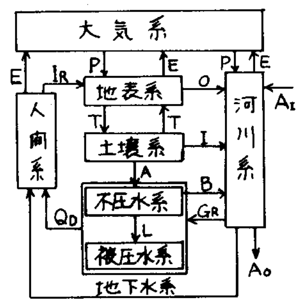
III-110　地下水挙動シミュレーションの1例

(株)中堀ソイルコーナー　正会員　○池森 珪祐
同　山本嘉一郎
兵庫県姫路土木事務所　高重 義之

1. まえがき

地球上の水文学的な循環系を分解してみると，模式的に図-1のように示される。水文学的循環系は、大気系,地表系,土壌系,地下水系,河川系,それに人間の生産活動によるかんがい体系のような人間系の要素に区分される。人間系を除いた他の系がいわゆる自然環境を構成するものであり、それらはお互いに密接な関係で結ばれている。それらを結びつけるリンクが降水であり，蒸発散，浸透，地表流去，地下水流去などの水文学的現象である。



□ サブシステム　L－漏　水
P－降　水　T－移　動
E－蒸発散　QD－揚　水
O－表面流出　IR－かんがい
I－中間流出　AI,Ao 河川流出,流入
B－基底流出　A,GR 地下水かん養

図-1 水文的循環系を構成する諸要素

今回のシミュレーションは、このしくみを数理的に電算機プログラムの中に再現し、種々の条件下での地下水の動きを調べるものである。

河川改修工事を行なった周辺の井戸において，水位低下現象が生じた地域でその因果関係を調べて改修工事による周辺井戸水位への影響量を評価した。

モデルは図-2に示すように，A·B·C 3つの川に囲まれた区域について行なった。これを図中に示すように、多数の三角形要素に分け、とくに詳細な結果を要する山すその南側については，要素を細かく分けた。

昭和53年11月，図-2に示すC川下流において改修工事のため河床掘下げ工事にかかり、川の水位をT.P. +2ᵐから −1ᵐへ約3ᵐ低下させたところ、川から100ᵐ内外に存在する井戸の水位が低下し，一部は使用に支障を来たした。川とこれらの井戸の水位は事前より観測されており、井戸の水位低下は明らかに工事に起因するものであることが判明した。ところが、川の水位を約2ヶ月維持した54年1月頃,図中の黒くぬった，川より600ᵐ離れた地区で井戸水が低下する現象が起きた。そこで改修工事がこれらの地区に及ぼす影響を調べたものである。

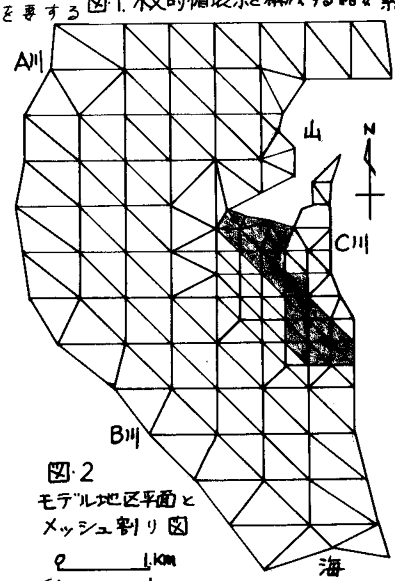


図-2
モデル地区平面とメッシュ割り図

2. 手法

次のようなモデルにおいて、有限要素法を用いて行なった。

(1) 定常流：図-3のような平面2次元問題として不圧地下水の流れを考えると、その基礎方程式は揚水を考えない場合

$$\partial(kh\,\partial h/\partial x)/\partial x+\partial(kh\,\partial h/\partial y)/\partial y=0$$

で表わされる。ここでkは透水係数，hは不透水層からの地下水の水深である。上の式を変形すると

$$\partial\{(k/2)\,\partial h^2/\partial x\}/\partial x+\partial\{(k/2)\,\partial h^2/\partial y\}/\partial y=0$$

となり，あらためて$h^2/2=H$とおくと

$$\partial(k\,\partial H/\partial x)/\partial x+\partial(k\,\partial H/\partial y)/\partial y=0$$

となる。この式を解くことは次の汎関数を最小化することである。

$$\chi(H)=(1/2)\iint k\left[(\partial H/\partial x)^2+(\partial H/\partial y)^2\right]dx\,dy$$

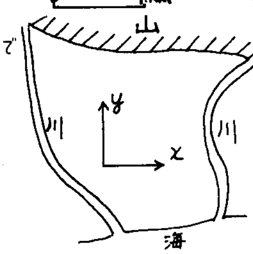


図3 平面2次元モデル

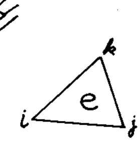


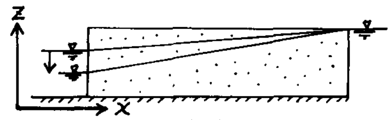
図-4
三角形要素

そのためにはまず領域を図·4のような三角形要素に分ける。この要素内のHの一次分布を仮定すると要素e内のHは、節点i j kの値をH_i, H_j, H_kとして、$H^e = N_iH_i + N_jH_j + N_kH_k$と表わせる。ここで問題は節点の値を$\chi(H)$が最小となるように決めることであるからこの式を使って$\partial\chi/\partial H_i = 0$を各節点について導き、次のような連立方程式を組立てれば良い。

$[A]\{H\} = 0$　これを解いて得たHより、$h = \sqrt{2H}$とすれば各節点での水位が解る。

(2)非定常流：右図のように断面2次元問題として非定常流を考えると、その基礎方程式は、

$\partial/\partial x(k\,\partial h/\partial x) + \partial/\partial z(k\,\partial h/\partial z) - C\,\partial h/\partial t = 0$　である。



図·5 非定常流モデル断面

これを解くことは次の汎関数の最小化と同じである。

$\chi(h) = 1/2 \iint \{[k(\partial h/\partial x)^2 + k(\partial h/\partial z)^2] + \beta\,\partial h/\partial t\,h\}\,dx\,dz$　　(βは有効間隙率)

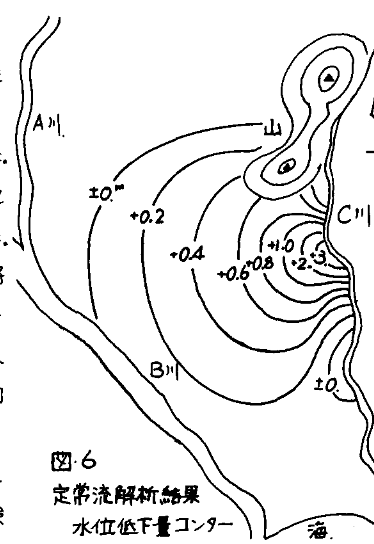
これから定常流の場合と同様にして次の連立方程式を得る。

$[H]\{h\} + [P]\{\partial\phi/\partial t\} = 0$　この方程式を解くことにより各時刻での$\partial h/\partial t$が求まるので、差分法を用いて$h(t)$から$h(t+\Delta t)$を次々に求めることが出来る。

3. 結果

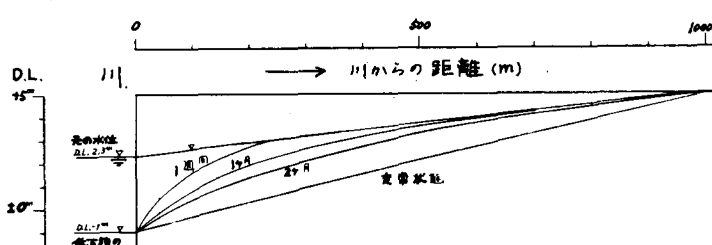
上述の手法を用い、自由水面を持つ定常および非定常浸透流モデルを考え計算を行なった。

(1)定常流解析：平面2次元モデルにより、定常状態での影響量を求めた。地盤の透水係数は既存の井戸データ、今回行なった透水試験、および地表踏査によりほぼ均一であると判断し、透水係数一定の条件で計算した。境界条件としては、山地周辺で不透水の他はすべての境界で実測より得た水位を入力した。結果は、問題の地区で60〜70cmの低下量である。また川より100m内外の井戸については、約2mの推定値を得たが、これは実測によく一致するものである。図-6に得られた低下量のコンター図を示す。



図·6
定常流解析結果
水位低下量コンター

(2)非定常流解析：問題の地区を通り、川に直交する断面を考えた2次元モデルにより、影響量の経時変化を推定した。透水係数は、上述の試験より$k = 5 \times 10^{-3}$ cm/sec，貯留係数(有効間隙率)は土質が砂礫であることより判断して0.16とした。結果を図·7に示す。これによれば、川の近傍では、実測通り直ちに影響が出るが、問題の600m離れた問題の地区では、1ヶ月目ぐらいから影響が出始めて2ヶ月でようやく定常状態の半分程度の低下が生じるようである。この結果も実測によく一致しており、この解析手法の再現性の高いことを示している。



図·7　非定常流解析結果

4. おわりに

以上のように、この手法を用いて工事により起り得る地下水挙動を適確に予測することができる。またそれを用いて、実際工事を円滑に進め、井戸水位の低下などを来たさないための対策を事前に立てることが可能である。

参考文献

上田他(1979)：土木学会論文報告集第283号 P33〜43.