

干拓地の揚水に伴う地下水変動の解析 と広域地盤沈下

長崎大学工学部	学生員	○村川 康孝
同上		田中 真治
同上	正 員	棚橋 由彦
同上	正 員	後藤恵之輔

1. まえがき

地下水は表面流水と異なり水温・水質が一定であり、水資源として極めて利用しやすい資源である。我が国では、近年地下水の過剰揚水に伴う広域地盤沈下が問題となっており、それに対する地下水シミュレーションを含む水理・沈下解析が進められている。ここでは、地下水の揚水に伴って地盤沈下が懸念されている長崎県諫早干拓地における広域的な地下水変動解析の結果と現在行っている広域地盤沈下予測を報告する。

2. モデル地区の概要

モデル地区は、森山町と諫早市の一部を含み、東西を有明川と本明川支流半造川、南北を種々の山地と有明海に囲まれた約10km²の干拓地で造成されている(図-1参照)。地層構成は、表層に砂層(1~2m)その下に有明粘土(10~20m)が堆積しており帯水層は3層である。資料(3)によれば、基盤岩(砂岩、頁岩)は、標高-200~-380mに分布する盆状構造をなしており、基準水位は基準線から380mとする。

3. 解析方法

(1) 準三次元地下水シミュレーション 地下水の運動を帯水層で水平、加圧層で垂直として取扱う準三次元多帯水層系では、i番目の帯水層の地下水流の基本式は、次式で示される¹⁾。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_i \frac{\partial h_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_i \frac{\partial h_i}{\partial y} \right) + \left(\frac{k'}{b'} \right)_i (h_{i-1} - h_i) + Q_i - S_i \frac{\partial h_i}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 h_i : 地下水頭、 T_i : 透水量係数、 S_i : 貯留係数、 Q_i : 揚水量または涵養量、 k' : 加圧層の透水係数、 b' : 加圧層の層厚であり、添字 i は i 番目の帯水層または、加圧層を表わす。式(1)の近似解を $h = \sum H_i \cdot \phi_i \dots\dots (2)$ とおき、式(1)に Galerkin 法を適用し、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。換言すれば、式(1)は重み付き残差法により、有限要素定式化がなされる²⁾。

(2) 解析モデル $x-y$ 平面のメッシュは、図-1に示す節点332、要素293に分割する。境界条件は、両河川と有明海に接する節点を潮汐及び河川水位の記録から時間変動する水頭をあたえ、山麓と接する節点を不透水境界としている。地盤構成の平面分布は、図-1の干拓地でないハッチ部の領域を降雨浸透領域とした。また鉛直分布は、資料(3)を参考に、盆状構造をシミュレートしている。また、各層の水理パラメーターは観測井A, B, Cの柱状図と圧密試験結果から決定した。

(3) 降雨と揚水 降雨は、気象月報(諫早市)の降雨記録を入力した(図-2(a)参照)。揚水井の平面分布と揚水強度(及び井戸の深度)は、長崎県の地下水利用実態調査表を参考に、メッシュ図にプロットし、隣接する節点に等価配分し、図-1を作成した。揚水量の経時変化は、資料がないため各井戸の年間揚水量が取水期の8月-10月の5ヵ月に集中するものと仮定し入力した。

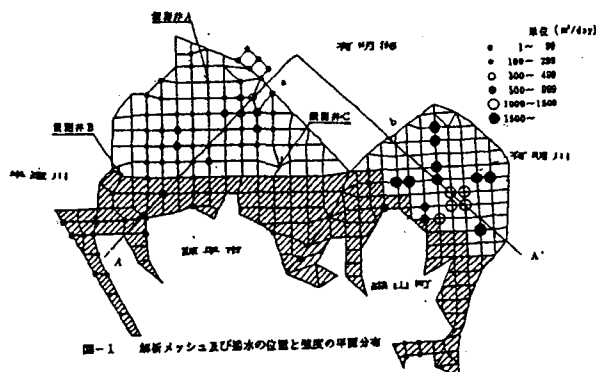


図-1 解析メッシュ及び揚水的位置と強度の平面分布

4. 解析結果及び考察

1984年～1989年の5.5年間の解析結果を図-2に示す。降雨のみを入力した、観測井A,Bの地下水位変動(図-2(a))から、帯水層の水頭は降雨との時間遅れは小さく、降雨に対して比較的敏感に反応していることが分る。また観測井Aと観測井Bの水位差は観測井Bが降雨浸透領域に近いため水位が高くなっている。降雨と揚水ともを入力した、観測井Aの地下水位変動(図-2(b))の計算値(図中実線)からは地下水位は取水停止期には毎年ほぼ同じ水位まで回復しているが、1989年のそれは1988年6月より始められた工業用水の取水の影響により水位低下が観られる。1986年4月より計測を開始された観測井Aの実測値(図中破線)と比較すると、計算値は毎年同じような動向を示しているのに対し実測値は水位変動の差が大きく、また取水停止後の回復過程は緩慢であるが、計算値は急激に回復している。これは揚水量の経時的变化を毎月一定として取水期に集中させている為であり、月単位での揚水量の詳しいデータを入力し解析する必要がある。A-A'断面(図-1)の水位変動図(図-3)では、農業用水のみで占められるb-a'断面の、取水期には最大4～5m低下しているが取水停止期には基準水位(380m)まで回復している。これに対して、A-a断面では農業用水のほか生活用水や工業用水としても用いられているので取水停止期の回復が鈍っていることが分る。

5. 広域地盤沈下の予測

広域地盤沈下は沈下勾配が極めて小さいこと、水頭変化を伴うことを勘案すれば、Gibson,Davisらの一次元圧密方程式(2)に支配されるとみなせる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial t} \quad \cdots (2)$$

ここに、 $u = \gamma_w h$ は過剰間隙水圧、 σ_z は鉛直全応力、 $C_v = k/m_v \gamma_w$ は圧密係数である。式(2)を有限要素により定式化し、広域地盤沈下予測シミュレーションモデルを作成し現在計算を行っている。結果は当日会場で報告したい。

6. あとがき

比較的最近沈下が問題となった地区は、観測資料が乏しく地下水シミュレーションモデル設定の際、多くの困難が伴う。本解析についても実際の状況に近い入力データが必要となっている。今後とも資料の収集、蓄積により、精度向上に努めるとともに、広域地盤沈下予測を急ぐ所存である。

謝辞

岡山大学工学部、西垣誠助教授からは、プログラムの提供と教示を賜った。また、長崎県保健環境部公害規制課や諫早市役所の方々には種々の資料を提供して戴いた。ここに記して謝意を表する次第です。

参考文献 (1) 佐藤邦明・関陽太郎・坪井澄雄・藤崎克博：埼玉県平野部における適正地下水揚水量の検討，土と基礎，Vol.34, No.11, 1986。

(2) 河野伊一郎・西垣誠：有限要素法による広域地下水の準三次元浸透解析(その手法とプログラム解説)

(3) 地質調査書：水理地質図(長崎県諫早・北高地区)，1978。

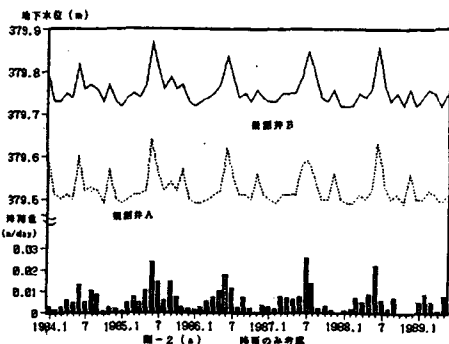


図-2(a) 降雨時の地下水位の経時変化

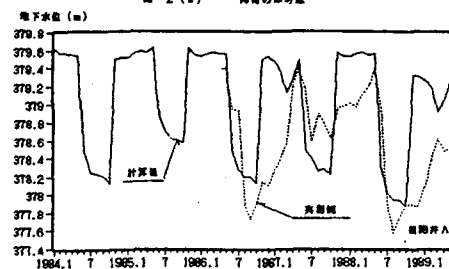


図-2(b) 取水時の地下水位の経時変化

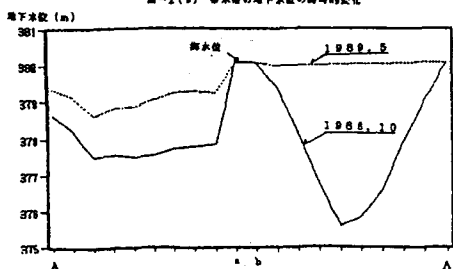


図-3 A-A'断面の水位変動

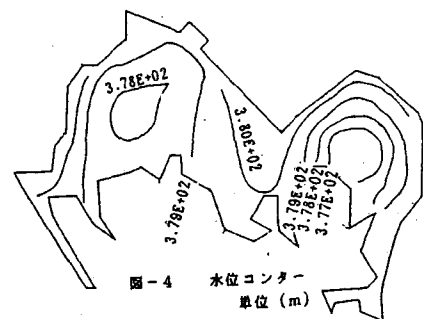


図-4 水位コンター
単位 (m)