

浸透流による土壌中の水みちの発達過程に関する実験的研究

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

1. 背景と目的

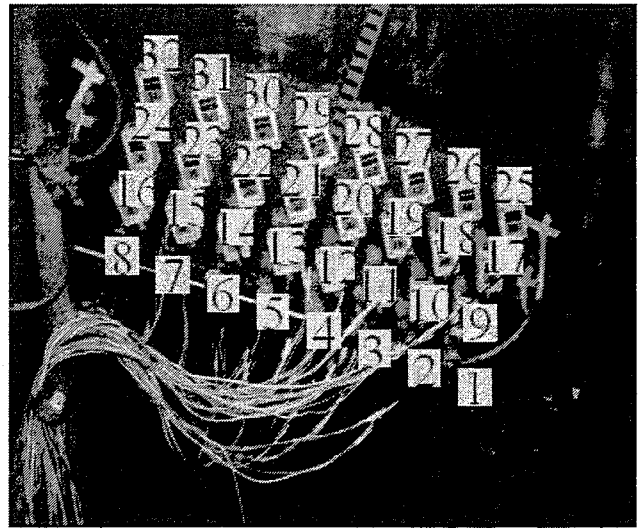
土壌中には、地中流による地下侵食や生物（地中小動物や植物根系）の活動によって形成される粗大孔隙（マクロポア）あるいは土壌パイプと呼ばれる連続した流路が存在する場合があります。こうした流路を流れる地中流は、マクロポア流あるいはパイプ流と呼ばれる。これらの地中流はダルシー則に基づくマトリック内の流れとは異なり、かなり速い流速を有していることが特徴である。これまでの研究で、マクロポア流やパイプ流が降雨の浸透・流出、汚染物の運搬や水質形成、表層崩壊に対し、強い影響を及ぼしていることが明らかにされているが、マクロポアやパイプの発達過程は十分には解明されていない。そこで本研究では、浸透水による土層内での透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 30 cm の部分に土砂を充填した。テンシオメータを水路底面からの高さ 0cm・10 cm・20 cm・30 cm の位置に 10 cm 間隔で 8 列ずつ、計 32 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 10 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 1 mm の川砂（5 号）と質量比 1：9 で混合したものである。飽和透水係数は 0.007cm/s であった。装置を幅 2 cm と薄めに設定し、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。給水を 100 日以上に渡って行い、流量、圧力水頭、流出土砂量を計測した。さらに、染色液（ブリリアントブルー溶液）を一定量浸透させて水みちを観察する実験（染色実験）繰り返し行った。

3. 結果と考察

流出強度は、実験開始後 20h には 20ml/h であったが、1100h（149ml/h）頃まで平均 0.12ml/h で増加した（図 2 の期間 I）。1100h 以降急激な増加があり、1123h（192ml/h）までに流量が約 1.3 倍となっ



20cm

図-1 実験装置。図中 1~32 の数字はテンシオメータ T1~T32 に対応

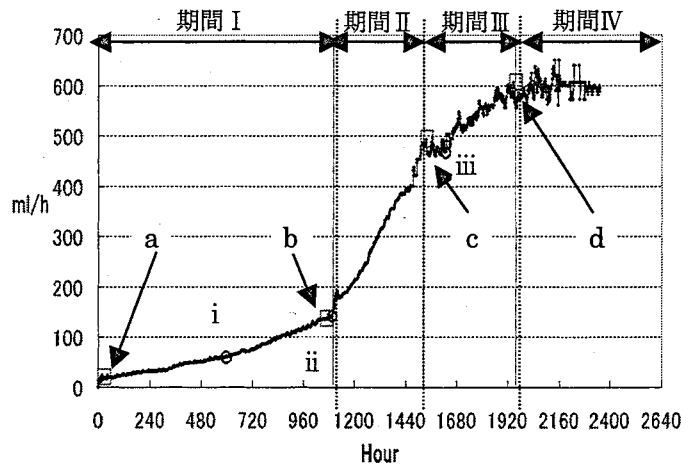


図-2 実験中の流量の変化。

図中、□は図 4 (a) ~ (d)、○は表 1 (3 回の染色実験 (i) ~ (iii)) に対応。

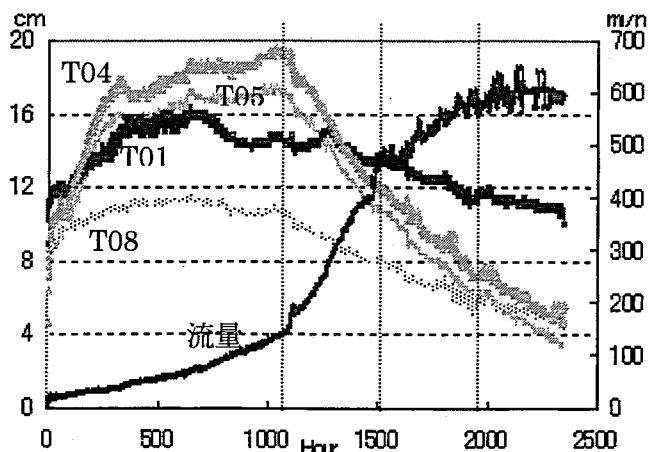


図-3 圧力水頭と流量の変化

た。この間の平均増加量は 1.87ml/h であった。その後 1138h~1536h には平均 0.77ml/h で増加した。1100h~1536h を期間Ⅱとする。その後上昇が緩やかになって 1536h~1944h (期間Ⅲ) では平均 0.28ml/h で増加し、1944h 以降 (期間Ⅳ) は約 600ml/h で安定した (図 2)。このような急激な、あるいは長期的かつ緩やかな流量の増加は、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。土層底面の圧力水頭は、期間Ⅰの前半に上昇した後に一定値となり、期間Ⅱ以降はほぼ一定割合で減少した (図 3)。図 4 (a)~(d) は各期間の始めにおける、地下水面と水理水頭の分布を示している (図 2 参照)。(a) では水理水頭線が等間隔かつ何れの場合でも水面が 10cm であることから、水路全体で均質な流れが起きている。(b) では水理水頭の等値線が上流~中流部で疎、下流側で密になっていることから、期間Ⅰでは、上流~中流部で透水性が良くなり、水路全体の流量が増加したと推察される。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ものと考えられる。一方 (c) では、下流側の等値線が疎になり地下水面が低下していることから、期間Ⅱでは、下流側の透水性が上昇し、流量が上昇・地下水面は低下したと考えられる。(a) と同様に水理水頭線が等間隔かつ水面が 10cm で一定しつつあり、水路全体で均質な流れが起きていたといえる。(d) では更に下流側の等値線が疎に、地下水面は低下していることから、期間Ⅲでは下流側の透水性がさらに向上し、上流側よりも大きくなったと考えられる。下流端から流出する土砂は期間Ⅱの流量急増時に多く観察された。下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。染色実験結果 (図 2 の時刻 i~iii) を表 1 に示す。時間の経過に伴って染色部の移動速度が増加しており、水路全体の一貫した透水性の上昇が伺える。時刻 i、ii では、上流部での移動が速いが、期間Ⅰにおいて上流側の透水性が大きくなったことに対応した結果と考えられる。時刻 iii では上流と下流の染色速度がほぼ等しく、期間Ⅱにおいて下流側の透水性が上昇し、上流側の透水性とほぼ等しくなったことを反映した結果と推察される。

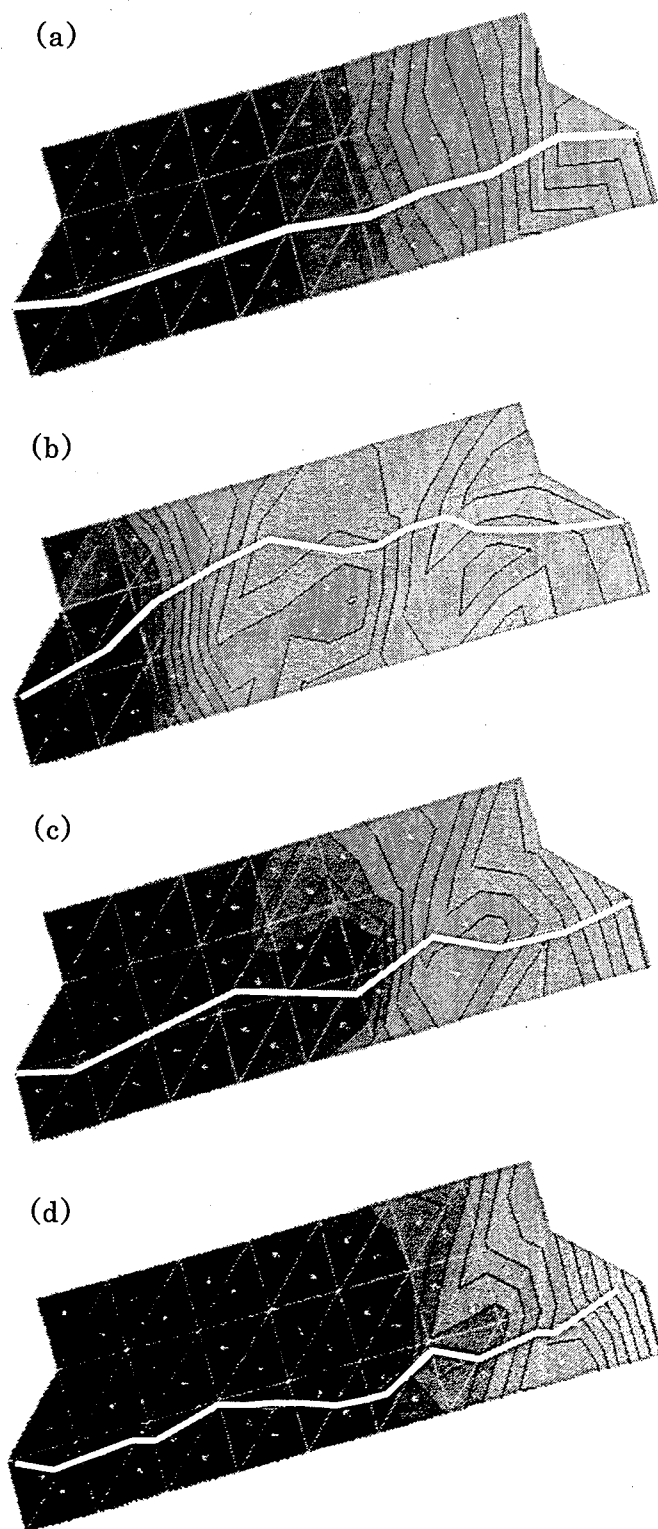


図-4 水理水頭のコンター図

図中白太線は地下水面を表す。各図の時刻は図 2 の a~d に対応。

表-1 染色実験結果

i~iii は、図 2 の i~iii の時刻に対応。染色部が水路の上流 (0cm~45cm)、下流 (45cm~90cm) を通過するのに要した時間を、土層底面からの高さ 0cm・10cm に分けて示す。

		i	ii	iii
0~45cm	0cm付近	195分	70分	23分
	10cm付近	250分	140分	55分
45~90cm	0cm付近	285分	90分	32分
	10cm付近	590分	280分	55分