

扇状地自由地下水の平面的挙動について

——明きょ排水の水理について (4)——

大 橋 行 三

A TWO-DIMENSIONAL APPROACH TO UNCONFINED GROUNDWATER BEHAVIOR IN THE ALLUVIAL FAN

——Unsteady Flow of Groundwater into Ditches (4)——

By Gyōzō ŌHASHI

Synopsis

The problems of unconfined groundwater flow from rivers to drainage channels in the Kōfu alluvial fan are solved with the aid of a numerical analysis based on the Laplace equation. The two-dimensional region for the flow is bounded by four bordered boundaries which are the Kamanashi, the Fuefuki and the Ara rivers on three sides and the mountain area on the fourth side. Sixteen channels which have drainage and irrigation action are scattered in the downstream part of this region. Some or all of them are taken into account as the internal boundary conditions in the region.

The calculations of this numerical analysis are carried out by means of the Successive Over-Relaxation method. The results obtained in this analysis have been tested against the observed values with close agreement.

On the other hand, the relations between the changes of the boundary conditions made by the river improvements and the groundwater behaviors induced by the changes in the region are discussed by using the above mentioned numerical analysis.

In conclusion, it has been made clear that the effects of changes in the internal boundaries induced by drainage channel improvements have contributed more to the groundwater lowering in the downstream region than the effects of the changes in the river boundaries.

ま え が き

地下水の広域にわたる変動現象は、河川、湖海の水利用および土地開発に関連して、しばしば重要な問題となる。しかし、かかる現象が理論的に十分説明されるためには、なお究明されるべき問題点が数多く残されている。

本研究は、こういった問題のうち、とくに河川改修にともなう河川周辺自由地下水の挙動を、地下水の平面的解析結果に基づいて検討する。すなわち、地下水流動の境界条件となる河川が、改修計画にもとづいて掘削される場合、その河床低下は河川周辺の自由地下水に如何なる影響を及ぼすか、あるいは逆に、低湿地の地下水はこういった河床掘削によってどの程度排除されうるかといった問題を解明する。

解析は、地下水の平面的2次元流に関する Laplace 式を基礎式とし、SOR 法の数値解析法を用いる。つぎに、この手法を甲府盆地に適用し、上述の問題を具体的に検討するため、種々の境界水位に対する地下

水位分布を計算する。また、計算結果と実測水位分布との対比から、本計算法の適用性を確かめるとともに、扇状地自由地下水の湧水帯における平面的挙動を若干検討する。さらに、河川改修が対象流域の地下水に及ぼす影響について、その傾向を明らかにする。

1. 水平な不透水層上の自由地下水の流れ

1.1 基礎式

扇状地の平地部および沖積平野における自由地下水の流れは近似的に平面 2 次元流としてしばしば取扱われる。これらの基礎方程式¹⁾のうち、水平な不透水層が存在する場合には、簡潔な次の Laplace 式となる。

$$\frac{\partial^2 \bar{D}^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{D}^2}{\partial y^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\bar{D}$: 帯水層全貫入井中の水頭、 x, y : 水平面直角座標

(1) 式の誘導過程に、帯水層の homogeneous, isotropic の仮定が含まれていることはいうまでもない。しかし、実際の領域に、これらの理想条件を適用する場合、土の透水係数のばらつき、あるいは成層状態がどの程度であれば、この条件が成立するのか、その評価方法が確立されていない点は問題とすべきである。また、不透水層の存在位置の選定についても同様なことが指摘される。

1.2 数値解析法

(1) 式の差分近似式は、領域のある点の値 $F_0(x_0, y_0)$ と x 方向に Δx 隔てた点の値 $F_1(x_0 + \Delta x, y_0)$, $F_3(x_0 - \Delta x, y_0)$, および y 方向に Δy 隔てた点の値 $F_2(x_0, y_0 + \Delta y)$, $F_4(x_0, y_0 - \Delta y)$ とによって次式で表わされる。

$$F_0 = \frac{F_1 + F_3 + n^2(F_2 + F_4)}{2(1 + n^2)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $F = \bar{D}^2$, $\Delta x = n\Delta y$ とする。

計算には弛緩法を用いるが²⁾、収斂条件をよくするため、Successive Over-Relaxation (SOR) を利用すると、演算式は次式となる。

$$F_0^{(k+1)} = F_0^{(k)} + \omega \left\{ \frac{F_1^{(k)} + F_3^{(k+1)} + n(F_2^{(k+1)} + F_4^{(k)})}{2(1 + n^2)} - F_0^{(k)} \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 ω : 加速係数、 k : 演算回数

最適加速係数の理論的な予測は単純な矩形領域の場合²⁾に限られているため、不整形領域に対しては試算によって求めざるをえない。

2. 甲府盆地における適用

2.1 計算条件

甲府盆地の自由地下水に関する野外調査および若干の解析結果^{3), 4)}はすでに発表した。ここではそれらの資料を基にした本解析法の適用を考える。なお、対象領域の境界条件となる釜無川、笛吹川の河川改修に関する資料は、別途河床変動の観点より検討された結果⁵⁾によるものである。

2.1.1 境界条件

対象流域の平面形状は Fig. 1 に示すように、釜無川、笛吹川、荒川に囲まれたおよそ 47 km² の流域である。この地域の自由地下水は、主として釜無川と荒川上流の一部とを地下水の供給源とし、笛吹川と荒川中、下流部に向って流下する性状をもっている。また、帯水層の性状はおおむね地表面に平行な pattern であるが、深層ほど水平な半透水性の地層を含んでいることから、不透水層がほぼ水平であると想定される。ただし、その層の位置はさして明確でない。本計算には後述の検討の結果、不透水層を E.L. 200 m とした。一方、帯水層の透水係数 (10⁻¹ ~ 10⁻² cm/s) は上流域から下流域に向って小さくなる傾向をもつが、heterogeneous な帯水層についての解析理論が完成できないため、ここでは一様透水性の地層を想定する。

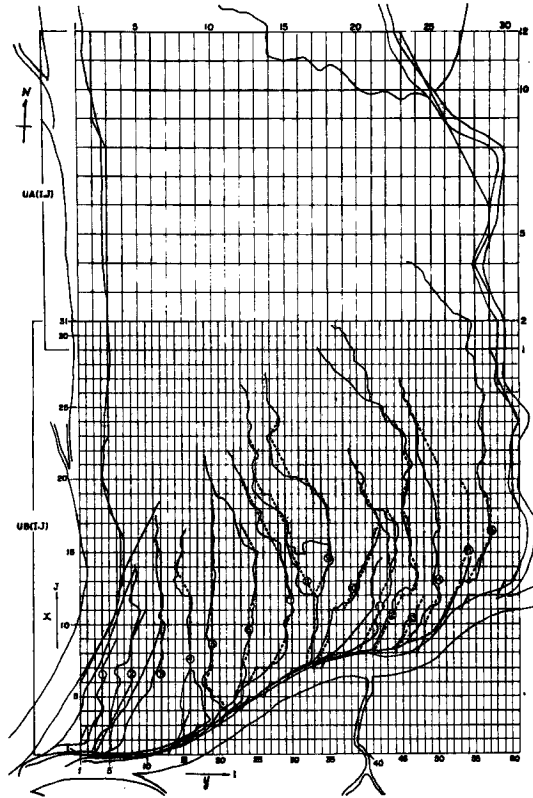


Fig. 1 Topographical map in the Kōfu basin and the region of calculation networks.

領域の境界値は、外周境界について、釜無川、荒川、笛吹川沿の排水河川のそれぞれの水位をとり、とくに領域内に散在する諸排水河川の水位がこの地域の地下流動に大きな影響を及ぼすことを考慮して、それらの水位を内在境界値とした。

これら外周および内在境界の考慮によって次の3つの計算モデルが考えられる。

LAP・1：外周境界と内在境界のすべてを考慮する場合。

LAP・2：外周境界と排水河川のうち排水効果の大きい5本のみを内在境界として考慮する場合。

LAP・3：内在境界は全く無く、外周境界のみを考慮する場合。

境界値としての各水位のとり方は次のように考える。

釜無川：現最低河床高の平均線、および改修後は低水河床（幅 100 m）を水位にとる。なお、地下水供給河川であるので境界水位と地区内の地下水位との間に流入損失現象が現われるが、その定量的な検討は別途究明しここでは計算上の検討にとどめる。

笛吹川：この河川は間接的な地下水排除効果をもつ。すなわち、この川沿に地区内の排水河川が集中しほぼ平行に並び笛吹川に排水される。また、排水河川と笛吹川の河床高は全体的に前者の方が低く、高水時以外は前者の効果が大きいと考えられるから、この区間の外周境界は排水河川の水位をとる。

荒川：上流部わずかの区間が供給源となるが、中、下流部は排水効果の少ない河川である。また、この河川はほぼ単断面形状で河床が安定しているから平均河床を基準水位とする。

領域上流端境界：釜無川寄りには母岩露出に近い山地であり、荒川寄りにいくらか地下水の流入が認められ

るが、近似的にこの断面からの地下水の流入は無いとする。

内在境界：各排水河川はその上流端を湧水帯の上限までとし、上流から下流にわたって平均的な水位が河床上 20～50 cm に保たれるものとする。また、河床高は外周河川の変化に順応して、排水効果の大きい水路を重点的に低下させる。なお、流入損失は無視できる程度と考える。

2.1.2 計算ケース

計算は F, G, …M の 8 ケースの境界値の異なるものを考える。なお詳細な数値は省略するが各ケースは概略次のようである。

F：現況近似に相当する境界値をとる。このケースに対しては計算値と実測値との対比からその近似度を検討する。

G, H, I：釜無川、笛吹川の河川改修によって与えられる河床低下 (i) の場合であって、F の外周境界値よりおよそ 1 m 水位が低下する。また、H は G より内在境界の水位低下が大きい場合である。I は荒川の水位を F より全川にわたって 1 m 低下した条件を H に加えた場合である。

J, L：釜無川、笛吹川の水位が計画 (i) より全川にわたってさらに 1 m 低下する 想定水位 (ii) をとる場合であって、J と L の差は G と H の関係と同様である。

K, M：J と L の条件に I と同様な荒川の条件を加えた場合である。

一方、LAP・2 における内在境界は Fig. 1 の排水河川のうち③⑤⑧⑪⑭の 5 河川をとる。これらの河川改修を計画する区間は笛吹川沿からおおよそ 2 km 以内とする。他の排水河川の改修は下流部のわずかの区間とする。

なお、釜無川沿の流入損失を検討するため、釜無川について F ケースより全般的に水位の低い LAP・1-FS の条件を考える。

2.2 結 果

2.2.1 加速係数

Fig. 1 に示す計算領域について、(a)：UB(I, J) の加速係数 ω と演算回数 N の関係、(b)：許容誤差 ε と N の関係、とは Fig. 2 となる。UA(I, J) の同様な関係は領域が単純であり、格子点数が少ないことから UB より有利な条件下にある。

2.2.2 現況近似と計算モデル

計算結果の実測地下水位分布に対する近似度を検討するため、ケース F について 諸値を比較すれば Fig. 3 のようになる。

LAP・1, 2, 3 のケース F について、各水位等高線図は Fig. 4 となる。この図より、各境界条件に対するモデル別の地下水位分布がわかる。

2.2.3 地下水位分布

各計算ケースを組合わせ、それぞれの河川改修程度に対応した地下水位の低下状態を水位等高線図によって比較すれば次のようになる。

Fig. 5 は、荒川を現況に保ち、釜無川と笛吹川との改修効果を LAP・1 によって比較したものである。

Fig. 6 は、荒川の改修を考慮した場合の LAP・1 による同様な結果を示す。

Fig. 7 は、Fig. 5 と同様な場合の LAP・2 による結果を示す。

3. 検 討

3.1 計算条件

3.1.1 帯水層の厚さ

計算に用いた不透水層の位置は E.L. 200 m である。しかし、実測資料⁴⁾に見られたように、この不透水層上の土層は必ずしも理想的に一樣ではなく、透水性が相対的に小さい累層は、E.L. 200 m の他に、ほぼ E.L. 220 m と 240 m とに不連続的に形成されている。この成層状態の歴然としない土層について、

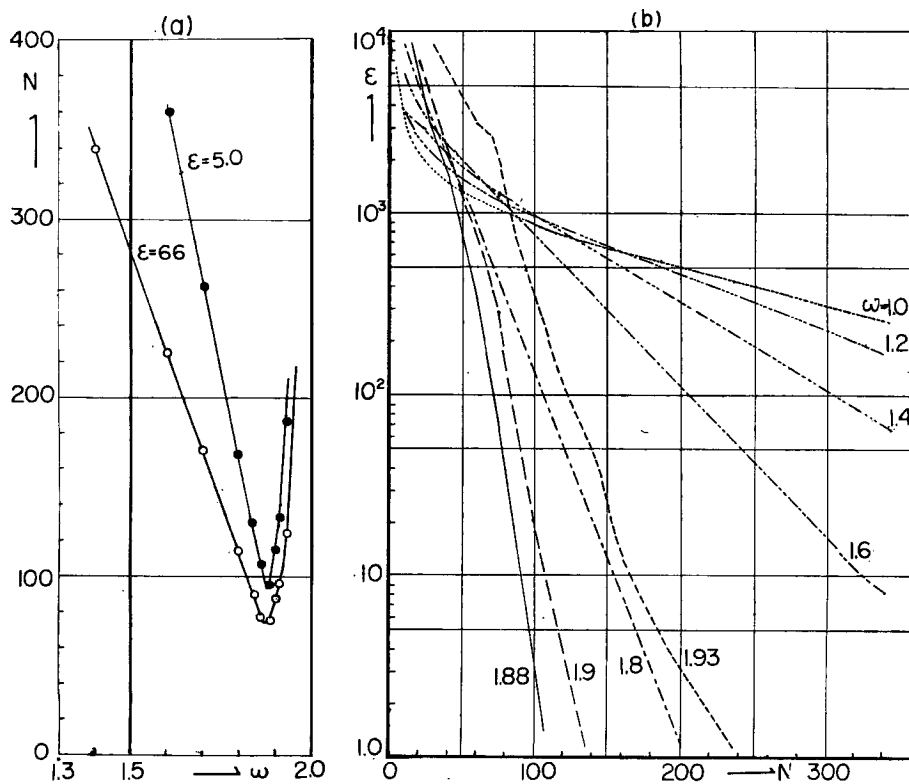


Fig. 2 Relationships among Over-relaxation factor (ω), Numbers of iteration (N) and Summation of errors (ϵ).

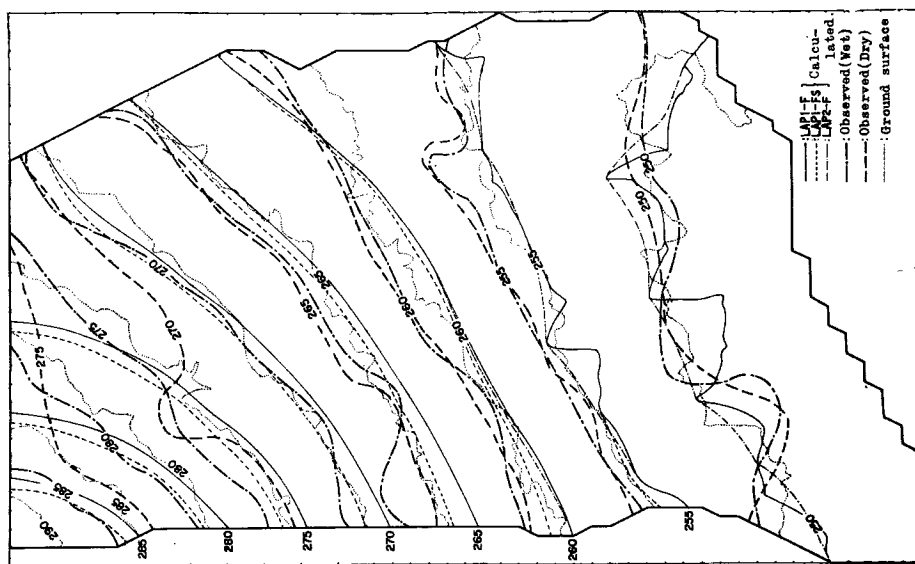


Fig. 3 Comparison between the calculated and the observed values in groundwater height.

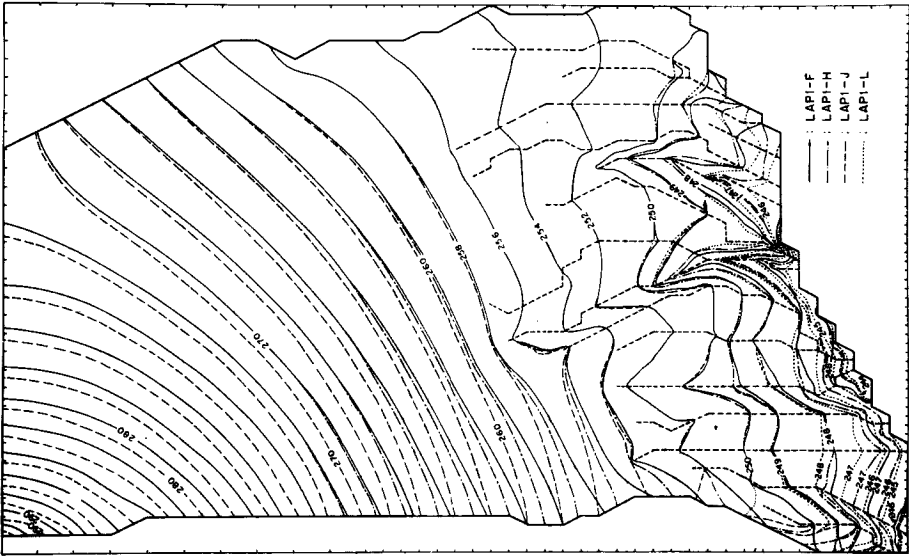


Fig. 5 Results of the calculated (I).

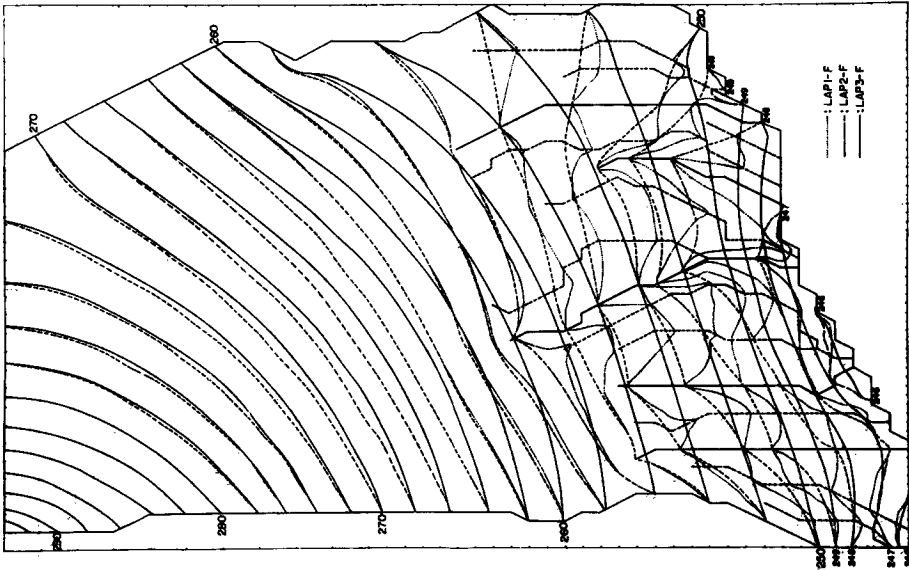
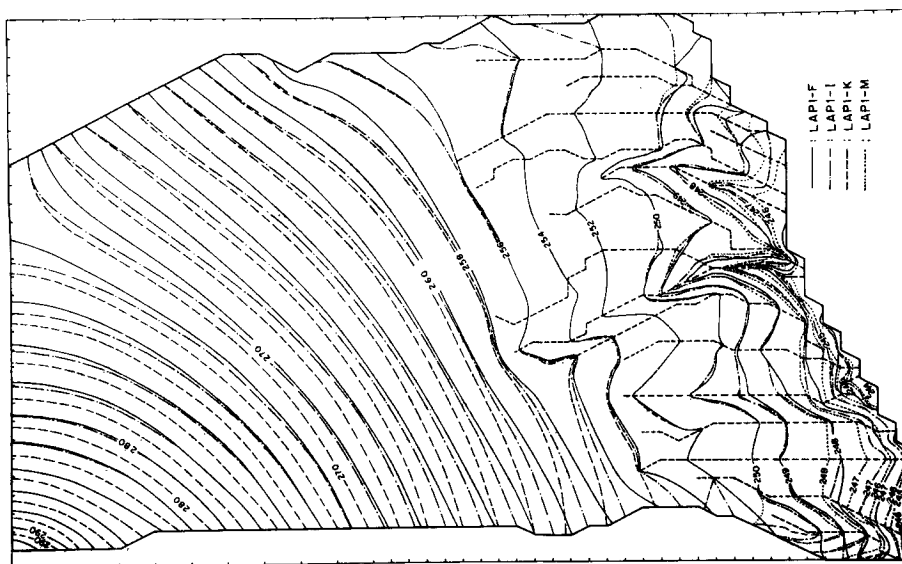
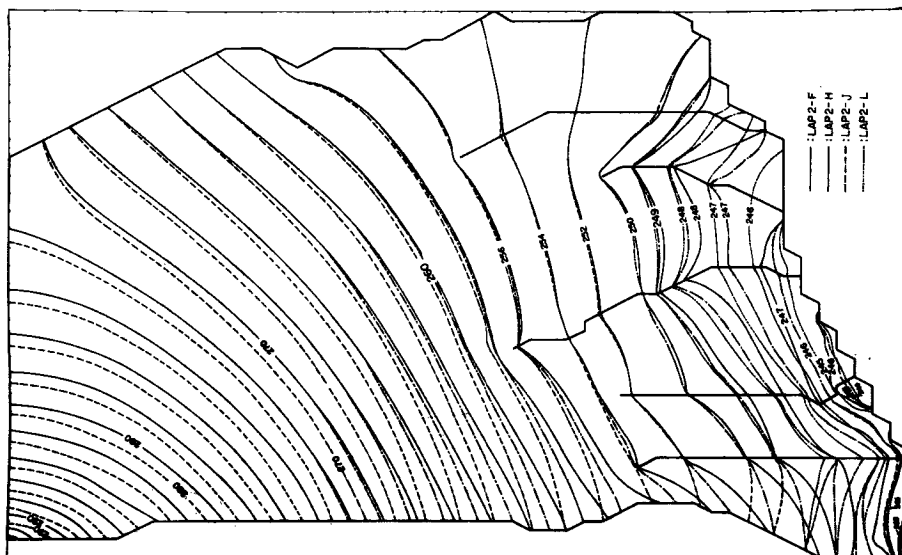


Fig. 4 Comparative map with the contour lines.



不透水層の位置をいずれか決める場合、その判断は少なからず主観に左右されるであろう。

ここでは、このあいまいさを修正するため、実測された湧水帯と計算結果のそれとが一致するように帯水層厚さを選ぶ方法を用いる。さて、対象となる土層に関して、地質構造上湧水帯が形成されるような特異な結果は見られない。したがって、この流域における湧水帯は、外周境界の水位条件のみによって決定されると考えてよいであろう。

そこで、この計算条件を満たす LAP-3 モデルを用いれば、その地下水位分布と地表高との対比から計算上の湧水帯域が求まる。

いま、これらの関係を検討するため、 S_0 を基準にとり、帯水層厚さを順次減少させた $S_1, S_2, \dots, S_9$ について、それぞれの地下水位の上昇高を比較すれば、Fig. 8 のようになる。

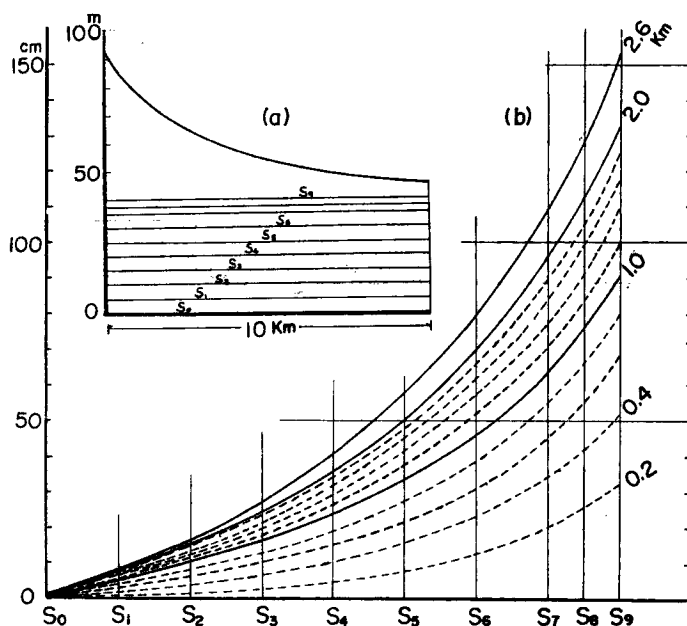


Fig. 8 Changes in the raised value of groundwater heights induced by the decrease of aquifer depth, with which the parameters are the normal distances from the bordered boundaries.

図の地下水位変化量は、境界線からの法線距離を変数として、地下水位の平面的分布の平均値を示している。厳密には、各点の帯水層厚さおよび水面こう配別の評価を要するが、 $S_1 \sim S_9$ の値は、その平均値からの最大ばらつきが、たかだか10%以下であるから、これらの数値によっておおむね評価できると考える。

Fig. 8 の結果には、帯水層が薄くなれば水位が上昇するという当然予想される傾向が明らかに見られる。また、帯水層厚さが極端に減少するとき、水位も急激に上昇し、このような条件下ではほとんど全域が湧水帯となる。

本計算において、不透水層の対象となる層は、E.L. 200, 220, 240 m に対する S_0, S_4, S_9 であるが、これらのうち、 S_9 は最大、最小帯水層厚さの比が 10 : 1 以上になり、水平不透水層を想定すること自体に問題がある。なお、このような場合には漸変傾斜不透水層を考慮すべきであると考えられる。また一方、 S_0 より深い不透層は被圧地下水の影響が著しいから不適当である。

したがって、 S_0 と S_4 のうち、先に述べた湧水帯の形成域を考慮すれば、 S_0 の方がよりよい近似を与え

ることがわかる。

ここに用いた一様帯水層、水平不透水層の条件に基づく計算結果は、帯水層の地質要素が3次元的に平均化された状態の帯水層に対する平均水位を与えるものである。

3.1.2 境界条件

Fig. 1 に示す格子網の大きさは $100\text{ m} \times 200\text{ m}$ および $200\text{ m} \times 400\text{ m}$ である。これらの格子網によって、計算領域の平面的形状は十分近似できるようなのである。ここで、河川の有効幅に関して次の点が問題となる。内在境界の河川は格子網目の大きさに比較して直線近似できるからよいが、外周境界の釜無川のような大河川においては、地下水位の境界値を堤防線、あるいは河川敷内のどの線にとるかによって、結果が異なってくる。本計算は堤防線による近似を行なったが、この平面的位置の問題は、河川表流水が流入する際の損失機構の境界条件として今後検討しなければならない。なお、流入損失高については次節で若干検討する。

3.1.3 加速係数

Fig. 2 に示すように、試算の結果、最適加速係数は $\omega=1.88$ 近傍の値である。また最高値近傍の収斂は他の値にくらべ非常に急激であることがわかる。

一方、許容誤差 ε を (3) 式右边第2項(修正値)の絶対値の総和によって評価するとき、その精度は次式の関係²⁾ から推算できる。

$$\varepsilon \leq |F|_{\max} \cdot 10^{-s} \cdot p \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $\varepsilon \equiv \sum |e_{ij}|$, e_{ij} : 各格子点における修正量, $|F|_{\max}$: F のとりうる最大値(絶対値最大の境界値), s : F に対して要求される有効桁数 p : 演算内点数。

いま、UB(I, J) 領域では、 $|F|_{\max}=70.8\text{ m}$, $s=4$, $p=1289$ の値となるから、(4) 式の右辺の値は 9.13 となり、 $\varepsilon=5.0$ の値を許容誤差にとれば十分な精度がえられる。

演算の都合上、領域を UA と UB の2つに分けたが、それらの接続精度は良好であった。

なお、計算には KDC-II を使用した。

3.2 近似度とモデルの特性

3.2.1 近似度

本計算結果が、実流域の地下水挙動をどの程度近似するか、Fig. 3 において検討する。

図より、LAP・1-F の計算値は、全般的に実測値によく対応している。しかし、細部の傾向を比較すると、(i) 計算値は実測値にくらべいくらか高い。(ii) 標高によってそのへだたりの傾向が異なっている。などが指摘される。

(i) について： とくに釜無川沿いの計算水位が高い原因は、流入損失水頭を考慮していない点、あるいは境界線の位置をみお筋に関係なく堤防線とした点、などによると考えられる。ここで、流入損失について、Fig. 3 の LAP・1-FS に示すようにおよそ $1.0 \sim 1.5\text{ m}$ の損失高を見込んで計算した結果は、LAP・1-F より良好な近似を示している。このことから、流入損失高が水理学的に推算できるならば、近似度はさらに良好となる。

(ii) について： E.L. 275~270 m 線は上流右端付近で計算水位が低くなっている。これは領域上流端からの流入が無いと想定したためであるが、近傍への影響も少なく無視できる。E.L. 265~260 m 線は中央部で計算値が高くなっている。この原因は、排水河川の上流端を湧水帯の上限までとしたが、実際にはこれらの河川がさらに上流まで存在し、この近傍の地下水を排除するためと考えられる。したがって、水路長さの不足する 2, 3 の河川を若干延長すれば解決される。次に、E.L. 255~250 m 線について、この領域の排水河川が地下水位を低下させる結果は計算値に顕著に現われて、等高線の形状は実測値のものより複雑である。しかし、これらは局所的に傾向が異なっているもさして重要ではない。ただし、255 m 線は中央部でへだたりが大きいのは、局所的な地質の特性が計算上無視されるためと考えられる。その他、排水河川の平面的屈曲を直線近似する際に、水路の延長距離を修正するため、その累積誤差が上流ほど大きくなること

に起因すると考えられる。

以上の考察から、(i) 流入損失高を考慮する、(ii) 排水路の近似精度を高める、など改良すべき余地を残しているが、全体としての地下水挙動は本計算法によって十分近似できると考えられる。

3.2.3 モデルの特性

LAP・1, 2, 3 はそれぞれ境界条件が異なっている (2.1.1)。これらのうち LAP・3 は省略する。

Fig. 4 に明らかなように、内在境界の影響は LAP・3 にくらべ下流域から中流域にわたって顕著である。LAP・1 と 2 の水位等高線の相違は、下流域において現われる。すなわち、LAP・1 の方は、各水路に沿った複雑な形状となり、この図より、各河川はそれぞれ地下水かん養・排除作用かのいずれかの機能をもつことがわかる。LAP・2 は地下水排除効果の大きい水路のみを考慮したから、地下水位低下領域は LAP・1 より広い。

このような LAP・1, 2 のモデルの相違を実態現象に結びつけるとすれば、平面的な (たとえば田面からの) 地下水の供給要素を無視しているが、LAP・2 は用水系の河川水位が無視できる渇水期を、また LAP・1 は逆の豊水期の地下分布を近似するものと解釈できる。

一般的に、現状の排水河川の数および分布は、局所的な改修工事が過去に施されたとしても、主として地形的な自然要素に支配されているものと考えられる。このような対象地域の内水排除計画を根本的に検討する場合には、地下水位制御と内水処理の観点から、ここに用いる計算モデルによって、逆に流域における最適排水路数および分布を究明することが可能である。この場合、領域の水理地質との適合性あるいは計算手法の改良などさらに検討を要することはいうまでもない。

3.3 河川改修と地下水位低下

3.3.1 LAP・1 および LAP・2 による考察

Fig. 5 において、LAP・1, 2-F を基準にとって各ケースの結果を考察する。

まず、H ケースの掘削 (河床) 水位がもたらす、地下水位低下の効果は、釜無川、笛吹川ともさして顕著でないといえる。また、釜無川の H ケースの水位は上流から中流にかけて、F ケースとほぼ同一であるため、地下水の供給量に関しても大した変化が生じない。

次に、J, L ケースの釜無川水位は、荒川沿を除く、上流域より中流域のかなり広い範囲にわたって、地下水位低下の影響を及ぼすことがわかる。したがって、釜無川からの地下水供給量は明らかに減少する。しかし、下流域の変動域は、主要排水路下流部分で H ケースよりわずかに広がる程度である。

Fig. 6 について、荒川の河床低下を考慮した場合、荒川寄りの上流域から中流域にわたる領域に、Fig. 5 とは異なる低下領域が表われるが、全体的な地下水の性状は H ケースとほぼ同一である。したがって、荒川を改修する効果は下流領域に対してほとんど期待できないといえる。

Fig. 7 の LAP・2 による H, J, L ケースについて、各ケースとも、外周境界の変化が領域内に及ぼす影響は、上中流域において、LAP・1 の場合とほとんど同一であるといえる。これにくらべ、排水河川の地下水位低下の影響は、領域内で地下水を供給する用水系水路が無視できるため、非常に顕著に表われる。

このような結果から、地区内の地下水位低下の効果を大きくするためには、排除作用の大きい水路を掘削するとともに、低下を妨げる要因を最小限に保つことが肝要となる。この場合、笛吹川沿いの全域にわたる地下水位低下が期待できる。

3.3.2 河川改修と地下水位低下

これまでの結果とその考察を通じて、河川改修にもとづく外周河川あるいは内在排水河川の河床 (水位) 低下、それらが地区内地下水に及ぼす効果との関連をみると、次の諸点が明らかにされる。

まず、釜無川のような主として地下水の供給河川については、河川改修の直接的効果は、上中流域の地下水供給量を減少させ、河川沿のわずかの流域の地下水位低下をもたらす。その結果、下流域の湧水量を減少させることになるが、排水河川の散在する下流域の地下水位を低下させるほどの効果はない。

つぎに、地下水排除作用をもつ笛吹川について、河床低下の効果は、下流域に若干表われるが、主として

笛吹川に接続する排水河川の水位低下および排水能力の増大によって生ずる間接的な効果として表われることになる。

いずれにしても排水路の散在する流域の地下水位は、外周境界の水位変化によってほとんど左右されないことが明らかである。

そこで、湧水帯内の地下水特性に注目して若干考察してみる。

湧水帯内の地下水位は、外周境界のみによって算定されるとき、地表面ないし内在境界水位より高い値となる。つまり、湧水帯内における地下水は帯内全域で湧出するはずである。しかし、実際には湧出水位を規制する排水河川に支配され、地下水位は少なくとも地表面より低くなっている。したがって、外周河川の改修後の水位が地区内に湧水帯を形成する範囲内であるとき、湧水帯内の地下水位は常に、地区内排水河川に支配された水位となる。またこのことは、湧水帯における地下水が、単に上下流の水位条件によって流動するのみでなく、鉛直方向からの地下水供給をうける流れであることを意味している。

このような下流域の地下水位の制御は、結局、排水路網の合理的な設定に依存する問題となる。なお、この流域の地下水排除を効果的に行なうためには、外周河川と排水河川の河床接続を十分考慮して、主要排水河川をできる限り上流まで掘削するとともに、その水位を下げる方策が必要となる。

その他、排水河川の水路断面あるいはこう配の決定に関しては、内水の流出解析結果にもとづく規制要素の方が、地下水排除のそれより支配的である。したがって、本計算法によって得られる地下水位は、地下水位制御の面から、水路の常時水位の基準を示唆するものである。

結 言

本研究は、河川周辺自由地下水挙動に関して、とくに、河川改修にともなう境界水位の変化が、地区内地下水位に与える影響およびその結果について検討したが、つぎにそれらの結果を要約する。

1. 解析に用いた平面2次元流に関する数値計算法は、自由地下水の平面的挙動を近似するための有効な結果を与える。
2. 帯水層厚さを決定する際に湧水帯の形成領域を考慮する方法を示した。
3. 甲府盆地について、河川改修に際し予測される地区内地下水位分布を推算した。さらに、改修によってもたらされる具体的な地下水挙動は以下のようである。
4. 計算結果と実測値との対比から、この流域における地下水の平面的挙動は、排水河川を内在境界として考慮する計算モデルによって十分説明されることを示した。
5. 下流域に湧水帯が形成されるため、外周河川の水位低下（河川改修）は、地下水供給量を減少させるが、地区内地下水位を直接的に低下させる効果はさほどもない。
6. したがって、湧水帯内の地下水位は、内在排水河川の水位にほとんど支配される。このため、排水河川を掘削する方法が有効となる。
7. このような流域の低湿地地下水を効果的に排除するためには、内水排除効果を大きくするとともに、地区内排水河川の水位をできる限り上流まで下げる方策が必要となる。
8. なお、本計算法を用いる際には、流入損失高を考慮する必要がある。今後この問題を究明するとともに、heterogeneous 土層および3次元の解析法に関する研究をすすめる。

なお、本研究は昭和42年度特定研究費による研究成果の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 大橋行三：自由地下水の水面解析について、京大防災研究所年報，No.10B，1967. p.170.
- 2) 清野 武：電子計算機によるラプラスの方程式の解法（特に加速係数の推定について），KDC-I レポート，NC 002，1962/003.
- 3) 大橋行三：甲府盆地地下水の水面解析について、京大防災研究所年報，No. 9，1966.

- 4) 防災研究協会：甲府盆地地下水の動態に関する研究調査報告書，昭和42年3月.
- 5) 防災研究協会：富士川禹の瀬上流地区の河床変動調査研究報告書，昭和42年3月.