

山地表層部の広域地下水解析の考え

(13) 一東濃鉱山周辺を対象とした解析場の設定と蒸発散特性の考察一

埼玉大学 工学部	渡辺邦夫
〃 〃	○原田裕子
動燃事業団	若松尚則
埼玉大学 工学部	今井 賢

Three dimensional analysis of groundwater flow in the high permeable surface layer covering a wide area.

Saitama University	Kunio Watanabe
Saitama University	Yuko Harada
PNC(Chubu Works)	Hisanori Wakamatsu
Saitama University	Satoshi Imai

ABSTRACTS: Rainwater infiltrating into the ground surface mainly flows down towards a river through a high permeable surface layer. A conceptual model of the surface layer and a computer code by which the flow can be well simulated was proposed. A case study was carried out in the test field located in the yard of the Tono mine, Japan. The groundwater flow may be much influenced by the plant roots system in soil because the roots system absorbs water and the rainwater may rapidly infiltrate through the narrow space formed around the roots in soil. The model is mainly constructed on the basis of the geometry of the roots system. It was found that the depth in which the most roots are existing was less than 30cm below the surface in the test field. The average transpiration rate as well as the average rain intensity for a wide area is indispensable to simulate the groundwater flow. The transpiration rate from many leaves of several kinds of plants were measured using 5 evaporation sensors. It was found that the evaporation sensor is useful for estimating not only the average rate but also the transient transpiration change due to the climate change. It was also found that the groundwater flow could be fairly well simulated in the code.

はじめに

山地表層部の浸透流解析は、山地の水文現象を把握する上で従来から注目されていた¹⁾。最近になって、山地域に廃棄物処分場などが計画され、環境に与える影響の評価が大切となり、その面でも浸透流解析が必要とされてきている。また、岩盤中の浸透流を解析するに当たっても、山地表層部を通過した降雨涵養量の見積りが不可欠である²⁾。本研究は、岐阜県東濃鉱山付近をモデル流域とし、山地表層部の地質特性や植生からの蒸発散の特性を調べ、特に、広領域の浸透流解析の可能性を検討したものである。

1 解析の考え方

山地表層部の浸透流に関連した諸問題と山地の地形、地質などを総合的に判断すると、解析は図-1に示すような、広領域と狭領域の2つの面から行い、それぞれの結果をあわせて評価することが妥当と思われる。これら2つの領域を対象とした解析は、単に場の大小以外にかなり異なった性格を持っている。このことに

についてまず示しておく。

最初に、解析の対象とする問題について考える。山地流出では、最終的には河川流量の推定が目標であり、この場合、ある程度広い流域を対象にすることが必要となり、広領域の解析を行わねばならない。しかし、数値解析を広領域に適用すると、一つ一つの要素形状がかなり大きくなり、平均的な流れしか表現できない。つまり、局所的な流れを把握することが難しい。また、深度方向に多くの要素を取ることが困難で、鉛直下方への浸透流の表現が事実上難しい。まとめると、広領域解析では、地形に沿った平均的流れの評価に適しているといえる。一方、狭領域解析では、深度方向に多数の要素が設定でき、下方への浸透流の評価や、局所的な流れの評価が可能となる。

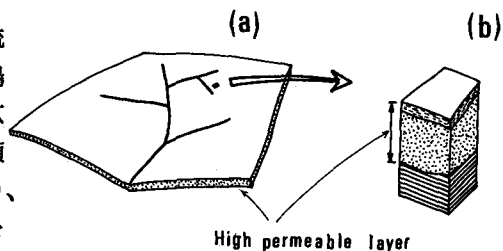


図-1 (a)広領域と(b)狭領域解析の模式図

次に、境界条件について考えてみる。領域の側方境界は、広領域解析では分水嶺となる尾根や河川を境界とすれば良く、条件設定は比較的容易である。しかし、狭領域解析ではこの条件設定は困難であり、広領域解析結果などを用いて設定して行かねばならない。一方、下面条件、特に深層への浸透量の設定では、狭領域であれば土壌水分分布などの実測結果でキャリブレーションしながら推定してゆくことが可能であるが、広領域解析では直接計算できず、狭領域解析結果を基に推定してゆかねばならない。

次に、解析場の条件設定と下方からの降雨入力条件について考えてみる。狭領域解析では、要素を細かくすれば、場の地質条件をかなり忠実に再生することが可能である。しかし降雨については、樹冠遮断や樹幹流の影響を受けて、実際に表面に到達する量は場所的な分布があり、この分布を測定しておかねばならない。また、蒸発散量についても木の根の分布などを調べておかねばならない。一方、広領域解析では、一つの要素が大きくなるため、場の条件や、降雨蒸発散条件をその要素内で平均化しておくことが必要である。つまり、広領域解析では、場の条件や降雨、蒸発散などをどのように平均化しうるのが最大の問題と言える。

以上のように、山地表層部の浸透流解析では、2つの解析を相互に行い、それらを相補的に統合して評価することが大切である。広領域と狭領域では、対象とする問題や、評価できる項目、入力条件の設定がかなり異なってしまうと言える。

今回の報告では、このうち広領域解析に焦点を絞り、特に解析場の設定と、植生からの蒸発散の平均化の可能性を論ずる。

2 解析場の設定

前述したように、広領域解析では、地形に沿った流れの解析に利点がある。流れ場を設定するに際して、まず、表層部の地質の観察を行った。図-2は東濃鉾山付近の対象地域の模式的な表層地形図である。

本地域は、第四紀洪積世の瀬戸層群と呼ばれる砂礫層(図中F)より成っている。尾根部では、砂礫層の風化土(E)があり、谷部では斜面の崩壊より生じた崩積土が堆積している。崩積土は、その締まり方より古期(D)と新期(C)の2つに分けられる。さらに上部に黒色の土壌(B)があり、最上部(A)は落葉より成る。対象地域はブナ、クヌギ、クリなどの広葉樹に覆われている。浸透流に大きく影響を与える降雨の浸透や植生からの蒸発散を考える上で、木の根の存在はきわめて重要である。降雨は古い木の根によって作られた間隙を通過すると考えられ、蒸発は根から水を吸う現象である。そのため、対象地域に深さ1mの立坑を8ヶ所掘り、まず、根の発達と上部の地層との関係を調べた。図-3は、観察立坑の位置、及び立坑の側壁の根の状態を

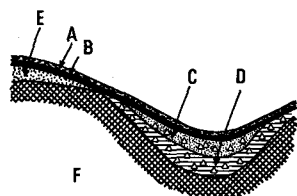


図-2 東濃地域表層地質概念図

流域の断面図に示したものである。この図から、尾根部、谷部によらず、地表から5 cm程度の落葉層があり、その下部30～50 cmの深さまで根が入っていることがわかる。落葉層の直下には特に根の集中した場所が見られた。これらより、植生の蒸発散はこの深さまでの間の水を吸うと考えられる。この根の集中域では、一般に言って地層の固結度が低く、透水性の良い部分に対応していた。実際、根は水はけの良い不飽和帯に発達し、飽和状態に近い土では腐食する。従って、根の発達域を透水性の高い領域と考えることができる。このことより今回の解析では、根の到達範囲(30～50 cm)を広領域解析では主要な流れ場として取り上げることとした。

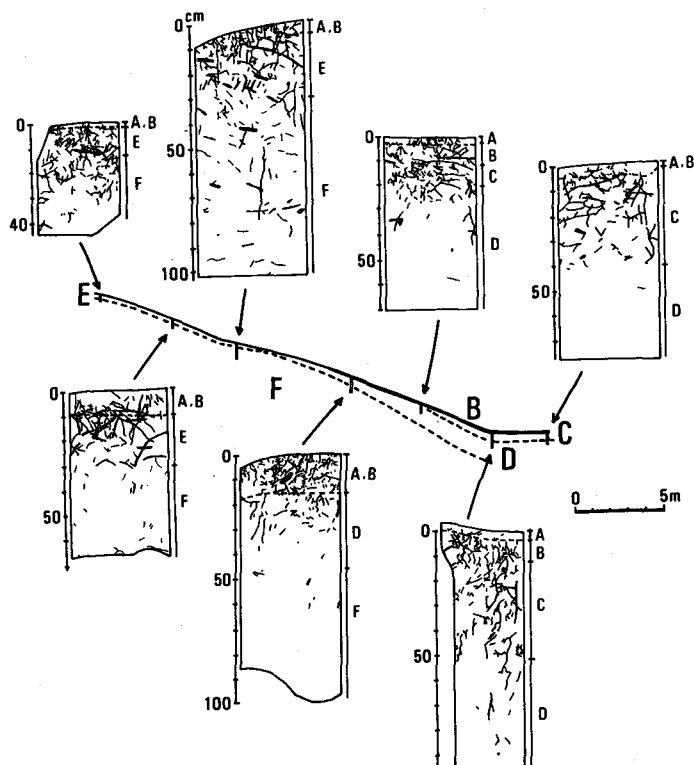


図-3 表層地質調査用立坑の位置と側壁の根の状態

3 蒸発散量の測定

蒸発散とは、地表部の水を連続的に排出してゆく現象であり、表層の地下水流れにきわめて大きな影響を与える。従来、蒸・発散量は主にペンマン式やソーンスウェイト式、パン型蒸発計を用いて推定されてきた。しかし、これらの方法は基本的に流域の平均的な値を求めるものであり、植生の種別による蒸発散量の違いなどは得られない。そのため、例えば航空写真などから読み取れる流域の植生の変化によって蒸散量がどの

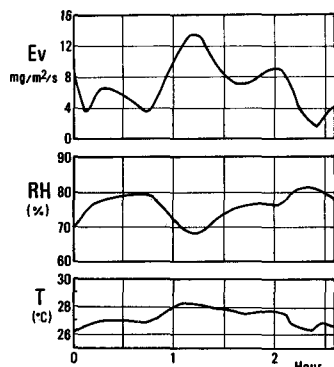


図-4 ブナの葉の蒸発散量と
気温・相対湿度の関係

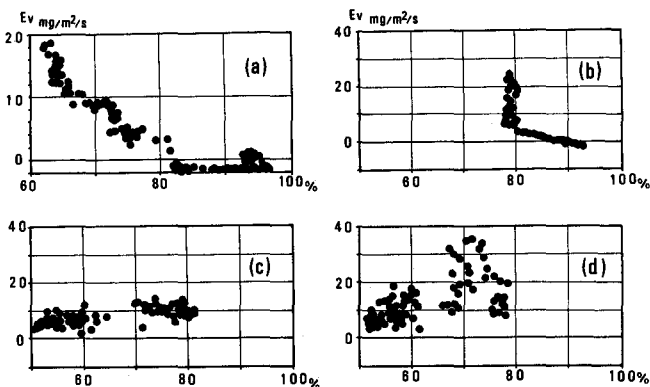


図-5 相対湿度と蒸発散量との関係

ように異なるかなどは評価できなかった。そこで、今回は著者らが開発した蒸発計測装置³⁾により1枚1枚の葉からの蒸散量を直接計ることにした。この計測を通して、植生蒸散の基本的性質を調べることにした。計測方法としては、蒸発センサーに透明プラスチック板を取り付け、葉を挟み込んだ。葉の表面と裏面各々について計測したが、表面からの蒸散は殆ど0であった。また、葉の蒸発散量の非定常変化も見られた。その例を図-4に示す。計測を対象とした樹木などはクヌギ、ブナ、クリ、ナラ、ツツジ、サルトリイバラ、シラカシであった。

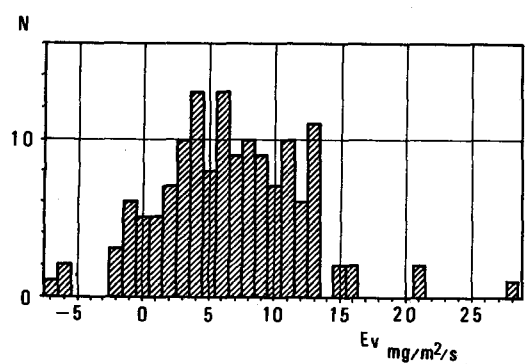


図-6 東濃地域の葉からの蒸発散量の分布図

一つの樹木において、蒸発量に関係すると考えられる要因に相対湿度、気温、風速、高さによる違いなどがある。埼玉大学構内における予備実測の結果、及び東濃での実測結果を検討したところ、高さ方向、風速にはあまり関係がみられず、気温変化に伴う相対湿度の変化と密接な関係がみられた。これらの関係は、図-5のように大別して4つのパターンに分けられる。クワやクヌギなどは(a)のように相対湿度の増加に伴い蒸発量が減少する傾向がみられる。また、サルトリイバラ(b)ではある相対湿度を境に急激に蒸発量が増加する性質がみられた。地表面付近の比較的蒸散量の少ないツツジなどは、(c)のように相対湿度に依らず蒸発量がある幅を持って一定となる傾向がある。また、シラカシ(d)のように最適相対湿度の時蒸発量が極大値となるものなど植生の種類によってさまざまな傾向を持つ。これらを総合して考えると、夏期の昼間のある時間を取ったとき、解析場の葉からの蒸発量は図-6のようになり、平均値=5.6326(mg/m²/s)で標準偏差=5.2794であった。このように今回の測定によって植生蒸散の基礎性質が詳細に調べられることが示された。広領域解析では、前述したように平均量が大事となるから、1つ1の植生や葉の特性を調べるより、このような平均値を求める方法で十分であろう。葉は効率よく日射を受けるために1枚1枚が重ならないようにしている。そのため、先ほど求めた蒸発散量は少なくとも地表面全てを覆っていると考えてよい。植生の密生した場所では木の葉が重なり合い、その地表面積の何倍かになるはずである。しかし、東濃ではあまり葉の重なりが見られなかった。そこで、数値解析に取り入れる際には、解析場全体から先ほど求めた平均値をつかって解析場全体から蒸発させることにした。

4 山地表層部の広域地下水流れの解析例

山地表層部の地下水流れの解析例を示す。地下水流れは、非定常不飽和浸透流を有限要素法で計算した。まず、解析対象場として図-7(a)のように3次元要素を設定した。要素数は64、接点数は中間接点を含むため531である。このような解析場を設定した理由は、将来的に国土数値情報などを組み入れて図中(c)のような一般形状で計算させる場合に有利と考えたからである。例えば、(a)のような簡単な場で、各要素番号と接点番号との対応を作っておけば、各接点の座標と実地形に合わせるだけでデータ入力しうることになる。さらに、地形が何らかの関数形で近似し得れば、座標の設定は座標の設定は極めて容易である。プログラムではこのような座標の設定に対応しやすいよう配慮している。

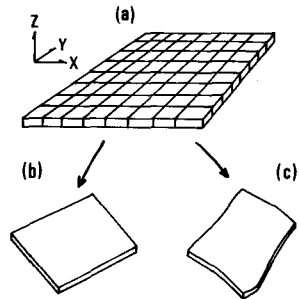


図-7 有限要素法による解析場の設定

ここでは計算例として (b) のように Y 方向に 10% 勾配を取った場合を示す。図-8 に仮定した不飽和透水係数、サクション水頭、飽和度を示す。境界条件として、側面は流入出 0 境界とし、ただし領域の下端部のみ流出有りとした。また、(1) 降雨、蒸発とも与えない場合、(2) 東濃で得られた植生による蒸発 $5.6326(\text{mg}/\text{m}^2/\text{s})$ を与えた場合、(3) $10\text{mm}/\text{hour}$ の降雨を与えた場合、の 3 ケースを考えた。このケースでは地形は Y 方向のみに傾いているので、Y 方向にのみ水頭の分布が生ずることになる。図-9 は各々のケースの水頭分布の差を取ったものである。図では降雨、蒸発のない場合を基準にして Y 方向各地点での差を取っている。なお、図中の横軸は地形高さである。図から水頭差の分布は妥当に計算されていることがわかる。現在は、さらに実際の地形情報に合わせた解析を試行している。

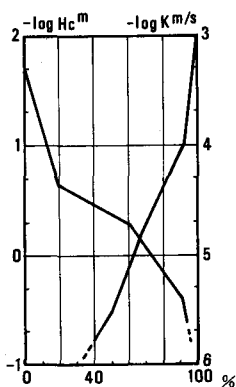


図-8 仮定した
不飽和特性

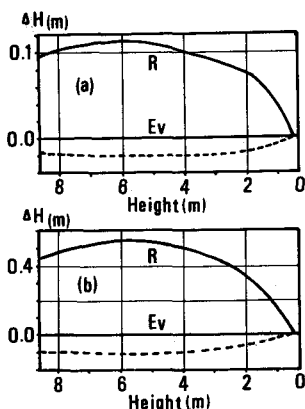


図-9 (a) 3 時間後、(b)
18 時間後の水頭分
布の相対差

5 結論と今後の問題

広域地下水流出を行うにあたって、種々の問題があった。その中で最も大きな問題は、対象場の妥当なモデル化と、降雨や蒸発散量の平均化であると考えられる。今回、岐阜県東濃鉾山の試験地域を対象として植生の根の分布と、1 枚 1 枚の葉からの蒸散を調べることで、この問題の解決を試みた。その結果、根の分布から流出場がモデル化しうる可能性や植生蒸散の基本的な特性が明かとなった。さらに、こういった研究を基に広域地下水解析プログラムを開発した。このプログラムでは地形情報を取り入れ易いような工夫がなされている。

今回の研究では対象を東濃地域に限定している。また、計測が夏期のみであり不十分な点もある。しかし、今回の研究によって、研究の方法についてはある程度方向性が示されたと思う。今後、異なった植生や地質を対象として各々の流れ場をモデル化してゆくことが必要であろう。

参考文献

- 1) Watanabe, K., Analysis of three dimensional groundwater flow in the near-surface layer of a small watershed, J. Hydrology, vol.102, pp.287-300, 1988.
- 2) 中島誠、斉藤章、柳沢孝一、渡辺邦夫、岩盤浸透流解析の涵養量の算定について、第 23 回岩盤力学シンポジウム、pp.252-256, 1991.
- 3) Watanabe, K., Evaporation measurement in the Validation Drift, Stripa Report, TR 91-06, pp. 1-132, 1991.