

学 位 論 文 題 名

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

学位論文内容の要旨

森林土層中の水移動は、流出現象のみならず崩壊現象や地形発達、森林植生、水質形成などに極めて重大な影響を及ぼしている。また、これらの現象を通じて、森林土層中の水移動は、質と量両面が要求される水資源の問題や洪水・土石災害など社会的経済的に人間生活に密接に関わっている。しかし、森林土層中の水移動は複雑であるため依然として不明な点が多く、水資源確保や災害防止技術の改善を図る上で大きな障害となっている。特に、洪水ピークの大部分を占めると推定される森林土層中の速い流れとしてパイプ流の存在が注目されているが、その実態および諸特性はまったく未解決なままである。

本研究は、森林土層中の水移動を解析する上で大きな比重を占めると考えられるパイプ流について、実態観測および水理実験をもとに、その特性を明らかにすることを目的とした。

I. 森林土層中の水移動形態の分類からパイプ流の位置付けを行ない、森林土層中の水の運動則に均質土層中の水の流れを仮定した Darcy 則だけを用いた従来の手法の問題点を明らかにした。次に、これまでの森林水文研究の発展の中でパイプ流の研究経過を述べ、パイプ流の特性に関する研究が非常に立ち遅れていることを指摘した。パイプ流の研究対象地としては、地質、地形などが極端に異なる二ヵ所を選定した。すなわち、第四紀未固結堆積層とローム質土層の焼山川流域と火成岩を母材とする札幌定山溪の小樽内川流域試験地で、焼山川流域は10度前後の緩傾斜地、小樽内川流域は37度の急峻な地形である。

II. 融雪期の地下水位上昇時を選んで、斜面に多数のトレンチを掘削し、パイプの型、分布、直径、流量などを観察しその諸特性を測定した。焼山川流域では各トレンチに多数のパイプを見出し、パイプにはその内部に黒色団粒や腐植が認められた A 型と全く認められない B 型の二型に分類した。A 型と B 型とは明確に分布深が異なり、A 型は地下100cm以深には分布せず、逆に B 型は浅いところには少なく地下1 m程度の C 層に分布していること、直径は明らかに A 型が B 型よ

り大きいことが判明した。成因については、A型は植物根系の枯死、B型は地下水の化学的侵食など非生物学的なものと推定された。また分布についてはB型パイプが小集団を持つ集中分布型を示していることが明らかとなった。

流量については地下水位と流量は一定の関係が認められ、各パイプとも地下水位が上昇すれば流量も増大することが観察された。また、B型パイプの流量の頻度分布は指数分布を示していた。森林土層断面からの全流量に占めるパイプ流の流量は72～91%で、Darcy 流はわずか9～28%しか占めないこと、すなわち、両試験地ともパイプ流が卓越していた。またパイプの流速は、両試験地とも0.5～3.1cm/secで、極めて速いことが判明した。

Ⅲ. パイプの水利特性を明らかにするため、試験地よりA型パイプを含んだ非攪乱土壌サンプルを多数採取し、透水試験を行なった後、パイプ内の土をかき出し粒径組成などを調べるとともに、パイプ部分に石膏を流し込み、形状を測定した。そして、パイプ部分の流量とパイプの水利学的形状を測定した結果、パイプ断面の形状は上下に短い楕円形をしていること、パイプ内の土は団粒構造が発達しておりA層の土色に相当していること、パイプ内の土の占有体積は10%以下であることなどが明らかになった。また、パイプ孔隙の水利特性はDarcy-Weisbachの式がよく適合したことから、パイプ内の流れは管路の流れとして扱えることを明らかにした。また、Manning式から粗度係数を求めた結果、焼山川流域で0.4前後、小樽内川流域で4前後と高い粗度であることが判明した。以上のように、パイプの平均直径、1本当りの流量、本数密度、断面からの総流量に占める割合、流速などかなりの共通的特質が認められた。

Ⅳ. 集水トレンチの観測によるパイプ流出の時系列的変化について観測した。急峻な斜面最下端に設置した長さ5mのコンクリート製集水トレンチと、本試験地の谷頭湧水点および流末に設置した量水堰の流量資料を解析した。集水トレンチの土層断面には18本のパイプが認められ、大集団を持つ集中分布型であった。この観測で、1次谷の河川流量のうち少なくとも側壁斜面からの流出は大部分がパイプ流量であることが明らかとなった。これは河川の降雨に対する極めて早い応答や水質形成機構を考える上で、パイプ流の水文学的な重要性を示すもので、極めて注目すべき結果である。また、各パイプからの流出ハイドログラフが近似な波形を示すことから、側壁斜面土層内のパイプの流出機構には共通の物理性があると推測された。

Ⅴ. パイプ流のモデル化とパイプ流の森林土層発達過程に及ぼす影響を考察した。まず、これま

での成果をもとにパイプ流の簡単なモデルを示し、次いでその検証を集水トレンチ資料を用いて行なった。モデルには種々の仮定を入れてあるが、観測値と比較的よい一致を示した。

また森林土層の発達過程に及ぼすパイプ流の影響としては、流出機構との関係でパイプ流の流速が非常に大きいことから、河川流量ハイドログラフの敏感な降雨応答はパイプ流に起因していると考えた。次に、崩壊機構との関係ではパイプ内の粗度の不均等分布により、パイプの粗度が高い部分で水圧が増すこと、あるいはパイプ内の流速が大きくなると、パイプ内の団粒土などが移動、ある部分に集中的に詰まることなどから、崩壊の際の弱点となると考察した。最後に地形発達機構に及ぼすパイプ流の影響を考察し、1次谷流域の側壁斜面部分と谷頭部分の流出機構が大きく違うことを述べ、各部分の侵食形態の違いが考えられた。

以上のように、本研究はパイプ流の実態観察と実験結果から諸特性を明らかにする一方、流域単位のパイプ流の位置付けを行ったものである。この新たな方法と知見は、森林土層中の水移動の法則性を解明し流出モデルの構築を行なう上で重要であり、水資源の確保や災害防止などの水土保全技術の開発に極めて有効と考えられた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 新 谷 融

副 査 教 授 藤 原 晃一郎

副 査 教 授 梅 田 安 治

本論文は5章と緒言、結語、引用文献からなり、図40、表7、写真6を含む総頁数106の和文論文である。他に参考論文60編が添えられている。

森林土層中の水移動は、流出現象のみならず崩壊現象や地形発達、森林植生、水質形成などに極めて重要な影響を及ぼす。また、水資源の確保や洪水・土砂災害など社会的経済的に人間生活に密接に関わっている。しかし、森林土層中の水移動は複雑であるため、その実態と諸特性は大部分未解明である。

本研究は、森林土層中の水移動を解析する上で重要な位置を占めると考えられるパイプ流について、実態観測および水理の実験をもとに、その特性を明らかにすることを目的としたものである。内容は以下のように要約される。

第1章は研究方法に当てられ、森林土層中の水移動形態の分類からパイプ流の位置付けを行い、森林土層中の水の運動則に Darcy 則だけを用いた従来手法の問題点を明らかにしている。パイプ流の観測試験地としては、第四紀丘陵性山地焼山川流域緩斜面と第三紀火山性山岳地小樽内川流域急斜面の二カ所を選定している。

第2章では融雪期の地下水位上昇時を選んで、斜面に多数のトレンチを掘削してパイプ流を観測し、パイプの型、分布、直径、流量などの諸特性を明らかにしている。各トレンチに認められた多数のパイプ孔隙を、パイプ内部に黒色団粒や腐植が認められたA型と全く認められないB型の二型に分類している。A型とB型とは分布深が異なり、A型は地下1m以深には分布せず、逆にB型は浅いところには少なく地下1m程度のC層に集中分布していること、直径はA型(10mm<)がB型(3mm>)より大きいことを指摘している。成因については、A型は植物根系の枯死、B型は地下水の化学的侵食など非生物的なものと推定している。

森林土層断面からの全流量に占めるパイプ流の流量は72~91% (Darcy 流 9~28%) と卓越していること、またパイプの流速は0.5~3.1cm/sec で、極めて速いことを指摘している。

第3章ではパイプの水理特性について述べている。A型パイプについて試験地より非攪乱土壌サンプルを多数採取し透水試験を行なった後、パイプ内の土をかき出し粒径組成などを調べるとともに、パイプ部分に石膏を流し込み形状を測定している。その結果、パイプ断面の形状は上下に短い楕円形をしていること、パイプ内の土(占有体積10%以下)は団粒構造が発達しておりA層の土色に相当していることなどを明らかにしている。

これらのパイプの水理特性は Darcy-Weisbach の式がよく適合したことから管路の流れとして扱えること、また、Manning 式から求めた粗度係数は第四紀丘陵性山地流域で0.4前後、第三紀火山性山岳地流域で4前後と、極めて大きいことを明らかにした。

第4章では流域流出とパイプ流出について述べている。集水トレンチを急峻な斜面最下端に、また量水堰を1次谷の谷頭湧水点および流末にそれぞれ設置し、流量資料を解析した結果、1次谷の河川流量のうち側壁斜面からの流出は大部分がパイプ流量であることを明らかにしている。これは河川の降雨に対する極めて早い応答や水質形成機構を考える上で、パイプ流の水文学的な重要性を示すもので、極めて注目すべき結果と考えられる。また、各パイプからの流出ハイドログラフが近似波形を示すことから、側壁斜面土層内のパイプの流出機構には共通の物理性があると推測している。

第5章はパイプ流のモデル化とパイプ流の森林土層発達過程に及ぼす影響を考察している。まず、これまでの成果をもとにパイプ流モデル式の提示とその検証を行なった結果、観測値と比較

的よく一致したことを述べている。また、流出機構との関係では、パイプ流の流速が極めて速いことから、河川流量の敏感な降雨応答はパイプ流に起因していると考察している。次に、崩壊機構との関係ではパイプ内の粗度の不均等分布が、崩壊の際の弱点となると考察している。さらに地形発達機構に及ぼす影響としては、側壁斜面部分と谷頭部分の流出機構が大きく違うことから、各部分の侵食形態の違いを指摘している。

以上のように、本研究はパイプ流の実態観測と実験結果からパイプの諸特性を明らかにする一方、流域流出におけるパイプ流の位置付けを明らかにしたものである。この新たな知見は、森林土層中の水移動の法則性を解明し流出モデルの構築を行なう上で学術的に高く評価されるとともに、水資源の確保や災害防止などの水土保持技術の開発に極めて有効と考えられる。

よって審査員一同は別に行った学力確認試験の結果と合わせて、本論文の提出者、北原 曜は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。