

地下水過剰揚水による地盤沈下のモデル化 Modeling of Land Subsidence Caused by Excessive Groundwater Exploitation

○森田七子*、後藤章**、水谷正一**

MORITA Nanako, GOTO Akira, MIZUTANI Masakazu

1. はじめに 地盤沈下は、昭和後期に急速な沈下で深刻な社会問題となった。その後、地下水採取規制が強化され現在では、全国で地盤沈下は沈静化しつつある。しかし、関東平野北部では未だ地盤沈下が進行している。持続可能で、健全な地下水利用を行うために、本研究では、地盤沈下の影響要因を評価するための地盤沈下モデルを構築し、対策案の効果について検討する。

2. 研究の方法 地盤沈下が進行する野木町を中心とする栃木県南部を調査対象地とした(Fig.1)。対象地域の地盤沈下の特性を把握する。文献調査を行いながら、モデルの構築を行い、地盤沈下の対策案の効果検証を行っていく。

3. モデル構築の方法 地下水揚水量の推定のための水田水収支サブモデルを作成する。推定した揚水量から帯水層水収支サブモデルによって、深層地下水位を推定し、その結果を用いて地盤収縮サブモデルにより地盤収縮量を推定する。

4. データ解析による地盤沈下の特性把握 揚水量が増加すると地下水位が低下し、それに合わせて地盤が沈下する傾向にある。地盤沈下は、地下水位が回復すると、元に戻るが沈下量に比べると小さい値であり完全に回復することはないので、沈下は累積傾向にある(Fig.2)。

5. モデル構築 水田水収支サブモデル 野木町内の全水田を対象とし二段タンクモデルを作成した。一段目を地表タンクとし、モデル内で計算された地表タンクでの水位と、入力値として設定した維持湛水深の差を揚水量とした。結果を Fig.4 に示す。 帯水層水収支サブモデル 中村ら(2004)における文献を参考にモデル構築を行った。環境管理一号井を検証井戸とし、上流境界井戸、下流境界井戸をそれぞれ選定し適用領域を定めた。二段のタンクモデル(地表と浅層)構築に深層タンクを付加しプログラムを作成した。各タンク間の水の移動は水位差で起こるものとする。また水量を水位に換算するために、浅層では有効間隙率 (S_2)、深層では帯水層圧の伸縮率 (S_3) で除した。結果を Fig.5 に示す。 地盤収縮サブモデル 地盤沈下の特性を表現するためには戻り変位量、と残留変位量を独立に指定できる三要素モデル(友國ら、2003)を用いてモデル構築を行った。三要素モデルの長さを



Fig.1 調査対象地
Location of study area

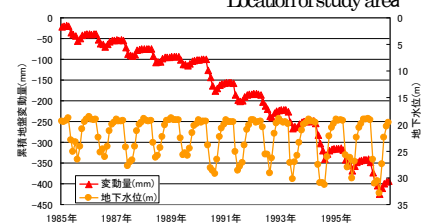


Fig.2 深層地下水位変化と地盤変動量
Long term changes in deep groundwater table and ground surface

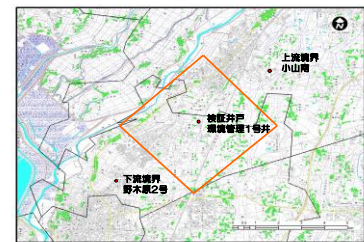


Fig.3 モデル適用対象領域
Area for model application

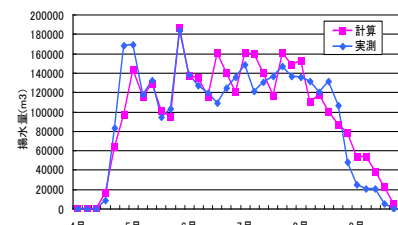


Fig.4 半月ごとの実測揚水量と計算揚水量
Actual and calculated groundwater exploitation

*株式会社富貴沢建設コンサルタンツ(元宇都宮大学大学院) (Fukisawa Construction Consultants Co.,Ltd.)

**宇都宮大学(Utsunomiya Univ.) Keywords: 地盤沈下、地下水、灌漑用揚水、レオロジーモデル

$k=(l_v+l_d)$ 、フォークト部の長さを l_v 、ダンパ部の長さを l_d 、フォークト部の弾性係数を k_1 、粘性係数を c_1 、自然長を L 、ダンパ部の粘性係数を c_2 とする。

フォークト部に作用する力： $f_v = -k_1(l_v - L) - c_1 \dot{l}_v$

ダンパ部に作用する力： $f_d = -c_2 \dot{l}_d$

フォークト部とダンパ部に作用する力は等しく、また求めるのはフォークト部とダンパ部の長さの変化であるため、

$$f = f_v = f_d \quad \dot{l} = (k_1(L - l_v - f) / c_1 - f) / c_2$$

となる。この微分方程式をオイラー法を用いて解いた。また f の値は、地下水位と地盤の力の関係を表したもので $f =$ 地盤の圧力 - 地下水位 (被圧水頭) とした。環境管理一号井を対象とし、計算結果を Fig.7 に示す。

6. 地盤沈下を抑制するための地下水利用 地盤沈下を防ぐためには被圧帯、不圧帯からの揚水をそれぞれうまく利用することが大切である。そこで揚水の量、方法、揚水する帯水層など条件を変えてみて、様々シミュレーションを行った (Table1)。田植え期のみ被圧帯水層からすべて揚水を行った場合、揚水量を減らした場合の代わりにの水源を確保すること、また全て不圧帯から揚水した場合、浅層地下水は降雨などの影響も受けやすく、枯渇してしまう可能性もあり現実的に行うのは難しい。そこで4月後半から5月中旬に集中している田植え期を6月中旬まで伸ばし、揚水の集中を防いだ場合のシミュレーションを行った。田植え期の被圧帯からの揚水によって地下水位が低下し、回復も遅いため地盤沈下は進行してしまうが、揚水の集中を防ぐだけで、地盤収縮をかなり抑制することができる (Fig.9)。

7. まとめと今後の課題 3つのサブモデルを構築し、各現象をうまく再現できた。地盤沈下を最小限に抑えるための現実可能な方策は集中した田植え期を分散させ、不圧地下水、被圧地下水をうまく活用していくことである。今回は一次的にモデル構築を行ったが、広範囲での地盤沈下現象が再現できる三次元的なモデルの構築が今後の課題である。

【引用文献】1)菅原利夫、富田友幸、森一司 (1992) : 関東平野北部の地盤沈下の実態と発生機構について、農業土木学会誌 vol.60, No.3, 219-224. 2)坂井晃、三浦哲彦、陶野有雄、八谷陽一郎 (1996) : 季節的な地下水揚水に伴う地盤沈下、地下水学会誌 vol.38, No.4, 269-278. 3)村上哲、望月紀子、安原一哉 (2001) : 地下水位の時系列変動と広域地盤沈下予測への適用、土と基礎 vol.49, No.6, 29-31. 4)中村裕昭、橋本陽子、大塚文哉 (2004) : 関東平野北部地域における水田による浅層地下水の養分循環の試み、応用地質 vol.45 巻No.5, 224-237. 5)友國誠至、杉山勇太、平井真 (2003) : 実時間計算可能な仮想レオロジー物体の構築、日本マシナリ学会論文誌 vol.8 No.3, 2003

【参考資料】6)栃木県生活環境部環境局環境管理課 (2004) : 地下水位年表 (第26回). 7)栃木県生活環境部環境局環境管理課 (2005) : 栃木県地盤変動調査報告書 (平成17年度) 8)応用地質株式会社 (2004) : 栃木県地下水利用実態調査業務委託報告書 (平成16年度) .9)大坪豊佳 (2007) : レオロジー物体のモデリング、http://www.nobl.jp/research/theo/main/old_index.html. 10)井本立也 (1963) : 概説レオロジー、東京化学同人 (上), P73.

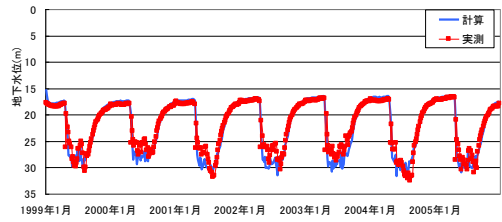


Fig.5 実測深層地下水位と計算深層地下水位
Actual and calculated deep ground table

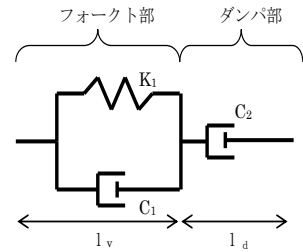


Fig.6 三要素モデル
A three-factor rheology model

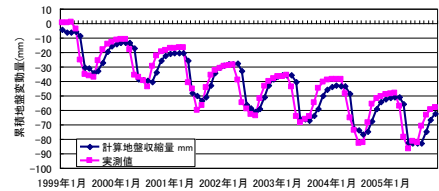


Fig.7 実測地盤収縮量と計算地盤収縮量
Actual and calculated ground surface

Table1 シミュレーション一覧
Scenarios for simulation

①適用領域内での揚水量を単純に減少させた場合
②適用領域周辺の揚水の影響を受けなかった場合
③田植え期のみ被圧帯から全て揚水し、残りは不圧帯からの揚水も行った場合
④集中した田植え期を分散させた場合

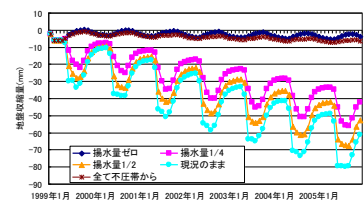


Fig.8 周囲の揚水の影響を受けなかった場合の地盤収縮量の変化

Change in ground surface without influence of groundwater withdrawal in the surrounding area

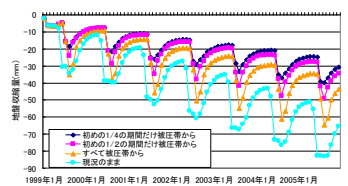


Fig.9 田植え期を分散させ田植え期間の被圧帯からの揚水を変化させた場合の地盤収縮量の変化
Change in ground surface in case groundwater withdrawal during transplanting season is reduced