

早稲田大学理工学研究科 学生会員 森 弘継
 早稲田大学理工学研究科 学生会員 木村 綾
 早稲田大学理工学部 フェロー 蛙川 登

1. はじめに

都市用水や農業用水として地下水を利用する場合には、夏期に地下水の揚水量が増大し、地下水位は夏期に低下するが、冬期には回復し、年周期で変動し、地盤沈下が進行する。本研究では、埼玉県北東部の鷺宮町における地下水位の年周期の変動に伴う地盤沈下量を数値計算し、計算値と観測値を比較した結果について述べる。

2. 鷺宮における地下水位と地盤沈下量の観測データ

鷺宮の地質柱状図は図1に示すようであり、粘土、砂、礫の層が互層をなしている。埼玉県は鷺宮に地下水位の観測井4本と地盤変動量の観測井3本を設置している。地下水位の各観測井のストレーナの位置は図1に示されている。地盤変動量の観測井は地表面下35m、250mおよび415mまでの地盤変動量が観測されるように設置されている。

鷺宮における地下水位と地盤変動量の観測結果¹⁾を示すと、図2のようになる。図2によると、1号井、3号井、4号井の地下水位の変動は小さいが、2号井の地下水位は夏期に低下し、冬期に上昇し、数mの幅で年変動していることが認められる。これは、埼玉県北東部の市町村の水道は地下水への依存度が高く、夏期に地下水揚水量が多くなるためである。鷺宮町における地下水の月揚水量の経年変化を図3に示す。このような地下水位の変動により地盤は図2に示すように、各層で沈下が進行している。なお、鷺宮の場合には地下水位が上昇しても地盤は上昇しないようである。

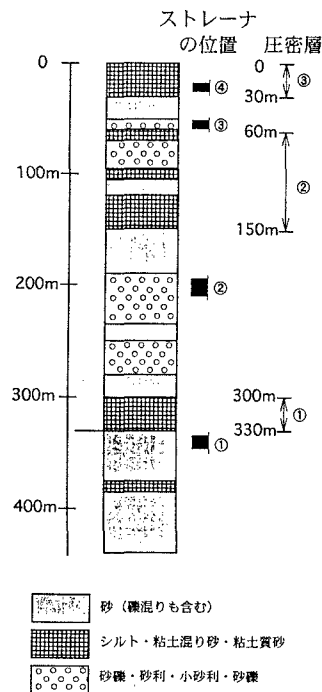


図1 鷺宮の地質柱状図

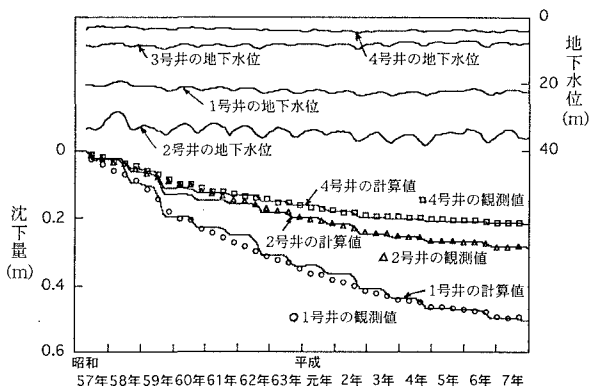


図2 鷺宮の地下水位と地盤沈下量の経年変化

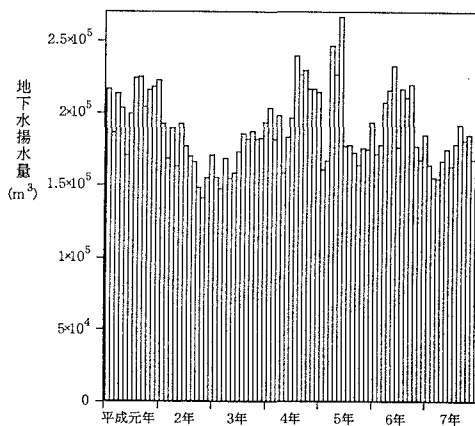


図3 鷺宮町の地下水の月揚水量の経年変化

キーワード：地盤沈下，地下水揚水，数値計算

3. 地盤沈下量の計算法

地下水の揚水に伴う地盤沈下は、地下水の揚水により粘土層内に生ずる過剰間隙水圧が時間とともに減少し、それに伴ない土粒子に作用する有効応力が増加することによって生ずる。

地下水の揚水により粘土層内に生ずる過剰間隙水圧の時間変化はTerzaghiの圧密方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad , \quad C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} \quad (1)$$

により計算される。ここで、 u は過剰間隙水圧、 C_v は圧密係数、 k は透水係数、 m_v は体積圧縮係数、 γ_w は水の単位体積重量、 z は鉛直上向きの座標、 t は時間である。

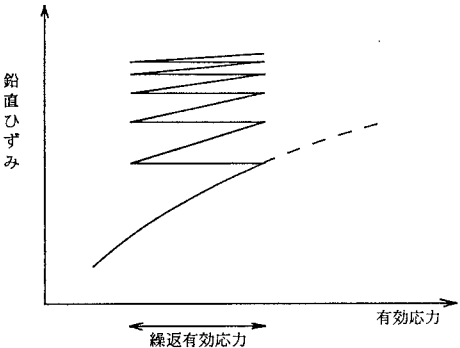


図4 有効応力の繰返しによるひずみ

地下水の揚水による粘土層の過剰間隙水圧 u を式(1)により計算し、 Δt 時間内における過剰間隙水圧の変化量 Δu を求めると、土粒子に作用する有効応力 σ' の変化量 $\Delta \sigma'$ は $\Delta \sigma' = -\Delta u$ として求められる。地盤沈下は有効応力の変化によって生じ、 Δt 時間内の鉛直ひずみの変化量 $\Delta \epsilon$ は次式で計算される。

$$\Delta \epsilon = m_v \Delta \sigma' = -m_v \Delta u \quad (2)$$

体積圧縮係数 m_v は鉛直ひずみ ϵ と有効応力 σ' の関係を示す曲線の接線の勾配を表わす。鷲宮の場合は地下水位の年周期の変動を受けて、有効応力も年周期の変動を生ずることになり、粘土層は繰返し応力を受けることにことになるが、地盤沈下量は徐々に減少し、また、地下水位の上昇時、すなわち、有効応力の減少時には地盤は上昇しないので、鉛直ひずみと有効応力の関係を概念的に示すと、図4のようになるものと考えられる。繰返し応力を受けるごとに鉛直ひずみが小さくなることを表現するために、繰返し応力を受けるごとに m_v が小さくなるものとし、 $m_v^n = m_v^0 \exp(-\alpha n)$ と仮定する。ここで、 m_v^0 は繰返し応力を受ける直前の m_v 値、 m_v^n は繰返し応力を n 回受けたときの m_v の値、 n は繰返回数、 α は m_v の減少係数である。

4. 鷲宮の地盤沈下量の数値計算

地下水位が観測されている砂層により挟まれた層を圧密層(0~30m, 60~150mおよび300~330mの3層：図1参照)とし、地盤変動量を計算した。計算では、式(1)を陰差分法により差分化し、圧密層の上下の砂層の地下水位の観測値を境界条件として、圧密層内の過剰間隙水圧を求めた。計算に使用したパラメータの値を表1に示す。なお、 m_v の減少係数 α の値は地盤沈下量の計算値と観測値が一致するように定め、 $\alpha = 0.35$ とした。

各圧密層の地盤変動量を用いて、地表面から35m、250m及び415mまでの地盤沈下量を計算し、観測値と比較したところ、図2のようになり、地盤沈下量の計算値と観測値はほぼ一致する結果が得られた。

表1 計算に使用したパラメータの値

圧密層		透水係数 k (m/day)	体積圧縮係数 m_v (m ² /N)	圧密係数 C_v (m ² /day)
①	粘土層	0.0036	9.5×10^{-7}	0.39
②	粘土層	0.00033	3.4×10^{-8}	1.0×10^5
	砂礫層	0.33	3.4×10^{-10}	3.0
③	粘土層	0.012	6.0×10^{-8}	21.0

参考文献

1) 埼玉県環境部：埼玉県地盤沈下調査報告書(平成7年度観測成果), p.68, 1996年8月.