

地下水位観測と有限要素解析比較による信州大学工学部キャンパス周辺域の地下水流動検討

信州大学大学院	中山宏之
信州大学工学部	藤縄克之
信州大学工学部	矢澤英之

1. はじめに

信州大学工学部では、平成 22 年度から平成 24 年度まで NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の出資による産学官連携事業として、地下水を利用したヒートポンプ空調システムの実証試験が実施されている。本試験では地下水流動制御に伴う帯水層への蓄熱・蓄冷を行っているが、その成否が空調効率を大きく左右することから、自然地下水の流動状況を詳細に把握しておく必要がある。約一年半地下水位を観測したところ、キャンパス周辺で行われている揚水が地下水流動に影響している可能性が高いことが分かり、工学部キャンパス周辺において大容量の揚水を行っているユーザーが複数存在することが長野市役所の年間揚水量の届け出によって明らかとなった。本研究では、キャンパス周辺域の揚水実態の調査結果と、有限要素を用いた地下水流動シミュレーションについて報告する。

2. 観測データから読める地下水位変動のパターン

図 1 は、信州大学工学部キャンパスにて井戸掘削時に得られたボーリング柱状図及び、電気検層結果を示したもので、信州大学周辺の地層は上部から粘土層、礫層・砂層が互層を有している。これらの結果を踏まえて、浅層から順に、第一帯水層、第二帯水層、第三帯水層の三つの被圧帯水層に区分した。実証試験にキャンパス内に掘削された合計 8 本の井戸のうち 3 本の観測井に各帯水層を対象とする圧力自記水位計のデータロガー（STS 社製）を設置し、地下水位データを収集した。

図 2 は各帯水層の地下水位の変動状況を示したもので、融雪期の 3 月頃から地下水位が上昇を始め、10 月頃にはピークに達し、3 月に最も地下水位が低下する季節変動を繰り返している。第一、第二帯水層との水位差は平均で 0.33 m、第一、第三帯水層との水位差は平均で 1.77 m となっている。一方、

図 3 は、工学部キャンパス周辺の地下水変動の傾向が顕著に表れている 2011 年 9 月 27 日～10 月 3 日の地下水変動状況を週変化で詳細を示したものである。平日は、早朝 6 時から夕方 16 時にかけて水位が急激に下降し、16 時以降は水位が徐々に戻るサイクルを繰り返す。金曜の 16 時以降から土曜・日曜にかけて水位が徐々に上昇し、平日の水位との差が約 19 cm 程度回復する傾向にある。これにより、工場の作業サイクルに非常に似通った傾向を示していること、また、第三帯水層の地下水位が特に揚水に対して顕著に応答していることがわかる。

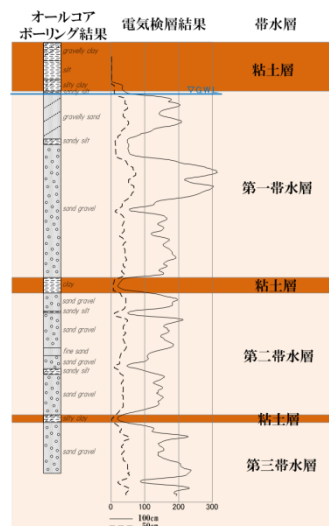


図-1 地質断面図

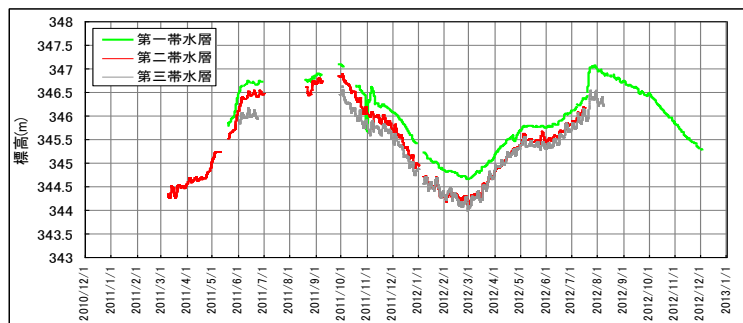


図-2 年地下水位変化

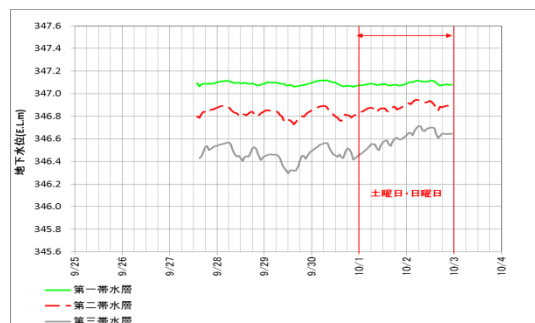


図-3 週・日地下水位変化

3. 数値解析法と解析パラメーターの設定

工学部キャンパス周辺部の地下水流動状況を把握するため、数値シミュレーションを実施した。藤縄（1990）が開発したガラーキン型有限要素法をベースとする準三次元モデルである FEGWF を使い、シミュレーションを行った。なお、被圧帯水層中の地下水流動は(1)式で表す事ができる。

$$R(h) = S \frac{\partial h}{\partial t} - \nabla \cdot T \nabla h = 0$$

(1)

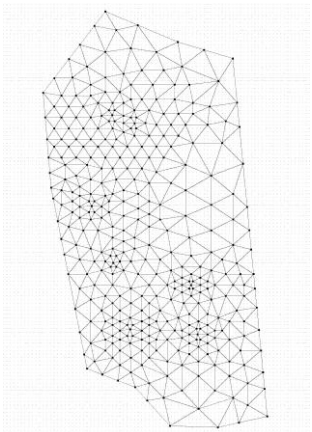
ここでの T は透水量係数，S は貯留係数，R(h)は残差である。

また，解析には藤縄ら（2012）が三次元モデルにて用いた貯留係数，透水係数を使用した。図 4 は計算に使用したメッシュ図で，本モデルでは透水係数を $1.64 \times 10^{-4} \text{ m/day}$ ，貯留係数を $3.84 \times 10^{-4} / \text{m}$ ，帯水層厚を 56.6 m とし，透水量係数を $801.90 \text{ m}^2/\text{day}$ とした。

4. 解析条件と結果・考察

境界条件には，東を不透水境界とし，南に犀川の河川境界を，西側，北側の各境界に 2 本の井戸の静水位を内挿した水頭境界を用いた。対象エリア内の揚水井の数は合計で 6 本とし，10 万 $\text{m}^3/\text{年}$ 以上の揚水量もしくは観測井に近い揚水井を抽出し，モデルに反映させた。各揚水井の情報を一覧としたものを表 1 に示す。

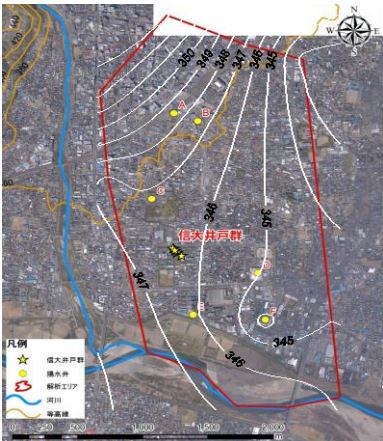
解析結果を図 5，6，7 に示す。平日と週末の信州大学キャンパス内観測井における水位を比較すると週末が平日より 18 cm 程高い水位となった。図 7 より，観測井の南東に位置する F の揚水井の水位低下による影響範囲が顕著であり，観測結果で現れた平日の地下水位降下と週末の水位回復に起因しているものと考えられる。



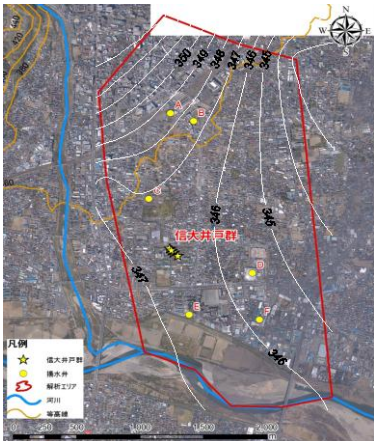
図－4 解析メッシュ図

表－1 揚水井一覧表

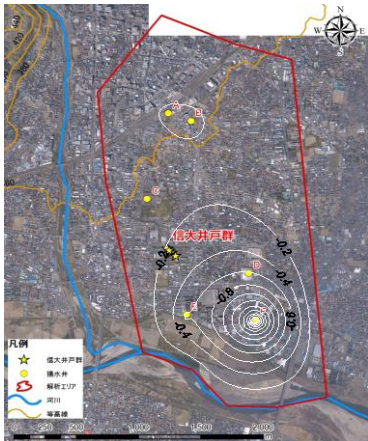
井戸名	井戸長(m)	揚水量(m^3/year)	対象帯水層
A	109	85,178	第一＋第二
B	96	105,140	第一＋第二
C	80	5,884	第一＋第二
D	70	6,460	第一＋第二
E	80	145,544	第一＋第二
F	70	1,425,669	第一＋第二



図－5 水位分布図（平日）



図－6 水位分布図（週末）



図－7 水位低下範囲図

5. おわりに

現在，数値解析の精度向上を行うため，LPデータの取得を行っている最中である。それらをモデルに適用し，境界条件の再検討を行う予定である。また，エリア内の犀川付近に大容量の揚水を行っている箇所が見られるため，調査を引き続き実施し，対象揚水井の再抽出を行った結果をモデルに反映させたものを，講演時に併せて発表する予定としている。

参考文献 1) 藤縄克之(1990) 地下水学会誌 第 32 巻誌面講座, 2) 藤縄克之・富樫聡(2012) 地下水学会誌 第 54 巻誌面講座