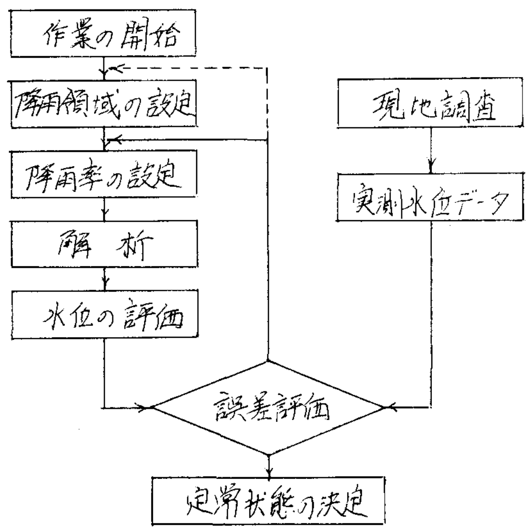
III-131　降雨浸透流解析に対する逆問題の適用について

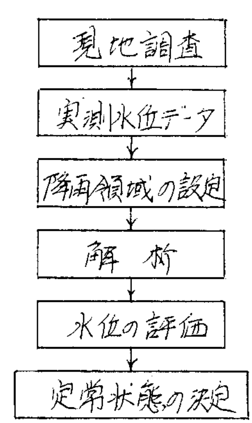
(株)開発計算センター　正員 ○村田 満
〃　井田文雄
電源開発株式会社　正員　堀 正幸

1. はじめに

地山の浸透流解析を行なう場合，精度の意味で問題となるのは，第一番目の項目として解析地点の飽和透水係数と不飽和透水特性の精度の問題がある。しかし，これらの物性値が十分満足できるものであるとしても，解析上の計算時間やコスト，並びにデータ量等の制約から，種々の仮定のもとに，二次元の解析を行ない，現地での三次元的な浸透水の非定常な挙動を予測することが多いものと考えられる。そこで，いま，二次元の飽和・不飽和領域を対象とした非定常な計算を行なうとすると，問題となるのはやはり，三次元的な地形の影響による奥行き方向からの地下水の流れのモデル方法であると考える。一般に，奥行方向からの二次元の解析断面への流入，流出量が定常的であると仮定できるような場合には，その量を降雨によってモデルする方法がある。また，多くの地山における浸潤線は，概ねその地表面の形状に沿って，地表面下20～30mのところにあるといわれていて，これを二次元断面のもとに浸透流の解析を行う場合等，浸潤線の形状を設定するには，降雨によってモデルする方法が適当であると考える。しかし，現地での浸潤線の位置が既知であっても，この降雨量を推定するには，物性値に対するパラメータの同定と同様の作業が必要であり，従来は，Fig.1に示すような過程で作業されていた。これに対し，本手法は上述の問題に対する逆問題であり，Fig.1に示す作業過程の逆の手段で解析するものである。すなわち，Fig.2に示す概要によって，現地での浸潤線の位置のデータから，その形状を構成するための降雨量を推定することである。



（Fig.1 従来の作業の流れ図）



（Fig.2 逆問題での流れ図）

2. 有限要素法による逆問題の定式化

定常状態における浸透流の基礎方程式は(1)式に示すようになる。

$$K_x\cdot(\partial^2 H/\partial x^2)+K_y\cdot(\partial^2 H/\partial y^2)-Q=0 \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに，K_x, K_y はx, y方向の透水係数であり，Hは全水頭，Qは湧水量（涵養量）を示すものとする。また，この汎関数Jは，

$$J=\iint\left[\frac{1}{2}\left\{K_x\cdot(\partial^2 H/\partial x^2)+K_y\cdot(\partial^2 H/\partial y^2)\right\}-QH\right]dx\,dy \quad \cdots\cdots(2)$$

であり，これを有限要素法により離散化していくと，次のような一次の連立方程式を得る。

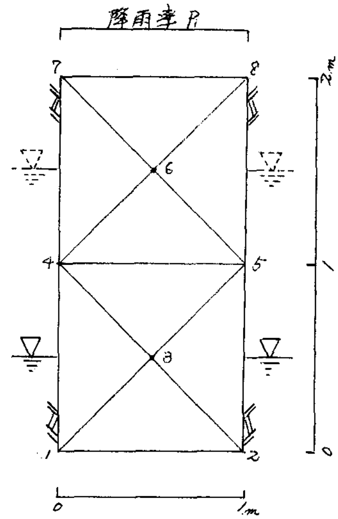
$$[P]\cdot\{h_p\}+\{B\}=\{\delta\} \quad \cdots\cdots(3)$$

ここに，$\{h_p\}$は，圧力水頭ベクトル，$[P]$は，浸透性行列，$\{B\}$は，位置水頭ベクトルを示すものとする。また，$\{\delta\}$は，節点湧水ベクトルを示し，いま，

定常状態を仮定していることから、節点での貯留量は零となるので、これを降雨による節点湧水と考え、水頭値の既知数分の降雨数を考えると、(3)式は、(4)式のようになる。

$$[P]'\{X\} = \{B\}' \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

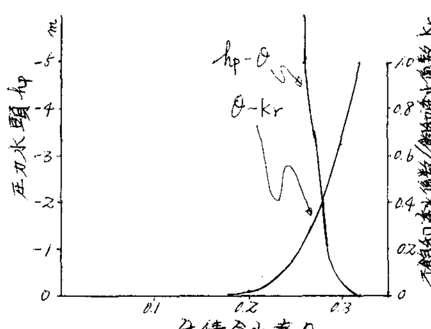
ここに、$[P]'$は、既知水頭の節点要素をはぶいて、降雨の関係する節点に係数を付加した浸透性行列、また、$\{X\} = (\tilde{h}_{p1}\ \tilde{h}_{p2} \cdots \tilde{h}_{pm}\ g_1\ g_2 \cdots g_m)^T$で、この未知量$\{X\}$は、未知の圧力水頭$\tilde{h}_p$と降雨を代表する節点湧水量$g$で構成される。また、既知の節点数と未知の降雨率$R$を同数としてモデルしておけば、(4)式は汎関数(2)式を最小にし、かつ節点湧水量gをも求める連立方程式となる。



（Fig.3 解析例1の解析モデル）

3. 解析結果

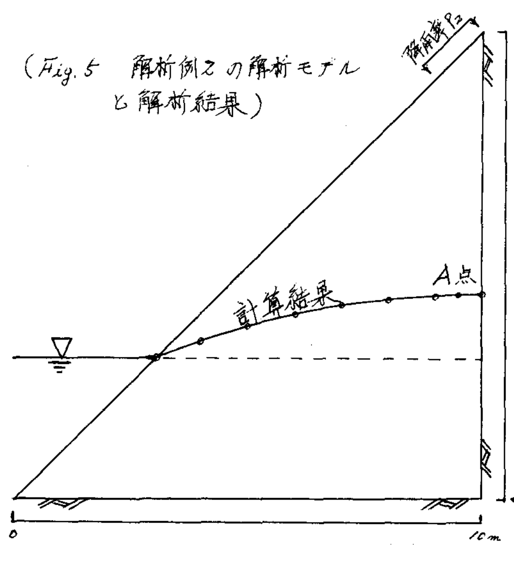
1) 解析例1　Fig.3に示すように、解析例1としては、8要素モデルを考える。また、この設定条件としては、3番節点に水面が存在するとすると、1,2番節点の境界条件は圧力水頭$h_{p1,2}$で0.5m となり、上部、側方とも不透水と考えるとモデルではフラックスは零となり、1,2番節点からの節点流量も零となる。そこで、7,8番節点線に降雨があるとし、水面が6番節点の位置にあると仮定する。すなわち、3番節点の位置から6番の位置に水面を持ち上げるには、いくらの降雨を考えればよいかというモデルである。そこで、飽和透水係数K_{sat}を1×10^{-5}m/secとし、上述の手法を適用した結果、フラックスP_1は0.667×10^{-5}m/secと算定されている。



（Fig.4 不飽和透水特性）

2) 解析例2　解析例2としては、Fig.5に示すように、三角形のモデルを考え、Fig.5に示す外水位があるとすると、定常状態では、破線のような水面形が得られるはずである。また、物性としては、飽和透水係数K_{sat}を1×10^{-6}m/sec、間隙率n_2を0.32とし、不飽和の透水特性としては、Fig.4に示すものと仮定している。そこで、A点を自由水面の一部とするため降雨率P_2を、求めている。結果フラックスは6.39×10^{-7}m/secとなった。また、この降雨率を通常の浸透流解析に適用して検証していて、同等の水面形、並びに圧力分布を得ている。

（Fig.5　解析例2の解析モデルと解析結果）



4. 考察並びに今後の課題

解析例2によって、逆問題としての結果と、通常の浸透流計算での結果が同等のものとなったことより、従来までのパラメータの同定に必要な作業は軽減されると考える。さらに、今後は、実地盤に適用することによって、二次元での非定常な浸透水の挙動の解析の初期状態の予測に用いるとともに、降雨を与える領域についても検討する必要があると考える。

〔参考文献〕1). Neuman, S.P.; ASCE, Vol.99, HY12, PP.2233~, 1973, 2). 駒田; 電力中央研究所報告, No.377016, 1978