

III-2

有限要素法による地下水位低下の影響量の推定

京都大学工学部 正員 松尾新一郎
同 上 正員 ○河野伊一郎

1. はしがき

地下水流の締め切り¹⁾や地下水の揚水によって、それより下流側の地域の地下水位が低下したり、また、湧水や揚水井 (Source) があるときには、その湧水量や揚水量が影響を受けて減少することが予想される。これらの水位低下の影響を定量的に推定する有力な手法として有限要素法 (Finite Element Method) を用いることができるが、その場合に生じるいくつかの問題点とその対処の一方法を提案し、また、地下水位低下の影響の検討例として、静岡県黄瀬川水系における地下水位低下が柿田川湧水に及ぼす影響、および周辺下流地域の地下水位低下量の推定分布を示す。

2. 有限要素法による平面地下水流の解析と問題点

Fig. 1 に示すような、境界 (B) に囲まれた平面地下水流の場 (R) を考える。領域内においては周知のとおり式 (1) が成立する。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = g \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 h : 地下水位、 T : 透水量係数 (添字は方向を示す)、

g : 単位面積あたりの水の出入量 である。

また、境界 (B) は、その上で水位 f が与えられるもの (B_1 -Type) と、
地下水の流量 q_n が与えられるもの (B_2 -Type) とに分ける。

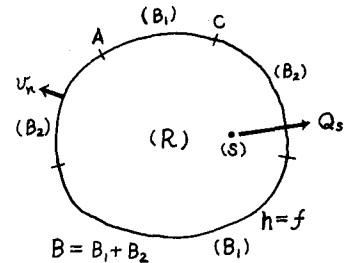


Fig. 1 平面地下水の領域と境界条件

$$h = f : \text{given on } B_1, \quad q_n = -T_n \frac{\partial h}{\partial n} = g : \text{given on } B_2 \quad \text{----- (2)}$$

領域内には Source (S) が存在し、その湧水量を Q_s とする。

以上記のような境界条件のもとでは、地下水位 h を変数とする変分原理にもとづいて有限要素法を適用して、問題を解くことができる。^{2), 3)} ここに、Source (S) の取扱いは、一つの node で代表させる Point Source と考えることが便利であり、しばしば用いられる。

〔問題 1〕一広域にわたる平面地下水を対象とする場合には、現実問題として、上記の境界条件としての、地盤の透水性 (透水量係数 T の分布) をいかにして知るかということが、最もむずかしい問題の一つである。この T に較べて、 h の分布を測定する方が一般に精度もよく、容易である。そこで、 T を変数、 h を既知量として有限要素法が適用できるなら便利である。式 (1) に準じて、式 (2) を適用すれば、 h の分布を知って有限要素法の手法で T の値を算定することができよう。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(H'_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(H'_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = g \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 $H'_x = \partial h / \partial x$, $H'_y = \partial h / \partial y$, $\partial T / \partial x = T_x$, $\partial T / \partial y = T_y$ である。

(筆者は現段階では、式 (3) の解析プログラムを利用するまでにはいたらず、式 (1) を用いて得た h の計算値と実測値とを比較しつつ、 T の値を修正してゆく Trial な方法をとっている)。

式 (3) によって算出される T は、 $g = 0$ の場合には、相対的な大きさの分布 (比率) が求まるのであるから、 T の絶対値を知るためには少くとも領域内の 1 地点で T の値を知る必要がある。このようにして求められる T は等価透水量係数とも呼ばれるべきものであり、筆者らが広域地下水の調査に「準深」の考え方を提案したか、⁴⁾

基本的な考え方はここに準ずるものである。

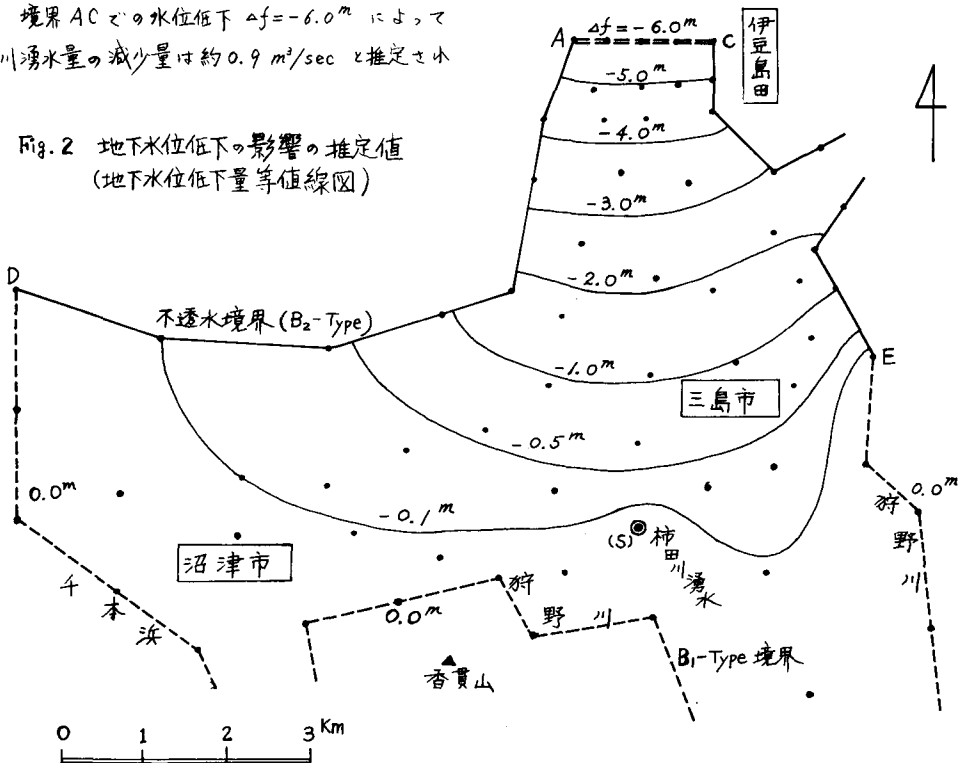
〔問題集 2〕— Fig. 1 の B_1 -Type の境界 AC の水位を Δf 低下させた場合を考えてみる。
 この境界条件の変化は領域 (R) 内の地下水位低下をもたらすが、その低下量は有限要素法によって算定できる。⁵⁾
 問題は、Point Source (S) が湧水である場合には、地下水位低下によるその湧水量の減少量を算定する必要がある。有限要素法においてはしばしば Point Source として、一つの node に集中させた水の出入量として取り扱うことが便利で、よく用いられるのであるが、その場合には、node の水位は現実の湧水地帯の水位とは一致しない。なぜなら、一つの代表させた node がいかなる揚水半径(面積)を意味しているかが不明であるからである。そこで、まず境界水位低下前の状態で、現在の湧水量(既知) Q_0 に相当する当該 node の水位(仮の値と考えるべきもの)を算定し、つぎに境界水位低下 Δf を与え、湧水地帯 (node) の水位として上述の仮に求めた値を代入して、そのときの湧水量 Q'_0 を算定する。 Δf による湧水量の減少量 $\Delta Q'_0 = Q_0 - Q'_0$ である。

3. 解析例

静岡県黄瀬川水系は富士山でかん養された大量の地下水が流下しており、三島湧泉群などわが国でも最も豊富な地下水地帯となっている。そのうちでも柿田川の大湧水では平均 $13.25 \text{ m}^3/\text{sec}$ が湧水している。いま、Fig. 2 に示すように伊豆島田近傍の (AC) で地下水位を $\Delta f = -6.0 \text{ m}$ 低下させた場合を想定する。(地下ダムあるいは揚水による)。同図の太い実線 (B_2 -Type) と破線 (B_1 -Type) で囲まれた下流領域(三島市、沼津市)を 108 の三角形有限要素に分割して、有限要素法によって地下水位低下の影響量を推定した。低下量の分布と地下水位低下量等値線を示している。

また、境界 AC での水位低下 $\Delta f = -6.0 \text{ m}$ によって柿田川湧水量の減少量は約 $0.9 \text{ m}^3/\text{sec}$ と推定された。

Fig. 2 地下水位低下の影響の推定値
(地下水位低下量等値線図)



〔参考文献〕 1) 松尾、河野：地下水規制のための地下ダム構想，土木学会誌 53-3 (1968)，2) たとえば Zienkiewicz 他：The Finite Element Method, McGraw-Hill (1967)，3) 河野：有限要素法による堤体の非定常浸透流の解析，土質工学研究発表会論文集，4) 松尾、河野：広域地下水の水位変動の解析，土木基礎 17-1 (1972)，5) 松尾、河野：FEMによる地下ダムの効果の検討，土木学会関西支部学術講演集 (1972)