

地下水水位と地盤沈下の同時解析

九州大学工学部 正員 江崎哲郎 学生員 周 国云 ○学生員 名田慎也
佐賀大学理工学部 正員 坂井 晃

1. 緒言

佐賀平野における地盤沈下は、主に広域かつ様々な地下水の揚水により地盤中の軟弱な粘土層が圧密するために起こる。特に平成6年は深刻な水不足によって揚水が過剰となり、白石地区では20 cm近い沈下が認められた。しかしながら、各地区の揚水が、その地区あるいは他地区の沈下に及ぼす影響は明らかではない。本研究は、適正な揚水、地盤環境の保全を目的として、FEMを用いて佐賀平野全域の揚水に伴う広域的な地下水水位変動を求め、その季節的変動による地盤に加わる応力の繰返し効果を考慮した地盤沈下解析を行ったものである。

2. 佐賀平野の地下水解析

(1) 地質概要

佐賀平野の地下地質断面を図-1に示す。A層(有明粘土層)、B層(島原海灣層)、C層(軽石凝灰岩)、D、E、F層(未区分洪積層)で、B層以下は洪積層とされている。図-2に帯水層モデルの断面図を示す。佐賀平野の帯水層は、厳密に言えば間に粘土層をはさんだ帯水層が数多く区分されているが、深度を違えて設置されている観測井の数は限られており、各帯水層毎の分布を明らかにすることは困難である。一方、一帯水層モデルであれば現在のデータでも十分であり、精度的にも入力データに見合った結果が得られると考えられ、本研究では一帯水層モデルを採用する。

(2) 非定常浸透流の方程式

$$T \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + q = S \frac{\partial h}{\partial t}$$

ここにT:透水量係数、S:貯留係数、h:地下水位、q:揚水量である。上式の近似解を $h = \sum H_i \cdot \phi_i$ とおき、Galerkin法を適用して近似式を導き、その時間微分項を後退差分とすると、節点の水頭値を未知数とする連立一次方程式を得る。これによって、有限要素定式化がなされる。計算はS54.9~H4.12までの13年間で、時間増分は10日間である。

(3) メッシュ分割

解析対象領域のメッシュ分割を図-3に示す。メッシュの大きさは約1 km×1 kmの四角形を二分した三角形要素であり、節点総数は997、要素総数は1846、全領域面積は750 km²である。

(4) 境界条件

東側の境界は、地下水位の実測値データをもとに、水位0 mの地点で固定水位条件とした。南側の境界は、揚水の影響を受けない陸地から離れた場所において、海面目標高(≡ T. P. 0 m)で固定した。北側、西側の境界は、地下水位の実測値データをもとに、固定水位条件とした。

(5) 最適法によるパラメーターの決定

本研究ではパウエル法を用いる。目的関数は以下の通りである。

$$F(T, S) = \sum_{i=1}^{997} (h_{計}(i) - h_{実}(i))^2$$

最初のT、Sは揚水試験結果から全領域を4つの小領域に分割し、各小領域の最初のT、Sを決定する。非定常浸透流の方程式に有限要素法を適用し、S54.12

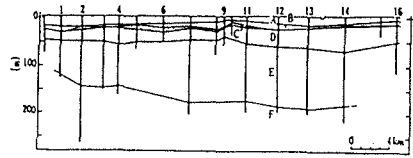


図-1 地下地質断面図

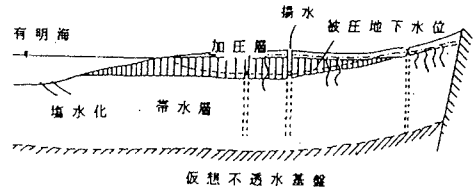


図-2 帯水層モデルの断面図

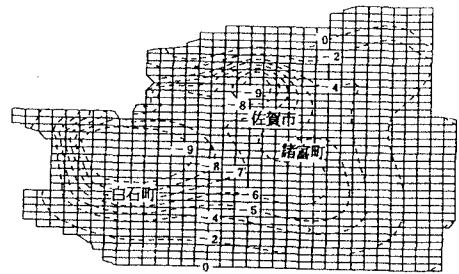


図-3 S54.12の計算地下水位コンター図

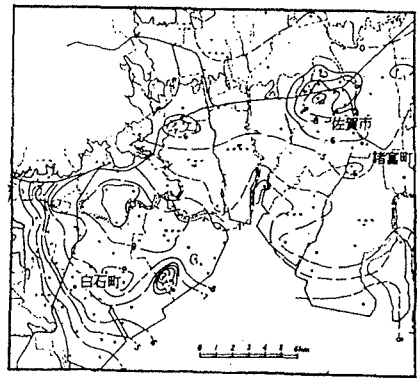


図-4 S54.12の実測地下水位コンター図

の地下水位を計算した。目的関数に用いる実測地下水位にはS54.12の実測の地下水位コンター図から、ラグランジュの補間法を用いて、997節点に補間した。各小領域の最適なT(m²/day)、S(無次元)は、以下の通りである。T₁=200、T₂=400、T₃=600、T₄=800、S₁=0.0075、S₂=0.0064、S₃=0.0035、S₄=0.0032

(6) 計算値の地下水位コンター図の作成

計算値の地下水位コンター図と地下水位実測値を図-3、図-4に示す。図-5に諸富観測所のS63~H4の

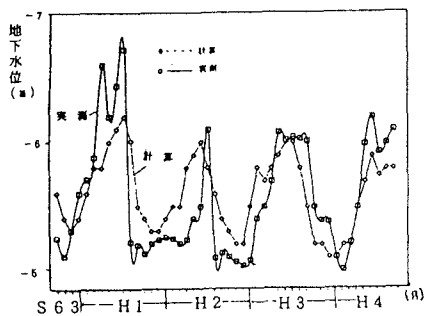


図-5 諸富観測所 (S63-H4)
計算値と実測値の比較

地下水位の計算値と実測値を示す。計算値は、実測値にはほぼ適合した値を取っていることが分かる。

3. 佐賀平野(白石地区)の地盤沈下解析

(1) 本研究に用いた地盤沈下解析モデル
沖積層に関して、本研究では広域地盤沈下を対象にしているため、一次元的取り扱いが可能であるとして、テルツァーギの一次元圧密方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{m_v \gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

を基本とした地盤沈下解析モデルを考える。本モデルでは繰返し載荷に対する土の物性値を考慮するために、載荷時と除荷時の体積圧縮係数及び圧密係数の比 (m_{vs}/m_v , c_{vs}/c_v) を設定し、除荷時の体積圧縮係数及び圧密係数の比 $m_{vs}/m_v = \alpha$ (< 1) に対し、過圧密領域における再載荷時の体積圧縮係数 m'_{vs} として繰返し効果による沈下を考慮した $m'_{vs}/m_v = \beta$ ($\geq \alpha$) の値を設定した。ここに、正規圧密における載荷、除荷時の体積圧縮係数を m_v , m_{vs} 、同様に載荷、除荷時の圧密係数を c_v , c_{vs} とする。また、 m_v は、有効応力と間隙比の関数

$$m_v = 0.434 C_c (1 + e) \cdot \sigma'$$

また、洪積層に関しては弾性理論を用い

$$S = (\Delta h \cdot \gamma_w / E) M$$

Δh : 地下水位変動量 γ_w : 水の密度 M : 帯水層の厚さ E : 帯水層のヤング率である。但し、ヤング率 E は地下水位の下降と回復によって異なる数値を用いている。下降: $E_1 = 9210 \text{ kg/cm}^2$ 上昇: $E_2 = 9910 \text{ kg/cm}^2$

(2) 解析対象地盤と解析条件

図-6は、解析対象の白石地区より採取した有明粘土の標準圧密試験結果とその解析設定値を示す。一般に、白石地区に分布する有明粘土は、深さ約10mを境に特性が異なることから、白石町北明小学校の深さ1.0~20.8mの有明粘土層を第1層(1.0~10m)と第二層(10~20.8m)に、それぞれ要素分割数16, 30の計46に分割した。解析は、上下排水条件のもとで、有限要素法を用いた繰返し一次元圧密解析を行った。土質諸定数は、第一層: $C_c = 1.7$, $C_v = 8.6 (\text{cm}^2/\text{day})$, $e_0 = 3.5$, $m_{vs}/m_v = 0.1$, $C_{vs}/C_v = 0.5$, 過圧密時の $m_{vs}/m_v = 0.115$ 、第二層: $C_c = 1.0$, $C_v = 8.6 (\text{cm}^2/\text{day})$, $e_0 = 3.0$ 、以下は第一層と同様である。

解析期間は昭和63年4月~平成4年3月までの5年間である。したがって、地盤の初期応力条件として

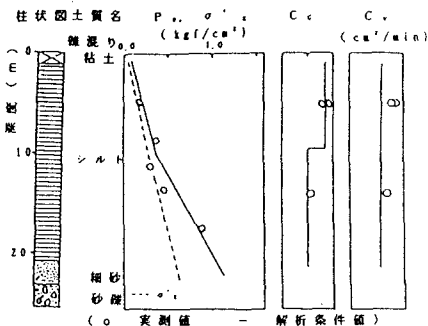


図-6 解析地盤(有明粘土層)の地盤特性

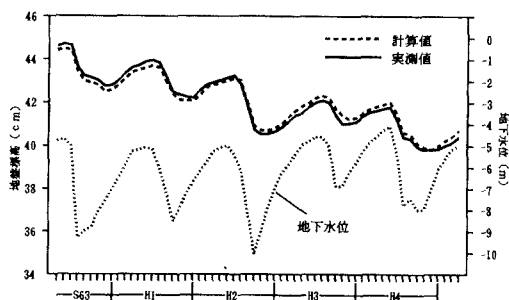


図-7 北明小学校 (S63-H4)
地盤標高変動の計算値と実測値の比較

は、解析を始める昭和63年4月の地盤応力(初期有効土かぶり圧と圧密降伏応力)の値を初期値として設定し、地盤の初期応力状態を種々設定して解析を行った。

(3) 地下水位変動量の入力

前述の地下水解析によって白石町北明小学校における5年間の地下水位の計算値を求め、昭和63年4月を初期値として地下水位の変動量を入力する。

(4) 昭和63年4月~平成4年3月の計算、実測の地盤標高変動図の作成

図-7に白石町北明小学校での地盤標高変動図を示す。図からも分かるように、沈下と回復のパターンがよく反映されている。

4. 結言

本研究では、FEMを用いた地下水位変動の解析を佐賀平野全域において適用し、広域での13年間の地下水位の変動をシミュレーションすることに成功した。また、繰返し載荷を考慮した地盤沈下解析を地下水解析と組み合わせ、沈下と回復の状況を表現することができた。

今後は、佐賀平野全域における沈下コンター図を作成し、この解析システムを用いて将来予測をする予定である。

[参考文献]

1. 坂井晃ら, 地下水位の季節的変動を受ける軟弱地盤の沈下解析. 低平地研究1993.
2. 地盤沈下の概況. 佐賀県. 平成5年.