

## 12. 近年の被圧地下水位変動の特徴

### Characteristics of Recent Confined Ground-water Level Fluctuations in Tokyo

技術支援課 國分邦紀、川合将文、川島眞一、落合成泰

#### 1. はじめに

都内の地下水位変動については毎年、「地盤沈下」および「地下水位の観測記録」として当センター年報の報告編、資料編に報告している。しかし、その内容は各年の観測結果の報告が中心であり、地下水位に影響を及ぼす因子との関係についての報告はしばらくない。こうしたことから、本報告は近年の地下水位上昇による特徴的な事例をいくつか紹介し、気圧や潮位等、自然要因との関係、公園の池補給用地下水との関係についても整理し、考察したものである。

#### 2. 近年の被圧地下水位の上昇

被圧地下水位の変化に影響を及ぼす最大の要因は、地下水の汲み上げである。地下水の過剰な揚水が原因で被圧地下水位は低下し、帯水層に接する上部の軟弱粘土層中の間隙水が絞り出され圧密沈下が発生する。こうして、過去には地下水揚水が原因で東京をはじめ、我が国の主要な沖積低地では戦後の高度成長期に深刻な地盤沈下が発生した。その後、各種の地下水揚水規制により地下水使用量は漸減し地下水位は次第に回復しつつある。現在は地下水位の回復期にあるが、水位上昇の速度は以前ほどではなく緩やかである。

##### (1) 水位上昇の特徴

地盤沈下と地下水位の現状については、毎年、当センターの年報に観測結果に基づく詳細な報告があ

るので参照されたい<sup>1, 2)</sup>。地下水位回復期の代表的な例としてここでは、図-1に東久留米地盤沈下観測井の経年水位変動状況を示す。この観測所には、深さの異なる3本の観測井(第1:92m、第2:175m、第3:441m)があり、深さの異なる帯水層の地下水位をそれぞれ観測している。1973年から観測を開始し40年余になるが、地下水揚水規制後以降の観測のため、3本の観測井とも右肩上がりの上昇傾向を示しているのがわかる。東久留米第1および第2観測井は約40年ではほぼ30m、第3観測井については約20m、それぞれ水位上昇している。この図で注目したいのは、深さの一番深い第3観測井の水位が水頭としては逆に一番浅く、2番目に深い第2観測井の水位が一番低いことである。これは第2帯水層(深さ約160~170m)からの地下水揚水が多く水位が低下しているためと考えられる。ただし、観測開始当時の1973年頃の水位差は経年的に縮小し、現在では各帯水層間の水位差は2mほどに小さい。

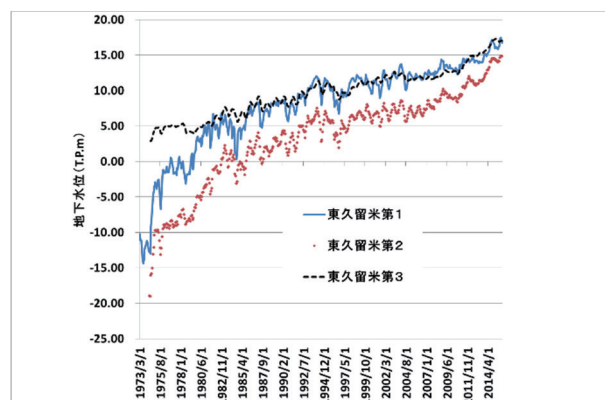


図-1 東久留米観測井の経年水位変化

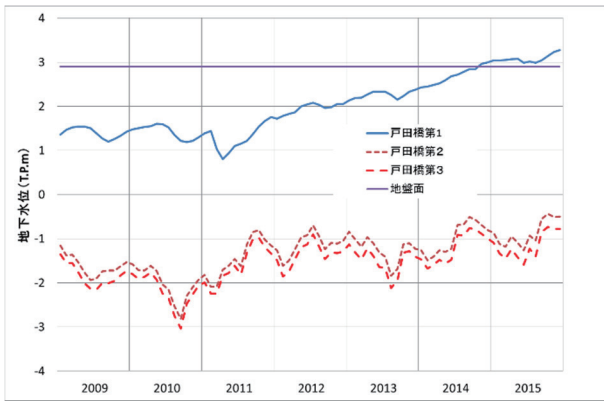


図-2 戸田橋観測井の近年の水位状況

この事実は、揚水量の減少に伴い上下の被圧帯水層間の垂直方向の地下水流動が昔より小さくなっていることを示唆するものである。

ここでは東久留米の事例を紹介したが、多摩地域、23 区の他の観測井でも程度の差はあるが同様な観測結果がみられる。

(2) 観測井における被圧地下水の自噴の事例

被圧地下水水位の上昇によって、観測井によっては地盤面より水位が上昇して自噴対策を余儀なくされた観測井も出現した。ここでは、板橋区の戸田橋観測井、多摩市の新多摩観測井の事例を紹介する。

①戸田橋観測井の最近の地下水水位と自噴対策

戸田橋観測所には、図-2 のように深さの異なる 3 本の観測井 (第 1 : 深さ 290m (ストレーナ 258~268m)、第 2 : 深さ 113m (同 103~113m)、第 3 : 深さ 60m (同 51~59m)) が設置されている。図は最近の水位変動状況であるが、一番深い第 1 観測井水位が 3 本の井戸のなかでは水位が一番浅い。第 2、第 3 の帯水層の地下水利用が第 1 の深層部より多いことを伺わせる結果である。そして第 1 観測井水位は年々上昇し、2014 年末頃には水位が付近の地盤面より高くなり、すでに自噴状態を呈している (実際には、井戸鉄管が地盤面より約 80 cm 高いので自噴には至っていない)。この状況を放置すれば近い将来、観測井の天端から水が溢れ出すことになる。このため、2015 年末に第 1 観測井の井戸鉄管の嵩上げ、外管蓋の設置および横越流排水パイプの設置工事を行った (写真-1)。

写真の左側が施工前、右が施工後の写真である。



写真-1 戸田橋第 1 観測井の自噴対策

なお越流後の流量計測のために流量メーターも取り付け付けた。

②新多摩観測井の自噴対策事例

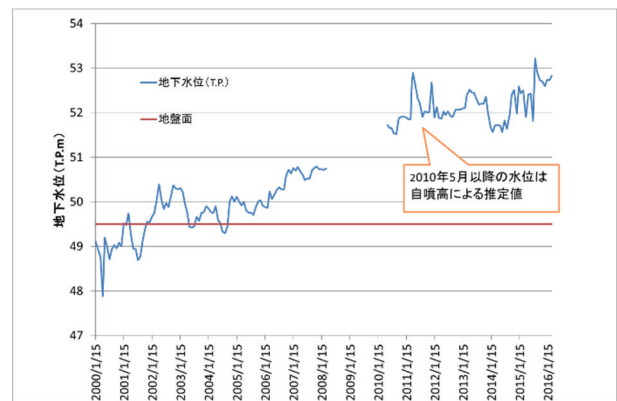


図-3 新多摩観測井の水位状況

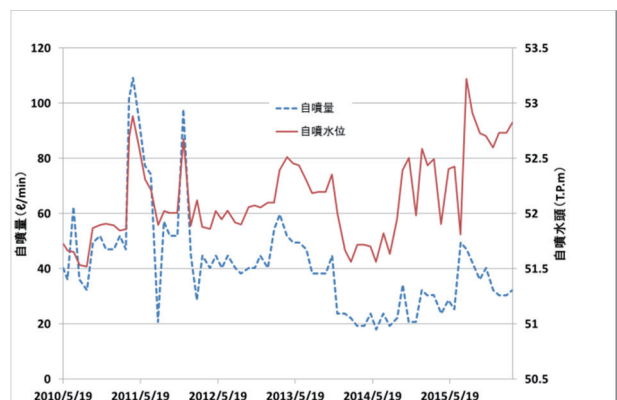


図-4 新多摩観測井の自噴量と自噴水頭

新多摩観測井は多摩市関戸三丁目にある深さ 180 m (ストレーナ深さ 92~125m) の観測井である。この観測井では 2008 年 3 月まで自記水位計観測を行っていたが、地下水水位が地盤面より高くなり自記観測が困難になったため、自噴対策として井戸天端にフランジ蓋の設置と、その後の水位観測のために立ち上がりアクリル管の接続、横越流排水管の設置

対策を行った。現在、立ち上がりアクリル管を接続して月に一度自噴高の測定を行っており、その結果について報告する。

図-3は最近の水位グラフで、2010年5月以降のグラフは自噴高による推定値、2008年3月までは自記水位計による実測値を表している。最近の自噴高は高い時で地盤面より約3.5mもあり、計測の際は観測施設の天井に設けた測量用のスタッフ孔を開けて行っている。また図-4には月に一度の観測時に行っている自噴量（三角堰による測定）の測定結果についても参考までに示したが、自噴量と自噴水頭との間には明瞭な比例関係は認められない。近年の自噴量の平均値は約400ℓ/分、日量換算で約58m<sup>3</sup>である。

### 3. 地下水位と気圧変化量、潮位との関係

被圧地下水位へ変動を及ぼす自然要因として、気圧や潮位による影響がある。地盤沈下が依然としてみられた昭和50年代の初期に潮汐および気圧による水位変動の考察等の解析報告事例がある<sup>3, 4)</sup>。しかし、その後こうした調査研究はしばらくない。地下水環境は地下水位が低下していた当時とはまった

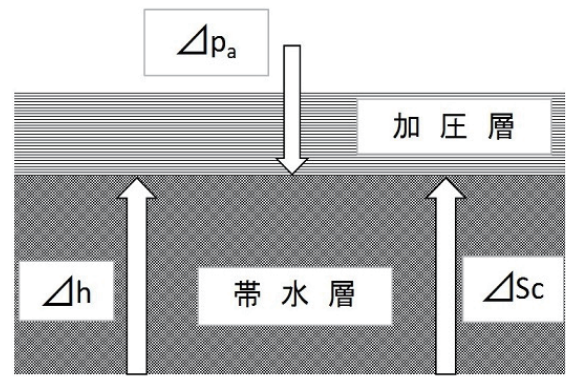


図-5 帯水層上部の力の釣り合い

く異なるので、本報告は近年の状況について報告する。

#### (1) 気圧による影響

気圧変化が被圧地下水位に影響を及ぼすことはよく知られている。気圧変化に対する水位変化の比を気圧効果 BE (気圧係数) という。気圧効果 BE は、

$$BE = \gamma_w \cdot \Delta h / \Delta p_a \quad \dots \quad (\text{式-1})$$

で表される。ここに、 $\gamma_w$ : 水の単位体積重量、 $\Delta h$ : 井戸内水位変化、 $\Delta p_a$ : 気圧の変化。

被圧水にこのような効果が現れるのは帯水層が弾性体であるからで、図-5のように $\Delta p_a = \Delta h + \Delta S_c$

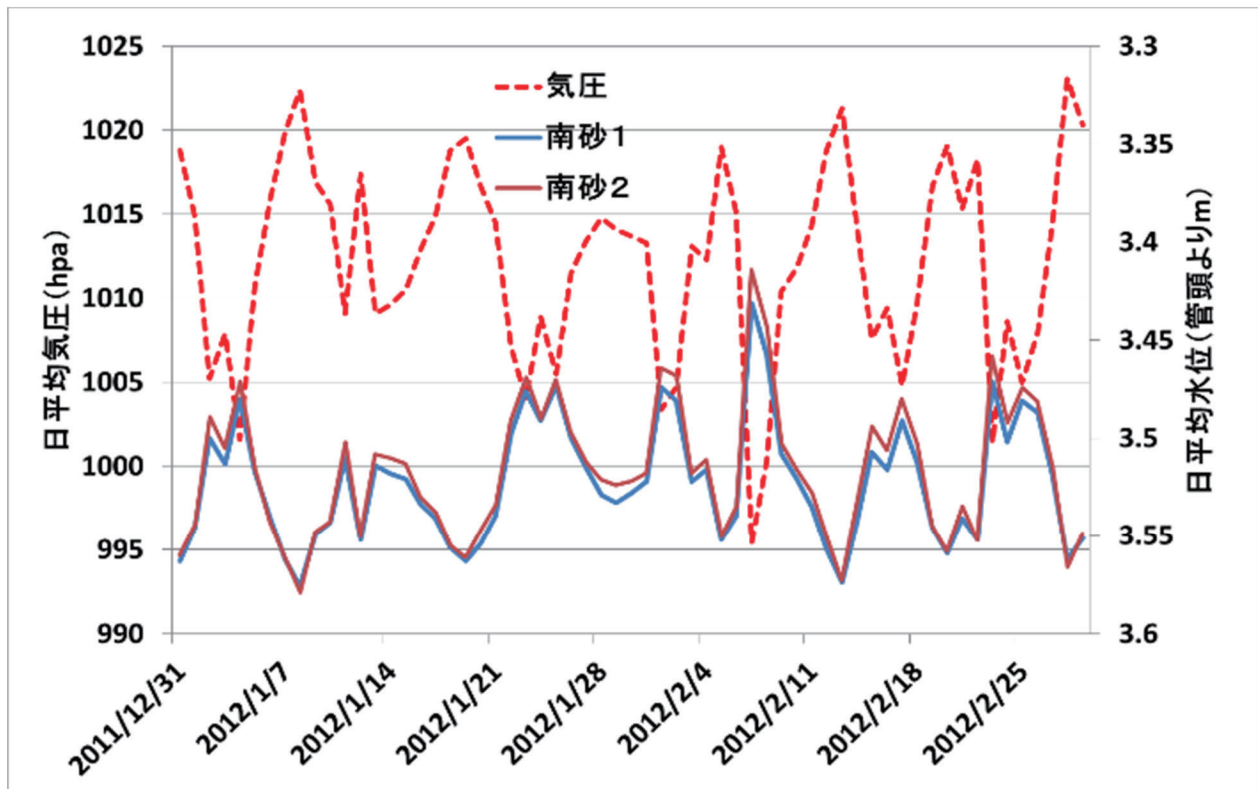


図-6 南砂町観測井の日平均水位と気圧

の関係が成立する。被圧帯水層を貫く井戸では気圧が増せば水位は低下し、気圧が減れば水位は上昇する<sup>5)</sup>。なお $\Delta Sc$ は、増加した応力である。

図-6 は南砂町観測井の日平均水位と日平均気圧の観測グラフである。期間は2011年12月から2012年3月で、日平均気圧には大手町のデータを用いている。グラフからわかるように、気圧と被圧地下水位は反比例の関係である。なお南砂町観測井の仕様は、第1観測井：深さ70m、ストレーナ65~70m、第2観測井：深さ130m、同125~130mである。

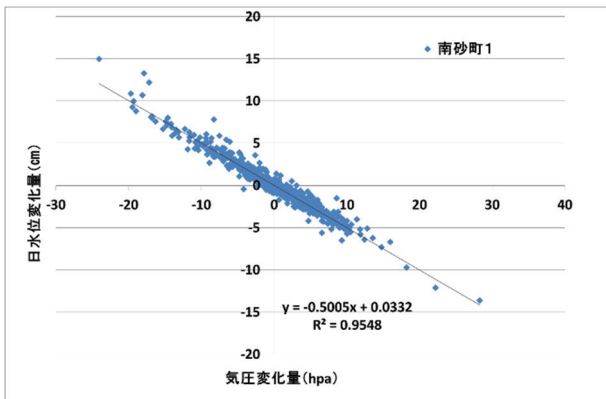


図-7 日水位変化量と気圧変化量 (南砂町第1)

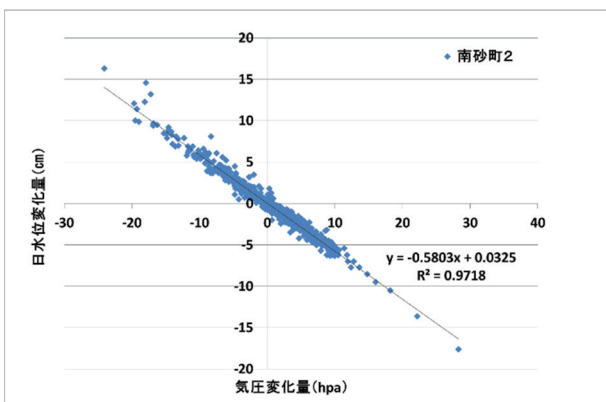


図-8 日水位変化量と気圧変化量 (南砂町第2)

また図-7、図-8 は南砂町第1観測井と第2観測井の2井について、日気圧変化量と日水位変化量の相関を整理したものであるが、両者の相関が極めて高い。南砂町第1、および南砂町第2の回帰式の傾きは、それぞれ-0.50、-0.58で示されるので、1hPa (ヘクトパスカル) = 1.020g/cm<sup>-2</sup>とすれば、気圧効果BEは第1観測井が-0.51、第2観測井が-0.59となる。一般的に0.2~0.7の範囲を示すことが多いといわれているので、妥当な値と考えられる。

遠藤ら<sup>3)</sup>は、低地部の4観測所、11井、台地部の

3観測所、7井について、潮位の影響を取り除く手法として、気圧の日変動量と日地下水位変動量との関係を整理して回帰式を報告しているが、今回、著者らが求めた気圧効果も日平均値を用いて算出したため同手法である。そして南砂町第1の約40年前の気圧効果BEは、著者らの値より大きめの0.79であった。

## (2) 潮位の影響

海岸に近い地域の地下水は潮汐の影響を受ける。遠藤らは、低地域の亀戸第1、第2と戸田橋第1の3井について潮汐の影響を考察しており、日水位変化の中に潮汐による周期変動があることを明らかにしている。本報告では、潮汐の影響が大きいと考えられる両国第2観測井と江戸川東部第1観測井の時間水位と時間潮位の関係を整理した。なお、使用した

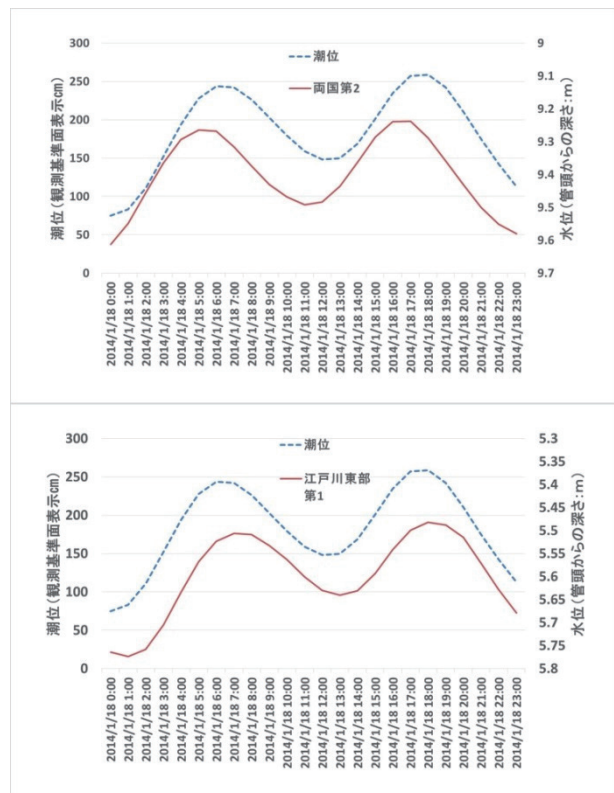


図-9 潮位と被圧地下水位の関係

潮位記録は中央区晴海5丁目にある気象庁の検潮所データである。潮汐とは海水の律動的な上昇・下降運動で、地球の自転の関係で多くの場合、1日に2回、満潮と干潮を繰り返すことをいう。ちなみに、両国第2井は深さ126m、ストレーナ深度76~87m、江戸川東部第1井は深さ70m、同62~67mである。

天候の比較的安定していた2014年1月18日の時間データを用いて潮位と被圧地下水位の関係をグラフ化したのが図-9である。図の上が両国第2、下が江戸川東部第1の場合で、潮位との関係では、両国第2が潮位のピークに若干先行し、江戸川東部第1の場合は逆に潮位のピーク後に水位のピークを迎えているが、これらの被圧地下水位は潮位の影響を受けていることがわかる。

#### 4. 地下水揚水との関係（池のかいぼり事業）

地下水揚水量の減少により被圧地下水位が回復してきたことは最初に述べたが、各事業との関係で一時的に揚水を停止したり再開したときに地下水位が変化し、思わぬ影響が出ることがある。本文では、昨年の秋から本年3月にかけて武蔵野市の井の頭池および町田市の薬師池の2箇所ではほぼ同時期に池のかいぼりが実施されたが、地下水位との関係が重要なポイントとなったので、紹介する。

##### (1) 井の頭池のかいぼり

武蔵野市の恩賜井の頭公園内にある井の頭池で2015年11月から2016年3月上旬にかけて、2回目の「かいぼり」（前回は、2014年の1月～2月に実施）が実施された。今回は、前回未実施だった「弁天池」も含め、期間も長期にわたった。この公園内、七井橋付近には公園浅井戸また公園南西部には三鷹地盤沈下観測井もあり、当センターで水位観測を継続している。このうち、公園浅井戸と三鷹浅井戸の「かいぼり」期間中の変動については、本報の資料編に報告した<sup>6)</sup>。

池補給水用の井戸は西部公園の資料によると、深井戸、浅井戸あわせて計8本、深さは約25m～120m程度で、平均揚水量約4,000 m<sup>3</sup>/日である。かいぼり期間には計6本の補給水井戸が停止されたが、期間中の地下水位は三鷹第1観測井（深さ118m、ストレーナ深度97～113m）でモニタリングできた。三鷹第1観測井水位グラフからポンプ運転停止日（11月9日）とポンプ運転再開日（3月12日）の違いが明瞭に確認できた。期間中は、西部公園緑地事務所に対し、井戸水位データ提供等による技術支援で協力した。

##### (2) 町田・薬師池のかいぼり

町田市野津田町の薬師池で2015年秋から2016年3月にかけて池の水をきれいにする水質改善工事（かいぼり）が行われた（写真-2参照）。その内容は、池の水を抜き底泥を浚渫して天日干しを行い、池の水の浄化施設も更新するものである。この池も都内の多くの池と同じように自然の湧水だけでは池水を維持できない。そこで、池の水を抜き取ったあと、近くの補給用水道水源井戸のポンプを停止したのであるが、急激に地下水位が上昇し（約2mほど）、ドライにしたばかりの池底から地下水が湧出してきた。



写真-2 薬師池のかいぼり（2015年11月26日）

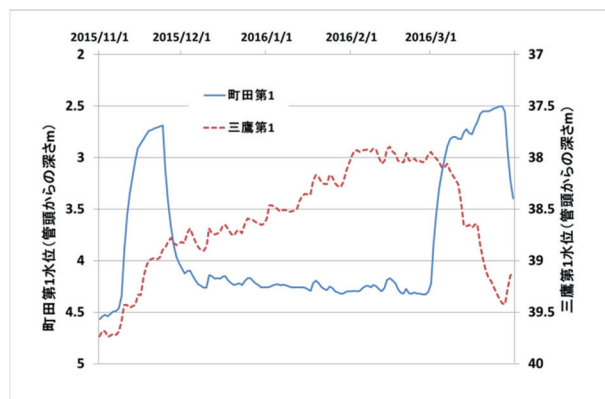


図-10 三鷹第1および町田第1観測井の水位状況

なお、この公園内には昭和63年に設置した町田地盤沈下観測井があり地下水位と地盤沈下を観測している。一方、この地域の地下水特性は昔から自噴地下水が多く見られる地下水位の高い地域として知られる。町田第1の観測井水位も、水源井が稼働中は管頭から通常約4～5mの深さにあるが、ポンプを停止すると地下水位がすぐに上昇する結果となる。事

業担当部署の町田市公園緑地課から当センターに地下水位の間合せがあり、情報提供を緊密に行う技術支援を行った。町田市では、いったん停止した水源井戸の再稼働を水道局に要請し、2015年11月下旬にポンプ運転が再開され、「かいぼり」期間中の2016年2月末まで地下水位は管頭から約4.20m程度に維持して、無事「かいぼり」は終了した。

図-10にこの期間の三鷹第1と町田第1の水位変動図を示す。三鷹第1の場合は、池補給用の深井戸停止により期間中被圧地下水位が上昇し、逆に町田第1の場合は、池底からの湧水防止のため期間中ポンプ運転を継続、地下水位の低下を維持していたことがわかる。

## 5. おわりに

以上本報告では、近年の被圧地下水位の上昇の特徴について東久留米観測井を代表事例として紹介、観測井における自噴対策、地下水位に影響を及ぼす自然要因（気圧や潮位）との関係などについても数例報告した。ただし、本報で対象とした井戸は少なく十分に整理したものではないため、今後の課題である。また、最後に池の補給水に地下水を利用していている場合（都内では自然の湧水が減少しているので地下水汲み上げが多い）の地下水揚水との関係について調査し、データ提供などで事業者に対し技術協力をを行った。事業の施工管理にこうした地下水位モニタリングが有効であることを再認識した。今後も観測は継続する予定である。

## 参 考 文 献

- 1) 川島真一、國分邦紀、川合将文、真田茂樹、落合成泰(2015)：平成26年の地盤沈下、平27。都土木技術支援・人材育成センター年報、99-124
- 2) 川合将文、國分邦紀、川島真一、落合成泰(2015)：地盤沈下と地下水位の観測記録（平成26年）、147-182
- 3) 遠藤 毅、三浦敏行、川島真一、金子豊次(1977)：被圧地下水位にみられる自然要因について、昭51。都土木技研年報、297-307
- 4) 石井 求、遠藤 毅、中山 哲、川島真一、小川 好(1980)：地震時における地下水位変動の解析、昭54。都土木技研年報、289-304
- 5) 山本莊毅（1983）：新版地下水調査法、古今書院、155-161
- 6) 國分邦紀、川合将文、川島真一（2016）：浅層地下水の観測記録（平成27年）、平28。都土木技術支援・人材育成センター年報、155-166