

愛媛大学大学院	学生員	○矢野 成
愛媛大学工学部	正 員	鈴木幸一
愛媛大学工学部	正 員	渡辺政広
愛媛大学工学部	正 員	門田章宏

1. はじめに

西条市の地下水の重要な供給源である加茂川は、石鎚連峰を源流とし、西条市街地の西部を貫流している。この平野部においては加茂川の水が広範囲にわたり地下水の主なかん養源となって地下に浸透し地下水となっている。西条市の地下水に関しては、西条市を中心として種々の調査が行われ興味深い知見が得られているが、被圧地下水の主要な自噴地帯が 3.0m～3.5m の地点から加茂川下流側平野部の一部の地域に限られていることなど不明なところも多い。本研究では、この自噴地帯がある地域に限られている特性を有限要素法を用いて多層帯水層地下水位の準三次元解析を行い、この自噴地帯の領域や地下水位特性のシミュレーションを試みた。

2. 西条市の地層構造と自噴地帯形成のモデル

図-1 に示す武丈公園から五津沖に至る A-line では粘土層がほぼ海まで連続しているが、武丈公園から西条内港へ抜ける B-line では途中でいったん粘土層が途切れている西条市の地層構造は中間にドーナツ状の不透水層欠落部を有するという複雑な形状をしていることがわかる。図-2 は西条市の自噴地帯形成のモデルを示したものである。加茂川から流入した水は難帯水層によって帯水層 1 の自由地下水と帯水層 2 の被圧地下水とに分かれる。帯水層 2 は下流部が狭くなるため流れにくくなっており、この被圧地下水位の流下方向の低下は小さくなり、自由地下水位より高くなる。しかし、下流で不透水層欠落部に向けて水位が急激に低下し欠落部で自由地下水と合流する。被圧地下水位と地表面積高との関係から図中の範囲が自噴地帯となる。



図-1 不透水層粘土層分布図

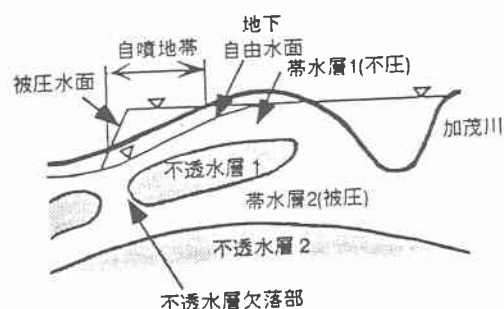


図-2 自噴地帯形成モデル

3. 有限要素法による西条市地下水流動の解析

この解析で用いる帯水層および難帯水層の地下水流動の基礎式はそれぞれ次のようになる。

$$\text{帯水層: } \frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + q_s + q_L \quad (1)$$

(不圧帯水層) $T = Kh_0$, T : 透水量係数, h_0 : 不圧地下水深, K : 透水係数, S : 有効空隙率

(被圧地下水) $T = KB$, B : 帯水層厚, S : 貯留係数

$$\text{難帯水層: } \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial h}{\partial t} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

(S_s : 単位貯留能, K' : 透水係数)

ここに, x, y : 水平座標, Z : 鉛直座標, t : 時間, h : ピエゾ水頭, q_L , q_s : 単位時間, 単位面積当たりのそれぞ

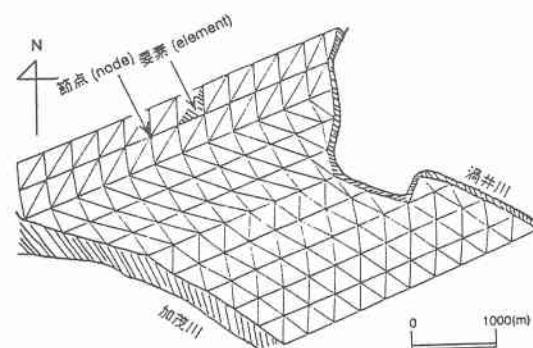


図-3 水平面における有限要素分割

れ揚水量および漏水流出力である。

今回は、揚水、降雨のない定常状態を取り扱い、上記の基礎式を用いて有限要素法¹⁾を解くが、図-3 は水平面における有限要素分割を示すものである。式(1)において、水平面内は 203 個の三角形要素に分割、節点数 125 とした。式(2)において、鉛直方向には 8 個の線要素に分割した。なお、補間関数としては線形の補間関数を用い、重み関数は Galerkin 法によって与えた。計算条件として、帯水層の透水係数が $K = 1.0 \times 10^{-3}$ (1/m)、難帯水層に関しては $K = 1.0 \times 10^{-8}$ (1/m)とし、また不圧地下水の有効空隙率に関しては、 $S = 1 \times 10^{-1}$ (m/s)、被圧地下水の貯留係数は $S = 5 \times 10^{-4}$ (m/s)とした。単位貯留能に関しては $S_s = 1 \times 10^{-4}$ (m/s)とした。境界水位は加茂川、渦井川の河床高、海側は平均潮位、上流側は加茂川と渦井川での河床高を線形的に内挿して与えた。

4. 自噴地帯に関する解析結果と実測との比較

今回の計算で設定したモデルの計算結果と実測の自噴地帯との比較を行った。図-4 および図-5 は、それぞれ A-line および B-line についての帯水層のピエゾ水頭高の変化を示したものである。なお、図中にはそれぞれ実測による自噴地帯および帯水層が存在しない部分を矢印で示している。A-line に関する第二帯水層 (AQF2) の計算によるピエゾ水頭が、武丈公園より 1200~1800m の区間で地表面より高くなっており、ほぼ第二帯水層からの自噴の様子が捉えられていることが分かる。一方、B-line に関しては、計算値および実測値ともにその間隔はほぼ一致しているものの、実測の自噴地帯の方が下流側に存在する。これは、地層モデルが完全な欠落部ではなく、計算の安定のために薄い不透水層を設けたためであると考えられる。また、A-line と B-line との自噴地帯の幅は、A-line の方が狭くなり、平面的にも自噴地帯の変化の様子が捉えられ、今回の多層帯水層モデルを用いた有限要素解析によっても、ある程度まで再現可能であることが認められる。図-6 は、自噴地帯の分布について比較したものである。一様な地層構造を有する A-line 付近では、ほぼ一致する傾向が見られるものの、不透水層欠落部の B-line 付近では計算における自噴地帯がやや上流側に現れ、かつその幅も若干大きくなる。これは、先述の不透水層欠落部を薄い不透水層で表したために、ピエゾ水頭の大きな領域が上流側から出現するものと考えられる。

参考文献

- 1) Chory, D. W. and Friend, E. O.: An iterative quasi-three-dimensional finite element model for heterogeneous multiaquifer systems, Water Resources Research, Vol.14, No.5, 1978, pp.943~952

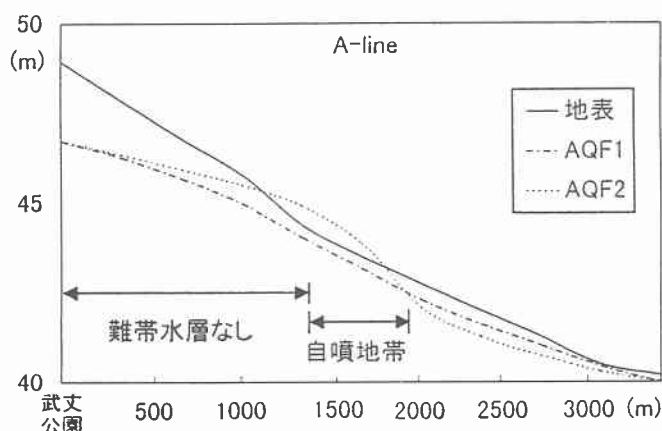


図-4 A-line におけるピエゾ水頭

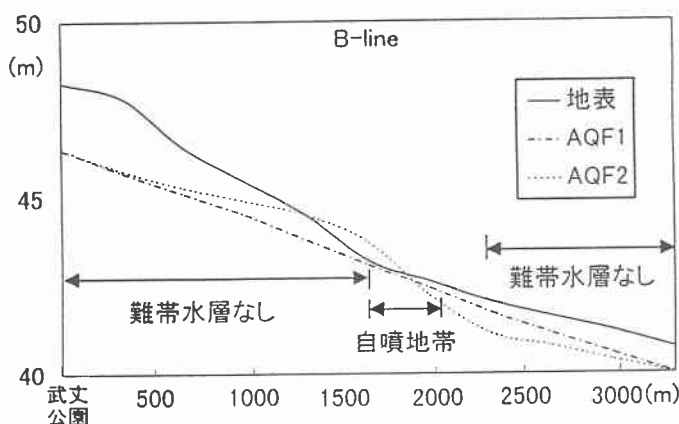


図-5 B-line におけるピエゾ水頭

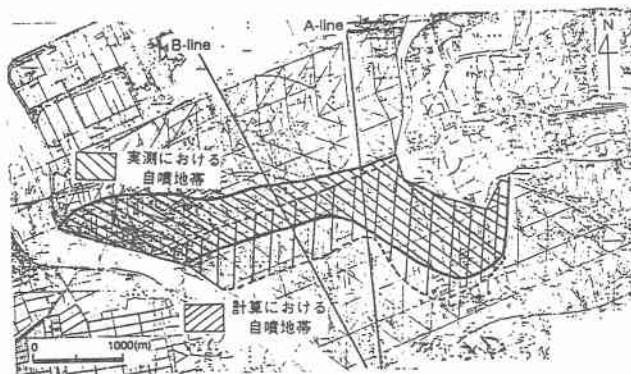


図-6 実測値および計算値の自噴地帯分布図