

東京都 正会員 ○ 内野祐彰
 埼玉大学 工学部 “ 渡辺邦夫
 東京大学 “ “ 玉井信行

はじめに

山地での地下水流出を物理的に把握するためには、表土と岩盤という2つの異なる透水体より成る系内の、地下水浸透機構を明らかにしておく必要がある。筆者らは以前から、表土層より岩盤へ浸透する機構に注目して研究をすすめてきた(渡辺, 玉井¹⁾)。その結果、この現象には表土と岩盤内割れ目それぞれの透水係数とも管力が大きな影響を与えていることがわかった。また、表土から岩盤への浸透量は、表土層下部の飽和毛管帯中のポテンシャル分布を求めることにより、近似的に解析しうることを明らかにした。さらにこれらをもとめて、実際の降雨と地下水流出との応答を解析する試みを行い(渡辺, 玉井, 山田²⁾)、満足しうる結果を得た。しかし前回の解析では、表土層内に生じている山地斜面下方への流れは考慮しておらず、1つの鉛直断面内での表土から岩盤への浸透に注目していた。そのため、降雨停止後の地下水流出速減がうまく表現しえないなどの問題が生じた。今回の研究は、これをいわば準3次元的手法を用い、表土内の斜面方向流れを考慮して解析したものである。

1 解析モデルと必要な水理定数の決定

解析は前回と同様、名古屋大谷山地震観測所観測横坑入口付近で観測された地下水流出について行った。解析対象場の模式図を図-1に示す。ほぼ尾根直下に幅2m、高さ25m、長さ75mの横坑があり、この直上部の表土、岩盤を対象としている。最大土被りは約50mである。横坑奥には破砕帯が通過しており³⁾、それより坑口側の部分を考える。対象場内では、地下水は表土層内を通過して斜面下方に流れる。1部は岩盤中を通過し、横坑入口付近に流出する。横坑入口付近で観測される地下水流出を厳密に解析するためには、表土から岩盤に入り、その後、入口付近に達するまでの流れの状態を把握しておく必要がある。しかし今回の解析では、降雨は表土から岩盤

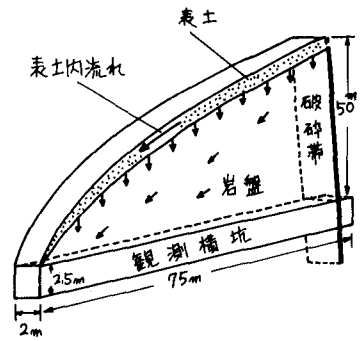


図-1 解析場の模式図

に入った後、ほとんど時間遅れなく急速に横坑入口部に達すると仮定した。この仮定については、降雨と流出地下水の水質変化との関係から、ある程度妥当と思われる⁴⁾。

つぎに解析手法を述べる。表土から岩盤への浸透量は、以前報告したように^{1,2)} 表土層下部に飽和した毛管帯を考慮、その中のポテンシャル分布を計算することにより求める。この計算は、図-2(a)に示す要素分割に基づき、鉛直2次元断面で行った。この断面は、図-1に示した斜面方向に直交するものである。図-2(b)は、岩盤に接する表土層最下部の*i*番目要素を取り出したものである。 h_{si} は、要素中心点の毛管ポテンシャル値である。この要素下段には、岩盤中の N_i 個の割れ目が接し、各々の毛管力により、境界部には $h_{ji}(l)$, $l=1 \sim N_i$ までの毛管ポテンシャル値

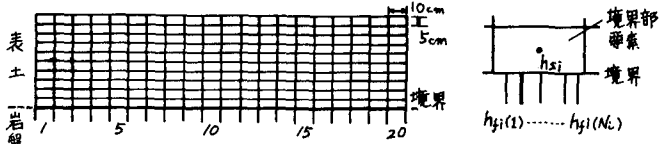


図-2 鉛直断面内の要素分割(a)と表土層下段要素の状態(b)

を与えられる。地下水は、 h_{si} より小さな $h_{ji}(l)$ 値を持つ割れ目とのみ浸透する。

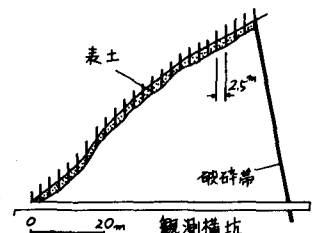


図-3 斜面方向の1次元要素

浸透量は、表土層内における、境界部ポテンシャル勾配、透水係数、および割れ目幅で決定される。ただし、各割れ目とは透水係数、間隙幅で決まる最大流量($Q_{ji}(l)$)があり、それ以上は流しえない。一般に $h_{ji}(l)$ 、 $Q_{ji}(l)$ は、割れ目間隙幅が小さい程小さな値をとる。そのため浸透しやすいが、浸透量そのものは小さい。

表-1 解析モデルの物理定数値の概略

	透水係数 (cm/s)	毛管力水頭 (cm)	$Q_{ji}(\text{cm/s})$
表 土	1×10^{-3}	40	—
微小割れ目	$8 \sim 12 \times 10^{-8}$	> 500	$2 \sim 3 \times 10^{-8}$
小 割れ目	$8 \sim 20 \times 10^{-7}$	20 ~ 30	$4 \sim 10 \times 10^{-6}$
中 割れ目	$8 \sim 20 \times 10^{-6}$	2 ~ 3	0.4 ~ 1.0

図-2(a)の解析断面では、斜面方向の地下水流れは考慮できない。そのため、今回斜面方向に図-3に示す1次元の要素分割を行い、それにより斜面方向流れを解析した。図-3の各要素に対応して、図-2(a)の鉛直2次元領域があり、各鉛直2次元領域への流入出量を1次元的に計算するわけである。このように、1次元解析と2次元解析を組み合わせた点が今回の手法の特徴である。各1次元要素のポテンシャル値は、2次元断面内の平均値を与えた。

モデルの適用にあたっては、表土に接する割れ目の分布を決めることが重要である。今回実測に基づいて、本地域の岩盤には、①微小割れ目(間隙幅数 μm , 間隔2~3mm)、②小割れ目(間隙幅 $Q \sim 0.15\text{mm}$, 間隔3~4cm)、③中割れ目(間隙幅 $Q \sim 0.15\text{cm}$, 間隔60~70cm)の3つのスケールの割れ目が共存していると仮定した。この仮定に基づき、モンテカルロ法によりすべての2次元断面の表土-岩盤境界部に割れ目分布を与えた。つぎに、各割れ目が2枚の平行板間隙で近似しうるものと考え、割れ目の毛管力、透水係数を計算した。用いた値を図-1に概略的に示す。最大流量 $Q_{ji}(l)$ は、透水係数に動水勾配1と割れ目間隙幅を乗じて求めた。ただ、この透水係数は、岩盤上部の割れ目について求められたものである。割れ目は、表土から横坑に至る間に、間隙幅が減少し、透水係数がかなり小さくなる。数m深部では、透水係数値が1~2オーダー低下することも稀ではない。そのため、計算に用いた $Q_{ji}(l)$ 値は、表-1の透水係数から求められた値の $1/20$ とした。これは第1次近似的に設定したものである。表-1中の表土の毛管力、透水係数は実測により平均的な値を設定した。なお表土厚さは50cmとした。

2 解析結果と考察

解析は前回の報告と同様、1981年8月22日~25日までの、降雨と地下水流出との関係について行った。解析では、降雨の70%が表土中に入ると考え、また初期の表土層内飽和毛管帯高さを8cmとした。解析結果を図-4に示す。図中縦軸は、8月22日の降雨前の流出量を平均的に1.0として、流出量比をあらわしたものである。実線が測定値であり、点が計算値である。これから、流出量増加の立ち上がり部分ではやや外れているものの、降雨終了後の漸減部分などでは大変良くあっているといえる。これは、前回の報告²⁾と比較すると、斜面方向の流れを考慮したことによるものと思われる。

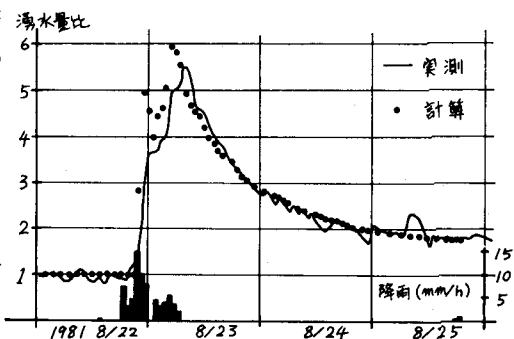


図-4 解析結果

このように、今回用いたモデルによって、地下水流出がかなり良く解析した。このモデルの特徴は、使われている諸定数が、具体的な意味を持つこととある。しかしまだ、諸定数値の推定については問題も残っており、この点については今後さらに研究をすすめてゆきたいと考ええる。

参考文献

- 1) 渡辺邦夫, 玉井信行, 表土にみられる岩盤斜面内への降雨浸透機構, 第26回水理講演会論文集, PR313-320, 1982.
- 2) 渡辺邦夫, 玉井信行, 山田正敏, 表土割れ目岩盤系の特性を考慮した山地地下水流出解析の試み, 第33回年報, 1982.
- 3) 渡辺邦夫, 茂松一郎, 志賀竜一, 破砕帯内地下水流れの特徴とその数値シミュレーション, 応用地質, Vol.22, No.1, PR108-117, 1981.
- 4) 渡辺邦夫, 内野祐彰, トレーサ試験による山地地下水流出の特性把握と問題点, 第34回地学年報, 1983.