

中央大学理工学部 学生員 ○中村 健 東京都土木技術研究所 正 員 土屋 十圀
 中央大学大学院 学生員 大藤 善康 中央大学理工学部 正 員 日比野忠史
 中央大学理工学部 正 員 山田 正

1 はじめに 著者らはこれまで降雨の鉛直浸透問題¹⁾やフミン質をトレーサーとした湧水の流出機構^{2), 3)}について報告してきた。これらの報告の中で降雨量があるにも関わらず湧水量が減少する現象がみられた。これは土質や透水係数の違いによる土の持つ保水能が主な原因と考えられる。この流出機構を知るために透水係数の異なる土を用いた不飽和浸透の実験を行うとともに不飽和浸透流の不安定現象について検討した。

2 現地観測 観測地点は東京都小金井市でありこの付近は武蔵野段丘と立川段丘の間に位置している。この斜面は地形学上国分寺崖線と呼ばれており、崖下からは地下水が湧き出している。この地域の地層は図1に示すように上層には関東ローム層、下層には砂礫層という地層になっている。著者らは砂礫層からの湧水量と雨量についての観測を行っている。



武蔵野礫層
 Ms Gravel
 立川礫層
 Tc Gravel

観測地点

3 観測結果 図2はH4年4月からH5年10月までの湧水量と時間雨量の時経変化が示されている。これより湧水量が四つのピークを示していることがわかる。図3はH4年4月から7月の間に観測された湧水量と時間雨量の時経変化が示されている。4月12日に35mm/hrの降雨がみられ4月15日をピークに湧水量が減少していることがわかる。。その後も10mm/hr程度の降雨がたびたびみられその直後には0.2m³/hr程度の湧水量の増加はみられるが、全体としては湧水量は減少傾向にある。これより湧水量は強い雨には敏感に反応するが弱い雨の場合には降雨がみられるのに湧水量が減少するという傾向がみられる。これは、不飽和の状態では砂よりもロームのほうが保水能が高く結果として透水係数が大きくなるので降雨は限界の保水量になるまでロームの地層内にたまっていてと考えられる。

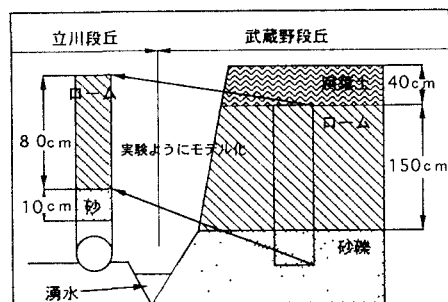


図1 観測地点の地層図及び実験図

表1 実験条件

	実験装置1	実験装置2
締め固め	40回ずつ25層	20回ずつ10層
ロームの量	18000g	1400g
砂の量	250g	33g
装置の直径	13cm	4.6cm
流入量	3.3mm/h	15.0mm/h

4 モデル実験

(1) 実験概要 観測地点における地層を図1のようにモデル化し、上にローム下に砂の二層を成す実験装置を二本製作し、装置の上部より一定量ずつ水を垂らし水の流入量と下部からの流出量を測定した。実験装置1では間隙比を小さくしたため透水係数は実験装置2よりも小さくなっている。表1に実験条件が示されている。なお、流出量は0.1mm桁の転倒桁型雨量形を用いて測った。

(2) 実験結果 実験1では水を3.3mm/hr流入させたところ流出がみられずが湛水し最終的に流出はなかった。実験2では水を15mm/hr流入させたところ流出がみられたが水が湛水していった。その後、湛水深は一定になり流入量と流出量が等しくなった。このことよりローム中を浸透するにはかなり大きな間隙が必要で

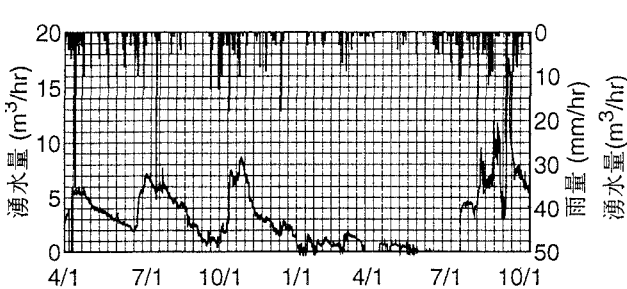


図2 H4年4月からH5年10月までの
湧水量と時間雨量の時経変化

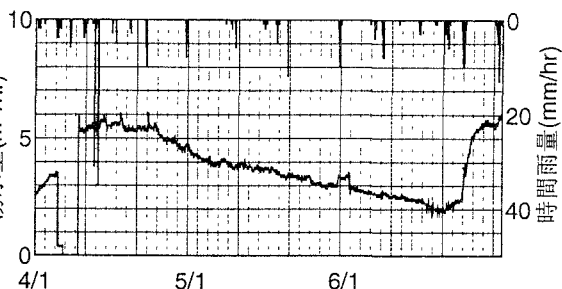


図3 H4年4月から7月までの
湧水量と時間雨量の時経変化

あり、ある浸潤状態で浸透量は一定になることがわかる。

(3) 解析 不飽和浸透流は均一的に流下しておらず、非均一的に流下している。そこで圧力水頭: ψ に関する不飽和浸透方程式を用いて不飽和浸透の不安定現象を検討した。

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial K}{\partial z} = \nabla K \nabla \psi \quad (1)$$

ここに不飽和透水係数: $K = a(-\psi)^m$ 、比水分容量: $C = b(-\psi)^n$ とした。圧力水頭: ψ を平均値と微小変動成分の和として $\psi = \bar{\psi} + \psi'$ とおく。 $\bar{\psi} = \gamma z + \psi_0$ 、 $\psi'(t, x, z) = f(z) \exp^{ikx + \sigma t}$ とおく。以上を(1)式に代入すると次の常微分方程式が得られる。

$$\frac{d^2 f}{dz^2} + \frac{m(2 - \frac{1}{\gamma})}{z + \frac{\psi_0}{\gamma}} \frac{df}{dz} - \left(\frac{m(m-1)(\frac{1}{\gamma} - 1)}{(z + \frac{\psi_0}{\gamma})} + \frac{b}{a} (-\gamma(z + \frac{\psi_0}{\gamma}))^{n-m} \sigma + k^2 \right) f = 0 \quad (2)$$

(2)式を境界条件 $f(0) = f(1) = 0$ で数値計算を行い、計算方法はRunge-Kutta法を用いた。ここでの1は土の厚さを表している。計算結果より $\gamma = \partial \bar{\psi} / \partial z > 1$ で不安定が生じることがわかった。これは深さ方向に圧力水頭が大きいと不安定が生じることを意味している。

5 考察 本モデル実験結果からローム層に十分水がたまるまで浸透が起こらないということがわかった。土層内に適当な間隙があると水は土中に浸透していくが保水能の限界まではその層内にたまっていく。この時まで透水係数は下層の礫層に比べるとロームの方が大きい。その後保水能の限界の水分量になるとローム層と礫層の透水係数がつりあいその結果雨水は浸透していくと考えられる。これを観測結果と比較すると次のことが考えられる。強い雨の場合はすぐにローム層に水がたまりローム層の透水係数は砂礫層の透水係数と等しくなるので水が砂礫層まで浸透していき湧水量が増加する。しかし、弱い雨の場合はローム層にたまる水が少量であり保水能の限界に達するには時間がかかるので水の流出がみられない。このことは、降雨がみられるのに湧水量が減少していることを表している。

謝辞 今回の研究において、(株)新日本環境調査の方々には貴重な資料を提供していただいたことを、ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 小林稔、山田正: 降雨の鉛直浸透におけるkinematic wave特性とヒステリシスの効果を考慮した新しい不飽和浸透方程式の特性、土木学会第42回年次学術講演会講演概要集、pp122-123, 1987. 2) 大藤善康、日比野忠史、山田正、土屋十圀: 湧水の流出と降雨の関係、水文・水資源学会研究発表会要旨集、pp254-255, 1993. 3) 大藤善康、日比野忠史、山田正、土屋十圀: 野川湧水の流出に関する研究、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集、pp240-241, 1993.