

埼玉大学 工学部 正会員 ○渡辺邦夫
 東京大学 工学部 正会員 玉井信行
 戸田建設 仙台支店 山田正敏

はじめに

山地の流出解析にあたって、降雨の地下水流成分の性質を把握することは重要である。山地は一般的には、表土層とその下の割れ目の発達した岩盤により成ると考えられる。そのためこの問題の解明にあたっては、表土と割れ目岩盤という2つの異なる透水体より成る系内の浸透メカニズムを把握することが大事である。こうした観点から渡辺・玉井¹⁾は、とくに表土から岩盤内への浸透に注目し、不飽和状態の流水を調べた。その結果、表土から割れ目岩盤への浸透は、表土と割れ目の境界面における毛管力差が大きく影響することを明らかにした。さらに、一般的な山地では降雨強度の小さい時はより小さなスケールの割れ目が主要な浸透経路となり、降雨強度の大きい時のみスケールの大きな、即ち間隙幅、透水係数の大きな割れ目が浸透経路となることを示した。このことは、降雨強度によって岩盤内の地下水流動経路が異なることを示したもので、基礎的かつ重要な性質の指摘であったと考える。しかし以前の報告では、その性質をどのように実際の流出解析に適用してゆくかの点について不十分な点が残っていた。今回の研究は、以前の成果をふまえ、実際問題への応用を考えたものである。

1 岩盤割れ目への降雨浸透モデル

以前の報告で示した表土-割れ目岩盤モデルを図-1に示す。図中土槽は表土層をあらわし、その下に数本の割れ目があるとしている。今回このモデルを図-2のように拡張した。図において、岩盤を ΔL_s の幅を持つ多数の小区間に分割している(総数 N)。さらに、各小区間にはそれぞれ異なるスケールの割れ目が入っていると仮定している。つまり、各小区間は内在する種々の割れ目により、それぞれ異なる透水係数、毛管力を持つわけである。実際の岩盤では、鉱物粒子内のへき開といった微小な割れ目から、破砕帯など大きな割れ目まで存在するから、このように拡張しておいた方がより妥当であろう。表土層はその底面において、種々のオーダーの割れ目を持つ小区間と接する。このモデルにおいても、すでに報告した図-1のモデルと同様、表土層内に存在する毛管帯を含んだ飽和地下水帯中の流れを取扱って、表土から岩盤割れ目への浸透を解析することがができる。その方法は図-3に示すように、飽和地下水帯内にポテンシャル ϕ を考え、

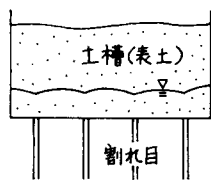


図-1 従来のモデル

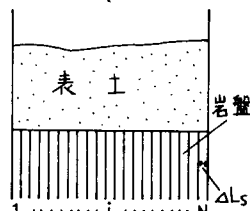


図-2 拡張モデル

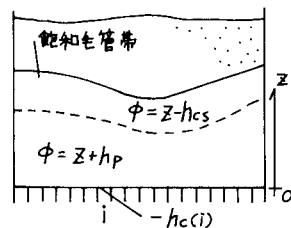


図-3 表土層内流れの解析

通常断面2次元不圧地下水流解析と同様に行うものである。図中、 h_p は圧水頭、 h_{cs} は表土の毛管水頭、 z は位置水頭である。さらに表土層下の岩盤小区間は各々内在する割れ目により、特有の毛管力 $h_c(i)$ を持つから、界面において $-h_c(i)$ をそれぞれ境界条件として与える。表土から岩盤内への浸透は、表土層内ポテンシャル ϕ が、界面の値より大きい時のみ生ずる。従って、毛管力の大きい小さな割れ目を含んだ小区間程流出開始が早い。表土から岩盤への浸透量は、界面部のポテンシャル勾配に表土層透水係数を乗じて求める。ただし、岩盤各小区間には、その透水係数により決まる最大浸透可能量 $Q_m(i)$ があり、計算流量がこの値を超えた時は、流量は $Q_m(i)$ に等しいと考える。 $Q_m(i)$ は、割れ目飽和時の流量に等しいとし、岩盤中の流れが鉛直下方と考えて、各小区間透水係数 $k_c(i)$ と動水勾配 1.0 と小区間断面積を集めることにより近似的に決めた。この $Q_m(i)$ は、当然大きな

スケールの割れ目を含む小区間で大きい。つまりこのモデルによれば、微小割れ目を含む小区間程、浸透開始が早い
浸透量は小さく、一方大きな割れ目を含む小区間は、浸透開始は遅いが浸透量は大きいことになる。これら
2つの異なる性質を持つ小区間の組み合わせにより、浸透現象をとらえるわけである。

2 現地における地下水流問題解析の試み

以上述べた考え方を実際の岩盤内地下水流問題解析に適用する。と
り上げる例は、筆者らが研究を続けている愛知県犬山市の名大地殻
変動観測所横坑内の湧水と降雨との応答である。横坑模式断面は図
-4(a)に示すようであり、湧水は地表付近の割れ目の多い風化岩盤
帯を通る Q_B と、破砕帯を通る Q_A に分けられる。今回のモデルはこの
うち Q_B に適用しよう。 Q_B を正確に解析するためには、当然図-4(a)
の中で示した斜面に沿う流れを考えねばならない。しかし、今回第
1次近似として図(a)中破線で示された所ぞ切った、横坑に直交
する断面内で考えてみる。その断面の模式図が図-4(b)である。
ここでは下方回流は考慮していない。実際の解析は図-4(b)のよ
うに、横坑直上 D_s の区間を考え、表土から岩盤割れ目中にどの
ように降雨が浸透するか調べる。割れ目内の流れは鉛直下方で、
急速に横坑内へ入ると考える。以上によりこの湧水 Q_B は、図-2,3
で示したモデルで解析しうる。模型としては、図-4(b)中の D_s と
して50cm、図-2の岩盤小区間幅 ΔL_s を1cm、 N を50に設定した。

つぎに、岩盤各小区間内の割れ目の性質が問題である。岩盤調
査の結果、横坑入口付近は古生層頁岩より成り、表土付近では数mmおきに数 μm の幅
を持つ微小割れ目が発達し、約10cmおきに0.1~0.2mm程度の割れ目が存在すること
がわかった。そのため、まず50個の区間のうち、0.1~0.2mmの割れ目が存在する区間を
乱数で定め、他区間は数本の5 μm の割れ目を持つとした。各小区間の毛管力(毛管上
昇高)は、各割れ目幅から、割れ目を2枚の平行板間隙として計算し与えた。その結
果、5 μm で約595cm、0.1~0.2mmで約20~30cm程度であった。また透水係数はそれ
ぞれ 10^{-5} cm/s、 10^{-3} cm/s程度とした。これらは一般的な古生層頁岩および岩盤深
部の割れ目透水係数を参考にしたものである。また表土の毛管上昇高、透水係数は実測からそれぞれ約40cm、 10^{-3}
cm/sとした。これらの条件から、微小な割れ目区間には表土層内に飽和水帯がある限り浸透するが、大きな割れ
目区間には飽和水高さが10cm以上なければ浸透しない。解析結果例を図-5に示す。これは1981年8/22~27までの
降雨と湧水の関係を示したものである。実線は実測、○●は計算値である。縦軸は降雨前湧水量との比(R)である。
ただし、降雨のうち一部は表土層に入らず地表や植生上に貯留されるから、計算は降雨の全量(○)およびその5
割(●)が入る場合を行なった。また、初期水面高さは先行降雨に影響されるが、ここでは8.7cmとした。さらに、
図-6に8/23 0時の、それぞれの場合の地下水面形状を示す。図-5から、このモデルによってある程度、降
雨-地下水流関係が把握することがわかる。今後たとえば図-4(a)方向の流れを考慮することによって、さら
に良く表現しよう。本研究によって表土や岩盤割れ目系の性質を測定することによって、岩盤中の地下水流
がある程度把握しうることがわかった。これは、流出現象を物理的に把握する方向の研究の基礎になるものと考え
る。

参考文献; 1) 渡辺邦夫, 井井信行, 表土におかれた岩盤斜面内への降雨浸透機構, 第26回水講, pp.313-319, 1982

2) 渡辺邦夫, 茂木親郎, 志知寛一, 破砕帯内地下水流の特徴とその数値シミュレーション, 応用地質, Vol.22, pp.104-117, 1981

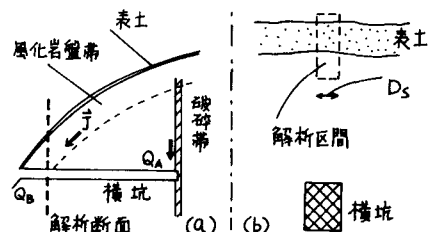


図-4 観測横坑中への流れと解析領域

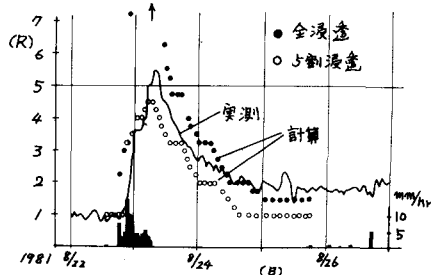


図-5 流出量の実測と計算値との比較

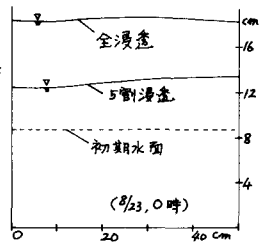


図-6 計算地下水面