

氏名	下島榮一 しも じま えい いち
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第1777号
学位授与の日付	昭和60年1月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	雨水の地中への浸透機構に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 石原安雄 教授 高棹琢馬 教授 池淵周一

### 論文内容の要旨

本論文は、洪水や水資源に係わりの深い河川流域における雨水の地中への浸透現象に関する実験的、理論的研究で、地中の間隙空気と浸透水の移動過程の解析ならびに実用的浸透能方程式を求めることを目的としている。全文は緒論、2編9章、結論よりなっている。

緒論では、洪水や水資源問題と地中への雨水浸透との係わりを述べ本論文の位置づけを示すとともに、既往の研究と対比しながら、浸透場は有限の深さであり、地中の間隙空気は地表面を通じてのみ外界に放出されるという本研究の立場を説明している。

第I編は地表面が常に湛水状態にあるときの浸透の力学的機構に関する研究であって、第1章では本編の内容を要約している。

第2章では、まず既往の研究の問題点を指摘したのち、単層砂柱についての詳細な実験結果から、浸透の進行につれて浸透面直下に発達するほぼ飽和に近い領域（著者は擬似飽和域と呼んでいる）とその下方に連なり下端に wetting front をもつ不飽和域とが生起し、時間の経過とともにこれらが進行していく過程を論じている。ついで、U字管を用いた補助的実験の結果を参考として間隙空気の放出機構を論じ、放出は間歇的ではあるが、これを連続事象とみなしたときの擬似飽和域での透水係数、透気係数およびその下端での空気圧を与える実験式を提案するとともに、浸透現象を記述する数理モデルを提示している。

第3章では、二層砂柱の場合に層境界の存在が浸透現象に及ぼす影響を主として実験的に調べている。既往の研究の問題点を指摘したのち、まず、上層が細砂で下層が粗砂の場合について、両者の粒径差が大きいときは下層の水平断面全体に不飽和域が生起するが、粒径差が大きいときは部分的にしか不飽和域が生じないことを見出すとともに、それぞれの場合の水分量分布、下層内の空気圧、浸透強度の特性を論述している。ついで、上層が粗砂で下層が細砂の場合について、wetting front が層境界に達した後しばらくの間生起する特徴的な事象を詳細に調べたのち、wetting front がさらに下層へ進行したときの水分量分布と浸透強度について第2章で提示した数理モデルを用いて解析している。

第4章では本編で得られた成果をとりまとめている。

第Ⅱ編は第Ⅰ編の応用編ともいうべきもので、現実の降雨に類似させた散水による実験と理論的考察によって、地表面に湛水が生じ始めるときの条件および実用的浸透能方程式等に関する研究であって、第1章では本編の内容を要約している。

第2章では、湛水生起時までを取扱い、まず、湛水が生ずるか否かの限界降雨強度を理論的に求め、実験と比較してその妥当性を示すとともに、限界降雨強度を境として水分量分布や間隙空気圧にかなりの差異が現われることを論述し、ついで、強い降雨が続く場合の湛水開始の条件について理論と実験とによって検討し、地表面直下に形成される擬似飽和域下端での毛管ポテンシャルがほぼ water entry value になったときに湛水が始まり、そのときの水分量は約90%飽和であるとしている。

第3章では、湛水生起後を取扱い、とくに第Ⅰ編では明確にできなかった湛水後不飽和域内に形成される孤立空気とその浸透への影響について検討している。すなわち、湛水前後の実験結果と数理モデルによる解析結果とを比較して、湛水後不飽和域内における孤立空気の形成を仮定すると実験結果がうまく説明できるとし、この場合の数理モデルを提示し、実験結果との比較によってその妥当性を示している。

第4章では、まず既往の実用的な浸透能方程式の物理的根拠について検討し問題点を指摘し、ついで著者が提示した数理モデルから得られた結果を簡略化した浸透能方程式を提案し、その実用上の問題点を論じている。

第5章では本編で得られた成果をまとめている。

結論は本研究の成果の要約と将来の展望を行ったものである。

## 論文審査の結果の要旨

社会の進展と土地利用の変化は、水需要の増大をもたらし、また豪雨災害の様相を変え、その結果、より精密な雨水流出モデルの開発が要求されている。本研究は、雨水流出モデルにおいて重要な構成要素でありながら研究が著しく遅れていた雨水の地中への浸透現象、すなわち、地表面と地下の不透气面間における雨水と地中間隙空気の移動過程を実験的、理論的に研究したものであって、得られた主な成果はつぎの通りである。

(1) 地表面が湛水状態にあるときの浸透について

1. 地中の水分量分布は、地表面直下から発達しほぼ飽和水分量を示す領域（擬似飽和域）と、その下方に連なり下端に wetting front をもつ不飽和域とで構成され、時間の経過とともに前者はある深さまでしか延びないが後者は wetting front の下降とともに発達を続けることを初めて実験的に見出した。

2. 地表面からの地中間隙空気の放出条件は、従来いわれてきたように地表面近傍ではなく、擬似飽和域の下端で決まり、そこでの間隙空気の圧力が湛水深、擬似飽和域の厚さおよび砂の water entry value の関数で与えられることを明らかにした。

3. 擬似飽和域に対しては、同域内での空気の通過抵抗を勘案して実験的に求めた透水係数と透気係数を用い、不飽和域に対しては、一般化されたダルシー則を用いて、浸透現象を記述する数理モデルを提示した。

4. 地層境界があり、上層が粗砂で下層が細砂の場合には、時間の経過とともに浸透強度は下層砂が単

層で存在する場合のそれに近づく。しかし、逆の層構成の場合には、両層の粒径差が大きくないときは、下層には水平断面全体に不飽和流が形成され、浸透強度は上層厚によってほぼ決まり一定となるが、粒径差が大きいときは、下層の水平断面の一部にのみ不飽和流が現われ、そのときの浸透強度は極端に小さくなることを実験的に見出した。

## (2) 降雨の地中への浸透について

5. 単層の地層に一定強度の降雨が継続したとき、地表面に湛水が生起するための条件を理論と実験の両面から提示するとともに、湛水が生起するか否かの限界降雨強度を境にして、地中での水分量分布等の浸透状況がかなり異なることを実験と解析によって明らかにした。

6. 降雨浸透の実験結果から、不飽和域における透気係数が湛水前に比して湛水後小さくなることを見出し、その原因が不飽和域内に形成される孤立空気にあることを数理モデルの解析によって明らかにした。

7. 著者が提示した雨水浸透現象に関する数理モデルによって浸透の諸過程を矛盾なく説明することができることを解析例によって示すとともに、その結果として実用的な浸透能方程式を提案した。

以上要するに、本論文は雨水の地中への浸透現象についてその力学的機構の解明に資するとともに、精密な雨水流出モデルの開発に有用な知見を与えたものであって、学術上、實際上貢献するところが少ない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和59年12月3日、論文内容とそれに関連する事項について試問を行った結果、合格と認めた。