

## 短 報

## 芦生演習林内トヒノ谷におけるパイプの構造に関する調査

道畑亮一\*・内田太郎\*・小杉賢一朗\*・水山高久\*

An observation of soil pipe morphology at Toinotani hollow  
in Kyoto University Forest in Ashiu

Ryoichi MICHIHATA\*, Taro UCHIDA\*, Ken'ichirou KOSUGI\*, Takahisa MIZUYAMA\*

キーワード: 芦生演習林, 山地斜面, パイプの構造, パイプ流

Key words: Kyoto University Forest in Ashiu, mountain slope, soil pipe morphology, pipe flow

## 1. はじめに

山地斜面土層内には「パイプ」と呼ばれる連続した管路状の大孔隙が存在している。このパイプは、大きな排水性を有し降雨に対して応答の早い流出が観測され、山地斜面土層内の雨水流出機構に大きく関与していることが指摘されてきた(田中ら, 1984)。また、パイプが多く崩壊跡地で見られることから、豪雨時にはパイプ流は表層崩壊発生の要因として機能し得ると考えられてきた(例えば太田ら, 1981)。近年の研究では、地中水の流出経路としてのパイプが一部で塞がったと仮定した室内実験及び数値実験をした結果、斜面の安全率が大きく低下することが示された(例えば小杉ら, 2001)。そこで、パイプを含んだ斜面の崩壊発生をモデル化しようとする試みが現在なされているが、モデル化する上でパイプのつながり、形状、発達位置の情報は不可欠である。例えば北原(1994)はパイプの管状構造の鉛直・水平方向の比を調べた。小山ら(1994)は斜面にトレンチを切り、斜面のパイプ網を調べた。TERAJIMAら(2000)は斜面にトレンチを切りパイプを、ファイバースコープを用いて観測した。しかし、いずれの研究も連続的につながるパイプの構造の一部を観察したにとどまり、パイプの連続的な構造を測定し1本のパイプのつながりを示した例は、塚本(1998)にあるもののほとんど見られないのが現状である。そこで、本研究では、京都大学芦生演習林内トヒノ谷において過去に流量観測等がなされたパイプを出口から掘り進み、パイプのつながりと構造を明らかにすることを目的とした。

## 2. 調査流域の概要と調査方法

調査流域は芦生演習林内トヒノ谷である。基岩の地質は中古生層の堆積岩で、土層中には大小の礫が多く含まれていた。6000cm<sup>3</sup>の土壌を採取して粒度分布を求めたところ、炉乾燥後の総重量9022gのうち粒径19mm以上の重量比が61%、2~19mmが24%、2mm以下が15%であった。また、観測を行った谷筋の深度約70cm~90cmで4個の50ccの不攪乱サンプルを採取し、飽和透水係数と間隙率を測定した結果、飽和透水係数は $6.5 \times 10^{-6} \sim 4.8 \times 10^{-3}$  cm/s、間隙率は28.7~35.1%であった。パイプ出口より上流の0次谷の表面地形から求めた集水面積は0.64haで平均傾斜35.9度である。流域の地形とパイプの分布はFig. 1(内田ら, 1998)に示した。図のパイプA

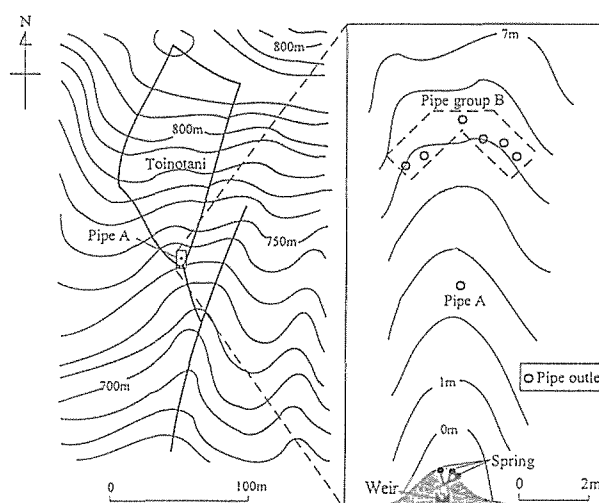


Fig. 1 Topographic map of Toinotani

\* 京都大学農学研究科山地保全学研究室

\* Laboratory of Erosion control, Graduate School of Agricultural Science, Kyoto University

が今回観測したパイプである。

今回観測を行ったパイプは過去に流量観測等が行われ多くの研究がなされてきたパイプである(例えば内田ら, 1998)。このパイプ構造及びつながりを明らかにする目的で、パイプを出口から掘り進んだ。パイプの構造の変化を調べ、かつパイプを見失わないために、2~14cmごとにパイプを含む土壌断面(幅約50cm)を整えた。なお、土壌断面はパイプより約10cm深い地点まで掘削した。断面内のパイプを目視により確認した上で、パイプの位置を測量し、パイプの伸長方向、直径、地表面からの深さを測定した。出口から水平距離1mの間の4つの土壌断面において、粒度分布を計測するための土壌サンプルを採取した。パイプの中心から下へ5cmの部位と、上に10cm, 20cm, 30cmの部位、パイプ内部の壁面、パイプの中心から横に5cmの部位で採取した。サンプル採取に際しては、1cm以上のレキを含まないように行った。なお、パイプの構造に関する調査は2000年10月4日、同10月31日及び2001年7月12日に行い、7月12日を除き観測を行ったパイプ内に水流が確認された。

### 3. 調査結果と考察

観測を行ったいずれの土壌断面(約0.3m<sup>2</sup>)においてもパイプは1本しか見られず(Photo. 1)、パイプの枝分れはなかった。本調査により、谷底30cm幅においては、パイプは1本しか存在しないことが明らかになったが、現時点では本流域の谷底の15%程度をカバーしているにすぎない。よって谷底部の土層内に存在するパイプの本数は明らかではないが、降雨時の流出が見られるパイプ出口は本観察パイプ1つであった。

Fig. 2及びFig. 3にパイプの構造を示す。パイプは出口から水平距離にして約1.3mの所で管状構造が消滅した(Photo. 2)。パイプの消滅地点では、土壌断面中の一部の土壌から集中的に水がしみ出していた。水のしみ出し部の面積は約10cm四方で、その周囲の土壌からの水のしみ出しは確認できなかった。目視によれば、しみ出し部とその周囲の土壌性質の違いは見られなかった。パイプ状の構造が存在していないにもかかわらず水の集中が生じる部位が土層内に存在することは、TUKAMOTOら(1988)などによって示されており、「潜在パイプ」と呼ばれている。Photo 2で示した集中的な水のしみ出し

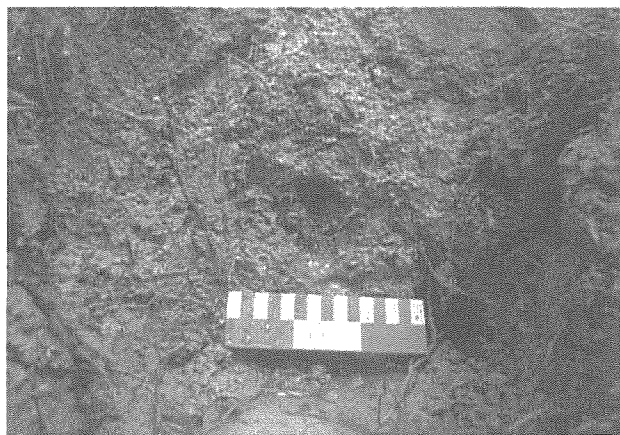


Photo. 1 Soil profile at 5cm from the pipe outlet

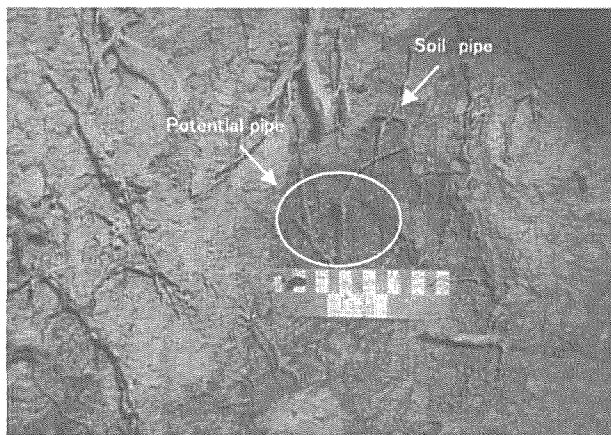


Photo. 2 Part of the potential pipe

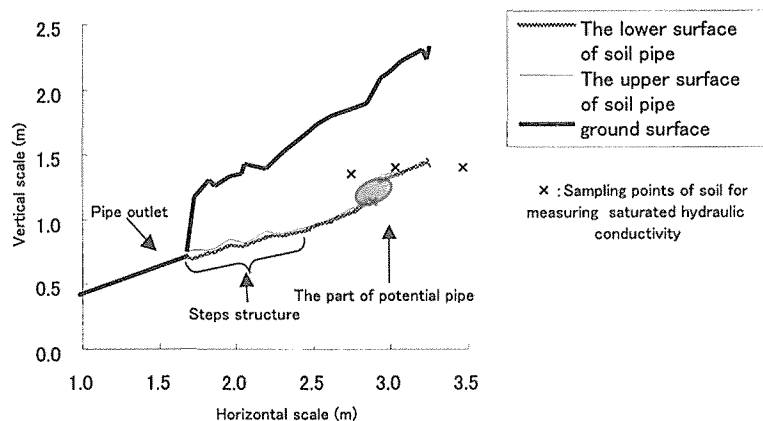


Fig. 2 Cross section of the soil pipe

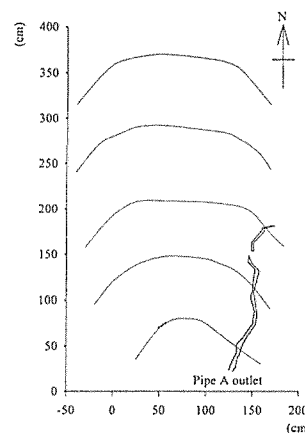


Fig. 3 Plane figure of the soil pipe

部位は「潜在パイプ」に相当すると考えられる。集中的な水のしみ出し部位の約10cm鉛直上方に出口を持たないパイプが存在していた (Fig. 2, Photo. 2)。土壤中の降雨流出路として、パイプ出口から潜在パイプまでの連続性は確認された。潜在パイプの上流部にある出口を持たないパイプも、降雨流出経路として潜在パイプとつながっていると考えられる。さらに、パイプが連続している方向に掘り続けたところ、出口から水平距離が1.59m、高低差が約0.6mの地点でパイプは再び消滅した。さらに、消滅地点から約20cm上流側まで掘ったが、パイプは見られなかった。消滅地点の観察はパイプ内に水流が生じていなかった2001年7月12日に行ったため、潜在パイプの有無は確認できなかった。なお、いずれの断面においてもパイプより約10cm深い地点まで掘削したが、基岩の存在は確認できなかった。

パイプの存在する深さは、出口付近を除いて地表面から50cm～90cmで、出口から離れるにつれ深くなる傾向が見られた (Fig. 2)。さらに、詳しく見ると、パイプ出口から50cmの範囲では階段状の構造をしていた (Fig. 2, Fig. 4)。また、パイプ側壁の細粒土の洗脱を調べるため、10mm以下の粒度分布を調べた (Fig. 5)。なお、いずれのサンプルにおいても10mm以上の土はほ

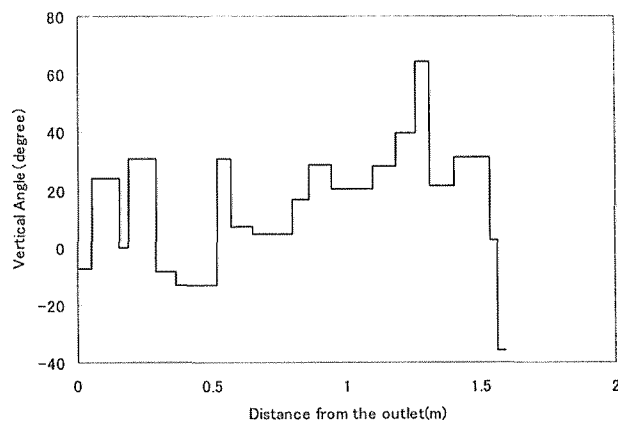


Fig. 4 Angle of the pipe bed

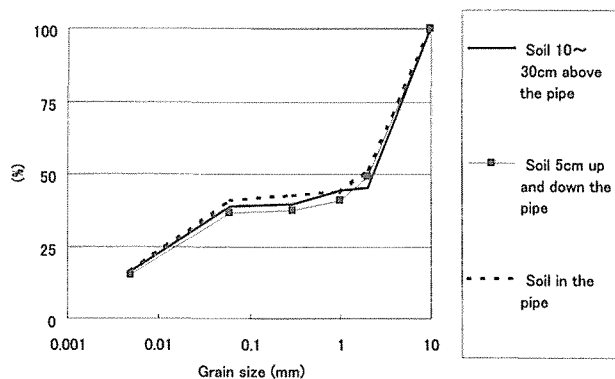


Fig. 5 Grain size distribution

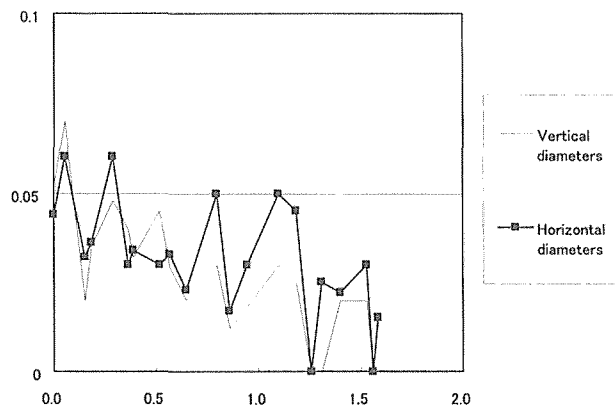


Fig. 6 Diameters of the pipe

んど含まれていなかった。その結果、パイプを含まない周囲の土壌における細粒土の量と、パイプ側壁における細粒土の量に差が見られなかった。パイプの発達に関して、根系や小動物の活動による生物的な要因に加え、パイプ流による侵食が挙げられる (TUKAMOTOら, 1988)。パイプ同様、水流による侵食の影響を強く受けている地形として、山地河川が挙げられる。一般に混合粒径の溪床では、本研究で観察したパイプ同様階段状の構造を有していることが知られている (水山, 1993)。さらに水山 (1993) は、山地溪流においてはアーモアコートが一般に見られるとしているが、トヒノ谷のパイプ底面においては顕著なアーモアコート化は見られなかった。この原因としてパイプ流量が河川流量に比べ非常に小さいこと、土層が粘質土であるため土粒子が個別運搬されにくいことなどが考えられる。パイプの構造と山地溪流の河床構造を比較していくことは、パイプ流による侵食プロセスを明らかにしていく上で有効であると思われるが、詳細に関しては今後人工斜面実験等で検証していく予定である。

パイプの平均直径は鉛直方向が2.8cm、水平方向が3.3cmであり、最大の横断面積をもつ部分は出口から水平距離約30cmの断面で、直径は鉛直方向が6.2cm、水平方向は9.4cmであった。また、全体的に出口から奥に行くにつれ、パイプの直径は減少する傾向が見られた。出口から水平距離約1.2mの地点で潜在パイプ化した部位の直径は0cmとし、Fig. 6にまとめた。パイプの横断断面形は、縦方向よりも横方向の直径のほうが大きいことが多かった。横方向と縦方向の直径の比 (横/縦比) をとると、0.67～1.67であった。

#### 4. まとめ

観測によるパイプの特徴をまとめると、

- ① パイプの全長は1.5m以上あり、直径は約3cmで縦

より横が長い傾向があった。

② パイプは階段状になっている部分があった。

③ 一部で潜在パイプ化し、再び管状構造が現れ、その上流約30cmの部分で消滅した。

②の階段状構造に関しては山地溪流同様見られたが、山地溪流と異なりパイプでは顕著なアーミングは見られなかった。

内田ら（1998）では、流域全体の流量に対して20%近く本研究のパイプ（パイプA）から流出するのに対し、パイプAの総延長は斜面長の2%以下で、枝分れが見られなかった。このことは、パイプへの水の集中プロセスがパイプ流の影響評価・モデル化の上で重要であることを示唆しており、今後この点に注目して解析をしていく。

### 引用文献

- 1) 北原曜（1994）森林土壌中の水移動におけるパイプ孔隙の特性に関する研究．森林総研研報．367．63-115
- 2) 小杉賢一朗・内田太郎・水山高久（2001）パイプ流のモデル化と崩壊に与える影響の数値解析．平成13年度砂防学会研究発表会概要集．240-241
- 3) 小山敢（1994）火山堆積物小流域でのパイプ流に関する観測研究
- 4) 水山高久（1993）山地保全学．（小橋澄治編，280pp，文英堂出版，東京）．194-203
- 5) 太田猛彦・塚本良則・野口晴彦（1981）パイプフローと山崩れについての一考察．昭和56年度砂防学会研究発表会概要集．92-93
- 6) 田中正・安原正也・丸井敦尚（1984）丘陵地原流域における流出現象と挙動．地理評論．57（1）．1-19
- 7) TERAJIMA, T., SAKAMOTO, T., SHIRAI, T. (2000) Morphology, structure and flow phases in soil pipes developing in forested hillslopes underlain by a Quaternary sand-gravel formation, Hokkaido, northern main island in Japan. Hydrol. Process. 14: 713-726
- 8) 塚本良則（1998）森林・水・土の保全．（138pp，朝倉書店，東京）．60-67
- 9) TUKAMOTO, Y., OHTA, T. (1988) Runoff process on a steep forested slope. J. Hydrology. 102: 268-280
- 10) 内田太郎・小杉賢一朗・小橋澄治・水山高久（1995）芦生演習林内トヒノ谷におけるパイプ網の観察．京都大学農学部演習林報告．67. 58-67
- 11) 内田太郎・小杉賢一朗・水山高久（1998）芦生演習林内トヒノ谷における地下水位，パイプ流量，流域流量の関係．京都大学大学院農学研究科付属演習林 森林研究．70. 9-17