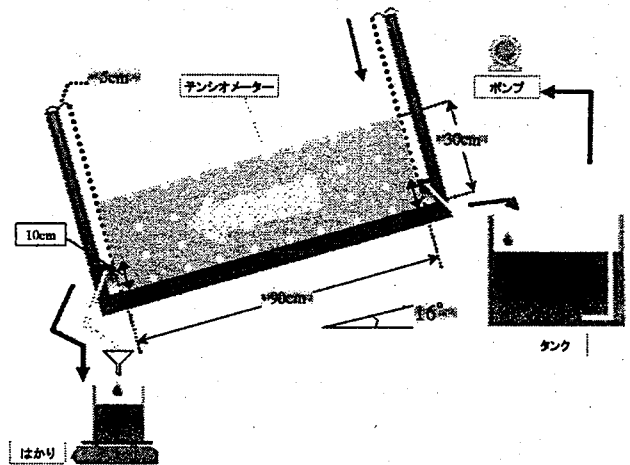


図-1 実験の概要

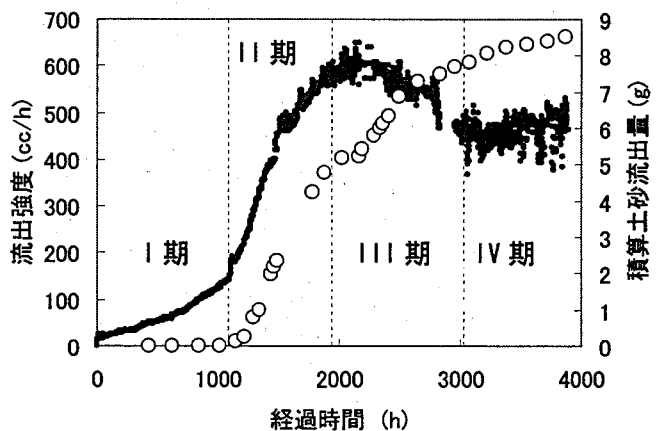


図-2 流出強度(●)と積算土砂流出量(○)の時系列

等全水頭線はほぼ等間隔に並んでいることがわかる。これらの結果は、土層が比較的均質で、透水係수에局所的な偏りが無いことを示している。これに対して第Ⅰ期が終わる1080時間には、等全水頭線が下流側で密、上流側で粗になっていて、地下水面は中央で高い凸型の形状を示している。このことから、第Ⅰ期に流出強度が徐々に増加した(図-2)原因は、上流側の土層の透水性が徐々に向上したためと考えられる。そして下流側では、増加した流量を流すために等全水頭線の間隔が密になったものと考えられる。実験土層を横幅10 cmの計9つの列に区分して、観測流量と地下水面の位置から、各列の透水係数を算定した結果が図-4である。第Ⅰ期には、上流側の列の透水性の向上が顕著であることがわかる。第Ⅰ期には顕著な土砂流出が見られなかった(図-2)が、これは細粒成分の洗い出しが主に上流側のみで起こったためと考えられ、透水係数の変化傾向と対応している。

第Ⅱ期終盤の1944時間になると、等全水頭線の間隔に上・下流間の差は無くなった(図-3)。ただし、48時間にみられたように互いに平行ではなく、透水性の分布が不均質になっていることを示している。第Ⅱ期には流出強度が急激に上昇しており(図-2)、これは下流側の透水性の向上によるものと考えられる(図-4)。第Ⅱ期の流出土砂量の急増(図-2)は、下流側の土層から細粒成分の洗い出しが起きたためと考えられ、透水係数の増加傾向と一致している。

第Ⅲ期終盤の3000時間になると、等全水頭線の間隔は、下流では粗に上流では密になった(図-3)。地下水面は中央で低い凹型の形状を示し、第Ⅰ期終盤の1080時間とは対照的である。第Ⅲ期になると流出強度は徐々に減少した(図-2)が、これは、上流部の透水性が減少したためと考えられる(図-4)。この透水性減少の原因は定かではないが、細粒成分の移動によって一端形成された水みちが目詰まりを起こすこと、もしくは、細粒成分が過度に洗い流されることによって不安定になった部位が小崩落を起こすこと等が考えられる。

第Ⅳ期終盤(3864時間)の全水頭分布や地下水面形状は、第Ⅲ期終盤のそれらとほぼ同様であった(図-3)。第Ⅳ期には流出強度もほとんど変化しなかったことから、細粒成分の洗い出しや骨格構造の変化がほぼ無くなり、定常状態に達したものと考えられる。

以上のように、均質な土層に長期間にわたって水を流し続けた場合に、浸透水の作用によって細粒成分の洗い出しや土層骨格構造の変化が局所的に進行し、透水係数の変化が引き起こされることが示された。これは、浸透水の作用でマクロポアやパイプが発達し得ることを示している。透水係数の向上は、初期には上流側で進み、時間の経過に伴って下流側でも起きることが分かった。また上流側では、一端上昇した透水性の減少が確認された。

引用文献

伊藤・小杉・水山(2005) 浸透流による土壌中の水みちの発達過程の解析, H17年度砂防学会研究発表会概要集

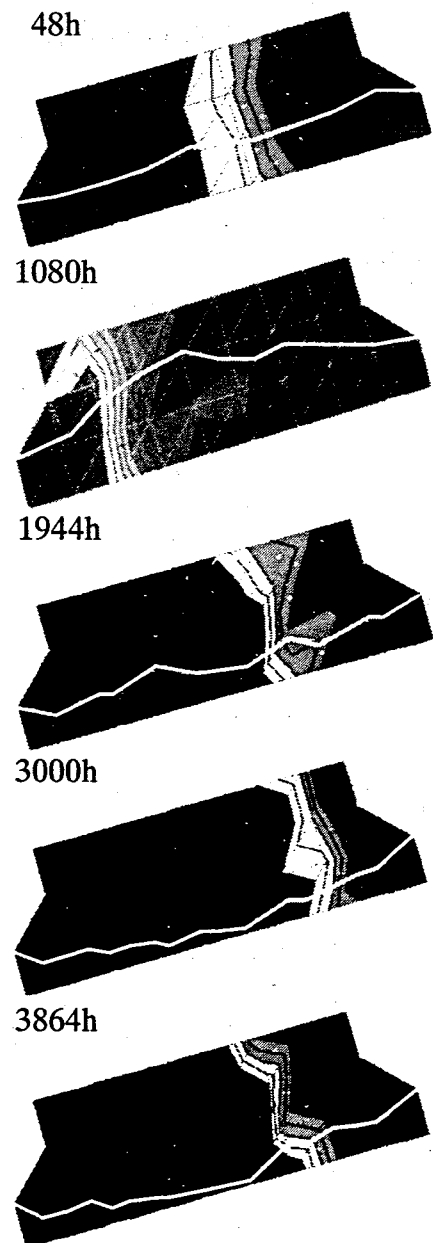


図-3 実験土層内の全水頭(2 cm 間隔)分布と地下水面(白い太線)

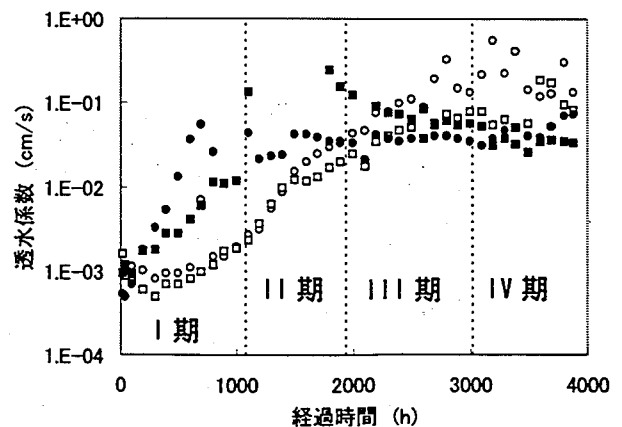


図-4 土層内の各列の飽和透水係数の変化

○: 10 - 20 cm, □: 20 - 30 cm
■: 60 - 70 cm, ●: 70 - 80 cm (下流端から)