

埼玉大学工学部 学生員 ○今井 久
埼玉大学工学部 正会員 渡辺邦夫

はじめに

山地や丘陵地斜面の地下水流れや降雨流出現象では、斜面内に発達するソイルパイプなど水みちの影響を強くうけることが指摘されている。たとえば最近、田中ら¹⁾は詳細な野外観測に基づき、水みちの降雨流出に与える特性を報告した。こういった報告をふまえ筆者ら²⁾は水みちを有するモデル的斜面内の地下水流れを3次元数値解析により解析し、流出特性を調べた。しかし前回の報告は基礎的なものであり、降雨を考慮せず、また、飽和-不飽和透水係数関係として地山、水みち部双方に同じ関数を用いるなどの問題があった。今回の研究は降雨を考慮し、また、場の水理特性をより実際に近いよう設定して調べたものである。

1 解析手法と斜面モデル

解析は(1)式に示す3次元飽和-不飽和流れの基礎方程式を有限要素法を用いて解くことにより行った。

$$C(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial t} = -\nabla \cdot (k_s(\theta) \nabla \phi) + q \quad \text{---- (1)}$$

ここに $C(\theta)$ は比水分容量、 $k_s(\theta)$ は不飽和透水係数、 q は降雨浸透率、 ϕ はポテンシャルである。

つぎにモデル斜面形状である。これについてはより一般性を高めるため、たとえば平野ら³⁾により報告された斜面発達の数学的モデルで表現される斜面形状を用いた。その形状は図-1に示すようである。表土層が不透水岩盤上に載っていることを想定している。表土層の要素分割、節点分布、座標等をあわせて図-1に示す。各要素は20節点を持つ6面体アイソパラメトリック要素であり、全体で60要素、406節点となっている。斜面モデルの両側側面を図のようにA、D断面とする。図-2にモデルの2次元断面形状およびスケールを示す。仮定した水みち位置は2通り変え、図-2(a)断面内の最小要素とし、それぞれ図-1の①②③要素および、④⑤要素とした。つまり斜面上部、下部に存在する2通りのパターンを考えた。それらを以下、P-1、P-2と書く。

計算で仮定した飽和度 θ と毛管水頭 C_h 、 θ と飽和透水係数 k_s に対する不飽和透水係数の比 k_r/k_s の関係を図-3に示す。 $\theta \sim k_r/k_s$ の関係についてはP-A、P-B、P-C 3種類あり、それぞれ水みち部、地山部に設定した。計算ケース、水みち位置等の条件を表-1にまとめて示す。なお間隙率は地山部30%、水みち部40%とした。Run-4は水みちのない場合である。水みち部飽和透水係数は地山部の100倍としている。境界条件は図-4

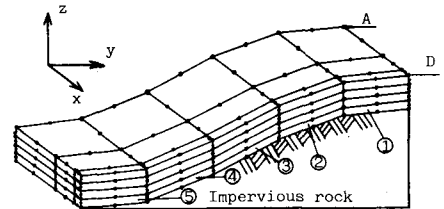


図-1 斜面モデルと要素分割

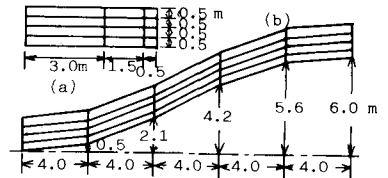


図-2 モデルの2次元形状

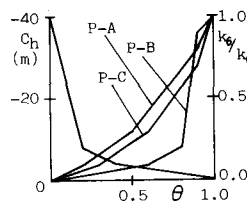


図-3 透水関数

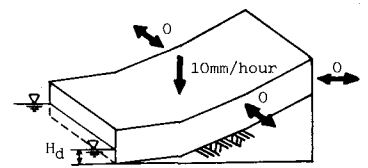


図-4 境界条件

表-1 計算条件

計算ケース	水みち位置	透水関数		Permeability	
		水みち	地山	水みち	地山
Run-1	P-2	P-A	P-C	5×10^{-1} cm/s	5×10^{-3} cm/s
Run-1	P-2	P-B	P-C	"	"
Run-3	P-1	P-B	P-C	"	"
Run-4	-	-	P-C	-	"

に示すようであり、斜面下端断面に一定水位 H_d (60cm) を与え、その断面内の水位より上および斜面上面には浸出面条件を与えた。また斜面側面は流入・流出条件であり、上面より降雨を与える。初期条件はモデル内一様に H_d に等しいポテンシャルを与え、流れのない条件とした。降雨は 10 mm/h で与えた。

2 解析結果と考察

まず図5は流出流量 Q の非定常変化を表1に示す各ケースについて5時間半後まで調べたものである。Run-1とRun-2により図3に示す $\theta \sim z/k_0$ 関係の違いをみることができる。図から両者はほぼ等しく、図3に示す程度の差では流出特性にあまり大きな影響を与えないといえる。Run-2、Run-3は水みち位置が斜面下部にあるか上部にあるかの違いをみている。Run-2の方がRun-3に比べはるかに流量増加が著しい。この理由の1つとして、水みち部の飽和度の違いによる不飽和透水係数の違いが考えられる。Run-2では水みちが下端部の一定水位境界に接し、全体に飽和度が大きく、不飽和透水係数が全体に大きくなる。一方、Run-3の水みちは上方にあるため飽和度が低く、透水性が悪くなる。この差が流出特性に極めて大きな差を与えたものであろう。水みちのないRun

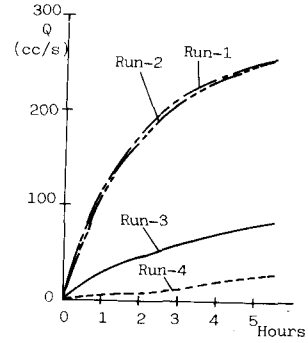


図-5 流量の非定常変化

4では、Run-3よりさらに流量増加が悪くなっている。このように水みち位置によって降雨流出特性が大きく影響されることがわかる。

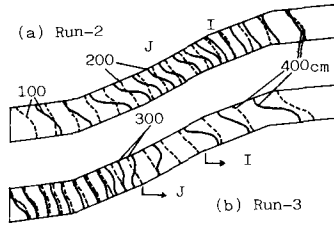


図-6 A,D断面のポテンシャル分布

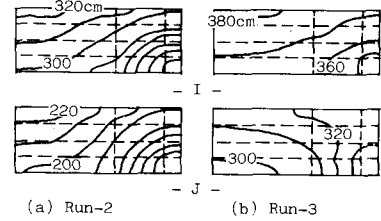
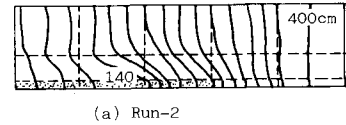


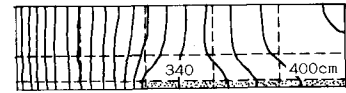
図-7 I,J断面のポテンシャル分布

図6は図1のA、D断面における、Run-2(a)、Run-3(b)それぞれの5時間後のポテン

シャル分布である。いずれも実線が水みちを含むD断面、破線が水みちのないD断面である。さらに図7は図6(a)、(b)中に示すI、Jの位置で切ったA、D断面に直交する断面内のポテンシャル分布である。また図8は図1の最下層要素底面内のポテンシャル分布である。これらの図から水みちの地下水流れに与える影響が調べうる。まず、Run-2では斜面下部にある水みち部のポテンシャルが小さく、周囲から水を集めていることがわかる。一方、Run-3については、水みち上部でポテンシャル値が小さく、水を集めるものの、水みち下端面付近では逆に大きくなり周囲に向けて放射状の流れが生じていることがわかる。



(a) Run-2



(b) Run-3

図-8 表土層底面のポテンシャル分布

Run-2、Run-3の比較ではこの他、Run-3のポテンシャル勾配がRun-2に比べてかなり大きくなることが認められる。

以上のように、3次元解析により水みちの地下水流れや降雨流出特性に与える影響がうまく評価しうる。今後は実際の斜面内の水みちに注目し、より実際に近い条件を設定して解析すると共に実測に基づく研究をすすめてゆきたいと考える。

参考文献 1) 田中、安原、丸井：丘陵地源流域における流出機構，Miscel. Publ. Geosci. 筑波大学，No.1，PP.52~60，1983。

2) 平野昌繁：斜面発達の数値的モデルに関する若干の補足，地理学評論，vol.39，PP.606~617，1966。

3) 渡辺、今井：斜面モデル内の水みち形成に関する基礎的研究，第28回水理講演会論文集，PP.527~533，1984。