

# 芦生演習林内トヒノ谷におけるパイプ網の観察

内田 太郎・小杉賢一朗・小橋 澄治・水山 高久

Observation and survey of underground pipes at Toinotani Basin  
in Ashu Experimental Forest

Taro UCHIDA, Ken'ichiro KOSUGI, Sumiji KOBASHI and Takahisa MIZUYAMA

## 要 旨

山腹斜面土層において地表面近くの地下に地表にほぼ平行して連続的に分布する大きな孔隙(パイプ)は、降雨の流出や斜面崩壊に対して大きな影響を与えると考えられる。著者らは1992年から芦生演習林内のトヒノ谷においてパイプから流出する水量を観測している。1994年はパイプの発達している表層の土層厚の分布や透水係数などの特性を調べた。また、パイプの出口から掘り返し、パイプの形状や分布を調べた。ここではその調査結果と9月の流出量の観測結果を報告する。

流量観測結果からパイプからの流出は積算雨量、初期の土壌の水分条件の影響を受けることが示され、パイプは大きな降雨の時にのみ排水効果を示すと考えられた。またパイプの出口が離れていても同じようなハイドログラフを描くことから、パイプは合流分岐を繰り返していることが示唆された。

パイプ網の調査から、パイプは出口付近では円筒形の形状を示すが上流に行くに従い平面的な広がりを持つ礫層へ変化することがわかった。また、パイプ網は難透水層の上や、谷の合流点といった水の集中する所に発達することがわかった。

以上の事実からパイプ流出の発生メカニズムを次のように考察した。降雨強度が小さい時は、パイプ下の透水性の悪い層でも十分鉛直浸透が可能でパイプ流は発生しない。降雨強度が大きくなるとパイプ下の透水性の悪い層では浸透しきれず、この層の上端部が飽和に達し側方流が出現する。飽和側方流が集中する地点ではパイプによる排水が行われる。

## 1. 緒 論

山腹斜面においてはパイプと呼ばれる連続的な大きな孔隙が存在し降雨の流出<sup>1)2)</sup>や斜面崩壊<sup>3)4)</sup>に対して大きな影響を与えられている。パイプは、地形、地質、植生、小動物の働き、降水量など様々な要因で、形成され、維持され、さらには、破壊される<sup>5)</sup>。したがって、パイプの形状の定量化、一般化には困難が予想される。また、地表に現れるのは一つの断面にすぎず、そこから立体構造を把握するのは、はなはだ困難である。

数は多くはないが、日本においてもいくつかのパイプの形態に関する研究が見られる。安原ら<sup>6)</sup>が、東京農工大の波丘地試験地で行ったもの、北原<sup>7)</sup>が北海道焼山川流域、定山溪で行ったものなどである。それらによると、透水性の悪い層の上縁部にパイプが集中的に存在していることが報告されている。しかし、パイプ網全体を観測した例は見られない。また Tsuboyama<sup>8)</sup>は、

パイプ周囲の水分条件の違いにより排水等に寄与するパイプの範囲は異なるとし、見た目の構造と効果を示すパイプの範囲が異なることを示唆している。

パイプ網を詳細に観察することは、パイプの形状さらには成因を把握するのみならずパイプ流出の特性を理解する上で必要と考えられる。そこで今回は、流量を観測したパイプの周囲でいくつかの調査を行った。まず、パイプの位置を測量しつつ、上流側に掘り進みパイプ網の観測を行った。また、100ccのサンプルを用いて、パイプ網周辺の土壌を採取し、透水係数を測定した。さらにパイプの周辺で貫入試験をおこない土層の分布を調べ土層断面におけるパイプの位置を明確にさせた。以上の結果を基にして、最後にパイプの流出機構について考察を加えた。

## 2. 調査流域の概要と調査方法

### 2.1 流域の概要

調査流域は芦生演習林内のトヒノ谷で、1977年から1980年まで流量の観測が行われていた<sup>9)</sup>。地形図および観測点を図-1に示す。流域全体の面積は2.5haで平均傾斜は33.1度である。基岩の地質は中古生層の堆積岩である。植生は約60%が杉を中心とした針葉樹であり、残りが杉を交えた広葉樹林である。上層、中層をしめる広葉樹で個体数が多いのはアカシデであるが小径木が多い。樹幹はうっぺいしている。

次にパイプの観測を行った内部小流域について概要を述べる。面積は0.64haで平均傾斜35.9度の急峻な0次谷である。植生は針葉樹林で小径木の広葉樹も見られる。パイプの分布する領域出口の谷筋では、腐食層の下に過去に崩壊した土砂が堆積した崩積土によるC層が形成され、大小の礫が多く含まれている。

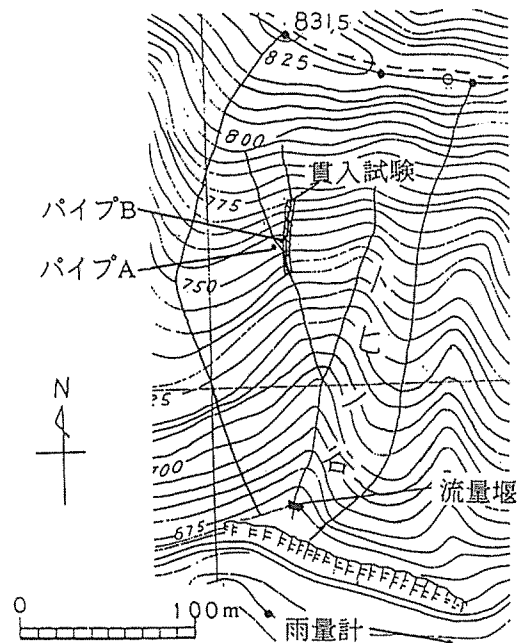


図-1 トヒノ谷の地形図

### 2.2 調査方法

内部小流域の2本のパイプについて調査を行った。観測を行った2本のパイプの出口は図-2に示すように水平距離にして2m程離れており、高度差はほとんどない。下流側から見て左をパイプAと右をパイプBと名付けた。

パイプからの流出量の観測はパイプ出口に塩化ビニル製のパイプを差し込み、粘土で固定して水漏れを防いだ。塩化ビニル製のパイプを1転倒500ccの転倒升につなぎ転倒した回数を10分単位でデータロガーで記録した。トヒノ谷流域全体の流量は直角Vノッチをつけた流量堰でペンレコーダー式の水位計を用いて計測した。しかし1994年10月1日に大量の土砂が流出したためその後の計測は不可能になった。林外雨量はパイプ観測点から約300m離れた河原で10分間隔で測定した(図-1)。

続いて行ったパイプ網の観察ではパイプA、パイプBのいずれについても、パイプ出口から、パイプに沿って上流に掘り進み、数10cmごとに土壌断面を観察しその断面の測量を行った。観察

した断面の位置は図-2の通りである。また、断面1においてはパイプ周辺の土壌の飽和透水係数を100ccの土壌サンプルによって求めた。サンプルの採取深度は断面1の地表面から深さ17~22cm(パイプが集中している層より上層)と45~50cm(パイプが集中している層より下層)である。各深度それぞれ2サンプルを採取し、定水位及び変水位の透水試験を行い飽和透水係数を求めた。

最後に小流域内の土層構造を調べるために、パイプ網が観測された谷に沿って、流域出口から崩壊跡の上縁まで小型貫入試験器を用い土壌硬度を測定した。崩壊跡の上縁は、スプーン状の地形から判断した。土壌硬度は、円錐(頂角25°底面面積3cm<sup>2</sup>)が落錘(重さ1.17kg)の20cmの自由落下で土層に4cm貫入するのに必要な回数をN4値として表される。過去の研究<sup>10)</sup>によるとN4値が20~30を越えると植物根の侵入が困難になるとされている。

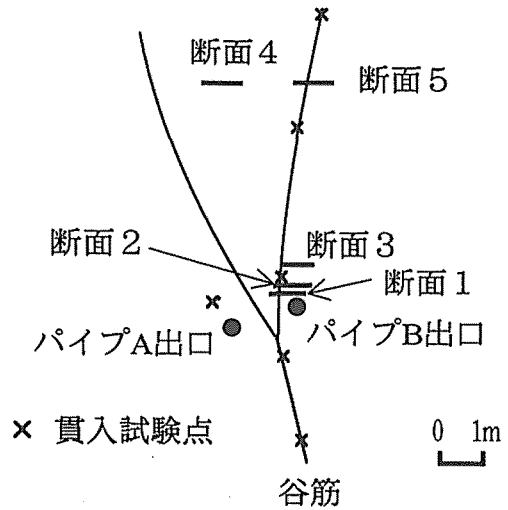


図-2 パイプ網の観測点

### 3 結 果

#### 3.1 パイプからの流出量

1994年は、雨量が少なくパイプからの流出はほとんど見られなかった。流出のみられた9月の結果を図-3に示す。既に昨年度報告されているようにパイプ流出の発生条件はパイプから流出が生じるまでの積算降雨量と、降雨開始以前の流域末端での流量(流域の湿潤度を示すと考えられる)に関連している<sup>11)</sup>。この傾向は今年度も同様に見られた。図よりパイプA、パイプBそれぞれのハイドログラフが互いに似ていることがわかる。このことからパイプA、Bは出口が離れているものの同じパイプ網の出口ではないかと推測され、パイプが合流分岐を繰り返している可能性を示唆している。

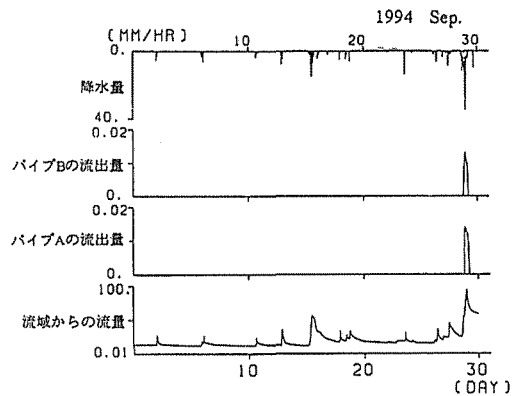


図-3 パイプ流出の観測結果(1994年9月)

#### 3.2 パイプ網の観察

写真1に示すようにパイプAは出口は円形で、直径は5cmであった。しかし、20cmほど進むとパイプのつながりを確認することが、構造が破壊されたために困難になった。

次にパイプBの結果について報告する。

\*パイプ出口(写真2)

写真2に示すようにパイプBの出口もパイプA同様円形で、直径は5cm、地表からの深さは

30cmであった。

\*断面1 (パイプ出口から10cm上流) (写真3)

パイプの出口より10cm程上流に掘り進むとパイプB以外に3本のパイプが確認された。写真3に示すように断面で観察された土壌の層は表面から順に以下の通りである。なおいずれの断面においてもおよそ5cmのA<sub>0</sub>層が存在している。

5~17cm A層 植物の根系が多く存在し、特に5~13cmの層に多くの根系が確認された。

17cm~ B層 黄土色の粘土質の層であった。粘土の中には直径数cmから30cm程度までの礫が見られた。特に、30~40cmの層で3本のパイプが見られ、その層より上部に比べて礫が多かった。また、表-1に示すように飽和透水係数はパイプが幾つか見られた層の上層と下層では飽和透水係数に差があり、下層の方が上層に比べて透水性は1オーダー悪くなる。

表-1 飽和透水係数の算出結果

		(cm/sec)		
		定水位	変水位	平均
12~17cm	A	$9.85 \times 10^{-2}$	$9.33 \times 10^{-2}$	$9.11 \times 10^{-2}$
	B	$8.63 \times 10^{-2}$	$8.60 \times 10^{-2}$	
45~50cm	A	$1.66 \times 10^{-2}$	$1.98 \times 10^{-2}$	$1.76 \times 10^{-2}$
	B	$1.65 \times 10^{-2}$	$1.78 \times 10^{-2}$	

\*断面2 (パイプ出口から20cm上流) (写真4, 5)

断面1よりさらに上流に10cm程掘り進むとより多くのパイプが存在するようになった。断面1と同様に断面の層は以下の通りである。また断面の模式図を図-4に示す。

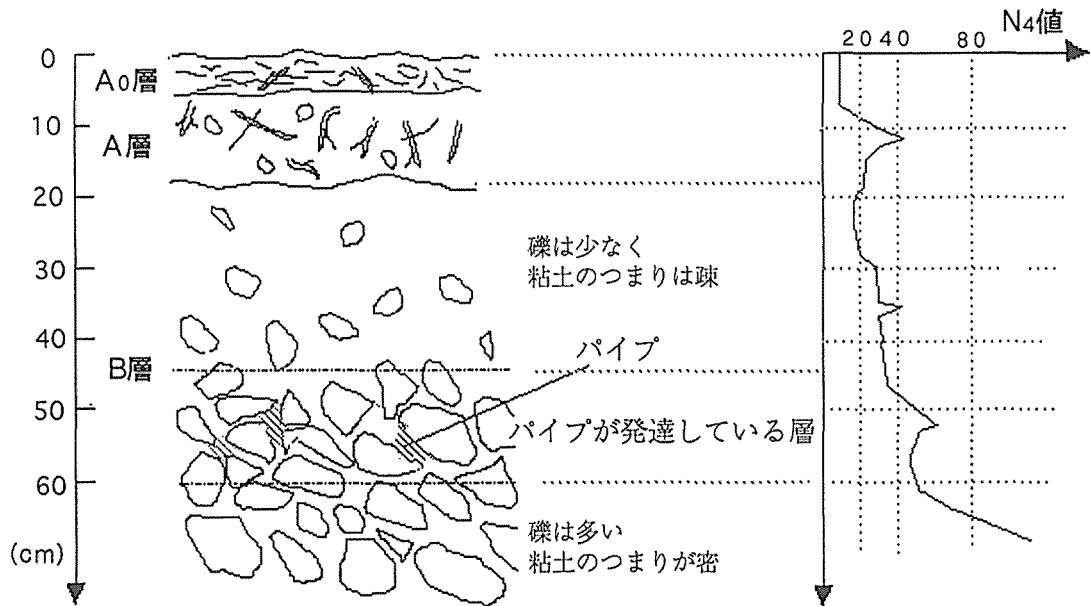


図-4 断面2の模式図, N4値

- 5～17cm A層 植物の根系が多く存在し、特に5～13cmの層に多くの根系が確認された。直径1～2cmの小さい根系が成因と思われるパイプが存在した。
- 17cm～ B層 パイプの発達している層は、40～55cmに見られ写真5に見られるように礫が集中している。パイプは円筒状でなく礫間の粘土が洗い流され空洞になった構造を示す。礫表面には水が流れたと思われる跡が見られる。パイプが発達している層より上層では、礫は見られるが少ない。また黄土色の粘土のつまり具合は疎で孔隙が多く見られた。根系も見られる。パイプの発達している層より下層では礫が多く見られ、粘土のつまり具合は非常に密である。根系は見られない。以上の観察によりパイプは粘土が密につまり礫を多く含む層の上縁部に平面的に発達していることがわかった。

\*断面3 (パイプ出口から70cm上流) (写真6)

断面2よりさらに上流に50cmほど掘り進むと、断面2でパイプの集中していた層は、礫間の粘土がほとんど洗脱されていて礫間の多くが空洞になっていた。同様に層序は以下の通りである。

- 5～17cm A層 植物の根系が多くみられ、5～13cmの層により多くの根系がみられる。
- 17cm～ B層 断面2と同様にパイプは礫を多く含む粘土が密に詰まった層の上縁部に平面的に発達している。パイプの層より上では礫は少なく粘土のつまり方は疎である。

\*断面4, 5

パイプの出口から約5mの地点の尾根部と谷部の2点で同様に土層断面を観察した。尾根部(断面4)においては、深さ60cm以内ではパイプの存在は確認されなかった。断面の様子は以下の通りである。

- 5～18cm A層 植物の根系が多く存在し、特に13cmまでの層に集中している。
- 18cm～ B層 黄土色の粘土質の層ではあるがパイプの存在する断面に比べると礫は少なかった。

谷部(断面5)においては尾根部同様60cm程掘った限りではパイプの存在は確認されなかった。同様に層序は以下の通りである。

- 5～18cm A層 植物の根系が多く存在し、特に13cmまでの層で根系は多く見られた。
- 18cm～ B層 黄土色の粘土質の層であり40～60cmの層はパイプの存在する断面と同様に多くの礫を含んでいた。

断面3と断面5の土層構造は極めて似ているが上流側の断面5ではパイプが確認できなかった。パイプ網の上流端が断面3と5の間にあることを示唆している。

以上の観察から確認された点は下記の3点である。

- (1) 出口付近(出口, 断面1)ではパイプはA層, B層上部に存在し、円筒形の構造を示す。
- (2) 上流(断面2, 3)に進むとパイプは礫を多く含む粘土が密に詰まった層の上縁部に平面的に発達しており、礫間の粘土が洗い流されて空洞になった形状を示す。
- (3) パイプは水の集中する下流側(断面1～3)にのみ見られる。

### 3.3 貫入試験の結果

南北方向に切った断面図を図-5に示す。図に示すように勾配が変化する点が存在し、この点は崩壊土砂の生産源と堆積域の境と考えられる。流域出口付近では、深さ6cmでN4値100以上の硬い層に当たった。この周辺では、基岩が露出しており、地下水の湧出も見られる。

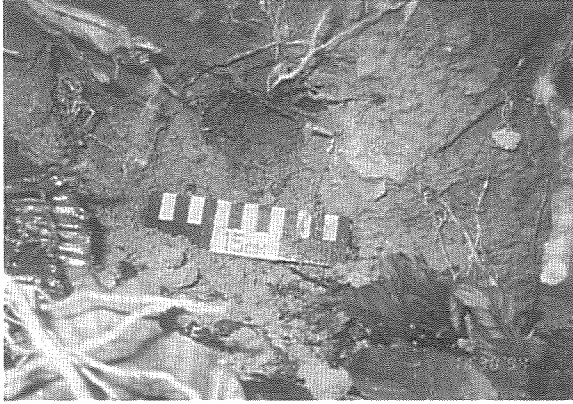


写真-1 パイプAの出口



写真-2 パイプBの出口

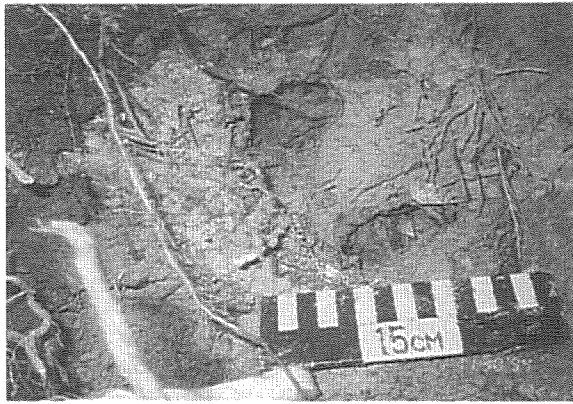


写真-3 断面1のパイプ



写真-4 断面2

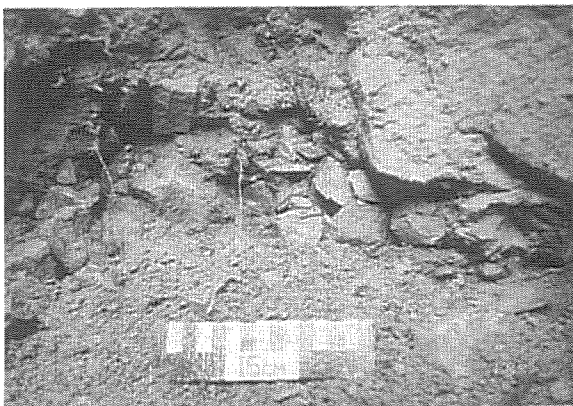


写真-5 礫間の粘土が洗脱された様子



写真-6 断面3

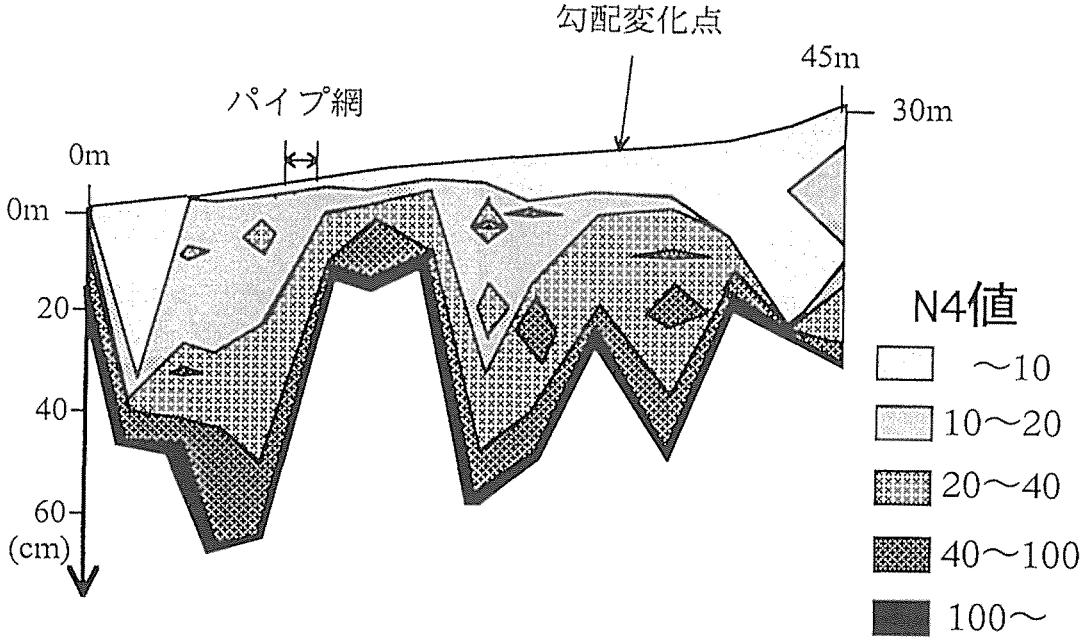


図-5 貫入試験の結果

次にパイプ網を観測した周辺を見てみると、図-4に示すようにパイプ網が発達している45～60cmでのN4値は35から40を越えるあたりである。パイプ網の観察時に多く見られたパイプ網の層より上部に広がる黄土色の粘土質の層のN4値は10～30ということになる。またN4値が局所的に高い値を示すのは礫に当たったためであると考えられる。また、パイプ網の層より下部ではN4値は急激に増加し10cm足らずで100を越える。

勾配の変化点の上流と下流では大きく傾向が違った。下流側は30cm付近がN4値が20以上か以下の境になっていることが多いことから、パイプ網が存在する断面と同様にA層の下に広く黄土色の粘土の層が広がっており、その中で30cm付近から礫を多く含んだ層が存在すると考えられる。また、30cmより上の点でN4値50以上の層が存在している箇所が幾つか見られるのは、礫に当たったためと考えられる。また、70cmを境にN4値が100を越える箇所が多く見られ、基岩と考えられる。

一方上流側では、表層からN4値が10以下の軟らかい層が20cm以上存在する。その後急に堅い層に突き当たる。断面を切ってみると、A層の下にパイプはなく小さな礫を少し含む土層が続いていた。

## 4 考 察

### 4.1 パイプ流の発生

断面の観察及び飽和透水係数の算出結果をふまえてパイプ流発生機構について考察する。図-6に模式図を示す。

#### (1) 降雨強度の小さいとき (図-6(a))

パイプの層の下の透水性の悪い層でも十分鉛直浸透ができるため、パイプ層が飽和に達するこ

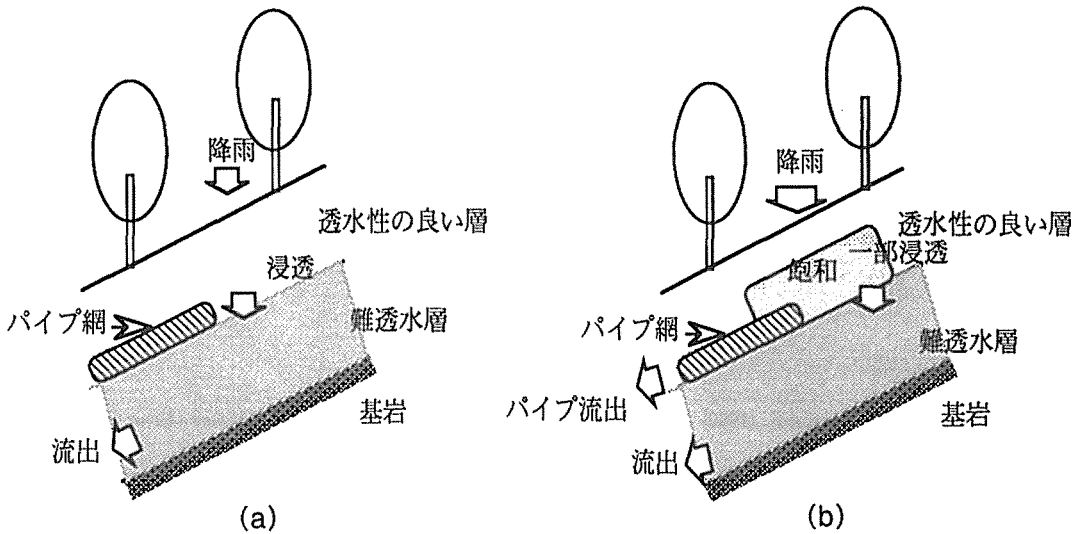


図-6 パイプ流の発生メカニズム

とがなくパイプ流出が起こらない。パイプ流さらにはパイプ層での側方流も存在しない。

#### (2) 降雨強度が大きいとき (図-6(b))

パイプの層の下の透水性の悪い層では浸透しきれずに、この層の上端部が飽和に達し側方流が出現する。飽和側方流が集中する谷の下流部、合流点のような地点では、パイプによる排水が行われる。この現象は降雨強度のみならず、初期の土壤水分条件の影響も受ける。初期の土壤水分条件はパイプの層が飽和に達するまでの水分量を決定する。また、初期の水分条件は先行の降雨量により決定される。

#### 4.2 パイプ網の発達

パイプ網の観察結果および貫入試験の結果よりパイプ網の発達について考察する。

勾配変化点より下流側ではパイプの観測された土層と同様な土層構造が広がっているがパイプが観測されたのは水が集中する下流側に限られていた。しかし1993年にはパイプからの土砂排出が観測されており、今後更に上流にパイプ網が発達する可能性は考えられる。

しかし勾配変化点より上流側では異なる土層構造を示し、今回観察したパイプと同様なパイプの発達は考えられない。

### 5 ま と め

- (1) パイプ流出が生じるのは大きな降雨があったときのみである。
  - (2) 出口付近ではパイプはA層、B層上部に存在し、円筒形の構造を示す。上流に進むとパイプは礫を多く含む粘土が密に詰まった層の上縁部に平面的に発達しており、礫間の粘土が洗い流されて空洞になった形状を示す。
  - (3) パイプ網の発達がみられた土層構造は、広く上流まで広がっているがパイプ網が観察されたのは下流側のみであった。しかし今後パイプ網が上流へ発達する可能性はある。
- 以上の観察および観測結果より、パイプ流出の発生機構を、大きな降雨があったときにはパイ



プの層の下の透水性の悪い層では浸透しきれずに、この層の上端部が飽和に達しパイプ流が発生すると考えた。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、京都大学農学部大手信人講師には観測手法について指導を受けた。また、観測装置設置および観測に際して佐藤一朗氏をはじめとする多くの学生、大学院生に協力してもらった。記して謝意を表します。

## 引用文献

- 1) K. Beven・P. Germann (1982) Macropores and Water Flow in Soils; *Water Resour. Res.* **18**, 1311-1325
- 2) 田中 正・安原正也・丸井敦尚 (1984) 多摩丘陵源流域における流出機構地理学評論. **57-1**, 1-19
- 3) J. J. McDonnell (1990) The influence of macropores on debris flow initiation. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, **23**, 325-331
- 4) 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年砂防学会研究発表会概要集, 92-93
- 5) 塚本良則・峰松浩彦・丹下 薫 (1988) 斜面の表層に発達する地中パイプ. *波丘地研究*. **6**, 268-280
- 6) 安原正也・田中 正・丸井敦尚 (1984) 多摩丘陵の二つの源流域におけるパイプの形成とその水文学的環境. *地形*. **5-2**, 125-137
- 7) 北原 曜 (1994) 森林土層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
- 8) Tsuboyama, Y., R. C. Sidle, S. Noguchi and I. Hosoda (1994) Flow and solute transport through the soil matrix and macropores of a hillslope segment. *Water Resour. Res.* **30**, 879-890
- 9) 福島義宏・鈴木雅一・谷 誠・加藤博之・太田岳史 (1979) 芦生演習林の2つの小流域における水文観測報告. *京大演報*. **51**, 152-163
- 10) 森本幸裕・増田拓朗 (1977) 固結土壌における樹木育成とその診断に関する事例研究. *京都芸短大「瓜生」*. **2**, 13-19
- 11) 水山高久・佐藤一朗・小杉賢一朗 (1994) 芦生演習林内トヒノ谷におけるパイプ流出とパイプ網に関する研究. *京大演報*. **66**, 48-60

## Résumé

Underground pipes distribution within mountain slopes play a significant roles in the rainfall-runoff system and the occurrence of shallow landslides. The authors have observed discharge through underground pipes at Toinotani terrain in Ashu Experimental Forest since 1992. We had little rainfall and did not obtain good data in 1994. We measured the depth of a surface soil layer and coefficients of permeability. The pipes were dug up and their shapes and distribution were measured. We report these results and the results of our observations made in September.

Through the measurement of the distribution of underground pipes it was discovered that pipes are round in shapes at their outlets but they connect to gravel layers up stream. Pipes develop above aquiclude and junctions of gullies.

According to observation of runoff through pipes, the occurrence of pipe flow is influenced by cumulative rainfall and initial soil moisture when rainfall starts. The discharge patterns from two different pipes may show similar patterns. The pipes of this catchment experience drainage only when there is a heavy

rainfalls. Pipes may join and divert many times.

These observed facts may allow us to consider the mechanisms of underground pipes as follows. During light rainfall in omtencity water may infiltrate into aquicludes below the pipes. During heavy rainfall, whole water dose not infiltrate into the aquicludes and the upper part of the layers are saturated which generate lateral seepage flow. Pipes are formed where the lateral seepage flow join.